

2018年12月18日

「福島第一原子力発電所の廃止措置への貢献を目指す『廃炉地盤工学』」に関する講習会

# 空間放射線と地盤環境・材料学

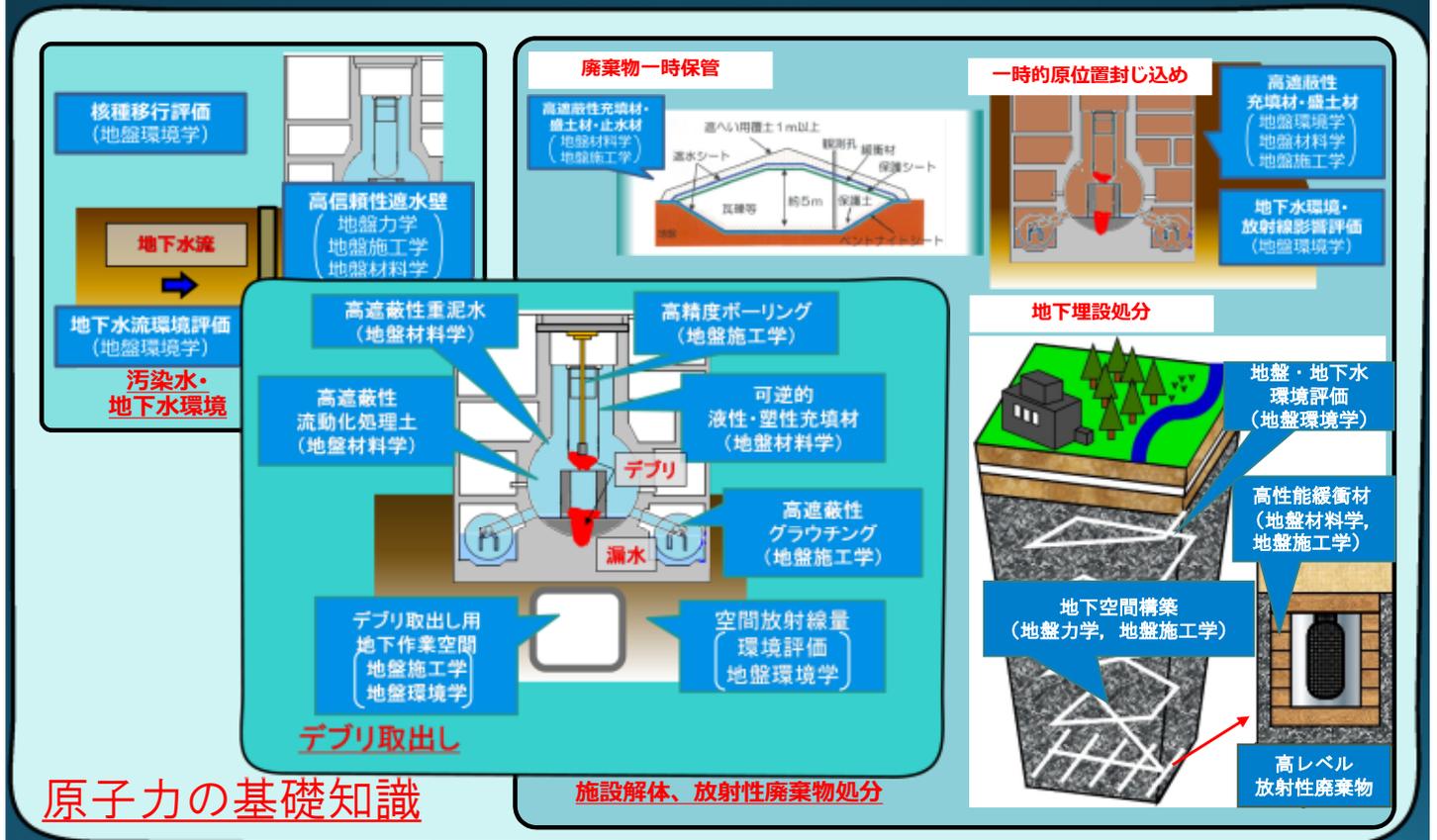
廃炉地盤工学委員会 幹事長  
早稲田大学 後藤茂

## 廃炉地盤工学の使命

(事故)原子力発電所の廃止過程において活用可能な地盤工学的技術を明確化（体系化）する。

- 地盤工学的技術を廃炉技術の観点から再評価（何ができるか）。
  - 作業空間改善のための空間放射線量の低減
  - 周辺環境の防護のための放射能汚染物質の拡散防止
  - 廃止処置に関連する他分野技術の活用容易化のための補助
- 廃止過程を時間軸で区分し、地盤工学的技術を位置付ける（何が必要か）。
  - ① 原子力発電所建屋周辺の汚染水・地下水環境の制御
  - ② デブリの取出し（補助）
  - ③ 施設解体・放射性廃棄物の処理・処分

# 廃炉地盤工学の貢献できる「廃止措置」の事象の例



## 放射線対策と環境学・材料学

- **放射線発生源**：爆発飛散した放射性ホコリ・ガラ，燃料デブリ，使用済み核燃料，（ガラス固化体）
- **拡散原因**：風，地下水流，格納容器からの漏水，漏気（空気に乗った飛散）
- **遮蔽対象**：除染土壌・廃棄物，放射性ガラ，デブリ自体，デブリ解体時の粉塵
- **防止策**：被覆（風に当てない），止水（地下水を入れない），封じ込め（外へ出さない）
- **必要な特性**：放射線遮蔽性，耐久性，施工性

# 放射線対策と環境学・材料学

- **放射線発生源**：爆発飛散した放射線発生体・コリ、燃料デブリ、使用済み核燃料（ガラス固化体）
- **拡散原因**：風、地下水・土壌汚染、貯蔵容器からの漏水、漏気（空気に乗った形で）
- **遮蔽体**：除染作業・解体時の粉塵、放射性ガラク、デブリ
- **防止策**：防風（風に当てない）、止水（地下水を入れない）、封じ込め（外へ出さない）
- **必要な特性**：放射線遮蔽性、耐久性、施工性

要求性能と真の特性  
代用特性を結びつけるのが  
環境学・材料学の役目！

## 廃炉地盤工学を構成する学問単元

### ・地盤力学

原子炉廃止措置での各段階で生じる構造物および地盤の形態変化について、**地震等に対する安定性**を検討するための技術群。

### ・地盤環境学

廃止措置過程において必要な地盤内（地下水、地下空洞等）の**放射線環境を予測・評価・改善**するための技術群。

### ・地盤材料学

廃止措置に有効な**地盤系材料（ボーリング補助液、止水材、グラウト材、覆土材料等）を開発・改良**する技術群。

### ・地盤施工学

廃止措置における環境的・構造的条件を考慮して、**最適な工法・材料を選択し、廃止措置過程を実体化**させるための技術群。

# 技術マップ（技術の顕在化）

	汚染水・地下水環境	デブリ取出し	施設解体・廃棄物処分
地盤力学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染水貯留施設の安定性評価</li> <li>遮水壁設置地盤の地震時安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力建屋下部の放射線漏洩防止処置のための地下基地の安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デコミッショニングの段階に沿った地盤・建屋系の地震時安定性評価</li> </ul>
地盤環境学	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力建屋周囲の時間的変化に対応した地下水・核種拡散シミュレーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記地下基地の空間放射線量の環境評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デコミッショニング段階に沿った建屋周囲の地下水環境・放射線環境予測と評価</li> <li>余裕深度処分対応の地下水環境評価</li> </ul>
地盤材料学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料の開発</li> <li>遮水壁の信頼性を高める高性能遮水壁材料の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間放射線量を低減する高遮蔽性重泥水の開発</li> <li>デブリ視認可能な可視性重泥水の開発</li> <li>格納容器水漏れ箇所対応可能な高遮蔽性固化泥水の開発</li> <li>デブリ一時的封込め対応可能な可逆的液性・塑性（高遮蔽性）充填材の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>瓦礫・伐採材保管に適した高遮蔽性覆土材料と止水材料の開発</li> <li>余裕深度処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発</li> <li>原位置デコミッショニングに対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発</li> <li>原位置デコミッショニングで建屋全体を覆う高遮蔽性盛土材料の開発</li> </ul>
地盤施工学	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁の構築工法</li> <li>輻輳する地下構造物に対応できる遮水壁構築工法</li> <li>汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デブリ取出しのための高精度ボーリング工法</li> <li>上記地下基地の構築工法</li> <li>格納容器水漏れ箇所封鎖のための高遮蔽性グラウチング工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法</li> <li>余裕深度施設の構築工法</li> <li>原位置デコミッショニングでの格納容器用高遮蔽性充填工法</li> <li>同上での建屋全体の鋼製外殻による封込め工法</li> </ul>

