

第3回廃炉研究開発連携会議
於:NDF

福島第一廃炉研究マップの 俯瞰的アプローチについて

平成28年4月18日

東京大学大学院工学系研究科

原子力国際専攻

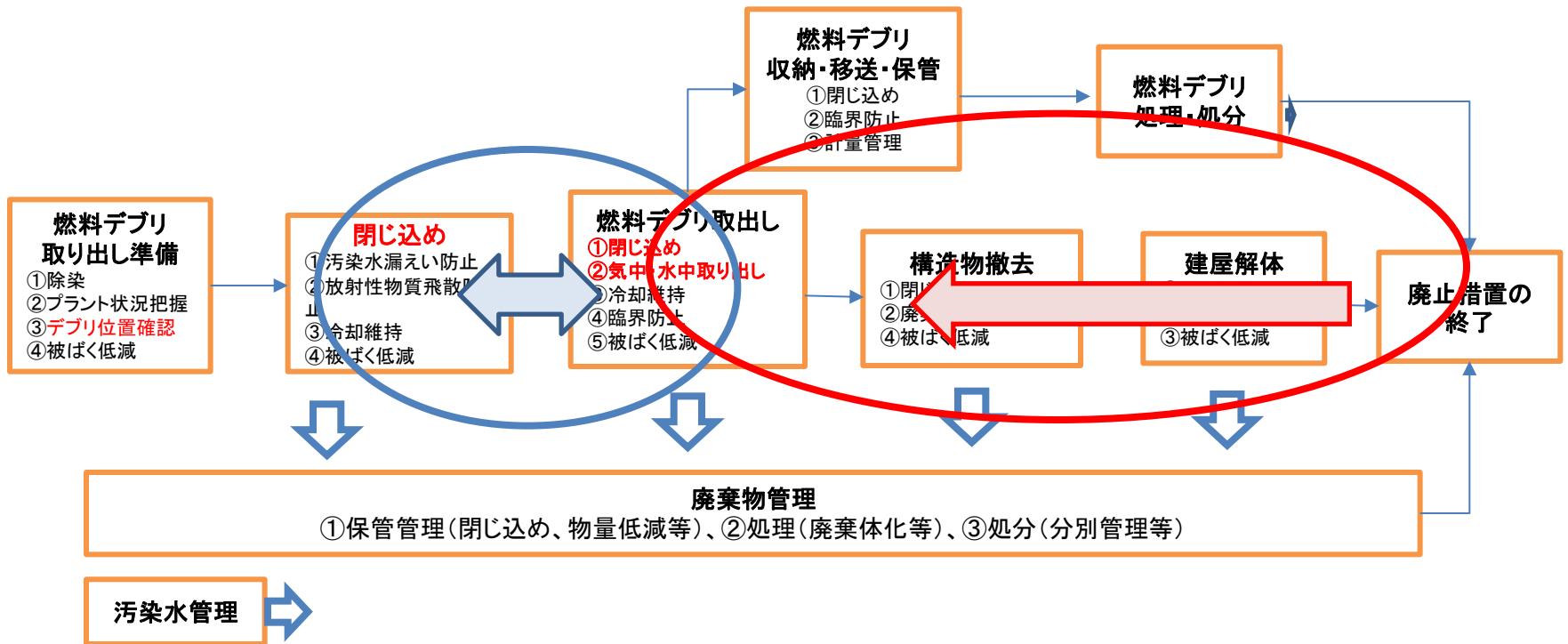
事故炉と通常炉の廃止措置の違い

- 時間との戦い
 - 塩水腐食、鉄筋の腐食など
- 高放射線環境下の作業
 - ほとんど遠隔操作、回収ロボット
- 既設設備がほとんど利用できない
 - 損傷もしくは機能喪失
- 大量の放射性廃棄物
 - ほぼ全てが低レベル廃棄物。NRが無い

福島第一廃止措置における リスク管理の特徴

- 通常の原子炉と同様の廃止措置管理では危険
 - 例えば、リスクのわずかな増大も許さない工事を行うと、結果的にリスクの大きな増大を招く。また、時間的な先送りがリスク増大につながる。
- 現場を中心とし、時間・空間・対象（放射性物質）を考慮した、**俯瞰的なリスク管理**を実施する必要
 - 数多くの廃止措置作業が相互に関連している
- 5年、10年と長期に掛かる廃止措置を見越し、俯瞰的な管理のできる人材を戦略的に養成し、現場を初めとする廃止措置に投入していく事

