

1号機 PCV内部調査（後半）について

2023年3月30日



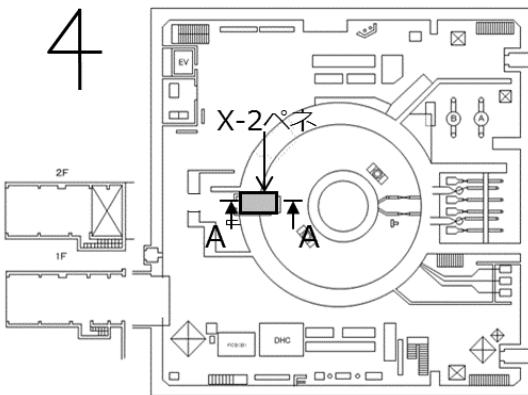
技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

1. 1号機PCV内部調査の概要

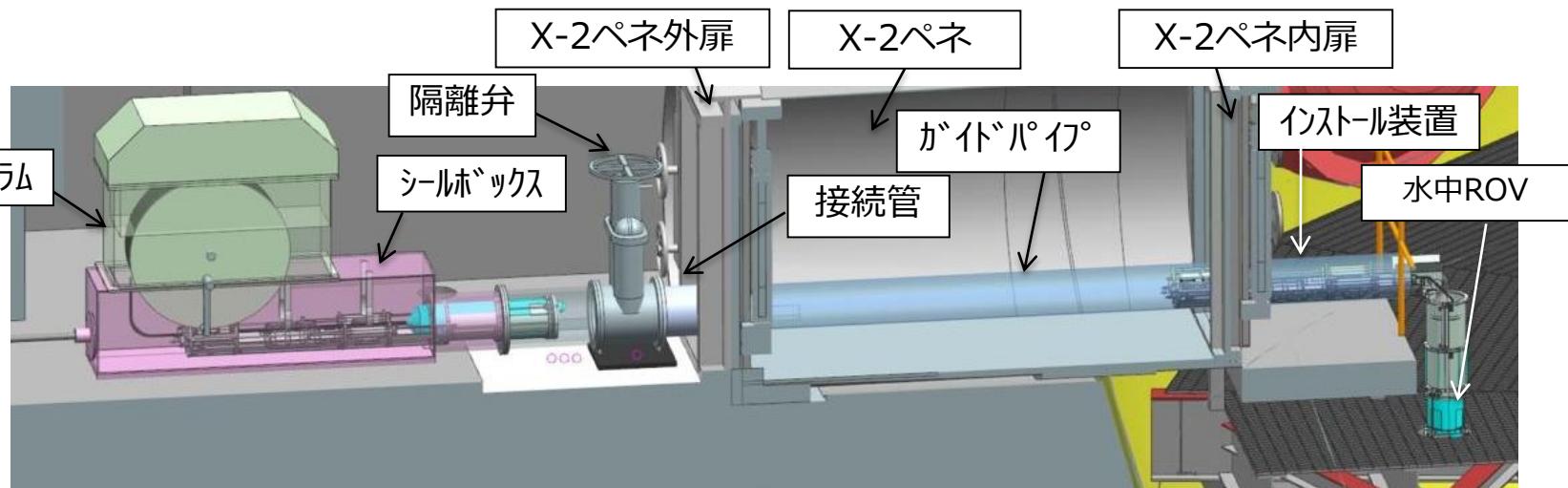
- 1号機原子炉格納容器（以下、PCV）内部調査は、X-2ペネトレーション（以下、X-2ペネ）から実施する計画
- PCV内部調査に用いる調査装置（以下、水中ROV）はPCV内の水中を遊泳する際の事前対策用と調査用の全6種類の装置を開発
- 水中ROV調査ステップ

前半調査 (調査済)	① ROV-A	事前対策となるガイドリング取付
	② ROV-A2	ペデスタル外の詳細目視
	③ ROV-C	堆積物厚さ測定
後半調査	④ ROV-D	堆積物デブリ検知・評価
	⑤ ROV-E	堆積物サンプリング
	⑥ ROV-B	堆積物3Dマッピング
	⑦ ROV-A2	ペデスタル内部、壁部の詳細目視

4



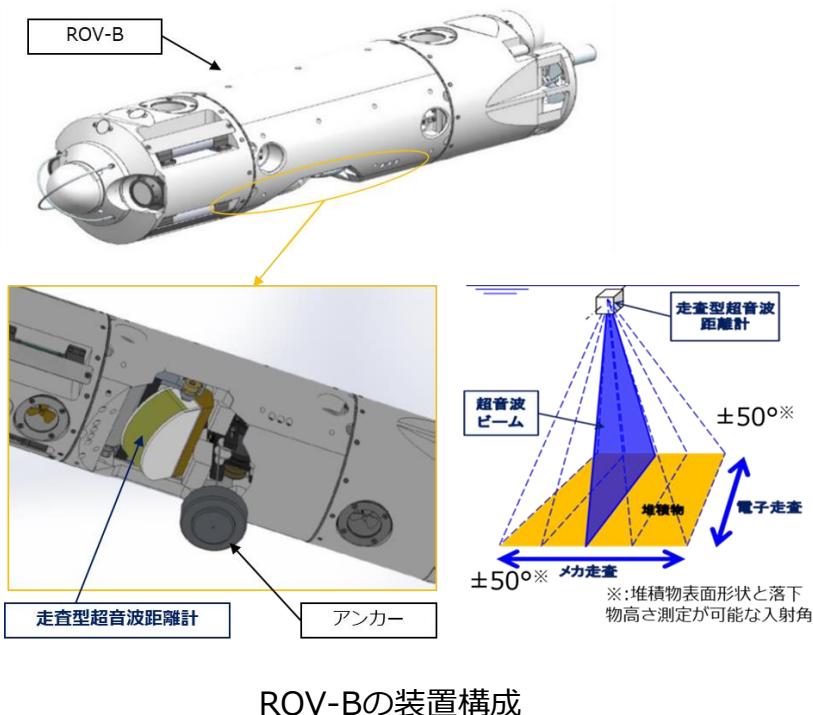
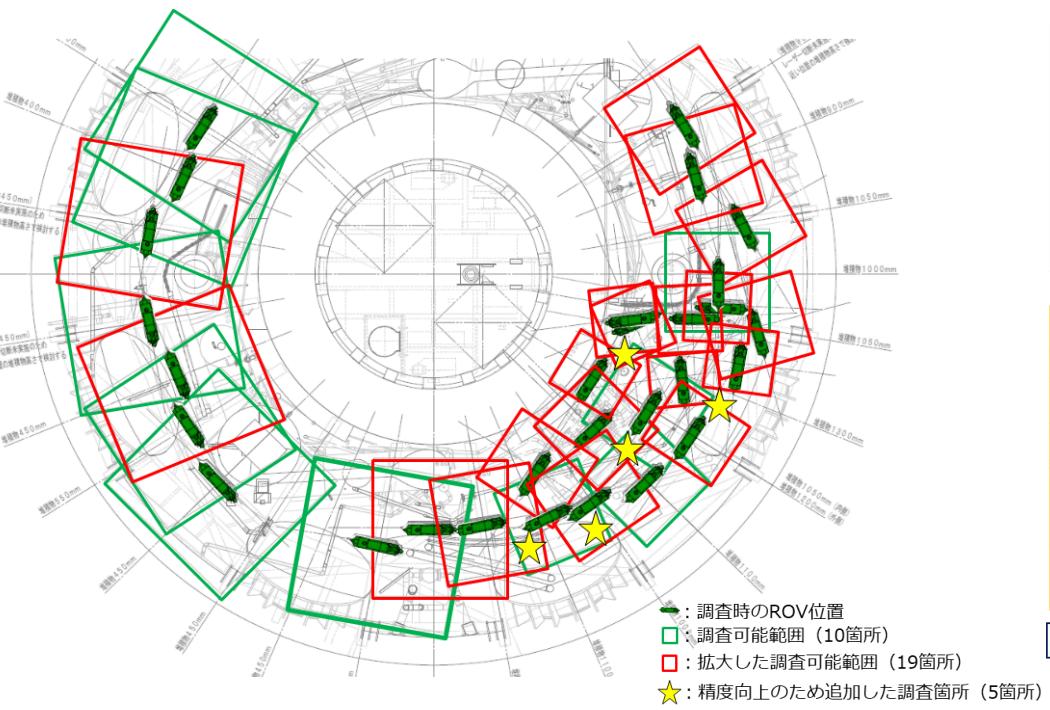
1号機原子炉建屋 1階におけるX-2ペネの位置



内部調査時のイメージ図 (A-A矢視)

2. PCV内部調査の状況

- ROV-Bによる堆積物3Dマッピングについては、3月4日から調査を開始、3月7日にかけて調査を完了したことから、翌8日にROV-Bのアンインストールを実施
- 調査実績としては、当初計画していた29箇所から、3Dマッピング精度向上のために5箇所を追加し、計34箇所の範囲において調査を実施しており、評価期間は1~2カ月程度を計画
- ROV-A2によるペデスタル内詳細調査については、3月28日から調査を開始しており、31日までの計画で調査を実施中



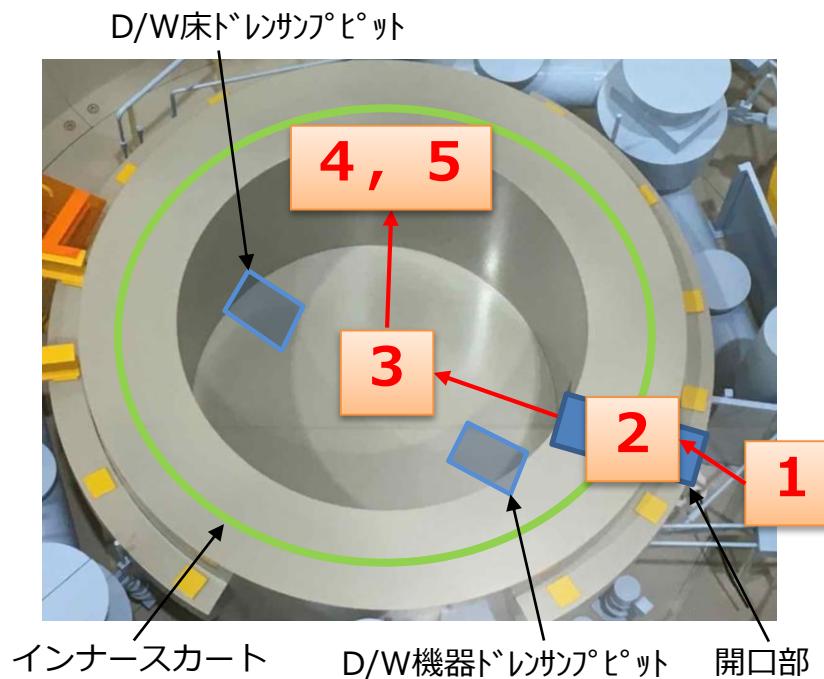
3. ROV-A2調査

(1)調査方針

- ROV-A2調査においては、前半調査において確認されている、ペデスタル開口部付近のコンクリート損傷事象に鑑み、ペデスタル内ならびにペデスタル開口部について、可能な限り多くの情報取得を目指している
- 調査順序は、ROVケーブル引っ掛けリスクが低い個所から調査を行うこととし、ペデスタル健全性ならびに事故解析の双方の着眼点を網羅した方針とする

【ROV-A2調査順序】

順序	調査箇所	引っ掛かりリスク	目的
1	ペデ外	開口部外側	小 開口部調査
2		開口部	小 開口部調査
3	ペデ内	中央部(堆積物上)	中 全体俯瞰
4		円周方向の各ポイント(堆積物上)	中 詳細調査
5	棚状の堆積物※より下	大 堆積物下の詳細調査	



※前半調査の結果から、ペデスタル開口部には底部から約1mの高さに棚状の堆積物が存在し、ペデスタル内にも同堆積物が形成されていた場合、底部の調査が困難となる懸念あり

3. ROV-A2調査

(2)調査項目と装置概要

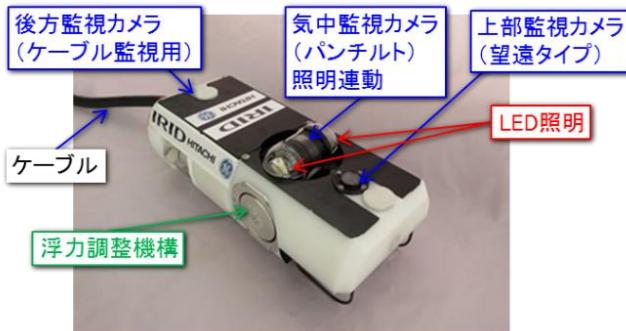
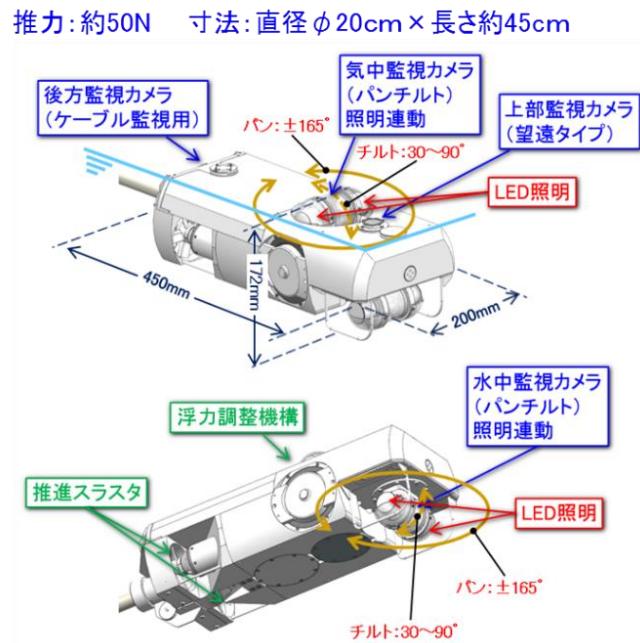
ROV-A2調査では主にカメラを用いた目視調査を実施、得られる主な情報は以下の通り

■ ペデスタル健全性の観点

- ▶ ペデスタルの映像（損傷部および堆積物より上の壁面等）

■ 事故解析の観点

- ▶ ペデスタル開口内、ペデスタル内の映像（堆積物および機器の損傷状況）
- ▶ γ線、中性子束測定(水面および堆積物に着底した状態での測定を計画)



