

平成29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)

平成31年度・令和元年度実施分成果報告

令和2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
 - 2.1 事故報告後の本事業の実施項目
 - 2.2 実施項目と目標達成指標
 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(※1, ※2)）
 - 4.1 アクセスルート構築
 - 4.1.1 追加対応 背景と目的
 - 4.1.2 追加対応① 実機切断試験
 - 4.1.3 追加対応② ダスト挙動分析
 - 4.1.4 追加対応③ ダスト低減対策
 - 4.1.5 追加対応④ 除染作業・AWJ切断作業
 - 4.2 PCV内部詳細調査
 - 4.2.1 モックアップ試験(組み合わせ試験含む)
 - 4.2.2 作業訓練
 - 4.2.3 現場実証の計画
 - 4.3 目標に照らした達成度
 5. まとめ
- ※1 調査計画・開発計画の策定
※2 アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証

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、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、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

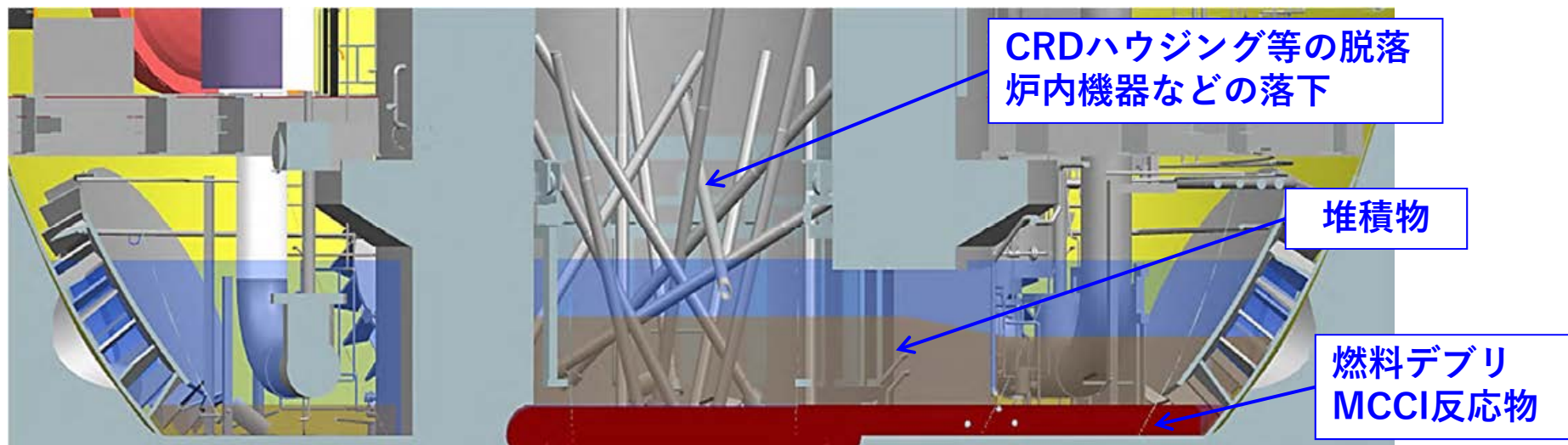
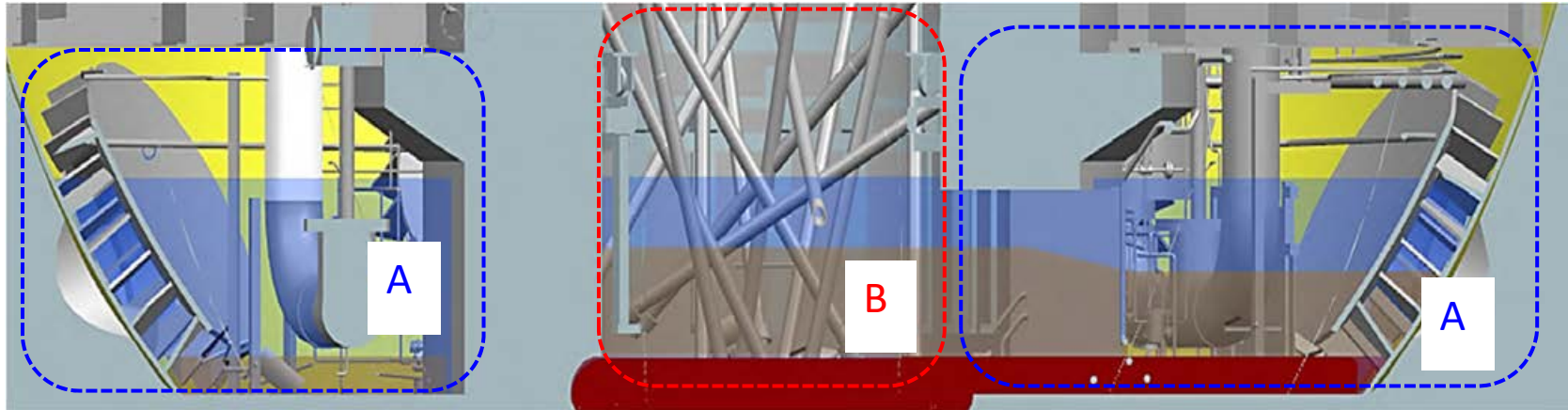


図1.1-1 推定される1号機のPCV内部状況

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ペネからPCV内地下階に水中遊泳型調査装置を投入し、ペDESTAL外（ペDESTAL外）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

本事業

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

1号機

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
(X-6ペネトレーションを用いた内部詳細調査技術の現場実証)

2号機

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
取り出し技術の開発

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

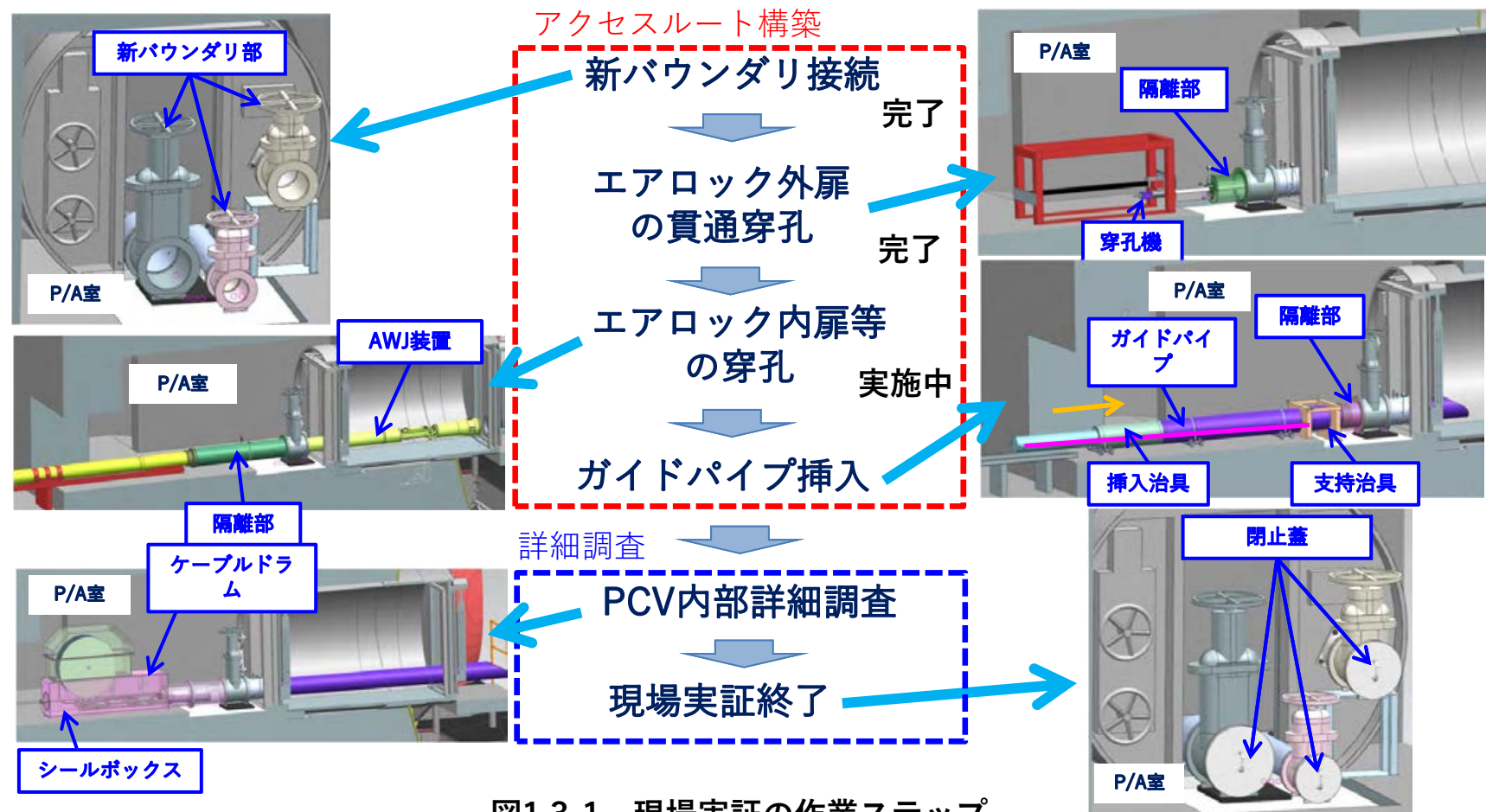


図1.3-1 現場実証の作業ステップ

1. 研究の背景・目的

1.3 現場実証の概要(2/2)

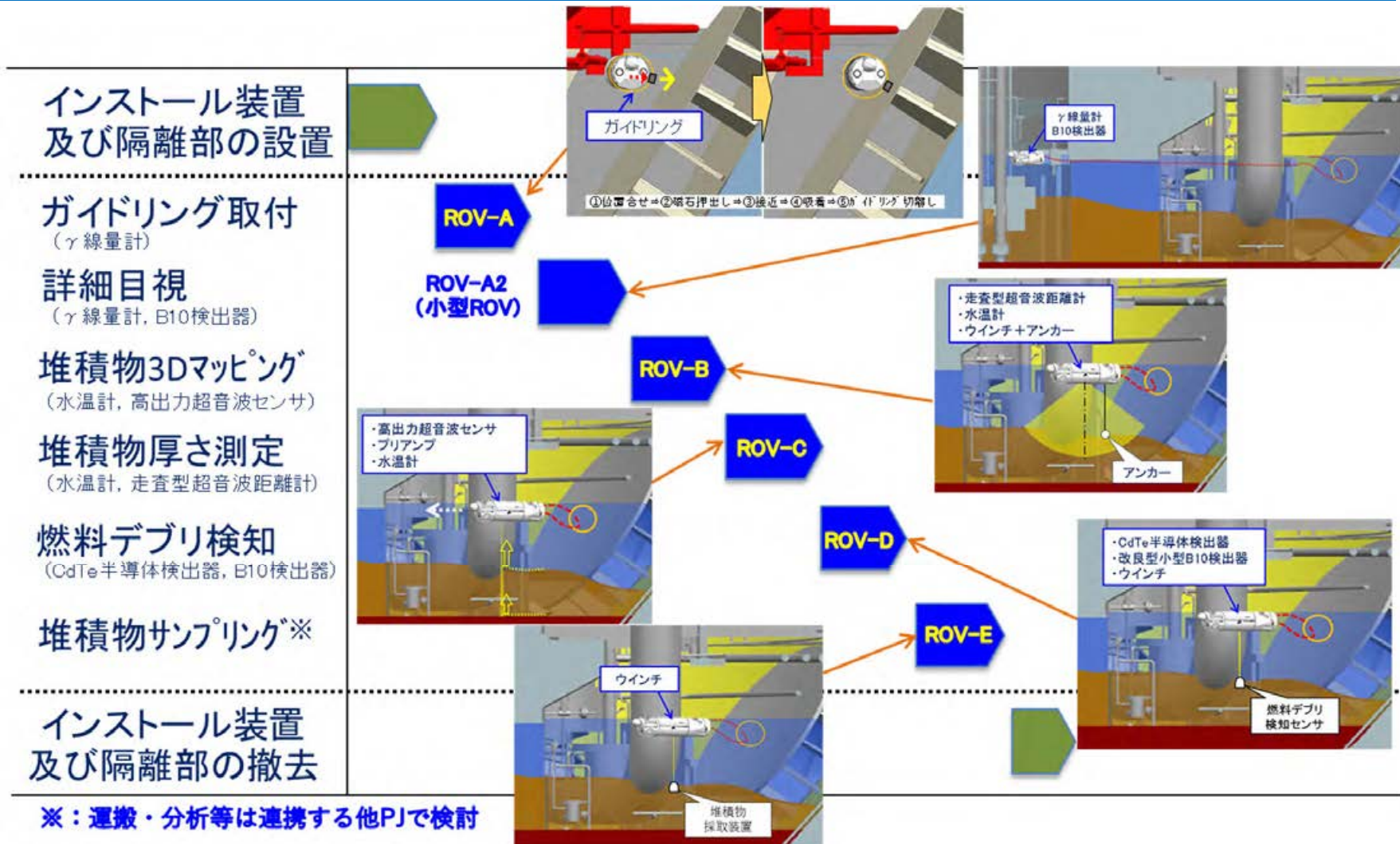


図1.3-2 調査ステップ例

2. 実施項目と目標

2.1 事故報告^{注)}後の本事業の実施項目

- ◆ 2020年1月、東電殿より「AWJ時、周囲環境に影響を与えないようダスト濃度を管理」との判断あり。
- ◆ 上記を踏まえ、工程を精査した結果、実施内容の一部が完了しないことが判明⇒2月3日に事故報告提出。
- ◆ 事故報告後の実施項目は下表の通り。**(事故報告により、本事業で実施しない部分は別事業※で実施)**

No	当初計画	計画変更による追加内容	事故報告後の実施項目
1.	調査計画・開発計画の策定	—	当初計画と変更なし
2. アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証			
2-1	①アクセスルート構築の現場実証 (a)モックアップ試験 (b)作業訓練 (c)現場実証	≪2018年度≫ (d)作業訓練等を追加 ≪2019年度≫ (e)切断試験 (f)ダスト挙動分析 (g)ダスト低減対策 (h)除染作業/AWJ切断作業	・当初計画のうち、 (c)現場実証の一部は未完了。本事業では、下記作業内容のうち、内扉200A穿孔まで実施。 ≪(c)現場実証の概略作業内容≫ ●新バウンダリ接続⇒●外扉穿孔⇒●内扉穿孔(200A,250A,350A)⇒●干渉物(手摺、グレーチング、架台等)切断⇒●ガイドパイプ設置 ・その他の(a),(b),(d)～(h)については計画と変更なし。
2-2	②PCV内部詳細調査の現場実証 (a)工場組合試験 (b)モックアップ試験 (c)作業訓練 (d)現場実証	—	・ (d)現場実証は未着手。本事業では実施しない。 ・その他の(a)～(c)については当初計画と変更なし。

注) 事故報告：補助事業が予定の期間内に完了することができないと見込まれることの報告

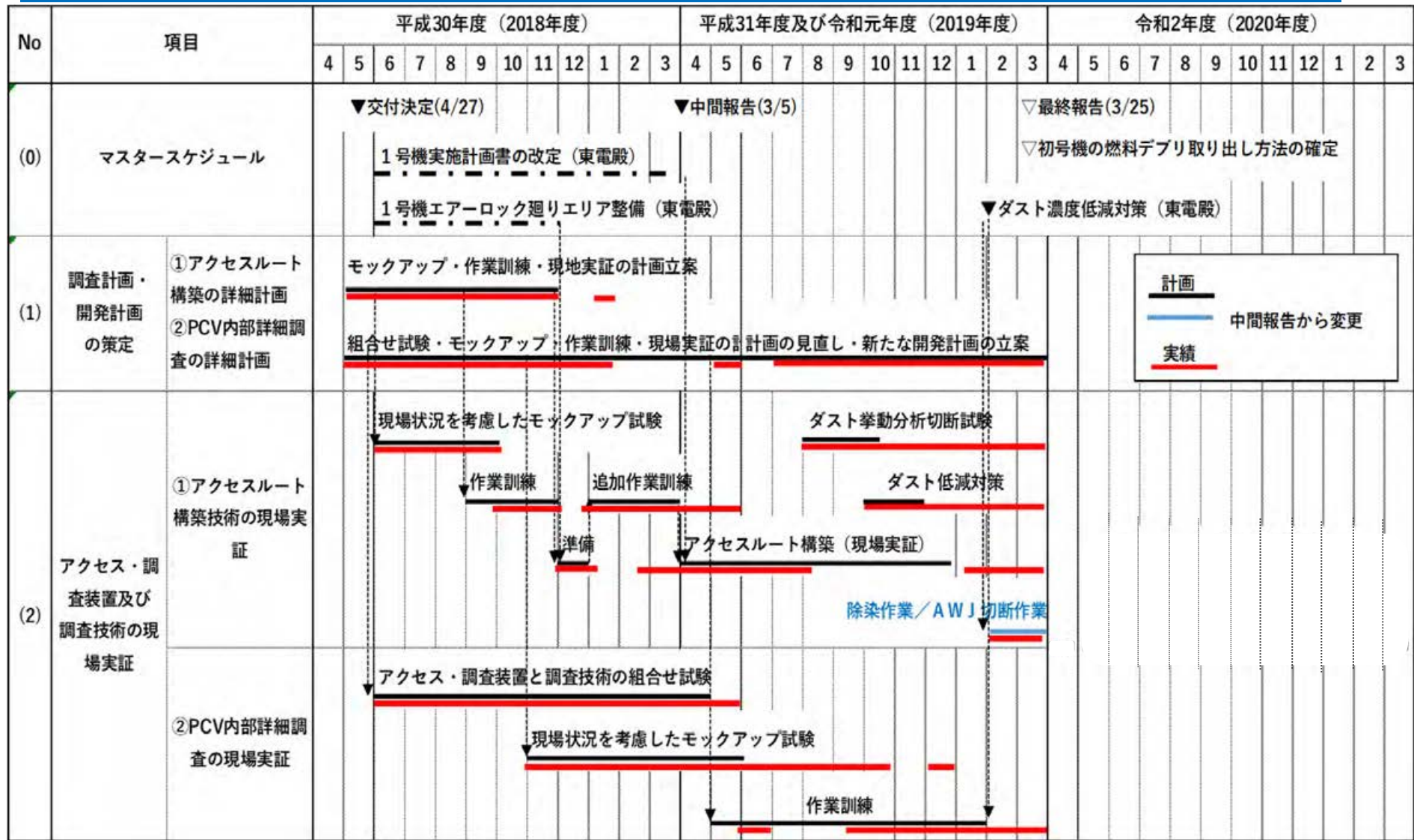
2. 実施項目と目標

2.2 実施項目と目標達成指標

実施項目		目標達成指標（令和元年度）	朱記：追加	説明	
開発計画・ 調査計画 の策定	アクセスルート構築	（平成30年度報告済）		-	
	PCV内部詳細調査	PCV内部詳細調査の作業訓練と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）		4.2.3	
アクセス・ 調査装置及 び調査技術 の現場実証	アクセス ルート 構築	追加 対応	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）	別事業で 継続実施
			切断試験	PCV内ダスト濃度上昇の推定原因の検証，AWJ時のPCV内ダスト挙動の把握のためのダストデータを採取できていること	4.1.1 4.1.2
			ダスト挙動分析	AWJ時のPCV内ダスト挙動を把握できていること	4.1.1 4.1.3
			ダスト低減対策	AWJの高圧水が当たる場所を除染できること	4.1.1 4.1.4
			除染作業/AWJ 切断作業	PCV内の除染作業とAWJ切断作業の作業手順の見直しができていること	4.1.1 4.1.5
	PCV内部 詳細調査	モックアップ試験 （組み合わせ試験含）	アクセス・調査装置と調査技術を組み合わせた状態で調査技術の適用性が確認されていること		4.2.1
			現場状況を模擬したモックアップ試験設備を用いて試験を行い，アクセス・調査装置の現場への適用性が確認されていること		4.2.1
		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）		4.2.2
		現場実証	アクセス・調査装置を現場に適用し，実環境下で詳細目視及び計測動作ができること （終了時目標TRL：レベル6）		別事業で 実施

3. 実施スケジュールと実施体制

3.1 実施スケジュール



3. 実施スケジュールと実施体制

3.2 実施体制

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（本部）	2人
○ 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	30人
(1)調査計画・開発計画の策定 (2)アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証 ①アクセスルートの構築 ②PCV内部詳細調査	



- 連携する開発プロジェクトチーム
- 平成30年度補正予算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）
 - 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発（X-6ペネトレーションを用いた内部詳細調査技術の現場実証）
 - 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発
 - 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発
 - 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発
 - 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発
 - 原子炉圧力容器内部調査技術の開発
 - 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発

4. 実施内容

4.1 アクセスルート構築

青記：本報告の内容

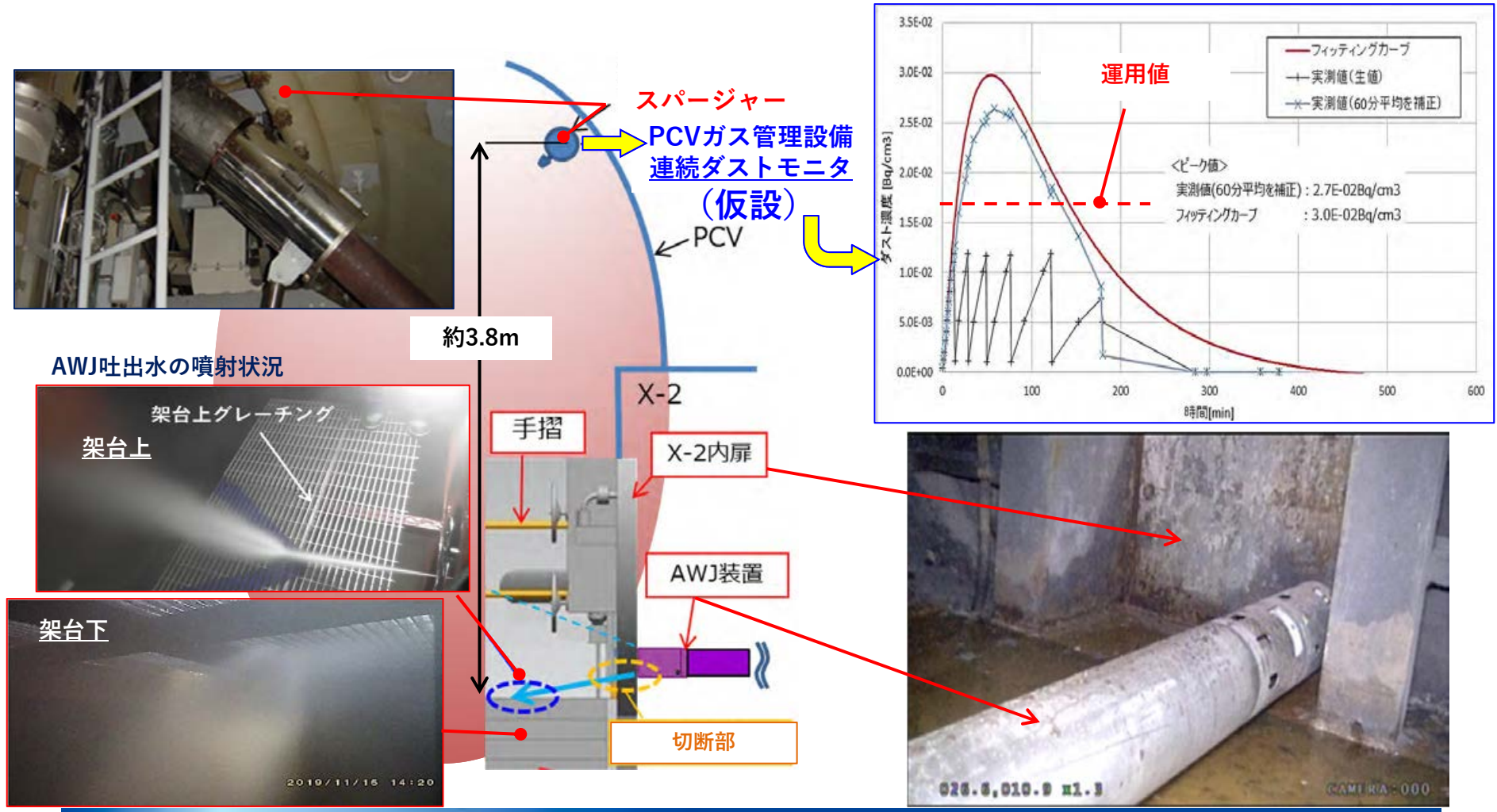
- ①モックアップ試験（報告済(平成30年度中間報告)）
 - ・モックアップ試験計画
 - ・モックアップ試験設備
 - ・モックアップ試験
 - ・トラブル対処に係る試験内容
 - ・モックアップ試験で抽出した新たな課題
- ②追加モックアップ（報告済(令和元年度中間報告)）
モックアップ試験で抽出した新たな課題への対策の効果の確認
- ③作業訓練（報告済(平成30年度中間報告)）
- ④現場実証
 - ・現場実証計画（報告済(平成30年度中間報告)）
 - ・新バウンダリ接続と外扉貫通穿孔（報告済(令和元年度中間報告)）
 - ・200A内扉穿孔時のPCV内のダスト上昇（報告済(令和元年度中間報告)）
 - ・200A内扉穿孔の完了
 - ・250A内扉穿孔～ガイドパイプ取付※
- ⑤追加対応（一部報告済(令和元年度中間報告)）
 - ・実機切断試験
 - ・ダスト挙動分析
 - ・ダスト低減対策
 - ・除染作業/AWJ切断作業

※ 別事業（平成30年度補正予算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））で実施

4.1 アクセスルート構築

4.1.1 追加対応 背景と目的 -200A内扉AWJ穿孔時のダスト上昇-

- 200A内扉下部切断時に切断部の汚染だけでは説明できないPCV内ダスト濃度上昇を確認
- ダスト上昇の推定原因：切断部以外の構造物へのAWJ吐出水の噴射によるダスト巻き上げ



