

研究開発プロジェクトの進捗状況及び次期計画の方向性

## 次期廃炉研究開発計画について

### <見直しの考え方>

- 中長期ロードマップに示された2017年夏頃の号機毎の燃料デブリ取り出し方針の決定に向けて、継続事業については、2017年度における着実な実施を図る。
- 併せて、方針決定後の初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定を見据え、内部調査関連の事業を新たに立ち上げるほか、燃料デブリ取り出し工法の開発事業の充実・強化を図る。その際、事業者による予備的エンジニアリング作業との連携が円滑に行われるよう留意する。
- 今後決定される燃料デブリ取り出し方針を踏まえ、研究開発計画の見直しが必要となる場合には柔軟に対応し、計画の実効性を確保する。

### <見直しのポイント>

#### (1) 内部調査

##### ①原子炉格納容器内部調査技術、原子炉格納容器内部詳細調査技術

燃料デブリ取り出し方針の決定に向けて、各号機の原子炉格納容器(PCV)内部調査を着実に実施する(1-③原子炉格納容器内部調査技術)。また、燃料デブリ取り出し方法の確定(2018年度上半期)に向け、PCV内の構造物等の状況を従来より確度高く把握するため、調査装置の大型化、視覚や計測に関する調査技術の適用高度化に向けた現場調査(現地実証)に向けた開発等を行う(1-④原子炉格納容器内部詳細調査技術)。

#### (2) 燃料デブリ取り出し

##### ①燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化

燃料デブリ取り出し作業で発生する $\alpha$ 核種( $\alpha$ 線を放出する放射性核種)を含むダストの閉じ込め機能に関する技術開発、燃料デブリ由来のダストの捕集及び除去技術開発、燃料デブリ取り出しに伴う $\alpha$ 核種のモニタリングシステムの検討を実施する。また、得られた成果は、工法・システムに反映し事業者によるエンジニアリングに移行していく。

②燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化

これまでに得られた成果に基づき、燃料デブリの回収システム、燃料デブリの切削・集塵システム、燃料デブリの拡散防止工法の開発及び取り出し装置設置のための要素技術開発等を実施する。

③燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けたサンプリング技術

燃料デブリのサンプリングの全体シナリオを策定し、PCV内燃料デブリサンプリングの実施に向けたシステム及び装置の設計・試作、原子炉圧力容器（RPV）側面からのアクセスによる燃料デブリサンプリングシステムの概念検討等を行う。

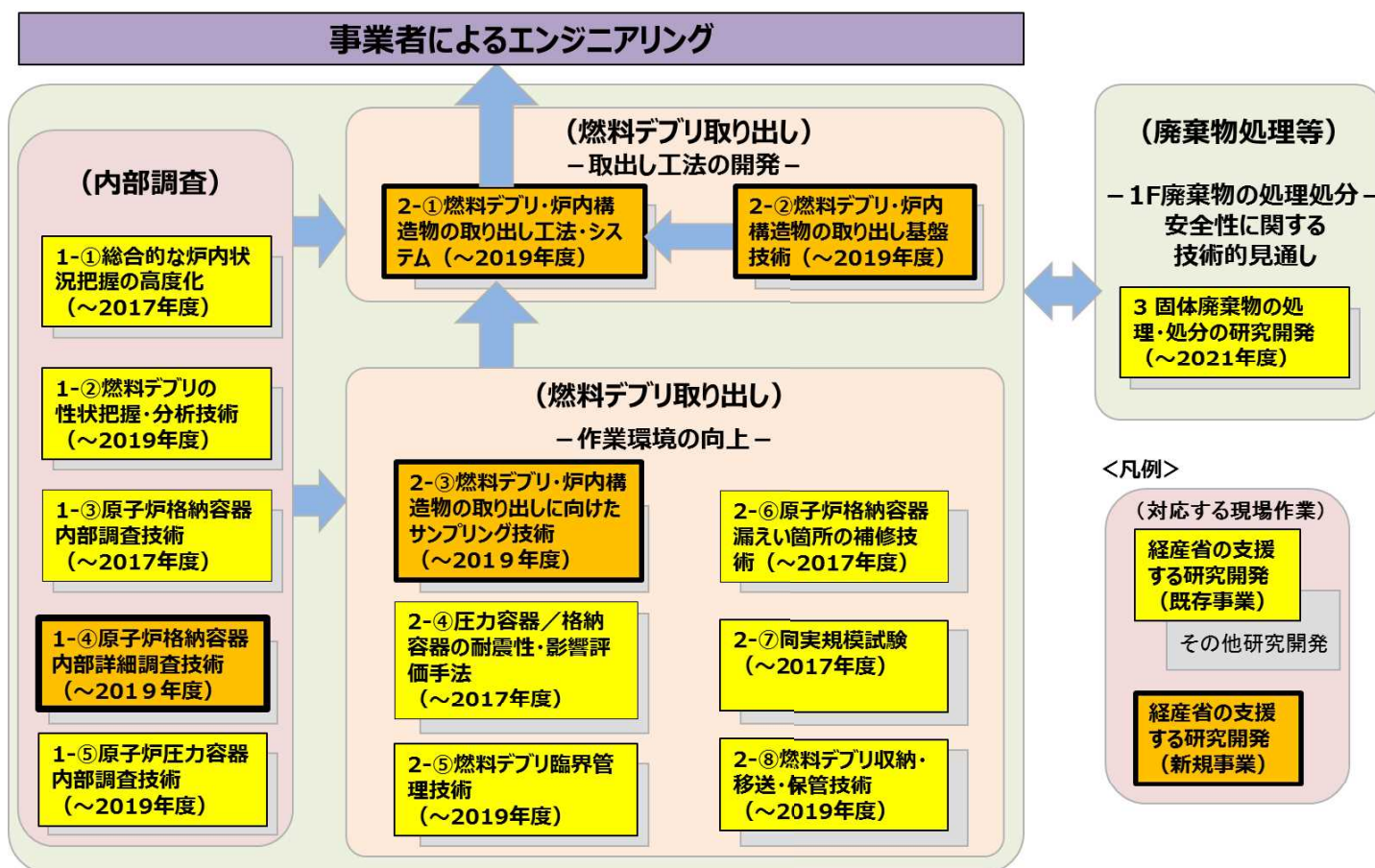
(3) 廃棄物処理等

①固体廃棄物の処理・処分

2021年度までに、処理・処分方策の安全性に関する技術的な見通しを得る。1Fの廃炉に伴い発生する廃棄物については、処分に至るまでの保管に関しても、リスク低減のための調査・検討を行う。

福島第一原発の廃炉研究開発の全体構成図

2017年度版



# 1-①: 総合的な炉内状況把握の高度化

## 目的

プラントの安定状態確認、燃料デブリ取り出し方針の決定や方法の確定に資するため、炉内の燃料デブリや核分裂生成物（FP）の状況をよりの確に把握するための総合的な分析・評価を行う。

## 実施内容

- 号機毎の燃料デブリ・FPの位置・分布に加え、原子炉格納容器等構造物の健全性への影響、臨界評価、取り出し時のFP挙動評価等に必要データ・情報を整備するため、炉内状況の総合的な分析・評価を行う。
- 分析・評価を行う上で重要と判断される個別事象の感度解析・逆解析を行い、分析・評価結果の信頼性を向上させる。

### 1. 炉内状況の総合的な分析・評価

- (1) 実機データ及び他プロジェクトの成果を踏まえた総合的な分析・評価
  - 炉内で経時的に生じた事象に関する実機の調査から得られるデータ・情報、解析による評価結果、国内外の関連文献等の多岐にわたる情報を総合的に分析・評価し、事故進展に伴い生じた事象の推定を行い、最も確からしい燃料デブリの量、位置、FPの分布状況等の評価を行う。
- (2) 総合的な分析・評価に必要なデータベースの構築
  - 実機での計測データに加え、燃料デブリ性状把握をはじめ他プロジェクトの成果等のデータ・情報を統合的に収集・整理し、他のプロジェクトにおける検討に活用できるようにする。
  - 実際の活用を通じ、複数パラメータの相関分析等の分析機能の高度化・多機能化を図る。

(2. 項続き)

2016年に実施した検討及び内部調査結果に基づく解析コードの改良を通じた推定等を行い、燃料デブリ、FPの評価の不確かさを低減させる。なお、解析コードの改良は実施内容を関係機関と議論して実施する。

- (2) FPの化学特性の評価
  - FPの炉内構造物への固着特性など化学特性を評価する。
  - 炉内状況把握に資する情報を取得する観点で、現場で採取された試料の分析を進める。
- (3) 国際共同研究を通じた国内外の知見の活用
  - OECD/NEA/BSAF-2を通じた国際共同研究の機会を活用し、海外機関による燃料デブリ分布やFP分布の解析結果・評価を収集・整理し、総合的な分析・評価に反映させる。

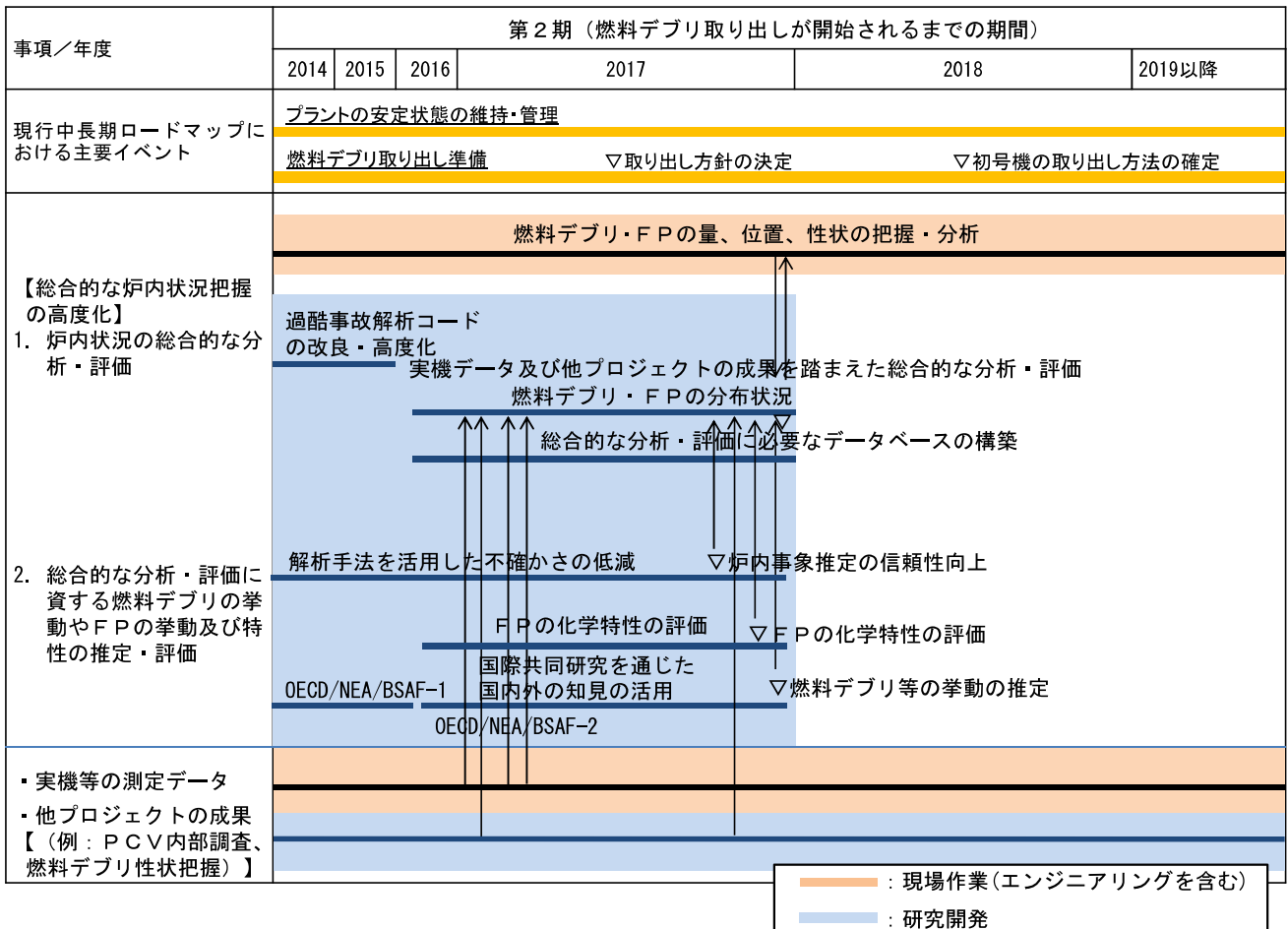
### 2. 総合的な分析・評価に資する燃料デブリの挙動やFPの挙動及び特性の推定・評価

- (1) 解析手法を活用した不確かさの低減
  - 事故進展解析コード等を用いて、炉内で生じたと推定される事象について境界条件や解析モデルを考慮した感度解析、逆解析による推定、

### 目標達成を判断する主な指標の設定 (2017年度)

- これまで得られたデータ・情報、解析結果の総合的な分析・評価による各号機の最も確からしい燃料デブリ分布の推定結果の提示。
- 炉内状況の調査に関する情報を集積したデータベースの構築。
- 事故進展解析コード等を用いた感度解析や逆解析等による総合的な分析・評価のための評価結果の提示
- セシウム化合物の生成・蒸発・付着特性を踏まえたセシウム分布の解析結果。

(目標工程) 1-①: 総合的な炉内状況把握の高度化





# 1-②: 燃料デブリの性状把握・分析技術の開発

## 目的

炉内状況の総合的な分析・評価、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し方法の確定、燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発に資するため、燃料デブリの性状を分析・評価する。また、そのために有効な模擬デブリを用いた試験を実施するとともに、将来実際に取り出す実燃料デブリの分析・測定に必要な技術を開発する。

## 実施内容

○ 燃料デブリ取り出し方法の確定、収納・移送・保管技術の開発に資するため、2016年度に作製した大型溶融炉心-コンクリート反応(MCCI)試験生成物等を使用して、燃料デブリの特性を評価し、必要に応じて、2015年度にとりまとめた燃料デブリ特性リストを継続的に更新する。

○ 燃料デブリの性状等を把握する観点から有益な、燃料デブリの分析を可能とするため、得られる可能性がある微量の実燃料デブリサンプルや、回収デブリのサンプルを取得した場合の、分析・測定技術、および、輸送に係る検討を継続する。

### 1. 燃料デブリ性状の推定

・ 2015年度にとりまとめた「燃料デブリ特性リスト」について、大型MCCI生成物のサンプル分析結果や最新の燃料デブリ分布及び組成の推定結果を反映するなど継続的に更新する。

### 2. 模擬デブリを活用した特性評価

・ 国内外で過去に知見の少ないMCCI生成物について、仏国CEAの有する試験設備を用いて2016年度に実施する、福島第一原子力発電所におけるMCCI条件を考慮した大型MCCI試験で得られる生成物試料を分析し、性状を把握する。

・ 燃料デブリ保管において、前処理として検討している乾燥設備検討の基礎データとするため、環境毒性の高い中揮発性核分裂生成物(FP)を対象に、乾燥熱処理条件時の放出挙動を評価する。

### 3. 燃料デブリ等の分析要素技術の開発

・ 燃料デブリサンプリングにより炉内等から得られると予想される、微量の実燃料デブリサンプルについて、分析を行う計画である。このため、微量の実燃料デブリサンプルの分析が可能となるよう、分析項目、分析要領、使用する分析技術等の検討を行う。

・ 燃料デブリサンプル用の収納容器、施設との取合い治具等の詳細検討を行うなど、茨城地区ホット施設への燃料デブリサンプルの輸送に係る検討を継続する。

### 4. 燃料デブリの経年変化特性の推定

・ 燃料デブリ取り出し方法の検討及び収納・移送・保管方法を検討する上で必要となる燃料デブリの経年変化について実験等により推定する。なお、具体的な実施内容を廃炉基盤研究プラットフォームに設置する課題別分科会にて検討した上で、2017年度途中に開始する。

### 5. 燃料デブリ微粒子挙動の推定(気中・水中移行特性)

・ 燃料デブリから発生する放射性飛散微粒子( $\alpha$ ダスト)の物理的・化学的性質、挙動に係る基礎的データの文献・実績データ等の調査収集及び試験によるデータ取得を行う。なお、具体的な実施内容を廃炉基盤研究プラットフォームに設置する課題別分科会にて検討した上で、平成29年度途中に開始する。

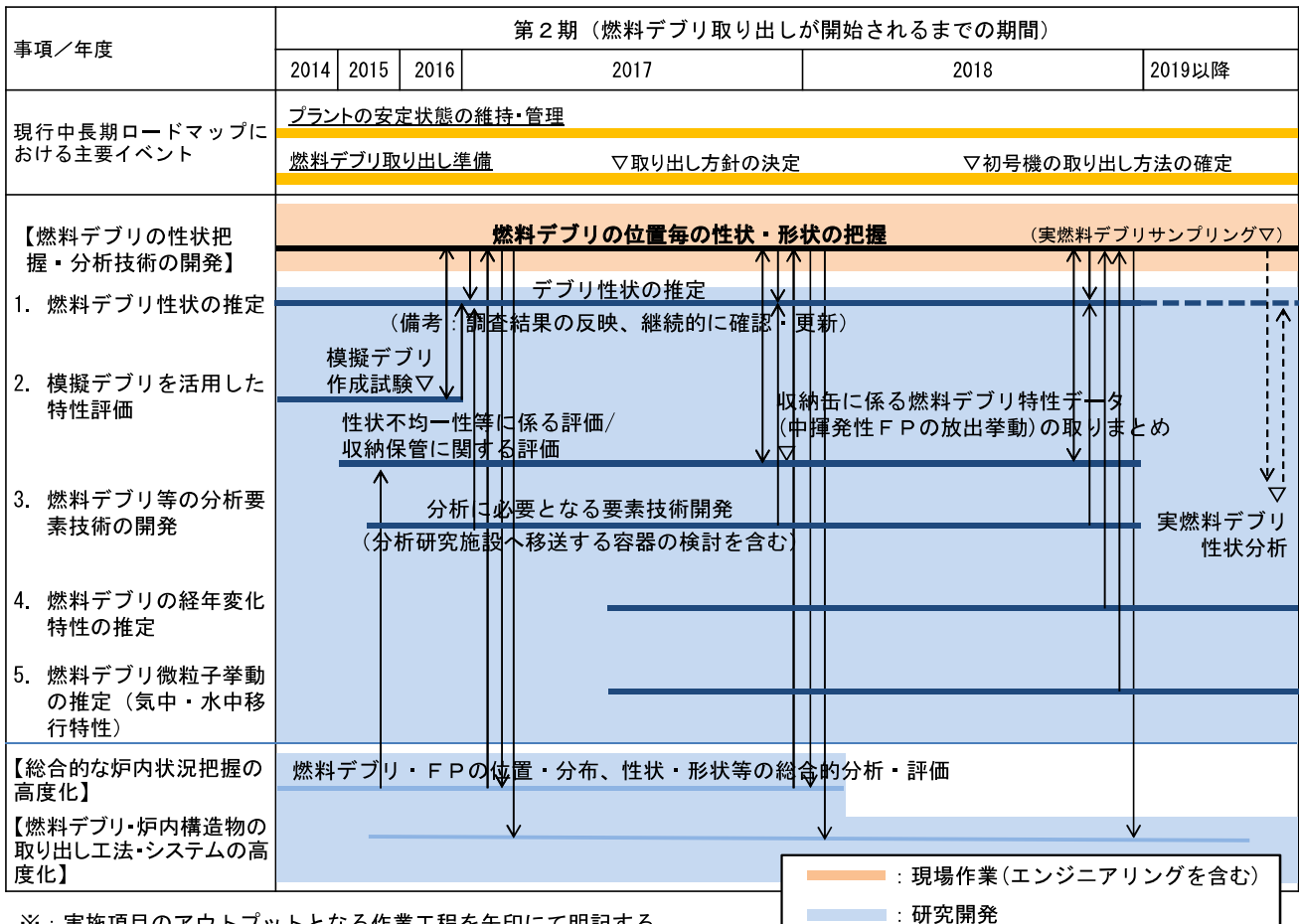
## 目標達成を判断する主な指標の設定(2017年度/2018年度)

