

統計的安全評価における代替統計モデルの適用 (3) 適応的サンプリングの有効性に関する検討

Application of Surrogate Models for Statistical Safety Evaluation

(3) Investigation of Effectiveness of Adaptive Sampling Methods

*木下 郁男

原子力安全システム研究所

RELAP5 コードによる燃料被覆管最高温度の統計的安全評価に対して、代替統計モデルの適用性を検討している。本研究では、少数の RELAP5 計算によって効率的に代替統計モデルを構築するために、適応的サンプリング手法を適用し、その有効性を検討した。

キーワード：統計的安全評価，代替統計モデル，適応的サンプリング，RELAP5

1. 緒言 統計的安全評価では、安全解析コードを用いた多数回のモンテカルロ計算により統計的安全評価値を求める。これを実施可能な計算時間で行うためには、安全解析コードよりも計算コストの小さな代替統計モデルの適用が有効である。本研究では、少数のサンプル計算によって効率的に代替統計モデルを構築するために、適応的サンプリング手法を適用し、その有効性を検討した。

2. 解析方法 解析対象は PWR プラントの小破断 LOCA 時高圧注入系不作動事象(3 インチ破断)とした。本事象を対象として、RELAP5 コードの計算モデルの不確かさによる被覆管表面最高温度(PCT)の不確かさ解析(1024 サンプル)を行い[1]、これを代替統計モデルの参照解析とした。代替統計モデルを用いたサンプリングを以下のように実施した。まず、93 サンプルの RELAP5 計算値を学習データとして代替統計モデルを構築した。次に、この代替統計モデルを用いて PCT の不確かさ解析(1024 サンプル)を行い、PCT の 5%、25%、50%、75%、95% 点に対応する RELAP5 計算値を学習データに追加し、代替統計モデルを更新した。以上を繰り返して実施し、このサンプリング手法で構築した代替統計モデルによる PCT の累積確率分布(CDF)を、ランダムサンプリングで構築した代替統計モデルによる評価結果と比較した。代替統計モデルには、線形 2 次回帰(交互作用あり)とガウス過程回帰を使用した。

3. 解析結果 図 1 に、本サンプリング手法とランダムサンプリング手法(123 サンプル)を用いて線形 2 次回帰により評価した CDF を比較して示す。図 2 に、線形 2 次回帰により評価した学習サンプル数に対する PCT の収束過程を示す。本手法のほうが、PCT の CDF は RELAP5 による評価結果に近づいていることが分かる。図 3 に、本サンプリング手法とランダムサンプリング手法(153 サンプル)を用いてガウス過程回帰により評価した CDF を比較して示す。図 4 に、ガウス過程回帰により評価した学習サンプル数に対する PCT の収束過程を示す。本手法のほうが RELAP5 評価結果に速く収束することが分かる。以上より、本サンプリング手法の有効性が確認できた。

参考文献 [1] I. Kinoshita, et al., BEPU2018-149 (2018)

*Ikuo Kinoshita, INSS

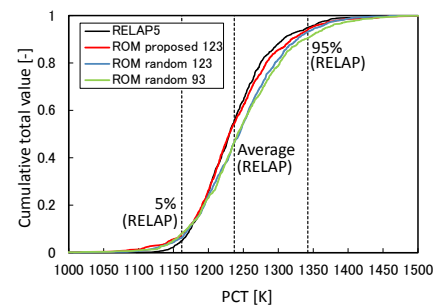


図 1 PCT の累積確率分布(線形 2 次回帰)

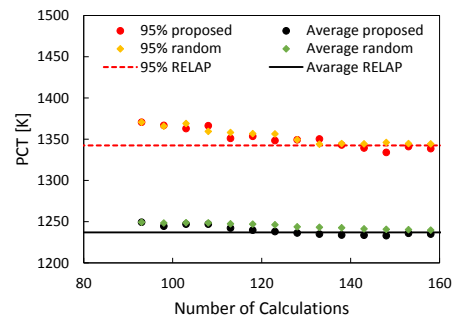


図 2 PCT の収束過程(線形 2 次回帰)

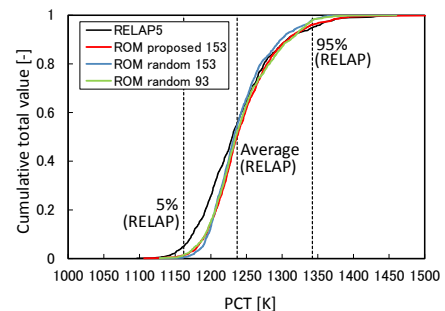


図 3 PCT の累積確率分布(ガウス過程回帰)

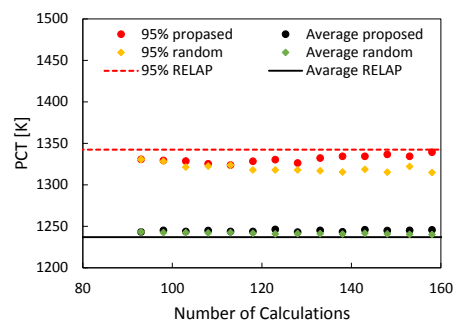


図 4 PCT の収束過程(ガウス過程回帰)