

# IRIDにおける燃料デブリ取出し技術の開発

「福島第一原子力発電所における今後のリスク要因とその防護策」  
フォローアップセミナープログラム

平成28年6月20日（月）  
東京大学・武田ホール

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）  
高守 謙郎

# IRIDの研究開発プロジェクト

## 使用済燃料プールからの燃料取出しに係る研究開発

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

### 除染・線量低減技術

<作業環境の確保>

原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発

原子炉建屋内遠隔除染技術の信頼性評価

### 燃料デブリ取り出し技術

<安定状態の確保>

原子炉圧力容器／原子炉格納容器の健全性評価技術の開発

燃料デブリ臨界管理技術の開発

<デブリ取り出し>

燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システムの高度化事業

燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業

燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発

### 廃棄物処理・処分技術

固体廃棄物の処理・処分に  
関する  
研究開発

### 原子炉格納容器補修・止水技術

原子炉格納容器漏えい箇所の補修・止水技術の開発

原子炉格納容器漏えい箇所の補修・止水技術の実規模試験

### 原子炉内調査・分析技術

原子炉格納容器内部調査技術の開発

原子炉圧力容器内部調査技術の開発

燃料デブリ性状把握

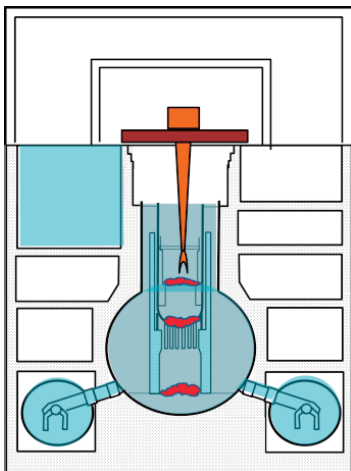
原子炉内燃料デブリ検知技術の開発

事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握の高度化

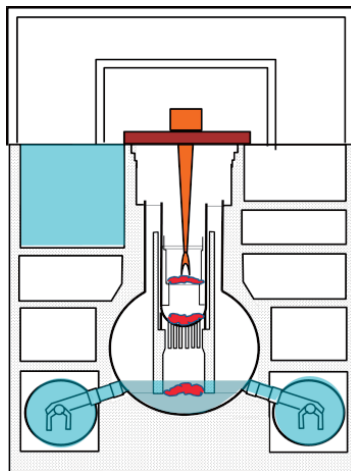
## 選定した燃料デブリ取り出し工法オプション

下図はNDF「技術戦略プラン2015」より抜粋

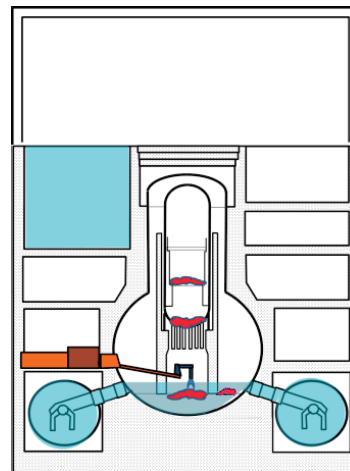
a. 冠水－上アクセス工法



b. 気中－上アクセス工法



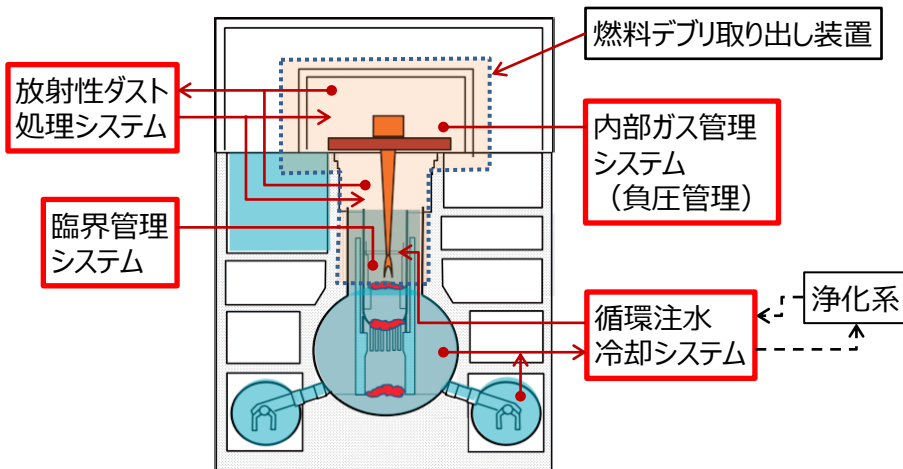
c. 気中－横アクセス工法



## 工法実現性を見極めに必要な要素技術

- ✓大型構造物取り出し時の汚染拡大防止技術
- ✓RPV内等燃料デブリ取り出し時の汚染拡大防止技術
- ✓燃料デブリへのアクセス技術
- ✓燃料デブリ取り出しの遠隔作業技術
- ✓燃料デブリ取り出しの切削・集塵、視覚・計測技術

