

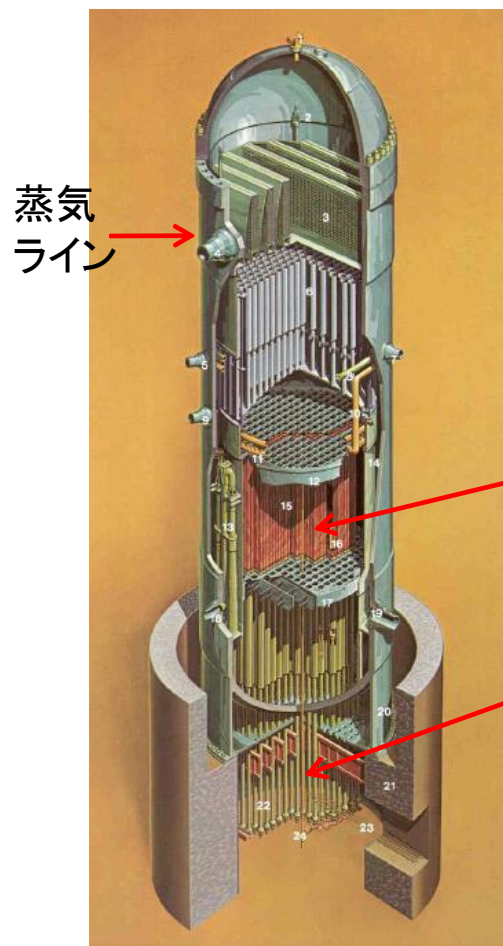
燃料デブリ取り出しの意義とリスク低減の考え方 (中長期廃炉に向けた考え方の紹介)

2017年3月4日

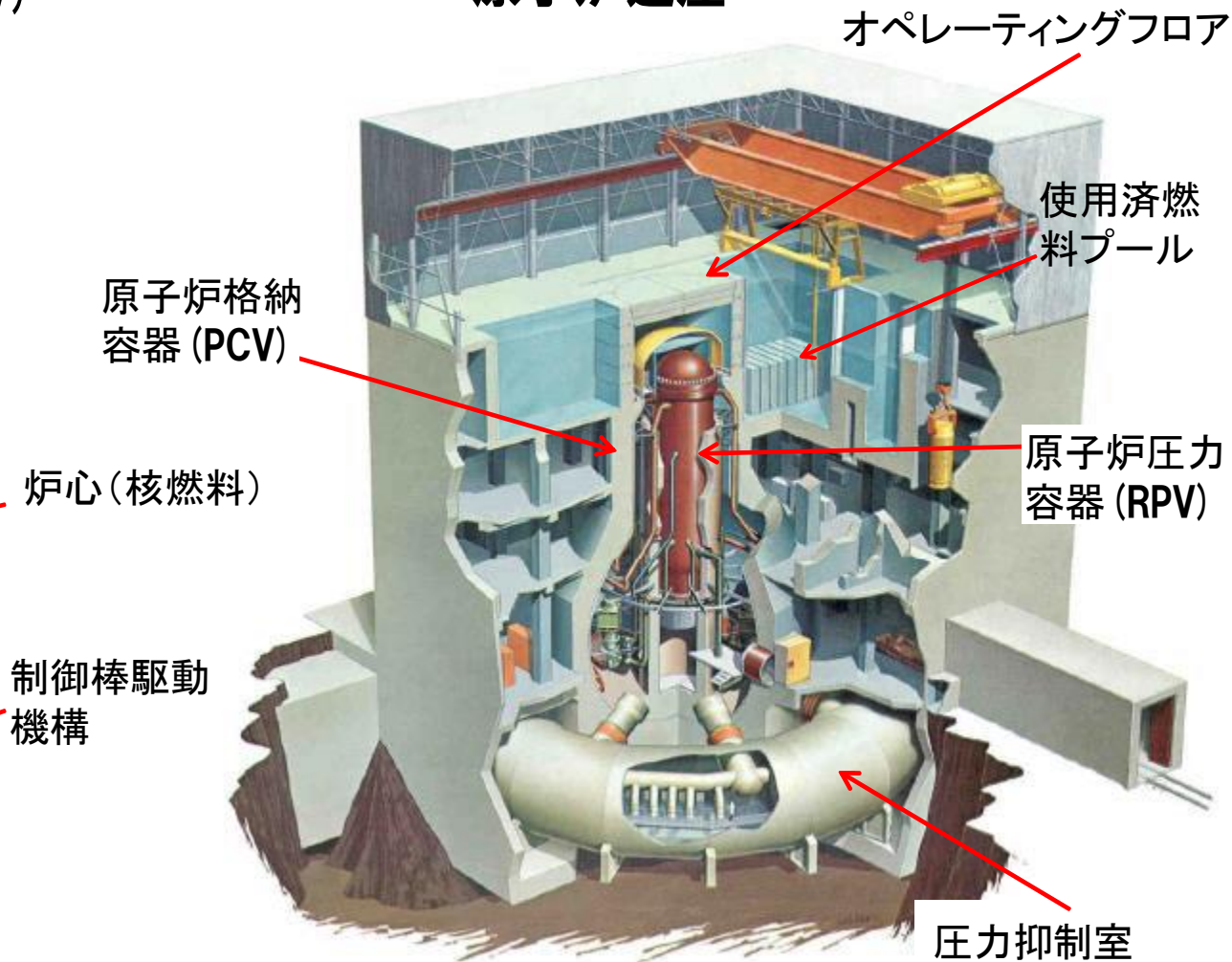
原子力損害賠償・廃炉等支援機構

原子炉建屋

原子炉压力容器 (RPV)



原子炉建屋

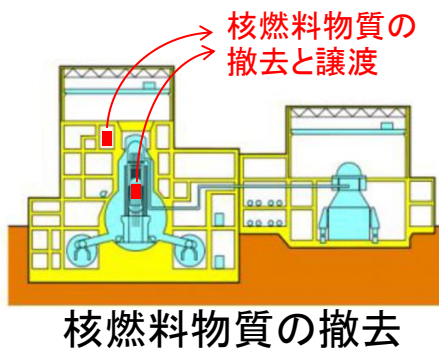


出展: NRC公開資料より

無断複製・転載禁止 原子力損害賠償・廃炉等支援機構

©Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation

健全炉の廃止措置



通常炉の場合、営業運転の終了後、核燃料物質（使用済燃料等）を撤去して他所に移動（譲渡等）した後に、廃止措置を実施

核燃料物質撤去後は、放射化生成核種（Co-60：半減期5年）の扱いが主なテーマとなる。

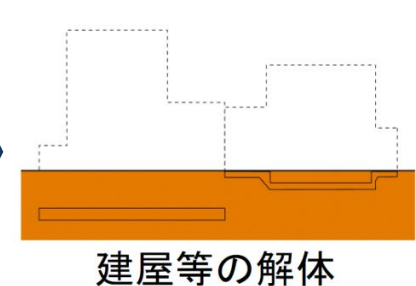
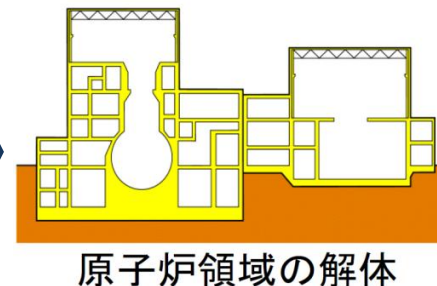
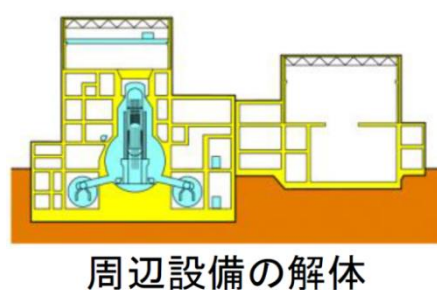
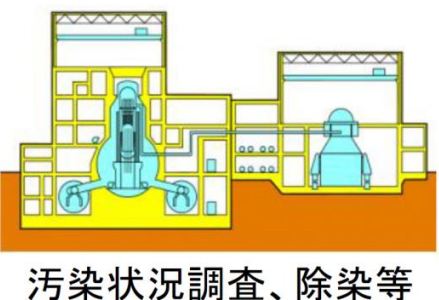
原子炉等規制法抜粋

