



U.S. DEPARTMENT OF
ENERGY

OFFICE OF
**ENVIRONMENTAL
MANAGEMENT**

日本語仮訳版

本資料は、「もんじゅ」廃止措置評価専門家会合事務局にて暫定和訳したものです。正確な内容につきましては、原文（英文）をご参照ください。

米国DOEのEBR-2とFFTFのD&Dに関する事例

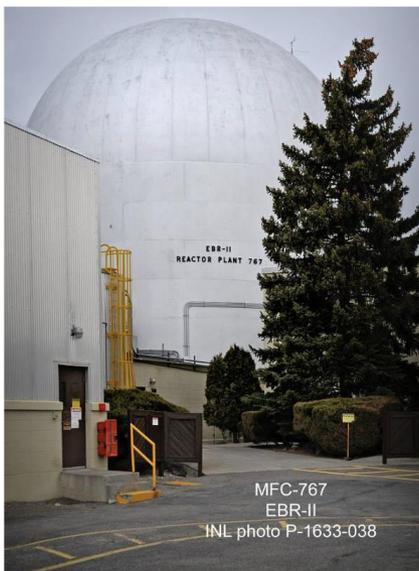
アンドリュー シラギー

米国エネルギー省
環境管理局

「もんじゅ」廃止措置評価専門家会合（第2回）用
敦賀市、日本、2017年7月19日

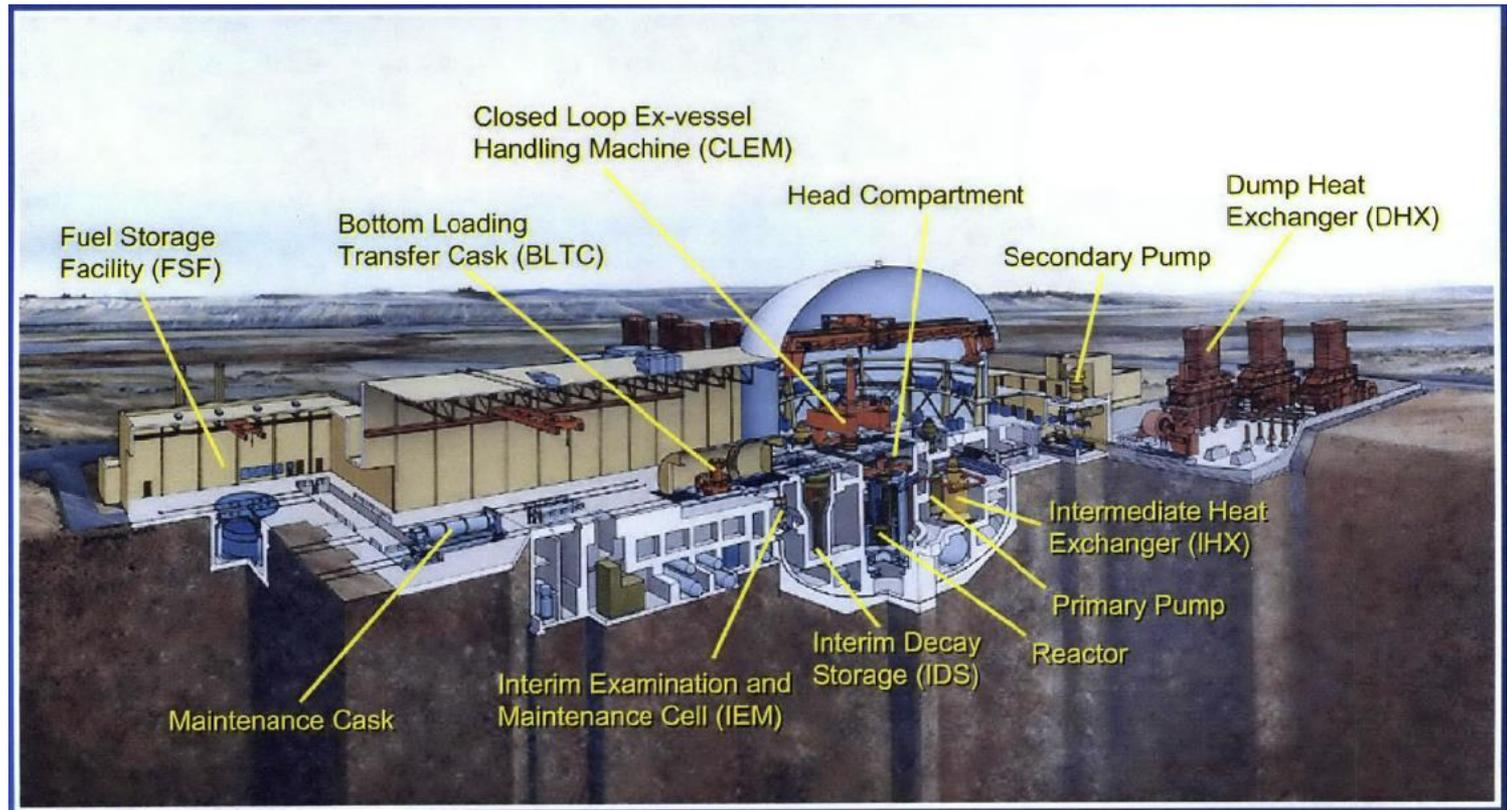
高速増殖実験炉（EBR-II）

- 1964年：定格出力運転
- 1994年：運転終了
- 1996年：燃料取出し
- 2001年：ナトリウムの除去
- 2015年：原子炉の遮蔽管理
- 2019年：ドーム解体開始



高速中性子束試験施設 (FFTF)

- 1982年：定格出力運転
- 1992年：運転終了
- 1995年：燃料取出し
- 2005年：ナトリウムを除去
- 2007年：デアクティベーション
- 2030年代：最終廃止措置：遮蔽隔離の予定



プロジェクトの段階

- プロジェクトの策定
 - プロジェクトの戦略的目標
 - プロジェクトの実施計画
 - 補足計画
- ディアクティベーション（施設の安定化）
 - 燃料取出し、洗浄、燃料貯蔵
 - ナトリウムの抜き取りと残留ナトリウムの除去、安定化、貯蔵
 - 構造物、系統、機器、材料の不活性化
- 最終廃止措置を控えての監視と保守
- 最終廃止措置
 - 遮蔽管理
 - 解体

戦略的目標

- ディアクティベーションのエンドステートの明確化（最終廃止措置までそのまま継続するか、施設が今後何年も使われない状態に置かれるかによって異なる）