## システムの概念、工法実現性の検討

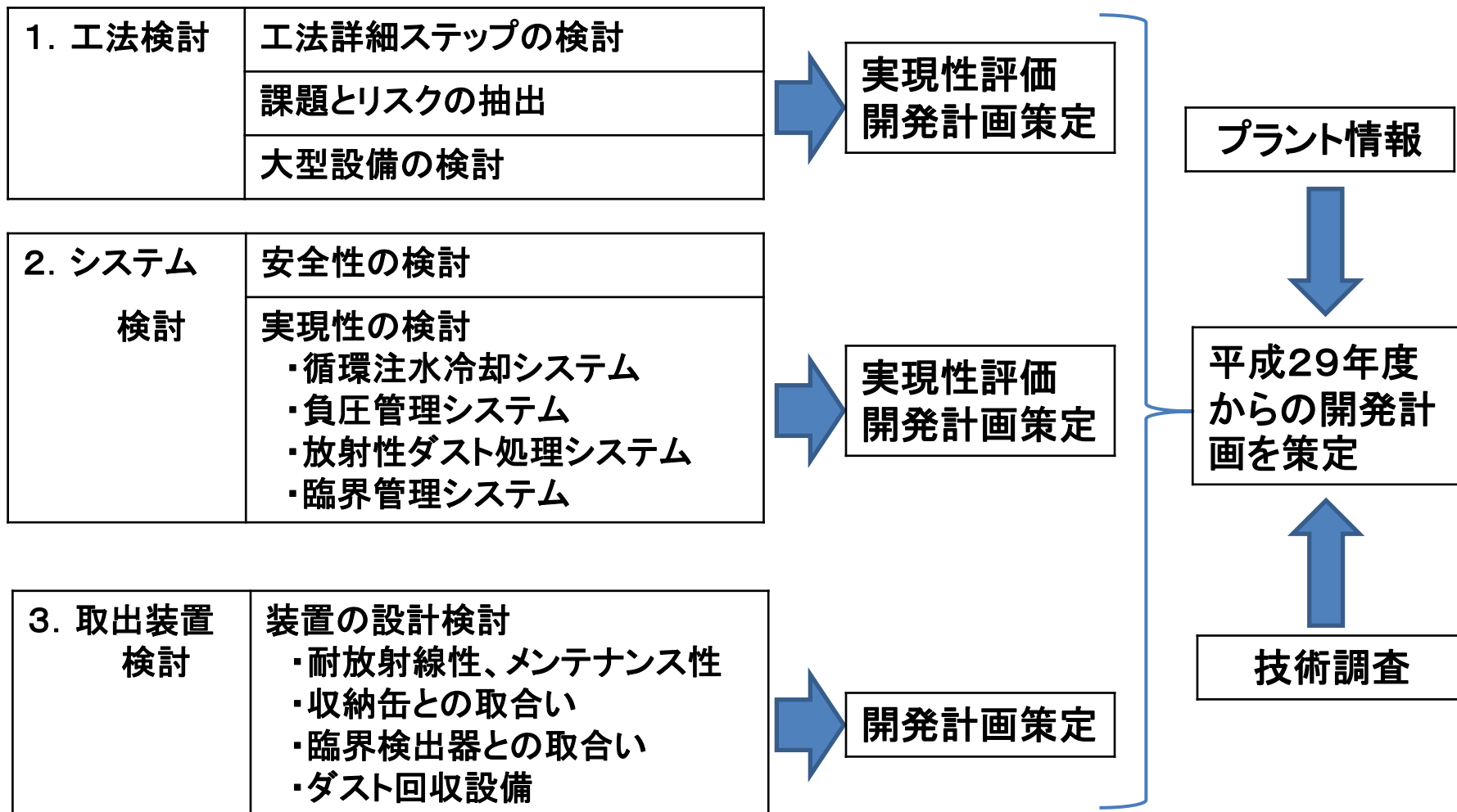


## 燃料デブリ取り出し装置設計の上での留意事項

