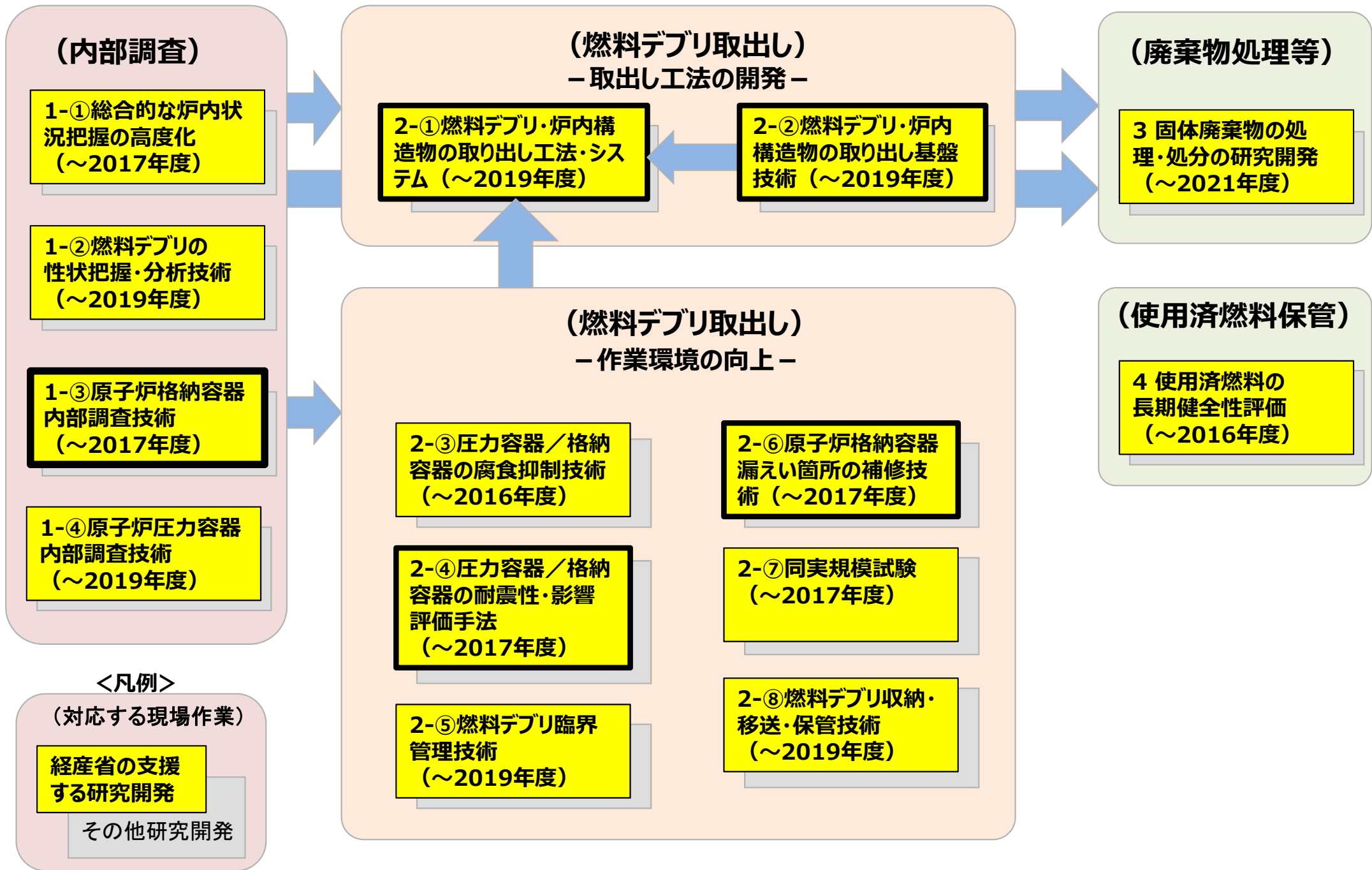


福島第一原発の廃炉研究開発の全体構成図



<見直しのポイント>

2017年夏頃の燃料デブリ取出し方針の決定に向け取組の強化を図るなど重点化を図る。

① 格納容器内部調査

1号機及び2号機に加え3号機における実証試験を追加し水中遊泳装置による調査を行う。また、デブリ取出し方法の確定(2018年度上半期)に向け、1号機及び2号機の地下階を調査するための計画策定・要素試験を行う。

② 格納容器／圧力容器の健全性評価

冠水時に荷重が集中する可能性のある部位(ペDESTALやS/C脚部等)について、地震動による影響シナリオを踏まえた対応策の評価を行う。

③ 格納容器の補修技術の開発

冠水時における許容漏えい量の評価及び循環注水冷却システムの概念設計を行うとともに、格納容器上部については、止水及び気密性確保の両方の観点から必要となる技術の開発を進める。また、補修工法の実機適用のため補修対象箇所へのアクセス性や環境改善方法等の評価を行う。

④ 燃料デブリ・炉内構造物の取出し技術

他プロジェクトから得られるデータも含め燃料デブリ取出し方針の決定(2017年夏頃)に資する情報を統合整理する。燃料デブリの切削時に生じるダストの処理システム等の要求仕様を検討する。各要素技術について年度途中に関係機関による評価確認を行い次フェーズへの移行を判断する。

⑤ 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発等

処理・処分方策の安全性に関する技術的な見通しを得る2021年度に併せて終期を設定する。燃料集合体の長期健全性評価について4号機使用済燃料の材料試験が終了すること等から一年前倒しで終了する。

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、取出し時のFP挙動評価等に必要なデータ・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

- 炉内で継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、核分裂生成物の分布状況等の評価を行う。これらの分析・評価を戦略的・計画的に進めるため、優秀な研究者を確保する枠組みを確立する。

(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. 総合的な分析・評価に資する燃料デブリの挙動や核分裂生成物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

- 2015年度までに改良を行った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、逆解析による推定等を行い、燃料デブリ、核分裂生成物の評価の不確かさを低減させる。

(2) 核分裂生成物の化学特性の評価

- 核分裂生成物の炉内構造物への固着特性など化学特性評価する。

(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、燃料デブリやFPに関するデータ・情報に加え、海外機関による解析結果・評価を収集・整理し、総合的な分析・評価に反映させる。

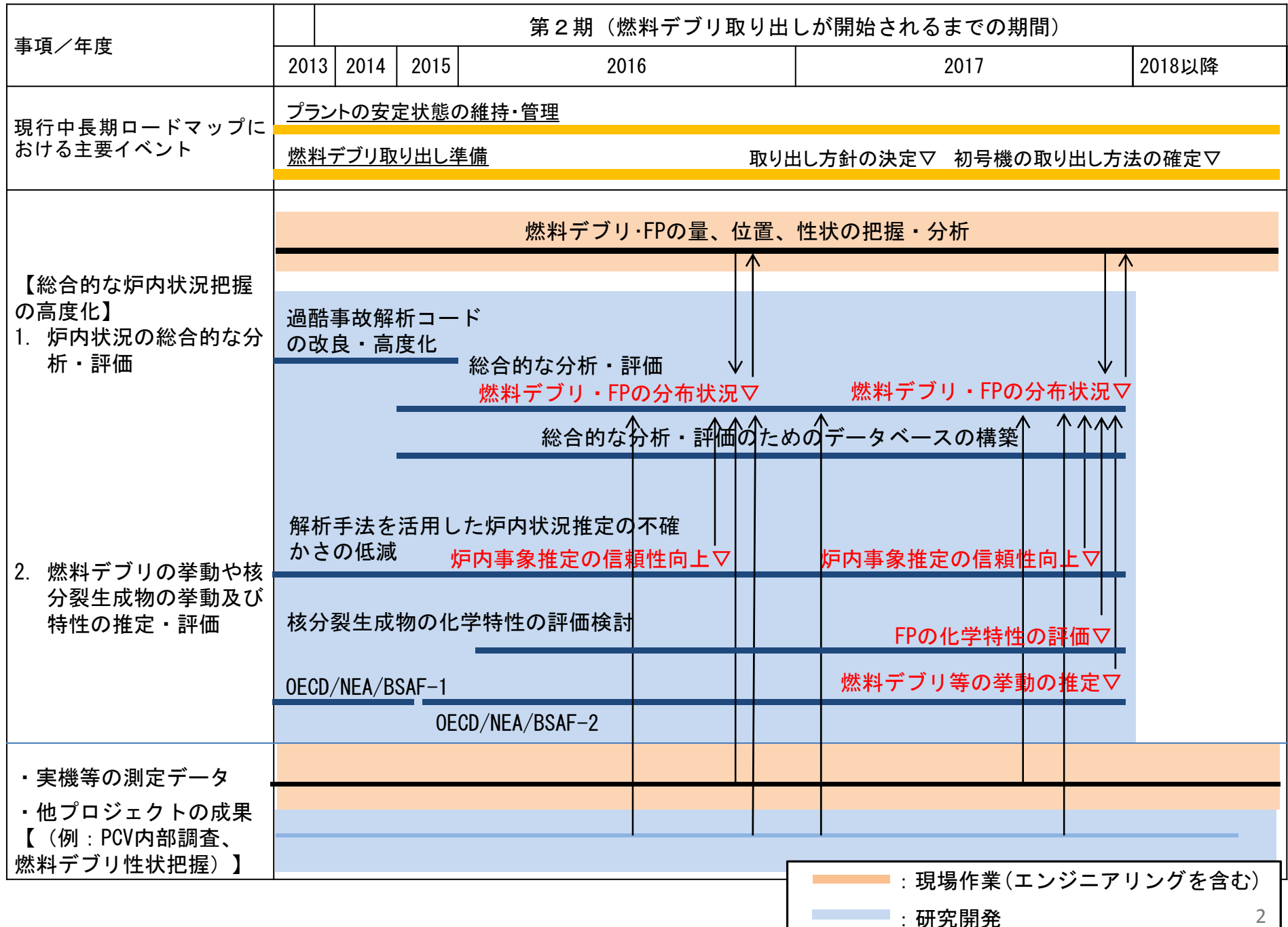
(備考) 上記の分析・評価を進めるにあたり、必要に応じ、解析コードやモデルの改良の要否や内容について検討する。

目標達成を判断する主な指標の設定 (2016年度/2017年度)

- 炉内状況の総合的な分析・評価の結果について、定期的に (3か月に一度程度) 見直し・確認を行い、関係機関や他のプロジェクトに報告・共有し、内容について議論。(2016/2017年度)
- 境界条件の感度解析や実機での実測値を用いた逆解析により炉内状況の推定の不確かさを低減させるために検討すべき内容と計画を検討し、関係機関により確認した上で実行に移すための全体計画を作成し、定期的に更新。(2016/2017年度)

(例) 感度解析によりペDESTALのコンクリート侵食の状況評価の信頼性を向上。(2016年度)

(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

- 臨界評価、取出し、収納・移送・保管技術の開発等に必要なデータ・情報を整理した上で、燃料デブリ特性リストを継続的に更新する。
- 収納・保管時の含水・乾燥挙動評価など必要となるデータ・情報を明確にした模擬デブリによる特性評価を行う。
- 得られる可能性がある微量の実デブリサンプルの分析も視野に入れて、燃料デブリの分析・測定技術の開発を継続する。

1. 炉内の燃料デブリ性状の推定

- 2015年度に作成する「燃料デブリ特性リスト」について、今後得られる最新の情報を活用し、継続的に更新する。

2. 模擬デブリを活用した特性評価

- 臨界評価、取出し、収納・移送・保管技術の開発等に必要となるデータ・情報を整理する。
- 国内外で過去に知見が得られていないコンクリート反応生成物（MCCI）の特性を評価するため、1F条件を考慮した大型MCCI試験生成物を作成する。その際、2015年度に開始した仏CEAとの国際協力の体制での実施を継続する。
- 収納・保管時の含水・乾燥挙動評価に係るデータ取得等を継続して実施する。

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・整理する。
- 実デブリのサンプリングにより得られたサンプルの分析も視野に入れ、2015年度に整理した分析技術について分析技術適用範囲並びに開発状況を整理し、大熊分析研究センター等における導入を考慮し、開発すべき要素技術を選定するとともに、選定した分析要素技術の開発を実施する。
- サンプルの研究施設への輸送に係る検討を継続する。

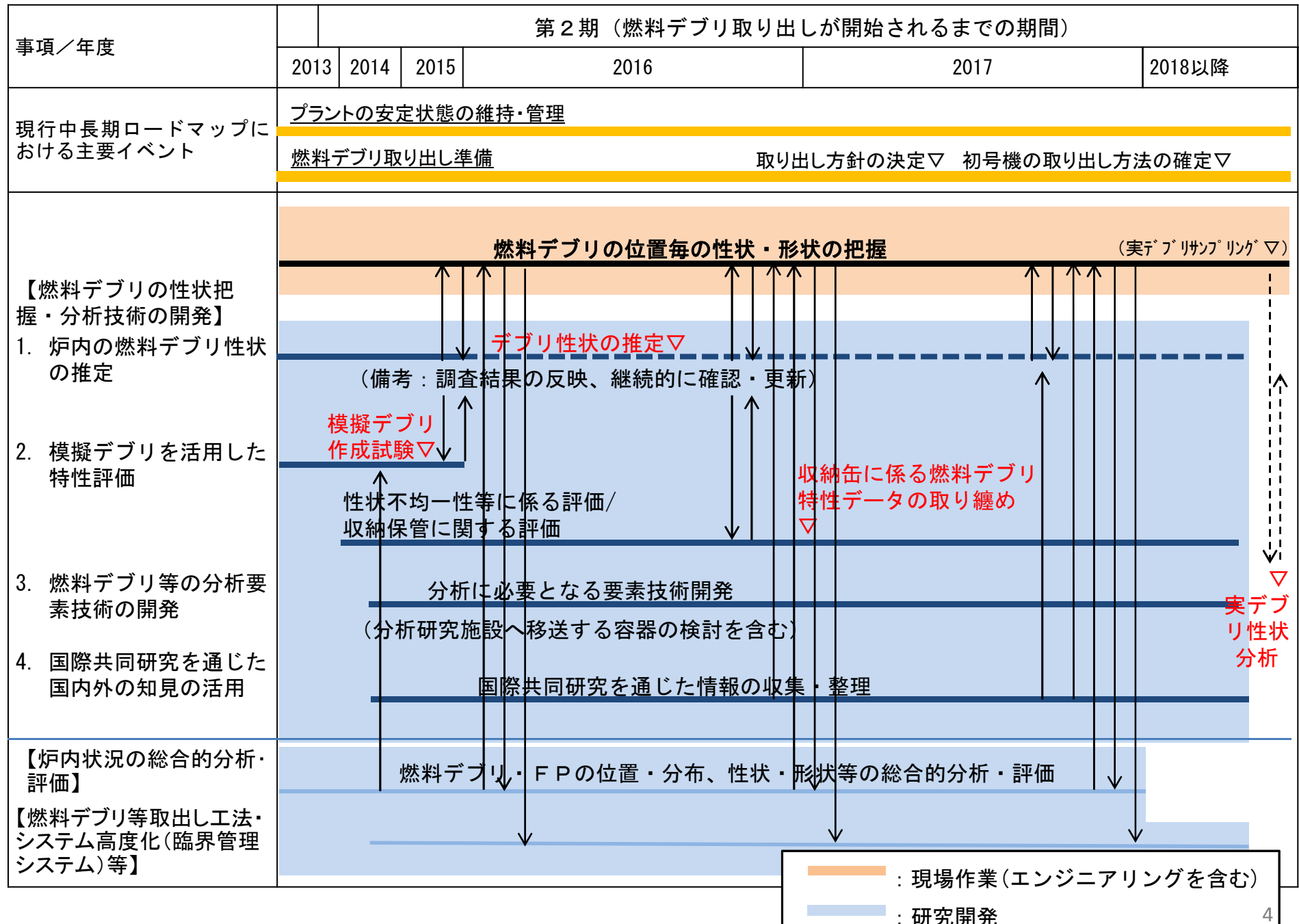
4. 国内外の知見の活用

- OECD/NEA/SAREFを通じた燃料デブリの性状等に関する情報の収集・整理を実施する。また、これまで収集したデータ・情報を含めてデータベース化を図る。

目標達成を判断する主な指標の設定（2016年度/2017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。（2016年度/2017年度）
- 収納缶に係る燃料デブリ性状データを取りまとめ。（2016年度）

(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)内の燃料デブリの位置・分布、ペDESTAL内外の状況を調査・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方法の確定に向けて、更に詳細な実機調査を行うための機器の開発を行う。

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内ペDESTAL内外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、現場で実証する。
- 燃料デブリ取り出し方法の確定に向けて、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、新たな調査装置・システムを開発し、実プラントでの試験への準備を行う。

1. 調査計画・開発計画の立案・更新

- ・2015年度の検討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、具体化・更新する。燃料デブリ取り出し方針の決定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。
- ・次フェーズの内部調査も視野に入れて、PCV内へのアクセス・燃料デブリの検知等、号機毎または共通して必要となる技術を抽出・整理し、必要な要素試験を含めて開発計画を立案・更新する。

(備考) 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。

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: 最新の現場状況を反映したアクセス要領等
(高線量下での遠隔穿孔による内部へのアクセス)
- ・A2': プラットホーム下の目視調査技術

