

1号機 原子炉格納容器内部調査の状況について

2023年9月12日

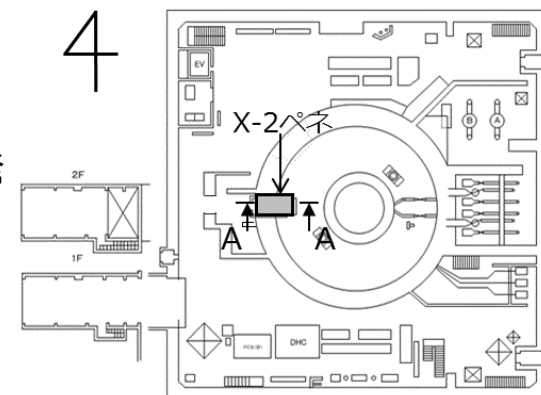
IRID **TEPCO**

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

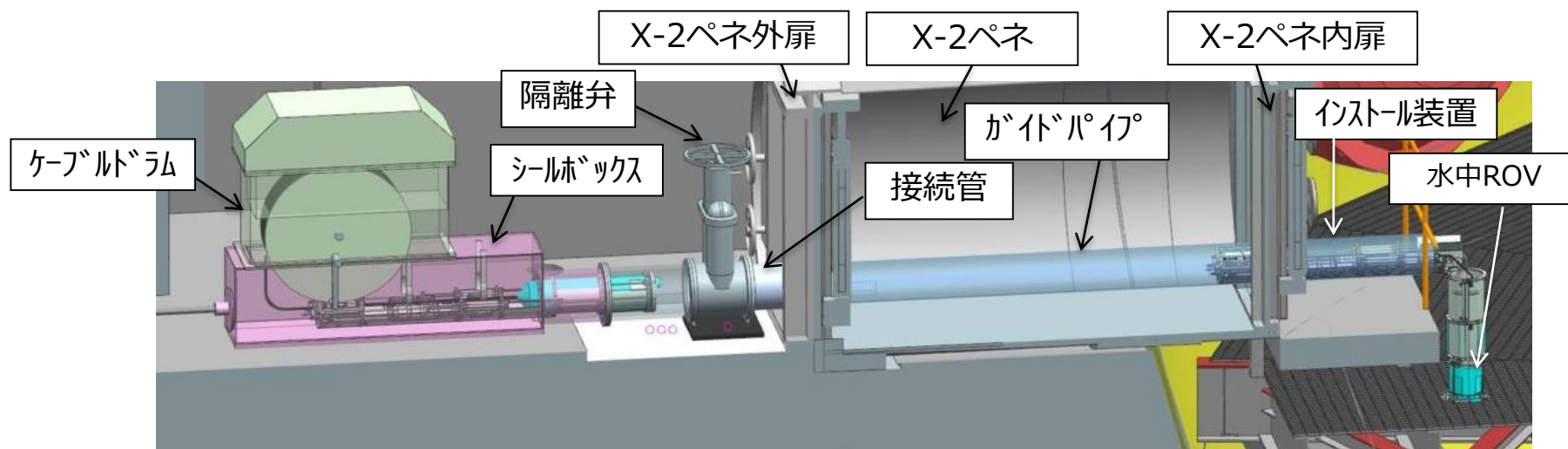
1号機PCV内部調査の概要

- 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
- 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DESTAL外の詳細目視
	③ ROV-C	堆積物厚さ測定
後半調査 (調査済)	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DESTAL内部、壁部の詳細目視



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)

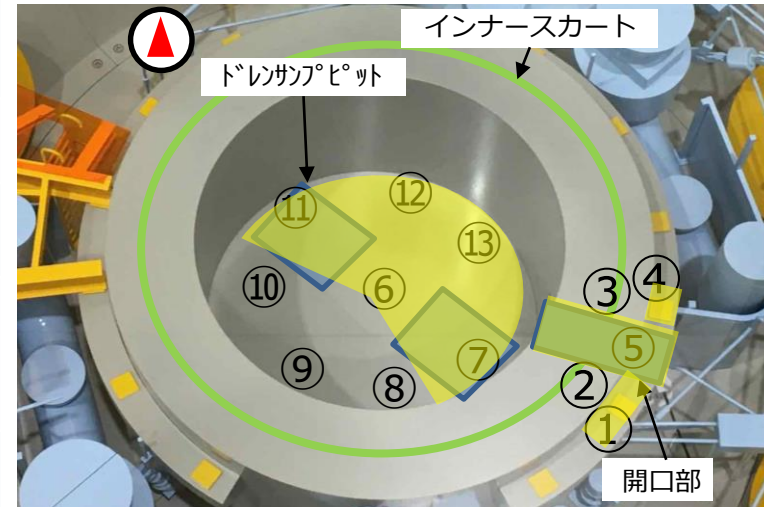
ROV-A2調査(後半)の実施状況について

- ROV-A2調査(後半)では、主にペDESTAL開口部やペDESTAL内部を撮影し、ペDESTAL基礎部、ペDESTAL内構造物、堆積物等を確認
- ROVの遊泳範囲として、開口部外側からペDESTAL内部の北側(右下図:黄色エリア)まで到達することができたが、南側は寄り付きでの調査はできていない
- 南側の映像については、ペDESTAL開口部(⑤)の位置や遊泳時の撮影映像から状況を確認

【ROV-A2調査順序】

実施日	場所	調査箇所
3/28	①⇒②⇒③⇒④⇒⑤	ペDESTAL外部
3/29	⑪⇒⑫⇒⑬⇒⑦	ペDESTAL内部
3/30	⑬⇒⑥～⑦の間	ペDESTAL内部
3/31	⑤	ペDESTAL外部 ※⑤開口部まで進入 (ケーブル余長の関係のため)
未実施	⑧⑨⑩	ペDESTAL内部 ※⑤からの遠距離撮影映像なら びに遊泳時の撮影映像あり

【1号機ペDESTAL内部】



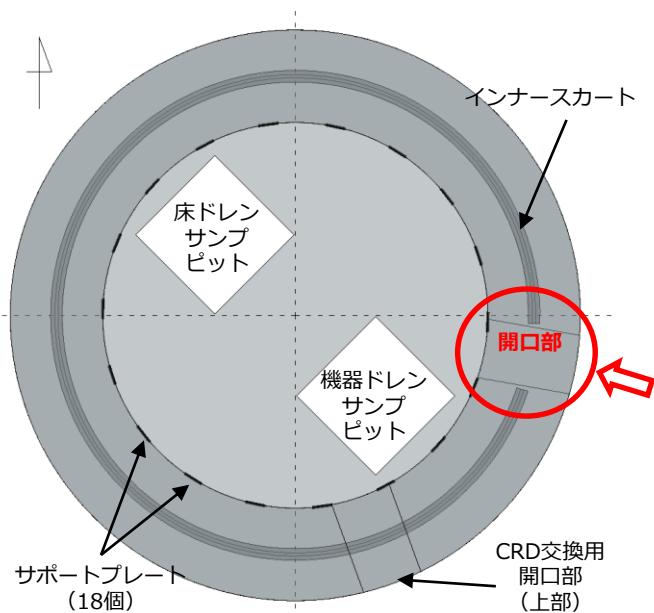
ROV到達エリア:

ペDESTル開口部の状況

- 開口部に棚状堆積物が存在
- 事故前に存在していた構造物（CRD交換機等）は存在せず
- 開口部の床から1m程度はコンクリートがなくなり、鉄筋だけが残存（インナースカート高さに相当）
- 開口部のペDESTル内への出口付近に1m程度の高さの堆積物を確認



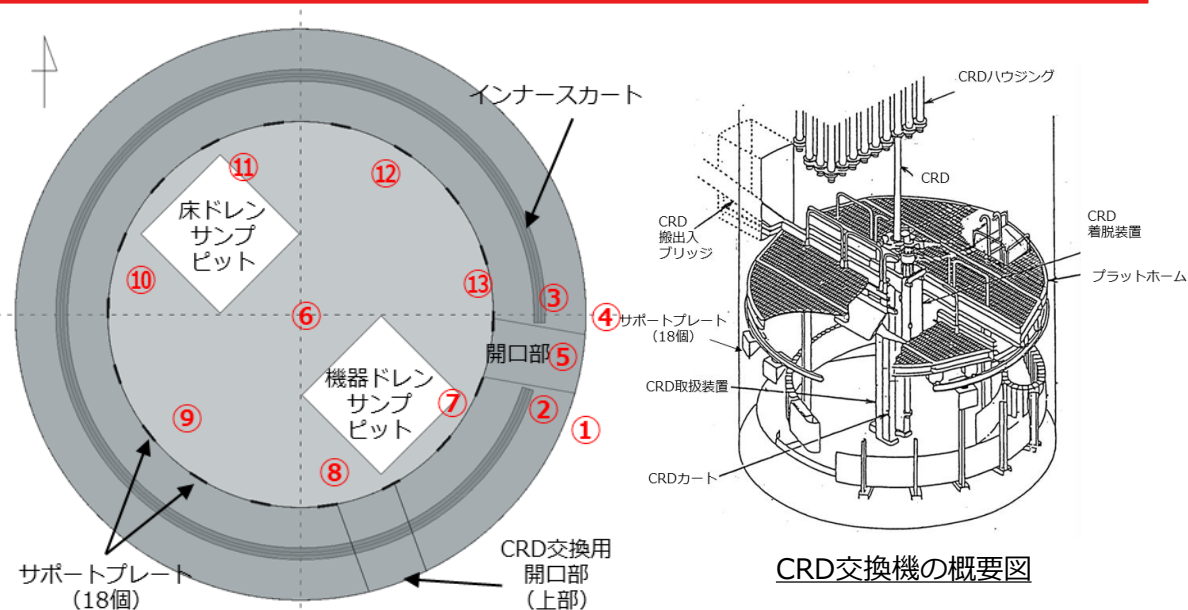
上下の写真の中間部の写真は存在せず



← カメラの撮影方向

ペDESTラル内部の外観

- CRD交換機自体が存在せず
- 開口部同様、全周にわたり床から高さ1m程度までの高さで鉄筋が露出
- ペDESTラル外、開口部同様、一部に棚状堆積物を確認
- ペDESTラル壁周辺に落下してきたCRDハウジングを確認



