

日本ナレッジイノベーション学会
実践ナレッジイノベーション研究部会

国際廃炉研究開発機構 事業概況

2017年6月30日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)
開発計画部 部長
奥住 直明

この成果は、経済産業省/廃炉汚染水対策事業費補助金の活用により得られたものです。

自己紹介

- 生年月日1956年6月29日
- 1979年4月 東京芝浦電気(株) 入社
- 1979年 原子力事業本部
BWR原子炉一次系システム機器設計業務
新規プラント計画業務
- 2000年 (株)東芝 技術企画室
- 2002年 原子力事業部
- 2004年 電力・社会システム社技術管理部長
- 2006年 イノベーション推進本部 icubeプロジェクト推進室
- 2007年 イノベーション推進本部 イノベーション推進部長
- 2010年 社会・産業部長
- 2010年 産業政策渉外部長 (組織改正による)
- 2013年 コーポレートコミュニケーション部長
- 2016年6月 (株)東芝 定年退職
- 2016年7月 技術研究組合同国際廃炉研究開発機構 開発計画部 部長

IRIDの概要

【理 念】 将来の廃炉技術の基盤強化を視野に、**当面の緊急課題である福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術の研究開発に全力を尽くす。**

■ 名 称 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (略称：IRID「アイリッド」)
(International Research Institute for Nuclear Decommissioning)

■ 設 立 2013年8月1日 (認可)

■ 組合員 **構成員：859名** (2016年10月1日現在、役員を除く)

• **独立行政法人：2法人**

(独) 日本原子力研究開発機構 (JAEA)、(独) 産業技術総合研究所 (AIST)

• **メーカー等：4社**

(株)東芝、日立GE ニュークリア・エナジー(株)、三菱重工業(株)、(株)アトックス

• **電力会社等：12社**

北海道電力(株)、東北電力(株)、東京電力(株)、中部電力(株)、北陸電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)

オールジャパン体制

■ 事業費

年度	2013年度 (8月～)	2014年度	2015年度	2016年度 (推定)
事業費	約45億円	約120億円	約150億円	約155億円

IRIDの事業内容

▶ IRID事業の3本柱



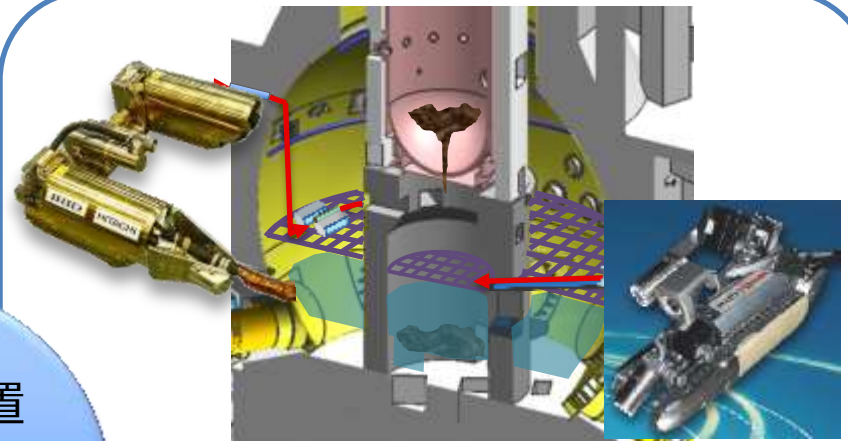
国際顧問との会議

1. 廃止措置
に関する
研究開発
を行います。

2. 廃止措置
に関する
**国際、国内
関係機関と
の協力**を推
進します。

IRID

3. 研究開発
に関する
人材育成
に取り組めます。



格納容器内部調査ロボットの開発



「IRIDシンポジウム2016」
でのロボットのデモ

中長期ロードマップの概要

2011年12月
【ステップ2 * 完了】

2013年11月

2021年12月

プラントの状態を
安定化する取り組み

- * ステップ2
- 放射性物質放出管理、放射線量大幅低減の達成
 - 冷温停止状態の達成

第1期

第2期

第3期

初号機の使用済燃料プール内の燃料取り出し開始まで
(2年以内)

初号機の燃料デブリ取り出し開始まで
(10年以内)

廃止措置終了まで
(30~40年後)



()内はステップ2完了からの期間

2013年11月18日に4号機使用済燃料プールから燃料取り出し開始

○中長期ロードマップは、2015年6月12日に改訂された。

○目標工程(マイルストーン)の明確化

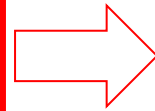
【燃料デブリ取り出し】

- **号機毎**の燃料デブリ取り出し**方針の決定** **2017年夏頃**
- **初号機**の燃料デブリ取り出し**方法の確定** **2018年度上半期**
- **初号機**の燃料デブリ取り出しの**開始** **2021年内**

