

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

1. 次期廃炉研究開発計画のポイント

(1) 基本的な考え方

昨年9月に改訂した中長期ロードマップにおいて、下記の趣旨を盛り込んだ燃料デブリ取り出し方針を決定した。

【燃料デブリ取り出し方針】

1. 徐々に得られる情報に基づいて柔軟に方向性を調整する。
(ステップ・バイ・ステップのアプローチ)
2. 燃料デブリ取り出し作業の全体最適化を目指す。
3. 様々な工法の組合せが必要になることを前提とする。
4. 気中工法に重点を置いて研究開発等を進めていく。
5. 格納容器底部の燃料デブリに横方向からアクセスし取り出すことを先行する。

本方針を踏まえた当面の取り組みとして、「先行して着手すべき初号機の燃料デブリ取り出し方法については、予備エンジニアリング及び研究開発の成果を慎重に見極めつつ、収納・移送・保管方法を含め、2019年度内までに確定し、2021年内に初号機における燃料デブリ取り出しを開始する」ことも合わせて定めたところ。

次期廃炉研究開発として、中長期ロードマップの趣旨に基づき、2019年度内まで初号機の燃料デブリ取り出し方法を定め、2021年内に初号機における燃料デブリ取り出しが開始できるよう、着実に研究開発を実施していく。

(2) 来年度における各プロジェクトの計画

(I) 燃料デブリの性状把握 (1-①燃料デブリの性状把握・分析技術の開発) 【継続】

燃料デブリ特性リストの取りまとめ・更新を継続的に実施する。特に、燃料デブリの取り出し装置の検討や全体システムの構築の検討を進めるために必要な特性・性状のうち、引き続き把握が必要な項目（乾燥処理時の挙動把握、経年変化特性、気中・水中移行特性）について、研究を実施する。さらに、得られた知見は国内外で共有することとする。

(Ⅱ) 内部調査（1-②原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発、1-③原子炉圧力容器内部調査技術の開発）【継続】

初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定及び初号機からの燃料デブリ取り出しに向けて、これまでの内部調査で得られた知見を踏まえ、原子炉格納容器（PCV）内部における堆積物や燃料デブリ分布等の詳細な調査を実施する（1-②原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発）。

また、各号機の原子炉圧力容器（RPV）の内部調査に向け、上部穴開け調査工法及び側面穴開け調査工法の調査計画の検討・立案、調査装置の要素試験を実施する。（1-③原子炉圧力容器内部調査技術の開発）。

(Ⅲ) 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（2-① 同名）【継続】

気相・液相での閉じ込め機能や作業員の被曝線量、取り出し装置の成立性を踏まえ、燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けたシステムを検討する。また、今年度、別事業で実施をしている臨界管理技術は、取り出しシステムの一部として具体的な検討を進めるため、本事業に組み込み実施する。

(Ⅳ) 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 同名）【継続】

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。

(Ⅴ) 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（2-③ 同名）【継続】

燃料デブリのサンプリングに向け、成立性を勘案しつつ全体シナリオを策定し、システム及び装置の設計・試作の検討等を実施する。

(Ⅵ) 原子炉格納容器内水循環システム構築技術の開発（2-④同名）【新規】

燃料デブリ取り出しに向けたシステムの検討及び原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発を通じ、格納容器内の閉じ込め機能を確保しつつ、格納容器の水位をコントロールする水循環システムを構築するための技術課題が明らかになった。そこで、システム構築に向け、技術仕様の整理、要素技術の開発・検証、実規模での検証を実施する。また、水循環システム構築に資する格納容器の補修技術について、必要に応じ研究開発を行う。

(Ⅶ) 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発（2-⑤ 同名）【継続】

燃料デブリ収納・移送・保管技術について、燃料デブリの性状把握・分析技術などで得られた知見を活用し、燃料デブリ取り出しにつながる具体的な概念検討を2018年度中までに実施をする。その上で、2019年度から収納缶の試作等を実施する。

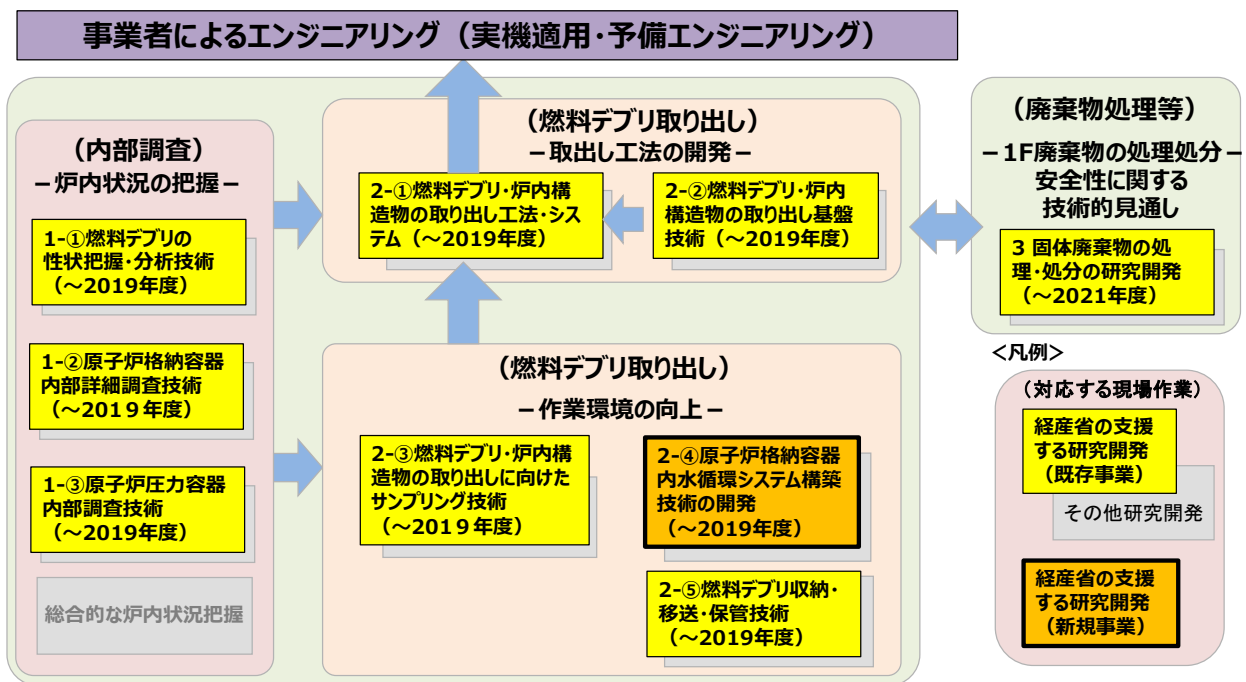
(Ⅷ) 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発 (3 同名) 【継続】

これまで、2021年度頃までを目処に、処理・処分方策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、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・検討を行ってきた。これに加えて、先行的処理方法を選定するため、通常の原子炉施設の運転廃棄物等実績のある処理技術を対象に、処分への適合性も念頭に固体廃棄物の実規模の処理に適用できる見通しを評価する。

2. 研究開発の全体像

福島第一原発の廃炉研究開発の全体構成図

2018年度版



2017年度で終了：総合的な炉内状況把握の高度化（燃料デブリ取り出しに向け一定の成果が得られたことから、以後は事業者による事業として実施）
 圧力容器／格納容器の耐震性・影響評価手法（燃料デブリ取り出しに向け一定の成果が得られたことから、事業終了）
 燃料デブリ臨界管理技術（要素技術の検討が深化したことを踏まえ、2-①のプロジェクトの中でシステム全体の一部として検討実施）
 原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術、同規模試験（大部分の補修技術について一定の成果が得られたことから、事業終了。一部の要素技術について、2-④の中で実施。）

1-①：燃料デブリの性状把握・分析技術の開発

目的

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・保管技術の開発等に資するため、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燃料デブリの分析・測定に必要となる技術を開発する。

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熔融炉心-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。
- 燃料デブリの分析を可能とするため、微量の燃料デブリ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。
- 本研究開発の成果は事業者の実施するエンジニアリングに活用される。

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、すでに現場で採取された試料の分析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年度に実施した、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試験で得られた生成物試料の分析を2017年度で終了した。
- ・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。2017年度に確認した測定方法により、2018年度にデータを取得し、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、微量の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、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、取り出しシステムへの影響を検討する。その検討結果を踏まえて、経年変化メカニズムとして考えられる化学的・物理的経年変化について試験等を行い結果の検討・評価を行う。

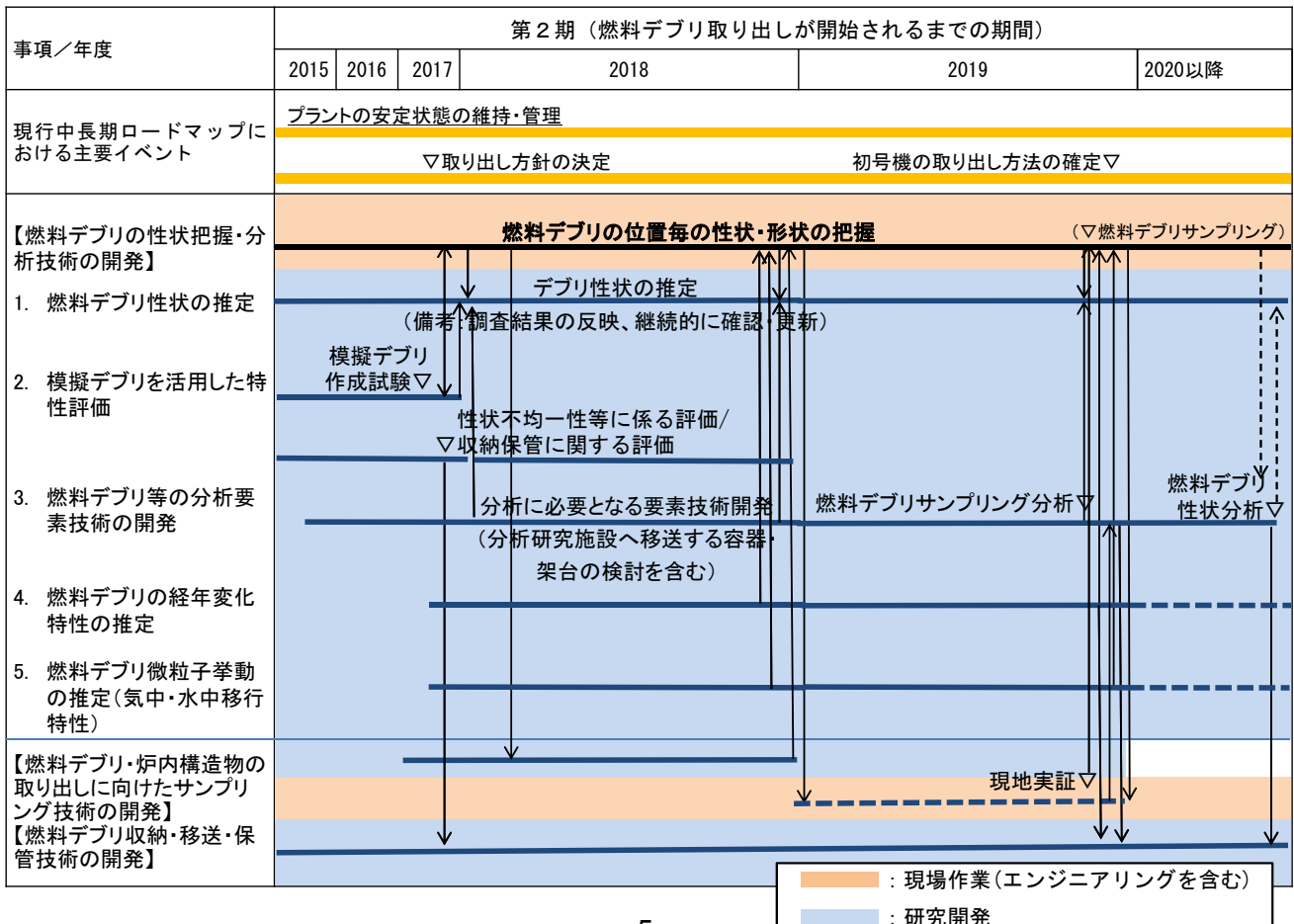
5. 燃料デブリ微粒子挙動の推定(気中・水中移行特性)

- ・燃料デブリから発生する放射性飛散微粒子(α 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した上で取り出しシステムへの影響を検討する。その検討結果を踏まえて、放射性飛散微粒子の生成挙動並びに気相・気液界面及び液相中の輸送移行挙動等について試験等を行い結果の検討・評価を行う。

目標達成を判断する主な指標の設定(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。
- ・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。
- ・燃料デブリ経年変化特性に係る検討結果・データ等の取りまとめ。
- ・放射性飛散微粒子挙動に係る検討結果・データ等の取りまとめ。

(目標工程)1-①：燃料デブリの性状把握・分析技術の開発



1-②: 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発

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

中長期ロードマップで重点的に行うとされたことも踏まえ以下を実施する。

○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、従来より確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。

○本研究開発の成果は事業者の実施するエンジニアリングに活用される。

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、及び必要に応じて、PCV形状を模擬したモックアップ試験(計測装置との組合せを含む)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に開発する。

(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
- ・堆積物の厚さや堆積物内部の状態を把握するための計測技術

(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。

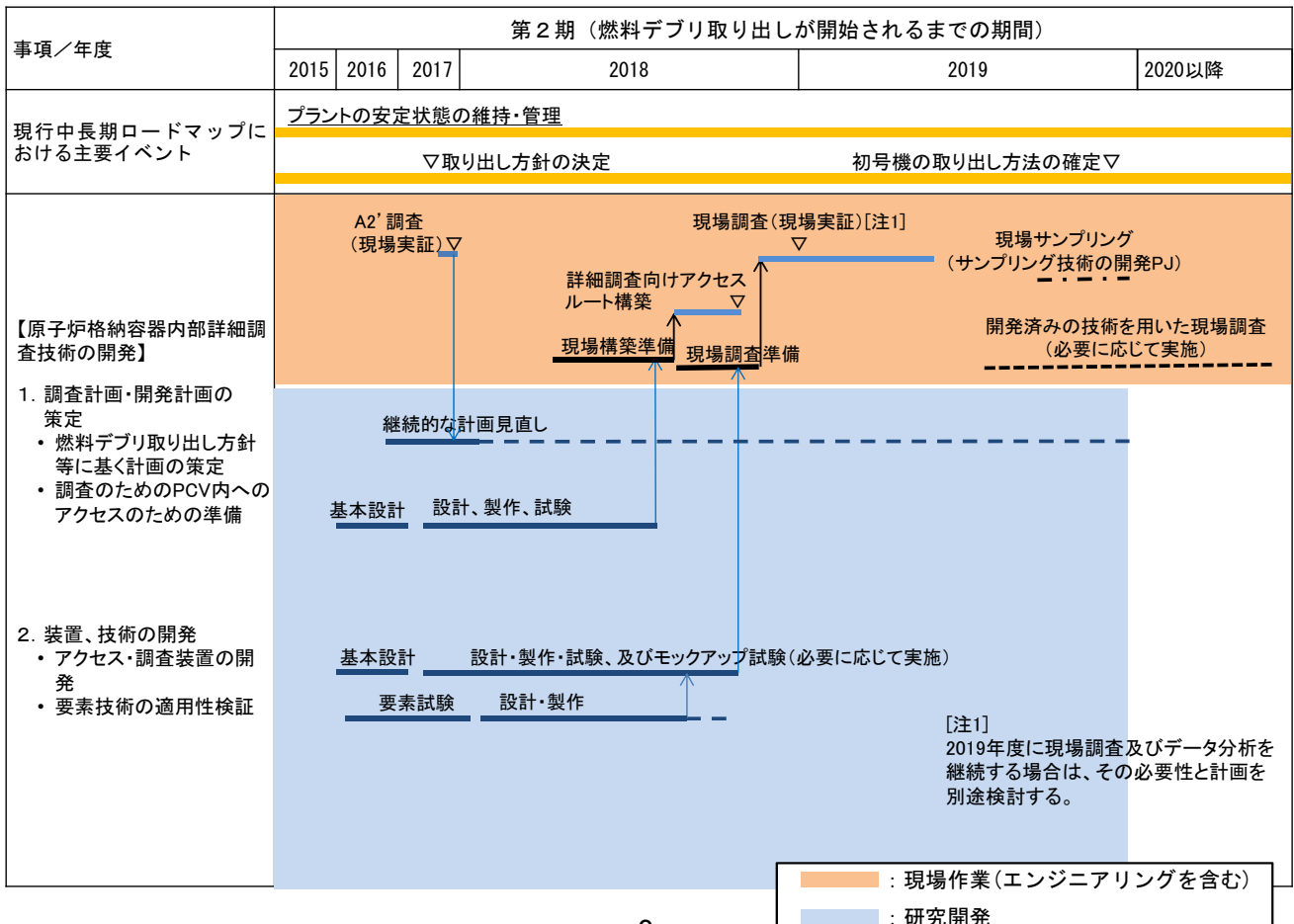
(備考)

