

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27年12月15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

(IRID研究アドバイザー)

鈴木俊一

本発表内容は、経済産業省「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業」、「平成25,26年度発電用原子炉等廃炉・安全技術開発費補助金」、「平成25年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金」の成果を含む。

(プラント情報等の一部内容は、東電ホームページより引用)

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

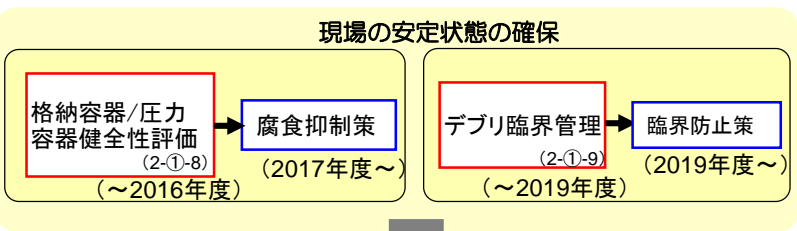
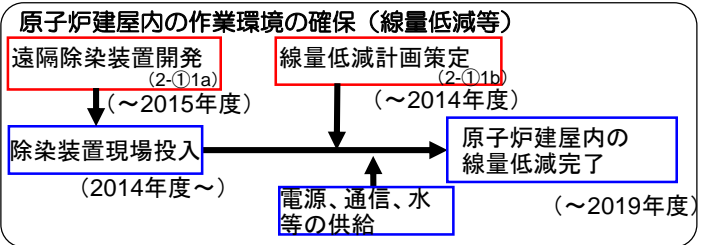
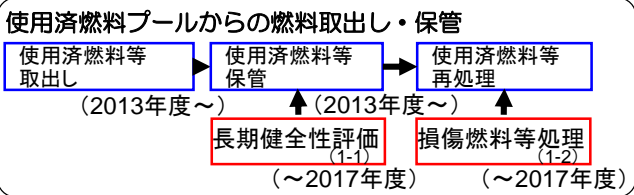
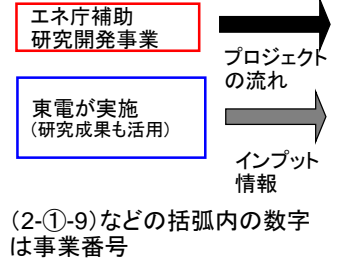
福島第一廃止措置における リスク管理の特徴