（発電用原子炉の廃止に伴う措置）

第四十三条の三の三十三 発電用原子炉設置者は、発電用原子炉を廃止しようとするときは、当該発電用原子炉施設の解体、その保有する核燃料物質の譲渡し、核燃料物質による汚染の除去、核燃料物質によって汚染された物の廃棄その他の原子力規制委員会規則で定める措置（以下この条及び次条において「廃止措置」という。）を講じなければならない。

2 発電用原子炉設置者は、廃止措置を講じようとするときは、あらかじめ、原子力規制委員会規則で定めるところにより、当該廃止措置に関する計画（次条において「廃止措置計画」という。）を定め、原子力規制委員会の認可を受けなければならない。

3 （略）



福島第一原子力発電所の廃止措置

- 短期的には、高いリスク源に対する措置を急ぐ。⇒ 建屋内汚染水・使用済燃料 等々
- 中長期的には、格納容器内に散乱する燃料デブリを「安定な管理状態」にもちこみ、施設全体を「受動的な安全状態」に持ち込むことが望まれる。リスクレベルを、受容可能な低いレベルに下げることが重要。
- 事故施設を扱う上で、特定原子力施設としての措置の範囲内で、作業を周到に準備することが重要。

アクセスの難しい使用済燃料の存在

放射性セシウム(半減期30年)が炉内や建屋内に広く分布しており、高汚染・高線量

核燃料物質(燃料デブリ)が炉内に散乱

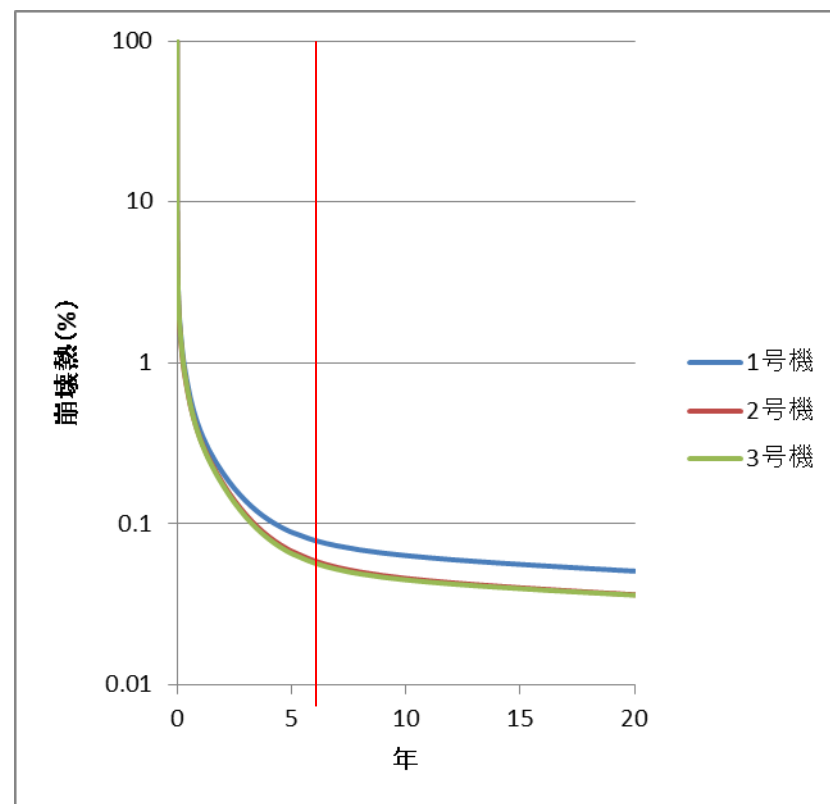
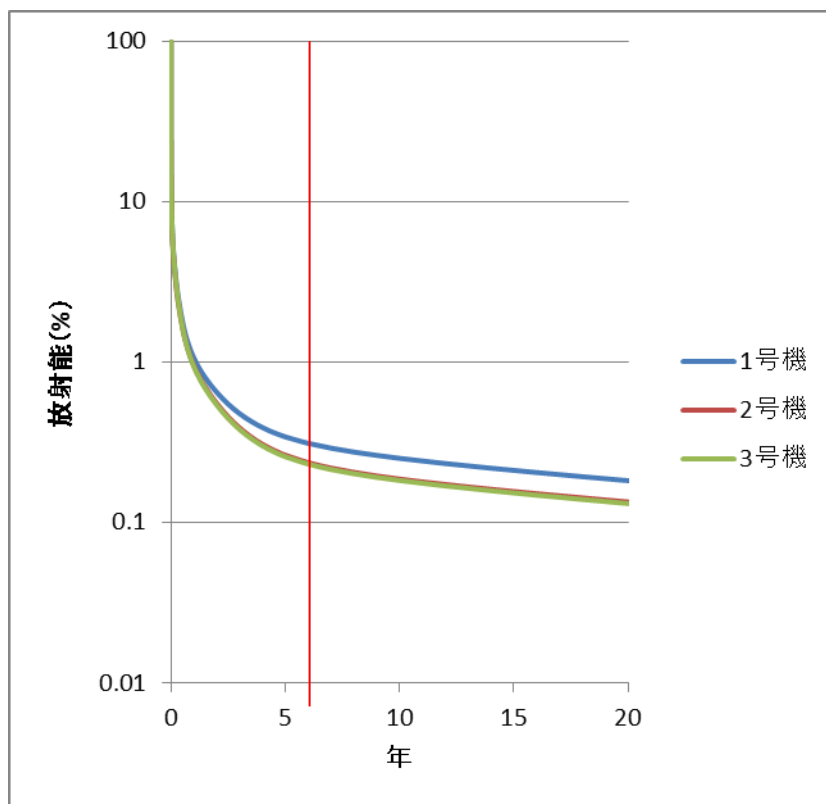
原子炉等規制法より (危険時の措置)の要点

第六十四条(危険時の措置)

- ① 地震、火災その他災害が起こった原子力施設に対して応急の措置。
- ② さらに災害を防止するため、または特定核燃料物質を防護するため「保安又は特定核燃料物質の防護につき特別の措置を要する施設(特定原子力施設)」として指定。
- ③ 原子力事業者に対して、保安又は特定核燃料物質の防護のための措置を実施する計画の提出を求め、その計画に沿った措置を命ずる。

事故後の放射能と発熱量の低下

- 燃料デブリの放射能は、事故直後と比べて 1/100以下まで低下。今後も、セシウムや燃料デブリなど寿命の長い放射性物質に対する閉じ込めの管理を厳重に実施する必要がある。
- 燃料デブリの発熱量は、事故直後と比べて 1/1000程度まで低下。原子炉容器内の冷却は安定に行われており、熱発生（崩壊熱）による炉心溶融や損傷のような事態が起こるとは考えにくい。