現場調査(現場実証)やPCV内へのアクセスルート構築に関しては、本PJに含めて実施する。なお2019年度に本現場調査及びデータ分析を継続する場合は、その必要性と計画を別途検討する。

目標達成を判断する主な指標の設定(2018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。
- ・ペDESTAL内外の状況調査の現場実証の実施。

(目標工程) 1-②: 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発



1-③: 原子炉圧力容器内部調査技術の開発

目的

原子炉圧力容器(RPV)内部の燃料デブリ取り出しの検討に資するため、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

中長期ロードマップで重点的に行うとされたことも踏まえ以下を実施する
 ○RPV内の状況や線量等の環境条件を確認するため、遠隔操作による調査装置・システムを開発する。
 ○本研究開発の成果は事業者の実施するエンジニアリングに活用される。

1. 調査計画・開発計画の策定・更新

- 2017年度までに策定した開発計画および実施した要素試験の結果を基に、事前現地調査等によって得られた現場状況を反映(*)して、より実現性を高めるとともに、必要に応じて以降の開発計画を更新する。
- また、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。
- RPV内部調査の実施と輻輳する他工事との工程調整を図りつつ、適用時期と環境整備等の現場調査(現地実証)に関わる前提条件を明確化する。

2. 工法計画の立案

- 上部穴開け調査工法、側面穴開け調査工法の各々について、一連の作業ステップの具体化を図るとともに、ステップ毎の手順の明確化や合理化を検討する。
- 安全要求を整理し、事故事象、単一故障事象や耐震クラス等の明確化を行う。
- 装置設計や調査計画の具体化の結果を反映した被ばく評価を行い、調査工事に伴う周辺環境への影響を評価する。

3. 調査用付帯システムの検討

- ガス管理、窒素供給、負圧管理、ダストモニタリング、臨界管理システム等、調査実施に必要な付帯システムの適用時期や調査側の要求仕様を明確化し、別PJで検討されているシステムを含めた適用性を検討する。
- 放射性ダスト拡散防止の一環として、リアルタイムでのダストモニタリングシステムの運用管理を行う場合には、その実施要領を検討する。

4. アクセス装置・調査装置の開発

(1) 上部穴開け調査工法の装置開発

- オペフロ上側からシュラウドヘッドまでの穴開け装置、放射性物質飛散防止のための装置、各部の調査装置について、2017年度までの調査工法検討、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、実機向け装置の設計をまとめる。
- また、装置に関する要素試験により、現場での施工性を確認する。

(2) 側面穴開け調査工法の装置開発

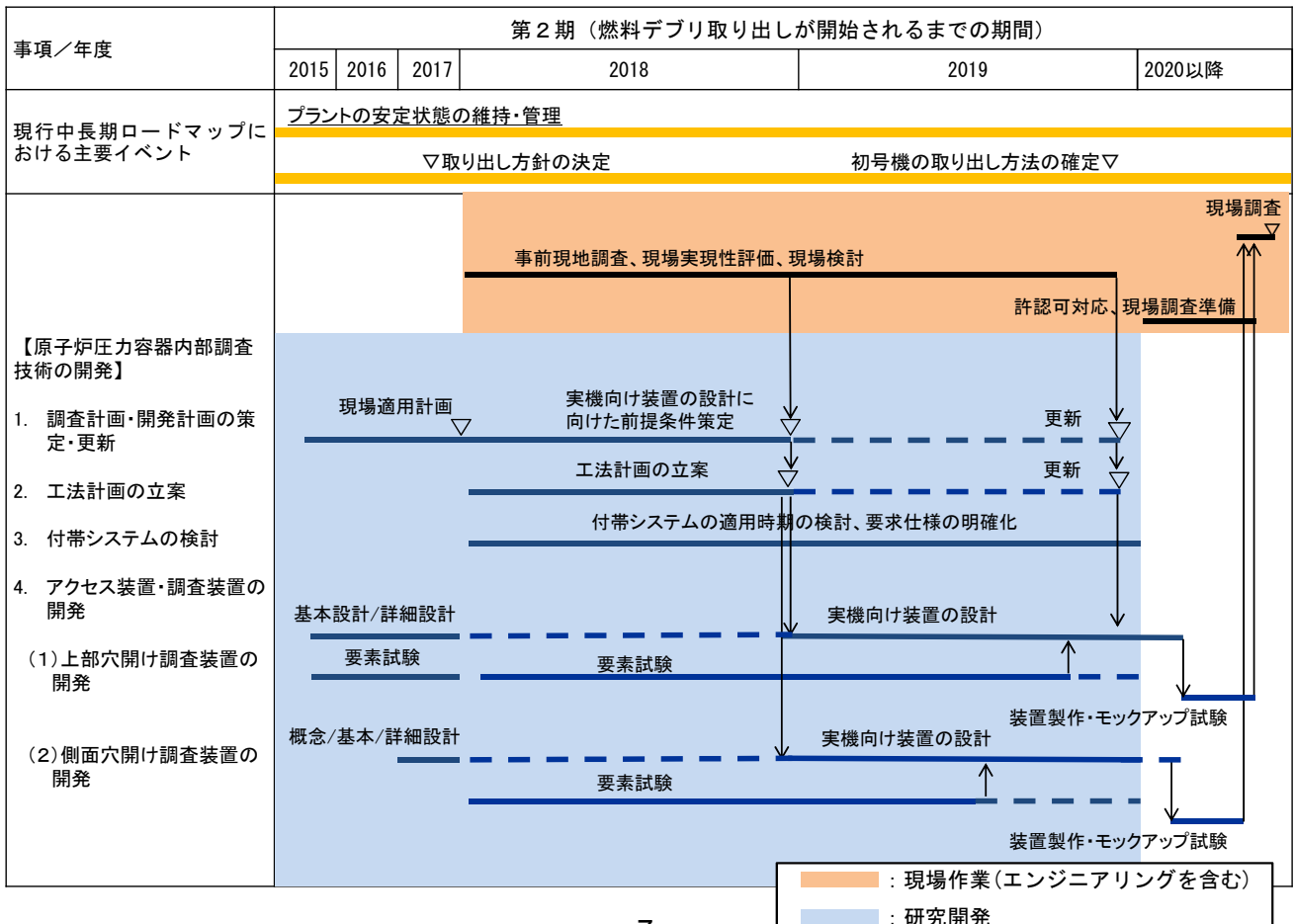
- R/B外側からシュラウドヘッドまでの穴開け装置、放射性物質飛散防止のための装置、調査装置をアクセスさせる装置について、2017年度までの調査工法検討の結果を踏まえ、現場での施工に向け、課題解決のための技術開発を行い、実機向け装置の設計をまとめる。
- また、装置に関する要素試験により、現場での施工性を確認する。

* 事前現地調査は、別途計画・準備・実施を行う。(原子炉ウエル、R/B状況等)

目標達成を判断する主な指標の設定(2018年度/2019年度)

- 調査・工事計画の策定。(2018年度)
- 実機向け装置の設計に向けた前提条件及び工法計画、付帯システム運用の装置設計への反映(2018~2019年度)

(目標工程) 1-③: 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(1/2)

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

中長期ロードマップで重点的に行うとされたことも踏まえ以下を実施する。

○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、ダストの捕集除去、 α 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。

○「燃料デブリ臨界管理技術の開発」の成果を活用し、臨界管理技術の工法・システムへの具体的な適用性を検討する。

○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。

○事業者は本研究開発成果の現場適用性を評価し、エンジニアリングに繋げる。

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 α 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(α 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. α 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. α 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。
- α 核種: α 線を放出する放射性核種の総称名を指す。アクチノイド元素の内、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 α 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、 α 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 α 核種の監視の必要性という課題が抽出された。そこで、 α 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 α 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 α 核種モニタリングシステムの概念検討
- iii. 開発計画の策定

- (2) 液相中の α 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 α 核種モニタリングシステムの概念検討
- iii. 開発計画の策定

4. 臨界管理方法の確立に関する技術開発

燃料デブリ取り出し作業では、安全確保の観点から臨界防止及び検知、停止を組み合わせた臨界管理方法を構築する必要がある。2017年度までに「燃料デブリ臨界管理技術の開発」で得られた成果を、工法・システムの検討へ反映する。

- (1) 未臨界度測定・臨界近接監視のための技術開発
 - i. 未臨界度測定・臨界近接監視のための装置について、燃料デブリ取り出し装置への実装に向けた適用性検討
 - ii. 燃料デブリ取り出しに向けた実証計画の策定

(4. 続き)

- (2) 再臨界を検知する技術開発
 - i. 燃料デブリ取り出し時の再臨界検知技術の適用性検討

- (3) 臨界防止技術の開発
 - i. 燃料デブリ取り出し時の中性子吸収材(非溶解性・溶解性)の適用性検討

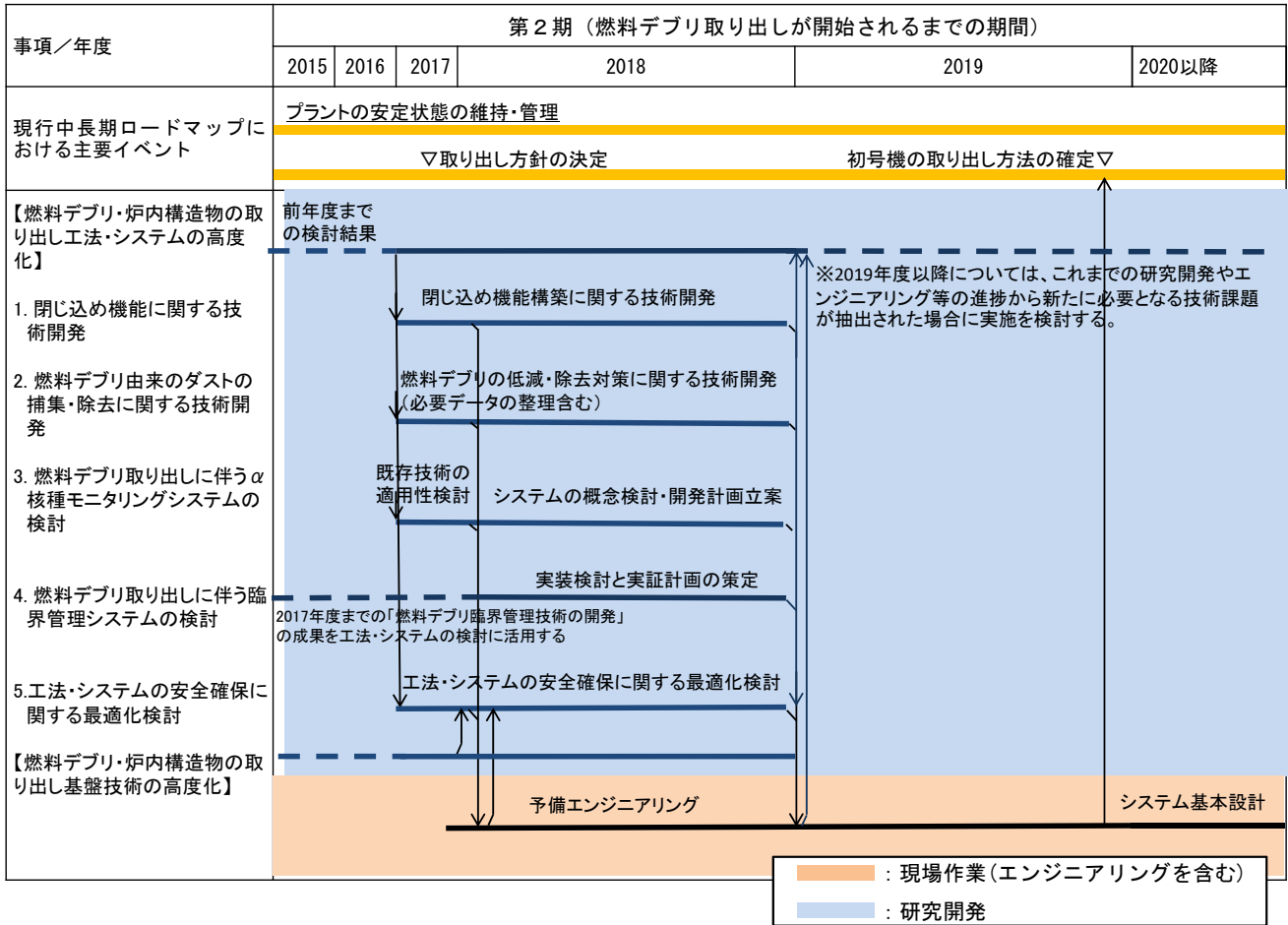
5. 工法・システムの安全確保に関する最適化検討

1～4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(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)
- ・ α 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)
- ・臨界管理技術の実機適用性の提示と実証計画の策定(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(2018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)

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

中長期ロードマップで重点的に行うとされたことも踏まえ以下を実施する。

○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。

○事業者は本研究開発成果の現場適用性を評価し、エンジニアリングに繋げる。

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、ポーリング、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。

(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. 項続き)