- 最終廃止措置のエンドステートの明確化（残留汚染無しの土地、残留汚染ありの土地、遮蔽隔離）
- 環境評価；米国では、これが選択された最終エンドステートの根拠と正当化理由となる
- 主なサイト施設のディアクティベーションと廃止措置の順序
（例：一部の建屋が隔離や解体されている時に別の建屋を維持するために電力が必要となる場合では、サイトの電力供給経路が重要となる場合がある）
- 各解体プロジェクトでは、主な建屋に関連する複数の設備を対象とできる

各プロジェクト計画

- 特性調査
 - 放射能汚染、空間線量及び直接線量
 - 化学物質、有害物質
 - 物理的（接近不能領域にはLIDARを使用）
- プロジェクトの基礎
 - 範囲
 - 不活性化、解体、遮蔽隔離
 - ひとつのプロジェクトにおける建屋数
 - スケジュール
 - 多くの現場の制限と投入可能なリソース、技術開発の必要性、方法の試験などによって決定する
 - 費用
 - 詳細な活動基準の見積もり
 - 見積もりの根拠は文書化しなければならない
- 技術と実証の必要性
 - 既存技術の利用（推奨）
 - 通常でない部位に対する新技術の開発
- プロジェクトのリスクアセスメント
 - プロジェクト活動の実施能力に影響を及ぼす恐れのあるリスクの特定
 - リスク発生の可能性
 - リスク回避及び/又は緩和の方法

- 規制の遵守
- 作業員の安全
- D&D活動に関する作業員の訓練
- 環境保護
- ステークホルダー、公衆、地方自治体とのコミュニケーション
- 緊急時対応

- FFTFレビューより
 - 燃料取出速度は洗浄速度に左右される
 - スーパーフェニックスでは、燃料洗浄作業は洗浄ピット内でのウォーターミストと炭酸ガスの注入によって行われた
 - FFTFでは、水蒸気とアルゴンの使用が計画された
 - ウォーターミストと炭酸ガスの方がはるかに速いと思われる
 - 洗浄スケジュールは、利用できる燃料用の貯蔵キャスクが十分あるかに左右される