- 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

福島第一原発の廃炉・汚染水対策に係る研究開発等のフロー図

出典：平成26年3月27日
 廃炉・汚染水対策チーム
 会合/事務局会議資料改訂

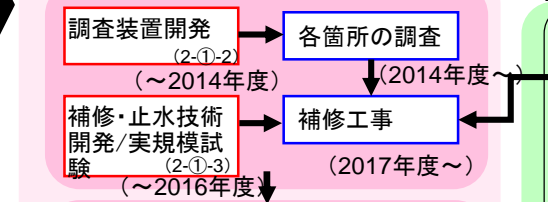
【凡例】



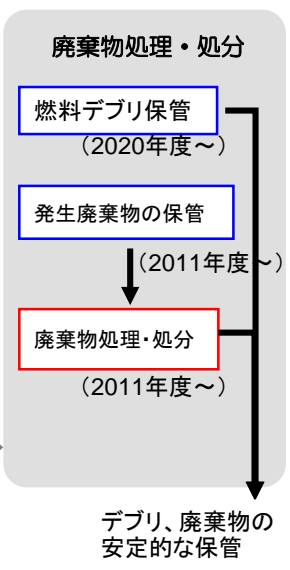
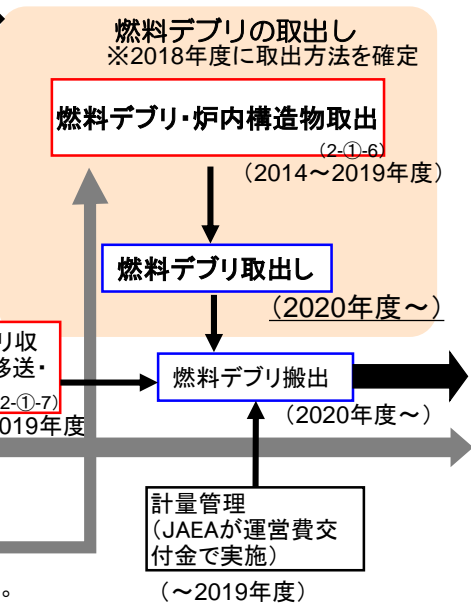
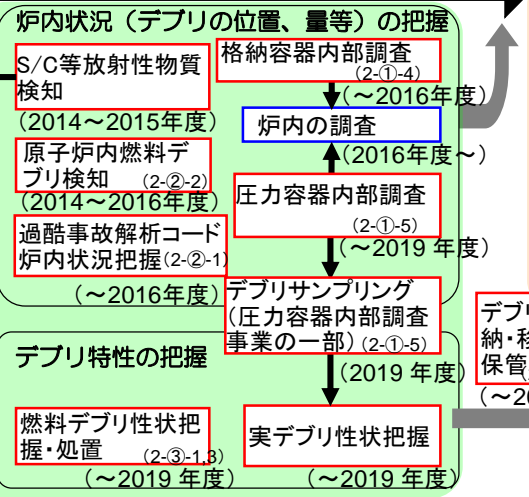
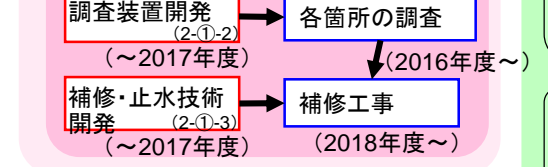
【冠水工法(燃料デブリを冠水させた状態での取出し)】

- ①全部冠水(格納容器上部まで水張りできる場合)
- ②部分冠水(格納容器上部まで水は張れないが、燃料デブリの取り扱いは水中で行う場合)

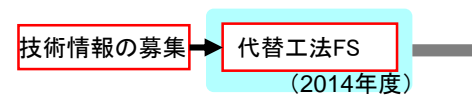
格納容器下部(ベント管, S/C, トーラス室等)



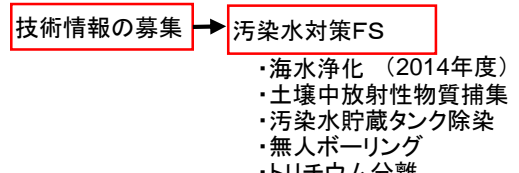
格納容器上部(ハッチ, 配管貫通部, 冷却系統等)



