1号機 PCV内部調査(後半)について

2023年2月22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



PCV内部調査の状況



- ROV-Eによる堆積物サンプリングについては、1月12日に発生した調査中断事象の対策と して、1月31日に再現性確認を実施。事象の再現がないことから、原因は異物の噛み込みに よる一過性のものと判断
- その後調査を再開し、2月1日にかけて計画した1回目の調査を完了したことから、同日に ROV-Eのアンインストールを実施
- 続く2回目の調査については、2月10日、11日にかけて計画した箇所の調査を完了したこと から,11日にROV-Eのアンインストールを実施
- 計画通り4個所からの堆積物サンプルを取得。取得したサンプルは構外分析機関への輸送を 計画しており、PCV内部調査後にグローブボックスでの分取作業を予定
- 現在はROV-Bによる堆積物3Dマッピングに向けた装置の搬入・動作確認などを実施中



IRID TEPCO

3. ROV-Eサンプリング容器線量測定実績

- ROV-E調査で取得した堆積物のサンプリング容器表面の線量測定を実施
- γ線線量率については、今後のグローブボックスによる分取作業に影響を及ぼす値ではなかった
 ※グローブボックスでの分取作業における最大表面線量:150mSv/h未満
- 堆積物の外観は、2017年に取得した堆積物のサンプルと類似していた
- 堆積物の量については必要な量を取得できたと考えており、構外での詳細分析は可能と判断
- サンプルはグローブボックスでの分取作業後、構外分析機関への輸送を計画しており、調査結果の評価には1年程度を計画





4. 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、ペデスタル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(ケーブルの撚りや水流の影響)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】

①ROVがPCV水面に浮上可能であること

②ROV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)



IRID TEPCO

5. ROV-D(堆積物デブリ検知)評価結果

- ROV-D(堆積物デブリ検知)は12月6日から12月10日にかけて実施し、調査ポイント全てにおいて、熱中性子束及びEu-154を検出 ※2ポイント(④,⑦)の評価速報及び、全8ポイント(①~⑧)のスペクトルについては、「2022年12月22日_廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合事務局会議」にてお知らせ済み
- 熱中性子束及びγ線核種分析の数値については、ペデスタル開口部からの距離と堆積物の高さとの 相関は確認されなかった
- このROV-Dの調査結果から、燃料デブリ由来の物質が調査範囲に広く存在していると推定 また、堆積物の高さの影響がないことから、燃料デブリ由来の物質は堆積物の表面付近に存在する可能性が高い
 燃料デブリは燃料や炉内構造物が溶融し冷えて固まったものであるが、燃料デブリから遊離した微小粒子が存在する ことも知られており、これらを合わせて燃料デブリ由来の物質と呼んでいる
- > 熱中性子束の測定値が1箇所だけ小さかった調査ポイント⑥では, Eu-154の測定値も小さかった
- 2017年のサンプル分析結果から、ウランを含有する微小粒子が堆積物表面に存在していることが分かっている。 この微小粒子には、中性子源となり得るCm244*とEu-154が含まれていたことから、今回測定された中性子線・ Eu-154γ線のうち、どの程度がこの微小粒子から発生したものか評価することが必要

ROV-Eによる堆積物サンプリングにおける詳細分析の結果も踏まえて,今後更なる評価を行う





6. ROV-D(堆積物デブリ検知)熱中性子束測定結果

- 全ての調査ポイントにおいて、中性子の波高値領域である50~300[channel]内にカウントが確認されたこと、250~300[channel]にかけて収束することから、熱中性子束を検出したものと評価
 測定結果から、ペデスタル開口部からの距離と堆積物の高さとの相関は確認されなかった
- 調査ポイント⑥の熱中性子束は,他の調査ポイントより一桁小さい値を検出



測定位置	1	2	3	4	5	6	\bigcirc	8
合計カウント数※	15,169	27,047	14,653	25,224	18,096	1,697	18,997	16,218
熱中性子束(nv)	35.4	63.1	34.2	58.9	42.2	4.0	44.3	37.9
計測器: B10検出器 ※波高値100ch以上の合計カウント数								

資料提供:国際廃炉研究開発機構(IRID) 6



7. ROV-D(堆積物デブリ検知)γ線核種分析結果(1/2)

- 全ての調査ポイントにおいて、Eu-154放出γ線であるエネルギーに対応するピークカウントが得られたことから、Eu-154を検出したものと評価
- 測定結果から、ペデスタル開口部からの距離と堆積物の高さとの相関は確認されなかった
- 調査ポイント⑥については、1000keV(996keV + 1005keV)及び1597keVのピークカウントは小さく評価 できないが、1274keVでピークカウントが得られており、Eu-154を検出したものと評価



