

日本原子力学会シンポジウム 東京電力福島第一原子力発電所の廃炉
第5回 廃炉10年目の課題と展望
2021年6月12日 Zoomウェビナー



廃炉における 安全マネジメント

高田 孝

廃炉リスク評価分科会
(東京大学工学系研究科
リスク俯瞰工学講座)



発表内容

- はじめに（中長期ロードマップでの原則）
- 廃炉における安全の目標
- 廃炉作業におけるリスク
 - ✓ 想定されるリスク、考え方、分類、特徴
- 安全マネジメントの基本的考え方
 - ✓ リスク情報を活用した統合的意思決定プロセス
 - ✓ 深層防護概念の効果的な適用
- 安全マネジメントの効果的な適用と例
- まとめ

中長期ロードマップ*での原則



* 東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ

- 【原則1】 周辺地域で住民帰還と復興の取組が徐々に進む中、「復興と廃炉の両立」の下に、**地域の皆様、周辺環境及び作業員に対する安全確保を最優先に、現場状況・合理性・迅速性・確実性を考慮した計画的なリスク低減**を実現していく。
- 【原則2】 中長期の取組を実施していくに当たっては、透明性を確保し、積極的かつ能動的な情報発信や丁寧な**双方向のコミュニケーション**をより**一層行う**ことで、地域及び国民の皆様の御理解をいただきながら進めていく。
- 【原則3】 現場の状況や廃炉・汚染水対策の進捗、研究開発成果等を踏まえ、中長期ロードマップの**継続的な見直し**を行う。
- 【原則4】 中長期ロードマップに示す目標達成に向け、東京電力や機構、研究開発機関、政府をはじめとした関係機関は、各々の役割に基づきつつ、更なる連携を図った取組を進めていく。政府は、前面に立ち、安全かつ着実に廃止措置等に向けた中長期の取組を進めていく。

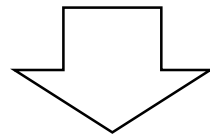
出典：東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ，2019年12月27日

上記原則を踏まえた安全に対するマネジメントが重要 3



廃炉における安全の目標

一般産業における安全に加え、廃炉作業中に発生する**放射性物質によるリスク**から、人（作業従事者も含む）と環境を守る



廃炉作業中に発生するリスクを把握（想定）し、効果的なマネジメントを行う必要

リスクの定義：何らかの危険な影響，好ましくない影響が潜在すること

出典：原子力学会標準委員会技術レポート“リスク評価の理解のために”



廃炉作業におけるリスク

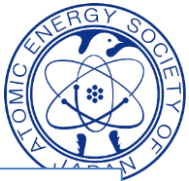
想定されるリスク

- ✓ 原子力安全に関するリスク
(放射性物質によるリスク)
 - ✓ 放射性物質や放射線に起因しない一般の労働安全に関するリスク
 - ✓ 廃炉作業に要する費用増加に関するリスク
 - ✓ 廃炉作業に要する期間増大に関するリスク
 - ✓ 廃炉作業で発生する放射性廃棄物増加に関するリスク
 - ✓ 廃炉作業に関わる人材確保に関するリスク
 - ✓ 風評被害などの社会的要因に関するリスク
- 等

