

標準委員会 リスク専門部会・核燃料施設リスク評価分科会セッション

核燃料施設に対するリスク評価に関する実施基準の策定に向けて
A New Standard of Systematic Procedures for Risk Assessment of Nuclear Fuel
Facilities

(1) リスクの特徴とリスク評価の課題

(1) Characteristics of Risk and Issues to be solved for Risk Assessment

(2) これまでのリスク評価の実績

(2) Experience of Risk Assessment

(3) 実施基準の概要と特徴

(3) Outline and Features of Standard

(4) 地震動に起因する事故の概略的なリスク評価

(4) Simplified Method of Risk Assessment for Ground Motion-induced Incident

(5) 総合討論

(5) Open Discussion

吉田 一雄¹, 武部 和巳², 眞部 文聡³, 高橋 容之⁴, 村松 健⁵

¹原子力機構, ²日本原燃, ³三菱重工業, ⁴鹿島建設, ⁵東京都市大

1. はじめに

我が国では、リスク情報の活用に向けて核燃料施設を対象に、確率論的なリスク評価手法および基礎的データの整備が、個々の施設の安全上の特徴を反映しつつ積極的に進められている。しかし、発電用原子炉施設と異なり、施設数が少なく同種の施設でも設備設計が異なるため、施設のリスクレベルに応じた適切かつ合理的な評価を実施するための体系的なリスク評価基準が未整備の状態にあった。また、施設の特徴を考慮した地震などの外的事象のリスク評価の基準も検討すべき重要な課題である。リスク評価から得られるリスク情報は、検査を重点的に実施する設備の同定、施設の脆弱性の把握、安全性向上のための対策の策定、実施が義務付けられている安全性向上評価の中でのこれら対策の有効性の確認などでの事業者が実施する安全確保での活用が想定される。

そこで、リスク専門部会では核燃料施設リスク評価分科会を設置し、核燃料施設のリスクレベルに応じた体系的なリスク評価基準（案）（核燃料施設に対するリスク評価に関する実施基準：201*）を策定した。

2. リスクの特徴とリスク評価の課題

核燃料施設で想定されるハザードの特徴として、a) 施設全域に放射性物質が種々の形態（溶液、粉末、ペレット、燃料棒など）で存在、b) 多様な事故の形態（火災、爆発、臨界、沸騰など）、c) 事故時の施設外へ移行する放射性物質の量だけでなく種類、化学形態により被ばく線量に変化、d) 施設の種類と規模、同一施設でも事故の種類によっては危険源と事故シナリオに大きな差異があることなどを挙げる事ができる。この特徴を踏まえ、リスク評価での重要事項として、a) 事故事象の発生に至る可能性のあるハザードの抜け

Kazuo Yoshida¹, Kazumi Takebe², Fumitoshi Manabe³, Yoshiyuki Takahashi⁴, Ken Muramatsu⁵

¹JAEA, ²JNFL, ³MHI, ⁴Kajima Corp., ⁵Tokyo City Univ.

落ちのない同定, b) 発電用原子炉施設のレベル1PRAのような発生頻度評価だけでは不十分, c) 事故を途中で区切って評価ができない, d) リスク上重要な事故事象の効率的選別, e) リスクレベルに応じた評価の詳細度の選択, などに留意する必要がある。

ハザードの特徴

- 施設全域に放射性物質が種々の形態(溶液, 粉末, ペレット, 燃料棒など)で存在。
- 多様な事故の形態(火災, 爆発, 臨界, 沸騰など)。
- 事故時の施設外へ移行する放射性物質の量だけでなく種類, 化学形態により被ばく線量に変化。
- 施設の種類と規模, 同一施設でも事故の種類で危険源と事故シナリオに大きな差異。
- UF₆は化学的影響を及ぼす。
- 一つの事故が異なる事故を誘発。

リスク評価の課題

- a. 事故候補の抽出における網羅性の確保。
- b. 放射性物質放出に至る事故の発生頻度と響評価の組合せによるリスク評価。
- c. 放射性物質放出までを対象とする事故シーケンス。
- d. リスク上重要な事故の効率的な選別。
- e. リスクレベルに応じた評価の詳細度の選択(グレーデッドアプローチ)。
- f. UF₆と水との化学反応に伴う派生物の影響の考慮。
- g. 起因事象の従属性の考慮が重要。

図1 核燃料施設のハザードの特徴とリスク評価における課題

3. これまでのリスク評価の実績

核燃料施設のリスク評価については、海外ではその評価手法の整備、米国原子力規制委員会によるリスク評価の実施の規制要求がある。我が国でも、旧原子力安全基盤機構、日本原子力研究開発機構、日本原燃などを中心に、リスク情報の活用に向けて、個々の施設の安全上の特徴を反映しつつ積極的に、リスク評価手法及び基礎的データを整備するとともに、これらを用いたリスク評価が実施されている。

