

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詳細調査技術の開発」

中間報告

平成30年4月20日

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, 他研究との関連, 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 - 調査計画・開発計画の策定 -
 - 4.2 実施事項・成果 - X-6ペネからのPCV内アクセスルート構築 -
 - 4.3 実施事項・成果 - X-2ペネからのPCV内アクセスルート構築 -
 - 4.4 実施事項・成果 - アクセス・調査装置 -
 - 4.5 実施事項・成果 - 要素技術の適用性検証 -
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

【背景】

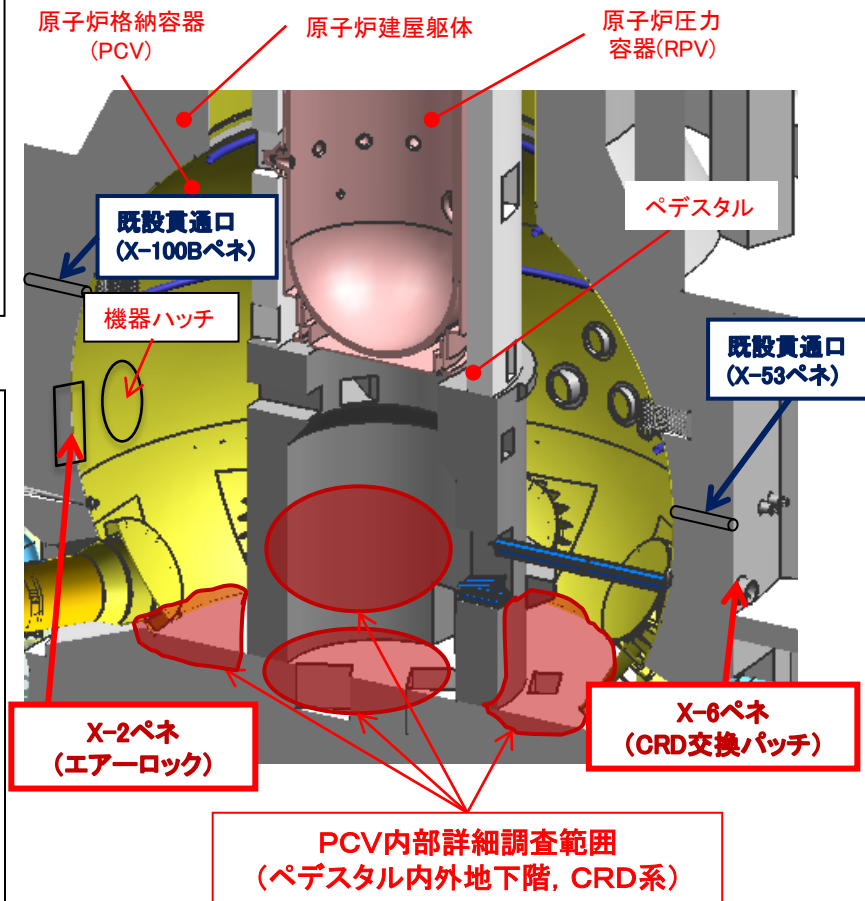
PCV内部調査は、国プロでB1/B2調査(1号機), A1/A2/A2' 調査(2号機)及び小型ROVによる3号機調査がこれまで実施された。これらの調査で、貴重な情報が得られている反面、調査内容に既設貫通口の大きさの制約を受けている。

【目標】

上記の調査に続く「PCV内部詳細調査(以下、詳細調査)」では、デブリ取出しに向けたニーズに応えるため、ニーズの再調査/分析に始まり、それを実現するための調査および関連技術の確立を目標とする。

なお、詳細調査ではデブリ取出しに向けて差し迫っている「デブリ取出し工法確定」や「取出し装置の詳細設計」に向けた情報の取得を優先に開発を行う。

□ PCV内部詳細調査のPCV内アクセスルート □ 従来のPCV内部調査のPCV内アクセスルート



【PCV断面図と調査対象部位の概要】

1.2 本研究の成果の反映先と寄与

平成28～29年度 原子炉格納容器内部調査技術の開発

平成29～30※年度 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発

(本事業)

調査計画・開発計画
の策定

アクセス・調査装置
の開発

要素技術の
適用性検証

※平成28年度補正予算で継続

現場実証

デブリ取出しの工法・装置等の詳細設計に係る各研究（デブリ取出し，耐震，補修，臨界管理など）

デブリサンプリング
に係る研究

「デブリ取出し工法確定」，「燃料デブリ取出し装置の詳細設計」に向けた情報など

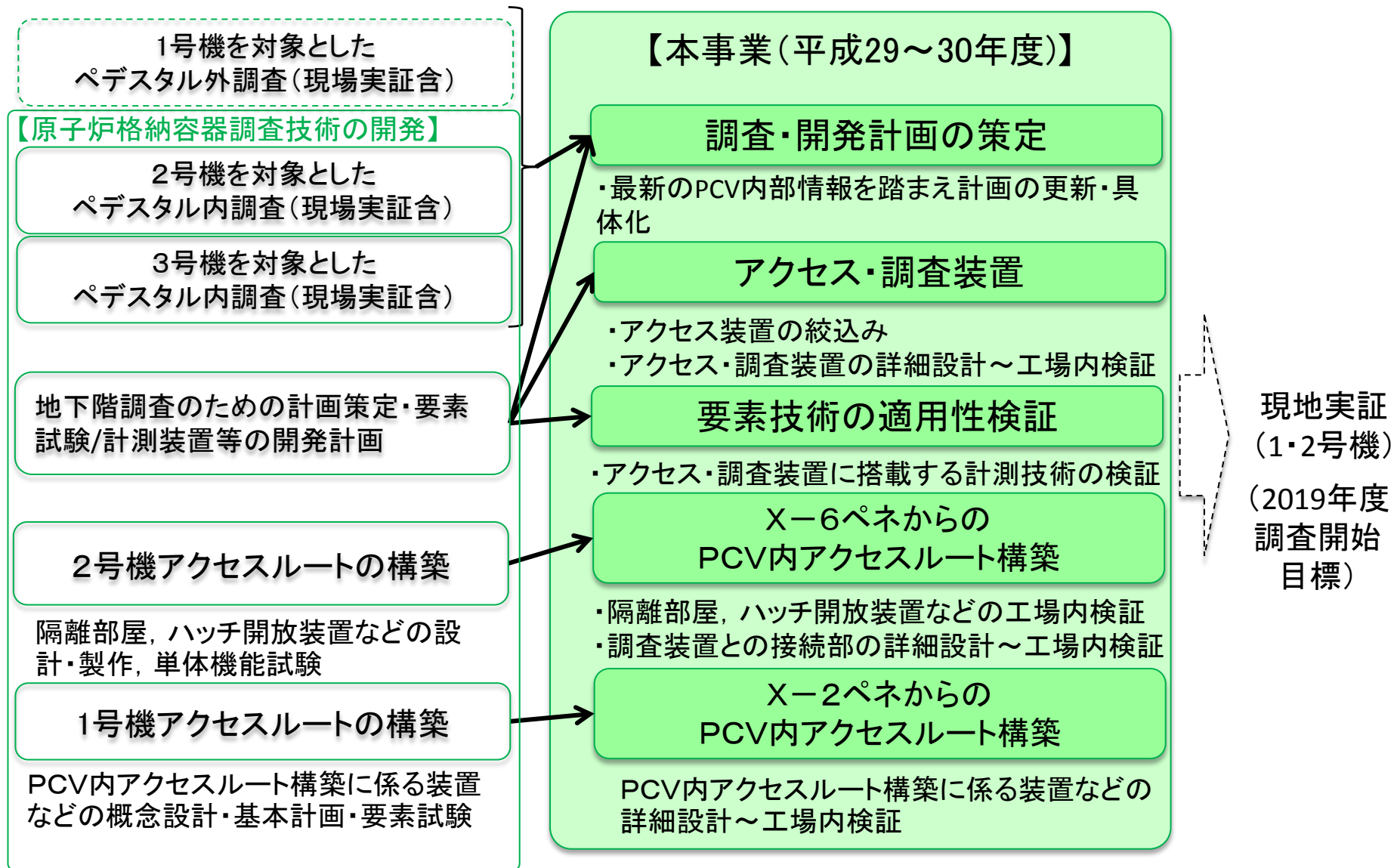
サンプリング計画に必要な情報など

2. 実施項目とその関連, 他研究との関連

2.1 本研究の実施項目

実施項目	平成29年度実施範囲	本資料の 項番
開発計画・調査計画の策定	最新の現場状況を踏まえ, 調査計画を継続的に見直し, 具体化・更新	4.1
X-6ペネからのPCV内アクセス ルート構築	PCV内アクセスルート構築に係る装置等の実機プロトタイプ の設計, 製作及び工場内検証試験の一部	4.2
X-2ペネからのPCV内アクセス ルート構築	PCV内アクセスルート構築に係る装置等の実機プロトタイプ の設計, 製作及び工場内検証試験の一部	4.3
アクセス・調査装置	アクセス・調査装置の絞り込み, アクセス・調査装置の実機プロトタイプの設計, 製作と工場 内検証試験の一部	4.4
要素技術の適用性検証	アクセス・調査装置に搭載する計測技術の検証試験の 一部	4.5

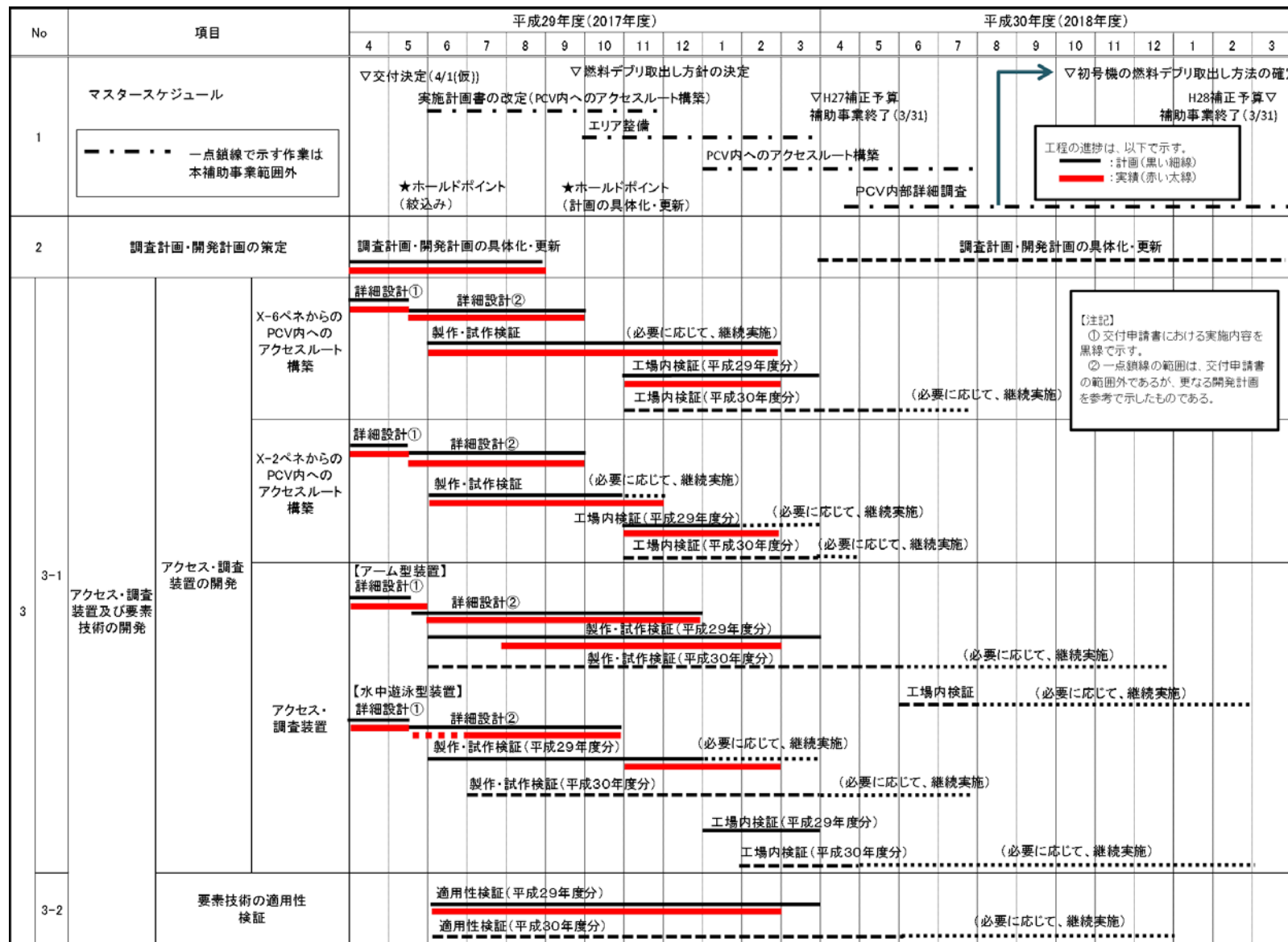
2.2 実施項目間、他研究の関係性



2.3 目標

実施内容		目標達成指標(平成29年～30年度)
調査計画・開発計画の策定	1・2号機	最新の現場状況を踏まえ、調査計画・開発計画の見直しを行い、具体化・更新していること
	3号機	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になっていること
X-6ペネからPCV内アクセスルート構築	ハッチ開放	PCV内アクセスルート構築に係る装置等の実機プロトタイプ的设计が終了し、製作と工場内検証試験の一部が終了していること
	新バウンダリ接続	延長管の成立性評価が終了していること
X-2ペネからのPCV内アクセスルート構築		PCV内アクセスルート構築のうち、調査装置との接続部に係る装置等の実機プロトタイプ的设计が終了し、製作と工場内検証試験の一部が終了していること
アクセス・調査装置		アクセス・調査装置の絞り込み、実機プロトタイプ的设计が終了し、製作と工場内検証試験の一部が終了していること
要素技術の適用性検証		アクセス・調査装置に搭載する計測技術の検証試験の一部が終了していること
気中レーザ光切断計測装置の生産中止品の代替品開発		代替ミラーの検証が完了していること 代替カメラの検証のうち、候補の絞り込みが終了していること
モックアップ試験計画		アーム型アクセス装置のモックアップ試験設備の概略検討が完了していること

