

平成27年度補正予算
廃炉・汚染水対策事業費補助金

原子炉格納容器内部調査技術の開発

平成29年度成果報告

平成30年3月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

目次

1. 研究の背景・目的
 - 1.1 本研究が必要な理由
 - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関係, 目標
 - 2.1 本研究の実施項目
 - 2.2 実施項目間, 他研究の関係性
 - 2.3 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
 - 4.1 実施事項・成果 - 2号機を対象としたペデスタル内調査 -
 - 4.2 実施事項・成果 - 3号機を対象としたペデスタル内調査 -
 - 4.3 実施事項・成果 - 調査計画・開発計画他 -
 - 4.4 実施事項・成果 - 地下階調査のための計画策定・要素試験 -
 - 4.5 実施事項・成果 - 2号機アクセスルートの構築 -
 - 4.6 実施事項・成果 - 1号機アクセスルートの構築 -
5. まとめと今後の予定

1. 研究の背景・目的

1.1 本研究が必要な理由

【PCV内部調査の目的】

燃料デブリの取り出しに先立ち、PCV内の状況を把握することが重要であり、PCV内の状況を把握するための調査技術の開発を目的とする。

【目標(1)】

「燃料デブリ取り出し方針の決定」に資する情報取得



小さな開口からPCV内部へアクセスする装置の開発と現地実証

【目標(2)】

「燃料デブリ取り出し方法の確定」に資する情報取得



調査・開発計画の策定、より大きなアクセスルートの構築と調査に係る要素技術の開発※

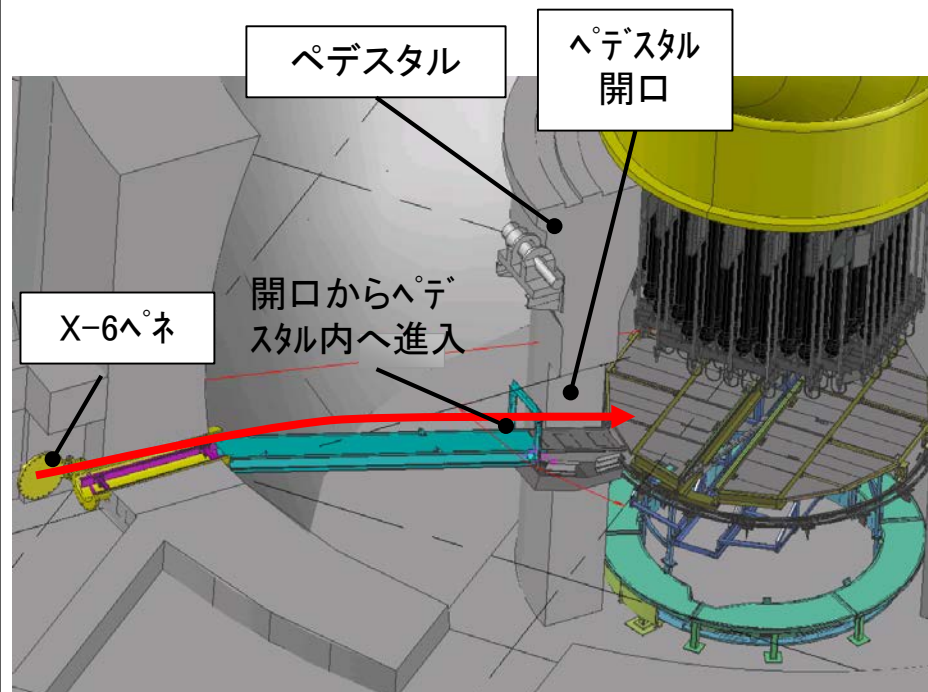
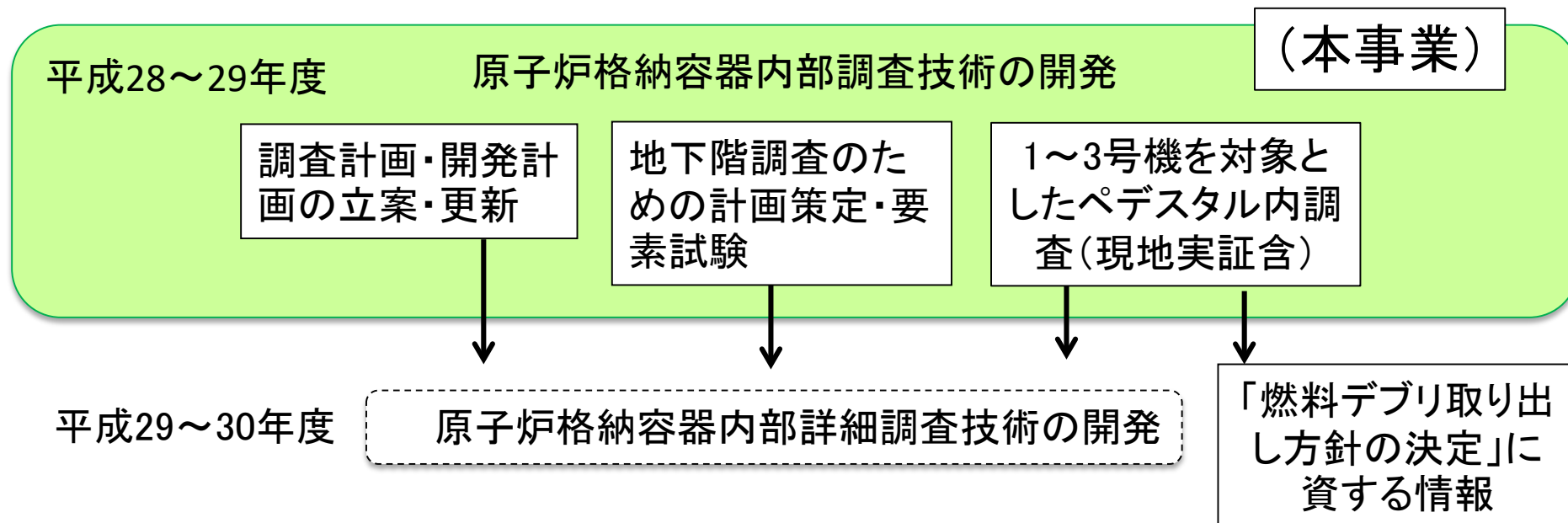


図 X-6ペネからの調査のアクセスイメージ

※: 装置類の詳細設計～工場内検証は主に「PCV内部詳細調査技術の開発」で実施

1.2 本研究の成果の反映先と寄与

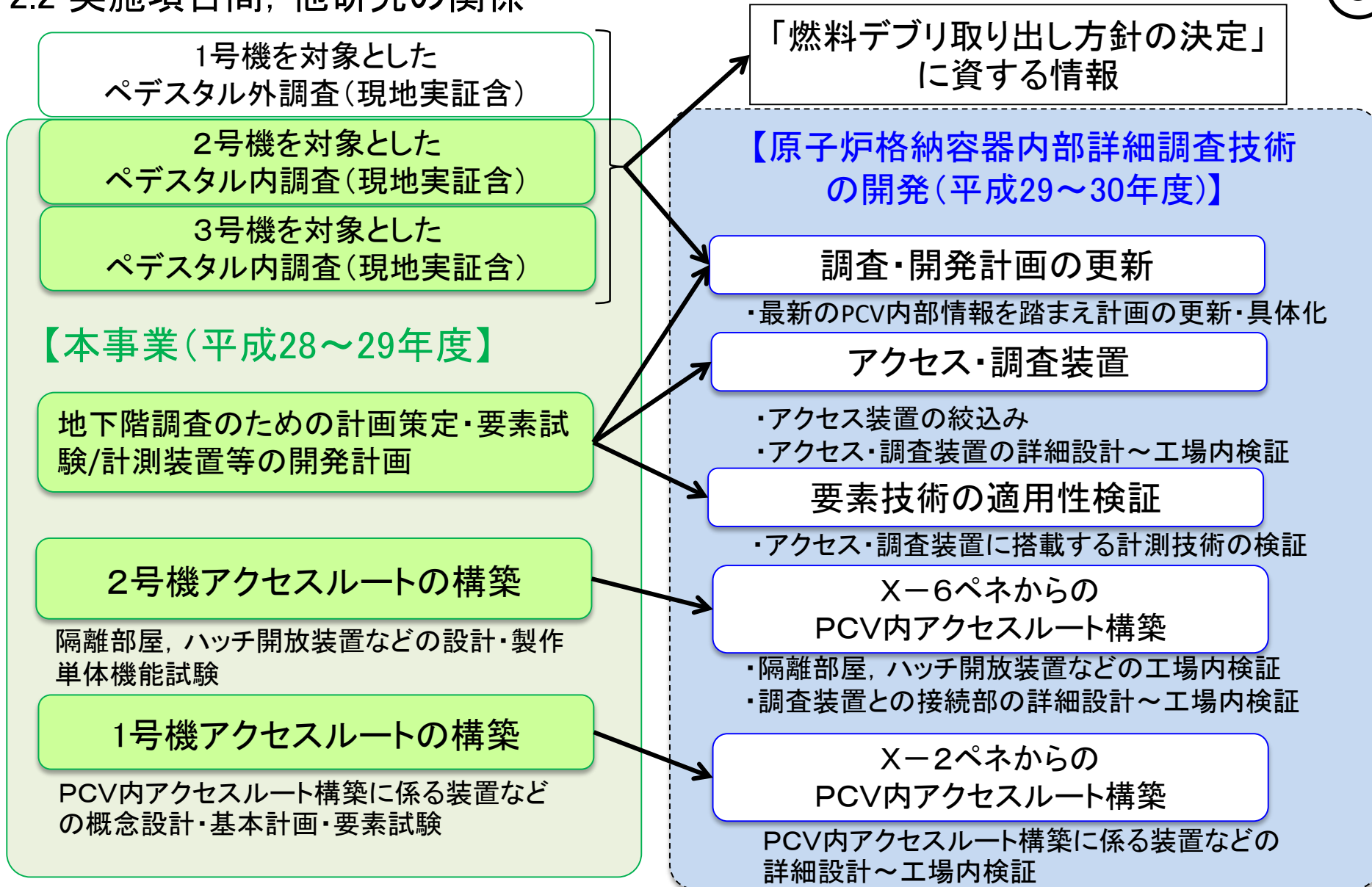


2. 実施項目とその関連, 他研究との関係, 目標

2.1 本研究の実施項目

実施項目		実施範囲	本資料の 項番	
「特定部位 へのアクセ ス・調査装 置及びシス テムの開 発」	現地実証	2号機を対象としたペデスタル 内調査	装置の設計/製作/検証試験/現 地実証	4.1
		3号機を対象としたペデスタル 内調査	装置の製作/検証試験/現地実 証	4.2
	次期調査 (PCV内部 詳細調査) の 計画立案 と 概念設計・ 要素試験	地下階調査のための計画 策定, 要素試験	概念設計/要素試験	4.4
「調査計 画・開発計 画の立案・ 更新」	次期調査 (PCV内部 詳細調査) の 計画立案 と 概念設計・ 要素試験	調査計画・開発計画	最新のニーズ更新/調査計画・開 発計画の立案	4.3
		2号機アクセスルートの構築	実機計画/実機設計・製作	4.5
		1号機アクセスルートの構築	実機計画/概念設計/要素試験	4.6
		計測装置等の開発計画	計測装置等の開発計画の立案	4.3

