

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

廃炉までのシナリオと 技術マップの活用

2017年12月20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. 中長期ロードマップと戦略プラン
2. 廃炉シナリオ（シナリオの位置づけと目的）
3. 技術マップの活用
4. 両者を融合した廃止措置に向けて

1. 中長期ロードマップと戦略プラン

(1) 中長期ロードマップ

- 福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けて、取組内容・目標工程など、政府（国）の大方針が取りまとめられている。
- ロードマップで示されている主要な作業内容としては「**汚染水対策**」「**使用済燃料の取り出し**」「**燃料デブリの取り出し**」「**廃棄物対策**」が挙げられる。
- ロードマップは、作業の進捗や現場で確認された状況に応じて、現在までに3回改訂が行われており、平成29年9月には廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議において、第4回改訂案が提示されている。
- 第4回改訂におけるポイントとして、全体の枠組み工程に変更はないが、戦略プラン2017の提言を踏まえ、燃料デブリ取り出し方針（**気中・横工法に軸足**）を決定したことなどである。

廃炉工程全体の枠組み ()内は目標年度

| | 2011年12月 | 2013年11月 (4号機使用済燃料取り出し開始) | 2021年12月 (初号機燃料デブリ取り出し開始) |
|----------------|----------------------|--------------------------------|--|
| | 安定化に向けた取組 | 第1期 | 第2期 |
| | 冷温停止状態の達成 放出の大幅抑制 | 使用済燃料取り出し 開始までの期間 (2年以内) | 燃料デブリ取り出しが 開始されるまでの期間 (10年以内) |
| | | | 廃止措置終了までの期間 (30~40年) |
| 汚染水対策 滞留水処理 | | | <ul style="list-style-type: none"> ・汚染水の発生量抑制 (2020) ・処理水の溶接タンクでの貯水 (2016 ⇒ 2018) ・滞留水の放射性物質質量減少 (2018) ・建屋内滞留水処理完了 (2020) |
| 燃料取り出し | | | <ul style="list-style-type: none"> ・3号機燃料取り出し開始 (2017 ⇒ 2018) ・1号機燃料取り出し開始 (2020 ⇒ 2023) ・2号機燃料取り出し開始 (2020 ⇒ 2023) |
| 燃料デブリ 取り出し | | | <ul style="list-style-type: none"> ・初号機の燃料デブリ取り出し方法確定 (2018 ⇒ 2019) ・初号機の燃料デブリ取り出しの開始 (2021) |
| 廃棄物対策 | | | <ul style="list-style-type: none"> ・処理・処分方策とその安全性に関する見通し (2017 ⇒ 2021) |

(2) 戦略プラン

- ロードマップの着実な実行や改訂の検討に資すること、技術的根拠を与えることなどを目的に、放射性物質に起因するリスクを低減するための戦略策定・技術的支援（提言・提案）が行われている。
- 戦略プランでは、「**燃料デブリ取り出し**」「**廃棄物対策**」の分野を主として、中長期のリスク低減に向けた技術的検討が進められ、戦略的提案・提言がなされている。
 - 中期的なリスク低減 ⇒ 時間的に早い対応、炉内安定化の実効性
 - 長期的なリスク低減 ⇒ 燃料デブリの高い回収率

これら中長期的なリスク低減と取り出し作業時のリスク抑制*（作業時における放射性物質の漏洩、作業員の被曝等）を適切なバランスで両立させるという検討方針としている。

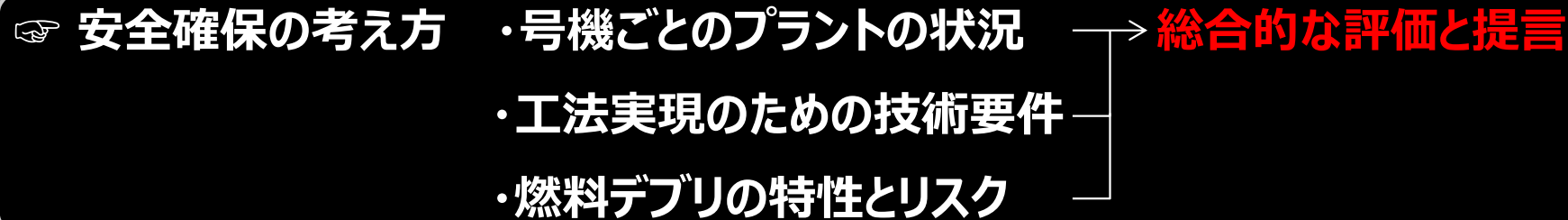
*「工程優先ではなくリスク本位の姿勢（中長期ロードマップ/2015.6改訂）」を踏まえ、IAEA/ICRP等による国際的な安全原則に則る。

(参考) IAEA安全基準

- **基本安全目的：**
「人及び環境を電離放射線の有害な影響から防護すること」
 - **基本安全原則：**
 - (原則1) 安全に対する責任
 - (原則2) 政府の役割
 - (原則3) 安全に対するリーダーシップ
 - (原則4) 施設と活動の最適化
 - (原則5) 防護の最適化
 - (原則6) 個人のリスクの制限
 - (原則7) 現在及び将来の世代の防護
 - (原則8) 事故の防止
 - (原則9) 緊急時の準備と対応
 - (原則10) 現存又は規制されていない放射線リスクの低減のための防護措置
- 国際放射線防護委員会 (ICRP)
による放射線防護3原則
(正当化、最適化、線量制限)

・「燃料デブリ取り出し」分野

検討の流れ



燃料デブリ取り出し工法実現のための技術要件

- ① 閉じ込め機能の確保
- ② 冷却機能の維持
- ③ 臨界管理
- ④ PCV建屋の構造健全性（耐震性）の確保
- ⑤ 作業時の被曝低減（原子炉建屋内・燃料デブリ取り出し時）
- ⑥ 労働安全の確保
- ⑦ 燃料デブリへのアクセスルートの構築
- ⑧ 燃料デブリ取り出し機器・装置の開発
- ⑨ 系統設備・エリアの構築 など

上記のような技術要件に対して、5つ基本的思想（安全・確実・合理性的・迅速・現場指向）に基づき実現性を評価した結果、次のような提言がなされた。

- ・ 気中工法に軸足を置いて研究開発等を進める。
- ・ PCV底部の燃料デブリの取り出しに重点をおいて取組を進める。
- ・ PCV底部の燃料デブリへのアクセスルートは、横アクセス工法から検討を進める。

・「燃料デブリ取り出し」分野

検討の流れ

👉 安全確保の考え方 ・号機ごとのプラントの状況 → **総合的な評価と提言**

燃料デブリの特性

[性状や形態]

- ・燃料要素と構造材が混合溶融固化し、大きな塊状となったもの
- ・燃料ピンが崩落し、ペレット片の状態のもの
- ・溶融過程で崩落し、岩塊状となったもの
- ・溶融過程の冷却条件等により、粒状や粉状となったもの
- ・炉底部からPCVに流出したもの
- ・炉底部からPCVに流出し、コンクリートと混合溶融したもの（MCCI生成物） など

[存在場所]

- ・RPVに残存（燃料要素と被覆管や構造材が混合溶融したウラン・ジルコニウム酸化物固溶体）
- ・PCVに流出（コンクリートと反応したMCCI生成物：知見少＝不確実性高い）

[崩壊熱の制御状態（冷却状態）]

冷却水かけ流し（RPV内）⇔循環冷却水の水位下（PCVに流出）

[燃料デブリ固有の不安定性（臨界性、放射能、崩壊熱、化学特性、幾何学形状等）]

- ・水の放射線分解・水素発生⇒内圧上昇に伴うRPV/PCVの損傷（窒素注入で対応）
- ・崩壊熱は、循環冷却系により制御中（時間経過に伴い低減し、今後も減少する）
- ・（時間経過に伴い）燃料デブリの一部溶出、移動性の高い形態（小破片状）に変化
⇒ 循環冷却系に流出、（閉じ込め機能が損なわれると）冷却材・気体に随伴し漏洩
⇒ 高濃度の核燃料物質を含む場合、一定箇所に滞留・集積し、局所的に臨界が発生

