

燃料デブリ取り出し作業における安全確保の考え方

2017年10月30日

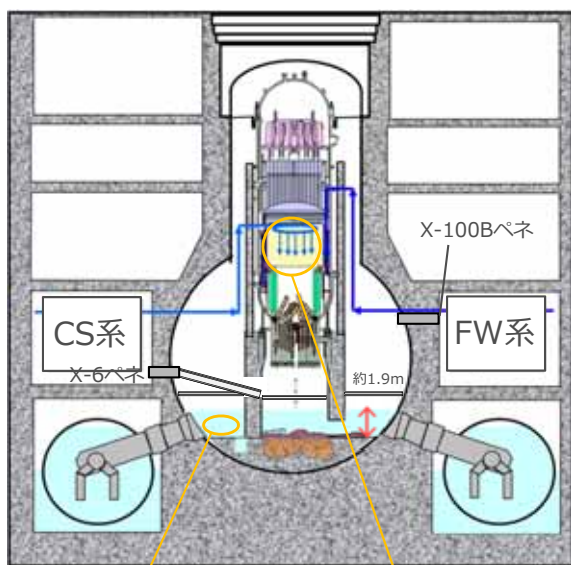


東京電力ホールディングス株式会社

1. 各号機の状況

- 1号機では溶融した燃料がほぼ全量がペDESTALへ落下しており、炉心部にはほとんど燃料が存在していないと推定される。
- 2及び3号機では、溶融した燃料のうち、一部は原子炉圧力容器（RPV）下部プレナムまたはペDESTALへ落下し、一部は炉心部に残存していると考えられる。

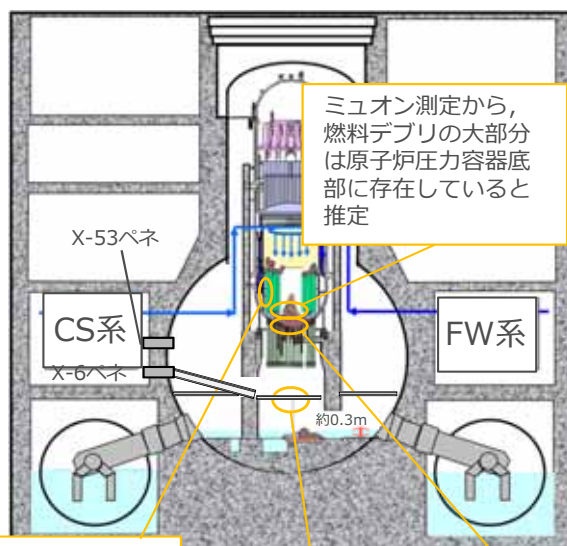
【 1号機 】



原子炉格納容器内部調査の結果D/W床上に堆積物を確認

ミュオン測定、解析結果及び水位が形成されないことから、大部分の燃料が溶融したと推定

【 2号機 】

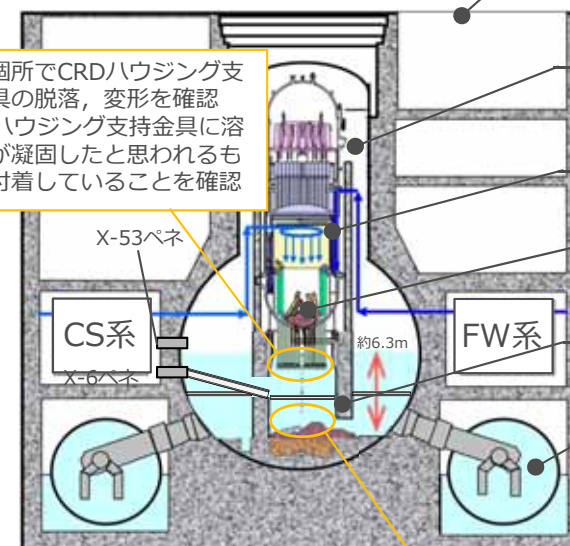


ミュオン測定から、炉心外周部に燃料が存在している可能性があると推定

原子炉格納容器内部調査時に蒸気が立ち上がる様子を確認

ミュオン測定から、燃料デブリの大部分は原子炉圧力容器底部に存在していると推定

【 3号機 】



原子炉格納容器内部調査時に外周部のCRDが確認できており、またグレーチングの欠損の状況から、原子炉圧力容器の穴は中央部及びその周辺部にあるものと推定

ペDESTAL下部や、ペDESTAL内構造物上に溶融物が凝固したと思われるものを確認

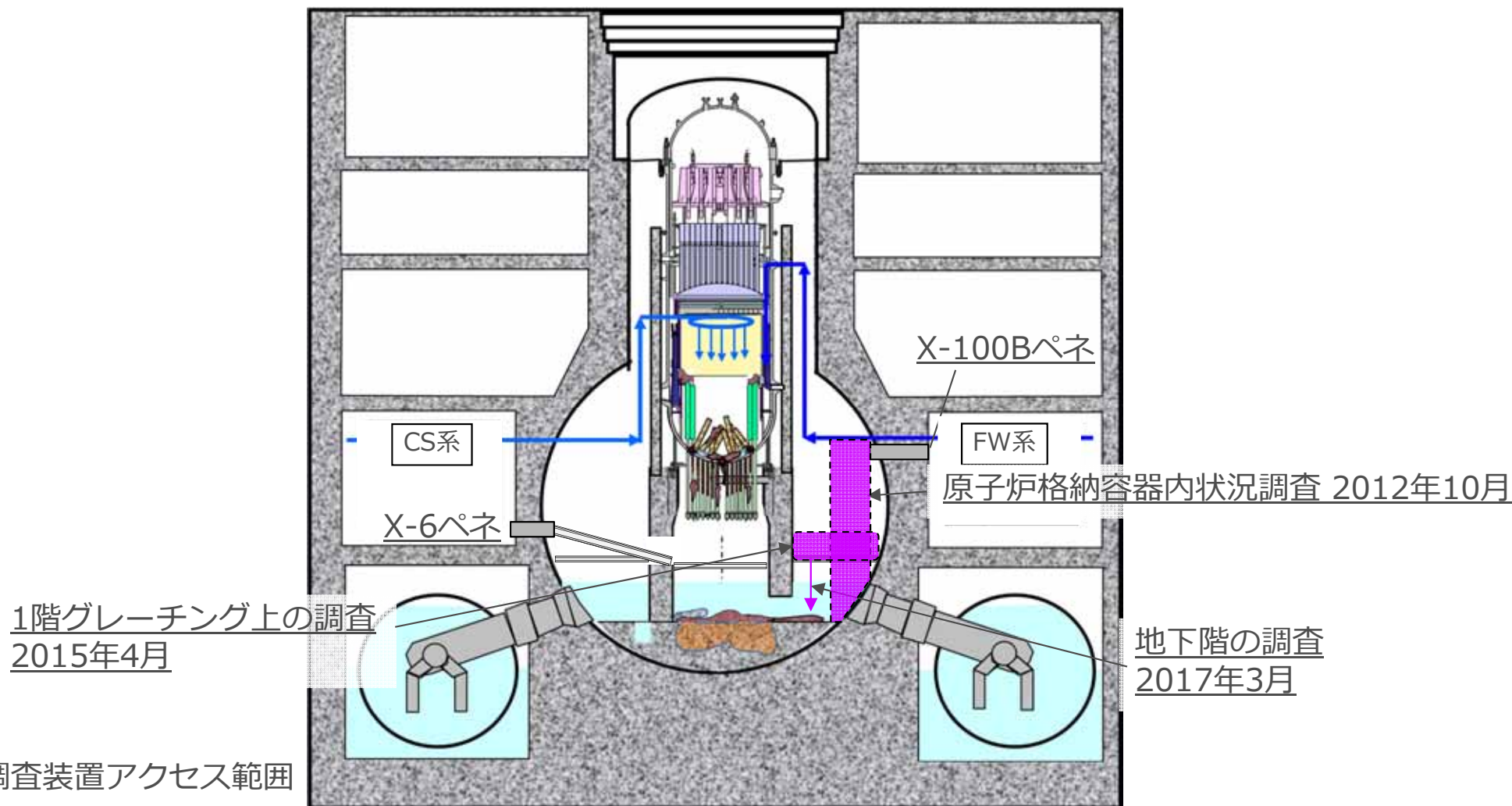
複数個所でCRDハウジング支持金具の脱落、変形を確認
CRDハウジング支持金具に溶融物が凝固したと思われるものが付着していることを確認

- 原子炉建屋
- 原子炉格納容器 (PCV)
- ドライウェル
- 原子炉圧力容器
- 下部プレナム
- ペDESTAL
- サプレッションチャンバー

事象進展解析及び水位測定結果による推定

2. 原子炉格納容器内部調査実績（1号機）

- X-100Bペネから原子炉格納容器内にアクセスし、原子炉格納容器内の線量・水位・温度について確認（2012年10月）。
- その後、X-100Bペネから走行型ROVを挿入しペDESTAL外側の1階グレーチング上の調査（2015年4月）及び地下階の調査（2017年3月）を実施。
- ペDESTAL地下階において、床面から高い位置に堆積物を確認。



