

# 福島第一廃炉と復興を推進するには？

令和7年1月31日

東京大学大学院工学系研究科

総合研究機構 上席研究員

鈴木俊一

福島第一廃炉の最大の問題点

Unknown Unknowns

但し、答えを見つける事こそ  
工学の役割

## ～未知への挑戦～

福島第一原子力発電所の廃止措置を完遂するためには、今まで誰も経験したことのない困難な課題へ挑戦する必要がある。

通常プラントの建設・保守は、過去の知見・経験をベースにした定常的な問題をいかにうまく解くかが鍵だが、事故炉の廃止措置は環境・プラント状態等が時間とともに変わりうる非定常の課題である。

これらの課題を克服するためには、将来何が起こりうるかを推定するとともに、複数の対策シナリオを考え、必要とされる新たな技術を開発するという、“未知への挑戦”が求められている。



# 燃料デブリ分布の推定

ミュオン測定結果

## 1号機

- 炉心域に大きな燃料の塊はなし  
(原子炉圧力容器底部の測定はなし)

## 2号機

- 原子炉圧力容器底部に燃料デブリと考えられる高密度の物質を確認
- 炉心域にも燃料が一部存在している可能性あり

## 3号機 (速報)

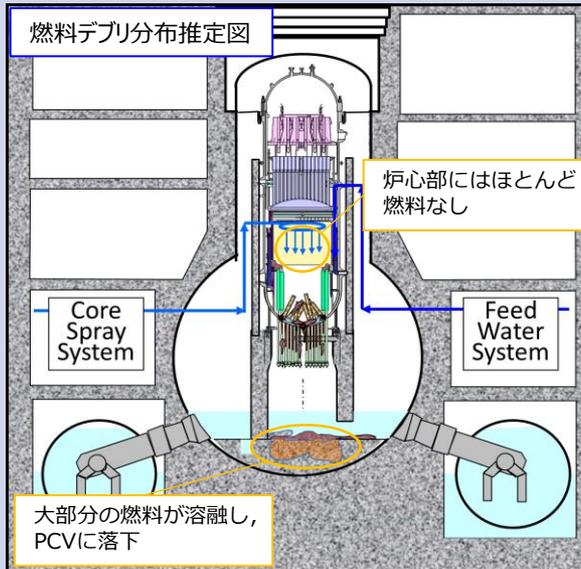
- 現時点での評価では、原子炉圧力容器内部には一部燃料デブリが残存する可能性はあるものの、大きな高密度物質の存在は確認できていない。  
(継続測定・詳細評価中)

↓ 結果を燃料デブリ分布の推定に反映

↓ 結果を燃料デブリ分布の推定に反映

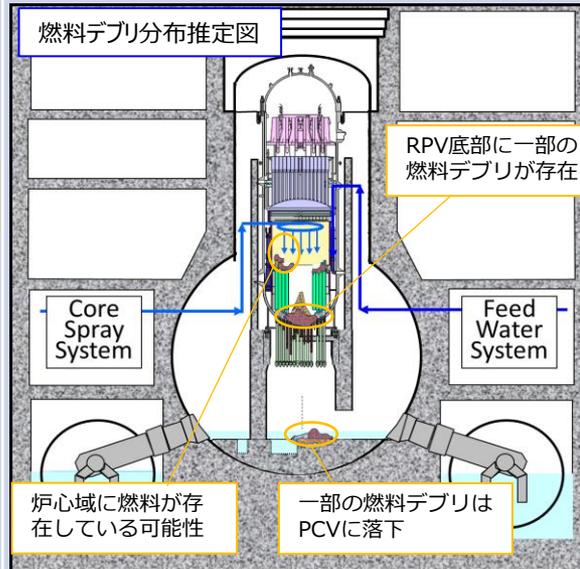
↓ 今後、格納容器内部調査やミュオン測定などで得た知見を燃料デブリ分布の推定に反映予定

## 1号機



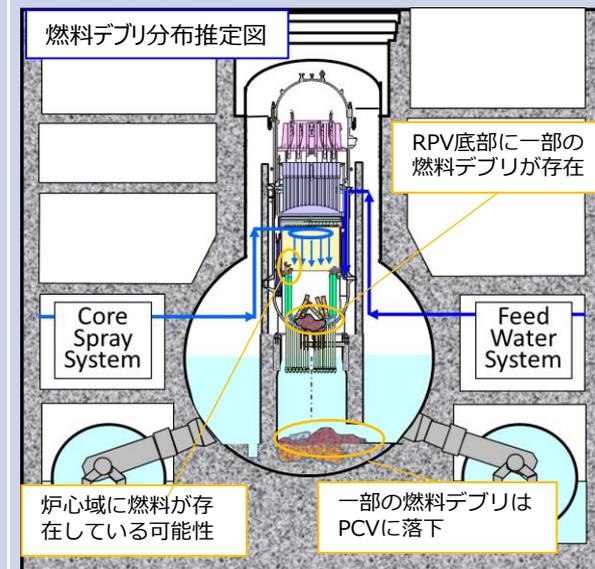
- 溶融した燃料がほぼ全量が格納容器に落下し、元々の炉心域にはほとんど燃料が存在しない

## 2号機



- 溶融した燃料のうち、一部は原子炉圧力容器下部プレナムおよび格納容器へ落下し、燃料の一部は元々の炉心域に残存
- 3号機は2号機よりも多くの燃料デブリが格納容器に落下していると推定

## 3号機



※「廃炉・汚染水対策事業費補助金（総合的な炉内状況把握の高度化）」(IRID, IAE)

第2回福島第一廃炉国際フォーラム講演資料より抜粋(<http://ndf-forum.com/program/day2.html>, 2017年7月3日)

(合計約880ton)

東京電力HD公表資料から引用

現状の燃料デブリ分布の推定 (※)

# 大規模燃料デブリ取り出し工法

# 燃料デブリの性状把握

## 模擬デブリの生成

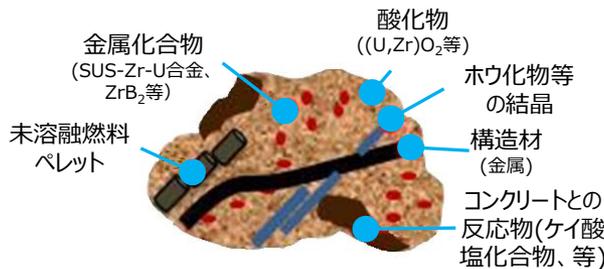
### ● 生成する酸化物、金属の推定

→ 熱力学平衡計算

(炉内の燃料分布、酸素濃度、温度)

酸化物: (U,Zr) O<sub>2</sub>

金属: Zr(O), Fe<sub>2</sub> (Zr, U)



実デブリのイメージ図



TMI-2で採取された燃料デブリ

## 福島第一に特有な反応の把握

### ● ホウ素との反応生成

B<sub>4</sub>C制御材由来のホウ化物は顕著に硬く、切削工具へ負担となる可能性あり

### ● コンクリートとの高温反応 (MCCI\*)

\* Molten Core Concrete Interaction

コンクリート組成、溶融温度・時間により生成物組成異なる

コンクリート侵食面間に多層の酸化物層

### ● 海水塩との高温反応

## 燃料デブリのサンプリング・取出しに必要な物性値の検討

### ● 物理特性

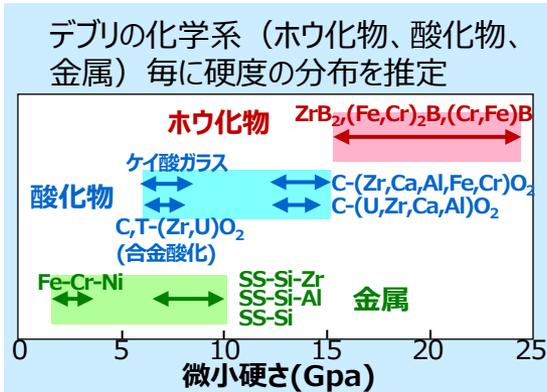
(形状、大きさ、密度/空隙率、硬さ、弾性率、破壊靱性)

### ● 熱的特性

(比熱、熱伝導率、融点)

### ● TMI-2 デブリとの比較

模擬デブリはTMI-2デブリの硬度をほぼ網羅



取出し用ツール類の分類			
<b>カッティング</b> 原理: 打撃・衝撃		<b>回収</b> 原理: ピック&プレイス	
<b>カッティング</b> 原理: せん断		<b>吸引</b> 原理: 吸引	
<b>カッティング</b> 原理: 溶断		<b>コアボーリング</b> 原理: 研削・圧縮	

# 小規模から段階的に大規模に取り出しへ

## ○既存の手法

ロボットアームを用いた燃料デブリ取り出しは、デブリの性状や分布を調査する上で第一段階として極めて重要である。

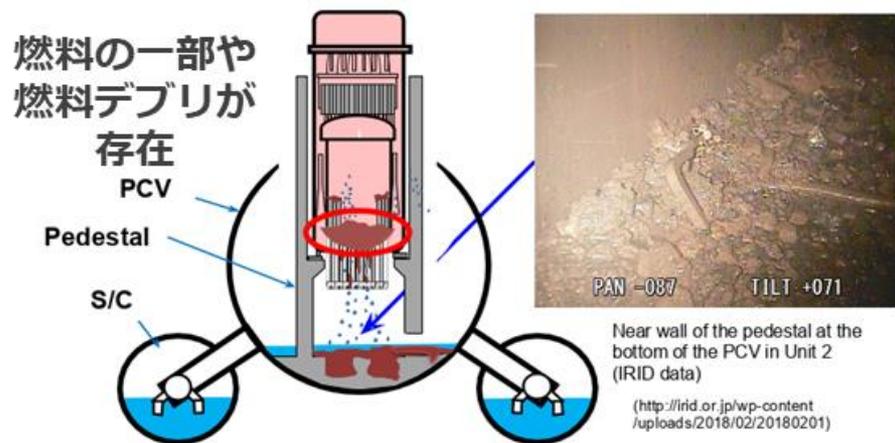
次の段階としては

- ✓ 取り出し量増加による工程短縮
- ✓ 複雑な多数のシステムの合理化
- ✓ 総廃棄物量の低減

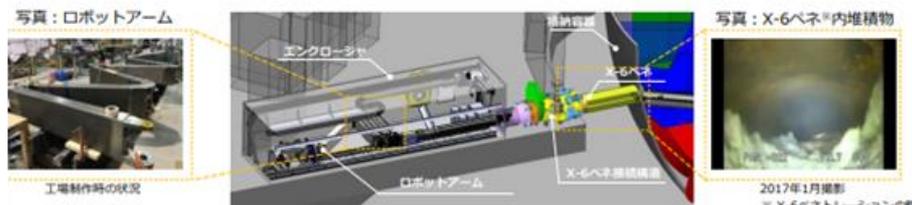
等考慮する必要がある。



より合理的で安全性の高い大規模取り出し案を用意する必要がある



### 福島第一原子力発電所内の現状



(東京電力資料を NDF にて加工)

## 燃料デブリ取り出しのイメージ

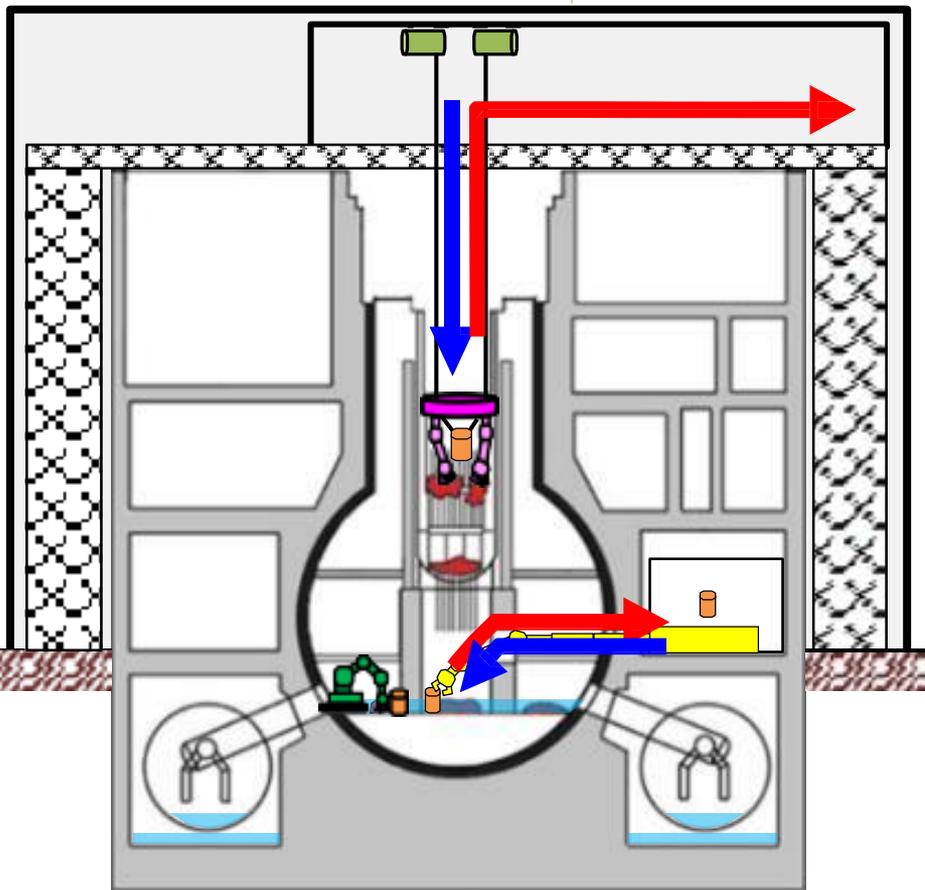
# 気中工法の特徴

## (利点)

- ・現場環境をあまり変化させず、現状のまま取り出しするため、他の工法への変更など、柔軟に対応可能
- ・水を溜めるなど、燃料デブリに与える状況変化が少なく、臨界管理が比較的容易

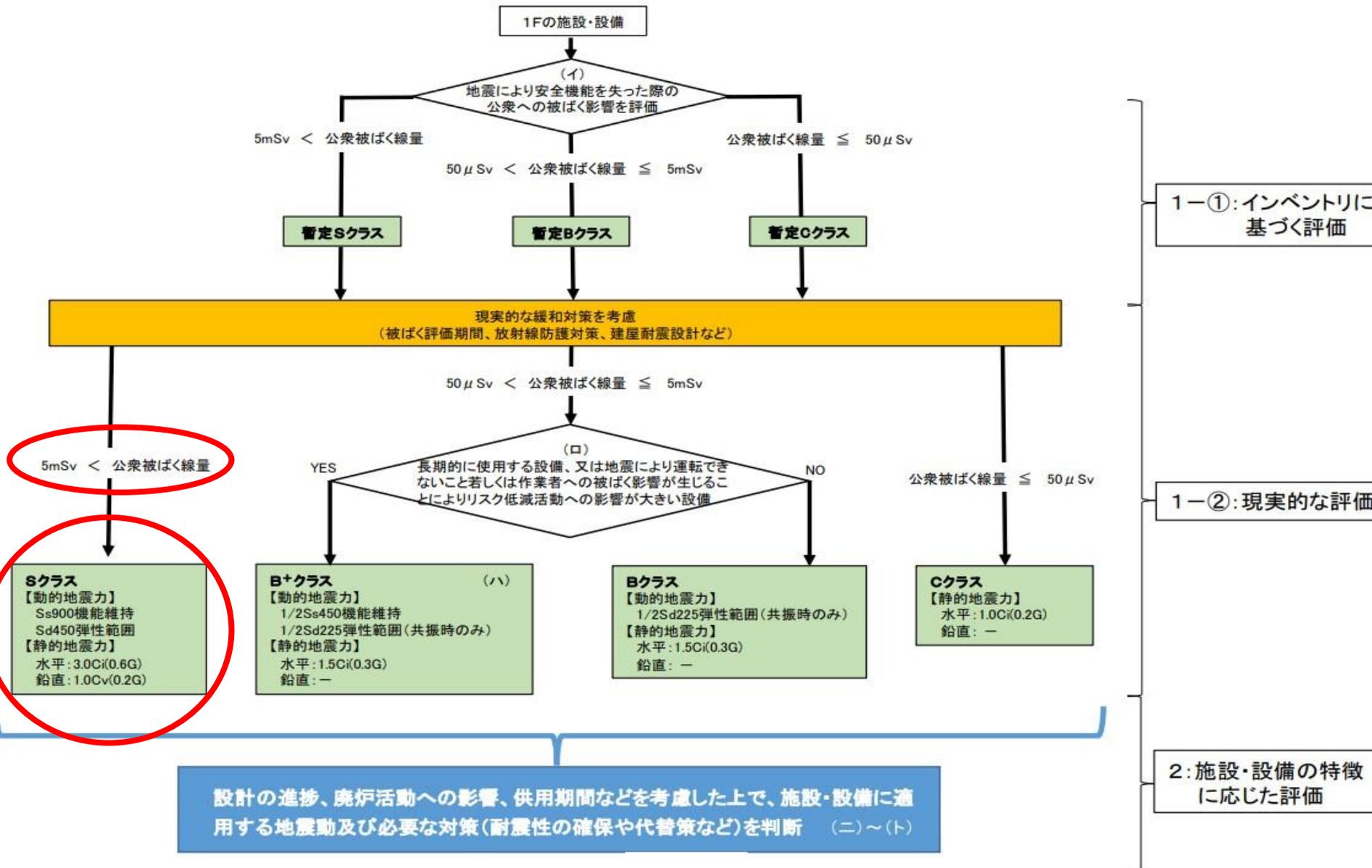
## (課題)

- ・微粒子飛散防止
- ・燃料デブリ等取り出し装置の重量化



# 耐震クラス分類と地震動の適用の考え方(規制庁)

耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ



# 廃炉に本質的に必要な課題を見つけるには

## (1) 意図的計画法 (Statisticな方法)

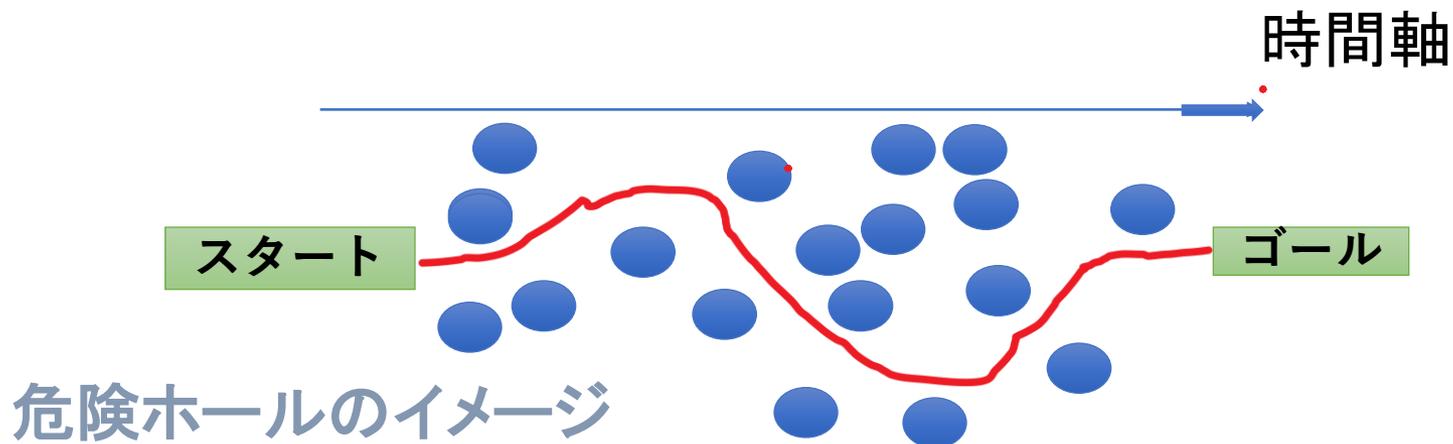
- ① 仮説を立てて将来予測
- ② 仮定にもとづき取り出し方法策定
- ③ 上記方法のリスクを検討
- ④ 予測をベースに投資
- ⑤ 成果を実現するために実行

## (2) 仮説指向計画法 (Dynamicな方法)

- ① 取り出しのための目標設定
- ② どのような仮定を証明できれば目標達成可能か  
(含むリスク検討)
- ③ 重要な仮定の妥当性検証のために計画を立案
- ④ 投資

