

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

原子核エネルギー制御工学グループ 山本章夫研究室 澤田憲人

緒言: 複数の原子炉ユニットが同時多発的に被害を受けたことで事故対応が難化した福島第一原子力発電所事故を契機として、複数の原子炉ユニット（マルチユニット）が関与するリスク評価の実施について、国際的に関心が高まっている。マルチユニットの相互作用を考慮したリスク評価を実施するためには、事故シナリオ分岐事象の発生確率について、時間依存性やユニット間の依存性を考慮することが必要となる。しかしながら現行のリスク評価で広く用いられているイベントツリー手法では、事故進展を静的に取り扱うため、これらの依存性を取り扱うことが困難である。このような背景から、事故進展を動的に取り扱う方法として、事故進展解析やプラント状態解析などのプラントシミュレーションと連続マルコフ過程モンテカルロ（CMMC）法を組み合わせることで事故シナリオ発生頻度を定量化する手法（CMMC カップリング手法）が提案されている。CMMC カップリング手法によるリスク評価では、プラント状態遷移過程をマルコフ過程として扱い、各時刻におけるプラント状態をモンテカルロシミュレーションにより決定する。この方法では、初期乱数を変えた解析を多数回実施することにより、事故事象の発生頻度の定量化を行うことが可能である。また、プラント状態遷移過程をマルコフ過程として扱うため、事故シナリオ分岐確率の相互依存性や時間依存性を考慮することができる。CMMC 法をリスク評価に組み込む方法はいまだ検討途上の段階であり、マルチユニットの影響を考慮したリスク評価に対する CMMC 法の適用性は未知数である。そこで、本研究では、CMMC 法を用いてマルチユニットリスク評価を実施し、マルチユニットリスク評価に対する

CMMC 法の適用性に関する知見を得ることを目的とする。

表 1 ベント失敗確率

原子炉の状態	原子炉 1 の ベント失敗確率	原子炉 2 の ベント失敗確率
RPV-1 健全 RPV-2 健全	8.28E-07 [hour]	8.28E-07 [hour]
RPV-1 破損 RPV-2 健全	0.60 [/demand]	0.30 [/demand]
RPV-1 健全 RPV-2 破損	0.30 [/demand]	0.60 [/demand]
RPV-1 破損 RPV-2 破損	0.90 [/demand]	0.90 [/demand]

解析方法: 公開情報に基づき、原子炉における全交流電源+注水機能喪失時の事故進展を簡易解析するコードを作成した。作成した解析コードを用い、2基の原子炉を対象とし、緩和系（高压代替注水系、格納容器ベント）を考慮した解析を行った。表 1 のようにそれぞれの原子炉の RPV の状態に応じてベント失敗確率を変化させることで、RPV 破損に伴う空間線量の増加により現場作業が困難になる状況を模擬した。CMMC 解析では、逆関数法を用いたサンプリング方法によって、高压代替注水系が機能喪失するサンプルのみを解析することで、計算時間を削減した。

解析結果: サンプル数 10^6 の解析時間は約 80[s]であり、逆関数法を用いたサンプリング方法により既存の事故進展解析コードと比較して短時間で解析可能であることを確認した。サンプル数 10^6 における RPV 及び PCV 累積破損確率を図 1 に示す。PCV 累積破損確率が約 46[h]で増加するのは、自ユニットの RPV が健全であっても隣接ユニットの RPV が破損していることで、失敗率が上昇することでベントに失敗するシナリオが存在するためである。ここで、全ベント失敗サンプルのうち、隣接ユニットの RPV が破損した影響でベントが失敗したサンプルは全体の約 40[%]であり、ベントの信頼性向上には他ユニットから受ける影響の低減が重要であることを確認した。

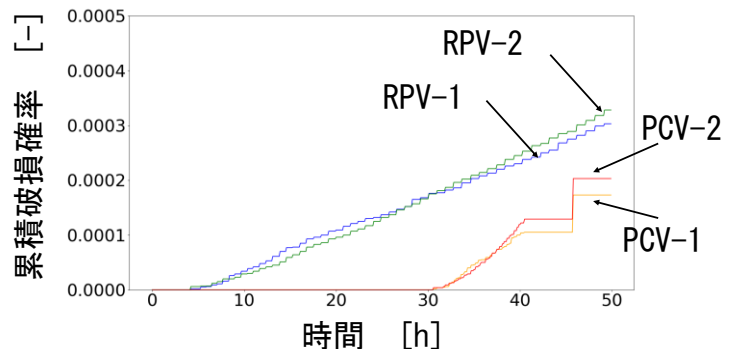


図 1 RPV、PCV 累積破損確率

口頭発表

- [1] 澤田憲人, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会秋の大会, オンライン開催, 9月16日-18日, (2020).
- [2] K. Sawada, T. Endo, A. Yamamoto *et al.*, *Proc. ASRAM 2020*, online, Nov. 30 - Dec. 2, 2020.
- [3] 澤田憲人, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会春の年会, オンライン開催, 3月17日-19日, (2021).(submitted).