# 技術マップ（技術の顕在化）

	汚染水・地下水環境	デブリ取出し	施設解体・廃棄物処分
地盤力学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染水貯留施設の安定性評価</li> <li>遮水壁設置地盤の地震時安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力建屋下部の放射線漏洩防止処置のための地下基地の安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デコミッショニングの段階に沿った地盤・建屋系の地震時安定性評価</li> </ul>
地盤環境学	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力建屋周囲の時間的変化に対応した地下水・核種拡散シミュレーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記地下基地の空間放射線量の環境評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デコミッショニング段階に沿った建屋周囲の地下水環境・放射線環境予測と評価</li> <li>余裕深度処分対応の地下水環境評価</li> </ul>
地盤材料学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料の開発</li> <li>遮水壁の信頼性を高める高性能遮水壁材料の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間放射線量を低減する高遮蔽性重泥水の開発</li> <li>デブリ視認可能な可視性重泥水の開発</li> <li>格納容器水漏れ箇所対応可能な高遮蔽性固化泥水の開発</li> <li>デブリ一時的封込め対応可能な可逆的液性・塑性（高遮蔽性）充填材の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>瓦礫・伐採材保管に適した高遮蔽性覆土材料と止水材料の開発</li> <li>余裕深度処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発</li> <li>原位置デコミッショニングに対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発</li> <li>原位置デコミッショニングで建屋全体を覆う高遮蔽性盛土材料の開発</li> </ul>
地盤施工学	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁の構築工法</li> <li>輻輳する地下構造物に対応できる遮水壁構築工法</li> <li>汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デブリ取出しのための高精度ボーリング工法</li> <li>上記地下基地の構築工法</li> <li>格納容器水漏れ箇所封鎖のための高遮蔽性グラウチング工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法</li> <li>余裕深度施設の構築工法</li> <li>原位置デコミッショニングでの格納容器用高遮蔽性充填工法</li> <li>同上での建屋全体の鋼製外殻による封込め工法</li> </ul>

汚染水地下水環境制御

デブリ取出し補助

処置・処分・デコミッショニング

# 技術マップ（技術の顕在化）

	汚染水・地下水環境	デブリ取出し	施設解体・廃棄物処分
地盤力学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染水貯留施設の安定性評価</li> <li>遮水壁の信頼性・地盤の安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力建屋下部の放射線漏洩防止のための地盤の安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デコミッショニングの段階に合わせた建屋系・地盤系の地震時安定性評価</li> </ul>
地盤環境学	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力建屋周囲の時間的変化に対応した地下水・核種移行シミュレーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記地下基地の空間放射線量の環境評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デコミッショニング段階に沿った建屋周囲の地下水環境・放射線環境予測と評価</li> <li>廃棄物処分対応の地下水環境評価</li> </ul>
地盤材料学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料の開発</li> <li>遮水壁の信頼性を高める遮水壁材料の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間放射線量を低減する高遮蔽性重泥水の開発</li> <li>デブリ視認可能な可塑性重泥水の開発</li> <li>格納容器水漏れ防止対応可能な高遮蔽性グラウチング工法</li> <li>デブリ一時的封込め対応可能な可逆的液性・塑性（高遮蔽性）充填材の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>瓦礫・伐採材保管に適した高遮蔽性覆土材料と止水材料の開発</li> <li>余裕深度処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発</li> <li>原位置デコミッショニングに対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発</li> <li>原位置デコミッショニングで建屋全体を覆う高遮蔽性盛土材料の開発</li> </ul>
地盤施工学	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁の構築工法</li> <li>輻輳する地下構造物に対応できる遮水壁構築工法</li> <li>汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デブリ取出しのための高精度ボルト掘削工法</li> <li>上記地下基地の構築工法</li> <li>格納容器水漏れ防止対策のための高遮蔽性グラウチング工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法</li> <li>余裕深度施設の構築工法</li> <li>原位置デコミッショニングでの格納容器用高遮蔽性盛土工法</li> <li>同上での建屋全体の鋼製外殻による封込め工法</li> </ul>

## 地盤力学（構造物・地盤の安定性評価）

## 地盤環境学（地下水・地下空間の環境評価）

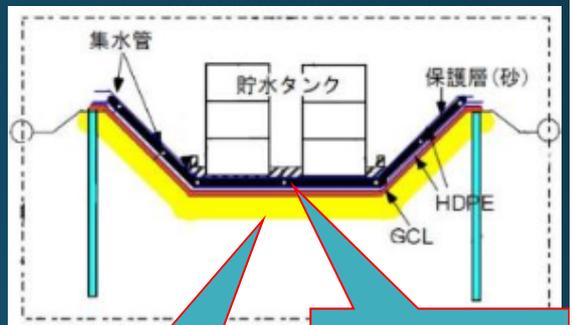
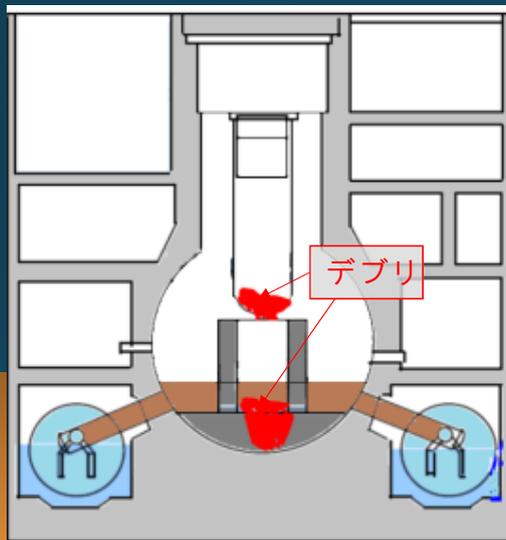
## 地盤材料学（地盤系材料の評価、開発）

## 地盤施工学（地盤系施工技術のマネジメントと評価・改良）

### ① 汚染水・地下環境 地盤・地下水環境管理における 地盤工学的技術

汚染水の貯蔵  
地盤施工学  
地盤材料学

地下水流  
環境管理  
地盤環境学  
地盤施工学



高性能止  
水性地盤  
(地盤材料学  
地盤施工学)

自己診断機能付  
き遮水材料  
(地盤材料学)

地下水流

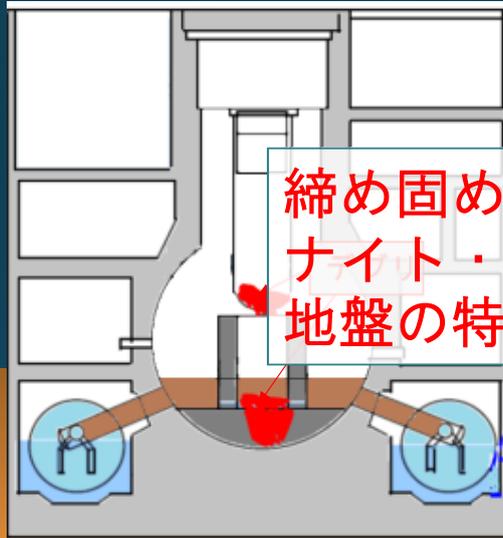
高信頼性  
遮水壁  
(地盤施工学・  
地盤材料学)

地下水・核種移  
行シミュレ  
ーション  
(地盤環境学)

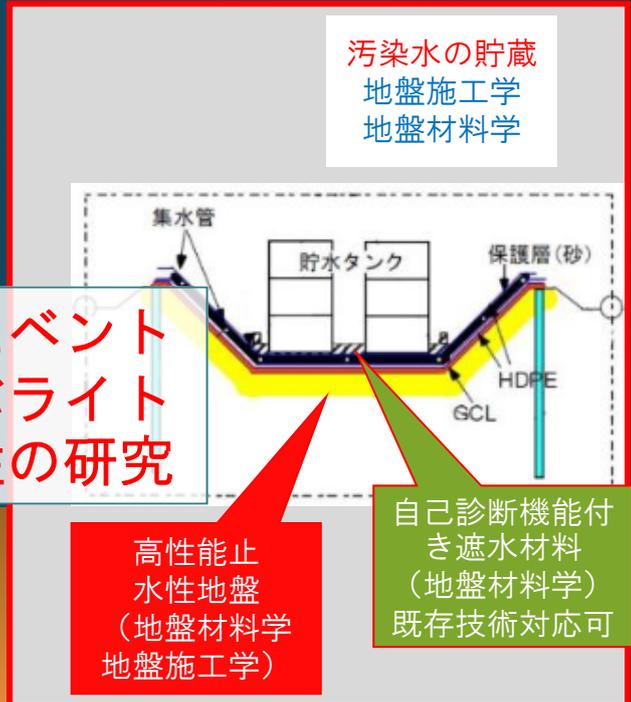
①汚染水・地下環境

# 地盤・地下水環境管理における地盤工学的技術

地下水流  
環境管理  
地盤環境学  
地盤施工学



締め固めたベント  
ナイト・バライト  
地盤の特性の研究



汚染水の貯蔵  
地盤施工学  
地盤材料学

自己診断機能付  
き遮水材料  
(地盤材料学)  
既存技術対応可

高性能止  
水性地盤  
(地盤材料学  
地盤施工学)

地下水流



高信頼性  
遮水壁  
(地盤施工学・  
地盤材料学)

地下水・核種移  
行シミュレ  
ーション  
(地盤環境学)

①汚染水・地下環境

## 連続地中壁による地下水流入抑制の敷地管理 多重防御バリア



IRIDへ提案済み

Google earth

## ②デブリ取出し 燃料デブリ取出し補助における 地盤工学的技術

デブリ取出し  
地盤材料学  
地盤施工学  
地盤環境学

高遮蔽性  
超重泥水

可逆的  
液性・塑性充填材  
(地盤材料学)

