

平成30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
(堆積物対策を前提とした内部詳細調査技術の現場実証)

2020年度最終報告

- I . ペDESTAL内調査
- II . 堆積物を前提としたPCV内部詳細調査

2021年8月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

平成30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
(堆積物対策を前提とした内部詳細調査技術の現場実証)

2020年度最終報告

I . ペDESTAL内調査

2021年8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
2. 目標
3. 実施項目・他事業との関連
4. 実施スケジュール(研究開始時)
5. 実施内容まとめ
 - 5.1 全体計画の策定
 - 5.2 調査計画の策定
 - 5.3 アクセス・調査装置の開発状況
 - 5.4 概念設計の高度化
 - 5.5 まとめ(目標に照らした達成度)
6. 実施スケジュール(見直し案)

1. 研究の背景・目的

【本事業の目的】

本事業は、現行の補助事業で計画されているペDESTAL外側から水中ROV(遠隔操作ビークル)にてペDESTAL内部に進入しての調査を行うことが十分にできない場合の代替方法として、X-2ペネトレーション(ペネ)のアクセスルートから原子炉格納容器(PCV)内部に入り、1階グレーティング上を移動して、ペDESTALの制御棒駆動機構(CRD)開口部からペDESTAL内に進入し、ペDESTAL内の下方(気中部)及び上方(CRDハウジング等)の調査を行うための、アクセス・調査装置や調査技術の開発を目的とする。

【本事業の反映先】

本事業で得られた情報(ペDESTAL内構造物状況やデブリの分布状況、線量率)は、他PJである原子炉圧力容器内部調査技術の開発の下部アクセス工法・装置の詳細検討に反映される。また、燃料デブリ取り出し工法の開発の詳細検討にも反映される。

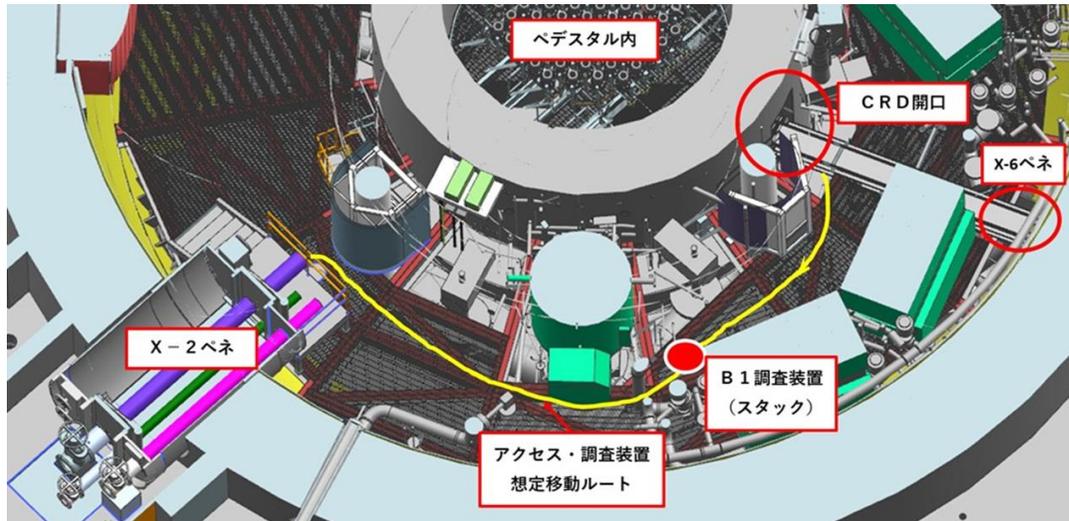


図1 アクセス・調査装置のPCV内想定走行ルート

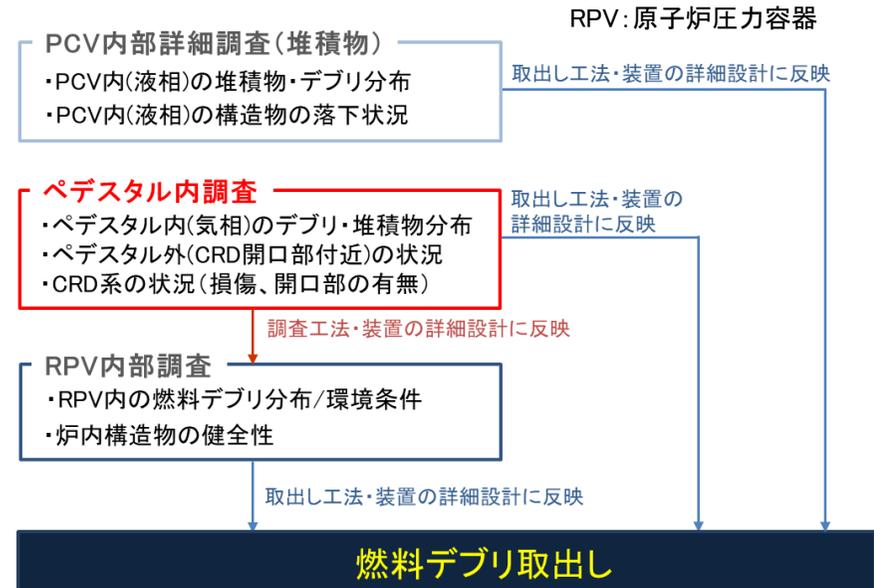


図2 他事業との関連性

2. 目標

(1) 調査計画・開発計画の策定

ペDESTALのCRD開口部からペDESTAL内部を調査するアクセス・調査装置の開発計画とそれらを用いた調査計画を策定する。この計画には、アクセス・調査装置の設計、製作、単体試験から、アクセス・調査装置と観察や放射線計測等を行うための調査技術の組合せ試験、現場状況を考慮したモックアップ試験、作業訓練、及び現場実証(現場調査)を含めるものとする。なお、策定した計画については、最新の現場情報や内部調査結果等も考慮し、継続的な見直しを行い、必要に応じてアクセス・調査装置や調査技術の新たな開発計画を策定する。

(2) アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証

上記(1)で策定した調査計画に基づき、現場での作業に必要な試験・訓練等を行い、その結果を踏まえて、必要に応じてアクセス・調査装置及び調査技術の現場最適化、現場実証(現場調査)を行う。なお、アクセス・調査装置の概念設計が終了した段階において、事務局を介して関係者(経済産業省、東京電力ホールディングス(株)及び原子力損害賠償・廃炉等支援機構)でその内容を精査し次ステップに進むかどうかを判断されるものとする。さらに、上記(1)で策定した調査計画に基づき、現場での作業に必要な試験・訓練等を行い、その結果を踏まえて、必要に応じてアクセス・調査装置及び調査装置の現場最適化、現場実証(現場調査)を行う。

3. 実施項目・他事業との関連

本事業(ペDESTAL内調査)と関連事業の調査範囲(イメージ)を下図に示す。本事業は、PCV内部詳細調査(堆積物)範囲外のペDESTAL内を主要調査範囲としている。

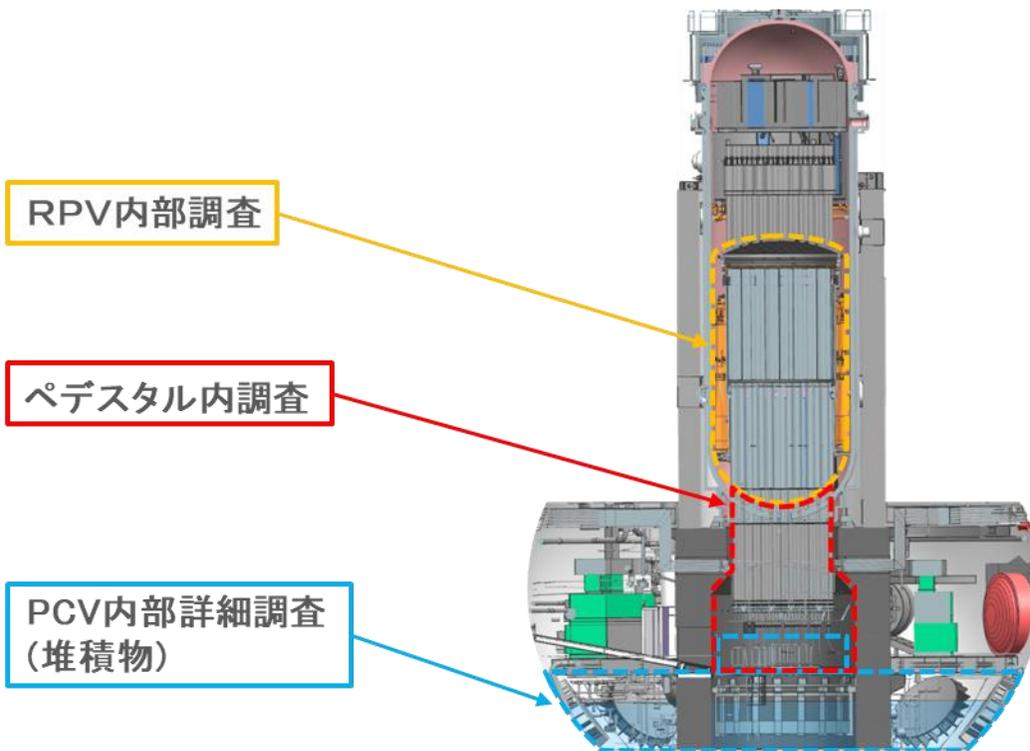


図3 他事業との関連性

表1 各事業毎の調査範囲

PJ	調査範囲	調査方法
RPV 内部調査	RPV内 (主にシュラウド内)	他の補助事業で開発中
ペDESTAL内 調査	ペDESTAL内 (主に気中とし、水中は気中から視認できる範囲のみ)	本事業で検討
PCV 内部詳細調査(堆積物)	ペDESTAL内 (主に水中とし、気中は水中から視認できる範囲のみ)	ROV

4. 実施スケジュール(研究開始時)

本事業(ペDESTAL内調査)は、2020年度内に現場実証を実施する計画で研究が開始された。なお、概念検討が終わった段階(HP)で、その内容を精査し次ステップに進むかどうかを判断されるものとする。

表2 実施工程(研究開始時)

	項目	2019年度			2020年度													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
(1)	調査計画・開発計画の策定	調査計画の策定						計画の見直し										
(2)	アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証	(i) アクセス・調査装置の要素試験																
		(ii) アクセス・調査装置と調査技術の概念検討																
								▽ホールドポイント										
								(iii) アクセス・調査装置と調査技術の設計、製作、単体試験						(iv) アクセス・調査装置と調査技術の組合せ試験				
														(v) モックアップ試験、作業訓練				
														(vi) 現場実証(現場調査)				

5. 実施内容まとめ

5.1 全体計画の策定

(1) 調査計画の概要

アクセス・調査装置がX-2ペネ～CRD開口手前まで移動し、ペDESTAL内調査を実施する際の、PCV内1階グレーチング移動ルート案を図1に示す。移動ルート上には2015年4月の調査でスタックしたB1調査装置が残置されている。この状況でペDESTAL内の調査を行うための調査装置の開発計画とそれらを用いた調査計画を策定する。

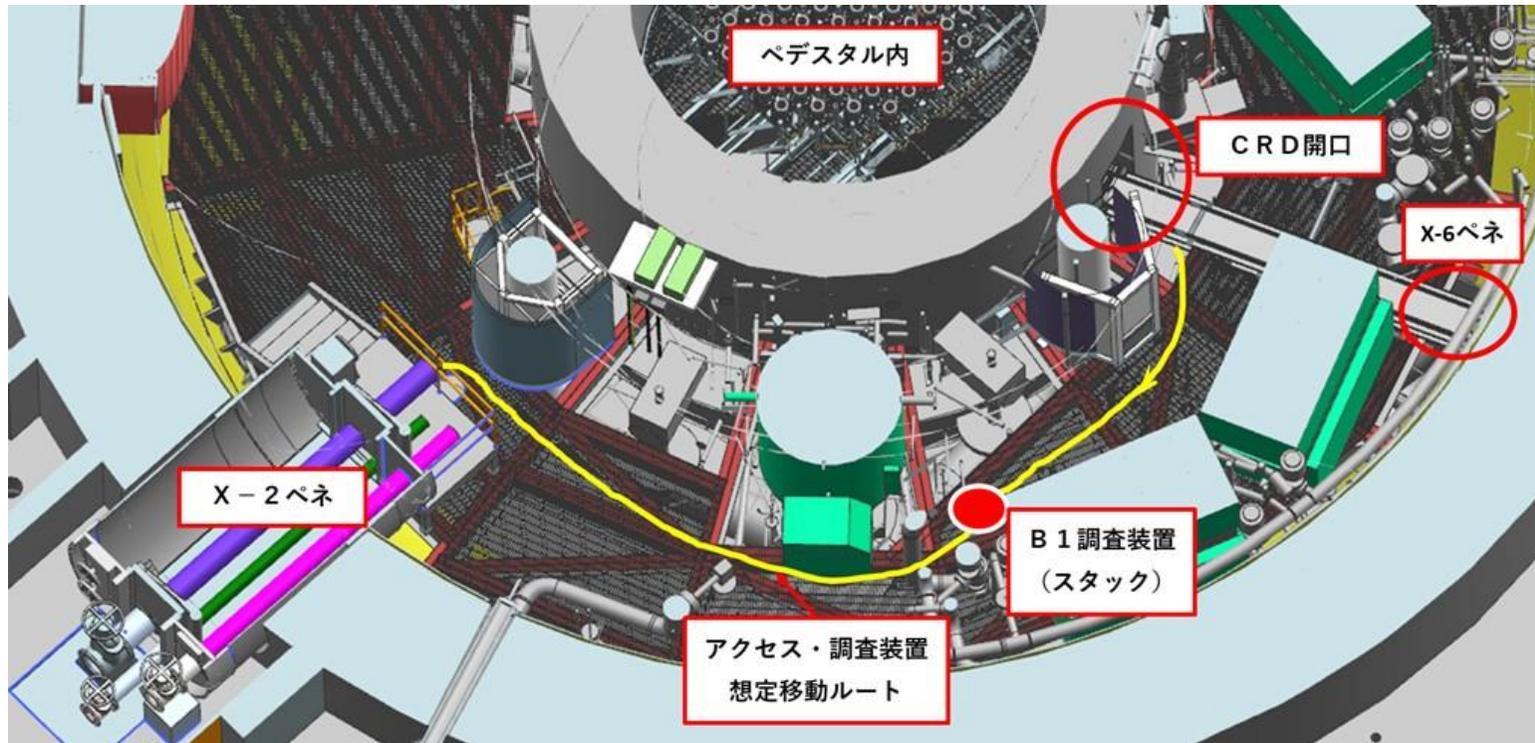


図4 アクセス・調査装置のPCV内想定走行ルート

5.1 全体計画の策定

(2) 調査目標

調査目標・成果については、エリア、目的に分けて検討していく。

【1次調査：ペDESTAL外】⇒B1調査装置スタック部～ペDESTALCRD開口まで

【2次調査：ペDESTAL内(気中)】⇒ペDESTAL内部。気中部分。機器の損傷状況、燃料デブリの状況。

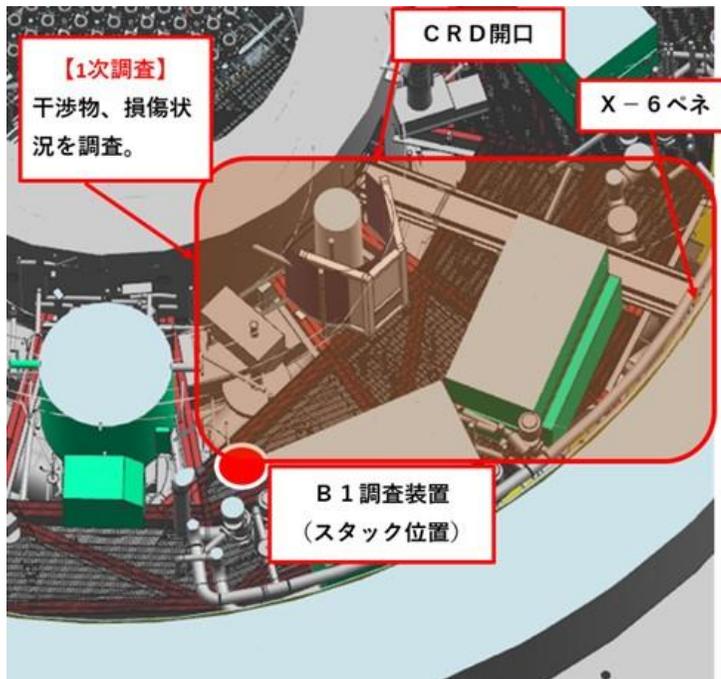


図5 1次調査(ペDESTAL外)

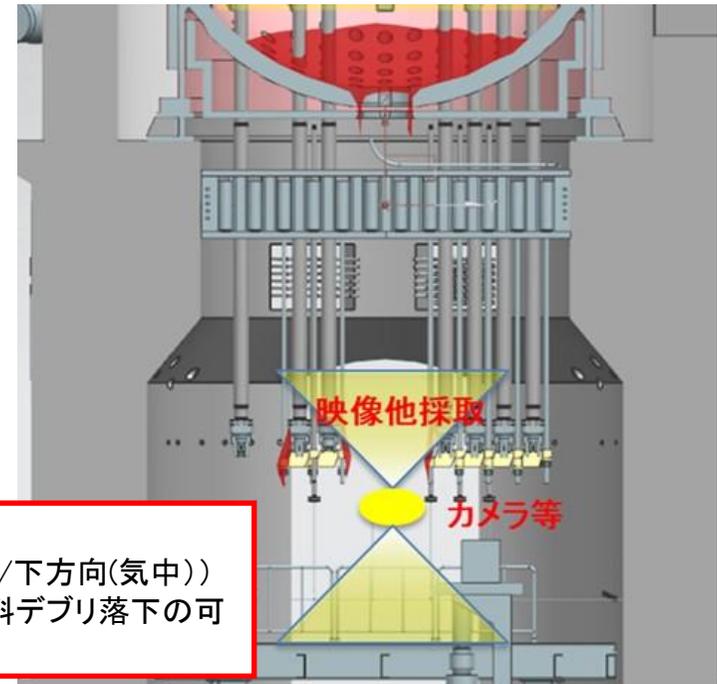


図6 2次調査(ペDESTAL内)

5.1 全体計画の策定

(3) 1次調査目標(ペDESTアル外)

1次調査では、B1調査時(2015年4月)に調査できなかったペDESTアルのCRD開口部を調査(映像、線量)するとともに、2次調査で走行するルート上(特に、B1調査装置(残置)より奥の1階グレーチング)の干渉物

(落下物)の状況を確認し、2次調査の計画に反映する。

合わせて、X-6ペネ内側やCRDレール上等の状況を調査し、今後の作業に資する情報を取得する。



図7 1次調査 調査対象

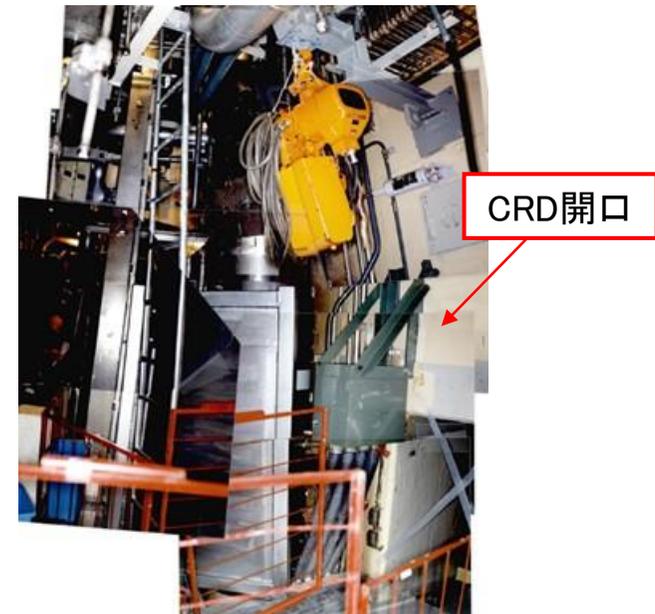


図8 CRD開口状況(図7 A矢視)

5.1 全体計画の策定

(4) 2次調査目標(ペDESTAL内)(1/2)

2016年度に実施した“PCV内内部調査に係るニーズの分析と検討”で抽出されている調査項目から、調査目標(案)を抽出した。

表3 2次調査目標(案) “PCV内内部調査に係るニーズの分析と検討抜粋”

PCV 内部調査 関連ニーズ	調査項目		調査の目的と必要性 (記号 ○; 必要, △; 望ましい)				
			燃料デブリの量, 位置, 性状, 核分裂生成物分布の把握	燃料デブリ取出し工法に係る技術要件			
				燃料デブリ取出し時の安全確保			燃料デブリ取出し方法
				実機調査による推定	PCV・建屋の健全性	臨界管理	冷却機能の維持
当該調査項目が実施できた場合に得られる成果			○⇒解析結果の検証ができ、炉内状況把握の精度が向上する △⇒更なる精度向上	○⇒解析結果の検証ができ、建屋健全性評価の精度が向上する △⇒更なる精度向上	○⇒設計の前提となる情報が取得でき設計が開始できる △⇒設計の更なる具体化	○⇒設計の前提となる情報が取得でき設計が開始できる △⇒設計の更なる具体化	○⇒燃料デブリの分布やペDESTAL強度等の前提条件が取得でき設計が開始できる △⇒装置仕様を緩和できる
ペDESTAL内外の燃料デブリの分布	1-3	ペDESTAL内の燃料デブリ有無	○燃料デブリ分布解析の検証	—	—	○気中工法時の冷却機能検討	○ペDESTAL内側の燃料デブリの拡散状態の確認により燃料デブリへのアクセス及び取出し経路の検討に資する
	1-4	ペDESTAL内の(厚さ, 広がり)燃料デブリ分布	○燃料デブリ分布解析の検証:1-3で「有」の場合	○ペDESTAL浸食量解析のベースとなる燃料デブリ分布解析検証:1-3で「有」の場合	○臨界評価(臨界モニタ設置, 中性子吸収剤投入検討):1-3で「有」の場合	○気中工法時の冷却機能検討:1-3で「有」の場合	△装置設計上の保守性緩和:1-3で「有」の場合[1-3実施が前提]
	1-5	燃料デブリの形状・形態(粒状 or 塊)	△燃料デブリ分布解析の推定精度向上	—	○臨界評価, 燃料デブリ取出し時又は水位上昇時の臨界リスク評価	△気中工法時の冷却機能検討	△装置設計上の保守性緩和
燃料デブリによる浸食深さ/事故時熱影響コンクリート強度	3-4	ペDESTALのコンクリート内壁の損傷状況	—	○健全性評価検討の検証	—	—	—
RPV底部, CRD系の状態	4-1	RPV底部の破損状況	—	—	—	—	△装置設計上の保守性緩和
	4-2	CRD系の状態	—	—	—	—	△装置設計上の保守性緩和
	4-3	CRD系への燃料デブリ堆積状況	—	—	○水位上昇時の臨界リスク評価 △臨界評価	○気中工法時の冷却機能検討	△装置設計上の保守性緩和

5.1 全体計画の策定

(4) 2次調査目標(ペDESTAL内)(2/2)

1次調査の結果、ペDESTAL内調査装置がペDESTAL CRD開口部の段差(CRDレール)や干渉物等によりペDESTAL内部に進入できない場合も想定される。この場合でも2次調査目標(案)を満たすようなペDESTAL内調査装置を検討する必要がある。

干渉物(落下物)等により
CRD開口からペDESTAL内調査
装置が進入できない可能性有

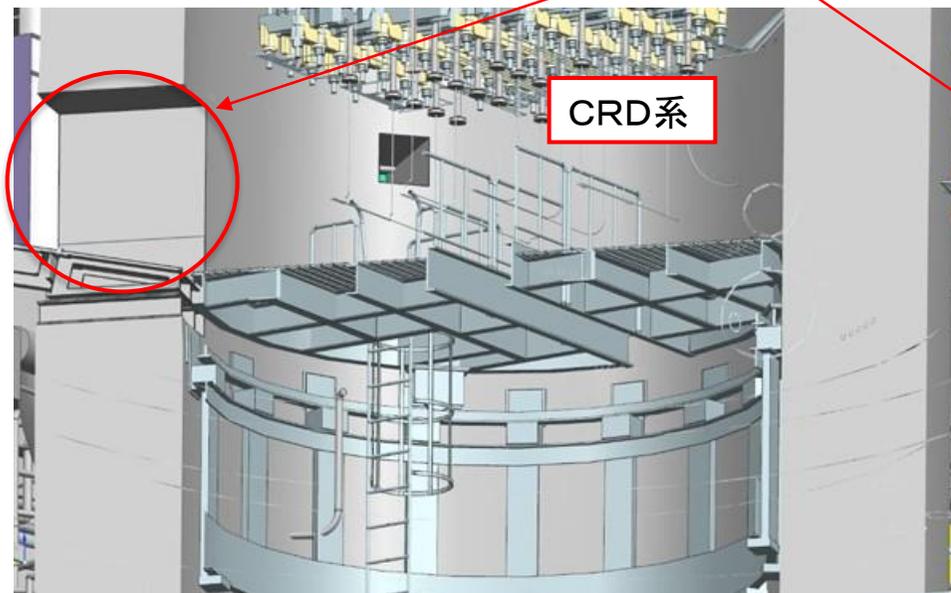


図9 ペDESTAL内構造物(例)(1/2)

(2次調査目標(案))

- 1-3 ペDESTAL内の燃料デブリ有無(気中部)
- 1-5 燃料デブリの形状・形態(気中部)
- 3-4 ペDESTALのコンクリート内壁の損傷状況(目視)
- 4-1 RPV底部の破損状況
- 4-2 CRD系の状態
- 4-3 CRD系へのデブリ堆積状況



図10 ペDESTAL内構造物(例)(2/2)

5.2 調査計画の策定

(1) 調査計画・開発計画

調査計画・開発計画の策定のための検討内容、検討成果の案を表4に示す。

表4 調査計画・開発計画の策定

検討項目	検討内容	検討成果
調査計画の策定	ペDESTAL内調査計画の策定	①調査ニーズによる調査目標の設定 ②PCV内およびペDESTAL内設計条件（温度、湿度、放射線、CRD開口寸法、干渉物の有無、寸法条件、など）確認 ③ペDESTAL内調査内容（映像、放射線量他）確認 ④上記②③に基づくペDESTAL内調査計画の策定
	調査装置、設備、機器全体計画	①アクセス・調査装置に必要な技術要件、設計仕様の抽出 ②調査に必要な支援装置（ケーブル送り、装置インストール装置、シールボックス等）の抽出、および概略仕様検討 ③シミュレータを用いた作業計画、装置仕様への反映
開発計画の策定	調査装置、調査技術の開発	①装置開発内容 ・装置要素試作試験要否および装置設計仕様検討 ・単体試験、組合せ試験内容検討、試験設備概要検討 ②装置開発工程 ・装置製作工程、単体試験、組合せ試験工程 ③装置開発に掛かるリスクアセスメント
	現場実証（現地調査）の計画	①装置類現場運転／配置概要計画 ②ペDESTAL内調査現地作業計画（概略日数、作業員数、等） ③現場実証に掛かるリスクアセスメント

5.2 調査計画の策定

(2) 調査目標と成果の活用

本PJは、燃料デブリ取り出し横アクセス工法の成立性の確認、燃料デブリ取り出し装置の設計等に活用する。また、関連PJ及び東京電力のニーズをヒアリングした上で、調査目標を設定する。

表5 調査目標及び成果の用途(案)

調査箇所	調査項目	調査目標	成果の用途
ペDESTALCRD開口、 CRDレール上、X-6ペネ内側	目視観察 放射線(γ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 干渉物有無 ・ ペDESTAL内への進入可否 ・ 放射線量の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 横アクセス工法成立性の検討 ・ 燃料デブリ取り出し装置の設計
ペDESTAL内CRD交換装置	目視観察 放射線(γ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ プラットホームの損傷状況 ・ 干渉物・落下物の確認 ・ 放射線量の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料デブリ取り出し装置の設計
ペDESTAL内上部	目視観察 放射線(γ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ RPV底部の損傷状況の確認 ・ 放射線量の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料デブリ取り出し装置の設計 ・ RPV底部からのRPV内部調査成立性確認
ペDESTAL内下部(気中)	目視観察 放射線(γ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 干渉物・落下物の確認 ・ 放射線量の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料デブリ取り出し装置の設計

5.2 調査計画の策定

(3) ペDESTAL内調査のイメージ(1/2)

ペDESTAL内調査では、例として調査カメラ付の伸長ロッドにより全方位の映像を取得する。

但し、構造物や落下物の状況により、映像を取得できない箇所が存在する可能性がある。

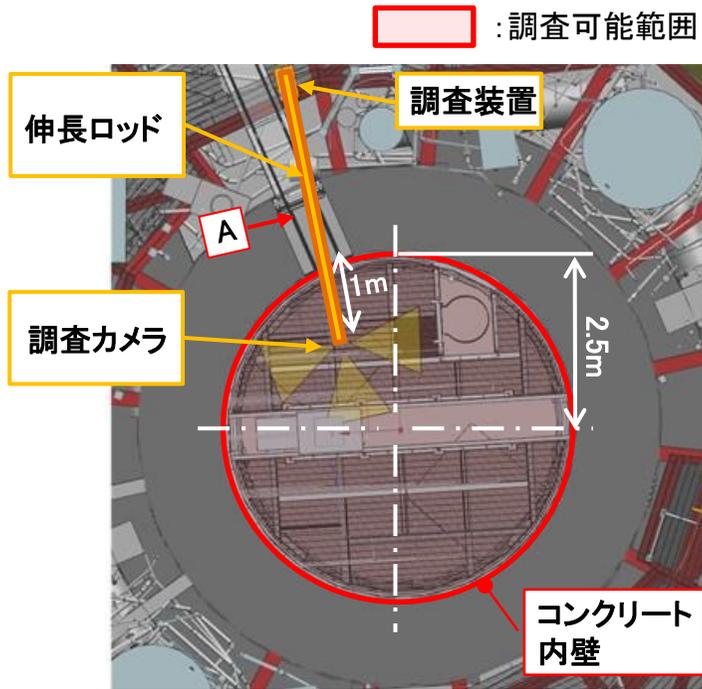


図11 ペDESTAL内調査装置の視認可能範囲（水平）

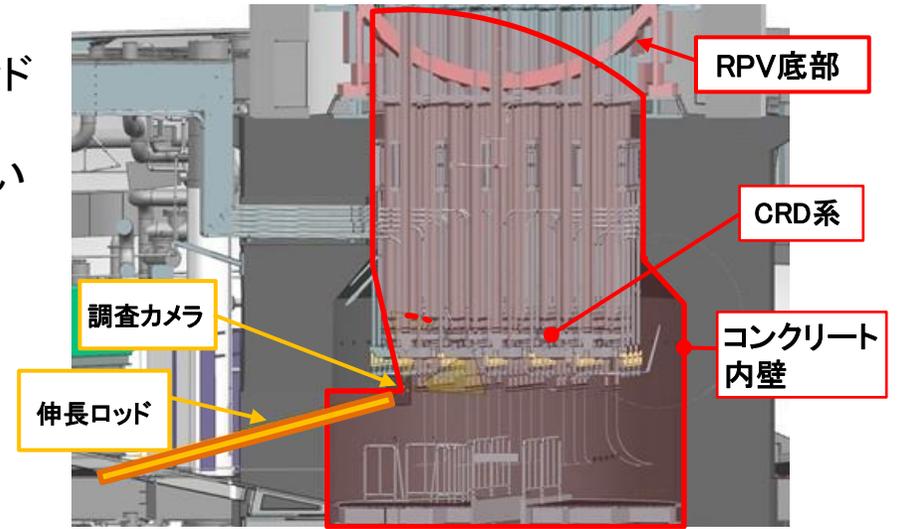


図12 ペDESTAL内調査装置の視認可能範囲（A矢視/ペDESTAL上部）

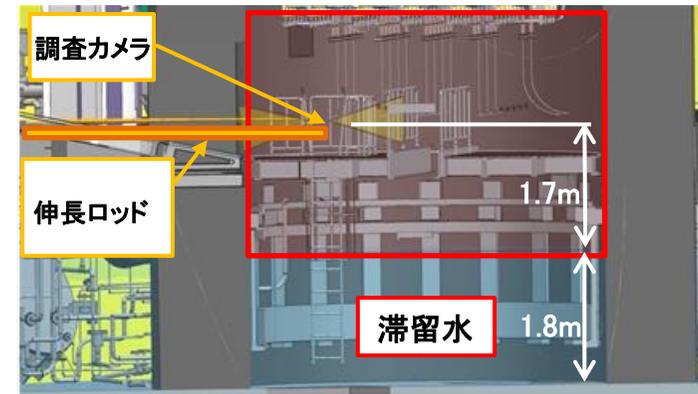


図13 ペDESTAL内調査装置の視認可能範囲（A矢視/ペDESTAL下部）

5.2 調査計画の策定

(3) ペデスタル内調査のイメージ(2/2)

【補助事業公募要領に記載されている期待される成果】

ペデスタル内の状況をより確度高く把握する。

⇒ 測定対象は、映像、線量、等を候補とする。

特に、映像については下記画像が得られる見込み。

①CRD系の破損状況、燃料デブリの付着状況、RPVまでの開口【図15】

②滞留水の水位・水面状態、水面下の堆積物(燃料デブリ含む)の状態【図16】

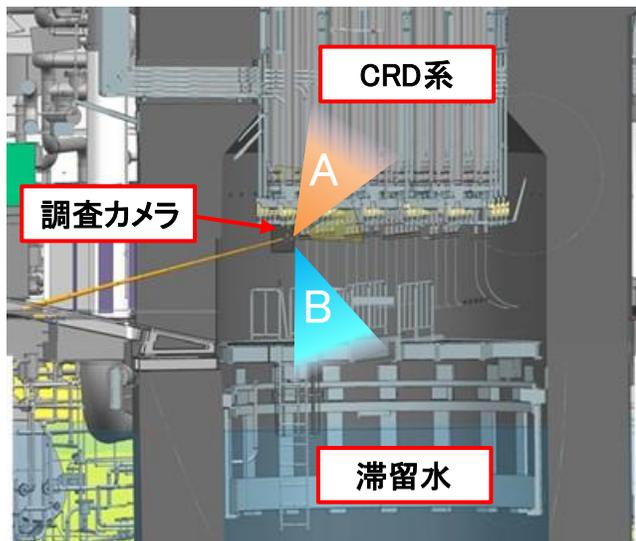


図14 ペデスタル内映像取得イメージ

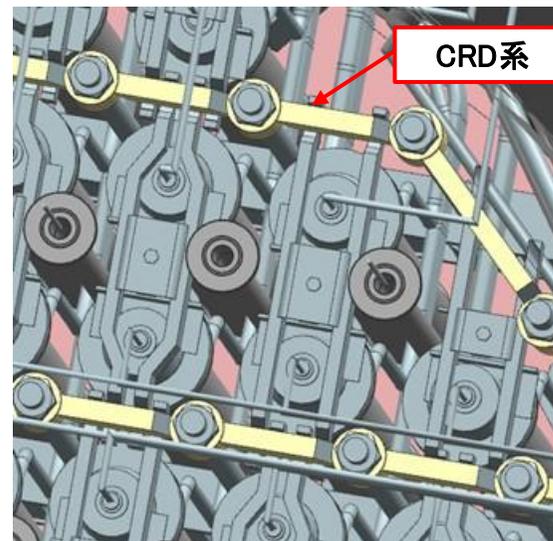


図15 映像(A矢視)

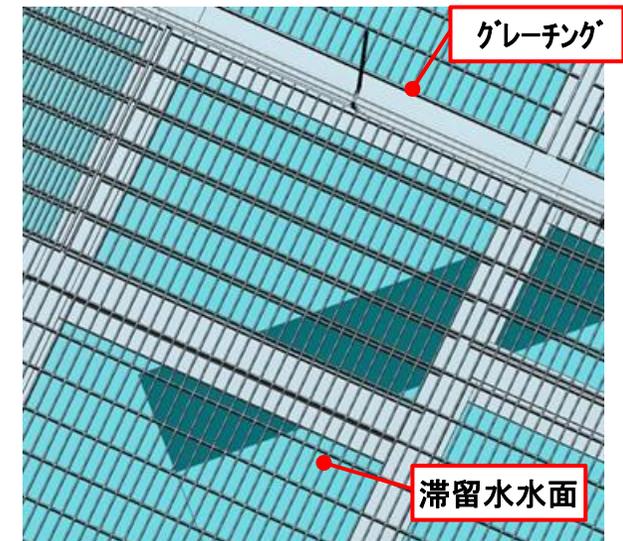


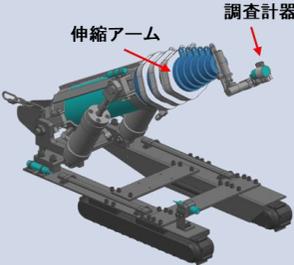
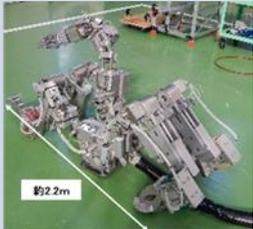
図16 映像(B矢視)

5.2 調査計画の策定

(4) 実装可能な技術構成と概念設計

ペDESTル内調査装置は、図15～16の映像を安定して取得可能な方式として、クローラ(+伸長ロッド)式を選定した。

表6 ペDESTル内調査装置のケーススタディ

項目		クローラ(+伸長ロッド)	筋肉ロボット(+伸長ロッド)	ドローン
装置イメージ				
ペDESTル内調査時間		○(～1時間)	○(～1時間)	△(5～15分)
調査対象(方法)		氣中 (伸長ロッド伸長)	氣中 (伸長ロッド伸長)	氣中 (単独or複数台中継)
調査内容	映像(カメラ)	○	○	○
	放射線(γ)	○	○	○
	放射線(核種)	検討中	検討中	—
	点群データ	検討中	検討中	—
装置制約寸法	ガイドパイプ(φ300)	○	△(小型化要)	△(小型化要)
	ペDESTル開口 (約1000×800)	○	○	○
調査装置 開発期間	概念検討(HP:6月末)	○	×(6～12カ月)	×(6～9カ月)
総合評価		○(主案)	△	△

5.3 アクセス・調査装置の開発状況

5.3.1 調査装置の機能検証

(1) 要求仕様

PCV内部調査(B1調査)実績からPCV内1階グレーチング状況を推定し、ペDESTAL内を調査に必要な調査装置・調査付帯装置の要求仕様を表7にまとめた。

表7 ペDESTAL内調査懸案事項と対策(案)

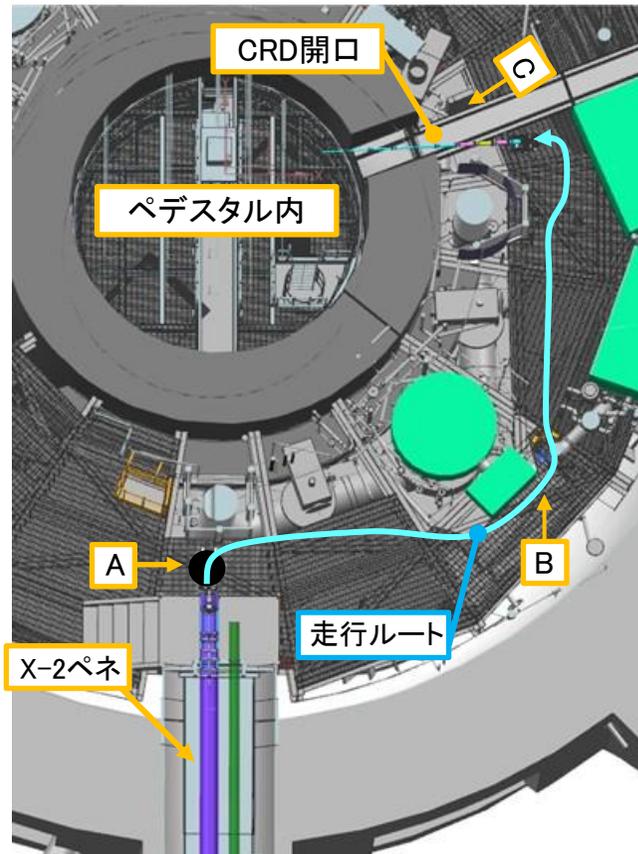
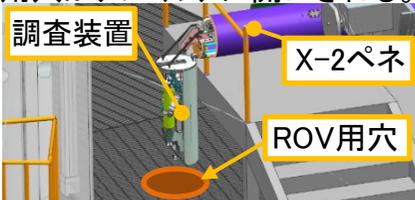


図17 調査装置のPCV内想定走行ルート

PCV内状況	懸案事項	対策(案)
PCV内部詳細調査(堆積物)のROV用穴がグレーチングに開口される。  調査装置 X-2ペネ ROV用穴 A矢視	調査装置がROV用穴からPCV内の地下階(水中)へ落下する。	ROV用穴をカバーで塞ぐ。
1階グレーチング上にB1調査装置(残置)や多数ガレキが存在する。  B矢視	調査装置がB1調査装置(残置)を乗り越えず、CRD開口まで到達できない。 調査装置ケーブルがガレキに引っ掛かる。	B1調査装置(残置)の乗り越えが可能な駆動機構を採用する。 任意位置でのケーブル処理が可能な付帯装置を導入する。
CRD開口付近に干渉物が存在する。  CRD開口	構造物等により調査装置がCRD開口からペDESTAL内に進入できない。	調査装置本体はCRD開口からペDESTAL内に進入せずに、調査計器付き伸長ロッドをペDESTAL内に伸長させる。

5.3.1 調査装置の機能検証

(2) 要求仕様機能検証範囲(試作・試験範囲)

ペDESTAL内調査の主要装置のうち、主にこれまでのPCV内部調査等にて実績がない要求仕様について、要素試作・試験等機能検証を実施した。

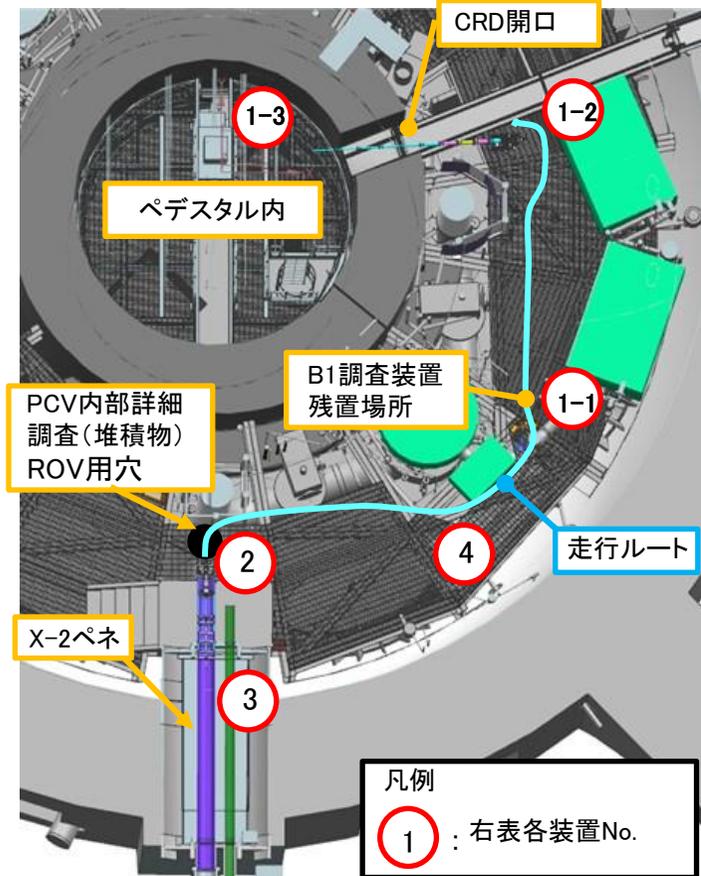


図18 調査装置のPCV内想定走行ルート

表8 ペDESTAL内調査の主要装置と要求仕様

No.	装置	要求仕様	実績	試作 試験
1-1	ペDESTAL内 調査装置	CRD残置開口までの走行 (B1調査装置(残置)乗越含む)	×	○
1-2		ペDESTAL内へのアクセス(伸長ロッド)	×	○
1-3		ペDESTAL内の情報取得(映像、線量)	×	○ (※1)
2	穴カバー 設置装置	1階グレーチングROV用穴への 閉止カバー設置・回収	×	○
3	インストール 装置	調査装置をX-2ペネからPCV内1階 グレーチングへ挿入・回収	○	○ (※2)
4	ケーブル 送り装置	調査装置のケーブル修正処理	×	○

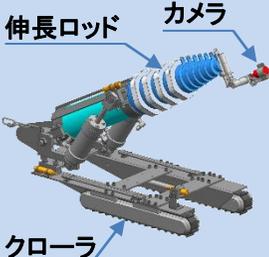
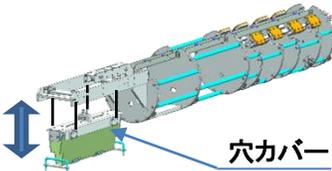
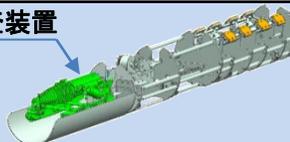
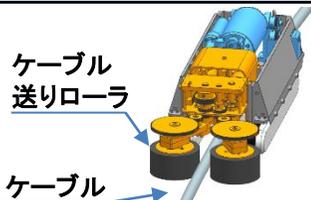
※1: 放射線線量計はB2調査実績品を使用するため試作機には搭載せず。
 ※2: PCV内部詳細調査(堆積物)で実績有だが、クローラ調査装置での実績無しのため試作した。

5.3.1 調査装置の機能検証

(3) 機能検証結果の概要(1/2)

ペDESTル内調査に用いる主要装置に対し、試作・試験により機能検証を行った結果を表9に示す。機能検証の結果、ペDESTル内調査の要求仕様を満たしていることを確認した。

表9 ペDESTル内調査装置・調査付帯装置の機能検証結果

No.	装置	試験項目	試験結果	備考
1	 ペDESTル内調査装置	B1調査装置(残置)の乗り越え	○: 実機同様(グレーチング)の条件で、B1調査装置模擬の乗り越えができた。	No.21
		ペDESTル内への調査計器挿入(伸長ロッド伸長)	○: 伸長ロッド(エア駆動)を遠隔自動で伸長・収縮できた。	No.21
		ペDESTル内の映像調査(暗闇でのカメラ視認性)	○: 実機同様暗闇で模擬ペDESTル内構造物の映像を良好な状態で取得できた。	No.22
2	 穴カバー設置装置	ROV用穴への穴カバーの遠隔設置・回収	○: 遠隔自動で設置・回収できた。	No.24
		穴カバー上での調査装置の走行性	○: 調査装置が穴カバー上を問題無く走行した。	
3	 インストール装置	調査装置のX-2ペネトレーション～PCV内1階グレーチングへの進入・回収	○: 調査装置をPCV内1階グレーチング上に遠隔自動で進入・回収できた。	No.25
4	 ケーブル送り装置	調査装置のケーブル把持・移動	○: 遠隔自動で調査装置のケーブルを把持し移動できた。(ケーブルルート修正可)	No.27
		調査装置のケーブル送り	○: 遠隔自動で調査装置のケーブル送りが出来た。(ケーブル引掛り解除可)	

5.3.1 調査装置の機能検証

(3) 機能検証結果の概要(2/2)

ペDESTAL内調査の機能検証は、1号機PCV内・ペDESTAL内状況を模擬した試験設備で実施した。機能検証に際しては、実機同様の環境(暗闇、遠隔作業)を極力模擬して実施した。