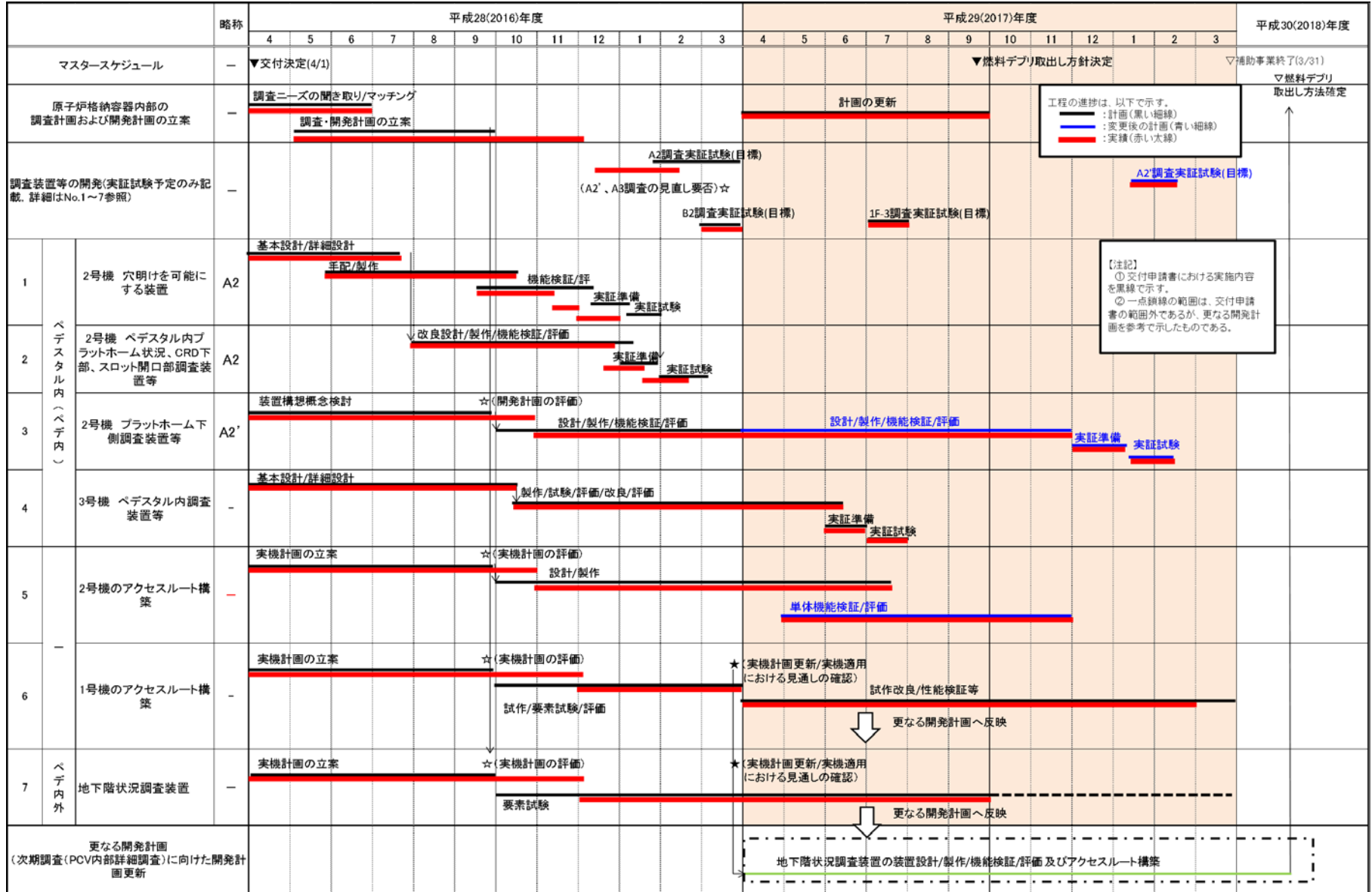
2.2 実施項目間、他研究の関係



2.3 目標

実施内容		目標達成指標	
「特定部位へのアクセス・調査装置及びシステムの開発」	「現地実証」	2号機を対象としたペDESTAL内調査	A2' 調査(CRDプラットフォーム下調査) の設計・製作を行い、モックアップ体にて機能検証を完了し、現地実証が完了していること。
		3号機を対象としたペDESTAL内調査	X-53ペネを經由して、3号機のペDESTAL内の状況を目視調査するための調査装置の設計・製作を行い、モックアップ体にて機能検証を完了し、現地実証が完了していること。
「調査計画・開発計画の立案・更新」	次期調査(詳細調査)の計画立案と概念設計	地下階調査のための計画策定・要素試験	燃料デブリのペDESTAL底部及び外部への拡がりや構造物状況を調査するためのアクセス装置やこれに搭載する計測機器や目視調査機器等の概念設計と要素試験が完了していること。
		調査計画及び開発計画	燃料デブリ取り出し方法の確定に資するための調査ニーズを反映して調査計画・開発計画が立案されていること。
		2号機アクセスルート の構築	最新の現場状況を踏まえ、実機適用計画を立案し、新規バウンダリを構築するためのプロトタイプ の単体機能検証を完了していること。
		1号機アクセスルート の構築	最新の現場状況を踏まえ、基本計画を立案し、要素試験と概念設計で装置類の技術的見通しを確認できていること。
		計測装置等の 開発計画	ニーズに対応するために開発が必要と考えられる計測技術を抽出・整理し、絞り込まれていること。

3. 実施スケジュールと実施体制(1/2)



3. 実施スケジュールと実施体制(2/2)

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

- ・全体計画の策定と技術統括
- ・技術開発の進捗などの技術管理のとりまとめ

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

- 1) 格納容器内部の調査・開発計画の作成
- 2) 1号機アクセスルートの構築に関する開発
- 3) 次フェーズ内部調査も視野に入れた計測装置等の開発計画
- 4) 地下階調査のための計画策定、要素試験

東芝エネルギーシステムズ株式会社

- 1) 格納容器内部の調査・開発計画の作成
- 2) 2号機アクセスルートの構築に関する開発
- 3) 次フェーズ内部調査も視野に入れた計測装置等の開発計画
- 4) 地下階調査のための計画策定、要素試験
- 5) 2号機、3号機を対象としたペDESTAL内調査及びシステムの開発

三菱重工業株式会社

- 1) 格納容器内部の調査・開発計画の作成
- 2) 次フェーズ内部調査も視野に入れた計測装置等の開発計画
- 3) 地下階調査のための計画策定、要素試験

4. 実施内容

4.1 実施事項・成果 - 2号機を対象としたペデスタル内調査-(1/5)

【調査対象部位】: 格納容器ペデスタル内

【調査及び装置開発ステップ】

(1) A1調査(CRDレール状況調査): 平成25年8月実証済

(2) A2調査(CRDプラットフォーム上調査): 平成29年2月実証済

H28年度事業範囲

・X-6ペネに、 $\phi 115\text{mm}$ の開口を設けて調査装置をPCV内に投入

・燃料デブリ取り出し方針決定に資する情報の取得

(3) A2'調査(CRDプラットフォーム下調査): 平成30年1月実施済

H29年度事業範囲

(4) 2号機PCV内部詳細調査: 平成30年度実証開始(目標)

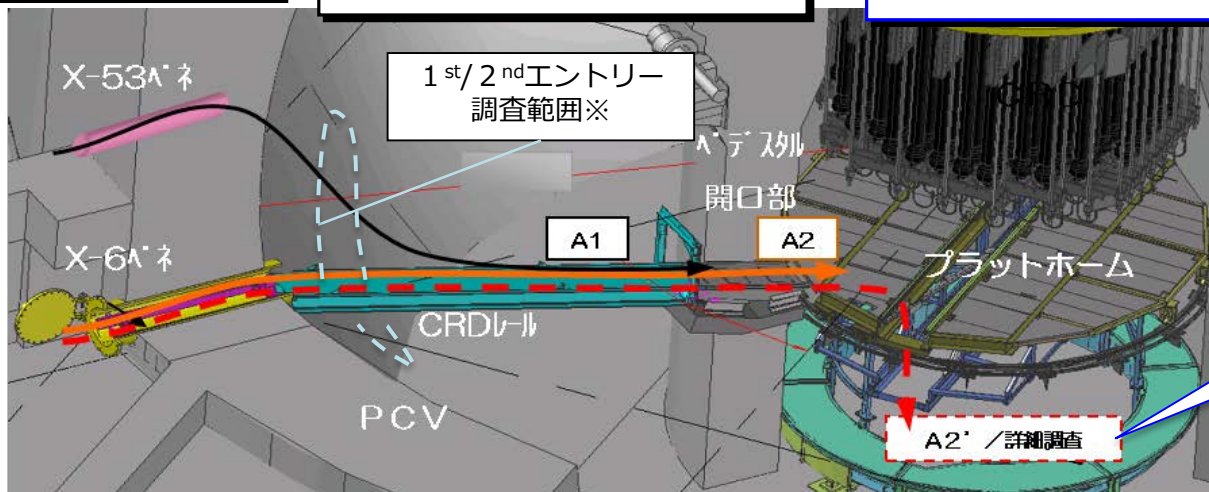
・X-6ペネのハッチを開放し、燃料デブリ取り出し方法確定に資する情報を取得する。

A1. CRDレール状況調査
(平成25/8月完了)

A2. ペデスタル内プラットフォーム/CRD下部/スロット開口状況調査
(平成29年2月完了)

A2'. プラットホーム下調査
(平成30年1月完了)

2号機PCV内部詳細調査



A2' 調査実施項目

- ・ペデスタル下部全体の目視調査
- ・温度/雰囲気線量率の測定

4.1 実施事項・成果 - 2号機を対象としたペデスタル内調査-(2/5)

【A2調査(平成28年度成果)】

(1) 装置概要

X-6ペネに開口(内径約φ115mm)を開けて、PCV内にガイドパイプを挿入し、計測器を搭載した自走装置を下ろし、レール上を通過してペデスタル内のCRDプラットホーム上を調査するクローラ型装置

(2) 本事業での実施範囲及び成果概要

① X-6ペネ遠隔穴あけ装置の開発

- 高線量環境下であるX-6ペネに開口を開けるため、遠隔穴あけ装置を開発し、平成28年12月に現地実証試験を完了した。

② A2調査装置 現地実証試験の完了

- 開発した装置の現地実証試験(ペデスタル内事前確認(平成29年1月)、堆積物除去(平成29年2月)、ペデスタル内調査(平成29年2月))を完了し、下記データを取得した。
 - ・CRDレール上の画像データ、温度、線量
 - ・ペデスタル内の画像データ



遠隔穴あけ装置



ペデスタル内事前確認装置



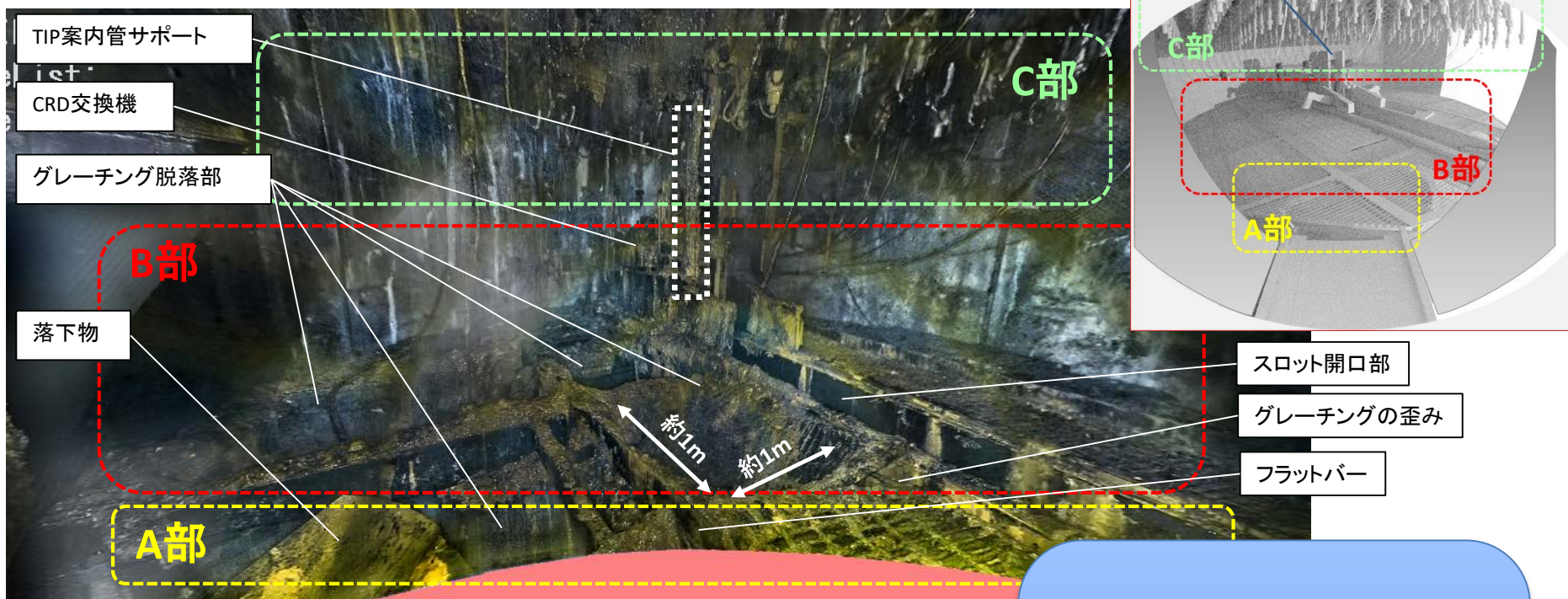
堆積物除去装置



A2調査装置

4.1 実施事項・成果 - 2号機を対象としたペデスタル内調査-(3/5)

