



外的事象に対する
原子力安全の基本的考え方

標準委員会 技術レポート

エグゼクティブサマリー

2021年12月

一般社団法人 日本原子力学会

エグゼクティブサマリー

この技術レポートは、原子力発電所における外的事象のうち外部ハザード（自然ハザード、人為ハザード）に対し、リスク情報を活用することで安全性を合理的¹かつ包括的に向上させるための基本的な考え方を提示することを目的とする。検討範囲としては、地震、津波、台風等の自然ハザードと、原子力発電所敷地外での爆発、航空機落下等の人為ハザードとする。加えて、それらの複合事象、誘発ハザードも含む。ハザードによって発生する事象としては、設計想定を超える事象まで含む。外部ハザードに対する取組みの範囲としては、設計、評価、運転等の発電所内での対処に加えて、敷地周辺も含む緊急時のアプローチについても言及する。なお、テロ等の意図的な不法行為による人為ハザードは対象外とする。

原子力安全の目的は「人と環境を、原子力の施設と活動に起因する放射線の有害な影響から防護すること」となる。この原子力安全の目的を外部ハザードに対し、どの程度、どのように達成しているかを見るための基準としては、社会的に合意形成された安全目標が重要な役目を果たす。安全目標は、外部ハザードに対して個別に設定されるものではなく、考えられる全てのハザードに対して共通に適用されるものである。安全目標は、例えば死亡リスク等、原子力発電所の安全性に関する水準として直接適用が難しいものが用いられる。その場合、安全目標を満足する付随的な目標（例えば性能目標等）（subsidiary or surrogated goal）を定めることが必要である。

外部ハザードの特徴は、その発生頻度はその影響に対し不確実さが大きいこと、また空間的にも時間的にも広範囲になる可能性があり、ハザードによっては発電所敷地外における事故時の備えも含むことも必要である。このため、リスクを全体的にバランスのよいように、かつ適切な方策によって低減させることが重要となる。

リスク低減に対する基本的な対処としては、個別の設計、リスク論に基づくシステム²設計（アクシデントマネジメント（AM）含む）、想定を超える事態への対応としてのAM、緊急時の対応としての防災・減災領域の4つに分けられる。リスクを総合的に低減させる観点では、システムとして設計基準を設定し、十分な安全裕度を確保するように施設及び設備などを設計することによって、設計基準を超える事象に対する耐性を確保し、個々の設備の信頼性に過度に依存させないことが重要と考えられる。これは言い換えると、リスク低減のための安全に対する裕度は、まず全体としてのリスク低減を俯瞰した

¹ 本技術レポートで「合理的」とは reasonable として「理に適った」との意味で用いている。

² システムとは、一般的に、ある目的に対して、複数の要素から体系的に構成され、相互に影響しながら、全体として要求される機能を発揮するものと考え、本技術レポートでは、設備・機器（ハード）単体、及びそれらの集合体（設備集合）だけではなく、人的操作も含めることとする。

上でその範囲を設定し、効果的、効率的に配分されることとなる。リスク情報を活用したグレーデッドアプローチ³によって裕度を適切（効果的かつ効率的）に配分することが重要としている。そのためには、機器や構築物の外部ハザードへの耐性としての信頼性を適切に確保すると共に、個々の設備等だけでなくシステムとして機能を発揮できるようにしておくことが重要である。また、設計想定を超える外部ハザードによる想定していなかった影響による事故の考慮も必要となる。そのために、機能の部分維持による破局的な損傷の回避又は時間余裕の確保による新たな対策の検討といった、レジリエンスの概念を取り入れることも有効である。

機能を考えるに当たっては、リスク情報（決定論的、確率論的リスク評価を含む）を活用し、設備信頼性に加えて人的な対応及びそれらのマネジメントを含めた総合的なシステムという視点を持つことが必要であり、リスク情報を活用した統合的な意思決定（IRIDM）は、外部ハザードの対処を検討し実行するための仕組みとして適切である。

この技術レポートでは、対処のプロセスの基本構造として、「1. リスク特定・分析」、「2. リスク評価」、「3. リスク対応：対処の検討」、「4. リスク対応：対処の実施」、「5. 新知見収集・分析」の5つのステップを提案している。

次に原子力発電所の外部ハザード対策に関して、国内外の現状の調査を踏まえて課題又は留意事項の抽出を行った。検討では、外部ハザードのリストアップ、設計上考慮されている外部ハザード、設計の範囲を超える外部ハザード、外部ハザードの評価、緊急時のアプローチ、並びにパンデミックへの対応の各観点を対象とした。以下、主な抽出事項を示す。

地震及び津波について、決定論的手法で設計基準事象を設定した上で年超過確率を参照しているものの、海外（米国、フィンランド、イギリス）と比べてPRAを用いた定量的なリスク評価の活用は限定的であるため、定量的なリスク評価の更なる活用が望まれる【設計上考慮されている外部ハザード】。