IRIDの研究開発スコープ

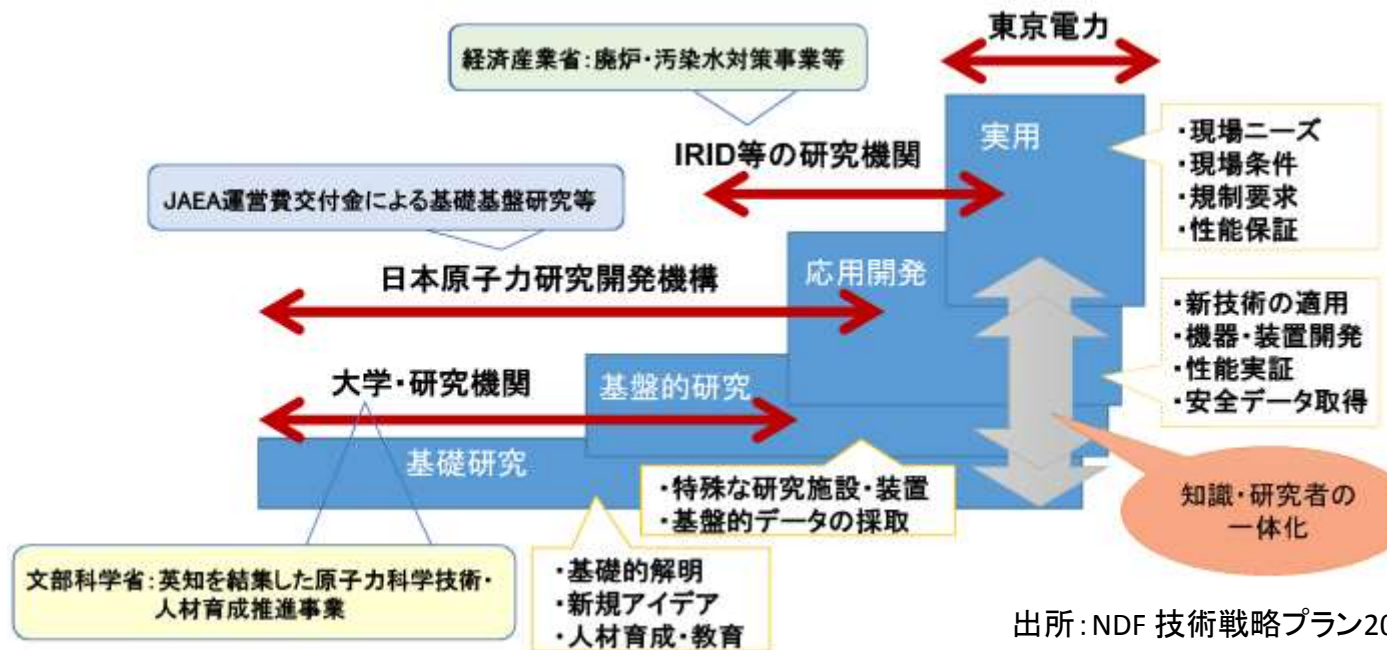
廃炉事業

- 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



IRIDはこの分野のR&Dを担当

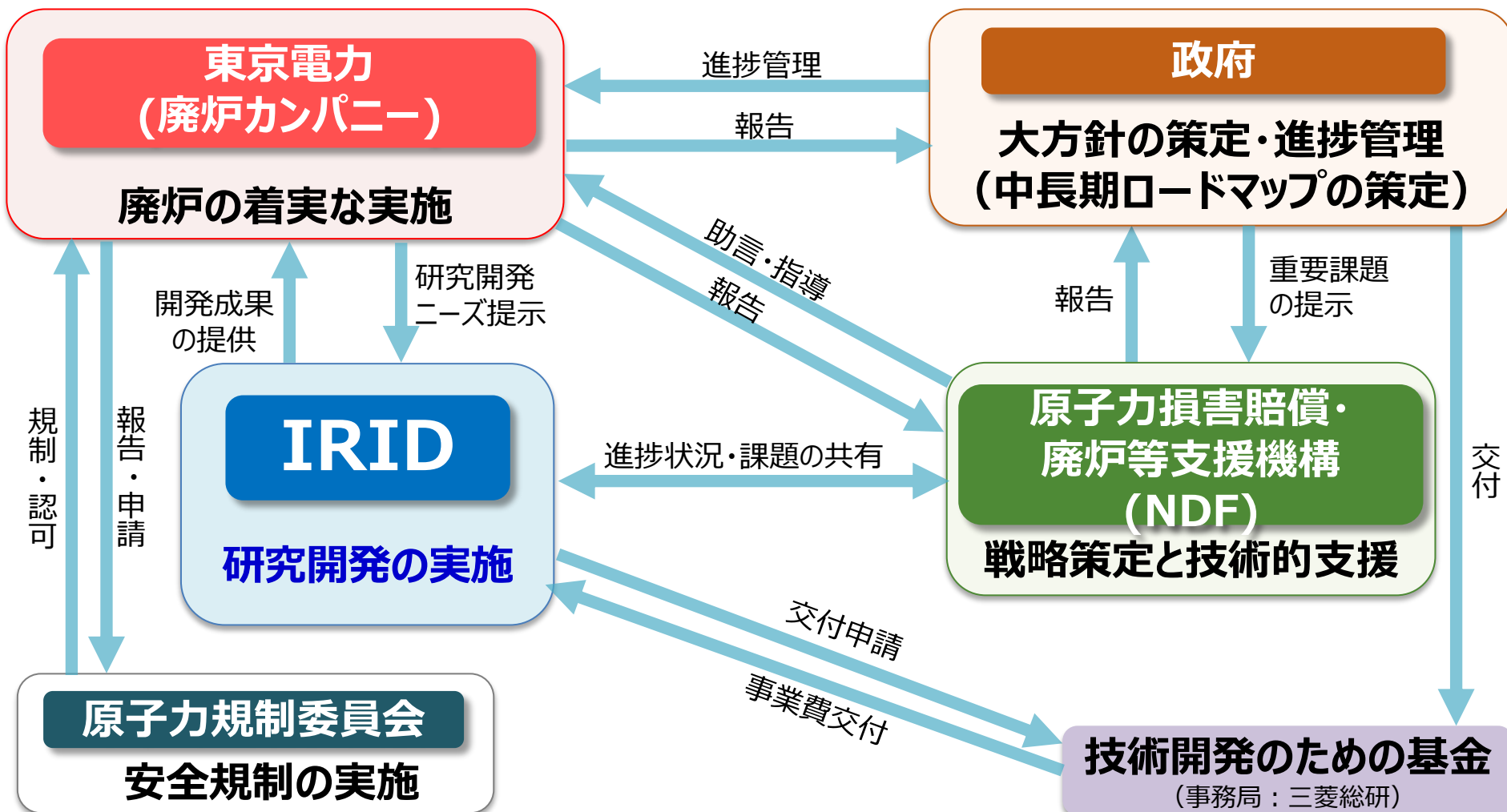
研究開発の全体像



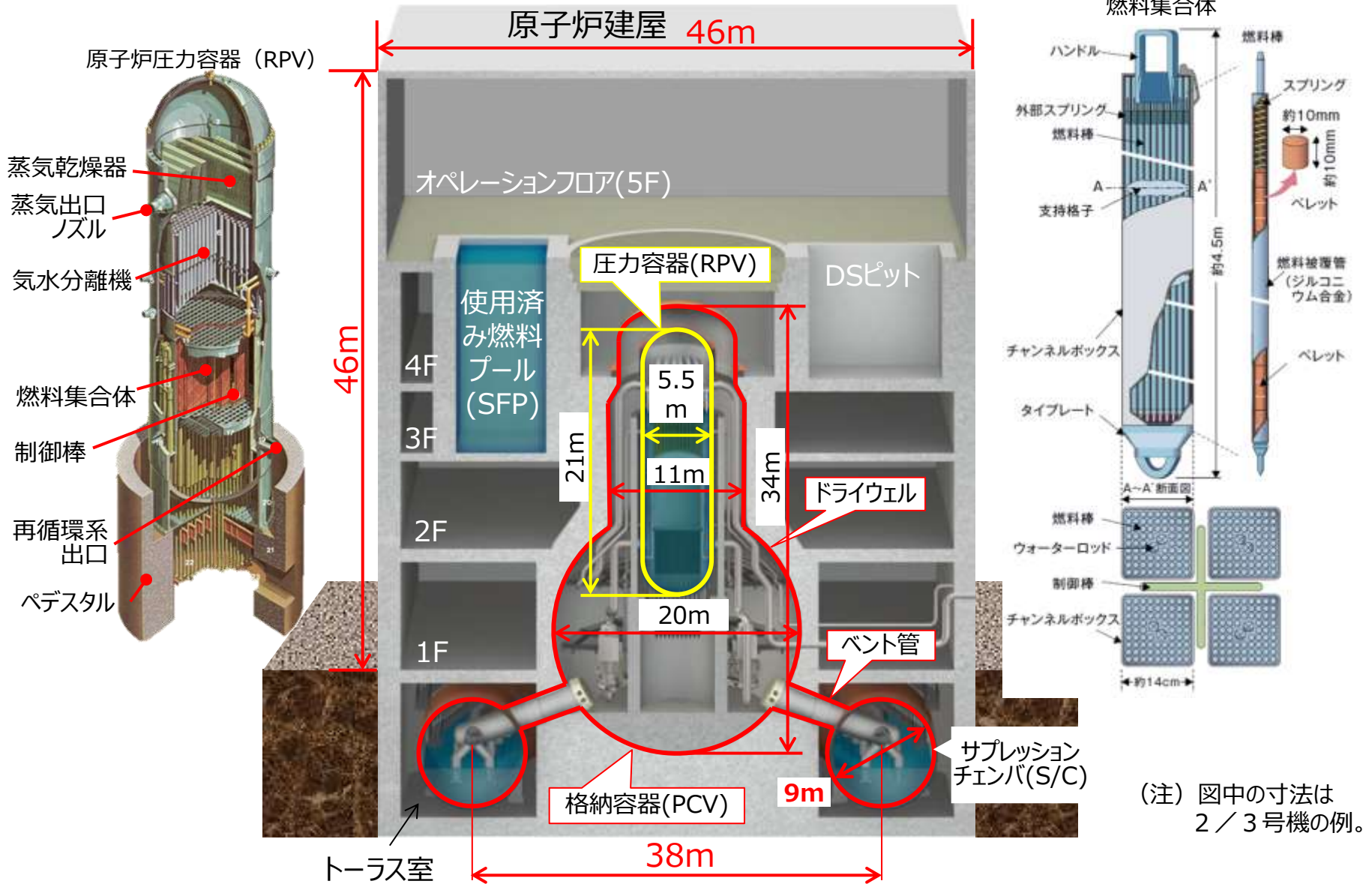
出所: NDF 技術戦略プラン2016

IRIDの役割

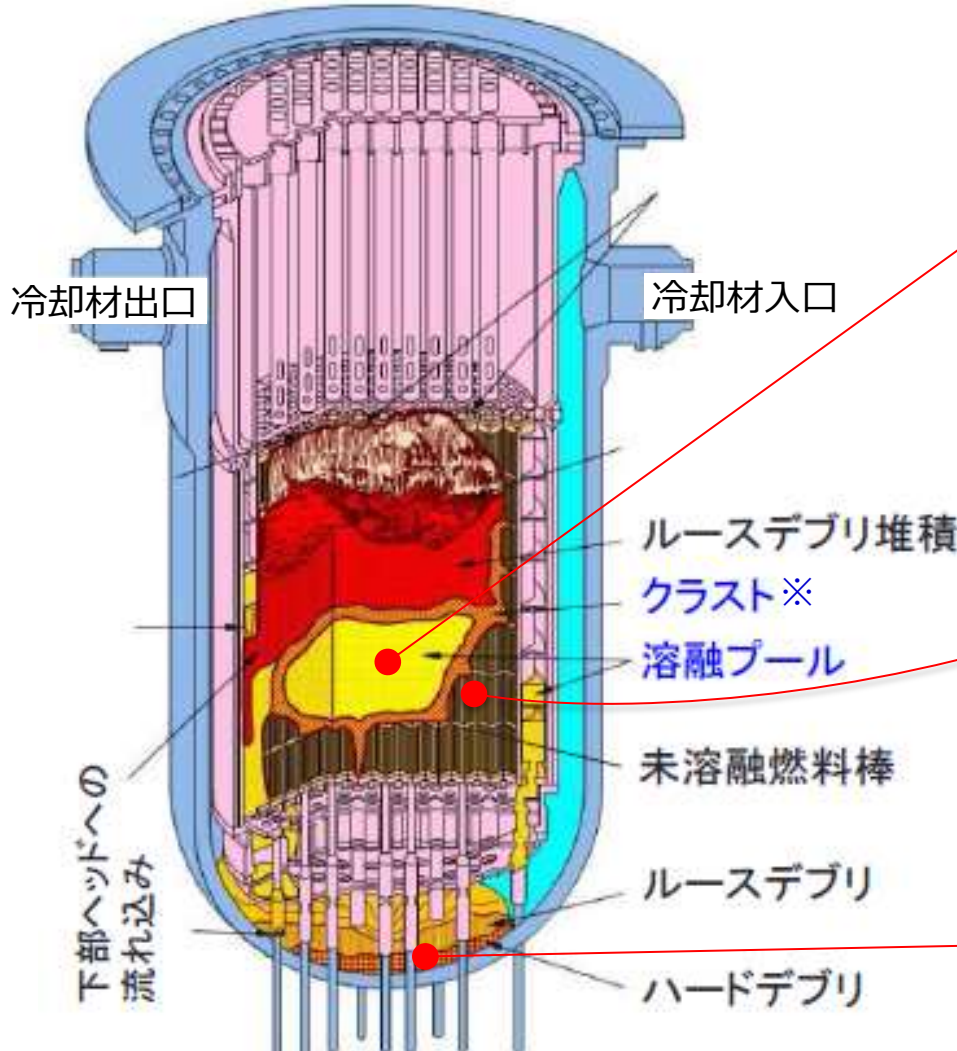
廃炉技術の基盤強化を視野に、当面の緊急課題にある福島第一原子力発電所の廃炉に向けた取り組みに注力