燃料デブリ

- ① 閉じ込め
- ② 冷却機
- ③ 臨界管
- ④ PCV建
- ⑤ 作業時
- ⑥ 労働安
- ⑦ 燃料デ
- ⑧ 燃料デ
- ⑨ 系統設

上記のよ
場指向）に

- ・ 気中工法
- ・ PCV底部
- ・ PCV底部

• 「廃棄物対策」分野

• 国際的な放射性廃棄物対策における安全確保の考え方

⇒ 「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約（1997）」に基づくIAEAやICRPで取りまとめられた放射性廃棄物（事故由来含む）の管理にあたっての考え方を、次の3つに区分して整理している。

①安全確保の基本的考え方

②処分前管理に対する安全確保の考え方

③処分に対する安全確保の考え方

• 固体廃棄物に関する取組の現状

⇒ 固体廃棄物の保管・管理状況、保管管理計画、性状把握のための分析試料の採取場所・数量などを提示すると共に、固体廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめに向けた提言がなされている。

2. 廃炉シナリオ

(1) シナリオの位置づけと目的

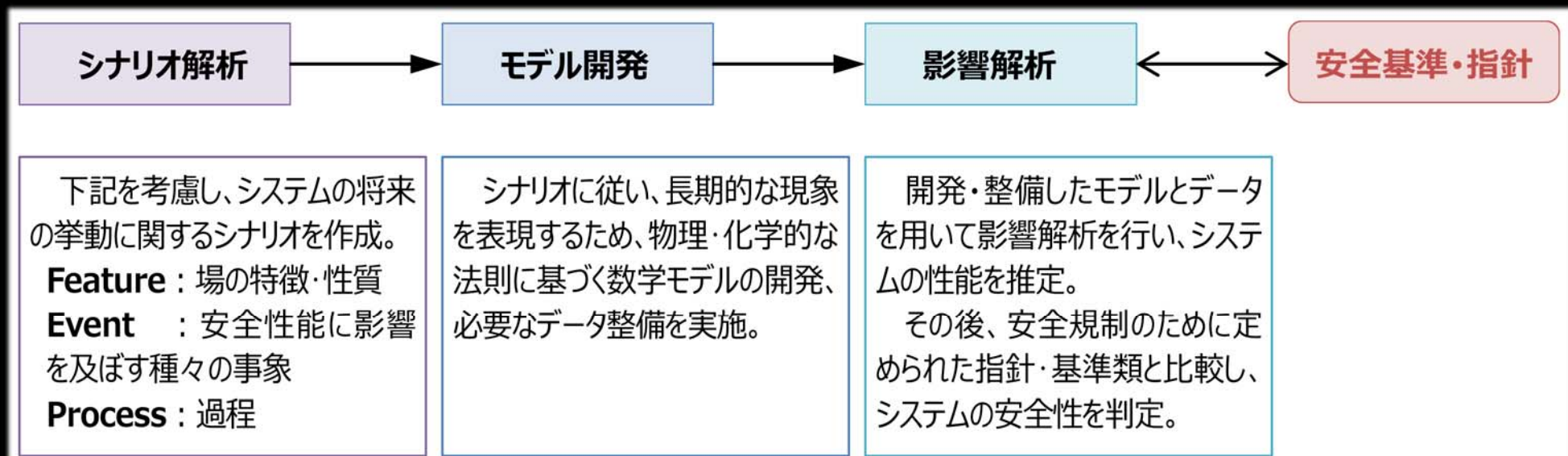
① 地層処分における安全評価の一般的方法論

(OECD/NEA, 1991a)

地層処分システムの安全評価を行うにあたっては、安全指標・基準を考慮することに加えて、次のような2点の特徴的な問題がある。

- ・ きわめて長い時間スケールを考慮しなければならないこと。
- ・ 天然の地層という不均質で大きな空間領域を有するシステム要素を含むこと。

これらの問題に対するアプローチとして、以下に示すようなシナリオを用いた方法論が確立されている。



②高レベル放射性廃棄物の地層処分における評価シナリオ

地下深部に処分した高レベル放射性廃棄物中の放射性物質がどのような経路を通じて人間環境に影響を与えるかを、様々な事象・環境条件等を想定した以下の評価シナリオを作成し、安全性評価を行っている。

・地下水シナリオ：基本／変動シナリオ

地下水により放射性物質が処分場から人間環境へ運ばれる仮定からなる基本・変動2つのシナリオが作成されており、それぞれ次のような条件を仮定している。

【基本シナリオ】

- ・現在の地質環境が有する特性が将来においても安定して変わらないこと
- ・人工バリアが設計通りに製作・施工され、期待される安全機能を発揮すること
- ・現在の地表の環境の状態が将来も継続すること

【変動シナリオ】

- ・天然現象の影響
- ・将来の人間活動の影響
- ・初期欠陥の影響

・接近シナリオ

高レベル放射性廃棄物と人間との物理的距離が接近すること（掘削・採鉱による人間の侵入、地形の隆起・沈降による処分場の地上への露出など）により、人間環境に影響を及ぼすシナリオである（発生可能性が小さく、仮想的事象として検討されている）。

③ その他のシナリオの活用例

・ 余裕深度処分における安全評価シナリオ

リスク論的考え方にも基づく安全評価として、次の3区分のシナリオで評価。

- 基本シナリオ : 発生の可能性が高く、通常考えられるシナリオ。
- 変動シナリオ : 発生の可能性は低いが、安全評価上重要な変動要因を考慮したシナリオ。
- 稀頻度事象シナリオ : 発生の可能性が著しく低い自然現象を想定したシナリオ。
- 人為事象シナリオ : 放射性廃棄物処分場の存在を認識できず、偶発的に発生する人間活動によって埋設施設及び施設近傍の天然バリアの擾乱を想定したシナリオ。

・ 浅地中トレンチ処分における安全評価シナリオ

操業・管理期間中と管理期間終了以後でシナリオを作成し、前者は平常時と事故時、後者は基本シナリオと変動シナリオ地下水・ガス移行・土地利用に区分される。

・ TRU廃棄物処分におけるガス移行挙動評価シナリオ

TRU廃棄物処分研究開発において、ベントナイト緩衝材中のガス移行挙動を解明するためにシナリオを作成している（時系列の状態変化表、発生の蓋然性が見込まれる物質の移行プロセスを整理したFEP関連図など）。

・ 廃炉事業におけるシナリオの利用

事故進展解析を行うにあたり事故進展シナリオが策定・利用されているほか、臨界管理方法の検討では取り出し方法ごとの臨界シナリオが、地震時の耐震性評価では安全シナリオが策定され、検討が進められている。

※ 出典 『余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方』平成22年4月，原子力安全委員会

※ 出典 『浅地中トレンチ処分の安全評価手法：201X（案）』平成25年，原子力学会公衆審査用資料より

※ 出典 『地層処分技術調査等事業TRU廃棄物処分技術人口バリア長期性能評価技術開発』平成23年～（公財）原子力環境整備促進・資金管理センターほか

(2) 中長期ロードマップ及び戦略プランに基づく基本的なシナリオ構成

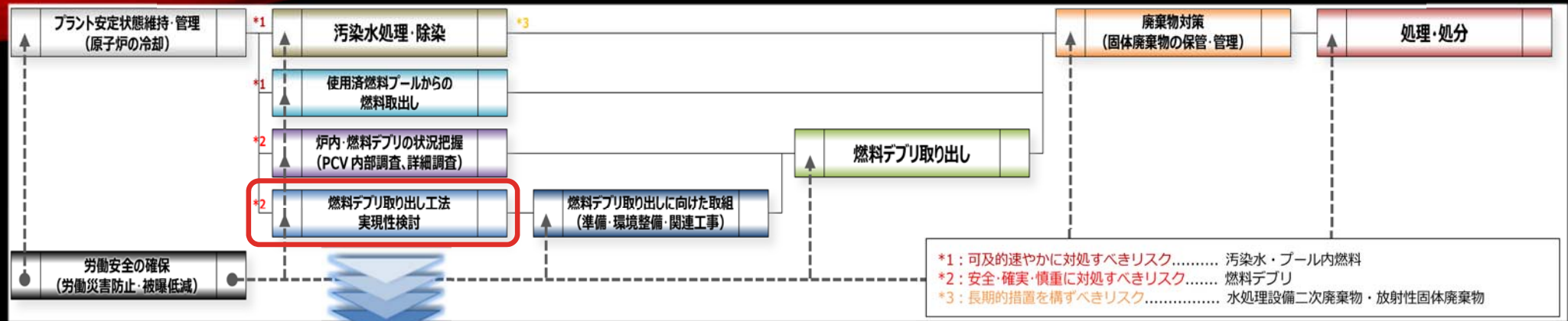
ロードマップ・技術プラン等の整理結果 (毎年、更新作業中)



