

# 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。

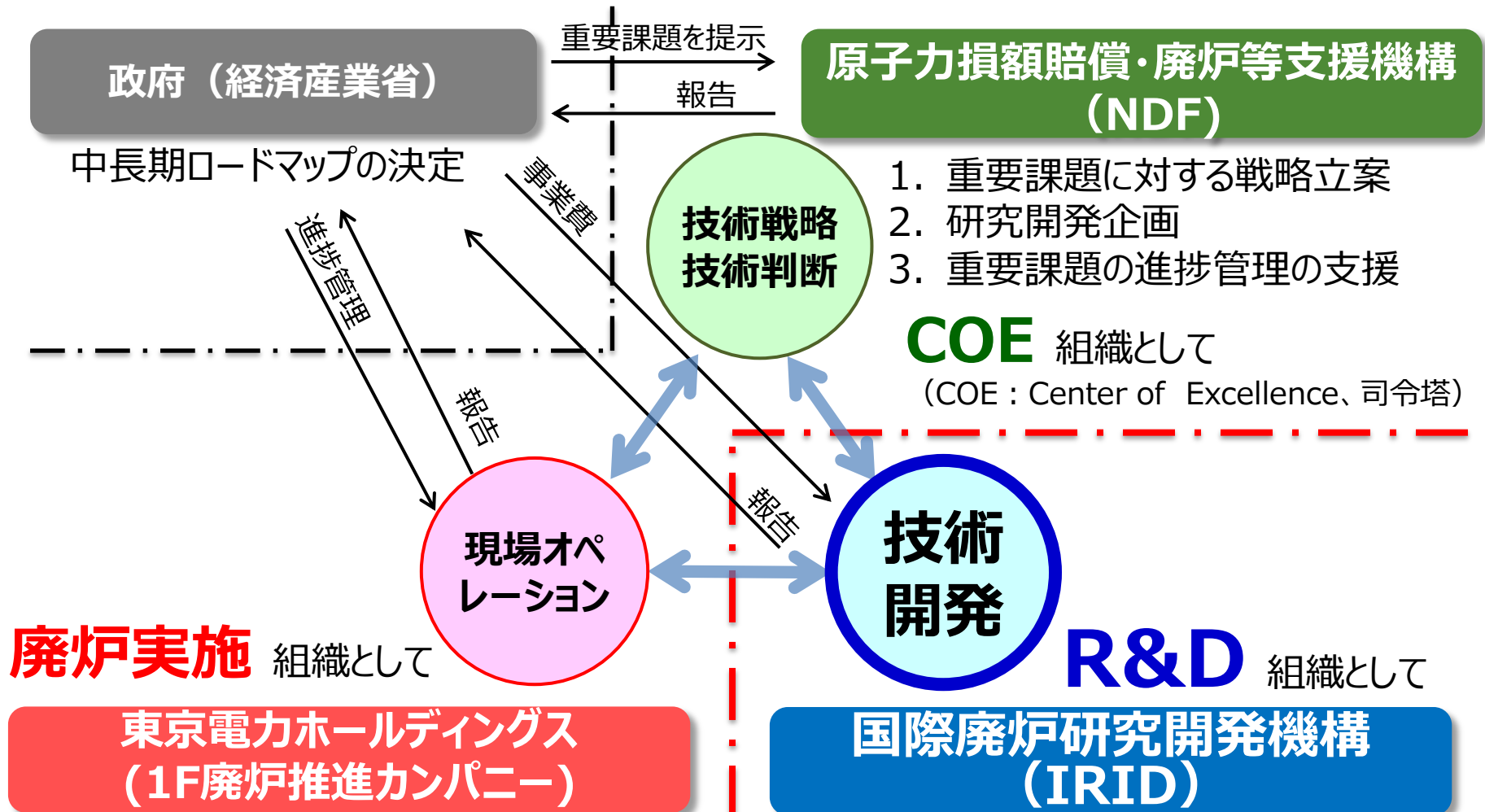
# 報告内容

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



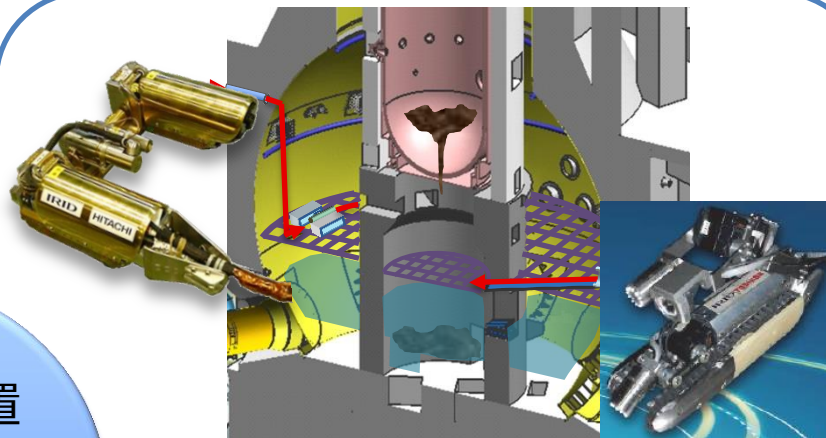
国際顧問との会議

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

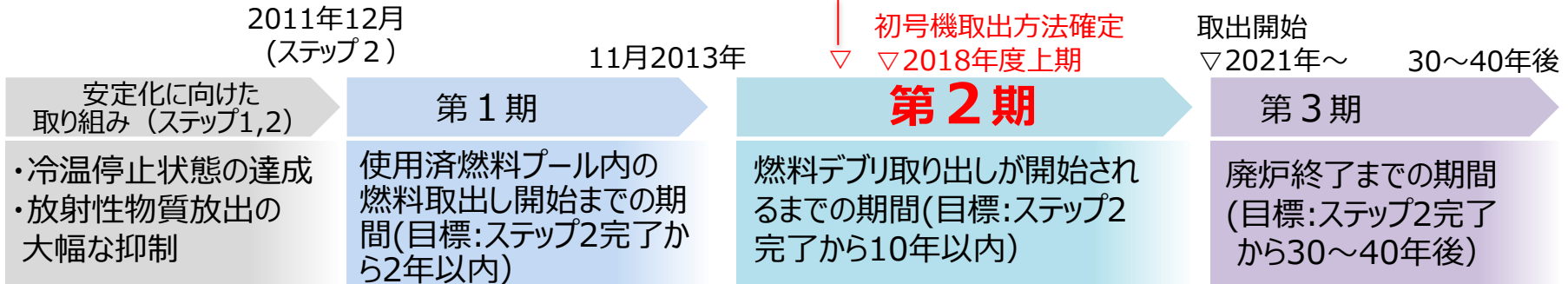


「サイエンスアゴラ2015」での  
廃炉ロボットのデモ

# 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

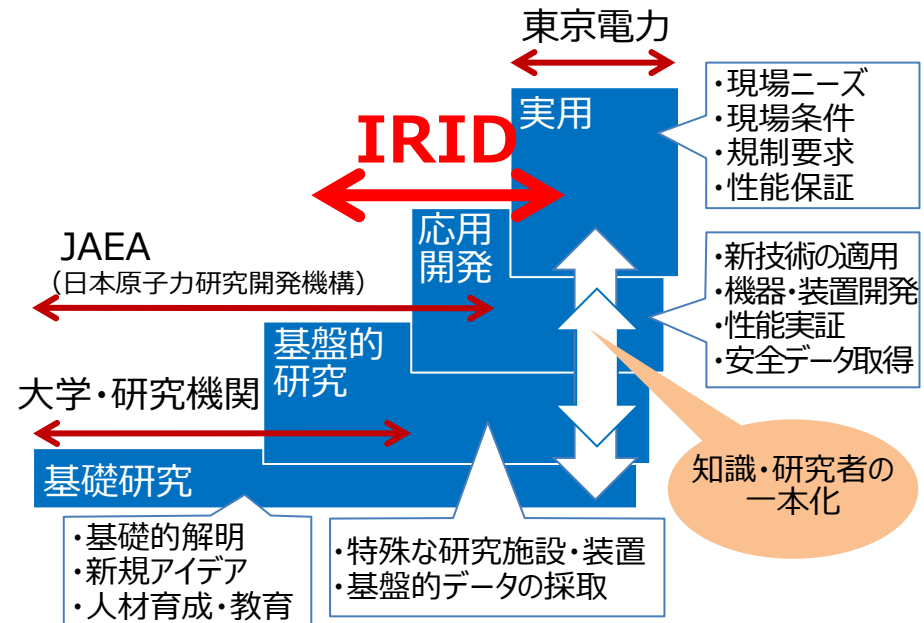


## 廃炉事業

- 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

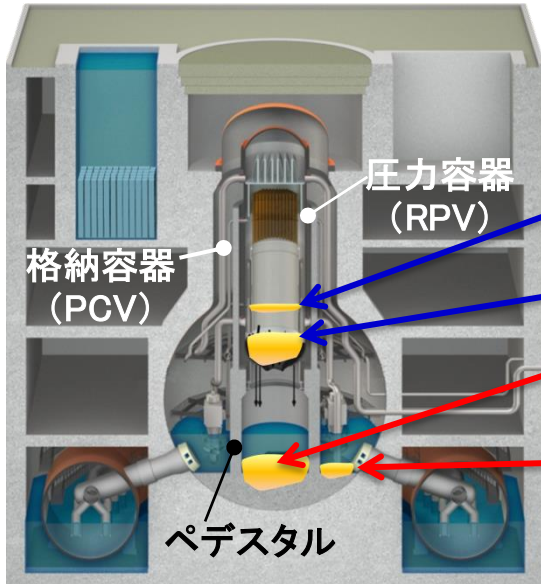


**14PJが  
進行中**