7

8

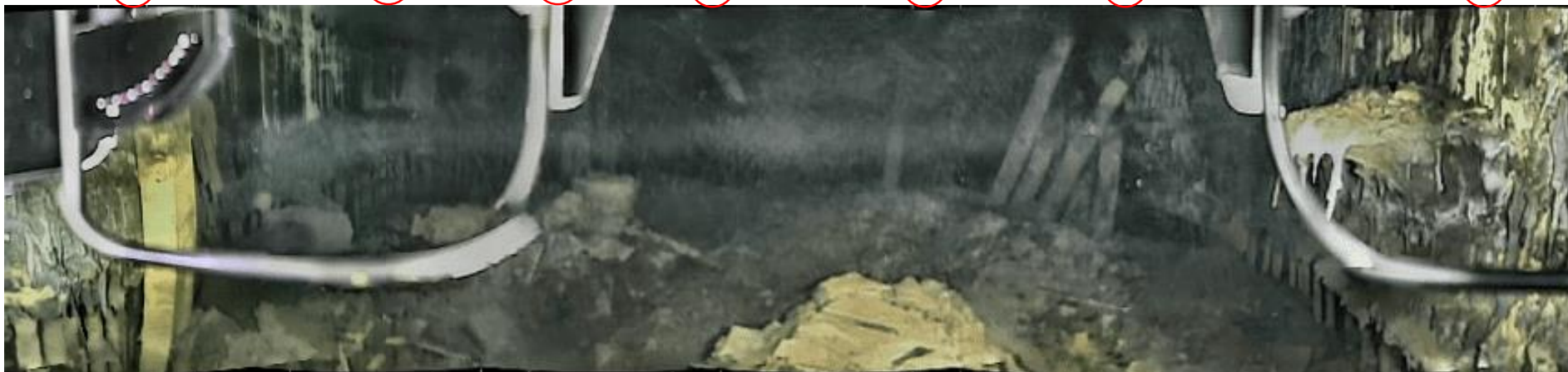
9

10

11

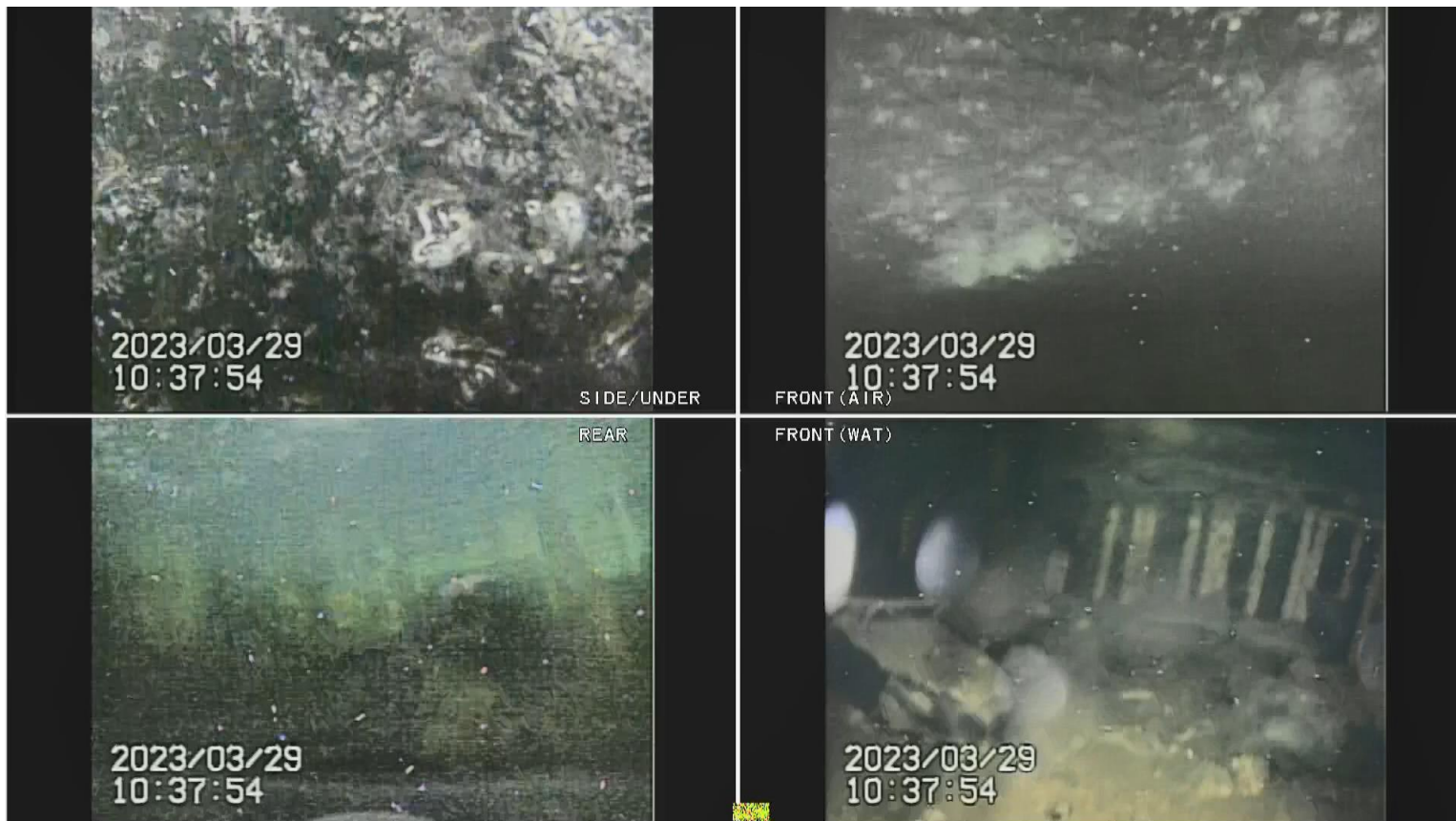
12

13



*位置は推定

開口部出口から撮影したペDESTラル内部のパノラマ写真



ペDESTアル内で確認できた構造物

- CRD 交換機 のレイルが 設置 されて いた サポートプレート (等間隔に18個) が残存 (ROVの位置確認にも活用)
- 6つあったCRD交換機の車輪と推定される構造物を堆積物上に確認
- CRD交換機のレイルは~1/4程度残存



サポートプレート (レイル無し)



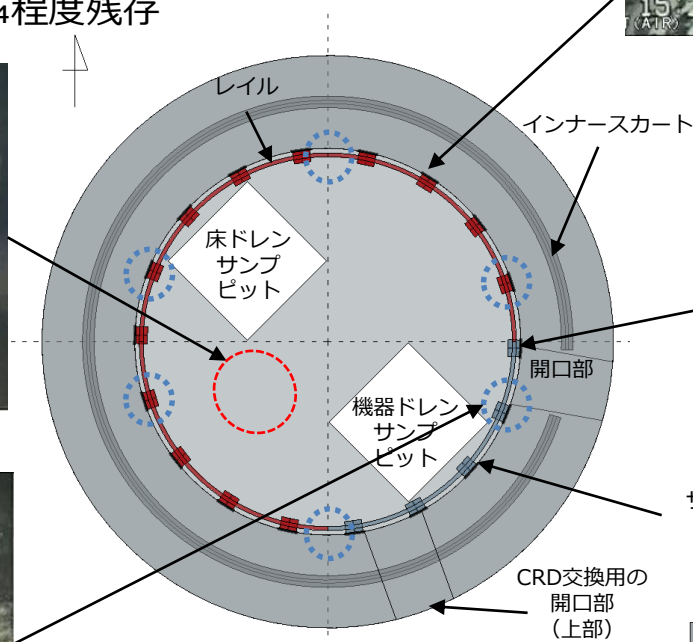
サポートプレート (18個) サポートプレートとレイル



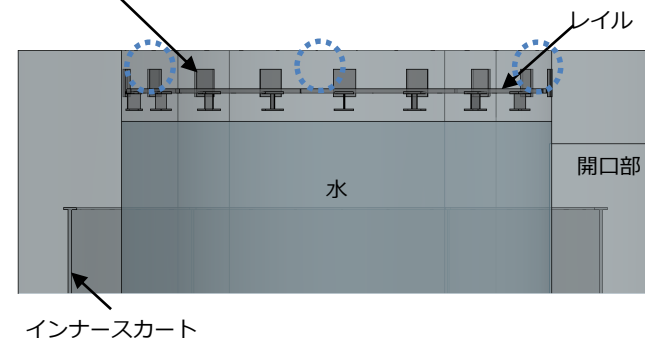
CRD交換機の車輪?



サポートプレートと残存するレイル

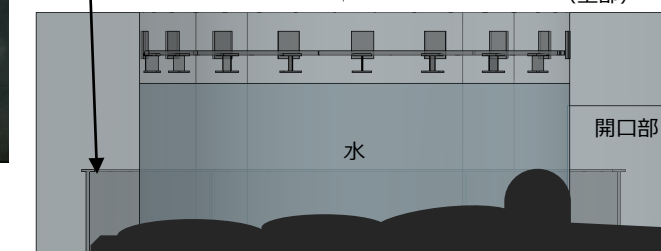
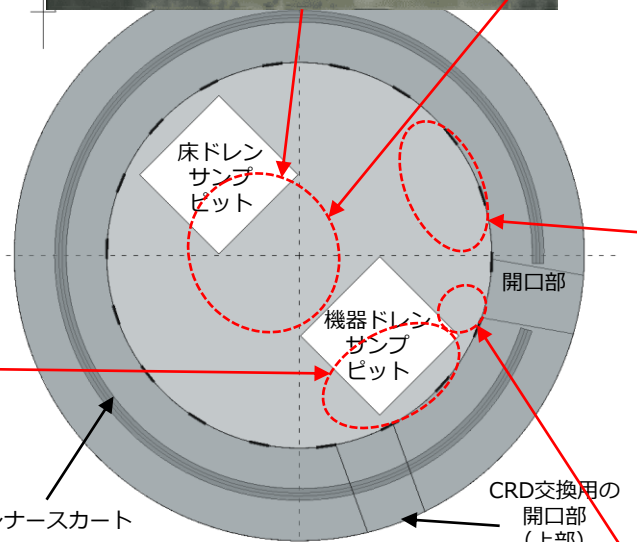


- レイルが確認されたサポートプレート
- レイルが確認できないサポートプレート
- 6つのCRD交換機の車輪の位置
*位置は推定



堆積物の高さ分布

- ペDESTAL内は大きな起伏はなく、比較的平坦
- 堆積物の最高部は開口部周辺の1m程度の堆積物の山
- 内部の平均的な高さは約60cm程度と推定
- 開口部の右側と左側を比較すると、右側が若干高い