原子力発電所の構造



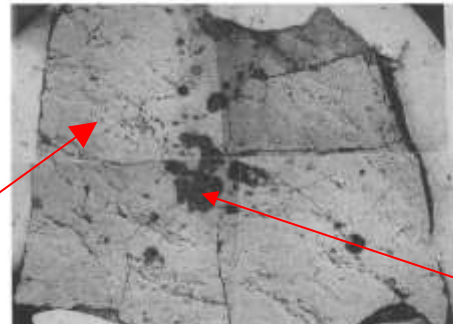
「デブリ」って何？（TMI-2デブリの概要）



R.K. McCardell, Nucl. Eng. Des. 118(1990) 441

※ 溶融プール表面の殻状の層（緻密な組織で硬い）

A

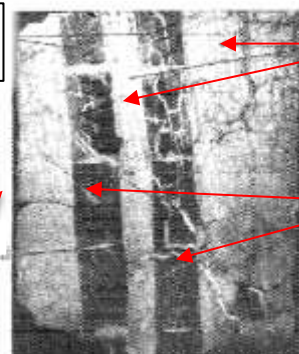


(U,Zr)O
2700~3100K

Fe-Ni-O

燃料棒と制御棒が完全に融けた液溜まり部分

B

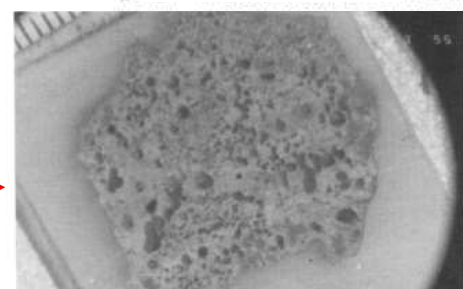


Zr-Fe-Ni-Cr
1400~2200K

燃料ペレット

未溶融燃料棒

C



(U,Zr)O₂
2800~3100K

溶融プールから下部ヘッドに回り込んで固化

U : ウラン、Zr : ジルコニウム、Fe : 鉄、Ni : ニッケル、Cr : クロム

「デブリ」って何？（1Fデブリの推定）

溶融進展後に予想される燃料デブリの生成箇所および材料

ルースデブリ層



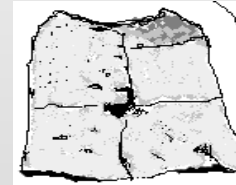
燃料片や溶融燃料が急冷され、粒子化

- ・ UO_2
- ・ $(\text{U,Zr})\text{O}_2$ 等

溶融・固化した炉心



上部/下部クラスト：
溶融燃料が比較的早く冷却されてできる塊



再溶融固化層：
溶融燃料がゆっくり冷却されてできる塊

- ・ $(\text{U,Zr})\text{O}_2$ (Uリッチ相/Zrリッチ相)
- ・SUS-Zry合金
- ・Zr/Feホウ化物 等

下部プレナム/制御棒ハウジング



制御棒案内管に溶融燃料等が付着

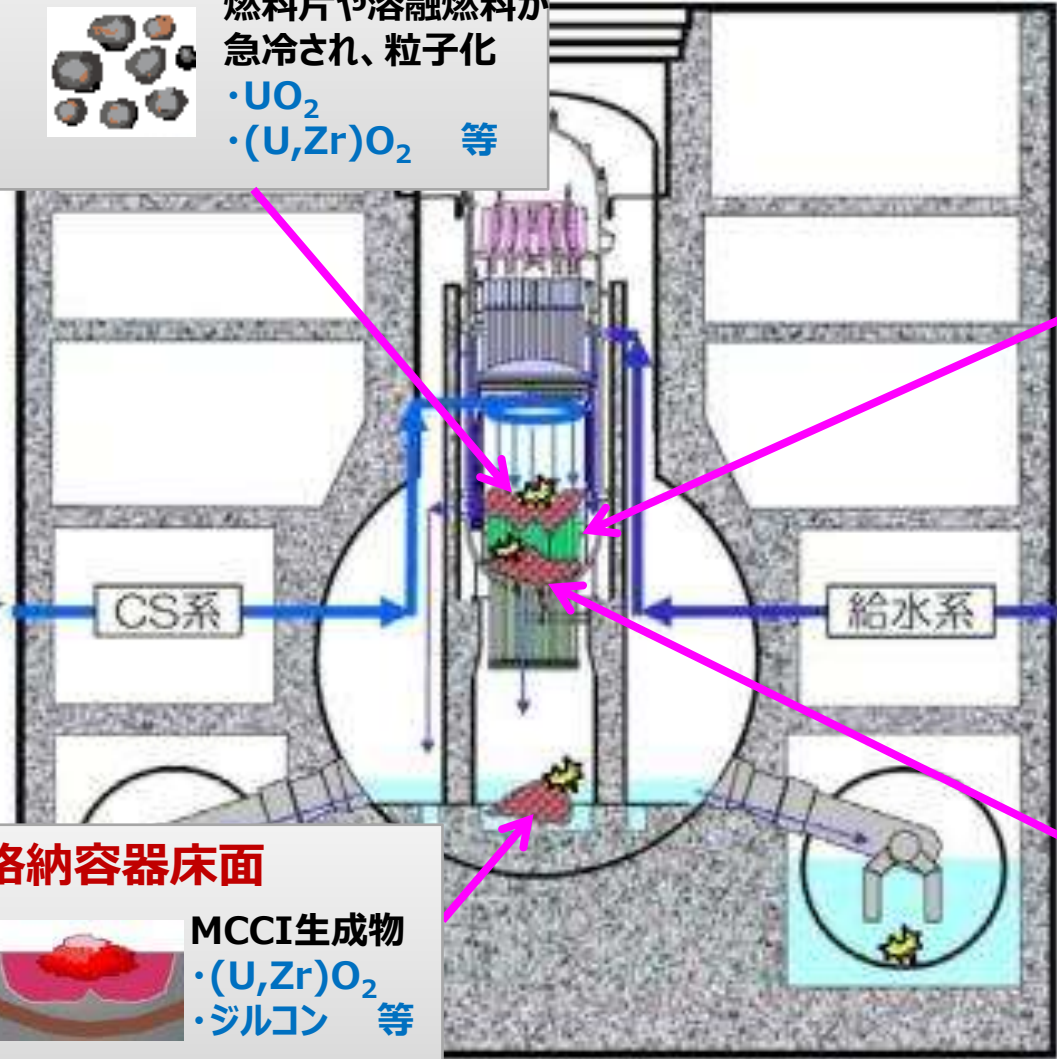
- ・SUS
- ・ $(\text{U,Zr})\text{O}_2$ 等

格納容器床面



MCCI生成物

- ・ $(\text{U,Zr})\text{O}_2$
- ・ジルコン 等

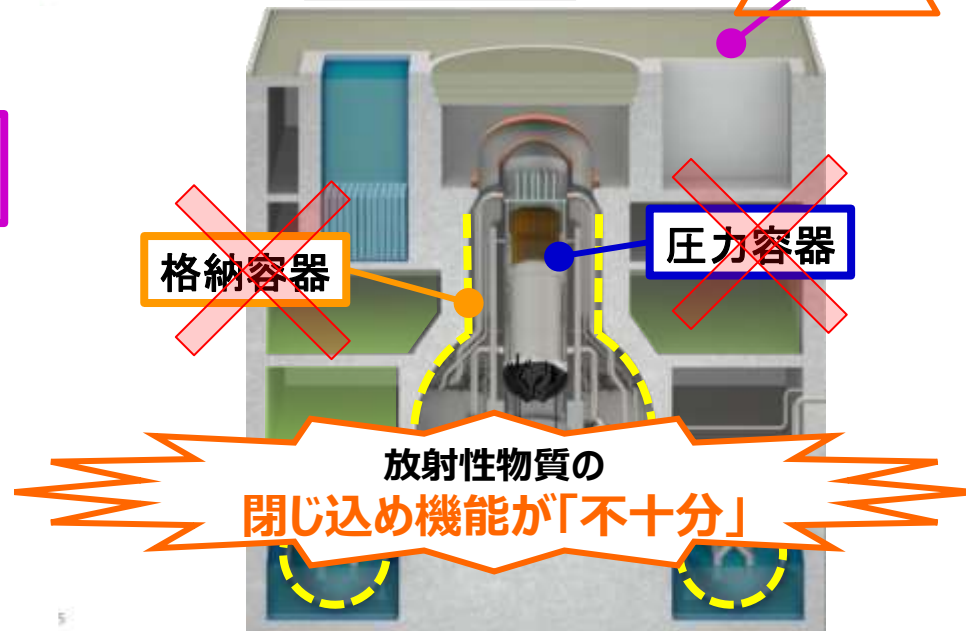
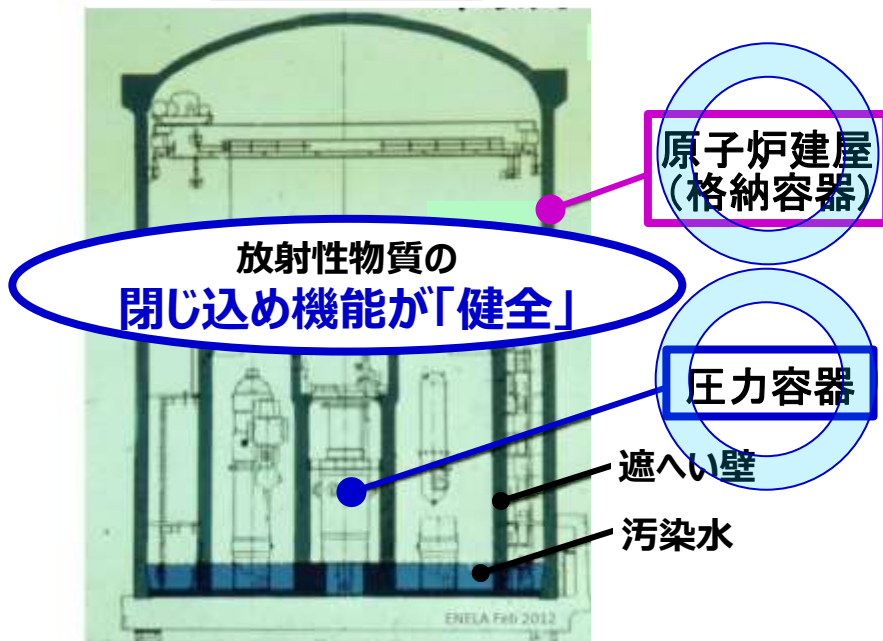


1Fデブリ取り出しの難しさはどこか～TMIとの比較

TMI-2

1F-1,2,3

原子炉建屋



約133トン

デブリ総量

約880トン (3基)

ほぼRPV内、一部が配管内

デブリの拡がり

ペDESTAL底部に落下、
底部コンクリートを浸食

(オペフロ線量)
除染・遮蔽後※ :約1mSv/h

放射線量

(オペフロ線量)
現在:数十～数百mSv/h

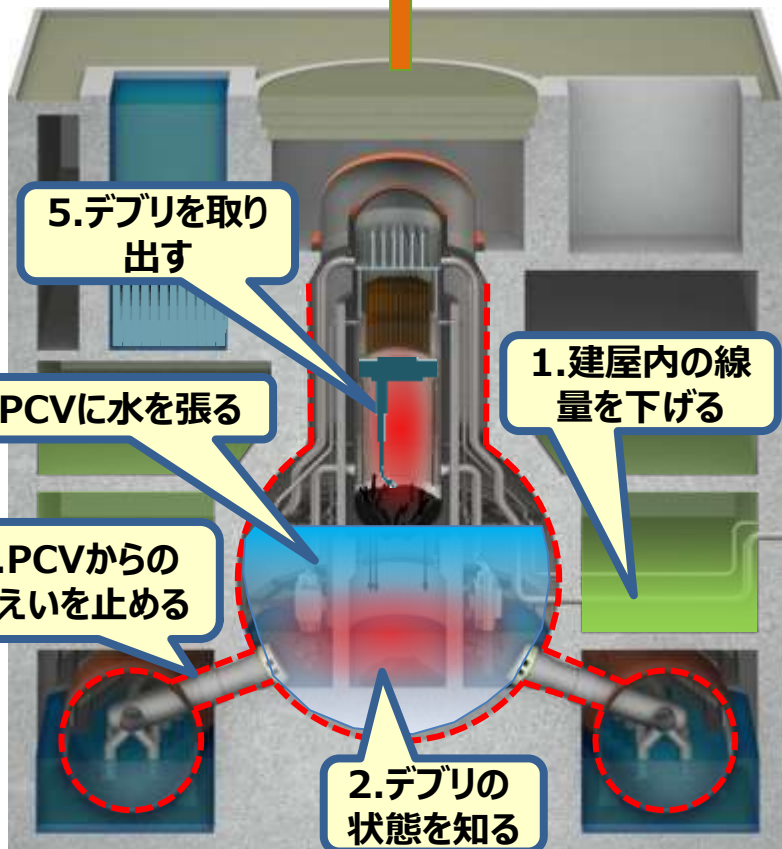
※ : 事故直後は数十mSv/h

IRIDの研究開発プロジェクトとその目的

1. 建屋内の線量を下げる

- **遠隔除染**装置の開発

6. デブリを収納・移送・保管する



2. デブリの状態を知る

- ◎ 間接的に知る
 - **解析**による炉内状況把握
 - **宇宙線ミュオン**を利用した透視
- ◎ 直接的に知る
 - **PCV内部**調査、**RPV内部**調査

3,4. PCVの漏えいを止める、水を張る

- PCV**補修・止水**技術の開発
- PCV補修・止水**実規模試験**

5. デブリを取り出す

- デブリ取り出し**基盤技術**の開発
- デブリ取り出し**工法・システム**の開発
- **臨界管理**技術の開発

6. デブリを運びだし、保管する

- デブリ**収納・移送・保管**技術の開発

遠隔除染技術

除染

デブリ調査

PCV補修

デブリ取出

収納・移送・保管

開発のニーズ

R/B内の線量が高く容易に人が近づけない。**作業場所の環境改善（線量低減）**が必要。

原子炉建屋（R/B）

使用済燃料プール

PCV

作業、移動エリアの除染

低所(床,下部壁面)用



吸引/ブラスト

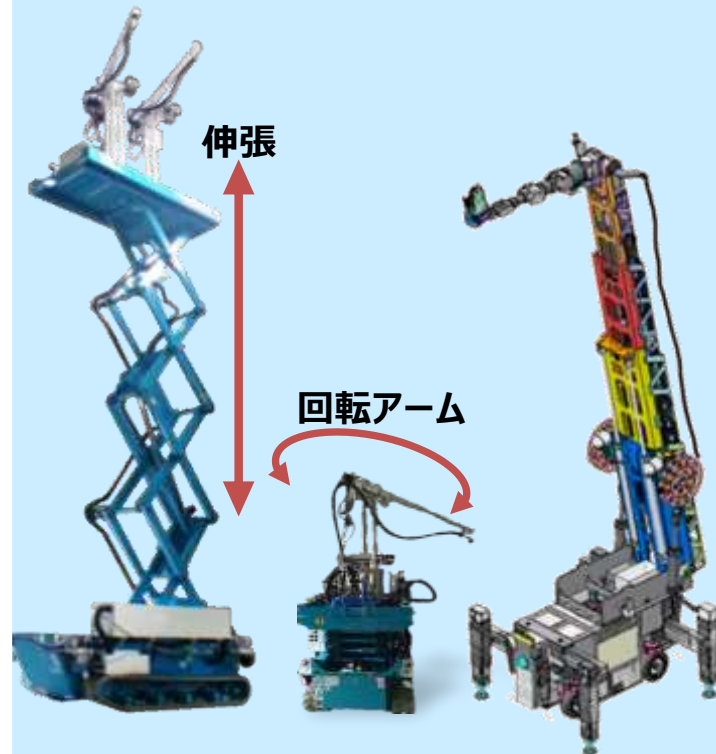


高圧水噴射

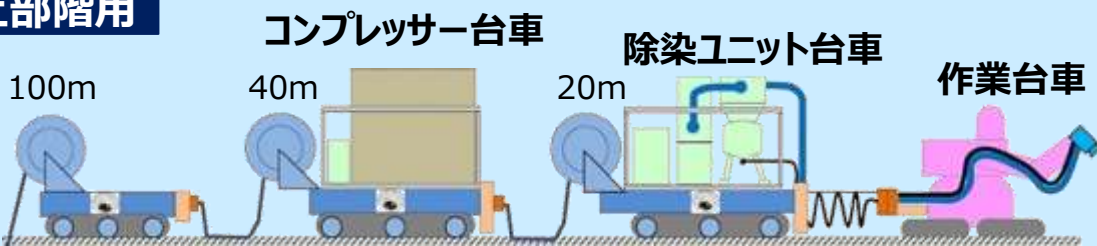


ドライアイスブラスト

高所用



上部階用



遠隔除染技術

除染

デブリ調査

PCV補修

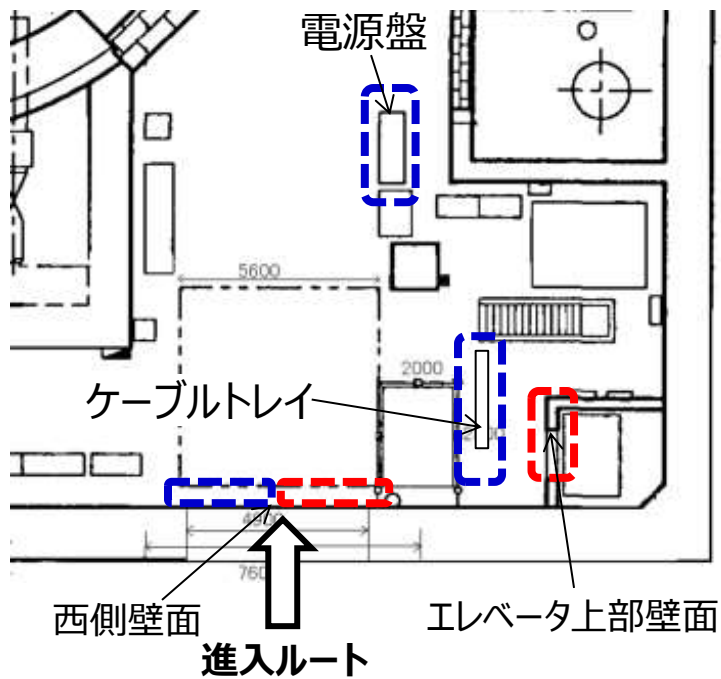
デブリ取出

収納・移送・保管

現場への適用（3号機）

2016年1月～2月に**3号機 R/B 1階**で吸引除染及びドライアイスブラスト除染を実施。

□□ : 吸引 □□ : ドライアイス



コンテナから搬出する場面



3号機R/B内への進入風景

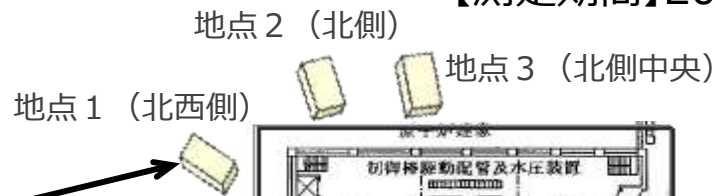
(補足) 1号機ミュオン調査結果

【測定期間】2015.2.19～9.7

測定装置と現場での設置場所



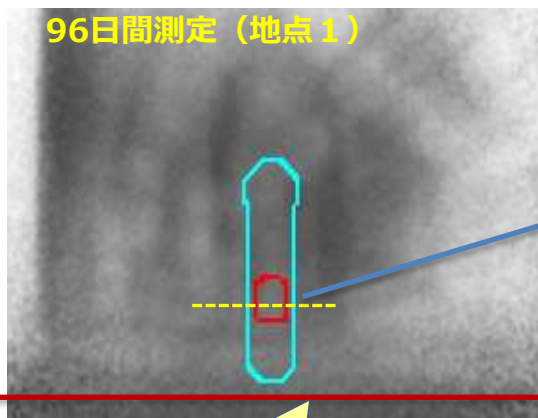
(約2.5mX2.0mX高さ2.1m)



