

日本原子力学会 2025年秋の大会

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

1F燃料デブリ取り出しへの取り組み

燃料デブリ取り出しに関する技術開発状況：東双みらいテクノロジー

*Decom.Tech*

2025年9月12日

東京電力グループ

東双みらいテクノロジー株式会社 府金 央

本研究は、経済産業省「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金」に係る補助事業として実施したものである。

1. 東双みらいテクノロジーについて
2. 福島第一原子力発電所の現状
3. 東双みらいテクノロジーの技術開発方針
4. 東双みらいテクノロジーの開発状況
  - 4.1 原子炉建屋内の環境改善
  - 4.2 原子炉圧力容器内調査
  - 4.3 燃料デブリ取り出し
5. まとめ

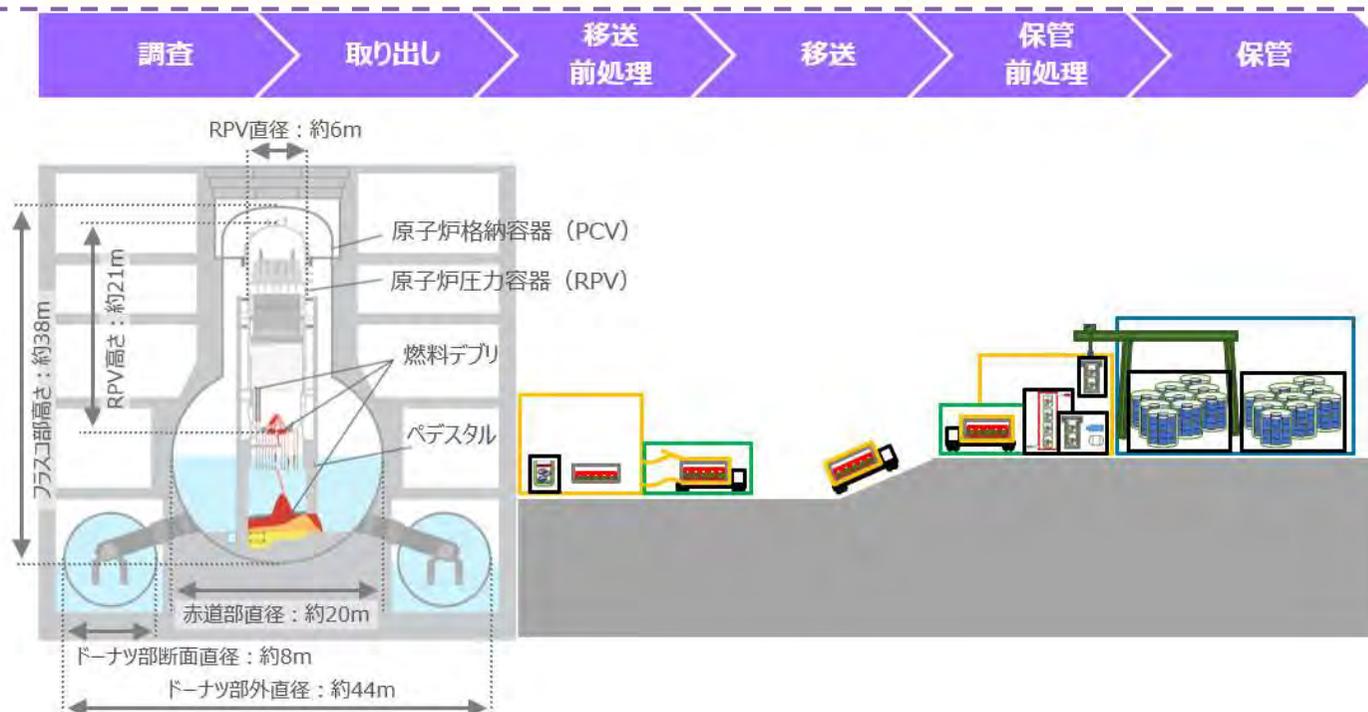
# 1. 東双みらいテクノロジーについて

*Decom.Tech*

福島第一原子力発電所の原子炉建屋内にある燃料デブリの取り出しを安全かつ着実に遂行し、長期にわたる廃炉の貫徹を目指す会社として、東京電力ホールディングス株式会社（以下「東京電力HD」）、株式会社IHI（以下「IHI」）の共同出資により2022年10月に設立

## 東双みらいテクノロジーの取り組み

- 燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大に向け、全体の進め方に関わる提案やスケジュール策定を行うとともに、燃料デブリ取り出しのための設備・安全システム等の設計及び技術開発を行う
- 燃料デブリ取り出しの全体最適を考慮し、**調査から保管まで一連のプロセスを対象にエンジニアリングを実施する**



## 2. 福島第一原子力発電所の現状

Decom.Tech

- 事故から14年経過し、リスク低減に向けた取り組みが進展しており、現場は一定程度の安定状態にある
- 一方、事故時の水素爆発により**損傷している箇所**や、放射性物質の飛散による**高線量箇所が未だ存在**
- 原子炉建屋内の状況は、**号機や場所によって異なる上、情報が不明な箇所もある**



図 3号機原子炉建屋写真[1]



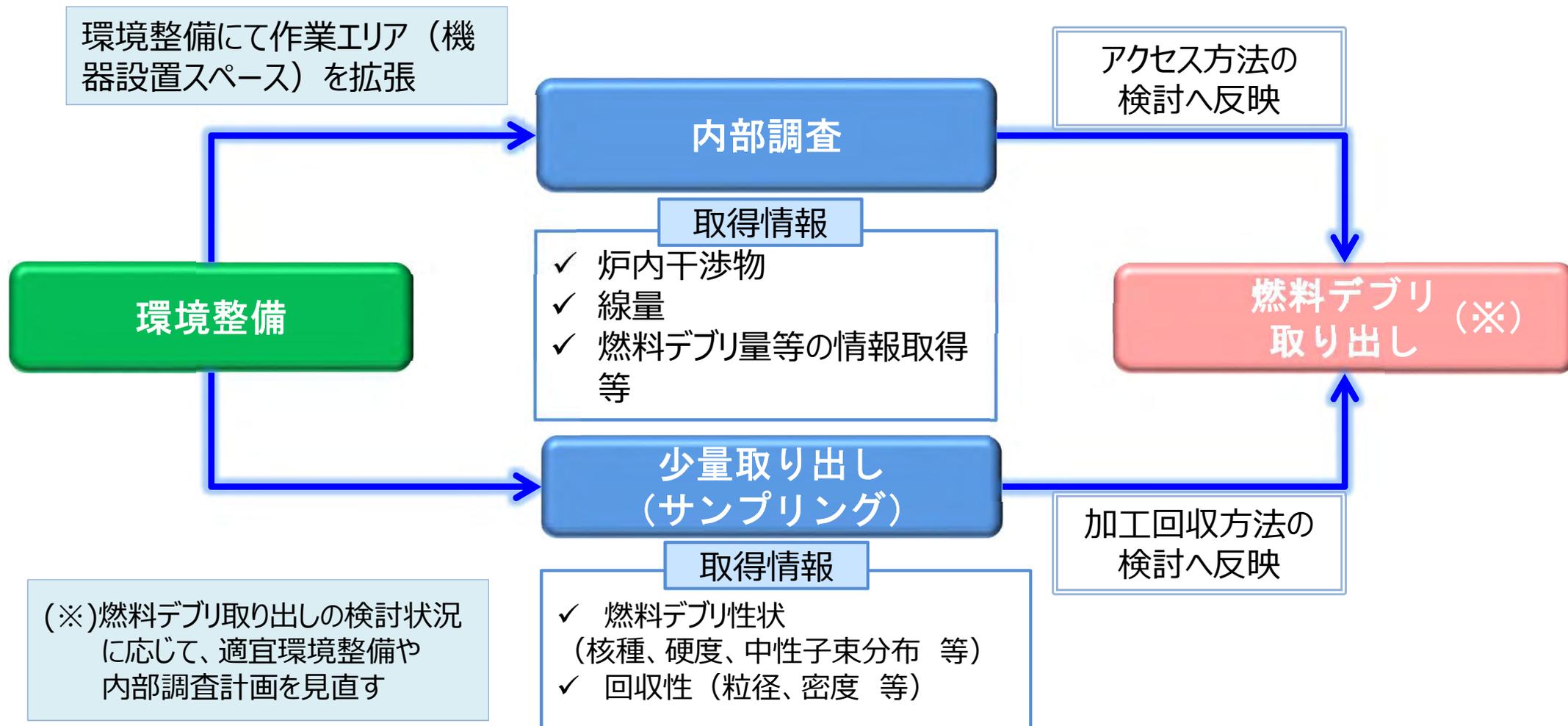
図 1号機ウェルシールドプラグ周辺写真[2]

