

福島第一原子力発電所廃炉に向けた IRIDによる技術開発の現状

2017年11月16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。

目次

1. はじめに
2. 原子炉格納容器(PCV)補修・止水技術開発
3. 原子炉格納容器(PCV) 内部調査技術開発
4. 燃料デブリ取り出し技術開発
5. 収納・移送・保管技術開発
6. 高分子学会への期待

目次

1. はじめに
2. 原子炉格納容器(PCV)補修・止水技術開発
3. 原子炉格納容器(PCV) 内部調査技術開発
4. 燃料デブリ取り出し技術開発
5. 収納・移送・保管技術開発
6. 高分子学会への期待

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：953名** (2017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

東芝エネルギーシステムズ(株)、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

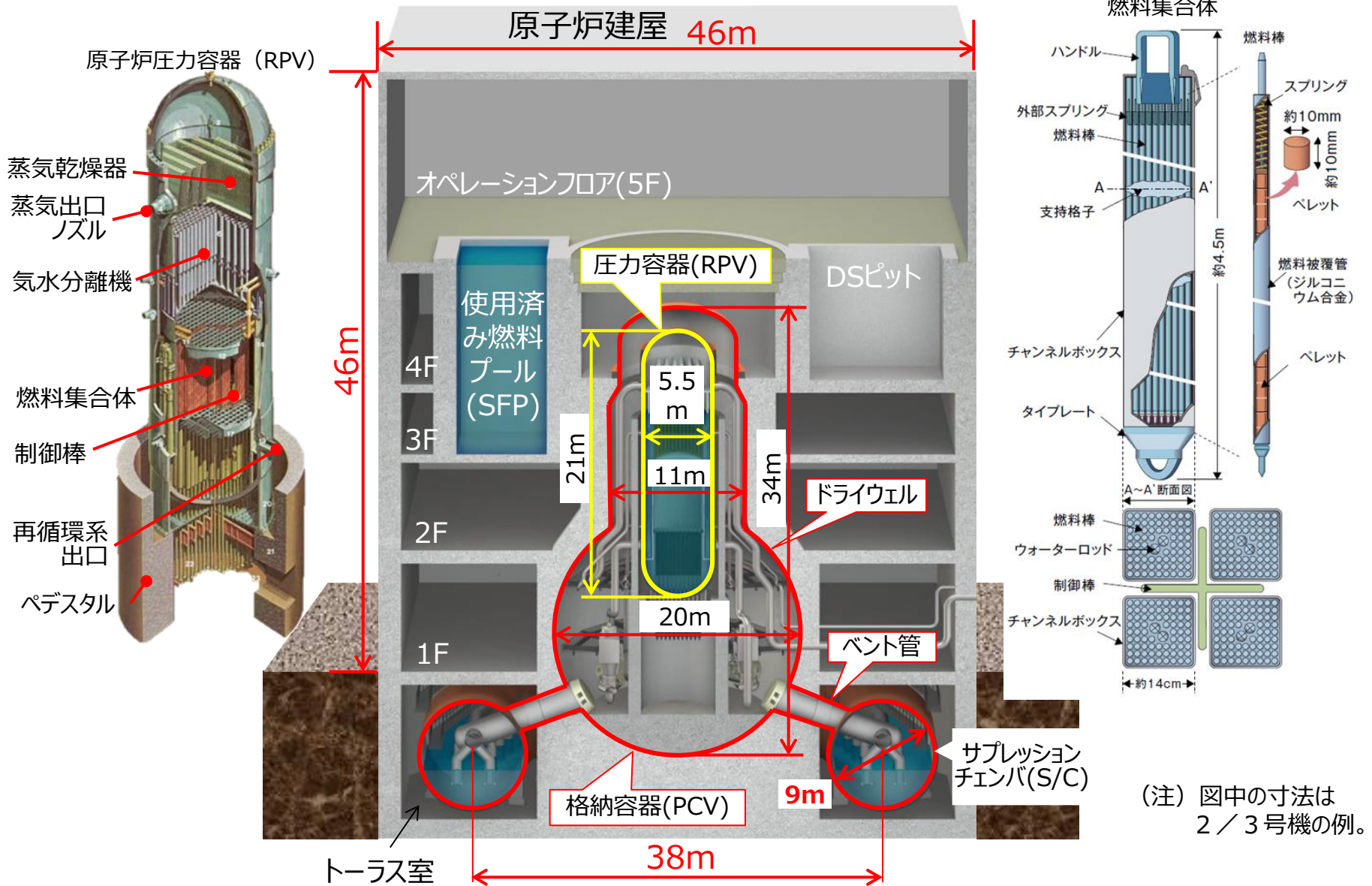
北海道電力(株)、東北電力(株)、東京電力(株)、中部電力(株)、北陸電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)

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	2017年度 (計画)
事業費	約45億円	約120億円	約158億円	約141億円	約178億円

