

零出力遅発超臨界体系での点源からの中性子束時間変化の計算

Time dependent neutron multiplication from point source in delayed super-critical core

*名内 泰志
電中研

連続エネルギーモンテカルロ法で、遅発超臨界体系内の点源から k_{eff} を求めるべき乗法計算を行い、中性子が源からある位置にいたるまでの経過時間を世代を越えて、遅発中性子先行核の崩壊を含めて評価した。べき乗法計算では世代毎の中性子数が規格化されていることを補正し、体系の中性子束の時間変化を評価した。この時間変化から得た炉周期は、実効遅発中性子割合を介して体系の反応度と概ね整合した。

キーワード： ω 固有値方程式、炉周期、モンテカルロ法、経過時間、べき乗法

1. 緒言 炉心出力が時間に対し指数関数で変化する際の中性子輸送方程式は ω 固有値方程式と呼ばれる。この随伴中性子束 $\phi^\dagger$ は、評価したい位置と速度の中性子を源として、十分な時間を経過した後に形成される中性子束、中性子数に比例することを理論的に示した¹⁾。さらに即発臨界体系で連続エネルギーモンテカルロ法(MC法)により同中性子数を計算し、Iterated fission probability と比例することを確認した¹⁾。本報では遅発中性子を考慮した $\phi^\dagger$ 計算の前段として、反応度投入体系の時間依存中性子束の評価法を検討した。

2. 評価手法 点源からの中性子輸送・増倍をべき乗法で計算した。この際、源で中性子が発生してからの経過時間を世代を越えて累積評価した。連鎖反応の過程で遅発中性子がある場合は先行核の崩壊時間を確率的にサンプリングして経過時間に累積した。中性子毎の経過時間累積値を用い、世代毎に炉心全中性子束の時間変化を評価した。MC法でのべき乗法計算では、あるサイクルに発生する中性子の重みの合算を、初期の点源での中性子の重みの合算と一致するよう規格化し、この重みを用いて中性子束を評価する。一方、べき乗法計算では、源中性子を第1世代とし、第(i+1)/i世代の中性子発生数比 k_i を毎サイクル評価しており、第n世代の中性子発生数は中性子源強度 $\times \prod_{i=1}^n k_i$ となっている。そこで $\prod_{i=1}^n k_i$ を第n世代の中性子束の時間変化評価値に乘じ、この積を全世代で合算することで、中性子数の時間変化を評価した。このため MNCP-5.1.30 コード²⁾に機能追加した。

3. 検証計算と結果 TCA ウラン体系をモデルとした遅発超臨界体系(反応度 $123 \pm 3.1\text{pcm}$) の中心燃料棒に源をおいて計算を行った。ここでは出力の反応度フィードバックを無視している。世代あたりの中性子数は1,000,000、世代数は21,000とした。ライブラリは JENDL-4.0 ベースのものである。世代毎の炉心中性子束の時間変化を図1に示す。中性子連鎖反応の過程において遅発中性子を経由するものが10世代までは少なく、遅発超臨界状態では中性子束が急激に減少するが、一部は遅発中性子を含み、時間スペクトルが200秒前後までひろがっている。世代が進む毎に遅発中性子を一回以上経由するものが増え、21000世代では1000秒以前に発生する中性子がなくなった。中性子束時間変化に $\prod_{i=1}^n k_i$ を乗じ全世代を合算した結果を図2に示す。統計変動の揺らぎはあるものの、概ね時間に対し指数関数に沿った増加を示している。経過時間の短い段階では高次モードがあると見られるので、最小の先行核崩壊定数 λ_{ij} の逆数の5倍を目安に、450秒~1000秒でfittingを行った。この炉周期は53sとなった。他方、この体系に対して実効遅発中性子割合の先行核成分 $\beta_{\text{eff},ij}$ を求め、前記の炉周期と $\beta_{\text{eff},ij}$ から逆時間方程式で求めた反応度は116pcmであり、固有値計算で求めた反応度123pcmと概ね整合していることが確認された。

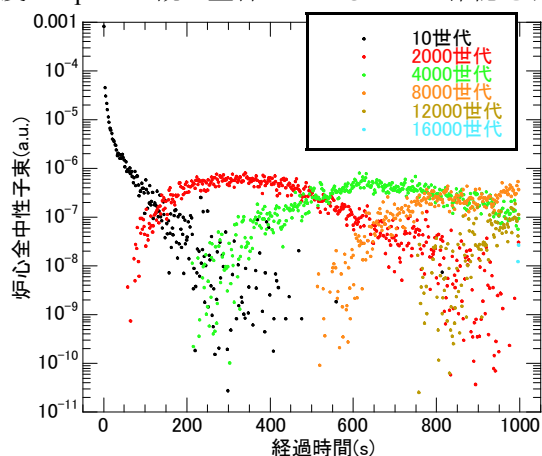


図1: 世代毎の炉心全中性子束の時間変化。
経過時間1000秒までスペクトル表示。

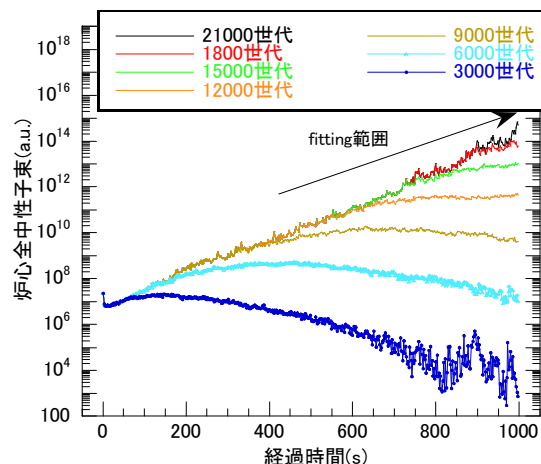


図2: 点源に対する炉心全中性子束の時間変化。
表示世代までを合算。

参考文献 1)名内、日本原子力学会 2018 年秋の大会 2M17。2) X-5 Monte Carlo Team, LR-UR-03-1987。

* Yasushi NAUCHI
CRIEPI