1号機原子炉建屋1階

透過率の測定結果と分析結果

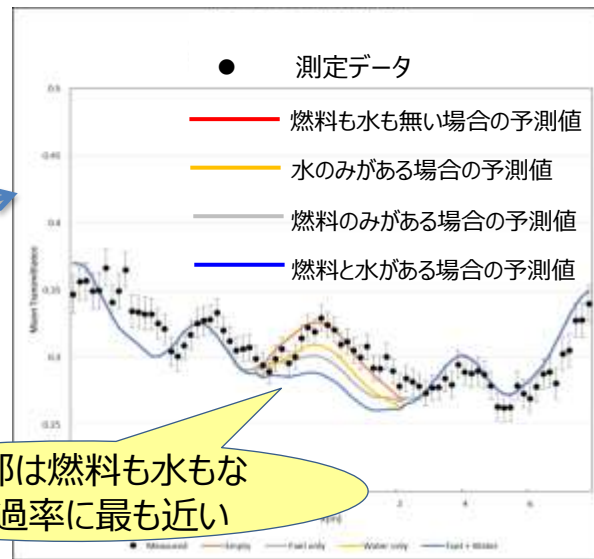
96日間測定 (地点1)



水平線近くは不鮮明

炉心部は燃料も水もない透過率に最も近い

測定値と予測値との比較 (炉心部透過率)

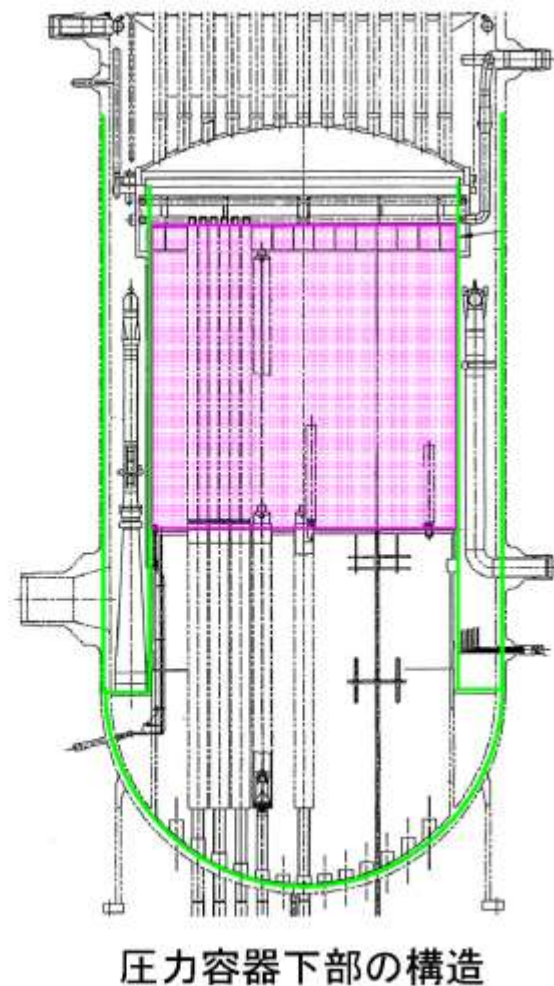
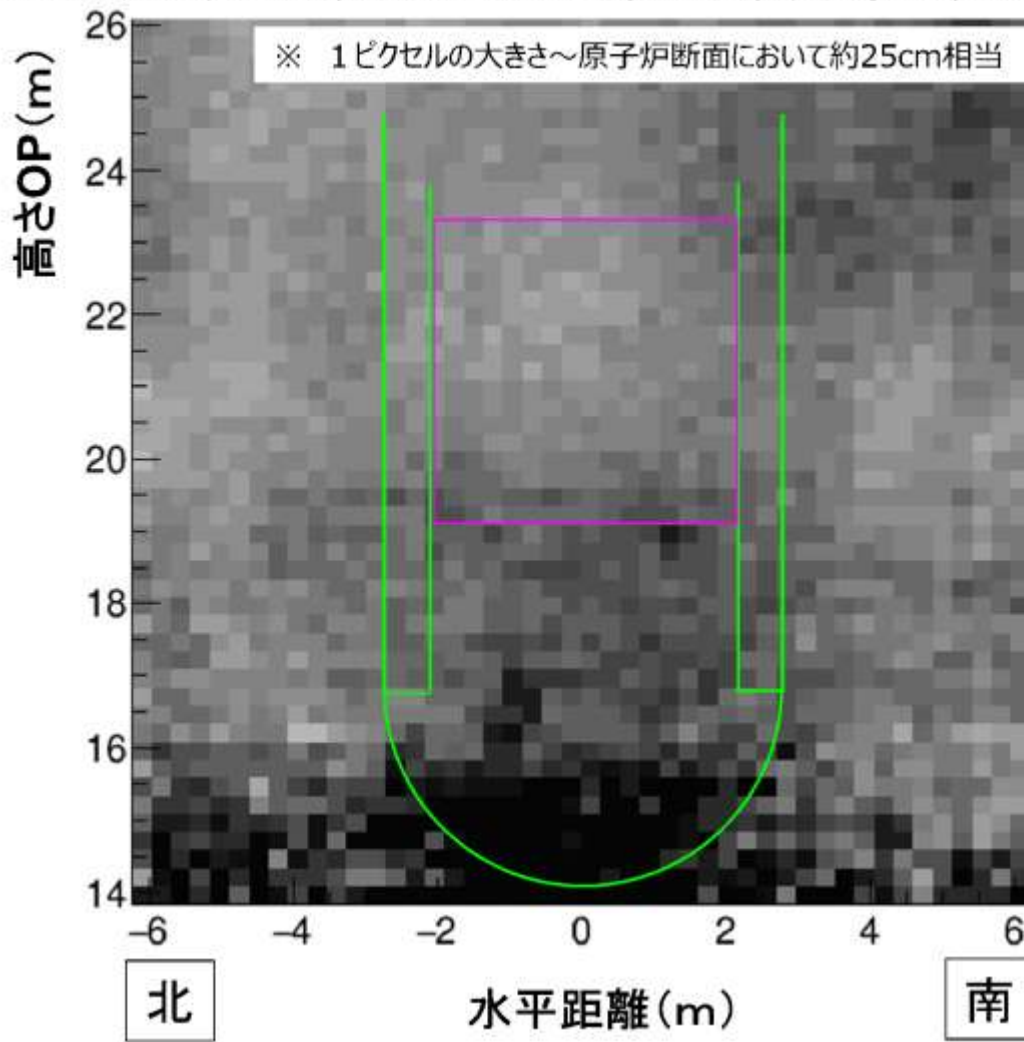


1号機では
炉心部に
燃料がない
と評価

(補足) 2号機ミュオン調査結果(1/2)

- 圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度物質の影を確認。

(測定結果 H28.7.22 時点)



H28.7.28東京電力HD公表資料から引用

PCV内部調査技術

ペダスタル外側の調査（1号機）

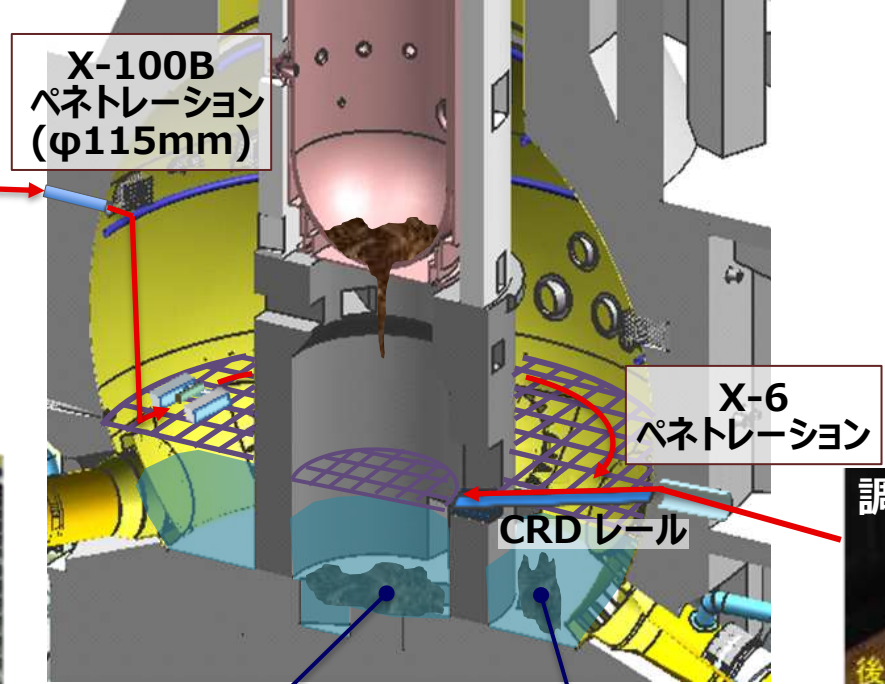
○形状変化型ロボット（B1調査）

ペダスタル内側の調査（2号機）

○クローラ型遠隔調査ロボット（A2調査）



変形



変形



記号の意味

▶ 「B2」、「A2」の意味

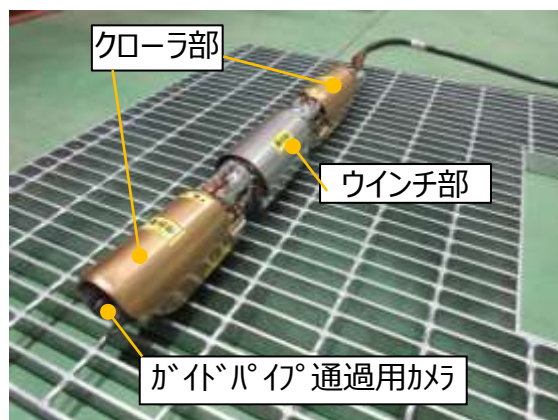
⇒ペDESTAL外調査を「B」

⇒ペDESTAL内調査を「A」

⇒数字は、調査のフェーズ

(補足) B2 調査ロボット「PMORPH (ピ°-モルフ)」

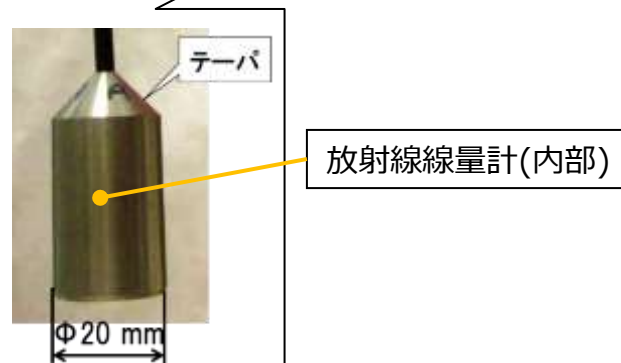
本体寸法	ガイドパイプ走行時：長さ699mm×幅72mm×高さ93mm グレーチング走行時：長さ316mm×幅286mm×高さ93mm
センサユニット寸法	幅20mm×高さ40mm ケーブル：長さ3.5m
重量	約10kg
スペック	カメラ×5、放射線線量計×1
耐放射線性	約1000Sv以上



I型(ガイドパイプ通過時)

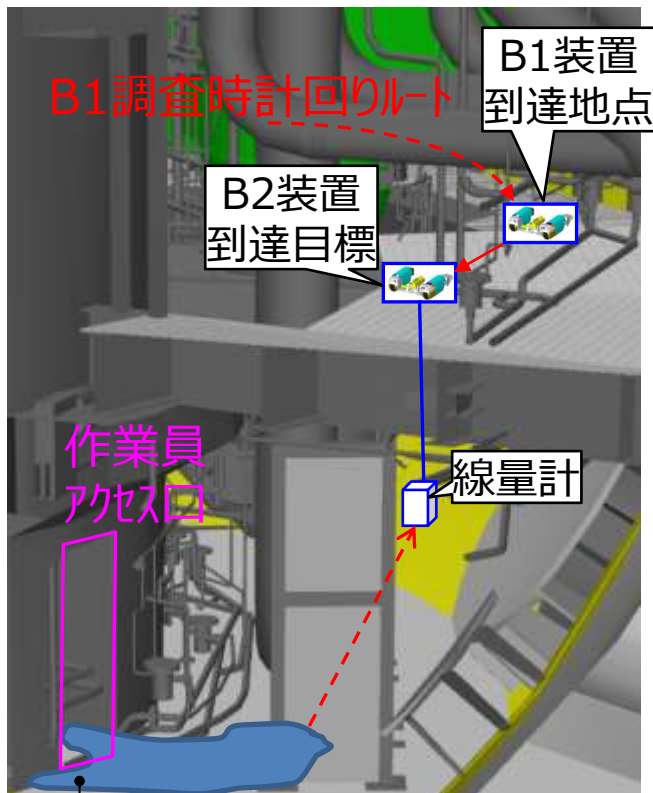


C型(平面走行時)