我が国における核燃料サイクルを形成する発電用原子炉施設以外の核燃料施設には建設中及び竣工前の施設を含め、ウラン濃縮施設、ウラン燃料加工施設(再転換工程を含む施設がある)、MOX燃料加工施設及び再処理施設があり、次に示すような具体的なリスク評価が実施されている。

(a) ウラン濃縮施設、ウラン燃料加工施設

旧原子力安全基盤機構が、核燃料施設を対象として米国原子力規制委員会が提唱するISA(総合安全解析, Integrated Safety Analysis)を参考に、ウラン燃料加工施設のISA実施手順書を整備し、これに基づき事業者が内的事象のリスク評価を実施(平成16年～23年)。

(b) MOX燃料加工施設

日本原子力研究開発機構において、リスク評価手法を整備し、モデル施設を対象に内的事象のリスク評価を実施(平成13年～19年)。

(c) 再処理施設

日本原燃では、基本設計段階から設計基準事象選定の妥当性確認などのため、代表的な事象を対象に内的事象のPRAを実施。詳細設計段階以降においてもPRAの更新及び施設全体のリスクの概観を把握する観点から、六ヶ所再処理工場で想定される広範な事象を対象に簡易的なリスク評価を実施。(平成3年～)

旧原子力安全基盤機構でも、各種事象のPRA手法などを整備(平成15年～24年)。

4. 実施基準の概要と特徴

この実施基準は、核燃料施設での内的事象及び外的事象のうち地震を対象とし、施設外への放射性物質などの放出に至る事故の発生頻度評価及び施設外へ放出される放射性物質などのソースタームの評価(公

衆の個人の被ばく線量の評価及び化学的影響の評価を含む)を実施する際の要件及びそれを満たす具体的方法を実施基準として規定している。本実施基準では、それに基づく評価結果が核燃料施設の設計から運転に至る様々な段階においてなされるリスクマネジメントのための活動の参考として広く活用されることを意図して策定している。内的事象に係るリスク評価は、これまでに実施した実績がある既存の評価手順を参考にしつつ、基本的には関連する発電用原子炉施設の各種実施基準を援用するが、グレーデッドアプローチ (Graded approach) の考え方を基本とし、施設のリスクレベル、同一の施設で想定される個々の事象のリスクレベルに応じた詳細さの異なる評価手法を選択できるよう考慮した。

評価対象とする核燃料施設で想定される事故の多様性を考慮して、概略的及び詳細な二つの手法の一つ又は両方を用いてリスク評価を実施することを定めている。

実施基準で規定する評価の流れを図2に示す。○で示す項目は、概ね各箇条に対応しており、それらの間には、次の実施項目の入力となる情報を示している。

ハザード分析では、評価対象施設に内在するハザードを内的事象及び地震について体系的かつ可能な範囲で網羅的に分析、抽出し、以降の評価対象とすべき事故シナリオを同定する。概略的なリスク評価では、ハザード分析で同定した事故シナリオを基に、おおよそのリスクレベルを確認できる程度の概略的な手法によりその発生頻度と影響を評価し、これらを組み合わせた施設全体のリスクプロファイルを把握するとともに、個々の事故シーケンスを比較して相対的に重要な事故シーケンスを選別する。選別した事故シーケンスに対しては、発電用原子炉施設のPRAと同程度の詳細さで発生頻度と影響を評価するとともに、重要度解析、不確かさ解析及び感度解析を実施してリスク低減のための施策に活用できるリスク情報を得る。地震動に起因する事故の概略的なリスク評価については、本実施基準を策定するに当たり、関連する最新研究を参考にしつつ新たに整備した。