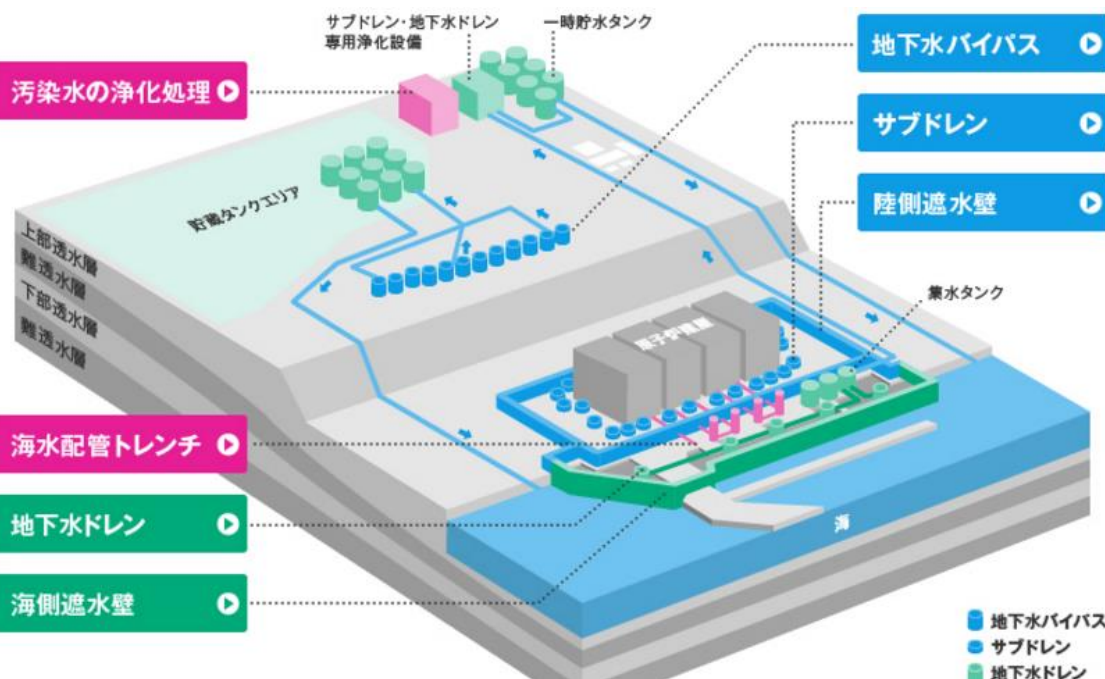
汚染の閉じ込めには成功してきている

建屋からの放射性物質の漏洩（①大気経由、②地下水経由）は、抑制され、制御されている。

- 大気への放射性物質の放出は、極小化されている
- 炉心を循環冷却している。汚染冷却水から放射性物質を除去してその吸着材を保管。トリチウム水を貯蔵
- 海側遮水壁により、放射性物質の、港湾への放射性物質の流出を防止
- 陸側遮水壁・サブドレンにより、建屋に侵入する地下水量を低減



地下水



出典: TEPCO HPより引用

無断複製・転載禁止 原子力損害賠償・廃炉等支援機構

©Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation

放射線環境の改善

2011年事故直後の4号機



2011年事故直後の瓦礫



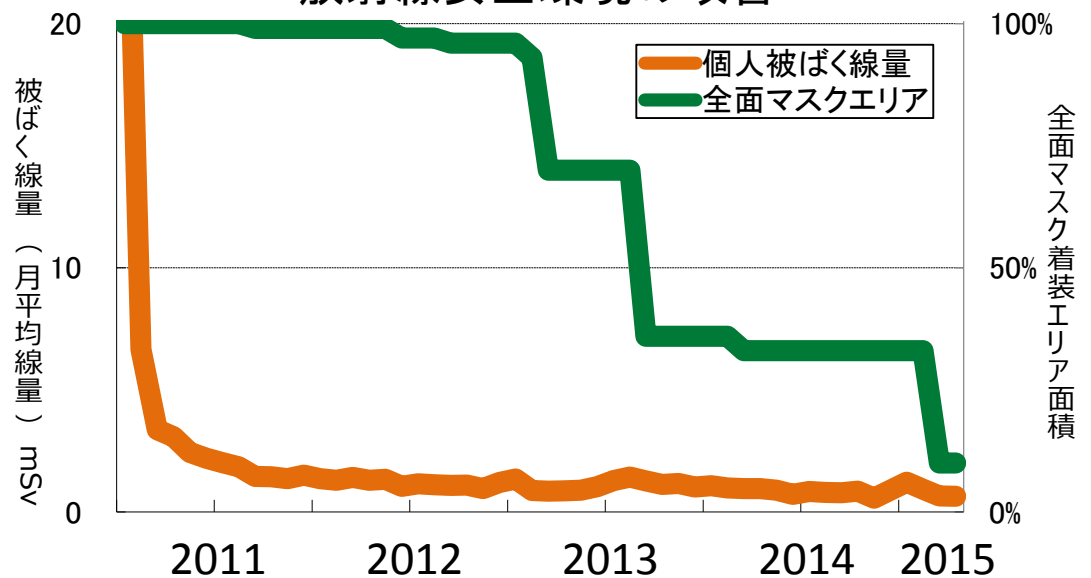
2015年



2015年



放射線安全環境の改善



出典: TEPCO提供

リスク低減戦略（福島第一のリスク分析）

①放射性物質によるリスク

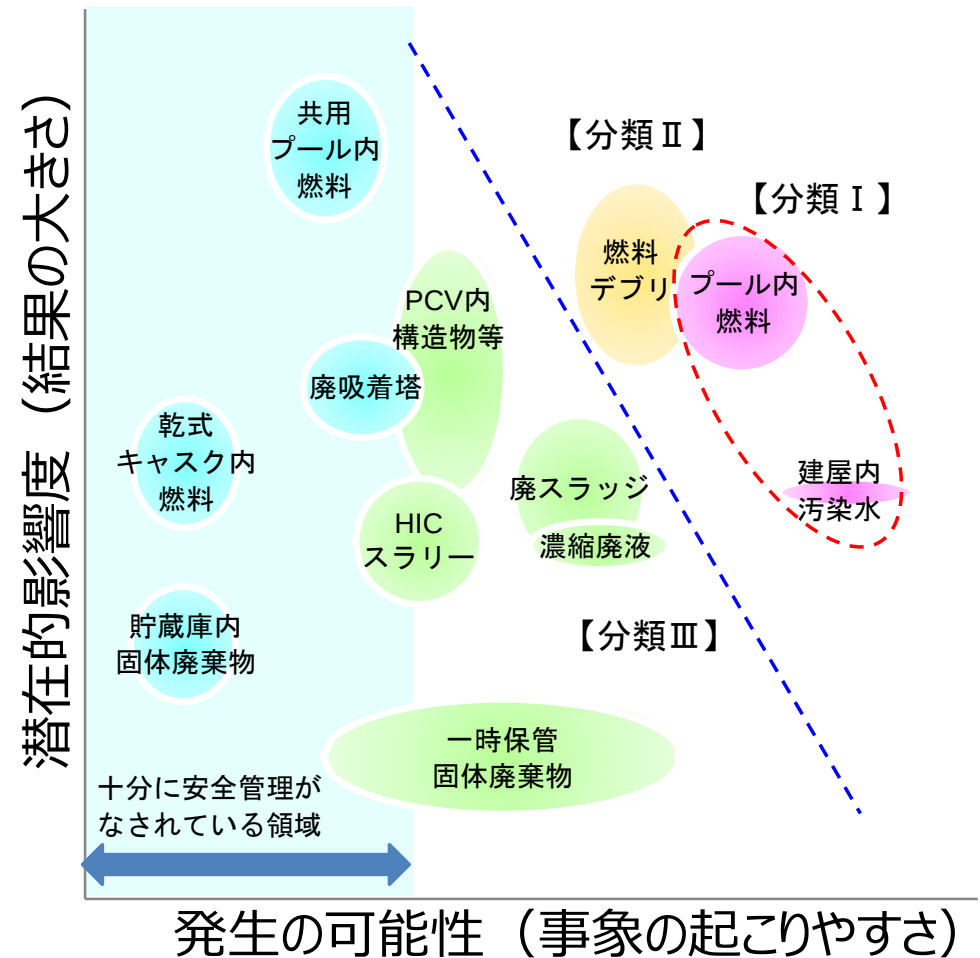
||

②潜在的影響度
(結果の大きさ)

