

企画セッション | 総合講演・報告：総合講演・報告1 東京電力ホールディングス株式会社〔東芝、鹿島建設、清水建設共催〕

■ 2016年9月7日(水) 13:00～14:30 | 会場 久留米シティプラザ 展示室3

[PL1D] 福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて

座長：高山 拓治（東電HD）

[PL1D01] 各号機 プール燃料取り出しに向けた全体計画

*松岡 一平¹ (1.東電HD)

[PL1D02] 3号機 オペフロ大型ガレキ撤去、除染、遮へい体設置

*井上 隆司¹ (1.鹿島建設)

[PL1D03] 3号機 有人作業エリアの線量率評価

*白井 啓介¹ (1.東芝)

[PL1D04] 3号機 オペフロにおけるγ線スペクトル評価及び線量測定結果

*向田 直樹¹ (1.東電HD)

[PL1D05] 3号機 カバーの設計および施工計画

*松尾 一平¹ (1.鹿島建設)

[PL1D06] 3号機 燃料取扱設備等の設計および施工計画

*篠崎 史人¹ (1.東芝)

[PL1D07] 3号機 燃料取り出しに向けた準備状況

*山口 貴太¹ (1.東電HD)

[PL1D08] 1号機 建屋カバー解体における遠隔誘導システム、ガレキ吸引装置等の開発

*黒澤 到¹ (1.清水建設)

総合講演・報告 1

「福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて」

(1) 各号機 プール燃料取り出しに向けた全体計画

(1) Master Plan toward Spent Fuel Removal from the Spent Fuel Pools
of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station小林靖¹，末永和也¹，*松岡 一平¹¹東京電力ホールディングス株式会社

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に福島第一原子力発電所で事故が発生して以来、東京電力は廃炉に向けて政府及び協力企業と共に、原子炉や燃料プールの注水冷却、使用済燃料の取り出し、汚染水問題等に取り組んでいる。

廃炉の主な項目は、使用済燃料プールからの使用済燃料プール燃料（以下、プール燃料）取り出し、燃料デブリの取り出し及び原子炉施設の解体である（図 1）。本タイトルでは各号機のプール燃料取り出し計画について報告する。

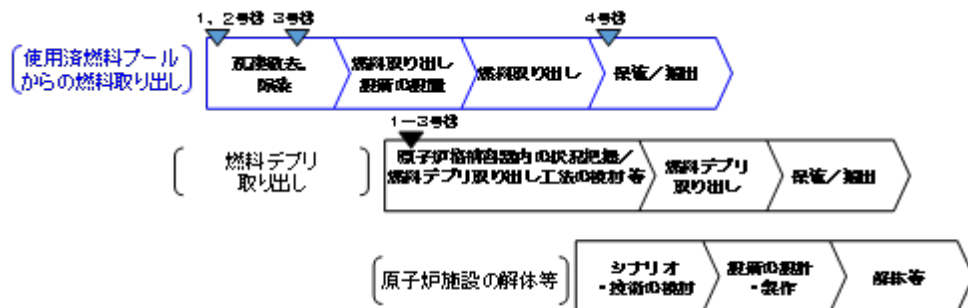


図 1 廃炉の作業ステップ

2. 各号機のプール燃料取り出しに向けた全体計画

2-1. 1号機

水素爆発により原子炉建屋上部が損傷した福島第一原子力発電所 1 号機からの放射性ダストの飛散を抑制するために 2011 年 10 月、建屋カバーを設置した。その後、原子炉の安定冷却の継続等により放射性ダストの放出量は大幅に低減したことから、2015 年 4 月より建屋カバーの解体に着手した(図 2)。建屋カバー解体後は、水素爆発により原子炉建屋最上階に堆積した瓦礫の撤去、プール燃料を取り出すための架構・設備（以下、燃料取り出し用カバー等）を設置する計画である（図 3）。

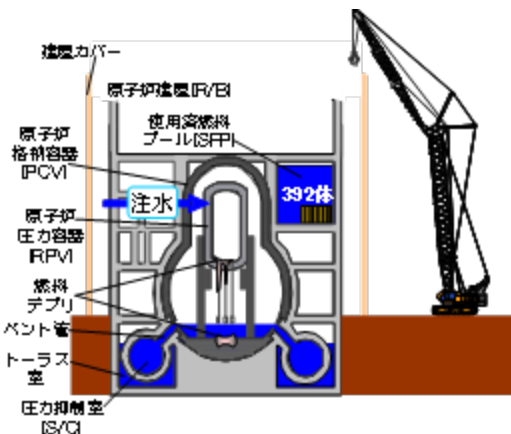


図 2 1号機現状イメージ

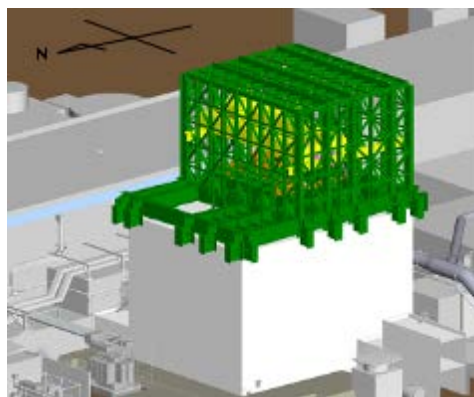


図 3 1号機燃料取り出し用カバー等イメージ

2-2. 2号機

水素爆発が発生しておらず原子炉建屋は健全であるものの炉心が損傷しているため、周辺の放射線量は高くなっている（図4）。プール燃料取り出しに向け、今後、健全な建屋上部を解体し、燃料取り出し用カバー等を設置する計画である（図5）。



図4 2号機現状イメージ

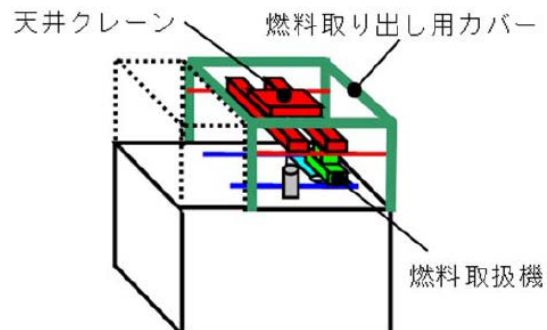


図5 2号機燃料取り出し用カバー等イメージ

2-3. 3号機

3号機は原子炉建屋で水素爆発が発生し、建屋が損傷した。損傷は他号機と比較し大きかった。2011年9月から水素爆発により原子炉建屋最上階（以下、オペフロ）に堆積した瓦礫の撤去を進め、2013年11月に完了（図6,7）、その後にオペフロの線量低減を目的に除染および遮へい体設置に着手した（図8）。除染は2016年6月に完了、現在は遮へい体設置を進めている。

オペフロ大型瓦礫撤去完了後、使用済燃料プール内にも大型瓦礫が堆積していることを確認し、線量低減と並行して使用済燃料プール内大型瓦礫撤去を実施、2015年12月に完了した。今後、燃料取り出し用カバー等の設置を進め、プール燃料取り出し開始を目指す（図9,10）。



