

# IRIDの研究開発の概要

2016年9月20日  
廃炉地盤工学会

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

この成果は、経済産業省/廃炉汚染水対策事業費補助金の活用により得られたものです。

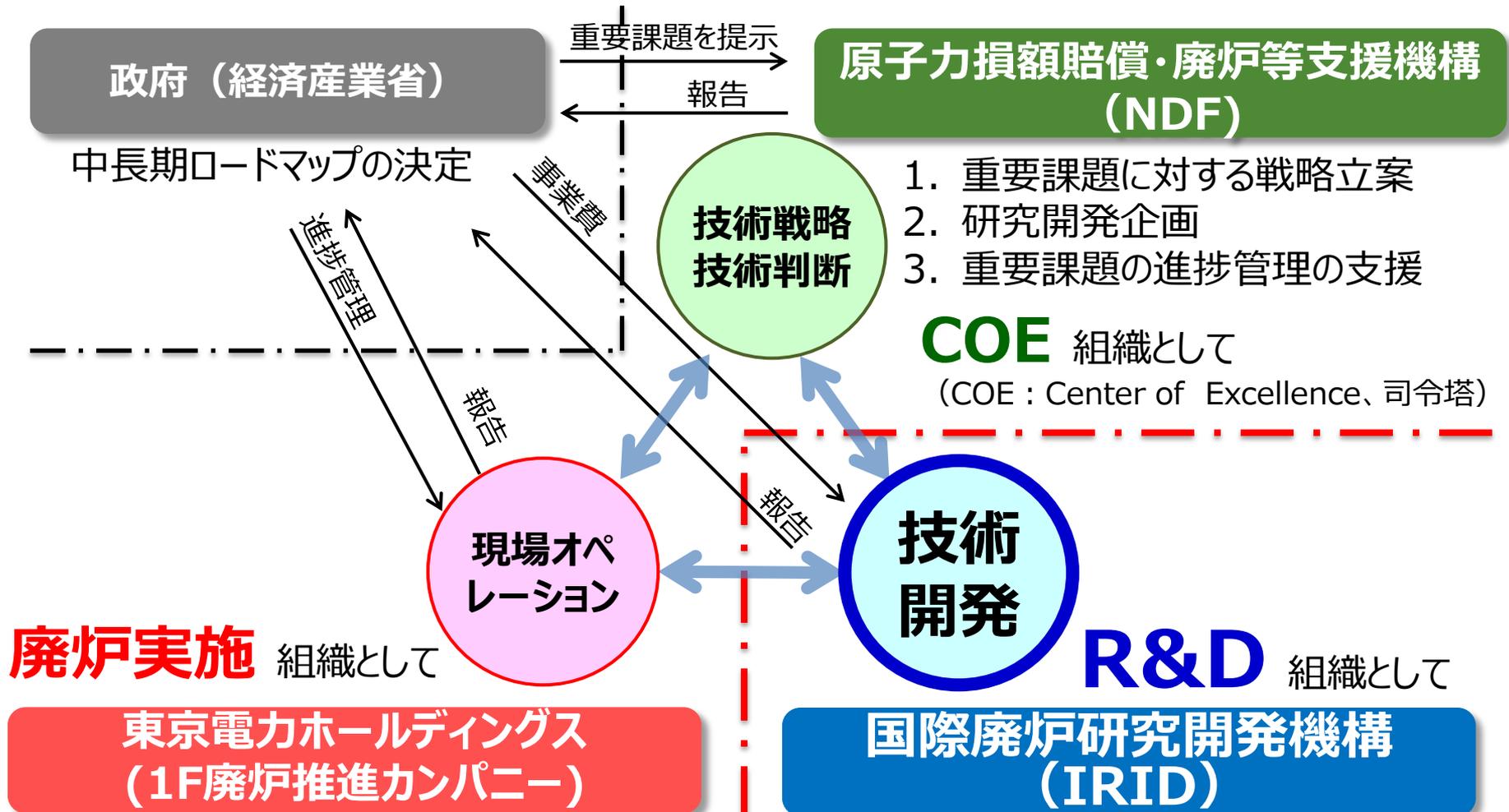
# 報告内容

1. IRIDの事業概要
2. 研究開発の進捗状況（主なもの）
  - 2-1.総合的な炉内状況把握
  - 2-2.燃料デブリ検知（ミュオン調査）
  - 2-3.PCV内部調査
  - 2-4.PCV補修・止水技術の開発
  - 2-5.PCV補修・止水技術の実規模試験
  - 2-6.燃料デブリ取り出し技術
  - 2-7.燃料デブリ収納・移送・保管
3. 安全設計を考える

