

2019年12月10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

廃炉地盤工学設立の 意義と概要

早稲田大学 理工学術院総合研究所

後藤 茂

福島第一原子力発電所の事故 への地盤工学の対応

- 被災した福島第一原子力発電所の廃止措置
 - 高放射線環境への対応
 - 汚染拡大の防止
 - 放射性物質で汚染されたエリアの修復
 - 廃止措置に伴い発生する廃棄物対策



• 地盤工学的技術の貢献の場がある！！

地盤工学会の委員会設立と 廃炉地盤工学の創設

- 文科省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 **廃止措置研究・人材育成等強化プログラム**」に地盤工学会の提案が採択された（2015年度より5年間）。
- 「福島第一原子力発電所廃止措置に向けた地盤工学的新技术と人材育成に関する検討委員会；略称：**廃炉地盤工学委員会**」を組織して活動中。
- 原子力分野の技術者と協働できる**新しい地盤工学技術者の育成プログラム「廃炉地盤工学」**を構築する。

地盤工学技術者と原子力発電技術者（関係者）との現状の関係

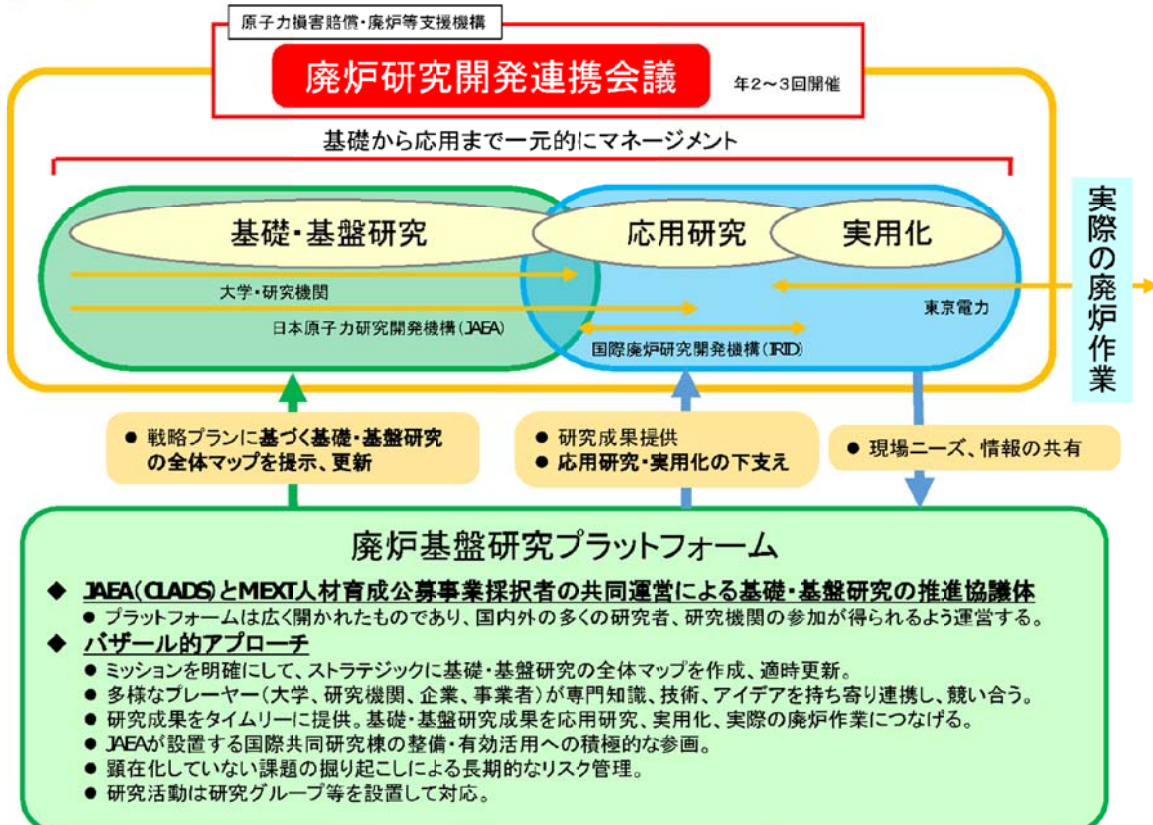
- 一部の専門家を除けば地盤工学技術者は**原子力発電技術に無知**。
- 原子力発電関係者は**地盤工学について無知（無関心）**。
 - ・福島原発事故ではトレンチからの汚染水漏洩防止や原発建屋への地下水流入制御等で**地盤工学技術はすでに活躍**。
- **事故原発の関連情報**は原子力関係者に入り、地盤工学分野には入りにくい。
- 原子力技術者と地盤工学技術者の**協働**が必至。

廃炉地盤工学創設の目的（1）

- 廃炉技術の明日を担う**地盤関連技術者の教育内容を整備する。**
- **学問的位置づけを明確化し、技術の伝承や後継者の育成を可能にする。**
- 廃炉に関連するプロセスや技術の要求性能（使われ方）を明確にすることにより、**新技術を提案しやすくする。**
- 廃炉に貢献する地盤関連技術の位置付けを明確にすることにより、**技術のアピールや相互関連をしやすくする。**