×

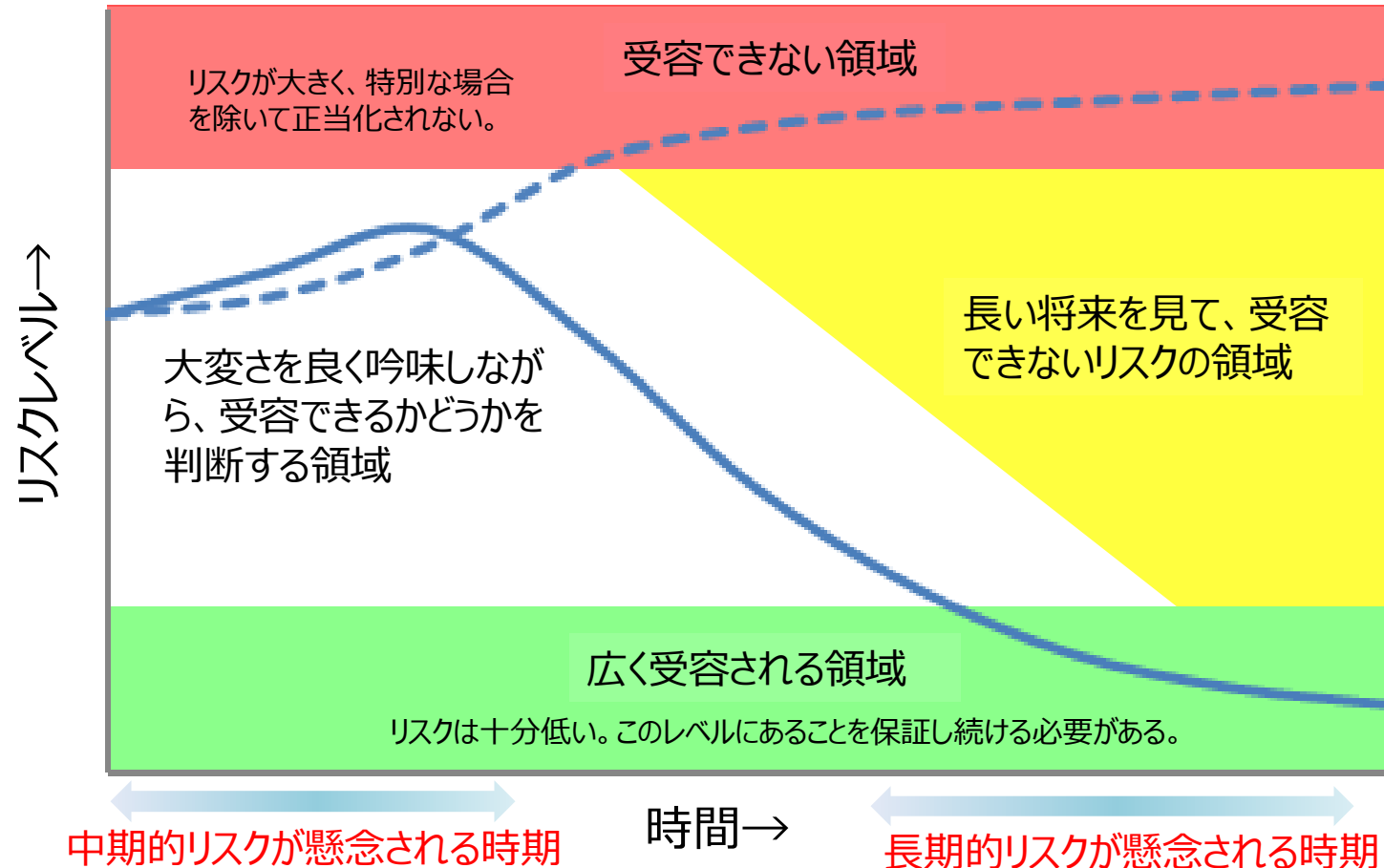
③発生の可能性
(事象の起こりやすさ)

(※) 図では、不確かさの影響を「広がり」によって表現



長い目で見たリスクへの取組

- ◆ 放置するとリスクが上がる可能性が大
- ◆ 措置に伴うリスクが高まらないような操作を選択し、廃炉作業によって、広く受容できる「低いリスクレベル」に持ち込む

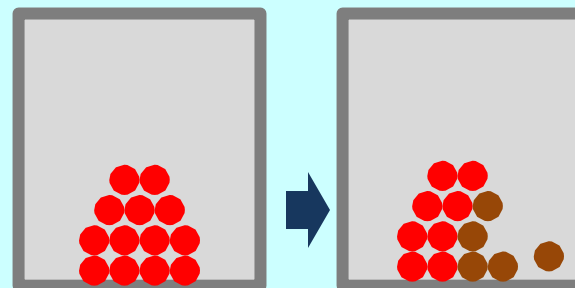


燃料デブリ取り出し（リスク低減）の検討方針

- 燃料デブリのリスクを継続的、かつ、速やかに下げるためには、中期的リスクの低減と長期的リスクの低減という2つの視点の戦略が必要

中期的リスク

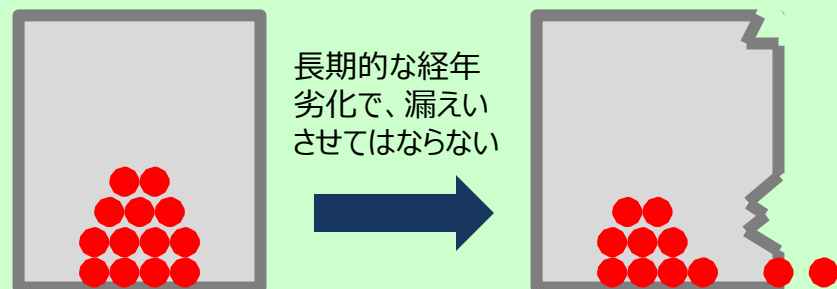
燃料デブリについて現在維持されている“一定の安定状態”からの逸脱が発生するリスク



中期的に、原子炉内部の安定が損なわれない事が大事

長期的リスク

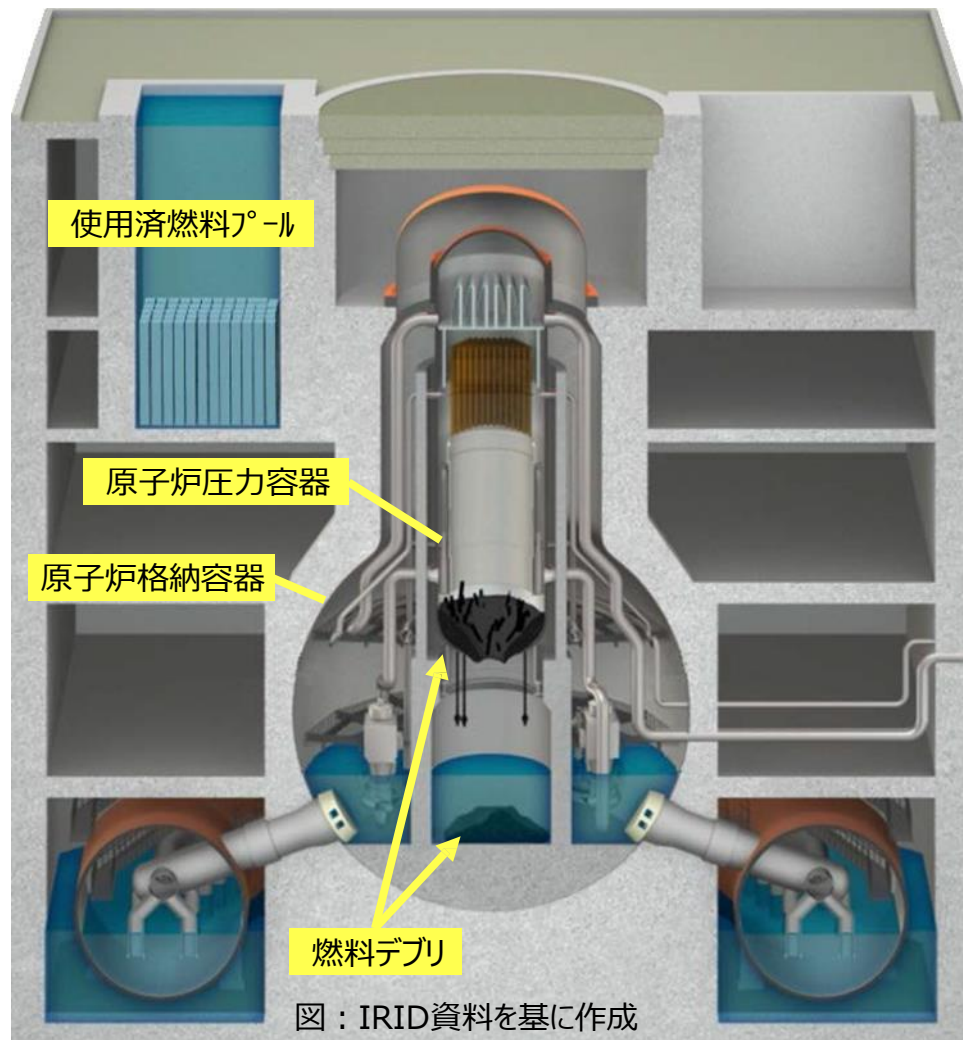
核燃料物質が、将来的に建屋の劣化に伴い漏えいし、環境汚染が発生するリスク



長期的な経年劣化で、漏えいさせてはならない

燃料デブリ取り出しに向けた周到な準備

安全性を優先として、周到な準備を前提に、遠隔装置を利用した燃料デブリ取り出しを実施



- ① オペレーティングフロアの整備を進め、使用済燃料の取り出しを先行実施
- ② ロボットや遠隔カメラによる格納容器内の点検を実施
- ③ ミューオン透視により炉内デブリの分布状況を調査
- ④ 過酷事故シミュレーション計算により、デブリの分布状態を推定（OECD国際協力を含む）
- ⑤ 圧力容器内を点検する技術を開発
- ⑥ 格納容器底部の水漏れの閉止技術を開発
- ⑦ 取り出し工法の技術開発
- ⑧ 燃料デブリの物性を知るための試験や調査を実施
- ⑨ サブドレン、陸側遮水壁による建屋内流入水の低減
- ⑩ 取り出し方針の決定に向けて、種々の工法の安全性や成立性を検討

