

## <第 35 回炉物理夏期セミナー・若手研究会報告>

### (3) 燃焼モンテカルロ計算の誤差伝播解析

大阪大学大学院工学研究科  
原子力工学専攻 博士後期課程 3 年  
佐野 忠史

([tadafumi@sirius.nucl.eng.osaka-u.ac.jp](mailto:tadafumi@sirius.nucl.eng.osaka-u.ac.jp))

#### 1. はじめに

近年、燃焼計算を行う手法として燃焼モンテカルロ計算が注目されている。これは、燃焼計算に必要な中性子束や実効断面積をモンテカルロ計算によって得ようという手法である。この手法の利点として、複雑な体系を模擬できることや燃料ピン中の自己遮蔽空間分布を正確に取り扱うことができること等があげられる。一方で、モンテカルロ法による統計誤差や断面積ライブラリーのもつ誤差、燃焼ステップ内の中性子束が一定であると仮定した誤差等が燃焼計算の結果に影響を及ぼす可能性が予想される。本研究では、これらの誤差による燃焼モンテカルロ計算の誤差伝播評価式を導出し、その解析をおこなうことである。

#### 2. 数密度の誤差伝播

右図に燃焼モンテカルロ計算における数密度誤差伝播の概念をしめす。

ある時間ステップ内での誤差伝播を考える。

燃焼行列  $M$  と数密度  $N$  に誤差 ( $\Delta M, \Delta N$ ) が存在するとき、これらの誤差を含む燃焼方程式は次式のようなになる。

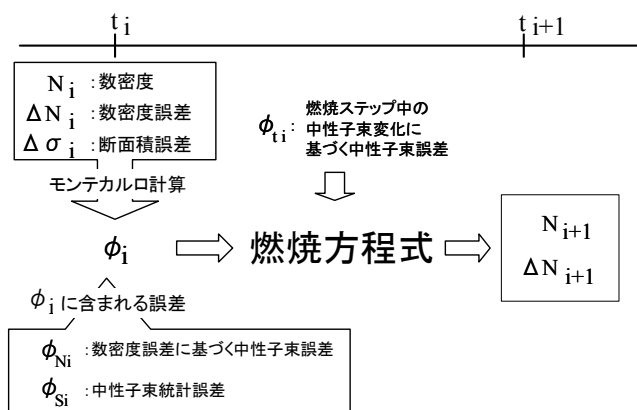


図 燃焼モンテカルロ計算の誤差伝播

$$\frac{\partial N + \Delta N}{\partial t} = (M + \Delta M)(N + \Delta N)$$

上式において数密度誤差は次の 4 つの誤差に基づく誤差成分に分割できるとする。すなわち、①断面積誤差に基づく誤差、②中性子束の統計誤差に基づく誤差、③数密度誤差によって発生した中性子束誤差に基づく誤差、④時間ステップ内の中性子束変化を一定と仮定する誤差である。これらの誤差を考慮すると時間ステップ内で伝播する数密度誤差は次のようになる。

$$\frac{\Delta N(t_{i+1})}{N(t_{i+1})} = \frac{\Delta N(t_i)}{N(t_i)} + G_{ii} \Delta \sigma_{ii} \Delta t + \frac{\partial M(t_{i+1})}{\partial \phi_{i+1}} \Delta \phi_{s,i+1} \Delta t + \frac{\partial M(t_{i+1})}{\partial \phi_{i+1}} \Delta \phi_{N,i+1} \Delta t + \frac{\Delta t}{2} \frac{dM(t_{i+1})}{dt}$$

ただし、 $\Delta \phi_i \cong \frac{d\phi}{dt} \Delta t$ 、 $\Delta t = t_{i+1} - t_i$  とする。上式に置いて、右辺一項は前時間ステップにおいて発生した数密度誤差が伝播する項、第二項は断面積誤差による項、第三項は中性子束統計誤差による項、第四項は数密度誤差により発生する中性子束誤差による項、第五項は時間ステップ内の中性子束が一定と仮定する項である。