廃炉基盤研究プラットフォームの位置付け



廃炉地盤工学創設の目的（2）

- ・廃炉技術に関して原子力分野と地盤工学分野をつなぐ橋渡しになる。



- ・地盤工学的技術が原子力（廃炉）分野へ入っていく入り口。
- ・原子力（廃炉）関係者が地盤工学的技術を知る窓口。
- ・原子力（廃炉）と地盤工学相互の見える化（何が必要か、何ができるか）が必要。

廃炉地盤工学創設の目的

(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"> 汚染水貯留施設の安定性評価 遮水壁設置地盤の地震時安定性評価 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> デコミッションの段階に沿った地盤・建屋系の地震時安定性評価
地盤環境学	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 上記地下基地の空間放射線量の環境評価 	<ul style="list-style-type: none"> デコミッション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 余裕深度処分対応の地下水環境評価
地盤材料学	<ul style="list-style-type: none"> 汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料の開発 遮水壁の信頼性を高める高性能遮水壁材料の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 空間放射線量を低減する高遮蔽性重泥水の開発 デブリ視認可能な可視性重泥水の開発 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 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 余裕深度処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発 原位置デコミッションに対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発 原位置デコミッションで建屋全体を覆う高遮蔽性盛土材料の開発
地盤施工学	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁の構築工法 輻輳する地下構造物に対応できる遮水壁構築工法 汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工法 	<ul style="list-style-type: none"> デブリ取出しのための高精度ボーリング工法 上記地下基地の構築工法 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 	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法 余裕深度施設の構築工法 原位置デコミッションでの格納容器用高遮蔽性充填工法 同上での建屋全体の鋼製外殻による封込め工法

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"> 汚染水貯留施設の安定性評価 遮水壁設置地盤の地震時安定性評価 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力建屋下部の放射線漏洩防止のための地下基地の安定性評価 	<ul style="list-style-type: none"> 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
地盤環境学	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 上記地下基地の空間放射線量の環境評価 	<ul style="list-style-type: none"> 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 余裕深度処分対応の地下水環境評価
地盤材料学	<ul style="list-style-type: none"> 汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料の開発 遮水壁の信頼性を高める高性能遮水壁材料の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 空間放射線を低減する高遮蔽性重泥水の開発 デブリ視認可能な可視性重泥水の開発 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 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 余裕深度処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発 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の開発 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
地盤施工学	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁の構築工法 輻輳する地下構造物に対応できる遮水壁構築工法 汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工法 	<ul style="list-style-type: none"> デブリ取出しのための高精度ボーリング工法 上記地下基地の構築工法 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 	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法 余裕深度施設の構築工法 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 同上での建屋全体の鋼製外殻による封込め工法

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"> 汚染水貯留施設の安定性評価 遮水壁設置地盤の地震時安定性評価 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力建屋下部の放射線漏洩防止のための地下基地の安定性評価 	<ul style="list-style-type: none"> 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
地盤環境学	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 上記地下基地の空間放射線量の環境評価 	<ul style="list-style-type: none"> 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 余裕深度処分対応の地下水環境評価
地盤材料学	<ul style="list-style-type: none"> 汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料の開発 遮水壁の信頼性を高める高性能遮水壁材料の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 空間放射線を低減する高遮蔽性重泥水の開発 デブリ視認可能な可視性重泥水の開発 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 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 余裕深度処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発 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 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
地盤施工学	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁の構築工法 輻輳する地下構造物に対応できる遮水壁構築工法 汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工法 	<ul style="list-style-type: none"> デブリ取出しのための高精度ボーリング工法 上記地下基地の構築工法 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 	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法 余裕深度施設の構築工法 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 同上での建屋全体の鋼製外殻による封込め工法

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）

技術マップ (rev.08)

廣伊地盤工学における技術マップ (rev.08) -1/3
 廣伊地盤工学における技術マップ (rev.08) -2/3
 廣伊地盤工学における技術マップ (rev.08) -3/3