# 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。

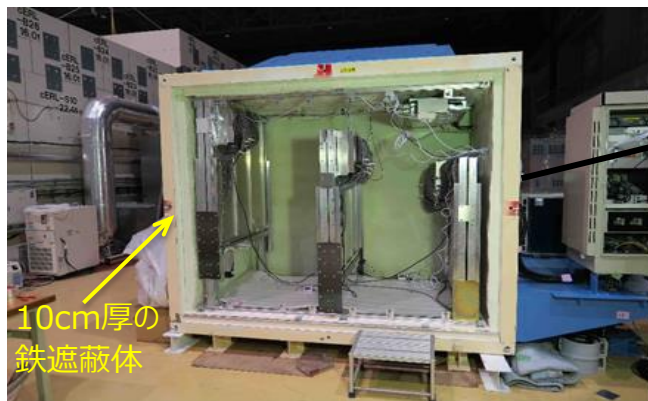
「推定重量」: 燃料+溶融・凝固した構造材 (コンクリート成分を含む)

- ▶ 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



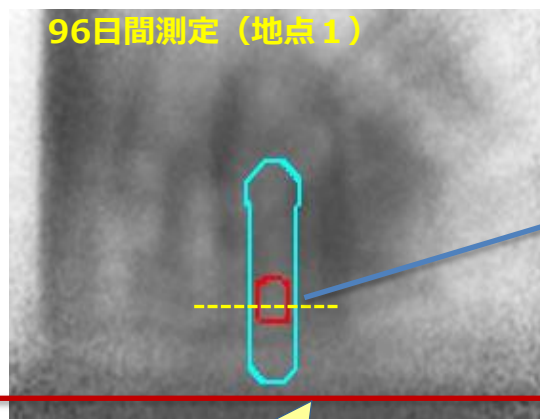
(約2.5mX2.0mX高さ2.1m)



1号機原子炉建屋1階

## 透過率の測定結果と分析結果

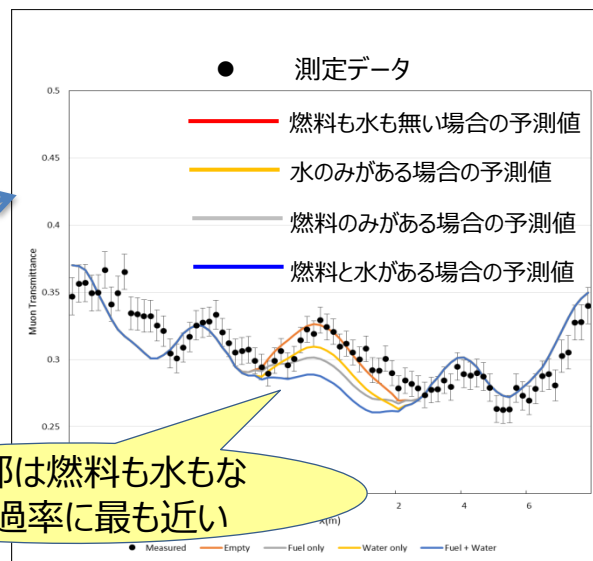
96日間測定 (地点1)



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。

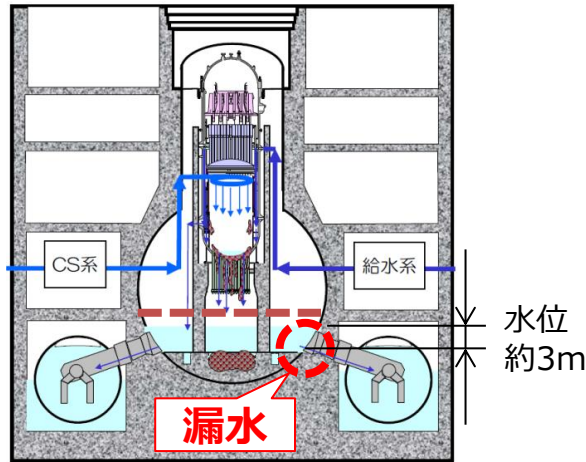
- ▶ 燃料デブリの**大部分は圧力容器底部に存在**している  
(東京電力HDによる推定)

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

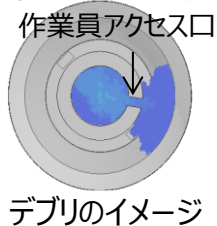


核燃料：約69トン

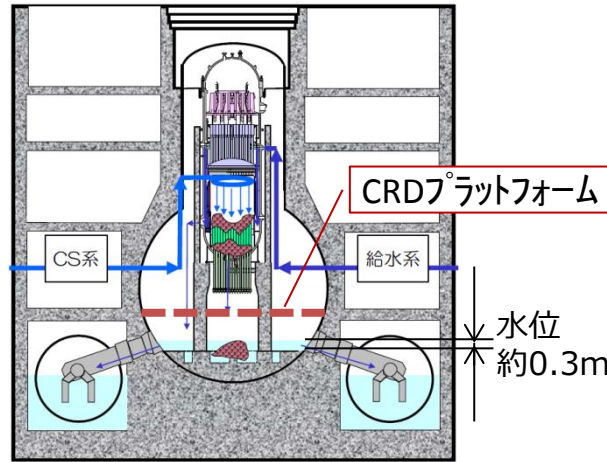
## デブリ量(トン)

