

標準委員会セッション

リスク情報活用にかかる標準整備への研究成果の活用

Utilization of research results to the development of standards for the risk-informed activities

(3) NRRC における研究成果と標準等への反映等の関わり

(3) NRRC research results and their reflection in AESJ standards

*古田 泰¹, 桐本 順広¹, 橋本 和典¹, 桜本 一夫¹

¹原子力リスク研究センター (NRRC), 電力中央研究所 (CRIEPI)

1. はじめに

原子力リスク研究センター (NRRC) は、2014年10月、各原子力事業者が、リスクを直視し、規制遵守に留まることなく安全性を追求する意識と仕組が必要との認識のもと、大地震・大津波などの低頻度事象に伴うリスクの低減にかかる技術課題解決や、安全性向上活動への PRA 活用手法の確立のための一元的研究開発体制を構築すべく (一財) 電力中央研究所 (以下、「電中研」) 内に設置された。爾来、従来の決定論的な手法に加えてリスク情報を活用する手法を適用して、継続的安全性向上の取り組みに貢献してきた。研究成果は、論文投稿など公知化を進めるとともに、電中研あるいは NRRC のウェブサイトにて報告書の形で公表し、得られた成果の実務への適用支援も行うことで継続的安全性向上の取り組みに活用している。

本セッションでは、原子力学会標準の内、PRA に係る標準について、電中研 NRRC からの人的、研究成果的貢献の実績・見込みについて、事例を交えながらご紹介し、最後に、これまでの電中研 NRRC の取組みを振り返り、標準活用のための方策について考えを示す。

2. NRRC におけるリスク研究開発

2-1. 安全性向上を支えるリスク研究開発

NRRC は、従来の決定論的な手法に加えてリスク情報を活用する手法を適用して、継続的安全性向上の取り組みに貢献してきた。安全性向上を支えるリスク研究開発の概要を図1に示す。NRRC は、低頻度だが大きな被害をもたらし得る事象のさらなる解明と対策立案のために、従来の決定論的な手法に加えてリスク情報を活用する手法を適用している。研究開発項目は、事象評価研究、リスク評価技術、リスクコミュニケーションの3つに大別される。事象評価研究は、シビアアクシデントのほか、地震にかかわるハザード・フラジリティ関係(活断層、地震動、断層変位、地盤・斜面・土木構造物耐震、建屋・機器耐震)、津波、火山、強風等の極端気象、また、内部火災・内部溢水に及んでいる。リスク評価技術はこういった内的・外的事象に対する PRA 手法の開発に加え、プラントリスクで重要な要素である人間信頼性、そして、環境放出時影響について研究を進めている。リスクコミュニケーションに関する研究では、このような研究のアウトプットとして生まれる原子力プラントのリスク評価の結果について、事業者内部から公衆に至るまで、広いステークホルダーと意思疎通を図ることが必要と考えられ、その効果的な方策についてフィールドワークも含めて実践的な取組みも含めた形で進めている。