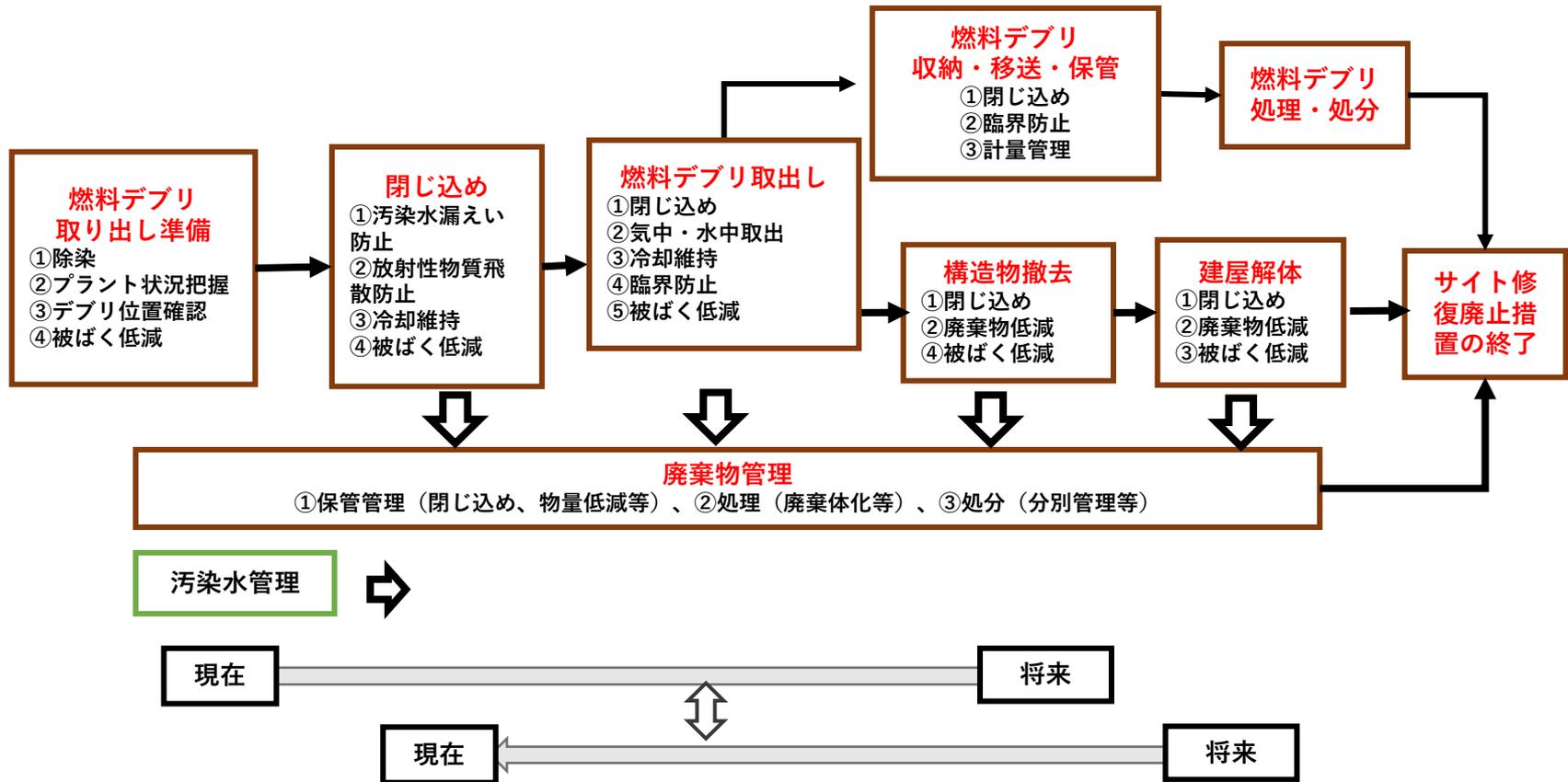
## <課題解決のためのブレインストーミング(例)>

- 何故失敗したのかを議論
  - ✓ 危険ホールの抽出(時間軸を意識)
- 成功するためにはどうすればよいか、既存概念に囚われないアイデアを抽出 (新規研究課題の抽出)
- 外的リスクを踏まえての問題点・課題の議論
- リスクを踏まえたアイデア改善案を抽出 (具体的な研究課題の抽出)
- 時間軸を意識した成功パスを構築
- パス毎にリスクを評価



# 俯瞰的廃止措置 -エンドステートから全体を俯瞰する-

- ・燃料デブリ取り出し、建屋解体、廃棄物処理・処分など、廃炉全体工程を俯瞰して、将来のリスクを低減する工程・作業を推定する
- ・そのためには、現状とエンドステートの両側から全体を俯瞰することが重要



## ①閉じ込めを確実に行う

- ・放射性物質（液体・気体）漏洩防止

## ②安全に燃料デブリを取り出す

- ・取り出す燃料デブリの位置及び成分の把握
- ・取り出し時の $\alpha$ 粒子等放射性物質飛散防止
- ・RPV底部の安定性
- ・ペDESTAL基礎部の安定性
- ・冷却維持
- ・被ばく低減
- ・取り出し量・期間
- ・臨界管理

## ③将来の廃棄物管理をしやすくする

- ・多種多量のデブリを含む廃棄物の管理・処分

## 目標： 安定化後、取り出し

安定化＝放射性物質を移動させない  
即ち、

- ・ 汚染水を発生させない
- ・ 放射性物質を飛散させない



①注水なしで固化等安定化処理

②その後、極力大きく切り出し長期保管

# 「安定化」のためには

## 必要条件

- ①切断時に極力放射性物質を飛散させない
- ②構造物が作業中も維持されていることが重要  
(例えば、RPV底部やペDESTAL基部)



- ・リスクのある対象部を固めて安定化し、放射性物質が移動しにくい状態にした後、切断等燃料デブリ取出し作業を開始
- ・充填固化材の特性としては、優れた流動・固化特性、高強度、耐高温性、耐放射線性並びに、保管時には水素発生しにくい特性が要求され、ジオポリマーは候補材の一つ  
(ジオポリマー：セメント系材料、Si、Al、Oとアルカリ金属イオンを主成分とする非晶質無機化合物)

# 充填固化材ジオポリマーの特徴

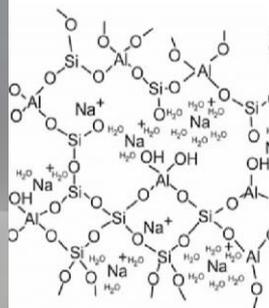
## • ジオポリマーの概要

- ✓ 次世代セメント系材料と呼ばれる非晶質アルミニウムケイ酸塩
- ✓ 耐熱性、核種浸出性、水素発生等は、セメント建築材料であるポルトランドセメントより優れる

## ジオポリマーと他材料の性能比較

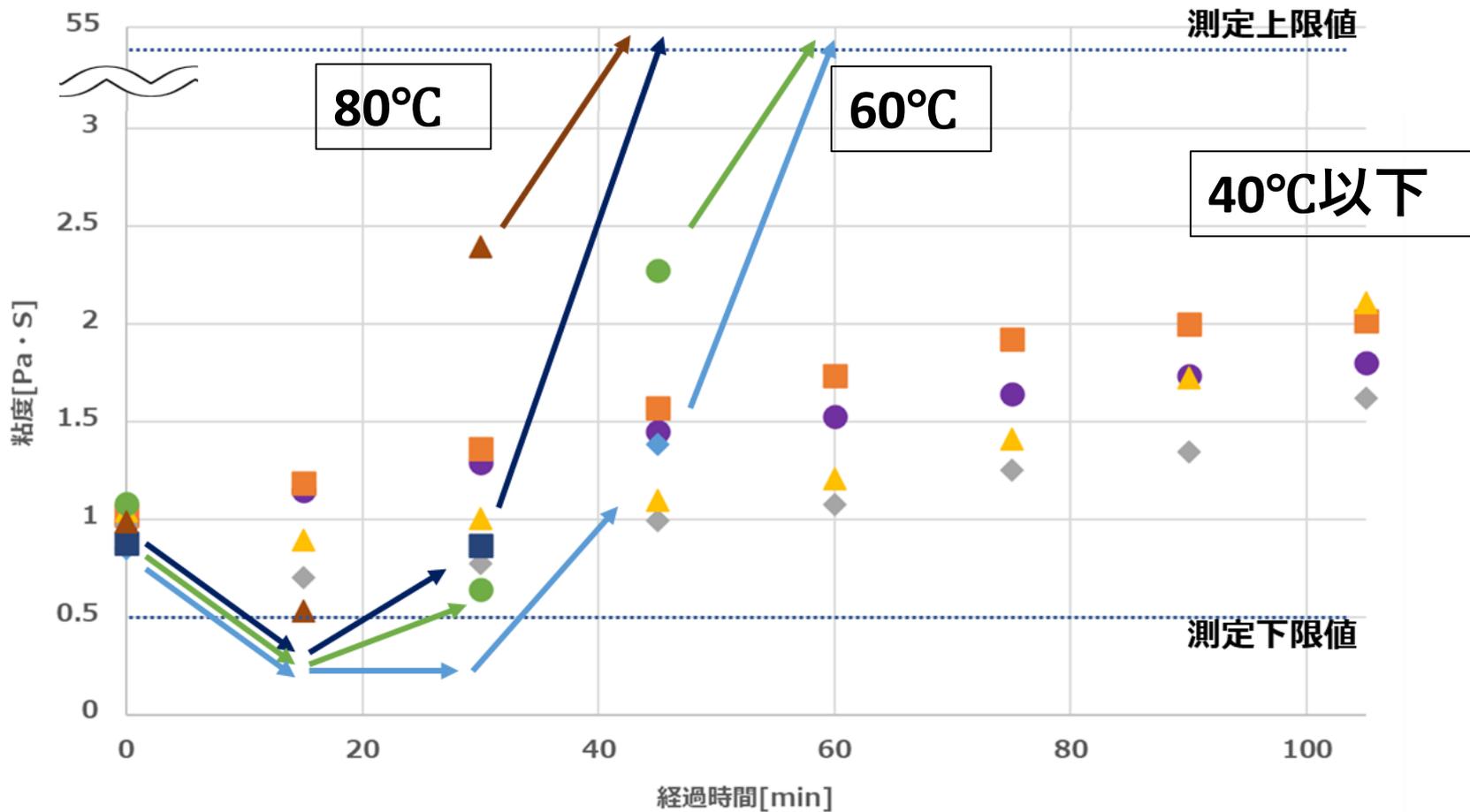
性質	ジオポリマー	コンクリート	金属 (銅)
耐熱温度 [°C]	1000	<500	1085
核種浸出性 [-]	7.0	6.3 – 8.6	-
線源弱係数	0.317	0.311	0.578
圧縮強度 [MPa]	52 – 58	18 – 150	-
熱伝導率 [W/m・K]	0.3-0.5	1	403
G(H <sub>2</sub> )値 10 <sup>-7</sup>	0.117	0.830	-
凝結時間 [h]	<8	>5.5	-

ジオポリマー固化体と結合構造



# ジオポリマーの流動性評価

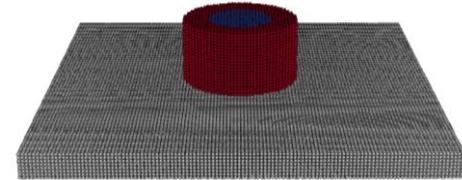
-温度調節によるジオポリマー流動・固化特性制御-

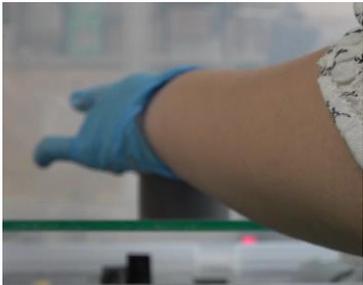
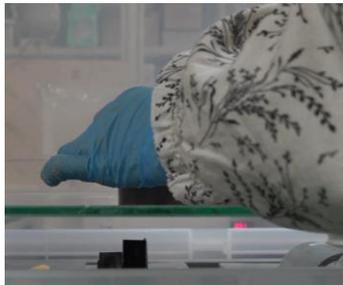
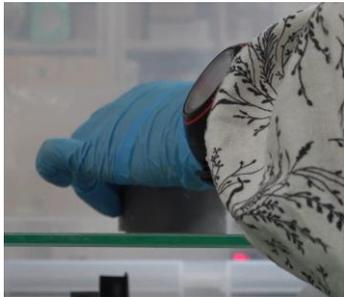
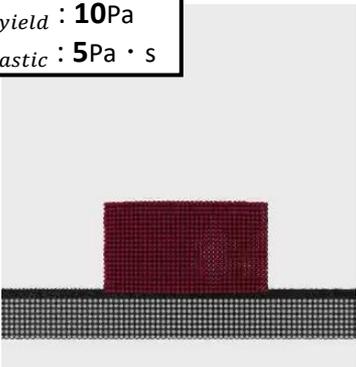
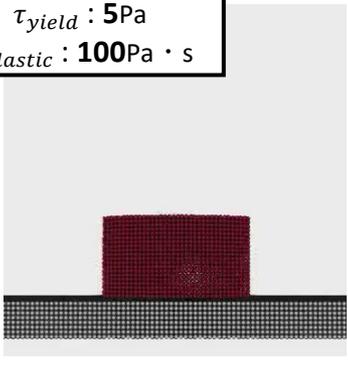
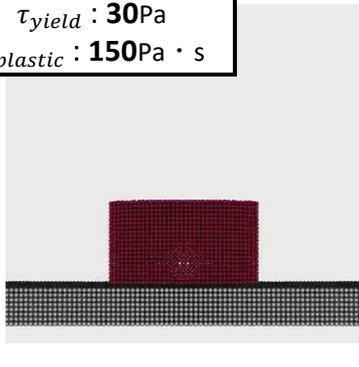


- 室温(22.8℃)・100%rh養生、砂なし
- ▲ 室温(22.8℃)・100%rh養生、砂20%
- ◆ 40℃・100%rh養生、砂なし
- ▲ 40℃・100%rh養生、砂20%
- 60℃・100%rh養生、砂20%
- ◆ 60℃・100%rh養生、砂なし
- 80℃・100%rh養生、砂なし
- ▲ 80℃・100%rh養生、砂20%

# ジオポリマーの流動(スランプフロー)試験再現

粘性が異なるジオポリマーの流動を、粒子法(流体解析手法)で再現 → 実機シミュレーションへ

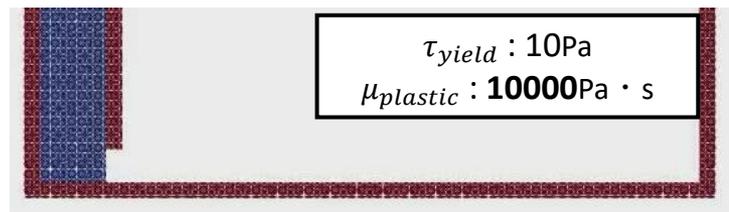
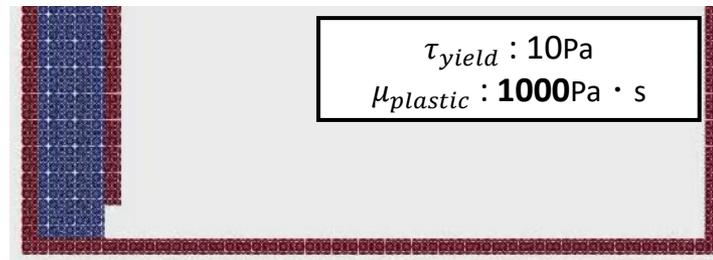
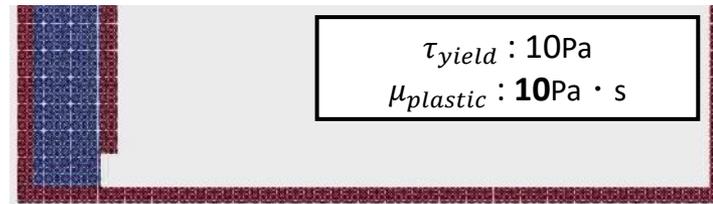
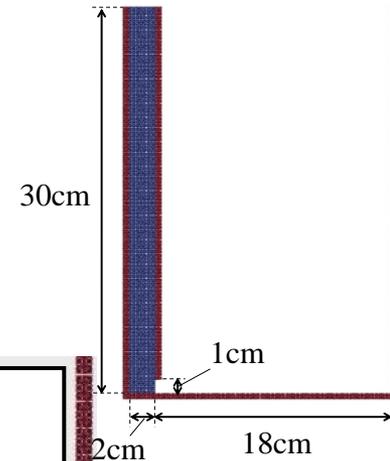


GP条件	ブランク	珪砂50wt%添加	養生8時間後
実験	 3分後フロー値 21.3cm, 厚み 2.5mm	 3分後フロー値 15.9cm, 厚み 3mm	 3分後フロー値 15.9cm, 厚み 3mm
計算再現	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-bottom: 5px;"> <math>\tau_{yield} : 10\text{Pa}</math>  <math>\mu_{plastic} : 5\text{Pa} \cdot \text{s}</math> </div>  30秒後フロー値 16.2cm, 厚み 4.7mm	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-bottom: 5px;"> <math>\tau_{yield} : 5\text{Pa}</math>  <math>\mu_{plastic} : 100\text{Pa} \cdot \text{s}</math> </div>  30秒後フロー値 15.2cm, 厚み 5.1mm	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-bottom: 5px;"> <math>\tau_{yield} : 30\text{Pa}</math>  <math>\mu_{plastic} : 150\text{Pa} \cdot \text{s}</math> </div>  30秒後フロー値 15.2cm, 厚み 5.1mm

