

2019/12/10 廃炉地盤工学講習会

# 廃止措置への活用 (技術のマッチング)

2019年12月10日

廃炉地盤工学委員会 幹事

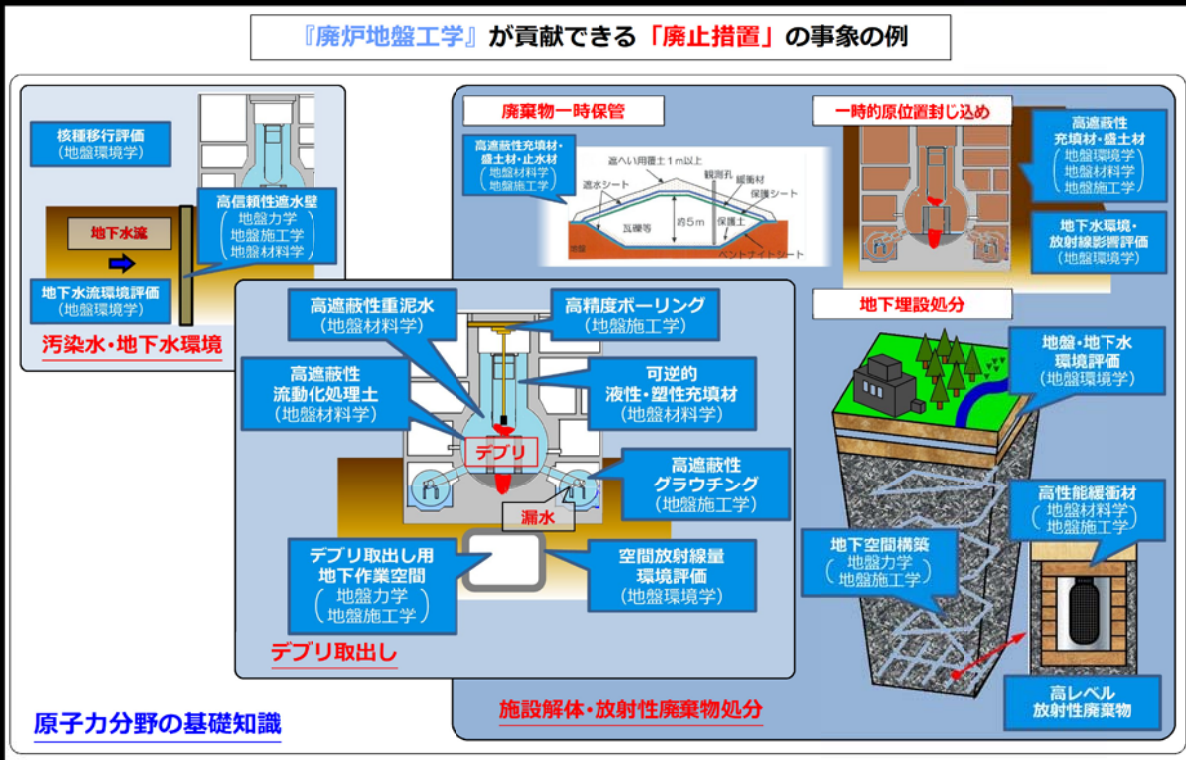
菱岡 宗介 (パシフィックコンサルタンツ株式会社)

## 目次 (構成)

1. 技術マップと廃炉シナリオ
2. 廃炉シナリオに対する地盤工学的技術の適用性

# 1. 技術マップと廃炉シナリオ

## (1) 廃止措置に寄与可能と考えられる地盤工学技術



## (2) 技術マップとは

### ・地盤工学会が考える廃止措置に至る時系列的な流れ

- ① 汚染水・地下水環境の制御段階
- ② 燃料デブリの取り出し段階
- ③ 施設の解体・廃棄物の処理処分段階

### ・廃炉地盤工学の学問単元に基づく技術の区分

#### ・地盤力学

原子炉廃止措置の各段階で生じる構造物及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

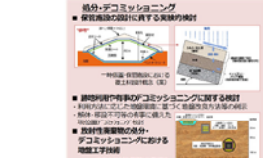
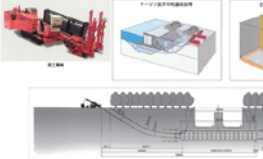


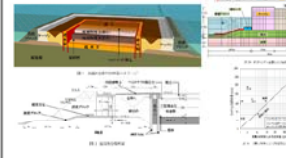
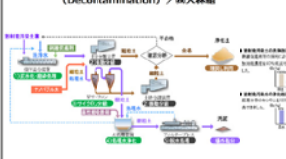
廃止措置に  
材料を選択し