### 高性能な格納容器充填材料の特性研究

- 超重泥水の放射線遮蔽性・流動性・遮水性の検討
- 固化により安定性を強化した超重泥水の特性の検討
- 液性・塑性可逆化した超重泥水の特性の検討

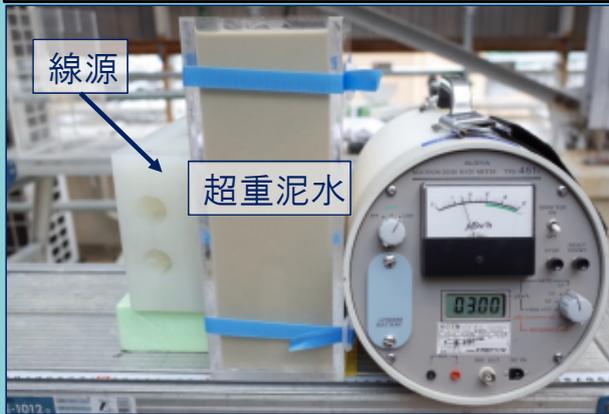
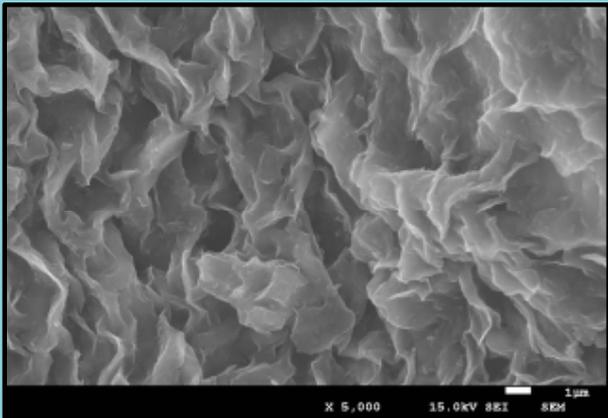
デブリ取出し補助作業用  
地下作業空間  
(地盤施工学・地盤環境学)

## ②デブリ取出し 燃料デブリの取り出し補助技術

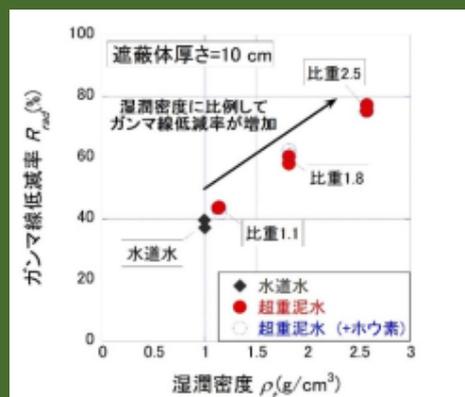
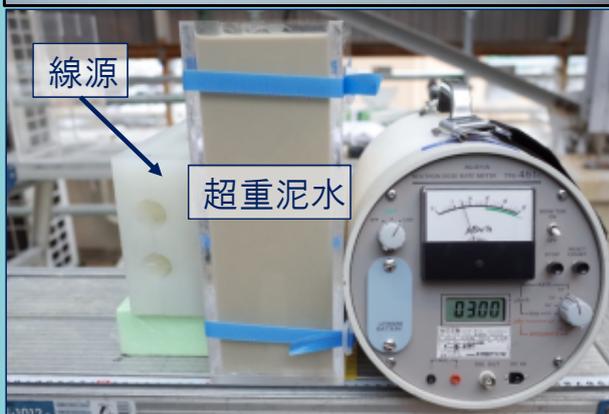
- ・ 格納容器周辺環境の空間放射線量を減少させ、デブリ取出し作業の負担や電子障害の軽減をはかる。あわせて、格納容器水漏れ箇所に対する対応や、一時的な封じ込め材料の可能性も検討する。

- ① 密度が2.5を超える**超重泥水**による格納容器冠水。  
**γ線**、**中性子線**の双方の遮蔽能力
- ② 超重泥水と同等の遮蔽性能を持つ液性状態を長時間維持できる**固化泥水**の充填  
格納容器**狭隘部**への充填が可能  
長期的な**安定性**を期待
- ③ 高遮蔽性能の**液性・塑性可逆的充填材料**  
燃料デブリの（**一時的**）**原位置封じ込め**  
**再掘削**（使用後の除去）の容易性

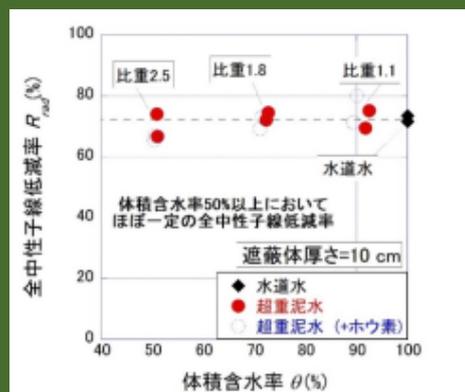
## ②デブリ取出し 超重泥水の放射線遮蔽性能実験



## ②デブリ取出し 超重泥水の放射線遮蔽性能実験

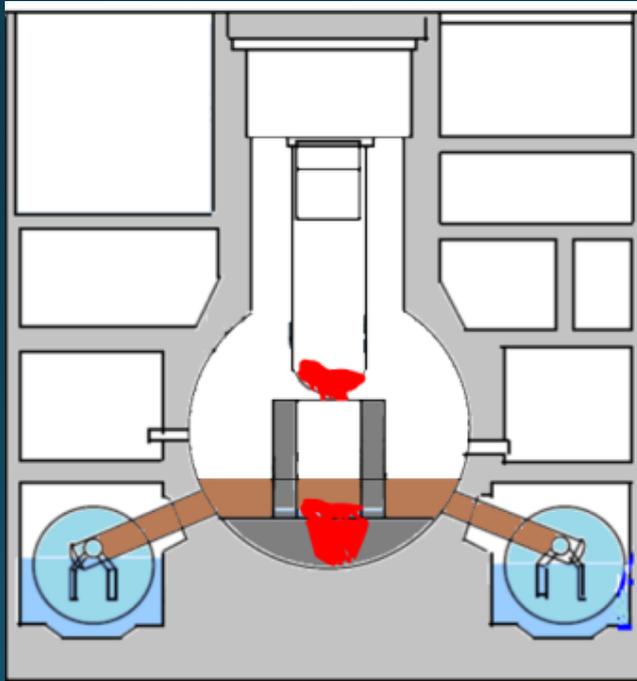


超重泥水の湿潤密度とガンマ線遮蔽性能



超重泥水の体積含水率と中性子線遮蔽性能

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み 冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いる



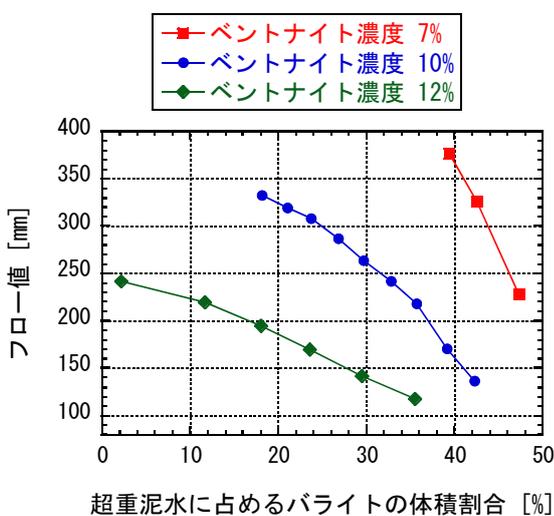
放射性物質に対する要求機能

- ① 漏水等による**拡散防止**
- ② 高放射線環境の**改善**
- ③ デブリ取出し時の**拡散防止**
- ④ デブリ取出し作業の**効率化**
- ⑤ 長期保存時の**デブリの安定性強化**？

要求性能

- ① 格納容器の**漏水を抑止**
- ② デブリからの**放射線遮蔽**
- ③ デブリ切削粉の**飛散抑止**
- ④ 切削粉等の**取り出し媒体**

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み 冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いる



超重泥水の固体分量と流動性の関係

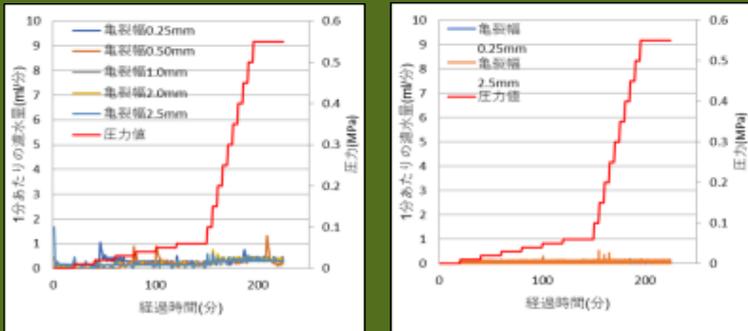
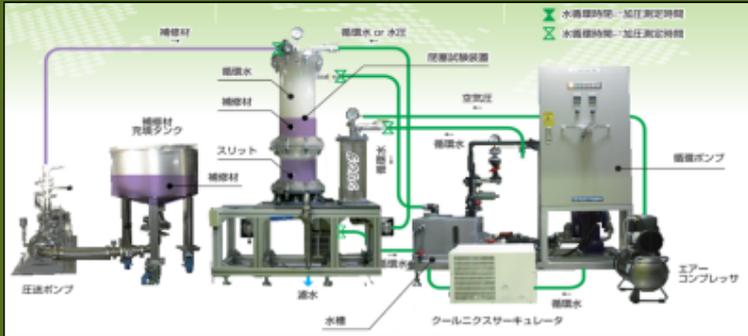
要求性能

- ① 格納容器の**漏水を抑止**
- ② デブリからの**放射線遮蔽**
- ③ デブリ切削粉の**飛散抑止**
- ④ 切削粉等の**取り出し媒体**



- 真の特性：遮水性、空隙充填性
- 代用特性：流動性  
泥膜生成能力、  
泥膜の透水性や強度

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み 冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いる