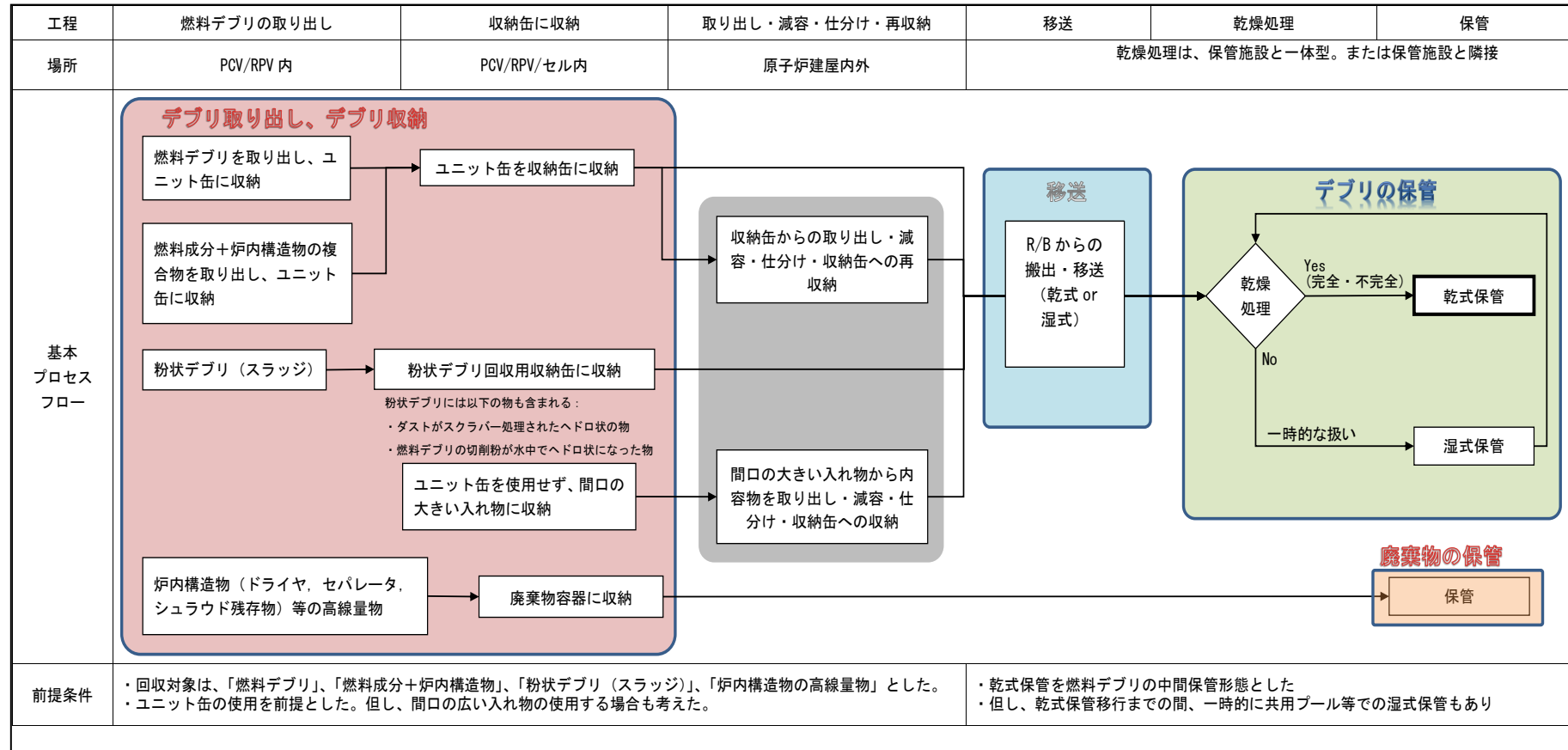
- ✓装置の耐放射線性、メンテナンス性
- ✓燃料デブリ取り出し工事効率向上
- ✓収納缶や他の機器との取り合い
- ✓装置周りの放射性ダスト回収設備・装置

