

燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定		10月	11月				12月			1月	2月	備考
			25	1	8	15	22	29	6	13	下	上	中	下	
原子炉建屋内環境改善	原子炉建屋内の環境改善	1号 (実績) ○建屋内環境改善(継続) (予定) ○建屋内環境改善(継続)	検討・設計 現場作業												建屋内環境改善 ・2階線量調査の準備作業のうち3階床面穿孔 '20/7/20~8/31 R/B2階の線量調査に向けた準備作業のうち、3階南側 エリアの床面穿孔を実施。 ・2階線量調査 準備作業・調査 '20/9/2~9/9、 '20/10/7~10/9
		2号 (実績) ○建屋内環境改善(継続) (予定) ○建屋内環境改善(継続)	検討・設計 現場作業												建屋内環境改善 ・機器撤去 '19/12/13~'20/3/25 R/B1階西側配管撤去、大物搬入口2階不要品撤去。 ・機器撤去 '20/7/15~7/24 R/B1階北西エリア不要品撤去。 ・1階西側エリア床面除染 '20/9/1~9/25
		3号 (実績) ○建屋内環境改善(継続) (予定) ○建屋内環境改善(継続)	検討・設計 現場作業												建屋内環境改善 ・線源調査 '20/2/19~5/22 原子炉建屋1階の線量調査・線源調査の実施。 ・準備作業 '20/11/17~'20/12月中旬 ・北西エリア機器撤去 '20/12月中旬~'21/3月予定 R/B1階北西エリアの線源となっている制御盤他の撤去。
格納容器内水循環システムの構築	格納容器内水循環システムの構築	共通 (実績)なし (予定)なし	検討・設計												
		1号 (実績)なし (予定)なし	現場作業												
		2号 (実績)なし (予定)なし	現場作業												
燃料デブリ取り出し準備	燃料デブリ取り出し	共通 (実績) ○【研究開発】格納容器内部詳細調査技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器内部調査技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】格納容器内部詳細調査技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器内部調査技術の開発(継続)	検討・設計											【研究開発】PCV内部詳細調査技術の開発 PCVベデスタル内(CRD下部、プラットフォーム上、ベデスタル地下階)調査技術の開発 PCVベデスタル外(ベデスタル地下階、作業員アクセスロ)調査技術の開発 【研究開発】RPV内部調査技術の開発 穴あけ技術・調査技術の開発 試験的取り出し技術の開発	
		1号 (実績) ○原子炉格納容器内部調査(継続) (予定) ○原子炉格納容器内部調査(継続)	検討・設計 現場作業											PCV内部調査 PCV内部調査装置投入に向けた作業	
		2号 (実績) ○原子炉格納容器内部調査(継続) (予定) ○原子炉格納容器内部調査(継続)	検討・設計 現場作業											PCV内部調査 PCV内部調査装置投入に向けた作業	
		3号 (実績)なし (予定)なし	現場作業												

燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	活り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定		10月	11月					12月			1月	2月	備考		
			25	1	8	15	22	29	6	13	下	上	中	下	節		後	
RPV/PCV健全性維持		(実績) ○腐食抑制対策 ・窒素バブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施(継続) (予定) ○腐食抑制対策 ・窒素バブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施(継続)	検討・設計															
			現場作業															
炉心状況把握		(実績) ○事故関連factデータベースの更新(継続) ○炉内・格納容器内の状態に関する推定の更新(継続) (予定) ○事故関連factデータベースの更新(継続) ○炉内・格納容器内の状態に関する推定の更新(継続)	検討・設計															
			現場作業															
取出後の燃料デブリ処分安定保管		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ性状把握のための分析・推定技術の開発 ・燃料デブリ性状の分析に必要な技術開発等(継続) ・燃料デブリ微粒子挙動の推定技術の開発(生成挙動,気中・水中移行特性) (継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ性状把握のための分析・推定技術の開発 ・燃料デブリ性状の分析に必要な技術開発等(継続) ・燃料デブリ微粒子挙動の推定技術の開発(生成挙動,気中・水中移行特性) (継続)	検討・設計															
			現場作業															
燃料デブリ取り出し準備		(実績) ○【研究開発】臨界管理方法の確立に関する技術開発 ・未臨界度測定・臨界近接監視のための技術開発(継続) ・臨界防止技術の開発(継続) (予定) ○【研究開発】臨界管理方法の確立に関する技術開発 ・未臨界度測定・臨界近接監視のための技術開発(継続) ・臨界防止技術の開発(継続)	検討・設計															
			現場作業															
燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発		(実績) ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 燃料デブリ収納・移送技術の開発(継続) 燃料デブリ乾燥技術/システムの開発(継続) (予定) ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 燃料デブリ収納・移送技術の開発(継続) 燃料デブリ乾燥技術/システムの開発(継続)	検討・設計															
			現場作業															

1号機PCV内部調査にかかる 干渉物切断作業の状況

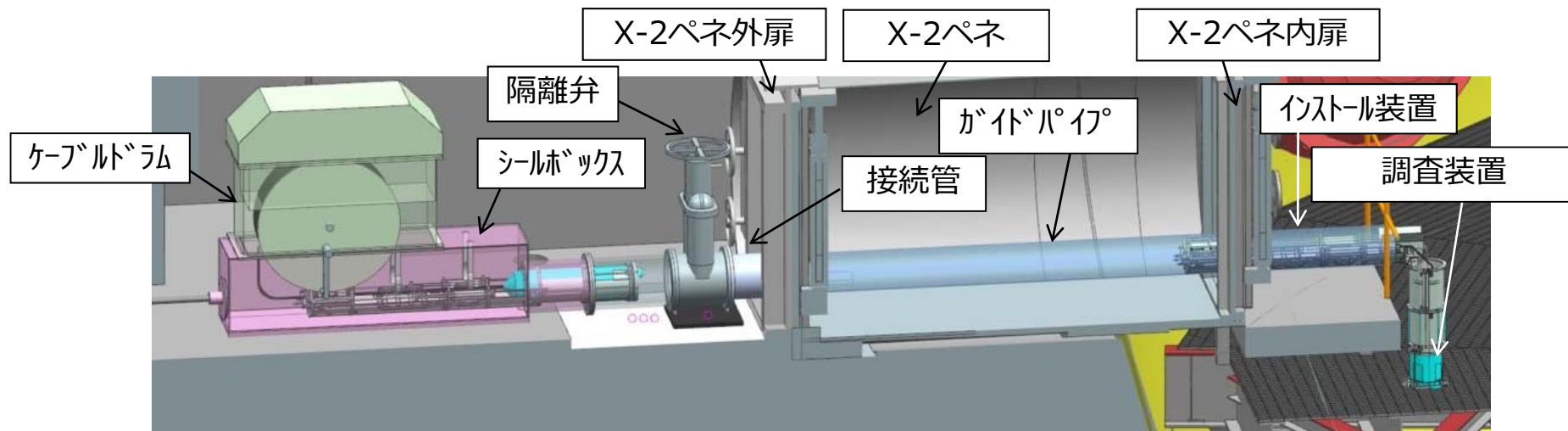
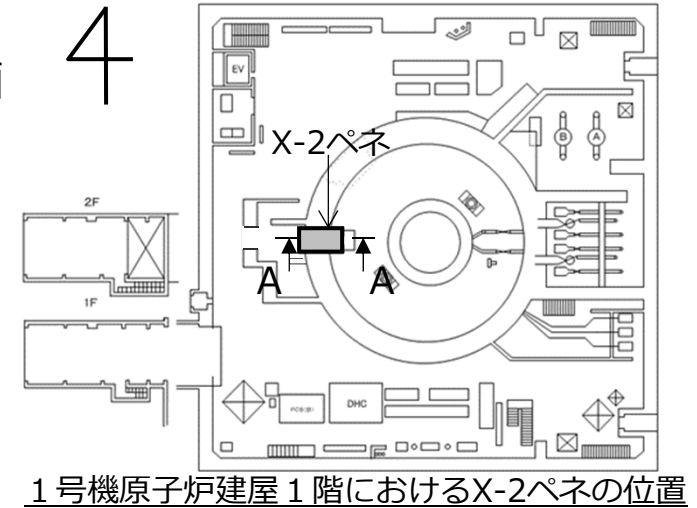
2020年11月26日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. X-2ペネからのPCV内部調査装置投入に向けた作業

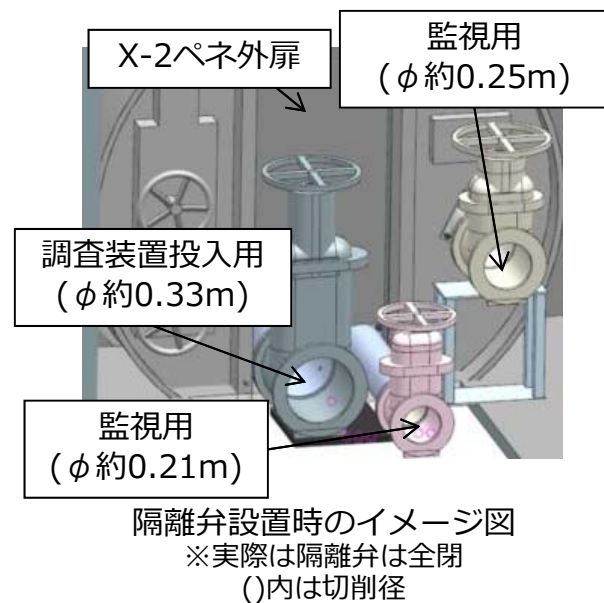
- 1号機原子炉格納容器（以下、PCV）内部調査は、X-2ペネトレーション（以下、ペネ）からPCV内に投入する計画
- 調査装置投入に向け、X-2ペネ（所員用エアロック）の外扉と内扉の切削およびPCV内干渉物の切断等が必要
- 主な作業ステップは以下の通り
 - ① 隔離弁設置（3箇所）
 - ② 外扉切削（3箇所）
 - ③ 内扉切削（3箇所）
 - ④ PCV内干渉物切断
 - ⑤ ガイドパイプ設置（3箇所）



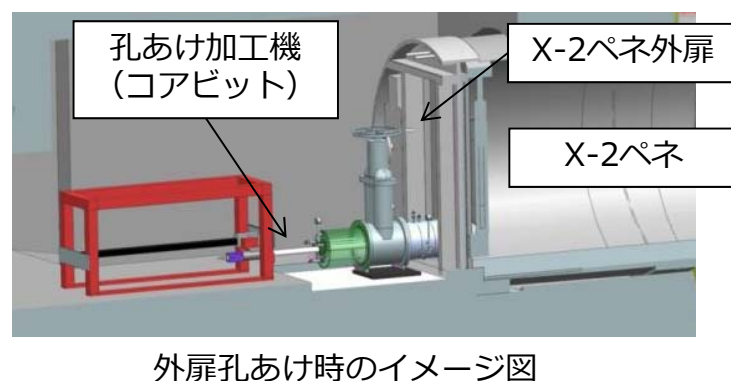
内部調査時のイメージ図 (A-A矢視)

2. PCV内部調査装置投入に向けた主な作業ステップ

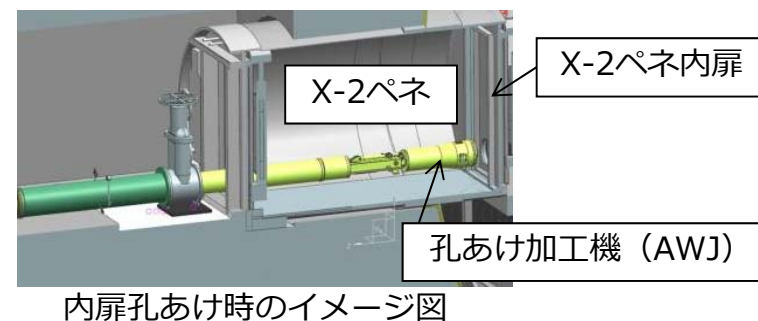
1. 隔離弁設置 (3箇所) 2019.5.10完了



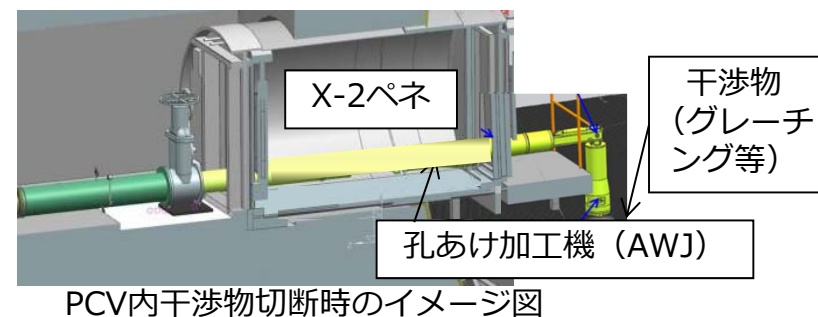
2. 外扉切削 (3箇所) 2019.5.23完了



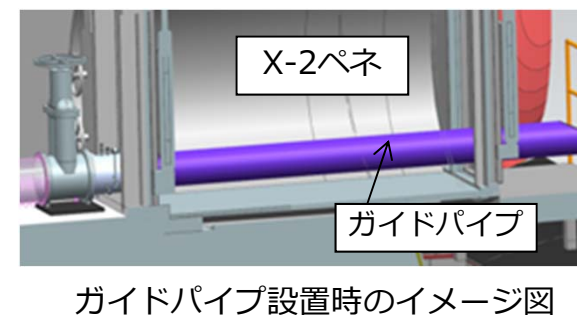
3. 内扉切削(AWJ) (3箇所) 2020.4.22完了



4. PCV内干渉物切断 実施中



5. ガイドパイプ設置 (3箇所)

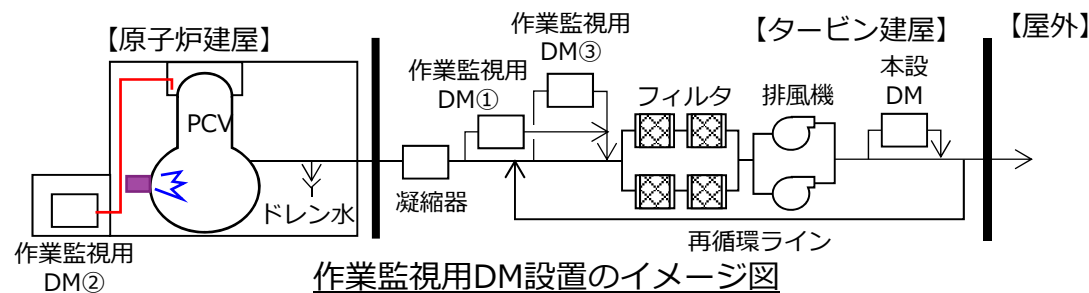


3. PCV内部調査装置投入に向けた作業状況

- PCV内部調査装置（以下、水中ROV）投入に向けた作業を2019年4月8日より着手しており、外扉の切削完了後、2019年6月4日にX-2ペネ内扉に、AWJ※¹にて孔（孔径約0.21m）を開ける作業中、PCV内のダスト濃度上昇を早期検知するためのダストモニタ（下記図の作業監視用DM①）の値が作業管理値($1.7 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$)※²に達したことを確認

※作業監視用DM①の下流側にダストを除去するフィルタがあり、フィルタの下流のダストモニタ（下記図の本設DM）には有意な変動はなく、環境への影響はないことを確認

- その後ダスト濃度の監視を充実・継続しつつ、切削量を制限した上で、作業を実施し、内扉の切削が完了（2019年7月～2020年4月22日）、8月25日にグレーチング切断作業が完了。
- 9月29日よりグレーチング下部鋼材切断に向け準備作業を行っていたが、切断範囲の下部に原子炉再循環系統（以下、PLR）の計装配管が敷設されていることを確認。
- 今後、PLR計装配管等について新規カメラ装置を用いた干渉物調査を行い、各干渉物の位置を把握した後に、水中ROVの投入ルートを確定し、切断作業を再開する方針。

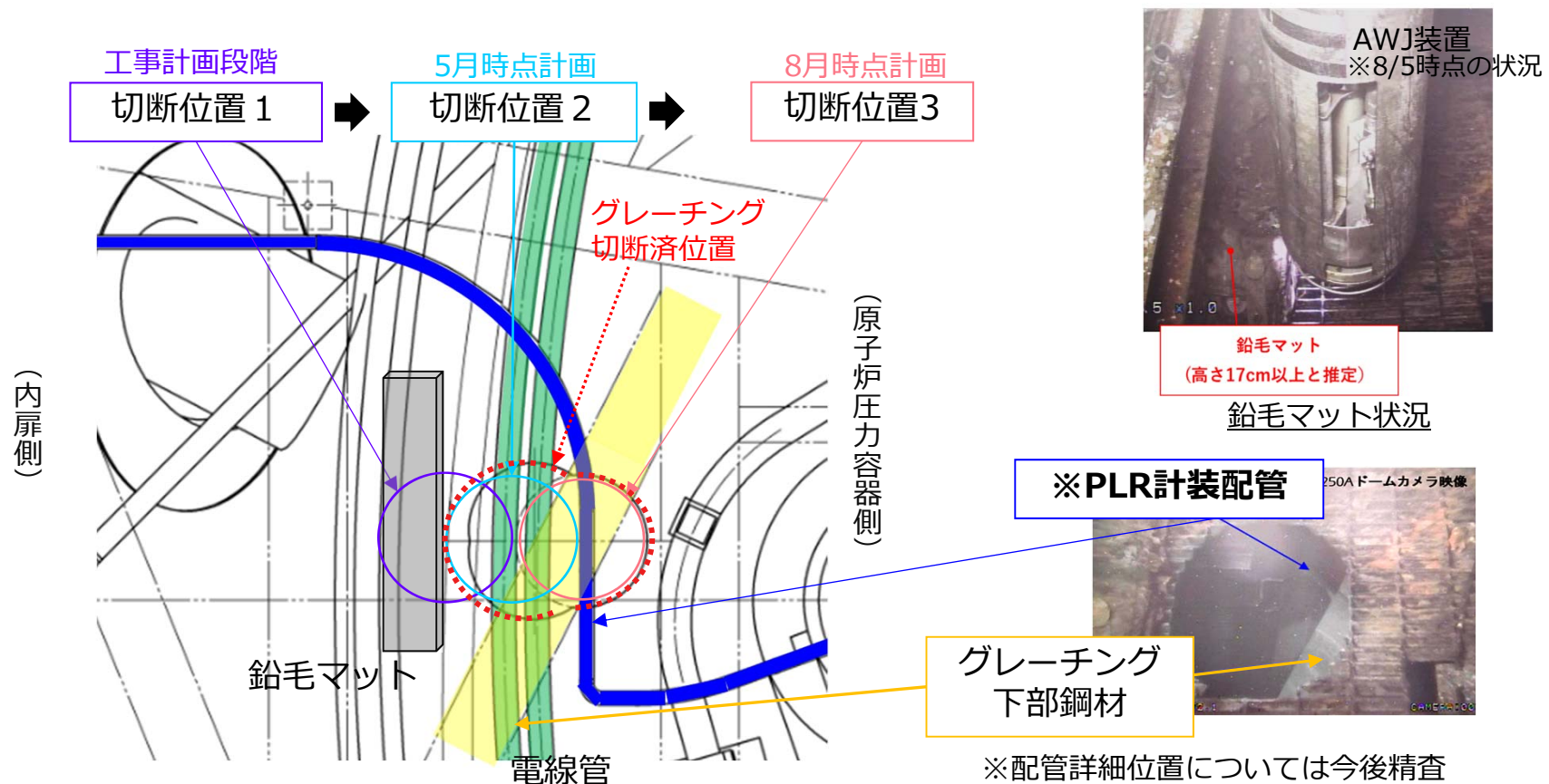


※1:高圧水を極細にした水流に研磨材を混合し切削性を向上させた孔あけ加工機(アブレシブウォータージェット)
 ※2:フィルタのダスト除去能力を考慮し、本設DM警報設定値の1/10以下に設定

- 作業監視用DM①：ガス管理設備のダスト濃度上昇の早期検知用
- 作業監視用DM②：PCV上蓋近傍のダスト濃度監視用（増設）
- 作業監視用DM③：ダスト濃度監視の連続性確保を目的とした、再循環希釈後のダスト濃度監視用（増設）
- 本設DM：フィルタでのダスト除去後のダスト濃度上昇の早期検知用

4. PLR計装配管との干渉について

- 9月29日よりグレーチング下部鋼材切断に向け準備作業を行っていた際、切断範囲の下部にPLRの計装配管が敷設されていることを確認したため作業を中断した。
- 工事計画時点からこれまでの切断位置変更の経緯
 - 工事計画段階は切断位置 1
 - 2020年5月、AWJ装置と鉛毛マットとの干渉を確認したため、切断位置 2 に変更
 - 2020年8月、水中ROVのケーブルがグレーチング下部鋼材下の電線管に挟まるリスクを回避するため、切断位置 3 に変更