超泥水の遮水性確認実験

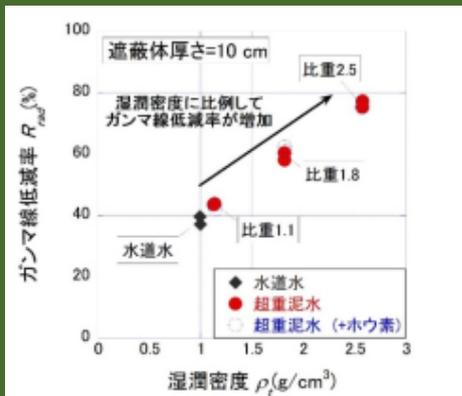
## 要求性能

- 格納容器の漏水を抑止
- デブリからの放射線遮蔽
- デブリ切削粉の飛散抑止
- 切削粉等の取り出し媒体

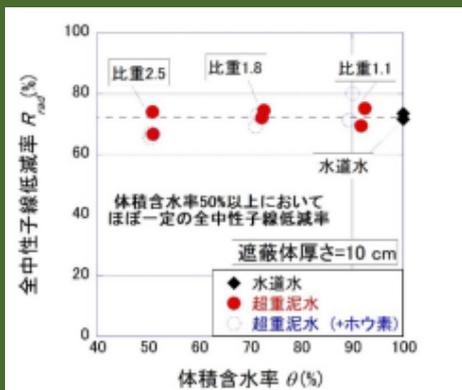


- 真の特性：遮水性
- 代用特性：流動性
- 空隙充填性
- 泥膜生成能力、泥膜の透水性や強度

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み 冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いる



超泥水の湿潤密度とガンマ線遮蔽性能



超泥水の体積含水率と中性子線遮蔽性能

## 要求性能

- 格納容器の漏水を抑止
- デブリからの放射線遮蔽
- デブリ切削粉の飛散抑止
- 切削粉等の取り出し媒体

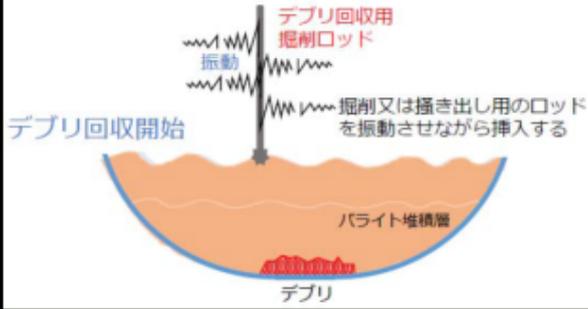


- 真の特性：放射線遮蔽特性
- 代用特性：密度、含水率（体積）

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み 冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いる

遮へい、飛散防止、回収

比重3.0、 $q_c \geq 1,200 \text{ kN/m}^2$



沈降型超重泥水の特性

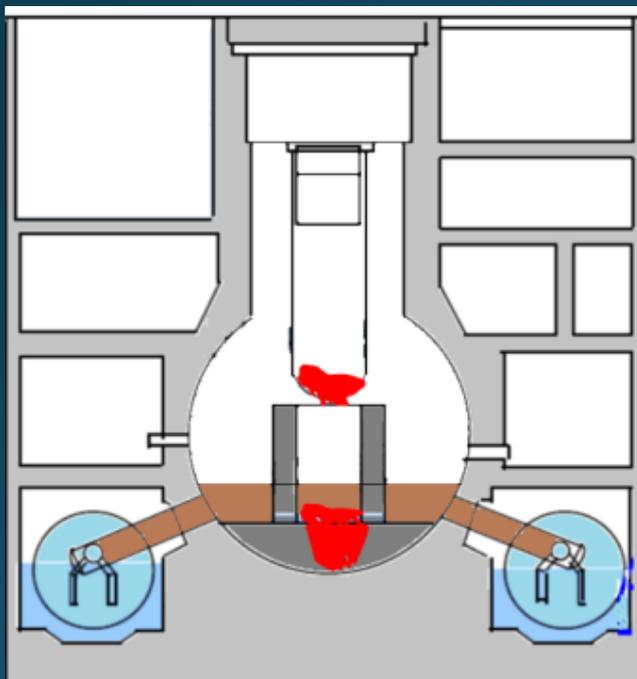
## 要求性能

- ① 格納容器の漏水を抑止
- ② デブリからの放射線遮蔽
- ③ デブリ切削粉の飛散抑止
- ④ 切削粉等の取り出し媒体



- 真の特性：粉塵抑止特性
- 代用特性：気相/液相（気泡）  
粘性？, 比重

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み 冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いる



## 要求性能

- ① 格納容器の漏水を抑止
- ② デブリからの放射線遮蔽
- ③ デブリ切削粉の飛散抑止
- ④ 切削粉等の取り出し媒体

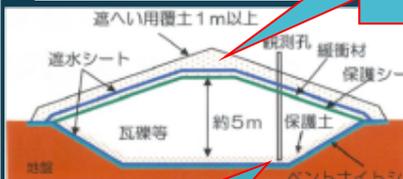


- 真の特性：切削粉等の保持能力
- 代用特性：粘性、比重、流速  
粉塵の分離性

# ③施設解体・廃棄物処分 放射性廃棄物処分 における 地盤工学的技術

廃棄物一時保管  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性覆土  
(地盤材料学  
地盤施工学)



高性能止水材  
(地盤材料学)

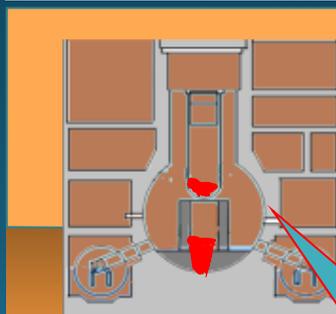
地中埋設処分  
地盤力学・地盤環境学  
地盤材料学・地盤施工学

一時的原位置封じ込め  
地盤環境学  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性盛土  
(地盤材料学,  
地盤施工学)



地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)



地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)

地下空間構築  
(地盤力学, 地盤施工学)

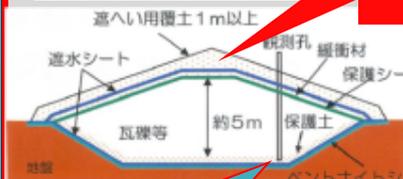
高性能緩衝材  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

高遮蔽性充填  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

# ③施設解体・廃棄物処分 放射性廃棄物処分 における 地盤工学的技術

廃棄物一時保管  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性覆土  
(地盤材料学  
地盤施工学)



高性能止水材  
(地盤材料学)

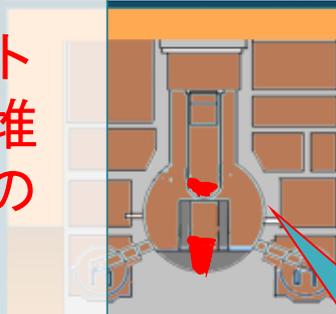
一時的原位置封じ込め  
地盤環境学  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性盛土  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

## 高性能な覆土材料の特性研究

● 土質系材料, ベントナイト混合土, 復興資材 (津波堆積物) の覆土材料としての適応性の検討

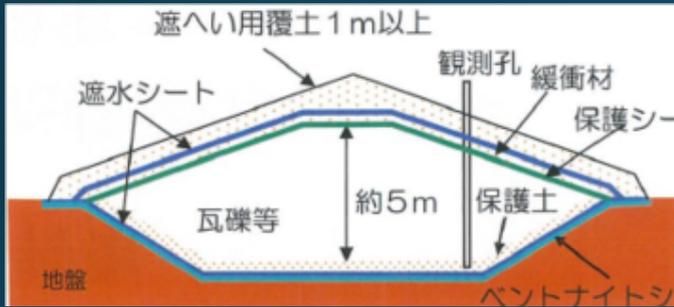
- 放射線遮蔽性の検討
- 遮水特性の検討
- 締め固め施工性の検討



地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)

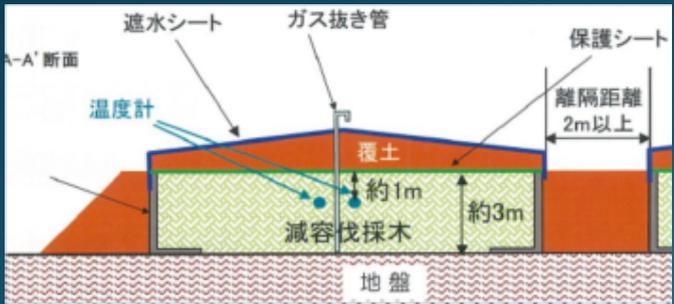
高遮蔽性充填  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み ベントナイト混合土を覆土に用いる



放射性廃棄物に対する要求機能

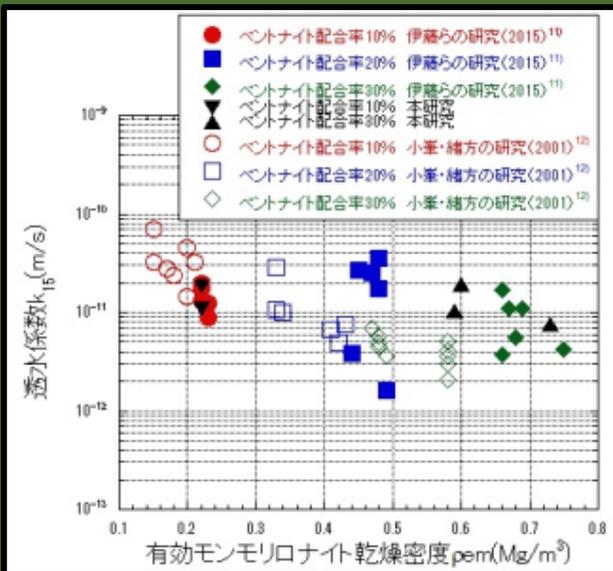
- ① 地下水等による**拡散防止**
- ② 風などによる**飛散防止**
- ③ 遮蔽による外部**放射線環境保全**