# 1. IRIDの事業概要

# 1-1. IRIDの役割

- ▶ 4者（政府、NDF、東京電力、IRID）が連携して1F廃炉を推進。
- ▶ **IRIDは技術開発の実施者（R&D組織）**として貢献。



# 1-2.IRIDの事業内容

## ▶ IRID事業の3本柱



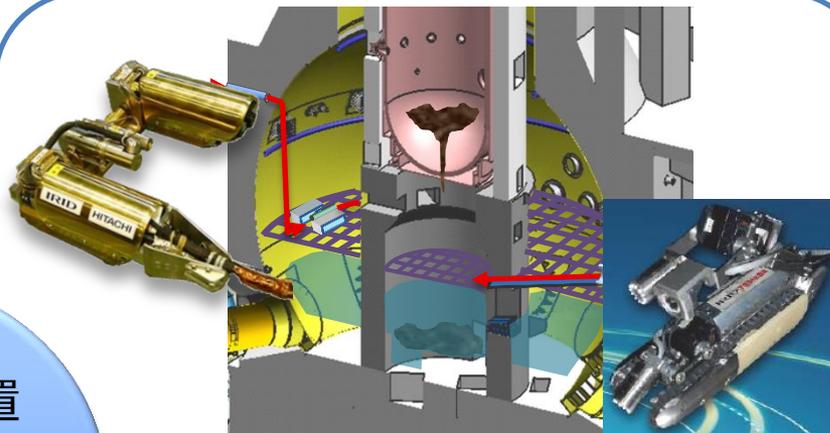
国際顧問との会議

1. 廃止措置  
に関する  
**研究開発**  
を行います。

2. 廃止措置  
に関する  
**国際、国内  
関係機関と  
の協力**を推  
進します。

**IRID**

3. 研究開発  
に関する  
**人材育成**  
に取り組めます。



格納容器内部調査ロボットの開発

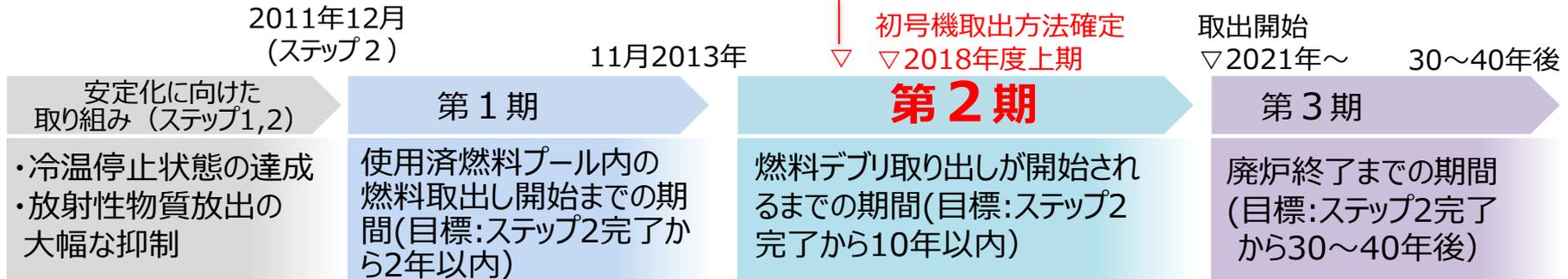


「サイエンスアゴラ2015」での  
廃炉ロボットのデモ

# 1-3.IRIDの研究開発スコープ

## 中長期ロードマップ（改訂3版※）

※：2015.6.12改訂

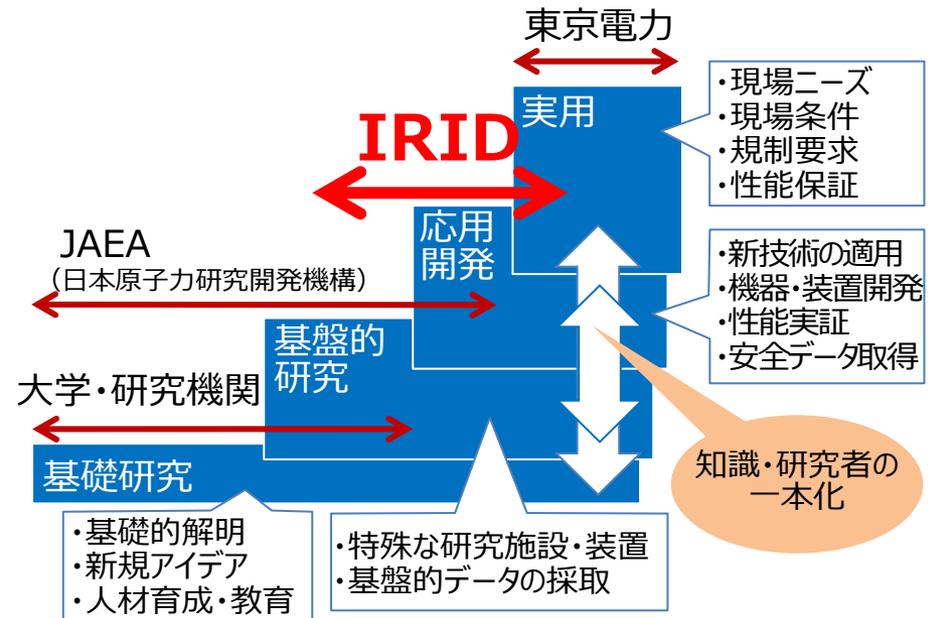


## 廃炉事業

- 原子炉の冷温停止状態の継続
- 滞留水処理（汚染水対策）
- 発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止
- 使用済燃料プールからの燃料取り出し
- 燃料デブリ取り出し
- 固体廃棄物の保管・管理と処理・処分に向けた計画
- 原子炉施設の廃止措置計画

**IRIDはこの分野のR&Dを担当**

## 研究開発の全体像



NDF「戦略プラン2015」より

## 2. 研究開発の進捗状況（主なもの）

- 2-1.総合的な炉内状況把握
- 2-2.燃料デブリ検知（ミュオン調査）
- 2-3.PCV内部調査
- 2-4.PCV補修・止水技術の開発
- 2-5.PCV補修・止水技術の実規模試験
- 2-6.燃料デブリ取り出し技術
- 2-7.燃料デブリ収納・移送・保管

# IRIDの研究開発プロジェクト（概要図）

## 1. プール燃料取り出しに係る研究開発（1PJ）

使用済燃料プールから取出した燃料集合体の**長期健全性**評価

## 2. 燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発（12PJ）

### 除染・線量低減技術

R/B内の  
**遠隔除染**  
技術

2016.3終了

### 燃料デブリ取り出し技術

＜安定状態の確保＞

RPV/PCVの  
**健全性評価**  
技術

燃料デブリ  
**臨界管理**  
技術

＜デブリ取り出し＞

燃料デブリ・  
炉内構造物取出  
**工法・  
システム**

### 補修・止水技術

PCV  
漏えい箇所の  
**補修・止水**  
技術

PCV  
漏えい箇所の  
補修技術の  
**実規模試験**

### 内部調査・解析・分析技術

＜直接的調査＞

**PCV  
内部調査**  
技術

**RPV  
内部調査**  
技術

燃料  
**デブリ  
性状  
把握**

＜間接的調査＞

RPV内  
**燃料デブ  
リ検知**  
技術

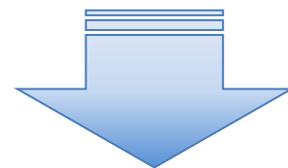
総合的な  
**炉内状況  
把握**  
の高度化

燃料デブリ・  
炉内構造物取出  
**基盤技術**

燃料デブリ  
**収納・移送  
・保管**技術

## 3. 廃棄物に係る研究開発（1PJ）

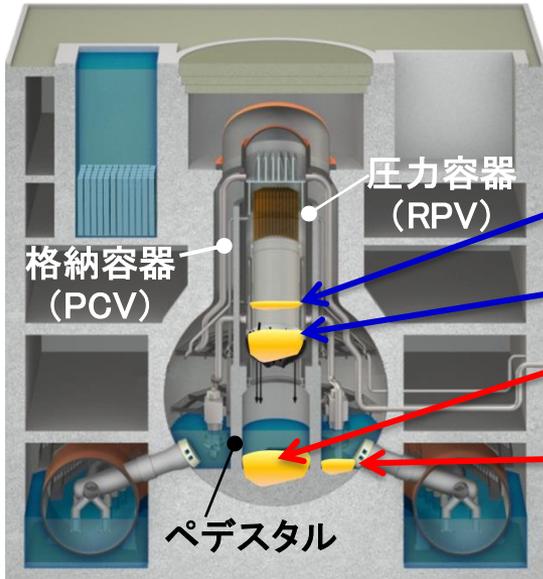
固体廃棄物の  
**処理・処分**  
技術



**14PJが  
進行中**

# 2-1.総合的な炉内状況把握の高度化

原子炉建屋 (R/B)



▭ : RPV内

▭ : RPV外

(単位:トン)

	1号機	2号機	3号機
場所	代表値※	代表値※	代表値※
炉心部	0	0	0
RPV底部	15	42	21
ペデスタル内側	157	146	213
ペデスタル外側	107	49	130
合計値	279	237	364

「代表値」: 現時点において最も確からしい値。

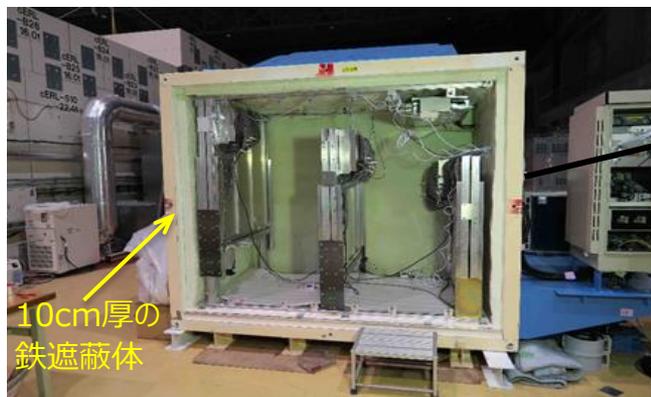
「推定重量」: 燃料+溶融・凝固した構造材 (コンクリート成分を含む)

- ▶ 解析結果及び実機調査データ (温度データ、ミュオン測定、PCV内部調査等) を総合的に分析・評価。

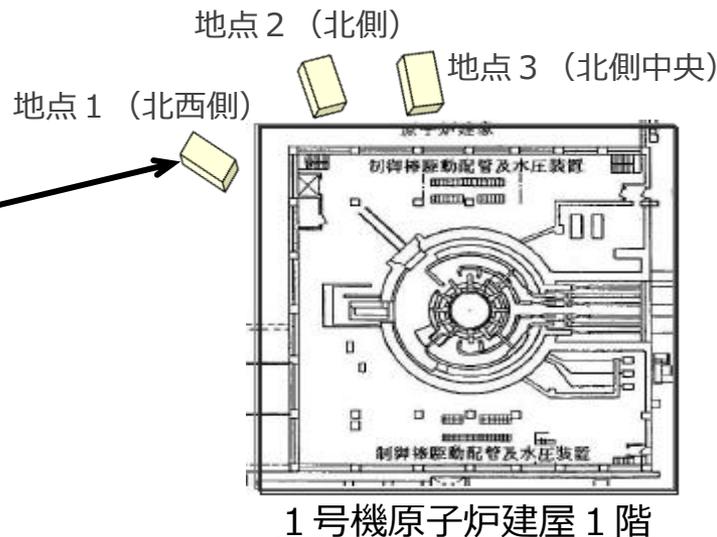
**ペデスタル底部**のデブリが多い (80%以上)

# 2-2.燃料デブリ検知技術の開発～1号機ミュオン調査～

## 測定装置と現場での設置場所

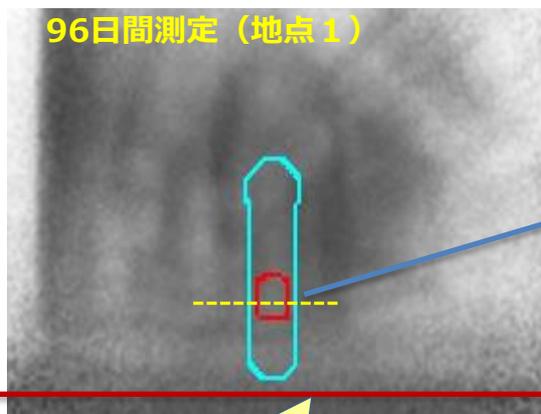


(約2.5mX2.0mX高さ2.1m)



