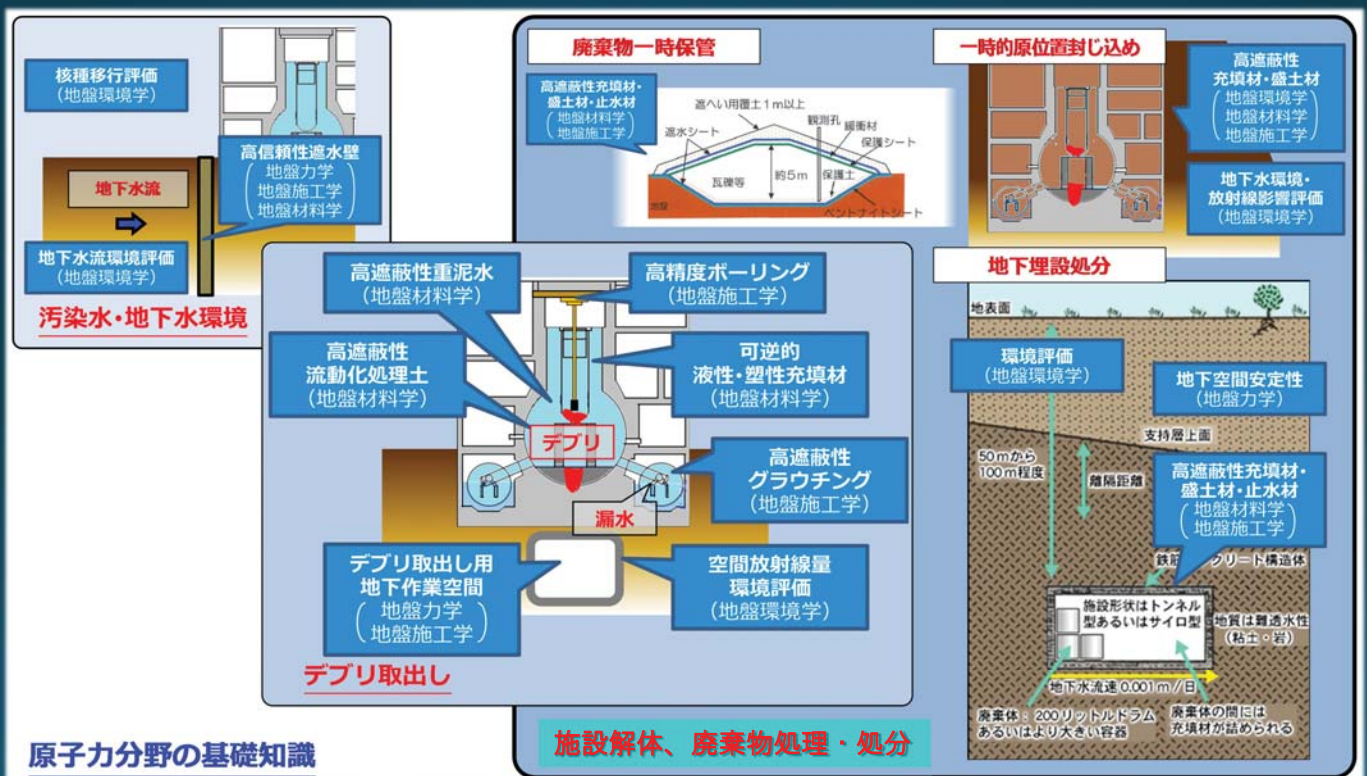


平成29年度地盤工学研究発表会 特別セッション  
「原子力発電所廃止措置のための地盤工学  
(廃炉地盤工学) の創出と人材育成」

# 廃炉のための地盤施工学

平成29年7月13日  
早稲田大学 後藤 茂

## 「廃止措置」において地盤工学技術の貢献が期待できる事象の例



# 廃炉地盤工学創設の目的

- 廃炉に貢献する地盤工学的技術の学問的な位置付けをし、**技術のアピール**、**活用可能技術の拡大**、**技術の伝承等**を促進する。
- 廃炉のプロセスや要求される技術の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**とする（**相互の見える化**）。
  - ・ 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**。