4.1 アクセスルート構築

4.1.1 追加対応 背景と目的 -追加対応の経緯-

計画変更日	計画変更に至る経緯	計画変更の概要
令和元年 7月10日	2019年6月4日に実施した約5分間の200A内扉下部切断でPCV内部のダスト濃度が運用値を超えたため切断を中断した	PCV内ダスト濃度上昇の推定原因の検証とAWJ時のPCV内ダスト挙動の把握のために以下を追加 <ul style="list-style-type: none"> ・実機での切断試験(☞4.1.2) ・PCV内ダスト挙動分析(☞4.1.3)
令和元年 9月20日	2019年8月上旬実施のStep1(切断範囲：5° (3ヶ所))のダスト挙動分析で、本格的なAWJ切断時のPCV内ダスト濃度が新たな運用目標値を超える可能性があることがわかったため、切断を中断した	切断再開に向けて以下を追加 <ul style="list-style-type: none"> ・オペフロのダスト監視強化(東電殿実施) ・ダスト低減対策(☞4.1.4)
令和2年 2月3日	周辺環境に影響を与えない範囲で切断を進めるために、より慎重なAWJ切断作業が必要となった	より慎重なAWJ切断作業に向けて以下を追加 <ul style="list-style-type: none"> ・PCV内除染作業とAWJ切断作業の作業手順の見直し(☞4.1.5)

【成果の概要】

AWJによる試切断(5° 切断)でPCV内を除染できること、その影響範囲はAWJ吐出水が直接当たる範囲より広範囲であること、分割切断によりダスト上昇から次の切断開始時間を設定でき、ピークを抑えながら切断できること、洗浄治具よりAWJによる試切断でPCV内を除染した方が準備・作業の期間を大幅に短縮でき、洗浄不足のリスクを回避できることなどを確認

4.1 アクセスルート構築

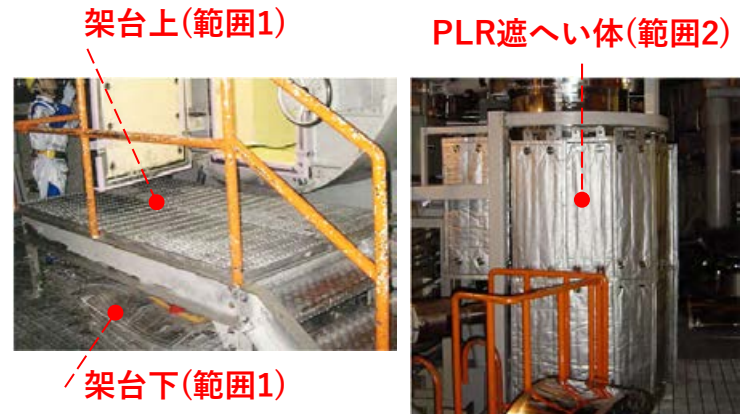
4.1.2 追加対応① 実機切断試験 -計画-

【目的】PCV内ダスト濃度上昇の推定原因の検証，AWJ時のPCV内ダスト挙動の把握及びPCV内ダスト濃度運用値の見直しのためのデータ採取

Step 1※

- 試切断**
- ・切断角5°
 - ・3箇所

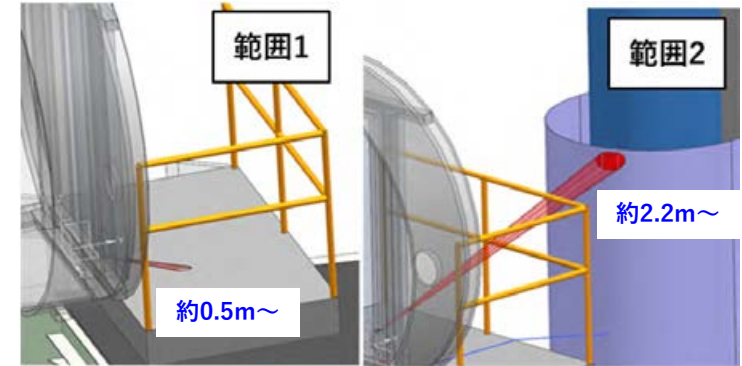
異なるAWJ吐出水の噴射対象(ダスト発生源:範囲1~3)の切断範囲を3箇所選定



Step 1A ※

- 試切断**
- ・切断角5°
 - ・4箇所

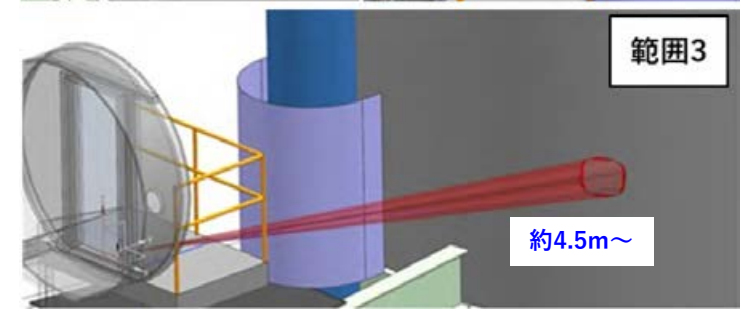
Step1に隣接する切断範囲を3箇所と隣接しない切断範囲を1箇所選定



Step 2A ※

- 試切断**
- ・切断角~10°
 - ・4箇所
- 切断**
- ・切断角~30°
 - ・4範囲

AWJ吐出水の影響範囲の確認のために4箇所選定
切断範囲を拡大した時のダスト挙動の特徴確認のために4箇所選定



※ Step1：ダスト挙動把握のための切断試験
 Step1A：Step1のデータ拡充のための切断試験
 Step2A：切断範囲拡大時のダスト挙動把握のための切断試験
 Step2B：切断時の運用検証と広範囲切断の実績構築のための切断試験(4.1.5参照)

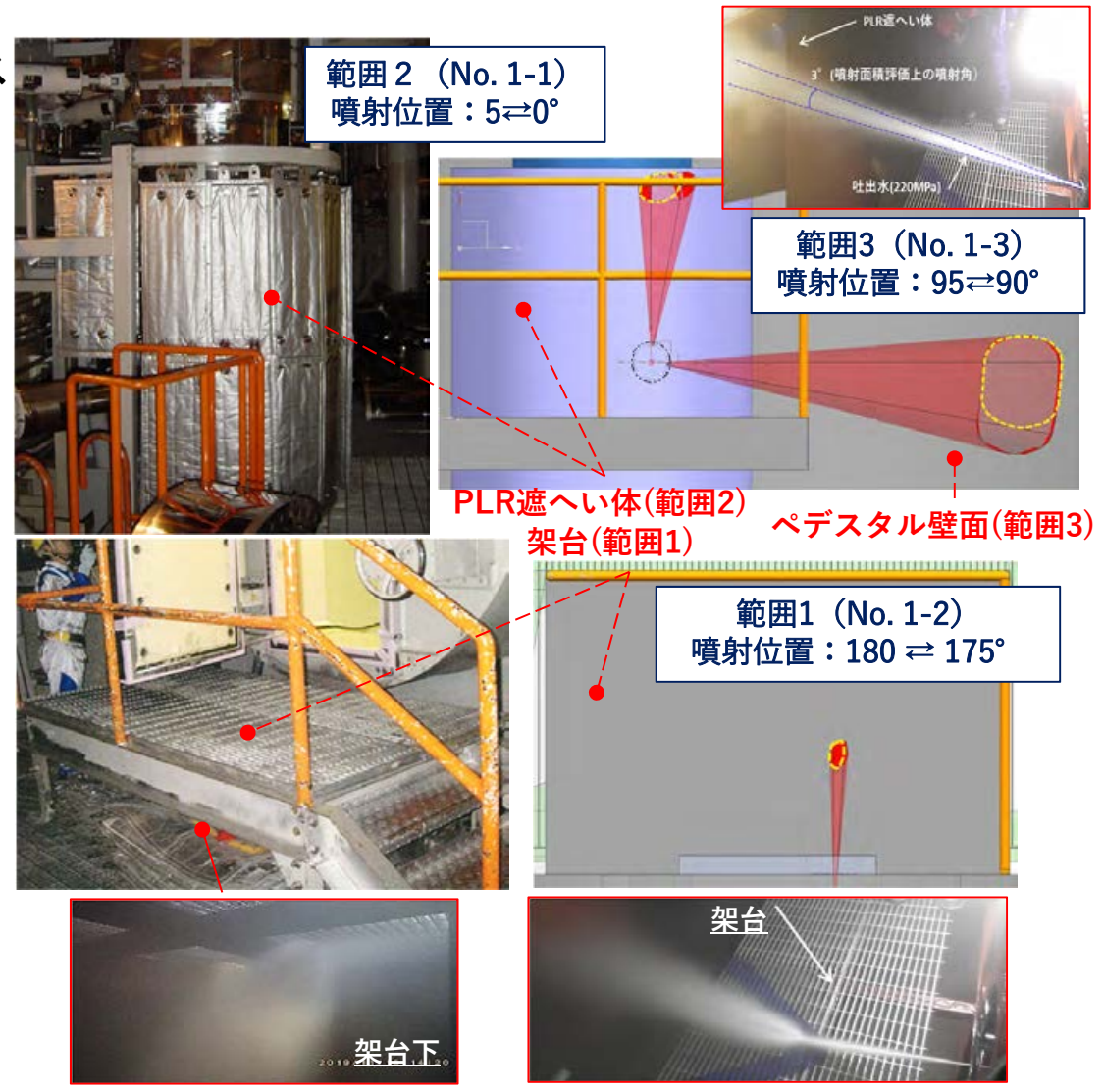
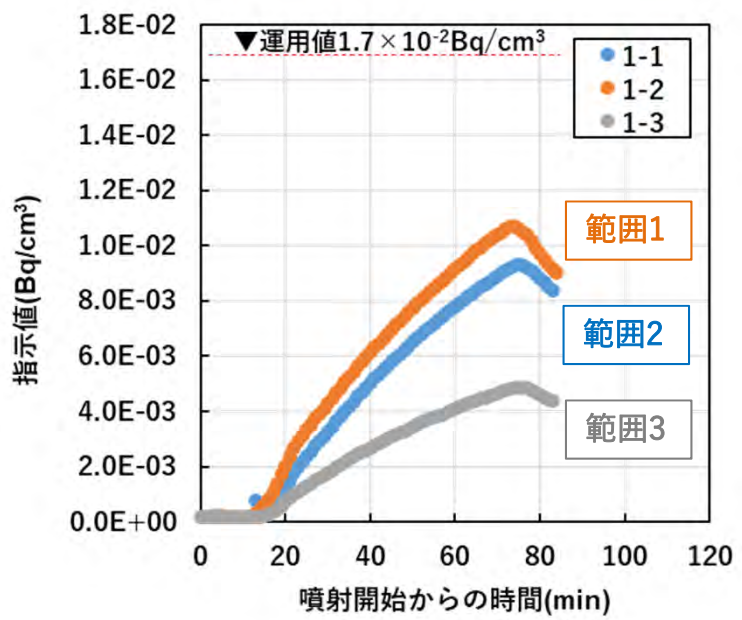
4.1 アクセスルート構築

4.1.2 追加対応① 実機切断試験 -Step1(試切断)-

【結果】

- AWJ噴射対象(範囲1~3)でピークダスト濃度が大きく異なる
- 最も噴射面積が小さい範囲1のピークダスト濃度が高い
(架台下の影響も大きい)

☞ 切断部より構造物へのAWJ吐出水の噴射によるダストの巻上げの影響が大きい



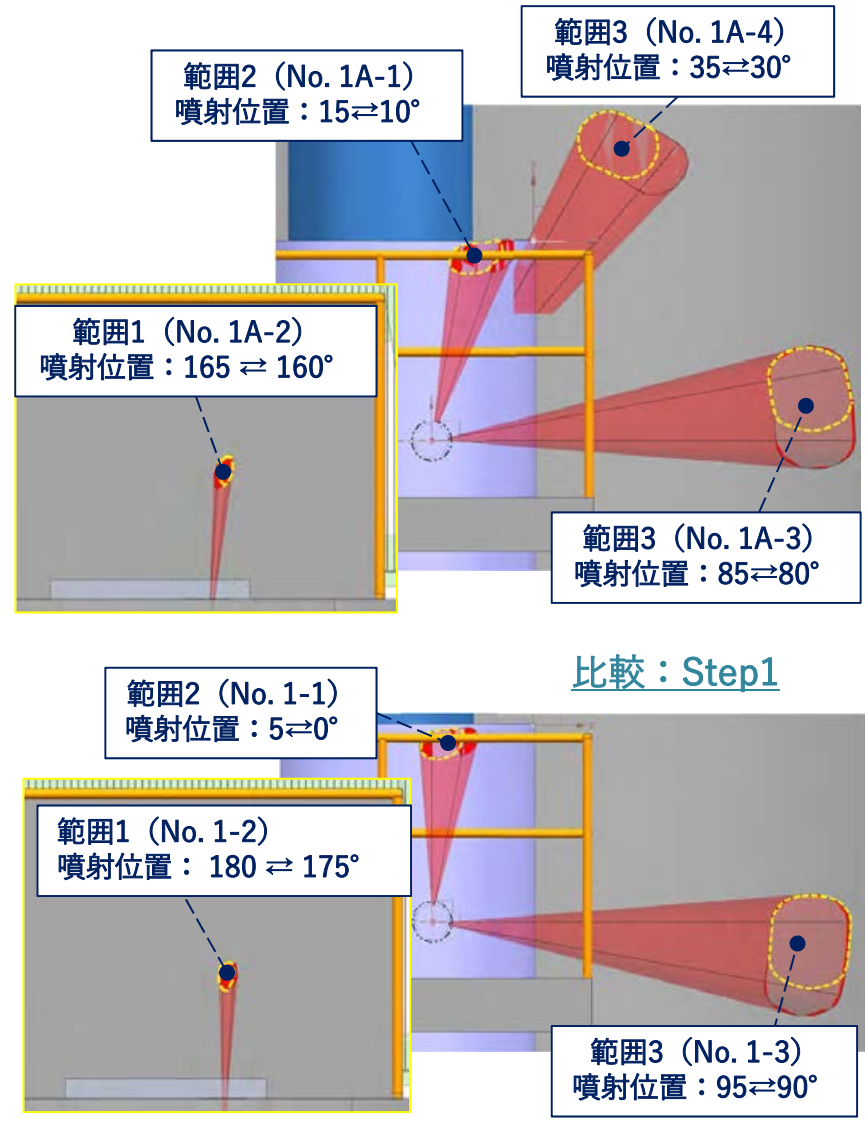
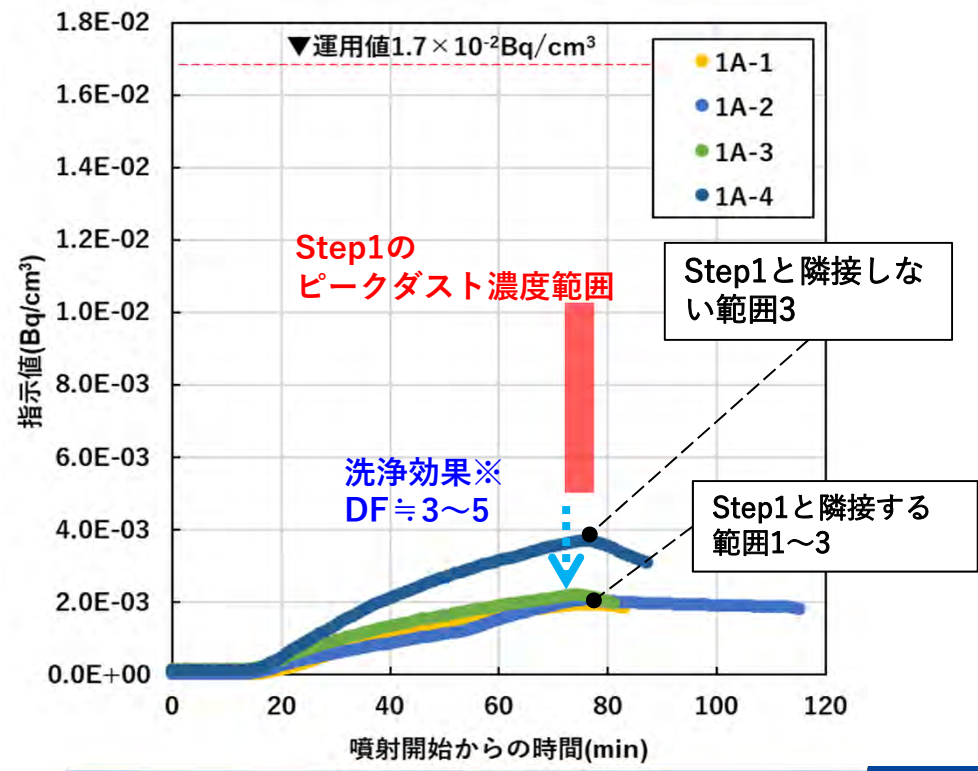
4.1 アクセスルート構築

4.1.2 追加対応① 実機切断試験 -Step1A(試切断)-

【結果】

- Step1と隣接するNo.1A-1～3のピークダスト濃度が低い
- No.1-1～3から離れたNo.1A-4のピークダスト濃度はStep1の範囲3 (No.1-3)と同程度

👉 構造物へのAWJ吐出水の噴射により、PCV内部が除染されたと推定



※ DF=ピークダスト濃度比(1-1/1A-1, 1-2/1A-2, 1-3/1A-3)

4.1 アクセスルート構築

4.1.2 追加対応① 実機切断試験 -Step2A(試切断・切断)(1/2)

【試切断の結果】

1)右半周(範囲0~180°)

Step1A時のAWJ噴射の影響を受ける可能性が高い範囲

- Step 1 Aの実績に基づくピークダスト濃度予想値の2/3~1/2程度

2)左半周(範囲0~-180°)

Step1と1A時のAWJ噴射の影響が小さい範囲

- Step1の実績に基づくピークダスト濃度予想値の1/5以下

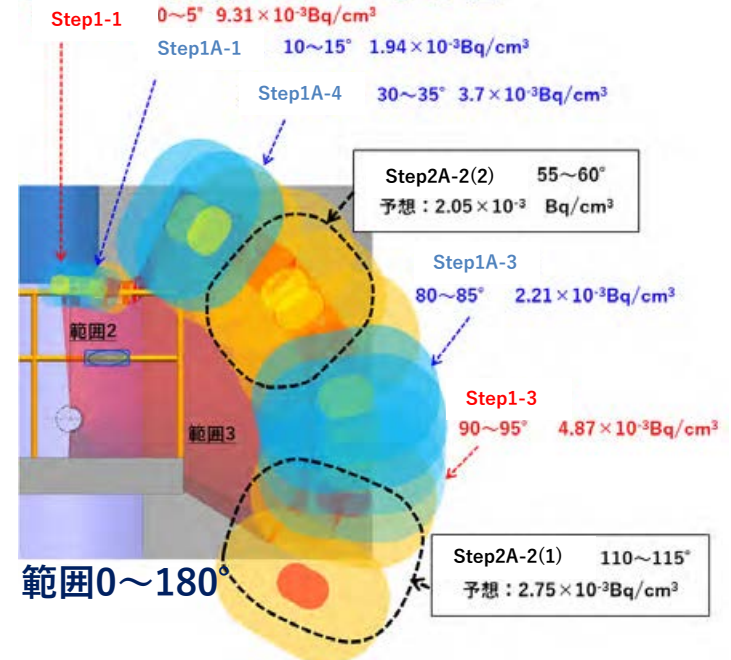
☞ AWJ吐出水噴射によるPCV内部の除染範囲は Step1Aの実績に基づく予想よりも広範囲と推定 範囲0~180°

	範囲	切断角	切断範囲 (°)	ピークダスト濃度(Bq/cm ³)	
				予想	実績
2A-1	1	5°	145° ⇒ 140° ⇒ 145°	10.7 × 10 ⁻³	5.31 × 10 ⁻³
2A-2	3	5°	115° ⇒ 110° ⇒ 115°	2.75 × 10 ⁻³	3.20 × 10 ⁻³
		5°	60° ⇒ 55° ⇒ 60°	2.05 × 10 ⁻³	
2A-7	2	10°	-10° ⇒ -20° ⇒ -10°	13.3 × 10 ⁻³	1.52 × 10 ⁻³
2A-8	2	5°	-40° ⇒ -45° ⇒ -40°	11.4 × 10 ⁻³	2.96 × 10 ⁻³
2A-9	2+3	5°	-75° ⇒ -80° ⇒ -75°	17.4 × 10 ⁻³	1.17 × 10 ⁻³

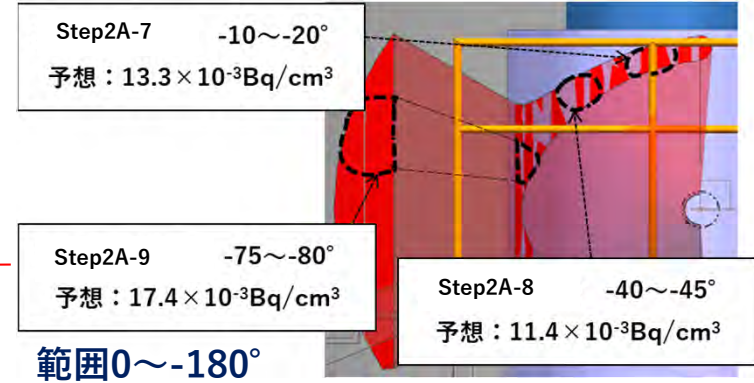


範囲0~-180°

Step 1 Aの実績に基づく予想値※1



Step 1 の実績に基づく予想値※2



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

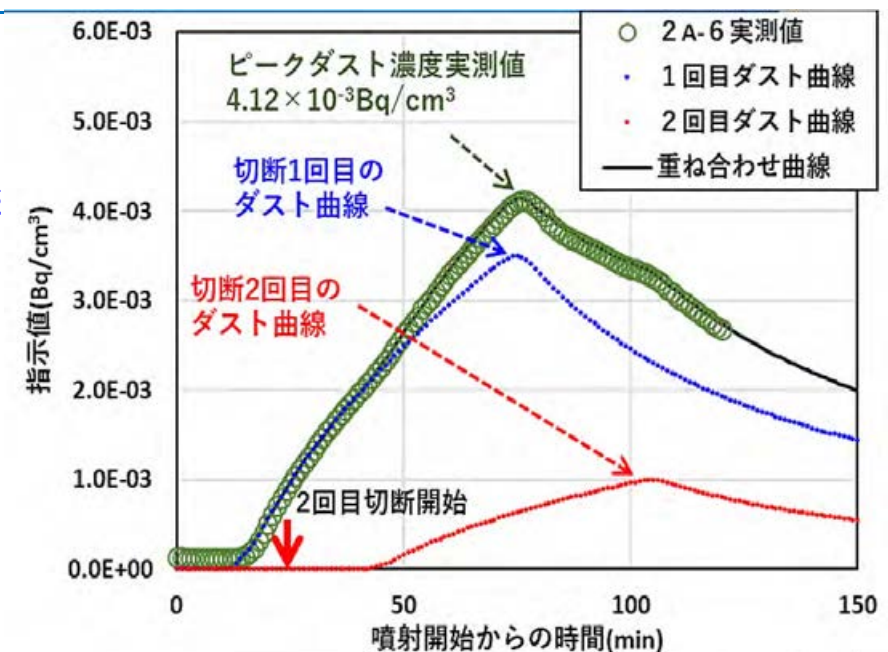
※1: 噴射範囲のラップ量と洗浄効果を考慮した予想値
 ※2: 噴射面積と距離から求めた洗浄効果を考慮しない予想値

4.1 アクセスルート構築

4.1.2 追加対応① 実機切断試験 -Step2A(試切断・切断)(2/2)

【切断の結果】

- ・ 2分割切断のダスト曲線は切断1回目と2回目のダスト曲線の重ね合わせで表すことができる
- ☞切断1回目のPCV内ダスト挙動は切断2回目の影響を受けない
- ・ 切断2回目のピークダスト濃度は1回目の約1/4
- ☞切断1回目に2回目のAWJ噴射範囲の一部が除染されたと推定
- ・ 2回目の切断開始時間を伸ばすことでダスト曲線の重ね合わせのピークダスト濃度(実測されるピークダスト濃度)を抑制できる見通しを確認