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)調査計画・開発計画の策定

2)アクセス・調査装置及び要素技術の開発

a)アクセス・調査装置の開発
・X-2ペネからのPCV内アクセスルート構築

・アクセス・調査装置

b)要素技術の適合性検証

東芝エネルギーシステムズ 株式会社

1)調査計画・開発計画の策定

2)アクセス・調査装置及び要素技術の開発

a)アクセス・調査装置の開発
・X-6ペネからのPCV内アクセスルート構築

三菱重工業株式会社

1)調査計画・開発計画の策定

2)アクセス・調査装置及び要素技術の開発

a)アクセス・調査装置の開発
・X-6ペネからのPCV内アクセスルート構築

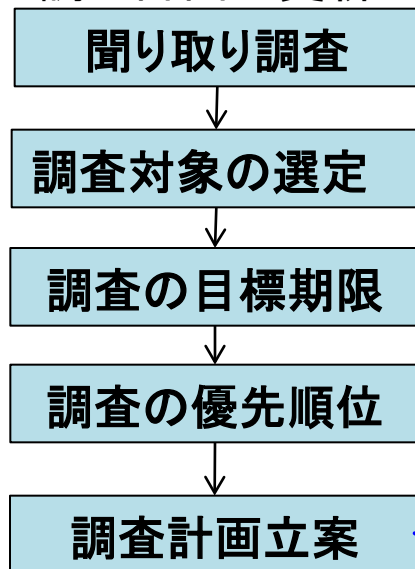
・アクセス・調査装置

b)要素技術の適合性検証

4. 実施内容

4.1 実施事項・成果 — 調査計画・開発計画の策定(1/5) —

－ 調査計画の更新に向けたアプローチ －



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, 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		調査項目の成込み結果						号機別調査項目		
		デブリ 取出	炉内 状況	貯蔵 計画	廃炉 管理	補修	東電 取	1号機	2号機	3号機
ベデスタル内 外のデブリの 分布	1-2	ベデスタル外へ流出した燃料デブリ分布 (高さ、広がり)(境界)	○	△	○	○	○	○	—	—
	1-4	ベデスタル内の燃料デブリ分布(高さ、広 がり)	○	△	○	○	○	○	○	○
	1-5(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積層率					△	—	—	—
シェルアタック の有無	2-2	地下階の燃料デブリの冷却状態(気中露 出部の有無)				○ 2分間		—	○	—
	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	ベデスタル床面の浸食深さ		△				—	—	—
	3-2	ベデスタル壁面の浸食深さ	○	△	○			○	○	○
	3-4	ベデスタルの内外壁の割れ・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、冷却水の漏下)					○	○	○	○
	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内装置の劣化状態						—	—	—

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、または工法決定、以降に取得すれば良い情報

平成28年度実施済

平成29年度実施
(本事業)

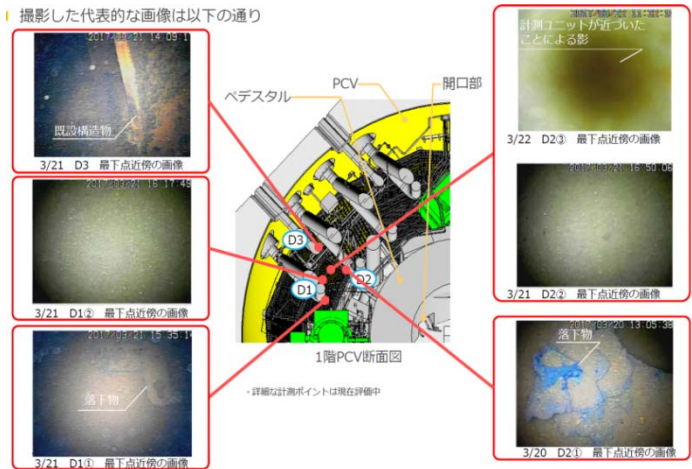
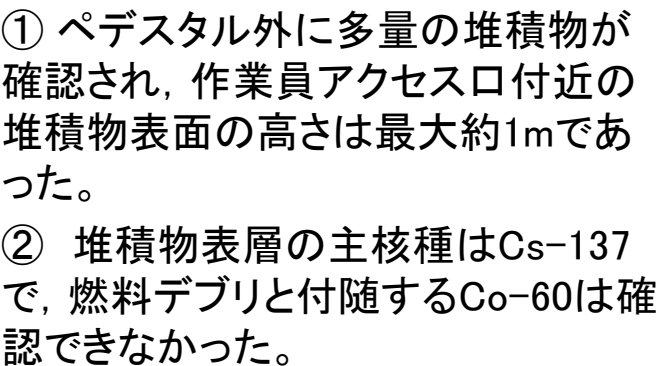
調査計画更新

1号機(B2), 2号機(A2,A2D), 3号機の調査結果を踏まえて計画更新

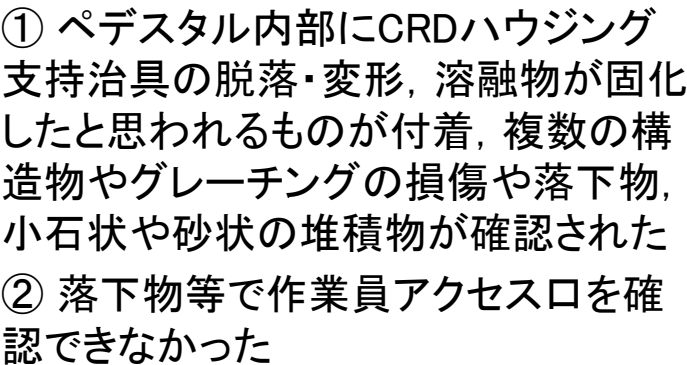
【進捗状況】損傷の大きいと推定される1号機と3号機の最新のPCV内部調査結果等を踏まえ、多量の堆積物と落下物の存在を考慮した燃料デブリ取り出しまでの調査の進め方について検討し、1号機の詳細調査の調査計画を更新した

(a) 損傷が大きいと推定される1号機と3号機のPCV内部の最新情報

1号機PCV内部調査(B2)結果



3号機PCV内部調査結果

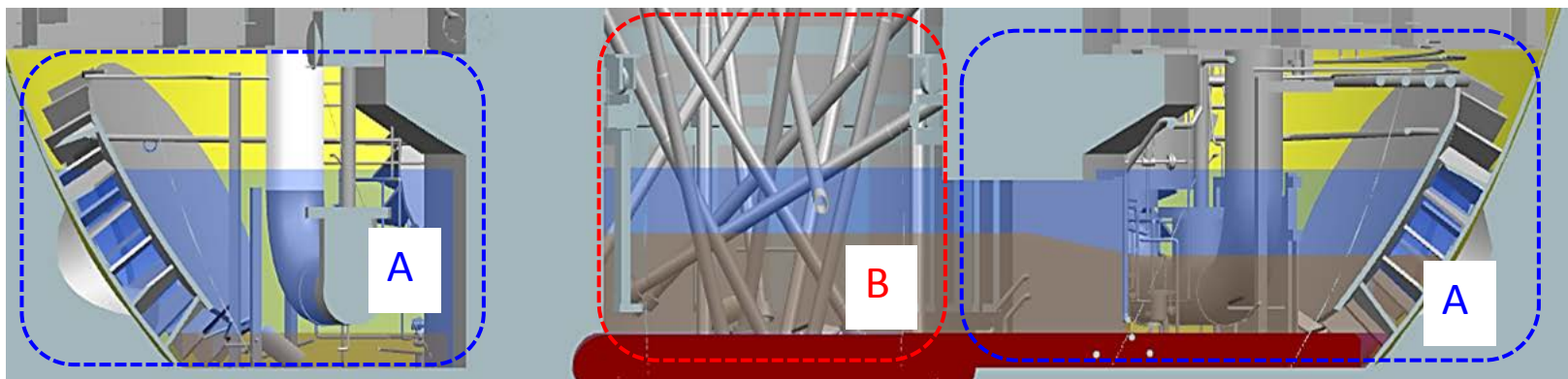


4.1 実施事項・成果 — 調査計画・開発計画の策定(3/5) —

1号機の調査計画の具体化・更新(2/3)

(b) 1号機PCV内部詳細調査(現場実証)の概要

1号機は多量の堆積物の存在が確認され、CRDハウジングや炉内機器の脱落の可能性があるため、燃料デブリ取出し時(又は前)に堆積物回収と落下物撤去を行う必要がある。1号機のPCV内部詳細調査の現場実証においては、堆積物回収手段・設備の検討と堆積物回収、落下物解体・撤去などの工事計画に係る情報などの情報収集を目指す



	優先すべき取得情報	調査方法
ペDESTAL外～ 作業員アクセス口 (図中のA)	堆積物回収手段・設備の検討に係る情報(堆積物の量、由来など), 堆積物回収、落下物解体・撤去などの計画に係る情報(堆積物下の状況、燃料デブリ広がりなど)	・目視 ・計測※ ・堆積物サンプリング
ペDESTAL内 (図中のB)	堆積物回収、落下物解体・撤去などの計画に係る情報(ペDESTAL内部の作業スペースとCRDハウジングの脱落状況に係る情報)	・目視 (計測用装置がペDESTAL内に進入できる場合は、計測も実施)

※: 堆積物表面の3次元マッピング、堆積物の厚さ測定、堆積物内・下の燃料デブリ検知

4.1 実施事項・成果 — 調査計画・開発計画の策定(4/5) — 1号機の調査計画の具体化・更新(3/3)

(c) 1号機PCV内部詳細調査から燃料デブリ取り出しまでの流れ

堆積物回収前の調査

本事業範囲

- ・PCV内部の目視情報
- ・堆積物上方からの計測情報
- ・堆積物表層サンプリング(一部除去)

本事業後に実施要否検討

- ・堆積物の局所除去過程で得られる情報
- ・堆積物下の目視情報(局所)

堆積物除去時の運用
【連携する他PJで検討中】

【堆積物回収手段・設備の検討に係る情報】

- ・堆積物の燃料デブリの含有状況は？
- ・堆積物の分布・量は？
- ・堆積物の発生源は？増加するか？
- ・堆積物回収方法は？吸引法？
- ・堆積物と水との分離方法は？ など

【堆積物回収、落下物解体・撤去、燃料デブリサンプリングなどの計画に係る情報】

- ・堆積物下の燃料デブリの広がりは？
- ・D/W内の障害物は？
- ・ペデスタル開口の状態は？
- ・ペデスタル内部の堆積物と落下物の状態、作業空間は？ など

【その他の情報】

- ・ペデスタル壁面の割れ・剥離は？
- ・ベント管側への堆積物侵入は？など

堆積物回収時又は後の調査

- ・堆積物下の目視情報(広範囲)
- ・ペデスタル健全性に係る計測情報

【デブリ取出し詳細設計等に係る情報(当初ニーズ)】

- ・燃料デブリの形態
- ・燃料デブリの広がり(堆積物下の状況)
- ・ペデスタル健全性
- ・CRDハウジングの脱落

堆積物回収前の調査

堆積物回収、落下物撤去

堆積物回収後の調査

燃料デブリサンプリング
燃料デブリ取出し

現在

既設
適用なし

安全系システム・
臨界管理

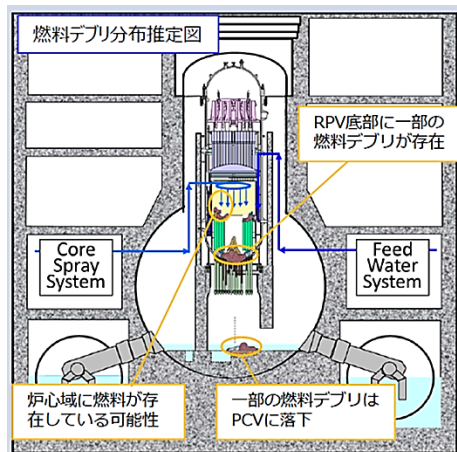
デブリ
取出し時

4.1 実施事項・成果 — 調査計画・開発計画の策定(5/5) —

2号機の調査計画の具体化・更新

- A2、A2' 調査ではペDESTAL内側にグレーチング脱落やデブリ堆積が確認された。2号機の最新状況を踏まえ、詳細調査ニーズを再整理し、アーム型アクセス装置およびセンサの開発計画を更新中。
- 現状のアーム型アクセス装置設計でアーム先端をペDESTAL底部に下降させるルート構築に課題がある。またペDESTAL底部の作業員開口から外側へのデブリ拡散がないかアクセス性検討が必要。
- CRD系(RPV底部)の損傷状況を観察するワイパー付きカメラ等のセンサ開発も必要と判断される。また堆積デブリの硬さなどを調査できないか検討が必要。