・ 最新の情報を踏まえ、必要に応じて「燃料デブリ特性リスト」を更新。

・ 収納缶に係る燃料デブリ性状データ(中揮発性FPの放出挙動)を取りまとめ。

・ 燃料デブリサンプル分析の実施準備及び輸送に係る検討の整理。

## (目標工程)1-②: 燃料デブリの性状把握・分析技術の開発



# 1-③: 原子炉格納容器内部調査技術の開発

## 目的

燃料デブリ取り出し方針の決定に資することを目的として、原子炉格納容器(PCV)内のペDESTAL内の状況を調査・確認するための機器を開発・実証する。また、燃料デブリ取り出しに向けて、更に詳細な実機調査を行うために必要な技術の開発計画を立案し、要素試験を行う。

## 実施内容

- 燃料デブリ取り出し方針の決定に資するため、PCV内のペDESTAL内の状況を確認するための遠隔操作による調査装置・システムを開発し、現場調査(現場実証)を行う。
- 燃料デブリ取り出しに向けて、燃料デブリの位置・分布、PCV内の状況をより確度高く把握するため、開発が必要な技術について、概念設計や要素試験を行い、実機での実現性を確認する。

### 1. 調査計画・開発計画の策定

- ・各号機で実施したPCV内部調査の結果について、評価を行い、得られた情報を整理する。
- ・実施したPCV内部調査結果や、最新の現場状況を踏まえ、調査計画について継続的に見直しを行い、燃料デブリ取り出し方針決定のための調査ニーズとの対応を明らかにし、必要に応じ計画を更新する。

- (備考1) 期中にホールドポイントを設け、必要と判断される技術の開発計画を具体化し、開発を実施する。
- (備考2) 次フェーズの調査に向けた地下階調査のための開発計画策定や要素試験の成果を踏まえ、別プロジェクト「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」にて、開発を継続する。
- (備考3) 次フェーズの詳細調査のためのPCV内へのアクセス準備に関する本プロジェクトの成果は「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」にて活用する。

### 2. 特定部位へのアクセス・調査装置・システムの開発

- (1) 2号機を対象としたペDESTAL内調査
  - ・A2'調査: プラットホーム下の目視調査技術
  - A2調査の結果を踏まえた、ニーズの再確認、計画見直しを行い、開発を進める。
- (2) 3号機を対象としたペDESTAL内調査
  - ・水中遊泳装置による目視調査技術

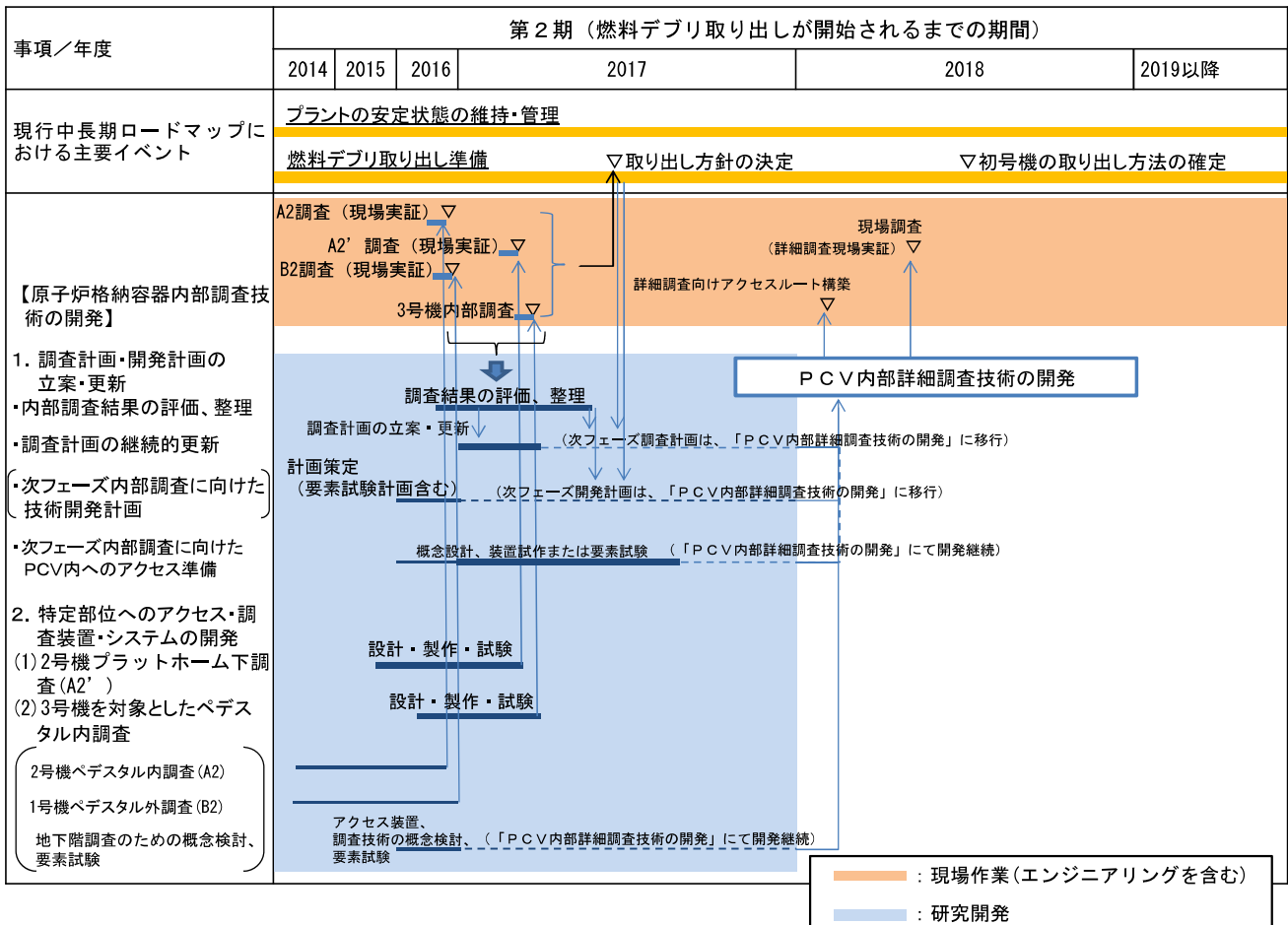
### 3. 現場調査(現場実証)

上記2. (1)、(2)で開発した装置・システムについて、現場調査(現場実証)を行う。

## 目標達成を判断する主な指標の設定 (2017年度)

- ・2号機プラットホーム下側現場調査(現場実証)の実施。(2017年度)
- ・3号機ペDESTAL内状況現場調査(現場実証)の実施。(2017年度)
- ・2017年度迄の現場調査(現場実証)結果の評価と整理(2017年度)

(目標工程) 1-③: 原子炉格納容器内部調査技術の開発



# 1-④： 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発 2017年度新規

## 目的

燃料デブリ取り出し方法の確定等に資することを目的として、原子炉格納容器(PCV)内の燃料デブリの分布、ペDESTAL内外の状況を従来よりも広範囲に精度良く調査するために、装置やより高度な調査技術の開発を行い、実証する。

## 実施内容

○燃料デブリ取り出し方法の確定等に向けて、PCV内のペDESTAL内外の燃料デブリの分布・形態、PCV内の構造物等の状況を、従来より精度高く把握するために、調査のためのアクセス・調査装置の規模を大型化し、視覚や計測に関する調査技術適用を高度化して、実プラントでの現場調査(現地実証)に向けた開発を行う。

### 1. 調査計画・開発計画の策定

燃料デブリ取り出し方法の確定等に資するために、「原子炉格納容器内部調査技術の開発」で、2016年度立案した調査・開発計画や、最新の現場調査情報を踏まえ、調査のために必要となるPCV内へのアクセスのための準備を行うとともに、調査・開発計画については継続的な策定、見直しを行い、必要に応じて更新を行う。

### 2. アクセス・調査装置、及び要素技術の開発

「原子炉格納容器内部調査技術の開発」で実施した開発の成果を踏まえ、燃料デブリ取り出しの方法確定や、燃料デブリ取り出しに資するために、燃料デブリ分布の全体プロファイルや、取り出し時の安全性確認のための構造物の状況把握等の調査を実現するための技術開発を行う。

開発に当たり、実現性を確認するための要素試験や、現場実証に向けた工場内検証試験を含め実施する。

#### (1) アクセス・調査装置の開発

実機適用に向けたアクセス装置/調査装置を開発する。以下について、必要なシステムを含め開発する。

- ・X-6ベネからPCV内部に入り、ペDESTAL内外の底部や構造物にアクセス、調査する装置の詳細設計
- ・現場状況を踏まえた実現性評価により、X-6ベネ以外に大型の装置を入れる開口を選定する必要がある場合、選定する開口からPCV内部に入り、ペDESTAL内外の底部や構造物にアクセス、調査する装置の詳細設計

適用環境(気中/水中等)やアクセス方式の異なる複数の装置について検討し、絞り込みを行った上で、製作する。

アクセス・調査装置は(2)項で開発する要素技術を搭載して調査が行えるよう開発する。

(2. 項続き)

#### (2) 要素技術の適用性検証

(1)項で開発する装置に搭載し得る以下の要素技術に関し、適用性の検証を行う。

・燃料デブリのプロファイルや構造物状況の形状寸法情報を把握するための高度視覚技術

(PCV内の霧、雨、線量や水中環境への対応を考慮する)

・燃料デブリを判定するための計測技術

(PCV内高線量下での線量由来同定を考慮する)

・ペDESTAL浸食やPCVシェル破損状況把握のための技術

・燃料デブリ形態(粒状か塊状か)を把握するための技術

(注記)

2. 項においては、高線量でかつ、アクセスが困難な現場状況に、遠隔で対応可能な技術を開発する。また、PCV内部からの放射性物質拡散を確実に防止できるよう注意する。1. 項PCV内へのアクセスのための準備においても同様。

(備考)

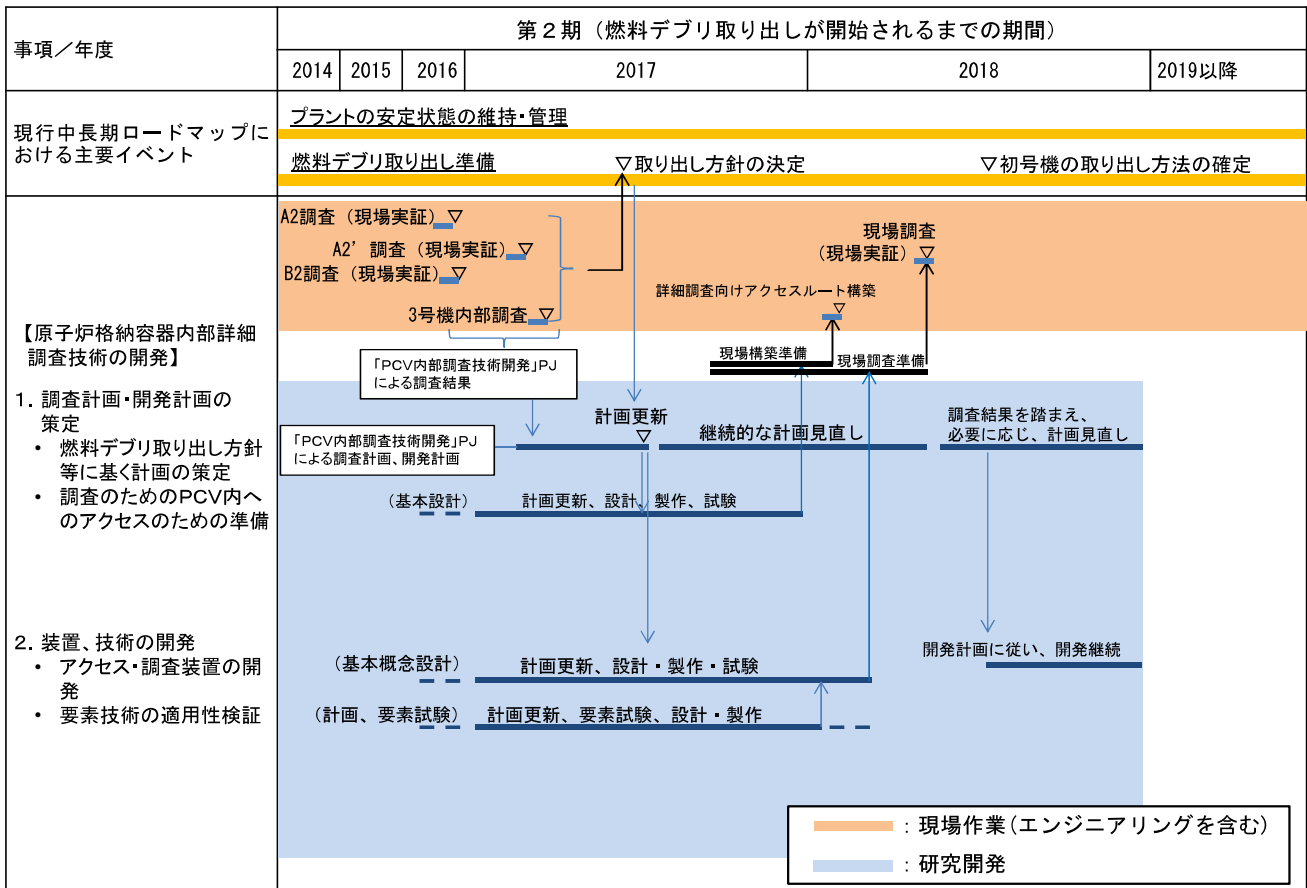
現場調査(現場実証)やPCV内へのアクセス準備に関しては、別途、開発成果の現場実現性を踏まえた評価と計画策定を行う。

### 目標達成を判断する主な指標の設定 (2017年度/2018年度)

・2017年夏迄に得られる各号機のPCV内部調査結果や、燃料デブリ取り出し方針を踏まえた調査計画、開発計画の更新(2017年度)

・アクセス装置/調査装置、調査技術について、実機環境を考慮した工場内試験による検証。(2018年度)

## (目標工程) 1-④： 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発



# 1-⑤: 原子炉圧力容器内部調査技術の開発

## 目的

燃料デブリ取り出し方法の確定に資するため、原子炉圧力容器(RPV)内部の燃料デブリ等の状況を把握するための調査技術を開発する。

## 実施内容

○現場調査のために、RPV内の燃料デブリの分布や線量等の環境条件を確認するための遠隔操作による調査装置・システムを開発する。

### 1. 調査計画・開発計画の策定

- 2016年度までに策定した開発方針、計画および実施した要素試験の結果を基にして、調査のための技術開発を進め、RPV内部調査を実施する開発計画を更新する。
- 2016年度中に新たに抽出した側面穴開けによる調査工法について、現場状況を踏まえた実機適用可能性を判断する。
- なお、開発の途中段階で、実現性を判断する時期を設定し、必要に応じて以降の開発計画を更新して進める。燃料デブリ取り出し方法の確定のための調査ニーズ、及び、燃料デブリ取り出し時における安全確保のための調査ニーズとの対応を明らかにして計画を立案、更新する。

### 2. 炉心にアクセスする装置の開発

#### (1) 上部からアクセスする装置の開発

- RPVヘッド迄の穴開け装置、放射性物質飛散防止の機能維持のための装置、上部格子板までの穴開け装置などの炉心部までのアクセス装置について、2016年度の調査、要素試験の結果を踏まえ、現場での施工に向け、課題解決のための技術開発を行い、概念設計をまとめる。
- また、装置に関する部分モックアップにより、現場での遠隔施工性を確認する。

#### (2) 側面からアクセスする装置の開発

- 2016年度の適用性検討の成果を踏まえ、作業セルに関する開発、汚染拡大防止システムに関する開発等、現場での施工に向けた技術開発を行い、概念設計をまとめる。
- 概念設計について、期中に中間評価判断を行い、その結果を踏まえ、基本設計/詳細設計を行う。
- 現場での遠隔施工性に関する検討を踏まえ、必要な場合は、開発計画に反映の上、部分モックアップにより確認する。

### 3. 炉心部までの調査方式の開発、選定

- RPV内部、炉心までの調査装置について、炉心領域の燃料デブリ、切り株燃料の有無判断をするための調査装置の仕様をまとめ、調査方式の選定や装置の概念設計を実施する。
- また、適用する視覚・計測に関する装置に関し、燃料デブリ炉内構造物の取り出し技術の開発(視覚・計測技術)の成果等を活用し、要素試作、試験を行い、炉心領域の調査可能性を確認する。

### 4. 調査装置全体システムの設計と工法計画

- 上部穴開け調査で、原子炉建屋オペレーティングフロアへの装置設置から、現場調査、調査後の処置まで、一連の作業ステップを策定する。
- 側面穴開け調査で、原子炉建屋側面から炉心部へアクセスするための装置設置から、現場調査、調査後の処理まで、一連の作業ステップを策定する。
- 両調査工法に関し、安全確保の考え方を整理して計画に反映する。

(備考)

現場調査(現地実証)は、別途、開発成果に関する現場実現性評価を踏まえた準備を行う。

### 目標達成を判断する主な指標の設定(2017年度)

- 上部穴開け調査に関する工法手順図、レイアウト。(2017年度)
- 側面穴開け調査に関する工法手順図、レイアウト。(2017年度)
- 両工法について装置に関する要素試験結果を踏まえた設計完了。(2017年度)

## (目標工程) 1-⑤: 原子炉圧力容器内部調査技術の開発

事項/年度	第2期 (燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間)					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019以降
現行中長期ロードマップにおける主要イベント	プラントの安定状態の維持・管理					
	燃料デブリ取り出し準備			▽取り出し方針の決定		▽初号機の取り出し方法の確定
【原子炉圧力容器内部調査技術の開発】	<div style="text-align: right;"> <b>現場調査▽</b>                      現場実現性評価、現場検討、現場調査準備 ↑                      実機向装置製作(準備等含む)・モックアップ試験                 </div>					
1. 調査計画・開発計画の策定	側面穴開け調査工法の開発計画確認 ▽		両調査工法の実現性確認 ▽		現場適用計画 ▽	
2. 炉心にアクセスする装置の開発	上部穴開け調査工法 概念設計      基本設計      詳細設計 要素試験、部分モックアップ確認					
(1) 上部からアクセスする装置の開発						
(2) 側面からアクセスする装置の開発	側面穴開け調査工法 適用性検討      概念設計      基本設計/詳細設計 要素試験					
3. 炉心部までの調査方式の開発、選定	概念設計      基本設計      詳細設計 要素試験					
4. 調査装置全体システムの設計と工法計画	システム全体設計、工法計画、安全確保検討					
	<div style="text-align: right;"> <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #f4a460; border: 1px solid black;"></span> : 現場作業(エンジニアリングを含む)  <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #a4c6ff; border: 1px solid black;"></span> : 研究開発                 </div>					



## 2-①：燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化(1/2) 2017年度新規

### 目的

燃料デブリや炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化に向けた技術のうち、安全確保に係る概念検討の成果より抽出された課題の解決に必要な技術を開発し、必要に応じて要素試験を実施する。

### 実施内容

- 安全確保に係る概念検討の成果より抽出された閉じ込め機能の確保、ダストの補修除去、 $\alpha$ 核種のモニタリング等の解決に必要な技術を開発し、必要に応じて要素試験を実施する。
- 技術開発の成果を反映し、工法・システムの安全確保に関する最適化検討を行う。