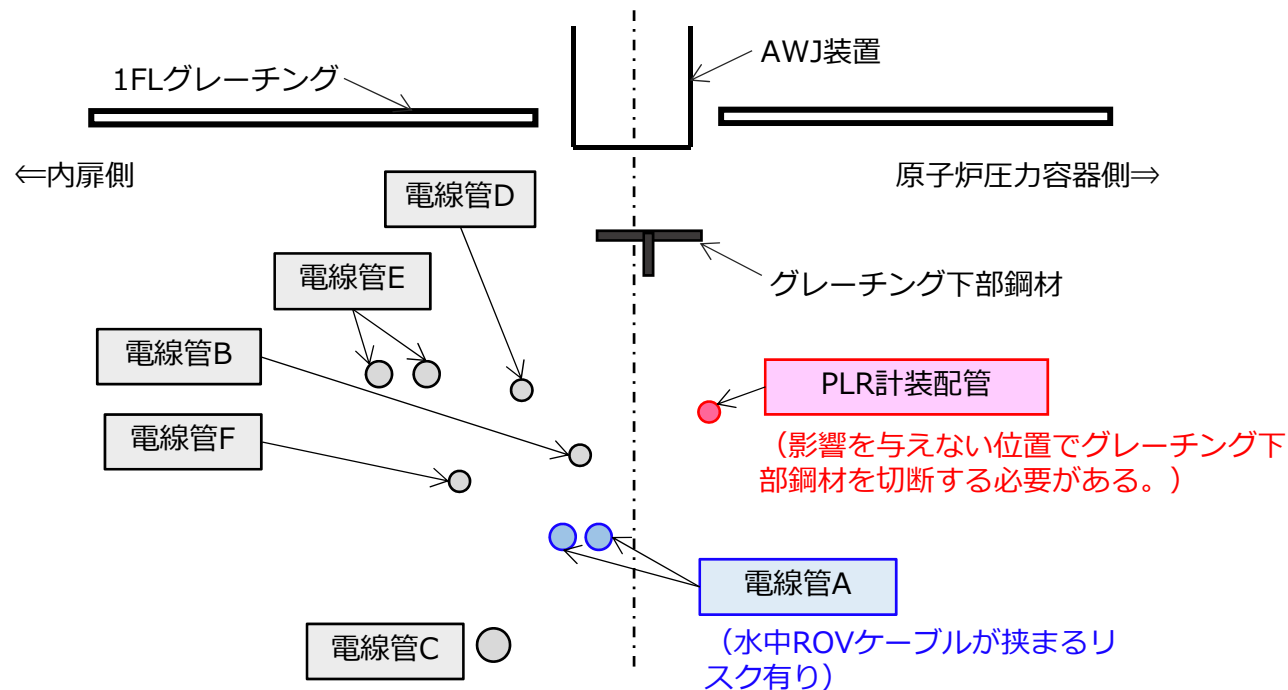


5. 今後の方針について

- PLR計装配管に影響を与えない位置でグレーチング下部鋼材を切断する必要がある。
- 間隔が狭い電線管を切断した場合、水中ROVのケーブルが挟まるリスクがある。

【方針】

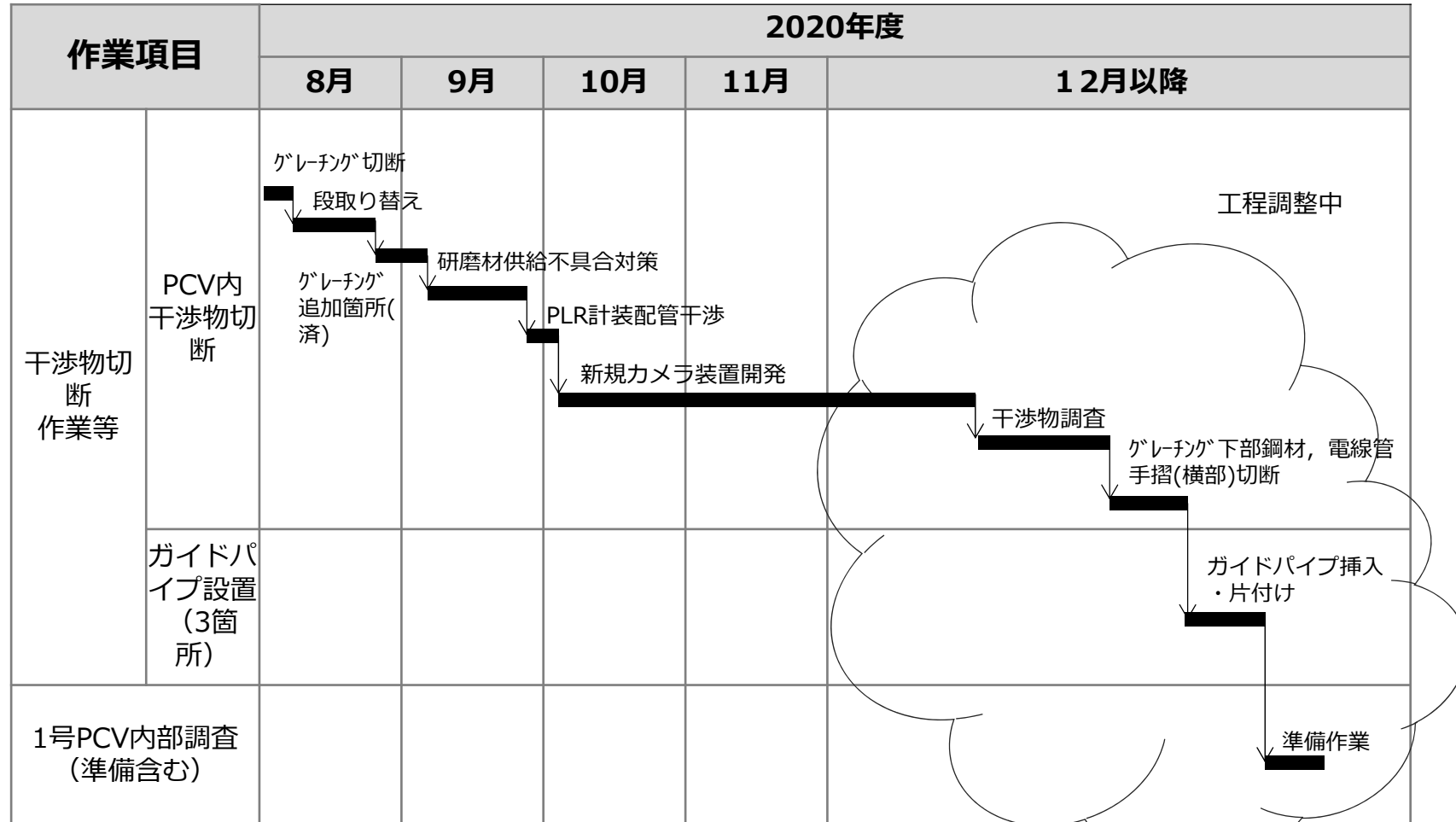
グレーチング下部鋼材以下の干渉物について、新規カメラ装置を用いた干渉物調査を行い、各干渉物の位置を把握した後に、水中ROVの投入ルートを確認し、切断作業を再開する。



地下階断面による干渉物配置イメージ

6. 今後の予定

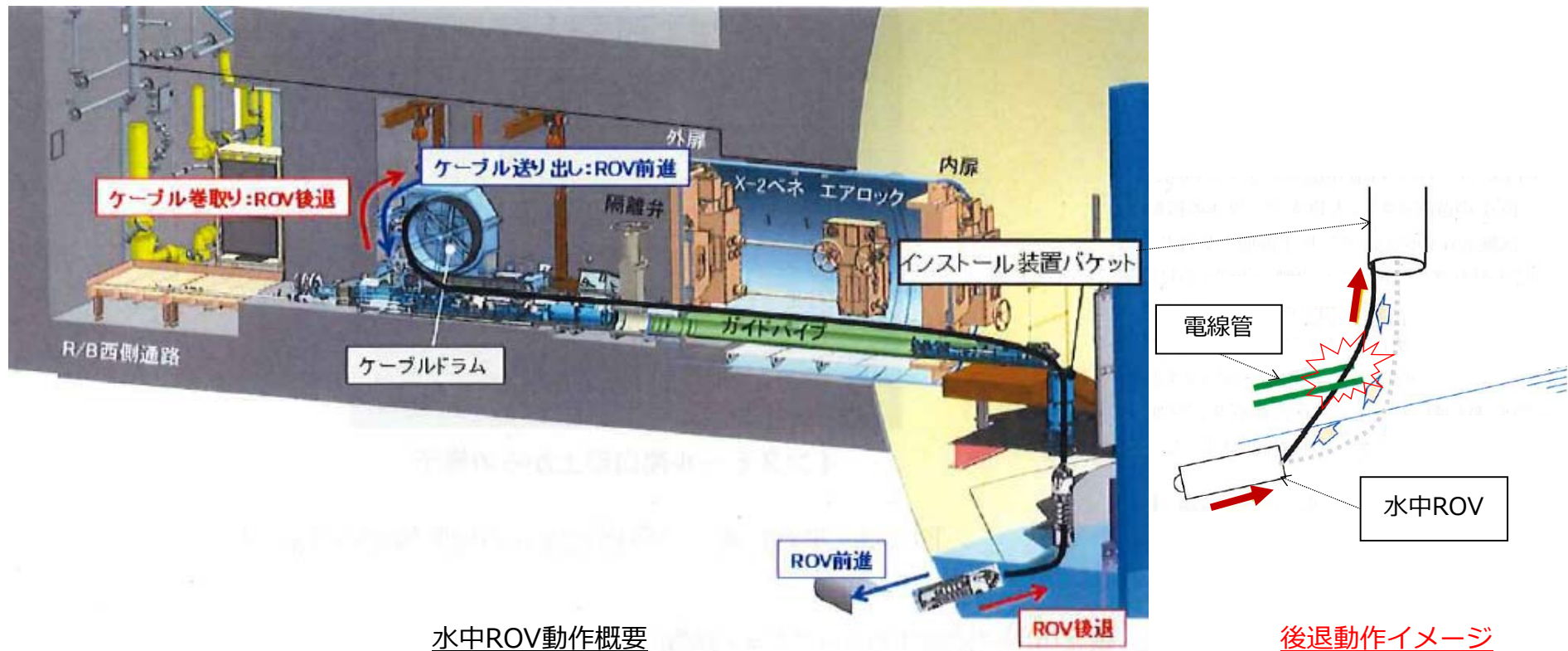
- 現在、干渉物調査に向けて新規カメラ装置を開発中。準備が整い次第干渉物調査を行うが、現時点では実施時期は1月になる見込み。



(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) 水中ROVケーブルと電線管の干渉

- 水中ROVの後退時、ケーブルドラムを巻き取った際、電線管に挟まり回収できなくなるリスクがある。
- 前進時はケーブル送り出しによりケーブルの余長を確保した後に前進するため、電線管に挟まれるリスクは低い



2号機 PCV内部調査及び試験的取り出しの準備状況 X-6ペネ内堆積物調査の結果

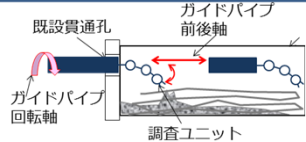
2020年11月26日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. PCV内部調査及び試験的取り出し作業の主なステップ

0. X-6ペネ内堆積物調査, 常設監視計器取外し



- 事前にX-6ペネ内堆積物調査, 常設監視計器取外しを実施

1. 隔離部屋設置



- ハッチ開放にあたり 事前に隔離部屋を設置

2. X-6ペネハッチ開放

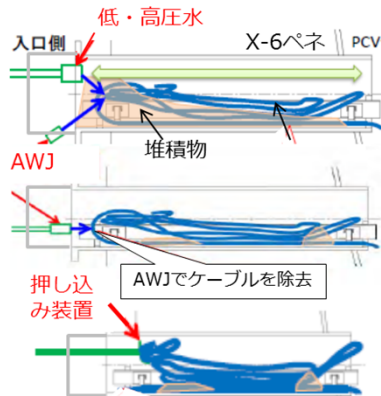
ハッチ開放装置



- ハッチ開放装置によりハッチを開放

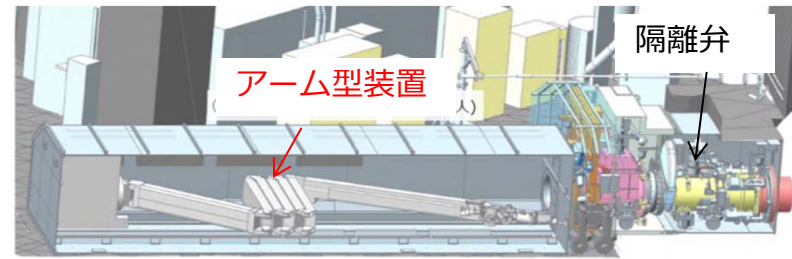
3. X-6ペネ内堆積物除去

X-6ペネ内部にある堆積物・ケーブル類を除去する



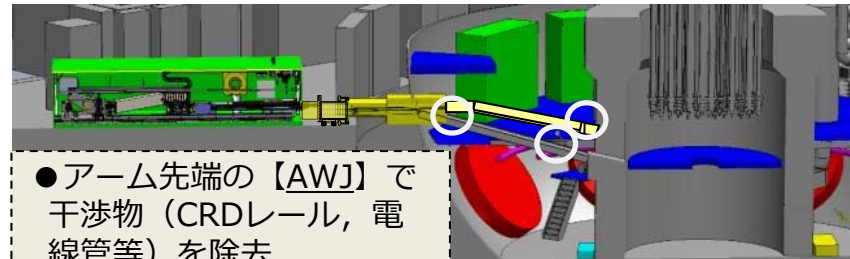
- 【低・高圧水】で堆積物の押し込み
- 【AWJ】でケーブル除去
- 【押し込み装置】でケーブルを押し込み

4. アーム型装置設置



5. 内部調査及び試験的取り出し作業

①アーム型装置によるPCV内部調査



- アーム先端の【AWJ】で干渉物 (CRDLレール, 電線管等) を除去

②アーム型装置による試験的取り出し

燃料デブリ回収装置先端部



<金ブラシ型> <真空容器型>

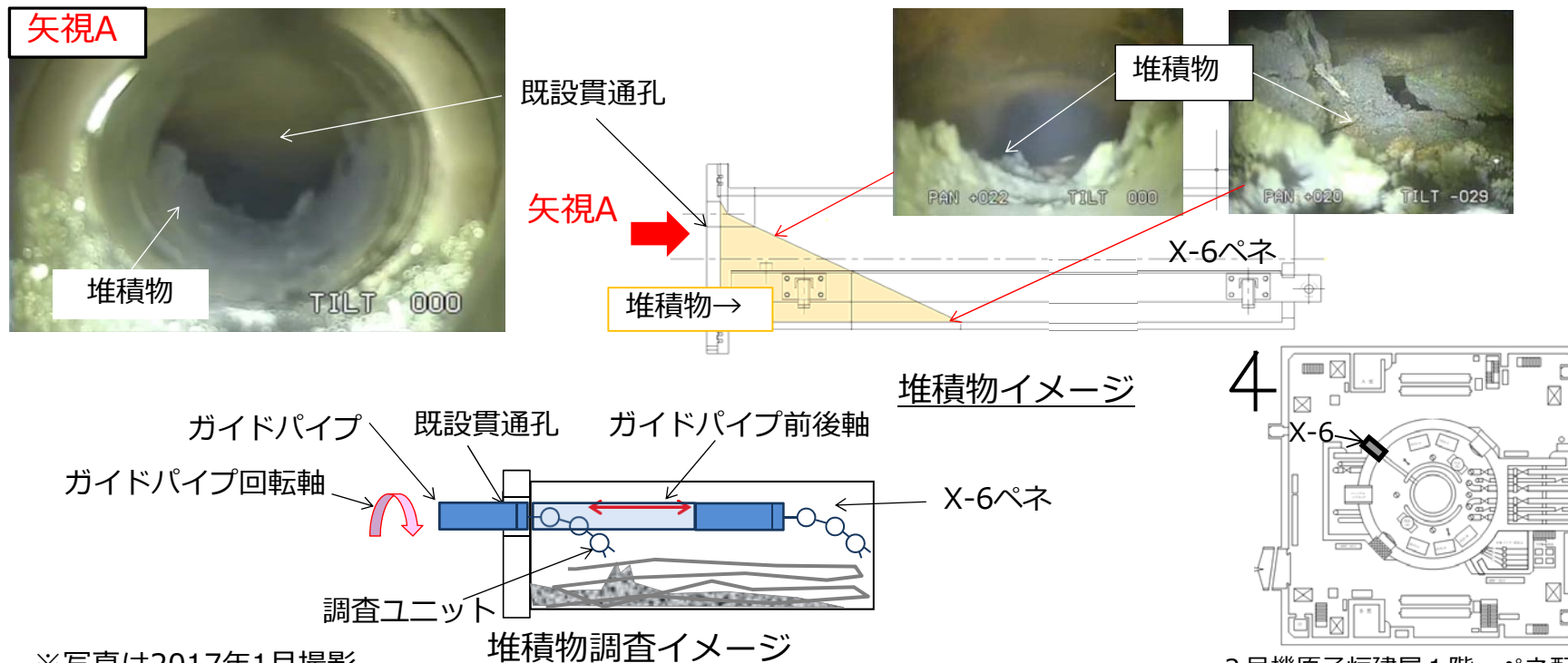


(注記)

- ・ 隔離弁：PCV内/外を仕切るために設置した弁
- ・ AWJ (アブレシブウォータージェット)：高圧水に研磨材 (アブレシブ) を混合し, 切削性を向上させた加工機

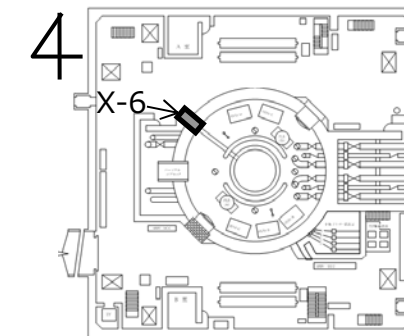
2. X-6ペネ内堆積物調査の概要(1/3)

- PCV内部調査及び試験的取り出し作業で使用するアーム型装置をX-6ペネからPCV内に入らせるために、X-6ペネ内堆積物を除去することを計画。
- X-6ペネ内の堆積物の状態は、2017年1月の調査時の映像より推定しているが、より詳細な堆積状況に関する情報を取得することを計画した。
- X-6ペネ蓋の貫通孔から調査装置を挿入して、堆積状況について調査し、取得した情報を活用し、X-6ペネ内堆積物除去手順を検討する予定。
- 堆積物の接触調査, 3Dスキャン調査をそれぞれ10/28と10/30に実施した。



※写真は2017年1月撮影

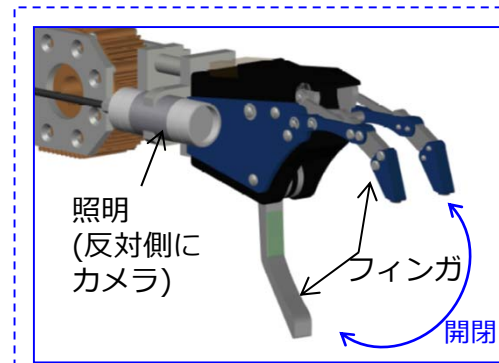
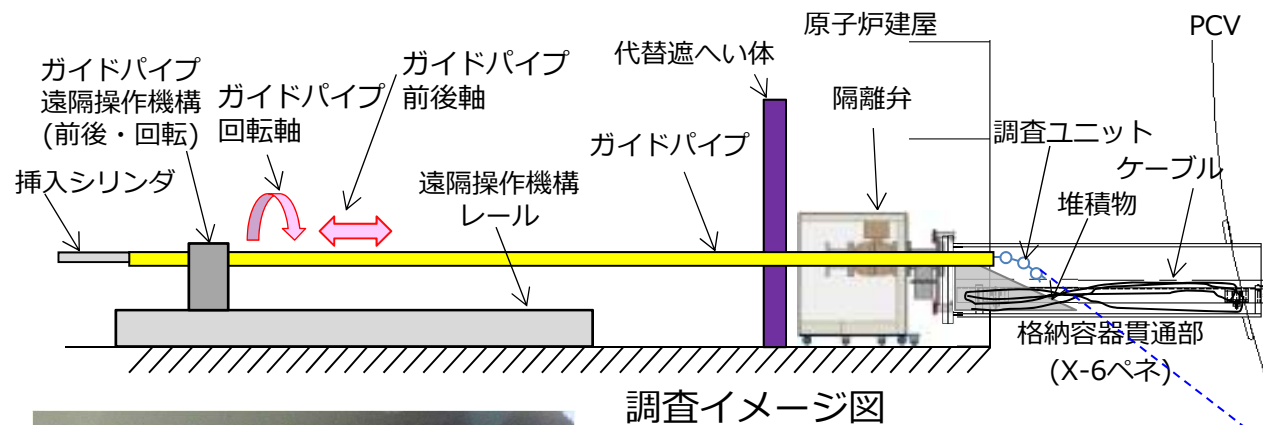
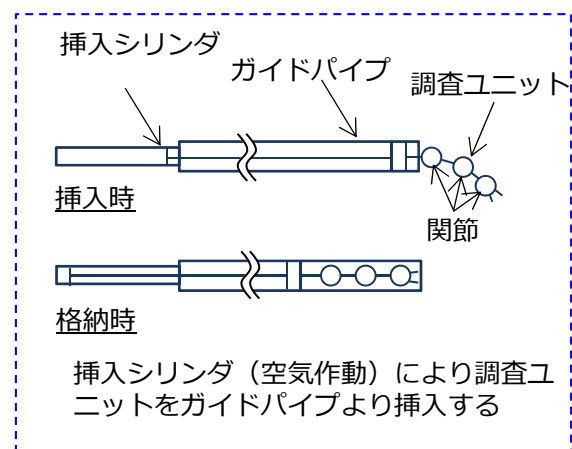
堆積物調査イメージ



