

## 050

モンテカルロ法におけるソース繰り返し収束判定条件を満たす  
keffの計算方法・・・その1: 計算方法・・・A Method to Calculate keff within a Convergence Criterion of Source Iteration in  
Monte Carlo Calculation---Part1: Calculation Procedures(株) ナイス 内藤 俣孝 行川 正和  
Yoshitaka NAITO Masakazu NAMEKAWA

モンテカルロ計算で keff を求める場合に、多くはソース繰り返し法が使用される。しかし、この繰り返し法が収束条件をみたしたかどうかの判定を、従来は、してこなかった。ここでは、サンドイッチ法を用いて、収束条件を満たすための初期中性子発生分布の選定、有効ヒストリー数、スキップ世代数を求めるための手順を示す。

**キーワード** : サンドイッチ法、モンテカルロ計算、ソース繰り返し法、keff、収束判定、計算手順

## 1. はじめに

近年、臨界安全評価は、しばしば、モンテカルロ法による計算結果を用いて行われる。しかしながら、ソース繰り返し計算の収束判定は行われていない。収束判定をするためには無限繰り返し計算後の keff( ) を推定する必要がある。これを、報告者が提案したサンドイッチ法<sup>1)</sup>により求める。計算した keff と keff( ) との偏差を求めて収束判定をする。ここでは、収束判定条件を満たす keff を求める方法を提案する。

## 2. 計算方法

サンドイッチ法に基づき、初期ソースの設定により、大きめの keff(H) と小さめの keff(L) を求める。サンドイッチ法によれば、keff( ) は、ある信頼度で、下記の式を満たす。

$$\text{keff(L)} - \mu \quad (\text{L}) < \text{keff( )} < \text{keff(H)} + \mu \quad (\text{H}) \quad (1)$$

収束判定条件を とすると下記のとおりになり、標準偏差 が下記の条件を満たすまで計算を繰り返せばよい。但し、この は大きめの keff(H) と小さめの keff(L) の計算結果の両者を合体した集合の標準偏差である。μ は合体した集合のサンプル数が、通常、大きいので、3 位で高い信頼度レベル (0.995 程度) を維持できる。 < keff > は keff(H) と keff(L) の平均である。

$$\{ < \text{keff} > \pm \mu \quad - < \text{keff} > \} / < \text{keff} > < \quad (2)$$

計算は次の手順で行う。

## (1) インポートランスの大きい領域の求め方

体系をセル分割し、ある一つのセル i に中性子源を想定して第 1 世代の keff<sub>i</sub> を求め、それが最大となるセルを Most Important Cell とし、そのセルに中性子源を想定して世代数を増して計算を行い keff(H) を求める。なお、keff(L) は均一中性子源を想定した計算により求まる。

## (2) 収束条件を満たすヒストリー数の設定の方法

を  $3 \times 10^{-3}$  とした例について考える。μ を 3 とすると、式(2)から / < keff > は  $10^{-3}$  以下であることが要求され、ヒストリー数は  $10^6$  以上が必要になる。これを有効ヒストリー数の目安とする。

## (3) スキップ世代数の求め方

有効ヒストリー数を一定にして、スキップ世代数を増大し、式(2)の条件を満たすスキップ世代数を求める。

## 3. おわりに

ソース繰り返し法の収束条件を満たすモンテカルロ計算の方法を創出した。従来、曖昧であったスキップ世代数の決定方法も明確にできた。スキップ世代数を収束条件から求めることは、「ソース分布が基本モードから離れている場合の計算結果は最終の答えを得る際の統計処理には含めない」という考え方で設定されるスキップ世代数の考え方に良く適合するものとする。

報告その 2 で、この手法を用いた計算例を示す。

参考文献: 1) Y. NAITO and J. Yang, "The Sandwich Method for Determining Source Convergence in Monte Carlo Calculation", J. Nucl. Sci. Technol. Vol. 41, No. 5, p. 559-568 (May 2004).