8. ROV-D評価結果に対する考察

IRID TEPCO

(1)2017年3月時のペデスタル外調査(堆積物高さ・放射線量)

- ペデスタル開口部付近に堆積物が存在することを確認
- ペデスタル開口部付近に存在する堆積物の高さが1m程度であること、 開口部から離れた場所では0.2~0.3m程度と低いことを確認
- 水面からの距離と線量率の関係を調査した結果、燃料デブリは堆積物の下にあり、 その条件でデブリを検知するためには中性子検出とγスペクトル分析(Eu-154の確認) が有効と判断

(出展:2017年7月27日__廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議「1号機原子炉格納容器内部調査について~映像データ及び線量データの分析結果~」)





(2)2017年3月時の堆積物サンプリング及び分析結果



- 常設監視計器が設置されているX-100Bペネから装置を投入し, PCV底部の堆積物を採取
 - ▶ 固化した砂状の堆積物の表層に浮遊性堆積物が存在することを確認
- 浮遊性堆積物内にはウラン含有粒子(Eu-154及び中性子源であるCm244を含む) が存在することを確認

(出展:2017年5月25日_廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議「1号機原子炉格納容器内部調査について~堆積物の分析結果~」)



常設監視計器の設置位置



14000 200 Hotel		415							
試料名	²⁴² Pu ²⁴¹ Am		²⁴² Cm	²⁴⁴ Cm	4/6	4/6サンノリンク結果 (上澄み海除夫前)			
	(約3.7×105年)	(約4.3×10 ² 年) (約163日)	(約18年)	表面	線量…γ:9mSv/h			
1号機格納容器 堆積物	$(2.0\pm0.1)\times10^{0}$	$(1.4 \pm 0.1) \times 10$	$(1.0\pm0.1)\times1$	0^1 (1.8±0.1)×	10 ³	β+γ : 18mSv/h			
試料名	放射能濃度[Bq/試料]								
	¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu	¹⁵⁵ Eu	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U			
	(約14年)	(約8.6年)	(約4.8年)	(約2.5×10 ⁵ 年)	(約7.0×10 ⁸ 年)	(約2.3×10 ⁷ 年)			
1号機格納容器 堆積物	<5 × 10 ¹	$(3.8\pm0.1)\times10^{3}$	$(1.7 \pm 0.1) \times 10^3$	$(1.6\pm0.2)\times10^{0}$	$(3.2\pm0.1)\times10^{-2}$	$(2.5\pm0.1)\times10^{-1}$			

(出展:技術研究組合国際廃炉研究開発機構/日本原子力研究開発機構 平成31年4月25日 「廃棄物試料の分析結果(1~3号機原子炉建屋内瓦礫)))

8. ROV-D評価結果に対する考察

(3)中性子測定, γ線スペクトル測定を実施する場合の想定条件



シビアアクシデントに関する過去の知見から、燃料デブリはペデスタル開口部前面周辺の 限定された領域にのみ存在すると想定

(出展:技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 一般財団法人 エネルギー総合工学研究所「廃炉・汚染水対策事業費補助金(総合的な炉内状況把握の高度化)平成29年度成果報告」)

2017年に実施したB2調査結果等をふまえ、燃料デブリは堆積物の下に比較的薄く広がっていると想定し、測定点直下における燃料デブリの有無を判断することを目的とした



<u>燃料デブリと堆積物のイメージ</u>

8. ROV-D評価結果に対する考察 (4)ROV-A2による中性子束測定結果



- ペデスタル開口部からの距離・堆積物厚さと中性子測定値に相関があることを示唆
- ■「燃料デブリはペデスタル開口部前面周辺の限定された領域にのみ存在する」 との当初想定と異なり、堆積物全体が燃料デブリである可能性が浮上→ROV-D調査で修正

(出展:2022年5月26日__廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合事務局会議「1号機 PCV内部調査の状況について」)



8. ROV-D評価結果に対する考察

(5) ROV-Dの調査結果



- 測定点を8点まで増やしたROV-Dの測定結果により、測定点数の少なかったROV-A2による 測定結果を用いた燃料デブリ分布の想定を修正
 - > 調査ポイント7点において、同程度の熱中性子束及びEu-154を検出
 - 熱中性子束及びγ線核種分析の数値は、ペデスタル開口部からの距離と堆積物の厚さとの
 相関は確認されなかった
- 燃料デブリ由来の物質が調査範囲に広く存在しているとの推定は変更なし
- 測定値が同程度であったことを踏まえると、燃料デブリ由来の物質は堆積物の表面付近に存在し、 例えば、以下の2ケースの様な様相となっている可能性が考えられるが、現段階では、得られてい る知見は限定的であるため、様々な可能性について幅広に検討していく必要がある
- 燃料デブリの存在状況については、表層に存在し、過去のサンプル分析により存在が分かっている ウラン含有粒子(Eu-154及び中性子源であるCm244)による測定値の寄与を評価することが必要



