

IRIDシンポジウム2015 in 福島

廃炉に向けた研究開発

2015年7月23日 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID) 及川 清志

研究開発の位置づけ

中長期ロードマップ 2011年12月 2013年11月 2021年~ 30~40年後 安定化に向けた 第1期 第2期 第3期 取り組み ・冷温停止状態の達成 使用済燃料プール内の 燃料デブリ取り出しが開始さ 廃炉終了までの期間 燃料取出し開始までの期間 放射性物質放出の れるまでの期間 (目標:ステップ2完了 大幅な抑制 (目標:ステップ2完了 (目標:ステップ2完了 から30~40年後) から2年以内) から10年以内)

事業分野

RID

- 研究開発の全体像
- 原子炉の冷温停止状態の継続
 滞留水処理(汚染水対策)
 発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止
 使用済燃料プールからの燃料取り出し
 燃料デブリ取り出し
- ●固体廃棄物の保管・管理と 処理・処分に向けた計画
- ●原子炉施設の廃止措置計画



「技術戦略プラン2015」 NDF

IRIDの研究開発プロジェクト



使用済燃料プール燃料取出しに係る研究開発

- 使用済燃料プールから取出した燃料集合体の長期健全性評価
- 使用済燃料プールから取出した損傷燃料等の処理方法の検討

燃料デブリ取出し準備に係る研究開発

- 原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発
- 原子炉格納容器漏えい箇所の補修・止水技術の開発
- 原子炉格納容器漏えい箇所の補修・止水技術の実規模試験
- 原子炉格納容器内部調査技術の開発
- 原子炉圧力容器内部調査技術の開発
- 事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握の高度化
- 原子炉内燃料デブリ検知技術の開発
- サプレッションチェンバー等に堆積した放射線物質の非破壊検知技術の開発
- 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し技術の開発
- 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発
- 原子炉圧力容器/格納容器の健全性評価技術の開発
- 燃料デブリ臨界管理技術の開発
- 燃料デブリ性状把握・処置技術の開発
- 実デブリ性状分析

RID

固体廃棄物の処理・処分に係る研究開発

● 固体廃棄物の処理・処分に関わる研究開発



原子力発電所の構造





使用済燃料プールからの燃料取り出し

使用済燃料プールからの燃料取り出し工程



研究開発の課題

海水に曝された、あるいは変形・損傷の生じた恐れのある使用済燃料を取り出した後の、燃料集合体の健全性の確保が重要

- ●長期にわたり健全性を確保しながら保管する
- ●再処理時の影響の検討

IRID

使用済燃料プール燃料取り出しに係る研究開発 取出した損傷燃料等の処理方法の検討 取出した燃料の長期健全性評価 海水注入、ガレキ混入の構造部 海水やコンクリート等の不純物付着・同伴、落下した 材に対する影響を評価 ガレキによる損傷した可能性のある燃料の化学処理 工程への影響評価 ●4号機取り出し燃料の状態調査 ●不純物による再処理機器への腐食影響評価 ねじ部内面の腐食なし ・模擬高レベル廃 構造健全性 🧹 ハンドル ・被覆管酸化膜厚さの増加は保管 液による腐食試 燃料と同等 験では、孔食見 13 10 3 られず ・上部タイプレート 848 SIDE RRP*模擬廃液 RRP模擬廃液+人丁海水 (塩化物イオン20[g/L]) (塩化物イオン0[g/L]) 燃料被覆管 *RRP:六ヶ所再処理施設 ●不純物の工程内挙動評価 共用プール保管燃料調査 波覆管密閉性 ・不純物成分の分配比は10-2~10-3オーダーと低く、溶媒 ●長期健全性評価技術開発 に抽出されにくい 海水・モルタル成分を含むガラス ・コンクリートガレ ●不純物の廃棄体への影響 試験片の均一性評価 キ環境模擬・ ナット 浸漬試験 ・相分離の析出 なくガラス化 (8000時間) による腐食の ・ガラス物性値 発生なし データに不純物 ·機械的強度劣 の影響なし 上部端栓 化なし 標準濃度* 標準濃度×10倍 標準濃度×100倍 燃料集合体上部 構造健全性 下部タイプレート 模擬試験片断面 *標準濃度:不純物(海水・モルタル成分)の BWR燃料集合体 付着・同伴量のガラス固化体への推定混入濃度



燃料デブリ取り出し

TMI-2*を参考とした基本方針

*スリーマイル島原子力発電所2号機

作業被ばく低減等の観点から燃料デブリを 冠水させた状態で取り出すことを基本方針 として研究開発計画を策定

- ●遠隔操作機器・装置活用による燃料デブリ取り出し
- 炉内状況把握・解析のための 事故進展解析技術の高度化
- ●燃料デブリ処置のための基礎基盤的データ取得

燃料取り出し手順(想定)

