

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」活動報告

Periodical Report from Review Committee on Decommissioning of the Fukushima Daiichi NPS

(2) 廃炉作業のリスク評価手法の検討

燃料デブリの現状及びその取り出しにおける定量的リスク評価手法の検討

(2) Study on risk evaluation methods for decommissioning of Fukushima Daiichi

*山本 章夫¹, 高田 孝², 竹田 敏³¹名古屋大学, ²日本原子力研究開発機構, ³大阪大学

1. はじめに

廃炉リスク評価分科会では、原子力損害賠償・廃炉等支援機構がこれまでに開発したリスク評価手法のレビューを中心に、廃炉におけるリスク評価の目的を再確認し、福島第一原子力発電所の現状を踏まえて、合理的に実現可能なリスク分析手法について検討した。本発表では、2019年10月に公開した廃炉リスク評価分科会の報告書^[1]をもとに、廃炉作業のリスク評価手法について検討した内容を報告する。

2. リスク評価の考え方

福島第一原子力発電所において燃料デブリを取り出す作業は、現在の準安定状態に手を加え、格納容器に開口部を設けて燃料デブリにアクセスし、準安定状態に変化をもたらす行為である。作業に伴って放射線リスクが増加する可能性があることから、燃料デブリの取り出し作業にかかるリスク評価手法を対象とする。

燃料デブリの取り出しにおいては、原子力安全に関するリスクだけでなく、一般の労働安全に関するリスクや関連する費用が増加するリスク等が存在する。いずれのリスクも廃炉作業の意思決定には重要であるが、燃料デブリの取り出し作業は高い放射能を持つ燃料デブリの状態や位置を変化させる行為であることから、原子力安全に関するリスクを対象とする。

リスクはシナリオ、頻度及び影響の組み合わせ（リスクトリプレット）により表現できることをふまえ、シナリオごとに頻度と影響を評価する必要がある。頻度については、原子力施設で一般的に用いられる単位期間あたりの確率だけでなく、作業達成までの確率の時間積分値も評価する。また、影響については、公衆および環境への影響を代表させるものとして、放射性物質の閉じ込め施設からの放出量と、敷地境界外放出による周辺への影響（敷地境界線量）を評価する。なお、プラント状況には不明確な点が多いことから、まずは全体としてシナリオを把握し、頻度や影響を考慮して絞り込みを行ったうえで、必要に応じて精緻化することとする。

3. リスク分析手法

リスク分析として、まずはハザード分析を実施して、事象進展シナリオを体系的に抽出する。また、概略的なリスク評価を実施して、抽出された事象進展シナリオを、詳細なリスク評価が必要なものとそうでないものにスクリーニングする。その後、必要と判断された事象進展シナリオについて、詳細なリスク評価を実施する。なお、燃料デブリの取り出し作業については得られる情報が限られていることから、現時点で精緻なモデル化を行うことは困難であり、米国で核燃料施設に用いられている総合安全解析（ISA）手法^[2]のような簡易的な手法を参考にすることも現実的である。本章ではハザード分析、スクリーニング、定量化について示す。

3-1. ハザード分析

事象進展シナリオを抽出するにあたり、分析対象を明確にする必要がある。具体的には、環境に放出され

る可能性があるリスク源（放射性物質の性状・分布）を特定し、プラント状況（閉じ込め機能や作業状況）を明確にして、その放出経路や誘因事象を特定することが必要となる。

事象進展シナリオの体系的な分析手法としては、MLD、HAZOP 及び 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る。ボトムアップ手法とトップダウン手法の組み合わせにより、論理的で見落としの少ない事象進展シナリオの抽出が可能になる(図1)。