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。

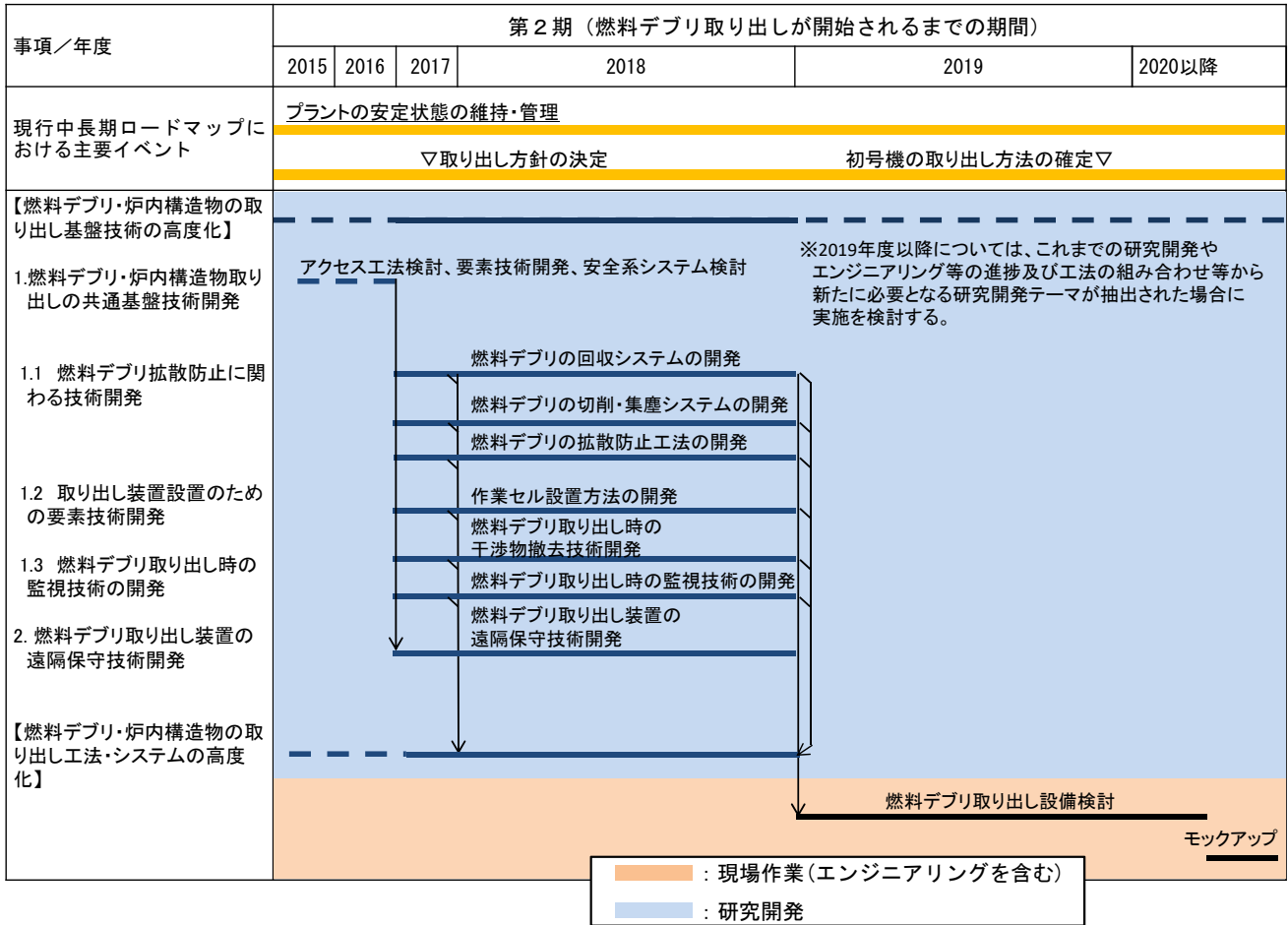
2. 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術開発

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 (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

目的

燃料デブリ取り出し工事に係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。
- 本研究開発の成果は事業者の実施するエンジニアリングに活用される。

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し、必要に応じて更新する。
- (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、全体シナリオの策定と更新を行う。

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。また、1項のシナリオ・計画に基づき、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
- iii. 燃料デブリサンプル回収装置の設計・試作
試作品は、別途 PCV内部詳細調査PJで計画されるモックアップ試験でアクセス装置等と組み合わせた模擬試験を行う。
- iv. サンプリング用中性子モニタシステムの基本設計(2017年度検討結果に基づく)

(2. 続き)

v. 気密セルポート・構内輸送台車間の遠隔接続技術の開発、構内輸送台車の基本設計(実施の可否は2017年度概念検討結果に基づく)

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。

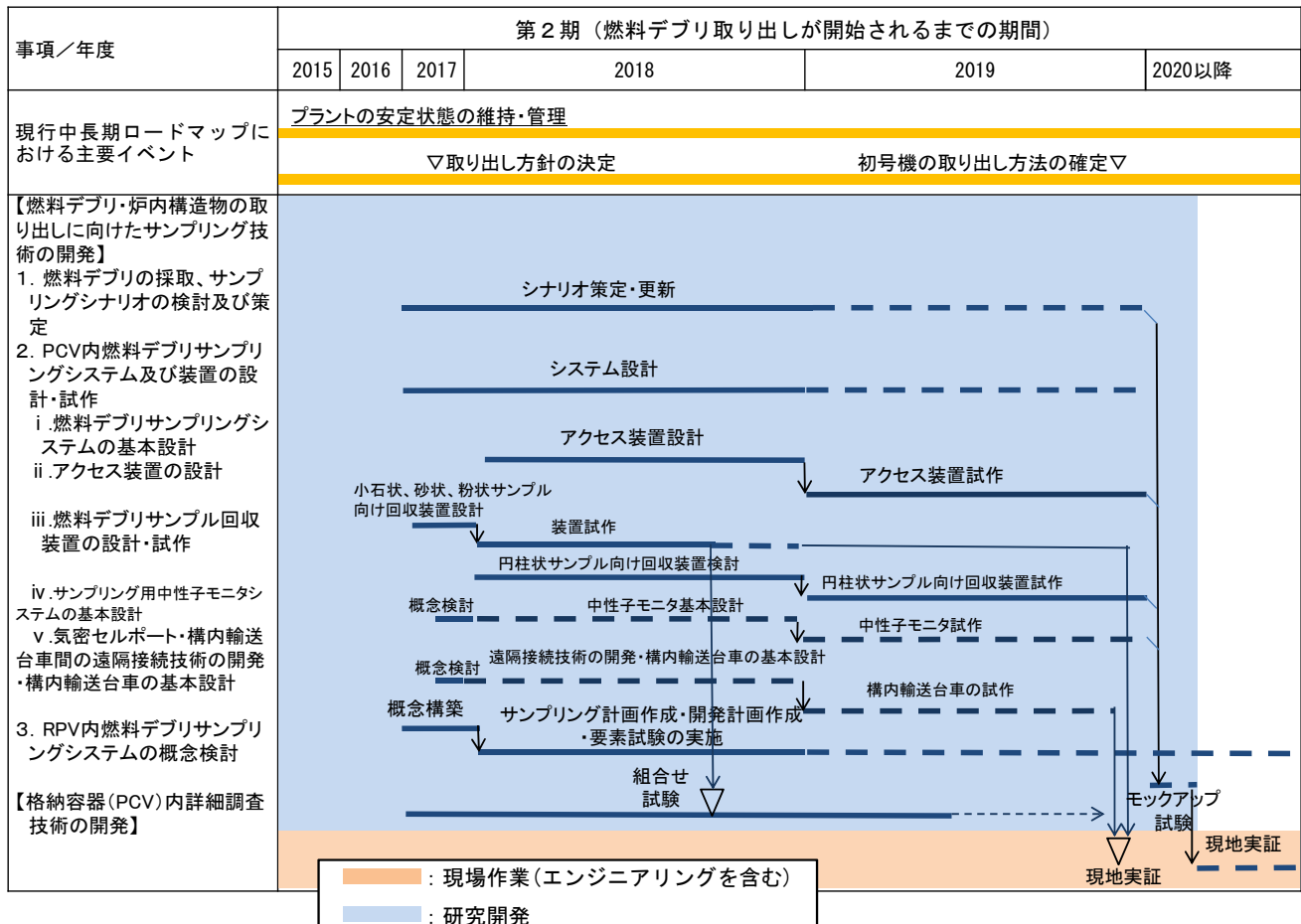
[注記]

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(2018年度)

- ・燃料デブリサンプリングシナリオの策定・更新(2018年度)
- ・PCV内燃料デブリサンプリングシステム及び各装置の設計(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更新、要素試験の実施(2018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



2-④：原子炉格納容器内水循環システム構築技術の開発

目的

燃料デブリ取り出し工事の安全の確保に必要な原子炉格納容器(PCV)内の水循環システムの構築をするにあたって課題となるPCVの閉じ込め機能を確保しつつPCV内へアクセス、接続する技術等を開発し、水循環システムの実現に資する。

実施内容

- PCV内アクセス・接続及び補修技術仕様の整理・作業計画について立案し、技術開発課題の抽出、開発計画を立案する。
- 開発計画に基づき、PCV内アクセス・接続部等の要素技術開発・検証等の試験を実施し、実現性の検証及び課題等の抽出を行う。
- 事業者は本研究開発成果の現場適用性を評価し、エンジニアリングに繋げる。

1. PCV内アクセス・接続及び補修の技術仕様の整理、作業計画の

検討及び開発計画の立案

(1) 燃料デブリ取り出しの安全確保の実現に向け、現在工法・システムの高度化PJで検討されている各種システムのうち、水循環システムでは、D/W、S/C、トラス室の各所から取水が検討されている。D/W、S/Cからの取水については、閉じ込め機能を確保しつつ内部へのアクセスルート及び水循環システムを構築する必要がある。その実現にあたっては高線量・狭あい部等の厳しい現場環境条件、検査性、長期健全性、遠隔保守性を考慮した施工技術、作業計画の確立が必要である。そこで、この実現にあたって、必要とされる技術仕様、システム構築作業手順を検討し、開発課題の抽出、開発計画の立案を行う。

- 現場環境を考慮した、技術仕様の整理
- アクセスルート構築作業・維持の計画の検討
- 開発課題の抽出、開発計画の立案

(2) 水循環システム構築に影響するPCVの補修技術についても、これまでの研究開発成果を踏まえ、必要に応じて現場の状況に対応した技術的な開発課題の抽出、開発計画の立案を行う。

2. PCV内アクセス・接続等の要素技術開発・検証

前項で整理した開発計画に基づき、PCV内アクセス・接続等の技術に必要な各要素技術の開発、検証を行う。以下に要素技術として想定される項目例を示す。

- ・接続部の遠隔施工技術
- ・施工時、供用中の遠隔によるアクセスルート検査技術
- ・施工時、供用中における接続部の遠隔補修技術

3. PCVアクセス・接続技術等の実規模スケールでの検証

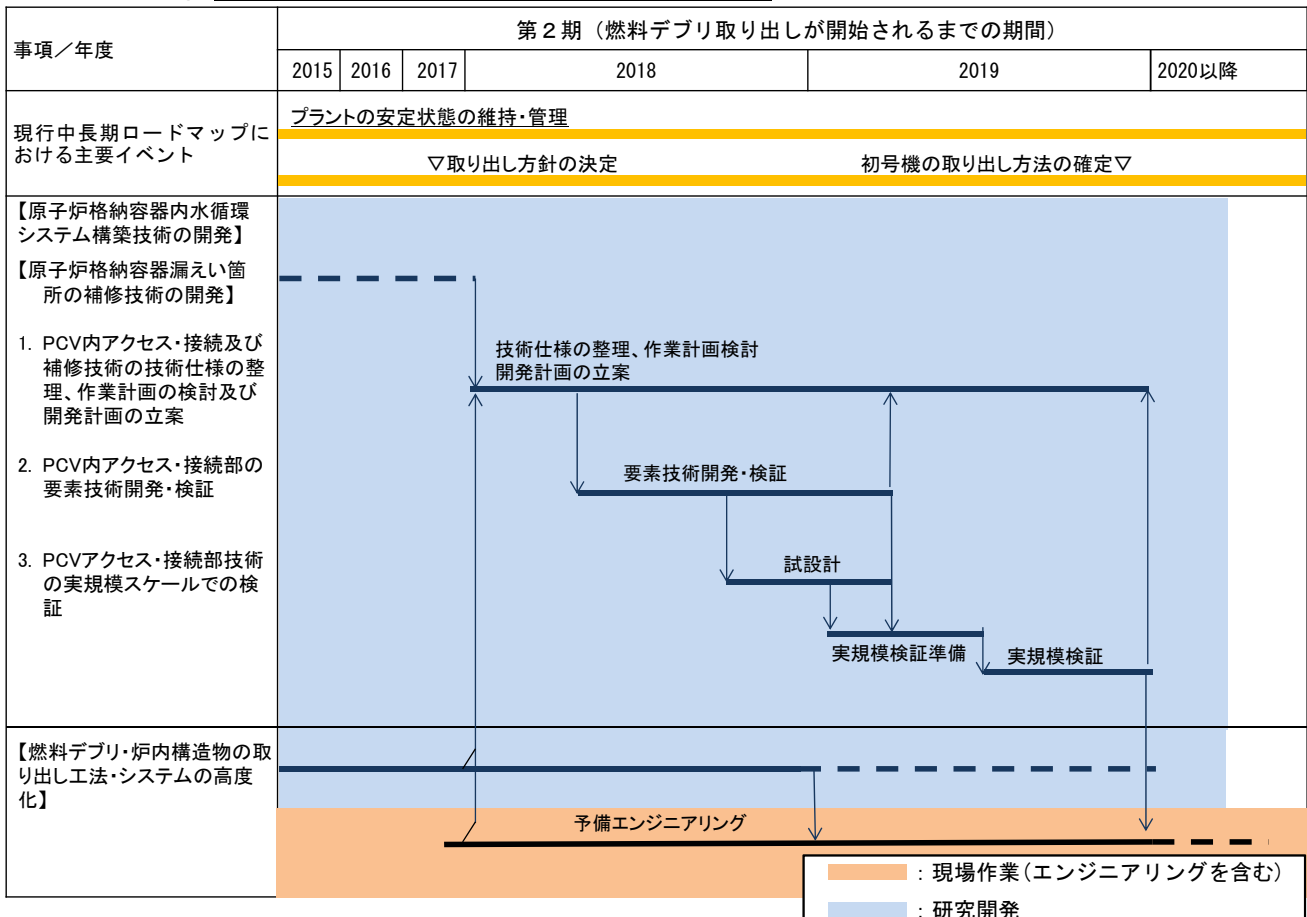
各要素技術の開発成果に基づき、D/W、S/C内へのアクセス・接続等に関する試設計を実施し、必要に応じて、檜葉実規模試験体等を活用し、実規模スケールにて施工性検証と実機工事に向けた作業要件の把握、課題抽出を行う。

- ・実規模スケールでの遠隔操作による施工性の確認、課題の抽出
- ・実機工事に向けた閉じ込め確保・作業員の被ばく低減対策及び課題の抽出
- ・接続部施工後の試験体調査

目標達成を判断する指標の設定(2018年度/2019年度)

- ・技術仕様の整理・開発計画の立案 (2018年度)
- ・PCVアクセス、接続技術の要素技術開発、検証 (2019年度)

(目標工程) 2-④：原子炉格納容器内水循環システム構築技術の開発



2-⑤：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

中長期ロードマップで重点的に行うとされたことも踏まえ以下を実施する。

○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。

○本研究開発の成果は事業者の実施するエンジニアリングに活用される。

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、関連PJ(*)等の進捗や現場状況を踏まえて適宜更新する。

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の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、現場状況や関連PJ(*)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なとなる臨界、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、収納缶蓋の構造健全性、成立性等の確認のための要素試験を実施する。

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及び収納形式にそれぞれに最適の収納缶基本仕様について見直しを行う。この際、関連PJ(*)の検討結果を踏まえる。

(4. 項続き)