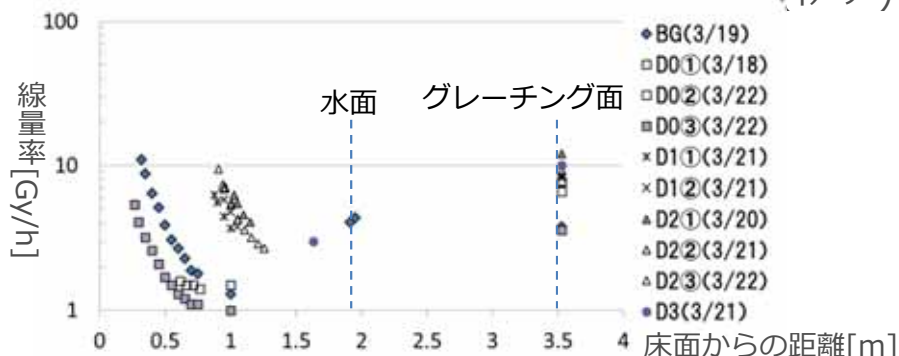
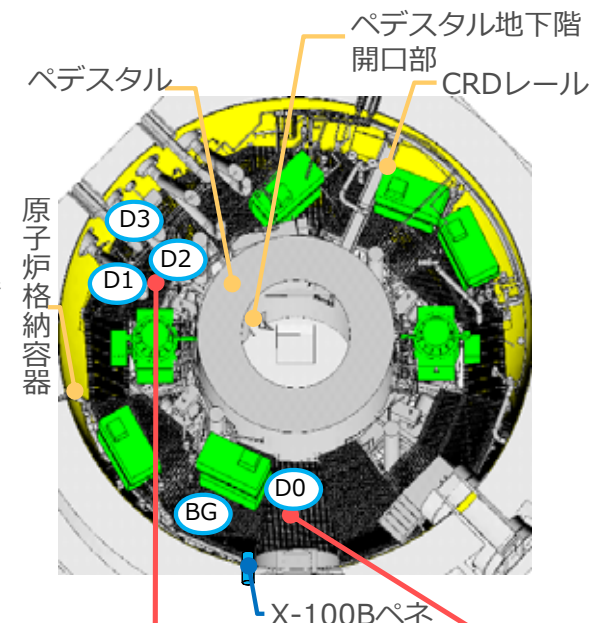
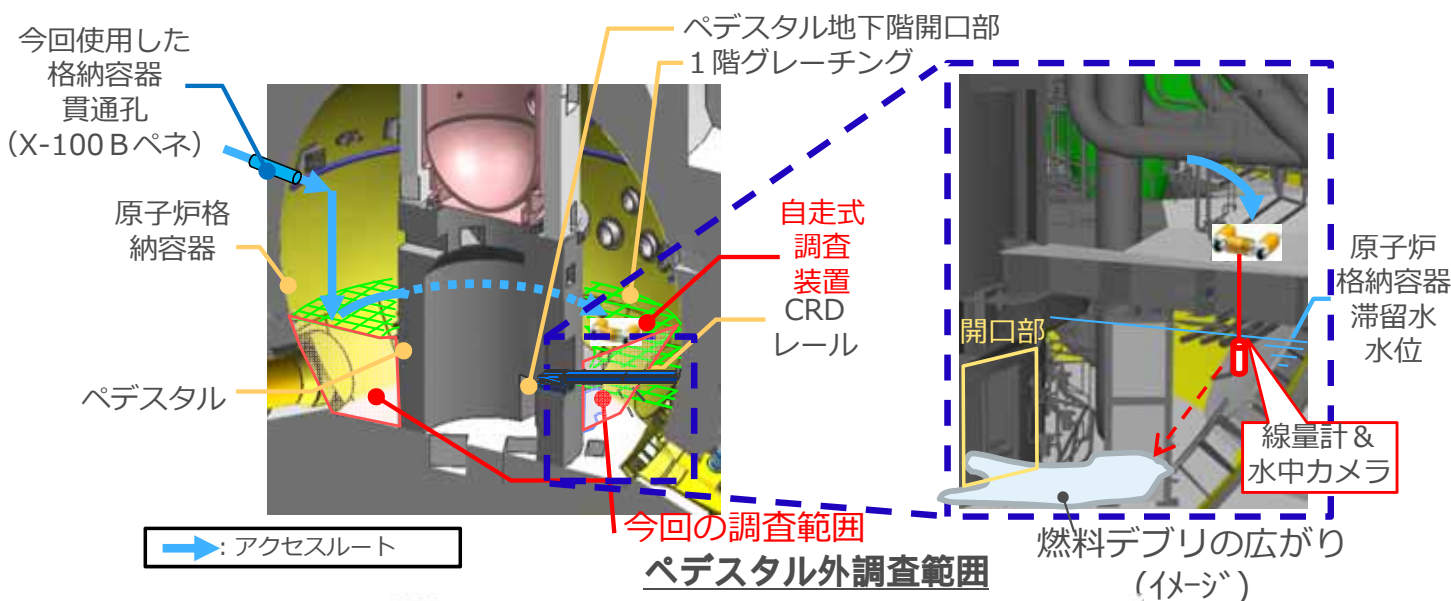
2. 原子炉格納容器内部調査実績（1号機）

至近の原子炉格納容器内部調査結果の概要

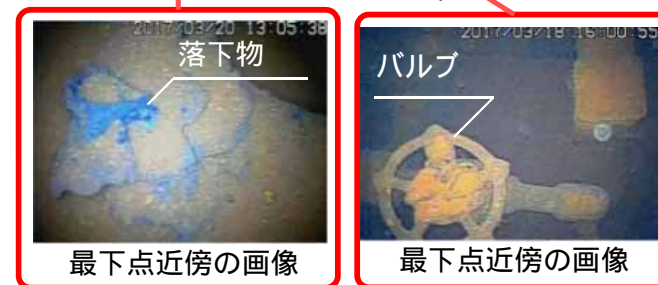
（2017年3月）



■ 1階グレーチング上からカメラ・線量計を吊り下ろし、ペDESTAL地下階開口部近くの原子炉格納容器底部の状況を調査。確認された範囲では、機器に損傷は確認されなかった。また、格納容器床面から高い位置に堆積物があることを確認。底部に近づくほど線量が上昇する傾向を確認。



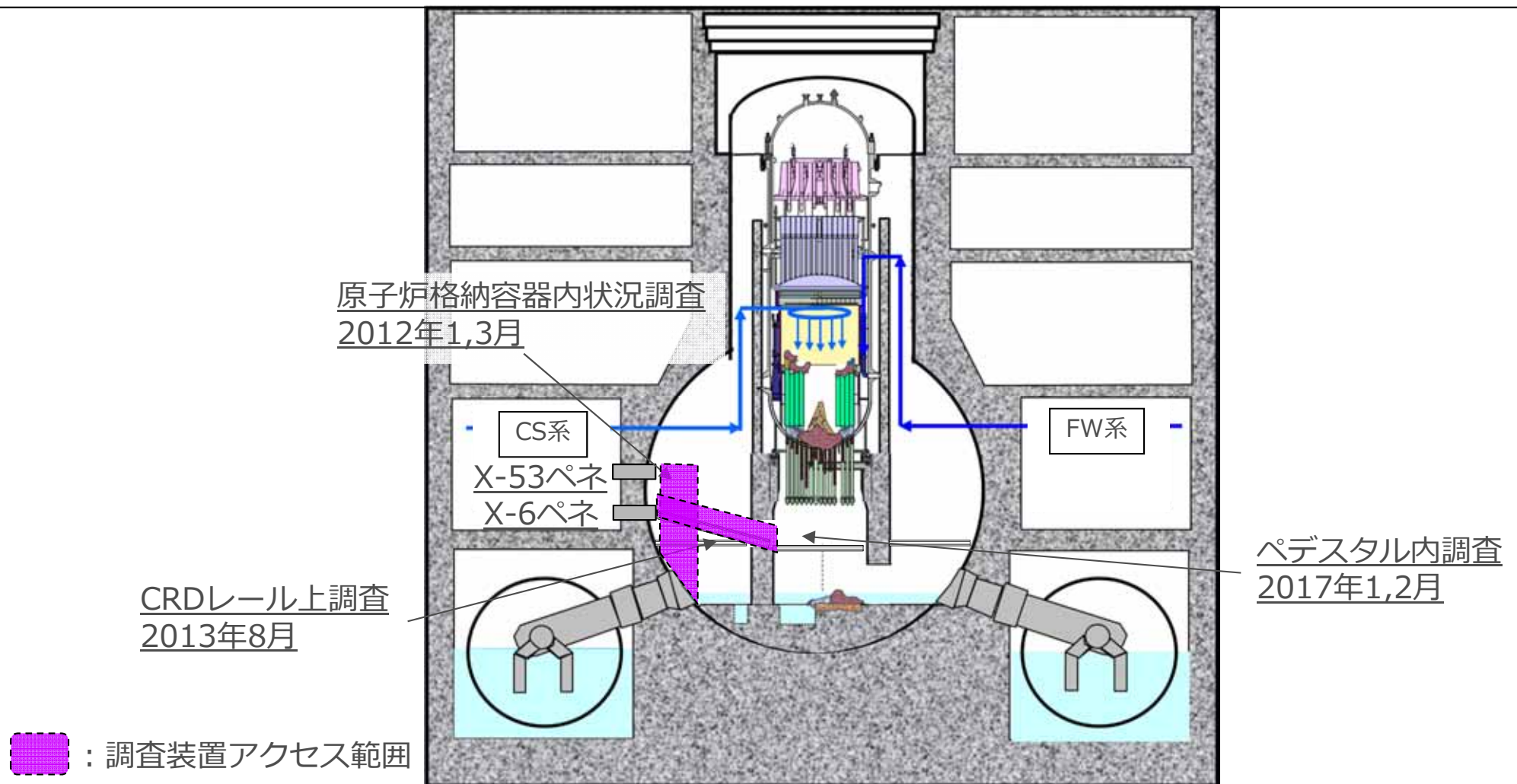
注：設計上のグレーチング面と床面の距離から計測ユニットのケーブル送りだし量を引いて算出しており、正確な床面からの距離は今後、得られた画像データを元に評価を行う。



原子炉格納容器底部近傍の状況

2. 原子炉格納容器内部調査実績（2号機）

- X-53ペネから原子炉格納容器内にアクセスし、原子炉格納容器内の線量・水位・温度について確認（2012年1、3月）。
- また、X-53ペネからペDESTAL内へのアクセスルートとなるCRDレールを確認する調査（2013年8月）を実施。
- その後、X-6ペネからガイドパイプ、走行型ROVを挿入しペDESTAL内部の調査（2017年1～2月）を実施。
- ペDESTAL内において、堆積物やグレーチングの脱落等の状況を確認。