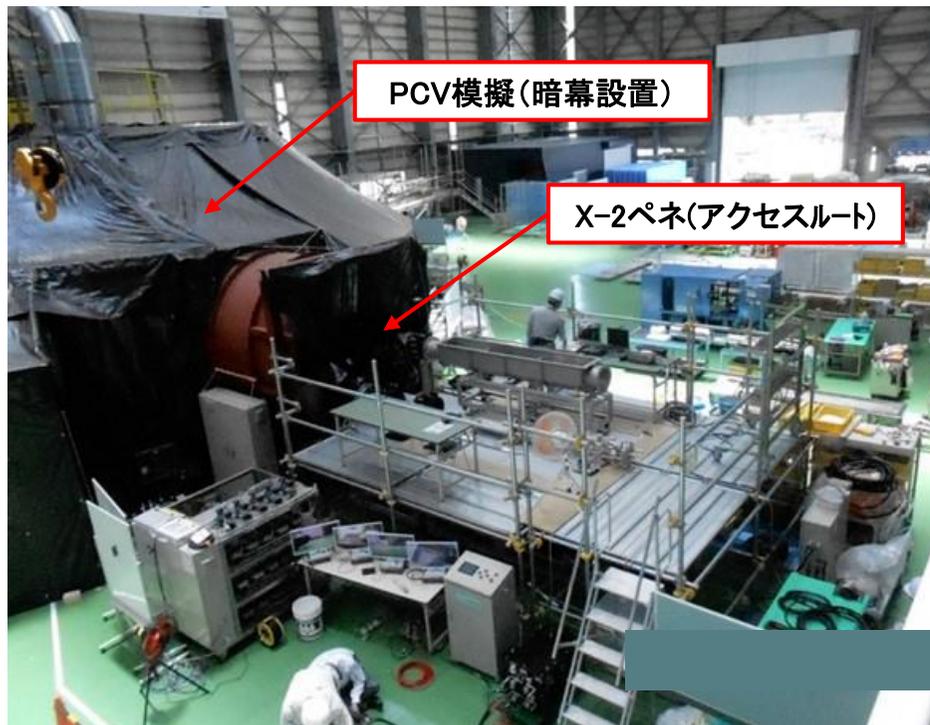
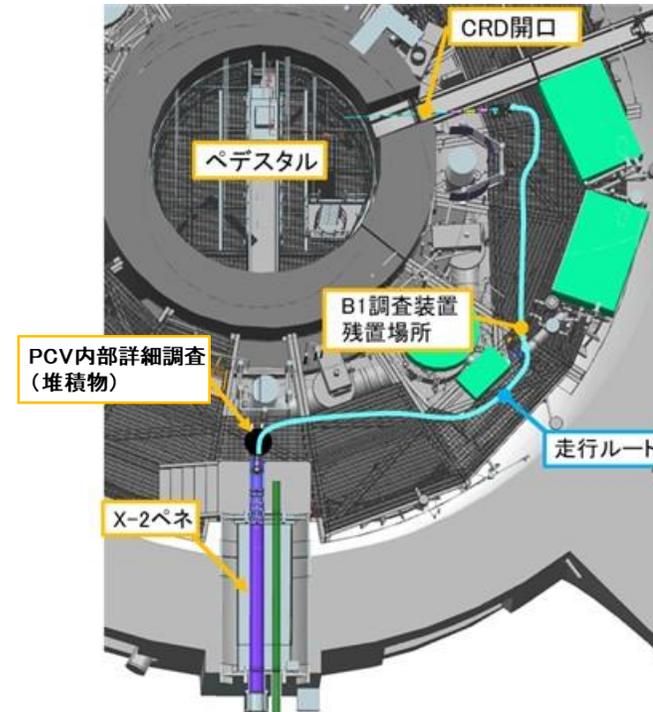


図19 ペDESTAL内調査検証 試験設備



調査装置を遠隔自動でX-2ペネ～CRD開口まで走行させ、伸縮ロッド先端の調査計器(カメラ)でペDESTAL内状況を調査した。

図20 ペDESTAL内調査検証 試験ルート

5.3.1 調査装置の機能検証

(4) ペデスタル内調査装置(1/3)

①要求仕様

X-2アクセスルートからペデスタルCRD開口まで走行し、先端に調査計器(カメラ・線量計)を搭載した伸長ロッドをペデスタル内に伸長し、調査を行う。

表10 ペデスタル内調査装置の機能概要

装置の部位	概要
走行部	B1残置装置を乗越え、ペデスタルCRD開口まで到達する。
伸長ロッド	伸長ロッド(エア式)で伸長、収縮する。 伸長ロッド伸長時のモーメントでも調査装置は転倒しない。 ケーブルが伸長ロッド伸長に追従する。
調査計器 (カメラ・放射線計測)	パンチルト式の調査計器(カメラ・放射線計測)を有する。 調査計器はB2調査計器と同仕様(φ20mm×45mm)。

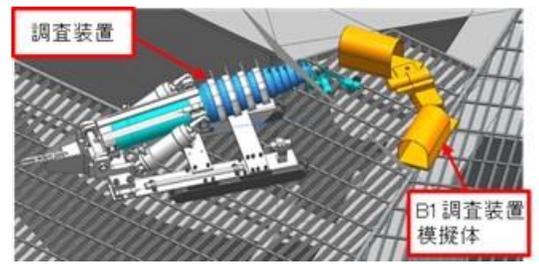


図21 B1残置装置乗越え

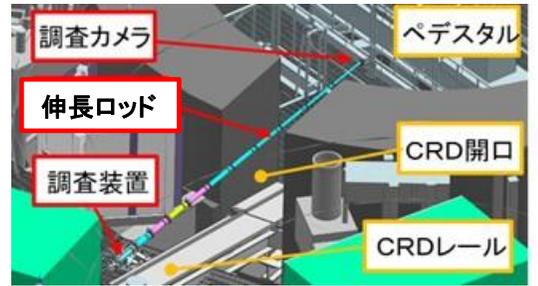


図22 ペデスタル内調査(イメージ)



図23 ペデスタル内調査装置



図24 ペデスタル内調査装置(試作機)



図25 伸長ロッド伸長状況

5.3.1 調査装置の機能検証

(4) ペDESTAL内調査装置(2/3)

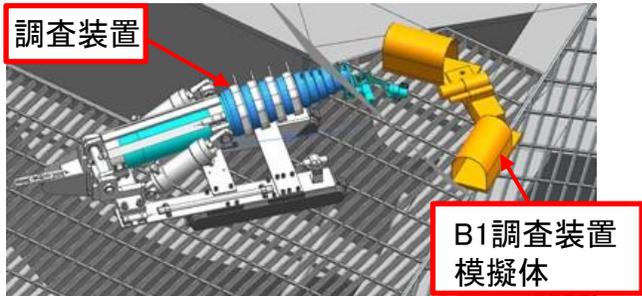
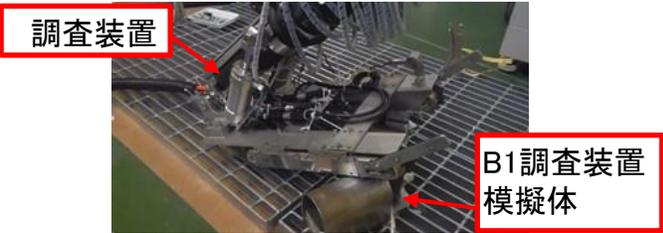
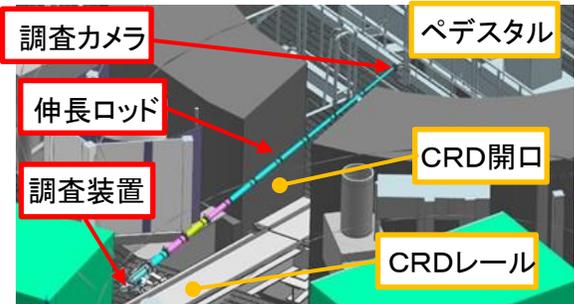
②機能検証結果(1/2)

試作機を用いて下記の機能検証を実施。

B1調査装置(残置)の乗越え、及び伸長ロッドによる調査カメラのペDESTAL内挿入が可能であることを確認

。

表11 ペDESTAL内調査装置の機能検証結果(1)

試験項目	試験内容	試験結果
B1調査装置(残置)の乗越え	B1調査装置(残置)の模擬体を踏破させる。 	行き/帰りの双方にて、B1調査装置(残置)の踏破が可能であった。 
伸長ロッドによる調査カメラのペDESTAL内挿入	伸長ロッドを伸長させ、カメラをペDESTAL内に挿入する。 	ペDESTAL内へのカメラ挿入が可能であった。 

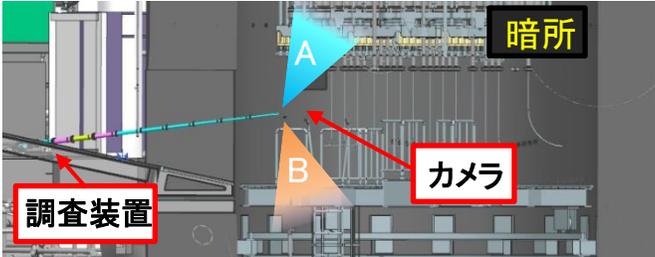
5.3.1 調査装置の機能検証

(4) ペDESTAL内調査装置(3/3)

②機能検証結果(2/2)

ペDESTAL内(暗闇)の構造物・デブリ模擬体の視認が可能であることを確認した。

表12 ペDESTAL内調査装置の機能検証結果(2)

試験項目	試験内容	試験結果
<p>ペDESTAL内映像取得</p>	<p>ペDESTAL内へカメラを挿入し撮影(A、B視野)</p>  <p>A視野</p>  <p>デブリ模擬体 CRD模擬体</p> <p>B視野</p>  <p>模擬体 水位レベル(土囊)</p> <p>ペDESTAL内 試験模擬体</p>	<p>暗闇でも鮮明に構造物・デブリ模擬体の視認が可能</p>  <p>○ 調査装置カメラ映像(図1 A視野での映像)</p>  <p>調査装置カメラ映像(ペDESTAL内下部)</p> <p>水位レベル</p>

5.3.2 調査付帯装置の機能検証

(1) ペDESTAL内調査付帯装置(穴カバー設置装置)(1/2)

①要求仕様

PCV内アクセスルート (X-2ペネ) のガイドパイプ(350A)直下に
PCV内部詳細調査(堆積物)ROV用の穴(φ420)が存在する。

落下防止のために、穴カバーを設置する。



図26 PCVアクセスルート付近

②装置構造

穴カバーを遠隔で設置/回収可能な試作機を製作。

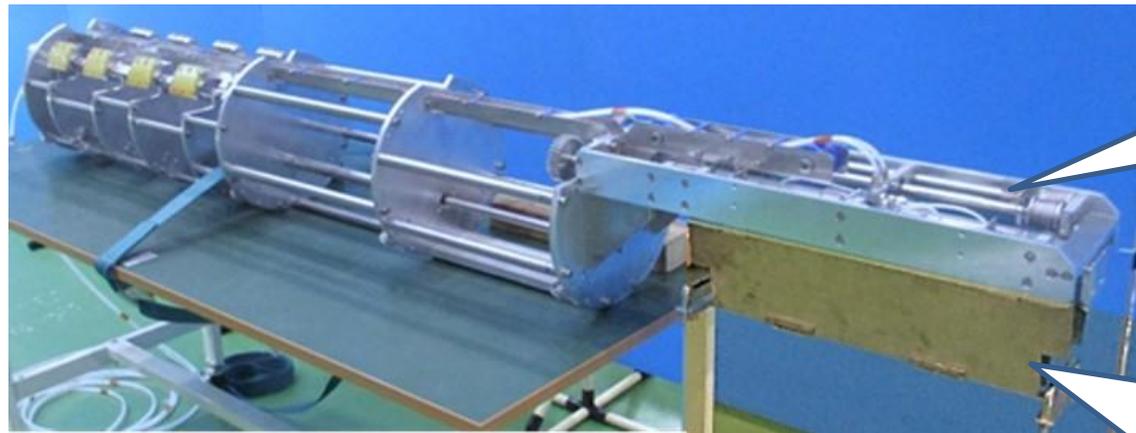
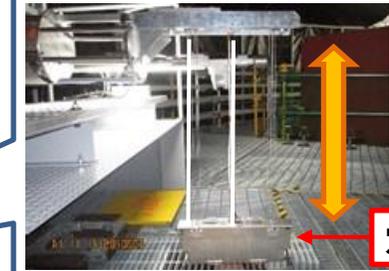


図27 穴カバー設置装置試作機

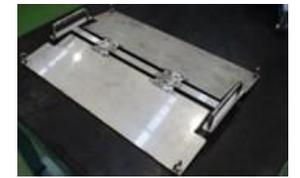
ゴンドラ:穴カバーを昇降させる



穴カバー:折りたたまれた状態で輸送され、
設置時に展開し、ROV用穴を塞ぐ



(輸送時)



(設置時)

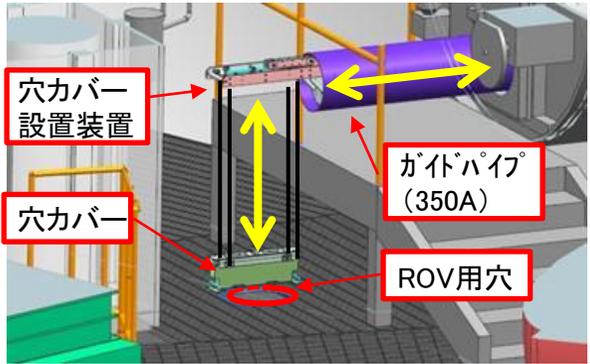
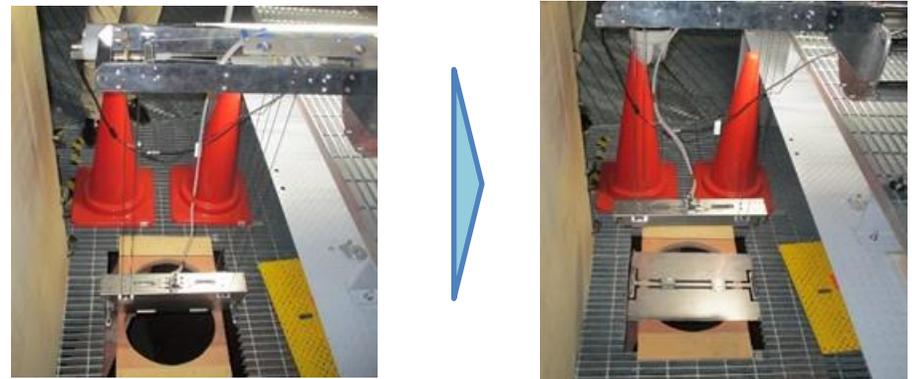
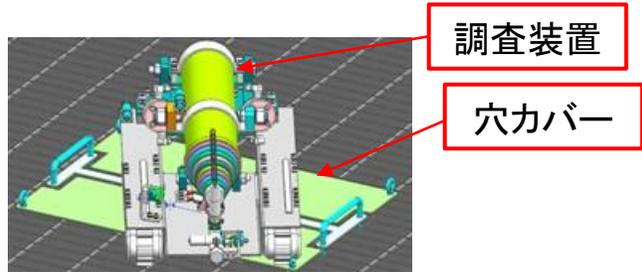
5.3.2 調査付帯装置の機能検証

(1) ペデスタル内調査付帯装置(穴カバー設置装置)(2/2)

③機能検証結果

試作機を用いて下記の機能検証を実施。要求仕様が満たされていることを確認できた。

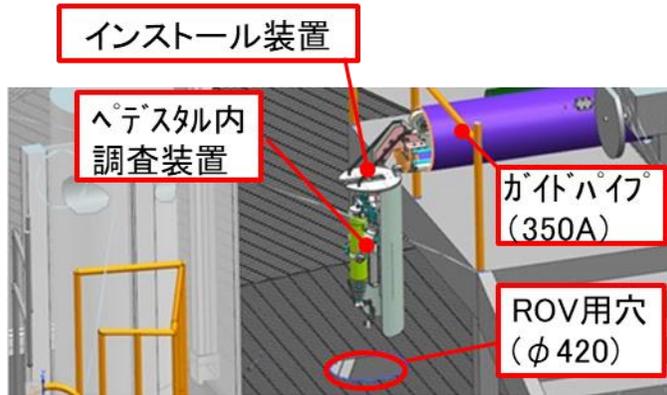
表13 穴カバー設置装置の機能検証結果

試験項目	要求仕様	試験結果
穴カバーの遠隔設置・回収	<p>穴カバーを遠隔自動で設置・回収する。</p> 	<p>穴カバーの遠隔自動での設置・回収に成功した。</p> 
穴カバー構造	<p>(1) 穴カバー上を調査装置が走行できる。 (2) 上記状態で穴カバーがずれない。</p> 	<p>(1)→○ 調査装置が穴カバー上を問題無く走行できた。</p> <p>(2)→○ 走行時の穴カバーのずれは軽微で、調査装置の走行に影響はなかった。</p>

5.3.2 調査付帯装置の機能検証

(2) ペデスタル内調査付帯装置(インストール装置)

試験項目	要求仕様	試験結果
調査装置遠隔設置・回収	実機干渉物を模擬し、調査装置を遠隔自動でPCV内1階グレーチング上に設置・回収する。	計画通りに調査装置をPCV内1階グレーチング(穴カバー)上に着座できた。(○)



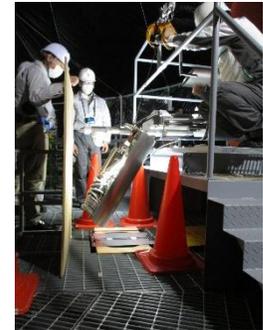
調査装置インストールイメージ図



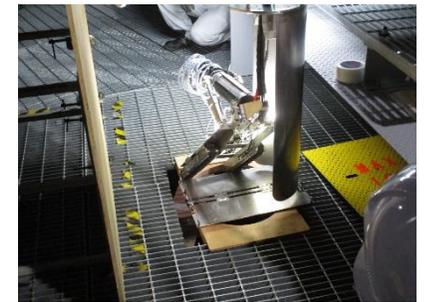
インストール装置屈曲(1/3)



インストール装置屈曲(3/3)



インストール装置屈曲(2/3)



調査装置着座・グレーチング上走行



5.3.2 調査付帯装置の機能検証

(3) ペデスタル内調査付帯装置(ケーブル送り装置)(1/2)

① 要求仕様

ペデスタル内調査装置が1階グレーチングを走行する際、調査装置のケーブルルートの変更やケーブルと干渉物(B1装置含む)の引掛かりを解除する。

表14 ケーブル送り装置の機能概要

装置機能	概要
ケーブル把持・送り機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ローラの開閉によりケーブルを把持できる。 ・ローラの回転によりケーブル送りが出来る。 ・ローラは段差・ケーブル乗越えのために40mm昇降できる。
全方位カメラ監視機能	<ul style="list-style-type: none"> ・LED付監視カメラにより、ケーブル送り装置全方位を監視できる。 ・ケーブル把持・送り状況を監視できる。
段差乗り越え機能	<ul style="list-style-type: none"> ・そりプレート昇降により装置前方を上昇(ウィリー)することで、ケーブル等の段差を乗越えやすくする。

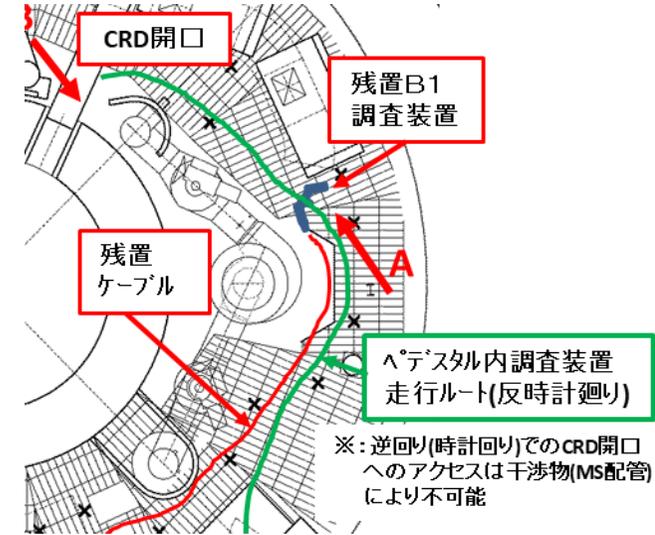


図28 PCV内における調査装置走行ルート

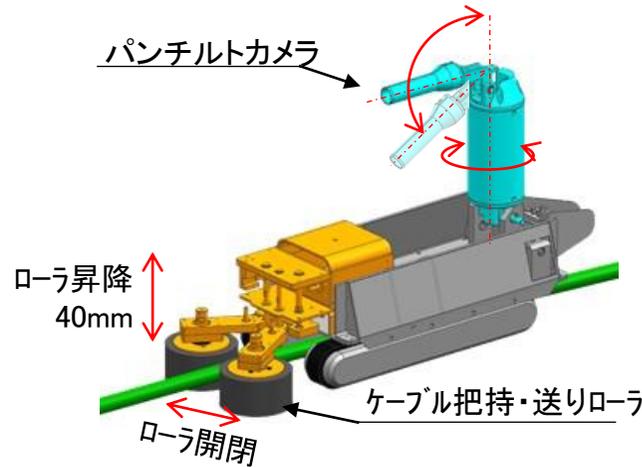


図29 ケーブル送り装置



図30 ケーブル送り装置 試作機



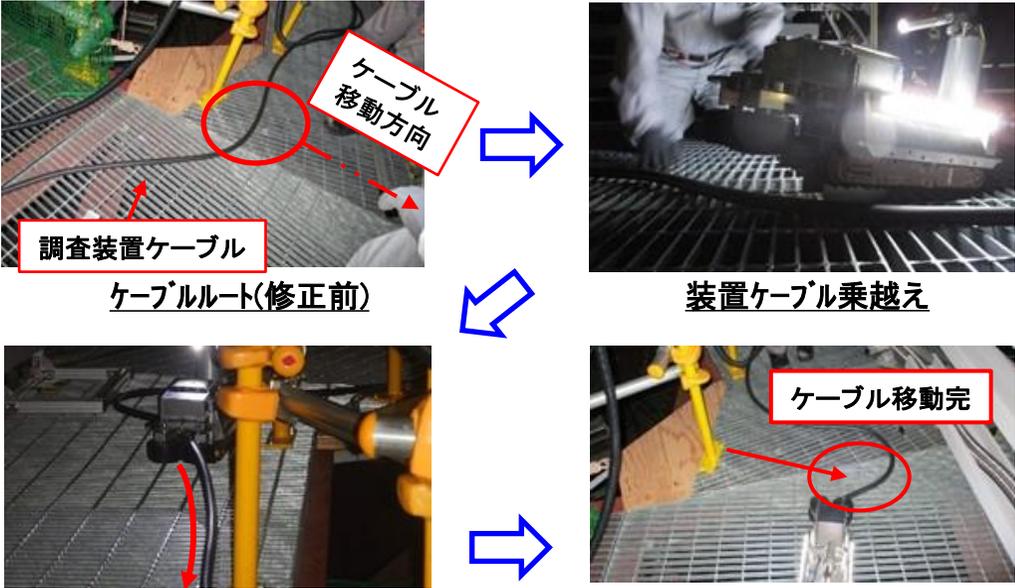
5.3.2 調査付帯装置の機能検証

(3) ペDESTAL内調査付帯装置(ケーブル送り装置)(2/2)

②機能検証結果

要求仕様が満たされていることを確認した。

表15 ケーブル送り装置の機能検証結果

試験内容	試験状況	試験結果
ケーブル・段差 乗り越え機能 ケーブル把持・ 送り機能 カメラ監視機能	<p>(1)ケーブルを乗越える。 (2)ケーブルを把持・送る。 (3) 作業状況をカメラ監視できる。 ※上記を検証するために、調査装置ケーブルルート修正を遠隔自動で実施した。</p> 	<p>(1)⇒○ そりプレート作動により ケーブルを乗越えた。</p> <p>(2)⇒○ ケーブル把持・送り力は78N あり、10m(25N)以上のケー ブル送りが可能。</p> <p>また、水滴で濡れたケー ブルでも59Nの送り力を有す ることを確認した。</p> <p>(3)⇒○ 監視カメラで確認しながら、 遠隔自動でケーブル送り作 業が出来た。</p>

5.3.3 ホールドポイントにおける判断および目標の再設定

(1) エネ庁・NDF・東電HDにて協議の結果、IRIDに対し以下の指示があった。【10月2日付】

1号機PCV内部の詳細な情報が明らかになっていない現段階において、概念設計の次のステップに進むことは、過去の事例に照らした場合手戻りの可能性が大きいと考えられるため、**本事業において計画されていた概念設計より後の項目は本事業では実施しないこと。**

概念設計を行った結果、**新たに明らかとなった検討すべき事項(概念設計の高度化)**については、本事業において**実施すること。**

上記二点を踏まえ、計画変更承認申請書を事務局に提示すること。

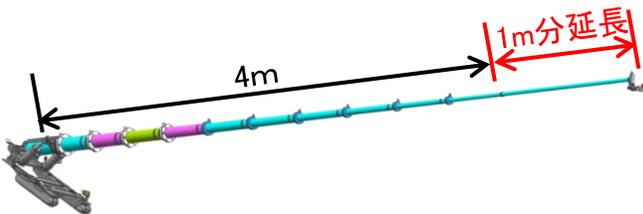
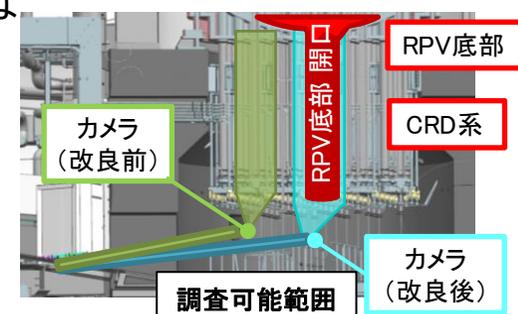
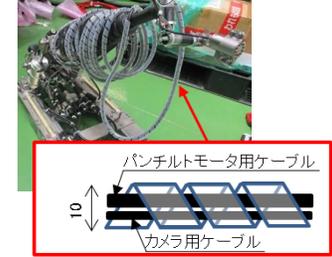
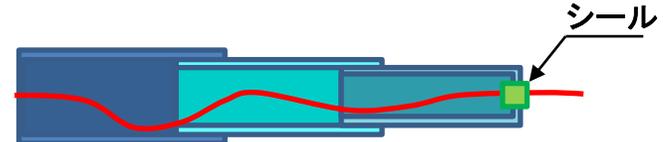
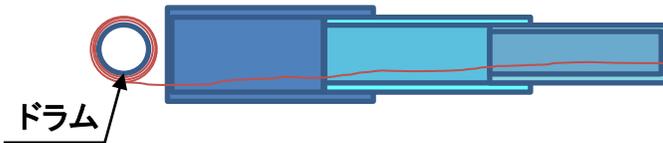
(2) 本事業における目標の再設定(内容の変更)

平成30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(堆積物対策を前提とした内部詳細調査技術の現場実証))の実施内容のうち、「1.1.5実施方法(2)アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証」における実施範囲を、「(iii)アクセス・調査装置と調査技術の設計、製作、単体試験」、「(iv)アクセス・調査装置と調査技術の組合せ試験」、「(v)モックアップ試験、作業訓練」および「(vi)現場実証(現場調査、分析評価)」は**実施しないことに変更する。**また、「(ii)アクセス・調査装置と調査技術の概念設計」については、新たに明らかとなった検討すべき事項(概念設計の高度化)として、**伸長ロッド延長、伸長ロッド位置制御機能の検討を追加で実施する。**

5.3.4 目標再設定後の実施項目

ペDESTAL内調査の高度化として、**伸長ロッド延長、伸長ロッド位置制御機能**の検討が必要である。

表16 ペDESTAL内調査装置の高度化検討項目

項目	内容	効果
伸長ロッド延長	<p>伸長ロッドを延長(4m→5m)することで、RPV底部開口部(※1)内を調査する。</p> 	<p>RPV炉底部開口直下まで届けば RPV内部状況調査の可能性有</p>  <p> ■ :カメラ視野(改良後) ■ :カメラ視野(改良前) </p>
	<p>延長に伴い、ロッドの外側に巻いてあるケーブルを収納する</p> 	<p>伸長ロッド内に収納する</p> 
伸長ロッド位置制御機能	<p>ロッド長を任意に設定可能とする</p>	<p>ドラムを駆動し、ケーブル長を調整して、ロッド長を制御する</p> 

5.4 概念設計の高度化

ペDESTル内調査の高度化として、調査装置の改良(伸長ロッド延長、伸長ロッド位置制御機能等)及び調査支援装置(ケーブル送り装置、穴カバー設置装置)の改良を実施した。

表17 概念設計の高度化における改良項目

記載頁	項目	分類	内容
5.4.1 (1)	伸長ロッド延長	調査装置	・伸長ロッドの延長(4m→5m)を行った。 ・ケーブルの内包化を行った。
5.4.1 (2)	伸長ロッド位置制御機能		・伸長ロッドが最大長(5m)となる途中で任意の位置で停止可能なように改良を行った。
5.4.1 (3)	障害物の踏破性向上及び転倒防止対策		・クローラを2個(1列)から4個(2列)に追加した。 (調査装置重量増加(30kg→40kg))
5.4.1 (4)	ケーブル送り性能の向上	ケーブル送り装置	・ケーブル把持力増加及びローラ回転トルク増加の改良を行った。
5.4.1 (5)	ケーブル把持・送り状況の視認性向上		・ケーブル送りの際、パンチルトカメラ部の動作円滑化及び照明配置見直しを行った。
5.4.1 (6)	カバーの広範囲化	穴カバー設置装置	・カバーを広範囲化し、PCV内1階グレーチング開口を隙間なく塞げるように改良を行った。
5.4.1 (7)	設置・回収時の安定性及び操作性向上		・昇降ワイヤー用のドラムを装置内に追加し、設置・回収時の安定性・操作性を向上する改良を行った。

※1:再設定された目標、 ※2:当初の概念検討で顕在化した課題への対応

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(1)伸長ロッド延長【調査装置】(1/3)

伸長ロッドの延長(4m→5m)イメージ及び延長に伴う、映像取得範囲の拡大イメージ図を以下に示す。

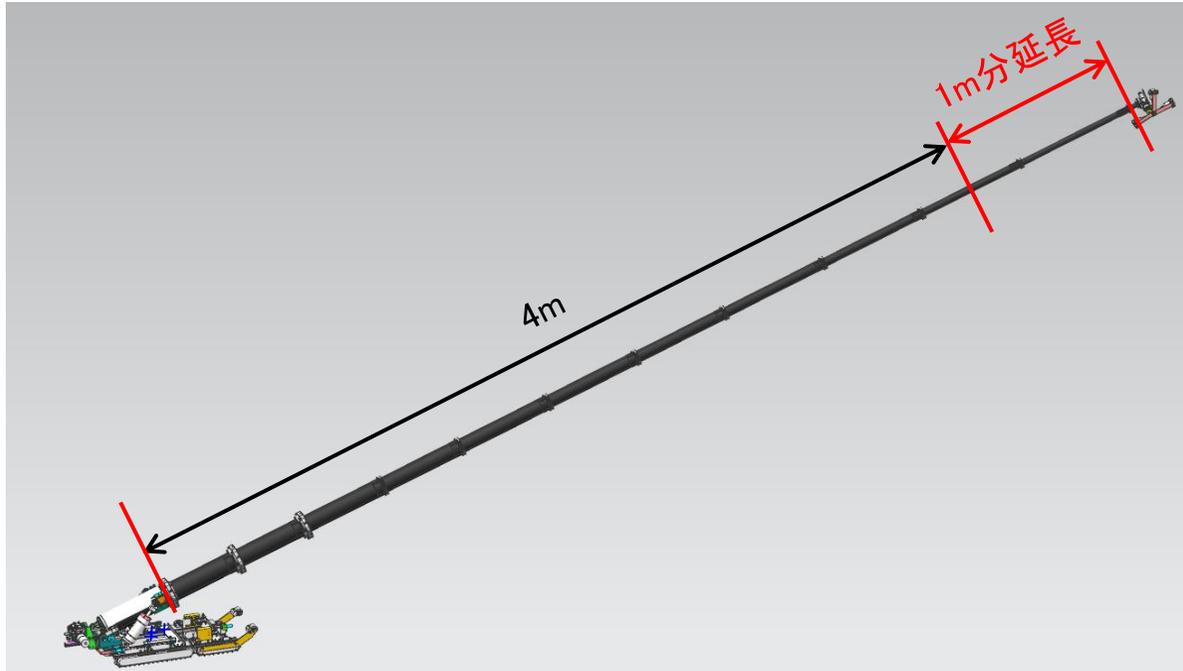
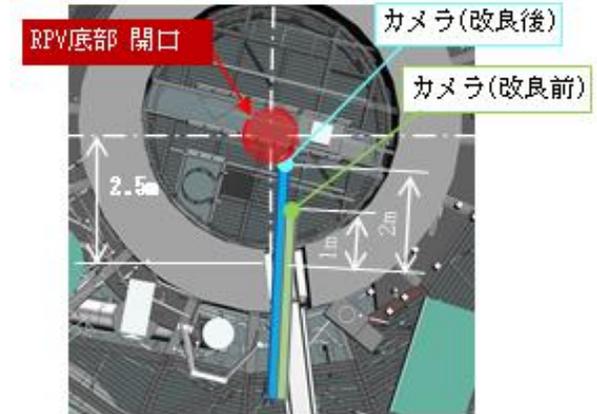


図31 伸長ロッドの延長



■ : カメラ視野 (改良後)
■ : カメラ視野 (改良前)

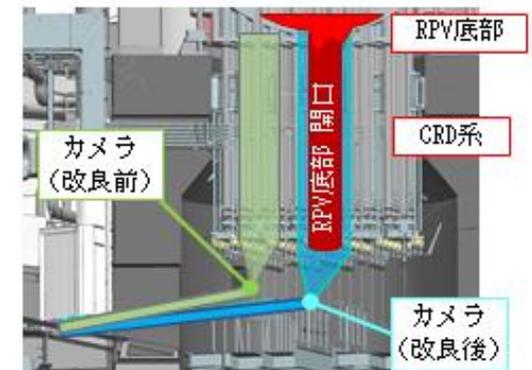


図32 映像取得範囲の拡大

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

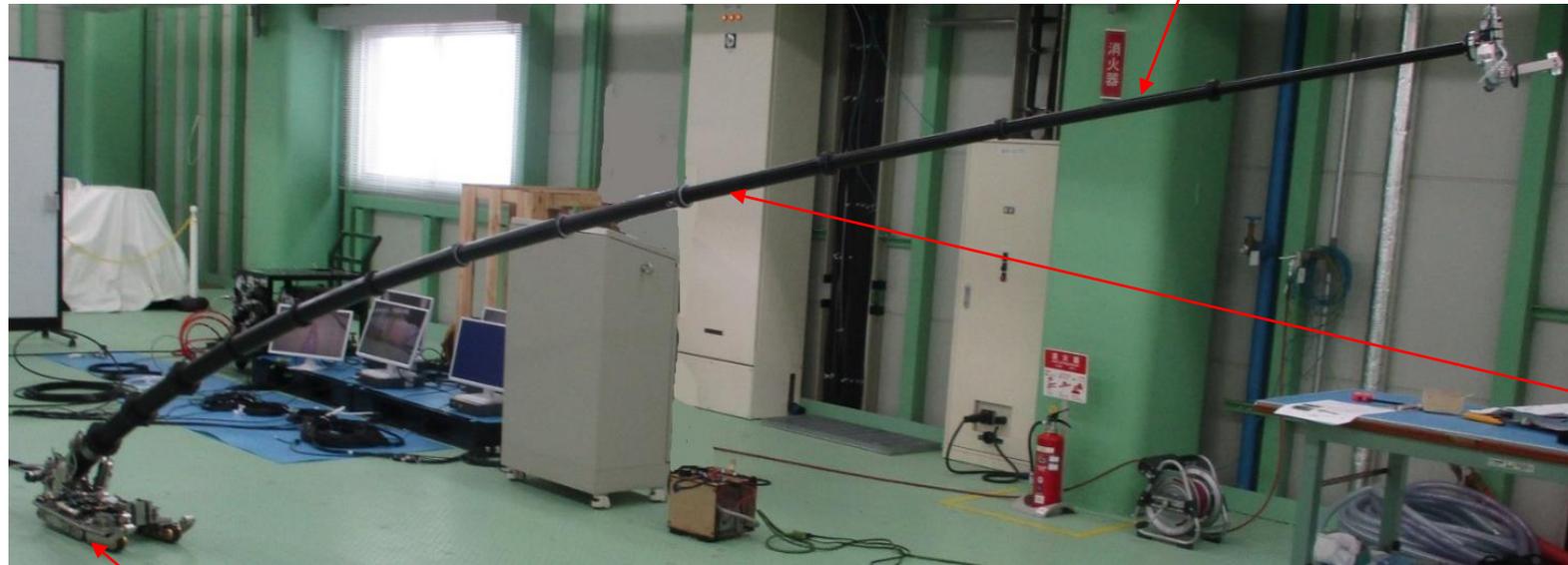
(1)伸長ロッド延長【調査装置】(2/3)

伸長ロッドの延長(4m→5m)確認試験結果を以下に示す。

表18 伸長ロッド延長の確認結果

試験項目	試験内容	試験結果	
伸長ロッドの5m伸縮	伸長ロッドの伸縮(5m)が可能であることを確認する。	○	伸長ロッド5mの伸縮が可能であった。

試験状況



伸長ロッド(5m)

ケーブルは伸長ロッド内に収納

調査装置

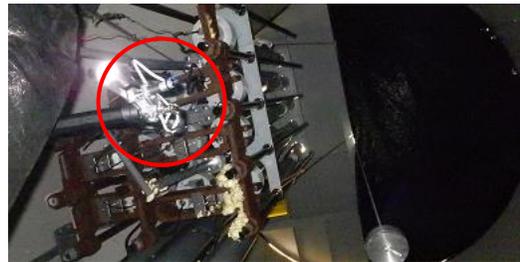
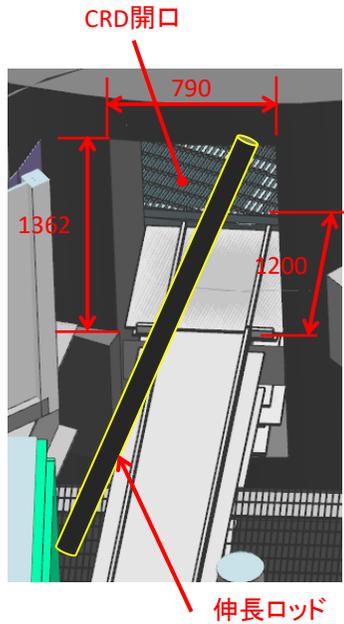
5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(1)伸長ロッド延長【調査装置】(3/3)

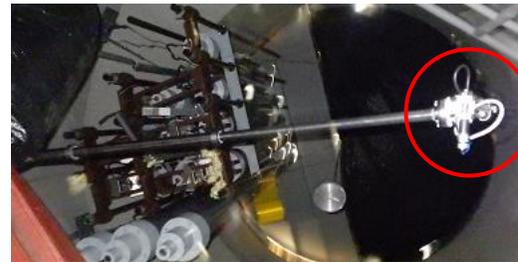
表19 伸長ロッド延長後の視認性確認結果

試験項目	試験内容	試験結果	
伸長ロッド先端調査カメラのペDESTAL内挿入及び映像取得範囲の確認	伸長ロッドを伸ばし、先端カメラをCRD開口からペDESTAL内に挿入し、映像確認を行う。	○	先端カメラの映像(レーザーポインターがCRD開口の範囲内に照射されていること(※1))を確認しながら、ペDESTAL内へのカメラ挿入が可能であった。また、映像取得範囲が拡大されていることを確認した。

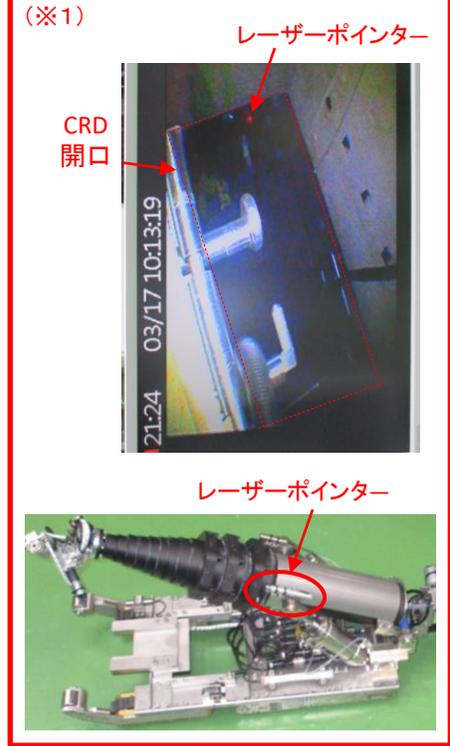
試験状況



ペDESTAL内部状況:ロッド3.6m伸長時先端位置



ペDESTAL内部状況:ロッド5m伸長時先端位置



5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(2)伸長ロッド位置制御機能【調査装置】(1/3)

伸長ロッドの位置制御機能のイメージ図を以下に示す。

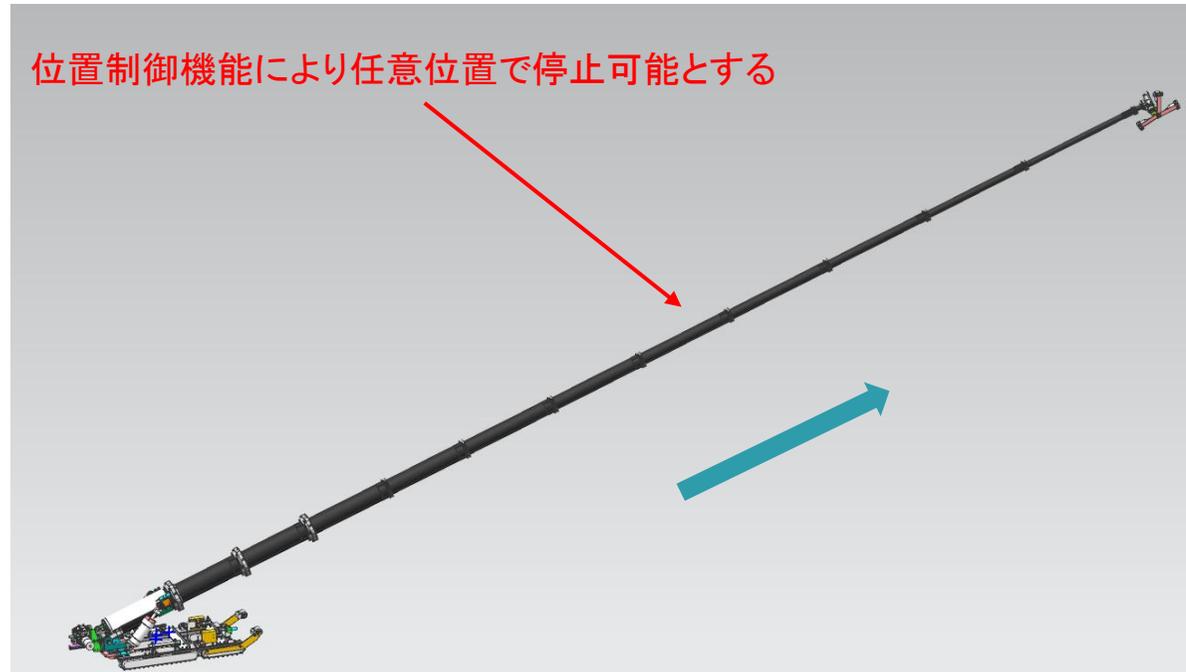


図33 伸長ロッドの位置制御機能

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(2)伸長ロッド位置制御機能【調査装置】(2/3)

伸長ロッドの位置制御機能のイメージ図を以下に示す。

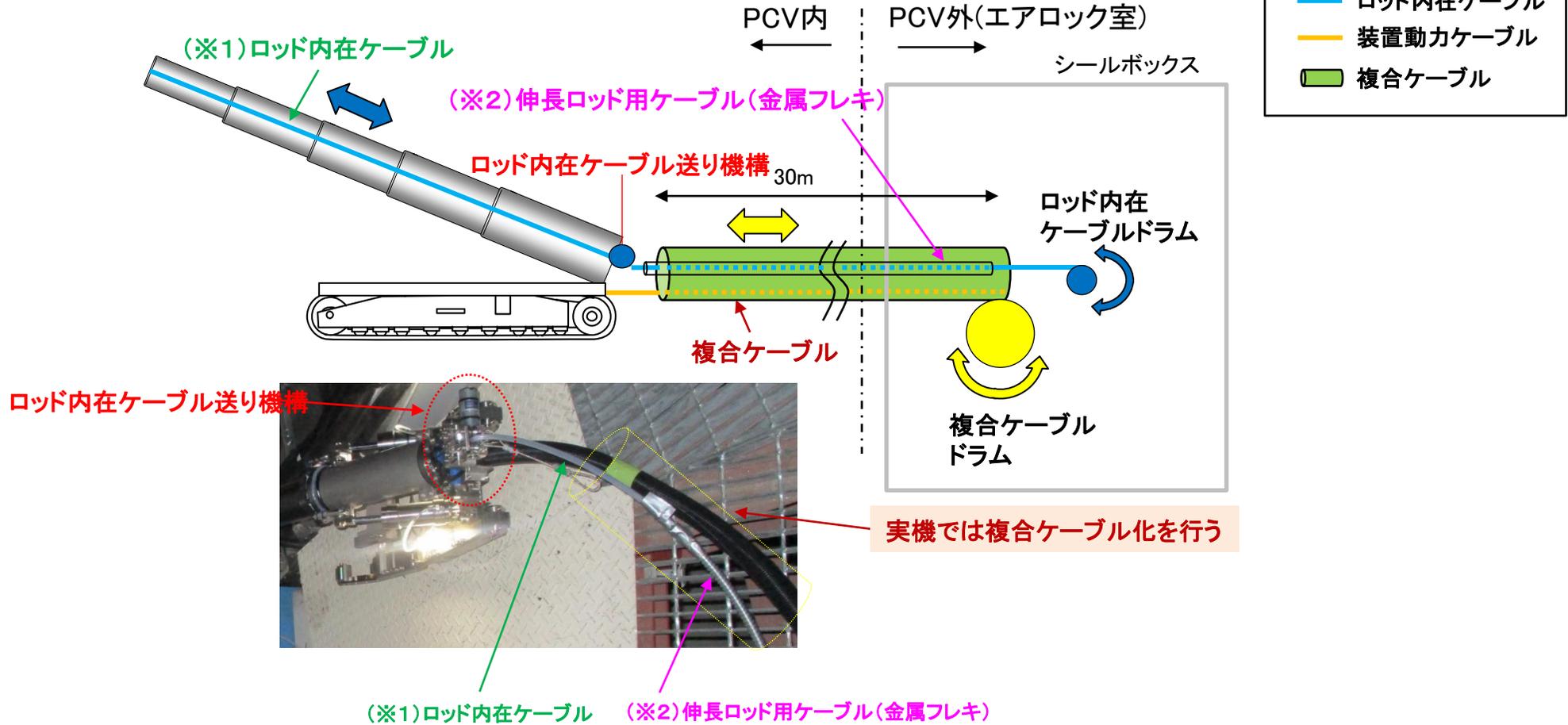


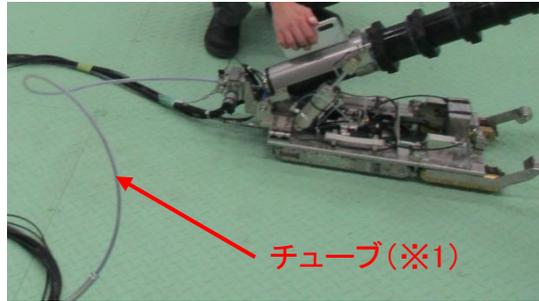
図34 PCV外ケーブル送り部のイメージ図

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果
 (2)伸長ロッド位置制御機能【調査装置】(3/3)