原子力発電所の構造



「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



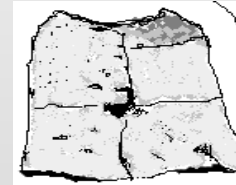
燃料片や溶融燃料が急冷され、粒子化

- ・ 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

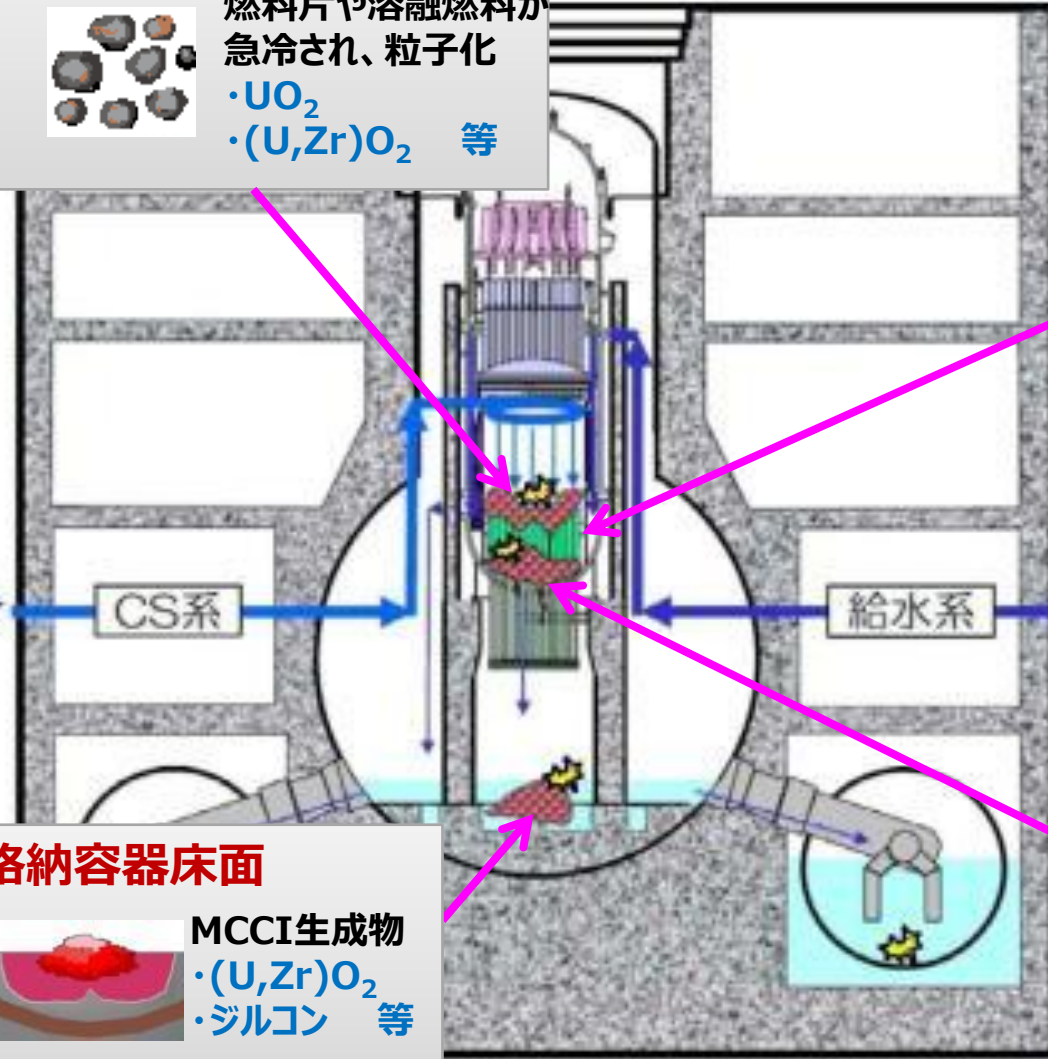
- ・SUS
- ・ $(\text{U,Zr})\text{O}_2$ 等

格納容器床面



MCCI生成物

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



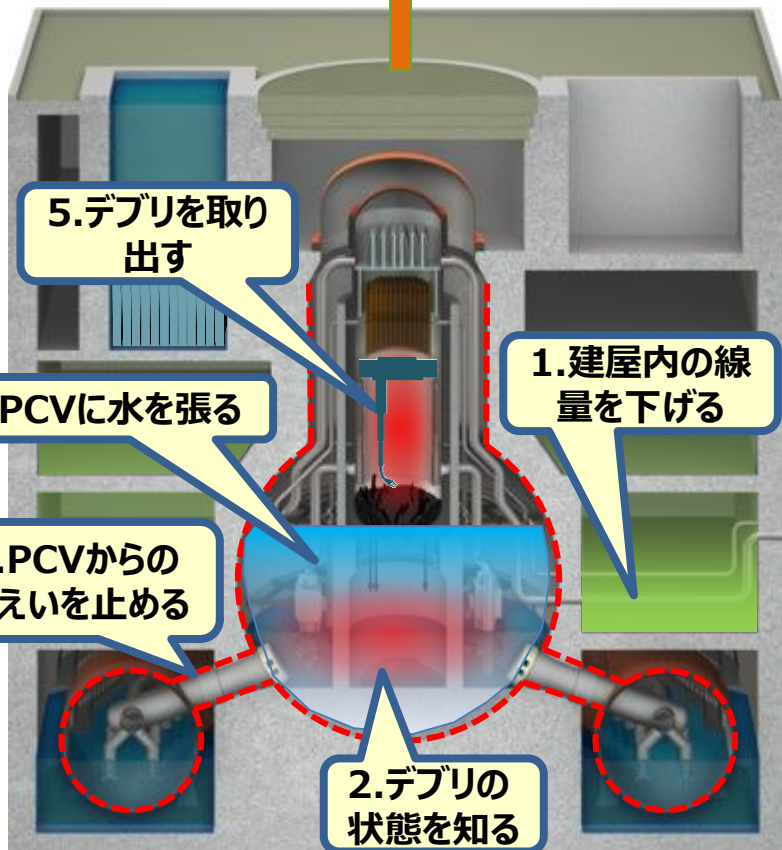
※MCCI : Molten Core Concrete Interaction
溶融炉心・コンクリート相互作用

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

目次

1. はじめに
- 2. 原子炉格納容器(PCV)補修・止水技術開発**
3. 原子炉格納容器(PCV) 内部調査技術開発
4. 燃料デブリ取り出し技術開発
5. 収納・移送・保管技術開発
6. 高分子学会への期待

PCVの外観（建設写真）

「ドライウェル（D/W）」：S/Cより
上部のPCV

「PCV貫通部」：配管貫通部、
電気配線貫通部等

1号機 約150か所
2号機 約200か所
3号機 約190か所

「機器ハッチ」：大型機器の搬出入口

「ベント管」：D/WとS/Cの連絡配管

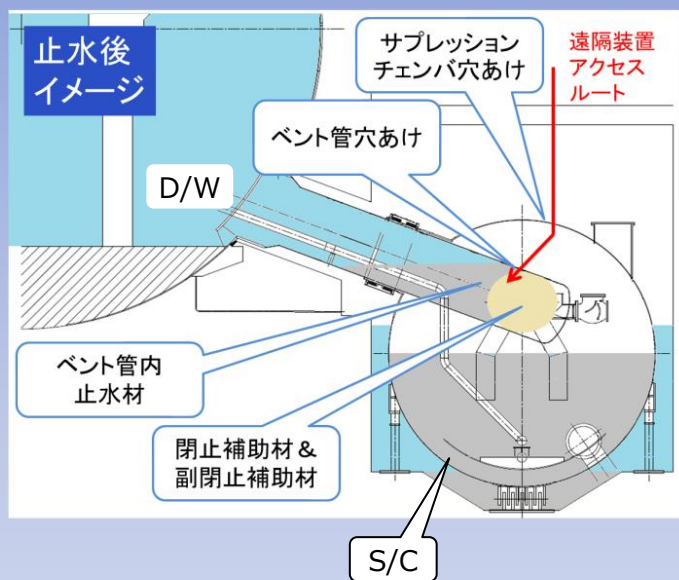
「サプレッションチェンバ（S/C）」：
事故が起きた時に発生した蒸気を
S/C内の水で凝縮し、PCVの圧力の
上昇を抑える。

「エアロック」：人の出入口

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

ベント管止水技術

- D/WとS/Cを連結しているベント管を止水し、**D/W内を水張り**が出来る状態にすることを目的とした技術開発。

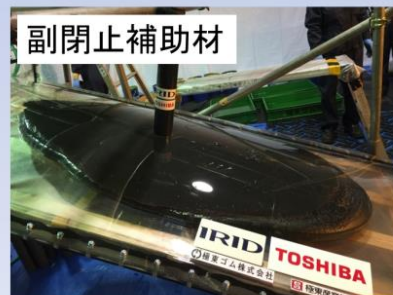


【候補材】

閉止補助材：アラミド系繊維

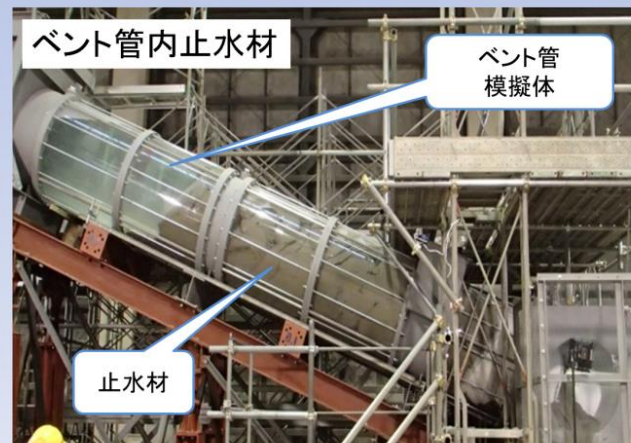
副閉止補助材：高耐放射性ゴム等

ベント管内止水材：セメント系材料等



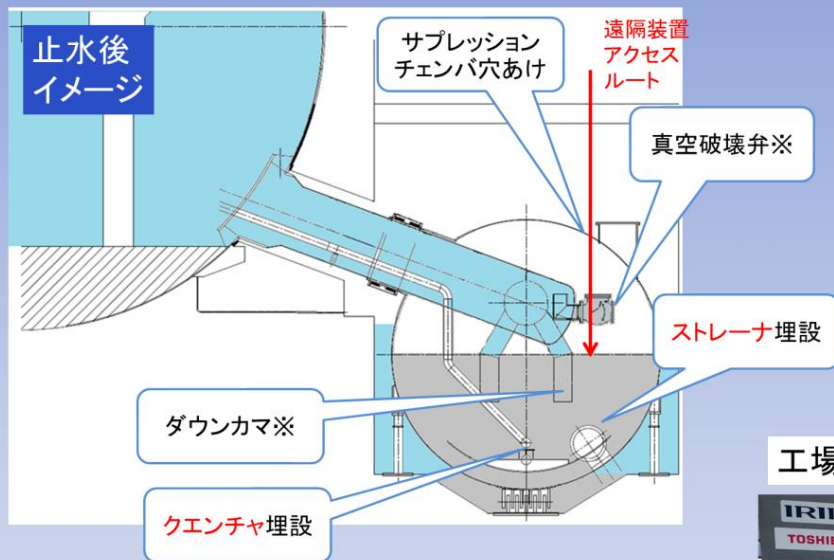
【実施手順】

- ① サプレッションチェンバ及びベント管へ穴あけ
- ② ベント管内へ閉止補助材展開及び副閉止補助材による隙間充填
- ③ ベント管内に止水材を打設



S/C内充填止水技術

- S/C内外の流路となる**配管端部（クエンチャ、ストレーナ）**を止水することを目的とした技術開発。また、**ダウンカマまでを埋設**してベント管止水のバックアップとしての役割も検討中。



【実施手順】

- ①サブプレッションチェンバへ穴あけ
- ②サブプレッションチェンバ内へ止水材打設
- ③ストレーナ、クエンチャを埋設止水

※ダウンカマ、真空破壊弁を埋設止水(オプション)

工場試験(コンクリート打設中)



クエンチャ模擬

工場試験(ストレーナ埋設前)