## 透過率の測定結果と分析結果

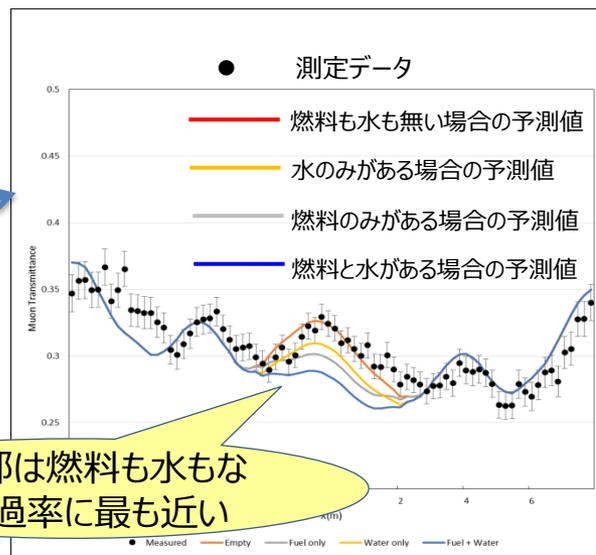
96日間測定 (地点1)



水平線近くは不鮮明

炉心部は燃料も水もない透過率に最も近い

測定値と予測値との比較 (炉心部透過率)



1号機では  
炉心部に  
燃料がない  
と評価

# (参考) 2号機ミュオン調査結果

RPV

## <RPV内に存在する物質質量>

(測定結果 H28.7.22 時点)

	評価結果 [ton]		(参考) 事故前の物質質量* [ton]
① 炉心域 (シュラウド内)	約20~50	評価結果の 不確かさ ~数十トン程度	約160 (燃料集合体) 約15 (制御棒)
② 圧力容器底部	約160		約35 (構造物) 水の影響は非考慮
合計 (①+②)	約180~210		約210
(参考) ③ 圧力容器上部	約70~100	ほぼ同じ	約80 (構造物)

測定期間：H28.3.22  
~7.22

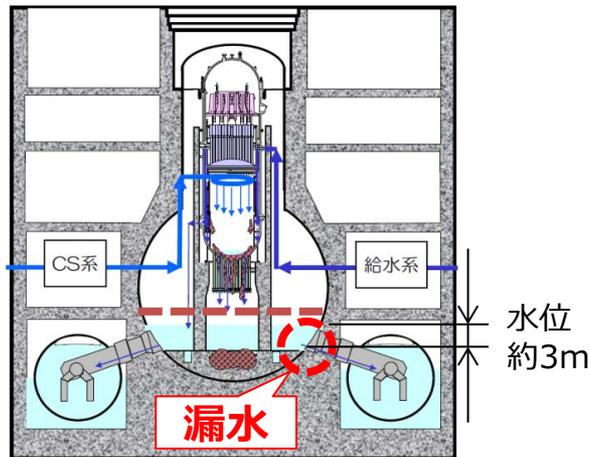
※ 設計上の重量。簡便のため、一部考慮していない構造物あり。  
また、ミュオン測定は実際には斜めに見上げる方向に測定しているため、正確に一致するものではない。

- ▶ 燃料デブリの**大部分は圧力容器底部に存在**している  
(東京電力HDによる推定)

H28.7.28東京電力HD公表資料から引用

# 2-3.PCV内部調査技術の開発（調査方針）

1号機

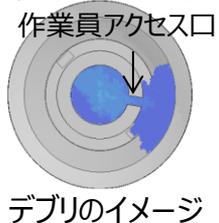


核燃料：約69トン

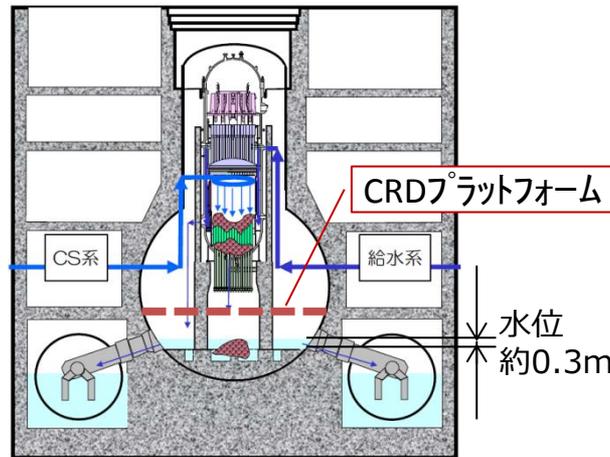
## デブリ量(トン)

炉内	15トン
炉外	264トン

ペDESTAL外側調査を優先(デブリのシェルへの到達状況)



2号機

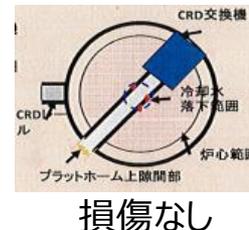


核燃料：約94トン

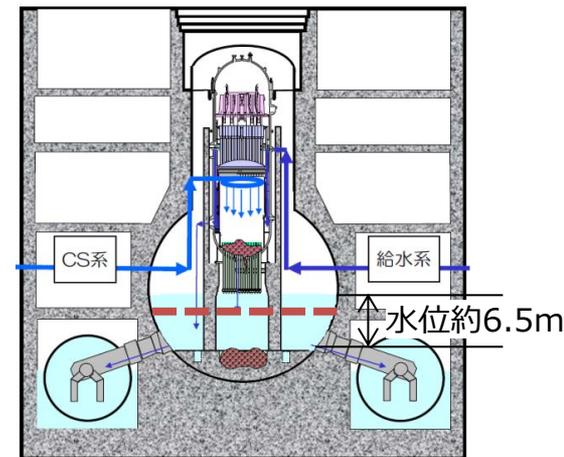
## 炉外のデブリ量(トン)

解析等	195トン
ミュオン調査	0~30トン

ペDESTAL内側調査を優先(プラットフォームの損傷状態)



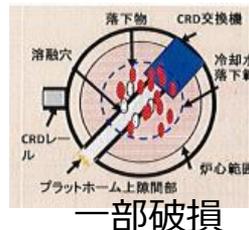
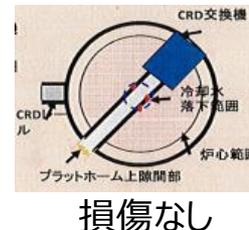
3号機



核燃料：約94トン

## デブリ量(トン)

炉内	21トン
炉外	343トン



# 2-3.PCV内部調査技術の開発（調査ロボット）

## ペDESTAL外側の調査（1号機）

### ○形状変化型ロボット（B2調査）

## ペDESTAL内側の調査（2号機）

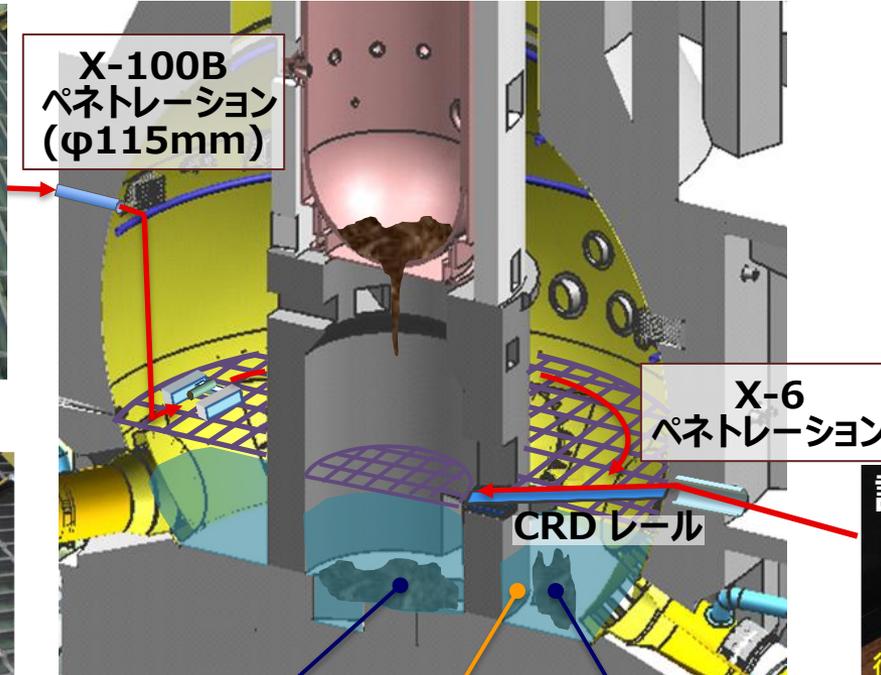
### ○クローラ型遠隔調査ロボット（A2調査）



変形



(注) 上の写真はB1調査時のロボットです。



1号機作業員  
アクセス口

ペDESTAL内  
燃料デブリ  
(イメージ)