要求性能

- ① 雨水や**地下水の浸入抑止**
- ② 廃棄物からの**放射線遮蔽**
- ③ 天候による覆土厚劣化抑止
- ④ 凍結融解による**劣化抑止**

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み ベントナイト混合土を覆土に用いる



ベントナイト混合土の遮水性

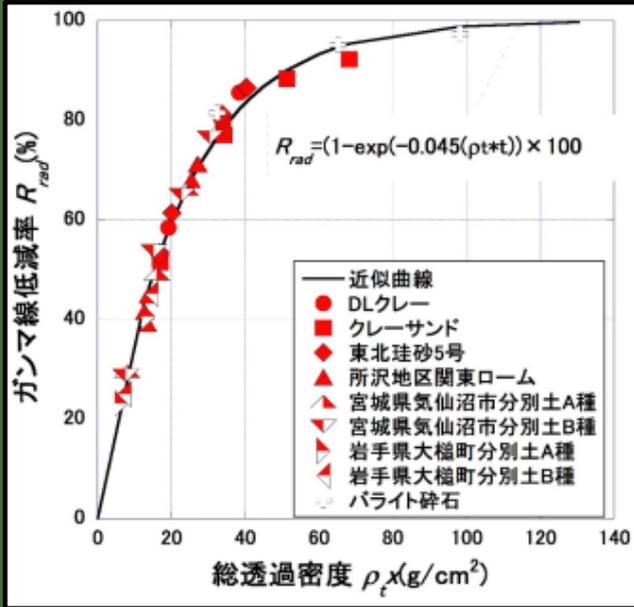
要求性能

- ① 雨水や**地下水の浸入抑止**
- ② 廃棄物からの**放射線遮蔽**
- ③ 天候による**経年の劣化抑止**
- ④ 凍結融解による**劣化抑止**



- 真の特性：遮水性（透水性）
- 代用特性：密度、厚さ、  
ベントナイト量

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み ベントナイト混合土を覆土に用いる



土質系材料のガンマ線遮蔽性能

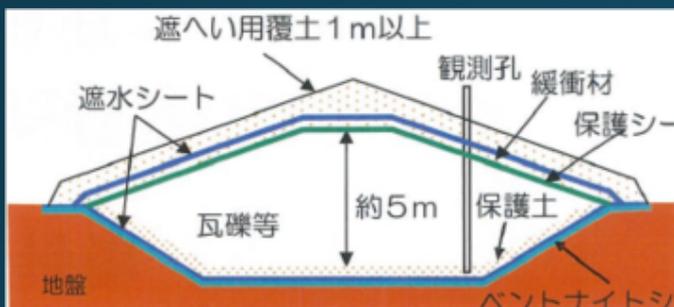
## 要求性能

- ① 雨水や地下水の浸入抑止
- ② 廃棄物からの放射線遮蔽
- ③ 天候による経年の劣化抑止
- ④ 凍結融解による劣化抑止



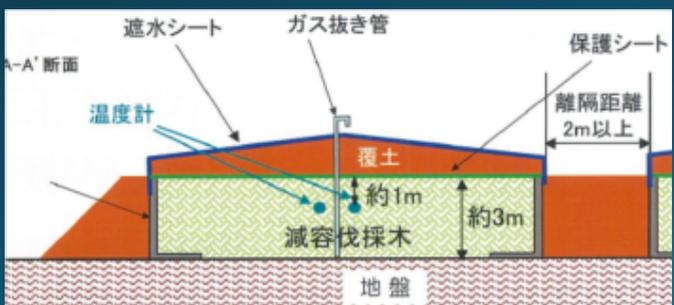
- 真の特性：放射線遮蔽性
- 代用特性：密度、厚さ、含水状態、土の種類

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み ベントナイト混合土を覆土に用いる



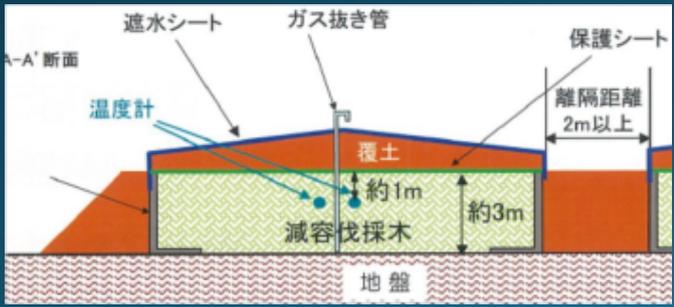
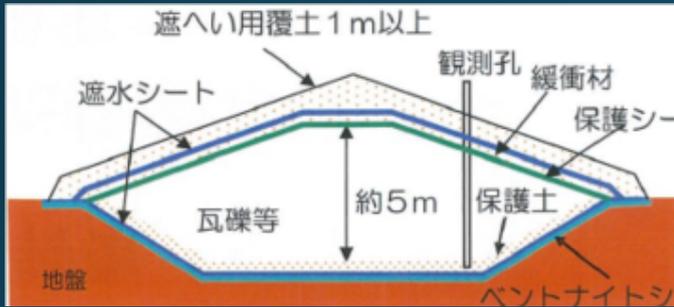
## 要求性能

- ① 雨水や地下水の浸入抑止
- ② 廃棄物からの放射線遮蔽
- ③ 天候による経年の劣化抑止
- ④ 凍結融解による劣化抑止



- 真の特性：耐浸食性
- 代用特性：密度、厚さ、鉱物組成、スレーキング特性

# 要求機能・要求性能・真の特性・代用特性への廃炉の特殊性の組み込み ベントナイト混合土を覆土に用いる



## 要求性能

- ① 雨水や地下水の浸入抑止
- ② 廃棄物からの放射線遮蔽
- ③ 天候による経年の劣化抑止
- ④ 凍結融解による劣化抑止

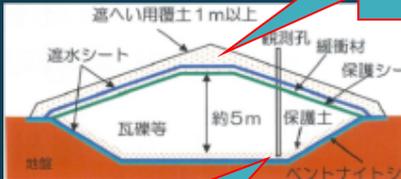


- 真の特性：耐凍上害能力
- 代用特性：凍結膨張性（細粒分組成、拘束状態）  
水密性（耐ひび割れ）？  
固結性（材料的強度等）

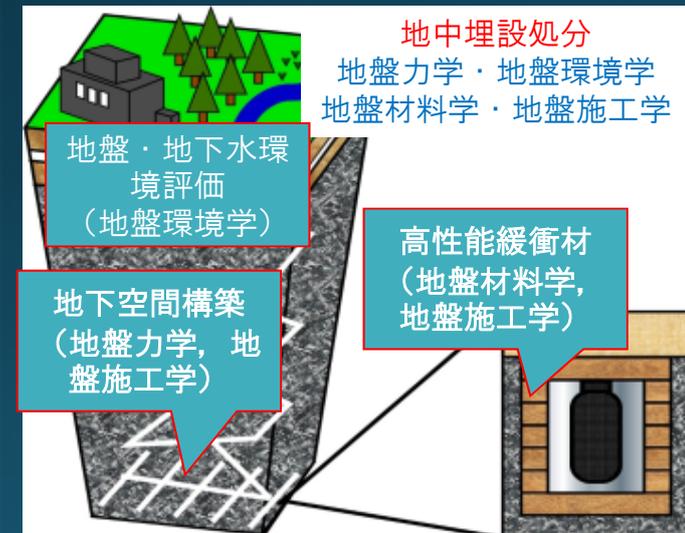
廃棄物一時保管  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性覆土  
(地盤材料学  
地盤施工学)

## ③施設解体・廃棄物処分 放射性廃棄物処分 における 地盤工学的技術



高性能止水材  
(地盤材料学)



地中埋設処分  
地盤力学・地盤環境学  
地盤材料学・地盤施工学

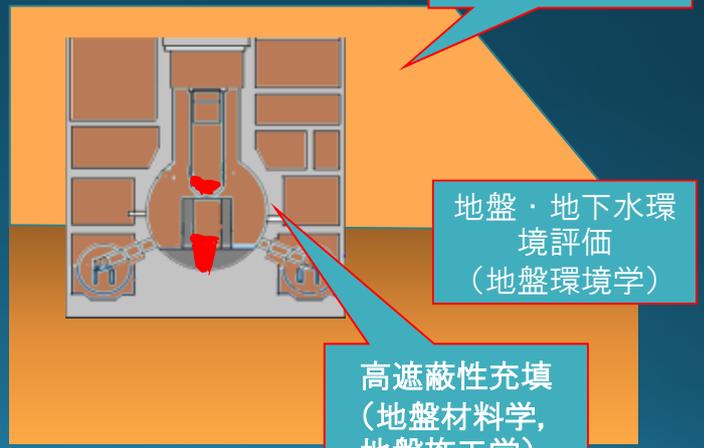
地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)

地下空間構築  
(地盤力学, 地盤施工学)

高性能緩衝材  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

一時的原位置封じ込め  
地盤環境学  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性盛土  
(地盤材料学,  
地盤施工学)



地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)

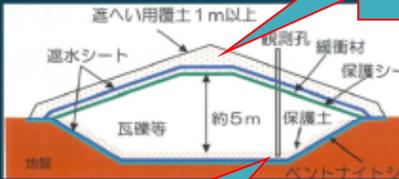
高遮蔽性充填  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

廃棄物一時保管  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性覆土  
(地盤材料学  
地盤施工学)