計測器：ROV保護用（光ファイバー型γ線量計、改良型小型B10検出器） ※カメラにより確認できる気中上部の範囲は約5m程度

航続可能時間：約80時間/台 調査のために細かく動くため、柔らかいポリ塩化ビニル製のケーブル(φ23mm)を採用

3. ROV-A2調査

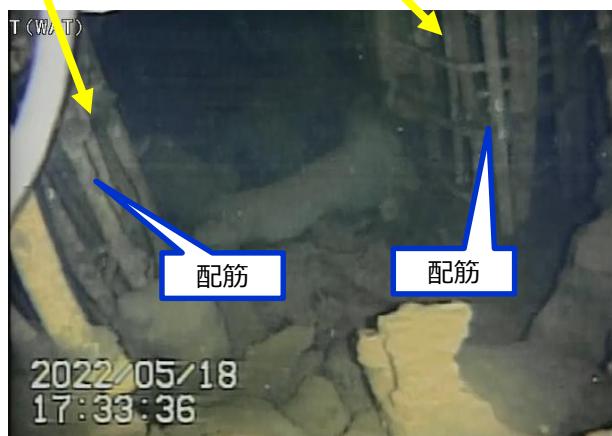
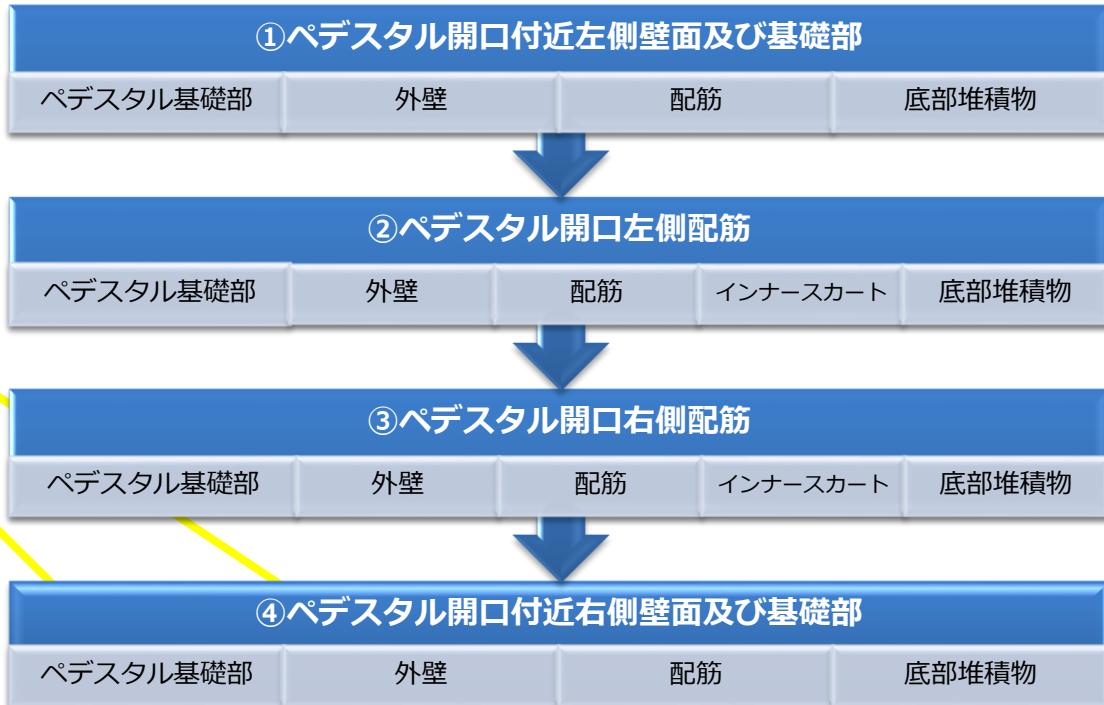
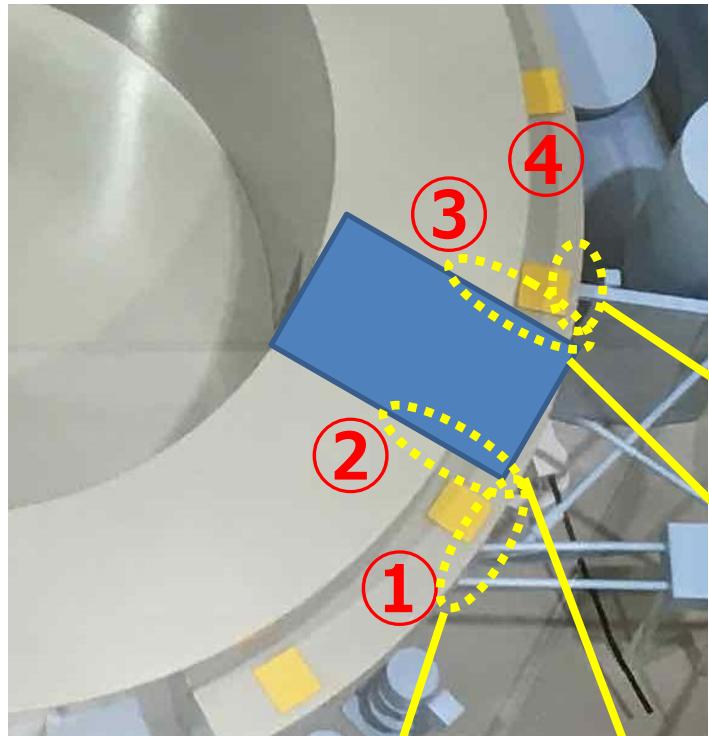
(3)調査対象と目的

調査箇所	調査対象	調査方法	目的	取得情報
ペデ外	<ul style="list-style-type: none"> ・ペデスタル基礎部 ・既設構造物 ・底部堆積物 ・棚状堆積物 	<p>外観確認</p> <p>寸法確認※1</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・IRID耐震評価モデルの想定損傷範囲との比較から、ペデスタル健全性を考察 ・ペデスタル耐震評価に資するデータ取得 ・既設構造物から事故解析に資する情報収集 ・堆積物の表面や断面等の状態から生成過程、冷却過程や組成への考察 	<ul style="list-style-type: none"> ・ペデスタル開口部のコンクリート損傷範囲 ・残存コンクリート、配筋、インナースカートの状態 ・既設構造物の状態 ・底部堆積物及び棚状堆積物表面の状態や厚さ
ペデ内	<ul style="list-style-type: none"> ・ペデスタル基礎部 壁面 配筋 インナースカート ・既設構造物 ・底部堆積物 ・棚状堆積物 ・RPV底部 	<p>外観確認</p> <p>寸法確認※1</p> <p>計測</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・IRID耐震評価モデルの想定損傷範囲との比較から、ペデスタル健全性を考察 ・ペデスタル耐震評価に資するデータ取得 ・既設構造物から事故解析に資する情報収集 ・堆積物の表面や断面等の状態から生成過程、冷却過程や組成への考察 ・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 ・炉内構造物等の落下物に関する情報収集 	<ul style="list-style-type: none"> ・ペデスタル開口部のコンクリート損傷範囲 ・残存コンクリート、配筋、インナースカートの状態 ・既設構造物の状態 ・底部堆積物及び棚状堆積物表面の状態や厚さ ・RPV底部の状況 ・水面及び堆積物上での中性子束

※1 映像データと図面、写真、他構造物の比較等を行い推定の寸法を算出

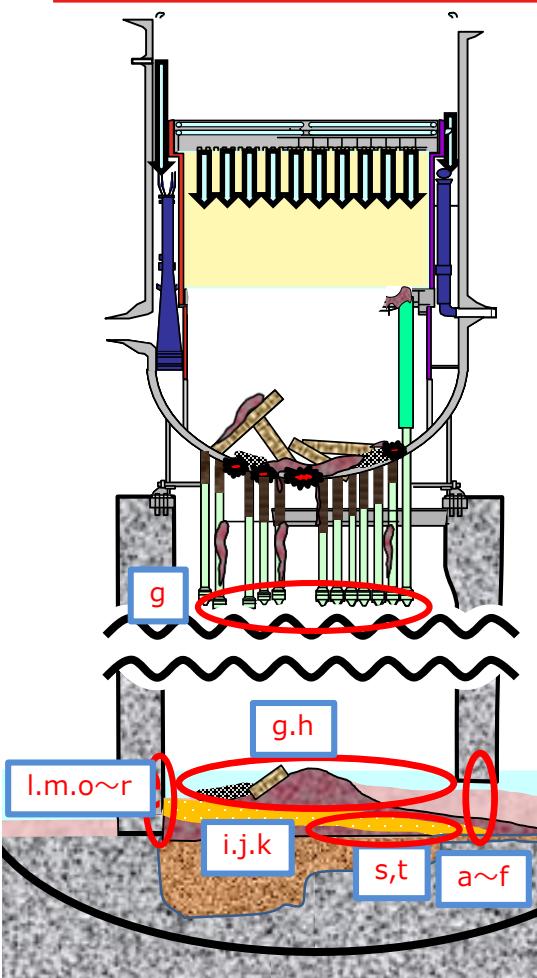
3. ROV-A2調査

(4) ROV-A2調査順序 (ペデスタル外)



3. ROV-A2調査

(5) ROV-A2調査順序 (ペデスタル内)



4-1. ペデスタル外側開口部付近の状況 (3月28日調査分①：ペデスタル基礎部・配筋)

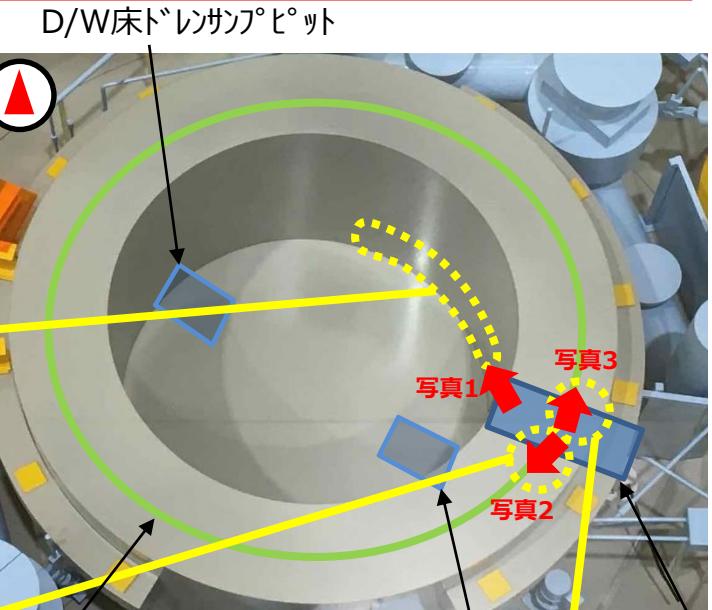
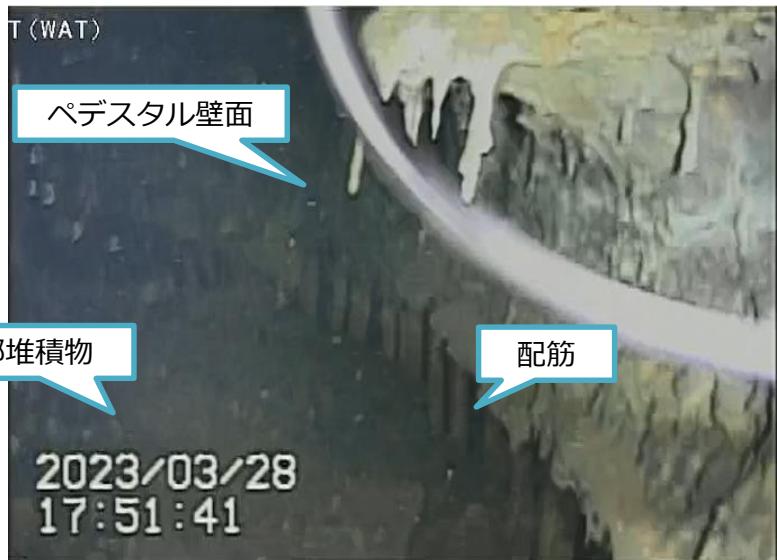
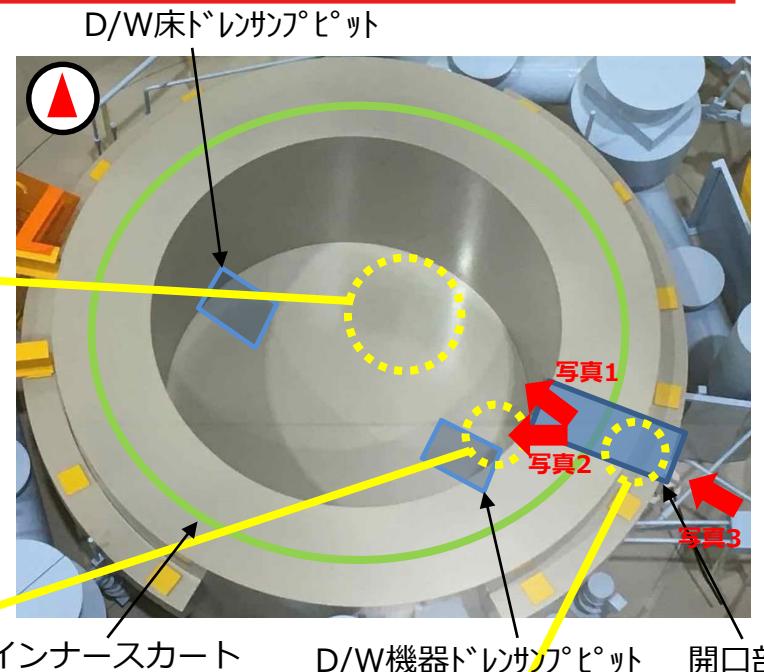


写真2.ペデスタル開口左側配筋

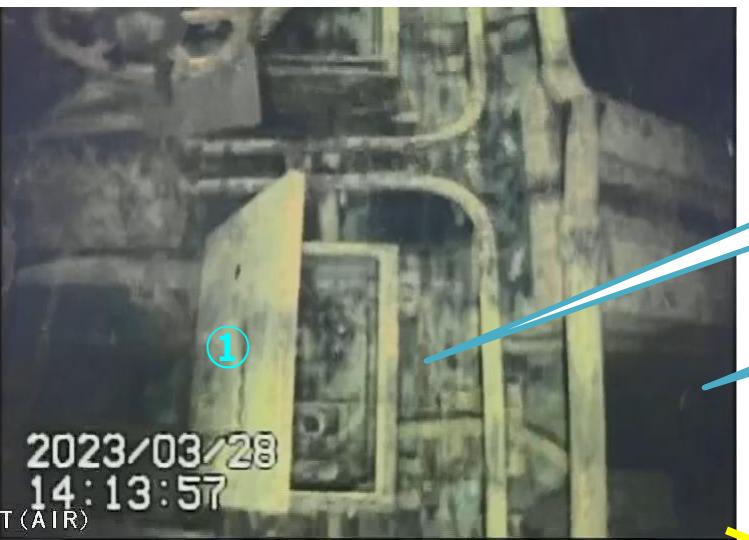
資料提供：国際廃炉研究開発機構(IRID)

写真3.ペデスタル開口右側配筋

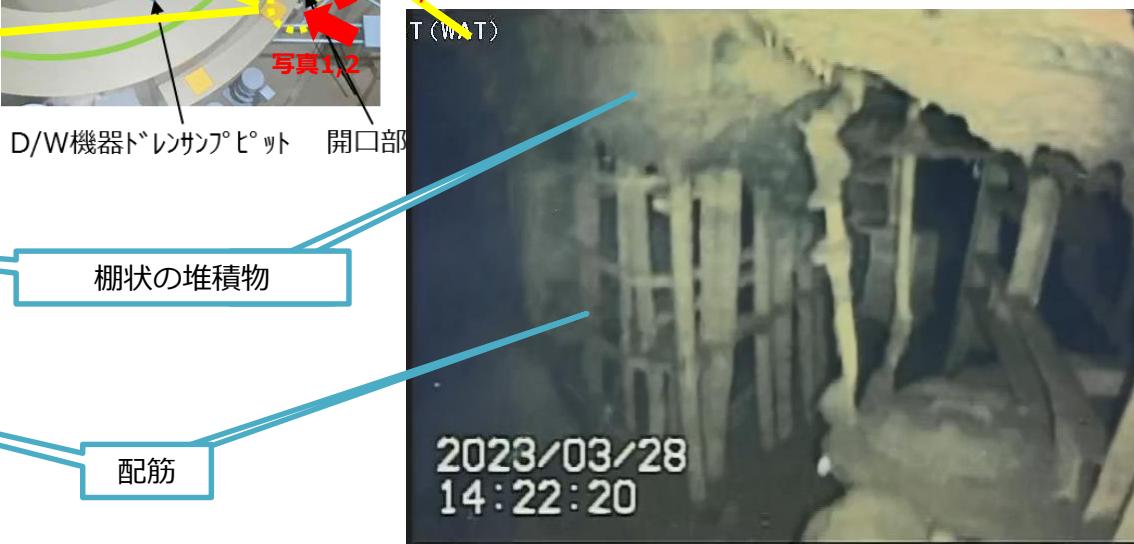
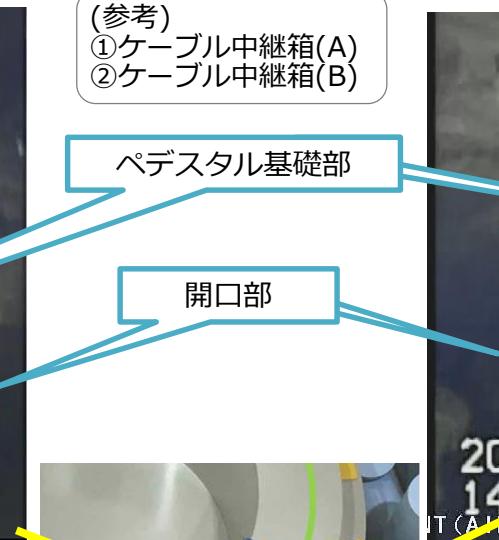
4-2. ペデスタル外側開口部付近の状況(3月28日調査分②：堆積物・構造物)



4-3. ペデスタル外側開口部外側の状況 (3月28日調査分③：ペデスタル基礎部)



(参考)
①ケーブル中継箱(A)
②ケーブル中継箱(B)



4-4. ペデスタル内の状況(3月29日調査分①：構造物)



写真1. CRDハウジングと思われる構造物
(上側カメラで気中を撮影)