# ジオポリマーによる止水効果の確認

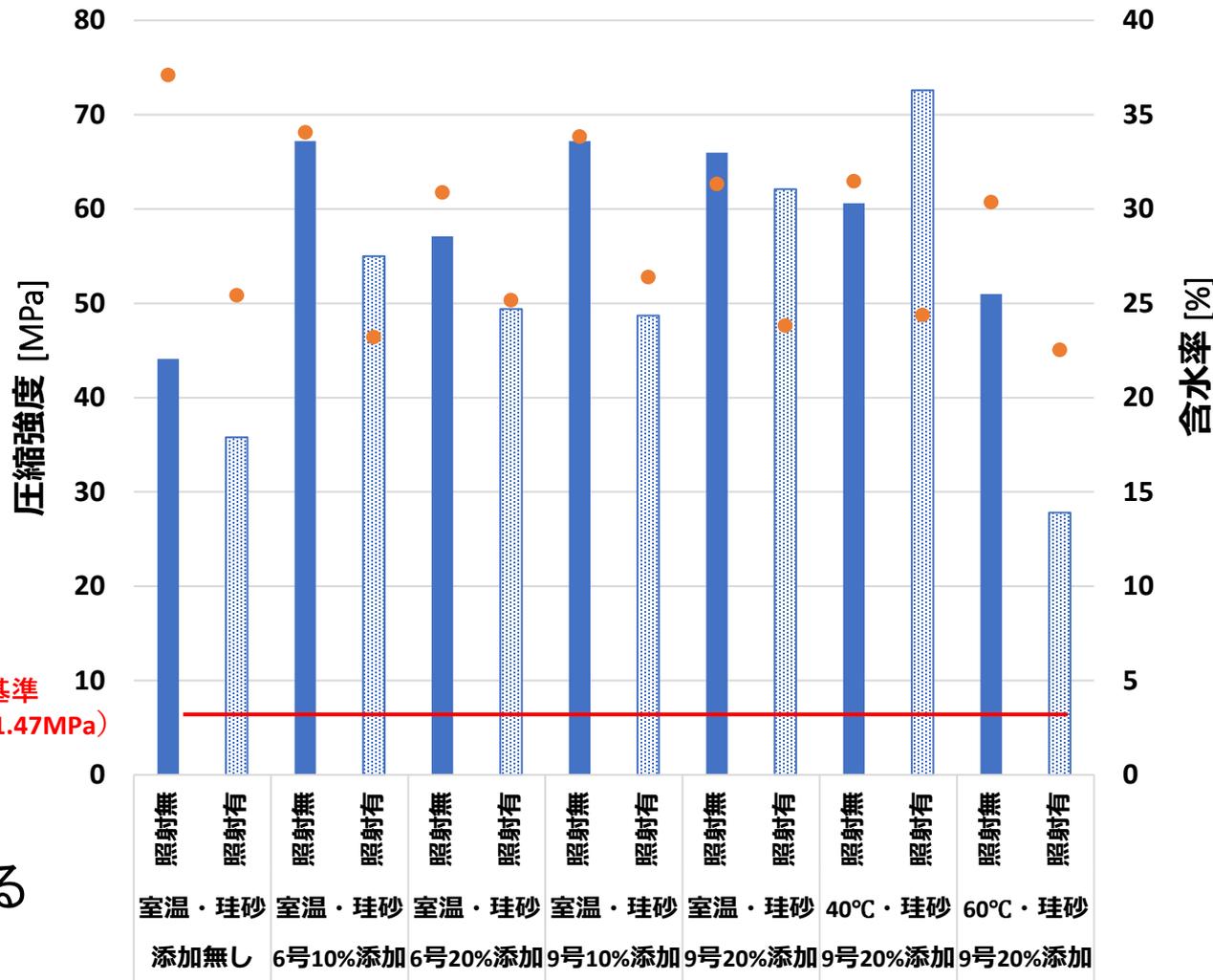
## —閉塞試験再現—

シミュレーションにより、隙間部での流動・止水特性を再現し、実機止水評価解析への活用



# ジオポリマーの強度評価

## 照射の有無による圧縮強度の比較



### ○試験方法・条件

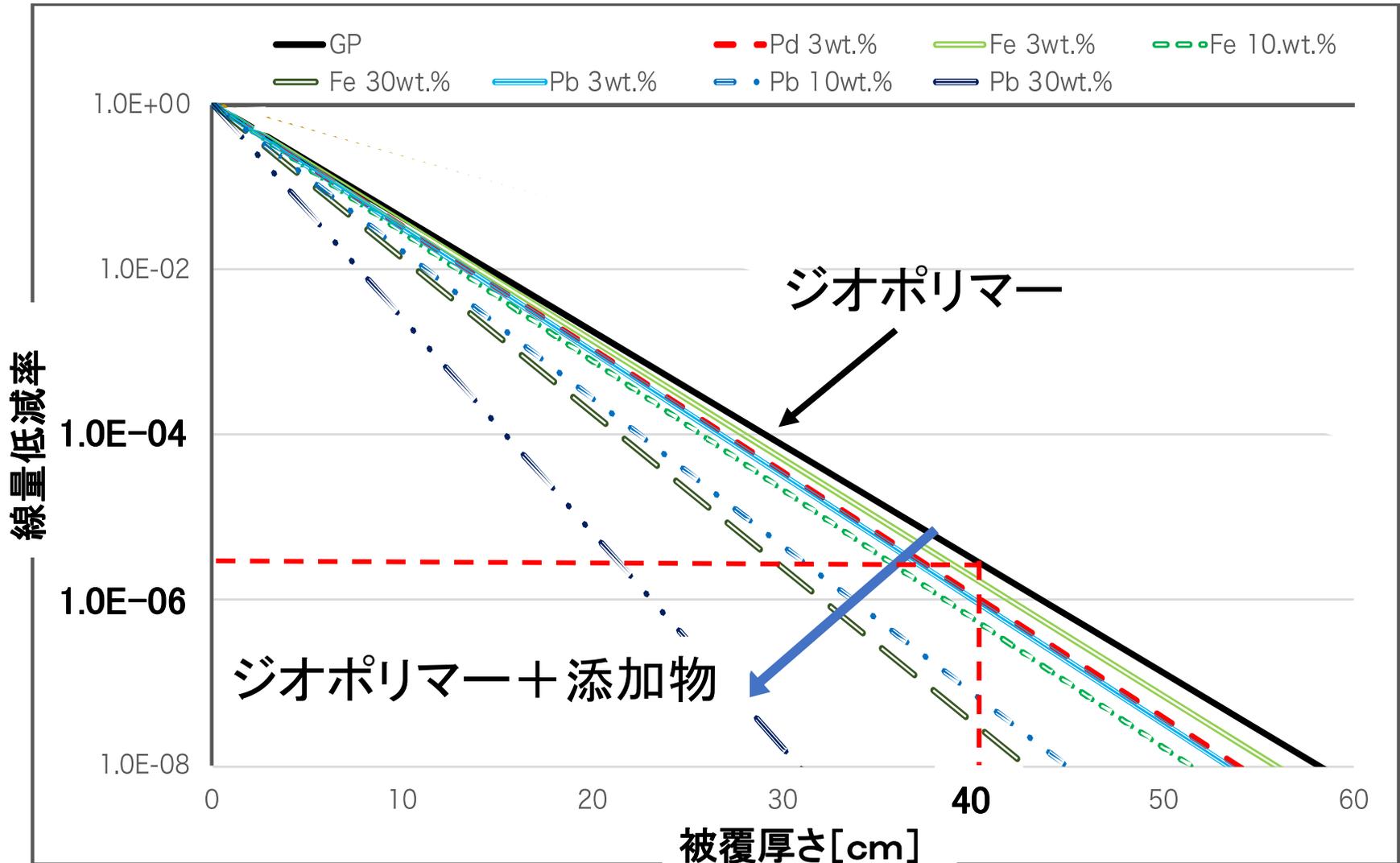
- ・ 圧縮強度で評価
- ・ 珪砂量・養生温度・ガンマ線照射量を変化

### ○試験結果

- ・ いずれも緩衝材強度水準を満足
- ・ 室温養生では珪砂10%添加で圧縮強度向上
- ・ 珪砂粒径の違いによる影響は確認されず
- ・ ジオポリマー内の含水率と圧縮強度には相関がある

# ジオポリマーによる $\gamma$ 線(Cs137)遮蔽

ジオポリマーを40[cm]被覆した場合、線量率が $10^{-5}$ 以下になるため、炉内線量率を10[Sv/h]とすると0.1[mSv/h]以下に低減可能



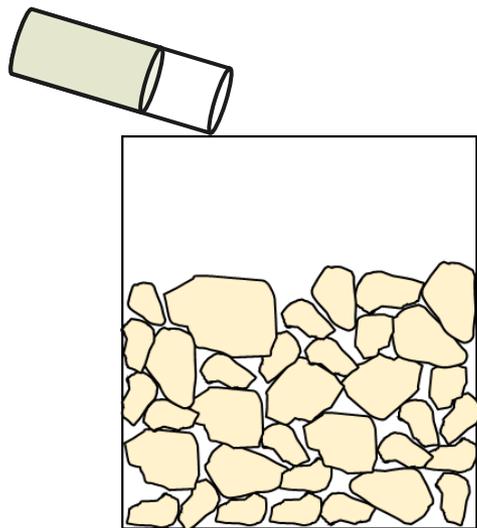
# 中性子ラジオグラフィによるジオポリマー流動試験

JAEA（日本原子力研究開発機構）@茨城県東海村  
研究炉JRR-3を使用



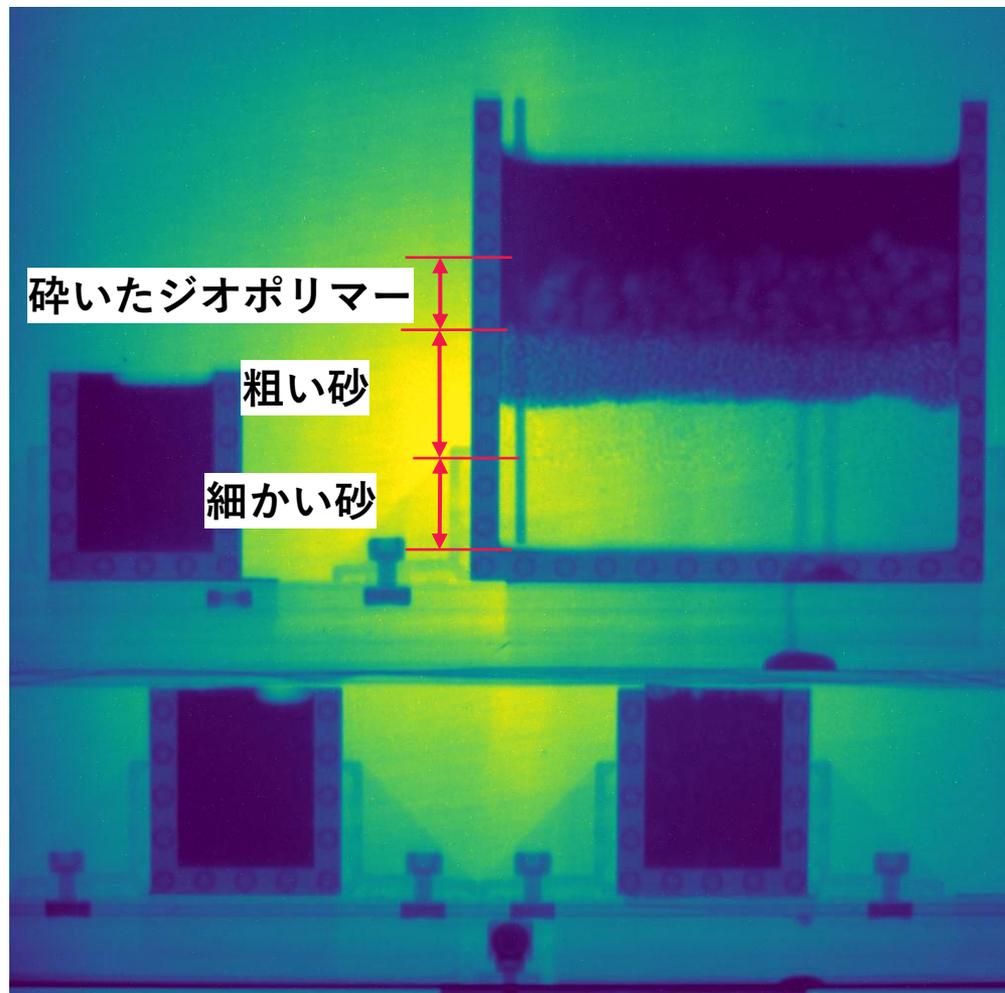
# ジオポリマーの浸透性と中性子遮蔽効果

砕いたジオポリマー、粒径の大きな砂、粒径の小さな砂で層を作り、上部からジオポリマーを流し込み、浸透性を確認



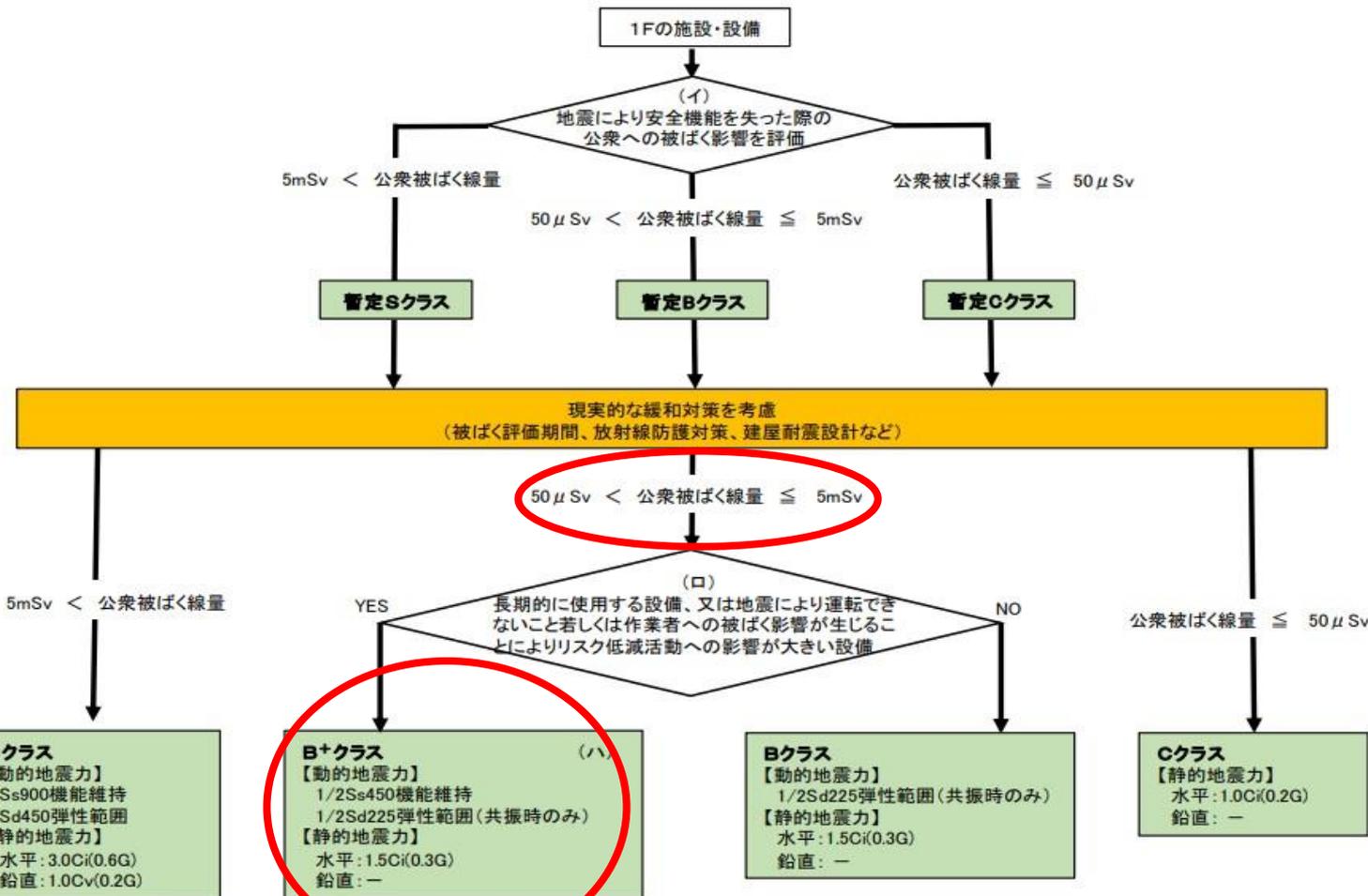
実験の模式図

ジオポリマーの浸透に伴い、  
中性子が透過しにくくなるため、  
黒く映る  
(JAEA JRR3での実験)



# 耐震クラス分類と地震動の適用の考え方(規制庁)

耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ



1-①: インベントリに  
基づく評価

1-②: 現実的な評価

設計の進捗、廃炉活動への影響、供用期間などを考慮した上で、施設・設備に適  
用する地震動及び必要な対策(耐震性の確保や代替策など)を判断 (ニ)~(ト)

2: 施設・設備の特徴  
に応じた評価

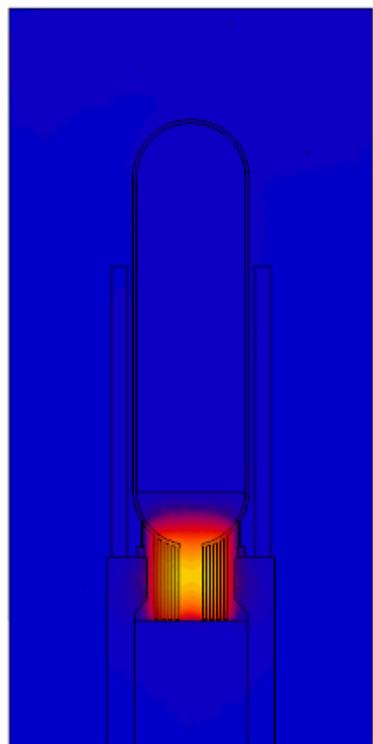
# 充填固化による崩壊熱の閉じ込め

ジオポリマー充填固化により、原子炉底部の燃料デブリ崩壊熱を閉じ込めるとともに、原子炉内温度を低減

2021 – 30% Decay Heat,  $k_{\text{debris}} = 10 \text{ W/m-K}$ ,  $k_{\text{CRDM}} = 10 \text{ W/m-K}$

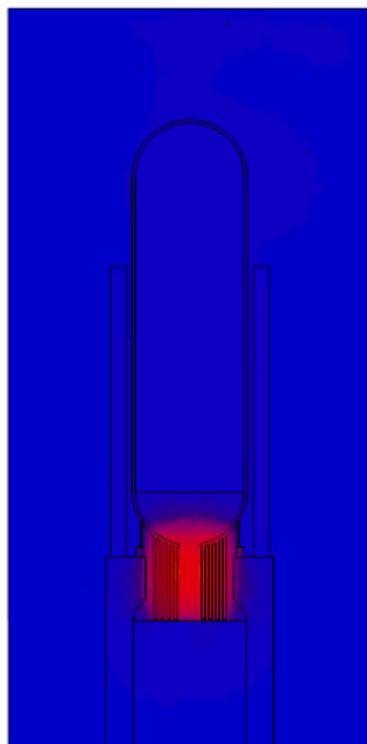
$k_{\text{CM}} = 0.3 \text{ W/m-K}$

Temperature (C)



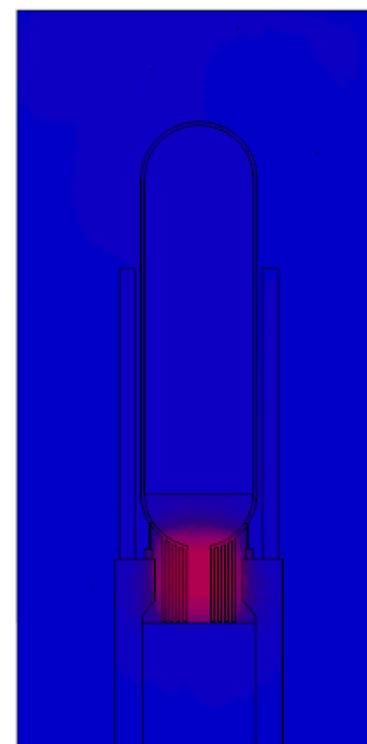
$k_{\text{CM}} = 1.0 \text{ W/m-K}$

Temperature (C)



$k_{\text{CM}} = 2.2 \text{ W/m-K}$

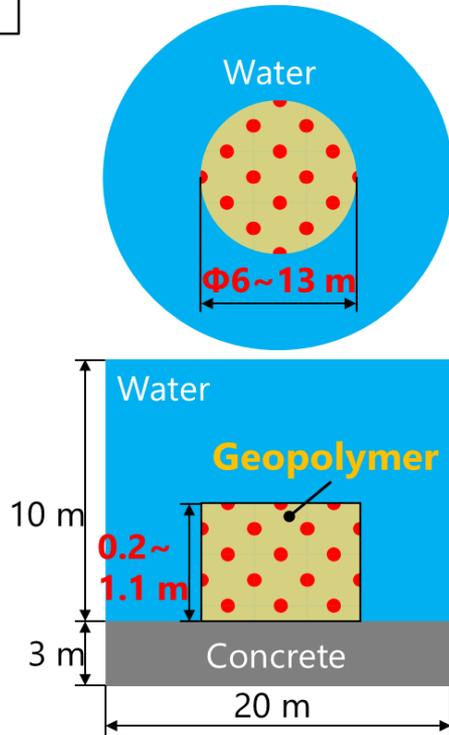
Temperature (C)



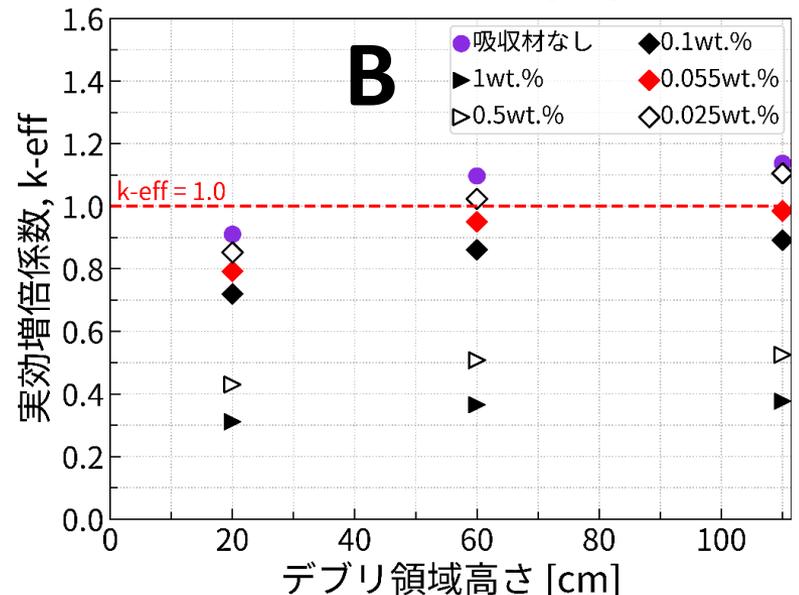
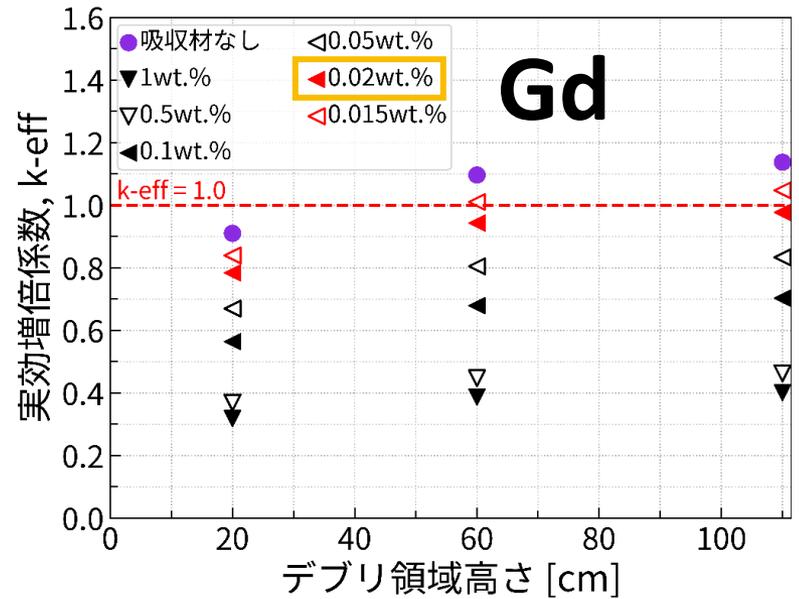
# 臨界評価