8. ROV-D評価結果に対する考察

(6)局所的に測定値が小さかった調査ポイントについて



- 測定値が小さかった調査ポイント⑥は, ROV-A2調査でのポイント④と同じ領域
- 以下に挙げる調査ポイント⑥周辺の特徴を踏まえて、今後も継続検討する。
 - > 事故後の水素爆発防止のために使用された窒素封入口があり, その撹拌による影響
 - > PCV内部調査前段作業であるアクセスルート構築作業時のAWJによる水流の影響
 - 他の調査ポイントと比較し、位置的にPCVシェル付近であることから、①PCVシェルを伝って上部から落下した物質による影響、②PCV外に近いことで、線源が相対的に小さくなることによる影響
 - > ベント管からの気体流入による影響(ROV-A2調査時(2022年3月)にベント管Fにて気体流入を確認)
 - > 主蒸気逃し安全弁(SRV)設定圧最小の排気管がベント管Gにあることの影響





9.1号機PCV内部調査全体工程



(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-D(堆積物デブリ検知)周辺状況,取得データ 調査ポイント①



▶ <u>堆積物厚さ:約0.3~0.6m</u>(ROV-C調査ポイント⑦ – ⑦′から参照)











250

300

(参考) ROV-D(堆積物デブリ検知)周辺状況,取得データ 調査ポイント②



▶ <u>堆積物厚さ:約0.75~0.8m</u>(ROV-C調査ポイント⑪-⑫から参照)

▶ y線エネルギースペクトル





(参考) ROV-D(堆積物デブリ検知)周辺状況,取得データ 調査ポイント③



17



(参考)ROV-D(堆積物デブリ検知)周辺状況,取得データ 調査ポイント④



18



(参考) ROV-D(堆積物デブリ検知)周辺状況,取得データ 調査ポイント⑤



▶ 堆積物厚さ:約0.8~1.0m(ROV-C調査ポイント岛 – @から参照)



manymount 計数値 波高値【channel】





▶ <u>中性子波高値スペクトル</u>



300

2000

(参考)ROV-D(堆積物デブリ検知)周辺状況,取得データ 調査ポイント⑥





(参考)ROV-D(堆積物デブリ検知)周辺状況,取得データ 調査ポイント⑦



▶ <u>堆積物厚さ:約0.3m</u>(ROV-C調査ポイント図-図から参照)



▶ y線エネルギースペクトル







(参考)ROV-D(堆積物デブリ検知)周辺状況,取得データ 調査ポイント⑧



▶ 堆積物厚さ: ROV-C調査範囲外のため情報無し







(参考) ROV-D(堆積物デブリ検知) γ線核種分析結果(2/2)

測定位置		1	2	3	4	5	6	$\overline{\mathcal{O}}$	8	
合計カウント数		81,966,208	72,204,278	75,660,331	57,921,013	122,056,952	41,810,536	51,024,138	71,889,817	
Cs- 137	662 (keV)	ネット カウン ト数 ※1	6.08E+5	4.17E+5	5.27E+5	2.77E+5	1.09E+6	7.11E+5	4.09E+5	5.36E+5
Eu- 154	1000(9 96+100 5) (keV) ※2	ネット カウン ト数	1.11E+4	7.91E+3	9.26E+3	6.77E+3	1.35E+4	2.11E+2	4.01E+3	7.00E+3
	1274 (keV)	ネット カウン ト数	8.41E+3	7.17E+3	7.02E+3	5.47E+3	1.15E+4	4.08E+2	2.88E+3	5.93E+3
	1597 (keV)	ネット カウン ト数	1.99E+2	2.06E+2	1.16E+2	1.50E+2	2.32E+2	2.43E+1	8.02E+1	1.49E+2

計測器:CdTe半導体検出器

- ※1 γ線放出核種を評価するために、ピークカウント数からベースラインとなるカウント数を差し引いた値
- ※2 Eu-154放出γ線における996kevと1005kevの領域においては、計器の分解能により判別できないことから、
 双方の値を1000kevの領域として評価している