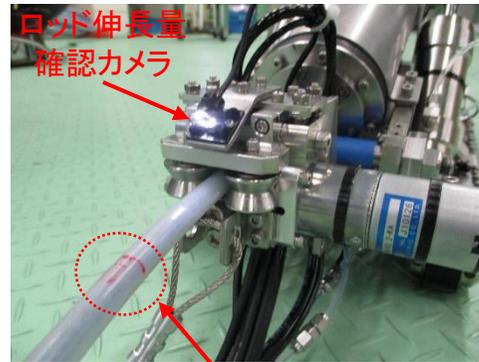
表20 伸長ロッドの位置制御機能確認結果

試験項目	試験内容	試験結果	
伸長ロッド位置制御機能	位置制御機能により伸長ロッドを伸ばす際に、任意位置(1m,2m,3m,4m)で停止可能なことを確認する。	○	伸長ロッドの任意位置での停止が可能であった。

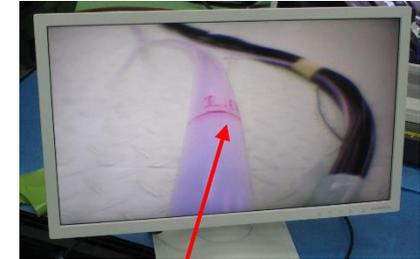
試験状況



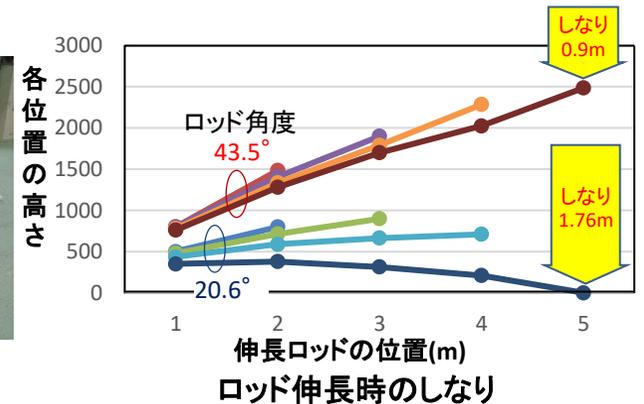
(※1)ロッドの伸長:エア制御



チューブ目盛



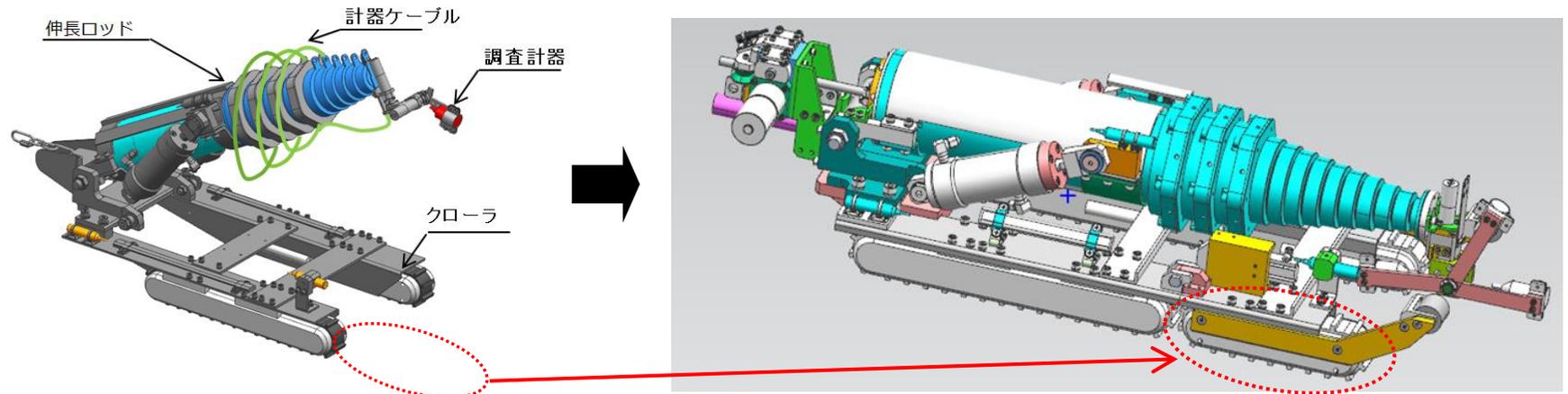
ロッド伸長量確認カメラの映像にて任意位置のチューブ目盛を確認しながらチューブを送る



5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(3)障害物の踏破性向上及び転倒防止対策【調査装置】(1/2)

調査装置の改良箇所を以下に示す。



クローラ追加により、踏破性向上及び
転倒防止対策(調査装置重量増: 30kg→40kg)

図35 調査装置の改良箇所

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(3)障害物の踏破性向上及び転倒防止対策【調査装置】(2/2)

障害物の踏破性向上及び転倒防止対策確認試験結果を以下に示す。

表21 障害物の踏破性確認結果

試験項目	試験内容	試験結果	
B1調査装置(残置)の乗越え	改良後の調査装置でB1調査装置(残置)の模擬体を踏破させる。	○	行き/帰りの双方にて、B1調査装置(残置)の踏破が可能であった。

(1)行き方向の試験状況

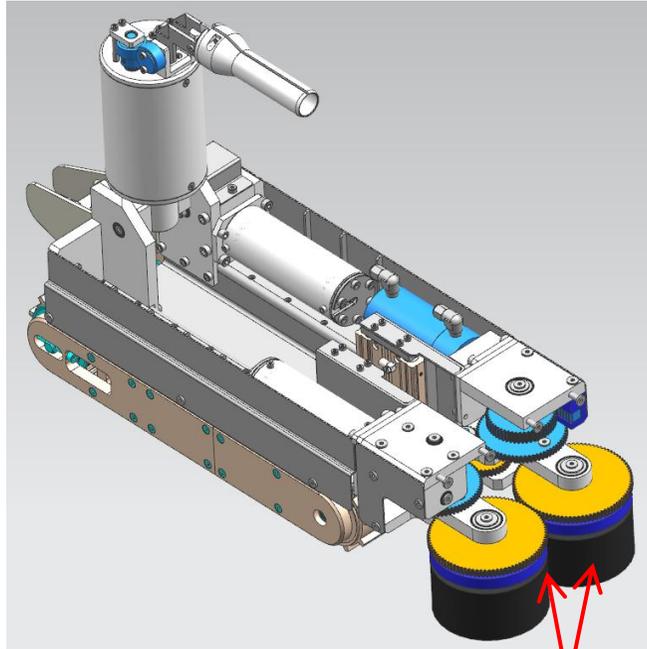


(2)帰り方向の試験状況



5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(4)ケーブル送り性能の向上【ケーブル送り装置】(1/2)
 ケーブル送り装置の改良箇所を以下に示す。



- ・ケーブル把持力の増加
 - ・ローラの回転トルク増加
- により、ケーブル送り性能の向上を図った

図36 ケーブル送り装置の改良箇所

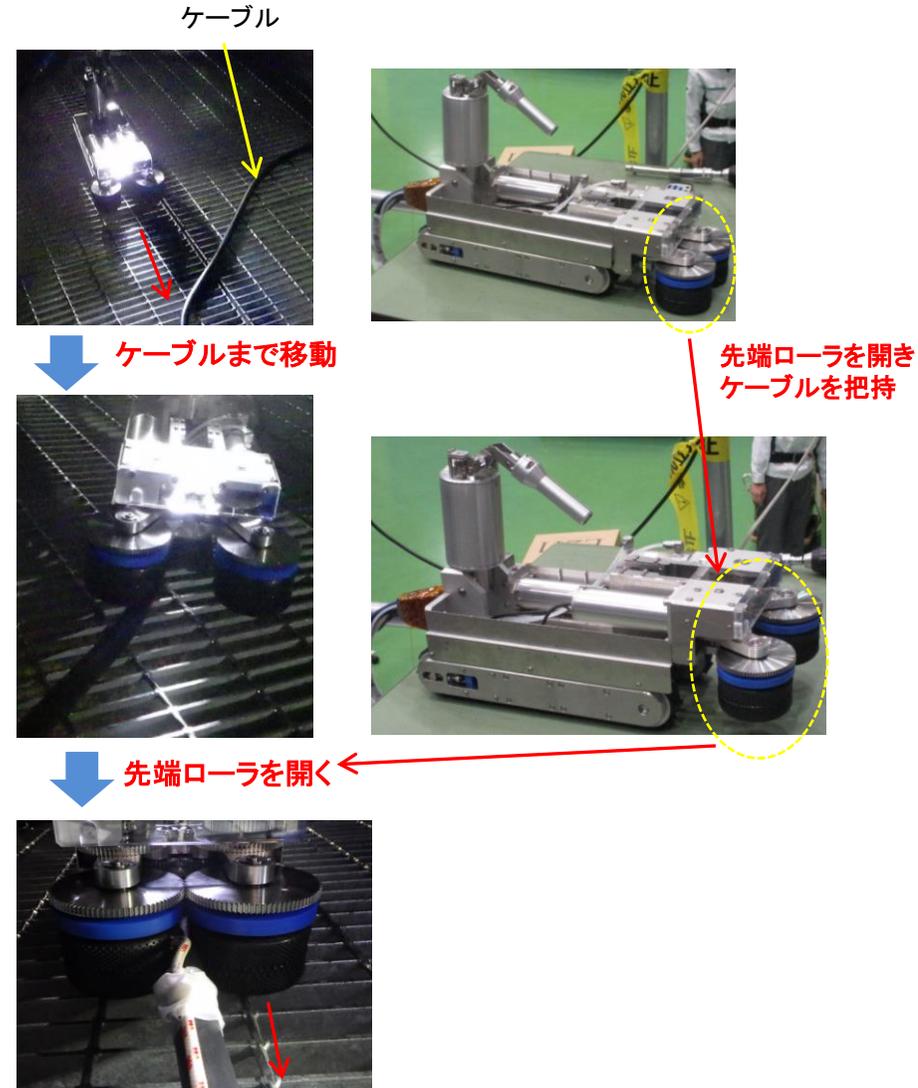


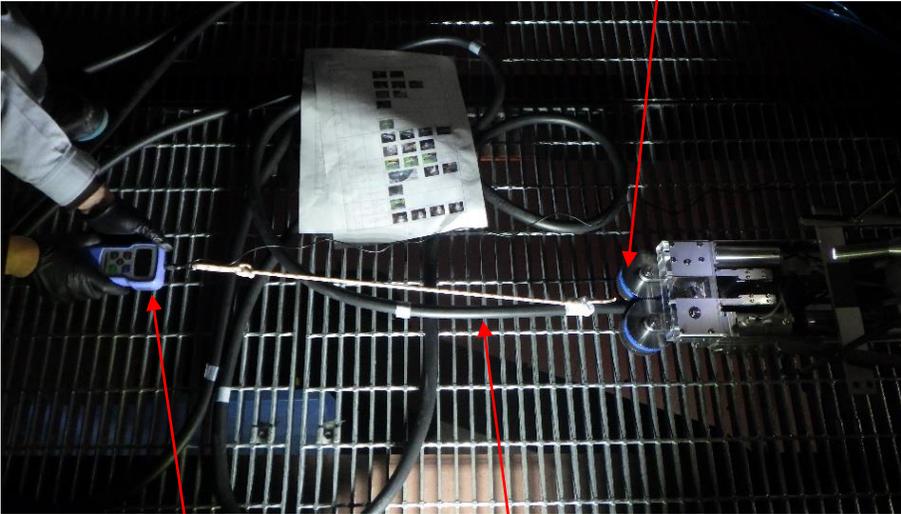
図37 ケーブル送り時の動作概要

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(4)ケーブル送り性能の向上【ケーブル送り装置】(2/2)

ケーブル送り性能向上確認試験結果を以下に示す。

表22 ケーブル送り力の確認結果

試験項目	試験内容	試験結果																			
ケーブル送り力の確認	改良後のケーブル送り装置でケーブル送り力の確認を行う。	○	改良前のケーブル送り装置と比較して、ケーブル送り力の向上を図ることが出来た。																		
試験状況																					
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="692 619 913 648">ケーブル送り装置</p> <p data-bbox="167 1215 416 1243">ケーブル送り力測定</p> <p data-bbox="530 1215 779 1243">模擬ケーブル(Φ20)</p> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <table border="1" data-bbox="1019 815 2013 1002"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th> <th rowspan="2">条件</th> <th colspan="2">ケーブル送り力[N]</th> <th rowspan="2">改良前/後比較</th> </tr> <tr> <th>改良前</th> <th>改良後</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>乾いた状態</td> <td>78.6</td> <td>138</td> <td>1.76倍向上</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>水で濡らした状態</td> <td>65.4</td> <td>108</td> <td>1.65倍向上</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1027 1025 1572 1061">必要ケーブル送り力: 29~49N程度</p> </div> </div>					No.	条件	ケーブル送り力[N]		改良前/後比較	改良前	改良後	1	乾いた状態	78.6	138	1.76倍向上	2	水で濡らした状態	65.4	108	1.65倍向上
No.	条件	ケーブル送り力[N]		改良前/後比較																	
		改良前	改良後																		
1	乾いた状態	78.6	138	1.76倍向上																	
2	水で濡らした状態	65.4	108	1.65倍向上																	

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(5)ケーブル把持・送り状況のパンチルトカメラでの監視【ケーブル送り装置】(1/2)

ケーブル送り装置でケーブルをローラで把持して送る動作をパンチルトカメラで監視できるように改良した。

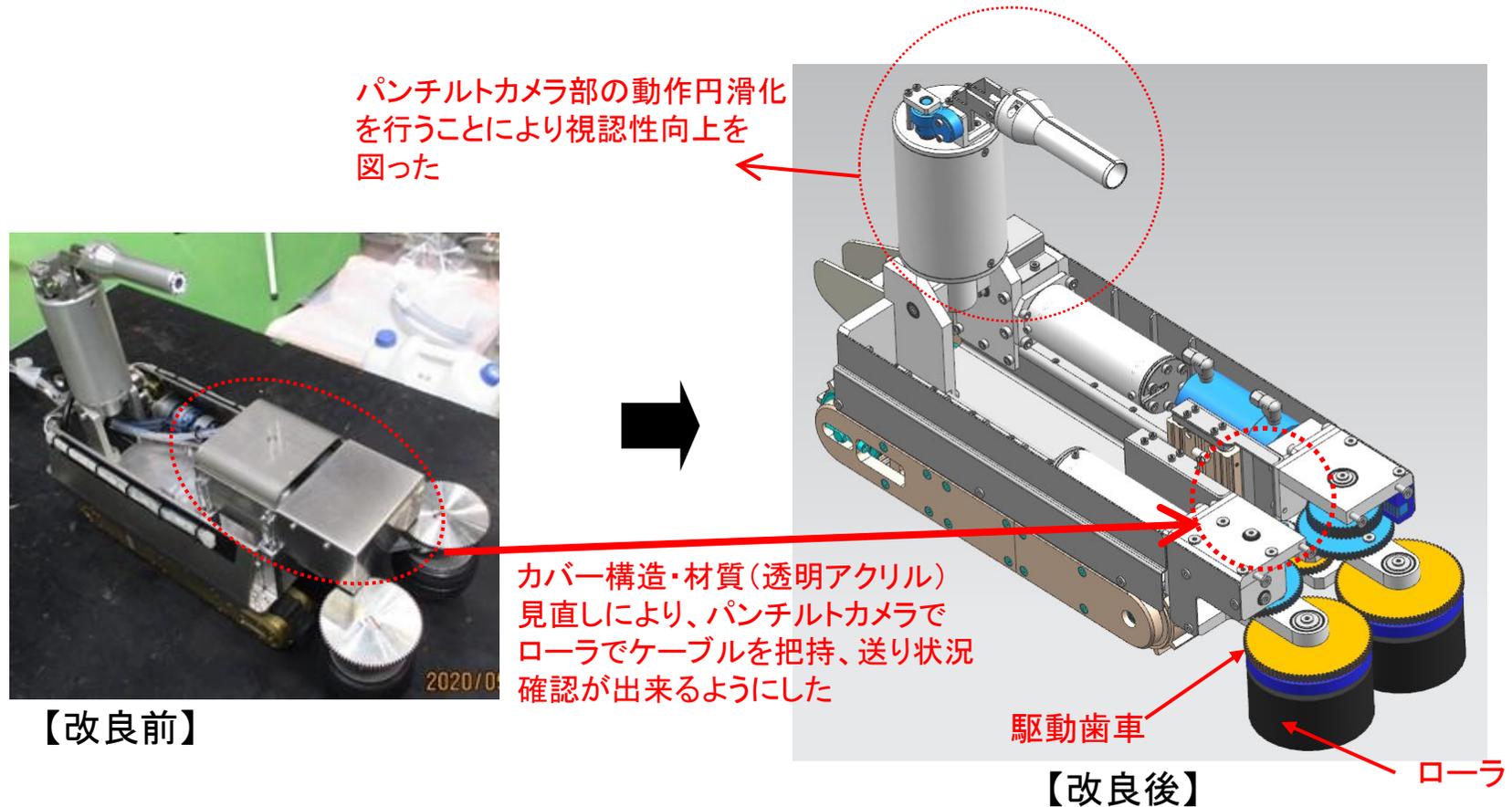


図38 ケーブル送り装置の改良箇所

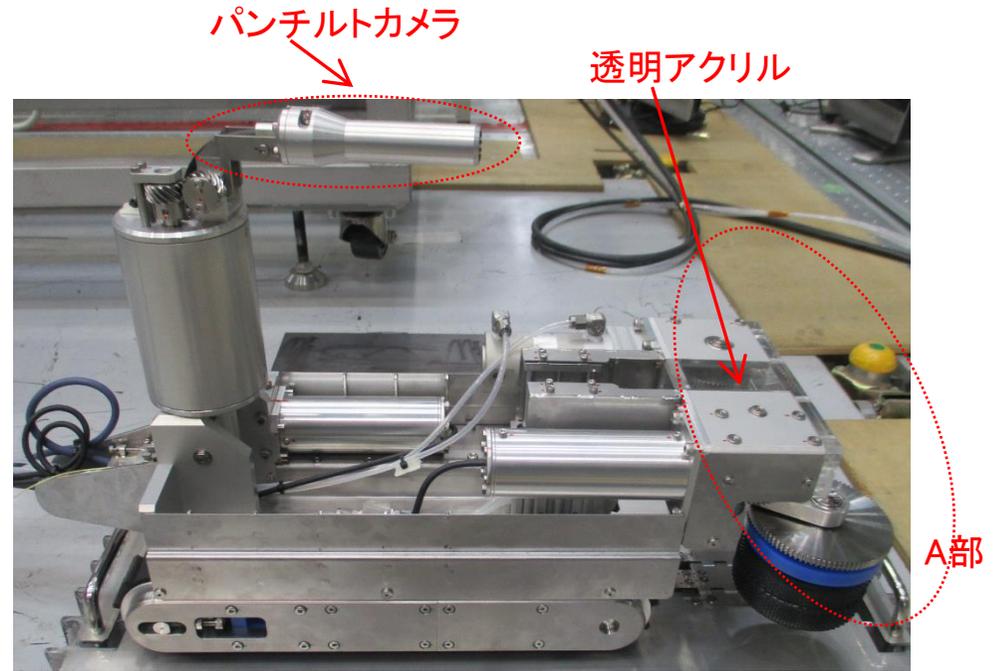
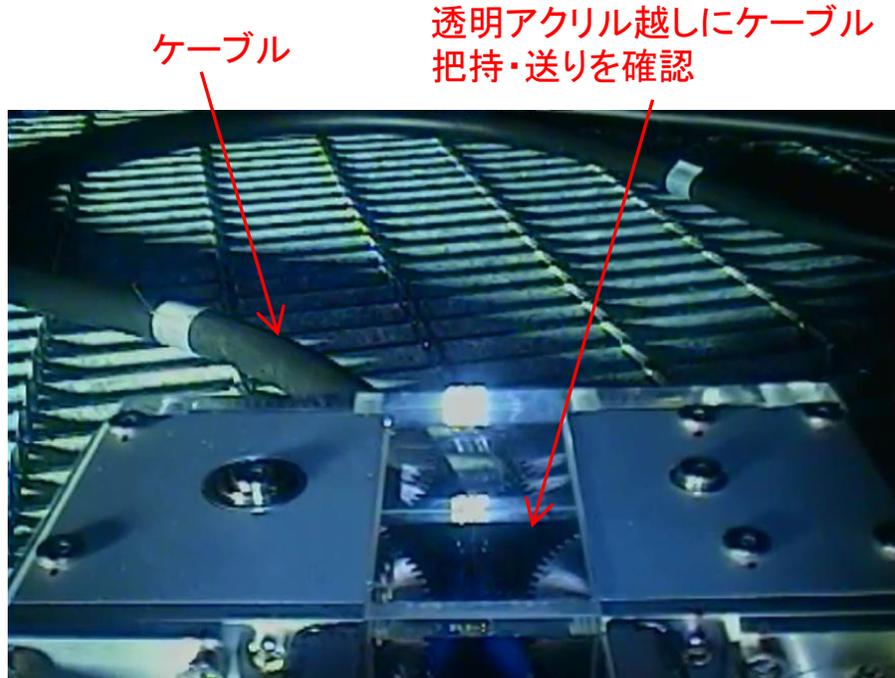
5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(5)ケーブル把持・送り状況のパンチルトカメラでの監視【ケーブル送り装置】(2/2)
 ケーブル把持・送り状況のカメラ監視試験結果を以下に示す。

表23 ケーブル送り時の視認性向上確認結果

試験項目	試験内容	試験結果	
ケーブル送り力時の視認性確認	改良後のケーブル送り装置でケーブル送り時の視認性確認を行う。(パンチルトカメラ映像でA部周辺の確認)	○	改良前と比較して、ケーブル送り時の視認性向上を図ることが出来た。

試験状況



5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(6)カバールの広範囲化【穴カバー設置装置】(1/2)

穴カバー設置装置のカバー改良箇所を以下に示す。

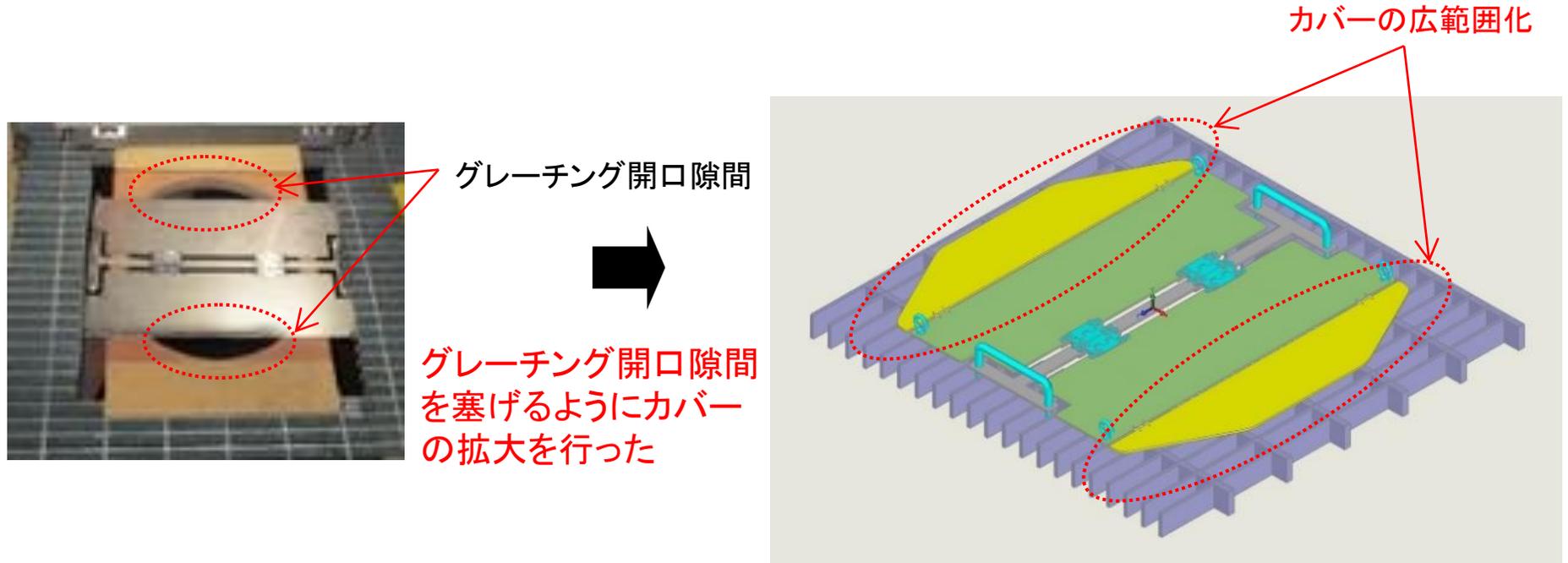


図39 穴カバー設置装置のカバー改良箇所

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

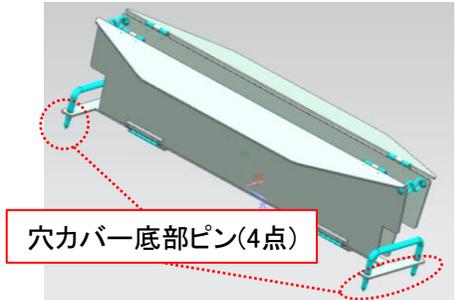
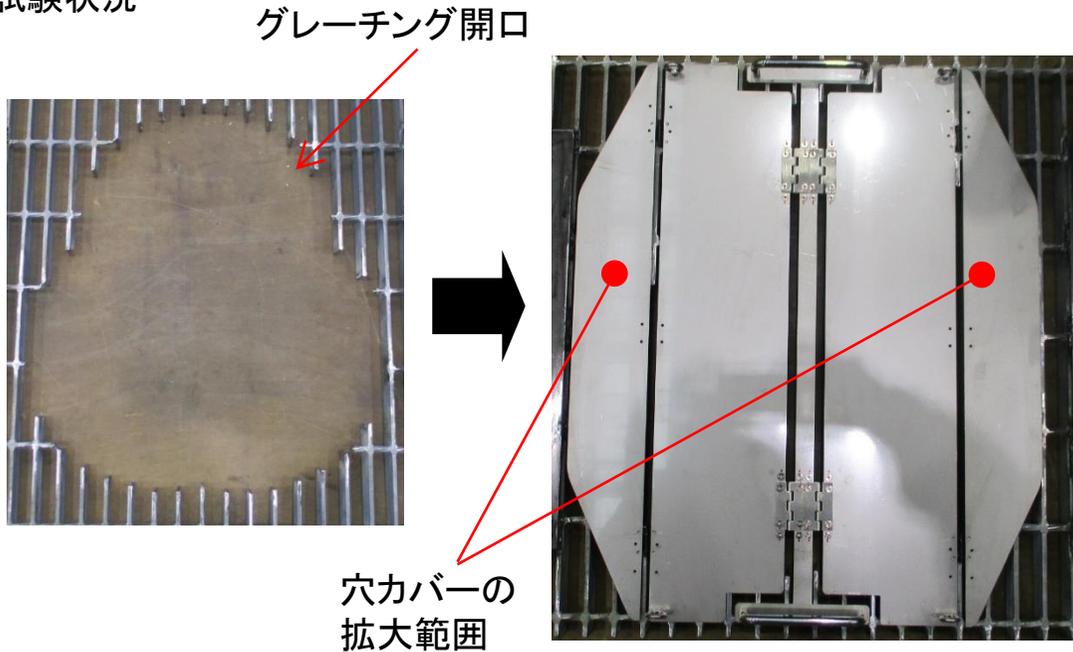
(6)カバーの広範囲化【穴カバー設置装置】(2/2)

穴カバー設置装置のカバー広範囲化確認試験結果を以下に示す。

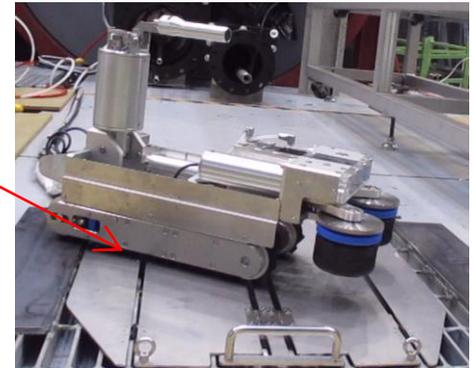
表24 穴カバー設置装置のカバー広範囲化確認結果

試験項目	試験内容	試験結果	
穴カバー設置装置のカバー広範囲化確認	改良後の穴カバーにて、グレーチング開口隙間を防ぐことが可能か確認を行う。	○	改良後の穴カバーにてグレーチング開口隙間を防ぐことが出来た。また、設置後に装置が走行してもずれがないことを確認できた。

試験状況

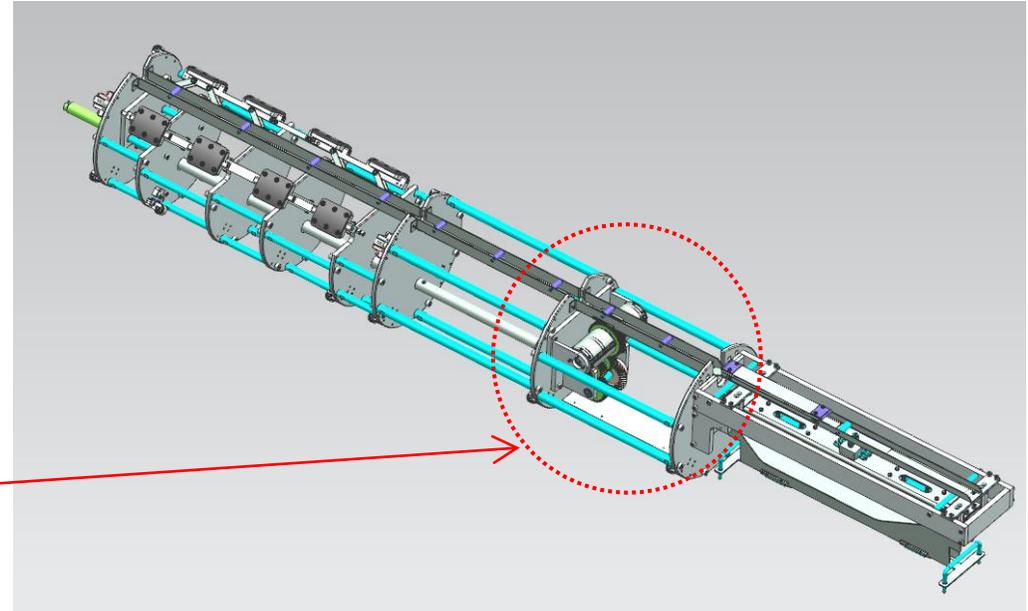
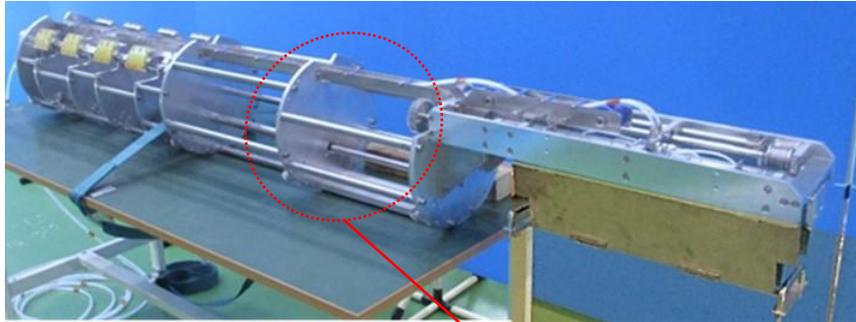


穴カバー底部のピン(4点)がグレーチング溝内に差し込まれており、装置が走行しても、ずれがないことを確認した



5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

(7)設置・回収時の安定性及び操作性向上【穴カバー設置装置】(1/2)
穴カバー設置装置の改良箇所を以下に示す。



昇降ワイヤー用のドラムを
装置内に追加し設置・回収時
の安定性・操作性向上を図った

図40 穴カバー設置装置の改良箇所

5.4.1 調査装置の改良項目と確認結果

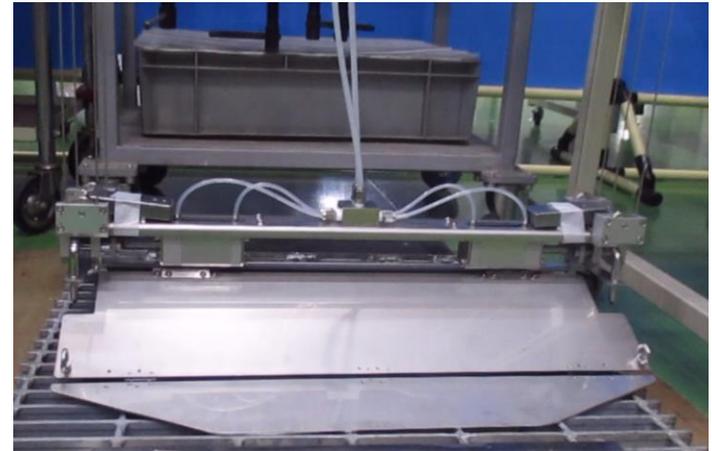
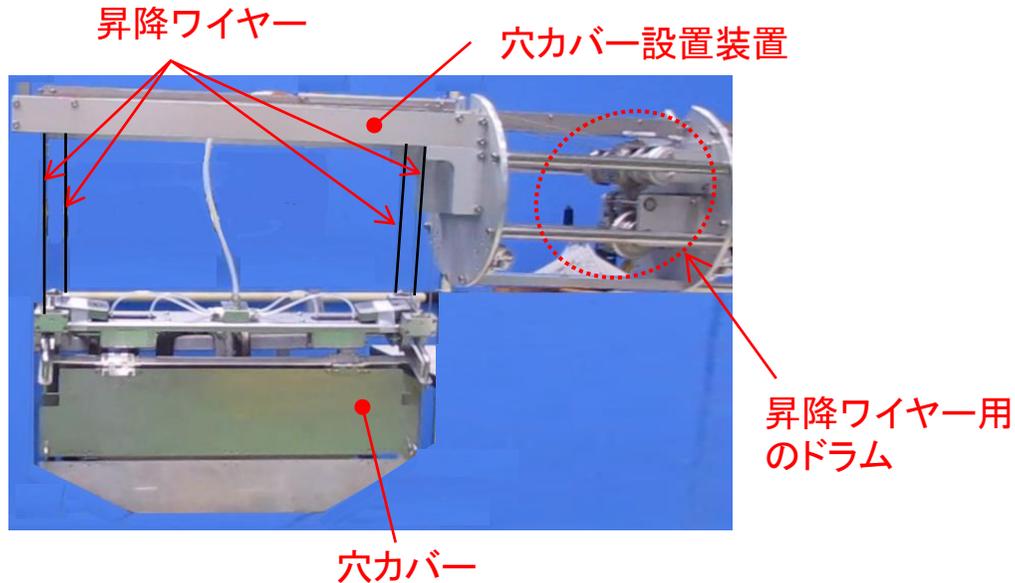
(7)設置・回収時の安定性及び操作性向上【穴カバー設置装置】(2/2)

穴カバー設置装置の設置・回収時の安定性及び操作性向上の確認試験結果を以下に示す。

表25 穴カバー設置装置のカバー設置時の安定性及び操作性向上確認結果

試験項目	試験内容	試験結果	
穴カバー設置時の安定性及び操作性向上確認	穴カバー設置装置に昇降ワイヤー用ドラムを設置したことにより、カバー設置・回収時の安定性及び操作性の確認を行う。	○	穴カバー設置装置のカバー設置・回収時の安定性及び操作性が向上した。

試験状況



5.5 まとめ

●目標に照らした達成度

①アクセス調査装置について、要素試験の結果、目標である概念設計を完了した。

※調査装置がX-2ペネからPCV内にアクセスし、1階グレーチングを走行した上で、ペDESTALCRD開口まで到達出来ること、調査装置に搭載した伸長ロッドを伸長することで、暗闇状態のペDESTAL内の映像を取得できる見通しを得た。

②上記後、「概念設計の高度化」にて、調査装置の改良(伸長ロッド延長、伸長ロッド位置制御機能等)及び調査支援装置(ケーブル送り装置、穴カバー設置装置)の改良を実施し、実機適用可能な見通しを得た。

6. 実施スケジュール(見直し)

ホールドポイントにおいて、実機に向けた詳細設計およびモックアップ試験、現場実証はホールドとなった。
 (スケジュールの見え消しの部分をホールド)一方、概念検討の結果および、その後の議論で新たなニーズへの対応も必要であることが明らかとなり、概念検討の高度化を、2020年度末まで実施すべく見直した。
 (スケジュールの一番下の「変更計画」を追加。)

表26 実施工程(ホールドポイント後)

項目		2019年度			2020年度												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
現行計画	調査計画・開発計画の策定	調査計画の策定						計画の見直し									
		[黒線]						[赤線]									
	アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証	(i) アクセス・調査装置の要素試験						▽—————▶ホールドポイント									
		[黒線]						[赤線]									
		(ii) アクセス・調査装置と調査技術の概念検討						[黒線]									
		[赤線]						[黒線]									
変更計画	[赤線]						(iv) アクセス・調査装置と調査技術の組合せ試験										
	[赤線]						(iii) アクセス・調査装置と調査技術の設計、製作、単体試験										
	[赤線]						(v) モックアップ試験、作業訓練										
								(vi) 現場実証(現場調査)									
								(ii)' 概念検討の高度化									
								[赤線]									

注) 黒線は計画、赤線は実績を示す。

平成30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
(堆積物対策を前提とした内部詳細調査技術の現場実証)
2020年度最終報告

Ⅱ．堆積物を前提としたPCV内部詳細調査

2021年8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
 - 1.3 現場実証の概要
2. 実施項目と目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容(実施事項・成果)
 - 4.1 アクセスルート構築の現場実証
 - 4.1.1 現場実証(切断・不具合対策)
 - 4.1.2 干渉物対策の全体計画
 - 4.1.3 干渉物の位置を把握するための調査装置の製作
 - 4.1.4 干渉物の詳細調査
 - 4.1.5 干渉物対策の実施
 - (1) ハーフ型鋼切断用AWJ装置(ノズル角度変更)
 - (2) 鉛毛マット除去装置
 - 4.2 PCV内部詳細調査の現場実証
 - 4.2.1 作業訓練
 - 4.2.2 現場実証の計画
 - 4.3 目標に照らした達成度
5. まとめ

1. 研究の背景・目的

1.1 本研究が必要な理由(1/2) -背景と本事業の目的-

【背景】

燃料デブリの取り出し方法の確定等に向けて、原子炉格納容器(PCV)内のペDESTAL内外における燃料デブリの分布・形態、PCV内の構造物等の状況をより高い確度で把握するためにアクセス・調査装置の大型化とそれらに適用する調査技術の高度化が必要

【本事業の目的】

1号機は多量の堆積物が存在し、制御棒駆動機構(CRD)ハウジングや炉内機器の脱落が想定されるため(図1.1-1参照)、燃料デブリ取り出し時(又は前)に堆積物回収と落下物撤去が必要となることから、より大きな直径(350mm程度)の貫通部を設けてPCV内部に入り、堆積物の分布や堆積物内部の燃料デブリの分布、炉内構造物の状況等、PCV内部の把握を目的とする

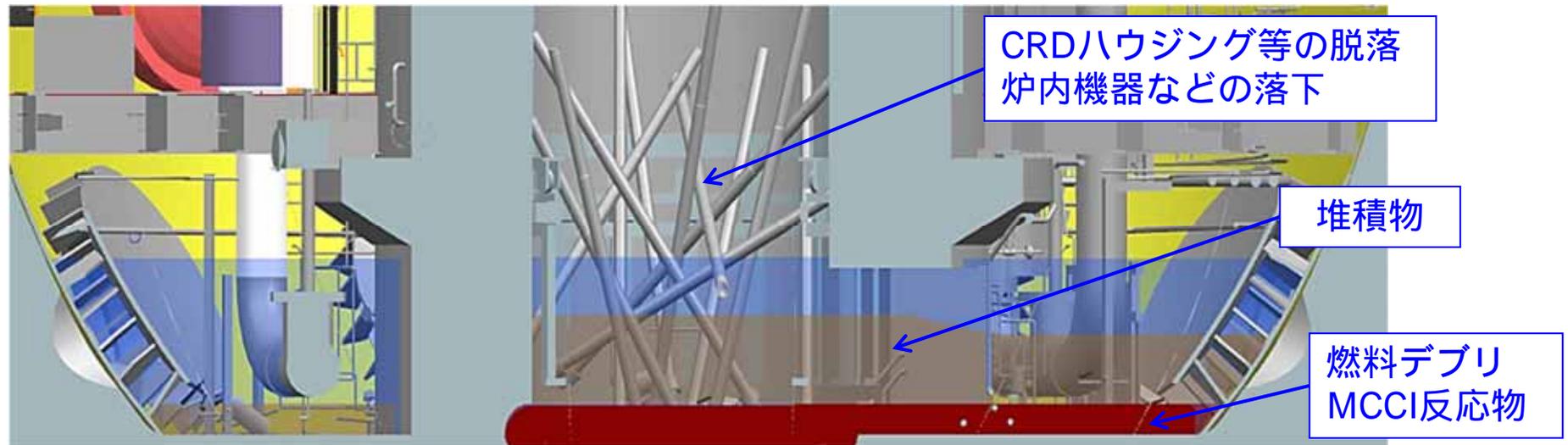


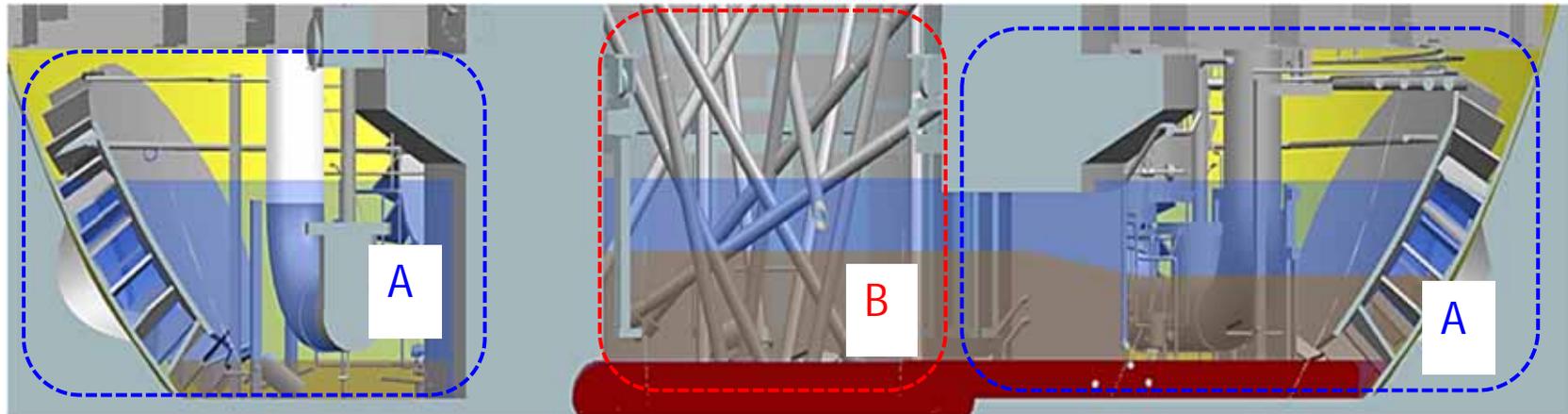
図1.1-1 推定される1号機のPCV内部状況

MCCI：溶融炉心・コンクリート相互作用

1. 研究の背景・目的

1.1 本研究が必要な理由(2/2) -1号機PCV内部詳細調査の概要-

1号機PCV内部詳細調査の現場実証においては、X-2ペネトレーションからPCV内地下階に水中遊泳型調査装置を投入し、ペDESTAL外（図中のA）の広範囲とペDESTAL内の調査を行い、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



	取得したい情報	調査方法
ペDESTAL外～ 作業員アクセス口 （図中のA）	<ul style="list-style-type: none"> ・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） 	<ul style="list-style-type: none"> ・計測※ ・堆積物サンプリング ・目視
ペDESTAL内 （図中のB）	<ul style="list-style-type: none"> ・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） 	<ul style="list-style-type: none"> ・目視

1. 研究の背景・目的

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



平成30～令和元年度 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発
(堆積物対策を前提とした内部詳細調査技術の現場実証)

調査計画・開発計画の策定

アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証の一部



本事業

令和2年度 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発
(堆積物対策を前提とした内部詳細調査技術の現場実証)における「アクセスルート構築の現場実証」の一部および「PCV内部詳細調査の現場実証」の一部



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

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



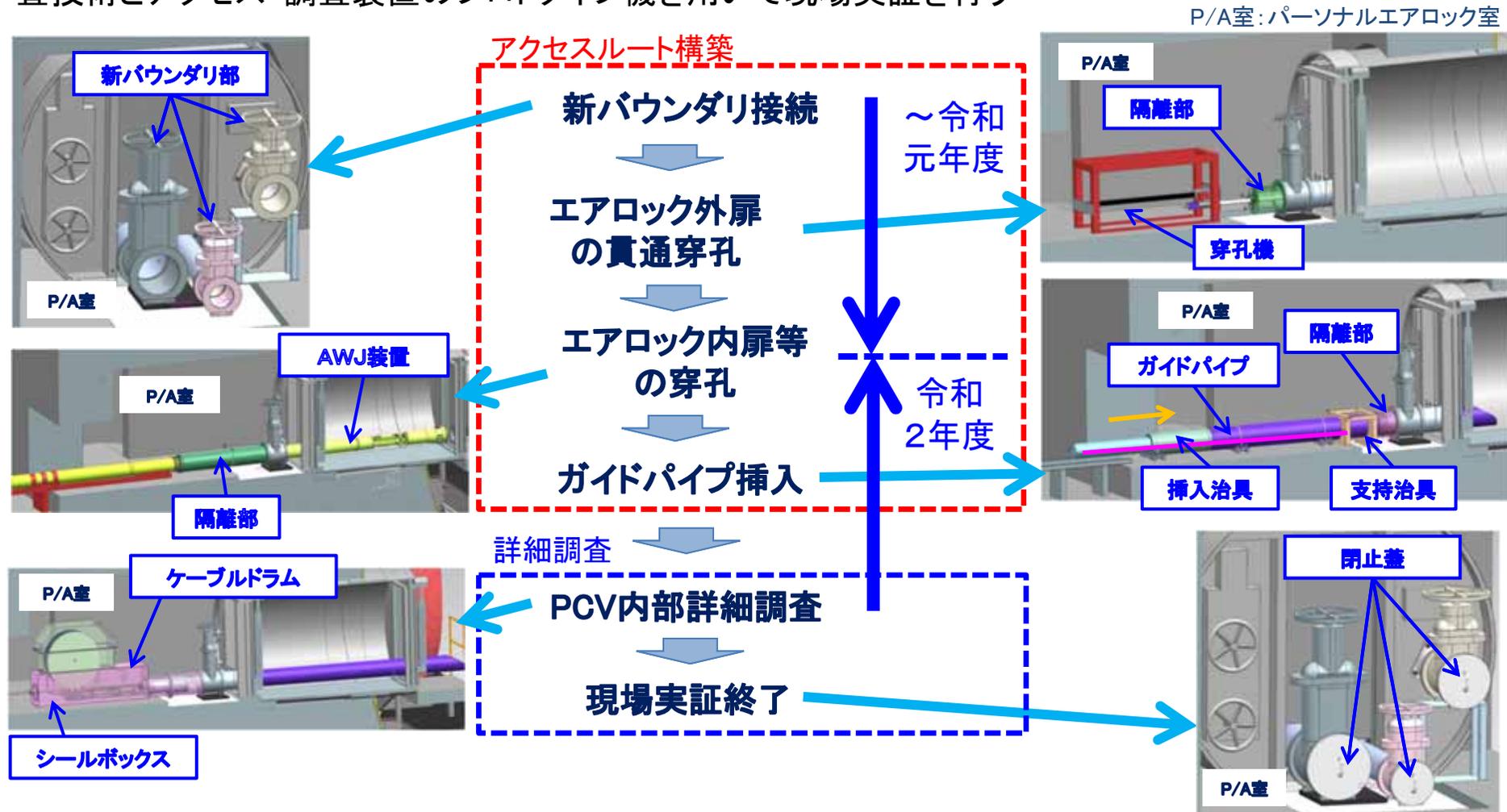
燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術に係る研究