「廃炉地盤工学における  
地盤施工学」も参照のこと。





# 技術マップ (公開用 : rev.09.1)

廣伊地盤工学における技術マップ (rev.09.1) - 1/4			
分類	(A) 汚染水・地下水環境 (除染技術)	(B) 燃料デブリ取り出し	(C) 施設の解体・廃棄物の処理・処分
分類	(A) 汚染水・地下水環境 (除染技術)	(B) 燃料デブリ取り出し	(C) 施設の解体・廃棄物の処理・処分
分類	(A) 汚染水・地下水環境 (除染技術)	(B) 燃料デブリ取り出し	(C) 施設の解体・廃棄物の処理・処分
分類	(A) 汚染水・地下水環境 (除染技術)	(B) 燃料デブリ取り出し	(C) 施設の解体・廃棄物の処理・処分
① 地盤工学	<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>複雑する地下埋設物に対応できる遮水壁構築工法</li> <li>汚染水プールに設置する自己診断機能付き遮水幕工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料デブリ取り出しのための高精度ボーリング工法</li> <li>燃料デブリ取り出し時における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圧水性グラウチング工法</li> <li>使用済燃料及び燃料デブリ取り出し時における燃料建屋内の除染技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下埋設処分施設の構築工法</li> <li>高い放射能レベルの固形廃棄物・使用済み燃料の処分技術</li> <li>安定的な埋め込み・掘削に対応できる格納容器用高圧水性充填工法</li> <li>掘削全体の管理・コンクリートを用いた掘削外壁による封じ込め工法</li> <li>瓦礫・残材の保管施設構築技術</li> <li>汚染土壌の最小化のための減容技術</li> <li>池内底質の浄化/回収技術</li> <li>廃棄物の浄化に応じた地盤改良・埋立技術</li> </ul>
② 地盤工学	<ul style="list-style-type: none"> <li>「プラント安定状態の維持・管理 (原子炉の冷却)」</li> <li>冷却、閉じ込め、安全設備の維持・信頼性向上など</li> <li>「汚染水処理」</li> <li>汚染水浄化、地下水系み上げ など</li> <li>「労働安全の確保 (労働災害防止・減毒減量)」</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「炉内・燃料デブリの状況把握」</li> <li>実機調査による推定 (RPV-PCV)</li> <li>「燃料デブリ取り出し工法実用化検証」</li> <li>燃料デブリ取り出し装置・装置の開発、燃料デブリへのアクセスルート構築、労働安全の確保</li> <li>「燃料デブリ取り出しに向けた取組 (準備・環境整備・実機工事)」</li> <li>安全設備の維持・信頼性向上、など</li> <li>「労働安全の確保 (労働災害防止・減毒減量)」</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「貯蔵 (保管・管理)」</li> <li>固形廃棄物の保管管理 (保管管理計画)</li> <li>「保護・処分」</li> <li>固形廃棄物の処理・処分 (処理及び処分計画に関する検討)</li> <li>「労働安全の確保 (労働災害防止・減毒減量)」</li> </ul>
③ 地盤工学	<p>④A-01) 3Dシミュレーションを利用した信頼性の高い瓦礫・残材の保管施設構築工法 / 基礎固め</p>  <p>④A-06) 自在「U-パイプ」を用いた地盤改良工法 (CURVEQ) / 基礎建設</p> 	<p>④B-05) 代替工法のための燃料デブリの切削・集塵技術 / 入庫設備</p>  <p>④B-09) 3Dシミュレーションを用いた除染設備の運用効率化 / 清水建設</p> 	<p>④C-02) 広大な海面を利用してできる海面処分場の建設工法 / 広島大</p>  <p>④C-18) 分選・洗浄により放射性汚染土を90%減容するF-441-1e'のDC (Decontamination) / 東大林研</p> 
④ 地盤工学	図18件	図9件	図22件

## (5) 廃炉までのシナリオについて

ロードマップ・戦略プラン等の整理結果抜粋 (平成29年度情報に基づく)

期間区分	第2期
初号機燃料デブリ取り出し開始まで (2021年内)	初号機燃料デブリ取り出し開始まで (2021年内)
年度	2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021
使用済燃料プールからの燃料取出し	
1号機	建屋カバー解体等 → ガレキ撤去等 → カバ
2号機	準備工事 → オペレーティングフロア内調査等 → 建屋上部解体等
3号機	取出装置 (カバー等) 設置 → 燃料取出し
4号機	使用済燃料取出し完了 (2017年12月)
5号機・6号機	
周辺環境	準備工事 → 1・2号機排気塔上部解体 → 準備工事 → 海洋汚染防止対策等
取出した燃料の適切な保管	共用プールでの燃料保管 → 乾式キャスク調達、共用プールから乾式キャスク保管設備への移
将来の管理・保管方法の検討	3号機燃料を論じた長期的健全性等に関する検討 → 処理・保管方法の検討

※出典『東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ』平成29年9月, 廃炉・汚染水対策関係僚等会議  
『東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017』2017年8月, 原子力損害賠償・廃炉等支援機構