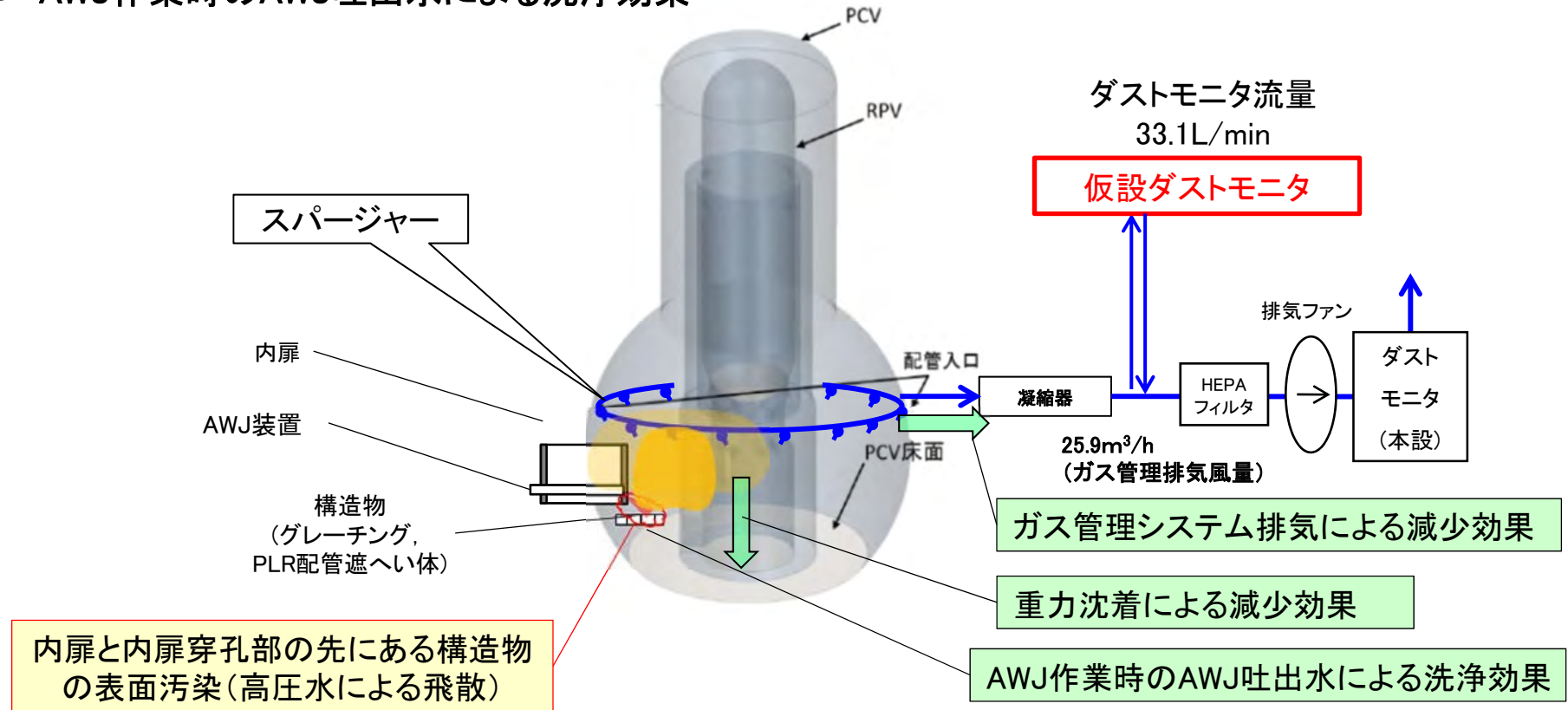
	範囲	切断角	切断範囲 (°)		ピークダスト濃度(Bq/cm³)	
					予想	実績
2A-3	3	20°	切断1回目	110° ⇒ 90° ⇒ 100°	< 6 × 10 ⁻³	5.01 × 10 ⁻³
			切断2回目	休止(実績: 40分) 100° ⇒ 110°		
2A-4	3	30°	切断1回目	95° ⇒ 65° ⇒ 80°	< 9 × 10 ⁻³	8.29 × 10 ⁻³
			切断2回目	休止(実績: 70分) 80° ⇒ 95°		
2A-5	1	20°	切断1回目	180° ⇒ 160° ⇒ 170°	< 6 × 10 ⁻³	2.15 × 10 ⁻³
			切断2回目	休止(実績: 40分) 170° ⇒ 180°		
2A-6	1	30°	切断1回目	165° ⇒ 135° ⇒ 150°	< 9 × 10 ⁻³	4.12 × 10 ⁻³
			切断2回目	休止(実績: 30分) 150° ⇒ 165°		

4.1 アクセスルート構築

4.1.3 追加対応② ダスト挙動分析 -計画-

【実施内容】切断試験時のダスト挙動分析

- 仮設ダストモニタ応答評価によるダスト濃度予測
- AWJ作業時のAWJ吐出水による洗浄効果



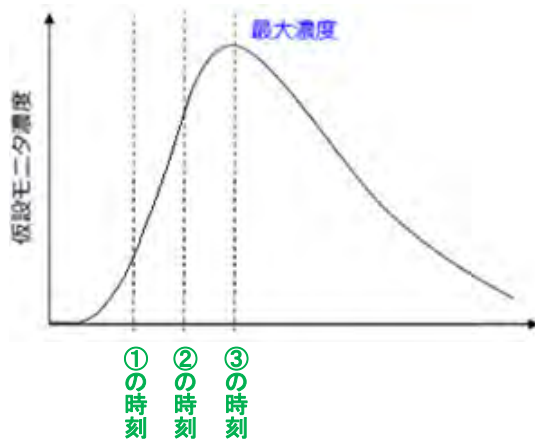
4.1 アクセスルート構築

4.1.3 追加対応② ダスト挙動分析 -結果(1/6)-

(1) 仮設ダストモニタ応答評価によるダスト濃度予測 (1/3)

- 6/4のAWJ作業時の仮設ダストモニタ実績に基づき、仮設ダストモニタ応答の予測・評価モデルを構築

1F-1の場合、スパージャーに吸い出されたダストがガス管理システムに移行する。
 このとき、PCV内のダストの挙動に係わる仮設モニタ濃度及びスパージャーの関係として、以下の2通りのモデルを検討した。



パラメータ	
Q_{pcv}	PCV内の体積Vの放射能量[Bq]
Q_m	仮設モニタの放射能量[Bq]
A	浮遊ダスト発生率[Bq/min]
F1	ガス管理システム排気量[m ³ /h]
F3	ダストサンプラ流入量[m ³ /h]
DF c	配管低減率[-]
V	拡散体積[m ³] (スパージャー近傍に着目した見かけの体積)
λ_d	重力沈着による減少割合[1/min]
λ_{pcv}	ガス管理による減少割合[1/min]



パラメータの意味及び考え方の一部は変更する必要があるが、上記のいずれのモデルにおいても、以下の基本評価式を用いることが可能である。

- PCV内の体積Vの放射能量[Bq]

$$\frac{dQ_{pcv}}{dt} = A - (\lambda_d + \lambda_{pcv} \times \eta) \times Q_{pcv}$$

- 仮設モニタの放射能量[Bq]

$$\frac{dQ_m}{dt} = \frac{\lambda_{pcv} \times \eta \times Q_{pcv}}{DFc} \times \frac{F3}{F1}$$

4.1 アクセスルート構築

4.1.3 追加対応② ダスト挙動分析 -結果(2/6)-

(1) 仮設ダストモニタ応答評価によるダスト濃度予測 (2/3)

● 切断部の先にある構造物へのAWJ吐出水の噴射面積, ノズルからの距離とダスト発生量(仮設モニタ積算放射エネルギー)との関係を推定

- 6/4及びStep1-1からStep1-3の切断時の汚染構造物に対するAWJ吐出水の噴射面積及びノズルまでの距離と仮設モニタの積算放射エネルギー(実績値)の関係を図4.1.3-1のとおり整理し、仮設モニタの積算放射エネルギーと汚染構造物の噴射面積及び距離の相関式を得た。
- 前頁のモデル及び図4.1.3-1に示す仮設モニタの積算放射エネルギーの相関関係を用い、図4.1.3-2のモニタ応答モデルによる評価値を得ることが出来た。

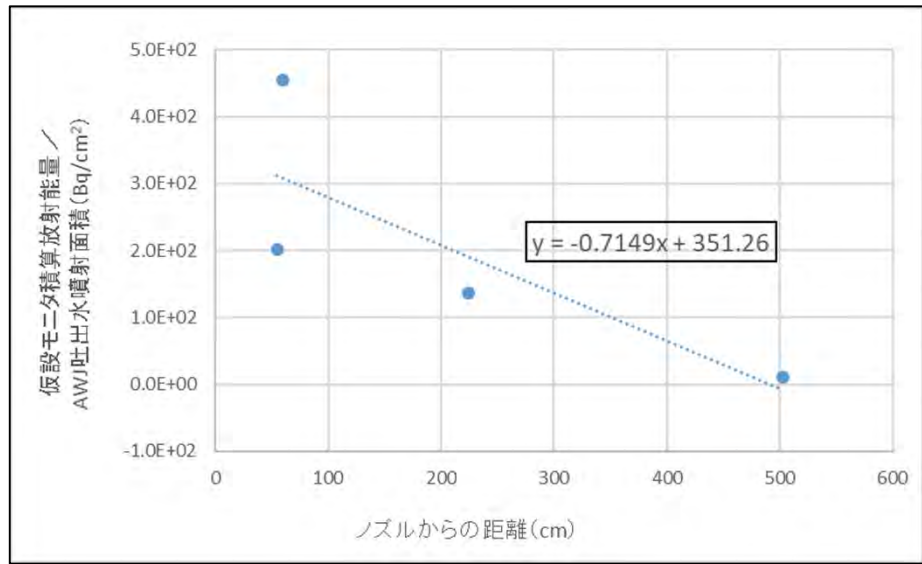


図4.1.3-1 仮設モニタ積算放射エネルギーとAWJ吐出水噴射面積及びノズルからの距離の関係

スパージャー効率(η)は、実績を鑑みて、切断開始後17分から60分間にかけて直線的に増加するものと仮定した。

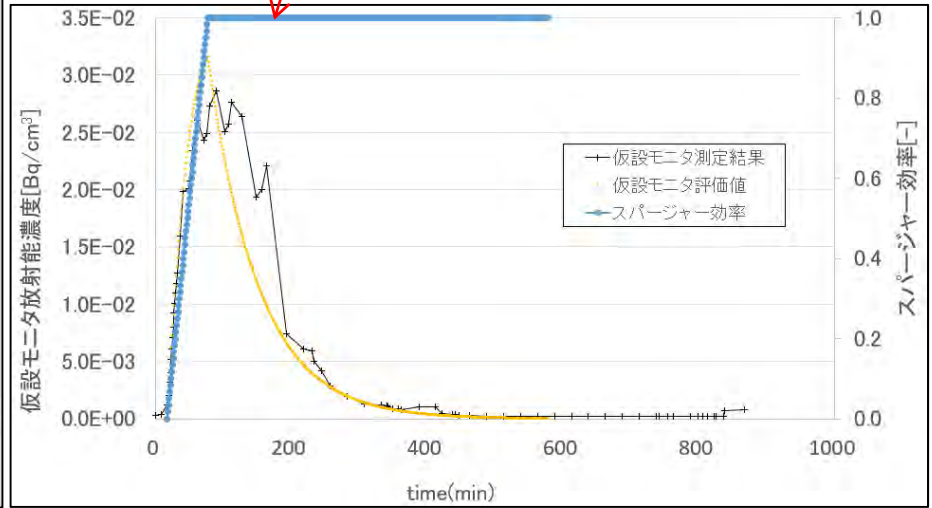


図4.1.3-2 6/4のAWJ作業時の仮設ダストモニタ実績とモニタ応答予測モデルによる評価値(再現)

4.1 アクセスルート構築

4.1.3 追加対応② ダスト挙動分析 -結果(3/6)-

(1) 仮設ダストモニタ応答評価によるダスト濃度予測 (3/3)

前項までの基本評価モデル及び仮設モニタ積算放射エネルギーの推定結果より、切断試験 (Step1) 時の仮設ダストモニタ応答評価を実施し、図4.1.3-3に示すとおり、Step1までの仮設モニタの応答について、概ね再現させることが出来た。

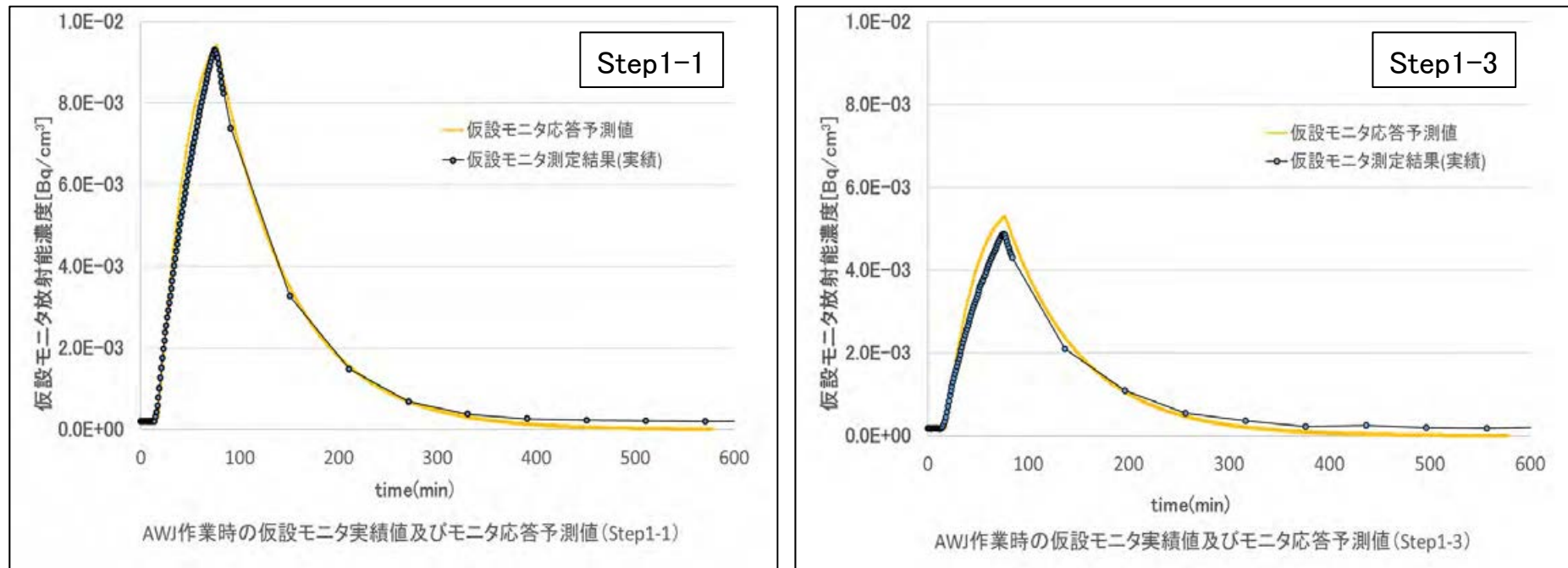


図4.1.3- 3 仮設ダストモニタ応答評価結果(Step1)

4.1 アクセスルート構築

4.1.3 追加対応② ダスト挙動分析 -結果(4/6)-

(2) AWJ作業時のAWJ吐出水による洗浄効果の評価結果

- 前頁までの基本評価モデルは、Step1までの切断時の仮設モニタ応答の予測評価と実測が概ね一致したが、Step1A以降の切断時の仮設モニタ応答については、予測評価が過大評価となる傾向が示された。
- このように予測評価が過大となる要因として、AWJ作業を重ねると汚染構造材がAWJ吐出水に洗浄されることによるものと考えられ、このAWJ吐出水による洗浄効果(DF)は、以下の式によって表すものとした。

$$\text{洗浄効果(DF)} = \frac{\text{仮設モニタピーク濃度(評価値)} [\text{Bq}/\text{cm}^3]}{\text{仮設モニタピーク濃度(実測)} [\text{Bq}/\text{cm}^3]}$$

図4.1.3-4より、Step1A以降のダスト濃度予測評価では、洗浄効果(DF)は3以上は期待できる。

1日あたりの切断回数が複数の場合は、洗浄効果(DF)がさらに大きくなる傾向がある。

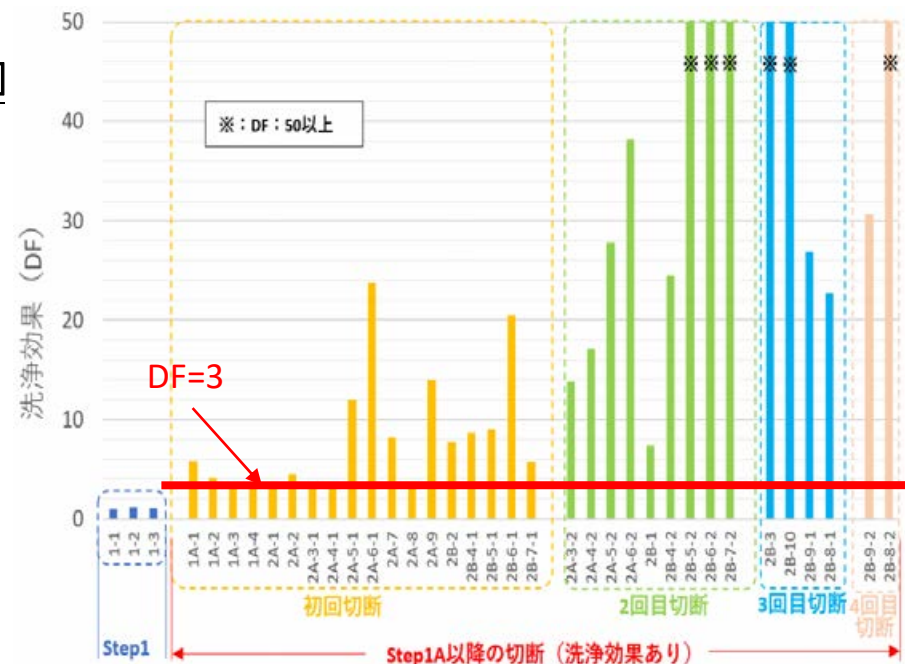


図4.1.3- 4 AWJ吐出水による洗浄効果(DF)

4.1 アクセスルート構築

4.1.3 追加対応② ダスト挙動分析 -結果(5/6)-

(3) 仮設ダストモニタ応答評価によるダスト濃度予測<洗浄効果あり・長時間切断>

- Step2A及び2Bにおける複数回切断時の実測の仮設モニタ応答に対し、洗浄効果(DF)を考慮した予測結果を図4.1.3-5及び図4.1.3-6に示す。
- 連続切断を行う場合、洗浄効果(DF)は1回目と比べて、2回目以降の方が大きい傾向があり、切断を繰り返すことで、より大きなDFが期待できる。

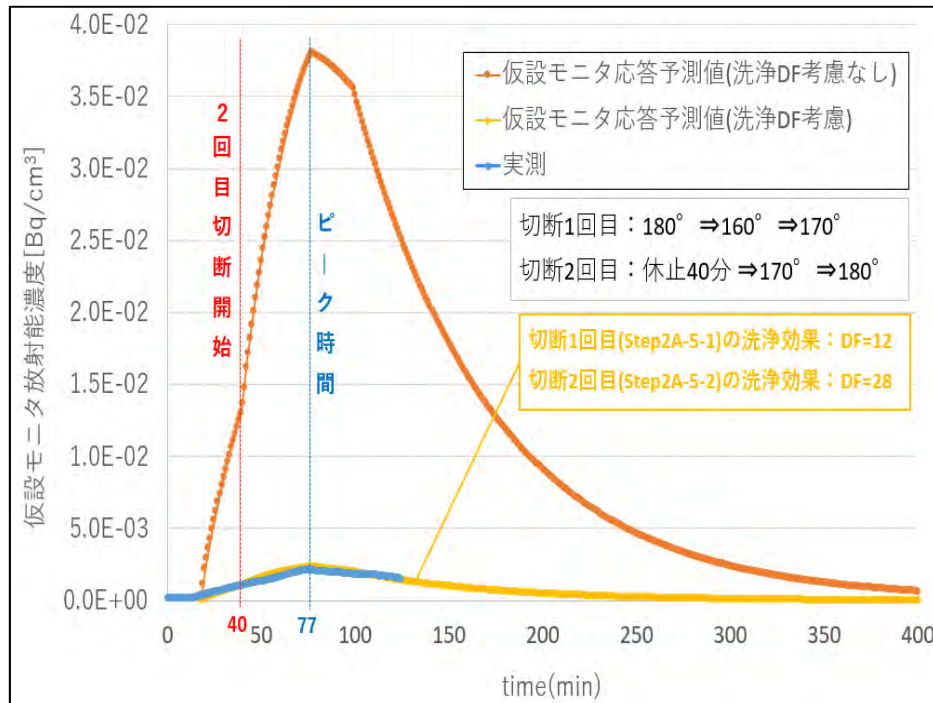


図4.1.3-5 仮設ダストモニタ応答評価結果(Step2A)

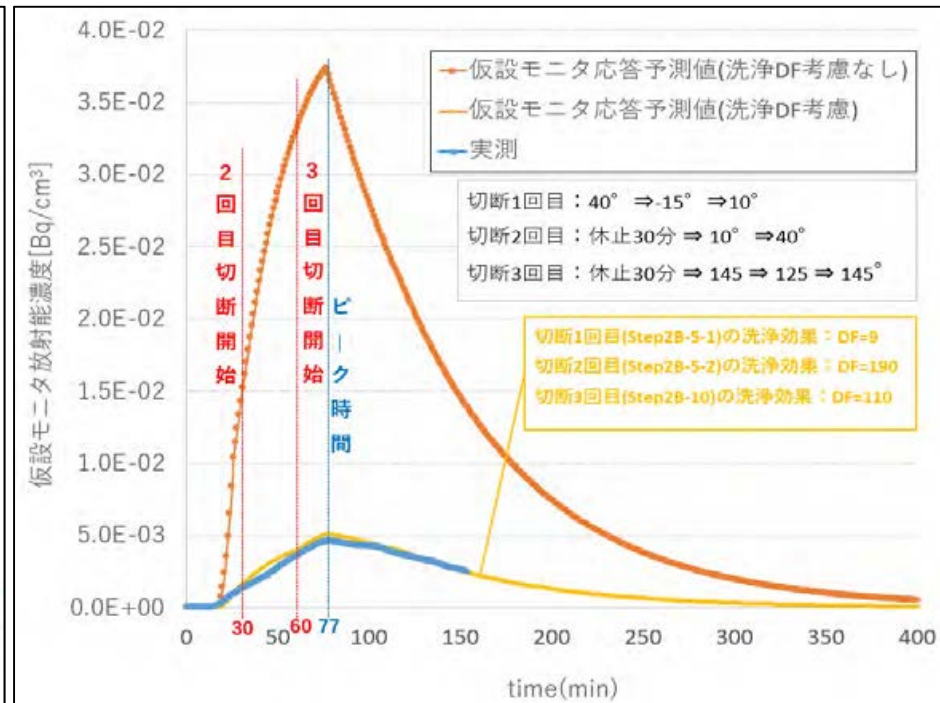


図4.1.3-6 仮設ダストモニタ応答評価結果(Step2B)

4.1 アクセスルート構築

4.1.3 追加対応② ダスト挙動分析 -結果(6/6)-

(4) 検討結果のまとめ

- 6/4の仮設ダストモニタ実績に基づき、1号機特有のスパージャーを経てガス管理システムにダストが移行することを想定した仮設ダストモニタのダスト濃度評価モデルを構築した。
- AWJによるダスト発生量は、構造物へのAWJ吐出水の噴射面積、ノズルからの距離に依存する。これらの関係からダスト発生量の予測モデルを構築した。
- PCV内のダストの挙動として、“濃度一定のダストが時間経過とともに移動する場合”及び“ダスト濃度が高さ方向に濃度分布を形成し時間経過とともに濃度分布が変化する場合”の2通りの検討を行った。構築したダスト濃度及びダスト発生量のモデルは、基本的な評価式及び評価手法に変更することなく両方のモデルに適用可能。
- Step1A以降の切断時には、AWJ吐出水により汚染構造物が洗浄されることによる効果が確認された。
- 仮設ダストモニタのダスト濃度評価において、この洗浄効果(DF)は、切断時に汚染構造物へのAWJ吐出水の噴射の履歴がある場合、3以上が期待できると推定される。
- 1日あたりの切断回数が複数の場合は、この洗浄効果(DF)がさらに大きくなる傾向がある。

4.1 アクセスルート構築

4.1.4 追加対応③ ダスト低減対策 -計画(1/2)-

ダスト低減対策①：予めAWJ吐出水が当たる場所を洗浄し、表面に付着している放射性物質を除染

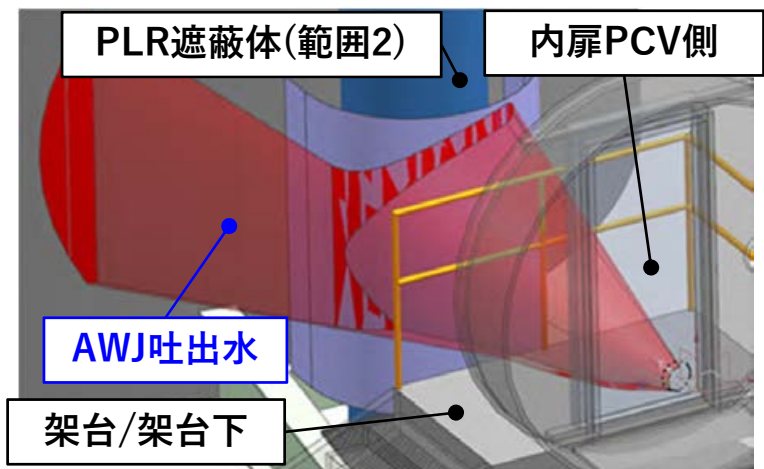


図4.1.4-1 AWJ吐出水の噴射範囲イメージ

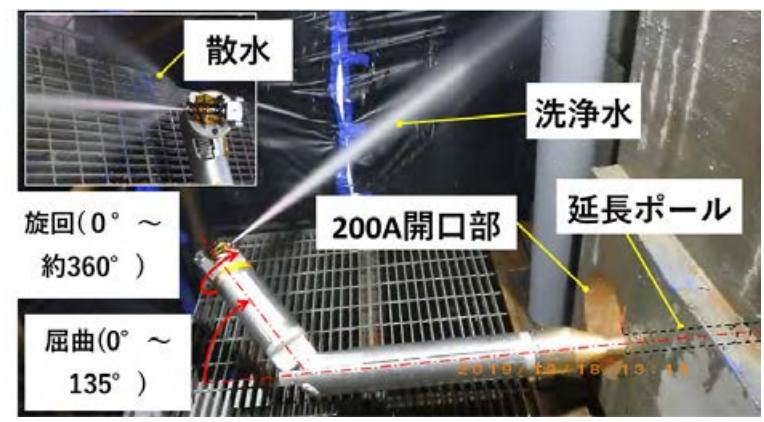


図4.1.4-2 ポール型洗浄治具の外観

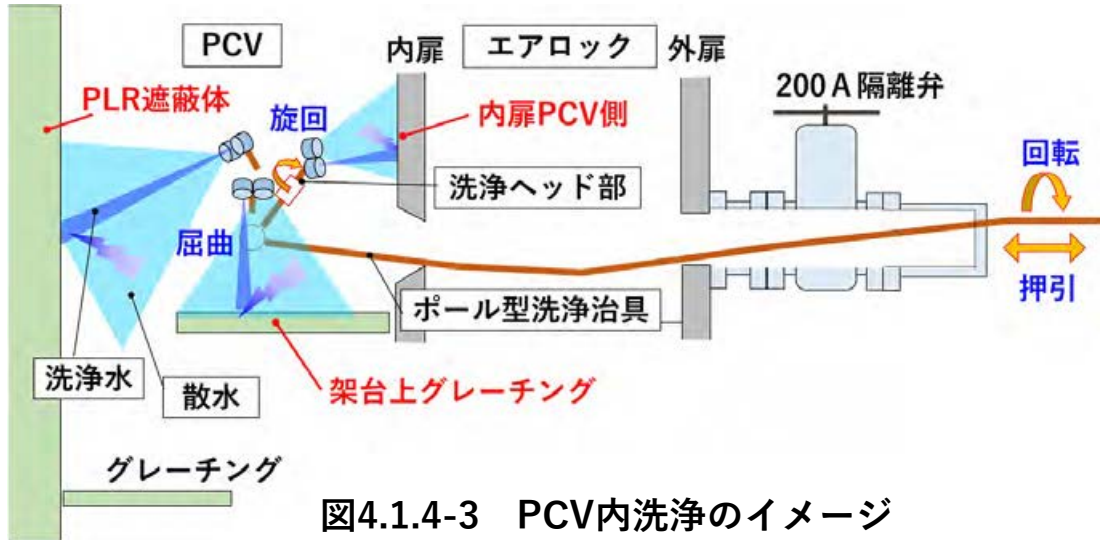


図4.1.4-3 PCV内洗浄のイメージ

- 【ポール型洗浄治具の特徴】
- ①ポール操作(回転・押引)と洗浄・散水ヘッド部の操作(屈曲・回転)による洗浄箇所の設定
 - ②洗浄水による構造物の洗浄および散水による放射性物質を含む浮遊性ミストの飛散抑制