2号機



CRD系の損傷状況を観察するワイパー付きカメラ等が必要



アーム型アクセス装置の下降に適したルート構築が必要



作業員開口から外側へのデブリ拡散有無の調査方法の検討が必要



堆積物の溶着有無調査の方法検討が必要

ペDESTAL底部

2号機PCV内部調査(A2)結果

- ①プラットフォームのグレーチング落下・変形状況や、複数開口部を確認
- ②底部に堆積物、CRD交換機等に付着物を確認
- ③底部作業員開口付近に堆積物を確認

4.2 実施事項・成果 — X-6ペネからのPCV内アクセスルート構築(1/3) —

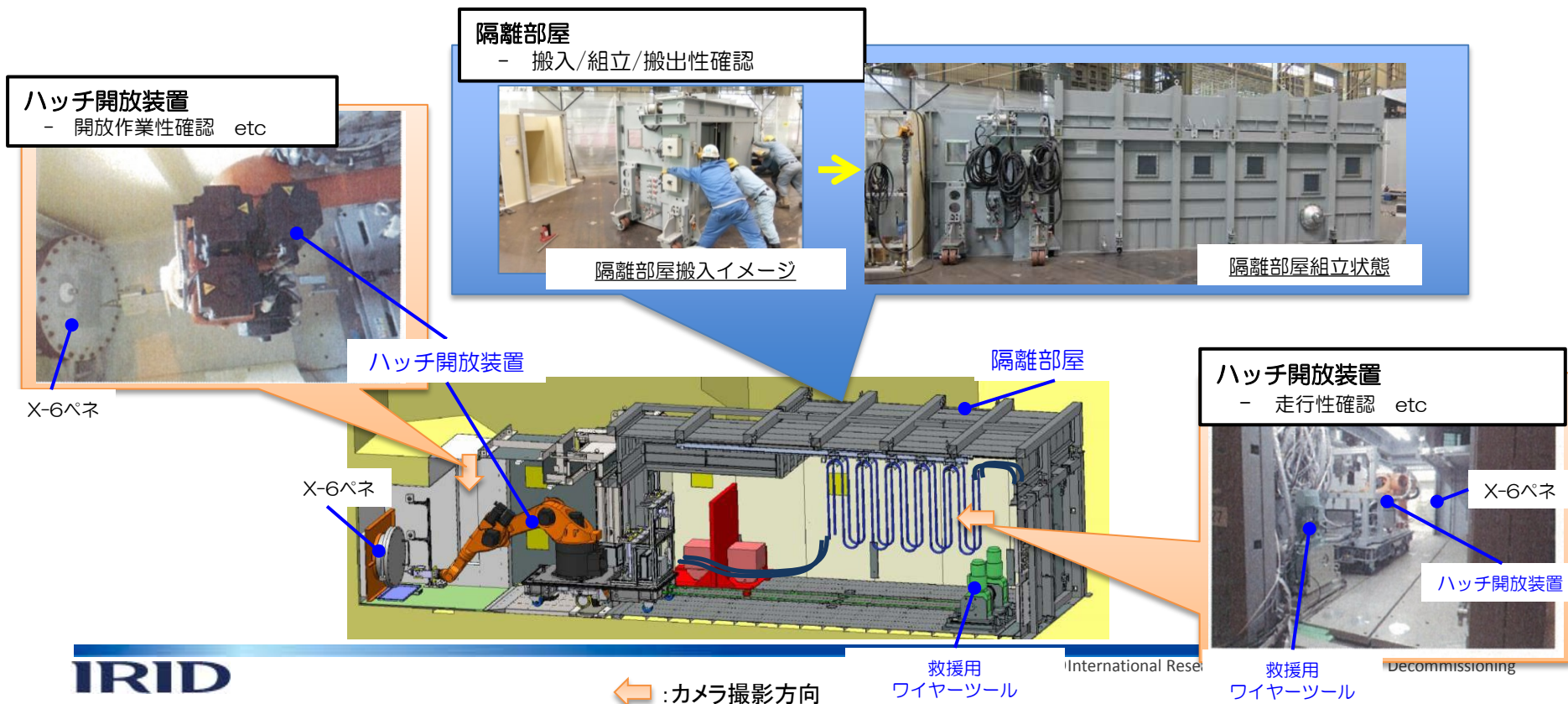
(1) ハッチ開放

2号機において、X-6ペネトレーション(以降、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。

【進捗状況】本事業では、平成29年度「原子炉格納容器内部調査技術の開発」において単体機能試験を実施した隔離部屋、ハッチ開放装置などのプロトタイプ機を用いて、組合せ試験の一部を実施した。

① 隔離部屋の搬入/組立/搬出性確認(青色吹出し部)

② 組立てた隔離部屋内のハッチ開放装置等の動作確認試験(橙色吹き出し部)



4.2 実施事項・成果 — X-6ペネからのPCV内アクセスルート構築(2/3) —

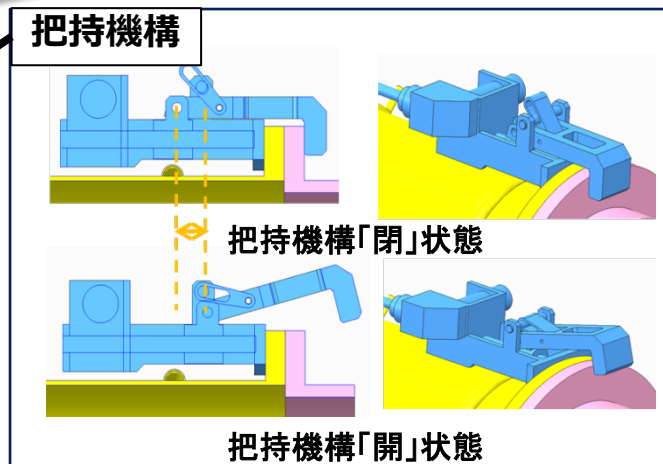
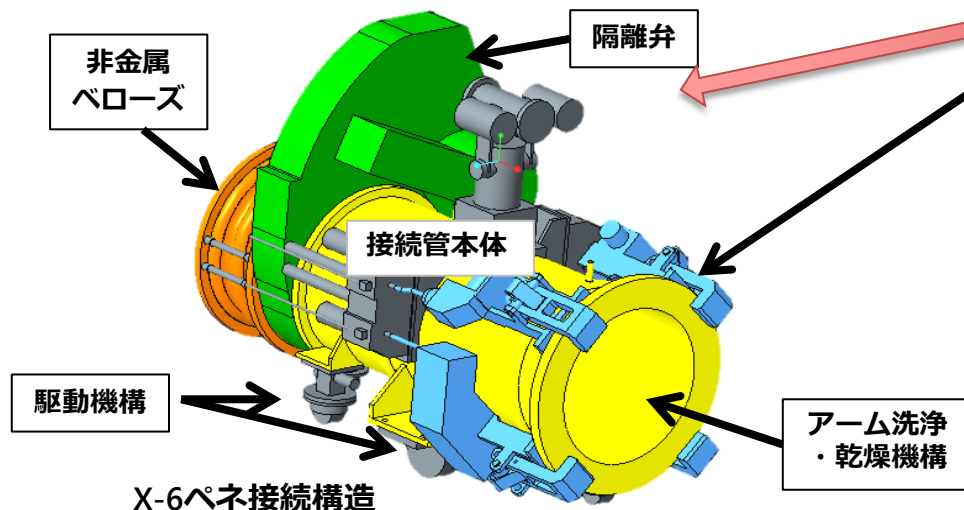
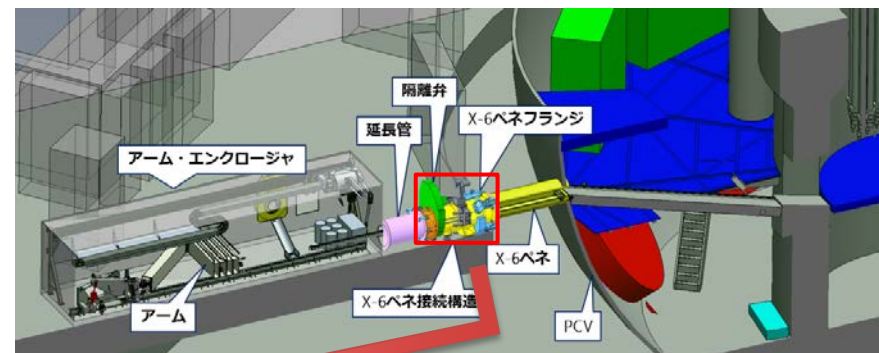
(2) 新バウンダリ接続(1/2)

(a) X-6ペネ接続構造

【進捗状況】

- X-6ペネ接続構造として、PCV内部調査プロジェクト2016年度検討成果である把持機構を適用した基本構造を策定した。
- 短期間のバウンダリ維持に必要な仕様を策定した。
- 把持機構の強度評価、耐震評価を実施し、強度、把持力が十分であることを確認した。
(次年度に動作試験を実施予定)
- 大口径(直径550mm)の隔離弁として、複数の形式から選定した。
- 搬入・据付ステップ毎の作業内容を策定し被曝評価に基づいた遮蔽などの検討を実施した。

工場 溶接部	耐震	クラスB
	設計	JSME準用 クラス3相当
	溶接施工法 ・溶接・検査	JIS



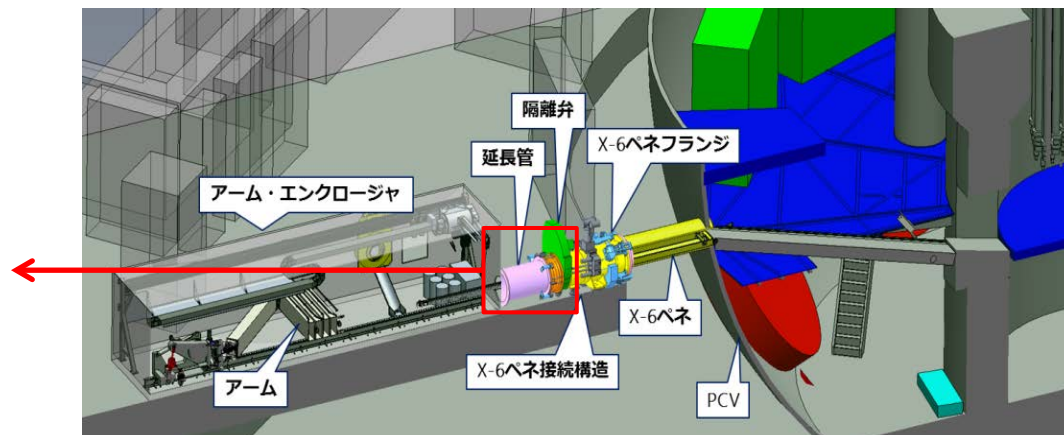
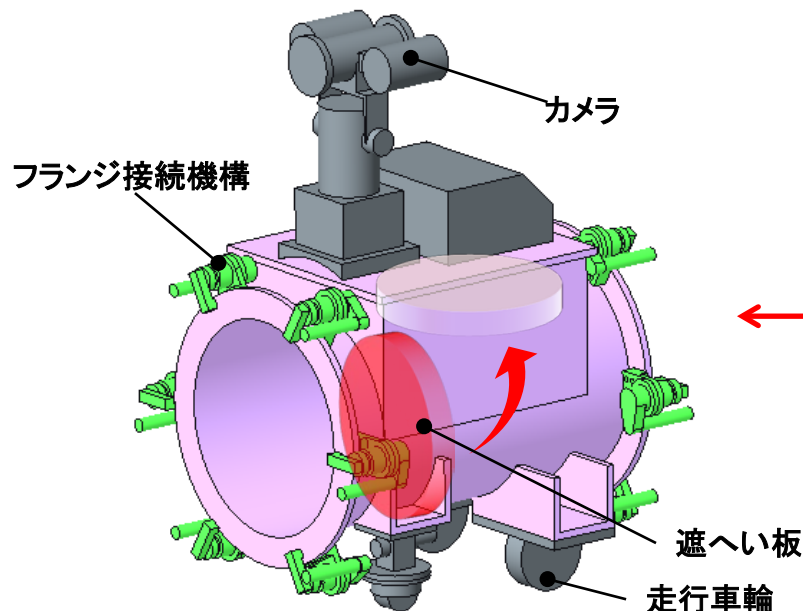
4.2 実施事項・成果 — X-6ペネからのPCV内アクセスルート構築(3/3) —

(2)新バウンダリ接続(2/2)

(b) 延長管の検討

【進捗状況】

- 据付性向上の観点でアーム型アクセス装置へ延長管を追加する案が新たに抽出された。主に、X-6ペネからの直接ガンマ線の遮蔽対策として、延長管に遮蔽機能を追加することで作業員被ばく低減が期待できる。
- 延長管の機能要求(バウンダリ、遮へい、走行機能等)を設定し、構造検討、成立性評価を実施した。
- 設定した構造概念は機能要求を概ね満足することができた。今後、更なる構造の具体化を図っていく必要がある。

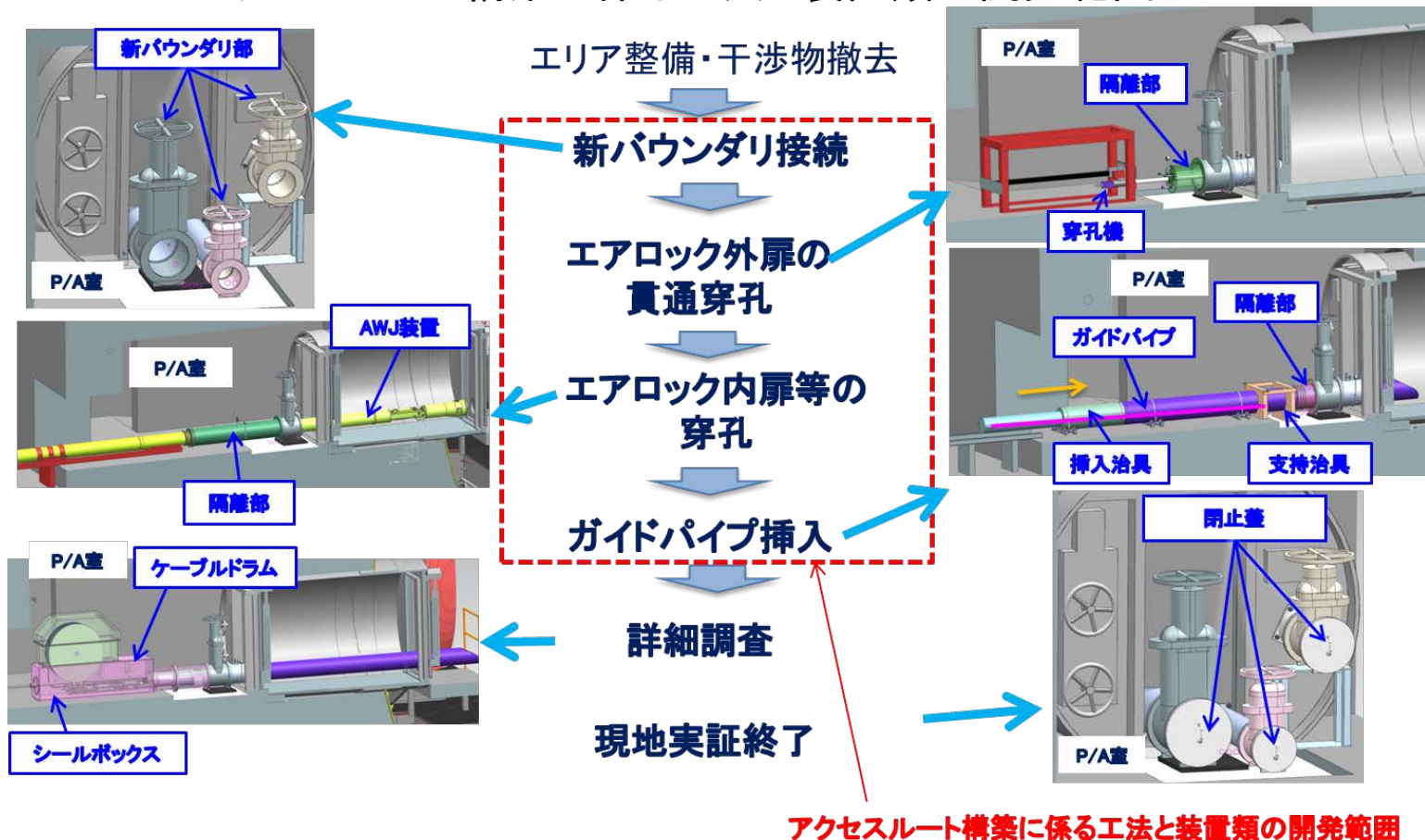


4.3 実施事項・成果 — X-2ペネからのPCV内アクセスルート構築(1/3) —

【進捗状況】

PCV内部と隔離した状態での新バウンダリ部からガイドパイプ取付までの工法の検討, 装置類の詳細設計と試作を実施し, 工場内検証を開始した

(a) X-2ペネからのアクセスルート構築に係る工法と装置類の開発範囲



4.3 実施事項・成果 — X-2ペネからのPCV内アクセスルート構築(2/3) —

(b) X-2ペネからのアクセスルート構築工法の工場内検証の状況(1/2)

