

標準委員会セッション

外部ハザードにかかる学協会規格の整備をどう進めるか？

Systematical Application of Standards for Safety Enhancement against External Hazards

(3) 外部ハザードに係る国内外の対応状況

(3) Status of Response to External Hazards on the Existing Nuclear Power Plants

*小林 哲朗¹, 高田 孝², 成宮 祥介³¹電源開発, ²日本原子力研究開発機構, ³原子力安全推進協会

1. はじめに

標準委員会原子力安全検討会「外的事象安全分科会」では、外部ハザード（自然ハザード及び故意によらない人為ハザード）に対する原子力の安全確保・向上のための基本的な考え方を検討している。本稿では、分科会で調査した国内外の規制要件等の現状を紹介し、それらの分析により得られた課題等について述べる。

2. 国内の原子力発電所の現状

2-1. 規制要件等

国内の規制においては、福島第一原子力発電所事故（以下、「福島第一事故」という。）の教訓を踏まえた平成24年6月の原子炉等規制法改正において、外部ハザードに関しては、共通要因故障をもたらす自然現象等に係る想定的大幅な見直しとそれに対する防護対策の強化が図られた。表1に、実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下「設置許可基準規則」という。）の外部ハザードに関係する条文を示す。設置許可基準規則を含む規制基準等における外部ハザードの主な扱いは以下のとおり。

- ・設計基準対象施設、重大事故等対処施設とも自然ハザードの評価・防護対象としている。
- ・重大事故等対処施設のうち特定重大事故等対処施設には、基準地震動を一定程度超える地震や津波に対して頑健性を高めることを求めている。また、兼用キャスクについては、安全機能を損なうかどうかを設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる告示に定められた地震力等も選択できる。
- ・設計基準である基準地震動や基準津波を策定する際には、確率論的なハザード評価に基づく年超過確率に対して基準地震動や基準津波がどのようなレベルにあるのかを参照することが求められており、基準地震動であれば概ね年超過確率 10^{-4} ~ 10^{-5} であることが規制基準適合性審査にて確認されている。
- ・設計基準を超える外部ハザードの具体的な想定に係る規定はないが、設計想定を大幅に超える大規模な自然災害又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる発電用原子炉施設の大規模損壊が発生した場合における保全活動を行う体制の整備に関する措置を求めている。

なお、上述の許認可の他に、原子炉等規制法で定められた安全性向上評価制度があり、事業者が、定期的に発電用原子炉施設の安全性について自ら評価し、原子力規制委員会への届出、公表することとされている。外部ハザードについては、外部事象に係る評価（最新知見に基づく設計基準見直し要否等の評価）、外部事象に係るPRA及び安全裕度評価を行うこととされている。ただし、この評価結果に対する基準等の規定はない。

2-2. 原子力発電所における対応

規制基準適合性審査で示された主な対応例[1]は以下のとおり。

(a) 地震

不確かさを考慮して、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から基準地震動を策定し、耐震設計方針を

定めるとともに、安全機能が損なわれないことを確認している。なお、基準地震動による地震力に組み合わせる自然現象による荷重は積雪荷重、風荷重等としている。

(b) 津波

地震、地すべり、斜面崩壊その他の要因及びこれらの組合せによるものを複数選定し、不確かさを考慮して基準津波を策定し、耐津波設計方針を定めるとともに、防潮堤等の対策を加えた上で安全機能が損なわれないことを確認している。

(c) 地震・津波以外の自然現象及び人為事象

国内外の基準や文献等から自然現象を収集し、海外の選定基準を考慮の上、発電所の敷地及び敷地周辺の自然環境を基に、安全施設の安全機能に影響を及ぼし得る自然現象を抽出している。同様に、安全施設の安全機能に影響を及ぼし得る人為事象（故意によるものを除く）を抽出している。また、抽出した自然現象及び人為事象に対して、必要に応じて飛来物防護ネット（竜巻）、フィルタ（降下火砕物）、防火帯（外部火災）等の対策を加えた上で安全機能が損なわれないことを確認している。なお、自然現象の組合せについては、事象の包絡性、影響の大小及び同時発生の観点から選定している。

また、事業者は、規制基準適合に加えて、安全性向上に向けた自主的な取組みの一環として外部事象に対する評価・対策を行っている。以下に安全性向上評価届出に示された主な対応例[2]を示す。

PRA では、地震及び津波の出力運転時の炉心損傷頻度 CDF、格納容器機能喪失頻度 CFF 及び 137Cs 放出量が 100TBq を超える事故の発生頻度を評価し、設備機能や運転管理の役割を定量的に把握して安全性向上に繋げている。なお、PRA 手法の成熟状況に応じ、地震に伴う津波（重畳事象）等、段階的に拡張することとしている。また、安全裕度評価 では、地震、津波、これらの重畳や随伴事象、号機間相互影響、その他外部事象（自然現象）に対して評価し、設計上の想定を超える外部事象に対する発電所の設備の潜在的脆弱性又は頑健性を把握して安全性向上に繋げている。なお、その他外部事象については、風速等のハザード値が算出できる事象は、年超過確率を踏まえ、その事象が発生した場合の影響を半定量的に評価し、それ以外は、極端に確率が低い事象を除き、敷地の立地や地理的条件により発生しても影響が起りえない事象、影響が他の事象に包絡される事象、予想される影響が運用で対処できる事象に分類し定性的に評価している。