使用済燃料取り出しの状況

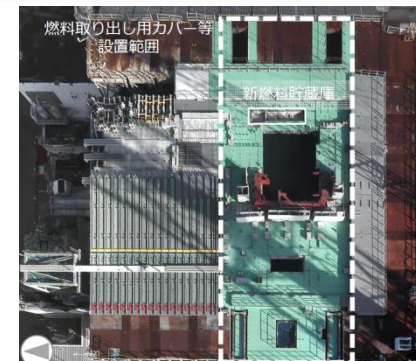
- ◆ 1, 2, 3号機プール内使用済燃料の取り出しが可及的速やかに対処すべき課題
- ◆ 1号機 2016年9月より、壁パネル取り外し作業に並行して、オペフロ上のガレキ状況等の調査を実施中
- ◆ 2号機 必要な作業エリアを確保のため、原子炉建屋周辺のヤード整備を実施中
- ◆ 3号機 オペフロ線量低減策完了（除染は2016年6月10日、遮へい体設置は2016年12月2日に完了）
→ 2017年1月よりカバー等設置工事の準備作業開始。燃料取り出し開始時期は2018年度中頃の見通し



1号機 原子炉建屋の状況



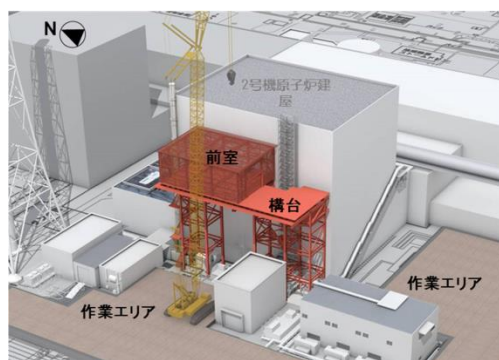
2号機 原子炉建屋の状況



3号機オペフロ線量低減策完了



1号機 オペフロ調査の状況



2号機 ヤード整備後の
原子炉建屋構台イメージ



3号機 燃料取り出し設置訓練の状況
ドーム屋根ユニット組立

周到な準備が必要（原子炉格納容器、原子炉圧力容器内部の点検）

● ロボット技術の活用による内部調査が、燃料デブリ取り出し方法決定のカギ

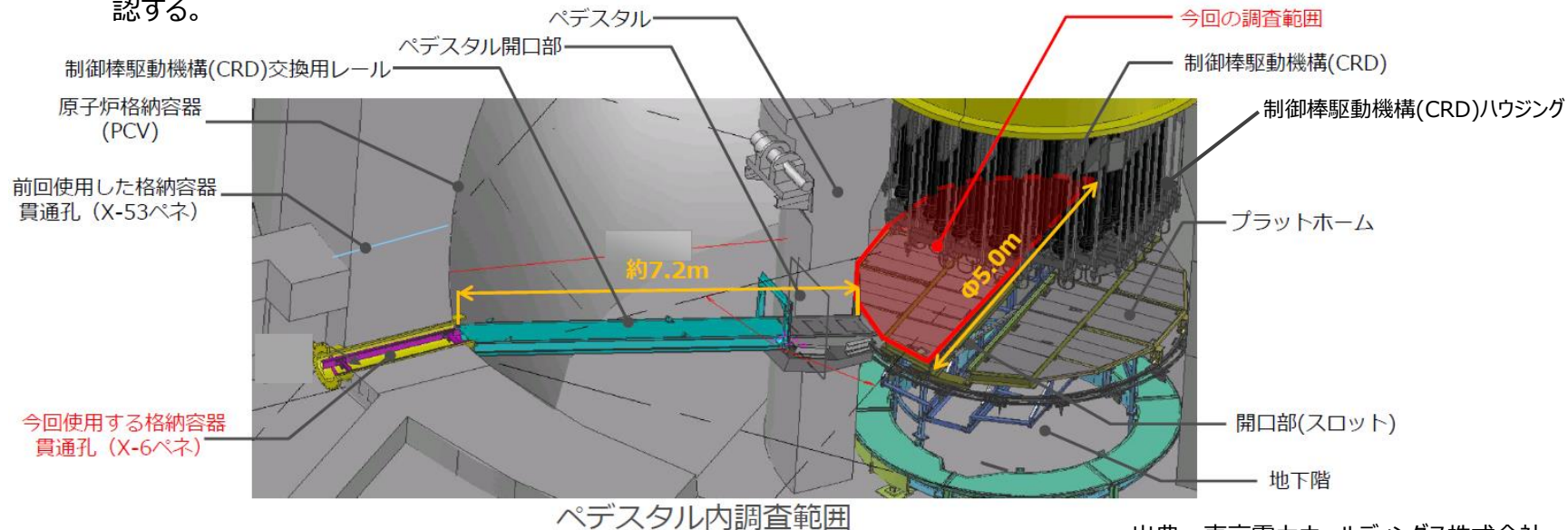
原子炉格納容器（PCV）内部の調査、原子炉圧力容器（RPV）内部の調査を行い、準備を進める。

● 2号機PCV内部ペDESTAL内側プラットフォーム上の調査の事例

- 2号機PCV内部の調査として、PCV内部ペDESTAL内側におけるプラットフォーム上の調査を実施

【調査目的】：①ペDESTAL内次回調査装置への設計・開発フィードバック情報（プラットフォームの変形有無等）を取得する。

②ペDESTAL内プラットフォーム上、制御棒駆動機構（CRD）ハウジングへのデブリ落下状況、ペDESTAL内構造物の状況を確認する。

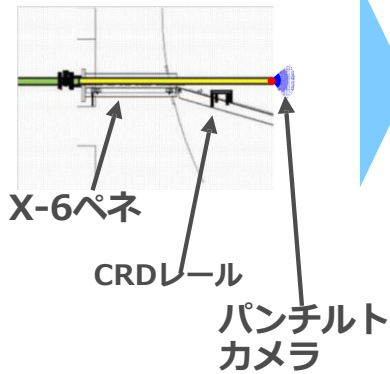


出典：東京電力ホールディングス株式会社

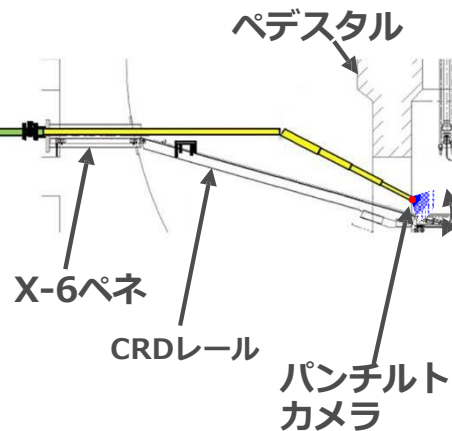
周到な準備が必要（原子炉格納容器、原子炉圧力容器内部の点検）

● 2号機PCV内部ペデスタル内側プラットホーム上の調査の事例（続き）

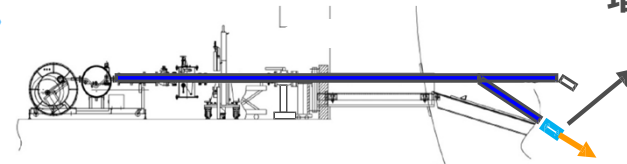
X-6ペネ内、CRD
レール事前調査



ペデスタル内事前調査
（情報取得バックアップ）

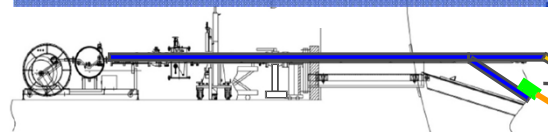


堆積物除去装置の投入

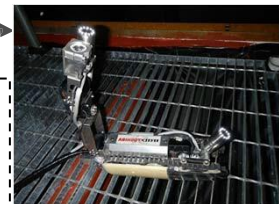


堆積物除去装置
（掃除ロボット）

自走式調査装置による内部調査



自走式調査装置
（サソロボット）



- 安全を第一に、ステップ・バイ・ステップの検討
- 燃料デブリ取り出しに必要な情報を確実に取得するため、状況を順次確認して調査を行う
- また、現場の状況に応じ、情報を取得するためのバックアップ案を含め準備を行う