- 【実施項目】
- ・ポール型洗浄治具の製作および洗浄ノズルの選定
 - ・構造物ごとの洗浄手順の策定および試験による確認

4.1 アクセスルート構築

4.1.4 追加対応③ ダスト低減対策 -計画(2/2)-

ダスト低減対策②：AWJ切断時にPCV内へ散水し、放射性物質を含む浮遊性ミストの飛散を抑制
 ダスト低減対策③：予めAWJ装置により切断箇所を高圧洗浄し、グレーチング、I型鋼及び電線管の表面に付着している放射性物質を除染

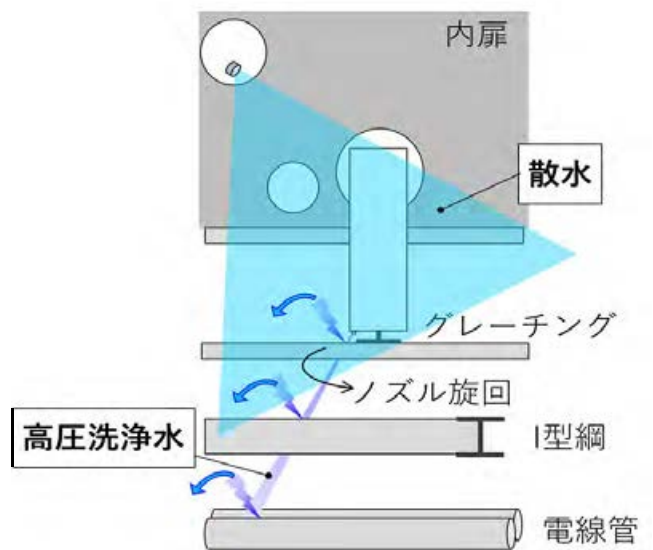


図4.1.4-4 AWJ装置による洗浄イメージ

【AWJ装置による洗浄の特徴】
 切断時と同じ設定状態での高圧水による洗浄

【実施項目】
 ・ AWJ装置の洗浄圧力による洗浄効果の確認

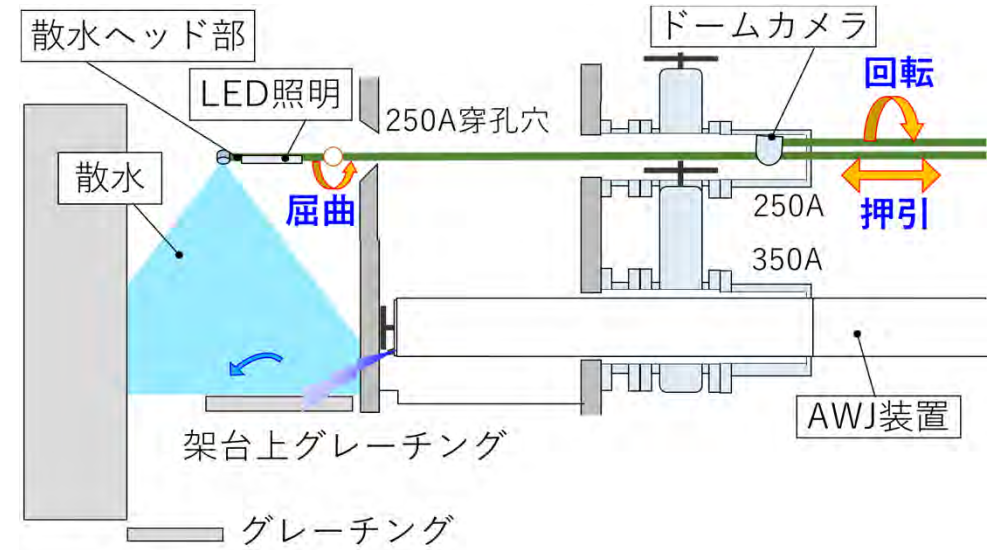


図4.1.4-5 AWJ切断時の散水イメージ

- 【散水治具の特徴】
- ① ポール操作(回転・押引)と散水ヘッド部の操作(屈曲)による散水範囲の設定
 - ② ドームカメラとLED照明による状況確認

【実施項目】
 ・ 散水治具の製作および散水圧力の選定
 ・ 散水による浮遊性ミスト抑制効果の確認

4.1 アクセスルート構築


4.1.4 追加対応③ ダスト低減対策 -ポール型洗浄治具による洗浄-

(1) 洗浄ノズルの選定

以下により直進ノズル×1（直管有）を選定


- ・ノズル1ヶ当たりの流量が大きい
- ・模擬汚染を確実に除去できる
- ・洗浄水が安定する(直管による整流効果)

回転機
構付き
ノズル




ノズル
回転

←模擬汚染
除去できず



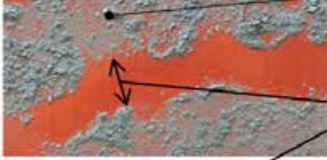
ミスト状

直進
ノズル
×1




ノズル

←除去幅
約50mm

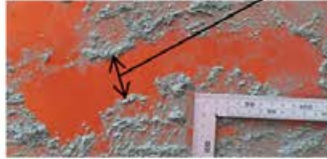


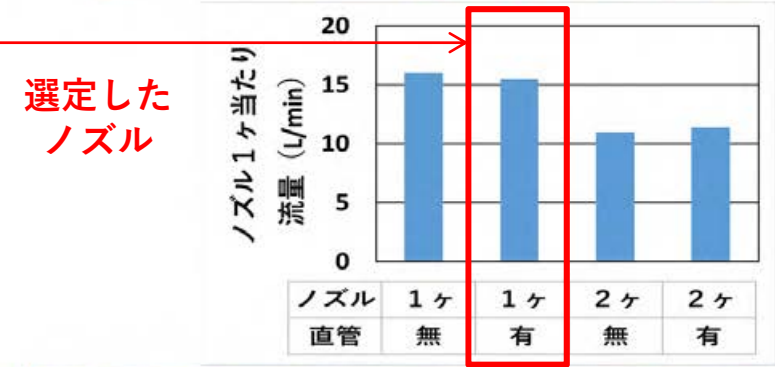
←除去幅の
拡大無し

直進
ノズル
×2



直管

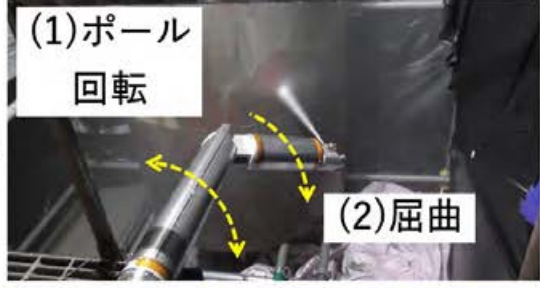




(2) 試験による洗浄手順の確認


策定した洗浄手順によりAWJ吐出水が当たる場所を洗浄できることを確認した

PLR
遮蔽体



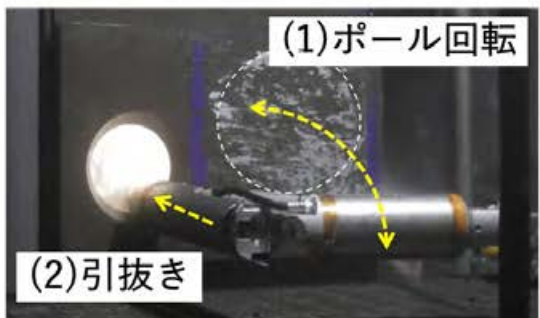
(1)ポール
回転
(2)屈曲

架台上
グレーチング



(2)引抜き
(1)ポール
回転

内扉
PCV側



(1)ポール回転
(2)引抜き

4.1 アクセスルート構築

4.1.4 追加対応③ ダスト低減対策 -AWJ装置による洗浄-

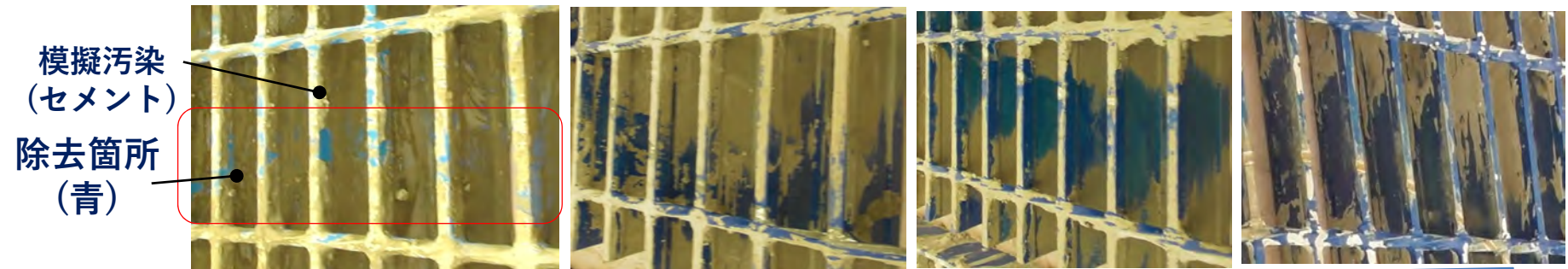
AWJ装置による洗浄効果の確認

- グレーチング切断時と同じ設定状態で高圧水による洗浄を行いながらノズルを1周走査
- 洗浄時の水圧が高いほど洗浄効果が大いことを確認, 一方で浮遊性ミスト発生量も増加

☞ 実機では10MPa,30MPa,100MPaなど段階的に水圧を上げて除染を行う



浮遊性ミスト 増



洗浄効果 大

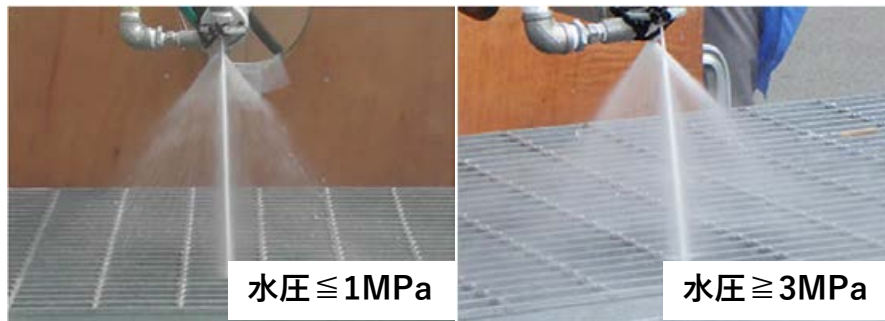
4.1 アクセスルート構築

4.1.4 追加対応③ ダスト低減対策 -AWJ作業時の散水-

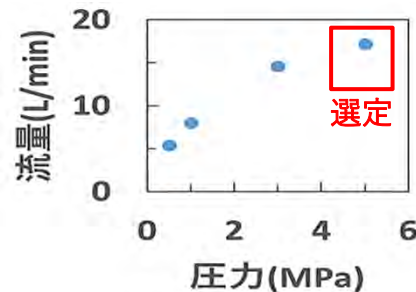


図4.1.4-6 散水治具の外観

(1) 散水時のポンプ圧の選定

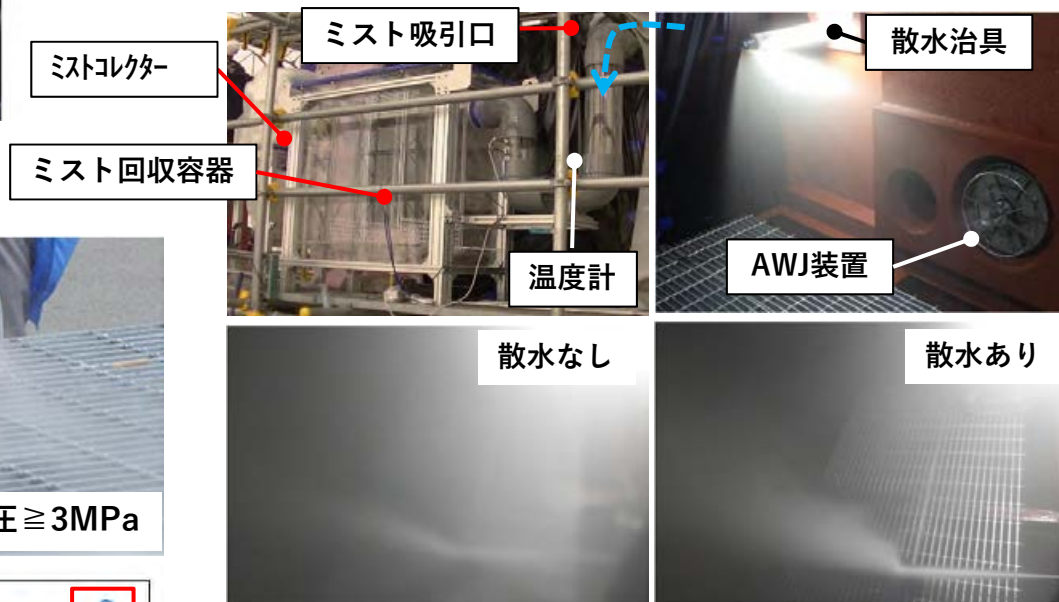


散水の勢いが強く、放射性物質を含む浮遊性ミストの飛散抑制効果が期待できるため、最も流量が多いポンプ圧5MPaを選定



(2) 試験による散水効果の確認

- AWJ吐出水から発生した浮遊性ミストが散水に引き寄せられ、ミストの濃さが低下する状況を確認
- 散水により浮遊性ミストの量は約1/2、温度は約2°C低下
 ☞ 浮遊性ミスト量の増加を緩和できる可能性がある



散水	到達温度(°C)	浮遊性ミスト回収量(mL)			相対比
		ミスト回収容器	ミストコレクター	合計	
無	28.4	100	50	150	1.0
有	26.3	20	50	70	0.5

4.1 アクセスルート構築

4.1.5 追加対応④ 除染作業・AWJ切断作業 -実機切断試験(Step2B)(1/3)-

より慎重なAWJ切断作業に向けてPCV内の除染作業とAWJ切断作業の作業手順の見直しを実施

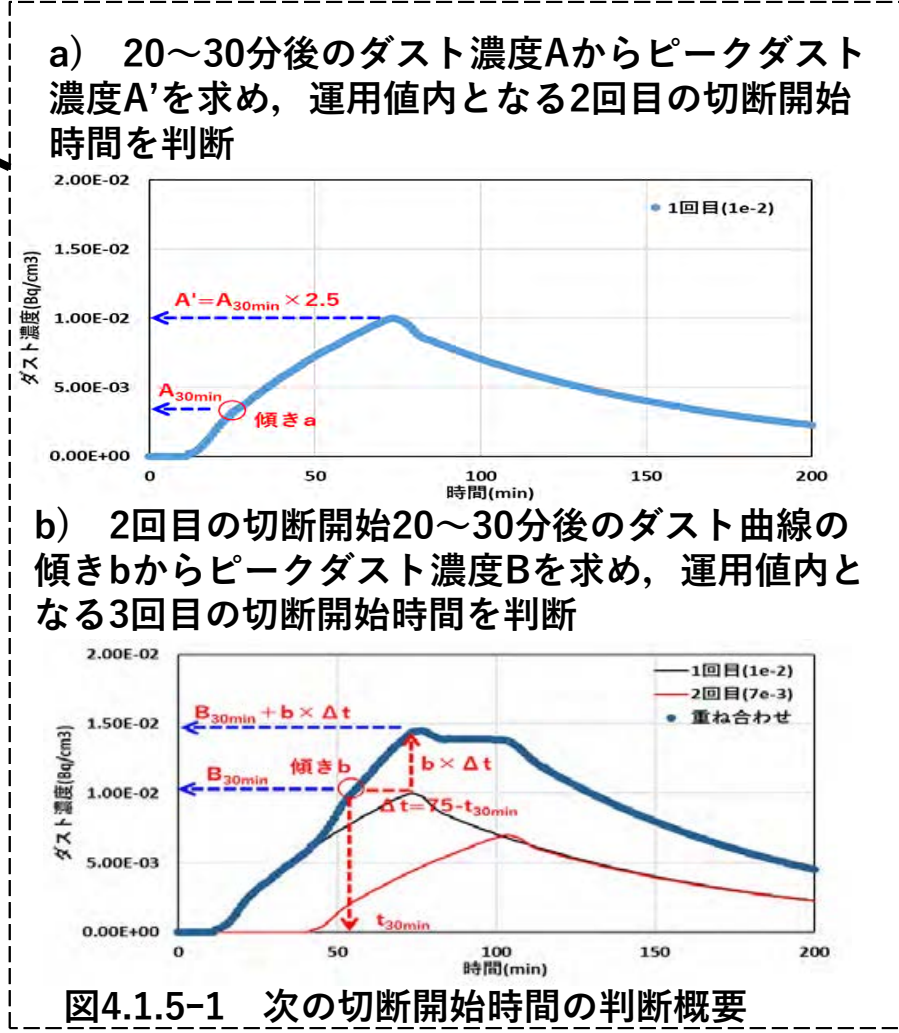
【実機切断試験(Step2B)の目的】

- ・ 1日当たりの切断範囲拡大
- ・ 次の切断開始時間の判断の運用実績の構築
- ・ 200A内扉穿孔完了

(1)1日当たりの切断範囲拡大

1領域を2分割し,途中に切断休止期間を設ける分割切断を採用することで運用値内での1日当たりの切断範囲を45° から120° まで拡大

切断範囲 (°) ※2分割切断		1日の切断実績
5° (試切断)	-135° ⇔ -140°	45°
5° (試切断)	-105° ⇔ -110°	
35°	135° ⇔ 100°	45°
45°	75° ⇔ 30° ※	
55°	40° ⇔ -15° ※	75°
20°	145° ⇔ 125°	
55°	-5° ⇔ -60° ※	95°
40°	-95° ⇔ -135° ※	
55°	-50° ⇔ -105° ※	120°
65°	-125° ⇔ -190° ※	

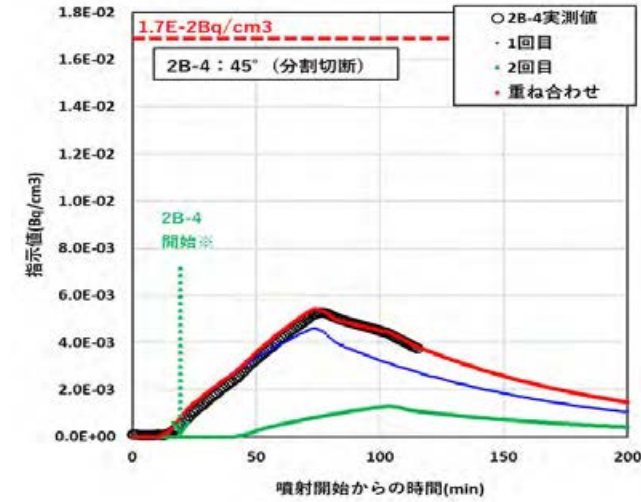


4.1 アクセスルート構築

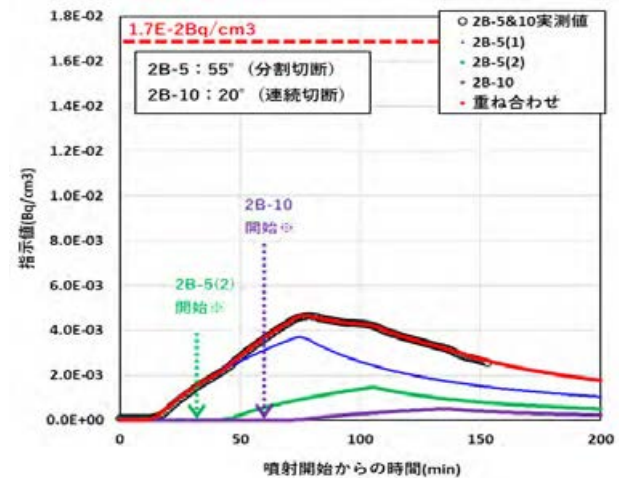
4.1.5 追加対応④ 除染作業・AWJ切断作業 -実機切断試験(Step2B)(2/3)-

(2) 次の切断開始時間の判断の運用実績の構築

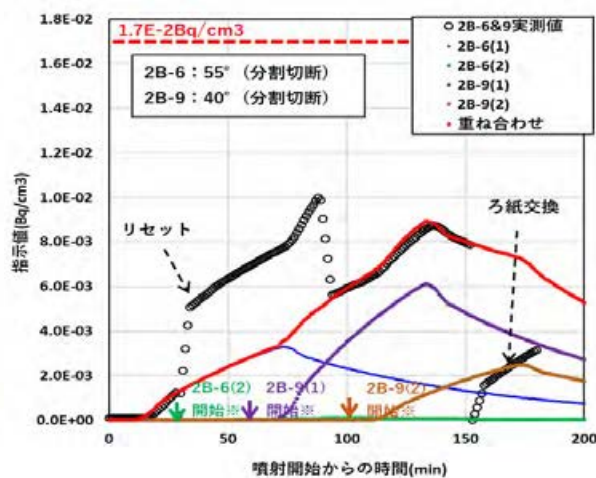
- 1日当たりの切断回数を2回から4回まで拡大し、この運用の実績を構築した
- 図4.1.5-1の方法でピークダスト濃度を予想し、次の切断開始時間を判断する方法でダストのピークを抑制しながら切断できることを確認
- 切断中にろ紙交換によるダスト測定不可事例が発生。本格的な切断では2台のダストモニタで対応予定



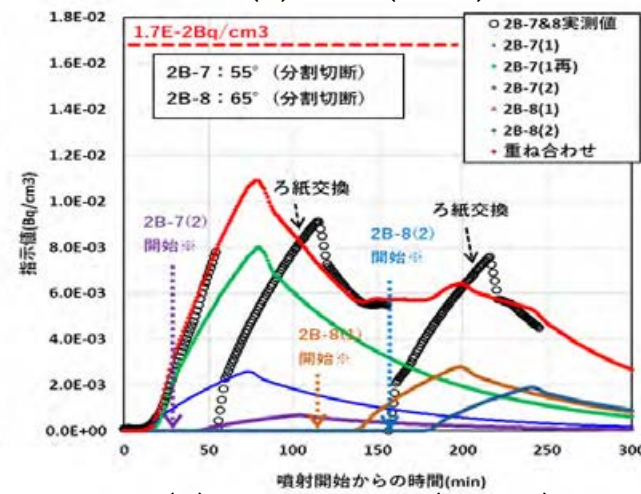
(a)2B-4(45°)



(b)2B-5⇔2B-10(75°)



(c)2B-6⇔2B-9(95°)



(d)2B-7⇔2B-8(120°)

図4.1.5-2 分割切断時のダスト曲線

4.1 アクセスルート構築

4.1.5 追加対応④ 除染作業・AWJ切断作業 -実機切断試験(Step2B)(3/3)-

(3) 200A内扉穿孔完了

- 1日最大120° 切断時のダストデータ等と分割切断の運用実績を構築しながら切断完了
- 現場実証を本格的に再開

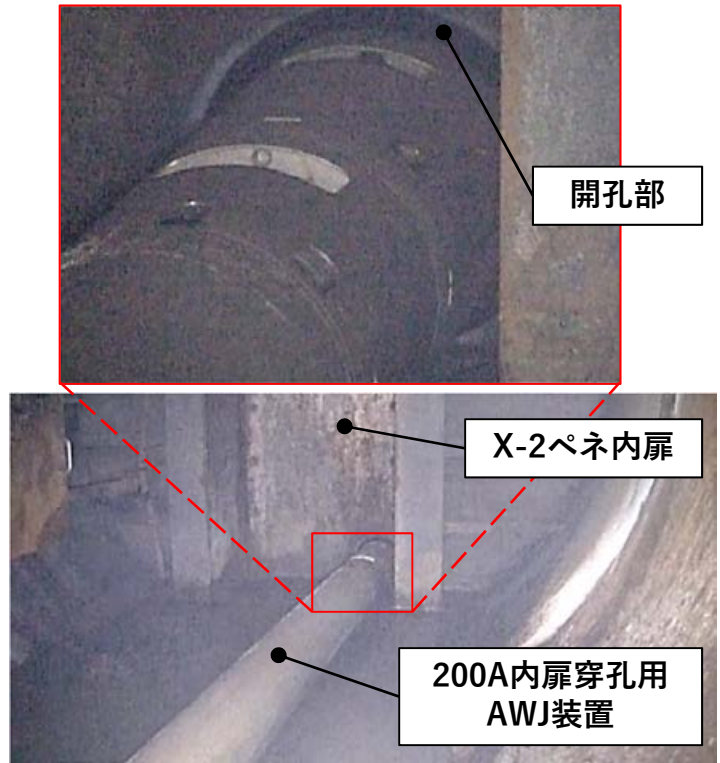


図4.1.5-3 200A内扉穿孔後の状況

範囲		ピークダスト濃度(Bq/cm ³)			
		試切断 (Step1A以降)		Step2A	Step2B
範囲2	右半周	1.94E-03			
		3.70E-03			1.20E-03
範囲3	0°	2.05E-03		4.60E-03	
		2.21E-03		1.30E-03	
		2.75E-03		8.80E-03	
		5.31E-03		1.00E-03	1.30E-03
		2.08E-03		5.00E-04	2.20E-03
		2.08E-03		3.50E-03	1.00E-03
範囲1	180°	2.08E-03		1.80E-03	
		2.08E-03		7.00E-04	2.80E-03
範囲1	左半周		3.2E-02		6.4E-02
					2.80E-03
範囲3	-180°	2.10E-03		6.10E-03	
		4.20E-03		2.50E-03	1.90E-03
範囲3	0°	1.17E-03		1.06E-02	
		2.96E-03		7.00E-04	
範囲2	0°	1.52E-03		3.30E-03	
		1.52E-03		1.00E-04	4.00E-03
合計			3.2E-02		6.4E-02