・燃料デブリ収納缶/取扱装置検証のための収納缶の試作に向けた収納缶の仕様、取扱い仕様の最終確認を行う。

5. 収納缶の移送・保管技術の開発

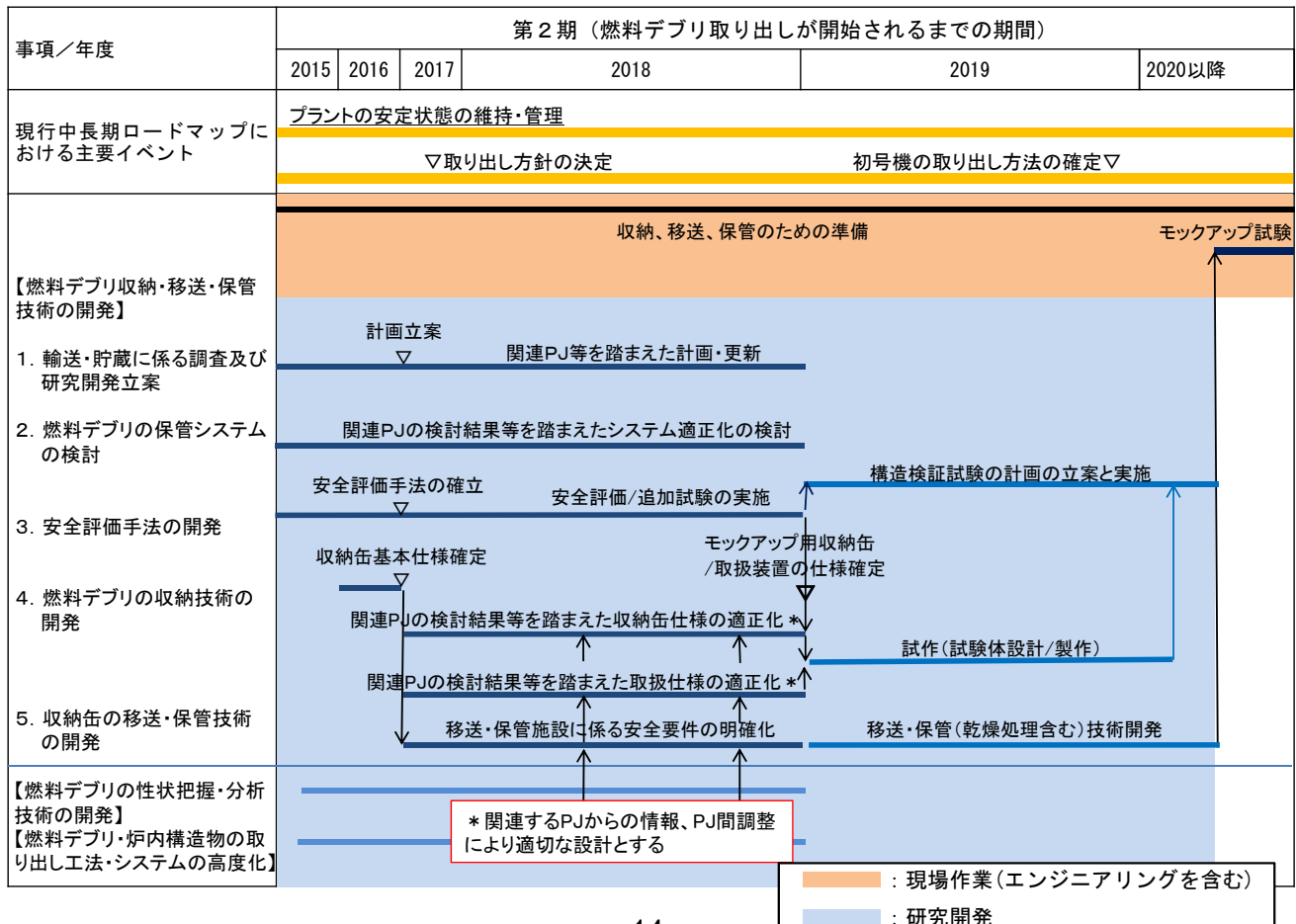
・関連PJ(*)と連携して移送・保管に係る安全要件を明確にする。
・取扱装置基本仕様について関連PJ(*)の検討結果を踏まえて、蓋締め、吊り具等の取扱装置の仕様の見直しを行う。

(*) 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等を指す

目標達成を判断する主な指標の設定(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) 2-⑤：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(2018-2019年度)(1/2)

目的

2021年度頃までを目処に、処理・処分方策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*1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)

中長期ロードマップで重点的に行うとされたことも踏まえ以下を実施する。

- 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、更新するシステムの概念を構築する。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. 固体廃棄物の保管管理のリスク低減を目的として、水処理二次廃棄物の安定化、固定化に係る技術の開発、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検討を行う。また、先行的処理方法*2を選定するため、通常の原子炉施設の運転廃棄物等に実績のある処理技術を対象に、固体廃棄物の処理への適合性等の観点から、実規模の処理に適用できる見通しを評価する。
- III. 国内外の処分方策を調査し、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の検討を行う。
- 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。

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、建屋地上部分、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。

(2) サンプルング技術の開発等

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) 性状把握の効率化

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うとともに、それを対象とした分析方法の簡易・迅速化に係る技術開発等により、性状把握の効率化・合理化を図る。

(4) 分析データの管理

廃棄物分析データを体系化したデータベースを構築する。また、新たな分析結果を追加し、データベースを更新する。

2. 解析的評価手法の精度向上

インベントリの推定に分析データのばらつきを反映させ、解析的インベントリ評価の精度の向上を図る。

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・更新するシステムの概念を構築する。

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、処分前管理及び処分の安全性に係る影響の解析評価方法等を検討するとともに、評価に必要なデータを取得・整備する。

II. 処分前管理

1. 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

3: 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(2018-2019年度)(2/2)

を調査・検討し、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、固定化技術

水処理二次廃棄物のより安定な保管・管理に必要な安定化、固定化技術の適用性及び抜き出し技術の成立性を評価する。

2. 固体廃棄物の特徴に適した先行的処理方法*2の抽出

実績のある処理技術(高温処理技術及びセメント改良技術)の中から、固体廃棄物の実規模の処理に適用できる見通しのある処理技術を抽出するため、工学規模の試験装置等を用いて、必要なデータを取得し評価する。その際、廃棄物への混入が想定される塩分、放射線、発熱等の処理技術への影響も評価する。

3. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術

廃棄物の分別が確実にいけるよう、現場への適用性を踏まえ、 α 汚染等の測定・評価方法に係る調査・検討、それに基づく技術開発を行う。

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

国内外の処分方策を詳細に調査・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。また、先行的処理が施された固体廃棄物の、安全評価の結果に影響を与える仕様項目を抽出する。

IV. 研究開発成果の統合 廃棄物ストリームの検討

2017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。

*1 固体廃棄物:事故後に発生したガレキ等には、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、これらや水処理二次廃棄物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。

*2 先行的処理方法:処分の技術的要件が決まる前に行う、処分を念頭に置いた、安定化、固定化のための処理方法。処分の技術的要件に適合しない可能性をできる限り低く抑えるため、先行的処理が施された場合の固体廃棄物の仕様ごとに、設定した複数の処分方法に対する安全性を評価し、それに基づいて選定する。

目標達成を判断する主な指標の設定(2018年度/2019年度)

I. 性状把握

- 分析結果に基づき、核種組成に着目した固体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・更新するシステムの概念を提示(2018年度)
- 簡易・迅速化のために開発した分析方法の提示(2019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、処分等の安全性に係る影響の解析評価方法等の整理結果の提示(2019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、固定化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)
- 実規模の処理に適用できる見通しのある処理技術を抽出するために取得したデータとその評価の提示(2019年度)
- 現場への適用性を踏まえて開発した α 汚染等の測定・評価方法に係る技術等の提示(2019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

- 国内外の調査結果、及びこれに基づく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結果の提示(2018年度)
- 安全評価の結果に影響を与える固体廃棄物仕様の提示(2019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(2019年度)

(目標工程)3: 固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(2018-2019年度)(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)					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020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 △					
【固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発】	瓦礫、ALPS、土壌、焼却灰等の試料採取、高線量試料採取準備、データの公開					
I. 性状把握	瓦礫、ALPS、土壌、焼却灰、原子炉建屋地上部及び建屋内部等の試料採取、高線量試料の採取、分析方法の簡易・迅速化、データベース構築					
1. 分析データの取得・管理等	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・土壌の分析データの反映					
3. 総合的なインベントリ評価の取りまとめ	分析データ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					
4. 処分影響物質等への対応	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によるインベントリを設定・更新するシステムの概念の構築					
	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、影響の解析評価方法の検討、データの取得・整理					
	影響の解析評価					
	保管					
II. 処分前管理	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					
1. 固体廃棄物の特徴に適した保管・管理方法の検討・評価	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					
(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、より安定な保管・管理に必要な安定化、固定化技術の適用性評価、及び固定化技術の検討・選定					
(2) 水処理二次廃棄物の安定化、固定化技術	技術の調査、試験、評価、カタログ作成、候補技術の提示					
2. 固体廃棄物の特徴に適した先行的処理方法の抽出	実規模の処理に適用できる見通しのある処理技術の抽出のためのデータ取得・評価、塩分、放射線、発熱等の処理技術への影響評価					
	評価検討、現地の状況に応じた対策を検討					
	先行的処理方法の抽出					
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #f4a460; border: 1px solid black;"></div> : 現場作業(エンジニアリングを含む) </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #a4c6e0; border: 1px solid black;"></div> : 研究開発 </div>					

(目標工程)3: 固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発(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)					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020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 △					
(II. 項の続き)	α汚染等の測定・評価方法の調査・検討					
3. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術	α汚染等の測定・評価方法の検討・評価、これに基づく技術開発					
	測定・評価方法の技術開発					
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	国内外の処分方策の調査					
	処分概念及び安全評価シナリオの検討、安全評価の結果に影響を与える仕様項目の抽出、安全評価に必要なデータの取得					
	処分概念、安全評価モデル等の設定					
IV. 研究開発成果の統合 廃棄物ストリームの検討	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					

(参考)

2017 年度研究開発プロジェクトの進捗状況

(1-①) 燃料デブリの性状把握・分析技術の開発 (平成30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、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・測定に必要となる技術開発を行った。

実施内容及び成果

(1) 炉内燃料デブリ性状の推定

「燃料デブリ特性リスト」について、解析コードを用いた燃料デブリの表面線量率の試評価および平成28年度に実施した大型MCCI（溶融炉心コンクリート相互作用）試験の生成物の分析結果を反映、更新した。

(2) 模擬デブリを活用した特性評価

MCCI生成物の生成相や硬さ等の特性は場所に依りて異なることが予想され、取出し方法を推定する上で重要となる。1F条件を考慮した大型MCCI試験生成物について分析を行い、生成した層ごとの元素マップ（図1）、結晶構造および硬さの情報を取得し、1F条件を考慮した場合においても、生成相および物性についてこれまでの基礎試験等による想定から大きく変わらないことを確認した。また、燃料デブリを保管する際の前処理として検討している乾燥設備について、オフガス設計を検討するため、文献等により炉内で生成する可能性のある核分裂生成物（FP）化合物の蒸気圧を調査し、環境毒性の高い揮発性FPを選定した。また、FP放出挙動を実験的に評価する手法をRu含有試料を用いて確認した。

(3) 燃料デブリ等の分析要素技術の開発

燃料や構造物、コンクリートなどが複雑に混じった燃料デブリを迅速かつ正確に把握するための分析技術を開発する。これまでに検討したアルカリ融解および誘導結合プラズマ発光分光装置（ICP-AES）による多元素分析手法について、構造物由来成分等に対しても適用性を確認するとともに混合酸化物（MOX）含有模擬デブリ等を用いて再現性の高い分析結果が得られることを確認した。また使用済み燃料とジルカロイを溶融して作製した試料に対して、X線CTとγ線トモグラフィ測定を用いて燃料と構造物に由来する部分を識別できた。

さらに、誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS）による多核種合理化分析手法の開発として、測定対象核種に対する妨害イオンの特定および除去の目標値を設定し、Zrの測定に対する妨害核種（Nb、Mo）の影響低減手法を検討した。

以上の結果を踏まえて、燃料デブリサンプルの分析準備として、茨城地区既存分析施設で行う分析項目を検討し、分析要領の作成に着手した。

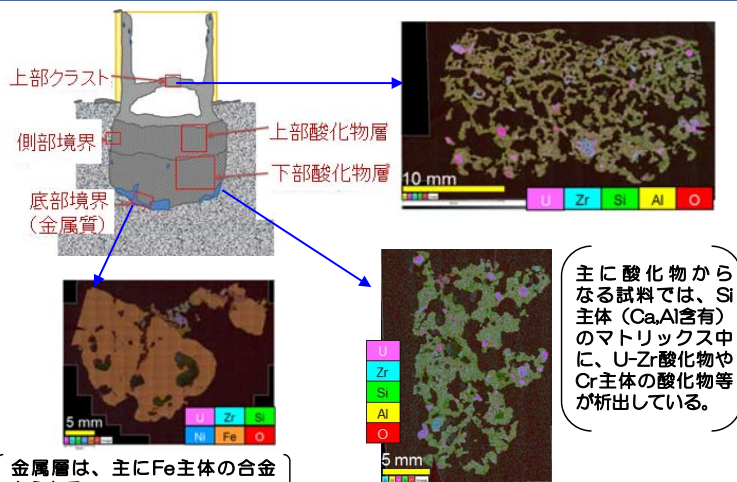


図1 大型MCCI試験生成物の元素マップ

課題及び今後の方向性

燃料デブリ性状の推定では、デブリ表面の線量率評価を継続して実施し、「燃料デブリ特性リスト」に反映する。乾燥熱処理時のFP放出挙動評価は、選定した中揮発性FPについて放出挙動の評価を行う。ICP-MSによる多核種合理化分析手法の開発では妨害イオンの影響を低減する方法の確立を目指す。分析要領の作成は全体的な分析フローの検討と併せて継続的に実施する。また、燃料デブリサンプルの輸送に係る検討を行う。



(1-②) 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発 (平成30年2月末時点における進捗状況)

- 平成28年度「原子炉格納容器内部調査技術の開発」で立案した調査計画を最新の原子炉格納容器(PCV)内部情報を踏まえて更新した。
- X-6ペネとX-2ペネ（エアロック）からのPCV内へのアクセスルート構築に係る装置類の詳細設計を行い、試作と工場内検証（機能試験）を開始した。
- 水中遊泳型、アーム型のアクセス装置の詳細設計を行い、試作の一部を開始した。
- 調査計画の更新に伴い、アクセス装置に搭載する計測技術の見直し、計測技術の適合性検証に向けて準備を開始した。

実施内容及び成果

1. 調査計画・開発計画の策定

1号機～3号機の最新のPCV内部調査などの結果を踏まえ、各号機の詳細調査の調査計画・開発計画を更新した。

2. アクセス・調査装置の開発

(1) X-6ペネとX-2ペネからのPCV内アクセスルート構築

X-6ペネとX-2ペネからのアクセスルート構築に係る装置類の詳細設計・試作を開始した（図1、2参照）。

(2) アクセス・調査装置

X-2ペネからPCV内へアクセスし、地下階の広範囲を調査目的に合った計測技術で調査可能な水中遊泳型アクセス装置の詳細設計を開始した。また、X-6ペネからPCV内へアクセスし、デブリ形状やガンマ線分布などで燃料デブリの範囲特定を目指したアーム型アクセス装置の詳細設計を行い、試作を開始した。

3. 要素技術の適用性検証

調査計画の更新に伴い、計測技術の見直しを行い、計測技術の適合性検証に向けて計測装置を詳細設計し、試作を開始した。

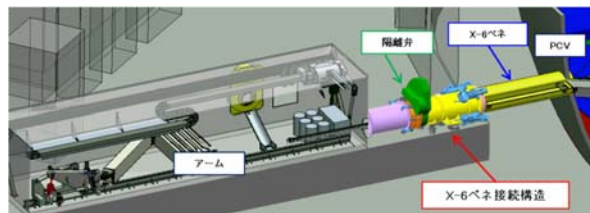


図1 X-6ペネ接続構造

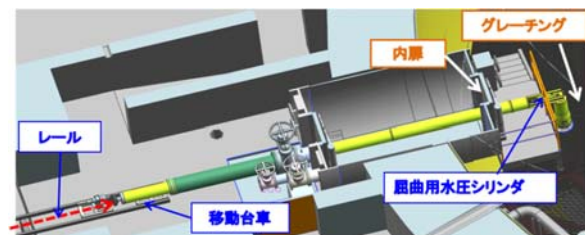


図2 X-2ペネ内扉、グレーチング等の穿孔装置

課題及び今後の方向性

引き続きPCV内へのアクセスルート構築とPCV内部の詳細調査に係る装置類の詳細設計、試作及び工場内検証を実施し、現地実証の準備を進める。



(1-③) 原子炉圧力容器内部調査技術の開発
(平成30年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取り出し装置の詳細設計に資する情報取得のための原子炉圧力容器(RPV)内部調査において、RPV上部から穴を開けて炉心にアクセスして燃料デブリの状況や線量率等を調査する工法について装置・システムに関する計画・仕様検討、試作・要素試験、詳細設計を実施し、実現性を確認した。また原子炉建屋の側面から穴を開けて炉心にアクセスする調査工法についても追加検討し、実現性の見込みを得た。

実施内容及び成果

1. 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(上部穴開け調査工法)