工場内検証では、1号機を対象にX-2ペネからPCV内地下階へのアクセスルートを構築するための装置類を用いて、施工条件の検証、工法(装置類と施工要領)と各作業ステップの現場作業の確認を実施した

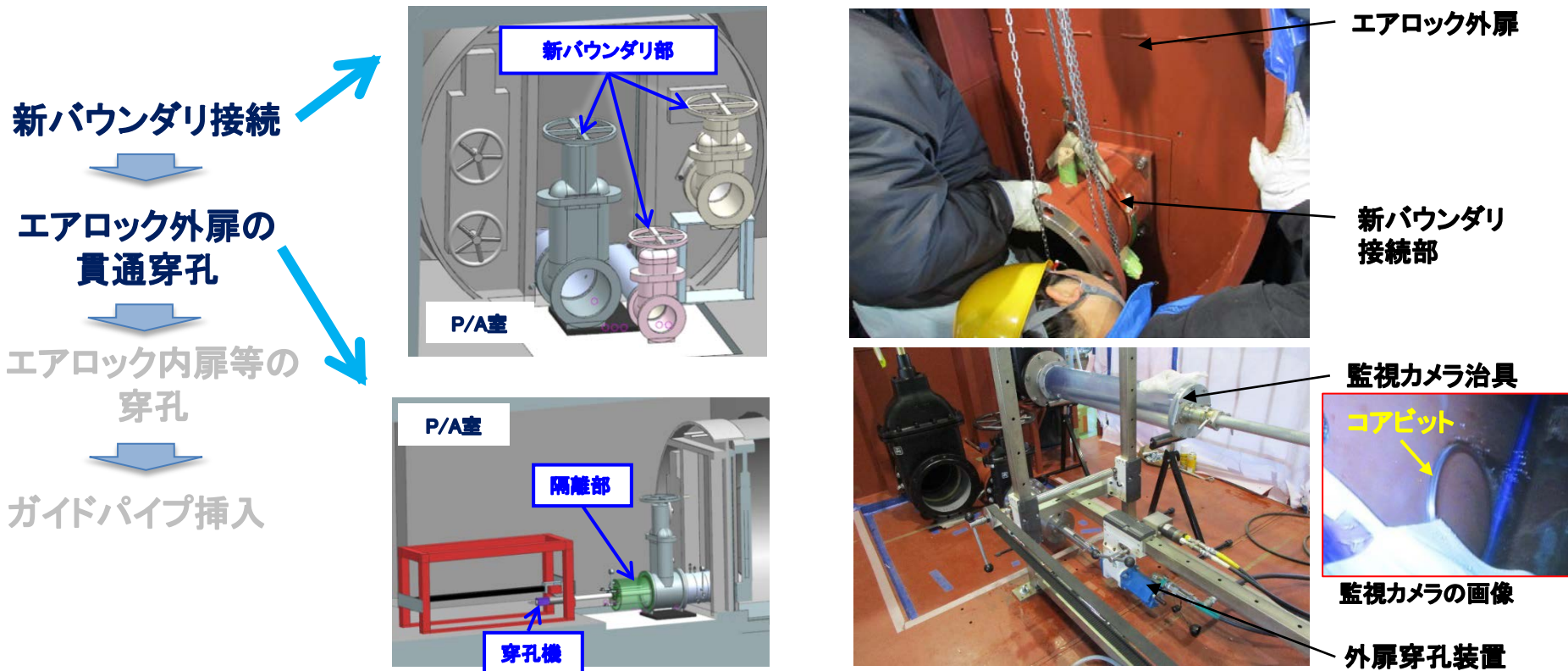


図4.3-1(1/2) アクセスルート構築に係る工場内検証試験の状況

4.3 実施事項・成果 — X-2ペネからのPCV内アクセスルート構築(3/3) —

(b) X-2ペネからのアクセスルート構築工法の工場内検証の状況(2/2)

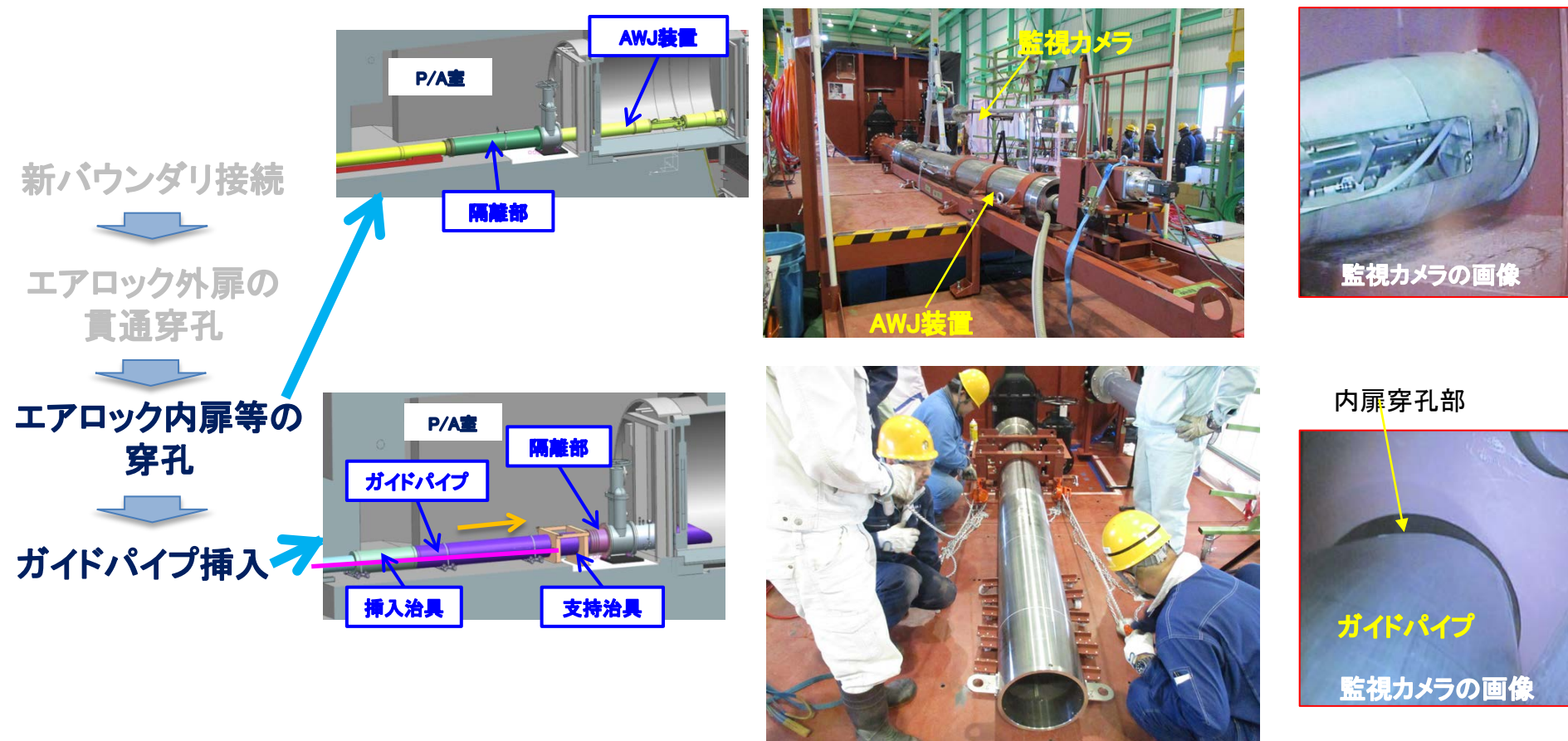
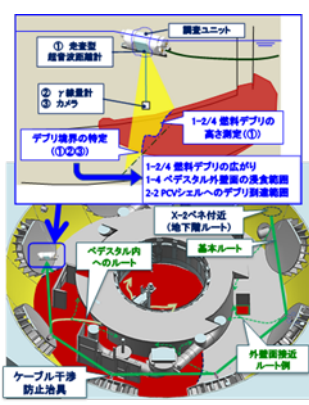


図4.3-1(2/2) アクセスルート構築に係る工場内検証試験の状況

施工条件の検証を行い、工法(装置類と施工要領)と各作業ステップの現場作業の課題抽出と対策検討を行った。次期国プロでモックアップ試験・トレーニングを実施し、現場実証を目指す。

4.4 実施事項・成果 — アクセス・調査装置(1/5) —

(1) アクセス・調査装置の絞込み

	アクセス・調査装置の絞り込み結果(HP1:5月23日)		調査計画の更新 (4.1参照)
	1号機	2号機	
アーム型 	×(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	○(X-6ペネ利用) 現段階でルート構築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 【本国プロの範囲】 現地実証に向けた工場検証試験まで実施	・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
水中遊泳型 	○(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 【本国プロの範囲】 現地実証に向けた工場検証試験まで実施	—	

4.4 実施事項・成果 — アクセス・調査装置(2/5) —

(2) アーム型装置(1/2)

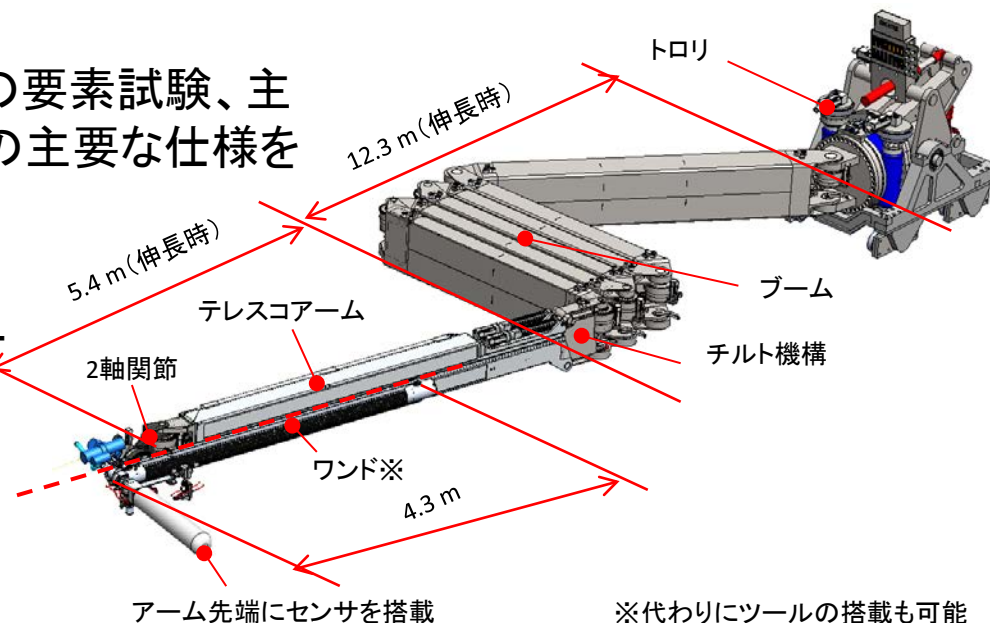
□ ブーム式アーム

【進捗状況】実機プロトタイプ的设计を終了し、製作を実施中

- 核融合炉JETに採用されている多関節ロボットアーム技術をもとに、基本構造を決定した。
- センサやツールを交換可能にすると共に、ケーブルをアーム外側にも敷設可能とする拡張性のあるインターフェイスを構築した。
- アーム部材の強度評価やケーブルの要素試験、主要部材の耐放射性試験を行い、アームの主要な仕様を決定した。
- 故障時にも、健全なモータのみの使用とワンドの切り離し、或いはウインチによる強制引抜きにより、エンクロージャ内に退避するレスキュー対策を立案した。

主要な仕様

- ✓ **搭載可能センサ** 10 kg以下
- ✓ **搭載工具** 切断・把持ツール、
ウォータージェット切断ツール
- ✓ **押付け力** 400 N
- ✓ **アーム長** 22 m
- ✓ **アクセス範囲** 全体で約70 %
- ✓ **位置決め精度** ± 100 mm
- ✓ **繰返し精度** ± 100 mm
- ✓ **累積線量** 1 MGy
- ✓ **付属設備** カメラ、照明



アーム先端にセンサを搭載

※代わりにツールの搭載も可能

4.4 実施事項・成果 — アクセス・調査装置 (3/5) —

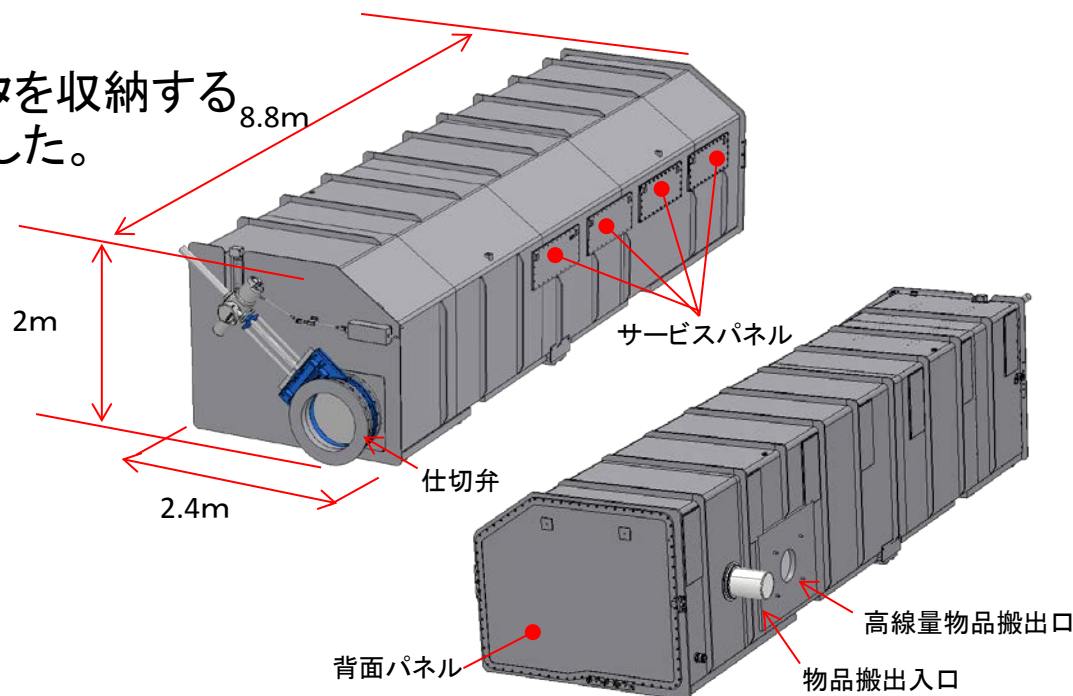
(2) アーム型装置 (2/2)