## ベントナイト緩衝材の高温・高圧・超長時間による特性変化の研究

- 高温履歴による膨潤特性変化の検討
- ナチュラルアナログを援用した膠着作用の影響評価法の検討
- 吸水方向と膨潤特性の方向性の検討



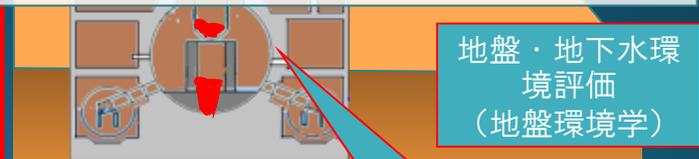
高性能止水材  
(地盤材料学)

地中埋設処分  
地盤力学・地盤環境学  
地盤材料学・地盤施工学

地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)

地下空間構築  
(地盤力学, 地盤施工学)

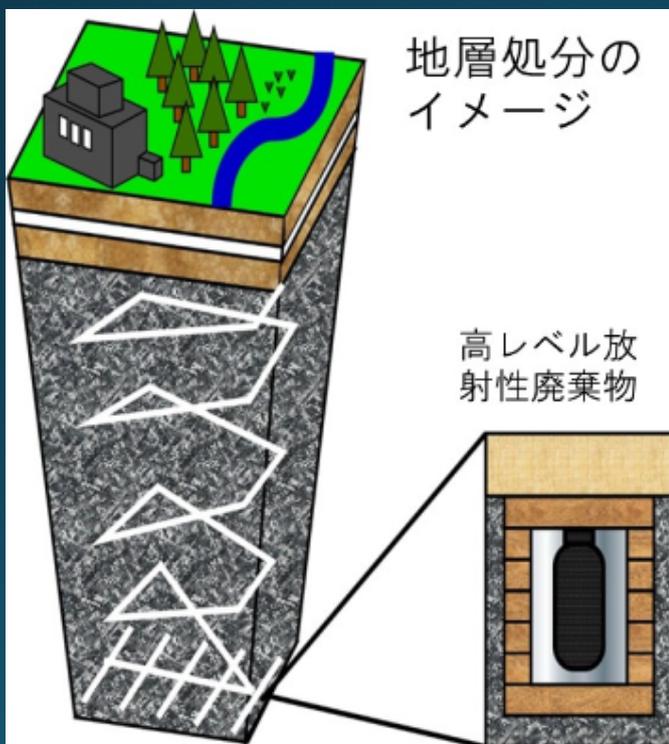
高性能緩衝材  
(地盤材料学,  
地盤施工学)



地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)

高遮蔽性充填  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

## 要求機能・要求性能・真の特性 ベントナイトを高レベル廃棄物(体)の 緩衝材に用いる



地層処分のイメージ

高レベル放射性廃棄物

緩衝材としての要求機能

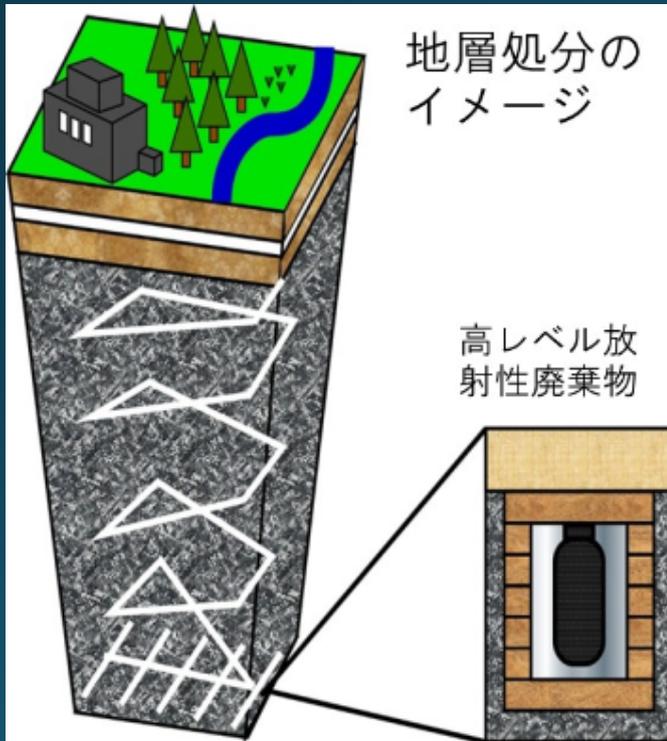
- ① 廃棄体の安定的保持
- ② 廃棄体に対する地下水の流出入の抑止
- ③ 吸着による核種流出の抑止
- ④ 作業時の放射線環境の改善



要求機能に対する阻害要因

- a. 崩壊熱による高温環境
- b. 大深度による高圧環境
- c. 海水浸入の可能性
- d. 長期間(数万年)の継続(化学的変質の可能性)

# 要求機能・要求性能・真の特性 ベントナイトを高レベル廃棄物（体）の 緩衝材に用いる



緩衝材としての要求機能

- ① 廃棄体の安定的保持
- ② 廃棄体に対する地下水の流
- ③ 浸透の抑制
- ④ 作業時の放射線環境の改善

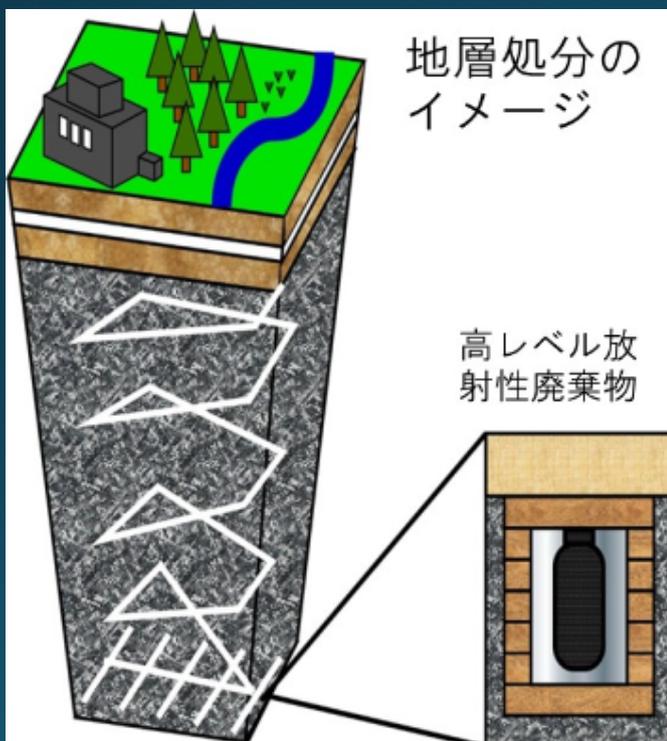
要求性能として  
**膨潤特性に注目**



要求機能に対する阻害要因

- a. 崩壊熱による高温環境
- b. 大深度による高圧環境
- c. 海水浸入の可能性
- d. 長期間（数万年）の継続（化学的変質の可能性）

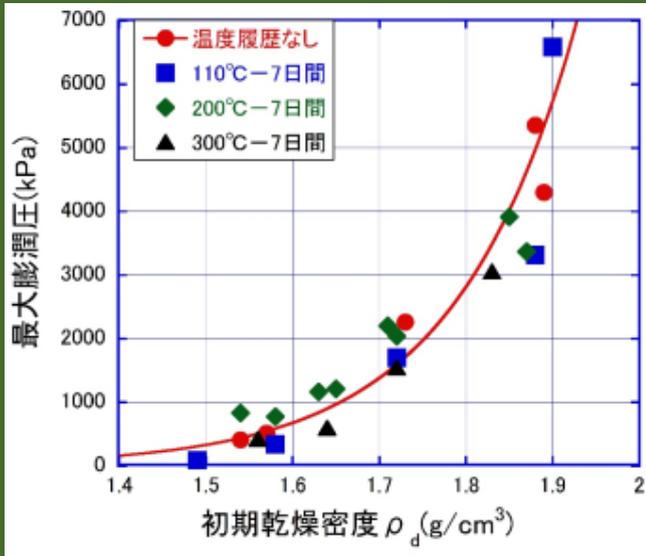
# 要求機能・要求性能・真の特性 ベントナイトを高レベル廃棄物（体）の 緩衝材に用いる



ベントナイト緩衝材の高温・高圧・超長時間による特性変化の研究

- 高温履歴による膨潤特性変化の検討
- ナチュラルアナログを援用した膠着作用の影響評価法の検討
- 吸水方向と膨潤特性の方向性の検討

# 要求機能・要求性能・真の特性 ベントナイトを高レベル廃棄物（体）の 緩衝材に用いる

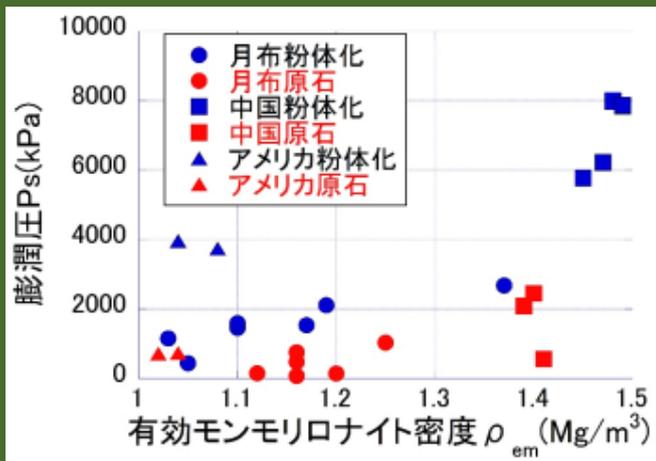
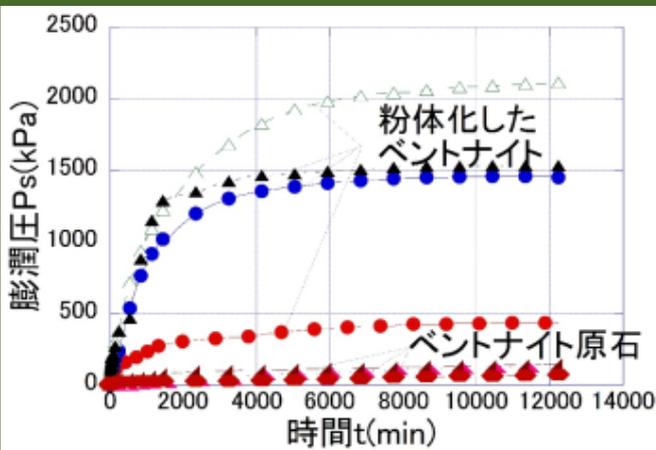