出典：日本原子力学会 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会, 2018.12

「福島第一原子力発電所の廃炉作業に関わる管理目標の考え方について」 5

(原子力安全に関する) リスクの考え方



3. リスクの考え方

① 放射性物質によるリスク

- リスクは、影響度と起こりやすさで決まる。

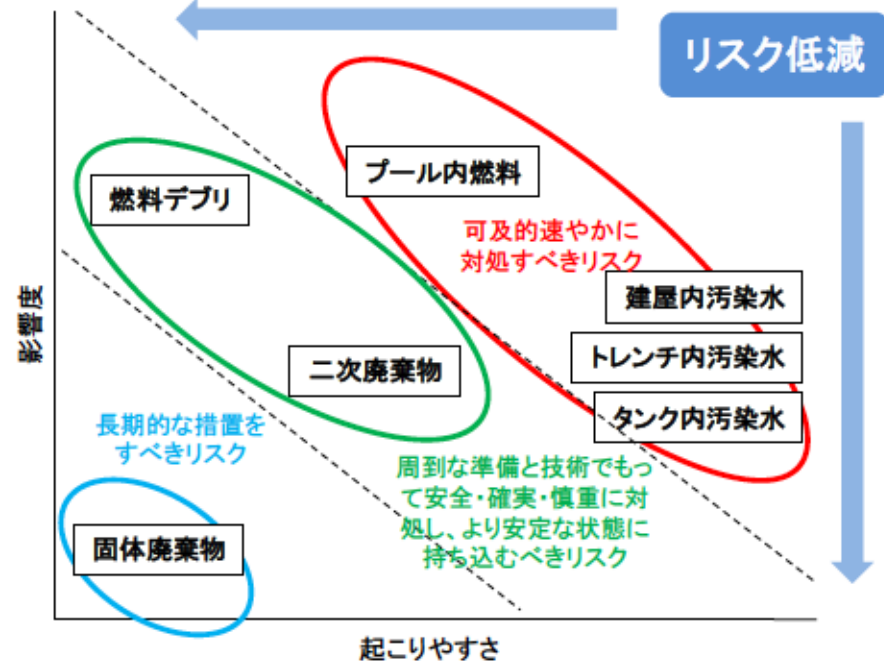
② 影響度

- 閉じ込め機能を失うと、放射線影響(被ばく、環境汚染)が生じる。
- 影響度は、放射エネルギーと性状(固体・液体・気体)で決まる。

③ 起こりやすさ

- 閉じ込め機能を失わせる要因として、自然現象、故障、誤操作等がある。
- 上記要因が発生したときの施設の脆弱性を考慮する必要がある。
- 起こりやすさは、要因発生の可能性と施設の脆弱性で決まる。

④ 福島第一原子力発電所のリスク評価



⑤ リスク低減の進め方

- より安全・安定な施設への移動
→ 起こりやすさを低減
- 放射能の減衰や性状の変化
→ 影響度を低減

出典：原子力損害賠償・廃炉等支援機構，“東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2015”