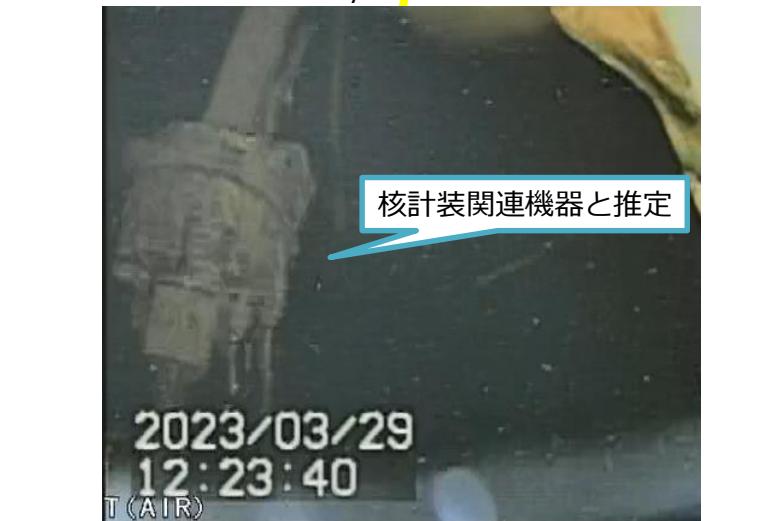
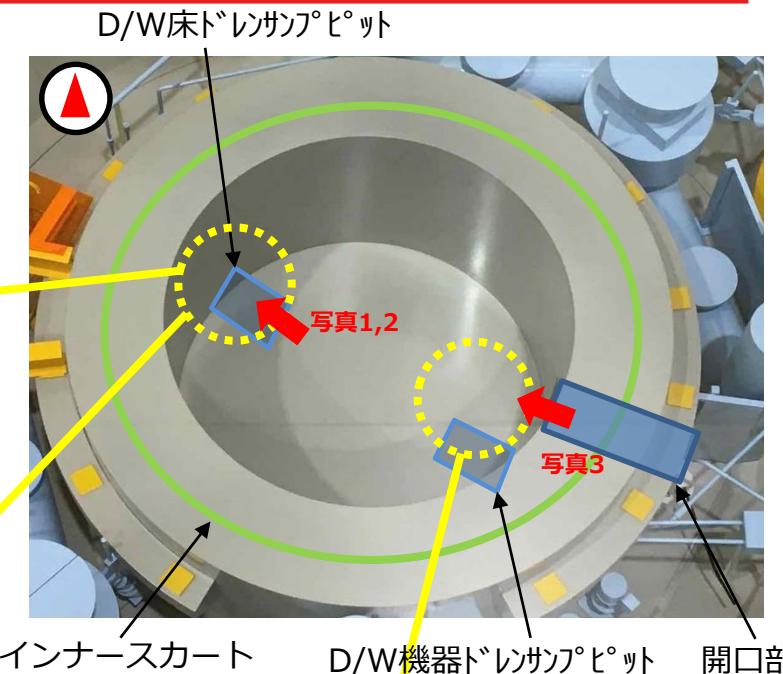
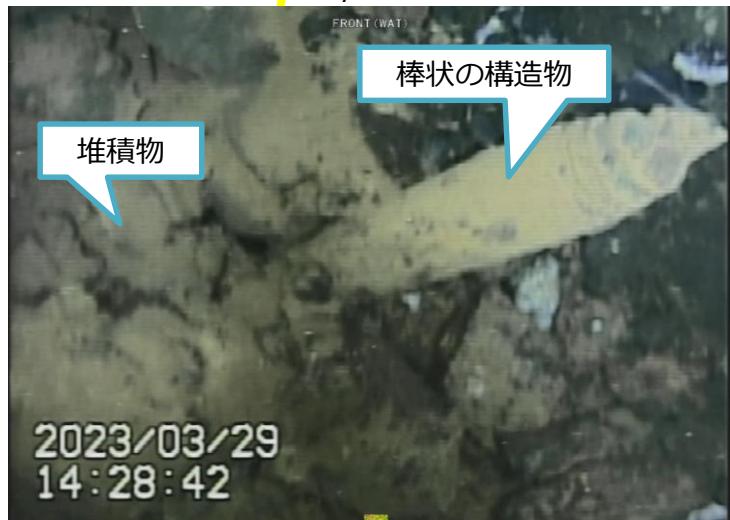
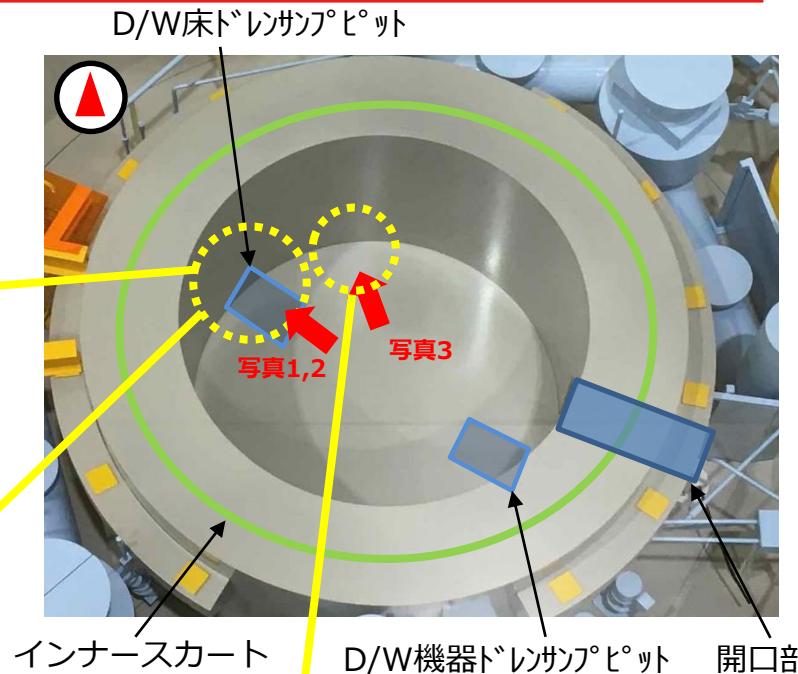
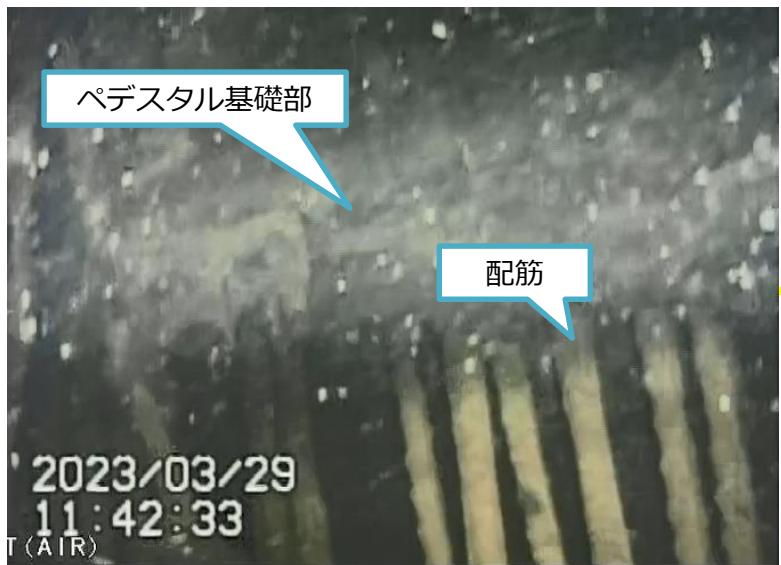


写真2. CRDハウジングサポートと思われる構造物
(上側カメラで気中を撮影)

資料提供：国際廃炉研究開発機構(IRID)

4-5. ペデスタル内の状況

(3月29日調査分②：ペデスタル基礎部・構造物)



5. 1号機PCV内部調査全体工程

作業 項目	2022年度												2023年度 今後の工程		
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
1号PCV 内部調査 <現地>															調査実績を踏まえ工程を精査
関連 作業															
<構外>															

【ROV-A】南側ガイドリング取付完了(2/8~2/10)
↓段取り替え
↓ペデスタル外周調査(3/14~)
↓地震による調査一時中断(3/16)
↓一部ペデスタル外周調査(3/28)
↓調査中断(3/29)
↓浸水調査、予備機への交換
↓PCV水位調整
↓予備機でのペデスタル外周調査(5/17~5/23)
↓段取り替え
↓【ROV-C】堆積物厚さ測定完了(6/7~6/11)
↓装置搬出、養生見直し

段取り替え（制御装置入れ替え含む）
↓【ROV-D】堆積物デブリ検知完了(12/6~12/10)
↓段取り替え
↓【シールボックス他原因調査・予備機交換】
↓【ROV-E】堆積物サンプリング1回目完了(1/31~2/1)
↓段取り替え
↓【ROV-E】堆積物サンプリング2回目完了(2/10~2/11)
↓段取り替え
↓【ROV-B】堆積物3Dマッピング完了(3/4~3/8)
↓段取り替え
↓【ROV-A2】ペデスタル内調査
↓調査装置撤去・片付け
↓グローブボックス取付・取外及びサンプリング試料分析

干渉物の追加反映
↓ROV-Cケーブル挟まれ事象に伴う再現性確認
↓後半調査に向けたトレーニング

ペデスタルの健全性に関しては、ペデスタルが一部欠損していても重大なリスクはないとの評価しているが、現時点の情報は部分的なものであるため、引き続き調査を継続し評価していく。

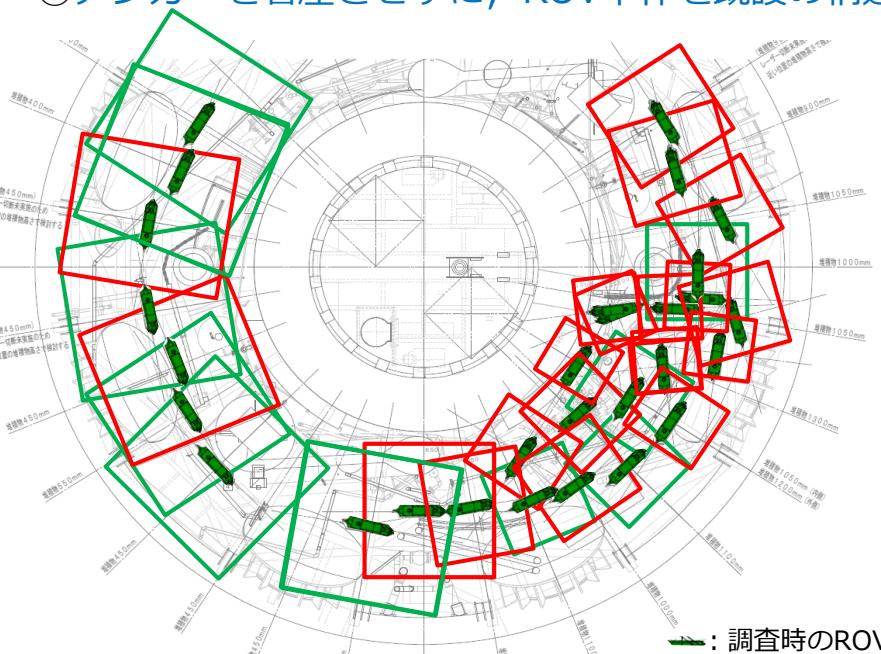
(注) 各作業の実施時期については計画であり、現場作業の進捗状況によって時期は変更の可能性あり。

(参考) ROV-B (堆積物 3Dマッピング) 調査計画

- ROV-Bによる堆積物3Dマッピングについては、ペデスター外周の広い範囲を対象とし、点群データを取得することで、堆積物の高さ分布を確認することを計画
- トレーニング期間において、調査可能な条件の追加について検証し、調査範囲の拡大について見通しを得ている
- ただし、現地の状況（ケーブルの擦りや水流の影響）により、調査範囲が制限される可能性は残るが、可能な限り広範囲を調査する

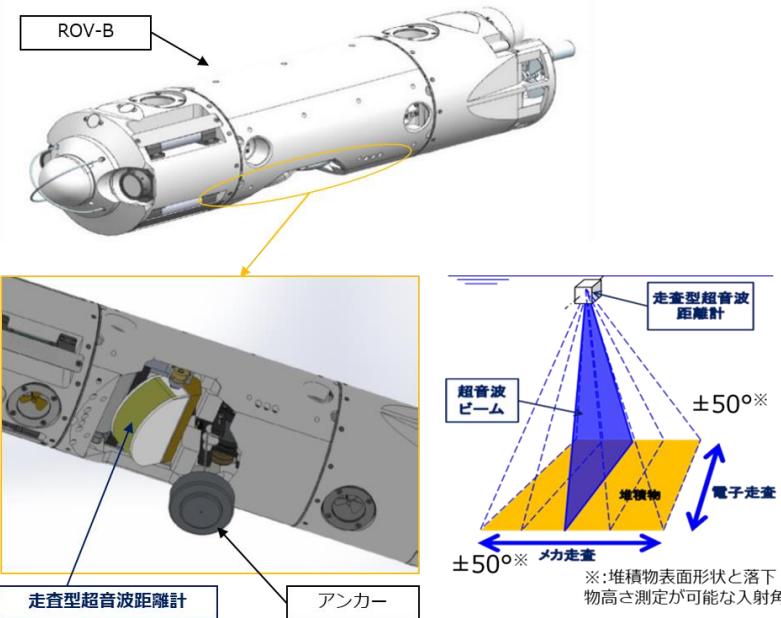
【ROV-Bで調査可能な条件】

- ① ROVがPCV水面に浮上可能であること
- ② ROVに搭載されるアンカーの吊り降ろしが可能であること
- ③ アンカーを着座させずに、ROV本体を既設の構造物に固定できること（検証により追加）



