2021年秋の大会

リスク部会セッション

将来にわたる確率論的リスク評価の活用のために
-リスク活用研究専門委員会からの提案、並びに今後の研究動向について-

For continuous application of PRA to future
- Suggestions from Research committee of Risk application and research trend in future -

国内研究機関の研究動向 (2)

Status of domestic research bodies' activities (2)

*氏田　博士[1]
[1]環境安全学研究所

東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、重要な活動の一つとして、「リスク」情報を活用した意思決定に基づいて効果的に安全性の向上を図る取り組みがなされてきている。PRA による知見の実務への応用には、対象システムの深い理解に基づき、適切なデータやパラメータの設定、目的に合致した合理的・科学的な解析・評価手法の構築、不確かさの評価等、幅広い科学・技術分野の知識が必要であり、多くの研究者、技術者がこれらを共有している必要がある。また、最新知見を適時に評価・応用し、得られた情報を PRA の研究・開発者と実務を行う主体で共有することは、効果的・効率的な PRA 手法の発展に向けた重要なステップとなる。

以上の観点に鑑み、現在から将来においてリスク情報の活用に参照される PRA に必要となる技術開発の方針の策定に資すること、並びに PRA に携わる若い世代の研究者・技術者の育成にも寄与することを目的とし、令和元年度に「確率論的リスク評価の活用及び手法調査」研究専門委員会を設置した。

本稿では、同研究専門委員会で整理した国内の研究機関での PRA の研究動向のうち、レベル 1PRA にかかるものをまとめる。

1.　レベル 1PRA にかかる研究の現状認識

レベル 1PRA の技術は、評価する指標の範囲として炉心損傷頻度までを評価する目的においては、技術的にほとんど成熟している。しかしながら、PRA の結果等のリスク情報や知見を原子力安全規制や原子力プラントの運用に活用していくためには、より適切な PRA モデルの開発、特に人間信頼性解析、従属故障の扱い、故障データ及びマルチユニット・動的解析が今後の研究開発要素であると考えられる。

このためには、国内外でのレベル 1PRA、特に人間信頼性解析、従属故障の扱い、故障データ及びマルチユニット・動的解析に関する近年の研究開発に係る動向について調査・確認し、技術的な研究開発を行うことが必要であり、更にはリスク情報を活用する目的を踏まえて、今後の研究に取り組むことの重要性を確認した。

以下、人間信頼性解析、従属故障の扱い、故障データ及びマルチユニット・動的解析の各項目につき、研究開発動向を述べる。

2.　レベル 1PRA にかかる研究開発の動向

2-1. 人間信頼性解析

人間信頼性解析の分野では、現状の解析評価技術の拡張、データ収集或いはデータベース構築、簡易手法の開発、外部事象への適用といった課題があると考えられる。

運転員の判断や操作等のタスクを見る THERP 等の第 1 世代、状況（コンテクスト、これまでの経緯や周囲の環境条件等）を見る ATHEANA 等の第 2 世代の評価手法はほぼ確立している。加えて、最近、第 2 世代の考え方を取り入れた簡易手法として IDHEAS 等の第 1.5 世代の手法も開発されている。しかし、人間の認知メカニズム(対応の成否は認知のうち意思決定の要素に強く関係する)や状況(コンテクスト、これまでの経緯

や周囲の環境条件等)の依存性が、人間行動の成否を決定つけることが認識されてきており、タスク分析手法の確立が課題であり、これとリンクする形でのデータ収集も重要である、との指摘がある。

また、これまでの適用範囲（内的事象）に加えて、外的事象等（地震、津波、火災、マルチユニット PRA（MUPRA)、デジタル中央制御室（MCR））への適用先拡大も検討されており、手法の拡張が進んでいる。

今後とも国外新手法の調査を継続し国内適用を検討することが望まれる。但し、国外新手法の国内適用時には、国内の各サイトで訓練データを収集し、収集した国内データを用いることで精度向上を目指す必要がある。

2-2. 従属故障の扱い

(1) 内的事象

内的事象に関しては共通原因故障(CCF)確率の推定に関するデータに課題がある。特に、冗長系の機器数が増えると複数同時故障回数の実データが少なくなり、CCF 発生確率評価時の不確かさが増加する。これを解決するためのシミュレーションによる CCF 発生確率の定量化研究が散見される。シミュレーション技術の向上は、実機からの故障データ拡充が期待できない CCF 分野においては、実データ（故障データ）不足を補完できる可能性を有する。また、機器の個性（設計・製造過程や使用環境の相違）をある程度考慮した非対称機器の CCF の取り扱いが可能な、より詳細な CCF モデル化手法も検討されている。