図6 3号機オペフロ大型瓦礫撤去開始前の状況



図7 3号機オペフロ大型瓦礫撤去完了後の状況

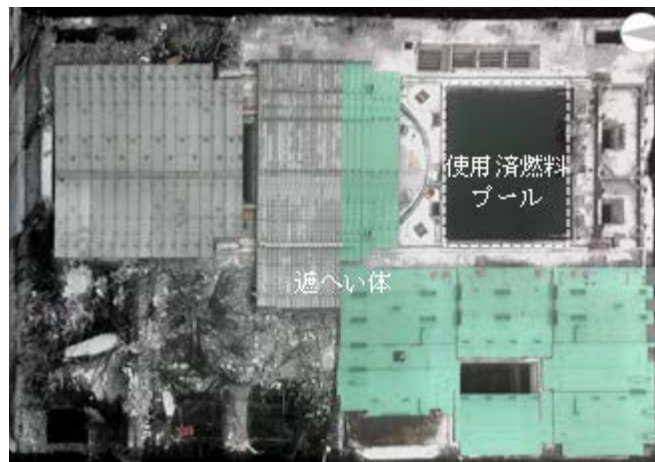


図8 3号機オペフロ線量低減期間中の状況

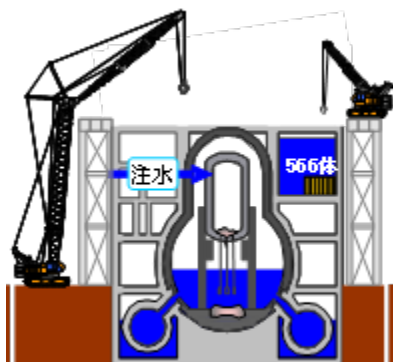


図9 3号機現状イメージ



図10 3号機燃料取り出し用カバー等イメージ

2-4. 4号機

原子炉建屋で水素爆発が発生したが、他号機と比較し放射線量が低い状態であったため、他号機に先行してプール燃料取り出しを2013年11月から開始し、順調に作業を進め、2014年12月には全ての燃料(1533本)の取り出しを完了した(図11,12)。多くの瓦礫が散乱していた使用済燃料プールから、瓦礫を撤去し、プール燃料を順調に取り出したことは、今後のプール燃料取り出しに向けて大きな実績となった。



図11 4号機現状イメージ



図12 4号機燃料取り出し用カバー等イメージ

Yasushi Kobayashi¹, Kazuya Suenaga¹, *Ippei Matsuoka¹

¹ Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc

総合講演・報告 1

「福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて」

(2) 3号機 オペフロ大型ガレキ撤去、除染、遮へい体設置

(2) Rubble removal work, Decontamination and Shield installation

on the Reactor Building Refueling Floor of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 3

岡田 伸哉¹， *井上 隆司¹， 林 弘忠²， 西岡 信博²， 松岡 一平³

¹鹿島建設株式会社，²東芝，³東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

3号機でプール燃料の取り出し計画を進めるには、先ず水素爆発によりオペフロ床上に崩落したトラス鉄骨やコンクリート片などの汚染瓦礫、及び使用済み燃料プール内に落下した燃料交換機を解体撤去した上で、高度に汚染した床表面除染および床上への遮へい体設置などの準備工事が必要であった。

解体撤去に当たっては遠隔操作機器の開発を進める一方で、詳細な調査結果に基づいた瓦礫取出の計画と挙動シミュレーションを繰り返し、切断・つかみ位置の詳細な手順および監視方法を検討した。除染・遮蔽の計画は崩落瓦礫下のオペフロ状況を推測し、適切な除染方法の選定及び、遮蔽体の耐荷重の評価を行った上で、いずれも遠隔操作による除染計画、遮蔽体の設置計画を立案し機器開発を行った。

現在、燃料交換機を含むオペフロ上瓦礫撤去と除染作業を終え、遮蔽体の設置工事を実施中である。本稿では計画の概要と高線量下で実施したこれまでの取り組みを紹介する。

2. 瓦礫撤去**2-1. 崩落瓦礫撤去計画**

図1 3号機外観(事故当時)

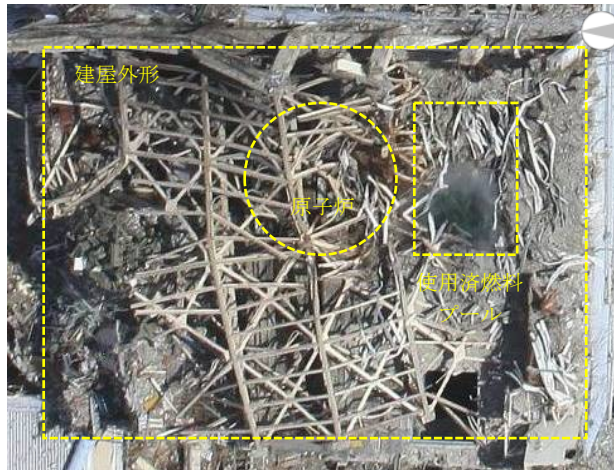


図2 オペフロ上部状況 (事故当時)

水素爆発で大きく損傷した3号機の建屋は、図1,2に示す通り、オペフロから上部の躯体はオペフロ上に落下し、東側の柱・梁だけが立ち並ぶ上にメイントラスが引っかかるという不安定な状態で残っていた。この時点で、オペフロ上に落下した200t超の天井クレーン、使用済燃料プールに水没している燃料交換機はその姿の一部を確認するのが精一杯という状態にあった。

状況調査は、クレーンで吊るしたカメラで崩落状況・各部位の接合状況を確認する事から始めた。撮影画像を3D点群データに変換し、設計図と照合しながら部材データに置き換え3Dモデルを作成し、更にはボルトの一本一本まで確認・評価して挙動解析用構造データを作成した。