③ 現地実証試験時に得られたペデスタル内の画像データ



- ・CRDプラットフォーム上を全体的に確認し、一部、グレーチングの脱落を確認した。
- ・グレーチングが脱落していることで、燃料デブリの落下の可能性はある。

C部(CRD下部)を見上げた画像

4.1 実施事項・成果 - 2号機を対象としたペデスタル内調査-(4/5)

【A2' 調査(平成30年1月実施)】

(1) 調査概要

A2調査により確認されたCRDプラットフォームの開口部よりペデスタル底部にアクセスし、プラットフォーム下の構造物の損傷状況、さらに、燃料デブリのおおよその状況をカメラ映像により推定する。

(2) 本事業での実施範囲及び進捗状況(その1)

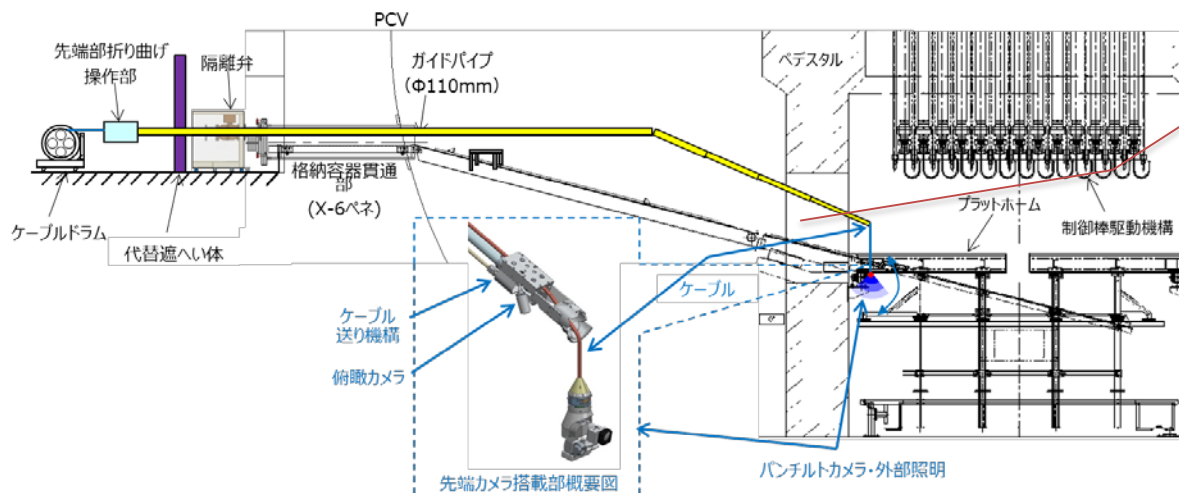
A2調査の結果、当初計画していた自走式の小型クローラによる走行が困難であること、及び、CRDプラットフォームのグレーチング部に開口があることが判明したため、装置コンセプトを下記の通り見直した。装置設計・製作し、モックアップ体を用いた検証試験及び習熟訓練を実施し、平成30年1月に現地実証試験を完了した。

➤ペデスタル内アクセス方式

ガイドパイプ方式(A2調査のペデスタル内事前確認装置の改良型)を採用

➤CRDプラットフォーム下へのアクセス方式

ケーブル送り機構により小型パンチルトカメラをCRDプラットフォーム下にアクセス

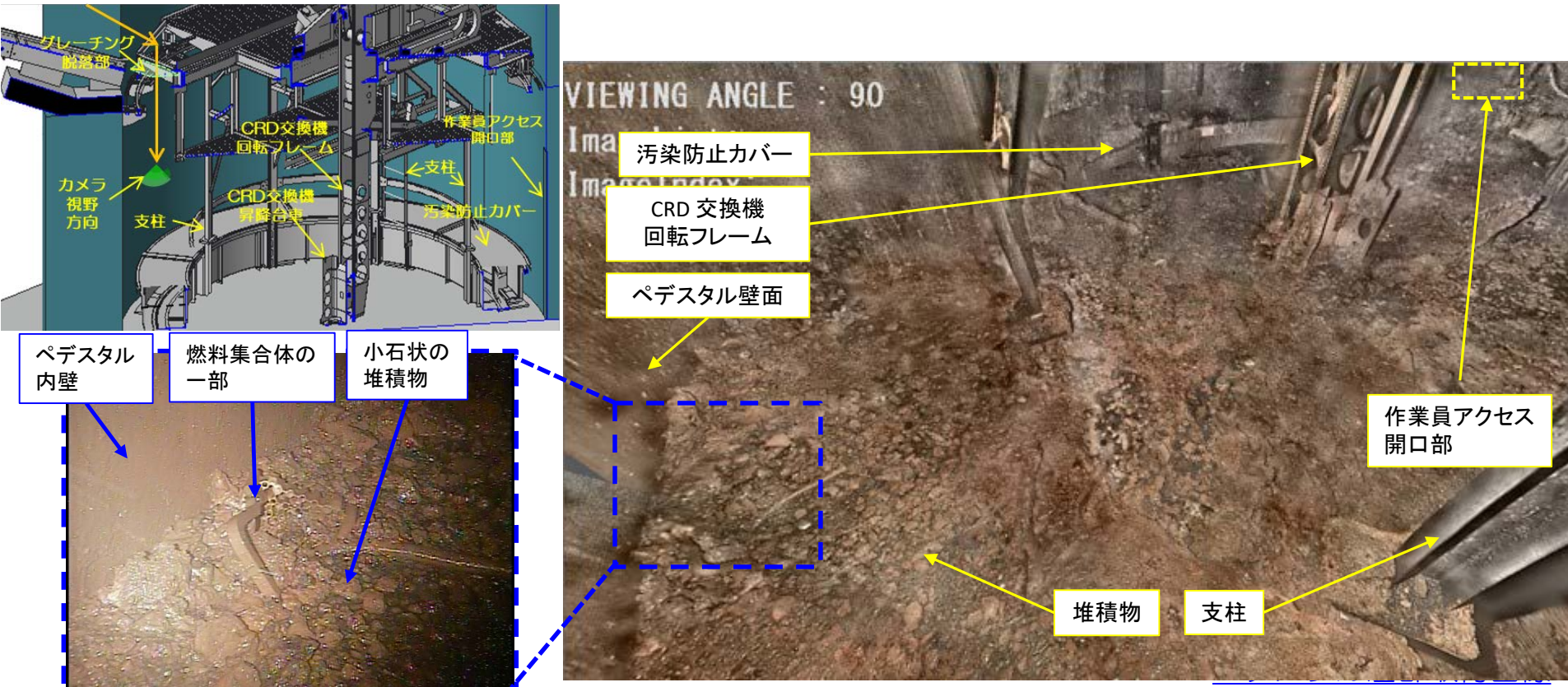


4.1 実施事項・成果 - 2号機を対象としたペデスタル内調査-(5/5)

【A2' 調査(平成30年1月実施)】

(2) 本事業での実施範囲と成果(その2)

現地実証試験により、ペデスタル内の映像及び雰囲気線量率/温度データを取得した。



- ・ペデスタル底部の全体に堆積物を確認した。
- ・燃料集合体の一部がペデスタル底部に落下しており、その周辺に確認された堆積物は燃料デブリの可能性はある。

4.2 実施事項・成果 - 3号機を対象としたペDESTAL内調査-(1/2)

【調査対象部位】: 格納容器ペDESTAL内

【調査及び装置開発ステップ】

(1) 1stエントリー(X-53ペネ周り調査): 平成27年10月実施済(*1)

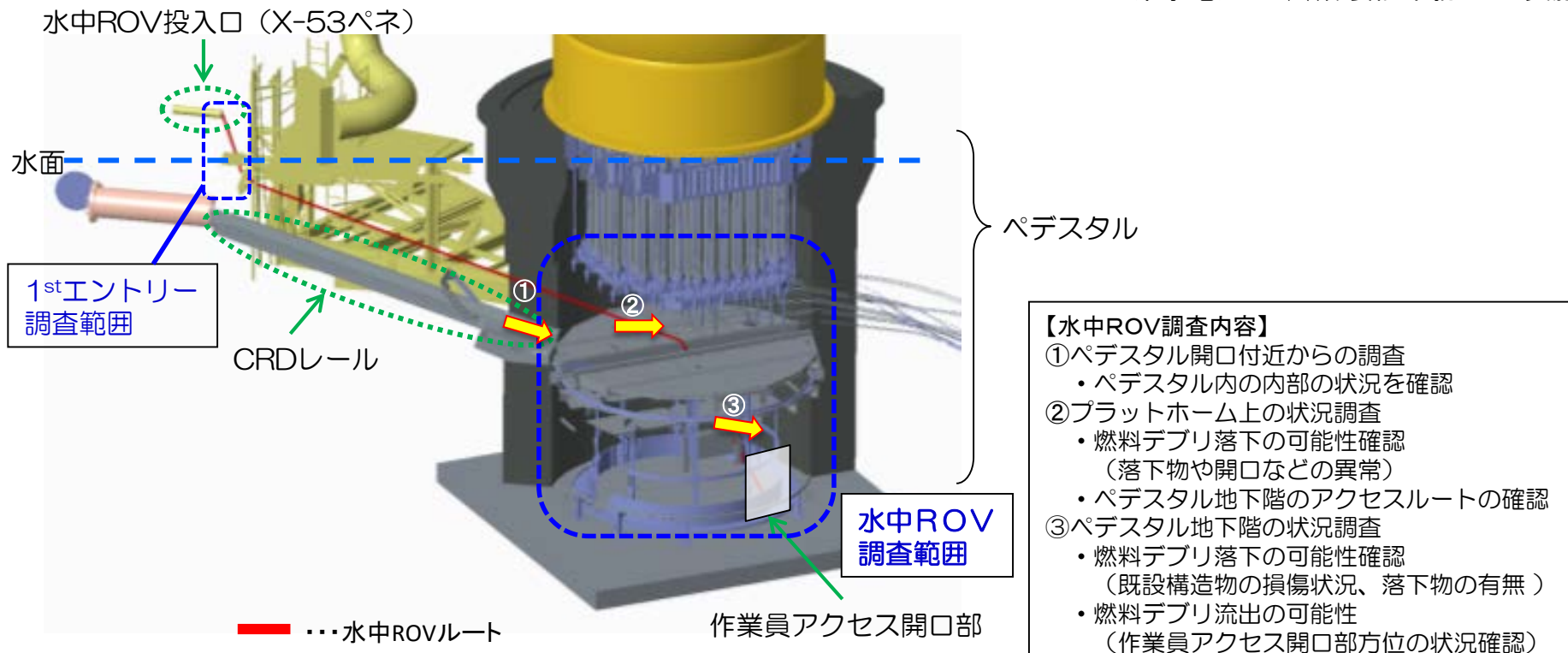
・X-53ペネを使用し、1階グレーチング上の情報を取得

(2) 水中ROV調査(ペDESTAL内状況調査): 平成29年7月実施済

H29年度事業範囲

・X-53ペネを使用し、燃料デブリ取り出し方針決定に資する情報を取得

*1: 東京電力HD(株)殿 委託業務として実施



4.2 実施事項・成果 - 3号機を対象としたペDESTAL内調査-(2/2)

(1) 調査概要

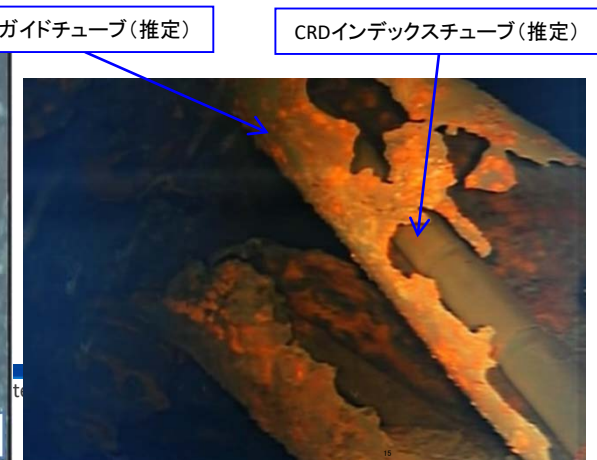
X-53ペネからPCV内へ進入し、水中でCRDレール上を移動してペDESTALまでアクセスし、ペDESTAL内の損傷状況を確認する。