事業者及び規制は、設計の範囲を超える外部ハザードに対して、事業者は、安全性向上評価の中で、PRA、安全裕度評価等を行い、炉心損傷頻度(CDF)、格納容器機能損傷頻度(CFF)、クリフエッジ効果等を評価しているが、その解析の目的及び結果に対する対処目標を明確にして共有すべきである【設計の範囲を超える外部ハザード】。

³ グレーデッドアプローチ（graded approach）は、原子力施設の安全確保活動や安全規制がそのリスクの程度と釣り合うことを求める考え方。JAEA-Review 2020-056「グレーデッドアプローチに基づく合理的な安全確保検討グループ」活動状況中間報告を参照のこと。

パンデミック又はエピソード⁴は、原子力発電所の総合的なシステムに重大な影響を及ぼす可能性があり、原子力発電所においてあらかじめ対策を考慮すべき重要な生物学的な外部ハザードの一つとして調査・検討を行った。なお、パンデミック又はエピソードについては、外部ハザードという捉え方ではなく、原子力発電所の運営にあたり考慮しておくべき前提条件とする捉え方もある。パンデミック又はエピソードは、原子力発電所において、緊急時のマネジメントを含めた、その安全な運営に影響を与える可能性があり、発生初期にはその感染症の特徴（伝染しやすさ、潜伏期間、症状、死亡率）も判明していないことが多いため、初動段階から柔軟性のある対応を速やかにとることが有効である【パンデミックへの対応】。

最後に、基本的なプロセス及び摘出した課題又は留意事項を踏まえ、将来に向けて原子力安全にかかわる関係組織が取り組むべき事項を提言として、技術基盤としての学協会規格及びそれに必要な研究・技術開発、そして継続的な安全性向上につながるものを次の観点からとりまとめた。

- ・ 外部ハザードの継続的かつ詳細なリストアップと活用
- ・ 継続的安全性向上のための対処において実施すべきこと
- ・ 広範で活発なコミュニケーション
- ・ 広範な外部ハザードにかかる学協会規格・標準の整備
- ・ 広範囲に被害が及ぶ外部ハザードによる緊急時の連携したアプローチ
- ・ 十分な準備によるパンデミックへの対応
- ・ 外部ハザードによる長期対策を前提とした規制プロセス・ルールの構築
- ・ 安全性向上のための目標の外部ハザードへの適用

例えば、【広範な外部ハザードにかかる学協会規格・標準の整備】に関するものとして、

- ・ 外部ハザードに関連する規格・標準を階層構造の体系として整備し、外部ハザードの多様性から、共通的に定める基本規定と個々の外部ハザードに応じた評価、対処を実施することとを分けることが有効であること。
- ・ 標準委員会は、電気協会及び機械学会の設計等の規格と原子力学会のリスク関係の標準をつなぐ、外部ハザードにかかるリスク情報活用の標準策定を検討すること。
- ・ 標準委員会は、外部ハザード PRA 関連の複数の標準について、共通となる部分（例えば、地震ハザード解析、サイト・プラントウォークダウン）はまとめるなどの工夫

⁴ 世界保健機関（WHO）では、世界にパンデミックの脅威の深刻さや事前の対策計画の準備の必要性などを知らせるため、6段階のフェーズ(警戒段階)を設けている。エピソードとは、一定の地域や集団において、ある感染症の罹患者が通常の予測を超えて大量に発生すること。エピソードとなった感染症が、一定の地域を超えて世界的に流行する状況がパンデミック。

によって、使いやすい PRA 標準を検討すること。

- ・電気協会等において、複数の外部ハザードに対する設計の規格間の整合をみることを学協会の協働で検討すること。このために、学協会から少人数が集まり情報意見の交換と規格・標準の内容の整合を相談する場を、原子力関連学協会規格類協議会の傘下に設けることを検討すること。

について、今後具体的に取り組む必要がある。

以上、この技術レポートでは、原子力施設の立地状況も含めた特性に応じた外部ハザードに対する原子力安全確保に必要な基本的な考え方を提示した。その際、自然災害の多い我が国の特異性を考慮し、海外のよい点は学び我が国のこれまでの外部ハザードに対する対応の特徴を考慮して、基本的なプロセス及び摘出した課題又は留意事項を踏まえ、将来に向けて原子力安全にかかわる関係組織が取り組むべき事項を提言としてまとめた。

また外部ハザードに係る取組みとして、規制機関の規制要求、研究機関・プラント製造業者の技術開発、事業者の対処策実施、が挙げられ、これらの関係性は、協働と独立が適切に具現化され、かつ各関係組織の安全達成レベルをモニタリングし問題解決をフィードバックしていくことができれば、効果的な原子力安全の継続的向上となる。また、自らの施設の状態を真摯かつ客観的に観察し、特に、設備・材料の物理的な劣化への対策、外部ハザードに関する新知見の反映による基準・規格の更新及び施設設計の見直し、などをたゆまなく行うことが、規制、事業者、学協会、研究機関、製造業者（機電・建築土木等）において求められる。