4.1 アクセスルート構築

4.1.5 追加対応④ 除染作業・AWJ切断作業 -作業手順の見直し(1/3)-

PCV内除染方法		洗浄治具(4.1.4)	AWJ試切断(4.1.2)	検討結果
250A内扉 穿孔+散水	訓練期間	約2週間 合計約5週間※1	約2日間(散水のみ) 合計約2週間※1	<ul style="list-style-type: none"> ・ AWJ試切断の方が範囲3を含む広範囲の除染に適している ・ 作業期間が短く、作業員の被ばく低減にも有効である <p>☞ AWJ試切断による除染と治具による散水を適用</p> <p>※1訓練期間+除染期間+切断期間の合計 ※2ノズル交換期間除く</p>
	除染期間	約2週間	2~4日間(試切断(図4.1.5-5))	
	切断期間	5~7日(試切断追加)	3~5日間(目安)	
350A内扉 穿孔+散水	訓練期間	約1週間 合計約4週間※1	約2日間(散水のみ) 合計約2週間※1	
	除染期間	約2週間	2~4日間(試切断)	
	切断期間	5~7日(試切断追加)※2	3~5日間(目安)※2	
課題	課題	範囲3の除染が困難(図4.1.5-4)	—	
	対策	AWJ試切断追加	—	

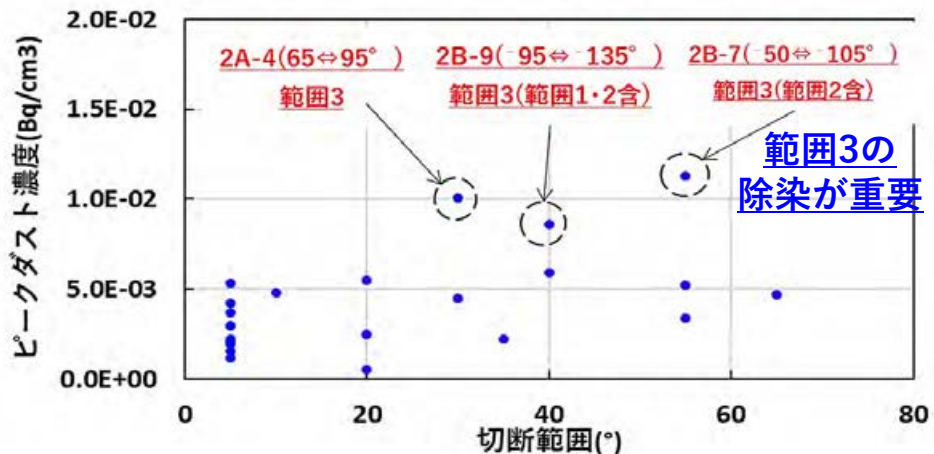


図4.1.5-4 ピークダスト濃度と切断範囲の関係

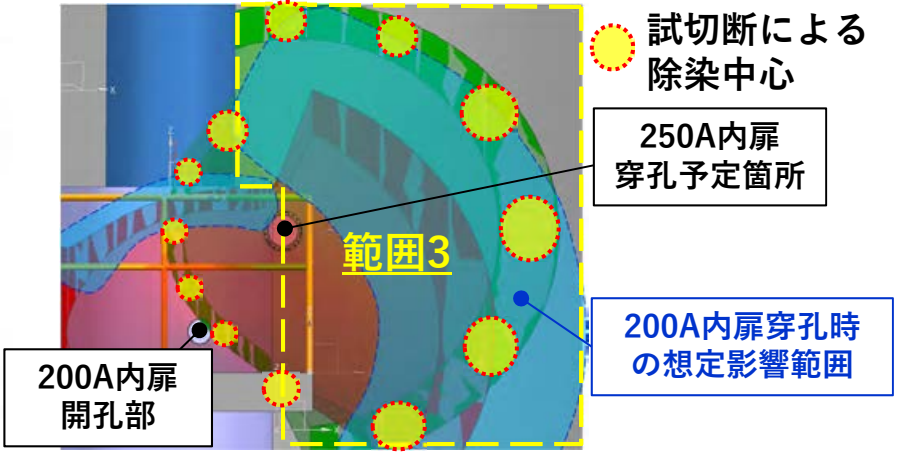


図4.1.5-5 250A内扉穿孔前試切断(除染)計画

4.1 アクセスルート構築

4.1.5 追加対応④ 除染作業・AWJ切断作業 -作業手順の見直し(2/3)-

以下を基本とし、今後のダストデータ等を確認しながら作業手順の具体化・見直しを行う

250A 内扉穿孔	<p>【洗淨】 AWJ試切断によるPCV内除染(12方位)</p> <p>【散水】 試切断・切断時に200A内扉開孔部から治具を挿入し、散水</p> <p>【切断】 4領域の分割切断</p> <p>☞ 200A内扉穿孔時のPCV内除染範囲と散水効果を確認</p>
350A 内扉穿孔	<p>【洗淨】 AWJ試切断によるPCV内除染</p> <p>【散水】 試切断・切断時に250A内扉開孔部から治具を挿入し、散水</p> <p>【切断】 分割切断</p>
手摺 切断※	<p>【洗淨】 ー</p> <p>【散水】 試切断・切断時に250A内扉開孔部から治具を挿入し、散水</p> <p>【切断】 分割切断</p>
グレーチング 切断	<p>【洗淨】 AWJ装置によるグレーチング・グレーチング下の高圧水除染</p> <p>【散水】 試切断・切断時に250A内扉開孔部から治具を挿入し、散水</p> <p>【切断】 分割切断</p>
グレーチング 下切断	<p>【洗淨】 AWJ装置によるグレーチング下の高圧水除染</p> <p>【散水】 試切断・切断時に250A内扉開孔部から治具を挿入し、散水</p> <p>【切断】 分割切断</p>
架台 切断※	<p>【洗淨】 ー</p> <p>【散水】 試切断・切断時に250A内扉開孔部から治具を挿入し、散水</p> <p>【切断】 分割切断</p>

4.1 アクセスルート構築

4.1.5 追加対応④ 除染作業・AWJ切断作業 -作業手順の見直し(3/3)-

【見直し後の手順の課題】

- 1) 試切断の回数、切断の分割数、散水治具の出入れ回数が多いほど作業員の被ばくが増加
 - ・回数、分割数に比例し、エアロック室内作業の作業時間増加
 - ・ノズル寿命(累積切断時間180分)を超えた場合、AWJノズル交換の作業時間(9日間)追加
 - ・カメラ寿命(PCV内滞在3～5日間)を超えた場合：内部カメラ交換の作業時間(9日間)追加
- 2) 作業員の被ばく低減のために運用値内の上限で試切断・切断を計画した場合、万が一、実績より高いダスト上昇が発生すると、運用値を超え作業中断が発生する

【対策】

- 1) ノズル寿命※1内で効率よく分割切断する切断計画の採用・切断ラップ量の低減
- 2) カメラ寿命※2内でのAWJ装置のPCV内挿入から切断開始まで休日を挟まない作業工程の採用
- 3) 上記で対応できない場合は
 - ・PCV内ダスト濃度の運用値の引上げ(東電HD殿実施)
 - ・作業員の更なる追加※3

※1 ノズルの長寿命化は開発期間(試作・検証) 1年以上、装置の改造と切断性能が異なる場合はモックアップ試験と訓練のやり直しに約2年間の期間が必要と想定されるため、実施しないことにした

※2 耐放射線性カメラへの変更は装置の改造に約半年間と視認性が異なる場合はモックアップ試験と訓練のやり直しに1年以上の期間が必要と想定され、しかもノズルの長寿命化とセットで対応しないと効果が薄れるため、実施しないことにした

※3 作業員を追加した場合、作業訓練のための期間が追加される

4. 実施内容

4.2 PCV内部詳細調査

アクセスルート構築現場実証の工程変更に伴い、現場実証を別事業※で実施することとし、以下の目的としたモックアップ試験を実施した

- ・ ペデスタル内へのアクセス可否条件の拡充（データ拡充）
- ・ ROV故障時のケーブル切断（データ拡充）
- ・ ケーブル送り装置の最適化（経時的な影響を考慮した予備的な改造）
- ・ 3Dマッピングセンサの漏水対策（不調事象対応の結果報告）

①モックアップ試験(組み合わせ試験含む)

- ・ モックアップ試験(組み合わせ試験含む)の計画（報告済(平成30年度中間報告)）
- ・ モックアップ試験設備（報告済(平成30年度中間報告)）
- ・ モックアップ試験(組み合わせ試験含む)の試験結果（報告済(令和元年度中間報告)）
- ・ 想定リスクへの対応の試験結果（報告済(令和元年度中間報告)）

②モックアップ試験(データ拡充、経時的影響を考慮した予備的な改造他)

③作業訓練

- ・ 作業訓練の計画（報告済(令和元年度中間報告)）
- ・ 作業訓練

④現場実証

- ・ 現場実証の計画
- ・ 現場実証※

青記：本報告の内容

※ 平成30年度補正予算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）で実施

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.1 モックアップ試験(データ拡充) –ペデスタル内へのアクセス可否条件の拡充(1/4)–

1) 試験内容

下表の条件でROV-A2(詳細目視用)をモックアップ試験設備のペデスタル内部にアクセスさせ、ペデスタル内部へのアクセスのために重要な北回りと南回りルートของガイドリング取付位置を検討

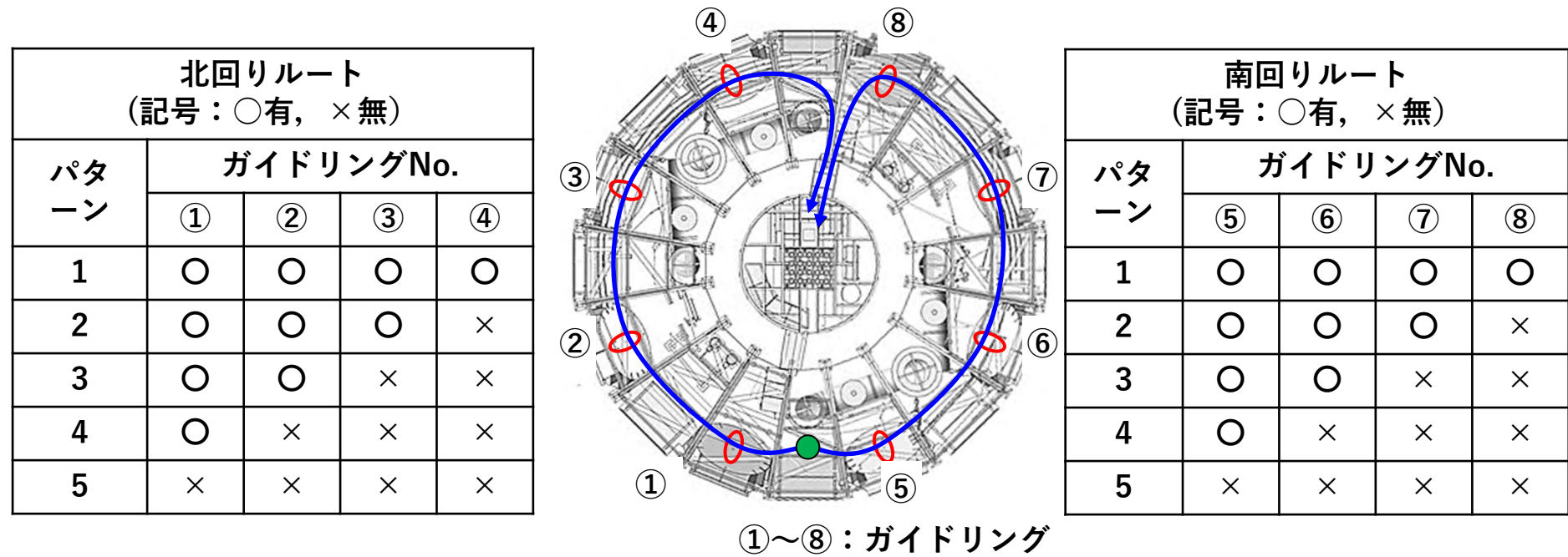


表4.2.1-1 ガイドリング取付パターン

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.1 モックアップ試験(データ拡充) -ペデスタル内へのアクセス可否条件の拡充(2/4)-

2) 試験結果1(北回りルート)

- 試験設備では北回りルートの全てのパターンでペデスタル内部にアクセスできた
- ガイドリングの取付位置でケーブルの干渉状況が大きく異なり, ガイドリング②の取付失敗の場合, ペデスタル内アクセスへの影響が最も大きいと推定

Case-1:ガイドリング①の取付が失敗した場合	Case-2:ガイドリング②の取付が失敗した場合	Case-3:ガイドリング③の取付が失敗した場合	Case-4:ガイドリング④の取付が失敗した場合
<p>干渉物への引っかかりと摩擦抵抗増大のリスクはなく, <u>ペデスタル内アクセスへの影響はない</u></p>	<p>干渉物への引っかかりのリスクが大きく, <u>ペデスタル内アクセスへの影響が最も大きい</u></p>	<p>干渉物への引っかかりリスクがあるが, <u>ペデスタル内アクセスへの影響はCase-2より小さい</u></p>	<p>PLR配管との接触による摩擦抵抗増大のリスクはあるが, <u>ペデスタル内アクセスへの影響は小さい</u></p>

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.1 モックアップ試験(データ拡充) -ペデスタル内へのアクセス可否条件の拡充(3/4)-

3) 試験結果2(南回りルート)

- 試験設備では南回りルートの全てのパターンでペデスタル内部にアクセスできた
- ガイドリング取付位置でケーブルの干渉状況が大きく異なり、ガイドリング⑦の取付失敗の場合、ペデスタル内アクセスへの影響が最も大きいと評価

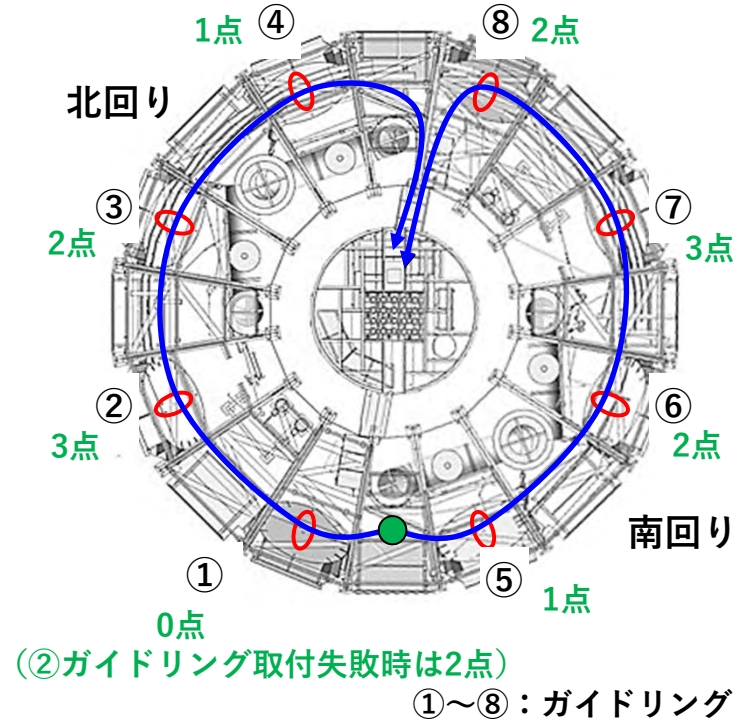
Case-1:ガイドリング⑤の取付が失敗した場合	Case-2:ガイドリング⑥の取付が失敗した場合	Case-3:ガイドリング⑦の取付が失敗した場合	Case-4:ガイドリング⑧の取付が失敗した場合
<p>PLR配管との接触による摩擦抵抗増大のリスクはあるが、<u>ペデスタル内アクセスへの影響は小さい</u></p>	<p>PLR配管との接触による摩擦抵抗増大リスクと干渉物への引っかかりリスクがあるが、<u>Case-3よりペデスタル内アクセスへの影響が小さい</u></p>	<p>干渉物との引っかかりリスクが大きく、<u>ペデスタル内アクセスへの影響が最も大きい</u></p>	<p>干渉物との引っかかりリスクは小さく、<u>ペデスタル内アクセスへの影響は小さい</u></p>

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.1 モックアップ試験(データ拡充) -ペデスタル内へのアクセス可否条件の拡充(4/4)-

4) まとめ

- 難度(評価点4点以上; 「低」と「中」)は相対的に干渉リスクが小さく、ペデスタル内部にアクセスできる可能性が高い
- 現場実証ではガイドリングの全数取付を目指す
- 万が一、ガイドリングが何らかの理由で取付けられない場合、難度が4点以上(低、中)となるパターンを目指してガイドリングを取り付ける



パターン 取付数	北回り	①	②	③	④	難度(点数※)	
	南回り	⑤	⑥	⑦	⑧	北回り	南回り
4個	4	○	○	○	○	低(6)	低(8)
3個	3-1	×	○	○	○	低(6)	低(7)
	3-2	○	×	○	○	低(5)	低(6)
	3-3	○	○	×	○	中(4)	低(5)
	3-4	○	○	○	×	低(5)	低(6)
2個	2-1	×	×	○	○	高(3)	低(5)
	2-2	×	○	×	○	中(4)	中(4)
	2-3	×	○	○	×	低(5)	低(5)
	2-4	○	×	×	○	高(3)	高(3)
	2-5	○	×	○	×	中(4)	中(4)
	2-6	○	○	×	×	高(3)	高(3)
1個	1-1	○	×	×	×	高(2)	高(1)
	1-2	×	○	×	×	高(3)	高(2)
	1-3	×	×	○	×	高(2)	高(3)
	1-4	×	×	×	○	高(1)	高(2)
0個	0	×	×	×	×	高(0)	高(0)

※取付の重要性に点数(1~3点)を割当てペデスタル内アクセスの難度を評価

4.2 PCV内部詳細調査

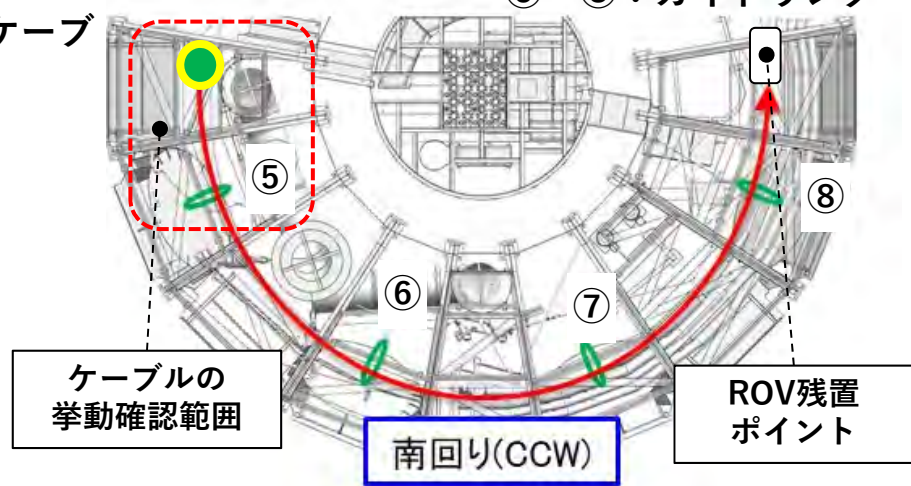
4.2.1 モックアップ試験(データ拡充) -ROV故障時のケーブル切断試験-

ROVが帰還不可となった場合を想定し、ROVケーブルを陸上側で切断し、ケーブルをPCV内に残置した状態で後続調査への影響を確認(ケーブル切断のためモックアップ試験の最後に実施)

1) 試験内容

ガイドリング4つ通過後のROVのケーブルを切断し、残置ケーブル(ポリウレタン・ポリ塩化ビニル)の沈み具合を確認

⑤~⑧: ガイドリング



2) 試験結果

約1週間(7日後)でガイドリング⑤までのケーブルが水没

☞ 後続調査のROVの地下階搬入への影響はなく、残置ケーブルのない半周と残置ケーブルのあるジェットデフ1つまでの範囲の後続調査は可能

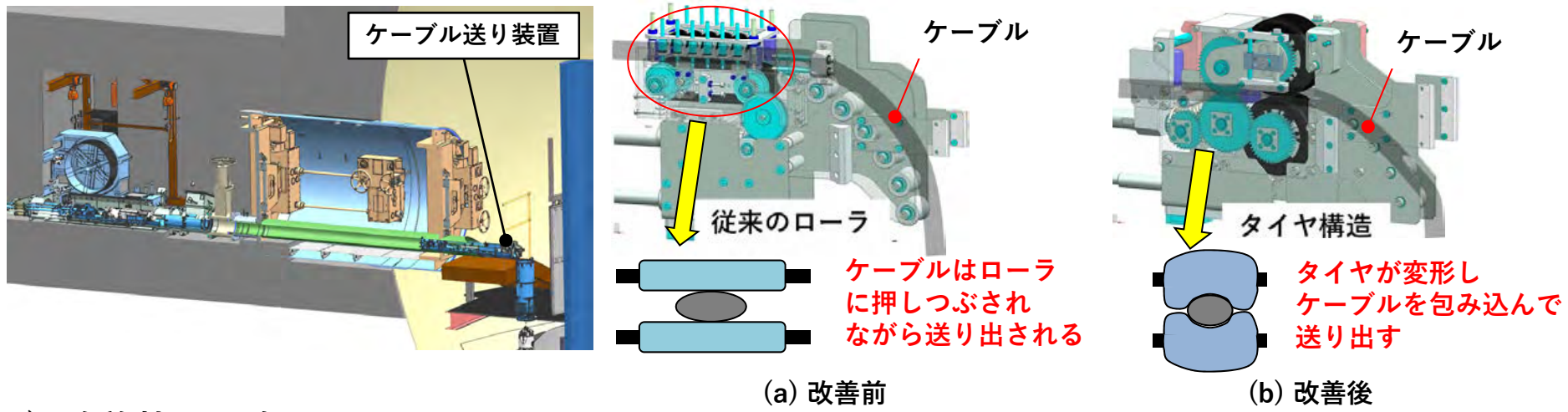
<p>ポリウレタン (ROV-A)</p>	<p>切断直後</p>	<p>3日後</p> <p>水没長さ約1m</p>	<p>7日後</p> <p>⑤まで水没 (水没長さ約9m)</p>
<p>ポリ塩化ビニル (ROV-A2)</p>	<p>切断直後</p>	<p>3日後</p> <p>水没長さ約4m</p>	<p>7日後</p> <p>⑥付近まで水没 (水没長さ約16m)</p>

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.1 モックアップ試験(経時的な影響を考慮した予備的改造)ーケーブル送り装置の最適化ー

ケーブル送り装置のローラはケーブルと同等以上の硬さがある。モックアップ試験では実機に比べ長時間にわたって試験を実施しており、ケーブルが扁平し、ローラとケーブル間の摩擦が低下して滑りが発生した(運用には大きな影響はなし)。そのためケーブルを扁平させないローラ構造、形状、材質を再検討し、念のため改造・確認を実施した。

1) ケーブル送り装置の送り機構の改善



2) 改善効果の確認

- タイヤ構造のケーブル送り力を測定し、従来のローラのケーブル送り力(平均10kgf (=98N))と大きな差はないことを確認
- 試験後ケーブルにローラ適用時のような扁平が発生していないことを確認

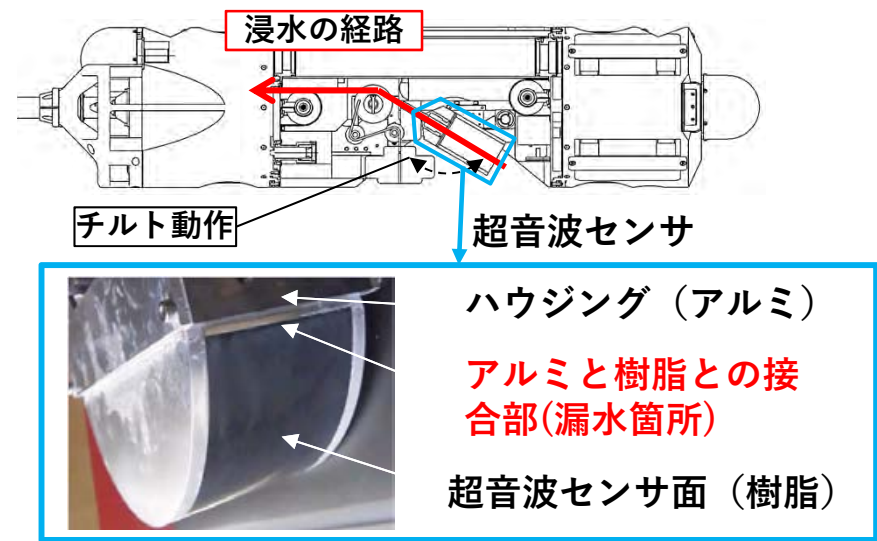
種類	ケーブル	平均ケーブル送り力(牽引力)
タイヤ構造	ROV-Aケーブル (PUR φ23.8)	9.4kgf (=92.1N)
	ROV-A 2ケーブル (PVC φ21.6)	9.9kgf (=97.0N)
	ROV-Bケーブル (PUR φ23.8)	13.6kgf (=133.2N)
参考 ローラ構造	-	平均10kgf (=98N)