- RPV上部から炉心まで調査用のアクセスルートを設定するため、穴開け位置を検討し、作業計画を策定した。構造物との干渉回避のため、RPVヘッド予備ノズル撤去工法を要素試験にて確認した。
- 汚染拡大防止として負圧環境を維持するために設ける作業用セルの仕様を検討した。また、ガイドパイプと原子炉格納容器(PCV)ヘッド取合部のシール性、設置性を要素試験にて確認した。
- 炉内構造物を遠隔、狭隙部で穴開けする加工方法、装置仕様を検討し、AWJ(アブレイシブウォータージェット)ツールヘッド及びアクセス装置を試作し、遠隔施工性を要素試験にて確認した。

(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)

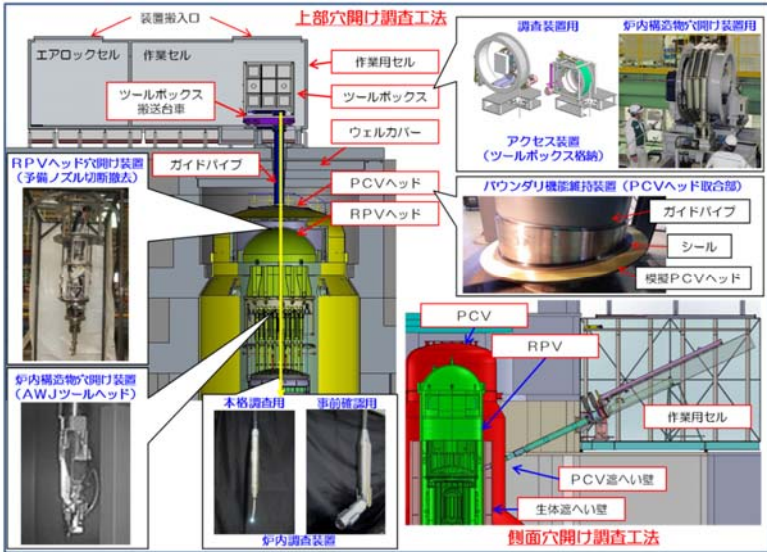
- 側面から炉心にアクセスする場合のアクセスルートを設定するとともに、掘削やシール作業に適したツールの選定や主な作業ステップ等、工法概念を確立した。また、装置のメンテナンスを行う施設設計も含め、装置全体の仕様をまとめた。

2. 炉心部までの調査方式の開発、選定

- 調査ステップ別にアクセスルート事前確認用と本格調査用の装置仕様を検討し、視認性、耐放性、操作性を要素試験にて確認した。

3. 調査装置全体システムの設計と工法計画

- ダスト飛散による被ばく評価にて、側面穴開け調査時におけるPCV内環境は微正圧(現状)、上部穴開け調査時におけるPCV内環境は汚染拡大防止の観点から負圧にすることとした。また、工法計画について安全要求から必要となる設備や機能を整理した。



課題及び今後の方向性

- 現地調査に適用する装置設計に向けて、より現場状況に即した装置開発を行うべく、早期に事前現地調査を実施し、取合部の状況や環境情報を収集する。また、必要に応じて要素試験を実施し、試験結果を装置設計へ反映する。
- 実機向け装置設計に必要な関連工事との取合い等、前提条件の策定や調査に必要な付帯システムの適用性を検討する。

(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
(平成30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必要となる工法・システムの要素技術について、技術開発課題として抽出された項目についての技術調査、要素試験、解析等を実施するとともに、それらの知見を活用し、気中・横アクセスに軸足を置いた工法・システムの検討を実施した。

実施内容及び成果

(1) 閉じ込め機能に関する技術開発

- 負圧管理による閉じ込め機能確保のための要素技術(図1右側)開発として、解析と要素試験を組み合わせ実施方針を作成した。引き続き解析、要素試験による確認を実施する。
- 損傷した原子炉格納容器(PCV)バウンダリの開口面積推定方法について検討を行い、実機における確認試験実施に向けた提案を実施した。

(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

- 気体システムにおけるダストの捕集・除去技術(図1右側)について、既存技術の調査、ベンチマークを実施し、優位技術の選定および要素試験による確認が必要な項目の抽出を行った。今後、要素試験により知見の充実を図る。
- 液体システムにおけるダストおよび溶解性核種の捕集・除去技術(図1左側)について、既存技術の調査、ベンチマークを実施し、優位技術の選定および要素試験による確認が必要な項目の抽出を行った。今後、要素試験により知見の充実を図る。

(3) 燃料デブリ取り出しに伴うα核種モニタリングシステムの検討

- α核種のモニタリング技術(図1)について、燃料デブリ取り出しにおける必要性、目的について整理するとともに、気体システムモニタリングにおける必要測定レンジの整理を行った。
- 気体システムにおけるα核種モニタリングの既存技術について調査を実施し、実機適用にあたっての課題の整理を行った。

(4) 工法・システムの安全確保に関する最適化検討

- 気中・横アクセスに軸足を置いた各号機への適用性を考慮した工法について設計条件を整理し、セルの設置工法などについて具体化した。(図2)
- 燃料デブリ取り出し時に必要となる安全要求、機能要求の再整理、ブラッシュアップを実施し、必要となるシステムの再確認を行った。
- 昨年度までに実施した公衆被ばく評価結果についての再確認を行うとともに、燃料デブリ取り出し時に重要となる作業被ばくについての検討に着手した。

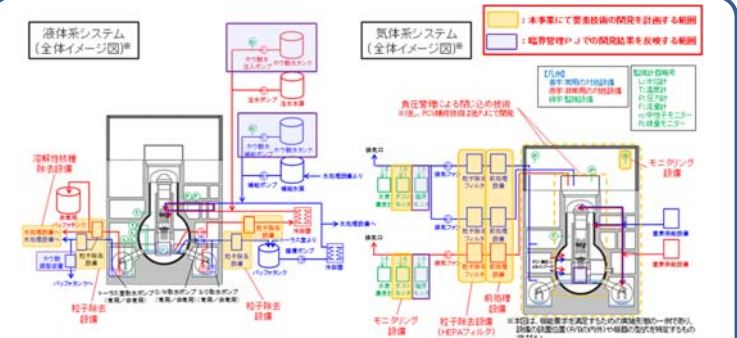


図1 システム構築のために要素技術開発を実施する範囲



図2 燃料デブリ取り出しセルの設置イメージ

課題および今後の方向性

- 開発中の要素技術についての検討結果を、燃料デブリ取り出しの工法・システムの最適化検討に反映していく。
- 安全要求・機能要求についての再確認を継続して実施するとともに、成立性の確認を行う。
- 気中・横アクセスに軸足を置いた各号機への適用性を考慮した工法について検討を深め、成立性の確認を行う。

(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
(平成30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を受けて、気中-横アクセス工法に軸足を置いた工法実現性を評価するために、必要なデータ・情報を取得する概念検討と要素試験を実施した。

実施内容及び成果

(1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

・原子炉格納容器(PCV)底部の燃料デブリ(切削により発生した燃料デブリを含む)の回収プロセスを想定し、粉状の燃料デブリ回収に関する概念図を作成した。

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

・切削・集塵の対象となる燃料デブリについて、どこにどのような性状で存在するか整理し、効果的な加工方法について検討した。
・PCV底部に多く存在すると思われる燃料デブリのうちMCCI生成物について、効率的に加工することが可能と考える2つの加工方法(チゼル加工、超音波コアボーリング)について要素試験による確認が必要な項目の抽出を行った(図1)。

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に伴い、PCV底部の燃料デブリが、ベント管、サブプレッションチェンバー(S/C)等に拡散することを防止するための技術について、PCV内部調査結果に基づき堰設置案を検討した。

(2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

・セルの閉じ込めおよびPCVと接続する技術について比較し整理した。
・セルとPCV接続時のシール手段であるインフレートシールに関し、要素試験による確認が必要な項目の抽出を行い、試験準備に着手した(図2)。

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

・主に気中-横アクセス工法により、PCV底部の燃料デブリに到達するまでに撤去が必要となる干渉物について、加工手段を整理した。
・干渉物の整理結果に基づき干渉物撤去に関する要素試験計画を具体化し、作業ステップおよび要素試験に必要な設備について検討した(図3、図4)。
・ロボットアームとアクセススレールを組み合わせた動作性確認について要素試験計画を具体化した(図5)。

(3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

・気中-横アクセス工法のセル内設備を例に遠隔保守の基本的な考え方を検討し、エリア区分や保守設備などについて整理した。



図1 チゼル加工予備試験状況

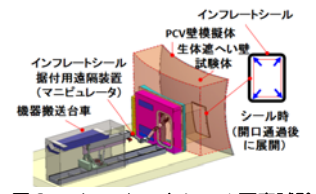


図2 インフレートシール要素試験

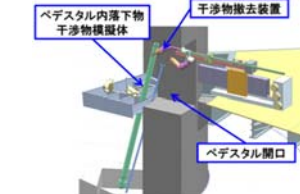


図3 ベDESTAL内干渉物撤去要素試験

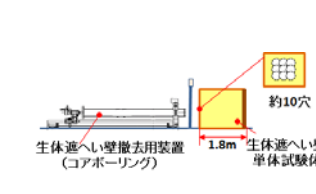


図4 生体遮へい壁撤去要素試験



図5 ロボットアームとアクセススレールとの組み合わせ要素試験イメージ

課題および今後の方向性

- ・要素試験計画に基づき要素試験を実施予定。
- ・概念検討を実施中のものについては、検討内容を具体化するとともに、開発計画を策定する。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

(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事業/燃料デブリ取り出し時の監視技術の開発 (浜松ホトニクス株式会社) (平成30年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリの取り出し時に必要とされる実用的な視覚技術として、線量率10kGy/h、累積線量2MGyの耐放射線性を有する耐放射線撮像管及びカメラを試作し、r線照射試験による高線量率下におけるカメラの機能性の確認、モノクロカメラの映像をほぼリアルタイムでカラー化する技術の開発を実施した。

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撮像管(図1 左)の試作・評価、品質均一性改善
- (2) 新光導電膜撮像管(図1 右)の試作・評価、耐環境性改善

2. 耐放射線撮像管カメラの開発

- (1) 前事業の試作カメラの映像品質を改善、次項(1)で効果を確認
- (2) (1)の成果を反映したプロトカメラ(図2)を製作
カメラヘッドの寸法 φ60 mm × L 290 mm
- (3) 遠隔操作性を考慮したコントローラを付加

3. γ線照射試験

- (1) 本事業で試作した撮像管を前事業の試作カメラに装填して実施線量率10 kGy/hの環境下で映像品質の改善を確認(図3)
- (2) プロトカメラへのγ線照射試験(現在実施中)
- (3) 次項(2)の照明へのγ線照射試験を実施
10 kGy/hの環境下で200時間の連続点灯を確認

4. カラー映像取得技術の開発

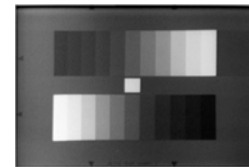
- (1) モノクロ映像をカラー化する方式、システム構成の検討、試作
- (2) 照明の開発、試作
- (3) 画像処理装置の開発、試作
- (4) カラー化システム制御の確認
- (5) 非照射環境下での5 f p sのカラー映像の取得(図4)
- (6) プロトカメラへのシステム同期、制御機能の付加
- (7) プロトカメラでの非照射環境下のカラー映像の取得(今後実施予定)
- (8) γ線照射下でのカラー映像取得実験(今後実施予定)



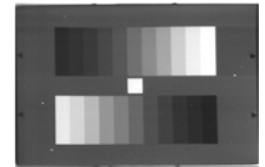
図1 試作撮像管



図2 プロトカメラ



セレン化カドミウム撮像管



新光導電膜撮像管

図3 γ線照射時の画像



デジカメで撮影



カラー化システムで撮影

図4 カラーチャート画像

課題および今後の方向性

- ・撮像管の品質、動作安定性、信頼性の確立
- ・カメラ実用機の開発
- ・運用、交換などを含む現場適用性を考慮した機器の開発

様々な条件（気中、水中、貫通、非貫通。図1参照）における燃料デブリの遠隔制御レーザー切削システムの高度化及び切削時に生成するダスト及びヒュームの回収技術の開発を実施している。

事業概要及びこれまで得られた成果

1. 水中切削用ヘッドの最適化

- (1)ヘッド設計の最適化を実施し、切削ヘッドプロトタイプを試作中。
- (2)最適化後の性能と限界について評価中。

2. 気中非貫通切削の最適化

- (1)新しいノズルを使用した構成でシミュレーションを実施して製作し、良好な試験結果が得られた。(図2)
- (2)40mm以下の切削は安定性が極めて良い。(図3)

3. 水中非貫通切削の評価(図4)

- (1)ヘッドの設計を見直し、新設計ヘッドを製作した。
- (2)性能は、2018年度に評価する予定。

4. 気中レーザー切削中に生成するダスト及びヒュームの回収

- (1)2つの新しい回収ヘッドと1つのループが設計され、貫通切削と非貫通切削について試験を実施した。(図5)
- (2)回収効率について評価中。

5. 水中レーザー切削中に生成するダスト及びヒュームの回収

- (1)水中での気泡挙動の観測。
- (2)スプレーによる回収策を選定し、2018年度に開発する予定。

6. レーザ切削中に生成するダスト及びヒュームの計測

- (1)エアロゾル（アルファ粒子）の詳細な組成（粒径、化学組成、活性度）を計測した。
- (2)凝集現象について分析し、シミュレーション可能とした。

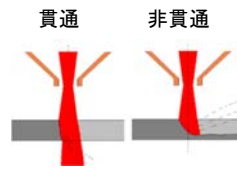


図1 切削方式



図4 新型非貫通切削ヘッド

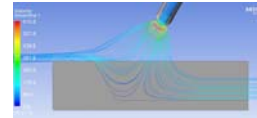


図2 新型設計ノズルのシミュレーション



図5 回収ノズル



図3 40mm切削結果

課題及び今後の方向性(2018年度末まで)

- (1) & (3) 水中レーザー切削：性能確認と実用化ヘッドの開発
- (2) 気中レーザー切削（非貫通）：プロトタイプ的设计，組立及び試験
- (4) 気中回収：効率確認とプロトタイプ開発フェーズへの移行
- (5) 水中回収：設計と試験

Advancement of Fundamental Technologies for Retrieval of Fuel Debris – Remote Controlled Laser Cutting and Dust Gathering (ONET Technologies CN) (Progress February 2017)

Advancement of a remote controlled laser cutting system for fuel debris in various configuration (in air, underwater, emerging, non emerging – see fig. 1) and collection of dust and fumes produced during the cutting

Project Outline and Outcomes obtained so far

1. Underwater cutting head optimization

- (1) Optimized design of the head have been done and cutting head prototype is under trials
- (2) New performance and tolerance is under assessment

2. Non emerging cutting in air optimization

- (1) New configuration with new nozzle have been simulated, manufactured and tested with good results (fig 2)
- (2) 40mm cut are achieved with very good stability and smaller size (fig 3)

3. Non emerging cutting underwater assessment (fig 4)

- (1) New design of the head have been produced and a new head have been manufactured
- (2) Assessment of the performance is foreseen in FY2018

4. Collection of dust and fumes produced during laser cutting in air

- (1) Two new collection heads and one loop have been designed and tested for emerging cut and non-emerging cut (fig 5)
- (2) Efficiency of collection is under assessment

5. Collection of dust and fumes produced during laser cutting underwater

- (1) Observation of bubbles behavior underwater
- (2) Solution of collection by sprays is the preferred option and will be developed in FY2018

6. Measurement of dust and fumes produced during laser cutting

- (1) Detailed composition of aerosols (alpha particle) has been measured (size, chemistry, activity)
- (2) Agglomeration phenomena are understood and can be simulated

