

福島第一原子力発電所 使用済燃料プール貯蔵燃料 及び燃料デブリ取出しに向けた取り組み

Effort aimed at removal of stored fuels from SFP and fuel debris inside PCV
in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

株式会社 東芝	東倉 一郎○	Ichiro TOKURA
	篠崎 史人	Fumihito SHINOZAKI
IRID/(株)東芝	鈴木 淳	Jun SUZUKI
	浦西 敦義	Atsuyoshi URANISHI
東京電力 HD 株式会社	大和 正樹	Masaki YAMATO
	宮本 哲昌	Akimasa MIYAMOTO

Abstract;

Toshiba and TEPCO completed the removal of large debris from the spent fuel pool (SFP) in November 2015. The large debris had been an obstacle to start the fuel debris removal work and had been necessary to be removed quickly in terms of risk reduction. Continuously, Toshiba and TEPCO are preparing for removal of small debris and spent fuels. Also, Toshiba and IRID are investigating of PCV interior and working in research and development to determine construction methods considering amount, location and configuration of fuel debris, the fission product distribution and conditions of each unit.

Keywords:

Removal, Spent Fuel Pool (SFP), Debris, Investigation of Primary Containment Vessel (PCV) interior

1. はじめに

福島第一原子力発電所 1 号機、2 号機および 3 号機は、炉心が溶融し、核燃料が原子炉内部構造物の一部とともに燃料デブリとして、原子炉圧力容器（以下、RPV）底部から原子炉格納容器（以下、PCV）底部に落下した可能性がある。その取出しに先立ち、作業の障害となる使用済燃料プール内に貯蔵されている使用済燃料の取出しが急務であり、3 号機は 2017 年度に、2 号機は 2020 年度に開始する計画である。

また、燃料デブリの取出しは、号機ごとの燃料デブリの量、位置、性状や核分裂生成物の分布を把握するため、原子炉格納容器内調査を実施するとともに、解析等により推定される情報から取出し工法の実現性を評価し、工法を決定する必要がある。

本稿は、燃料取出しに向けた使用済燃料プール（以下、SFP）内の貯蔵燃料取出しと、今後に向けた PCV 内部調査の開発状況について報告する。

連絡先: 東倉 一郎, 〒235-8523 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8, 株式会社 東芝 エネルギーシステムソリューション社 原子力機械システム設計部
E-mail: ichiro.tokura@toshiba.co.jp

2. 使用済燃料プール内の貯蔵燃料取出しへの取り組み

2.1 使用済燃料プール内の大型瓦礫撤去

撤去の検討を開始した 2012 年 6 月時点で 3 号機の SFP 内には、原子炉建屋の天井および壁の部材、SFP 周辺設備が落下し、燃料交換機やジブクレーン、屋根トラス材、デッキプレート、鉄筋、コンクリートの塊、手摺等が瓦礫として散乱していた。中でも原子炉建屋の屋根トラス材や燃料交換機の大部分といった大型瓦礫が SFP 内に落下していた。SFP 周辺は毎時数十～数百ミリシーベルトの高線量のため現場調査ができなかった。そのため、SFP 内大型瓦礫の状況は、撮影したビデオ 2 次元画像から 3 次元画像を再構成して 3 次元 CAD モデルを作成した。そのモデルには鉄骨、鉄筋、デッキプレートなど瓦礫の構成部材を識別する属性を与え、個々の瓦礫の重量や重心を計算できるようにした (Fig.1[1])。

実機設備は遠隔操作可能な大型瓦礫撤去システムを構築し、大型瓦礫撤去手順のシミュレーション (Fig.2[2]) および撤去時の監視方法を検討した。大型瓦礫撤去システムは、瓦礫取扱具、瓦礫取扱具操作機器、監視カメラ、

監視カメラ操作機器、クレーン、クレーン操作機器、操作信号を送受信する無線通信機器、操作信号変換器、重要免震棟と3号機周辺を結ぶ通信ケーブルから構成される。また、SFP近傍には人が立ち入れないため、福島第一原子力発電所内免震重要棟から遠隔にて操作可能なシステムとした。このような綿密な事前準備の結果、2015年8月には、考案した燃料交換機取扱具を用いて約20トンの大きく変形した燃料交換機を撤去し、2015年11月に大型瓦礫撤去を完了した (Fig.3[2])。

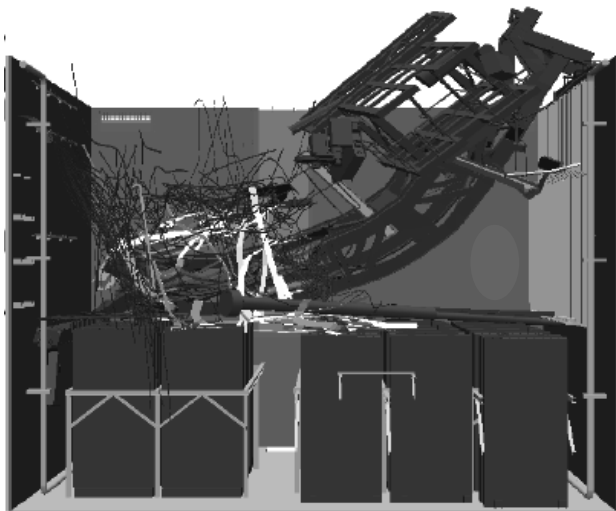


Fig.1 3D CAD models generated before the construction

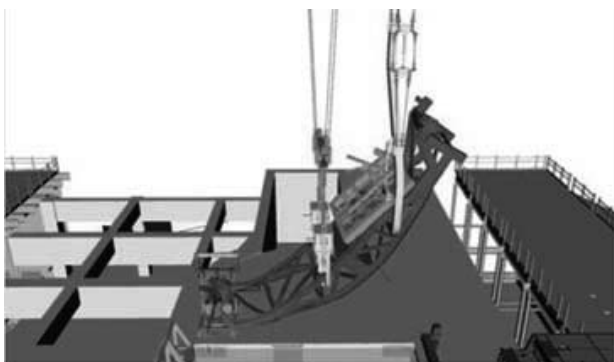


Fig.2 imulation of fuel handling machine removal



Fig.3 Fuel handling machine removal operation at site

2.2 使用済燃料プール内貯蔵燃料の取出し

3号機を安定した状態にするためには、SFP内に堆積した瓦礫（以下、小型瓦礫）を撤去した後、全ての燃料を取り出す必要がある。

株式会社東芝は東京電力ホールディングス株式会社と小型瓦礫を撤去し、安全に燃料を取り出し、その燃料を構内用輸送容器に収納して蓋を閉め、原子炉建屋の地上階まで輸送する設備を開発した (Fig.4[3])。

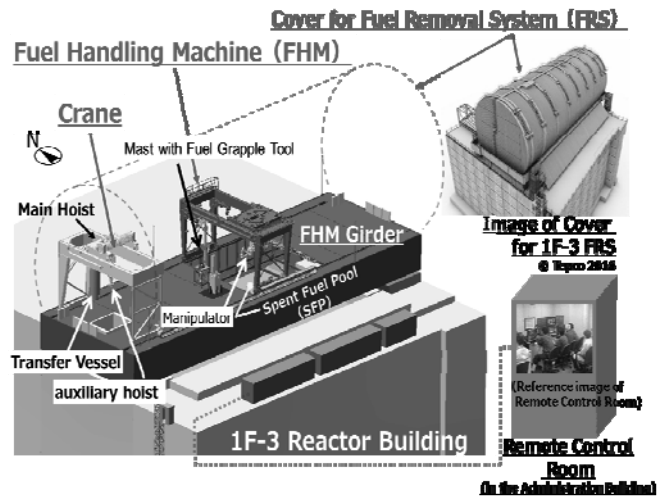


Fig.4 Fuel removal system

本設備は、燃料取扱機とクレーンで構成され、遠隔での操作を可能にするため多数のカメラを配置している。

燃料取扱機は、小型瓦礫の把持、切断、燃料取り出し作業の補助を行う2本のマニピュレータ、燃料を構内用輸送容器へ装填する燃料把握機等を有している。マニピュレータ先端部および補助ホイストは、切断、把持など作業に応じた適切な治具に遠隔で交換することができる。

クレーンは、垂直吊り具で構内用輸送容器を吊り上げる主巻、構内用輸送容器の一次蓋の取り付け・取り外しを行う蓋締付装置等を吊り下げる補巻などから構成され、燃料が収納された構内用輸送容器を使用済燃料プール内から地上階まで輸送する。

3号機は2017年度にSFP内の燃料取出し完了を目指しており、作業床上に設置される燃料取扱設備のうち、燃料取扱機とクレーン等の主要設備と遠隔操作室を株式会社東芝京浜事業所に設置し、遠隔操作訓練を2015年2月から12月に実施した。

3. 燃料デブリ取出しに向けた取り組み

3.1 原子炉格納容器内部調査遠隔調査ロボットの開発

燃料デブリが落ちたと推定されているPCV内部の調査は、燃料デブリの取出し方針及び工法を決定する上で重要である。しかし、PCV内部に調査装置を挿入することは高線量環境下での作業やバウンダリ構築の観点で極めて困難なものであり、格納容器内の状況を段階的に把握していき、最終的に燃料デブリの位置等の重要な情報の取得を目指している。

2012年1月に2号機格納容器内の映像を初めて取得、2012年3月には、雰囲気線量等を測定、2013年8月には、制御棒駆動機構搬送レール上の障害物の調査を行い、滞留水のサンプリングを実施した。同様に、3号機では2015年10月に、格納容器内の映像を取得、雰囲気線量を測定し、滞留水のサンプリングを実施した。また、調査用に設けた開口を利用し、2号機及び3号機の格納容器内を監視する常設計器を、それぞれ2014年6月、2015年12月に所定の位置に設置した。

引き続き、株式会社東芝と技術研究組合国際廃炉研究開発機構(以下、IRID)は、燃料デブリ取出しに先立ち、2号機PCV底部にアクセスし、内部の状況調査を可能にする技術開発を行った。PCV周辺は高い放射線環境にあり、その内部へのアクセスルートが限定されるが、約10cmの穿孔(せんこう)可能な貫通部を選定した。この寸法制約のなかで、広範囲な視野の確保と照明の位置調整により視認性を向上させることができるよう、後方カメラと照明を“サソリ”の尾のように持ち上げる機構を持つPCV内部遠隔調査ロボット(Fig.5[2])を開発した。



Fig. remote controlled robot for internal primary containment vessel PC investigation

このロボットは、福島第一原子力発電所の廃止措置に向け、資源エネルギー庁の「発電用原子炉等事故対応関連開発費補助事業」の一環として、IRIDとともに開発したものである[4]。今後、この遠隔調査ロボットで、事故後初めて燃料デブリの落下経路と想定されるエリアを調査する計画である。

3.2 燃料デブリ取出しに向けて

燃料デブリ取出しは、2021年内開始に向け、SFP内に貯蔵されている燃料の取出しを早期に開始し、燃料デブリ取出しの開始までに完遂しなければならない。

そのためには、バウンダリ機能(一次、二次バウンダリを有する二重バウンダリ)構築後の姿を考慮の上、バウンダリ内に、燃料デブリ取出しのためのエリアを区分、設定するとともに、必要に応じSFP内の燃料の取出し設備や作業要領に反映する必要がある。

また、燃料デブリの位置等を把握するための実機調査結果、解析等により推定される情報及び燃料デブリの収納、移送、保管シナリオを反映させた燃料デブリ取出し工法の実現性評価等を踏まえて、号機ごとの燃料デブリ取出し方針を決定する必要がある。

この方針を受け、号機ごとの特性を考慮した研究開発、実機適用のためのエンジニアリングを行い、2018年度上半期の燃料デブリの取り出し方法確定、2021年内の初号機の燃料デブリ取出し開始を目指し取り組んでいく。

4. おわりに

福島第一原子力発電所 SFP 貯蔵燃料及び燃料デブリ取出しに向けた現地工事、研究開発等では、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をはじめとする関係者、大学等の有識者の皆様にご指導を頂いており、この場をお借りして御礼申し上げます。

東芝グループは、今後も福島復興に向け、安全、確実、合理的、かつ迅速に、現場を踏まえたリスク低減に取り組んでいきます。

参考文献

- [1] http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20131128_01.html
経済産業省, "東京電力福島第一原子力発電所 廃炉対策推進会議/事務局会議(第10回), 資料3-5 使用済燃料プール対策「1F-3 使用済燃料プール内大

型瓦礫撤去作業の開始について（東京電力株式会社）」，平成 25 年 11 月 28 日，p4

- [2] 東芝レビュー71 巻 3 号「2015 年の技術成果」
- [3] <http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2016/index-j.html>
東京電力株式会社，"福島第一原子力発電所 3 号機
使用済燃料プール内からの燃料取り出しに向けて～
燃料取扱機・クレーンメディア公開～"，2016 年 1
月 18 日，p12
- [4] 浦西 敦義，"原子炉格納容器内 遠隔調査ロボットの
開発"，電気評論，2015 年 11 月号，p28-32