## 整理した作業グループを、廃炉までの時系列に沿う形で、基本的なシナリオとして構築。



なお、これらの各作業グループは、戦略プランに示された技術要件を整理すると、左図のように、他の作業グループと関連しつつ、詳細な作業項目・検討すべき事項などで構成される。

### 【シナリオの目的】

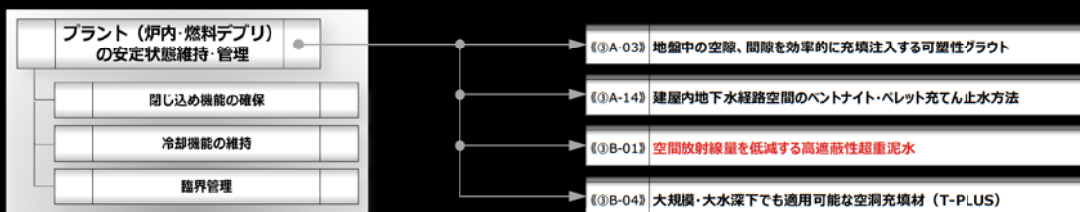
政府・国・東京電力などが考える廃炉までの事業の流れ・考え方を正しく理解・把握し、これにより後述する技術マップに掲げた廃炉に寄与可能と考えられる様々な地盤工学的技術を、実情に則し且つ説得力ある形で提示していく。

※出典 『東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ(案)』平成29年9月, 廃炉・汚染水対策関係僚等会議  
 『東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017』2017年8月, 原子力損害賠償・廃炉等支援機構

## 2. 廃炉シナリオに対する地盤工学的技術の適用性

### (1) 技術メニュー(選択枝)の整理(例①)

【プラントの安定状態・維持管理】や【労働安全の確保・被曝低減】に寄与可能な地盤工学技術



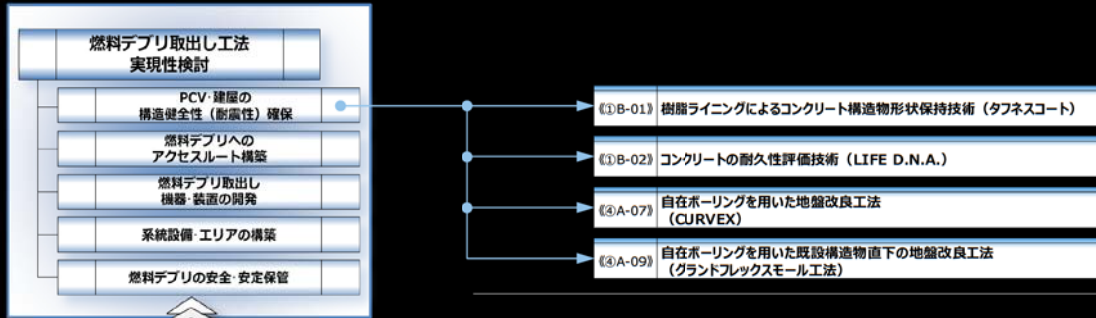
プラントの安定状態維持における臨界管理・冷却機能の維持、PCV等の止水に寄与可能な技術群である。



作業員の労働安全の確保・被曝低減に寄与可能な技術群であり、主に1F事故発生後のオフサイトにおける除染に伴って開発されてきたものである。

# (1) 技術メニュー（選択肢）の整理（例①）

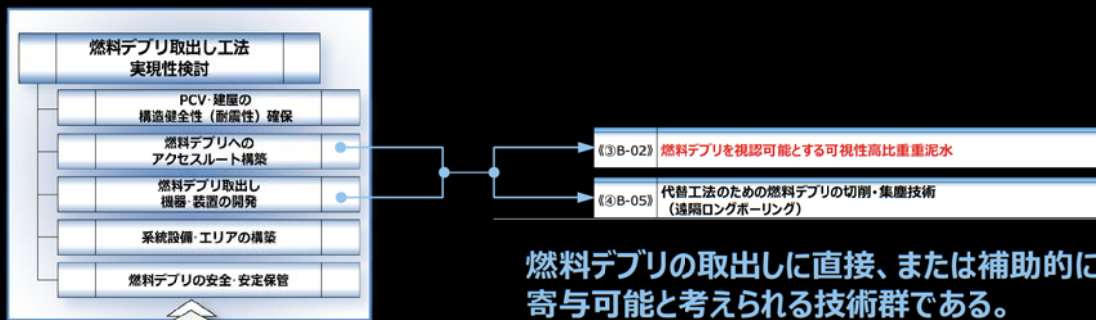
【燃料デブリ取り出し工法実現性検討】段階で寄与可能な地盤工学技術



燃料デブリ取り出しに際して求められる**PCV（原子炉格納容器）や建屋の健全性確保**に寄与可能な技術である。  
 （上段）構造物自体の健全性に寄与  
 （下段）基礎部分の安定性に寄与