分類	(A) 汚染水・地下水処理・除染技術	(B) 塵料デブリ取出し技術	(C) 燃費・処分・デコミッションング
① 地盤力学 ② 地盤材料学 ③ 地盤環境学	・地下水の流入を止める必要性の高い湧水型の構築工法 ・継続する地下水処理に対応できる焼水型構築工法 ・汚染水プールに設置する自己浄化機能付き焼水型構築工法 ・「プラント安定状態の維持・管理（原子炉の冷却）」 ・冷却、閉じ込め、安全設備の維持・信頼性向上など ・「汚染水処理」 ・汚染水浄化・地下水汲み上げ など	・「炉内・塵料デブリの状況把握」 ・事後調査による確正（RPV-PCV） ・「塵料デブリ取出し工法実用性検討」 ・塵料デブリ取出し機器・装置の開発、塵料デブリへのアクセスルート構築、労働安全の確保 ・「塵料デブリの取出し（プラント安定状態の維持・管理）」 ・安全設備の維持・信頼性向上 など	・地下埋設処分施設への構築工法 ・高い放射能レベルの放射性廃棄物・使用済み燃料等の処分技術 ・安定な埋設処分・掘削に対応できる地盤補修掘削掘削工法 ・掘削全体の中間ベントナートを併用した掘削外殻による封じ込め工法 ・瓦礫・伐採材の保管施設構築技術 ・汚染土壌の最小化のための減容技術 ・地盤掘削の浄化・回収技術 ・燃費利用の最大化に向けた地盤改良・埋立技術 ・「貯蔵（保管・管理）」 ・放射性廃棄物の保管管理（保管管理計画） ・「処理・処分」 ・放射性廃棄物の処理・処分（処理及び処分方法に関する検討） など
④ 地盤工学 ⑤ 地盤材料学 ⑥ 地盤環境学	④A-01 1次元シミュレーションを用いた信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法 / 豊田工大 ④A-02 電気比抵抗計測を活用した凍土凍水壁の初期評価 / 宇都宮大 ④A-03 岩盤など様々な地盤をターゲットで改良する大口徑高圧噴射薬液工法 (JETCRETE) / 豊田建設 ④A-04 急速地盤凍結工法-凍結-凍上解凍法 / 豊田建設 ④A-05 シート-掘削機を用いた凍土凍水壁の構築技術 (土凍結) / 豊田建設 ④A-06 自在シミュレーションを用いた地盤改良工法 (CURVE) / 豊田建設 ④A-07 建設物による土留め壁欠損部に対応する1次元シミュレーション / 豊田建設 ④A-08 透水性浄化壁構築技術 (DR-DR) / 豊田建設 ④A-09 自在シミュレーションを用いた地盤改良技術-ゲートウェイ工法 / 大成建設 ④A-10 高線量下での安全・迅速な地質調査をおこなう無人調査ロボット / 廣大林組 ④A-11 掘削を抑制するRD工法 (RDⅡ, RDⅢ) / 廣大林組 ④A-12 高線量の貯蔵タンク内側を通過して汚染水貯蔵タンクを通過させる技術 / 廣大林組 ④A-13 掘削中に設置した電位差検知補修システム / 廣大林組 ④A-14 破砕した二重遮水シート内の真鍮柱より漏水箇所を特定し、急凍補修するT&OH工法 / 廣大林組 ④A-15 汚染された土壌をその場で浄化するA/SW工法 / 廣大林組 ④A-16 掘削の腐蝕を大幅に低減するイオン化工法 / 廣大林組 ④A-17 住宅地内に仮保管されている除去土壌等を急速回収する仮設保管土壌回収システム / 廣大林組 ④A-18 放射線量の放射能汚染を抑制する放射線浄化技術 / 廣大林組 ④A-19 高線量放射能汚染現場での作業効率を20%向上する次世代無人化施工技術 / 廣大林組 ④A-20 高線量地域の表土掘り取りの高効率・急凍施工を可能とするICF施工法 / 廣大林組	④B-01 狭幅部に高密度掘削機を用いた掘削する掘削機「シャトル」掘削工法 (Shotclay) / 豊田建設 ④B-02 シート-掘削機「シャトル」の応急止水技術の応急止水技術 (土凍結) / 豊田建設 ④B-03 建設現場 10 台を遠隔操作できる無人化施工技術 / 豊田建設 ④B-04 建設機械の自動化による次世代建設生産システム / 豊田建設 ④B-05 代替工法のための掘削ロボットの開発・実用技術 / 大成建設 ④B-06 高線量下での安全・迅速な地質調査をおこなう無人ロボット技術 / 廣大林組 ④B-07 危険関係の情報を安全・迅速に収集する無人調査ロボット / 廣大林組 ④B-08 高線量放射能汚染現場での作業効率を20%向上する次世代無人化施工技術 / 廣大林組	④C-01 1次元シミュレーションを用いた信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法 / 豊田工大 ④C-02 広域な掘削面を利用できる掘削機を用いた掘削工法 / 豊田建設 ④C-03 狭幅部に高密度掘削機を用いた掘削する掘削機「シャトル」掘削工法 (Shotclay) / 豊田建設 ④C-04 放射性廃棄物の長期貯蔵や最終処分に対応した長寿命化コンクリート (EIN) / 豊田建設 ④C-05 火や火災を引かない放射能による RC 建造物破壊工法 / 大成建設 ④C-06 高線量掘削でのコンクリート中性化抑制性能の向上を図る耐熱コンクリート / 大成建設 ④C-07 掘削の量を大幅に低減するイオン化工法 / 廣大林組 ④C-08 掘削状況の見える化による掘削機制御技術 / 廣大林組 ④C-09 掘削土壌等の放射能管理施設構築技術 / 廣大林組 ④C-10 汚染された土壌をその場で浄化するA/SW工法 / 廣大林組 ④C-11 掘削後の大正土の腐食や有機物を確実に分別・除去する高効率分別処理 / 廣大林組 ④C-12 掘削機「シャトル」から除去された放射性廃棄物を安全・迅速に輸送する大型搬送機 / 廣大林組 ④C-13 汚染土を掘削機に分別するA/SW工法 / 廣大林組 ④C-14 掘削機を用いた掘削機を構築する掘削機制御技術 / 廣大林組 ④C-15 放射性廃棄物の焼却・燃費を低減する掘削機制御技術 / 廣大林組 ④C-16 掘削機を用いた掘削機を構築する掘削機制御技術 / 廣大林組 ④C-17 掘削機を用いた掘削機を構築する掘削機制御技術 / 廣大林組 ④C-18 掘削機を用いた掘削機を構築する掘削機制御技術 / 廣大林組 ④C-19 掘削機を用いた掘削機を構築する掘削機制御技術 / 廣大林組 ④C-20 掘削機を用いた掘削機を構築する掘削機制御技術 / 廣大林組 ④C-21 掘削機を用いた掘削機を構築する掘削機制御技術 / 廣大林組

