

2017/12/20 地盤工学会「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』 ～地盤施工学の創設～」に関する講演会

# 廃炉地盤工学における 地盤施工学（総論）

後藤茂

廃炉地盤工学委員会 幹事長

早稲田大学/地盤工学会

# 今回の発表の構成

- 廃炉地盤工学における地盤施工学的位置づけ
- 地盤施工学総論の構成（案）
  - 一般的な施工学の内容
  - 地盤施工学としての留意点
  - 廃炉地盤工学／地盤施工学の特殊性

# 廃炉地盤工学における 地盤施工学的位置づけ

# 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立場をしっかりとしたものとする（**技術のアピール、技術の伝承、活用可能技術の拡大**）ために学問的な位置付けをする。
- 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

	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環境・放射線環境予測と評価</li> <li>地中埋設処分場の地下水環境評価</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>格納容器水漏れに対応可能な高遮蔽性固化泥水の開発</li> <li>デブリ一時的封じ込めに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>地中埋設処分場対応した廃棄物空間充填材料の開発</li> <li>「安定的原位封じ込め」に対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発</li> <li>「安定的原位封じ込め」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>地下水の流入を抑え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>地中埋設処分場の構築工法</li> <li>「安定的原位封じ込め」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

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>施設解体段階の地下水環境評価</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重泥水の開発</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>放射線遮蔽のための高精度ボーリング工法</li> <li>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シラウト工法</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**  
(Ground Dynamics)

**地盤環境学**  
(Geo-environmental Engineering)

**地盤材料学**  
(Geo-material Engineering)

**地盤施工学**  
(Geo-construction Management Engineering)

# 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。



# 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伴い、地盤等における変位・変形を把握するための技術群。  
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

廃止措置に伴う地下水関連で実績。放射線環境では新しい？（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

### 地盤材料学

産業廃棄物等で研究成果が豊富。廃止措置に有効な地盤系材料（ポーリング補助液、止水材、グラウト等）の放射線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・構造的条件下で、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！

# 地盤施工学W Gの立上げ

- 地盤施工学の必要性と難しさに対応するためW G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：渡辺（保貴）、菱岡、高尾、山田、成島、新井、片山、小峯、後藤
- 2箇月毎に打合せを開き、地盤施工学に関する議論を実施。



# 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
  - ④ 廃炉における事例検討（地下水制御、デブリ取り出し、デコミッショニング、廃棄物処置）
- 地盤施工学  
総論

# 地盤施工学総論の構成（案）

廃炉地盤工学における

地盤 施工学

上図の各ブロック毎  
に内容を記述する

# 一般的な施工学の内容

廃炉地盤工学における

地盤 **施工学**

# 施工/施工学とは

- 上流概念である設計・計画を**具現化する建設行為**であり、**施工計画の作成、施工（管理）の実施**に大別される。
- **施工計画**とは、使用する材料とそれを用いた建設（施工）方法や建設機械・労務などを**実施時間軸に沿って具体的に記述**したものである。
- **施工管理**とは**施工が計画に則って**おこなわれていることを管理するものである。
- **施工学**とは**施工を合理的に行える**ようにするための学問である。

# 施工計画の構成（その1）

- 施工計画の作成は以下の流れをとる場合が多い。

## ① 事前調査

- 設計図書、その他契約条件の検討
- 現場の自然条件、経済条件、環境条件の検討
- 問題・課題の把握と解決方法の検討

## ② 施工基本計画

- 工事の順序と施工法の選択
- 作業量の検討と工期の見通し
- 主要機械の選定と組合せ
- 仮設計画の検討

# 施工計画の構成（その2）

## ③ 諸調達計画

- 下請使用計画ならびに労務計画
- 材料購入ならびに保管計画
- 機械調達使用計画
- 諸機材、人員輸送計画

## ④ 現場運営計画

- 現場管理組織ならびに運営手続き
- 実行予算書ならびに収支計画
- 安全管理計画
- 品質管理計画



# 施工計画・管理の範囲（4M）

- 方法・機械(Method, Machine)

施工の方法を決め、必要な機械等を手配する。

- 材料(Material)

工事に必要な材料の決定や手配をおこなう。

- 人・労務(Man)

施工に必要な人員を予測し、時期に合わせた手配をおこなう。



これらのすべてを含むことにより具体性が備わる。(5W1H)

# 施工の要素（手順）

1. 材料の選択

最適な材料

2. 施工方法・施工機械の選択

最適な方法

3. 施工順序の組み立て

最適なタイミング

● 「最適」とは何を持って決めるのか？

・品質・性能 Q

・コスト C

・工期（納期） D

・安全性 S

・確実性（常識的・経験的に判断できる範囲） R

# 工事の品質を支配する4大要素

Q: Quality (狭い意味の品質)

C: Cost (原価)

D: Delivery (工期)

S: Safety (安全)

[R: Reliability (确实性)]

# 施工管理（QCDS）とは

## ●品質管理（出来型管理）

Quality

要求される品質目標を達成するために行う手段。

- 出来形管理図、X-R管理図

## ●原価管理（労務管理，調達管理）

Cost

要求される品質を合理的なコストで達成するための管理。

- 原価管理帳票、物品・人工積算表（歩掛）

## ●工程管理（出来高管理）

Delivery

工事途上で計画と実際の進捗を確認し、不備なところに必要な是正措置をとる管理。

- 出来高管理図（バナナグラフ）、バーチャート、ネットワーク、CPM

## ●安全管理

Safety

工事災害や職業性疾病を防止する目的の施策。

- 工法ごとの安全管理基準、4M・5E解析

# 一般的な施工学の内容 (C:コストの構成)

## ●直接工事費

- 工事に直接必要な費用のこと。材料費、労務費（人件費）、直接経費（水道光熱費等）など。

## ●間接工事費

- 建築物としては残らないが、工事に必要な間接的な費用。
- 共通仮設費；構造物自体を建てる行為には直接的に関係しないが、工事全体を行うに当たって必要となる費用。
- 現場経費；管理社員給与、現場事務所、福利厚生費などの経費。
- 一般管理費；企業維持にかかる経費、利益など

# 一般的な施工学の内容 (安全管理の4M・5E分析)

- 4M5Eとは、発生した事象について4M「**Man**」(人)、「**Machine**」(設備、機器)、「**Media**」(環境)、「**Management**」(管理)の視点から要因を抽出し、
- これらの要因に対して、5E「**Education**」(教育・訓練)、「**Engineering**」(技術・工学)、「**Enforcement**」(強化・徹底)、「**Example**」(模範・事例)、「**Environment**」(環境)の視点から対策を検討する手法。



# 一般的な施工学の内容 (要求機能/要求性能/制約条件)

- **要求機能**とはその建設要素が果たすべき役割。
- **要求性能**とは最終的に建設物が目的に沿うために必要な性能。
- **制約条件**とはそれぞれの建設段階の実施を制約する条件  
(入手、搬入・搬出、保管空間、活動空間、ステークホルダーの意見等)。
- 各建設段階・建設行為に要求機能・要求性能・制約条件がある。

# 一般的な施工学の内容 (真の特性/代用特性)

- 8). **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)

# 博多の道路陥没の例（想像）

## 1. 要求機能

- 地盤の陥没を拡大させない
- 地盤を早急に交通に使えるようにする。
- 地盤内の工事（トンネル構築）を再度行えるようにする。

.....

## 2. 復旧材・工法の要求性能

- 地下水の移動が生じさせないように水中施工を行なう。  
（地下水の移動地盤の崩壊につながる）
- 水中施工できるもの → 埋め戻し。（栈橋の構築？）
- 埋め戻し材の選定：水中施工性（水中での変質危険性）、多量入手の可能性、空隙充填性、再掘削可能  
→→ 流動化処理土





# 施工計画の作成 (経験的判断の内容)

- 完了までの**工事流れをイメージ**する。
- 全体および各段階での**要求機能や制約条件を想定 (把握)**する。
- それぞれの構成要素 (材料、方法、機械) の要求性能を明確にし、**最適な要素を選択 (想定)**する。
- 構成要素の**相互の良関係・悪関係を**確認し、できるだけ良関係になるように要素の変更・手順の組み替えなどをおこなう。
- 目的に対して**最適な要素の組合せ**を決定し、**実施上の問題点を再検討**する。

# 地盤施工学の留意点

廃炉地盤工学における

地盤 施工学



# 地盤施工学としての留意点 (地盤・土の特性) の組み込み 1

## 1). 構造物支持体としての特性

(上部) 構造物の重量の支持、変位 (沈下、側方) の抑制

- 支持層の決定
- 荷重伝達方法 (基礎形式) の決定

## 2). 構造物自体としての特性

河川堤防、道路・鉄道盛土

- 要求機能・要求性能と関連付けた変形特性
- 耐久性・耐浸食性
- 経済性 (使用数量と単価)
- 災害耐久性と復旧の容易さ

# 地盤施工学としての留意点 (地盤・土の特性) の組み込み 2

## 3). 構築材料としての特性

覆土、充填材、泥水（安定液）

- 材料としての品質
- 入手の容易さと品質の安定性
- 耐久性（長期信頼性）

4). 特性ごとの調査項目、管理項目（管理試験）を考える。

5). 特性ごとのばらつきの考え方（許容幅）と解決方法を考える。（調査、工法、代替材料・工法）

# 地盤調査と土質試験例

## 設計・施工計画時

調査方法	調査項目	適用地盤	備考	
ボーリング	地層構成 地盤特性	ほとんどすべての地盤	サウンディング、原位置試験、不撓乱試料採取などを併用。	
貫入試験	標準貫入試験	動的貫入抵抗 N 値	きわめて軟弱な地盤ときわめて硬質な地盤を除くほとんどの土砂地盤	
	コーン貫入試験	静的貫入抵抗 $q_c$	きわめて軟弱な地盤から中程度の硬質な地盤	
	スウェーデン式貫入試験	静的貫入抵抗	原則的に地表面付近が対象。	
サンプリング	固定ピストン式シンウォールサンプリング	不撓乱試料の採取	軟弱な粘性土 N 値 2 以下	
	水圧式サンプリング		軟らかい粘性土 N 値 1~4	
	デニソン型サンプリング		中程度の硬質粘性土 N 値 4~20	
	トリプルチューブサンプリング		締まった砂層 N 値 50 以上も可 硬質粘性土 N 値 20~30 以上も可	
	コアバックサンプリング		固結した土 N 値 50 以上	
室内土質試験	物理試験 含水比、粒度、密度、液塑性	物理的性質 粒度分布、コンシステンシー他	ほとんどすべての土質材料、液塑性は粘性土のみ	土質分類等と対応
	一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ $q_u$	粘性土 自立性のある試料	原地盤の特性を調べるには不撓乱試料が必要
	三軸圧縮試験	強度定数 $c$ 、 $\phi$ 液状化抵抗	あらゆる土質材料 試験時の圧密方法、せん断方法で各種に分かれる	
	圧密試験	圧密係数 $e_v$ 圧縮指数 $cc$	粘性土	
原位置試験	ボーリング孔内水平載荷試験	横方向地盤反力係数 $K_h$	ほとんどすべての地盤	杭の横抵抗に使用
	平板載荷試験	地盤の変形係数 $E$	ほとんどすべての地盤	深い地盤には深層載荷試験が適用可能
地下水調査	地下水位測定	地下水位分布	砂質土、砂礫	
	室内透水試験	透水係数 $k$	砂質土、粘性土	低透水性試料は高い技術が必要
	原位置透水試験	透水係数 $k$	砂質土、砂礫	
	揚水試験	透水係数 $k$	砂質土、砂礫	