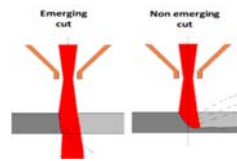


Fig1. Cutting configurations



Fig4. New non-emerging cutting head

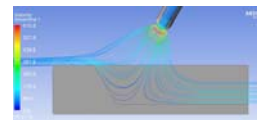


Fig2. New nozzle design simulation



Fig5. Collection nozzle



Fig3. 40mm cut achieved

Remaining issues/challenges and what to do by the end of FY2018

- (1) & (3) Laser cutting underwater : Confirmation of performance and develop industrial head
- (2) Laser cutting in air (non-emerging) : Design, build and trials of a prototype
- (4) Collection in air : Confirm efficiency and move to prototype phase
- (5) Collection underwater : Design the solution and test it

**(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（小型中性子検出器の開発）
（平成30年2月末時点における進捗状況）**

- 既存の中性子検出器について、検出性能を比較し、小型中性子検出器の候補としてCMOS型センサを選定した。
- 要素試験による性能検証、センサの概念設計等を実施し、福島第一原子力発電所に適用可能なセンサであることを示した。
- 上記成果を受け、小型中性子検出器の開発（製作）に着手した。

実施内容及び成果

1. 福島第一原発における燃料デブリ取り出し等適用可能な中性子検出技術の特定及びその実現可能性調査（フェーズ1）

- (1) 要素試験による性能検証：CMOSタイプの中性子検出器について、以下の様な要素試験を実施し、性能を検証した。
(図1、図2、図3)
- (2) 実現しつつある中性子検出装置の性能及び仕様等の検討：性能検証結果を整理し、実機向け中性子検出器の仕様を検討した。
- (3) 当該中性子検出装置の概念設計：1号機ペDESTAL外地下階調査（1階グレーチングからのセンサ降下方式）で、中性子を測定するシステムを想定し、小型中性子検出器の概念設計を実施した。
- (4) 当該中性子検出装置の開発計画の立案
- (5) 実機適用に向けた量産時期までのスケジュール、コスト、納期等の検討
- (6) 開発した検出器の扱い（事業者のみで計測可能か、事前トレーニング必要か等）の検討

2. 中性子検出装置の開発（フェーズ2）

フェーズ1の検討結果を用い、以下の項目の検討を開始した。

- (1) センサ設計および製作
CMOSセンサの設計、センサ配置、CMOSセンサ単体での性能確認方法検討、周辺機器、ソフトウェアの設計等
- (2) センサユニット試作および評価
センサユニット基本設計、周辺機器設計、性能評価試験の計画等

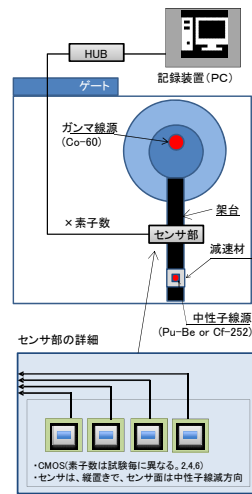


図1 性能検証試験レイアウト

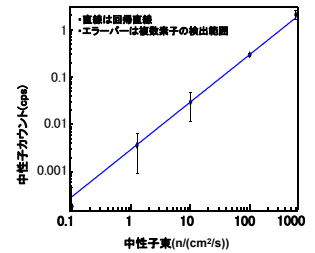


図2 中性子単独場での検出性能

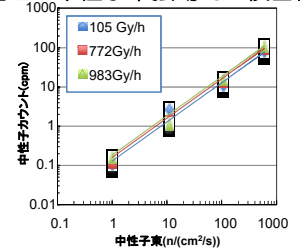


図3 ガンマ線・中性子線複合場での検出性能

課題及び今後の方向性

引き続きフェーズ2において、センサおよびセンサユニットの製作、性能評価を実施し、小型中性子検出器を完成させる。合わせて、適用先の調査、必要な仕様検討を実施する。

(2-2) 燃料デブリ・炉内建造物の取り出し基盤技術の高度化／小型中性子検出器の開発 (RosRAO, FSUE) (平成30年12月末までの進捗状況)

サイズ、感度、耐放射線性といった要件を満たす実用可能な小型中性子検出器を開発するため、コロナカウンター（CC）及び多層核分裂電離箱（MFC）の技術を用いた小型中性子検出器の概念設計や試作を行い、主要な技術的パラメータを確認するための試験を行っている。

事業概要、得られた成果

1. 中性子検出技術の検証

- (1) 実用可能な中性子束検出技術を検証
- (2) 中性子検出技術の性能を確認

2. 小型中性子検出器の概念設計

- (1) 小型コロナカウンターを試作
- (2) 小型核分裂電離箱を試作
- (3) 小型コロナカウンター・核分裂電離箱のプロトタイプ（図1）を作成し、タンデロン加速器中性子源（図2）、KSV-500（Co-60ガンマ線源、図3）及びAmLi中性子源（図4）を用いて試験を実施

3. コロナカウンターのプロトタイプは、事業の成果目標を達成

その上で、既存ロボットシステムとの互換性等、今後の開発に必要とされる機能も有している。また、CCとMFCの組み合わせの開発等を含め、代替選択肢・シナリオを考察した。

検出器	コロナカウンター（10B）		核分裂電離箱（235U）	
	CHM-F (実証済み)	CHM-F2 (実証済み)	KHT-35-1 (推定)	KHT-35 (実証済み)
品目				
サイズ, mm	∅ 18.5×40	∅ 18.5×20	∅ 18.5×40	∅ 18.5×20
検出範囲, n/(cm2s)	0.1-104	0.1-104	0.1-104	0.1-104
感度, pulse*cm2/n	0,17	0,1	0,051	0,017
0,1 n/(cm2s)の中性子束に対するカウント毎時（エラー）	62 (12%)	36 (16%)	18,6 (23%)	6,2 (40%)
累積線量xGy以上で操作可能	50 000	50 000	30 000	30 000
γ線との弁別, xGy以上	1338	984		1630

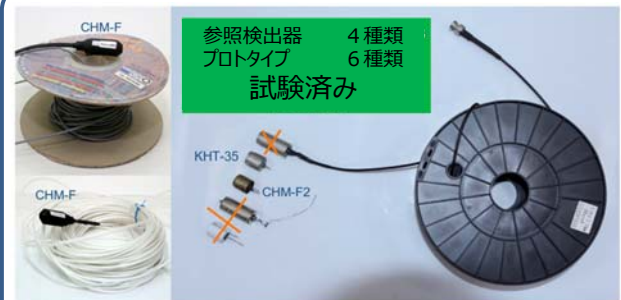


図1 製造された試験済みの中性子検出器



図2 タンデロン



図3 KSV-500



図4 AmLi

課題及び今後の方向性（2018年9月まで）

- (1) 測定システムの詳細設計と試作の実施
- (2) 外部環境パラメータ（振動、湿度、温度）に対する耐久性及び安定性の確認
- (3) ロボットシステムへの搭載に関する事項を含め、実際の問題に即した要求への適合
- (4) ケーブルの取り回しの問題、電磁場での両立性

Development of Small Neutron Detector (RosRAO, FSUE) (Progress by End of 12/17)

Various designs of industrial detectors – corona counter & multilayer fission chamber (MFC) are tested in order to identify feasible technology that meets KPI's and case specific requirements. Based on the results of industrial design detectors testing, prototypes of downsized corona counters and MFC are developed and tested to verify key technical parameters, and further pilot samples are manufactured and tested with the help of a specialized comprehensive facility.

Project Outline and Outcomes obtained

1. Experimental program fully accomplished:

- (1) Feasible technology of neutron flux detection developed
- (2) Performance indicators identified

2. Conceptual design of downsized ND equipment arranged:

- (1) Downsized corona counter developed
- (2) Downsized fission chamber developed
- (3) Set of technological prototypes of the small-sized corona counters and fission chambers (Fig.1) manufactured and tested with the help of Tandatron (Fig. 2) KSV-500 (Fig.3)&AmLi (Fig.4) sources

3. Prototype of corona counter verified project KPI's, including additional functionality – GDR measurement, compatibility with existing robotic systems, and considered as a basic technological solution for further development.

Alternative options and scenarios including development of combination of CC & MFC were considered.

Detector	Corona counter (10B)		Fission chamber (235U)	
	CHM-F (verified)	CHM-F2 (verified)	KHT-35-1 (estimated)	KHT-35 (verified)
Item				
Size, mm	∅ 18.5×40	∅ 18.5×20	∅ 18.5×40	∅ 18.5×20
Detection range, n/(cm2s)	0.1-104	0.1-104	0.1-104	0.1-104
Sensitivity, pulse*cm2/n	0,17	0,1	0,051	0,017
Counts per 1 h for flux 0,1 n/(cm2s) (error)	62 (12%)	36 (16%)	18,6 (23%)	6,2 (40%)
Operably with cumulative dose not less Gy	50 000	50 000	30 000	30 000
Discrimination from gamma-ray, not less Gy	1338	984		1630

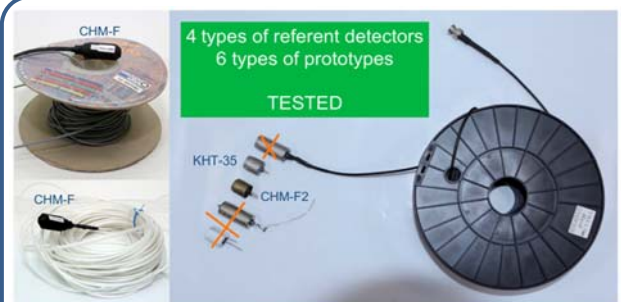


Figure 1 Manufactured and tested ND equipment



Figure 2 Tandatron



Figure 3 KSV-500



Figure 4 AmLi

Remaining issues/challenges and what to do by the end of 09/18:

- (1) Development of detailed design and trial industrial manufacturing of measurement system;
- (2) Verification of robustness and stability within external environmental parameters (vibration, humidity & temperature);
- (3) Adoption to actual case-specific requirements, including robotic system installation items;
- (4) Cable management issues, electromagnetic compatibility.

(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／小型中性子検出器の開発
(ONET Technologies CN) (平成30年12月末までの進捗状況)

ONET TechnologiesとCEA Tech LISTは、福島第一原子発電所の損傷した原子炉のPCV内の燃料デブリを検出するために、小型中性子検出器の開発と導入のフェーズビリティスタディとして、核分裂電離箱の技術を用いた小型中性子検出器の開発を提案した。

プロジェクトの概要と成果

1. ガンマ線量率が高い場合の検出器技術の性能：

成果：

- 8kGy/hまで（中性子と）誤認識される計数はない
- 1kGy/hの計数率に影響はない
- 2kGyの積算線量による性能低下はない

2. 福島第一原子力発電所における既存検出器の選択：

成果：

- PHOTONIS®が提案した核分裂電離箱CFUF34の選択
- 4.7mm x 85mm - m=30gr - Sensitivity = 10⁻³ c.s-1/n.cm-2.s⁻¹

3. 技術的要求を満たす既存検出器の改良

成果：

- 検出器CFUF34-MOD (20mm×40mm - 1時間未満で0.1n/cm²/sの中性子束を検出できない - 1kGy/hで動作可能)
- 検出器CFUF34-MH (20mm x 60mm - 1時間以内に0.1n/cm²/sの中性子束を検出可能 - 1kGy/h以下で動作可能)
- 福島第一原子力発電所への適用を考慮したモンテカルロシミュレーションを実施

4. 詳細な燃料デブリ位置の特定手法の開発

成果：

- シミュレーションデータで検証された原理の証明

5. IRIDのB2' 内部調査用ロボットへの搭載提案

成果：

- IRIDのB2' 内部調査用ロボットに検出器を搭載するための2つの設計オプションを提案

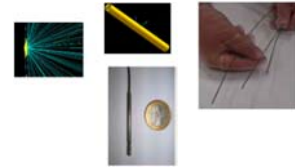


図1 既存の核分裂電離箱



図2 照射試験のための実験台

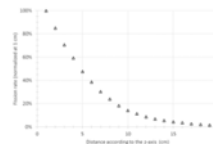


図3 距離が検出器の信号に及ぼす影響

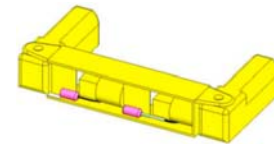


図4 IRIDのB2' ロボットへの検出器の搭載

Project of Decommissioning and Contaminated Water Management - Development of Small Neutron Detector (ONET Technologies CN) (Progress by End of December 2017)

ONET Technologies and CEA Tech LIST proposed to develop a small neutron detector using the fission chamber technology in order to detect the fuel debris inside the PCV's of damaged reactors of Fukushima-Daiichi. The first step of this project (Phase 1) consist in the study of feasibility for the detector development and deployment.

Project Outline and Outcomes obtained

1. Performance of the detector technology under high gamma dose rate:

Outcomes obtained:

- No false positive counted until 8kGy/h
- No impact on the counting rate at 1kGy/h
- No performance degradation following a 2kGy integrated dose

2. Choice of a reference existing detector for the 1F case:

Outcomes obtained:

- Choice of the fission chamber CFUF34 proposed by PHOTONIS®
- 4.7mm x 85mm - m=30gr - Sensitivity = 10⁻³ c.s-1/n.cm-2.s⁻¹

3. Improvement of the reference detector to enforce MRI technical requirements

Outcomes obtained:

- Detector CFUF34-MOD (20mm x 40mm - Not able to detect 0.1n/cm²/s in less than 1h - Operable under 1kGy/h)
- Detector CFUF34-MH (20mm x 60mm - Able to detect 0.1n/cm²/s in less than 1h - Operable under 1kGy/h)
- Monte-Carlo simulation in Fukushima context

4. Fine fuel debris localization methodology development

Outcomes obtained:

- Proof of principle validated on simulated data

5. On site implementation on IRID robot B2'

Outcomes obtained:

- Implementation solution carried out for IRID robot B2' with two design options

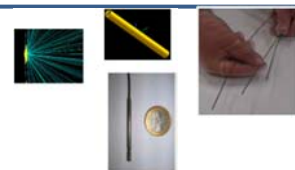


Figure1 : Existing Fission chamber

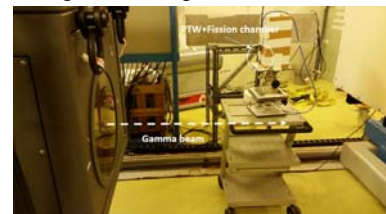


Figure2 : Experimental bench for irradiation test

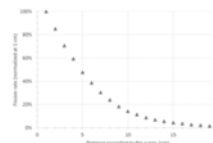


Figure3 : Impact of the distance on the signal of the detector

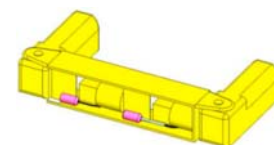


Figure4 : Implementation of the detector on the IRID robot B2'

(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開発
(平成30年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取出しに伴う臨界管理や取り出し装置の設計、取り出し作業の合理化に資するため、サンプリング調査のシナリオを策定するとともに、アクセス装置を含むサンプリング装置を開発中である。これらは、既存の安全システムを活用しながら、小石・砂状デブリ等のサンプリングを行えるアーム型アクセス装置や付属工具などの関連設備の要素試験や比較評価も並行して進めている。

実施内容及び成果

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

以下の手順で燃料デブリ採取の全体シナリオを策定し、開発計画を検討・更新した。

- ① ニーズや先行する原子炉格納容器(PCV)内部調査結果を踏まえ、採取場所・数量や様々な採取形態を検討した。
- ② サンプリング工具などの必要技術の開発計画を策定した。
- ③ 採取形態に応じたサンプリング時の安全システムを評価した。

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

(1) 燃料デブリサンプリングシステムの基本設計

小石・砂状デブリや更に形状が大きい切削円柱状デブリなど採取形態に応じたサンプリングシステムの基本設計に向け、作業員被ばく抑制や臨界安全の観点から要求条件を導出・整理した(図1)。