その他「汚染水処理・除染」「炉内・燃料デブリの状況把握」「燃料デブリ取り出し方法の実現性検討」「燃料デブリ取り出しに向けた取組 (準備・環境整備・関連工事)」「廃棄物対策 (固体廃棄物の保管・管理)」「処理・処分」など、作業グループごとに整理。

※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・汚染水対策関係閣僚等会議 『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

整理された作業グループを、
 廃炉までの時系列に沿う形で、基本的なシナリオ素案として構築。



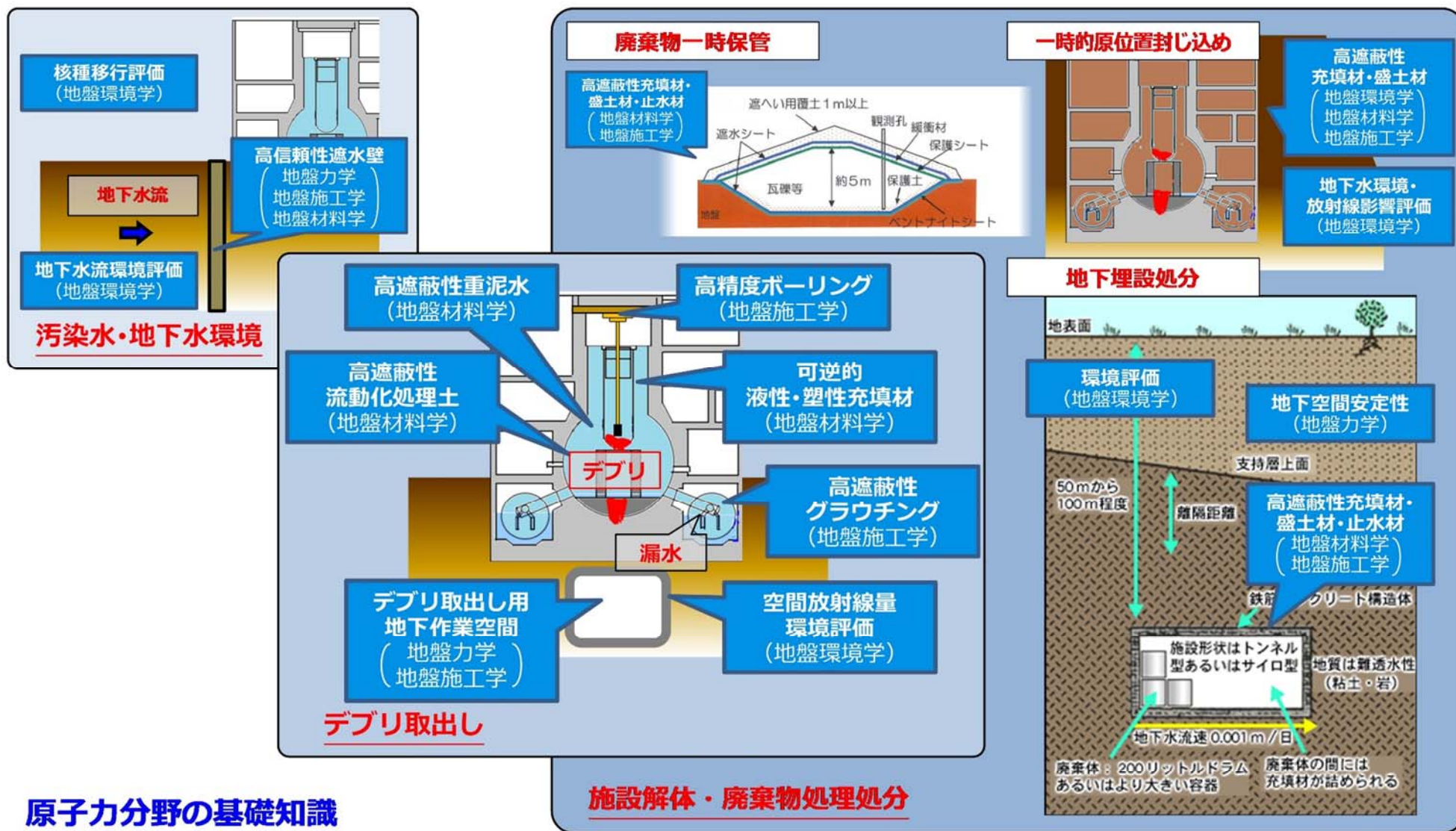
なお、これらの各作業グループは、戦略プランに示された技術要件を整理すると、左図のように、より詳細な作業項目・検討すべき事項などからなる。

【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。

3. 技術マップの活用

(1) 廃止措置に寄与可能と考えられる地盤工学技術



(2) 技術マップの構成

- 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
材料を選

「廃炉地盤工学における

地盤施工学（総論）」も参照のこと。

(3) 技術マップの構築 (データベース化を見込んで)

- 廃炉地盤工学委員会を構成するメンバーより提供頂いた技術情報について、技術マップでの位置付け (廃炉地盤工学における学問単元と時系列区分) を明らかにし、以下の項目に基づき整理・集約。

【技術情報の項目】

- 技術の名称
- 保有者 (社名)
- 技術分類
- 概要
- 適用性
- 出典
- 備考

適用性① :
技術段階 (開発レベル)

- 理論
- 室内実験
- 実規模試験
- 実用

適用性② :
1Fでの実績

- on site
- off site

提供頂いた技術情報



HPにおける公開資料

リーフレット・パンフレット

論文

...
e.t.c.

情報項目に基づき
整理・集約

技術マップ (公開用 : rev.08.2)

廃炉地盤工学における技術マップ (rev.08.2) - 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 |
|----|----------------------|---------------|---------------------|


廃炉地盤工学における技術マップ (rev.08.2) - 2/4

| | | | |
|----|----------------------|---------------|---------------------|
| 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 |
|----|----------------------|---------------|---------------------|

廃炉地盤工学における技術マップ (rev.08.2) - 3/4

| | | | |
|----|----------------------|---------------|---------------------|
| 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 |
|----|----------------------|---------------|---------------------|