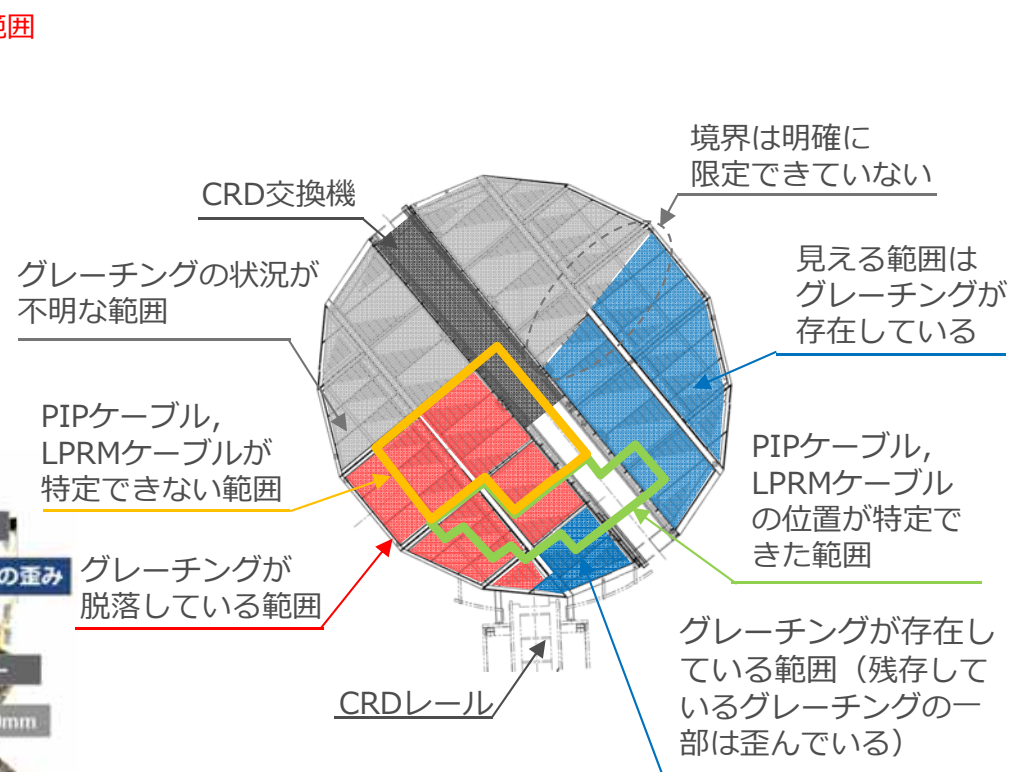
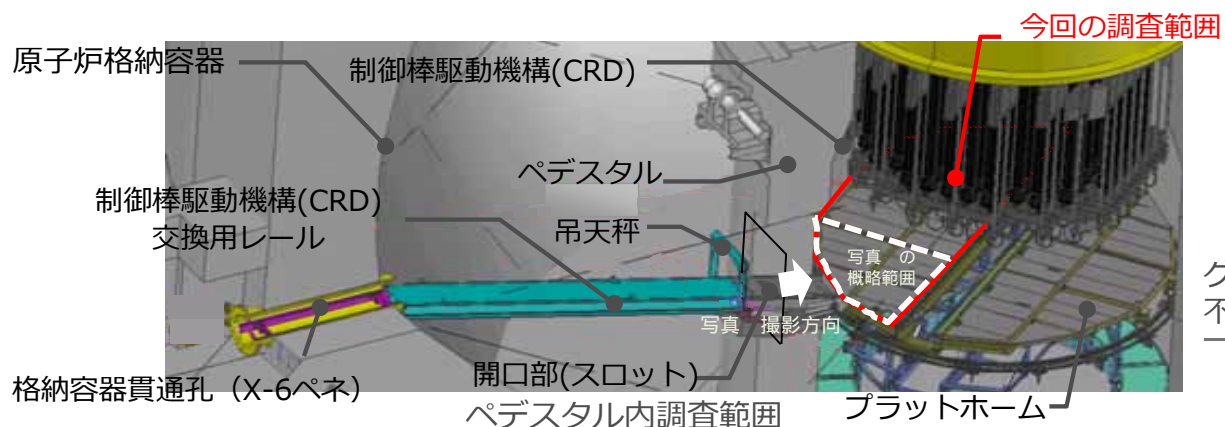


2. 原子炉格納容器内部調査実績（2号機） 至近の原子炉格納容器内部調査結果の概要

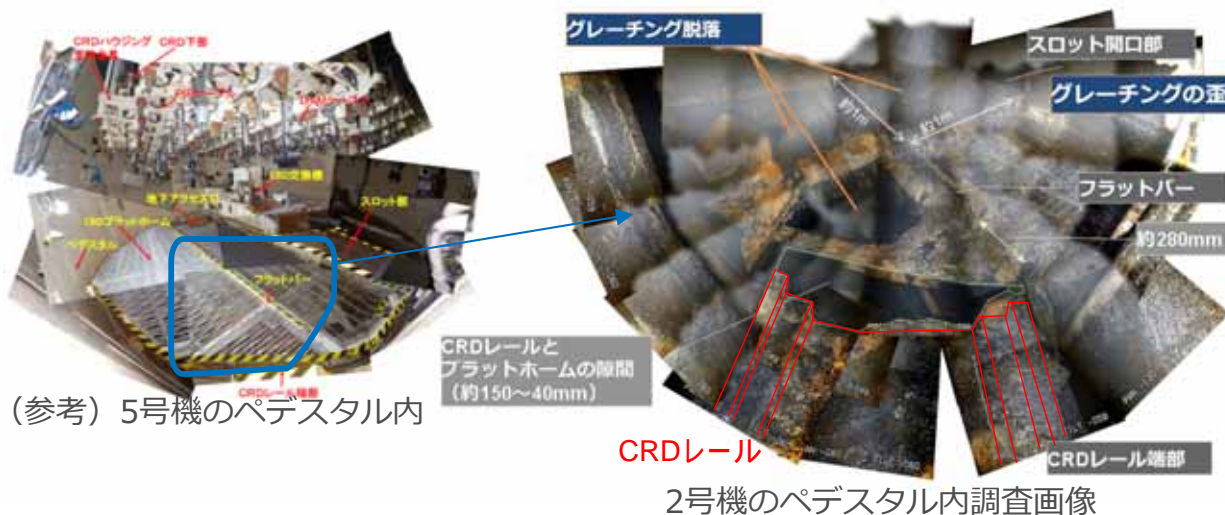
（2017年1～2月）



■ CRD交換用レール及びペDESTAL内において、堆積物やグレーチングの脱落等を確認。

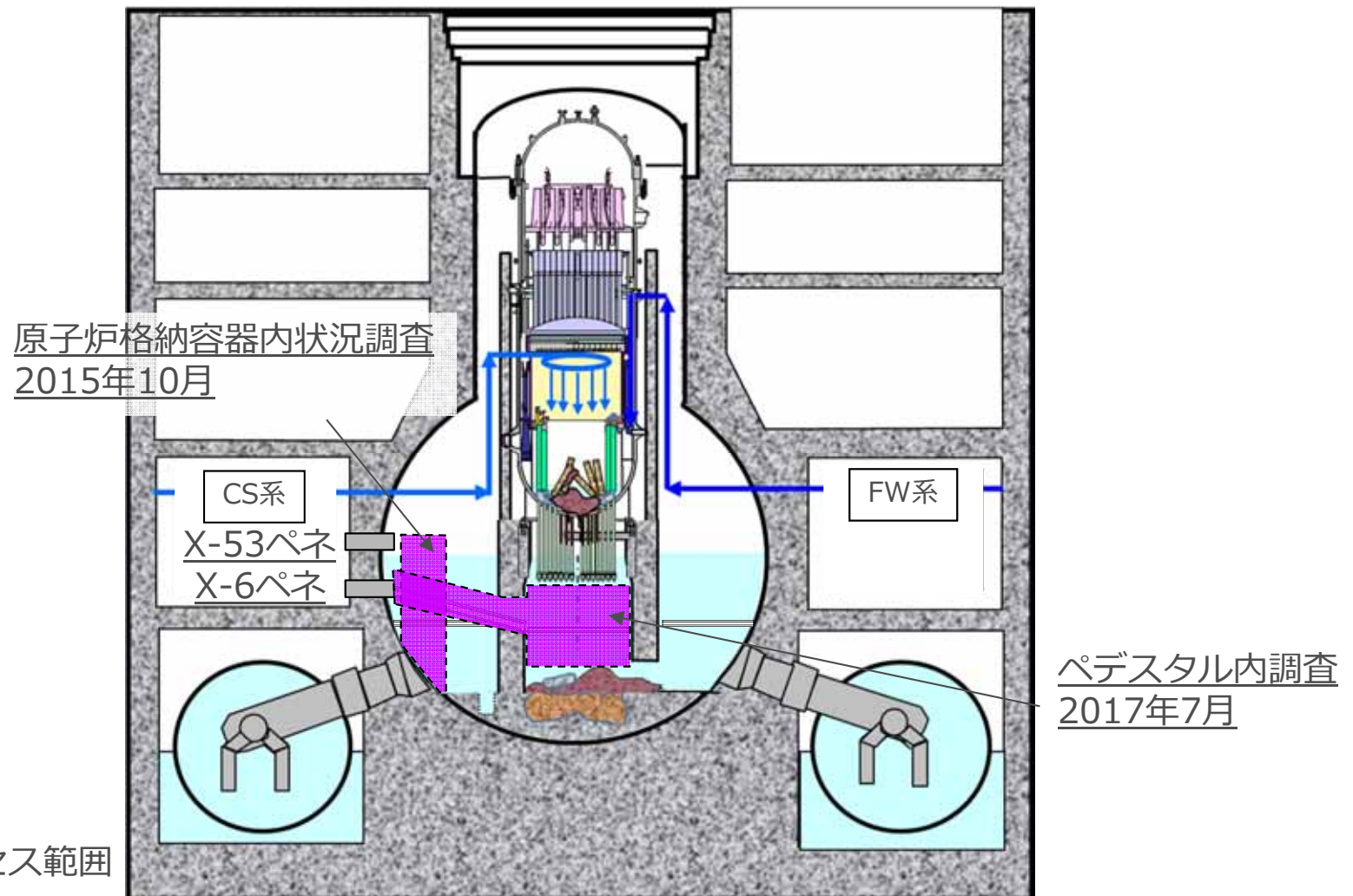


画像解析によるペDESTAL内確認結果



2. 原子炉格納容器内部調査実績（3号機）

- X-53ペネから原子炉格納容器内にアクセスし、原子炉格納容器内の線量・水位・温度について確認（2015年10月）。
- その後、X-53ペネから水中遊泳型ROVを挿入し、ペDESTAL内部の調査（2017年7月）を実施。
- ペDESTAL内において、複数の構造物の損傷や、溶融物が凝固したと思われるものがCRDハウジングフランジ等に付着している状況を確認。