#### 1. 閉じ込め機能に関する技術開発

燃料デブリ取り出し作業で発生する $\alpha$ 核種を含むダストの閉じ込めは、公衆、作業員被ばく低減の観点から、実現すべき重要な課題である。

排気による負圧管理が一般的であるが、バウンダリである建屋／原子炉格納容器（PCV）等の損傷を考慮すると、閉じ込め機能を確保するためには、新たな手法の開発が必要である。

そこで、建屋／PCV等が損傷した状態での建屋等の気密性の向上のための手法及び各バウンダリ内全体を負圧に維持するために、損傷している建屋／PCVに適用可能な、ダストの閉じ込めに有効な差圧管理の手法を開発する。

また、ダストの拡散抑制対策等を組合せた被ばく低減のシナリオ構築や技術開発を行う。得られた成果については、工法・システムの検討へ反映する。

- (1) 閉じ込め機能の確保のための技術開発
  - ・ダスト閉じ込めに有効な差圧管理に関する要素試験
  - ・各バウンダリ内の負圧・気流分布等の解析
  - ・気密性向上に関する技術開発
- (2) 被ばく低減に関する技術開発
  - ・閉じ込め機能を補完する手法の開発（燃料デブリ取り出しで発生するダストの拡散抑制対策等）
  - ・被ばく低減のためのシナリオ構築及び評価

#### 2. 燃料デブリ由来のダストの捕集・除去に関する技術開発

燃料デブリ取り出し作業により気相・液相中に移行するダスト（ $\alpha$ 核種含む）は安全確保の観点から、捕集・除去することが必要である。

そこで、安全確保及び廃棄物低減を考慮した効率的な捕集・除去について概念検討・技術開発を行うと共に、必要となる燃料デブリ由来のダストに関する性状データ及び評価の際の条件の検討を行う。得られた成果については、工法・システムの検討へ反映する。

- (1) 気相系の放射性物質の低減、除去対策の技術開発
  - i.  $\alpha$ 核種を含むダスト回収方法の検討および技術開発
  - ii. フィルタ等2次廃棄物低減策の検討および技術開発
- (2) 液相系の放射性物質の低減、除去対策の技術開発
  - i.  $\alpha$ 核種を含む放射性物質（溶解性・非溶解性）の除去対策検討および技術開発

#### [注記]

- 2項での検討の結果、必要となるデータ取得は、他PJ（基盤技術開発、燃料デブリ性状把握等）において実施する。
- $\alpha$ 核種： $\alpha$ 線を放出する放射性核種の総称名を指す。アクチニド元素の内、UやPuなどが燃料デブリ取り出しの観点からは重要

## 2-①：燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化(2/2)

#### 3. 燃料デブリ取り出しに伴う $\alpha$ 核種モニタリングシステムの検討

被ばく評価の結果、燃料デブリ取り出し作業による影響として、 $\alpha$ 核種による被ばくが懸念される。そのため、気相中、液相中に燃料デブリ取り出し時に発生する $\alpha$ 核種の監視の必要性という課題が抽出された。そこで、 $\alpha$ 核種モニタリングシステムについて概念検討を行い、開発計画を策定する。得られた成果については、工法・システムの検討へ反映する。

- (1) 気相中の $\alpha$ 核種の検出技術及びシステム概念検討と開発計画の立案
  - i. 既存検出技術の燃料デブリ取り出し時への適用性検討
  - ii. 燃料デブリ取り出し時の $\alpha$ 核種モニタリングシステム概念検討
  - iii. 開発計画の策定
- (2) 液相中の $\alpha$ 核種の検出技術及びシステム概念検討と開発計画の立案
  - i. 既存検出技術の燃料デブリ取り出し時への適用性検討
  - ii. 燃料デブリ取り出し時の $\alpha$ 核種モニタリングシステム概念検討
  - iii. 開発計画の策定

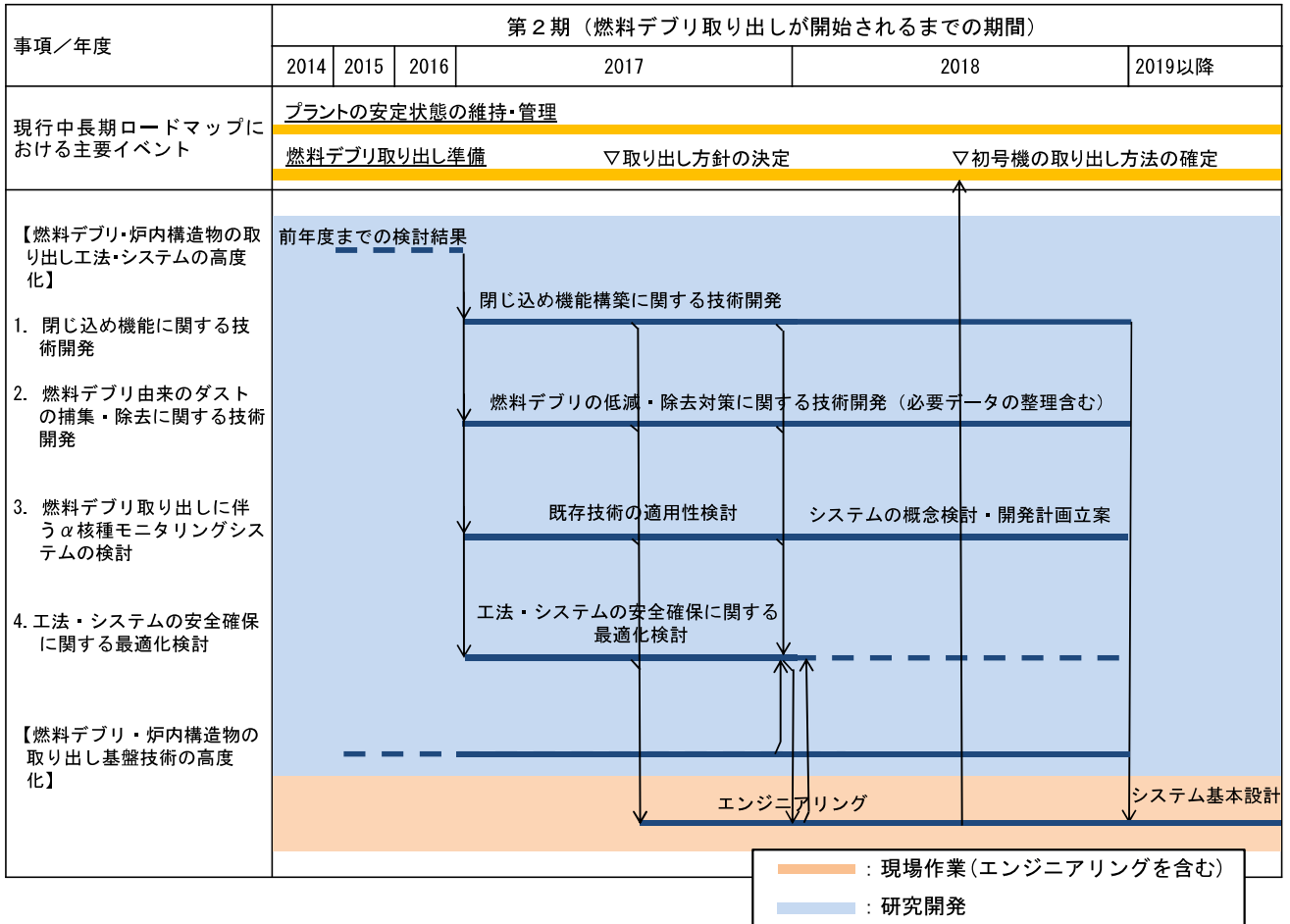
#### 4. 工法・システムの安全確保に関する最適化検討

1～3項の技術開発で得られた成果について、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの検討に反映し、安全確保に関する最適化検討を行う。

#### 目標達成を判断する主な指標の設定（2017年度/2018年度）

- ・閉じ込め機能に関する技術開発成果の提示（2018年度）
- ・被ばく低減シナリオの構築結果の提示（2018年度）
- ・燃料デブリ由来のダストの捕集・除去方式の提案（2018年度）
- ・ $\alpha$ 核種モニタリングシステム概念及び開発計画の策定（2018年度）
- ・工法・システムの安全確保に関する最適化検討結果の提示（2017年度）

(目標工程)2-①:燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化





## 2-②：燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化(1/2) 2017年度新規

### 目的

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法、装置等について、これまでに得られた成果に基づき、必要となる要素技術開発及び試験を実施する。

### 実施内容

○燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法のこれまでの検討結果等を踏まえ、必要となる要素技術開発を実施し、機器・装置の成  
立性評価を行う。

○燃料デブリ・炉内構造物の取り出し装置に関する遠隔保守技術の開発を実施し、実現性評価を行う。

#### 1. 燃料デブリ・炉内構造物取り出しの共通基盤技術開発

これまでの検討結果に基づき、必要と考えられる以下の要素技術開発を実施する。

##### 1.1 燃料デブリ拡散防止に関わる技術開発

燃料デブリ取り出し作業時のダスト等の拡散防止を目的とし、燃料デブリの状態に応じた効率的な回収技術や、取り出し時に発生するダストの集塵技術の開発を実施する。

##### (1) 燃料デブリの回収システムの開発

原子炉格納容器（PCV）内に存在する燃料デブリの状態（ルースデブリ、汚泥状、微細（粉）デブリ、破碎／切削したデブリ等）に応じた効率的な回収方法及びシステムを開発する。

##### (2) 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

各切削方法（レーザー、ボーリング、破碎等）毎に切粉・ダストの発生量等のデータを取得し、燃料デブリの特性に合わせた効率的な集塵システムの開発を行う。

また、各システムにおいて、発生する切粉・ダストに対する集塵効率のデータを取得する。

(1. 項続き)

##### (3) 燃料デブリの拡散防止工法の開発

燃料デブリ取り出し作業時の燃料デブリの飛散防止、拡散防止技術の概念検討及び必要に応じて要素試験を実施する。

##### 1.2 取り出し装置設置のための要素技術開発

燃料デブリ取り出し時は現場が高線量のため、多くの作業を遠隔により行う必要があるため、デブリ取り出し時に想定される作業毎に必要な遠隔技術の開発を行う。

##### (1) 作業セル設置方法の開発

作業セル設置に関わる設置技術（設置、シール、溶接等）の開発及び必要に応じた要素試験を実施する。

##### (2) 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術開発

燃料デブリ取り出しのためには、各アクセス工法毎に課題となる干渉物が存在するが、基本的には遠隔装置での対応となることから、必要な解体、撤去、回収及び搬出を可能とする遠隔技術の開発、必要に応じて要素試験を実施する。その際に以下の点を考慮すること。

i. 上アクセス時での干渉物：PCV上部、原子炉圧力容器（RPV）内部構造物

ii. 横アクセス時での干渉物：ペDESTAL外機器

iii. 各アクセス共通での干渉物：ペDESTAL内機器

また、補修等が必要な場合はその検討も行う。

## 2-②：燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化(2/2)

(1. 項続き)

#### 1.3 燃料デブリ取り出し時の監視技術の開発

燃料デブリ取り出しを想定し、高線量下で適用できる視覚・計測技術の開発を行う。

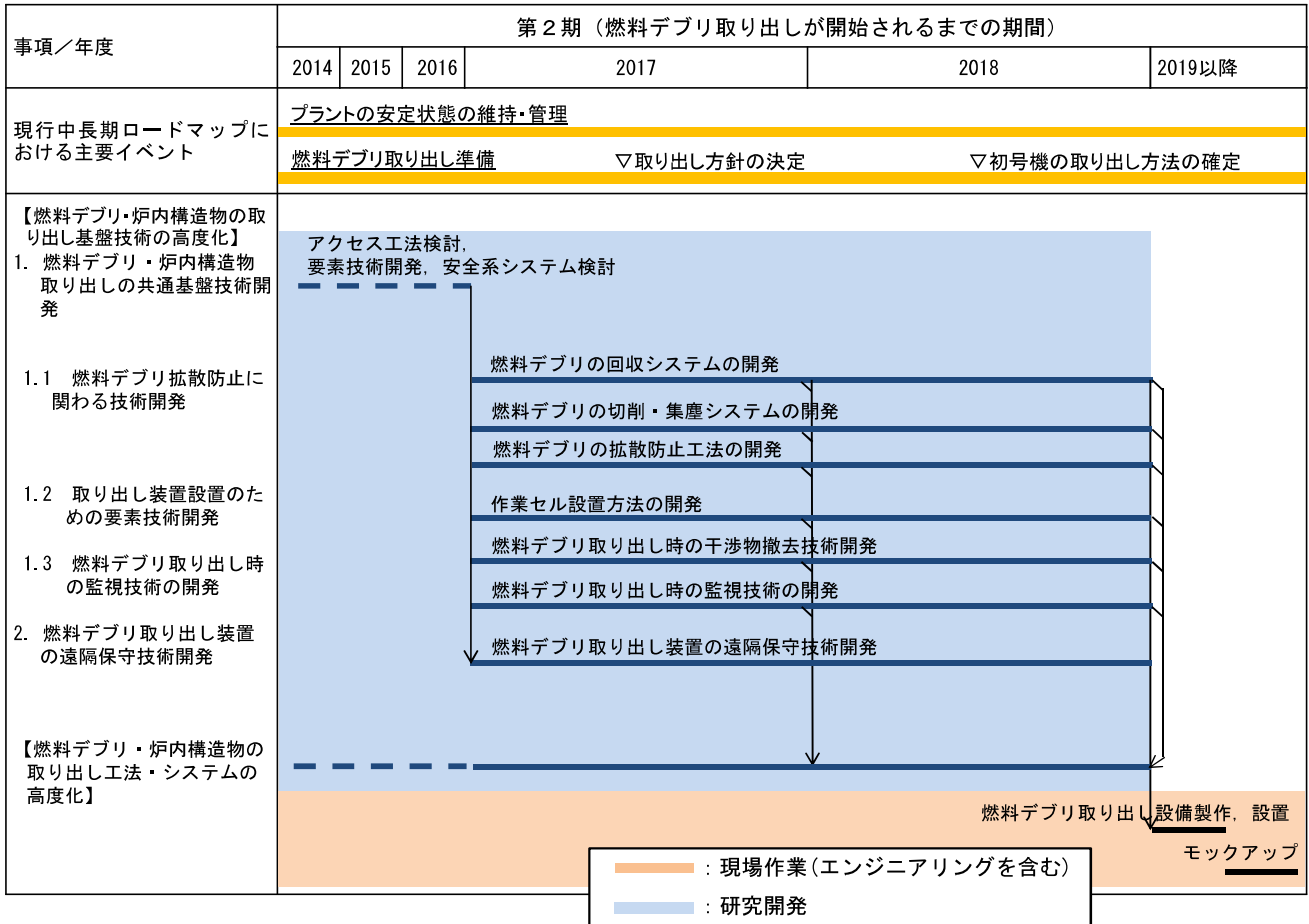
#### 2. 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術開発

燃料デブリ取り出しの際は、装置が高線量エリアに設置されることから、遠隔での保守が原則となる。また、装置自身の汚染にも配慮する必要がある。特に、具体的な燃料デブリ取り出し装置は様々な要素が組み合わさり、更に保守のためのエリアも限られる。また、保守のために発生する廃棄物も極力抑えることが必要となることから、遠隔かつ装置の状態に応じ、効率的かつ共通的な保守技術が必要となる。そのため、燃料デブリを取扱うことに配慮した機器・装置に関する保守方法の検討、実現性の評価及び課題の抽出並びに実機での対応方針について検討を行う。

#### 目標達成を判断する主な指標の設定 (2017年度/2018年度)

- ・燃料デブリ・炉内構造物取り出しの共通基盤技術の開発完了。(2018年度)
- ・燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術開発(2018年度)

(目標工程)2-②:燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化



## 2-③: 燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けたサンプリング技術の開発 2017年度新規

### 目的

燃料デブリ取り出し工事に関する臨界管理や装置設計、工事要領の合理化に資することを目的に、実燃料デブリのサンプリングのシナリオを策定し、サンプリング装置の検討及び開発を実施する。

### 実施内容

- 燃料デブリサンプリングの全体シナリオを策定する。
- これまでの成果を踏まえ、原子炉格納容器（PCV）内燃料デブリサンプリングの実機に向けたシステム及び装置の設計・試作を行う。
- 原子炉圧力容器（RPV）側面からのアクセスによる燃料デブリサンプリングシステムの概念構築を行う。
- 現地での燃料デブリサンプリングに向けた計画立案、必要に応じた要素試験計画を立案し、実施する。

#### 1. 燃料デブリの採取、サンプリングシナリオの検討及び策定

燃料デブリサンプリング全体のシナリオを策定し、これまでの成果を踏まえ、開発計画を更新する。

- (1) 実燃料デブリの調査・採取計画の立案とそれを踏まえた燃料デブリサンプリングの全体シナリオ策定を行う。なお、時期に応じたニーズを踏まえて策定する。
- (2) 上記計画を踏まえた燃料デブリサンプリングのために開発が必要な技術抽出と開発計画を(1)項のシナリオに合わせて策定する。
- (3) 現地状況を考慮し、サンプリング工事成立性の検討
- (4) 安全・システムの観点から(3)を考慮したシステム検討、全体シナリオの検討と策定

#### 2. PCV内燃料デブリサンプリングシステム及び装置の設計・試作

これまでの以下の項目に関する開発成果を踏まえ、実機に向けた詳細開発、試作を行う。1.項のシナリオ・計画を踏まえ、判断時期を適切に設け、判断を踏まえつつ進める。

- i. 燃料デブリサンプリングシステムの基本設計
  - ii. アクセス装置の設計・試作
  - iii. 燃料デブリサンプル回収装置の設計・試作
- (iv. 臨界モニタの設計・試作)：臨界管理PJと調整要。  
 (v. U、P、u計測装置の設計・試作)：2016年度の検討結果による。  
 (vi. 受入・払出セルの設計・試作)：2016年度の検討結果による。

#### 3. RPV内燃料デブリサンプリングシステムの概念検討

- (1) RPV側面からのアクセスによるRPV内燃料デブリサンプリング工法の概念検討を構築する。
- (2) 上方からのアクセスによる場合、側面からのアクセスによる場合、それぞれに対し成立性を確認するための要素試験の必要性を確認し、計画を立案し、実施する。
- (3) 現場状況、計画を踏まえ、号機に応じた燃料デブリサンプリングの計画を立案する。

#### [注記]

2項、3項の開発推進に当たっては、現地の最新情報や、他開発プロジェクト（「燃料デブリ取り出し技術の開発」、「PCV内調査技術の開発」、「RPV内部調査技術の開発」等）による開発進捗情報を踏まえ、適用できる開発技術は極力流用する。

#### 目標達成を判断する主な指標の設定 (2017年度/2018年度)

- ・燃料デブリサンプリングシナリオの立案(2017年度)
- ・PCV内燃料デブリサンプリングシステム及び装置の設計・試作(2018年度)
- ・RPV内燃料デブリサンプリング開発計画及び現地サンプリング計画の策定(2017年度)