[1]東京電力ホールディングス株式会社ホームページ

[2]福島第一原子力発電所3号機原子炉建屋上部ガレキ撤去後の建屋躯体調査結果について（平成26年2月14日）

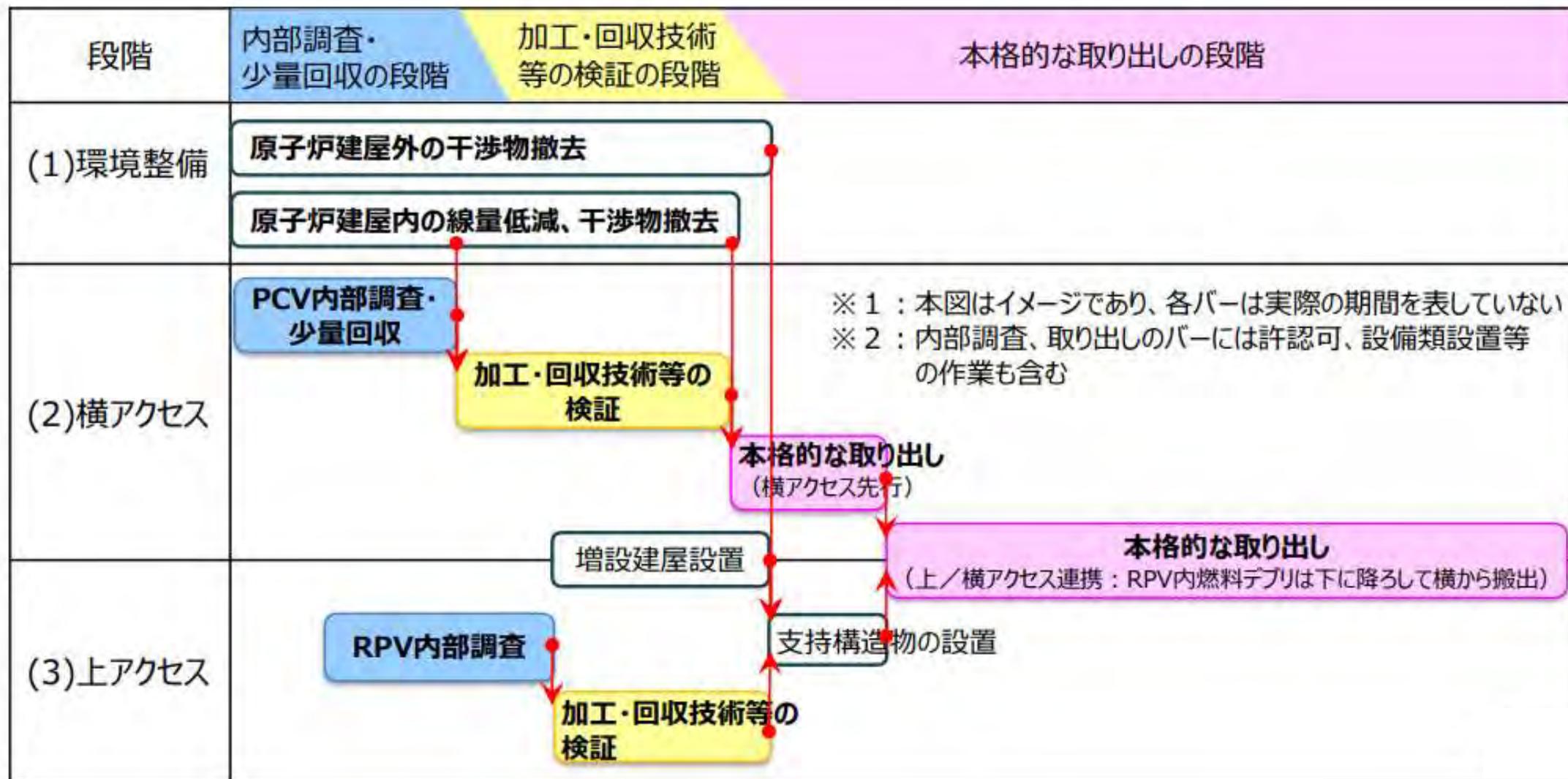
### 3. 東双みらいテクノロジーの技術開発方針

- 燃料デブリの取り出しまでの流れ
  - 燃料デブリ取り出しは、現場の情報を把握し、随時開発へ反映していくことが重要
  - 原子炉内部調査や少量取り出しで得られた情報を基に、燃料デブリ取り出し工法に反映
  - いずれの作業を実施する場合も、原子炉建屋内の環境整備が必須であり、上記と並行して作業エリアを順次拡張



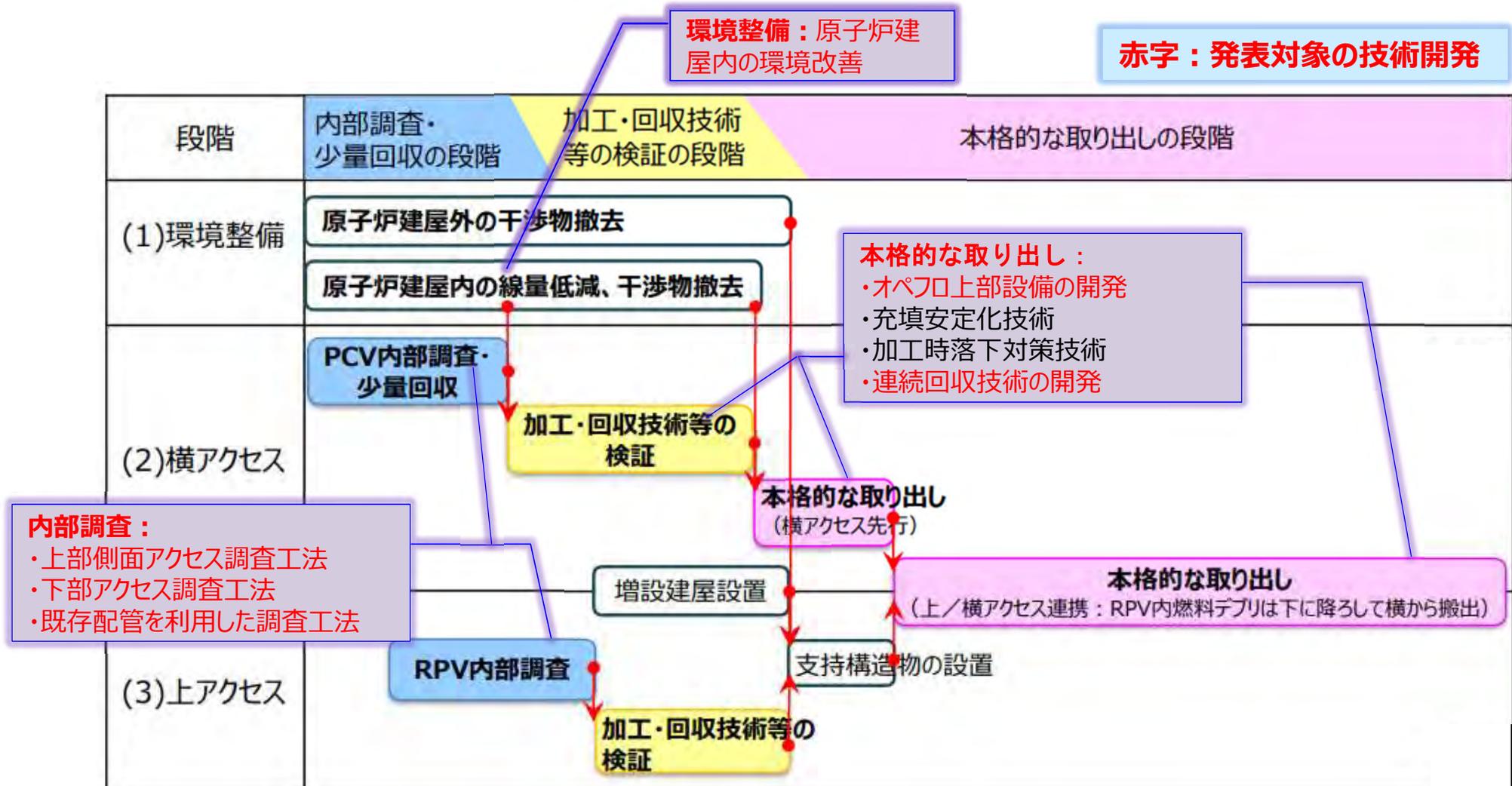
### 3. 東双みらいテクノロジーの技術開発方針

- 燃料デブリの取り出しまでの流れを具体化すると以下の通り



### 3. 東双みらいテクノロジーの技術開発方針

- 東双みらいテクノロジーの技術開発は、
- ✓ 至近に必要と考えられる技術を優先して実施：環境整備に関わる技術など
  - ✓ 将来的に確実に必要と考えられ、開発に時間を要する技術を実施：連続回収技術など



## 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

### 4.1 原子炉建屋内の環境改善

#### 【開発目的】

➤ 建屋内の線量低減や作業エリアの拡張

- 燃料デブリ取り出しでは、原子炉建屋内に様々な機器を設置する必要がある
- 原子炉建屋内の線量を下げ、作業エリアを拡張することは廃炉を進める上で最も重要と考え、そのために必要と考えられる技術開発を進めている