保守的なデブリ分布を用いて  
ジオポリマー適用時のk-effを計算

燃焼後燃料条件



- 中性子吸収材の添加により  
( $Gd_2O_3$ : 0.02 wt.%,  $B_4C$ : 0.055 wt.%)  
保守的条件下でも未臨界を維持
- 廃棄物管理を考慮すると $Gd_2O_3$ 添加が有望



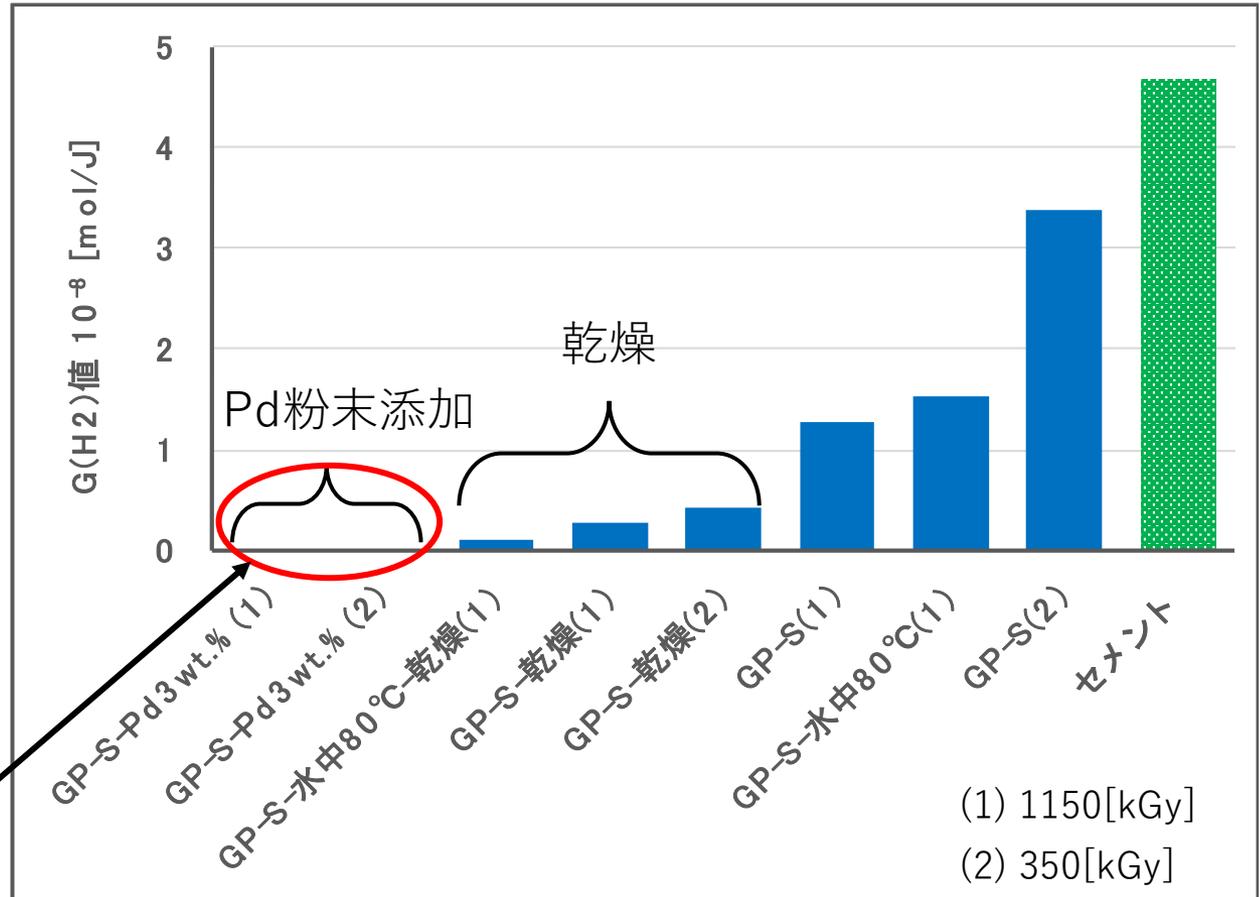
# 水素ガス発生量評価

## ➤ 目的

- GPの水素ガス発生特性の調査
- 水素ガス発生量低減方法の検討

## ➤ 試験

- ガラスサンプルにGPを入れ、照射後のガスを採取
- G(H<sub>2</sub>)値として評価



検出限界値(0.01%)

→ 3.72 × 10<sup>-11</sup>[mol/J]

- セメント\*に比べて水素ガス発生量が少ない
- Pd添加、乾燥が水素ガス発生低減に有効

\* 高橋賢臣, 藤田智成, “水素ガス発生に及ぼすセメント 水和物試料中における水分の存在状態の影響,” 電力中央研究所, 2013.

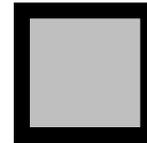
# 安定化処理後、 取り出し・保管(東大案)

## 基本概念

- ・時間をかけずにリスク源をPCVから取り除く
- ・その後、廃棄体としての調査を行い、処分する

### RPV内取り出し

- ・ジオポリマーにより安定化
- ・ワイヤーソー等で大型切断
- ・大型キャスクに収納・移送

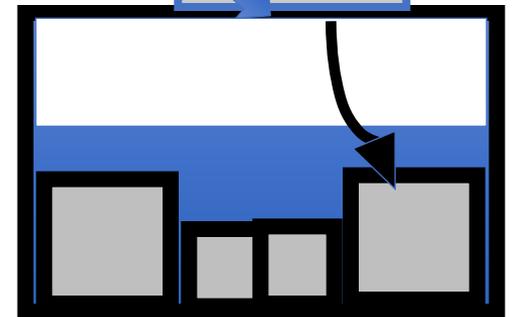


### PCV内取り出し

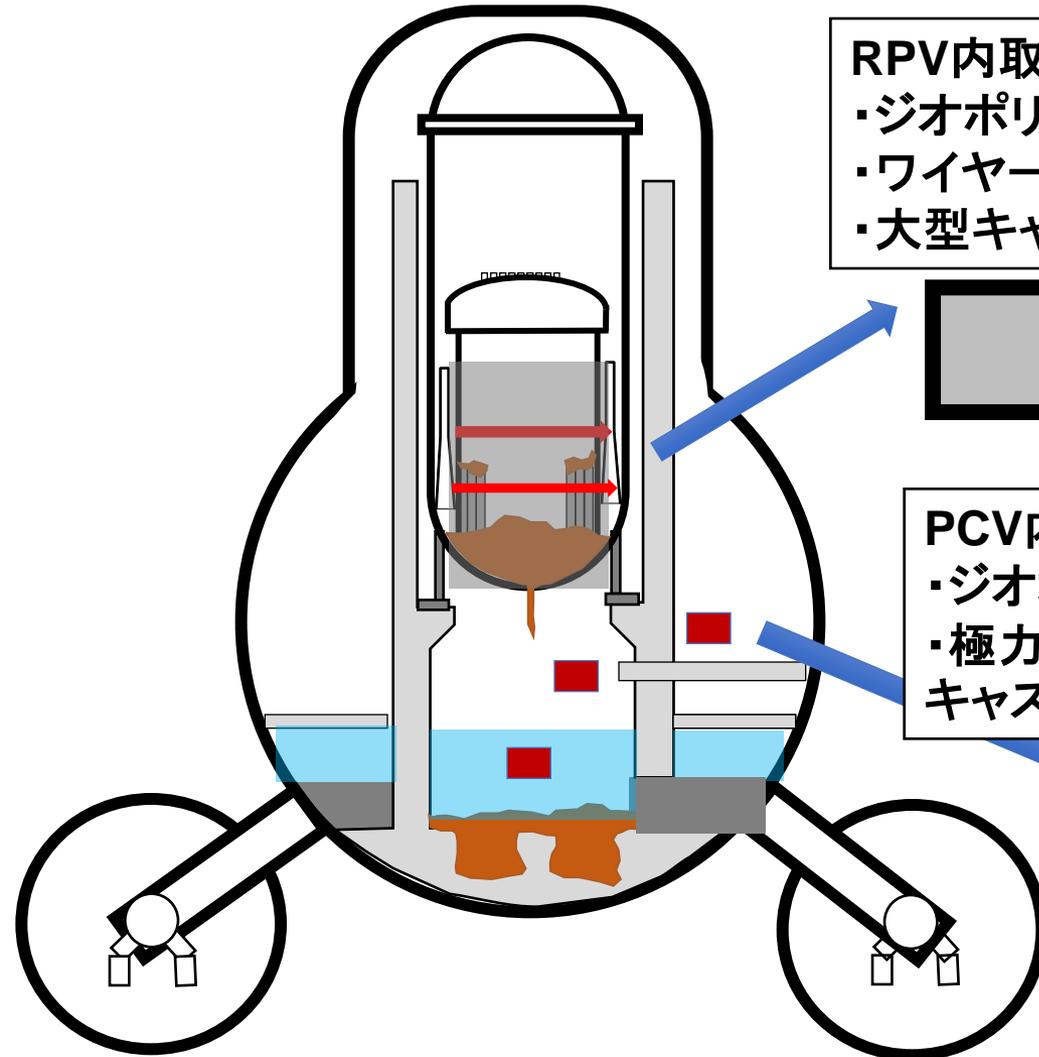
- ・ジオポリマーにより安定化
- ・極力大きく切り出し、中型キャスクに収納・移送



廃棄体  
調査装置  
切断装置  
収納・保管Sy



建屋外保管  
施設にて保管



# 取り出し・保管

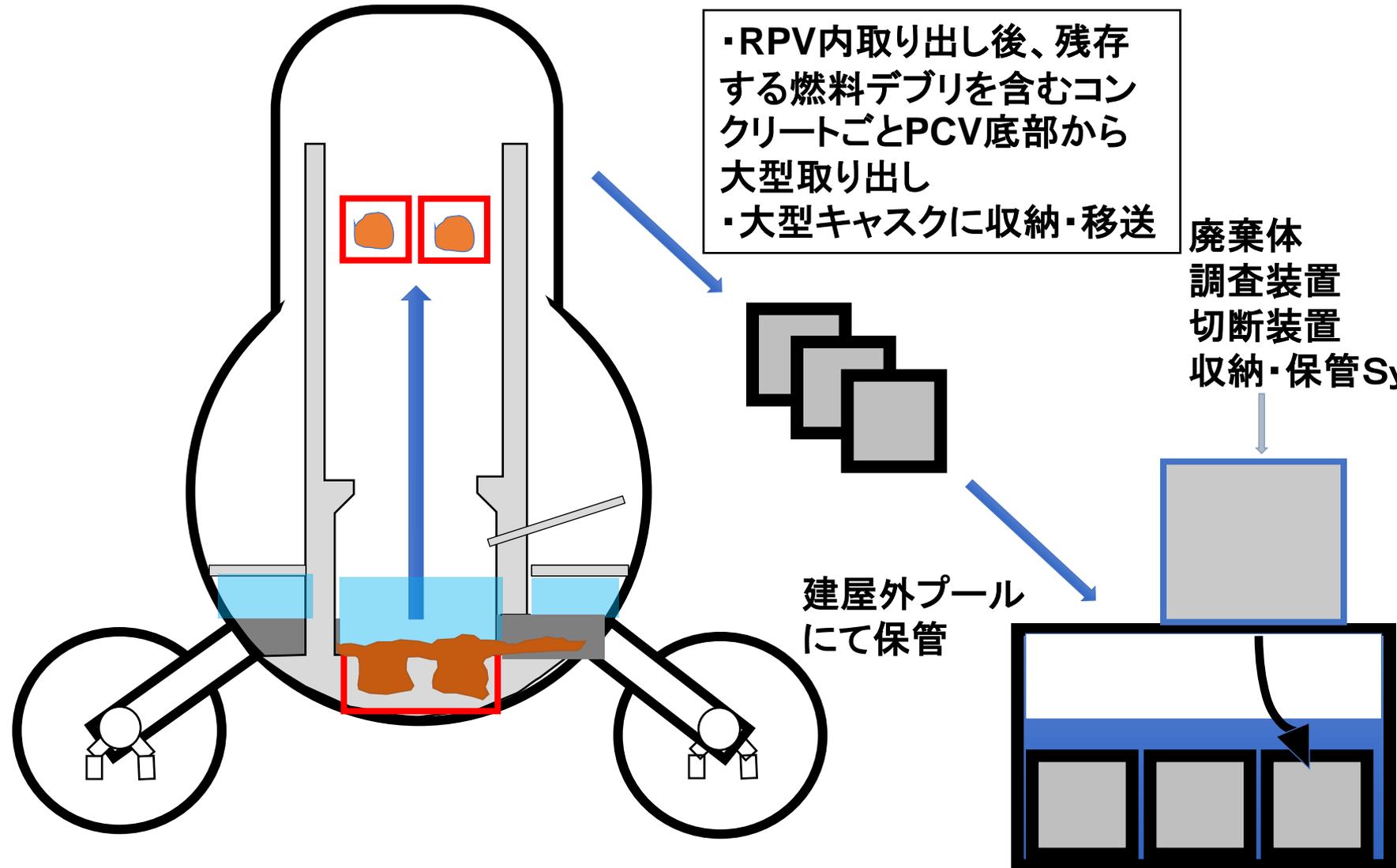
## 基本概念

- ・時間をかけずにリスク源をPCVから取り除く
- ・その後、廃棄体としての調査を行い、処分する

- ・RPV内取り出し後、残存する燃料デブリを含むコンクリートごとPCV底部から大型取り出し
- ・大型キャスクに収納・移送

廃棄体  
調査装置  
切断装置  
収納・保管Sy

建屋外プール  
にて保管



# 既存手法との比較

	RPV内および原子炉建屋内での作業					移送中	保管用建屋内での作業	
既存手法の工程	燃料デブリの取り出し	燃料デブリをユニット缶へ収納	ユニット缶を乾燥処理	ユニット缶を収納缶へ収納	収納缶を移送容器へ収納	移送容器/遮蔽容器を移送	収納缶取り出し、燃料デブリの保管/調査	
既存手法の課題	・多大な時間を要する	・裁断作業の難易度が高い	・RPV内での水素発生への懸念	・形態維持の難しさ、臨界管理の難しさ	・機密機構、遮蔽機構の成立性			
GPを用いた大規模取り出し工法	ジオポリマーを用いた燃料デブリおよび周辺構造物の一体固化/大規模取り出し					大型構造を大型の移送容器へ収納	大型の移送容器を移送	大型構造物を裁断、乾燥、収納缶へ収納

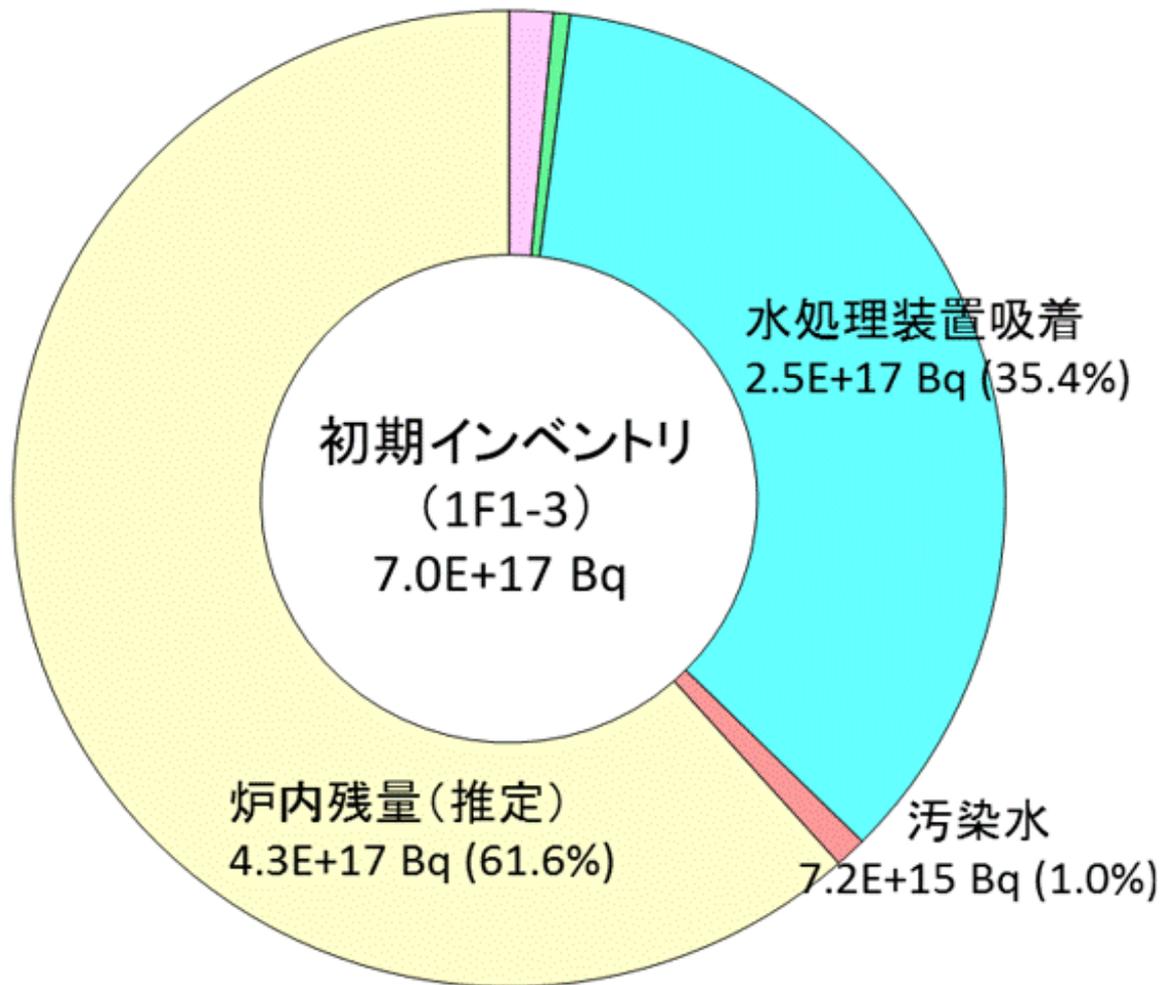
## 基本概念：状況に応じて工法を選択する

- ・極力大規模に取り出し、大型容器に収納保管
- ・大規模に取り出せない場合には、掘削工法や既存遠隔アーム工法により取り出した後、収納保管

# 取り出し方法(案)

# Cs-137放出量

大気放出  $1.0\text{E}+16$  Bq (1.4%) 海洋放出  $3.8\text{E}+15$  Bq (0.5%)