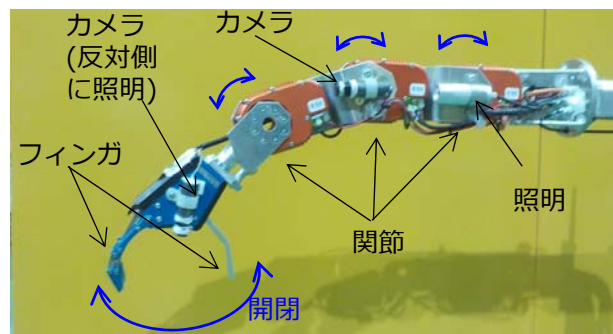
2号機原子炉建屋1階 ペネ配置図

2. X-6ペネ内堆積物調査の概要(2/3)

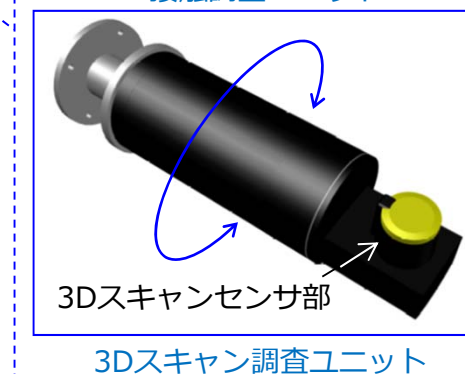
- X-6ペネ内堆積物調査においては、調査ユニットを内蔵したガイドパイプをペネ内に挿入し調査を行った。
 - 堆積物の接触調査（堆積物の崩れ易さを調査）
 - フィンガ及び3つの関節を有するアーム型装置（モータ作動）
 - 遠隔操作機構による位置調整（軸方向：前後動作，径方向：回転動作）
 - 3Dスキャン調査（堆積物等の分布を調査）
 - 調査ユニット先端の3Dスキャンセンサにて測定



接触調査ユニットモックアップ状況

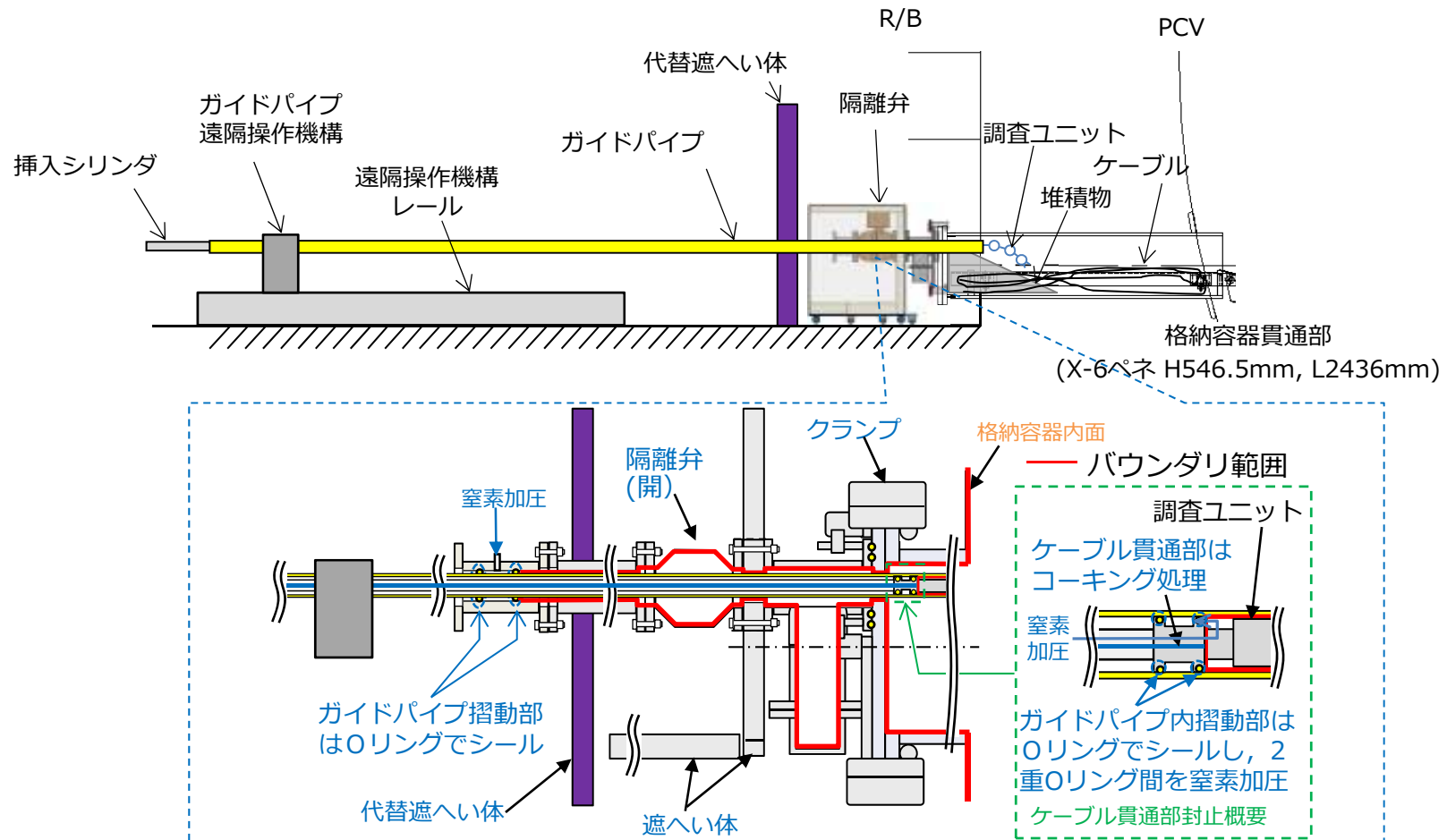


接触調査ユニット概要



2. X-6ペネ内堆積物調査の概要(3/3)

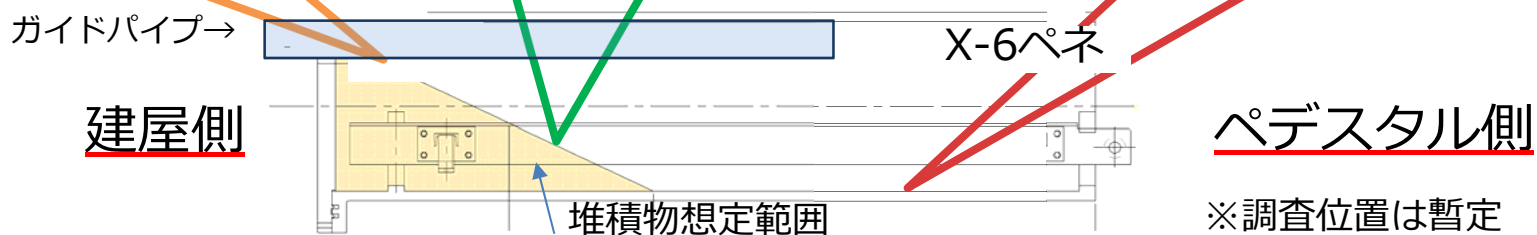
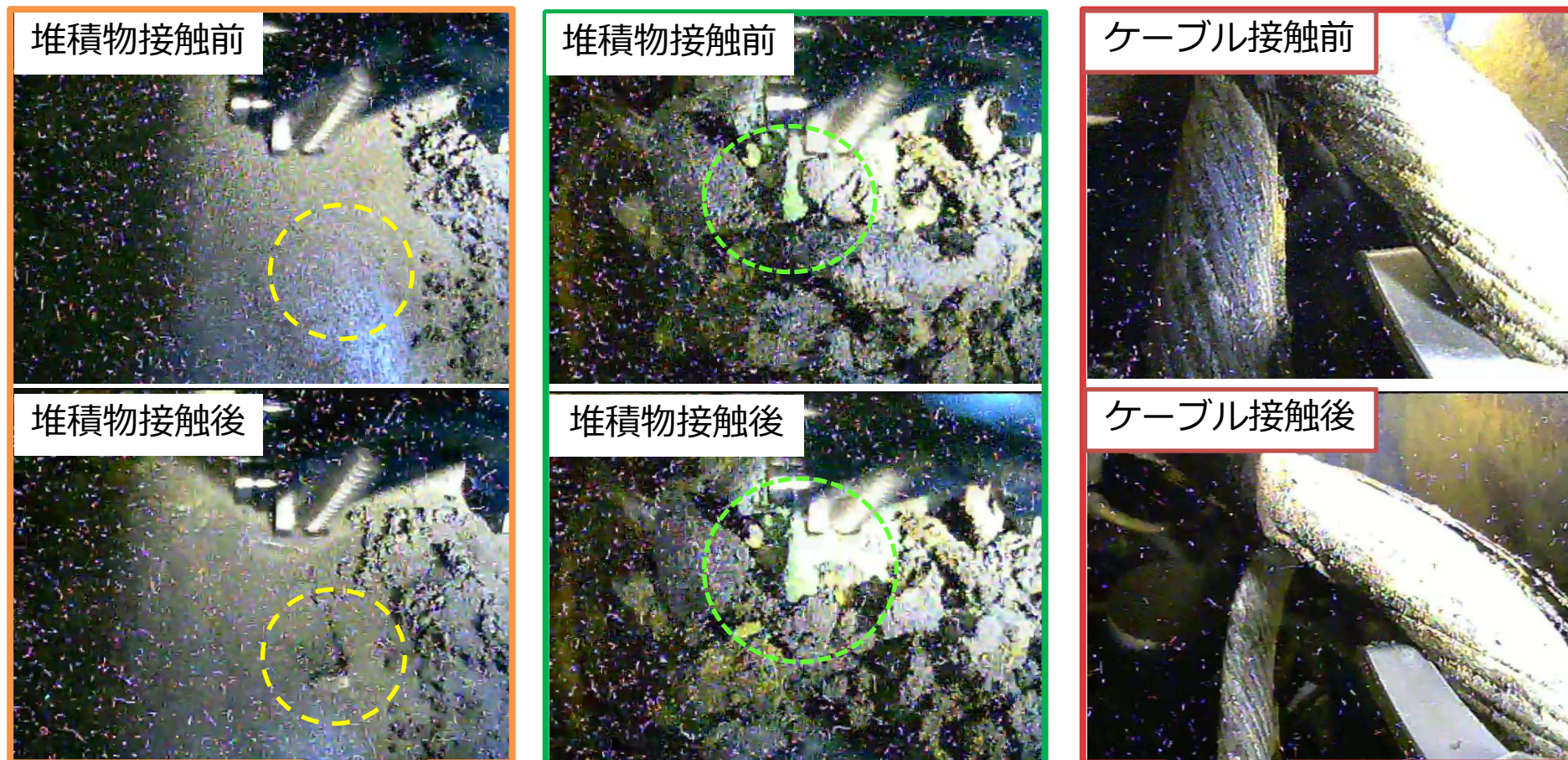
- 調査にあたっては過去のPCV内部調査時と同様に、下図に示すように、ガイドパイプ摺動部を二重のOリングで封止することよりバウンダリを構築し、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えないよう作業した。
- ケーブル貫通部についてもバウンダリを構築し、周辺環境へ影響を与えないよう作業した。
- なお、これまでのPCV内部調査と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認するため、作業中はダストモニタによるダスト測定を行い、作業中のダスト濃度を監視した。



X-6ペネ内堆積物調査のバウンダリ範囲イメージ図

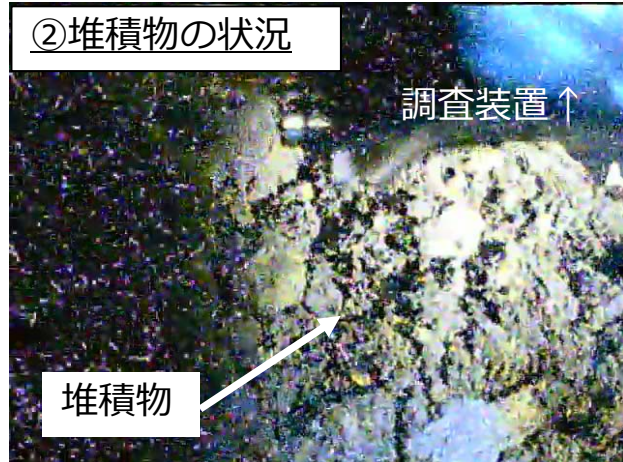
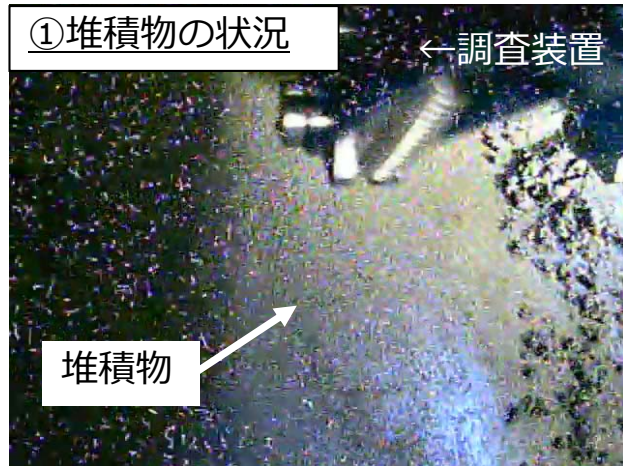
2. X-6ペネ内堆積物の接触調査結果(1/2)

- 堆積物は接触により形状が変化すること、ケーブルは固着しておらず持ち上がることを確認。

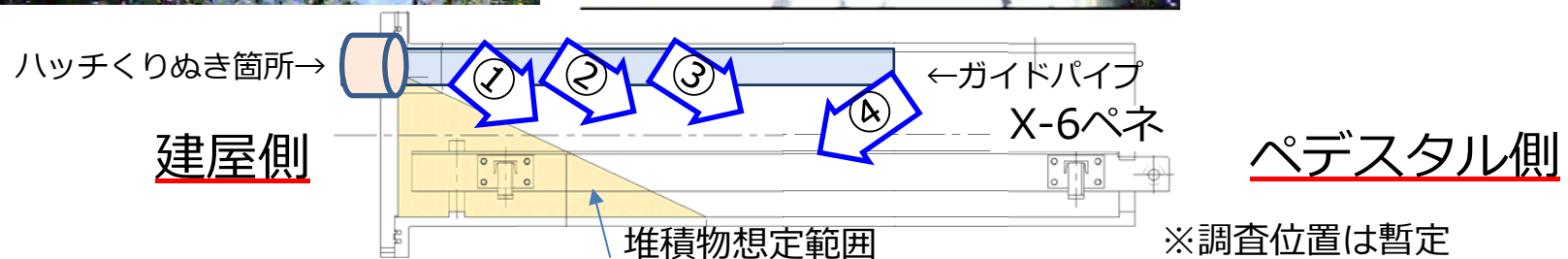


2. X-6ペネ内堆積物の接触調査結果(2/2)

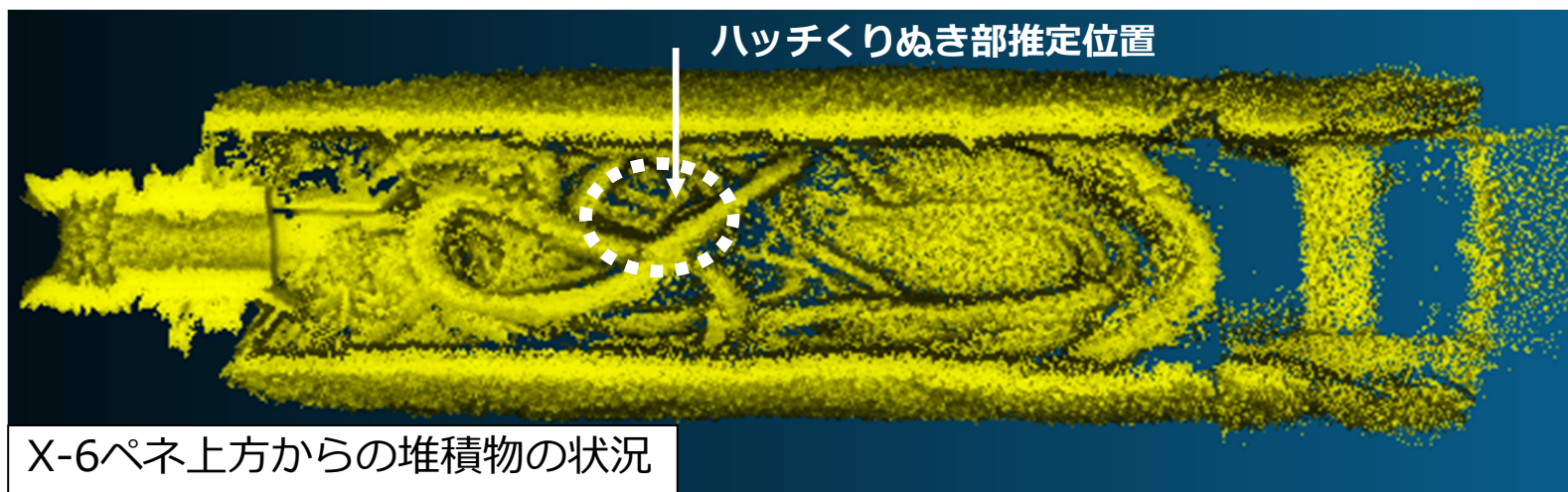
- 堆積物、ケーブルの状況およびX-6ペネハッチくり抜き部*を映像により確認。



※2017年1月のアクセスルート構築時にペネ内に落下したX-6ペネハッチくり抜き部

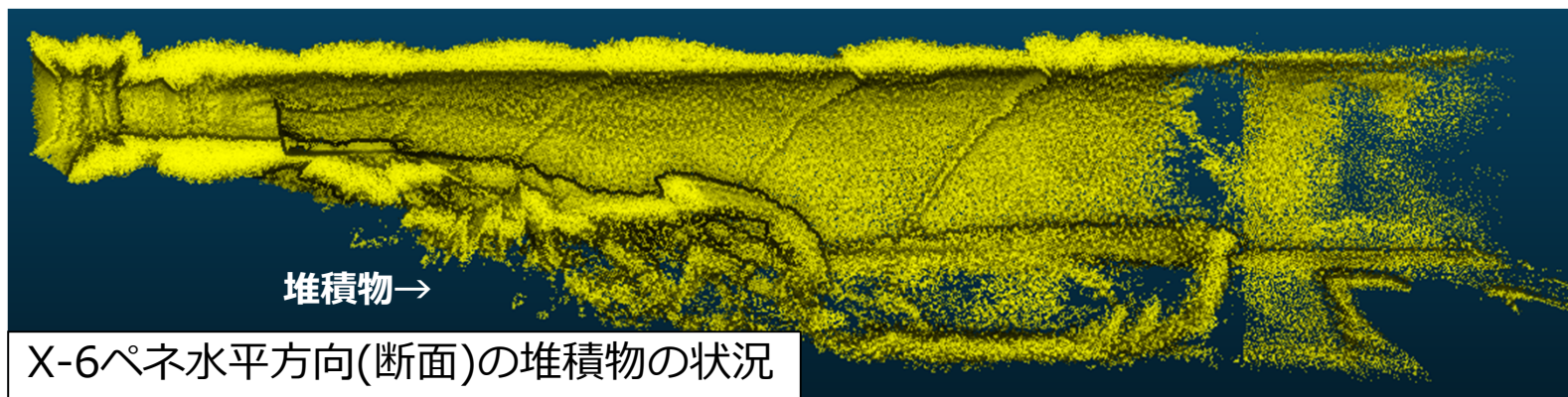


3. 3Dスキャン調査結果



建屋側

ペDESTアル側



4. X-6ペネ内堆積物調査の成果(1/2)

調査項目		調査結果
堆積物	・ 堆積物の性状	▶ X-6ペネ内の位置によって表面の性状が異なる。(X-6ペネ建屋側ではしまった状態, 中ほどでは砂状)
	・ X-6ペネ内での堆積状態	▶ 建屋側からペデスタルに向かって斜面状に堆積していることを確認した。
ケーブル	・ X-6ペネ内の残置状態	▶ 残置されているケーブルの位置などに関しては取得された映像と3Dスキャンから取得した。
	・ ケーブルの固着状態	▶ 今回の接触調査の範囲内では固着しておらず持ち上がることが確認された。
ハッチくりぬき部	ハッチくり抜き部の位置確認	▶ X-6ペネ中ほどに残置されていることが確認された。

4. X-6ペネ内堆積調査の成果(2/2)

- X-6ペネ内堆積物除去装置のモックアップ試験への取得された情報を活用
 - X-6ペネ内の堆積物は, 低・高圧水, AWJ, 押し込み装置を用いてPCV内に押し出すことでの除去を計画している。
 - 今後のモックアップ試験では, 今回の調査で取得された情報を反映させた設備を用いて行う。



←ケーブルの状況をより正確に再現

↓ハッチくりぬき部の位置を再現

↑堆積物の状況を変更

現在のモックアップ設備と改良を検討するポイント

5. まとめ

- X-6ペネ内の堆積物への接触調査, 及び3Dスキャン測定を実施した。
- 今回の接触調査の範囲内では以下を確認し, X-6ペネ内堆積物除去手順の検討に必要な情報を取得した。
 - 堆積物接触調査：固着しておらず形状が変化すること
 - ケーブル接触調査：固着しておらず持ち上がること
 - 除去対象となる堆積物・ケーブル等の状況に関する映像
- 今回の接触調査の結果と3Dスキャン結果を, X-6ペネ内堆積物除去のモックアップ試験に活用していく。
- 作業員の被ばく線量は, 計画線量以内で作業を終了した。
- 作業前後でモニタリングポストやダストモニタに有意な変動はなく, 周囲への放射線影響は発生していない。