### (目標工程) 2-③: 燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けたサンプリング技術の開発

事項/年度	第2期（燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間）					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019以降
現行中長期ロードマップにおける主要イベント	プラントの安定状態の維持・管理					
	燃料デブリ取り出し準備			▽取り出し方針の決定		▽初号機の取り出し方法の確定
【燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けたサンプリング技術の開発】	注)*1 PCV内部調査で開発する技術が適用できる場合は、利用する。					
1. 燃料デブリの採取、サンプリングシナリオの検討及び策定	シナリオ策定					
2. PCV内燃料デブリサンプリングシステム及び装置の設計・試作	システム設計					
i. 燃料デブリサンプリングシステムの基本設計	アクセス装置設計*1					
ii. アクセス装置の設計・試作	アクセス装置試作*1					
iii. 燃料デブリサンプル回収装置の設計・試作	小石状、砂状サンプル向け回収装置設計			装置試作		
	粉状、円柱状サンプル向け回収装置					
3. RPV内燃料デブリサンプリングシステムの概念検討	概念構築					
	要素試験					
	現場調査 (現場実証)					
	<span style="color: orange;">■</span> : 現場作業 (エンジニアリングを含む) <span style="color: blue;">■</span> : 研究開発					

## 2-④： 圧力容器／格納容器の耐震性・影響評価手法の開発

### 目的

燃料デブリ取り出し方針の決定や方法の確定に資するため、大規模地震時の原子炉圧力容器（RPV）/原子炉格納容器（PCV）内の重要機器の安全シナリオを構築し、その影響を防止・抑制する対策を評価する手法を開発する。

### 実施内容

- 大規模地震時におけるRPV/PCV内の重要機器の安全シナリオを構築し、機器が損傷した場合の波及的影響について評価する。安全シナリオ構築に必要な耐震性・影響評価手法を開発する。
- 実際に想定し得る地震荷重、拘束条件等を踏まえた評価手法の確認方策を検証する。

#### 1. 大規模地震時における安全シナリオの構築

・燃料デブリ取り出し作業に向けて、PCV内の水位、建屋内の重要機器の設置状況等に変化が生じる。取り出し状態（中間状態も含む）を見据え、大規模地震時における大型機器の影響評価を行い、万一当該機器が損傷した場合の波及的影響をイベントツリー解析等を用いて評価した。それを踏まえて2017年度は波及的影響に対する対策（防止策、緩和策）案を考察する。

#### 2. 安全シナリオ構築のための耐震性・影響評価手法の開発

・2016年度は裕度の小さいとされたペDESTAL部、圧力抑制室（S/C）脚部等に対する耐震性・影響評価手法を検討した。  
 ・過去に開発されたペDESTALの解析モデルを用い最新の温度状況や燃料デブリの拡がり状況を踏まえた耐力評価を2016年度に実施した。2017年度はその結果を用いて、RPV、原子炉遮へい壁（RSW）等を一体としたモデルを用いた地震応答解析によりペDESTALで実際に想定し得る地震荷重を評価する。

（2. 項続き）

・また、S/C脚部の地震応答を実際に想定し得る地震荷重で評価するための地震応答解析を行う。

#### 3. 安全シナリオの高度化

・上記2. において開発した評価手法の高度化を図るために、実際に想定し得る地震荷重、拘束条件を踏まえた解析や試験等の確認方策を検証する。

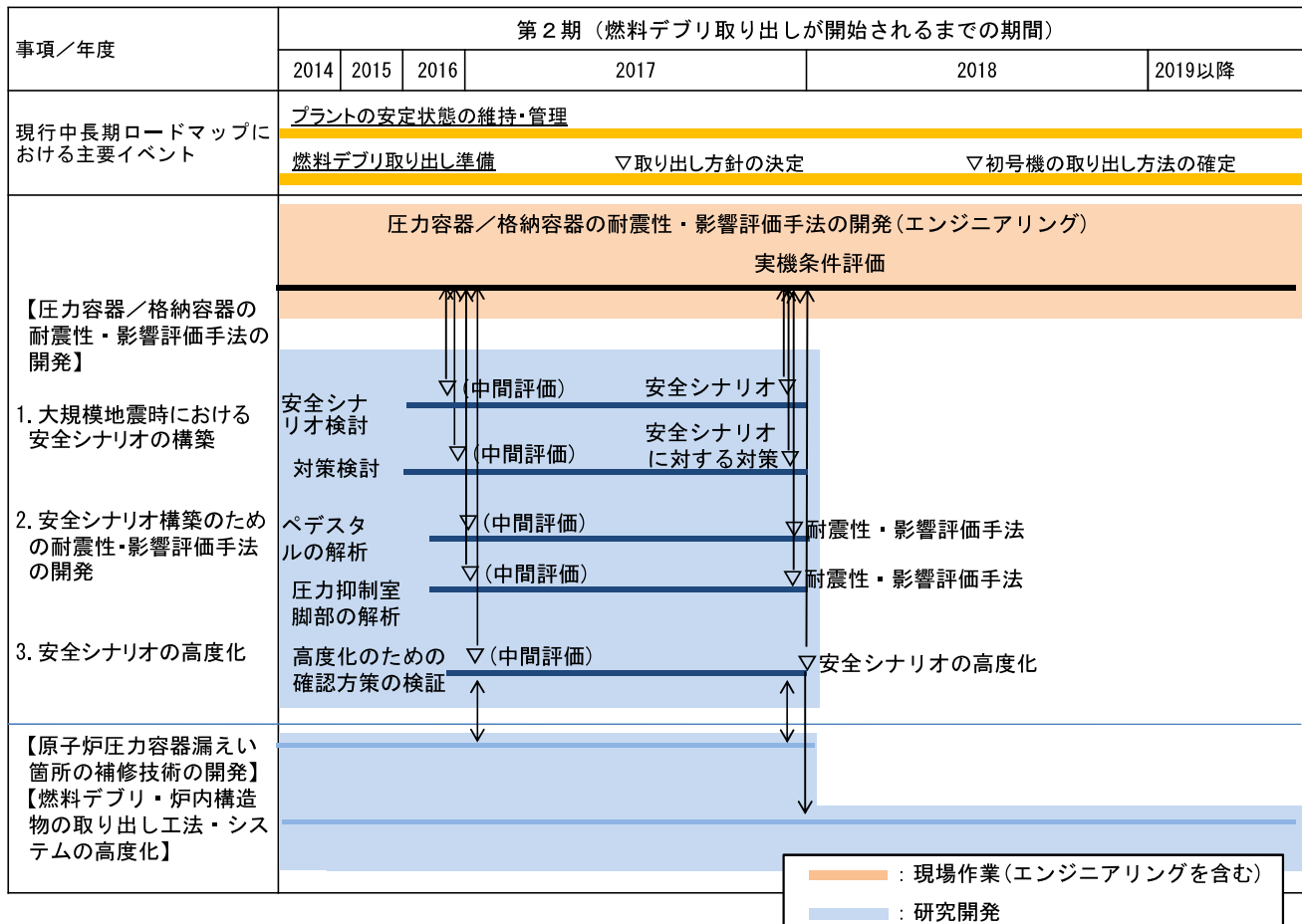
（備考1）これらの結果に基づき、必要に応じて詳細解析や試験を実施し、安全シナリオを見直す。

（備考2）号機別工法別に冷却・閉じ込め等への波及的影響への防止・抑制に関する評価を行う。

#### 目標達成を判断する主な指標の設定（2017年度）

- ・大規模地震時におけるRPV/PCV内の重要機器の安全シナリオと対策案。（2016年度は中間評価、最終は2017年度）
- ・安全シナリオ構築のための耐震性・影響評価手法と安全シナリオの高度化。（2017年度）

（目標工程）2-④： 圧力容器／格納容器の耐震性・影響評価手法の開発



## 2-⑤: 燃料デブリ臨界管理技術の開発

### 目的

燃料デブリ取り出し方法の確定に資するため、臨界評価手法を確立するとともに臨界近接監視手法、臨界検知技術、中性子吸収材による臨界防止技術など臨界管理技術を開発する。

### 実施内容

○燃料デブリ取り出し方法の確定や実機作業に向けて臨界評価手法の開発を継続するとともに、要素技術について実機運用方法を提示するための試験を行う。

#### 1. 臨界評価手法の確立

- ・ 臨界管理方法の詳細検討を実施する。燃料デブリ・炉内構造物の取り出し安全系システムの開発の一環としての臨界管理システムの検討と連携しつつ実施する。
- ・ 各号機における作業開始前の状態を含む燃料デブリ堆積位置毎の臨界シナリオ、臨界の可能性評価及び臨界到達時の挙動評価について、炉内状況の総合的な分析・評価の結果などの最新知見を反映して見直しを行う。また、臨界可能性評価を定量化した形で提示できるよう、統計的な評価手法の活用方法を検討する。

#### 2. 臨界管理技術の開発

##### (1) 臨界近接監視手法

- ・ 臨界の発生を未然に防止するため、炉雑音法・中性子源増倍法等を組み合わせた臨界近接検知方法を提示する。
- ・ 2016年度までに実施した実機適用性を判断するための試験結果等に基づき、実機での運用方法を検討する。
- ・ 臨界近接監視手法の信頼性向上のための詳細な成立性確認試験の計画立案・準備を行う。

##### (2) 再臨界検知技術

- ・ 2016年度までに実施したガスサンプリング系システムによる実機試験結果及び中性子検出器の調査結果等に基づき、実機での臨界検知方法を検討する。

(2. 項続き)

- ・ 工法確定までの期間において、燃料デブリ付近の高線量環境下での再臨界を検知するための検出器・手法の調査を継続する。

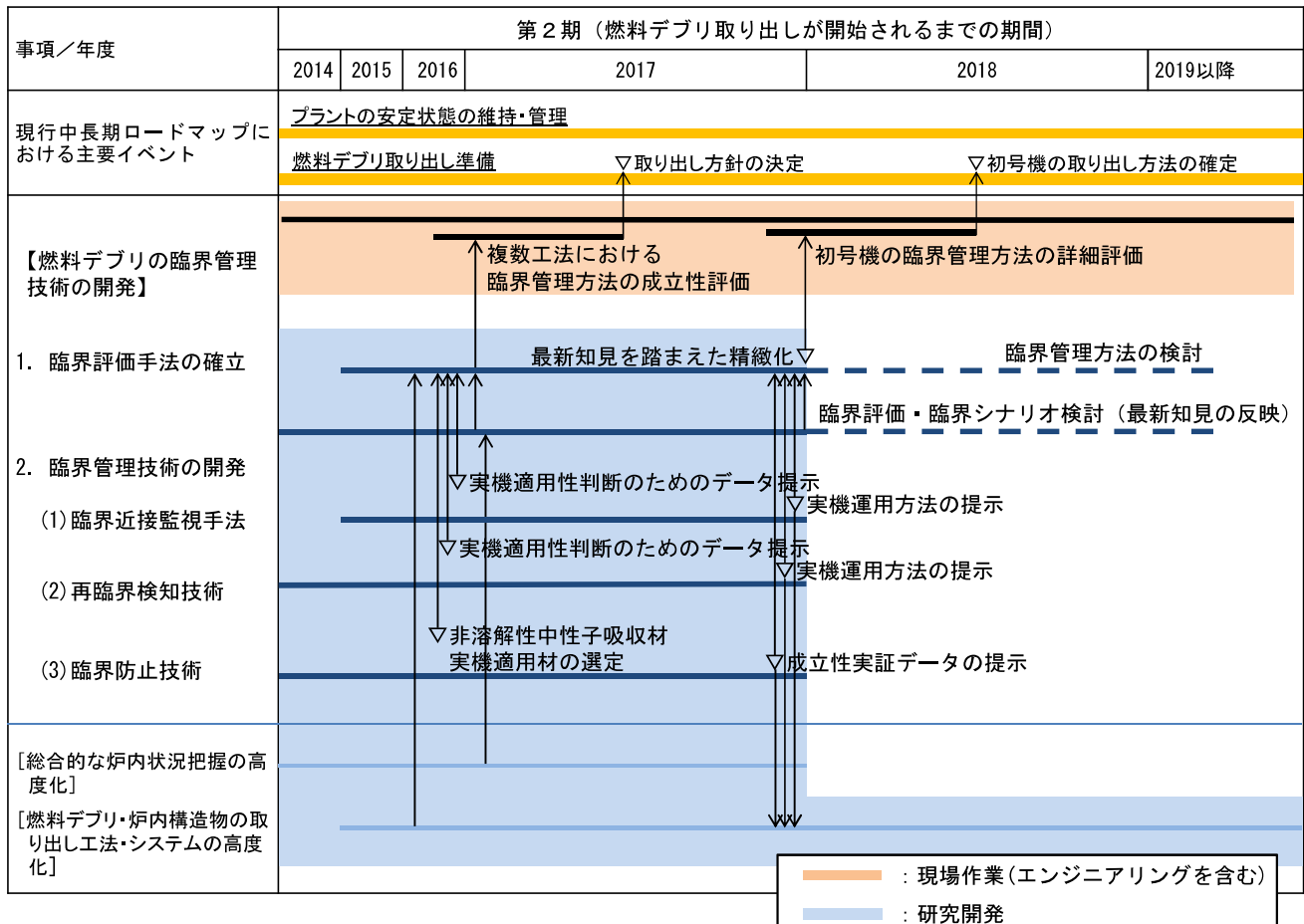
##### (3) 臨界防止技術

- ・ 燃料デブリ取り出し時の臨界を防止するため、中性子吸収材を用いた作業方法を検討する。
- ・ 溶解性中性子吸収材の実機での運用方法を検討するために、多様条件での成立性確認試験を行うとともに設備検討に必要なデータを提示する。
- ・ 2016年度までに選定された非溶解性中性子吸収材候補について、適用性の判断基準を検討するとともに、構造物や燃料デブリ収納缶へ及ぼす影響を確認するための試験を実施する。

### 目標達成を判断する主な指標の設定 (2017年度)

- ・ 炉内状況の総合的な分析・評価結果を踏まえた臨界評価結果の提示 (2017年度)
- ・ 実機における臨界近接監視手法・再臨界検知技術・臨界防止技術の運用方法および実機適用の判断基準の明確化 (2017年度)

(目標工程)2-⑤: 燃料デブリの臨界管理技術の開発





## 2-⑥： 原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発

### 目的

燃料デブリ取り出し方針の決定や方法の確定に資するため、放射性物質の飛散・拡散防止、放射線の遮へい、冷却維持等の観点から原子炉格納容器（PCV）内で閉じ込め機能を構築し、その状態を安定的に維持するための漏えい箇所の補修技術を開発し、実機適用性を見極める。

### 実施内容

○PCV水張りまでのプロセス検討、計画策定を行う。

○2015年度までに進めてきた各補修・止水技術の成立性確認を踏まえ、実機適用性を判断するために実機適用時の安全性、高水圧下での耐震性も含む長期止水性、現場条件を踏まえた施工信頼性（モニタリングを含む）、再補修可能性等の確認を進める。

#### 1. PCV水張りまでのプロセス検討及び計画の策定

- ・システムも含めたバウンダリ構築のための止水すべき箇所、その各止水箇所に対する想定漏えい要因、止水補修方法及び漏えい判定値並びに漏えい量の評価結果を一覧に整理し、実現性の高いPCV水位等を評価した。冠水・止水の利点である遮へいや放射性物質（デブリ粉等を含む）の閉じ込め効果を勘案し、各止水工法が有効であることを評価することにより、燃料デブリ取り出し方法の検討に資する。
- ・燃料デブリ取り出し方法の検討に資するため、循環冷却系の実機適用性の判断に必要となるPCVの水位制御や異常時にも対応するシステムやプロセス等を検討し、提示した。（2016年度）

#### 2. PCV下部補修技術の開発

- ①実機適用に向け、遠隔装置のモックアップ、閉止材等の改良、高水圧下での耐震性も含めた長期止水性、実機（現場）条件を踏まえた施工信頼性（モニタリング、ガイドパイプ等を含む）、漏えい検知方法、再補修性等の確認のための試験計画及び試験を以下の3項目に対し実施する。
  - a) 圧力抑制室（S/C）脚部の補強技術
  - b) ベント管内埋設による止水技術
  - c) S/C内充填による止水技術
- ②真空破壊ライン埋設による止水技術
  - ・ガイドパイプ及び止水プラグの改良、漏えい時の補修方法の調査、実機適用に向けた装置の設計を行う。

(2. 項続き)

#### ③接続配管のバウンダリ構築技術

- ・実機適用に向け、止水材、遠隔装置の開発を行う。

#### ④トール室壁面配管貫通部の止水技術の開発

- ・環境状況を踏まえた実機適用に向け、施工方法、遠隔等による止水材供給装置等の概念設計を行う。

#### 3. PCV上部他補修技術の開発

##### ①シール部の止水技術（機器ハッチ）

- ・溶接や吹き付けによる止水工法、止水前処理方法等、実機適用に向けた装置の開発を行う。

##### ②配管ペローズ補修技術

- ・止水とインリーク緩和の両方を目的に実機適用に向け、止水材供給装置の開発を行う。

##### ③D/Wシェルの補修技術

- ・止水材の供給装置と充填装置の検討と要素試験を行う。

#### 4. 補修工法の実機適用に向けた環境改善の概念検討

- ・重要な補修対象箇所の適用工法に応じた環境改善方法の検討を実施し、遮へいや放射性物質の閉じ込め効果に対する有効性など、実機への適用性を評価する。

### 目標達成を判断する主な指標の設定（2017年度）

- ・PCV下部補修技術の実機適用性判断。（2017年度夏頃）
- ・PCV上部補修技術の実機適用性判断。（2017年度）

（目標工程）2-⑥： 原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発

事項/年度	第2期（燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間）						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019以降	
現行中長期ロードマップにおける主要イベント	プラントの安定状態の維持・管理						
	燃料デブリ取り出し準備			▽取り出し方針の決定		▽初号機の取り出し方法の確定	
【原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発】 1. PCV水張りまでのプロセス検討及び計画の策定 2. PCV下部補修技術の開発 ①長期止水性他試験 a) S/C脚部の補強 b) ベント管内埋設 c) S/C内充填埋設 ②真空破壊ライン埋設 ③接続配管のバウンダリ構築 ④トール室壁面配管貫通部 3. PCV上部他補修技術の開発 ①シール部 ②配管ペローズ ③D/Wシェルの補修 4. 補修工法の実機適用に向けた環境改善の概念検討 ・各補修対象箇所の適用工法に応じた環境改善方法等	実機適用性判断▽ (概念検討完了)→燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・安全系システムの開発と連携して進める。						
	成立性確認▽			▽(中間評価)	▽実機適用性判断	補修方法の検討	
	成立性確認▽			▽(中間評価)	▽実機適用性判断	装置改良、組合試験	
	成立性確認▽			▽(中間評価)	▽実機適用性判断	装置改良、組合試験	
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	成立性確認▽			▽(中間評価)	実機適用性判断▽		
	【原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の実規模試験】 【燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化】	成立性確認▽			実機適用性判断▽		

■ : 現場作業(エンジニアリングを含む)  
■ : 研究開発



## 2-⑦: 原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の実規模試験

### 目的

燃料デブリ取り出し方針の検討、方法の確定に資するためや原子炉格納容器（PCV）漏えい箇所の補修技術開発PJで開発するPCV下部補修技術を確認するための実規模試験を行う。

### 実施内容

○PCVを一定量の水で満たすために、PCV漏えい箇所の補修技術開発プロジェクトで開発する技術の成果を活用して実規模試験を実施し、遠隔操作による施工性の確認も含め、その成立性を確認する。  
○実施を念頭とした手順書を作成し、その手順の妥当性と補修・止水性能の確認をする。

#### 1. PCV下部補修技術の実規模試験

(圧力抑制室（S/C）脚部補強、ベント管止水、S/C内充填止水（ダウンカマ止水））

- 2015年度までに製作した試験体を活用し、実施工を踏まえた作業手順（案）を作成し、実規模試験体を使用して手順の確認を行い、その手順の妥当性を検証する。
- 試験組合せ状態での補修・止水性能の確認並びに施工状態の確認・評価を実施する。
- S/C脚部補強の施工性確認試験を完了した。(2016年度)

