

三菱 3次元詳細輸送計算コード GALAXY-Z の開発

(3) 角度中性子束を用いた横方向漏れ近似

Development of Mitsubishi Three-Dimensional Heterogeneous Transport Calculation Code GALAXY-Z

(3) Transverse Leakage Approximation using Angular Flux

*山路和也¹, 家山晃一¹, 小池啓基¹, 左藤大介¹

¹三菱重工

中性子ストリーミングの大きい体系での計算精度向上のため、角度中性子束を用いた横方向漏れ近似を GALAXY-Z に導入した。TAKEDA ベンチマークによる検証を通じて、モンテカルロコードと良好な一致を確認した。

キーワード：3次元非均質輸送計算、プレナーMOC、GALAXY-Z、横方向漏れ、角度中性子束

1. はじめに

三菱重工では、次期核設計コードとして、径方向2次元、軸方向1次元 MOC を結合したプレナーMOC に基づく燃料棒単位の3次元詳細輸送計算コード GALAXY-Z を開発中である。局所的にボイド等が存在し中性子ストリーミングの大きい体系では、横方向漏れ(Transverse Leakage)の角度依存性を考慮することが重要であることが分かった。[1] 計算精度向上のため、GALAXY-Z の横方向漏れ近似を中性子流から角度中性子束を用いたものに変更した。(図1)

2. 理論

角度中性子束の横方向漏れを考慮した径方向と軸方向の輸送方程式はそれぞれ以下のように書け、右辺第2項が横方向漏れである。 Σ は全断面積、 Q は中性子源、 φ は方位角、 θ は極角を示す。

$$\sqrt{1-\cos^2\theta}\left(\cos\varphi\frac{\partial}{\partial x}+\sin\varphi\frac{\partial}{\partial y}\right)\psi+\Sigma\psi=Q-\cos\theta\frac{\partial}{\partial z}\psi, \quad \cos\theta\frac{\partial}{\partial z}\psi+\Sigma\psi=Q-\sqrt{1-\cos^2\theta}\left(\cos\varphi\frac{\partial}{\partial x}+\sin\varphi\frac{\partial}{\partial y}\right)\psi \quad (1)$$

径方向の横方向漏れの角度中性子束 ψ は、中性子飛行方向の離散化による分点数の比較的小さい極角は離散的に取り扱い、分割数の多い方位角については以下のようにフーリエ級数で近似する。[1]

$$\psi \approx \frac{1}{2\pi}\bar{\psi}_0(\theta) + \frac{1}{\pi}\sum_{m=1}^4\left(\cos m\varphi\bar{\psi}_{cm}(\theta) + \sin m\varphi\bar{\psi}_{sm}(\theta)\right) \quad (2)$$

但し、 $\bar{\psi}_0$ は0次のフーリエモーメント、 $\bar{\psi}_{cm}, \bar{\psi}_{sm}$ はそれぞれ $\cos, \sin$ 重みの高次のフーリエモーメントを示す。軸方向の高次のフーリエモーメントは以下の輸送方程式より求める。

$$\cos\theta\frac{\partial}{\partial z}\psi_n + \Sigma\psi_n = TL_n, \quad W_{cm} = \cos m\varphi, \quad W_{sm} = \sin m\varphi \quad (n=cm, sm) \quad (3)$$

$$TL_n = -\frac{\sqrt{1-\cos^2\theta}}{\int d\vec{r}} \int_0^{2\pi} W_n \int \left(\cos\varphi\frac{\partial}{\partial x} + \sin\varphi\frac{\partial}{\partial y}\right)\psi d\vec{r}d\varphi$$

3. 検証

中性子ストリーミングの大きい TAKEDA ベンチマークの小型 LWR 問題(図2)において、参照解であるモンテカルロコードによる実効増倍率(K_{eff})との比較を行った。制御棒・ボイドの有無に依らず、表1に示すように参照解と良好な一致を確認した。

4. 結言

GALAXY-Z に角度中性子束を用いた軸方向漏れ近似を導入し、その効果を確認した。

参考文献

[1] "A 2-D/1-D Transverse Leakage Approximation Based on Azimuthal, Fourier Moments," *Nucl. Sci. Eng.*, **185**, 243-262, Feb. 2017 [2] T. Takeda and H. Ikeda, 3D-Neutron Transport Benchmarks, NEACRP-L-330,03/1991

* Kazuya Yamaji¹, Koichi Ieyama¹, Hiroki Koike¹, and Daisuke Sato¹ ¹Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

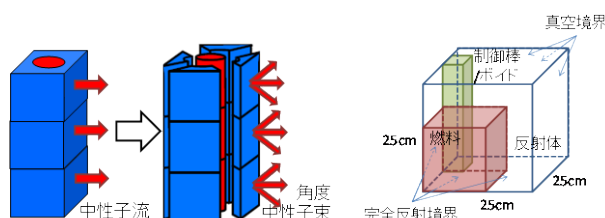


図1 横方向漏れ 図2 TAKEDA ベンチマーク [2]

表1 K_{eff} の参照解との差異 単位[% $\Delta k/k$]

制御棒あり+ボイドなし	0.03
制御棒なし+ボイドあり	0.03