福島第一原子力発電所2号機の 燃料デブリの可能性がある堆積物への接触調査

Investigation by Making Contact with Deposits Believed to Be Nuclear Fuel Debris at Bottom of PCV of Fukushima Dajichi Nuclear Power Station Unit 2

杉浦 鉄宰 SUGIURA Tessai 清水 智得 SHIMIZU Chiari 坂本 直弥 SAKAMOTO Naoya

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所2号機の原子炉格納容器(PCV)の底部全域は、2018年1月に行った先行調査で、堆積物が存在することがカメラ映像で確認された。事故で溶融した燃料が、燃料デブリとなって原子炉圧力容器(RPV)の下部から落下したと予測され、燃料デブリの取り出し手順や工法の検討に資する情報が求められている。

そこで、東芝エネルギーシステムズ (株) は、堆積物の一部に接触してその状態変化を確認するため、これらの接触調査ができる調査ユニットを開発した。調査ユニットは、カメラ、LED (発光ダイオード) 照明、線量計、温度計、及び堆積物に接触するフィンガー開閉機構を持ち、2019年2月に事故後初めて実施した接触調査では、一部の堆積物を動かせることが確認できた。

At Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2, which was seriously damaged by the Great East Japan Earthquake in 2011, pebble-like deposits were found to have accumulated over the bottom of the pedestal in the primary containment vessel (PCV) from images captured in an investigation conducted in January 2018. It was assumed that the melted nuclear fuel had become fuel debris and fallen from the lower section of reactor pressure vessel (RPV). Consequently, it was judged to be necessary to gather additional information in order to determine the procedure for removal of this fuel debris.

As part of this work, Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation developed an observation device to make contact with the pebble-like deposits and confirm the changes in their physical state. In February 2019, this device, consisting of a camera, a light-emitting diode (LED) lighting device, a radiation dosimeter, a thermometer, and a drive mechanism for the opening and closing of fingers to make contact with the deposits, succeeded in lifting and moving several deposits for the first time since the accident.

まえがき

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所2号機(以下,1F-2と略記)では、事故で溶融した燃料が、燃料デブリとなってRPVの下部から落下していると予測され、燃料デブリの取り出し手順や工法の検討に資する情報が求められている。

東芝エネルギーシステムズ (株) は,2018年1月に,PCV内の円筒構造物であるペデスタルの内側底部を先行調査し,全域にわたって小石状・岩状の堆積物が存在していることや,燃料集合体の一部が落下していることをカメラ映像で確認した $((\mathbf{Z}1))$ 。

この結果を受け、堆積物の機械的な性状を確認する調査が求められ、当社は、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID) の一員として開発した、PCV内部遠隔調査装置を活用し、2019年2月に、堆積物に接触してその状態の変化を確認する接触調査を行った。その結果、事故後初めて、堆積物の一部が動かせることをカメラ映像で確認することに成功した。

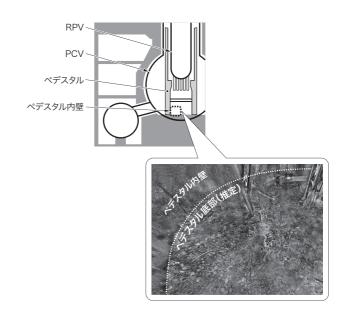


図1. ペデスタル内側底部の状況

2018年1月に撮影した映像の合成画像で、内部は霧環境のため鮮明化処理を行っている。小石状・岩状の堆積物の存在や、燃料集合体の一部落下を確認した。

State of bottom of pedestal interior

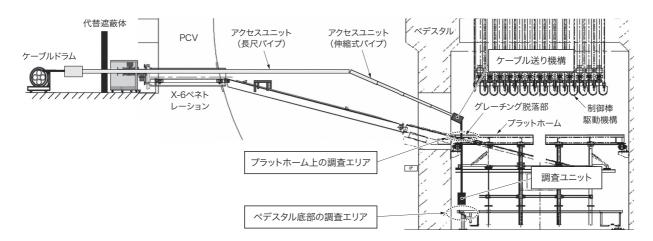


図2. ペデスタル底部への調査ユニットのアクセス方法と調査エリア

アクセスユニットは、左側のPCV外から人手で挿入し、挿入完了後は、作業員は退避し遠隔操作に切り替え、ケーブル送り機構を介して、調査ユニットをペデスタル底部まで到達させる。