※表内に記載された技術が最新可成りと思われる中核用ロードマップや技術マップ等に示された作業工程・内容

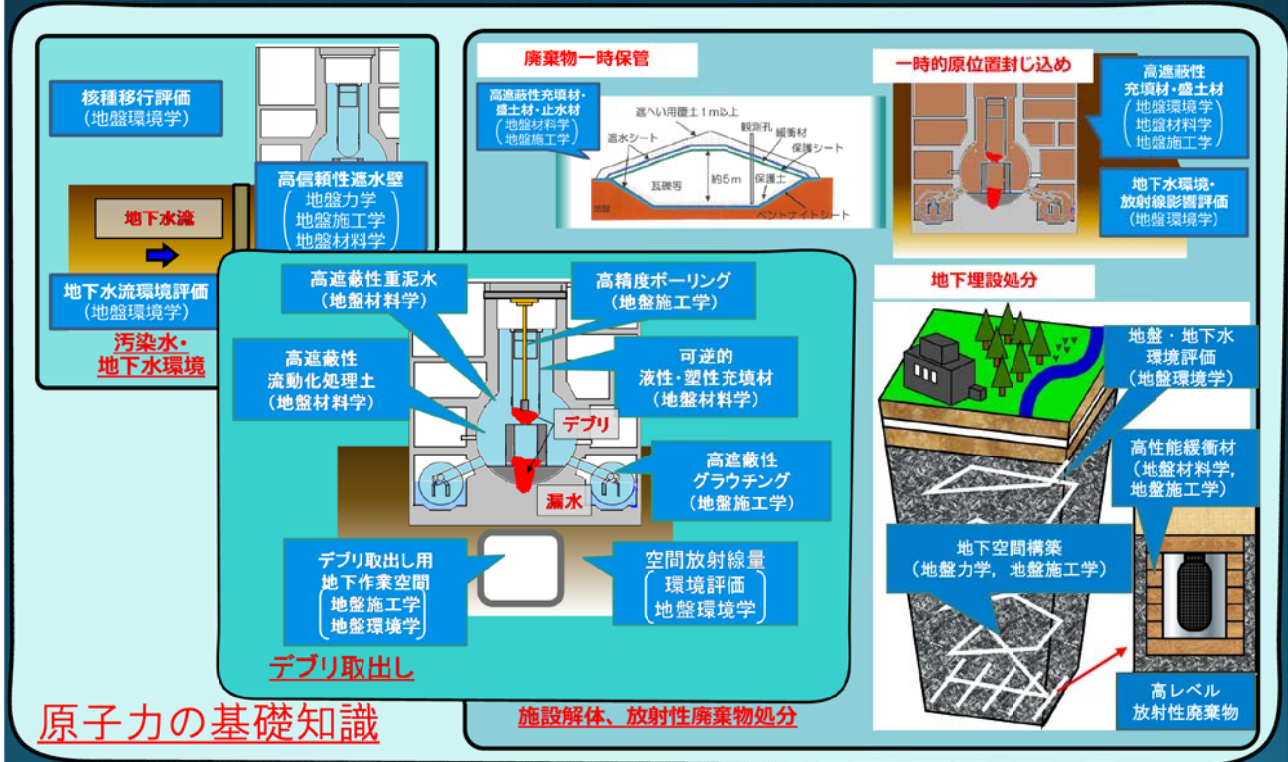
構成する学問単元と構造

廃炉地盤工学

<h3>地盤力学</h3> <ol style="list-style-type: none"> 1. 現状の力学的安定性評価 2. さらなる自然災害への対策設計 3. 仮設時の力学的安定性 4. . . . 	<h3>地盤材料学</h3> <ol style="list-style-type: none"> 1. デブリ取出し補助材料 2. さらなる自然災害への対策設計 3. 仮設時の力学的安定性 4. . . . 	<h3>地盤環境学</h3> <ol style="list-style-type: none"> 1. 作業環境の安全性確保・モニタリング 2. 地下部における汚染水の状況評価と将来予測 3. 対策工の実施 4. . . .
--	--	---



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・施工学

- **放射線発生源**：燃料デブリ，使用済み核燃料，（ガラス固化体），爆発飛散した放射性ホコリ・ガラ
- **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**：デブリ自体，デブリ解体時の粉塵，放射性ガラ，除染土壌・廃棄物
- **防止策**：止水（地下水を入れない），封じ込め（外へ出さない），被覆（風に当てない），
- **必要な特性**：放射線遮蔽性，耐久性，施工性