# (1) 技術メニュー（選択肢）の整理（例①）

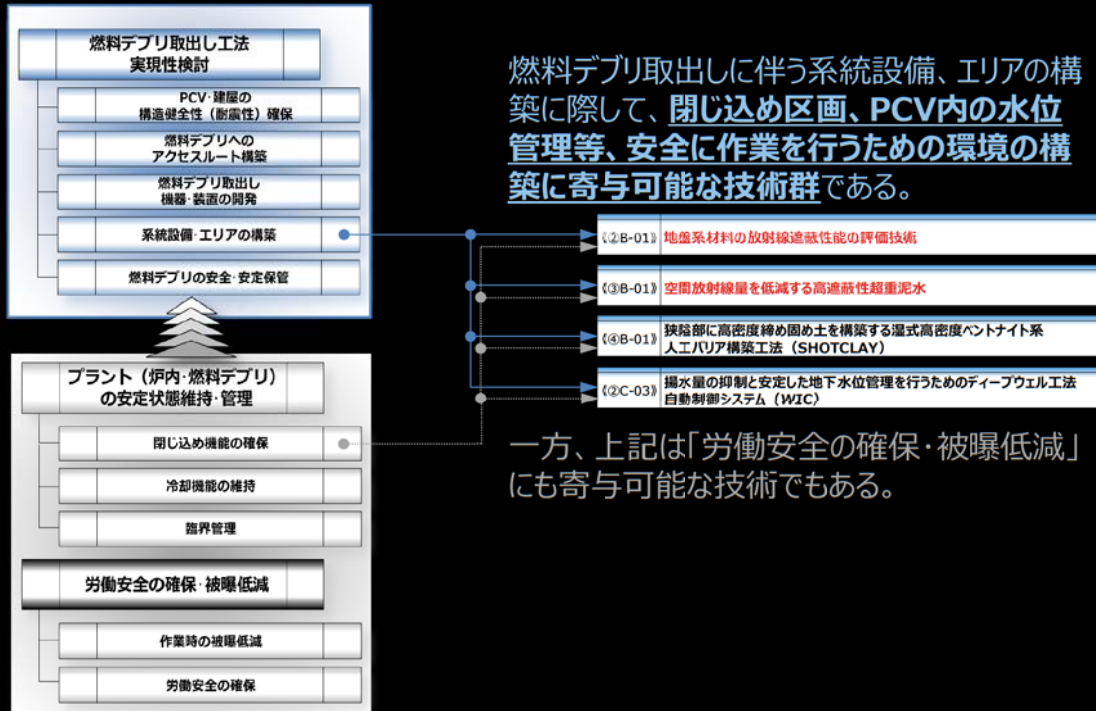
【燃料デブリ取り出し工法実現性検討】段階で寄与可能な地盤工学技術



燃料デブリの取出しに直接、または補助的に寄与可能と考えられる技術群である。

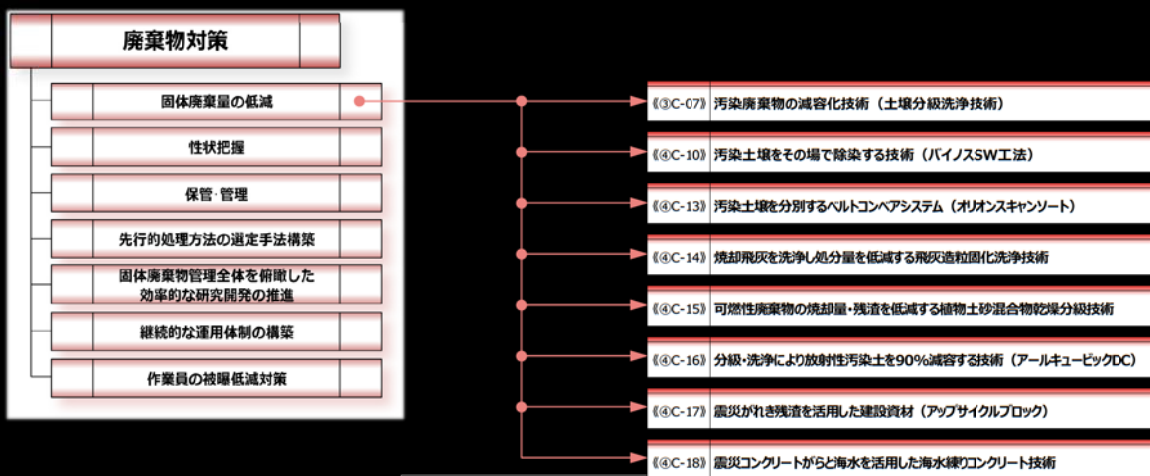
## (1) 技術メニュー（選択肢）の整理（例①）

【燃料デブリ取り出し工法実現性検討】段階で寄与可能な地盤工学技術



## (2) 技術メニュー（選択肢）の整理（例②）

【廃棄物対策（固体廃棄物※保管・管理）】段階で寄与可能な地盤工学技術

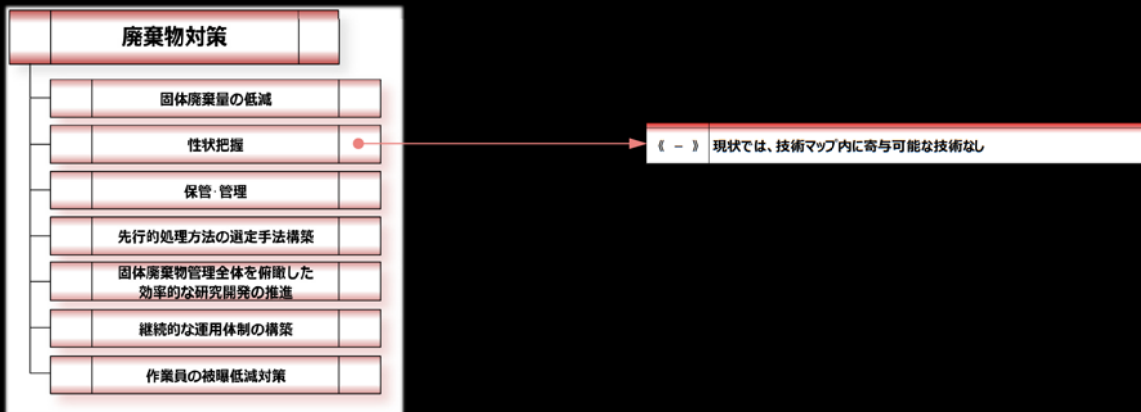


※固体廃棄物:ガレキ類・伐採木・使用済保護衣等と水処理二次廃棄物(吸着塔類、廃スラッジ、濃縮廃液)



## (2) 技術メニュー（選択肢）の整理（例②）

【廃棄物対策（固体廃棄物※保管・管理）】段階で寄与可能な地盤工学技術



※固体廃棄物:ガレキ類・伐採木・使用済保護衣等と水処理二次廃棄物(吸着塔類、廃スラッジ、濃縮廃液)

## (2) 技術メニュー（選択肢）の整理（例②）

【廃棄物対策（固体廃棄物※保管・管理）】段階で寄与可能な地盤工学技術

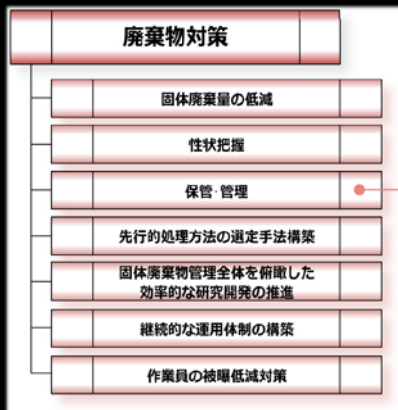


