

平成25年度実績概要

燃料デブリ収納・移送・保管技術開発

平成26年6月27日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

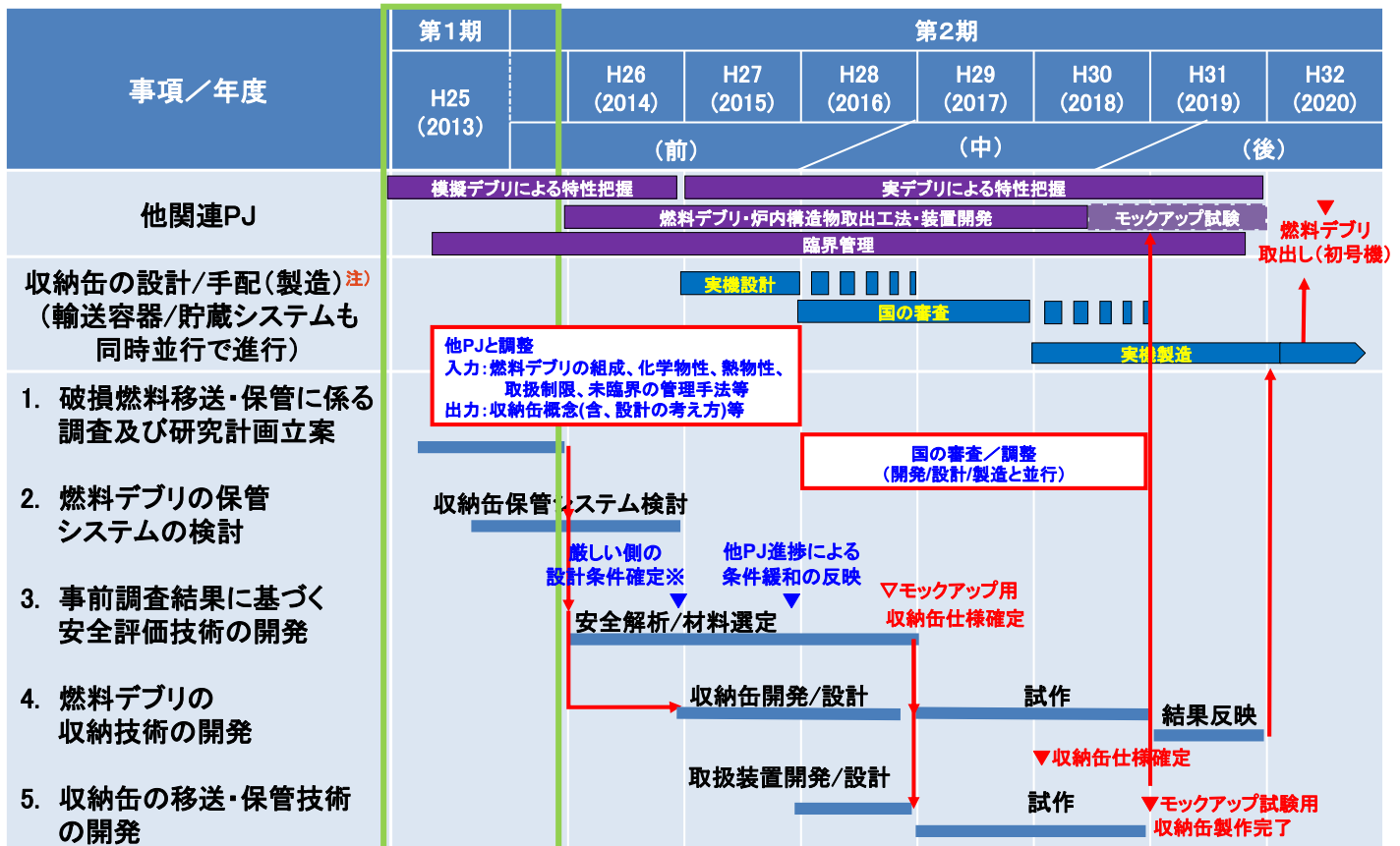
無断複製・転載禁止 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構  
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1. 全体計画

1.1 ロードマップとの関係

H32(2020)年6月の初号機の燃料デブリの取出しに向け、以下の工程で開発を進める。

1



# 1. 全体計画

## 1.2 「燃料デブリ収納・移送・保管技術開発」の目的と目標

### 【燃料デブリ収納・移送・保管技術開発の目的】

1FではTMI-2と比較して以下に示すような条件に相違がある

- 1F-1～3の燃料デブリはRPV下部、PCV内に存在。位置や性状が不明。
- 建屋内は高線量で、人のアクセスが困難。
- 燃料は、TMI-2より燃焼度・濃縮度が高く、収納・移送・保管条件が厳しい。
- 炉内への海水注入により、腐食の進行も懸念。