□ アームエンクロージャ

【進捗状況】実機プロトタイプ的设计を終了し、製作を実施中

- アームと一体での搬入、据え付けを考慮すると共に、干渉物を考慮して主要寸法を決定した。
- 気密性を確保するための構造設計を行い、その強度評価、耐震評価を実施した。
- アームや保守用双腕マニピュレータを収納するエンクロージャ内の配置設計を実施した。
- 使用済のセンサやツールの搬出入を考慮し、外部とのインターフェイスを整備した。
- エンクロージャの仕切弁設置など、運用も考慮した付帯設備の設計を実施した。

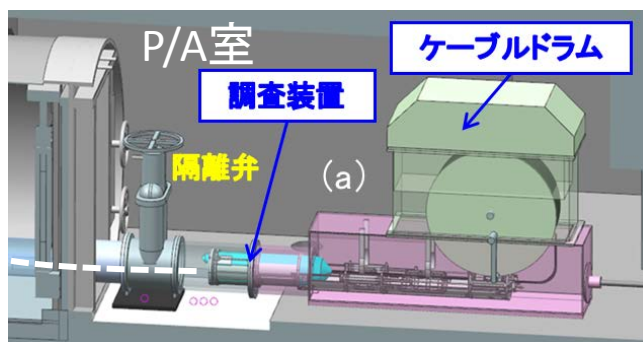
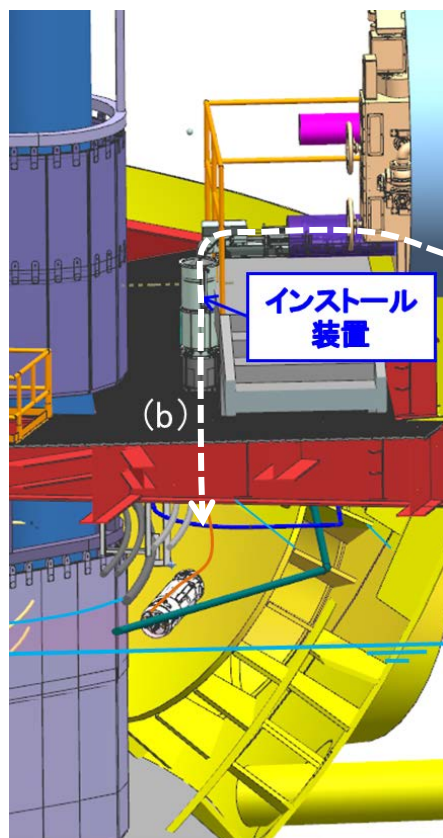
- ✓ **主要材質** ステンレス鋼
- ✓ **設計圧力** -5 ~ +10 kPaG (アーム収容時は負圧)
- ✓ **漏えい率** 0.05 vol %/h
- ✓ **外板** 厚さ10 mm、底板 厚さ25 mm
- ✓ **質量** 約14トン
- ✓ **付属設備** 保守用双腕マニピュレータ、仕切弁、カメラ、照明、線量計



4.4 実施事項・成果 ーアクセス・調査装置(4/5)ー

(3) 水中遊泳型装置(1/2)

【進捗状況】調査計画更新結果を踏まえ、X-2ペネから地下階に投下し、地下階の広範囲の移動と計測が可能な潜水機能付ボートのうち、今年度分の設計が完了し、設計検証の準備を開始した。また、インストール装置などの工場内検証(機能試験)を開始した。



(a) インストール準備

(b) 装置インストール

(c) ガイドリング取付又は調査

(d) 装置回収

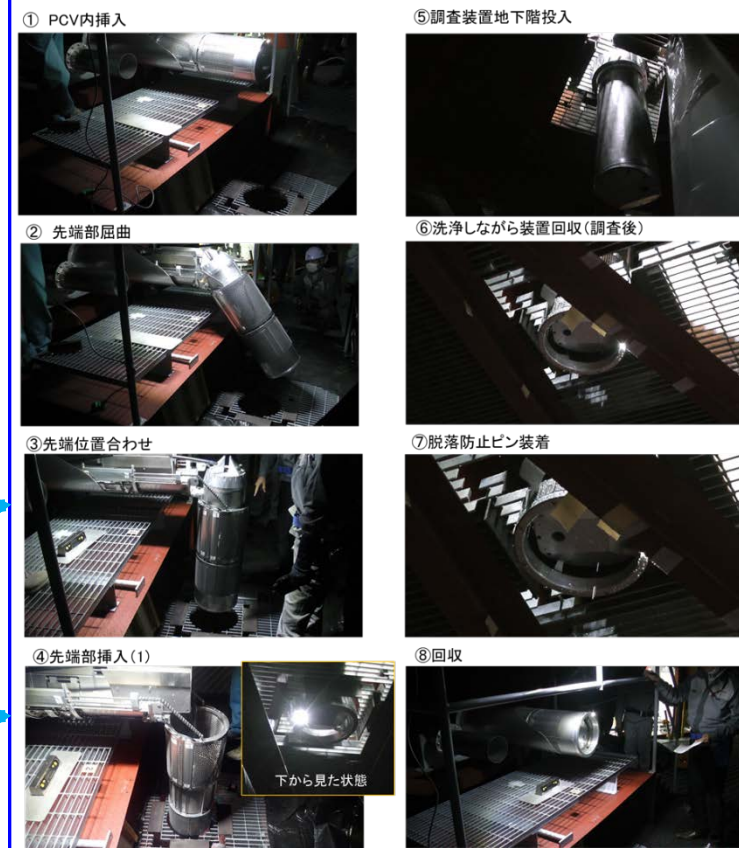


図4.4(3)-1 インストール装置の工場内検証試験の状況

4.4 実施事項・成果

— アクセス・調査装置 (5/5) —

(3) 水中遊泳型装置 (2/2)

(a) インストール準備



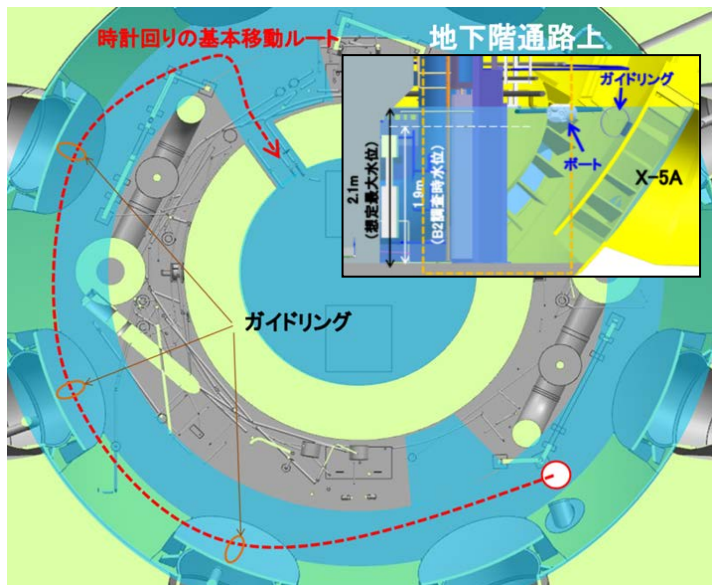
(b) 装置インストール



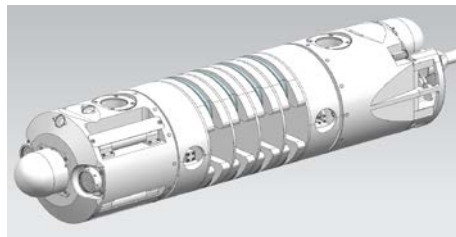
(c) ガイドリング取付又は調査



(d) 装置回収



(a) 地下階広範囲移動方法

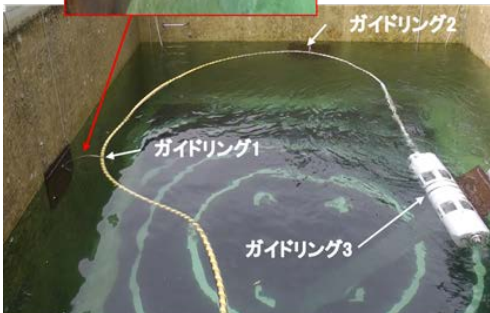


ガイドリング取付用ROV

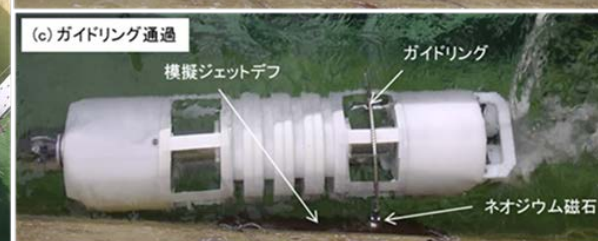
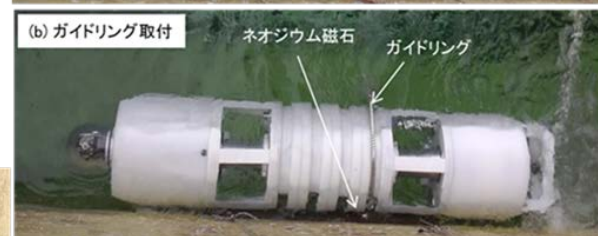
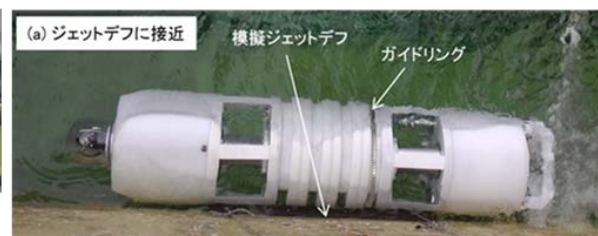
- 直径: $\phi 25\text{cm}$
- 長さ: 約1.1m
- 推力: 25N以上



(a) ガイドリング取付用ポート試作機



(b) ガイドリング取付試験の状況



(c) ガイドリング取付ステップ

(b) 地下階広範囲移動の確認

図4.4(3)-2 要素試作機による広範囲移動の確認状況

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(1/12) —

計測技術一覧

【進捗状況】調査計画の更新結果をもとに計測技術の一部を見直し、計測システムの実機プロトタイプ機を製作。平成30年度に適用性検証を実施予定。

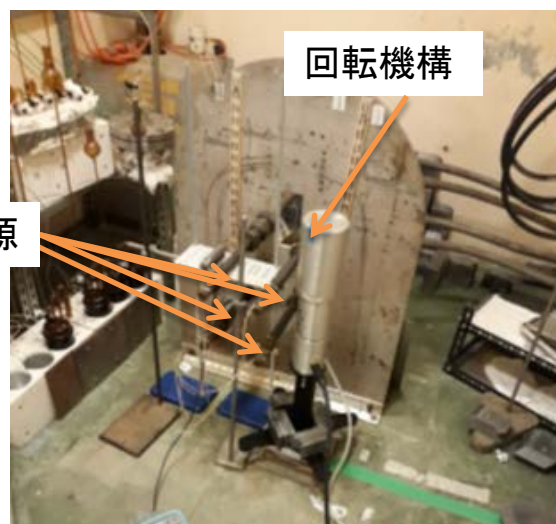
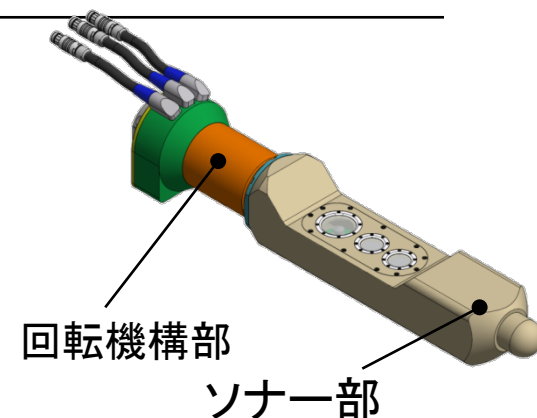
	計測技術(青字:適用性検証対象, 下線:当初計画からの変更)	計測目的 (下線:当初計画からの変更)	アクセス装置との 組合せ試験対象
形状・寸法 計測技術	超音波ソナー※	水中の燃料デブリ等の3Dマッピング	アーム型(2号機)
	走査型超音波距離計	燃料デブリ等の3Dマッピング→ <u>堆積物の3Dマッピング</u>	水中遊泳型(1号機)
	光切断法	気中の構造物等の3Dマッピング	アーム型(2号機)
	<u>高出力超音波センサ</u> (追加)	<u>堆積物の厚さ測定</u> (<u>堆積物下の物体確認</u>)	水中遊泳型(1号機)
	衝撃弾性波→ <u>低周波超音波センサ</u> (変更)	ペDESTAL壁面の残厚測定	—(1号機の堆積物回収後 調査にあわせて計測技術 のみ開発)
	<u>水鏡カメラ(開発休止)</u>	堆積物下の燃料デブリ形態観察	—(堆積物局所除去が必要 な場合, 開発再開予定)
放射線計 測技術	γカメラ	γ線量率分布(燃料デブリ分布の確認)	アーム型(2号機)
	CdTe半導体検出器→ <u>CdTe半導体検出器</u> <u>+B10検出器</u> (追加)	燃料デブリ判定 → <u>堆積物内・下の燃料デブリ判定</u>	水中遊泳型(1号機)