## 廃炉地盤工学の構成【技術マップ】

	汚染水・地下水環境	デブリ取出し	原発施設解体・廃棄物処理処分
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>原発施設解体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>原発施設解体の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>地中埋設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>地中埋設処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発</li> <li>「安定的原位置封込め」に対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発</li> <li>「安定的原位置封込め」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>地中埋設処分施設の構築工法</li> <li>「安定的原位置封込め」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>

# 廃炉地盤工学の構成（廃炉ステップ）

	汚染水・地下水環境	デブリ取出し	原発施設解体・廃棄物処理処分
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のための地下基地の安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原発施設解体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>原発施設解体の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>地中埋設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>地中埋設処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発</li> <li>「安定的原位置封込め」に対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発</li> <li>「安定的原位置封込め」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>地中埋設処分施設の構築工法</li> <li>「安定的原位置封込め」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）

施設解体・廃棄物処理・処分

# 廃炉地盤工学の構成（学問単元）

	汚染水・地下水環境	デブリ取出し	原発施設解体・廃棄物処理処分
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のための地下基地の安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原発施設解体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>原発施設解体の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>地中埋設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>地中埋設処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発</li> <li>「安定的原位置封込め」に対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発</li> <li>「安定的原位置封込め」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>地中埋設処分施設の構築工法</li> <li>「安定的原位置封込め」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>

地盤力学

地盤環境学

地盤材料学

地盤施工学

# 各学問単元の内容

## ●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。

7

# 各学問単元の状況

## ●地盤力学

**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。  
**学問として長い伝統と豊富な実績を保有。**

## ●地盤環境学

**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。  
**地下水関連で実績。放射線環境では新しい？**

## ●地盤材料学

**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。  
**産業廃棄物等で研究成果が豊富。放射性廃棄物でも技術課題に取り組中。**

## ●地盤施工学

**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。  
**通常工事で行われる思考過程、大学教育では？  
廃炉過程は未経験な場面の連続！**

8

## 地盤施工学WGの立上げ

- 地盤施工学の必要性と難しさに対応するためWGを立上げ。
- 現状業務で原発廃炉施工の問題と直面している人を主体に人選。
- メンバー：後藤、小峯、渡辺（保貴）、菱岡、高尾、山田、成島、新井、片山、渡辺（康司）
- 総論および事例検討をおこない、教育のための資料とするための文書化をおこなう。
- 早稲田大学および千葉工大で模擬授業を行い、資料の改善等につなげる。

廃炉地盤工学における  
地盤施工学の構成について

# 地盤施工学で目指すもの

- ① 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の体系化。**
- ② 地盤関連の施工技術である掘削，埋戻し及び基礎の構築や地盤・空隙への固化物の注入，地下構造物の構築等について、施工場所の状態に応じた**最適な材料・工法**の選択をおこない、**適正な実施・管理をおこなえる能力**の育成。

