

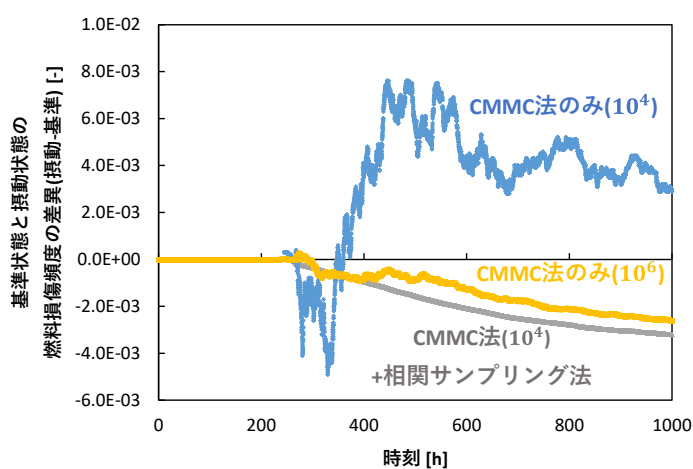
# 連続マルコフ過程モンテカルロ法と相関サンプリング法を用いた 使用済燃料プールにおけるリスク評価の感度解析

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 森下裕貴

**1. 緒言** 原子炉の過酷事故時のリスク評価として、複数の原子炉ユニットの相互作用を考慮することが重要となる。このようなリスク評価の手法として、事故シナリオ分岐確率の時間依存性と相互依存性を考慮可能である連続マルコフ過程モンテカルロ法(CMMC)法が注目されており、先行研究によって、CMMC法によりマルチユニットの影響を考慮したリスク評価を行えることが確認されている[1]。しかし、CMMC法を用いたリスク評価に対する感度解析は、モンテカルロ法の統計誤差の影響により現実的ではない。そこで本研究では、中性子輸送計算におけるモンテカルロ法で用いられている相関サンプリング法を CMMC カップリング手法に適用する手法を考案し、使用済燃料プールを模擬した体系における燃料損傷頻度の感度解析を行った。

**2. 手法** 相関サンプリング法は、機器の故障率や起動率の摂動によって生じる燃料損傷頻度の変化を、基準状態において CMMC 法で求めた燃料損傷頻度と、故障率や起動率の摂動から計算されるウエイトを用いて評価する手法である。安全系機器の故障率を低下する側に摂動し燃料損傷頻度が減少する場合、ウエイトを1より小さい値とし、逆に故障率が増加する場合はウエイトを1より大きな値とする。その結果、ウエイトの1からのずれが、摂動状態における燃料損傷頻度の変化に対応する。ウエイトは事故シナリオ及びタイムステップによって変化するため、CMMC法による事故シナリオの計算と同時に故障率や起動率が摂動する場合のウエイトも求める。相関サンプリング法を用いて燃料損傷頻度の変化を求めることで、統計精度の影響を最小にしつつ感度解析を行うことが可能となる。

**3. 適用結果** ヒートシンク喪失→消火系ポンプによる注水→故障→消防車による注水の事故シナリオを想定した。消火系ポンプが故障し消防車による注水が実施されなければ燃料損傷に至る。単一の使用済燃料プールにおける燃料損傷頻度の感度解析の結果を図に示す。縦軸は基準状態の燃料損傷頻度と機器の故障率や起動率を摂動させた場合の燃料損傷頻度の変化量である。摂動時は、消火系ポンプ故障率(0.5 [%/hr])を1%、消防車起動率(0.5 [%/hr])を1%増加させた。CMMC法のサンプル数は $10^4$ 、 $10^6$ の二つで計算した。



図：単一の使用済燃料プールにおける燃料損傷頻度の感度解析

図より、サンプル数が $10^4$ のCMMC法のみを用いた計算結果は統計誤差の影響で大きく振動しているが、提案手法(相関サンプリング法)は適切に評価できることを確認できた。また、サンプル数を $10^6$ と大幅に増加させたCMMC法のみを用いた計算結果が相関サンプリング法の計算結果に近づくことも確認した。さらに、構成機器が複数存在し、複数の使用済燃料プールの状態によって機器の故障率や起動率が変化するシステムであっても、提案手法を適用することで燃料損傷頻度の感度解析が可能であることも別途確認している。

**参考文献**：[1] 澤田憲人，“マルチユニットリスク評価への連続マルコフ過程モンテカルロ法の適用，” 修士論文 (2021)

**口頭発表**：[1] 森下裕貴，大池宏弥，遠藤知弘，山本章夫，日本原子力学会 2021 秋の大会，3K11，2021 年 9 月 10 日 (2021)。

[2] 森下裕貴，遠藤知弘，山本章夫，ASRAM2021，034，2021 年 10 月 26 日 (2021)。

[3] 森下裕貴，遠藤知弘，山本章夫，第 53 回日本原子力学会中部支部研究発表会，R02，2021 年 12 月 16 日 (2021)。