連載講座

よくわかる PRA ～うまくリスクを使えるために～

第3回 外部ハザードについて考えるべきこと

東京大学 高田 孝,
日本原子力研究開発機構 山野 秀将,
原子力安全推進協会 成宮 祥介

第3回では、外部ハザードについて、リスク評価におけるハザードの選定や評価として適用されるリスク分析について概説するとともに、一例として火山降灰ハザード評価について示している。また、リスク評価の目的は原子力施設の安全性の確保や向上であり、外部ハザードのリスク評価から得られた情報を用いたリスク対処に対するプロセスについても考察を行った。

KEYWORDS: PRA, External hazard, Risk

I. はじめに

地震や津波等の自然災害や、航空機落下等の人為的な原因に伴う原子力施設外からの施設の安全に対する脅威は、一般に外部ハザードと呼ばれる。これらの外部ハザードは基本的にその発生頻度において不確かさが大きく、決定論的な安全の考え方だけではなく、外部ハザードによりもたらされるリスクを評価することで、より安全への対処を合理的に実施することが可能となる。本報では、リスク評価において考慮すべき外部ハザードの考え方について解説するとともに、関連する課題について考察する。

II. 外部ハザードとリスク評価

1. 外部ハザードの定義

JIS 8051 : 2015 (ISO/IEC Guide51 : 2014)「安全側面-規格への導入指針」¹⁾ではハザードとは、「危害(人への傷害若しくは健康障害、又は財産および環境への損害)の潜在的な源」である。また日本原子力学会標準「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準 : 2014」(以下、「外部ハザード評価方法実施基準 2014」

という)²⁾では、外部ハザードの定義として「発電所外部で起きるハザード」となっている。従って、外部ハザードの定義は、「原子力施設の外部で発生する危害の潜在的な源」となる。

施設の外部で発生しうるハザードには自然由来のものと、人為由来のものに分けられる。表1に外部ハザードの例を示す。

本来、外部ハザードには人為ハザードとして、テロ行為等のセキュリティにかかる項目(表1中の「意図的な不法行為」)が含まれる。施設の安全に関するリスク評価(安全性評価)では、一般にセキュリティに関するものは別扱いとなっているが、安全とセキュリティに関する情報共有は重要であり、セキュリティの性質上、公開の場での議論は難しいが、具体的な評価を含め今後の課題であると言える。

なお、外部ハザードの具体例は国際的に全て一致しているものではない。例えば、他ユニットからの火災やミサイル等の扱いは施設外の観点で微妙となる。ただし、リスクを考える上で重要なことは、全体として網羅的に

表1 外部ハザードの分類と例

外部ハザード	
自然ハザード	人為ハザード
<ul style="list-style-type: none"> ・地震 ・津波 ・外部火災 ・強風 ・火山噴火 ・隕石落下 ・生物学的現象 ・異常気象 ・その他 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力施設以外での爆発 ・原子力施設以外での化学物質放出 ・航空機落下 ・意図的な不法行為 ・その他

For Better Understanding of PRA - Guidance for Better Usage and Application of PRA (3) ; Consideration of external hazard in PRA : Takashi Takata, Hidemasa Yamano, Yoshiyuki Narumiya.

(2020年3月10日 受理)

■前回タイトル

第2回 リスクと不確かさ

検討することであり、カテゴリとしての線引きそのものを厳密にする必要は必ずしもない。

2. 外部ハザードの選定

原子力施設の安全性を評価する上では、考えられる全ての外部ハザードに対して、そのリスクを評価する必要は必ずしもなく、グレーディッドアプローチの考え方に基づき、評価すべきハザードとその評価方法について選定することが合理的となる。ここでは、外部ハザード評価方法実施基準 2014²⁾に基づき、その考え方を概説するとともに、課題について考察する。

(1) 潜在的なハザードの同定

まず、潜在的な単一および複合外部ハザードを網羅的にリストアップする。その際、対象とする施設固有の外部ハザードや、新たに観測された外部ハザードおよび新知見から想定される外部ハザードの有無を確認することが重要となる。

