

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」分科会活動報告
“Review Committee on Decommissioning of the Fukushima Daiichi NPS”
Activity reports of subcommittees

(3) 廃炉リスク評価分科会

(3) Risk analysis and evaluation subcommittee

*高田 孝¹, 竹田 敏², 山本 章夫³¹東京大学, ²大阪大学, ³名古屋大学

1. はじめに

リスク情報は、廃炉作業を安全かつ円滑に進めるための意思決定に利用することが期待されており、またそれが可能であると考えられる。そのためには、廃炉作業時のリスクだけでなく、現状におけるリスクと比較するためのリスク評価手法が求められる。そこで廃炉リスク評価分科会では、現在計画されている燃料デブリ取り出し作業に関し、上記リスク情報の活用目的に適った定量的リスク評価手法の確立に資することを目的として、2018～2019年にわたり、リスク分析手法への要求事項を取りまとめるとともに、具体的な分析手法および今後の課題に関する検討を行った[1]。

2. 分析手法の検討

リスク評価では、リスクトリプレットと呼ばれる「シナリオ」、「発生頻度」及び「その影響」の各要素が重要となる。リスク分析手法への要求事項としては、廃炉における各工程におけるプラント状況、作業及び工法の特徴や違いを踏まえた事象進展シナリオの抽出及びシナリオ間の差異を特定できること、また、事象進展シナリオの定量化において、上記の特徴や違いが頻度や影響に与える要因を特定し、その特徴や違いを頻度又は影響の定量化に反映できることとした。また、リスクトリプレットに対応する、シナリオ抽出、頻度の定量化並びに影響の定量化について検討結果の概要を以下に示す。

2-1. シナリオ抽出

シナリオの抽出では、頻度や影響が小さいと想定されるものであっても最初から除外せず、できる限り網羅性を目指すことが重要である。そのためには、体系的な手法の活用や評価の前提条件の提示によって抽出過程の明確化や論理性を示す必要がある。

体系的な分析手法としては、Master Logic Diagram (MLD)、Hazard and Operability Study (HAZOP) 及び Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)等がある。MLDは放射性物質が放出されるための要因分析を実施することにより、事象進展シナリオを抽出するトップダウン的な手法であり、HAZOPやFMEAは系統設備の機能喪失やプラントパラメータの変化から、リスク源が環境へ放出される事象進展シナリオを抽出していくボトムアップ的な手法であり、これらを組み合わせた手法が有効となることが確認された。

図1に例を示す。まず、MLDを用いて図1を構築し、主要なシナリオを推定する。HAZOP等では、個々の機器や機能におけるパラメータの変化に伴う影響を網羅的に検討するため、事故に至らないものも含めシナリオを広範囲に捉えることができる。MLDから構築したシナリオにHAZOP等からのシナリオの充足性を見ることで、シナリオの見落とし等を防ぐことが可能となる。

2-2. 頻度の定量化

頻度の定量化に関しては、上記で抽出されたシナリオをもとにイベントツリーを作成し、その分岐確率を評価する必要がある。分科会で検討されたイベントツリーの一例として、地震を誘因事象とし、起因事象「窒素封入システムの機能喪失」により水素燃焼が発生するシナリオを検討したものを図2に示す。

廃炉における各分岐確率の評価では、運転中の発電所と同様にフォールトツリーで評価出来るものもあるが、フォールトツリーによる詳細化が困難で、工学的判断により決定する必要もある。分科会での議論において、評価する物理現象（例えば水素燃焼）の物理モデルと工学的判断を組み合わせることが有効であるこ