(2) 1号機を対象としたペDESTAL外調査

- ・B2: 1階グレーチング上から地下階状況を調査する装置
- ・B2: 線量分布による燃料デブリ調査のための解析シミュレーション

(3) 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

(4) 地下階調査のための計画策定・要素試験

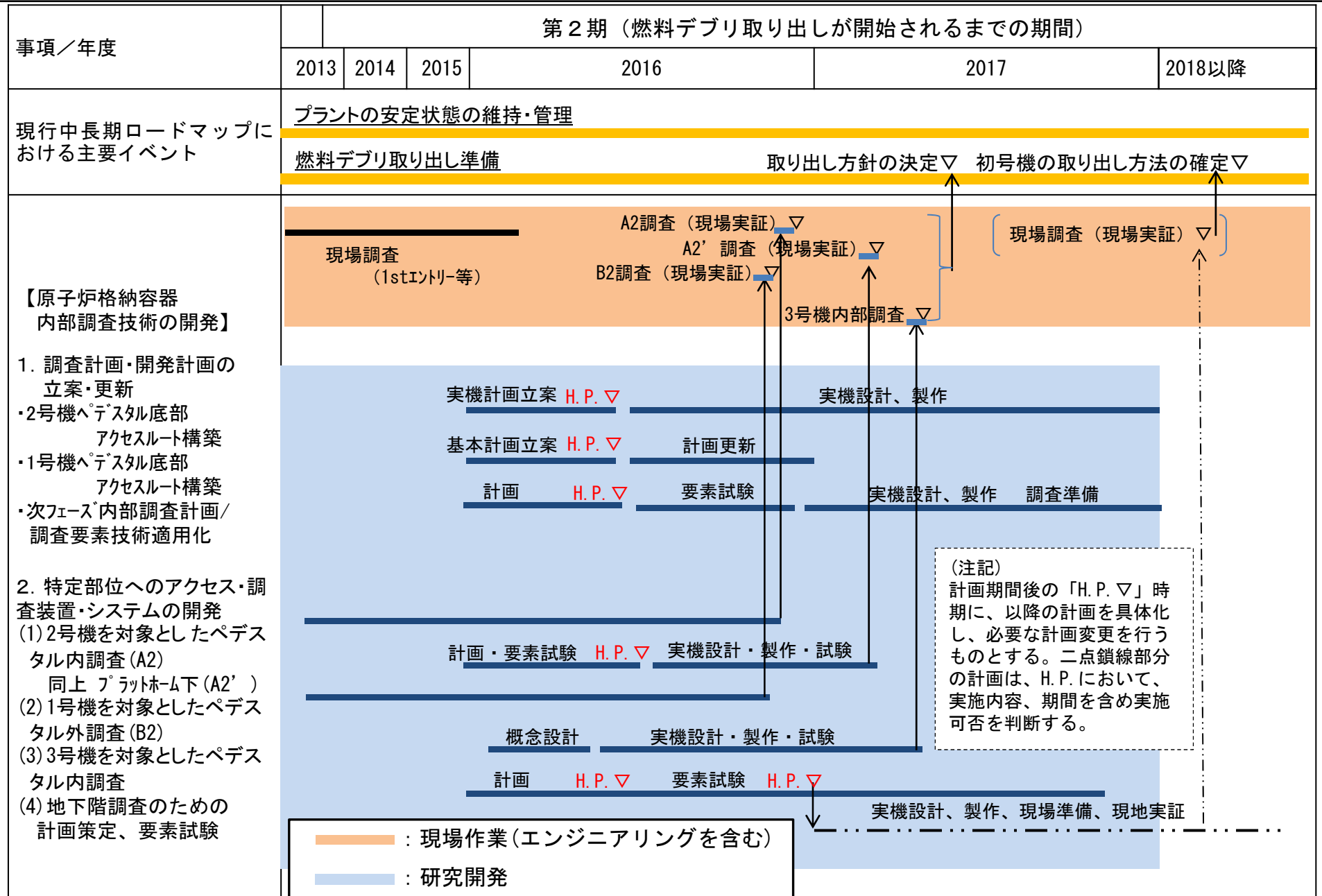
3. 現場実証

上記2. (1)、(2)、(3)で開発した装置・システムについて、現場での実証試験を行う。

目標達成を判断する主な指標の設定 (2016年度/2017年度)

- ・実証試験として、1号機 ペDESTAL外1階グレーチング上から、ペDESTAL外地下階の燃料デブリ状況調査の実施。(2016年度)
- ・2号機ペDESTAL内プラットホーム状況、CRD下部、スロット開口部調査、プラットホーム下側調査の実施。(2017年度)
- ・3号機ペDESTAL内状況調査の実施。(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、原子炉圧力容器内部の燃料デブリ等の状況を把握するため、遠隔装置を活用した調査技術を開発する。

実施内容

○現場調査のために、原子炉圧力容器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・開発計画の更新

- ・2015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、原子炉圧力容器内部調査を実施する開発計画を更新する。
- ・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、または、許認可取得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。
- ・その際、ホールドポイントを設け、代替工法検討の要否を判断し、必要に応じて計画を更新する。

2. 上部から炉心に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、2015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た概念設計を行う。
- ・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。

3. 炉心部までの調査方式の開発、選定

- ・原子炉圧力容器内部、炉心迄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。

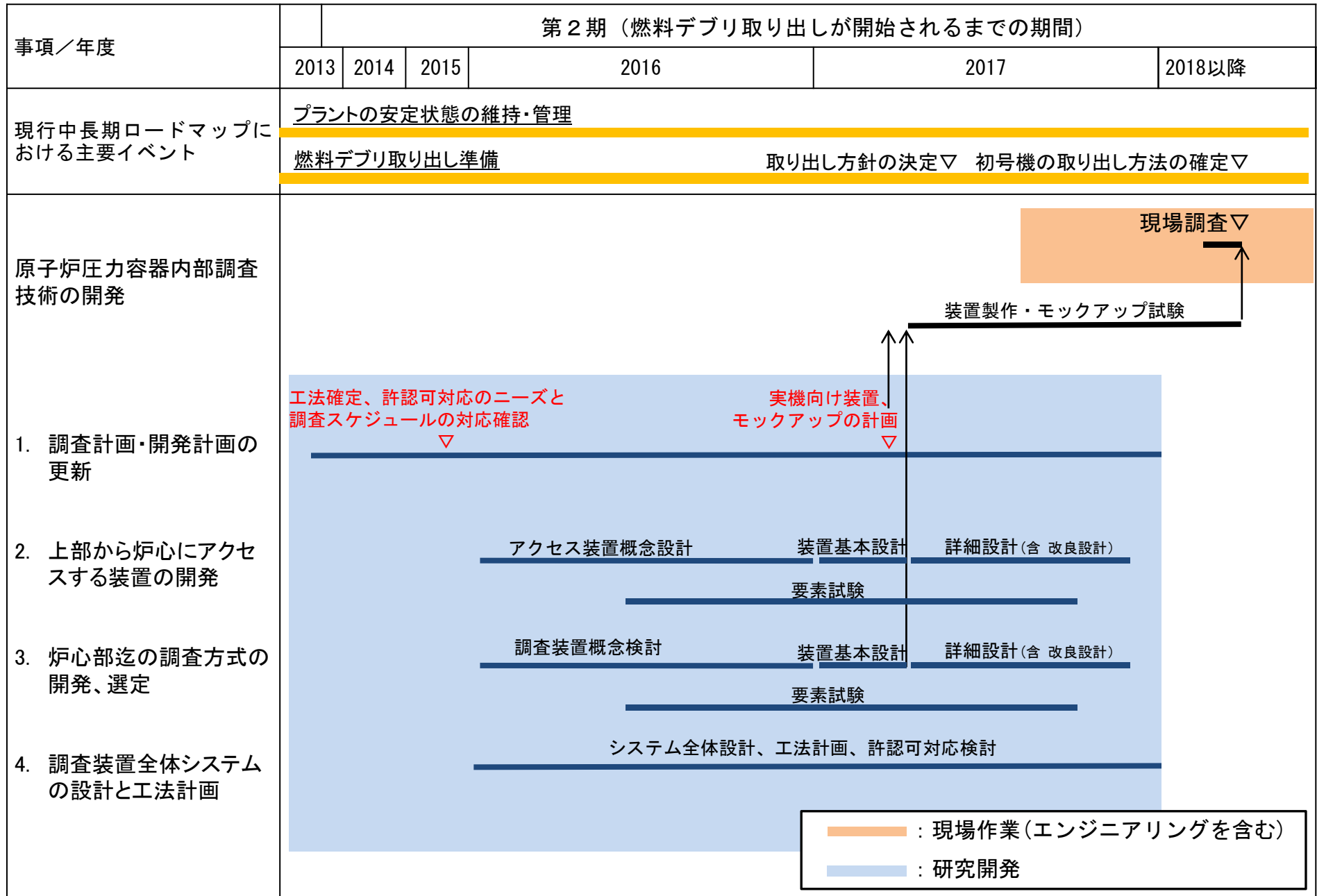
4. 調査装置全体システムの設計と工法計画

- ・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。
- ・その際、規制側と議論が必要となると考えられる許認可要件とそれへの対応について整理する。

目標達成を判断する主な指標の設定(2016年度/2017年度)

- ・上部穴開けによる原子炉圧力容器内部調査のための穴開け装置、アクセス装置の仕様、概念設計の策定。(2016年度)
- ・要素試験計画の策定と一部要素試験の開始。(2016年度)
- ・調査に関する工法手順図、レイアウト。(2017年度)
- ・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)1-④: 原子炉圧力容器内部調査技術の開発



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

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、燃料デブリや炉内構造物を取り出す工法及びシステムについて技術開発を実施する。冠水工法及び気中工法、並びに、上部からの取出し及び横からの取出しを検討する。

実施内容

○冠水工法並びに気中工法を念頭に燃料デブリを取り出すシステムの安全性、主要システムの検討を行う。

○燃料デブリサンプリング技術の調査計画・開発計画の更新を行う。

1. 取り出し工法方針決定に向けた条件設定、データ・情報の整理

- (1) 取り出し工法の選定に必要な条件(プラントデータ・情報整理等)について、現場で得られる最新のデータ・情報を基に確認・更新する。
- (2) 本プロジェクト及び他の関連プロジェクトの成果として得られるデータ・情報を統合的に整理し、燃料デブリ取り出し方針の決定に資するよう、関係機関と共有するためのデータベースを構築する。

2. 燃料デブリ取り出し工法・システム・装置の検討

最新の現場状況、調査状況、関連プロジェクトの成果を継続的に取り込みながら、以下の検討を行う。

2.1 工法実現性の検討

(1) 工法詳細ステップの検討

i. 冠水/気中-上アクセス工法については、シールドプラグ撤去から燃料デブリ撤去作業まで、気中-横アクセス工法については、生体遮へい壁/PCV穴明作業からペDESTAL内外燃料デブリ撤去までの工法詳細ステップを検討し、作業ステップを作成する。

ii. 各作業ステップ毎の課題とリスクを以下の観点から検討、抽出、整理し、対応方針を検討する。

- ・ 工法実現性を考慮した作業時環境条件に対する要求
- ・ 燃料デブリ取り出し工事中の負圧管理
- ・ 工事中の水素対策
- ・ 工事実現のための必要設備物量
- ・ 燃料デブリ取り出し開始準備までに必要な期間

- ・ 燃料デブリ取り出し作業に要する概略期間
- ・ 装置メンテナンス、燃料デブリ収納缶の取扱い

(2) 工法を構成する大型設備の検討

セル、プラットフォーム、セル内クレーン等、原子炉建屋の構造強度に影響を与えると考えられる大型設備の重量・寸法の概略を検討する。

(3) 工法実現までの計画策定

3工法について、(1)項で検討する課題とリスクの対応方針に基づき開発計画を策定する。

2.2 システムの概念検討

(1) システムの安全性の検討

工法の安全性に影響する臨界管理、燃料デブリ冷却、作業員被ばく、火災・爆発、放射性物質の漏えいを対象とする。

(2) システムの実現可能性の検討

以下の主要システムについて、システムを構成する主要装置の要求仕様、原子炉建屋内配置可能性、構造健全性評価のための概略重量を検討する。

- 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

(3) 主要システム検討計画策定

主要システムの技術開発要素の有無を検討し、開発計画を策定する。

(次紙に続く)

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

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、燃料デブリや炉内構造物を取り出す工法及びシステムについて技術開発を実施する。冠水工法及び気中工法、並びに、上部からの取出し及び横からの取出しを検討する。

実施内容

- 冠水工法並びに気中工法を念頭に燃料デブリを取り出すシステムの安全性、主要システムの検討を行う。
- 燃料デブリサンプリング技術の調査計画・開発計画の更新を行う。

2.3 装置の設計検討

取り出し装置の概念設計と開発計画を策定する。

(1) 高度化のための設計検討

- i. 装置の耐放射線性、メンテナンス性向上対策の検討
- ii. 燃料デブリ取り出し工事効率向上のための検討
- iii. 燃料デブリ取り出し機器と収納缶、臨界管理用検出機材との取合い検討
- iv. 装置周りのダスト回収設備・装置の検討

(2) 取り出し装置の開発計画の策定

3. 燃料デブリ取り出しシステム・装置の開発計画の策定

3.1 開発計画の策定

- ・遠隔作業、切断、遮へい、ダストの飛散防止の技術調査の整理
- ・上記 2. 項で検討した課題、リスク、開発計画を整理

4. 燃料デブリサンプリング技術の開発

(1) 調査計画・開発計画の更新

- ・燃料デブリサンプリング技術の開発に関し、「原子炉圧力容器内部調査技術の開発」での2015年度までの結果を踏まえ、開発計画を更新する。燃料デブリ取り出し工法の確定のためのニーズ、許認可取得のためのニーズ及びスケジュールとの対応を明らかにして計画を更新する。なお、開発の途中段階で、ホールドポイントを設け、必要に応じて以降の開発計画を更新して進める。

(2) 技術開発

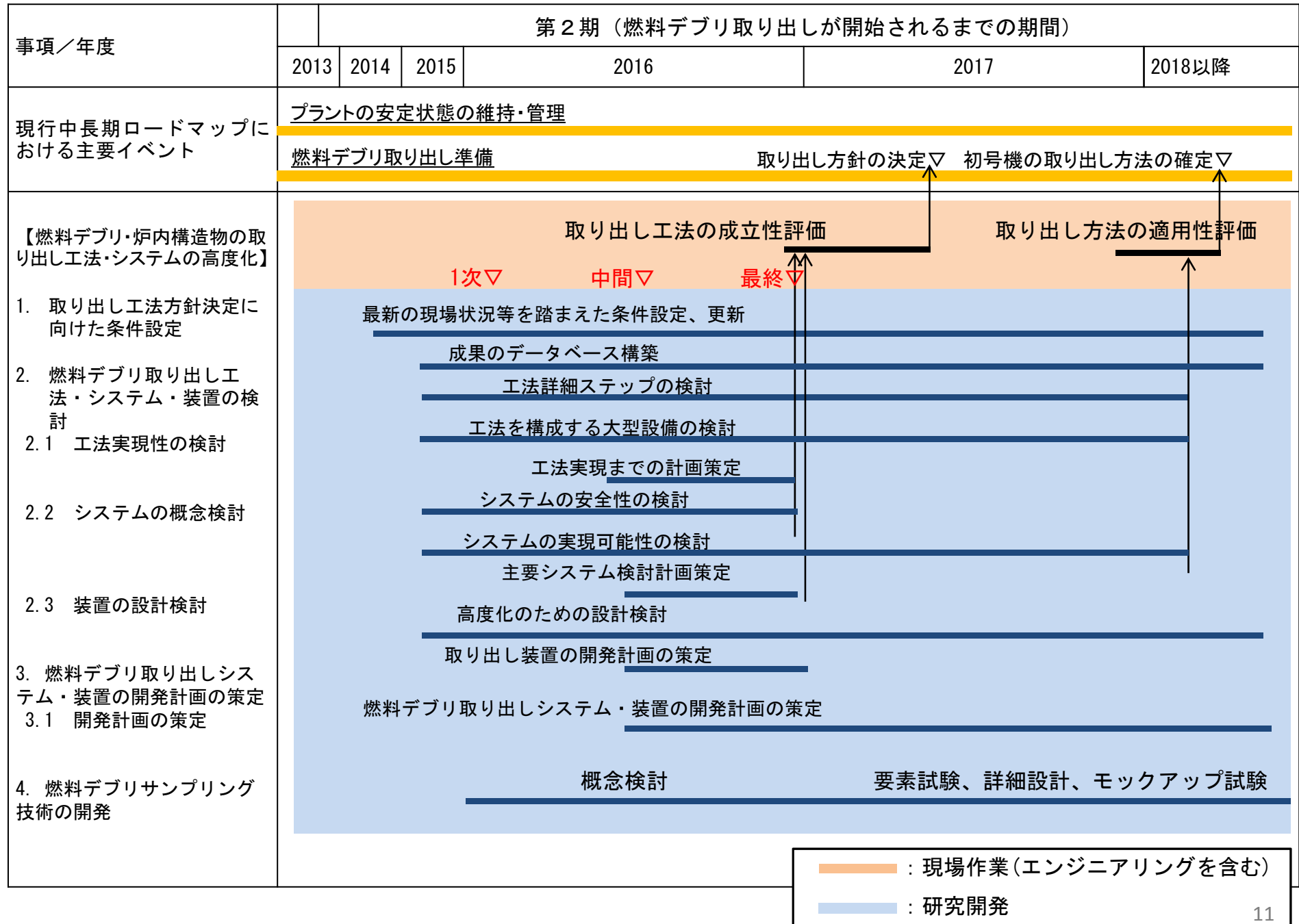
2015年度迄の開発結果を踏まえ、以下項目の技術開発を行う。

- ・燃料デブリサンプリングのための切削・回収技術の開発
- ・アクセス技術開発、サンプリング関連設備開発の高度化
- ・原子炉格納容器内サンプリングシステムの基本設計
- ・原子炉圧力容器内サンプリング装置の概念検討

目標達成を判断する主な指標の設定 (2016年度／2017年度)

- ・燃料デブリ取り出し方針の決定に資するデータベースを構築。(2016年度)
- ・燃料デブリ取り出し工法の工法毎、号機毎の実現性の検討結果を提示。(2016年度)
- ・工法適用性評価に向けた主要システム、取り出し装置の開発計画を策定。(2016年度)
- ・燃料デブリサンプリング装置の概念検討を完了。(2016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開発

目的

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法の実現性の評価に資するために、燃料デブリや炉内構造物を取り出す装置の要素試験を実施する。冠水工法及び気中工法、並びに、上部からの取出し及び横からの取出しを対象とする。

実施内容

○冠水工法並びに気中工法を念頭に燃料デブリを取り出す機器・装置の成立性の評価を行う。

○その後も、号機毎の燃料デブリ取り出しの方法の確定や実施に向けて、機器・装置の開発を進めるとともに、モックアップ試験を行う。

1. 工法実現性を見極めるに必要な要素試験

燃料デブリ取り出し工法として、冠水工法、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法の3工法を念頭に、工法の実現性を評価するためのデータ・情報を取得するために、以下の要素試験を実施する。