なお実施基準では、複合ハザード(Combined hazard)として、IAEA SSG-3³⁾をもとに、共通の原因で同時期に発生するもの(原因共有事象)とそのハザードの発生(発現)により他のハザードを誘発するようなもの(随伴事象)の観点から整理されている。一方で、単一ハザードの同時期発生は、施設の安全に影響を及ぼす規模の同時発生の確率は極めて小さいため除外されている。しかしながら、一つのハザードの発生により施設が影響を受けた場合、その影響を拡大させる、あるいは最初のハザードでは致命的とならないが、他のハザードが発生した場合には影響を拡大させる別のハザードは、単独で発生する時よりも小さい規模で施設に影響を及ぼすことが考えられる。これらの影響が独立ではない複合ハザードの考慮については、その取り扱いの考え方の整理が今後必要になると思われる。

(2) ハザードの特性分析による選別

次に、同定されたハザードに対して、幾つかの要素に着目した特性分析を行い、リスク評価を行うハザードを同定する。実施基準では、以下の要素が提案されている。

- ・外部ハザードの“発生”
- ・外部ハザードの“到達”
- ・外部ハザードの“プラントへの影響”

本選別の段階では、定性的な評価で十分であり、目的とするリスク評価に有意かどうかの判断を行うことになる。なお、施設のリスクを評価する観点では、最新知見の反映を含め、継続的な見直しが重要であり、本選別も定期的にその十分性を見直すことが必要である。

また施設に対する“影響”については、個々のハザードの“作用”の観点で整理することで、同様なハザードのグループ化が容易となる。

3. 外部ハザードのリスク評価

2. で選定された外部ハザードに対して、そのリスクを評価するが、選定されたハザード全てに対して、PRA に代表される詳細な定量的リスク評価が必要とはならない。実施基準では、発生頻度、施設に対する影響、および事故シナリオの観点で以下に示すいずれかの手法を用いることとしている。

- (1) ハザード発生頻度分析もしくは影響度分析によるリスク判断
- (2) 裕度評価
- (3) 決定論的な CDF 評価
- (4) PRA 等の詳細なリスク評価

なお実施基準では原子力発電所を対象としているため、(3)において CDF (炉心損傷頻度, Core Damage Frequency) 評価となっているが、これは個々の原子力施設において放射性物質の外部への放出に関するリスク指標に置き換えるものとする。

(1)～(3)において、対象とするリスクが無視できないと判断された場合、(4)で示される PRA 等を用いたリスク評価が必要となる。言い換えれば、実現可能な適切な対処によりリスクに対する十分な裕度が達成できるものについては、詳細なリスク評価は不要となる。

PRA の活用を含めた合理的なリスクの判断(うまくリスクを使うこと)のためには、関連するステークホルダー間で、上記(1)～(3)と(4)との判断基準に関する合意形成を行うことが重要となる。また、外部ハザードは不確かさが大きいことを考慮し、運用実績や最新知見を踏まえた定期的な判断基準の見直しと、判断基準が見直された際の既存施設の対処の考え方の整備が必要となる。

Ⅲ. 外部ハザードの評価例(火山降灰)

以下では、外部ハザードの評価例として、火山に伴う降灰について示す。火山に伴う降灰事象では、軽水炉においては補助系(非常用発電機や冷却系としての空気フィルタ等)の機能喪失が、ナトリウム冷却高速炉においては最終除熱源(空気)の損失が発生する。降灰事象では、降灰の濃度と継続時間がリスク評価上重要となる。降灰ハザード評価では、火山の発生頻度については地質学的調査をもとに、降灰時の濃度と継続時間については数値シミュレーションを援用している。

降灰のシミュレーションには Tephra2⁴⁾を用いた。降灰に影響を及ぼす入力値としては、噴出量、噴煙柱高度、平均粒径ならびに粒径分布があり、これらをパラメータとした感度解析を行い、地質調査からの推定と比較することで、現象を再現する 6 条件を選定した⁵⁾。図 1 に降灰量の比較例を、図 2 に 6 条件での条件付き降灰量の超過確率の評価結果、ならびにその平均(降灰モデル値)を示す。

(出典：原子力機構，平成 25 年度文科省事業，P. 3. 2. 2-31)

図1 Tephra2を用いた降灰評価⁵⁾
(ラインが地質調査結果からの推定)