- (コールドトラップを除く) ナトリウムがすべて抜き取られ、将来の使用のためFFTFサイトの大型タンク4個に貯蔵された
- 原子炉容器からの抜取りには、原子炉容器底部の近くにある、高圧側と低圧側の領域の間に3/4インチの穴を開ける必要があった
- NaK系の配管を変更し、NaKを1次系ナトリウムと混合できるようにして、必ずNaKが完全に除去されるようにした
- 残留ナトリウムを反応させるのに過熱蒸気を使用できることを実証するため、原子炉容器の3分の1規模のモックアップを使用した

ナトリウムの処理方法 (1つの方法がすべてに有効というわけではない)

- 湿潤炭酸ガスでの安定化（次のビューグラフを参照）
- 安定化されていないナトリウムへの過熱蒸気法
- 安定化及び非安定化ナトリウムとNaKへの酸性水溶液法
- 熱交換器に対する飽和蒸気/凝縮処理
- 得られた重要な教訓：配管系内のナトリウム処理にクエン酸処理を試みたところ、枝配管間での処理溶液の往復移動の増大が生じた。最終的には、ナトリウムと水の反応が大きくなり、水のスラグが急速に配管を下って、行き止まりにぶつかり、水撃作用で配管が破れた。
- この事象から得られた教訓が、“EBR-II D&Dの最新情報－2012年9月、CWIで1次系ナトリウムの処理を完了”という表題の参考文献に書かれている

安定化の利点と欠点 (湿潤炭酸ガス)

- 利点
 - 残留している反応しやすいナトリウム上に厚さ3.9インチ（10 cm）の重炭酸塩の硬い表層を生成することでナトリウムを安定化させる
 - ナトリウムの長期的な系統内貯蔵に適している
- 欠点
 - ナトリウム上に約3.9インチ（10cm）の厚くて硬い表層が生成されることで、湿潤炭酸ガス又は過熱蒸気による処理方法を用いたナトリウム処理がそれ以上できなくなる
 - ナトリウムを処理するのに、侵食、高熱、酸によって重炭酸塩クラストを処理しなければならない
 - 安定化されていないナトリウムを処理する方がはるかに容易

安定化されたナトリウム

湿潤炭酸ガスによるナトリウムの安定化

$$\text{Na(s)} + \text{H}_2\text{O(g)} + \text{CO}_2\text{(g)} \rightarrow \text{NaHCO}_3\text{(s)} + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{(g)}$$



デリアクティベーション

デリアクティベーション計画の例

FFTF-25070、改訂0版、高速中性子束試験施設のデリアクティベーションの最終段階基準

定義

- デリアクティベーション：施設を安定した既知の状態にする。これには、作業員、公衆の健康及び安全、環境を適切に保護できるように有害物質や放射性物質を除去し、監視・保守の長期費用を抑制することなどが含まれる
- IAEAの「運転から廃止措置への移行」と同一

FFTF-25070目次

- 1.0 はじめに
- 2.0 背景
- 3.0 最終段階への方法
- 4.0 FFTFデリアクティベーションの最終段階
 - 4.1 該当する建屋の構造と区域
 - 4.2 最終段階基準
 - 4.2.1 燃料取出し
 - 4.2.2 ナトリウムの抜取りと処分
 - 4.2.3 アルカリ金属残留物
 - 4.2.4 特殊構成要素
 - 4.2.5 システムの停止
 - 4.2.6 有害物質
 - 4.2.7 管理項目
- 5.0 残留有害物質
- 6.0 規制の枠組み
- 7.0 D&D計画
- 8.0 参考文献