段階的に規模を拡大した取り出し計画に必要な情報など

1. 研究の背景・目的

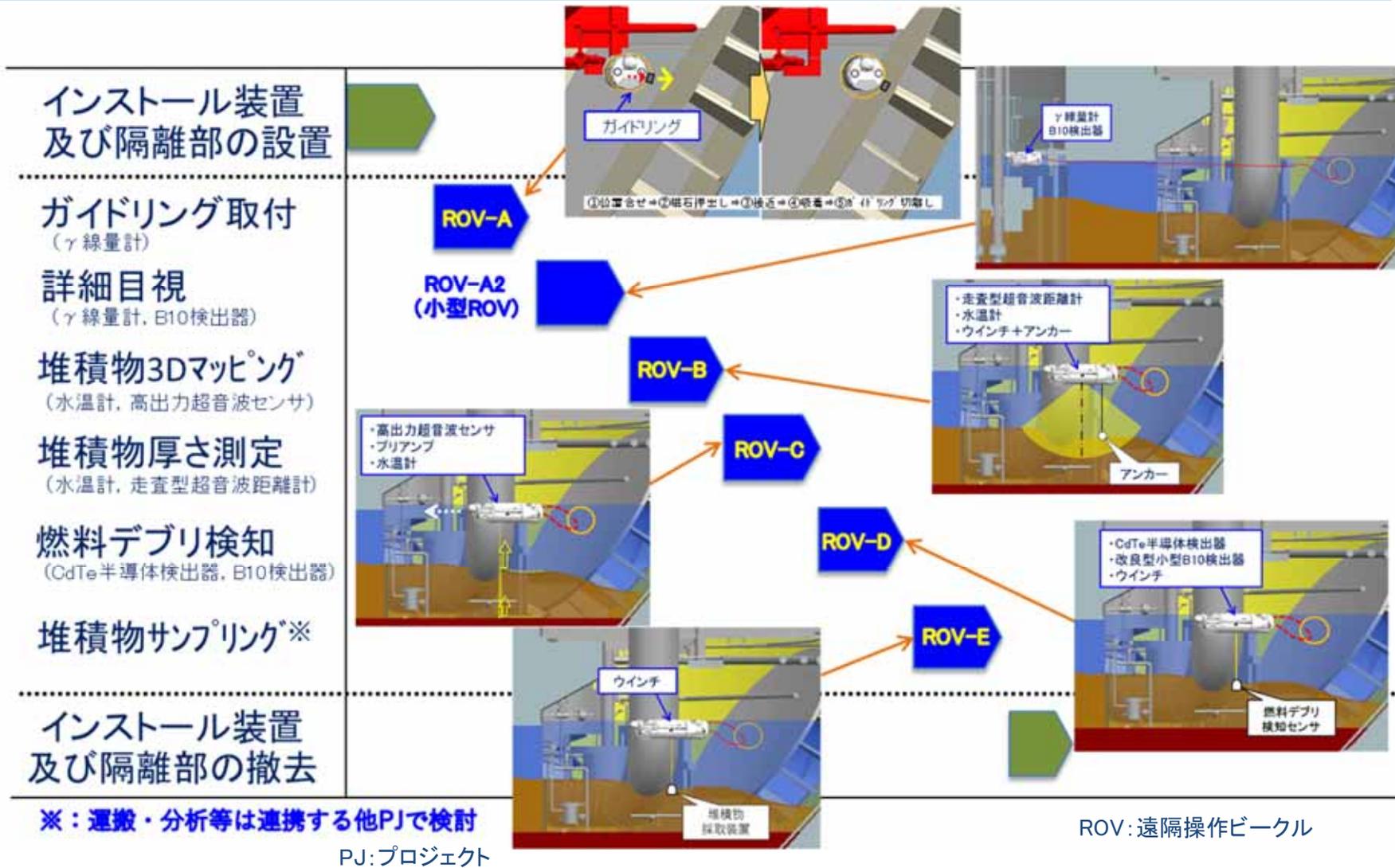
1.3 現場実証の概要(1/2)

「PCV内部詳細技術の開発」で開発したアクセスルート構築に係る装置類、PCV内部詳細調査に係る調査技術とアクセス・調査装置のプロトタイプ機を用いて現場実証を行う



1. 研究の背景・目的

1.3 現場実証の概要(2/2)

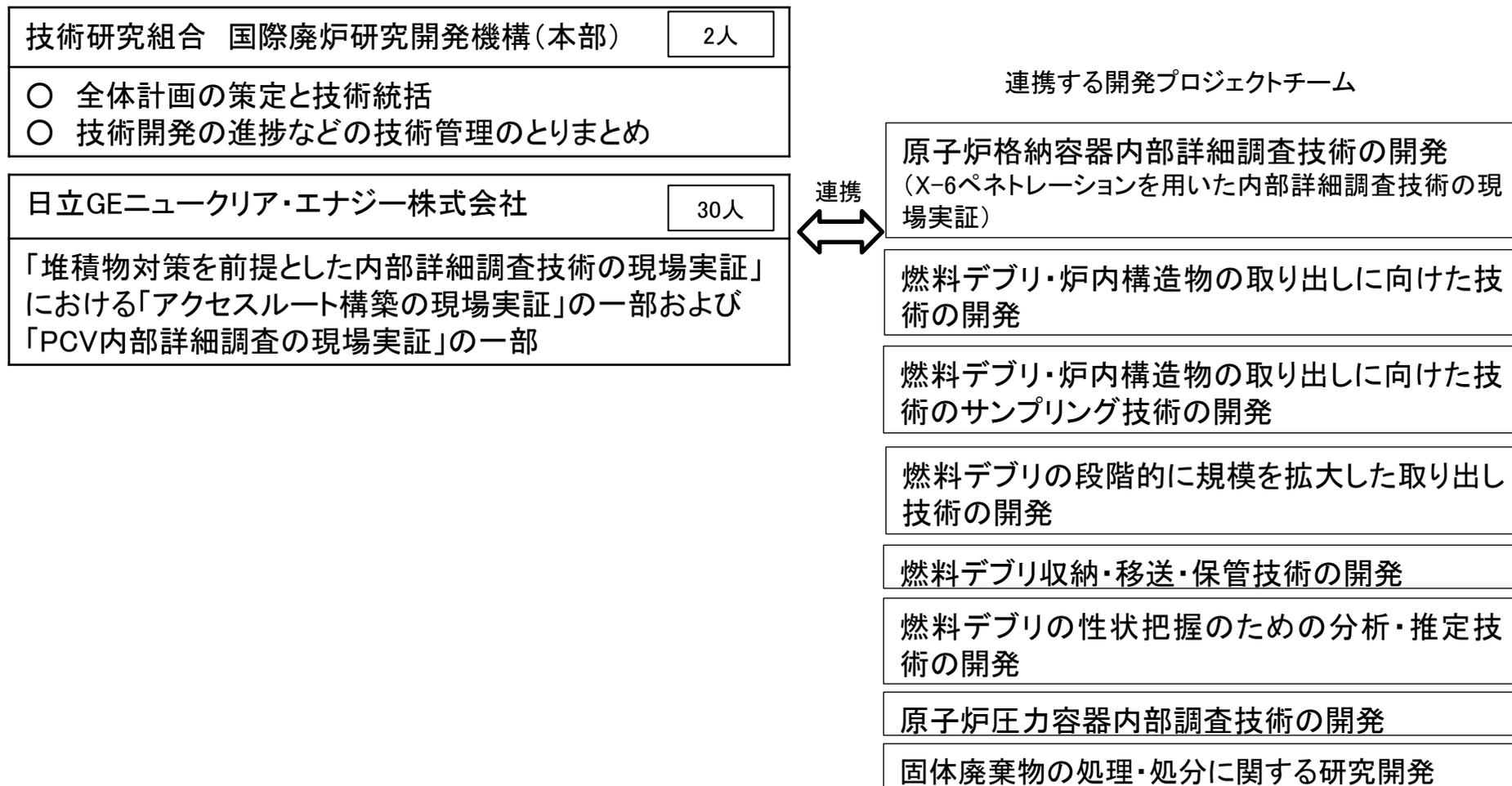


2. 実施項目と目標

実施項目		目標達成指標(令和2年度)	説明
「アクセスルート構築の現場実証」の一部	現場実証	アクセスルート構築工法を現場に適用し、実環境下で据付と施工ができること (終了時目標TRL:レベル6)	4.1.1
	全体計画	干渉物対策の全体計画が立案されていること(目標達成指標の対象外)	4.1.2
干渉物対策	干渉物調査用装置	設計・製作、モックアップ試験及び作業訓練が完了し、実機適用の準備ができていること (終了時目標:レベル5)	4.1.3 4.1.4
	ハーフI型鋼切断用AWJ装置(ノズル角度変更)	設計・製作、モックアップ試験及び作業訓練が完了し、実機適用の準備ができていること (終了時目標:レベル5)	4.1.5(1)
	電線管ギャップ閉止装置	設計・製作が完了していること (終了時目標:レベル4)	4.1.5(2)
	鉛毛マット除去装置	設計・製作が完了し、機能試験で鉛毛マット除去への適用の見通しが確認されていること (終了時目標:レベル4)	4.1.5(3)
「PCV内部詳細調査の現場実証」の一部	作業訓練	作業員が据付・操作等の作業を習熟していること(終了時目標:レベル5)	4.2.1
	現場実証の計画	現場実証の詳細計画が立案されていること (終了時目標TRL:レベル5)	4.2.2

3. 実施スケジュールと実施体制

3.2 実施体制



4. 実施内容

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証(切断・不具合対策)

4.1.2 干渉物対策の全体計画

4.1.3 干渉物の位置を把握するための調査装置の製作

4.1.4 干渉物の詳細調査

4.1.5 干渉物対策の実施

(1)ノズル角度変更ハーフ型鋼切断用AWJ装置

(2) 電線管ギャップ閉止装置

(3)鉛毛マット除去装置

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.1 作業訓練

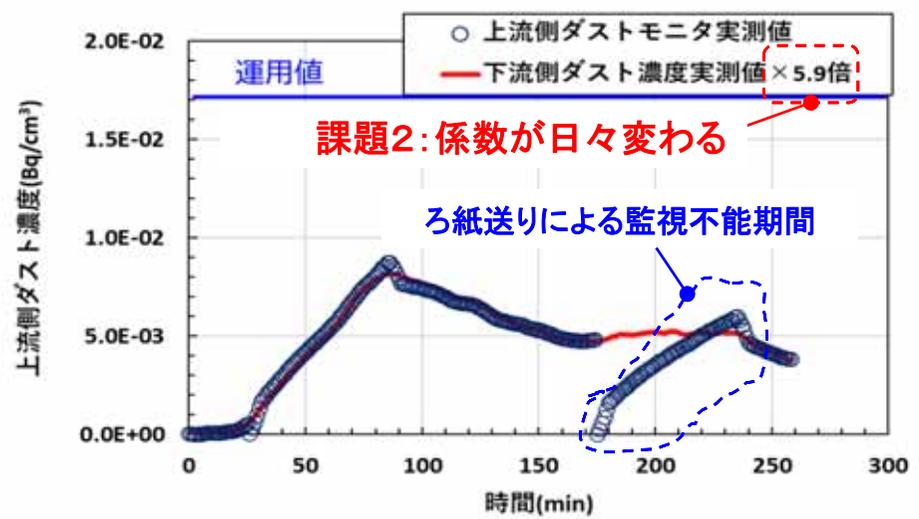
4.2.2 現場実証の計画

4.1 アクセスルート構築の現場実証

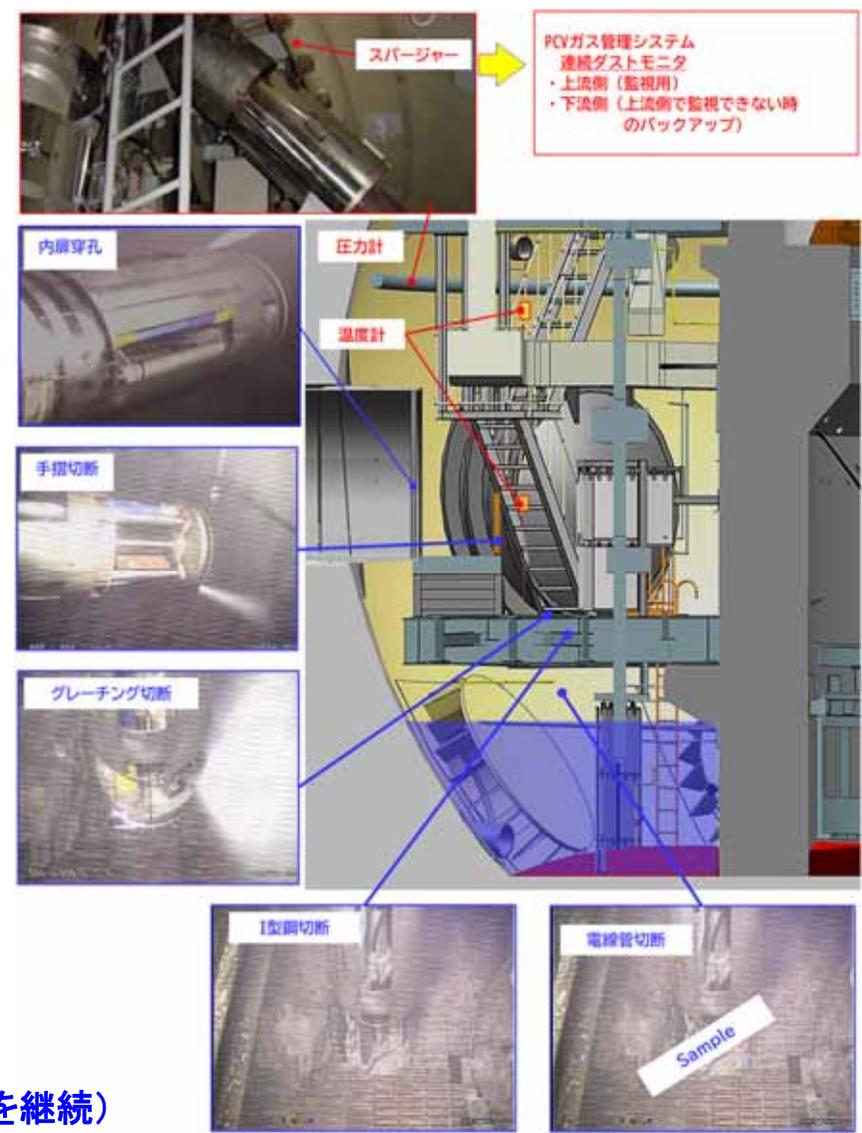
4.1.1 現場実証-切断:AWJ切断時の運用-

監視項目	運用値
PCV内ダスト濃度	1.7 × 10 ⁻² Bq/cm ³ 以下 ガス管理システム上流側のダスト濃度
PCV内圧力	0.8kPa以下
PCV内温度	100℃以下 (6時間毎の温度の勾配より外挿)

課題1 切断時に上流側連続ダストモニタでPCV内ダスト濃度を監視できない場合がある
(対応1 下流側連続ダストモニタによる代替監視)



(対応2 ろ紙送り開始直前の係数又は保守的な係数で監視を継続)



4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-切断:切断計画(例:350A内扉穿孔計画)(1/2)-

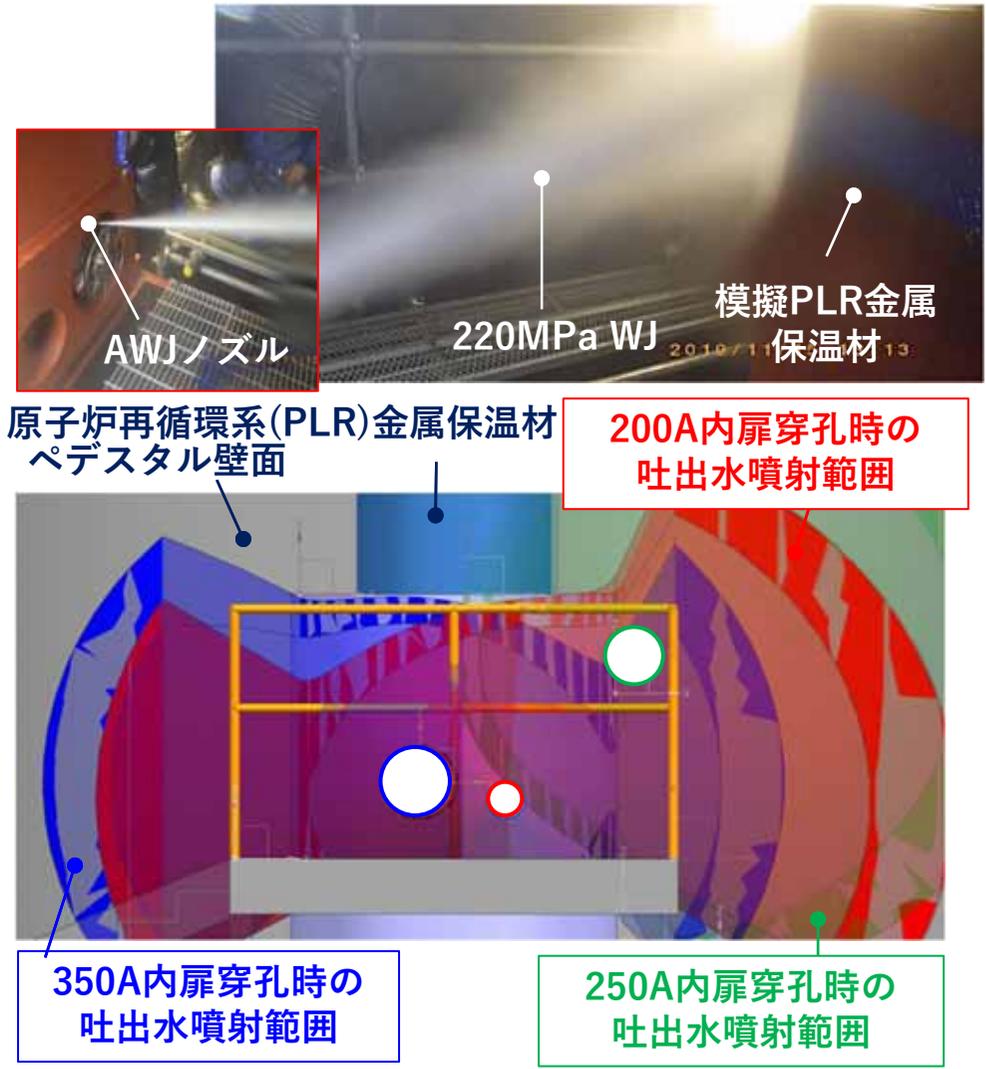
350A内扉穿孔時のダスト挙動予想

- ① **ダスト発生量:実績レベル以下**
 (350A内扉穿孔時のAWJ吐出水の噴射範囲は200A又は250A内扉穿孔時の噴射範囲と部分的に重なり、洗浄されていると仮定(右図))
- ② **ダスト発生挙動:吐出水噴射の向きで異なる**
 (切断1回当たりの最大ピークダスト濃度を実績平均+3σレベルと仮定)



【350A内扉穿孔の切断計画】

- ① 試切断
 - PCV内汚染状況確認のために6方向各5°の試切断を実施
 - PCV内汚染レベルが想定を超える場合は更に6方向各5°の試切断を追加
- ② 切断
 - 以下を考慮し切断1回と1日当たりの切断範囲を設定
 - 切断1回当たりの最大ピークダスト濃度: 実績平均+3σ未満
 - 1日の累積ピークダスト濃度: $1.7 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$ 未満



内扉穿孔時のAWJ吐出水噴射範囲模式図

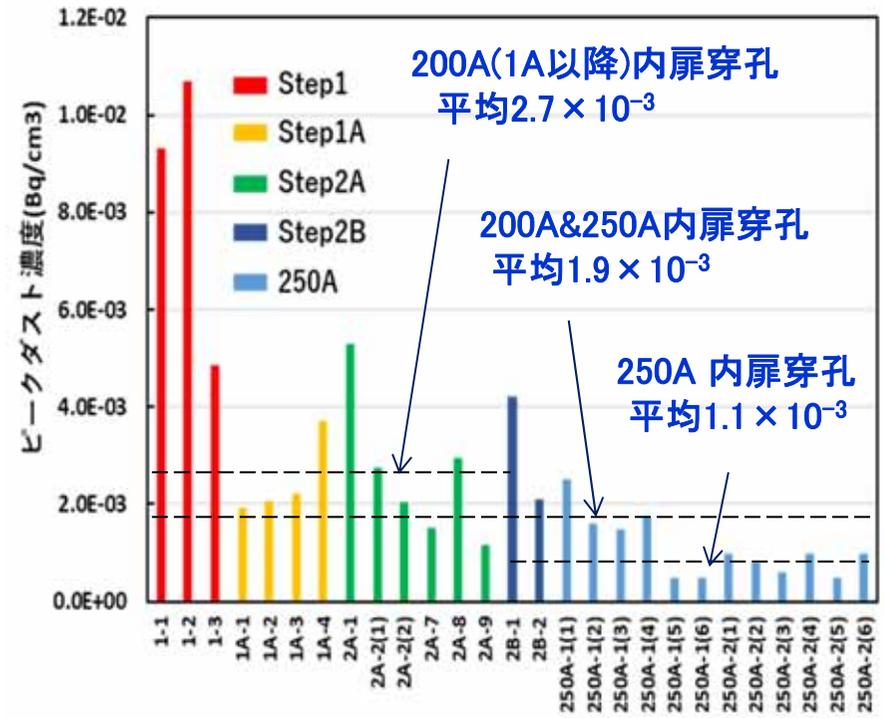
4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-切断:切断計画(例:350A内扉穿孔計画)(2/2)-

試切断

PCV内汚染状況の確認

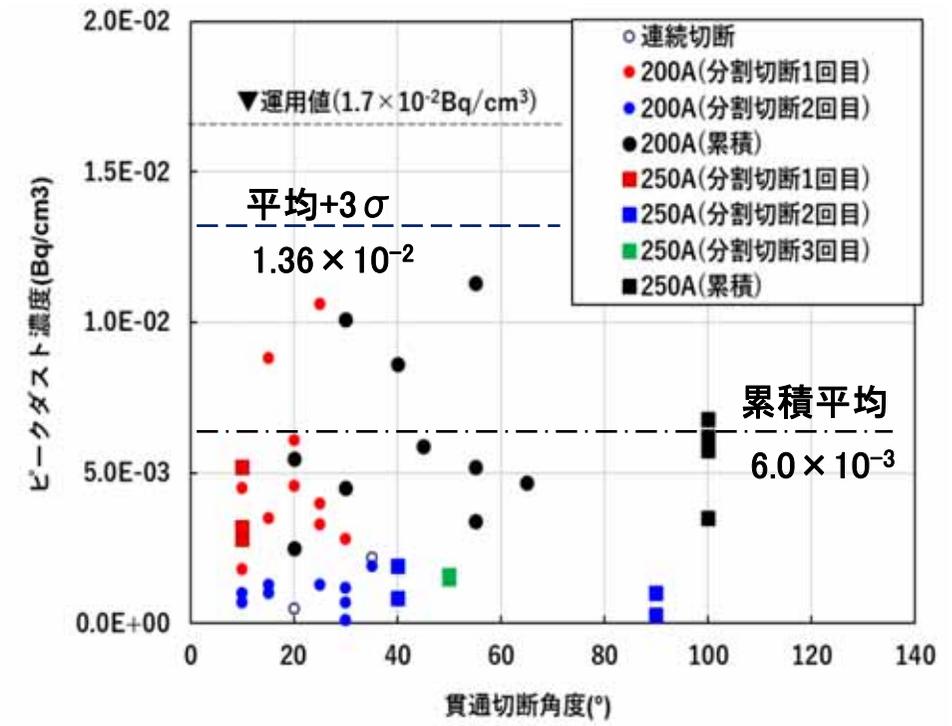
- 汚染レベルの高い領域がないこと
(目安 >約 $5 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$)
- 平均ピークダスト濃度が実績レベル以下であること(目安 <約 $1.9 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$)以下



試切断時のピークダスト濃度実績

切断

- 切断1回当たり 100° の切断を行っても平均 $+3\sigma$ ($1.36 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3$)を超えない見通し
- ➔ 切断1回の最大切断量を 120° と設定し、段階的に切断範囲を広げる



切断時のピークダスト濃度実績

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-切断:AWJ切断時の対応(例:グレーチング切断時)-

監視項目	運用値	現場作業時の運用
PCV内ダスト濃度	$1.7 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$ 以下 ガス管理システム上流側のダスト濃度	ダスト上昇レベルに応じて次の切断開始時刻を設定(図-1)
PCV内圧力	0.8kPa以下	PCV内初期内圧に応じて連続切断時間を設定(図-2) 万が一、0.75kPaに到達した場合、切断を中断
PCV内温度	100°C以下	PCV内温度計測時刻の±10分以内での切断禁止

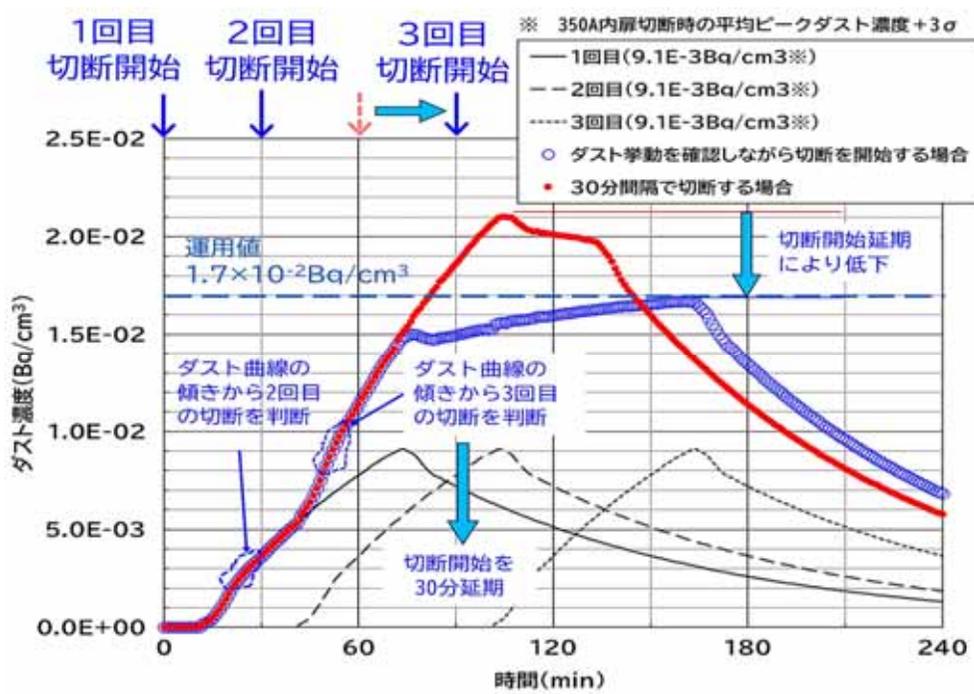


図-1 ダスト上昇レベルに応じた次の切断開始時刻の設定方法

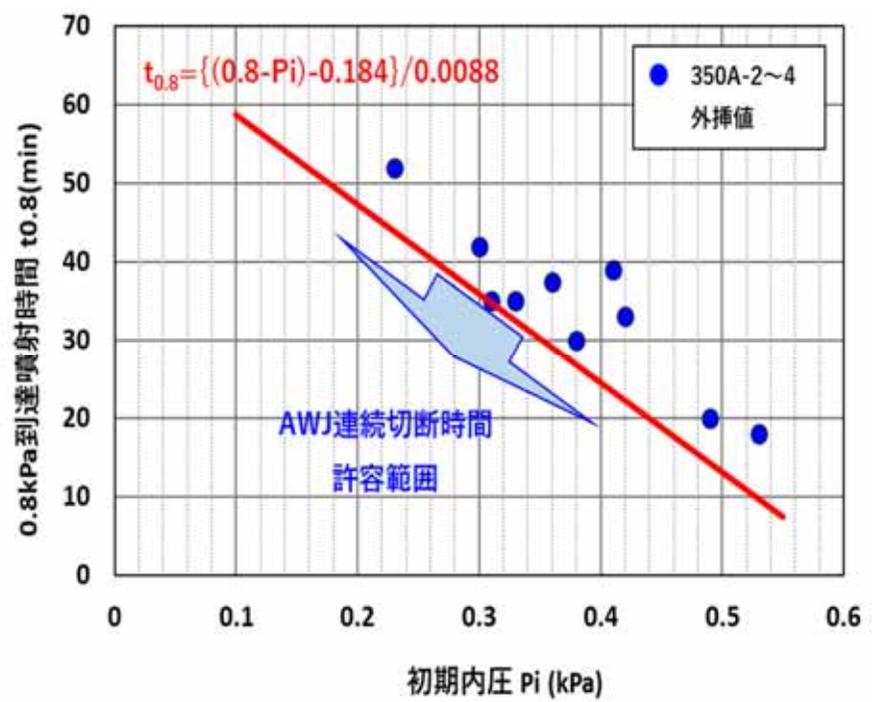
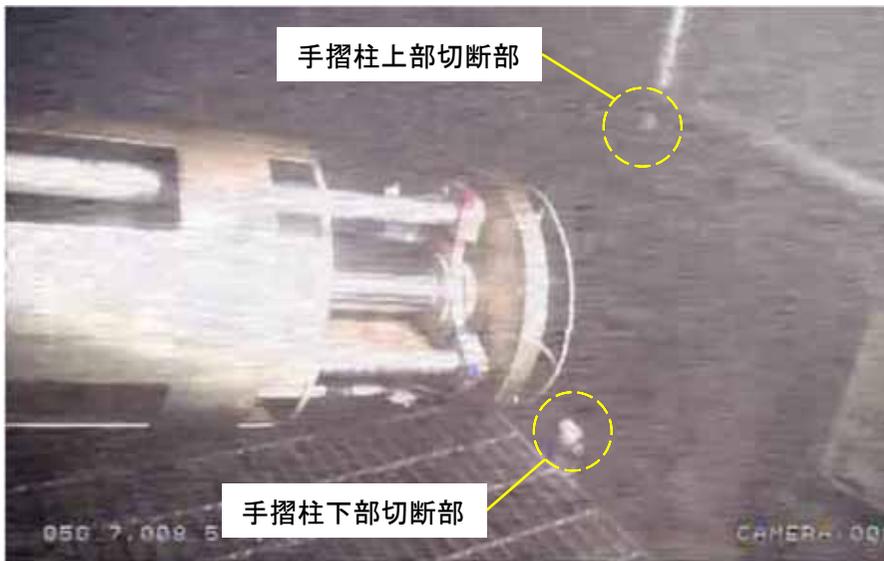


図-2 初期内圧と0.8kPa到達時間との関係

4.1 アクセスルート構築の現場実証

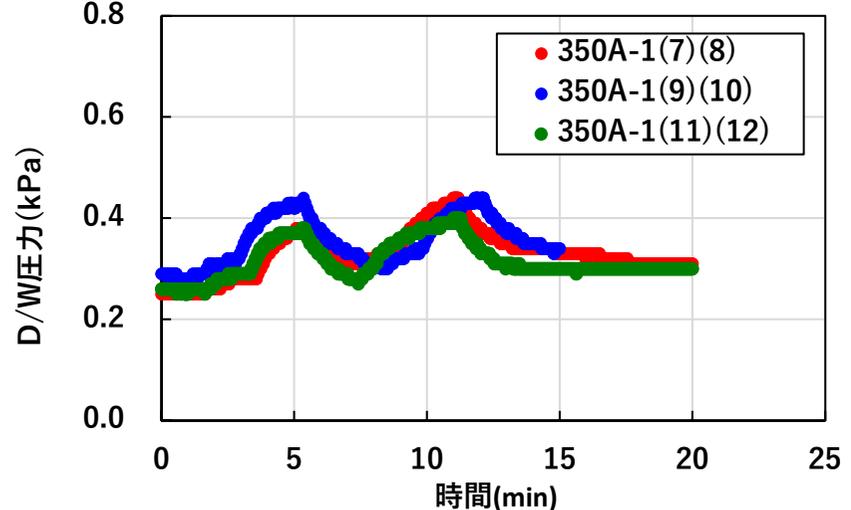
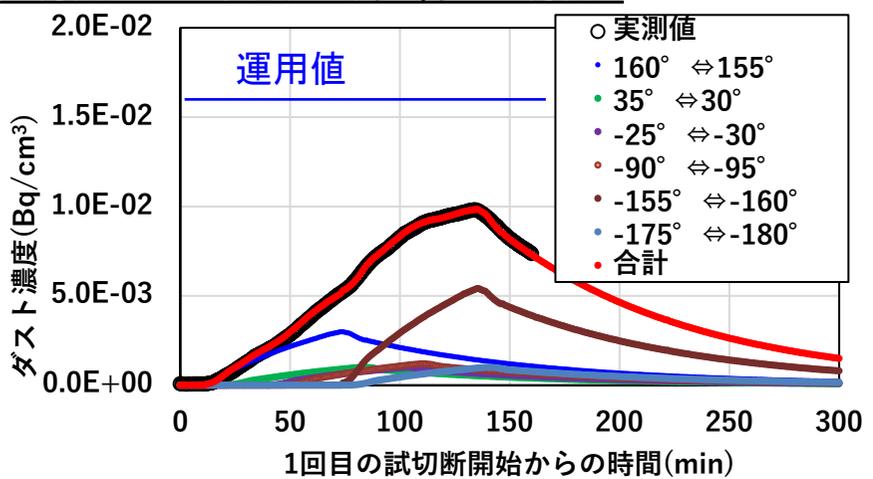
4.1.1 現場実証-切断:エアロック内扉穿孔(250A、350A)及び手摺柱切断-



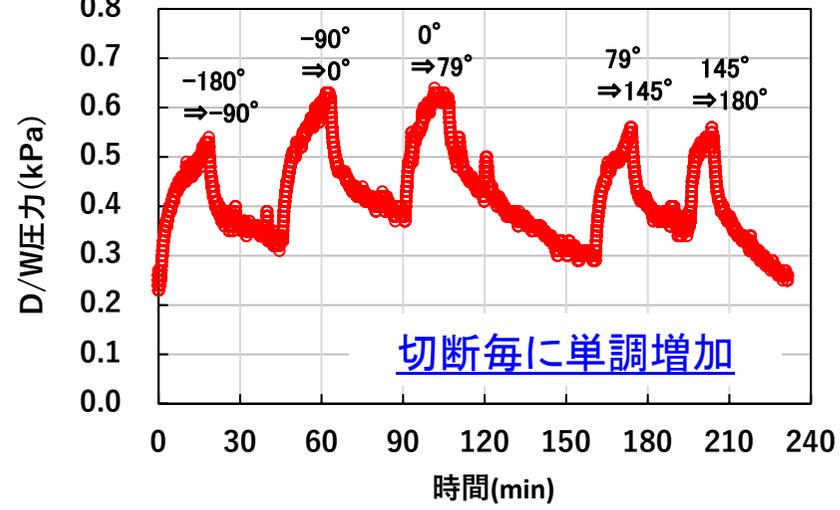
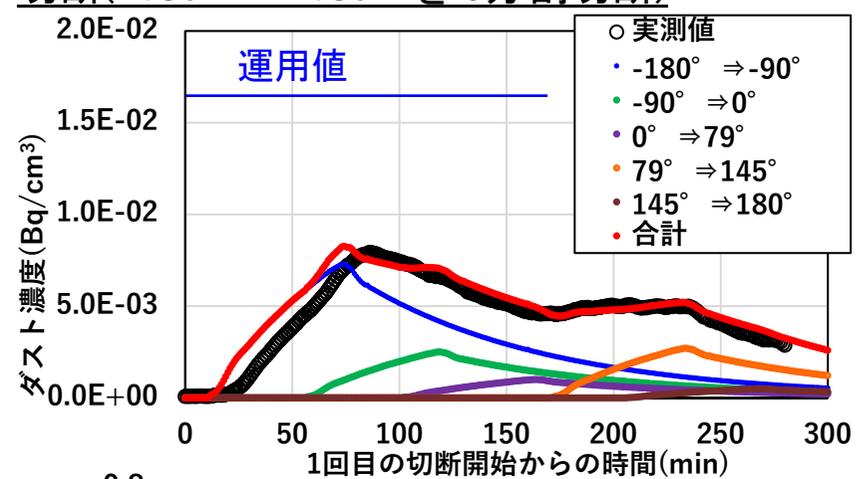
4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-切断:エアロック内扉穿孔(350A)時のダスト・D/W圧力変化-

試切断(1日当たり6方位各5° 切断)



切断(-180° ⇒+180° を5分割切断)

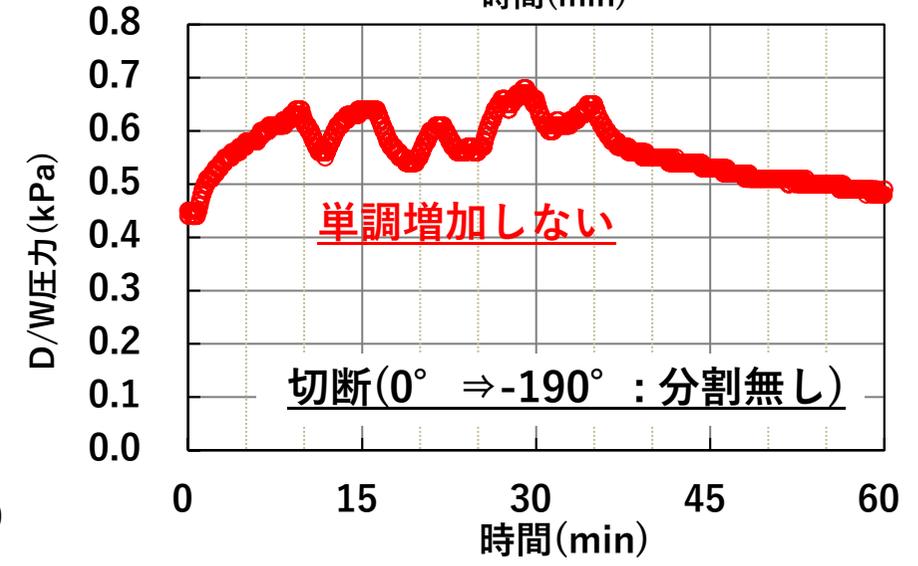
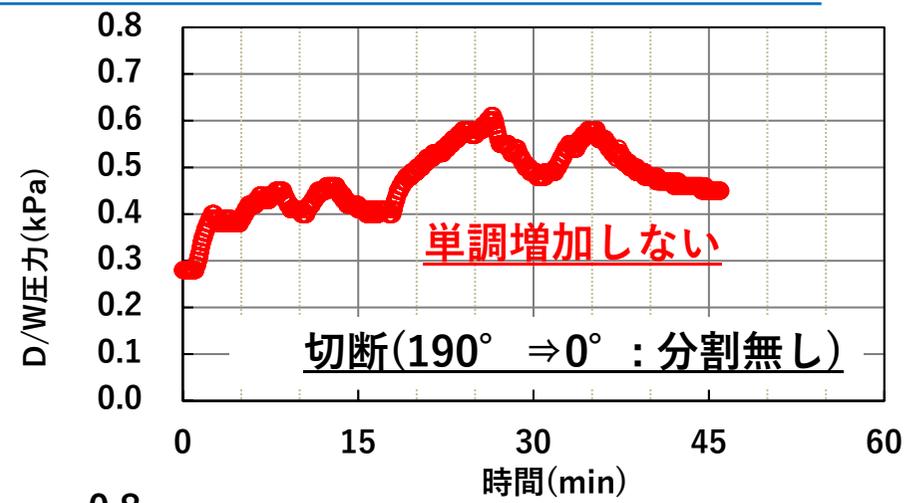
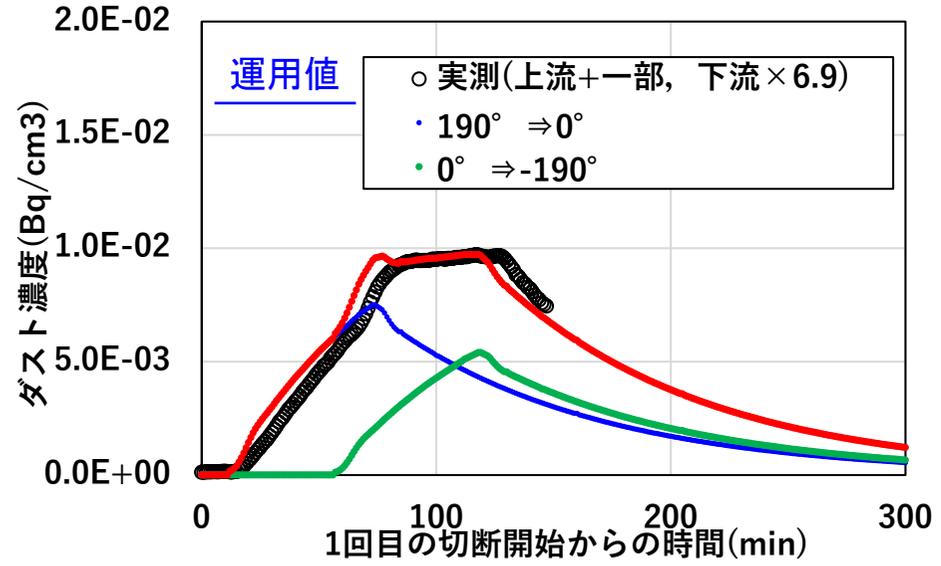


ダスト・D/W圧力ともに運用値($1.7 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$ 、0.8kPa)未満であり、運用値内で切断できた

D/W: 原子炉格納容器ドライウエル

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-切断: グレーチング切断(2/2)-



ダスト・D/W圧力ともに運用値(1.7×10^{-2} Bq/cm³、0.8kPa)未満であり、運用値内で切断できた

4.1 アクセスルート構築の現場実証

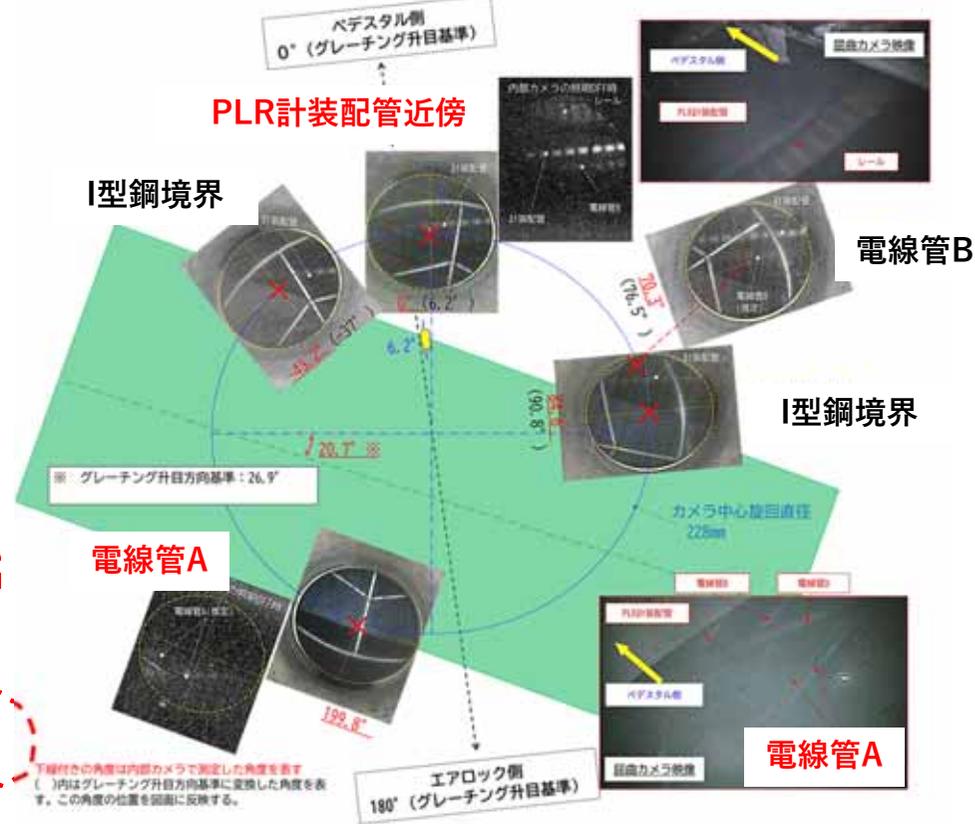
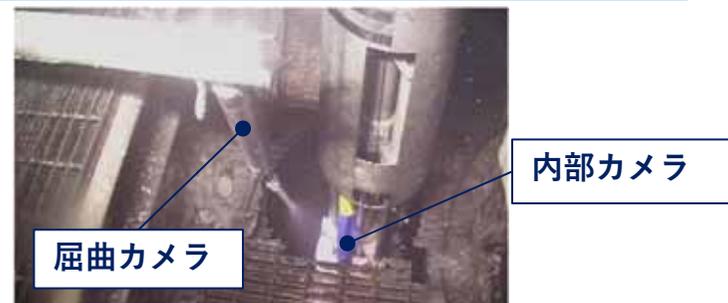
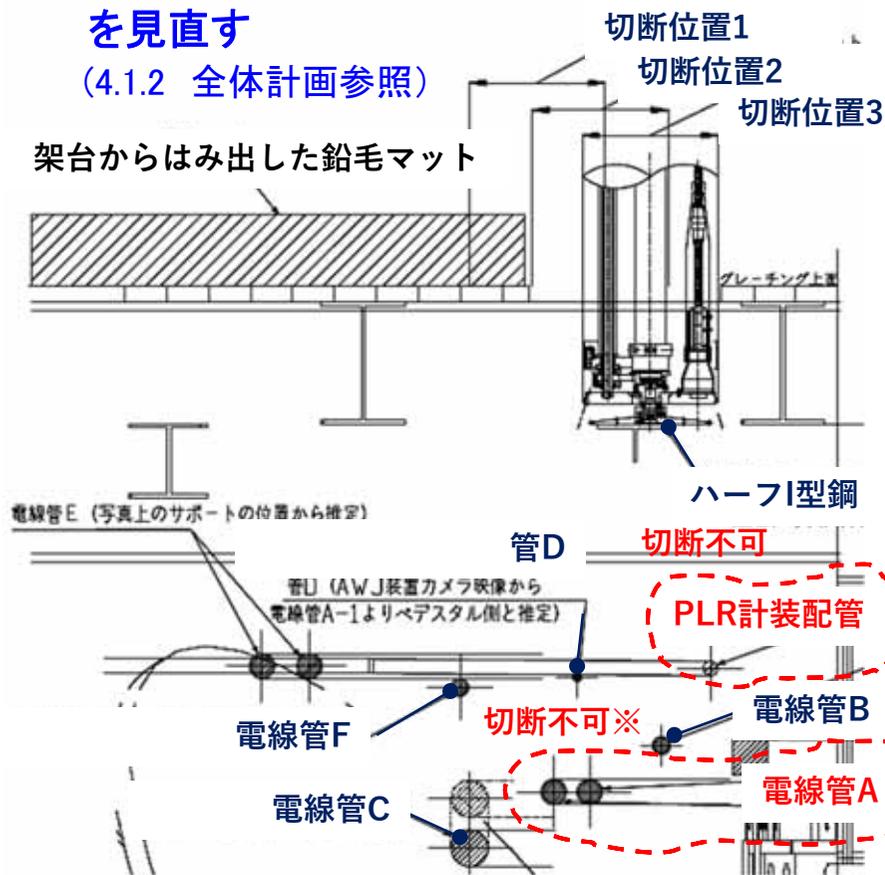
4.1.1 現場実証-切断:グレーチング下干渉物確認-