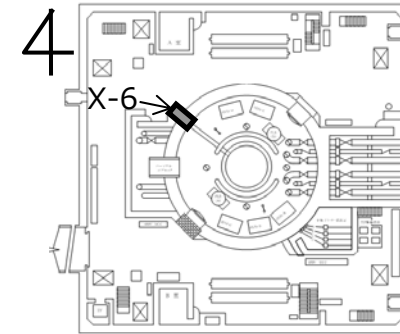
6. 工程

	2020年				2021年
	9	10	11	12	
堆積物調査装置製作及び モックアップ	[Bar chart spanning Sep to Oct 2020]				
・ X-6ペネ内堆積物調査		▼10/28 接触調査 ▼10/30 3Dスキャン調査			
・ 常設監視計器取外し			▼ 11/10-16 常設監視計器取外し		※常設監視計器復旧は内部調査及び 試験的取り出し作業終了後を予定
・ スプレー治具取付作業			X-53ペネ孔径拡大		スプレー治具取付作業 [Bar chart in Nov 2020]
・ 隔離部屋設置 ・ X-6ペネハッチ開放 ・ X-6ペネ堆積物除去 ・ アーム型装置設置				[Bar chart spanning Dec 2020 to Jan 2021]	
内部調査及び 試験的取り出し 作業					[Bar chart in Feb 2021]

(参考)作業状況(1/2)



X-6ペネ前での調査装置設置作業



2号機原子炉建屋1階 ペネ配置図

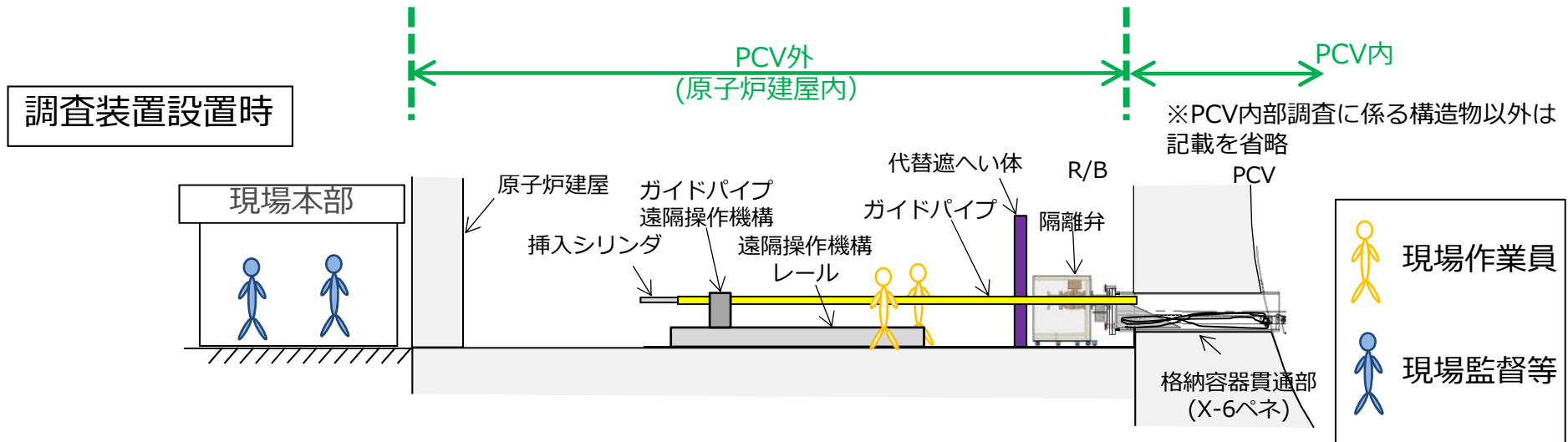


遠隔操作室(事務本館(免震重要棟隣))

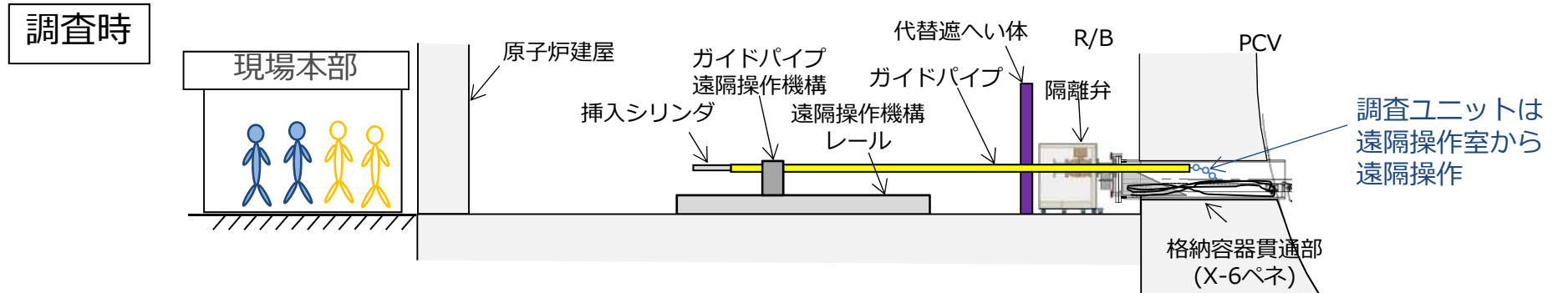


現場本部 (2号原子炉建屋西側ヤード)

(参考)作業状況(2/2)



- 現場作業員はX-6ペネ前で調査装置の挿入・引抜き作業，遠隔操作機構設置などの作業を実施



- 現場作業員は調査ユニットの遠隔操作時には，不要な被ばくを避けるため，線量の低いエリアまで退避
- 遠隔操作室から調査ユニットの操作，遠隔操作機構の前後動作・回転動作，カメラ・照明操作を遠隔により実施

・ 10/28(水)	被ばく線量	計画：3.0[mSv/日]	実績：平均0.23[mSv]	最大1.51[mSv]
・ 10/30(金)	被ばく線量	計画：3.0[mSv/日]	実績：平均0.44[mSv]	最大1.42[mSv]

1～3号機格納容器内部調査関連サンプル等の分析結果

2020年11月26日

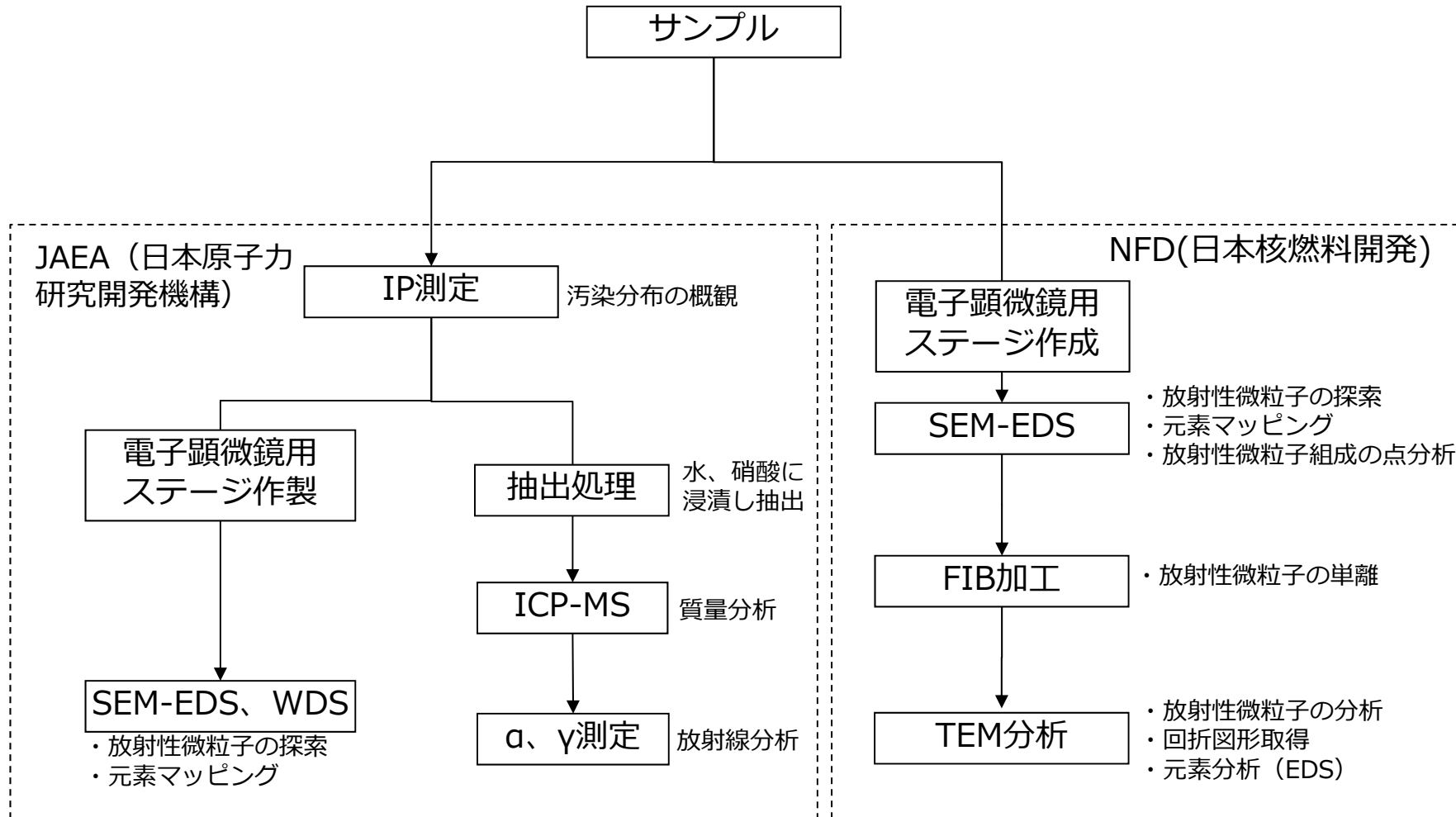
TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- 福島第一原子力発電所では廃炉作業の進捗とともに、これまで高線量環境などの課題から取得が困難であった1～3号機原子炉格納容器（PCV）内からも、サンプルが取得されるようになってきている。
- これらのサンプルを詳細に分析することで得られる情報は、燃料デブリ分布や核分裂生成物（FP）の化学的特性に関する検討など、廃炉に役立つ知見となると考えられることから、東京電力HDは、廃炉・汚染水対策事業「総合的な炉内状況把握の高度化」、「燃料デブリの性状把握・分析技術の開発」と協働し、サンプル分析を進めてきた。
- これまでに、U含有粒子に着目して分析評価を進めることにより、微粒子の形成プロセスについて整理してきた。また、滞留水中に含まれるα線の主要因がフィルタにより取り除けるものであり、粒子によるものであることが示された。
- 本報告では、2019年度に実施した電子顕微鏡（SEM/TEM）による分析結果を中心に取りまとめた。

	サンプル	概要	採取時期
①	2、3号機トーラス室滞留水ろ過物	2号機原子炉建屋トーラス室深部滞留水ろ過物ろ紙 (0.1μmろ過物) 3号機原子炉建屋トーラス室滞留水ろ過物ろ紙 (0.1μmろ過物)	2019年5月
②	3号機 格納容器内部調査装置付着物	2017年7月に実施の3号機格納容器内部調査装置 (水中ロボット) の表面を拭き取り採取	2017年7月
③	1号機X-2ペネトレーション内堆積物	1号機X-2ペネトレーション内(外扉・内扉間)の 堆積物と接触した治具の表面をふき取り採取	2019年6月
④	1号機オペレーティングフロアウェル プラグスミア	ウェルプラグにはRPVトップヘッドフランジから 放出されたFPがトラップされている可能性	2019年7月 ~8月
⑤	2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート	建屋最上階の床面に敷かれていた養生シートを 採取	2014年3月

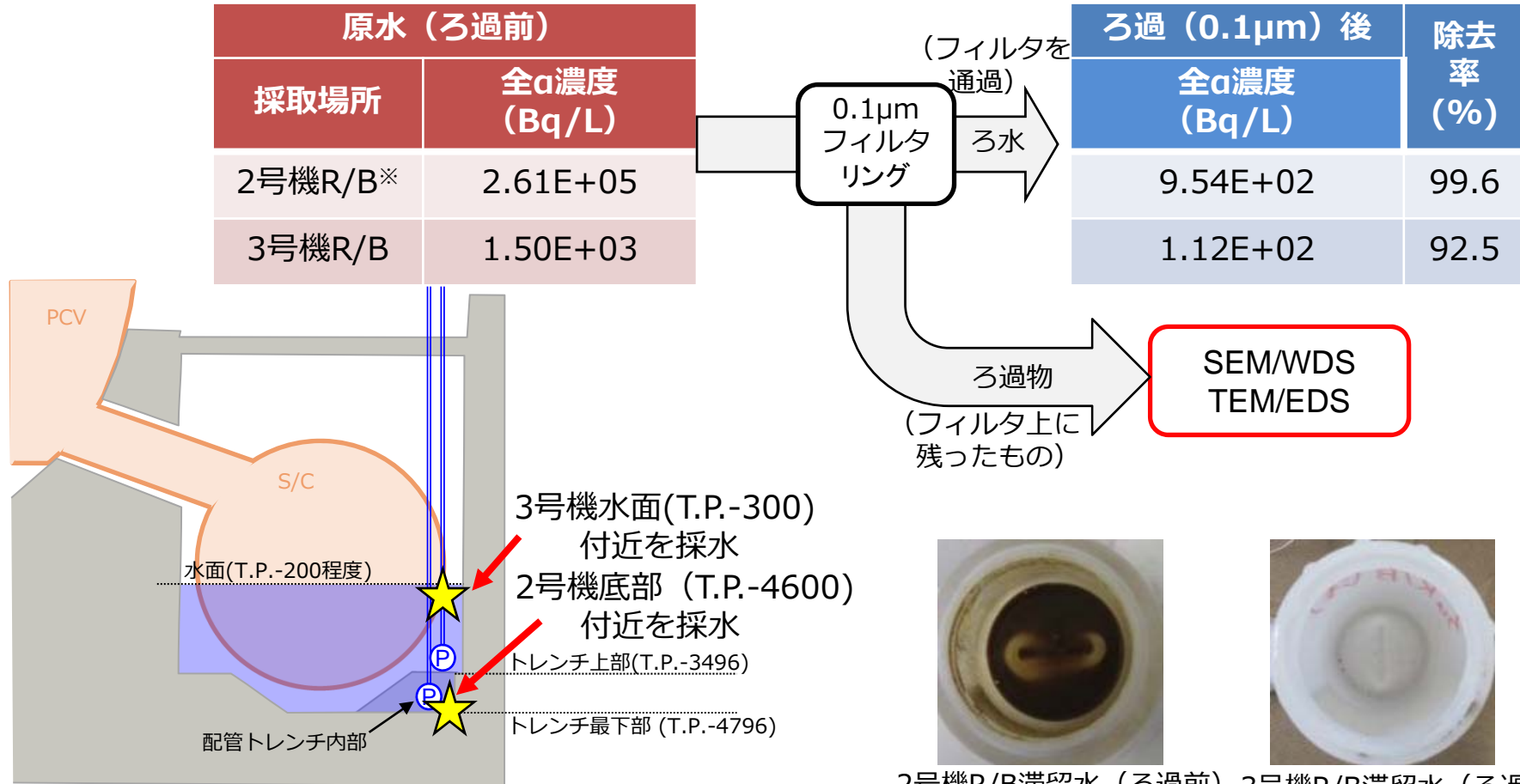
分析フローの例（固体微粒子対象）



※ IP: Imaging Plate(イメージングプレート)、 SEM: Scanning Electron Microscope (走査型電子顕微鏡)、 EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (エネルギー分散型X線分光法)、 WDS: Wavelength Dispersive X-ray Spectroscopy (波長分散型X線分光法)、 TEM: Transmission Electron Microscope (透過型電子顕微鏡)、 ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (誘導結合プラズマ質量分析)、 FIB: Focused Ion Beam (集束イオンビーム)

試料①：2、3号機トーラス室滞留水ろ過物(1/3)

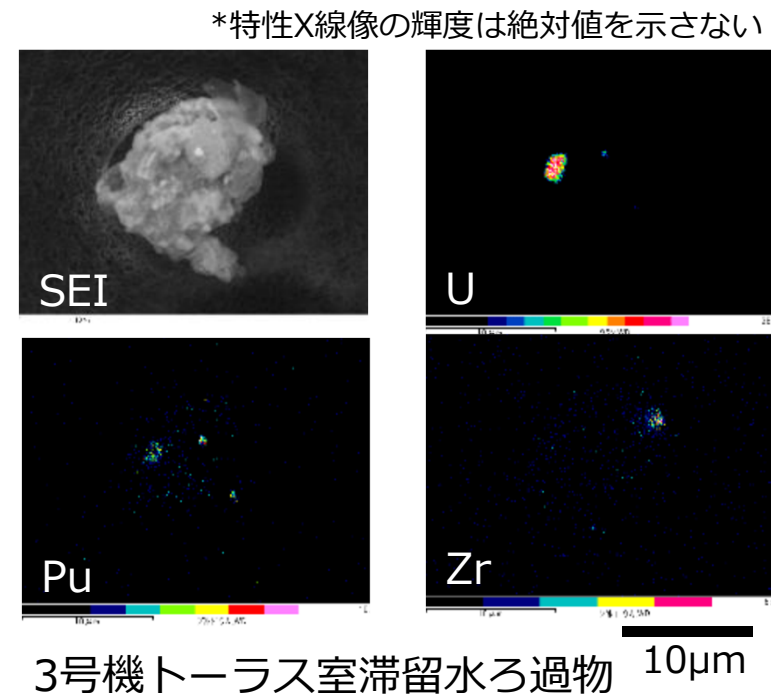
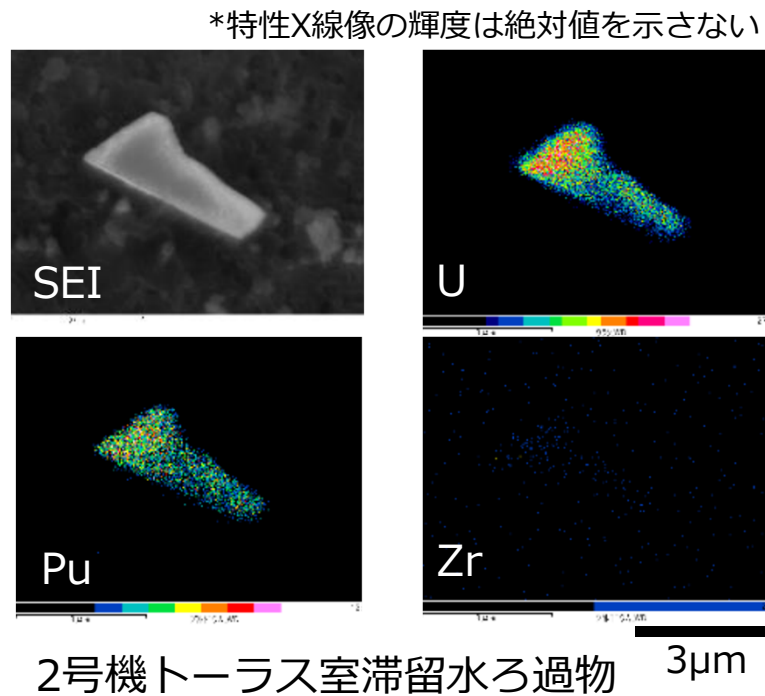
- 滞留水中のα核種は、0.1μmのフィルタにより90%以上除去できたことから、α核種の多くは粒子として存在することが確認された
- 粒子の化学的安定性を調べる目的で、SEM/WDS/EDS、TEM/EDSにより粒子の性状（組成、組織、結晶構造）を分析



R/Bトーラス室断面図

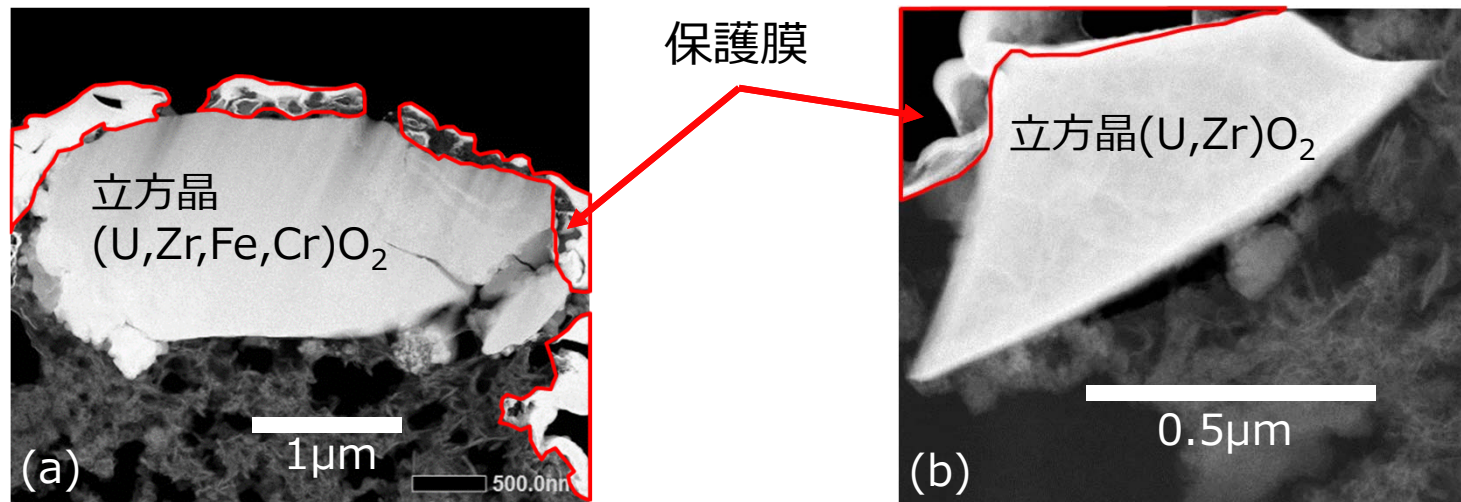
2号機R/B滞留水（ろ過前） 3号機R/B滞留水（ろ過前）
 ※2号機R/Bの滞留水はトレンチ深部にて採取された滞留水であり、目視で底面のスラッジと想定される濁りあり。