線量低減

線源の把握

線源撤去、遮蔽

作業エリアの拡張

現場状況の把握

干渉物撤去

#### 【開発項目】

- (1) 現場環境調査および監視技術の向上
- (2) 配管内の内在物を計測可能な非破壊調査装置
- (3) 非破壊調査後の配管隔離、撤去技術

## 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

### 4.1 原子炉建屋内の環境改善

#### (1) 現場環境調査および監視技術の向上

課題

- 原子炉建屋内は瓦礫や仮設構造物が存在し、線量が高いため、ロボット等による無人作業を行いたいが、通信性が悪く、障害物が多いため、制御が困難である

開発

- 自律制御および複数装置の連動制御を備えた4足歩行ロボットによるR/B内を遠隔調査する技術開発を実施
- 装置干渉やトラブルリスクの回避のために調査ロボットを監視する技術開発

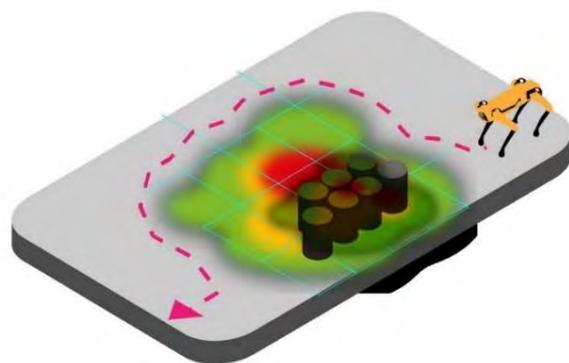


図 自律制御による障害物回避イメージ

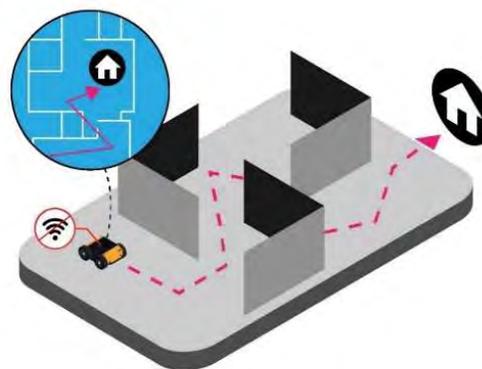


図 自律制御による無線通信不良時の帰還イメージ

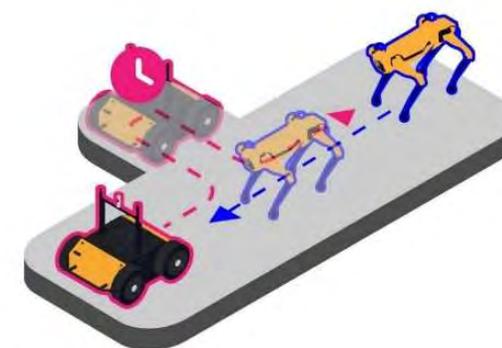


図 複数装置の連動制御イメージ

# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

## 4.1 原子炉建屋内の環境改善

### (2) 配管内の内在物を計測可能な非破壊調査装置

課題

- 原子炉建屋内（特に高所）の線量分布が未測定（線量低減作業時のデータが不足）
- 配管の撤去等を計画するため、配管内の放射性物質を確認したいが、外部から測定困難

