

ベイズ統計学に基づくアンアベイラビリティ推定法の開発 －新しい推定理論と国内 BWR 待機除外データを用いた推定例－

背 景

近年我が国において、PSA から得られるリスク情報を原子力プラント安全評価や安全規制に利用する試みが盛んになってきている。レベル1PSAを用いた炉心損傷頻度とその不確かさの推定において、PSA入力信頼性パラメータ(以下「信頼性パラメータ」)の整備は重要な問題である。ここで信頼性パラメータとは、機器故障率/故障確率、共通原因故障パラメータ、待機除外時間、アンアベイラビリティ(UA)^{*1}、人的過誤率等からなる。当所では、これらの整備を目的として、国内原子力プラントのトラブル事象の収集やパラメータ推定法の調査・研究を行ってきた(図1)。信頼性パラメータの整備においては、点推定値の評価だけでなく、観測データに基づく適切な不確かさの評価が重要である。

信頼性パラメータの不確かさは、解析者のトラブル事象についての知識の不確かさに起因し、機器故障率/故障確率の不確かさ分布については、ベイズ統計学に基づく推定手法が古くから使われてきた。機器/システム UA の不確かさ分布については、国内事業者のみならず PSA 先進国である米国においても、統計的モデリングの難しさのために、専門家委員会におけるこれまでの経験に基づいて与えているのが現状である。ベイズ統計学に基づいた UA の不確かさ分布の評価手法が確立できれば、より定量的かつ透明性の高い評価につながる。

目 的

専門家判断のみに依存せずに UA の不確かさ分布を定量的に推定するために、ベイズ統計学に基づく新しい推定手法を提案する。さらにその新手法を用いて、我が国の原子力プラントのシステム UA を試評価する。

主な成果

1. ベイズ統計学に基づく UA 推定手法の提案(図 2)

プラント運転記録から抽出した待機除外時間データが指数分布に従うと仮定し、平均待機除外時間の事前知識の不確かさをガンマ分布で表すことで、UA の不確かさ分布を逆ガンマ分布で記述した。ガンマ分布・逆ガンマ分布を用いることで数学的に単純な扱いが可能となり、手計算で簡単に UA の不確かさ分布の平均が計算できる。

2. 国内 BWR における計画外待機除外に伴うシステム UA の試評価(図 3)

NUCIA^{*2}に登録されている我が国の原子力プラント運転実績を利用し、本研究の試評価結果によると、非常用ディーゼル発電機(EDG)系、原子炉隔離時冷却(RCIC)系、低圧炉心スプレイ(LPCS)系、残留熱除去 A/B, C (RHR-A/B, C)系の LCO 逸脱による計画外待機除外に伴う UA は $10^{-5} \sim 10^{-4}$ のオーダーにあり、エラーファクタ^{*3}は 1~2 である。

今後の展開

本研究で評価されたシステム UA 推定を、電気事業者や原子力エンジニアリング会社の PSA 入力パラメータ整備に展開する。さらに、機器間の修理特性の違い(すなわち待機除外時間分布の違い)を考慮に入れることで、本研究で開発した UA 推定手法の高度化を目指す。

主 担 当 者 原子力技術研究所 発電基盤技術領域 主任研究員 中村 誠

関連報告書 「ベイズ統計学に基づくアンアベイラビリティ推定法の開発－新しい推定理論と国内 BWR 待機除外データを用いた推定例－」 電力中央研究所報告: L08007 (2009年3月)