- 目視で濁りが確認された2号機の試料では3~5 μm のU含有粒子を確認
 - α 濃度の低い3号機の試料では10 μm 程度の有機物粒子に微量のUが付着
- いずれの試料でも、Uの多くが**粒子で存在**していることを確認
 → 詳細を、TEM/EDSで分析



トーラス室滞留水ろ過物のSEM/WDS結果
 (SEI:SEM像、U、Pu、Zr：それぞれの元素の特性X線像)

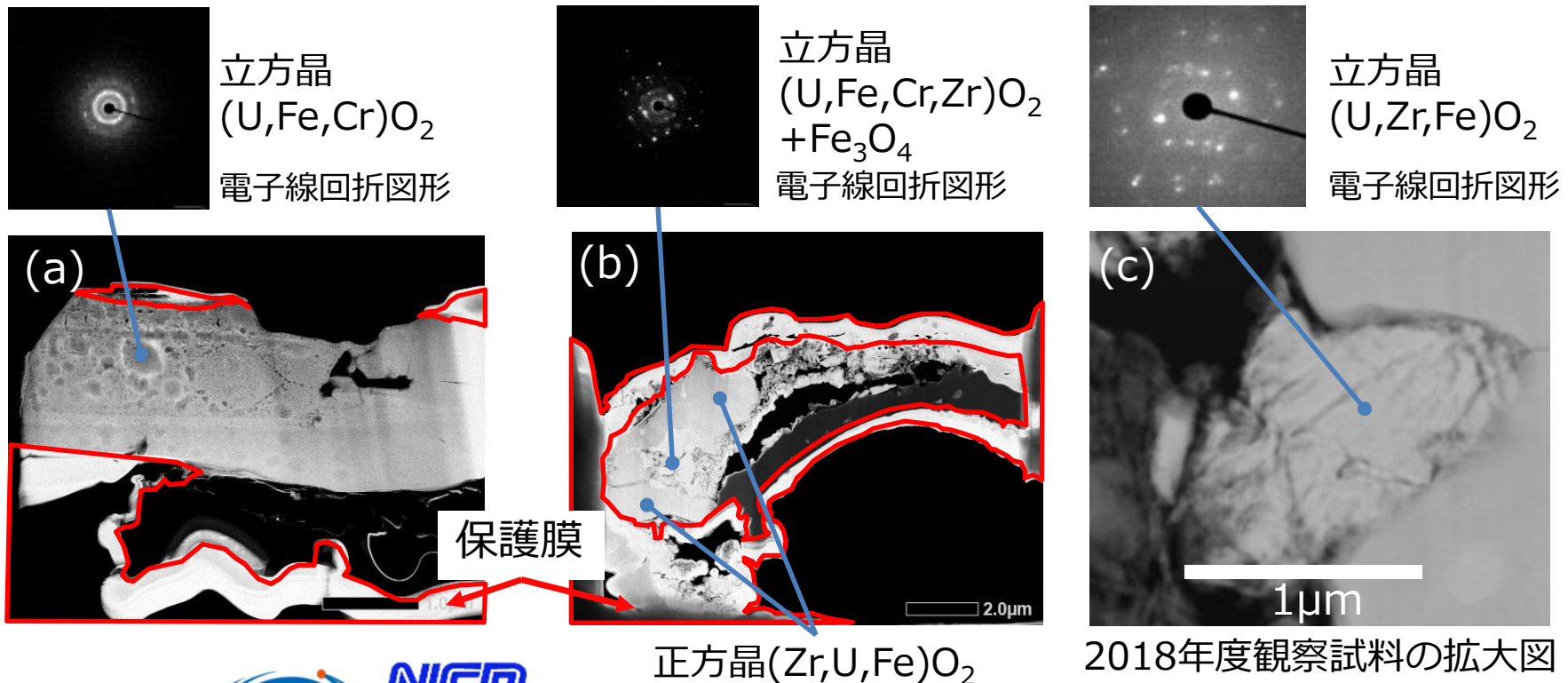
- TEM/EDS用ろ過物試料(通水量小) について、FE-SEM/EDSでU含有粒子を探索
 - 目視で濁りが確認された2号機滞留水のろ過物は、いずれもZr,Fe,CrあるいはZrを含む立方晶 UO_2 で、**化学的に安定**
 - * 回折像において析出物が確認されなかった場合は $(\text{U,Zr,Fe,Cr})\text{O}_2$ のように表現
 - これらは、溶融凝固過程により形成されたものと考えられる
 - 3号機滞留水(比較的低線量) のろ過物ではU含有粒子は未発見
- 滞留水中の **α 核種の殆どは、安定な酸化物**と考えられる



凸部の曲率から、直径約4 μm の粒子の破片と評価

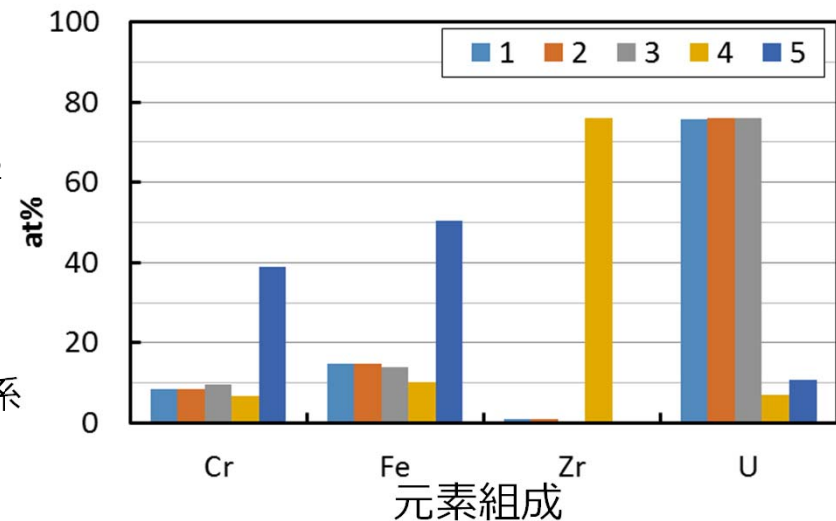
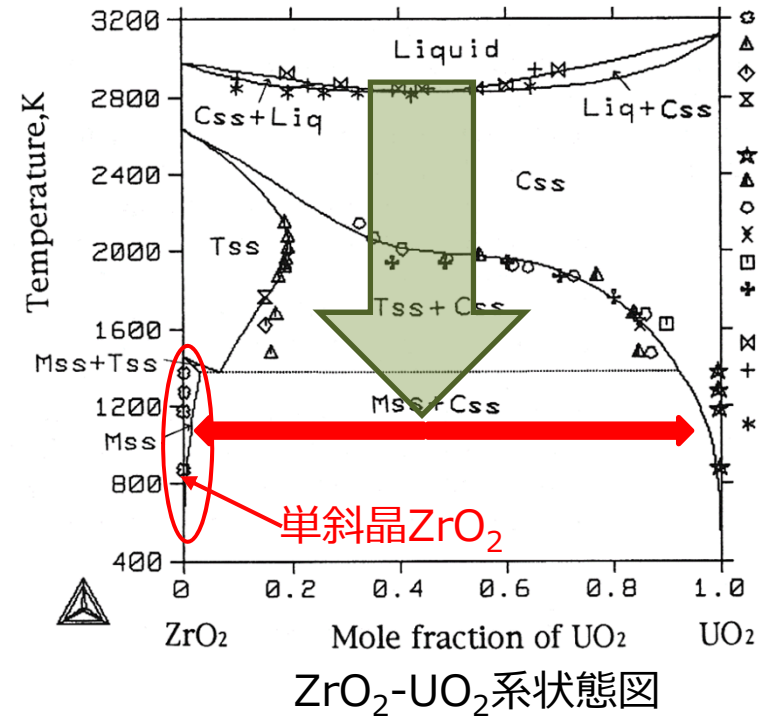
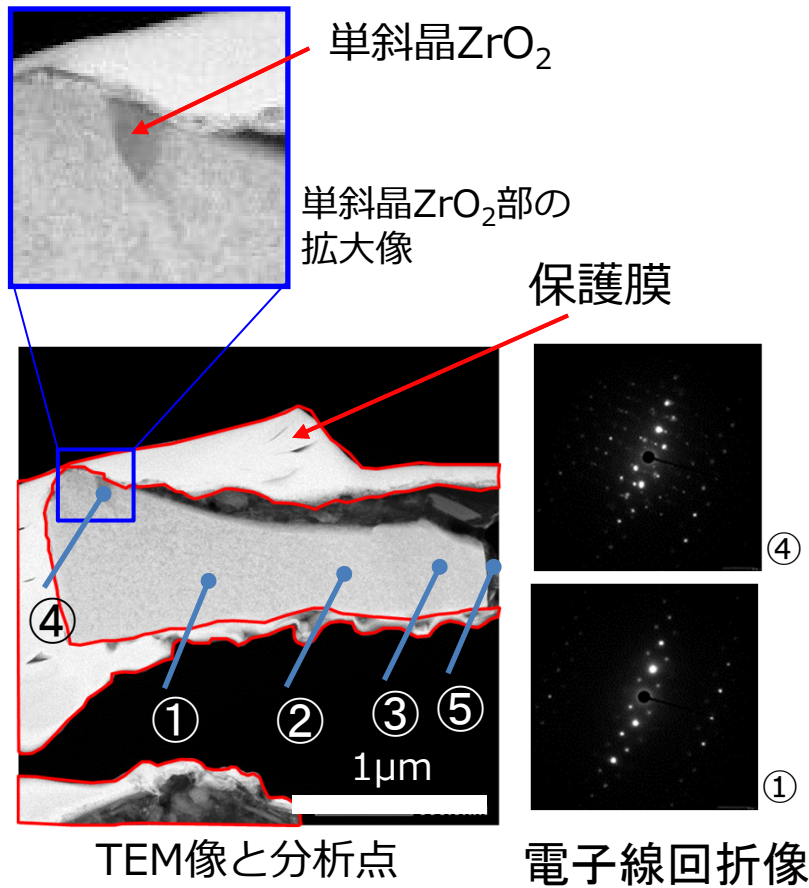
2号機試料のTEM/EDS分析結果

- (a): 層状および粗密の斑点を持つ構造で、Zrを含まない(U,Fe,Cr)O₂粒子からなり、蒸発蒸着過程により形成したものと考えられる
 - (b): (Zr,U,Fe)O₂粒子と (U,Fe,Cr,Zr)O₂ナノ粒子が凝集したような粒子で、溶融凝固過程、
或いは複合過程により形成と考えられる
 - (c): 2018年度観察試料においても、高U領域は微細な結晶子で構成
- 3号機水中ROV付着物の高U領域は、いずれも、化学的には**安定な酸化物**
- ただし、電子線回折図形はリングパターンを示しており、**微細な結晶子で構成**されていることを示唆

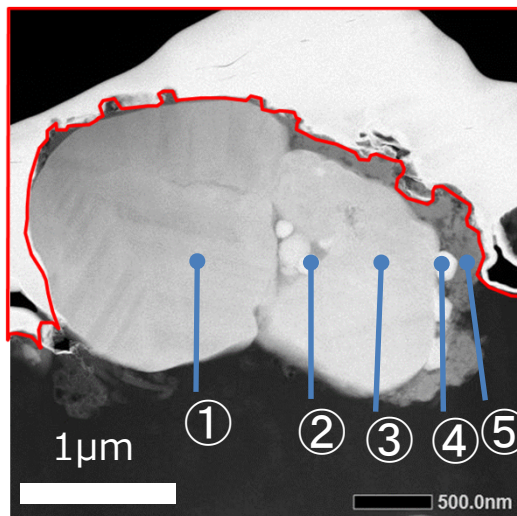


試料③：1号機X-2ペネトレーション内堆積物

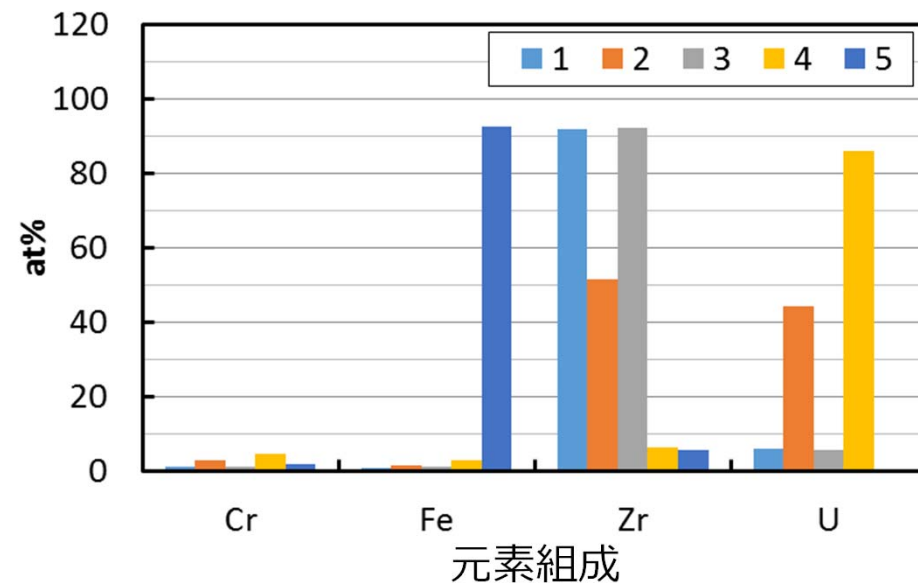
- 主相(①~③)は立方晶 (U,Fe,Cr)O₂
- 単斜晶ZrO₂の存在(④)は、相分離が生じるのに十分遅い冷却速度であることを示唆
- 溶融凝固過程により形成されたものと考えられる
- 事故進展解析におけるInputとなる炉内条件の一つ



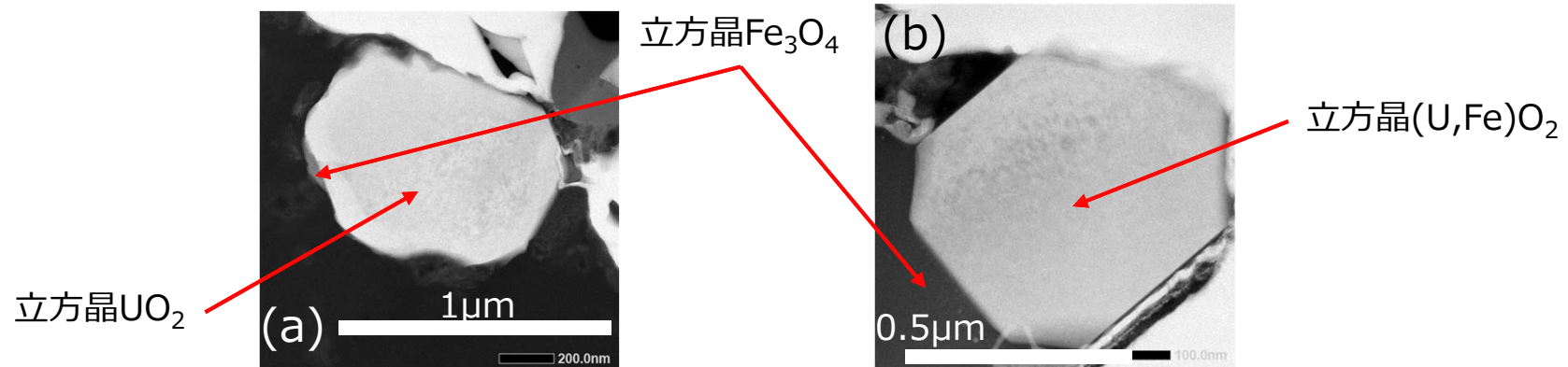
- 主相は複数の単斜晶 ZrO_2 粒子が凝集あるいは融着した粒子
 - 1号機ドライ領域試料（X-2ペネトレーション試料）と同様の**単斜晶 ZrO_2 が形成**しており、**冷却速度が遅い**ことを示唆
 - 立方晶 $(U,Zr)O_2$ 微粒が付着、或いは融着
 - 溶融凝固過程により形成された複数粒子の凝集体と推定される
- 単斜晶 ZrO_2 が観察されたのは特徴的であり、**炉内条件を知る手掛かり**となりうるものと期待される



TEM像と分析点



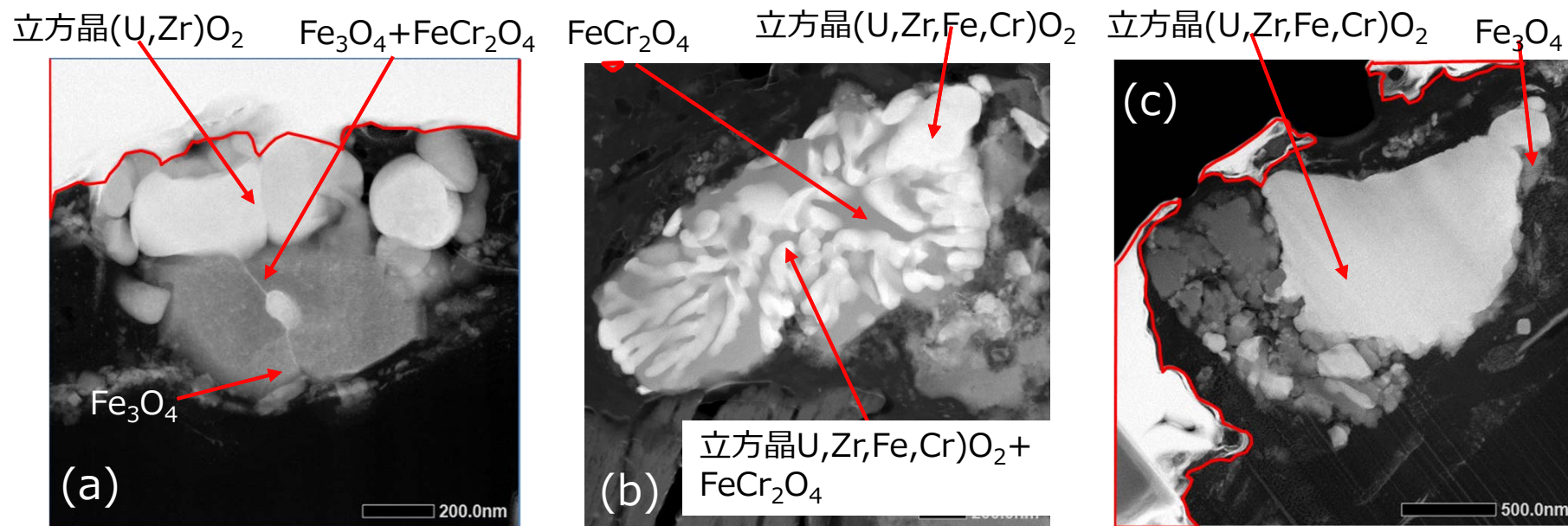
- (a): 殆どZrを含まない立方晶 UO_2 粒子で、蒸発凝縮過程で形成されたと考えられる (Fe+Cr濃度も金属元素の約6at%)
- (b): 金属元素の約20at%のFeを含み、Cr、Zrを含まない立方晶 $(U,Fe)O_2$ 粒子で、燃料とFe酸化物との溶融体が徐冷され析出した結晶と考えられる (周囲に Fe_3O_4 が存在) ただし、殆どZrを含まないことから、U-Fe-O系溶融体は蒸発凝縮による粒子の気中加熱か UO_2 とFe系材料との直接反応による溶融体形成が考えられる (今後の課題)
- **生成過程は従来通り**と考えられる (蒸発凝縮過程、溶融凝固過程)
- U-Fe-O系溶融体が形成され、結晶が析出していることから、**液相出現温度以上を経験し、徐冷**されたことを示唆 ⇒ **事故進展解析におけるInput**となる炉内条件の一つ



TEM/EDS分析結果

- (a): 6~7at%のFe+Crを含む複数の立方晶(U,Zr)O₂と、FeCr₂O₄析出部を含むFe₃O₄粒子が凝集し融着した粒子で、溶融凝固過程で形成された粒子が凝集したものと考えられる
- (b): 立方晶(U,Zr,Fe,Cr)O₂とFeCr₂O₄の混合相で構成された粒子で、U-Zr-Fe-Cr-O系溶融体が冷却過程で相分離した粒子と考えられる
析出物サイズが冷却速度に依存することから、**冷却速度の推定に役立つ可能性**がある
- (c): 約10at%のFe+Crを含む立方晶(U,Zr,Fe,Cr)O₂の粒子（周辺にFe₃O₄が存在）で、溶融凝固過程で形成したと考えられる
Fe系酸化物は、凝固過程で吐き出されたか、或いは凝集したものと考えられる

➤ **事故進展解析におけるInput条件の一つ**



TEM/EDS分析結果

トーラス室滞留水中のα源の検討

- 2号機および3号機トーラス室滞留水のα核種は0.1μmフィルターによりそれぞれ99.6%および92.5%除去された
- 分析されたる過物は、**水中で安定な立方晶**の UO_2 および $(U,Zr,Fe,Cr)O_2$ であった
- 水中の試料として3号機格納容器内部調査装置(ROV)付着物をTEM観察した結果、高U濃度領域はいずれも回折図形においてリングパターンを示し、**微細結晶子で構成**されていることを示した