## 施工管理時

試験方法	調査項目	適用土質	備考	
室内土質試験	物理試験 含水比、粒度、土粒子密度、液塑性	材料としての特性 粒度分布、コンシステンシー他	ほとんどすべての土質材料、液塑性は粘性土のみ	
	化学試験 メチレンブルー吸着量試験、	化学的活性 モンモリロナイト含有率	粘性土、ベントナイト混合土	
	安定化試験 突き固め試験 スレーキング試験	材料の施工性・安定性	突き固めはほとんどすべての土質 スレーキングは礫材料	
原位置試験	状態量の管理 含水比、密度	土の状態量 含水比、乾燥密度	ほとんどすべての土質材料	電子レンジ法、フライパン法 砂置換法、RI 測定
	力学特性の管理 CBR 試験、コーン貫入試験等、弾性波探査	地盤の力学特性 強度、貫入抵抗、弾性波速度	ほとんどすべての土質材料	

**物理量・状態量が管理に重要！**

# 廃炉地盤工学における地盤施工学 の特殊性

廃炉地盤工学における  
地盤 施工学

# (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)

- 地盤工学的技術を廃炉技術の観点から再評価。
  - 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



# (事故) 原子力発電所の廃炉 措置技術の特殊性 その2

- 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
  
- 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 (制約条件に対する対応能力) の**不明確さ**



# (事故) 原子力発電所の廃炉 措置技術の特殊性 その3

## 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 建設要素相互の関連把握の困難さ。

## ⑤ 経験のない他分野要素（技術）との協働。

# 地盤施工学の構築方針

## 1) 方針1 (基本的)

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、要求性能などから**品質管理項目、管理試験**などで組み込む。)

## 2) 方針2 (上級編)

廃炉プロセスの**上位の概念**から**参画**することにより、**制約条件や要求性能を緩和**し、**工法/材料の選択肢を拡大**する。

# 地盤施工学の構築方針

## 1) 方針1 (基本的)

目的 (要求機能) を単純化して、**類似性を**  
**類型工事から学ぶ!!!**  
(廃止措置の特長は制約条件、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。)

## 2) 方針2 (上級編)

廃炉プロセスの**上位の概念から参画**することにより、**制約条件や要求性能を緩和**し、**工法/材料の選択肢を拡大**する。

# 地盤施工学の構築方針

## 1) 方針1 (基本的)

目的 (要求機能) を単純化して、**類型工事から学ぶ!!!**

（廃止措置の特長性は制約条件、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。）

## 2) 方針2 (上級編)

目的 (要求機能) を広く捕らえて工**法・材料選択の柔軟性を高める!!!**



# 施工技術の分類（その1）

施工技術は多岐にわたるが、**建設対象**、**建設行為**、**建設材料**、**建設工法**などにより分類することができる。

- **建設対象**による分類：河川工事、道路工事、橋梁工事、建築工事、鉄道工事、港湾工事、空港工事、ダム工事、トンネル工事、造園工事など
- **建設行為**による分類：掘削工事、埋設工事、転圧工事、浚渫工事、組積み工事、打設工事、塗装工事、舗装工事など
- **建設材料**による分類：土工事、石工事、コンクリート工事、鋼工事、タイル工事など
- **建設工法**による分類：杭工法、ケーソン工法、シールド工法、沈埋工法、プレストレスト工法、プレキャスト工法、ナトム工法、バーチカルドレーン工法



# 施工技術の分類（その2）

- 分類には**大きな分類**（例えば道路工事）と細かい分類（例えば掘削工事、山留め工事）があり、**細かい分類**ではそれぞれの建設技術は体系化や**類型化**、**システム化**のできているものもある。
- 従って、未経験の建設対象でも**施工技術の細分化**により**類型化した施工技術と共通点**を見出せる可能性があり、施工学の創設の参考にすることができる。

# 事故原発の廃止措置と類似一般工法・工事の対応

- 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、産業廃棄物処分場
  - **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**：????????
  - **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と類似一般工法・工事の対応 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：産業廃棄物処分場、一般的覆土工事？
- 中間貯蔵施設：産業物処分場、(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

# 実際のデブリ取出し (TMI-2)

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



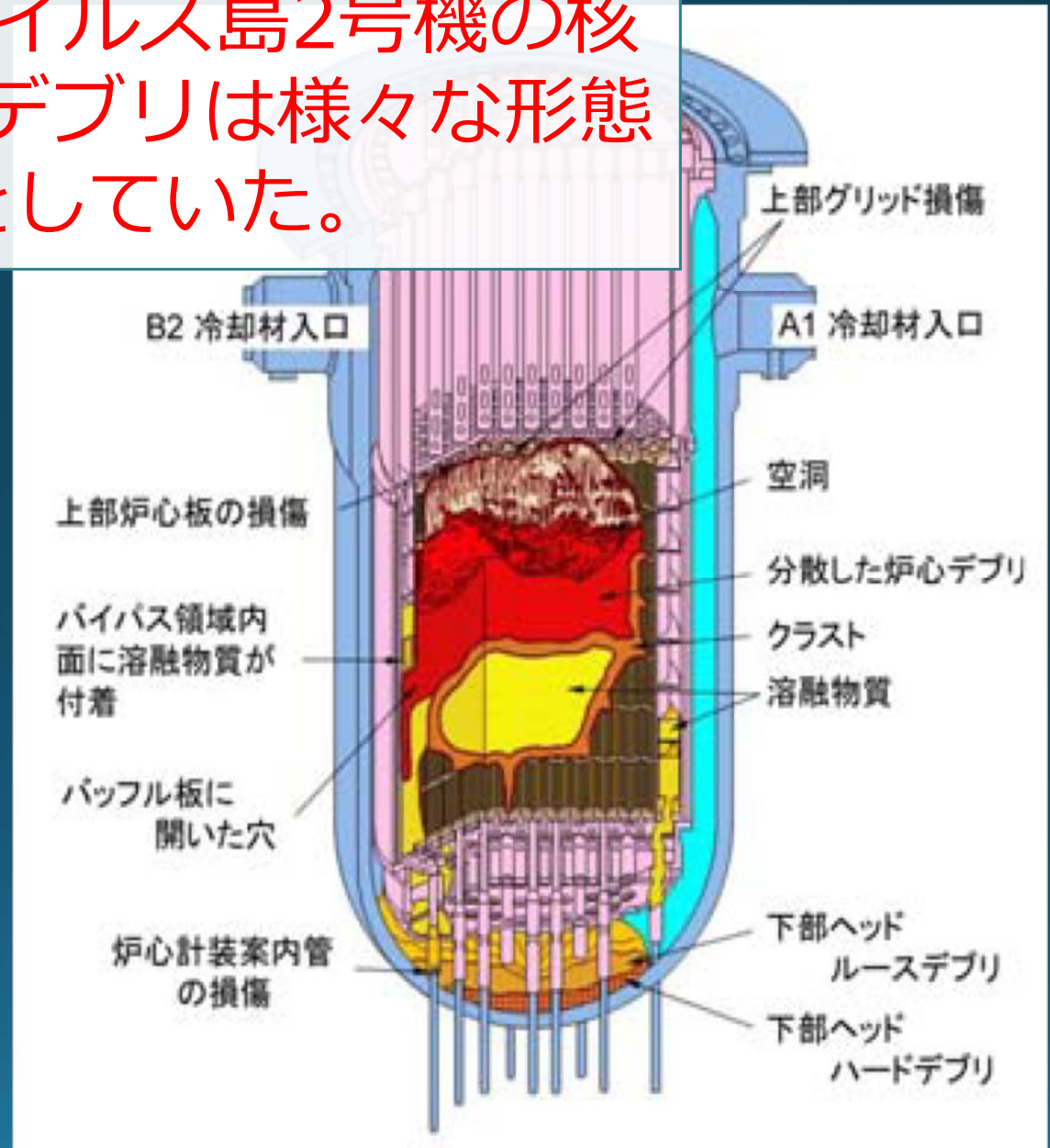


# TMI-2でのデブリ取出し

スリーマイルズ島2号機の核燃料溶融デブリは様々な形態をしていた。

- 1979年3月28日、米国スリーマイル島原子力発電所2号機で炉心が損傷事故発生。
- 機器故障と人為的ミスにより、圧力容器から冷却水が流出、約2/3の炉心が露出。
- 炉心中央上部で燃料集合体の溶融が始まり、炉心の約45% (62 t) が溶融。
- デブリは集合体下部で一旦固化、再び溶融し、約19 tのデブリが圧力容器の下部ヘッド上に流れ落ちた。

