

IRIDシンポジウム2022

研究成果報告

1号機 PCV内部調査の実施状況

2022/12/07 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 日立GEニュークリア・エナジー株式会社

岡田 聡

※本事業は、廃炉・汚染水対策事業費補助金にて実施したものである。

無断複製·転載禁止 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 ©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

目次

1.1号機PCV内部調査の概要

2. アクセスルート構築

3.水中ROVによる調査概要および結果

4. 今後の計画

5. まとめ



1.1 PCV内部詳細調査の背景

<u>1号機 原子炉格納容器(以下, PCV)内部調査の背景</u> これまでの調査(2017年3月時のペデスタル外調査)によりPCV地下階には堆積物が存在して いることが分かっており,今後の燃料デブリ取り出しに向けて,堆積物を含む地下階の詳細 な状況の確認が必要となっている。





3 1.2 PCV内部調査の実施実績(1/3) ■ X-100B貫通部からエントリし、形状変化ロボットにより1階および地下階を調査 X-100B貫通部 原子炉建屋 ② B2調査:地下階の燃料デブリ調査 格納容器 調査装置 (PCV) <u> ケレーチング</u> 開口部 燃料デブリ ペデスタル (イメージ) センサユニット (線量計+カメラ) 燃料デブリ B1調査:グレーチング上の環境調査 変形 変形 I型(PCV投入時) コ型(走行時)



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning



1.4 PCV内部調査の実施実績(3/3)

東電HD掲載資料より引用

形状変化調査ロボットを用いて地下階の空間線量率分布と状況調査



ペデスタル開口部床面近傍で高さ約1m、幅約1.5mの堆積物が存在すると推定



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

//www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/roadmap_progress/pdf/2021/d211028_08-j.pdf

1.5 PCV内部詳細調査の目的

1号機PCV内部詳細調査においては、X-2ペネからPCV内地下階に水中遊泳型調査装置を投入し、 ペデスタル外の広範囲とペデスタル内の調査を行い、堆積物回収手段・設備の検討と堆積物回収、 落下物解体・撤去などの工事計画に係る情報などの情報収集を目指す



	取得したい情報	調査方法
ペデスタル外〜 作業員アクセスロ (図中のA)	・堆積物回収手段・設備の検討に係る情報 (堆積物の量,由来など) ・堆積物回収,落下物解体・撤去などの計画に係る情 報(堆積物下の状況,燃料デブリ広がりなど)	・計測※ ・堆積物サンプリング ・目視
ペデスタル内 (図中のB)	・堆積物回収、落下物解体・撤去などの計画に係る情報(ペデスタル内部の作業スペースとCRDハウジングの脱落状況に係る情報)	・目視
	※:堆積物表面の3次元マッピング、堆積物の厚さ測定、堆積	勿内・下の燃料デブリ検知



1.6 水中ROV現地実証の全体計画



図 調査ステップ例

IRIDホームページ掲載資料より https://irid.or.jp/_pdf/20180000_10.pdf



1.1号機PCV内部調査の概要

2. アクセスルート構築

3. 水中ROVによる調査概要および結果

4. 今後の計画

5. まとめ



2.1 PCV内部詳細調査用設備の概要

- 1号機PCV内部詳細調査は,X-2ペネトレーション(以下, ペネ)から実施する計画
- PCV内部詳細調査に用いる調査装置(以下,水中ROV) はPCV内の水中を游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
- 各水中ROVの用途
 - ROV-A 事前対策となるガイドリング取付
 - ROV-A2 ペデスタル内外の詳細目視
 - 3 ROV-C 堆積物厚さ測定
 - ④ ROV-D 堆積物デブリ検知
 - ⑤ ROV-E 堆積物サンプリング
 - ⑥ ROV-B 堆積物 3 Dマッピング







2.2 PCV内部調査装置投入に向けた主な作業ステップ

IRI



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

D 東京電力ホールディングスホームページ資料より引用https://www.tepco.co.jp/decommission/ 10 information/committee/roadmap progress/pdf/2021/d211028 08-j.pdf