切断不可配管・電線管の存在が判明

- ・切断位置2直下:電線管A
(切断するとROV用ケーブルが挟まれるリスク有)
- ・切断位置3直下近傍:計装配管(安全上重要配管)

➔ 干渉物の詳細調査を行い、ハーフ型鋼切断計画を見直す

(4.1.2 全体計画参照)



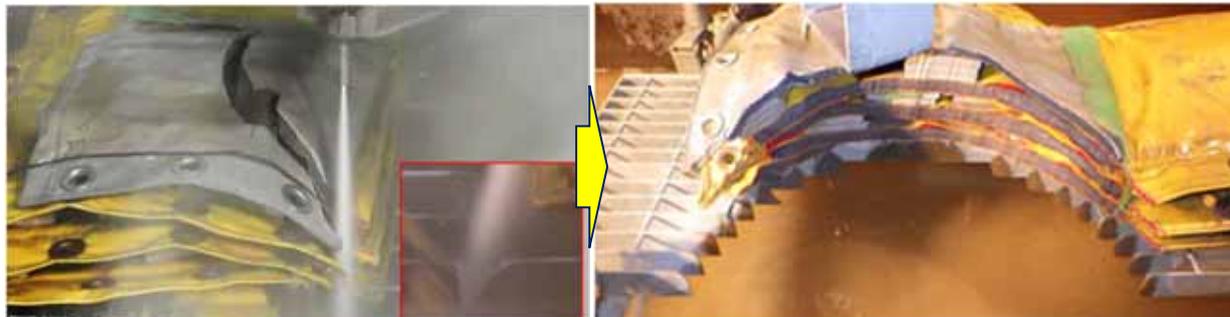
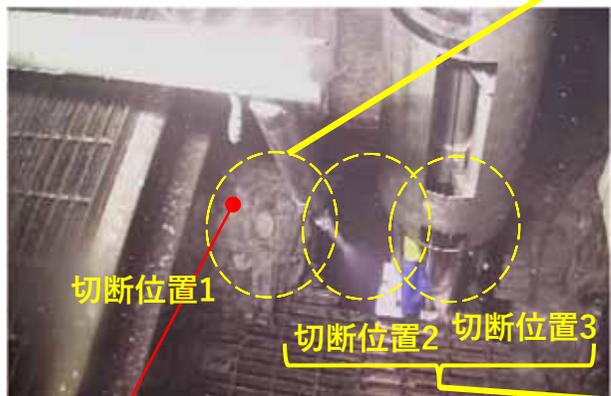
4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-切断:-ハーフ型鋼切断計画-

グレーチング下干渉物詳細調査をもとに、切断位置1、切断位置2と3のいずれかを選定予定

【Case1:切断位置1の切断】

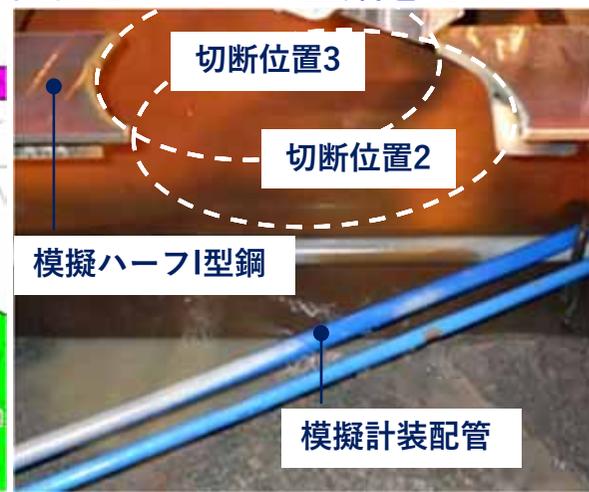
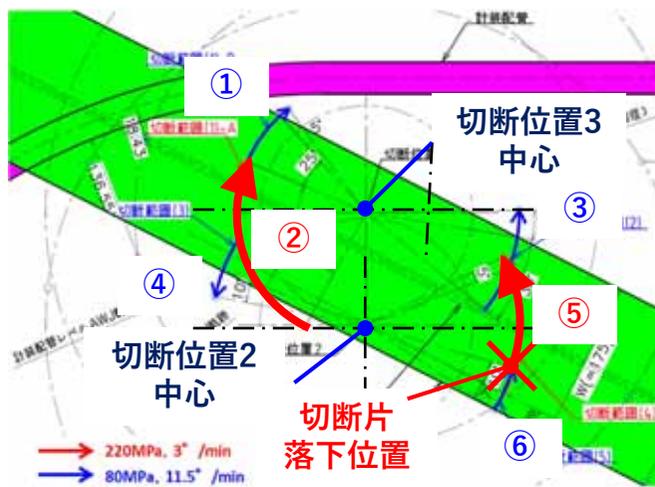
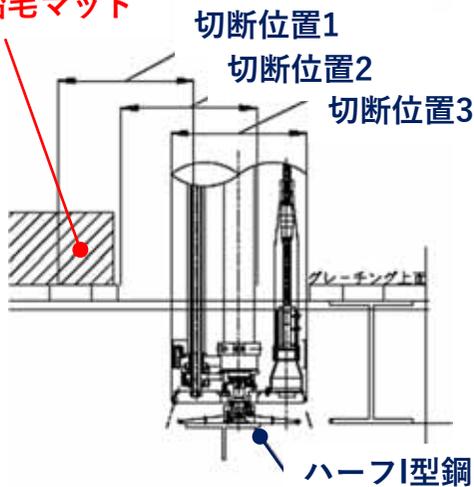
鉛毛マット除去装置(新規)を準備し、鉛毛マット除去と鉛毛マット下のグレーチングを切断し、現行AWJ装置でハーフ型鋼を切断



架台からはみ出した鉛毛マット

【Case2:切断位置2と3の切断】

計装配管への影響を軽減したノズル角度変更ハーフ型鋼AWJ装置(新規)を準備し、現行AWJ装置との組合せでハーフ型鋼を切断



①~⑤は切断の順番を表す

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.2 現場実証-不具合対策:AWJ装置に係わる不具合事例ー

No	不具合事例	事例発生原因					
		経年劣化	作業ミス	移動・保管	整備不良	使用環境	その他
1-1	AWJノズル 旋回用 駆動軸の空回り		駆動軸の連 結不良				
1-2	AWJ装置用電源 ケーブルの漏電					結露による 電源コネク タ部の漏電	設計不良 (非防水仕 様)
○1-3	AWJ用高圧 ポンプ のエンジン停止	制御盤の電源 ヒューズホル ダの破損					
○1-4	ガーネット供給 不具合					現場使用 剤による ホースのケ ミカル割れ	不正規 AWJノズル の使用)
○1-5	ガーネット供給 負圧ゼロ事象 (ガーネットホース抜け)			衝突など による可動部 の変形	可動部への グリース 補充忘れ		

○をつけた事例について次項以降に記載する。

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:事例1-3「AWJ用高圧ポンプのエンジン停止」-

1) 不具合

- ・発生日: 2019年5月27日
- ・事象: 手摺柱下側切断中にAWJ用高圧ポンプのエンジン※が停止。冷却後にエンジンの再起動を試みたが再起動しなかった



2) 原因究明

a) 分解点検

エンジン制御モジュール(ECM)の電源ヒューズホルダに劣化による破損が確認された



モデル	gpm	ℓ/min	MPa	bar	
82750	44	167	55	550	エンジン ポンプ
102750	38	142	70	700	
122750	32	120	84	840	
152750	25	94	100	1,000	エンジン ポンプ
202750	20	75	140	1,400	
242750	16	60	168	1,680	
352750	11	41	240	2,400	エンジン ポンプ
402750	9	34	280	2,800	

b) コンピュータ診断

AWJ用高圧ポンプのエンジンが停止直前にエンジン制御系電源の電圧低下が確認され、ECM電源以外のエンジン制御系の回路には異常がなかった

3) 対策

- ・予備の高圧ポンプ車に交換し、作業再開
- ・不具合品はECM電源ヒューズホルダに交換

※事象発生約2ヶ月前に専門技術者による点検を受け、本事象前にもエンジンの点検、試運転などを行い問題がないことを確認している

故障した高圧ポンプ



劣化したECM電源ヒューズホルダ

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:事例1-4「ガーネット供給不具合」(1/2)-

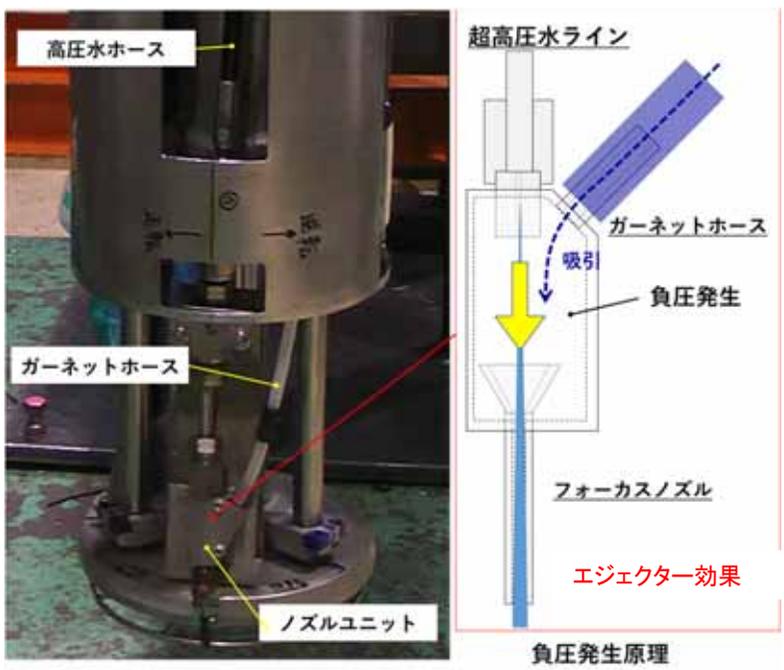
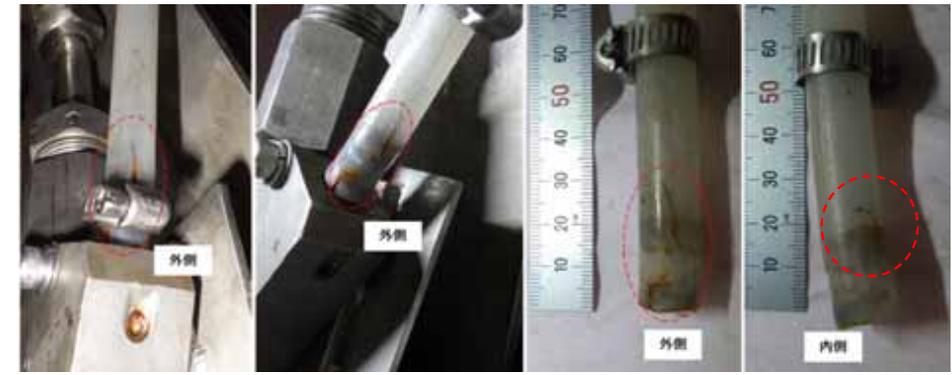
1)不具合

- ・発生日:2020年7月7日
- ・事象:グレーチング切断開始直後にガーネットが供給できない事象が発生

WJ噴射でノズルユニット内に発生する負圧が目標(約-80kPa)に到達せず、研磨材(ガーネット)をノズルユニット側に供給できないことが確認された

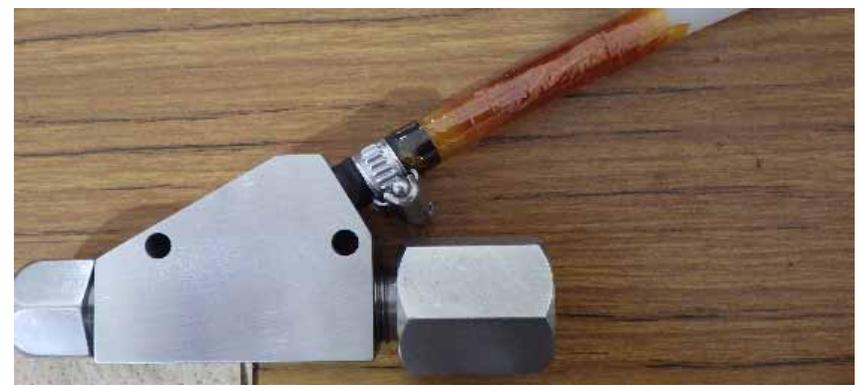
2)原因究明1

ガーネット供給ラインを全範囲点検し、ガーネットホースに割れが確認された



3)対策1

シリコンスプレー等によるケミカルクラックの可能性などを想定し、保護テープを貼る対策を実施



4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:事例1-4「ガーネット供給不具合」(2/2)-

4) 負圧確認

2020年7月18日にウォータージェット(WJ)試運転を行ったが、負圧は僅かに改善したものの、目標(約-80kPa)には達しなかった

5) 原因究明2

高圧水系・ノズルユニットの点検を行い、ノズルユニット本体に、正規のノズルユニットにない閉止プラグと貫通孔が確認された。

6) 対策2

- ①部品、組立、性能を確認した正規のAWJ装置用ノズルユニットと交換した。
- ②再発防止として以下を実施する。
 - ・AWJ装置用ノズルユニットの保管管理
 - ・AWJ装置用ノズルユニットの性能確認と識別



4.1 アクセスルート構築の現場実証

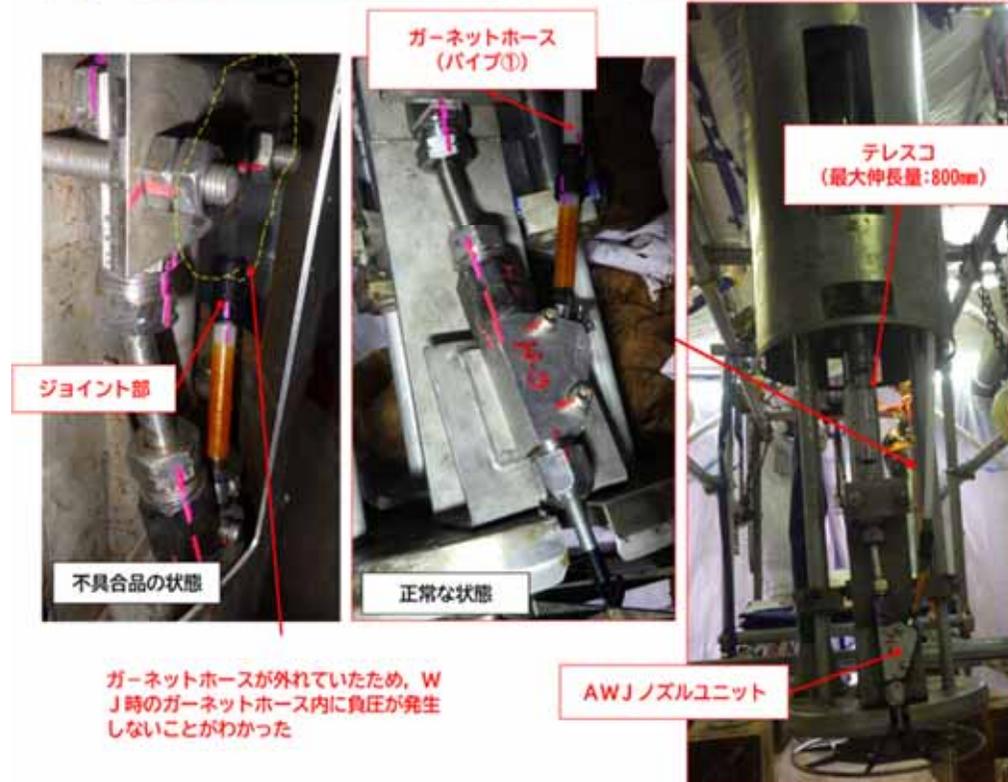
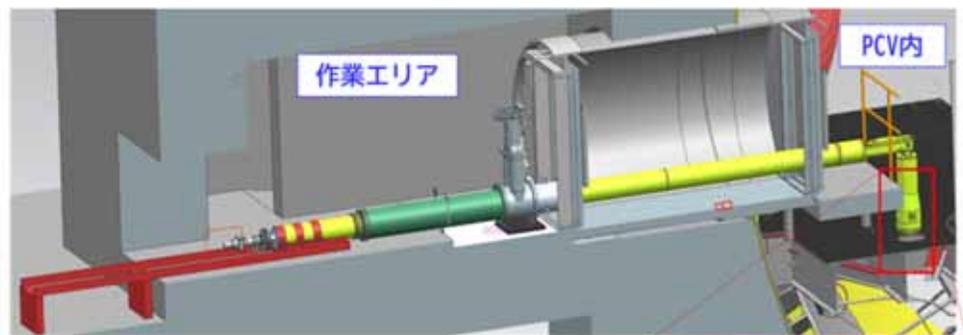
4.1.1 現場実証-不具合対策:事例1-5「ガーネット供給負圧ゼロ事象」(1/2)-

1) 不具合

・発生日: 2020年9月4日

・事象:

- ガーネット供給ラインにガーネット供給に必要な負圧が発生しない事象が発生
- ガーネット供給用ホースがジョイント部から外れ、折れ曲がった痕跡1箇所とジョイント部には引っ張られた痕跡が見つかった

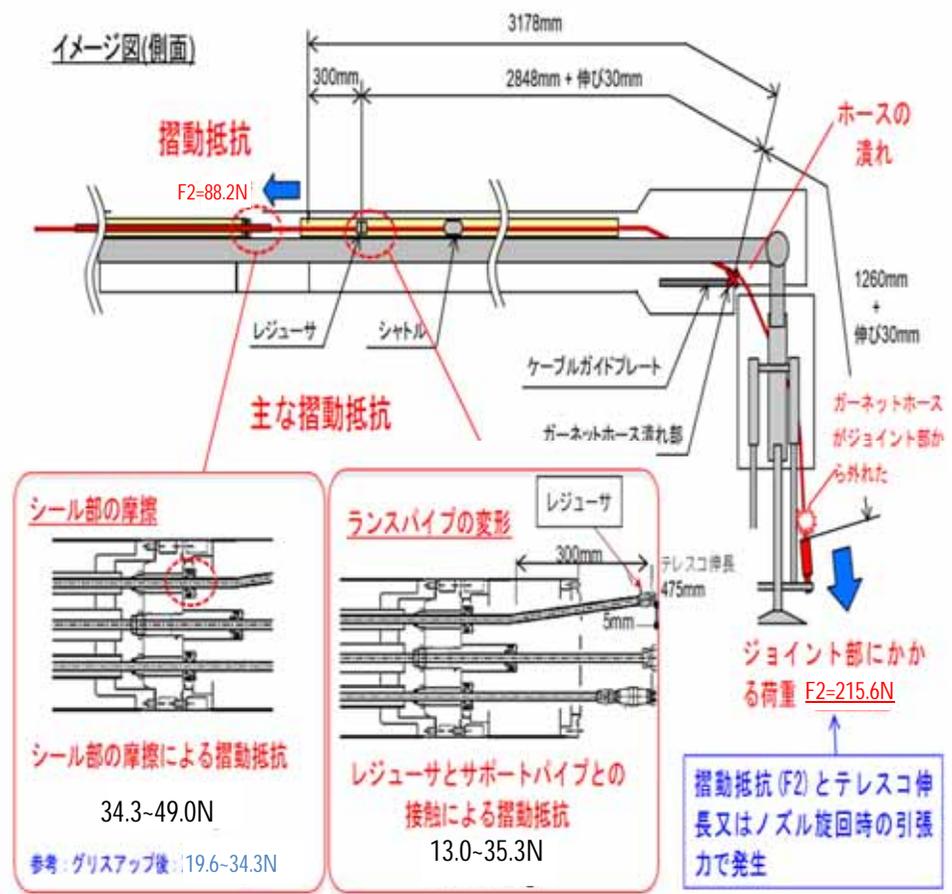


4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:事例1-5「ガーネット供給負圧ゼロ事象」(2/2)-

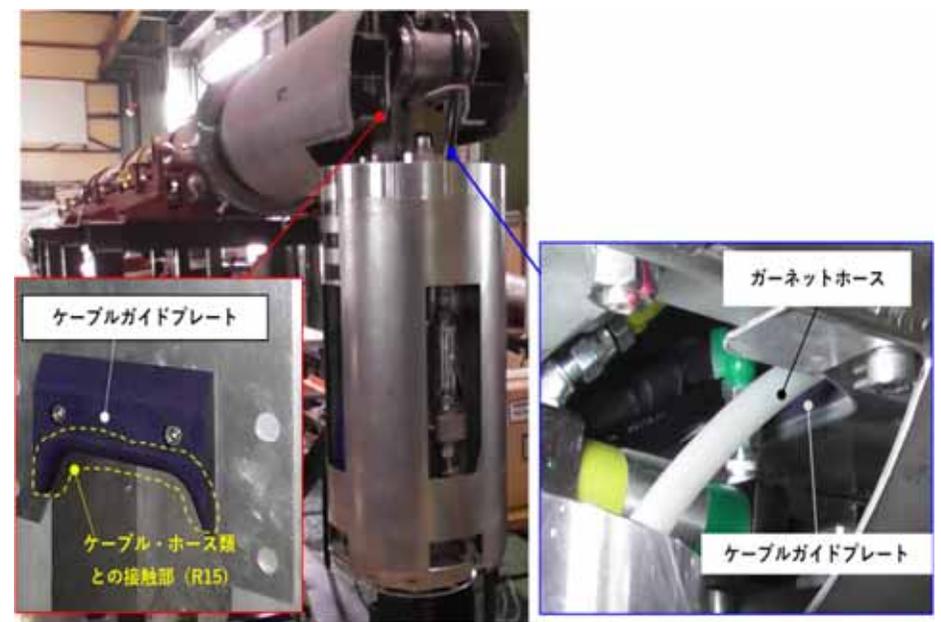
2)原因究明

ジョイント部からガーネットホースが抜ける事象の直接的な要因は、テレスコ伸長時にガーネットホースに想定外の外力が負荷



3)対策

- ①ジョイント部の耐荷重低下対策
ガーネットホースおよびジョイントの交換
- ②過大荷重の発生対策(摺動抵抗低減対策)
 - ・ランスパイプの曲がり修正
 - ・シール部へのグリス給脂
- ③ガーネットホースの潰れ対策
ケーブルガイドプレート接触部のR増加 (R3→R15)



4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:監視カメラの不具合事例ー

No	不具合事例	事例発生原因					
		経年劣化	作業ミス	移動・保管	整備不良	使用環境	その他
2-1	監視用ドームカメラの映像不具合				コネクタ部の 破損 (断線)		
2-2	ドームカメラ治具の クリルドーム脱落				コーキング 剤の剥離		
2-3	PCV内圧低下 (200A隔離弁接続 チャンバー等の漏洩)			衝突などによるフランジ 付け根部の 破損	Oリングの 伸び		

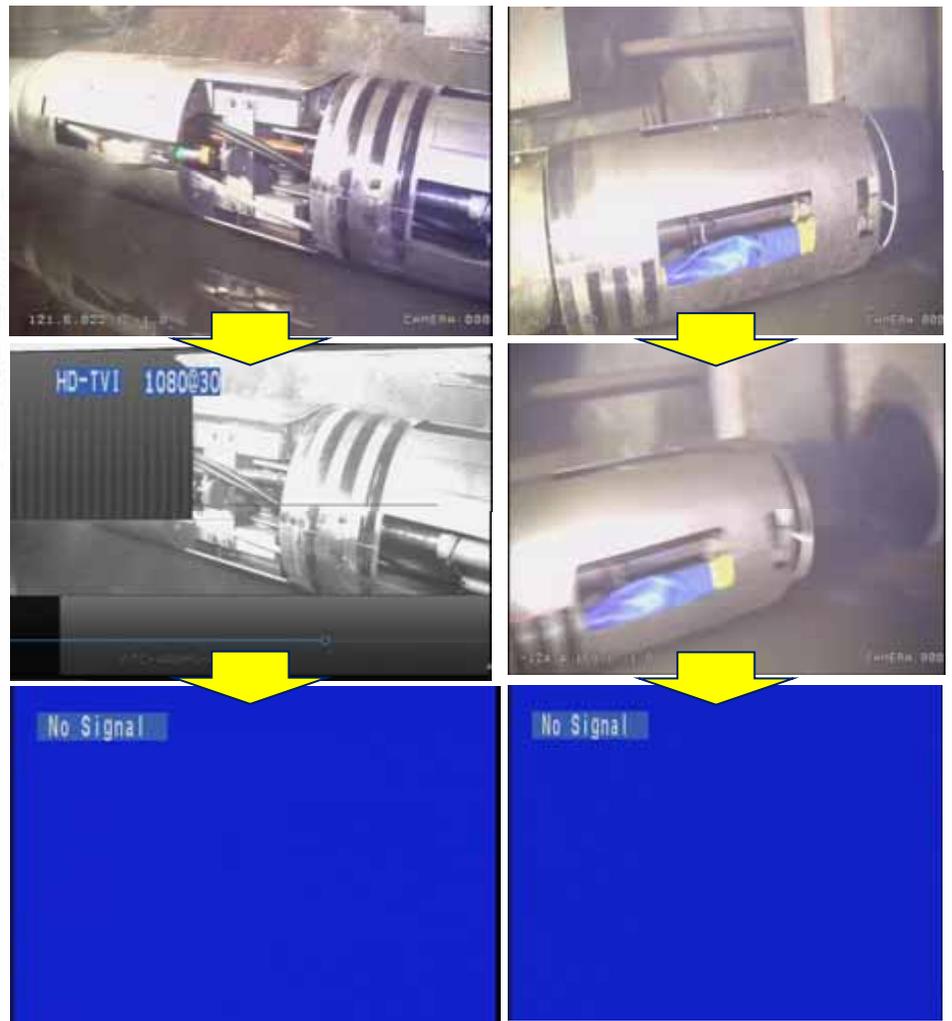
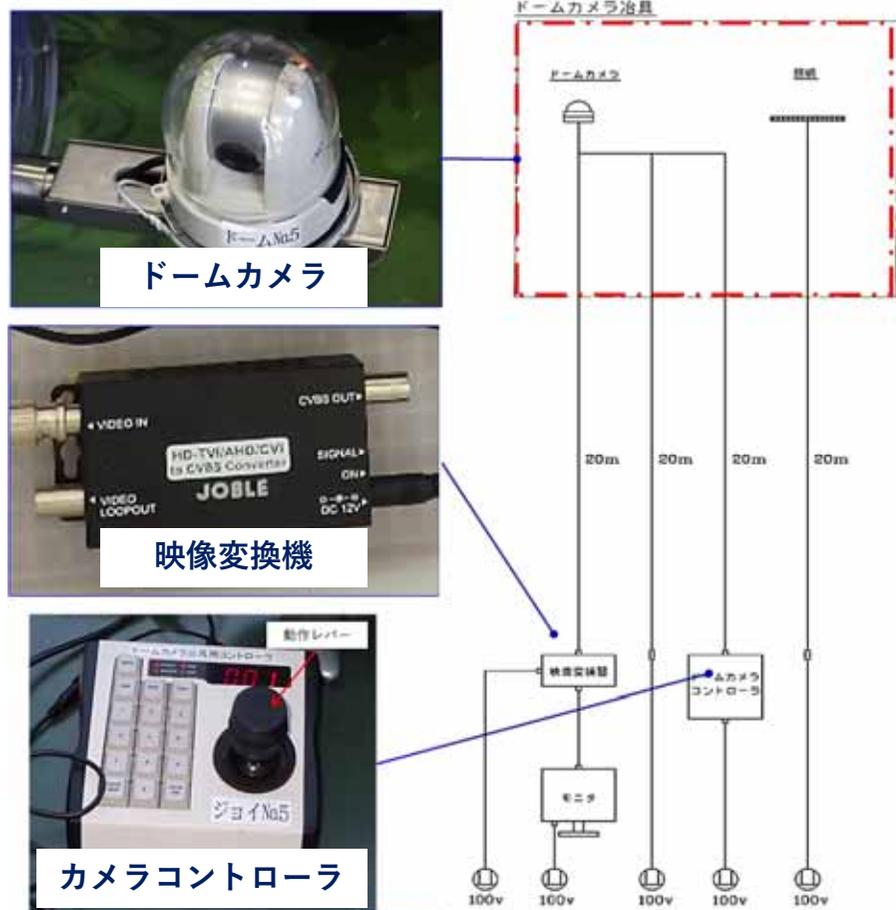
○をつけた事例について次項以降に記載する。

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:事例2-1「監視用ドームカメラの映像不具合」(1/2) -

1)不具合事象

- ・発生日:2020年6月30日
- ・事象:AWJ装置監視用ドームカメラの映像が乱れ、映らない事象が発生



2020年6月30日

2020年7月1日

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:事例2-1「監視用ドームカメラの映像不具合」(2/2) -

2)原因究明

監視用ドームカメラの映像をパーツを交換しながら確認し、ドームカメラの電源(ACアダプタ)の故障を特定

No.	ドームカメラ		映像変換器		コントローラ			テーブル	映像の状況	
	本体	電源	本体	電源	本体	電源	操作	タップ	状況	補足
1-1	A	A	A	A	A	A	無	A	○	20分間放置しても映像は切れない
1-2	A	A	A	A	A	A	有	A	×	コントローラを操作すると映像が切れる
2-1	A	A	A	A	A	A	無	B	○	30分間放置しても映像は切れない
2-2	A	A	A	A	A	A	有	B	×	コントローラを操作すると映像が切れる
3-1	A	B	A	A	A	A	有	B	×	コントローラを操作しても映像は切れないが、ドームカメラ電源のコネクタ付近に触れると映像が切れる※
3-2	A	B	A	A	B	B	有	B	×	コントローラを操作しても映像は切れないが、ドームカメラ電源のコネクタ付近に触れると映像が切れる※
4-1	A	A	A	A	B	B	無	B	○	コネクタ付近に触れても映像は切れない
4-2	A	A	A	A	B	B	有	B	×	コントローラを操作すると映像が切れる
5	A	B	A	A	B	B	有	B	○	コネクタ付近に触れなければ映像は切れない

凡例 A: 不具合発生時に使用したパーツ

B: 交換用パーツ

3)対策

- ① 電源(ACアダプタ)の交換
- ② その他の対策

エアロック室内の湿度は90% (測定限界)以上ドームカメラ用映像変換器は湿度95%まで使用できるため結露対策のみ行っていたが、しばしば映像劣化が発生する現状を踏まえ、以下の対策を実施

- 作業時の結露対策:エアロック室内の送風換気
- 保管時の湿気・結露対策:電源、映像変換器、コントローラ用の保管箱準備



4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:事例2-3「PCV内圧低下」(1/2) -

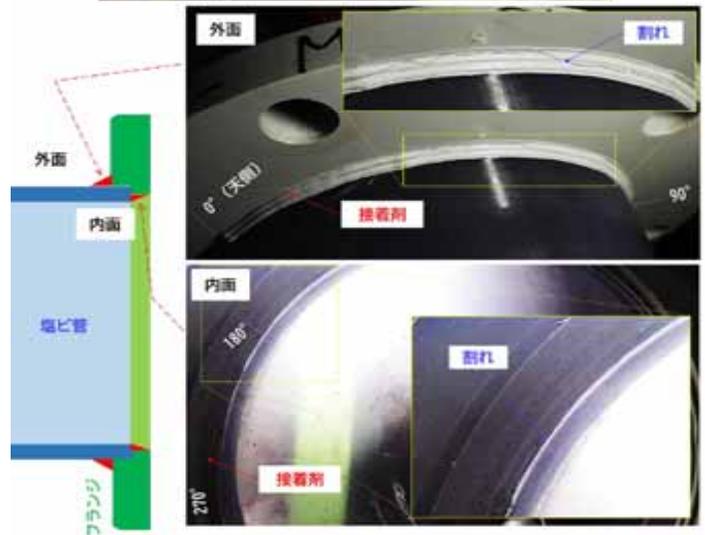
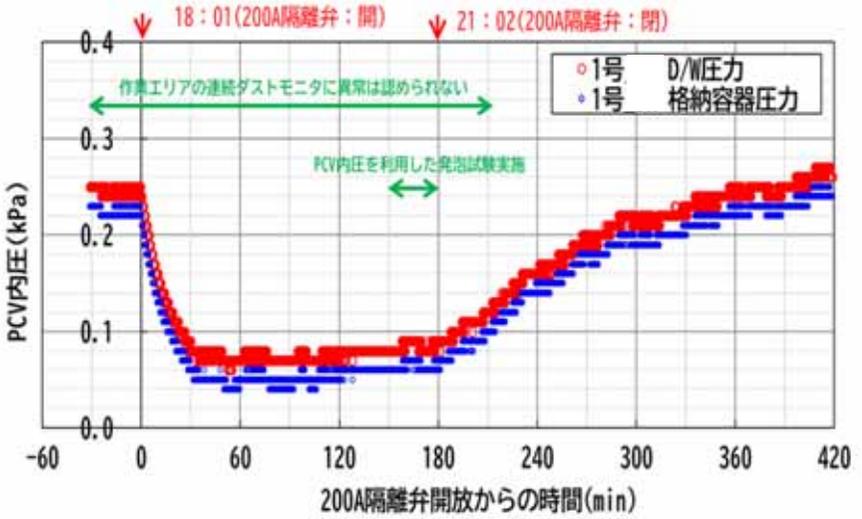
1) 不具合事象

- ・発生日: 2020年8月26日
- ・事象: カメラを200A隔離弁からPCV内に挿入した時間帯にPCV内圧の低下が発生した



2) 原因究明

200A用チャンバー本体の隔離弁側フランジ部に「Oリングの伸び」と「フランジ付け根部、接着部に周方向の割れ」が確認された。



※「フランジ付け根部の接着部、周方向割れ」は表裏の約半周に確認され、貫通状態であったことからPCV内圧低下に大きく影響する主要因であることを確認した。

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.1 現場実証-不具合対策:事例2-3「PCV内圧低下」(2/2) -

【割れ発生時期と原因の推定】

- ①使用時に割れが発生する可能性はない※
- ②移動・保管時には以下のようなフランジ部に大きな負荷を与える状況が存在する
 - ・ラック移動時に柱などにぶつける
 - ・フランジ部を足で強く押してラックの向きを変える
 - ・フランジ部を足で強く押してラックを移動する
 - ・重量物がフランジ部と衝突する など

移動・保管時に破損した可能性が高い



※不具合発生時は隔離弁の軸芯を合わせた適切な取付け方であったこと、割れの方向が干渉物を避けて取り付けられた場合に発生する方向と異なるため、使用時に発生した可能性はないと判断

3) 対策

- a. 保管時
 - ・養生シートの側面に注意喚起を行う
 - ・フランジ部に保護カバーを取り付ける
- b. 移動時
 - ・割れないことを目視確認する
 - ・フランジ部に保護カバーを取り付けた状態で移動する
- c. チャンバー取付時
 - ・割れないことを目視確認する
 - ・チャンバーに負荷をかけないように念のために固定用ブラケットを取り付ける
 - ・最終確認として加圧リーク試験を行う

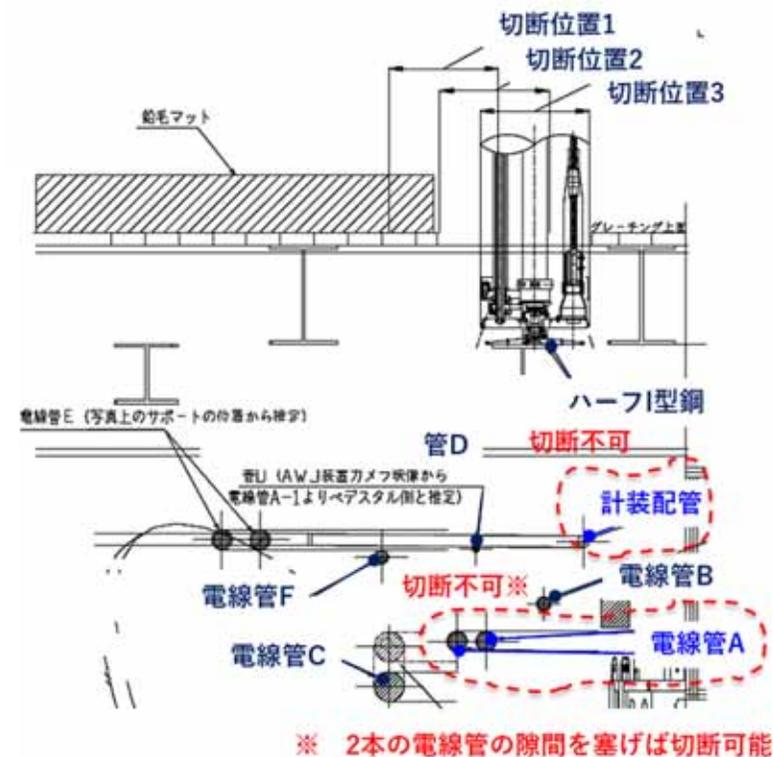
4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.2 干渉物対策の全体計画

アクセスルート構築のエアロック内扉穿孔後、PCV内の干渉物を確認したところ、グレーチング上に架台下からはみ出した鉛毛マットやグレーチング下の電線管が想定外の位置にあることを確認

今後の干渉物撤去に当たっての課題は以下の通り

- ◆ ROV挿入位置を決めるための干渉物の位置特定
- ◆ ROV挿入位置近傍には切断できないPLR計装配管があり、損傷させないで干渉物を切断する方法の確立
- ◆ 2本の電線管(電線管A)を切断した場合、ROV挿入後にケーブルが2本の電線管に挟まれROVの回収ができなくなるのを防ぐ方法の確立
- ◆ 鉛毛マットの位置にROVを挿入する必要が出た場合の鉛毛マットの切断方法の確立

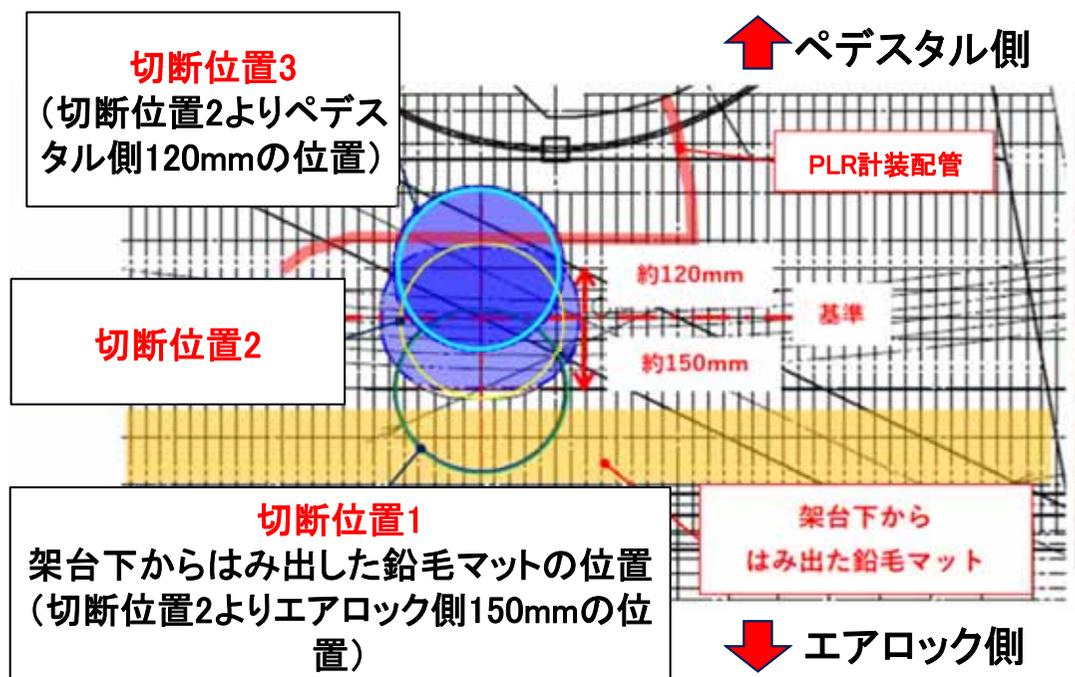


4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.2 干渉物対策の全体計画

ROVの地下階への挿入位置候補として、下図に示すように切断位置1～3が挙げられる

- 切断位置1: 当初計画のROV挿入位置(緑色円)
- 切断位置2: 鉛毛マットと干渉しない位置(黄色円)
- 切断位置3: 切断位置2よりペデスタル側120mmの位置(水色円)



① この3つから切断位置を判断するためのフローを検討した

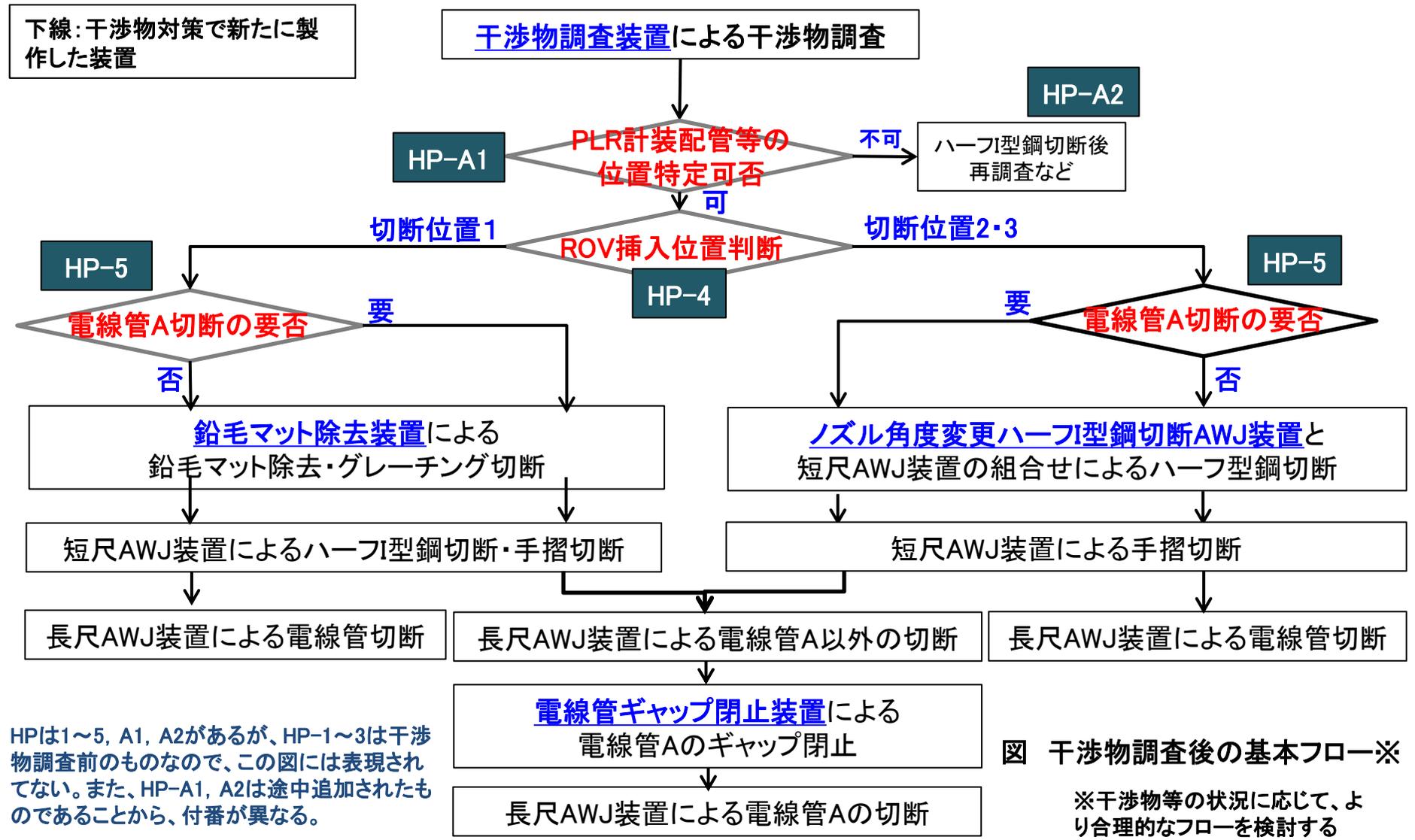
➡ 次頁参照

② 検討の結果、以下の装置の新規開発が必要であり、本事業で以下4つの装置の開発を進めた

- 干渉物の位置を把握するための調査装置(干渉物調査装置)
- ノズル角度変更ハーフ型鋼切断AWJ装置
- 電線管ギャップ閉止装置
- 鉛毛マット除去装置

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.2 干渉物対策の全体計画



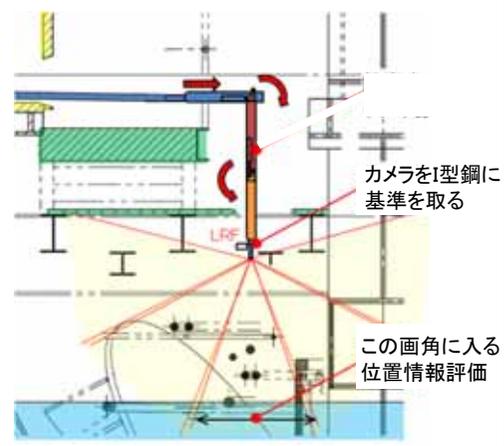
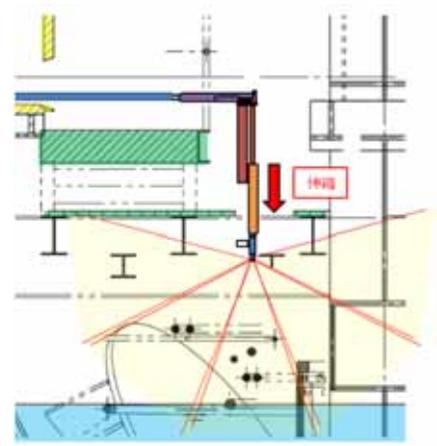
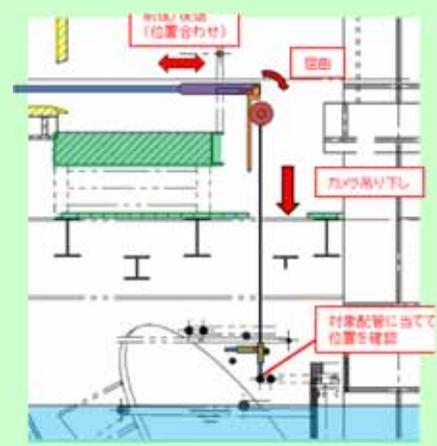
HPは1~5, A1, A2があるが、HP-1~3は干渉物調査前のものなので、この図には表現されてない。また、HP-A1, A2は途中追加されたものであることから、付番が異なる。

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.3 干渉物の位置を把握するための調査装置の製作 (1/4)