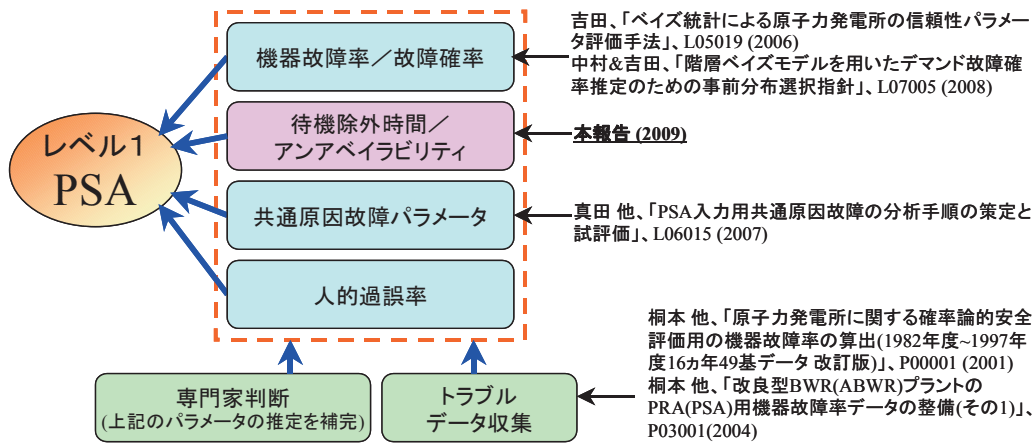


図1 PSAに必要な信頼性パラメータと我が国のパラメータ整備への当所の寄与

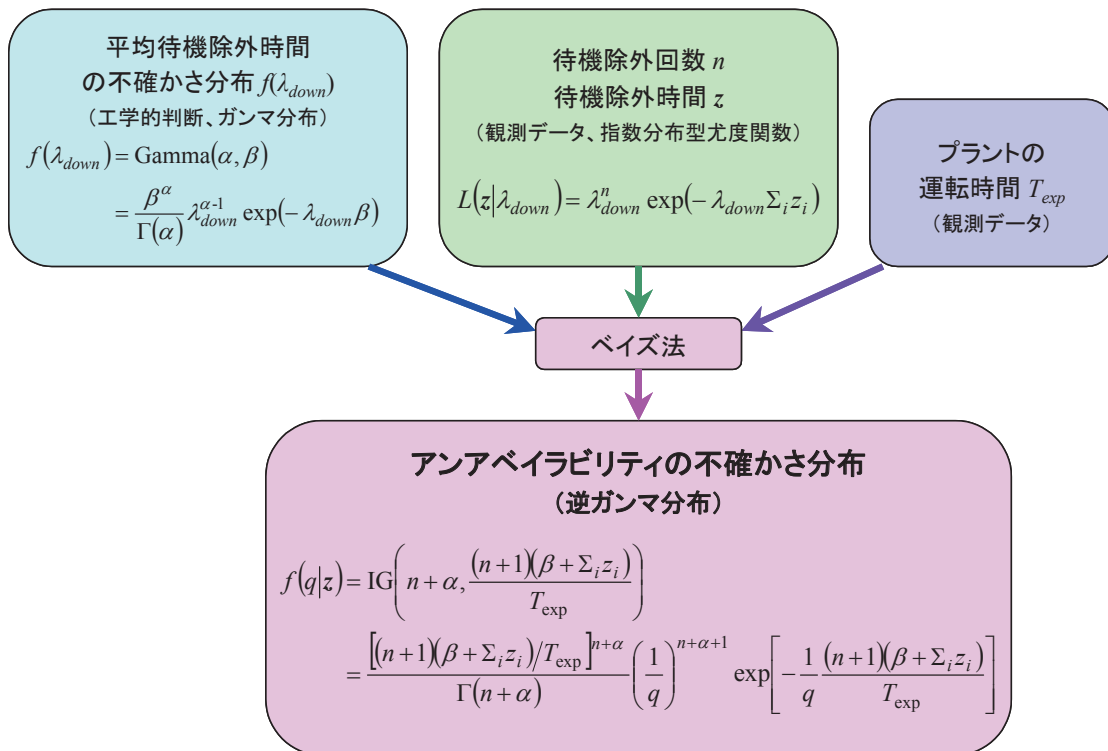


図2 本研究で開発したアンアベイラビリティのベイズ推定法の概念図

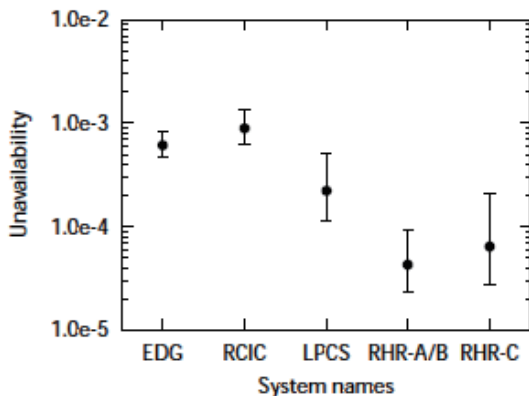


図3 本研究で開発した手法を用いて推定した系統UA。

点は不確かさ分布の中位値(50%点)、エラーバーは90%確信区間を表す。待機除外件数が多いほどエラーバーは狭く、待機除外件数が少ないほどエラーバーは広く見積もられている。

*1: 機器または系統のUAとは、ある時刻またはある時間範囲において、それが使用不能となっている確率である。

*2: 原子力施設情報公開ライブラリーNUCIA <http://www.nucia.jp>

*3: エラーファクタは、不確かさ分布の(95%点)/(5%点)の平方根である。これは分布の広がりを記述する。