JAEAの鷲谷氏より情報やスライドを頂きました。



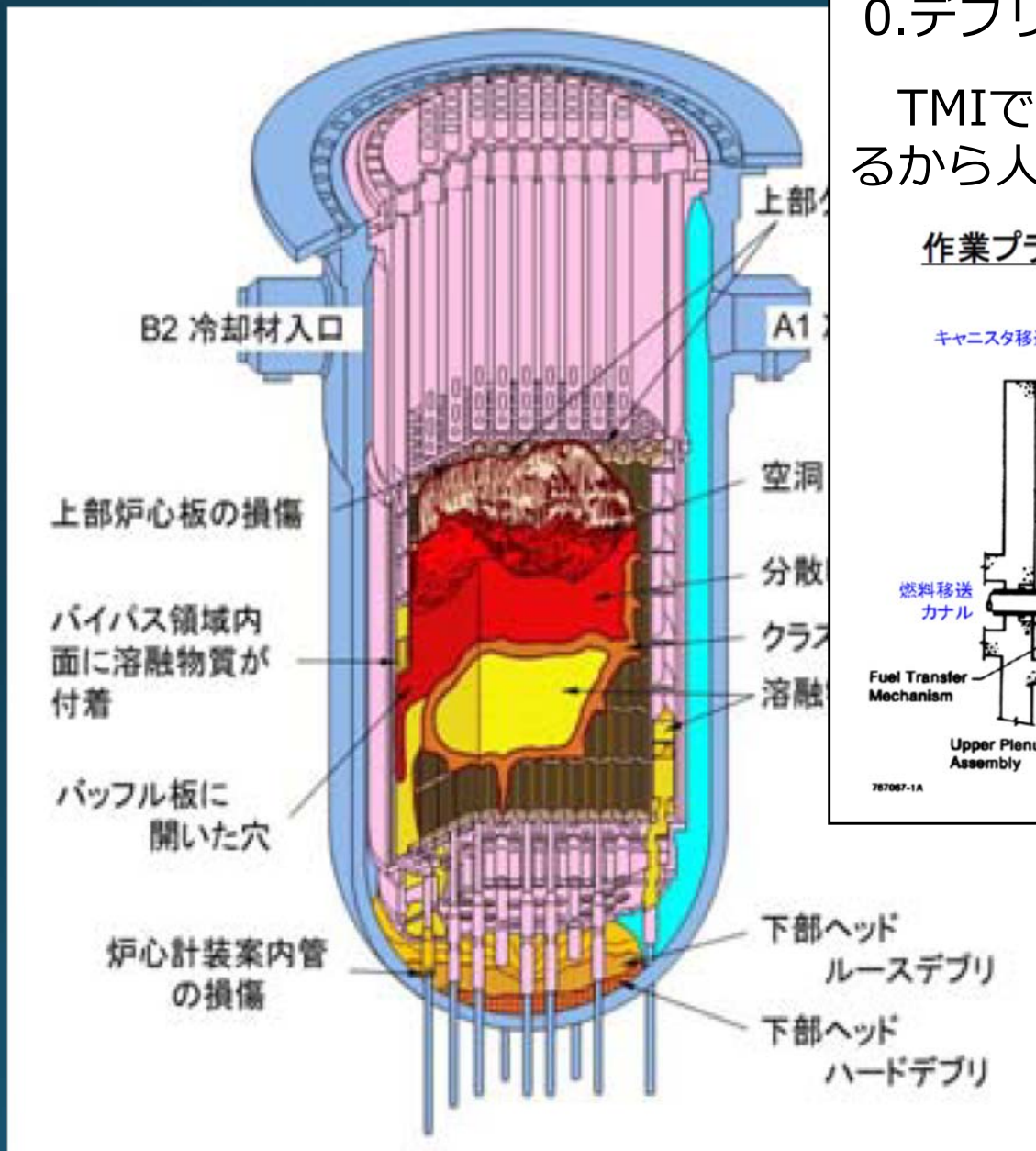
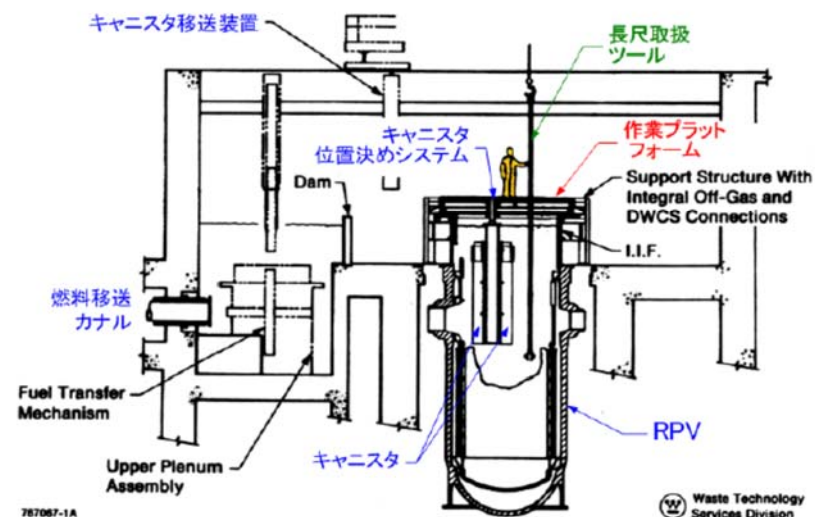


