

MOX燃料炉心などの様々な炉心に汎用な 動特性パラメータ評価手法の開発

背景

原子炉内部では、核分裂と同時に即発中性子が発生し、少し遅れて遅発中性子が発生する。遅発中性子の反応度を実効遅発中性子割合 β_{eff} といい、中性子が核分裂を起こすまでの平均時間を中性子世代時間 Λ という。 β_{eff} や Λ は動特性パラメータと呼ばれ、反応度挿入に対する炉心出力の変化の速度を決める量である。商用炉では制御棒価値測定の際、 β_{eff} と Λ の計算値が用いられている。MOX燃料炉心では、プルトニウム装荷量の増加で β_{eff} が従来のUOX燃料炉心よりも小さい値となるので、その正確な評価が必要である

β_{eff} や Λ を得るには、中性子の反応断面積データから炉心毎に炉定数を作成し、中性子輸送方程式及び随伴方程式を解く必要がある。従来のウラン燃料炉心では拡散近似を用いて β_{eff} や Λ を計算し、実測データでその近似の妥当性を点検してきた。MOX燃料炉心では、ウラン燃料炉心と異なる炉定数と、非均質な組成を考慮した近似が輸送、随伴方程式の解法に必要となり、炉定数と近似の妥当性の検証が必要になる。炉心毎に炉定数を用意する必要が無く、近似の少ない汎用な動特性パラメータ評価手法を開発すれば、妥当性の検証作業を減らすことができる。

目的

MOX燃料炉心を含む様々な種類の炉心に汎用な、近似の少ない動特性パラメータ評価手法を開発する。

主な成果

1. 次世代核分裂中性子数を用いた動特性パラメータ評価法の提案

原子炉での核分裂連鎖反応において、中性子が核分裂を引き起こして生み出す次世代中性子数に着目した β_{eff} と Λ の評価法を考案した (図1)。同法により、随伴方程式を解かず動特性パラメータが導出可能となった。

2. 連続エネルギーモンテカルロ法コードへの動特性パラメータ計算機能の組み込み

個々の中性子の輸送を追跡する連続エネルギーモンテカルロ法による輸送方程式計算コード、MCNP*1 に、本評価法を組み込んだ (図1)。同コードを用いれば中性子の反応断面積データのみから近似なく中性子輸送方程式を解くことが可能であり、機能追加したコードで、幅広い種類の炉心の β_{eff} と Λ を評価することが可能となった。

3. 常温臨界試験データを用いた提案手法の検証

UOX、MOX燃料炉心、高速炉、ウラン硝酸溶液炉という、様々な種類の常温、小規模の試験炉心に対し、本手法で β_{eff} と Λ を計算した。図2、3に本手法による計算値と試験値の比を示す。両図中で、炉心毎に炉定数を作成し従来法で計算した評価値とも比較した。本手法の評価値は試験データを、従来法と同程度の精度で再現した。本手法により炉心毎の炉定数を用意せずに様々な種類の常温の炉心の β_{eff} と Λ を評価できることがわかった。

今後の展開

機能追加したMCNPコードについて、商用炉の温度条件の反応断面積データを整備し、商用MOX燃料炉心の動特性パラメータを計算可能とし、制御棒反応度測定等に利用する。

主担当者 原子力技術研究所 発電基盤技術領域 主任研究員 名内 泰志

関連論文 Y. Nauchi and T. Kameyama, Journal of Nuclear Science and Technology, 42 (6), 503, 2005.