FFTFの例：目次

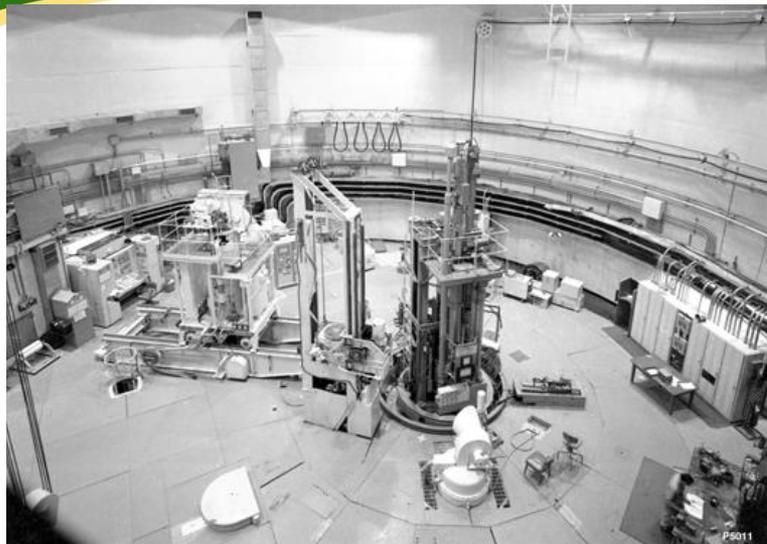
DOE/RL-2009-26、改訂0版、FFTFの監視・保守計画

1	INTRODUCTION	5	QUALITY ASSURANCE.....
2	FACILITY BACKGROUND AND HISTORY	6	TRAINING AND QUALIFICATION.....
2.1	HISTORY	7	ENVIRONMENTAL COMPLIANCE/PROTECTION
2.2	FACILITY DESCRIPTION	7.1	FFTF AIR PERMITTING
2.2.1	Operational Systems	7.2	RECORD KEEPING/DOCUMENTATION
3	FACILITY SURVEILLANCE.....	7.3	HAZARDOUS MATERIAL PROTECTION.....
3.1	SURVEILLANCE ACTIVITIES	7.4	INSTITUTIONAL CONTROLS
3.2	SCHEDULED PLANT SURVEILLANCE TOURS.....	8	RADIOLOGICAL CONTROLS
3.2.1	Indoor Surveillance Tour	9	EMERGENCY MANAGEMENT
3.2.2	External Surveillance Tour	10	HEALTH AND SAFETY
3.2.3	Plant Building Roof Inspections	10.1	FIRE HAZARD ANALYSIS.....
3.3	WASTE MANAGEMENT UNIT INSPECTIONS	10.2	OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH.....
3.3.1	FSF WMU Inspection	11	SAFEGUARDS AND SECURITY
3.3.2	ISA WMU Inspection	12	COST AND SCHEDULE.....
3.4	OTHER PLANT ENTRIES	13	REFERENCES
4	FACILITY MAINTENANCE.....		
4.1	MAINTENANCE ORGANIZATION AND ADMINISTRATION.....		
4.2	TYPES OF MAINTENANCE		
4.3	S&M MAINTENANCE ACTIVITIES.....		
4.3.1	Maintenance Inside the FFTF Plant.....		
4.3.2	Maintenance External to the FFTF Plant.....		

FFTFの例

- 2012年11月発行の環境影響声明書；評価された選択肢は次の通り
 - 廃止措置を行わない
 - 遮蔽隔離
 - 撤去
- 選ばれた推奨選択肢は「遮蔽隔離」であった。これは以下の措置で構成されている。
 - 地上構造物をすべて撤去
 - 地下施設/構成要素をすべてコンクリートで満たして、放射性成分や有害成分を固定
 - 区域上に人工バリアを設置
 - 遠隔処理された「特殊構成要素」をアイダホ国立研究所で処理し、廃棄物をハンフォードに返却
 - （現在はFFTFで貯蔵されている）ナトリウムは、ハンフォードの廃棄物処理場で製品として使用予定