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.1 モックアップ試験(不具合事象対応の結果報告) -3Dマッピングセンサの漏水対策-

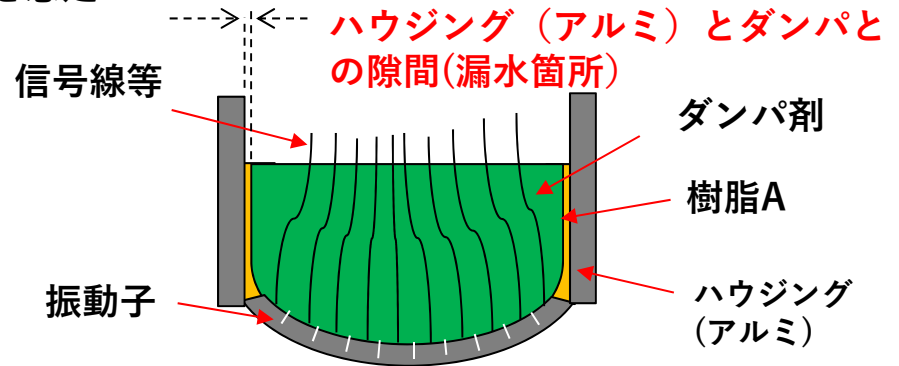
1) 不具合事象

ROV-Bのモックアップ試験中に3Dマッピング用超音波センサのアルミと樹脂との接合部からUTケーブルを通じてROV本体に漏水する事象が発生

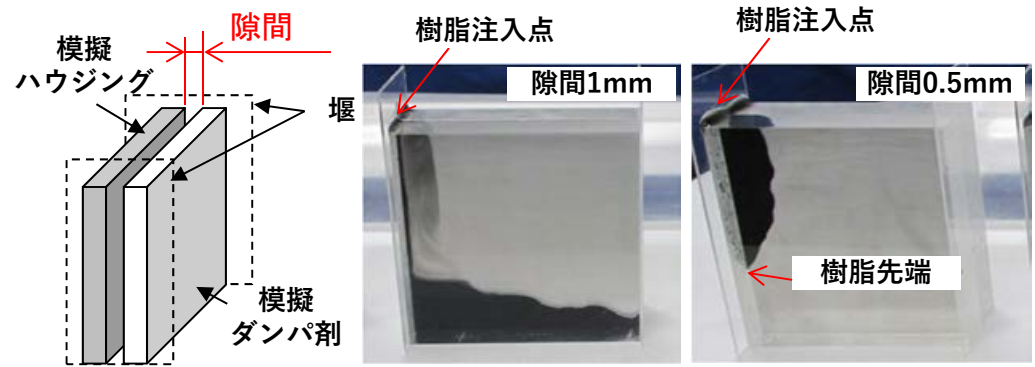


2) 原因検討

製造メーカーへのヒアリングにより、ハウジングとダンパの隙間が設計上1mmより小さい0.5mmで製作される場合があることが判明し、隙間に樹脂Aが充填されない可能性を想定



隙間0.5/1.0mmの模擬ハウジング・ダンパ剤に樹脂Aを注入し、その挙動を再現。隙間1mmでは樹脂Aを完全に充填でき、0.5mmでは完全に充填できないことを確認



3) 対策

センサ製作時の隙間1mmの確保
☞ 構造 (テーパ追加など) と樹脂注入手順を見直し・改善

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.2 作業訓練

アクセスルート構築現場実証の工程変更に伴い、現場実証を別事業で実施することとしたが、作業訓練については計画通り実施した

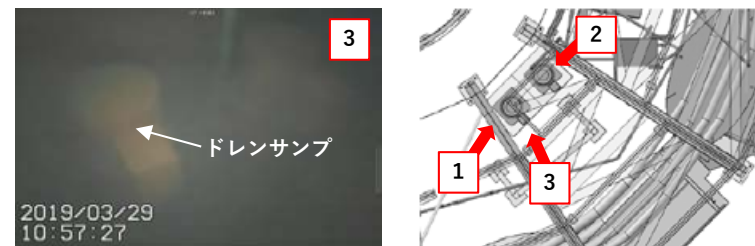
(1) ROV-A：ガイドリング射出に係るトレーニング

- ・ ROV-A本体にガイドリングを取り付ける作業
- ・ ROV-Aのガイドリング取付に係る一連の作業



(2) ROV-A2：詳細目視調査トレーニング

ROV-A2の姿勢変更は推進スラストのみで行うため操作のトレーニングを実施した



ROV-A2の詳細目視調査トレーニング映像

(3) ROV-B～E

測定装置の結線作業及び取り扱いトレーニングを実施した。

(4) 準備作業：門型クレーン組み立て

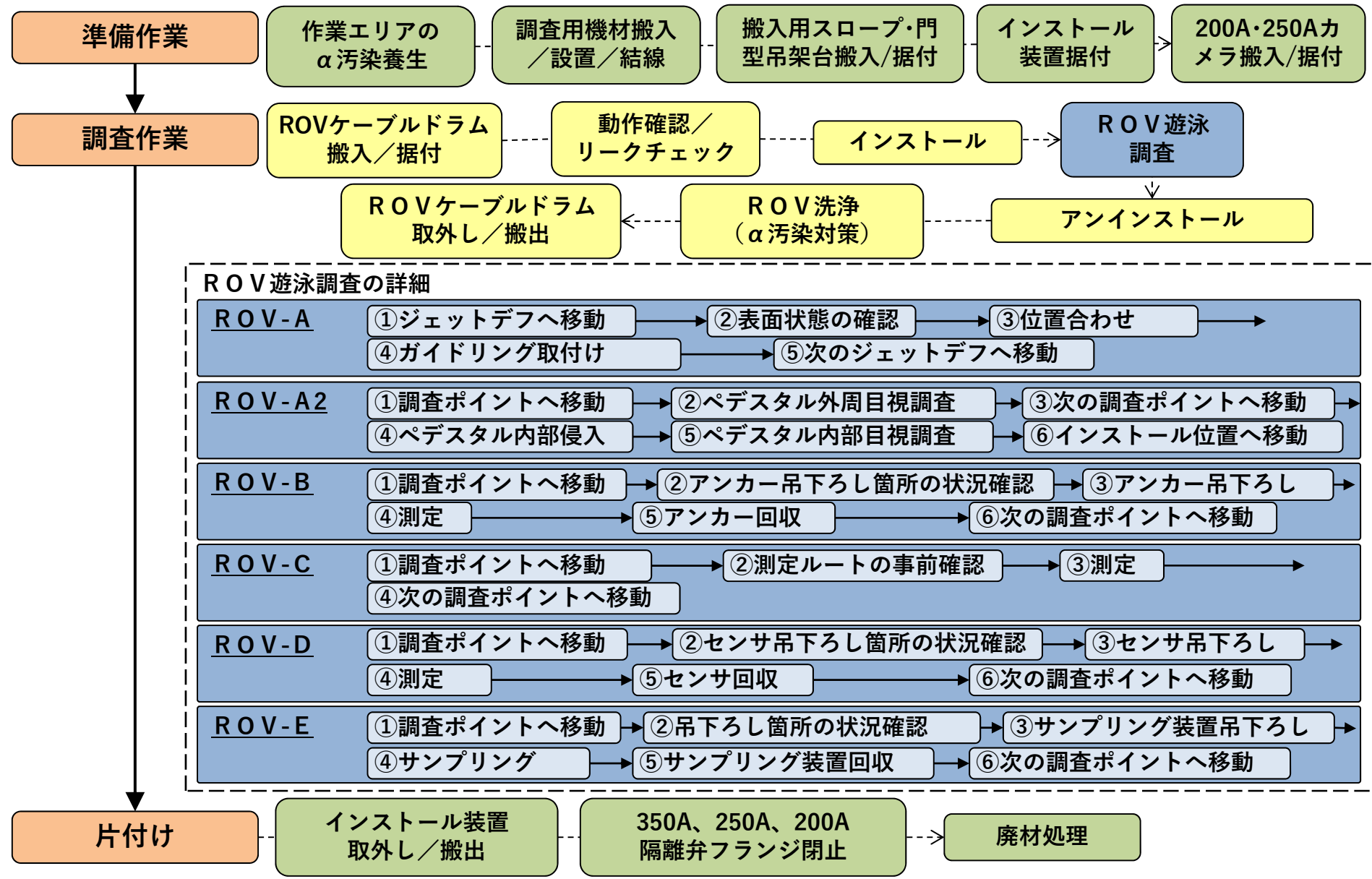
ROVケーブルドラムを楊重するための門型クレーンの各パーツは大型で重く、取り扱いに注意が必要であるため、組み立てトレーニングを実施した



門型クレーン組立トレーニングの様子

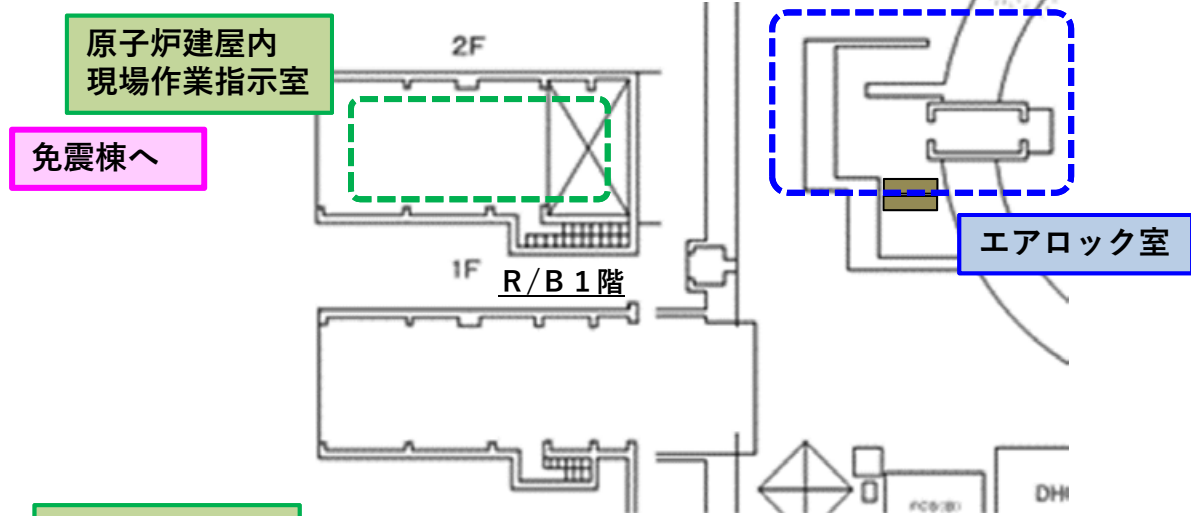
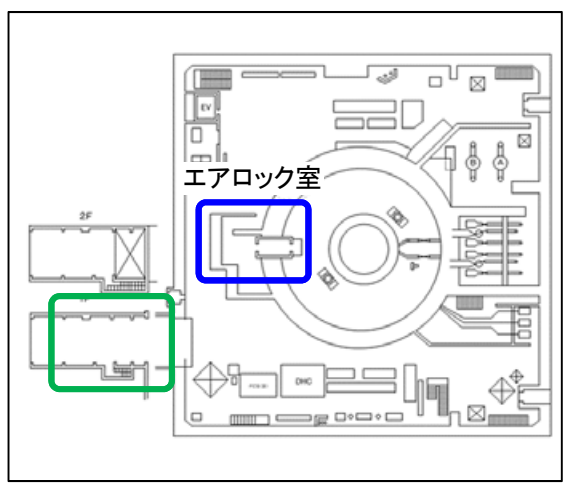
4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 作業フロー -



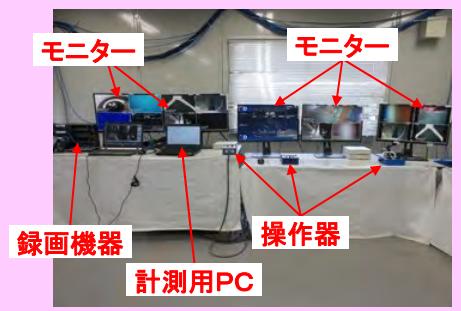
4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 全体配置図 -



免震棟 遠隔操作室

ROVの遠隔操作を行う。
ROV操作器、モニター、計測用PC録画機器を配置。大物搬入口2階と光ケーブルで接続。



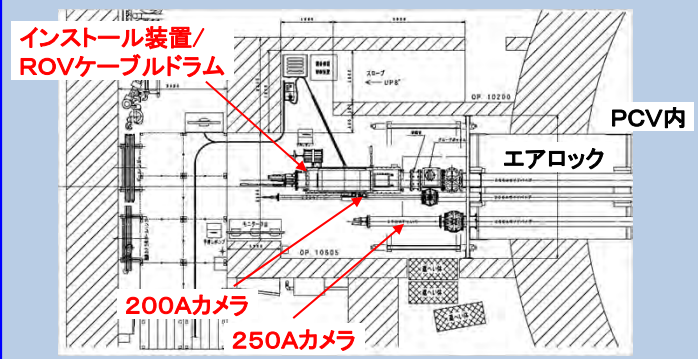
原子炉建屋内 現場作業指示室

インストール作業等の現場作業の監視、指示を行う。
作業用モニター、録画機器、通信機器等を配置



エアロック室

インストール装置、ROVケーブルドラム、制御機器を配置し、インストール作業を行いPCV内にROVを挿入する。



4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 – 準備作業(1/3) –

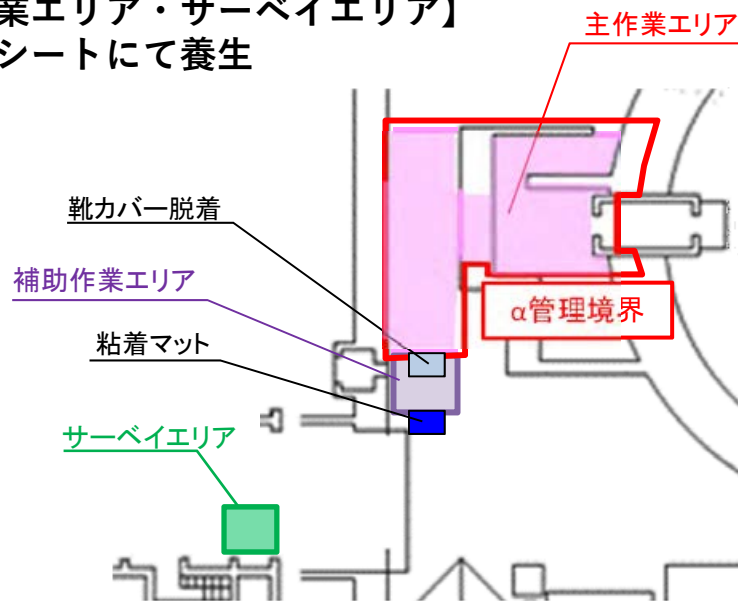
作業エリアα汚染養生

【主作業エリア(α汚染境界)】

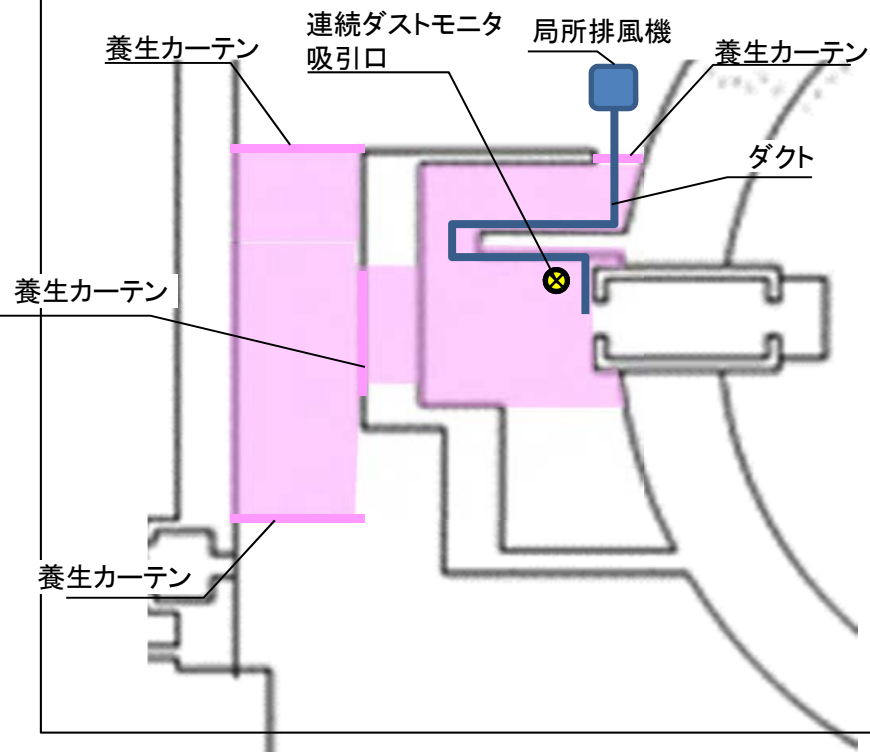
- ・床・壁・天井部をシートにて養生しハウス化
- ・HEPAフィルタ付局所排風機設置

【補助作業エリア・サーベイエリア】

- ・床面をシートにて養生



主作業エリア詳細



- ・ 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

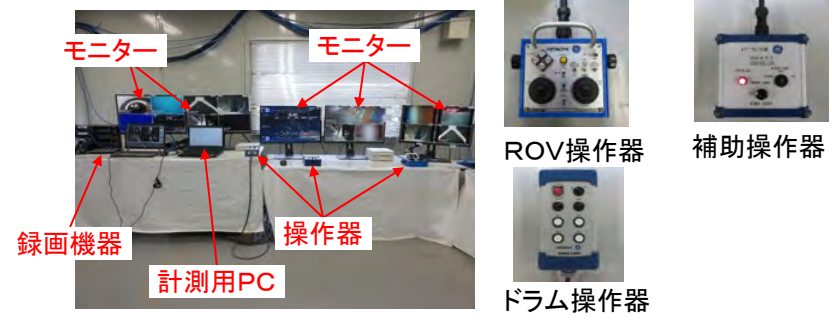
4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 -準備作業(2/3)-

調査用機材
搬入/設置/結線

搬入用スロープ/
門型クレーン据付

(1) 免震棟(遠隔操作室)への機材配置



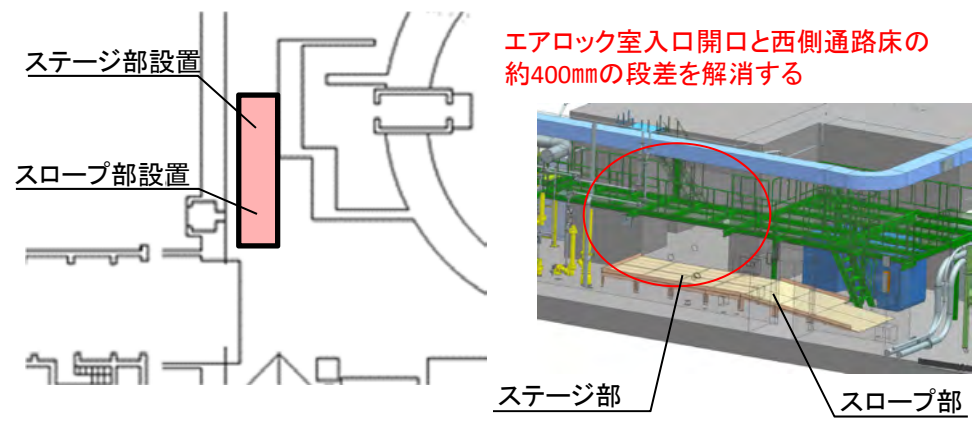
(2) 指示室への機材配置



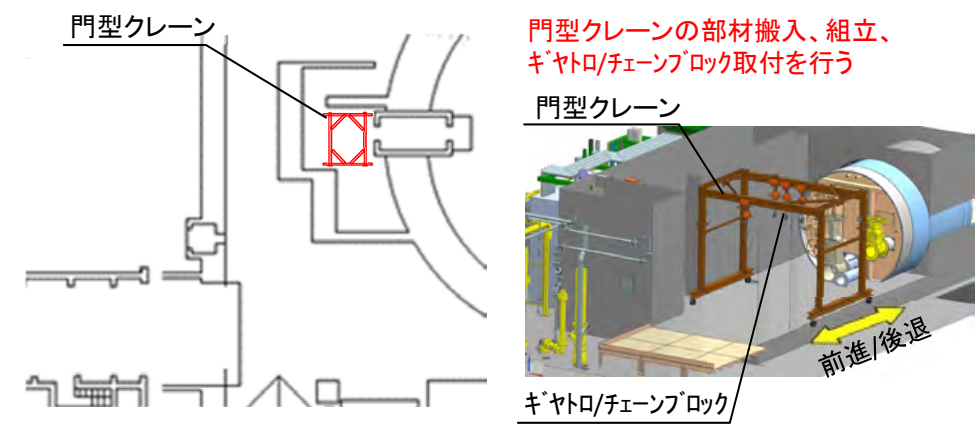
(3) エアロック室(作業エリア)への機材配置



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クレーン設置

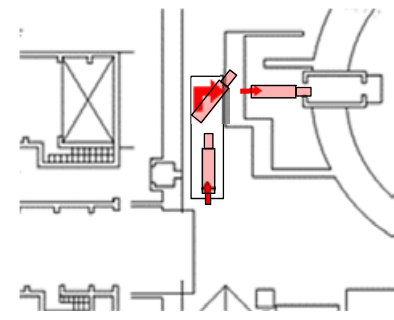


4.2 PCV内部詳細調査

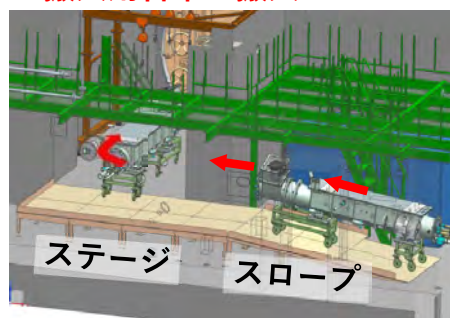
4.2.3 現場実証の計画 -準備作業(3/3)-

インストール装置
搬入/据付

インストール装置をエアロック室への搬入



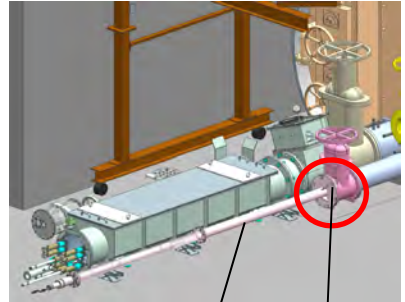
搬入用台車で搬入



200 A、250 A カメラ
搬入/据付

屈曲カメラ用チャンバの搬入・200A隔離弁への取付け

200A隔離弁フランジに取付



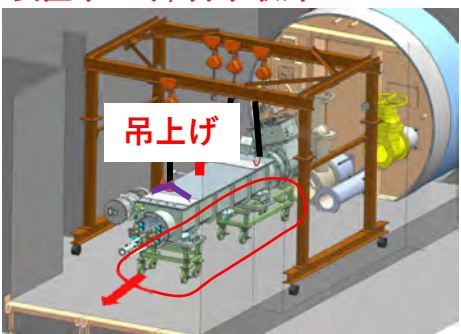
屈曲カメラ使用状況



屈曲カメラ用チャンバ 200A隔離弁

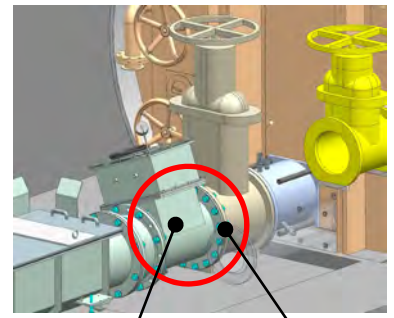
350A隔離弁フランジにインストール装置を取り付け

装置吊上げ/台車取外し



台車取外し/搬出

350A隔離弁フランジに取付



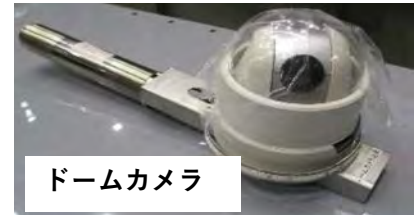
インストール装置 350A隔離弁フランジ

照明カメラ/ドームカメラチャンバの搬入・250A隔離弁への取付け

250A隔離弁フランジに取付



屈曲カメラ・ドームカメラ用チャンバ 250A隔離弁

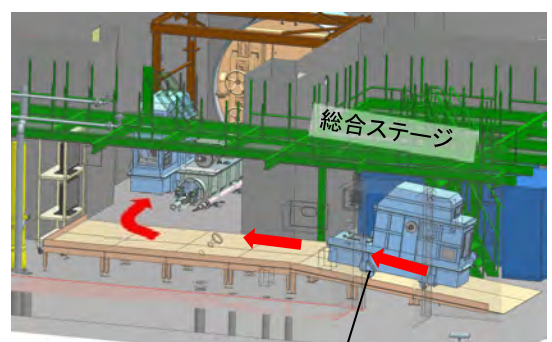
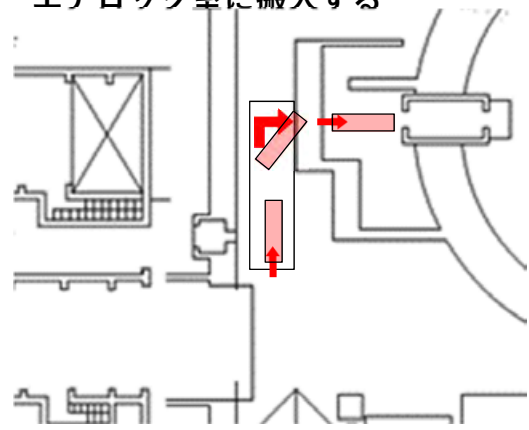