# TMI-2でのデブリ取出し

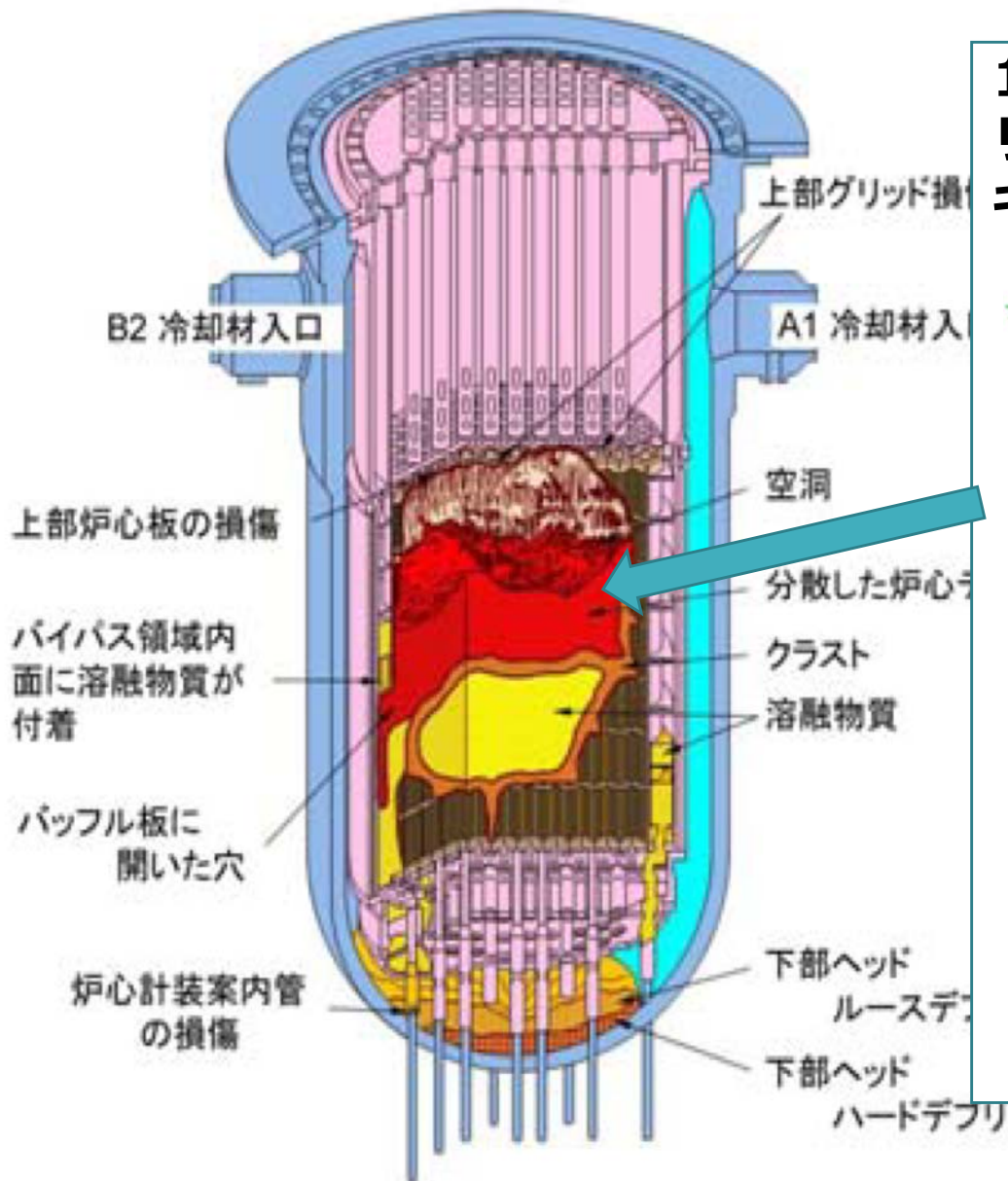
## 0.デブリ取出しのための仮設工事

TMIでは放射線遮蔽ができてい  
るから人がそばに行けている。

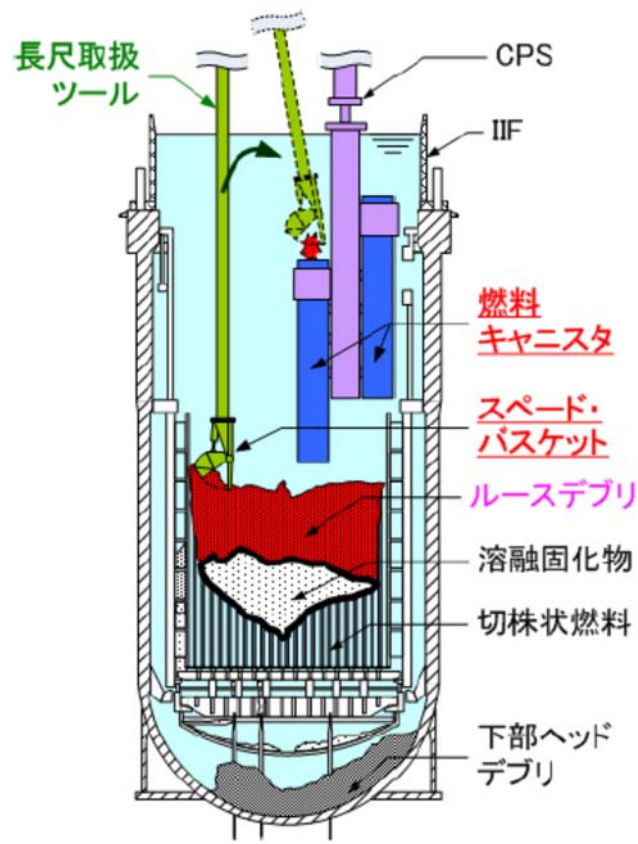
### 作業プラットフォームの設置状況※1



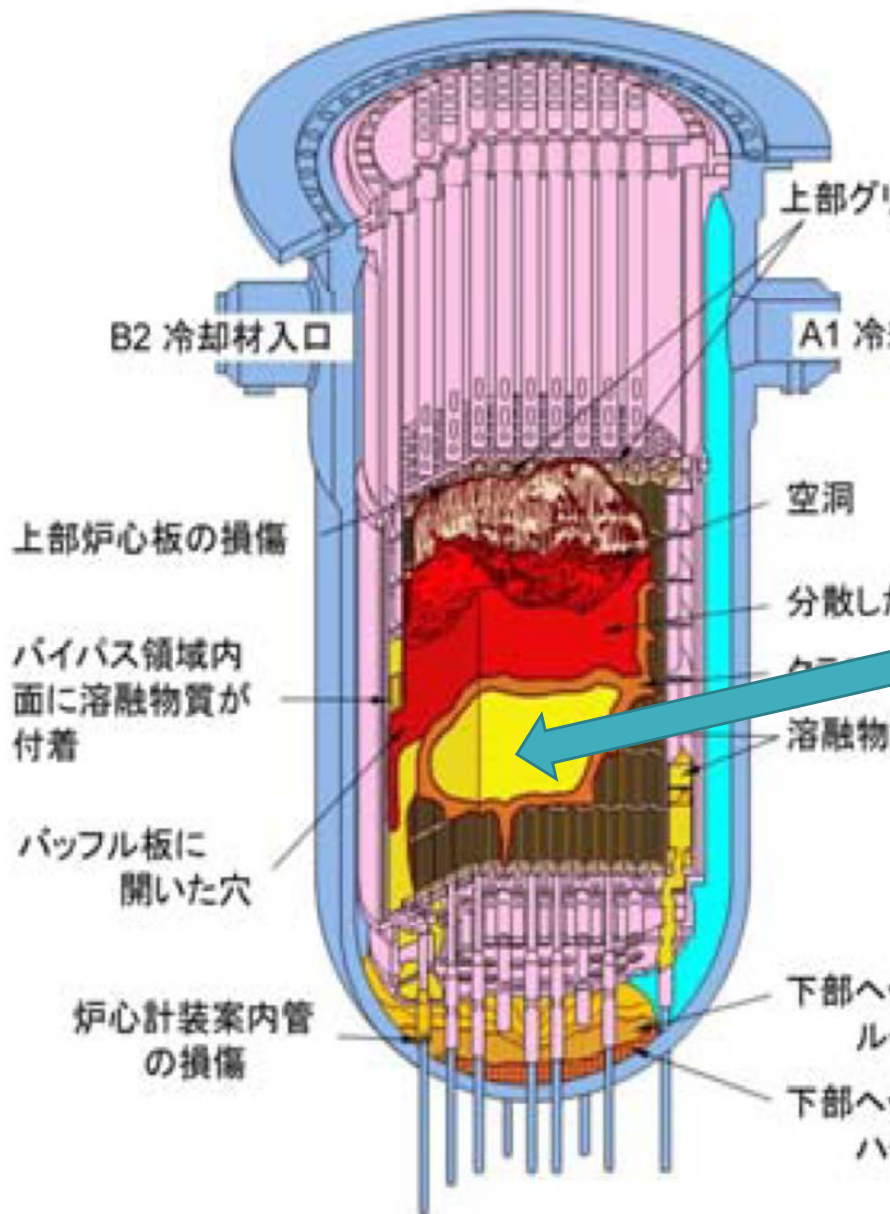
# TMI-2でのデブリ取出し



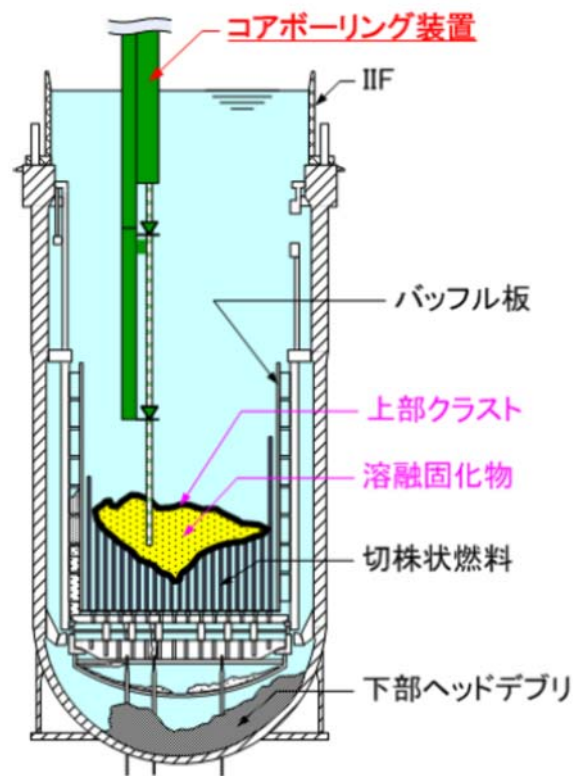
1.ガレキやガサガサのデブリはバケットですくって、キャニスタに入れた。



# TMI-2でのデブリ取出し

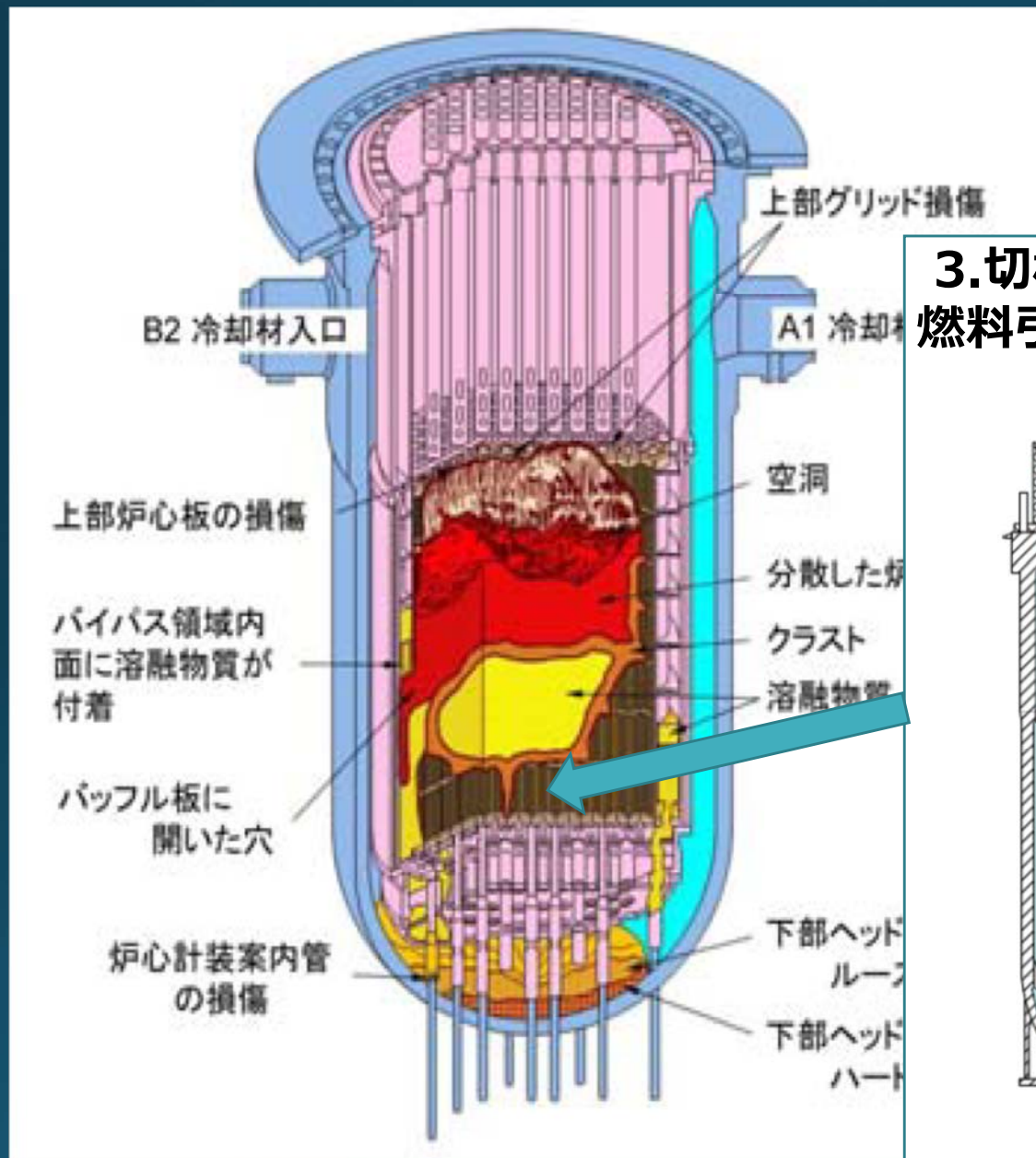


2. 溶融固化した硬いデブリはボーリングで多数の穴を開けて砕いた（スイスチーズ工法）。

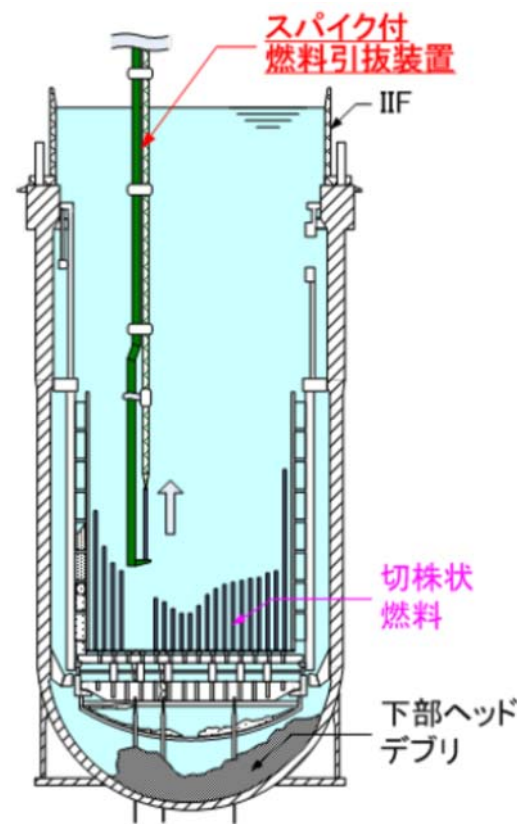




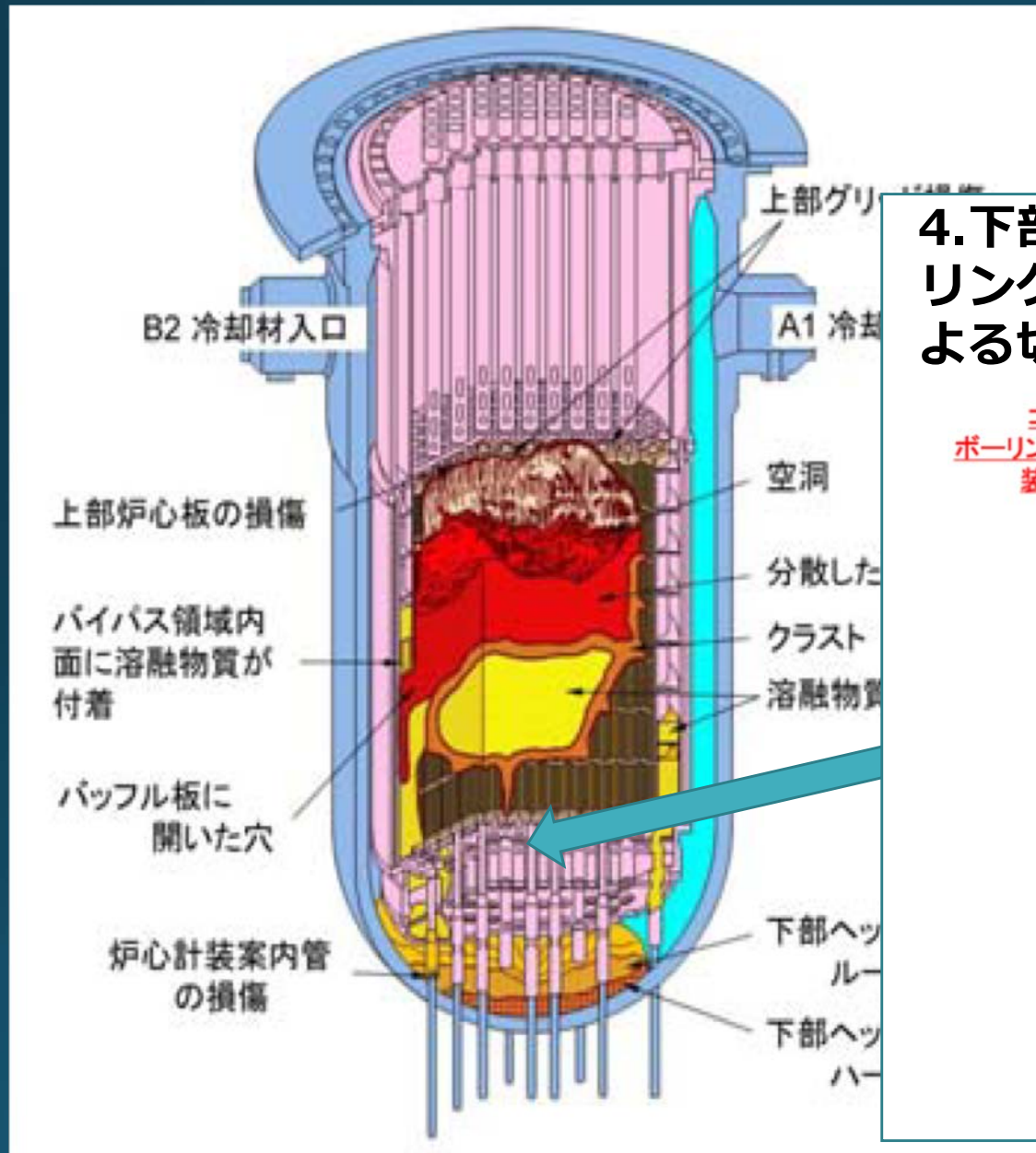
# TMI-2でのデブリ取出し



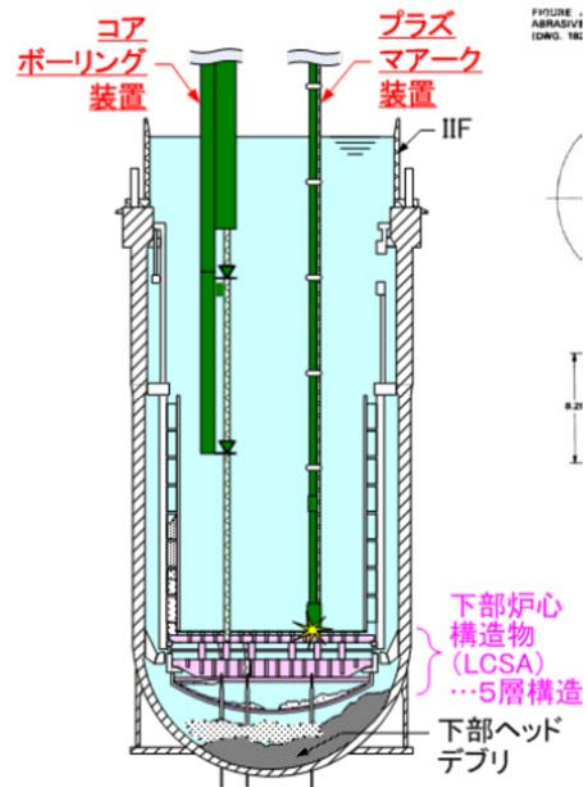
3. 切株状燃料はスパイク付燃料引抜装置で引き抜いた。



# TMI-2でのデブリ取出し

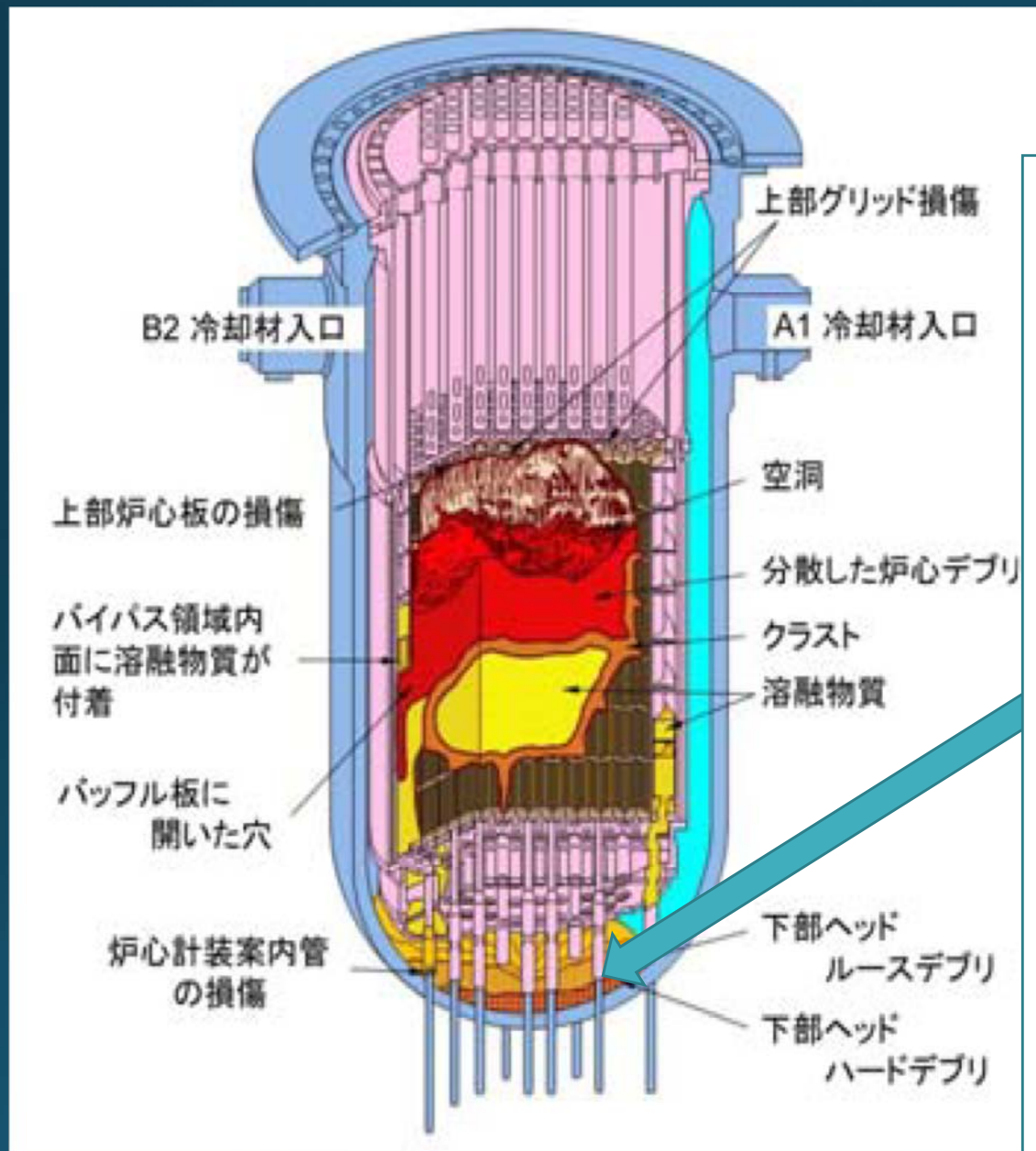


4. 下部炉心構造物コアボーリングとプラズマアークによる切断を組合せて除去。

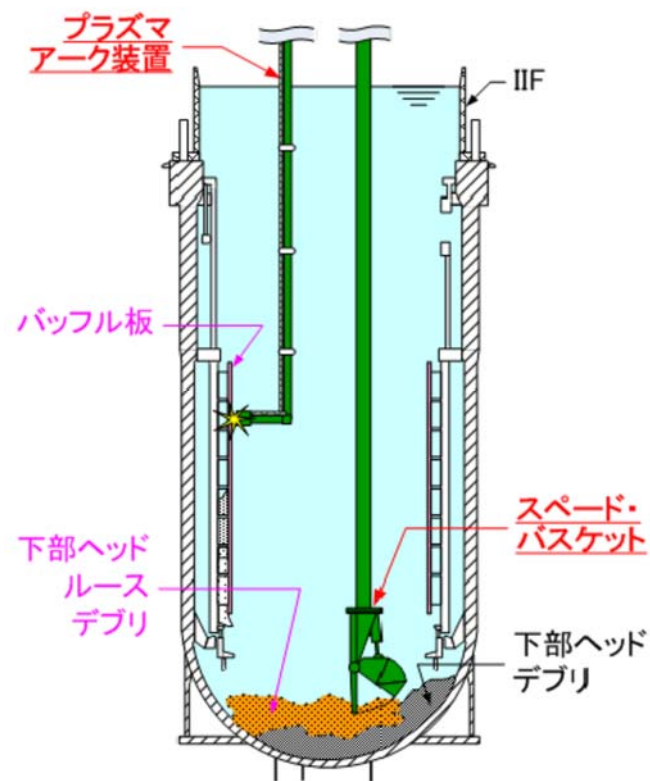




# TMI-2でのデブリ取出し

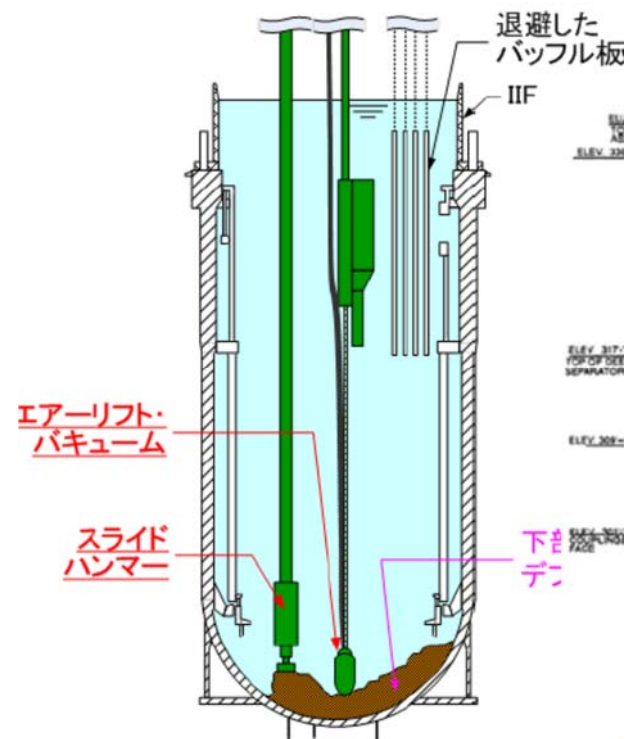
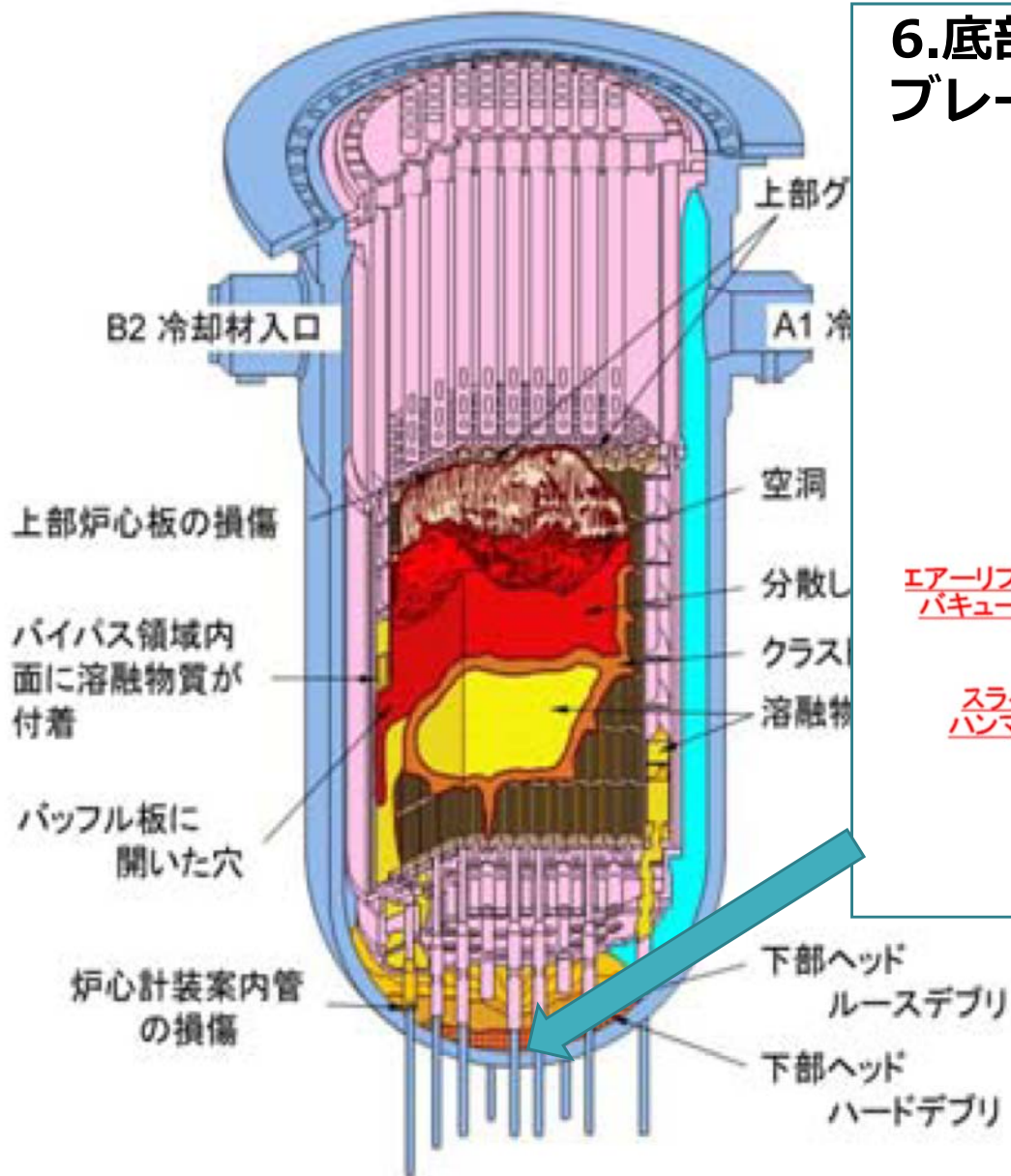


5.コアフォーマ部バッフル板はプラズマアークで切断、下部のルースデブリはバケットで回収。