廃炉地盤工学における技術マップ (rev.08.2) - 4/4

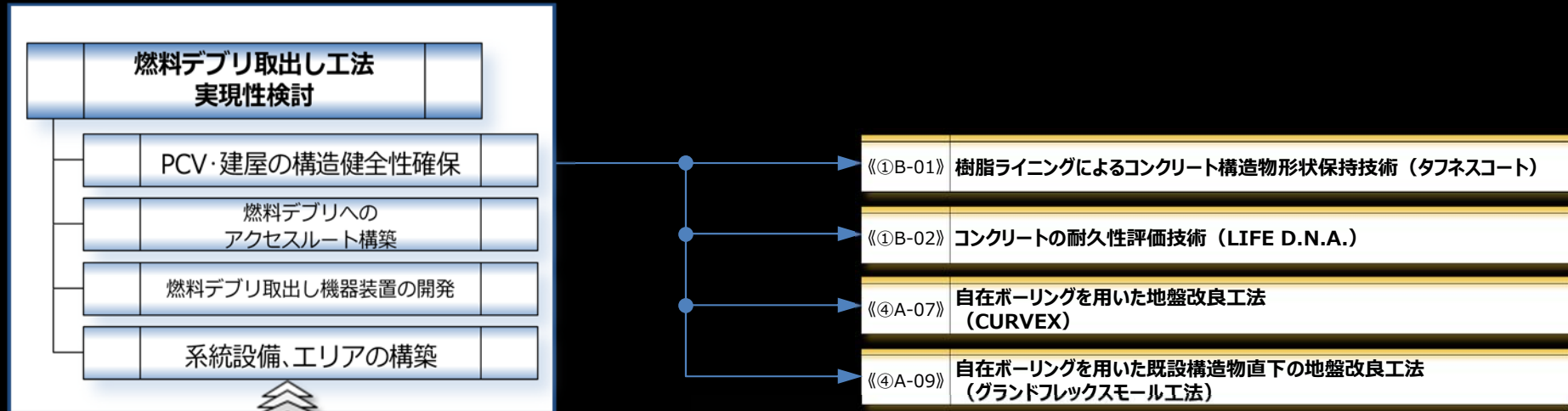
| 分類 | (A) 汚染水・地下水環境 (除染技術) | (B) 燃料デブリ取り出し | (C) 施設の解体・廃棄物の処理・処分 |
|------------|--|---|--|
| 必要と想定される技術 | <ul style="list-style-type: none"> 地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁の構築工法 輻射する地下埋設物に対応できる遮水壁構築工法 汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工法 | <ul style="list-style-type: none"> 燃料デブリ取出しのための高精度ボーリング工法 燃料デブリ取出し時における地下基地の構築工法 格納容器水漏れ箇所封鎖のための高遮断性グラウチング工法 使用済燃料及び燃料デブリ取出し時における燃料建屋内の除染技術 | <ul style="list-style-type: none"> 地下埋設処分施設の構築工法 高い放射能レベルの固形廃棄物・使用済み燃料等の処分技術 安定的な閉じ込め・遮蔽に対応できる格納容器用高遮断性充填工法 建屋全体の中詰めベントナイトを併用した鋼製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 港湾底質の浄化/回収技術 将来利用の想定に応じた地盤改良・埋立て技術 |
| ※工程・内容 | <ul style="list-style-type: none"> 『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 | <ul style="list-style-type: none"> 『炉内・燃料デブリの状況把握』 実機調査による推定 (RPV・PCV) 『燃料デブリ取出し工法実現性検討』 燃料デブリ取出し機器・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 『燃料デブリの取出し (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 | <ul style="list-style-type: none"> 『貯蔵 (保管・管理)』 固形廃棄物の保管管理 (保管管理計画) 『処理・処分』 固形廃棄物の処理・処分 (処理及び処分方針に関する検討) など |
| ④地盤材料学 | <p>④A-01) 3rdリ-バーリ-を利用した信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法 / 早稲田大</p>  <p>処分・デコミッションング ■ 保管施設の設計に資する実験的検討</p> <p>■ 諸地利用や有争のデコミッションングに関する検討</p> <p>■ 放射性廃棄物の処分 デコミッションングにおける地盤工法技術</p> | <p>④B-05) 代替工法のための燃料デブリの切削・集塵技術 / 大成建設</p>  <p>事業の概要と特長</p> <p>■ 3D無人化施工支援システム</p> | <p>④C-02) 広大な海面を利用できる海面処分場の建設工法 / 広島大</p>  |
| ④地盤施工学 | <p>④A-06) 自在R-リングを用いた地盤改良工法 (CURVEX) / 鹿島建設</p>  <p>ほか 18 件</p> | <p>④B-09) 3D 3tけを用いた除染重機の遠隔作業の効率化 / 清水建設</p>  <p>■ 3D無人化施工支援システム的方式</p> <p>ほか 6 件</p> | <p>④C-21) 袋状にした二重遮水シート内の真空圧より漏水箇所を特定し、急速補修するT&OHシステム / 大林組</p>  <p>ほか 19 件</p> |

※表内に整理された技術が貢献可能と予想される中長期ロードマップや技術マップ等に示された作業工程・内容

4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(1) 技術メニュー（選択肢）の提示（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



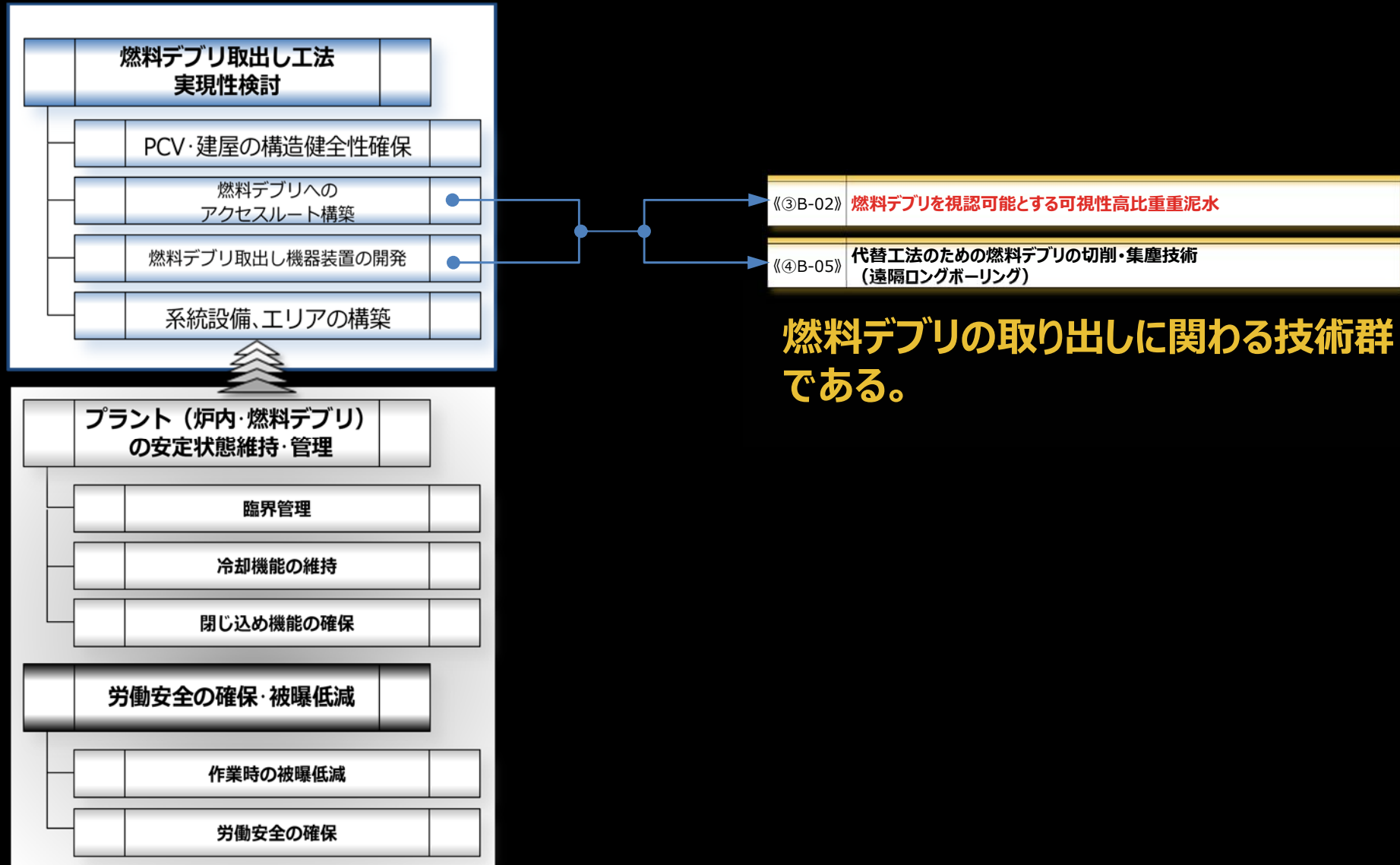
燃料デブリ取り出しに際して求められるPCV (原子炉格納容器) や建屋の健全性確保に寄与可能な技術である。