- (1) 大型構造物の取り出しにおける汚染拡大防止技術
 - ・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) RPV内燃料デブリ取り出しにおける汚染拡大防止技術
 - ・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
- (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
 - ③ 気中-横アクセス工法におけるペDESTAL内アクセス装置に関する試験

(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
- 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ホーム／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被ばく低減技術

- ・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・集塵技術に関する試験

- ① レーザ切断による切削・集塵試験
- ② ボーリングによる切削・集塵試験

(8) 燃料デブリ取り出しにおける視覚技術に関する試験

- ・撮像管の開発試験

(備考) 「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」等の成果を踏まえ、必要に応じて要素試験項目を追加する。

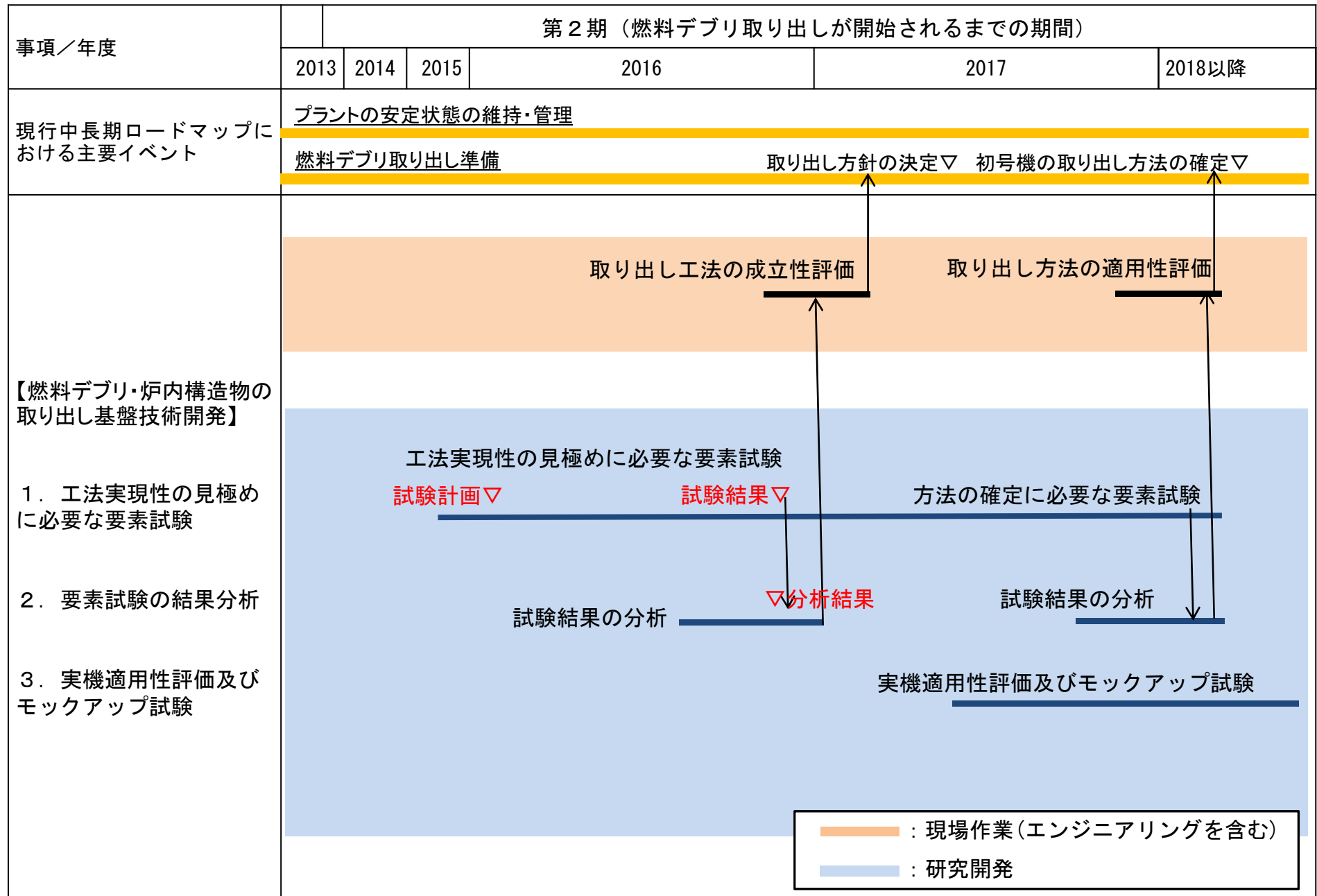
目標達成を判断する主な指標の設定 (2016年度/2017年度)

- ・燃料デブリ取り出し工法の成立性に係る要素技術開発を完了。(2016年度)

2. 要素試験の結果分析

3つの工法への適用性、工法技術の実現性等について、1. 項の各要素試験の結果を分析し、工法毎にとりまとめる。

(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開発



2-③: 圧力容器／格納容器の腐食抑制技術の開発

目的

燃料デブリ取り出し方針の決定に資するため、海水が注入された原子炉圧力容器・原子炉格納容器の構造材の腐食抑制策の実機適用性を評価する。

実施内容

○長期にわたって原子炉圧力容器、原子炉格納容器構造材における腐食の進行を防ぎ、現状を維持するための腐食抑制策を検証し、実機適用性の確認を行う。

1. 腐食抑制策の効果・影響の評価

- ・2015年度までに腐食試験により抽出された防錆剤を添加した溶液中で電気化学的な測定を行い、局所的な腐食の発生及び進展の可能性有無の評価を実施する。その結果から実機適用可能な防錆剤を選定する。
- ・燃料デブリを想定した発熱部での性能劣化を想定し、リン酸塩系防錆剤の析出量の温度依存性データ等を取得し、固着影響の評価を行う。
- ・2015年度に実施したSARRY、ALPS等の汚染水浄化設備への影響評価を踏まえ、防錆剤を使用した場合の既存水処理システムへの全体的な影響評価、防錆剤濃度に対する吸着性能への影響評価、小循環水処理ループを想定した評価等を行う。

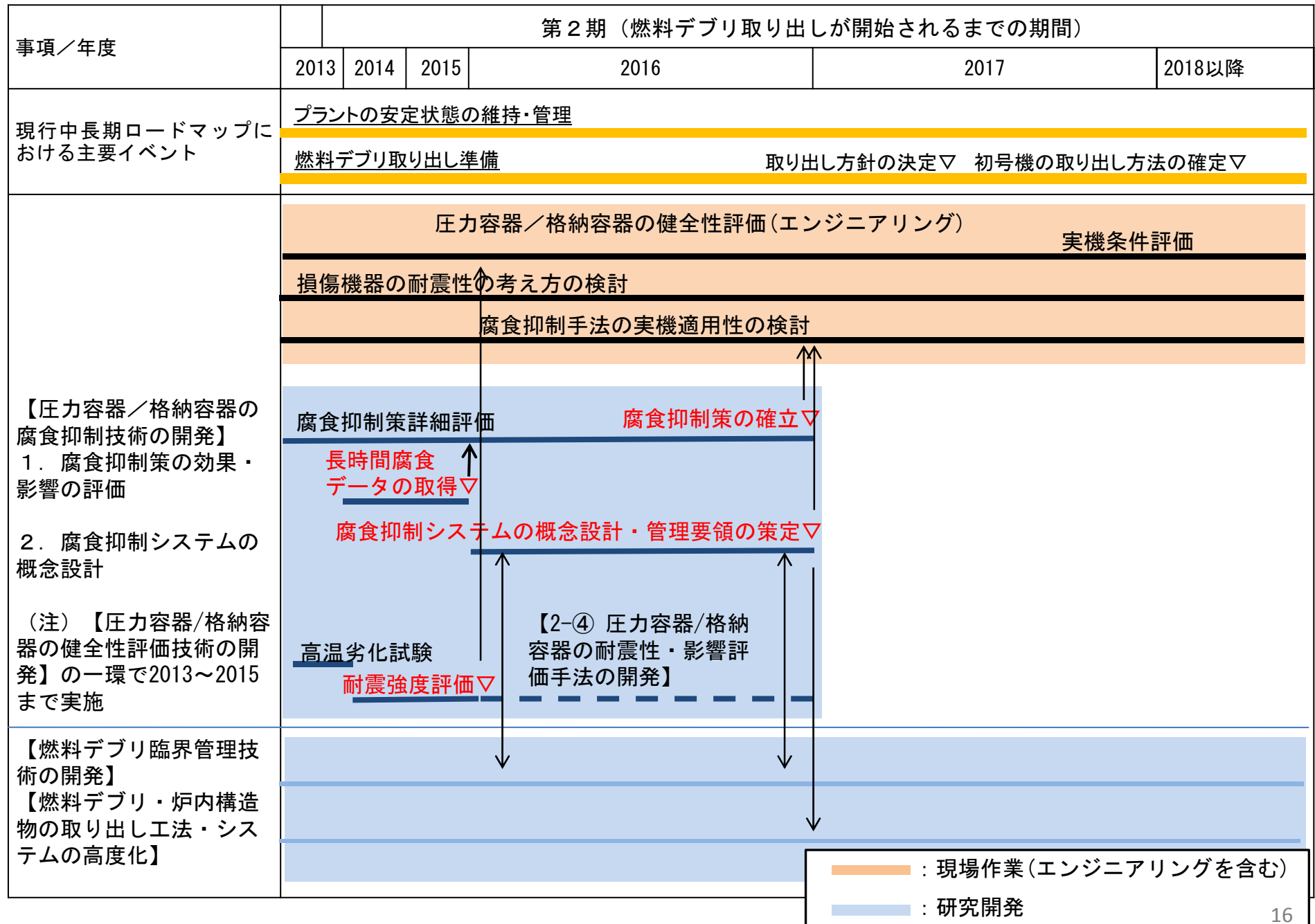
2. 腐食抑制システムの概念設計

- ・各影響評価の検討を基に、腐食抑制策を実機に適用する腐食抑制システムの概念設計を行うとともに、管理要領の策定を行う。
- (備考) 臨界防止技術との連携を図りながら、腐食抑制システムの検討を行う。

目標達成を判断する主な指標の設定 (2016年度)

- ・防錆剤の長期および局部腐食に対する腐食抑制効果の評価。(2016年度)
- ・実機適用可能な防錆剤の選定。(2016年度)
- ・腐食抑制策の実機適用性の検討及び腐食抑制システムの概念設計・管理要領の策定。(2016年度)

(目標工程)2-③: 圧力容器/格納容器の腐食抑制技術の開発



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、大規模地震時の圧力容器/格納容器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圧力容器/格納容器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、格納容器内の水位、建屋内の重要機器の設置状況等に変化が生じる。現状に加えて、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について評価を行う。また、その場合の対策(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

- ・2015年度までの圧力容器/格納容器の健全性評価技術の開発プロジェクトにおいて実施された評価結果を踏まえ、ペDESTAL部、圧力抑制室脚部の耐震性・影響評価を中心に手法を開発する。
- ・このため、2015年度のペDESTALの解析モデルを用いて、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行う。この耐力評価の結果を用いて、圧力容器、スタビライザー等を一体としたモデルを用いた地震応答解析により実際に想定し得る地震荷重を評価する。

- ・また、圧力抑制室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、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。

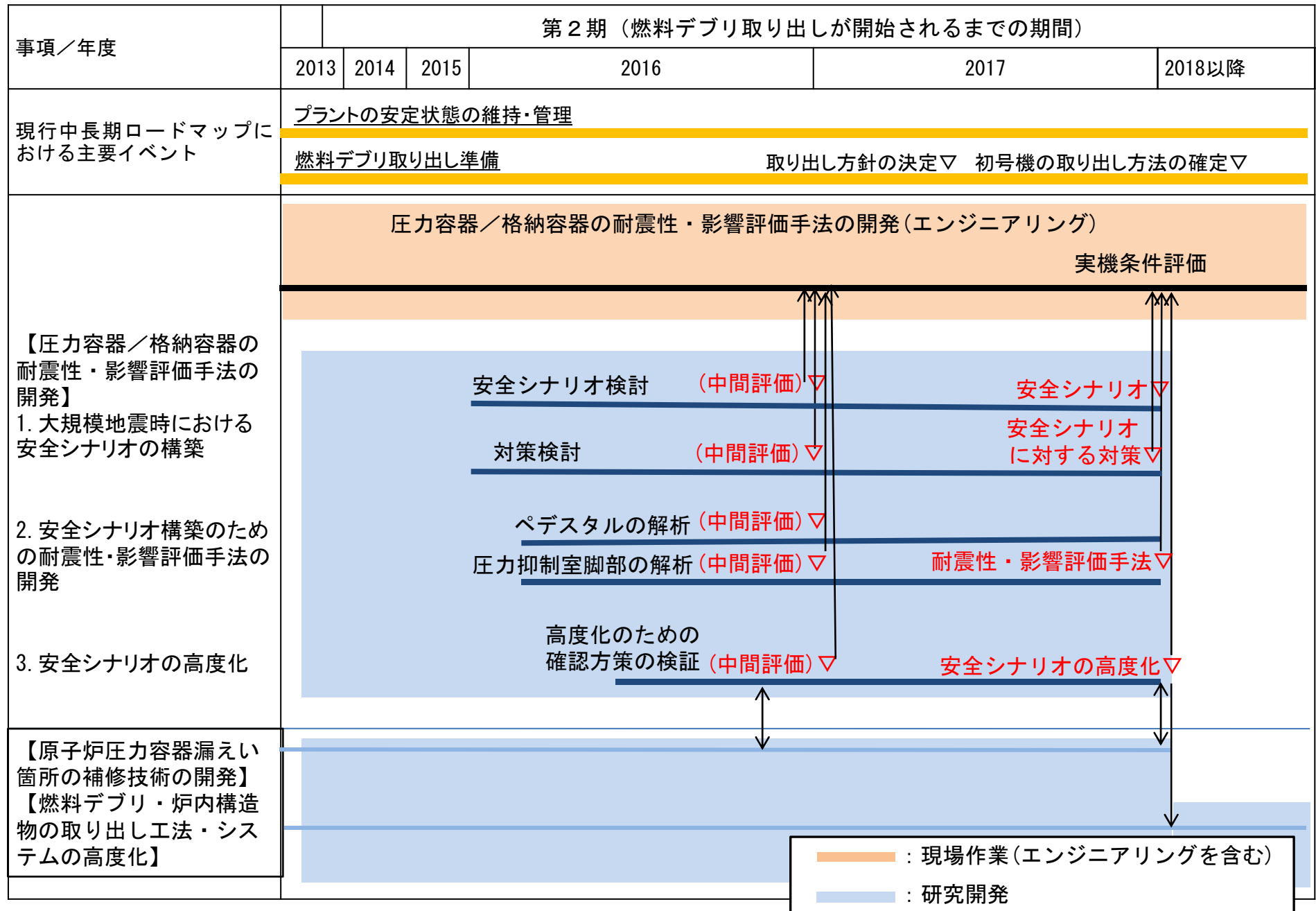
(備考1)これらの結果に基づき、必要に応じて詳細解析や試験を実施し、安全シナリオを見直す。

(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 (2016年度／2017年度)

- ・大規模地震時における圧力容器/格納容器内の重要機器の安全シナリオと対策案。(2016年度は中間、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

プラントの安定状態の確認、燃料デブリ取出し方針の決定や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、燃料デブリ取り出しの複数工法を念頭において、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針の決定に向けて複数工法の各作業工程に対する臨界管理方法を検討する。また、臨界管理方法を実施していくための要素技術について、その成立性を確認するための試験を行う。
- 燃料デブリ取出し方法の方法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

- ・ 第三者からの意見も踏まえた臨界管理の基本的な考え方に基づき、複数工法の各作業工程における臨界管理方法を提示する。臨界管理方法の検討にあたっては、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。
 - ・ 2015年度に評価した号機・部位毎の臨界リスクについて、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するとともに、評価手法・条件設定の考え方に関する第三者からの意見を踏まえて臨界評価・臨界シナリオの見直しを行う。また、臨界リスク評価の根拠となる再臨界に至る条件及び臨界到達後の影響評価について、分かりやすい形でその結果を提示する。
 - ・ 複数工法を念頭に、燃料デブリ取り出し作業を想定した被ばく評価手法の開発を行う。
- (2) 再臨界検知技術
 - ・ 複数工法を念頭に、再臨界が発生した場合に早期に検知するため、ガスサンプリング系ガンマ線検出器を用いた再臨界検知技術を開発する。
 - (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、中性子吸収材とこれを利用した作業を開発する。
 - ・ 溶解性中性子吸収材の適用時における水質管理の設備検討を行い、工法・システムの高度化に必要な情報を提示する。
 - ・ 中性子吸収材として溶解性中性子吸収材とともに、材料腐食等の観点から有利である非溶解性中性子吸収材を開発する。
 - ・ 非溶解性中性子吸収材について、2015年度に策定した試験計画に基づいて臨界防止の効果を確認するための核的特性試験を実施し、実機適用可能な材料を選定する。