保管段階で寄与可能と考えられる技術群であり、廃棄物処分場や放射性廃棄物の処分（地層処分・中深度処分・浅地中トレンチ処分・浅地中ピット処分）で研究・開発が進められてきたものである。

※固体廃棄物:ガレキ類・伐採木・使用済保護衣等と水処理二次廃棄物(吸着塔類、廃スラッジ、濃縮廃液)

## (2) 技術メニュー（選択肢）の整理（例②）

【廃棄物対策（固体廃棄物※保管・管理）】段階で寄与可能な地盤工学技術



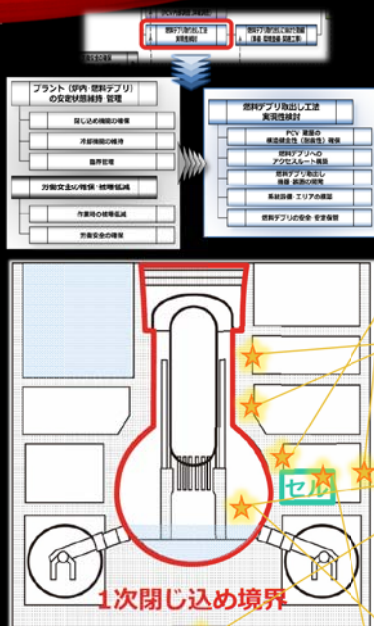
②C-01	地下水・核種拡散シミュレーションを活用した原子炉建屋周囲の時間的变化に対応した評価技術
②C-02	広域水循環の評価を可能とする解析プログラム群 (GET FLOWS)
④C-04	岩盤の割れ目を個別にモデル化し、岩盤内の地下水の流れを評価する割れ目ネットワークモデル物質移行解析手法
②C-05	光ファイバを使用した放射線検知装置の小型化技術
②C-07	放射性廃棄物地層処分安全評価技術
②C-11	汚染水の挙動を予測する物質移行解析技術
④C-20	遮水シートに設置した電極からの電流により漏水箇所を特定し、急速補修する電流式漏水検知補修システム
④C-21	袋状にした二重遮水シート内の真空圧により漏水箇所を特定し、急速補修する技術 (T&OHシステム)