とが議論された。

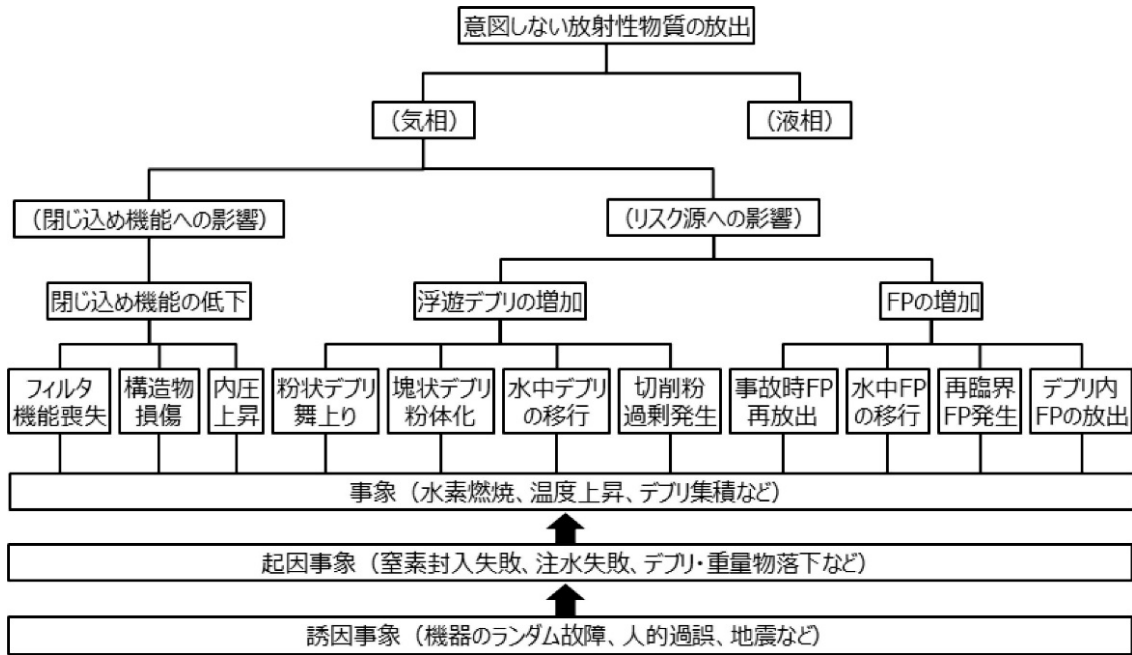


図 1 放射性物質の気相放出に至るシナリオの例

地震	構造損傷	電源喪失	窒素封入システム	水素燃焼発生	正圧化	ガス管理システム
発生頻度	あり (LPFに影響、水素がPCV外へ拡散するため水素燃焼は発生しないと想定)					
	なし	なし	成功			成功
			失敗			失敗 (LPFに影響)
				なし		成功
				あり (DARに影響)		失敗 (LPFに影響)
					なし	成功
					あり (LPFに影響)	失敗 (LPFに影響)
						成功
		あり	成功			失敗 (電源喪失)
			失敗			失敗 (電源喪失)
				なし		失敗 (電源喪失)
				あり (DARに影響)		失敗 (電源喪失)
					なし	失敗 (電源喪失)
					あり (LPFに影響)	失敗 (電源喪失)

↑ ハザード曲線 ↑ PCVフランジリティ ↑ 電源喪失FT (常用・非常用・復旧手段含めたFTを設定)
 ↑ 窒素封入失敗FT (常用・非常用・復旧手段含めたFTを設定、専用の非常用DGを想定)
 ↑ 水素燃焼モデル ※DAR = DR・ARF・RF (リスク源への影響を評価)
 ↑ 内圧上昇計算 ↑ ガス管理失敗FT (常用・非常用・復旧手段含めたFTを設定、専用の非常用DGなし)

図 2 窒素封入システムの機能喪失イベントツリー (誘因事象：地震)

2-3. 影響の定量化

廃炉作業における影響の定量化は、基本的に放射性物質放出量の定量化がポイントとなる。廃炉作業では不確かさが大きいので、以下の五因子法による概算評価が基本となる。

$$【放射性物質放出量】 = [MAR] \times [DR] \times [ARF] \times [RF] \times [LPF] \quad (1)$$

ここで、MAR (Material At Risk)は事象によって影響を受ける可能性のある放射性物質の総量、DR (Damage Ratio)は総量の内影響を受ける割合、ARF (Airborne Release Fraction)はそのうち雰囲気中に放出する割合、RF (Respirable Fraction)は肺への吸入性微粒子の割合、LPF (Leak Path Factor)は環境中に漏えいする割合である。