ROV-B調査範囲

■: 調査時のROV位置
□: 調査可能範囲
□: 拡大した調査可能範囲

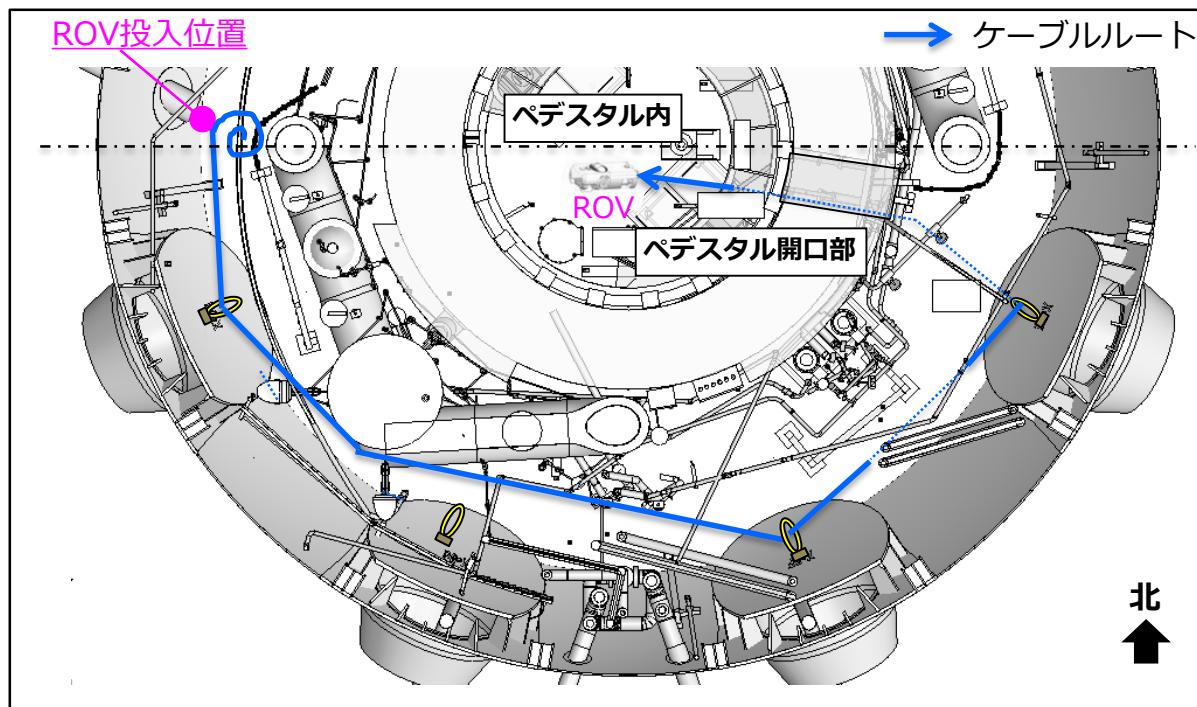


ROV-Bの装置構成

(参考) ペデスタル内へのROV残置リスクについて

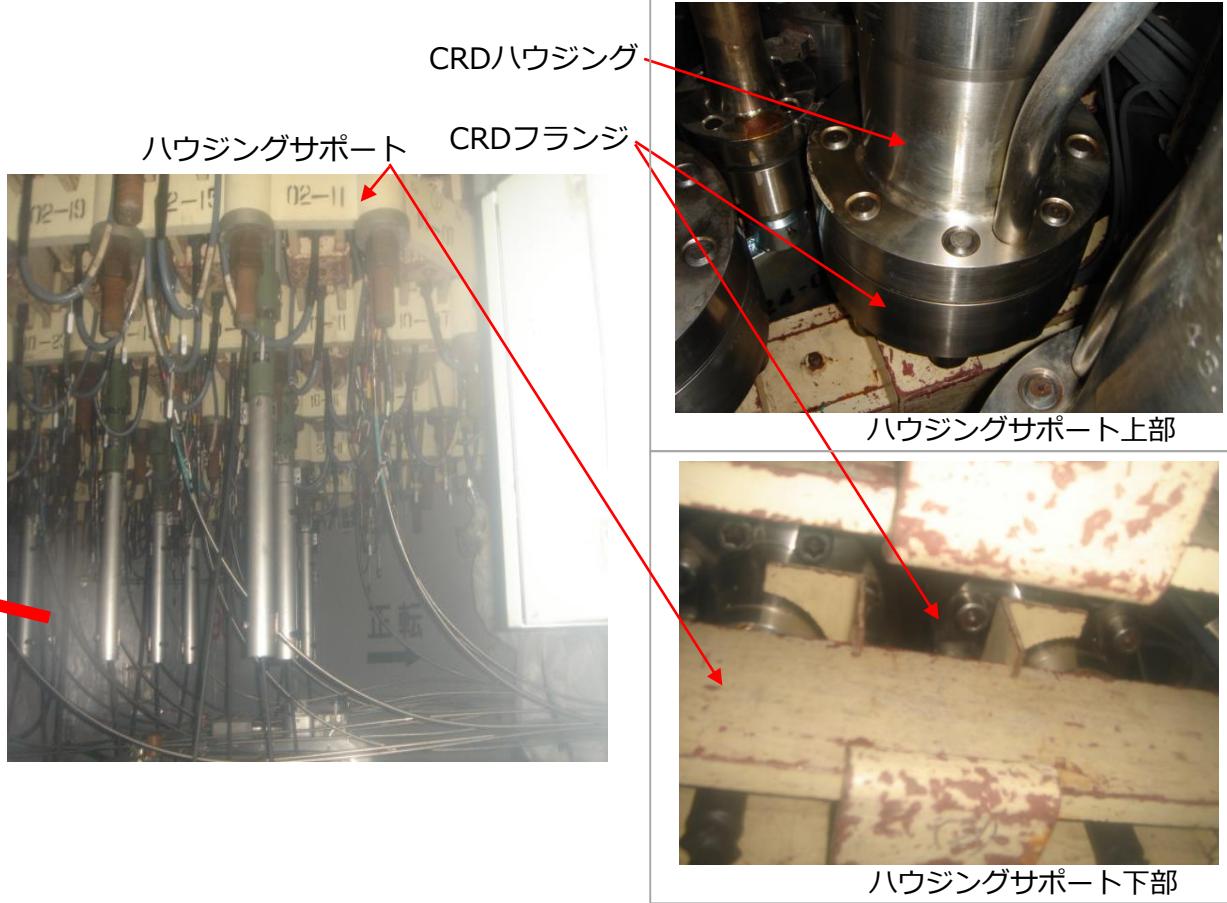
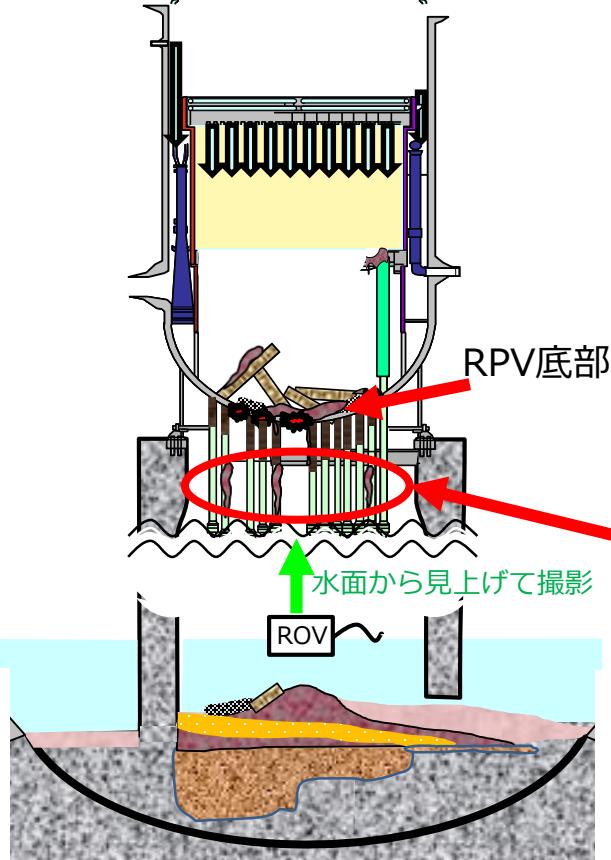
- ペデスタル内の調査は事前情報が無く、可能な限りの情報取得を目指しており、既設構造物等にケーブルが引っ掛けたり、ROVが帰還不能となるリスクが大きい
- 帰還不能となったROVはPCV内に残置することとなり、残置する場合は、X-2ペネ前にてROVケーブルを切断し、ROV投入口付近から切断したケーブルをPCV内に押し込む計画
- ROV本体及びケーブルは、ペデスタル内にアクセスしたケーブルルートのまま残ることになるが、燃料デブリの冷却や再臨界等の安全への影響はない
- 調査中に帰還不能リスクが高いと判明した調査箇所については、調査内容の重要性を鑑みて、調査を実施するか判断していく

残置となるケーブルルートの想定



(参考) RPV底部の状況について

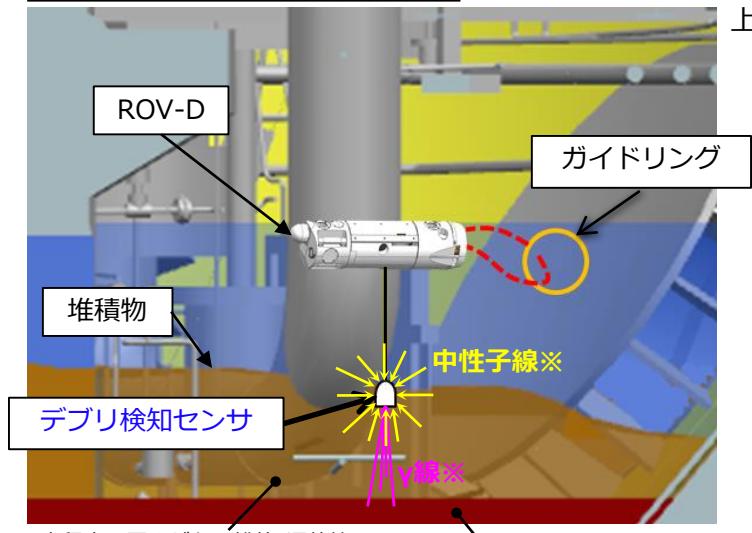
- ROV-A2によるペデスタル内の調査では、水面付近から上部を見上げ、RPV底部の映像を取得する計画である
- 1号機RPV底部の調査は、今回が初めてであり、現状RPVは燃料が溶け落ちたことで、底部に穴が開きCRDハウジングなどが欠落していると推定されている
- 従って、ROV-A2調査では残存している構造物等の映像が取得できると想定している



事故前のペデスタル内写真（グレーチング上から撮影）

(参考) 各ROVの調査イメージ

ROV-D (堆積物デブリ検知)



デブリ検知センサを堆積物上に吊り降ろし計測を実施

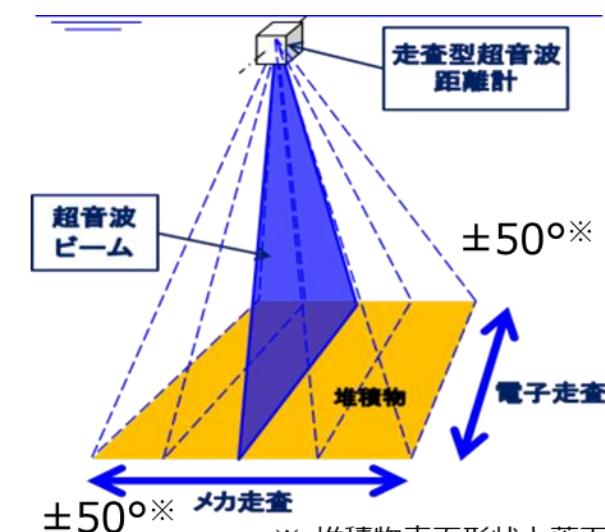
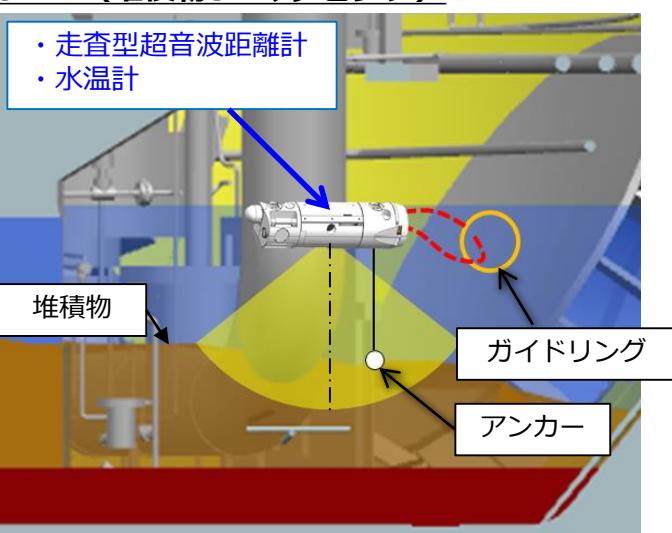


一定程度の厚さがある粉状・泥状等の堆積物イメージ

密度の高い堆積物（板状・塊状の堆積物）イメージ

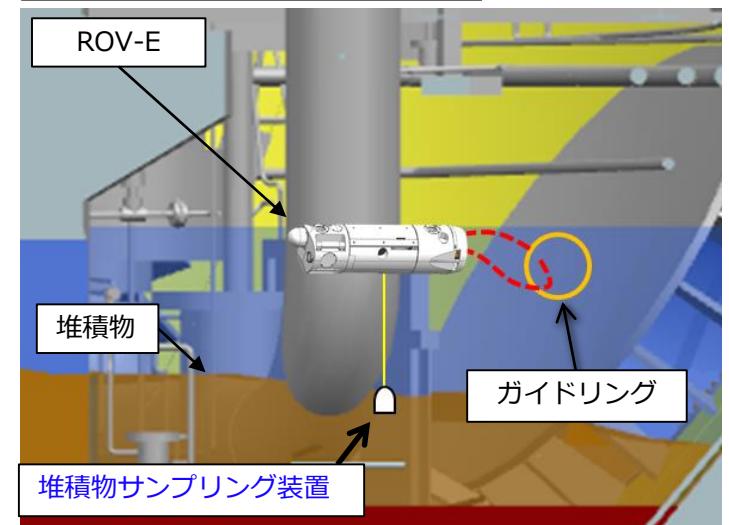
※ γ線および中性子線の示す範囲はあくまでもイメージです

ROV-B (堆積物3Dマッピング)

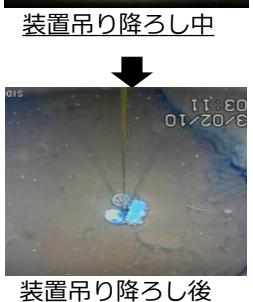


※: 堆積物表面形状と落下方高さ測定が可能な入射角

ROV-E (堆積物サンプリング)



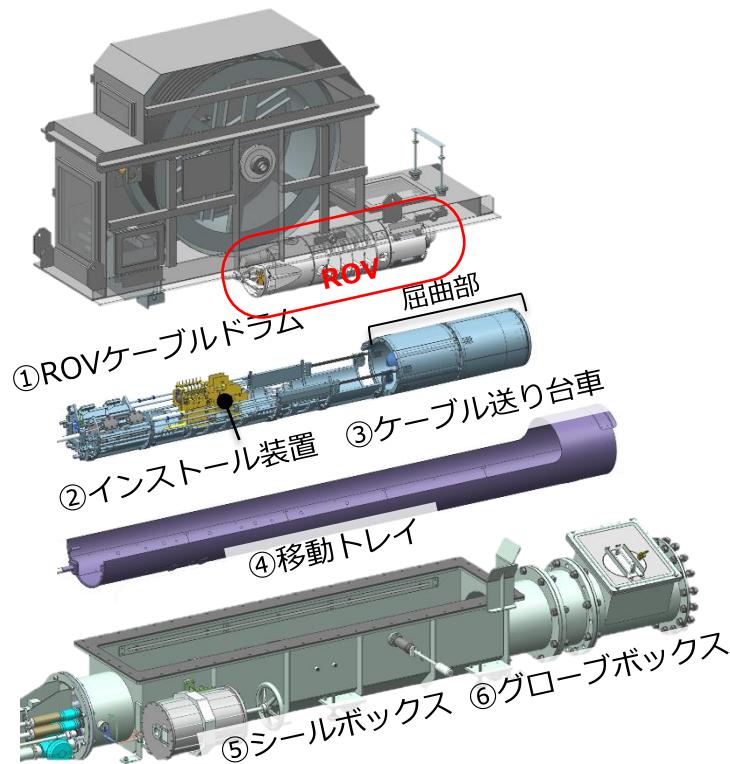
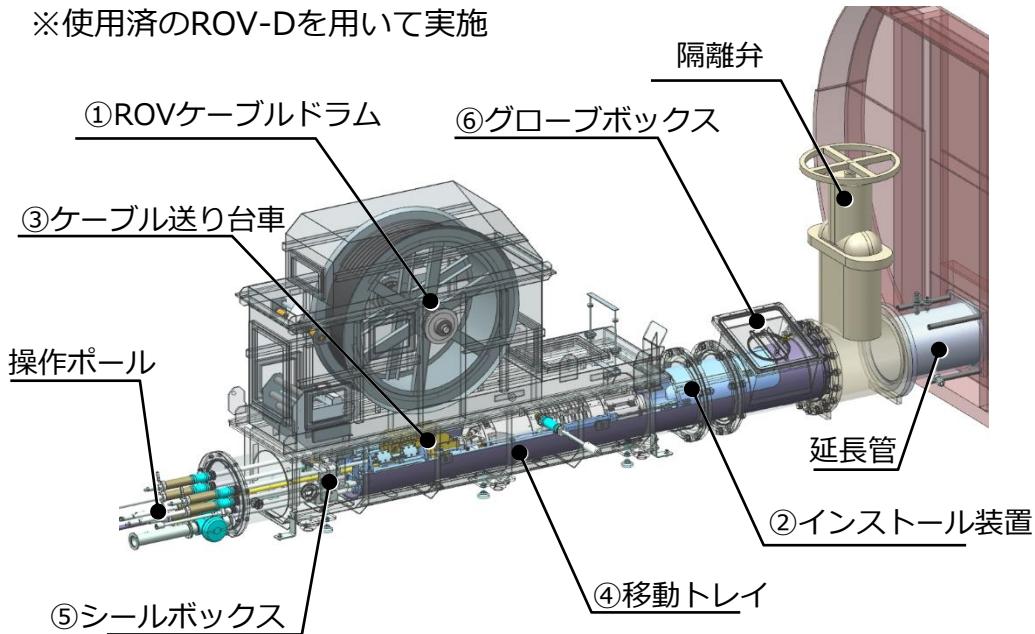
サンプリング装置を堆積物上に吊り降ろし吸引を実施