ワイヤーソー等

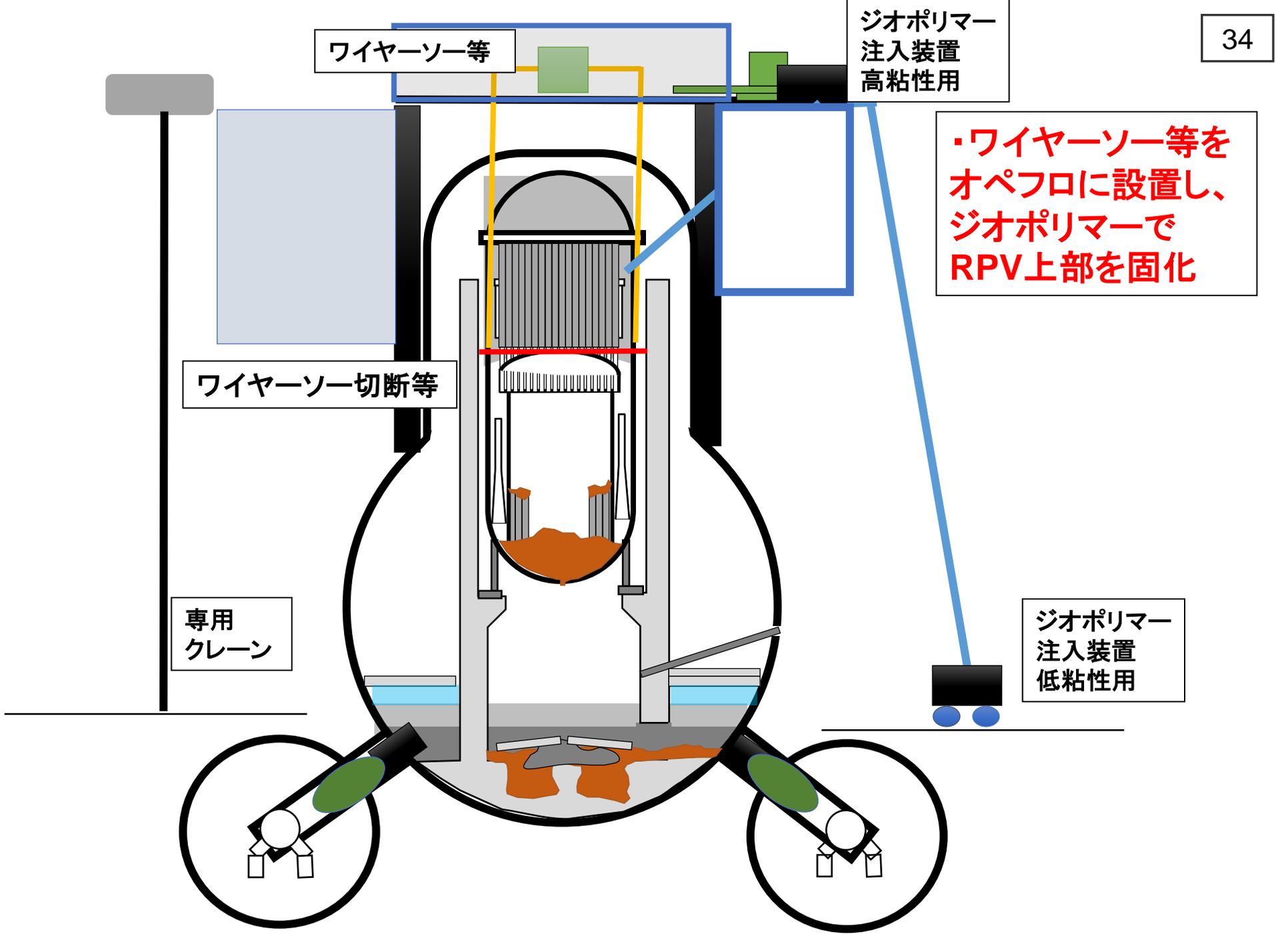
ジオポリマー  
注入装置  
高粘性用

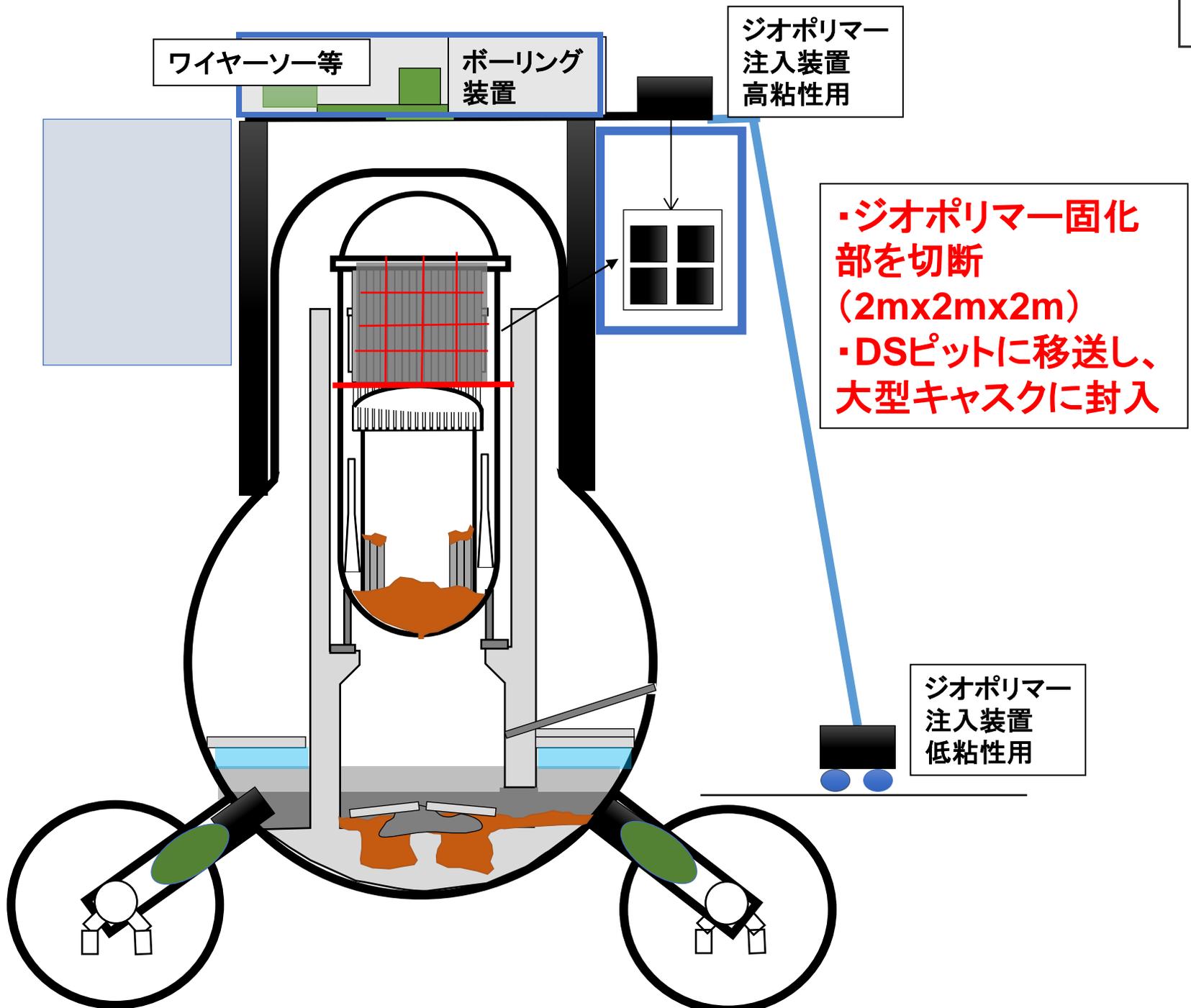
・ワイヤーソー等を  
オペフロに設置し、  
ジオポリマーで  
RPV上部を固化

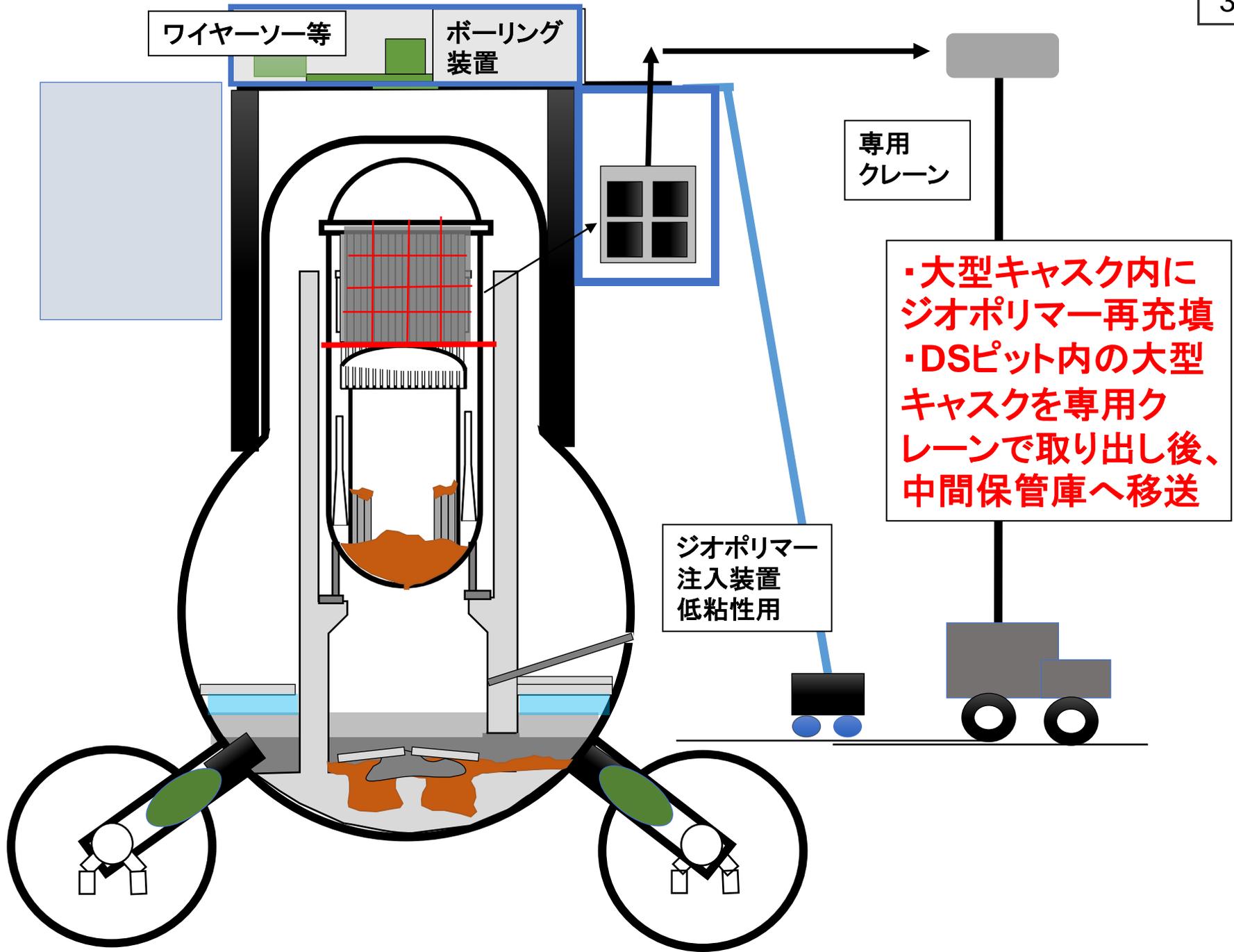
ワイヤーソー切断等

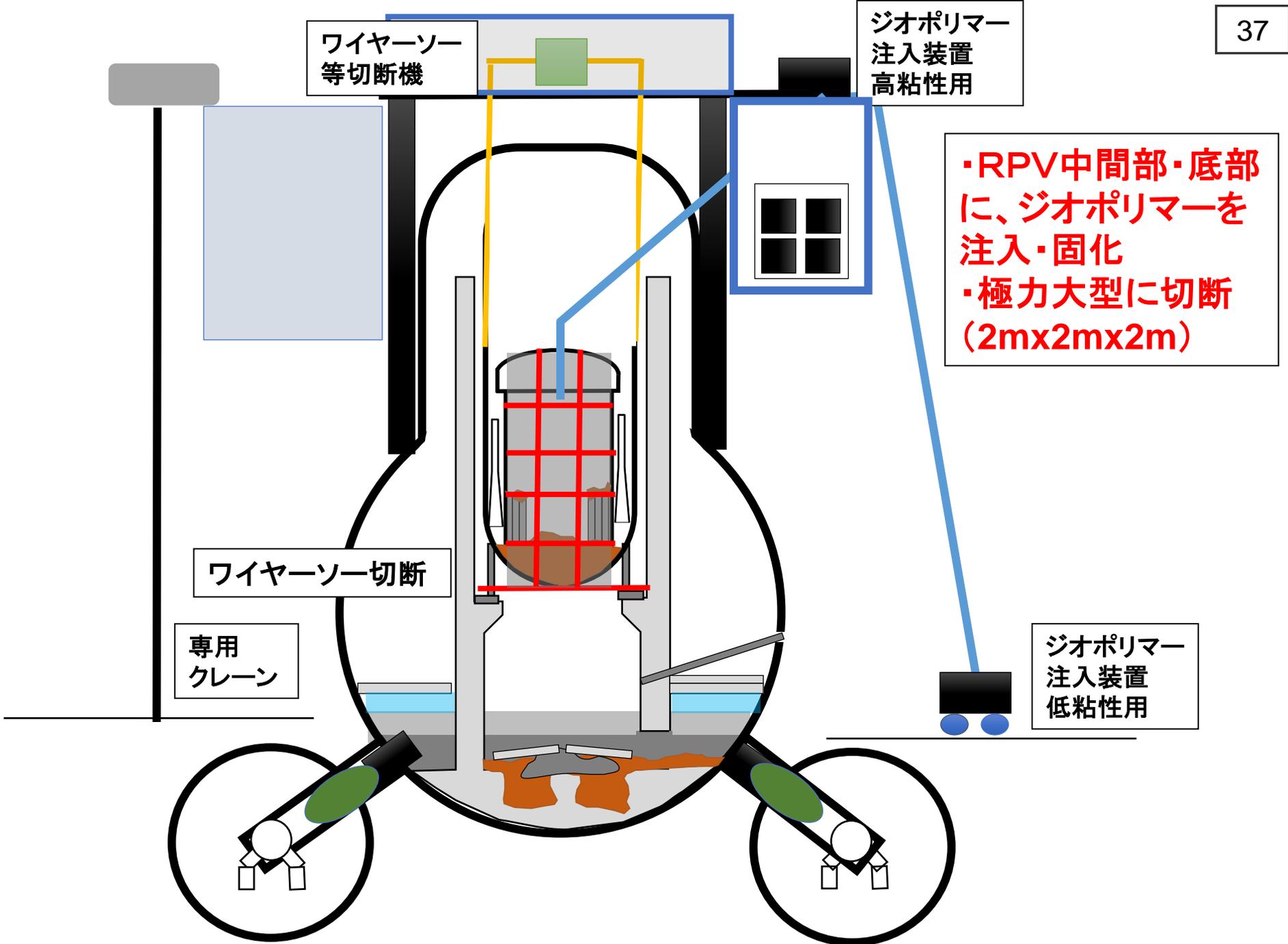
専用  
クレーン

ジオポリマー  
注入装置  
低粘性用

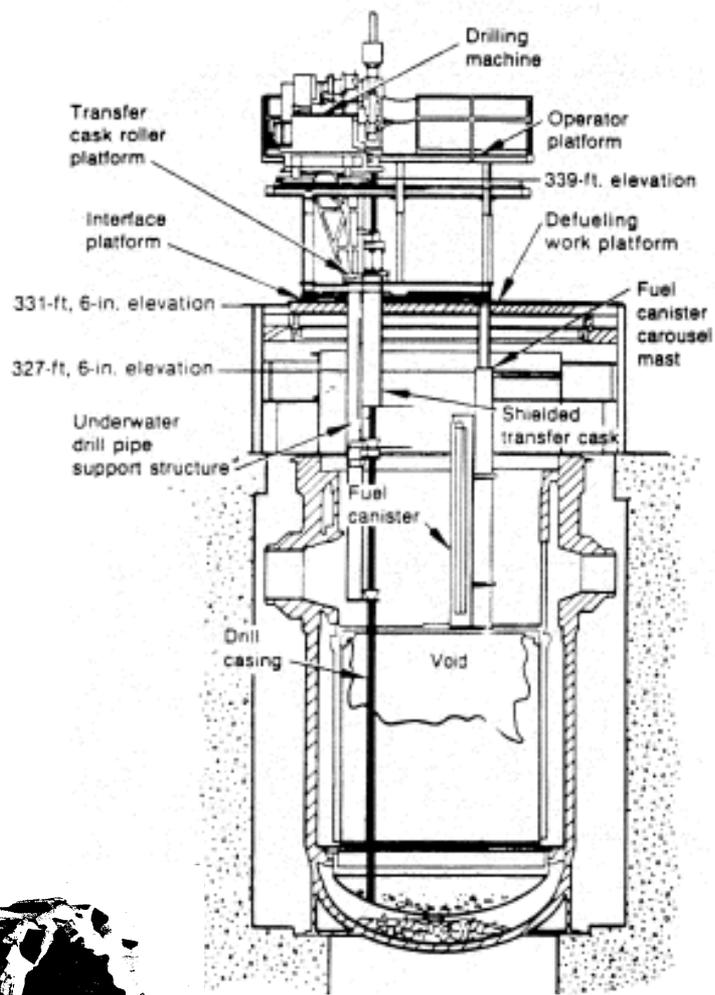
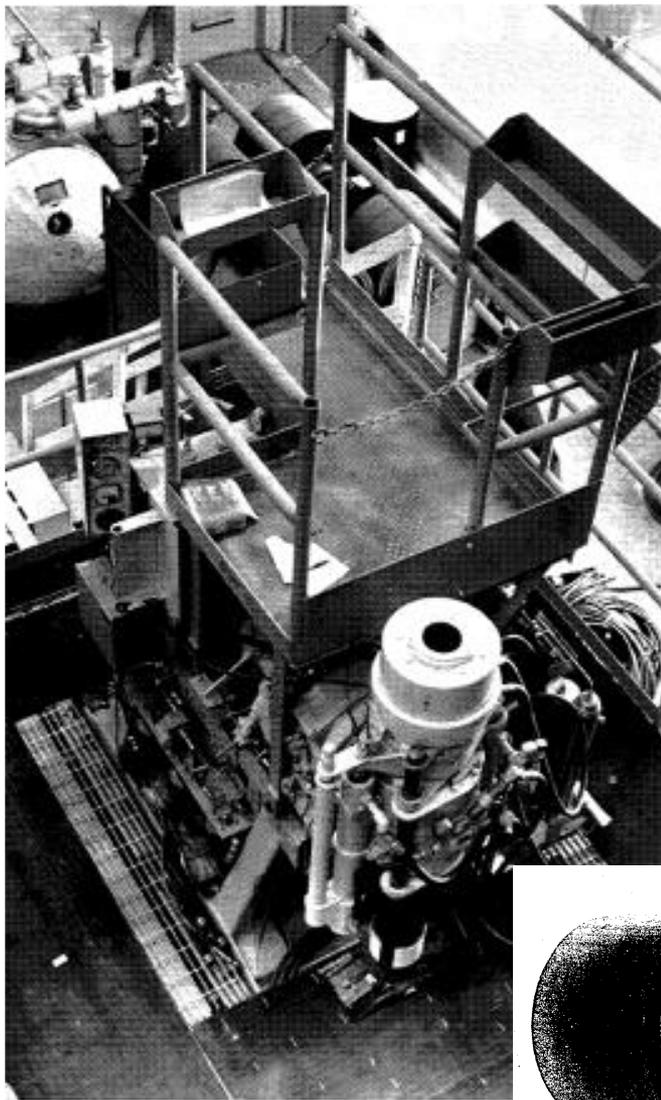