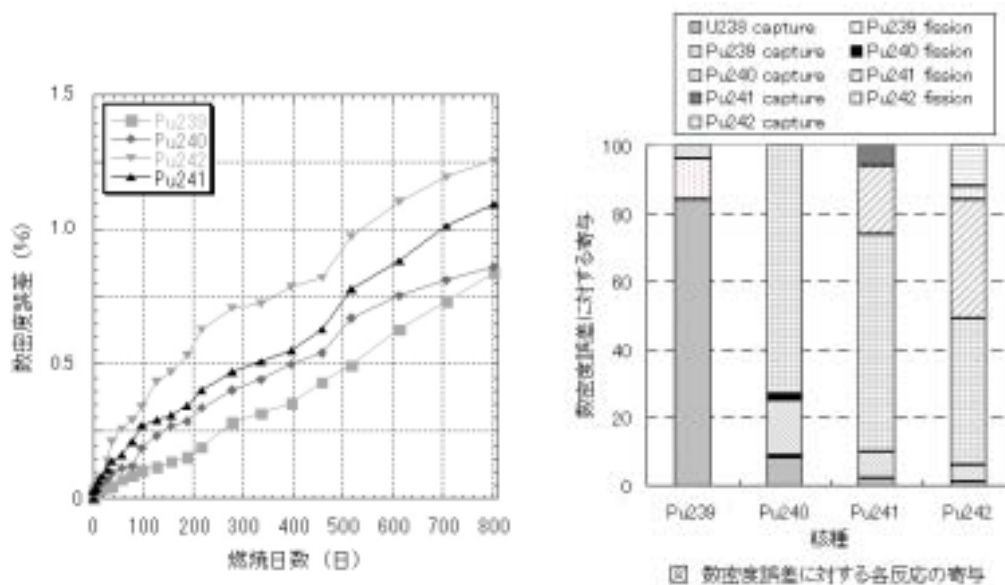
### 3. 解析例

解析例として、PWR ピンセル体型での数密度誤差について検討を行う。計算条件を表に示す。計算コードはモンテカルロ計算には MVP、燃焼計算には ORIGEN2 を使用した。

表 計算条件

計算体型	PWR ピンセル (4.5wt% UO <sub>2</sub> 燃料・出力 160W/cm)
モンテカルロ計算の総 History 数	10000 個 (中性子束の統計誤差: 約 0.15%)
断面積ライブラリー	JENDL 3.2
燃焼日数	801 日 (22 step)

下図にプルトニウムの数密度誤差の変化と、燃焼終了後 (801 日) の各反応の数密度誤差に対する寄与をしめす。ここで、Pu239 に注目する。燃焼終了後の数密度誤差は最大で約 0.8% となった。また、数密度誤差に対し U238 捕獲反応が大きく影響をあたえることがわかった。一方、Pu242 は燃焼終了後の数密度誤差は約 1.25% となり、Pu240 と Pu241 の捕獲反応が大きく影響をあたえることがわかった。



#### 4. 今後の方針

今回の解析例では、ピンセル体型に対し誤差伝播評価式を適用した。今後、複数の燃料ピンから構成される部分集合体での数密度誤差の解析を行う。ここで問題となるのは、ウラン燃料と MOX 燃料のように組成が異なる燃料ピンが配置されている場合である。この場合、数密度誤差は各燃料ピンで異なり、それぞれの数密度誤差が他の燃料ピンの中性子束計算に対し影響を及ぼす。この数密度誤差による中性子束の空間摂動を考慮した誤差伝播解析を行う必要がある。

また今回は、FP の数密度誤差については考慮していない。しかしながら、FP の数密度誤差が中性子束や重核種の実効断面積計算に影響を及ぼし、プルトニウム等の数密度誤差の変化につながる可能性がある。したがって FP の数密度誤差に関しても興味ある研究課題である。