開発

- 線源逆推定解析技術を活用し、配管内の放射性物質の位置、核種を同定
- 配管外からの非破壊調査により配管内の線量分布、配管形状データ等を測定

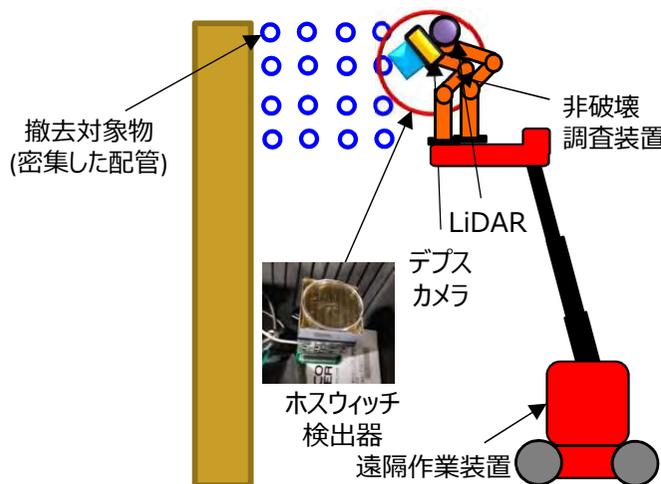


図 線源逆推定解析技術

**【特徴】**  
配管付近の計測でより詳細な線源の状態を把握し、逆推定技術で配管内の線源分布を把握できる

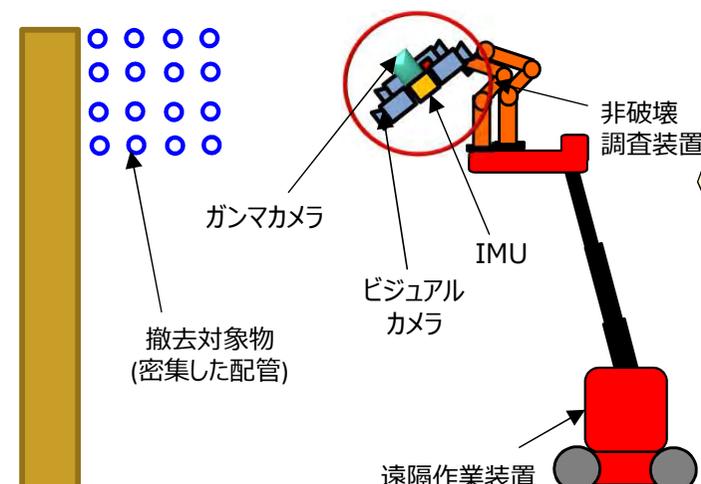


図 非破壊計測装置によるマップ化

**【特徴】**  
配管群に対して、少数の計測で配管内部の線源の空間的位置及び核種を同定し、3Dマップ上に表示できる

## 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

Decom.Tech

### 4.1 原子炉建屋内の環境改善

#### (3) 非破壊調査後の配管撤去技術

課題

- 撤去対象は高線量かつ狭隘な環境が考えられ、高所での遠隔作業を想定
- 格納容器の接続配管である場合の隔離措置および水素対策を想定

開発

- 高線量かつ狭隘でアクセスが困難な配管を対象とした、準備作業から調査・隔離・撤去・後処理に至る一連プロセスの検討および遠隔作業システムの技術開発を実施

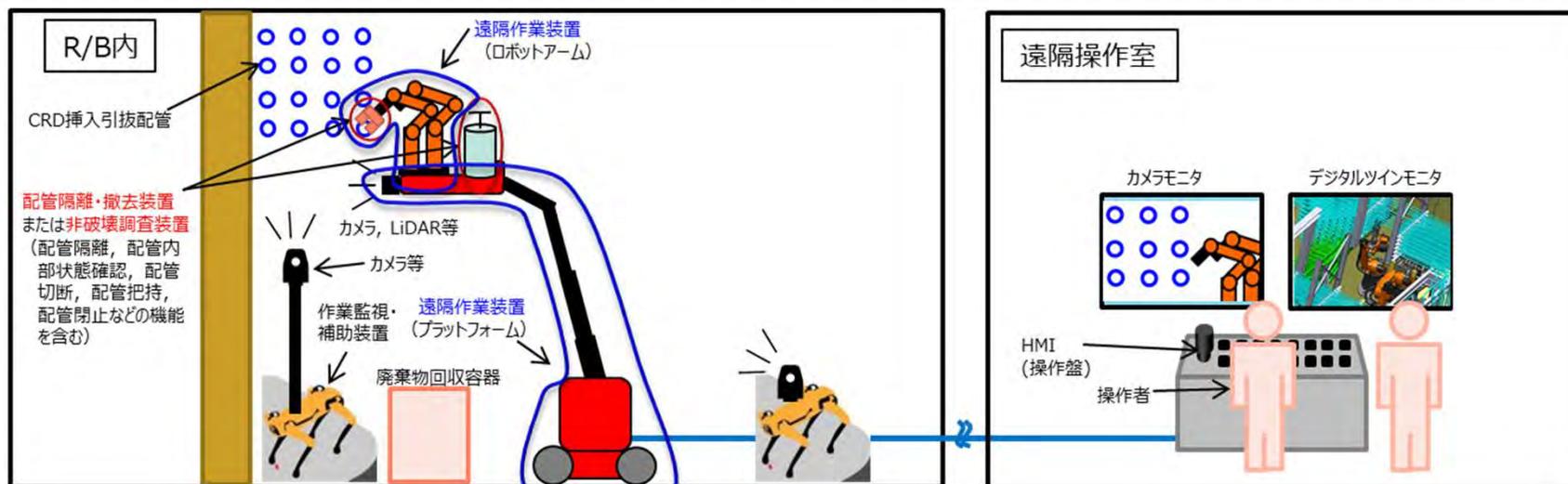


図 遠隔作業装置および周辺設備のシステム構成イメージ

## 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

Decom.Tech

### 4.2 原子炉圧力容器内調査

#### 【開発目的】

- 原子炉格納容器内や圧力容器内の情報（燃料デブリの分布、損傷した構造物の状態および線量分布等）を早期に取得し、本格的な燃料デブリ取り出しの技術開発に資する

#### ➤ 炉内情報の早期取得

- ✓ 早期に入域が可能なエリア（除染性、損傷状況等を考慮）からの調査を計画
- ✓ 現状の設備に大規模な加工を行わない方法での調査を計画

#### (1) 上部側面アクセス調査工法

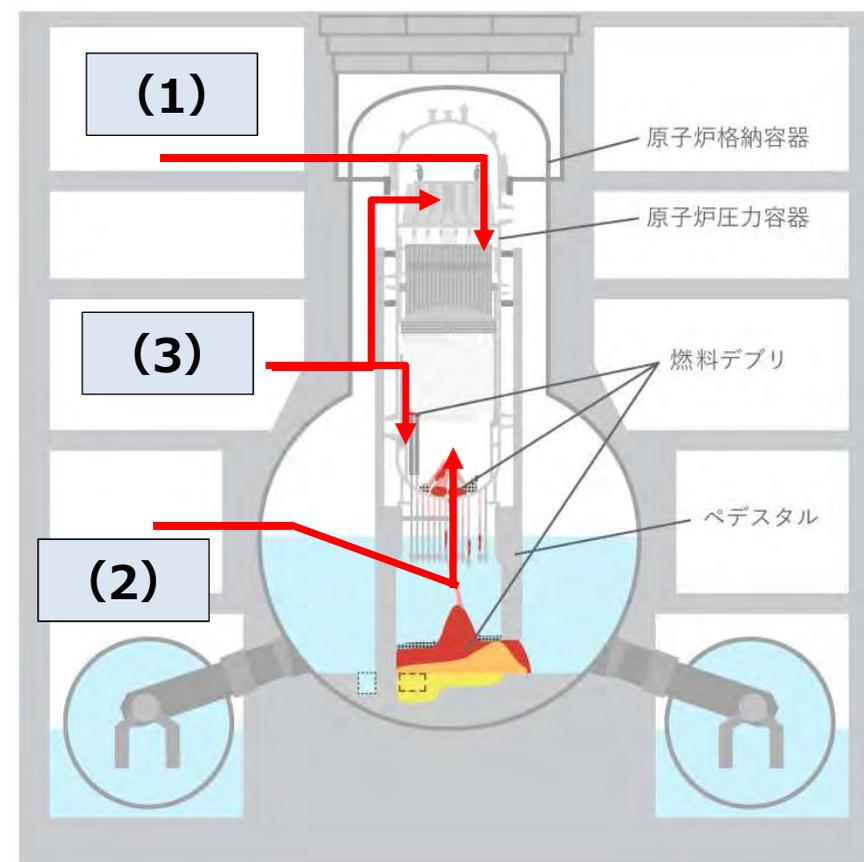
- ✓ ライニングにより除染性が優れるドライヤ・セパレータピット（以下、DSP）からアクセス

#### (2) 下部アクセス調査工法

- ✓ 炉底の損傷部を活用しつつ、損傷した構造物を回避しながら炉内下部にアクセス

#### (3) 既存配管を利用した工法

- ✓ RPV本体への穿孔や加工が不要
- ✓ その他の廃炉作業に干渉しない

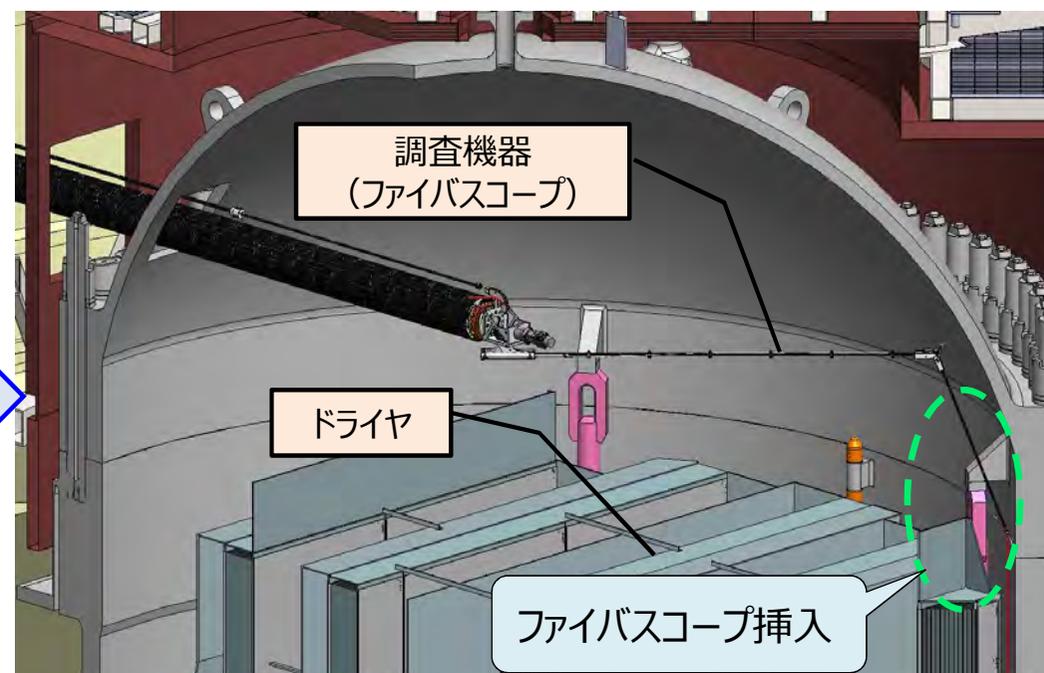
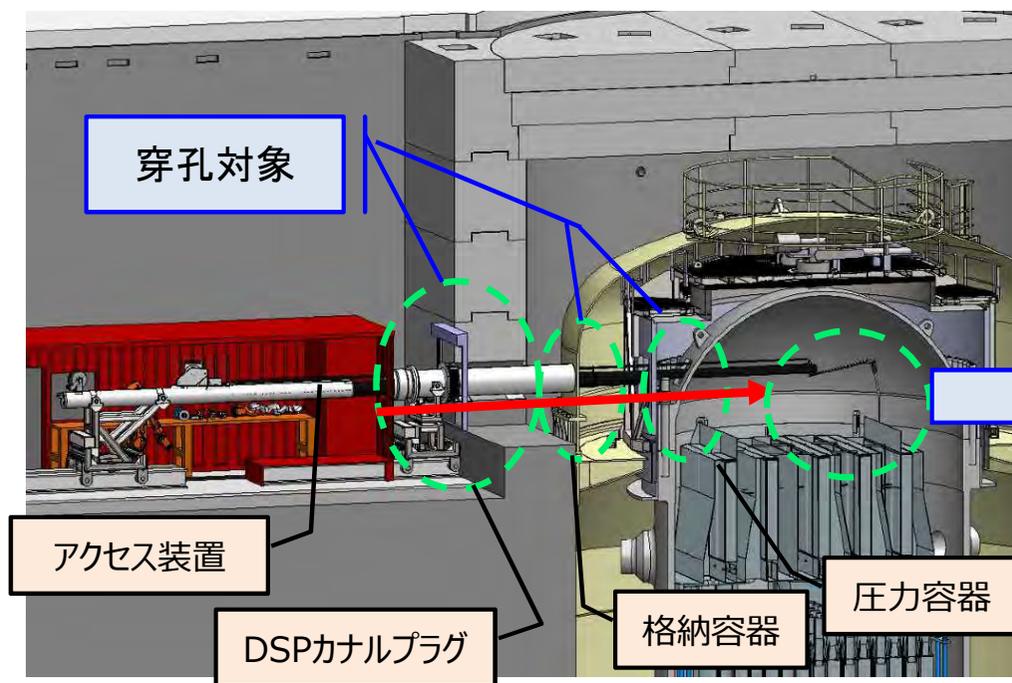