主に管理面で寄与可能と考えられる技術群であり、廃棄物処分場や放射性廃棄物の処分（地層処分・余裕深度処分・浅地中トレンチ処分・浅地中ピット処分）で研究・開発が進められてきたものである。

※固体廃棄物:ガレキ類・伐採木・使用済保護衣等と水処理二次廃棄物(吸着塔類、廃スラッジ、濃縮廃液)

## (3) 地盤工学技術の適用性とシナリオ（案）

その1【燃料デブリ取り出し準備段階（気中-横アクセス）】



### ① 構造健全性の確保

- ・コンクリート構造物に樹脂ライニングを塗布《①B-01》。
- ☞コンクリートの形状保持（構造健全性の確保）を期待。

### ② プラントの安定状態維持・管理

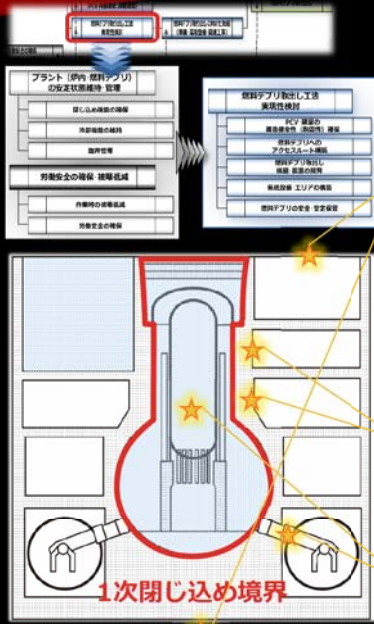
- ・閉じ込め機能の確保：遮蔽性
- PCV周り（1次閉じ込め境界）外側に吹付工法によりベントナイト層を構築《③B-01》。
- ☞気中・横アクセス工法におけるセル構築時に使用することで遮蔽性（作業従事者の被曝低減）を期待。
- ☞2～3階にも施工することで遮蔽性に加え、冷却水かけ流し時のPCV上部配管からの漏水に対する膨潤性と遮水性を期待。
- ・冷却機能の維持：止水性について
- PCV内に超重泥水《③B-01》を注入後、固化。
- ☞遮蔽性と遮水性を期待。（冷却機能への影響）
- ☞荷重増加に対しては、自在ボーリングによる建屋基礎部の地盤改良《④A-07・④A-09》により強度確保を期待。
- PCV内に超重泥水《③B-01》を注入後、粘性を調整し、冷却水の代わりに循環。
- ☞遮蔽性・遮水性を期待。（循環系への影響・別系統構築の必要性ほか）

### ③ 労働安全の確保・被曝低減

- ・1F周辺の除染作業時に使用された放射線シールドシート《③B-06》の活用。
- ☞作業従事者の被曝低減を期待。（高線量下での適用性未確認）

戦略プラン2017の提言、「気中-横アクセス工法」を軸に...

## その2【燃料デブリ取り出し準備段階（冠水）】



### ①構造健全性の確保

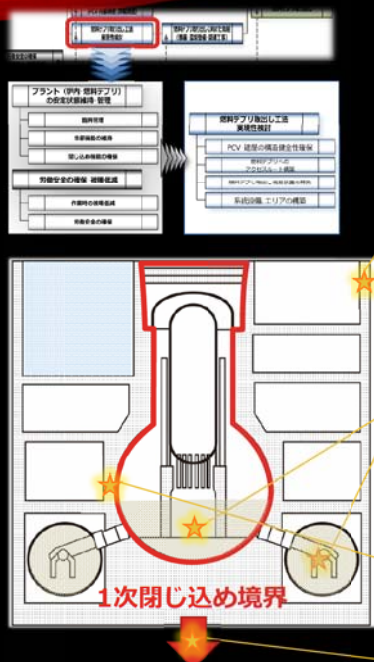
- ・自在ボーリングによる建屋基礎部の地盤改良《④A-07・④A-09》。
- ⇒ 荷重増加に対する強度確保を期待。  
(障害となる地下構造物の存在)

### ②プラントの安定状態維持・管理

- ・閉じ込め機能の確保：遮蔽性  
PCV周り（1次閉じ込め境界）外側に吹付工法によりベントナイト層を構築《③B-01》。
- ⇒ 配管類を撤去の上、施工することで、遮蔽性に加え、冠水時のPCV上部配管からの漏水に対する膨潤性と遮水性を期待。
- ・冷却機能の維持：止水性について  
PCV内に超重泥水《③B-01》を注入後、固化。
- ⇒ 遮蔽性と遮水性を期待  
(冷却機能への影響)

戦略プラン2016以前の  
提言、「冠水工法」を  
主軸に...