⇒ **目的とする情報取得失敗のリスクを低減**

写真、図出典；
東京電力HD（株）ホームページ
2号機原子炉格納容器内部調査におけるペ
デスタル内事前調査の実施結果2017.1.30

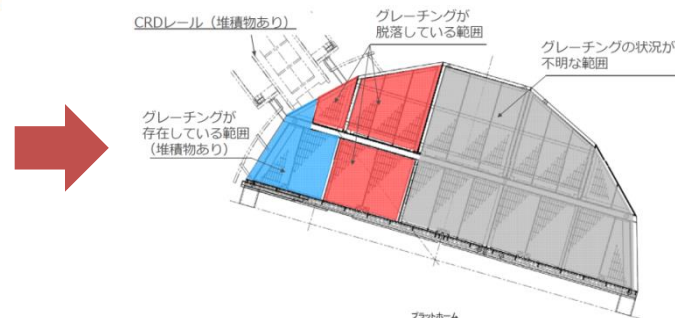
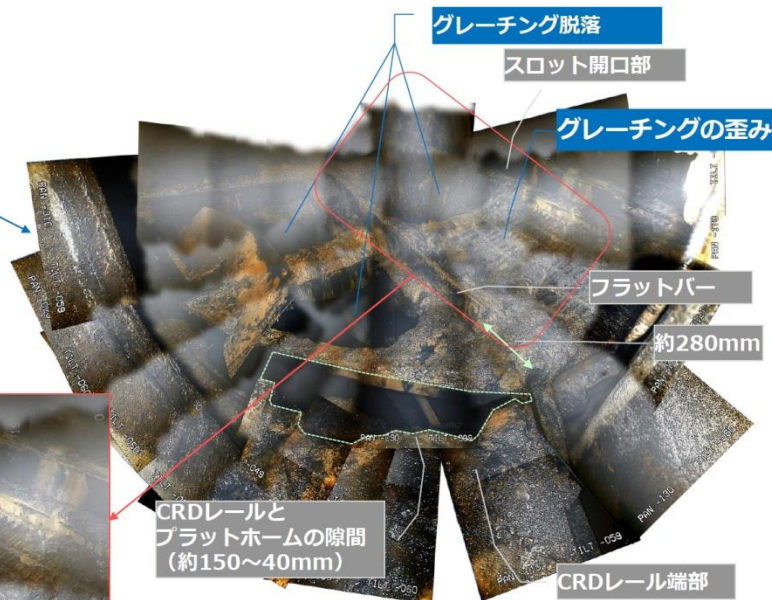
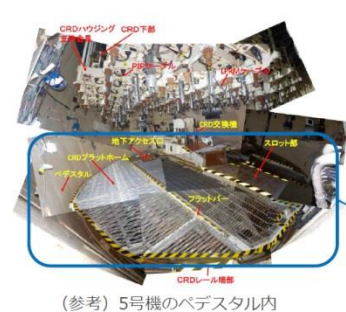
周到な準備が必要（原子炉格納容器、原子炉圧力容器内部の点検）

● 2号機PCV内部ペDESTAL内側プラットフォーム上の調査の事例（続き）

➤ 主要な調査結果

- 調査した範囲では、CRDハウジング等の設備が既設位置に残存していることを確認した。
- プラットホームにおける格子状の足場（グレーチング）の一部に脱落や歪みを確認した。
- CRDレール及びプラットフォーム上に堆積物を確認した。

➤ 調査結果によるプラットフォームグレーチングの状況



2号機のペDESTAL内調査画像

出典：東京電力ホールディングス株式会社

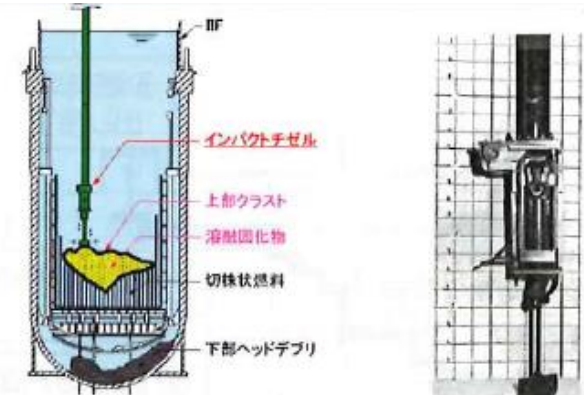
本調査により、2号機RPVに近い場所の状況を直接確認でき、画像や線量など多くの情報が収集されるなど、「燃料デブリ取り出し方針の決定」に関する技術的検討を行っていく上で、有益な情報が得られた。

燃料デブリとはどういうものか

米国スリーマイルアイランド2号機(TMI-2)の例

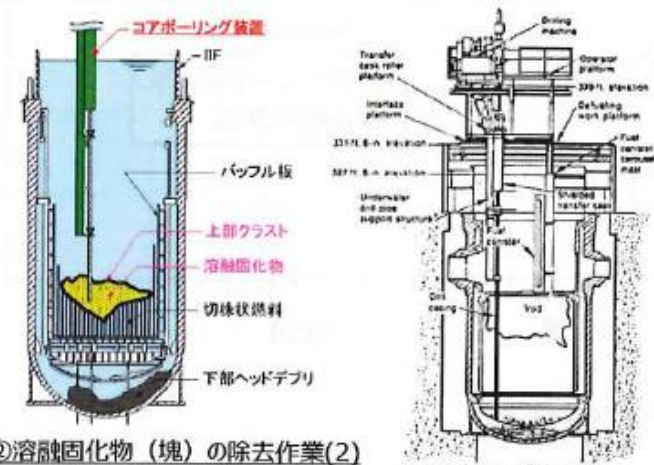
燃料デブリ：核燃料や金属部材が溶融して固まったもの。炉心溶融を起こした原子炉建屋の格納容器と圧力容器の中に分散して存在する。

TMI-2 号機の燃料デブリ取り出し



②溶融固化物（塊）の除去作業(1)

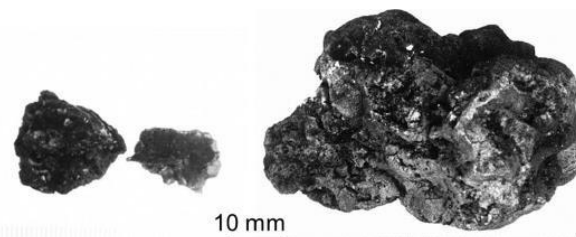
③インパクトセル※5



②溶融固化物（塊）の除去作業(2)

④コアボーリング装置※6

TMI-2 号機の燃料デブリ試料 (JAEA)