(出典：原子力機構，平成 26 年度文科省事業，P. 3. 2. 2-22)

図2 入力パラメータの不確かさ⁶⁾

(出典：原子力機構，平成 26 年度文科省事業，P. 3. 2. 2-22)

図3 季節による風向きの不確かさ⁶⁾

降灰は、上空の風向きによっても変化する。このため、1年間の気象データをもとに、プラント位置での降灰量の変化を図3の通り計算し、それらの平均を求め⁶⁾、噴火の発生頻度(地質学的知見より推定、 2.1×10^{-4} /年)を乗じることでハザードを求めている。

IV. 外部ハザードに対する対処

外部ハザードのリスクを評価する目的は、原子力施設の安全性をより確実に把握し向上させることである。リスクを安全性向上にうまく活用するためには、リスク評価から得られた知見を具体的な対処として施設に反映することとともに、対処を実行した結果をフィードバックするプロセスを確立する必要がある。

図4に、リスクマネジメントのプロセス(ISO31000:2018)⁷⁾を踏まえた外部ハザードに対する対処について示す。プロセスの基本構造としては、「0. 目指すべき目標」、「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」および「5. 新知見収集・分析」のステップとなっている。

このプロセスを効果的に実施するためには、リスク情報を活用した統合的な意思決定(IRIDM; Integrated Risk-Informed Decision Making)のプロセスが適用できる。2. で得たリスク情報を用いて3. において対処を選ぶ際に、リスク評価結果に加え、対処実施に必要な費用、効果、工期、社会の意見などを考慮して決める、というプロセスが該当する。また個々のステップにて問題が発生した場合、例えば複数のリスク解析手法から一つを選ぶなどの場合にも、IRIDM プロセスを適切なエレメントを選択して用いることが可能と考えられる。

V. おわりに

本稿では、原子力施設の安全性確保の観点からリスクとして取り扱われる外部ハザードの選定や用いられる評価の考え方について概説した。また外部ハザード評価の例として、火山降灰ハザードの評価について説明するとともに、得られたリスク評価を活用した安全確保に向けた対処の考え方も併せて考察した。

本来、外部ハザードには、セキュリティとしての「意図的な不法行為」も含まれており、公の場での議論は難しい側面はあるものの、安全とセキュリティの情報共有は今後の課題として挙げられる。

また現状においては、原因共有事象や随伴事象の観点としての複合ハザードについては考慮されているものの、考慮すべき複合(重畳)の考え方についても継続した議論が重要と考えられる。

－ 参考資料 －

- 1) 日本工業規格，JIS8051: 2015 (ISO/IEC Guide51: 2014)，2015.
- 2) 日本原子力学会，日本原子力学会標準 外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014，AESJ-SC-RK008: 2014, 2014.

図4 外部ハザードへの対応のプロセス

- 3) IAEA, Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standard SSG-3, 2010.
- 4) Bonadonna, C. and Houghton, B. F. Total grain-size distribution and volume of tephra-fall deposits, Bull. Volcanol., 67, 441-456, 2005.
- 5) 日本原子力研究開発機構, 平成 25 年度文部科学省原子力システム研究開発事業「外部ハザードに対する崩壊熱除去機能のマージン評価手法の開発」平成 26 年 3 月.
- 6) 日本原子力研究開発機構, 平成 26 年度文部科学省原子力システム研究開発事業「外部ハザードに対する崩壊熱除去機能のマージン評価手法の開発」平成 27 年 3 月.
- 7) 日本工業規格, JIS Q3100: 2019 (ISO 31000: 2018), 2019.

著者紹介

高田 孝 (たかた・たかし)
 東京大学
 日本原子力研究開発機構
 (専門分野/関心分野) 原子力安全工学,
 リスク評価, 熱流動, 数値シミュレーション

山野秀将 (やまの・ひでまさ)
 日本原子力研究開発機構
 (専門分野/関心分野) 原子力安全工学,
 リスク評価, シビアアクシデント評価

成宮祥介 (なるみや・よしゆき)
 原子力安全推進協会
 (専門分野/関心分野) リスク評価,
 リスクマネジメント, 規格標準