

統計的安全評価における代替統計モデルの適用

(4) 平均値シフト法による時系列クラスタリング

Application of Surrogate Models for Statistical Safety Evaluation

(4) Time Series Clustering Using Mean Shift Algorithm

*木下 郁男

原子力安全システム研究所

PWR プラントにおける小破断 LOCA 時高圧注入系不作動事象を対象に RELAP5 コードにより燃料被覆管最高温度 (PCT) の不確かさ解析を実施した。燃料被覆管温度の時系列データに対して平均値シフト法によりクラスタリングを行い、PCT の確率分布に現れたダブルピークの要因を検討した。

キーワード：統計的安全評価，代替統計モデル，時系列クラスタリング，平均値シフト法，RELAP5

1. 緒言 統計的安全評価においては、安全評価パラメータのヒストグラムが多峰性(複数ピーク)を持つ場合がある。これを単一ピークの分布に分離できれば、不確かさ解析の代替統計モデルの構築に有用である。本研究では、不確かさ解析の時系列データに対してクラスタリングを行い、安全評価パラメータの確率分布における多峰性の要因を検討した。

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(5 インチ破断)とした。本事象を対象とした RELAP5 コードによる被覆管最高温度(PCT)の不確かさ解析(10 パラメータ、1024 サンプル)では、PCT の確率分布にダブルピークが生じた[1]。本研究では、この不確かさ解析の時系列データ(300 サンプル)に対して、平均値シフト法[2]によりクラスタリングを行い、PCT のダブルピークを分離した。次に、入力パラメータによる時系列クラスターの分類モデルを構築し、各クラスターに対して PCT の回帰モデルを構築した。さらに、構築した分類・回帰モデルにより PCT の不確かさ解析(1024 サンプル)を行い RELAP5 による計算結果と比較した。

3. 解析結果 図1および図2に、被覆管温度時系列および PCT のクラスタリング結果を示す。適切なカーネル幅を設定することにより 4 つのクラスターに分類された。PCT のダブルピークはクラスター1 と 2 に対応する。図3に、クラスター毎にまとめて並べた全 300 サンプルの入力パラメータの値を図示する。クラスター1 と 2 の間で有意差(有意水準 95%)のある入力パラメータは、「炉心内相間摩擦」、「崩壊熱」、「ダウンカマ相間摩擦」であった。図において、「炉心内相間摩擦」と PCT との相関が明らかである。また、「崩壊熱」はクラスター1 と 2 の間で分布に相違がみられる。図4に、分類・回帰モデルによる PCT の不確かさ解析(1024 サンプル)の累積分布関数を、RELAP5 による解析と比較して示す。分類モデルには決定木を、回帰モデルには 2 次回帰(交互作用あり)を用いた。分類モデルの精度向上が必要であるものの、クラスタリングを行わずに 2 次回帰(交互作用あり)を適用した場合と比較して、95% 累積確率値の予測精度は大きく向上した。

参考文献 [1] I. Kinoshita, et al., BEPU2018-149 (2018). [2] K. Fukunaga, et al., IEEE Trans. Information Theory, Vol. 21, No.1, pp.32-40 (1975).

*Ikuo Kinoshita, INSS

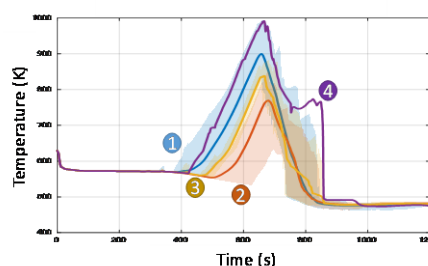


図1 被覆管温度時系列のクラスタリング

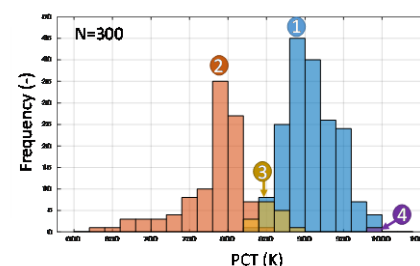


図2 PCT のクラスタリング

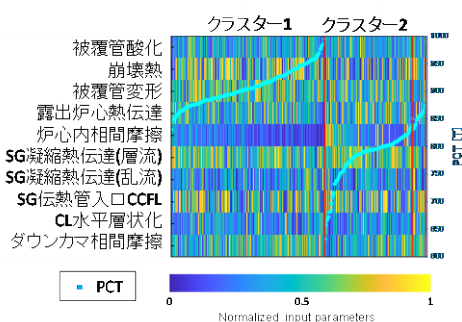


図3 クラスター毎の入力パラメータの値

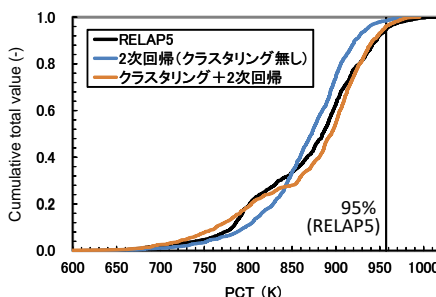


図4 PCT の累積確率値