※:2号機の最新PCV内部調査(A2')の結果を踏まえ、検討中

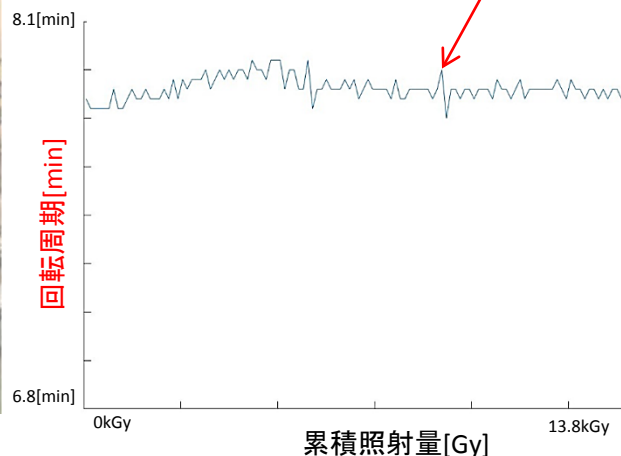
4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(2/12) —

(1) 形状・寸法計測技術 (i) 超音波ソナー

- ソナー部の主要な仕様を策定し、設計を実施した。
- 重量制限を満足するため、ガンマカメラと分割する設計した。
- 詳細設計として、外殻、内部配置、回転機構の設計を実施した。
- 放射線環境下での実績を有する既存のソナーを、アーム設計に適合するように再サイジングした。
- 耐放性を有するシール材を選定し、放射線環境下においても、回転機構内のシール部の耐圧性能及び回転機構の動作特性が維持されることを確認した。
- 回転機構はガンマカメラと共通設計とした。



累積照射量による動作特性の変化は無かった。



耐放性試験結果

項目	結果
回転機構	今年度試験により累積10kGyの耐放性を確認
ソナー	従来試験により累積75kGy確認済

放射線環境下での回転機構の動作特性確認試験

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(3/12) —

(1) 形状・寸法計測技術 (ii) 走査型超音波距離計(1/2)

【進捗状況】3Dマッピング用計測システムの実機プロトタイプ機を製作し、センサの性能確認中。平成30年度にアクセス装置との組合せ試験を実施予定。

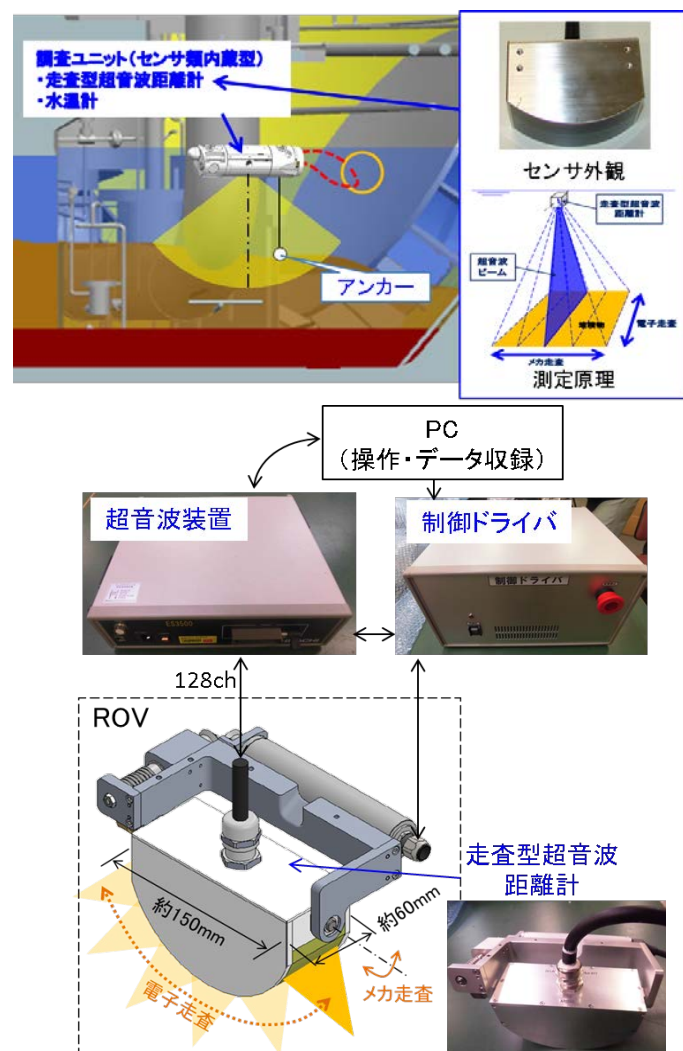
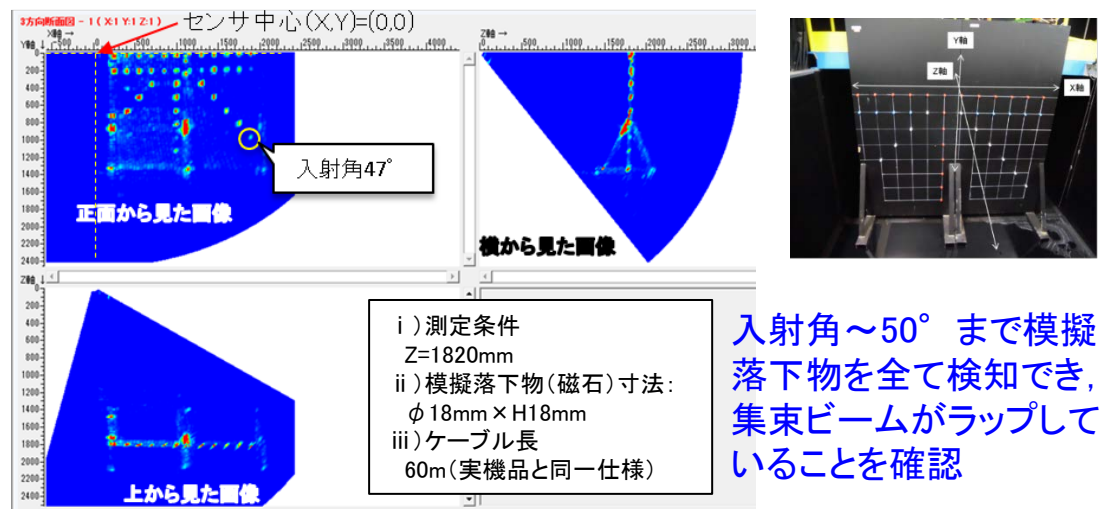
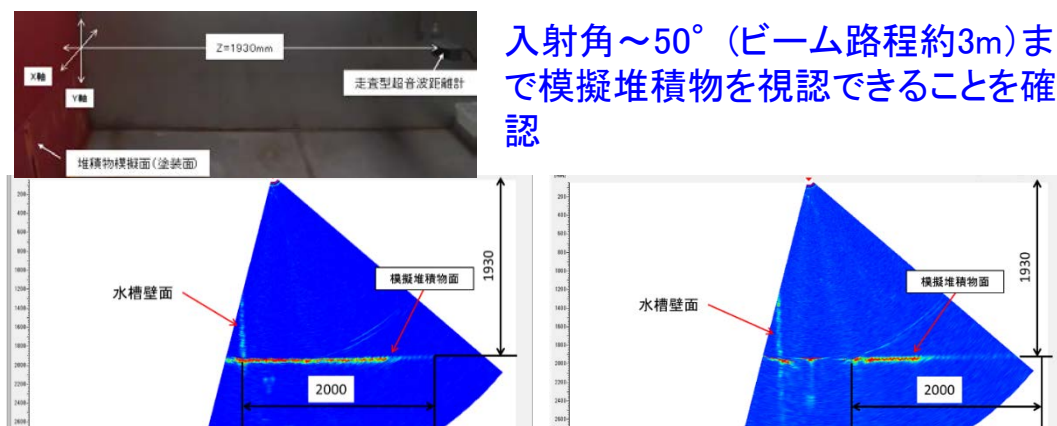


図4.5(1)(ii)-1 3Dマッピングシステムの構成



(a) 単体試験(1) 測定ピッチの検証



(b) 単体試験(2) 堆積物の検出範囲

図4.5(1)(ii)-2 走査型超音波距離計の単体試験例

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(4/12) —

(1) 形状・寸法計測技術 (ii) 走査型超音波距離計(2/2)

表4.5(1)(ii)-1 現時点での単体試験結果のまとめ

		確認結果	備考
測定可能範囲	距離	500～3000mm	
	入射角	±50° 以内	
測定精度	鉛直: ±50mm※	高さ: 1.2mm(RMSE), Z距離: 2.0mm(RMSE)	※: ニーズ元要求精度
	水平: 200mm※	水平: 6.2mm (RMSE)	
濁水の影響		視程6cm濁水時の減衰-0.01dB/m	

表4.5(1)(ii)-2 単体試験・組合試験(モックアップ設備で行う組合試験除く)の実施状況

分類		確認項目	実施状況
単体試験	実機用計測システム, センサおよび実機仕様と同じケーブル(複合化なし)を接続した状態での試験	測定可能範囲(距離, 入射角)の確認	済 (表4.5(1)(ii)-1)
		測定精度(高さ(H), 距離(Z), 位置(X,Y))の確認	
		濁水の影響	
		3Dプロフィール表示の確認	平成30年度
組合試験	実機計測システム, センサおよびROVと組み合わせた状態, 測定時の動作条件で試験	測定精度(間隔(d), 距離(Z))の確認※ (※: ROVの姿勢の影響含)	
		電氣的ノイズの影響	

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(5/12) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iii) 光切断法(1/2)

【進捗状況】A2調査およびA2' 調査結果を踏まえ環境条件を検討し、各構成要素の適合性検証を実施中。装置設計を開始(目標達成)。平成30年度に一部適合性検証、詳細設計、実機製作および精度試験を実施予定。

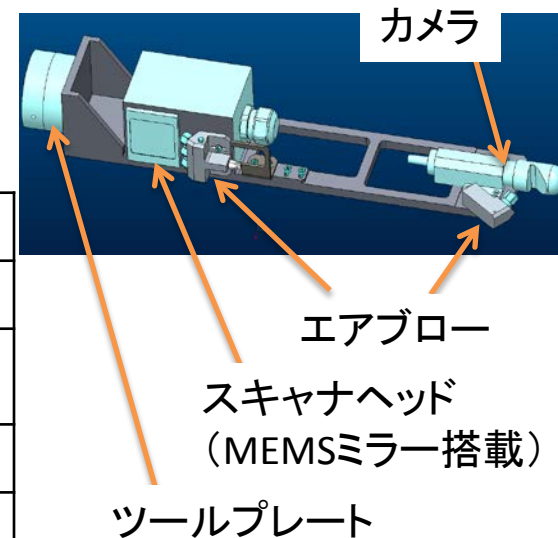
➤ A2調査およびA2' 調査結果を踏まえた環境条件

従来は32式必要であったが、1式で達成可能な見込み。

ただし、耐放性カメラの使用限度は耐放性試験で確認予定(仕様に見え方は規定されていないため)。

- ・A2調査およびA2' 調査結果を踏まえ環境条件の見直し(緩和)
- ・MEMSミラーの耐放性試験(能力向上)
- ・カメラの見直し(能力向上)

項目		見直した環境条件			従来条件		
		ペデスタ ル内	ペデスタル外		ペデスタ ル内	ペデスタル外	
			グレーチ ング上	グレーチ ング下		グレーチ ング上	グレーチ ング下
線量率 [Gy/h]	測定値	8	80	—	—	80	—
	想定	30	300	300	1,000	300	300
必要な耐放性[kGy]		約0.6	約17	約9	約16	約17	約9



光切断法による形状・寸法計測装置外観

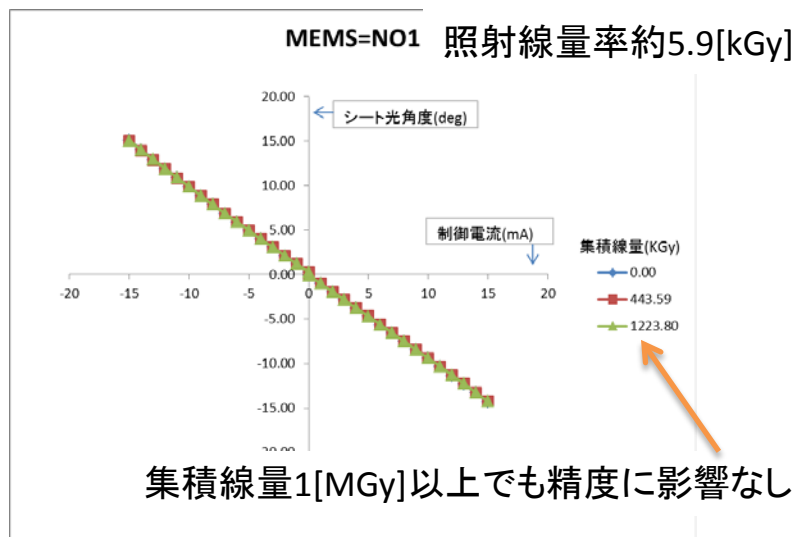
ただし、アーム型装置に搭載するケーブル、光ファイバは、アーム型装置と同様1[MGy]とする。

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(6/12) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iii) 光切断法(2/2)

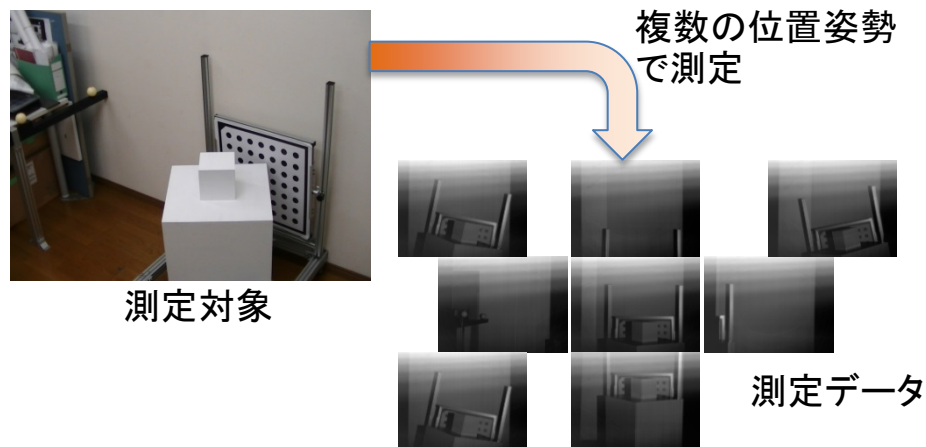
➤ 適合性検証

・MEMSミラーの適合性検証(耐放性試験)