2.3 PCV内干涉物切断(1/3)

グレーチング下部鋼材以下の干渉物(PLR計装配管及び電線管)について,詳細な位置を把握 するため、干渉物調査を実施



※推定高さを記載

IRI

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

▶ 東京電力ホールディングス ホームページ資料より引用 https://www.tepco.co.jp/decommission/ 11 information/committee/ roadmap_progress/pdf/2021/d210427 09-i.pdf

2.4 PCV内干涉物切断(2/3)

4. PCV内干渉物切断における作業ステップ



- 4月23日から29日にかけて干渉物調査を実施,調査結果から干渉物の位置評価を行い,水中ROVの投入ルートを確定したことから,PCV内干渉物切断作業を再開
- PCV内干渉物切断作業は3ステップに分けて実施し,全ての作業を完了
 - > 9月14日から17日にかけてステップ3である電線管切断が完了



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4

東京電力ホールディングス ホームページ資料より引https://www.tepco.co.jp/decommission/information/ committee/roadmap_progress/pdf/2021/d210930_08-j.pdf



PCV内干涉物切断(3/3) 2.5

電線管切断状況

水中ROVの投入ルート内には4か所の電線管が干渉していることから切断実施





©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

IRID 東京電力ホールディングス ホームページ資料より引用 https://www.tepco.co.jp/decommission/ 13 information/committee/roadmap_progress/pdf/2021/d210930 08-i.pdf





1.1号機PCV内部調査の概要

2. アクセスルート構築

3.水中ROVによる調査概要および結果

4. 今後の計画

5. まとめ



3.1 PCV内部詳細調査の対象エリア



ROV投入位置(0°位置)から北回りの調査を行う場合,ROV投入位置近傍のフレキ管にROVケーブルが挟まる可能性があり,北回りの遊泳・調査はROV回収が不可能となるリスクを考慮しで実施しない方針とした。ただし,北回りエリアについて可能な限り調査を行うことを検討し,図2-1に示すエリアを調査範囲とした。





3.2 調査装置(潜水機能付ボート)のラインナップ

潜水機能付ボート,小型ROV計6種類の水中遊泳型調査装置を製作した



(a) ガイドリング取付用 (ROV-A)

(b) 詳細目視用 (ROV-A2)





が堆積初学で別定用 (ROV-C) (e) 燃料デブリ検知用 (ROV-D) (f) 堆積物サンプリング用 (ROV-E)



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

16)

3.3 調査装置詳細 ROV-A【ガイドリング取付用】



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

東京電力ホームページより引用 https://www.tepco.co.jp/decommission/information/ committee/roadmap_progress/pdf/2021/d211125_09-j.pdf

3.4 調査装置詳細 ROV-A2【詳細目視調査用】

(18)

(1) 目的

- ・ペデスタル外周および内部の構造物状況,堆積物の状況・分布・大まかな厚さ(※)を詳細目視にて取得する。 (※周囲構造物との比較)
- ・ペデスタル外周および内部のγ線量率の測定,ペデスタル内部の中性子束測定(B10)を実施する。 (外周はROV-Dで実施)
- ・以降の調査計画に資する情報を取得する。
 - ・位置特定用の基準となるラジアルビームの状況を目視確認(図面と相違ないこと)
 - ・ROV-D,E,Bのセンサやアンカーの吊り下ろし予定位置の堆積物や干渉物状況と大まかな位置把握

(2) 装置について

1) 推力: 50N (最大) ・詳細目視調査用で使用する小型ROVは2台準備する。 2) 直径φ210mm×長さ450mm ・原則1台目のROVで調査を実施し、状況に応じて2台目に交換する。 3) 搭載する計測器 気中用カメラ ・光ファイバ型v線量計 (パンチルト) 上方カメラ ・改良型B10検出器 (望遠タイプ) チルト:30~90° 照明 (パンチルト) 水中用カメラ (パンチルト) 後方カメラ バン:±165 72 m m バン:±165° チルト:-30~-90° 照明(パンチルト) 浮力調整機構(昇降用) 推進スラスタ (前進·後進·旋回) 図 5-1 ROV-A2の機能