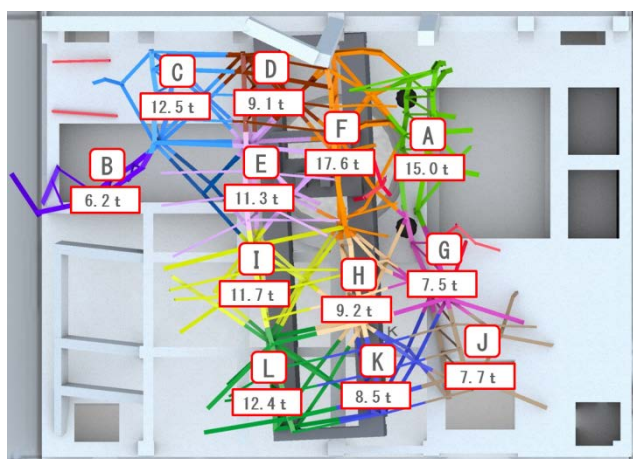


図3 屋根トラス解体ブロックモデル

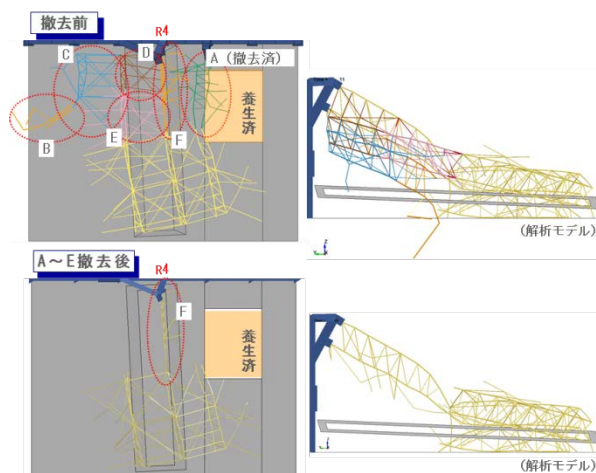


図4 屋根トラス解体シミュレーション

作成した3Dモデルを使用してクレーン・アタッチメント性能を条件に、撤去ブロックを設定(図3)し切断手順を検討した。切断時の挙動は作業毎にシミュレーション(図4)して、全体影響のもっとも小さいと考えられる手順を選択した。撤去の実施に当たってはシミュレーションとの差異がない事を確認するため、挙動監視ポイントとクライテリアを設定して、常時監視しながら一つ一つ丁寧に切断撤去を行った。また大型のトラス解体の前に、鋼製のプール養生を設置して万一の落下に備えた。

2-2. 遠隔撤去ツール

解体作業は建屋の西・南に600tクローラークレーンを配置し、図5に示す解体・撤去ツールを使用して実施した。東側の残存柱は、周囲に架設した構台に解体重機を載せて解体した。全ての重機は遠隔化仕様に改造を施し、作業は免震重要棟のリモート室から行った。

＞油圧フォーク（吊下げ）



最大把持能力：15 t
自重：3.7 t

＞油圧ペンチ（吊下げ）



最大把持能力：500kg
自重：4.0 t

＞油圧グラブバケット（吊下げ）



容量：3m³
自重：5.0 t

＞ZX330カッター機（吊下げ）



↑ショートアーム
←ロングアーム
自重：38 t (ロング)
25 t (ショート)

＞ZX480（解体用油圧重機）



ツーピースブーム仕様
自重：59 t

図5 遠隔撤去ツール



図6 トラス把持切断状況（リモート室画像）



図7 トラス撤去完了状況

2-3. 燃料交換機の撤去

燃料交換機は使用済燃料プール内に落下していることが上空から確認されたが、その変形状態および損傷状態、プール設備との干渉状態は不明であった。このため、建屋部材が複雑に絡み合っているプール内にカメラを挿入し、燃料交換機部材の変形・接続状態および部品位置を確認した。その後、確認した映像を基に、トラスと同様に設計図と照合して3Dモデルを作成した。

燃料交換機の撤去方針として、一度で全てを撤去する、あるいは数分割して撤去する、細断して撤去するといった方針が考えられた。そこで、落下時の燃料への影響や燃料交換機の変形・落下といった観点からリスク評価を行った。さらに、細断する場合の切断位置や遠隔撤去ツールのアクセス、吊上げ時の燃料交換機とプール設備の干渉等のシミュレーションを行い、リスクと実現性の観点から燃料交換機を数分割して撤去する方針とした。

しかし、燃料交換機部材の損傷状態が把握できなかったため、燃料交換機の梁モデルを作成し、実際の状態に合わせて梁モデルを変形させ、強度解析を行い、損傷状態を把握した。さらに、強度解析結果を基に、吊上げ位置を決定し、燃料交換機撤去手順を作成した。

また、燃料交換機は、変形かつ不安定な状態で落下していたため、2-2. 項に示す遠隔撤去ツールで確実に把持することが困難であった。そこで、燃料交換機専用の取扱ツールを製作した。（図8）

この様な綿密な事前準備の結果、2015年8月に燃料交換機の撤去を完了した。（図9,10）

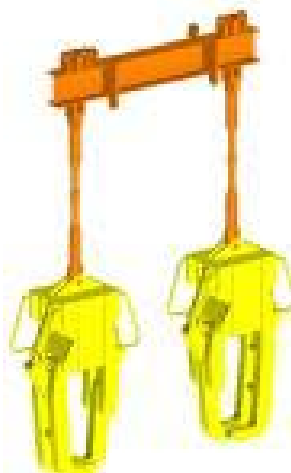


図8 燃料交換機撤去ツール

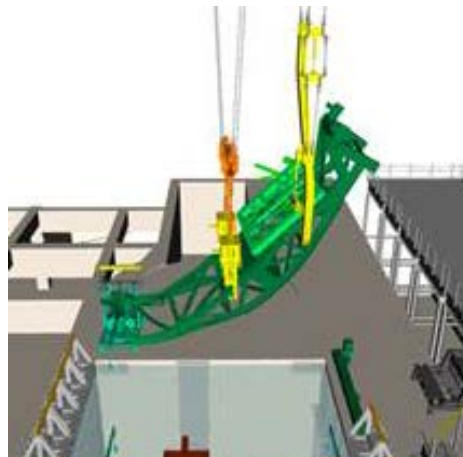


図9 燃料交換機吊上げシミュレーション



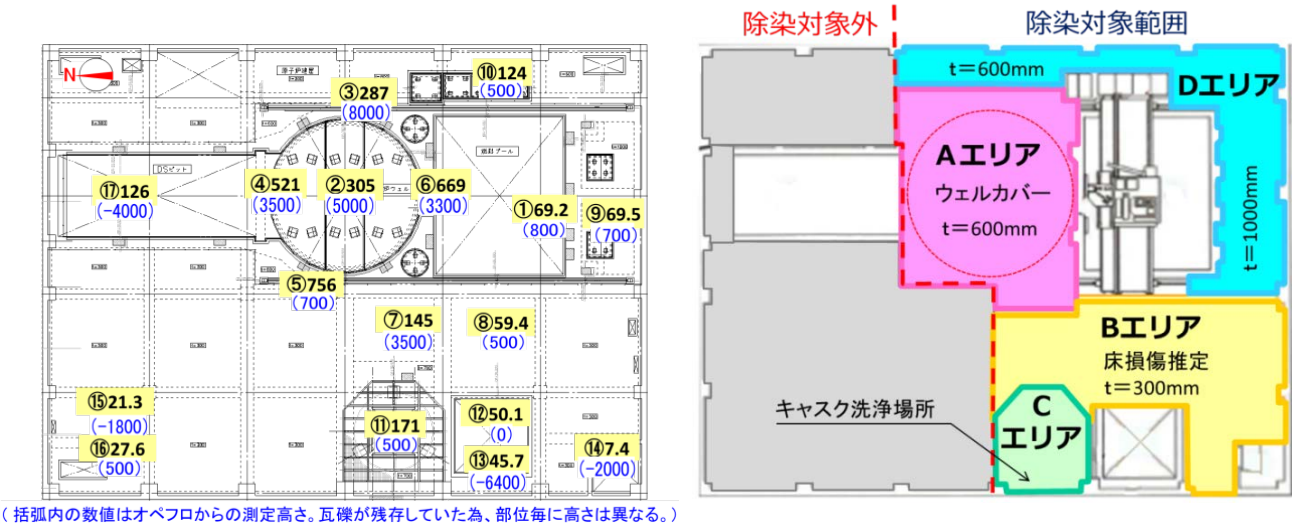
図10 燃料交換機吊上げ写真

3. 線量低減

3-1. 線量低減検討

クローラクレーンによる線量測定の結果、オペフロの空間線量は原子炉ウェル直上(756mSv/h)を中心に極めて高い値を示した（図 11）。将来の使用済燃料取出し・及び燃料取出し用架構の構築を考慮すると、近傍での有人作業が不可避であることから、除染・遮蔽の組合せによる線量低減策を講じる必要があった。