ストレーナ模擬

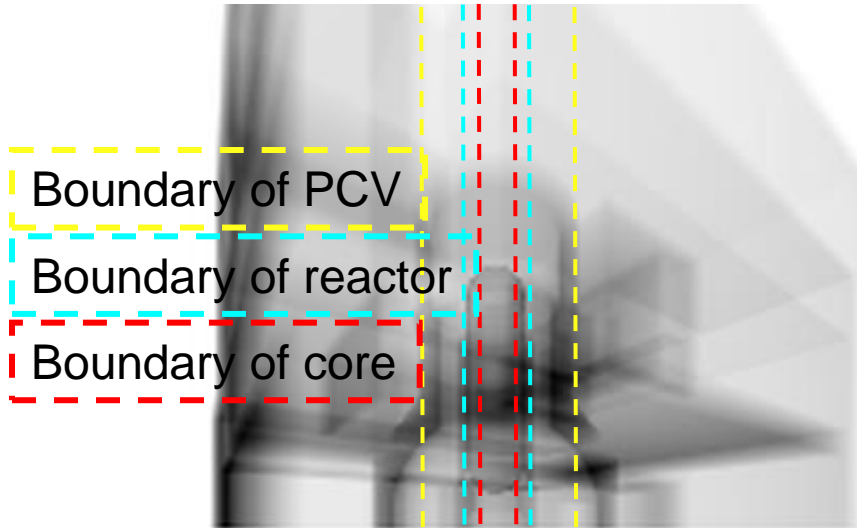
【候補材】

サブプレッションチェンバ内止水材：
水中不分離性コンクリート

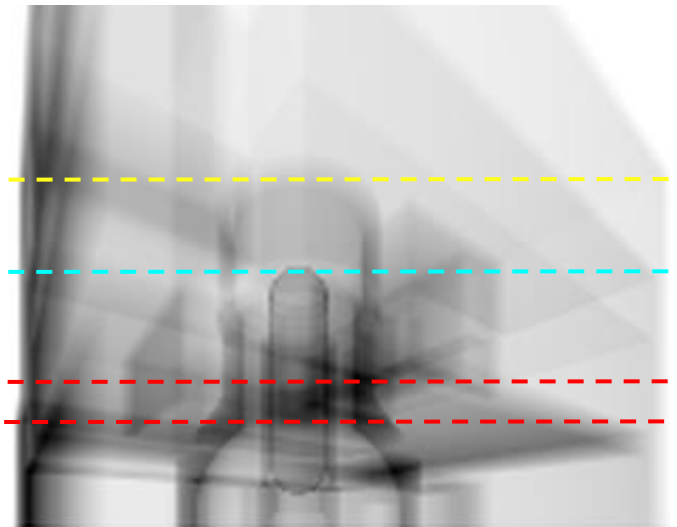
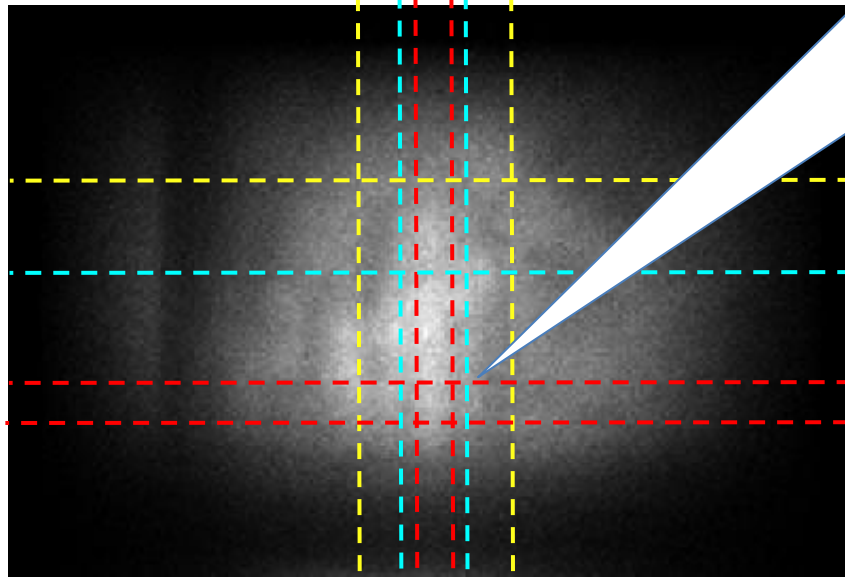
目次

1. はじめに
2. 原子炉格納容器(PCV)補修・止水技術開発
- 3. 原子炉格納容器(PCV) 内部調査技術開発**
4. 燃料デブリ取り出し技術開発
5. 収納・移送・保管技術開発
6. 高分子学会への期待

1号機ミュオン調査結果（透過法）

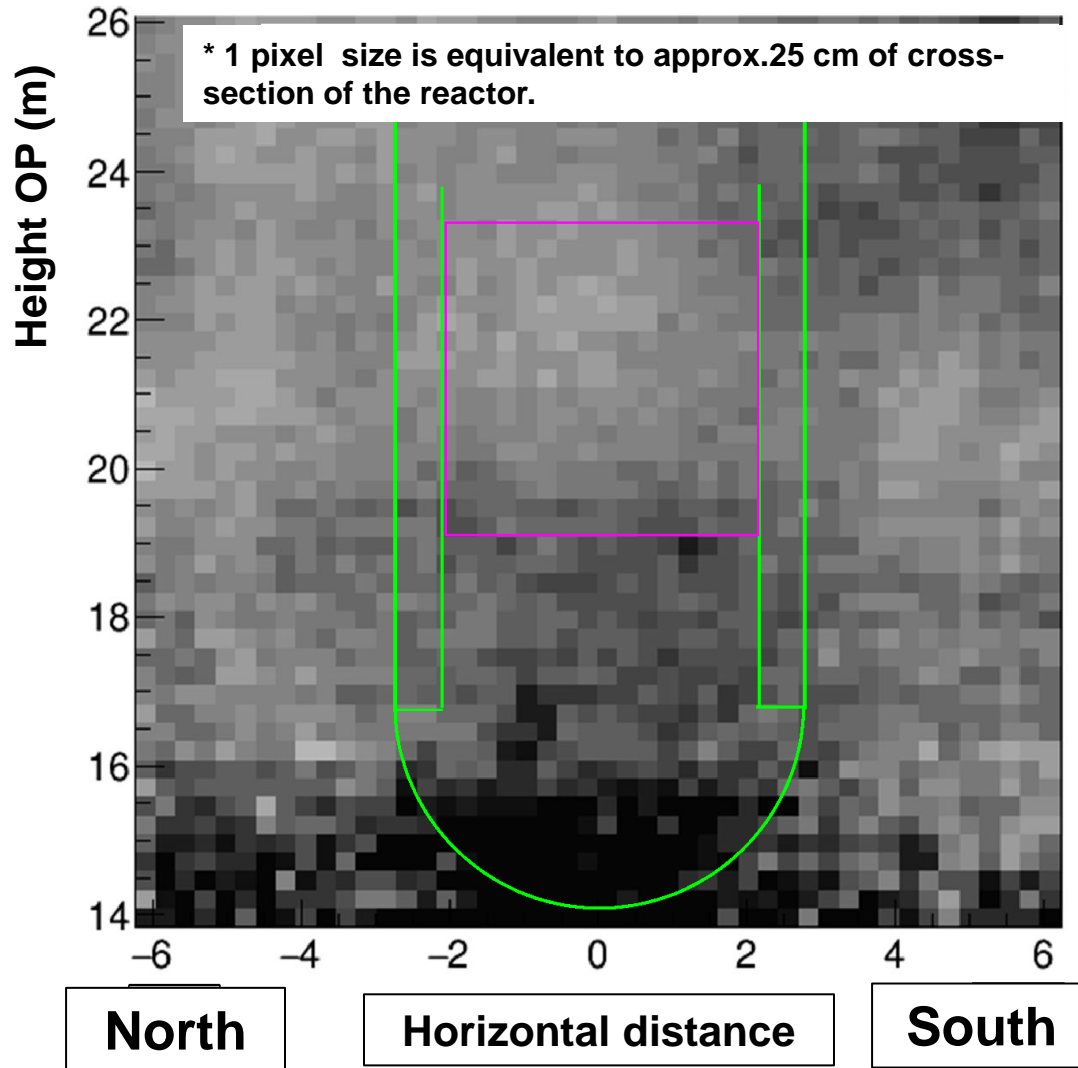


炉心部に高密度の物質＝燃料がほとんどないと推定

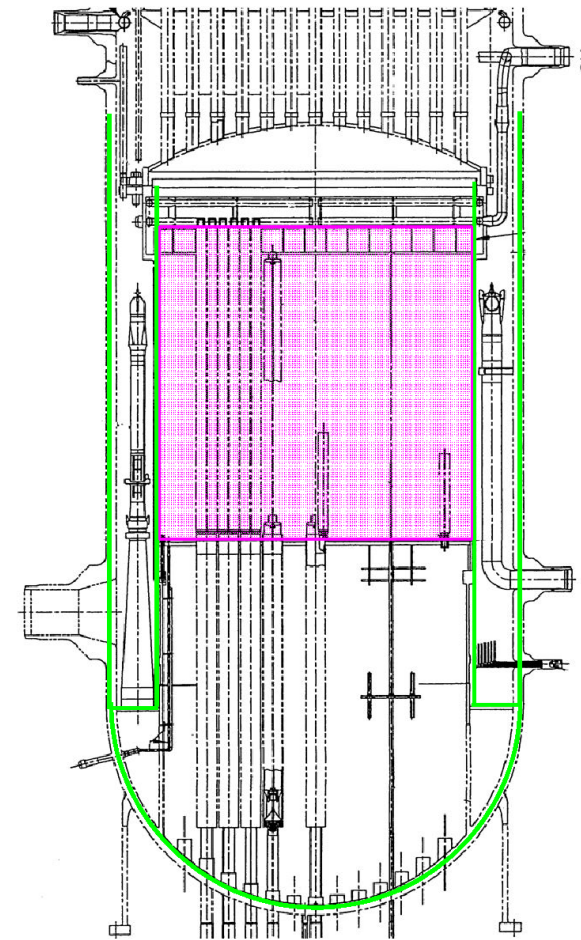


2号機ミュオン調査結果 (透過法)

- 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。



(Measurement result: as of July 22, 2016)