3.5 調査装置詳細 ROV-C【堆積物厚さ測定用】

(1) 目的

- ペデスタル外周の堆積物厚さと堆積物下の床面や燃料デブリ(塊や比重の大きい粉末層)の高さの 測定を行う。
- ・燃料デブリ高さの測定結果を元に燃料デブリ検知(ROV-D)の測定ポイントや堆積物サンプリング (ROV-E)の サンプリングポイントの計画を見直す。

(2) 装置について





3.6 調査装置詳細 ROV-D【燃料デブリ検知用】



(1) 目的

・堆積物内の燃料デブリ含有状況の把握と堆積物下の燃料デブリ検知(堆積物厚さが薄い場合)を行う。 ・堆積物内の燃料デブリ含有状況の結果から,堆積物サンプリングの採取ポイントの計画を見直す。

(2) 装置について

- ・燃料デブリ検知用の潜水機能付ボート(ROV-D)は2台準備する。
- ・原則1台目のROVで調査を実施し、状況に応じて2台目に交換する。





3.7 調査装置詳細 ROV-E【堆積物サンプリング用】

(1) 目的

・堆積物のサンプリング(最大4箇所)を実施する。

- (2) 装置について
 - ・堆積物サンプリング用の潜水機能付ボート (ROV-E)は2台準備する。
 - ・1回の装置投入で2箇所のサンプリングが実施可能。 (最大4箇所のサンプリングを行うため装置は2回投入する)





3.8 調査装置詳細 ROV-B【堆積物3Dマッピング用】



- ・ペデスタル外周の可能な限り広い範囲について3Dマッピングの点群データを取得する
- (2) 装置について
 - ・堆積物3Dマッピング用のROVは2台準備する。
 - ・原則1台目のROVで調査を実施し、状況に応じて2台目に交換する。



3.9 ROV-A2の調査結果(1/5)



(1) ペデスタル開口部の状況

ペデスタル開口部(入口左右の壁)において、ペデスタルの鉄筋やインナースカートを視認した。





3.10 ROV-A2の調査結果(2/5)

(24)

(2) ペデスタル基礎部の状況

PCV床上1mあたりに、本来は存在しない板状の物体(通称:棚板)を視認した。





3.11 ROV-A2の調査結果(3/5)



(3) ジェットデフ内部の状況 ジェットデフ(F, E, D)の裏側で堆積物がベント管内に流出している状況を確認した。





3.12 ROV-A2の調査結果(4/5)

(26)

(4) PCV内部のY線線量計測結果

線量率は相対的に、ペデスタル開口部近傍が高く、そこから離れるに従い低くなる傾向にある。



図10-4 水面およびROV着底時のY線線量率測定結果



3.13 ROV-A2の調査結果(5/5)

- (5) PCV内部の中性子計測結果
 - ・今回測定したポイント全てにおいて熱中性子束を確認した。
 - ・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した。
 - ・引き続き, 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。



IRID

3.14 ROV-Cの調査結果 (1/4)

(1) ジェットデフE前の堆積物に関する調査

- ・ジェットデフE前にあるブロック状の堆積物の上部を遊泳し,超音波センサによる探査を実施した。
- ・探査結果より,当該堆積物表面の水面からの距離寸法(約1400mm~1000mm)を取得した。 当時の水位(約2000mm)から,PCV床面からの高さ寸法は約600mm~1000mm程度と推定される。 ・当該堆積物の内部構造を示すような有意な信号は得られなかった。
- 水面からの距離(水距離) 约1000mm 厚さ測定スタート位置 5000mm(調査時の水深 约1400mn 厚さ測定ゴール位置 ROV遊泳ルート ェットデフE 02.5 18⇒17:約1.5m ジェットデフF ROV-A2着底時の状況 ※ROVが完全に等速直線運動をし ていないため、解析結果と下カメラ 映像にズレが生じる場合がある。 2 図11-1 調査範囲 図11-2 解析結果(上)およびROV-Cのカメラ映像(下