【干渉物調査装置の方式選定】

LRF: レーザレンジファインダ

方式	①二重屈曲 (LRF+カメラ)	②伸縮 (LRF+カメラ)	③吊下げ
			
メリット	<ul style="list-style-type: none"> LRFで精度よく測定可能 既存の屈曲カメラからの変更点が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> LRFで精度よく測定可能 Z座標を変更して複数測定可能で①より測定信頼性高い 	<ul style="list-style-type: none"> 測定対象に近づけるため霧環境下でもカメラで測定可能 未知電線管への適応可能性高い 水中電線管への適応可能性高い
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 霧環境下でのLRF使用可否不明 上から見下ろすだけでカメラ精度は③より悪い 水中電線管は測定不可 	<ul style="list-style-type: none"> 霧環境下でのLRF使用可否不明 測定対象までの距離が遠くカメラ精度は③より悪い 水中電線管は測定不可 	<ul style="list-style-type: none"> LRFを搭載するスペースはない LRFより測定精度は悪い 複合ケーブル、ケーブルドラムの開発必要
評価	<p style="text-align: center;">× 不採用</p> <ul style="list-style-type: none"> アクセス性はOK LRF適用となった場合は②の方がよい 	<p style="text-align: center;">◎⇒× 不採用</p> <ul style="list-style-type: none"> LRFの測定点数が多く、測定信頼性高い ↓ LRF精度確認試験でLRFは霧環境下で使用不可と判明 	<p style="text-align: center;">○ 採用</p> <ul style="list-style-type: none"> LRFよりは測定精度悪いが霧環境下でも測定可能 水中電線管への対応可能

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.3 干渉物の位置を把握するための調査装置の製作 (2/4)

【干渉物調査装置の概要図】



4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.3 干渉物の位置を把握するための調査装置の製作 (3/4)

【干渉物調査装置の主要機能】

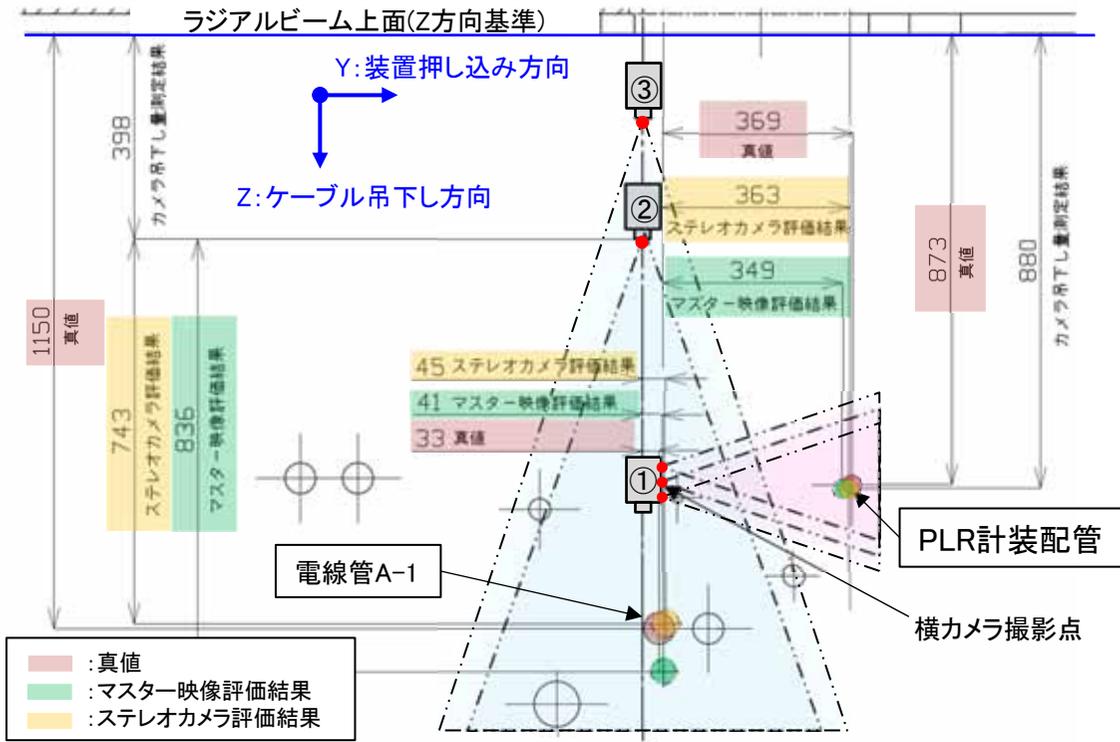
1. 全体
<ul style="list-style-type: none"> (1) カメラユニットのPCV内部への挿入・地下階への吊下ろし、回収を行う (2) 電線管類の位置測定を行う (3) PCV地下階の状況観察を行う (4) カメラユニットの非常回収が可能 (5) 作業中にバウンダリを維持 (6) 耐放射線性:集積線量1000Gy以上
2. 吊下しカメラ装置用チャンバー
<ul style="list-style-type: none"> (1) 既設AWJガイドパイプと取合い、調査時のPCVとのバウンダリを維持
3. サポート治具
<ul style="list-style-type: none"> (1) 吊下ろしユニットを極力水平に移動させて内扉開口部まで運搬する (2) 外扉切断片などの段差乗り越えのための伸縮脚部を有する
4. 吊下しユニット
<ul style="list-style-type: none"> (1) ケーブルドラムを搭載し、カメラユニットの吊下し/巻上げを行う (2) ケーブルの印をドームカメラで映し、吊下ろし量を確認する(最大2.5m)
5. カメラユニット
<ul style="list-style-type: none"> (1) 2台のCMOSカメラ(鉛直下方向、水平方向(パンニング可))とLED照明を搭載し、電線管等の視認・位置測定を行う (2) 水面下まで吊り下ろし可能

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.3 干渉物の位置を把握するための調査装置の製作 (4/4)

【モックアップ試験による電線管位置測定誤差の結果】

撮影カメラ	評価対象	真値 [mm]			測定結果と誤差評価値 [mm]											
					ステレオカメラ方式【現地採用】						マスター映像方式【参考】				吊下し量	
		Y	ϕ	Z	Ys	ΔYs	ϕ_s	$\Delta \phi_s$	Zs	ΔZ	Ym	ΔYm	Zm	ΔZm	ΔZ	Z'
横カメラ ①	PLR計装 配管	369	34	873	363	6 (2%)	35.3	-1.3 (-4%)	評価対象外	349	20 (5%)	評価対象外	880	-7.0 (-1%)		
下カメラ ②③	電線管 A-1	33	59.6	1150	45	-12 (-37%)	52.5	7.1 (12%)	1141	9 (1%)	41	-8 (-25%)	1234	-84 (-11%)	評価対象外	



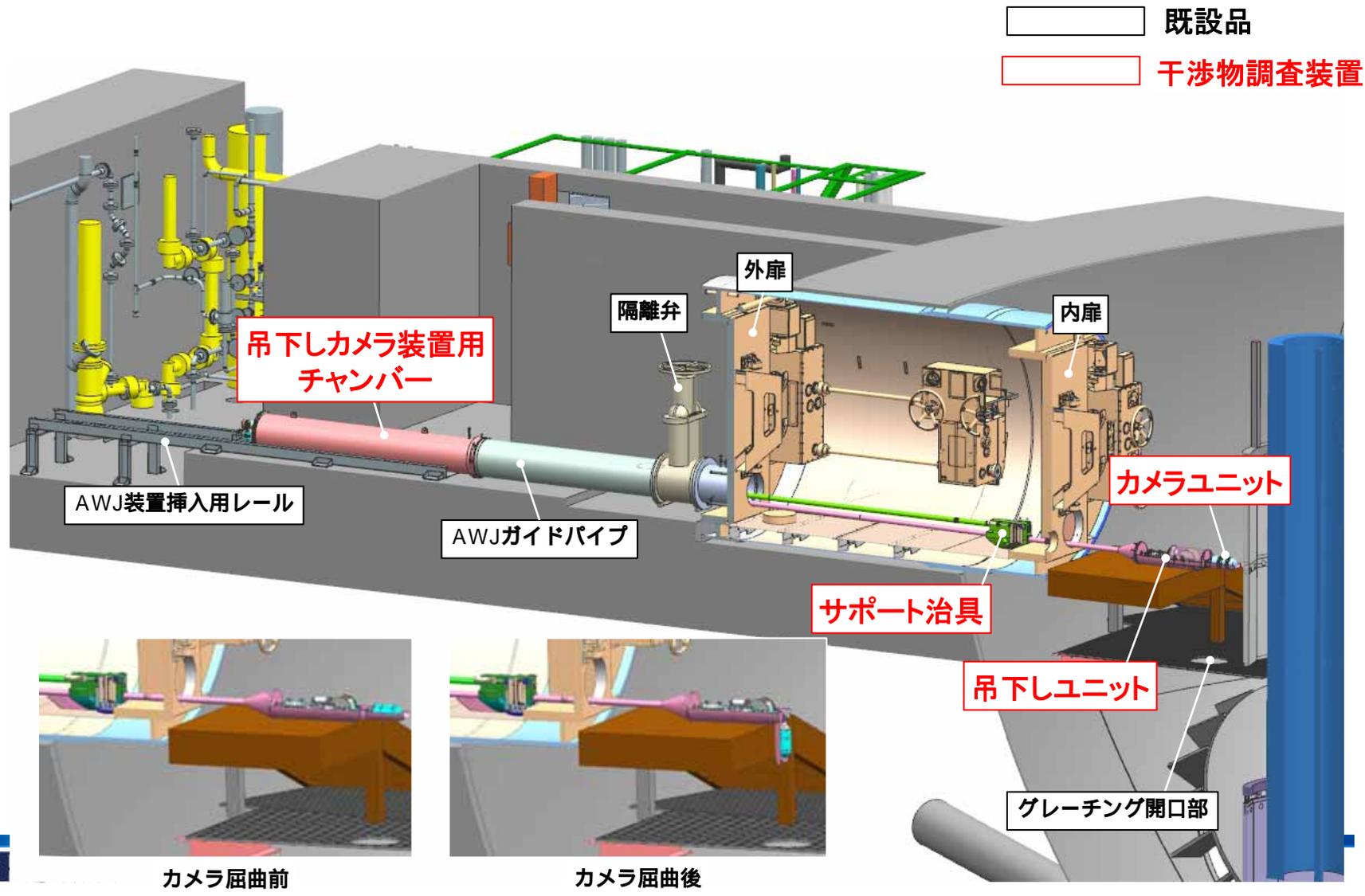
電線管位置測定誤差は以下の通り
(カメラでの測定はステレオカメラ方式で評価)

- 1) Y(押込方向)の設定誤差: 最大2mm
- 2) Z(吊下し方向)の設定誤差: 最大7mm
- 3) 横カメラの位置測定誤差 (PLR計装配管)
 - ① 横方向Yの誤差: 6mm
[押し込み誤差(上記(1)+カメラ評価誤差)]
 - ② 高さ方向Zの誤差: 7mm
[吊下し誤差(上記(2))]
- 4) 下カメラの位置測定誤差 (電線管A-1)
 - ① 横方向Yの誤差: 12mm
[押し込み誤差(上記(1)+カメラ評価誤差)]
 - ② 高さ方向Zの誤差: 9mm
[吊下し誤差(上記(2))+カメラ評価誤差]

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.4 干渉物の詳細調査(1/2)

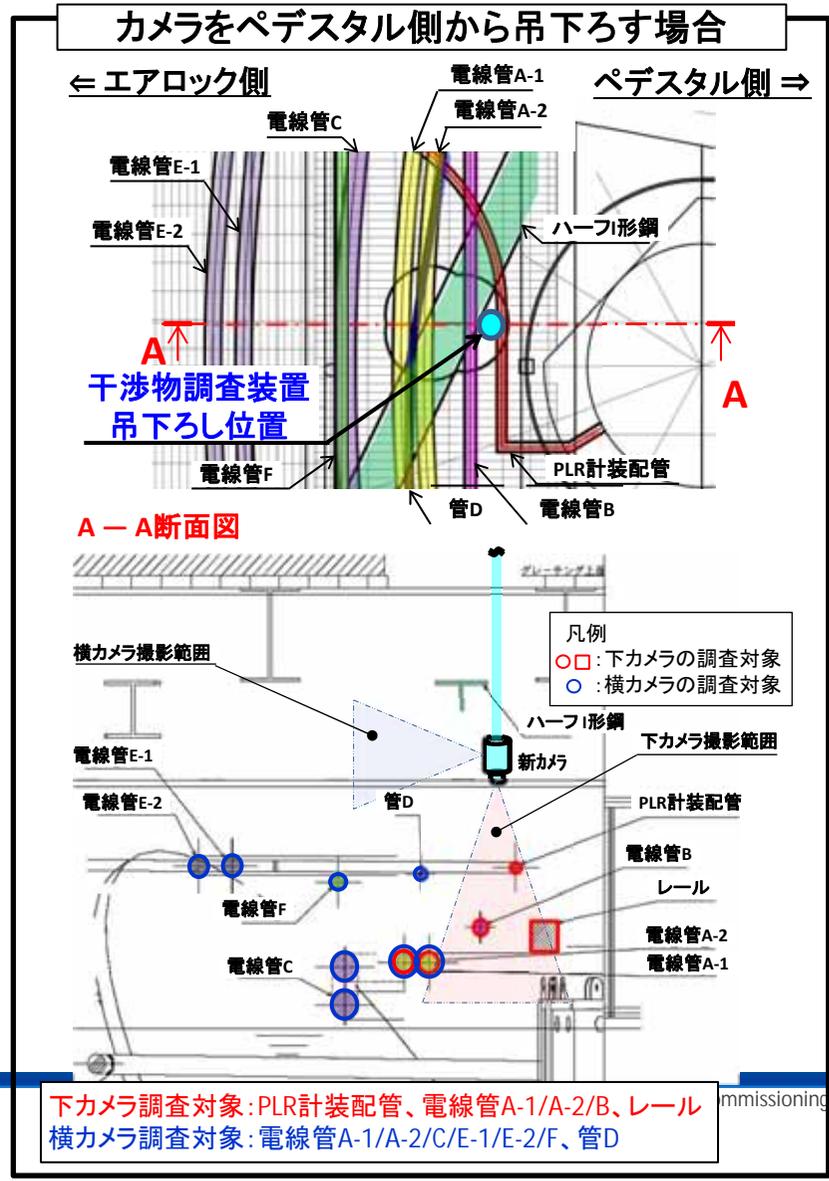
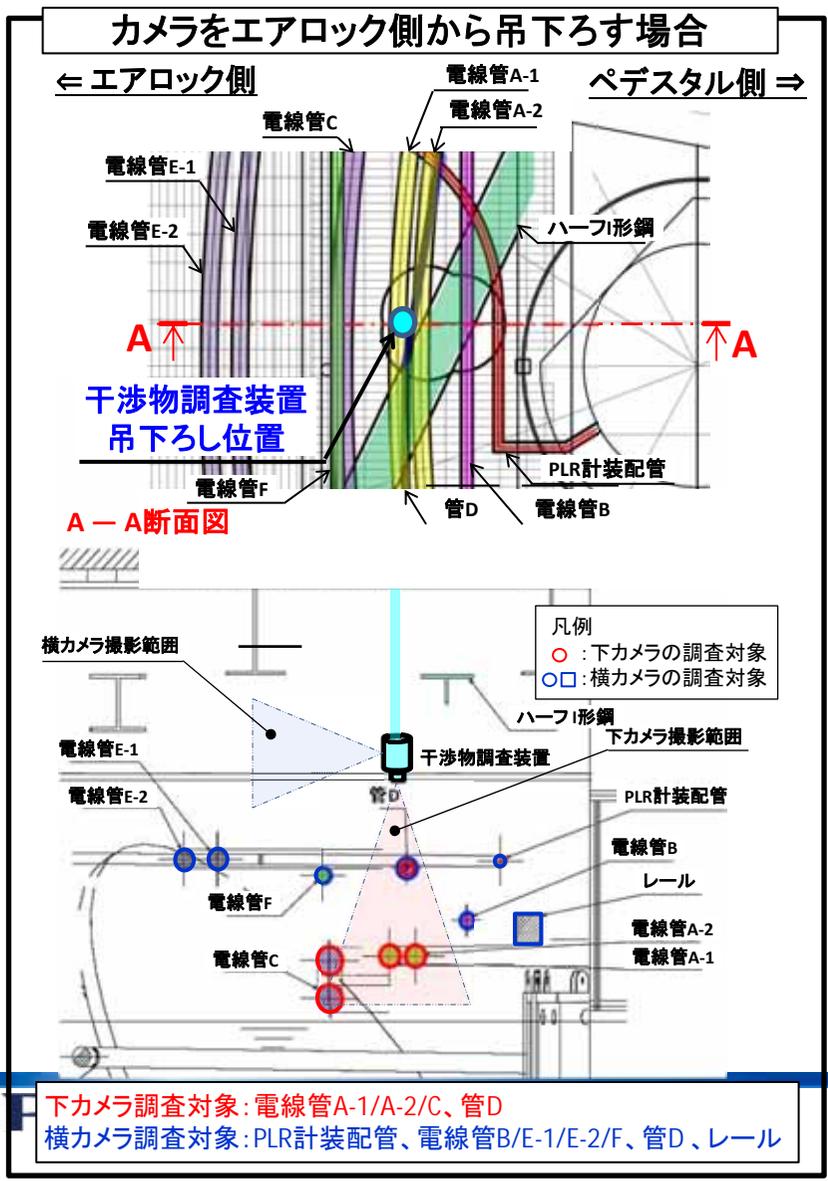
【調査計画<カメラの挿入作業>】



4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.4 干渉物の詳細調査(2/2)

【調査計画<干渉物調査装置のカメラ吊下ろし箇所毎の調査対象>】



4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.5 干渉物対策の実施 (1)ノズル角度変更ハーフ型鋼切断AWJ装置(1/4)

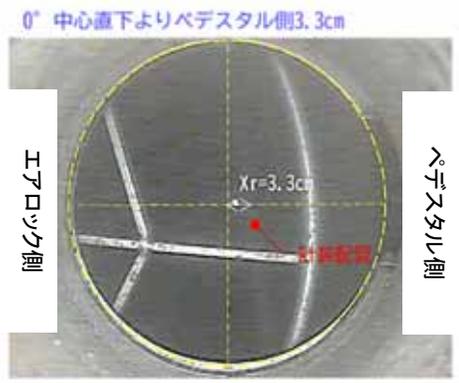
【PLR計装配管の推定位置】

- ・切断位置3(グレーチング追加切断位置)において、ペDESTAL側に向けたAWJ装置の内部カメラ映像で、PLR計装配管を確認
- ・映像からカメラ中心の直下より3cmほどペDESTAL側に存在するものと推定

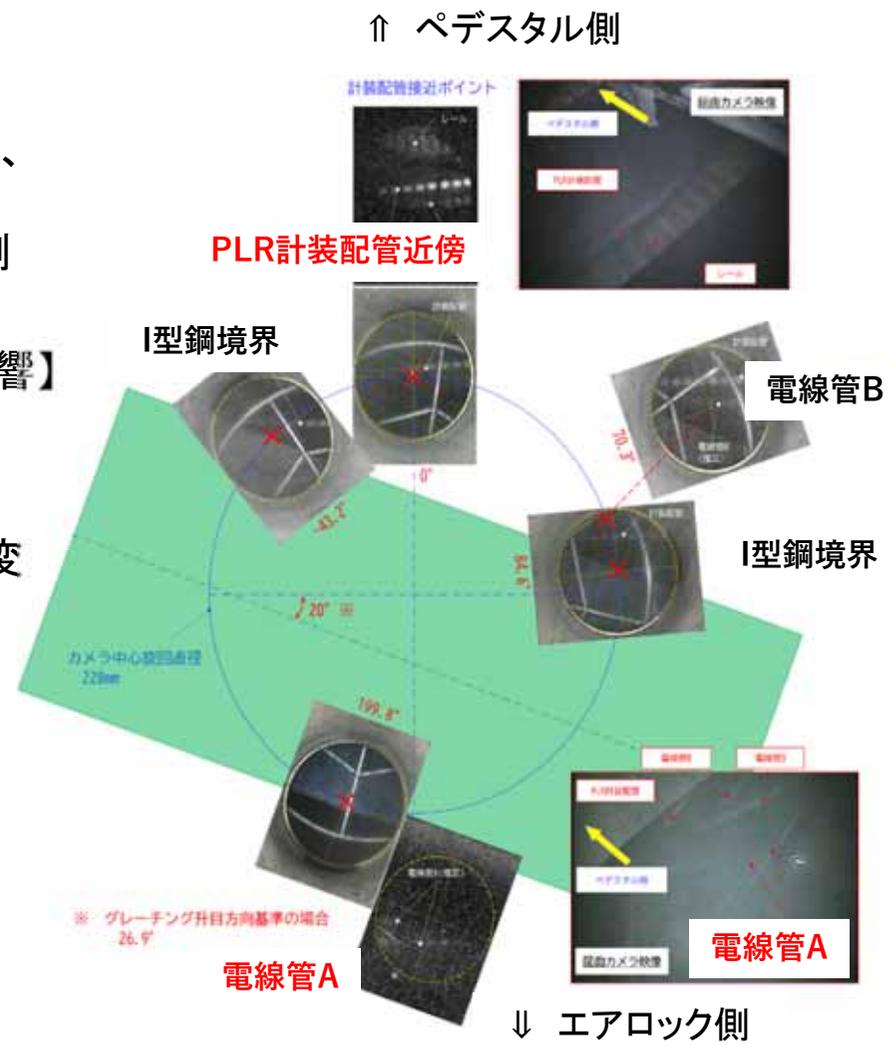
【ハーフ型鋼切断時に想定されるPLR計装配管への影響】

- ・切断片落下時の計装配管への衝突
- ・AWJの投射による計装配管の減肉

上記の対策として、切断計画の見直しとノズル角度を変更した新規AWJ装置を設計・製作し、切断試験、モックアップ試験で影響レベルと作業手順を確認



	X	Y	
Xmax(画像上の長さ)	7.04	0	7.04
Xia(画像上の長さ)	0.53	0	0.53
$Ry=Yia/Ymax$			0.08
高さH'(cm)			60.90
$Rx(5cm) = -0.118 \ln(H') + 0.5999$			0.12
$Xr(cm) = 5cm \times Rx/Rx(5cm)$			3.3



切断位置3における内部カメラ撮影映像

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.5 干渉物対策の実施 (1)ノズル角度変更ハーフ型鋼切断AWJ装置(2/4)

【ハーフ型鋼の切断試験】

以下の対策を検討し、既存設備を用いて切断の見直しを確認

- ・AWJによる計装配管への影響のミニマム化
- ・計装配管から離れた位置への切断片落下制御

① AWJ切断条件の見直し

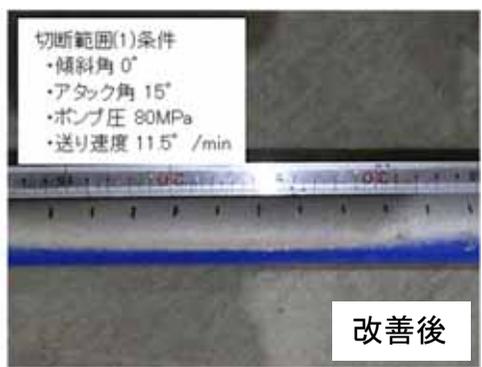
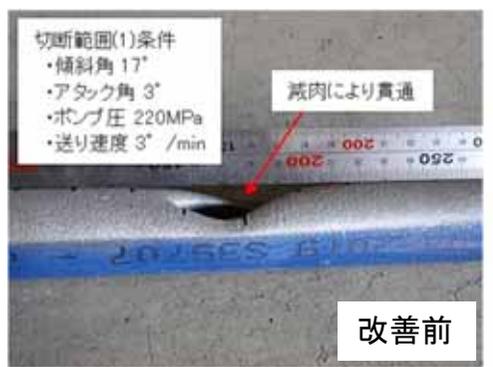
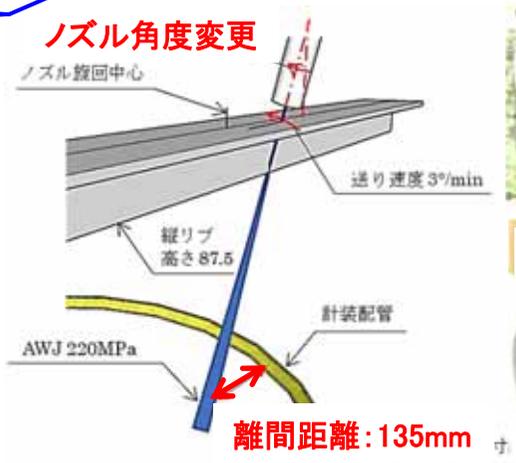
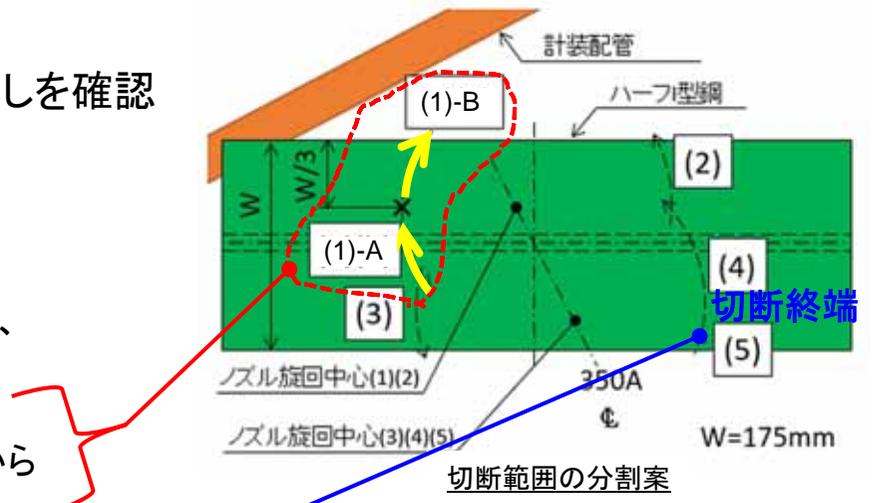
切断が容易なPLR計装配管側のハーフ型鋼フランジ面は、低い吐出圧のAWJで高速で切断

② ノズル角度の変更

PLR計装配管に近い切断範囲の切断にはPLR計装配管からの離隔距離を拡大したノズル角度変更AWJ装置を採用

③ 切断範囲の分割による切断片落下位置制御

切断片が、PLR計装配管から離れた位置に落下する様に、切断の範囲・手順を見直し



ハーフ型鋼フランジ面切断時の模擬PLR計測配管の減肉確認例

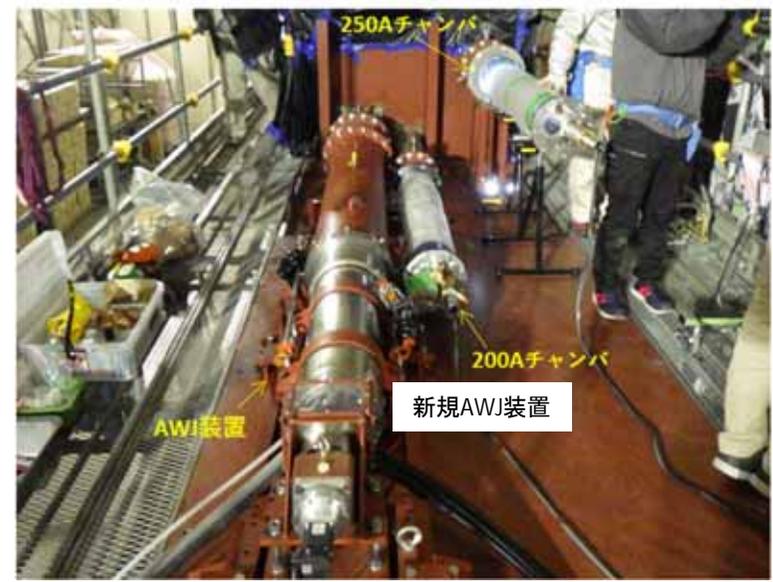
ノズル角度の変更と縦リブ切断時のAWJ通過イメージ

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.5 干渉物対策の実施 (1)ノズル角度変更ハーフ型鋼切断AWJ装置(3/4)

【新規AWJ装置を用いたモックアップ試験】

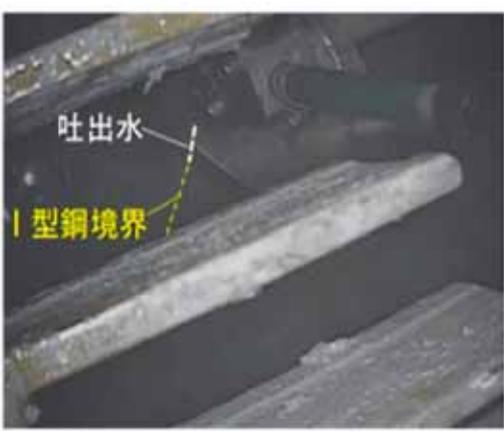
- (1) 以下の成立性を検証した
 - 200A屈曲カメラ映像による設定作業
 - 新規AWJ装置を適用する切断範囲(1)の切断
 - 内部カメラ、屈曲カメラを用いた切断後確認
 - 模擬計装配管へのAWJ直撃しても減肉を大幅低減
- (2) ノズル回転時のケーブル・ホースの挙動を確認し、適切な整線タイミングを作業手順に反映した
- (3) ノズル回転精度を確認し、切断計画に反映した



モックアップ試験状況



設定状況



屈曲カメラ映像

屈曲カメラを用いた切断後確認



ハーフ型鋼試験体 (範囲(1)切断後)



模擬PLR計装配管の試験後外観

4.1 アクセスルート構築の現場実証

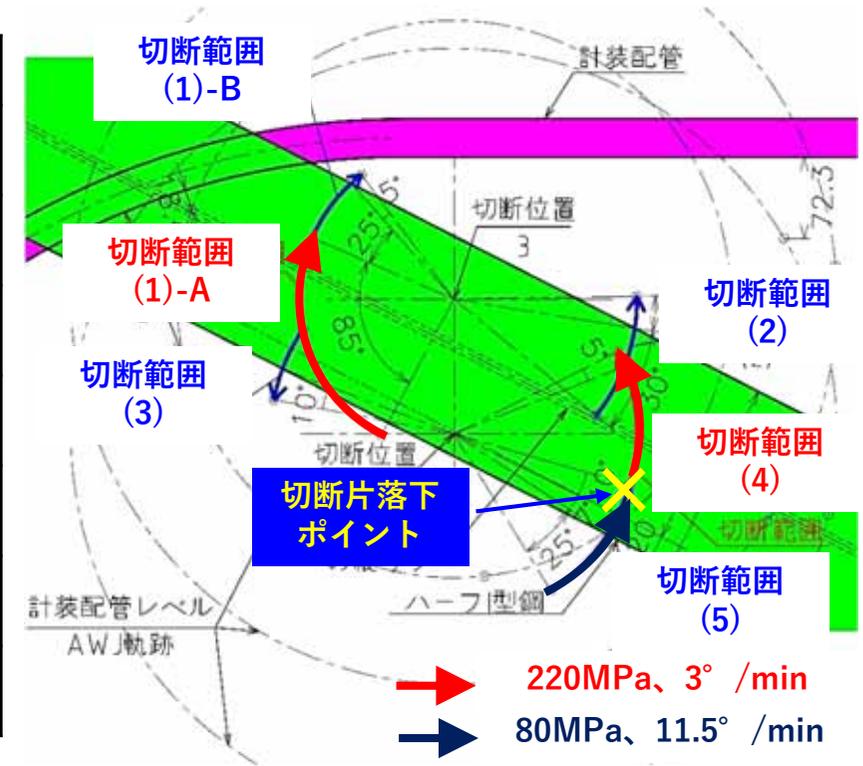
4.1.5 干渉物対策の実施 (1)ノズル角度変更ハーフ型鋼切断AWJ装置(4/4)

【切断位置2と3の切断計画】

下表の組合せにより、PLR計装配管への影響を最小限とした切断位置2と3でのハーフ型鋼切断計画を策定した

切断位置	装置	切断範囲	切断条件		
			ポンプ圧 [MPa]	回転速度 [° /min]	回転方向
3	新型AWJ装置	(1)-A	220	3	時計回り
		(1)-B	80	11.5	時計回り
	短尺AWJ装置	(2)	80	11.5	反時計回り
2	短尺AWJ装置	(3)	80	11.5	反時計回り
		(4)	220	3	反時計回り
		(5)	80	11.5	反時計回り

ハーフ型鋼の切断計画



切断範囲と計装配管位置(推定)

4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.5 干渉物対策の実施 (2)鉛毛マット除去装置 (1/4)

【除去対象となる鉛毛マットの状況】

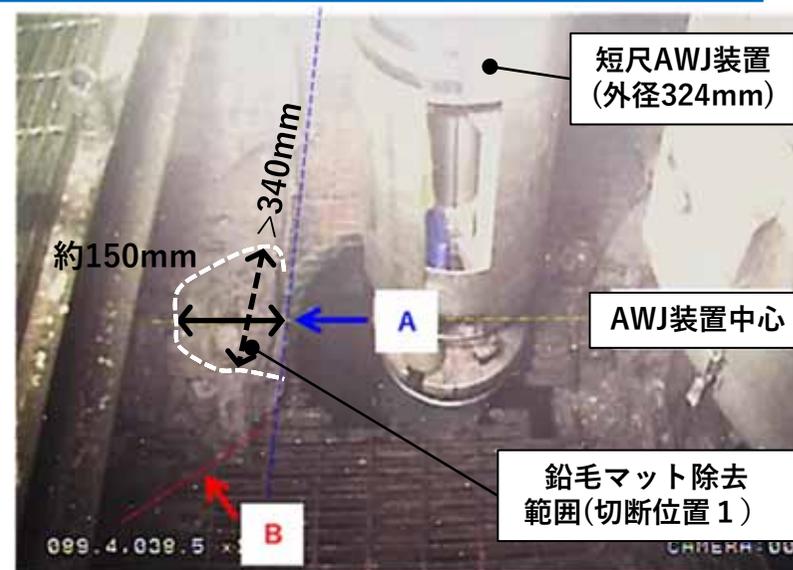
(1) 鉛毛マット除去範囲

- 奥行き約150mm×幅340mm以上の半楕円形状
- 鉛毛マットの高さ約170mm(鉛当量23mm相当)

(2) 鉛毛マットの状態

溶けた鉛は鉛毛マットの基布と融着しないため、鉛毛マット間及び鉛毛マット/グレーチング間の固着はないと推定

上記鉛毛マットを除去する手法の選定、装置の設計・製作を行い、機能試験で切断位置1での切断の見通しを確認した



4.1 アクセスルート構築の現場実証

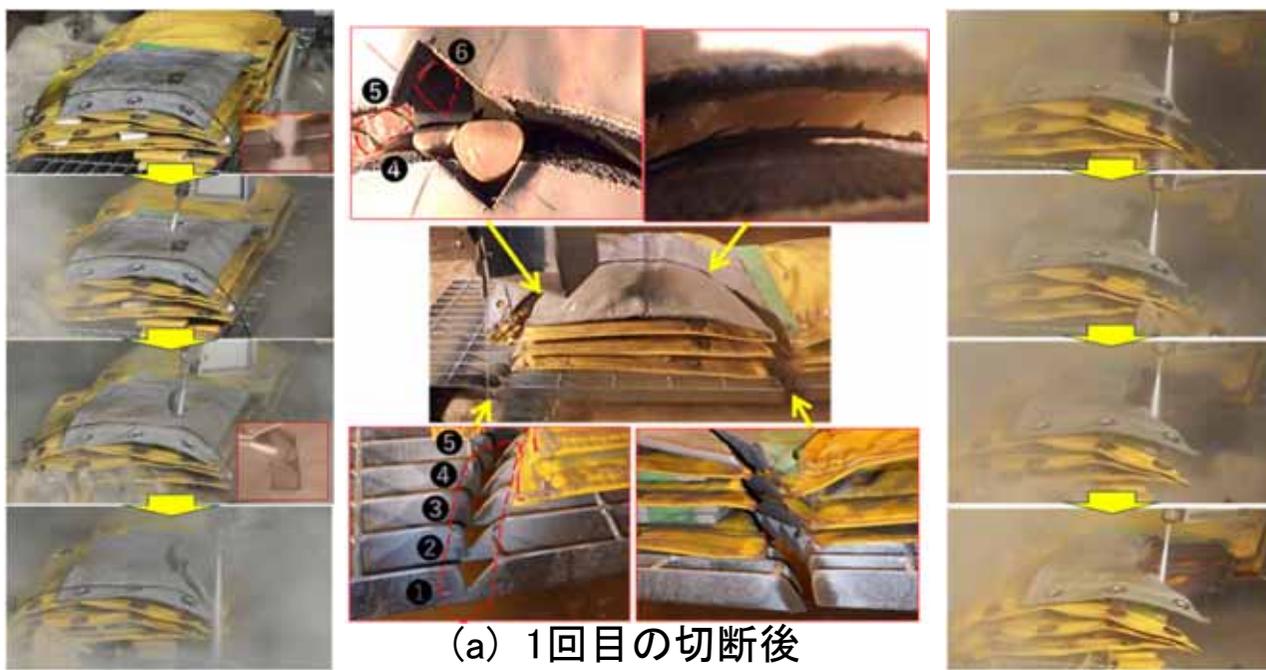
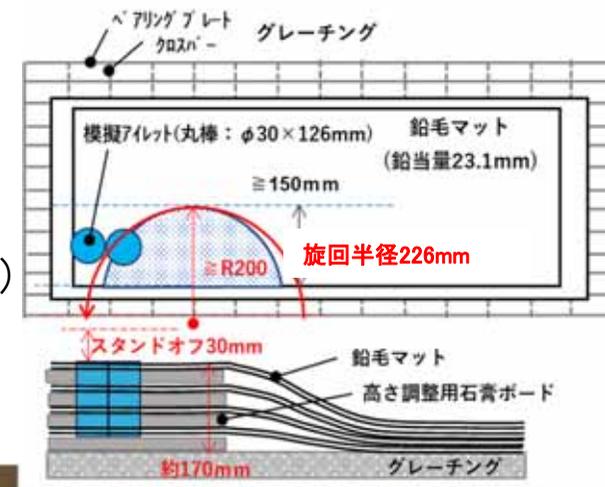
4.1.5 干渉物対策の実施 (2)鉛毛マット除去装置 (2/4)

【要素試験】

4種類の手法からAWJを選定し、鉛毛マット除去とその下のグレーチング切断に有効であることを確認した

- (1) 試験条件: 220MPa、3° /min、傾斜角0°、アタック角10°
- (2) 試験結果:

- WJ噴射開始直後に鉛毛マットを貫通(厚さ25mm鉛ブロックでも同じ)
- AWJ噴射により鉛毛マット下のグレーチングも切断可能
- 切断時の鉛毛マットは吹き飛ばされず、鉛毛マット切断開口部からグレーチングの切残り部を視認可能



(a) 1回目の切断後



(b) 4回目の切断後

4.1 アクセスルート構築の現場実証

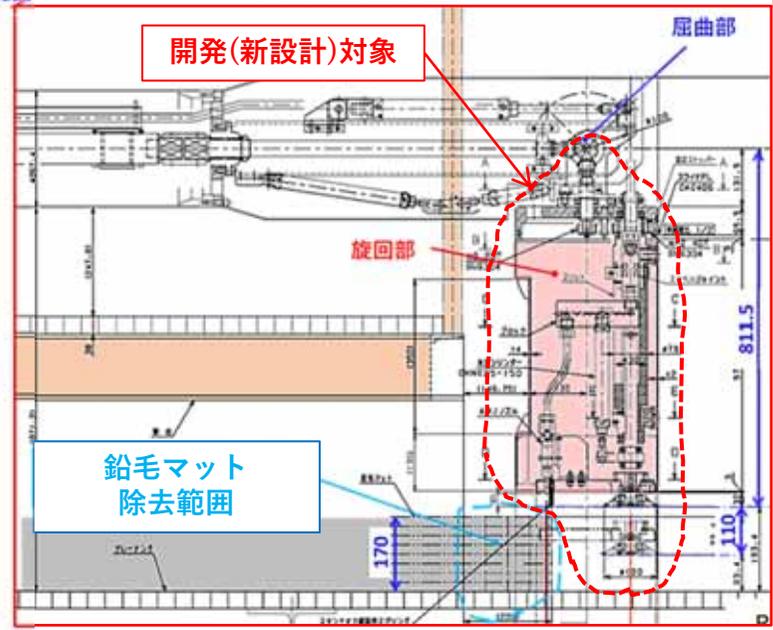
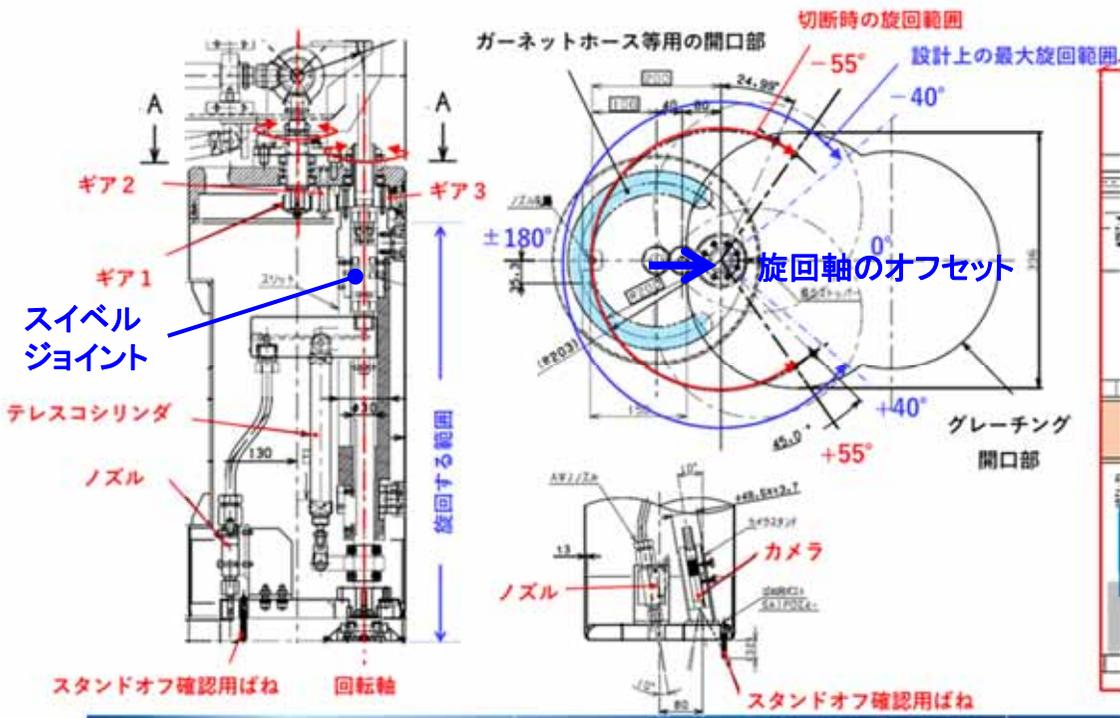
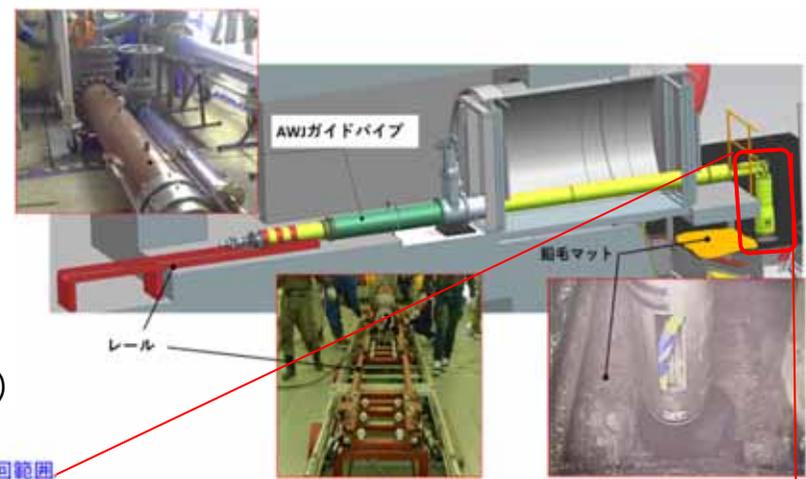
4.1.5 干渉物対策の実施 (2)鉛毛マット除去装置 (3/4)

【設計・製作】

工程、開発費のミニマム化のため、以下を考慮し現行AWJ装置の設計をベースにヘッド先端部のみ開発

(1) 非常回収性

- ギア空回り条件での内扉開口部通過状態への変形
- (2) AWJヘッド外径324mmより大きな切断径(380mm以上)
- 回転軸のオフセット
- 高圧水ホースのねじれ防止(スィベルジョイントを採用)



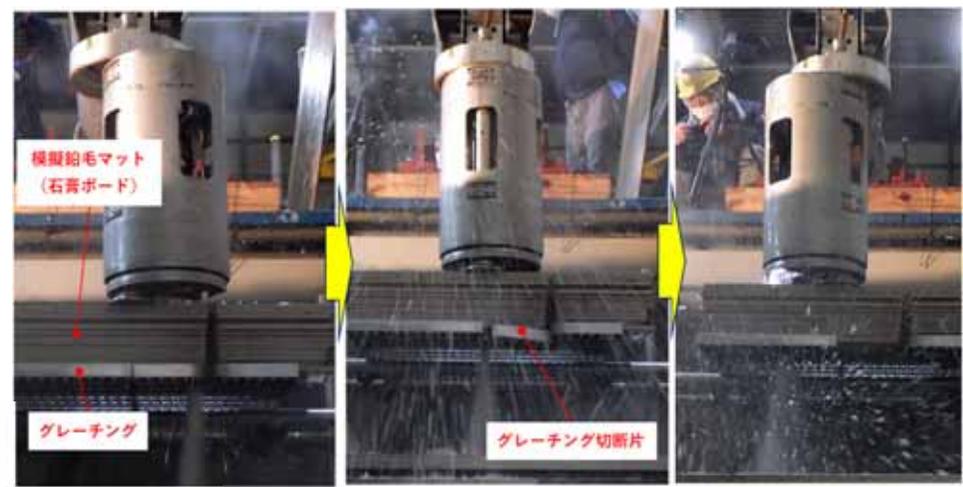
4.1 アクセスルート構築の現場実証

4.1.5 干渉物対策の実施 (2)鉛毛マット除去装置 (4/4)

【機能試験】

以下の機能試験を行い、鉛毛マット除去と鉛毛マット下のグレーチング切断の見通しを確認した

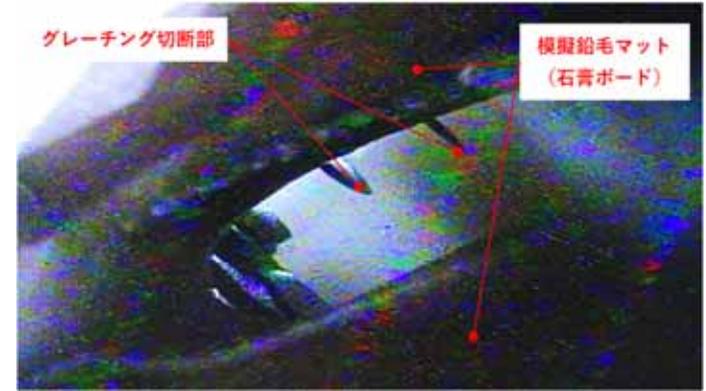
- ギア空回り時の内扉開口部通過状態への変形
- ノズルの旋回範囲と精度
- 鉛毛マット下のグレーチング切断
- 内部カメラによるグレーチング切断範囲の設定と切残り部の確認 など