## 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

### 4.2 原子炉圧力容器内調査

#### (1) 上部側面アクセス調査工法

- DSP側面から炉内へアクセスし、RPV内上部・シュラウドヘッドを調査



- ✓ 格納容器バウンダリを確保しつつDSPカナルプラグ、格納容器、圧力容器を穿孔してアクセスルートを構築

- ✓ ドライヤ・炉壁間の隙間にファイバースコープを挿入し、圧力容器内を調査
- ✓ 到達目標：シュラウドヘッド

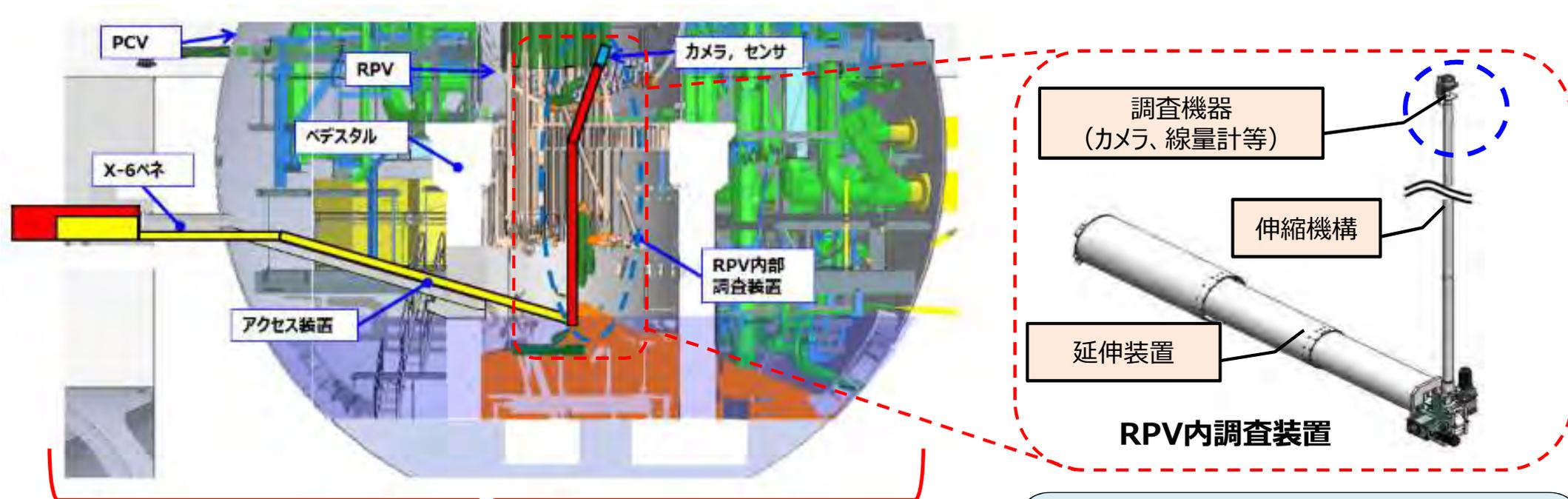
# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

Decom.Tech

## 4.2 原子炉圧力容器内調査

### (2) 下部アクセス調査工法

- ペDESTALからCRDロッドなどを回避しながら調査装置を伸展し、RPV内部を調査



ロングリーチアームや柔軟性をもつ調査装置を発展させ、通常の装置ではアクセス困難なペDESTAL内の各所にアクセスし、各種データを取得する

画像データや線量データのみならず、点群データ等も含めた広範囲のRPV内部およびそのアクセス過程であるペDESTAL内部の情報を得る

# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

Decom.Tech

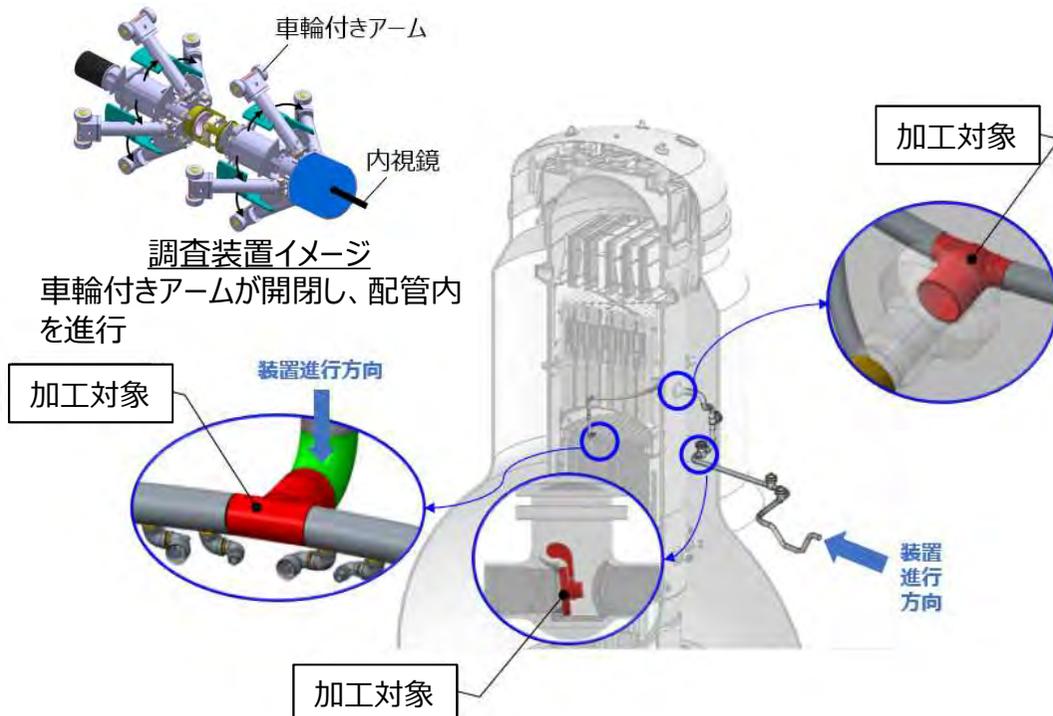
## 4.2 原子炉圧力容器内調査

### (3) 既存配管を利用した工法

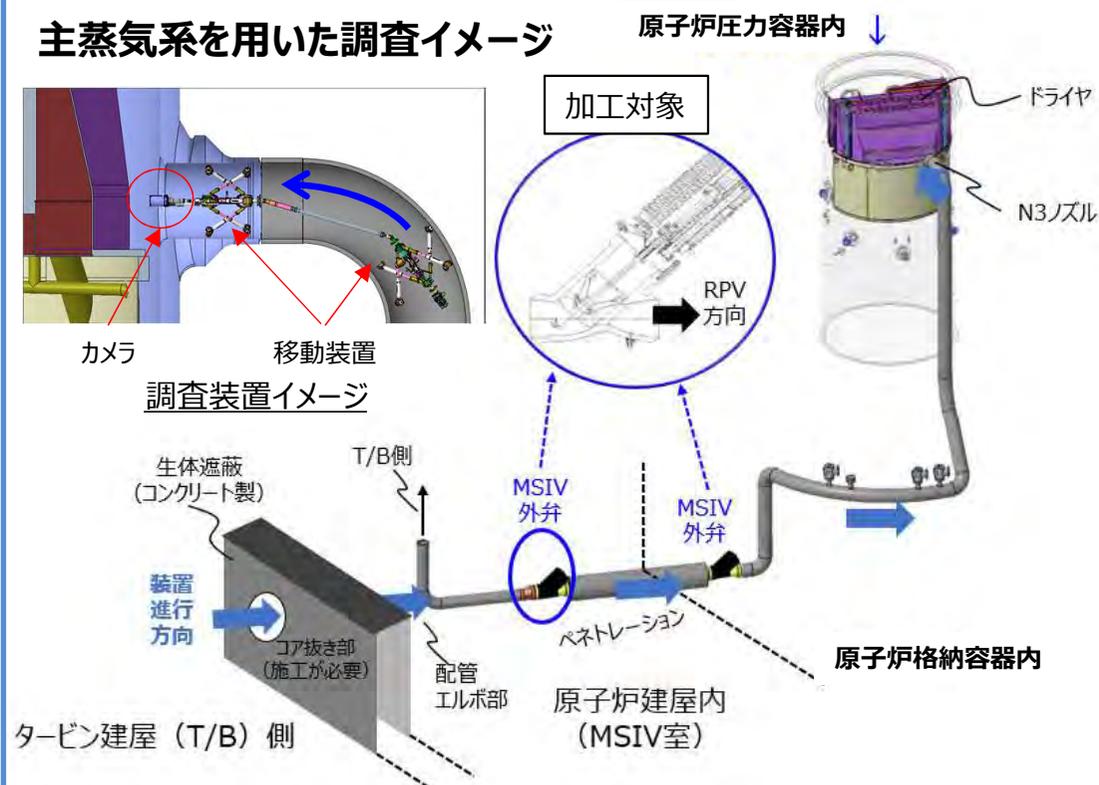
- 既存配管（主蒸気系や炉心スプレイ系）を利用し、原子炉圧力容器本体を加工せず炉内へアクセスし、調査する技術を開発