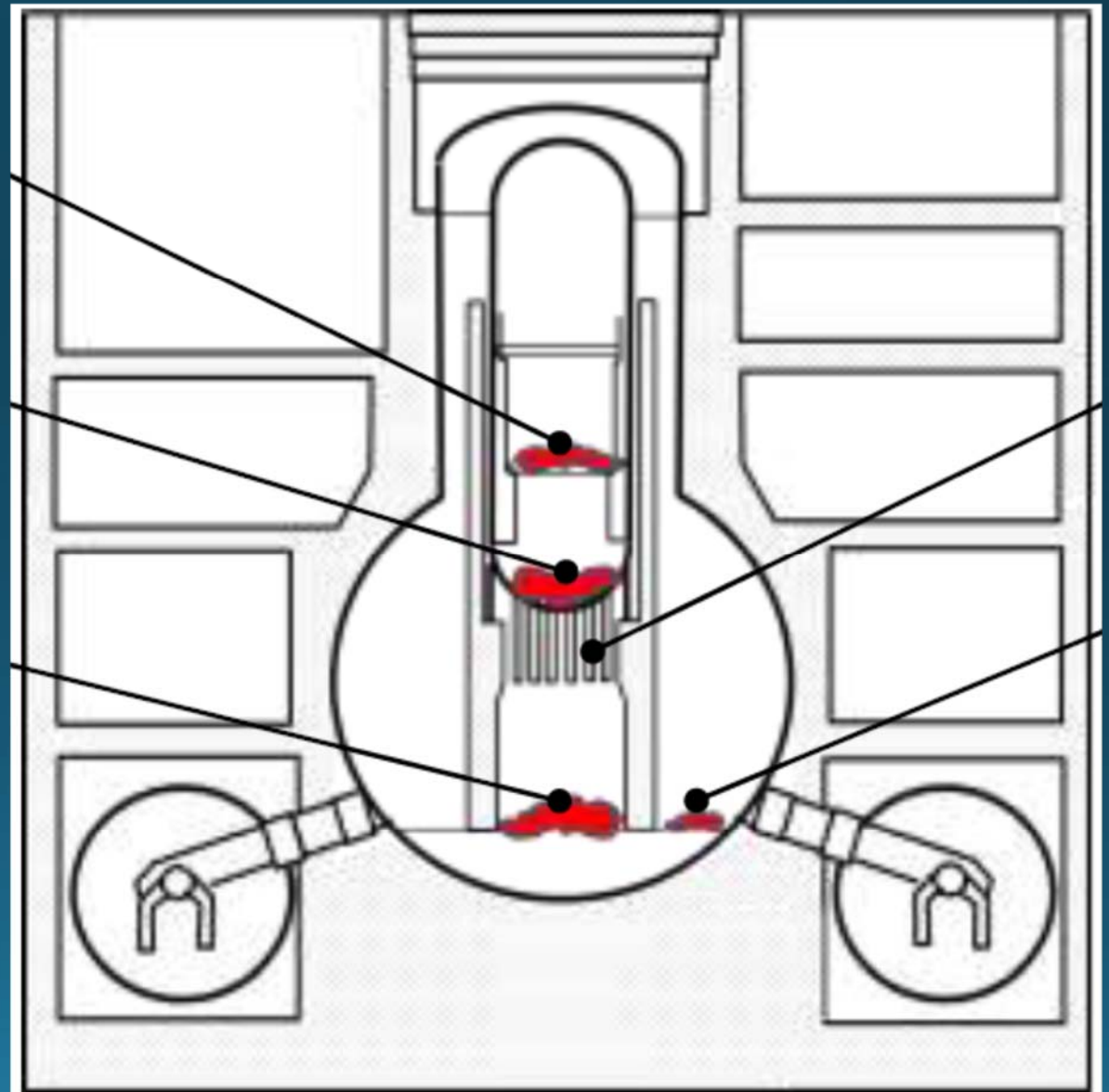
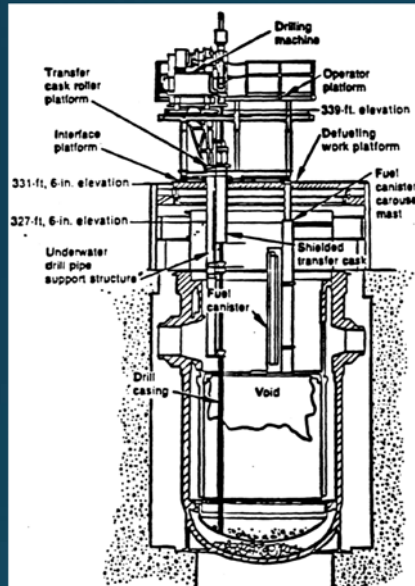
# TMI-2でのデブリ取出し

6.底部の石化したデブリは  
ブレーカーで砕いて回収。



# F1とTMI-2では構造も寸法も違うのでもっと複雑になる？

TMI-2



使っている道具や  
工法は一般的！



# 廃炉の特殊性の品質管理項目、 管理試験などへの組み込み

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（体積）
  
- 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（気泡）、粘性？, 比重

# 廃炉の特殊性の品質管理項目、 管理試験などへの組み込み

例題-1：冠水工法の水の代わりに超重泥水を用いることの  
効果を想定した場合の真の特性と代替特性

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。

- 真の特性と代替特性を  
結びつけるのは大学の役割！**
- 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
    - 代替特性：密度、含水率（体積）
  - 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
    - 代替特性：気相/液相（気泡）、粘性？, 比重



# 廃炉の特殊性の品質管理項目、 管理試験などへの組み込み

③ 切削粉等を取り出す媒体にできる。 D

- 真の特性：切粉等の保持能力
- 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、泥膜の透水性や強度

# 廃炉の特殊性の品質管理項目、 管理試験などへの組み込み

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）