(2) 燃料デブリ付近へのアクセス装置の設計・試作

デブリの採取形態に応じたアクセス装置を設計するために、PCV内部詳細調査用アーム型アクセス装置の流用可能性や改良型アクセス装置について検討した(図2)。

(3) 燃料デブリサンプル回収装置の設計・試作

小石・砂状デブリのサンプル回収のための付属工具等について要素試験を行い、概念設計を実施した(図3)。

3. 原子炉圧力容器(RPV)内燃料デブリサンプリングシステムの概念検討

RPV内部調査技術の開発を踏まえ、上部或いは側面からRPV内にアクセスするシステム概念を検討し、要素試験計画などを策定した。

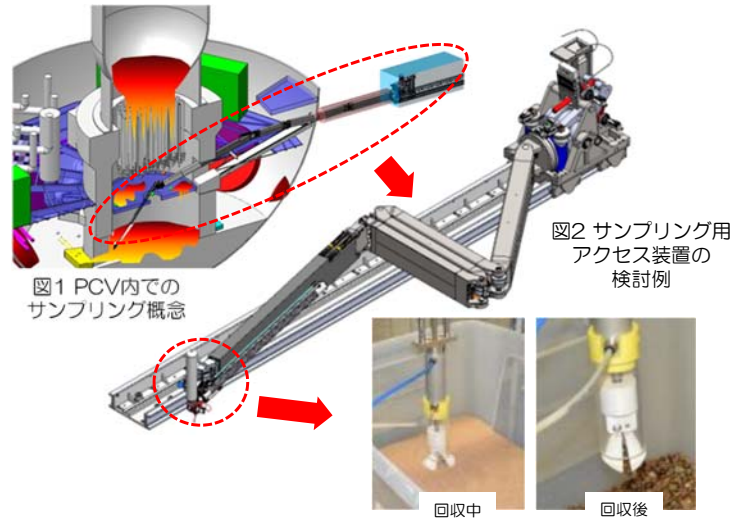


図1 PCV内でのサンプリング概念

図2 サンプリング用アクセス装置の検討例

回収中 回収後

図3 回収装置の検討例(つかみ機構)

課題及び今後の方向性

- ・本年度の開発進捗や最新のPCV内部調査結果を踏まえ、次年度では、早期にデブリサンプリングを目指すアクセス装置(アクセスルートを含む)や付属工具の開発を展開する。
- ・並行した「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」等と連携し、合理的かつ迅速に開発を進める。

(2-5) 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発
(平成30年2月末時点における進捗状況)

燃料デブリ取り出し・収納・移送・保管プロセスフロー案を導出し、導出したプロセスフロー案及び安全機能要求の観点からモックアップ用収納缶仕様の検証を行い、有効であることが確認できた。

実施内容及び成果

1. 輸送・貯蔵に係る調査及び研究計画立案

下記2~4に資する日本原燃(株)六ヶ所廃棄物管理施設の許認可資料の調査および昨年度までに入手した海外破損燃料の輸送・貯蔵に関する情報の更なる精査等により、国内外の技術知見を得た。

2. 燃料デブリ収納缶の移送・保管に係る安全要件・仕様及び保管システムの検討

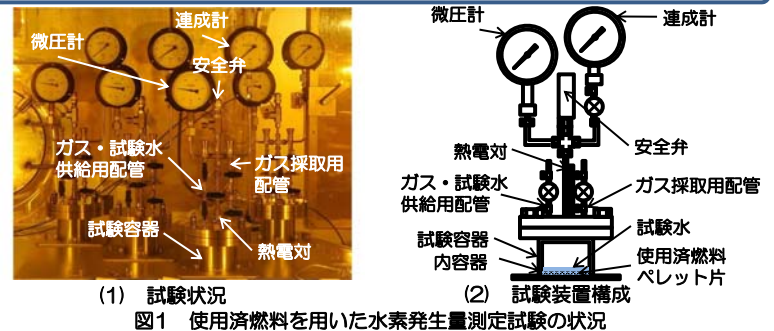
燃料デブリ取り出し・収納・移送・保管(乾燥処理含む)の一連のプロセスフロー案を作成し、前提条件に基づくスループット(要求処理物量、収納缶本数、保管面積含む)の一次評価を行い、収納缶本数低減に向けた見直し案を抽出した。また、昨年度検討の燃料デブリの湿式・乾式保管システムについて、関連プロジェクトの最新情報等を踏まえ、現時点で見直しの必要がないことを確認した。

3. 安全評価手法の開発及び安全性検証

燃料デブリ収納缶の安全性を検証するための各種検討、試験を実施した。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の水分量制限の適用性や未臨界条件緩和の検討、収納缶の取扱いフローおよび安全要件を考慮した収納缶蓋構造の検討、環境条件を考慮した収納缶材料の経年劣化評価、使用済燃料を用いた水素発生量測定試験(図1参照)や水素再結合触媒の有効性評価のための収納缶内対流評価(図2参照)に基づく水素ガス対策の検討を実施し、安全評価手法確立に必要な知見を拡充した。

4. 燃料デブリの収納形式の検討

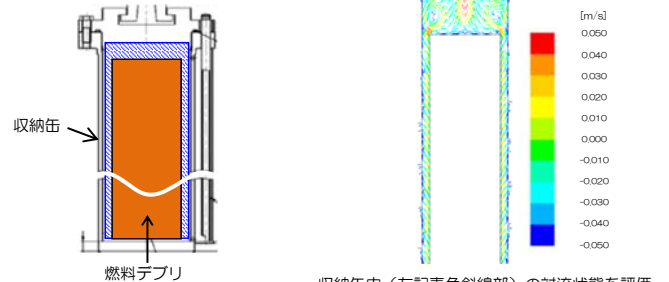
昨年度設定した収納缶の基本仕様について、上記2,3に示す安全要件および安全性検証結果を踏まえ、燃料デブリ性状に対応した収納形式を検討し、現時点で収納缶仕様見直しの必要がないことを確認した。



(1) 試験状況

(2) 試験装置構成

図1 使用済燃料を用いた水素発生量測定試験の状況



(1) 評価対象

収納缶内(左記青色斜線部)の対流状態を評価

(2) 対流状態の評価(例)

図2 収納缶内の対流状態の評価

課題及び今後の方向性

燃料デブリ取り出し工法等関連プロジェクトによる検討結果の収納缶仕様への反映、ならびに収納缶の安全性/取扱い性/スループット評価の更新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明確化。

**(3) 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発
(平成30年2月末時点における進捗状況 1/2)**

2021年度頃までを目処に、処理・処分方策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、処分概念及び安全評価手法の提示に向けた調査・検討などを実施した。

実施内容及び成果

1. 性状把握

- 瓦礫類、水処理二次廃棄物や汚染水の分析を継続して実施した。
- 瓦礫類は覆土保管瓦礫、4号機原子炉建屋床等を分析している。また、試料の局所的な汚染分布を調べている。
- 水処理二次廃棄物は、除染装置スラッジや多核種除去設備スラリーと吸着材を分析している。
- 汚染水は滞留水と処理水を分析している。⁹⁰Srの¹³⁷Csに対する濃度比はおおよそ2桁ほどの範囲で相関する傾向が見られた(図1)。滞留水との接触による二次的な汚染の組成評価に利用していく。
- 核種の汚染挙動を調べるため、これまでに得られた分析データを用い、種々の核種の濃度を¹³⁷Csと比較している。原子炉建屋内瓦礫試料について、⁹⁰Srと¹³⁷Cs濃度が号機に係らず相関する傾向を示すように(図2)、同様の挙動が他の核種にも観察されている。
- セシウム吸着塔からのゼオライト採取は、上部を穿孔する方法を検討し、試験装置を試作している(図3)。原子炉建屋(R/B)内部での遠隔採取は、小型のコアボーリング採取治具を試用した。
- 汚染の核種組成を類型化し、汚染挙動の分類を検討した(表1)。分析対象核種を再検討し、分析効率化のため同位体濃度の算出に燃料の燃焼計算を併用することとした。
- 放射性核種による汚染の頻度分布が対数正規分布であることを見出し、これを利用した推定を試みている(図4)。改良した評価手法を用いて廃棄物の放射能インベントリを試算した。

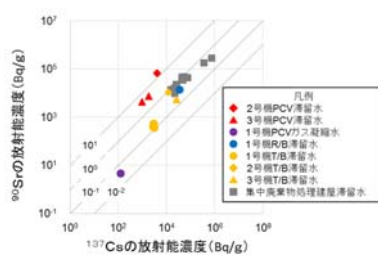


図1 滞留水の⁹⁰Srと¹³⁷Csの相関

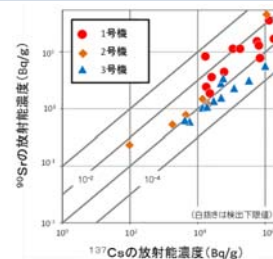


図2 R/B内瓦礫の⁹⁰Srと¹³⁷Csの相関



図3 セシウム吸着塔吸着材の採取試験装置

表1 汚染挙動に関する核種分類

核種	元素
アルカリ金属	Rb, Cs
アルカリ土類	Ca, Sr, Ba
遷移金属	Mn, Fe, Co, Ni, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Sn, Sb
カルコゲン	Se, Te
希土類・アクチノイド	Y, Zr, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, U, Np, Pu, Am, Cm
ハロゲン	Cl, Br, I
希ガス	Kr, Xe

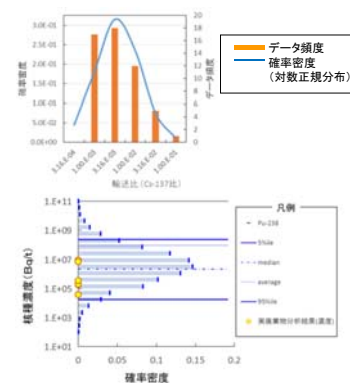


図4 分析値の分布(上段図)とそれに基づく推定(下段図)の例

**(3) 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発
(平成30年2月末時点における進捗状況 2/2)**

2. 処分前管理

- 水処理二次廃棄物の処分前管理に必要となる安定化技術の一つとして、汚染拡散防止や装置の大きさの観点からインドラム式ガラス固化処理技術に着目し、汚染水処理に用いたゼオライトと他の水処理二次廃棄物の模擬廃棄物を同時に溶解した固化体を作製した。また、これらの固化体について化学分析や浸出試験などの基礎データを収集し、工学規模試験に用いる組成や固化体製作条件を提示した。
- 除染装置で発生したスラッジが貯蔵されているプロセス主建屋内の貯槽Dの内部状況を調査し、実スラッジを採取した。貯槽D内部調査概要と採取試料を示す(図5)。水中カメラでの観察により、沈降したスラッジ層の厚さは約40cmであることが判り、体積は約37m³と見積もられた。また、スラッジの抜き出し検討のため、模擬スラッジを作製して流動性に係る基礎データを取得した。

3. 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

- 処分概念および安全評価手法の構築に向けた情報整備として、海外の処分場の詳細調査を行う(図6)とともに、国内処分事例や固体廃棄物の特徴を考慮して、様々な事例を基に福島第一原子力発電所の固体廃棄物へ適応する場合の条件などを検討した。

4. 研究開発成果の統合

- 廃棄物ストリームに関して、既往研究で得られた最新の成果を反映し、進捗、成果の整合性、及び残された課題を統合して行く手法の構築に着手した。

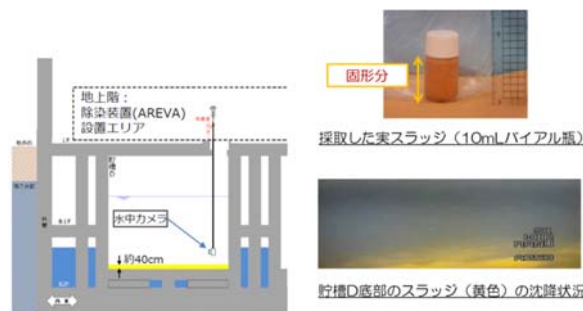


図5 除染装置スラッジの採取



図6 海外処分場の詳細調査

課題及び今後の方向性

分析を継続し、インベントリ推定モデルの改良に反映するとともに、水処理二次廃棄物の安定化に関する試験等を行う。また、海外の処分概念や評価方法、設定根拠や背景の詳細な調査を継続し、福島第一原子力発電所の固体廃棄物への適用性の検討を行う。以上の結果から、廃棄物ストリームを繰り返し検討する。

総合的な炉内状況把握の高度化 (平成30年2月末時点における進捗状況)

海外機関の協力をめ国内外の叡智を結集し、「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

海外機関の知見活用を加速するため、データベースの英語検索機能を追加し、事故後3週間を中心に計測データ等のグラフ表示機能を改良した。加えて、本事業で構築したデータベースへの検索タグ付き資料・情報の追加を継続し、1(1)に記載した総合的な分析・評価の効率的な実施に貢献した。

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。例として昨年度に続き、模擬燃料集合体プラズマ加熱試験(図3)を実施し、BWR燃料集合体体系における炉心溶融・移動といった現象の不確かさを低減に繋がる知見を拡充した。

(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、環境で確認された不溶性Cs粒子の生成量、原子炉圧力容器上部構造物との反応に伴う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分析し、炉内状況把握の観点からウランやFPの組成、空間分布など検討を実施した(図4: 1号機 格納容器底部の堆積物と、2号機 原子炉建屋5階で採取した養生シートの分析結果)。

(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)プロジェクトを運営する中で、1(2)で構築したデータベースを活用して海外機関と事故進展シナリオやプラント関連情報を共有し、参画機関による事故後3週間の事故進展・デブリ分布・FP分布の評価結果を実測値・現場調査結果と比較した。その結果、Phase1と比べて、事故進展、プラント状況に関する共通理解が深まり各機関の解析結果のばらつきも大きく低減し、FP放出量の評価結果も環境に放出された量と概ね整合する結果となることを確認した。事故進展の理解の深化を通じて、燃料デブリ分布の推定精度の向上に貢献した。海外機関との議論を通じて得た知見を、1(1)に記載した総合的な分析・評価に活用した。

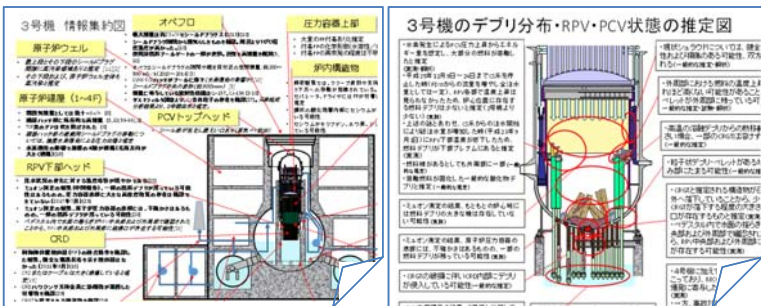


図1 情報集約図例 (一部を掲載)

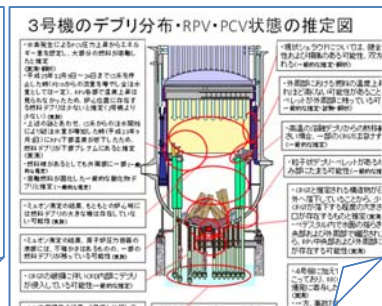


図2 燃料デブリ分布の推定図例 (一部を掲載)



図3 模擬燃料集合体プラズマ加熱試験

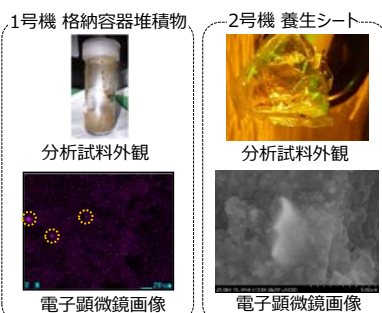


図4 分析試料と分析結果例

今後の方向性

本件は、平成29年度末(平成30年3月末)にて終了する。今後は、東京電力ホールディングス株式会社にて、現場調査の結果を炉内・格納容器内の状態の推定に反映するなど、総合的な分析・評価を継続していく予定である。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