2. 臨界管理技術の開発

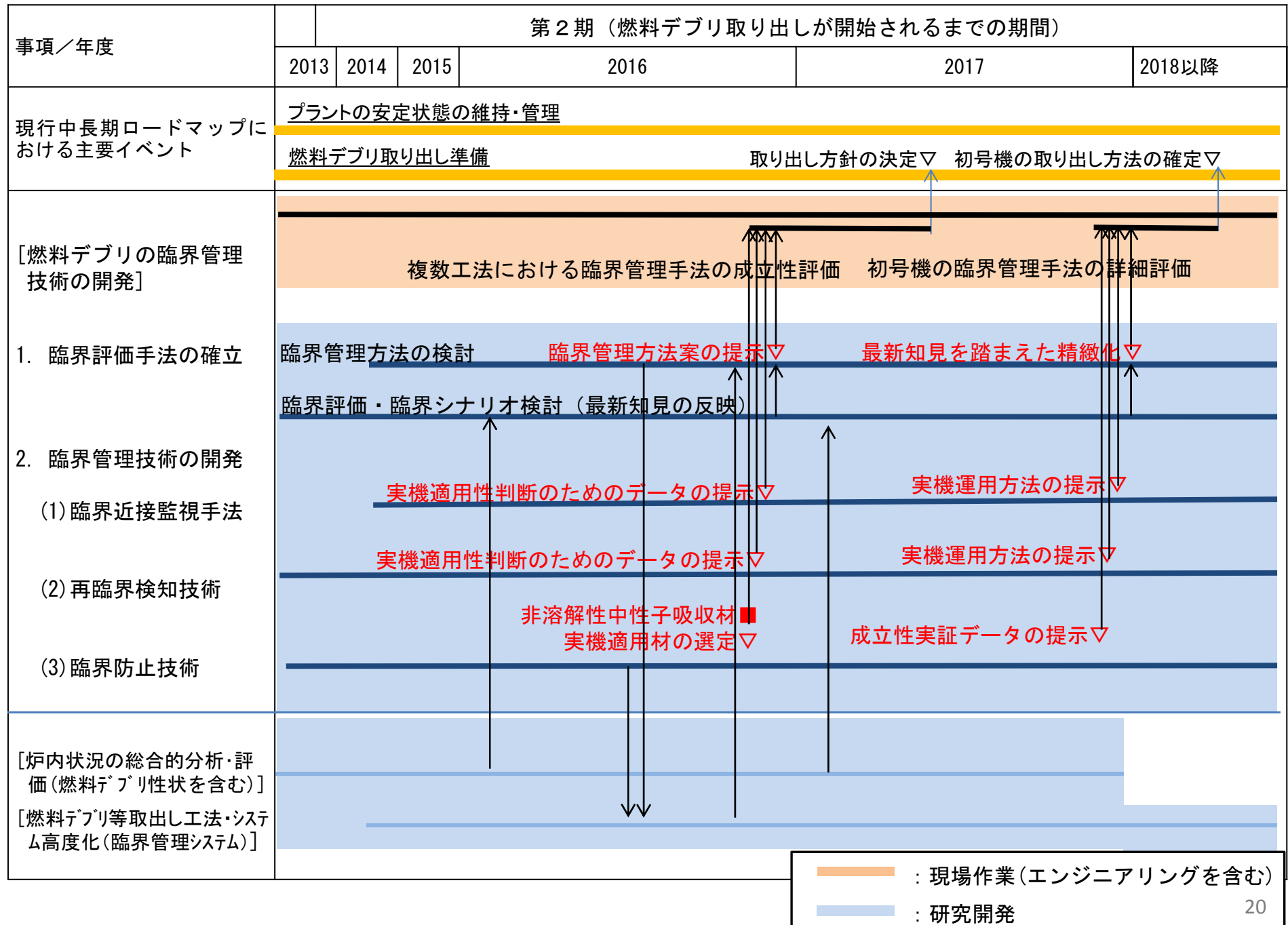
(1) 臨界近接監視手法

- ・ 臨界の発生を未然に防止するため、複数工法を念頭に、臨界近接を検知するための方法を提示する。
- ・ 2015年度までに実施したシステム概念構築に基づきシステム設計・試作を行い、成立性確認試験及び高放射線環境下での動作確認を行う。

目標達成を判断する主な指標の設定 (2016年度/2017年度)

- ・ 燃料デブリ取り出し時の被ばく評価手法を確立。(2016年度)
- ・ 臨界近接監視手法・再臨界検知技術・臨界防止技術について実機適用性判断に必要な情報を提示。(2016年度)
- ・ 臨界管理技術の実機運用方法を提示。(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水位等を評価する。それにより、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な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・提示する。

2. PCV下部補修技術の開発

- ①実機適用に向け、遠隔装置のM/U、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) 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真空破壊ライク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。
- 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トラス室壁面配管貫通部等の止水技術の開発

- ・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及び干渉物撤去や研磨等の止水前処理方法等、補修箇所に応じた施工性の開発を行う。
- ②配管ベローズ補修技術
 - ・止水とインリク緩和の両方を目的とした技術開発を行う。
- ③D/Wシールの補修技術
 - ・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（2016年度／2017年度）

- ・PCV水張りまでのプロセス検討、計画策定。（2016年度）
- ・PCV下部補修技術の実機適用性判断。（2016年度）
- ・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)					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018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▽	
	1. PCV水張りまでのプロセス検討、計画策定 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接続配管のハウダリ構築 ④トラス室壁面配管貫通部 3. PCV上部他補修技術の開発 ①シール部 ②配管ベローズ ③D/Wシールの補修 4. 補修工法の実機適用に向けた成立性の概念検討 ・各補修対象箇所の適用工法に応じた環境改善方法等。					
【原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の実規模試験】 【燃料デブリ取り出し工法・システム高度化】	実機適用性判断▽ (概念検討完了)→燃料デブリ取り出し工法・システム高度化と連携して進める。 実規模試験(1) 実規模試験(2)▽ 実機適用性判断▽ 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▽ 水密成立性確認▽ 気密成立性確認▽ 実機適用性判断▽ 補修方法検討▽ 成立性確認▽ 実機適用性判断▽ 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

燃料デブリ取出し方針の検討、方法の確定に資するためやPCV漏えい箇所の補修技術開発プロジェクトで開発する原子力格納容器(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の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。

○実施工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

(S/C脚部補強、ベント管止水、S/C内充填止水(ダウカマ止水))

- ・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強・止水性能の確認並びに施工状態の確認・評価を実施する。

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。
- ・試験体を再利用できるよう補強材・止水材の健全性確認後、継続して試験体の整備を行う。

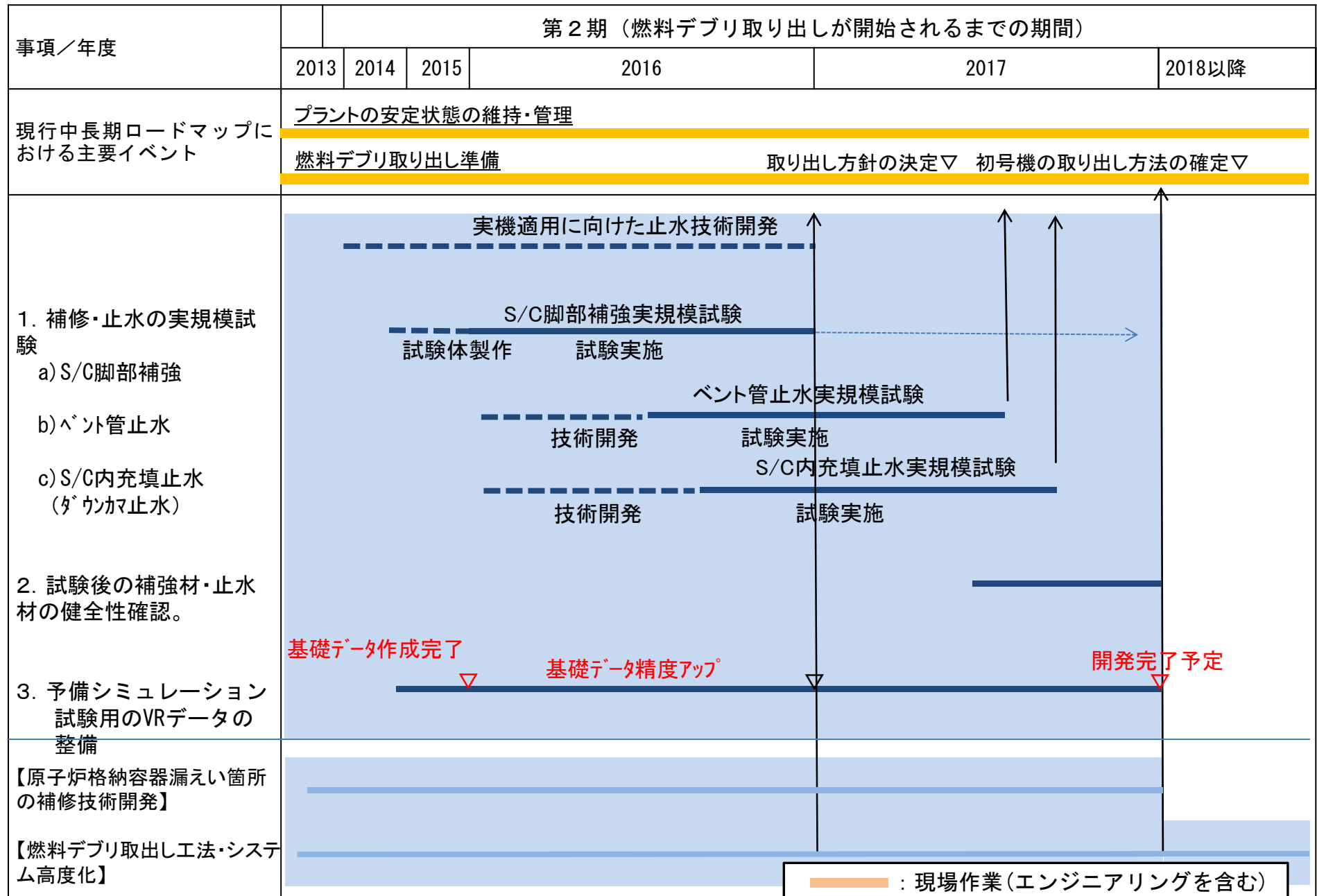
3. 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備

- ・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(2016年度/2017年度)

- ・S/C脚部補強実規模試験の完了。(2016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



—— : 現場作業(エンジニアリングを含む)
—— : 研究開発

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合した収納・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. 破損燃料輸送・貯蔵に係る調査及び研究計画立案

・2015年度までに実施・策定した調査及び研究計画について、現場の最新状況等を踏まえて確認・更新する。

2. 燃料デブリの保管システムの検討

・2015年度までに検討したプール貯蔵や乾式貯蔵システムについて、現場の最新状況等を踏まえて確認・更新する。

3. 安全評価手法の開発

・2015年度の検討を受けて、燃料デブリの収納缶の設計に必要な臨界、構造、水素発生等の観点から安全評価手法を開発するとともに、燃料デブリ等の影響を考慮した適切な材料を評価・選定する。

4. 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や形状・性状を考慮した開発/設計を行い、収納缶の基本仕様を確定するとともに、引き続きモックアップ試験用収納缶の設計を行う。
・2017年度以降、燃料デブリ取り出しに向けた収納缶の試作(長尺タイプ又は短尺タイプのいずれか)、最終確認を行う。

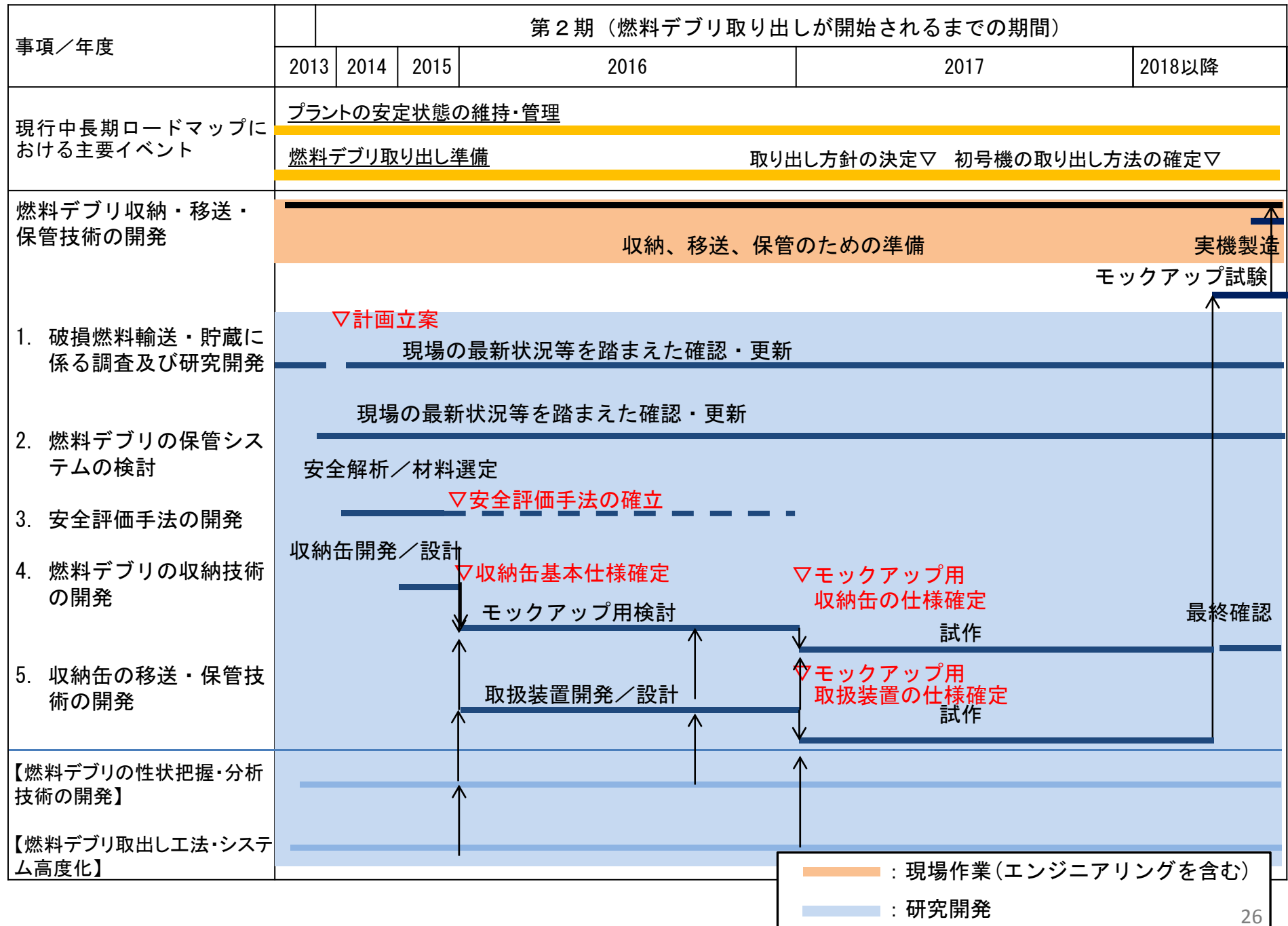
5. 収納缶の移送・保管技術の開発

・収納缶を効率的に移送・保管するための遠隔、自動操作技術等を考慮した取扱装置を開発/設計する。
・2017年度以降、燃料デブリ取り出しに向けた取扱装置の試作を行う。

目標達成を判断する主な指標の設定 (2016年度/2017年度)

- ・モックアップ用収納缶の仕様を確定。(2016年度)
- ・取扱装置の概念を検討し、モックアップ用の仕様を確定。(2016年度)
- ・モックアップ用収納缶の試作。(2017年度)
- ・モックアップ用取扱装置の試作。(2017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

目的

廃止措置に向けた取り組みを円滑に進めるためには、放射性核種で汚染された物質を適切に管理するとともに、処理・処分を安全かつ合理的に行う方策の検討及び安全規制の枠組構築に必要な情報を整備する必要がある。このため成立性のある、発生、保管から処理・処分までの一連の廃棄物管理・取扱い方法（廃棄物ストリーム）を論拠とともに提示する。この一環として、廃棄物に含有される放射能等の性状に関する情報を分析や調査によって収集、評価するとともに、難測定核種については、大熊分析・研究センターへの適用を念頭に置いた分析法の開発・整備を行う。水処理二次廃棄物については長期保管の健全性を考慮し、対策について提示する。また、事故廃棄物に適用可能な廃棄体化技術などの処理技術の候補を提示、評価及び絞り込みを行い、事故廃棄物の特徴を考慮しつつ安全確保が可能な処分概念の候補とその条件を明確にする。

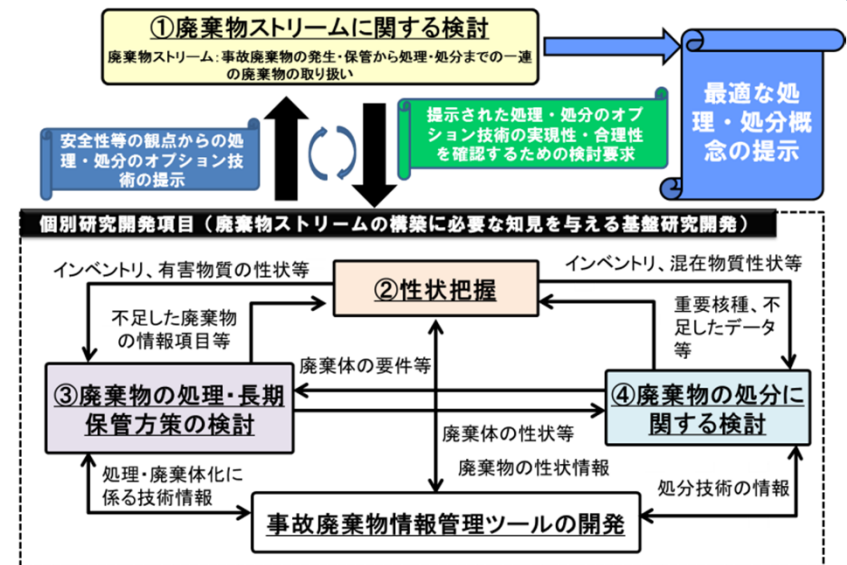
実施内容（全体像）

- I. 2017年度までに固体廃棄物の処理・処分の基本的考え方を取りまとめるため、個々の検討項目の前提条件、課題等を含め、総合的な安全性、実現可能性及び合理性等の観点から、処分までの見通しのある廃棄物ストリームを候補として抽出する。また、処理・処分を検討する上で、基礎となる廃棄物情報を効率的に共有可能な形態に整備する。
- II. 処理・処分の検討の基礎情報として、分析を実施し、結果を蓄積、評価する。分析計画に反映することを念頭に、難測定核種の分析法を開発・整備する。
- III. 廃棄物の処理については、ある程度性状が把握できている廃棄物（水処理二次廃棄物、瓦礫、伐採木等）に対して適用可能と考えられる廃棄体化技術の候補を提示するとともに、第一次絞り込みを行う。水処理二次廃棄物の保管に関わる安全上のリスク（放射性物質の漏洩等）を評価し、よりリスクが低い長期保管の方法を検討して示す。
- IV. 廃棄物の処分について、安全確保が可能な処分概念の候補とその条件を明確にする。