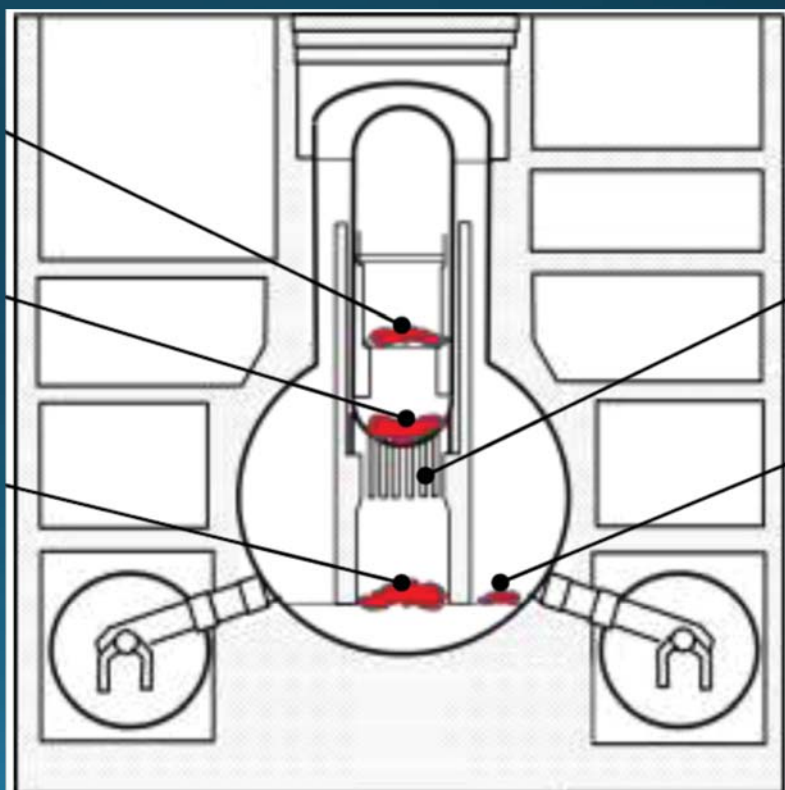
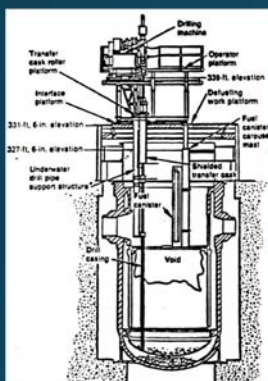
## (事故) 原子力発電所の廃炉措置 技術の特殊性 その1

- ① 通常工事に追加される**評価基準**（**放射性物質の遮蔽・閉じ込め**）
- ② 事象の**未経験**または**類似事象の乏しさ**（状況把握の困難さ、最適判断の基準の不明確）
  - 類似事象：**TMI-2** → **構造等の相違の考慮**
  - 類似事象：**チェルノブイリ** → **経験の活用**の**全否定**