真の特性/代用特性

☆ **要求性能（真の特性）**として捕らえられるものは施工段階においては**代用特性**を介して管理される。

- **真の特性**とは**要求性能**に即したものの。
- **代用特性**とは**施工管理項目・品質管理項目**に用いることのできるもの。

例題 道路用盛土、鉄道用盛土

- **機能**：交通機関の安全な運航を行うための**経路（道路、鉄路）**を確保する。
- **要求性能（真の特性）**：強度、変形特性、耐久性（耐天候性）
- **代用特性**：粒度、密度、（締固め度）

真の特性/代用特性

☆ **要求性能（真の特性）**として捕らえられるものは施工段階においては**代用特性**を介して管理される。

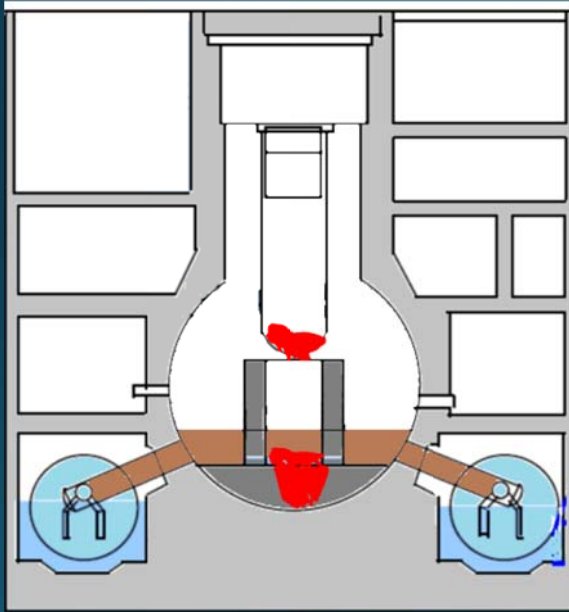
- **真の特性**とは**要求性能**に即したものの。
- **代用特性**とは**施工管理項目・品質管理項目**に用いることのできるもの。

例題 道路用盛土、鉄道用盛土

- **機能**：交通機関の安全な運航を行うための**経路（道路、鉄路）**を確保する。
- **要求性能（真の特性）**：強度、変形特性、耐久性（耐天候性）
- **代用特性**：粒度、密度、（締固め度）

要求性能真の特性と代用特性を結びつけるのが環境学・材料学の役目!

②デブリ取り出し 冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いる



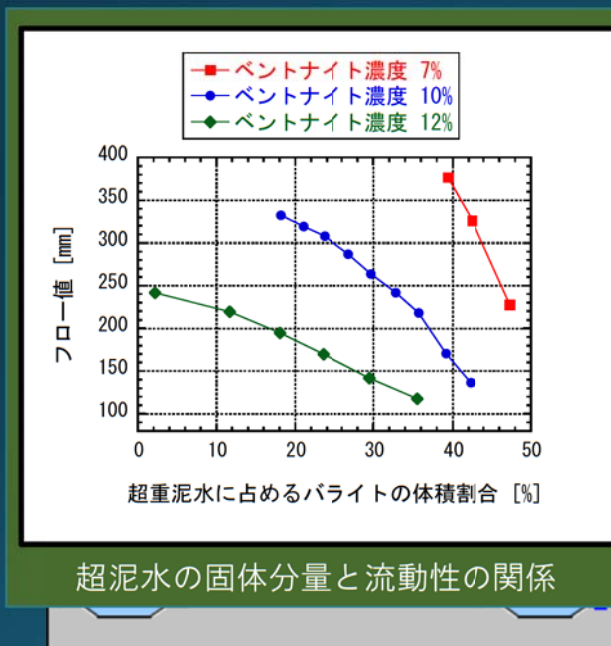
放射性物質に対する機能

- 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**

②デブリ取り出し 冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いる



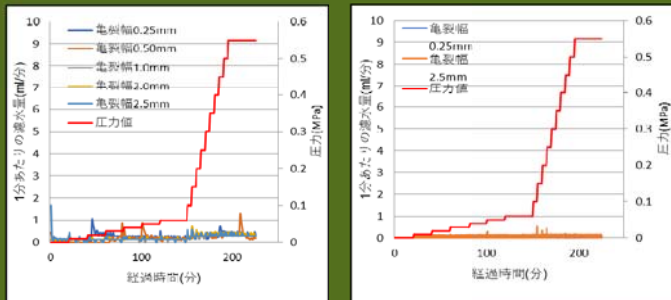
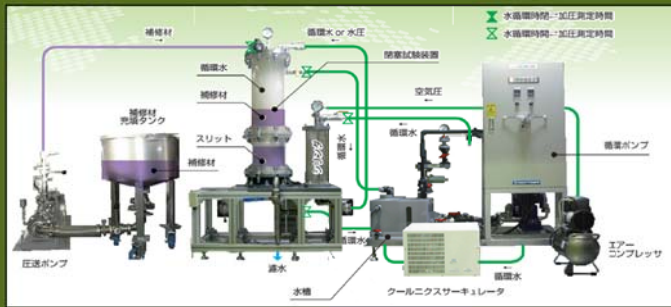
要求性能