# 廃炉の特殊性の品質管理項目、 管理試験などへの組み込み

- 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？

# 廃炉の特殊性の品質管理項目、 管理試験などへの組み込み

- 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



# 目的（要求機能）を広く捕らえて工法・材料選択の柔軟性を高める！

## 工事の品質を支配する4大要素

Q: Quality(狭い意味の品質)

C: Cost(原価)

D: Delivery(工期)

S: Safety(安全)

[R: Reliability(確実性)]

**目的（要求機能）を広く捕らえて工  
法・材料選択の柔軟性を高める！**

**Reliability(確実性)は通常では経  
験的に判断できるが、廃炉では経  
験がないため判断が難しい。**

C: Cost(原価)

D: Delivery(工期)

**上流側概念に参画することにより  
工法・材料選択の確実性を高める。**

[R: Reliability(確実性)]

# 遮水壁の例（あくまでも想像）

- 要求される事項 建屋への**地下水の流入を抑制**したい。



- 上位の概念：燃料デブリを冷却した**汚染水**が（地下水と混合されて）**増加**するのを防ぎたい。
- 下位の概念：**汚染水の貯蔵量**（タンク建設）を**増やしたくない**。

# 上位または下位の概念での対応

1. 上位の概念：燃料デブリを冷却した汚染水が（地下水と混合されて）量が増加するのを防ぎたい。
  - 燃料デブリに触れた水が建屋外に出なくする（**漏洩防止**）。
  - 地下水が建屋周りに来なくする（**地下水バイパス**）。
2. 下位の概念：汚染水の貯蔵量（タンク建設）を増やしたくない。
  - 汚染水**貯蔵方法を変更**する。
  - 汚染水を**破棄（海中）**できるようにする。