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

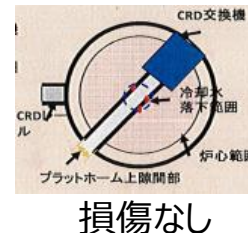


核燃料：約94トン

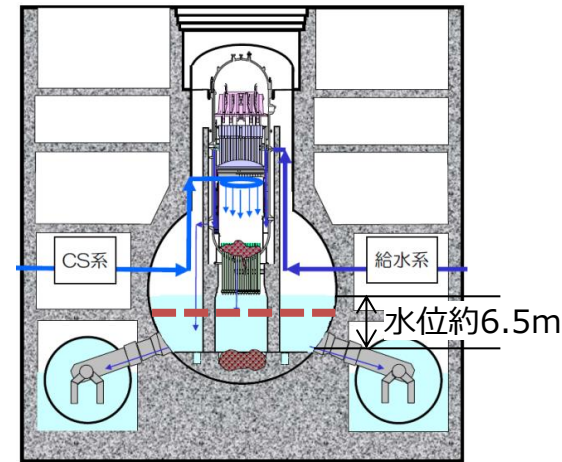
## 炉外のデブリ量(トン)

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)



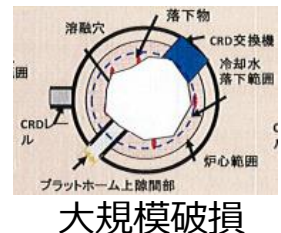
3号機



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DESTル外側の調査（1号機）

### ○形状変化型ロボット（B2調査）

## ペDESTル内側の調査（2号機）

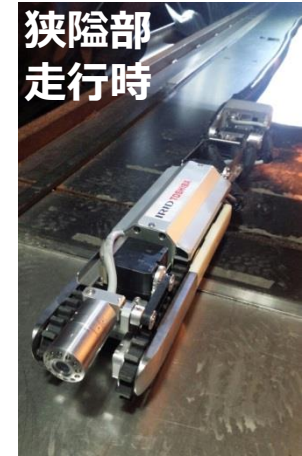
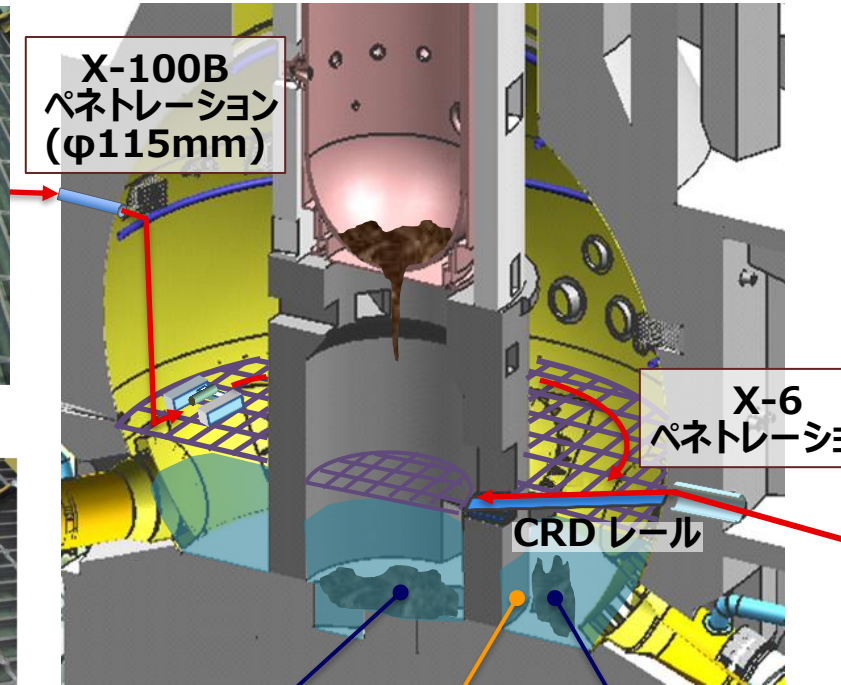
### ○クローラ型遠隔調査ロボット（A2調査）



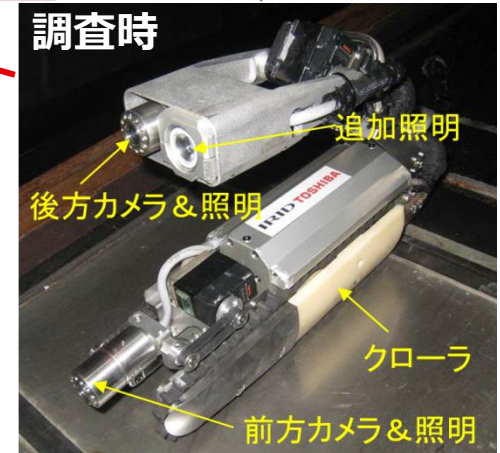
変形



(注) 上の写真はB1調査時のロボットです。



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)