TMI-2では専用の収納缶を開発、収納缶を使用して燃料デブリの収納・移送・保管作業を実施。収納作業は、RPV上部に作業台を設置、炉内で収納缶に燃料デブリを収納。

本研究は、1F燃料デブリの収納・移送・保管技術の開発として、TMI-2の実績等を参考に、1Fの状況にあった燃料デブリ収納缶及び収納缶取扱い技術の開発を行う。

### 【開発の目標】

1F実施計画に基づき、燃料デブリ取出しは、臨界未満に維持、安全な取出し、飛散防止、適切な遮へい、冷却、貯蔵、作業員及び敷地内外の安全確保が求められる。

- 1F燃料デブリの収納・移送・保管に適した収納缶の要求仕様を設定、収納缶材料を選定
- 燃料デブリ収納缶の安全性に関する評価手法を開発
- モックアップ試験用収納缶を設計・製作し、燃料デブリ取出しのモックアップ試験に供する

### 【本研究の前提条件】

燃料デブリの輸送や保管方法として、収納缶に收容することで、使用済み燃料の輸送や貯蔵で実績ある手法(金属キャスク等)がそのまま適用できることを前提とする。

# 1. 全体計画

## 1.3 1F燃料デブリ向け収納缶の開発の必要性

1F特有の条件に対する研究開発が必要

### 【収納缶設計】

1FとTMI-2の燃料デブリの違いを考慮した収納缶設計が必要

- ・貯蔵システム全体から俯瞰した収納缶への密封機能・除熱機能等の要求の要否及び分担のレベル(TMI-2より高燃焼度、短冷却)
- ・臨界防止対策と計量管理(TMI-2より高濃縮)
- ・1F燃料デブリ性状に応じた水素発生量評価および水素発生対策
- ・1F燃料デブリ性状に応じた収納缶材料の選定(海塩などを考慮)

収納缶物量にも関係

### 【収納缶取扱い】

1FとTMI-2の環境条件等の違いを考慮した収納缶設計・取扱い検討が必要

- ・長期高線量化での遠隔操作に対応した燃料デブリ収納缶・同取扱い技術の開発

TMI-2では原子炉キャビティ近傍に作業員が近接できた。

1Fでは近接困難と考えられ、より高度な遠隔技術が必要。

本条件を満たしつつ安全要求も満足できる収納缶/取扱い設備を成立させる必要がある。

- ・異なる状況(1～3号機)における収納缶および燃料デブリ収納・収納缶取扱い技術の共通化の検討

## 2. H25年度実施結果

4

### 2.1 スケジュール実績

H25年度では以下を実施。

- ・破損燃料移送・保管に係る調査及び研究計画立案
- ・燃料デブリ保管システムの検討\* (H25年度は調査のみ)

事項／年度	平成25年度	
	上期	下期
1.破損燃料移送・保管に係る調査		12/3交付決定 ▼ 調査計画立案 調査
2.燃料デブリの保管システムの検討 (26年度まで継続)		調査計画立案 調査
3.課題の抽出と研究計画立案		課題の抽出 全体計画立案

\* 収納缶の仕様を決定するうえで、1Fに適用可能な燃料デブリの保管システム(複数の場合あり)を検討し、それらからの収納缶への要求機能を分析することが目的である。また、本成果が実際の保管システム選定において参考となることが期待される。なお、ここでいう保管システムとは、燃料デブリが措置されるまでの間、安全に保管するためのシステム全般を意味する。

IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

## 2. H25年度実施結果

5

### 2.2 破損燃料移送・保管に関する調査

#### 【実施内容】

燃料デブリを収納・移送・保管するための収納缶の開発に資するため、国内外の破損燃料※の輸送・貯蔵実績について、公開(含、提供元から公開の同意を得た)情報を調査。

※:ここでいう破損燃料とは、燃料デブリ、漏えい燃料等の燃料被覆管が損傷して内部の核燃料物質から核分裂生成物等が漏出している状態の燃料を示す。

#### 【調査のポイント】

調査のポイントは以下のとおり。

- ・燃料の破損状態:被覆管の状態、ペレット放出の有無、燃料デブリの場合は溶融物の概略組成
- ・現在の保管状況:保管方式(湿式/乾式(金属キャスク、コンクリートキャスク、ボルト))、保管期間
- ・保管後の計画:そのまま保管、再処理、直接処分などの計画の有無
- ・安全評価:安全評価における評価条件、基準設定の考え方(燃料の損傷状況設定、臨界評価条件、被覆管からの燃料放出率の設定、密封機能、長期健全性等の設定の考え方、基準)
- ・安全対策:水素対策、落下等の事故の想定及び事故時の評価・事故発生防止対策、作業員安全対策
- ・許認可:規制要件、認可手続き