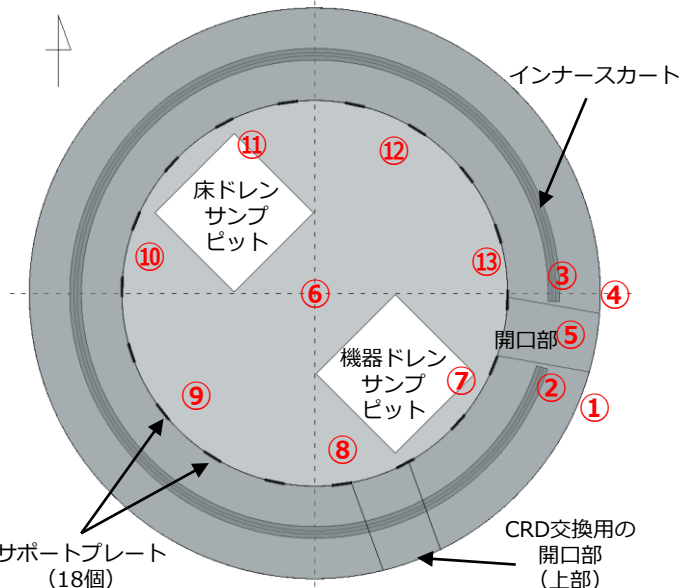
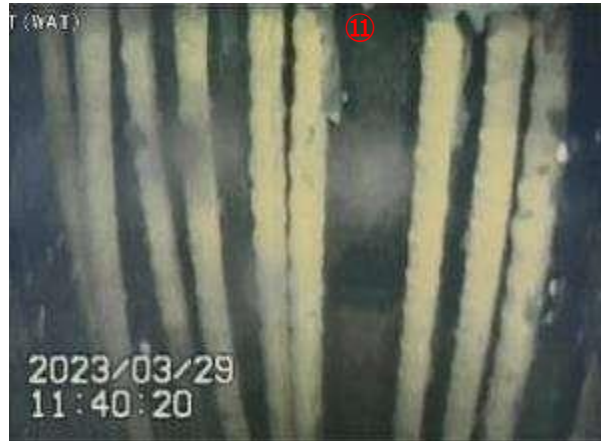
推定される堆積高さのイメージ



*位置は推定

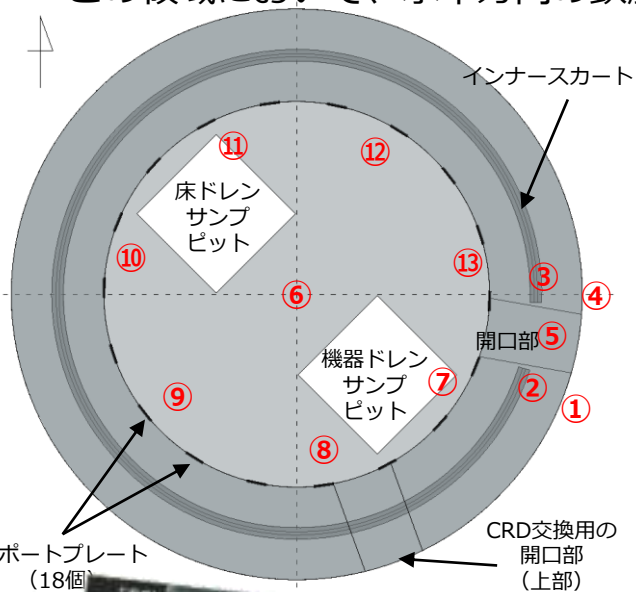
コンクリート壁の劣化状況 (1/2)

- 鉛直方向の鉄筋には大きな損傷は見られない（表面のエンボス加工も確認できる）
- 水平方向の鉄筋はほとんど確認できない（脱落したと推定）
- ポイント⑪では、インナースカート表面にある水平方向の突起物（インナースカートリブ）も確認でき、開口部での観察結果も含め、インナースカートには変形がないと推定



コンクリート壁の劣化状況 (2/2)

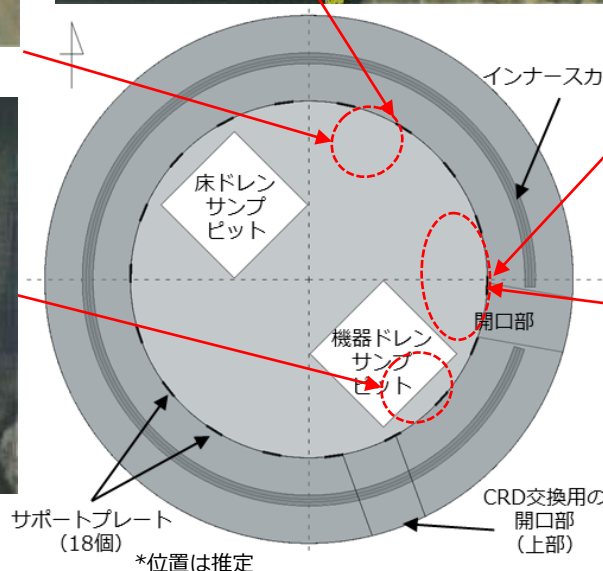
- ポイント ⑧, ⑨, ⑩の壁周辺には寄り付けなかったが、調査動画中にたまたま映り込んだ映像を確認することで状況を確認することができた。
- この領域において、水平方向の鉄筋が確認できた (自重により変形したと推定)



*位置は推定

ペDESTアル内の棚状堆積物の状況

- ペDESTアルの内部の棚状堆積物は先端が比較的なめらかな形状を持ち、また、棚の上下の領域では表面性状が大きく異なる
- 鉄筋露出部の直上に、ペDESTアル外と連続性のない二層目の棚状堆積物がある可能性（左下写真）
- CRDハウジングが落下している箇所の棚状堆積物（中央写真）は、落下物により破損した可能性

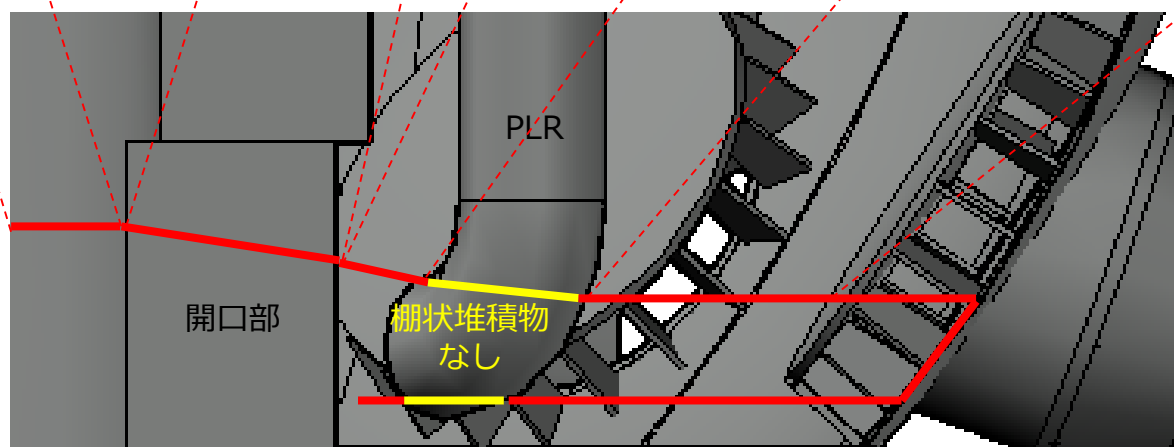
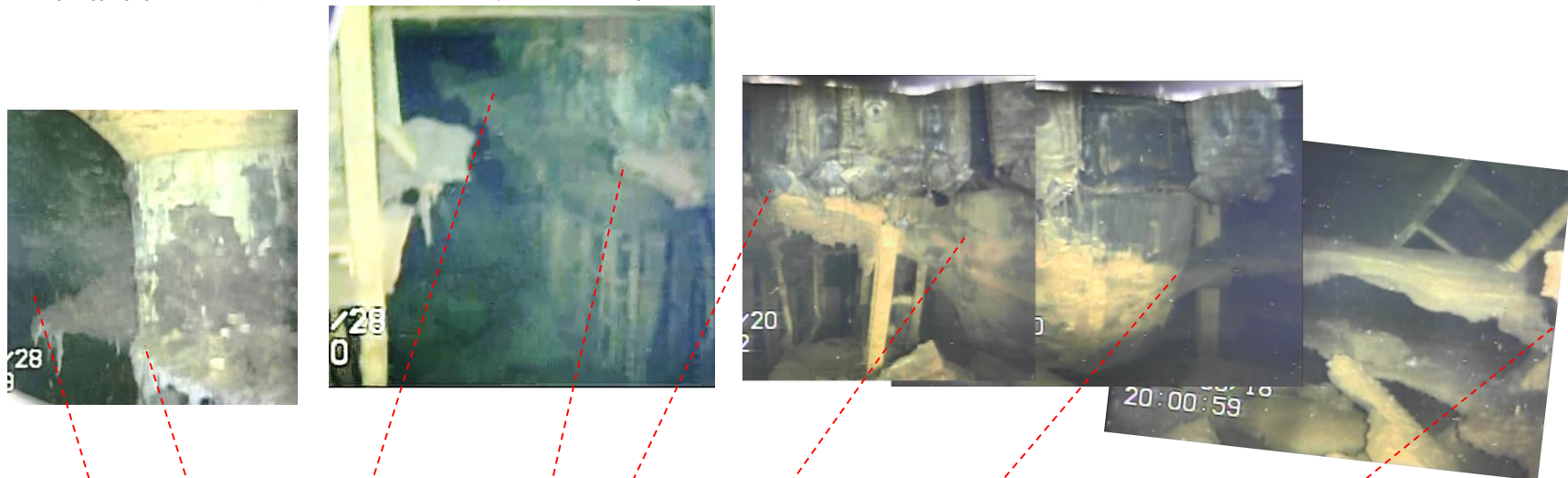


鉄筋漏出部直上にある2層目の棚状堆積物？

棚状堆積物位置の開口部との比較

棚状堆積物の連続性

- ペDESTAL内→開口部→ペDESTAL外の棚状堆積物には連続性があり、格納容器壁に近づくにつれて少しずつ低くなっている。



*位置は推定

ペDESTAL内壁の状況

- 棚状堆積物の上部の壁表面にはところどころ黒い物質が付着している
- コンクリート表面の劣化は棚状堆積物の下部から始まり、表面が黒くなっているほか、大量の付着物が存在
- 床から1m程度の高さまで、鉄筋が露出