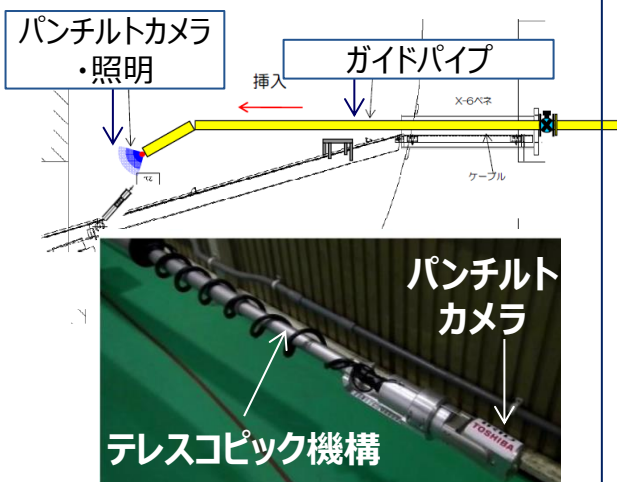
## 調査手順

1. ペDESTAL内事前確認

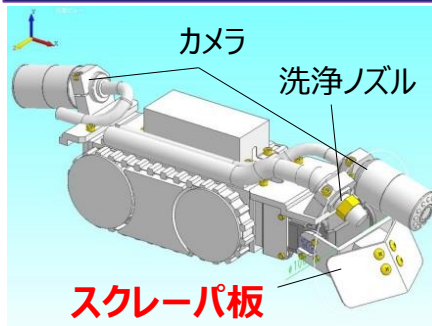
2. レール上堆積物除去

3. A2調査

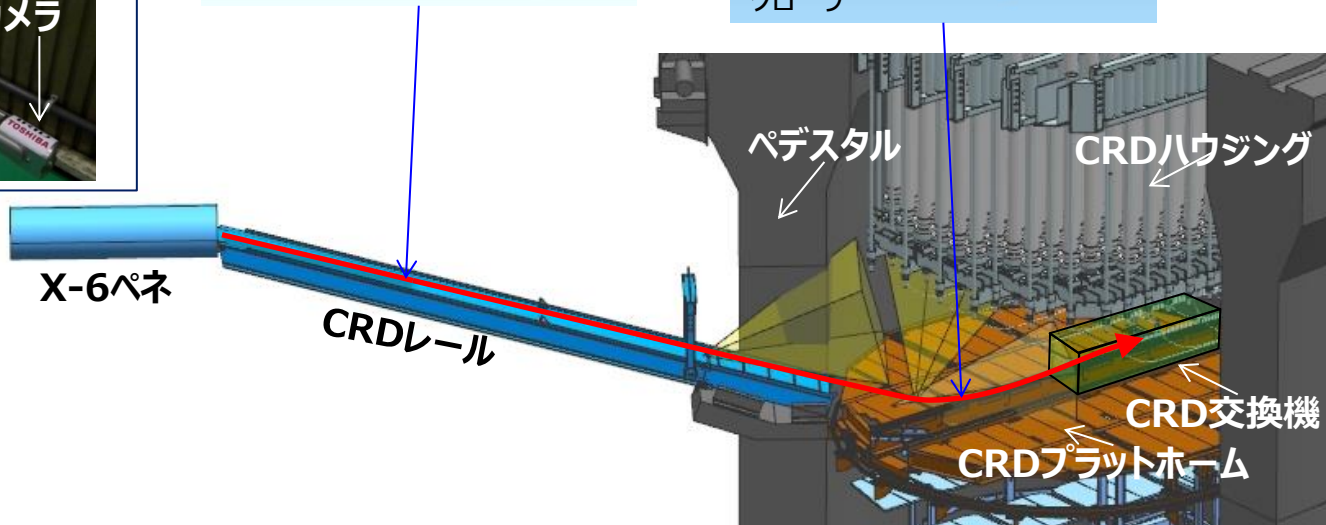
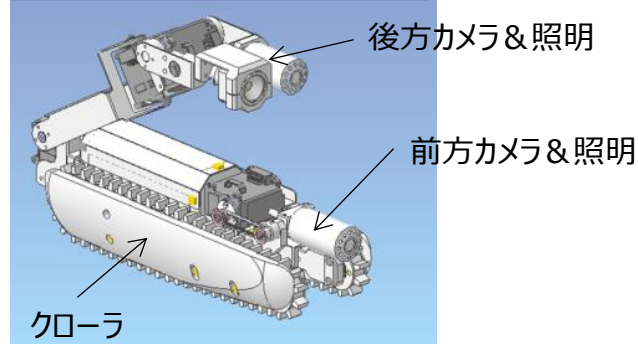
## 1. 事前確認装置