参考：平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業補助金（燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システムの高度化事業）」及び「同（燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業）」に係る補助事業者公募要領

工法、システム、装置各々の検討結果を整理し、平成28年度末に開発計画を策定する



# 燃料デブリ取出～保管までの基本プロセスフロー(案)

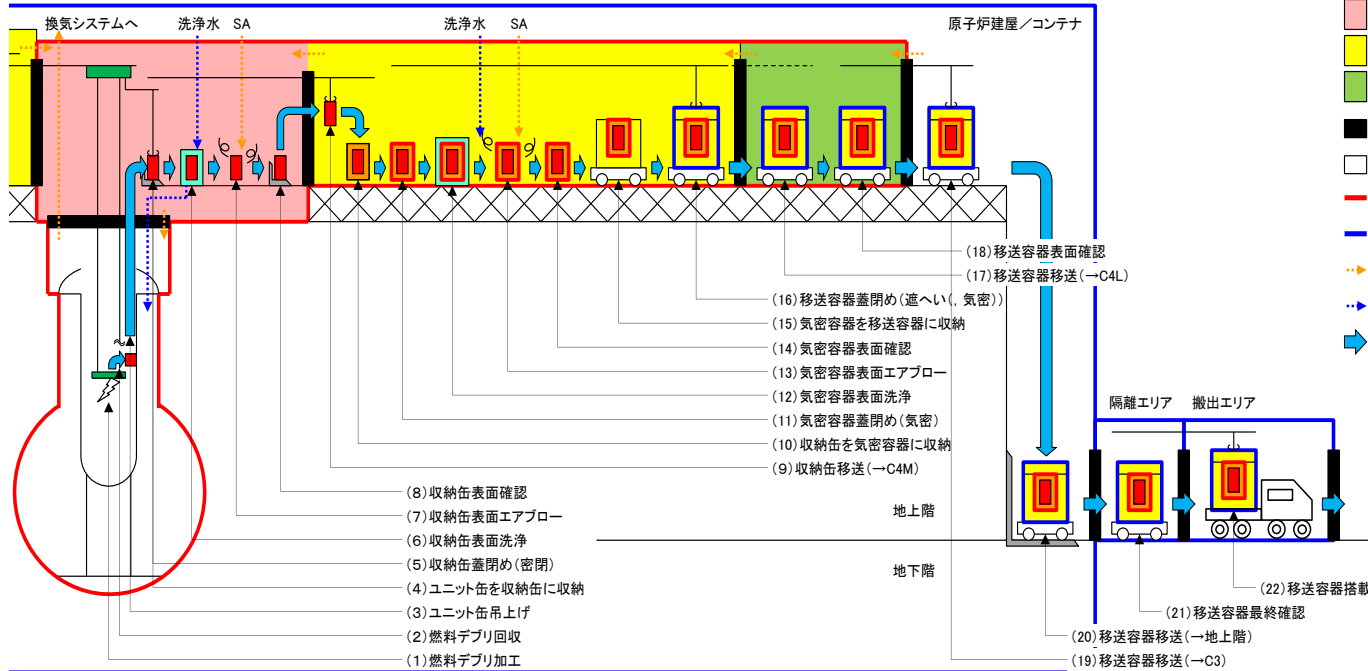


# 工法詳細ステップの検討例

## 冠水-上アクセス工法フロー図(燃料デブリ搬出)\*1

\*1: 上部の構造物は、核燃料物質成分の付着量が基準値以下の場合、D/Sピット等へ移送して切断・搬出、または保管

### 【燃料デブリ搬出プロセス】



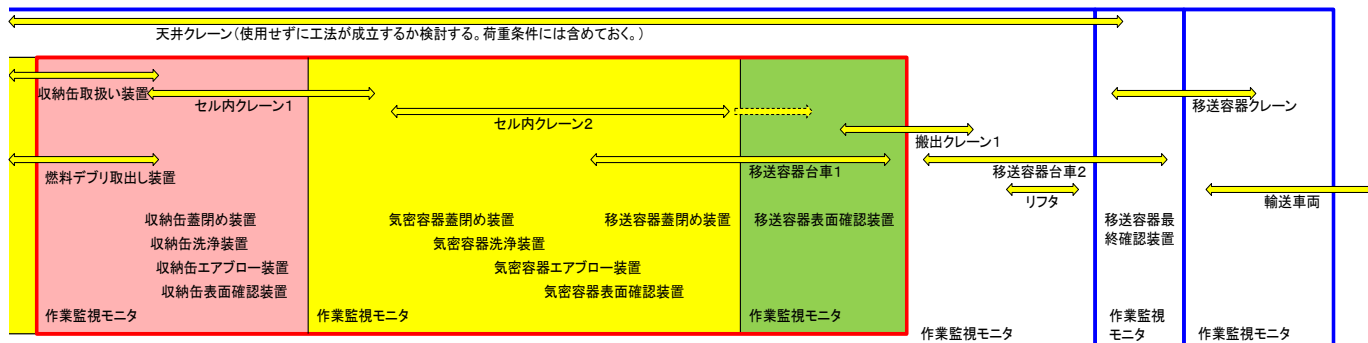
### 【凡例】

- : C4Hエリア
- : C4Mエリア
- : C4Lエリア
- : 開閉扉(閉)
- : 開閉扉(開)
- : 一次バウンダリ
- : 二次バウンダリ
- : ガスの系統
- : 水の系統
- : 燃料デブリの動線