(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

4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(1) 技術メニュー（選択肢）の提示（例①）

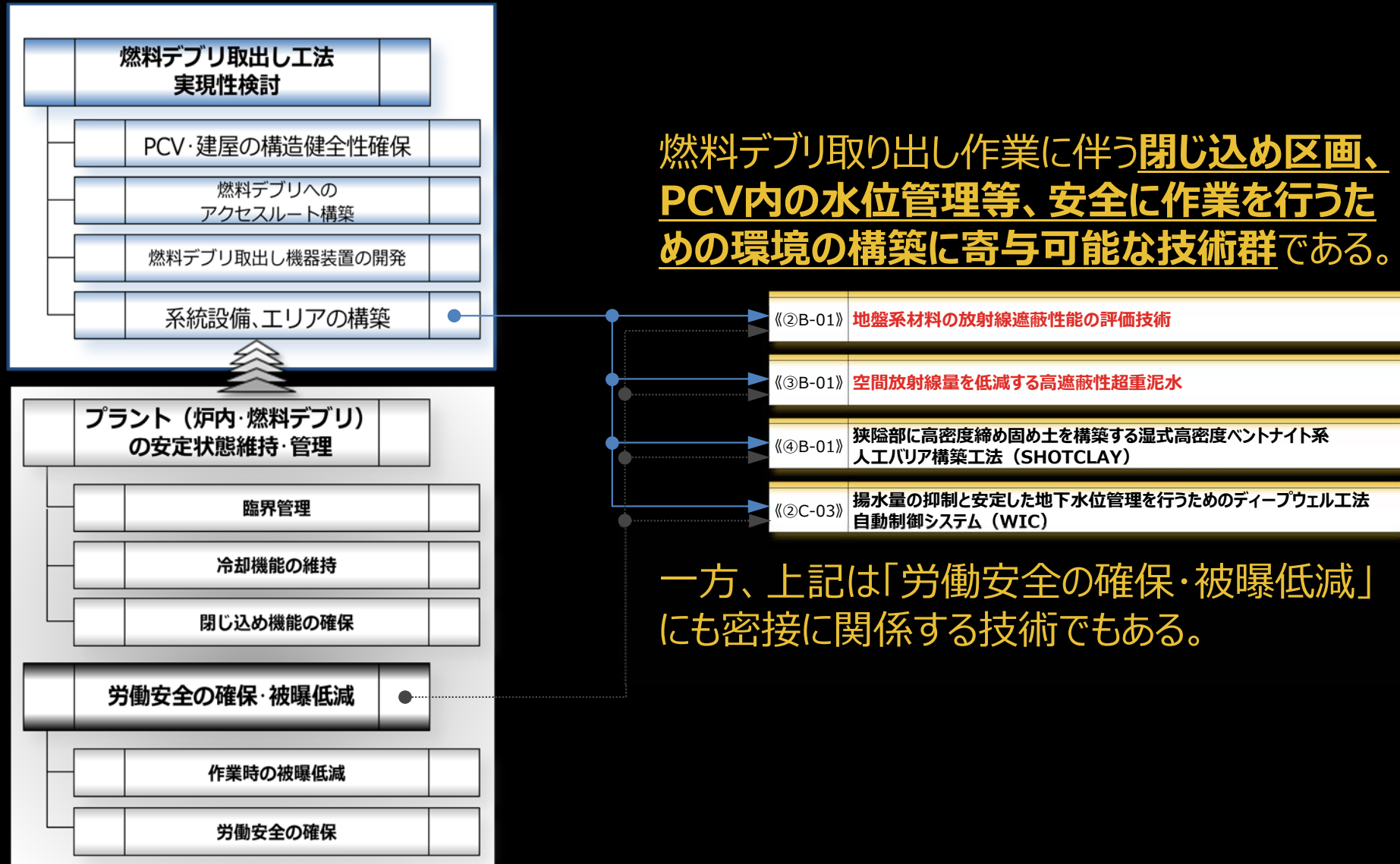
【燃料デブリ取り出し工法実現性検討】 段階で寄与可能な地盤工学技術



4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(1) 技術メニュー（選択肢）の提示（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



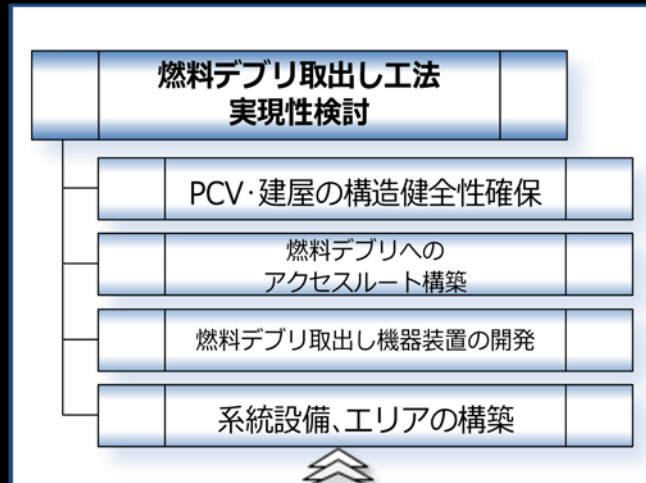
燃料デブリ取り出し作業に伴う閉じ込め区画、PCV内の水位管理等、安全に作業を行うための環境の構築に寄与可能な技術群である。

一方、上記は「労働安全の確保・被曝低減」にも密接に関係する技術でもある。

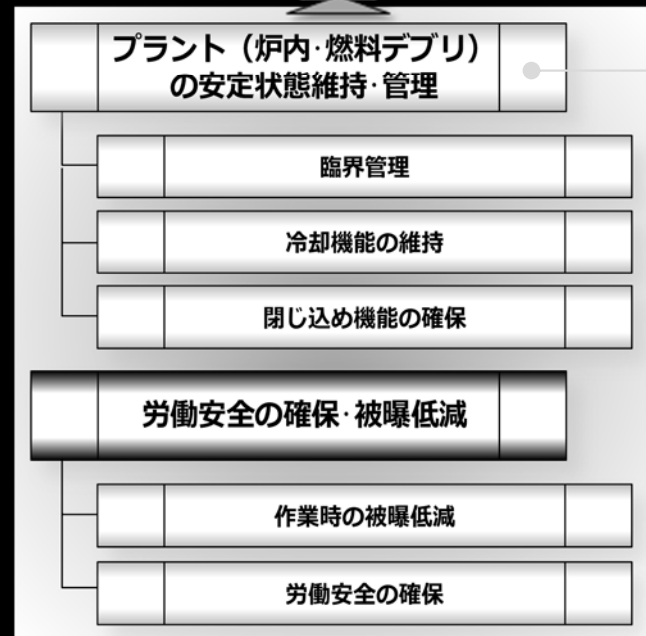
4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(1) 技術メニュー（選択肢）の提示（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