- ✓ 本アクセスルートには垂直部やエルボがあり、それらを移動可能な装置を開発
- ✓ ルート上の干渉物（弁体等）はアブレイシブウォータージェットにて穿孔

#### 炉心スプレイ系を用いた調査イメージ



#### 主蒸気系を用いた調査イメージ



# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

## 4.3 燃料デブリ取り出し

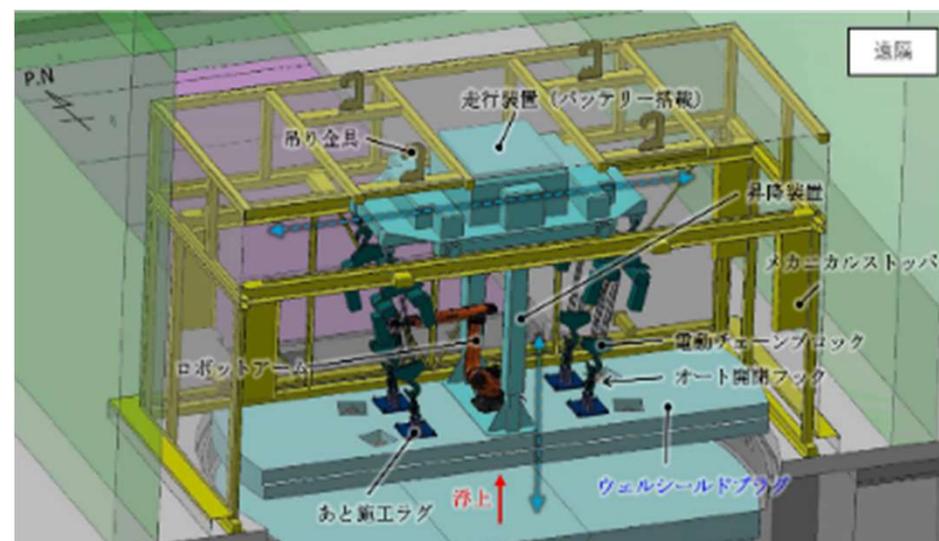
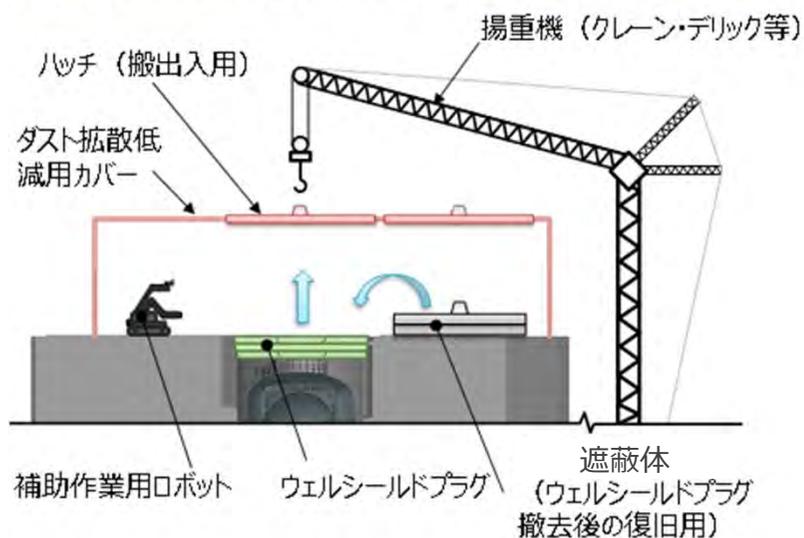
### (1) オペレーションフロア上部設備の開発

課題

- ウェルシールドプラグは、重量物かつ高線量に加えて、1号機は脱落し、3号機は破損しており、一般的な方法での取り外しが困難

開発

- ウェルシールドプラグの実機状態を踏まえた、遠隔操作による撤去技術を開発
- ウェルシールドプラグの損傷状態を遠隔非破壊検査にて確認し、損傷状態に応じた遠隔搬送設備を開発



ウェルシールドプラグの搬送設備イメージ

# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

課題

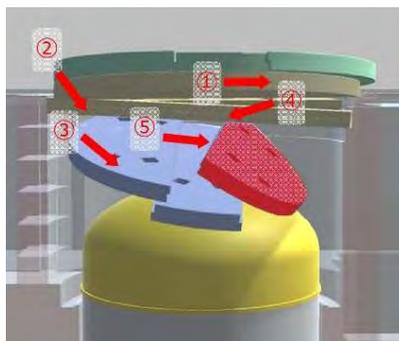


図 実機のウェルシールドプラグの状態[2]

開発内容

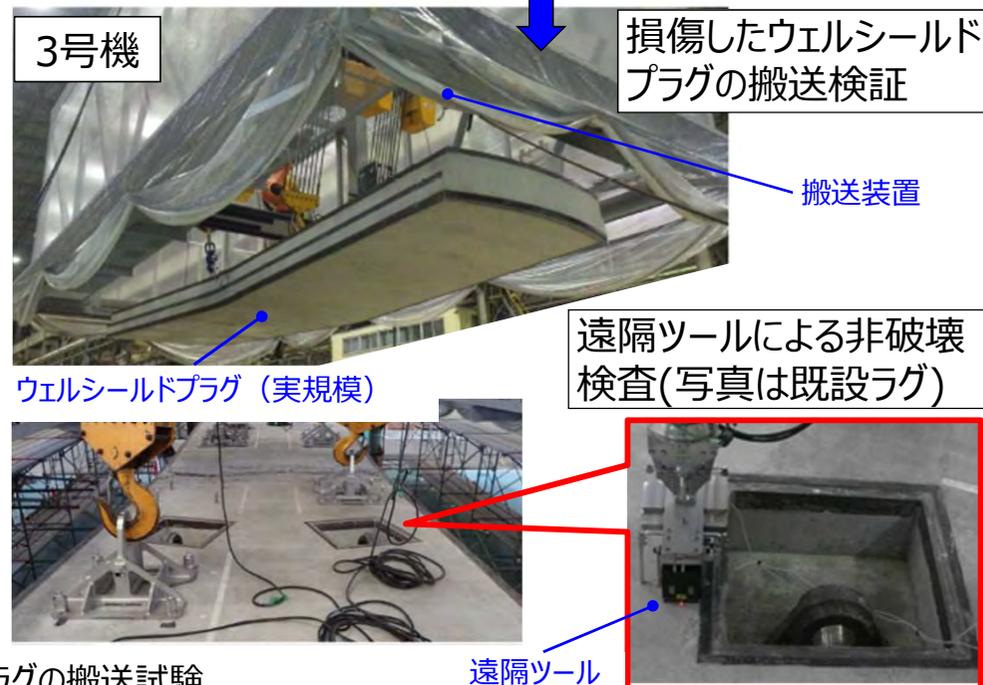
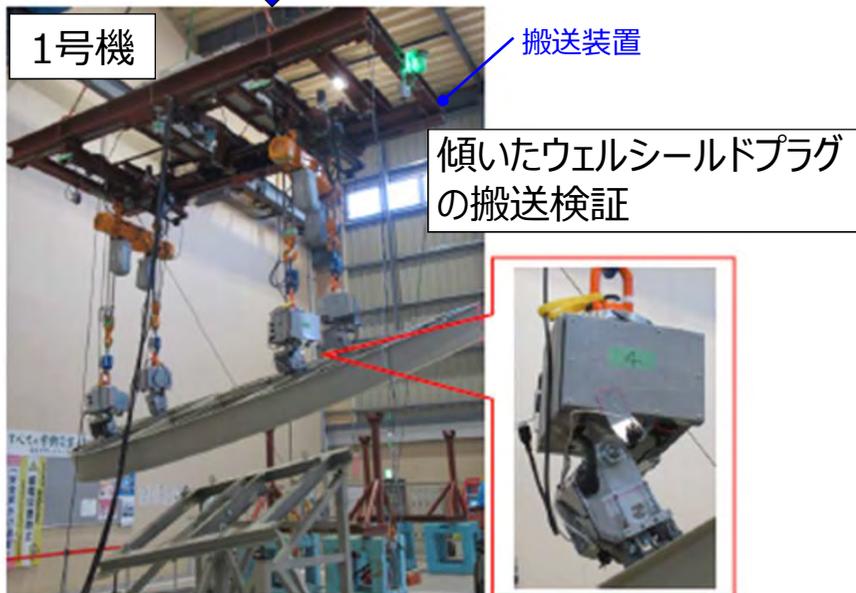


図 ウェルシールドプラグの搬送試験

[2] 福島第一原子力発電所 3号機原子炉建屋上部ガレキ撤去後の建屋躯体調査結果について (平成26年2月14日)

# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

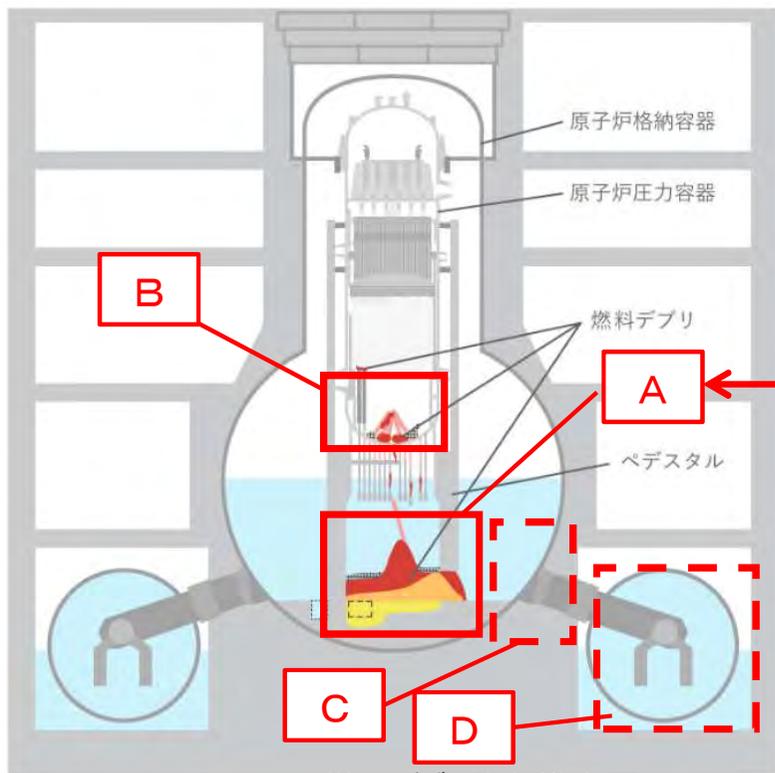
## 4.3 燃料デブリ取り出し

### (2) 燃料デブリの連続回収技術の開発

#### 【開発目的】

➤ 原子炉格納容器内底部に大量に存在している燃料デブリを効率よく回収

✓ 燃料デブリは、炉心部、RPV底部、PCV内に様々な状態（塊状、粒状、粉状等）で存在するものと想定



**Aの範囲の燃料デブリを対象に回収する技術を開発**

No.	範囲	燃料デブリ量	備考
A	格納容器底部 ペDESTAL内	多 (推定)	燃料デブリ内の空洞有無は未確認。 空洞が確認された場合、ペDESTAL内燃料デブリの撤去手順検討に反映する必要がある。
B	圧力容器底部	少 (推定)	圧力容器内部状況は未確認。
C	格納容器底部 ペDESTAL外	不明	ペDESTAL外への流出有無は未確認。 流出が確認された場合、ペDESTAL外燃料デブリの取り出し方法を別途検討する必要がある。
D	S/C内	不明	S/Cへの流出有無は未確認。 流出が確認された場合、S/C内燃料デブリの取り出し方法を別途検討する必要がある。

1F-3 燃料デブリ分布推定図

## 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

### 4.3 燃料デブリ取り出し：燃料デブリの連続回収技術の開発

#### 実施概要

- 使用するハッチ、ペネ、搬出ルートなどを考慮し、燃料デブリの加工、回収技術、回収後の固液分離、水処理、保管までの一連の作業を検討
- 上記を連続的に実施し得る全体システムを検討

#### 連続回収システムの検討フロー

##### 1. 連続回収のシナリオの検討

- ✓ 環境整備、PCV内部調査等の状況や、これまで開発された加工技術等を整理
- ✓ 上記整理を元に、取り出し量、アクセスルート等を踏まえたシナリオを検討

##### 2. 連続回収システム概念検討

- ✓ シナリオを元に、一連の作業を考慮した燃料デブリ取り出しの連続回収システムを検討

##### 3. 要素試験

- ✓ 検討した連続回収システムに関する要素試験を計画
- ✓ 要素試験を実施し、連続回収システムの成立性を評価するとともに課題を抽出

# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

Decom.Tech

## 4.3 燃料デブリ取り出し：燃料デブリの連続回収技術の開発

### 実施概要

#### 1. 連続回収のシナリオの検討

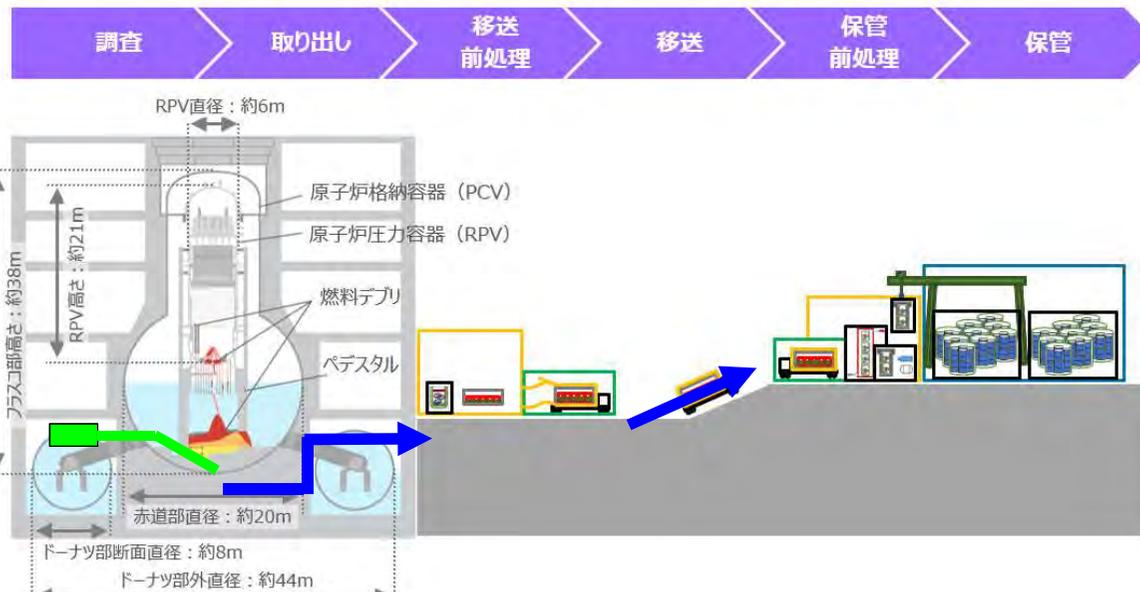
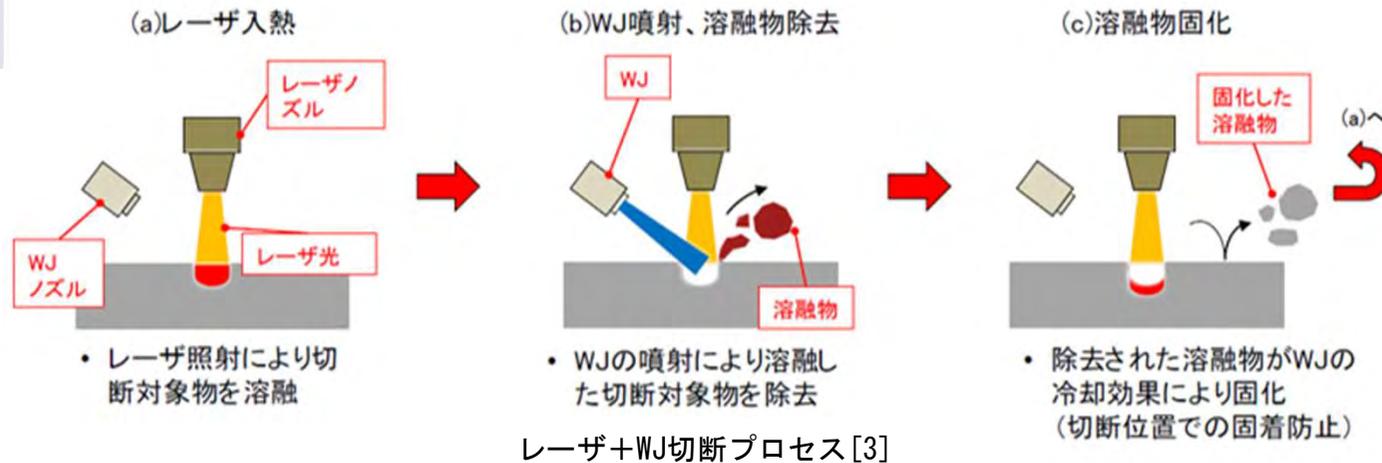
【シナリオの例】