# 遮水壁構築のための緒元

- 要求機能：地下水の流入を抑制する。
- 要求性能：遮水壁の遮水性  
(材料・部材の透水係数、工法の確実性)
- 制約条件①：高放射線環境下での施工→施工機械の規模？
- 制約条件②：輻輳する地下埋設物が存在する条件での施工
  - 制約条件②を回避（緩和）するための選択肢
  - 地中構造物が設置されていない（設置されているけれど数が少ない）場所に遮水壁を建設する。
  - 地中構造物を撤去してから遮水壁を建設する。
  - 地中構造物に影響を与えない工法で建設する。

# 遮水壁の工法と制約条件

工法1：地中構造物を撤去してから（または、破壊しても良い状態にしてから）遮水壁を建設する。

（時間的問題がクリアできる場合）

工法2：地中構造物を壊さない方法で遮水壁を建設する。

鋼矢板・コンクリート壁は工法の大幅改良が必要

パイプを用いた工法が対応可能性（機械も小形）

深層混合攪拌工法、薬液注入工法、地盤凍結工法

壁材料の遮水性 → 凍結工法

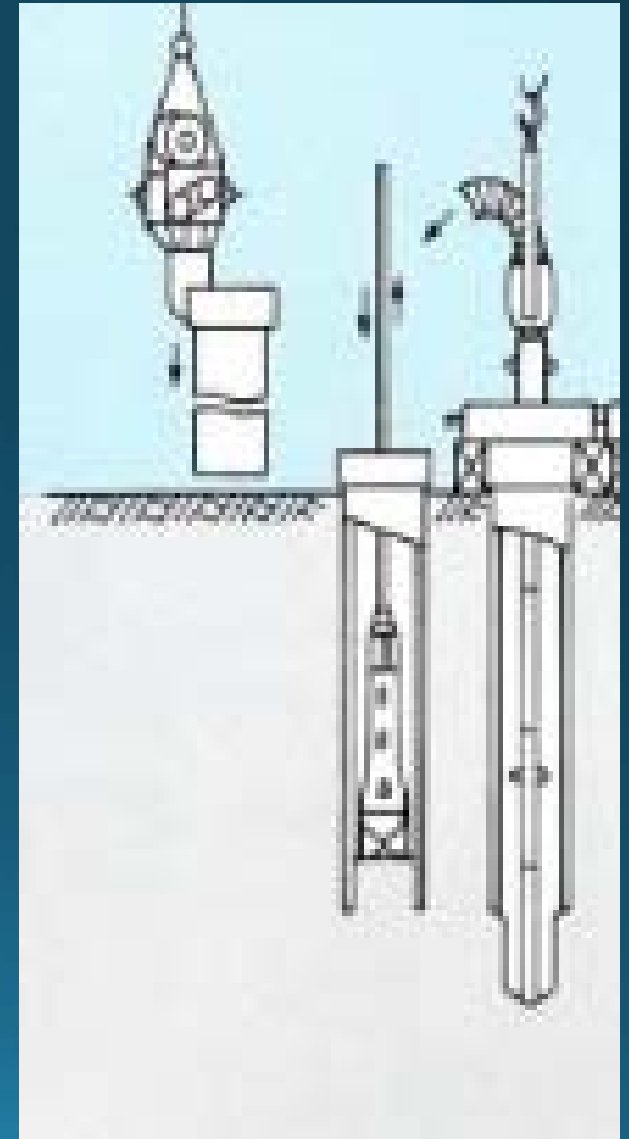
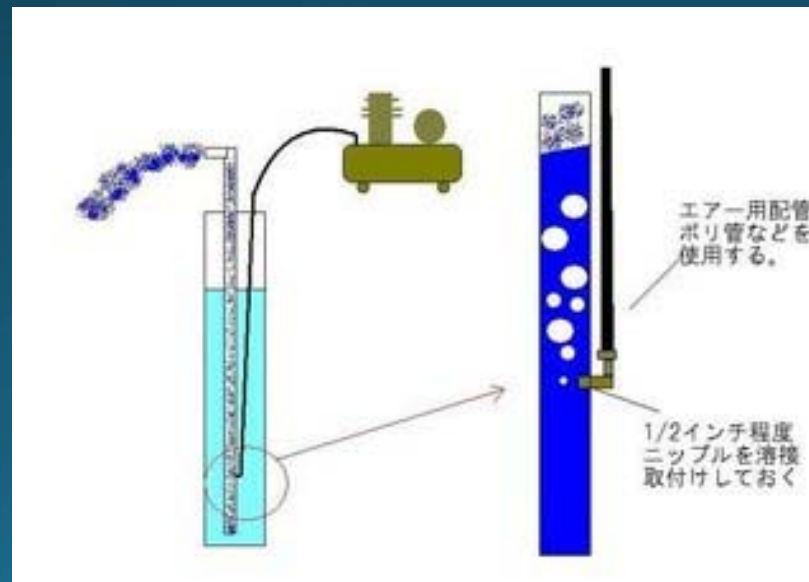
（工法・材料の特性に起因する制約条件への対処）

# 取出し時のデブリの形態と工法

- デブリは取出し時に**形態が変化**する可能性がある  
(大命題：**再臨界させない**)。
- デブリは**コアで抜くのか、削り取るのか？**
  - コア抜きの詳細方法 (**底部の縁切り**他)
- 削り取りの**切削ズリの拡散防止と後処理方法**
- (**ズリを拡散させない**) **ズリ揚げ方法**
  - リバースサーキュレーション、エアリフト
- 泥水と混合した**ズリの分離**
  - 泥水シールドの処理プラント
  - サイクロン フィルタープレスで濃縮 (再臨界?)

# リバースサーキュレーション工法 エアリフト

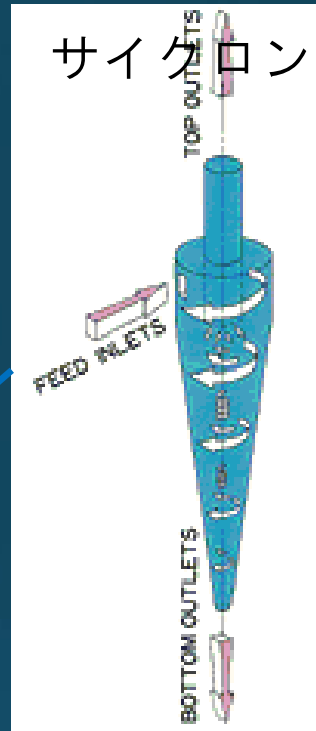
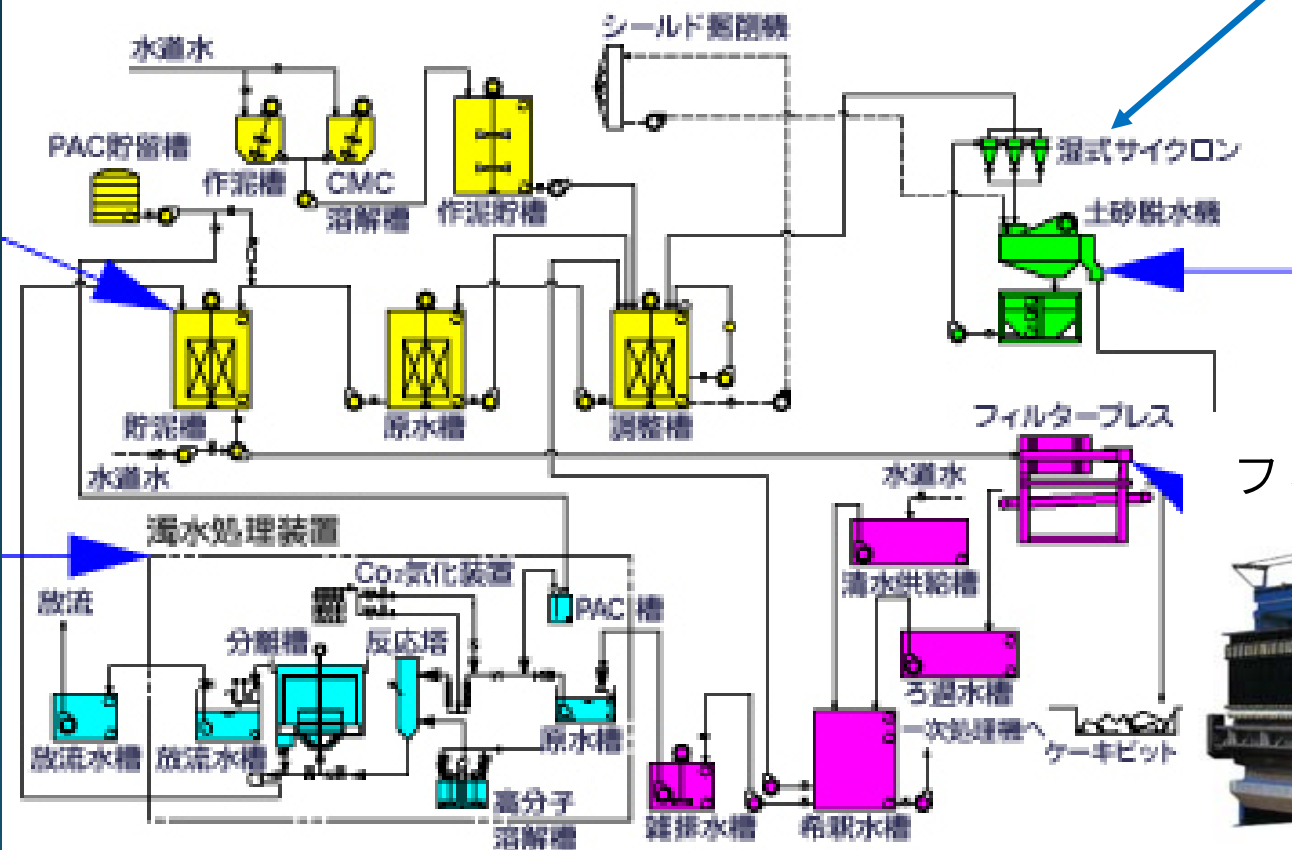
- リバースサーキュレーション工法  
ビットを回転させ地盤を切削し、その土砂を孔内水とともにサクションポンプまたはエアリフト方式等により地上に排出する。