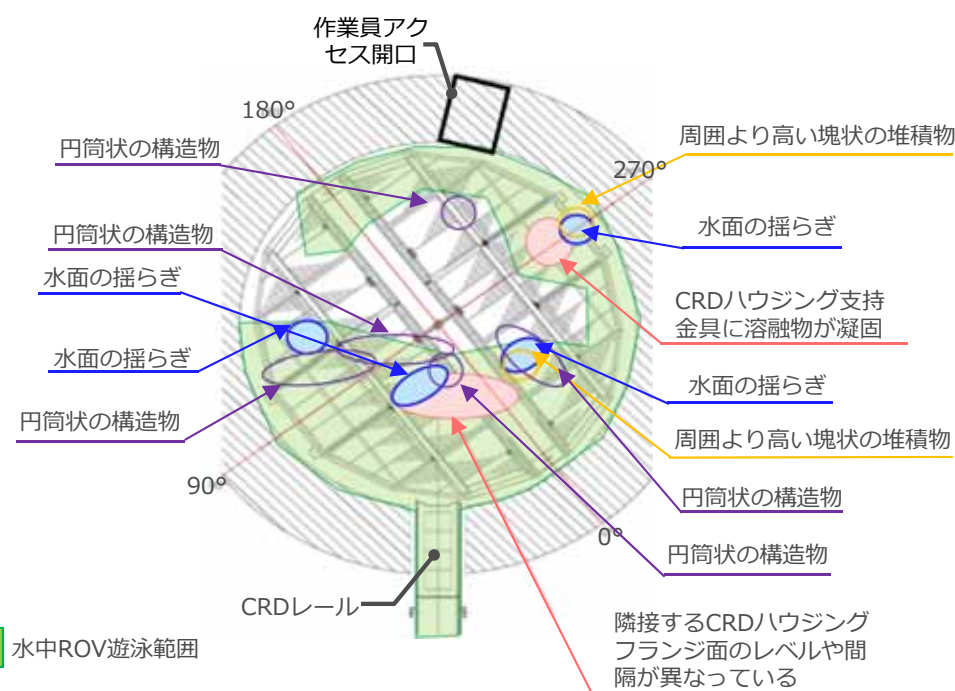
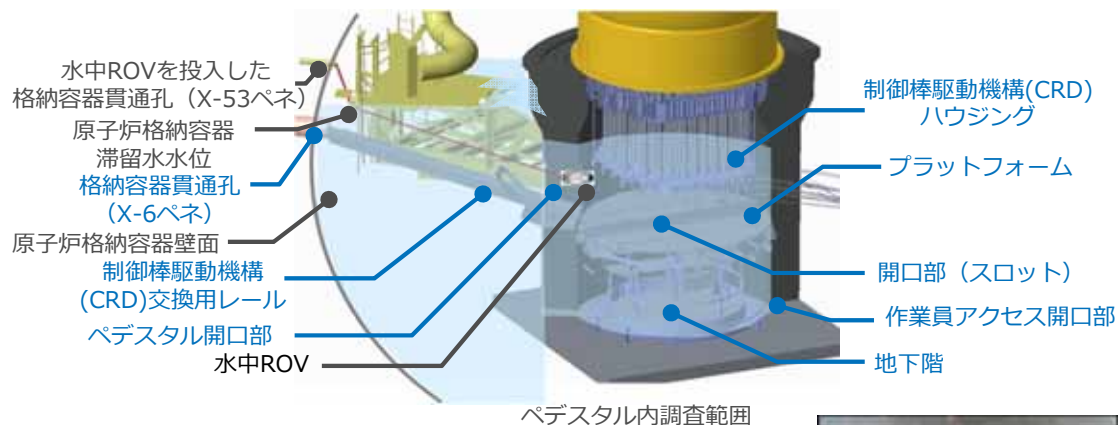


2. 原子炉格納容器内部調査実績（3号機） 至近の原子炉格納容器内部調査結果の概要

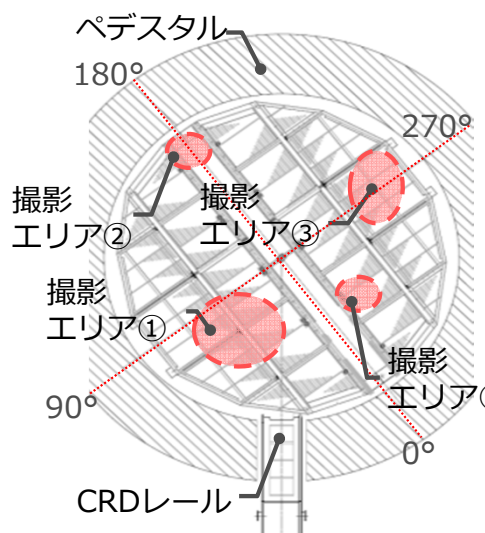
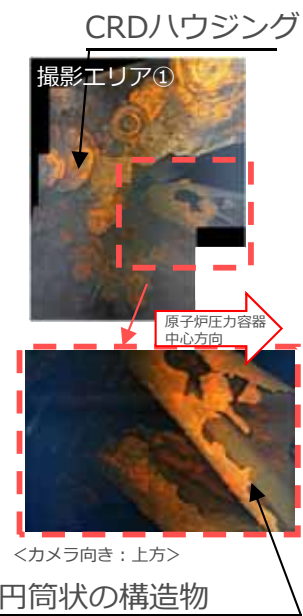
（2017年7月）



- ペDESTAL内部において、複数の構造物の損傷や、溶融物が凝固したと思われるものがCRDハウジングフランジ等に付着している状況を確認。
- また、ペDESTAL内の複数箇所です砂状、小石状、塊状の堆積物を確認。



ペDESTAL内確認状況



3. 燃料デブリ取り出し方針

燃料デブリ取り出しに際しては、以下の方針で行うことを検討。


○ステップ・バイ・ステップのアプローチ

- 先行して着手すべき工法を設定の上、徐々に得られる情報に基づいて、柔軟に方向性を調整。
- 取り出しは、小規模なものから始め、燃料デブリ性状や作業経験などの新知見を踏まえ、作業を柔軟に見直し段階的規模を拡大

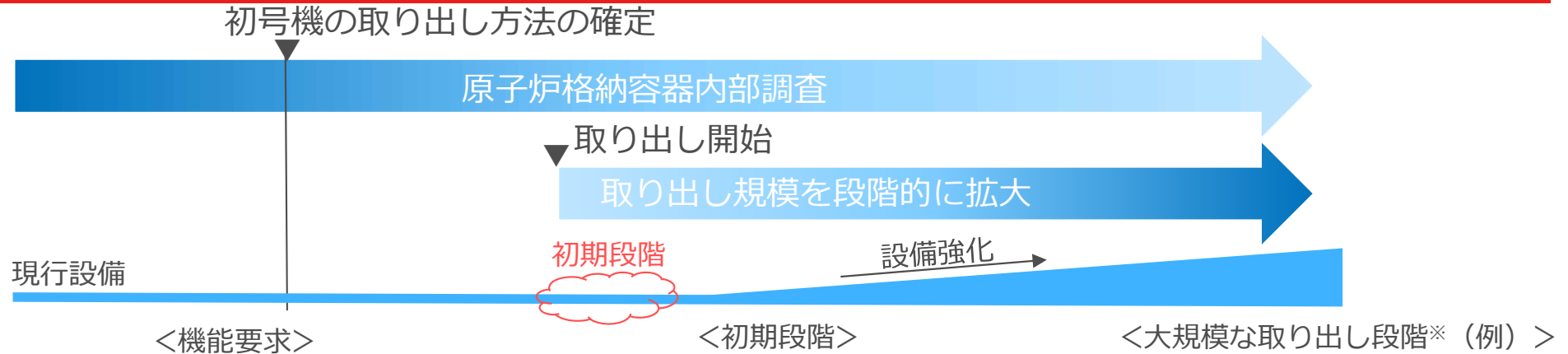
○原子炉格納容器底部に横からアクセスする燃料デブリ取り出しの先行

- 各号機ともに、原子炉格納容器底部及び原子炉圧力容器内部の両方に燃料デブリは存在
- 取り出しに伴うリスク増加を最小限とし、迅速にリスク低減するため、以下を考慮し、原子炉格納容器底部にある燃料デブリを横からアクセスで取り出すことを先行
 - i. 原子炉格納容器底部へのアクセス性が最もよく、原子炉格納容器内部調査で知見が蓄積
 - ii. より早期に取り出し開始できる可能性
 - iii. 使用済燃料の取り出し作業と並行し得ること