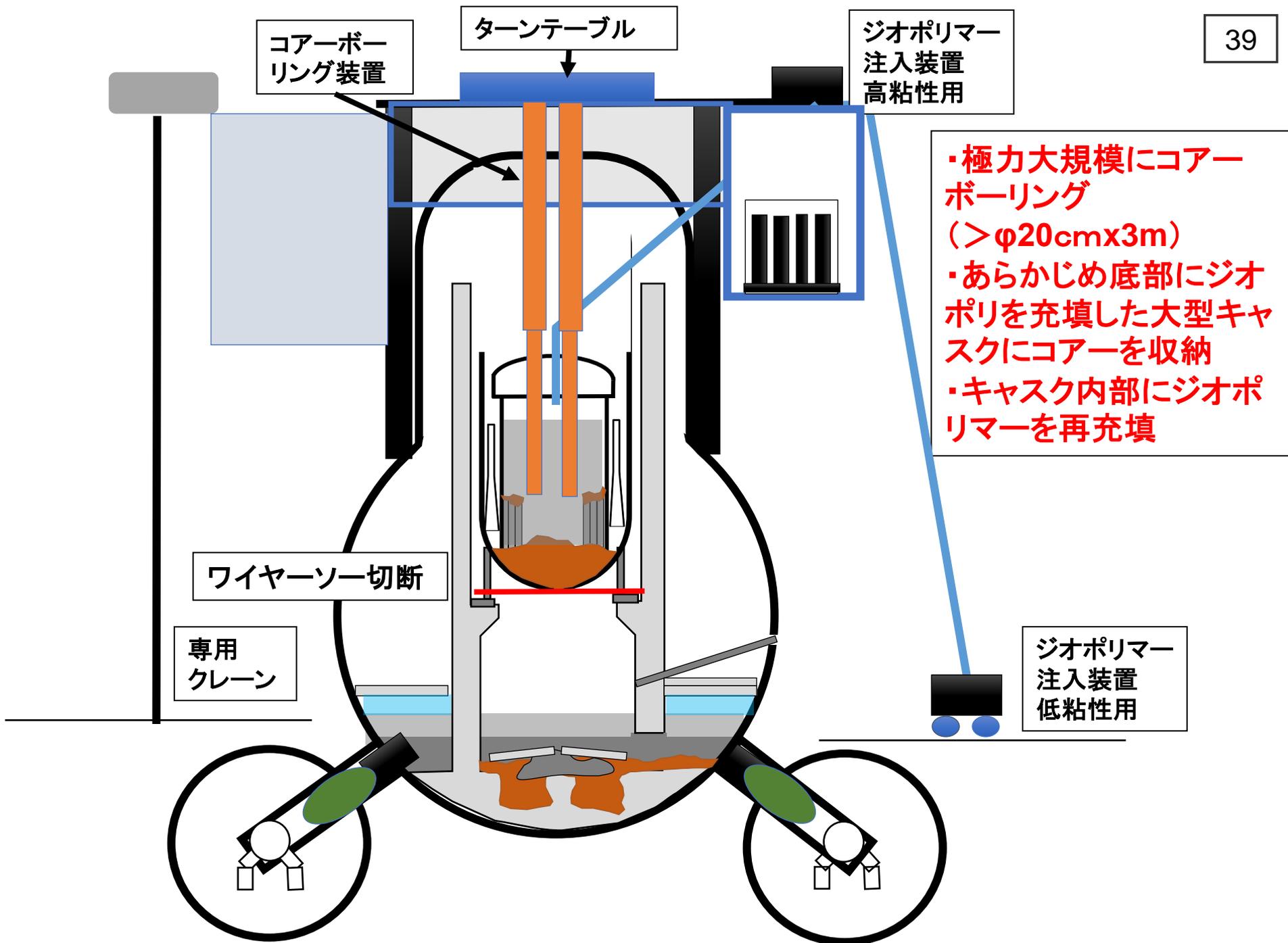


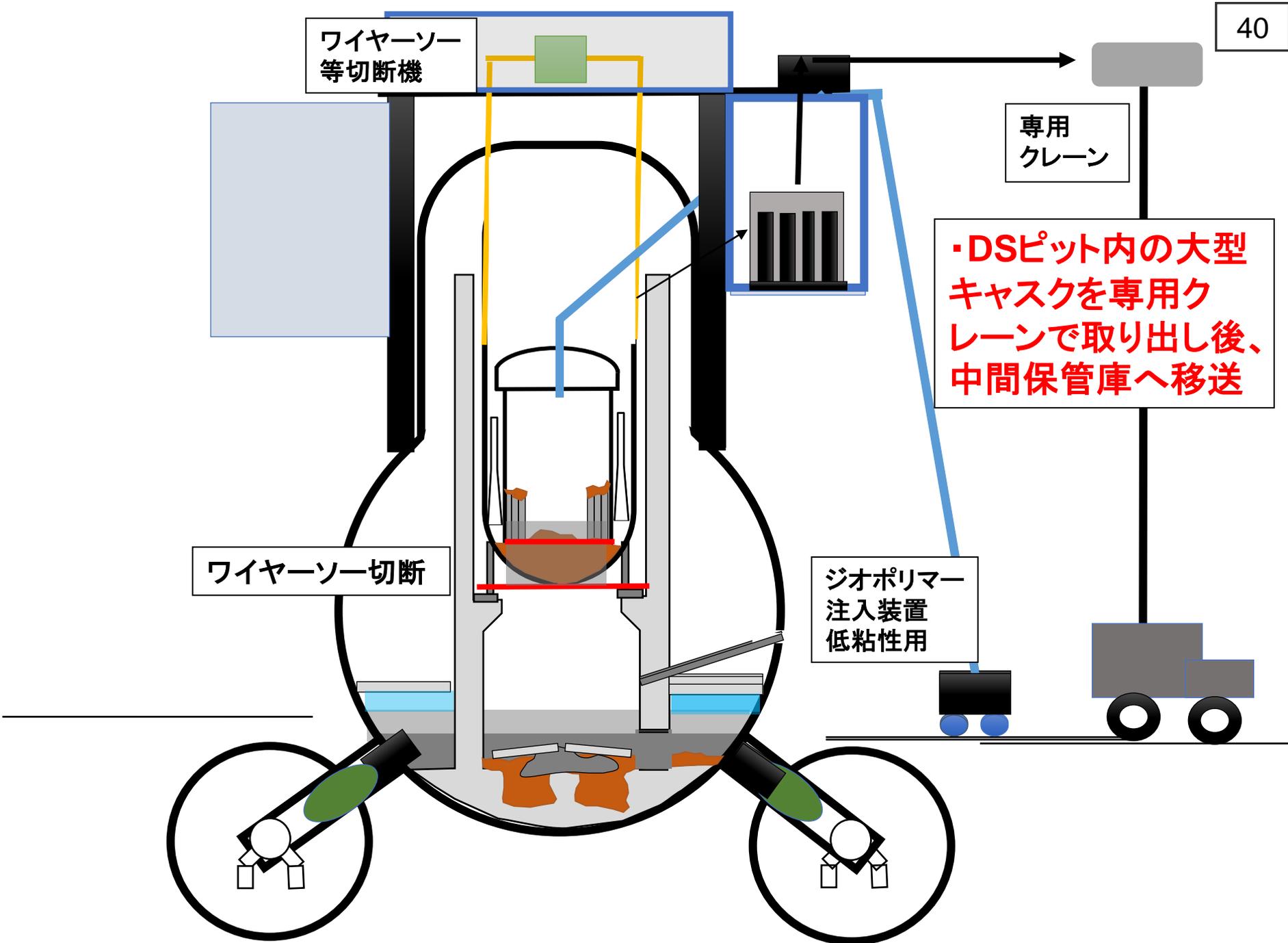


# TMIで実施されたコアボーリング



**Tungsten Carbide Teeth with Synthetic Diamond**





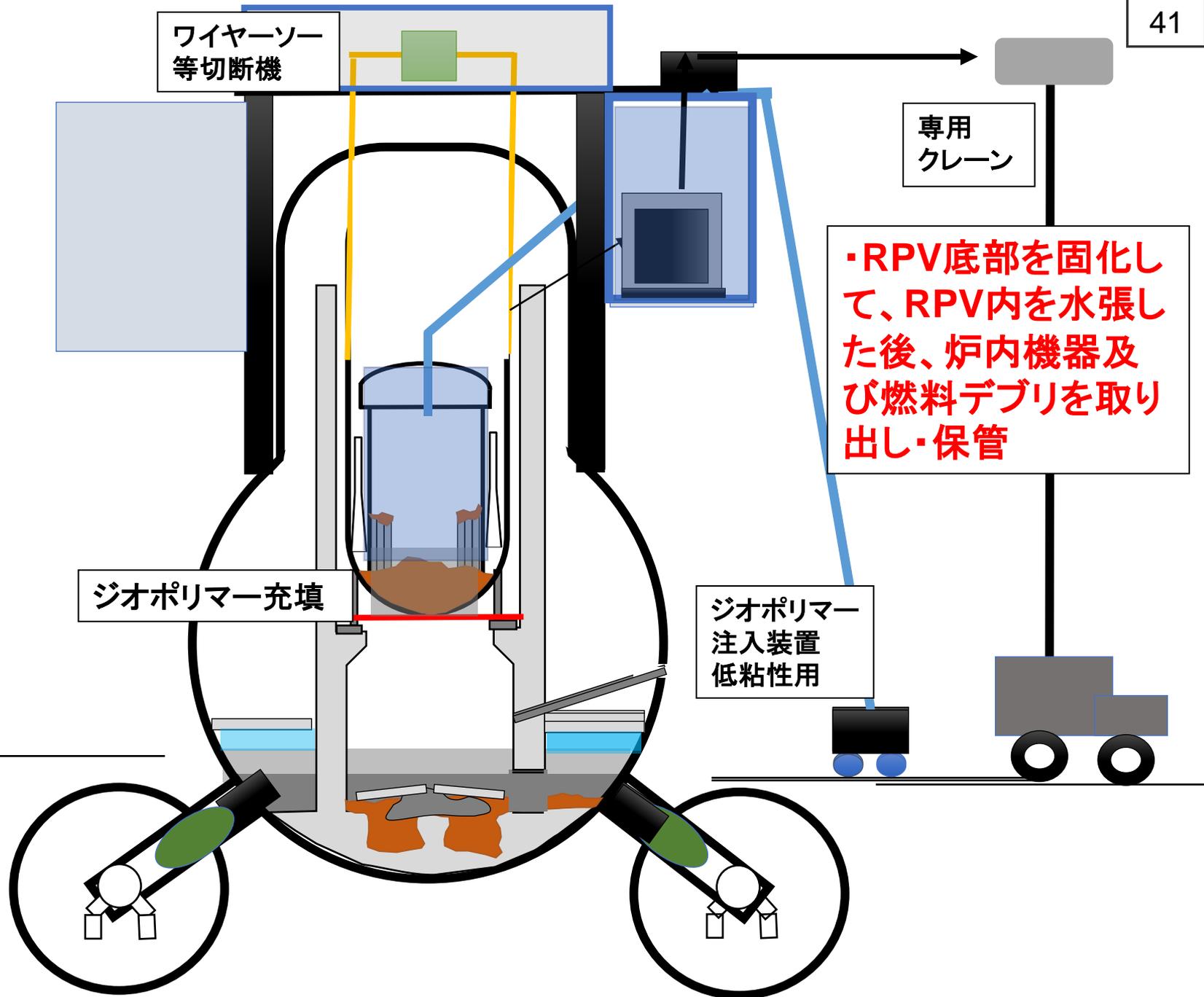
ワイヤーソー  
等切断機

専用  
クレーン

・DSピット内の大型  
キャスクを専用ク  
レーンで取り出し後、  
中間保管庫へ移送

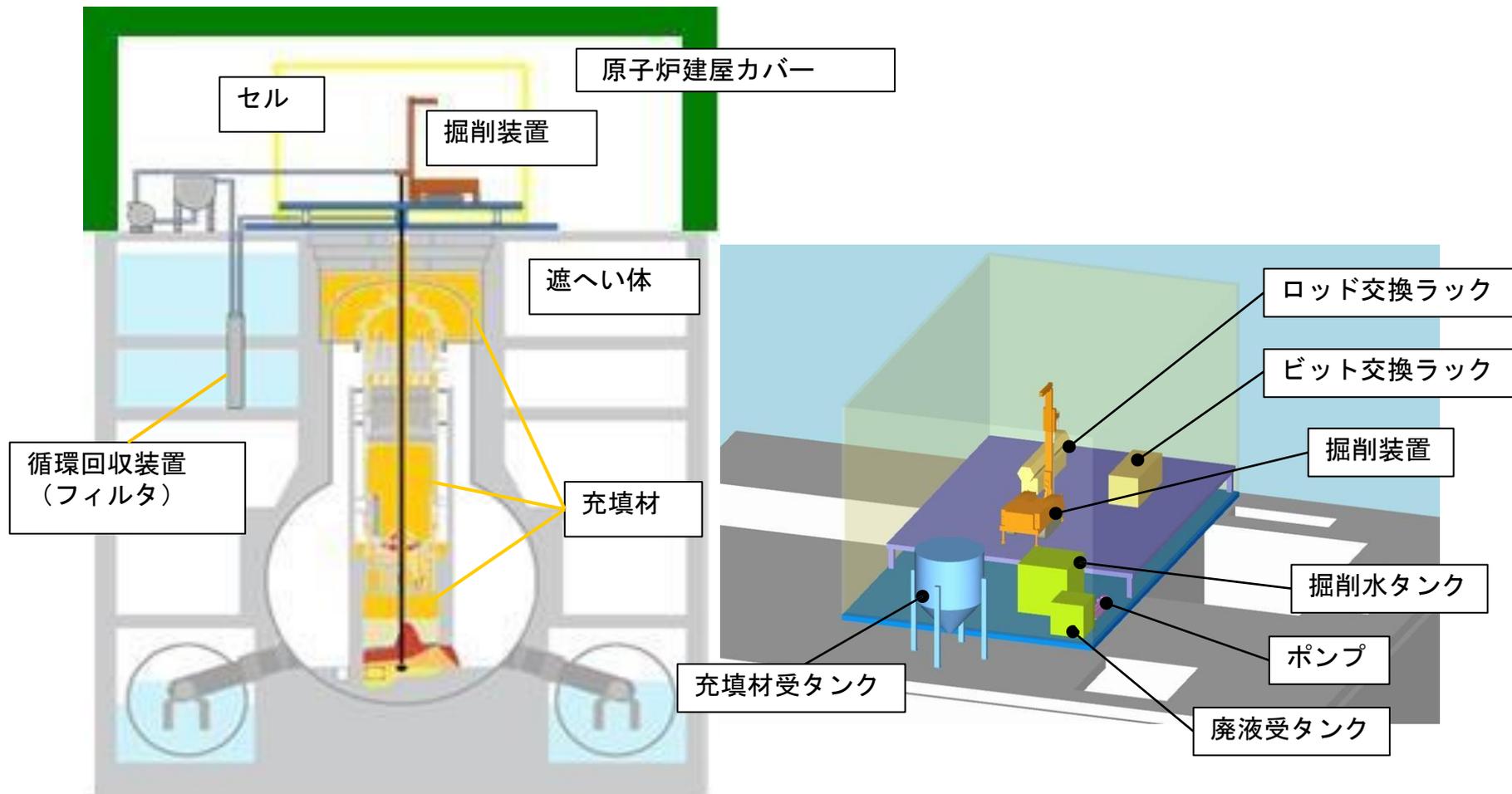
ワイヤーソー切断

ジオポリマー  
注入装置  
低粘性用



# NDF 充填固化工法

充填材により燃料デブリを安定化させつつ現場線量を低減し、掘削装置により燃料デブリを構造物や充填材ごと粉砕・流動化して循環回収する工法

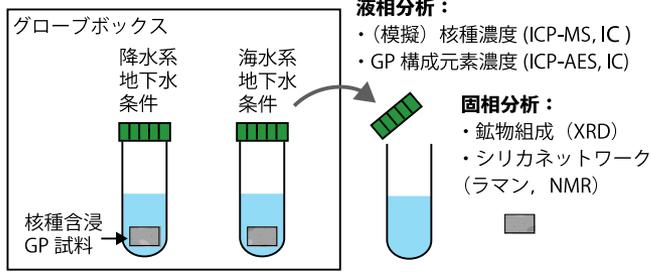


# 廃棄体としての特徴 (長期保管が可能か?)

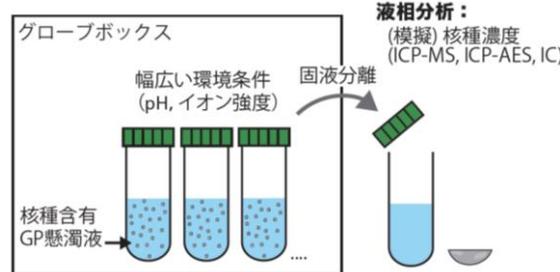
# 廃棄体閉じ込め性能評価

安定化した燃料デブリの直接処分を念頭に、ジオポリマー処理体の廃棄体としての基礎的な閉じ込め性能、特に、浸出バリア、拡散バリア性能を明らかにし、安全評価を用いて廃棄体としての性能を評価。ジオポリマーは通常セメントより低浸出性とバリアー材として有望

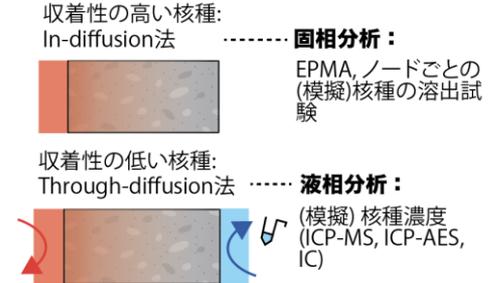
## 浸出



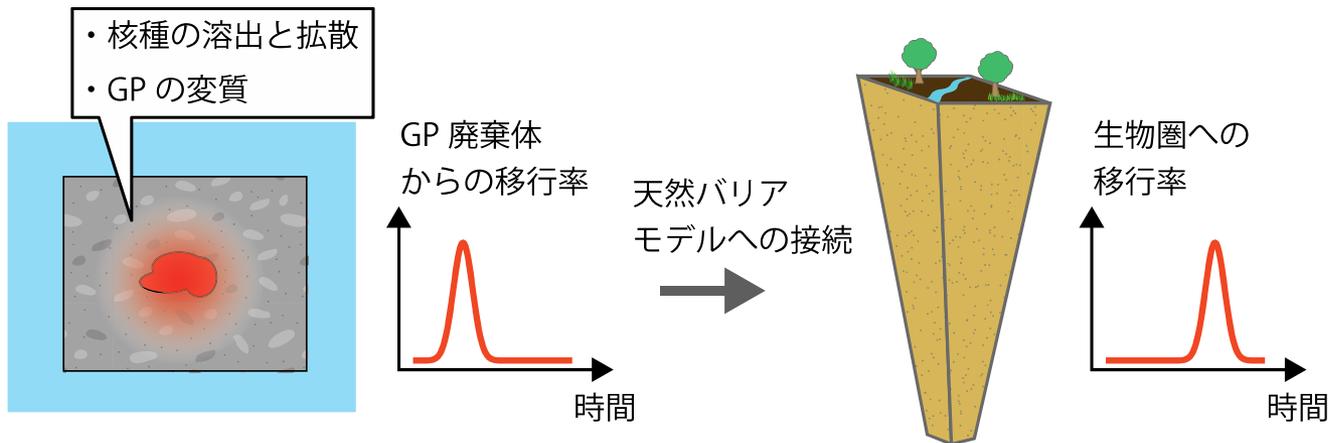
## 収着



## 拡散



## 安全評価



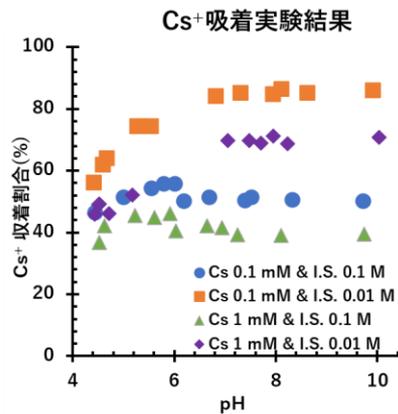
# 廃棄体閉じ込め性能評価

安定化した燃料デブリの直接処分を念頭に、ジオポリマー処理体の廃棄体としての基礎的な閉じ込め性能、特に、浸出バリア、拡散バリア性能を明らかにし、安全評価を用いて廃棄体としての性能を評価する。