鉛毛マット下のグレーチング切断性確認状況



ギア空回り時の内扉開口部通過状態への変形動作確認状況



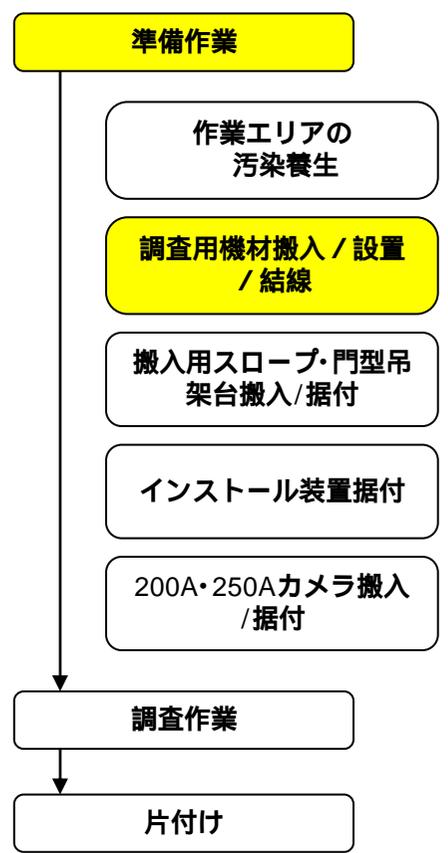
内部カメラによるグレーチング切残り部確認状況

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.1 作業訓練

(1) 調査用機材搬入／設置／結線トレーニング

2020年10月以降は本トレーニングは実施せず



映像BOX、ドラムコントロールBOX、中継BOX (エアロック前)



映像光BOX(エンクロ室)

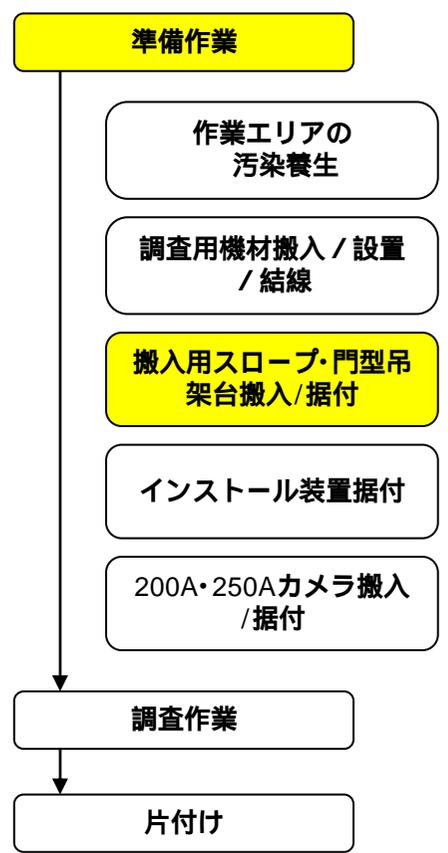


制御光BOX、PCモニタBOX(免震棟)

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(2) 搬入用スロープ・門型吊架台搬入/据付トレーニング 2020年10月以降は本トレーニングは実施せず



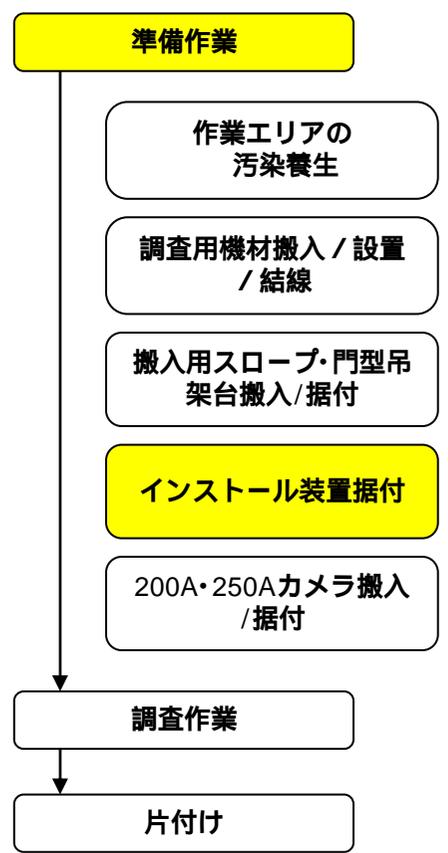
搬入用スロープ・門型吊架台搬入/据付のトレーニング状況

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(3) インストール装置据付トレーニング

2020年10月以降は本トレーニングは実施せず



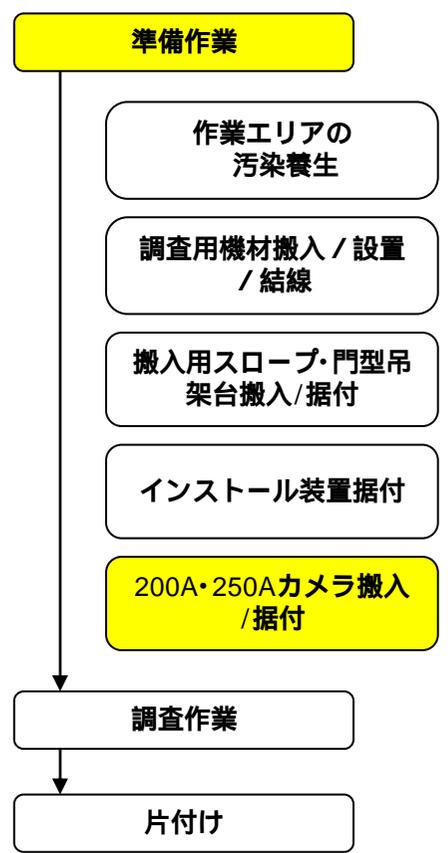
インストール装置据付トレーニング状況

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(4) 200A・250Aカメラ搬入/据付トレーニング

2020年10月以降は本トレーニングは実施せず



200Aカメラチャンバー取付



200Aカメラチャンバー取付



250Aカメラチャンバー取付



250Aカメラチャンバー取付状態

アクセスルート構築での不具合事例の水平展開として250Aチャンバーを塩ビ製からSUS製に変更して作業訓練を実施した。

200A・250Aカメラ搬入/据付トレーニング状況

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(1) ROVケーブルドラム搬入／据付

2020年10月以降は本トレーニングは実施せず



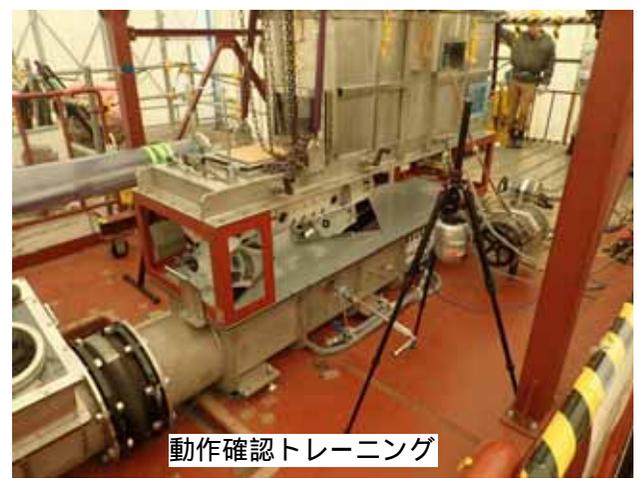
ROVケーブルドラム範雄/据え付けトレーニング状況

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(2) 動作確認／リークチェック

2020年10月以降は本トレーニングは実施せず



動作確認/リークチェックトレーニング状況

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(3) インストールトレーニング

2020年10月以降は本トレーニングは実施せず



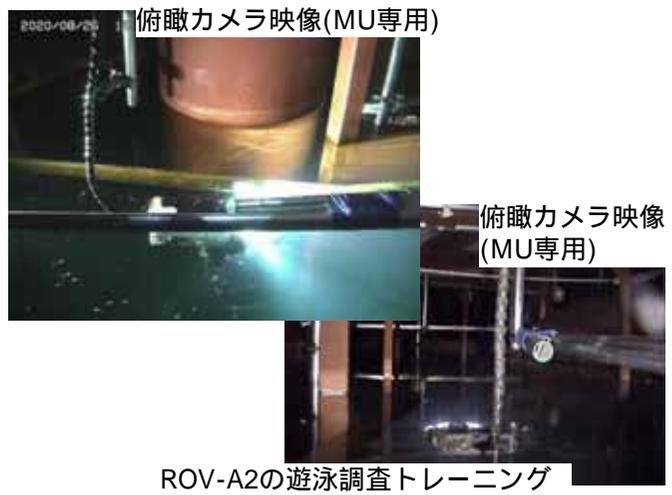
インストールトレーニング状況

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(4) ROV遊泳調査トレーニング

2020年10月以降はROV遊泳調査の一部を実施



ROVの遊泳トレーニング状況

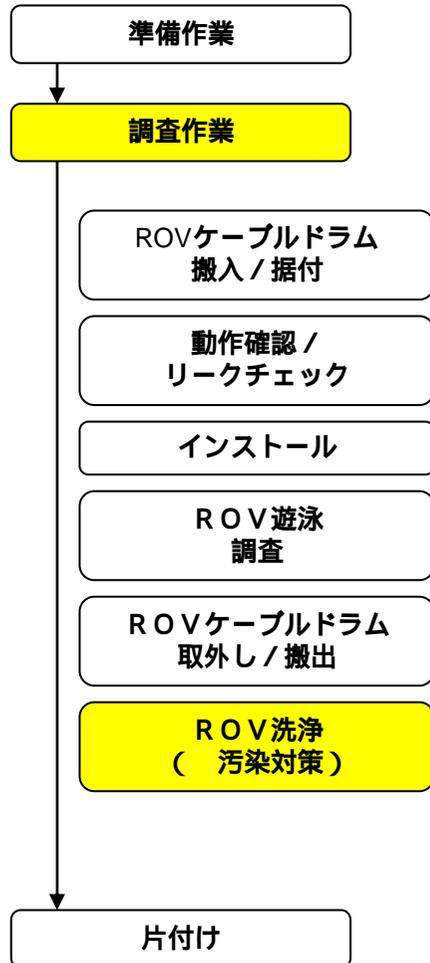
MU:モックアップ

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(5) ROV洗淨 (α 汚染対策)

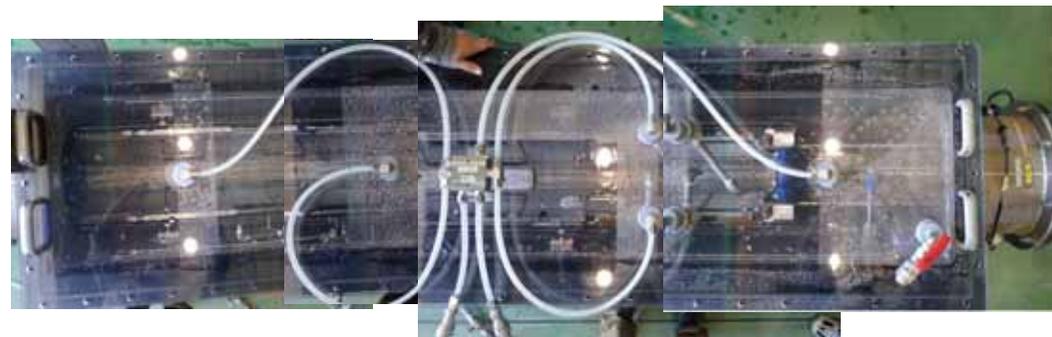
2020年10月以降は本トレーニングは実施せず



インストール装置先端部 ROV本体洗淨



インストール装置洗淨ハンドル ROV本体洗淨



インストール装置洗淨

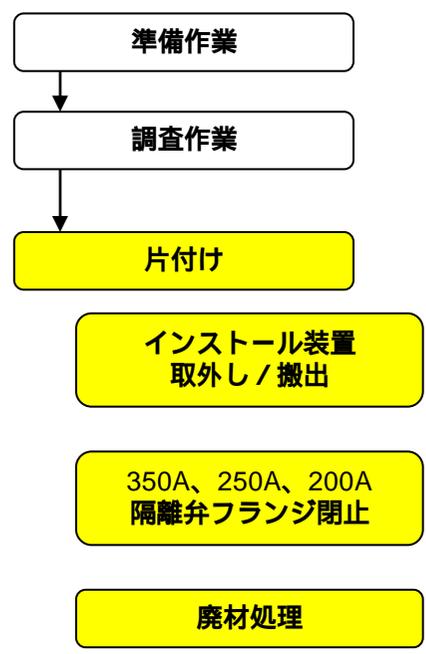
ROV洗淨の様子

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 作業訓練

(1) 片付けのトレーニング

2020年10月以降は本トレーニングは実施せず

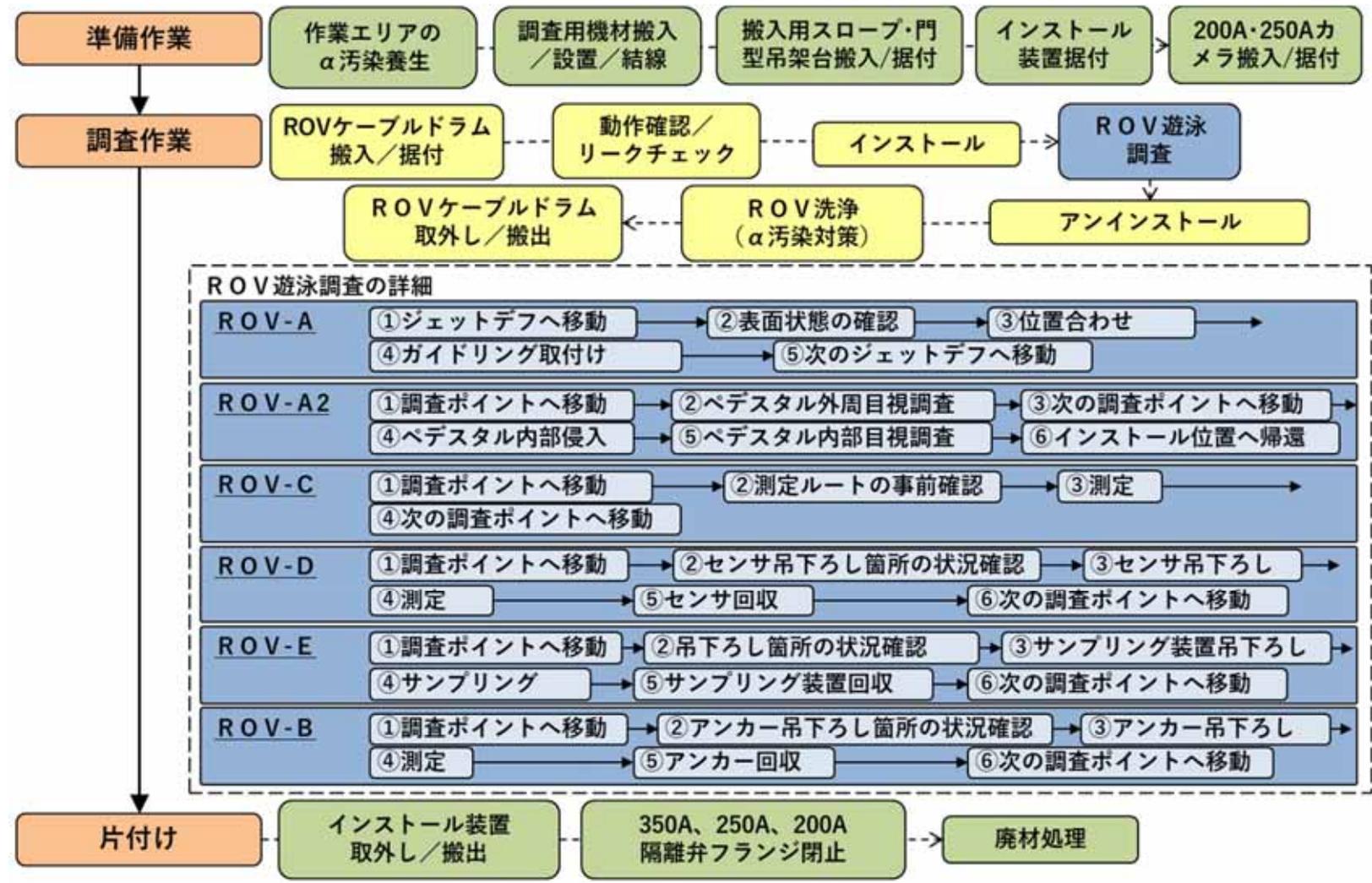


片付けのトレーニング状況

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

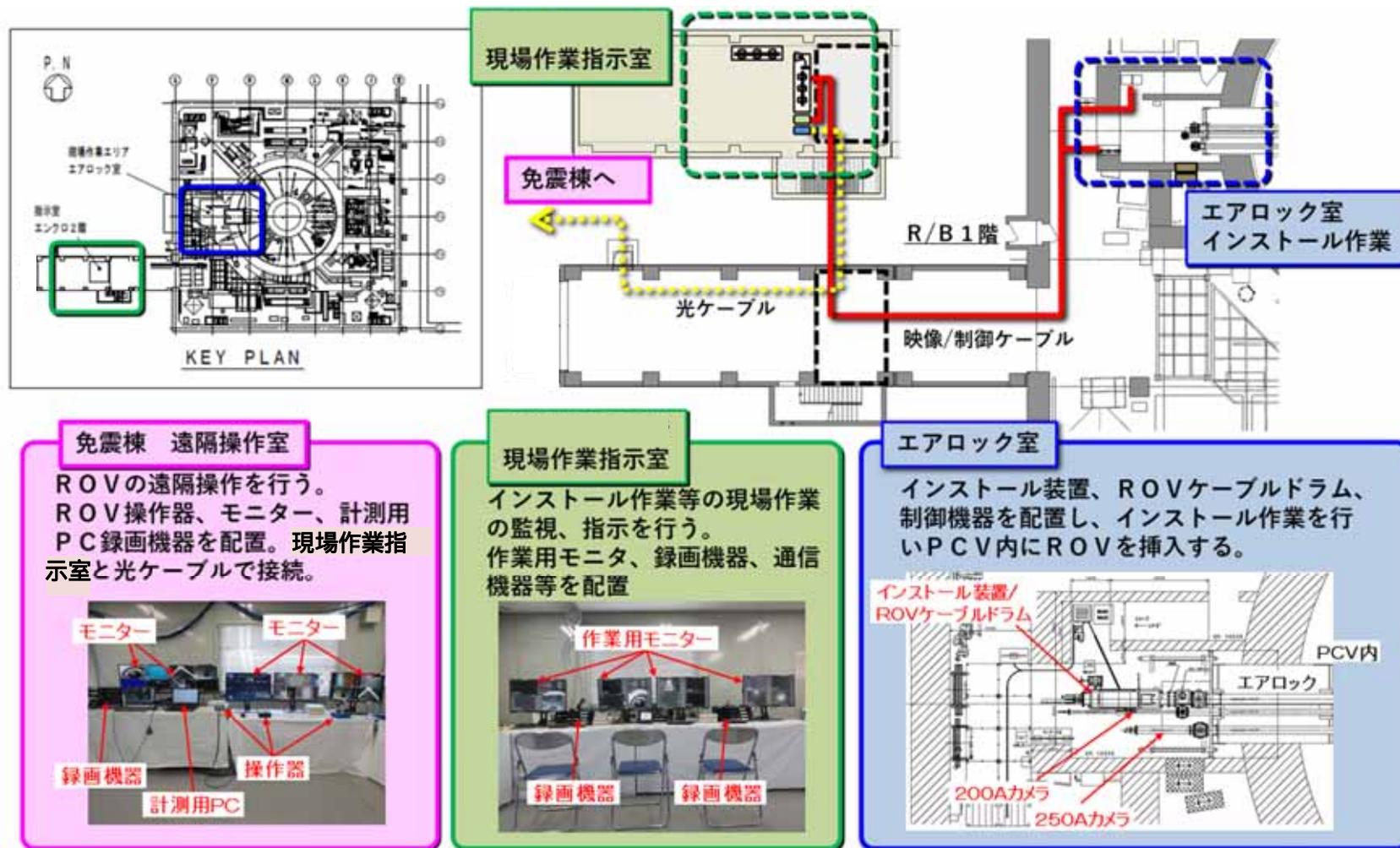
(1) 作業フロー



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(2) 全体配置



R/B: 原子炉建屋

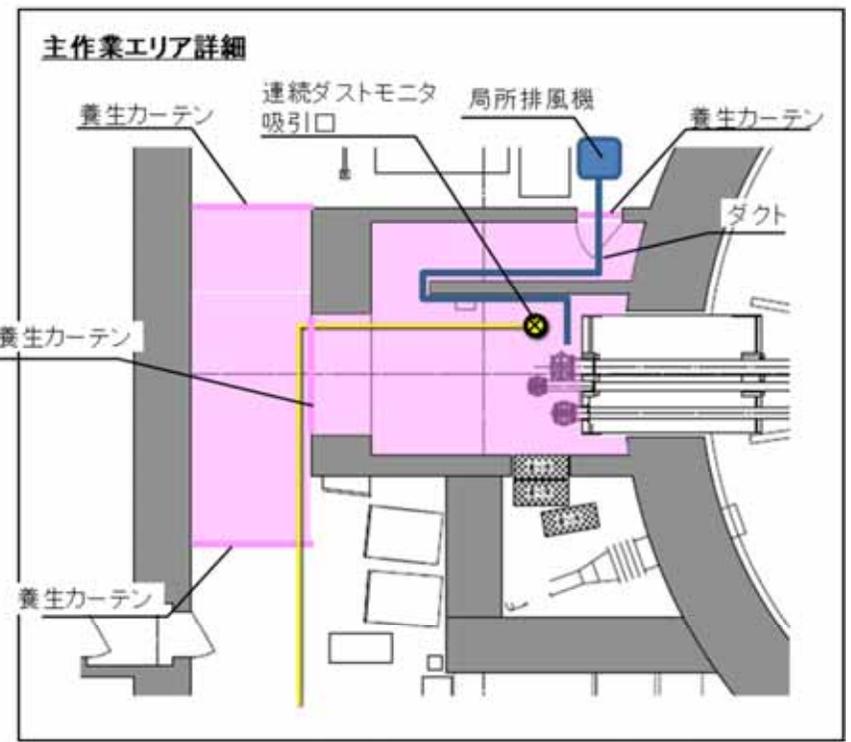
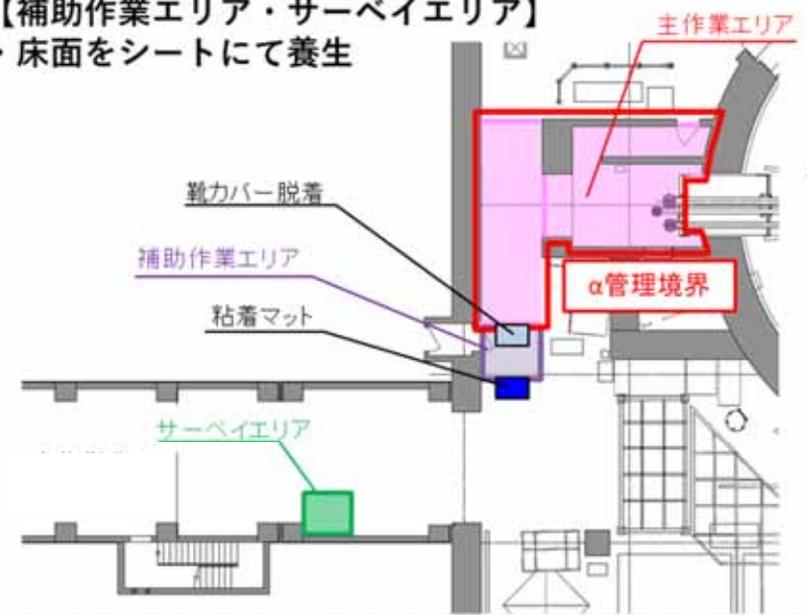
4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(3) 準備作業①

作業エリアα汚染養生

- 【主作業エリア(α汚染境界)】
 - ・床・壁・天井部をシートにて養生しハウス化
 - ・HEPAフィルタ付局所排風機設置
- 【補助作業エリア・サーベイエリア】
 - ・床面をシートにて養生



- ・ 主作業エリア：ケーブルドラム取外し等の作業時にα汚染管理を適用し、作業中は強制換気を行う
- ・ 補助作業エリア：シューズカバーの脱衣所として使用する
- ・ サーベイエリア：マスク表面、カバーオールなどを水拭きし、スミヤによるα汚染検査を行う

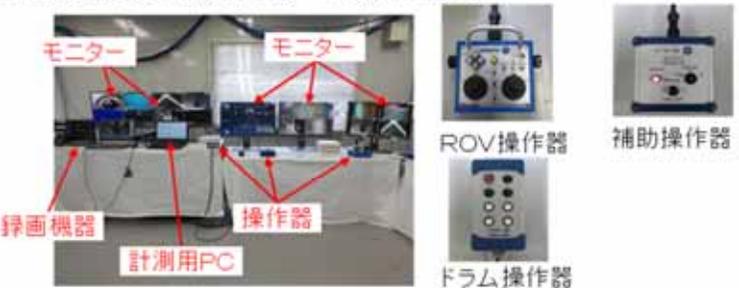
4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(3) 準備作業②

調査用機材
搬入/設置/結線

(1) 免震棟(遠隔操作室)への機材配置



(2) 原子炉建屋現場作業指示室への機材配置

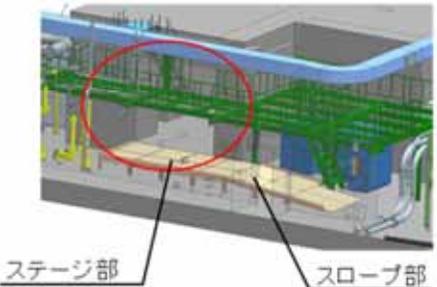


(3) エアロック室(作業エリア)への機材配置

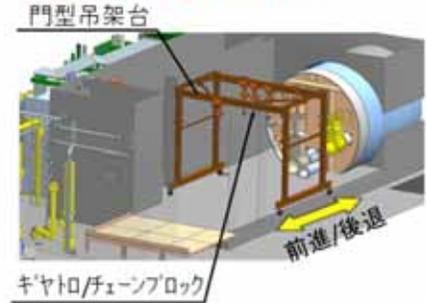


搬入用スロープ/
門型吊架台据付

西側通路にエアロック室への大物機材搬入用スロープ設置

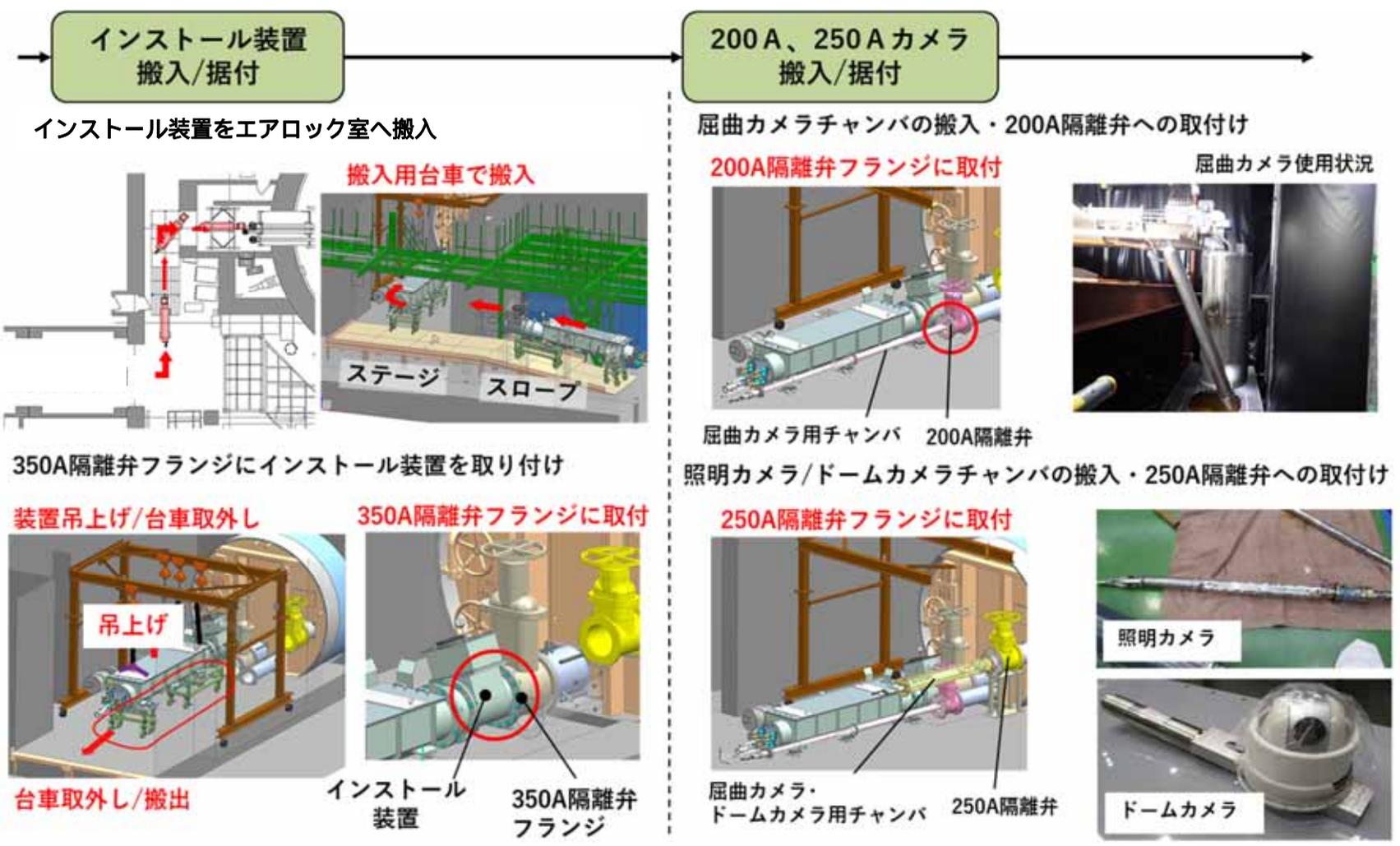
機材据付解体用の門型吊架台設置

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

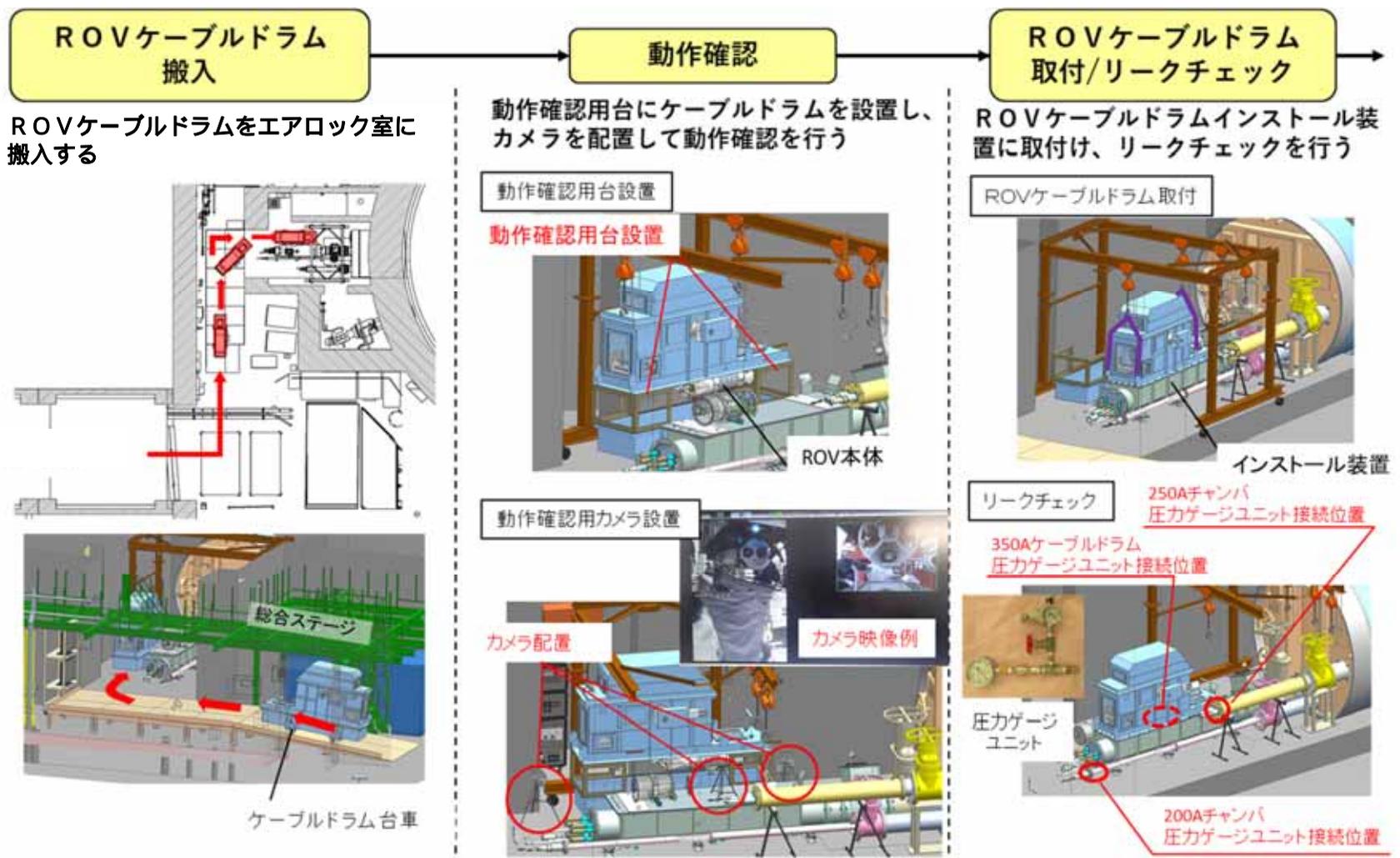
(3) 準備作業③



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(4)調査作業①



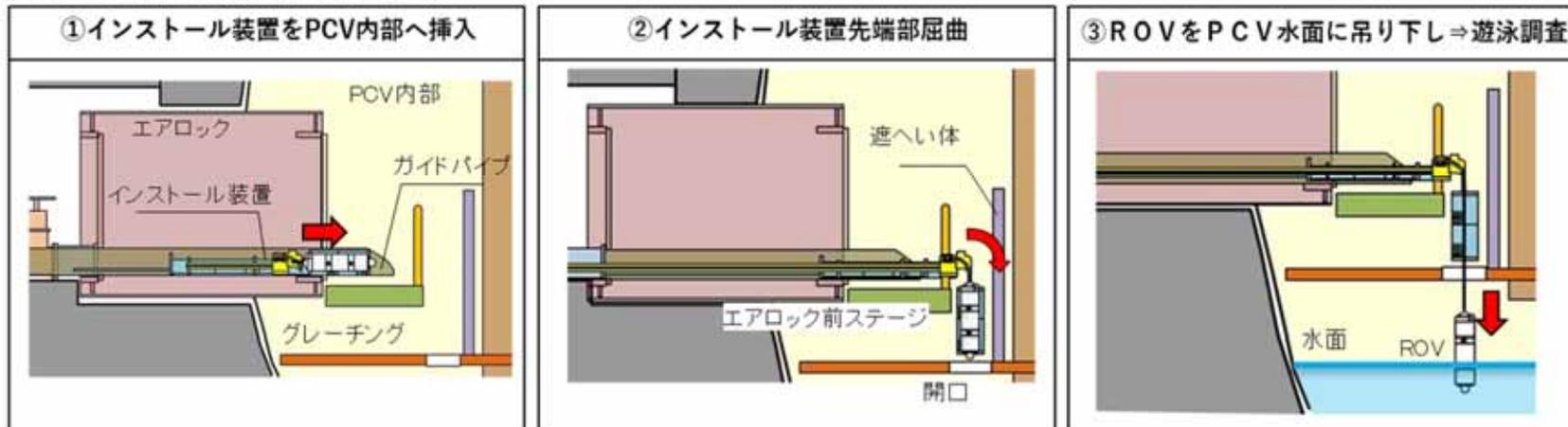
4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(4) 調査作業②



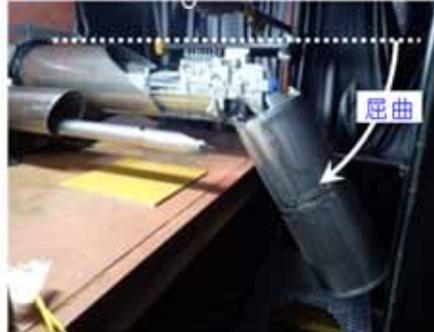
インストール装置に搭載したROVをガイドパイプ先端まで押し込み先端部を屈曲させて、グレーチング開口部からROVをPCV内地下階水面に投入する



フル装備でのインストール作業状況



先端屈曲作業



グレーチング穴位置合わせ



ROV吊り下ろし



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5) 調査順序

*注 外:ペDESTAL外部、内外:ペDESTAL内部と外部

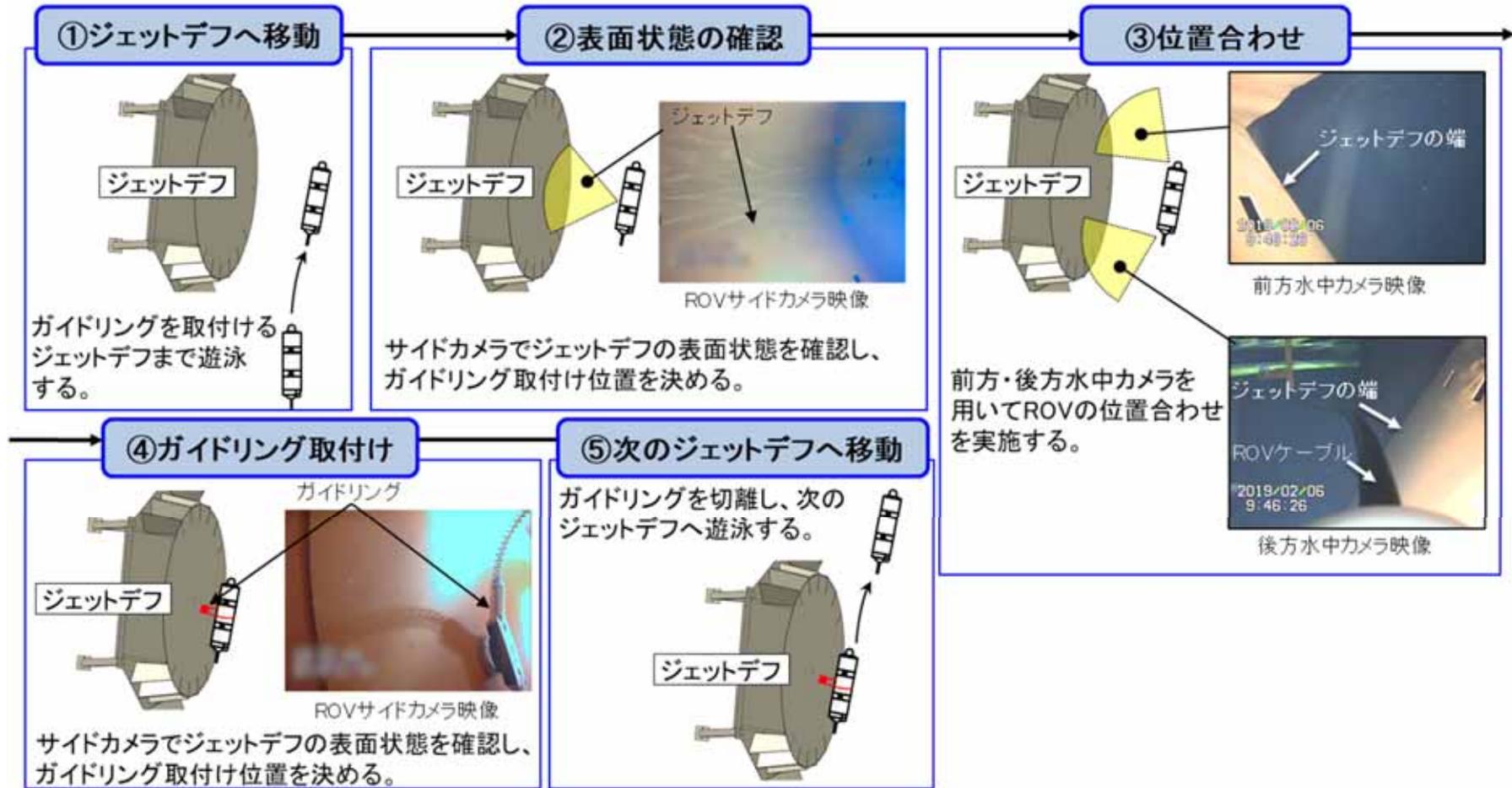
調査順序	判断ポイント	主な取得情報(概要)	次調査に反映する内容
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">ROV-A ガイドリング取付</div> <div style="text-align: center;">↓</div>	判断ポイント①: ペDESTAL内部へのアクセスルート判断 (現場判断とし、事後報告)	外 *注 【A】 ・ガイドリング取付ルート上の干渉物 ・γ線量率 ・ペDESTAL開口部状況	⇒【A2】 ・ペDESTAL内部へのアクセスルート ・ペDESTAL開口部状況
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">ROV-A2 詳細目視調査</div> <div style="text-align: center;">↓</div>	-	内外 *注 【A2】 ・水中/気中の詳細目視情報 ・水中底面近傍の状況 ・堆積物の状況・分布・大まかな厚さ(周囲構造物との比較) ・γ線量率、中性子束:ペDESTAL内部のみ(外周はROV-Dで実施)	⇒【C、D、E、B】 ・ラジアルビームの状況(図面と相違ないこと) ・センサ設置箇所の状況(センサ、アンカーの着座可否判断) ・γ線量率(調査時の概算寿命評価)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">ROV-C 堆積物厚さ</div> <div style="text-align: center;">↓</div>	-	【C】 ・堆積物の高さ(量) ・床面の高さ変化(燃料デブリ境界)	⇒【D】 ・堆積物厚さ、堆積物下の状況(燃料デブリ検知測定点の判断)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">ROV-D 燃料デブリ検知</div> <div style="text-align: center;">↓</div>	判断ポイント②: サンプリング点の判断 (現場判断とし、事後報告)	外 *注 【D】 ・堆積物内又は堆積物下からの中性子束、Cs-137、Eu-125等のγ線量率	⇒【E】 ・堆積物内の燃料デブリ含有状況(サンプリング点の判断)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">ROV-E 堆積物サンプリング</div> <div style="text-align: center;">↓</div>	-	【E】 ・堆積物の組成 ・放射性核種	-
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">ROV-B 堆積物3Dマッピング</div>	-	【B】 堆積物の3D点群データ(ペDESTAL外周において既存図面と著しく異なる範囲について実施)	-

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-1)ROV-Aによる調査<操作手順>

ケーブルの構造物との干渉回避用ケーブルガイド(ガイドリング)のジェットデフへの取付け

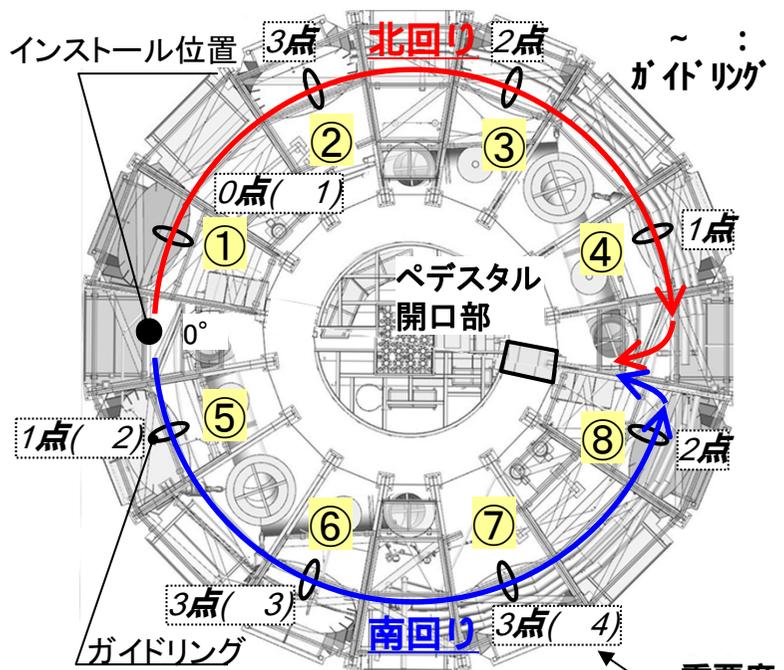


4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-1) ROV-Aによる調査<ガイドリング取付方針>

- ・ガイドリングの重要度に点数を割り当て(斜体文字)、ペDESTAL内部へのアクセスリスクを評価(点数が高いほどリスクが低い)
- ・モックアップ試験結果より、右表のうちリスク低または中(4点以上)であれば干渉リスクが小さく、ペDESTAL内部にアクセスがし易いことが分かった



- 1: ガイドリング 取付失敗時は2点
 - 2: ガイドリング 取付失敗時は0点
 - 3: ガイドリング 取付失敗時は2点
 - 4: ガイドリング 取付失敗時は2点
- 重要度の点数

表2-4. ペDESTAL内部へのアクセスリスク

パターン 取付数	北回り →				アクセスリスク	
	南回り →				北回り	南回り
4個	4				低(6)	低(9)
3個	3-1	x			低(6)	低(8)
	3-2		x		低(5)	中(4)
	3-3			x	中(4)	低(5)
	3-4			x	低(5)	低(7)
2個	2-1	x	x		高(3)	中(4)
	2-2	x		x	中(4)	中(4)
	2-3	x		x	低(5)	低(6)
	2-4		x	x	高(3)	高(2)
	2-5		x		中(4)	高(2)
	2-6			x	高(3)	高(3)
1個	1-1		x	x	高(2)	高(0)
	1-2	x		x	高(3)	高(2)
	1-3	x	x		高(2)	高(2)
	1-4	x	x	x	高(1)	高(2)
0個	0	x	x	x	高(0)	高(0)

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-1) ROV-Aによる調査<ガイドリング取付方針>

(1) 原則、すべてのガイドリング取付を目指す。

(2) ガイドリングの取付を失敗(不可抗力)し、ガイドリングが不足なくなった場合(※)、アクセスリスク低または中(4点以上)を目指して残りのジェットデフへのガイドリング取付を目指す。

(参考資料-3)

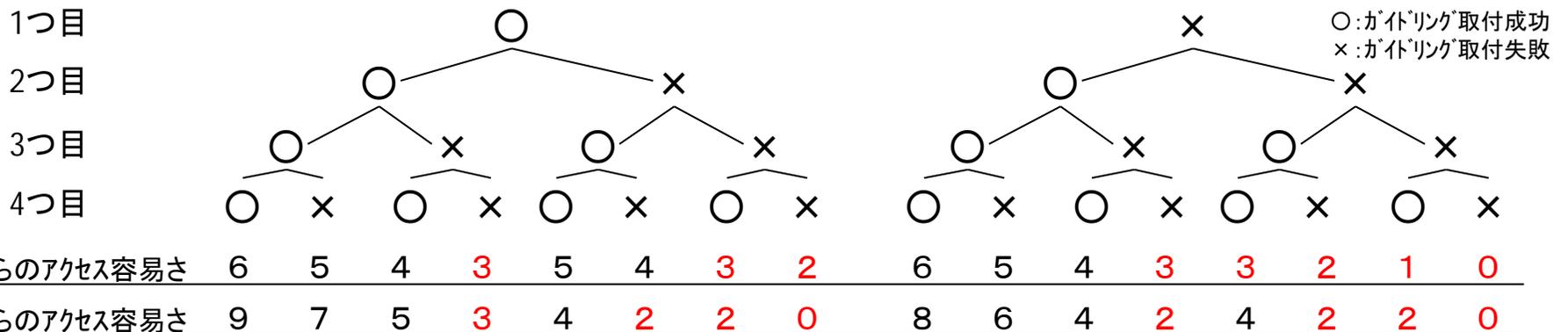
※例えば、一度取り付けたガイドリングが外れてしまい、やむを得ず投棄。その場合、再度ガイドリングを取り付ける必要があるため、ガイドリングが1つ不足なくなる。

