

粒子法に基づいた決定論的中性子拡散計算コードの試作

Prototype of Deterministic Neutron Diffusion Calculation Code based on Particle Method

*汲田 翔吾¹, 山本 章夫¹, 遠藤 知弘¹

¹名古屋大学

過酷事故進展時など体系の動的変化に伴う実効増倍率の時間変化を予測するため、粒子法に基づく決定論的中性子拡散計算コードを試作した。エネルギー2群の2次元体系に対する検証作業により、粒子法の影響半径を適切に設定することで、実効増倍率 k_{eff} の計算値が参照解と概ね一致することが確認できた。

キーワード：粒子法、中性子拡散方程式、実効増倍率、固有値計算、カーネル関数

1. 緒言 東京電力福島第一原子力発電所における過酷事故進展時や燃料デブリ取出作業時などの状況下で臨界超過リスクを適切に評価するためには、流体・熱伝導計算により計算体系の動的変化(例：燃料の水中落下)を予測し、変化後の体系について核計算により実効増倍率 k_{eff} を推定する、といった一連の連成解析が必要となる。この課題を解決するため、本研究では主に流体解析手法として用いられる粒子法[1]に注目し、粒子法に基づく決定論的中性子拡散計算コードを開発することを目的とした。粒子法では、体系を計算格子で離散化することなく、連続体の動きを仮想的な粒子(計算点)の移動とみなすことで複雑な形状変化を扱うことができる。本発表では、試作した計算コードの検証作業として、エネルギー2群の2次元体系を対象とした k_{eff} 固有値計算の計算精度について報告する。

$$P(\mathbf{r}_i) = \sum_j V_j P(\mathbf{r}_j) W_h(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|) \quad (1)$$

2. 計算手法 粒子法では、各粒子に対して物理量を与え、

粒子間の影響を考えることで数値解を求める。具体的には、

$$W_h(r) = \begin{cases} 4(h^2 - r^2)^3 / (\pi h^8) & r < h \\ 0 & r \geq h \end{cases} \quad (2)$$

式(1)で示すように、周辺粒子 j の物理量

$$P(\mathbf{r}_j) \text{ からの寄与をカーネル関数 } \langle -\nabla D_g \nabla \phi_g \rangle_i^{SPH} = 2 \sum_{j=1}^N \frac{m_j \bar{D}_{g,ij}}{\rho_j} (\phi_{g,j} - \phi_{g,i}) \frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) \cdot \nabla W_{h,ij}}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^2} \quad (3)$$

$W_h(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|)$ で重み付けした和をとる

ことで、粒子 i の位置における物理量 $P(\mathbf{r}_i)$ を計算する。ここで、カーネル関数 $W_h(r)$ は各粒子位置を中心とした影響半径 h 範囲内に含まれる周辺粒子が中心に近いほど影響が大きくなるように定義し、本研究では式(2)に示す関数形を利用した。中性子拡散計算の場合、物理量 $P(\mathbf{r})$ として拡散係数 D_g 、巨視的吸収断面積 $\Sigma_{a,g}$ 、巨視的散乱断面積 $\Sigma_{s,g \rightarrow g}$ 、巨視的生成断面積 $\nu \Sigma_{f,g}$ を考え、粒子法に基づき k_{eff} 固有値方程式を離散化することで k_{eff} を計算できる。例えば、粒子法の場合、エネルギー g 群の漏洩項は式(3)のように離散化できる。

3. 計算結果 エネルギー2群の2次元 xy 体系で検証作業を実施した。

60 cm × 60 cm の燃料周りに厚さ 25 cm の反射体を巻いた体系を考え、粒径 1 cm の粒子を体系内で隣接させ一様に配置した。影響半径 $h = 1.97$ cm とした粒子法に基づく k_{eff} 固有値計算で得られた中性子束分布を図1に示す。有限体積法[2]によって求めた k_{eff} の参照解との相対差異は 0.29%であった。本検討により、影響半径 h の値を適切に設定することで、粒子法により概ね妥当な計算結果が得られることを確認した。

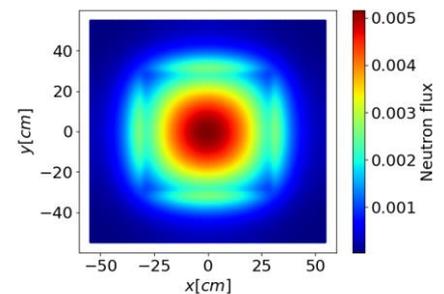


図1 熱群中性子束分布計算結果

参考文献 [1] 浅井 光輝, “明解 粒子法 SPH, MPS, DEM の理論と実践,” 丸善

出版株式会社 (2022); [2] 遠藤 知弘, 他, AESJ2005 秋の大会, E63, 八戸工業大学 (2005).

*Shogo Kumita¹, Akio Yamamoto¹, Tomohiro Endo¹

¹Nagoya Univ.