実施内容 I. 研究開発成果の統合（処理・処分に関する基本的考え方の提示）

1. 廃棄物ストリームの検討

- (1) II～IVの研究成果を踏まえ、処理等のオプションや物質収支、放射能収支等を見直し、廃棄物ストリームを詳細化、更新する。
- (2) 2015年度に抽出した評価項目に基づき、廃棄物ストリームを絞り込む方法を構築する



2. 事故廃棄物情報管理ツールの開発

データ等を管理し、ユーザーが利用しやすい環境を整備するため、以下の検討を実施する。

- (1) 情報の整備・管理方針を構築する。
- (2) 廃棄物データとしての分析結果（水分析、瓦礫等）について2015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。
- (3) 整備したデータを容易に利用できる情報管理ツールを設計する。

3. 国内外の叢智の結集

OECD/NEAに設置した専門家グループの意見等を受け、今後の活動に反映する。

3: 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(2/2)

II. 性状把握

1. 分析計画の検討

2015年度に検討した分析計画について工程の進捗や研究の進捗に基づき分析計画の更新を行うとともに、高線量試料の採取方法を検討し、必要な準備を行う

2. 廃棄物試料の採取・分析

各種試料(瓦礫、水処理二次廃棄物及び土壌等)を採取する。分析に当たっては、分析を加速化することを念頭に進める。B型輸送容器の準備を高線量試料の発生時期に合わせて進める。

3. 廃棄物のインベントリ評価

核種の移動モデルの構築により、解析的にインベントリを推定する手法を構築しインベントリデータセットを設定する。また、分析結果を用いて精度の向上を図る。

4. 難測定核種分析の検討

2015年度までに構築したSn-126、Pd-107等の化学分離フローのマニュアルを作成する。

III. 廃棄物の処理に関する検討及び長期保管方策の検討

1. 廃棄物の処理に関する検討

(1) 廃棄体化技術調査

廃棄物の性状等を考慮して技術の評価しつつ、絞り込みに必要な廃棄体化技術の情報を拡充する。

(2) 廃棄体化基礎試験

高性能多核種除去設備(高性能ALPS)等からの廃棄物を対象とした廃棄体化基礎試験を行い、廃棄体化技術の評価に必要なデータを拡充する。

(3) 候補技術の絞り込み

廃棄体化技術の調査、基礎試験及び廃棄物の性状や処分方策の検討状況を考慮した技術選定に係わる要件を用い、廃棄物毎に適用可能と考えられる処理・廃棄体化技術の複数の候補を示す。

2. 長期保管方策の検討

2015年度までの検討を踏まえ、多核種除去設備(ALPS)前処理スラリーの安定化処理装置の現場導入に向けた運用面の検討及び選定を行う。さらに、水処理二次廃棄物の保管に関する検討を進める。また、現地の状況に応じた対策を検討・提示する。

IV. 廃棄物の処分に関する検討

1. 処分概念の特徴整理、調査

既存の安全評価に係る各種パラメータと処分安全性との関係を踏まえ、事故廃棄物固有の特徴(インベントリや海水等の含有)が処分へ与える影響を検討し、それらを加味して各種パラメータの変動範囲の検討を行い、既存概念を念頭においた安全評価の解析ケースを論拠とともに提示する。

2. 廃棄物の性状を考慮した処分概念の検討

1. で設定した解析ケースに対する安全評価を実施し、廃棄物ごとの処分区分、重要核種、安全性について検討し、既存概念によって安全性を確保する上での条件を示す。

3. 新たな処分概念等の検討

2. の検討結果や事故廃棄物の特徴を踏まえ、安全性や技術的な観点からより合理的と考えられる処分概念案とその条件を明確にする。

目標達成を判断する指標の設定(2016年度)

I. 研究開発成果の統合

- ・ II～IVの研究成果を取りまとめ、成立性のある廃棄物ストリームを1廃棄物分類に対し1つ以上構築し、論拠と共に取りまとめる。
- ・ 事故廃棄物情報管理ツールを設計する。

II. 性状把握

- ・ 試料の分析は瓦礫、水処理二次廃棄物等を引き続き実施し、焼却灰に着手する。
- ・ 原子炉建屋内から高線量試料採取を行う方法を開発し、実証試験を実施し、実現性を確認する。
- ・ 分析結果を踏まえインベントリ評価手法を見直し、精度を向上させたインベントリを示す。
- ・ 難測定核種の分析について、化学分離フローの操作マニュアルを作成する。

III. 廃棄物の処理に関する検討及び長期保管方策の検討

- ・ 廃棄体化技術の基礎試験結果及び選定に係る要件を用い、各廃棄物に適用可能と考えられる技術の候補を複数示す。
- ・ 多核種除去設備の前処理スラリーの安定化処理装置の仕様を明確にする。

IV. 廃棄物の処分に関する検討

- ・ 安全確保が可能な処分概念の候補とその条件を明確にする。

(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1期	第2期 (燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間)				
	2013	2014	2015	2016	2017	2018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・処分方案とその安全性に関する技術的見通し △					
I. 研究開発成果の統合 1. 廃棄物ストリームの検討 2. 事故廃棄物情報管理ツールの開発 3. 国内外の叢智の結集	2017年度までの成果を踏まえて2018年度以降の課題の具体化に向けて検討する。					性状把握の進捗等を踏まえ更新 データの更新、ツールの運用・改良 国内外の専門家グループとの連携
II. 性状把握 1. 分析計画の検討 2. 廃棄物試料の分析 (1) 試料の採取・分析 (2) 輸送容器の検討 3. インベントリ評価 (1) 分析結果等に基づく評価検討 (2) 解析的手法に基づく評価検討 4. 難測定核種分析の検討 (1) 化学分離フローの検討 (2) 分析技術の開発	暫定版作成・運用 立木、瓦礫汚染水	計画立案 瓦礫、ALPS、土壌	更新 瓦礫、ALPS、焼却灰、高線量試料採取準備	更新 瓦礫、ALPSなど	更新 試料採取・分析の進展への対応	仕様検討 安全解析 設計等
	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					推定確度向上 推定確度向上
	予備検討 モデル構築	不確実性評価 ↓	データセット設定	とりまとめ	評価精度向上	
	化学分離フローの検討、実証、操作マニュアル作成					
	条件検討	実証試験	分析装置設計			

: 現場作業(エンジニアリングを含む)
 : 研究開発

(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1期	第2期 (燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間)				
	2013	2014	2015	2016	2017	2018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 △					
Ⅲ. 廃棄物の処理及び長期保管方策の検討 1. 廃棄物の処理に関する検討 (1) 廃棄体化技術調査 (2) 廃棄体化基礎試験・技術絞込み 2. 長期保管方法の検討 (水処理二次廃棄物の保管) (1) 多核種除去設備の前処理スラリー (2) 水処理二次廃棄物の保管に関する検討	情報収集 カタログ作成 カタログの拡充	ALPS、スラリー 高性能ALPS等	廃棄体化基礎試験技術の一次評価	適用性、性能の評価、 絞り込み 保管	技術調査 コールド試験 試験方法、装置改良 安定化装置の運用面の検討、選定	健全性評価 対策検討 対策を検討・提示 現地の状況に応じた対策を検討
Ⅳ. 廃棄物の処分に関する検討 1. 処分概念の特徴整理、調査 (1) 既存の処分概念・安全評価手法の把握 (2) 安全評価モデルに適用するパラメータ値の設定 2. 廃棄物の性状を考慮した処分概念の検討 (1) 事故廃棄物の処分区分の把握 (2) 適切な処分概念・安全評価手法の候補選定 3. 新たな処分概念等の検討 (1) 解体廃棄物の処分区分の検討 (2) 新たな処分概念の検討	手法調査 特性把握 特性把握の見直し 特性把握の見直し 予備評価 区分と重核種の暫定設定 区分と重核種の暫定設定 適用性検討	暫定的見直しと設定 見直しと設定 見直しと設定 候補案の抽出 課題・解決策提示	見直しと設定 見直しと設定 候補案の更新 処分概念候補抽出	取りまとめ 取りまとめ 取りまとめ 取りまとめ	安全評価手法の高度化 有望候補概念の検討と安全評価 候補概念の検討	

4: 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

目的

水素爆発や海水注入の影響を受けた使用済燃料プールから取出した燃料集合体を、共用プールや乾式保管設備において長期間安全に保管するため、その健全性を評価する。

実施内容

○海水、およびガレキが混入した冷却水に晒された使用済燃料の長期的な健全性の評価・管理手法、長期的な湿式・乾式保管の可否判断に資するデータを取得する。

1. 燃料集合体の長期健全性評価技術開発

- ①4号機の使用済燃料から取り外した部材を「照射後試験施設」に輸送し、材料試験を実施する。具体的には、2014年度の外観観察において確認された燃料集合体表面の白色堆積物の同定等を行う。
- ②2014年度までに実施した水素化物析出挙動に関する試験などの成果を踏まえ、海水とガレキの重畳による乾式保管時の燃料健全性への影響確認試験を実施する。(2017年度までの計画としているが、2016年度までの検討で、課題が出なければ、2016年度で終了する。)また、乾式保管における燃料健全性確認方法を評価する。

(備考)2015年度までの取組成果

- ・1F4の使用済み燃料プールから採取したガレキ、および模擬ガレキの浸漬試験(1000時間)を実施し、pH、塩化物イオン濃度、導電率を測定するとともに、浸漬後のガレキ性状を確認した。当該のデータに基づいて共用プールに持ち込まれるガレキからの溶出量を評価した。
- ・共用プールでの湿式保管、乾式保管を念頭に、2013年度に評価した条件などを用いて燃料集合体の構造を模擬した未照射試験片による腐食試験、強度試験を実施した。
- ・長期保管における健全性確認の参照データとするため、共用プールに保管している使用済み燃料5体の状態(外観、酸化膜)を確認した。
- ・2014年度の外観観察において確認された燃料集合体表面の白色堆積物の同定等を行うための燃料部材輸送準備、照射後試験施設試験準備を実施した。
- ・乾式保管時の燃料健全性を評価するのに必要な内外の事例調査、およびこれを踏まえ必要と考えられる試験計画を策定した。
- ・長期健全性に係る基礎試験としては、海水成分の隙間構造部への移行状況、取り込み量を分析し、海水成分移行挙動を評価した。

目標達成を判断する主な指標の設定(2016年度)

- ・白色物の分析、および長期健全性に影響する成分の有無を確認。(2016年度)
- ・乾式保管環境を試験条件として、冷却速度の「遅い」条件でのデータ等の取得を完了。(2016年度)

(目標工程)4: 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

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）											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018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▽								
1. 燃料集合体の長期健全性評価技術												
・ 4号機使用済燃料の材料試験							▽ すき間腐食再不動態化電位を取得 ▽ 白色物の分析、および長期健全性に影響する成分の有無を確認					
・ 乾式保管時の燃料健全性への影響確認試験							▽ 高ひずみ条件でのデータを一部取得 低延性条件（冷却速度の速い）でのデータを一部取得 ▽ 高ひずみ条件でのデータを取得 低延性条件（冷却速度の遅い）でのデータ取得					
2. 長期健全性に係る基礎試験	▽ ねじ部の残留量に関するデータを一部取得											
<div style="display: flex; justify-content: flex-end; align-items: center; gap: 20px;"> : 現場作業(エンジニアリングを含む) : 研究開発 </div>												

(1-①) 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 (平成28年2月末時点における進捗状況)

海外機関との協力等により国内外の叡智を結集し、燃料デブリの位置等の炉内状況を推定・把握する事故進展解析技術を高度化した。また、高度化した事故進展解析技術の成果を活用して、現場等で得られる様々な測定データ・情報を考慮した総合的な分析・評価を実施し、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. 事故進展解析コードの改良・高度化

平成26年度に策定した高度化仕様に基づき、事故進展解析コード(MAAPコード及びSAMPSONコード)の燃料デブリ挙動モデルや核分裂生成物(FP)移行モデル等を改良し、事故進展解析技術を高度化した(図1)。

2. 事故進展解析を活用した炉内状況の推定・評価

改良したコードによる事故進展解析及び感度解析を実施している(図2)。また、熔融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)を詳細に評価する解析コードを開発し、格納容器に落下した燃料デブリの挙動を推定した(図3)。さらに、韓国原子力研究所(KAERI)において、圧力容器貫通管溶融破損試験を実施して解析結果確認用データ等を取得する(図4)とともに、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、その成果を炉内状況の評価に活用した。

3. 総合的な分析・評価に必要なデータベースの開発

事故進展解析に関連する情報及び他の研究開発や現場オペレーション等から得られるデータ・情報を収集・整理したデータベースを開発した。

4. 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

事故進展解析結果、実機の調査から得られるデータ・情報に加え、他の研究開発からの成果も活用した総合的な分析・評価(下表)を実施し、燃料デブリやFPが存在する位置・量と組成等を推定している。

項目	1号機	2号機	3号機
事故進展解析	燃料デブリの大部分がPCV側に移行	燃料デブリの分布は消防車注水量の設定に大きく依存	燃料デブリの大部分がPCV側に移行
熱バランス法評価等	RPV内に熱源が少ない	一定割合がRPVとPCVの両方に存在	一定割合がRPVとPCVの両方に存在
ミュオン測定	炉心部に高密度物質(燃料)は殆ど無い	炉心部に存在する燃料は僅か	測定なし
PCV内部調査	確認範囲ではPCV壁等の大規模損傷なし	RPV下部外周部の大規模な損傷なし	確認範囲ではPCV内構造物の損傷なし
総合評価	燃料デブリの大部分がPCV側に移行	一定割合がRPVとPCVの両方に存在	燃料デブリの大部分がPCV側に移行

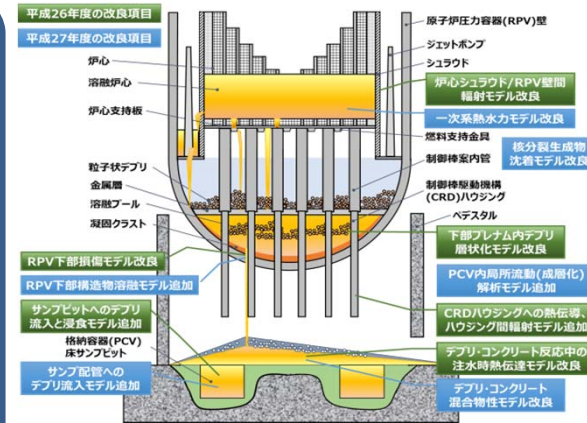


図1 MAAP解析モデルの改良・高度化

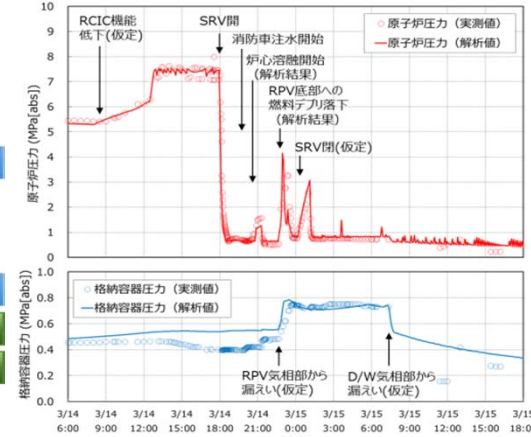


図2 事故進展解析(2号機:MAAP)

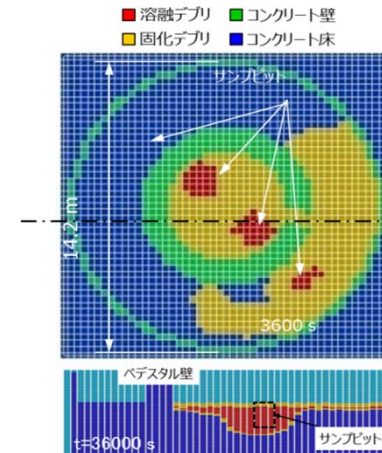


図3 格納容器内デブリ挙動評価(1号機)

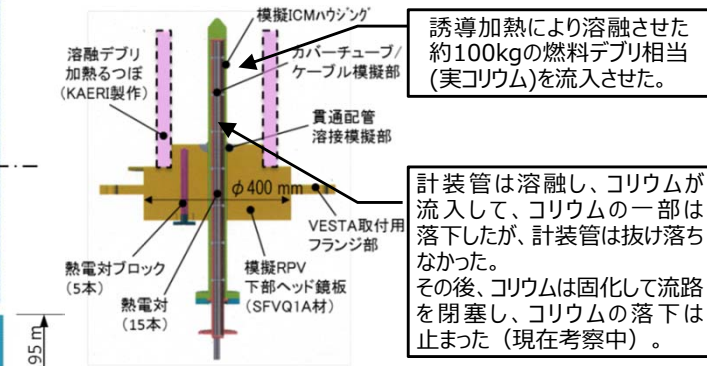


図4 圧力容器貫通管溶融破損試験(炉内計装管模擬試験)

課題及び今後の方向性

SAMPSONコードの改良と感度解析、BSAF Phase2プロジェクトの運営及びデータベースの整備を継続して実施し、炉内状況把握の高度化を推進する。また、必要に応じて、実機データ・情報を踏まえた感度解析等を実施し、事象進展推定精度の向上を図り、総合的な分析・評価結果の信頼性を向上させる。

(1-2) 燃料デブリの性状把握 (平成28年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取り出し技術の検討に必要な実際の燃料デブリ性状を推定するため、各種の模擬材料（模擬デブリ）や米国スリーマイル島原子力発電所（TMI-2）デブリ等を用いて、硬さ等の機械的性質をはじめとした物性データを取得し特性リストに取りまとめるとともに、乾燥特性を評価した。また、炉内等から得られたサンプルについて、採取場所でのサンプルの取扱いから分析施設での分析までの全体フローを検討し分析技術の開発計画を作成するとともに、燃料デブリの分析要素技術の開発として燃料デブリ中の元素定量分析方法の検討とサンプルの輸送に係る安全解析を実施した。

実施内容及び成果

1. 炉内燃料デブリ性状の推定

燃料デブリ取り出しに係る各プロジェクトのニーズ調査をもとに評価が必要な性状を抽出し、燃料デブリのマイクロ性状、マクロ性状を推定し特性リストに取りまとめた（図1）。

