

俯瞰的アプローチによる福島第一廃止措置の新たな工法検討

Systems thinking for Fukushima Dai-ichi Decommissioning

東京大学	鈴木俊一	Shunichi SUZUKI	Member
東京大学	田村雄介	Yusuke TAMURA	Non- Member
東京大学	岡本孝司	Koji OKAMOTO	Member

The mission of decommissioning of Fukushima Dai-ichi NPP is the long-term, complicated and difficult task. In this paper, technical strategies and expected technical challenges will be discussed for its accomplishment.

Keywords: Fukushima, Decommissioning, Concept

1. 緒言

福島第一原子力発電所廃炉の課題を克服するためには、数多くの視点から課題を捉える必要がある。将来が読めない不確実性の高い現象（社会）を完全に予測することは確かに困難である。但し、将来何が起こりそうかリスクを含めて俯瞰し、仮説をたてた上で、あらかじめ何らかの備えをしておくことはできるだろう。この場合、影響度合いが大きいと思われる不確実な事象を徹底的に洗い出し、モニタリングすることによって仮説を検証することが重要となる。

廃炉に本質的に必要な課題を見つけるには、従来の現状から考える意図的計画法と異なるエンドステート（最終状態）から考える仮説指向計画法も有効な手段である[1]。

将来の予測が困難な事故炉の廃止措置を俯瞰的視点で捉えるため、燃料デブリ取り出し、廃棄物管理、及び遠隔技術の3分野に分けてブレインストーミングを実施し、新たな廃炉に関する重要研究課題を抽出した。

ブレインストーミング実施にあたっては原子力専門家の他、化学プラント、再処理技術、掘削技術、粉塵技術などに関する学内外の専門家の意見を反映して実施した。

2. 課題抽出手法

2.1 実施手順

ブレインストーミングの実施手順を以下に示す。

- (1) 何故失敗したのか（仮想）を議論[2]
—時間軸を意識した危険ホール抽出

- (2) 成功するためにはどうすればよいか、既存概念に囚われないアイデアを思考展開図の作成より抽出[2]。
- (3) 外的リスクを踏まえての問題点・課題の議論
- (4) リスクを踏まえたアイデア改善案を抽出
- (5) 時間軸を意識した成功パスを構築
- (6) パス毎にリスクを評価

2.2 実施内容

現在までブレインストーミングで議論した項目（主として機能）を以下に示す。

- (1) 放射性物質の閉じ込め

①何故失敗したのか（仮想）、②放射性物質を閉じ込めるにはどうすべきか、③事故炉の深層防護とは何か

- (2) 燃料デブリ取り出し

①何故失敗したのか（仮想）、②燃料デブリを気中で取り出すにはどうすべきか、③MCCIを取り出すにはどうすべきか、廃炉における許容状態とは何か

- (3) 廃棄物

①何故失敗したのか（仮想）、②エンドステートとは何か、③安定化とは何か、④安定化の対象は何か、⑤将来の危険ホールは何か

3. 抽出された新たな概念

ブレインストーミングでは本質的に何が幹であるか上位の概念を見極めることが重要である。以下には、「閉じ込め」と「取り出し」に関する機能の概要と機構（研究課題）の一例を示す。

<課題1：閉じ込めで何が重要か？>

①放射性物質を外にださない、②被曝低減、③事故・故障も想定したリスクマネジメント（共通要因）

連絡先: 鈴木俊一、〒113-8656 東京都文京区本郷
7-3-1 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻
E-mail: s_suzuki@n.t.u-tokyo.ac.jp

- a) 独立であって他に影響を及ぼさない (多重防護)
- b) それぞれのシステムがノイズの影響を受けにくい (ロバスト性の確保)
- c) システムに問題 (電源喪失等) があっても、回復する (レジリエンス概念の適用)

以上の機能から求められる機構は、多重化し、最終壁で閉じ込めることであり、以下に例を示す。

(例1) PCV での閉じ込めは高線量作業であり極めて困難なことから、他建屋を壊してから原子炉建屋の外を覆う、あるいはアクセス容易な原子炉建屋の内面をコーティングする。