(参考) 調査装置詳細 シールボックス他装置

- 予備機シールボックス等の搬入・交換
- 隔離弁との芯出し
- ガイドパイプとの芯出し※（仮インストール）

※使用済のROV-Dを用いて実施

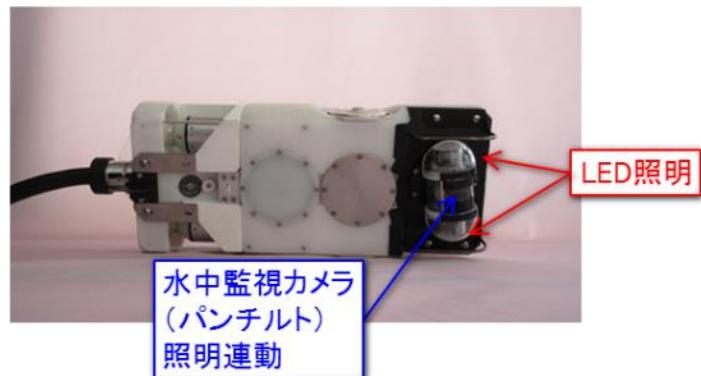
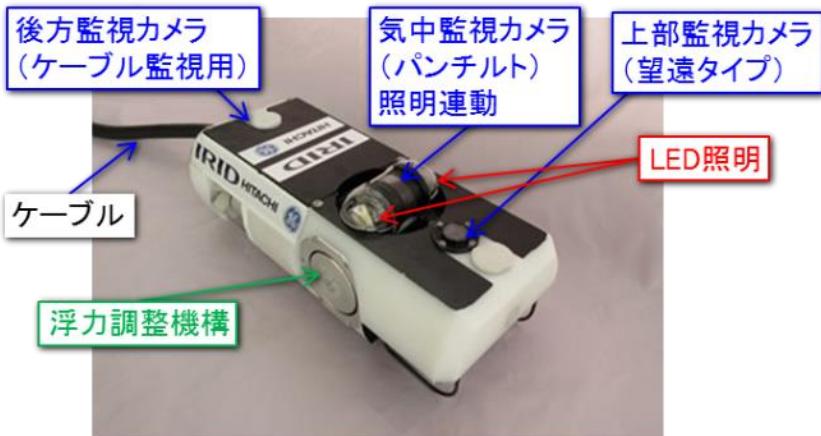
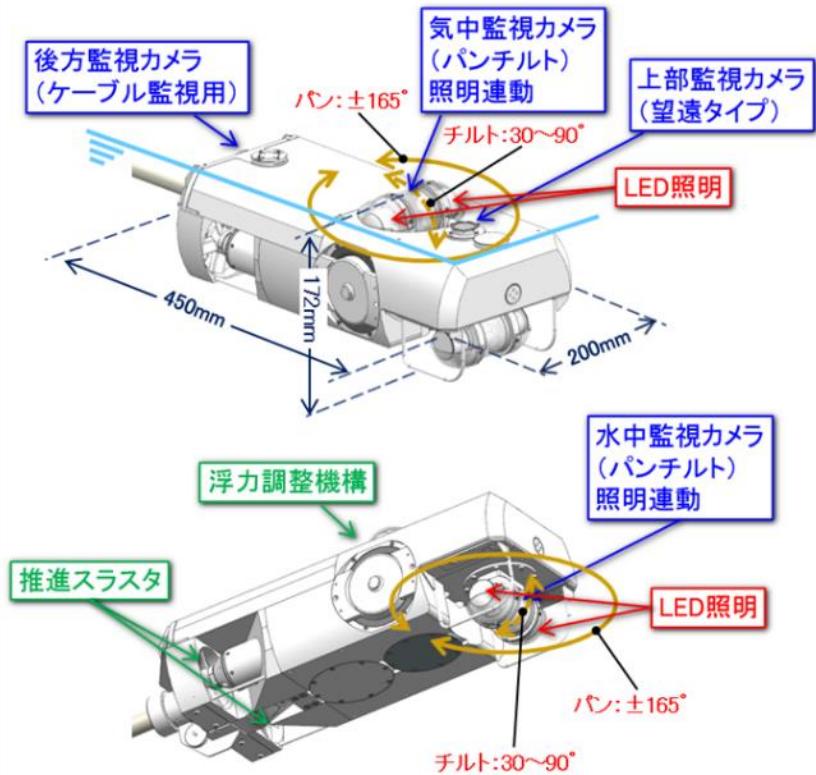


構成機器名称		役割
①	ROVケーブルドラム	ROVと一体型でROVケーブルの送り/巻き動作を行う
②	インストール装置	ROVをガイドパイプを経由してPCV内部まで運び、屈曲機構によりROV姿勢を鉛直方向に転換させる
③	ケーブル送り台車	ケーブルドラムと連動して、ケーブル介助を行う
④	移動トレイ	ガイドパイプまでインストール装置を送り込む装置
⑤	シールボックス	ROVケーブルドラムが設置されバウンダリを構成する
⑥	グローブボックス	ケーブル送り装置のセッティングや非常時のケーブル切断

(参考) 調査装置詳細 ROV-A2_詳細目視調査用

調査装置	計測器	実施内容
ROV-A2 詳細目視	<p>ROV保護用（光ファイバー型γ線量計※，改良型小型B10検出器） ※：ペデスタル外調査用と同じ</p> <p>員数：2台 航続可能時間：約80時間/台 調査のために細かく動くため，柔らかいポリ塩化ビニル製のケーブル(Φ23mm)を採用</p>	地下階の広範囲とペデスター内（※）のCRDハウジングの脱落状況などカメラによる目視調査を行う（※アクセスできた場合）

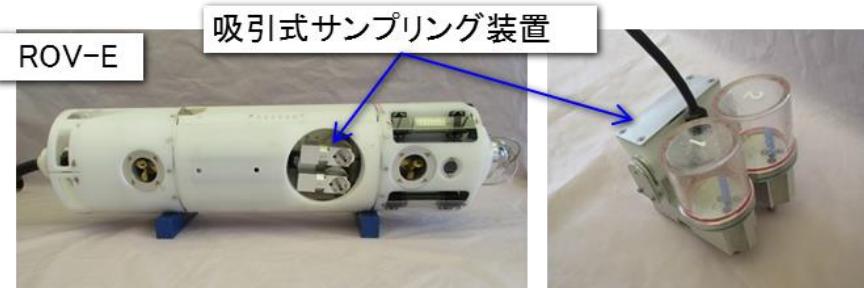
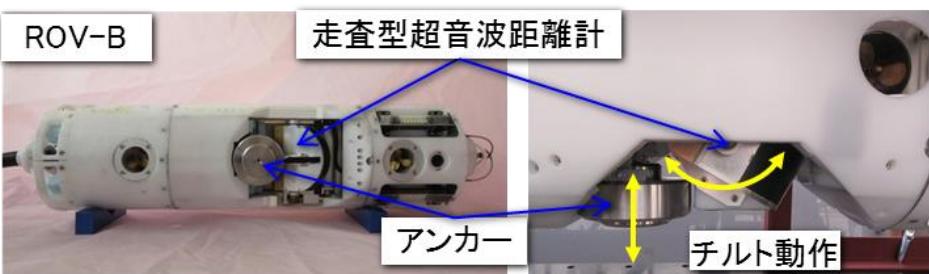
推力：約50N 寸法：直径Φ20cm × 長さ約45cm



(参考) 調査装置詳細 ROV-B~E_各調査用

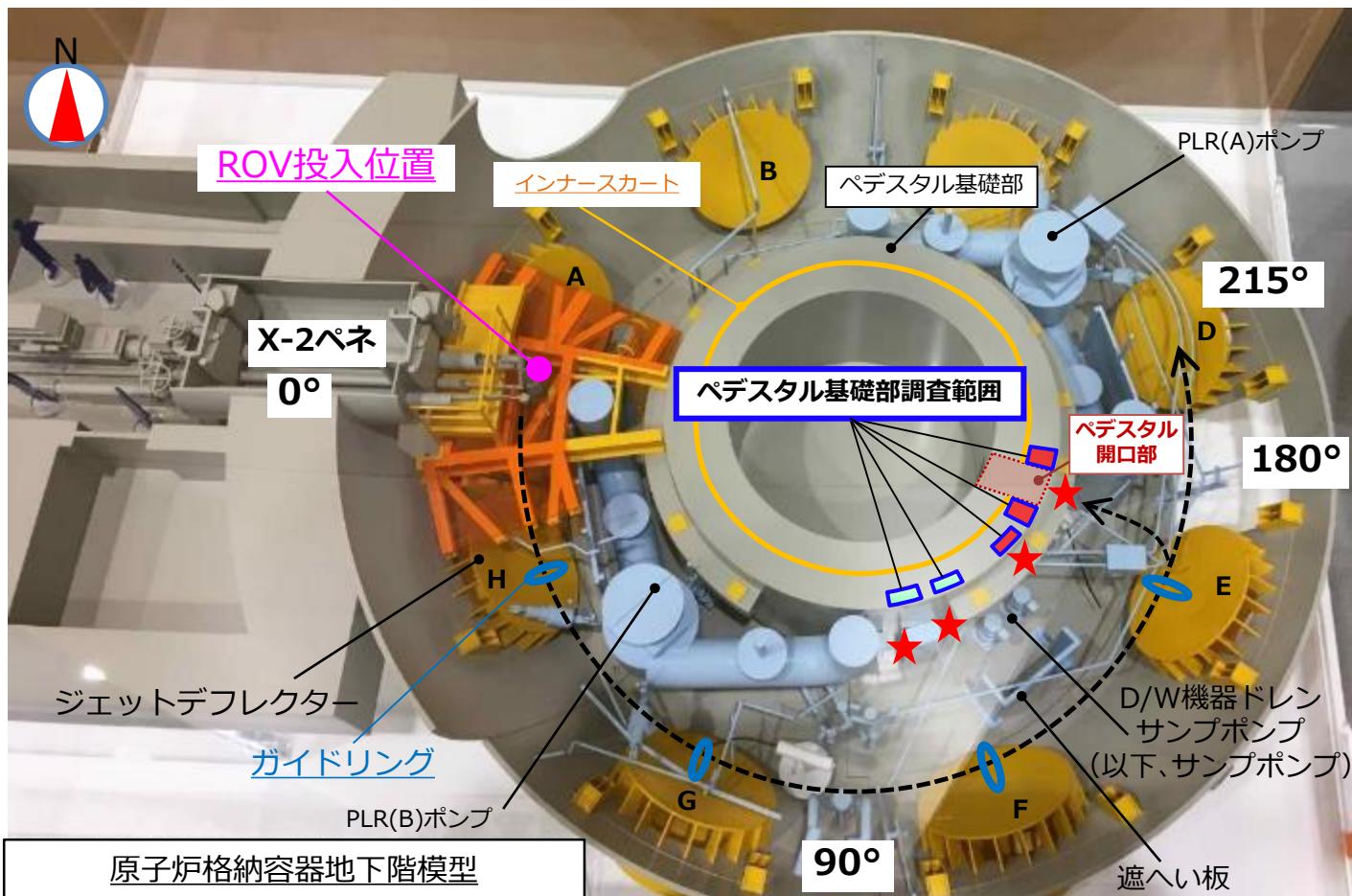
調査装置	計測器	実施内容
ROV-B 堆積物3Dマッピング	・走査型超音波距離計 ・水温計	走査型超音波距離計を用いて堆積物の高さ分布を確認する
ROV-C 堆積物厚さ測定	・高出力超音波センサ ・水温計	高出力超音波センサを用いて堆積物の厚さとその下の物体の状況を計測し、デブリの高さ、分布状況を推定する
ROV-D 堆積物デブリ検知	・CdTe半導体検出器 ・改良型小型B10検出器	デブリ検知センサを堆積物表面に投下し、核種分析と中性子束測定により、デブリ含有状況を確認する
ROV-E 堆積物サンプリング	・吸引式サンプリング装置	堆積物サンプリング装置を堆積物表面に投下し、堆積物表面のサンプリングを行う

員数：各2台ずつ 航続可能時間：約80時間/台 調査のために細かく動くため、柔らかいポリ塩化ビニル製のケーブル(ROV-B : φ33mm, ROV-C : φ30mm, ROV-D : φ30mm, ROV-E : φ30mm)を採用



(参考) ROV-A2によるペデスタル基礎部調査の概要と実績

- 調査範囲はPCV地下階の約90°から約180°（ペデスタル開口部含む）とし、カメラによる目視調査を実施
<主な調査箇所>
 - 既設構造物の状態確認及び堆積物の広がり状況・高さ・傾斜確認。
 - ペデスタル開口部付近のコンクリート壁状況確認。（下図 □ 調査箇所 : ■ 鉄筋露出、□ 露出無）
 - ペデスタル内部の目視調査は調査実績等を踏まえ、最終でROV-A2を投入予定。



(参考) ROV-A2調査実績① ペデスタル開口エリア(鉄筋露出有り)

■ ペデスタル開口部壁面の状態(5月18、19日調査)

- ▶ テーブル状の堆積物があり、当該堆積物下部の壁面を確認したところ、コンクリートがなく、鉄筋、インナースカートが露出していることを確認。PCV底部にも堆積物があり、当該堆積物下部の状況は確認できず。ペデスタル開口部左右共に同様の状態。

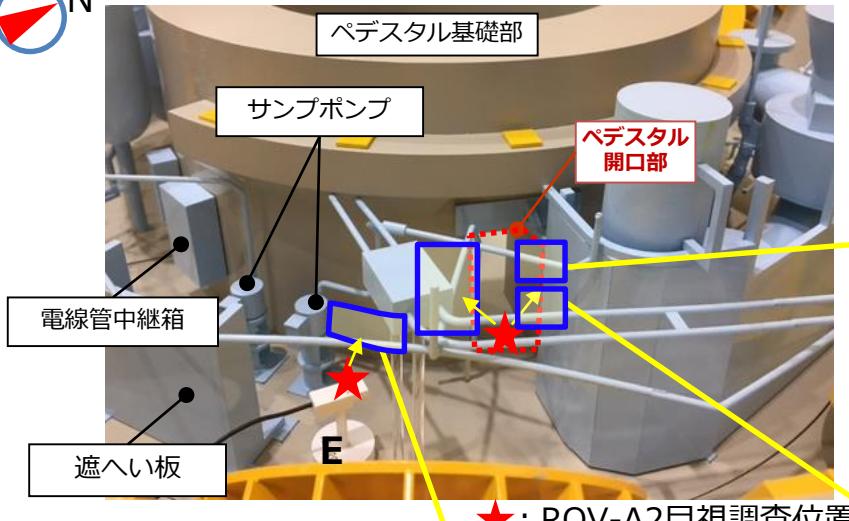


写真2.ペデスタル開口部(右側基礎部)の堆積物より上部の状況

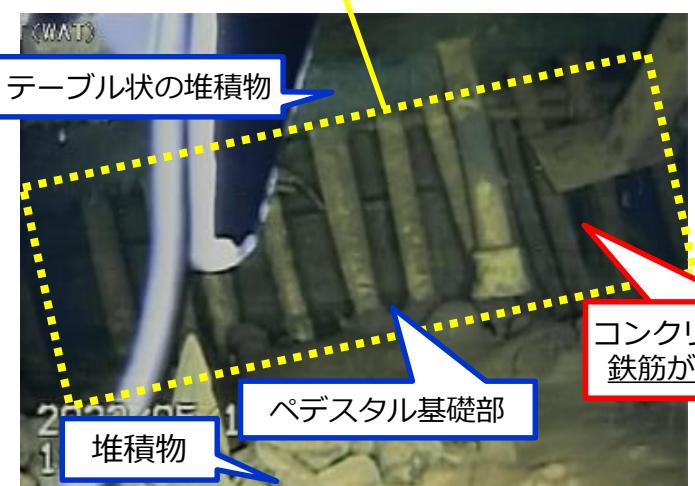


写真1.ペデスタル基礎部付近の状況

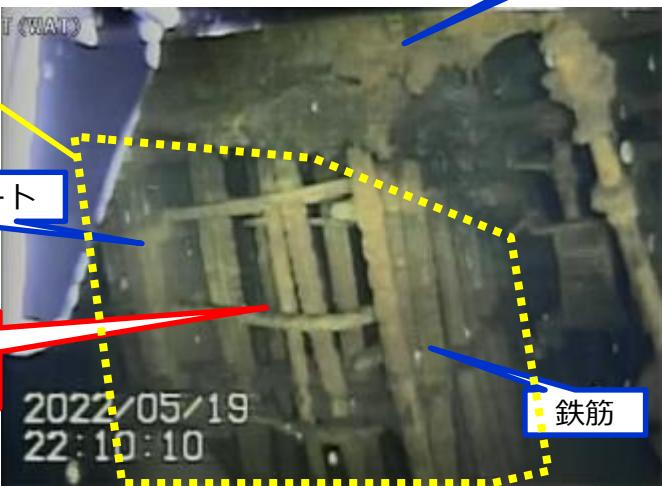


写真3.ペデスタル開口部(右側基礎部)の堆積物より下部の状況

(参考) ROV-A2調査実績② 南側エリア(鉄筋露出確認されず)

■ 電線管中継箱及びサンプポンプ付近の壁面の状況 (3月16日調査)

- PCV底部に堆積物があり、当該堆積物下部の壁面を確認することができなかつたが、目視可能な範囲のペデスタル壁面に鉄筋等が露出していないことを確認。

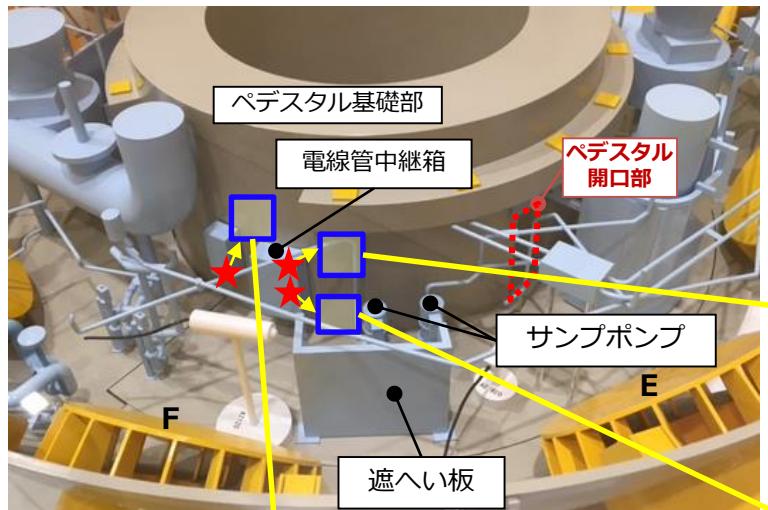


写真5. 遮へい板裏ペデスタル壁面(堆積物上部)