表 1 外部ハザードに関連する設置許可基準規則の条文

設置許可基準規則	対象施設	外部ハザード等（故意によるものを除く）
第 3 条 設計基準対象施設の地盤 第 38 条 重大事故等対処施設の地盤	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	地震
第 4 条 地震による損傷の防止 第 39 条 地震による損傷の防止	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	地震
第 5 条 津波による損傷の防止 第 40 条 津波による損傷の防止	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	津波
第 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止	設計基準対象施設	自然現象：洪水、風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等 人為による事象：飛来物(航空機落下等)、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等
第 43 条 重大事故等対処設備 第 1 項*1 第 1 号[環境条件及び荷重条件] 第 2 項*2 第 3 号[設計基準事故対処設備との多様性] 第 3 項*3 第 3 号[複数の接続口] 第 5 号[保管場所] 第 6 号[アクセスルートの確保] 第 7 号[設計基準事故対処設備及び常設重大事故等対処設備との多様性]	重大事故等対処施設	*1：温度、放射線、荷重その他の使用条件 *2：共通要因 *3：共通要因、地震、津波その他の自然現象 注) *1～3により、台風、竜巻、積雪等の自然現象に対する考慮を実質的に要求[3]

3. 海外の原子力発電所の現状

3-1. 国際機関等

(1) 国際原子力機関 (IAEA)

IAEA の安全基準で外部ハザードに関するものには、SSR-2/1 (原子力発電所の安全性；設計)、NS-G-1.5 (設計における地震を除く外部事象)、NS-G-1.6 (耐震設計と耐震性能保証)、NS-G-3.1 (立地評価における外部人為事象)、NS-R-3 (原子力施設の立地評価)、SSG-9 (立地評価における地震ハザード)、SSG-18 (サイト評価における気象及び水理ハザード) 及び SSG-21 (立地評価における火山ハザード) 等がある。

(2) 欧州原子力規制者会議 (WENRA)

WENRA の安全参照レベル (Safety Reference Level) では、外的ハザードについて、より具体的な要件が示されており、それに関連するものとして Issue F (設計拡張) と Issue T (自然ハザード) がある。

Issue F では、深層防護の一部としての設計拡張条件 (DEC) を、IAEA SSR-2/1 と同義でシビアアクシデント条件も含まれ、決定論的及び確率論的な評価の組合せの他、工学的判断に基づき選定するとしている。

Issue T は、福島第一事故を踏まえ 2014 年 9 月に追加されたもので、その構成は以下のとおり。

T1 目標

T2 自然ハザードの特定

T3 サイト個別自然ハザードのスクリーニング及び評価

T4 設計基準事象の定義

T5 設計基準事象に対する防護

T6 設計基準を超えるより過酷な事象の考慮

自然ハザードの評価 (T3) については、実施可能であればハザードの重篤度 (例：強度、継続時間) と発生頻度の関係を得ること、ある程度起こり得る事象の最大のハザード強度 (Maximum Credible Hazard) を決定するとされており、設計基準事象の発生頻度 (T4) については、 10^{-4} /年 未満を共通目標値としている。また、設計基準を超えるより過酷な事象 (T6) の選定及び解析については、①設計基準をわずかに超えただけでシビアアクシデントに至らないかの確認、②著しい炉心損傷や早期又は大規模放出の可能性に対する寄与の把握、③プラント脆弱性の特定並びにロバストネス改善及び防護コンセプト向上の可能性の特定、が目的とされている。また、Issue T のガイダンス文書では、73 個の自然ハザードが例示されており、定期安全レビューPSR でのサイト個別評価も求めている。

(3) ASAMPSA_E プロジェクト

福島第一事故を踏まえ、PRA の適用範囲の拡張・高度化による安全性向上への寄与を目的に、欧州の諸機関を中心に実施された ASAMPSA_E (Advanced Safety Assessment Methodologies: extend PSA) プロジェクトでは、外部ハザードリストとして、73 個の自然ハザード (前述の Issue T と同じ) 及び 24 個の人為ハザードが例示され、それらの相互相関が示されている。

3-2. 欧米各国

欧州では、WENRA 安全参照レベルを規制にまだ取り込んでいない国もあるものの、その考え方が主流となっている。以下に、いくつかの国を例に外的ハザードの設計基準事象に係る規定を中心に紹介する。