# 泥水処理プラントの例

## 泥水処理設備フローチャート

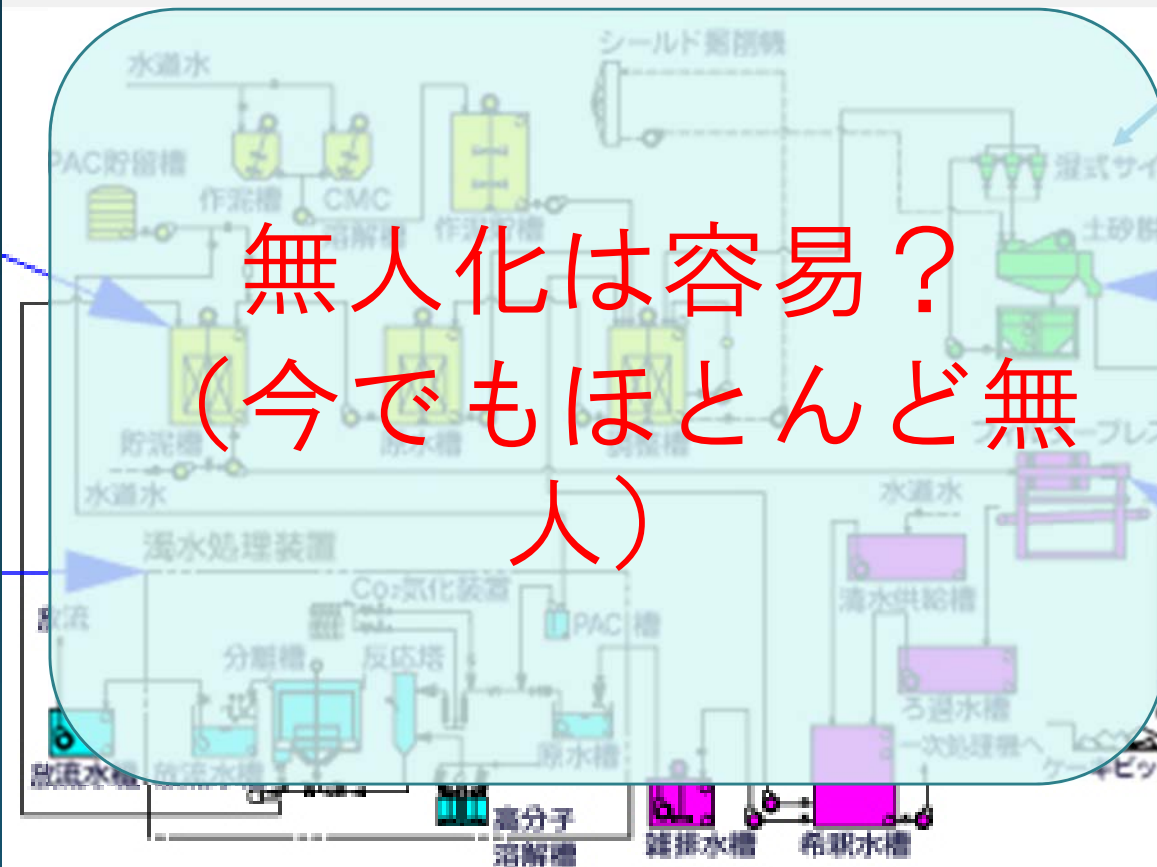


## フィルタープレス



# 泥水処理プラントの例

泥水処理設備フローチャート



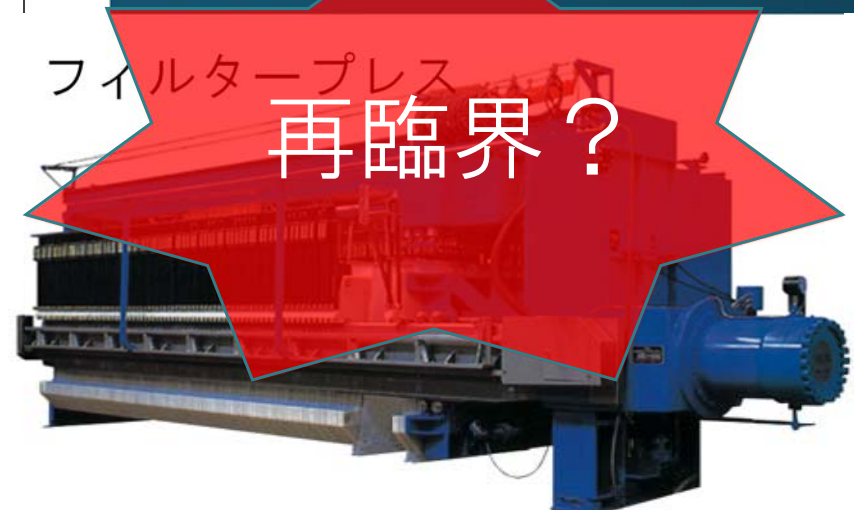
無人化は容易？  
(今でもほとんど無人)

サイクロン



再臨界？

フィルタープレス

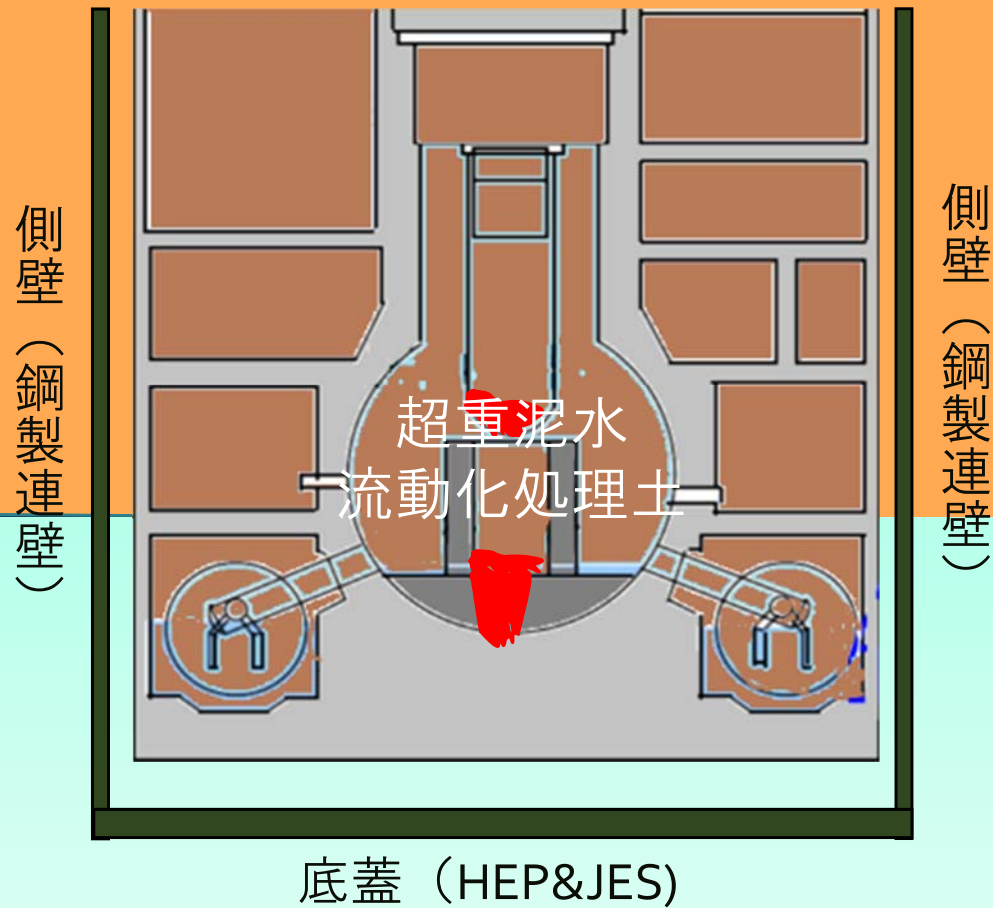


再臨界？

# 安定状態の維持： 一時的原位置封じ込め

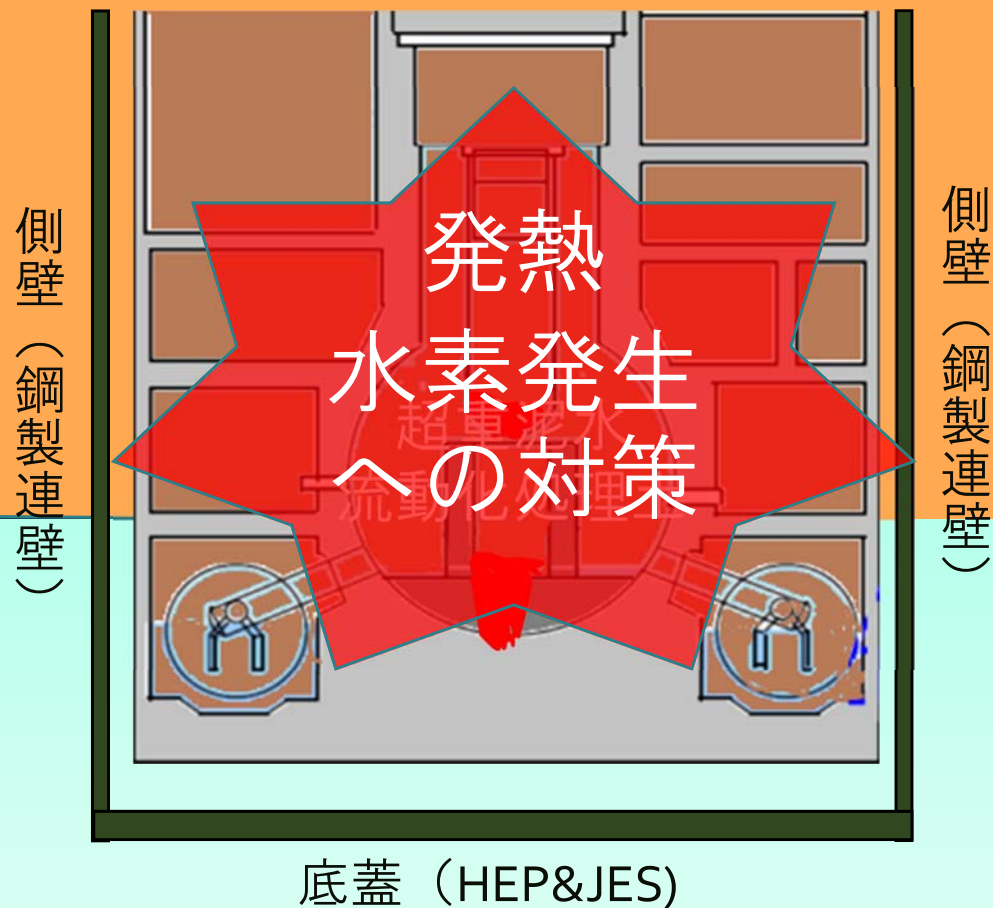
- **現状のデブリは安定状態（再臨界していない）。**
- **デブリの安定状態を長期間維持・管理しなければならなくなった場合。**  
(デブリ取出し技術の開発などに長期間を要する場合)
- **原位置封じ込め（閉じ込め・隔離）**
  - 重泥水・流動化処理土による格納容器充填**
  - 崩壊熱の発散、発生水素の除去**
  - 建屋外部の隔壁設置**
    - 鋼製連壁（側部）、HEP&JES（底部）**

# 一時的原位置封じ込め





# 一時的原位置封じ込め



**ご清聴ありがとうございました。**