俯瞰的廃止措置への対応 — 現在までの取り組み —



廃炉に本質的に必要な課題を見つけるには

(1) 意図的計画法 (Statisticな方法)

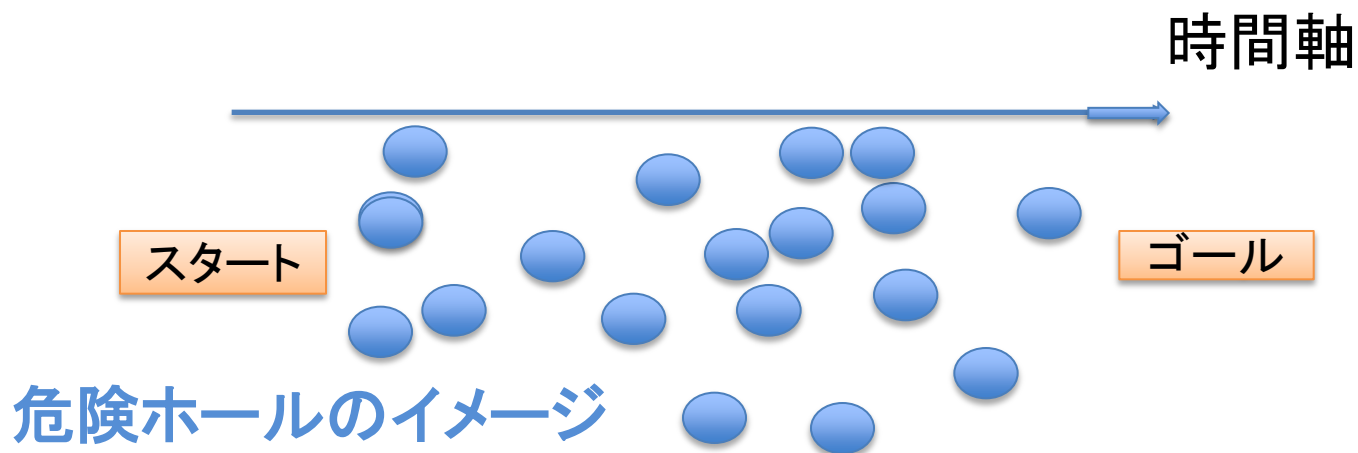
- ① 仮説を立てて将来予測
- ② 仮定にもとづき取り出し方法策定
- ③ 上記方法のリスクを検討
- ④ 予測をベースに投資
- ⑤ 成果を実現するために実行

(2) 仮説指向計画法 (Dynamicな方法)

- ① 取り出しのための目標設定
- ② どのような仮定を証明できれば目標達成可能か
(含むリスク検討)
- ③ 重要な仮定の妥当性検証のために計画を立案
- ④ 投資

<ブレインストーミングの手順>

- ・何故失敗したのかを議論
 - ✓ 危険ホールの抽出（時間軸を意識）
- ・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抽出（新規研究課題の抽出）
- ・外的リスクを踏まえての問題点・課題の議論
- ・リスクを踏まえたアイデア改善案を抽出（具体的な研究課題の抽出）
- ・時間軸を意識した成功パスを構築
- ・パス毎にリスクを評価



思考展開方法

STEP 1. 思考展開図を作成する(参考: 畑村洋太郎編、実際の設計)



要求機能-機能構成-機能要素 — 機構要素-構造要素-全体構造
(テーマ - 課題 - 課題要素 — 具体的解決策 - 具体案 - 全体計画)

STEP 2. 異なるテーマで思考展開図を作成

STEP 3. 仮説の分析と検証方法の検討

STEP 4. 俯瞰的全体計画の作成

STEP 5. 成功パスの探索

STEP 6. 時間軸を入れて検討

STEP 7. 仮説の分析と検証方法の再検討

STEP 8. 時間軸を入れたシナリオ構築

今までのブレスト実績（主として機能の議論）

1. 閉じ込め

- 何故失敗したのか（デブリGr）
- 放射性物質を閉じ込めるには（デブリGr）
- 事故炉の深層防護とは何か（デブリGr）

2. 燃料デブリ取り出し

- 何故失敗したのか（デブリGr）
- 燃料デブリを気中で取り出すには（遠隔Gr）
- MCCIを取り出すには（デブリGr、遠隔Gr）
- 許容状態とは何か（デブリGr）