## その3【燃料デブリ取り出し準備段階（その他）】



### ①プラントの安定状態維持・管理

- ・閉じ込め機能の確保：2次閉じ込め境界の構築  
建屋のまわりを土やこれを利用したソイルバッグ（D・BOXなど）を活用して覆いを構築し、原位置で一時的に封じ込め（保管）。
- ⇒ 土が有する遮蔽性、D・BOXの施工性、耐震性（構造健全性の確保）も期待。
- ・冷却機能の維持：止水性について  
PCV内に超重泥水《③B-01》を注入後、固化。
- ⇒ 遮蔽性と遮水性を期待。  
(冷却機能の維持)

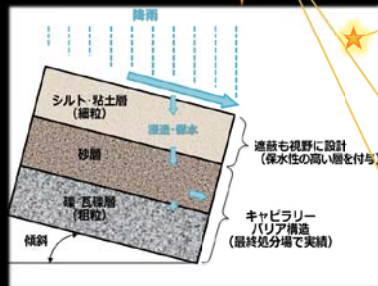
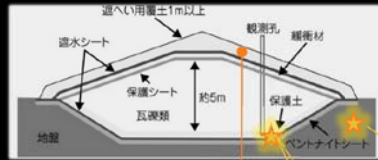
### ②アクセスルート構築

- ・燃料デブリを固化した状態で、横方向から取り出し《④B-05》。
- ⇒ 遮蔽性を期待。
- ・一旦、PCV部分を予め設けた地下トンネルに沈降させ、地下でデブリ取り出し作業を実施。
- ⇒ 遮蔽性を期待。

その他の取り出し（案）と  
して....



## その4【廃棄物対策（固体廃棄物保管・管理）】



### ① 固体廃棄量の低減

- 汚染土壌・瓦礫を放射線濃度により分別《④C-13》。
  - 放射能濃度に応じた処理・処分を可能とすることを期待。
  - 植物混合土の分離、汚染土壌の分級、汚染瓦礫・土壌の洗浄による減容化《③C-07、④C-10、④C-15、④C-16ほか》。
  - 処理（保管・管理）・処分対象となる廃棄物量の低減を期待。
  - 焼却飛灰の洗浄、除染後（洗浄後）の瓦礫を建設資材として再利用《④C-14、④C-16、④C-17》。
  - 最終的な処分量の低減を期待。
- （オフサイトでの再利用：持ち出し、除染後の放射能濃度などが課題）

### ② 保管・管理

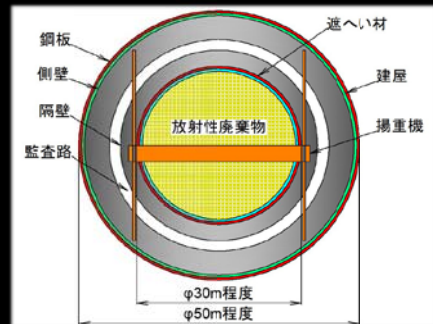
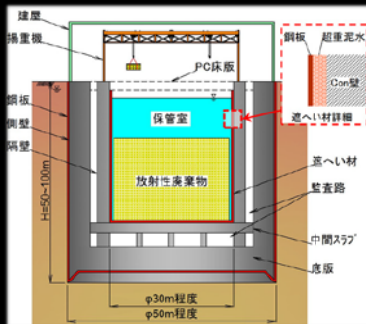
- 保管施設周辺の地下水環境の評価《②A-01、②A-02、②C-07ほか》。
- 地下水による放射性核種の移行を評価（安全評価）。
- キャピラリーバリアを利用した覆土《③C-05、③C-07、④C-01ほか》。
- 保管中の廃棄物への雨水浸透防止や遮蔽性を期待。
- 遮水シートの代わりに、ベントナイト、又はベントナイトと現地発生土の混合土等を使用《④C-20、④C-21》。
- 浸出水の流出・地下水の流入防止（放射性核種の移行抑制）
- （遮水シートを設置している場合）電流や真空圧により、浸出水や地下水の流入を検知・補修（モニタリング）《③C-20、③C-01、》。
- 地下水による放射性核種の移行抑制