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

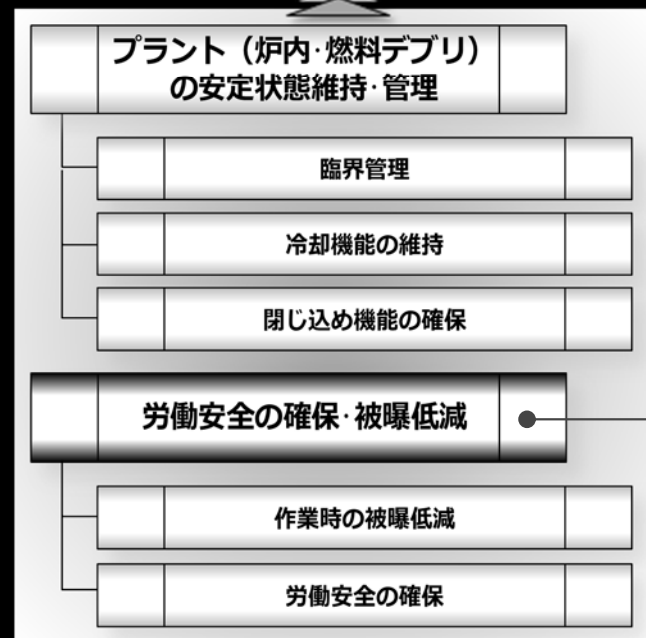
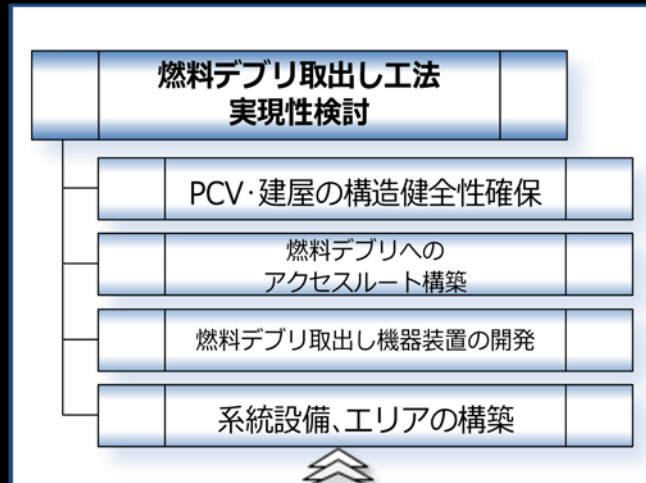


- 《③A-03》 地盤中の空隙、間隙を効率的に充填注入する可塑性グラウト
- 《③A-14》 建屋内地下水経路空間のベントナイト・ペレット充てん止水方法
- 《③B-01》 **空間放射線量を低減する高遮蔽性超重泥水**
- 《③B-04》 大規模・大水深下でも適用可能な空洞充填材（T-PLUS）

4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(1) 技術メニュー（選択肢）の提示（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



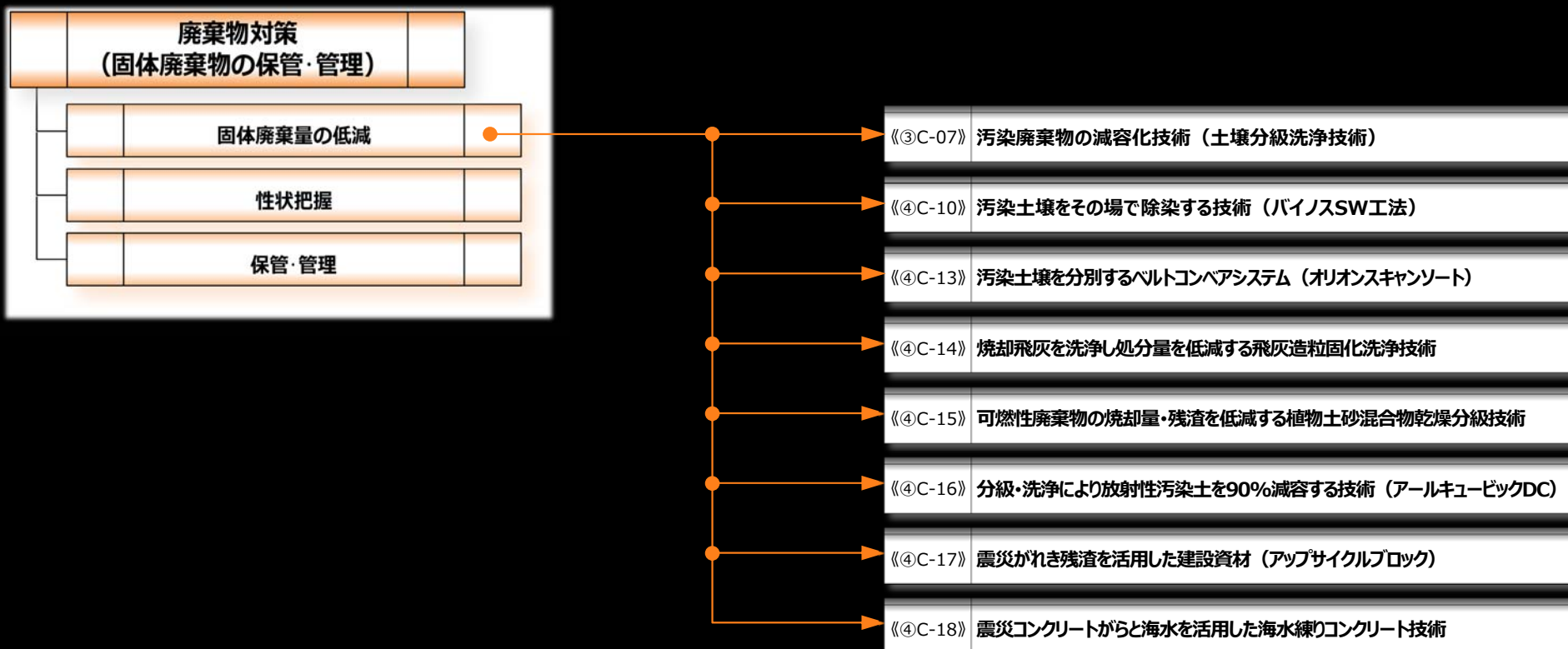
労働安全の確保・被曝低減に寄与可能な技術群であり、1F事故発生後のオフサイトにおける除染に伴って開発されてきたものである。

- 《②B-02》 光ファイバを使った放射線検知装置の小型化技術
- 《②B-03》 放射線量を速やかに測定する技術（オリオン・スキャンプロット）
- 《③B-06》 除染作業における重機運転手の被曝を60%以上低減する放射線シールドシート

4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(2) 技術メニュー（選択肢）の提示（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



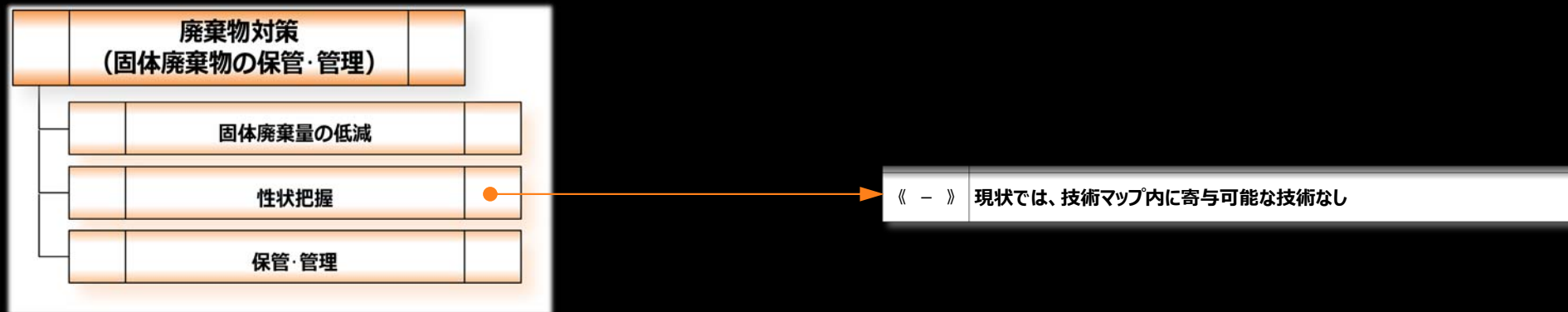
廃棄物量の低減に寄与可能と考えられる技術群であり、
オフサイトの除染等に伴って培われてきたものである。
減容化技術のほかに**再利用等**の技術も含まれる。

※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)

4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(2) 技術メニュー（選択肢）の提示（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)

4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(2) 技術メニュー（選択肢）の提示（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・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。