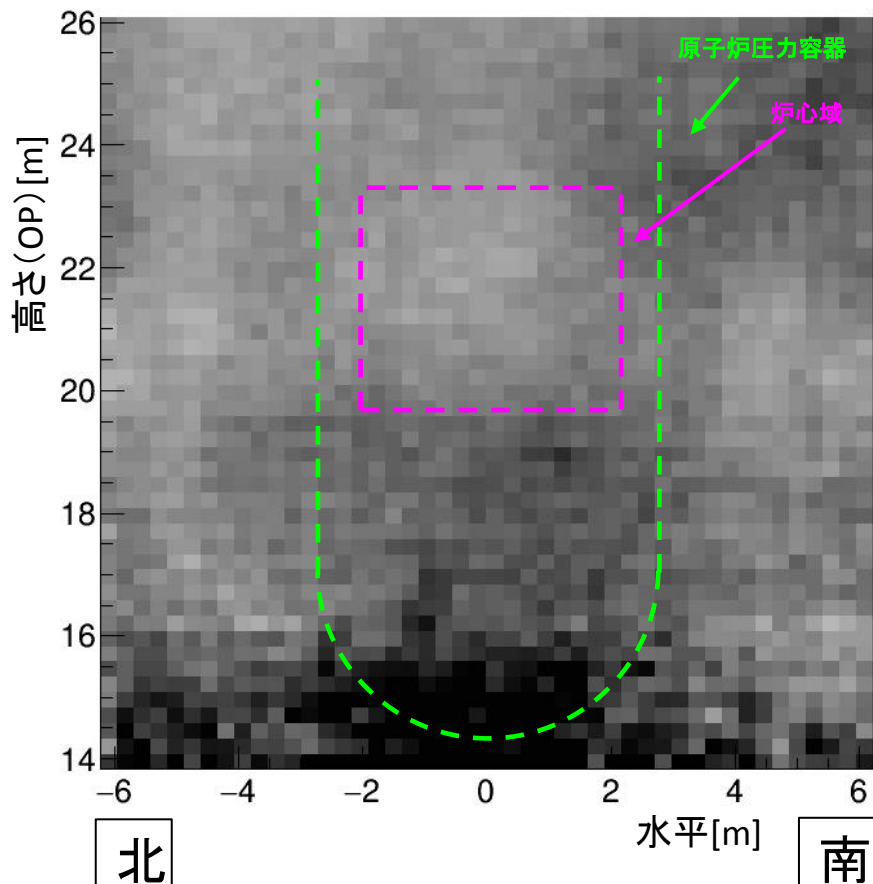
Structure of lower part of RPV

Source: Publicized results by TEPCO Holdings, July 28, 2016

2号機及び3号機ミュオン調査結果（透過法）

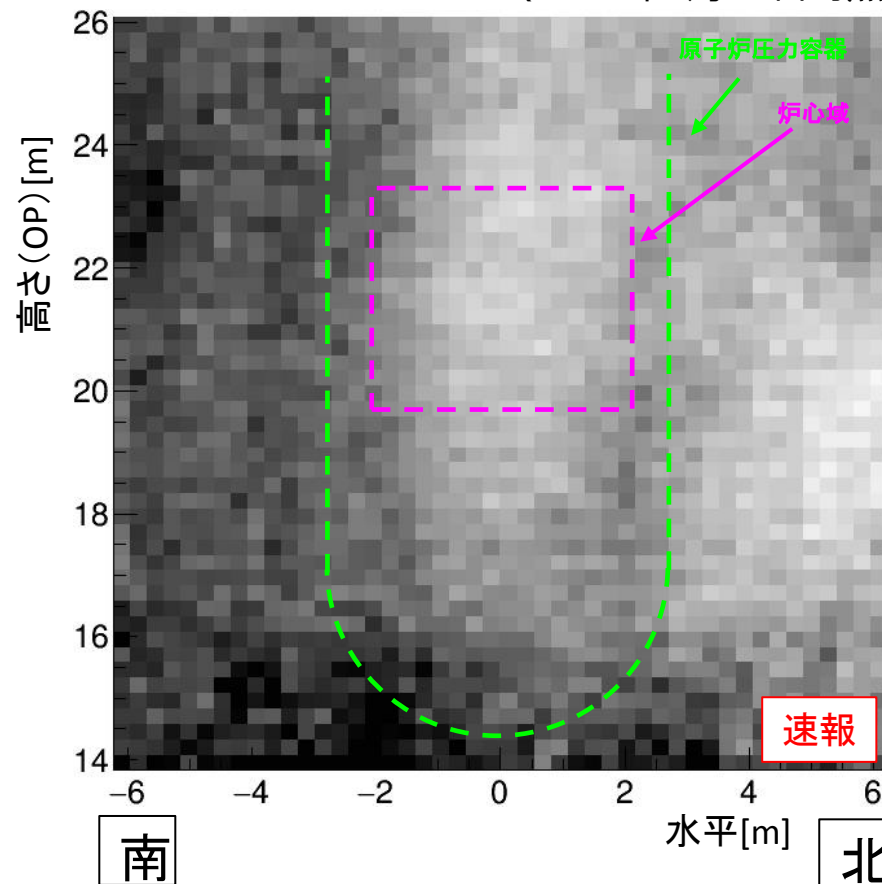
- 2号機では原子炉底部付近に高密度物質の存在が推定されている。
- 3号機の原子炉压力容器内部には，2号機の原子炉压力容器底部で確認されたような大きな高密度物質の存在は確認できていない。

2号機



3号機

(2017年7月20日時点)



PCV内部のロボットによる調査

ペDESTル外側の調査（1号機）

○形状変化型ロボット（B2調査）



変形



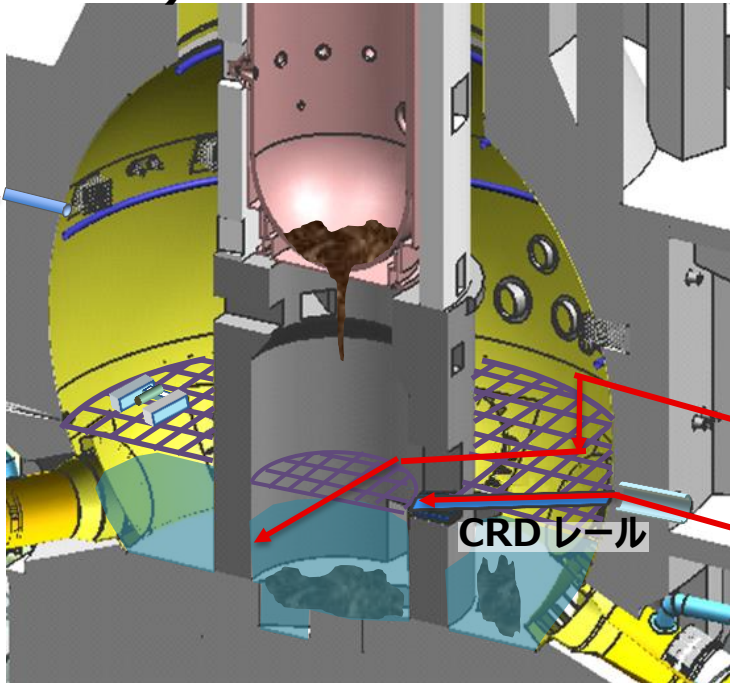
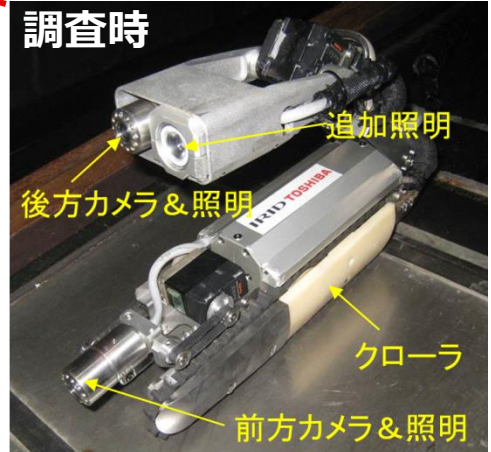
(注) 上の写真はB1調査時のロボットです。