工程の制約上、オペフロ線量低減計画は瓦礫撤去の計画と並行して検討する必要があった。そのため、十分に映像確認ができない範囲については4号機での損傷状況等を元にスラブ厚さ 300mm 超は躯体として健全、300mm 以下は損傷していると推定して計画を進めた。



（括弧内の数値はオペフロからの測定高さ。瓦礫が残存していた為、部位毎に高さは異なる。）

図 11 オペフロ線量率(単位：mSv/h、2012 年 5 月 15 日測定)

図 12 除染対象エリアとエリア区分

3-2. 除染計画

除染は、大きくオペフロが損傷した北西部分と D/S ピットを除く範囲を対象とし、床損傷状況と表層の材質を条件として検討した（図 12）。600mm 以上のスラブ厚さがあり躯体が健全であると推定されるウェルカバー上部（A エリア）、及びプール東と南の範囲（D エリア）はスクャブラー、ステンレス仕上げのキャスク洗浄場所（C エリア）には化学（泡）除染、床損傷が推定される範囲（B エリア）にはウォータージェットを採用する方針とした。いずれの機器も解体ツール同様遠隔化施工前提で開発、作業を実施した。

想定状況				
汚染形態	浸透 (エポキシは損傷と想定)	浸透	表層	表層
材質	RC+エポキシ	RC+エポキシ	ステンレス	狭隙部・凹凸部
面積	440㎡	260㎡	70㎡	72㎡
除染方式	スクャブラー	ウォータージェット	化学(泡)除染	ウォータージェット + 専用パーツ
選定理由	・はつり能力が最も大きい ・処理速度が最も早い	・床面にひび割れや 多量の凹凸があってもはつる 事が可能	・構内の実廃棄物試験にて、 金属材料に対して特に有効性 が確認されたため	・狭隙部及び溝部の 構造に応じた専用パーツを準備 する事が望ましい
期待効果	・文献より表面から5mmで放射 能は1/100程度となる	・文献より表面から5mmで放射 能は1/101程度となる (亀裂部については不明)	・上記除染試験では1回の 除染で1/10以下に低減	・適切なツールを用意すれば、 狭隙部や溝部の瓦礫払 出しが可能な見通し
装置 イメージ図				
適応エリア	A・Dエリア	Bエリア	Cエリア	ウェルカバー隙間 レール・溝部

図 13 エリア別除染機器

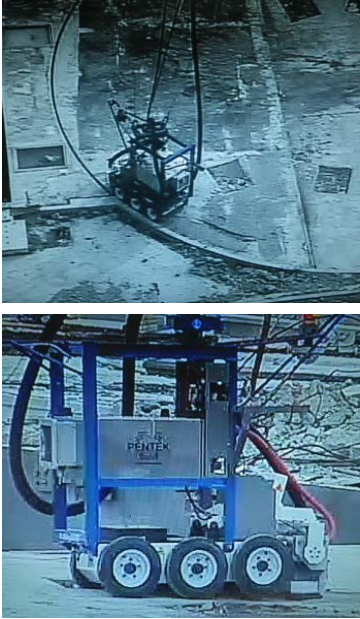


図 14 スクャブラ除染状況

3-3. 遮蔽計画

遮蔽計画は、有人作業が可能となる線量率まで下げる事を目的として、オペフロ除染後の線量状況と躯体の許容耐力を勘案して検討した。原子炉・プール周辺の壁・スラブ厚の厚い範囲（A,D,E 工区）は十分に遮蔽体荷重に耐えられるため、要求遮蔽性能を満たすよう鋼製 150mm～250mm、躯体許容荷重に制限のある範囲（B,C 工区）では鋼製 65mm の遮蔽体を使用した（図 15）。ベースの映像は 2016 年 7 月 19 日時点で全 82 体の遮蔽体の内、51 体の設置が完了している。

