

1. 緒言 原子炉炉心の性能評価のためには炉心内の中性子束分布を評価する必要があり、これは計算機により中性子集団の挙動を記述する方程式(中性子拡散方程式など)を数値的に解くことで求められている。この方程式を解く際には、空間均質化(ある領域内の幾何形状を無視し均質な 1 つの物質とする操作)を行い炉心内の複雑な形状を簡略化して取り扱うことで、計算時間を短縮している。空間均質化に伴って均質化誤差が発生するが、この誤差は不連続因子(DF)と呼ばれる因子を用いて補正されている。近年、より非均質性の強い炉心を解析するため、現在主流の中性子拡散方程式と比べてより厳密な微積分型中性子輸送方程式や SP3 方程式を炉心解析に用いることが期待されている。しかし、中性子拡散方程式と異なり、これらの方程式における DF は近年活発に研究がなされ始めた段階であり、炉内の燃料装荷配置に依らずロバストに均質化誤差を低減できるような DF の理論は十分に解明されていない。そこで、本研究では微積分型輸送方程式と SP3 方程式それぞれに対する新しい DF の提案と、その性質(均質化誤差低減量やその他の特徴)の検証に取り組んだ。具体的には、微積分型輸送方程式における DF として Angular flux DF、SP3 方程式における DF として Individual DF と Unitary DF の提案と検証を行った。これらの研究内容のうち、本発表では SP3 方程式の DF として新たに考案した Individual DF についてのみ報告する。

2. Individual DF の提案 SP3 方程式

は(1)式及び(2)式で表される連立微分方程式で $J_1 = \int_{4\pi} \vec{n} \cdot \vec{\Omega} \psi(\vec{\Omega}) d\vec{\Omega}$ (3)

$$\nabla J_1 + \Sigma_t(\vec{r})\phi_0(\vec{r}) = Q_0(\vec{r}) \quad (1) \quad \frac{3}{5} \nabla J_3 + \Sigma_t(\vec{r})\phi_2(\vec{r}) = Q_2(\vec{r}) \quad (2)$$

$$\phi_0^\pm \equiv \int_{\pm\vec{n} \cdot \vec{\Omega} > 0} \psi(\vec{\Omega}) d\vec{\Omega} \quad (4)$$

$$J_3 \approx \frac{8}{7} \left(\phi_0^+ - \phi_0^- - \frac{3}{2} J_1 \right) \quad (5)$$

ある。 J_1 と J_3 はそれぞれ中性子流(1次モーメント)と3次モーメントと呼ばれ、中性子の流れに関する量である。Fig. 1に示す燃料ピンセル体系を空間均質化しDFを計算すること考える。まず、Fig. 1の非均質体系で輸送方程式を解くことで角度中性子束 ψ を計算し、この結果を用いて空間均質化を行う。次に、得られた ψ を用いて非均質体系の中性子流 J_1 と3次モーメント J_3 を計算する。 J_1 と J_3 が得られれば、SP3方程式におけるDFを計算することができる。 J_1 は(3)式により計算可能である。一方、SP3方程式が経験的に導かれた方程式であるため、 J_3 を ψ から計算する方法はまだ解明されておらず、これがSP3方程式におけるDFの問題点となっていた。本研究では、(4)式で定義される部分中性子束を新たに導入することで、角度中性子束 ψ から J_3 を(5)式で近似的に評価する計算する手法を新たに考案した。本研究で提案する Individual DF の概念では、(3)式で計算される J_1 と(5)式で計算される J_3 を用いてDFを計算する。

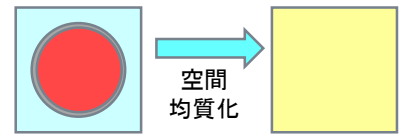


Fig. 1 空間均質化

3. Individual DF の検証 Individual DF によ

り均質化誤差(均質化誤差とは非均質体系と均質体系での計算結果の相対差異)を低減可能か検証を行った。KAIST ベンチマーク問題(燃料集合体が $2 \times 2 = 4$ 個配置された2次元体系)に基づいた5つの体系で検証を行った。計算には自作の SP3 計算コードを使用し、空間均質化は Fig. 1 のように燃料ピンセル単位で実施した。各燃料棒出力の均質化

Table 1 燃料棒出力の均質化誤差

Calculation	燃料棒出力の平均誤差 [%]				
	燃料棒出力の最大誤差 [%]				
	体系 1	体系 2	体系 3	体系 4	体系 5
補正なし	0.48	1.14	2.42	2.69	2.63
	2.01	3.76	6.71	7.51	8.11
Individual DF で補正	0.55	0.60	0.51	0.55	0.16
	1.45	1.56	1.32	1.42	0.40

誤差を Table 1 に示す。Table 1 より、Individual DF を用いることで均質化誤差を大幅に低減できることが確認できた。本研究の成果は、SP3 方程式を用いた炉心解析の高精度化に貢献することができる。

公刊論文

- 1) 坂本達哉, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 春の大会, 近畿大学東大阪キャンパス, 3月26-28日, 2013.
- 2) T. Sakamoto, T. Endo, A. Yamamoto, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 108, pp.887-890 (2013).
- 3) 坂本達哉, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 秋の年会, 八戸工業大学, 9月3-5日, 2013.