福島第一原子力発電所におけるリスクの分類



2015年当時のリスク分類と同様であるが、廃炉作業が進み、現時点でのリスクの対処は次のように示されている

(1) 総体的に高リスクなもの

●汚染水

●水素爆発等の影響を受けた建屋内の使用済燃料プール内の燃料

⇒ 速やかな対処。ただし使用済プール内燃料は、リスク低減を考慮し安全・確実・慎重に対処

(2) 直ちにリスク発現はないが、拙速な対処のためにリスク増加となり得るもの

●燃料デブリ

⇒ 周到な準備の上で、経年劣化、放射能外部影響、作業員被ばく、風評被害に配慮して、安全・確実・慎重に対処

福島第一原子力発電所におけるリスクの分類



(3) 将来をみてもリスク増加はないだろうが、廃炉工程で適切に対処すべきもの

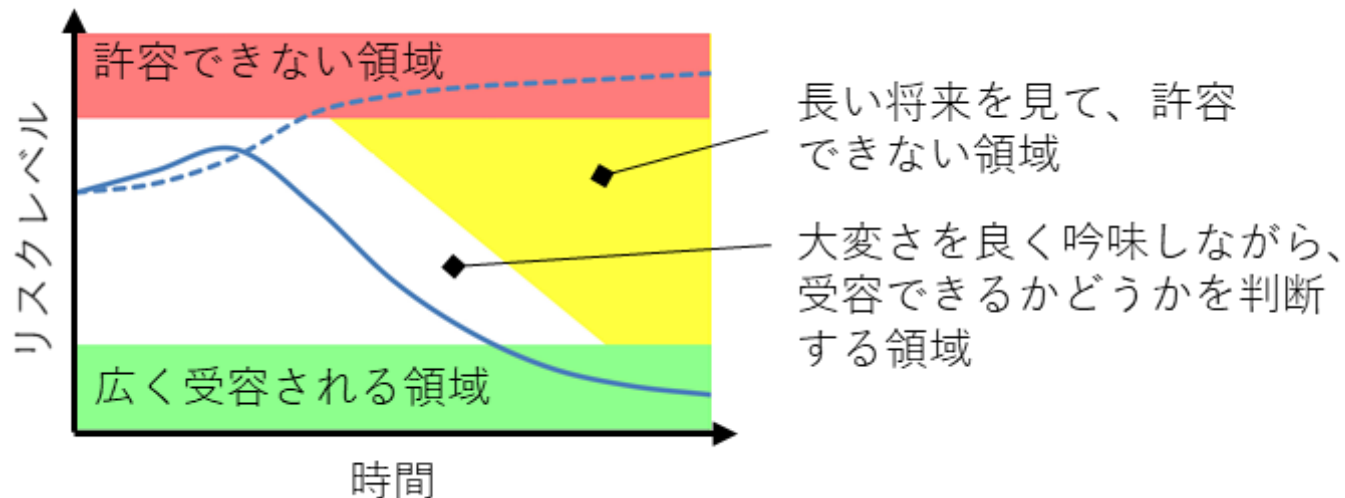
●固体廃棄物

⇒ 経年劣化、放射性物質飛散・漏洩、作業員被ばく、風評被害に配慮して、長期的に対処

加えてこれらのリスクの考慮には、地震、津波等のリスクに対しても、新知見適用で対処

廃炉作業におけるリスクの特徴

- 稼働中発電所に比べると、多量の放射性物質が放出されるリスクは小さいが、少量でも漏えいした場合の社会へのインパクトが大きい
- 時間経過とともに経年化に伴うリスクが増大するため取り出し作業は必須であるが、取り出し作業時はリスクが一時的に増大する



リスクレベルの時間変化（点線：取出無、実線：取出有）

安全マネジメントの基本的考え方



□ リスク情報をはじめとして経験や社会的影響も含めた様々な側面を**統合的に判断**した意思決定

➤ 対策の実施状況をみて、**必要あれば見直す**ことを躊躇せず、「**より良い**」結果につながる判断を**積み重ねる**ことが重要

➤ それぞれのステップで関係者やステークホルダーとの**コミュニケーション**が重要

⇒ リスク情報を活用した**統合的意思決定プロセスの適用**

□ 深層防護の概念

➤ 不確かさの低減のために多種多様な対策を準備することが重要



⇒ **発生防止と影響緩和の効果的な組み合わせの適用**

リスク情報を活用した統合的意思決定 プロセス（流れ）



実施した結果
どうなったか？
安全性の向上は？
（自らへの問いかけ
を含める）



定性的リスク情報
事象進展シナリオ等
定量的リスク情報
発生確率、影響度
最新の科学的知見
これまでの経験
社会的要求
経済的・社会的影響
等

深層防護概念の効果的な適用



□ 深層防護概念

安全に対する脅威から人を守ることを目的として、ある目標をもったいくつかの防護レベルを用意して、あるレベルの防護に失敗したら次のレベルで防護する

- ✓ 「あるレベル」に対する「発生防止」と発生後の「影響緩和」の組み合わせで達成
(設備での対応だけでなく、運用的な対応も含む)

□ 効果的な適用とは？

- ✓ レベル内（発生防止と影響緩和）、レベル間のバランスが重要
 - バランスとは50:50という意味ではなく、100:0等の一極化を廃し、それぞれのレベルでの得手不得手を考慮し効率的、合理的に割り振ること

安全マネジメントの効果的な適用



- 福島第一原子力発電所の廃炉作業には、対応に使う設備や障壁などが完全ではなく不確かさが大きい。
- 現場の状況を把握する方策、作業実施に制限（設備設定場所、環境）がある。
- 事故後長期間が経過し崩壊熱が小さくなっているので事故対策には時間余裕がある。
- このため、次のことを基本に置くことが必要
 - A) 社会への影響（放射線、原子力事業への不信、不安）を意識し廃炉作業の計画・実行を進める。←問題の設定
 - B) トラブルの防止策およびそれが失敗あるいは完全に実施できなかった場合の緩和策を、想定を広げて多様に準備する。←選択肢の選定、深層防護概念の適用
 - C) これらの対策は、対象とするトラブルのリスクに応じた品質で、迅速性*のある、柔軟な対策を行うこと。
←深層防護概念の適用

適用例

□プール内燃料取り出し

- 号機により建屋、オペフロ、プール内の状態が異なるので、運転炉のような系統的な定量リスク評価は極めて困難。
- 放射性物質放散防止を目標として、号機に応じた工程（ガレキ撤去、カバー設置、燃料状態観測、燃料取り出し、移送、保管）を適宜組合せる。
- すべての作業にリスク項目を洗い出すための共通の視点を設定。

- 自然現象
 - 地震
 - 津波
 - 竜巻, 強風
- 作業に伴う事故
 - クレーン倒壊
 - 火災
- 腐食による影響
 - ライナー
 - 配管
- 長期電源喪失
- 規制からの懸念表明
- 地元からの反対
- 研究開発の遅延

- 廃炉ロードマップ信頼失墜
- リソース不足
 - 作業員の不足
 - 予算の不足
- 建設工事のトラブル
- 燃料落下（誤操作, 故障）
- 燃料の破損検出
- キャスクの落下, 損傷
- キャスクの衝突
- 取出し不能
- 広報対応不十分
- 作業員の被曝
- セキュリティ（テロ等）