#### 【調査対象】

調査の対象は以下のとおり。

- 1)北米;TMI-2(TMI-2からINLへの輸送、INLでの湿式貯蔵まで、INLでの乾式貯蔵)
- 2)欧州;ハンガリーPaksの燃料損傷事例、フランスの破損燃料輸送

#### 【調査結果】

TMI-2燃料デブリのINLへの輸送、INLでの湿式貯蔵、乾式貯蔵について情報を収集した。またハンガリーPaks原子力発電所2号機の損傷燃料の移送・保管事例、フランスの損傷燃料輸送の情報を得た。

⇒H26年度からの検討にて活用予定。

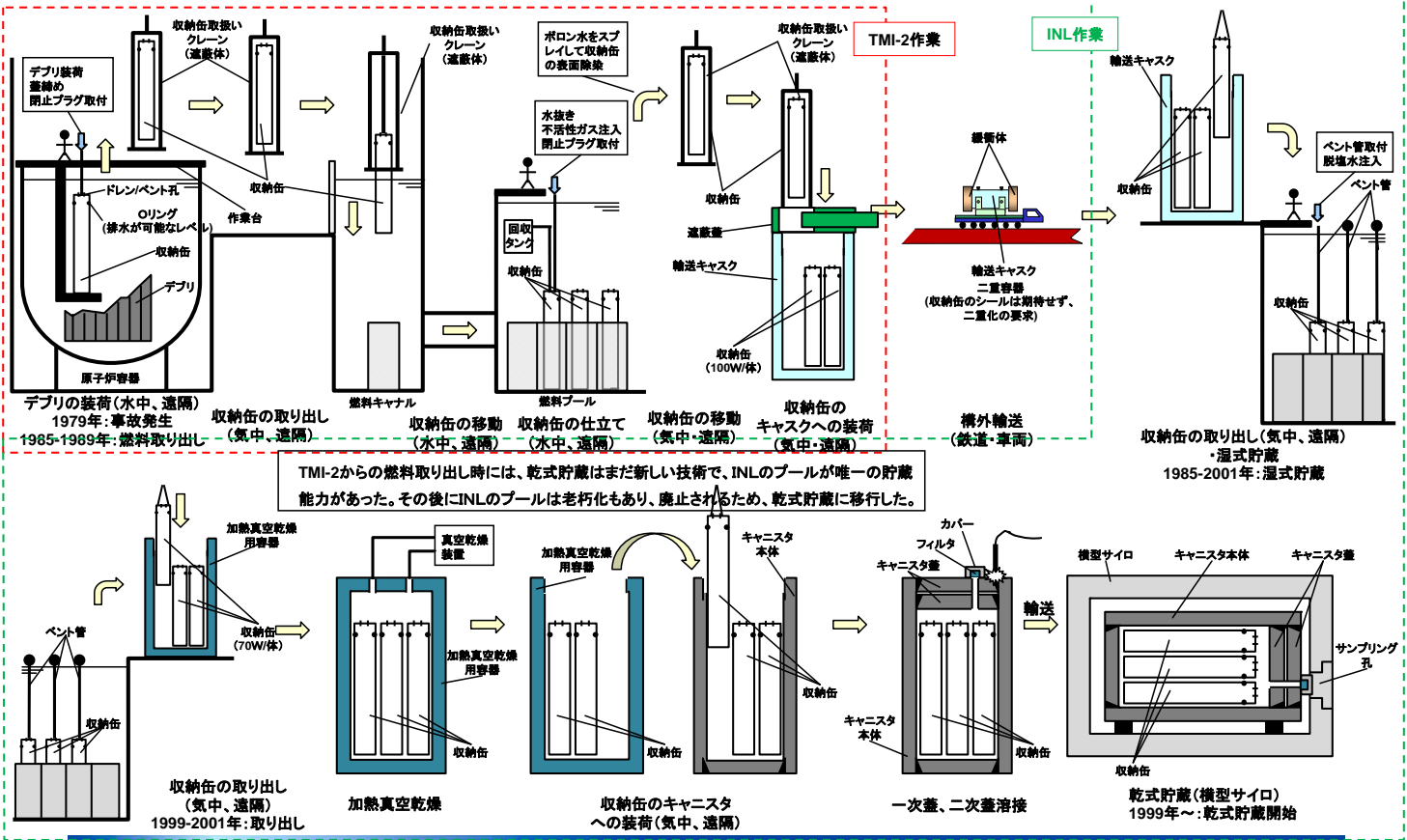
IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

# 2. H25年度実施結果

## 2.2 破損燃料移送・保管に関する調査

### 破損燃料移送・保管に関する調査(TMI-2燃料デブリ処置の概要)

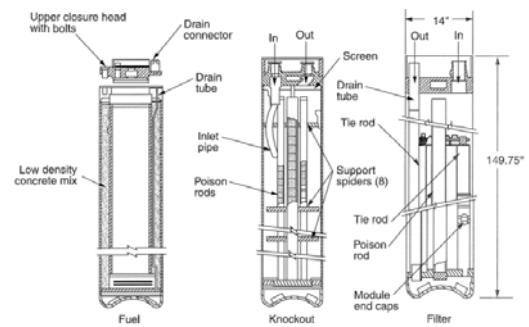


# 2. H25年度実施結果

## 2.2 破損燃料移送・保管に関する調査

### 破損燃料移送・保管に関する調査結果の概要

	TMI-2事例 (燃料デブリ移送)	TMI-2事例 (燃料デブリ保管)	Paks事例	仏破損燃料輸送	
収納物	燃料デブリ (燃料が溶融)	同左	被覆管の破損 (燃料溶融なし)	ピンホールリーク	
湿式・乾式	半乾式(排水のみ実施)、 乾燥処理は行っていない。	乾式	湿式	乾式	
収納缶の有無	収納缶使用	収納缶使用	収納缶使用	収納缶なし(健全燃料と同様に輸送)	
基本的な安全設計	閉込め	収納缶は密封機能なし。発生した水素はスクリーンフィルタを経由して常時ベントする構造。収納缶の移送容器(キャスク)は密封構造とし、水素再結合触媒で水素発生量を管理した。	収納缶は湿式保管中、ベント機構を有する蓋により常時ベント	収納缶は使用していない。キャスクは輸送期間中の水素濃度を解析評価。輸送前に水素濃度を測定。	
	遮蔽	遮蔽は周辺機器で担保し、収納缶自体の肉厚は構造等の要素で決定	同左	同左	キャスクで担保
	臨界	収納缶内は最適減速の保守的設定(収納缶に収容する燃料デブリは燃料集合体1体以下と設定し、運用でも管理)	最大濃縮度の新燃料が最大容量まで収納された収納缶を、キャニスタに17本装荷した条件で臨界評価を実施。	収納缶内は最適減速の保守的設定	健全燃料と同じ
	除熱	収納缶当たりの最大収納量で評価	同左	除熱容量のみ記載(詳細不明)	健全燃料での評価



米TMI-2で使用された燃料デブリ用収納缶事例(参考)  
出展: DOE/SNF/REP-084 TMI Fuel Characteristics for Disposal Criticality Analysis(2013)より



米TMI-2燃料デブリの保管システム(参考)  
出展: Andrew P. Szilagyi, Three Mile Island Unit 2 Overview and Management Issues, OECD-Nuclear Energy Agency - 12th Meeting of the WPDD, France(2011)より



## 2. H25年度実施結果

### 2.3 保管システムに関する検討

#### 【実施内容】

実際の保管システムの選定に資するよう、国内外での使用済燃料の保管実績について、公開(含、提供元から公開の同意を得た)情報を調査。

#### 【調査のポイント】

- 調査のポイントは以下のとおり。
- ・破損燃料の適用実績または計画
  - ・保管後の計画(そのまま保管、再処理、処分など)
  - ・立地条件
  - ・安全評価(密封、臨界、耐久性(長期健全性)、耐震性等の評価条件設定、基準設定の考え方)
  - ・許認可(規制要件、認可手続きなど)

#### 【調査対象】

調査の対象は以下のとおり。  
 コンクリートキャスク方式(設置方式、床面への固縛方式・地下方式)、ボルト方式・横型サイロ

#### 【調査結果】

米国のコンクリートキャスク方式(設置式とともに耐震性に優れた固縛式、地下式)の事例を調査した。  
 また、フランス、米国のボルト方式、横型サイロ方式の事例を調査した。  
 ⇒H26年度からの検討にて活用予定。

## 2. H25年度実施結果

### 2.3 保管システムに関する検討

#### 保管システムに関する調査結果の概要

保管方式	湿式		乾式	
	プール方式	金属キャスク方式	コンクリート連続式(横型サイロをふくむ)	ボルト方式
概要図		 リサイクル燃料貯蔵機HPより	 図13 横型サイロおよびコンクリートキャスクの概念 ① 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ② 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ③ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ④ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑤ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑥ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑦ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑧ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑨ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑩ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑪ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑫ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑬ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑭ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑮ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑯ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑰ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑱ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑲ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ⑳ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉑ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉒ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉓ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉔ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉕ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉖ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉗ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉘ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉙ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉚ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉛ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉜ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉝ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉞ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㉟ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊱ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊲ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊳ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊴ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊵ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊶ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊷ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊸ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊹ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024) ㊺ 横型サイロの概念 (U.S.A. V8024)	
安全機能の担保	<b>密封</b> ・プール水及び原子炉建屋 <b>遮蔽</b> ・プール水及び原子炉建屋 <b>臨界防止</b> ・燃料ラックの幾何学的配置(必要に応じて燃料ラック材料) <b>除熱</b> ・プール水による循環冷却	<b>一次蓋、二次蓋の金属ガスケット方式</b> <b>金属キャスク本体(鋼、中性子遮蔽材等の組み合わせ)及び建屋</b> <b>金属キャスクバケットの幾何学的配置(必要に応じてバケット材料)</b> <b>金属キャスク表面の自然冷却</b>	<b>キャスタの一次蓋、二次蓋の溶接構造</b> <b>コンクリートキャスク本体(鋼、コンクリートの組み合わせ)</b> <b>キャスタやバケットの幾何学的配置(必要に応じてバケット材料)</b> <b>キャスタ表面の自然冷却</b>	・同左 <b>建屋(コンクリート)</b> ・同左 ・同左
長所/短所	<b>輸送対応</b> ・収納物を輸送用キャスクへ収納する必要あり <b>点検等の容易さ</b> ・収納物そのまま水中保管されているので取出や状態確認等が容易 <b>必要面積</b> ・貯蔵密度が高く設置面積を小さくできる可能性がある。 <b>拡張性</b> ・容量拡大は建屋新設等が必要で大掛かり。 <b>維持費</b> ・冷却の継続や水質管理が必要で割高 <b>法令整備</b> ・国内実績があり法令等が整備済	<b>輸送・貯蔵兼用キャスクが開発されておりキャスクをそのまま輸送可能。</b> <b>収納物がキャスクに収納されているため収納物の確認は、プール/ホットセル等で行う必要がありプールより不利。</b> <b>貯蔵密度はプールより低い。</b> <b>費用の多くを占めるキャスク増設に対応できるため少しずつの拡張が可能</b> <b>電装品等の維持作業のみで、割安。</b> ・同左	<b>キャスタを貯蔵用キャスクから輸送用キャスクに詰替える必要あり(輸送・貯蔵兼用キャスクを使用する例もある)</b> <b>収納物が溶接封入されたキャスタに収納されているうえ、収納物の確認は、プール等で行う必要がある。</b> <b>貯蔵密度は金属キャスクより低い。(保管のための設置面積が大きい。)</b> ・同左 ・同左 <b>海外実績はあるが国内実績はなく法令整備が課題</b>	<b>キャスタを輸送用のキャスクに収納する必要あり</b> ・同左 <b>貯蔵密度は金属キャスクより高い。</b> <b>容量拡大は建屋新設等が必要で大掛かり。</b> ・同左 ・同左

## 2. H25年度実施結果

### 2.4 課題の抽出と全体計画立案

10

#### 【調査を踏まえて抽出された課題】

##### ・技術面

燃料デブリや破損燃料の移送・保管では残留水分が分解して生ずる水素への対策が課題となる。  
(燃料デブリの乾燥方法の確立、乾燥により水素発生を十分に抑制できない場合の対策)

##### ・燃料デブリ物量等

TMI-2では横型サイロ29基分。一方、1Fでは燃料デブリが広範囲に分布していると考えられており、保管物量が膨大となる可能性がある。

⇒確保できる保管場所によっては、燃料デブリの減容/仕分け等の技術が必要となる。

また、収納効率向上のため、収納効率と関連する重要因子(未臨界維持など)とのバランスを考慮した上で、合理的な収納缶の大きさ、燃料デブリ収納量を設定する必要がある。

#### 【今後の対応案(H26年度計画への対応案)】

##### ・他開発PJとの連携、全体像を見据えた複数のシナリオの策定

⇒保管場所や必要に応じて減容/仕分け等の作業場所等技術以外の課題も配慮する必要があり、IRID内(東京電力㈱、日本原子力研究開発機構、国内プラント機器メーカ)と連携して燃料デブリの収納・移送・保管の全体像を見据えた複数のシナリオを策定して収納缶への要求事項を明確にする。また、他の開発PJへ収納缶からの要求事項として発信する。

##### ・情報入手

⇒燃料デブリの乾燥技術、水素対策、臨界評価手法等、TMI-2、Paksの事例他、より詳細な調査が有効と考えられ、意見交換等をIRID内で調整しつつ進めていく。

## 2. H25年度実施結果

### 2.4 課題の抽出と全体計画立案

11

#### ①他の研究開発とのインターフェースの構築に係るアクションプラン

##### ・I/F情報のマップ作成

基本物性等の収納缶設計を行う上で必要となる情報を関連する開発PJ(デブリ性状把握PJ、取出工法PJ、計量管理PJ、炉内状況把握PJ他)や東電殿(インフラ設備の整備等が前提になるので)で整理した。

⇒H26年度の燃料デブリの収納・移送・保管のシナリオ構築等に活用を予定。

##### ・基本フロー図と課題の抽出

特に連携が必要となる取出工法検討とのインターフェイスを密に連携できるように収納缶取扱関わるフロー図を作成し、開発が必要となる課題の具体化を行った。

⇒H26年度の燃料デブリの収納・移送・保管のシナリオ構築や取出工法PJとの連携に活用する。

#### ②燃料デブリ保管方法の選定に係るアクションプラン

現存の技術による保管システム(コンクリートキャスク方式(横型サイロ含む)並びにボルト方式)を対象に、収納缶による燃料デブリ保管に供する場合の技術的課題や問題点を抽出した。

⇒H26年度の燃料デブリの収納・移送・保管のシナリオ構築や東電殿との連携に活用する予定。

#### ③規制要件/技術要件の整備に係る規制側等への提案に係るアクションプラン

今後の許認可や具体的設計を進めるにあたり参考とするべき法令(核燃料物質の輸送・貯蔵に係る規制)を整理した。

⇒収納缶の基本機能、概略形状等の設計の方向性(設計コンセプト)に活用し課題を具体化していく。

#### ④全体計画の策定

①～③を踏まえ、2020年予定の燃料デブリ取出しに向けた収納缶開発本格化のために、設計の前提となる情報の必要時期を整理。また、今後必要と考えられるアクションを整理した。

⇒引き続きH26年度の実施成果を踏まえて見直していく。

### 2.5 まとめ

#### 【H25年度成果】

当初計画通り、所定の成果が得られた。また、全体ロードマップは維持できる見込み。

#### 1. 破損燃料輸送・貯蔵に関する調査

海外の破損燃料の輸送・貯蔵(TMI-2(湿式輸送、湿式貯蔵、乾式貯蔵)、Paks(破損燃料の処置)、フランス(破損燃料輸送)の実績を調査した。

#### 2. 保管システムに関する検討

国内実績のないコンクリートキャスク方式(設置方式、床面への固縛方式・地下方式)、ボールド方式・横型サイロの実績を調査した。

#### 3. 課題の抽出と全体計画立案

他の研究開発とのインターフェースの構築に係るアクションプラン、燃料デブリ保管方法の選定に係るアクションプラン、規制要件／技術要件の整備に係る規制側等への提案に係るアクションプランを整理し、全体計画として反映した。

#### 【内外の叡智の活用】

今般の調査は海外のコンサル(米PLS社、仏JPG CONSEIL社)、キャスクエンジニアリング会社(米国NAC社)を活用して情報や知見収集を行った。また、IRIDの外部委員会で計画レビューを実施した。

#### 【人材育成】

人材育成を意識した共同研究や成果報告会に資するべく成果、課題等を整理中であり、H26年度開催のワークショップ等で発表する。また、社内若手をPJに参画させ長期的な人材育成を実施中。

#### 【規制側への要求事項の提示】

H28年度より国への実施方針の説明、その後、審査と進むことが想定されるため、規制側との調整が必要。また、H25年度は参考とするべき法令整理を完了、抽出した課題に基づき要求事項として整理。