<水中ROV外観写真>

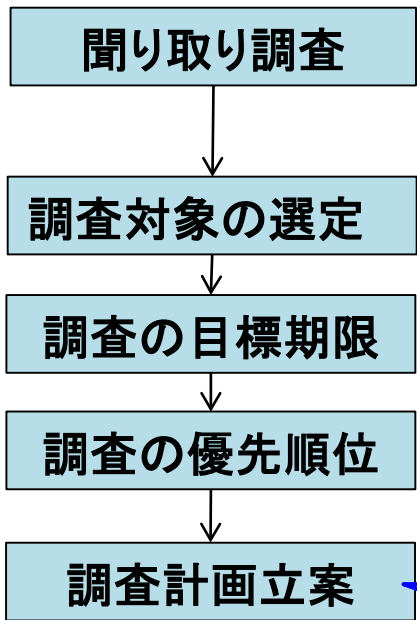


(2) 本事業での実施範囲及び成果

- ① 水中を遊泳可能な水中ROVを製作した。
- ② モックアップ体による検証試験を実施した。
 - PCV内のアクセス性、視認性、装置回収不可時の対策等の課題を抽出し、検証試験及びオペレータの習熟訓練を実施した。
- ③ 現地実証試験を実施し、以下のことが確認された。
 - プラットホームは大きく損傷しており、CRD構造材の損傷や落下物、堆積物がペDESTAL下部全域に広く分布している。
 - 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がCRDフランジ等に付着している状況を確認した。また、ペDESTAL内の複数箇所です砂状、小石状、塊状の堆積物を確認した。
 - 炉内構造物(CRガイドチューブ、CRDインデックスチューブ)と推定される構造物を確認した。
 - ペDESTAL地下階の作業員アクセス開口部は視認できなかったが、近傍に堆積物を確認した。(燃料デブリのペDESTAL外への流出は否定できない。)



4.3 実施事項・成果 - 調査計画・開発計画他 - (1/7)



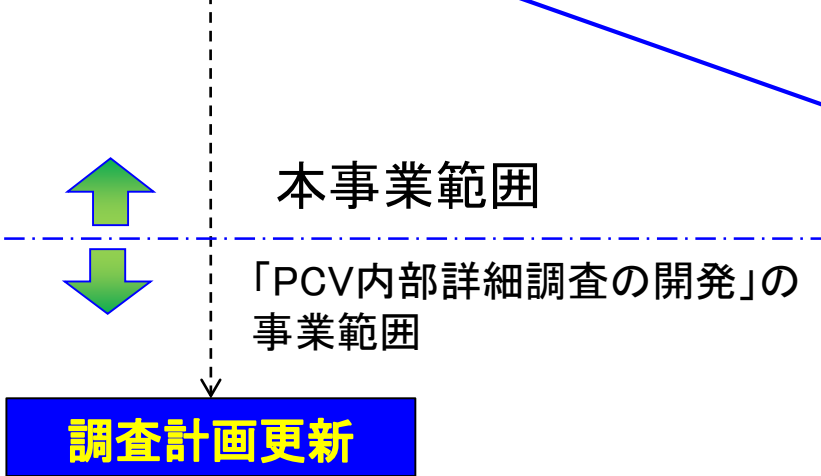
- 1) ニーズ元: 関連PJ, 廃炉事業者(東京電力HD)
- 2) 聞き取り調査の内容: 調査項目, 目的, 必要性, 期限(デブリ取り出しの詳細設計, 許認可申請, 燃料デブリ取り出し開始後), 調査のアウトプット活用例, 調査へのミニマム要求

調査の目的と必要性を整理し, 東京電力とPCV内部詳細調査の調査対象を選定

調査の目標期限を整理し, 調査対象からデブリ取り出しの詳細設計に資する情報取得のための調査項目を整理

号機毎の特徴を踏まえ, 調査の優先順位を検討

IRID本部による全体を俯瞰したレビューを実施し調査項目を判断



詳細設計に資する情報取得を目的とした調査		調査項目の絞り込み結果						号機別調査項目		
		デブリ取出	炉内状況	耐震	臨界管理	補修	東電感	1号機	2号機	3号機
ベDESTAL内外のデブリの分布	1-2	ベDESTAL外へ流出した燃料デブリ分布(厚さ、広がり(境界))	○	△	○	○	○	○	-	-
	1-4	ベDESTAL内の燃料デブリ分布(厚さ、広がり)	○	△	○	○	○	○	○	○
	1-6(1)	地下階の燃料デブリ形状				○		○	○	○
	1-9	地下階の燃料デブリの表面温度(又は内部温度)					△	-	-	-
	1-10	地下階の燃料デブリの線量率					△	-	-	-
追1-12	地下階の燃料デブリの冷却状態(気中露出部の有無)					○	-	○	-	
シェルアタックの有無	2-2	シェルアタックの状況、漏洩範囲					○	-	-	
デブリによる浸食深さ/事故時の熱履歴コンクリート強度	3-1	ベDESTAL床面の浸食深さ		△				-	-	-
	3-2	ベDESTAL壁面の浸食深さ	○	△	○			○	○	○
	3-4	ベDESTALの内外壁の割れ・剥離	○	△	○			○	○	○
CRD系の状態	4-2	CRD系の損傷状態(CRDハウジングの脱落、冷却水の滴下)						○	○	○
	4-3	CRD系の燃料デブリの堆積状況(形状・分布)				△		-	-	-
PCVの状態	5-2	PCV内塗装の劣化状態					△	-	-	-

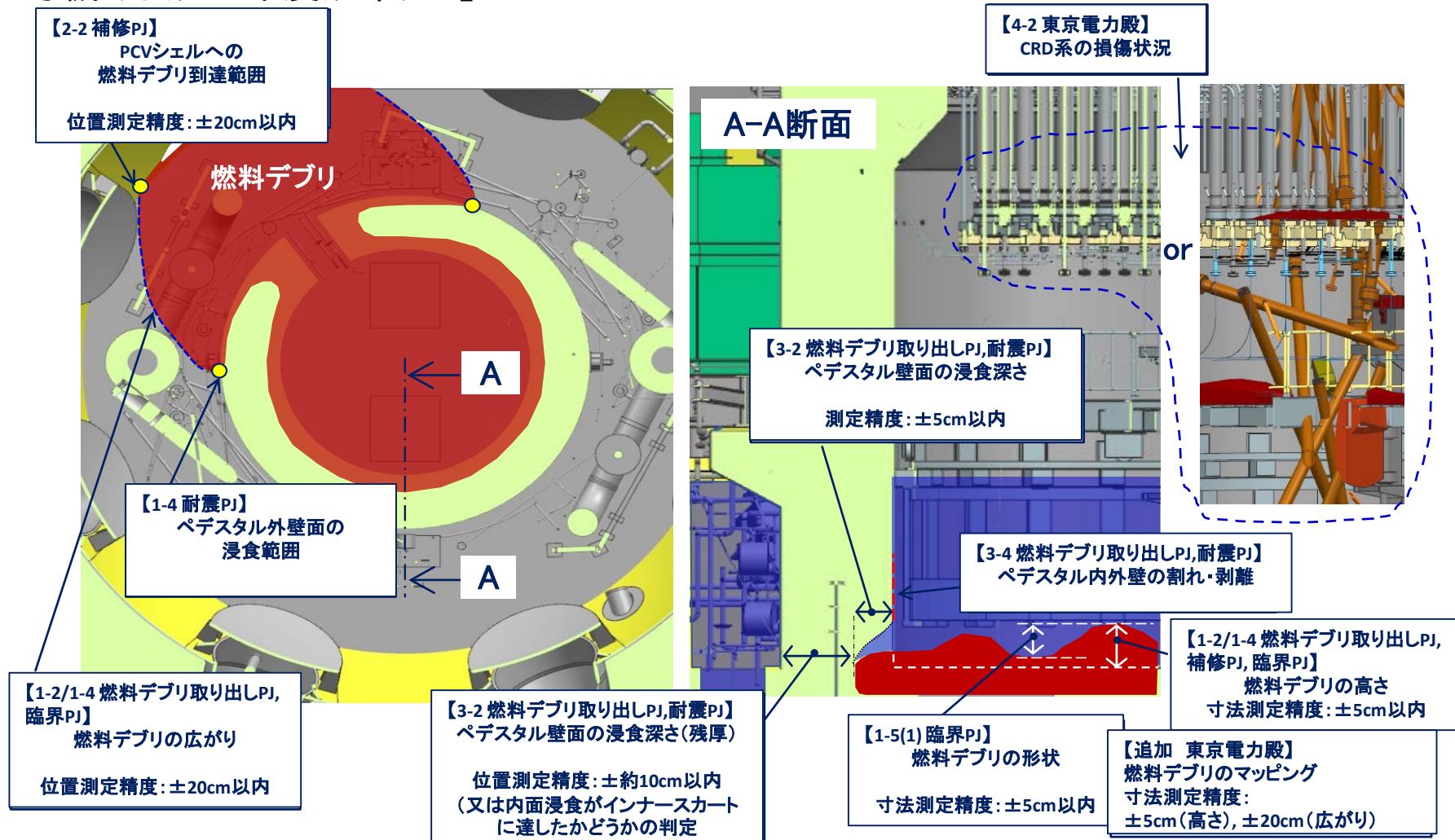
統合

<凡例>○=本情報がないと過度に保守的な計画になる情報, △=代替手段がある, または「工法確定」以降に取得すれば良い情報

4.3 実施事項・成果 - 調査計画・開発計画他 - (2/7)

【1号機 (平成28年度成果)※】

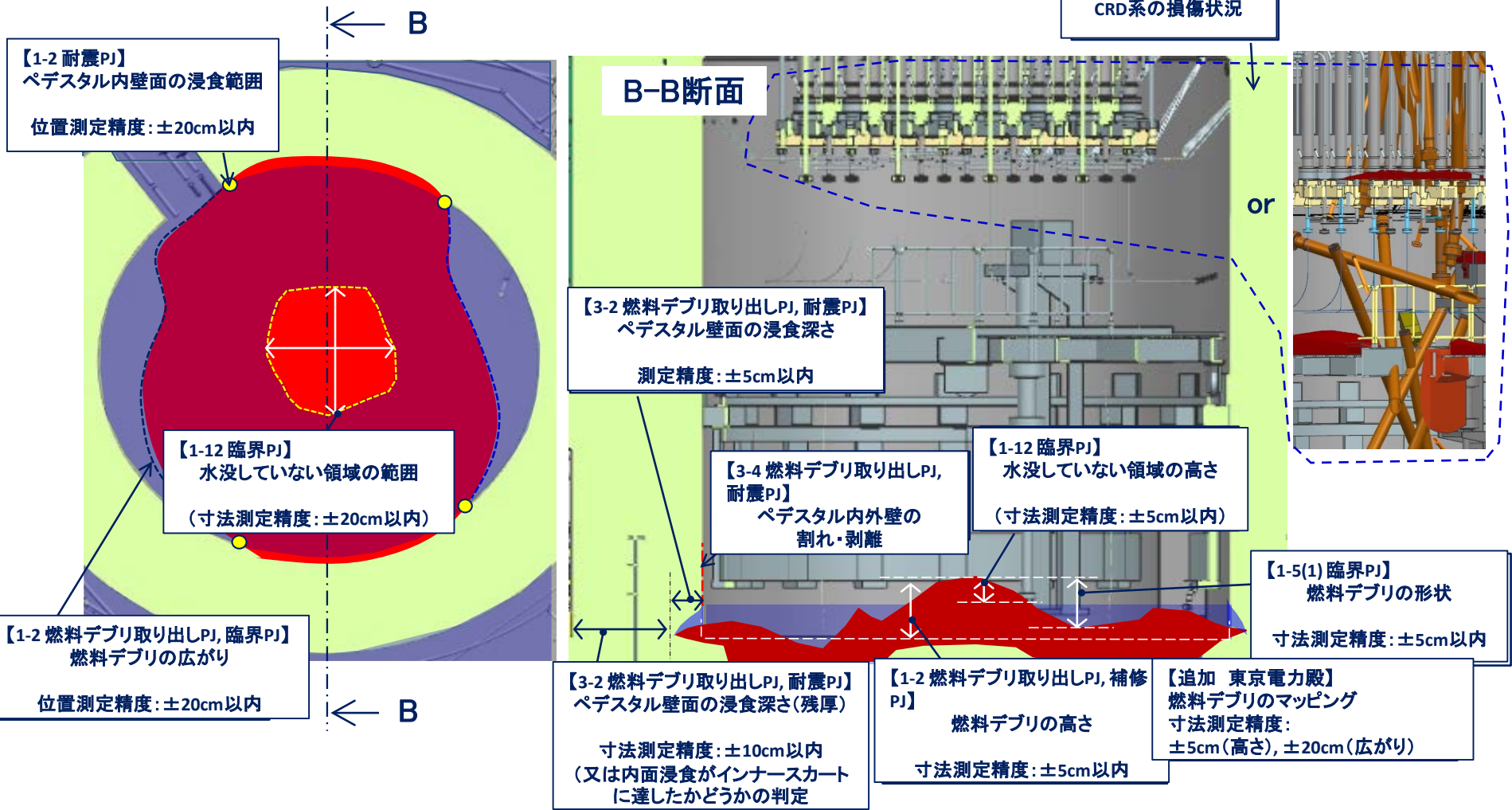
【 】内はニーズ元を表す



※参考 損傷が大きいと推定される1号機と3号機のPCV内部調査などの結果を踏まえ、「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」で1号機PCV内部詳細調査の調査計画・開発計画を更新した。

