

ダイナミック PRA のためのサンプリング手法の検討

Study of Sampling Techniques for Dynamic PRA

*久保 光太郎¹, 鄭 嘯宇¹, 田中 洋一¹, 玉置 等史¹, 杉山 智之¹

¹ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (JAEA)

モンテカルロ法によるダイナミック PRA に複数のサンプリング手法を適用した試解析を実施し、各手法の収束性の検討を行った。その結果、本検討の条件では、準モンテカルロ法がモンテカルロ法よりも 10 分の 1 程度少ない試行回数で収束することがわかった。

キーワード: ダイナミック PRA, モンテカルロ法, 確率論的リスク評価

1. 緒言

従来の PRA の網羅性、現実性を向上させる手法としてダイナミック PRA の開発が様々な研究機関で行われている。モンテカルロ法を用いたダイナミック PRA において高精度の結果を取得するためには、多数の熱水力解析を実施する必要があり、計算コストが増大する。その際、適切なサンプリング手法を適用すれば、少ない試行回数で効率的に結果を取得することが可能になると考えられる。そこで、モンテカルロ法に加えて、ラテン超方格法、格子点サンプリング法及び準モンテカルロ法の 4 つの手法を用いて試解析を行い、それぞれの結果の収束性を確認した。なお、準モンテカルロ法では、Sobol'列と Halton 列の 2 種類の準乱数列を使用した。

2. 評価例

2-1. 解析条件

本検討では、熱水力解析コードに THALES2(Thermal-Hydraulic Analysis of Loss of Coolant, Emergency Core Cooling and Severe Core Damage, version 2) [1]を、ダイナミック PRA 用のツールに RAPID(Risk Assessment with Plant Interactive Dynamics) [2]を使用し、BWR-4 における全交流電源喪失について評価した。評価する事故シーケンスは、原子炉隔離時冷却系 (RCIC) 及び高圧炉心注水系 (HPCI) が停止するシーケンスとし、それらは直流電源の枯渇により平均値 8 時間、標準偏差 1 時間の正規分布に従い停止すると仮定した。イベントツリーを図 1 に示す。評価する値は炉心損傷の発生時刻とし、それぞれのサンプリング手法で 10,000 ケースの試行を行った。また、モンテカルロ法以外のサンプリングにおける一様分布から正規分布への変換には Box-Muller 法を使用した。

2-2. 解析結果

各サンプリング手法での試行回数と炉心損傷発生時刻の平均値の関係を図 2 に示す。今回検討した条件では、ラテン超方格法及び格子点サンプリング法は、モンテカルロ法と比較して収束性が大幅に向上することはなかった。一方、順序も考慮した上で高い一様性を持つ準乱数列を用いるとモンテカルロ法と比較して 1 桁程度早く収束することが示された。

3. 結論

本検討では、ダイナミック PRA に複数のサンプリング手法を適用し、炉心損傷時刻の収束性を試解析により確認した。その結果、今回の条件では準モンテカルロ法を用いると、最も少ない試行回数で結果が収束することが確認された。しかし、詳細なダイナミック PRA の実施に当たっては、より高次元での評価を行うことが考えられる。今後は、準モンテカルロ法の高次元への適応性の検討に加え、アダプティブサンプリング等の他のサンプリング手法についても調査・検討を行う。

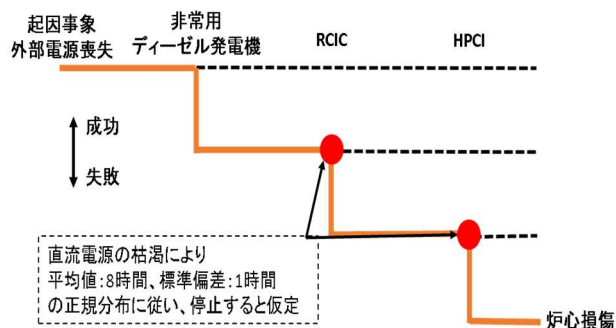


図 1. イベントツリー

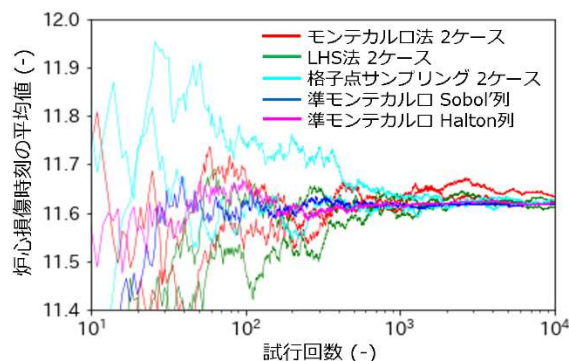


図 2. 試行回数と炉心損傷時刻の平均値の関係

参考文献

- [1] J. Ishikawa, et al., "Analysis for iodine release from unit 3 of Fukushima Dai-ichi nuclear power plant with consideration of water phase iodine chemistry", Journal of Nuclear Science and Technology, vol. 52, pp. 308-314 (2015).
- [2] X. Zheng, et al., "Severe Accident Scenario Uncertainty Analysis using the Dynamic Event Tree Method", in proceedings of 14th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM14) (2018).

*Kotaro Kubo¹, Xiaoyu Zheng¹, Yoichi Tanaka¹, Hitoshi Tamaki¹ and Tomoyuki Sugiyama¹

¹Japan Atomic Energy Agency