引用: The TMI-2 Chronicle, GPU Nuclear Communications

TMI-2の燃料デブリは、原子炉から回収され、アイダホ州にて容器中に安全に保管中



燃料デブリ取り出しを安全に行う方策（技術・安全要件）

1. 放射性物質を漏らさない
2. 作業員に被ばくさせない
3. デブリを安全に回収

労働安全の確保

地震時における
PCV／建屋の健全性維持

燃料デブリの
取り出し装置の開発

作業員の被ばく低減
（除染・遮へい）

閉じ込めの確保と
燃料デブリへのアク
セス（横アクセス）

放射性物質の閉じ
込め機能の確保
（上アクセス）

系統設備の設置

ガス
浄化系

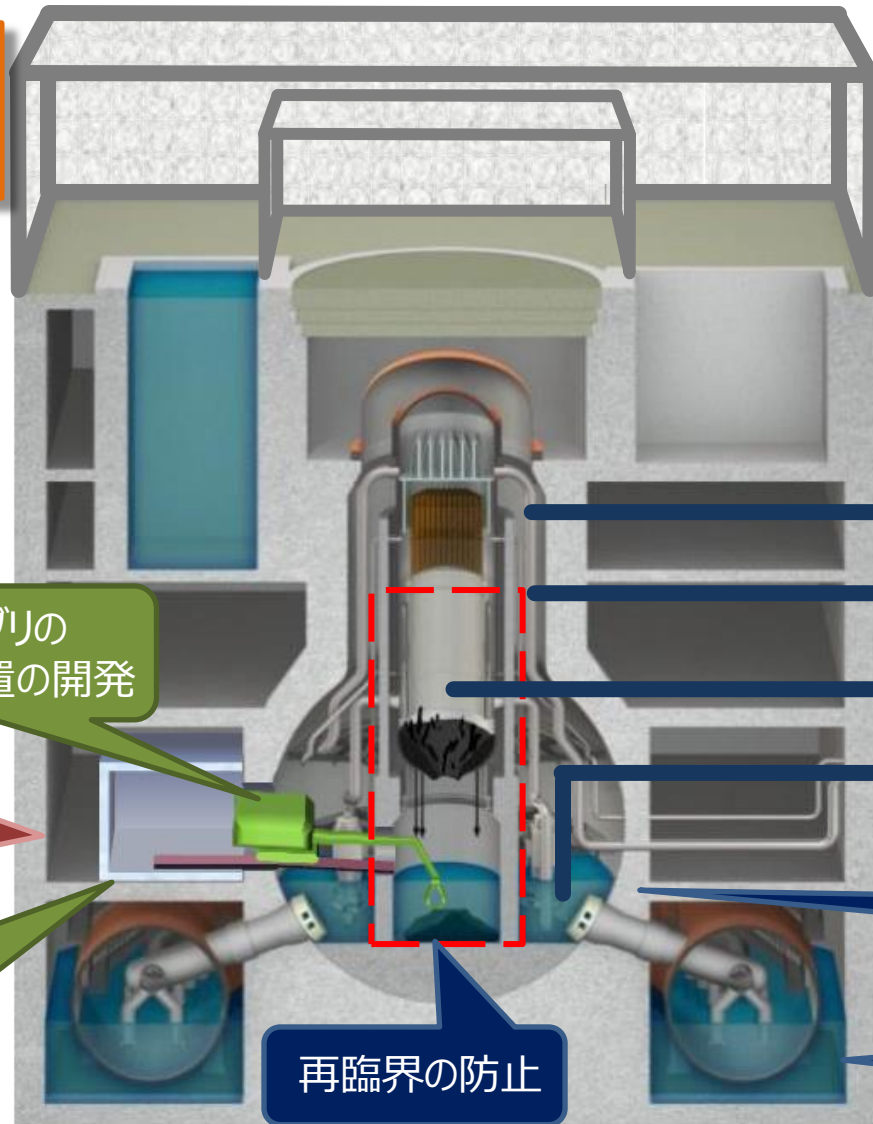
高性能
フィルタ

水循環
浄化系

PCV内水位管理

建屋内水位管理

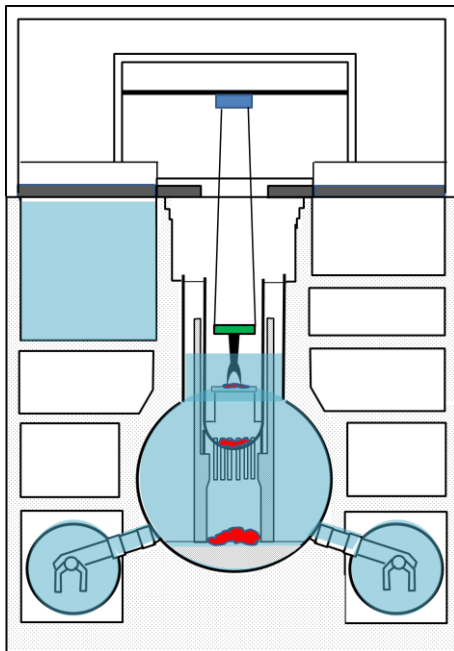
再臨界の防止



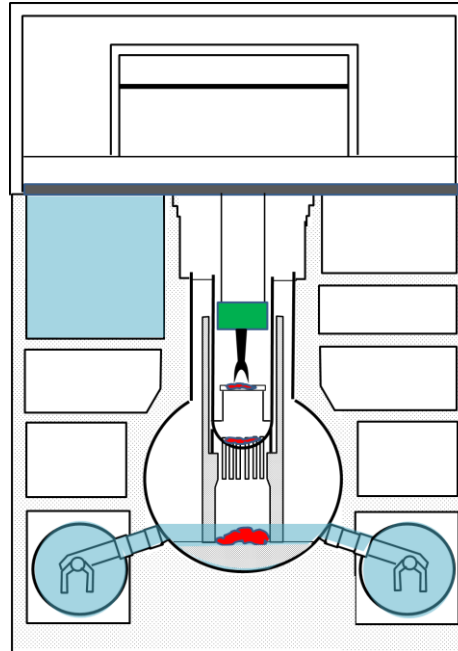
燃料デブリ取り出しの方法（候補技術）

● 重点的に取り組む3つの燃料デブリ取り出し工法（イメージ）

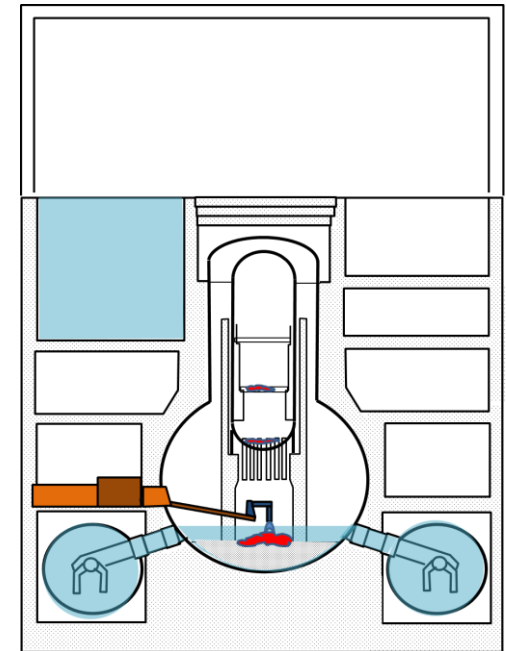
燃料デブリの分布状況により、以下の3つの工法を単独あるいは組合せで適用する → 現在、開発・検討中