➤ 過去の補助事業の検討成果を活用

【過去の補助事業の検討成果（例）】：  
レーザ、WJ、レーザ+パルスWJなど

➤ 利用するペネ（既設ペネや新規開口を含む）を選定し、当該ペネからアクセス装置（アーム等）を投入し、ペDESTAL内作業の補助（燃料デブリの加工、回収等）を行う

➤ PCV内～PCV外への連続的な燃料デブリの回収システム全体を考慮したシナリオを検討



# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

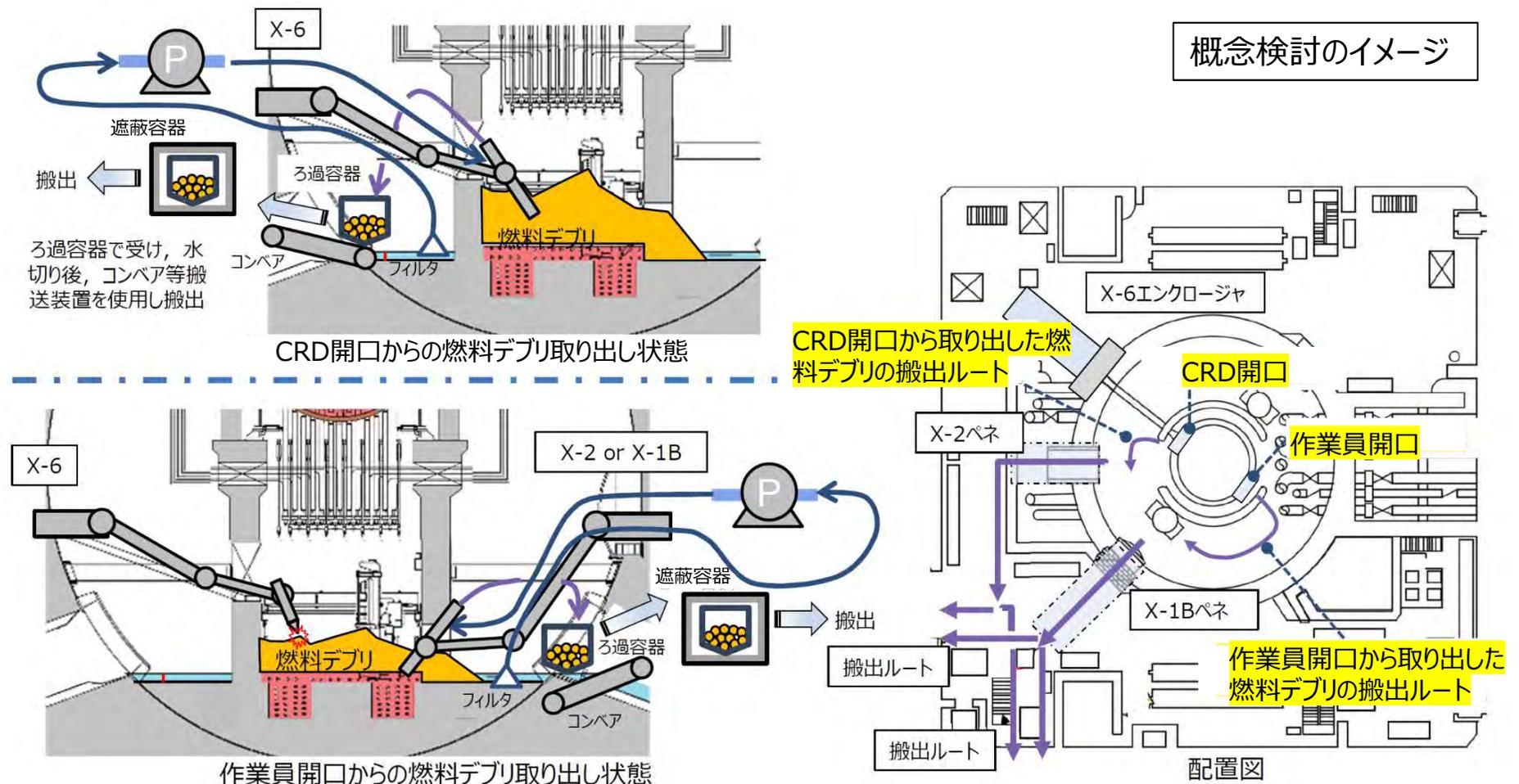
Decom.Tech

## 4.3 燃料デブリ取り出し：燃料デブリの連続回収技術の開発

### 実施概要

#### 2. 連続回収システム概念検討

- 原子炉建屋内への設置性や、想定干渉物を考慮したアクセスルート等を鑑みて連続回収システムを検討



# 4. 東双みらいテクノロジーの技術開発状況

## 4.3 燃料デブリ取り出し：燃料デブリの連続回収技術の開発

### 実施概要

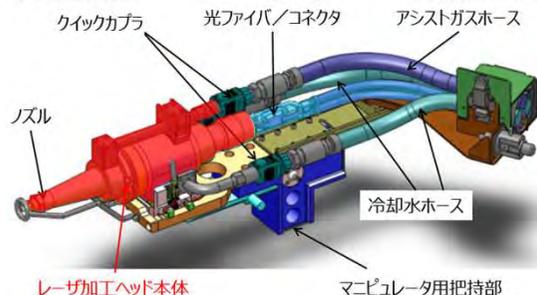
#### 3. 要素試験

##### 加工技術

- 燃料デブリの想定性状・環境条件・回収作業を模擬した基礎試験の実施
- 加工後の粒径分布の基礎データ取得

##### 《加工方法例》

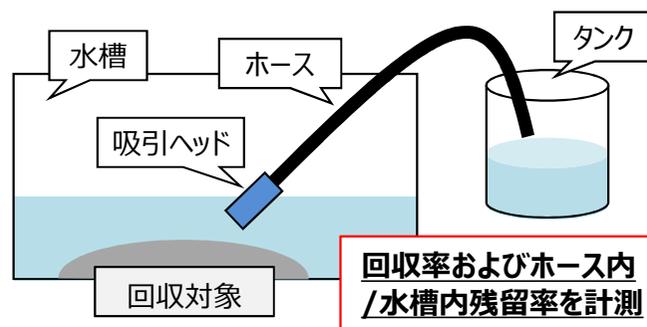
- ・ 接触：破砕（打撃）加工等
- ・ 非接触：レーザ、AWJ加工等



気中レーザ切断技術（例）

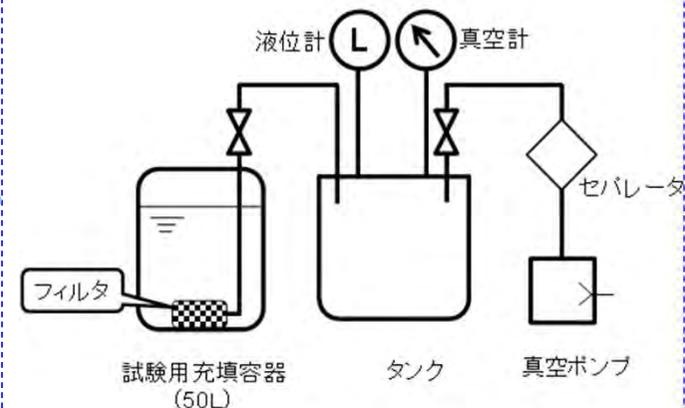
##### 回収技術

- 加工により生成される想定粒径分布等に応じた回収性能、ホース内残留率等のデータ取得



##### 固液分離技術

- 燃料デブリの想定性状（粒子径、密度等）、混在物に対する分離試験の実施およびデータ取得



フィルタ脱水の試験系（案）

## 5. まとめ

### ● 東双みらいテクノロジーの燃料デブリ取り出しに係る技術開発を紹介

- ✓ 燃料デブリ取り出し方針に沿った技術開発を実施
- ✓ 以下の技術開発を優先的に実施
  - 至近に必要と考えられる技術：環境整備、内部調査
  - 将来的に確実に必要と考えられ、開発に時間を要する技術：本格的な取り出し
- ✓ 東京電力HD殿と連携し、最新の現場状況や調査結果を技術開発に随時反映

### ● 今後の展望

- ✓ 環境整備、内部調査、本格的な取り出しに係る技術開発を継続
- ✓ 調査結果等、新たに取得した情報に応じて、新規開発に着手あるいは現開発への反映等、臨機応変に対応
- ✓ 燃料デブリ取り出しの実現に向けて、更なる高度化を目指す

表. 関連する補助事業の対応表

No.	項	内容	対応する補助事業
1	p. 8~10	4.1 原子炉建屋内の環境改善 (1) 現場環境調査および監視技術の向上 (2) 配管内の内在物を計測可能な非破壊調査装置 (3) 非破壊調査後の配管撤去技術	令和6年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（原子炉建屋の環境改善のための技術開発（PCV貫通配管等撤去のための遠隔監視及び撤去作業システムの開発））」
2	p. 12~13	4.2 原子炉圧力容器内調査 (1) 上部側面アクセス調査工法 (2) 下部アクセス調査工法	令和6年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（原子炉圧力容器内部調査技術の開発（上部側面アクセス調査工法の技術開発、下部アクセス調査工法の技術開発））」
3	p. 14	4.2 原子炉圧力容器内調査 (3) 既存配管を利用した工法	令和6年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（原子炉圧力容器内調査技術の開発（既存配管を利用した原子炉圧力容器内部調査の技術開発））」
4	p. 15~16	4.3 燃料デブリ取り出し (1) オペレーションフロア上部設備の開発	令和5年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの取り出し工法の開発（気中上取り出し工法における大型搬送装置等のオペフロ上部設備の開発））」
5	p. 17~21	4.3 燃料デブリ取り出し (2) 燃料デブリの連続回収技術の開発	令和7年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリ取り出し工法の開発（燃料デブリの連続回収技術の開発））」

ご清聴ありがとうございました

## 会社概要

## *Decom.Tech*

会社名	東双みらいテクノロジー株式会社（Decom.Tech）
所在地	〒979-1301 福島県双葉郡大熊町大字夫沢字北原22
設立日	2022年10月3日
事業内容	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ <u>燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大</u>に関するシステム・設備の<u>基本設計事業</u></li><li>➤ 燃料デブリ取り出しに関する<u>研究開発事業</u></li><li>➤ 燃料デブリ取り出しに関する<u>人財育成</u></li></ul>