高温履歴による膨潤圧の変化



ベントナイト緩衝材の高温・高圧・超長時間による特性変化の研究

- 高温履歴による膨潤特性変化の検討
- ② 欠損に対する修復性
- ナチュラルアナログを援用した膠着作用の影響評価法の検討
- 吸水方向と膨潤特性の方向性の検討



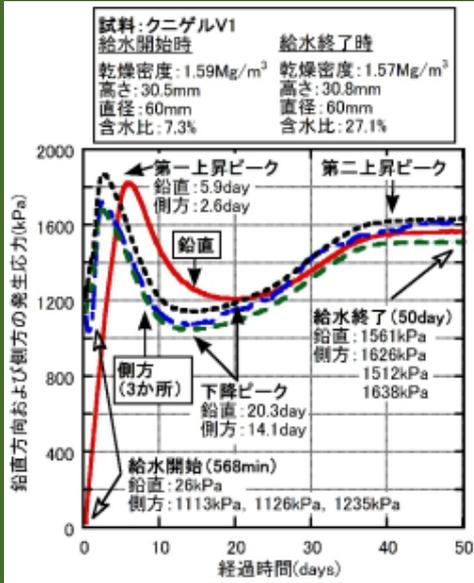
粉体化ベントナイトと原石の膨潤圧

# 要求機能・要求性能・真の特性 高レベル廃棄物（体）の

ベントナイト緩衝材の高温・高圧・超長時間による特性変化の研究

- 高温履歴による膨潤特性変化の検討
- ② 欠損に対する修復性
- ナチュラルアナログを援用した膠着作用の影響評価法の検討
- 吸水方向と膨潤特性の方向性の検討

# 要求機能・要求性能・真の特性 ベントナイトを高レベル廃棄物（体）の 緩衝材に用いる



吸水方向と発生膨潤圧の関係

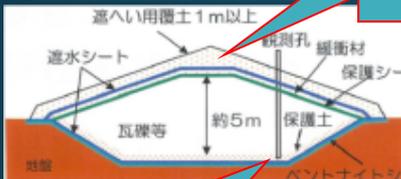
## ベントナイト緩衝材の高温・高圧・超長時間による特性変化の研究

- 高温履歴特性を有する膨潤特性変化の検討
- 劣化に対する修復性グを援用した膠着作用の影響評価法の検討
- 吸水方向と膨潤特性の方向性の検討

廃棄物一時保管  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性覆土  
(地盤材料学  
地盤施工学)

## ③施設解体・廃棄物処分 放射性廃棄物処分 における 地盤工学的技術



高性能止水材  
(地盤材料学)

地中埋設処分  
地盤力学・地盤環境学  
地盤材料学・地盤施工学

一時的原位置封じ込め  
地盤環境学  
地盤材料学  
地盤施工学

高遮蔽性盛土  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

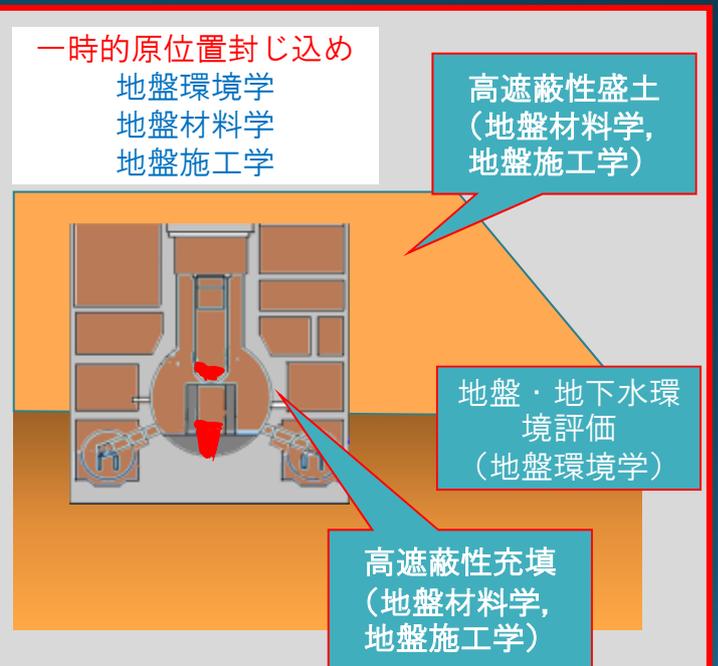
地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)

地下空間構築  
(地盤力学, 地盤施工学)

高性能緩衝材  
(地盤材料学,  
地盤施工学)

地盤・地下水環境評価  
(地盤環境学)

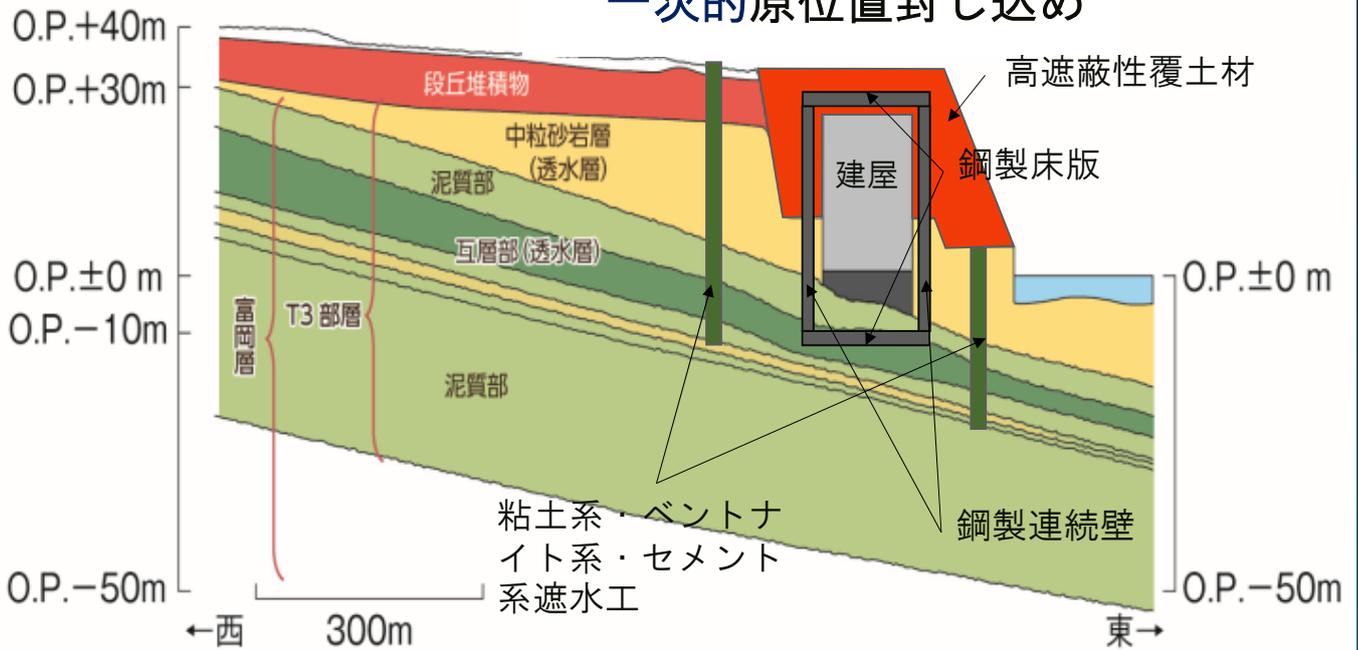
高遮蔽性充填  
(地盤材料学,  
地盤施工学)



