

PSA2017におけるPRA/リスク評価の研究動向について

2018年3月28日

東京大学大学院
山口 彰

PRAに関する国際会議

- PSAM
 - 国際PSAM組織委員会 (IAPSAM) が運営
 - 2年ごとに開催、米国と(欧州・アジア)
 - PSAM5を日本で開催(2005年)
 - 初のTopical PSAMを日本で開催(2013年)
- PSA(米国)
 - 米国原子力学会が主催
 - PSAMの間の年に、2年ごとに開催
- ESREL(欧州)
 - 欧州のPSA、信頼性に関する会議
 - PSAMが欧州のときは共同開催、1000人以上が参加
- ASRAM(アジア)
 - 日本-韓国-中国で発足、原則毎年開催
 - 第1回を横浜で開催(11月13日から15日)

International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis



オープニング

- 総合議長のWestinghouse社の主会計担当副社長のCindy Pezze女史
- 会議のテーマは「次世代PRAイノベーションと成長のための橋」
 - PSAを推進し、原子力産業に価値を提供し続けるためには、新しいアイデアや視点が必要
- 原子力業界が直面している主要課題
 - 革新的なアプローチを開発し続けるため、コミュニティ内の知識とスキルを共有
- PSAの実践者から知識を得て以下を実践
 - 原子力発電の安全性
 - 長期的な持続可能性

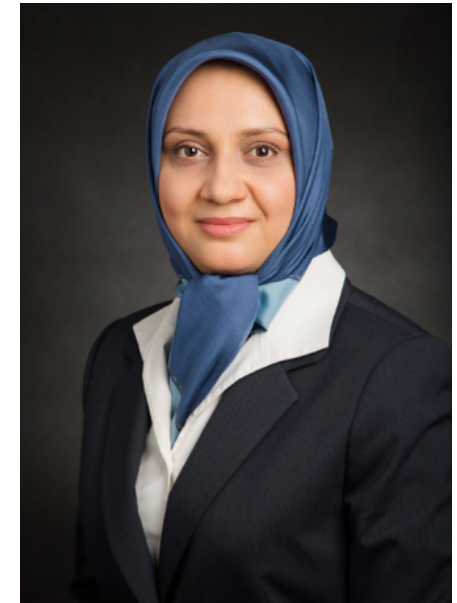


Cindy Pezze

Key Account Vice President, Westinghouse Electric Company LLC

オーガナイザー

- International Chair
 - Enrico Zio教授(ミラノ工科大学)
- Academic Chair
 - Zahra Mohaghegh教授(イリノイ大学SoTeRiA研究所)
- Technical Program Chair
 - Andrea Maioli氏 (Westinghouse Electric Company LLC)
- 日曜日に以下のワークショップが開催
 - Raven
 - Bayesian
 - PyCATSHOO



Workshop #1 – RAVEN

RAVENパッケージの一般的理解と実用例

- RAVENは、複雑なシステムの確率的挙動を評価するソフトウェアツール
 - リスク分析、信頼性分析、不確かさの定量化
- 物理システムを表す外部コードに対し、入力空間を効果的に探索するサンプリング戦略
- 出力空間の選択された性能指数の平均、分散などを計算するための標準的な統計後処理能力

- 人工知能アルゴリズムに基づく
 - 複雑な物理システムのエージェントモデルを構築
 - 信頼性解析(限界状態面)、不確実性定量化、パラメトリック研究
- ソフトウェア(ソースを含む)は非商用目的であれば無料、将来は商業化の予定

Workshop #2 – Bayesian Inference for PRA

- 確率論的リスクアセスメント(PRA)におけるベイジアン推論手法の適用、実践的計算(ExcelとOpenBUGS)
- PRAパラメータの推定に関連する様々な問題
 - ベイズ推論とベイジアンネットワーク
 - OpenBUGS入門
 - OpenBUGSを使用した共役計算
 - 無情報事前分布
 - OpenBUGSを使用した非共役計算
 - オフサイト電力復旧などの期間のイベントのモデリング
 - ベイジアントレンド
 - 脆弱性分析のためのベイズ回帰モデル
 - 不確実なデータ
 - 極値分析