EBR-2最終廃止措置 原子炉遮蔽隔離

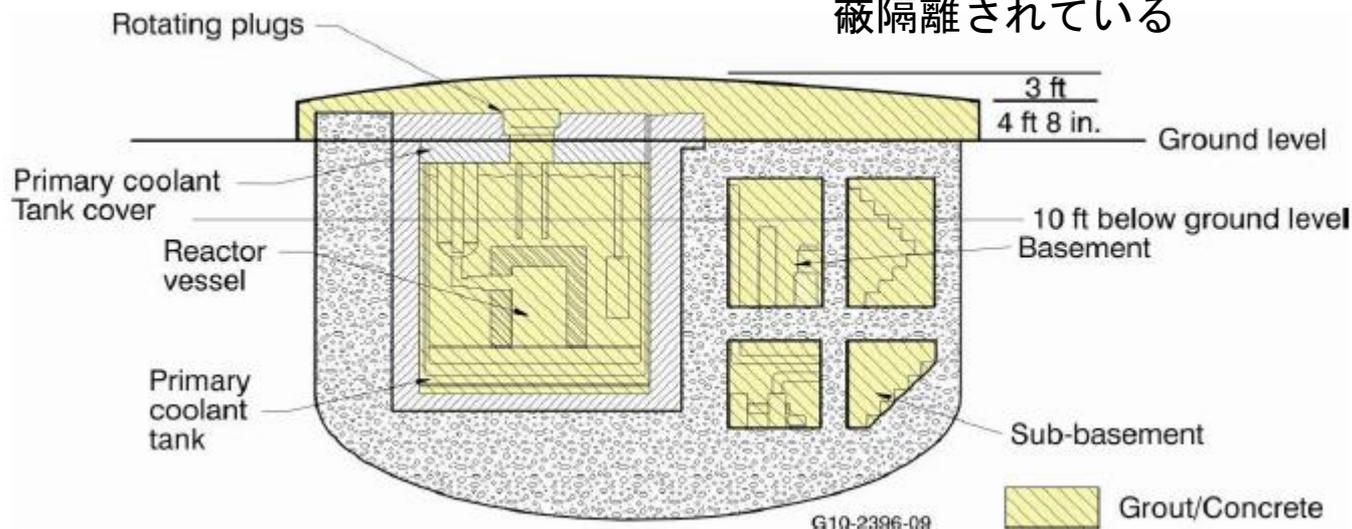


原子炉上のメインフロア



原子炉は現在、コンクリートにより遮蔽隔離されている

遮蔽隔離の
コンセプト



- 予期せぬことを予期せよ！想定外の状況への遭遇。例えば、文書で示されているものと異なる物理的構成、予想外の汚染や高線量、正しくない方向への気流、その他多くの出来事など。
- 運転文化から廃止措置文化と任務への移行を加速させることが重要。それが完了しないと、進捗が遅れる。これには、残留を望んでいる作業員の再訓練や、必要な技能を有する別の作業員の雇用が求められる。新しい作業・任務環境に向け、技術・作業の慣行や手順を変更する必要がある。
- 運転中と異なる多くの潜在的脅威に対する作業員や公衆の安全について理解し、対策を立てる。
- 任務、状態、活動種類の変化や、以前の運転時とは大幅に異なるその他の課題に、規制監視が適応する必要がある。以前の課題も引き続き多く存在する。
- 将来的な使用とエンドステートについて、できる限り早くステークホルダーに連絡する。進捗に合わせて継続的に連絡する。
- 異なる技術や技術の進歩の必要性を理解する。革新を奨励する。

- 特徴付けはプロジェクト策定の要である。
- ナトリウムを除去、処理するには、複数の方法が必要となる。1つの方法のみ計画しないこと。
- ナトリウム除去の方法と工程を試験、認定するにはモックアップを使用するのが役立つと判明した。
- 退職前の技術スタッフによる情報の記録。
- 引き続き必要な設備やシステムの「建設時」図面を保存する（図面が不正確な可能性のあることを認識する）。
- D&Dのためシステムを「再構成」するのに必要となるかもしれない予備品を保存する。
- 過去の運転における異常の記録を保存する。

- 謝辞
 - EBR-2、カーク・ドゥーリ氏
 - FFTF、アル・ファラビー氏
- 参考文献
 - 米DOEハンフォード局、FFTFの閉鎖：成果と計画、2017年1月26日
 - アイダホ浄化プロジェクト、D&Dナトリウム処理の概要
 - EBR-II D&Dの概要
 - DOE/ID-11398、改訂0版、EBR-IIの最終的なエンドステートに対する技術評価/費用分析、2010年1月
 - DOE/EA-0993、環境評価、FFTFの閉鎖
 - DO E/RL-2009-26、改訂0版、FFTFの監視・保守計画
 - FFTF-25070、改訂0版、FFTFの不活性化の最終段階基準
 - IAEA-TECDOC-1633、ナトリウム抜取り後の高速炉の廃止措置
 - IAEA-TECDOC-1769、高速炉からの残留ナトリウムとナトリウム・カリウムの処理
 - 原位置廃止措置に関して得たDOE EMプロジェクトの事例と教訓、米国エネルギー省、環境管理局、D&D・施設工学局
 - EBR-II D&Dの最新情報－2012年9月、CWIで1次系ナトリウムの処理を完了