#### 2. 試験後の補強材・止水材の健全性確認

- 試験体に打設した補強材・止水材をコアボーリング等により試料採取し、材料性能等の分析評価を行う。
- 補修材・止水材を解体・処分しながら観察を行い充填状況の評価を行う。
- 試験体の取扱いについては、今後の研究開発の状況を踏まえ、検討を行う。

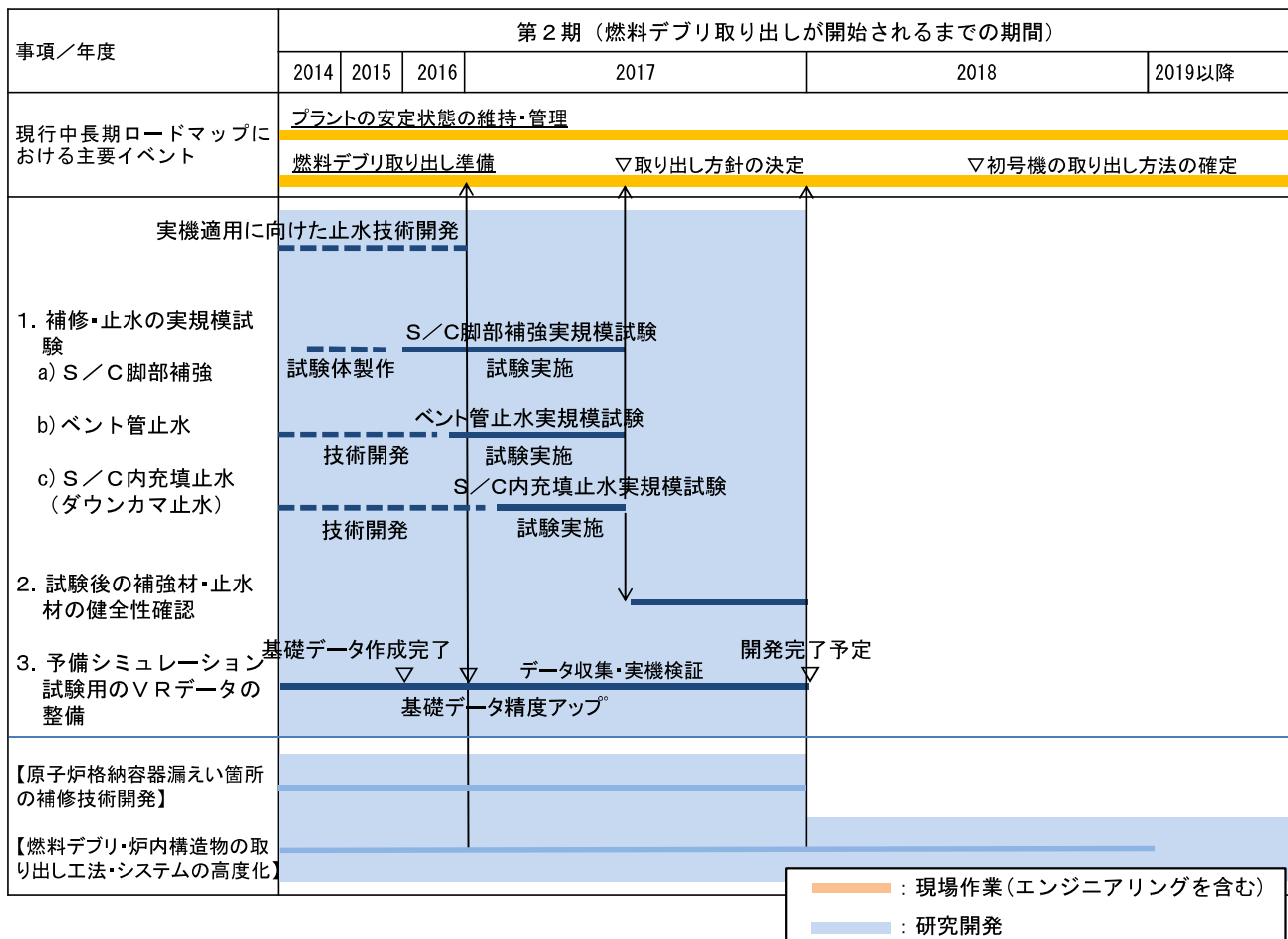
#### 3. 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

- 2015年度に作成したデータを実規模試験で使用する実機と対比しながら遠隔装置等のVRデータを精度アップさせる。
- 実施工での利用を想定した遠隔装置の実規模試験での実機操作とVRシステム動作での比較検証を行いながらVRシステムの効果的・効率的な使用方法を確立することを目指す。

### 目標達成を判断する主な指標の設定 (2017年度)

- 補修、止水の実規模試験完了。(2017年度)
- 試験後の補強材・止水材の健全性確認完了。(2017年度)
- 施工手順の作成と妥当性の検証完了。(2017年度)

(目標工程)2-⑦: 原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の実規模試験



## 2-⑧： 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発

### 目的

燃料デブリ取り出し方針の決定を含め、燃料デブリ取り出しに係るシナリオ・選択肢の検討に資するため、取り出した燃料デブリを安全かつ確実に収納、移送、保管するためのシステムを開発する。

### 実施内容

○複数の取り出し工法に適した収納・移送・保管システムの概念を検討する。

○号機毎の燃料デブリ取り出しの工法確定や実施に向けて、安全に燃料デブリを収納・移送・保管できるシステムを構築するための技術開発を行う。

#### 1. 輸送・貯蔵に係る調査及び研究計画立案

・調査及び研究計画について、取り出し工法・システム高度化PJ、基盤技術高度化PJ等の進捗を踏まえて計画・更新する。

#### 2. 燃料デブリの保管システムの検討

・取り出した燃料デブリにつきプール貯蔵や乾式貯蔵システムの概念を構築する。この際、現場状況や性状把握・分析PJ、取り出し工法・システム高度化PJ、基盤技術高度化PJ等の燃料デブリ性状や形状、収納方法の検討結果を踏まえる。

#### 3. 安全評価手法の開発

・燃料デブリ収納缶の設計に必要となる臨界、構造、水素発生等の観点から安全性の検証を行うとともに、収納缶蓋構造健全性等の試験を実施する。

#### 4. 燃料デブリの収納技術の開発

・収納缶基本仕様について燃料デブリ性状に応じ夫々に最適の収納形式について仕様の見直しを行う。この際、取り出し工法・システム高度化PJ、基盤技術高度化PJ等の検討結果を踏まえる。  
・燃料デブリ取り出しモックアップ試験に向けた収納缶試作の最終確認を行う。

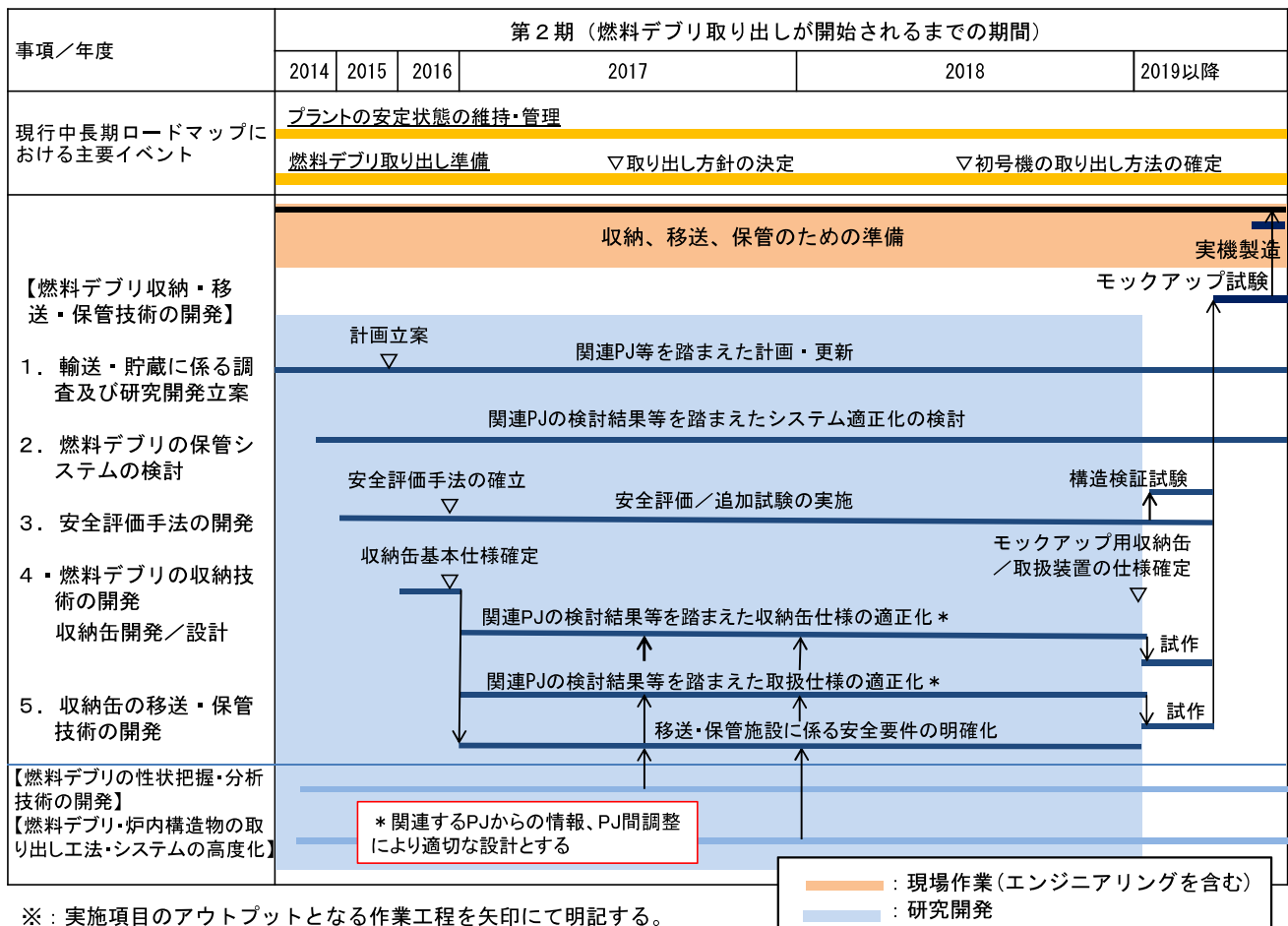
#### 5. 収納缶の移送・保管技術の開発

・関連する他PJと連携して移送・保管に係る安全要件を明確にする。  
・取扱装置基本仕様について取り出し工法・システム高度化PJ、基盤技術高度化PJ等の検討結果を踏まえて、蓋締め、吊り具等の取扱装置の仕様の見直しを行う。

#### 目標達成を判断する主な指標の設定 (2017年度/2018年度)

- ・関連PJの検討結果を踏まえたモックアップ用収納缶仕様及び取扱装置仕様の適正化。(2018年度)
- ・燃料デブリ移送・保管に係る安全要件の明確化(2018年度)

(目標工程)2-⑧：燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発



### 3: 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(1/2)

#### 目的

2021年度頃までを目処に、処理・処分方案とその安全性に関する技術的見通しを得ることを目標として、事故廃棄物の特徴を考慮し、固体廃棄物\*の性状把握を効率的に行うとともに、それらを踏まえた処理技術、処分概念及びその安全評価手法の提示に向けた調査・検討を行う。また、固体廃棄物の保管管理のリスク低減に必要な技術開発を実施する。

#### 実施内容(全体像)

- I. 性状把握の効率化を念頭に、分析データの取得・管理等を行うとともに、分析結果に基づき解析的評価手法の精度の向上を図る。また、分析データと、解析的評価手法から推定された解析値を総合的に評価して、放射能インベントリを設定し、更新する流れを構築する。さらに、廃棄物への混入が想定される処分影響物質等への対応を検討する。
- II. 処分前管理については、固体廃棄物の保管管理のリスク低減に必要な技術開発として、水処理二次廃棄物の安定化技術の開発を行う。また、燃料デブリ取り出しに際して発生する固体廃棄物の保管方法を検討する。
- III. 国内外の処分方案を調査し、それに基づき固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法を検討する。
- IV. 廃棄物ストリームに対し、I～IIIの研究で得られた成果を反映し、進捗、成果の整合性、及び残された課題を統合的に評価する。

#### 実施内容

##### I. 性状把握

##### 1. 分析データの取得・管理等

###### (1)汚染分布の把握

瓦礫等、水処理二次廃棄物、及び建屋に滞留する汚染水等について、分析計画に基づき試料を採取・分析して汚染状況を把握するとともに、核種組成に着目した放射性廃棄物の分類を検討する。

(1. 項続き)

##### (2)サンプリング技術の開発等

廃スラッジ等水処理二次廃棄物及び原子炉施設建屋内試料等の高線量試料の採取方法を検討する。

##### (3)分析方法の効率化

分析データの代表性を評価する方法を開発し、汚染メカニズムの把握を進め、分析対象核種の再選定を行い、それを対象として分析方法の効率化・合理化を図る。

##### (4)分析データの管理

性状把握で得られた廃棄物分析データ等を共有化できるように体系化したデータベースを構築する。また、廃棄物データとしての分析結果(水分析、瓦礫等)について2016年度までの成果に基づき、分析結果を追加し、廃棄物データを更新する。

#### 2. 解析的評価手法の精度向上

分析データの代表性を評価するとともに、汚染メカニズムの検討を進め、その成果を取り入れて解析的インベントリ評価の精度を向上する。

#### 3. 総合的なインベントリ評価の取りまとめ

実試料の分析データと、解析的評価手法から推定された解析値を総合的に評価して、放射能インベントリを設定し、更新する流れを構築する。

#### 4. 処分影響物質等への対応

国内外の実例調査等を踏まえ、処分前管理施設及び処分施設における、処分影響物質等の廃棄物受け入れ許容濃度及び廃棄物中の含有量に関わる考え方を整理する。

### 3: 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(2/2)

#### II. 処分前管理

##### 1. 固体廃棄物の特徴に適した固化技術の適用性評価

実績のある固化技術の調査結果に基づき、固体廃棄物への適用性を評価する。

##### 2. 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価

###### (1)高線量廃棄物の保管対策の検討

線量の高い固体廃棄物の保管時における水素発生評価手法、及び発生水素に関わるベント等の要件について、国内外の知見を調査し、検討・提示する。また、燃料デブリ取り出しに伴い発生する瓦礫類を対象に保管方法を検討する。

###### (2)水処理二次廃棄物の安定化技術

廃スラッジ等、水処理二次廃棄物の安定保管に必要な技術の適用性を評価する。

##### 3. 廃棄物量の低減に関する技術の検討

廃棄物量の低減に資するような、分別方法に適用するため、α汚染等の測定・評価方法について調査・検討する。

#### III. 固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法の検討

国内外の処分方案を詳細に調査・評価し、それに基づき固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法を検討する。

#### IV. 研究開発成果の統合

##### 廃棄物ストリームの検討

2016年度までに整理した廃棄物ストリームに対し、I～IIIの研究で得られた成果を反映し、進捗、成果の整合性、及び残された課題を統合的に評価する。

\*固体廃棄物:事故後に発生した水処理二次廃棄物及び瓦礫等には、敷地内での再利用等により廃棄物あるいは放射性廃棄物とされない可能性があるものもあるが、これら及び事故以前から福島第一原子力発電所に保管されていた放射性固体廃棄物を含めて、「固体廃棄物」という。

#### 目標達成を判断する主な指標の設定(2017年度/2018年度)

##### I. 性状把握

- 分析結果に基づき、核種組成に着目した放射性廃棄物の分類案を提示。(2018年度)
- 解析的評価手法からのインベントリの推定における分析データのばらつきを反映させる方法の提示(2018年度)
- 実試料の分析データと解析値を総合的に評価して、放射能インベントリを設定するとともに、更新する流れを提示。(2018年度)
- 国内外の実例調査等を踏まえ、処分影響物質等の廃棄物受け入れ濃度等に関わる考え方の整理結果の提示。(2018年度)

##### II. 処分前管理

- 水素発生評価方法及び発生水素に関わるベント等の要件の検討・提示(2018年度)
- 燃料デブリ取り出しに際して発生する固体廃棄物の保管方法の候補の提示。(2018年度)
- 廃スラッジの安定化技術に必要な一時保管施設からの抜き出し方法の成立性の提示(2018年度)

##### III. 固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法の検討

- 処分概念及び安全評価手法とその考え方に関する国内外調査結果の提示(2018年度)

##### IV. 研究開発成果の統合

- 廃棄物ストリームを基盤とし、統合的な進捗、整合性及び課題の評価方法を構築し、それに基づく評価結果を提示。(2018年度)

(目標工程)3: 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(1/2)

事項/年度	第2期 (燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間)					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019以降
現行中長期ロードマップにおける主要イベント	処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ△ 処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通し△					
	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <span style="background-color: #f4a460; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> : 現場作業(エンジニアリングを含む)  <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> : 研究開発         </div>					
<b>I. 性状把握</b>	瓦礫、ALPS、土壌、焼却灰、高線量試料採取準備、データの公開					
1. 分析データの取得・管理等	瓦礫、ALPS、土壌、焼却灰、原子炉建屋内試料、高線量試料採取、分析手法の効率化、データベース構築				試料採取・分析の進展への対応	
2. 解析的評価手法の精度向上	水処理二次廃棄物・瓦礫・伐採木・土壌に対する評価手法開発			分析結果のばらつきを反映した解析的インベントリ評価の精度の向上		↑ 評価手法の高度化
3. 総合的なインベントリ評価の取りまとめ	分析計画の立案、更新		分析データと放射能インベントリの推定値の総合的評価、インベントリの推定、更新する流れの構築			
4. 処分影響物質等への対応	処分前管理及び処分施設における暫定的受け入れ濃度等に係る考え方の整理					影響の解析評価の準備
<b>II. 処分前管理</b>	保管					
1. 固体廃棄物の特徴に適した固化工術の適用性評価	技術の調査、試験、カログ作成、候補技術の提示		適用性の調査・評価、性能試験、放射線及び熱の影響の基礎試験			性能試験、評価
2. 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価	セシウム吸着塔等の保管に関わる健全性評価、対策検討・提示		水素発生低減化策及び発生水素に係るベント等の要件の検討・提示、燃料デブリ取り出し時のガレキ等の廃棄物保管方法の検討			評価検討、現地の状況に応じた対策を検討
(1) 高線量廃棄物の保管対策の検討	ALPS前処理スラリーの安定化技術の検討・選定		廃スラッジ等への安定化技術の適用性評価、性能試験			
(2) 水処理二次廃棄物の安定化技術	廃棄物量の低減に資する汚染測定・評価方法の調査・検討					評価検討
3. 廃棄物量の低減に関する技術の検討						

(目標工程)3: 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(2/2)

事項/年度	第2期 (燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間)					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019以降
現行中長期ロードマップにおける主要イベント	処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ△ 処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通し△					
	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <span style="background-color: #f4a460; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> : 現場作業(エンジニアリングを含む)  <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> : 研究開発         </div>					
<b>III. 固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法の検討</b>	国内既往の処分概念、安全評価手法の検討		国内外の処分方策の調査		処分概念及び安全評価シナリオの検討	処分概念、安全評価モデル等の検討
<b>IV. 研究開発成果の統合</b>	原案作成、成果の反映、見直し		研究開発の統合的な進捗、整合性、課題評価			研究開発の進捗を踏まえた評価
廃棄物ストリームの検討						





## (1-①) 総合的な炉内状況把握の高度化 (平成29年2月末時点における進捗状況)

海外機関の協力を含め国内外の叢智を結集し、「現場調査等で得られた様々な情報」、「事故時および事故後の測定データ」、「実験により得られた知見」および「事故進展解析の結果」等を、総合的に分析・評価することで、原子炉圧力容器(RPV)内、格納容器(PCV)内に分布すると想定される燃料デブリや核分裂生成物(FP)等の状況を推定した。