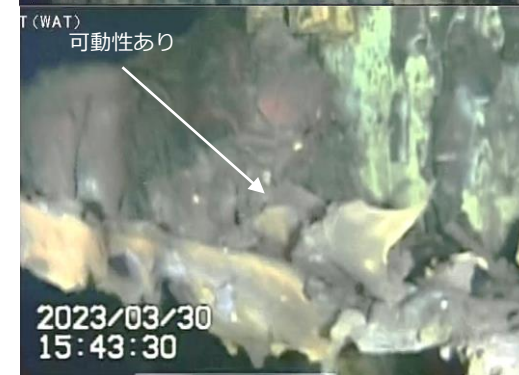


壁の状況の鉛直方向の分布

*各レイヤーの分布・有無は異なる場合がある

ペDESTル開口部内の状況

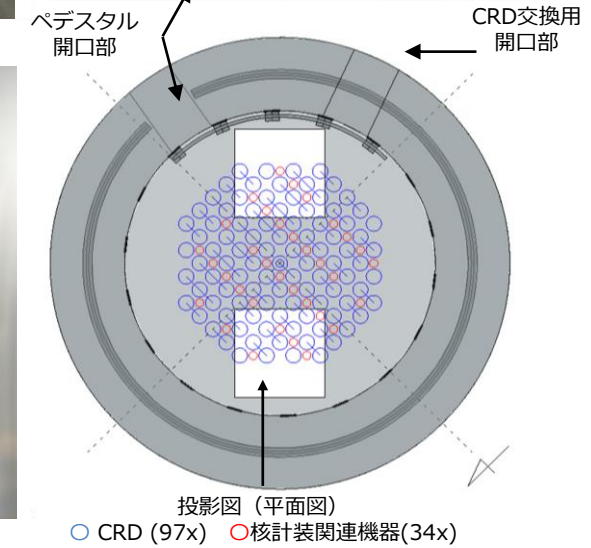
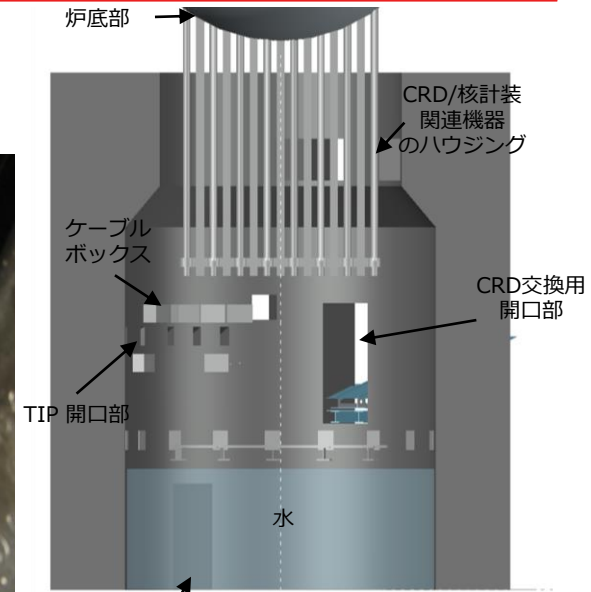
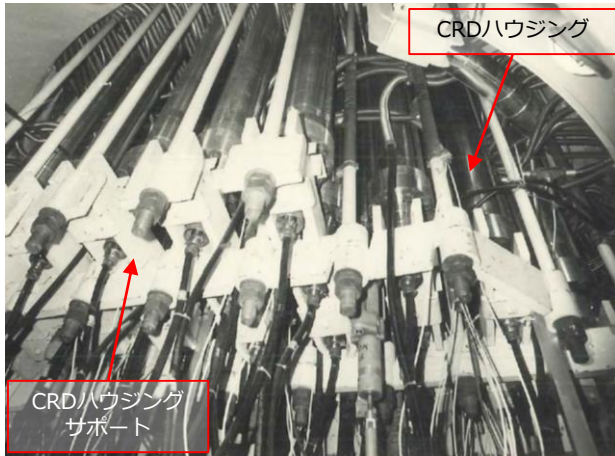
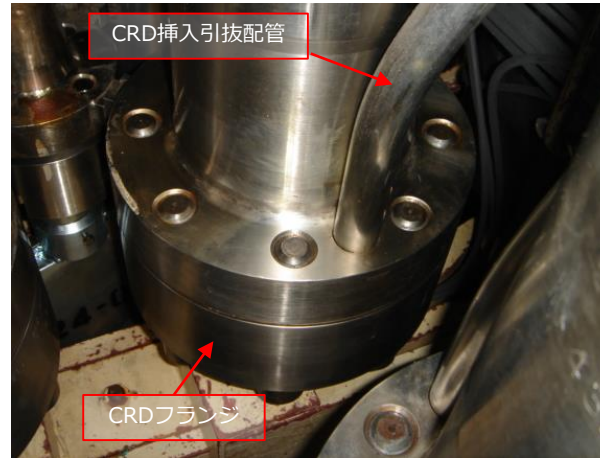
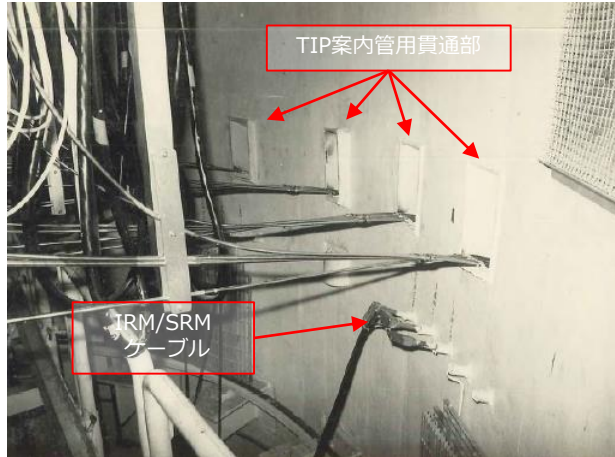
- ペDESTル内壁の状況と同様の状況が確認できる



壁の状況の鉛直方向の分布

*各レイヤーの分布・有無は異なる場合がある

ペDESTラル上部内機器配置 (事故前)



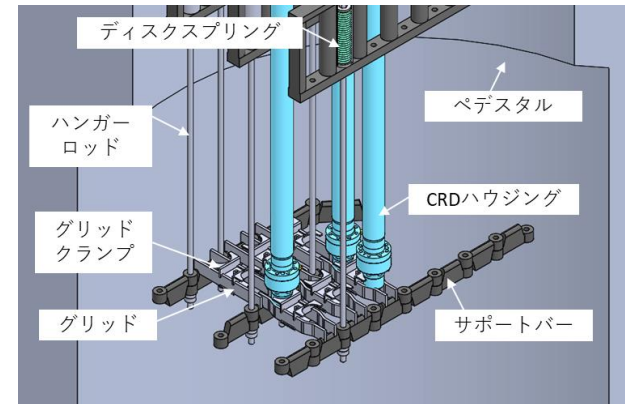
ペDESTラル内機器配置のイメージ図*
 *CRD交換装置、CRDハウジングサポート、ケーブル類、CRD挿入引抜配管、TIP配管、PIPケーブル等は省略