## 2. 堆積物除去装置

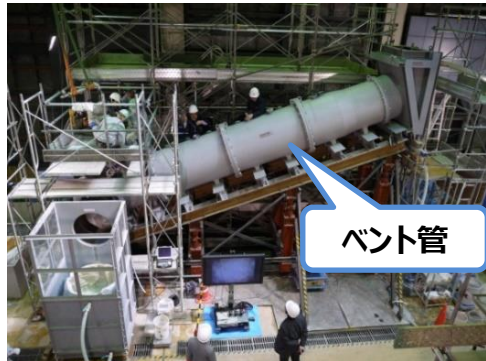


## 3. A2調査装置



# 2-4.PCV補修・止水技術の開発（概要）

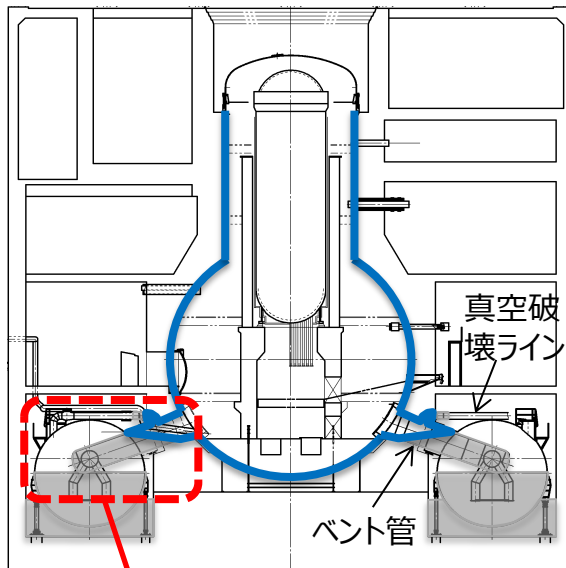
## ベント管止水試験



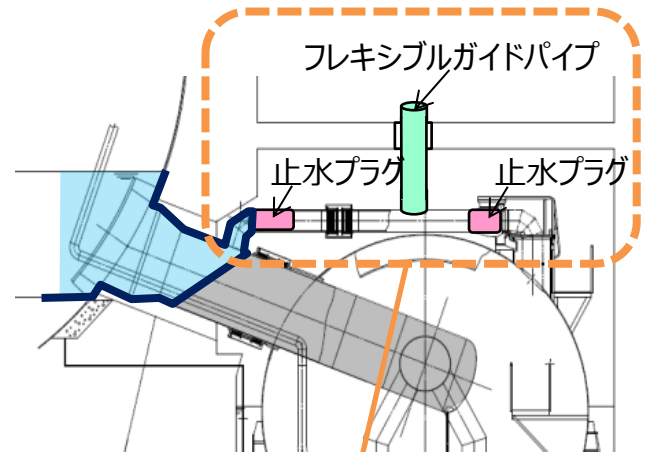
ベント管

1 / 2スケール試験体で止水性能を確認（工場）

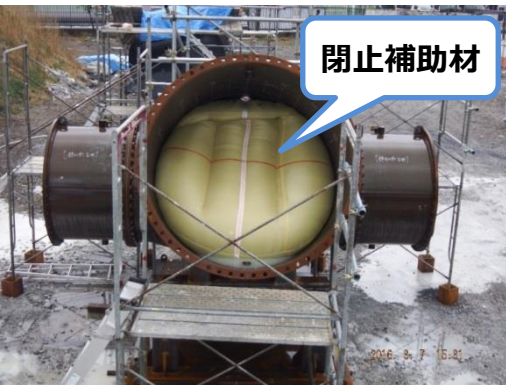
— : 補修・止水範囲



## 真空破壊ライン止水工法（1号機）

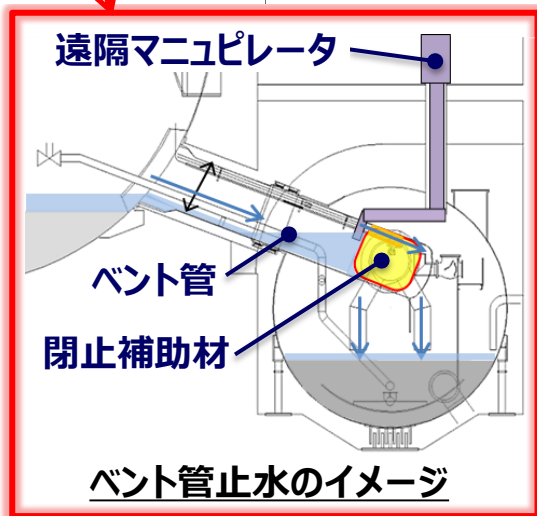


## 閉止補助材止水試験



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）



ベント管止水のイメージ

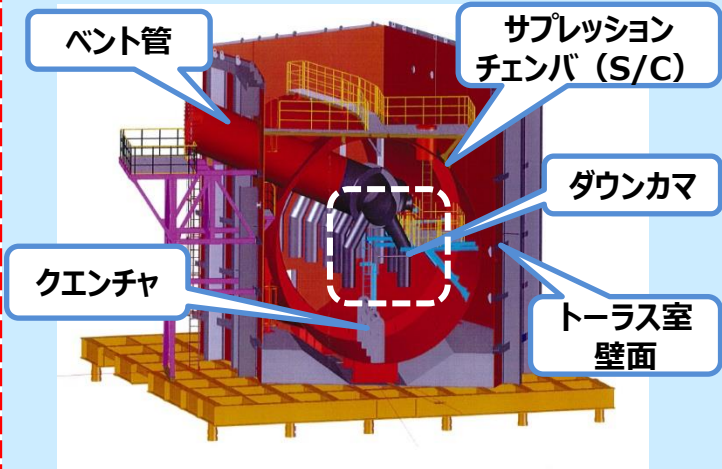


1 / 1スケール試験体

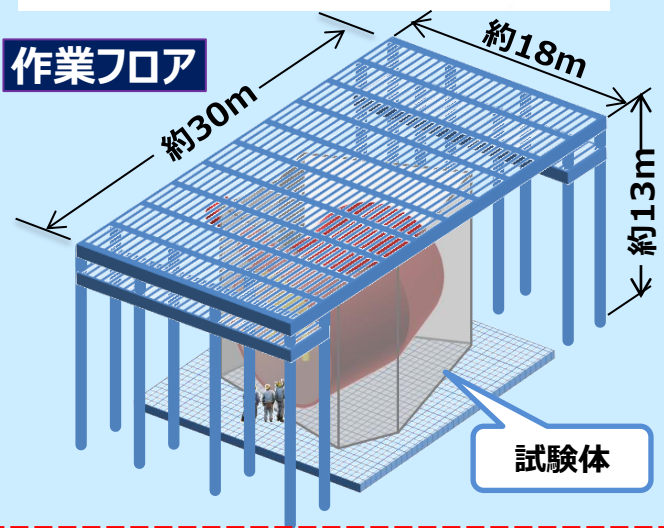