【中長期ロードマップ(H29.9.26)より】

- 
- 今後も原子炉格納容器内部調査を行い、原子炉格納容器内部の状態をより詳細に調査し、燃料デブリ取り出しの準備を進める。
 - 燃料デブリ取り出しの初期段階においては、小石状・砂状の燃料デブリの「把持」や「吸引」等、取り出し作業に伴う臨界リスクや放射性物質の拡散リスクが低いと考えられる小規模の取出し作業を行う。
 - 取り出し作業は、これまでの調査において知見が蓄積され、使用済み燃料の取り出し作業と並行し得る、横からのアクセスにて実施する。

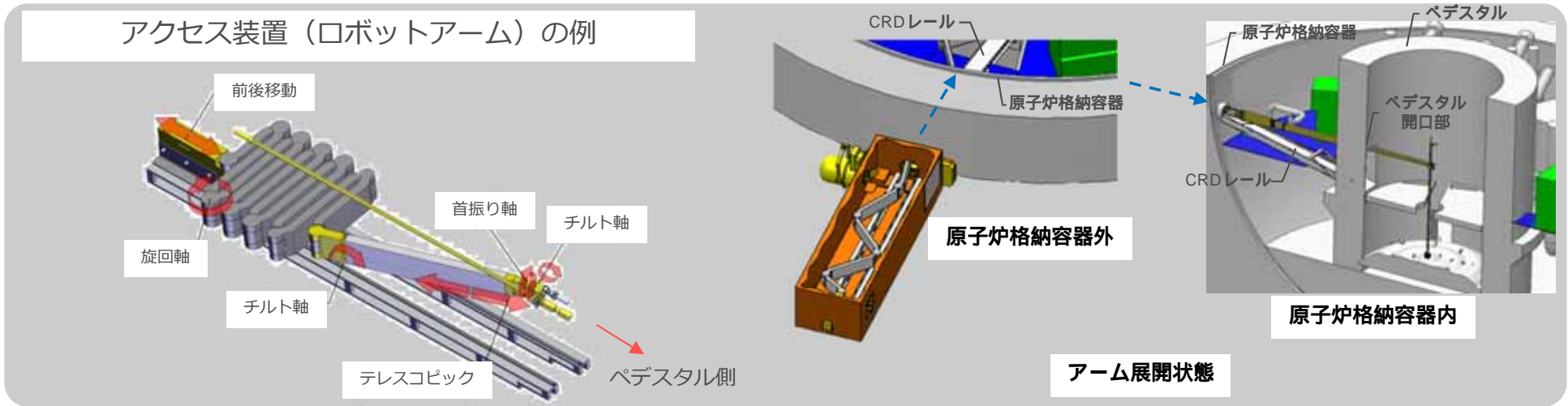
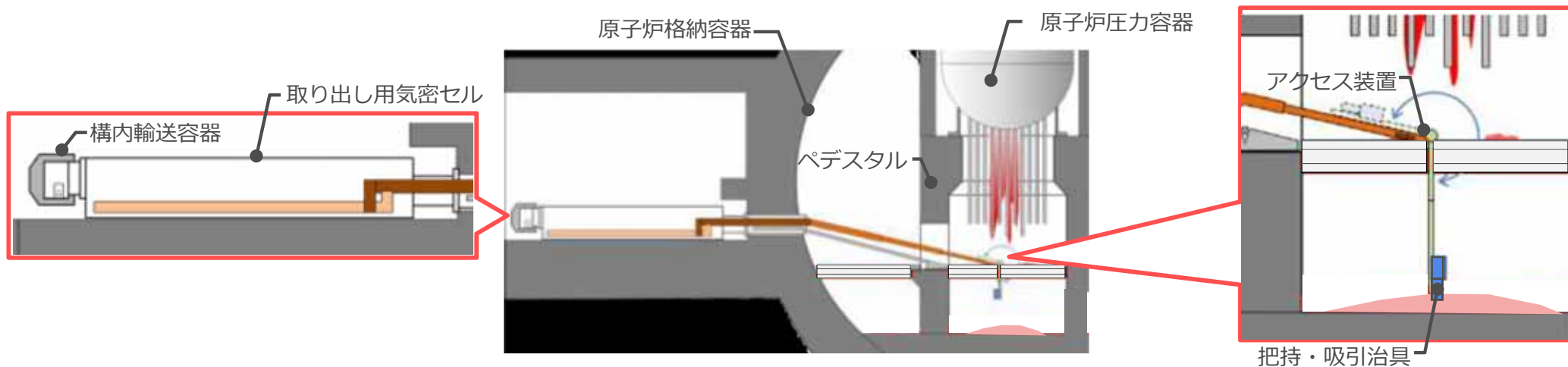
4. 燃料デブリ取り出し作業時に安全を確保する上での留意事項



	<機能要求>	<初期段階>	<大規模な取り出し段階※（例）>	
安燃 全料 確デ 保ブ 上リ の取 技り 術出 要し 件作 業時 の	○PCV・建屋の構造健全性の確保	<ul style="list-style-type: none"> 構築物の構造健全性を維持すること 	<ul style="list-style-type: none"> PCV・建屋に新規開口を設けない方法 →構造健全性評価は不要 	<ul style="list-style-type: none"> 新規開口を設ける場合は別途評価を実施し、必要に応じ対策を講じる
	○臨界管理	<ul style="list-style-type: none"> 未臨界を維持・監視できること 臨界を検知できること 臨界時にも適切に対応できること 	<ul style="list-style-type: none"> 臨界検知設備 吸収材投入設備 →燃料デブリの把持・吸引等、臨界性に影響を与えない方法であり現行設備による臨界管理を継続 	<ul style="list-style-type: none"> 臨界近接監視設備 臨界検知設備 吸収材投入設備
	○冷却機能の維持	<ul style="list-style-type: none"> 冷却状態を維持・監視できること 冷却停止時にも適切に対応できること 	<ul style="list-style-type: none"> PCV内温度計 冷却設備 →現状の冷却状態に影響を与えない方法であり現行の冷却設備にて冷却を維持 	<ul style="list-style-type: none"> PCV内温度計 冷却設備
	○閉じ込め機能の構築	<ul style="list-style-type: none"> PCV（セル含む）内の状態を監視できること 放射性物質の拡散を監視・抑制できること 	<ul style="list-style-type: none"> PCV内圧力計・温度計・放射線モニタ 気密セル（取り出し装置等） →放射性物質の拡散の少ない作業とし、現行設備によるガス管理及び水処理を継続 	<ul style="list-style-type: none"> PCV内圧力計・温度計・放射線モニタ PCV内部を負圧管理する空調設備 漏えいを抑制する水位制御設備 気密セル PCV補修 燃料デブリの流入を考慮したフィルタ（気体系統/水系統）
	○作業時の被ばく低減	<ul style="list-style-type: none"> 作業環境に応じ、遠隔作業、除染又は高線量機器撤去、遮蔽設置を行うこと 作業中止の判断などを含めた手順を準備すること 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰被ばくを防止するための除染・遮へい・遠隔作業 異常を検知した場合の作業中止等の手順を準備 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰被ばくを防止するための除染・遮へい・遠隔作業 異常を検知した場合の作業中止等の手順を準備

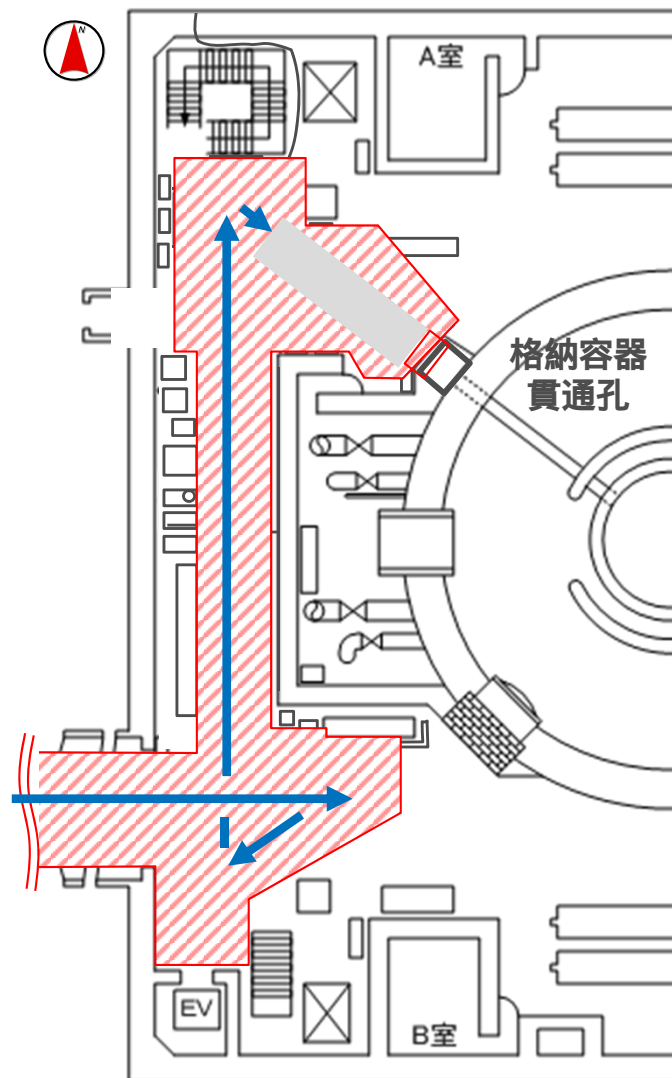
5. 初期段階の燃料デブリ取り出し方法

■ アクセス装置を原子炉建屋 1 階の格納容器貫通孔から原子炉格納容器内に挿入し、原子炉格納容器底部にある燃料デブリを横からアクセスして取り出す



6. 主要な作業ステップにおける安全を確保する上での留意事項 (作業ステップ1 干渉物撤去・装置搬入)