- ① 原子炉建屋内除染
- ② 原子炉格納容器漏えい箇所調査
- ③ 原子炉建屋止水/原子炉格納容器の下部補修
- ④ 原子炉格納容器部分水張り
- ⑤ 原子炉格納容器内部調査・サンプリング
- ⑥ 原子炉格納容器上部補修
- ⑦ 原子炉格納容器/原子炉圧力容器水張り
- ⑧ 原子炉内調査・サンプリング
- ⑨ 燃料デブリ取り出し技術の整備と取り出し作業
- ⑩ 取り出し後の燃料デブリの安定保管、処理・処分







「スリーマイル島原子力発電所事故: 復旧、クリーンアップ、教訓および今後」 レイク・バレット IRIDシンポジウム 2014.7.18

IRID

燃料デブリ取出し計画 (2号機) (中長期ロードマップ)





燃料デブリ取り出し工程イメージ



原子炉建屋・作業エリアの除染

除染技術開発の課題

漏えい箇所調査、補修等の各種作業を円滑に進めるためには、作業場所の環境改善が必要

2012年~2013年調查

<u>課題</u>

RID

●高線量エリアでの作業

1~3号機の放射線量状況

- ●多様な汚染形態/多様な作業場所への対応要
- ・遠隔技術の確立

・対象部位ごとの仕様検討・開発



遠隔除染技術の開発

汚染形態



遠隔除染技術の開発方針

●表面の固着物を除去

- ●表面の堆積物を回収あるいは除去→吸引
 - →高圧水噴射
- ●塗膜あるいはコンクリートに浸透した汚染を除去 →ドライアイス・ブラスト
- ●コンクリートに浸透した汚染をコンクリートごと除去 →ブラスト



空間線量の構成

床面、壁面、ダクトや配管などの天井面の 線源から構成



IRID

冠水工法のための漏えい調査・止水





「Browns Ferry Unit 1 under construction 1966.Sep.」 Tennessee Valley Authority – TVA's 75th Anniversary webpage



点検調査装置の開発

S/C上部調査装置

S/C上部構造物からの漏えいの調査



ベント管-D/W接合部調査装置

ベント管付根部の水漏れをカメラで調査





VT-ROV

IRID

水中遊泳・床面走行装置

水中・濁水中の壁面貫通部の調査





13

S/C下部調査装置

水没部の30mm以上の

SC-ROV

穴の有無を調査

格納容器補修技術の開発

漏水の確認

主蒸気配管伸縮継手部



真空破壊ライン伸縮継手カバー部



漏水個所



ベント管内へ止水材を充填する 「止水工法」基礎試験



東京電力提供資料



D/W外側狭隘部補修工法



PCV下部補修工法



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

サンドクッション・ドレン管

IRID





遠隔操作機器・装置の

開発・実証のための施設

実際の現場サイト内において機器・装置の適用性を試行錯誤しながら確 認することを避け、機器・装置の実証を繰り返し試験できる環境が必要

S/C下部調査装置







PCV下部補修工法

格納容器漏えい個所の補修・止水技術の実規模試験

楢葉遠隔技術開発センター 試験棟





IRID

原子炉格納容器(PCV)内部調查

PCV内部調査の目的

- ●燃料デブリ取り出しに向けて、原子炉格納容器内の燃料デブリの位置、状況を調査する
- ●圧力容器を支持するペデスタル等の状況を確認する

調査および調査装置の開発方針



PCV内部調查

PCV内部調査ロボットの開発





原子炉圧力容器(RPV)内部調査

内部調査の目的

RPV内部の燃料デブリの位置、炉内構造物の損傷状態、RPV内の温度、線量等を取得する ●調査対象部位までのアクセス方法、調査方法、及びサンプリング方法を検討する





可視化技術



IRID

炉内状況把握·解析

解析技術に対する要求

燃料デブリの取り出し、および安全対策の立案には、炉内状況を推定・把握することが不可欠

- ●高線量下にある損傷炉心の直接的な観察は困難
- ●事故進展解析技術は、事故進展の概要把握は可能だが結果に不確実性大きく、これだけで燃料デブリの存在場所・形態、圧力容器の損傷程度等を推定するのは困難

⇒事故進展解析技術の高度化を図り、炉内状況の推定・把握を継続的に実施する必要がある

事故進展の解析例

原子炉への注水量低下に伴い、原子炉水位が低下し、炉心温度が上昇して、燃料が溶融した(3号機)