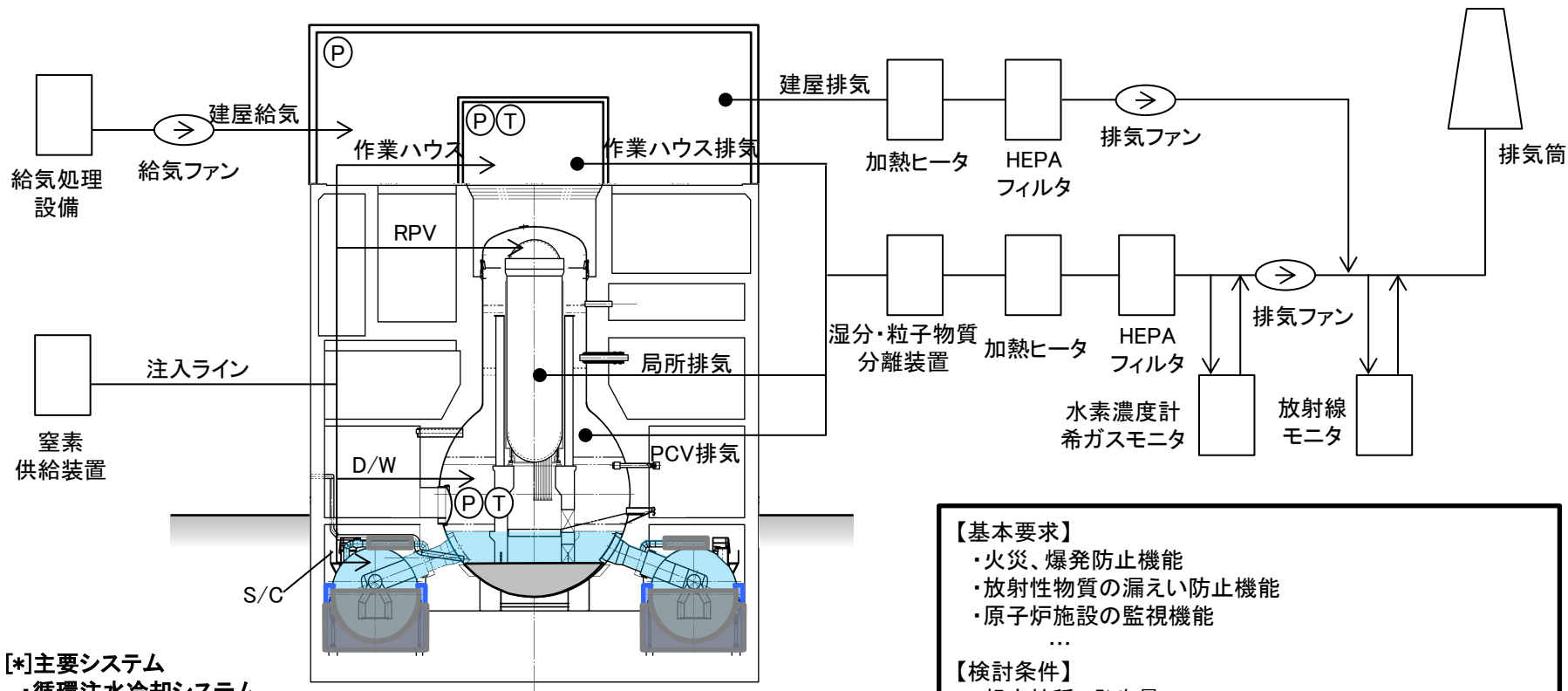
**コンセプト:**  
放射性物質の放出抑制  
(汚染拡大防止)を最優先

- ・多重のバウンダリ・エリア設定
- ・搬出プロセス・経路の管理
- ・事故・故障の起こりにくい設計

### 【バウンダリ内設備】



※2015年度末時点の検討状況をまとめたものであり、今後の設計進捗により見直される可能性がある。



- [\*]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)

**【基本要件】**

- ・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
- ...

# 燃料デブリ取り出し時の深層防護等を考える

## 既設軽水炉・再処理施設の比較例

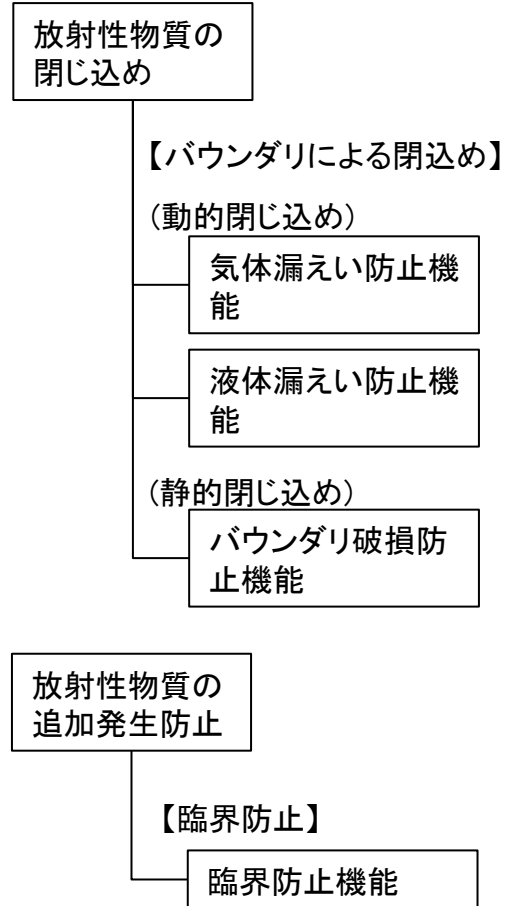
項目	軽水炉プラント	再処理施設	特定原子力施設 (2016年時点)	燃料デブリ取り出し
安全機能	止める・冷やす・閉じ込める	止める(未臨界の維持/臨界事故時の終息)・冷やす・閉じ込める	止める(未臨界の維持/臨界事故時の終息)・冷やす・閉じ込める	止める(未臨界の維持/臨界事故時の終息)・冷やす・閉じ込める
内包する放射性物質の特徴	炉停止直後を含む炉内放射性物質(希ガス等短半減期核種も考慮必要)	数年冷却した使用済燃料又は燃料起因の放射性物質。工程ごとに核種分離。(比較的半減期の長い核種)	約5年冷却した使用済燃料又は放射化構造物起因の放射性物質。燃料デブリ等の核燃料物質は現状状態を維持	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。