4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 -調査作業(1/2)-

ROVケーブルドラム搬入

ROVケーブルドラムをエアロック室に搬入する



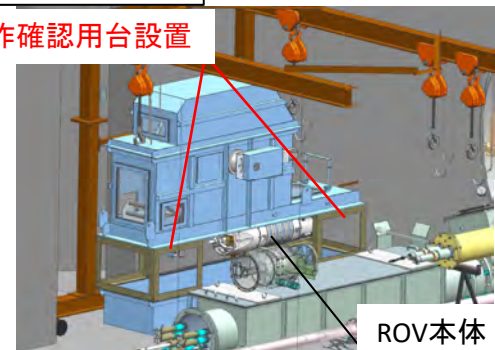
ケーブルドラム台車

動作確認

動作確認用台にケーブルドラムを設置し、カメラを配置して動作確認を行う

動作確認用台設置

動作確認用台設置



ROV本体

動作確認用カメラ設置

カメラ配置



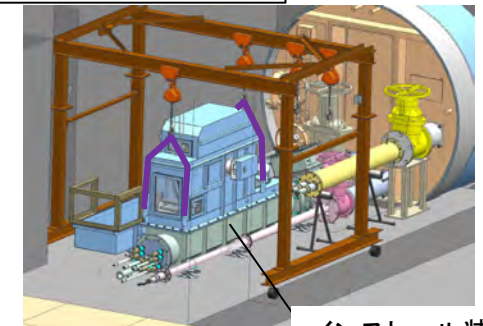
カメラ映像例



ROVケーブルドラム取付/リークチェック

ROVケーブルドラムインストール装置に取付け、リークチェックを行う

ROVケーブルドラム取付

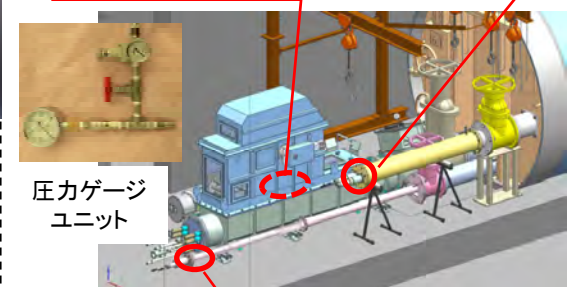


インストール装置

リークチェック

250Aチャンバ
圧力ゲージユニット接続位置

350Aケーブルドラム
圧力ゲージユニット接続位置



圧力ゲージ
ユニット

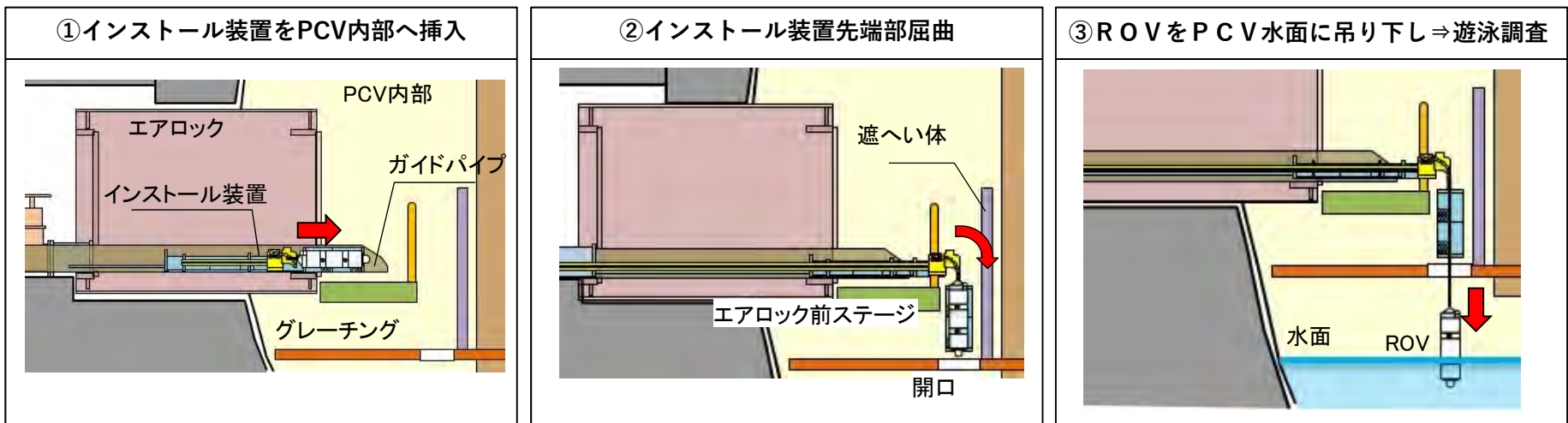
200Aチャンバ
圧力ゲージユニット接続位置

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 -調査作業(2/2)-

インストール

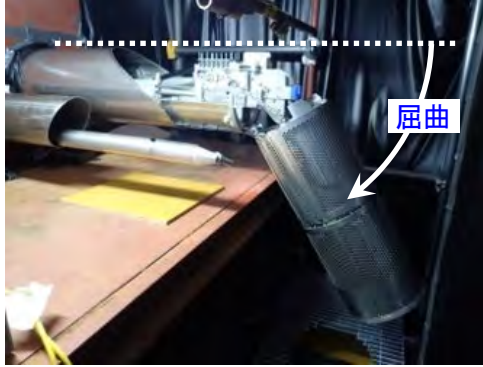
インストール装置に搭載したROVをガイドパイプ先端まで押し込み先端部を屈曲させて、グレーチング開口部からROVをPCV内地下階水面に投入する



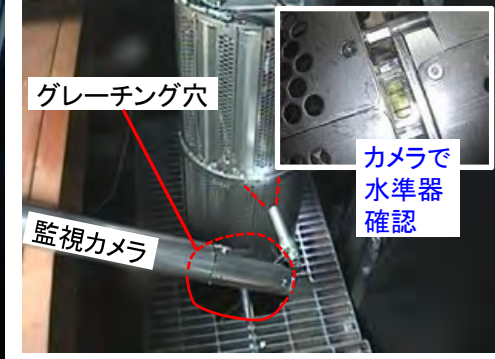
フル装備でのインストール作業状況



先端屈曲作業



グレーチング穴位置合わせ



ROV吊り下ろし

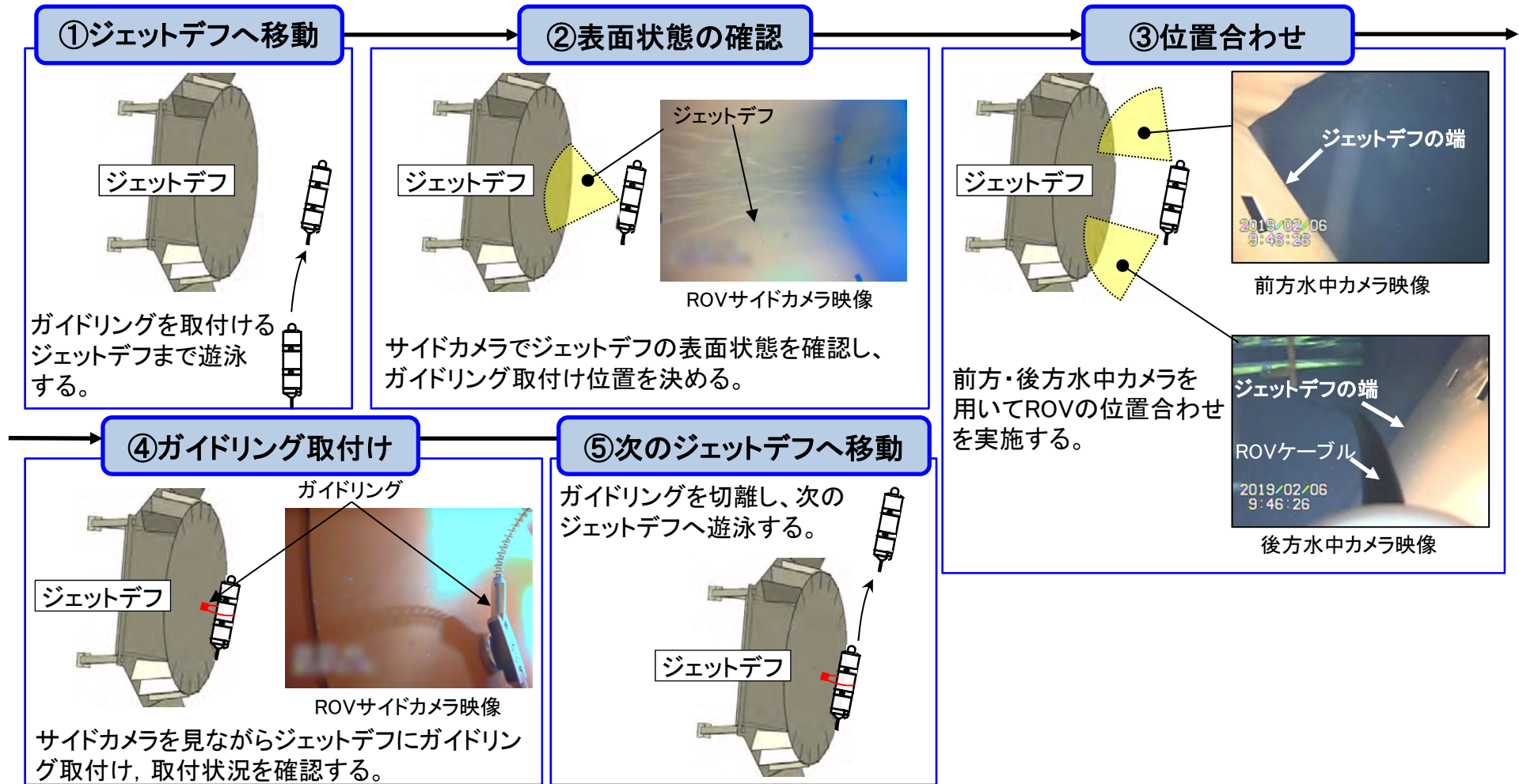


4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(1/12) -

(1) ROV-A 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

a) 操作手順

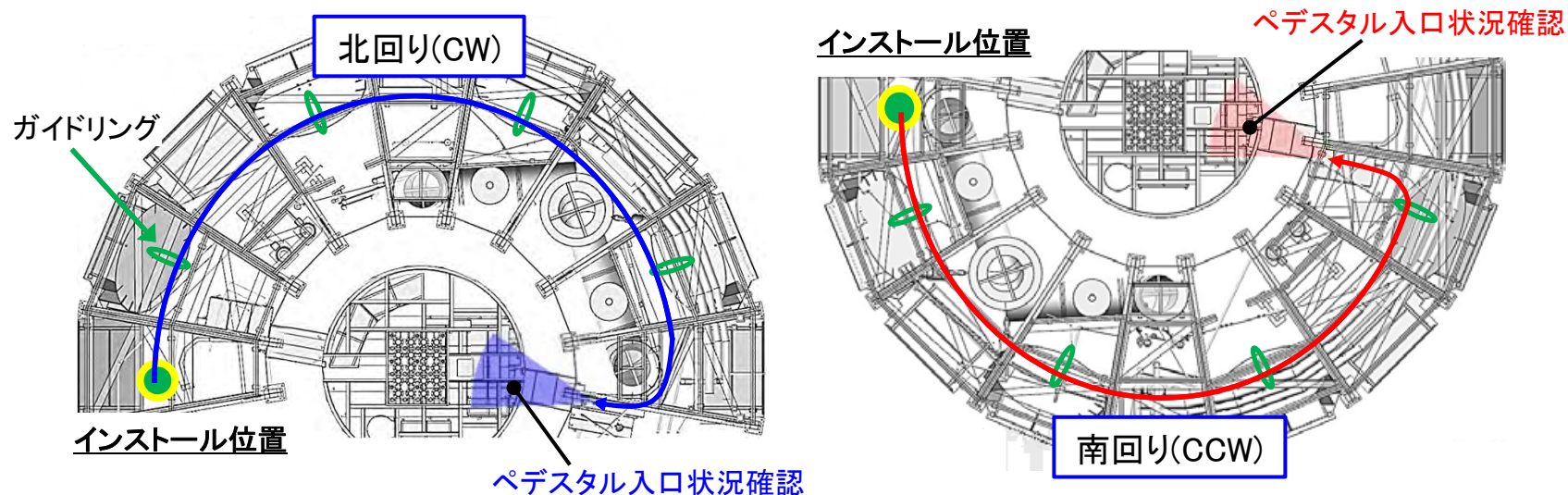


4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 —調査作業 遊泳調査(2/12)—

b) 計画(ROV-A)

- 図面上の干渉物が少ない北回りからガイドリングを取り付ける
- ガイドリング取付はジェットデフ全数を基本とするが、ジェットデフの表面状況などによっては取付け可否を判断する（現場判断）
- ROVは2台使用する（北回り用ROV-A：1日、南回り用ROV-A：1日）
- ガイドリング取付作業に集中するため、積極的な目視調査は実施しない（線量率測定は実施）
- 北回り・南回りそれぞれにおいてROV-A2のペDESTAL内へのアクセス可否検討に資するため、ペDESTAL入口状況を観察する

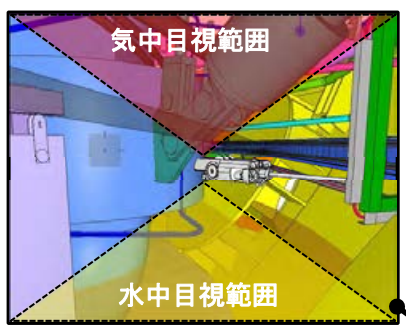
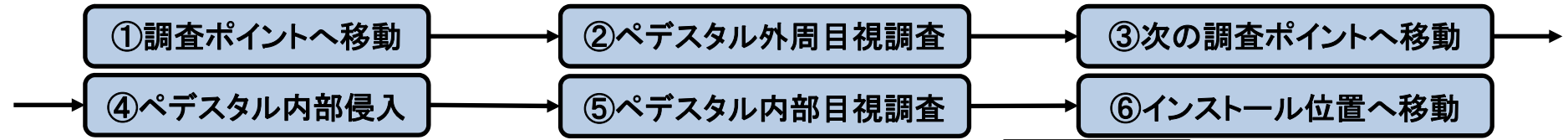


4.2 PCV内部詳細調査

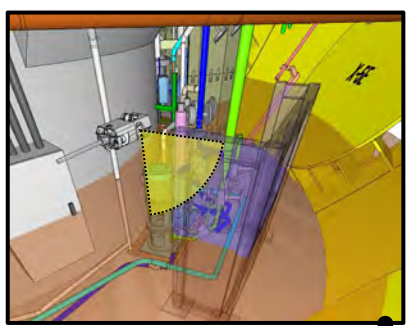
4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(3/12) -

(2) ROV-A2 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

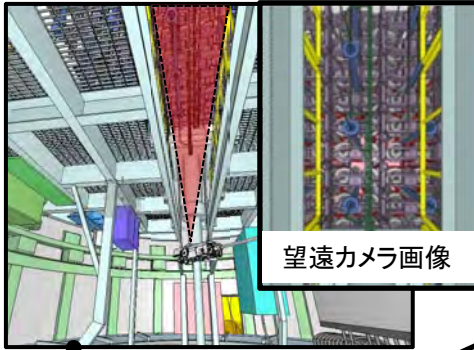
a) 操作手順



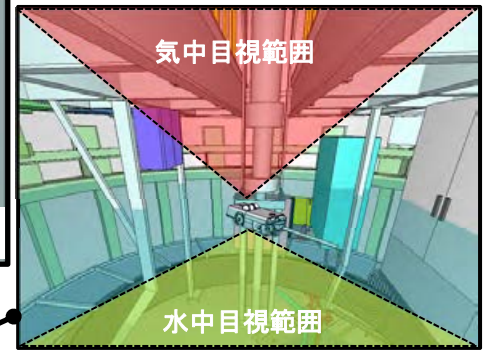
②-1 ペDESTAL外周全体目視調査 (パンチルトカメラ)



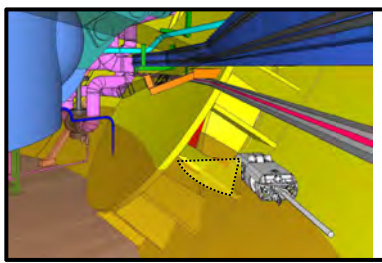
②-2 既設構造物目視調査 (パンチルトカメラ)



⑤-2 GRDハウジング目視調査 (望遠カメラ)



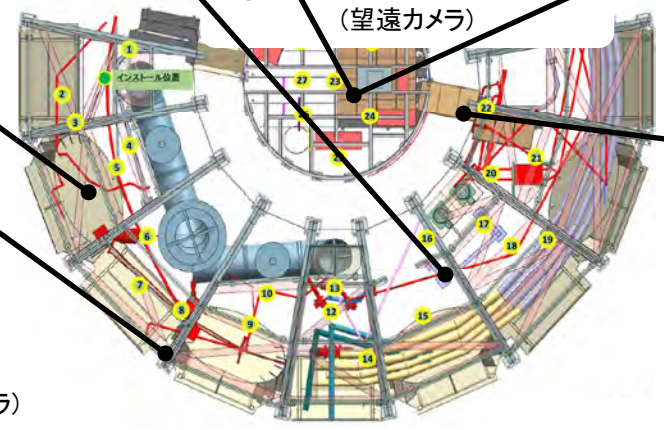
⑤-1 ペDESTAL内部全体目視調査 (パンチルトカメラ)



②-3 堆積物高さ確認 (パンチルトカメラ)



②-4 ベント管への堆積物流出状況確認 (パンチルトカメラ)



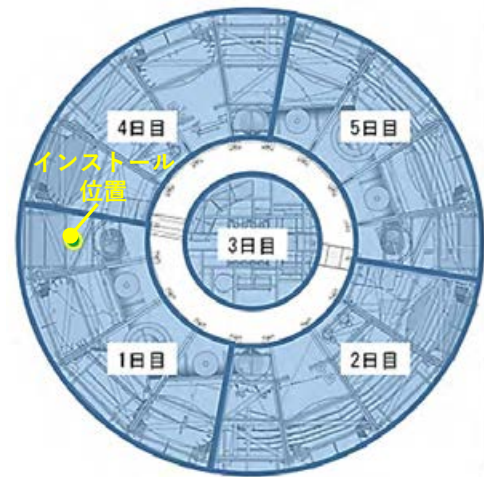
④ ペDESTAL内部侵入

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(4/12) -

b) 計画(ROV-A2)

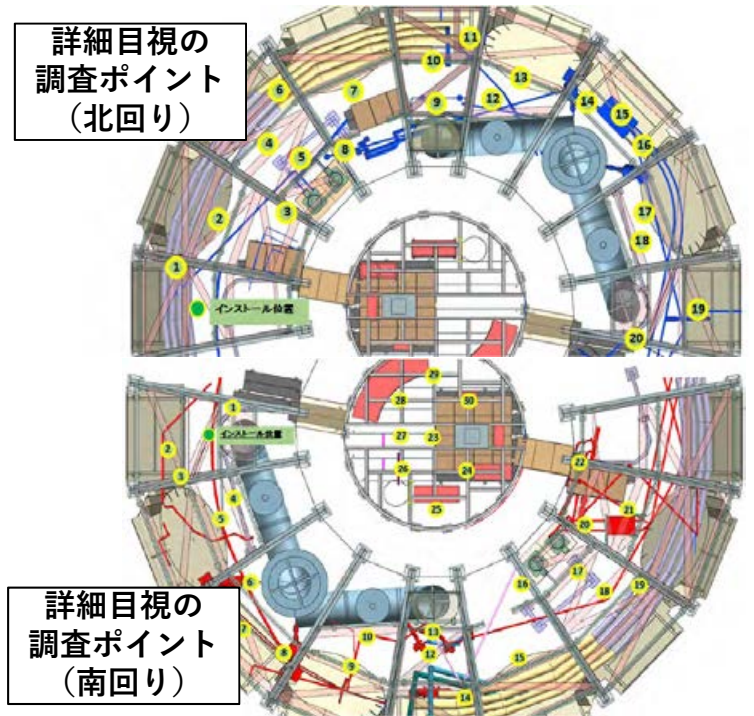
- 南回り（ペデスタル内アクセス含む）→北回りの順番で調査を行うことを基本とする
- 各調査ポイントにて気中・水中全方位又は構造物等の近接撮影とγ線量率測定を行う
- ペデスタル内部へのアクセスはケーブル干渉が少ない南回りを基本とする（ROV-Aの映像から1次判断を行う）
- ペデスタル入口からのペデスタル開口状況とペデスタル開口付近からのペデスタル内部状況の確認を行い、ペデスタル内部へのアクセス可否を判断する



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）
 ・ペデスタル内：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)	514Gy（2日目+調査60+PCV内待機136.5）
4日目 (8時間)	670Gy（3日目+調査52+PCV内待機104）
5日目 (8時間)	734Gy（4日目+調査52+アンインストール12）

※本日程は南ルートからのペデスタル内部侵入を想定したもの

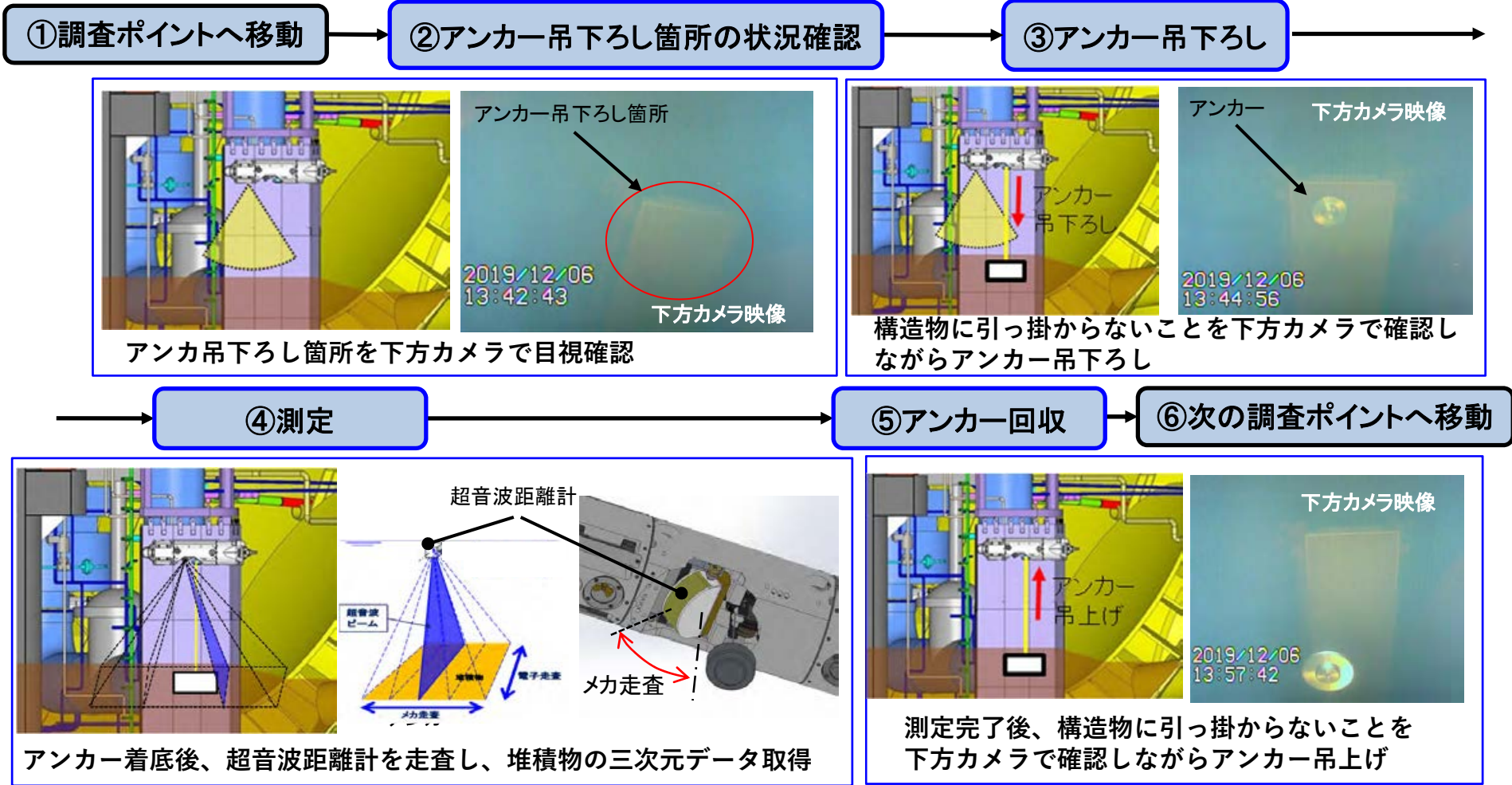


4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(5/12) -

(3) ROV-B 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

a) 操作手順

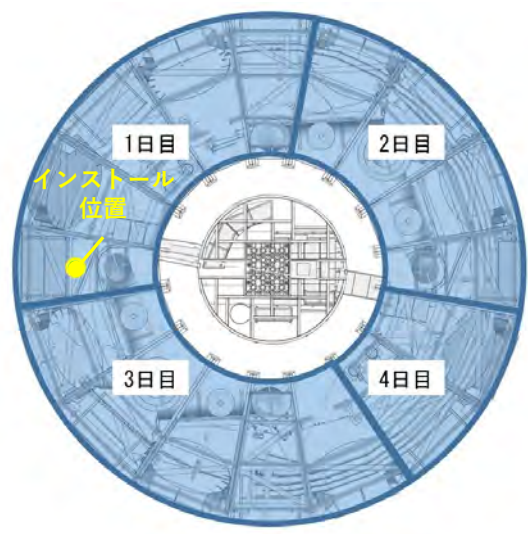


4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(6/12) -

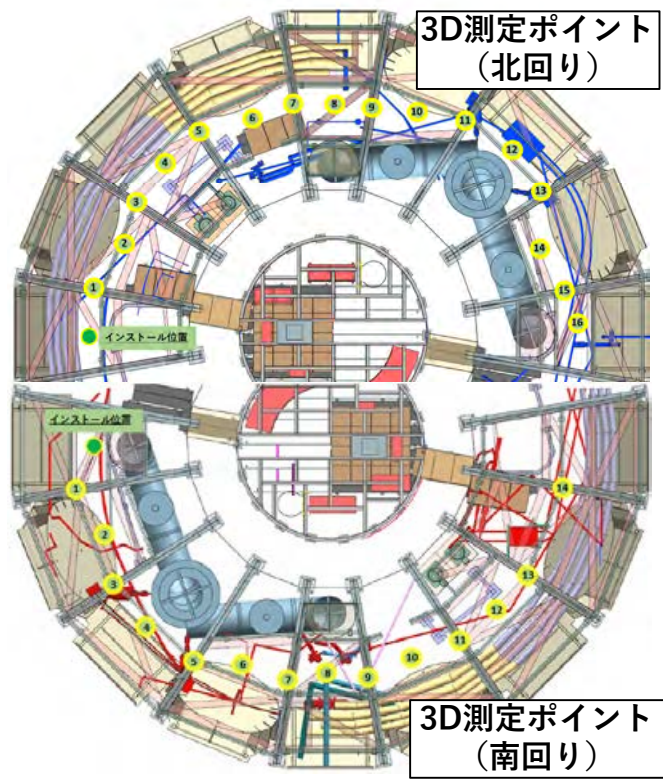
b) 計画(ROV-B)