デジタル I&C 及び動的 PRA 向けの CCF モデル開発、マルチユニット PRA 向けのユニット間 CCF モデル開発等の研究も行われている。マルチユニット PRA 向けの CCF に関しては、ユニット内 CCF（Intra-Unit CCF）モデルの考え方を拡張する評価手法が電中研より提案されており、試評価による実機適用性検討等の課題は残るものの、評価モデルの基礎は確立されている。

電中研ロードマップ(2019/2)に、「国内 CCF 事象の収集・分析」「CCF パラメータ推定手法の構築」「サポート系起因事象の CCF モデル化手法構築」の 3 項目が実施事項として記載されており、各々電中研より研究成果が公開されている。 Staggered 試験の数学的妥当性検証研究（電中研）のような理論研究や、実データ（故障データ）等による検証研究を粛々と継続していく必要があると考える。

(2) 外的事象

外的事象、特に地震 PRA では、複数の機器が同時に地震動を受けて故障する事象（共通原因故障）を考慮する必要があるが、機器間の応答相関や耐力相関を、相関係数等を用いて評価する手法は既に整備されており、レベル 1PRA までの手法的な研究課題は概ね解決済みと考えられる。近年、入力地震動の応答係数の改善及び機器フラジリティ評価における建屋非線形応答特性の考慮の観点でのフラジリティ手法高度化研究、簡便な評価方法に代わる応答相関計算方法の研究、DQFM（Direct Quantification of Fault Tree Using the Monte Carlo Simulation）法への実装に適した相関係数導出法の研究、耐震機器と免震機器の併用時の機器間周期相関性の研究等、手法高度化や、より複雑な場合に対応できるように手法を拡張する研究等が精力的に行われている。

2-3. 故障データ

機器の信頼性データに関連して、デジタル機器、静的機器、可搬設備などの信頼性データの論文発表がなされている。これらは使用できるデータが少数であることが課題であるが、データ分析手法としては従来から用いられているベイズ更新を用いており、手法自体の研究発表事例はない。論文分析結果からは、データに関して研究開発によるブレークスルーが必要な状況ではない。各種機器のデータ収集の継続が望まれる。

2-4. マルチユニット・動的解析

近年、各機関にてマルチユニット、マルチサイトのリスク評価に関する研究が活発に実施されている。技術的な研究としてユニット間の相関のモデル化に関するものが多い一方、マルチユニット、マルチサイトのリスク評価におけるリスク指標や安全目標、リスク情報活用といったリスク評価の方向性に関係するテーマ

の研究も活発に行われている。マルチユニット、マルチサイトのリスク評価手法は、検討の途上であるため課題が多い。特に、外的事象（地震）の PRA における相関性のモデル化については、大きなテーマとなっている。

また、シングルユニットのリスク評価モデルと比較して、マルチユニット、マルチサイトのリスク評価モデルは大規模になるため、合理的なモデルの構築が重要である。実用的なマルチユニット、マルチサイトのリスク評価の実現のために、安全目標の議論への利用だけでなく、リスク情報活用として評価をどのように活かすか、評価のご利益は何か、といったリスク評価の方向性に係る議論も重要である。

動的解析或いは PRA の研究に関しては、現状、米国アイダホ国立研究所（INL）の RAVEN（Risk Analysis Virtual ENvironment）コードに代表される種々の動的 PRA コードが世界で開発されているものの、残る動的 PRA の主要な研究課題は以下の 3 つに集約されるものと考えられる。

- 過大な計算コストへの対応
- 環境に依存した機能喪失確率評価式の拡充
- 連続関数で評価できる人間信頼性解析手法の開発

3. まとめ

研究専門委員会での議論より、国内外でのレベル 1PRA、特に人間信頼性解析、従属故障の扱い、故障データ及びマルチユニット・動的解析に関する近年の研究開発に係る動向について調査・確認し、技術的な研究開発を行うことが必要であり、更にはリスク情報を活用する目的を踏まえて、今後の研究に取り組むことの重要性を確認した。この方針に従い、本稿では、人間信頼性解析、従属故障の扱い、故障データ及びマルチユニット・動的解析の各項目につき、研究開発動向を述べた。

また、資源に乏しい我が国では、資源を有効活用する観点で、原子力発電所で発生した使用済燃料から再利用可能なプルトニウムやウランを取り出して、燃料として加工し、もう一度発電に利用する核燃料サイクルを推進していることもあり、潜在的なリスク（公衆や環境への影響の大きさとその頻度）が大きい原子力発電所の PRA 技術の研究開発が優先されるべきではあるが、再処理施設や加工施設などの核燃料施設や原子力発電所の廃止措置に対する PRA 技術の研究開発についても重要であると考えられ、今後の研究開発が望まれる。

*Hiroshi Ujita [1]
[1]Institute for Environmental and Safety Studies