4.3 実施事項・成果 - 調査計画・開発計画他 - (3/7)

【2号機(平成28年度成果)※】



※参考: 2号機の最新のPCV内部調査結果を踏まえ、「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」で2号機PCV内部詳細調査の調査計画・開発計画を更新中

4.3 実施事項・成果 - 調査計画・開発計画他 - (4/7)

【アクセスルートの選定(平成28年度成果)】

号機毎の格納容器の特徴		1号機	2号機	3号機	
地下階 の状況	燃料デブリの分布	ほぼ全量が下部プレナムに落下し、RPV ペDESTAL外側にも移行	大部分が下部プレナムに落下し、RPV ペDESTAL外側への移行(その可能性は小)	大部分が下部プレナムに落下し、RPV ペDESTALへの移行の程度は、1号機と2号機の間	
	水位	約1.9m	約0.3m	約6.3m	
現場状況を踏まえた実現性評価 (燃料デブリ取り出し方法の確定等に資する詳細調査の時期に適合するペネの評価)	X-6ペネ		×(高線量環境のため低線量化又は遠隔によるハッチ開放技術の開発、原子炉建屋に新たなルートを設定するための準備作業などが必要である。)	○(ペネ周辺までアクセス可。ペネ近傍のみ高線量。平成27年度からハッチ開放に向けた技術開発が進められている。)	△(現状の水位ではハッチ開放は困難。水位を下げる時期は不明)
	凡例 ○:間に合う可能性 がある。 ×:間に合わない、又は間に合わない可能性が高い。	X-6ペネ以外	X-1ペネ(機器ハッチ)	×(ハッチが大きく、PCV内負圧化後の開放となる。湾曲した面の溶接、遮へいブロック撤去などの技術的課題が大きい。)	
X-2ペネ(エアロック)			○(ペネ近傍にアクセスできる。)	×(ペネの構造が1号機と異なるため、更なる技術開発が必要である。)	×(ペネの構造が1号機と異なるため、更なる技術開発が必要である。)

4.3 実施事項・成果 - 調査計画・開発計画他 - (5/7)

【アクセス装置の一次選定(平成28年度成果)】

			評価項目(凡例:○課題が小さい, △課題有, ×:課題が大きい)				アクセス装置の 一次スクリーニング
			耐放射線性	ペイロード	操作性	アクセス可能範囲	
水中 (線量率 ~ 0.5Gy/h)	水上移動型	ボート	○	○(10kg程度)	○	×(水面の障害物回避困難な場合有, ケーブル干渉の課題有)	×
	水中遊泳型	ROV	○	○(10kg程度)	○	○(ケーブル干渉の課題解決の見通し有)	○(1,3号機のペDESTAL内外の地下階調査に有効な可能性有。プラットフォーム下からCRD系調査)
水中 気中 (線量率 ~ 10Gy/h)	床面走行・ 水中遊泳型	蛇型	×(複数のモータ制御を行う電子基盤の耐放性が低い。)	△(数100g: 調査機材搭載上の課題有)	△(天地反転が起こりやすく, カメラによる遠隔操作の難易度高)	×(ケーブル牽引力が極小で, 障害物の多い地下階調査には適さない。)	×
	床面 移動型	クローラ 型(又歩 行型)	○	○(数kg~100kg以上: 装置のサイズによる)	○(気中) △(水中: 濁水化による視認性低下の課題有)	×(小型: アクセス可能範囲は限られるが, 狭隘部に対して小回りが利く。A2調査で課題が多いことが判明)	×
						○(大型: ケーブル干渉の課題がある。但し, 対策有)	×(大型: ペDESTAL内外の地下階調査, CRD系調査に有効な可能性有。但し, X-1ペネ開放の技術的課題が大きく, 平成30年度の調査に間に合わない。)
	アーム型	伸縮 多軸	○	○(数10kg)	○	△(CRD開口からペDESTAL内へのアクセスが困難な場合有)	○(各号機のX-6ペネからのペDESTAL内外の地下階調査, CRD系調査に有効な可能性有)
蛇型		○	○(数kg)	○	×(障害物回避性は優れるが, 長尺化の技術的課題大)	×(1号機X-2ペネアクセスでは候補となるが, 長尺化の技術的課題が大きく, アクセス範囲が限られる。)	
気中 (線量率 ~ 10Gy/h)	空中飛行型	ドローン 又はヘ リ	×(自律制御と無線通信を行う電子基盤の耐放性が低い。)	△(数100g: 調査機材搭載上の課題有)	×(自律制御によるホバリングが困難な場合, 微細な遠隔操作の難易度が高い。)	△(PCV内での無線遠隔操作可能範囲は不明)	×

4.3 実施事項・成果 - 調査計画・開発計画他 - (6/7)

【アクセス装置とアクセスルートの絞込み結果(平成28年度成果)※】

	アクセス・調査装置の絞り込み案		詳細調査技術の開発における実施内容
	1号機	2号機	
<p>アーム型</p> <p>ベテスタル内側へのアクセスイメージ ベテスタル内側へのアクセスイメージ 各種センサー 観望鏡・テレビカメラ センサー設置点 計測装置の位置関係 グレーティング切替装置</p>	<p>×(X-6ペネ利用) 高線量環境のため低線量化又は遠隔によるハッチ開放技術の開発, 原子炉建屋に新たなルートを設定するための準備作業などが必要で, コストが大きく, 工法確定時期に間に合わない可能性が高い。</p>	<p>○(X-6ペネ利用) 現段階でハッチ開放の技術的な見通しがある。工法確定の時期に間に合うよう短縮が必要</p>	<p>・調査計画を最新の現場状況等を踏まえ具体化・更新 ・調査計画に適合した開発計画についても具体化・更新 なお, 3号機については, 1, 2号機で開発した装置の3号機への適用性について検討し, 開発課題の有無を明確化する。</p>
<p>水中遊泳型</p> <p>観望ユニット ① 発光器 超音波距離計 ② Y線量計 ③ カメラ デブリ境界の特定 (①②③) 1-2/4 燃料デブリの高さ測定(①) 1-2/4 燃料デブリの広がり 1-4 ベテスタル外壁面の浸食範囲 2/2 FCVシェルへのデブリ到達範囲 X-2ペネ付近(地下階ルート) ベテスタル内へのルート 基本ルート 外壁面接近ルート側 ケーブル干渉防止装置</p>	<p>○(X-2ペネ利用) ペネ付近にアクセスでき, 工法確定の時期に間に合う可能性がある。</p>	<p>—</p>	

※参考 「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」の調査計画・開発計画の更新に伴うアクセスルートと調査装置の変更はない。

4.3 実施事項・成果 - 調査計画・開発計画他 - (7/7)

【アクセス装置と計測技術の適合性(平成28年度)※】

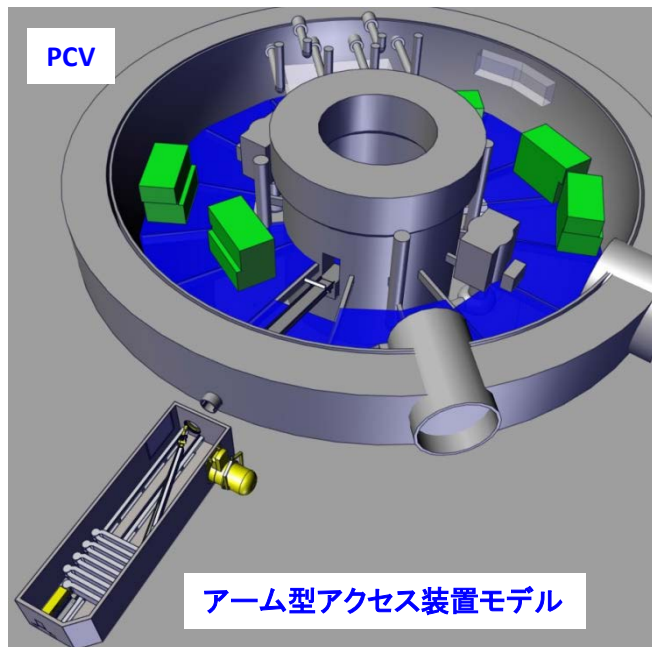
調査内容	ニーズ元要求 (測定物理量, 測定精度等)	検討結果(カバー率:測定可能な面積比, 又は体積比)			
		計測技術の候補 (絞込み結果)	水中遊泳型 (1号機:X-2)	アーム型 (2号機:X-6)	
燃料デブリ分布の 3次元的寸法情報 (p17-18の1-2,1-4,2-2)	高さ(±5cm) 範囲(±20cm)	気中	・レーザー光切断法※	○ (カバー率70%)	
		水中	・超音波法(超音波ソナー) or 走査型超音波距離計	○ (カバー率70%)	
ペDESTALへの浸食や PCVシェル破損状況 の把握 (p17-18の1-2,1-4,3-2,3-4)	外観(割れ, 剥離の有無) 長さ(±20cm)	気中	カメラ or レーザー光切断法※	○ (カバー率70%)	
	深さ(±5cm) 範囲(±20cm)	水中	カメラor/and水鏡カメラ,		○ (カバー率70%)
		水中	超音波法(超音波ソナー) or 走査型超音波距離計		
残厚(±10cm)	水中	衝撃弾性波法			
RPV底部, それに付属する 構造物及びペDESTAL等 に関する形状・寸法情報 (p17-18の4-2)	外観 (CRDハウジングの脱落, 冷却水の滴下状況)	気中	カメラ or レーザー光切断法※	○ (カバー率80%)	
燃料デブリであるか 否かを判定	γ線量率	γ線量計 or γカメラ		○ (カバー率70%)	
	γ線エネルギー	CdTe半導体検出器			
	中性子束	中性子検出器			
	温度(発熱)	走査型超音波距離計(流速測定モード)			
燃料デブリの形態(粒状・ 塊状等)の把握	外観 (粒状, 塊状)	カメラor/and水鏡カメラ		○ (カバー率70%)	

※計測手法であり物体を切断する技術ではない

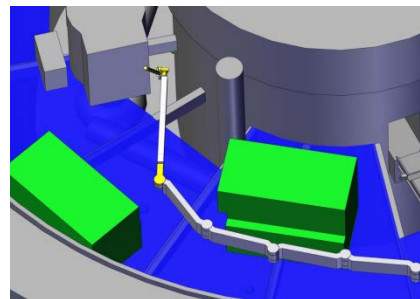
4.4 実施事項・成果

-地下階調査のための計画策定・要素試験(アーム型アクセス・調査装置)-

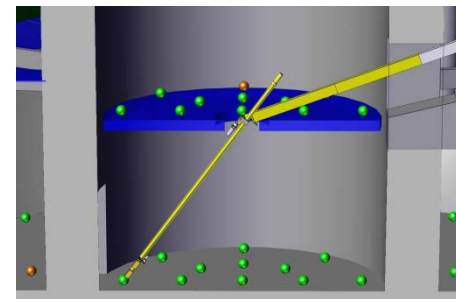
【本事業の成果】アーム型アクセス装置の関節長さなどを最適化し、PCV内のグレーチングや内部機器・配管を模擬した3Dモデルを用いて、VRシミュレーションにより全体の80%程度範囲がカバー可能となる見通しを得た。