■北側ルート(4点以上の条件)

- ・「1つ目」のガイドリング取付が“成功”し、以後の取付でガイドリングが不足した場合は、少なくとも「3つ目」のガイドリング取付を優先
- ・「1つ目」のガイドリング取付が“失敗”し、以後の取付でガイドリングが不足した場合は、「2つ目」と「3つ目」もしくは「2つ目」と「4つ目」取付を優先

■南側ルート(4点以上の条件)

- ・「1つ目」のガイドリング取付の“成功”、“失敗”に関わらず、以後の取付でガイドリングが不足した場合は、「2つ目」「3つ目」「4つ目」のうち、少なくとも2つのガイドリング取付を優先

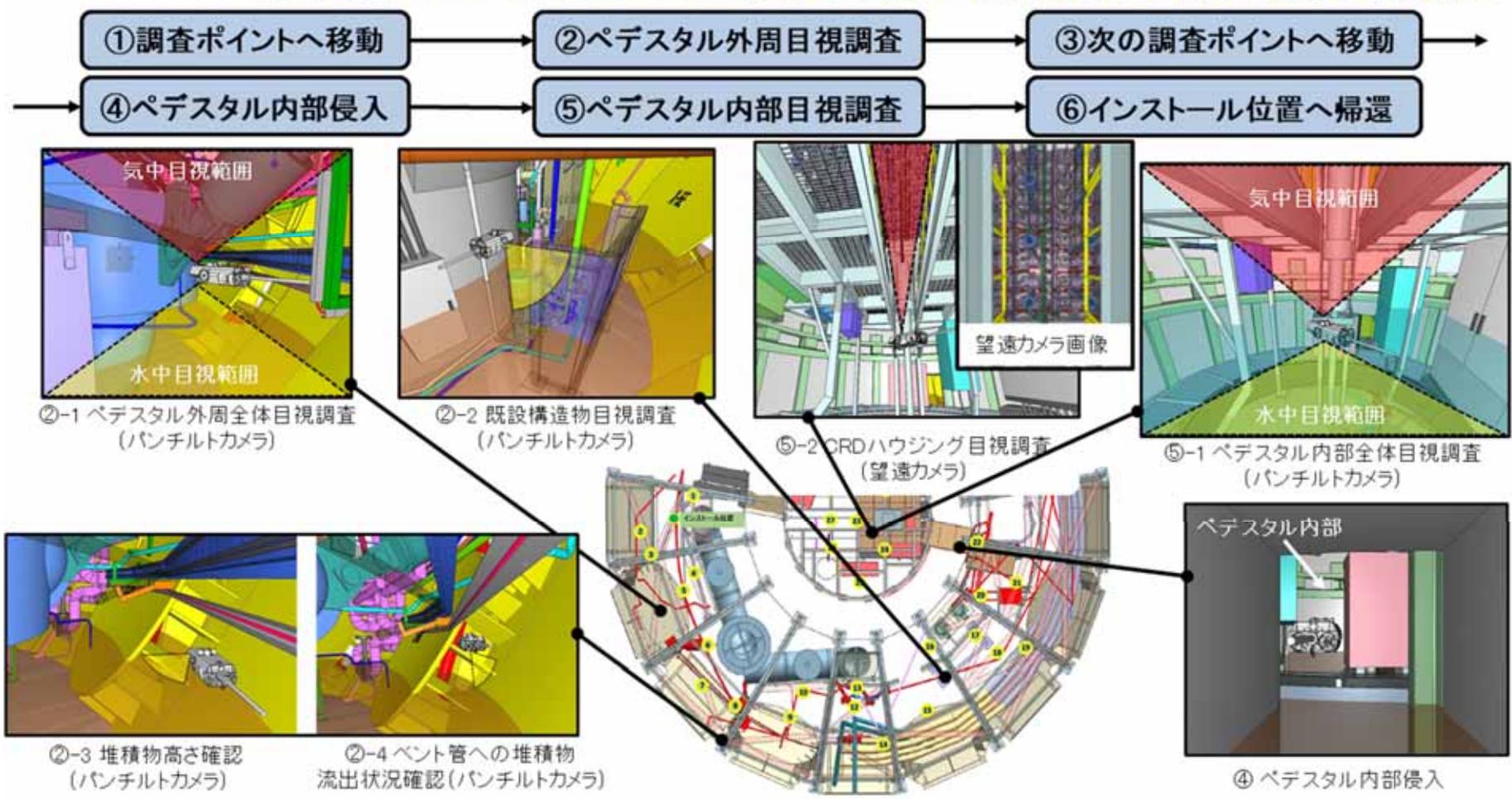


4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-2)ROV-A2による調査<操作手順>

水中/気中カメラによるペDESTAL外周および内部の既設構造物・堆積物の状況等の目視調査



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-2) ROV-A2による調査<操作手順>

後続のセンサやアンカーを底面に安全に吊下ろせることをROV-A2のカメラで視認確認するためには、水中の透明度が最低2m必要である(PCV地下階の水位が2mの前提)。

水の透明度による目視底面確認可否について下表に整理した。

		底面確認方法	
透明度 ≥ 2m	<p>ラジアルビームA, ラジアルビームB, ラジアルビームC, ラジアルビームD</p> <p>水面でのROV位置</p> <p>透明度 水深2m</p> <p>水面から底面を目視確認できる範囲</p> <p>堆積物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・水面からペDESTAL外周すべての底面を視認可能 ・1日1/4周の調査で8.5hの見込み (30分/1か所 × 調査14か所+その他1h) ・遊泳作業時間としては11hを想定しているため作業時間成立。 	
2m > 透明度	<p>ラジアルビームA, ラジアルビームB, ラジアルビームC, ラジアルビームD</p> <p>水面から目視</p> <p>潜水しながら目視</p> <p>透明度 水深2m</p> <p>水面から底面を目視確認できる範囲</p> <p>水面から底面を目視確認できない範囲</p> <p>堆積物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・水面から底面を視認できるエリアは堆積物高さに依る。 ・底面確認を水面ではなく潜水しながら行う場合、1箇所につき+15分必要 ・1日1/4周の調査で10hの見込み ・遊泳作業時間としては11hを想定しているため作業時間成立。 <p>3時間 (30分/箇所 × 6箇所)</p> <p>6時間 (45分/箇所 × 8か所)</p>	

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-2) ROV-A2による調査＜詳細目視調査＞

①ペDESTAL内部へのアクセスリスク(No.68)に基づいて、リスク低または中(4点以上)のアクセスリスクが低いルートから詳細目視調査を行う。

- ・点数の高いルートから、まず、ペDESTAL外周の目視調査を行い、ペDESTAL内部の目視調査を行う。
(例)北回り6点、南回り9点の場合
南回りのペデ外周調査⇒そのままペデ内部へアクセス・調査⇒北回りのペデ外周調査
- ・同点の場合は、南側ルートから調査を行う。
- ・実際のPCVの状況は不明であるため、現場状況に応じて、点数の加減を行い評価する可能性がある

②万が一、点数の高いルートからペDESTAL内部にアクセスができない場合は、もう一方のルート(点数が低いルート)からペDESTAL内部にアクセスを試みる。

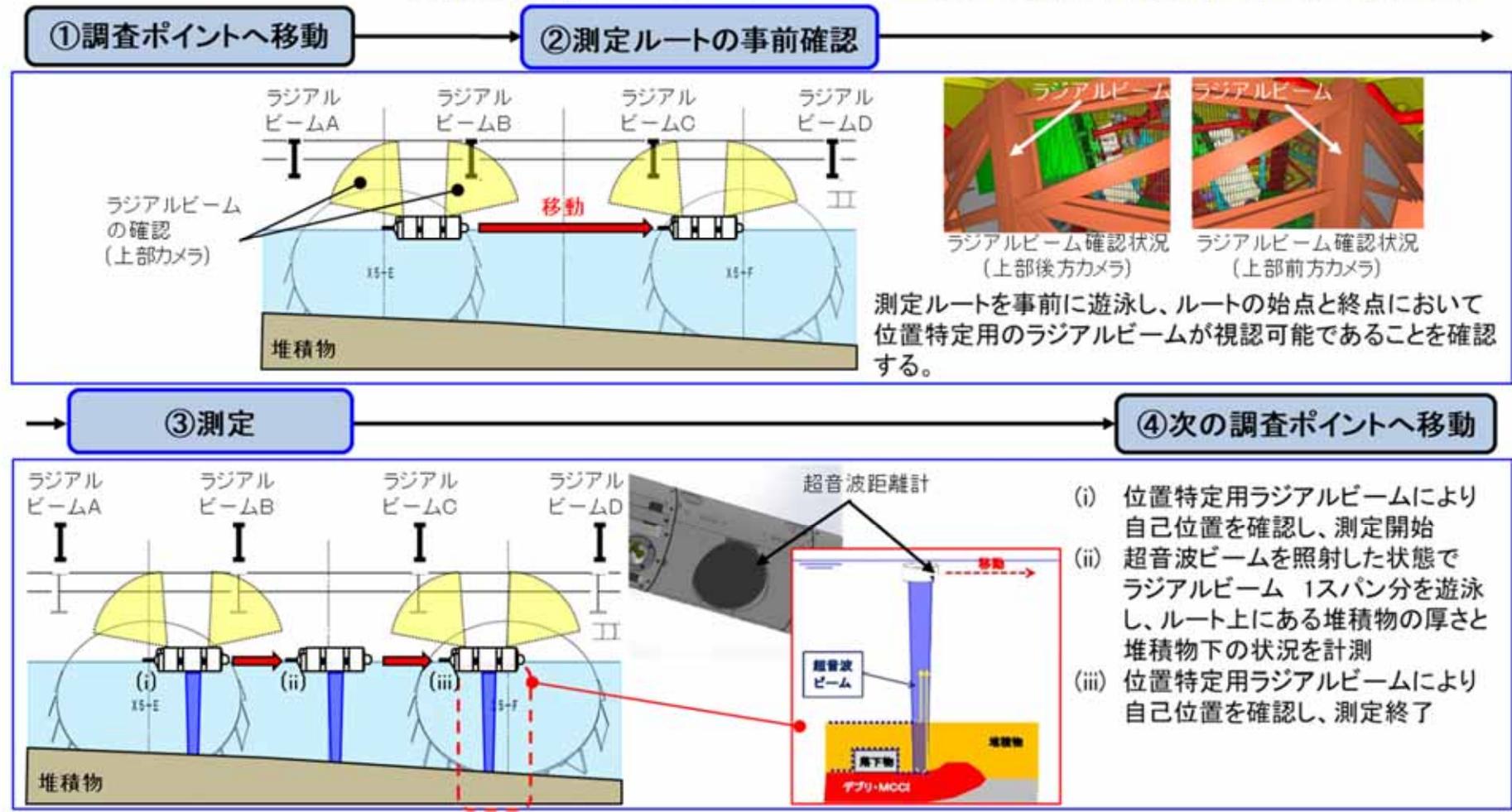
- ・点数の高いルートからペDESTAL内部にアクセスできなかったがROV-A2は帰還できた場合を想定
- ・相対的に点数が低いと評価されたもう一方のルートであっても、リスク低または中(4点以上)であれば、ペDESTAL内部へアクセスできる可能性が高いため、ペDESTAL内部にアクセスを試みる。
- ・リスク高(3点以下)であった場合でも、モックアップ試験結果ではアクセス可能であるため、ペDESTAL内部にアクセスを試みる。

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-3) ROV-Cによる調査<操作手順>

高出力超音波センサによるペデスタル外周の堆積物厚さ測定とその下の状況確認



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-3) ROV-Cによる調査＜堆積物厚さ測定＞

- ROV-Cにはウインチがなく構造物とセンサの引っかかりリスク（ROV残置リスク）が少ないため、下図に示すルートで堆積物厚さ測定を実施する。
- 調査ルート：比較的干渉物の少ない北回りルートからの実施を基本とし、ガイドリング取付状況やROV-A2の詳細目視情報を考慮して最終判断を行う（以降のROVも同じ）。
- 位置特定を行うラジアルビーム間を遊泳しながら測定を実施

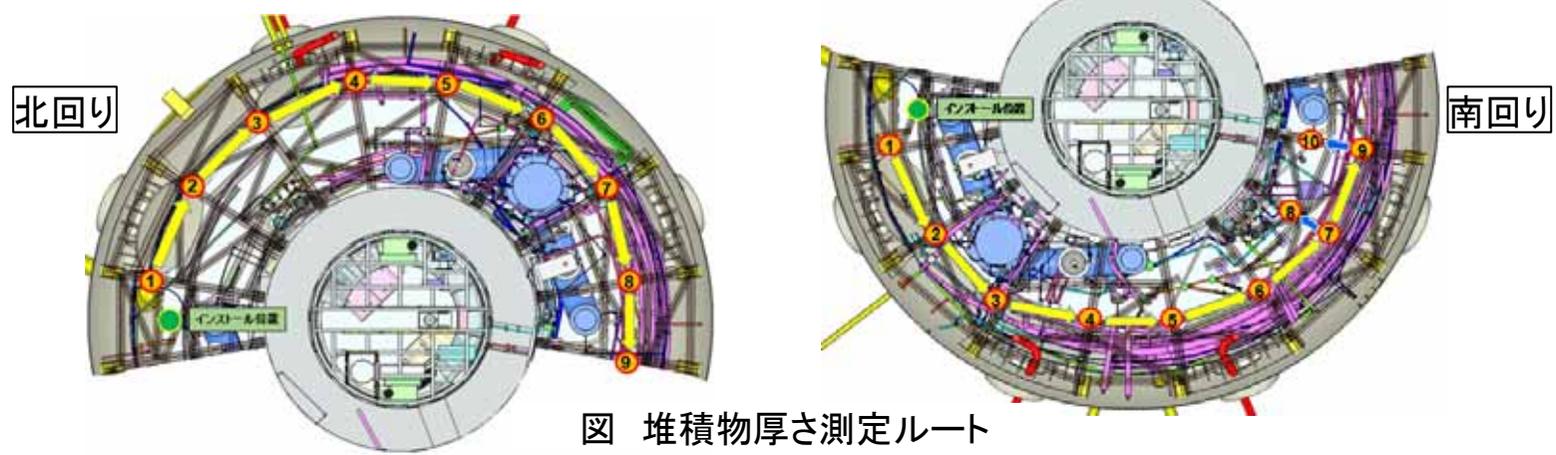


図 堆積物厚さ測定ルート

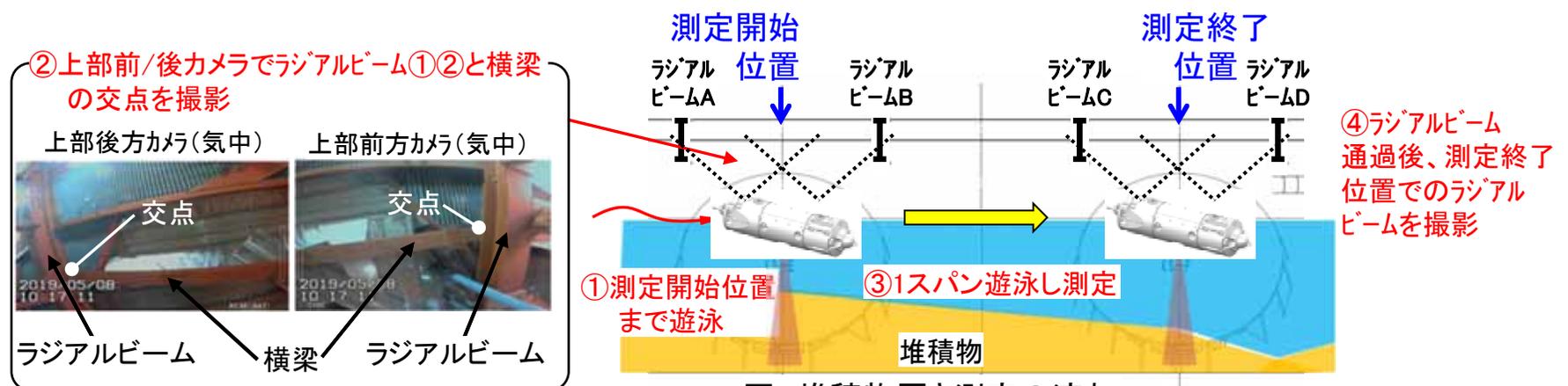


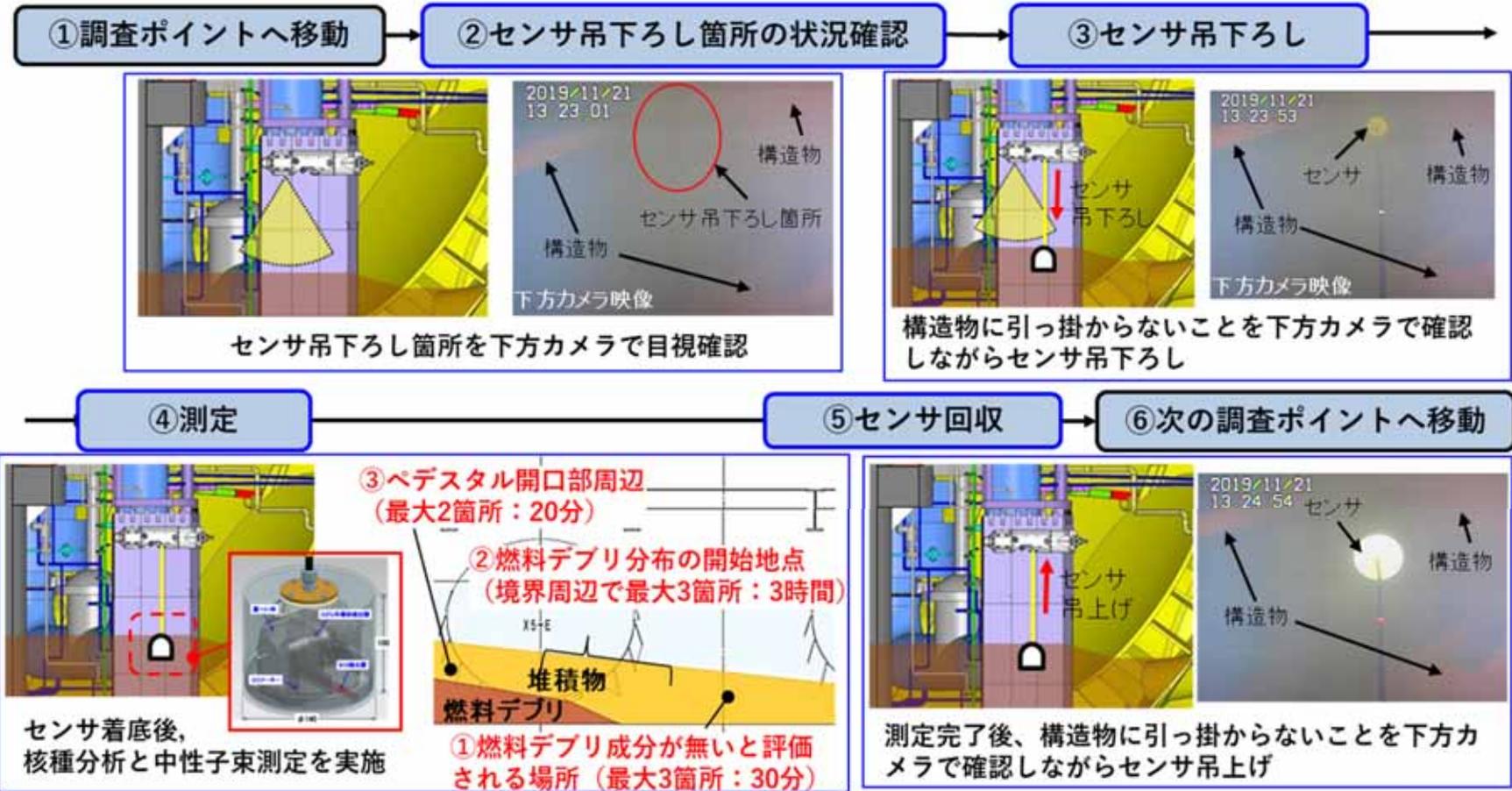
図 堆積物厚さ測定の流れ

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-4) ROV-Dによる調査<操作手順>

燃料デブリ検知センサによるペDESTAL外周の堆積物表面の核種分析と中性子束測定
(燃料デブリ含有状況確認)



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-4) ROV-Dによる調査<燃料デブリ検知>

・ROV-Dで実施する燃料デブリ検知は、センサを問題なく吊り降ろすことができるエリアと評価される場所において、下図に示す測定ポイントのうち、測定ポイントの考え方(下表)に基づいて半周最大8箇所(全周で16箇所)を選定する。

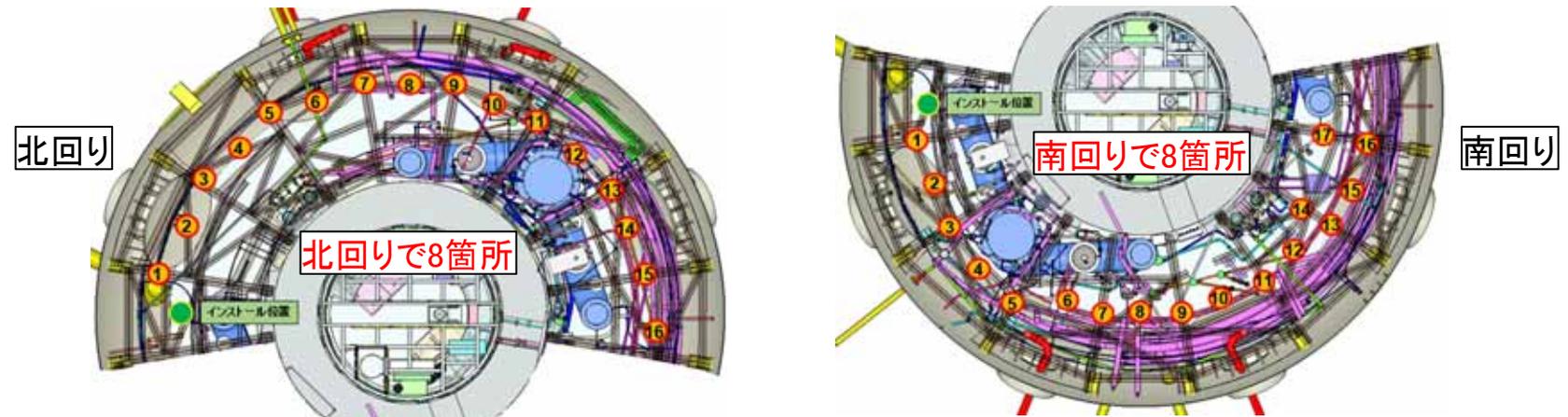


図 堆積物燃料デブリ検知ポイントの候補

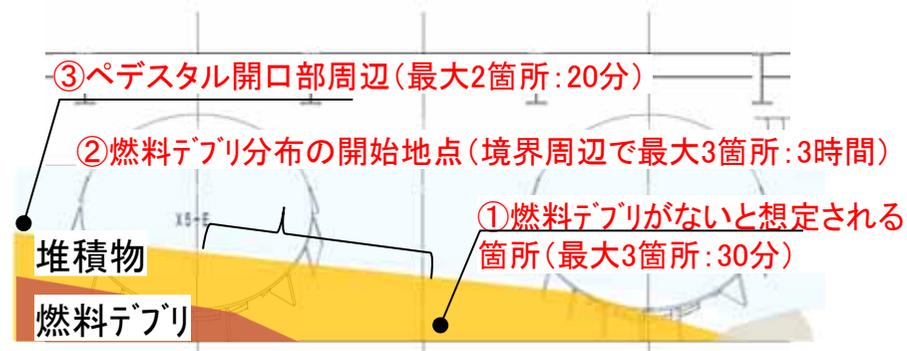


図 測定ポイントの考え方

表 燃料デブリ検知の測定ポイントの考え方

測定箇所	①	②	③
堆積物状況	堆積物のみ	>30cm	<20cm
測定対象	堆積物	堆積物	堆積物下
計測時間(目安)	最大30分 (3箇所) 燃料デブリが含まれていないことを確認	最大3時間 (3箇所)	最大20分 (2箇所)

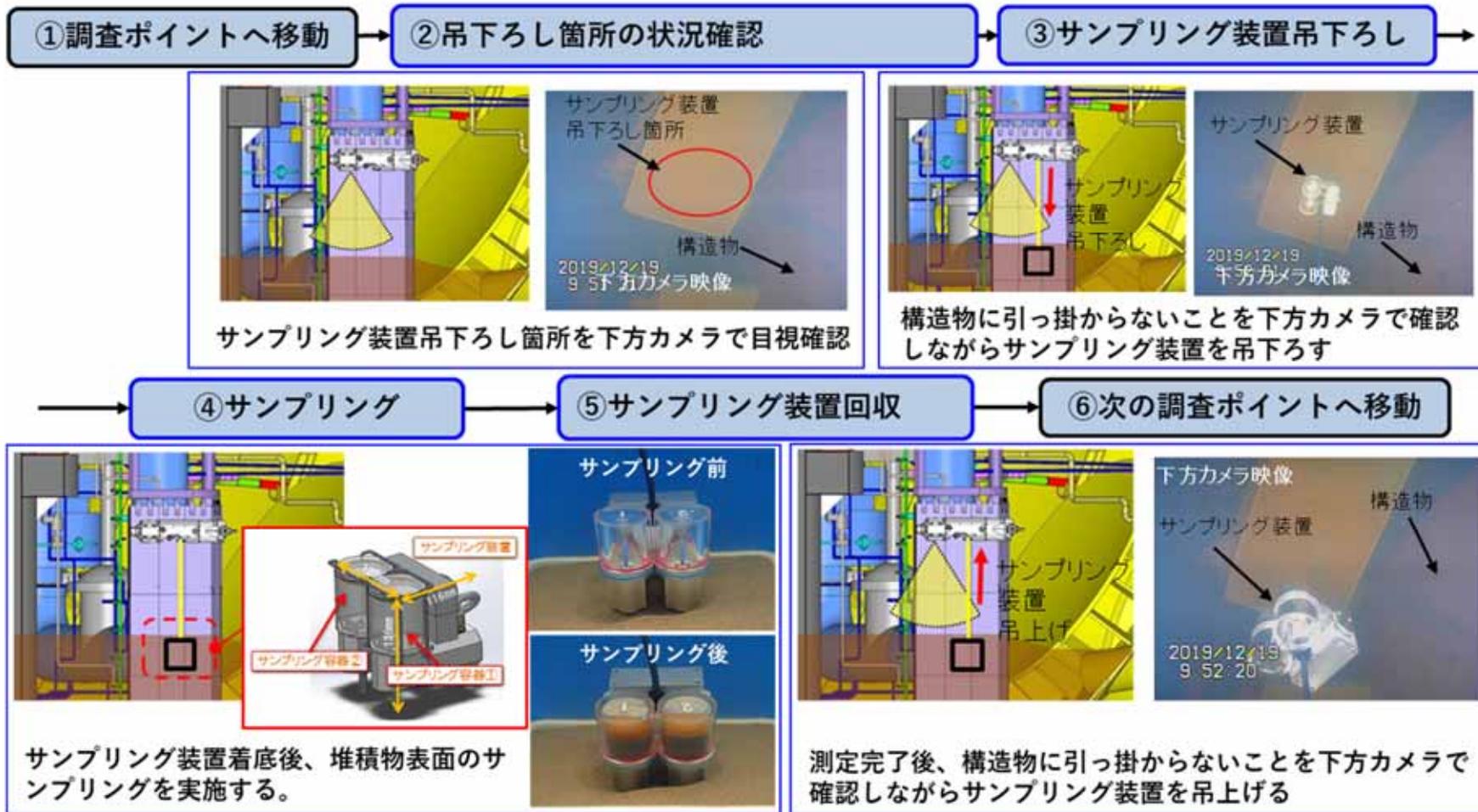
測定箇所にはセンサを吊り降ろすため、ROV-A2の詳細目視調査結果を参考に堆積物状況や配管などの干渉物がない箇所を選定する

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-5) ROV-Eによる調査<操作手順>

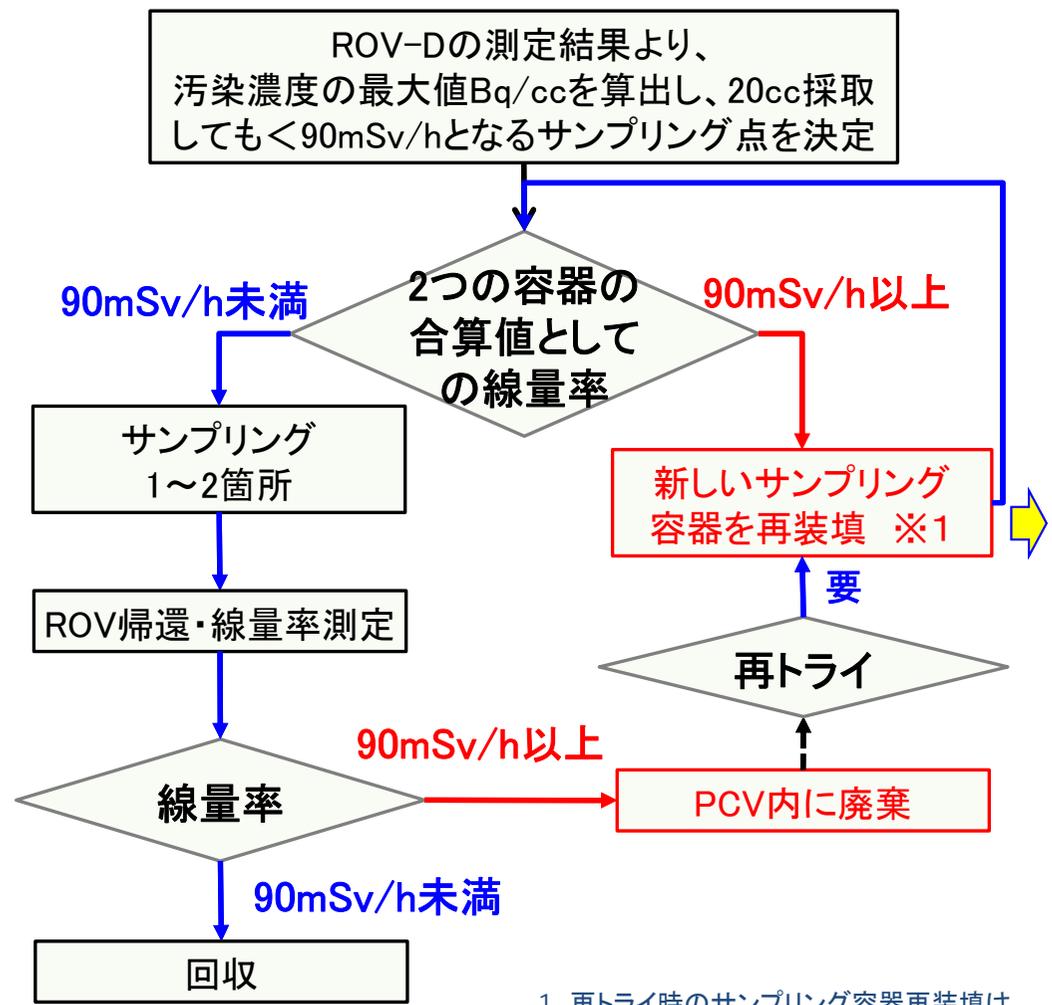
ペDESTル外周の堆積物表面のサンプリング



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-5) ROV-Eによる調査<操作手順>



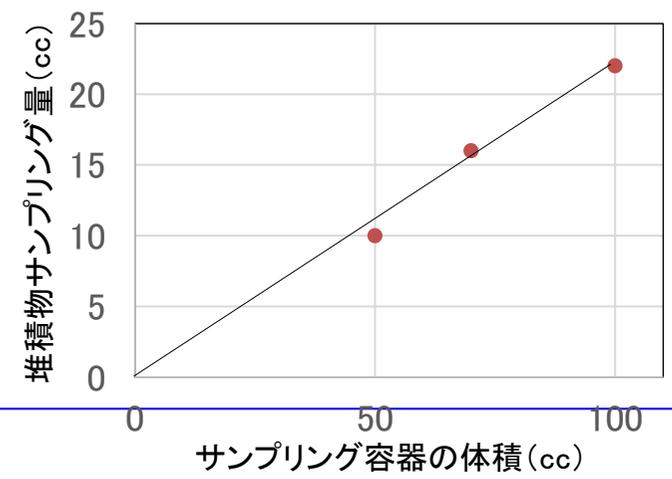
1 再トライ時のサンプリング容器再装填はエアロック内で実施する。

【サンプル線量率が90mSv/h以上の場合の対応】

サンプリング容器の体積を減らすことで、堆積物のサンプリング量を減らし、堆積物サンプルの線量率を低減させる。

- ①90mSv/h以上の場合、線量率の低減割合を決める。
- ②低減割合に応じたサンプリング容器(※)を再装填し、再サンプリングを行う。

※サンプリング量はサンプリング容器の体積に比例することが試験的に分かっている(下図)



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

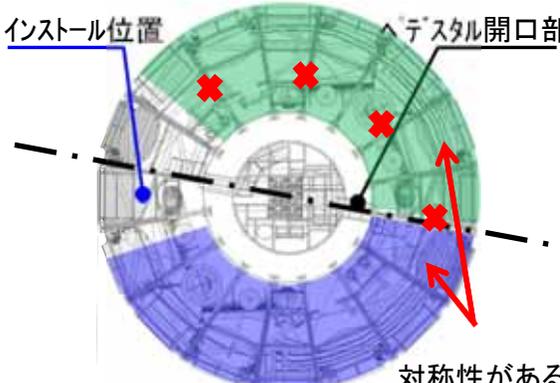
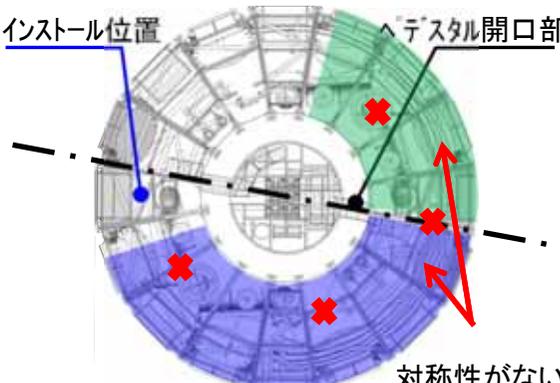
4.2.2 現場実証の計画

(5-5)ROV-Eによる調査<堆積物サンプリング>

堆積物サンプリングは、サンプリング後の分析によって堆積物の組成(由来)や流動性(回収計画)を明らかにすることであるが、場所によってその特性に有意な差があるかどうかは不明である。

- ・堆積物サンプリングはなるべく広範囲且つ等間隔で行うことを前提とする。
- ・堆積物サンプリング箇所は前段の調査結果(下表)に基づいて選定する。

表 堆積物サンプリング箇所選定条件

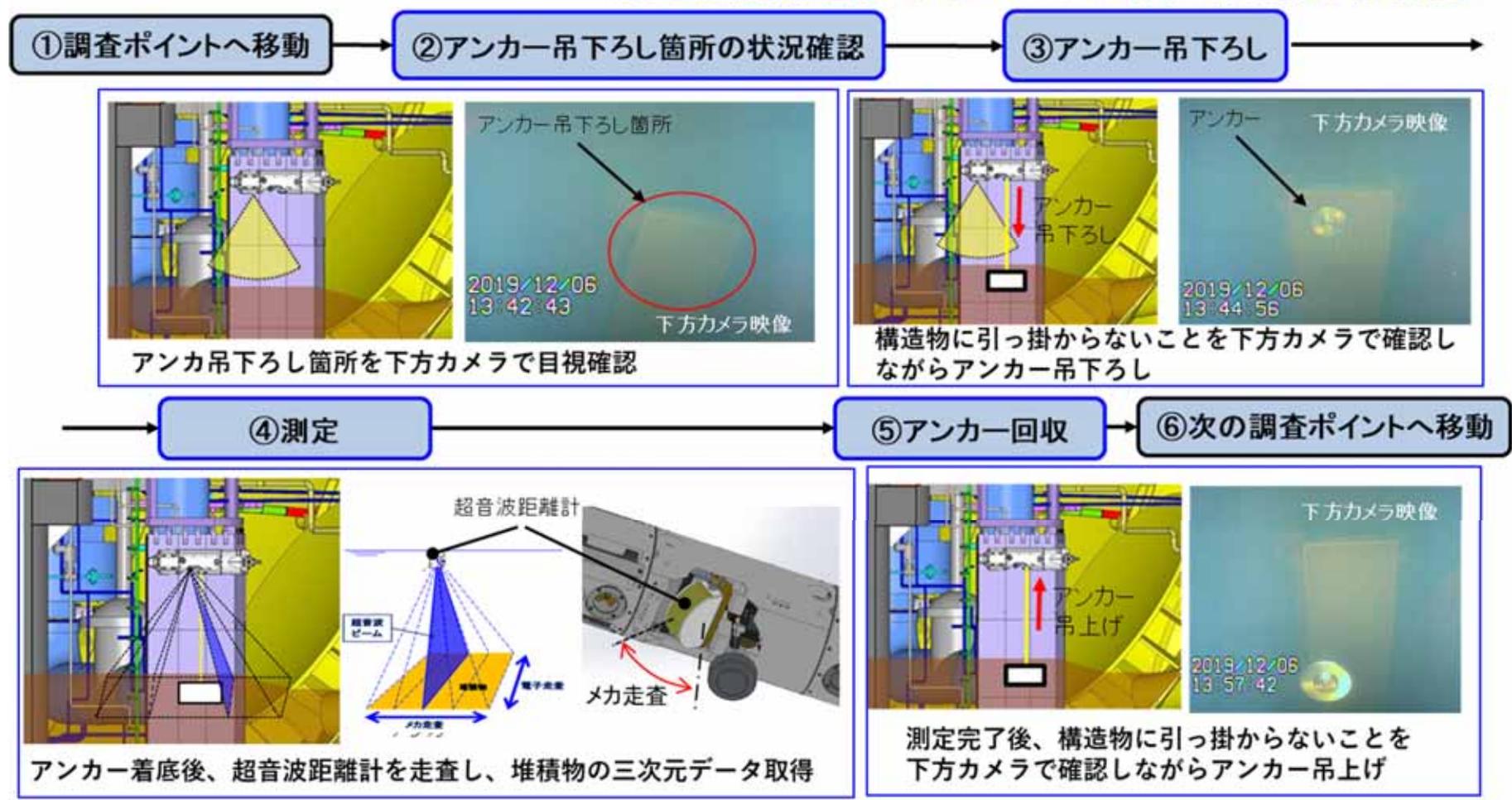
【ROV-A2】床、堆積物の状況	干渉物等がなくサンプリング装置を吊り下ろせる箇所
【ROV-C】堆積物厚さ	堆積物の厚さが50mm以上あること(サンプリング装置のノズル長さ30mm+余裕)
【ROV-D】中性子の計数率およびCsの計数率	中性子 : 計数率0.03cps以下 ガンマ線 : Cs137計数率41kcps以下
【ROV-D】 堆積物サンプリング量(2箇所分)のγ線量率	90mSv/h以下であること※ ※ ROV帰還後、90mSv/hを超えていた場合はROVをPCV内に戻し、サンプリング容器を投棄する
堆積物サンプリング箇所のイメージ (サンプリングはROVの1回のインストールで2カ所をサンプリングし、2回のインストールで合計4カ所をサンプリングする。)	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>対称性がある</p> <p>対称性がある場合は、アクセス性の良い半周を選定して等間隔でサンプリングを行う。</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>対称性がない</p> <p>対称性がない場合は、広範囲に分布している半周を3箇所、もう半周側の中央付近を1箇所サンプリングする。</p> </div> </div>

4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-6)ROV-Bによる調査<操作手順>

走査型超音波距離計によるペDESTAL外周の堆積物高さ分布測定

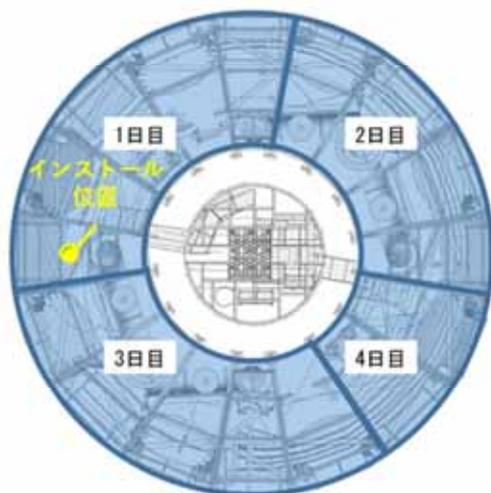


4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-6)ROV-Bによる調査<堆積物3Dマッピング>

- 北回り→南回りの順番で調査を行う
- 前段の調査結果により測定ポイントが変わる可能性がある

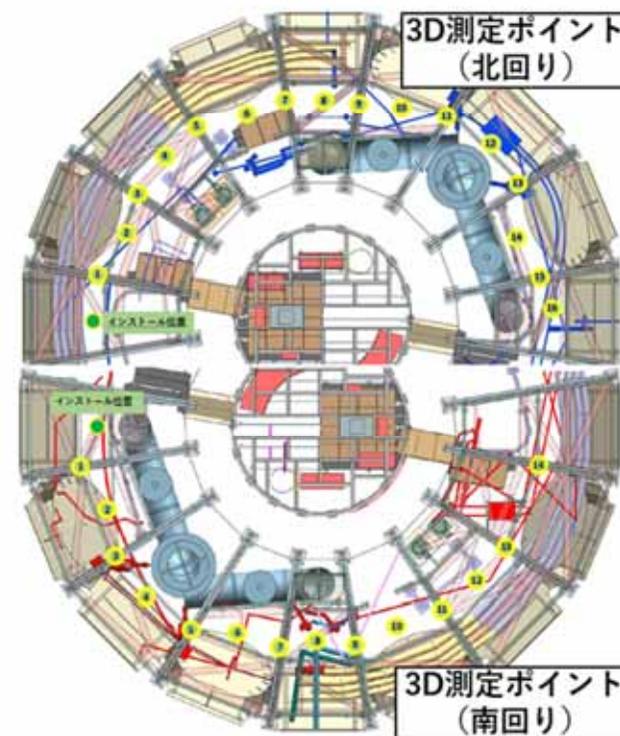


仮定

- ・ 気中：12Gy/h (実績最大)
- ・ 水面付近：6.5Gy/h (実績最大)
- ・ 水中：11Gy/h (実績最大)
- ・ ベデスタル内：20Gy/h (推定)

調査日程	ROV累積集積被ばく※
1日目 (8時間)	161.5Gy (調査52+インストール、PCV内待機109.5)
2日目 (8時間)	317.5Gy (1日目+調査52+PCV内待機104)
3日目 (3時間)	473.5Gy (2日目+調査52+PCV内待機104)
4日目 (8時間)	629.5Gy (3日目+調査52+PCV内待機104)

※ROVの遊泳に必要な耐放射性カメラ以外のカメラの耐放射線性を1000Gyと仮定した場合、ROV 1台で調査可能



4.2 PCV内部詳細調査の現場実証

4.2.2 現場実証の計画

(5-6)ROV-Bによる調査<堆積物3Dマッピング>

3Dマッピングの点群データを取得する際はアンカーを吊下げ、ROVを調査予定位置に停留させた状態で計測を実施する予定である。一方、アンカーを吊下ろすことは、アンカーが干渉物に引っ掛かるリスクを持つことになる。

以下にアンカーの効果による取得データへの品質への影響と、アンカーの吊下ろし有無による取得データへの影響評価結果を示す。

表. アンカーの効果による取得データへの品質への影響

		アンカー吊下ろし	
		あり	なし
取得データの品質	3Dマッピング (点群データ)の精度	○ 測定時にROVが停留できれば点群データの精度に差異はない	○
	位置特定の可否	△ アンカーを吊下ろした場合、ROVを計測予定位置に停留させることができる。位置特定用のターゲットも視認可能であり、位置特定が可能である 位置特定のためのターゲットが視認できず、定量的な位置特定ができない可能性があるが、場合によっては構造物などの特徴点を用いた点群データ間のマーキングから位置特定は可能	△ アンカーを吊下ろさない場合、ケーブル剛性等によりROVが移動し、ジェットデフ等の既設構造物と接触するまでROVは停留できない 位置特定のためのターゲットが視認できれば位置特定はできるが、できない場合でも、場合によっては構造物などの特徴点を用いた点群データ間のマーキングから位置特定は可能

アンカーを吊下ろさないことによる3Dマッピング(点群データ)の精度への影響はない。定量的な位置特定はアンカー吊下ろしに影響されず、ターゲットの視認、構造物の特徴点の確認可否による。

4.3 目標に照らした達成度

実施項目		目標達成指標(令和2年度)	達成度
「アクセスルート構築の現場実証」の一部	現場実証	アクセスルート構築工法を現場に適用し、実環境下で据付と施工ができること (終了時目標TRL:レベル6)	実施中
	全体計画	干渉物対策の全体計画が立案されていること(目標達成指標の対象外)	達成
干渉物対策	干渉物調査用装置	設計・製作、モックアップ試験及び作業訓練が完了し、実機適用の準備ができていること (終了時目標 :レベル 5)	達成
	ノズル角度変更ハーフI型鋼切断AWJ装置	設計・製作、モックアップ試験及び作業訓練が完了し、実機適用の準備ができていること (終了時目標 :レベル 5)	達成
	電線管ギャップ閉止装置	設計・製作が完了していること (終了時目標 :レベル 4)	達成
	鉛毛マット除去装置	設計・製作が完了し、機能試験で鉛毛マット除去への適用の見通しが確認されていること (終了時目標 :レベル 4)	達成
「PCV内部詳細調査の現場実証」の一部	作業訓練	作業員が据付・操作等の作業を習熟していること(終了時目標 :レベル 5)	達成
	現場実証の計画	現場実証の詳細計画が立案されていること (終了時目標TRL:レベル5)	達成

5. まとめ

(1) アクセスルート構築

- ダストとPCV内圧を監視しながら運用値内で250A内扉、350A内扉、手摺柱及びグレーチングを切断した。
- グレーチング上には架台からはみ出した鉛毛マットと落下したPLR遮へい体が存在したため、当初計画の切断位置(切断位置1)よりペDESTAL側にずらした位置(切断位置2)のグレーチングを切断した。
- その後の干渉物確認で切断位置2直下に2本の平行電線管が確認され、それを切断した場合、ROVのケーブルが挟まる可能性があることがわかったため、更にペDESTAL側にずらした位置(切断位置3)のグレーチングを切断した。
- その後の干渉物確認で切断位置3直下近傍に切断不可のPLR計装管が確認されたため、より詳細な干渉物調査を行い、干渉物対策を行った上で切断を再開することにした。
- 干渉物の位置を把握するための調査装置を設計・製作し、モックアップ試験、作業訓練を実施した。
- 干渉物対策として、ノズル角度変更ハーフ型鋼切断AWJ装置、電線管ギャップ閉止装置及び鉛毛マット除去装置を設計・製作した。
- ノズル角度変更ハーフ型鋼切断AWJ装置によるモックアップ試験、作業訓練、鉛毛マット除去装置による機能試験を実施した。

(2) PCV内部詳細調査

- 「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」で開発した水中遊泳型アクセス装置を用いて、1号機 PCV内部詳細調査に向けた作業訓練を実施した。
- 現場実証の計画を具体化した。