ペDESTAL外  
燃料デブリ  
(イメージ)



変形



# (補足) 2号機ペDESTAL内上部調査 (A2調査)

## 【調査方法】

- カメラによる撮影

## 【実施時期】

- 2017年1月 (目標)

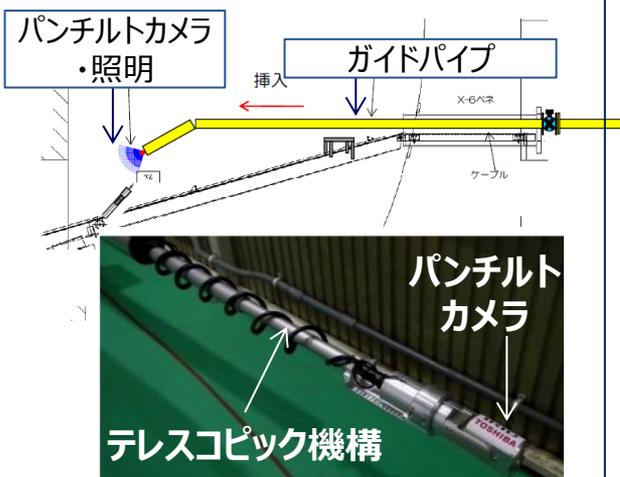
## 調査手順

1. ペDESTAL内事前確認

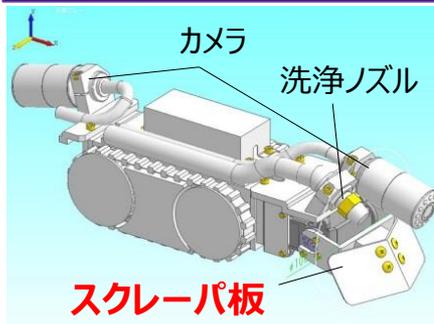
2. レール上堆積物除去

3. A2調査

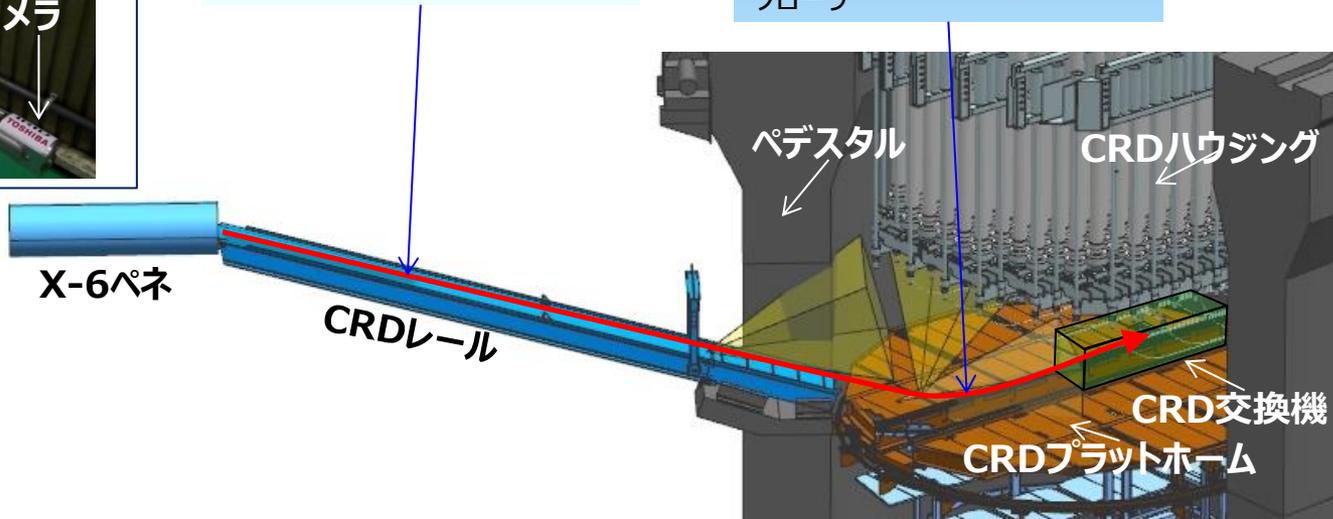
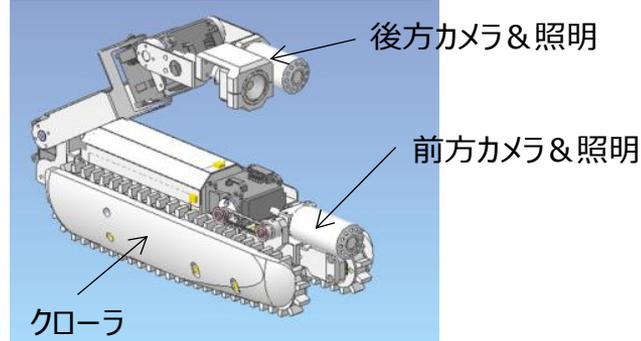
## 1. 事前確認装置