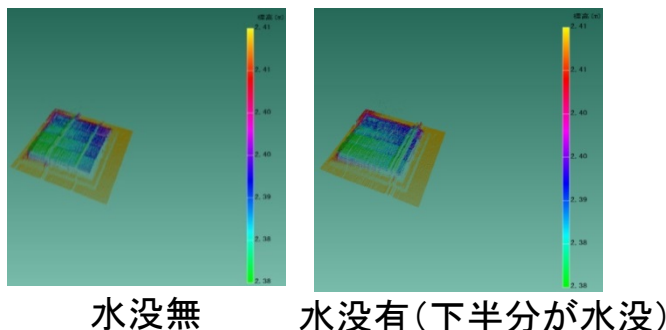
・点群データの重ね合わせ性検証

位置姿勢情報(DHパラメータ)を活用し、重ね合わせが行えることを確認。平成30年度に製作する実機において精度検証を実施する。



・水面検出性の検証

レーザが透過するため、水面検出は出来ない。平成30年度に周囲環境、ノイズ状況などから水面を総合的に推定する手順の検討と検証を行う。



4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(7/12) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iv) 高出力超音波センサ(堆積物厚さ測定用)(1/2)

【進捗状況】解析と予備試験により、堆積物厚さ用計測システムの実機プロトタイプ機の詳細設計を行い、製作を開始した。平成30年度にアクセス装置との組合せ試験など実施予定。

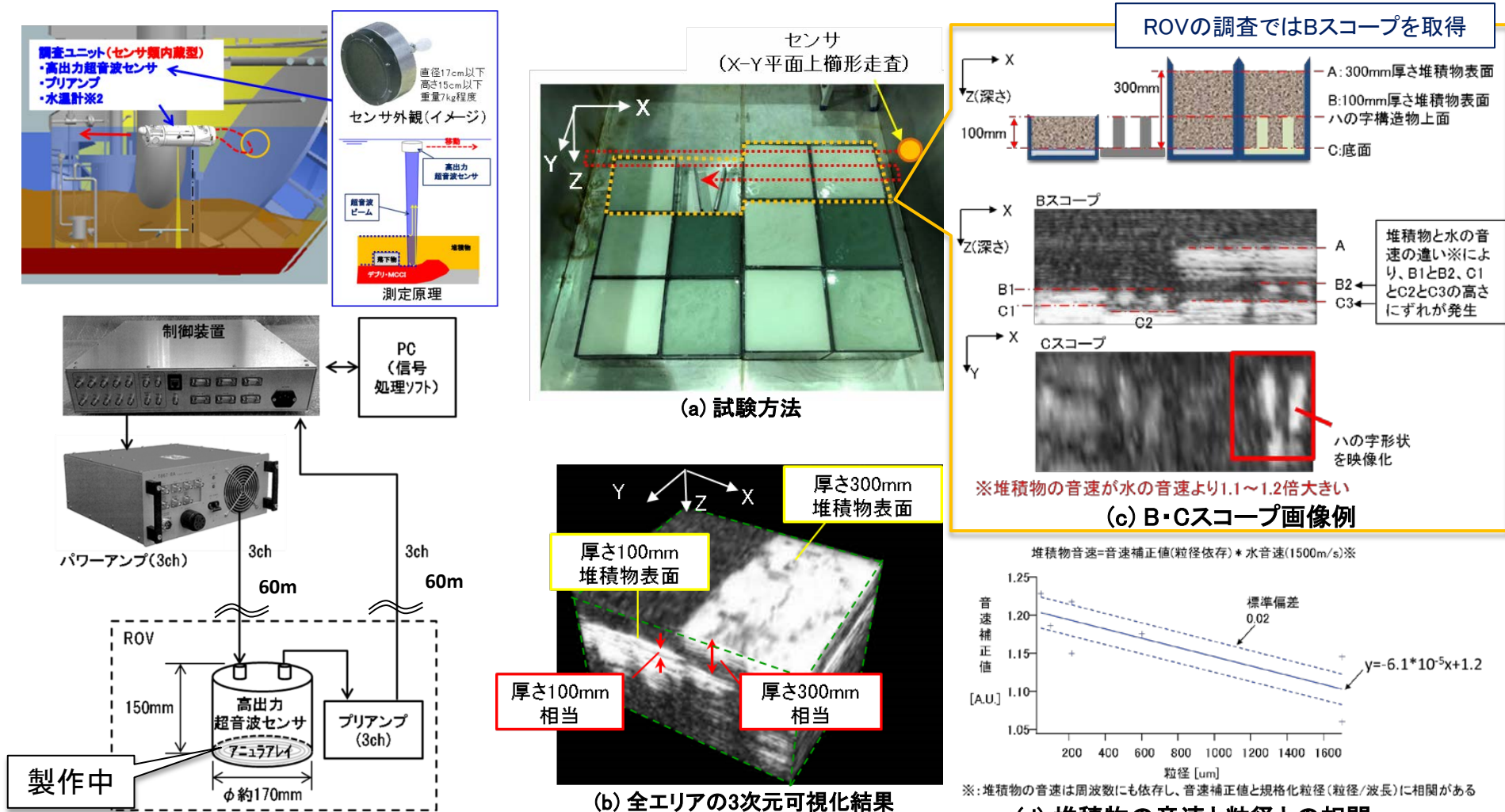


図4.5(1)(iv)-1 堆積物厚さ測定システムの構成

図4.5(1)(iv)-1 予備試験結果例

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(8/12) —

(1) 形状・寸法計測技術 (iv) 高出力超音波センサ(堆積物厚さ測定用)(2/2)

実機用センサ試作品を製作中。平成30年5月頃から単体試験、9月頃から組合試験を開始予定。

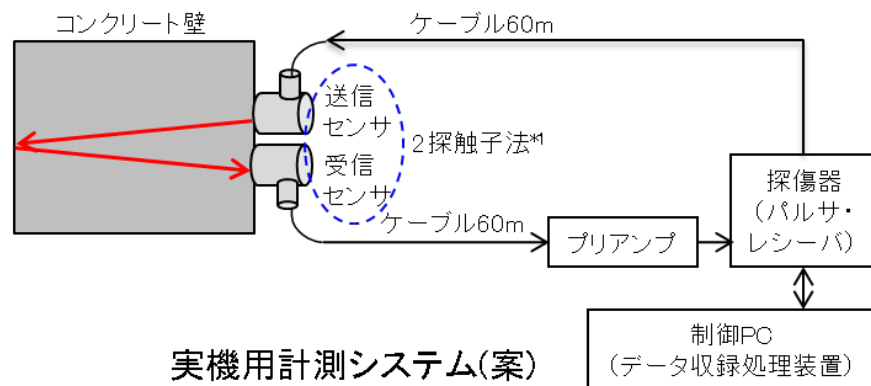
表4.5(1)(iv)-1 単体試験・組合試験(モックアップ設備で行う組合試験除く)の計画

項目			確認項目
単体試験	実機用計測システム, センサ, プリアンプおよび実機仕様と同じケーブル(複合化なし)を接続した状態を基本とした試験	基本性能	ノイズレベルの確認
			空間分解能(鉛直方向, 水平方向)の確認
			堆積物厚さ測定精度の確認
		耐放性	プリアンプの耐放性(寿命, 波形への影響)の確認とオペアンプの素子選定
			センサの耐放性(寿命, 波形への影響)の確認
		環境因子	音速と減衰に及ぼす堆積物の材質と混合粒径の影響
			音速と減衰に及ぼす堆積物内在気泡(水の放射線分解由来)の影響
		動作因子	堆積物厚さ測定に及ぼすセンサ姿勢の影響
			スラスト回転による音響的ノイズの影響
			モーター駆動による電氣的ノイズの影響
組合試験	実機計測システム, センサ, プリアンプROVと組み合わせた状態, 測定時の動作条件での試験	実機動作条件での基本性能の確認	

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(9/12) —

(1) 形状・寸法計測技術 (v) 低周波超音波センサ(ペDESTAL壁面残厚測定用)

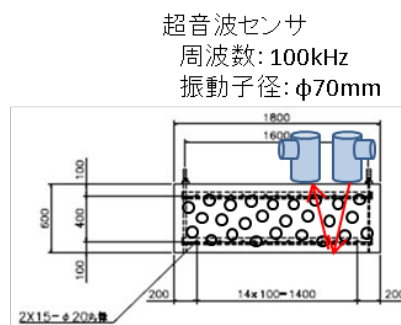
【進捗状況】ペDESTAL残厚測定用センサを試作し、単体試験実施中。ペDESTAL壁面浸食境界面のエコーに相当する底面エコーとコンクリート骨材のエコーの識別方法を検討中。



低周波超音波センサの仕様

項目	センサ候補1	センサ候補2	センサ候補3
周波数	100kHz	100kHz	30kHz
外寸	Φ80×60mm	Φ48×60mm	Φ80×80mm
振動子径	φ70mm	φ40mm	φ70mm
狙い	基本仕様*2(予備試験と同じ仕様)	実機環境を踏まえ小型化*3	底面エコーの特定性向上*4

- *1: 予備試験で用いた探触子(1探)の不感帯の範囲が大きかったため、2探触子法を基本に実機用を選定する
- *2: 超音波が骨材を透過して底面に到達するには、波長が骨材より大きくなければならない。1号機ペDESTALの骨材の大きさは最大20mm超なので、超音波の波長を40mm以上とすることが望ましく、周波数を100kHz以下(コンクリート音速4000m/s)とする。
- *3: 1号機の場合、ペDESTAL外面に約20cm以上の堆積物があるため、堆積物を局部的に除去し、ペDESTAL外壁面の付根部にセンサを設置・走査させる必要があり、除去範囲を最小限にするため小型化を検討。振動子径を小さくすると感度低下の可能性がある。
- *4: 基本仕様より、測定精度は低下するが底面エコーの特定性が向上する可能性があるため、候補に加え、基本仕様と比較し選定する

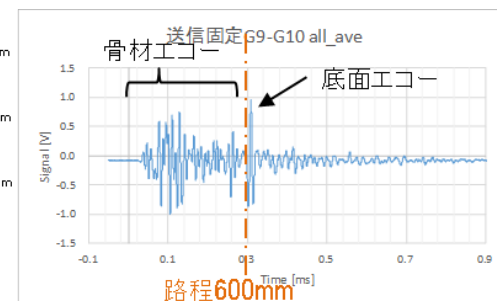
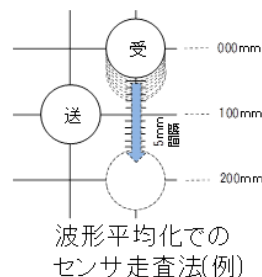
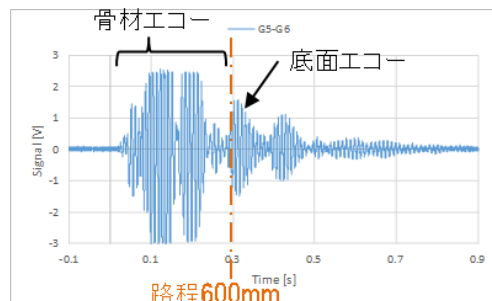


コンクリート試験体の試験結果

- ・受信波形から底面エコーを特定できれば壁厚を計測できるが、底面エコー以外のエコー(骨材エコー等)も受信してしまうことが判明
- ・底面エコーの特定性を向上する方法を検討

波形平均化

- ・測定場所を変えながら波形を収録して平均化することにより、伝播距離が一定でない骨材エコー(ノイズ)は打消し合い、伝播距離が一定の底面エコー(シグナル)を強調することで、S/Nの向上を図る



- ・計測条件の見直し、波形平均化によりS/Nを向上できる見込み

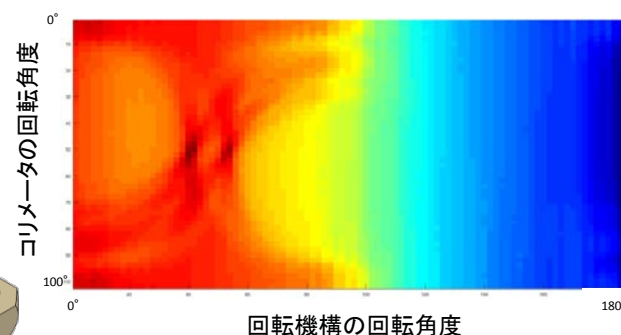
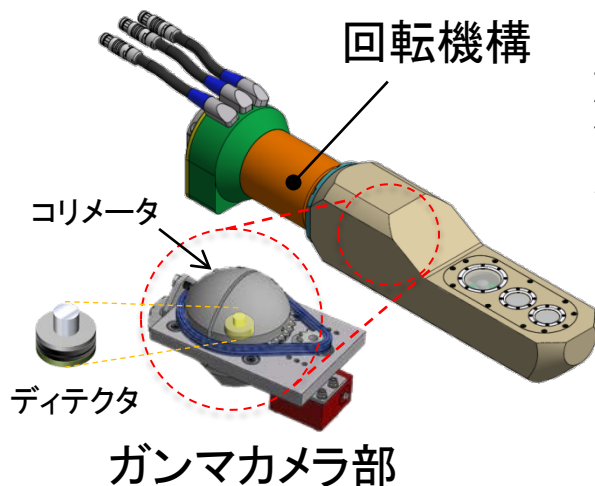
4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(10/12) —

(2) 放射線計測技術 (i) γ カメラ

- ガンマカメラの主要な仕様を策定した。
- 重量制限を満足するため、ソナーと分割する設計とした。
- 詳細設計として、外殻、内部配置、回転機構の設計を実施した。
- シリコンダイオードディテクタを採用した。
- プリアンプ内のオペアンプを変更することで、DCオフセットの変動に対応した。
- ディテクタのダイナミックレンジが要求値を満足することを試験により確認した。

