

ブートストラップ法を用いた推定臨界下限増倍率評価法の開発及び適用

山本研究室 林卓人

1. 緒言：福島第一原子力発電所事故で発生した燃料デブリを未臨界状態で安全に取り扱う必要がある。燃料デブリが未臨界状態であることを予測する上で、中性子数の生成と消滅の比を表す実効増倍率が重要な指標となる。しかし、実効増倍率の予測結果は、様々な要因により不確かさを持つため、不確かさを考慮した上で未臨界と判断する基準を設定する必要がある。そこで、過去に行われた対象体系と類似の臨界実験に対する実効増倍率予測結果を用いて「推定臨界下限増倍率」という判断基準を評価する。卒業研究では、過去の臨界実験結果にブートストラップ法と呼ばれる復元抽出法を用いることで、正規分布の近似を用いることなく、推定臨界下限増倍率を評価できる方法を開発した。しかし、卒業研究で開発した評価法では臨界実験に対する実効増倍率不確かさと、対象体系と臨界実験間の核データ起因の不確かさの相関を考慮することができていなかった。そこで、核データ起因の相関が強い実験体系に重きを置いた形で各臨界実験の実効増倍率不確かさを考慮することでより尤もらしい推定臨界下限増倍率を評価する方法を開発し、燃料デブリを模擬した体系に対して提案手法を適用することを本研究の目的とした。本発表では、燃料デブリ模擬体系の減速材対燃料体積比 (V_m/V_f 比) と減速材の種類を変えることで推定臨界下限増倍率に与える影響について報告する。

2. 計算条件：連続エネルギーモンテカルロ計算コード MCNP6.2 と評価済み核データライブラリ ENDF/B-VII.1 を用いて、燃料デブリ模擬体系の無限増倍率解析を行った。代表的な燃料デブリ臨界解析の幾何形状として、 ^{235}U 濃縮度 5 wt% の UO_2 燃料球が減速材中に無限に並んだ二領域非均質球体系を対象体系とした。燃料デブリの混合物として考えられる物質のうち、中性子の減速効果を持つ水及びコンクリートを減速材として想定した。燃料球の半径は無限増倍率が最大となる 1 cm とし、燃料球周りの減速材の厚さを変えることで V_m/V_f 比を変化させた。ICSBEP データベースに収録された臨界実験から核データ起因の相関（核反応断面積を介した実効増倍率の相関）に基づいて対象体系によく似た実験体系を約 100 ケース選出した。選出した臨界実験に対する実効増倍率予測結果の頻度分布を核データ起因の相関に基づいて重み付けした混合正規分布でモデル化した。混合正規分布を構成する正規分布の標準偏差は、(1) MCNP6.2 の統計誤差、(2) 臨界実験の実験誤差、(3) 核データ起因の不確かさ、の 3 つを誤差伝播則に基づいて合成した値を用いた。混合正規分布にブートストラップ法を用いることで推定臨界下限増倍率の不確かさ分布を得ることができ、臨界超過確率 2.5%、信頼度 97.5% となるように推定臨界下限増倍率を評価した。

3. 結果・考察： V_m/V_f 比の変化に対する推定臨界下限増倍率の変化を図 1 に示す。 V_m/V_f 比が大きくなるにつれて推定臨界下限増倍率が小さくなる傾向があり、コンクリートの方が水より推定臨界下限増倍率が小さくなった。このように、推定臨界下限増倍率が低下し、より厳しく未臨界を判断しなければならない理由は、対象体系と核的によく似た臨界実験が選ばれにくくなり、選ばれた臨界実験に対する実効増倍率予測結果のばらつきが大きくなるためであると考えられる。

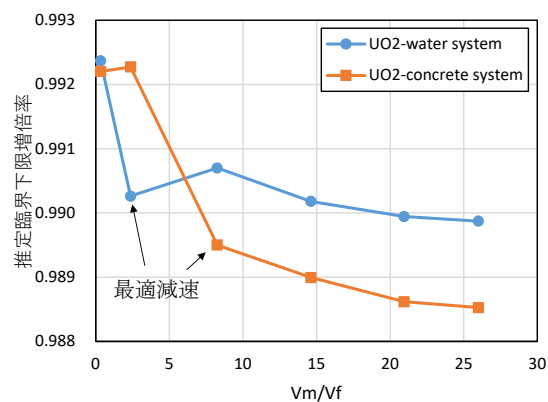


図 1 V_m/V_f 比の変化に対する推定臨界下限増倍率の変化

公刊論文

- [1] Hayashi T, et al. Proc. M&C 2019; 2019 Aug 25–29; Portland. (OR).
- [2] Hayashi T, et al. Proc. RPHA19; 2019 Dec 2–3; Osaka.
- [3] Hayashi T, et al. Proc. PHYSOR 2020; 2020 Mar 29–Apr 2; Cambridge (UK).
- [4] Hayashi T, et al. Trans. Am. Nucl. Soc. 2020; 122:458–461.
- [5] Hayashi T, et al. Proc. RPW2020; 2020 Dec 2.