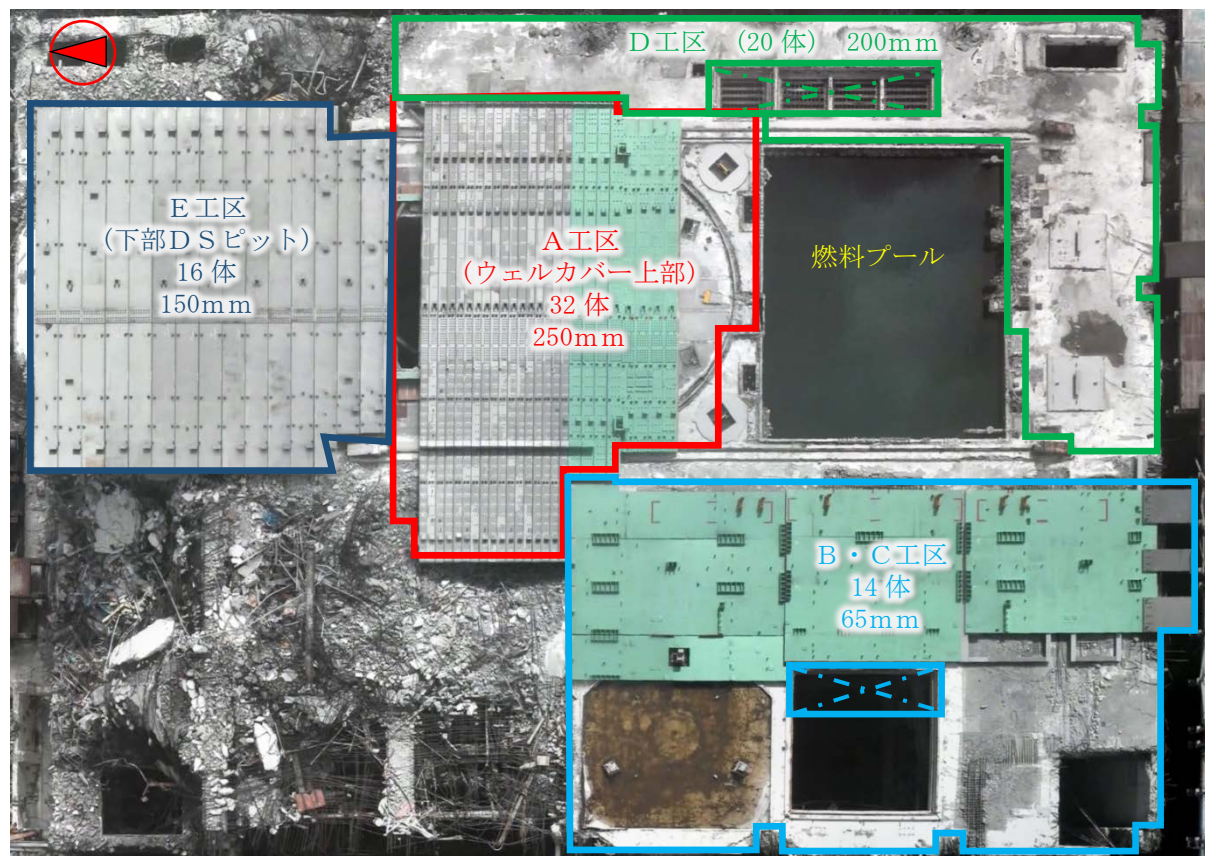


図 15 遮蔽体配置・設置状況

遮蔽体は全て遠隔化施工での設置が必要なため、遮蔽体の設置に先立って、設置位置に呼び込むガイドフレームを計画した。ガイドフレームは既存躯体の外壁、開口や突出部をガイドに設置した。なお、遮蔽体設置後には地震時の脱落防止のためのカバープレートで固定する事となる。また、その後の線量調査や線量シミュレーションの結果、当初計画に加え、崩落部、構台間隙間をカバーする遮蔽体も計画している。



図 16 遮蔽体設置状況(B 工区)



図 17 追加遮蔽計画

Shinya Okada¹, *Takashi Inoue¹, Hirotada Hayashi², Nobuhiro Nishioka², Ippai Matsuoka³

¹ Kajima Corp, ²Toshiba, ³TEPCO

総合講演・報告 1

「福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて」

(3) 3号機 有人作業エリアの線量率評価

(3) Dose evaluation of working area on the Reactor Building Refueling Floor

of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 3

*白井 啓介¹, 松下 郁¹, 黒澤 正彦¹, 向田 直樹²¹東芝, ²東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

福島第一原子力発電所3号機の使用済燃料プールからの使用済燃料の取出しに向けて、原子炉建屋オペレーティングフロア（以下、オペフロ）上において有人作業が計画されている。そこで、オペフロ上へ遮蔽体を設置した後の主要な作業エリアである FHM ガーダ上における線量率の評価方法を紹介する。

2. 線量測定と放射能濃度設定

遮蔽後の線量率の評価フローを図-1 に示す。図-1 に示すとおり、線量評価を行うためにオペフロ上の汚染状況を把握する必要がある。そこで、オペフロ上の線量測定を行い、測定された線量率から放射能濃度を設定した。

2-1. 線量測定

図-2 に示すコリメータをクローラクレーンにより遠隔操作し測定を行うため、測定位置の再現性及び作業時間を考慮して、オペフロを約 4m×4m 幅で 130 分割し、それぞれのターゲットエリア中心でオペフロから高さ 50cm を測定点と設定した。コリメータの中心に GM 管式線量計がセットされており、ターゲットエリアからの線量を効率良く測定するため、側面の遮蔽体によりターゲットエリア外からの寄与を削減するように設計した。

2-2. 放射能濃度設定

放射能濃度はオペフロ上に平面状に仮定した。線量測定値から放射能濃度を評価するために、線量測定値と線源距離との関係を“MCNP5”コードで事前に評価し、ターゲットエリア内からの寄与とターゲットエリア外からの寄与を予めデータベース化することで、測定値に対してターゲットエリア外からの寄与を除外し、ターゲットエリアの放射能濃度を設定した。評価対象核種として 2016/3 時点での減衰を考慮して Cs-137 (Ba-137m) と Cs-134 の比率が 1 : 0.21 となるように設定した。図-3 に設定した Cs-137 の放射能濃度を示す。

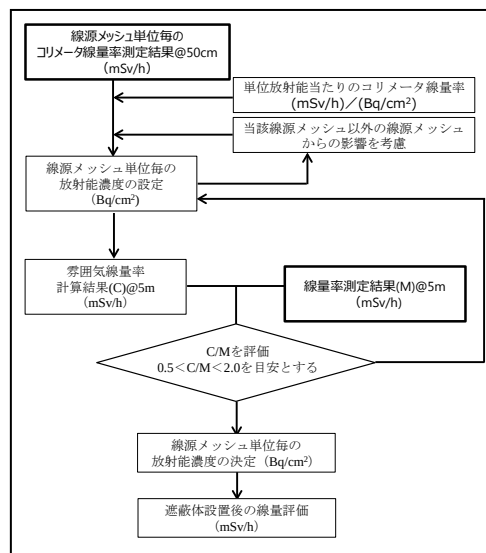


図-1 線量評価フロー

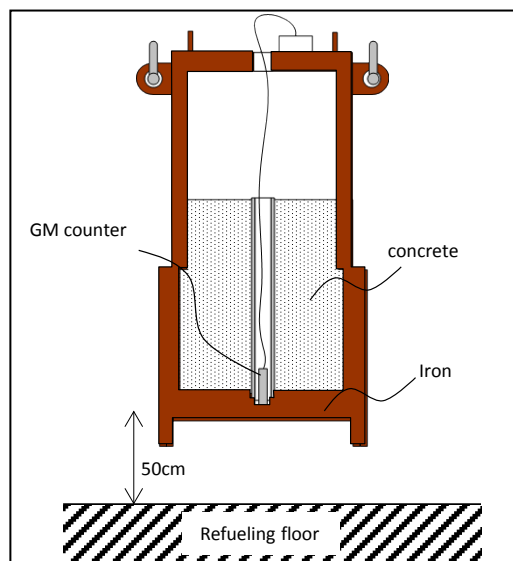
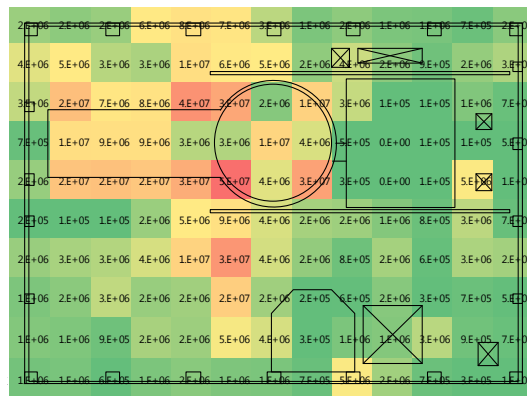


図-2 線量測定に用いたコリメータ

3. 線量評価

3-1. 評価モデル

有人作業エリアの線量率は“QAD”コードを使用して評価した。遮蔽体としては、オペフロ上に設置される大型遮蔽体に加え、オペフロ構台間遮蔽体、FHM ガードストッパ及びガード床チェッカープレート等の FHM ガーダを構成する構造材を詳細にモデル化した。評価点はオペフロから約 6m 高さに FHM ガーダ床が設置されることから、オペフロから高さ 7m とし、FHM ガーダ上で有人作業の想定される代表箇所を選定した。