3. 廃棄物（廃棄物Gr）

- 何故失敗したのか
- エンドステートとは何か、安定化とは何か
- 安定化の対象は何か
- 危険ホールは何か

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)
 - ①独立であって他に影響を及ぼさない(多重防護)
 - ②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)
 - ③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)

以上の機能から求められる機構(一例)は、

(1)多重化し、最終壁で閉じ込める

例)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、アクセス容易な原子炉建屋の内面をコーティングする、あるいは他建屋を壊してから原子炉建屋の外を覆う

(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

(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

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

(5)他、作業立ち入り制限やマスクの常備などのマネジメント 等

PCV底部のMCCI取り出しで何が重要か？

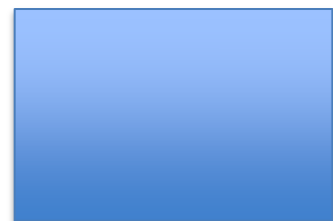
1. 放射性物質を外にださない
①切断時の粉塵を飛散させない、②切断時の汚染水を外に出さない
2. 被曝低減
3. 取り出しに長期間を要しない(建屋損傷前に取り出す)
4. 再臨界防止
5. 事故・故障も想定したリスクマネジメント(共通要因)

以上の機能から求められる機構(一例)は、

- (1) **コンクリート等で安定化**してから切削して取り出す(デブリ経年劣化、飛散防止、廃棄体処理の観点から)
- (2) 小片デブリ、粉塵を**水を使って搬送**する
(PCV開口部からルートを使って機械的手法・レーザ等で破砕して取り出す従前の検討案の他、2の矢として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

遠隔技術の機能例



遠隔で行う
(作業効率)



- 作業シミュレーションを行う
- モックアップでの訓練
- 気中・水中での遠隔計測・操作を容易にする
- ロボット操作者判断のための環境を整備する
- メンテナンス性を高める
- 交換容易とする

- 高線量下での継続動作
- 足場をつくる
- マン・マシンインターフェース
- 暗所・狭溢部での環境把握
- 安定した通信

- 耐放射線機器での測定
- シンプル構造での測定
- 空間支持モジュール構築自動化
- ロボットの自己位置認識
- 計測技術の新開発
- 計測系サイズダウン
- 通信途絶時の自律性確保

- 高速カメラ、俯瞰映像の活用
- ワイヤー、リールの活用
- 地図作成(3D環境)
- 経路の認識
- 自分を見る
- n,α,β,γ測定器
- レーザー(気中)
- 超音波(水中)