【冠水工法が難しい場合の代替工法(気中取出し)】



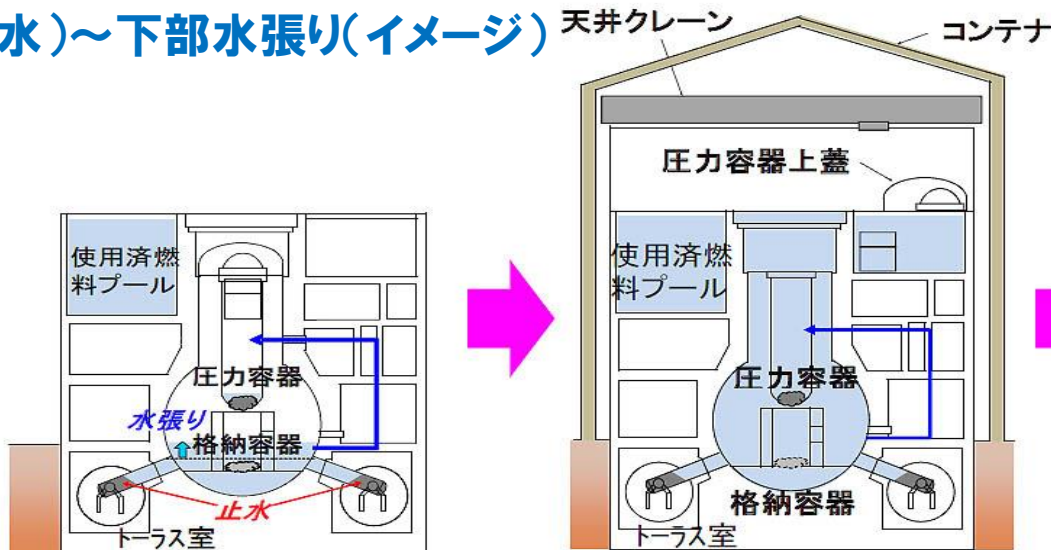
※「S/C」は「サブプレッションチェンバー」の略称。



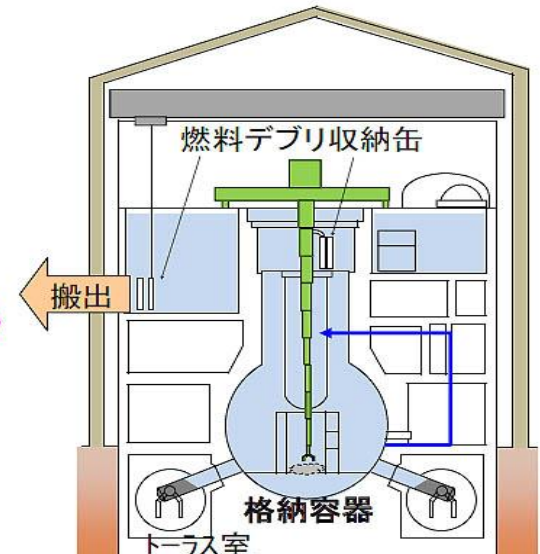
燃料デブリ取り出し作業イメージ

- 燃料デブリを冠水させた状態で取り出す方法は、周辺環境並びに作業員への影響緩和の観点から確実な工法である。
- 但し、冠水には格納容器の漏えい箇所調査や補修が必要。
- 今後、冠水工法に加えて、部分冠水(気中)あるいは気中取り出し工法についても検討する必要あり。
- また工法とともに、燃料デブリ取り出し・収納・保管に必要な技術を開発する必要あり。

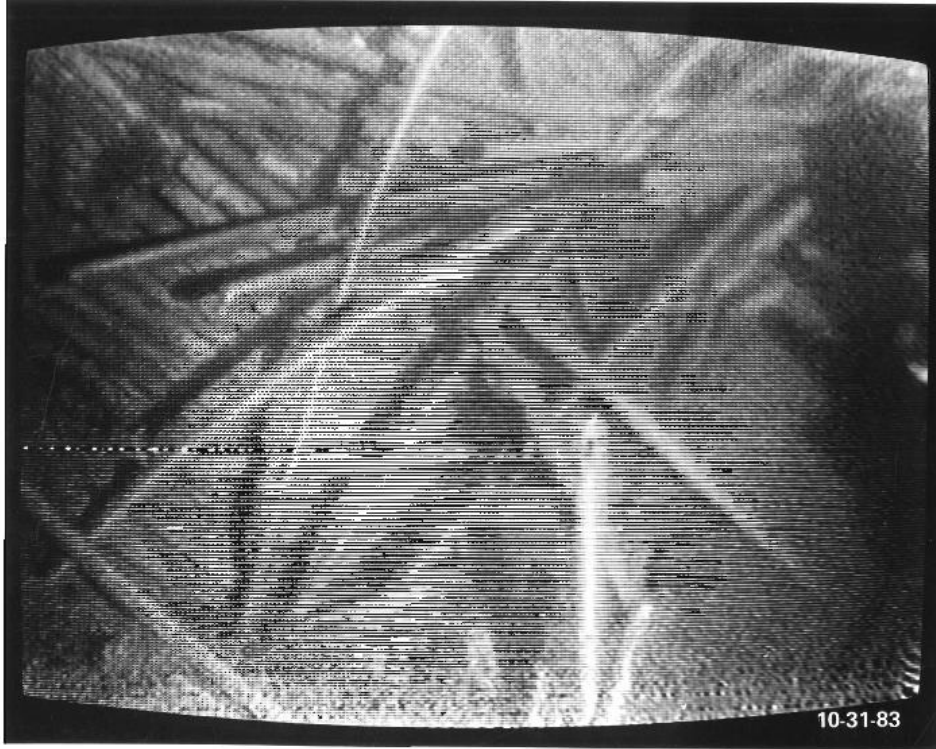
原子炉格納容器下部補修 (止水)～下部水張り(イメージ)