- 《②C-10》 フレコンバッグを載せたまま放射能濃度を測定する技術 (TRUCK SCAN)
- 《③C-01》 粘土系遮水ベントナイト100%砕石のNB (止水) 工法
- 《③C-03》 ベントナイト100%の遮水ブロック (NBブロック)
- 《③C-04》 狭隘部に高密度締め固め土を構築する湿式高密度ベントナイト系人工バリア構築工法 (SHOTCLAY)
- 《③C-05》 キャピラリーバリア効果を利用した盛土内埋立処理技術
- 《③C-08》 指定廃棄物を覆う隔離層を迅速に構築する工法 (ベントスロープ-F工法/BtS-F工法)
- 《③C-09》 放射性遮蔽型海水コンクリート
- 《③C-20》 現地発生土を利用した土質遮水技術 (工ソイルライナー工法/ESL工法)
- 《④C-01》 キャピラリーバリアを利用した信頼性の高い瓦礫・伐採木の保管施設構築工法
- 《④C-04》 指定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 (EIEN)
- 《④C-06》 高温環境下でのコンクリートの中性子遮蔽性能向上を図る耐熱コンクリート

※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)

4. 両者を融合した廃止措置に向けて

(2) 技術メニュー（選択肢）の提示（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



保管段階のうち、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。

- 《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変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の安全評価技術
- 《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）

※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) 地盤工学技術を活用したシナリオ (案)

その1【燃料デブリ取り出し実現性検討 (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し膨潤性による遮水性を期待。**

・ 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 (一方、冷却機能の維持に課題)。**

☞ **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。**

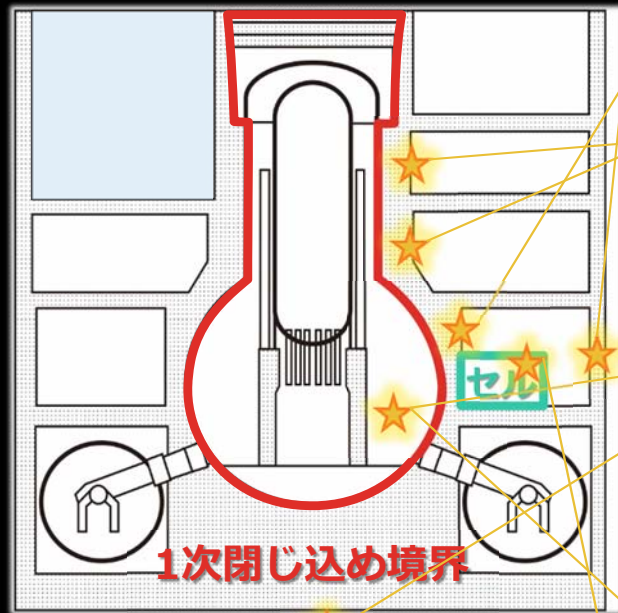
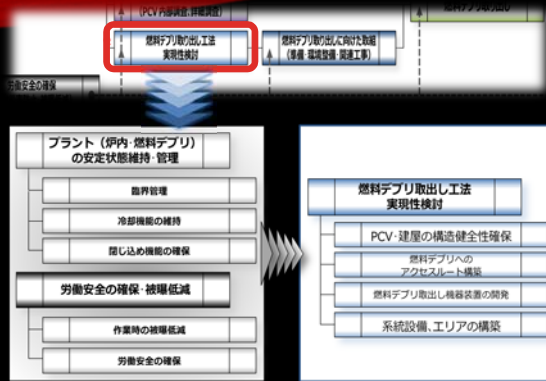
PCV内に超重泥水《③B-01》を注入後、粘性を調整し、冷却水の変わりに循環。

☞ **遮蔽性・遮水性を期待 (循環系のダメージ・別系統構築の必要性?)**

③ 労働安全の確保・被曝低減

・ 1F周辺作業時の除染作業で使用された放射線シールドシート《③B-06》使用。

☞ **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」を主軸に...

(3) 地盤工学技術を活用したシナリオ (案)

その2【燃料デブリ取り出し実現性検討 (冠水)】

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》。

- ・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し膨潤性による遮水性を期待。

・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。

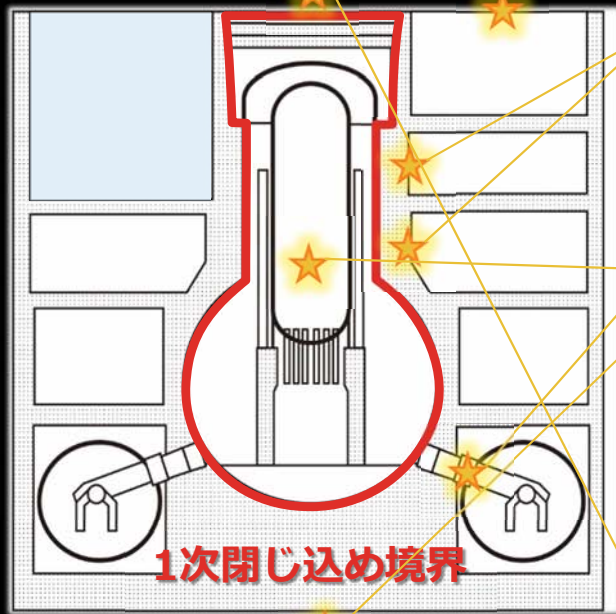
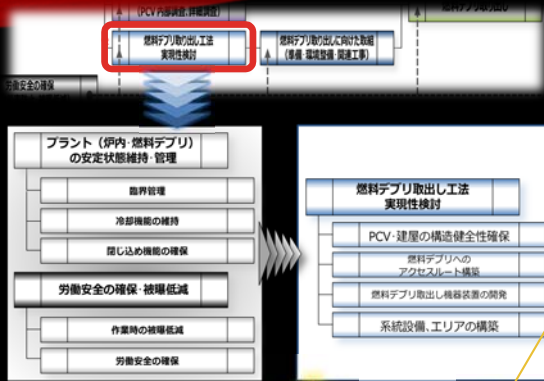
- ・遮蔽性と遮水性を期待 (一方、冷却機能の維持に課題)。

- ・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。

③ 労働安全の確保・被曝低減

- ・1F周辺作業時の除染作業で使用された放射線シールドシート《③B-06》使用。

- ・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以前の
提言、「冠水工法」を
主軸に...

(3) 地盤工学技術を活用したシナリオ (案)

その3【燃料デブリ取り出し実現性検討 (その他)】

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》。

- ・ **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し膨潤性による遮水性を期待。**

・ 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 (一方、冷却機能の維持に課題)。**

- ・ **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。**

③ アクセスルート構築

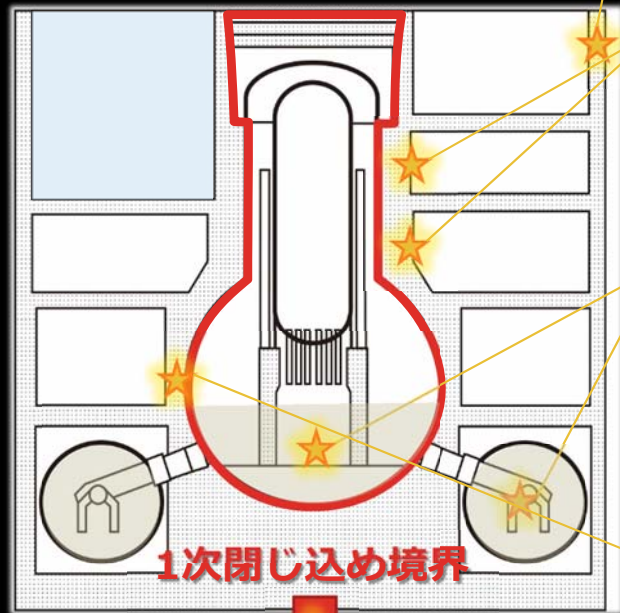
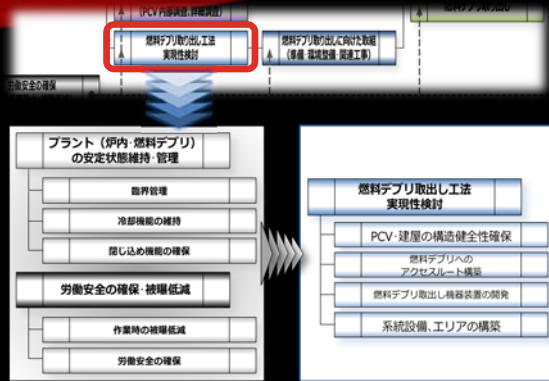
- ・ 燃料デブリを固化した状態で、横方向から取り出し《④B-05》。