## 2. 堆積物除去装置



## 3. A2調査装置



# 2-4.PCV補修・止水技術の開発（概要）

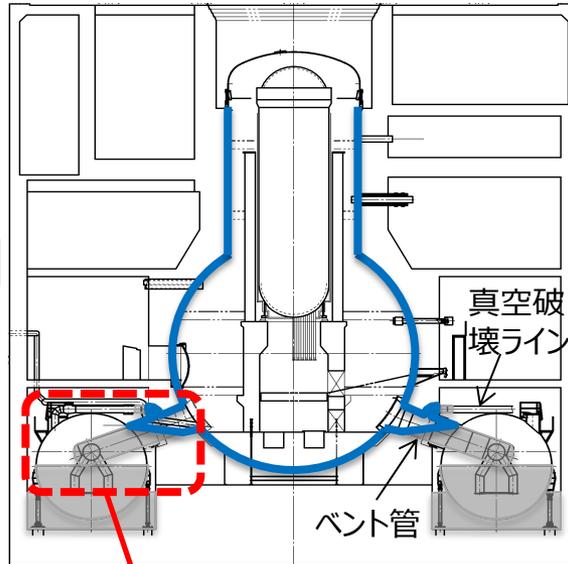
## ベント管止水試験



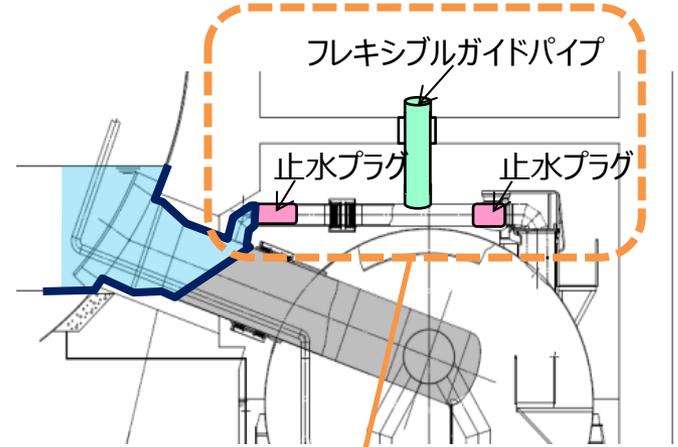
ベント管

1 / 2スケール試験体で  
止水性能を確認（工場）

— : 補修・止水範囲



## 真空破壊ライン止水工法（1号機）

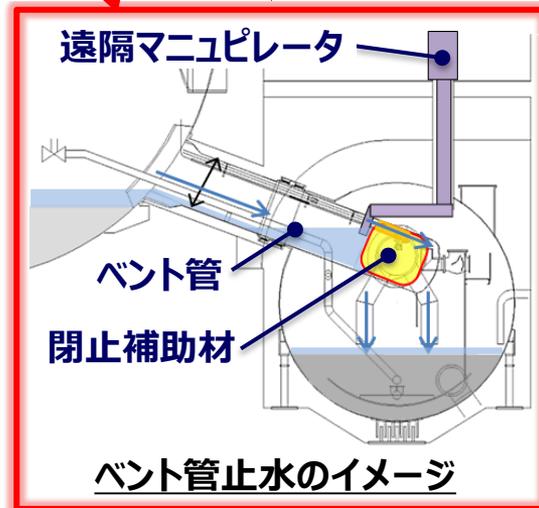


## 閉止補助材止水試験



閉止補助材

1 / 1スケール試験体で閉止補  
助材の止水性能を確認（屋外）

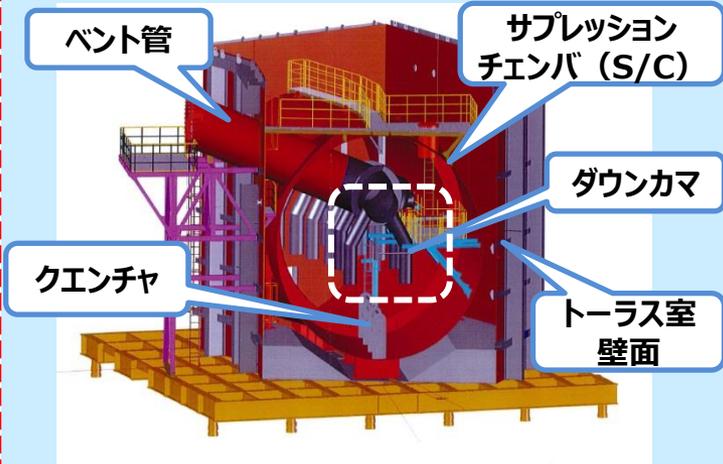


1 / 1スケール試験体

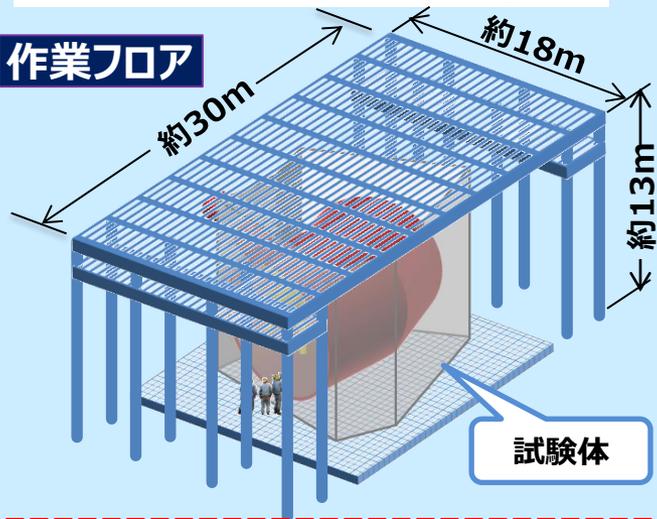
# 2-5.PCV補修・止水技術の実規模試験（概要）

## 実規模試験体（1/8セクター）

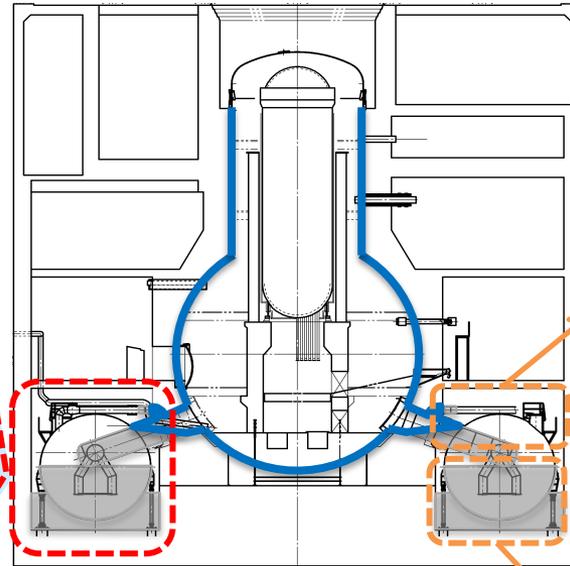
楕葉遠隔技術開発センター内に建設



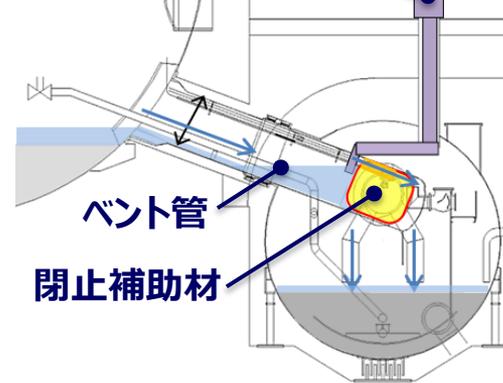
作業フロア