3-2. 線量評価結果

図-3 設定した Cs-137 の放射能濃度(Bq/cm²)

有人作業エリアの目標線量率である 1.0mSv/h を超える評価点に対して、寄与の大きい線源範囲からの影響を低減するために補完遮蔽体を追加した。結果として、FHM ガーダ上の代表作業箇所における線量率は、すべての評価点において有人作業エリアの目標線量である 1.0mSv/h を下回った。

4. 終わりに

使用済燃料プールからの燃料取り出し作業における代表作業箇所においては本評価結果から現在の計画通り遮蔽体を設置することで作業可能となる見込みがたった。遮蔽体または FHM ガーダ設置段階で本評価より高い線量の箇所も確認しており、作業内容ごとに仮設の遮蔽体による一時的な雰囲気線量の低減または一人あたりの作業時間を制限することで被ばく線量の低減を図っていく必要がある。

※本論文に掲載の商品・役務等の名称は、それぞれ各社・各機関が商標として使用している場合があります。

*Keisuke Shirai¹, Kaoru Matsushita¹, Masahiko Kurosawa¹ and Naoki Mukaida²

¹Toshiba, ²TEPCO

総合講演・報告 1

「福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて」

(4) 3号機 オペフロにおける γ 線スペクトル評価及び線量測定結果**(4) Gamma-ray Spectra and Dose Measurement Results on the Reactor Building Refueling Floor of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 3**

*向田 直樹¹, 林 宏二¹, 岡田 貫児¹, 金濱 秀昭¹, 鈴木 敏和²

¹東京電力ホールディングス株式会社, ²株式会社千代田テクノ

1. 目的

福島第一原子力発電所3号機の使用済燃料プールからの燃料取り出し作業の実施に向けて、原子炉建屋オペレーティングフロア（以下「オペフロ」という）は、100mSv/h 以上の高線量の放射線環境であるため、被ばく低減対策が不可欠である。オペフロにおける作業環境線量の低減は、除染や遮へいが考えられるが、有効な線量低減対策を講じるためには、方向性線量と γ 線エネルギー分布に基づいた測定により現状把握することが重要である。

(1) γ 線スペクトル測定

線源の種類や位置を把握した上で有効な線量低減対策を検討するために、以下の事項について γ 線スペクトル測定で検証する。

①核種の定性

オペフロの主要核種は、Cs-134, Cs-137 と想定しているが、Co-60 等の他核種からの線量寄与を明らかにして、遮へい時の線量評価条件の妥当性を確認。

②線源位置の推定

線量寄与の主成分がオペフロ表面か建屋内部であるかを、 γ 線スペクトル形状で推定し、更なるオペフロ表面除染の必要性を検証。

③遮へい効果の確認

オペフロに設置した遮へい体の有無による γ 線スペクトル形状の違いから、遮へい効果を確認。

(2) 6方位線量測定

オペフロ上の線量率を6方位同時に測定し、上下方向、水平方向からの線量寄与を把握することにより、有人作業エリアの仮設遮へい体（衝立遮へい等）の必要性を確認するとともに、オペフロ上の有人作業の線量評価（Hp10）データを取得する。

(3) 地上における線量率の変化

オペフロ上の線量が地上における線量にどの程度影響を与えているか確認するため、オペフロ上の遮へい設置前後の線量変化を地上に設置している線量率モニタで確認する。

2. 方法**(1) γ 線スペクトル測定**

γ 線スペクトル測定として、冷却不要で小型のCdZnTe半導体検出器を用いた。校正場のCs-137線源照射で300mSv/hまで γ 線スペクトルが崩れず、かつ感度が確保できる寸法の鉛コリメータを用意し、その中にCdZnTe半導体検出器、バッテリー、スティックPCを収納した。この鉛遮へい体を架台に固定し、クローラークレーンで吊り上げてオペフロから約50cm高さで、合計24箇所の γ スペクトル測定

を実施した。

(2) 6 方位線量測定

オペフロ上の方向性線量を把握するために、立方体のアクリル製容器の6面に個人線量計を固定し、上下方向、水平方向の線量を同時に測定し、最大値を示す方向をベクトルマップに示した。また、オペフロ上で有人作業を行う際の被ばく線量を確認できるように、遮へい体上から約120cm高さ（遮へい体設置前はオペフロ床面から約150cm高さとし、遮へい設置前後の高さを概ね合わせた）で、オペフロ上138箇所の6方位線量を測定した。

(3) 地上における線量率の変化

構内に設置した線量率モニタのうち3号機周辺にある5箇所の線量率モニタにより、オペフロ上の遮へい設置前後のトレンドを確認した。

3. 結果及び考察

(1) γ 線スペクトル測定

①核種の定性

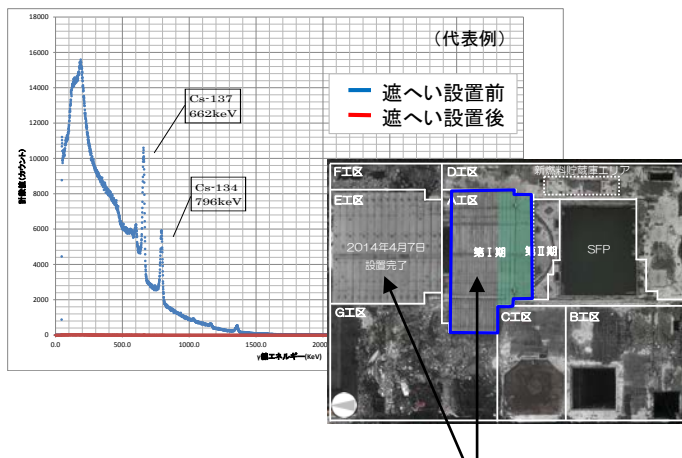
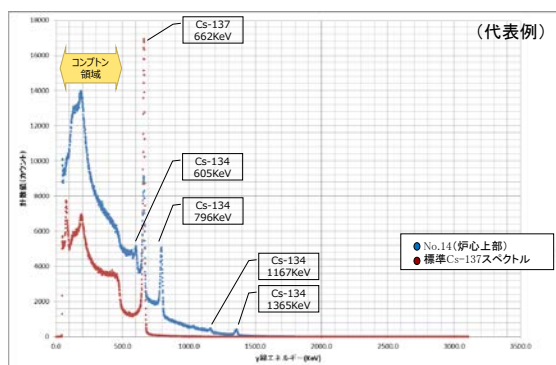
オペフロ上のいずれの測定箇所においても、Cs-134とCs-137以外の光電ピークは確認されなかった。したがって、遮へい設計において、Co-60等の寄与を考慮する必要はないことを確認した。

②線源位置の推定

オペフロ上の遮へい体を設置していない測定箇所でも、いずれもCs-137のピーク高さはコンプトン領域より低く、散乱線成分が多いことが分かった。校正場でCs-137線源を照射した場合は、Cs-137のピークの方がコンプトン領域よりも高く、直接線の寄与が大きい結果が得られたが、オペフロ上のスペクトルは、これとは異なっていた。この結果から、オペフロ表面に線源が残っているというよりも、散乱線の大きくなるような領域（表面ではない場所）に線源があると推定し、今後は除染よりも遮へいに移行する段階にあることを確認した。