*1：米国ロスアラモス国立研究所で開発された、世界で最も広く使われている汎用連続エネルギーモンテカルロ法輸送計算コード。

5. 原子力発電／軽水炉発電の経済性・信頼性向上

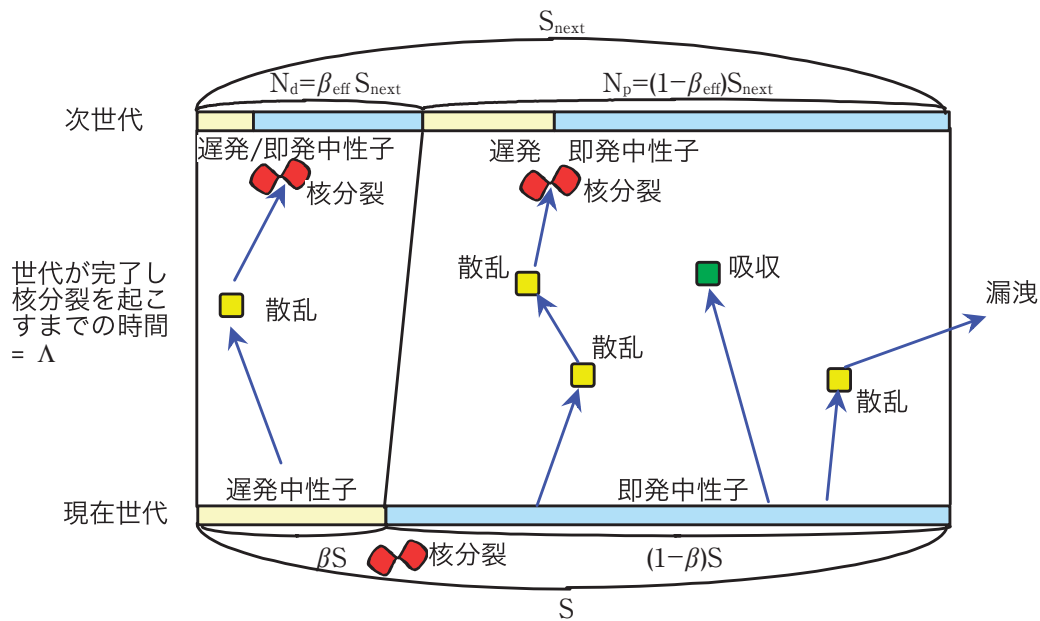


図1 開発した動特性パラメータ計算手法の概念。MCNPコードでは現在世代の中性子発生数 S と次世代の中性子発生数 S_{next} を用い実効増倍係数 k_{eff} を $k_{eff} = S_{next}/S$ で評価している。原子炉運転中は $S_{next} = S$ である。開発手法では遅発中性子の生み出す次世代中性子数 N_d を用いて $\beta_{eff} = N_d/S_{next}$ で β_{eff} を評価する。またMCNPコードで計算される個々の中性子の寿命を、その中性子が生み出す次世代中性子数で重み付けして平均化することで Λ を得る。

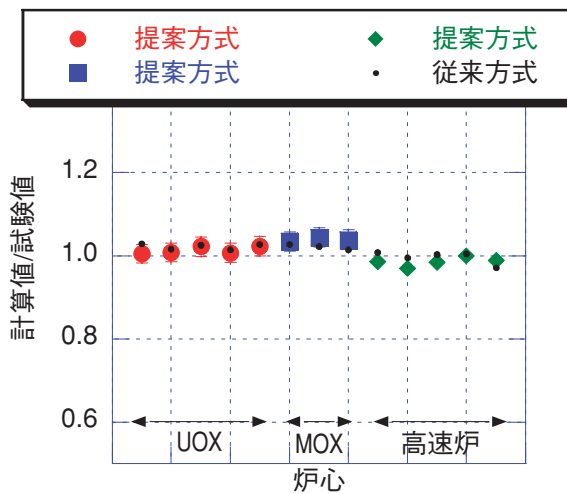


図2 本手法による β_{eff} の計算精度と従来法による計算精度の比較

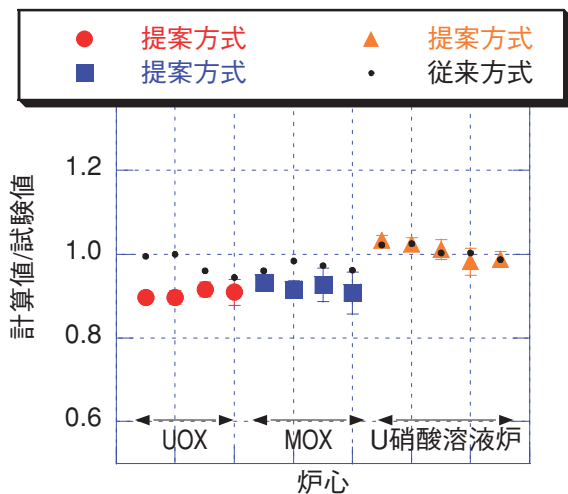


図3 本手法による β_{eff}/Λ の計算精度と従来法による計算精度の比較