VRシミュレーションモデル



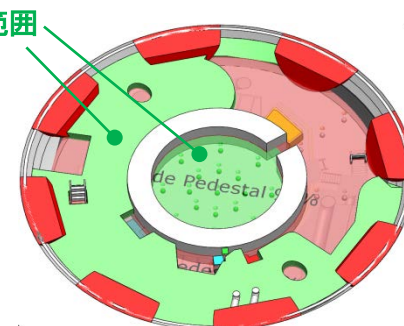
ペDESTAL外側のアーム動作シミュレーション



ペDESTAL内側のアーム到達範囲シミュレーション



グレーチングレベルのカバー範囲



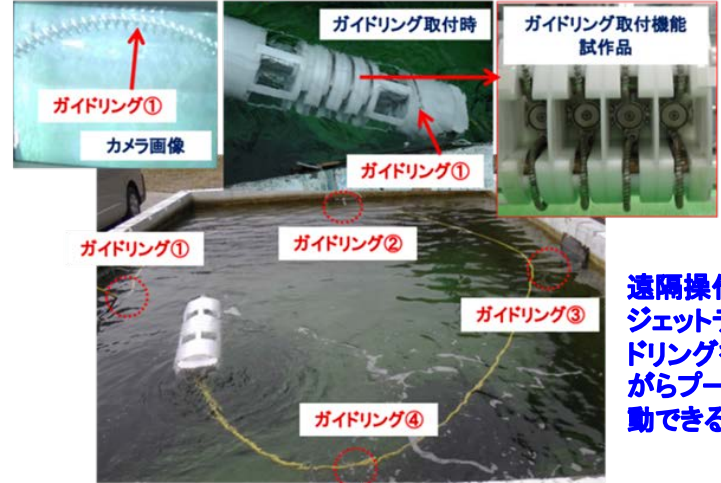
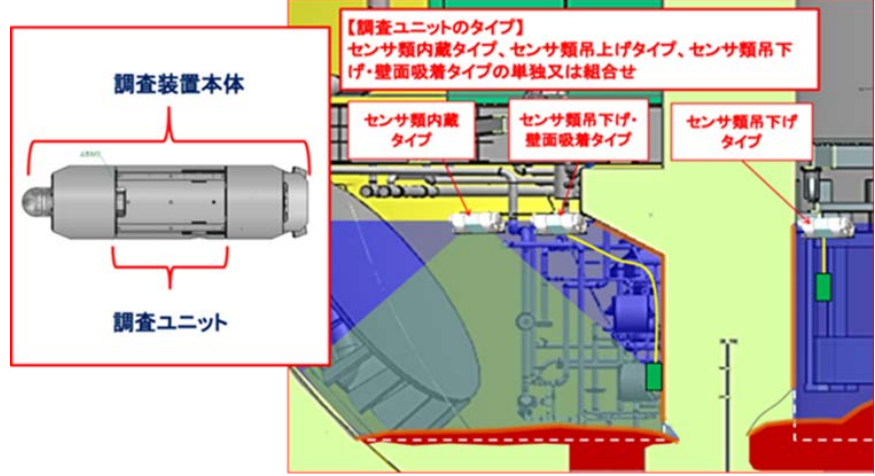
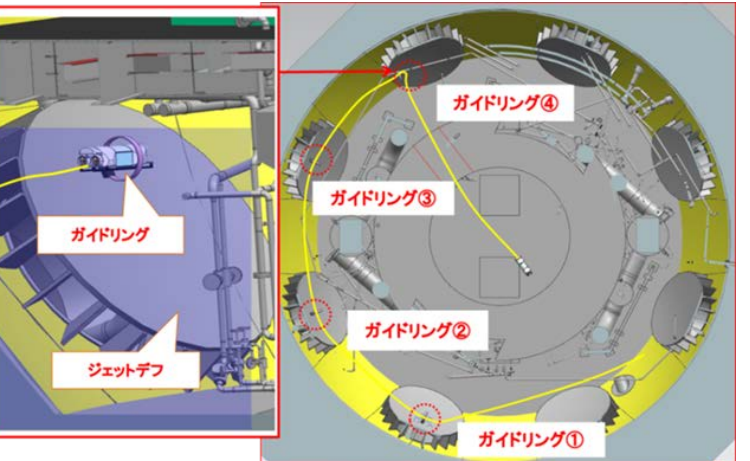
地下レベルのカバー範囲

注: 上記成果は平成28年度の概念検討結果に基づくものであり、その後の「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」における設計進捗によりカバー範囲が減少している。

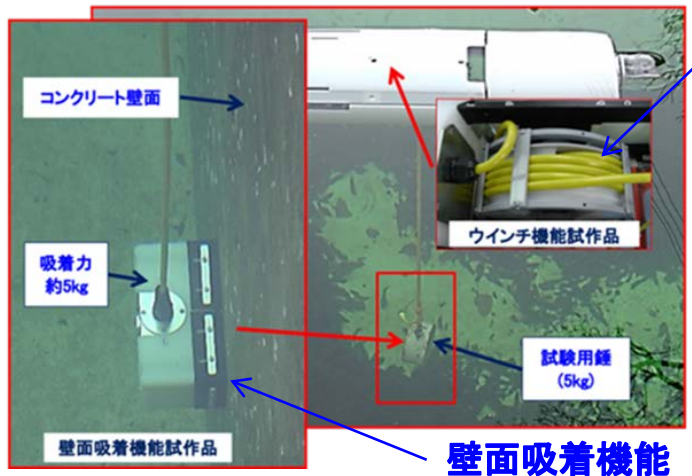
4.5 実施事項・成果

-地下階調査のための計画策定・要素試験(水中遊泳型アクセス・調査装置)-

【本事業の成果】平成28年度に検討した調査計画を踏まえ、水中遊泳型の広範囲移動と計測技術を搭載する調査ユニットの主要機能の概念設計を行い、要素試験で技術の見通しを確認した。



遠隔操作で模擬ジェットデフにガイドリングを取付けながらプール1周移動できることを確認



ウインチ
最大10kgを昇降するためのギア比を確認

水中を遊泳でき、壁面に吸着し、壁面付着物除去と壁面観察ができることを確認

壁面吸着機能

図1 要素試験1_PCV内地下階広範囲移動の概念の検証

図2 要素試験2_調査ユニットの主要機能の検証

4.6 実施事項・成果

-地下階調査のための計画策定・要素試験(計測技術)- (1/5)

【本事業の成果】カメラや他のPJで開発した技術を除く計測技術(候補)を対象に要素試験を実施し、ニーズ元要求を満足することを確認した。

調査内容	ニーズ元要求 (測定物理量と精度)	要素試験対象		説明
燃料デブリ分布の 3次元的寸法情報 (p17-18の1-2,1-4,2-2)	高さ(±5cm) 範囲(±20cm)	気中	レーザー光切断法※	p26
		水中	超音波ソナー	p26
			走査型超音波距離計	p27
ペDESTALへの浸食や PCVシェル破損状況 の把握 (p17-18の1-2,1-4,3-2,3-4)	外観(割れ, 剥離の有無) 長さ(±20cm)	気中	レーザー光切断法※	p26
		水中	水鏡カメラ	p27
	深さ(±5cm) 範囲(±20cm)	水中	超音波ソナー	p26
			走査型超音波距離計	p27
残厚(±10cm)	水中	低周波超音波法	p28	
RPV底部, それに付属する構造物及び ペDESTAL等に関する形状・寸法情報 (p17-18の4-2)	外観 (CRDハウジングの脱落, 冷却水の滴下状況)	気中	レーザー光切断法※	p26
燃料デブリであるか否か の判定	γ線エネルギー (燃料デブリの判定)	CdTe半導体検出器		p29
燃料デブリの形態 (粒状・塊状等)の把握	外観 (粒状・塊状の判定)	水鏡カメラ		p27

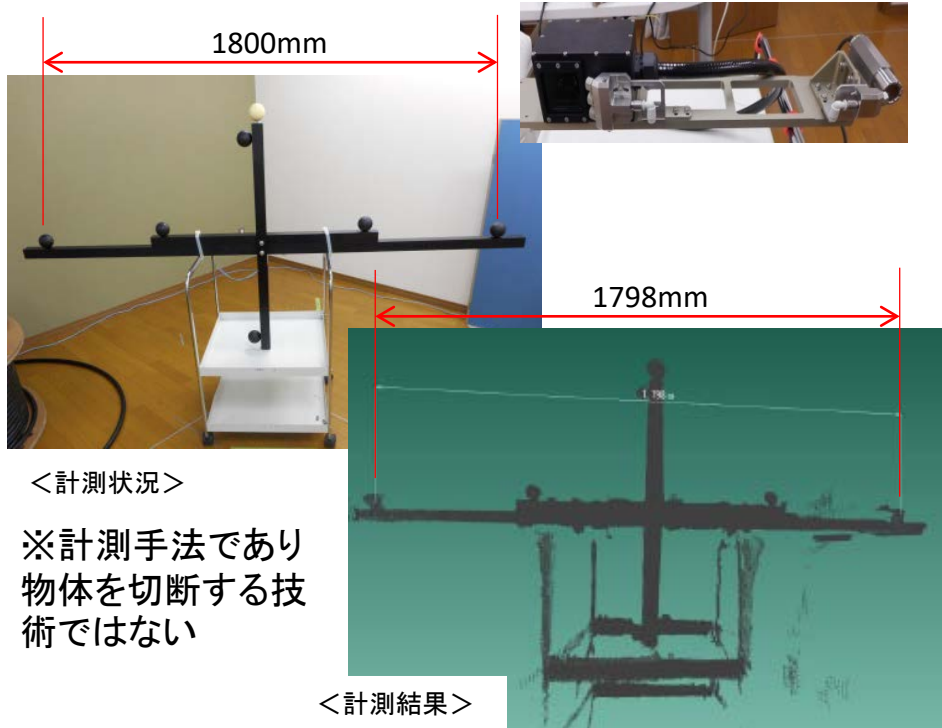
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

※計測手法であり物体を切断する技術ではない

4.6 実施事項・成果

-地下階調査のための計画策定・要素試験(計測技術)- (2/5)

(1)レーザー光切断※(アーム型)



(2)超音波ソナー(アーム型)

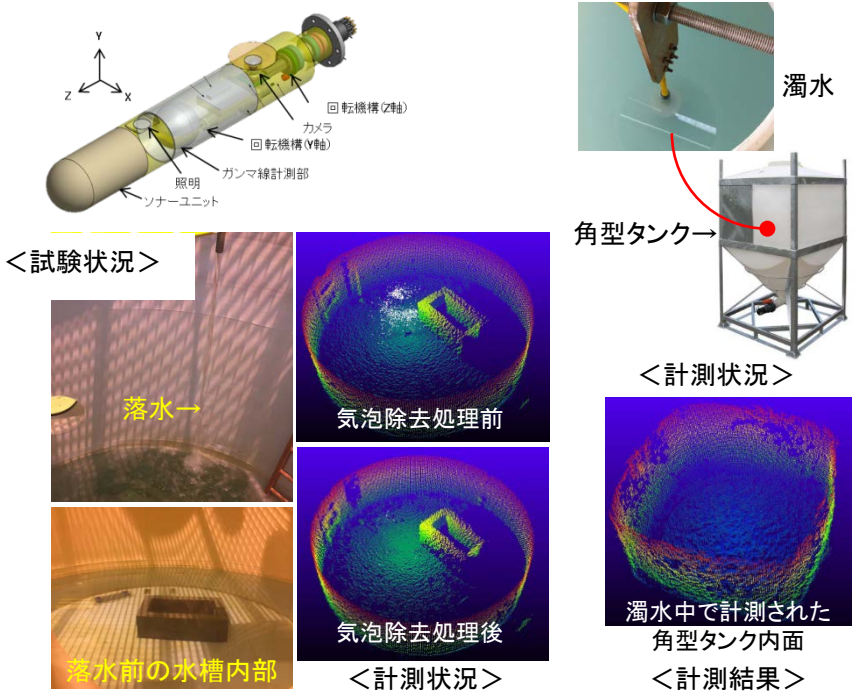


図 気泡(落水)試験

図 濁水試験

判定基準 (ニーズ元要求)	要素試験結果	
	測定精度	判定結果
鉛直: ±5cm 水平: ±20cm	鉛直: ±約1cm 水平: ±約1cm	OK

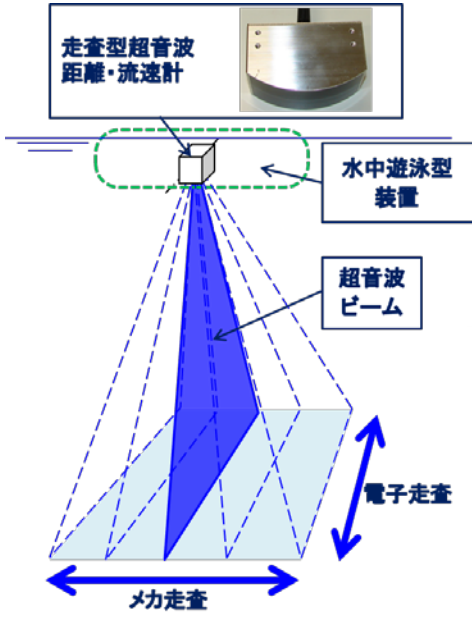
判定基準 (ニーズ元要求)	要素試験結果	
	測定精度	判定結果
鉛直: ±5cm 水平: ±20cm	鉛直: ±約1cm 水平: ±約1cm	OK