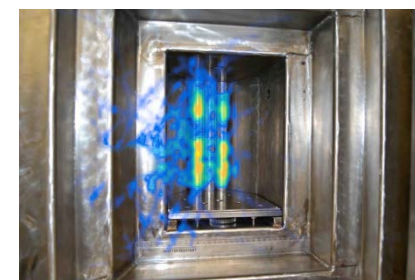
耐放性試験結果

項目	結果
回転機構	今年度、試験により10kGyの耐放性を確認
ガンマカメラ	今年度、ダイナミックレンジが1-1000Gy/hであることを確認済



1000Gy/hでの試験計測データを基に、照射方向毎の線量データに画像変換した。環境画像と重ね合わせることで、線源の位置を特定可能であることを確認した。(1Gy/hでも同様の試験を実施)

画像変換
処理



ダイナミックレンジ確認試験結果

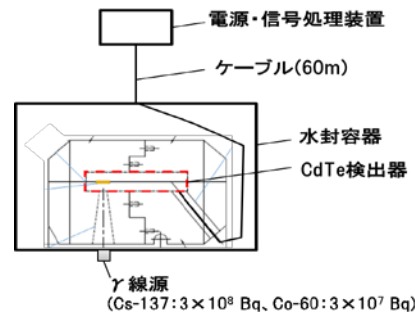
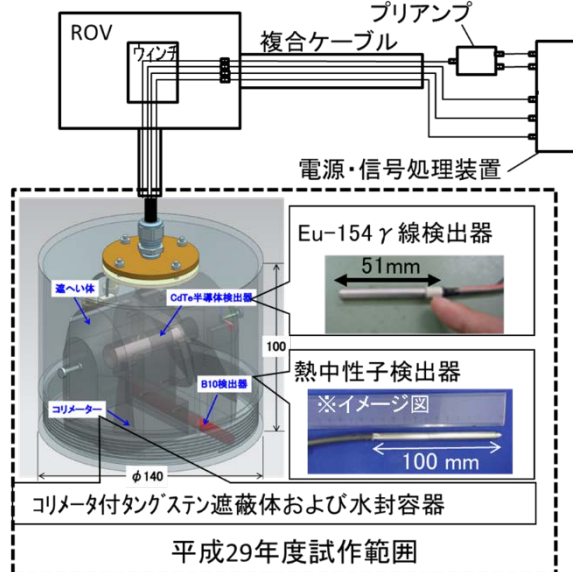
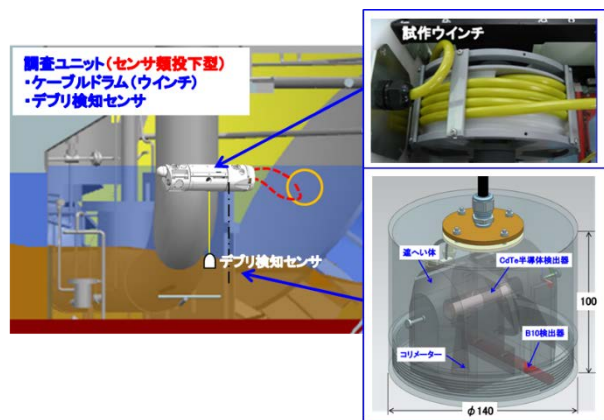
4.5 実施事項・成果

— 要素技術の適用性検証(11/12) —

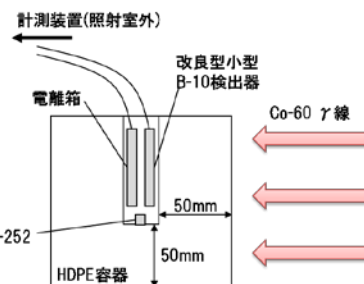
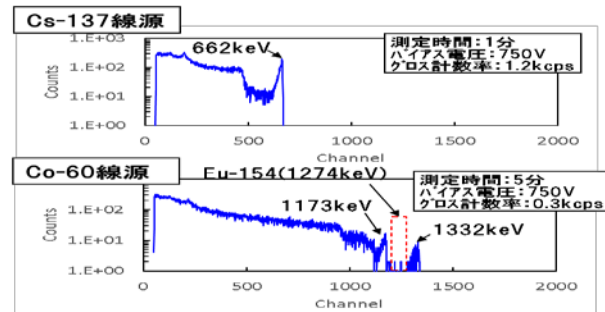
(2) 放射線計測技術

(ii) CdTe半導体検出器・B10検出器(燃料デブリ検知用)(1/2)

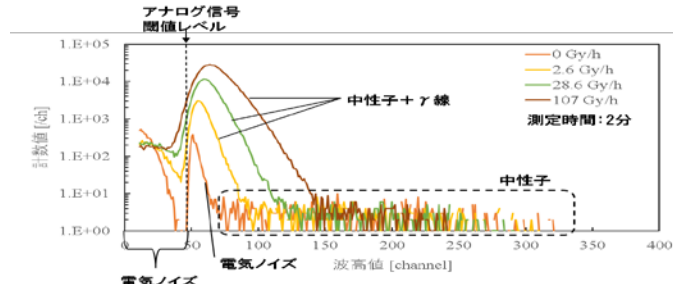
【進捗状況】解析と予備試験により、燃料デブリ検知システムの実機プロトタイプ機を設計・製作し、単体試験を開始した。平成30年度にアクセス装置との組合せ試験など実施予定。



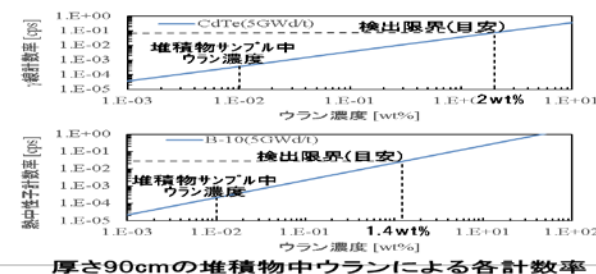
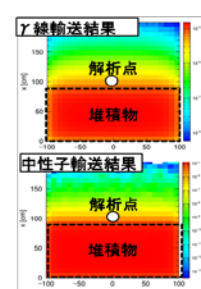
(a) CdTe半導体検出器の単体試験結果例



(b) B10検出器の単体試験結果例



項目	解析設定値
堆積物厚	90 cm
面積	200 cm × 200 cm
組成	コンクリート
含水率	64% (体積比)
密度	1.5 g/cm ³
線源位置	堆積物中に均一
雰囲気	水
燃焼度	5 GWd/t



(c) 解析による検出限界(ウラン換算: 5GWd/t)の検計例

図4.5(2)(ii)-1 堆積物内・下の燃料デブリ検知システムの構成

図4.5(2)(ii)-1 燃料デブリ検知システムの単体試験・解析結果例

4.5 実施事項・成果 — 要素技術の適用性検証(12/12) —

(2) 放射線計測技術 (ii) CdTe半導体検出器・B10検出器(燃料デブリ検知用)(2/2)

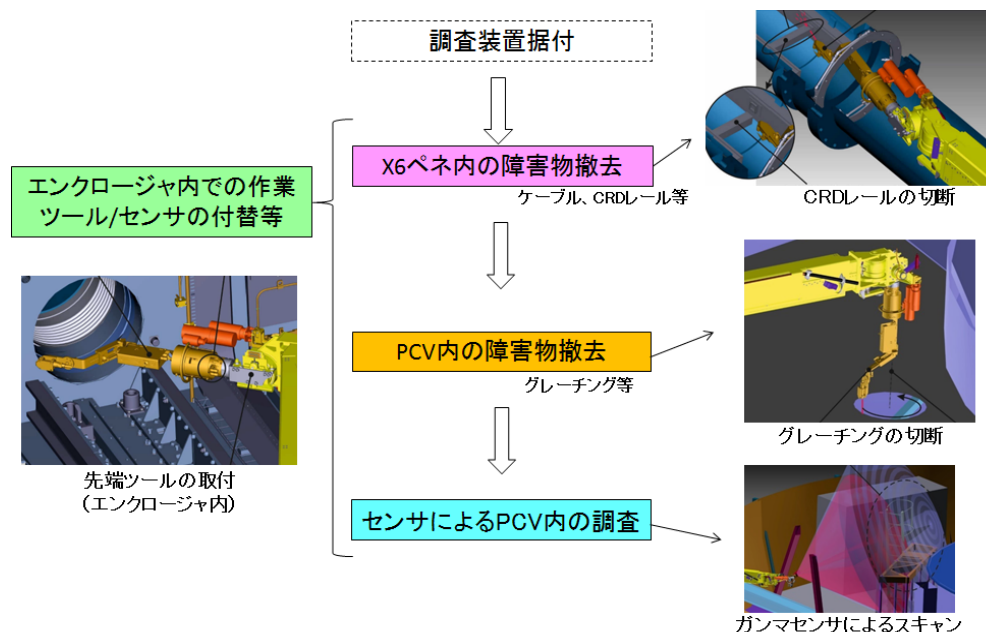
表4.5(2)(ii)-1 単体試験・組合試験(モックアップ設備で行う組合試験除く)の実施状況

対象		項目	内容	実施
単体試験	CdTe半導体検出器 (遮蔽込)	接続確認	60mケーブルを用いた応答測定	済
		分極影響	測定時間をパラメータとして、半値幅とピーク位置の変動を測定	済
		バイアス電源制御	分極効果低減のためのバイアス電源ON/OFFの制御方法を評価	未
		検出効率	Eu-154、Cs-137、Co-60点線源を用いた応答測定と検出効率の算出	未
		遮蔽/コリメータ効果	Cs-137、Co-60点線源を用いた応答測定と検出効率の算出	未
		高放射線下動作確認	Co-60照射室内での応答測定	未
	B-10 検出器	接続確認	60mケーブルでの応答測定	済
		高放射線下動作確認	Co-60照射室での中性子応答測定	済
		検出効率	熱中性子場を用いた応答測定	未
水封容器 組合せ		システム動作確認	各機器を接続し動作確認(改善結果の確認含)	済
		ノイズ影響確認	測定時の電気ノイズの影響を確認(改善結果の確認含)	未
複合線源 照射試験		水中Cs-137下での 応答確認	使用済燃料集合体を用いて(最大70 Gy/h)、水中におけるEu-154及び中性子の計測性を確認	未
組合せ試験		電気ノイズ影響確認	改良型小型B-10検出器をROV内に搭載して、測定時のROV動作条件でノイズ影響を評価	未

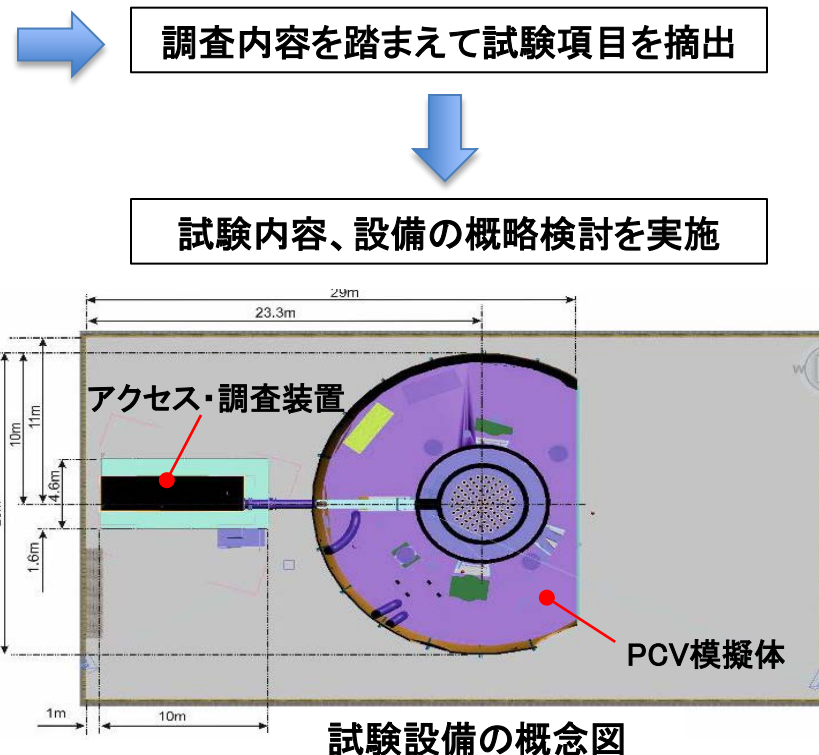
4.5 実施事項・成果 — モックアップ試験計画 —

【進捗状況】

- アクセス・調査装置の開発において、内部詳細調査の確実性を高めるため、実機を一部模擬したモックアップ試験によりアーム型アクセス装置の検証を実施する計画である。
- モックアップ試験項目を抽出し、各試験の内容と試験設備の概略検討を実施した。
- 今後は、試験項目、内容のブラッシュアップを図ると共に、試験設備を具体化していく必要がある。



PCV内部詳細調査のフロー



5. まとめと今後の対応

(1) 調査計画・開発計画の策定

- ・損傷の大きいと推定される1号機と3号機の最新のPCV内部調査結果等を踏まえ、燃料デブリ取り出しまでの調査の進め方を検討し、1号機の詳細調査の調査計画・開発計画を更新した。
- ・2号機の最新のPCV内部調査結果(A2')を踏まえ、2号機の詳細調査の調査計画・開発計画を更新中

(2) アクセスルートの構築

(a) X-6ペネからのPCV内アクセスルート構築

- ・隔離部屋、ハッチ開放装置などの実機プロトタイプ機の工場内検証(組合せ試験)の一部を実施し、ペネ接続部の実機プロトタイプ機の設計を終了した。今後、工場内検証を行う。
- ・新バウンダリ接続部の設計を完了し、延長管の概念検討中

(b) X-2ペネからのPCV内アクセスルート構築

PCV内部と隔離した状態での新バウンダリ部の接続、X-2ペネ内外扉他の穿孔及びガイドパイプ取付に係る工法の検討と装置類の実機プロトタイプ機の設計と製作を行い、工場内検証を開始した

(3) アクセス・調査装置

- ・アーム型アクセス装置の実機プロトタイプ機を製作中
- ・水中遊泳型アクセス装置の実機プロトタイプ機のうち、今年度分の設計を完了し、設計検証の準備を開始した。また、インストール装置の工場内検証の一部を実施した。

(4) 要素技術の適用性検証

- ・計測システムの実機プロトタイプ機の製作と単体性能確認を開始した
- ・気中レーザ光切断計測装置の代替品の検証を実施中。年度内に終了予定。
- ・平成30年度にアクセス装置との組合せ試験などで適合性を検証する

(5) モックアップ試験計画

モックアップ試験設備の概略検討を実施中。年度内に終了予定