- ・ **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。

⇔ 周辺の地形 (立地) と土を活用した原位置での封じ込め。

- ・ **遮蔽性を期待。**

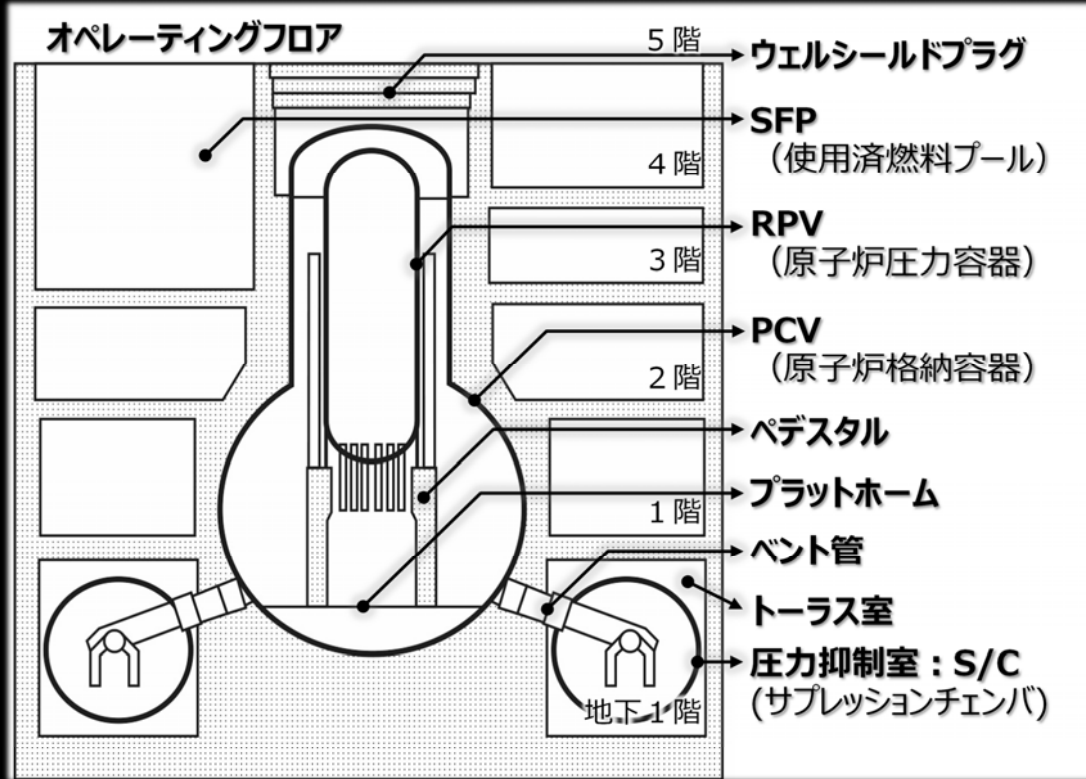


戦略プラン2017以前の
提言、「冠水+気中」を
基に...

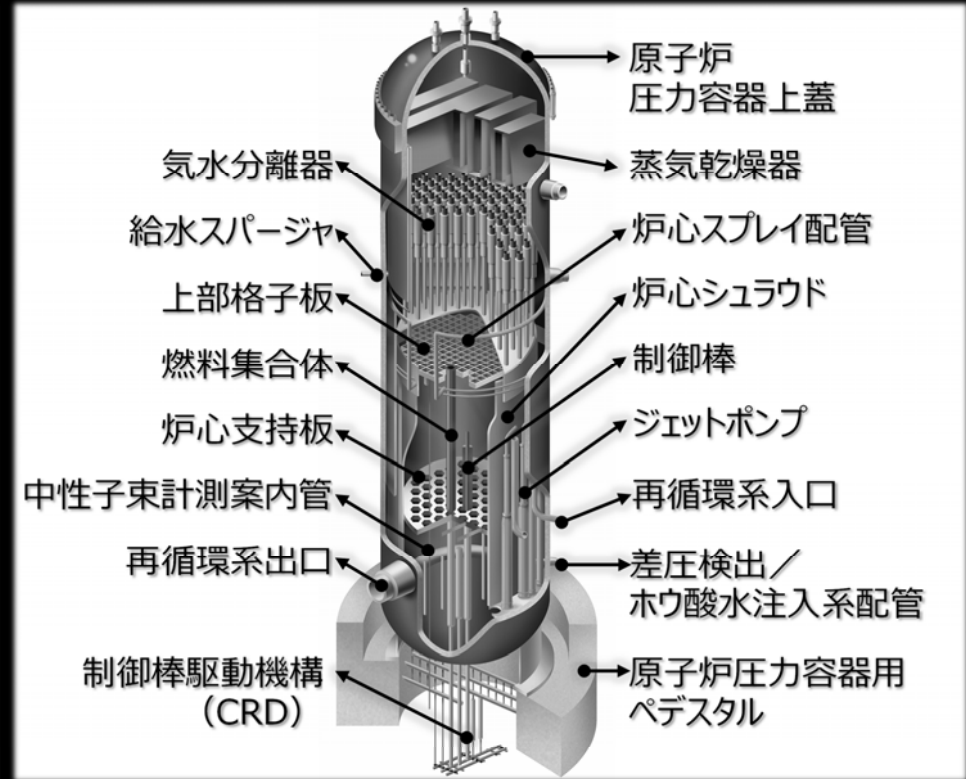
最後に...

- 政府・国・東京電力などが考える廃炉までの事業の流れと、NDFが戦略プラン2017で示した燃料デブリ取り出しに関する提言について紹介。
 - 「廃炉地盤工学」の一单元である施工学を考える上で、廃炉までに行うべき内容を上記の中長期ロードマップで示された流れや戦略プランにおける提言等を基にシナリオとして整理。
 - 廃炉地盤工学委員会に参画する各企業や学術機関等から提供頂いた廃炉に寄与可能と考えられる地盤工学技術に関する情報を、技術マップに整理。
- ☞ これら技術マップに収めた技術を「燃料デブリ取り出しの実現性検討」及び「廃棄物対策（保管・管理）」段階を対象に、技術メニュー（技術の選択肢）として位置づけ、提示。
- ☞ （補助的なものが主体となるが）「燃料デブリ取り出しの実現性検討」を例に、これら地盤工学技術を活用したシナリオ（案）として取りまとめた3案（気中・冠水・その他）を紹介。

(参考) 原子炉建屋及び压力容器内 (RPV) の構造



原子炉建屋内部の構造



压力容器 (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。

(参考) 廃炉地盤工学HPについて

The screenshot shows the homepage of the Jiban Engineering Society (公益社団法人地盤工学会). The browser address bar displays <https://www.jiban.or.jp/hairo/>. The main navigation menu includes: Top, はじめに, **主な研究・活動報告** (highlighted with a red box and a mouse cursor), 研究開発成果の紹介, and その他. A search bar with the text "検索" is located below the navigation. The main content area features a large blue banner with the title "廃炉地盤工学" (Waste Reactor Ground Engineering) and various technical diagrams and images related to the field. At the bottom, there is a blue button labeled "イベント" (Event) and a logo for the society with the text "公益社団法人 地盤工学会 (英文)". The browser's status bar at the bottom right shows "100%" zoom.

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