他

適用例

□プール内燃料取り出し

- それぞれの作業を遂行する「障害」となるものを前頁の「リスク項目」とし、それらの影響と頻度を算定する。頻度については実績がない場合やモデル化が困難な場合があるので、厳密な数値でなく、多少を階層で表現したものでよい。

- ◆当初立てた作業計画を、遂行過程において見直すことに躊躇しない。

←リスク情報活用による統合的意思決定の適用

- プール内のガレキ、燃料破損、燃料の間隙、などの情報により燃料吊り上げの方法を変えて試みている。

- ◆ガレキ撤去において安全確実な吊り上げ方法を採用するが、落下させた場合、放射性物質飛散による作業員被ばくを抑えるため換気空調装置設定、作業員負傷を避けるため退避マニュアル整備、工程遅延を最小化のための予備吊り上げ金具、などの緩和対応策を準備。



まとめ

地域の皆様、周辺環境及び作業員に対する安全確保を最優先に、現場状況・合理性・迅速性・確実性を考慮したリスク低減を実践する必要がある

これを実行するための安全マネジメントには、

- ✓ リスク情報を含めた統合的な意思決定
- ✓ 実施内容に対するフィードバックを含めた継続的検討
- ✓ それぞれのステップでのコミュニケーション
- ⇒ リスク情報を活用した統合的意思決定プロセス
- ✓ バランスのとれた発生防止、影響緩和の対策
- ⇒ 深層防護概念の効果的な適用

が必要であり、このマネジメントを強固にする組織文化が重要となる



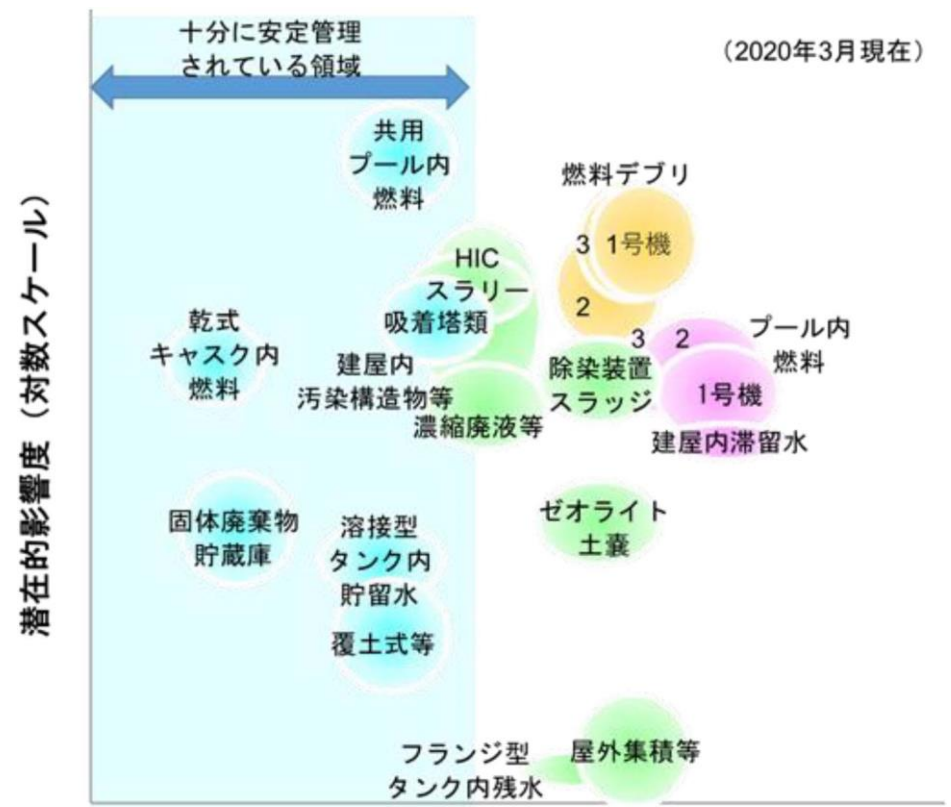
ご静聴、ありがとうございました。

リスクレベルの推移

- ✓ 放射能の減衰により潜在的影響度は低下（リスク減少）
- ✓ 十分な安全管理がなされていないものもある
- ✓ 廃炉では「潜在的影響度低減」と「管理重要度低減」が取り組まれている

⇒ 「管理重要度低減」には安全マネジメントの考え方が有効

潜在的影響度低減：
 インベントリ、崩壊熱の低下、
 移動しにくい形態への変化
 管理重要度低減：
 燃料の共用プールへの移動、
 がれきの貯蔵後収納



出典：原子力損害賠償・廃炉等支援機構，“東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2020”