ペDESTル内側の調査（2号機）

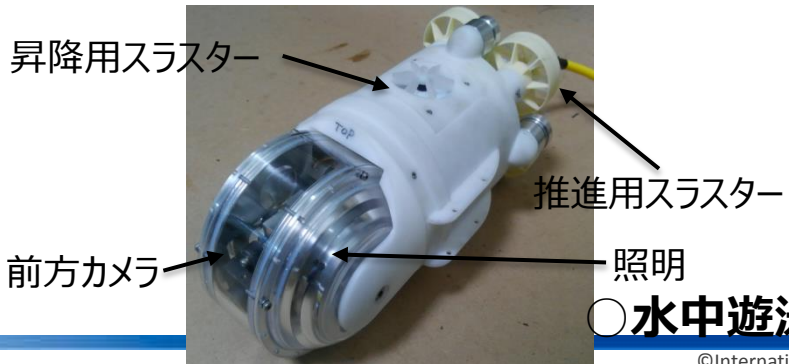
○クローラ型遠隔調査ロボット（A2調査）



変形



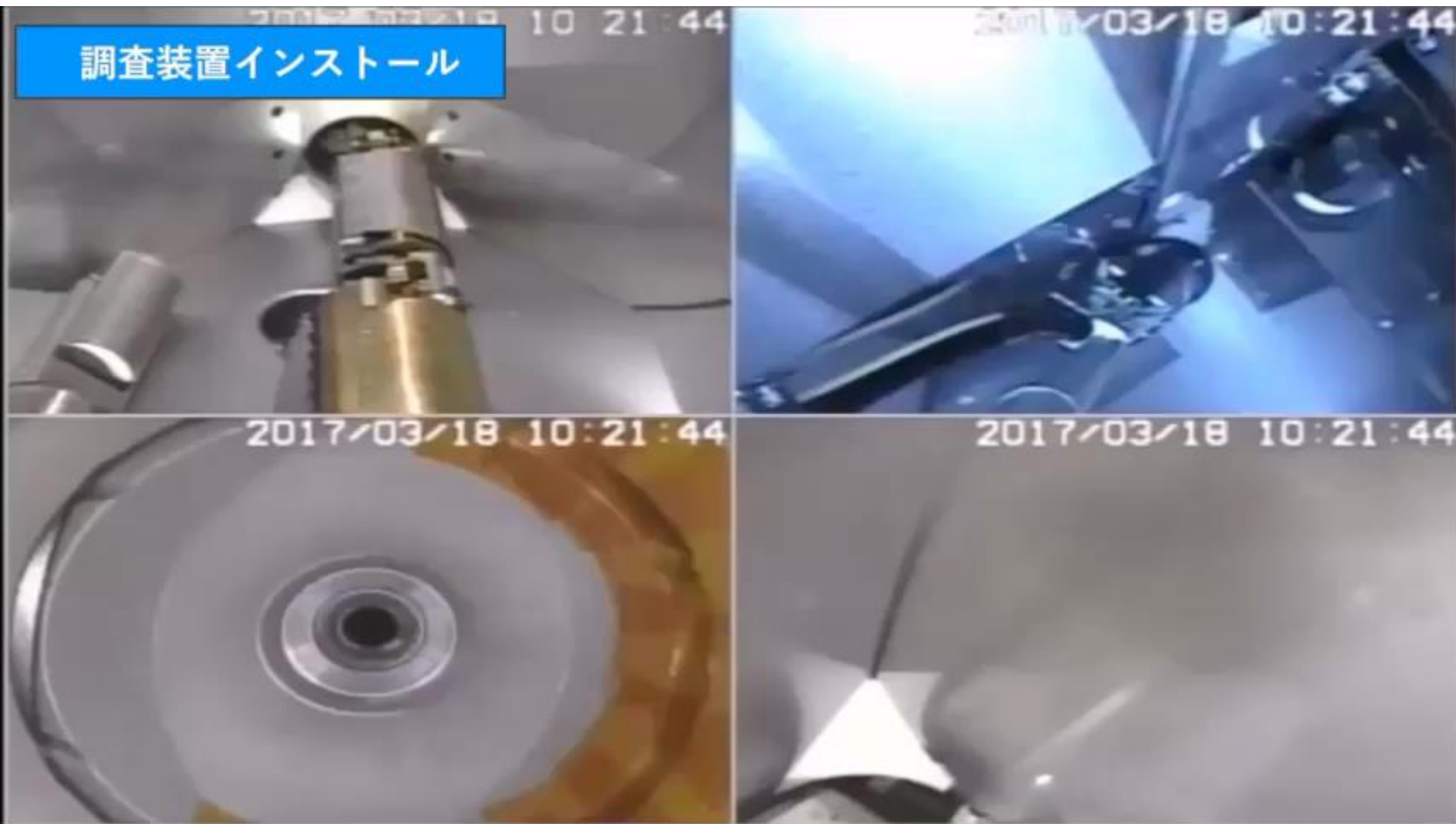
ペDESTル内側の調査（3号機）



○水中游泳型ロボット

B2 調査 1号機 (動画)

調査装置インストール



2号機ペデスタル内上部調査 (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. ペデスタル内事前確認

2017年1月30日実施

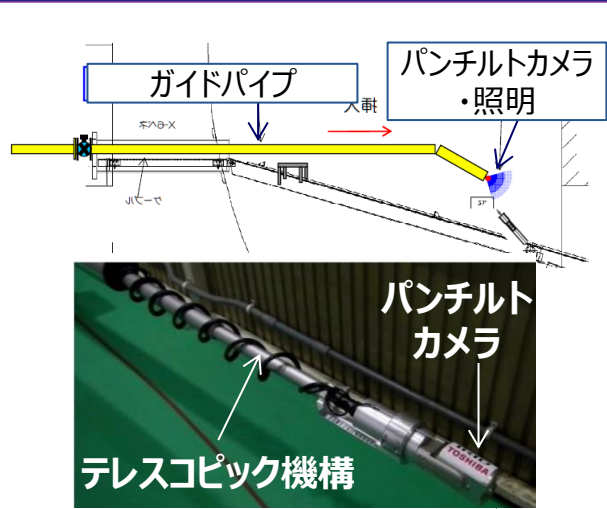
2. レール上堆積物除去

2月9日実施

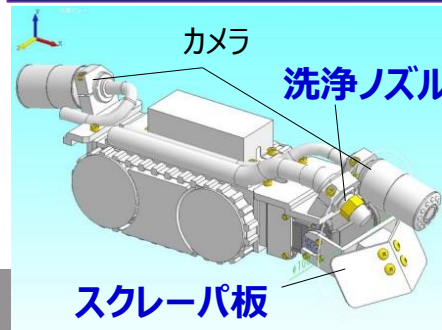
3. A2調査

2月16日実施

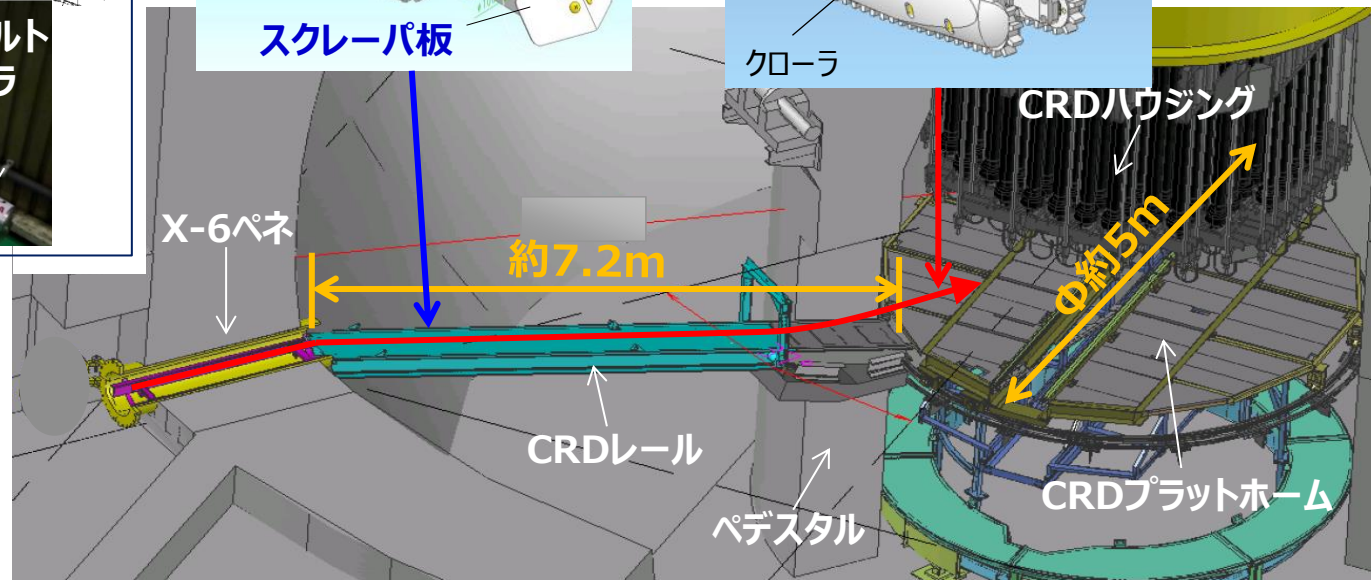
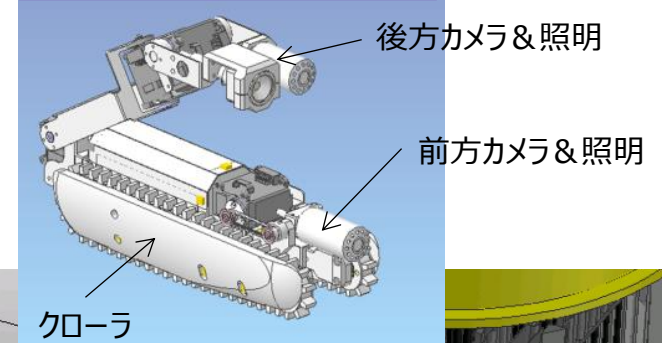
1. 事前確認装置