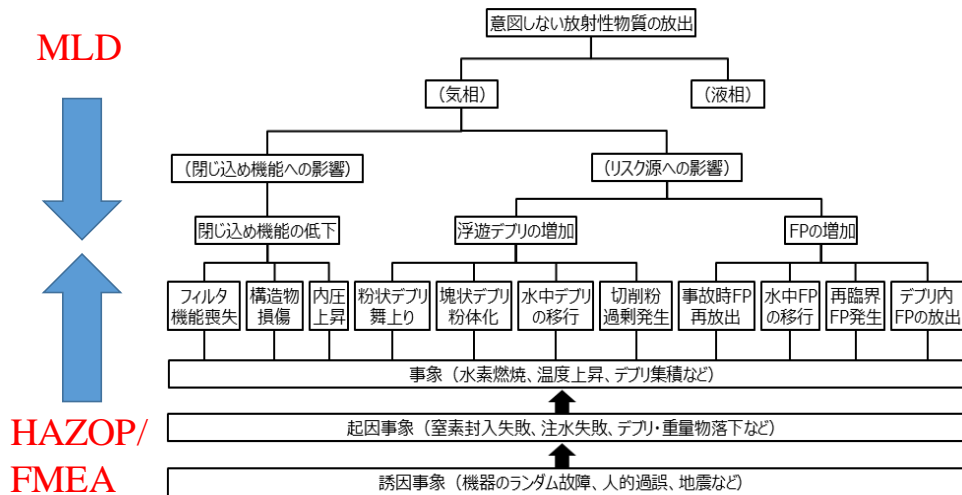


図1 ハザード分析を整理した気相放出に至るシナリオの例

3-2. スクリーニング

スクリーニングを実施するにあたり、評価者のバイアスを抑制するための仕組みを設けるため、事象進展シナリオの頻度と影響を定性評価するための重要度評価指標を設定してその過程を明示することが必要となる。重要度評価指標は、例えば、事象進展シナリオの発生頻度の判定基準（「非常に起こり難い」、「起こり難い」及び「起こり得る」等）と影響の判定基準（「影響はない」、「影響はほとんどない」及び「影響があり得る」等）を設定した上で、頻度及び影響の判定の組み合わせに対して重要度の「高」、「中」及び「低」を設定する方法等が考えられる。

3-3. 定量化

頻度については、事象進展シナリオを起因事象ごとに ET で整理し、ET のヘディングに設定する各事象の条件付発生確率を FT モデルや工学的判断等により設定することで、一連の発生確率が評価できる。機器の失敗確率や物理・化学現象の発生確率については、公開のデータベースを活用して与えることや、簡易なモデルと工学的判断を組み合わせる評価することが考えられる。

影響については、五因子法^[3]により概算評価が可能である。五因子法では放射性物質の総量 (MAR)、事象の影響を受ける割合 (DR)、事象の影響を受けたもののうち雰囲気中に放出され浮遊する割合 (ARF)、肺への吸入性微粒子の割合 (RF)、環境中に漏えいする割合 (LPF) を乗じて放射性物質の放出量を求める (式(1))。

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

4. リスク分析手法の適用性検討

リスク分析を実施するにあたり、現状と各作業工程において、リスクに影響し得るプラント状況、工法及び作業の違いを特定する必要があるため、本検討ではこの違いを例示した。また、例示した違いについて、リスク分析手法を用いて評価する方法を示した。

プラントの状況の違いの例として、PCV の補修や開口部の設置により静的閉じ込め機能に変化がある場合、

気相部及び液相部に浮遊する放射性物質の漏えいのしやすさが異なることが挙げられる。この影響はLPFの違いによって表すことができる。工法の違いの例として、燃料デブリへのアクセス方法の違いにより、取り出し装置等の重量や設置高さや、重量物又は燃料デブリや構造物の切削片が落下したときの燃料デブリの粉体化等への影響が異なることが挙げられる。これらの影響は支持構造物の耐震性や、DR、ARF及びRFの違いによって表すことができる。作業の違いの例として、燃料デブリの取り出し時においては燃料デブリ切削装置の設置や当該設備を用いた人的作業が新たに発生することが挙げられる。当該作業に伴う人的過誤の発生を起点とした事象進展シナリオは、HAZOPによる分析において系統設備や作業に伴うパラメータを適切に選ぶことによって抽出できる。

5. まとめと今後の課題

福島第一原子力発電所の廃炉における重要なリスク源である燃料デブリ及びその取り出しについて、リスク評価手法を検討した。今後は、検討した分析手法を活用しつつ福島第一原子力発電所の定量的リスク評価を実施し、安全かつ速やかな廃炉に資するためのリスク情報を提供していくことが望まれる。また、廃炉作業員に対するリスクの評価、経年劣化、廃炉作業で得られる知見の反映が必要となると考えられる。

参考文献

- [1] 一般社団法人 日本原子力学会 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会 廃炉リスク評価分科会 (2019) 『廃炉リスク評価分科会 報告書 (燃料デブリの現状及びその取り出しにおける定量的リスク評価手法の検討)』
(URL: http://www.aesj.net/activity/activity_for_fukushima/public)
- [2] USNRC, “Integrated Safety Analysis Guidance document”, NUREG-1513, (2001)
- [3] USNRC, “Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”, NUREG/CR-6410,(1998)

*Akio Yamamoto¹, Takashi Takata², and Satoshi Takeda³

¹Nagoya Univ., ²JAEA, ³Osaka Univ.