Workshop #3 – PyCATSHOO

EDFのR&Dツールによるハイブリッドシステムの依存性評価

- ハイブリッドシステムの信頼性解析専用ツールPyCATSHOO
 - 決定論的連続現象と離散確率的挙動を含むシステム
 - 2017年、EDFはPyCATSHOOをフリーウェアライセンスでリリースする予定
- 所定の確率則に従ってその状態間のランダム遷移、物理的パラメータの進化によって支配される決定論的遷移を示す
- PyCATSHOOを使用したモデリング手法
 - システムを基本サブシステム/コンポーネントに分割
 - 基本サブシステム/コンポーネントのそれぞれは、ハイブリッド確率的オートマトン、状態変数、およびメッセージボックスのセットとして記述
 - メッセージボックスは、サブシステム/コンポーネント間のメッセージ交換、依存関係
 - システムの動作は、モンテカルロサンプリングを使用してシミュレーション
 - 終状態シーケンスをトレース、クラスタ化
- 汎用コンポーネント(クラス)の定義を可能にし、非常に柔軟なモデリングフレームワークを提供、モデル開発コストを大幅に削減

SPECIAL SESSION #2 - MUPRA Advances, Issues, Impediments and Promise

Panel Moderator: Mohammad Modarres (*Univ of Maryland*)

- 福島第一事故で複数の原子炉の事故によるリスクの重要性が強調。ここ数年でMUPRA (Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment) にかなりの関心。



SPECIAL SESSION #2 - 3:40 PM

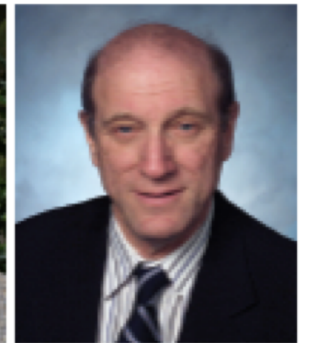
MUPRA Advances, Issues, Impediments and Promise

Panel Moderator: Mohammad Modarres (*Univ of Maryland*)

Location: Grand Station II Time: 3:40 - 5:45 pm

Panel: Mohammad Modarres (*University of Maryland*), George Apostolakis (*MIT*), Karl Fleming (*KNF Consulting*), Robert Budnitz (*Lawrence Berkeley National Laboratory*), Nathan Siu (*NRC*), Carlos Lorencez (*OPG*)

The Fukushima Daiichi accident highlighted the importance of risks from multiple nuclear reactor unit accidents at a site. As a result, there has been considerable interest in Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment (MUPRA) in the past few years. This panel discusses related issues and developments in MUPRA. Specifically, such topics as risk metrics, risk aggregation, dependency and common cause modeling, safety goals, external event treatments, regulatory and international experiences in the context of multi-unit accidents will be discussed.



Pictured: Mohammad Modarres, George Apostolakis, Karl Fleming, Robert Budnitz, Nathan Siu, Carlos Lorencez

そのほかのスペシャルセッション

MONDAY, SEPTEMBER 25

SPECIAL SESSION #1 - 1:30 PM

Bayesian Inference for PRA

Chair: Curtis Smith (*INL*)

Location: Grand Station II **Time:** 1:30 - 3:10 pm

This special 90 minute session covers the application of Bayesian inference methods in Probabilistic Risk Assessment (PRA). The objective is for participants to be able to describe inference processes as part of PRA applications. We will describe how to update Bayesian priors and apply tools such as OpenBUGS using the techniques described in the Springer book Bayesian Inference for Probabilistic Risk Assessment (coauthored by the lecturer, Dr. Curtis Smith). In the session, we will address a variety of issues related to using probabilistic models for estimating PRA parameters. We will provide background to the analysis framework, then proceed to demonstrate the analysis of varying-complexity problems from traditional conjugate-types of inference through applications including uncertain data and trending.



TUESDAY, SEPTEMBER 26

SPECIAL SESSION #3 - 9:00 AM

Delivering the Nuclear Promise with Risk-Informed Regulations

Chair: Kyle Hope (*Westinghouse*)

Location: Grand Station II **Time:** 9:00 - 10:15 am

Panel: Joseph Glitter (*NRC*), Scot Greenlee (*EXELON*), Brad Adams (*Southern Nuclear*), Roy Linthicum (*PWROG*)

This panel will provide an overview of the potential impact of risk-informed regulations on "Delivering the Nuclear Promise" which is a multi-year strategy to transform the nuclear industry and ensure its viability. A "Business as usual" approach won't successfully address rising generation costs and increased competition. The DNP team is working to identify ideas that can be implemented quickly and achieve significant reductions in cost while maintaining safety and reliability. Risk-informed applications have a proven track record of reducing organizational impact and cost while maintaining or improving safety. Implementation of the 10 CFR 50.69 and Risk-Informed Completion Times applications provide opportunities to go even further. The panel will discuss the current status of risk-informed regulations and applications as well as needs for future regulations that can further expand the application of risk-informed initiatives that can provide new opportunities for cost-effective improvement.



