

べき乗法を利用した制御棒ステップ状挿入に対する動特性計算

Reactor kinetics calculation for step-wise insertion of control rod by way of power iteration

*名内 泰志¹

¹ 電力中央研究所

連続エネルギーモンテカルロ法中性子輸送計算コード MCNP-5 のべき乗法計算を利用し、臨界集合体の中で物質と密度が局所的に変化した際の出力の時間変化を計算した。計算で得た出力の時間減衰から得られる炉周期や、即発跳躍での出力変化は、反応度及び一点炉動特性パラメータの計算値とよく整合した。

キーワード：原子炉動特性、制御棒挿入、連続エネルギーモンテカルロ、べき乗法

1. 緒言 炉心安全性の解析の信頼性を高めるために、近似の少ない参照解提供手法の開発が求められる。当所では連続エネルギーモンテカルロ法中性子輸送計算コード MCNP-5[1]で核分裂連鎖反応での世代間中性子発生数比 k_i を求めるべき乗法計算機能に、中性子飛行時間と遅発中性子先行核崩壊時間を世代を超えて合算する機能と、世代 i 毎の時間依存中性子束 $\phi_i(t)$ を書き出す機能を追加し、時間依存中性子束を $\Sigma_i(\phi_i(t) \Pi_j^{-1} k_j)$ で評価する TDPI 法(Time Dependent neutron transport by way of Power Iteration)を考案した。これまで反応度が定常の条件では TDPI 法で炉周期を計算できること[2]や、一次元球形炉心で密度がステップ状に変化した場合の出力変化を計算できることを示した[3]。本研究では臨界集合体での制御棒挿入を想定した計算を行った。

2. 数値計算 京都大学臨界集合体実験装置の個体減速架台を模した三次元臨界炉心の計算モデルを構築した(図 1 参照)。燃料には 93%-²³⁵U 濃縮度 U-Al 合金を用い、減速材及び反射体はポリエチレンとした。MCNP-5 コードと AcelibJ40 ライブラリ[4]を用いた計算で、炉心の上部から B4C 製の制御棒が一部挿入された状態で臨界(1.00002±0.000026)となるように燃料枚数を調節した。第 1 世代に 400 万の初期源を与え、その後 400 秒後に空気から制御棒へ物質と密度が瞬時に置き換わるようコーディングした。制御棒挿入は部分挿入(-78.6pcm)と全挿入(-594pcm)の 2 種類とした。べき乗法計算は各世代の中性子が初期源投入から 1000 秒以上経過して発生するまで続けた。部分挿入では 25000 世代、全挿入で 50000 世代を要した。計算時間は 320 コアの並列 mpi 並列計算で各々 1.3, 2.5 日であった。

3. 結果 TDPI 法動特性計算による核分裂中性子発生数の時間変化を図 2 に示す。統計量のばらつきはあるが、臨界状態では出力が平坦化し、400 秒での制御棒挿入で出力が変化する。部分挿入では 500~600 秒の核分裂中性子発生数時間変化が単独の指数関数で Fitting できたので、炉周期を求め、別途 IFP 法[5]で計算した一点炉動特性パラメータを用い、逆時間方程式で反応度を求めた。これは-76.6pcm であり、設定値-78.6 pcm と合致した。また反応度を ρ 、実効遅発中性子割合 β とした場合、制御棒落下時は出力が $\beta / (\beta - \rho)$ に即発跳躍することが知られるが、 k_{eff} 計算による ρ と IFP 法による β から予想される即発跳躍量と、TDPI 法動特性計算による即発跳躍が整合することが図 2(右)のように確認された。

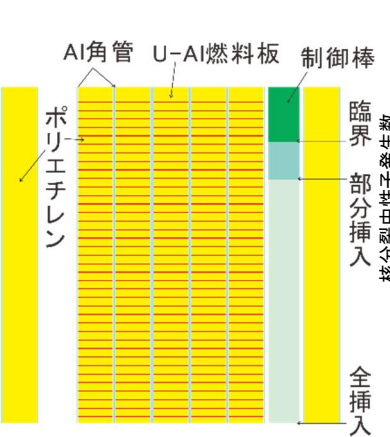


図 1 計算体系の模式図

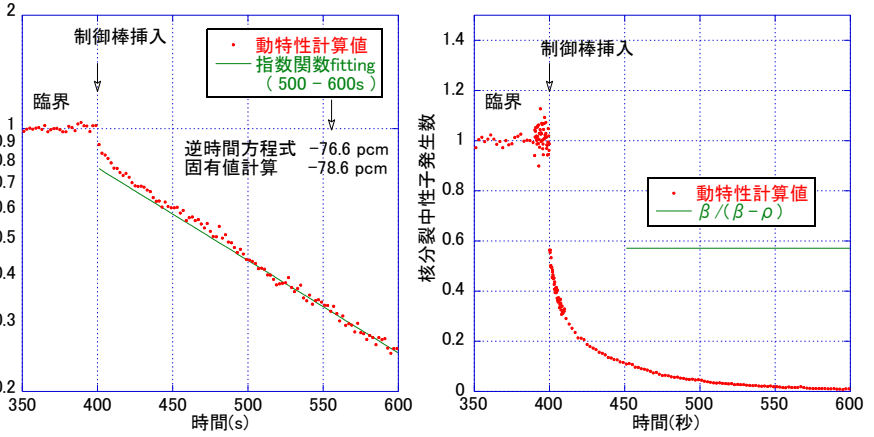


図 2 制御棒ステップ挿入時の動特性計算値、制御棒部分(左) / 全挿入(右)

参考文献

[1] X-5 Monte Carlo Team, LA-UR-03-1987, Los Alamos National Laboratory (2003).
[2] Y. Nauchi, JNST 56, 996-1005, 2019.
[3] Y. Nauchi, "Step change in the fuel density during k-power iteration for time-dependent neutron transport", Proc. M&C 2021.
[4] 羽倉, 奥村, 岩元介, 永瀬: JENDL-4.0 に基づく PHITS 用中性子・光子・電子ライブラリ, 日本原子力学会「2012 年秋の大会」要旨集 128, 広島大学 (2012).
[5] Y. Nauchi & T. Kameyama, JNST 47(11) 977-990, 2010.

*Yasushi Nauchi¹

¹CRIEPI