統計的安全評価における代替統計モデルの適用
(1) 不確かさ解析への適用性に関する検討

Application of Surrogate Models for Statistical Safety Evaluation

(1) Investigation of Applicability for Uncertainty Analysis

*木下 郁男

原子力安全システム研究所

小破断 LOCA 高圧注入系不作動事象の LSTF 模擬実験を対象に、RELAP5 コードによる燃料被覆管最高温度(PCT)の統計的安全評価に対する代替統計モデルを構築し、代替統計モデルによる PCT の不確かさ評価結果を RELAP5 コードによる計算結果と比較した。

キーワード：統計的安全評価，代替統計モデル，不確かさ解析，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、小破断 LOCA 模擬実験の RELAP5 コードによる解析を対象に、代替統計モデルを構築して不確かさ解析を行い、PCT の 95%累積確率値の評価精度を検証した。

2. 解析方法　解析対象は ROSA/LSTF の低温側配管 1.0%破断実験とした。本実験を対象に、RELAP5 コードを用いて計算モデルの不確かさを振った統計解析(1024 サンプル)を行い、PCT の不確かさを評価した。本解析を対象に、少数(50 程度)のサンプルを学習データとして代替統計モデルを構築し、RELAP5 解析と同じ乱数を用いて統計解析を行い、PCT の不確かさを RELAP5 解析と比較した。学習データのサンプリングには、ランダムサンプリングと LHS を用いた。学習モデルには、線形回帰(2 次)、ガウス過程回帰、SVM 回帰を用いた。

3. 解析結果　表 1 に、代替統計モデルで求めた PCT の 95%累積確率値を、学習データのサンプリング法で比較して示す。ランダムサンプリング法と LHS 法とで大きな相違はないものの、LHS 法の方が 95%累積確率値を過小評価しない傾向が見られる。図 1 に、代替統計モデルで求めた PCT の累積確率分布を、RELAP5 による直接計算による結果と比較して示す。線形回帰(2 次)が RELAP5 による計算と非常によい一致を示した。これより、代替統計モデルは不確かさ解析に適用可能であることが示唆される。ガウス過程回帰と SVM 回帰は、平均値をよく再現したものの、95%累積確率値を過小評価した。図 2 に、代替統計モデルによる 95%累積確率値を、順序統計法による評価[1]と比較して示す。59 サンプルごとに Wilks 法により 95%信頼水準 95%累積確率値を求めるとともに、代替統計モデルにより 95%累積確率値を求めた。Wilks 法ではサンプルごとのバラツキが大きいが、代替統計モデルではバラツキは小さく、RELAP5 による直接計算に近い結果が得られた。

参考文献　[1] I. Kinoshita, et al., IMECE2016-66638 (2016)

*Ikuo Kinoshita, INSS

表 1　PCT95%累積確率値の学習データのサンプル法による比較

学習データのサンプル法	Random sampling		LHS	
学習データのサンプル数	59	45	59	45
代替統計モデルの PCT95%累積確率値 [K]	879.9	882.5	889.6	884.3
RELAP5 の PCT95%累積確率値 [K]	884.9			

※線形回帰(2 次)

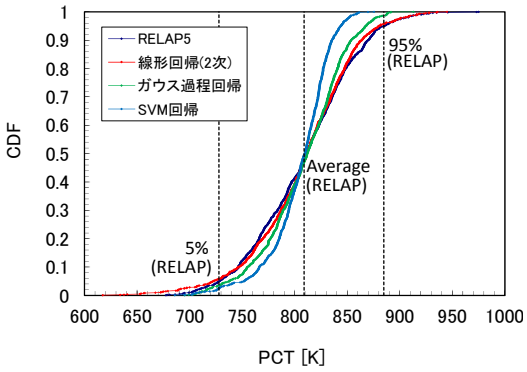

図 1　PCT95%累積確率値のモデル間の比較(Random sampling, 59 cases)

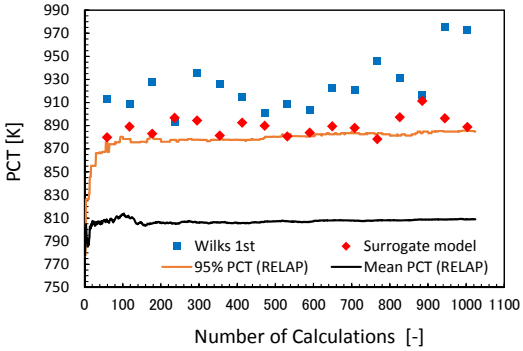

図 2　PCT95%累積確率値の Wilks 法との比較(線形回帰, 2 次)