1号機気相移行粒子の分析

- 1号機オペレーティングフロアウェルプラグスミアおよびX-2ペネトレーション内堆積物において確認された粒子は、蒸発凝縮過程、溶融凝固過程で形成されたものと考えられ、**形成過程としては従来結果と同様**
- ただし、U-Fe-O系溶融物から析出したと考えられる結晶を検出し、U-Fe-O系溶融物形成過程の評価は今後の課題
- また、Uを含有する単斜晶 ZrO_2 を検出し、**冷却速度が遅かった**ことを示唆

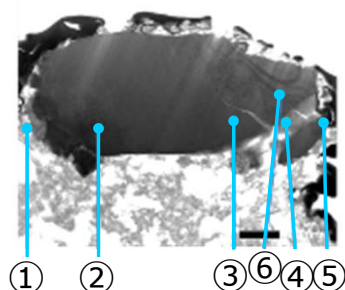
2号機気相移行粒子の分析

- 2号機原子炉建屋オペレーティングフロア養生シート上のU含有粒子は、溶融凝固過程により形成したものと考えられ、従来結果の延長上
- ただし、U-Zr-Fe-Cr-O系溶融体が冷却過程で相分離したと考えられる粒子の組成・組織情報は、粒子の**冷却速度(炉内温度状況)の推定に役立つ**ことが期待される

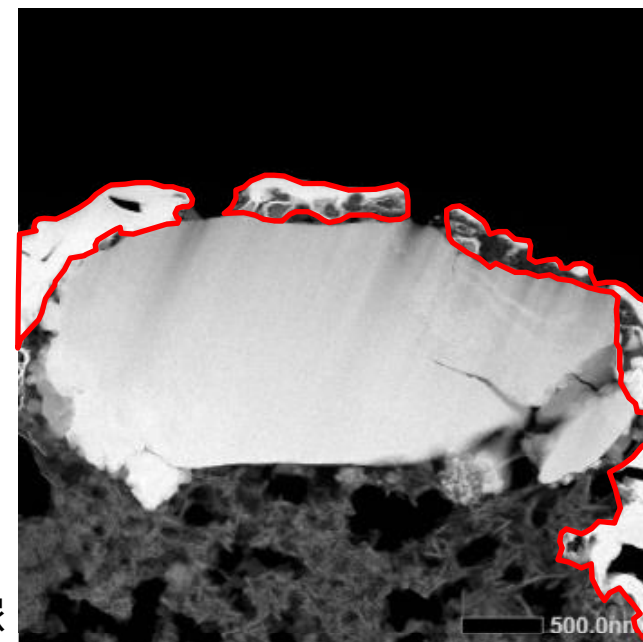
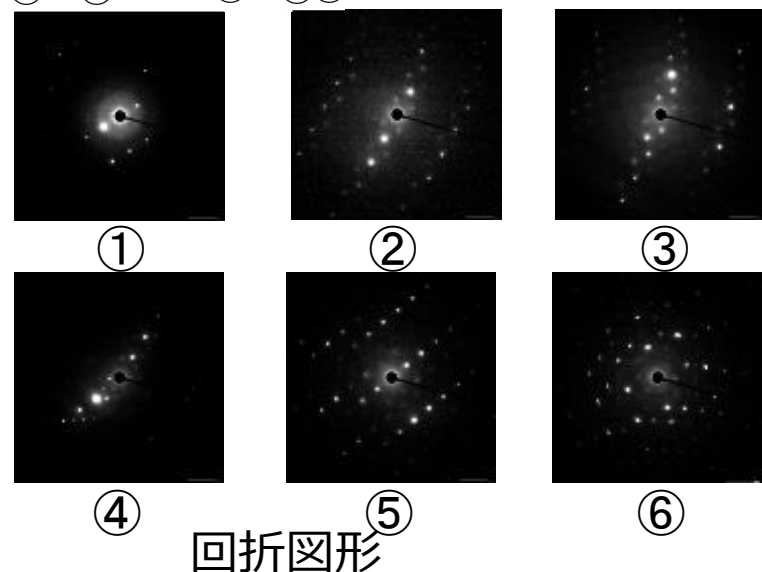
U含有粒子の分布に関する直接的な情報のほか、形成プロセスを推定する情報や事故進展解析におけるInput条件の一つを提供

以下、参考

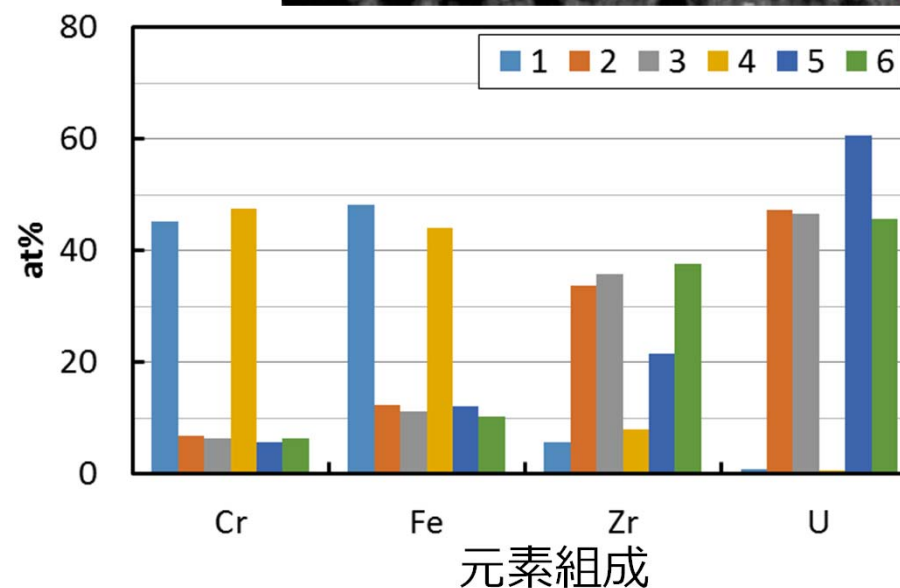
- 主相は立方晶 (U,Zr,Fe,Cr)O₂固溶体で、粒子の周囲に (Fe,Cr)₃O₄と六方晶Cr₂O₃が周辺に存在
- 大粒子のU/(U+Zr)比は約0.6で、小粒子(⑤)は約0.7
- (Fe+Cr)濃度は約18~19at%
- 熔融凝固過程



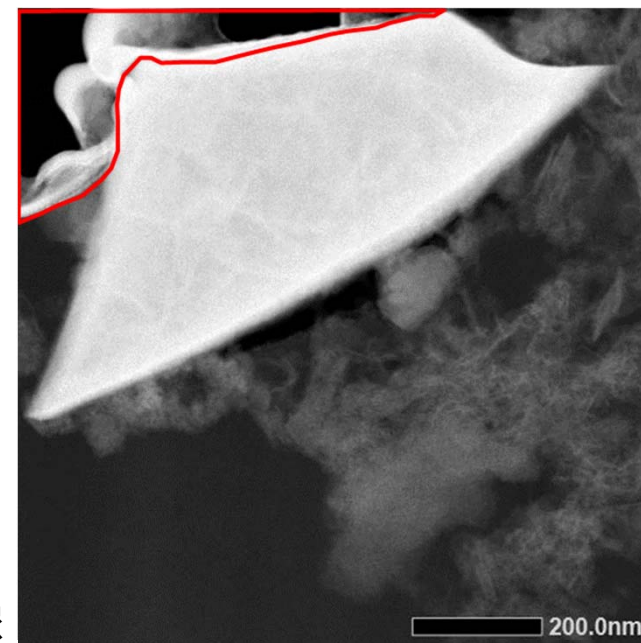
- ① : Cr₂O₃+Fe₃O₄
- ②③⑤⑥ : c-(U,Zr,Fe,Cr)O₂
- ④ : (Fe,Cr)₃O₄



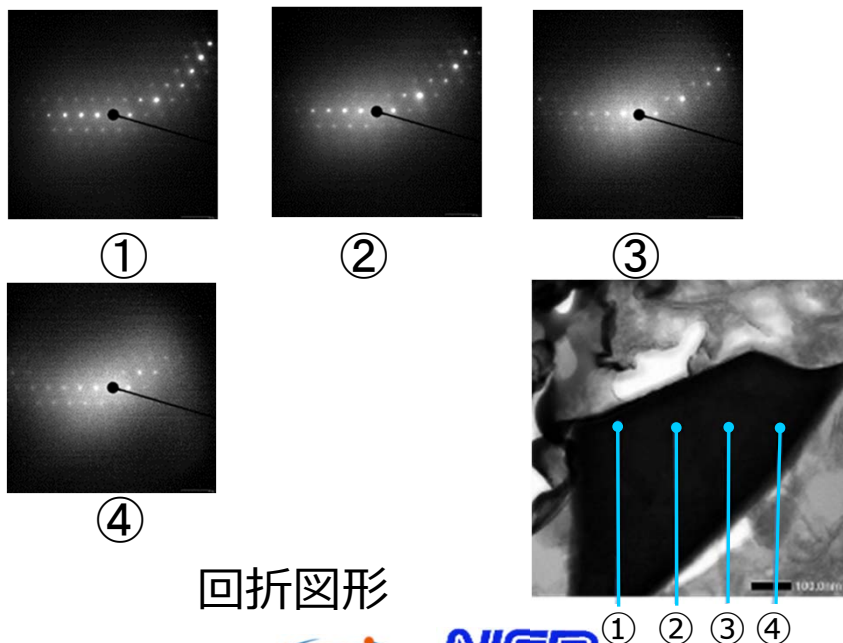
TEM像



- 主相は立方晶のUO₂固溶体
- 曲率から4μm程度の粒子からの破片と推定
- Zrの含有量は約5at%、
- Fe、Crの含有量は約2~4at%と示されている。ただし値の有意性については未確認
- 熔融凝固過程

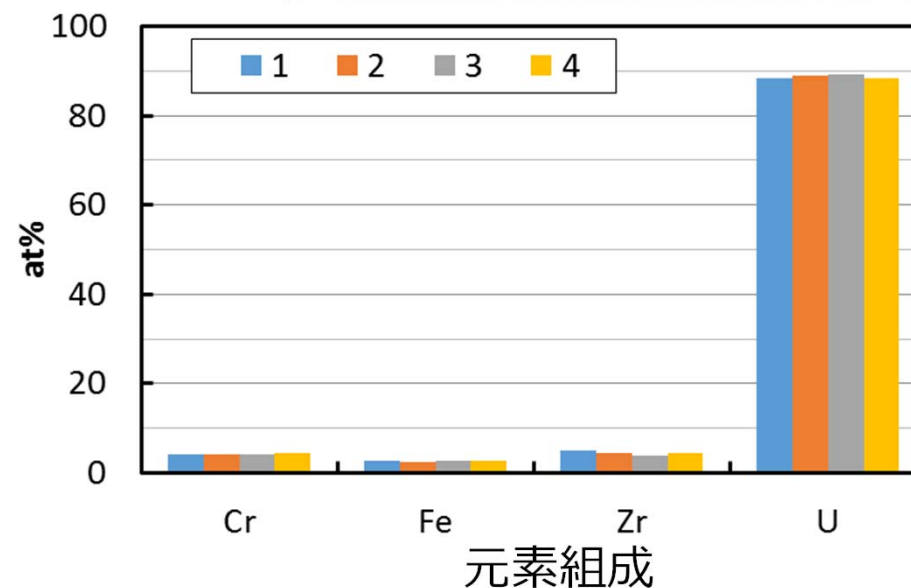


①~④ : c-(U,Zr)O₂

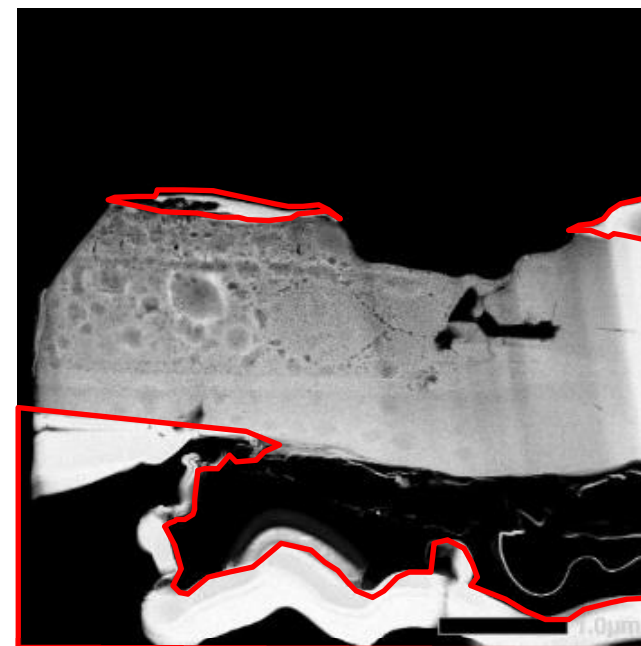


回折図形

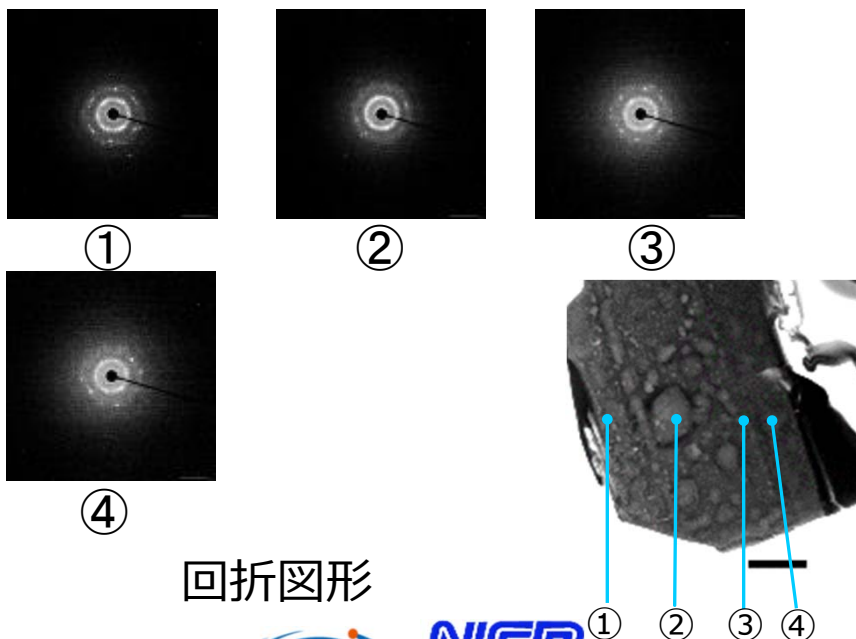
TEM像



- 主相は立方晶の(U,Fe,Cr)O₂固溶体で、Zrは含まない
- (Fe+Cr)濃度は約18%
- Cr/Fe比は約0.45
- 回折図形はリングパターンを示し、微小結晶子で形成されていることを示唆
- 蒸発凝縮過程

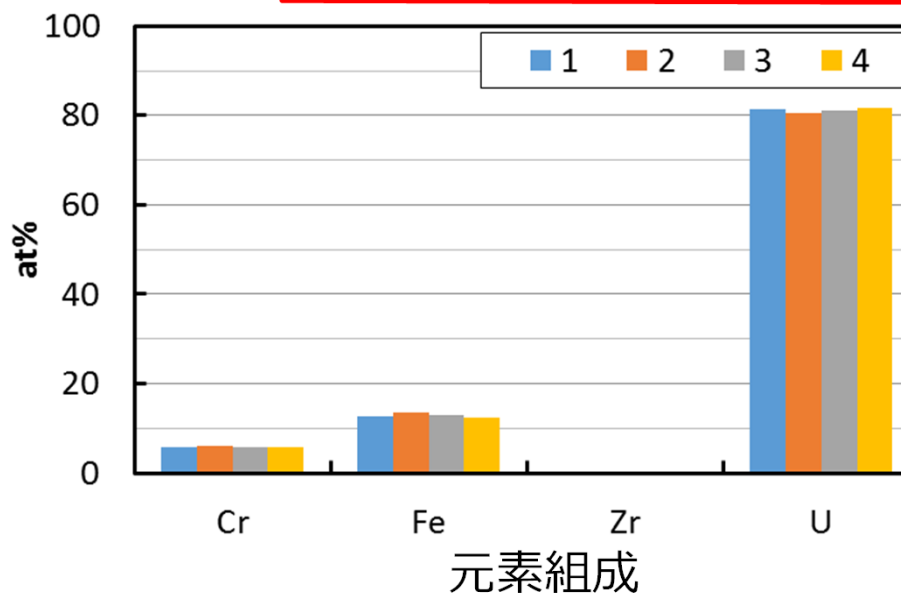


①②③④ : c-(U,Fe,Cr)O₂

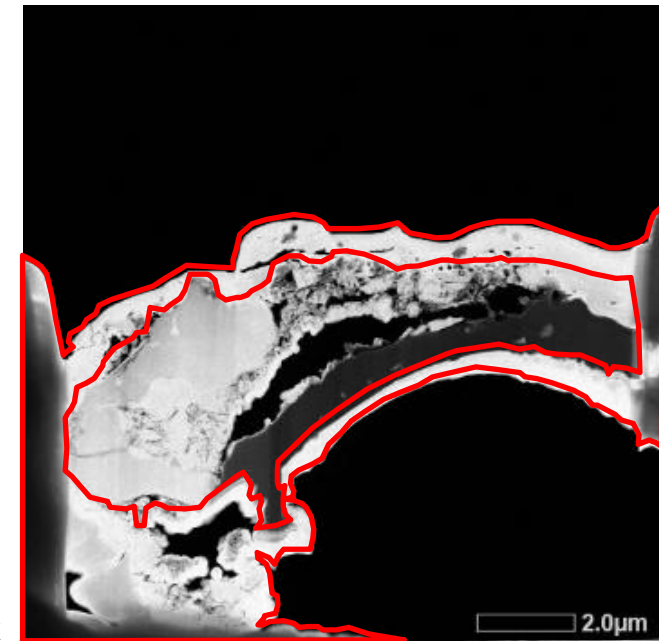


回折図形

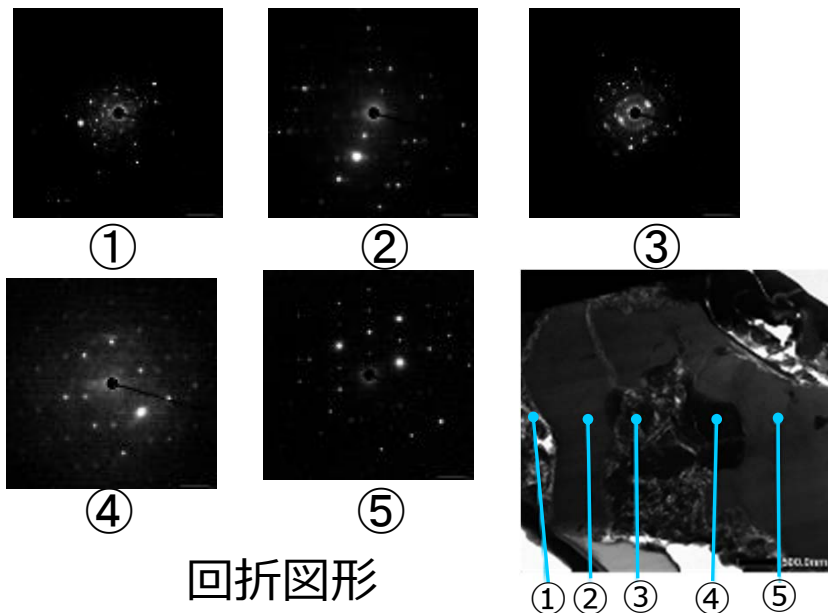
TEM像



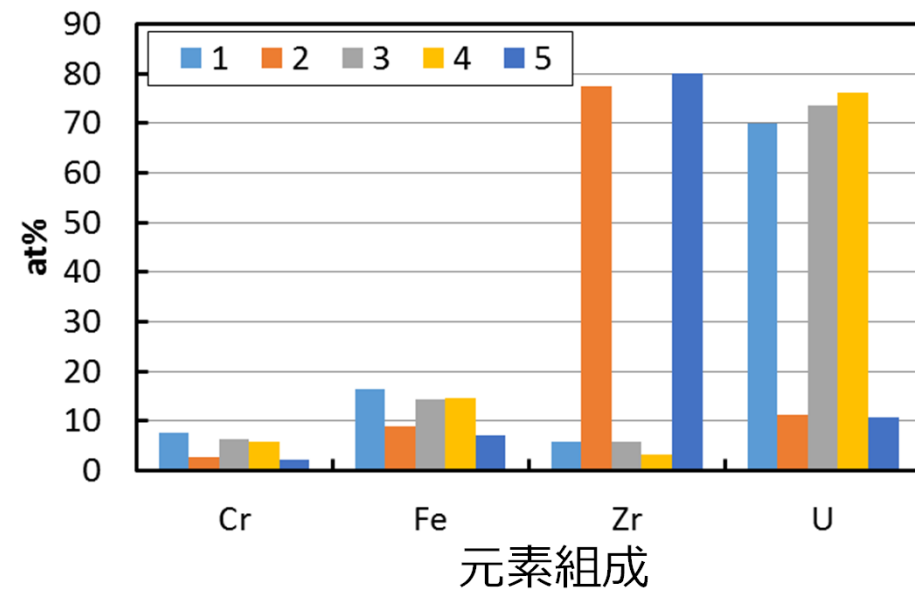
- 立方晶の $(U,Fe,Cr,Zr)O_2$ 固溶体と正方晶の $(Zr,U,Fe)O_2$ 並びに立方晶 Fe_3O_4 の凝集物
- $(U,Fe,Cr,Zr)O_2$ 固溶体中の $Fe+Cr$ 濃度は $20\sim 25at\%$
- 高U濃度領域 (①、③、④) の回折図形でリングパターンが見られ、微小結晶子で形成されていることを示唆
- 溶融凝固過程