- 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：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

②デブリ取り出し 冠水工法の水の変わりに超重泥水を用いる



超泥水の遮水性確認実験

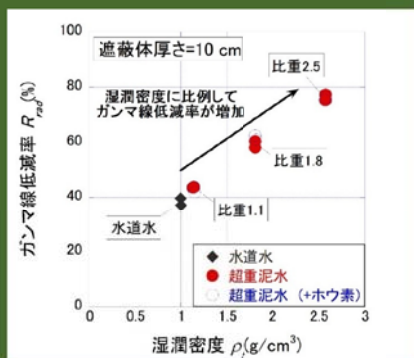
求性能

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

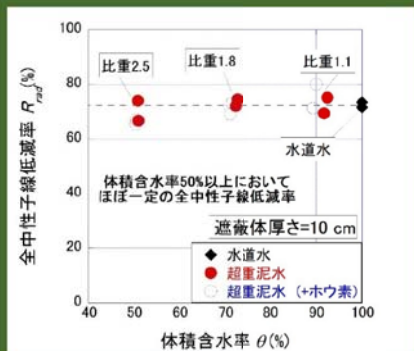


特性：遮水性
代用特性：流動性
空隙充填性
泥膜生成能力、
泥膜の透水性や強度

②デブリ取り出し 冠水工法の水の変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

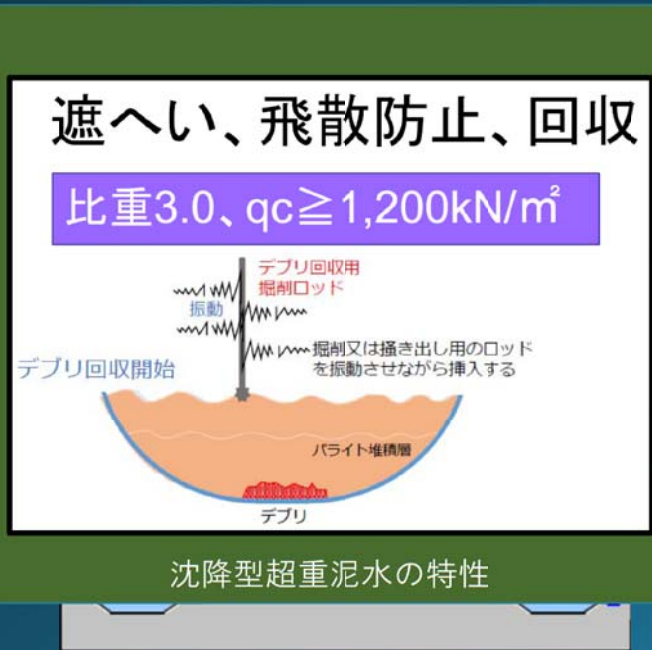
要求性能

- 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：放射線遮蔽特性
- 代用特性：密度、
含水率（体積）

②デブリ取り出し 冠水工法の水の変わりに超重泥水を用 いる



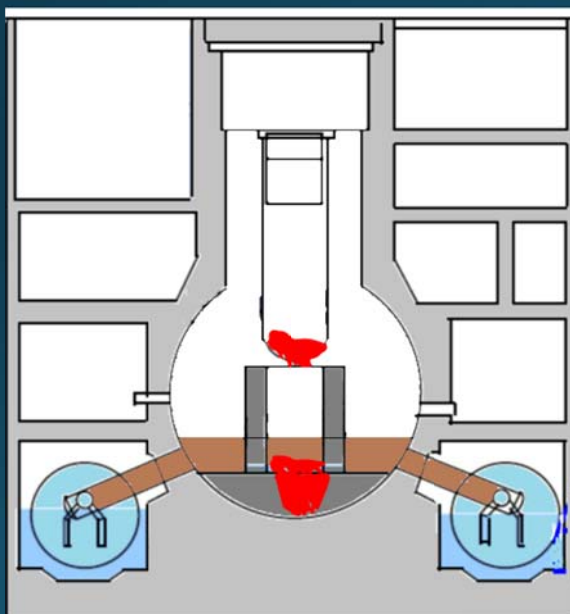
要求性能

- 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：粉塵抑止特性
- 代用特性：気相/液相（気泡）
粘性？、比重

②デブリ取り出し 冠水工法の水の変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

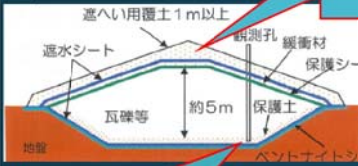


- 真の特性：切削粉等の保持能力
- 代用特性：粘性、比重、流速
粉塵の分離性

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)