# 2-5.PCV補修・止水技術の実規模試験（概要）

## 実規模試験体（1/8セクター）

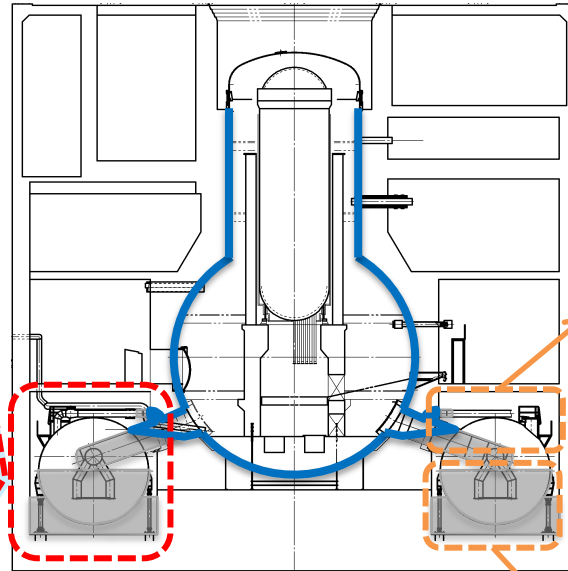
楕葉遠隔技術開発センター内に建設



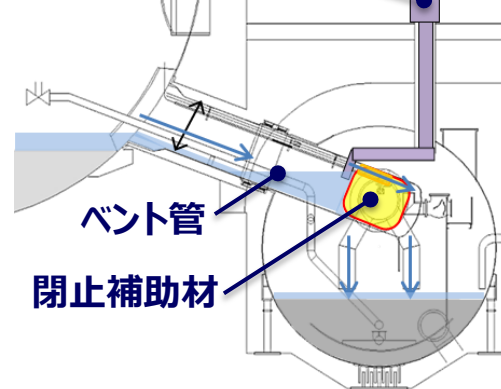
作業フロア



— : 補修・止水範囲

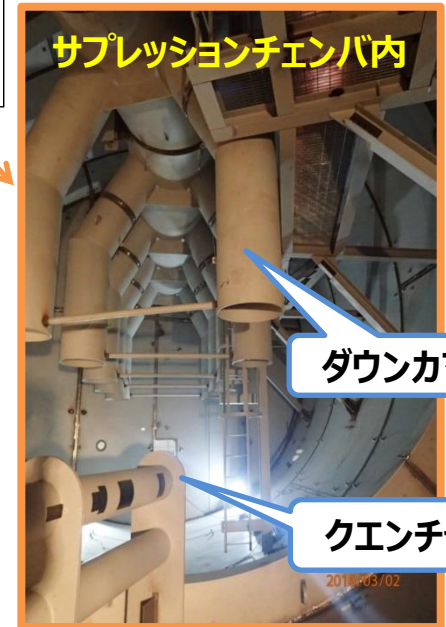


遠隔マニピレータ



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

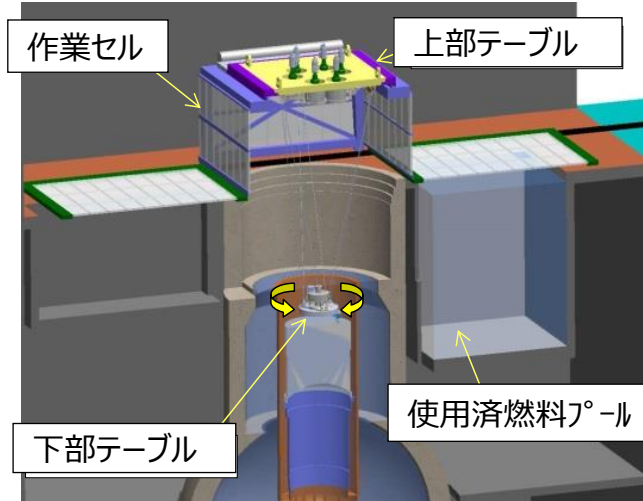
## 基盤技術の開発



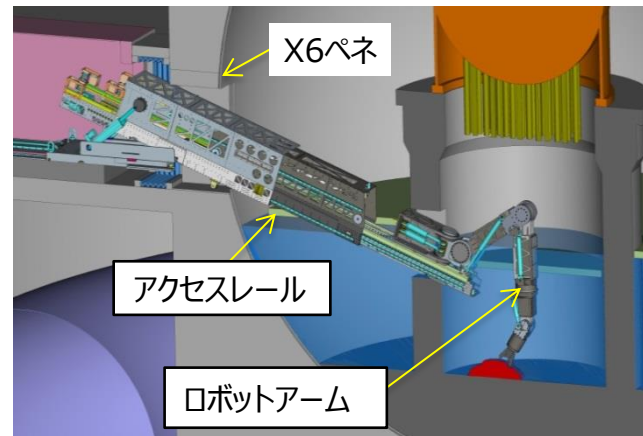
ロボットアーム



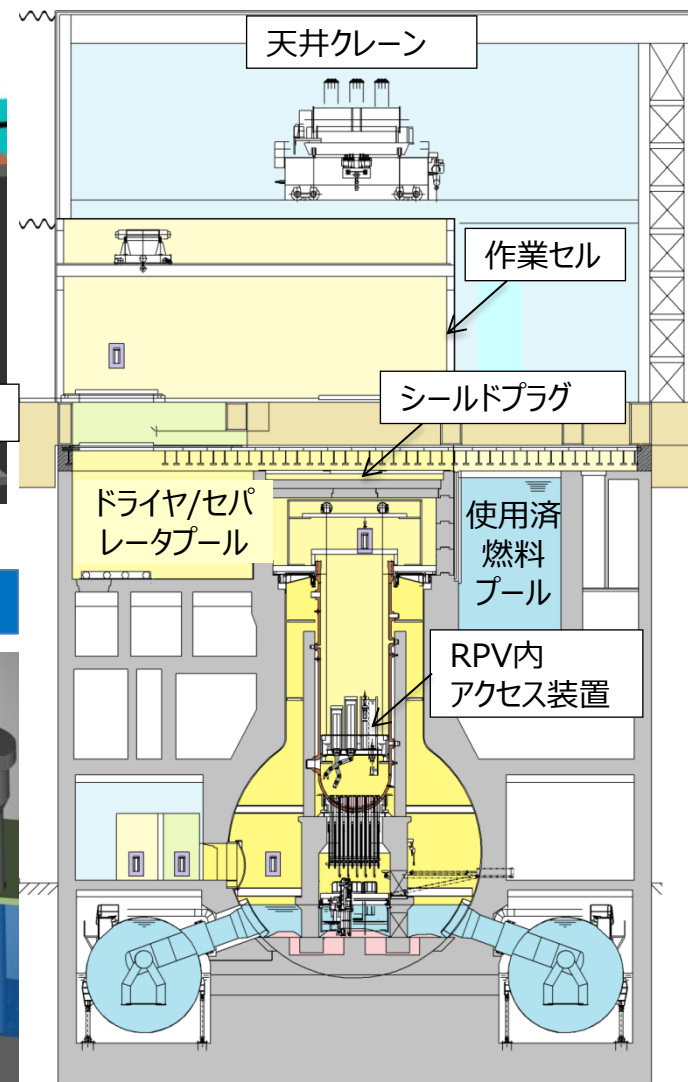
## 冠水-上アクセス工法（概念）



## 横アクセス工法（概念）



## 気中-上アクセス工法（概念）

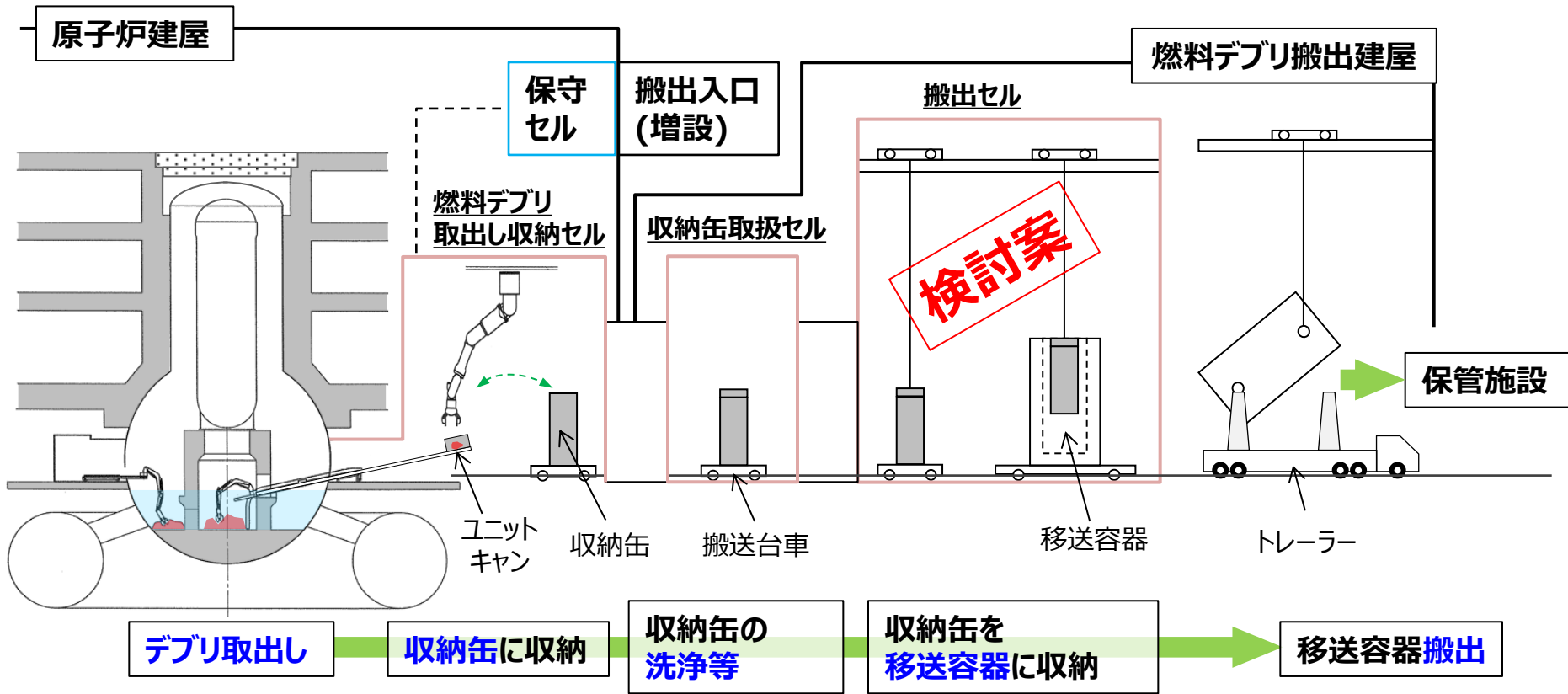