CRDハウジング等の状況について

- 崩落したCRDハウジングの部品は堆積物上に存在
- 著しい変形がないため、部品の特定が可能
- 落下した部品の一部に塊状の堆積物が付着

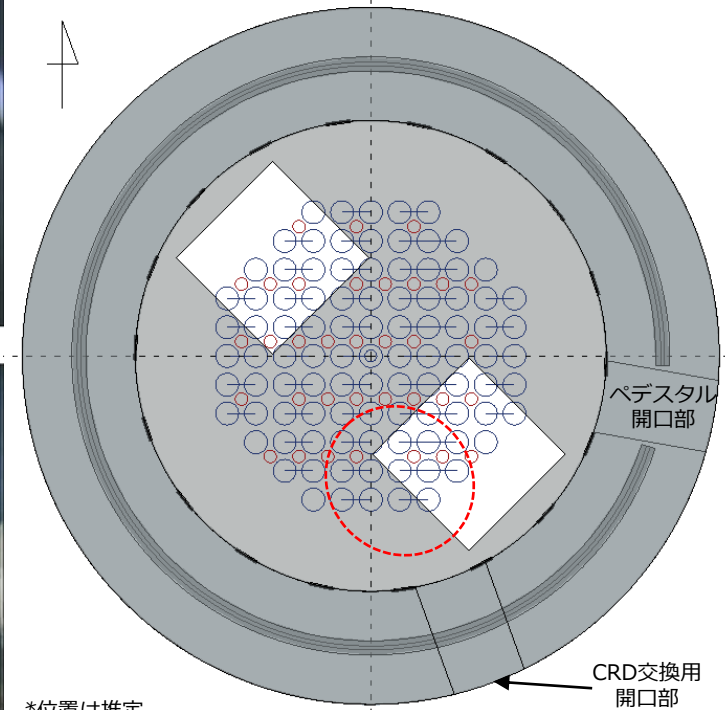


気中の状況



CRDハウジングサポートのイメージ図

T. Yamashita et al., Annals of Nuclear Energy 173 (2022) 109129

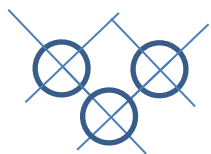


*位置は推定

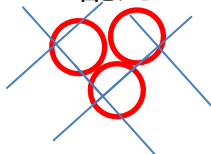
CRDハウジング等の状況について

- 複数のCRDハウジング及び核計装関連機器ハウジングの水平方向の変位が外周に確認
- 正確な垂直方向の位置特定が困難
- 事故前の各CRDの間隔：～6 cm

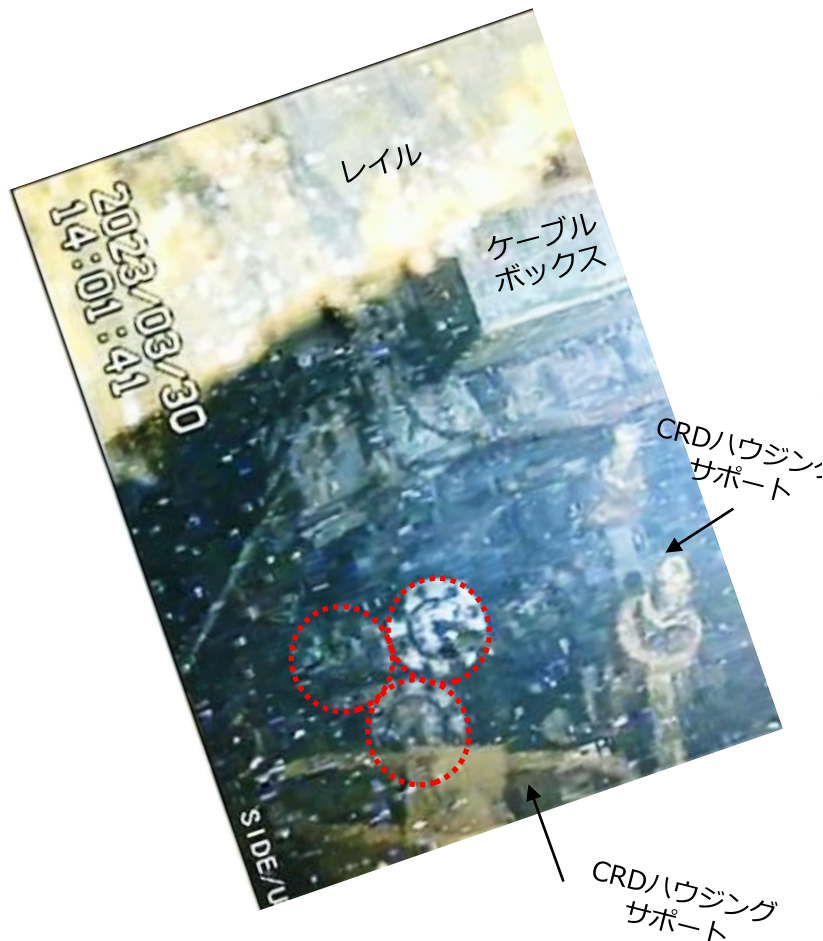
元のCRD配列



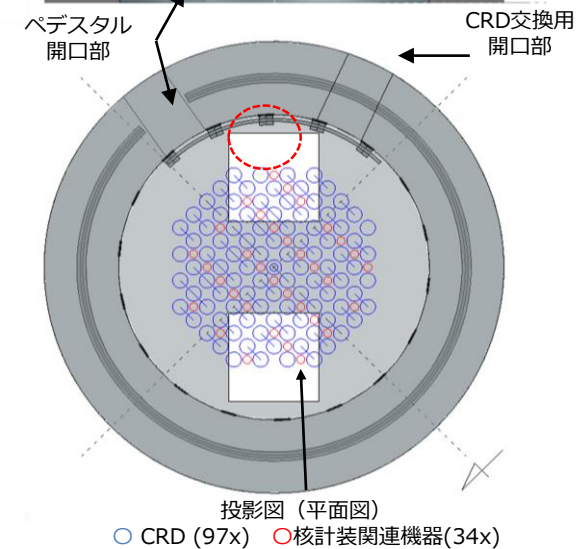
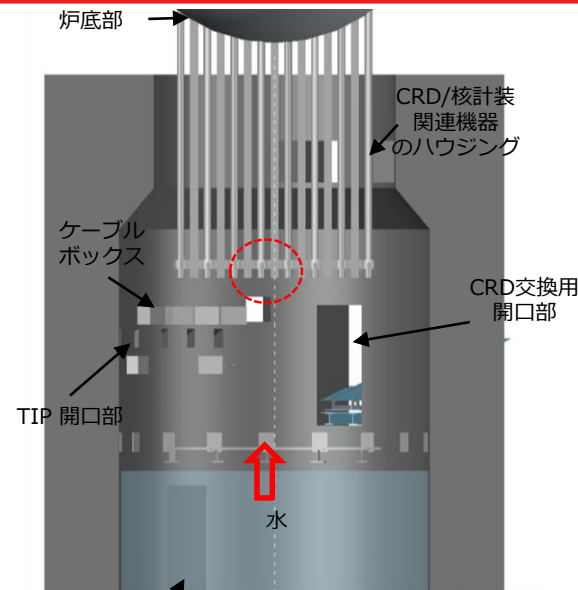
観測された配列



← カメラの撮影方向
*位置は推定



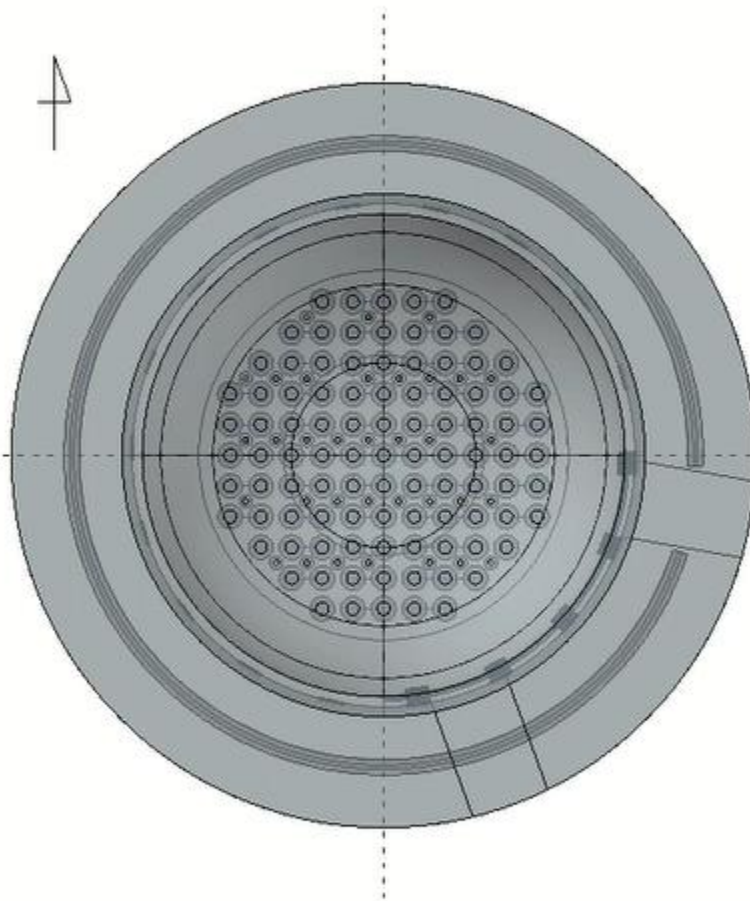
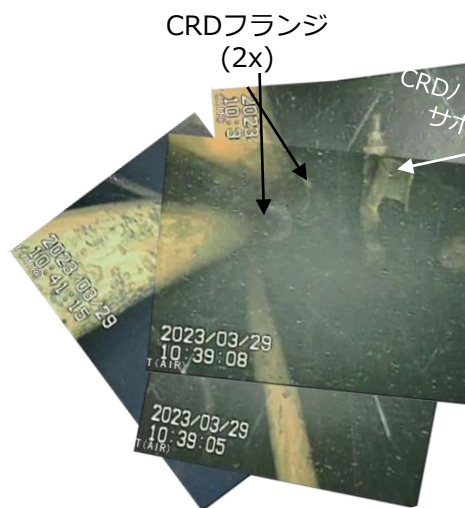
水平方向の変位の例



ペDESTAL内機器配置のイメージ図*
*CRD交換装置、CRDハウジングサポート、ケーブル類、CRD挿入引抜配管、TIP配管、PIPケーブル等は省略

CRDハウジング等の

- 上下逆になったCRDハウジ及びペDESTAL上部に引っか
- *イメージ図は下から上に見上げ



サポートプレート

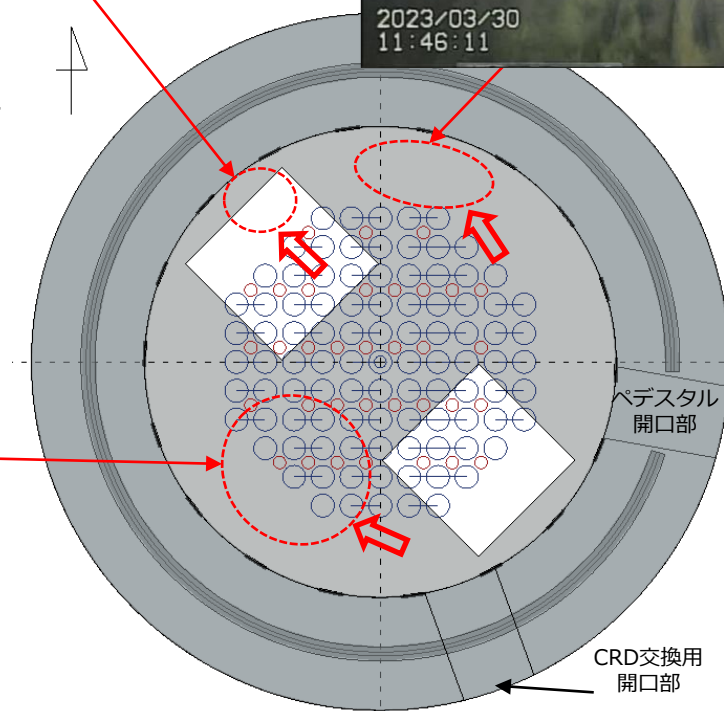


*位置は推定



CRDハウジングの状況について

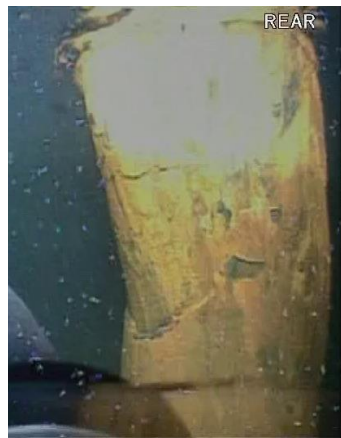
- ペDESTAL壁周辺に落下しているCRDハウジングを10本以上確認
- 一部の落下したCRDハウジングは部分的にペDESTAL床の堆積物に埋まっている状況
- 2号機では上部タイププレートが、3号機ではCRGTが確認されたが、1号機ではペDESTALに落下した炉内構造物の特定はできず



← カメラの撮影方向
*位置は推定

落下CRDハウジングの変形について

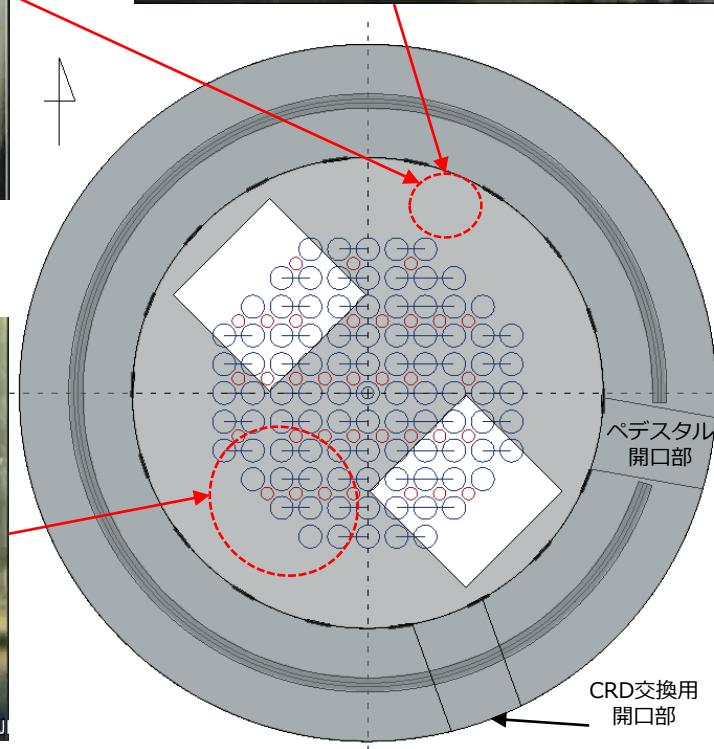
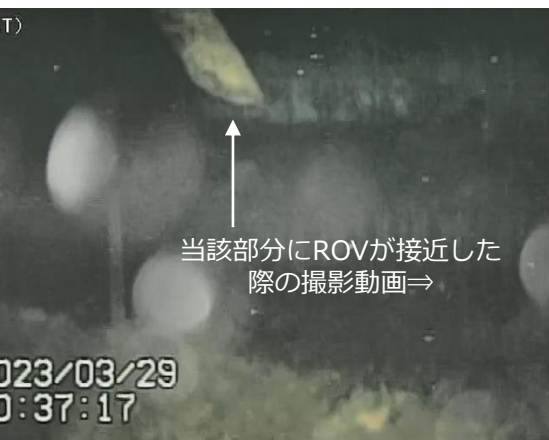
- 中間部がえぐれているCRDハウジングを確認
- CRDハウジングの断面において、固化した溶融物（燃料デブリの可能性のある物質）が存在することを確認