# 深層防護の実装をどうするのか

## デブリ取り出し作業の安全原則と安全機能を設定する

原子力安全	安全原則 (達成されるべきもの)		基本安全機能 (防護されるべきもの)	安全機能 (維持されるべきもの)
人と環境を放射線リスクから防護する	放射性物質の大規模な放出防止	炉内に存在する放射性物質の閉じ込め	バウンダリによる閉じ込め機能	(動的閉じ込め) 気体漏えい防止機能
				(動的閉じ込め) 液体漏えい防止機能
				(静的閉じ込め) バウンダリ破損防止機能
			輸送容器による閉じ込め機能	(略)
	放射性物質の追加発生防止		臨界防止機能	臨界防止機能
放射線からの防護	(略)	(略)	(略)	(略)



## ○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

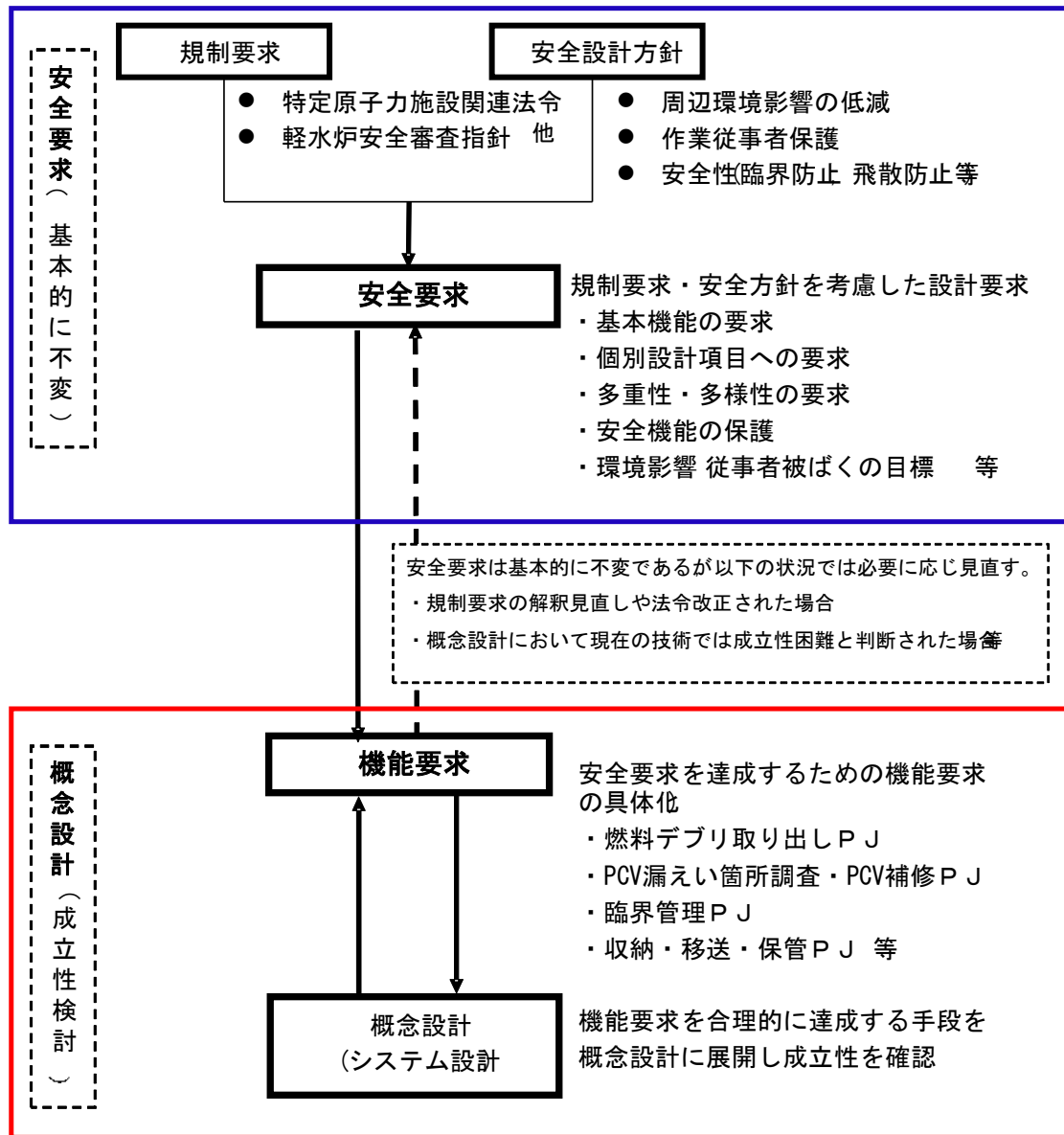
特定原子力施設への指定に際し1Fに対して求める措置を講ずべき事項について

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



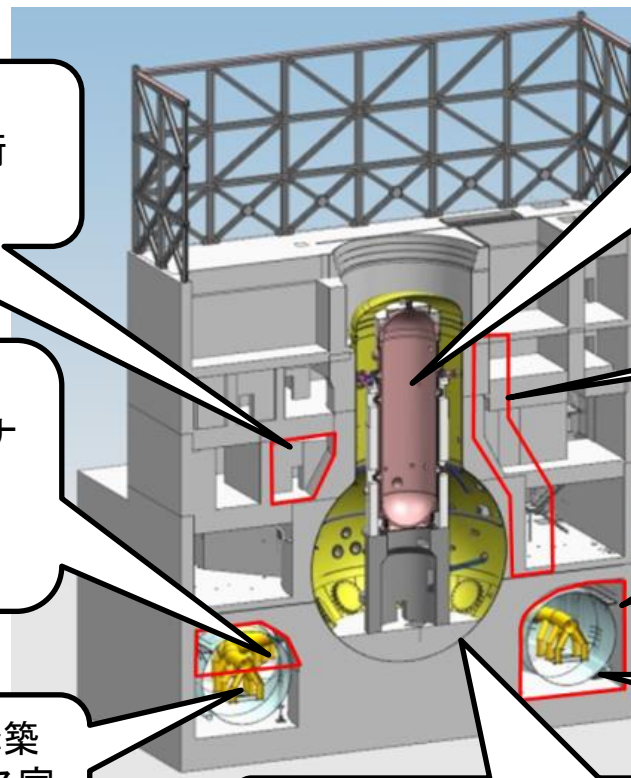
安全要求及び機能要求の検討フロー

# 格納容器補修技術の開発

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