2. 模擬デブリを用いた特性評価

取り出し・収納・保管の機器設計に必要なデータについて、以下に示すように模擬デブリを作製し取り出し機器の耐久性・切削性能に係る機械的性質を中心に物性データを取得・評価した。同様に福島第一原子力発電所（1F）の主要な燃料デブリであり既存データも少ないMCCI生成物についてもデータ取得を行った。また収納・保管に必要な乾燥特性、酸化時の性状変化を評価した。

- Zr(O)、FP元素等が固溶した(U,Zr)O₂及び炉内溶融物とコンクリートとの溶融反応生成物の機械的性質を評価した（図2）。
- TMI-2デブリを用いて硬さ等を測定するとともに、分析要素技術開発のためにアルカリ溶融法の適用性を評価した。
- 仏国原子力代替エネルギー庁(CEA)において過去のMCCI試験生成物を用い硬さ等の物性データを取得した。またカザフスタンNNCにおいてUO₂を用いた金属セラミックス溶融固化体を作製し、硬さや粒径分布等の知見を得た。

3. 燃料デブリ等の分析要素技術の開発

サンプル分析について、採取場所から分析施設までの分析作業の全体フローを作成した。また、分析の技術課題を抽出し開発計画を作成した。

燃料デブリの溶解方法及び元素定量分析方法（ICP-AES）を検討するとともに燃料デブリのサンプル輸送の安全解析を実施した。

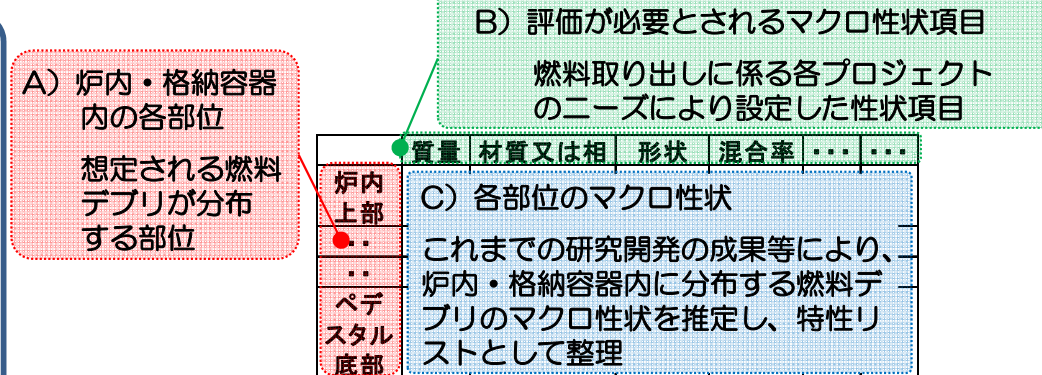


図1 燃料デブリのマクロ性状とりまとめイメージ（特性リストの一部）

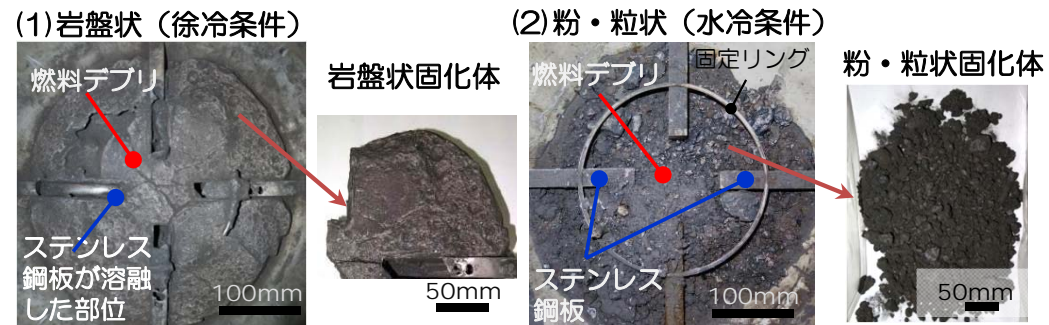


図2 UO₂を用いた金属セラミックス溶融固化体の作製結果
1Fの燃料デブリの成分を模擬したUO₂+Zr+B₄Cの大型溶融固化試験をカザフスタンNNCで行い、金属とセラミックスが混じる岩盤状固化体や、粉・粒状固化体を本事業で初めて作製した。また、取得した物性データは取り出し機器開発や臨界管理に活用する。

課題及び今後の方向性

燃料デブリの含水・乾燥特性についての評価等を継続し、収納缶に係る燃料デブリ性状データを平成28年度末に取り纏める。また今年度策定した計画に基づき、燃料デブリの分析要素技術開発を継続する。

(1-③) 原子炉格納容器内部調査技術の開発 (平成28年2月末時点における進捗状況)

- A2調査（ペDESTAL内部プラットフォーム上状況調査）関連及びB1（格納容器内1階グレーチング上調査）調査関連装置の工場での検証試験を完了し、A2関連では2号機X-6ペネ前の遮蔽ブロック取り外しを完了、B1関連では1号機1階グレーチング上の実証を完了した。
- ペDESTAL内/外の更なる調査に向けたアクセス装置及び計測装置は、上記成果を踏まえて検討及び要素試作/試験を実施した。

実施内容及び成果

1. ペDESTAL内へアクセスする技術

A2調査装置に関しては、A3調査での調査項目を取得可能なよう、前倒して装置開発を実施した。なお、これまでの試験結果を反映・改善し、2号機での現地実証に向けて、現地実証の準備まで実施した（装置外観：図1参照）。

また、ペDESTAL内の更なる調査（A3調査）について、X-6ペネのハッチを開放するための装置の試作・試験を実施すると共に、調査技術の要素試験を実施した。

2. 遮へいブロックを取り外す技術

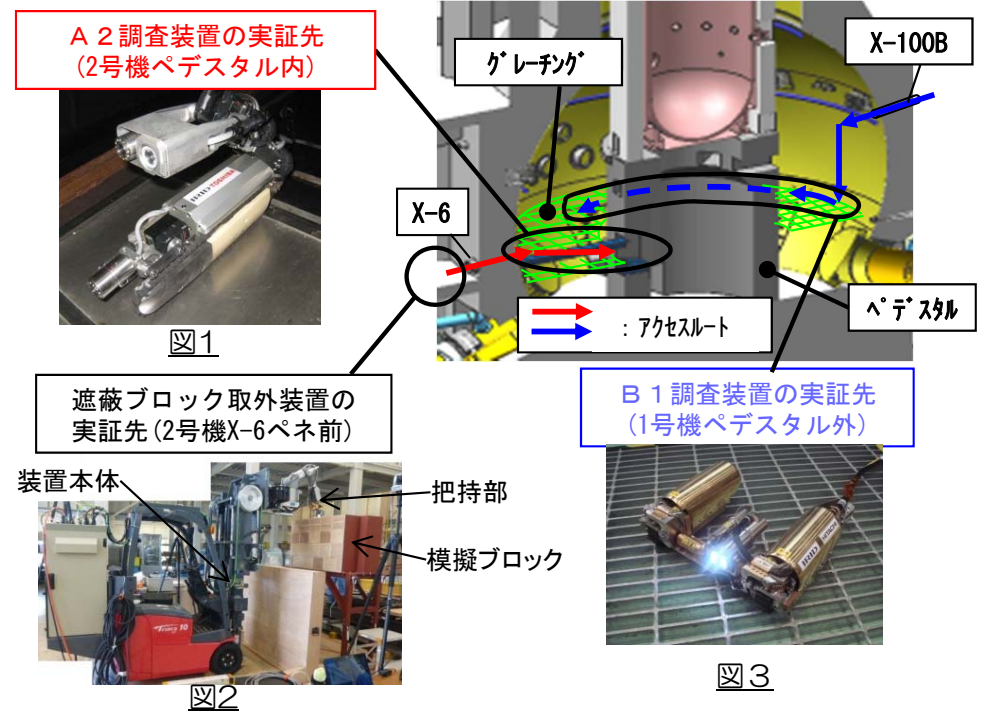
開発した遮蔽ブロック取り外し装置の現地実証試験を平成27年6,7月に実施し、2号機X-6ペネ前の遮蔽ブロック128/135個と背面鉄板2/3枚の取り外しを完了した（装置外観：図2）。

3. ペDESTAL外へアクセスする技術

1号機においてB1調査を平成27年4月に実施し、原子炉格納容器(PCV)内部の既設設備に大きな損傷がないことや1階グレーチング上の約3/4周の範囲の線量/温度データを取得した（装置外観：図3）。また、更なる調査（B2調査）について、概念検討や要素試験・試作を実施し、調査工法を立案した。

4. 燃料デブリ計測技術

これまでの要素試験結果に基づき、試作機の製作を実施中。今後は、平成29年度以降の燃料デブリ調査に向け、計測技術の高度化開発を実施する予定。



※ 図は1号機のPCV内部を示しているが、実証はA2調査を2号機で、B1調査を1号機で行った

課題及び今後の方向性

- B1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）を検討し、A2調査/B2調査の実証試験に向けて開発を継続する。
- また、ペDESTAL内/外の更なる調査に向けた装置開発も実施する

(1-4) 原子炉压力容器内部調査技術の開発 (平成28年2月末時点における進捗状況)

平成28年度以降の压力容器(RPV)内部調査計画、技術開発計画の見直しの判断に資する情報を提示するため、RPV内部調査の主要な技術であるRPV上部穴開け加工技術、バウンダリ機能を維持するシステム、及び格納容器(PCV)側面からの燃料デブリのサンプリング技術について、要素試験等で実現見込みを確認した。

実施内容及び成果

1. 調査計画・開発計画の立案・更新

・関連プロジェクトや現場からのニーズを再整理し、平成26年度に策定した調査計画・開発計画を更新した。なお、開発計画の更新については、下記の実現性評価結果も踏まえて行った。

2. 上部穴開け加工による調査技術の要素試験及び実現性評価

(1) バウンダリ機能を維持するシステムの概念検討

・調査ルート構築のための上部穴開けに伴う放射性物質の飛散を防止するシステムとして、PCVヘッドに設置する代替バウンダリ設備の概念検討(図1)及び要素試験を行い、バウンダリ構築の実現見込みを確認した。

(2) 炉心部へのアクセス技術の概念検討(図2)

・複雑構造である炉内構造物に遠隔で穴開け加工を行う技術として、非接触のレーザ切断、プラズマ切断、ウォータージェット切断を検討した。また、炉内構造物の部分模擬体を用いた穴開け加工の要素試験等を実施し、炉心部への調査ルート構築の実現見込みを確認した。

3. 燃料デブリのサンプリング技術の調査及び実現性評価

・燃料デブリのサンプリングに必要な構成装置である切削・採取装置、アクセス装置(PCV側面からのアクセス)、サンプリングセル等の概念設計(図3)や一部要素試験を実施し、開発中のサンプリング技術に実現見込みを確認した。

・デブリ試料の分析等のため、1Fサイト外への燃料デブリ試料を輸送するための評価に必要な項目を精査するとともに、オンサイト分析する技術及び設備概念を検討し、実現見込みを確認した。

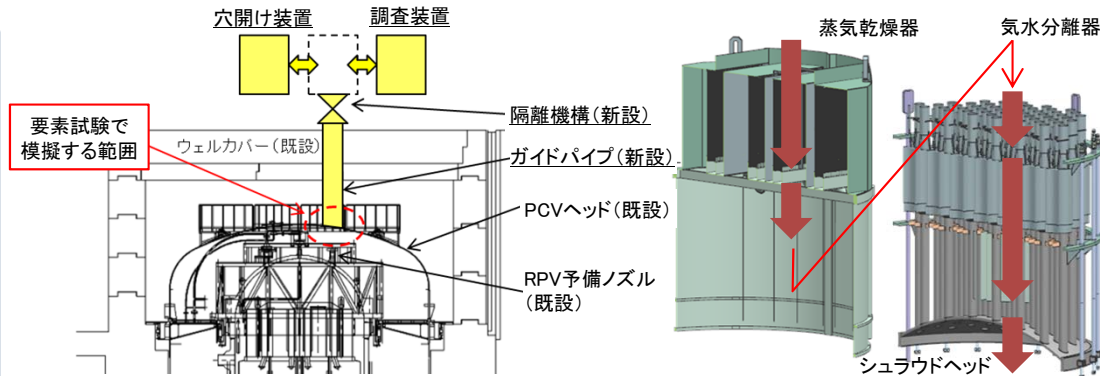


図1 上部穴開け時のバウンダリ機能維持システムの概念

図2 炉内構造物への穴開けによる炉心アクセス概念

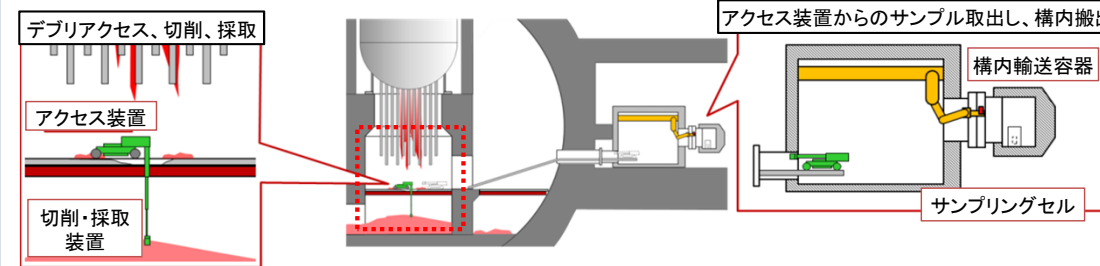


図3 燃料デブリサンプリングシステムの概念

課題及び今後の方向性

- ・付帯設備も含めた調査装置全体のシステム設計を進める。
- ・上部穴開け加工による調査システム及びバウンダリ機能を維持するシステムの試作、モックアップ試験の計画、検討を進める。
- ・切削・採取装置の試作と性能確認試験を行い、アクセス装置とセルの高度化検討結果と併せて、サンプリング技術・設備の計画、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28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途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

- ・プラントデータや他プロジェクト開発成果の整理を行い、燃料デブリ取り出しに必要となる情報を整理した。

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

- ・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を検討・作成中(図1)。
- ・収納缶プロジェクトなどの他プロジェクトとも技術的な打合せを実施し、各検討範囲の確認や最新状況の共有、共通課題の抽出および前提仮定条件を設定した。

(2) システムの概念検討

- ・安全に関する考え方や要求事項を整理中。

(3) 取り出し装置の設計検討

- ・取り出し装置の要求事項について整理中。

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

- ・年度末までに得られた成果を元に、開発計画案を整理中。

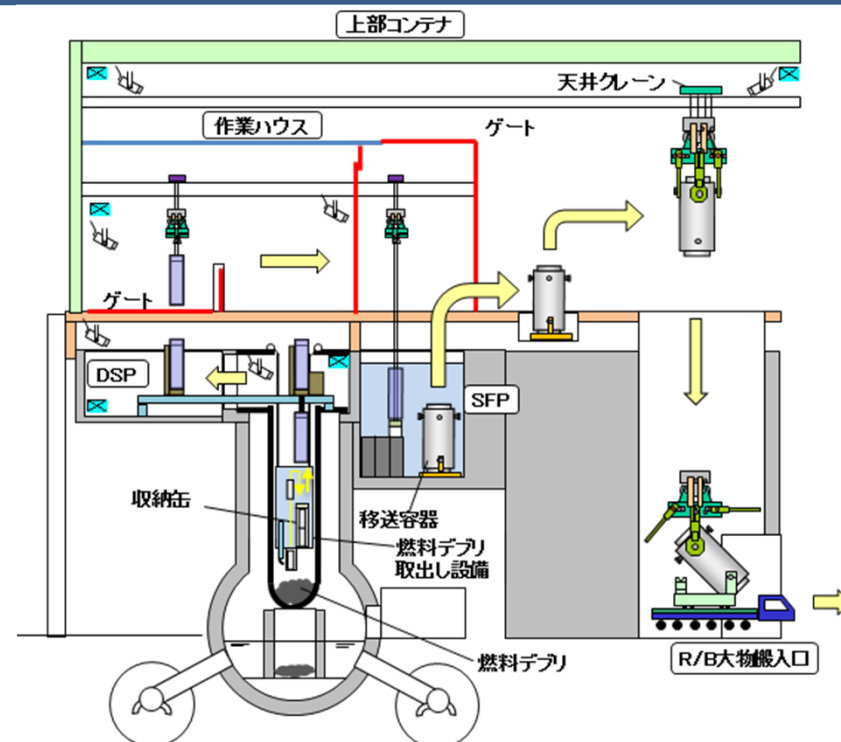


図1 気中-上アクセス工法のフロー(例)

課題および今後の方向性

- ・工法実現性の検討として工法を構成する大型設備の検討から工法実現までの計画策定を行う。
- ・システムの概念検討として実現可能性検討並びに検討計画の策定を行う。
- ・取り出し装置については、開発計画を策定する。

(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28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
 - (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 (図1)
 - 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DESTAL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 (図5)
 - 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

液圧マニピュレータ



図1 液圧マニピュレータに関する試験例

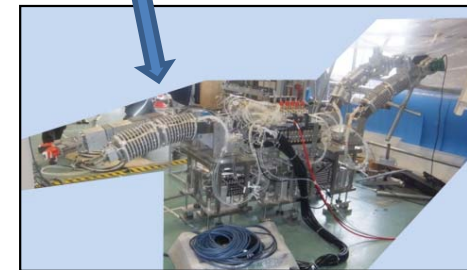
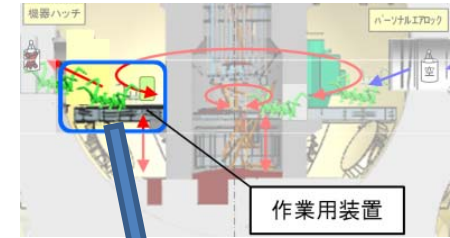