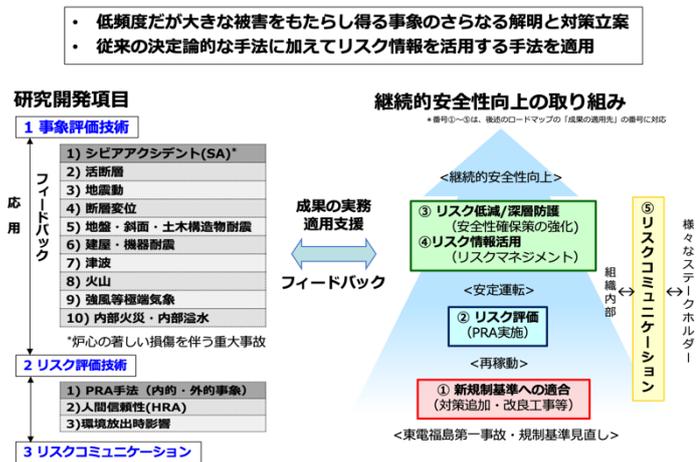


図1 安全性向上を支えるリスク研究開発

断層、地震動、断層変位、地盤・斜面・土木構造物耐震、建屋・機器耐震)、津波、火山、強風等の極端気象、また、内部火災・内部溢水に及んでいる。リスク評価技術はこういった内的・外的事象に対する PRA 手法の開発に加え、プラントリスクで重要な要素である人間信頼性、そして、環境放出時影響について研究を進めている。リスクコミュニケーションに関する研究では、このような研究のアウトプットとして生まれる原子力プラントのリスク評価の結果について、事業者内部から公衆に至るまで、広いステークホルダーと意思疎通を図ることが必要と考えられ、その効果的な方策についてフィールドワークも含めて実践的な取組みも含めた形で進めている。

このような研究成果を、原子力プラントへ適用することで、継続的安全性向上の取組みに寄与するうえで、NRRC は、自らの研究成果が、事業者の取り組んでいる新規制基準への適合において活用されたり、再稼働後に事業者がおこなう安全性向上評価におけるリスク評価に生かされることで貢献を果たしていると考えている。そのような研究成果の活用が定着する中で、事業者においては、リスク低減／深層防護の観点で安全性確保策の強化を図るが、その際、PRA 評価も参照して実機へのリスク情報の活用が行われる。リスクマネジメントとは、規制基準への適合状態をプラント供用期間中に維持する中で、プラント運用中に生じる多様な状況においてリスクをより低く保ちながら原子力施設としての機能を十全に発揮できるように、リスクの評価とその評価から得られた情報を活用して、安全性の維持・向上を図るものである。そして、リスクコミュニケーションは、PRA 評価そのものの結果よりはむしろ、安全性向上に取り組む事業者の活動も含めた多様な情報を元に、立地自治体、周辺自治体、広く公衆までも念頭に置いて実施される。

2-2. NRRC における PRA 技術開発

前節で述べた NRRC 研究開発の事象評価研究、リスク評価技術、リスクコミュニケーションの内、前二者を整理すると図 2 のようになる。左側に、プラントに外乱を与える要因を内的事象と外的事象に大別し、それぞれに含まれる、PRA 評価手法を挙げた。PRA は、リスクを評価する段階に応じてレベル 1（炉心損傷）、レベル 2（格納容器機能喪失、ソースターム評価）、レベル 3（大気中に放出された放射性物質の移流・拡散による被ばく評価、健康影響評価）の段階に分けられる。

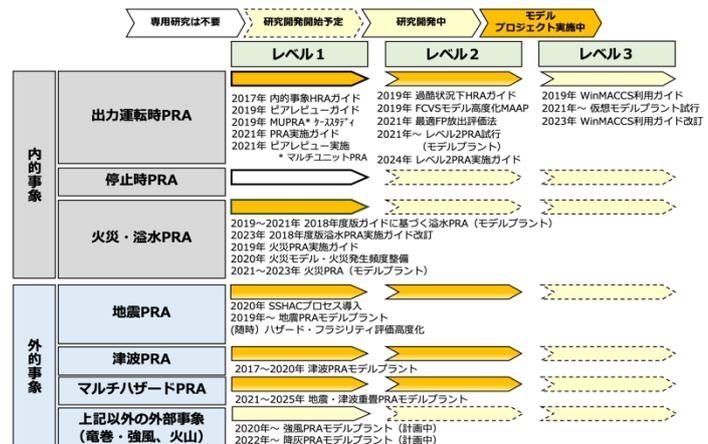


図 2 NRRC における PRA 技術の改良/開発の状況

NRRC ではモデルプラントでのプロジェクト等を実施しながら、それぞれの PRA に必要となる技術開発を行い、ガイド等の形で実務評価において活用可能な形で成果を拠出し、他プラントでの展開を行えるように進めている。