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シェルの補修技術

「補修・止水技術の開発」の対象箇所

# 深い議論・検討が必要なこと

- 安全要求を最初に確定し、それに従って設計を進める新設プラントのようなやり方には限界がある可能性
- 例えば、設定した安全要求を満たすのに必要な設備工事の(高線量の現場での)実現性
- デブリ取出し作業に要する時間や作業線量等も踏まえた上での検討が必要

## 課題抽出の視点

- 安全(リスク)
  - ・デブリ冷却
  - ・臨界管理
  - ・閉じ込め
  - ・火災、爆発防止
  - ・作業員被ばく
  - ・公衆被ばく
  - ・外部事象
  - ・機器故障、動作不良
- 運用
  - ・燃料デブリと廃棄物の仕分け
  - ・燃料取り出し工事等との干渉
- 技術開発
  - ・遮へい
  - ・ダストの飛散防止
  - ・遠隔化
  - ・メンテナンス性、装置故障時の対応
  - ・耐放射線性
  - ・作業監視

## 検討すべき点

- 個々の安全要求を束ねた時の最適化
  - ・リスク評価
  - ・リスクの受容性の観点に対し、リスク低減のための作業線量の正当性
  - ・補修施工や大規模遮蔽による  
例えば、耐震性への影響
  - ・デブリ取出し／準備工事に要する時間の増大もリスク増大要因
  - ・リソース
- 最大リスク、トータルリスク低減の観点からのトレードオフ
  - ・リスクインフォームド／意思決定
  - ・リスクインフォームド／コミュニケーション