原子炉格納容器内部調査技術の開発 (平成30年2月末時点における進捗状況)

- 2号機のA2調査(ペDESTAL内部プラットフォーム上状況調査)とA2'調査(ペDESTAL内部プラットフォーム下状況調査)及び3号機の水中遊泳型装置(ROV)によるペDESTAL内調査の現地実証を完了した。
- 次フェーズ調査(上記以降の調査)について、アクセス・調査装置の絞り込み、計測技術に係る要素試験、ハッチ開放に係る装置の単体機能試験を実施した。

実施内容及び成果

1. 特定部位へのアクセス・調査装置及びシステムの開発

(1) 2号機を対象としたペDESTAL内調査(A2/A2'調査)

ペDESTAL内プラットフォーム上と下の状況を調査するA2調査装置とA2'調査装置を開発し、調査を実施した。プラットフォーム上にグレーチング脱落部、ペDESTAL底部に燃料集合体の一部とその周辺に燃料デブリと思われる堆積物を確認し、実証試験を完了した。

(A2調査/A2'調査での取得データ: 図1)

(2) 3号機を対象としたペDESTAL内調査(3号機調査技術)

ペDESTAL内の状況を調査する水中遊泳型装置を開発し、調査を実施した。複数の構造物の損傷や溶融物が凝固したと思われるもの付着、塊状の堆積物を確認し、実証試験を完了した(図2)。

(3) 地下階調査のための計画策定、要素試験

平成28年度に引き続き、計測技術に係る要素試験を実施した。

2. 調査計画・開発計画の立案・更新

(1) 調査計画・開発計画

平成28年度に立案した調査計画と最新の現場状況などを考慮し、アクセス・調査装置の絞り込みを実施した。

(2) アクセスルート構築

X-6ペネトレーションのハッチ開放に係る装置(隔離部屋等)の概念検討、要素試験を実施した。



図1 2号機ペDESTAL内調査結果

図2 3号機ペDESTAL内調査結果

課題及び今後の方向性

PCV内部の更なる情報取得に向けて本事業で検討したアクセスルート構築、アクセス装置及び計測技術の概念をもとに「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」で詳細設計・試作・工場内検証を行い、現地実証の準備を進める。



圧力容器／格納容器の耐震性・影響評価手法の開発 (平成30年2月末時点における進捗状況)

大規模地震時の圧力容器 (RPV)/格納容器 (PCV) 内の大型機器損傷によるリスクとその対応策を安全シナリオとしてまとめた。また、耐震性及び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サブプレッションチェンバ (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の地震応答解析や弾塑性解析及び耐震強度評価を実施した。

実施内容及び成果

1. 大規模地震時における安全シナリオの構築

大規模地震による大型機器の損傷を起因とする潜在的なリスクに対して、燃料デブリ取り出し開始までに実施すべき設備対策、および準備すべき機動的対応を纏め、安全シナリオ (安全機能の維持または事故収束における対応の流れ) を構築した。

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

① S/C脚部の耐震性・影響評価手法の開発

- ・S/C内充填止水での耐震性評価のため、ベント管とS/C系を連結した連成解析モデル (図1) を作成し、時刻歴地震応答弾性解析を実施した。
- ・重要評価部位であるコラムサポート他について、さらに弾塑性解析 (2倍勾配法) による評価を行い、ダウンカマ埋設条件を確認した。

② ペDESTAL部の耐震性・影響評価手法の開発

想定されるペDESTAL温度履歴と分布及び燃料デブリによる侵食の影響評価のための下記の評価手法の開発と材料データを取得した。

- ・3次元有限要素法 (FEM) による弾塑性解析による評価 (図2) およびファイバーモデルによる評価手法。
- ・RPVペDESTALの侵食を想定した大型機器連成解析による評価手法。
- ・コンクリート内鉄筋の強度劣化推定のための高温腐食と強度低下量。

3. 安全シナリオの高度化

上記の評価手法の高度化のために解析や試験等の確認方を検討し、以下の詳細解析と材料試験を実施した。

- ・1号機におけるS/C脚部の時刻歴弾塑性地震応答解析による評価
- ・事故時の温度履歴を考慮したPCVの材料試験データの取得。

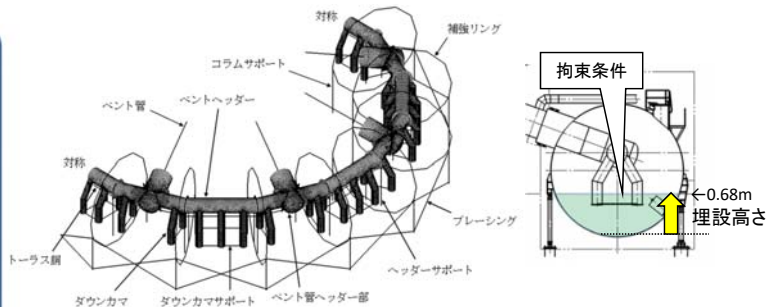


図1 ベント管-S/C系連成解析モデル (1号機)

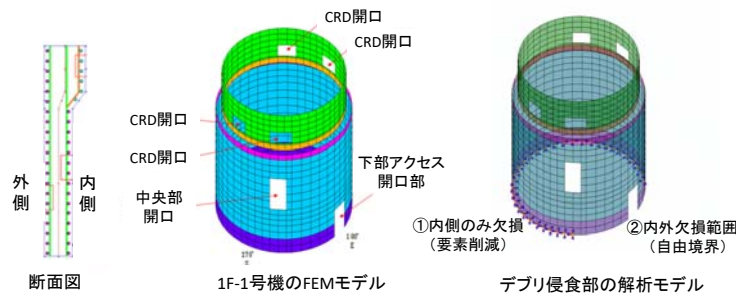


図2 RPVペDESTALの3次元FEM弾塑性解析モデル

課題及び今後の方向性

安全シナリオについては、関連研究開発 (燃料デブリ取り出し、PCV内部詳細調査など) の進捗状況により反映、見直しを行う。

燃料デブリ臨界管理技術の開発 (平成30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の開発を行うため、臨界シナリオの策定、臨界時挙動評価手法等の開発を行い臨界評価手法を確立するとともに、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

1. 臨界評価手法の確立

- ・炉内状況評価や内部調査、ミュオン測定結果により得られた燃料デブリ分布の推定情報に基づき、号機毎に、燃料デブリ取り出し時の状態変化を踏まえた臨界管理の点から留意すべき事項を明確化した。今後、更なる燃料デブリ分布情報や組成・性状情報が得られれば都度見直ししていく。
- ・万が一の臨界に備えて、事前に臨界を終息させ被ばくによる影響を緩和するための手順や設備を構築しておく必要がある。このため、これらの手順や設備仕様の検討に必要となる臨界時挙動評価手法を確立した。

2. 臨界近接監視手法の開発

- ・臨界への近づき度合いを推定する技術として、中性子信号の揺らぎ特性を用いる手法 (炉雑音法) の開発を進めた。臨界集合体にて、種々の燃料デブリ状態を模擬して中性子信号を取得し、本手法により評価した結果、本手法で臨界への近づき度合いを推定可能であることを確認した (図1)。

3. 再臨界検知技術の開発

- ・早期に臨界を検知できる技術として、格納容器内の放射性ガス濃度を監視するシステムを改良し、現在監視中のXe-135より速く応答するKr-88の検知を目指している。1F1号機でKr-88の検知性試験を実施した結果 (図2)、Kr-88が他の放射性核種の影響がなく検知できることを確認した。

4. 臨界防止技術の開発

- ・非溶解性吸収材 (表1) について、核特性試験・長期照射時溶出試験・施工性試験 (図3) を実施し、吸収材候補としての見通しを得た。
- ・溶解性吸収材 (五ホウ酸ナトリウム) について、核特性試験やホウ素濃度維持設備検討を実施し、濃度評価や濃度維持の技術的成立性見通しを得た。

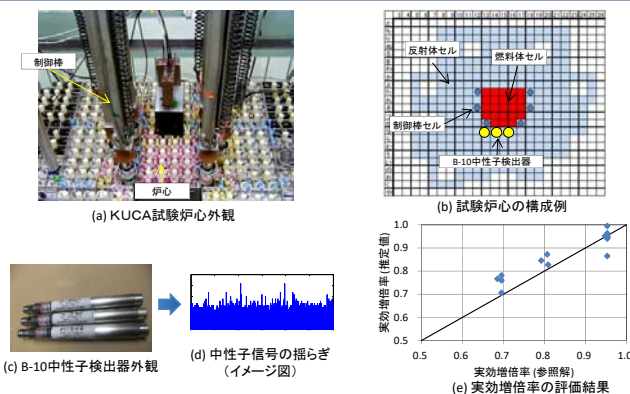


図1 京都大学臨界集合体実験装置 (KUCA) における臨界近接試験概要

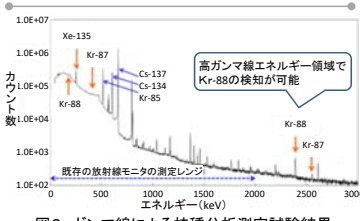


図2 ガンマ線による核種分析測定試験結果

形態	候補材	水中の岩盤状模擬デブリに広がる吸収材
固体	B ₂ C金属焼結材 B-Gd入りガラス材	水中の粒状模擬デブリに落下する吸収材
液体→固体 (固化材)	Gd ₂ O ₃ 粒子 セメント/ Gd ₂ O ₃ 造粒粉 水ガラス/ Gd ₂ O ₃ 造粒粉 水中硬化樹脂/ Gd ₂ O ₃ 造粒粉	

表1 非溶解性吸収材 図3 水ガラスタイプの施工性試験

課題及び今後の方向性

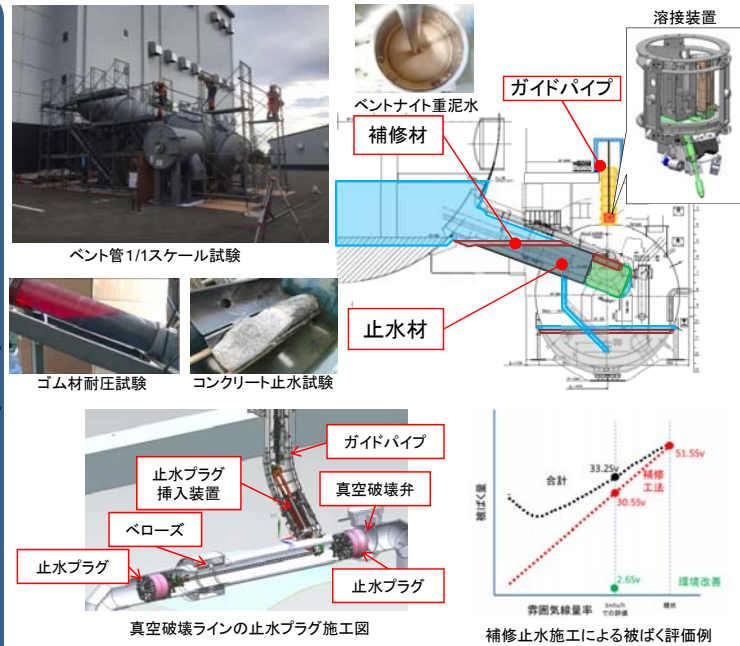
燃料デブリ取り出し時の臨界管理技術の成立性が見通しが得られたことから、今後はこれまでの開発成果を活用し、取り出し装置やシステムへの実装に向けた適用性検討と安全確保に関する最適化検討を行う。

原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発 (平成30年2月末時点における進捗状況)

実機適用に向けた下部補修止水技術の実用化に重点を置き、止水技術開発とその実証試験及び環境改善の概念検討を実施し、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
実現性の高いPCV水位を複数案提示し、個別の補修技術の止水性能の目標を設定した。
- 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
実規模試験打設後の強度と流動解析評価結果から、補強の有効性を確認した。
 - ①-2 ベント管内埋設による止水技術
止水性能確保のため耐放性ゴム及び自己充填コンクリートによる止水材開発と、重泥水による補修材開発を行った。止水材として選定した自己充填コンクリートによる1/1スケール試験にて施工性と止水性能の確認を行った。
 - ①-3 S/C内埋設による止水技術
S/Cガイドパイプ施工の機能検証試験を実施し、施工成立の可能性を確認した。
 - ② 真空破壊ライン埋設による止水技術
止水プラグのインストール性の改善検討を実施し、1/1スケール試験で施工性と止水性能の確認を行った。
 - ③ 接続配管のバウンダリ構築技術
止水材開発と遠隔装置の要素開発を実施し、工法の成立性を確認した。
 - ④ トラス室壁面配管貫通部等の止水技術の開発
- 3) PCV上部他補修技術の開発
機器ハッチシール部の止水装置の改善検討を行い、シール工法の施工性向上の見通しを得た。
- (4) 補修工法の実機適用に向けた環境改善の概念検討
PCV下部補修止水作業の被ばく線量評価を実施し、被ばく線量低減工法の検討と課題の抽出を実施した。



課題及び今後の方向性

各号機毎のデブリ取り出し方法の確定へ向け、内部調査や工法検討の中で前提条件や状況などが変化した場合には、技術の再評価を行う。

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30年2月末時点における進捗状況)

サプレッションチェンバ (S/C) 脚部補強の打設試験・ベント管止水の施工性確認試験・S/C内充填止水 (ダウンコマ止水) の施工性確認試験および打設試験を実施し、ベント管止水の打設試験を準備中。また、バーチャルリアリティ (VR) システムを利用した遠隔操作機器 (マニピュレータ) の操作訓練用シミュレーションが有効であることが確認できた。

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
下記項目について実規模試験実施した。
 - ① S/C脚部補強
S/C下部に流動性の高い補強材を充填し補強する打設試験を実施し、実機を想定した施工手順で施工できることを確認した。また、打設高さなどの施工監視の成立性についても確認した。
 - ② ベント管止水
遠隔操作による干渉物撤去やベント管への穴あけを行う施工性確認試験を行い、実機を想定した環境で施工対象へアクセスできることを確認した。
 - ③ S/C内充填止水 (ダウンコマ止水)
S/C内に流動性の高い止水材を充填し止水する打設試験を実施し、実機を想定した施工手順で施工できることを確認した。また、打設高さなどの施工監視の成立性についても確認した。
 - ④ 試験準備等
給排水設備の維持管理と、その為の定期点検を実施した。
2. 予備シミュレーション試験用のVRデータの整備
ベント管止水で使用するマニピュレータをVRシステム上で再現し操作訓練ができる環境を構築している中で、
 - ・ モーションキャプチャ等を用いてマニピュレータの動作計測
 - ・ その動作データを反映したVRシステムとマニピュレータとの動作比較検証を行い、操作訓練でのVRシステムの有効性評価を実施した。

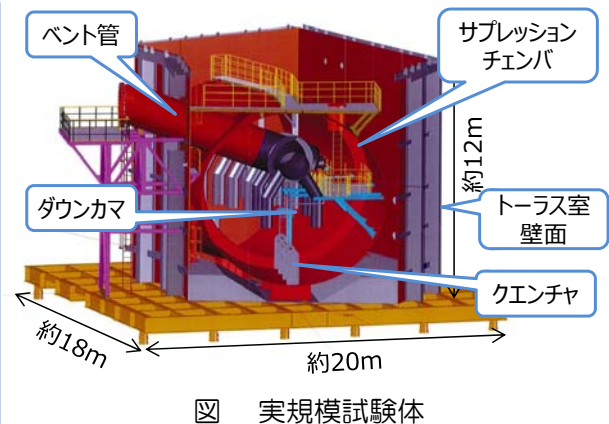


図 実規模試験体

課題及び今後の方向性

S/C脚部補強、ベント管止水およびS/C内充填止水は、実規模試験の結果を踏まえて、実機適用に向けた課題を抽出・整理し実機適用に備える。予備シミュレーション試験用のVRデータの整備を完了させ操作者訓練環境を整える。