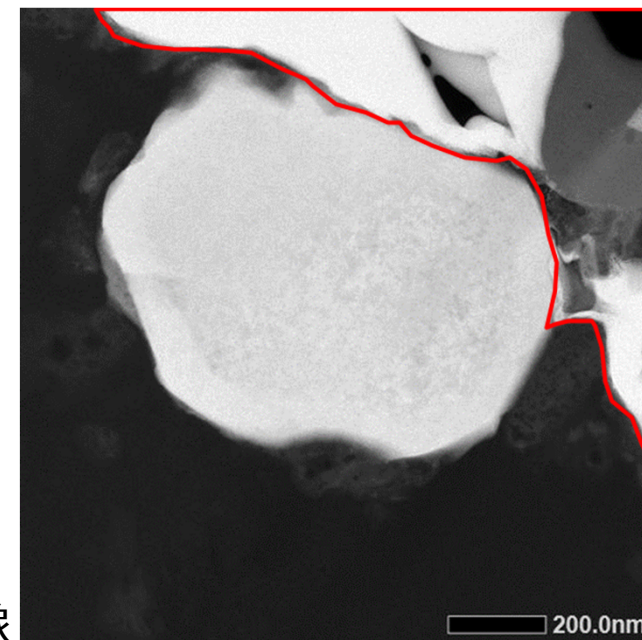
- ①③: $c-(U,Fe,Cr,Zr)O_2+Fe_3O_4$
- ②⑤: $t-(Zr,U,Fe)O_2$
- ④: $c-(U,Fe,Cr,Zr)O_2$



TEM像

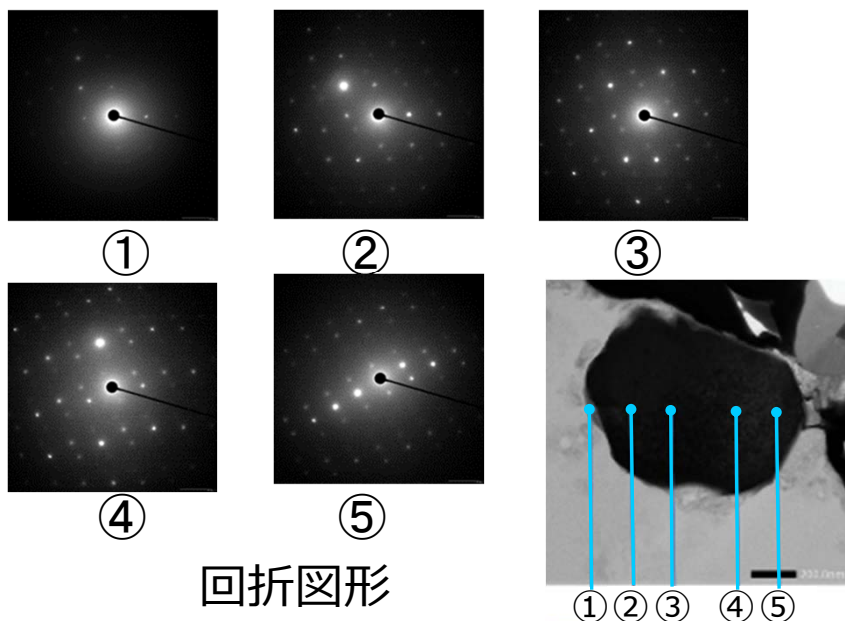


- 主相はZrを含まない立方晶の UO_2
- 立方晶 UO_2 中のFe、Cr濃度は、約1.5at%以下で、値の有意性については未確認
- 外周部に立方晶の Fe_3O_4
- 蒸発凝縮過程



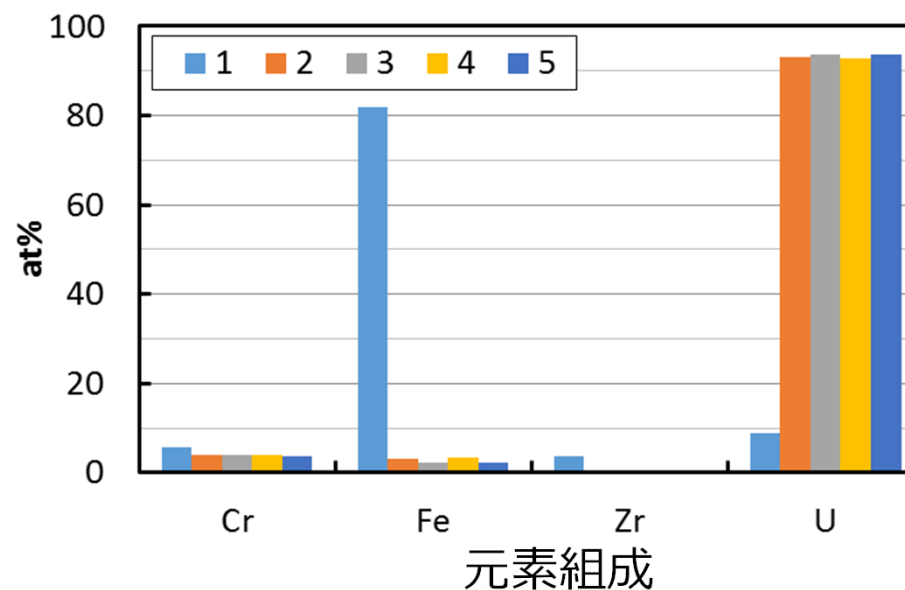
① : $\text{UO}_2 + \text{Fe}_3\text{O}_4$

②~⑤ : c- UO_2

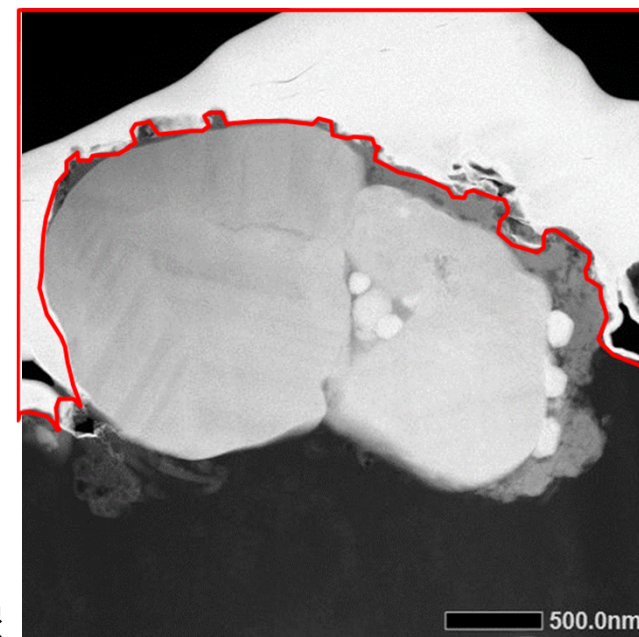


回折図形

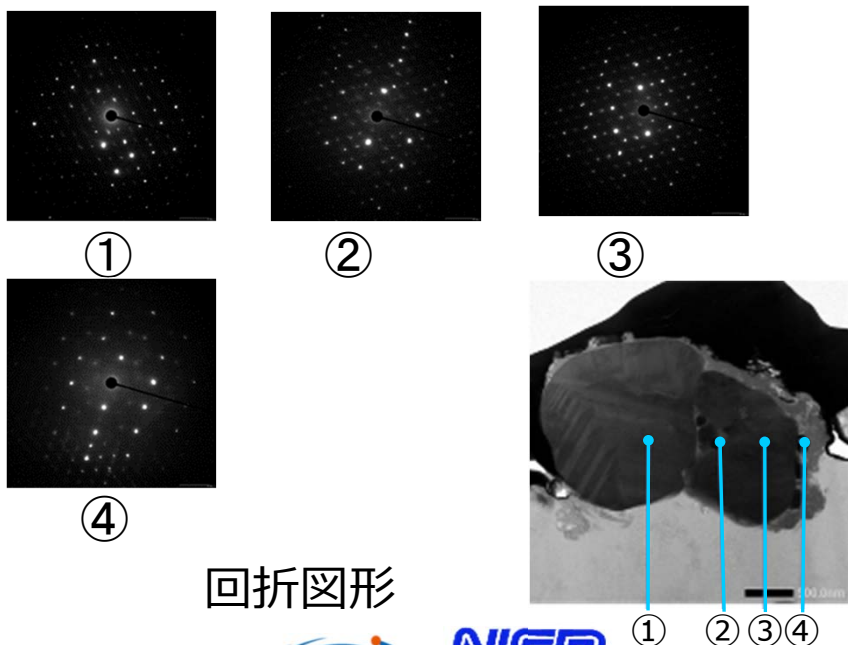
TEM像



- Uを約6at%含む単斜晶の ZrO_2 、立方晶の $(Zr,U)O_2$ 固溶体、立方晶の $(U,Zr)O_2$ の凝集物
- 単斜晶の ZrO_2 中の $U/(U+Zr)$ 比は約0.05、立方晶 $(U,Zr)O_2$ 中の $U/(U+Zr)$ 比は約0.95
- 分析点②の値は周囲情報を含んでいる
- 溶融凝固過程

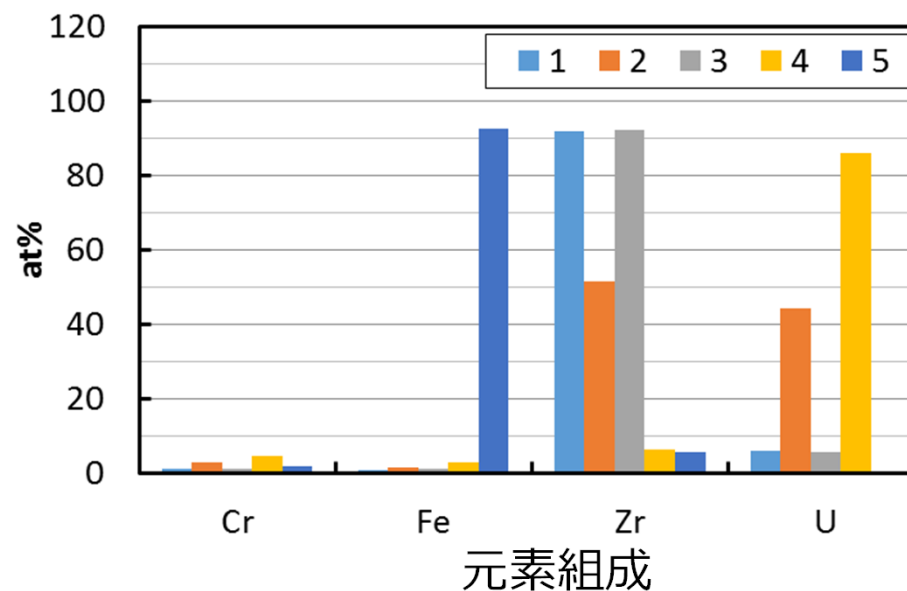


- ①③ : $m-ZrO_2$
- ② : $c-(Zr,U)O_2 + m-ZrO_2$
- ④ : $c-(U,Zr)O_2$



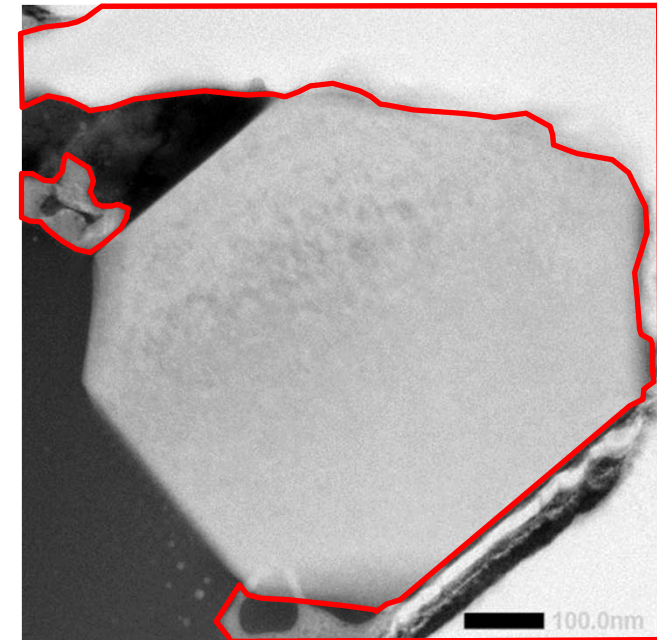
回折図形

TEM像

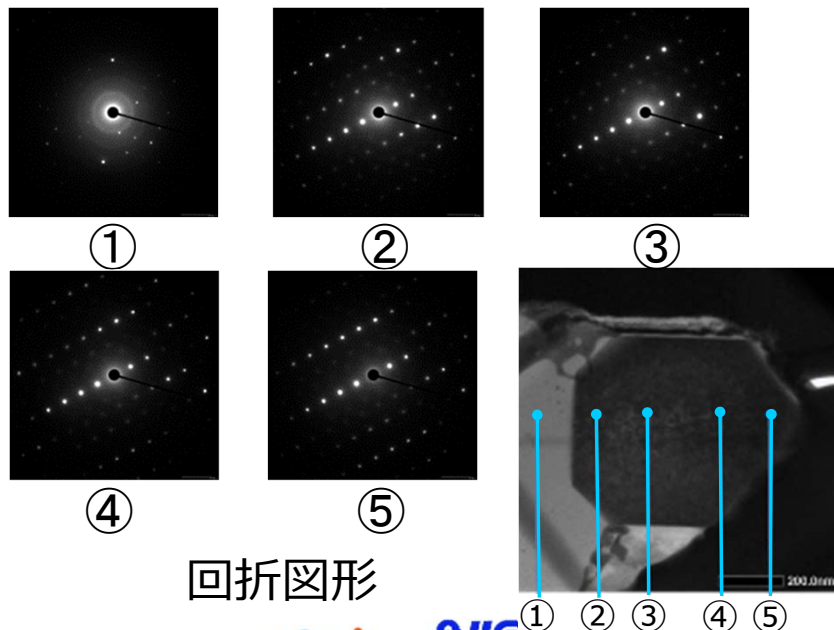


- 立方晶の(U,Fe)O₂固溶体で、周囲に立方晶のFe₃O₄
- (U,Fe)O₂固溶体中のFe濃度は約20at%
- 単結晶微粒子が液相過程で成長したものである
- 溶融凝固過程
 - U-Fe-O系溶融体の形成過程については要検討
 - ✓ 蒸発凝集過程によりU-Fe-O凝集体が形成されたのち、加熱されU-Fe-O系溶融体を形成
 - ✓ UO₂-SUS（あるいは鋼材）との直接反応によりU-Fe-O溶融体を形成
 - ✓ U-Zr-Fe-O系溶融体からU-Fe-O系溶融体が分離

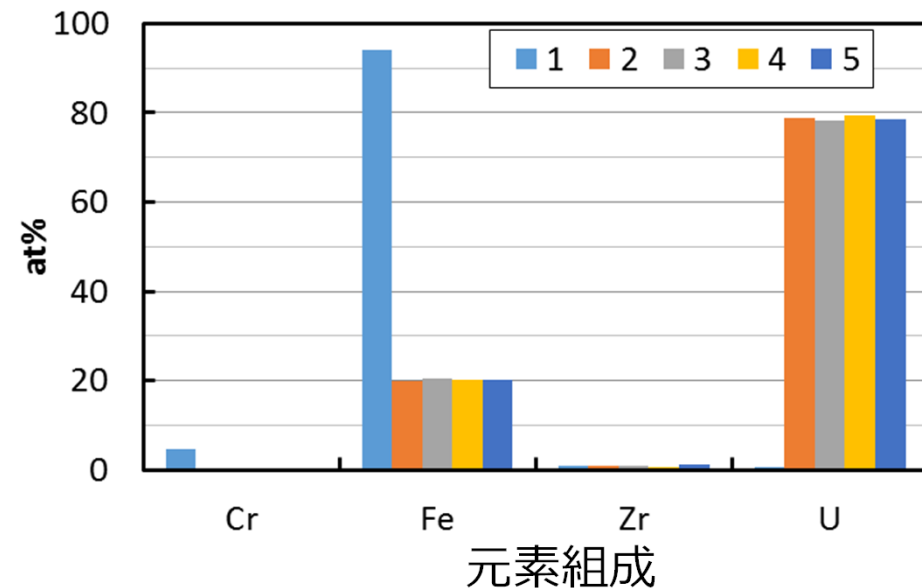
① : c-Fe₃O₄
 ②~⑤ : c-(U,Fe)O₂



TEM像



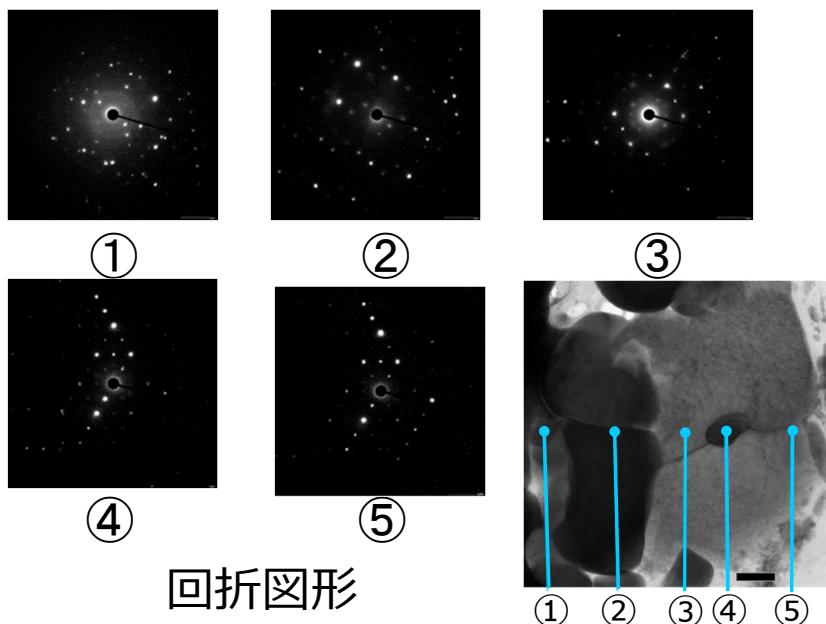
回折図形



元素組成

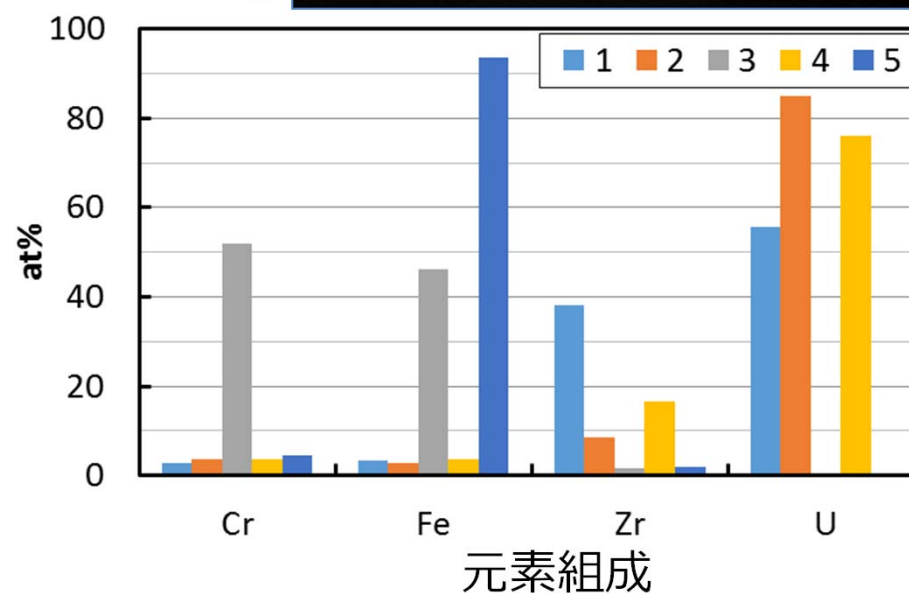
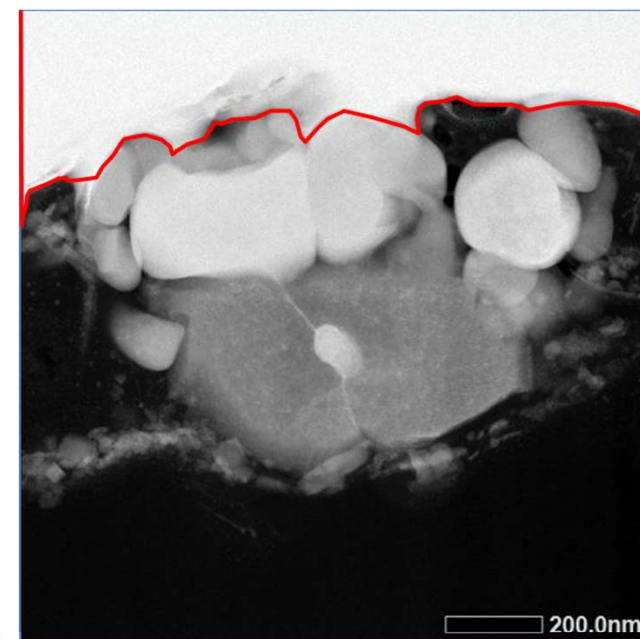
- Fe+Cr濃度が6~7at%の立方晶(U,Zr)O₂、及び正方晶(Zr,U)O₂の粒子と、立方晶Fe₃O₄、立方晶(Fe,Cr)₃O₄からなる粒子の凝集物
- 熔融凝固過程+凝集