— : 補修・止水範囲



遠隔マニピレータ



ベント管止水（イメージ）

## 試験体内部状況



# 2-6.燃料デブリ取り出し技術の開発

## 技術的課題

- **放射性ダストの閉じ込め**機能の確保
- **遠隔操作**技術の確立
- **被ばく低減・汚染拡大防止**技術の確立

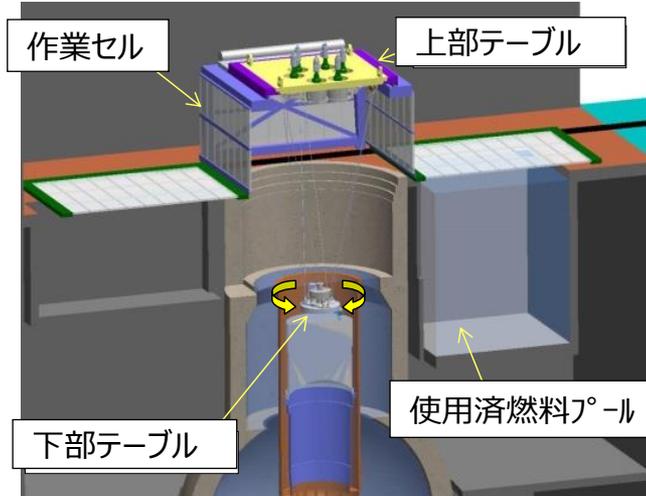
## 基盤技術の開発



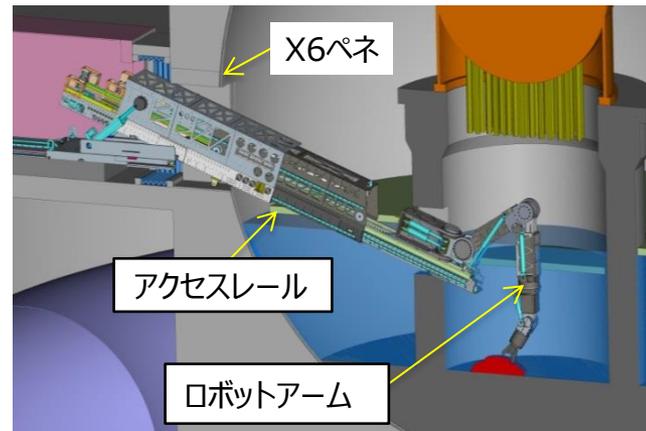
ロボットアーム



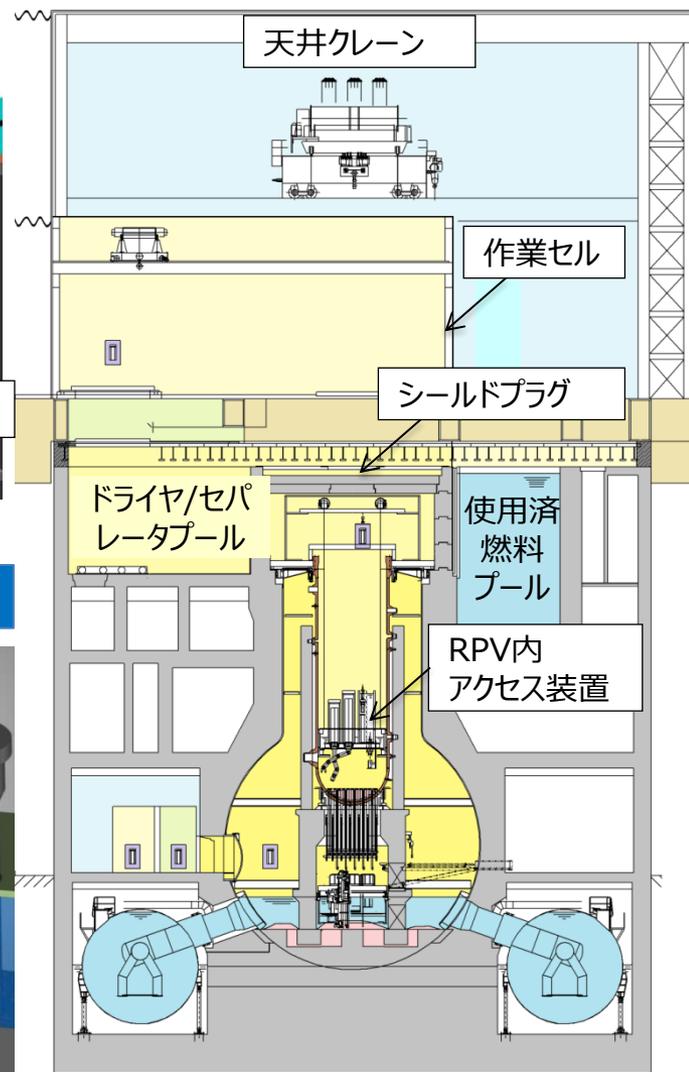
## 冠水-上アクセス工法（概念）



## 横アクセス工法（概念）



## 気中-上アクセス工法（概念）

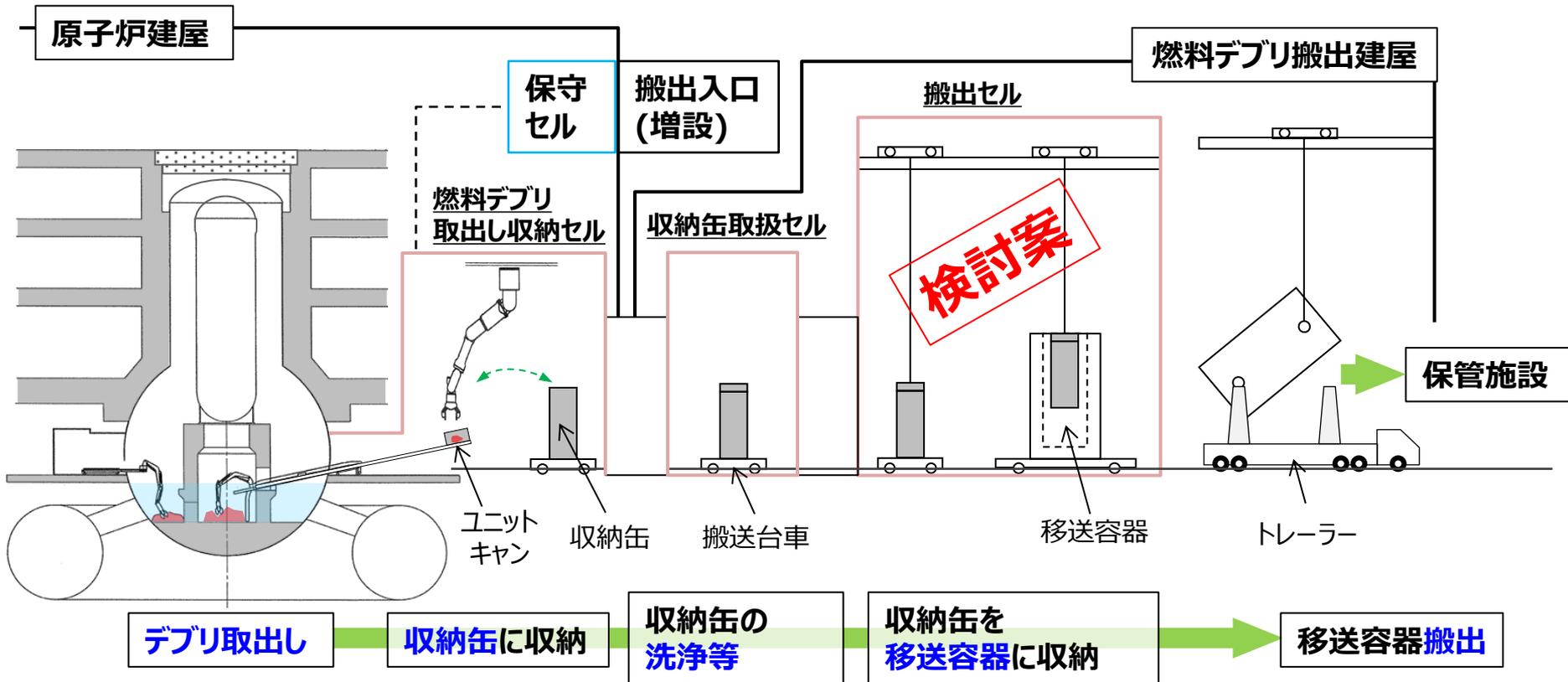


# 2-7.燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発

## 収納缶の設計 ⇒1F固有の課題に対処

- 燃焼度と濃縮度が高い→**反応度高**
- コンクリートとの溶融生成物→コンクリート中の水分の放射線分解による**水素発生**
- 海水注入、計装ケーブル他との溶融→**塩分**の影響、**不純物**の混入