# 051

## モンテカルロ法におけるソース繰り返し収束判定条件を満たす keff の計算方法 . . . その 2 : 実証計算 . . .

A Method to Calculate keff within a Convergence Criterion of Source Iteration in Monte Carlo Calculation---Part 2: Demonstration Calculation

(株) ナイス

内藤 俣孝

行川 正和

Yoshitaka NAITO

Masakazu NAMEKAWA

三菱原子燃料(株)

鈴木 賢一

三橋 雄志

Kenichi SUZUKI

Takeshi MITSUHASHI

計算手順に従ってベンチマーク計算を行い、本計算方法によりインポートランス最大となる初期中性子発生分布及びスキップ世代数の選定、また、収束判定条件を満たす keff を求めることができることを実証する。

**キーワード** : サンドイッチ法、モンテカルロ計算、ソース繰り返し法、keff、収束判定、実証計算

### 1. はじめに

本計算方法によりインポートランス最大となる初期中性子発生分布及びスキップ世代数を選定し、収束判定条件を満たす keff を求めることができることを実証するため、計算手順に従ってベンチマーク問題「OECD/NEA Source Convergence Benchmark 1: Checkerboard storage of assemblies」の計算を行う。

### 2. 計算方法

ベンチマーク問題は図 1 に示すような幾何形状であり、24×3 のチェッカーボード状に燃料集合体が配置され、周囲 3 方向はコンクリート反射体で囲まれており、残りの部分は水である。計算ケースは、集合体内及びウォーターチャンネル内の水密度を 0.1、0.3、0.5 及び 1.0(g/cc)とした 4 ケースとする。

計算方法は、まず、ある燃料集合体 i に初期中性子源を置いて第 1 世代の keff<sub>i</sub> を計算し、keff<sub>i</sub> が最大となる燃料集合体をインポートランスが最大であるとする。次に、有効ヒストリー数を 200 万 (20,000 × 100 バッチ) で一定とし、スキップ世代数を変化させ keff を計算して  $1/\langle keff \rangle$  が  $10^{-3}$  以下となるスキップ世代数を求める。なお、モンテカルロ計算コードは MCNP5、核データは ENDF/B-VI を使用する。

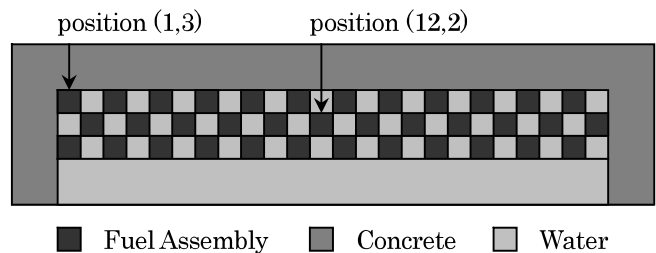


図 1 ベンチマーク問題の幾何形状

表 1 インポートランス最大の燃料集合体位置

Water Density (g/cc)	0.1	0.3	0.5	1.0
Fuel Assembly Position of Most Important Region (x,y)	(12,2)	(12,2)	(12,2)	(1,3)

### 3. 計算結果

計算の結果、インポートランスが最大となる燃料集合体の位置は表 1 のとおりであった。インポートランス最大は、水密度が 1.0(g/cc)の場合、角でコンクリート壁に面する(1,3)位置であり、それ以外の水密度の場合、中央の(12,2)位置であった。次に、ここで求めたインポートランス最大の燃料集合体を初期中性子源とした keff(H)と初期中性子源を均一とした keff(L)をスキップ世代数ごとに計算し、スキップ世代数に対する  $1/\langle keff \rangle$  を図 2 のとおり求めた。水密度が 0.1 及び 0.3(g/cc)の場合はスキップ世代数 1,000、水密度が 0.5 及び 1.0(g/cc)の場合はスキップ世代数 2,000 で  $1/\langle keff \rangle$  は  $10^{-3}$  以下となり、水密度が大きくなるほど収束しにくい傾向である。

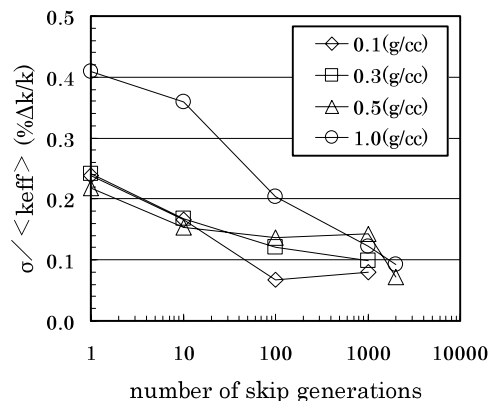


図 2 スキップ世代数に対する  $1/\langle keff \rangle$

### 4. おわりに

本計算手法によりインポートランス最大となる初期中性子発生分布及びスキップ世代数を選定し、収束判定条件を満たす keff を求めることができることをベンチマーク計算により実証した。

今後は、本計算手法の実施設に対する臨界安全評価への適応性について検討する予定である。