Method for accessing bottom of pedestal and survey area

ここでは、接触調査エリアへのアクセス方法、接触調査 方法、調査ユニットの概要、及び調査結果について述べる。

2. アクセス方法の検討と調査エリアの設定

PCV内部遠隔調査装置は、接触調査そのものを行う調 査ユニットと、調査ユニットをペデスタル内側底部まで運ぶ アクセスユニットで構成される。調査ユニットは、PCV 貫通 孔であるX-6ペネトレーションのハッチに設けられた直径約 10 cmの穿孔 (せんこう) 貫通部から約10 m 先のペデスタ ル内部へ進入させ、更に約2~3m下の底部まで到達させ る必要がある。アクセスユニットは、PCV内部構造物との取 り合いを考慮する必要があるため、先行調査で実績のある 方法を採用した。具体的には、図2に示すように、アクセス ユニットの一部である伸縮式パイプに取り付けたケーブル送 り機構を介して、調査ユニットをペデスタル底部まで到達さ せる。接触調査するエリア (調査エリア) は、調査ユニットの つり降ろし先で位置調整できる範囲とした。このとき、調査 エリア内での調査ユニットの位置決めは、アクセスユニットの 一部である長尺パイプ本体の回転と伸縮式パイプの動作を 組み合わせて遠隔操作で行う。また、ペデスタル底部での 接触調査後、プラットホーム上の堆積物について接触調査 をすることも計画した。

3. 堆積物の性状の推定

調査エリア内の堆積物の性状は、先行調査映像を参考に 推定した。堆積物外観の特徴を以下の三つに大別し、これ ら全てに接触調査できる調査ユニットを開発する方針とした。

(1) 小石状(外観から堆積物の輪郭が確認できるもの)

- (2) 岩状(外観から堆積物の輪郭が確認できないもの)
- (3) 構造物の一部と推定される堆積物

4. 調査ユニットの検討

4.1 開発コンセプト

調査ユニットは、堆積物への接触機構がアクセスユニットである長尺パイプの中に収まるように、小型化する必要がある。そこで、先行調査で開発した、調査ユニットの照明伸展機構の活用を検討した。照明伸展機構は、PCV内部の霧によるハレーション対策として、カメラとLED照明の位置を離す仕組みを持ち、図3に示すように直動する。このLED照明の動作をフィンガーに置き換えることで、堆積物への接触機構の小型化が見込めるので、二つのフィンガーの開閉

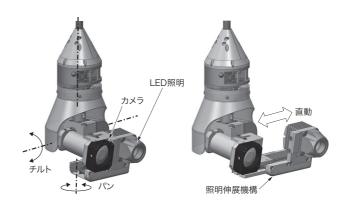


図3. 先行調査に用いた調査ユニットの照明伸展機構の動作

2018年1月の先行調査用に開発されたもので、霧によるハレーション対策として、カメラとLED照明の位置を離す仕組みを持つ。

Linear motion of LED lighting extension mechanism of observation device

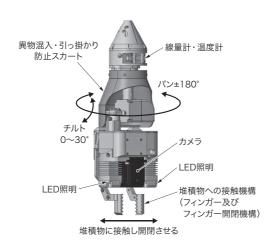


図4. 接触調査に用いた調査ユニットの構成

外形寸法が約30(長さ)×約10(幅) cm, 質量が約1 kg であり、調査ユニット全体で約1,000 Gy の耐放射線性を持つ。

Configuration of observation device

で堆積物を挟む機構 (フィンガー開閉機構) を開発コンセプトとして考案した。

4.2 堆積物の状態の確認方法

4.1節で設定した開発コンセプトに基づき、堆積物の状態の確認方法を、試験を通じて絞り込んだ。確認方法は、調査ユニットの昇降動作と組み合わせ、"フィンガーの先端を堆積物の表面に接触させて閉じる(又は開く)"と、"フィンガーの内側側面で堆積物を把持して持ち上げる"の二つを主案とした。

想定する調査結果は、堆積物表面への接触痕の有無、 若しくは堆積物同士の固着の有無とし、これらをカメラ映像 で確認することを計画した。

4.3 機器配置

機器配置の検討は、4.2節で示した検討と並行させて、段階的に行った。調査ユニットの外観を**図4**に示す^②。調査ユニットには、カメラと、LED照明、温度計、線量計、堆積物への接触機構であるフィンガー及びフィンガー開閉機構をそれぞれ備えており、調査ユニット全体で約1,000 Gyの耐放射線性を持つ。堆積物への接触位置の微調整はパン・チルト機構を用いた。

調査ユニットの操作性に関係する重心や視認性を考慮し、カメラはつり降ろしケーブルの鉛直線上の位置に、照明はカメラの両側にそれぞれ配置した。フィンガー開閉機構は、カメラを中心に2本のフィンガーが両側に等しく開閉できる構造とし、フィンガーを閉じた位置がカメラ視野の中心と重なるように配置した。温度計や線量計は、先行調査と同様の配置とした。

5. 調査結果

5.1 ペデスタル底部の接触調査

ペデスタル底部の調査結果を**図5**に示す⁽³⁾。ペデスタル底部では、全6か所を接触調査した。小石状の堆積物や構造物の一部と推定される堆積物は、"フィンガーで把持して持ち上げる"動作で、持ち上がる("動いた"と表記)ことを確認した。一方、岩状の堆積物は、今回の調査ユニットでは持ち上がらない("動かず"と表記)ことを確認した。