図4 遠隔作業用柔構造アームに関する試験例



図2 RPV内アクセス装置イメージ

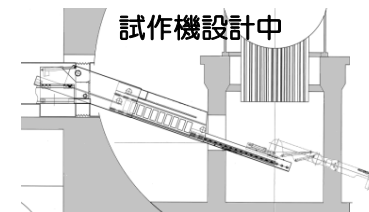


図3 気中-横アクセス工法/ペDESTAL内アクセス装置試験イメージ

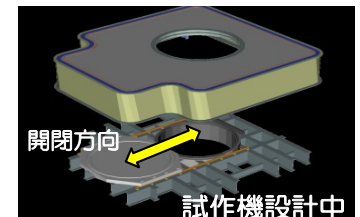


図5 プラットフォーム/セルイメージ

課題および今後の方向性

- ・現状は、全体的におおむね計画どおりに進行中。
- ・各試験を計画に従って実施し、課題の抽出、整理及び対応策の検討を行う。

(2-③) 原子炉圧力容器/格納容器の健全性評価技術の開発 (平成28年2月末時点における進捗状況)

圧力容器(RPV)/格納容器(PCV)冠水工法の成立性評価のため、補修などの最新計画プラント状態を反映した地震応答解析を行うとともに、燃料デブリ取出し工法など今後想定される多種多様なプラント状態に対応できる耐震強度の簡易評価手法の開発を実施した。また、耐震強度評価に用いる燃料デブリ取出しまでの長期間の腐食減肉量予測や腐食抑制策抽出のための腐食試験を行うとともに、燃料デブリ侵食等を考慮したRPVペダスタルの耐震強度評価手法の構築に用いるコンクリートや鉄筋の高温劣化材料データ取得のための試験を実施した。

実施内容及び成果

1. PCV/RPVの耐震健全性を踏まえた冠水工法の成立性評価 (図1)
 - ・ 想定プラント状態を反映したRPV/PCV機器の耐震強度評価により、気中及び完全冠水(上アクセス)での燃料デブリ取出し工法の成立性を検討し、評価結果が厳しい部位について、耐震性詳細評価を追加実施中。
2. PCVの補修や水位上昇を踏まえた機器の耐震強度の簡易評価
 - ・ 地震応答解析に影響するパラメータ(D/W水位など)を抽出・選定の上パラメータケースでの地震応答解析を実施し、パラメータの変動による地震荷重の応答比を整理した。また、これらの組合せ等を観点に機器の耐震強度の簡易評価手法を開発した。簡易評価手法と通常の動的解析手法から得られた評価結果を比較することで、妥当性を確認した。
3. 腐食抑制策の開発 (図2)
 - ・ 選定した防錆剤に対し、放射線照射下を含む防錆効果の確認試験を行い、実機適用可能な防錆剤候補の絞り込みを実施した。また、各防錆剤に対する水処理設備への影響評価試験を実施し、課題を抽出した。
4. 長期の腐食減肉量の予測の高度化
 - ・ 腐食減肉量の予測精度向上のため、10000時間の腐食試験を実施した。
 - ・ 燃料デブリや炉内コンクリートからの溶出成分やその腐食影響について調査を実施し、新たな知見を得た。
5. ペダスタルの侵食影響評価 (図3)
 - ・ 円柱試験体、縮小模型試験体及びブロック試験体等について、高温加熱・気中/水中暴露試験を実施し、コンクリート強度試験や鉄筋腐食試験など各種データを取得し、今後の考察に有効な知見を得た。

プラント/ケース	福島第一原子力発電所1号機
H26-1 (気中(現状水位))	<ul style="list-style-type: none"> ・ 将来想定: パラメータ (10年後, 15年後, 40年後) ・ 建屋損傷モデル ・ D/W水位: 約2.9m ・ S/C内: 満水 ・ トーラス室: OP3680 ・ ベント管内: 満水 ・ 真空破壊管内: 満水 ・ オペフロ階付加設備: パラメータ (なし, 約5100t, 約61000) ・ 小部屋埋設: なし ・ 減衰定数: パラメータ (1)コカイト 7%, 鋼材 4% (ルチウム-ガレ) (2)コカイト 5%, 鋼材 1% (建設時設計用) ・ 地震波: 現行Ss
H26-2 (完全冠水)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 将来想定: パラメータ (15年後, 40年後) ・ 建屋損傷モデル ・ D/W水位: 2.5m以上冠水 ・ S/C内: コカイト OP 3570 ・ トーラス室: コカイト(5mサホト)上部位置: OP 2140 ・ ベント管内: 補修考慮 ・ 真空破壊管内: 補修考慮 ・ オペフロ階付加設備: 約6100t ・ 小部屋埋設: なし ・ 減衰定数: パラメータ (1)コカイト 7%, 鋼材 4% (ルチウム-ガレ) (2)コカイト 5%, 鋼材 1% (建設時設計用) ・ 地震波: 現行Ss

図1 補修などの最新計画プラント状態を反映した耐震強度評価条件例

PCV材(炭素鋼)
50℃、1000倍希釈人工海水(19ppmCl⁻)
試験時間500時間



図2 腐食抑制策の開発状況例

課題及び今後の方向性

- ・ S/C脚部支持構造物や補強材の耐震性評価試験の実施が必要である。
- ・ 福島第一原子力発電所(1F)に最適な腐食抑制策を開発する。
- ・ 本事業で開発する耐震強度の簡易評価手法を今後随時活用する。



図3 RPVペダスタルの耐力評価試験(縮小模型試験体)

(2-5) 燃料デブリの臨界管理技術の開発 (平成28年2月末時点における進捗状況)

平成32年までに燃料デブリ取り出し時の臨界管理手法を開発するため、平成27年度は、検討中の複数工法に対して臨界シナリオを整理するとともに、臨界近接検知などの臨界監視や、中性子吸収材等を用いた臨界防止の技術開発を実施し、未臨界状態を維持し、再臨界が万一起こっても速やかにそれを検知して過度の被ばくを防止するための臨界管理技術を開発した。

実施内容及び成果

1. 臨界評価

- ・複数工法を対象に最新情報を反映して臨界シナリオを見直し、号機及び部位毎の臨界リスクを評価した(図1)。また各号機の運転履歴を考慮して解析評価した燃料組成を用い臨界評価精度を高めた。
- ・格納容器(PCV)上部水張りについては、炉心部残存燃料の臨界時挙動並びに被ばく評価を実施し、同残存燃料が想定範囲であれば、純水を水張りする方法が適用可能であることを解析により確認した。
- ・複数工法における臨界管理の基本的考え方を整理し、事故・異常事象を検討することにより、深層防護に基づく臨界安全の考え方を纏め、燃料デブリ取出しシステムに対する要求を整理した(表1)。

2. 臨界近接検知技術開発

- ・臨界近接検知手法を検討し、中性子検出器を用いた複数手法の組み合わせによる検知システム概念を構築した。使用済燃料保管設備や臨界集合体を用いた成立性確認試験計画(案)を立案した。

3. 再臨界検知技術開発

- ・中性子及び核分裂生成物(FP)ガス γ 線計測システムは、複数の工法に適用可能と考えられ、同 γ 線システムの妥当性や成立性確認に向け、実機での未臨界度測定等実証試験計画(案)を立案した。

4. 臨界防止技術

- ・非溶解性中性子吸収材について、新規/改良候補材照射試験結果から候補材を選定し、必要投入量を求め、適用設備概念を導出した。
- ・溶解性中性子吸収材が与える材料腐食影響を評価した(図2)。核種除去設備影響を考慮した水質管理設備等の概念を導出した。

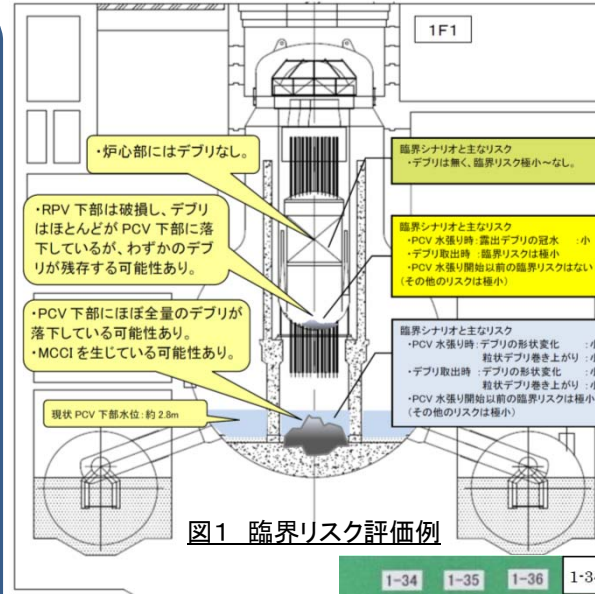


図1 臨界リスク評価例

(左)：五ホウ酸ナトリウム1,000ppmB, 100時間, 無被膜条件
(右)：五ホウ酸ナトリウム2,000ppmB, 100時間, 無被膜条件

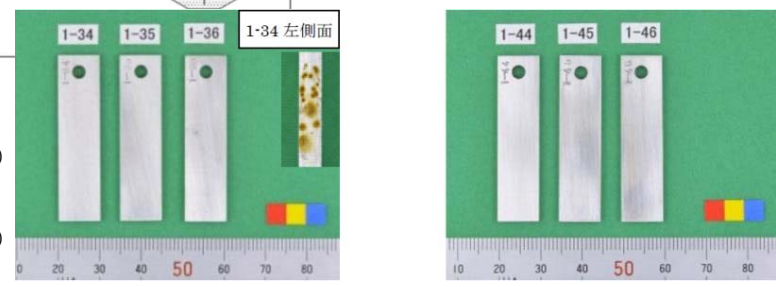


図2 溶解性中性子吸収材による腐食影響評価試験結果例

表1 臨界管理の基本的な考え方

臨界管理方法	PCV水張り		デブリ取り出し
	純水	ホウ酸水	
臨界管理方法	未臨界確認しながら段階的な水張り	ホウ酸水	未臨界を確認しながら取り出し
臨界防止	水張り速度制限、段階的水張り	ホウ酸による臨界防止	・臨界近接検知システム未臨界監視 ・吸収材による臨界防止
影響緩和	FPガス γ 線による臨界検知、ホウ酸水投入で臨界終息		FPガス γ 線+中性子による臨界検知、吸収材投入による臨界終息

課題及び今後の方向性

臨界近接検知システム、非溶解性吸収材の成立性確認試験を実施し、臨界管理に必要な要素技術を確立するとともに、複数工法に対応する臨界管理方法の開発を進め、平成29年度の燃料デブリの取り出し方針の決定に資する。

(2-⑥) 格納容器水張りに向けた補修（止水）技術の開発 （平成28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. 格納容器(PCV)補修・止水技術の開発

(1) サプレッションチェンバー脚部の補強技術

補強材を改良し、流動性・打ち上がり性・障害物の影響を確認し、実機適用の見込みを得た。(図1)

(2) 循環冷却システムの検討

(3)-1 ベント管内埋設による止水技術

閉止補助材の実スケール展開性試験を実施した。副閉止補助材の候補材を絞り込み要素試験を実施し、実機適用へ向け課題を抽出した(図2)。

(3)-2 サプレッションチェンバー(S/C)内充填による止水技術(図3・図4)

配合試験により材料配合を決定し、ダウンカマ止水およびクエンチャ、ストレーナ止水試験を実施した。また合流部長距離流動確認試験と真空破壊弁止水を行い、本止水材による止水性能を確認した。

(3)-3 真空破壊ライン埋設による止水技術

フレキシブルガイドパイプ及びプラグの挿入の実規模試験を実施し、一連の工法の成立性を確認した。

(4) シール部の止水技術/(5) 配管ベローズの止水技術

機器ハッチの溶接工法概念検討を実施した。

(6) 接続配管のバウンダリ構築技術

止水材の要求性能を設定して、止水試験を実施し、課題を抽出した。

(7) トーラス室壁面配管貫通部等の止水技術

(8) ドライウェル(D/W)シールの補修技術

止水工法及び止水材の適用確認試験の検討と止水装置の概略設計を実施。

2. PCV水張りまでの計画の策定

1・2号機の水張りまでの作業ステップ(PCV止水手順)を作成した。

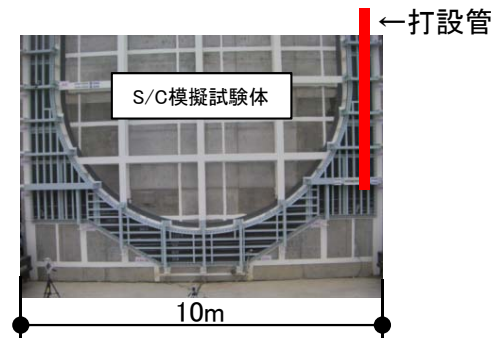


図1 S/C脚部補強打ち上がり性状確認試験(1/1スケール)

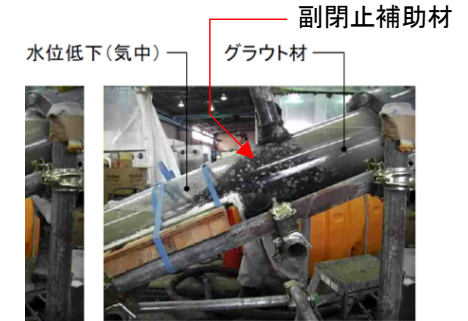


図2 ベント管止水用副閉止補助材止水試験状況

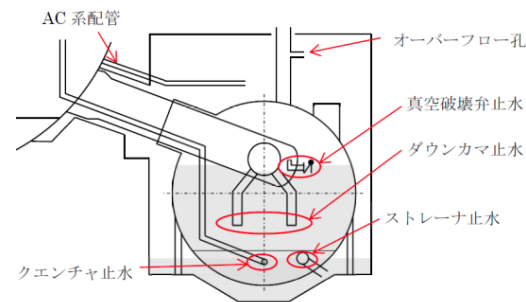


図3 止水材の充填範囲(2号機)



図4 大型ダウンカマ試験の打設状況

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^①の補修・止水技術の実規模試験 (平成28年2月末時点における進捗状況)

平成26年度及び平成27年度にて、実規模試験に必要な試験体や設備等についての検討、維持管理として、原子炉格納容器(PCV)下部を模擬した試験体や給排水設備等の設置等を行い、実規模試験実施に必要な試験の準備と、遠隔装置の操作訓練のためにバーチャルリアリティシステムに関連する技術の開発事業にて開発した遠隔操作機器(マニピュレータ)のデータの取り込みを行った。また、平成27年度にはサプレッションチャンバ(S/C)脚部補強の打設用遠隔装置の水試験を実施し、実規模試験に着手した。

実施内容及び成果

1. PCV下部の補修・止水のための機器・装置等の実規模試験等

(1) PCV下部の補修・止水のための機器・装置等の実規模試験

S/C脚部補強工法の実規模試験に着手した。本年度は、脚部補強の打設用遠隔装置の水試験を実施し、装置が問題なく使用可能であることを確認した。

(2) 作業手順の検討、作業者の操作訓練のためのデータ等の作成

VR(バーチャルリアリティ)システムに取り込む遠隔操作機器(マニピュレータ)に係るデータを作成し、VRシステム内で動作可能であることを確認中(3月末まで)。

2. 実規模試験に必要な試験体や設備等についての検討、維持管理等

(1) 実規模試験体の設計・製作(図1)

福島第一原子力発電所2号機のPCV下部(サプレッションチャンバ、ベント管(ベローズを除く)、ベントヘッド、ダウンカマ、トラス室壁面)を模擬した1/8セクタの実規模モデルを試験施設内で組立て、3月末までに完了予定。

(2) 給排水設備、濁水処理設備等の必要な設備等の検討・設計・製作・設置

実規模試験に必要な以下設備について、以下の設備を3月末までに設置完了予定。

○昇温・給水設備、○濁水処理設備、○作業フロア、○試験体移動レール

(3) 給排水設備等の運転

モックアップ試験施設の建設工事との工程調整を実施した。

運転・点検マニュアル(初版)の作成が完了した。

3. モックアップ施設側に必要な設備等の検討、維持管理等

(1) モックアップ試験施設側の整備及び維持管理に関する検討

試験施設と給排水設備の配管・電源等の取合い条件、ユーティリティ供給容量の検討及びモックアップ試験施設側で準備する環境模擬体(現場環境を模擬した水槽、階段など)の仕様検討を終えた。

(2) 遠隔操作機器の機能と操作者の技能を検証するシステムに関する調査

国内外の機関における遠隔操作機器の機能及び操作者の技能に関する検証システムの調査を完了した。

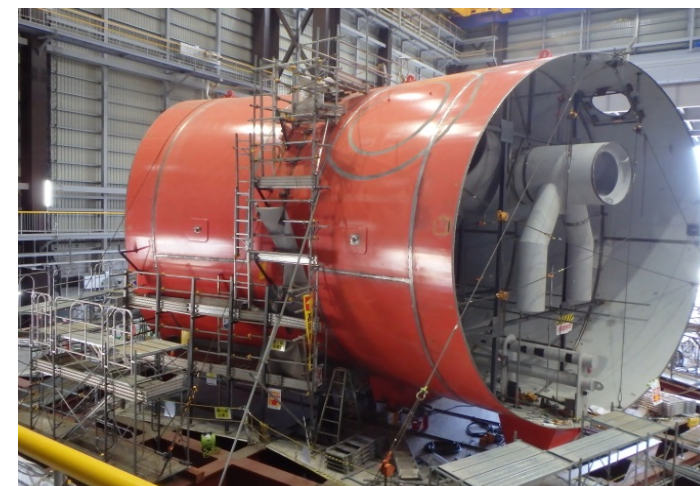


図1 試験体製作状況
(櫛葉遠隔技術開発センター 平成27年1月12日撮影)

課題及び今後の方向性

補修・止水性能の判断基準について、関連する技術開発事業の成果と比較しながら実規模試験体でどのように取り扱う必要があるか検討を要する。また、遠隔装置の操作訓練に向けたVRシステムに取り込んだデータについては、更なる精度アップが求められる。

(2-8) 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 (平成28年2月末時点における進捗状況)

1F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、収納缶の基本仕様案を設定した。

実施内容及び成果

1. 破損燃料輸送・貯蔵に係る調査及び研究計画立案

下記3~5に資するハンガリー国Paks発電所、米国パシフィックノースウエスト国立研究所の収納缶設計情報、安全評価技術、燃料デブリの乾燥技術を調査し、海外の技術知見を得た(図1)。

2. 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・乾式貯蔵システムについて、他の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。

3. 安全評価手法等の開発

燃料デブリの収納缶の設計に必要な未臨界管理、構造強度(図2)、水素発生対策等の観点から、安全評価手法について文献調査、海外事例調査、試解析、要素試験を実施し、安全評価に係る課題等をまとめるとともに次年度の詳細検討項目を決定した。