Pictured: Scot Greenlee, Roy Linthicum

SPECIAL SESSION #4 - 1:30 PM

Accident Tolerant Fuel – Panel

Chair: Raymond E. Schneider (*Westinghouse*)

Location: Grand Station II **Time:** 1:30 - 3:10 pm

Panel: Ed Lahoda (*Westinghouse*), Steven Hess (*JENSEN HUGHES*), Robert Rishel (*Duke Energy*)

The nuclear industry has been conducting research and development activities on advanced LWRs for many years. Prior to the events at Fukushima Dai-ichi in 2011, the focus of the fuel improvement efforts was on developing higher burnup fuels for waste minimization, increasing pellet density for power upgrades, plant life extensions and extended cycles and to improve fuel reliability. Following the events at Fukushima Dai-ichi the Department of Energy (DOE) increased their participation in advanced fuel development, sponsoring an aggressive effort to develop a new generation of fuels with enhanced accident tolerance. In accordance with DOE, ideally, ATF characteristics would include:

- Reduced Hydrogen Generation
- Improved fission product retention
- Improved fuel cladding reaction to high temperature steam
- Improved fuel cladding interactions under extreme conditions

Concurrent with these benefits are overall plant risk reductions and potential increases in typical plant safety margins and operational flexibility. This session will cover various ATF fuel design options, and their expected physical and economic benefits and the role of PRA in identifying these benefits and quantifying cost savings.



Pictured: Ray Schneider, Ed Lahoda, Steven Hess, Robert Rishel

技術セッションの概要

- プレナリ講演5件
- 地震PSA(24件)
- 火災PSA(16件)
- 洪水PSA(7件)
- 強風PSA(10件)
- 人間信頼性分析(13件)
- 動的PSA(13件)
- レベル2、レベル3 PSA(11件)
- モデリングとシミュレーション(10件)
- データとパラメータ評価(8件)
- 複合リスク(12件)
- リスク活用意思決定(8件)
- リスク活用応用(8件)
- その他(4件以下)
- 外部事象解析(4件)
- ヒューマンファクターと行動科学(3件)
- 低出力停止時PSA(3件)
- PSA標準とピアレビュー(3件)
- 不確かさ解析とモデリング(3件)
- コンフィグレーションリスク管理(3件)
- 福島事故の教訓(4件)
- 非軽水炉の安全(2件)
- リスク活用規制(3件)
- 受動システムの安全性と信頼性(4件)
- サイバーセキュリティとサイバーリスク(4件)
- 先進情報技術とPSA(3件)
- 安全文化と組織要因(2件)
- 他の外的ハザードPSA(3件)

外部事象の充実、動的PRAとシミュレーション、レベル2&3、複数ユニット

参考 (PSA2015におけるセッション構成)

• Fire Analysis and NFPA 805	13件	• Fukushima Lessons Learned	6件
• Accident Analysis Level 2	3件	• Human Factors and HRA	22件
• Accident Analysis Level 3	4件	• Common Cause Failures	5件
• Multi-Unit Risk	4件	• Dynamic PSA	9件
• Low Power and Shutdown PSA	3件	• Computer Codes	3件
• Risk-Informed Decision-Making	6件	• Data and Parameter Estimation	10件
• Risk-Informed Regulation	13件	• Digital I&C Safety and Risk Analysis	7件
• Risk-Informed Maintenance	3件	• Passive System Safety and Reliability	4件
• Configuration Risk Management	3件	• Modeling and Simulation	6件
• External Events Analysis	7件	• PSA Standards	3件
• Seismic	9件	• PSA Studies and Applications	4件
• Severe Wind PSA	6件	• Open PSA	3件
• Flooding PSA	3件	• Next Generation Reactor PSA	4件
		• Non-Nuclear PSA	2件

まとめ

- マルチユニットリスク評価（パネル、NRC、国際機関）
- 動的リスク評価（Dynamic PRA）と数値リスク評価（Computational PRA）
 - 支援ツールの活用
- リスク活用の重要性と考え方
 - リスク評価の重要性は増すがリソースは減少
 - Realistic PRA
- PRAの学術的母体
 - PSA（ANS）
 - ESREL（欧州）
 - ASRAM（Asian NSs）
 - PSAM（IAPSAM）