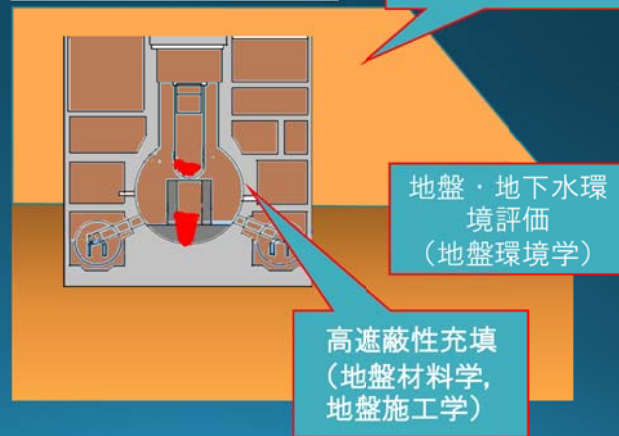
地下空間構築
(地盤力学, 地盤施工学)

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

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)



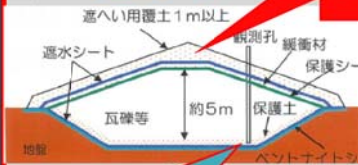
地盤・地下水環境評価
(地盤環境学)

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)

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)

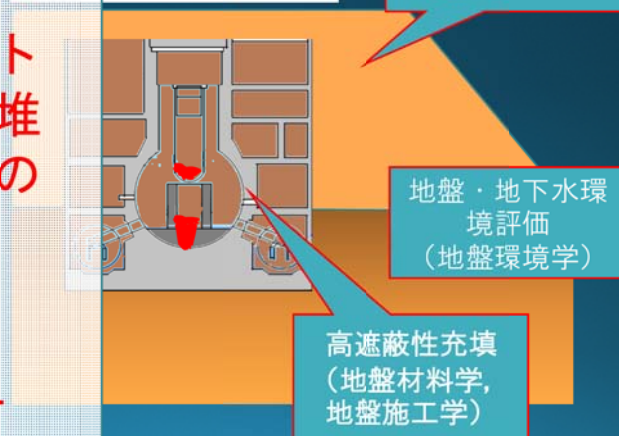
高性能な覆土材料の特性研究

● 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

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

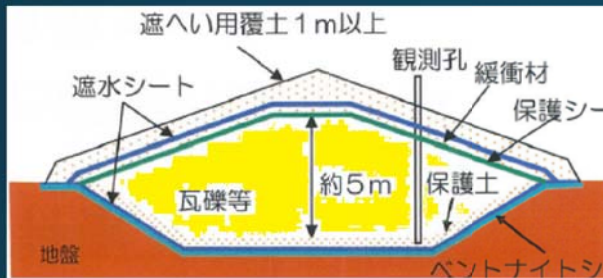
高遮蔽性盛土
(地盤材料学,
地盤施工学)



地盤・地下水環境評価
(地盤環境学)

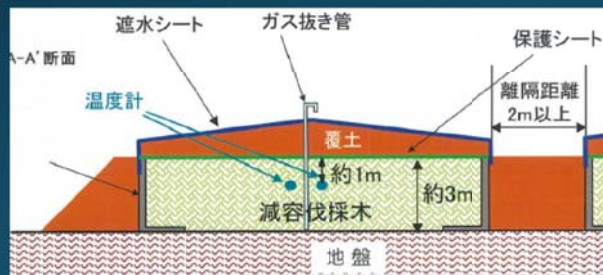
高遮蔽性充填
(地盤材料学,
地盤施工学)

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

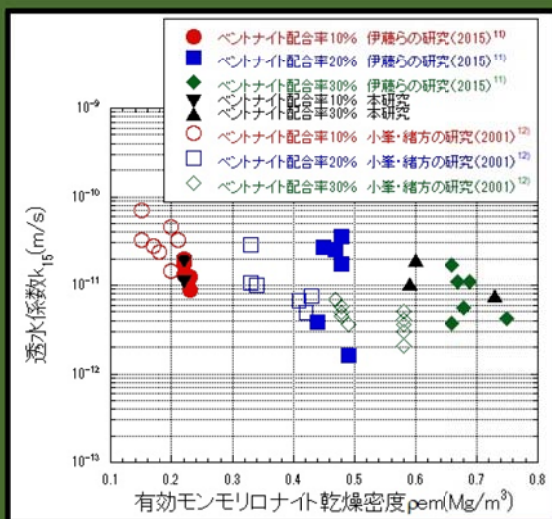
- ① 地下水等による**拡散防止**
- ② 風などによる**飛散防止**
- ③ 遮蔽による外部**放射線環境保全**



