

廃炉基盤研究プラットフォーム第二回運営会議  
於:東北大学青葉記念会館

# 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3月28日

東京大学大学院工学系研究科

原子力国際専攻特任教授

鈴木俊一

# 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

# 英国原子力廃止措置機関(NDA)の戦略 (放射性廃棄物)

(Integrated Waste Management)

- サイト修復という最終目的を達成するための重要成功要因として総合廃棄物戦略が高位に位置付けられている。
- NDA各サイトでは、廃棄物の発生量予測に基づき、処理・保管設備計画及び敷地利用に関する綿密な長期計画を立て、相応の投資を行って戦略的にサイト修復事業を進めている。
- 総合廃棄物戦略は、以下の基本原則を有する。
  - ① リスクの低減
  - ② 廃棄物の極小化(減容、リユース、リサイクル)
  - ③ 意思決定においては、資金・実現性・技術的成立性・被ばく・安全・セキュリティー・環境負荷等を考えて優先度のバランスをとる。等

# 廃炉に本質的に必要な課題を見つけるには

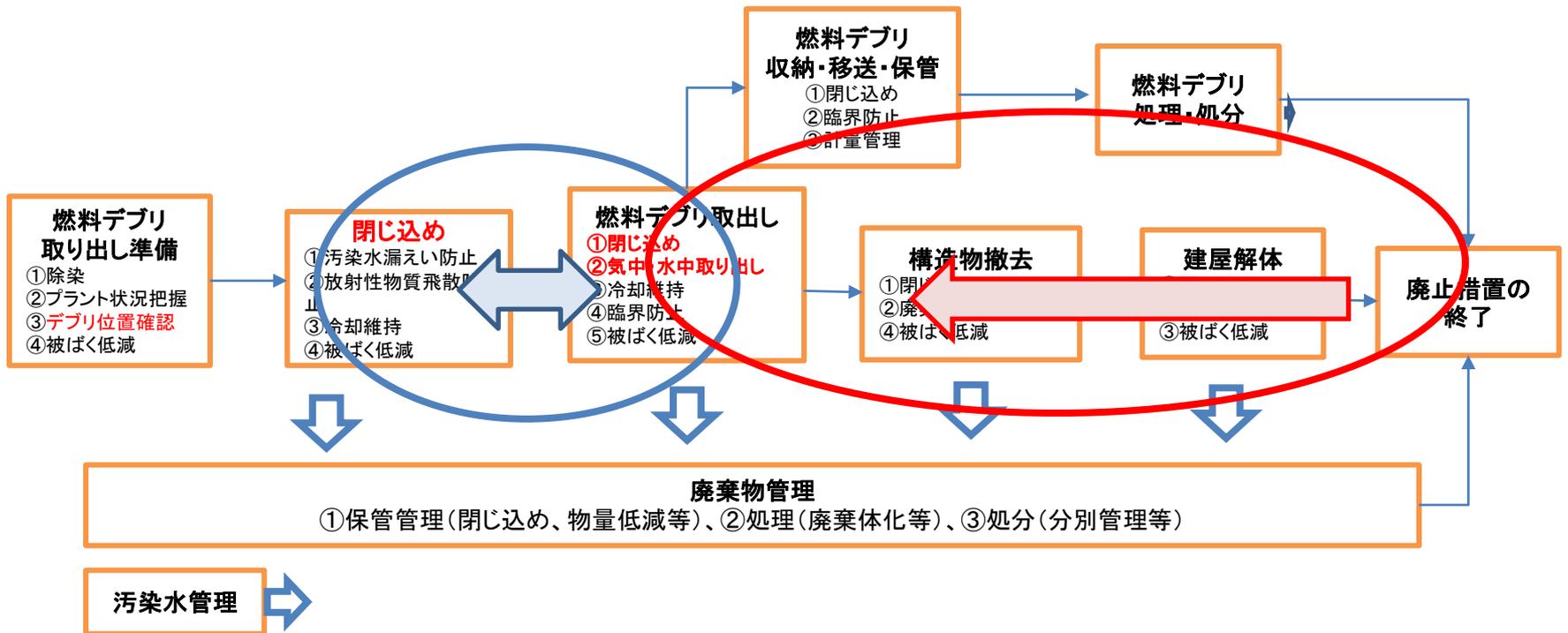
## (1) 意図的計画法 (Statisticな方法)

- 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)

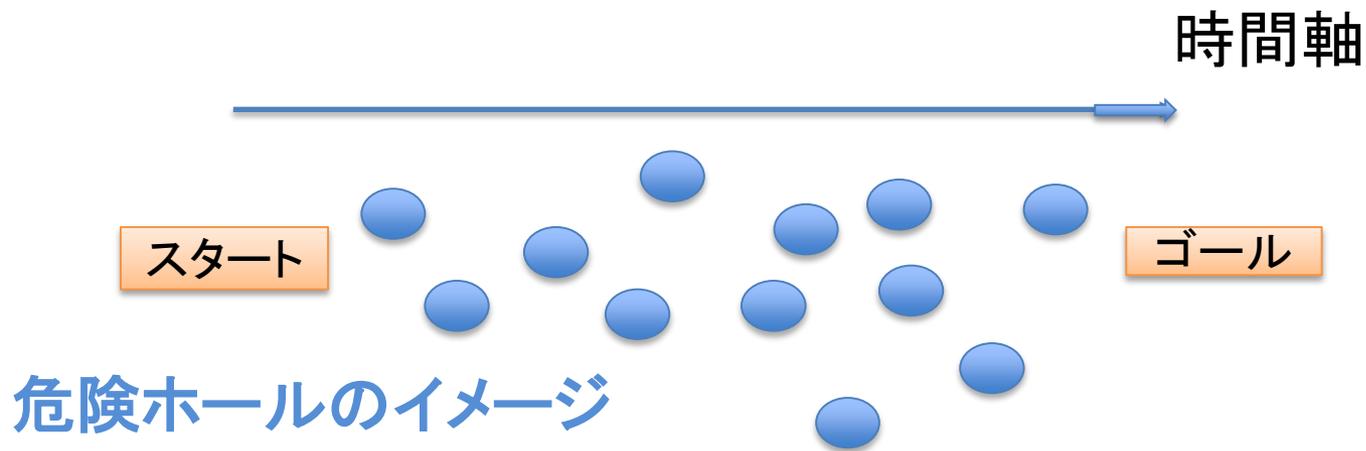
- ① 取り出しのための目標設定
- ② どのような仮定を証明できれば目標達成可能か  
(含むリスク検討)
- ③ 重要な仮定の妥当性検証のために計画を立案
- ④ 投資

# 俯瞰的廃止措置への対応 — 現在までの取り組み —



## <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(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、 $\alpha$ 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、 $\alpha$ 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(例)は、

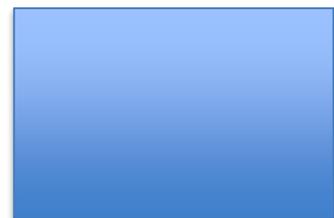
(1) **コンクリート等で安定化**してから切削して取り出す(デブリ経年劣化、飛散防止、廃棄体処理の観点から)

(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

- 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(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

# 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深くリンク)
- ・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

## <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