

**1. 緒言** 原子炉の廃止措置に際して、廃炉コストや安全性の観点より、原子炉周囲の構造材の放射化量を、個別に放射線計測器で測定するのではなく、数値シミュレーション(放射化解析)を活用しつつ評価することが求められている。しかし、放射化解析により評価された放射化量には不確かさが存在しているため、この不確かさを定量的に評価することが必要である。不確かさを定量的に評価する手法は、ランダムサンプリング(RS)法、直接法、摂動論等があるが、放射化解析に適用する場合、いずれの手法も多数回の放射化解析を要する。一般に、放射化解析は、空間的に大きな体系を対象とすることに加え、詳細な中性子の輸送(移動)を計算するため、1回あたりの計算コストが膨大となる(数日～)。そのため、従来の不確かさ評価手法(RS法、直接法、摂動論等)は、計算コストの観点より放射化解析へ適用することは実質的に困難である。そこで本研究では、核反応断面積に起因する原子炉構造材の放射化量の不確かさ評価に ROM(Reduced Order Modeling)を用いた手法を新たに考案した。本手法における ROM とは、放射化量の感度係数を用いて、感度係数評価におけるモデルを低次元化する手法である。感度係数とは、核反応断面積の摂動に対する放射化量の変化を表す量であり、放射化量の感度係数を計算できれば、核反応断面積の分散共分散データより、放射化量の不確かさを評価することができる。本研究では、原子炉構造材の一部の位置における放射化量の感度係数のみを(摂動論により)評価し、原子炉構造材全体の放射化量の感度係数を評価する際に重要となる核反応断面積の摂動方向(以下、Active Subspace)を特定することでモデルの低次元化を行い、計算コストの削減を試みた。

**2. 解析** 図1は、本研究における検証モデルの1つである500MWe級のBWRを模擬した1次元円柱体系(全12領域)を示している。放射化反応としては、原子力発電所の廃止措置において特に問題となる $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$ 反応を考慮した。Active Subspace の構築には、 $^{59}\text{Co}$ の放射化が起こりうる6つの構造材(具体的には、シュラウド(領域.3)、圧力容器クラッド(領域.5)、圧力容器(領域.6)、格納容器(領域.8)、生体遮蔽壁(領域.10)、生体遮蔽外壁(領域.12))の入口部、中心部、出口部の位置(メッシュ)における放射化量の感度係数ベクトル(計18種)を使用した。構造材放射化量の不確かさは、ROMにより評価された感度係数ベクトルとSCALE6.2コードシステムの核反応断面積の分散共分散データを用いて評価した。

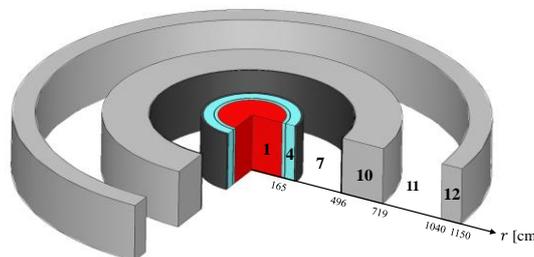


図1 BWRを模擬した1次元円柱体系

**3. 結果・考察** 構築したActive Subspaceに基づき、10の摂動方向(10次元)のみに対して感度解析を実施し(ROM)、放射化量の不確かさを評価した結果を図2に示す。図中の参照値は、すべての構造材メッシュ(計908メッシュ)について、摂動論を用いて評価した値である。図2より、ROMにより構造材全体の放射化量の不確かさをほぼ再現することができた。ROMを用いた場合の感度解析に要した放射化解析の回数は29回(11回+18回)であり、直接法(4976回)や摂動論(909回)に比べ計算コストを大幅に削減することができた。

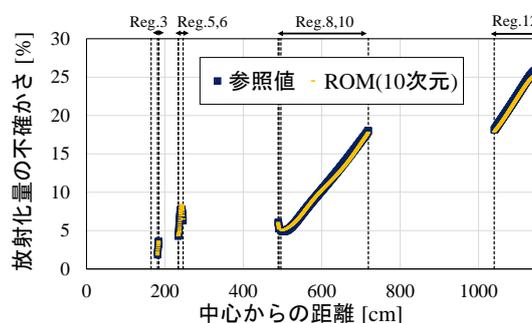


図2 放射化量の不確かさ評価結果

**公刊論文および口頭発表**

- 1) K. Yokoi, T. Endo, A. Yamamoto et al., *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **115**, pp.1085-1087, (2016).
- 2) K. Yokoi, T. Endo, A. Yamamoto et al., *Proc. ICAPP2017*, Fukui/Kyoto, Japan, Apr.24-28, 2017(2017).
- 3) 林幸司, 横井公洋, 遠藤知弘, 山本章夫 et al., 日本原子力学会 2018 春の年会, 大阪大学, 4月 22-26 日, 2018,(submitted).
- 4) K. Yokoi, T. Endo, A. Yamamoto et al., *Proc. PHYSOR2018*, Cancun, Mexico, Apr.22-26, 2018 (2018).(submitted).