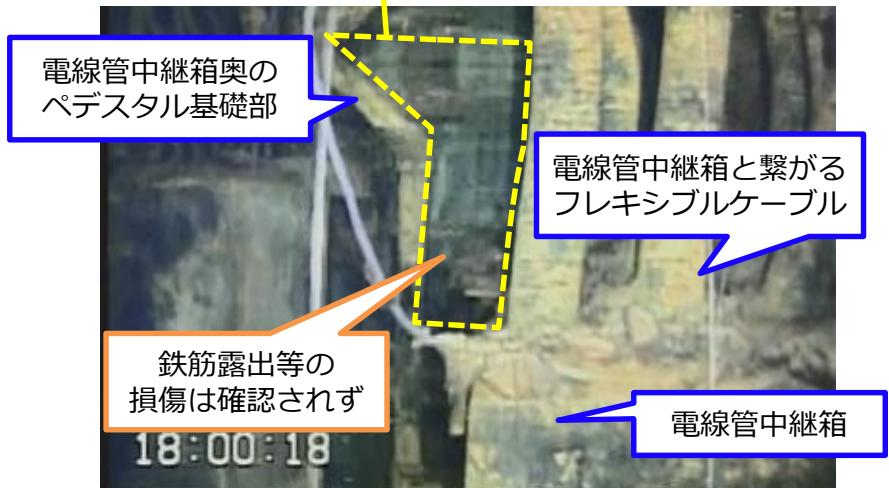


写真4. 中継箱奥ペデスタル壁面(堆積物上部)

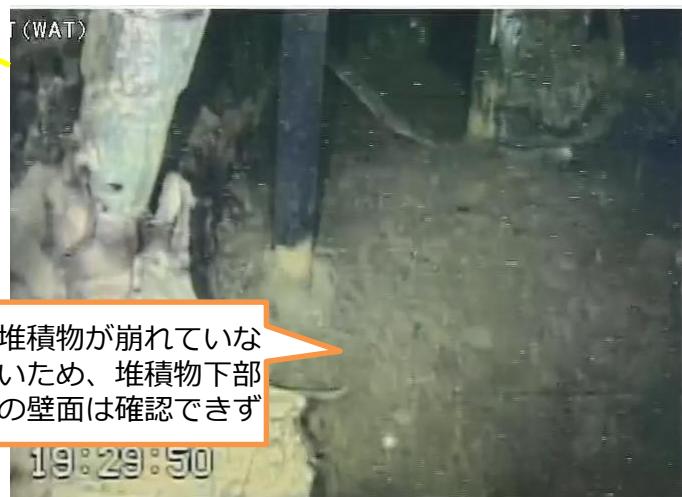
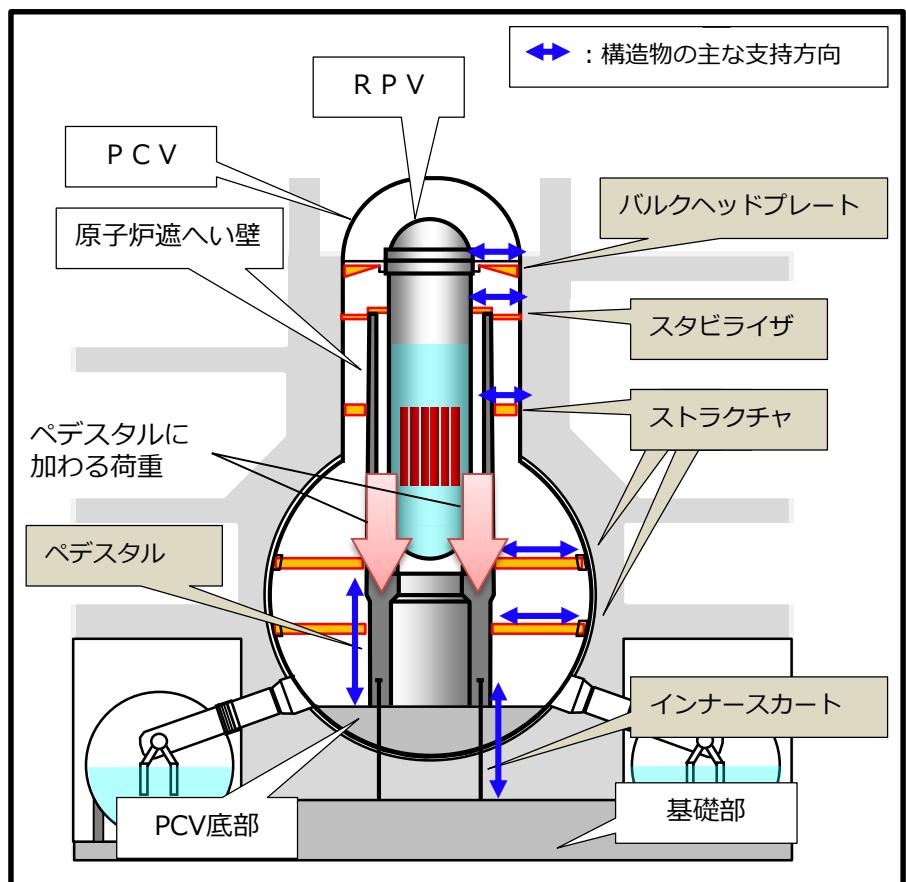


写真6. 遮へい板裏ペデスタル壁面 (堆積物周辺)

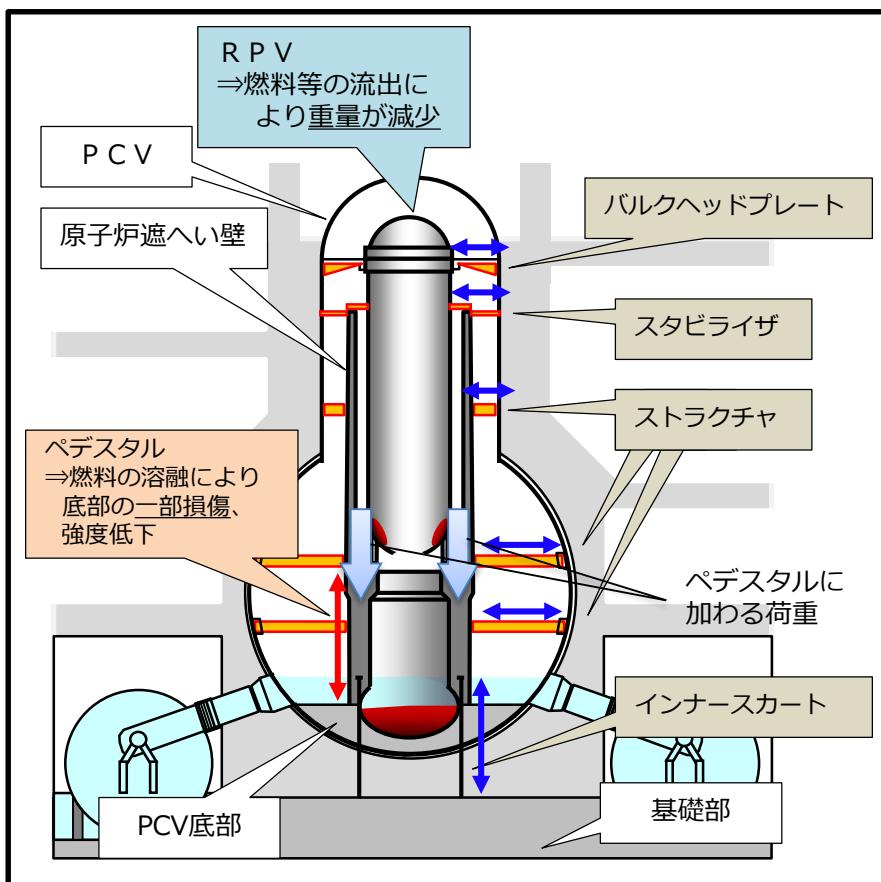
(参考) ペデスタル外面の確認状況を踏まえた考察について

原子炉圧力容器の支持機能への影響

- 原子炉圧力容器（以下、RPV）を支持する構造物と事故による支持機能への影響を下図に示す。
- 1号機は事故により燃料が溶け落ちており、当該影響を踏まえ、補助事業「廃炉・汚染水対策事業」にて、2016年度に国際廃炉研究開発機構（IRID）が圧力容器及び格納容器の耐震性・影響評価を実施し、ペデスタルの一部が劣化、損傷した状態において、所定の機能を維持することを確認（参考1～7）。



RPV 支持構造物及び周辺構造物



事故によるRPV支持機能への影響

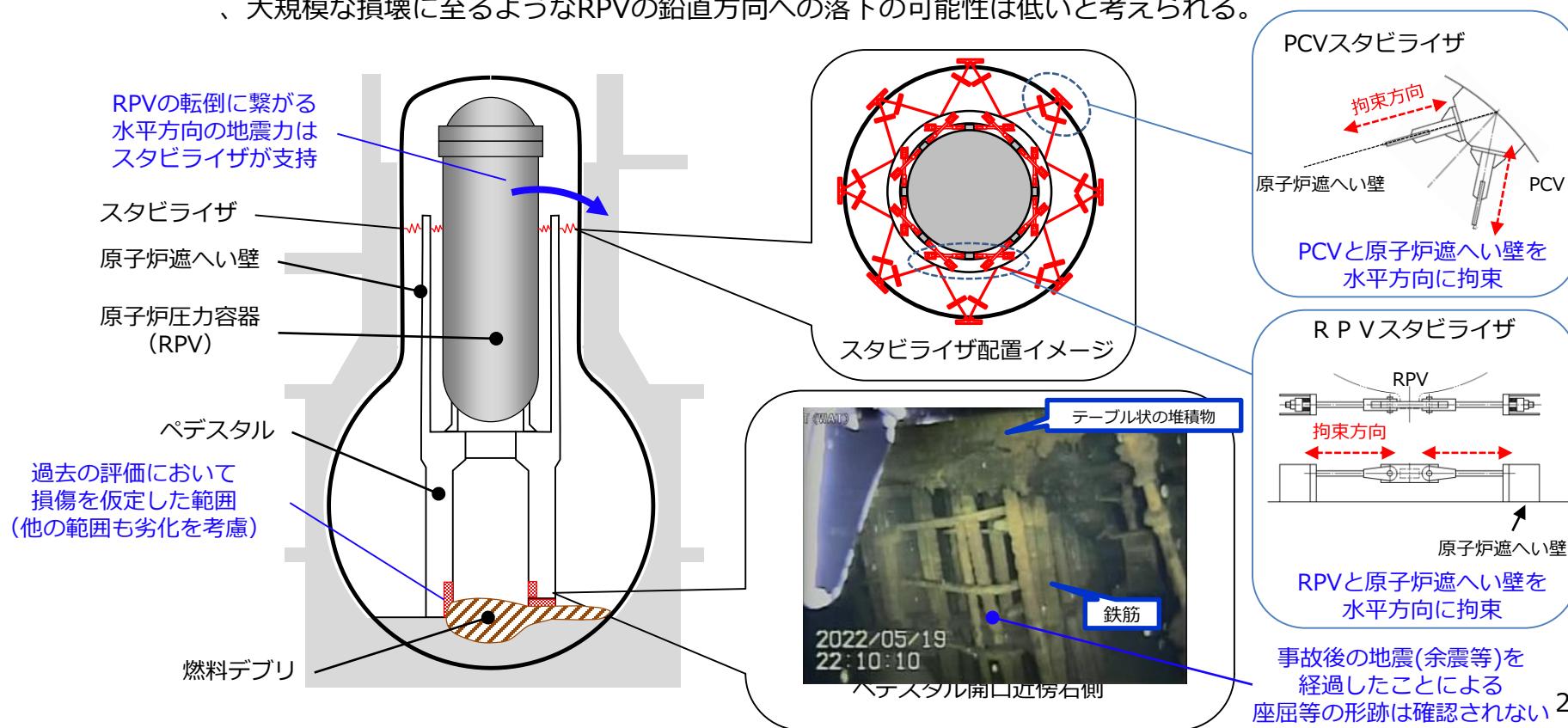
(参考) ペデスタル外面の確認状況を踏まえた考察について

原子炉圧力容器の支持機能への影響

- 今後内部調査により知見の拡充、評価を実施していくが、現時点の情報等を基に、ペデスタルの損傷に伴うプラントへの影響を考察。
- ペデスタルの損傷により想定される支持すべき構造物の水平方向への移動、衝突や鉛直方向への落下については、以下の理由から、大規模な損壊等に至る可能性は低いと想定。

水平方向： RPVを水平方向に支持する構造物（スタビライザ等）があり、RPVの移動が拘束されていることから、PCV等を損傷させる様な衝突に至る可能性は低いと考えられる。

鉛直方向： RPVを鉛直方向に支持するペデスタルに損傷が確認された一方、事故に伴う燃料等の流出によりRPV重量は減少していること、ペデスタルの支持機能喪失を示す形跡（露出する鉄筋の座屈等）はみられないことから、大規模な損壊に至るようなRPVの鉛直方向への落下の可能性は低いと考えられる。



(参考) ペデスター外面の確認状況を踏まえた考察について

支持機能が低下した場合に起こり得る原子安全上の影響について

前項に記載の通り、地震等により大規模な損壊等に至る可能性は低いと想定しているが、仮にペデスターの支持機能が低下し、支持対象であるRPV等が傾斜、沈下した場合の安全上の影響として、燃料デブリの冷却、ダスト飛散、臨界の影響について考察を行った。

その結果、周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはないと考えられる。

<燃料デブリの冷却への影響>

【RPV等の傾斜・沈下により想定される影響】

- 現状、原子炉注水設備により、既設配管（CS系、FDW系）からPCV内に注水し、燃料デブリの冷却を行うことで、PCV温度等の安定を図っている。
- 事故後10年以上が経過し崩壊熱が低下しており、原子炉への注水が停止した場合でも、温度の上昇が緩やかであること（1°C／5日程度）やPCV水位の低下によるダスト濃度への影響がないことを、注水停止試験により確認している。
- RPV等の傾斜、沈下により想定される既設配管（CS系、FDW系）の損傷については、損傷状況によっては、RPVに直接注水できないことも考えられるが、燃料デブリは、大部分がPCV底部へ落下していると考えており、PCVへの注水による冷却水供給及び湿潤環境を維持することで、燃料デブリの冷却に大きな影響を与えないと考えられる。

【更なる措置について】

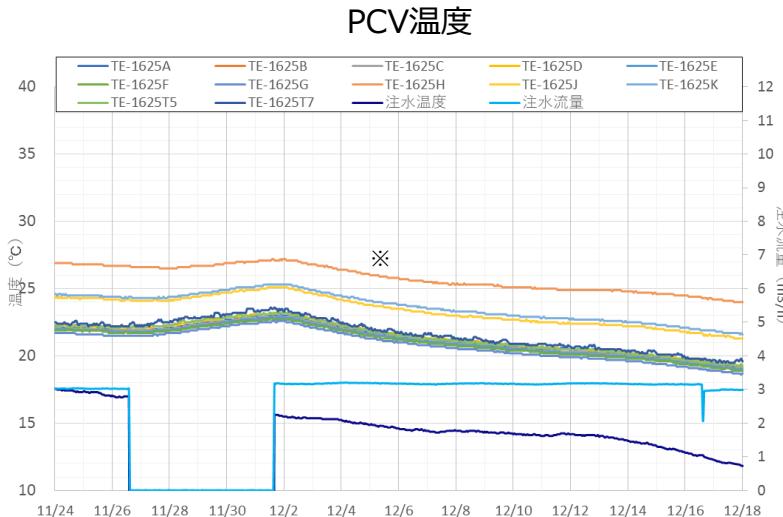
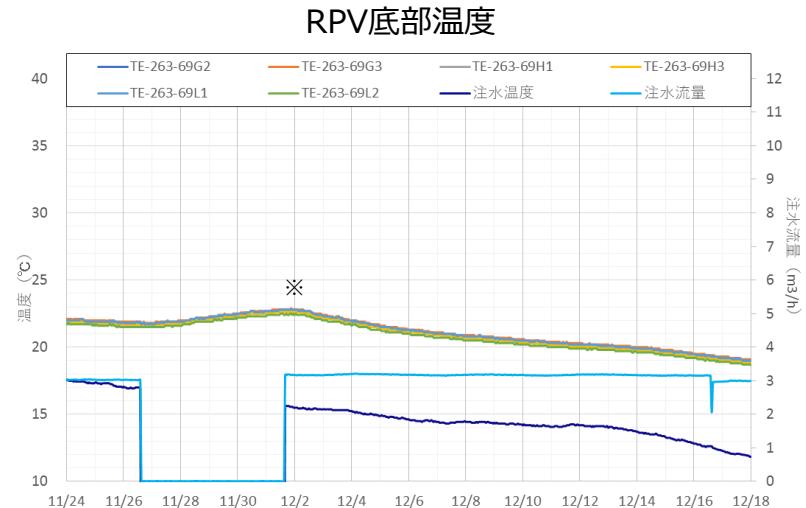
- 仮に既設設備を用いた注水が困難な場合でも、窒素封入に用いている配管（RPVヘッズプレイライン）やPCV内部調査に伴い新設した接続口等の活用による対応についても検討する。