計測技術単体での測定精度を測定し、ニーズ元要求仕様を満足することを確認した。

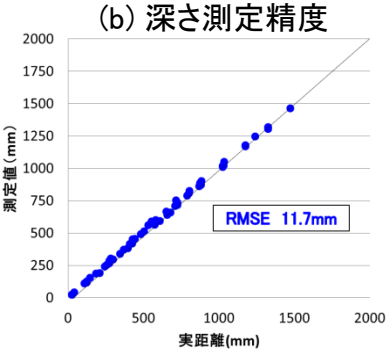
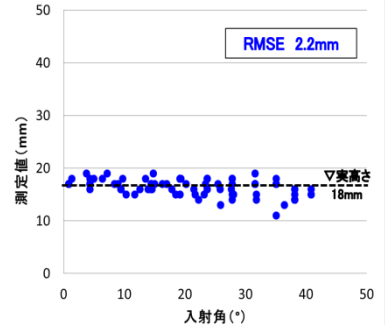
4.6 実施事項・成果

-地下階調査のための計画策定・要素試験(計測技術)- (3/5)

(3) 走査型超音波距離計(水中遊泳型)



(a) 測定原理



(c) 位置(相対)測定精度

(4) 水鏡カメラ(水中遊泳型)

a) ペDESTAL壁面の割れ・剥離撮影

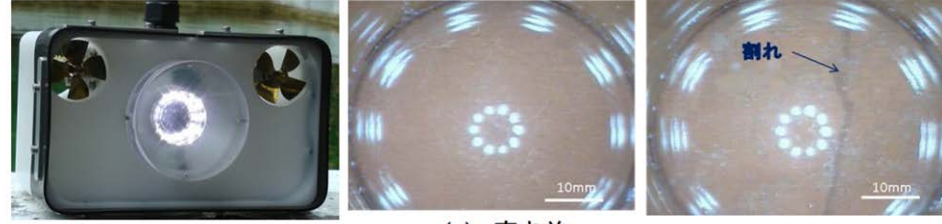


図1 磨き機能付水鏡カメラの外観

図2 付着物除去前後のコンクリート割れ撮影例
(a) 磨き前 (磨き前)
(b) 磨き後 (磨き後)

b) 堆積物下の燃料デブリ形態撮影



図3 堆積物局所除去機能イメージ



図4 堆積物除去前後の模擬デブリ(砂利)撮影例
(a) 堆積物除去前 (スラスト回転前)
(b) 堆積物除去後 (スラスト回転後)

判定基準 (ニーズ元要求)	要素試験結果	
	測定精度	判定結果
鉛直: ±5cm 水平: ±20cm	鉛直: ±0.2cm 水平: ±約1.2cm	OK

判定基準 (ニーズ元要求)	要素試験結果	
	測定精度	判定結果
外観(割れ, 剥離の有無) 外観(粒状, 塊状の判定) 長さ(±20cm)	長さ: ±0.5mm	OK

計測技術単体での測定精度を測定し、ニーズ元要求仕様を満足することを確認した。

4.6 実施事項・成果

-地下階調査のための計画策定・要素試験(計測技術)- (4/5)

(5)低周波超音波法※1

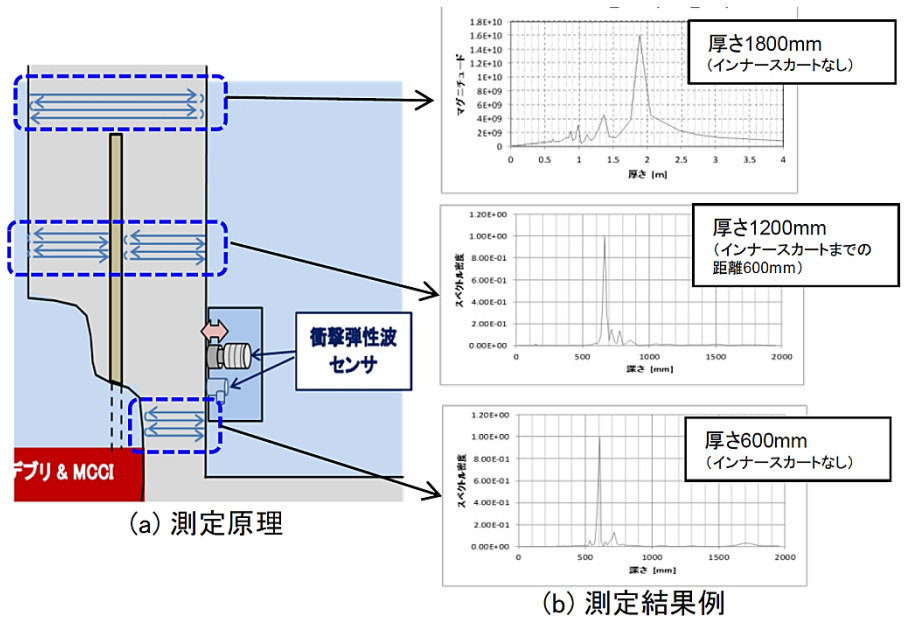


図1 衝撃弾性波センサによるコンクリート残厚測定例 (平成28年度実施)

※1 1号機のPCV地下階には多量の堆積物が確認され、コンクリート表面の熱分解・熱劣化により、衝撃波を発信できない可能性があるため、衝撃弾性波センサから低周波超音波センサに変更

- ・ペDESTAL残厚に対応する底面エコーを特定できる可能性を確認した。
- ・測定精度がニーズ元要求を満足することを確認した。

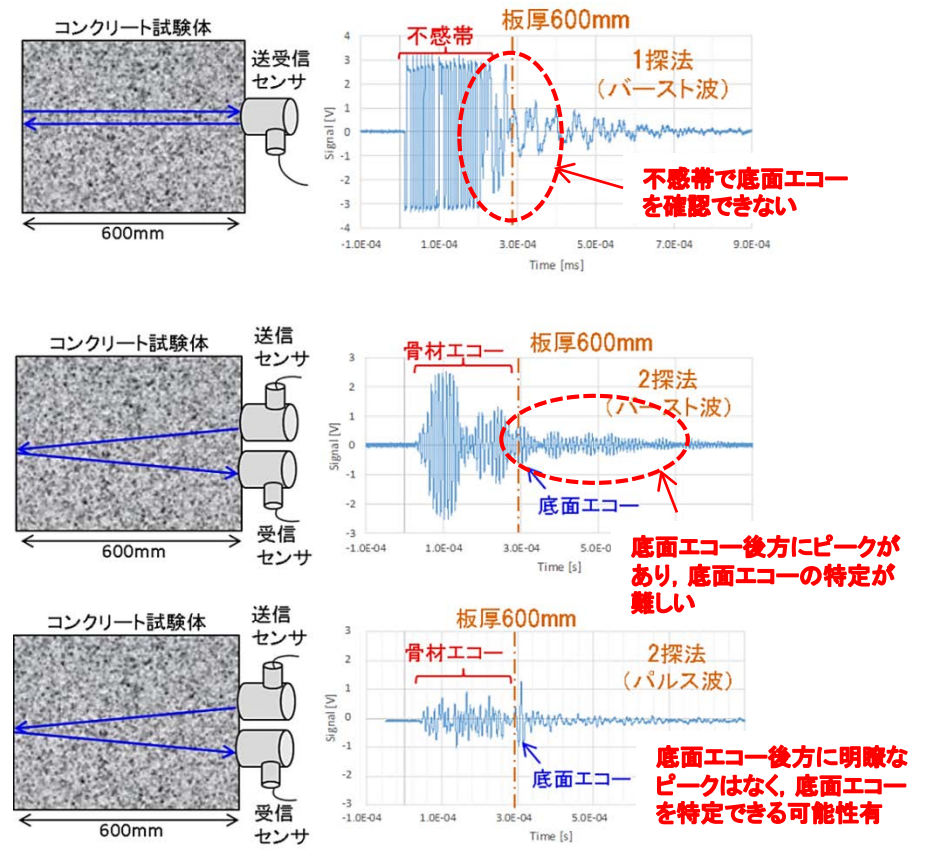


図2 低周波超音波センサによるコンクリート残厚測定例 (平成29年度実施)

判定基準 (ニーズ元要求)	要素試験結果	
	測定精度	判定結果
残厚: ±10cm	±約10cm	概ねOK

4.6 実施事項・成果

-地下階調査のための計画策定・要素試験(計測技術)- (5/5)

(6)CdTe半導体検出器(水中遊泳型)



図1 小型CdTe半導体検出器(試作品)の外観

- ・Eu-154 (1274keV)とCo-60のピークの弁別性は良好で、ピークを用いたEu-154/Co-60の測定限界を0.3未満(0.2程度)と評価(図2)
- ・Co-60の高線量場でも、2つのCo-60のピークは干渉しないため、その中間に現れるEu-154(1274keV)を抽出可能と評価(図3)

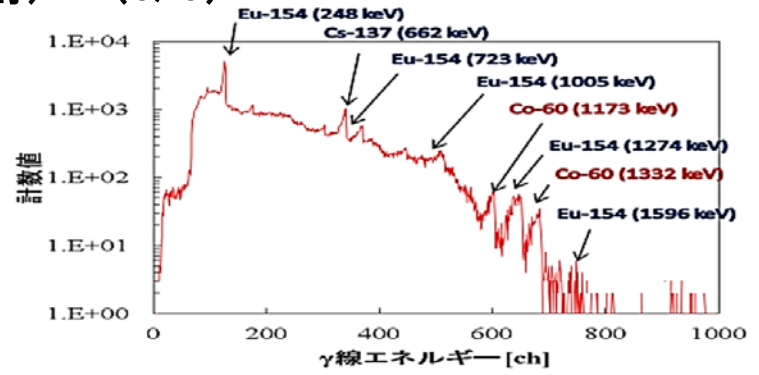


図2 標準線源を用いたCo-60, Eu-125及びCs-137の弁別性確認結果

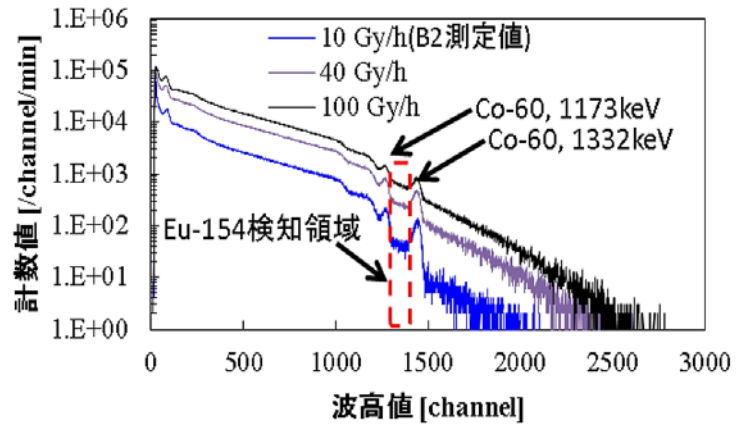


図3 Co-60高線量照射によるCo-60とEu-154の弁別性予測

判定基準 (ニーズ元要求)	要素試験結果	
	測定限界	判定結果
燃料デブリの判定	Eu-154/Co-60比 > 0.2 検出限界0.07cpm	ウラン濃度2%を含む燃料デブリを検知可※)

※低燃焼度燃料のEu-125/全ウラン比から求めたEu-125の検出限界に対応するウラン濃度。高燃焼度燃焼の場合は、低燃焼度燃料よりEu-125/全ウラン比が大きくなるため、低いウラン濃度から検知できることになる)