4. 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をまとめ、塊状燃料デブリ用の収納缶の基本仕様案を設定した(図3)。

5. 収納缶の移送・保管技術の開発

収納缶の取扱装置検討の前提となる収納缶の取扱フロー案を設定した(図4)。



図1 ハンガリー国Paks発電所での技術会議

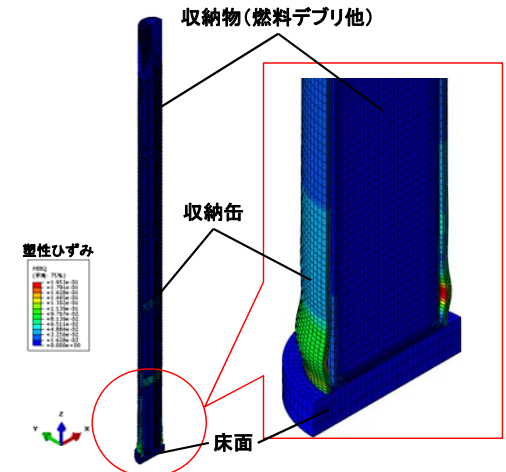


図2 収納缶の構造強度評価例(静的落下解析例)

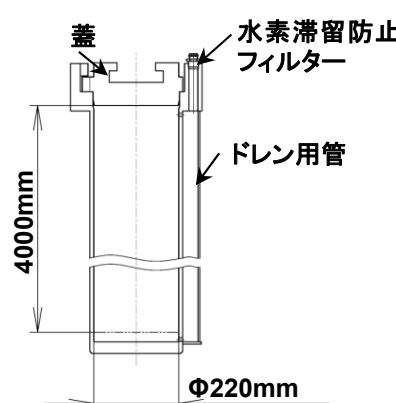


図3 収納缶の構造例

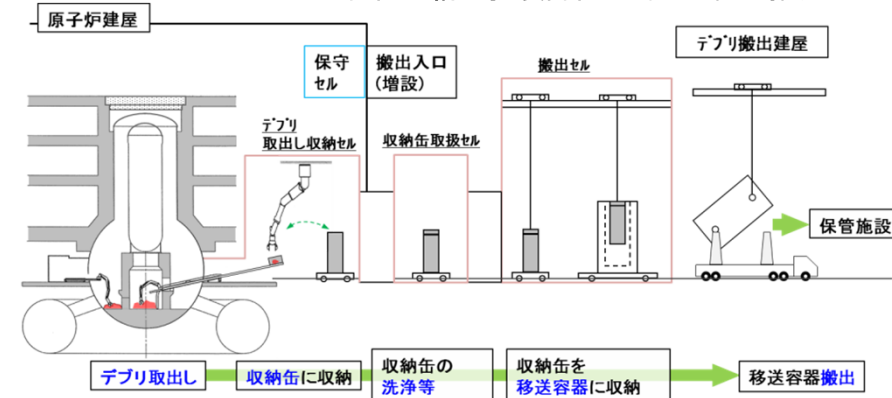


図4 収納缶の取扱いフロー例

課題及び今後の方向性

安全評価にかかわる詳細検討を実施して各評価手法を決定するとともにモックアップ試験用収納缶設計のための基本計画をまとめる。また、取扱フローを検討し、モックアップ向け装置の仕様を確定する。

(3) 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発 (平成28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（廃棄物ストリーム）の検討、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、既存処分概念の特徴把握や事故廃棄物の処分区分の検討などを実施した。

実施内容及び成果

1. 研究開発成果の統合（処理・処分に関する基本的考え方の提示）

- ・廃棄物ストリームに関して、現状の知見を集約し、分岐点での評価事項やストリームに沿った物量・インベントリの変化を取りまとめた。
- ・研究開発を支援するための情報管理ツールについて検討し、性状把握、処理と処分に関する作業フローとデータの関係を整理した。
- ・OECD/NEAが設置した専門家グループによる検討会に参画し、事故廃棄物の管理に関する報告書を取りまとめた。

2. 性状把握

- ・分析の中長期計画を作成した。瓦礫、水処理二次廃棄物や汚染水をサイト外施設に輸送し、放射能分析を実施した。多核種除去設備スラリーは⁹⁰Srが主成分でありPu等も含むことが分かった（図1）。
- ・インベントリ評価のための解析的モデルに関し、分析結果等を用いて不確実性を低減し、改良した。多核種除去設備廃棄物について、処理水等分析データを用いてインベントリを評価した。

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、脱水技術（乾燥及びろ過）の実機装置による適用性試験を実施し、処理装置の選定要件を整理した（図2）。
- ・スラリーや廃吸着材の廃棄体化技術評価のため、固化（化学処理・焼結）や圧縮成型試験により基礎データを取得した。また、技術の絞り込みに必要な情報を抽出し、評価要件を整理した。
- ・セシウム吸着塔の保管に関して、実規模試験を実施してセシウム吸着挙動を調べ、解析評価した。

4. 廃棄物の処分に関する検討

- ・核種のインベントリデータセット等に基づき、処分の観点からの廃棄物の暫定的な分類を実施した。処分の安全評価手法（シナリオ、モデル、パラメータ、解析ケース等）を見直した。
- ・暫定的な廃棄物の分類に対する安全性を評価するとともに、安全性を向上させる対策等に繋がる情報を整理した。

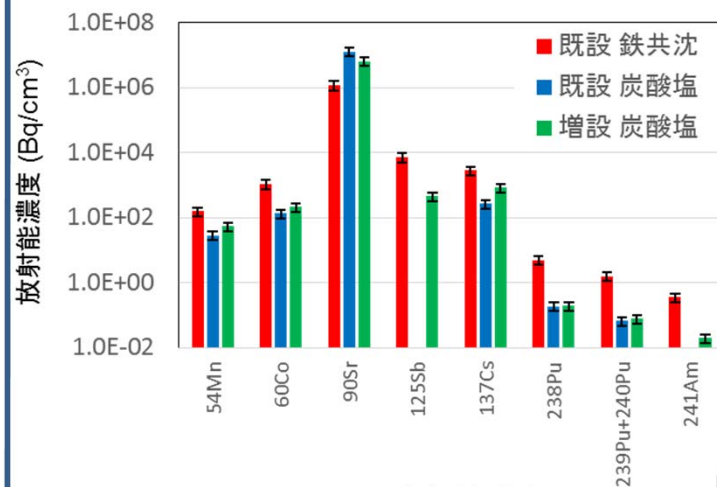


図1 スラリーの放射能濃度



図2 スラリーの脱水処理を検討するための加圧ろ過試験装置

課題及び今後の方向性

- ・分析試料の採取方法を検討し、計画的に採取及び分析を進める。
- ・処理、処分方法の検討結果を反映し、ストリームの検討を促進する。

(4) 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 (平成28年2月末時点における進捗状況)

平成26年度に行った共用プール内の使用済燃料外観観察で確認された白色堆積物についての分析やねじ内面付着の分析を行うための燃料部材輸送準備、照射後試験施設試験準備を実施した。(図1)

乾式保管時の健全性評価については、被覆管材料内の水素化物析出挙動や被覆管クリープ破断基準、被覆管クリープ速度を試験により確認する。長期健全性に係る基礎試験としては、海水成分のすき間構造部への移行状況、取り込み量を分析し海水成分移行挙動を評価した。

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号機使用済燃料の部材を照射後試験施設に輸送し、材料調査を実施するための準備作業を実施した。燃料部材輸送準備では、ロックナット採取/輸送容器積込手順の検討等を実施した。照射後試験施設試験準備では試験要領の作成を実施するとともに、ロックナットを用いた電気化学的試験等の試験検討、準備を実施した。

(2) 乾式保管時の燃料健全性評価

1Fの燃料プールから取出した使用済燃料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、低延性条件試験における水素化物析出挙動確認試験、高ひずみ条件でのクリープ試験など、影響確認試験を実施中。水素化物析出挙動確認試験では、水素化物再配向への傷付与の影響は認められなかった(図2)。

2. 長期健全性に係る基礎試験

1F4号機の燃料プールに保管されていた新燃料集合体から採取した燃料部材の詳細検査により海水成分の部材表面への移行・付着が確認された。昨年度に行った放射性トレーサを用いた浸漬試験技術を基に、燃料部材すき間構造部への海水成分の移行挙動評価試験を行い、すき間構造部で海水成分が濃縮することなく、すき間外の塩分濃度に従って変化することがわかった(図3)。



図1 共用プール内の燃料集合体白色堆積物が確認された

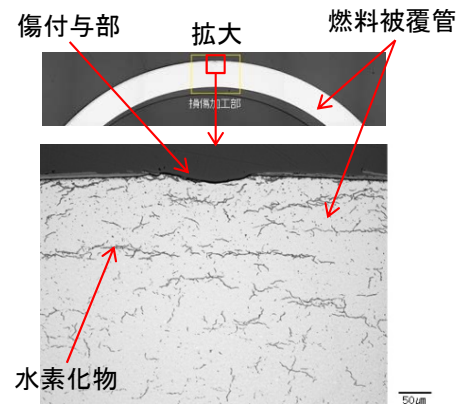


図2 水素化物析出挙動確認試験結果の例(300°C、冷却速度0.3°C/h、周方向応力70MPa、傷付与)

浸漬液(NaCl溶液)		Cl濃度 [ppm]	温度 [°C]
試験液A	2倍希釈海水濃度	9120	80
試験液B	7倍希釈海水濃度	2988	23
試験液C	20倍希釈海水濃度	979	23
試験液D	2000倍希釈海水濃度	11	23

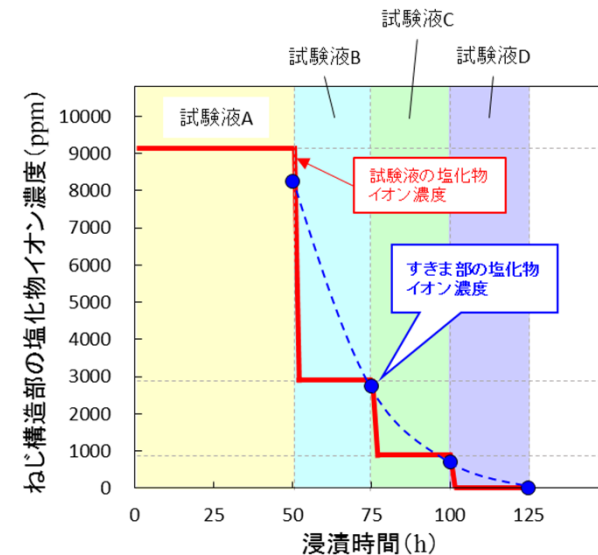


図3 海水成分のすき間構造部への移行状況、取り込み量の分析結果

課題及び今後の方向性

白色堆積物の同定や共用プール保管中における腐食発生への検討に資するデータを取得する。乾式保管時の燃料集合体健全性評価では、1F特有の条件が貯蔵時の燃料健全性へ及ぼす影響を検討する。

原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発 (平成28年2月末時点における進捗状況)

原子炉建屋1階高所エリアを除染するための高所用除染装置は工場モックアップ実証試験の結果出された課題について対策し再試験を実施して現場適用可能であることを確認した。原子炉建屋2階、3階を除染するための上部階用除染装置は工場モックアップ実証試験を実施し、課題について対策し現場適用可能であることを確認した。

実施内容及び成果

1. 高所用除染装置(図1)

平成27年3月～4月に実施した工場モックアップ実証試験で、除染性能、遠隔での走行性・操作性、安全機能など原子炉建屋1階で使用するために必要となる性能にかかる確認、適正性評価を実施した結果、現場に適用するために必要となる技術的課題(例 視認性)が抽出され、その対策としてたとえば、カメラの追加等の改造を実施した。改造したところについて再試験を実施し、現場適用可能であることを確認した。

2. 上部階用除染装置(図2)

平成25年度に検討したアクセス方法、装置設計に基づき装置を製作完了し、平成27年8月～12月に工場モックアップ実証試験を実施した。除染性能、遠隔での走行性・操作性、上部階へのアクセス性、安全機能など原子炉建屋2、3階で使用するために必要となる性能にかかる確認、適性評価を実施した。

その結果、現場に適用するために必要となる技術的課題(例 非常時回収)の対策として、たとえば搬送/支援台車のクラッチの構造修正と潤滑剤の変更等により、現場適用可能であることを確認した。

3. 地下階除染概念の検討

平成26年度に検討したモデル評価の結果と実測値に違いがあり、想定線源以外の線源が存在することが示唆されたため、線源を明確にした上で、再モデル評価して除染概念検討を行った。

原子炉建屋地下階の除染概念検討としては、原子炉建屋1階に穴をあけて実施する方法、三角コーナーからアクセスする方法等、現状技術で実施できる方法について概念検討を行った。さらに、原子炉建屋地下階のアクセス目的や線源を仮定した上で、当該の線源に対する除染概念検討を行い、新規技術の開発要否を検討した。



高圧水ジェット ドライアイスプラスト 吸引・プラスト
図1 高所用除染装置



図2 上部階用除染装置

課題及び今後の方向性

- 現場適用するために必要となるオペレータの習熟が必要である。
- 両装置とも必要に応じて順次、福島第一の現場へ適用していく。

原子炉内燃料デブリ検知技術の開発 (平成27年12月末完了状況)

宇宙線ミュオンを利用した原子炉内燃料デブリ分布検知技術として、“透過法”と“散乱法”の二つの手法の開発を行い、透過法については福島第一原子力発電所1号機において測定と評価を完了すると共に、散乱法については7m×7mの有感面積を有する大型のミュオン軌跡検出器の性能試験を完了し、それぞれ高放射線環境下にある原子炉体系への適用性を確認した。

実施内容及び成果

1. 小規模実証試験の実施（透過法：識別能力1m程度）

(1) 1号機での透過法による測定と評価（図1）。

- 計3地点で約90日間の測定を実施した結果、使用済み燃料プール内の燃料により1m程度の識別能力を確認。また、炉心部には燃料がないと考えることが妥当な結果を得た。

(2) 透過法検出器装置の現場適用性の向上（図2）。

- ミュオン検出器面の改良により、分解能を落とすことなく装置全体の大きさを現行の約1/4とする小型の測定装置を開発した。

2. 検出器システムの設計・製作（散乱法：識別能力30cm程度）

(1) 検出器システムの設計・製作の実施

- システム評価試験により実機施工に向けた改良項目(検出器の位置ずれ対応等)を抽出した。実機適用判断後に製作検証を予定。

(2) 検出器で収集するデータ処理の実施

- 医療用再構成アルゴリズムに独自ノイズ抑制技術を追加し、従来の1/4(23日)の測定期間でも誤検知率が低下しないことを確認できた(図3a)。内部の詳細配置影響や奥行の分解能の改善が課題。
- ミュオンエネルギーの校正及び建屋等の影響が低減された(図3b)。

(3) システム評価の実施

- ミュオン軌跡検出システム（7m×7m）を用い原子炉構成材に対する透過試験を行い、コンクリート等に影響されずに鉛（ウラン等重元素を模擬）を画像化できることを実証した（図4）。

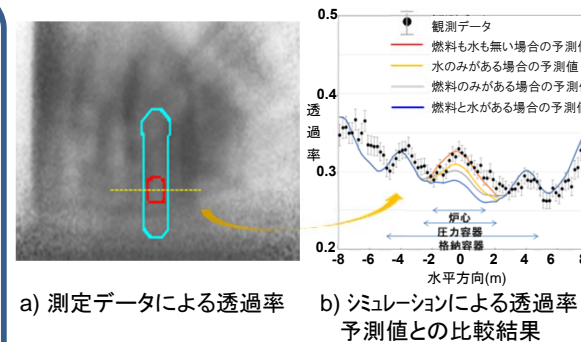


図1 1号機での透過法による測定と評価結果

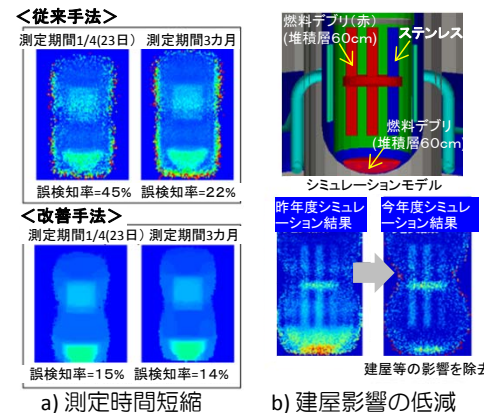


図3 散乱法シミュレーション結果

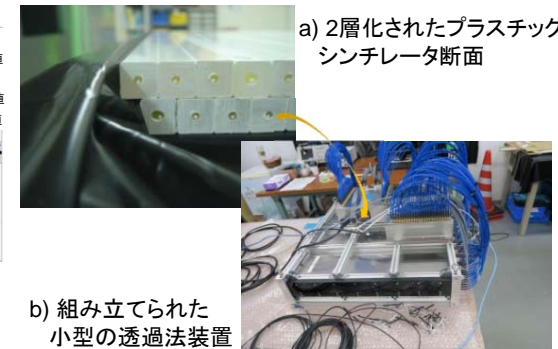


図2 小型化した透過法測定装置

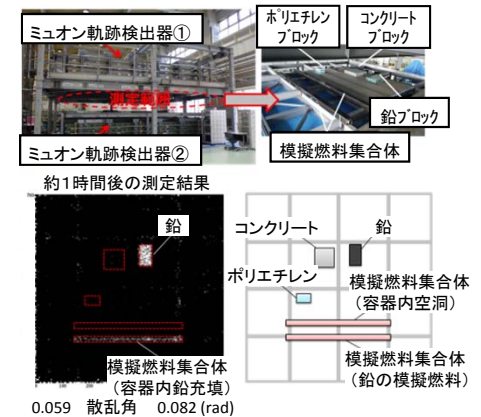


図4 散乱法による透過画像

課題及び今後の方向性

- 今後、現場状況も踏まえながら、炉内状態の把握状況に応じて透過法と散乱法の適切な実機適用を推進していく。なお、散乱法については、現場適用判断後に実機施工に向けた対応やアルゴリズムの微調整、装置起立時の総合試験を行う。