

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？

(3) 外部ハザードに係る国内外の対応状況

原子力学会標準委員会原子力安全検討会
外的事象安全分科会 幹事
(電源開発株式会社)

小林 哲朗

1.はじめに

- 自然ハザード及び人為ハザード（故意によらないもの）について、国内外の原子力発電所に対する規制要件等の現状を紹介し、それらから得られた気付きや課題等を述べる。

2.国内の現状

2.1 国内の規制要件等

福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた原子炉等規制法改正(2012)



- **規制基準**：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防護対策の強化
 - 将来活動する可能性のある活断層、敷地の地盤・地下構造、津波、火山、竜巻、森林火災等についての想定と防護対策
 - 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大規模損壊が発生した場合の保全活動を行う体制の整備に関する措置
- **安全性向上評価**：事業者の自主的かつ継続的な安全性向上の取組みを促す制度（定期的な評価、原子力規制委員会への届出、公表）
 - 外部ハザードについて、①外部事象に係る評価(最新知見よる設計想定見直しの要否)、②PRA、③安全裕度評価

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		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（DB）	地震
第38条	重大事故等対処施設の地盤（SA）	
第4条	地震による損傷の防止（DB）	地震
第39条	地震による損傷の防止（SA）	
第5条	津波による損傷の防止（DB）	津波
第40条	津波による損傷の防止（SA）	
第6条	外部からの衝撃による損傷の防止（DB）	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、森林火災等 人為事象：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、電磁的障害等
第43条	重大事故等対処設備（SA）	第1項：温度、放射線、荷重その他の使用条件を考慮 第2項：共通要因 第3項：共通要因、地震、津波その他の自然現象 ☞ 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
第1項	第1号[環境条件及び荷重条件]	
第2項	第3号[設計基準事故対処設備との多様性]	
第3項	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]	

DB: 設計基準対象施設 SA: 重大事故等対処施設

2.2 国内原子力発電所における対応

〈規制基準への適合〉

● 地震

- 基準地震動（最新の科学的・技術的知見、地震学・地震工学的知見、不確かさ）
- 耐震設計・評価（耐震重要度分類、荷重の組合せ、許容限界等）
- 敷地の地盤（断層の活動性等）

● 津波

- 基準津波（発生要因、不確かさ）
- 耐津波設計・評価 ☞ 対策例：津波監視カメラ, 潮位計, 防潮堤, 防潮ゲート

概ね年超過確率 $10^{-4} \sim 10^{-5}$

● その他の自然現象及び人為事象

- 事象の抽出（国内外の基準・文献等、海外の選定基準、敷地・敷地周辺の環境）
- 防護設計・評価（荷重の組合せ、発生頻度等）

☞ 対策例：車両固縛/飛来物防護ネット[竜巻], フィルタ[降下火砕物, ばい煙], 防火帯[森林火災], 排水設備[降水], 避雷設備[落雷], 海水ストレーナ[クラゲ等], 取水口カーテンウォール/オイルフェンス[船舶事故], 電磁波侵入防止対策[電磁的障害]

● 大規模損壊

- 設計想定を大幅に超える具体的な外部ハザードレベルの想定はしないが、不特定多数の機器の機能喪失、大規模な火災等の発生、有効性評価において想定する事故シーケンスグループに追加しなかった地震・津波特有の事故シーケンス等を考慮。
☞ 対策例：対応手順、体制(対応要員の分散待機), 資機材(可搬設備の分散保管)

〈事業者の自主的取組み〉

● P R A

- 地震及び津波の炉心損傷頻度CDF、格納容器機能喪失頻度CFF、 ^{37}Cs 放出量100TBqを超える事故の発生頻度を評価。☞ 設備機能や運転管理の役割を定量的に把握
- 今後、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。

● 安全裕度評価

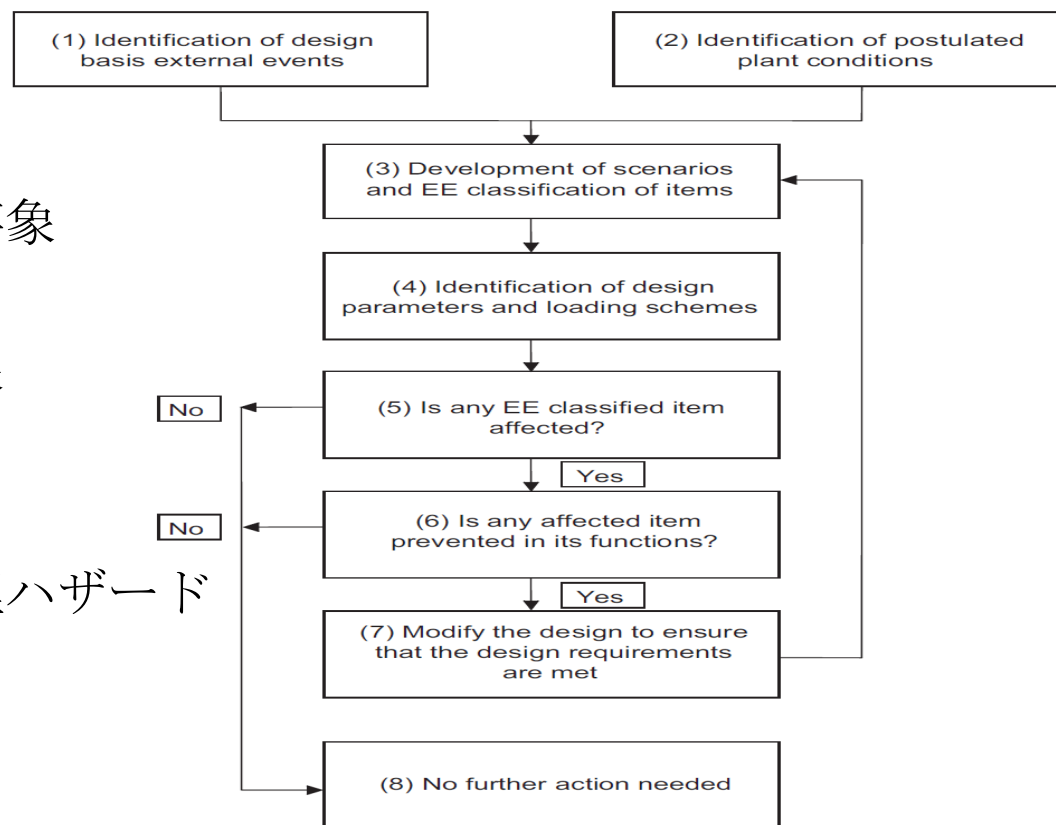
- 地震、津波、これらの重畳や随件事象、号機間相互影響、その他自然現象に対して評価。☞ 設計想定を超える外部事象に対する設備の潜在的な脆弱性・頑健性を把握