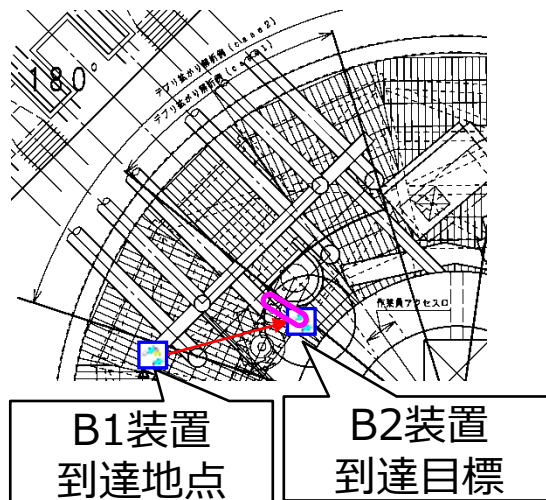


複数の点の線量率から、燃料デブリの拡散状態を推定

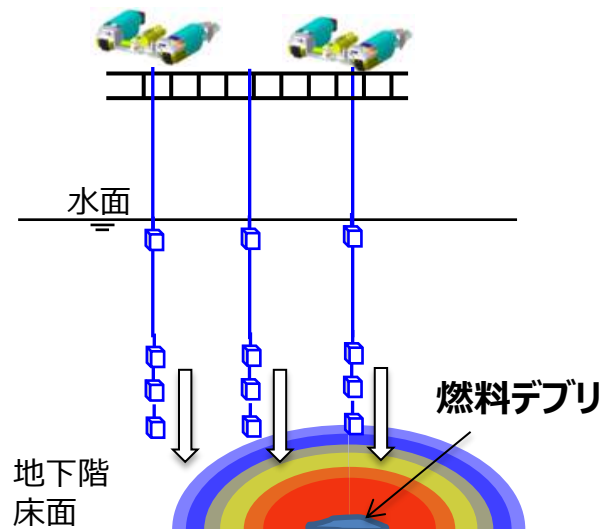
◆線量率測定イメージ



デブリ拡がり
作業員アクセスポイント周辺の
調査イメージ

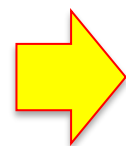


1階グレーチング部分平面図

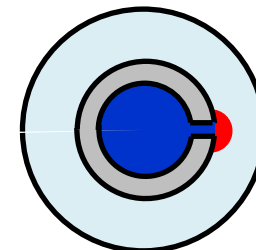


◆拡散状態推定イメージ

- ・ロボットの平面位置
- ・センサの降下長さ
- ・線量測定結果

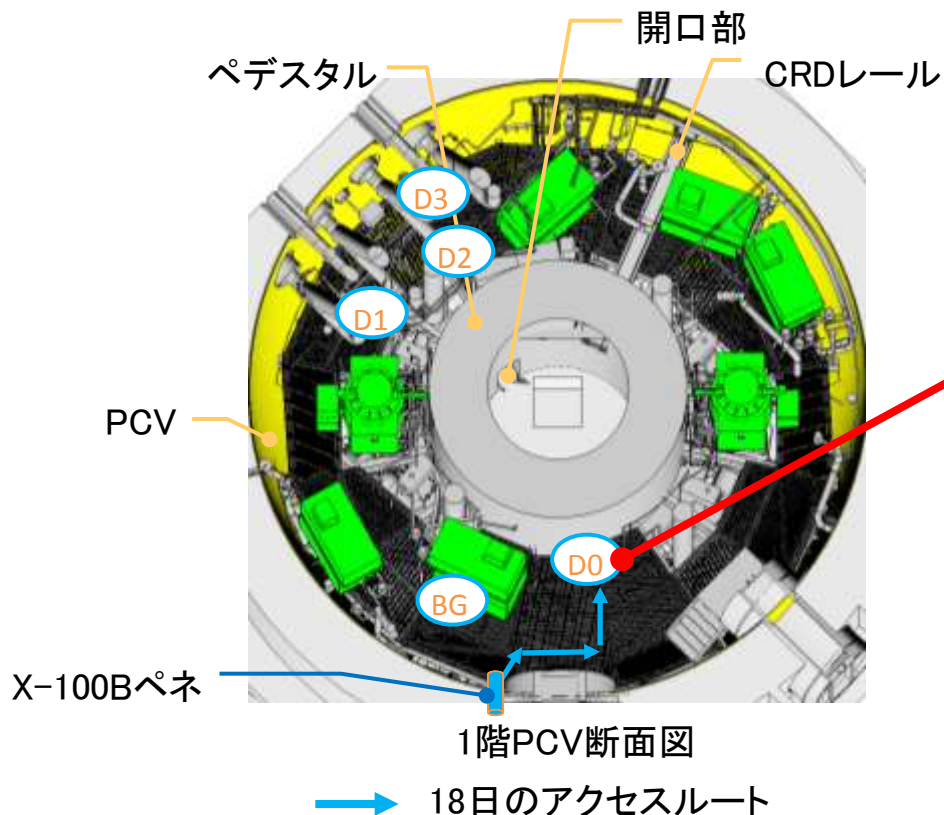


地下階における二次元的な
燃料デブリ拡散状態



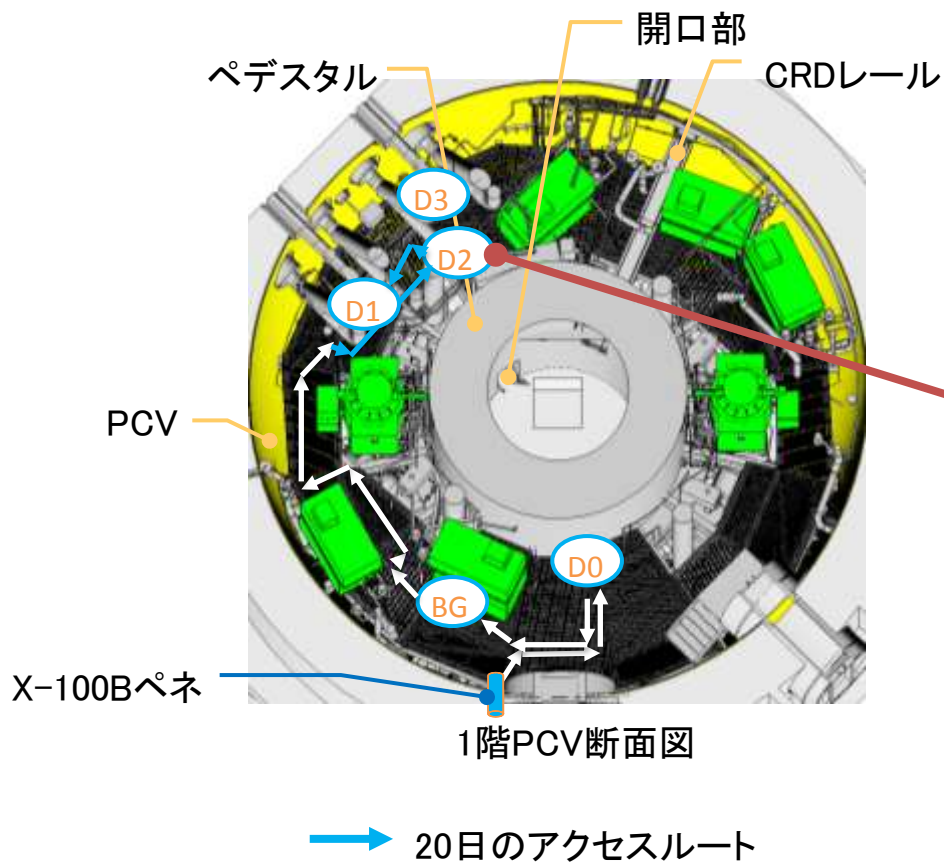
B 2 調査実績 ～D0ポイント～

調査日	実施内容	線量情報	
3月18日	<ul style="list-style-type: none"> バルブがあり床面から約 1 m で停止。 センサー巻き上げ時に乱巻。調査を中断 	グレーチング上	PCV床面から上方
		7.8Gy/h	1.5Gy/h@約1.0m



B 2 調査実績 ～D2ポイント～

調査日	実施内容	調査結果（線量情報）	
3月20日	<ul style="list-style-type: none"> センサー降下先に障害物があり、床面から約1m上で降下を停止 	グレーチング上	PCV床面から上方
		12Gy/h	6.3Gy/h@約1m



グレーチング上（3月20日撮影）



PCV床面上方約1m（3月20日撮影）

(補足) 2号機ペDESTAL内上部調査 (A2調査)

【調査方法】

- カメラによる撮影

【実施時期】

- 2017年1~2月

ペネ内事前確認

調査手順

1. ペDESTAL内事前確認

2017年1月30日実施

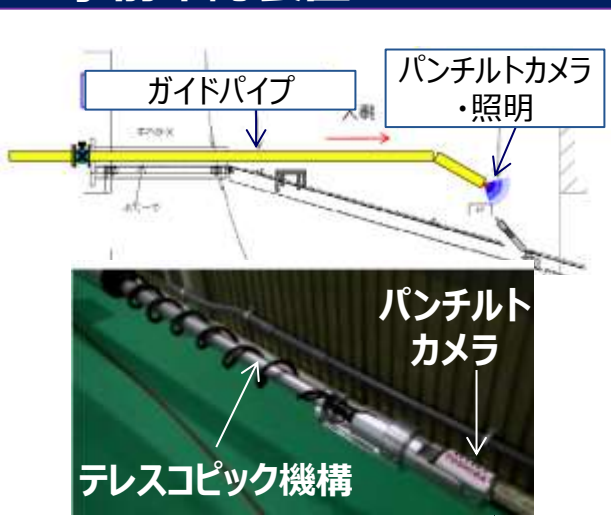
2. レール上堆積物除去

2月9日実施

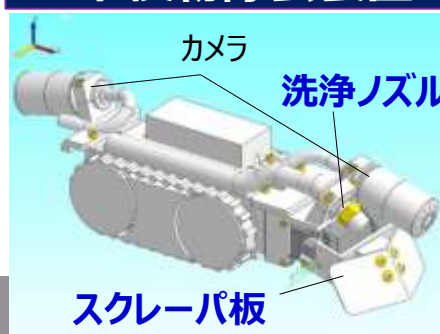
3. A2調査

2月16日実施

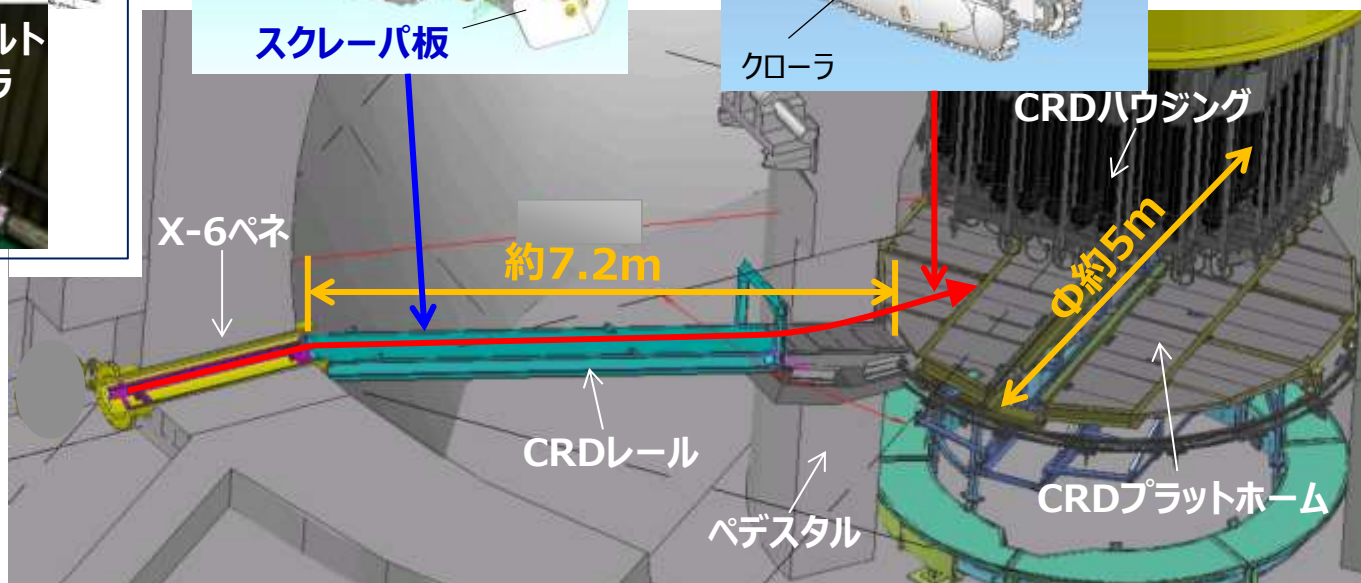
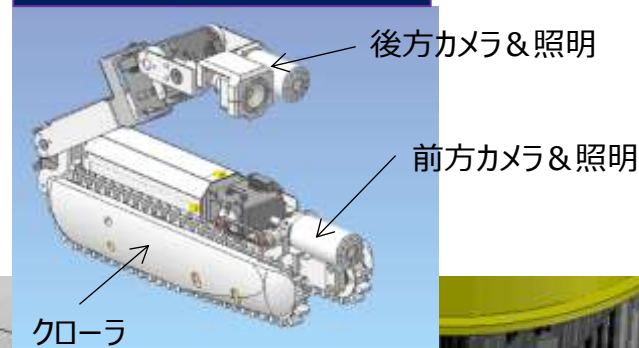
1. 事前確認装置