### 実施内容及び成果

#### 1. 炉内状況の総合的な分析・評価

##### (1) 実機データおよび他プロジェクトの成果を踏まえた総合的な分析・評価

各号機の炉内・格納容器内の状態を推定するにあたり、原子炉圧力容器、格納容器、原子炉建屋の各所における様々な情報を網羅的に集約した情報集約図を作成した(図1)。これらの情報を総合的に分析・評価することで、燃料デブリ分布の推定図(図2)、FP分布の推定図、線量分布の推定図を作成した。

##### (2) 総合的な分析・評価に必要なデータベースの構築

1(1)の取り組みを効果的に進めるため、実機での計測データや、現場調査の結果等の情報を統合的に収集・整理したデータベースを構築した。また、総合的な分析・評価に資する計算評価機能として、解析コードにより算出されたFP質量を実測場所における線量率に換算する機能を整備した。

#### 2. 総合的な分析・評価に資する燃料デブリの挙動やFPの挙動及び特性の推定・評価

##### (1) 解析手法を活用した不確かさの低減

事故進展解析コードを用いて、炉内で生じたと推定される事象について境界条件や解析モデルを考慮した感度解析、逆解析等を行い、1(1)に記載した総合的な分析・評価に資する知見を得た。例として、模擬燃料集合体プラズマ加熱試験(図3)を実施し、BWR体系における炉心損傷・溶融・移動といった現象の不確かさを低減できる知見を取得した。

##### (2) FPの化学特性の評価

FPの化学特性の評価にあたっては、廃炉時の線量の寄与が大きいCsに着目し、標準的な化学種であるCsI、CsOHに加えて考慮すべき化学種の特定、あるいは構成材成分との反応に伴う難溶性Csの偏在の可能性など、Csの分布および化学的特性について検討を進めた。

また、現場で取得された試料を炉内状況把握の観点で分析する作業に着手した。(例：2号機オペレーティングフロアで採取した養生シート(図4))

##### (3) 国際共同研究を通じた国内外の知見の活用

国際共同研究(OECD/NEA BSAF Phase2)プロジェクトをホストとして運営し、多くの機関の結果を相互比較することで、事故進展シナリオの同定、解析評価の不確かさの範囲の把握などに役立て、その成果を1(1)に示す総合的な分析・評価に活用した。

またSAMPSON-MELCOR Crosswalkを実施し、燃料温度上昇、溶融進展等に関する両コードの共通点・相違点を把握できたことで、事故進展解析の理解に役立てられる知見が得られた。

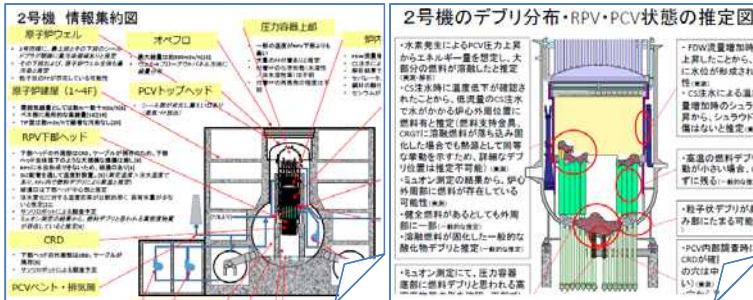


図1 情報集約図例 (一部を掲載)



図3 模擬燃料集合体プラズマ加熱試験 (予備試験の装置・加熱状況・試験体)

### 2号機のデブリ分布・RPV・PCV状態の推定図

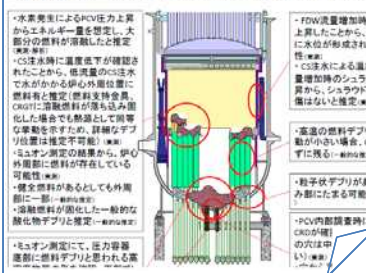


図2 燃料デブリ分布の推定図例 (一部を掲載)



図4 分析対象の養生シート

### 課題及び今後の方向性

平成28年度に引き続き、「現場で取得された情報をもとにした分析・評価」、「事故時/事故後のデータ、逆問題解析に基づく分析・評価」、「解析コードを活用した分析・評価」に加え、必要に応じ「解析コードの改良」もアプローチとして総合的な炉内状況把握を行う。1号機および2号機の格納容器内部調査など、今後計画されている調査で取得された情報を有効に活用して、総合的な炉内状況把握に繋げていく。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

## (1-②) 燃料デブリの性状把握 (平成29年2月末時点における進捗状況)

炉内状況の総合的な分析・評価、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し方法の確定、燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発に資するため、有効な模擬デブリを用いた試験を実施し、燃料デブリの性状を推定した。また、将来実際に取り出す燃料デブリの分析・測定に必要な技術開発を行った。

### 実施内容及び成果

#### (1) 炉内燃料デブリ性状の推定

平成27年度に作成した「燃料デブリ特性リスト」について、主にMCCI生成物に関して今年度得られた成果を反映、更新した。

#### (2) 模擬デブリを活用した特性評価

仏国CEAとの国際協力の体制の下、1F条件を考慮した大型MCCI試験を実施(図1)した。また試験体の解体では、コンクリートの浸食深さや生成物の状態を確認するなど、取り出し時の参考となる知見を得た。

さらに、収納・保管時の含水・乾燥挙動評価に係るデータとして、高温での劣化セメントの再水和性や微粉末の乾燥挙動に関するデータを得ると共に、燃料デブリの熱処理時の粉化挙動(図2)やアクチノイド元素の溶出挙動に関して既存の知見を整理した。これらを含めて収納缶に係る燃料デブリ性状データを収納・移送・保管プロジェクトへ提供した。

#### (3) 燃料デブリ等の分析要素技術の開発

廃炉作業に必要な燃料デブリ性状を把握するための分析ニーズを調査・整理した。また大熊分析研究センター等における導入も考慮して開発すべき分析要素技術を選定し、アルカリ融解法を用いた燃料デブリの溶解技術の開発、ICP-AESによる多元素同時元素分析における分光干渉の解決の技術開発、X線CTによる気孔率等の定量評価方法の開発及びICP-MSによる多核種合理化分析方法の開発を進め、各技術の実現可能性を確認しつつ技術課題を洗い出した。

さらに燃料デブリサンプルを輸送するための検討として、燃料デブリの輸送時の安全解析を行い、サンプル輸送の技術的見通しを得た。

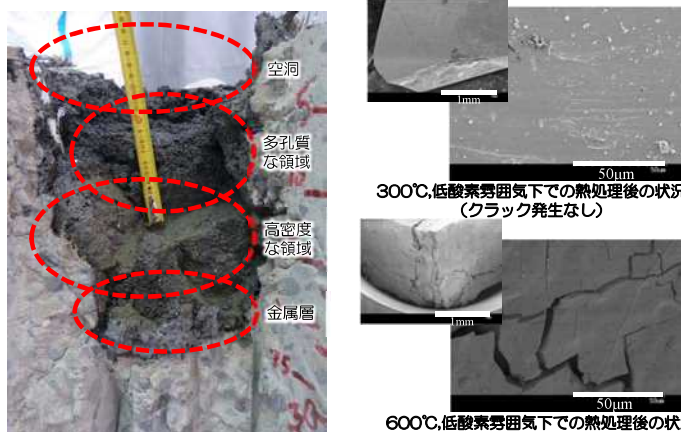


図1 仏国CEAとの協力により作製した大型MCCI試験生成物の様子

図2 熱処理時の粉化挙動試験で発生したクラックの様子

### 課題及び今後の方向性

平成28年度に作製した大型MCCI試験生成物について、生成相や機械的性質に係る分析・測定を行い、「燃料デブリ特性リスト」に反映する。また燃料デブリの乾燥設備検討に必要なFP放出挙動の評価に着手する。さらに、茨城地区での燃料デブリサンプルの分析準備として、分析技術開発及び輸送検討を継続するとともに、分析技術に関する要領の取り纏めに着手する。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



(1-③) 原子炉格納容器内部調査技術の開発  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

- 1号機向けB2調査(ペDESTAL外部地下階調査)は、工場検証試験を実施し実証準備を完了した。2号機向けA2調査(ペDESTAL内部プラットフォーム上状況調査)は現地実証を完了した。3号機に関しては、水中遠隔操縦ビークル(ROV)の試作を完了した。
- 次フェーズ調査(上記以降の調査)について、各PJのニーズを整理・分析して調査計画・開発計画を立案した。これに基づき、各号機での原子炉格納容器(PCV)内へのアクセスルート構築技術とアクセス装置及び計測技術に関する概念検討及び要素試験を実施した。

実施内容及び成果

1. 1号機ペDESTAL外へアクセスする技術

B2調査装置に関しては、ペDESTAL外の燃料デブリの広がり状態を調査する装置の開発を実施した。28年度中に実施する1号機での現地実証に向けて準備を実施した(装置外観：図1参照)。

2. 2号機ペDESTAL内へアクセスする技術

2号機X-6ペネへ遠隔で穿孔可能な装置を開発し、28年12月に現地実証を完了した。29年1月よりA2調査装置による実証試験を開始した(装置外観：図2参照)。

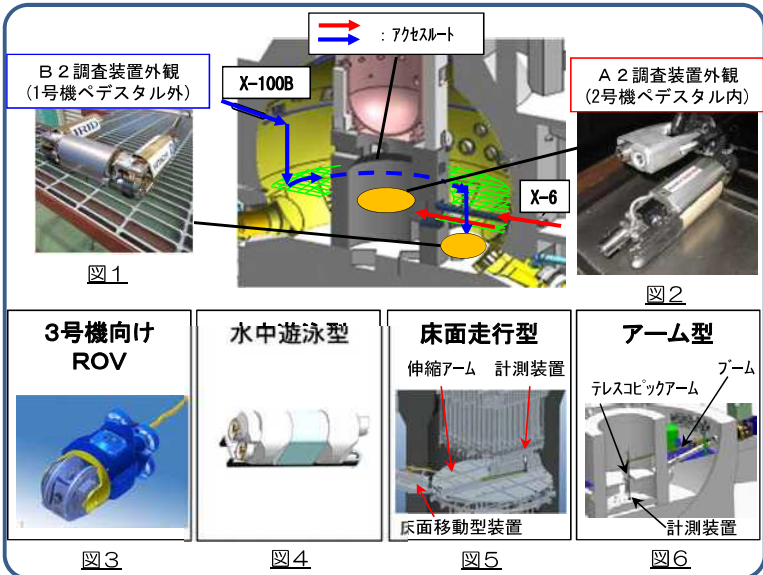
また、地下階ヘカメラを吊り降ろすA2'装置の基本設計を完了した。

3. 3号機ペDESTAL内へアクセスする技術

水中ROVの設計を終え、装置の試作を完了した(装置外観：図3)。

4. 次フェーズ調査のルート構築とアクセス及び計測技術

- PCV内へのアクセスルート構築については、検討の結果X-6及びX-2ペネを候補に絞り込み、概念検討や要素試験を実施した。
- アクセス装置については、1号機X-2ペネからのアクセスを想定した水中遊泳型装置(装置イメージ：図4)や、1号機/2号機のX-6からのアクセスを想定した床面走行型装置(装置イメージ：図5)及びアーム型アクセス装置(装置イメージ：図6)の概念検討及び要素試験を実施した。
- 上記アクセス装置と組合せが可能な計測技術について、寸法・距離・形状計測技術や目視技術及び放射線計測技術(γ線計測やデブリ由来放射線計測)の概念検討及び要素試験を実施した。これら検討により、次年度以降の詳細設計に着手可能な見通しを得た。



課題及び今後の方向性  
 ・A2/B2/3号機調査等で得られた成果や課題(高線量や視認性等の新たな現地環境への対応)を精査/反映検討し、更なるPCV内部の情報取得に向けた開発を行う。



(1-④) 原子炉压力容器(RPV)内部調査技術の開発  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取出し装置の詳細設計に資する情報取得のためのRPV内部調査において、上部からアクセスして燃料デブリの状況や線量率等を確認するための調査装置・システムの概念設計・要素試験を実施し、各作業時に適用可能と考えられる複数工法及び候補となる技術・工法の比較評価を進めている。また、側面からR/B建屋に穴開け、アクセスする調査工法についても実現性見込みを追加検討中。

実施内容及び成果

1. 調査計画・開発計画の立案・更新

- 関連プロジェクトからのニーズを再調査・整理し、炉心部から外観情報及び線量情報を取得することが有益であると評価された。
- 早期に調査可能な工法の候補としてR/B側面からアクセスして調査する工法についても検討する価値があると評価され、工法や工事シナリオの適用性を評価中である(建屋の開口等による強度への影響評価を含む)。

2. 上部から炉心にアクセスする装置の開発

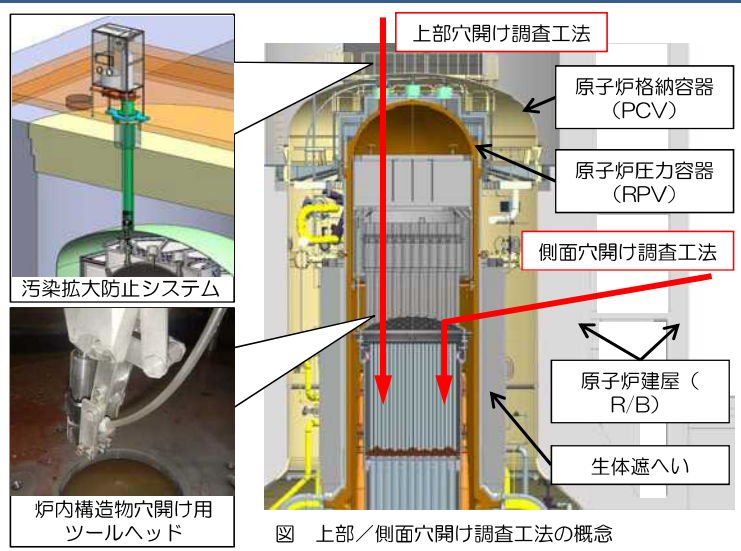
- (1) 压力容器ヘッドまでのアクセス用穴開け装置の開発
  - 構造物加工時のダストによる被ばく評価を簡易モデルで実施し、気中へのダスト飛散対策の必要性を確認した。
- (2) ハウンダリ機能維持装置・作業用アクセス装置の開発
  - 原子炉格納容器(PCV)ヘッドの表面洗浄後のハウダリ機能維持(汚染拡大防止システム)について要素試験でシール性を確認した。
- (3) 上部格子板までの穴開け装置の開発
  - 炉内構造物に遠隔で穴を開けるウォータージェット工法の小型ツールヘッドを試作し、要素試験で加工性・作業性を確認した。

3. 炉心部までの調査方式の開発、選定

- 小径のアクセスルートを通して内部状況を観察する技術に関して要素試験等で環境(高線量・霧等)適用性を確認した。

4. 調査装置全体システムの設計と工法計画

- 炉心部までの状況、線量率等不明につき、安全・確実な工法とするために、アクセスルートの設定、構築に際して作業ステップを細分し、調査と一体で実施する計画を検討した。



課題及び今後の方向性  
 ・本年度の進捗を受け、次年度は、調査工法の候補となる技術・工法に関する詳細設計を実施し、部分モックアップ試験にて現場施工の可能性を確認する。(本事業は平成29年度継続。実機向け着手は平成30年度以降)  
 ・構造物等加工時の被ばく評価の精査やPCV漏えい部からの汚染拡大低減対策の検討を進める。



(2-①) 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  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

「東京電力(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2015」を踏まえ、燃料デブリ取り出し工法として、冠水-上アクセス工法、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法の3工法を対象に、燃料デブリ・炉内構造物取り出し方針決定に向けたプラント情報の整理、燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討、工法・全体システム実現性の目的の確認及び取り出しシステム・装置の開発計画策定を実施する。

実施内容及び成果

1. 燃料デブリ・炉内構造物取り出し方針決定に向けたプラント情報の整理
2. 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討
  - (1) 工法実現性の検討
    - ・代表3工法について、課題抽出・要求仕様設定のためのプロセスフロー、ステップ図を検討・作成した(図1)。
    - ・収納缶プロジェクトなどの他プロジェクトと、検討範囲の確認、最新状況の共有、共通課題の抽出、前提条件の設定を実施した。
  - (2) システムの概念検討
    - ・燃料デブリ取出しの安全要求・機能要求を整理し、安全性を確保するためのシステム構成を検討した。
    - ・燃料デブリ加工時の飛散率、ハウンドリからの漏えい率等を仮定し、被ばく評価を実施した。
    - ・主要なシステムについて、成立させるための仕様を検討中。
  - (3) 取り出し装置の設計検討
3. 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定
4. 燃料デブリのサンプリング及びシステム・装置の開発計画策定
  - ・コストベネフィットを評価し、安全系と中間セルの合理化を検討中。
  - ・切削回収装置の要素試験を踏まえて切削条件と実機構造を検討中。
  - ・計測装置の精度向上や小石/砂状デブリへの対応案を検討中。

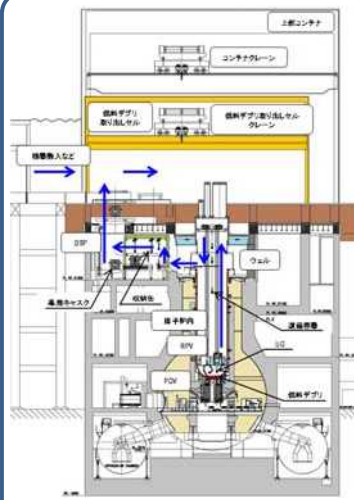


図1 気中-上アクセス工法の概念(例)

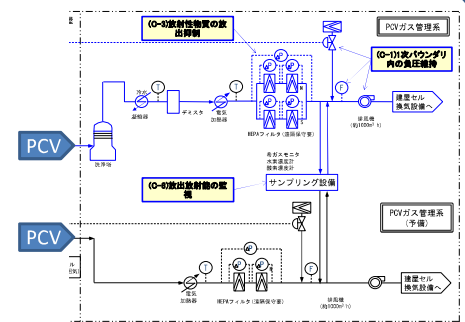


図2 気体系漏えい防止システム構成(例)

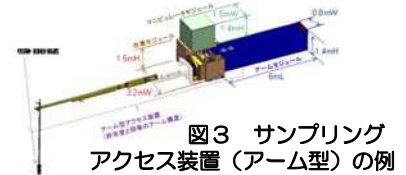


図3 サンプリングアクセス装置(アーム型)の例

課題および今後の方向性

- ・複数案ある燃料デブリ取り出し工法の標準化・共通化。
- ・工法に依らない共通技術、標準化・共通化検討に基づく個別技術の成立性確認。
- ・安全系システムについて、安全要求・系統機能要求に対する成立性確認。
- ・燃料デブリサンプリングのシナリオ策定と、技術の成立性確認。



(2-②) 燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取り出し工法として、冠水-上アクセス工法、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法の3工法を対象に、工法の実現性を評価するために必要なデータ・情報を取得するため要素試験を実施する。