3. 原子力学会リスク関連標準と NRRC の研究成果

原子力学会では、内的事象及び各種外的事象を対象としたレベル 1 からレベル 3 に至る PRA 標準を包括的に整備している。NRRC においては、先に述べたようにプラントの安全性向上を支えるリスク研究開発を展開しており、その研究成果も目に見える形で出始めているところである。

これらの NRRC の研究成果は、原子力学会標準の策定に反映できる新知見の一つとして寄与できると考えている。また、原子力学会の PRA 標準では、標準の階層化が検討されてきており、内的事象レベル 1PRA 標準において、要求事項を規定する「基準」と基準に適合する評価手法を規定する「指針」に階層化した新規標準[1][2]が発行されたところである。指針においては、原子力学会に限らず外部の成果においても基準に適合する手法であれば参照することとしており、NRRC の研究成果も標準に適合する評価手法として反映していけるものと考えている。

ここでは、原子力学会の PRA 標準と NRRC の研究成果の標準反映について総括するとともに、その中から次のような研究成果の反映実績例についていくつかをピックアップして紹介する。

➤ 内的事象のレベル 1PRA 及び PRA パラメータ推定

運転時、停止時を含めた標準の統合化、標準の階層化素案検討などへの対応、PRA の機器故障率等のパラメータ推定に関わるデータ収集技術やパラメータのベイズ推定技術等を開発し、国内の機器故障率推定に応用した[3]。これらの検討内容はパラメータ推定標準における要求事項記載や附属書での

評価事例記載などに反映が行われた。

➤ 外的事象における断層変位 PRA の評価手法

ハザード評価に関しては決定論および確率論的な断層変位の定量評価手法、フラジリティ評価に関しては断層変位に対する構造物および機器の設計条件の設定とそのフラジリティ評価結果、断層変位 PRA における事故シナリオと事故シーケンス解析を開発し、断層変位 PRA 標準の開発と連動して技術の反映が行われた。

➤ 外的事象における地震 PRA での地震ハザード評価[4]

特に地震ハザード解析専門家委員会(SSHAC : Senior Seismic Hazard Analysis Committee)の手順を用いた確率論的地震ハザード分析 (PSHA) に対する実施プロセスが行われている。日本においては海外に比較し複雑な地震テクトニクス環境からくる技術的課題や不確実要素が多く、これらの不確実さや異なる解釈を明示的に検討する SSHAC プロセスは非常に重要性が高い。

さらに NRRC の研究成果が今後標準への活用が期待されるものとして、以下のものが挙げられる。

➤ 火災 PRA 実施ガイド[5]・溢水 PRA 実施ガイド

モデルプラントでの評価とともに火災 PRA 実施ガイド、溢水 PRA 実施ガイドが開発されている。原子力学会の火災 PRA 標準、溢水 PRA 標準は 2014 年の発行から実プラントでの評価実績を待ったまま改定されていないため、今後の改定ではこの研究成果の知見を取り込む事による実用性の向上などが期待できる。また、NRRC のガイドは実務上のガイドとして技術レポートとして反映することなども可能であると考えられる。

➤ 資源エネルギー庁の委託事業による地震 PRA ・津波 PRA ・地震津波重畳 PRA の技術開発研究

福島第一原子力発電所事故からの教訓として、津波を含む自然外部事象への対策と炉心損傷後の影響緩和対策やリスク評価等が不十分であったことが認識されている。このため、実機プラントを対象に地震 PRA (2014~2016 年度)、津波 PRA (2017~2020 年度) について PRA の整備と評価技術の開発が研究プロジェクトとして行われてきた。現在 (2021 年度~) はこれらの技術開発を受けて地震津波重畳 PRA の実施を通じて、複合ハザード事象を対象とした評価技術開発を行うプロジェクトが開始されている。これらの成果は、ハザードの入力条件の作成手法や津波の建屋浸水解析とフラジリティ評価手法、地震や浸水影響を考慮したソースターム評価等、具体的な評価例として原子力学会標準においても重要な知見となるものと考えられるため、標準改定時にも活用されることが期待できる。