CRDハウジングの表面がえぐれている状況

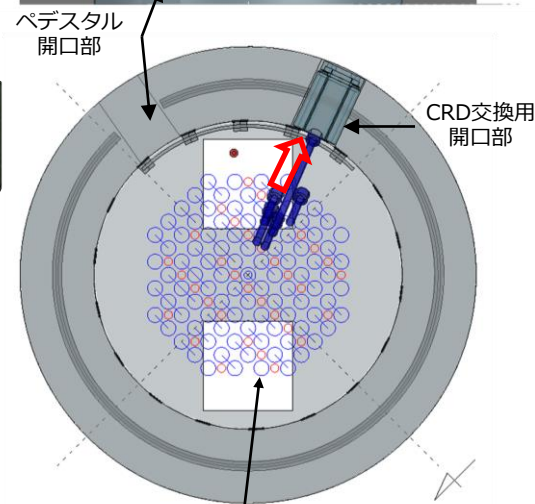
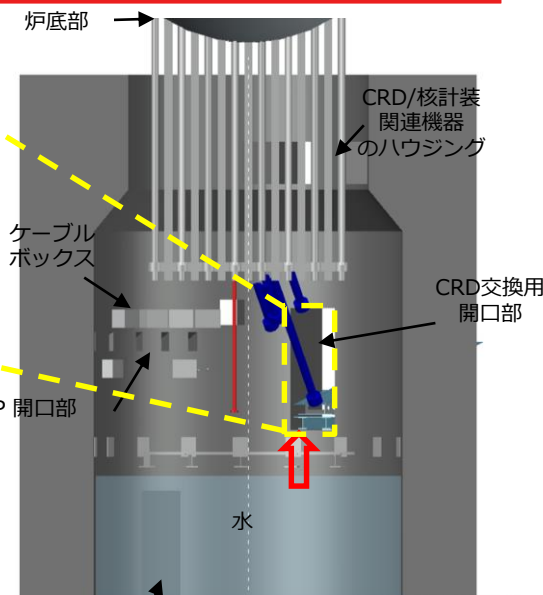


CRDハウジングの中間部がえぐれている状況



引っかかったCRD/核計装関連機器のハウジング

- CRD交換用開口部に、上方より落下したCRDハウジングが存在していることを確認
- 今後、調査や廃炉作業において、当該開口部を活用する場合は、それを前提とした計画立案を検討することが必要
- CRD交換用開口部は溶融物のペDESTAL外への移行パスの可能性

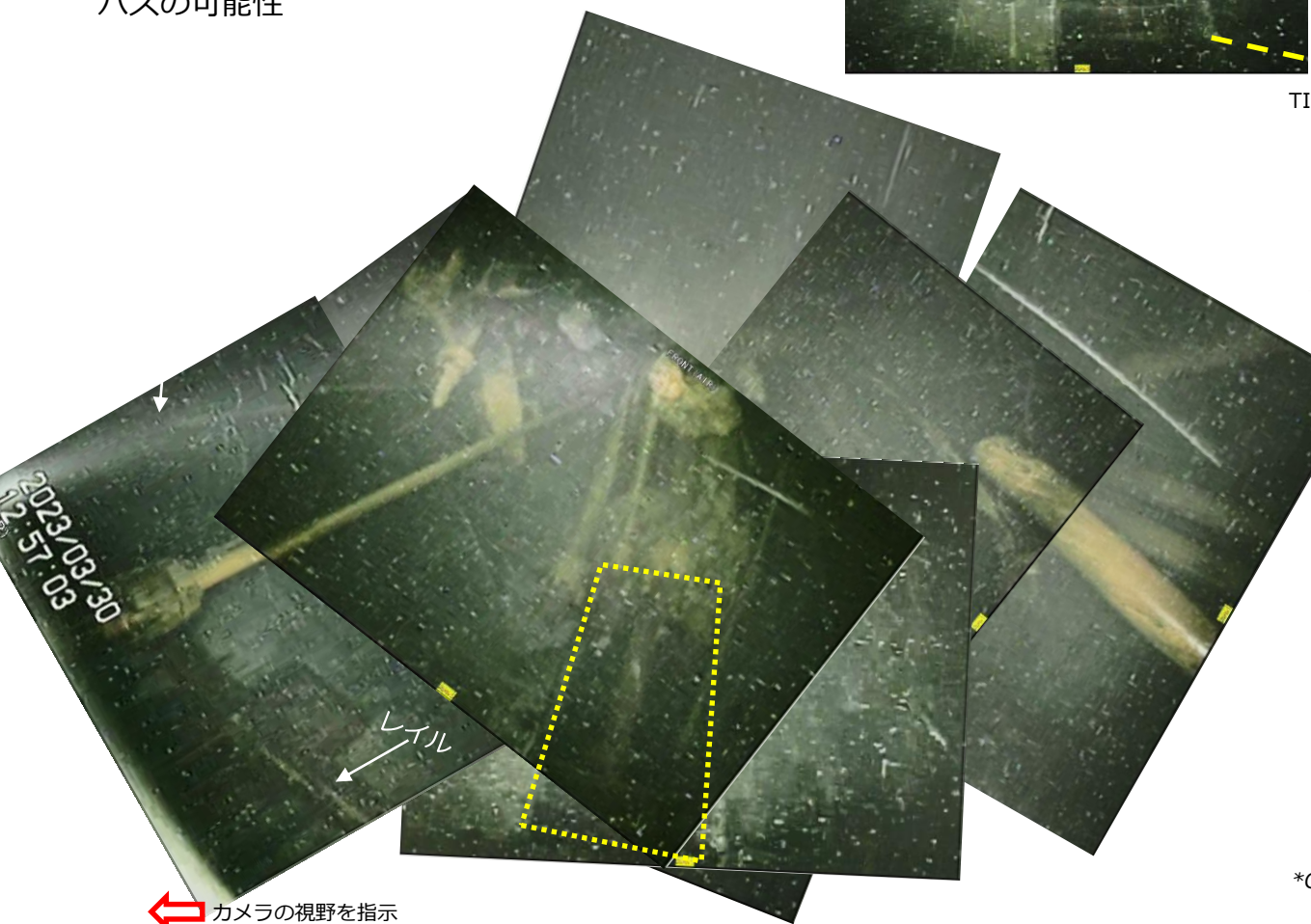


投影図 (平面図)

○ CRD (97x) ● 核計装関連機器(34x)

ペDESTAL内機器配置のイメージ図*

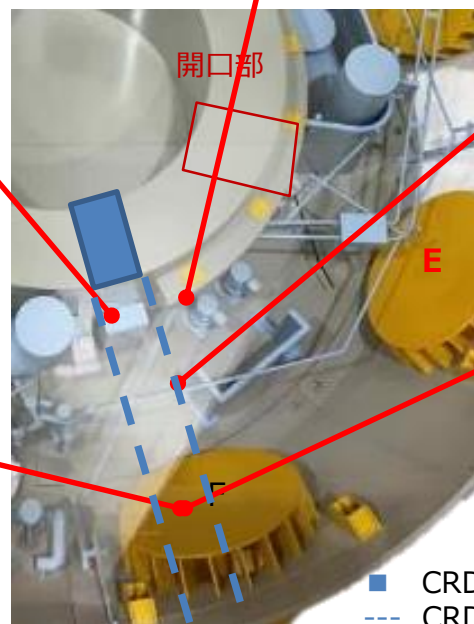
*CRD交換装置、CRDハウジングサポート、ケーブル類、CRD挿入引抜配管、TIP配管、PIPケーブル等は省略



← カメラの視野を指示
*位置は推定

CRD交換用開口部の外側状況

- CRD交換用開口部及びレール周辺に既存配管に溶融物が固化したものと推定される付着物を確認
- 当該エリアは水面より高い位置である（元の床面から3～4 m高い位置）

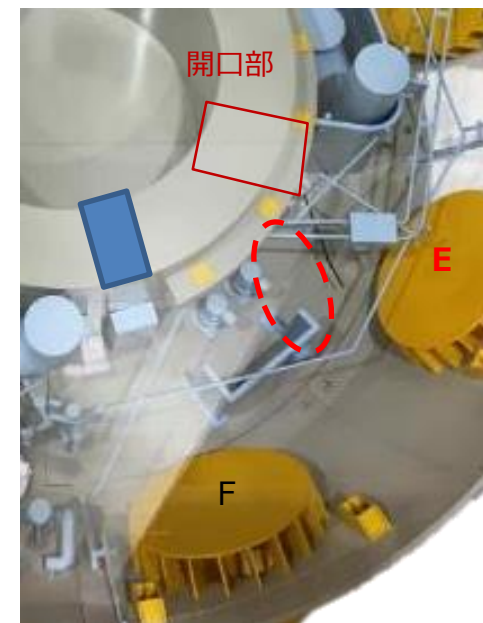


■ CRD交換用開口部
 --- CRD交換用レール

*位置は推定

棚状堆積物を覆っているガラス質ように見える堆積物

- 比較的薄く、滑らかな表面、光を反射する堆積物が部分的に棚状堆積物を覆っている状況
- 水中ROVとの接触の際に、一部の堆積物が崩壊



*位置は推定

ペDESTAL外機器ドレンサンプポンプ周辺の状況

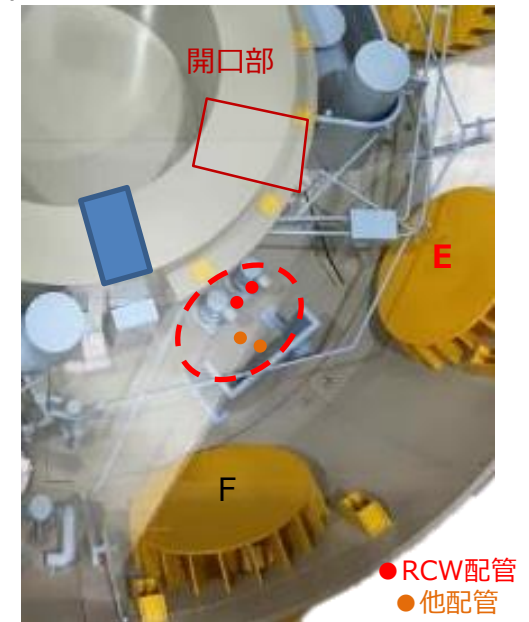
- 機器ドレンサンプポンプ周辺にRCW配管以外にも他システムの配管を取り囲む保温材の劣化を確認
- 当該配管の下部に熱的な影響により保温材の被覆が劣化と推定
- 同配管の上部には著しい損傷が確認されていない