実施内容及び成果

1. 各要素試験の総合調整及び要素試験の結果分析
  - ・部分提案事業者による要素試験を含め、各要素試験を整理した。
2. 工法実現性の見極めに必要な要素試験
  - ・各要素試験の実施に向けた試験計画を立案した。また試験計画に基づき、部分試作や部分要素試験により状況を確認した。実施項目は以下の通り。
  - (1) 大型構造物の取り出しにおける汚染拡大防止技術
    - ① 汚染拡大防止技術を確認するための作業ステップ単位のスケールモデル試験
    - ② 圧力容器(RPV)内燃料デブリの取り出しにおける汚染拡大防止技術
  - ① 気中-上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置のRPV内面シール及び装置下部シールに関する試験(図1)
  - (3) 燃料デブリへのアクセス技術
    - ① 液圧マニピュレータに関する試験
    - ② 冠水-上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置に関する試験(図2)
    - ③ 気中-横アクセス工法におけるペダスタル内アクセス装置に関する試験(図3)
  - (4) 燃料デブリ取り出しにおける遠隔作業技術
    - ① 遠隔作業用柔構造アームに関する試験(図4)
    - ② 燃料デブリ収納缶の取扱い装置に関する試験
  - (5) 燃料デブリ取り出しにおける汚染拡大防止技術
    - ① 冠水工法のプラットフォーム/セルに関する試験
    - ② 気中-横アクセス工法のセルに係る遠隔シール溶接のための格納容器(PCV)溶接装置に関する試験
  - (6) 燃料デブリ取り出しにおける作業員の被ばく低減技術
    - ① 上アクセス工法に適用する形状追従、軽量遮へい体に関する試験
  - (7) 燃料デブリ取り出しにおける切削・集塵、視覚・計測技術
    - ① 燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験(図5)

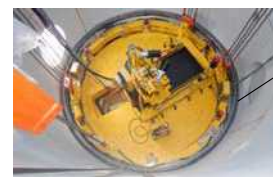


図1 RPV内面シール及び装置下部シールに関する試験



図2 RPV内アクセス装置試験



図3 ペダスタル内アクセス装置試験



図4 遠隔作業用柔構造アーム例



図5 燃料デブリの切削性能試験



図5 燃料デブリの切削性能試験

課題および今後の方向性

- ・各試験を計画に従って実施し、課題の抽出、整理及び対応策を検討した。
- ・今後も工法実現性の評価に必要な要素試験を実施予定。





(2-4) 圧力容器/格納容器の耐震性・影響評価手法の開発  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取り出し方針の決定や確定に資するため、大規模地震時の圧力容器 (RPV)/格納容器 (PCV) 内の重要機器の安全シナリオを検討し、最新知見に基づく損傷部位の選定とその最大想定時の波及的影響評価を行い、その対応策を検討した。また、その影響評価手法の開発として、最新の取り出し工法や止水条件を反映した圧力抑制室 (S/C) 脚部の時刻歴応答解析と、事故後のPCV内温度や燃料デブリの侵食状況等を考慮したペDESTALの地震応答解析及び耐震強度評価に着手、解析モデルとケース案を策定し解析を開始した。

実施内容及び成果

- 大規模地震時における安全シナリオの構築 (図1)
  - 昨年度の健全性評価と事故時PCV内温度や燃料デブリ侵食状況の解析結果より、波及的影響を及ぼす損傷対象部位としてS/C脚部とペDESTAL部を選定し、その最大想定時損傷による波及的影響の評価を実施した。
  - PCV漏水によるトラス室水位上昇リスクに対し、安全シナリオの一次案として、S/C脚部補強無しでのPCV内水位制限とS/C内及びベント管の最適止水条件による荷重低減の対策を提示した。
  - RPVペDESTALは耐震性確保が前提であり、最新知見による損傷予測条件での耐震性の詳細評価が必要と判断した。
- 安全シナリオ構築のための耐震性・影響評価手法の開発
  - 実際に想定し得る地震荷重による評価手法の確立のため、ベント管及びS/C止水条件 (図2参照) に基づき、両者を連結した全体モデルでの時刻歴地震応答解析モデル (弾性解析) とS/C脚部の極限解析モデル (弾塑性解析) を構築し、解析を実施中である。
  - 最新のPCV内事故進展解析データに基づく、ペDESTAL温度履歴と分布及び燃料デブリによる侵食範囲が及ぼす影響を検討し、それらを考慮したFEM解析モデルと解析ケース案を策定し、解析を開始した。
  - 最新解析の温度履歴によるコンクリート内鉄筋の強度劣化推定のため的高温腐食試験条件を検討し、試験体を製作した。RPV及びスタビライザー等を一体化した大型機器連成解析モデルを構築した。
- 安全シナリオの高度化
  - S/C脚部耐力の評価・検証法として、脚部材料試験の検討を開始した。



図1 大規模地震時の安全シナリオ構築のための全体検討フロー



1号機 2/3号機  
図2 S/C支持構造物の耐震性評価条件

課題及び今後の方向性

安全シナリオの構築とその高度化のための、材料試験データ拡充と解析手法 (モデルや弾塑性解析など) の検討をする。



(2-5) 燃料デブリの臨界管理技術の開発  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取り出し時に未臨界状態を維持し、万が一臨界が起きても速やかに検知し終息させ過度の被ばくを防止するための臨界管理技術を開発するため、複数の取り出し工法に対して最新の知見に基づき臨界シナリオの整理・評価を実施したとともに、臨界近接検知などの臨界監視技術や、中性子吸収材等を用いた臨界防止技術の開発を実施した。

実施内容及び成果

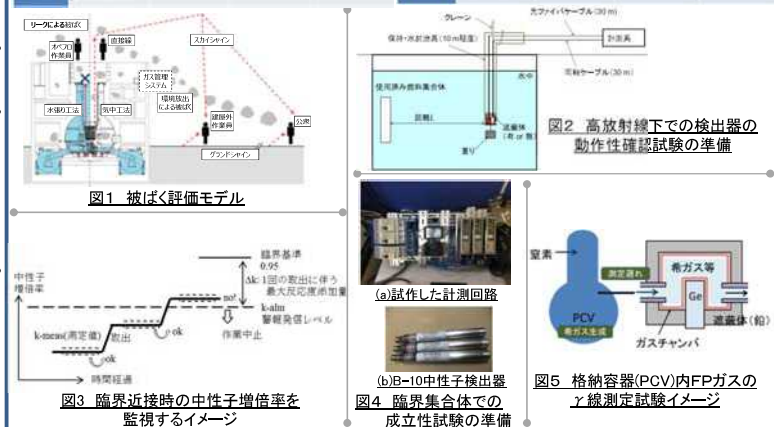
- 臨界評価手法の確立
  - 炉内状況把握プロジェクトやミュオン測定による最新の残存燃料や燃料デブリ分布情報に基づき、福島第1原子力発電所 (1F) 1~3号機の臨界シナリオの見直しを実施し、臨界リスクを見直した (表1)。
  - 被ばく評価モデルを付加した臨界時挙動評価モデル (図1) を開発し、臨界検知遅れ時間等を考慮した挙動評価により、被ばく影響緩和に有効な核分裂生成物 (FP) ガス漏洩率等の設備要求仕様検討を実施した。
  - 深層防護の考えに基づき、燃料デブリ取り出し工法ごとに防護系、緩和系に各要素技術を適用させた臨界管理方法案 (表2) をまとめた。また臨界計算の不確かさの考慮方法の案をまとめた。
- 臨界近接監視手法の開発
  - 中性子計測に基づく炉雑音法により未臨界度を推定し臨界近接を監視する手法 (図3) を開発中であり、高放射線下での動作性確認試験と臨界集合体を用いた成立性確認試験の準備を完了した (図2、図4)。
- 再臨界検知技術の開発
  - ガスサンプリングシステムによる臨界検知性能高度化のため、1F 1号機における $\gamma$ 線測定試験 (Kr-87/Kr-88の $\gamma$ 線を含む) を開始した (図5)。また、FPガス拡散過程の流体解析を実施中である。
- 臨界防止技術の開発
  - 非溶解性中性子吸収材の核的特性確認試験の準備を完了した。適用工法検討、施工性基礎試験等を実施し候補材の選定中。
  - 溶解性中性子吸収材の核的特性確認試験の準備を完了した。五ホウ酸ナトリウム水のホウ素濃度維持設備の成立性を確認した。

表1 号機毎の臨界シナリオと臨界リスク

部位	臨界リスク	1号機	2号機	3号機
炉心部	・残存燃料の水没 (燃料貯蔵槽に注水)	極小 (燃料貯蔵槽に注水)	小 (燃料貯蔵槽に注水)	小 (燃料貯蔵槽に注水)
RPV下部	・デブリの水没 ・取出時状態変化	水没時: 小 取出時: 極小	水没時: 中 取出時: 小	水没時: 中 取出時: 小
CRD /ロッキング	・付着デブリ水没	小~極小 (付着デブリ水没)	小~極小 (付着デブリ水没)	小~極小 (付着デブリ水没)
PCV底部	・露出デブリ水没 ・取出時状態変化 (巻き上げ)	水没: 小 取出時: 小	水没: 中 取出時: 小	水没: 小 取出時: 小

表2 深層防護に基づく臨界管理方法案

第一層	第二層
・臨界の発生防止 (P/S系)	・臨界の発生防止と異常の終息 (H/S系)
・臨界近接監視 ・異常発生防止 ・異常検知 ・異常緩和	・臨界の発生防止と異常の終息 (H/S系)



課題及び今後の方向性

炉内状況の最新知見に基づき臨界シナリオ、臨界リスクを精緻化すると共に、臨界監視技術や臨界防止技術等の要素技術について、実機運用方法を提示するための試験を行う。





(2-⑥) 原子炉格納容器漏えい箇所補修技術の開発  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

実機適用に向けて要素技術の開発と要素試験を実施し、止水性能と止水成立性を確認した。

実施内容及び成果

- 1) 原子炉格納容器 (PCV) 水張りまでのプロセス検討及び計画
- 2) PCV下部補修技術の開発
  - ① サプレッションチャンバー (S/C) 及びベント管の補強・止水技術
    - ①-1 S/C脚部の補強技術
      - ・実機環境を想定した要素試験を完了した。
    - ①-2 ベント管内埋設による止水技術
      - ・前年度からの継続開発である閉止補助材/副閉止補助材/止水材について課題に対する対応方針を決定・試験計画を行い、各試験を実施した。
    - ①-3 S/C内充填による止水技術 (図1)
      - ・強め輪乗り越え試験、長距離圧送試験、実機環境想定要素試験を完了した。
  - ② 真空破壊ライン埋設による止水技術
  - ③ 接続配管のバウンダリ構築技術
    - ・各装置の設計に着手した。
  - ④ トーラス室壁面配管貫通部等の止水技術の開発
    - ・吹付け施工可能な止水材を選定し、その止水性を確認するための試験を行った。
- 3) PCV上部他補修技術の開発
  - ① シール部の止水技術 (機器ハッチ) (図2)
    - ・錆取り装置/溶接装置の要素試作を行い、試験を行った。
  - ② 配管パローズ補修技術
  - ③ ドライウエル (D/W) シェルの補修技術
  - (4) 補修工法の実機適用に向けた環境改善の概念検討
    - ・PCV下部及び上部補修にて優先度が高い箇所を抽出し、その中から環境改善代表箇所としてモデルを作成し、線量率評価・線量低減検討に着手した。

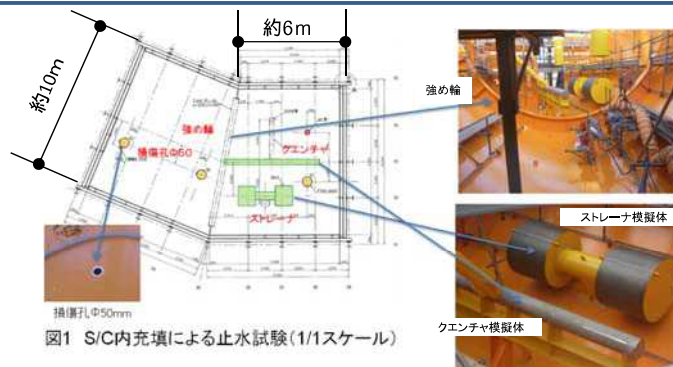


図1 S/C内充填による止水試験 (1/1スケール)

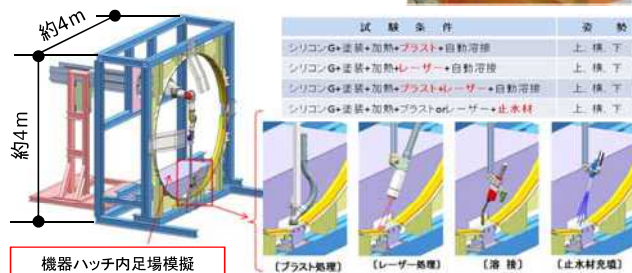


図2 機器ハッチ試験装置 (1/1スケール)

課題及び今後の方向性

実機への適用性を考慮し、装置の要求性能に反映することが必要。長期的な止水機能維持に関する検討が必要。

(2-⑦) 原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の実規模試験  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

- (1) サプレッションチャンバ (S/C) 脚部補強の実規模試験のうち施工性確認試験を実施し、補強材の打設装置を用いた施工性の確認を行った。
- (2) ベント管止水の施工性確認試験に着手。また、バーチャルリアリティシステムに取り込んだ遠隔操作機器 (マニピュレータ) の精度アップとして操作卓の模擬及び遠隔操作機能の追加等を実施中。

実施内容及び成果

1. 原子炉格納容器 (PCV) 下部補修技術の実規模試験等

実機適用性の判断目安の一つとして、リスクアセスメントをベースとした評価方法を検討した。また、下記項目について実規模試験を実施中。

① S/C脚部補強

- ・S/C脚部補強の実規模試験のうち施工性確認試験を実施し、高線量下での作業、遠隔操作による作業及びPCV補修開発で準備した設備の適用性に問題が無いことを確認した。
- ・打設試験の実施時期は、耐震性影響評価PJで実施しているS/C脚部の弾塑性解析結果によるS/C脚部補強の要否を打設試験実施のホールドポイントとするため、次年度の実施工程に見直した。

② ベント管止水

- ・ベント管止水のうち施工性確認試験に着手した。
- (次年度まで継続実施予定)

③ S/C内充填止水 (ダウンコマ止水)

補修技術開発事業による試験計画や検討結果を踏まえ、具体的な実施内容を検討中。

④ 試験準備等

試験体の移動、S/C脚部補強の干渉物取付、試験体の水張確認等、試験準備を完了した。

2. 試験後の補強材・止水材の健全性確認

次年度実施に向け、具体的な確認方法・手順を検討中。

3. 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

遠隔装置の設計者及び操作経験者のヒアリング結果を踏まえ、必要な精度アップのための課題を抽出し、操作卓上において実機同等の機能模擬及び遠隔装置の操作機能のカイゼンを検討中。



写真 S/C脚部補強施工性確認試験 (平成28年11月30日撮影)

課題及び今後の方向性

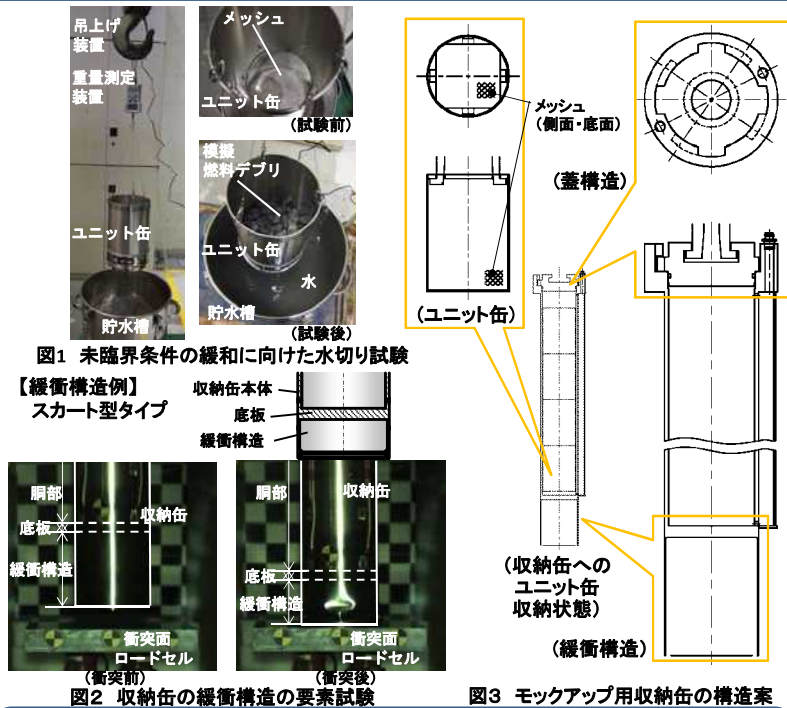
実機適用性の確認を行うためには、実際の工事施工の観点から見た施工上のリスクや課題を抽出し、作業性の改善や施工手順の妥当性を十分に評価する必要がある。次年度では、引き続き各工法の実規模試験及び試験後の有効性確認を進めていく。

(2-8) 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

福島第一原子力発電所向けの燃料デブリ収納缶開発のための要求条件をまとめ、モックアップ用収納缶の基本形状案を設定した。

実施内容及び成果

- 破損燃料輸送・貯蔵に係る調査及び研究計画立案**  
下記2～5に資する英国セラフィールド施設の放射性廃棄物の処理技術、米国アルゴンヌ国立研究所のMCCI生成物の特性評価研究情報を訪問調査し、海外の技術知見を得た。
- 燃料デブリの保管システムの検討**  
昨年度検討の燃料デブリの湿式・乾式保管システムについて、関連プロジェクトの最新情報等を踏まえ、現時点で見直しの必要がないことを確認した。
- 安全評価手法等の開発**  
燃料デブリ収納缶の設計に必要となる安全評価のための各種データを取得した。例えば、燃料デブリ取り出しの作業性向上に向けた収納缶内径拡大のため、収納缶内の水分量を制限して未臨界条件を緩和する手法の検討(図1)、収納缶落下時の構造健全性を確保するための緩衝構造検討(図2)、水素発生対策の検討等、安全評価手法に係わる国内外の事例調査、試解析、要素試験を実施し目途付けを行った。
- 燃料デブリの収納技術の開発**  
燃料デブリの取り出し工法等と連携して要求事項(遠隔操作による取扱いに対応した蓋構造等)をまとめ、上記3項の検討結果も反映した燃料デブリ取り出しモックアップ試験用収納缶の基本形状案を設定した(図3)。
- 収納缶の移送・保管技術の開発**  
燃料デブリの取り出し工法等と連携して策定した収納缶の取扱いフロー案に基づき、収納缶の取扱装置等の基本仕様を策定した。



課題及び今後の方向性

燃料デブリの取り出し工法の検討結果の収納缶仕様への反映、工法検討結果を反映した収納缶の安全性/取扱い性の検証による取扱装置仕様の適正化。収納缶の移送・保管システムに対する要求仕様の適正化。

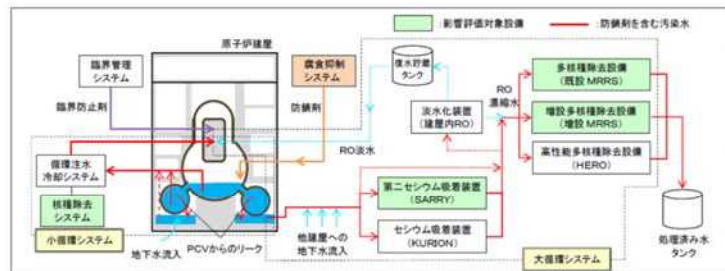
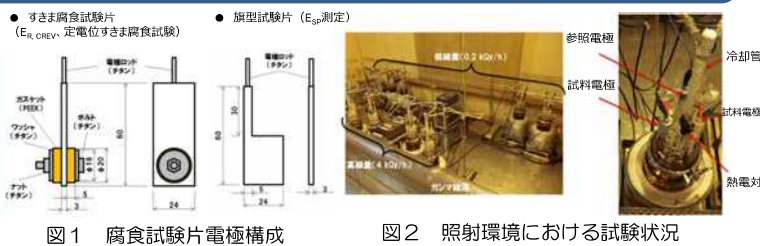


圧力容器/格納容器の腐食抑制技術の開発  
(平成29年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取り出しまでの長期間、原子炉圧力容器・原子炉格納容器の構造材の腐食の進行を防ぎ、現状の構造健全性を維持するための腐食抑制策を検証し、実機適用性を評価した。