a. 冠水-上アクセス工法



b. 気中-上アクセス工法



c. 気中-横アクセス工法

廃炉における研究・開発（PCV補修・止水技術）

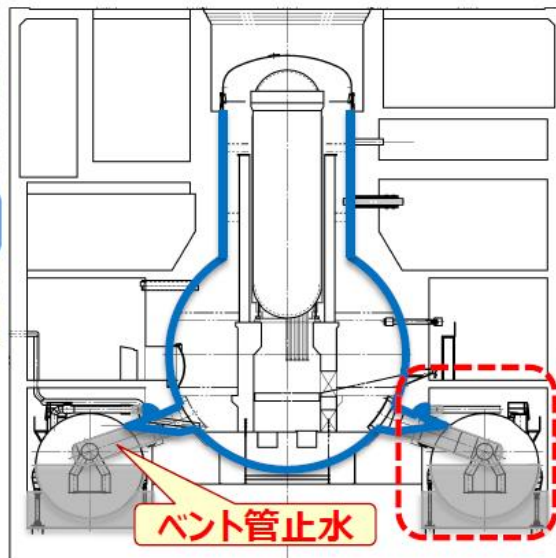
出典：IRID

ベント管止水試験



1 / 2スケール試験体で
止水性能を確認（工場）

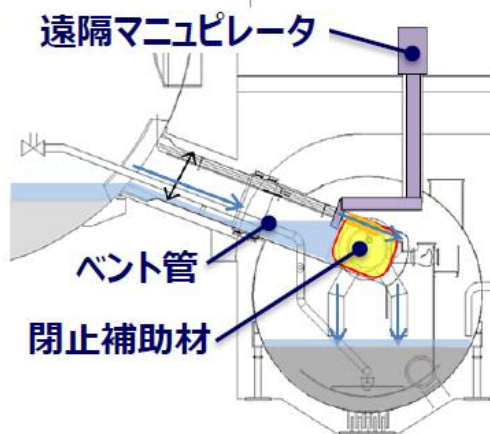
— : 補修・止水範囲



閉止補助材止水試験

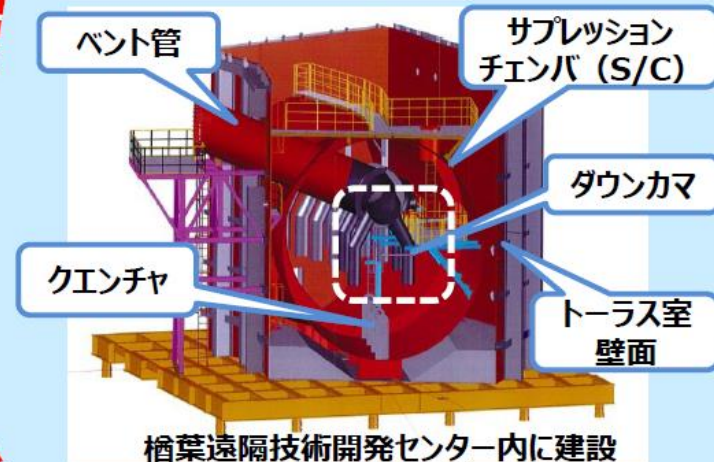


1 / 1スケール試験体で閉止補
助材の止水性能を確認（屋外）

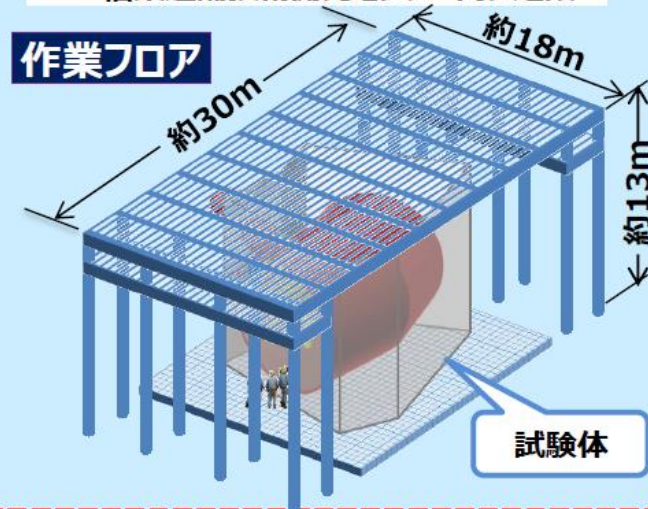


実規模試験体を用いた試験

実規模試験体（1/8セクター）



作業フロア



廃炉における研究・開発（燃料デブリ取り出し技術）

出典：IRID

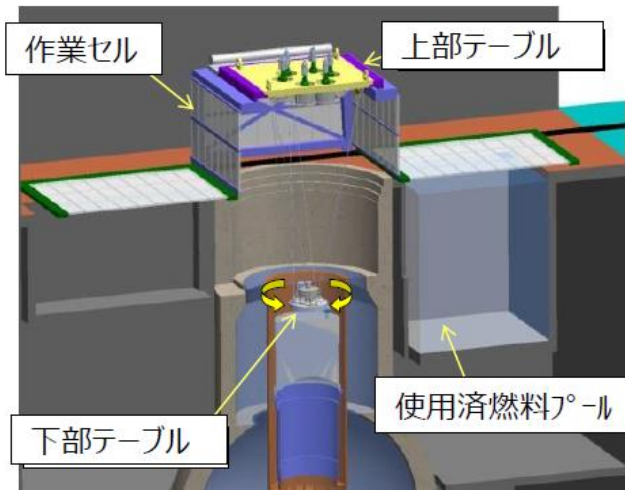
技術的課題

- **放射性ダストの閉じ込め**機能の確保
- **遠隔操作**技術の確立
- **被ばく低減・汚染拡大防止**技術の確立

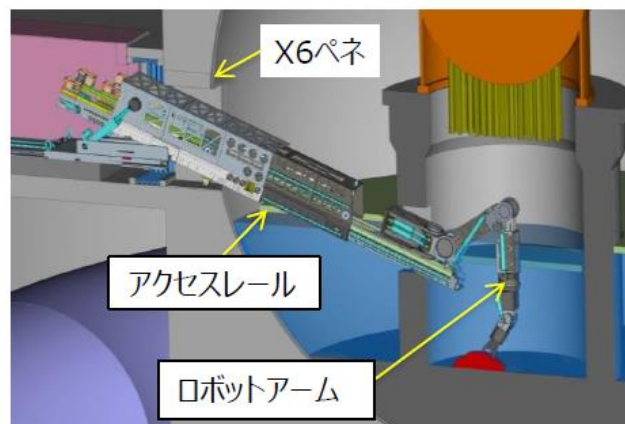
基盤技術の開発



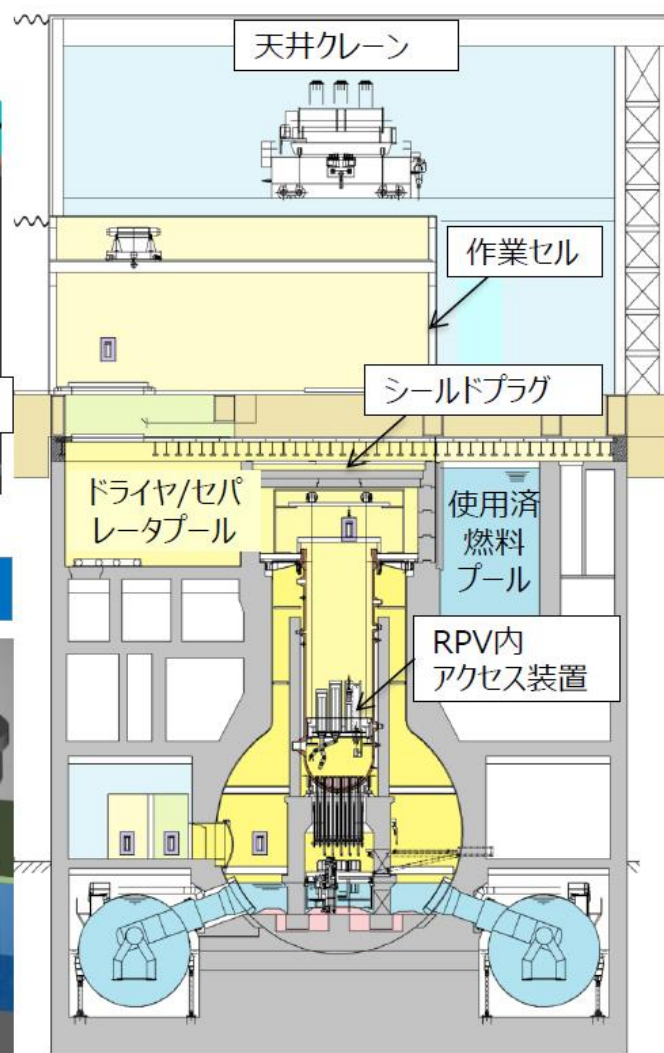
冠水-上アクセス工法（概念）



気中-横アクセス工法（概念）



気中-上アクセス工法（概念）



放射性廃棄物対策の考え方

● 取組の現状を踏まえた課題と今後の対応

取組	対応または留意すべき事項
1. 発生量低減	◆ 現状の対策は一定の成果を上げている。今後更なる発生量低減を図るべく、対策を継続的に検討し実施することが重要
2. 保管管理	◆ 中長期ロードマップに記載されている工事等により発生する固体廃棄物の物量予測に基づく保管管理計画を策定。今後は、計画を確実に実施することにより、リスクの低減を図っていくことが重要
3. 性状把握	◆ 処理及び処分の検討に資するデータを最優先に取得するとともに、性状把握を効率的に行うためのR&Dを実施していくことが重要
4. 処理及び処分に関する検討	◆ 性状把握を踏まえ、1Fの固体廃棄物の特徴に適した対策を検討中。規制機関にも適宜情報提供していくことが必要

方針や方法の決定に向けた戦略プランの検討

2017年度

2018年度

中長期ロードマップのマイルストーン

- ✓ 号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定
- ✓ 初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定
- ✓ 廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ

【戦略プランの目的】

廃炉を適正かつ着実に実施する観点から、中長期ロードマップの着実な実行や改訂の検討に資すること

戦略プラン2018

- 初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた更なる技術検討

戦略プラン2017

- 号機ごとの燃料デブリ取り出し方針決定に向けた戦略的提案
- 廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方に向けた戦略的提案

戦略プラン2015・2016