■作業ステップ1 干渉物撤去・装置搬入



<作業概要>

- ・原子炉建屋大物搬入口から格納容器貫通孔までの搬入ルート上の干渉物を撤去。
- ・原子炉建屋大物搬入口から燃料デブリ取り出し装置を搬入。

(※) 原子炉建屋に新規開口は設けないことを想定

<安全を確保する上での留意事項>

○作業時の被ばく低減

- ・干渉物撤去作業にあたり、遮へい設置や必要に応じ遠隔作業を適用。

○建屋の構造健全性（支持機能）の確保

- ・装置搬入にあたり、原子炉建屋に新規開口を設けないため、建屋の構造健全性評価は不要。

(※) 新規開口を設ける場合は別途評価を実施し、必要に応じ対策を講じる

搬入ルート：→ 干渉物撤去範囲：▨

6. 主要な作業ステップにおける安全を確保する上での留意事項 (作業ステップ2 格納容器貫通孔開放・装置接続)

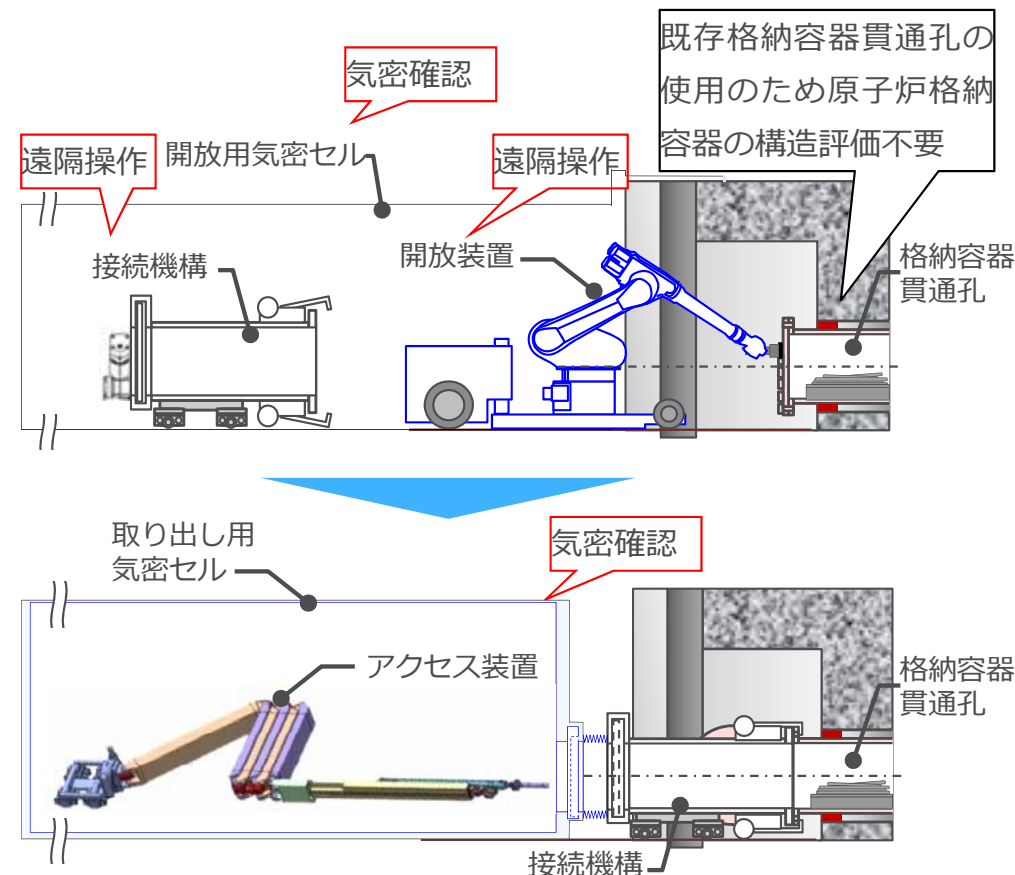
■作業ステップ2 格納容器貫通孔開放・装置接続

<作業概要>

- ・格納容器貫通孔前に遮へいを設置し、開放用気密セルを設置。
- ・格納容器貫通孔開放作業は、開放用気密セル内で原子炉格納容器内雰囲気閉じ込めた状態で遠隔操作にて実施。
- ・格納容器貫通孔開放後に接続機構を接続し、原子炉格納容器内雰囲気閉じ込めた状態で取り出し用気密セルを設置

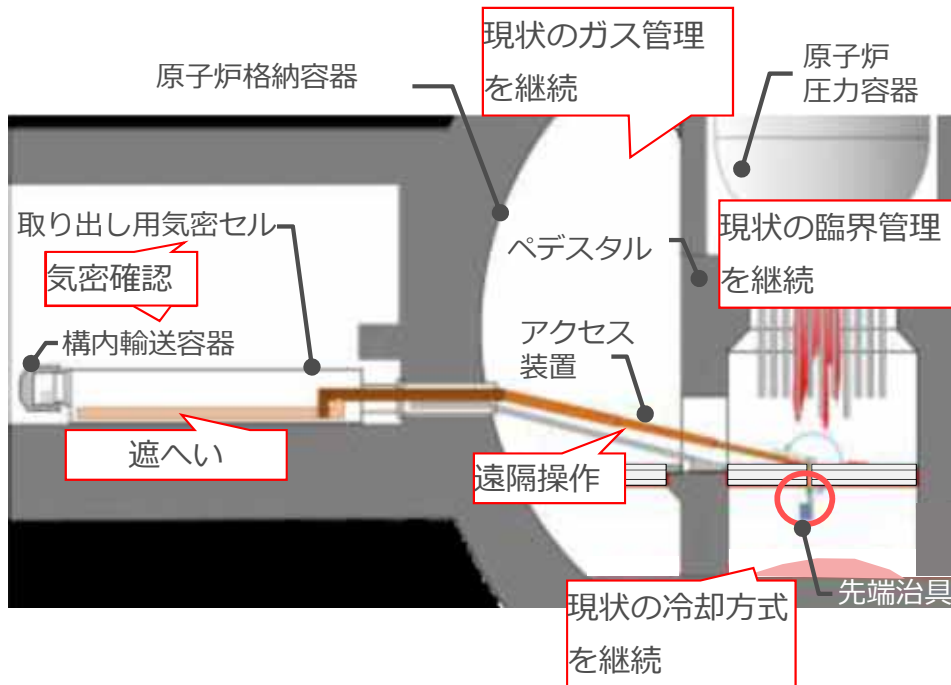
<安全を確保する上での留意事項>

- 作業時の被ばく低減
 - ・格納容器貫通孔前に遮へいを設置。
 - ・格納容器貫通孔開放作業は、遠隔操作にて実施。
 - 閉じ込め機能の構築
 - ・開放用気密セル、取り出し用気密セルの気密性確認。
 - ・格納容器貫通孔/接続機構の取り合い部、接続機構/取り出し用セルの取り合い部の気密性確認
 - PCVの構造健全性（支持機能）の確保
 - ・既存格納容器貫通孔を使用しアクセスすることで、原子炉格納容器の構造健全性に影響を与えないため、構造健全性評価は不要。
- (※) 新規開口を設ける場合は別途評価を実施し、必要に応じ対策を講じる

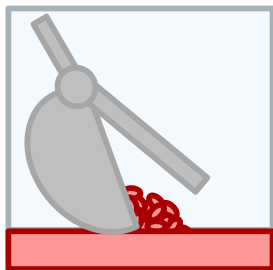


6. 主要な作業ステップにおける安全を確保する上での留意事項 (作業ステップ3 燃料デブリ取り出し)

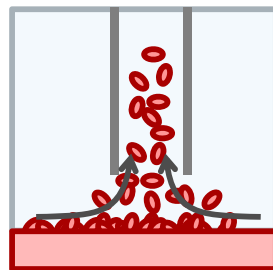
■ 作業ステップ3 燃料デブリ取り出し



先端治具の例



把持用先端治具



吸引用先端治具

<作業概要>

- ・アクセス装置に「把持用先端治具」や「吸引用先端治具」等を設置し、原子炉格納容器下部に存在する小石状・砂状の燃料デブリをセルまで取り出す。
- ・燃料デブリを容器に収納したのちに、セル内に設置された作業用アームを用いて遠隔操作で構内輸送容器に収める。