## その5【廃棄物対策（固体廃棄物保管・管理）】

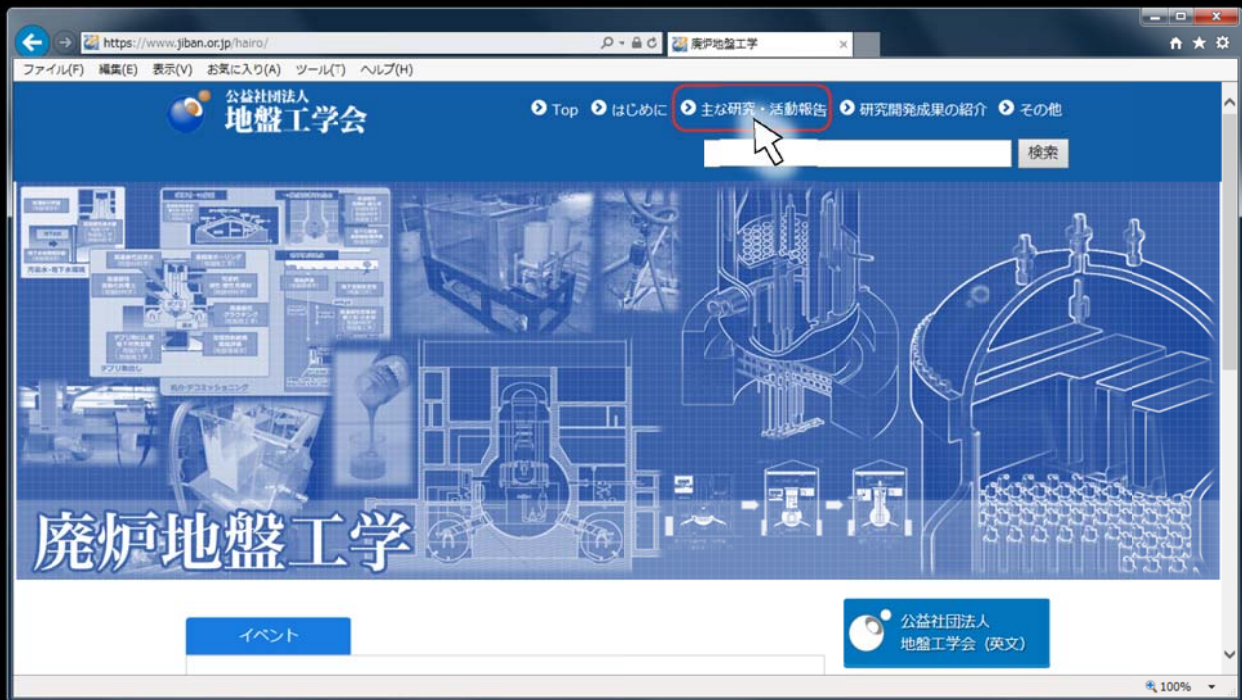


### 保管・管理～処理・処分

- ニューマチックケーソン工法《④C-22～24》と超重泥水を活用した保管施設や低レベル放射性廃棄物の処分施設（L1～L3）の構築。
- 施工性を期待（耐震性、周辺環境への影響面、工程面など）すると共に、長重泥水が有する遮蔽性も期待。また、港内での水上施工などにも対応可能。

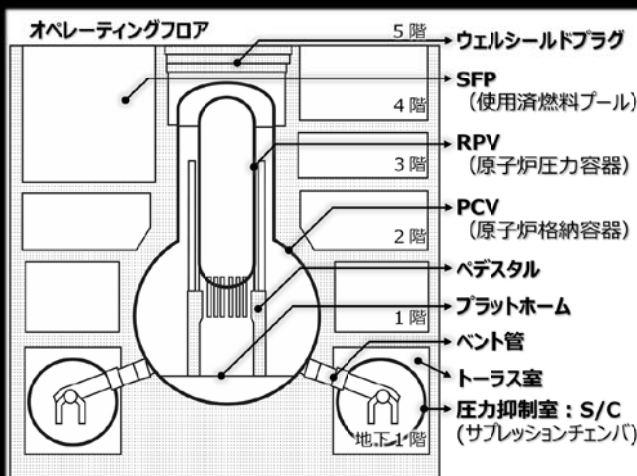


## (参考) 廃炉地盤工学HPについて

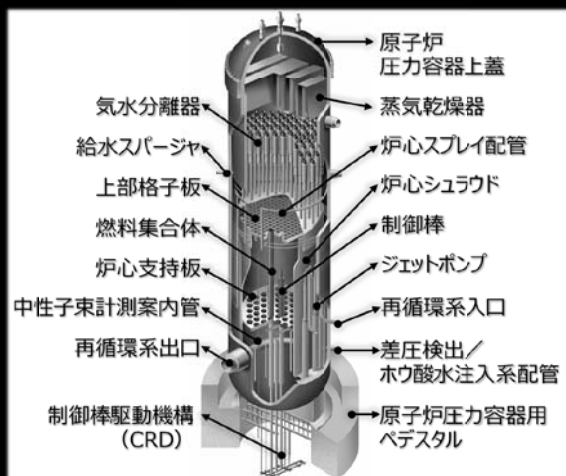


<https://www.jiban.or.jp/hairo/>

## (参考) 原子炉建屋及び圧力容器内 (RPV) の構造



原子炉建屋内部の構造



圧力容器 (RPV) の内部構造

※出典『東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017』2017年8月, 原子力損害賠償・廃炉等支援機構及び、IRIDホームページ掲載の資料を基に加筆。