# 福島第1原発とTMI-2の概寸の比較

スリーマイル島2号機

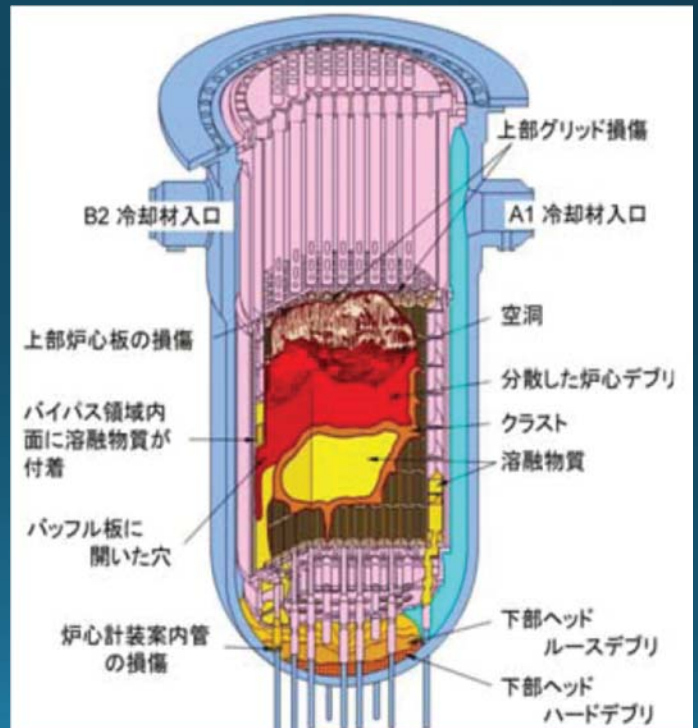
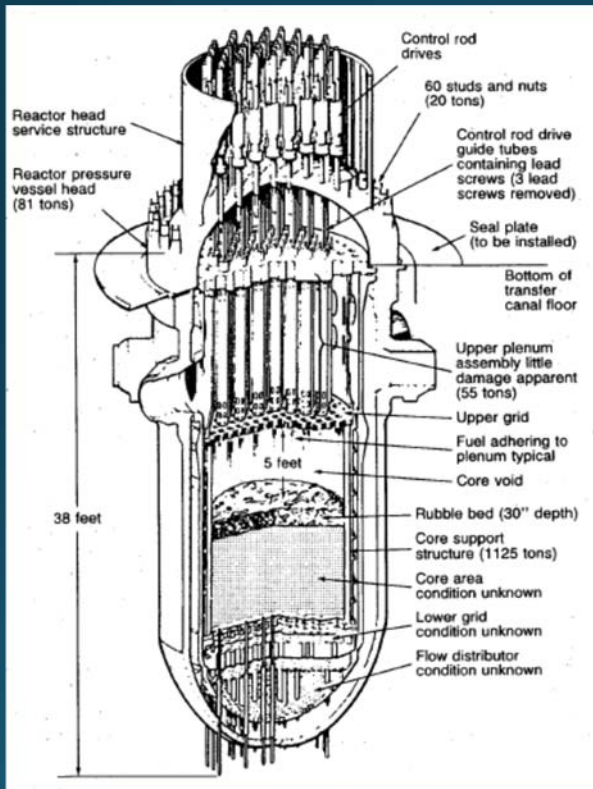
福島第一原子力発電所1~3号機



## (事故) 原子力発電所の廃炉措置技術の特殊性 その2

- ③ 各施工要素の**要求性能の把握 (具体化) の困難さ**。
  - **最終形態の具体性欠如**
  - **次工程の性能 (制約条件の対応能力) の不明確さ**
- ④ **制約条件把握の困難さ**
  - **原子炉施設に関する知識の欠如 (努力で解消可能)**
  - **事故後の原子炉内部の状況の不明確さ (時間とともに解明される見込み)**
  - **要求性能不明確に伴う建設要素の具体性の欠如**
- ⑤ **他分野要素 (技術) との協働経験の欠如**

# TMI-2のデブリの状況



## TMI-2事故処理の詳細レポート

GPU NUCLEAR THREE MILE ISLAND T2  
DEFUELING COMPLETION REPORT 1.

スリーマイル島原子力発電所を建設・運転したゼネラルパブリックユーティリティ社（後にGPUと改名）の事故処理レポート。デブリの状態や取出し方法の詳細が記述されている。WEBからダウンロード可能。英文282ページ。