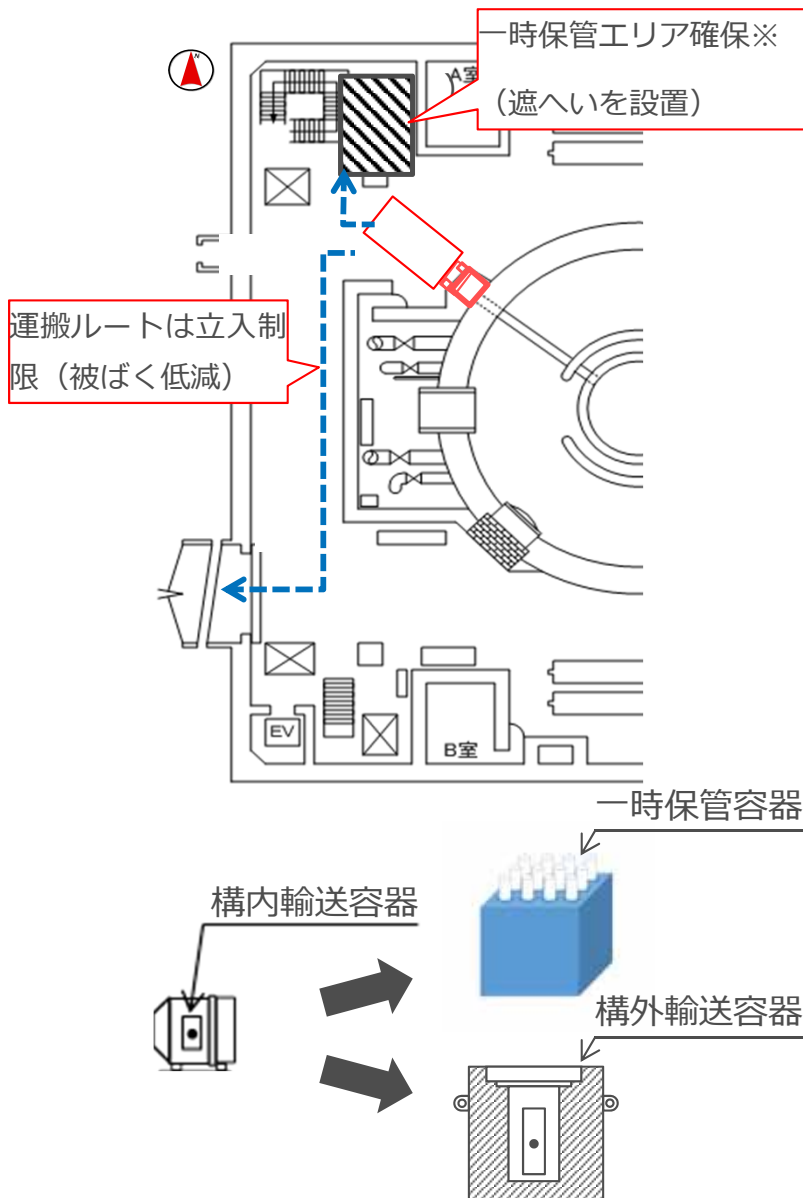
<安全を確保する上での留意事項>

- 作業時の被ばく低減
 - ・取り出し作業は遠隔操作にて実施。
 - ・セル周辺に遮へいを設置。
- 閉じ込め機能の構築
 - ・セル・構内輸送容器の気密性を確保。
 - ・把持・吸引など放射性物質の拡散の少ない取り出し方法とするため、現行設備によるガス管理及び水処理を継続
 - ・原子炉格納容器内の不活性の環境を維持するため、窒素封入を継続。
- 臨界管理
 - ・少量の取り出し作業（質量管理・形状管理）とし、現行設備による臨界管理を継続
(臨界検知：Xe-135濃度監視、臨界時の抑制：ホウ酸水注入設備)
- 冷却機能の維持
 - ・取り出し方法は現状の冷却状態に影響を与えることはないため、現行の冷却設備にて冷却を維持

※異常を検知したら作業を中断し、関連パラメータを確認し、原因究明を行うと共に必要な対策を講じる。

6. 主要な作業ステップにおける安全を確保する上での留意事項 (作業ステップ4 運搬・一時保管)

■ 作業ステップ4 運搬・一時保管



<作業概要>

- ・ 取り出した燃料デブリを収めた構内輸送容器を一時保管エリアへ運搬。
- ・ 一時保管エリアは既存建屋内等にスペースを確保
- ・ 必要に応じ、構内輸送容器から一時保管容器への詰め替えを実施
- ・ また、取り出した燃料デブリの一部を、分析のために構外の分析施設へ運搬する場合には、構内輸送容器から構外輸送容器への詰め替えを実施

<安全を確保する上での留意事項>

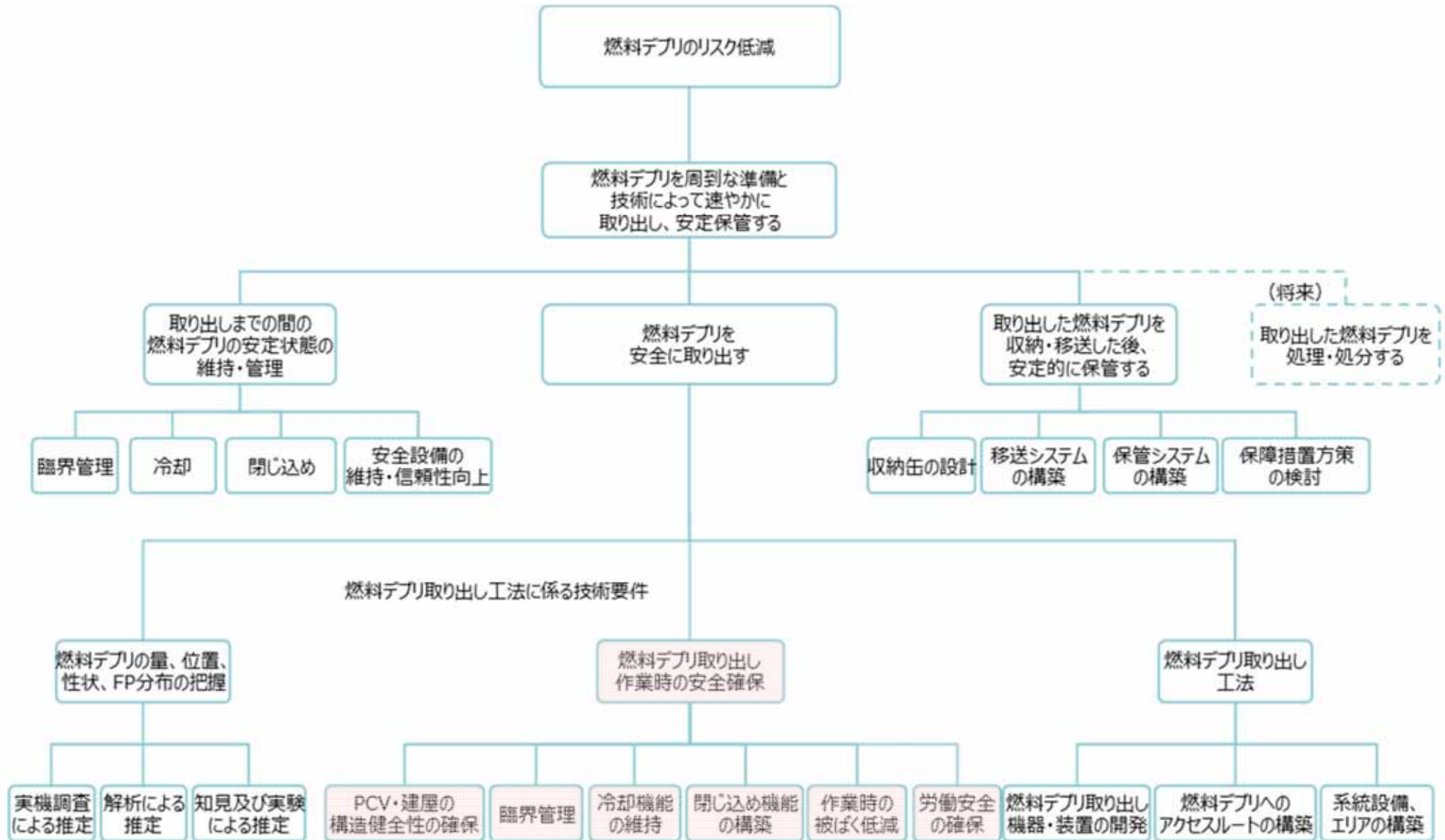
- 作業時の被ばく低減
 - ・ 遮へい能力のある容器で運搬し、立入を制限。
 - ・ 一時保管場所は、既存の建屋内にスペースを確保し遮へい等を設置。
 - 閉じ込め機能の構築
 - ・ 構内輸送容器、構外輸送容器、一時保管容器からの放射性物質の拡散防止。
 - ・ 構内輸送容器から一時保管容器や構外輸送容器へ詰め替え時の放射性物質の拡散防止 (ハウス設置等)。
- ※ 計量管理を実施

7. 安全を確保する上での留意事項のまとめ

	技術要件	安全を確保する上での留意事項	作業ステップ
燃料デブリ取り出し作業時の安全確保	○PCV・建屋の構造健全性の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉物撤去・機器（セル）搬入時、原子炉建屋に新規開口を設けないため、建屋の構造健全性評価不要。 （新規開口を設ける場合は別途評価を実施し、必要に応じ対策を講じる） ・既存格納容器貫通孔を使用しアクセスすることで、原子炉格納容器の構造健全性に影響を与えないため、構造健全性評価は不要。 （新規開口を設ける場合は別途評価を実施し、必要に応じ対策を講じる） 	ステップ1 ステップ2
	○臨界管理	<ul style="list-style-type: none"> ・少量の取り出し作業（質量管理・形状管理）とし、現行設備による臨界管理を継続（臨界検知：Xe-135濃度監視、臨界時の抑制：ホウ酸水注入設備） 	ステップ3
	○冷却機能の維持	<ul style="list-style-type: none"> ・取り出し方法は現状の冷却状態に影響を与えることはないため、現行の冷却設備にて冷却を維持 	ステップ3
	○閉じ込め機能の構築	<ul style="list-style-type: none"> ・セルや、格納容器貫通孔との接続部等の原子炉格納容器内と連通する構造物・部位について気密性確認。 ・把持・吸引など放射性物質の拡散の少ない取り出し方法を想定しており、現行設備によるガス管理及び水処理を継続。 ・原子炉格納容器内の不活性の環境を維持するため、窒素封入を継続。 ・運搬用の容器等からの放射性物質の拡散防止。 ・容器の詰め替えを行う場合、作業時の放射性物質の拡散防止。 	ステップ2、3 ステップ3 ステップ3 ステップ4 ステップ4
	○作業時の被ばく低減	<ul style="list-style-type: none"> ・被ばく低減を考慮した工事計画を行う（遮へい・遠隔作業・立入規制）。 	全ステップ
	○労働安全の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・事前のモックアップ、作業前安全確認（TBM-KY）、熱中症対策等を実施し、労働安全の確保を図る。 	全ステップ