- 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



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線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



- 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)
 - ペDESTAL内：20Gy/h (推定)

4.2 PCV内部詳細調査

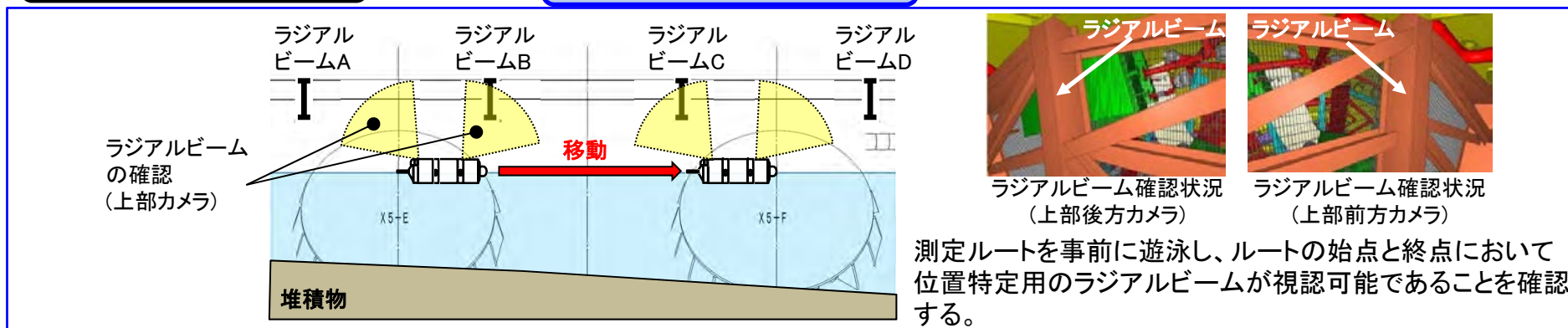
4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(7/12) -

(4) ROV-C 高出力超音波センサによるペDESTAL外周の堆積物厚さ測定とその下の状況確認

a) 操作手順

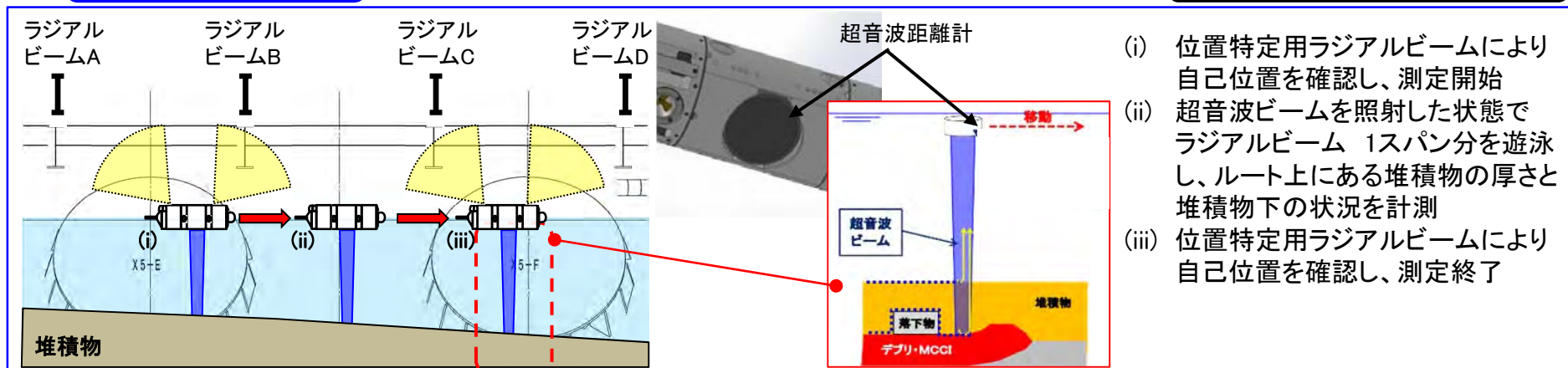
①調査ポイントへ移動

②測定ルート of 事前確認



③測定

④次の調査ポイントへ移動

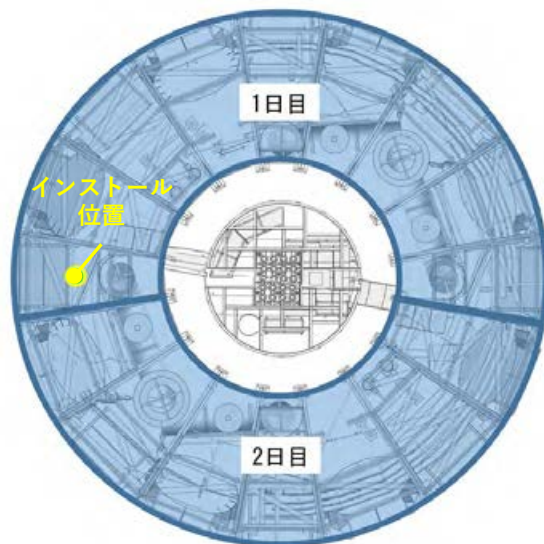


4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 —調査作業 遊泳調査(8/12)—

b) 計画(ROV-C)

- 北回り→南回りの順番で調査を行う
- 原則、周方向の堆積物厚さ測定を行い、堆積物下に燃料デブリ等の床以外の反射源が確認された場合は径方向の調査を追加実施する
- ROV-A2の調査結果によっては測定ルートを見直す場合がある

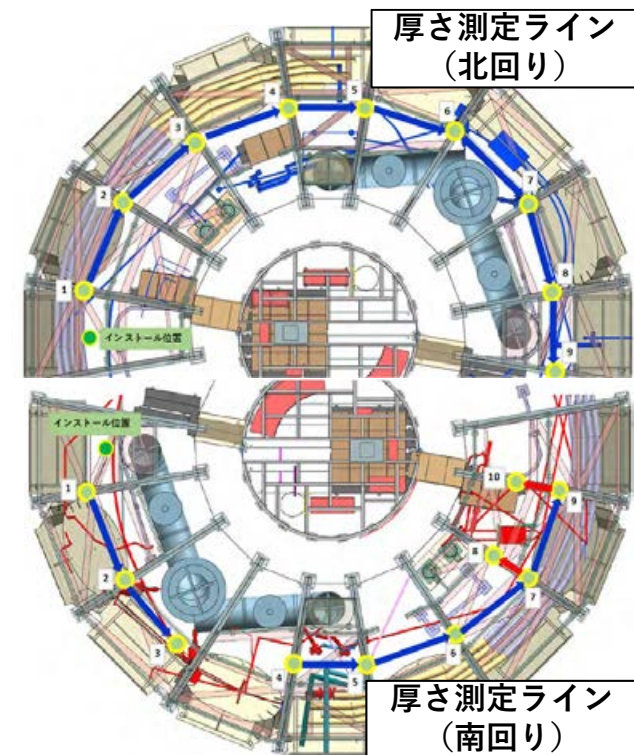


仮定

- 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)
- ペDESTAL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)

※ROVの遊泳に必要な耐放射線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

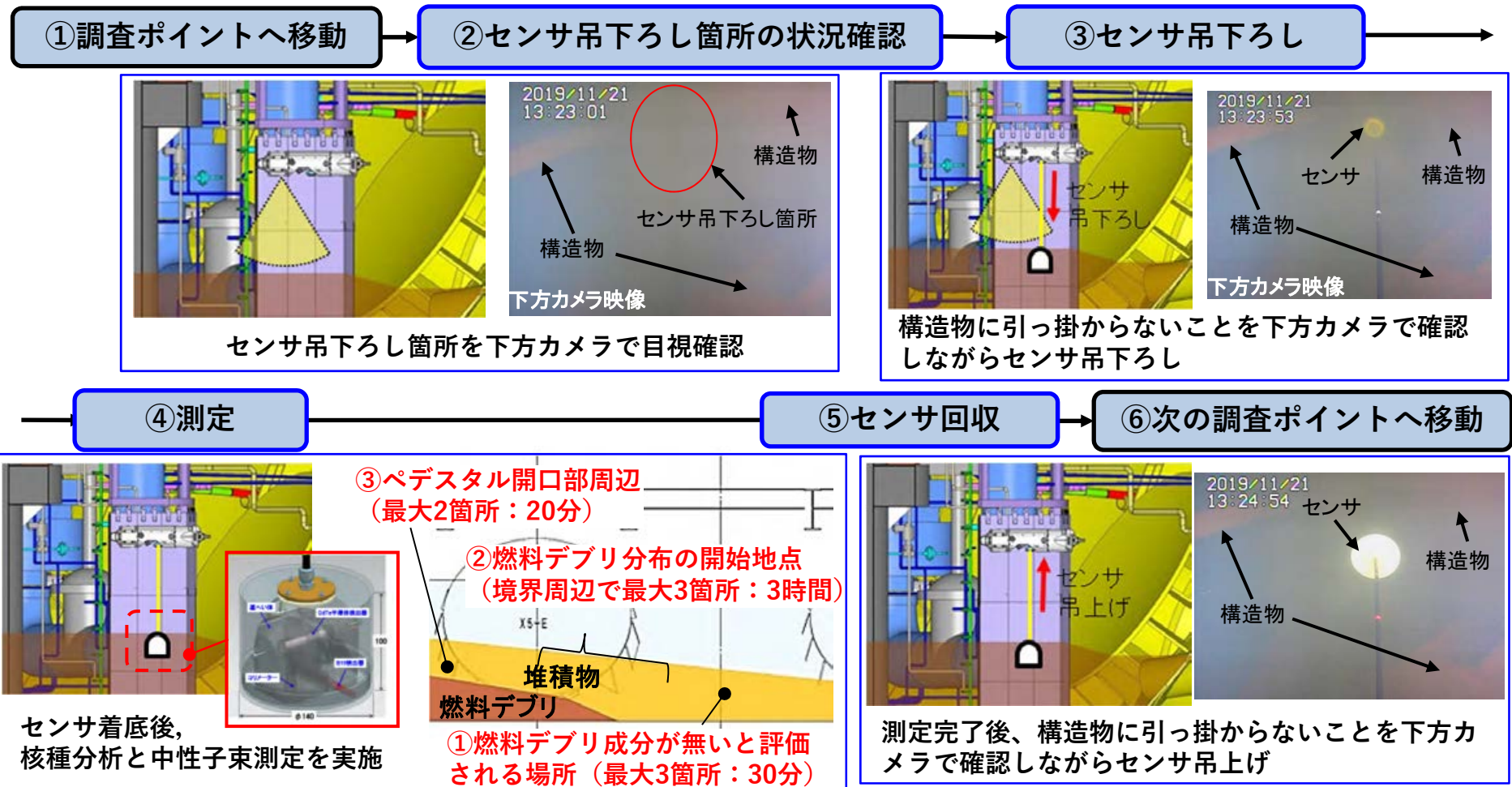


4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(9/12) -

(5) ROV-D 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)

a) 操作手順

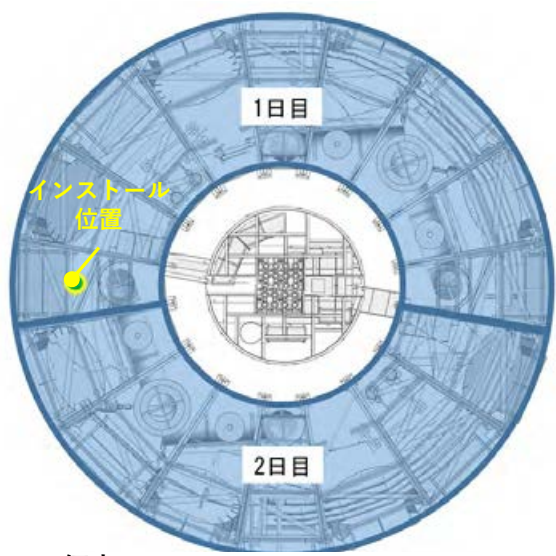


4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(10/12) -

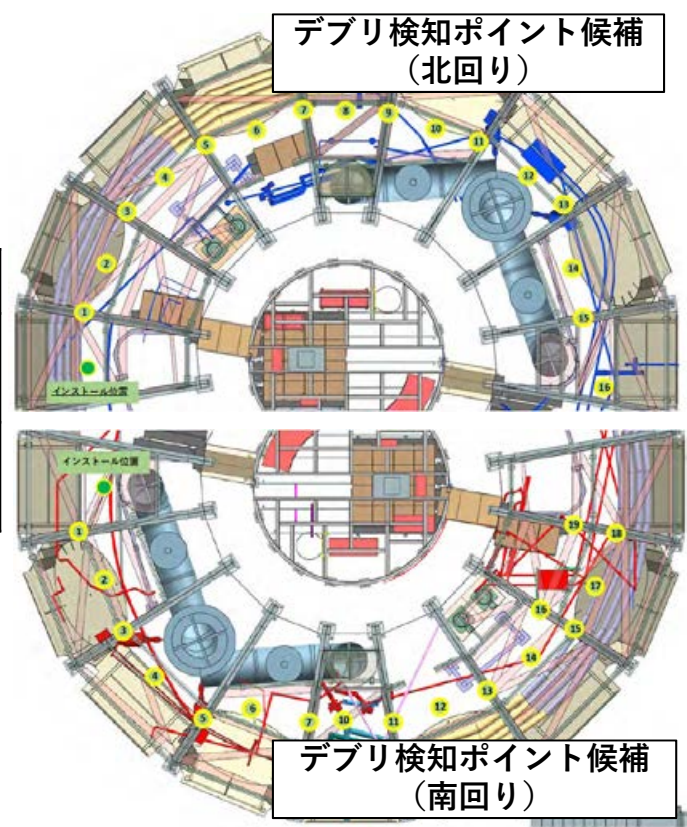
b) 計画(ROV-D)

- 北回り→南回りの順番で調査を行う。
- ROV-A2、ROV-Cの調査結果から、測定ポイント候補から8箇所（測定時間を1時間とした場合）を選んで測定を行う（セッを問題なく吊り降ろすことができるエリア且つ、デブリが無い/有ると評価される場所）
- 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



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)

※ROVのカメラの耐放射線性を1000Gyと評価した場合、ROV 1台で調査可能



仮定

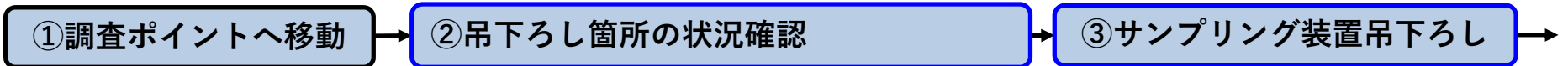
- 気中：12Gy/h (実績最大)
- 水面付近：6.5Gy/h (実績最大)
- 水中：11Gy/h (実績最大)
- ペDESTAL内：20Gy/h (推定)

4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(11/12) -

(6) ROV-E ペDESTAL外周の堆積物表面のサンプリング

a) 操作手順



サンプリング装置吊下ろし箇所を下方カメラで目視確認

構造物に引っ掛からないことを下方カメラで確認しながらサンプリング装置を吊下ろす

④サンプリング

⑤サンプリング装置回収

⑥次の調査ポイントへ移動

サンプリング装置着底後、堆積物表面のサンプリングを実施する。



測定完了後、構造物に引っ掛からないことを下方カメラで確認しながらサンプリング装置を吊上げる

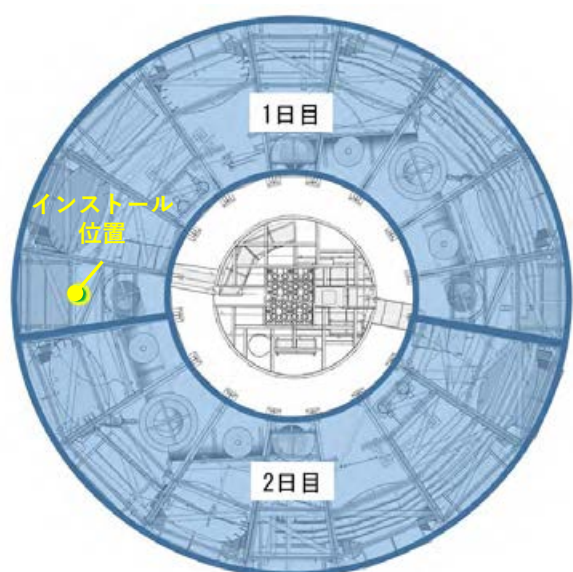
4.2 PCV内部詳細調査

4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 遊泳調査(12/12) -

b) 計画 (ROV-E)

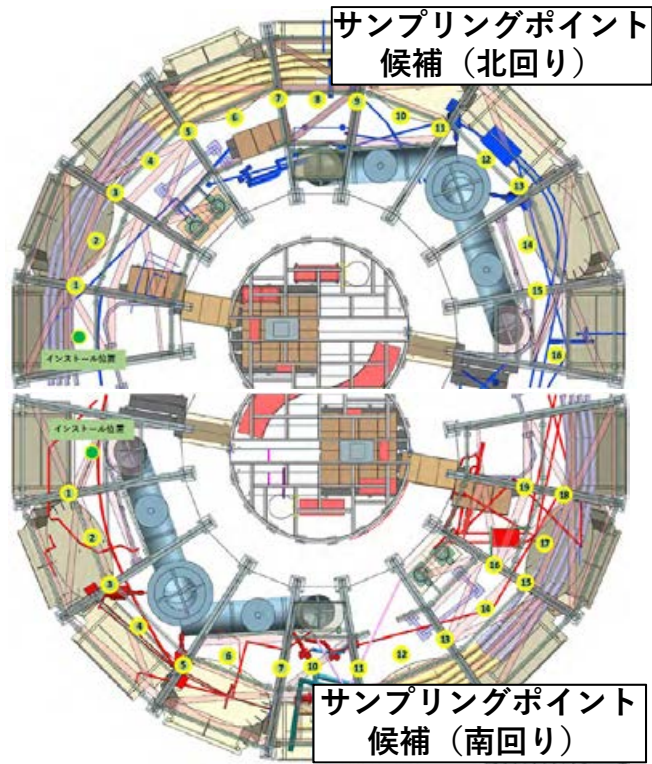
- 北回り→南回りの順番で調査を行う。
- ROV-A2、ROV-C/Dの調査結果をもとにサンプリングポイント候補から最大4箇所を選定する
(センサを問題なく吊り降ろすことができるエリア且つ、堆積物内にデブリが無いと評価※される場所)

※ ROV-Dによる計測で中性子又は燃料デブリ成分が検出されないこと、また堆積物サンプリング量(2箇所分)のγ線量率が100mSv/h以下であること



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)

※ROVのカメラの耐放射線性を1000Gyと評価した場合、ROV 1台で調査可能



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)
- ペDESTAL内：20Gy/h (推定)

4.2 PCV内部詳細調査

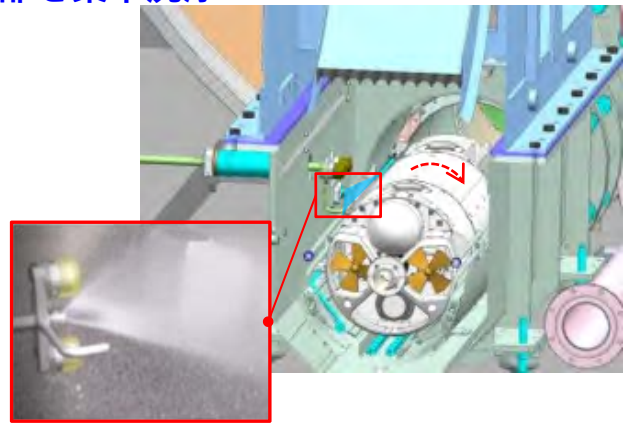
4.2.3 現場実証の計画 - 調査作業 α 汚染対策 -

1) ROV本体・ケーブルの洗浄

(a) インストール装置先端部の洗浄装置でROV本体全体を洗浄

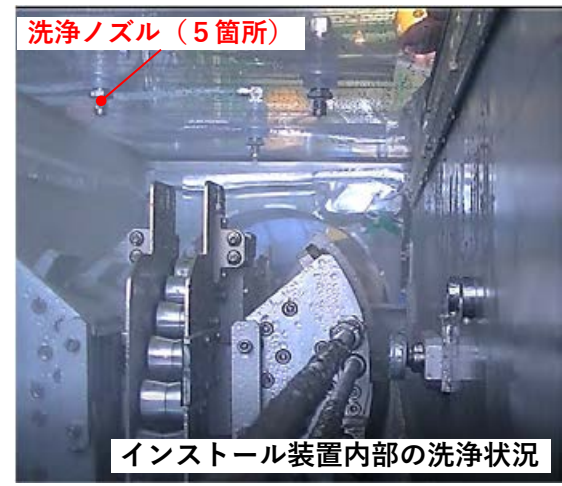
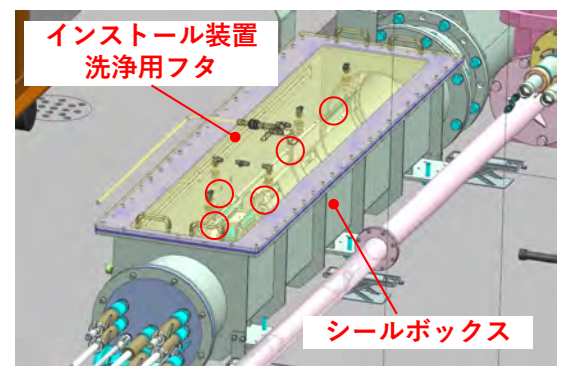


(b) シールボックス内でROVセンサー部を集中洗浄



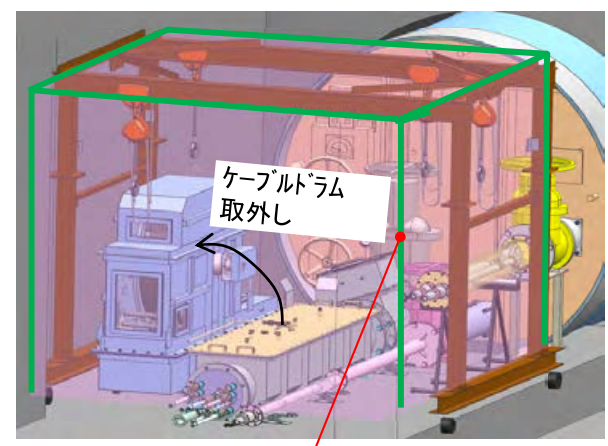
2) インストール装置内の洗浄

集中洗浄によるシールボックス内部の汚染除去のために、シールボックス内部を洗浄



3) α 汚染拡散防止対策ハウス設置

ケーブルドラム取外しの際のα汚染飛散防止のために、エアロック室内にハウスを追加設置



4.3 目標に照らした達成度

実施項目		目標達成指標（令和元年度）	達成		
開発計画・ 調査計画 の策定	アクセスルート構築	（平成30年度報告済）	-		
	PCV内部詳細調査	PCV内部詳細調査の作業訓練と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		
アクセス・ 調査装置及 び調査技術 の現場実証	アクセス ルート 構築	追加 対応	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）	別事業で 継続実施
			切断試験	PCV内ダスト濃度上昇の推定原因の検証、AWJ時のPCV内ダスト挙動の把握のためのダストデータを採取できていること	達成 (試験完了)
			ダスト挙動分析	AWJ時のPCV内ダスト挙動を把握できていること	達成
			ダスト低減対策	AWJの高圧水が当たる場所を除染できること	達成 (除染できることを確認)
			除染作業/AWJ 切断作業	PCV内の除染作業とAWJ切断作業の作業手順の見直しができていること	概ね達成 (課題への対応は継続実施)
	PCV内部 詳細調査	モックアップ試験 (組み合わせ試験含)	アクセス・調査装置と調査技術を組み合わせた状態で調査技術の適用性が確認されていること	達成 (試験完了)	
			現場状況を模擬したモックアップ試験設備を用いて試験を行い、アクセス・調査装置の現場への適用性が確認されていること		
		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 (訓練実施)	
		現場実証	アクセス・調査装置を現場に適用し、実環境下で詳細目視及び計測動作ができること（終了時目標TRL：レベル6）	別事業で 実施	

5. まとめ

【まとめ】

- 1号機PCV内部詳細調査用のアクセスルート構築の現場実証において、予想を超えるダスト上昇が発生し、PCV内のダスト濃度が運用値($1.7 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$)を超えたため、現場実証を一時中断し、追加対応を行った。
- 追加対応では、運用値内で1日の切断範囲を 5° から 120° まで段階的に拡大しながら、ダスト挙動の把握、PCV内の除染作業とAWJ切断作業の作業手順の見直しなどを行い、200A内扉の穿孔を完了した。また、PCV内洗浄とAWJ時の散水のための治具の開発を行い、モックアップ試験でAWJ高圧水が当たる場所の除染ができることを確認した。
- アクセスルート構築現場実証の工程変更に伴い、PCV内部詳細調査の現場実証は別事業で実施することとし、ペDESTアル内へのアクセス可否条件の拡充などを目的としたモックアップ試験を追加実施した。また、作業訓練については計画通り実施した。

【今後の予定】

別事業（平成30年度補正予算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））で以下を実施

- アクセスルート構築の現場実証の継続実施
- アクセスルート構築の完了時期に合わせてPCV内部詳細調査の本格的な作業訓練と現場実証を開始