

**1. 緒言** 中性子輸送モンテカルロ計算では、軽水炉のように規則的に燃料配置されている体系を扱う場合が多いが、超高温原子炉のように球状燃料が不規則に分散した体系を取り扱う場合もある。確率論的幾何形状モデル(Statistical Geometry Model: STGM)は、このような体系の計算を簡易的に行うために開発され、既存のモンテカルロ計算コードの多くに実装されている。近年、STGM は過酷事故を起こした炉心に対しても適用が検討されている。福島第一原子力発電所の事故では、炉心溶融を起こした燃料が燃料デブリと呼ばれる炉心溶融物を形成していると考えられているが、炉内の燃料デブリの存在分布は不明である。例えば、燃料デブリ片が水中に不規則に分散した場合も想定される。このような原子炉体系の解析は極めて困難であるが、STGM を適用することでより妥当な解析が行えると期待される。しかし、STGM には断面積や燃料粒径に適用限界があり、計算される核特性の正当性を判断するには留意が必要となる。本研究では、Delta-Tracking に基づいた中性子追跡法を導入し、充填率の動径分布関数を用いて衝突位置の判定を行う、新たな簡易計算モデルを提案する。

**2. Delta-Tracking** 通常の中性子飛行解析では、中性子の飛程と領域境界面との交点を逐一計算する必要がある。ところが、幾何形状の数が膨大になると、領域交差判定に多大な計算時間を要するようになる。この処理を高速化する方法として、Delta-Tracking と呼ばれる計算方法がある。Delta-Tracking とは、衝突後にエネルギー・飛行方向を変えない、物理的に意味のない散乱(仮想散乱)を導入して追跡を行う。仮想散乱断面積の値は任意に設定することが可能である。ここで、仮想散乱を含む全断面積を、体系内で位置によらず一定となるように、以下のように設定する。

$$\Sigma_{t,g}^* = \Sigma_{t,g}(r) + \Sigma_{s,g}^*(r) \quad (1)$$

$\Sigma_{t,g}^*$  はエネルギー群  $g$  群の仮想散乱を含む全断面積、 $\Sigma_{t,g}(r)$  は位置  $r$ 、エネルギー群  $g$  群の全断面積、 $\Sigma_{s,g}^*(r)$  は位置  $r$ 、エネルギー群  $g$  群の仮想散乱断面積を示す。 $\Sigma_{t,g}^*$  はエネルギー群  $g$  群で最大の全断面積となるように設定する。このように設定することで、飛行解析に用いる全断面積を体系内で位置に寄らず一定とし、体系を単一の領域として考えることが可能となる。これにより、中性子の飛程と領域境界面との交点を求める処理が不要となり、飛行解析を高速化することが可能となる。

**3. 提案手法** 仮想散乱に基づく飛行解析では、飛行途中で任意の領域と交差しても、その交差判定をする必要が無い。この性質を応用し、初期中性子の発生位置、および飛行後の衝突位置での材料を確率的に判定することで、球状燃料分散体系を再現する手法を考案した。初期中性子発生源の材料は、体系全体の燃料充填率で容易に判定できる。衝突位置における物質判定は、充填率の動径分布関数  $F_{p,i}(r)$  によりサンプリングする。 $F_{p,i}(r)$  は、核分裂または散乱反応による中性子発生点から距離  $r \sim r + \Delta r$  の球殻における燃料の体積充填率と定義する。この体積充填率を、「衝突点が燃料である確率」とみなすことで、一様乱数により材料の判定が可能となる。提案手法では、中性子発生点の材料の種類に応じて、以下で挙げる 2 種類の動径分布関数を必要とする。Fig. 1 に動径分布関数の一例を示す。

$F_{p,1}(r)$  : 中性子発生点が燃料のときの動径分布関数

$F_{p,2}(r)$  : 中性子発生点が減速材のときの動径分布関数

**4. 検証計算** 提案手法の検証のため、C5G7 ベンチマーク問題の  $\text{UO}_2$  燃料および  $\text{H}_2\text{O}$  の 7 群断面積を適用し、種々の燃料充填率に対して無限増倍率の計算を実施した。基準となる計算体系は、半径 1.0cm の燃料球をランダムに配置した体系とした。基準値となる無限増倍率は、燃料球を直接配置した体系を既存のモンテカルロコードに入力して計算した値を用いた。Fig. 2 に提案手法及び STGM によって計算した無限増倍率の、基準値との相対差異を示す。Fig. 2 から、提案手法が STGM と比較して、相対差異を 30%~80% 程度低減できること確認した。今後の課題として、提案手法の計算効率の評価、連続エネルギー群計算における提案手法の検証が挙げられる。

#### 公刊論文および口頭発表

1. T. Koide, T. Endo, A. Yamamoto, *et. al.*, *PHYSOR2014*, Kyoto, Japan, Sep. 28 – Oct. 3, 2014 (2014).
2. T. Koide, T. Endo, A. Yamamoto, *RPHA15*, Jeju, Korea, Sep. 16 – 18, 2015 (2015).
3. 小出嵩大, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会春の年会, 東北大学, 3月 26-28 日, 2015(to be presented).

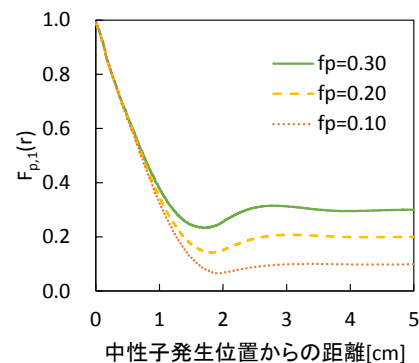


Fig. 1 動径分布関数

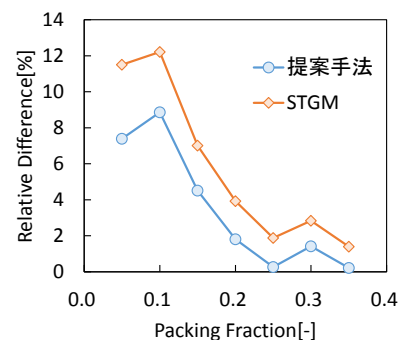


Fig. 2 無限増倍率の相対差異