2. 堆積物除去装置

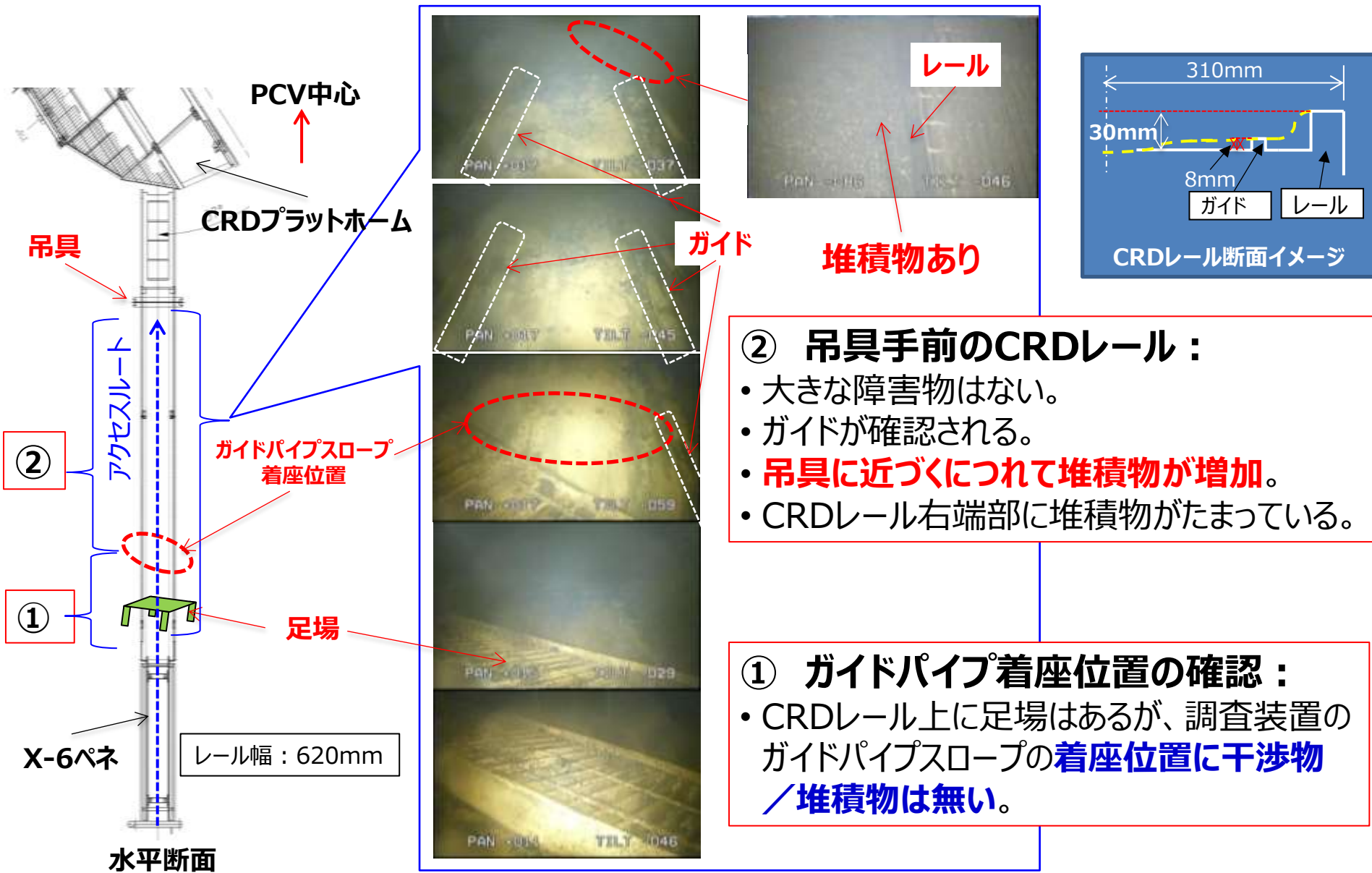


3. A2調査装置



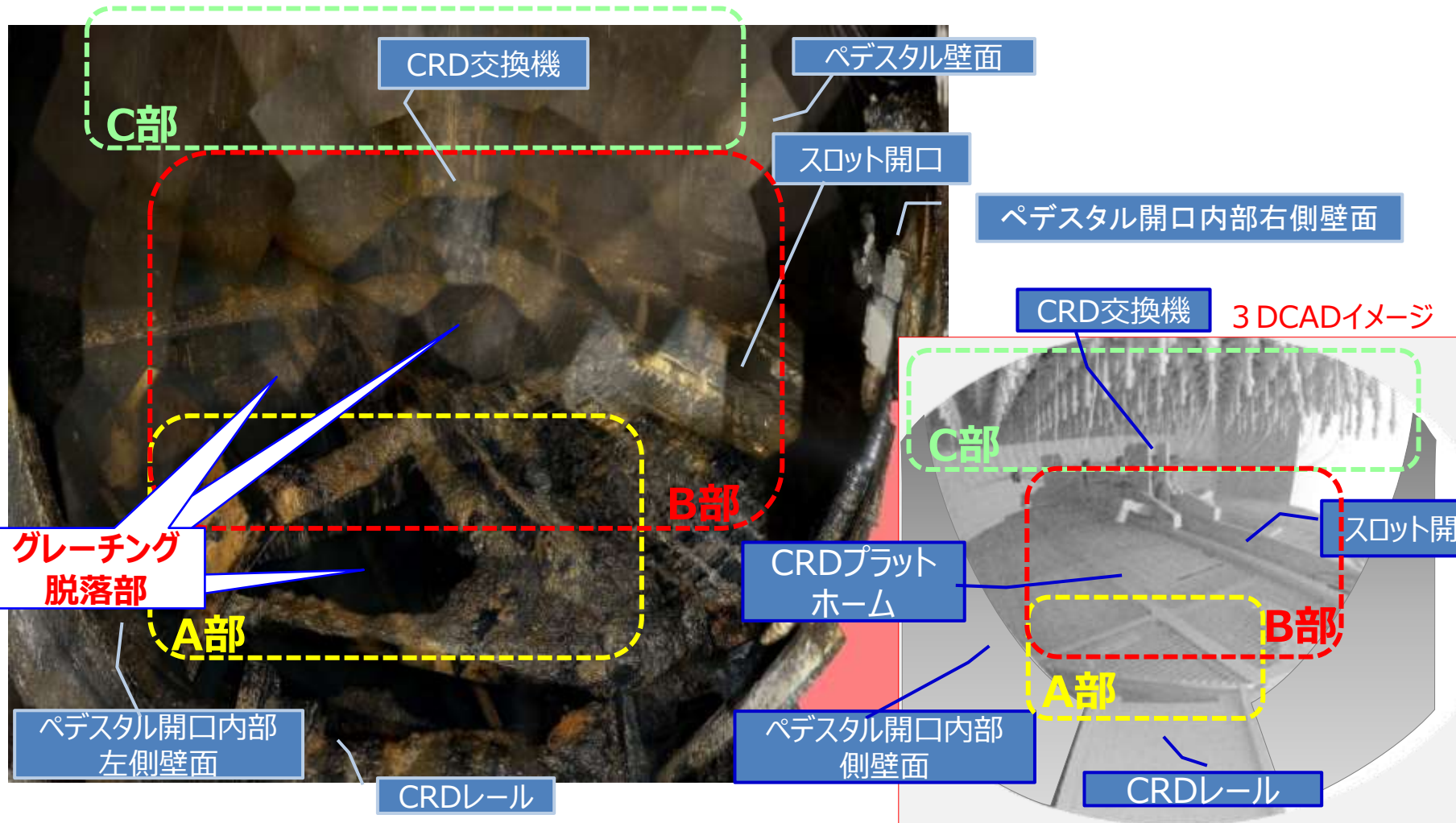
(補足) CRDレール調査結果

調査日：2017年1月30日



(補足) ペDESTAL内調査結果

調査日：2017年1月30日

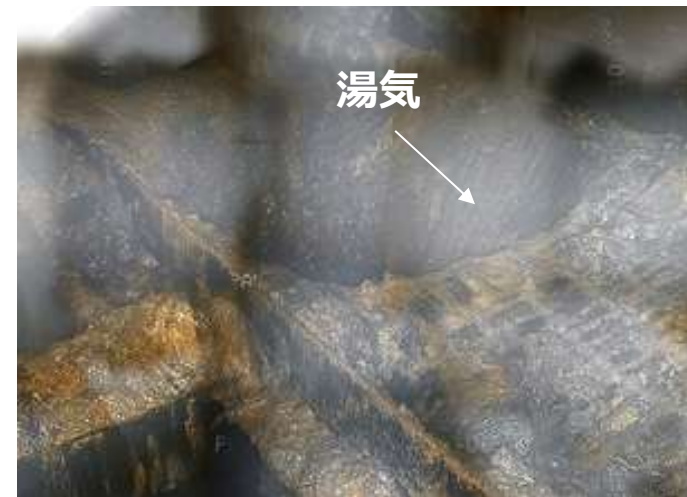


▶ CRDプラットフォームの**グレーチングが脱落**しているが、フレームは残存している。

※上記画像は、東電HDにて鮮明化した画像をもとに画質改善したものを全天球化

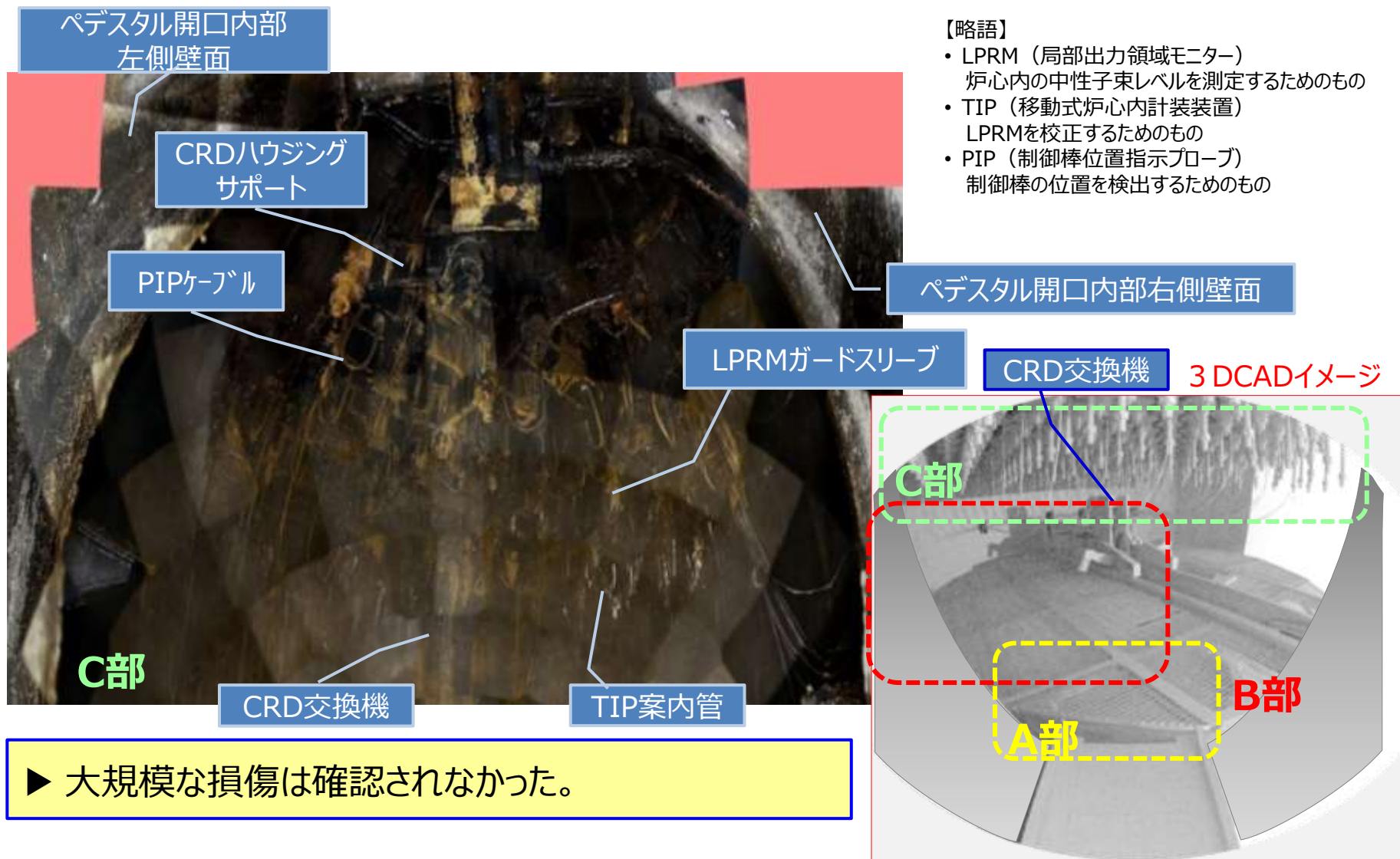
(補足) ペDESTAL内調査結果 (プラットフォーム 左側)