他配管の損傷状況



RCW配管の損傷状況



*位置は推定

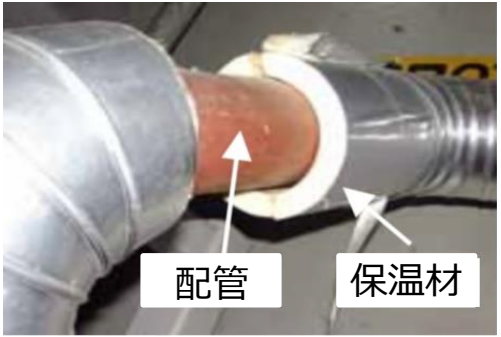
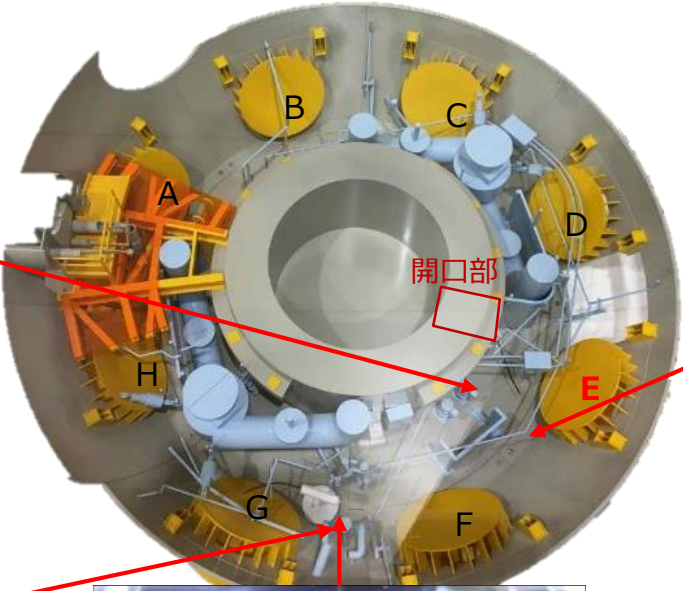


参考：保温材の劣化について

- 水中、気中の複数個所にて、RCW配管を取り囲む保温材の劣化を確認
- ウレタン保温材が消失していることも確認された
- 連結部付近において、光沢のある付着物を確認



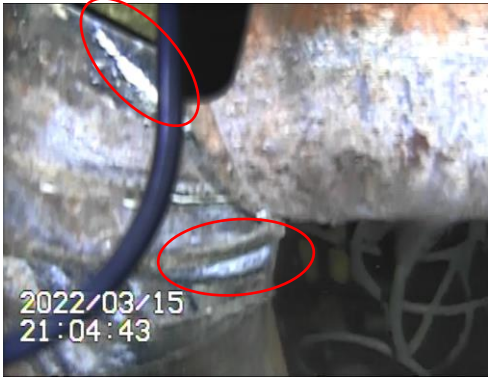
ドレンサンプルピット付近で確認されたRCW配管の保温材の状況（水中）



配管と保温材のイメージ

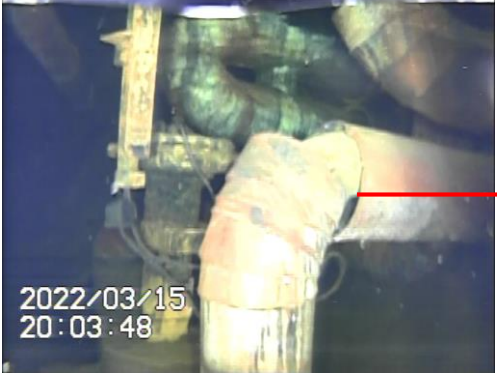


気中のRCW配管



格納容器貫通部付近で確認されたRCW配管への光沢のある付着物（水中）

写真の推定位置は不確かさを含む
E:真空破壊弁からの水漏れいが確認されたベント管のジェットデフレクター



格納容器貫通部付近のRCW配管(水中)



保温材カバーの影

堆積物の量に関する考察（見かけ上多く見えている可能性）

- 仮説 1 : コンクリート浸食に伴うガス発生により溶融物が見かけ上膨張するが、その後冷却が進むにつれて、ガス発生率の減少によるコンクリートと溶融燃料の混合物が圧縮して固化することにより、クラストと固化物の隙間に空間が発生

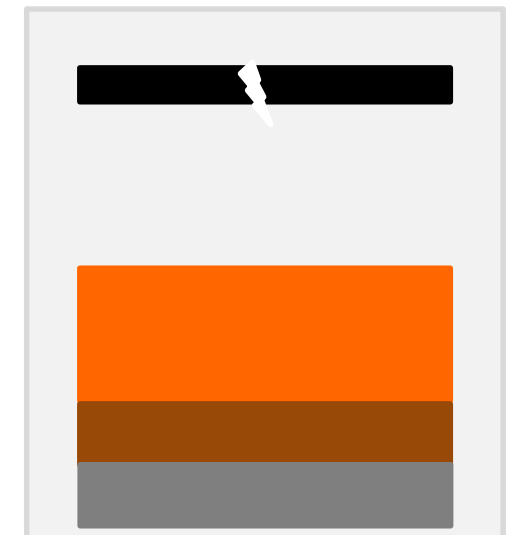
Tourniaire, B. et al., 2009. Foam formation in oxidic pool with application to MCCI real materials experiments. Nuclear engineering and design, pp. 1971-1978



溶融物の広がり直後の
初期フェーズ



高ガス発生率フェーズ



ガス発生率が減少した
フェーズ

堆積物の量に関する考察（見かけ上多く見えている可能性）

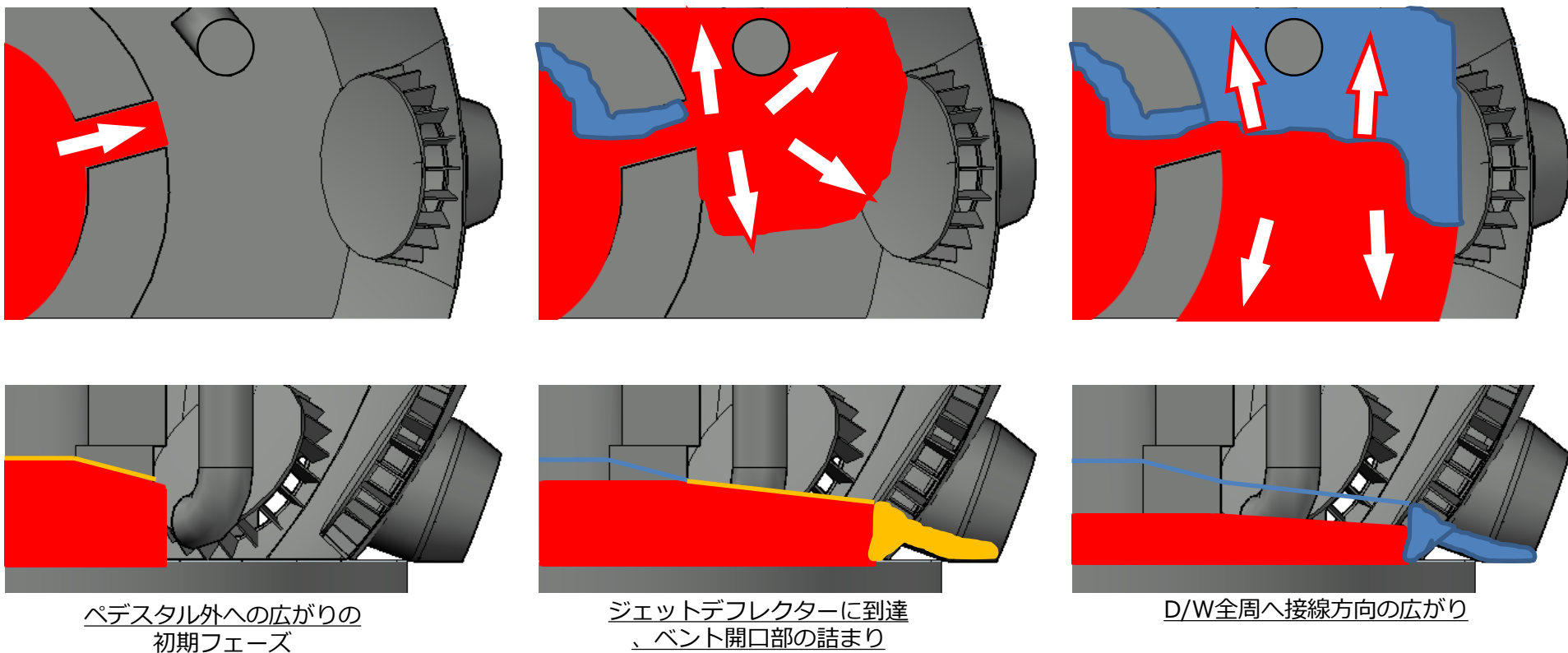
- 仮説 2：溶融物表面が高粘性化・固化しつつ、その内部の高温の溶融物の左右への拡がり及びコンクリート浸食

原子炉内の燃料、炉内構造物が全て溶けたと想定しても、その堆積高さはペDESTAL内では～1.1m*程度

一方で、ペDESTAL内で観察した棚状堆積物の最大高さは～1.5m

*ペDESTAL内の構造物無し、サンプルピットへの侵入無し、MCCIの進展無しの概略評価値

堆積高さの概略評価値や溶けた物質の量の評価値に不確かさが大きい可能性も考えられる。

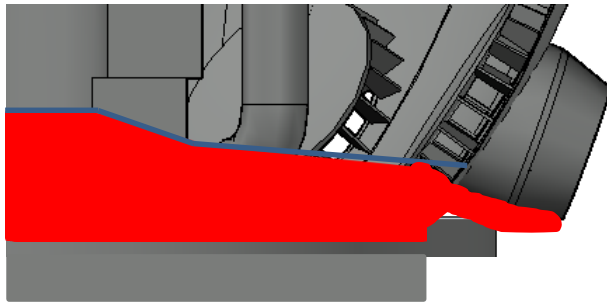


堆積物の量に関する考察（見かけ上多く見えている可能性）

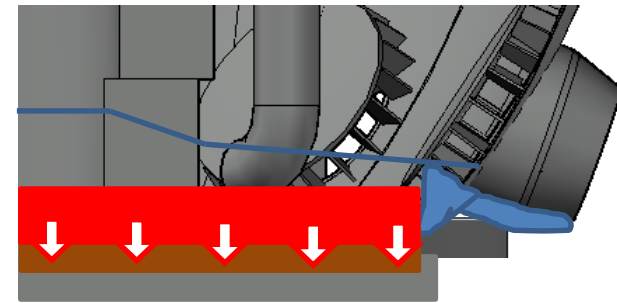
- 仮説 2：溶融物表面が高粘性化・固化しつつ、その内部の高温の溶融物の左右への拡がり及び**コンクリート浸食**

原子炉内の燃料、炉内構造物が全て溶けたと想定しても、その堆積高さはペDESTAL内では～1.1m*程度
一方で、ペDESTAL内で観察した棚状堆積物の最大高さは～1.5m