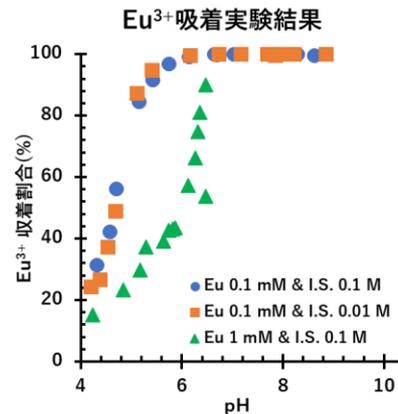
## ① 収着試験

- ジオポリマーへの模擬核種の収着挙動を取得
- イオン交換，表面採択形成に基づく，モデル化を実施

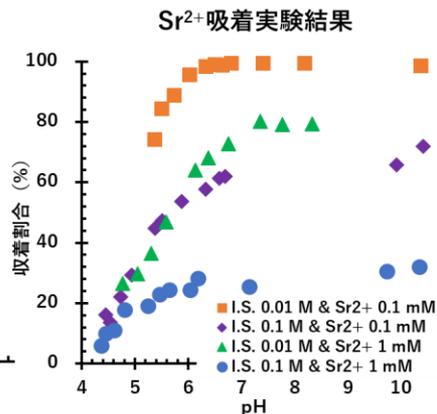
\*投稿論文受理済み



イオン交換



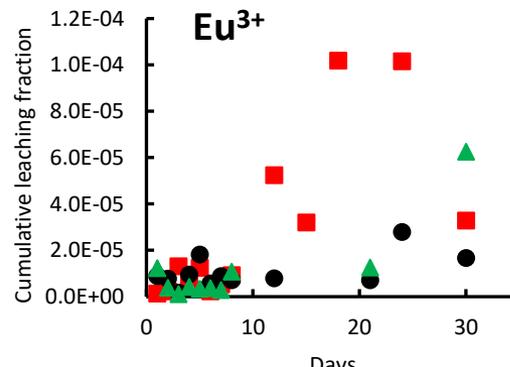
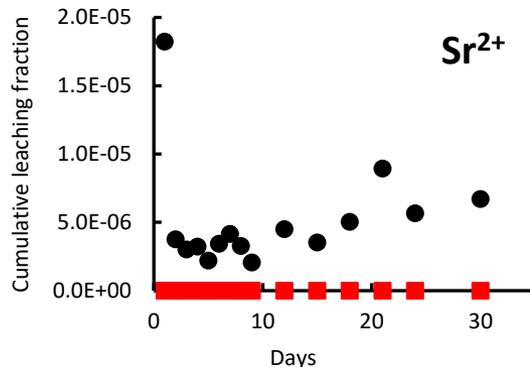
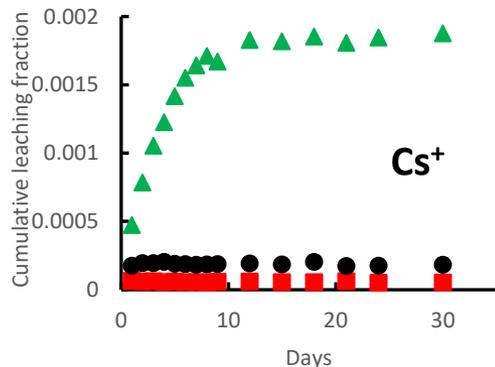
表面錯体形成



イオン交換

表面錯体形成

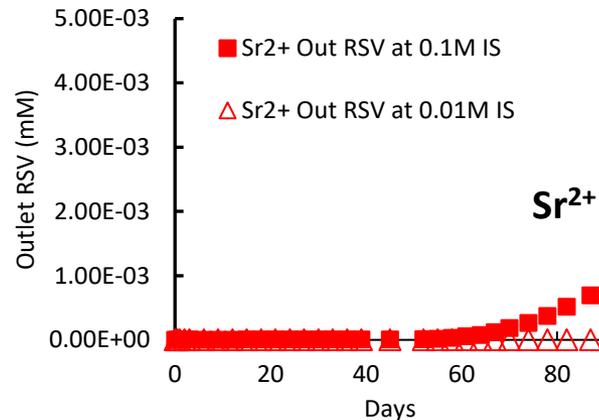
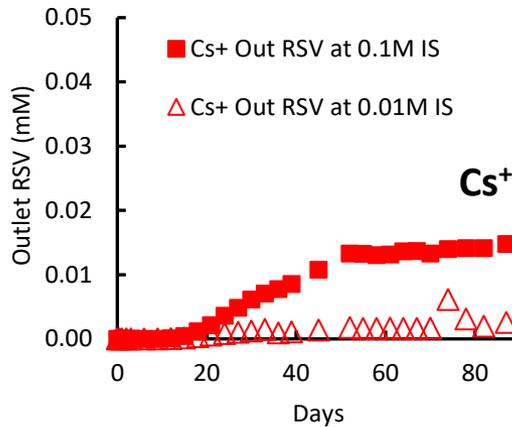
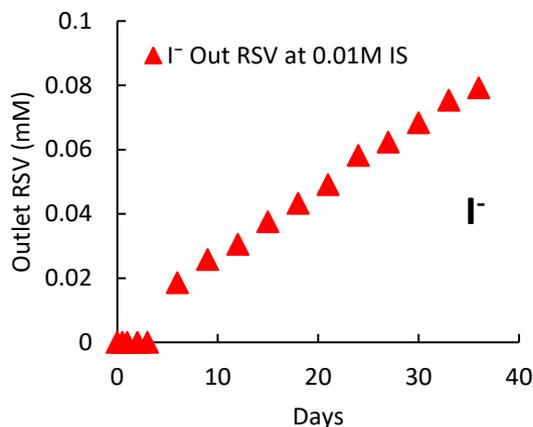
## ② 浸出試験



- 1ヶ月間の浸出試験を実施。Cumulative leaching fraction (CLS): I<sup>-</sup> >> Cs<sup>+</sup> ~ UO<sub>2</sub><sup>2+</sup> > Eu<sup>3+</sup> > Sr<sup>2+</sup>

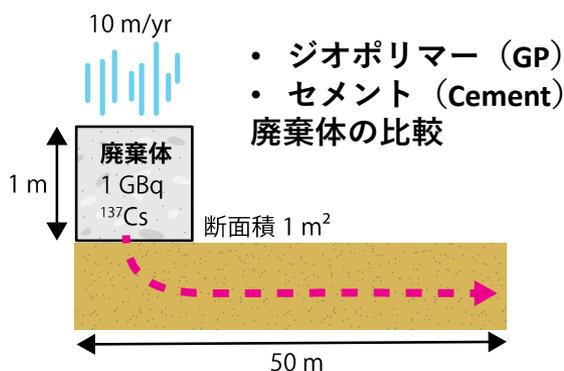
# 廃棄体閉じ込め性能評価

## ③ 拡散試験

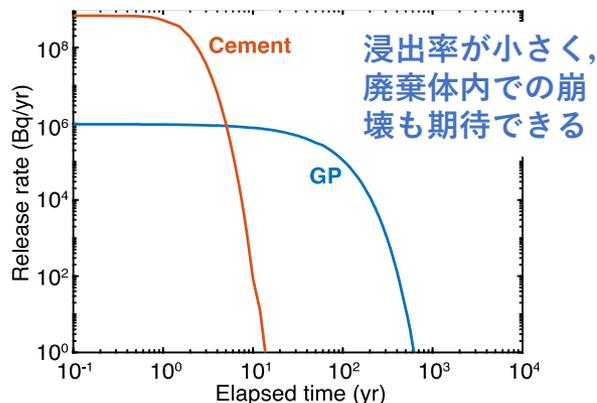


- 長期の拡散試験を実施
- I<sup>-</sup>: 陰イオン排除 (負に帯電した空隙内に侵入できない)
- Cs<sup>+</sup>: 一部のみ破過 → 不可逆的に収着している成分が存在する

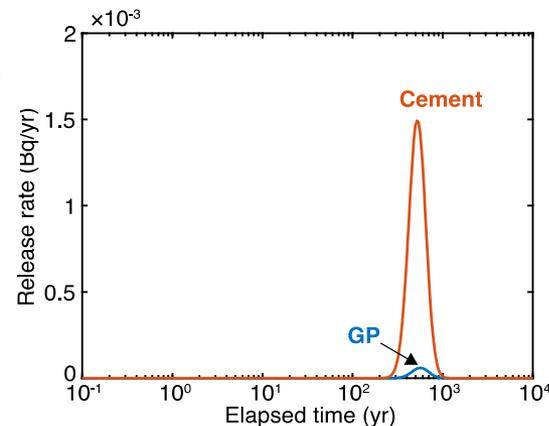
## ④ 予察的な安全評価



廃棄体からの放出率



土壌50m地点での放出率



# ジオポリマーのジオメルトガラス化

- ✓ ジオポリマーは比較的新しい材料であり、地層処分に必要な長期間の性状の安定性、処分システムの健全性をより向上することも重要

## 試験方法・条件

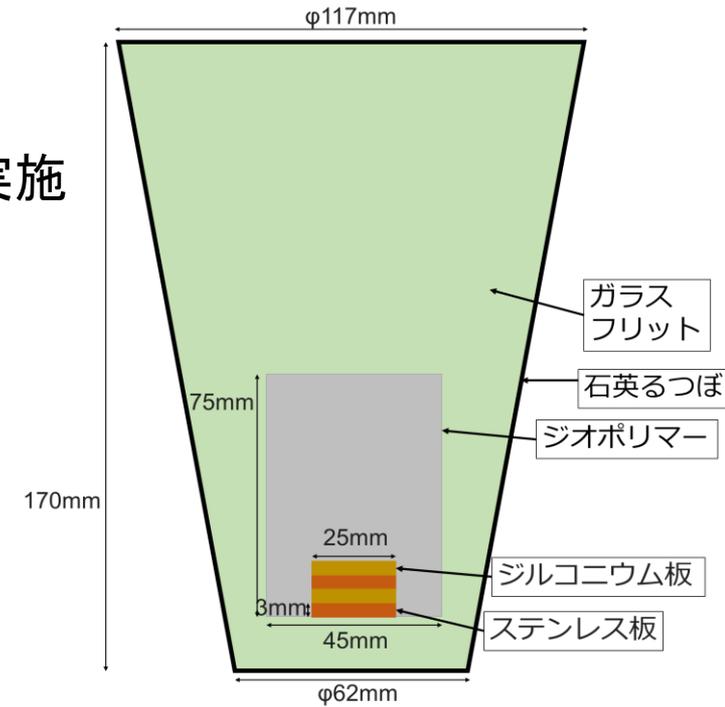
- ✓ 燃料デブリの簡易模擬体としてZrおよびステンレス板をジオポリマーで被覆（寸法：L45mm×W45mm×H40mm）
- ✓ ガラス形成剤をジオポリマー固化体と共にるつぼへ投入し溶融させ、6体のサンプルを用意（溶融温度 1200°C or 1400°C × 珪砂無添加 or 10wt%添加 or 20wt%添加）
- ✓ ガラス固化した試料は半分に切断した後、断面の目視による観察と、XRF・XRD分析を実施

試料昇温中の様子



ジオポリマーとガラスフリットの組成比

	ジオポリマー	ガラス形成剤
SiO <sub>2</sub>	58.2	52.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.0	4.6
Na <sub>2</sub> O	15.8	20.1
CaO		9.7
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6.9
TiO <sub>2</sub>		0.04



# ジオメルトガラス溶融凝固後の結果

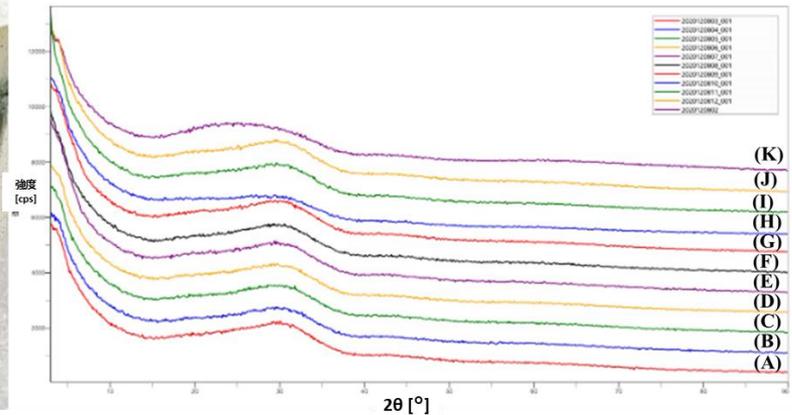
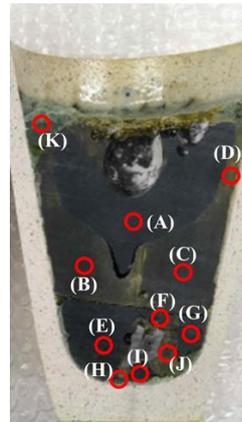
## 結果

- ✓ 目視及びXRDの結果から、ジオポリマー固化体は確認されず溶融してガラス化していた
- ✓ 金属片は一部溶融が見られたものの、底部に閉じ込められていた。

サンプル1-1断面 (1200°C溶融)



サンプル2-1断面 (1400°C溶融)



サンプル1-1 (1200°C溶融) の測定箇所とXRD結果

目視による断面の観察結果

# 充填固化による大規模燃料デブリ 取り出し工法の特徴

## (特徴)燃料デブリ取り出しから廃棄体保管・処分までの一体管理

○より短期間に安全に原子炉格納容器から燃料デブリを取り出し可能

✓ジオポリマーによる高温燃料デブリの閉じ込め並びに周辺構造物の温度低減による作業性向上

✓ジオポリマーの放射線遮蔽による線量低減

✓付着した放射性物質を閉じ込めた状態とし、かつ、切断面が少ないため、取り出し時の放射性物質飛散量は激減

✓大型切断により炉外への取り出し期間の短縮化

○取り出し後の保管、処分等廃棄物管理や計量管理の合理化

(課題)

・小規模取り出しによる事前調査

・燃料デブリ温度の冷却方法

・ジオポリマー注入施工管理、切断技術、大型キャスク設計・製造

・廃棄体長期安全評価(含むサンプリング手法)等

# 廃炉と復興

# 真の復興とは何か？



負のイメージが気にならない新たな正のイメージを作る必要がある



浜通りでなければできないこと、  
そしてそれは依存しない「自立した形」である必要がある

# 復興には何が必要か？

負から正へのスパイラルの転換点であり、  
演繹的な手法と期待的な結果を結びつけるもの

## 社会的発火点

自ら火が着き燃え始める  
温度・状態。  
条件がそろわないと発火はしない。

引火点



© dak

発火点



© dak

# 大熊町知の集結に資する 学びの場形成事業

# 教育への適用：ロボットとのふれあい、しくみを学ぶ

～新しい技術への興味、学習意欲の向上、課題解決能力の育成～



## 移動ロボット

- ・決められた位置へ見に行く
- ・遠隔操縦できる

予備実験2023/11/16、実験実施2023/12/21

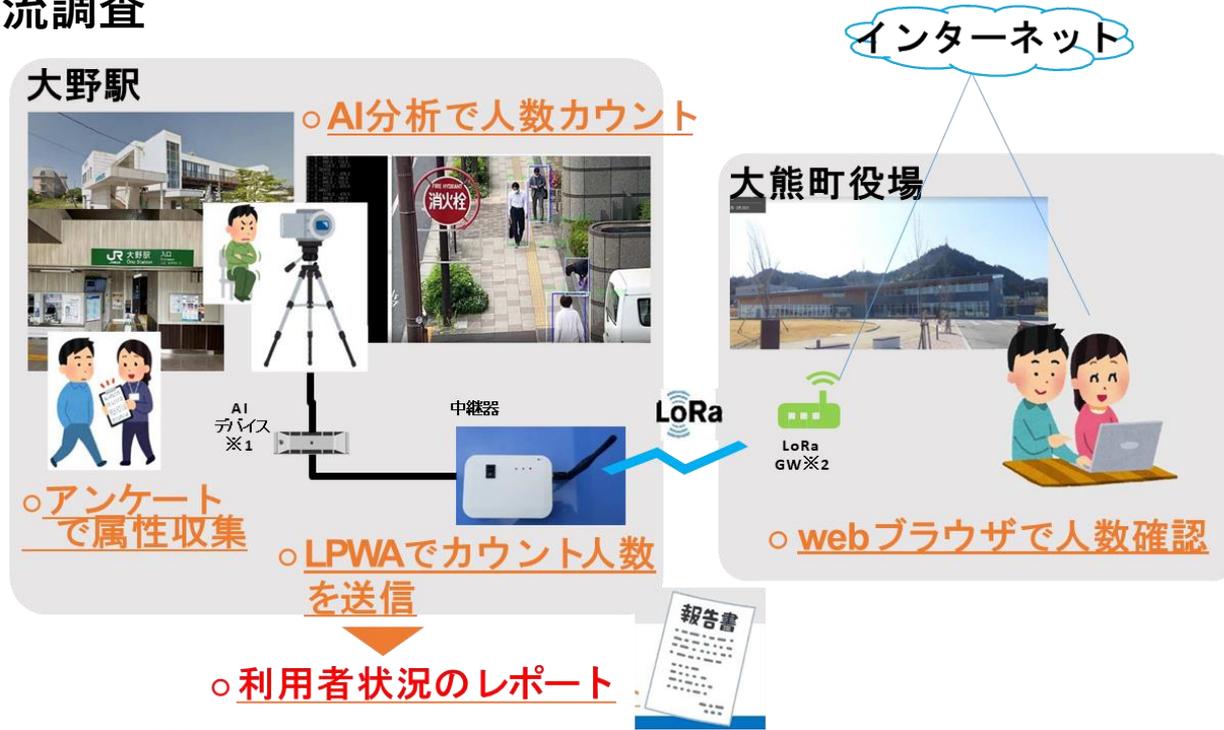


## 卓上コミュニケーションロボット

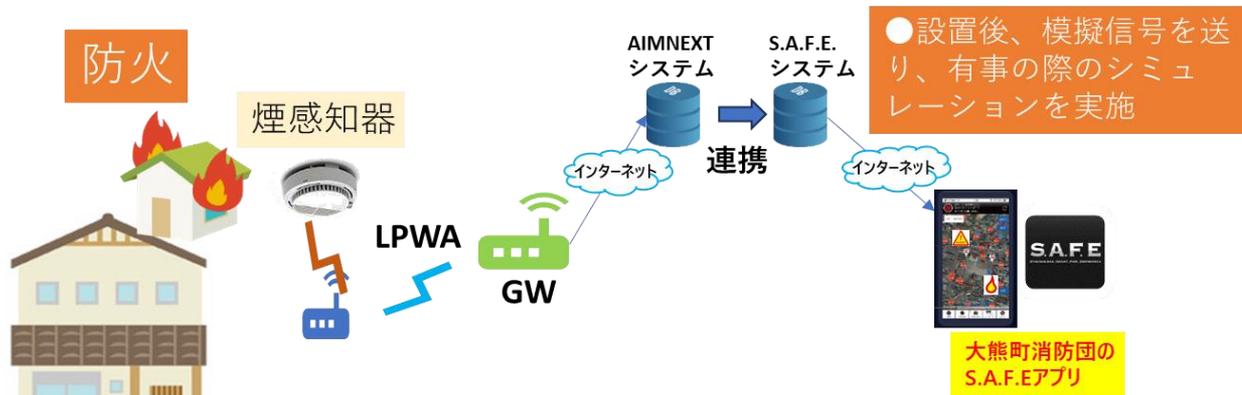
- ・人が近づくと「こんにちは」等発話する
- ・お辞儀したり、手を振ったりする
- ・チャットGPTでお話もできる