(参考) ペデスター爾外面の確認状況を踏まえた考察について

支持機能が低下した場合に起こり得る原子安全上の影響について

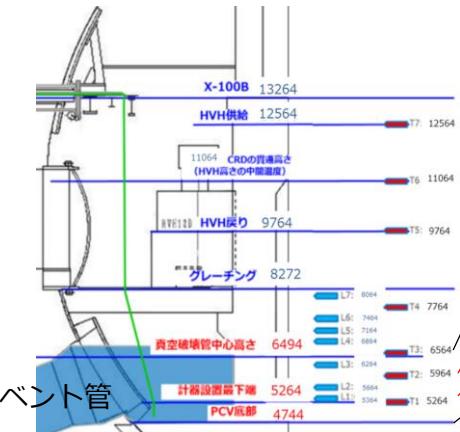
<1号機 注水停止試験における温度上昇とPCV水位 (2020年)>

- 5日間の注水停止試験を実施し、温度の上昇が緩やかであること (1°C/5日程度) およびPCV水位の低下によるダスト濃度への影響がないことを確認

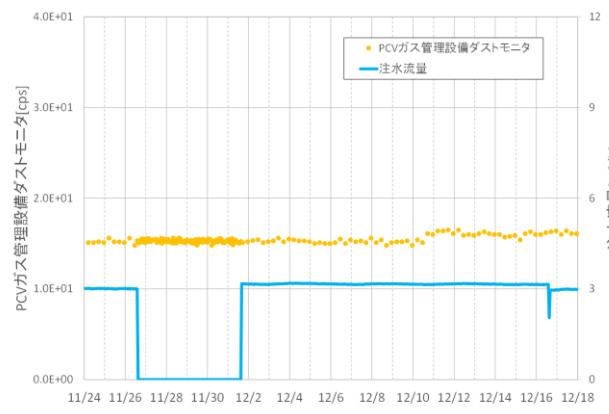


※ 注水温度の低下により全体としては、温度が低下傾向

注水停止試験時のPCV水位



ダスト濃度 (ダストモニタ指示値)



(参考) ペデスター外面の確認状況を踏まえた考察について

支持機能が低下した場合に起こり得る原子安全上の影響について

<ダスト飛散の影響>

【RPV等の傾斜、沈下により想定される影響】

- 現状、PCVについては、窒素封入設備を用いた給気やPCVガス管理設備におけるフィルタを介した排気により、PCV圧力の安定化やPCVから放出されるダスト濃度等の低減を図っている。
- RPV等の傾斜、沈下により想定されるペデスター内、PCV底部の一部の燃料デブリの粉碎によるダスト飛散や、衝撃、振動による構造材に付着しているダストの舞い上がり等については、PCV内は湿潤環境となっているため、PCV内のダスト濃度の増加は限定的※と考えられる。
- また、ダストが舞い上がったとしても、PCVガス管理設備のフィルタを介した排気流量の増加により、ダスト濃度上昇の影響の緩和を図る。

【更なる措置について】

- 現在実施中の1号機使用済燃料取り出しに向けた大型カバーの設置（2023年度頃設置完了）により、ダストの直接的な放出の更なる抑制が可能となる。
- PCV内部調査に伴い新設した接続口等の活用による対応についても検討する。

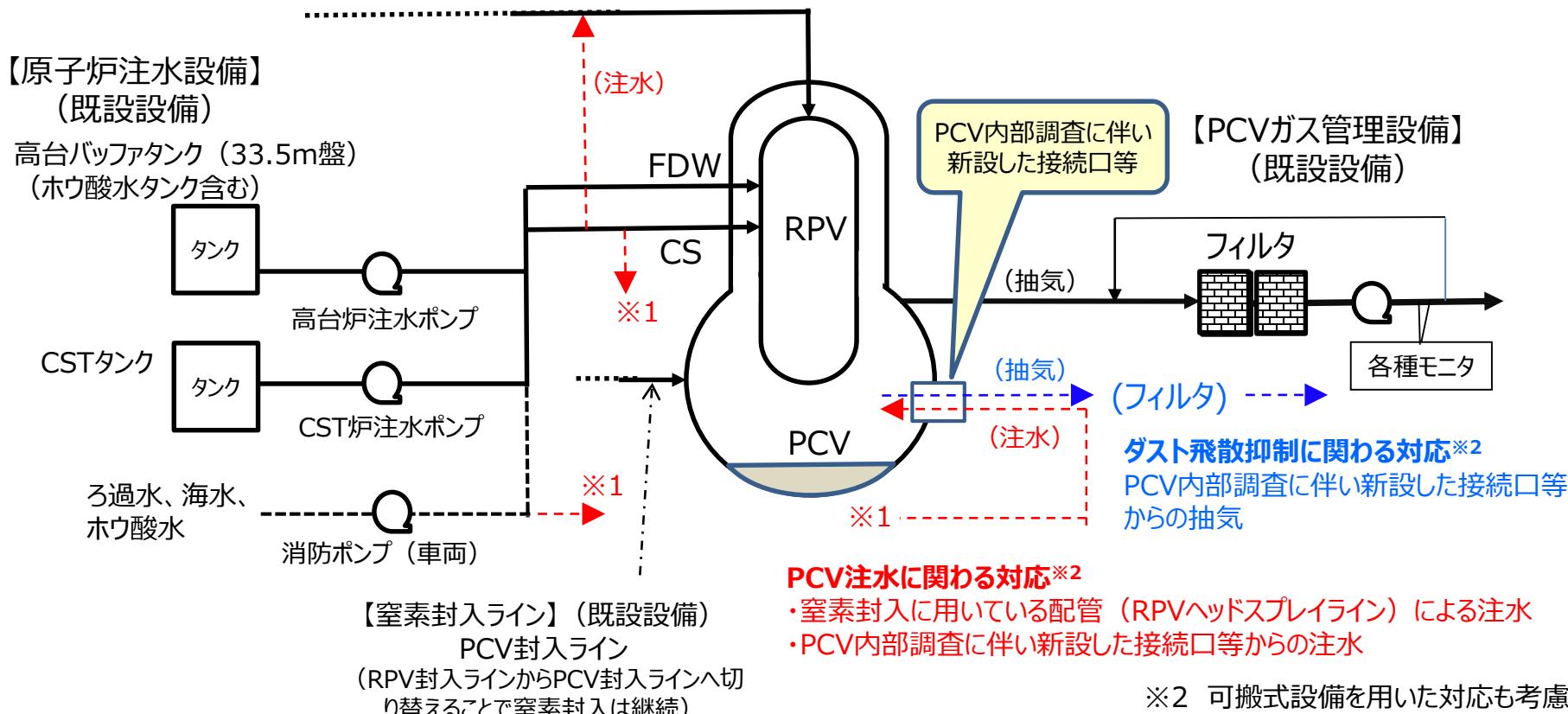
※ 乾燥状態でのダスト飛散の実例として、2021年2月および2022年3月の地震（双葉町・大熊町：震度6弱）時の1・2号機の原子炉建屋および1～3号機のタービン建屋内のダスト濃度が、通常の変動幅より1桁程度の一時的な増加に留まったことを踏まえると、湿潤状態では同程度以下と想定。また、同地震時におけるPCVガス管理設備のダストモニタに有意な上昇がないことを確認。

(参考) ペデスター外面の確認状況を踏まえた考察について

支持機能が低下した場合に起こり得る原子安全上の影響について

更なる措置に関わる対応イメージ

【窒素封入ライン】(既設設備)
(RPVヘッズプレイライン)



(参考) ペデスター外面の確認状況を踏まえた考察について

支持機能が低下した場合に起こり得る原子安全上の影響について

<臨界の影響>

【RPV等の傾斜・沈下により想定される影響】

- RPV等の傾斜、沈下した場合、ペデスター内、PCV底部の一部の燃料デブリの粉碎等が発生し、粒径やデブリの亀裂等の状態の変化が想定される。
- 事故の進展により損傷、溶融した炉心では、燃料の形状の変化や、溶融時に他の炉内構造物を巻き込むことで塊の状態になるため、臨界になりにくい状態になる。これまでの臨界評価において、事故時のデブリの組成、形状（粒径）、構造材の組成及び混合量などの不確定要素について、臨界になりやすいような条件で評価した結果、臨界の可能性は極めて小さいと評価している。
- RPV等の傾斜、沈下により想定される燃料デブリの粒径やデブリの亀裂等の状態の変化は、主に形状に関するものと想定され、上記の臨界評価の範囲内に留まると考えられることから、臨界の可能性は極めて小さいと考えられる。

【更なる措置について】

- 仮に、PCVガス管理設備の希ガスモニタや建屋周辺の線量表示器等により、臨界の兆候が確認された場合であっても、核分裂反応を抑制するため、PCVへホウ酸水を注入する。

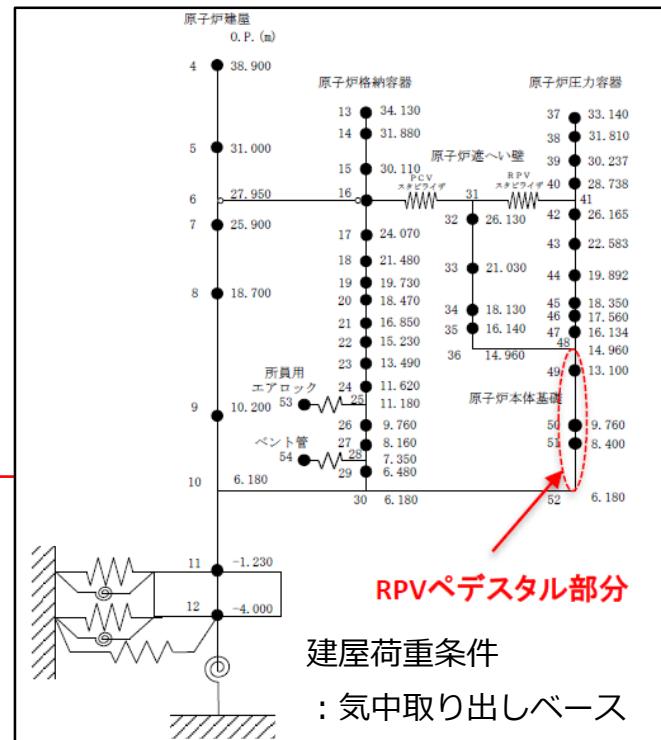
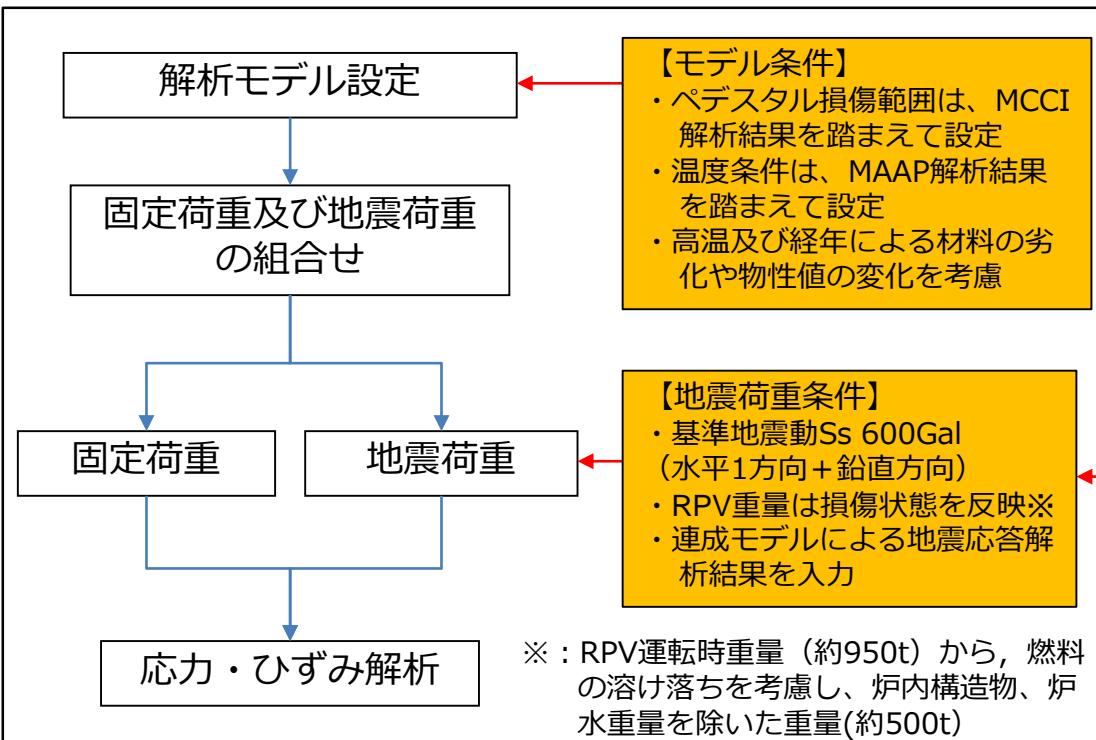
燃料デブリの臨界評価において想定した条件

項目		想定した条件	臨界になりやすいよう考慮した主な条件
デブリ組成	燃料	重核、FP、残存Gd がデブリに混合	燃料の炉心平均燃焼度を低く設定 (炉心平均燃焼度25.8GWd/tに対し20.8GWd/tを採用)
	構造材	被覆管、集合体壁、炉心支持板、支持金具、下部タイプレートがデブリに混合	構造材の混合量を少なく設定 (炉心域に存在する構造材のみが混合)
	制御棒	炉心有効長部分の制御棒のデブリへの混合	制御棒の中性子吸収材が全く含まれていない条件も評価
形状	デブリ（粒子）形状	球形（中実及び中空） 粒半径：～10[cm]	中性子が漏れにくい体系（無限体系）を設定 デブリの粒径を小さく設定（数mm～10cm）
	堆積（体系）形状	体心立方、立方体中央に1つの場合	
	（水領域の割合）	水：デブリ 体積比 = 33.67～58.42	

(参考) IRIDにおけるペデスタル部の耐震性・影響評価について

- 国の補助事業「廃炉・汚染水対策事業」にて、2016年度に国際廃炉研究開発機構（IRID）が圧力容器及び格納容器の耐震性・影響評価を実施。
- ペデスタルの一部が高温により劣化・損傷した状態において、コンクリートや鉄筋のひずみ等の耐震性評価を実施したところ、日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」の基準値以下であることを確認。