(1) フィンランド

福島第一事故以前からフルスコープ PRA に積極的に取り組んでいるなど、従来から安全性向上に最も注力している国のひとつである。

放射線原子力安全庁 (STUK) の安全指針 YVL の B.7 (内部及び外部ハザードに対する対策) では、外部ハザードの設計基準事象としてその発生確率の中央値の信頼度レベルで 10^{-5} /年未満、地震を除く外部事象の DEC として、その発生確率を $10^{-5} \sim 10^{-7}$ /年 (地震では 10^{-7} /年か最大表面加速度 0.2g の大きい方) と規定している (WENRA 安全参照レベルでは DEC の発生確率を定めていない)。

また、YVL の A.7 (PSA とリスク管理) に、新設炉の場合、CDF (10^{-5} /年未満) 及び早期大規模放出

頻度 LERF (5×10^{-7} /年未満) の設計目標が規定され、設計変更の判断基準になっている。

なお、政府主導の SAFIR プロジェクトでは、気候変動や地球温暖化について、温度、風速、雨等への影響（特にバルト海の水面上昇の影響が大きい）、PRA 手法の高度化等が研究されている。

(2) 英国

原子力規制局 (ONR) の安全評価原則 SAP では、施設の安全性に重大な影響を及ぼさない又は発生頻度が 10^{-7} /年未満の外部ハザードは除外できるとしており、外部ハザードの設計基準事象は、自然ハザードで 1 万年に 1 回以上、人為ハザードで 10 万年に 1 回以上の超過確率を有するものと規定している。

また、技術評価ガイド TAG の NS-TAST-GD-013 (外部ハザード) には、外部ハザードが例示されるとともに、自然ハザードに対する設計クライテリアとして事象発生頻度と実効線量の関係が示されている。

(3) 米国

原子力規制委員会 (NRC) の 10CFR Part 50 附則 A の一般設計指針 GDC-2 の「自然現象に対する防護の設計基準」には、地震、竜巻、ハリケーン、洪水等の対象となる自然現象やその影響の組合せ、安全機能の重要度の考慮等を、GDC-4 の「耐環境及び動的影響の設計基準」には、外部ミサイルの影響の考慮を規定している。

設計基準事象としては、NUREG-0800 (標準審査指針) に、潜在的被ばくが規制要件 (非居住区域境界で 2 時間に受ける実効線量当量が 25rem を超えない等) を超える事象の発生確率が 10^{-7} /年を超える事象、又は発生確率に対する定性的評価と合理的な確率を組み合わせた事象の発生確率が 10^{-6} /年を超える事象と規定している。また、Reg. Guide 等には、地震、洪水、竜巻、ハリケーン、航空機落下の発生確率と影響を踏まえた規制要件が個別に定められている。

なお、NRC では、耐震に係るプラントの潜在的な改造判断に、地震 CDF (10^{-5} /年以下) 及び地震 LERF (10^{-6} /年以下) を活用しており、また、福島第一事故後に導入された FLEX 設備の耐震改修判断には高信頼度低損傷確率値 (HCLPF: High Confidence of Low Probability of Failure) を活用している。

4. 現状の分析

国内の現状として、外部ハザードのリストアップと評価対象とする外部ハザードの選定、設計想定を大幅に超える大規模な自然災害による大規模損壊への対策等については、海外と比較して遜色はないものの、外部ハザードの設計基準事象の年超過確率、CDF、LERF 等の設計目標が明確にされておらず、安全性向上評価制度が米国 SAR や欧州 PSR よりも低い位置付けとなっていることもあり、海外に比べてリスク活用は限定的なものとなっている。

また、設計基準を超える外部事象について、そのハザードレベルの考え方とその適切な評価手法、気候変動や地球温暖化がハザードレベルや原子力発電所に与える影響も検討すべき課題と考えられる。

その他、データの不確実性や将来の気候変動の観点で結果的に地域性を考慮していない竜巻の最大風速 (藤田スケール 3 の最大値相当) にて防護対策を行う考え方、設置許可基準規則等に示されているものの実質的に活用しづらい特定重大事故等対処施設の免震・制震構造や兼用キャスクの告示に定められた地震力等を課題とする意見もある。

5. おわりに

以上、本稿では外的事象安全分科会にて国内外の規制要件等について調査・分析した主な結果を述べた。これらを踏まえ、今後、外部ハザードに対する原子力の安全確保・向上のための基本的な考え方を整理し、学協会規格への反映、研究・技術課題の抽出等に繋げることとしたい。

参考文献

- [1] 原子力規制委員会「関西電力株式会社高浜発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書 (3 号及び 4 号発電用原子炉施設の変更) に関する審査書 (核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第 43 条の 3 の 6 第 1 項第 2 号 (技術的能力に係るもの)、第 3 号及び第 4 号関連)」(平成 27 年 2 月 12 日)

- [2] 安全性向上評価届出書 川内原子力発電所第1号機(平成29年7月6日、平成30年3月30日一部補正、平成31年1月7日)
- [3] 原子力規制委員会「実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について」(平成30年12月19日改訂)

*Tetsuro Kobayashi¹, Takashi Takata² and Yoshiyuki Narumiya³

¹Electric Power Development Co., Ltd. (J-POWER), ²Japan Atomic Energy Agency, ³Japan Nuclear Safety Institute