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

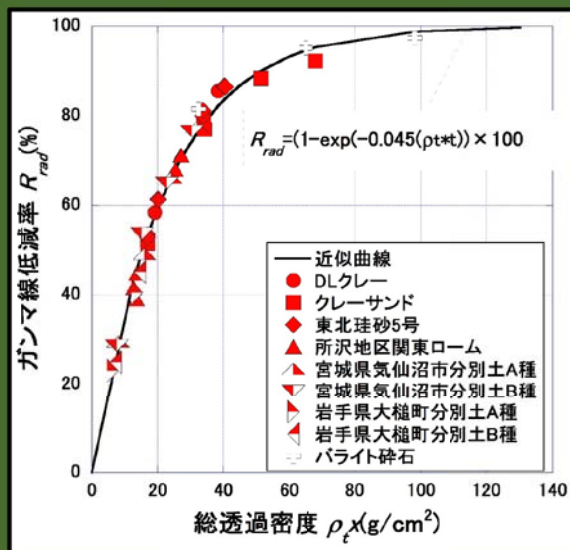
要求性能

- 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

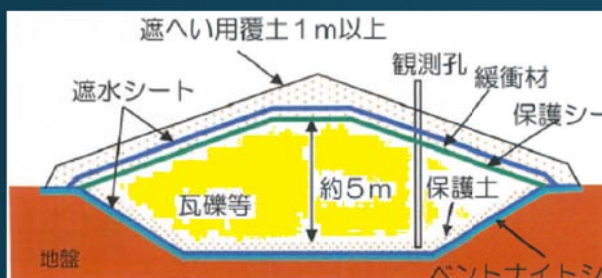
要求性能

- 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



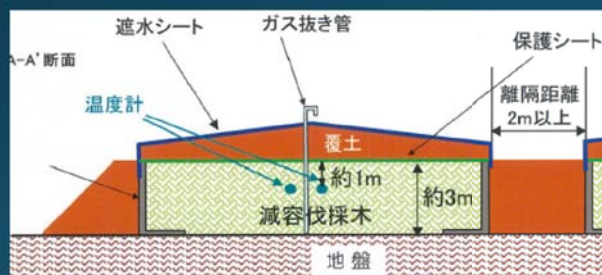
- 真の特性：放射線遮蔽性
- 代用特性：密度、厚さ、含水状態、土の種類

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



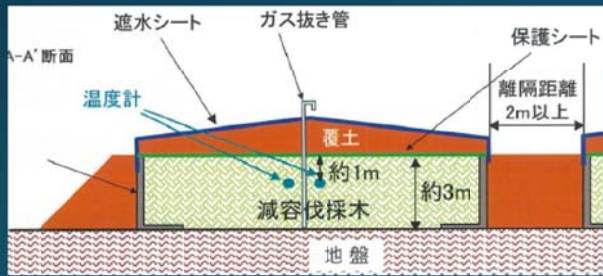
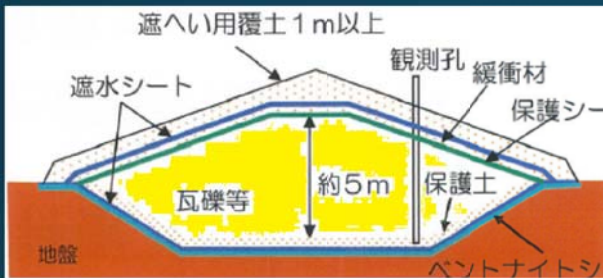
要求性能

- 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

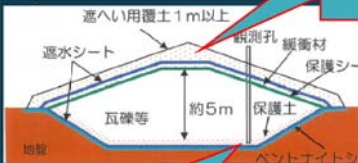


- 真の特性：耐凍上害能力
- 代用特性：凍結膨張性（細粒分組成、拘束状態）
水密性（耐ひび割れ）？
固結性（材料的強度等）

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

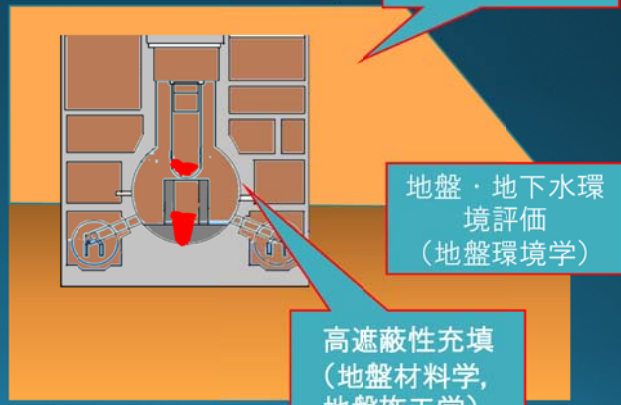
地盤・地下水環境評価
(地盤環境学)

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)

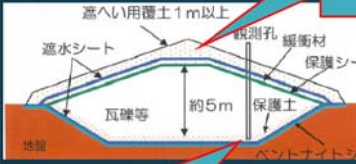
高遮蔽性充填
(地盤材料学,
地盤施工学)

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)

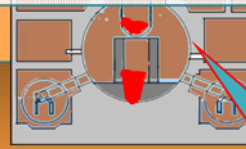
地中埋設処分
地盤力学・地盤環境学
地盤材料学・地盤施工学

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)

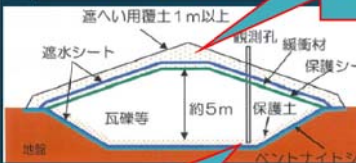


廃棄物一時保管
地盤材料学
地盤施工学

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

- 他項目での開発技術を援用できる。
- 詳細は「地盤施工学」で述べる。



高性能止水材
(地盤材料学)



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)

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

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)



END