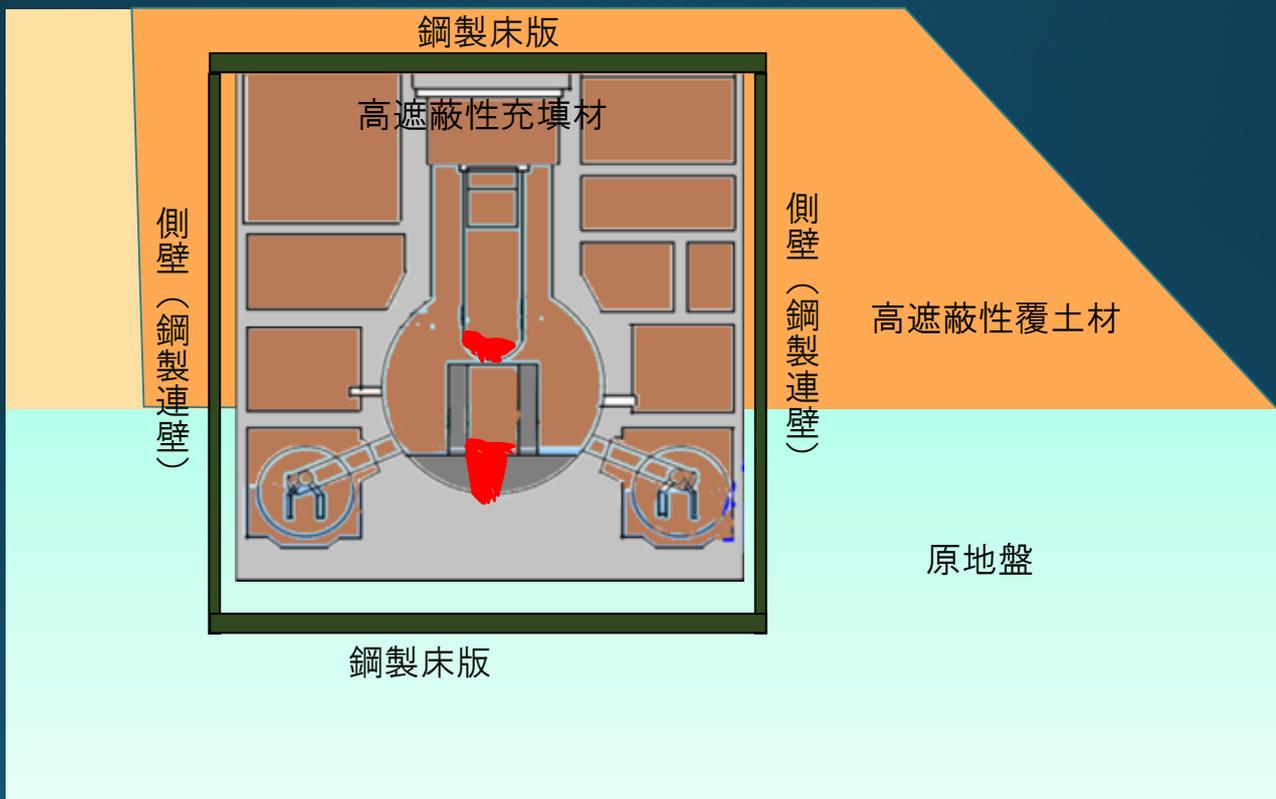
# 研究成果の他への活用 一時的原位置封じ込め

高濃度汚染物の排出が困難な時は

## 一次的原位置封じ込め

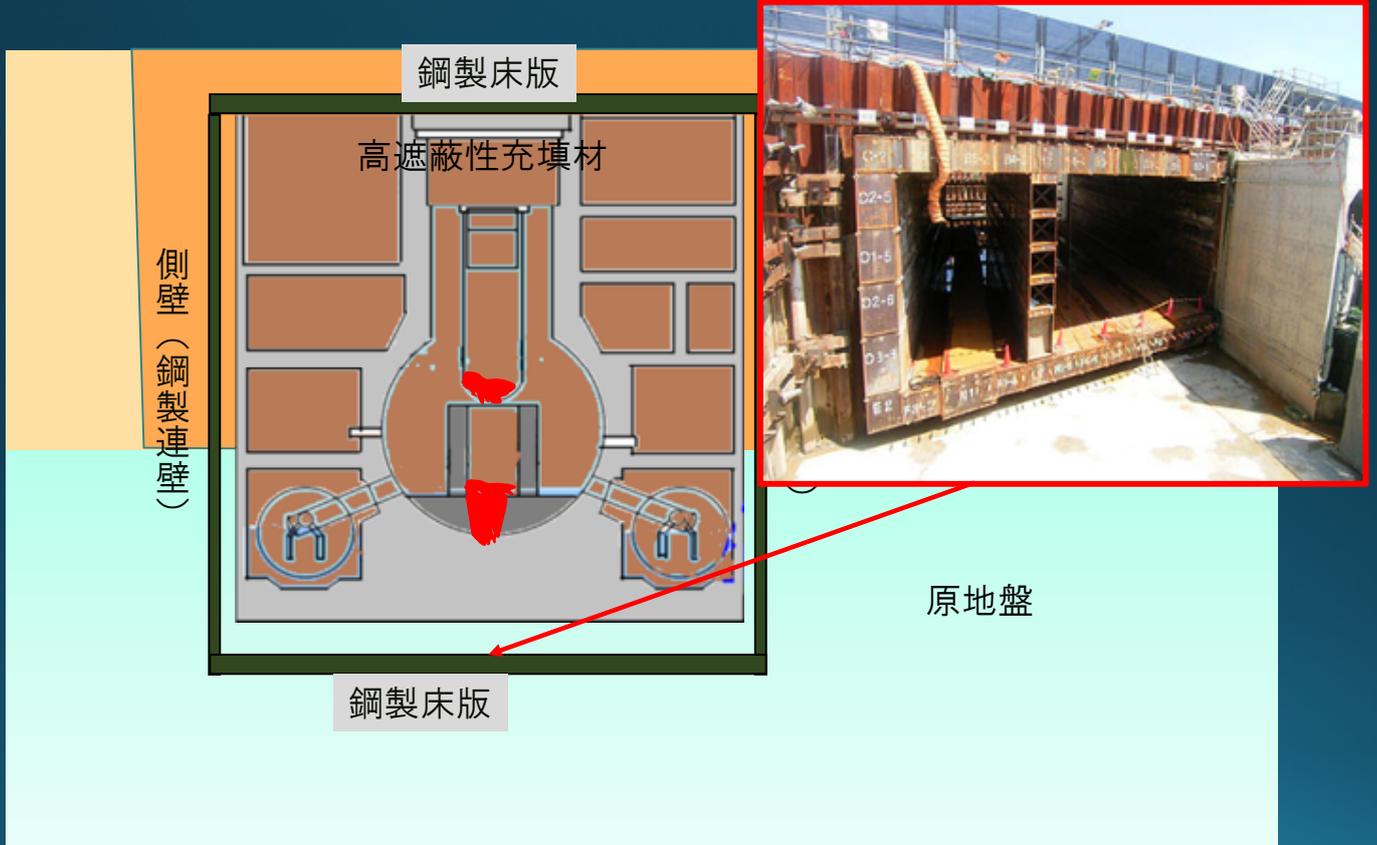


# 研究成果の他への活用 一時的原位置封じ込め

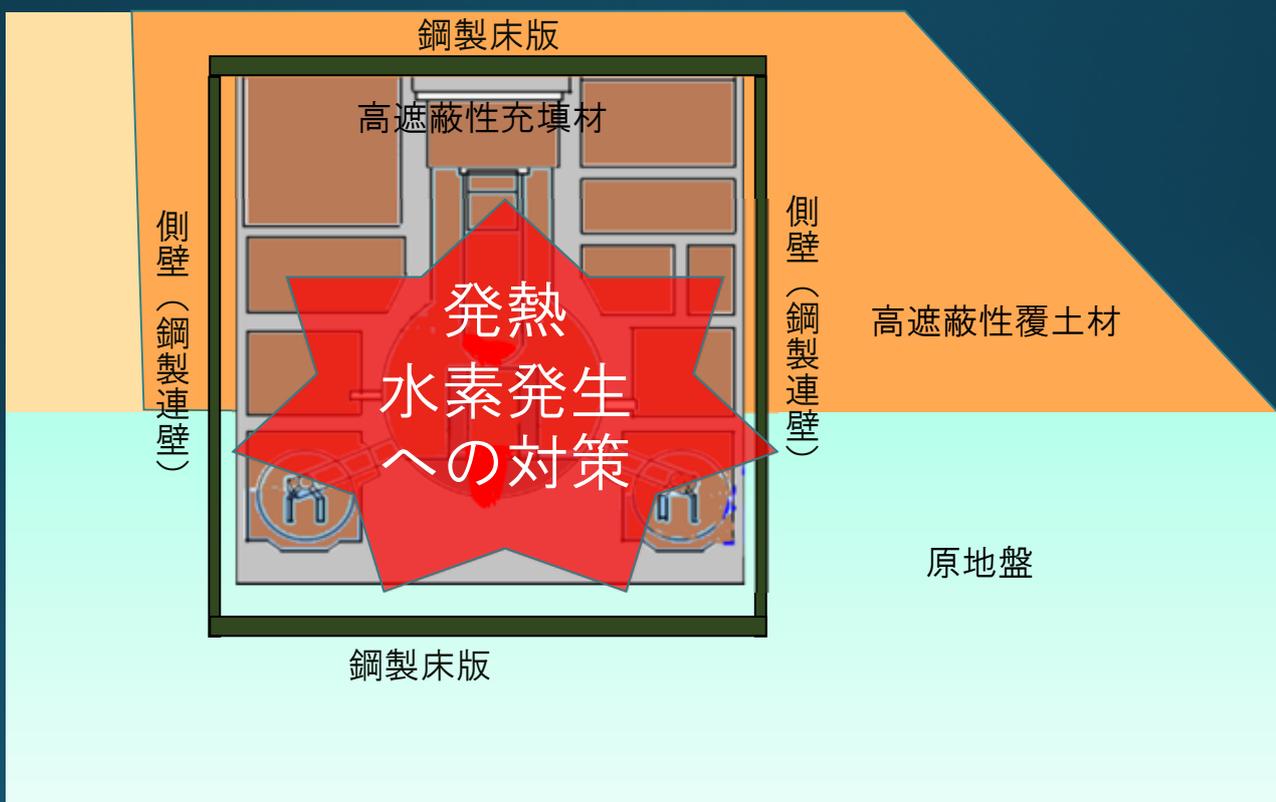




# 研究成果の他への活用 一時的原位置封じ込め



# 一時的原位置封じ込め 解決しなければならない課題



**ご清聴ありがとうございました。**