(例2) 空調系は負圧管理とともに、 α 核種も含めた核種除去可能な空気浄化系を設置する。

(例3) 核種モニタリング設備を設置し、 α 核種のモニタリングも可能とする

(例4) 燃料デブリ取出時の核種飛散 (含むエアロゾル) の事前シミュレーションを行う。

(例5) 作業立ち入り制限やマスクの常備などのマネジメント方策をたてる。

<課題2 : PCV 底部の MCCI 取り出しで何が重要か? >

- ①放射性物質を外にださない (a. 切断時の粉塵を飛散させない、 b. 切断時の汚染水を外に出さない)
- ②被曝低減、③取り出しに長期間を要しない (建屋損傷前に取出す)、④再臨界防止、⑤事故・故障も想定したリスクマネジメント (共通要因)

以上の機能から求められる機構 (研究課題) の例は、(例1) コンクリート等で MCCI を安定化してから取り出すことにより (デブリ経年劣化、飛散防止、廃棄体処理の観点から)、以下の利点が得られる。

- ・取り出し時に α 核種を含めた粉塵を飛散させない
- ・炉水が MCCI に接する量を制限し、汚染度を下げる
- ・固体として廃棄物を収納可能
- ・上部アクセスの場合等、下部まで到達するのに時間がかかるが、その間、安定状態を維持可能
- ・横アクセスでも、ペイロードが小さいマニピレータを使用すると取り出し終了まで長期間を有するが、その間においても安定状態を維持可能

(例2) 小片デブリ、粉塵は水を使って搬送する PCV 底部、ベント管に水搬送ラインを設置し、ベント管穿孔ルートを活用して小ループ化等

<課題3 : PCV 内燃料デブリ調査のための遠隔技術>

- ①放射性物質を外にださない、②被曝低減、③調査に時間を要しない (放射線影響が小さいうちに終了)
- ④不整地 (グレーティング) での調査を可能とする
- ⑤多数回の調査を可能とする、⑥事故・故障も想定したリスクマネジメント (共通要因)

以上の機能から求められる機構 (研究課題) の例は、「グレーティング上での調査の他、上部空間を活用した調査を行う」であり、例えば、(例1) 放射性感受性の少ない素材をマニピレータとして導入する、(例2) ロボットを使ってペDESTAL入口と反対側との間にワイヤーを張り、ワイヤー上に測定機器を吊るして出し入れする、(例3) その後の調査を継続可能とするため、空間支持モジュールを自動構築し、搬送ルートを確認する。

<課題4 : 廃棄物の目指すエンドステートとは何か? >

エンドステートとは、何かしらの安定化した状態を構築することであり、安定化とは ①核種を閉じ込めて移動させないこと (例、STEP1 : タンクで水を閉じ込めて移動させない、STEP2 : 固化する、ドライアップする)、②外部に影響を与えないことの機能を有する。

以上の機能を満たすために必要な課題例は、

(例1) 新たな処分概念の構築 (取り出し作業工程と深くリンク)、(例2) インベントリー評価、(例3) 燃料デブリ性状変化の把握、(例4) 識別技術 (例5) 収納容器からの廃棄物 (燃料デブリ、二次廃棄物等) 取出し、つめ直し遠隔操作技術、(例6) 高濃度プルームの位置と量の推定・測定等があげられる。

4. 今後の進め方

引き続き、本質的に何が幹であるか上位の概念を見極めるための議論を継続する。(既存概念に囚われない (例) 変化を許容する、許容状態 (変形を許す))

また、時間軸を見据えた要求機能の徹底的洗い出し後、可能な機構を議論し、新規の研究課題を抽出する。

(その際、深層防護の考え方を導入する)

参考文献

- [1] Clayton M. Christensen, イノベーションのジレンマ、Harvard business school press
- [2] 畑村洋太郎編、実際の設計、日刊工業新聞社