*ペDESTAL内の構造物無し、サンプルピットへの侵入無し、MCCIの進展無しの概略評価値
堆積高さの概略評価値や溶けた物質の全量の過小評価の可能性が考えられる。



ペDESTAL外への広がり、
クラスト形成の初期フェーズ



コンクリート浸食・混合物の
圧縮個化によりフェーズ分離
(クラスト、溶融物)

PCVライナーの状況について

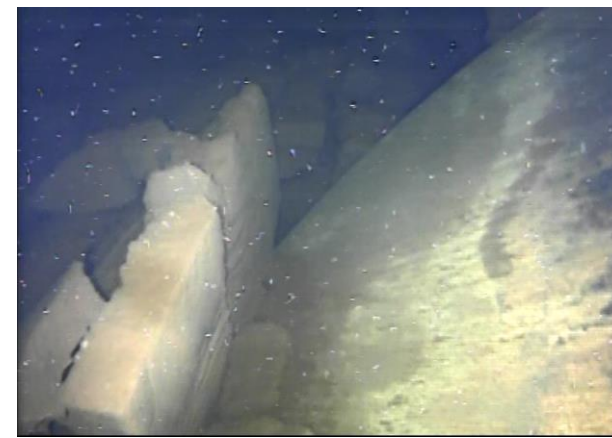
- 熱の影響によるライナーの損傷の兆候が確認できない
- Mark-I型格納容器では溶融物とPCV内壁（鉄製ライナー）の接触が格納容器の早期、大規模な破損を及ぼすと考えられていた（シエルアタックシナリオ）



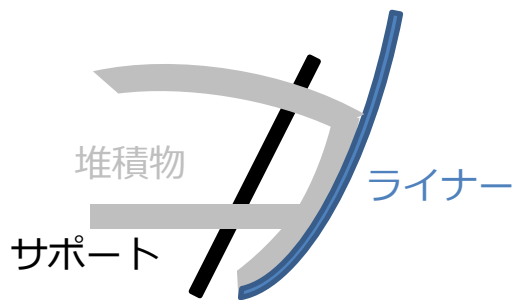
棚状堆積物に挟まれたサポート



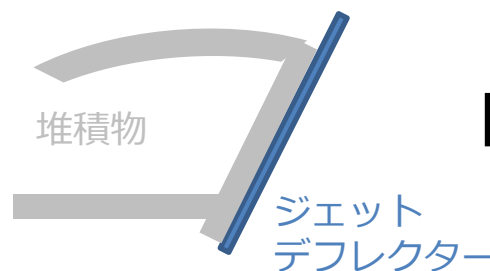
ジェットデフレクター面から剥がれた堆積物



堆積物が剥がれられたジェットデフレクター面



ライナー周りの堆積物の分布



ジェットデフレクター面の推定状況
(堆積物の一部が崩れる前)



ジェットデフレクター面の堆積物分布
(現状)

【参考】各号機の事故進展に関する比較（ペデスタル内上部の状況）

- 事故分析の観点から、1号機は「冷やす」ことができない期間が最も長かったため、原子炉の破損の状況は、2号機と3号機と比較して厳しいと推定していた。
- 1号機の内部調査の完了により、それぞれの号機の比較が可能となった

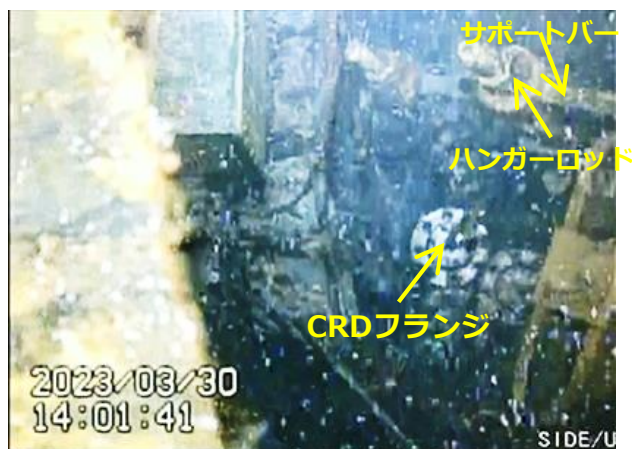
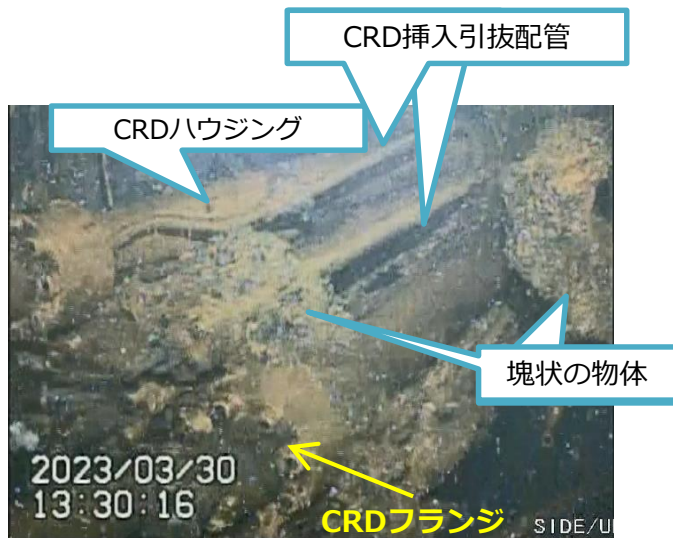


写真1. 1号機で確認されたCRD

写真2. 2号機で確認されたCRD

写真3. 3号機で確認されたCRD

【参考】各号機の事故進展に関する比較（ペDESTAL内下部の状況）

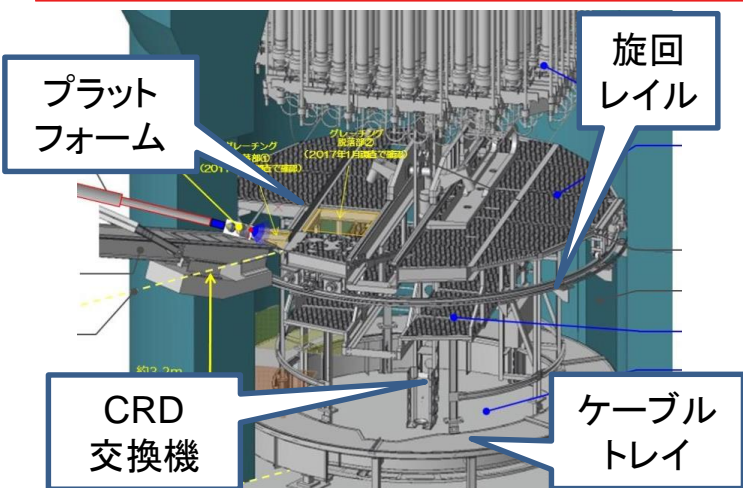


図1. Mark-I格納容器のペDESTAL内の機器配置(例)



写真1. 1号機のペDESTAL内の状況

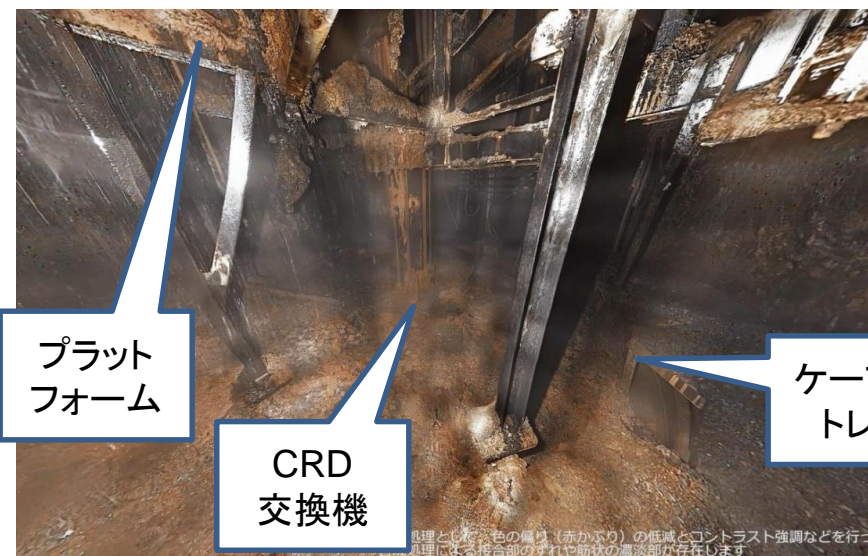


写真2. 2号機のペDESTAL内の状況

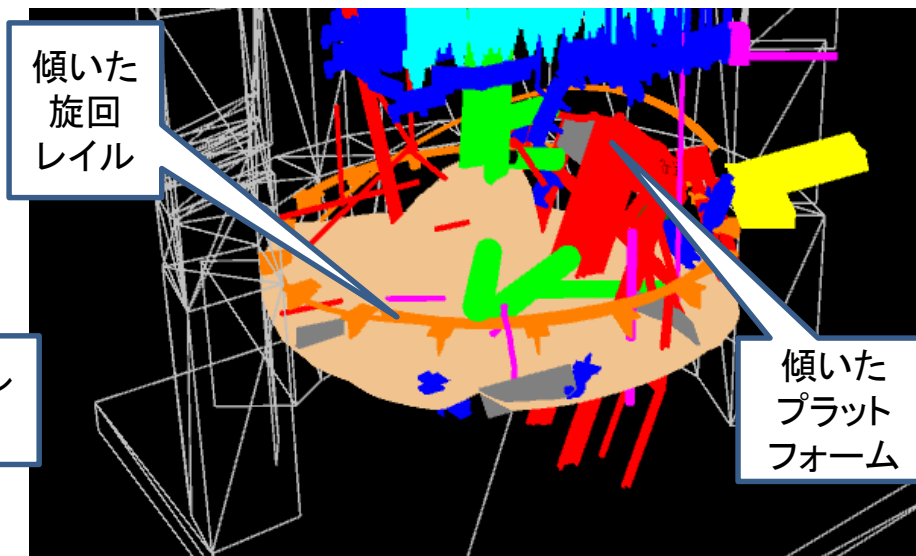


図2. 3号機のペDESTAL内の状況

各号機の調査結果から、従来推定の通り2号機と3号機と比較し、1号機の破損状況が厳しい状態であることが確認できた

本資料における情報について

- 本資料における画像、動画データについては福島第一原子力発電所1号機の格納容器内部調査より取得されたすべての映像の中から、抽出したものの。
- 動画、画像データ（準備作業等除く）については当社 原子力情報コーナーにて開示している。

<情報の開示場所> 本社原子力情報コーナー

- 原子力情報コーナー: 東京都千代田区内幸町1-5-3 新幸橋ビル1F
- 開館時間: 午前10時～午後5時(午後1時～午後2時を除く)
- 休館日: 土曜日、日曜日、祝日、年末年始

https://www.tepco.co.jp/electricity/mechanism_and_facilities/power_generation/nuclear_power/info-j.html