分科会ではこれらの因子の設定の考え方、設定方法について検討された。MARについては、リスク源の位

置、性状を踏まえて設定する必要があるが、不確かさが大きく、感度評価が重要となる。DR、ARF 及び RF については、核燃料サイクル施設における事故事例等、関連する知見の参照や、関連する物理モデルからの評価（相関関係の検討も含む）が有効となる。LPF については、本来、放射性物質の放出経路や流路面積・流量等の情報を基に評価されるが、廃炉作業ではプラント内部の詳細な放出可能経路に不確かさが大きく、工学的判断による評価が主となることが考えられる。このため、感度解析等による設定値の影響評価が重要となる。

3. 今後の課題

分科会での議論として、以下の点が今後の課題として摘出された。

現状のリスク評価の実施：「現状のリスクと作業時のリスクの比較」は、廃炉リスク評価の主たる目的の一つであり、その工程におけるリスクも重要であるが、現状でのリスクからの変化も重要となる。従って、ベースラインとして 現状のリスクの評価結果が必要となる。

廃炉作業に対するリスク評価：本検討では、リスク指標として廃炉作業者の被ばくを対象としていない。ただし、廃炉作業を進めていく上では、「公衆及び環境に対するリスク」及び「廃炉作業に対するリスク」の両者を踏まえた意思決定が必要になると考えられる。両者のリスクを組み合わせたリスク情報を用いた意思決定については今後の重要な課題である。

経年劣化に対する評価：福島第一原子力発電所における廃炉作業は、極めて長期間の工程が考えられる。そのため、長期的なリスク評価の実施にあたっては、コンクリートや燃料デブリ等の経年劣化を考慮する必要がある。これらは、構造物のフラジリティや燃料デブリの性状変化を通じてリスクに反映することが可能であり、こられの最新知見を踏まえたリスク分析が重要となる。

燃料デブリ等リスク源の状態：燃料デブリや放射性物質等のリスク源の分布や性状は、五因子法の MAR に関わる情報であり、リスク評価を実施する上でベースとなる重要な情報である。現状では、これらについて得られている情報は限られているため、様々な仮定の下にリスク評価を実施することになる。今後、内部調査や分析結果等を踏まえて情報を入手し、リスク評価に反映していくことが重要である。また、不明確な情報の中でリスク分析を進めるための手法や新知見の反映方法も検討課題である。

また、リスク評価全般に関する課題として、分科会においてもリスク分析手法に対する要求事項をまず検討したが、リスク評価の活用（説明性としての情報公開も含む）では、前提条件の明確化が重要となる。

加えて、本検討では原子力安全に直接関わるリスクを対象としたが、廃炉プロジェクト全体を考えた時のリスクは多種多様であり、リスク情報を活用した統合的意思決定（Integrated Risk Informed Decision Making, IRIDM）[2]が必須となるが、廃炉プロジェクトにおける具体的な考え方（方法論）については未だ確立されておらず、今後の重要な課題である。

4. おわりに

廃炉リスク評価分科会では、定量的リスク評価手法の確立に資することを目的として、リスク分析手法への要求事項を取りまとめるとともに、具体的な分析手法および今後の課題に関する検討を行った。

リスク評価は、最適評価に不確かさを含めた評価が基本となる。最適評価を実施する上では、常に最新の知見を反映することが重要であり、今後の内部調査や分析結果等を踏まえて入手した情報の適切なリスク評価への反映が重要となる。

一方、リスク評価の利点として、不確かさに対する感度解析が可能であり、感度解析によって、不確かな情報のうちリスクへの影響が大きい情報を特定することが可能となる。このような知見は、今後の内部調査や分析を計画する上で有益な情報を提供するものと考えられる。

なお、本講演資料は、セッション開始前に以下 URL に掲載予定である。

原子力学会 廃炉委 HP https://www.aesj.net/aesj_fukushima/fukushima-decommissioning

参考文献

[1] 廃炉リスク評価分科会 報告書, https://www.aesj.net/aesj_fukushima/fukushima-decommissioning (2019).

[2] 日本原子力学会標準, AESJ-SC-S012:2019 (2019).

*Takashi Takata¹, Satoshi Takeda² and Akio Yamamoto³

¹Univ. of Tokyo, ²Osaka Univ., ³Nagoya Univ.