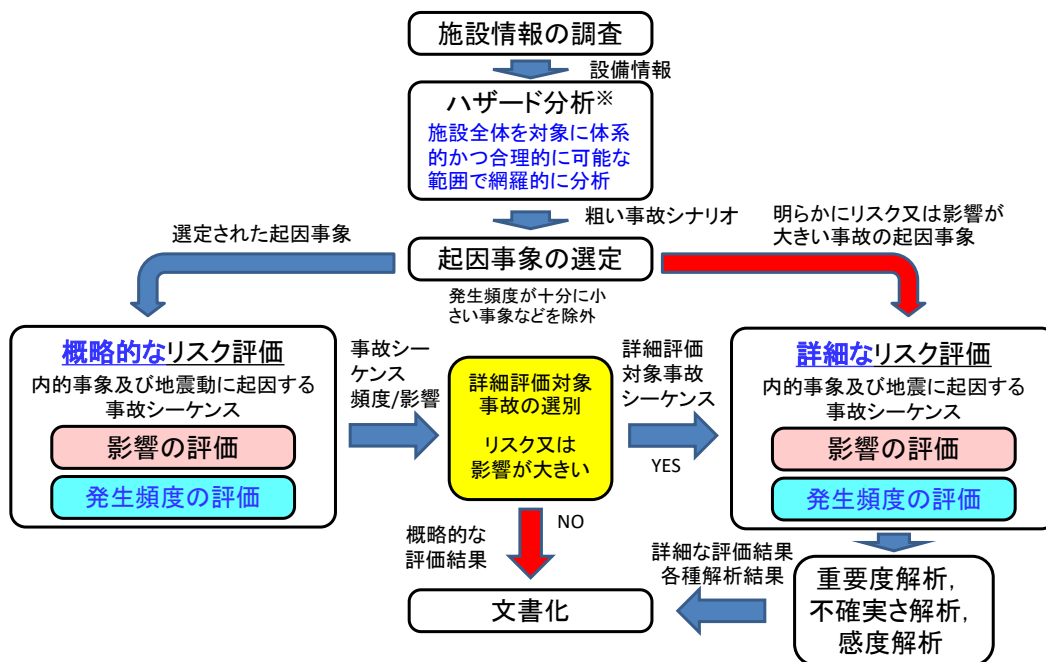


図2 実施基準を構成する主要な実施項目

※) リスク評価の分野での地震ハザード評価、津波ハザード評価などの外的原因事象の発生頻度とそれが施設にもたらす影響の強さの関係を評価することとは異なる。

5. 地震動に起因する事故の概略的なリスク評価

潜在的な事故の影響が小さい施設に対しては、合理的にリスク評価の手法も対応の詳細度でよいとする

グレーデッドアプローチの考え方にに基づき、地震 PRA 標準の手法よりも概略的な手法を許容することとした。具体的には、米国において Kennedy が提唱している簡易ハイブリッド法⁽¹⁾ (Simplified Hybrid Method: リスク評価結果が得られる確率論的手法の利点と決定論的手法による計算手順の単純化を兼ね備えた中間的な手法) を基礎とし、我が国の耐震設計の現状を踏まえた手法とした。

地震リスク評価を 5 つのステップに分けて整理すると、概略的なリスク評価手法では、評価の各ステップで表 1 に示すような単純化した手法を採用している。

①地震動ハザード評価では、発電用原子炉施設の地震 PRA と概ね同じ手法を用いるが、認識論的な不確実さの考慮については概略的な手順となっている。②建屋・機器フラジリティ評価では、フラジリティ評価に替えて、設計耐力、設計応答、地震動強さなどに基づいて HCLPF (High Confidence of Low Probability of Failure、低い損傷確率であることが高い信頼度で推定できる加速度) 耐力を算定する。③事故シーケンス解析は通常地震 PRA と概ね同じ手法を用いる。④事故シーケンスのフラジリティ評価では、事故シーケンス解析結果を基に、Max/Min 法 (Min/Max 法) を用いて、個々の建屋・機器の HCLPF 耐力から事故シーケンスの HCLPF 耐力 \bar{A}_{HCLPF} を算定する。論理和では HCLPF 耐力の最小値を取り、論理積では HCLPF 耐力の最大値を取る。

⑤事故シーケンスの発生頻度評価では、次の近似的な式を用いた手順に従って、発生頻度を評価する。

- (1) 事故シーケンスのフラジリティが対数正規分布であると仮定し、対数標準偏差 β を設定して、損傷確率 10% に対応する耐力 $A_{10\%}$ を $A_{10\%} = \bar{A}_{HCLPF} \exp(1.04\beta)$ の関係より求める。
- (2) 地震動ハザード曲線から、損傷確率 10% に対応する耐力 $A_{10\%}$ に対応する年超過頻度 $H_{10\%}$ を求める。
- (3) $F_F = \alpha H_{10\%}$ の関係より、発生頻度を評価する。

表 1 詳細なリスク評価と概略的なリスク評価の評価手順の比較

		詳細なリスク評価 (地震 PRA)		概略的なリスク評価 (簡易ハイブリッド法)
評価 手順	①	地震動ハザード	①	地震動ハザード
	②	建屋・機器フラジリティ	②	<u>建屋・機器の HCLPF 耐力</u>
	③	事故シーケンス解析	③	事故シーケンス解析
	④	事故シーケンスのフラジリティ	④	<u>事故シーケンスの HCLPF 耐力</u>
	⑤	事故シーケンスの発生頻度 (ハザード×フラジリティの積分)	⑤	<u>事故シーケンスの発生頻度 (左欄の積分の近似式を使用)</u>

6. おわりに

発電用原子炉施設の PRA 実施基準が制定され、かつ、外的事象については評価実績のある地震を優先して、今回の実施基準の策定にあたっては内的事象および地震を適用範囲とした。地震以外の外的事象は、実施基準の必要性、発電用原子炉施設の実施基準の適用可能性などの検討を計画的に進める予定である。また、リスク専門部会では既存の実施基準の性能規定化に向けた検討が進められている。本実施基準の性能規定化については、発電用原子炉施設の PRA 実施基準への反映状況を踏まえつつ、それを先行事例として適時に着手する予定である。

参考文献

- (1) Kennedy, R. P., "Overview of Methods for Seismic PRA and Margin Analysis Including Recent Innovations", Proceedings of the OECD-NEA Workshop on Seismic Risk, Aug. 10-12, 1999.