# 2-7.燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発

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

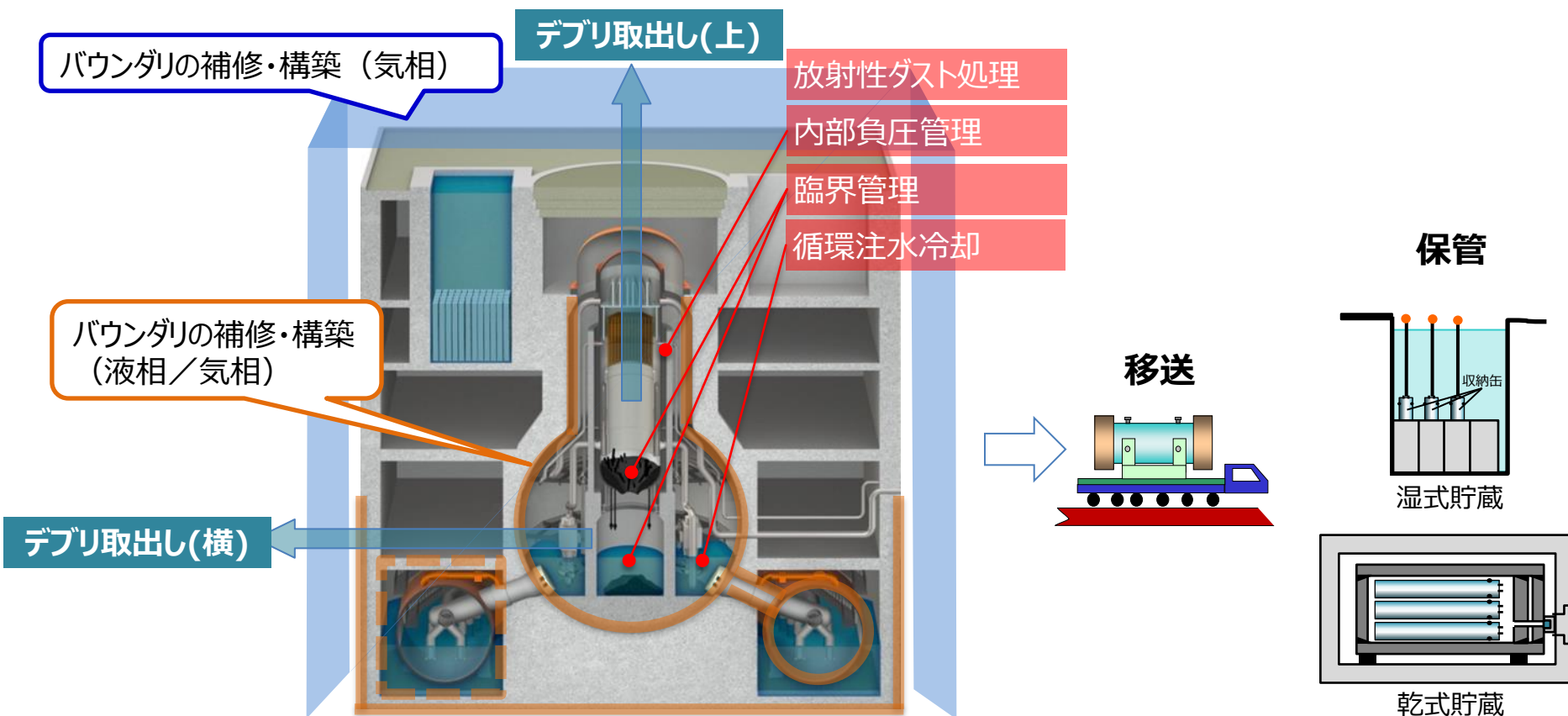
# 3-1 何をしなければならないのか

## 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

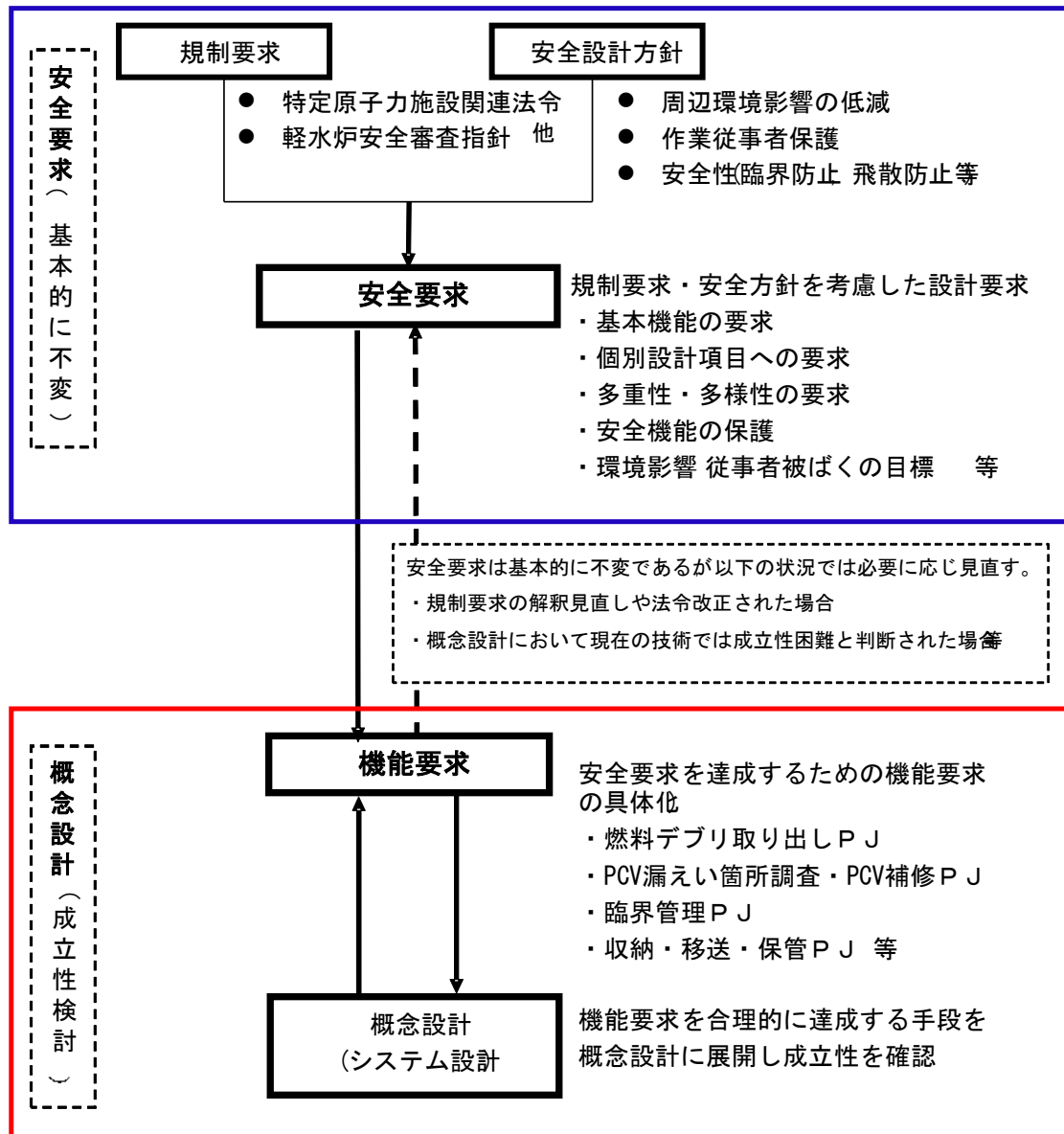
特定原子力施設への指定に際し1Fに対して求める措置を講ずべき事項について

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）

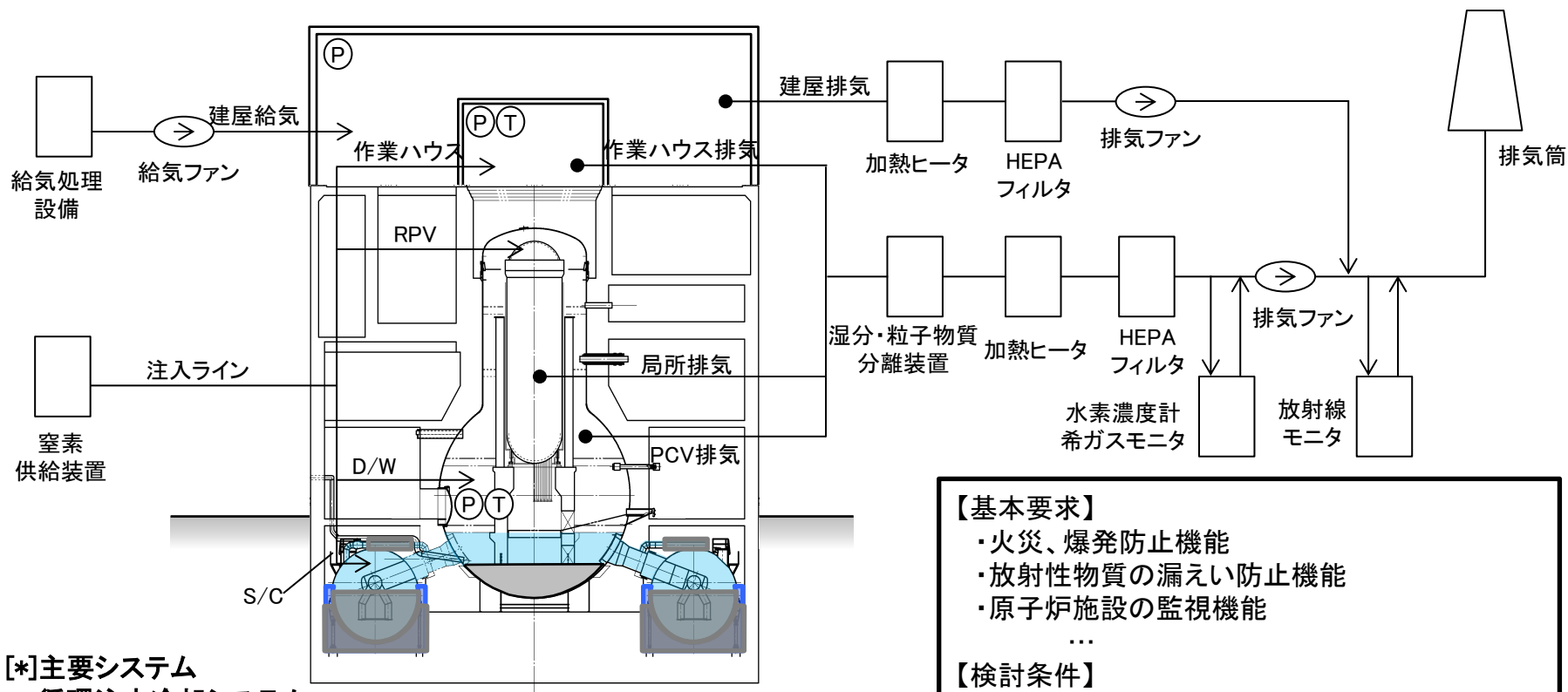
燃料デブリ取出し向けに検討

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**