燃料デブリ取り出し(イメージ)

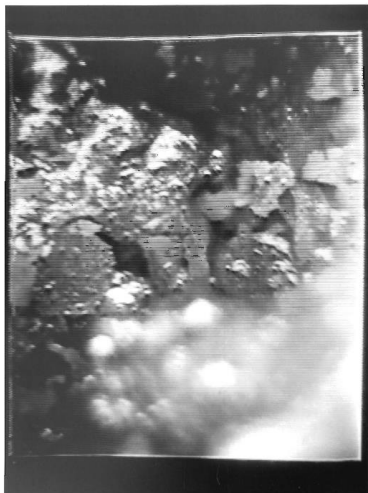
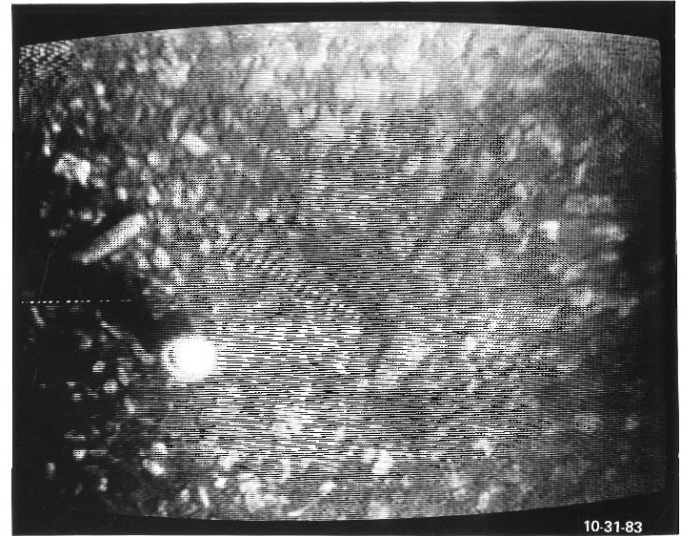
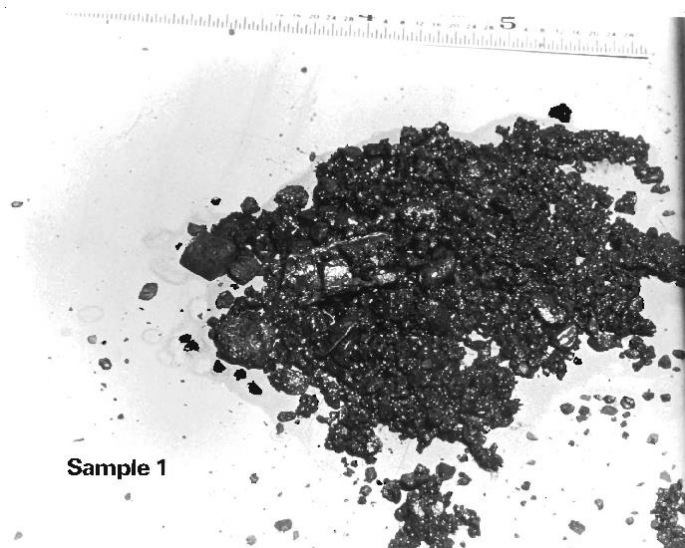


Damage Examples



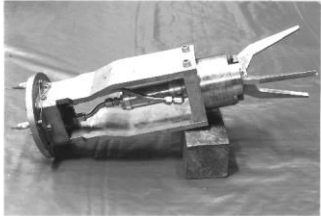
Once Molten Mass in the Core Region
Chuck Negin, "Three Mile Island Unit 2 Recovery and Cleanup"

Fuel Debris



Fuel Removal Tools and Equipment

- Some Manual Tools



- Powered Equipment
 - Core Boring Machine
 - Plasma Arc
 - Power Assisted shears
 - Bulk Removal
 - Water Vacuum and Air Lift



12s Air Lift



20s Plasma Arc

Chuck Negin, "Three Mile Island Unit 2 Recovery and Cleanup"

福島第一事故廃棄物と操業廃棄物の比較

不確実性の項目	対策の度合い	
	操業廃棄物	事故廃棄物
廃棄物発生【量、種類、時期】	◎	△
ハンドリング(取り出し・区分)【困難性】	◎	△
性状把握【情報の充分性、サンプルの困難性、サンプルの代表性】	○	△
処理・廃棄体化技術	○	? ~ △
埋設・処分方法及び安全評価	△ ~ ○	?
規制・技術基準、ガイドライン、サイティング	△ ~ ○	?