2. 堆積物除去装置



3. A2調査装置



ペDESTル内（プラットフォーム 左側）

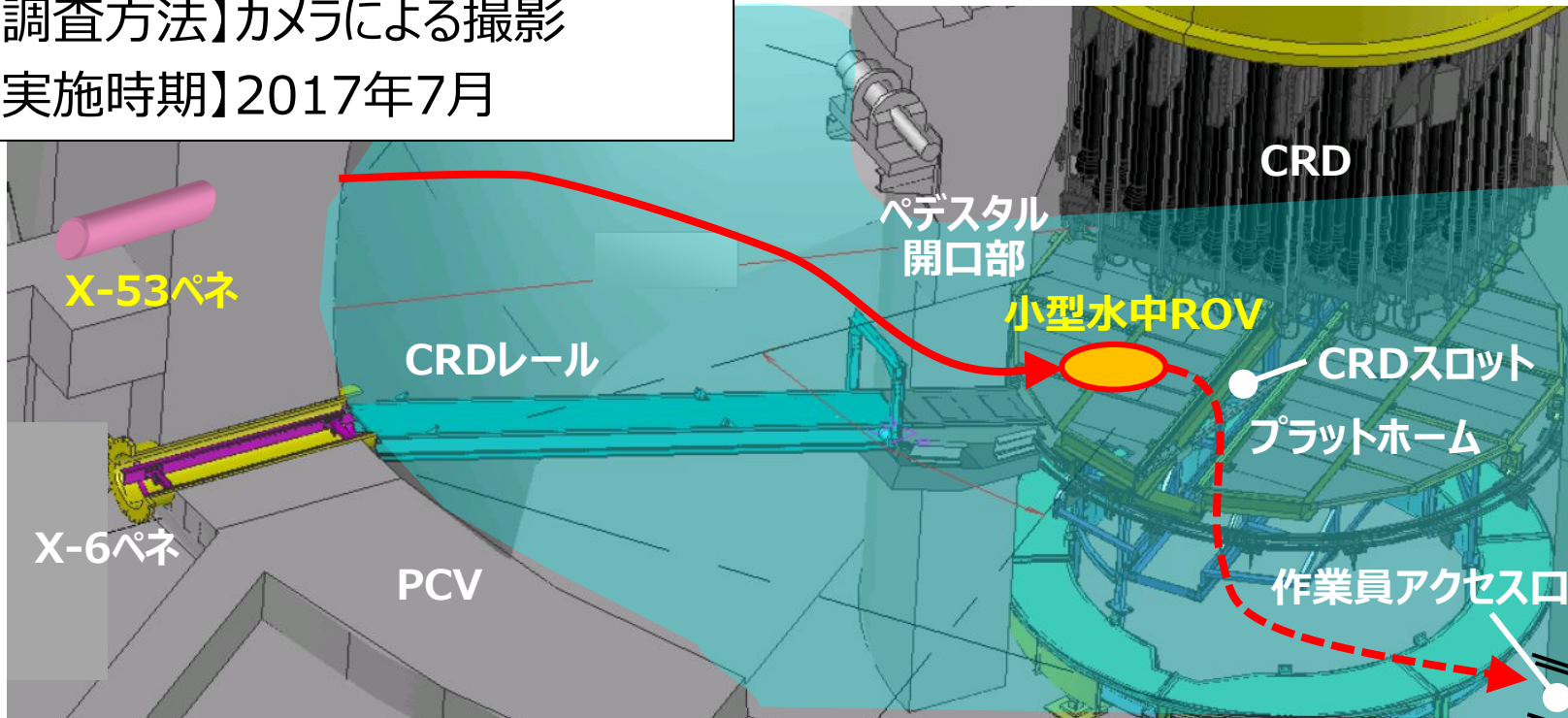
- グレーチングが欠損した開口部からは湯気が上昇している
- 相当の水滴が落下し続けている



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



- 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。

3号機水中ROV外観 (モックアップ機)



昇降用スラスタ

推進用スラスタ

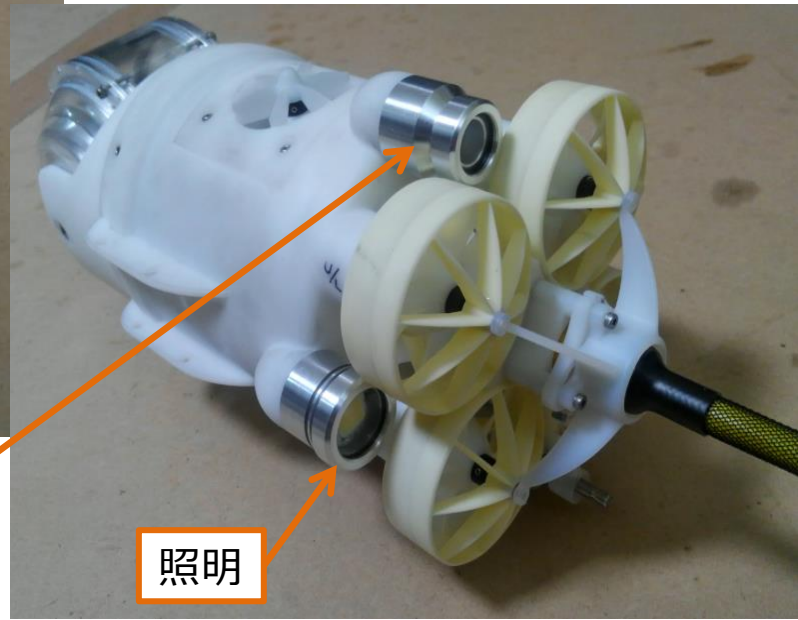
中性浮力ケーブル

項目	仕様
外形寸法	外径：φ125mm 全長：約300mm
重量	約2000g (気中)
耐放射線性	200Gy

前方カメラ

照明

後方カメラ



照明

3号機水中ROV撮影映像(動画)

隔離弁 開



目次

1. はじめに
2. 原子炉格納容器(PCV)補修・止水技術開発
3. 原子炉格納容器(PCV) 内部調査技術開発
- 4. 燃料デブリ取り出し技術開発**
5. 収納・移送・保管技術開発
6. 高分子学会への期待