- ① : c-(U,Zr)O₂ + t-(Zr,U)O₂
- ② : c-(U,Zr)O₂
- ③ : Fe₃O₄+FeCr₂O₄
- ④ : c-(U,Zr)O₂+Fe₃O₄
- ⑤ : Fe₃O₄

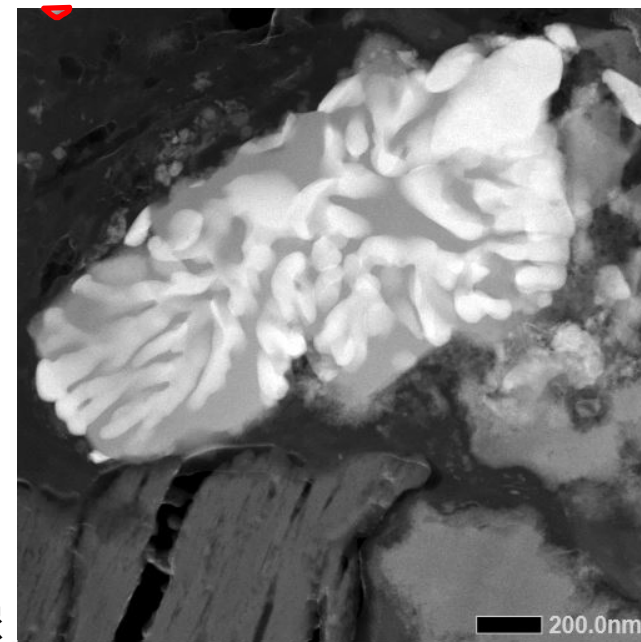


回折図形

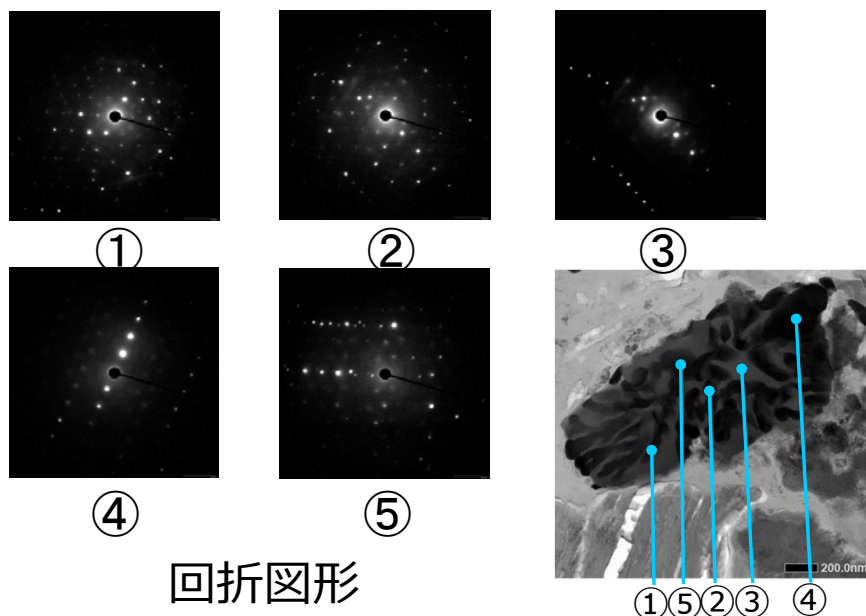
TEM像



- (U,Zr,Fe,Cr)O₂と(Fe,Cr)₃O₄の混相
- U-Zr-Fe-Cr-O系酸化物融体が冷却過程で相分離したものと考えられる。
- U/(U+Zr)比は約0.6
- ほぼ(Fe,Cr)₃O₄単相と思われるポイント③のCr/Fe比は約1.8であり、概ねFeCr₂O₄スピネルの組成に近い。
- 熔融凝固過程

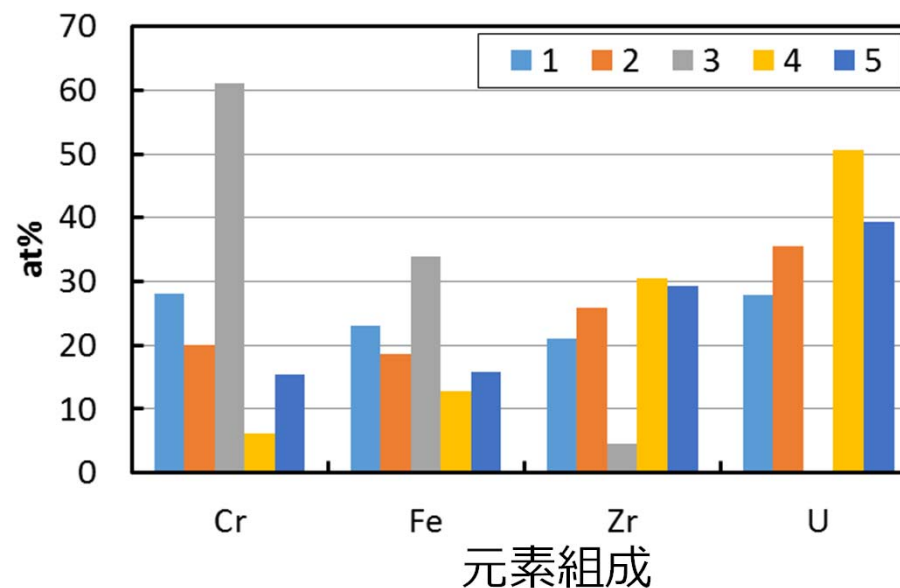


- ①②⑤ : c-(U,Zr,Fe,Cr)O₂+(Fe,Cr)₃O₄
- ③ : FeCr₂O₄
- ④ : c-(U,Zr,Fe,Cr)O₂



回折図形

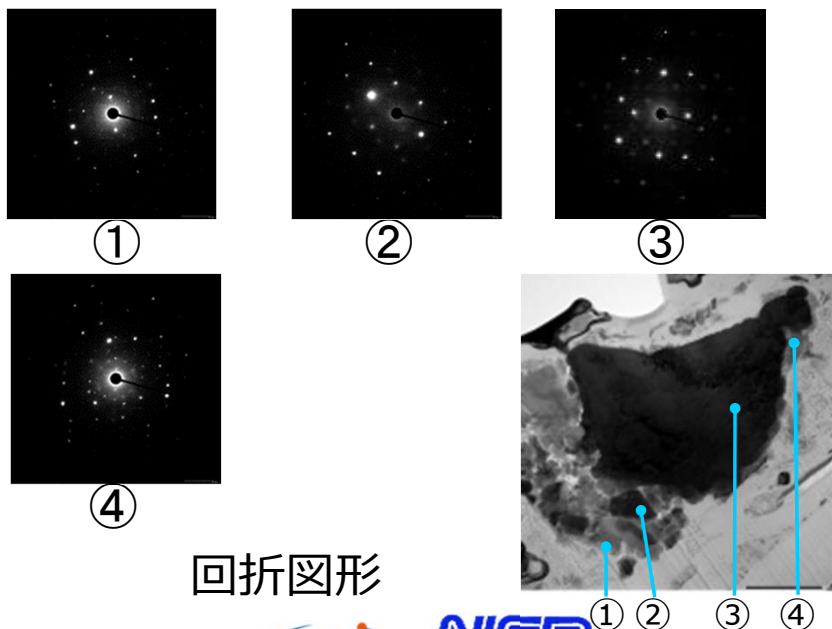
TEM像



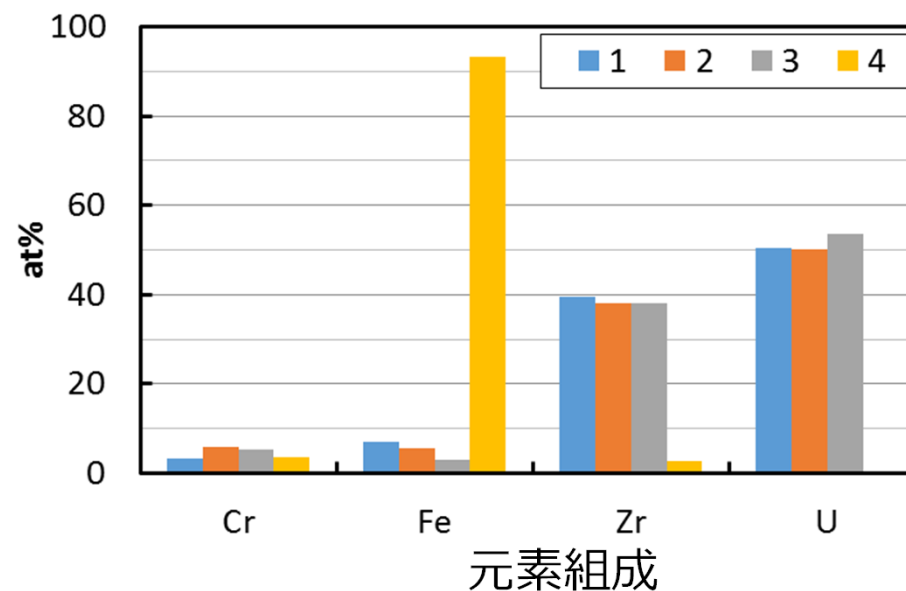
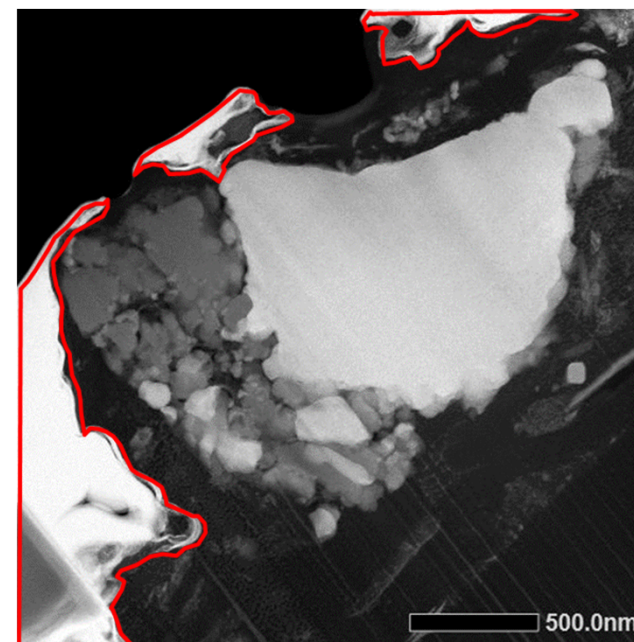
- 主相は立方晶の(U,Zr,Fe,Cr)O₂固溶体
- 外周に立方晶のFe₃O₄
- Fe-Cr系酸化物、およびU-Zr系酸化物の微粒子も凝集
- 立方晶(U,Zr,Fe,Cr)O₂固溶体中のU/(U+Zr)比は約0.55~0.6と一定、Fe+Cr濃度は約10at%
- 溶融凝固過程

①②③ : c-(U,Zr,Fe,Cr)O₂

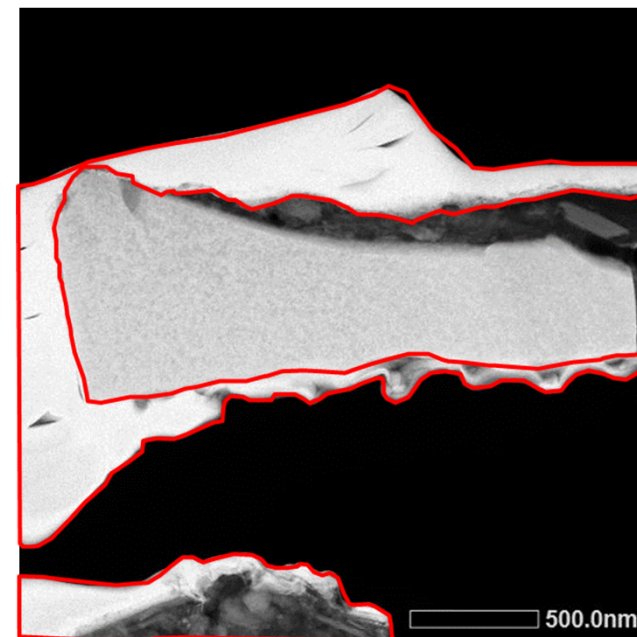
④ : Fe₃O₄



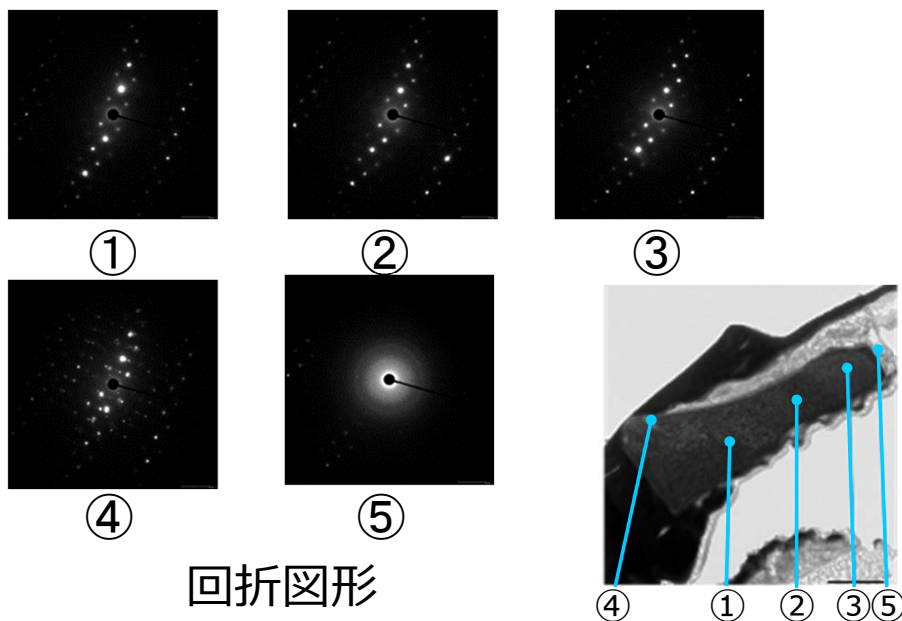
TEM像



- 主要部は立方晶の(U,Fe,Cr)O₂固溶体で、(Fe,Cr)₃O₄の回折スポットはみられない
- 一部(④)に単斜晶ZrO₂
- 立方晶(U,Fe,Cr)O₂中のFe+Cr濃度は約20~25at%
- 熔融凝固過程
 - U-Fe-Cr-O系溶融体の形成過程については要検討

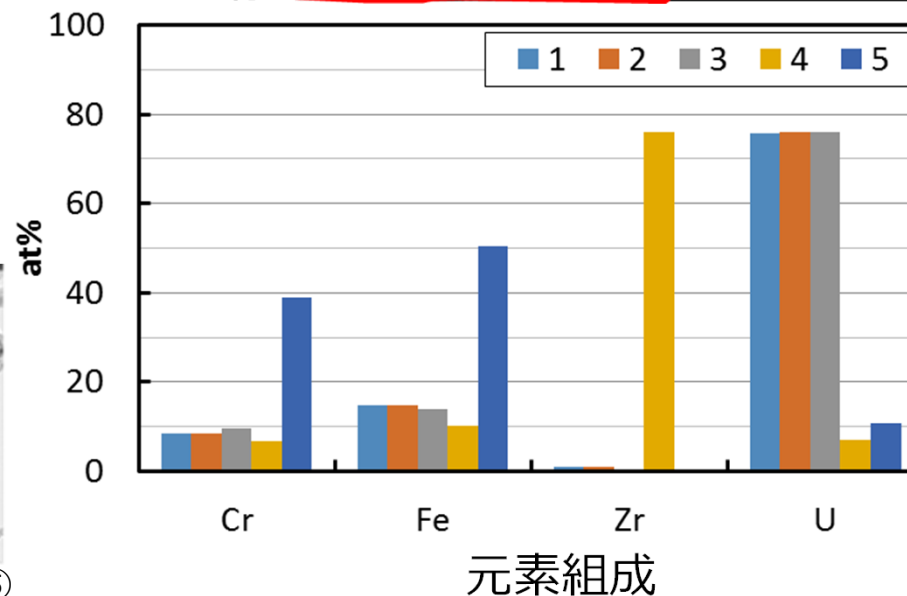


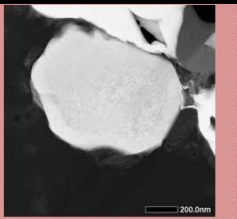
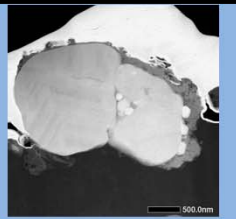
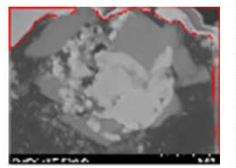
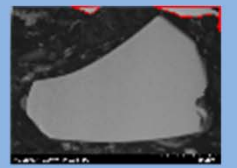
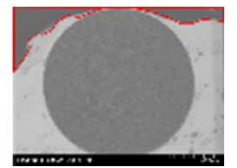
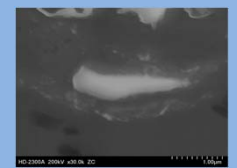
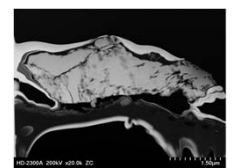
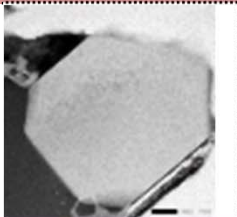
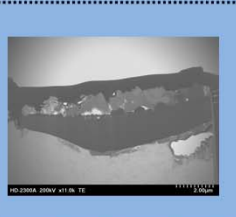
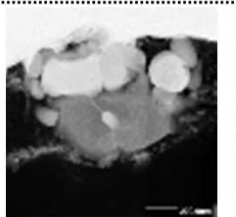
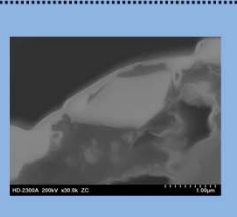
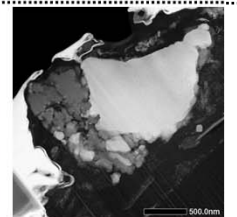
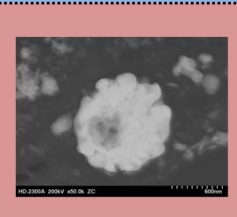
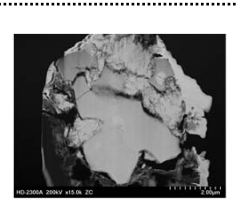
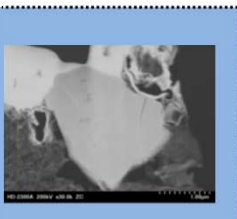
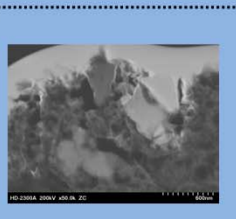
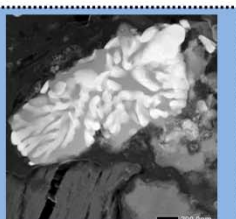
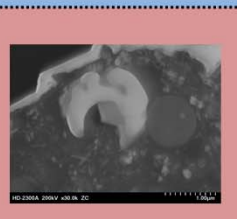
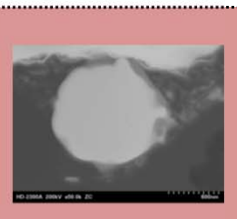
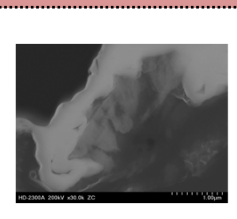
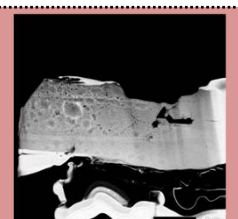
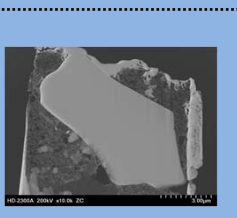
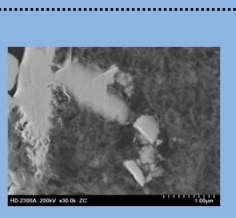
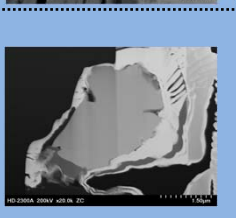
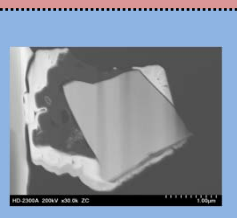
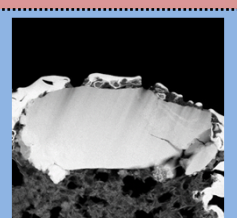
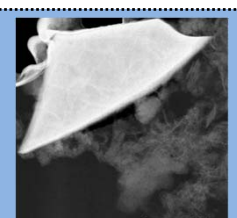
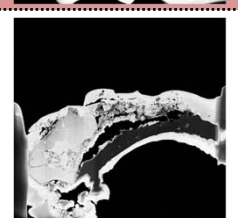
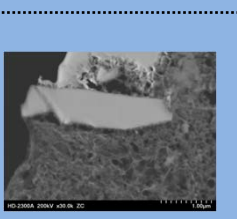
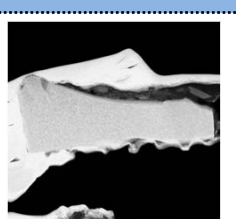
- ①~③ : c-(U,Fe,Cr)O₂
- ④ : m-ZrO₂ + c-(U,Fe,Cr)O₂
- ⑤ : (Fe,Cr)酸化物を含む相



回折図形

TEM像



1号機	2号機			3号機		
						
						
						
						
		<p>Type1 : 溶融凝固過程</p> <p>Type2 : 蒸発凝縮過程</p>				