◎:把握している、あるいは充分見通しがある。○:概ね見通しがある。△:限定的である。
?:論じられる段階ではない。

- 操業廃棄物は、課題があるものの比較的管理された状態にある。
 - ・ 現時点の発生量はもとより今後の推移、個別の廃棄物中の含有放射エネルギーや化学物質等の基本的な廃棄物性状に係わる情報は把握されている。
 - ・ 未処理・処理済の双方とも現行の規制に基づく保管管理等が適切に行われている。
 - ・ 処分方法や安全評価方法に加え対応する規制・基準についても整備されてきている。
- 福島第一事故廃棄物は、多数の不確実性が技術的に重要な課題となる。それら不確実性を解消し、管理された状況に置くことが対策並びに技術開発の大きな目標となる。

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・環境負荷等を考えて優先度のバランスをとる。等

— 廃炉研究開発に求められること —

- 通常のプラント建設や運転・保守の分野では定常問題をいかにうまく解くか鍵だが、廃炉は時間とともに状況が変わる、いわば非定常の課題である。
- どのようにして不確実性のある将来事象を予想し、そのリスクに対処するのか。
- 真に重要な本筋（幹）はどこにあるのかを熟考し、安全かつ確実な方法で廃炉を行うことが極めて重要。
- リスク評価を行うためには統計的確率、頻度の推定、損失の重篤さを定める必要があるが、どうやって想定外を想定するのかとのパラドックスがいつもついてまわる。

— 廃炉研究開発に求められること —

- 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、リスクを含めてよく考えて、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。
- 即ち、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、それをモニタリングすることによって仮定の検証をしっかりと行う必要があり、社会的影響の大きな廃炉の研究開発には、まさにこういった姿勢が重要であると思う。

平成26年度「国家課題対応型研究開発推進事業 (廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム委託費)」

－事業概要－

東京電力株式会社福島第一原子力発電所について政府が策定した中長期ロードマップに位置づけられた「中長期の視点での人材育成及び大学・研究機関との連携」を進める観点から、廃止措置等の人材育成に関する重点分野の中でも、民間だけでは着手しづらい中長期的基礎基盤研究について、多様な分野の叡智を結集して課題を克服し、安全かつ着実に廃炉措置等を進めていく上で必要となる人材を育成します

<平成26年度廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム採択課題>

- ・廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化 東京工業大学
- ・遠隔操作技術及び核種分析技術を基盤とする俯瞰的廃止措置人材育成 東京大学
- ・廃止措置のための格納容器・建屋等信頼性維持と廃棄物処理・処分に関する
基盤研究および中核人材育成プログラム 東北大学

<フィージビリティ・スタディ(FS)>

- ・汚染水対策・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と
人材育成プログラム 地盤工学会
- ・放射性ストロンチウムの即応的計測法の実用化に向けた重点研究と
マルチフェーズ伸展型人材育成 福島大学
- ・西日本における福島第一原子力発電所の廃止措置に係わる基盤研究
人材育成の拠点形成 福井大学
- ・廃炉に関する基盤研究を通じた人材育成プログラム 福島工業高等専門学校

廃炉に本質的に必要な研究を見つけるには？

(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

具体的な要素抽出方法

STEP 1. 思考展開図を作成する(参考: 畑村洋太郎、失敗学)



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

Project learning
based upon the brain storming

Remote Operation for Workers' Safety



Easier & Safer Operation for Robot Operator

- Man-machine Interface
- Remote operation under water
- Recognition in dark areas
- Stable Telecommunication

Human Resources Development

- Mapping (Environment, View, etc.)
- Recognition of Self Location
- Simple Rod and line
- Advanced Small-size Detector
- Ultra Sonic Technology (under water)
- LASER Technology (in air)
- Neutron Detector
- α , β , γ Detector