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

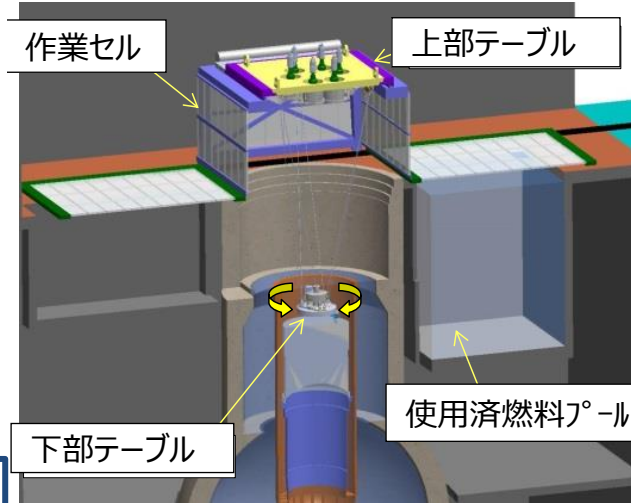
開発目的

- 主要3工法について、概念検討および工法詳細ステップ図を作成し、基盤技術開発の成果と合わせ、**工法実現性の評価**を行う。

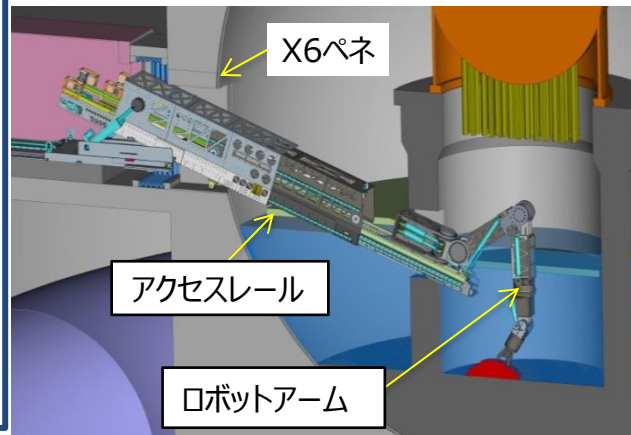
開発期間

2015.9~2017.3

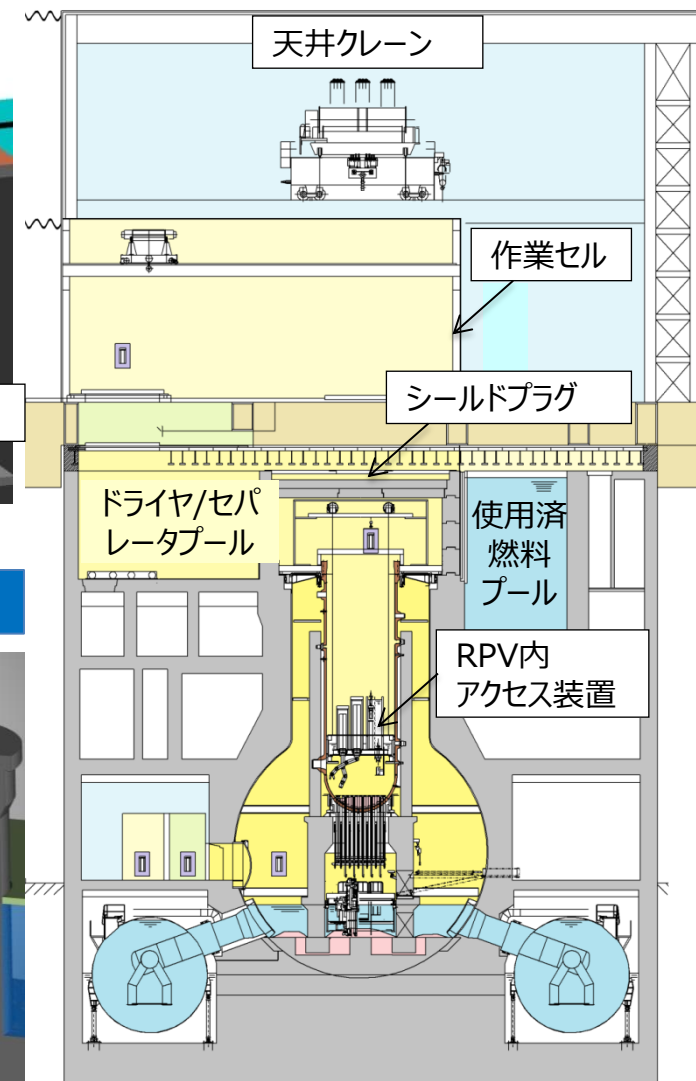
冠水-上アクセス工法（概念）



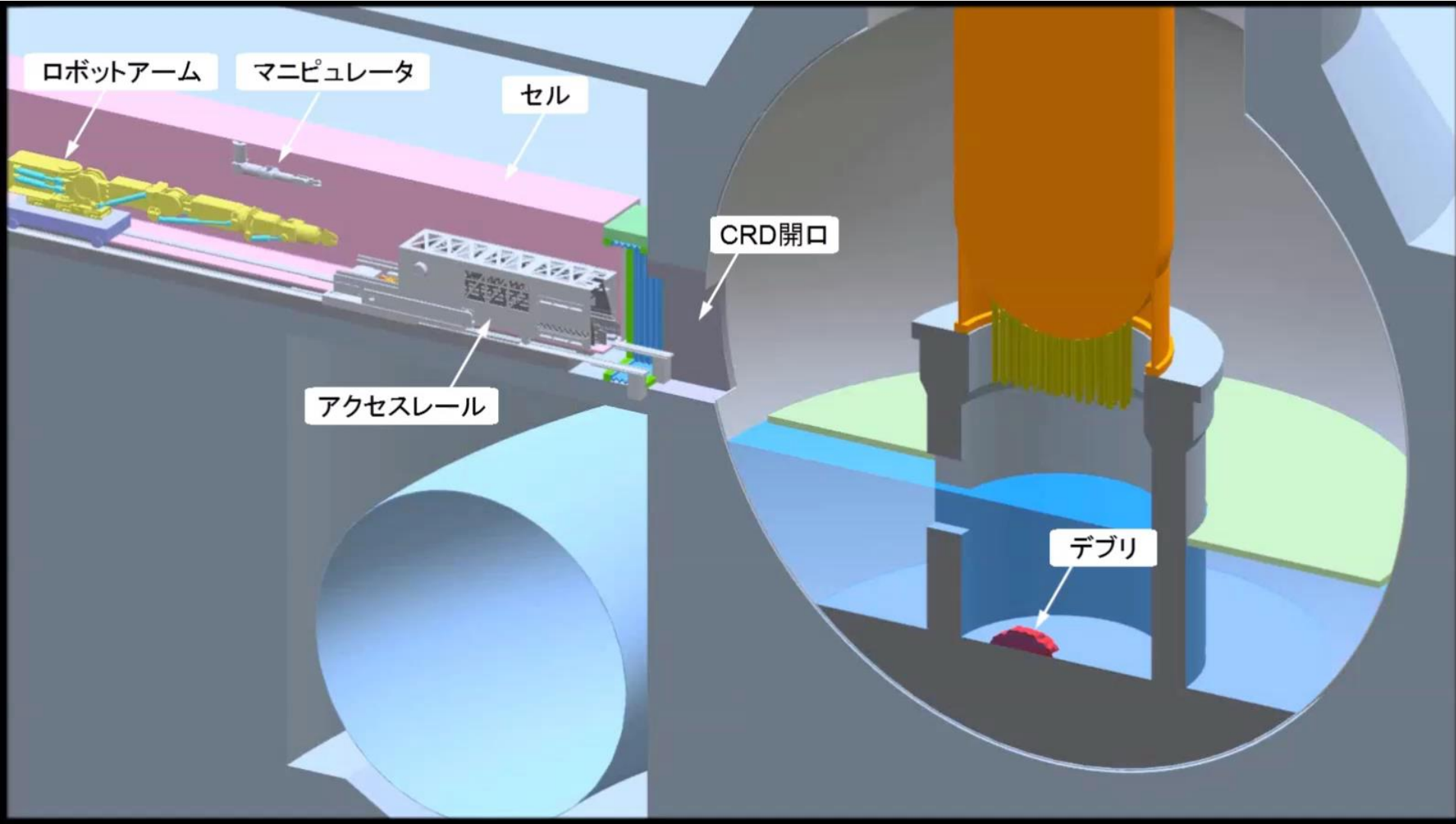
気中-横アクセス工法（概念）



気中-上アクセス工法（概念）



【PLAN-A】アクセスレール方式～取り出しイメージ～(動画)

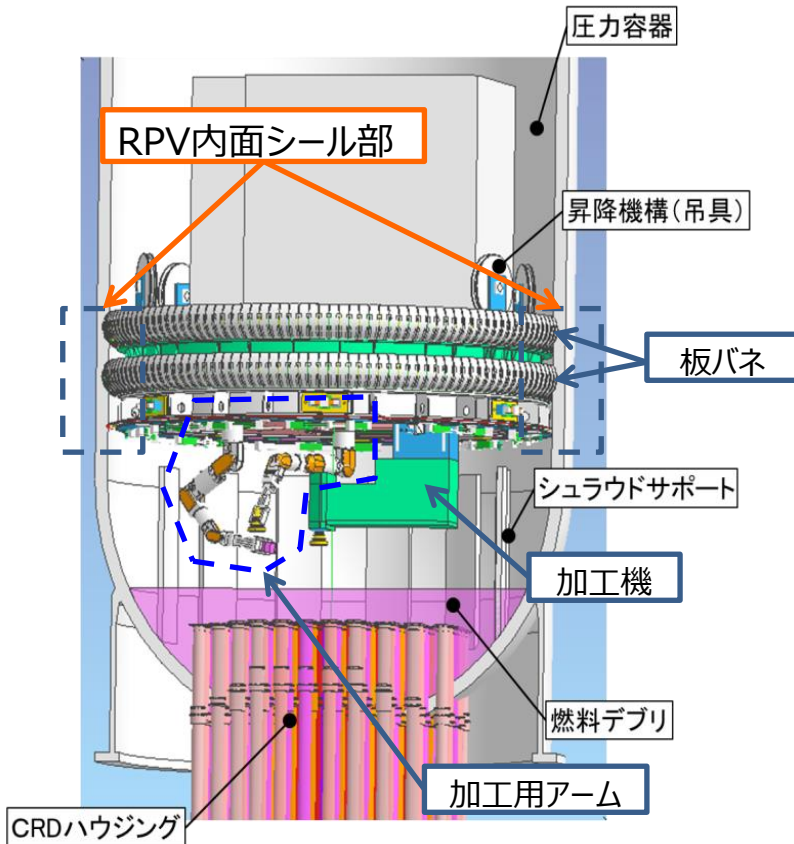


【PLAN-A´】アクセストンネル方式～デブリ搬出～(動画)

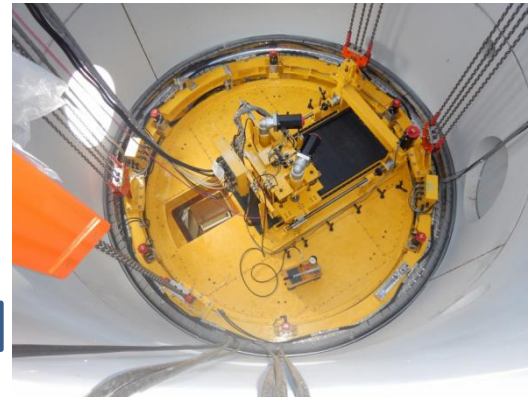
横接近工法 作業ステップ

RPV内面シール性機能確認試験

- 気中－上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置のRPV内面のシール性を実規模大（1/1スケール）試験設備を使って確認する。