IRID



3.15 ROV-Cの調査結果 (2/4)

(2) ジェットデフD前の堆積物に関する調査

- ・ジェットデフDの前には、なだらかな堆積物がペデスタル開口部付近の棚板より続いている。 当該堆積物の上部を遊泳し、超音波センサによる探査を実施した。
- ・探査結果より,当該堆積物表面の水面からの距離寸法(約1200mm~1000mm)を取得した。 当時の水位(約2000mm)から,PCV床面からの高さ寸法は約800mm~1000mm程度と推定される。 ・当該堆積物の内部構造を示すような有意な信号は得られなかった。



IRID

3.16 ROV-Cの調査結果 (3/4)

(3) ジェットデフF前の堆積物に関する調査

- ・ジェットデフF前のなだらかな堆積物の上部を遊泳し,超音波センサによる探査を実施した。
- ・探査結果より,当該堆積物表面の水面からの距離寸法(約1400mm~1200mm)を取得した。 当時の水位(約2000mm)から,PCV床面からの高さ寸法は約600mm~800mm程度と推定される。
- ・当該堆積物の内部構造を示すような有意な信号は得られなかった。
 水面からの距離(水距離)



IRID



3.17 ROV-Cの調査結果 (4/4)

(31)

- (4) 調査結果のまとめ
- 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。





3.18 調査前の想定と調査結果の比較



- ■2017年のPCV内部調査(B2調査)にて、PCV地下階に砂状の堆積物が確認され、今後のデブリ取り出し計画や 砂状の堆積物の由来等の確認のために、水中ROVによる調査計画が立案され、開発を進めてきた。
- ■2022年1月より, ROV-Aによるガイドリング取付作業、ROV-A2による詳細目視調査作業, ROV-Cによる砂状の 堆積物の厚さ測定を実施し有用なデータを取得している状況にある。
- ■前述の調査結果及び既存のデータの精査等を進め、PCV地下階の状況が想定外の状況にあることが分かった。
- ■以上より, <u>これまで検討してきたROV-D(デブリ検知)、ROV-E(堆積物サンプリング)の調査計画を見直す</u>必要が 出てきた。





目次

1.1号機PCV内部調査の概要

2. アクセスルート構築

3. 水中ROVによる調査概要および結果

4. 今後の計画

5. まとめ



4. 今後の計画

(34)

1号機ペデスタル内調査の実施【補助事業で開発した技術の実用化】

【目標】

IRID

- ペデスタル内の気中部調査(構造物状況、 線量率の把握)
- ・燃料デブリ取出し計画に資する情報収集 【調査ルート】
- •X-2ペネ→走行→CRD開ロ→ペデスタル内部 【調査項目】
- ・カメラ映像(ロッド先端にパンチルトカメラ)
- ・線量計(調査装置1台目;自己出力型)
 ・点群データ(調査装置2台目;デプスカメラ)



1号機ペデスタル内調査のルート概要



(a)1台目(放射線センサ搭載)(b)2台目(点群データセンサ搭載) 調査装置外観



(c)伸長ロッド延伸状況(1.2台目共通)

5. まとめ

- IRIDでは、PCV格納容器内の調査を実現するための技術開発、現地実証を実施
 B1調査、B2調査に続き、水中ROVを用いたB3調査を推進中
- 2022年1月以降, ROV-Aによるガイドリング取付作業, ROV-A2による詳細目視調
 査, ROV-Cによる砂状の堆積物の厚さ測定を実施し有用なデータを取得
 - 調査結果からPCV内部の堆積物の状況は従来想定と大きく異なることが判明
 - ●ペデスタル開口部周辺でコンクリートが損壊し鉄筋が露出(広がりは不明)
 - 砂状堆積物は薄く, 硬い物質が多く存在(地下階全域に広がっている可能性)
 - 硬い物質の内部には空洞が存在する部分がある。(その広がりは不明)
 - ジェットデフ裏側からベント管内に硬い物質の流れ込み確認(到達範囲不明)
- 引続き、ROV-Dによる燃料デブリ調査, ROV-Eによるサンプリング, ROV-Bによる 堆積物3Dマッピングを行う
- 次ステップとして、ペデスタル内の気中部調査を実施し、燃料デブリ取出し計画に 資する情報収集を継続実施予定



35)