- ・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

...

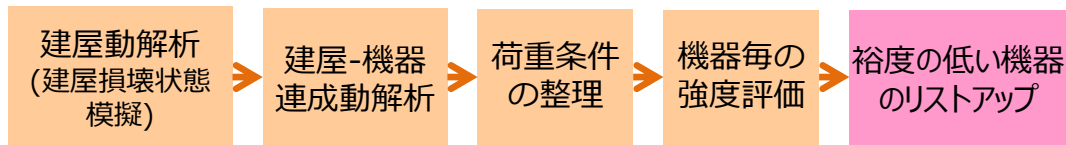


# 3-6 構造の維持 (外部事象ロバストネス)

## 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



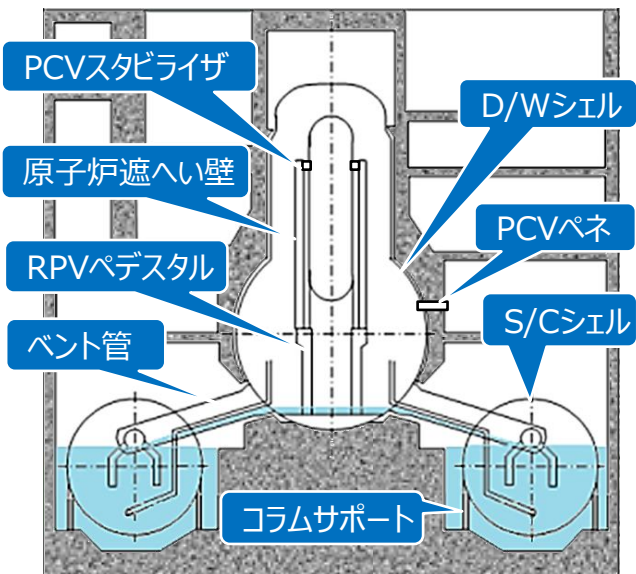
**モデルの作成**

- ・水位
- ・基準地震動Ss
- ・機器損壊状態
- ・腐食の影響

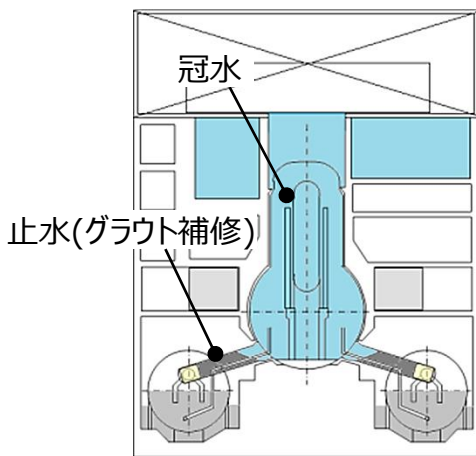
**評価条件**

- ・許容値
- ・腐食減肉量 (試験データ)
- ・高温強度劣化 (試験データ)

## 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

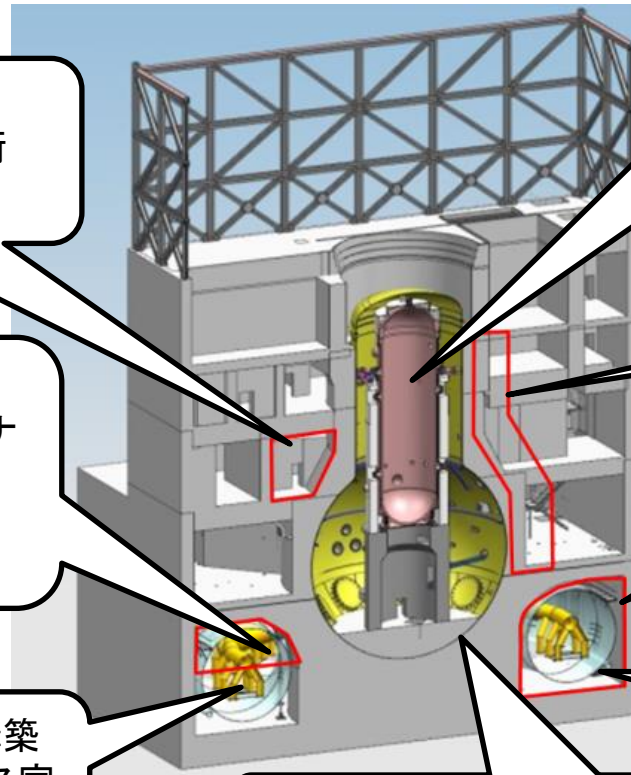
# 3-7 格納容器補修（バウンダリの構築）

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