③遮へい効果の確認

遮へい体設置により、寄与割合の大きい散乱線が大幅に低減しているため、散乱線を遮へいするのに十分な遮へい効果があることを確認した。



< γ 線スペクトル測定結果 >

左図： γ 線スペクトル測定結果（標準 Cs-137 スペクトルとの比較）

右図：遮へい設置前後の γ 線スペクトル測定結果

遮へい体設置箇所

（左が E 工区、右が A 工区）

(2) 6 方位線量測定

①測定結果（下方向からの線量寄与）

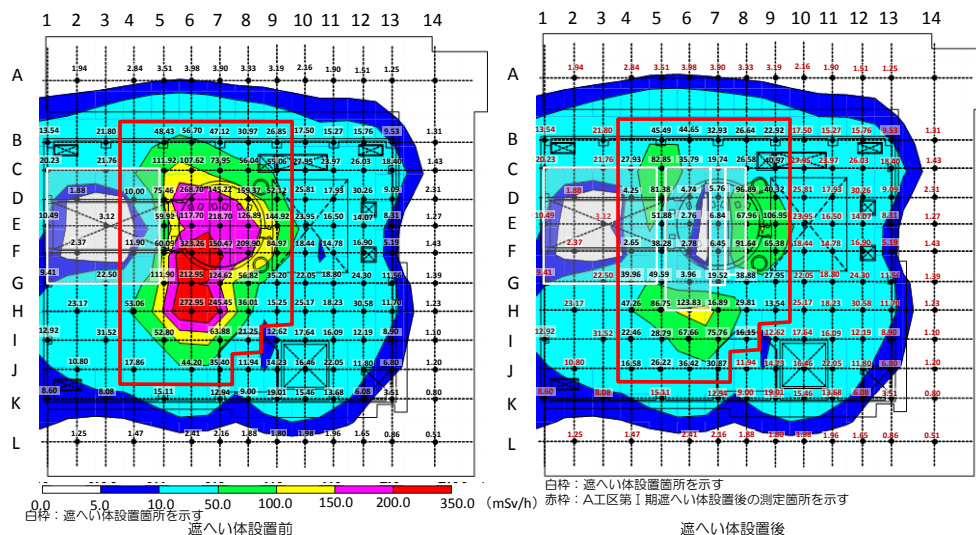
A 工区（右上図参照）に遮へい体を設置した箇所の測定点は 3~20mSv/h に低減し、遮へい前の線量率最大値の箇所は、遮へい後 323→3mSv/h に低減した。遮へい体を設置していない周囲の線量も概ね 100mSv/h 以下に低減した。

②測定結果（水平方向からの線量寄与）

A 工区に遮へい体を設置した箇所の測定点は 5~19mSv/h に低減し、遮へい前の線量率最大値の箇所は、遮へい後 222→5mSv/h に低減した。遮へい体を設置していない周囲の線量も概ね 100mSv/h 以下に低減した。

③測定結果（線量寄与が最も大きい方向）

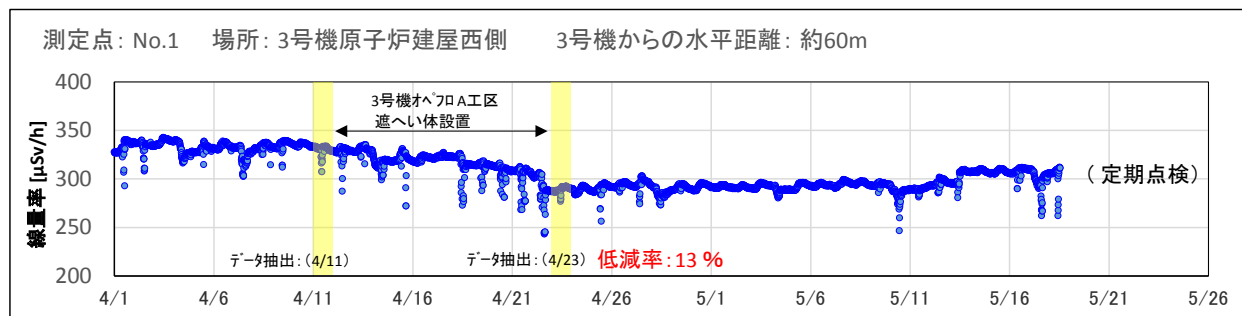
水平方向からの寄与は、主要線源である原子炉ウェルを中心とした向きになっていた。使用済燃料プール、構台等を除き、全体的に下方向の線量寄与が大きい。遮へい後は下方向からの線量が低減したため、遮へい体上の測定点では、水平方向（周囲）の寄与が大きくなった。



<遮へい前後の下方向からの線量分布>

(3) 地上における線量率の変化

3号機周辺の地上面に設置した線量率モニタの値は、A 工区に遮へい体を設置した前後で 10%程度低減した。遮へい設置により散乱線の寄与（スカイシャイン）が低減したことによるものと考えられる。



<線量率モニタの遮へい前後の推移>

*Naoki. Mukaida¹, Koji. Hayashi¹, Kanji. Okada¹, Toshikazu. Suzuki²¹TEPCO, ²Chiyoda Technol Corporation

総合講演・報告 1

「福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて」

(5) 3号機 カバーの設計および施工計画

(5) Design and Construction Plan of Spent Fuel Removal Structure for Unit 3

*松尾 一平¹, 小川 喜平¹, 岡田 伸哉¹, 加藤 和弘¹, 松岡 一平²¹鹿島建設株式会社, ²東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

使用済燃料プールから燃料を安全に取り出すために、損傷した建屋上部に燃料取り出し用施設(カバー)を構築する。カバーは、燃料取扱設備の走行性、耐震耐風安全性を確保すると共に作業時の汚染ダスト飛散抑制に配慮した設計がなされている。また、除染遮へい後も少なからず高線量下での構築作業となるため、作業員の被ばく低減に向けた様々な工夫を組み込んでいる。これらの技術的概要について紹介する。

2. カバーの設計

2-1. カバー設置の目的

使用済燃料プールからの燃料取り出しは、燃料取り出し用カバーの設置による作業環境の整備、燃料等を取り扱う燃料取扱設備の設置を行い、燃料を使用済燃料プール内の使用済燃料貯蔵ラックから取り出し、キャスクに詰めて原子炉建屋から搬出することを目的としている。

使用済燃料プールからの燃料取り出し設備は、燃料取扱設備、門型クレーン、構内用輸送容器、燃料取り出し用カバーで構成される。図1に燃料取り出し用カバーの外観イメージを示す。燃料取扱設備と門型クレーンは、燃料取り出し用カバーにより支持されている。