- グレーチングが欠損した開口部からは湯気が上昇している
- 相当の水滴が落下し続けている
- グレーチング上に広範に堆積物が認められる



(補足) ペDESTAL内調査結果

調査日：2017年1月30日

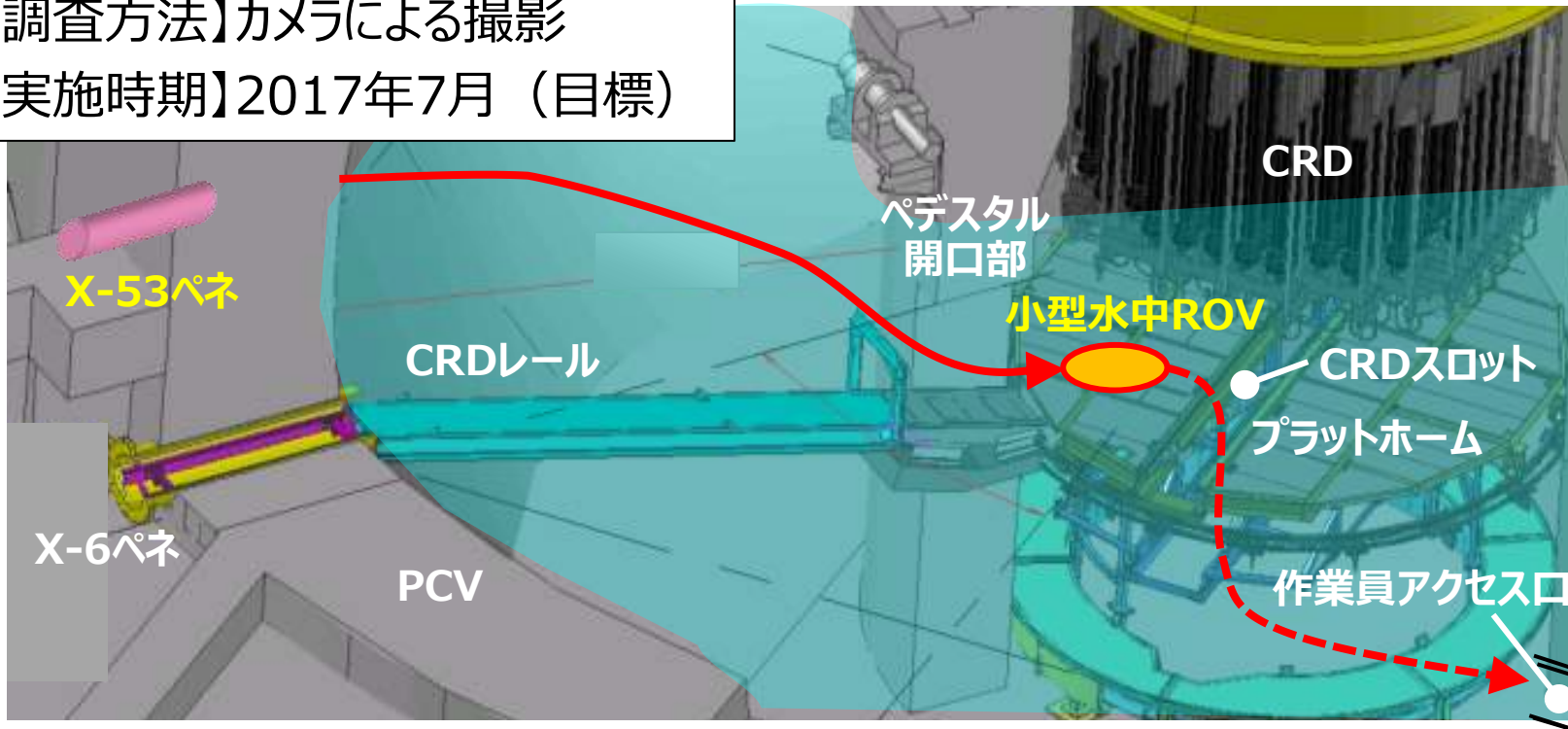


※上記画像は、東電HDにて鮮明化した画像をもとに画質改善したものを全天球化

(補足) 3号機ペDESTAL内調査

【調査方法】カメラによる撮影

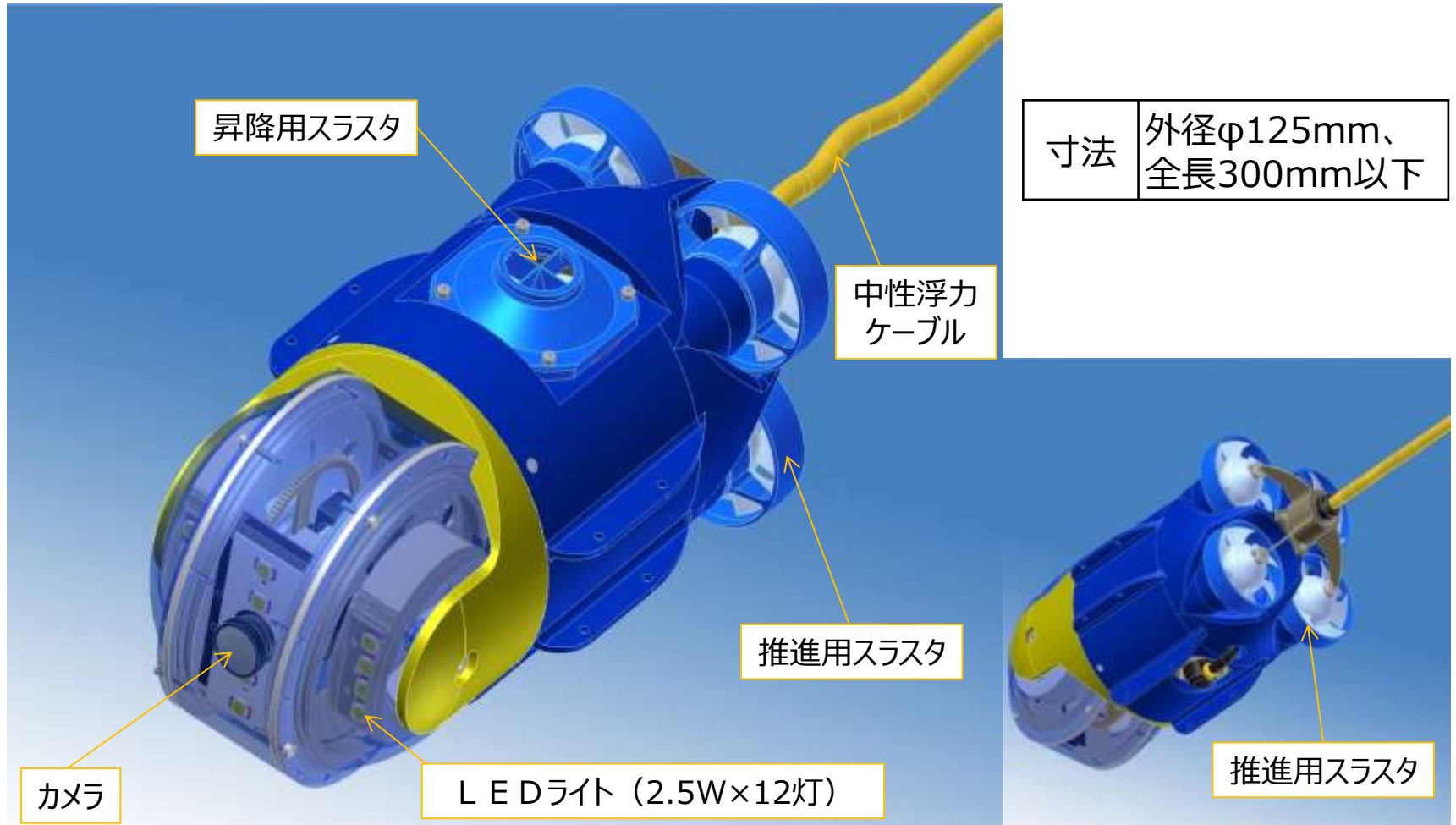
【実施時期】2017年7月 (目標)



- ① **配管貫通部 (X-53ペネ)** からアクセスしペDESTAL内に侵入。**プラットフォーム、CRD下部**の損傷状況を確認する。
- ② ペDESTAL地下階へのアクセスルートを確認する。
- ③ 地下階への進入が可能であれば、**ペDESTAL底部デブリ**の堆積状況や作業員アクセス口から**ペDESTAL外へのデブリの流出**状況を確認する。

(補足) 3号機水中遊泳ロボット (イメージ)

X-53ペネ内に挿入可能な小型ROV (イメージ図)



前方鳥瞰図

後方鳥瞰図

PCV補修・止水技術

除染

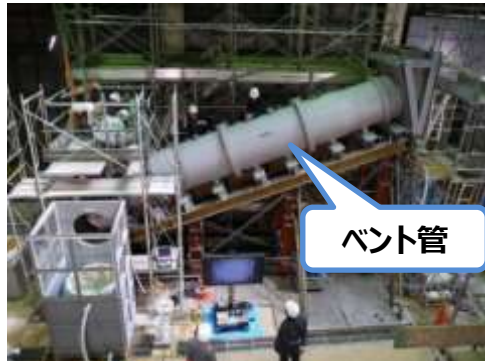
デブリ調査

PCV補修

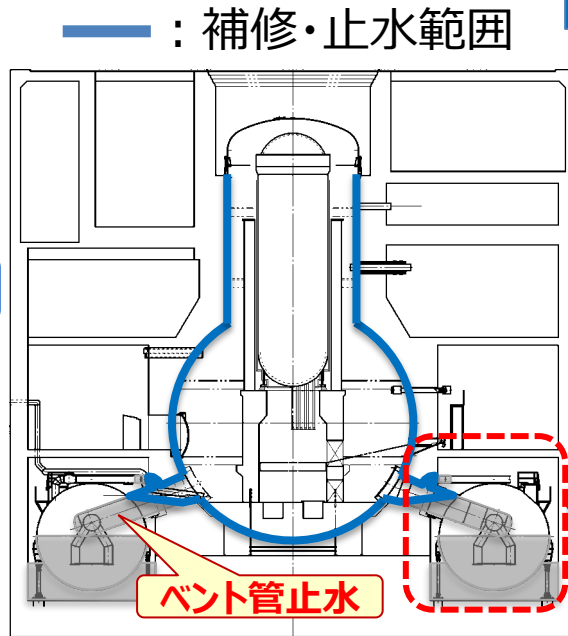
デブリ取出

収納・移送・保管

ベント管止水試験

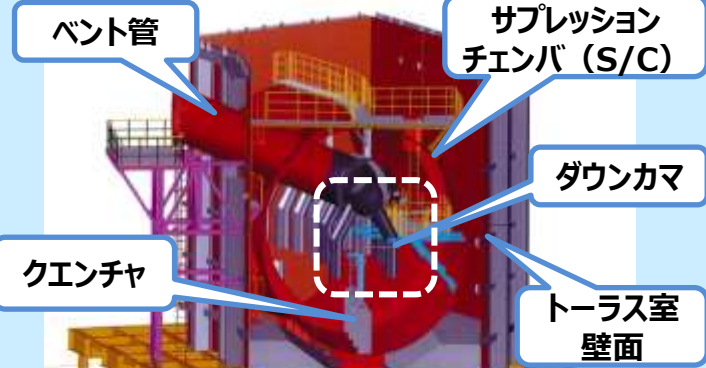


1 / 2 スケール試験体で止水性能を確認 (工場)



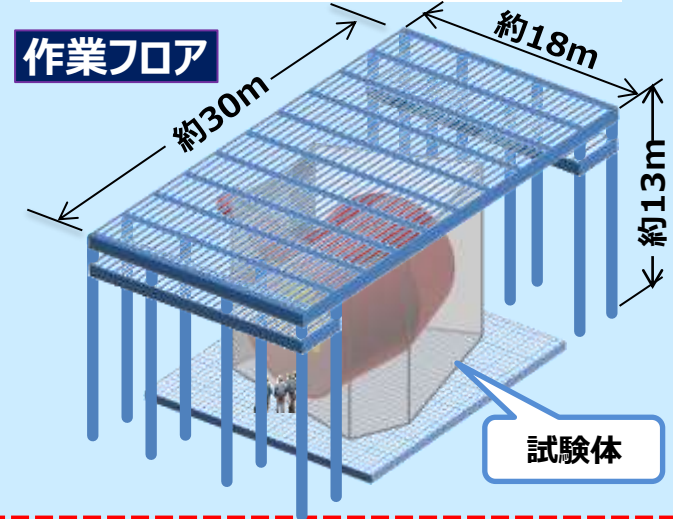
実規模試験体を用いた試験

実規模試験体 (1/8セクター)