- ・計測技術の測定限界を確認し、ウラン濃度2%を含む燃料デブリを検知できる見通しを確認した。
- ・遮蔽付CdTe半導体検出器の耐放射線性(10kGy)と分極作用が生じない連続測定時間(10分)等、現地実証時の運用に係る情報を取得した。

4.7 実施事項・成果 - 2号機アクセスルートの構築 -

(1) ルート構築の概要

2号機において、X-6ペネからPCV内へ調査装置がアクセスするルートを構築するために、PCVバウンダリを確保しながら遠隔でX-6ペネのハッチを開放する。

(2) 本事業での実施範囲及び進捗状況

H29年度はハッチ開放に係る装置のプロトタイプ機を製作し、各装置の単体機能試験を実施した。今後、各装置を組み合わせ、機能試験を実施する。

隔離部屋設置

ハッチ開放装置搬入

ハッチ開放

隔離部屋撤去



ハッチ隔離部屋+気密扉

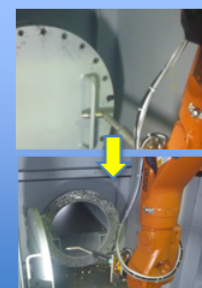
【機能】
ハッチ開放時にバウンダリを構成

【確認結果】

- 現場を想定した搬入/組立/設置可能なことを確認
- 耐圧/漏えい性能を確認



ハッチ開放装置



ハッチ開放作業



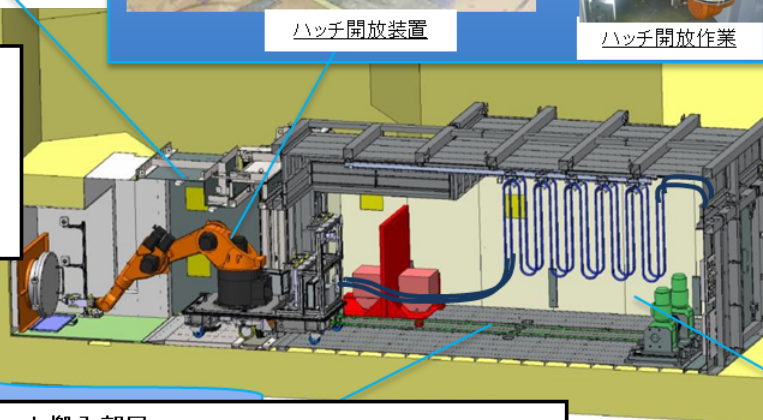
フランジ面清掃

ハッチ開放装置 (ロボット)

【機能】遠隔でX-6ペネハッチを開放

【確認結果】

- 隔離部屋に搬送/設置可能なことを確認
- ハッチ開放の動作 (ボルト撤去、ハッチ開放、フランジ面清掃) が可能なことを確認



ロボット搬入部屋

【機能】

ハッチ開放時にバウンダリを構成

【確認結果】

- 現場を想定した搬入/組立/設置可能なことを確認
- 耐圧/漏えい性能を確認

救援用ワイヤーリール

【機能】

ハッチ開放装置が故障した際に強制回収

【確認結果】

- ロボットをワイヤにより回収可能なことを確認



4.8 実施事項・成果 - 1号機アクセスルートの構築 - (1/2)

【本事業の成果】 X-2ペネからのPCV内部アクセスルート構築に係る概念設計を行い、現場調査と要素試験で技術的見通しを確認し、基本計画を立案した。

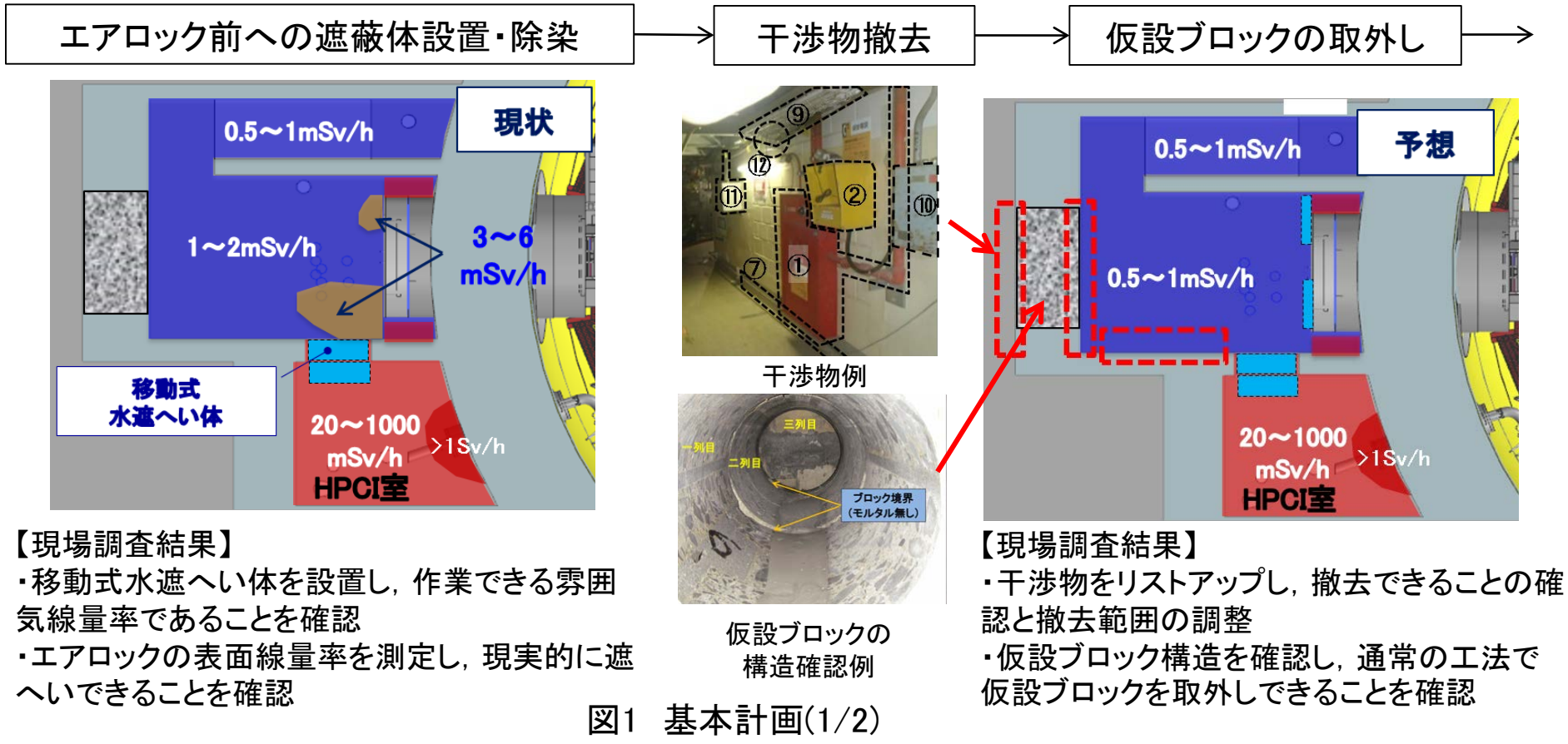


図1 基本計画(1/2)

現場調査により、干渉物撤去、線量低減などを含むエリア整備に係る技術的見通しを確認した。

4.8 実施事項・成果 - 1号機アクセスルートの構築 - (2/2)

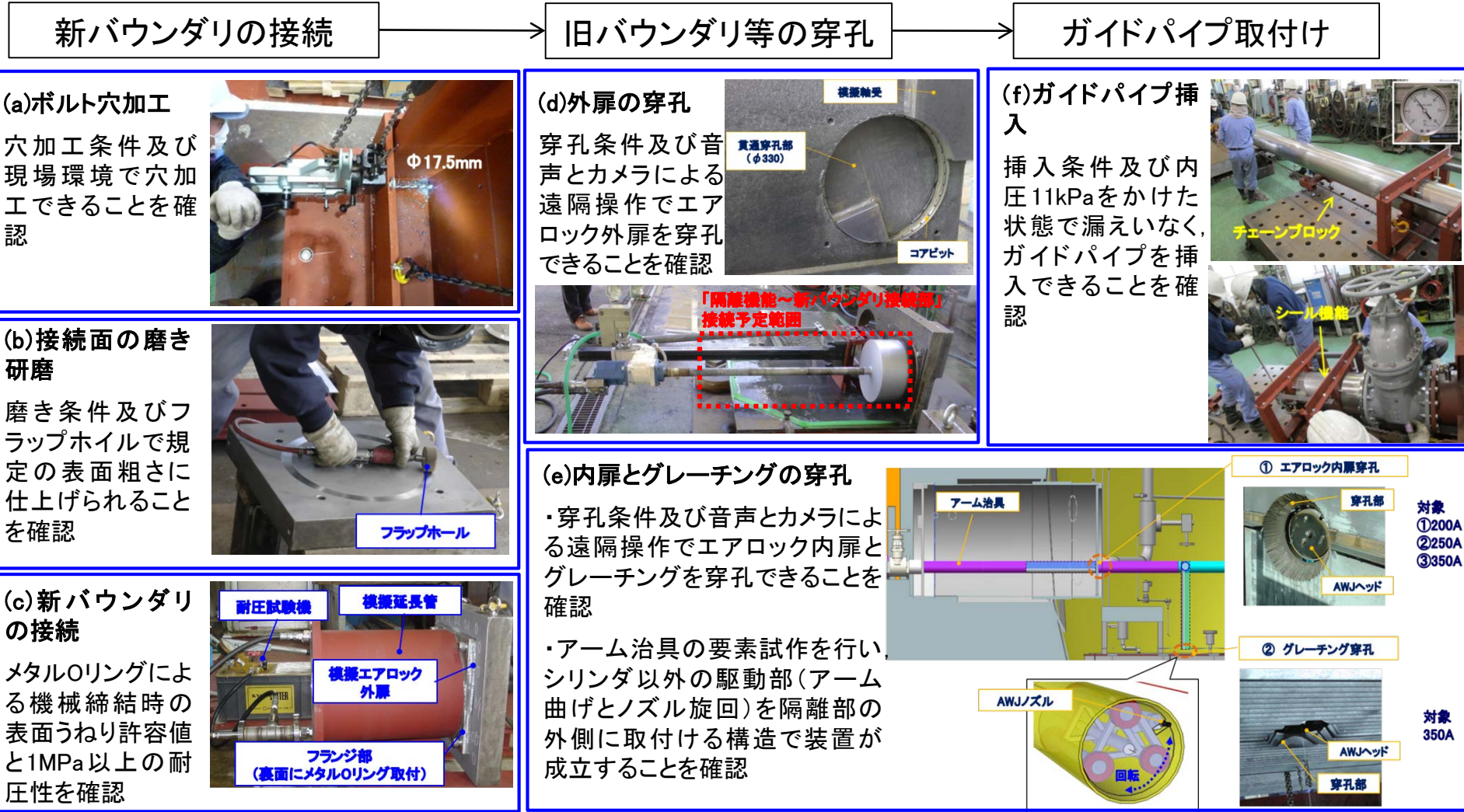


図1 基本計画(2/2)

要素試験により、新バウンダリ～ガイドパイプ取付けに係る工法と装置類の技術的見通しを確認した。

5. まとめと今後の対応

(1) まとめ

特定部位へのアクセス・調査装置及びシステムの開発，2号機と3号機のPCV内部調査の現地実証の実施，さらに，昨年度実施した調査計画，開発計画の更新に基づき，PCV内部詳細調査に関する概念設計と要素試験を実施した。具体的には，下記の成果を得た。

- 2号機調査では，X-6ペネからPCV内へ進入し，ペDESTAL内の映像及び雰囲気線量率/温度データを取得した。
- 3号機調査では，X-53ペネからPCV内へ進入し，水中でCRDルール上を移動してペDESTALまでアクセスし，ペDESTAL内の損傷状況を確認した。
- PCV内部詳細調査の候補となるアクセス装置と計測技術について概念設計と要素試験を行い，技術的成立の見通しを確認した。
- 2号機アクセスルート構築では，X-6ペネのハッチ開放に係る装置のプロトタイプ機を製作し，単体機能試験を実施した。
- 1号機アクセスルート構築では，X-2ペネからのPCV内部アクセスルート構築の技術的成立の見通しを概念設計と要素試験で確認し，基本計画を立案した。

(2) 今後の対応

PCV内部の更なる情報に向けて本事業で立案したニーズに対応するためのPCV内部へのアクセスルート構築，アクセス装置，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(単体・機能試験)を行う。