5.2 プラットホーム上の接触調査

プラットホーム上のグレーチングは脱落しているため、フ

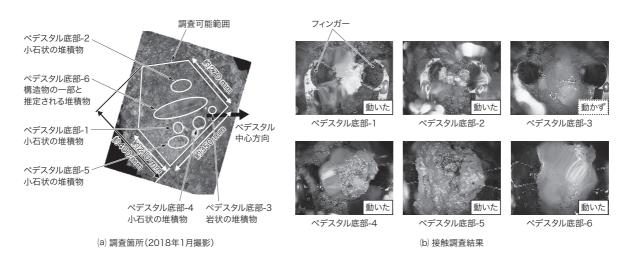
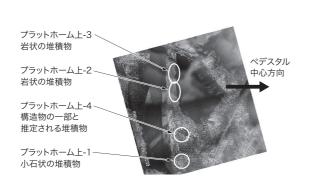


図5. ペデスタル底部の接触調査結果

フィンガーで把持して持ち上げる動作により、小石状や構造物の一部と推定される堆積物は持ち上がる(動いた)ことを、岩状の堆積物は持ち上がらない(動かず)ことを確認した。

Results of investigation of deposits at bottom of pedestal



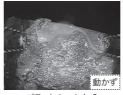
(a) 調査箇所(2017年1月撮影)

フィンガー



プラットホーム ト-1

プラットホーム上-2





プラットホーム上-3

プラットホーム上-4

(b) 接触調査結果

図6. プラットホーム上の堆積物の接触調査結果

ペデスタル底部と同様に小石状の堆積物や構造物の一部と推定される堆積物は動くことを、岩状の堆積物は動かないことを確認した。 Results of investigation of deposits on platform

レーム上にある堆積物を接触調査した。調査結果を図6に 示す(3)。フレーム上では、全4か所を接触調査し、ペデスタ ル底部と同様に小石状の堆積物や構造物の一部と推定され る堆積物は持ち上がる(動いた)ことを、岩状の堆積物は持 ち上がらない(動かず)ことを確認した。

5.3 線量率と温度の測定

ペデスタル内部の複数箇所で、線量率と温度を測定した。 線量率は最大約8 Gy/hであり、先行調査とほぼ同様の結 果となった。温度は約23℃であり、先行調査と同様に測定 高さ位置にかかわらず、ほぼ一定の値を示す傾向であった。

6. あとがき

1F-2の燃料デブリ取り出し手順や工法の検討に資する調 査の一環として、東京電力ホールディングス(株)の協力の 下、PCV内のペデスタル内側底部で確認された堆積物に対 する接触調査を実施した。

調査の結果、ペデスタル底部及びプラットホーム上の堆 積物の一部は動く(持ち上がる)ことをカメラ映像で確認し た。この結果は、燃料デブリの取り出し工法の決定や取り出 し装置の設計に対するインプット情報として、活用が期待で きる。

今後も、当社は、放射性物質の飛散防止対策などの管理 を徹底し、安全・確実に調査を進めていく。

接触調査に適用したPCV内部遠隔調査装置は、経済産 業省の平成29年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業」に おいて、IRIDが実施した補助事業「原子炉格納容器内部 調査技術の開発」の資産を活用したものである。

文 献

- (1) IRID, 東京電力ホールディングス. "福島第一原子力発電所2号機原 子炉格納容器内部調査結果について". 廃炉・汚染水対策チーム会合 第53回事務局会議. 東京, 2018-04, 経済産業省. 2018, 資料3-3, $31p. < http://irid.or.jp/wp-content/uploads/2018/04/20180426_1.$ pdf>, (参照 2019-06-24).
- (2) 東芝エネルギーシステムズ. "福島第一原子力発電所2号機 原子炉格納 容器内部堆積物調査装置を開発". プレスリリース&ニュース. <https:// www.toshiba-energy.com/info/info2019_0128.htm>, (参照 2019-06-24).
- (3) 東京電力ホールディングス. "福島第一原子力発電所 2号機 原子炉格 納容器内部調査 実施結果". 廃炉・汚染水対策チーム会合 第63回事 務局会議. 東京, 2019-02, 経済産業省. 2019, 資料3-3, p.26-42. http://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/ roadmap_progress/pdf/2019/d190228_08-j.pdf>, (参照 2019-06-24).



杉浦 鉄宰 SUGIURA Tessai 東芝エネルギーシステムズ(株) 磯子エンジニアリングセンター 原子力機械システム設計部 Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



清水 智得 SHIMIZU Chiari 東芝エネルギーシステムズ(株) エネルギーシステム技術開発センター 機械技術開発部 Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



坂本 直弥 SAKAMOTO Naoya 東芝エネルギーシステムズ(株) エネルギーシステム技術開発センター エネルギーソリューション開発部 Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.