RPV内面シールイメージ



共通装置（試験タンク吊り下ろし）



1/1試験模擬設備



共通装置（全景）



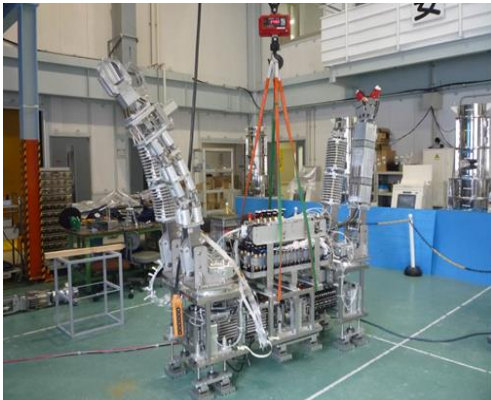
共通装置（下面）

柔構造アーム機能確認試験

- 耐放射性、耐衝撃性に優れる柔構造アーム（愛称：「筋肉ロボット」）の基本的な成立性および開発課題を抽出する。

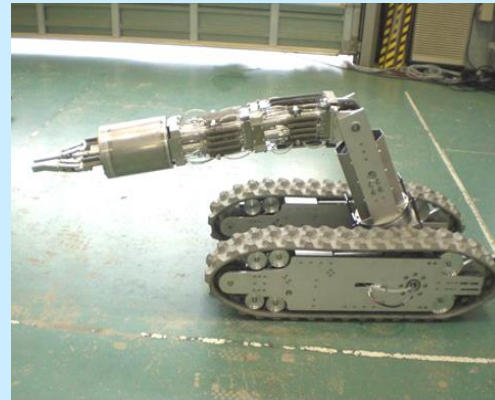
試作機 タイプⅠ

寸法：全長1800mm
幅630mm
高さ1000mm
重量：約690 k g



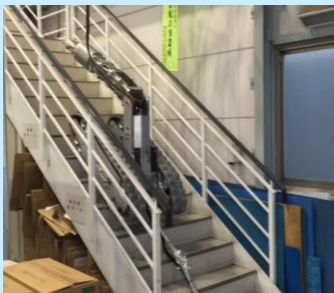
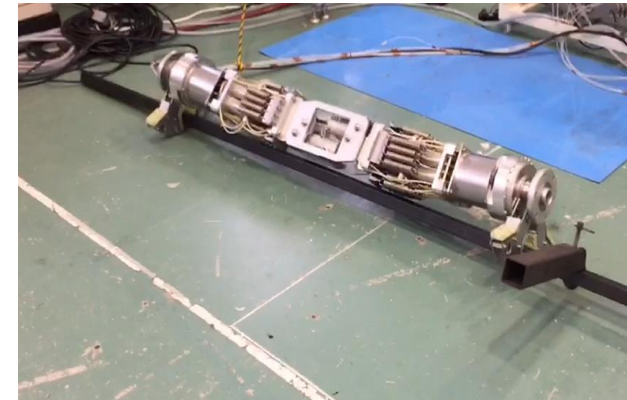
試作機 タイプⅡ

寸法：全長2750mm
幅590mm
高さ350mm（胴部）
重量：約220 k g

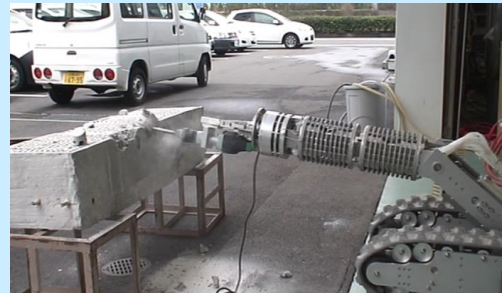


試作機 タイプⅢ

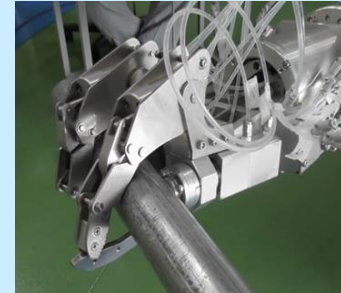
寸法：全長1635mm
幅430mm
高さ185mm（胴部）
重量：約64 k g



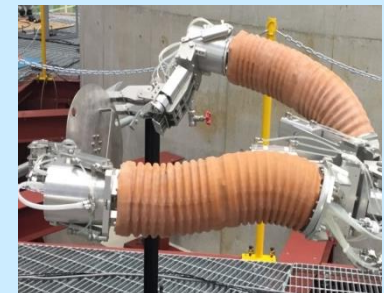
階段走行試験



コンクリート破砕試験



把持動作



模擬バルブ開閉

目次

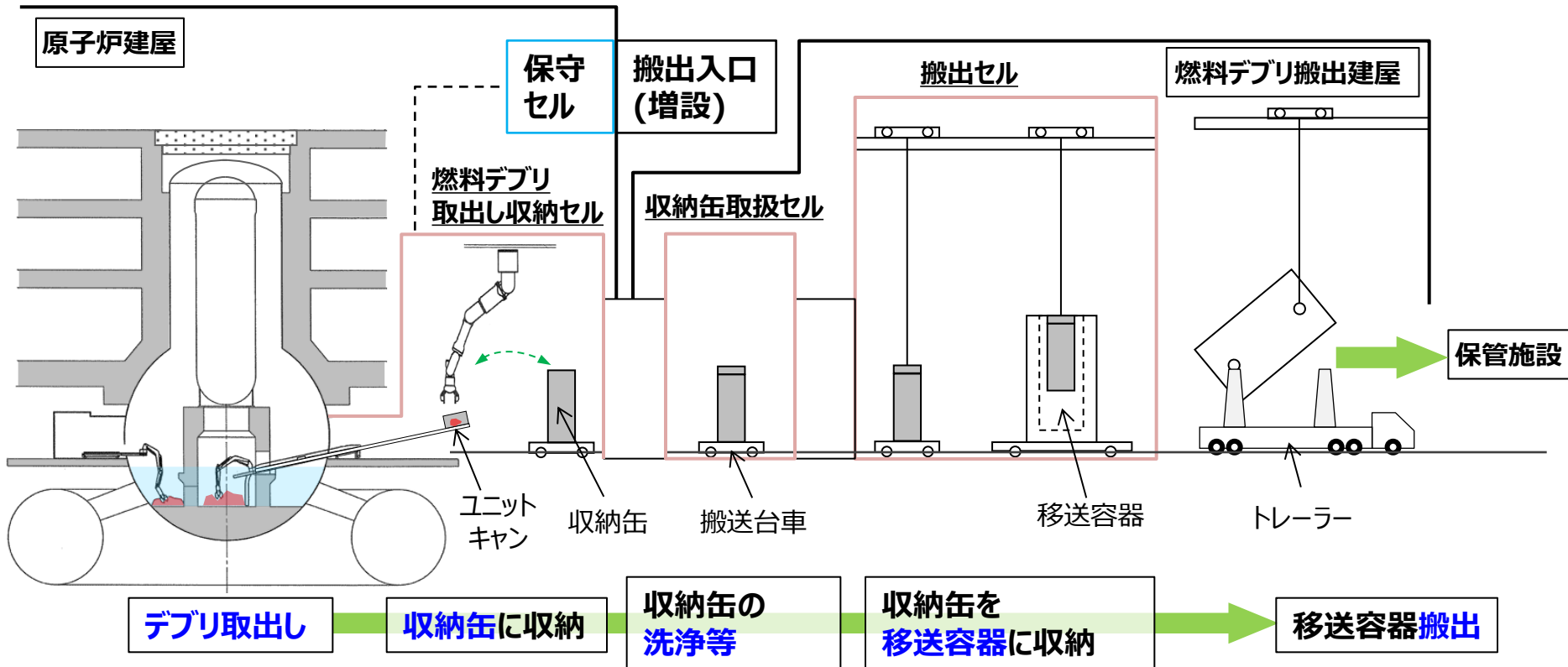
1. はじめに
2. 原子炉格納容器(PCV)補修・止水技術開発
3. 原子炉格納容器(PCV) 内部調査技術開発
4. 燃料デブリ取り出し技術開発
5. 収納・移送・保管技術開発
6. 高分子学会への期待

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：例）



目次

1. はじめに
2. 原子炉格納容器(PCV)補修・止水技術開発
3. 原子炉格納容器(PCV) 内部調査技術開発
4. 燃料デブリ取り出し技術開発
5. 収納・移送・保管技術開発
6. **高分子学会への期待**

原子炉格納容器(PCV)止水・補強の候補材料（要求される機能）

【止水性能】

⇒ 損傷孔の位置が不明のため複雑な構造材にも**回り込んで行き渡る**

【現場条件】S/C内に原子炉から流出した水がある状態で止水する。

⇒ **水中で硬化し、耐放射線性が高い**

【遠隔作業できること】原子炉建屋 1 階から投入する。

⇒ ある程度の**遠距離**からでも投入できる

⇒ 作業員の被ばく低減のため**短時間**に投入できる

【維持】デブリ取出しが完了するまでの期間止水する。

⇒ **長期的に安定性**が維持される

No.	要求仕様の例	目標
1	水中流動距離	10m以上
2	流水環境での流動性	止水対象機器周辺に良好に充填されること
3	水中硬化	対象機器周辺に充填され、止水性能があること(漏水量1L/min以下)
4	流動時間	8時間以上
5	耐放射線性	25MGyで劣化無し
6	圧送距離	130m
7	水頭圧	40m相当の水頭圧に耐えること
8	ひび割れ発生の抑制、拡大防止	ひび割れ指数1.40以上
9	環境影響（耐ほう酸水）	劣化しない

止水・補強の候補材料（例）とこれまでの検討

- 可塑性グラウト（水中不分離性）
 - ・水中遠隔施工で基本的用途に合致
 - ・隙間や水流量が大きい場合の止水能
- ゴム系材料
 - ・ゴム栓効果
 - ・大型構造物への施工実績，施工管理
 - ・放射線環境下での材料収縮（配管との接着）
- 重泥水
 - ・単独では構造を維持できない
 - ・併用により隙間や水流量が大きい場合の止水能良
 - ・漏えい再発時の補修材料として好適
- 自己充填コンクリート

上記以外の止水・補強、デブリ固定などに使用できる材料??

- ジオポリマー?

ご清聴ありがとうございました。