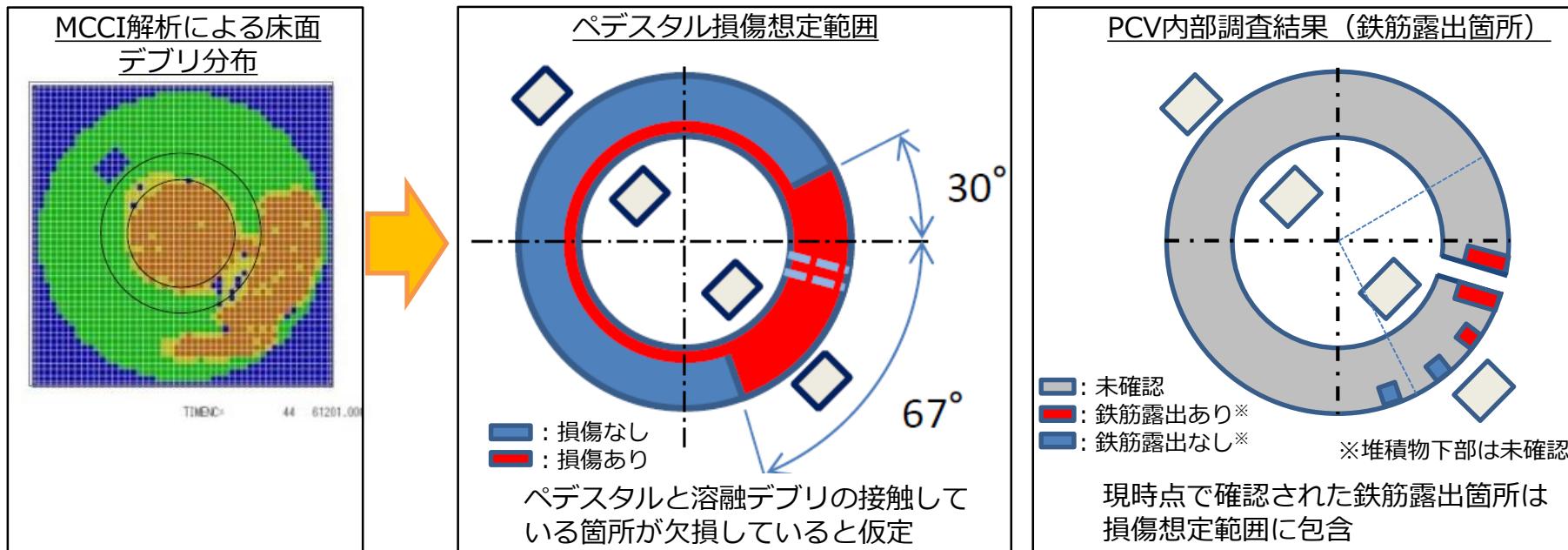
■ 耐震性・影響評価におけるペデスタルの解析方法



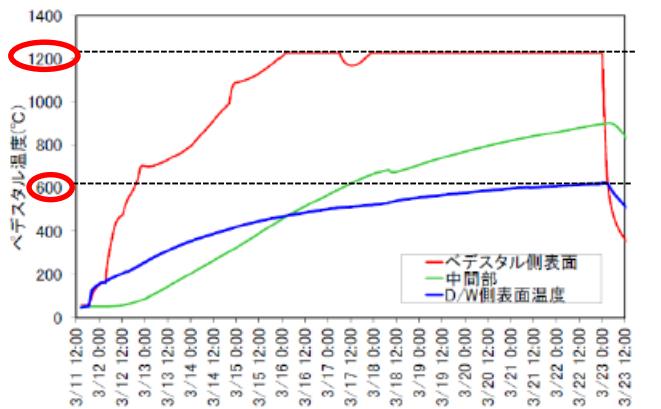
(参考) IRIDにおけるペデスタル部の耐震性・影響評価について

■ ペデスタル解析モデルの損傷範囲と温度条件

➤ モデル損傷範囲：MCCI解析結果を考慮し設定



➤ 温度条件：MAAP解析結果を考慮し設定



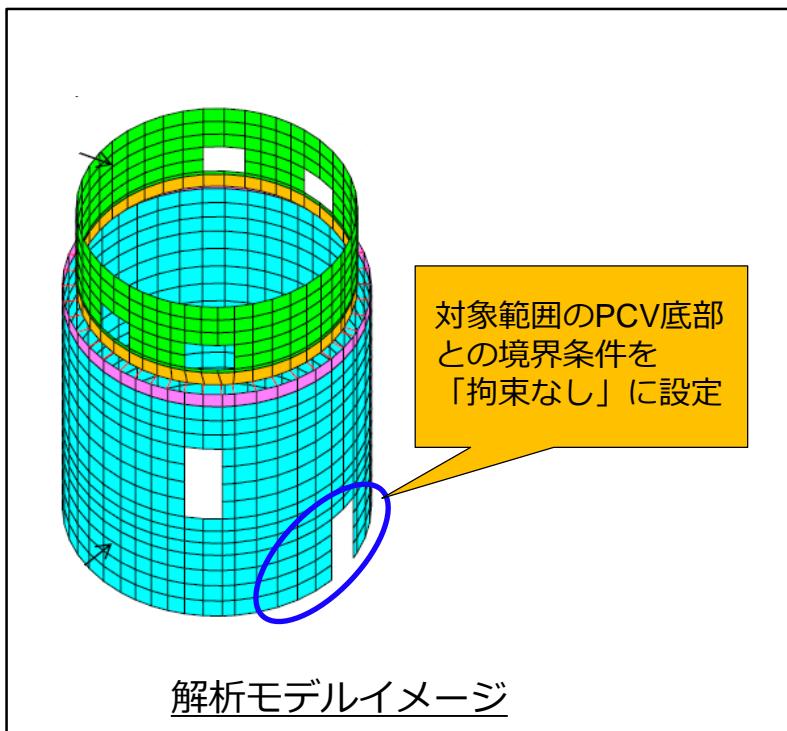
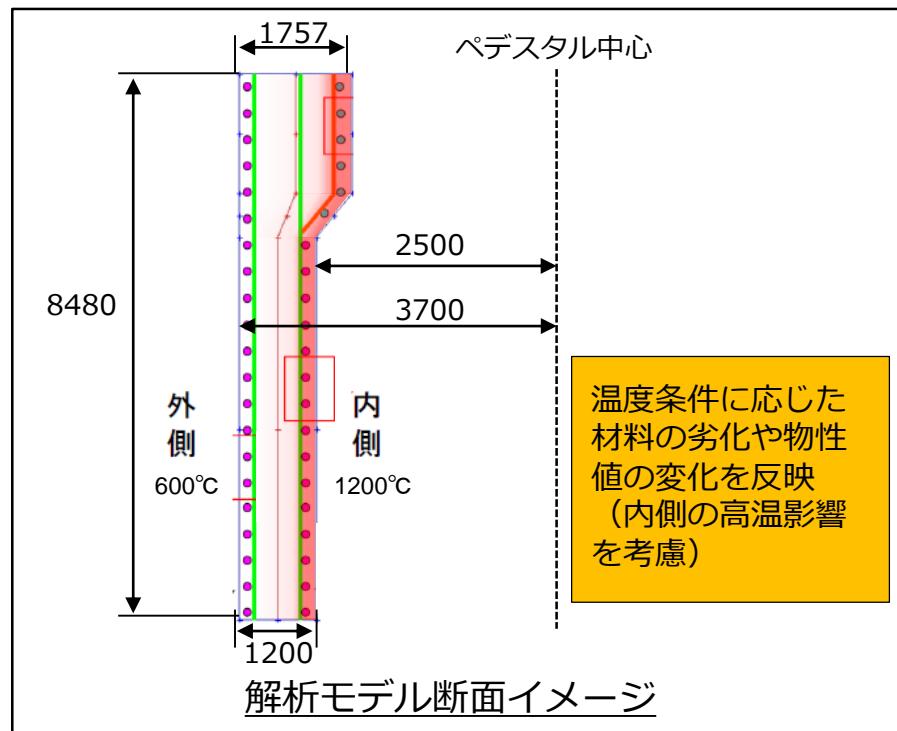
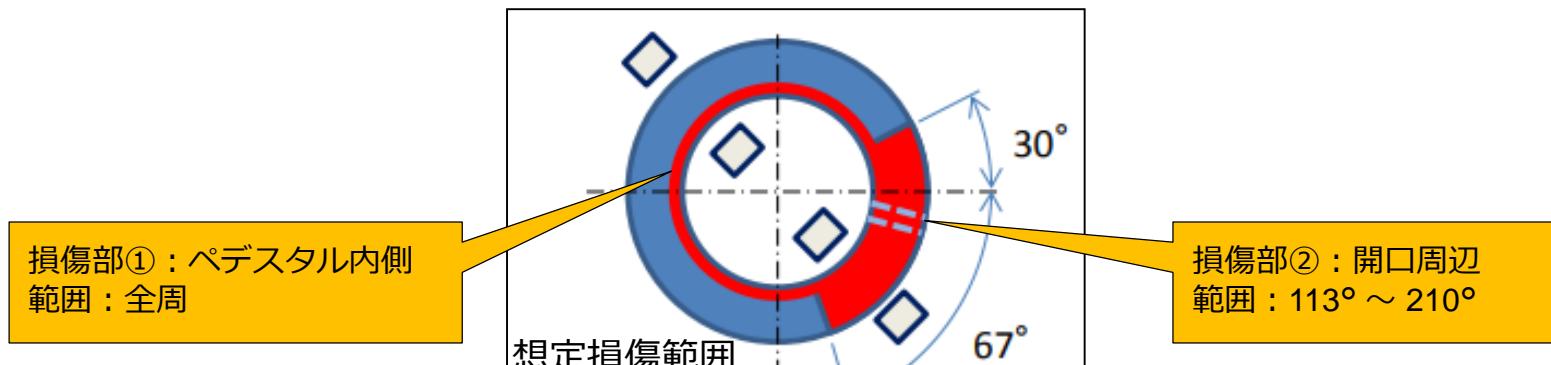
MAAP解析結果より以下を設定

ペデスタル内側：1200°C

ペデスタル外側： 600°C

(参考) IRIDにおけるペデスタル部の耐震性・影響評価について

■ ペデスタル解析モデルへの損傷範囲反映



(参考) IRIDにおけるペデスタル部の耐震性・影響評価について

■ ペデスタル解析モデルの材料劣化の条件

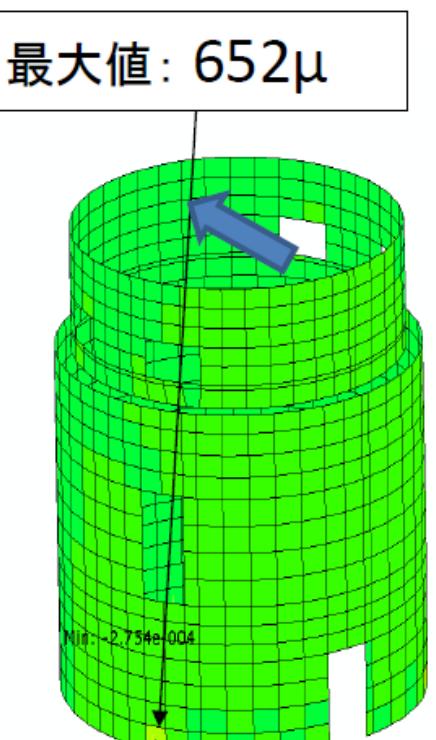
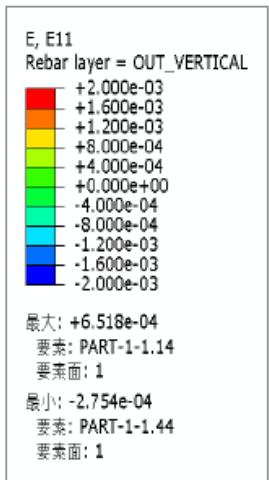
- 事故時の高温状態を踏まえた材料強度の低下
- 高温腐食及び長期腐食を踏まえた鉄筋の減肉

(長期腐食の期間は地震後40年を想定)

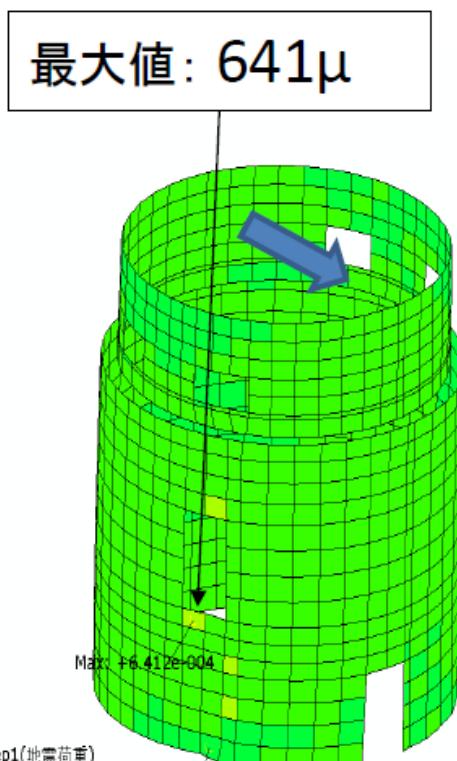
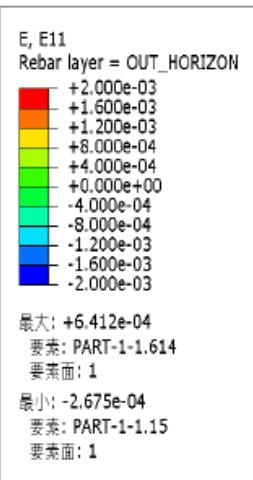
劣化	モデル化項目	モデル化方法	設定根拠
高温	材料	コンクリート 圧縮・引張強度の低減 応力ひずみ関係の軟化	平成27年度 円柱試験より設定 (1F1:普通コン加熱後4ヶ月水中)
		鉄筋 降伏点の低減	AJ耐火性ガイドを参考に設定
		付着 テンションスティフニング 効果は低減しない	平成27年度 縮小模型試験の シミュレーション解析を参考に設定
	形状	温度の 空間分布 温度分布解析を実施	熱物性の妥当性を、平成27年度 ブロック試験を参考に設定
鉄筋 腐食	材料	コンクリート —	—
		鉄筋 (高温腐食) 腐食量に応じた 断面積(鉄筋比)の減少	中森-EPRIの回帰式により設定
		鉄筋 (長期腐食)	平成27年度 鉄筋腐食試験より設定
		付着 テンションスティフニング 効果は低減しない	平成27年度 縮小模型試験の シミュレーション解析を参考に設定
	形状	腐食の 空間分布 全面腐食と仮定	安全側に設定

(参考) IRIDにおけるペデスタル部の耐震性・影響評価について

■ ペデスタル解析結果 (鉄筋ひずみ)



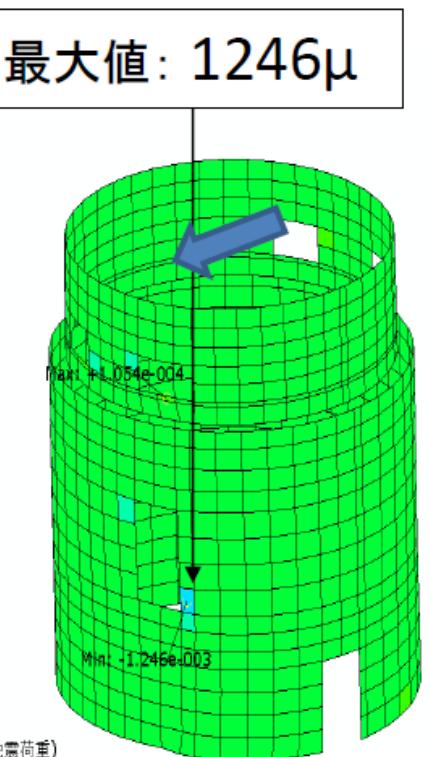
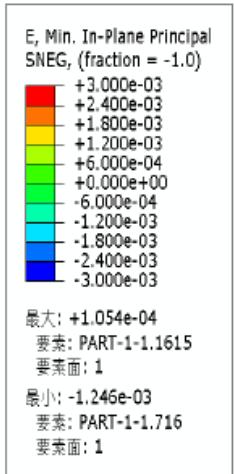
タテ筋ひずみ分布



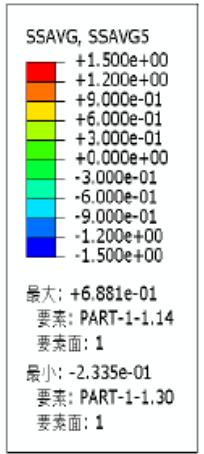
ヨコ筋ひずみ分布

(参考) IRIDにおけるペデスタル部の耐震性・影響評価について

■ ペデスタル解析結果（コンクリートひずみ、面外せん断応力）



コンクリート圧縮ひずみ分布



裕度最大要素の応力:
0.69N/mm²

Max: +6.881e-01
Min: -2.335e-01

z
x
y

ステップ: Step-2, kajima 1f1 all model step1(地震荷重)
Increment 21: Step Time = 1.000
基本変数: SSAVG, SSAVG5
変形変数: U 变形倍率: +1.000e+02
1F1PED2016 N->S : 温度15.5°C 鋼直震度0.46 組み合わせ係数(1.0,+0.4)
ODB: 1F1PED2016_NS_15.5+H10+V04.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x HotFix 4 Fri Jan 13 18:30:42 G

面外せん断応力分布

(参考) IRIDにおけるペデスタル部の耐震性・影響評価について

■ ペデスタル解析結果

温度	デブリ 侵食	評価項目	発生応力・ ひずみ (A)	評価 基準値 (B)	基準値/評価値 (B/A)
内側：1200°C 外側：600°C	あり	コンクリートひずみ	1246 μ	3000 μ	2.40
		鉄筋ひずみ	652 μ	5000 μ	7.66
		面外せん断応力	0.69 N/mm ²	1.44 N/mm ²	2.08

ペデスタルの損傷及び劣化を考慮したモデルでの解析結果より発生応力・ひずみが評価基準値※¹以下であることを確認

※ 1 : CCV規格等※²に基づく評価基準値との比較を実施し、健全性を評価

※ 2 : 日本機械学会 「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」