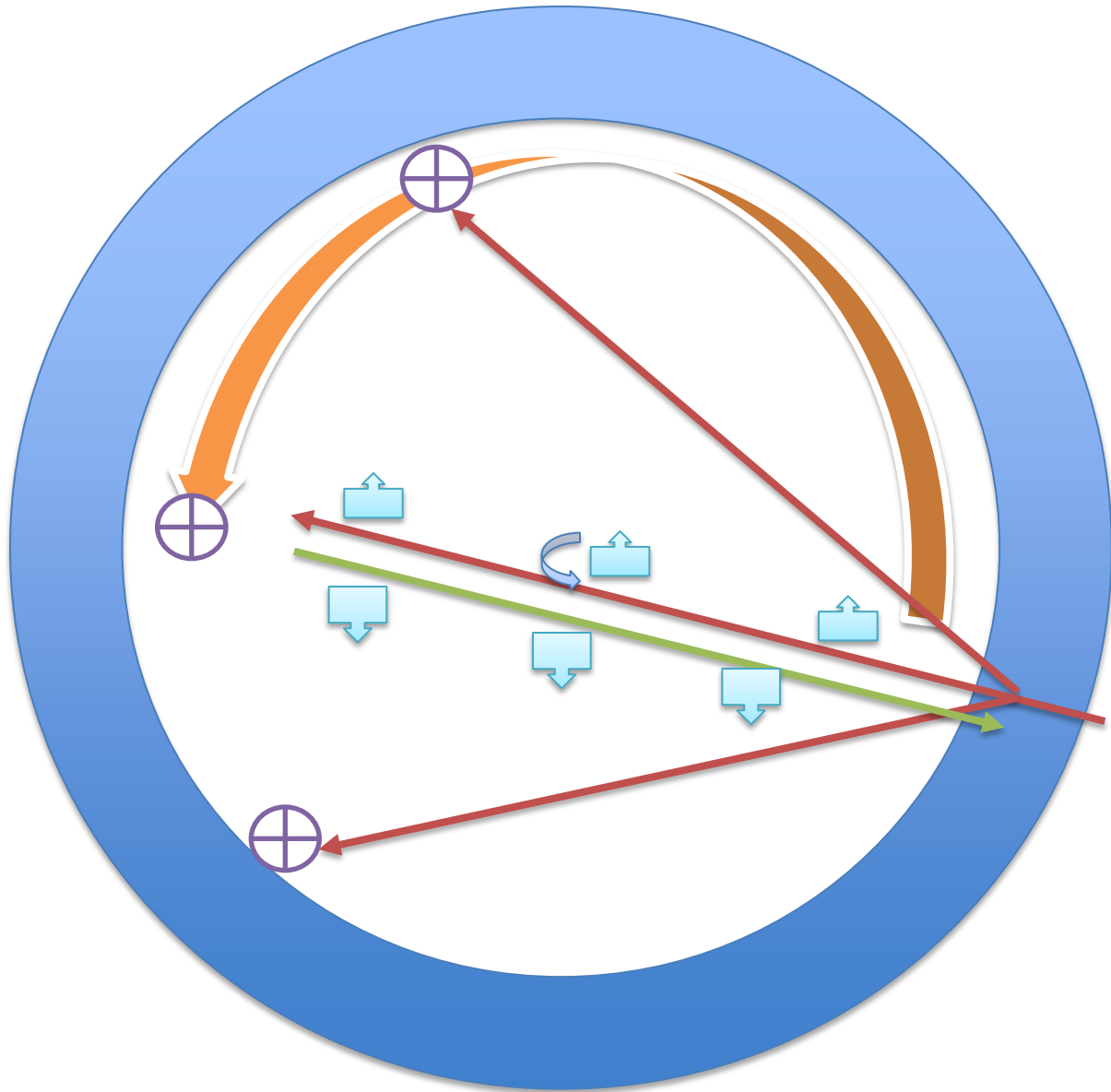
遠隔技術でPCV内の燃料デブリを調査するには？

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(放射線影響の少ないうちに終了)
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(一例)として、
「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」

- 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
②ロボットを使って入り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つるして出し入れする
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
自動で構築し、搬送ルートを確保する
④トータル線量を下げるため高速カメラで内部を短時間で測定し、
3次元俯瞰画像でもやなどのノイズを除去して再生する

PCV下部調査(例)



廃棄物の目指すべきエンドステートとは何か？

1. 何かしらの安定化した状態を早くつくること。
2. 安定化とは何か？
 - 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)
 - 外部に影響を与えないこと。

課題

- ・新たな処分概念の構築(取り出し作業工程と極めて深くリンク)
 - ✓手間をかけない、薄皮饅頭
- ・インベントリー評価
- ・燃料デブリ性状変化(U,Pu,アクチニド、時間、水質等)の把握
- ・識別技術
- ・収納容器からの廃棄物(燃料デブリ、二次廃棄物等)の取り出し、
つめ直し遠隔操作技術
- ・高濃度プルームの位置と量の推定・測定 等

<ブレインストーミングの今後の進め方>

○本質的に何が幹であるか上位の概念を見極める。

例)閉じ込める

・○○(例えば、リスク)をさける

-> 環境 -> 閉じ込める -> 多重化-> Confinement

-> 人 -> 被ばくを低減する -> 遮蔽...

-> 除染...

->防護マスク...

○時間軸を見据えた要求機能の徹底的洗い出しの後、可能な機構を議論し、新規研究課題を抽出(今後予定)

一要求機能として何が重要か

✓既存概念に囚われない (例)変化を許容する

一要求機能を超えた場合にどうするのか

・深層防護の考え方を導入

✓例)許容状態(変形を許す、短期間ならば機能の継続可能等)

✓機能一<劣化(時間軸、検査)>一機構一深層防護のアクション