# 大熊町でのIoT利用の例

## 大野駅での人流調査



## 無人家屋における防災アラート



# スローモビリティによる新たな移動

大熊町ゼロカーボンビジョン：ゼロカーボン推進課  
「歩いて暮らせるまちづくり」

大熊町福祉の里構想：保健福祉課  
「外出・移動・社会参加を  
支援する取組の推進」



電動カート + 新生スロモ 体験WSの開催

見て・触って・乗って

未来の移動を考えるきっかけ/各種スロモの受容性検証

## コミュニティづくりイベント

- 高齢者/移動制約者の  
お出かけ、交流機会の創出
- 電動カート × ウォーカー  
新鮮移動体験

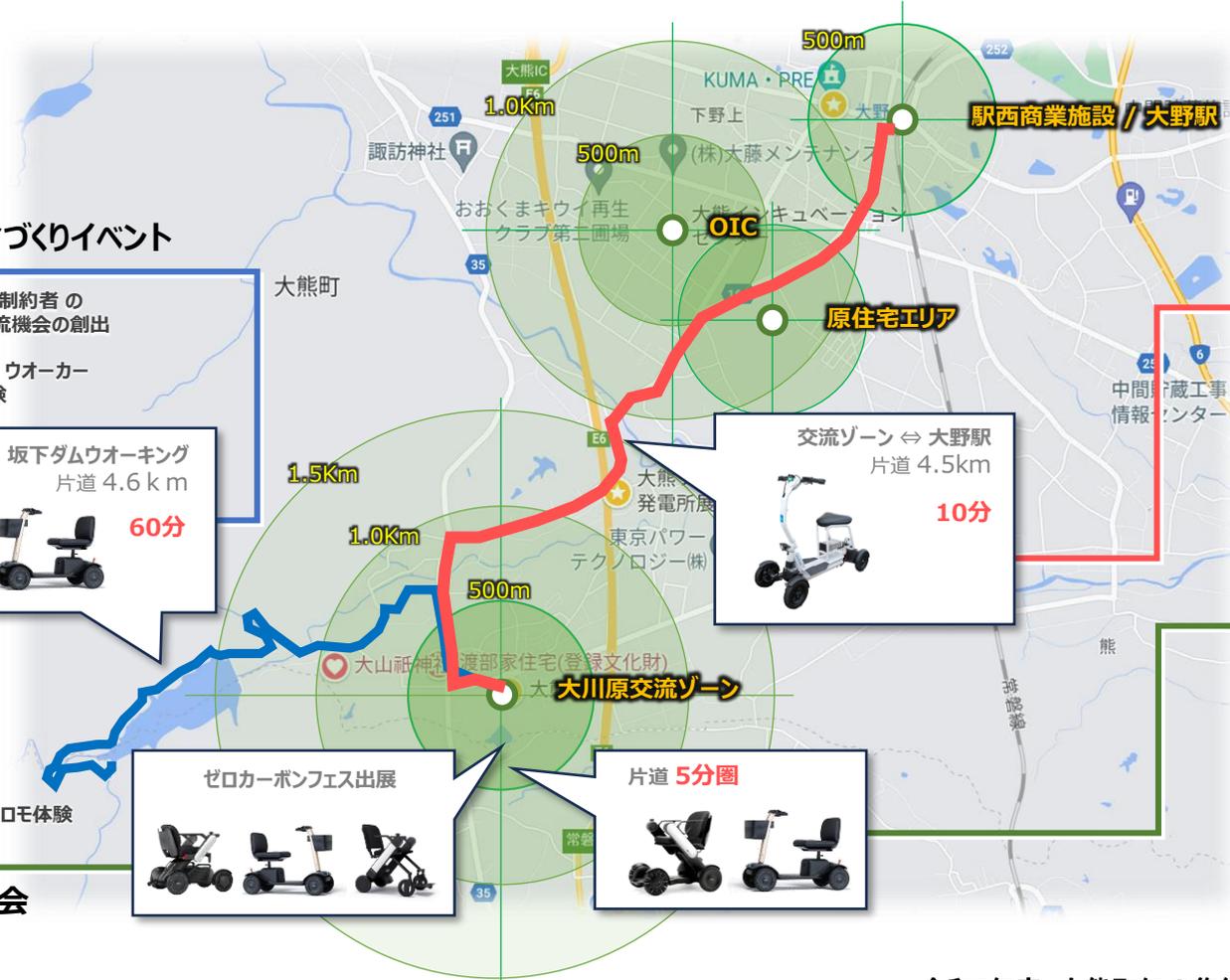
坂下ダムウォーキング  
片道 4.6 km  
60分

- 生活圏内でスロモ体験  
機会の提供

## スロモ体験会

ゼロカーボンフェス出展

片道 5分圏



## 生活拠点間移動

- 最高速 20km/h は  
は使えるスピードか？
- クルマとの並走にどのくらい  
不安があるか？
- マイカー+ の選択肢  
となり得る魅力はあるか？

## 生活圏内活動

- 大川原エリア内移動に  
使える乗り物か？
- 歩行者との共存
- Model C2でエレベーター  
移動体験を@役場
- ゆめの森開校：世代間  
コミュニケーション媒体  
としての「電動カート」

# 関係人口を増やすには？ （参考事例：仮想山古志村プロジェクト）

## 山古志村の課題

- ✓ 2004年の中部地震で被災し住民の大半が損害へ避難
- ✓ 震災時2000人以上いた住人が2022年時点で800人に
- ✓ 「このままでは山古志がなくなってしまう」

## デジタル山古志村

- ✓ 「デジタル山古志村」を作り山古志に住んでいない人にも興味を持ってもらう
- ✓ NFTのアートを販売し「デジタル村民票」を発行
- ✓ 山古志村を模したメタバース空間で交流できるように

## 交流や「帰省」の機会増

- ✓ デジタル村民は約1年で1000人を超え、実際の人口を上回る
- ✓ デジタル村民と村民の交流が生まれ「帰省」するデジタル村民も
- ✓ リアルの交流イベント



仮想山古志村



NFTアート



交流イベント



市場での交流

# メタバース大熊町を体験できるイベントの開催

全国どこからでも  
誰でも参加できる  
イベントです

**参加無料!**

小学生には  
プレゼントがもらえる  
宝探しゲームもあるよ

**3/3 日 14:00~16:00**

**メタバースの世界を体験!  
未来の大熊を考えよう**

初めてのお子様でも簡単に参加できるメタバース体験イベントです。  
世界中どこからでもアクセスできるメタバースの空間で  
一緒に未来の大熊について考えてみましょう!

**会場** オンライン (別途URLをご案内します)  
※誰でも簡単に操作できるものですが、操作に不安がある方、パソコンや  
タブレットをお持ちでない方はりんくる大熊 研修室2にてサポートします

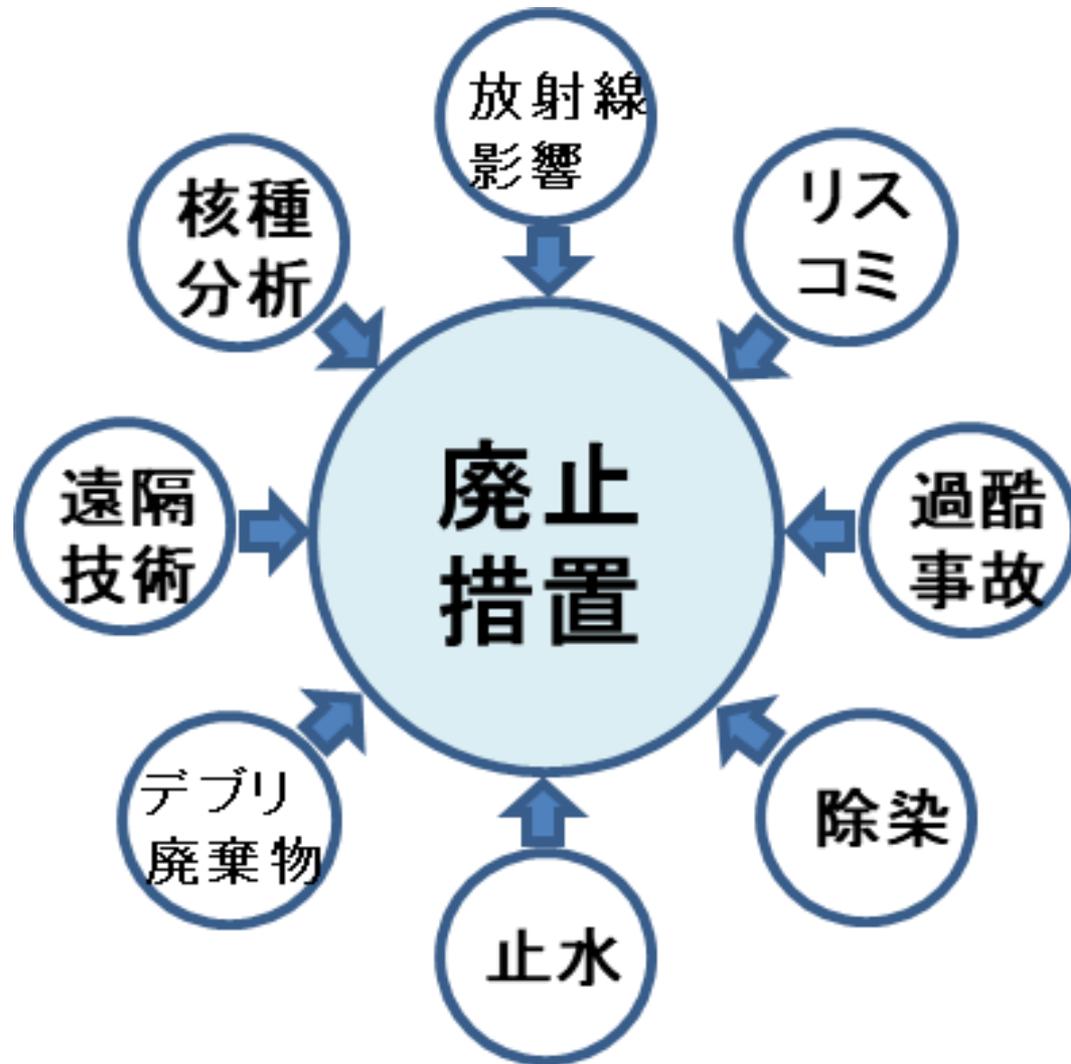
**対象** 小学生以上ならどなたでもご参加できます  
中高生、大学生も大歓迎!  
親子での参加もOKです!

お申し込みは [こちら](https://forms.gle/VXKbSRJmQ6uAJRHP7)  
東京大学 (大熊町知の集結に資する学びの場の形成事業)  
<https://forms.gle/VXKbSRJmQ6uAJRHP7>






# 「知の力」の集積 廃炉の魅える化：知識集約から社会展開へ

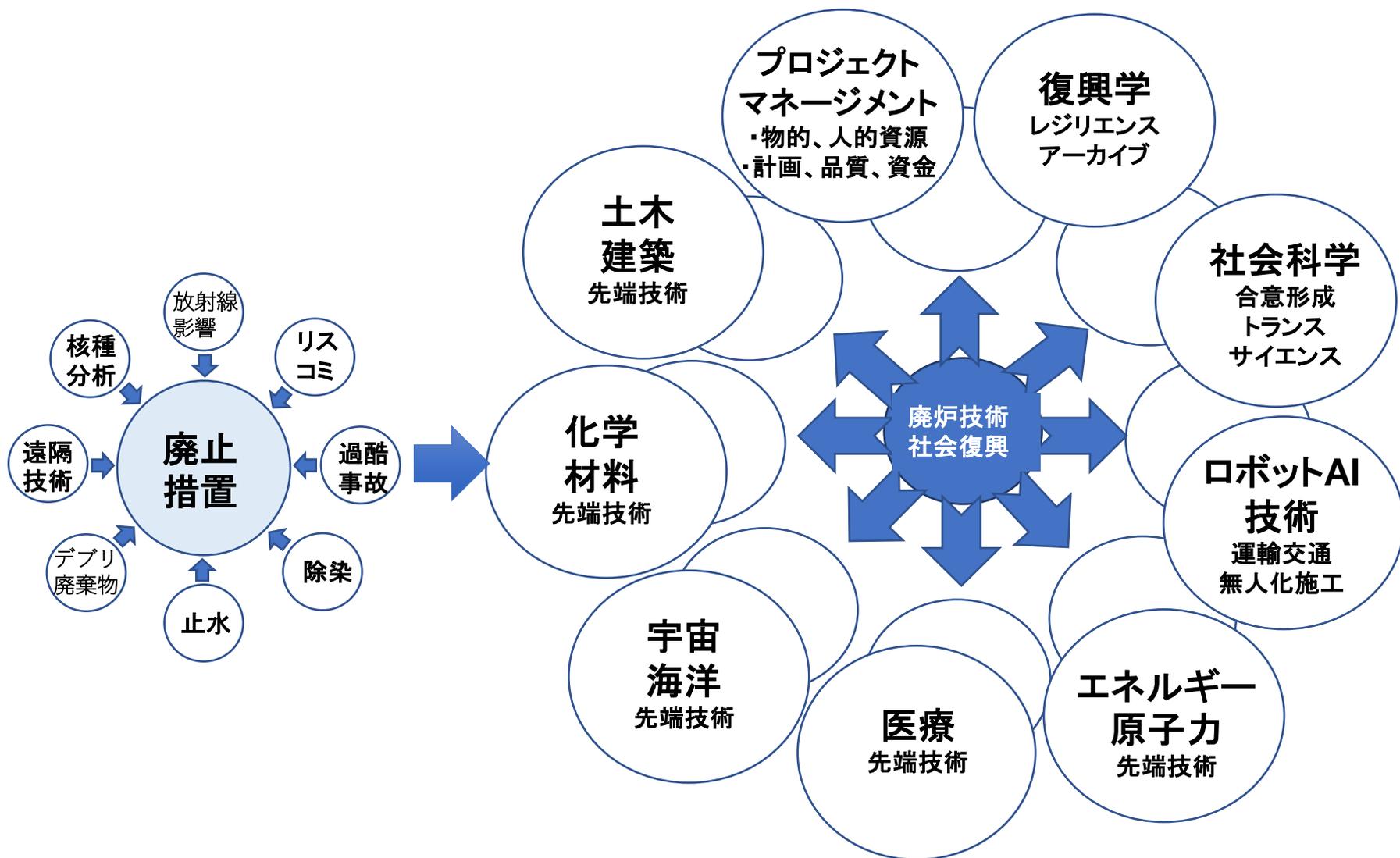


多種多様な分野  
融合が必要

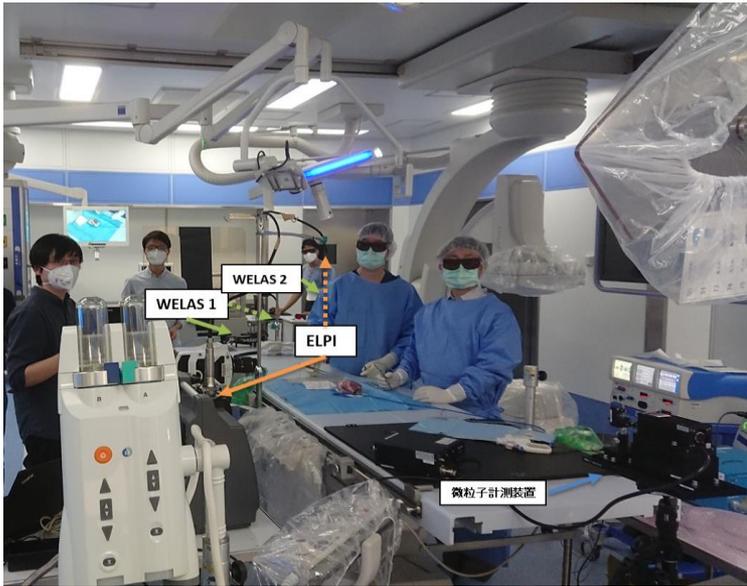
- ・原子力工学
- ・放射線医学
- ・機械工学
- ・化学工学
- ・材料工学
- ・ロボット工学
- ・土木工学
- ・建築工学
- ・土質工学
- ・環境工学
- ・生物学
- ・社会科学 等

# 「知の力」の強化

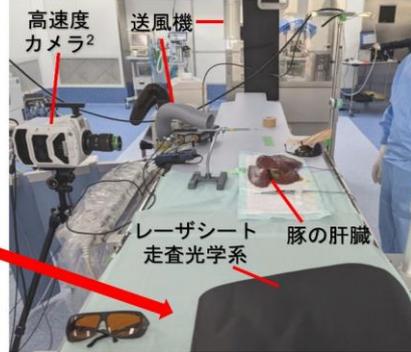
## 廃炉の魅える化：知識集約から社会展開へ



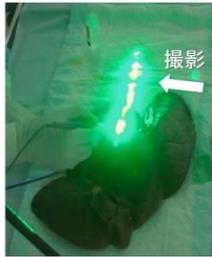
# 外科手術時における微粒子飛散防止



レーザーシート走査光学系を三脚に固定

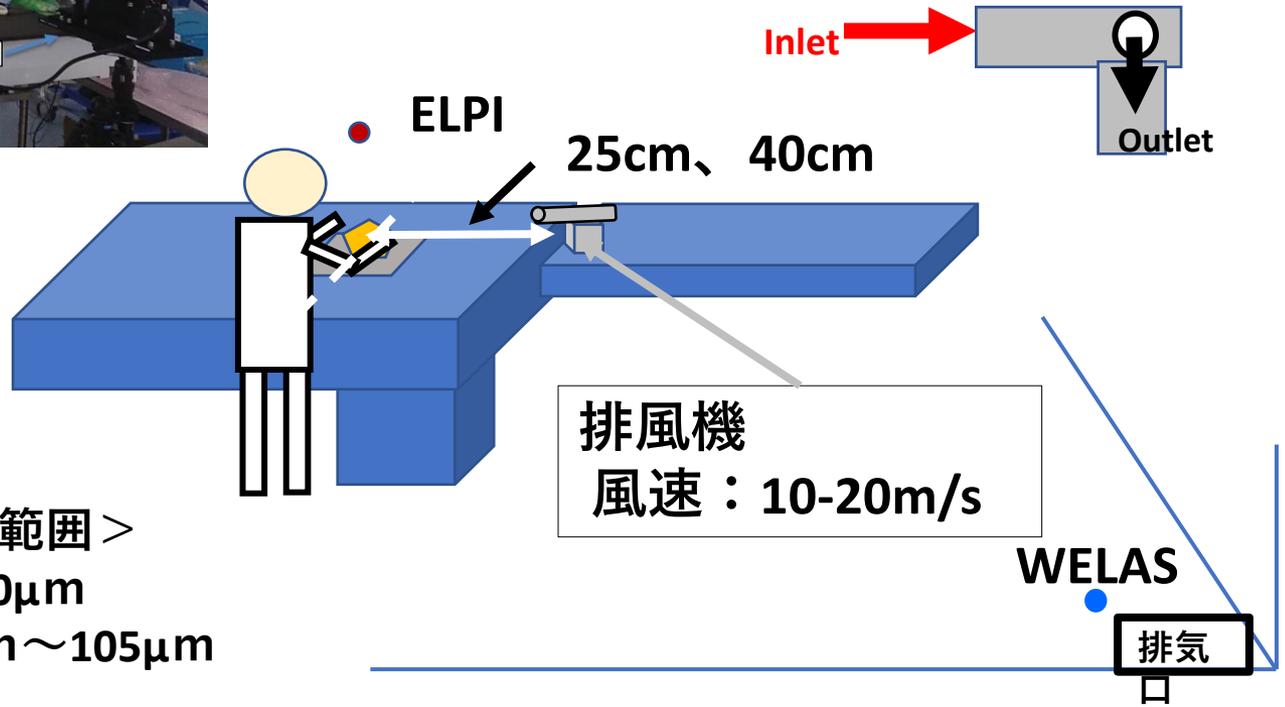


送風の有無による微粒子の挙動の違いを調査



撮影

PHANTOM, v2640, ノビテック, JP



< 微粒子測定範囲 >  
 ELPI : 6nm ~ 10μm  
 WELAS : 0.2μm ~ 105μm

## — 廃炉研究開発に求められること —

- 将来が読めない不確実性の高い現象（社会）を完全に予測することは確かに困難である。
- 但し、将来何が起こりそうかリスクを含めて俯瞰し、仮説をたてた上で、あらかじめ何らかの備えをしておくことはできるだろう。
- この場合、影響度合いが大きいと思われる不確実な事象を徹底的に洗い出し、モニタリングすることによって仮説を検証することは重要である。
- 廃炉と復興は両輪。廃炉完遂には、全体を見て将来のリスクを理解できる人材が必要であり、俯瞰的視野をもつ人材育成は極めて重要である。

# JAEAに期待すること

1. 現在実施中のJAEA CLADS 英知事業の継続と更なる発展
  - ・ 課題解決型廃炉研究プログラム
  - ・ 国際協力型廃炉研究プログラム
  - ・ 研究人材育成プログラム
  - ・ 啓蒙活動
    - 福島リサーチカンファレンス（FDR）, OECD-NEA NEST PJ
    - 次世代廃炉技術カンファレンス（NDEC）等
2. 廃炉基礎・基盤研究の充実（廃棄物、分析、遠隔技術等）
3. 燃料デブリ取り出し工法等を考慮した1F統合廃棄物マネジメントの構築
4. 廃炉技術者の地元復興への貢献
5. その他
  - ・ JRR3等中性子利用研究やホットラボの有効活用

# 謝 辞

本講演内容の一部は、以下に示す研究の一環として実施した。  
関係者・関係機関には厚く御礼申し上げます。

- (1) JAEA 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業  
課題解決型廃炉研究プログラム
  - ①「燃料デブリ取り出し燃料デブリ取出し時における放射性核種飛散防止技術の開発」
  - ②「ジオポリマー等によるPCV下部の止水・補修および安定化に関する研究」
- (2) IRID - 日立GEプロジェクト「福島第一原子力発電所燃料デブリ取り出し上部接近工法」
- (3) 東京大学臨床生命医工学連携研究機構寄付研究部門次世代臨床医用計測技術研究ネットワーク拠点「医療現場で発生する飛沫・エアロゾルに対する気流制御手法に関する基礎的研究」
- (4) 原子力機構・量研機構施設利用共同研究（一般共同研究）  
「中性子利用によるジオポリマー生成過程における水拡散挙動評価」
- (5) 大熊町知の集結に資する学びの場の形成事業

**ご清聴有難うございました**