実施内容及び成果

- 腐食抑制策の効果・影響の評価(図1・図2)**
  - 電気化学測定による防錆剤の耐局部腐食性の評価**  
前年度絞り込んだ防錆剤(腐食抑制策)による炭素鋼の耐局部腐食性を評価するため、電気化学測定(腐食すきま再不動電位測定、自然電位測定、定電位すきま腐食試験)の試験要領を策定すると共に、ガンマ線照射および非照射環境下における測定を実施した。
  - リン酸塩系防錆剤の高温部での固着影響評価**  
リン酸塩系防錆剤について高温部での固着影響を評価するためのパッチ試験および通水試験要領を策定した。また、リン酸塩系防錆剤と滅菌剤を併用した場合の炭素鋼の腐食に対する影響を評価するための滅菌剤との複合影響評価試験を実施した。
  - 水処理設備への影響評価**  
水処理設備への防錆剤影響について、評価方針を確定した。  
想定する設備ごとの試験液条件として、海水希釈率、防錆剤添加濃度を決定し、防錆剤による水処理設備への影響評価試験を実施した。
- 腐食抑制システムの概念設計(図3)**  
防錆剤(腐食抑制策)を実機に適用するための腐食抑制システムの概念設計を実施した。



課題及び今後の方向性

気中部分での腐食抑制策の開発  
今後のデブリ取出し方針により、気中に晒される部位の腐食抑制策を検討する。





### (3) 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発 (平成29年2月末時点における進捗状況)

事故により発生した固体廃棄物を安全に処理・処分するために、主要な廃棄物の一連の保管管理方策の検討と廃棄物ストリームの更新、廃棄物の分析とそれに基づくインベントリ評価などによる性状把握、処理に関する基礎試験、水処理二次廃棄物の長期保管方策の検討、国内外の処分概念や安全評価手法の整理などを実施した。

#### 実施内容及び成果

##### 1. 研究開発成果の統合

廃棄物ストリームに関して、複数の選択肢を持つストリームを絞り込む手法を構築し、事例検討から手法を適用する上での課題を抽出した。OECD/NEAが設置した専門家グループによる検討会に参画し、報告書（28年12月に公開済み）の取りまとめに貢献した。また、報告書内容に関するワークショップに参加した。

##### 2. 性状把握

瓦礫、水処理二次廃棄物、汚染水等をサイト外施設に輸送し、放射能分析を実施した。1号機原子炉建屋(RB)の瓦礫(コンクリート)は、これまで得られた瓦礫の分析データと整合する結果であった(図1)。解析的にインベントリを推定する評価手法について、評価の不確実性を低減する方法を検討すると共に、検討後(改良後)の手法を用いたインベントリデータセットを求め、安全評価に提供した。

##### 3. 廃棄物の処理に関する検討及び長期保管方策の検討

多核種除去設備スラリー安定化のため、現場導入に向けた運用面の検討や確認試験結果を踏まえて、装置概念の検討を実施した。固化処理実績のない汚染水処理二次廃棄物に対する既存の技術による固化基礎試験(図2)を実施し、固化の可否、固化物の健全性確認データの取得した。また、これらのデータを技術評価のための要件と照らし合わせ、各々の廃棄物について適用可能な候補技術を評価した。セシウム吸着塔の発熱に伴う残水蒸発挙動の加速試験や塩分濃縮挙動評価を実施し、塩分濃縮挙動評価の検証方法を提示した。

##### 4. 廃棄物の処分に関する検討

海外処分概念の事例調査等の処分概念構築に向けた情報を整備し、既存の処分概念の特徴をまとめた。不確実性を考慮した処分区分を評価するための安全評価手法を整備した。

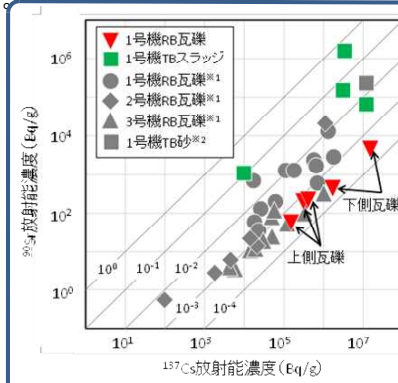


図1 瓦礫中の<sup>90</sup>Sr/<sup>137</sup>Cs比

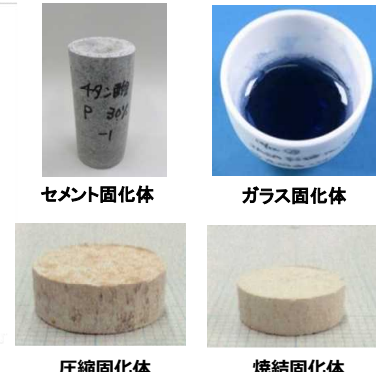


図2 模擬廃棄物の各種固化体

#### 課題及び今後の方向性

処理、処分の検討結果をフィードバックさせ、分析計画を更新する。ストリームを基盤として、統合的に研究の進捗や成果の整合を図る。



### (4) 使用済燃料プールから取り出した燃料集合体の長期健全性評価 (平成29年2月末時点における進捗状況)

共用プール内の燃料集合体外観観察で確認された白色堆積物の分析等を行うため、燃料部材を輸送し、白色堆積物の成分分析、電気化学試験を実施し、保管による腐食の可能性はほぼないことを確認した。また、乾式保管時の燃料健全性評価では、試験により瓦礫落下や海水成分等が被覆管材料内の水素化物析出挙動やクリープ挙動に及ぼす影響を評価し、影響の少ないことを確認した。

#### 実施内容及び成果

##### 1. 燃料集合体の長期健全性評価技術開発

###### (1) 燃料集合体表面の堆積物の評価

共用プールに保管中の福島第一原子力発電所(1F)4号機燃料集合体の部材(ロックナット)を照射後試験施設に輸送し、白色堆積物の成分分析、腐食すきま再不動態化電位測定を実施した。白色堆積物の構成成分としてMgが最も多く、Al、Siがその半分程度であり、Clは検出限界以下であった。Mg(OH)<sub>2</sub>が析出し、Clも捕捉されていないため腐食の可能性はないと考えられる(図1)。電気化学試験では、塩化物イオン濃度が100ppmよりも低い領域ではすきま腐食感受性が低い結果となり、共用プールでの腐食の可能性は、ほぼないことを確認した(図2)。

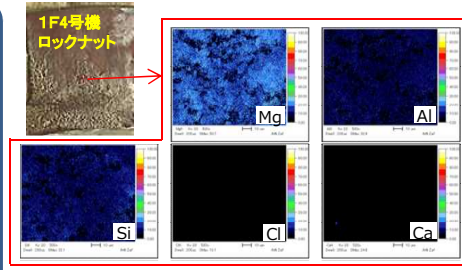


図1 1F4号機ロックナット白色堆積物の成分分析結果例

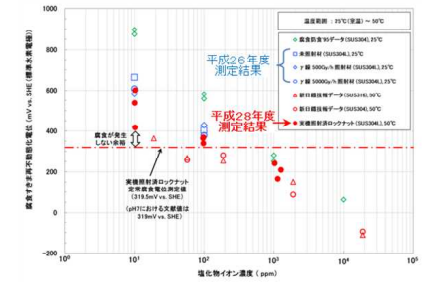


図2 ロックナットの腐食すきま再不動態化電位測定結果例

###### (2) 乾式保管時の燃料健全性評価

1Fの使用済燃料プールから取出した燃料集合体の乾式貯蔵を想定し、瓦礫落下や海水成分等の影響が重畳した燃料集合体の乾式保管時の健全性について、水素化物析出挙動確認試験、クリープ試験を実施し、1F特有因子が材料特性に及ぼす影響を評価した。瓦礫損傷、海水付着等の重畳状態においても、水素化物析出挙動、クリープ挙動に及ぼす影響は小さいことを確認した。(図3、図4)

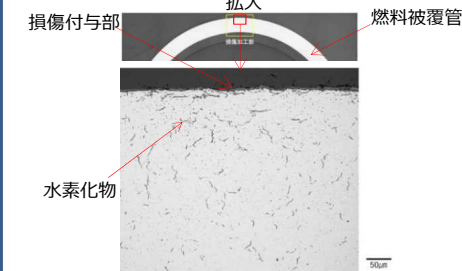


図3 水素化物析出挙動確認試験結果の例 (照射試験片, 300°C, 冷却速度0.04°C/h, 周方向応力70MPa, 損傷付与, 海水付着, 瓦礫固着)

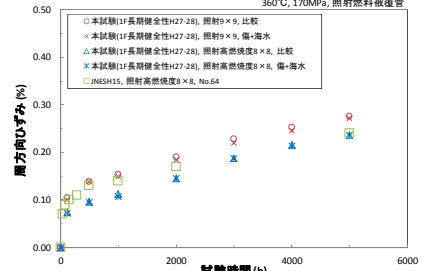


図4 クリープ速度試験結果の例 (照射試験片, 360°C, 周方向応力170MPa, 損傷付与, 海水付着, 5000h)

#### 課題及び今後の方向性

燃料集合体の長期健全性評価の観点からは、1F特有履歴の影響が湿式保管、乾式保管に及ぼす影響は小さいと評価された。3号機の使用済燃料取出しの際に、新たな課題が抽出された場合、新たな健全性評価の要否を検討する必要がある。





**燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業/視覚・計測技術（浜松ホトニクス株式会社）**  
**（平成29年2月末時点における進捗状況）**

目的：燃料デブリの調査および取り出し工程に必要な耐放射線視覚技術を要素技術レベルで確立すること  
 そのため、撮像素子とカメラを設計・試作し、線量率10kGy/hにおいて累積線量2MGyまでの動作と視認性を確認すること

**実施内容及び成果**

**1. 耐放射線撮像管の開発**

- (1) セレン化カドミウム光導電膜の設計・製膜および当該撮像管の試作評価
- (2) 新光導電膜撮像管の設計・製膜および当該撮像管の試作評価
- (3)  $\gamma$ 線照射試験  
 線量率10kGy/hにおいて累積線量2MGyまでの動作と視認性を確認した。  
 試作した撮像管の外観を図1に、新光導電膜撮像管の $\gamma$ 線照射（線量率10kGy/h）時の画像を図2に示す。

**2. 耐放射線撮像管カメラの開発**

- (1) 撮像管カメラの設計・試作および評価
- (2) カメラに装填するレンズ、電子ビーム偏向集束コイルの設計・試作
- (3)  $\gamma$ 線照射試験  
 線量率10kGy/hにおいて累積線量2MGyまでの動作と視認性を確認した。  
 試作したカメラの外観を図3に、 $\gamma$ 線照射（線量率10kGy/h）時の画像を図4に示す。

**3. 画像処理技術の開発**

- ・モノクロ静止画像をカラー化する画像処理ソフトウェアを開発し、動画像のカラー化技術開発のベースを確立した。  
 カラーチャートを図5に、モノクロ画像のカラー化例を図6に示す。  
 今後、 $\gamma$ 線照射下でのモノクロ画像のカラー化を進める。

**4. 耐放射線照明の開発**

- ・放射線環境下で使用可能な撮影用LED照明を設計・試作し、カメラの $\gamma$ 線照射試験に使用した。



図1 試作した撮像管

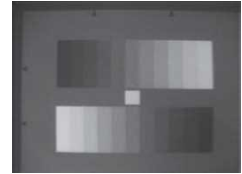


図2  $\gamma$ 線照射時の画像



図3 試作したカメラ

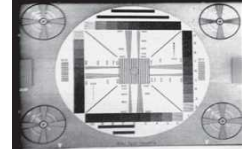


図4  $\gamma$ 線照射時の画像

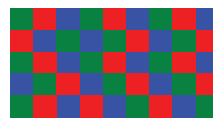


図5 カラーチャート



図6 カラー化画像例

**課題および今後の方向性**

- ・撮像管の実用化開発（品質、動作安定性、信頼性の確立）
- ・カメラの映像特性改善および実用機の開発
- ・運用、交換コストを加味した可視化システムの開発

**燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業/切削・集塵技術（大成建設株式会社）**  
**（平成29年2月末時点における進捗状況）**

燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験の部分提案事業者として、工法実現性の評価に必要なデータ・情報を取得するため、ボーリング切削技術に関する要素技術の開発、要素試験を実施する。

**実施内容及び成果**

燃料デブリのボーリング切削工法（図1）の実現性評価のため、ボーリング工用仮設設備として必要と考えられる、下記5つの実施項目で開発・試作、要素試験を行った。

**①ロボットボーリングマシン**

高硬度、大物量の燃料デブリ切削を、遠隔/自動で可能なロボットボーリングマシンのプロトタイプ機を設計、試作した。新開発のドリルヘッド、ロッド切継ぎ・保持、ビット交換、姿勢制御など新機構の機能、性能を工場試験で確認後、自動運転プログラムによる動作試験、 $\phi 95\text{mm}$ 試作ビット装着による切削性能試験を実施した（図2、3）。

**②切削用ビット**

高硬度セラミックス、ステンレス鋼の混合による極難削性の燃料デブリ切削用ビットを開発した。全面切削用ノンコアビット、コアを残すコアビットの用途別にダイヤモンド砥粒タイプを選定、各種の新設計 $\phi 46\text{mm}$ ビットを用いて切削・評価データを蓄積しその成果に基づき、実機用フルサイズの $\phi 95\text{mm}$ ビットを試作した（図4、5）。

**③回収・収納装置**

高線量、高比重の燃料デブリ切削スライムの回収（吸引・汲上）収納（送液・固液分離）用のシンプルな装置を開発した。試作装置を使用し、模擬スライムの回収・収納試験で基本性能を確認した（図6）。送水孔のため切削中に発塵はないが、作業環境に存在する粉塵抑制用として、ミストによる抑制試験を実施した（図7）。

**④写真計測装置**

高線量下で切削対象の3D形状把握、ボーリング自動運転データに用いる、写真計測の適用性を撮影試験・解析で確認した。ケーシング内部観察装置を試作した（図8）。

**⑤線量モニタリング装置**

作業環境、装置の線量モニタリング用に工用仮設として使用可能な小型無線装置を開発した。フィールド試験、照射試験によって基本性能、適用性を確認した（図9）。

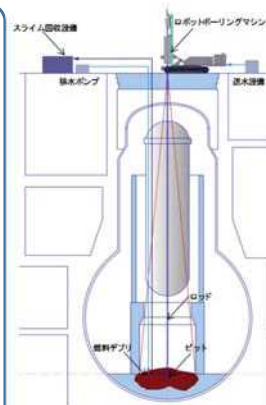


図1 ボーリング切削工法概念



図2 マシン基本構成



図3 ボーリングロボット



図4 模擬試験体の切削



図5 共通試験体の切削



図6 回収・収納装置



図7 粉塵抑制ミスト



図8 模擬体写真計測・解析例



図9 線量モニタリング装置

**課題及び今後の方向性**

- ・実機切削性能向上のため $\phi 95\text{mm}$ ビットの開発、実機での切削試験
- ・ボーリング工法適用性検討として、横アクセス用小型装置等の検討

# Development of Fundamental Technologies for Retrieval of Fuel Debris – Remote Controlled Laser Cutting and Dust Gathering (COMEX NUCLEAIRE) (Progress by End of February 2017)

Development of a remote controlled laser cutting system for fuel debris in various configuration (in air, underwater, emerging, non emerging). Measurement of dust and fumes produced during laser cutting of inactive fuel debris simulant and collection system feasibility tests in non-emerging conditions.

## Project Outline and Outcomes obtained so far

- In-air laser cutting on zirconia and fuel debris simulant (fig 5)**
  - 100mm cut achieved in emerging conditions for Zirconia (fig 2) and 160mm for fuel debris simulant (in-vessel)
  - 50mm cut achieved in non-emerging conditions for Zirconia and fuel debris simulant (in-vessel and ex-vessel)
- Underwater cutting on zirconia and fuel debris simulant (fig 4)**
  - 100mm cut achieved in emerging conditions under 17cm of water (fig 3)
  - 50mm cut achieved in emerging conditions under 5m of water
- Measurement of dust and fumes produced during laser cutting on inactive simulant**
  - Gas release have been measured for air and underwater cut: first results show that H2 risk is low
  - Dust release have been measured for air and underwater cut:
    - In-vessel simulant generated more dust than ex-vessel's
    - Underwater cutting limits significantly the quantity of dust generated during cutting
    - Results still under analysis
- Collection of dust and fumes produced during laser cutting**  
Collection system has been set-up and tested with a significant proportion of dust collected. Collection system is still under testing.
- Feasibility of laser cutting tests on active simulant (using depleted uranium and ruthenium)**  
A laboratory for possible implementation of active trials has been selected and feasibility has been confirmed

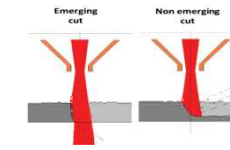


Fig1. Cutting configurations



Fig2. 100mm Zirconia cut in air



Fig3. 100mm Zirconia cut underwater



Fig4. Underwater cutting head



Fig5. Simulant after cut

## Remaining issues/challenges and what to do by the end of March

- &(2) Laser cutting : Feasibility of non-emerging cut underwater
- Dust & fumes : Analysis of the results obtained
- Collection: End of the tests
- Implementation layouts to be done, with cost and schedule estimation

1

# 燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業- 遠隔制御レーザー切削及び集塵技術 (COMEX NUCLEAIRE) (平成29年2月末時点における進捗状況)

- 様々な形態(気中、水中、貫通、非貫通)での燃料デブリの遠隔制御レーザー切削システムの開発。
- 燃料デブリ模擬体のレーザー切削中に生成されるダスト及びヒュームの分析及び非貫通切削条件での集塵システムの実現可能性試験。

## 実施内容及び成果

- ジルコニア及び燃料デブリ模擬体(図5)の気中レーザー切削**
  - 貫通条件で、ジルコニアは100mm切断(図2)、燃料デブリ模擬体(容器内)は160mm切断を達成。
  - 非貫通条件で、ジルコニアおよび燃料デブリ模擬体(容器内および容器外)の50mm切削を達成。
- ジルコニア及び燃料デブリ模擬体の水中切削(図4)**
  - 水深17cmでの貫通条件で、100mm切削を達成。(図3)
  - 水深5mでの貫通条件で、50mm切削を達成。
- 燃料デブリ模擬体のレーザー切削中に発生するダスト及びヒュームの分析**
  - 気中切削及び水中切削時の発生ガスを測定:最初の測定結果は、水素リスクが低いことを示している。
  - 気中及び水中切削時のダスト発生を測定:
    - 炉容器内模擬体は、炉容器外模擬体に比べダスト発生量が多かった。
    - 水中切削は、切削中のダスト生成量を有意に制限する。
    - 結果は分析中である。
- レーザー切削時に発生するダスト及びヒュームの集塵**  
集塵システムの構築は終了し、回収されたダストを使って試験を実施している。集塵システム試験は継続中である。
- 活性(劣化ウランとルテニウムを含む)模擬体によるレーザー切削試験の実現可能性検討(FS)**  
活性試験の実施が可能な実験施設を選定し、実現可能性を確認した。

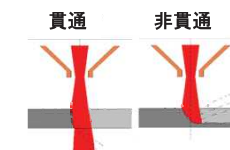


図1 切削形態



図2 100mmジルコニアの気中切削



図3 100mmジルコニアの水中切削



図4 水中切削用ヘッド



図5 切削後の模擬体

## 課題および今後の方向性

- レーザー切削:水中非貫通切削の実現可能性
- ダスト及びヒューム:測定結果の分析
- 集塵システム:集塵試験の完了
- 活性模擬体試験FS:試験実施設備レイアウトの検討、費用及びスケジュールの見積

1