「2023年1月26日__廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合事務局会議」 資料

IRID

(参考)トラブルの概要

- ROVのインストールについては、インストール装置を用いて行い、ROVをガイドパイプを経由してPCV内 部まで運んだ後、バケット部の先端屈曲および伸長動作を行う操作である
- 通常はバケット部の伸長動作時に設定値(270mm)まで伸ばすことで爪が開放され、ROVの吊り降ろしが可能となるが、240mmまでしか伸長動作しなかったもの ※先端屈曲と伸長動作は水圧駆動による





(参考)各ROVの調査イメージ



25



- 今回測定したポイント全てにおいて熱中性子束を確認
- ペデスタル開口部付近で熱中性子束が多く確認されていることから,燃料デブリ由来と推定
- 引き続き、後続号機であるROV-C(堆積物厚さ測定)において堆積物の高さと厚さを確認した上で、ROV-D(燃料デブリ検知)において、堆積物への燃料デブリ含有状況を調査する予定



(参考) ROV-Cによる堆積物厚さ測定結果まとめ(全13箇所)



- 超音波測定データ及びROV-C・A2の調査時の映像から、粉状・泥状の堆積物は想定より薄いと評価。 また、堆積物(粉状・泥状および板状・塊状の堆積物含む)内部の状態(空洞の存在等)については、 今回の調査結果からは評価不可
- PCV底部からの堆積物厚さについては、ペデスタル開口部付近が比較的高く、ROV投入位置であるX-2 ペネ付近に近づくにつれて徐々に低くなっていることを確認
- ペデスタル開口部前の堆積物が一部低くなっている(下図,青点線囲い部)が,調査映像より堆積物が崩れているためと推定。



「2022年10月27日__廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合事務局会議」資料

(参考)ROV-D(堆積物デブリ検知)におけるγ線の核種分析について TEPC

- ROV-Dにおける堆積物デブリ検知について,前半調査(ROV-A2)で確認された,燃料デブリ由来からと 想定される中性子束について,γ線の核種分析情報を早期に取得することで計画
- 燃料デブリの主要なγ線源としては、4種類(Eu-154, Cs-137, Co-60, Sb-125)
 - (「JAEA-Review_2020-004 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所燃料デブリ等分析について」より)
- 堆積物デブリ検知の判断材料として、Eu-154の検知に加え、中性子束の測定結果を用いることで計画





ROV-Dの装置構成

IRID



(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) ※使用液のPOV 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



後方監視カメラ 気中監視カメラ 推力:約50N 寸法:直径 Ø 20cm × 長さ約45cm (ケーブル監視用) (パンチルト) 気中監視カメラ 照明連動 後方監視カメラ (パンチルト) 上部監視カメラ (ケーブル監視用) 照明連動 パン:±165° (望遠タイプ) チルト:30~90* ケーブル I D LED照明 浮力調整機構 450mm -£ 200mm > 水中監視カメラ (パンチルト) 浮力調整機構 照明連動 推進スラスタ LED照明 水中監視カメラ パン: ±165° (パンチルト) 照明連動 チルト:30~90°



IRID

上部監視カメラ

(望遠タイプ)

LED照明

LED照明

「2022年9月29日__廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合事務局会議」資料



(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			
<mark>ROV-C</mark> 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			
<mark>ROV-D</mark> 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			
<mark>ROV-E</mark> 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)2017年に実施した堆積物サンプリングの分析結果概要①

- 1号機格納容器内部調査の一環として、原子炉格納容器底部の堆積物(浮遊物)を 採取したもの(2017年4月採取)。サンプリング時の映像から、堆積物は固い層の 上に浮遊物があることを確認。主に浮遊物の部分が回収されていると考えられる。
 発電所内で簡易蛍光X線分析とγ核種分析を実施。
- 簡易蛍光X線分析では、構造材料等のほかにUを検出、Puは確認されていない。
- ガンマ核種分析では、Cs-134、Cs-137、Co-60、Sb-125を確認。



IRID

(参考)2017年に実施した堆積物サンプリングの分析結果概要②

- サンプル全体の観察結果
 - ➢ SEM-EDS分析では、鉄さび上にU含有粒子が混在していることが確認された。
 - ▶ 300µm×200µm程度領域の観察でU含有粒子を確認。(左下図黄色丸) ただし、領域平均で見るとU濃度は低く検出されない程度。
- ➢ ICP-MSの分析結果では、Feが多く次いでAl、Cu、Zn、Pb、Uなどを確認。 ■ U含有粒子の観察結果
 - ▶ U含有粒子はUリッチな立方晶(U,Zr)O₂、Zrリッチな正方晶(Zr,U)O₂



(U分布)



立方晶-(U,Zr)O₂

IRID TEPCO