※異常を検知したら作業を中断し、関連パラメータを確認し、原因究明を行うと共に必要な対策を講じる。

(参考1) 燃料デブリ取り出し工法に係る技術要件



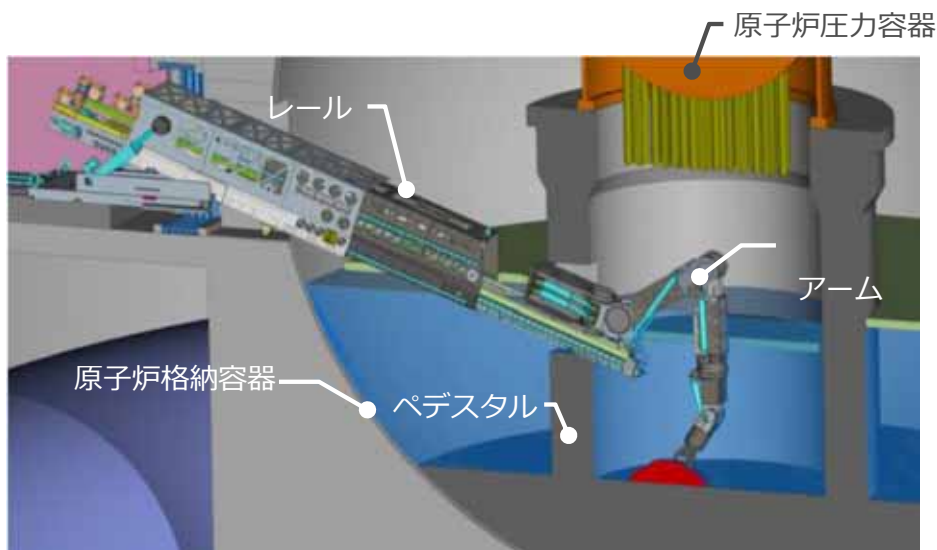
原子力損害賠償・廃炉等支援機構「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017」より引用

(参考2) 大規模取り出し段階の工法(例)

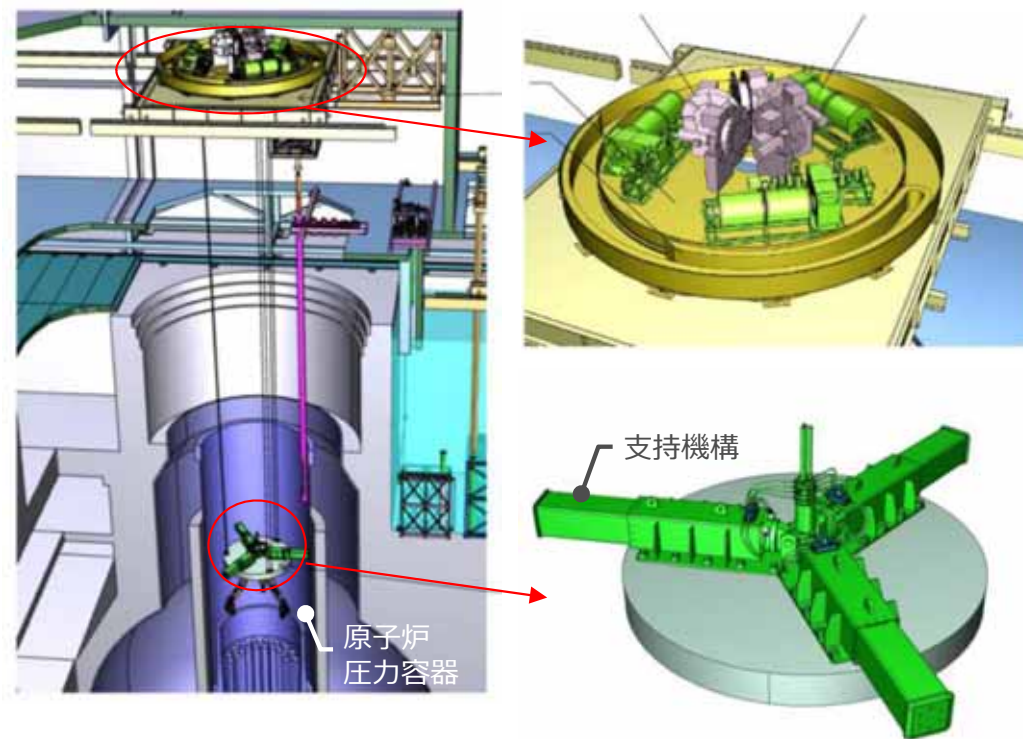
概要(例)

- ・塊状デブリの掘削等大規模な取り出し
- ・臨界管理・閉じ込め機能(気体系統/水系統)等を強化

横アクセス工法(例)



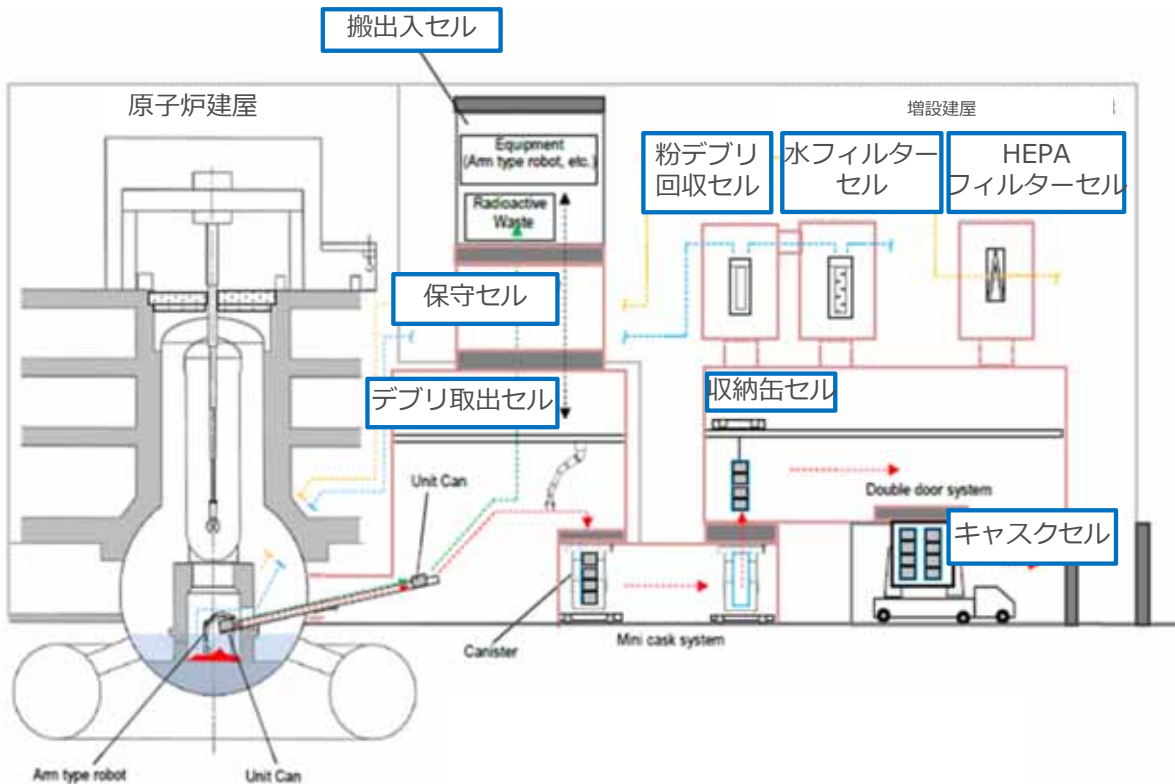
上アクセス工法(例)



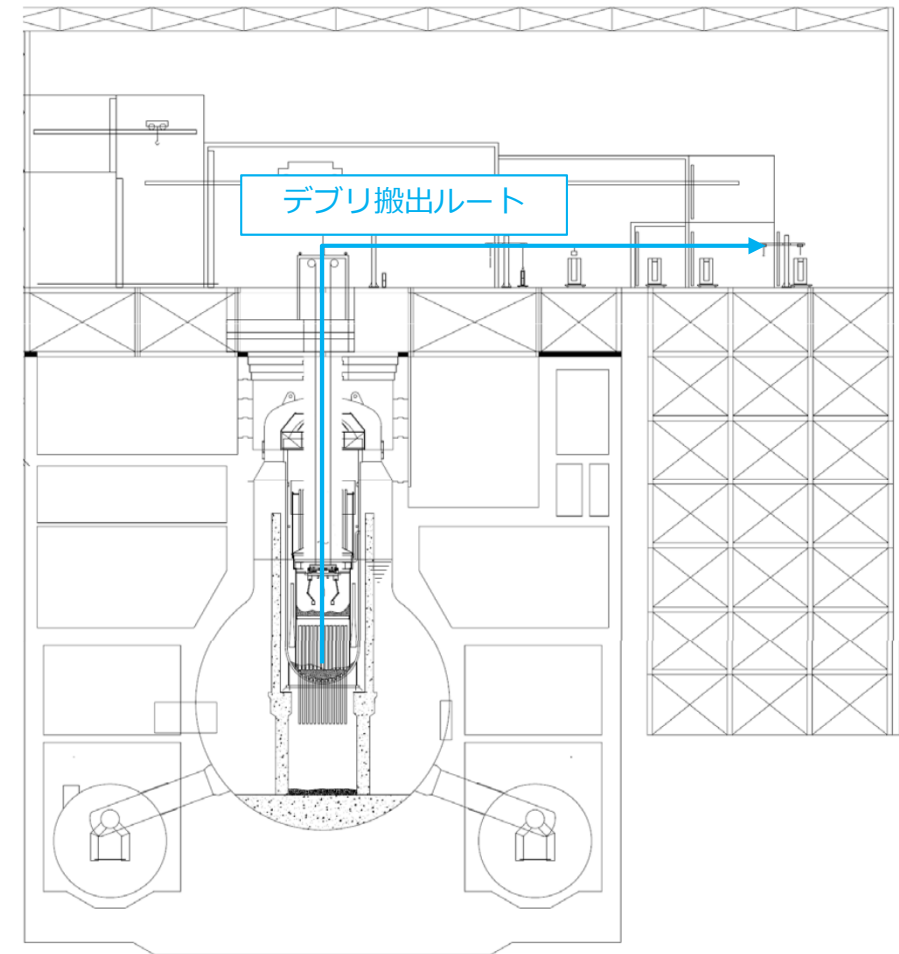
資料提供：国際廃炉研究開発機構(IRID)

(参考3) 大規模取り出し段階の設備 (例)

横アクセス工法 (例)



上アクセス工法 (例)



資料提供：国際廃炉研究開発機構(IRID)