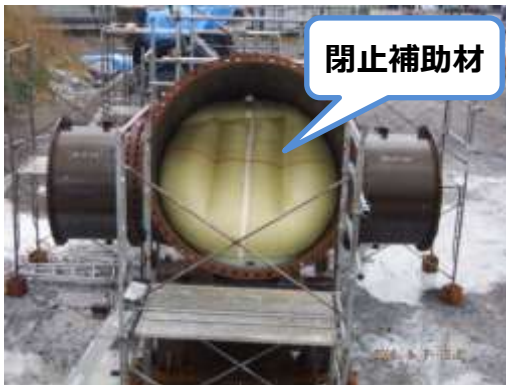


楡葉遠隔技術開発センター内に建設

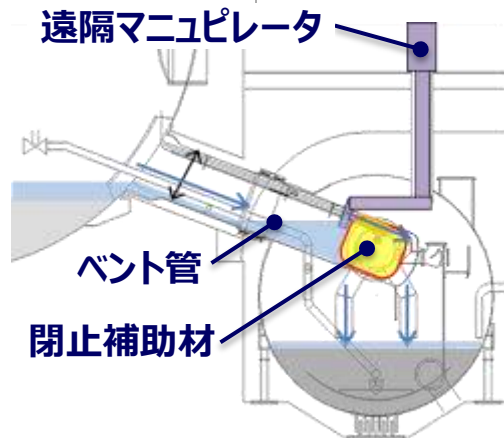
作業フロア



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)



デブリ取り出し技術

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

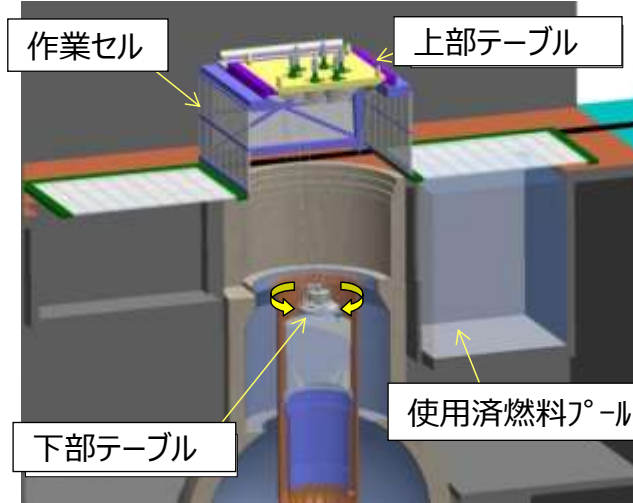
基盤技術の開発



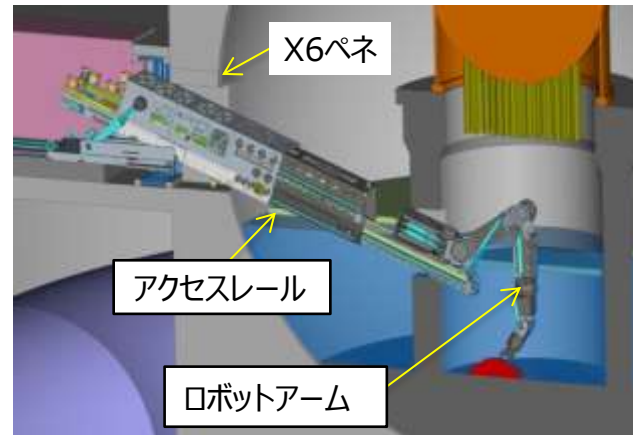
ロボットアーム



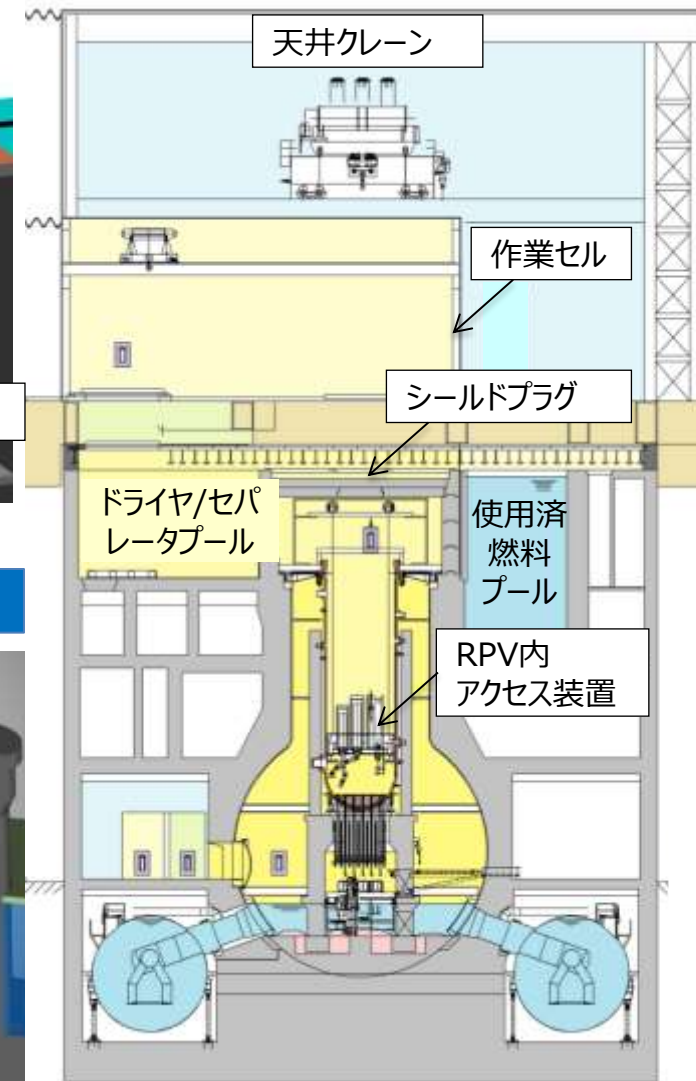
冠水-上アクセス工法（概念）



気中-横アクセス工法（概念）



気中-上アクセス工法（概念）

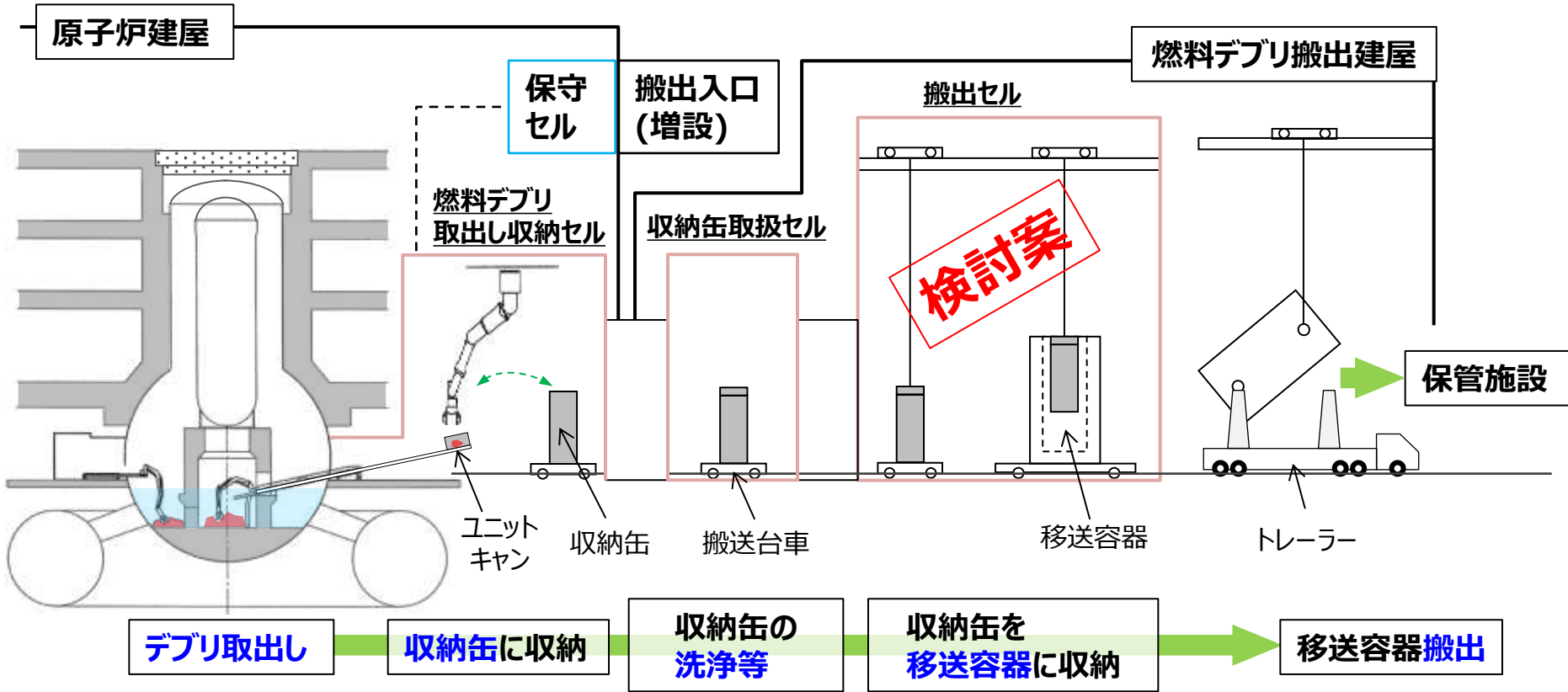


収納缶の設計

⇒1F固有の課題に対処

- 燃焼度と濃縮度が高い→**反応度高**
- コンクリートとの溶融生成物→コンクリート中の水分の放射線分解による**水素発生**
- 海水注入、計装ケーブル他との溶融→**塩分**の影響、**不純物**の混入

移送方法（気中-横アクセス工法の場合）



マネジメント改善に向けた取り組み

1. IRIDデザインレビュー（IDR）の導入（H27.10.23～）

【目的】プロジェクト全体をマネジメントするための内部レビュー・ステアリング機能を強化し（「ステージゲート方式」によるデザインレビューの導入）、**研究開発の手戻りや失敗のリスクを低減**させること。

2. 安全レビューWGの設置（H28.2.5～）

【目的】研究開発成果の実機適用を見据え、各々のプロジェクトに対して**原子力安全の観点からレビュー・助言**を行い、設計段階から原子力安全を確保すること。

3. 共通基盤技術レビューWGの設置（H28.9.2～）

【目的】共通性を有する要素技術（共通基盤技術）について、専門的かつユーザー視点に立ち効率的かつ効果的なレビューを行い、**IRID共通基盤技術の品質の維持・向上**を図ること。

国際関係機関との協力の推進

国内外の叡智を結集するため、IRIDは「開かれた体制」の運営方針のもと、海外関係機関、専門家との関係を強化し活動

国際顧問会議

(年間1~2回開催しアドバイスを受けている)



海外への情報発信

海外研究機関/原子力機関との共同研究/技術協力

ウランを用いた大規模な模擬デブリの作製・分析
……カザフ、仏



損傷燃料の取出し・保管について議論
……ハンガリー

学生他を対象としたセミナー、講演

セミナー・講演等

- セミナー・講演を通じ、学生他の廃炉分野への興味喚起
 - H29.1.20 東工大廃止措置・人材育成フォーラム／スモールワークショップにて3件の講演
 - H29.1.28 福島高専「文科省人材育成プログラム」講演
 - H29.2.3 長岡技科大の1 / 2 F 見学及び講演
 - H29.2.9 いわきものづくり塾「廃炉コース」で講演
 - H28.3.1 特許庁で廃炉ロボット関係講演
 - H29.3.7 次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス (NDEC2)にて1件の講演及びポスター展示
 - H29.3.7 化学工学会シンポジウムで講演
 - H29.3.7 いわきものづくり塾「廃炉コース」で講演
 - H29.3.14 KASTセミナー「廃炉から始めよう 新たな一歩」で講演
 - H29.5.26 芝浦工大 ロボットコンソーシアム例会 講演



H29.1.20東工大



H29.1.28福島高専



H29.3.14KASTセミナ

学生他を対象としたワークショップ、見学等

スモールワークショップ

- スモールワークショップで学生との意見交換（ニーズ・シーズ他）
 - H29.1.20 東工大 約100名の参加



H29.1.20東工大

見学支援等

- 原子力人材育成ネットワークを通じ、学生の廃炉分野への興味喚起
 - H29.2.17 関東地区(楢葉、日立GE日立工場) 工場見学支援 17名参加
 - H29.2.24 関西地区 (Spring 8、MHI 神戸製作所) 工場見学支援 24名参加



H28.12.3廃炉ロボコン

その他後援

- ロボット関係での後援
 - H28.12.3 福島高専廃炉創造ロボコン

抱えている課題

1. 福島事故以降原子力産業を志望する学生は激減
3～40年かかる廃炉事業に携わる人材をどう確保していくか
2. IRIDは時限立法組織(設立後10年で見直し)
このような組織におけるナレッジマネジメントはどうすればいいか
3. 電力会社+3メーカー体制
競争と協調をどう両立させるか