## 移送方法（気中-横アクセス工法の場合）



# 3. 安全設計を考える

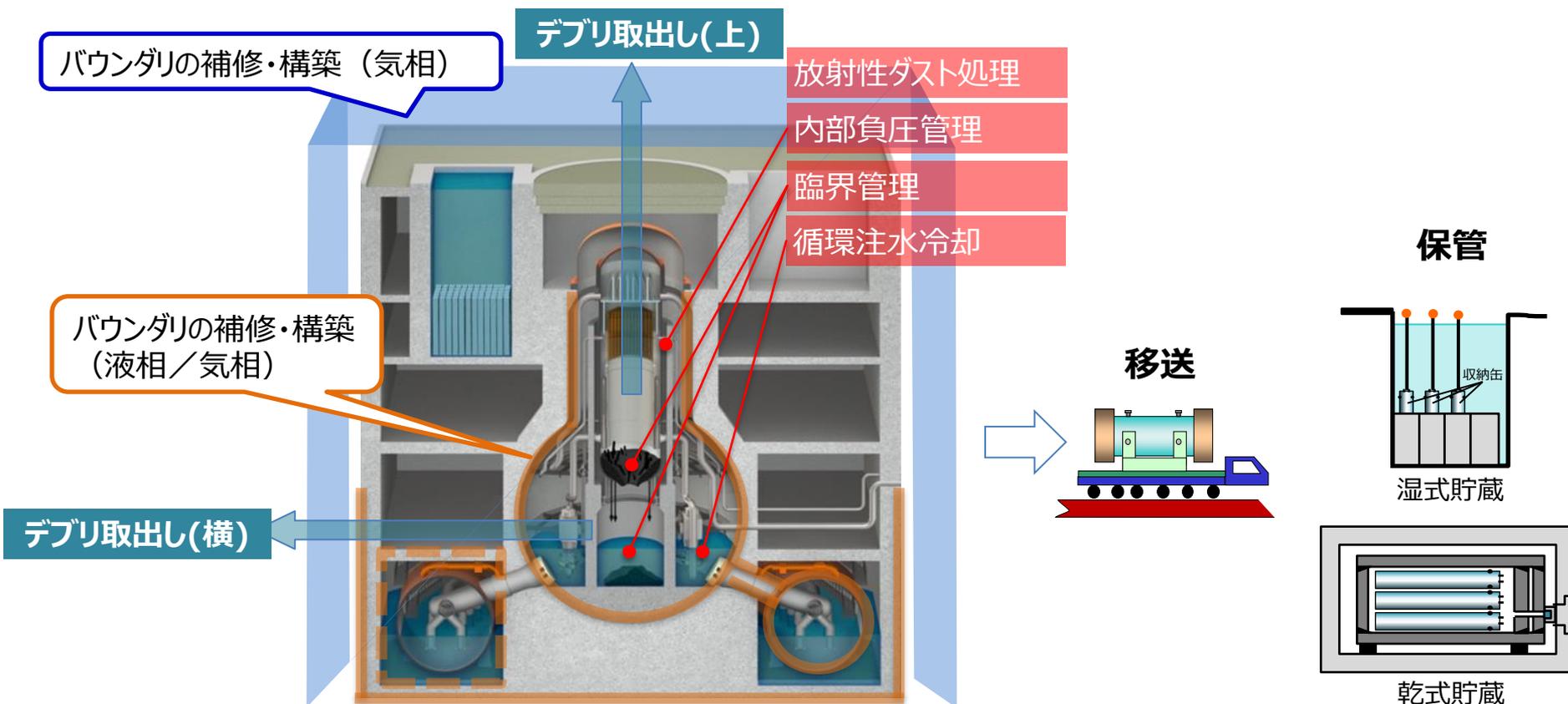
# 3-1 何をしなければならないのか

## 1. 原子力安全の確保（深層防護の実装）

- 放射性物質の拡散抑制
- 再臨界の防止・影響の抑制
- 火災その他事故
- 外部事象へのロバストネス，影響の抑制，他

## 2. 燃料デブリ取り出し作業

- デブリへのアクセス
- 切削・回収
- 移送・保管
- 遠隔作業・線量低減



## 3-2 取出し工法開発の要点（例）

### 1. 安全要求事項の達成（深層防護の実装）

- 放射性物質の拡散抑制
- 再臨界の防止・影響の抑制
- 火災その他事故
- 地震その他外部事象へのロバストネス，影響の抑制

### 2. 技術（構成）の成立性

- デブリへのアクセス
- 切削・回収
- 移送・保管
- 遠隔作業・線量低減

### 3. 現場（作業）適合性

- 作業環境線量
- リスクマネジメント
- 現場の構成，他設備との協調
- メンテナンス

### 4. 総合的実現性

- 総作業線量
- コスト
- 所要時間
- 成果（リスク低減等）の価値，リスクの増減

## 3-3 深層防護を考える

### 既設軽水炉・再処理施設の比較例

項目	軽水炉プラント	再処理施設	特定原子力施設 (2016年時点)	燃料デブリ取り出し
安全機能	止める・冷やす・閉じ込める	止める(未臨界の維持/臨界事故時の終息)・冷やす・閉じ込める	止める(未臨界の維持/臨界事故時の終息)・冷やす・閉じ込める	止める(未臨界の維持/臨界事故時の終息)・冷やす・閉じ込める
内包する放射性物質の特徴	炉停止直後を含む炉内放射性物質(希ガス等短半減期核種も考慮必要)	数年冷却した使用済燃料又は燃料起因の放射性物質。工程ごとに核種分離。(比較的半減期の長い核種)	約5年冷却した使用済燃料又は放射化構造物起因の放射性物質。燃料デブリ等の核燃料物質は現状状態を維持	約10年冷却した使用済燃料又は放射化構造物起因の放射性物質。燃料デブリ等の核燃料物質を加工・取り出し。
崩壊熱量	炉停止直後の短半減期核種を含む膨大な崩壊熱量	核種の分離等を考慮した崩壊熱量(工程により熱量は異なる)	約5年冷却後の1炉心分の燃料の崩壊熱量	約10年冷却後の1炉心分の燃料の崩壊熱量
バウンダリ	5重 (ペレット、被覆管、RPV、PCV、建屋)	3重 (貯槽、セル、建屋)	ガス系は正圧のためなし 循環冷却系は1重(建屋)	ガス系は負圧管理でPCV、建屋の二重を想定。
バウンダリの特徴	RPV(静的バウンダリ) PCV(静的バウンダリ) [建屋(動的バウンダリ)]	貯槽(動的バウンダリ) セル(動的バウンダリ) 建屋(動的バウンダリ)	循環冷却系は建物内水位管理によるバウンダリ(動的バウンダリ)	循環冷却系は止水・補修の状況に応じ設定。