gpu nuclear tmi-2

検索



GPU NUCLEAR  
THREE MILE ISLAND  
NUCLEAR STATION  
UNIT 2  
DEFUELING COMPLETION REPORT





# 地盤施工学の構築方針の変更

## ① これまでの方針

廃止措置過程を見据えて新たに地盤施工学を組立てていく取り組みが必要。

## ② 変更後の方針

廃止措置の過程を考慮しつつ一般的な地盤施工との類似性を検討し、廃炉地盤工学・地盤施工学の主な流れを構築する。

廃止措置の特殊性は制約条件、要求機能・要求性能などから品質管理項目、管理試験などで組み込む。

## ③ 方針変更理由

必要とされる施工行為が未経験・未確定なものが余りにも多く、格納容器等の原子炉施設の詳細な情報も明らかでない。

## 廃炉地盤工学における 地盤施工学の概略構成

① 一般的な施工学としての内容

② 地盤施工学とした場合の留意点

③ 廃炉地盤工学としての特殊性

地盤施工学  
総論

④ 廃炉における事例検討（可能であれば、地下水制御、デブリ取出し、デコミッショニング、廃棄物処置について事例を揃える）

# 事故原発の廃止措置が類似一般工法・工事に展開できるか？ その1

- ① 事故原子力施設の廃止措置過程での構造的および環境的安全性（安全性）の確保
  - 地下水の流動制御：都市部山留工事、産業廃棄物処理場
  - 構造耐震性の確保：（歴史建造物等の）耐震補強、レトロフィット
  - 自然災害時（豪雨、台風）の対応性の向上：一般的な仮設建造物（現状ではやられてない）
- ② デブリの取出し
  - 格納容器底部のデブリ解体と取出し：（道路舗装等の）平面的な解体除去
  - デブリからの放射線の遮蔽：?????
  - 放射性汚染物質の閉じ込め：?????

# 事故原発の廃止措置が類似一般工法・工事に展開できるか？ その2

- ③ 圧力容器、格納容器の解体
  - 格納容器の解体除去：サイロ等の解体工事、ダイオキシン施設の除染解体
  - 圧力容器の解体除去：同上？
- ④ 解体放射性廃棄物の処理処分
  - 一次仮置き施設：産業廃棄物処理場、一般的覆土工事？
  - 中間貯蔵施設：（一般的な）地下貯蔵施設
  - 地層処分施設：山岳トンネル工事、大深度立坑工事

# 要求機能・要求性能と 真の特性と代用特性の関係

要求機能・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。

- 真の特性とは要求機能・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

- 要求機能：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。
- 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）

## 廃炉地盤工学の特殊性の考慮 （特性としての組込み） その1

例題-1：冠水工法の水の変わりに超重泥水を用いることの効果をも想定した場合の真の特性と代用特性

デブリ取出しに超重泥水を用いることにより作業の（Q・C・D・S）向上させる。

- ① デブリからの放射線を遮蔽できる。 S
  - 真の特性：放射線遮蔽特性
  - 代用特性：密度、含水率
- ② 粉塵やデブリ切削時の切削粉の飛散を抑止できる。 S
  - 真の特性：粉塵抑止特性
  - 代用特性：気相/液相、粘性？, 比重

# 廃炉地盤工学の特殊性の考慮 (特性としての組み込み) その2

- ③ 切削粉等を取り出す媒体にできる。 D
  - 真の特性：粉塵等の保持能力
  - 代用特性：粘性、比重、（粉塵の）分離性
  
- ④ 格納容器の漏水を抑止できる。 Q'
  - 真の特性：遮水性
  - 代用特性：泥膜の生成能力、泥膜の透水性・強度

# 廃炉地盤工学の特殊性の考慮 (特性としての組み込み) その3

例題-2：ベントナイト混合土を放射性廃棄物の一次仮置き施設や中間貯蔵施設の覆土に用いる場合の真の特性と代用特性

- ① 雨水や地下水の浸入を抑止できる。 S
  - 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
  
- ② 雨・風等の天候による経年劣化を抑止できる。 Q
  - 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（材料強度等）

## 廃炉地盤工学の特殊性の考慮 (特性としての組み込み) その4

- ③ **凍結融解**などによる劣化を抑止できる。 Q
- 真の特性：耐凍上害能力
  - 代用特性：凍結膨張性（粒度、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）
- ④ 廃棄物からの**放射線を遮蔽**できる。 S
- 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？

## 廃炉地盤工学の特殊性の考慮 (特性としての組み込み) その5

- ⑤ **放射性廃棄物の漏洩を防止**できる。 S
- 真の特性：地下水流との隔離能力
  - 代用特性：（透水性と同様）
- ⑥ **地震や外乱に対して耐久性**がある。 Q
- 真の特性：耐久性・自然治癒性
  - 代用特性：強度、厚さ、ベントナイトの種類や量

- 地盤施工学の構築には、まだまだ解決しなければならない問題が山積。
- 有用なアイデア・概念をご教示ください。
- よろしくお願ひします。