

1. 緒言 原子力プラントの安全性向上のために実施されている確率的リスク評価 (PRA) では、現在、一般的にイベントツリー手法を用いて炉心損傷頻度等々を評価している。一方、事故進展においてシナリオ分岐の確率に時間依存性等が存在する場合には、事故シナリオは無数に存在することになる。このような無数に存在する事故シナリオをイベントツリー手法により評価することは非常に困難である。この問題を解決するために、連続マルコフ過程モンテカルロ (CMMC) 法とプラントシミュレーションコードをカップリングさせることによりリスクを定量化する CMMC カップリング手法が提案されている。しかしながら、CMMC カップリング手法は多数の事故解析サンプルを作成することによりリスクの定量化を行う手法であるため、実現象と同程度の計算時間を要する既存の事故解析コードを適用することは計算コストの観点から現実的であるとは言えない。現実的な計算時間で評価を行うためには、事故進展解析の計算コストを極力低減させる必要がある。そこで、加圧水型原子炉 (PWR) 体系において、簡易な事故進展解析モデルを開発し、CMMC カップリング手法へと適用することで条件付き炉心損傷確率の評価を行った。

2. 簡易事故進展解析モデルの開発 CMMC カップリング手法への適用が可能な簡易な事故進展解析モデルを開発した。本研究では、高速な事故進展解析のために、表 1 に示すような簡易化のための仮定を用いた。表 1 の仮定を用い、崩壊熱などの炉心で発生する熱と、体系中の熱容量等のヒートバランスのみを考慮することで事故進展を解析するモデルを開発した。本モデルでは、格納容器閉じ込め機能喪失後の放射性物質の放出まで解析することが可能である。また、開発モデルに基づき事故進展を解析するコードを開発した。本コードでは、実時間で 120 時間の解析 1 回を約 2 秒で実行することが可能であり、現実的な計算コストで CMMC カップリング解析を行うことができる。

表 1 簡易化のために用いた仮定

物理現象	仮定
被覆管酸化	炉心全露出まで発生しない
炉心落下	全溶融後、瞬間的に落下
格納容器破損	過圧破損に限定
炉心温度分布	考慮しない
冷却水流動	1次元解析
構成要素間熱伝達	限定的に考慮
非凝縮性ガス	考慮しない
放射性物質放出	放出率一定

3. 解析 本研究で開発した簡易事故進展解析コードを CMMC カップリング手法へ適用した解析を行った。2 ループ PWR プラントを対象として、全交流電源喪失及び 4 時間後の全給水機能喪失を事故の起因事象とした。本解析では、1 次冷却水への注水機能の復旧を想定した解析を 10000 サンプル行った。注水機能は(1)式に示されるような時間に対する指数分布に従う確率で復旧されると仮定した。これにより、サンプル毎に注水機能の復旧時刻が異なる。復旧にかかる時間の期待値 $\mu = 10$ 時間とすると、図 1 のように事故が進展し続けるサンプルと、収束に向かうサンプルの 2 通りに分岐する。全解析サンプルのうち炉心損傷に至ったサンプルの割合を、炉心損傷確率として定義すると、本解析では、起因事象が発生したときの条件付き炉心損傷確率は、95%信頼区間で[0.313, 0.332]と評価された。また、期待時間 μ を遅くすることで炉心損傷確率が上昇を確認することができた。

$$P(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\mu}\right) \quad (1)$$

$P(t)$:注水成功確率[-], t :時刻[hr.], μ :期待時刻[hr.]

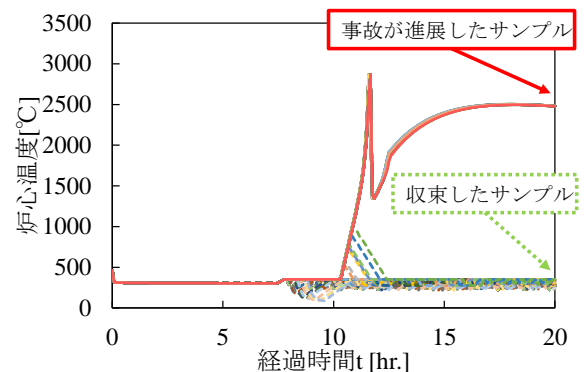


図 1 注水復旧のある炉心温度解析結果(一部表示)

4. 結言 本研究で開発した簡易かつ高速な事故進展解析モデルを CMMC カップリング手法へと適用することで、PRA において主な評価対象である条件付き炉心損傷確率を評価することができた。今後は、事故進展解析モデルの高度化及び計算速度の向上が望まれる。

公刊論文および口頭発表

- 1) S. Otsuki, T. Endo, A. Yamamoto, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **113**, Washington D.C., America, Nov. 8-12, 2015, pp. 855-858 (2015).
- 2) 大槻昇平, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2015 年秋の大会, 静岡, 9 月 9-11 日, 2015, F10 (2015).
- 3) 大槻昇平, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2016 年秋の大会, 福岡, 9 月 7-9 日, 2016, 1F11 (2016).
- 4) S. Otsuki, T. Endo, A. Yamamoto, *ICAPP2017*, Fukui and Kyoto, Japan, Apr. 24-28, 2017 (2017). (submitted).