# 3-4 安全要求及び機能要求の考え方

## ○安全要求

- ・法令要求、安全方針を考慮して設定
- ・検討した安全要求を機能要求に展開

## ○機能要求

- ・安全要求を達成するための機能要求を具体化
- ・機能要求からシステム設計や概念設計に展開

## ○安全要求への考慮事項

- ・規制要求の見直し、福島プラント特有の事象、技術的な成立性などの観点から必要に応じて見直しを実施

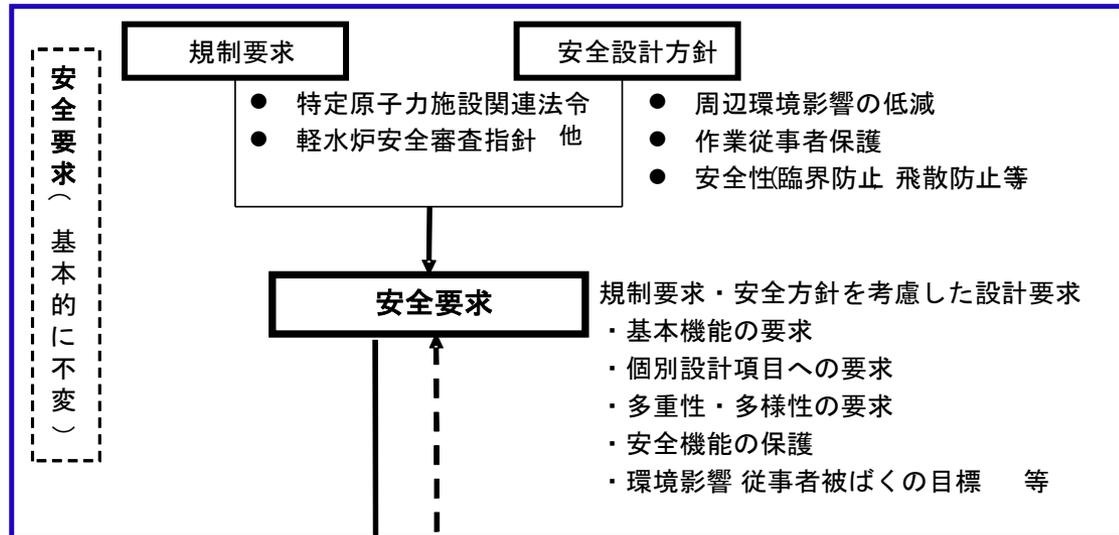
特定原子力施設への指定に際し1Fに対して求める措置を講ずべき事項について

新規規制基準「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（設置許可基準規則）

再処理施設の考え方（過渡・事象の選定ほか）

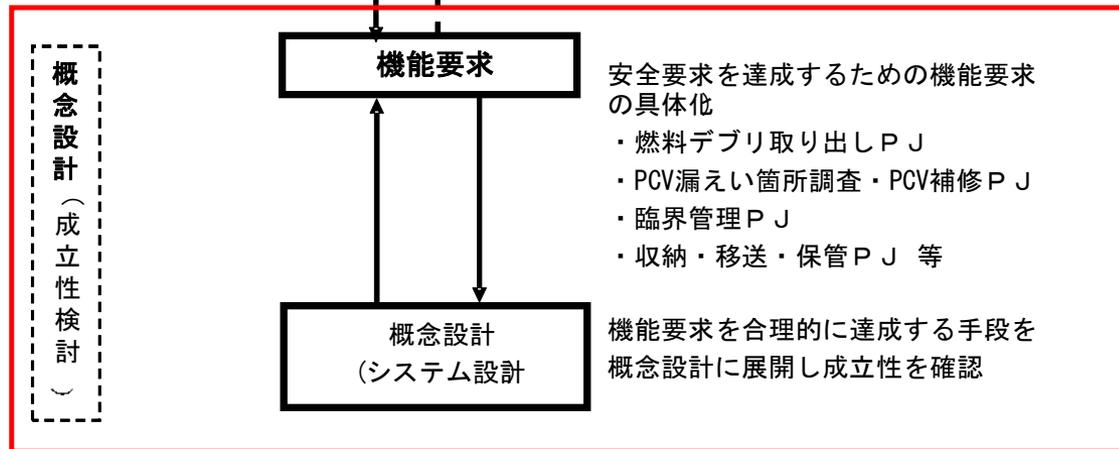
燃料デブリ取出し向けに検討

安全要求書 目次案



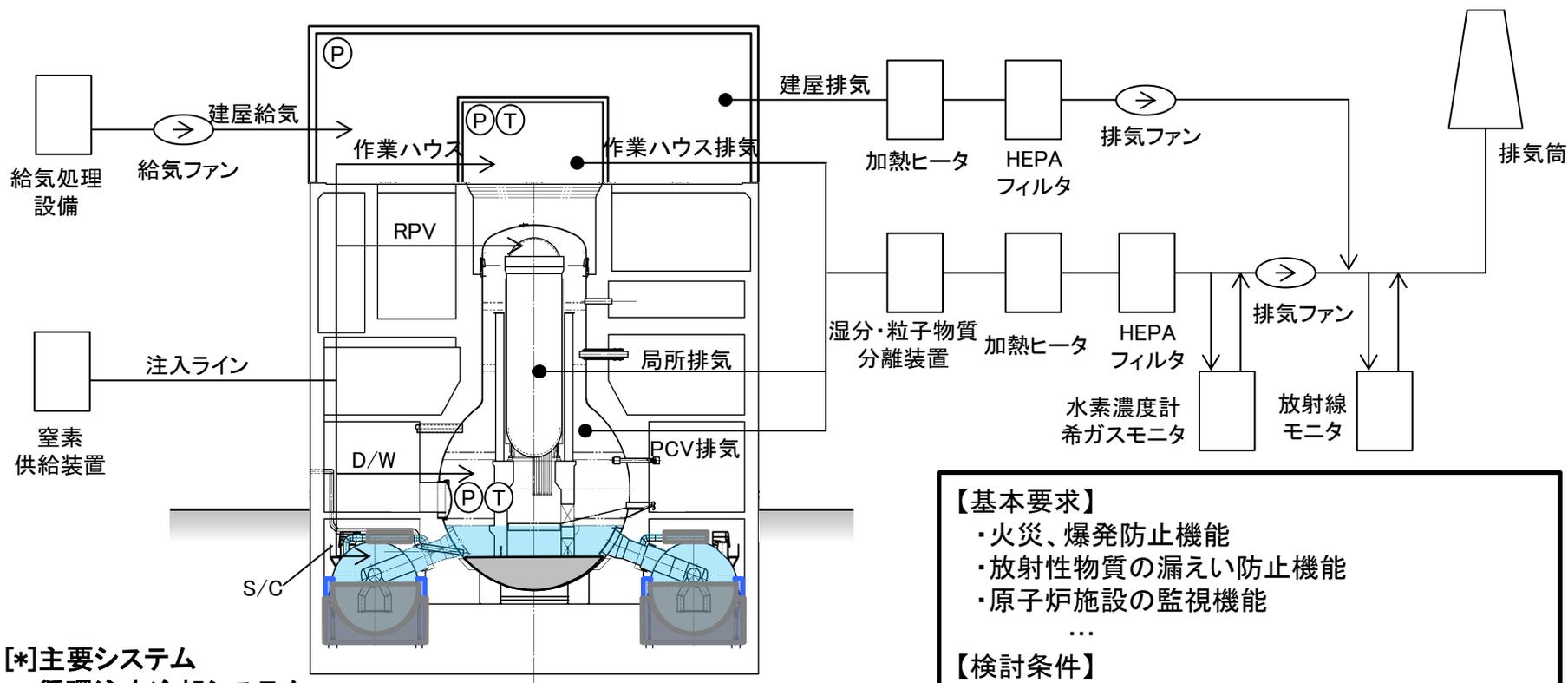
安全要求は基本的に不変であるが以下の状況では必要に応じ見直す。

- ・規制要求の解釈見直しや法令改正された場合
- ・概念設計において現在の技術では成立性困難と判断された場合



安全要求及び機能要求の検討フロー

# 3-5 主要システムの概念例



**[\*]主要システム**

- ・循環注水冷却システム
- ・負圧管理システム
- ・放射性ダスト処理システム
- ・臨界管理システム

(負圧管理設備の例)

**【基本要要求】**

- ・火災、爆発防止機能
- ・放射性物質の漏えい防止機能
- ・原子炉施設の監視機能

...

**【検討条件】**

- ・想定核種、発生量
- ・許容放出量(公衆被ばく量)
- ・バウンダリ差圧

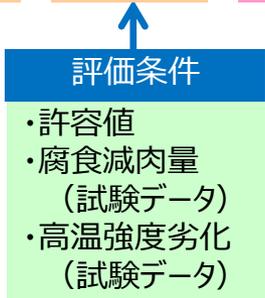
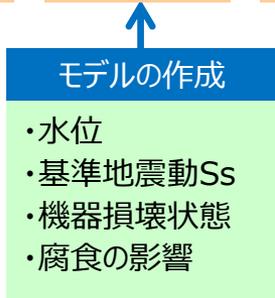
...

# 3-6 構造の維持 (外部事象ロバストネス)

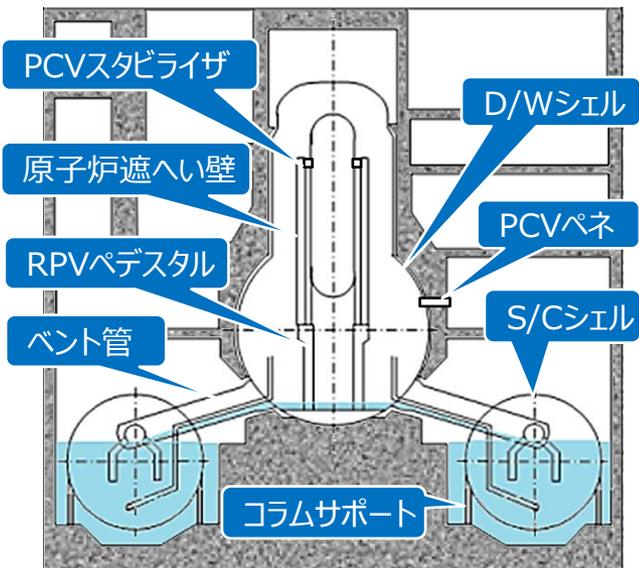
## 余寿命評価の概略フロー

炉心から燃料デブリを取り出すまでの間、長期にわたって原子炉の構造健全性を維持する方策が必要

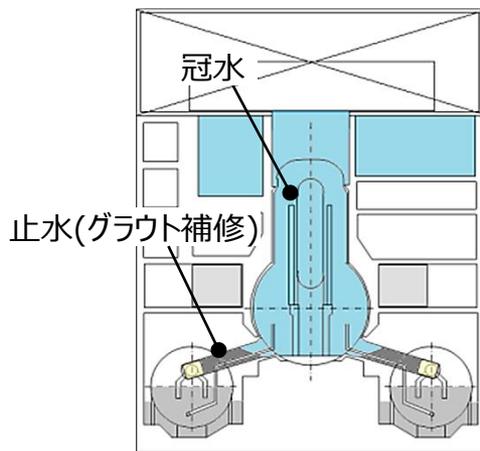
- 燃料溶融時の高温状態の影響
- 海水注入、異物混入による腐食の影響
- 水素爆発などによる機器損壊状態の影響
- デブリ取出し工法の影響
- 地震再発の影響



## 健全性評価ポイント例



## 想定されるプラント状態



## 長期の腐食減肉量の予測の高度化



長時間腐食試験



腐食抑制策比較

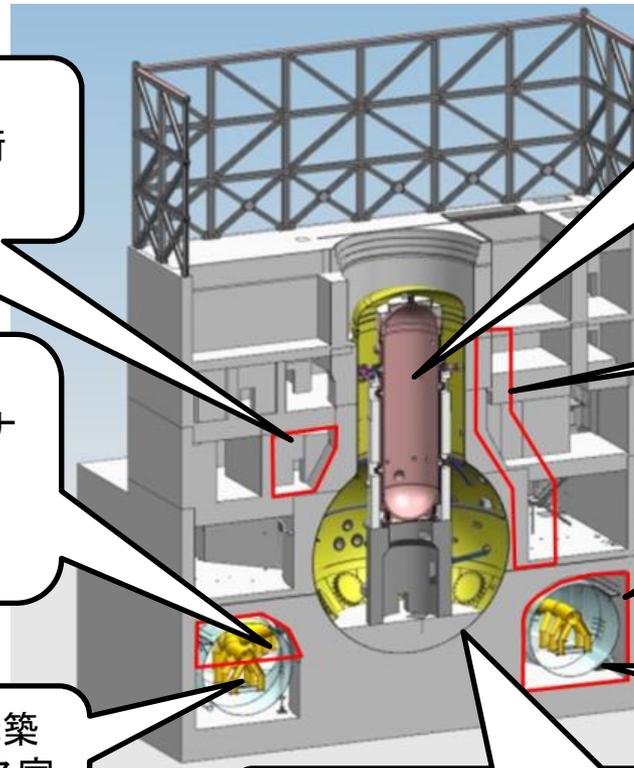
# 3-7 格納容器補修（バウンダリの構築）

格納容器バウンダリを補修し、

- ・格納容器冠水を可能とすること
- ・放射性物質の追加放出リスクを下げること

課題例：合理的な作業線量で補修施工は可能か

課題例：深層防護の実装はどこまで可能か



シール部止水技術  
配管ベローズ止水技術  
小部屋内

循環冷却システムの検討

シール部止水技術  
配管ベローズ止水技術開放部

ベント管止水技術  
ベント管、クエンチャ、ストレーナ  
真空破壊ライン止水技術  
(1号機)

建屋間止水技術

PCV接続配管バウンダリ構築  
D/W接続配管のうちトラス室  
設置配管

サプレッションチャンバー  
補強技術

D/Wシエルの補修技術

「補修・止水技術の開発」の対象箇所

End of Presentation