3. 海外の現状

(1) 国際原子力機関(IAEA)

- 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
- SSG-21 立地評価における火山ハザード

▼設計・評価全体の流れ(NS-G-1.5)



(2) 欧州原子力規制者会議(WENRA)

安全参照レベルのissue T (自然ハザード) → 福島第一事故後の2014年9月に追加

- 自然ハザードの評価

実施可能なら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て、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

- 設計基準事象の発生頻度

共通目標値は 10^{-4} /年未満

- 設計基準を超えるより過酷な事象の選定及び解析の目的

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、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

- 自然ハザード73個の例示、定期安全レビューによるサイト個別評価の要求

(3) ASAMPSA_E プロジェクト

- ASAMPSA_E*¹は、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。
- その一つとして、原子力施設の脅威となりうる外部ハザードの包括的なリスト（自然ハザード73個*²、人為ハザード24個）
- 相互に関連性があるハザードの組合せ（随伴事象、原因共有事象、排他的事象）を示す相互相関表により個別ハザード間の関連性を特定。

*1 Advanced Safety Assessment Methodologies: extend PSA

*2 WENRA issue Tで例示されたものと同じ

(4) フィンランド

- 福島第一事故以前からフルスコープPRAに積極的に取り組むなど、安全性向上に特に注力している国のひとつ。
- 放射線原子力安全庁STUKの安全指針YVL
 - 設計基準事象の発生確率
中央値の信頼度レベルで 10^{-5} /年
 - DECの発生確率
 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ /年（地震は 10^{-7} /年と最大表面加速度0.2Gの大きい方）
 - 設計目標（新設炉）
炉心損傷頻度CDFを 10^{-5} /年未満、早期大規模放出頻度LERFを 5×10^{-7} /年未満

(5) 英国

- 原子力規制局ONRの安全評価原則SAP
 - 除外できる外部ハザード
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
 - 設計基準事象の超過確率
自然ハザードは 10^{-4} /年以上、人為ハザードは 10^{-5} /年以上
- 技術評価ガイドTAG
 - 外部ハザードの例示、設計クライテリア(事象発生頻度と実効線量の関係)

(6) 米 国

- 10CFR Part 50附則A
 - 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、外部ミサイルの影響の考慮等
- NUREG-0800
 - 設計基準事象

潜在的被ばくが規制要件を超える事象の発生確率が 10^{-7} /年、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
- Reg. Guide等
 - 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
 - プラントの耐震改造判断には地震CDF (10^{-5} /年以下) と地震LERF (10^{-6} /年以下)、FLEX設備の耐震改修判断には高信頼度低損傷確率値HCLPFを活用

(7) 気候変動の考慮

- **I A E A (NS-G-3.1)**
 - 気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) の評価結果を紹介。
- **W E N R A (安全参照レベル issue T)**
 - 自然ハザードの特定では、極端な気象条件の変化として気候変動を例示。
- **フィンランド (SAFIRプロジェクト)**
 - 政府主導のプロジェクトで、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手法の高度化等を研究。
- **英 国 (SAP ELO.4、技術評価ガイド)**
 - 異常気象/気候変動の結果としての洪水を例示。
 - 定期安全レビューの際に気象変動の影響を考慮。

4.国内の現状の分析

- 規制基準への適合に関して、外部ハザードのリストアップと評価対象の選定、基準地震動等のレベルが概ね年超過確率 10^{-4} ~ 10^{-5} 、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。
- 事業者の自主的取組みとして、設計想定を超える事象に対する脆弱性や頑健性を把握するためのPRAや安全裕度評価に取り組んでいる。
- ただし、年超過確率、CDF、LERF等の設計目標の明確な基準もなく、海外に比べリスク活用は限定的。
- その他検討を要する事項
 - 設計基準を超える外部事象に対して、そのハザードレベルの考え方と適切な評価手法、気候変動がハザードレベルや原子力発電所に与える影響。
 - 竜巻を一律のF3最大値相当で防護対策を行う考え方、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地震力等の基準規則等の活用など。

5.おわりに

- 自然ハザード及び人為ハザード（故意によらないもの）について、国内外の原子力発電所に対する規制要件等の現状を調査・分析した。
- 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資することとしたい。