➤ 人間信頼性解析 (HRA) の定性分析ガイド[6]

PRA の高度化に伴い、事故時の緩和シナリオにおける人的対応の影響評価の重要性がより増している。操作・対応での人的過誤事象の発生確率 (人的過誤確率、HEP : Human error probability) をより現実的な評価とするために、定性分析の過程を重視した HRA 定性分析ガイドが NRRC により開発され、各 PRA での活用が始まっている。HEP の定量化手法は、外的事象や複合ハザード PRA に対応するために米国等で開発された新手法等が別途必要となってくることも考えられるが、人的過誤事象が発生する因果関係や文脈、発生に至るまでのタイムラインなど、現実の人間応答を理解するための分析が非常に重要となる。またこのアプローチは内的事象レベル 1 のみならず、レベル 2 や外的事象など様々な PRA でも活用が必要となるため、今後標準においても広く活用されることが期待できる。

4. 標準活用のための方策について

前節でも述べてきたように、NRRC の研究開発は継続的安全性向上の取り組みのための成果の実務適用支援とまたそれらから得られるフィードバックにより、実用性の高い技術開発を目的として実施されてきた。このため技術開発状況にも見られるように、PRA 実施、レベル 2PRA、火災、HRA 等の実用的な実施ガイド

が開発され、これらを実機適用したモデルプラント評価により応用を重ねることで技術向上が図られてきている。また、これらの成果が電中研報告書や学術論文等で公知化されることで、原子力学会のリスク関連規格からも、改定時における要求事項への反映や具体的な評価事例として標準規格から参照可能な技術レポートとして研究成果やガイド自体が活用される段階になりつつある。今後も産業界や学会のニーズを汲み取りながら実用的な研究開発を進めていくことで、学会の標準もより活用しやすいものとなるように連携していくことが重要であると考えられる。

5. まとめ

本稿では、NRRC における研究開発の概要や開発技術を概説するとともに、原子力学会のリスク関連標準と NRRC の研究成果の活用について述べた。また、各標準改定時に反映が期待される NRRC のガイド類など研究成果も挙げられている。今後も実務適用研究と現場からのフィードバックを効果的に促進していくことで、リスク低減と安全性向上のたゆまぬ取り組みを支援し、標準規格への最新知見の反映として NRRC の研究成果を活用するための活動を支援していく。

参考文献

- [1] 日本原子力学会 標準委員会 “原子力発電所の内的事象を起因とした確率論的リスク評価に関する基準（レベル1PRA 編）：2022”，AESJ-SC-RK010:2022
- [2] 日本原子力学会 標準委員会 “原子力発電所の内的事象を起因とした確率論的リスク評価に関する指針（レベル1PRA 編）：2022”，AESJ-SC-RK011:2022
- [3] 一般社団法人 原子力安全推進協会，“故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定（1982～2010 年度 29 ヶ年 56 基データ）”，JANSI-CFR-02, 2016.6
- [4] 酒井俊朗，“確率論的地震動ハザード評価の高度化に関する調査・分析－米国 SSHAC ガイドラインの適用に向けて－”，電力中央研究所報告 O15008, 2016.7
- [5] 内田剛志 他，“国内原子力発電プラントを対象とした火災 PRA ガイドの策定”，電力中央研究所報告 O20001, 2020.6
- [6] 桐本順広 他，“叙事知に重点を置いた人間信頼性解析（HRA）の定性分析ガイド（2020 年度版）”，電力中央研究所報告 O20003, 2021.5

*Tai Furuta¹, Yukihiro Kirimoto¹, Kazunori Hashimoto¹ and Kazuo Sakuramoto¹

¹Nuclear Risk Research Center (NRRC), Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI).