

燃料デブリ取り出し代替工法に関する概念検討事業等の中間報告

平成27年1月29日
資源エネルギー庁

平成25年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金」に係る補助事業では、福島第一原発の燃料デブリ取り出しにおいて、原子炉の冠水が実現できなかった場合の工法(代替工法)等について、国内外の叡智を集めた検討するため、次の事業を、昨年6月から公募し、同年10月に採択しております。

代替工法に関する概念検討事業	(4事業)
視覚・計測技術の実現可能性検討事業	(4事業)
切削・集塵技術の実現可能性検討事業	(3事業)

これら11事業は、年度末の取りまとめに向けて、事業を進めてもらっており、その中間報告を昨年12月に受けております。(別添参照)

公募テーマ事業と採択先

1. 代替工法に関する概念検討事業

- 株式会社IHI【日本】
- 株式会社AREVA ATOX D&D SOLUTIONS【日本】
- Cavendish Nuclear Ltd【英国】、株式会社ビージーイー【日本】、清水建設株式会社【日本】
- 公益財団法人原子力バックエンド推進センター【日本】、木村化工機株式会社【日本】、一般財団法人日本クリーン環境推進機構【日本】

2. 視覚・計測技術の実現可能性検討事業

- 株式会社キュー・アイ【日本】
- Create Technologies Limited【英国】
- 浜松ホトニクス株式会社【日本】
- 株式会社フジクラ【日本】

3. 切削・集塵技術の実現可能性検討事業

- 株式会社IHI【日本】
- ONET TECHNOLOGIES NUCLEAR DECOMMISSIONING OTND【仏国】
- 大成建設株式会社【日本】

燃料デブリ取出しの代替工法に関する概念検討 < (株)AREVA ATOX D&D SOLUTIONS >

目的と目標

福島第一原子力発電所の各原子炉建屋のPCV及びRPV内の状況を踏まえ、冠水せずに気中において燃料デブリ取出しを行う代替工法の実現を目的とする。

本概念検討では、冠水せずに気中において燃料デブリ取出しを行うために必要な技術を福島第一原子力発電所に適用させるために、放射線リスクの低減や放射性物質の拡大防止、耐震安全性を踏まえ、事前準備から収納缶への搬送、後片付けまでの一連のプロセスのシナリオを構築することを目標とする。

事業の概要と特長

1. 本事業の体制

・ANADECが事業主体としてプロジェクトを総合的に管理し、世界の主要な原子力施設の廃止措置の豊富な経験を有するAREVAが具体的な技術検討と専門的な技術レビューを実施し、福島第一原子力発電所での豊富な現場経験を有するアトックスが現場適用性のレビューを行うことで、事業を適切かつ効率的に実施する。

2. 本事業の概要

・本検討では、RPV上方及び側面双方のアプローチを検討する。上方からのアプローチは切断ツールや回収用バスケットツールを装着可能な回転式のプラットフォームをRPV上に設置し、燃料デブリが存在すると考えられているRPV底部及びPCV最底部にアプローチをして回収を行う。

・この際、PCVの最底部までアクセスするためには長距離のアプローチが必要になること等から、事前にワイヤーソウによりPCV上部とRPV上部を切断する工法を検討する。

・これらの技術を福島第一原子力発電所に適用させるために、事前準備から後片付けまでの一連のプロセスを、放射線リスクやバウンダリ、耐震安全性を踏まえてシナリオを構築する。

3. 本事業の特長

- ① 建屋上部からのアプローチと側面からのアプローチの連携
- ② RPV/PCV上部のシナリオ
- ③ RPC/PCV内部での燃料デブリの大まかなカッティング(気中)
- ④ 炉内構造物の撤去と燃料デブリの回収
- ⑤ SFP内での廃棄物分別、リサイズ、最終的な収納(水中)

Project Organization 実施体制



これまでに得られた成果／これから得られる見込みの成果

4. 現在までの実施状況(平成26年12月現在の進捗)

- ・データ収集を実施中
- ・機能分析を実施中
- ・上部からのアプローチシナリオ検討を実施中
 - －オベフロの生体遮へいや閉じ込め機能の導入
 - －コンクリートシールドプラグの除去
 - －PCV、RPV上部の切断
- ・側面からのアプローチシナリオ検討を実施中
 - －下部での除去
- ・ワイヤーカッティングの実現可能性検討を実施中

5. 事業終了までに得られる成果の見込み

- ・燃料デブリ取出し手順、機器配置、アクセス位置と手法、内部観察、燃料デブリ冷却手法、燃料デブリ回収手法、技術的要求事項、搬出機器、廃棄物処理を含めたレポート。
- ・本レポートには必要に応じて線量低減、バウンダリの維持、耐震安全性確保、メンテナンス、水素蓄積への配慮といった考察も含まれる。
- ・代替工法実現に向けた開発計画

全体スケジュール

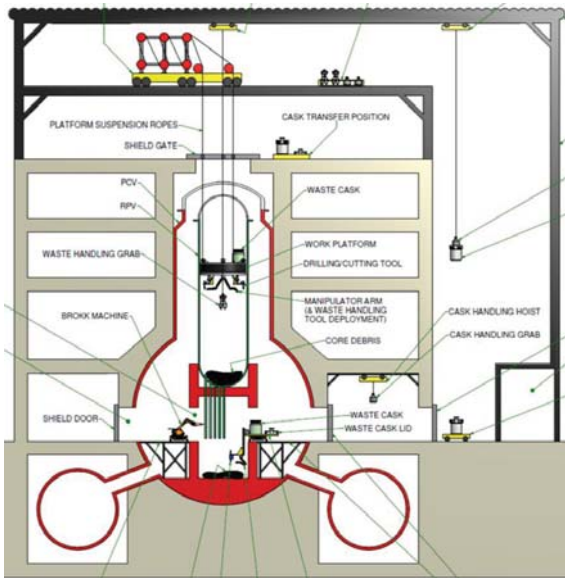
No	Items	2014		2015		
		Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
1	Review レビュー	◇K0 ◇RM		◇RM ◇RM	◇RM ◇RM	
2	Reporting 報告書作成	◇M0 ◇M1	◇ Intermediate Report	◇M2		Final Report ◇
3	Basic data synthesis 基礎データ集約					
4	Design deliverables 設計成果物					
4.1	① Steps for FDR 燃料デブリ取出しのステップ					
4.2	① Layout of equipment for FDR 機器配置					
4.3	② Access location and method of FDR アクセス位置と方法					
4.4	① Internal observation for FDR 内部監視					
4.5	③④ Fuel debris cooling method 燃料デブリ冷却手法					
4.6	③ Method of collecting the fuel debris 燃料デブリ回収手法					
4.7	①~⑤ Technologies required for FDR 技術的要求事項					
4.8	④⑤ Removal of equipment 機器撤去					
4.9	⑤ Waste disposal 廃棄物処理					
5	Development plan to realize the proposed innovative approach 代替工法実現に向けた開発計画					

10th Dec.

目的と目標

福島第一原子力発電所のRPV内部・下部からの燃料デブリ取り出しに適用可能な方法及び作業体制を示す概念検討を現在、実施中である。燃料デブリ取出し概念検討の第一目的は、福島第一原子力発電所の事故炉から燃料デブリを乾燥状態の気中で安全・安定的に取り出すため、技術的に実現可能な方策を実証することである。

事業の概要と特長



本事業の概要

- ・ 事故炉の内部構造物の解体撤去及び燃料デブリの取り出しに関する本工法では、上部からからRPV内部に吊り下ろす環状の作業プラットフォームを使用する。また、RPV下部から燃料デブリを取り出すため、別途側面からのデブリ取り出しシステムを使用する。(略図参照)

プロジェクトの以下の部分に注力し、強みを活かす。

- ・ 上部及び下部からの取り出しのための格納及び遮へいシステム
- ・ 上部からPCV/RPVへのアクセス、大型機器の原子炉建屋から撤去のためのサイズ縮小及びパッケージングの方法
- ・ 下部からPCV及びペDESTALエリアへのアクセス、原子炉建屋から廃棄物を撤去する方法
- ・ 格納容器バウンダリの確定
- ・ 原子炉内からの取り出しの際及び一時保管の際の燃料デブリの冷却系
- ・ 燃料デブリの切削・ハンドリング技術及び削り屑・粉塵の拡散防止
- ・ 臨界管理システムの要件

1

これまでに得られた成果／これから得られる見込みの成果

概念検討における技術的な作業を進め、正式な技術報告書に記録。CADレイアウト 図面と共に現在2つの報告書を作成中。

- ・ **B0108-RPT-001「1F原子炉からの燃料デブリ取出し代替工法に関する概念検討」**本技術報告書の一部にCADレイアウト図面を含む。最終報告書ドラフト版: 2015年3月6日締切、最終報告: 2015年3月27日締切。
- ・ **B0108-RPT-002「1F原子炉からの燃料デブリ取出し代替工法に関する概念検討の設計条件」**最終報告書ドラフト版: 2015年3月6日締切、最終報告: 2015年3月27日締切。
- ・ 主に1号機を基にし、以下の観点で概念検討に取り組んでいる。
 - ✓ 上部格納構造のレイアウト
 - ✓ 一次・二次格納バウンダリの設計、遮へいバウンダリの設計
 - ✓ 原子炉建屋の機器搬入・搬出ルート
 - ✓ 遮へいプラグ、PCV上蓋・RPV上蓋の取り外し方法
 - ✓ 天井部ハンドリング装置ークレーン、アクセス要件、荷重容量
 - ✓ 原子炉建屋外に廃棄物を搬送する方法
 - ✓ PCV上側に配置する上部ガンマゲートのレイアウト
 - ✓ 炉内構造物の解体撤去及び燃料デブリ切削時の一次格納バウンダリ

全体スケジュール

全体スケジュール

- ・ 2014年11月6日補助事業開始。開始日は補助金交付決定日。
- ・ 概念検討の補助事業は2015年3月31日完了予定。
- ・ プロジェクト作業内訳及びタスク期間を記載したプロジェクトスケジュール B01018-SCHD-001を作成済み。技術報告書の特定の章の完成付近にマイルストーンを設定。
- ・ 2014年12月中旬、スケジュールに従い計画された活動が進行中。プロジェクトスケジュールに含まれる各活動の進捗を2週間毎に進捗報告書でIRID/PMOに報告する。
- ・ 2014年12月中旬より、スケジュールにおけるタスクを継続的に展開。2015年3月6日までに2つの技術報告書の初稿提出を目標とする。PMO/IRIDとの最終報告会は2015年3月18日又は19日に実施予定。

2

燃料デブリ取出しの代替工法に関する事業

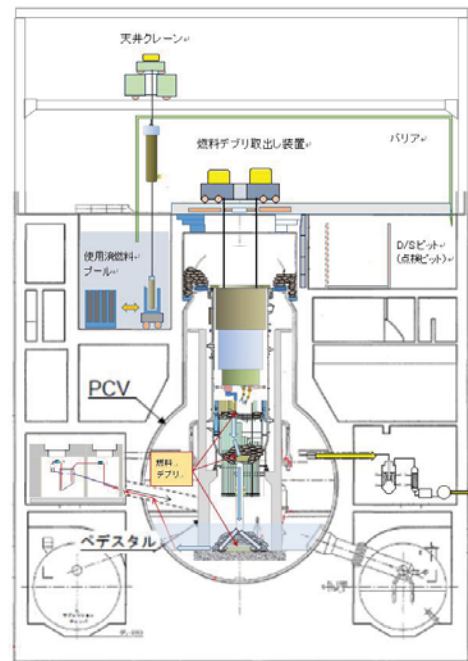
< (公財) 原子力バックエンド推進センター、(一財) 日本クリーン環境推進機構、木村化工機(株) >

目的と目標

福島第一原子力発電所の原子炉容器内及び格納容器内(ペDESTAL床等)に滞留している燃料デブリを取り出す工法として、冠水工法が行えない場合の代替工法として気中で燃料デブリを取り出す工法の検討が求められている。本補助事業においては、「燃料デブリ取出し装置(伸縮回転プラットフォーム装置)による遮へい材充填・気中での燃料デブリ取出し工法」に関して概念検討を行うことを目的としている。

事業の概要と特長

- 本工法は、気中にて、燃料デブリ上に遮へい材(鋼球又はこれを入れた遮へい袋等)を被せて放射線を遮へいした状態で、燃料デブリ取出し装置を原子炉上部から挿入して燃料デブリを取り出す工法である。本事業では、この取出し工法を検討する。
- 燃料デブリ取出し装置は、原子炉建屋5階オペフロに設置し、マニプレータ装置と、これを吊って昇降・移動するクレーン装置(門型クレーン又は走行クレーン式)から構成される。
- マニプレータ装置は、デブリ切削機器、マニプレータ等を内胴円板(プラットフォーム)に搭載した単胴又は多重円筒構造で、クレーン装置により原子炉容器内～格納容器ペDESTAL床上まで吊り降ろし、燃料デブリ・炉内構造物等を切削して取り出す。
- 切削した燃料デブリは、収納缶に収納し、遮へい付き移送容器に収容して天井クレーンで吊り上げて使用済燃料プールに移送し、保管ラックに保管する。



1

これまでに得られた成果／これから得られる見込みの成果

気中での燃料取出し代替工法に関して、次の項目の検討を行い、本工法の技術的成立性等を示す。

- a) 燃料デブリ取出しシナリオと手順
 - 基本シナリオを中心に、PCV蓋、RPV上部ヘッド及び内部構造物等の取外し及び、炉心部～格納容器ペDESTAL下部の燃料デブリの取出しに関するシナリオ・手順について、オプションシナリオを含めて検討。
 - 取出し装置・設備の検討の進展に応じて、シナリオ・手順の追加・見直しを行う。
- b) 燃料デブリ取出し装置・設備の検討
 - 燃料デブリ取出しに必要な主な装置・設備の基本構想を検討。
 - 基本構想に基づく主な装置・設備の構造概念を纏める。
- c) 安全上の考慮事項の検討
 - 放射線遮へい、臨界安全性及びデブリ冷却性に係る評価モデル、条件等を検討。
 - 設定したモデル、条件で解析・評価を行い、工法の安全性を示す。
- d) 開発課題と開発計画の検討
 - 主な装置・設備の実機適用のための技術開発課題の抽出・検討作業を開始。
 - 開発課題に係る開発・試験計画を検討し、取り纏める。

全体スケジュール

実施項目	平成26年				平成27年		
	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
マイルストーン	事業者決定	実施計画の策定	中間報告	主要装置等の基本構造決定	装置等の検討、安全性評価の終了	最終報告	報告書提出
1. 燃料デブリ取出しシナリオと手順の検討	[Progress bar from Oct to Dec]						
2. 主要装置・設備の概念検討	[Progress bar from Oct to Jan]						
3. 安全上の考慮事項の検討	[Progress bar from Oct to Feb]						
4. 開発課題と開発計画の検討				[Progress bar from Jan to Mar]			
5. 検討報告書作成			[Progress bar in Dec]		[Progress bar from Feb to Mar]		

2

目的と目標

- ①目的：代替工法で必要となる耐放射線TVカメラシステムの、実現可能性を検討する。
- ②目標：耐放射線性は、累積線量2MGy、線量率10kGy/hを目標線量とする。
カメラヘッド寸法/重量については、Φ100mm×600mm/4kgを目標仕様とし、小型化の実現可能性を検討する。

事業の概要と特長

● 事業の概要

以下について、TVカメラシステムに要求される機能/性能の実現可能性を検討する。(図1参照)

- TVカメラの耐放射線性
- 耐放射線レンズ
- 照明機能と耐放射線性
- パン/チルト機能と耐放射線性
- 上記をベースとした、耐放射線性カメラシステムの構築
- 当社は多くの耐放射線TVカメラ製作に係る保有技術や実績を有している。
- それらをベースにして、システム全体としての実現可能性の検討を行う。
- レンズについてはカメラヘッド部の小型化を目的とした、小型耐放射線ズームレンズの実現可能性を検討する。

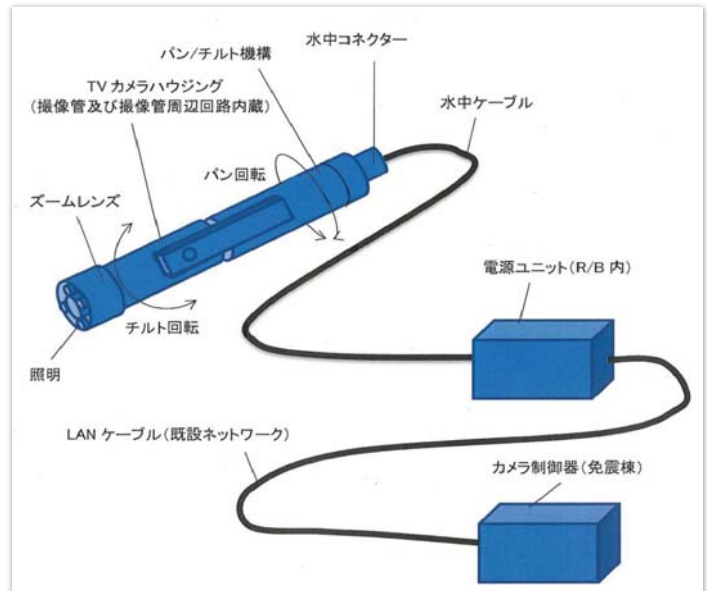


図1. 想定する耐放射線TVカメラのシステム図 (R&D完了時)

これまでに得られた成果/これから得られる見込みの成果

	①これまでに得られた成果	②これから得られる見込みの成果
カメラヘッド	<ul style="list-style-type: none"> ● 撮像管、偏向ヨークの選定終了 ● TVカメラ回路の詳細設計開始 	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価用試作および目標線量照射後の機能/性能評価結果
レンズ	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価用試作を行なう単焦点レンズの仕様を検討中 	<ul style="list-style-type: none"> ● 耐放射線単焦点レンズの評価用試作 ● 目標線量照射後の光学性能評価結果
ケーブル	<ul style="list-style-type: none"> ● シース材質の選定終了 ● 評価用複合ケーブルを設計中 	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価用試作および目標線量照射後の性能評価結果
照明	<ul style="list-style-type: none"> ● LEDの選定終了 ● 評価用LED照明を設計中 	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価用試作および目標線量照射後の性能評価結果
パンチルト機構	<ul style="list-style-type: none"> ● モータの選定終了 ● 評価用パンチルト機構の構造設計中 	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価用試作および目標線量照射後の機能評価結果
全体システム	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価用一体型TVカメラシステムの設計中 	<ul style="list-style-type: none"> ● 評価用TVカメラシステム全体の機能/性能評価結果 ● 小型/軽量化、搬送機器への搭載性に関する検討結果

全体スケジュール

マイルストーン1： 照射試験（第1回）

目的：構成部品・材料の耐放射線性評価

日程：2015年1月下旬（予定）

マイルストーン2： 照射試験（第2回）

目的：試作した評価用TVカメラシステムの耐放射線性評価

日程：2015年3月中旬（予定）

➢ 照射条件（予定）は下記の通り：

線量率：10kGy/h

累積線量：2MGy

現時点での進捗状況：マイルストーン1、2として実施する照射試験に向けて、構成部品・材料の選定および各評価用構成要素やシステムの設計を実施中。（詳細は、前項の表を参照）

代替工法のための視覚・計測技術の実現可能性検討事業

< Createc Ltd >

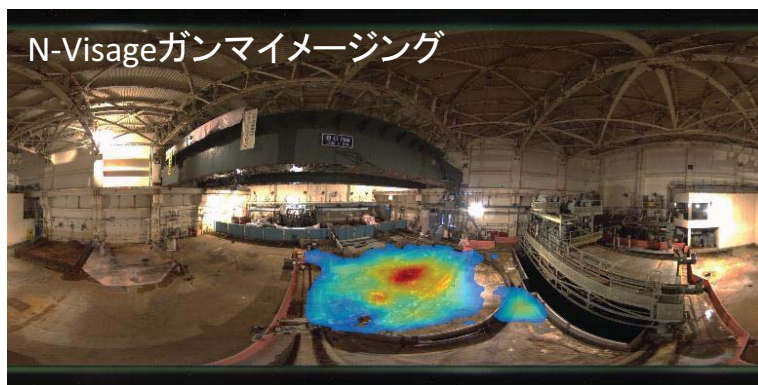
目的と目標

事業の目標: ガンマ線イメージング及び3Dレーザースキャンによる燃料デブリ位置特定の実現性の実証。

提案の強み: 福島にて実証済みのN-Visageの基本原理を基にしている。
システム: 小型、軽量、柔軟性のある配置及び高耐放射性を備える予定。

事業の概要と特長

OC Robotics社によるスネークアームロボットにCreatecが開発したN-Visageガンマカメラを搭載して使用。



本事業では以下を示すことに重点を置く。

1. 最大線量
2. 小型・迅速なシステム
3. 既存のレーザーセンサーを使用した内蔵式レーザースキャナ
4. イメージングプロセスとしての有効な配置

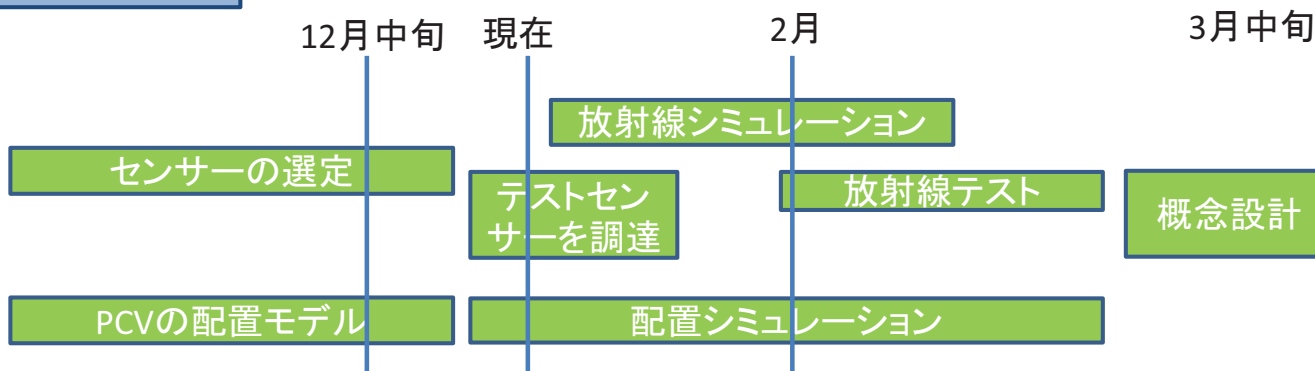
1

これまでに得られた成果／これから得られる見込みの成果

- ・ センサーオプションのレビュー完了
- ・ レーザーセンサー及び放射線センサーの実現可能なオプションを選定
- ・ これまでに得た結果が有望であること。
- ・ 次のフェーズでは測定やシミュレーションを通して耐放射線性を実証。



全体スケジュール



2

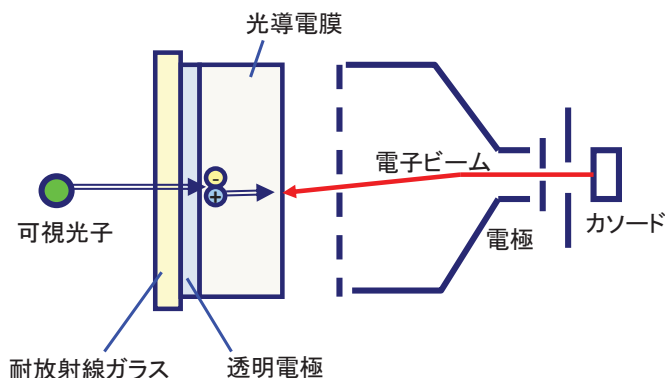
目的と目標

目的 PCV, RPV内視認のための『耐放射線イメージセンサ技術の実現化可能性検討』
 目標 耐放射線性 2MGy

事業の概要と特長

当社のみが保有する技術を活用し、耐放射線性に最も優れるイメージセンサとして撮像管を提案する。
 概要

耐放射線撮像管の試作、評価および耐放射線性試験を実施する。
 試作管をカメラに装填し、動作確認および映像評価を行う。
 廃炉に必要な撮像管に使用する材料の入手性を調査検討する。
 R&D以降の計画を立てる。



1

これまでに得られた成果／これから得られる見込みの成果

これまでに得られた成果

- ① 耐放射線撮像管試作、評価のための全工程の立上を完了
- ② 撮像管用新規購入材料の仕様を決定し発注
- ③ 映像評価用カメラの選定を完了し発注
- ④ 廃炉に使用する撮像管製作に必要な材料の数量を検討中

これから得られる見込みの成果

- ① 弊社保有材料での撮像管一次試作、評価および放射線照射試験の結果
- ② 新規材料を使用しての撮像管二次試作および①との比較結果
- ③ カメラでの映像評価結果
- ④ 廃炉に使用する撮像管製作に必要な材料入手の条件
- ⑤ R&D以降の計画

全体スケジュール

① 撮像管一次試作	12月中旬 工程立上	1月 試作評価	2月 工程見直し 試作評価	3月 放射線照射試験
② 撮像管二次試作	材料発注		動作確認	放射線照射試験
③ カメラでの映像評価	選定、発注		動作確認	映像評価
④ 材料入手性調査	数量検討	→	入手性調査	入手条件明確化
⑤ R&D以降の計画		検討	→	→

2

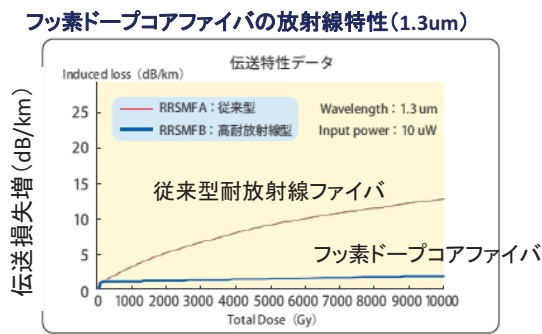
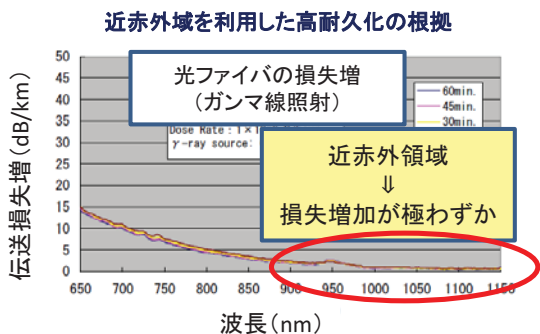
目的と目標

燃料デブリ取り出し代替工法のための高放射線線量環境下においても使用可能な視覚化機材の実用化を目的として開発検討を行う。本補助事業においては、純粋石英ガラスを用いたイメージファイバは、高い耐放射線特性を有することから、石英ガラス光ファイバ製造技術を応用して、燃料デブリ取り出しに求められる2MGy以上の高い放射線耐久性を有するファイバースコープを開発するための基礎検証作業と、石英ガラスイメージファイバの短所を補うものとして高解像度・高可撓性を有するファイバアレイ型スキャンイメージングシステムの実現性に関する設計検証を実施する。

事業の概要と特徴

高放射線環境下における視覚技術の実現へ向けて、3つの可能性検討を実施する。

- A. 高OH基含有純粋石英ガラスイメージファイバを用いた近赤外領域での観察における放射線照射耐久性の検証
 - B. フッ素ドープ純粋石英ガラスコア・イメージファイバの開発検討とその耐放射線特性の検証
 - C. 光ファイバアレイを用いた高解像・高可撓性イメージングシステムの検証
- ・テーマA: 石英ガラスファイバは、高い耐放射線性を有しますが、特に近赤外域では放射線照射による伝送特性の劣化の影響を受けやすい領域となります。この特徴を活かし、近赤外域を用いた観察を行うことで2MGy以上の放射線照射に耐え得る高耐久性ファイバースコープの実現を目指すものです。
- ・テーマB: 石英ガラスに微量のフッ素を添加することで、光ファイバの耐放射線特性が大きく改善されることがわかっています。光通信用ファイバとして、1.3um~1.55umの伝送を目的とした光ファイバは実現されていますが、この技術を画像伝送用のイメージファイバに展開し、可視領域での高耐放射線性ファイバースコープの実現を目指すものです。

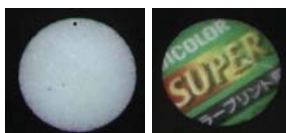


これまでに得られた成果／これから得られる見込みの成果

今年度の事業では、イメージファイバのガンマ線照射試験を実施し、伝送画像の観察と伝送特性の計測を行って、放射線照射に対する耐久性に評価を行い、2MGyの累積線量レベルに対するファイバースコープの実現可能性を検証する。

- 1) 照射試験条件の決定と照射試験施設の選定を行った。線量率10kGy/hrで累積2MGyまでの照射試験を実施すること。ガンマ線照射中にイメージファイバの伝送画像の観察評価及び伝送特性評価を実施できることが条件となる。この条件をもとに照射試験実施の施設を選定し、2月中旬から試験を実施することとした。
 - 2) 照射試験用イメージファイバの設計と試作を行った。照射試験実施環境により、試験用イメージファイバは照射部を20mとして全長で100mが必要となる。また線量率10kGy/hrを得るためにはイメージファイバをR100mmの小径に束ねる必要がある。この条件から、今回の照射試験に供するファイバを画素数6000画素として設計、試作を行った。
 - 3) 照射試験用機材の準備中。上記試作イメージファイバを用いて、画像観察試験、伝送特性試験を実施するための各種機材の選定、準備を進めている。
- 試作中のイメージファイバの伝送画像サンプルを以下に示す。

A. 高OH基含有石英イメージファイバ (近赤外観察用)



B. フッ素ドープコアイメージファイバ (可視観察用)



○ 2月のガンマ線照射試験での各種評価結果により、2MGy照射に対するファイバースコープの性能評価、実現性の検証を実施する。

全体スケジュール

項目	11月	12月	'15.1月	2月	3月
試験用イメージファイバの設計	→				
試験用イメージファイバの試作開発		→	→		
試験用光学部材の設計／試作	→	→	→		
評価試験実施要領の策定		→			
評価試験用機材の選定／準備		→	→		
照射試験、測定・評価				→	
評価、検証					→

目的と目標

切削能力の高いレーザー切断と安全性の高い液体窒素切断(NitroJet®切断)の切断性能(安全性・切断速度)を、想定燃料デブリ材料(硬度・融点)を用いて確認し、現場適用性を含む実現可能性の検討を行う。

事業の概要と特長

【検討項目】

①提案技術実現のための基本計画

- ・レーザー切断と集塵機能を有するシステム構築と実現可能性の検討
- ・システム構成機材の個別仕様設定と実現可能性検討
- ・ジルコニウムの安全切削検討(レーザー/NitroJet®切断基礎試験の実施)

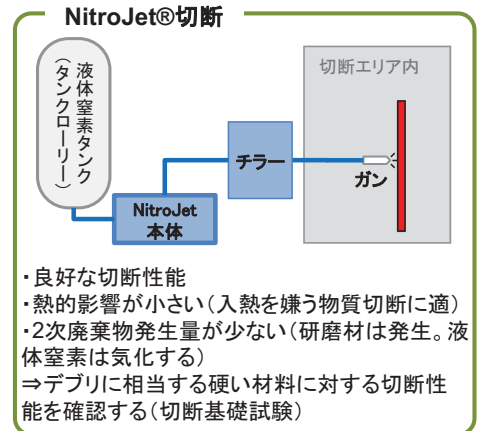
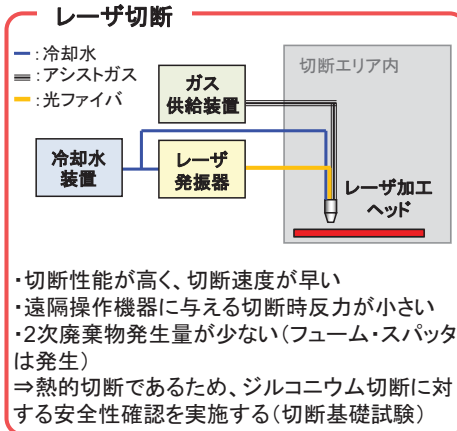
②現場適用に向けた検討

- ・燃料デブリ切断実現に向けての課題抽出と課題解決策立案

③提案技術実現のための工程、体制及び費用検討

- ・集塵機能を有するレーザー切断装置の開発から現地適用までの工程、体制及び費用検討

【本事業における切断技術概要と特長】



【本事業での注力点と強み】

- ✓ デブリ取出し実現のため、デブリ切削技術の多様化が重要(速く、安全に切削する技術へのチャレンジ)
- ✓ より現場適用が可能なレベルに近づける検討として、切断試験実施に注力(現場では、デブリ性状が不明な状況下で切削する状況と想定)
- ✓ 高放射線環境下での廃棄物解体装置として納入実績がある、遠隔気中レーザー切断技術に基づいた現実的な検討実施

これまでに得られた成果/これから得られる見込みの成果

【これまでの実施事項】

- ①システム関連
- ・システム構築:レーザー/NitroJet®切断システム構成、集塵システム系統の検討
 - ・仕様:切断性能・耐放射線性・集塵機能の仕様明確化と各構成機器の仕様検討
- ②切断基礎試験関連
- ・切断試験材料選定/手配
 - ・ジルコニウム切断に関する安全性検討
 - ・レーザー/NitroJet®切断試験方案

⇒集塵システム(一次案)は、燃料デブリ取出し工法を考慮し、現場で実現可能なレベルへ仕様絞り込みを行っていく

【切断基礎試験概要】

レーザー切断

- ・Zrの安全切断条件を設定(切断条件1)
- ・切断条件1の範囲で、下表に示す材料に対する切断試験を実施

NitroJet®切断

- ・下表に示す材料に対する切断性能を確認
- ・すべてを網羅する切断条件を設定

【これから得られる見込み成果】

- ✓ 実現可能な集塵機能付きレーザー切断装置の仕様(据付施工、遠隔操作性含む)
- ✓ ジルコニウム安全切断に対する検討結果
- ✓ 高融点材料・高硬度材料の切断、物性に応じた切削データ
- ✓ 現場適用に向けた課題抽出、解決方法とスケジュール検討結果
- ✓ レーザ切断技術、集塵システムの開発、現場適用のための開発工程、体制、概算費用の検討結果

<切断試験材料>

想定する部位	試験材料
被覆管	Zr
燃料デブリ(硬い材料)	ZrO ₂ Al ₂ O ₃
炉内構造物(難切削材)	Inconel(NCF600)

切断技術	切断材料	切断基礎試験での確認項目
レーザー	①Zr	水-Zr反応を起こさない条件確立
	②NCF600	①とNCF600切断の両立性確認
	③Al ₂ O ₃	①とAl ₂ O ₃ 切断の両立性確認
	④ZrO ₂	切断データ取得
NitroJet®	⑤NCF600	難切削材の切断性能
	⑥Zr	⑤とZr切断の両立性確認
	⑦ZrO ₂ Al ₂ O ₃	切断データ取得

全体スケジュール

大日程	2014年度(平成26年度)					
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①提案技術実現のための基本計画可能性の検討	システム仕様(一次案決定)					
	システム構成機材の個別仕様設定と実現可能性検討			▽搬入・遠隔仕様決定		
	ジルコニウムの安全切削検討(レーザー/NitroJet®切断基礎試験の実施)			▽切断試験開始		
②現場適用に向けた検討	燃料デブリ切断実現に向けての課題抽出と課題解決策立案					
③提案技術実現のための工程、体制及び費用検討	集塵機能を有するレーザー切断装置の開発から現地適用までの工程、体制及び費用検討					
	まとめ含む					

目的と目標

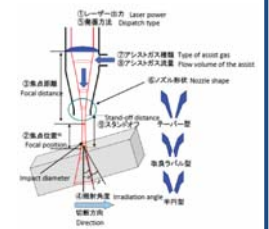
本補助事業の目的は遠隔操作による燃料デブリに対するYAGレーザー切削及び集塵の成立性を評価することである。以下のステップを通して成立性を実証することを目指す。

- 切削機器の確定(原理、耐放射線性、粉塵やヒュームの発生、遠隔操作の適用)
- 非放射性材料の切削試験(非放射性模擬体の確定・供給、融解による連続的な切削の試験)
- 福島の現場への適用評価(設備配置、制限、潜在的な課題)
- R&Dプログラムの提案(課題解決、試験プログラム、スケジュール及びコストの評価)

事業の概要と特長

プロジェクト期間中以下のタスクを実施する。

- 準備タスク:
 - 試験用模擬体の選定とその根拠
 - 模擬体の供給及び試験計画の確定
 - RPV/PCVの標準状態の3Dモデル化
 - 切削作業の機能解析
- 切削試験: 高出力レーザーによる模擬体のような材料の切削は研究開発中であるため、挙動を推測するのが困難である。試験計画は2段階あり、まず連続的な模擬体の切削に関する基本的な成立性を評価し、次にパラメーターや切削の可能性に関してさらに詳細に検討する。
- 切削機器の確定:
 - 切削原理及び機器の主な特性の確定
 - 耐放射線性評価
 - 遠隔操作の適用
 - 粉塵・ヒュームの収集
- 確認した課題を基に技術の実現化に向けたR&Dプログラム案を提案。



本プロジェクトでは、CEA(協力事業者)の以下の強みを活かし、燃料デブリ模擬体へのレーザー切削の適用性に関する切削試験の実証に注力する:

- VULCANO施設は切削試験用模擬体として使用する燃料デブリサンプルを保有
- CELENALレーザー切削施設で切削試験を実施

またプロジェクトではONETの遠隔ハンドリング及び廃炉におけるレーザーの使用等の豊富な経験を利用して、レーザー切削の遠隔操作適用及びRPV/PCV内部の切削シナリオにも注力。

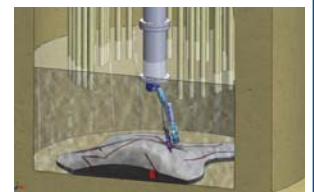
これまでに得られた成果／これから得られる見込みの成果

これまでに得られた成果:

- 切削の試験で使用する3つの模擬体の選定と代表性の根拠
- 使用環境における切削機器の機能分析
- Phase 1の試験では、模擬体切削時の挙動において良い結果が得られた(全結果は開示不可)。これらの試験では燃料デブリの連続的なレーザー切削の良好な適合性を確認した。

期待される成果:

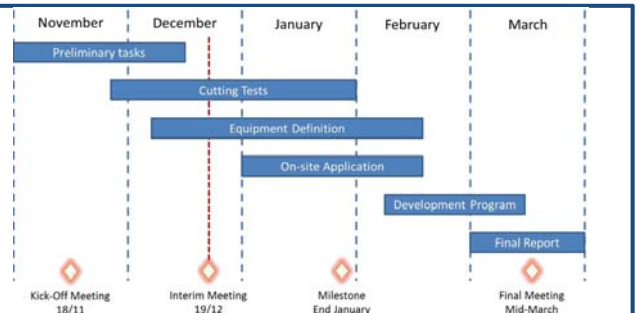
- 模擬体の切削及び関連する性能のパラメーターを確定
- レーザー切削機器の耐放射線性の推定
- 粉塵・ヒューム収集の成立性
- 現場適用シナリオの提案
- R&D段階で取り組む課題のまとめ及び開発プログラムの提案



全体スケジュール

12月以降～:

- 準備タスクの完了(模擬体の選定・供給及び機能解析を含む)
- 切削試験のPhase 1完了
- レーザー関連機器の確定(トーチ、ファイバー、光源)



目的と目標

本事業は、燃料デブリ切削用遠隔ロングボーリング技術の開発をテーマに、燃料デブリ取出し代替工法をサポートする要素技術の実用化に資することを目的としている。目標としては、極めて高硬度で多様な物性が予想される燃料デブリを、新開発するロボットボーリングマシン及び新設計のダイヤモンドビットでオペフロレベルからのロングボーリングで切削し、切削時の粉塵、冷却水、燃料デブリを回収するための、機材及びシステム概念と実現可能性の検討を行い、具体的な開発計画を立案することとしている。

事業の概要と特長

遠隔ロボットボーリングマシン

- ・マシンのチルト、スイングでオペフロの開口1箇所から複数箇所を掘削。
- ・オペフロから35 m以上のロングボーリングに対応したロッド支持構造。
- ・新開発のロッド自動継ぎ足し機構、ビット交換機構を搭載。
- ・全操作が自動を含む遠隔操作で、クローラータイプの自走式。

ダイヤモンドビット、ドリリングツールズ

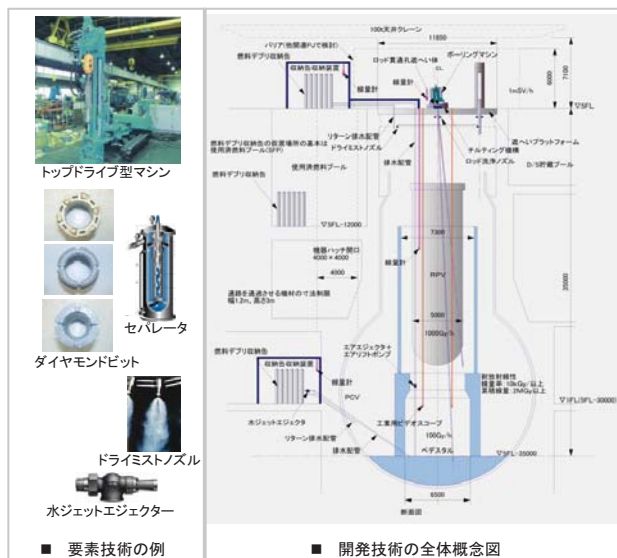
- ・PDC、サーフェイス、インプリを基本に、多様な物性のデブリに対応。
- ・新設計による特殊ビット形状、ダイヤモンド及びマトリックス仕様。
- ・掘削の確実性の高いノンコアビット、コアを残すコアビットの両タイプ。
- ・DHMなど先端駆動機構のドリリングツールズの適用性を検討。

粉塵、燃料デブリ回収システム

- ・送水削孔で発塵がほとんどないため、粉塵抑制装置を補助的に使用。
- ・TMI-2の実績を参考として、燃料デブリ吸引・搬送システムを新開発。
- ・1Fで検討中の小型収納管に対応する、セパレータ内蔵の収納装置。

遠隔作業の補助システム

- ・燃料デブリの寸法・形状を把握する写真計測システム。
- ・作業エリアの無線による線量モニタリングシステム。
- ・上記マシンシステムとの併用によって遠隔作業の安全・円滑化を図る。



特に力を入れている点、得意分野の活用



- ・実施体制にボーリング機材で国内トップの鉦研工業㈱、㈱クリステンセン・マイカイ。
- ・世界レベルの技術を適用した、効率的かつ実効性のある技術開発計画。

これまでに得られた成果／これから得られる見込みの成果

■ これまでに得られた成果

- ロボットボーリングマシンの概念
- ロッド支持方法、デブリへの定着方法
- ロッドの寸法仕様、形状
- ロッド継ぎ足し手順
- ボーリングマシン制御フロー
- 遠隔制御システム概念
- 遠隔操作、ビット交換方法
- ボーリングマシン仕様
- 新設計、構想による複数のビット概念
- ドリリングツールズ適用上の課題(耐放射線性)
- 燃料デブリ回収装置及びシステム概念
- 写真計測システム概念
- 線量モニタリングシステム概念

■ これから得られる見込みの成果

- ロッド収納装置(本体搭載)の概念
- ビット交換装置(本体搭載)の概念
- ビット供給装置(別ユニット)の概念
- 各装置の仕様表
- 設計上の課題と解決策
- 現場適用に向けた検討(設置、配線、調査)
- 技術開発計画(工程、体制、費用)

全体スケジュール

■ 現時点(12月中旬)のステータス

- 当初の計画工程通りに検討が進捗している。
- 切削機材の構造、システムの検討がほぼ完了。
- 現時点まで、特に技術開発上の問題点はない。

■ 今後のスケジュール

- 今後も継続して計画工程の通りに検討を進める。
- 設計上の課題と解決策の検討(1月中旬完了)。
- 現場適用に向けた検討(1月中旬完了)。
- 技術開発計画の検討(2月末完了)。
- 3月に最終報告。

事業開始時の全体スケジュール(計画工程)

項目	2014年			2015年		
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. 提案技術実現のための基本計画						
1.1 ボーリングマシンの仕様検討						
1.2 ボーリングマシンの構造及びシステム検討						
1.3 遠隔操作による掘削方法の検討						
1.4 遠隔操作方式の検討						
1.5 設計上の課題と解決策						
2. 現場適用に向けた検討						
2.1 コアボーリング装置及び付帯設備の搬入・据立						
2.2 遠隔操作関連機材、設備の配置・配線						
2.3 現場適用に向けた現場状況の確認及び取組						
3. 提案技術実現のための工程、体制及び費用						
3.1 提案技術実現のための課題、取扱要領、開発期間						
3.2 工程及び実施体制						
3.3 概算費用						
4. 報告書作成						