燃料デブリの炉内位置推定





過酷事故進展解析技術

過酷事故進展解析コード

- MAAP (Modular Accident Analysis Program)
- ●試験結果等に基づく相関式を採用した「簡易モデル」により構成、 高速計算可能
- ●不確かさの大きな現象を対象としたパラメトリック解析が可能

SAMPSON (Severe Accident analysis code with Mechanistic, Parallelized Simulations Oriented towards Nuclear fields)

- ●可能な限り物理・化学現象を精緻に記述した「機構論的モデル」 及び理論式を採用
- ●空間的に分布が生じる現象について、多次元解析が可能

MAAP 原子炉圧力容器内モデルの概要





RID



IRID

燃料デブリの性状把握

模擬デブリの生成

- ●生成する酸化物、金属の推定
 - →熱力学平衡計算 (炉内の燃料分布、酸素濃度、温度)
 - 酸化物: (U,Zr) O₂ 金属: Zr(O)、Fe₂ (Zr、U)

福島第一に特有な反応の把握

●ホウ素との反応生成

B₄C制御材由来のホウ化物は顕著 に硬く、切削工具へ負担となる可能 性あり

●コンクリートとの高温反応(MCCI*) *Molten Core Concrete Interaction コンクリート組成、溶融温度・時間により生

成物組成異なる

コンクリート侵食面間に多層の酸化物層

●海水塩との高温反応

RID



金属

20

25

15

コアボーリング

原理:研削·

圧縮

カッティング

原理:溶断

5

SS-Si

微小硬さ(Gpa)





24

IRID

燃料デブリの臨界管理技術の開発

臨界管理技術開発の目的

現状の燃料デブリは臨界になっていないと考えられるが、今後の燃料取り出し作業等に伴い デ ブリ形状や水量が変化した場合でも再臨界を防止するために、臨界管理手法 及びモニタリング 技術を開発する

技術開発のポイント





健全性評価

余寿命評価の概略フロー





耐震強度評価



プラント調査状況

これまでの検討から推定されるプラントの状況

「技術戦略プラン2015」NDF



RID

28

燃料デブリ取り出し工法検討

燃料デブリ取り出し工法オプションの検討

IRID

先行事例のTMI-2取出し工法(冠水)に対して、過酷事故の影響によるPCV上部までの水張りの困難さなど、福島第一の状況に沿った燃料デブリ取出し工法を検討する

- ●PCVの上部まで水を張らず、燃料デブリが気中に露出した状態で取り出す工法の検討
- PCV内に広く分布していると推定される燃料デブリを取り出すためのアクセス方法の検討



燃料デブリ取り出しの工法

選定した燃料デブリ取り出し工法オプションの概要

a. 冠水 – 上アクセス工法



「技術戦略プラン2015」NDF



デブリ・炉内構造物取出し工法・装置開発

燃料デブリ取り出し作業共通の課題



IRID

放射性廃棄物処理・処分に係る研究開発

中長期ロードマップにおける放射性廃棄物対策の位置づけ 廃棄物の発生 保管管理 処理 (廃棄体化) 処分 廃炉シナリオに依存 分別・減容・長期貯蔵 事故廃棄物の特徴を踏まえた一連の研究開発が必要 R&D 2017年度 2021年度 20~25年後 40年後 現場作業 保管 発生量低減策の推進 KK 安定保管の継続 検討 管理 保管適正化の推進 安全性の見通し確認 基本的な考え方の取りまとめ 廃棄体製造 廃棄体製造 **奶理**• 設備設置 /搬出•処分 SW-2 処分 SW-1 SW-3 SW-4 制度化に向けた検討 ND-1 制度化 廃止 廃炉シナリオ ND-3 廃炉シナリオウ案 コンセンサス 措置 機器・設備の設計・製造 廃止措置工事 ND-2 獲得 燃料デブリ 廃止措置技術の検討 取出し後

●技術判断ポイント(次工程へ進む判断のポイント。追加で必要な研究開発や工程又は作業内容の見直しも含めて検討・判断する。)



RID



福島第一事故廃棄物の状況(事故廃棄物の特徴)

- ●事故によりコントロールできない状態で発生
- 1~3号機の炉心燃料を起源とした汚染*
- ●廃止措置作業が状況に応じて変化するため、発生量の想定が困難
- 汚染範囲が広く、高線量箇所もあるため、データが非常に限定的 (特に長半減期核種の組成)



*:放射化物、運転廃棄物由来のものが含まれる可能性がある。

固体廃棄物の処理・処分研究の概要

廃棄物の処分までの流れと研究項目



33

IRID



IRID



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

企業・IR情報

福島第一

タイムで耐

▶ 1号機(

▶ 4号機1

会見アーナ

他、公表し 等の映像な



ご清聴ありがとうございました