図1 3号機燃料取り出し用カバー外観イメージ

2-2. 要求される機能と設計方針

燃料取り出し用カバーは、燃料取扱設備の支持、作業環境の整備及び放射性物質の飛散・拡散防止ができる機能が要求される。具体的な設計方針は以下のとおりである。

a. 燃料取り出し作業環境の整備

燃料取り出し作業に支障が生じることのないよう、風雨を遮る設計とする。

b. 放射性物質の飛散・拡散防止

隙間を低減するとともに、換気設備を設け、排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出することにより、カバー内の放射性物質の大気への放出を抑制できる設計とする。

c. 燃料取扱設備・門型クレーンの支持

燃料取出し用カバーは、使用済燃料プールを覆う構造とし、運転走行する燃料取扱設備および門型クレーンを支持できる設計とする。

d. 耐震性・耐風性

カバー架構の構造強度は一次設計に対応した許容応力度設計を実施し、耐震性は基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し、架構の損傷が原子炉建屋、使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで、波及的影響の確認は、架構が崩壊機構に至らないことを基準地震動 S_s により確認する。また、建築基準法施行令第 87 条に基づく基準風速 30m/s に相当する強風にも耐える設計とする。

2-3. 燃料取り出し用カバーの構造概要

燃料取り出し用カバーは燃料取扱設備を支持する架構で、南北方向に 18.50m、東西方向に 56.925m、地盤面からの高さが 53.50m のドーム状屋根を設けた門型の架構である。構造形式はトラス構造で、構造種別は鉄骨造である。

燃料取り出し用カバーは、原子炉建屋の 1 階、3 階及び 5 階に支持される構造である。なお、5 階の原子炉建屋躯体支持点においては、水平振れ止め装置（ストッパ）及び鉛直方向の制震装置（オイルダンパ）を用いている。

- 【構造の特徴】
- 損傷している原子炉建屋に長期荷重をかけない大スパン門型架構
 - 地震時の水平力は伝達キー（ストッパ）を介し建屋健全部で一部支持
 - 大スパン架構の鉛直変形を制震装置（オイルダンパ）で抑制

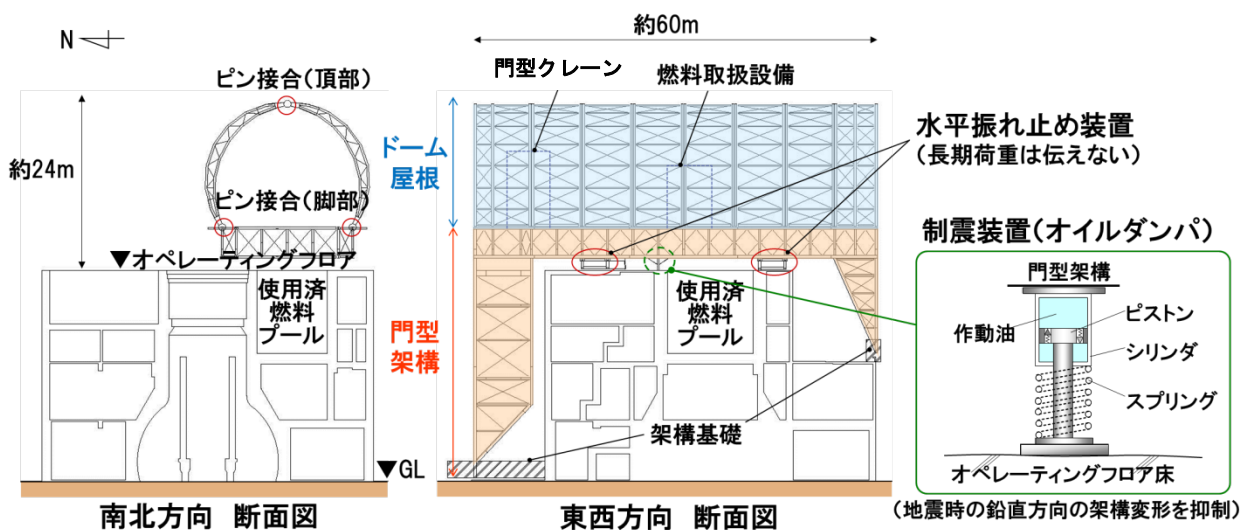


図2 燃料取り出し用カバーの構造概要（単位：mm）

3. 施工計画

3-1. 計画概要

高線量である現地における作業員の被ばく低減を最優先とした施工計画を立案した。

工場製作した鉄骨パーツをサイト外で可能な限り数十トンの大型ユニットに組み立てる。大型ユニットを現地へ海上輸送し、遠隔操作が可能な 600ton 級の大型クレーン 2 機により最終組み立てする計画としている。以下に各部の組立計画を示す。

a. 門型架構脚部の鉄骨組立て

先ず解体用の構台を兼用した門型架構の東・西脚部大型ユニットを組み建てる。遠隔操作の大型クレーンで組み立て易いよう自立可能な立方体ユニット形状で計画している。また、柱脚基礎は作業員の被ばく低減を考慮しコンクリート製カウンターウェイト方式となっている。

b. 水平揺れ止装置の組立て

図3に示すように既設オペレーティングフロアの床躯体開口に差し込む形で、鋼製の水平揺れ止装置2台を設置する。床躯体との隙間には無収縮のモルタルグラウト材を充填し既設床と一体化させる。

c. 門型架構のガーダ鉄骨組立て

東西方向に配されたガーダは全長 57m、幅 19mのあたかも大型の橋梁であり、両サイドに高さ 4.4m×幅 2.0mの橋桁（メイントラス）を配し、その間をサブトラスが繋ぐ構造となっている。総重量は約 680t である。

ガーダ鉄骨は 600ton 級の大型クレーンの能力範囲内で大きく分割し（最大 75t）、2列のメイントラスを5ユニット、サブトラスを5ユニットに分けて組み立てる。（図4参照）

燃料取扱設備・門型クレーンが走行するため、組み立て精度が要求される部位である。予め組み立て時のたわみ変形量を解析により求め、所定の水平レベル精度が確保されるようキャン

バーを付けた製作を行う。大型ユニット相互の接合は現地作業となるが、作業員の被ばく低減を考慮し超高強度ボルトを採用することでボルト本数を極力低減した計画としている。

d. ドーム屋根鉄骨組立てと燃料取扱設備・門型クレーンの設置

燃料取出し時の風雨を遮り放射性物質の飛散を抑制するため、軽量化をはかったドーム屋根を設置する。総重量は約 490t である。図5に示すように長手方向に8分割し、更に中央で半割した三日月ユニット（約 30～50t）を組み立て、ドーム屋根を形成する。先ず大型クレーンが届き易い門型架構の西側で三日月ユニットをドーム状に組み立て、次に門型架構に敷設されたレール上を東方向に自走させるスライド工法を採用する予定である。途中で燃料取扱設備・門型クレーンを設置した後、ドーム屋根を組み上げる。

三日月ユニットの頂部接合および脚部の門型架構との接合は、誤差吸収性に優れたピン差し込み接合としている。また、作業員の被ばく低減を考慮し、8分割したユニット相互はボルト接合せず、予め三日月ユニットに取り付けたゴム製カバーで隙間を塞ぐ。

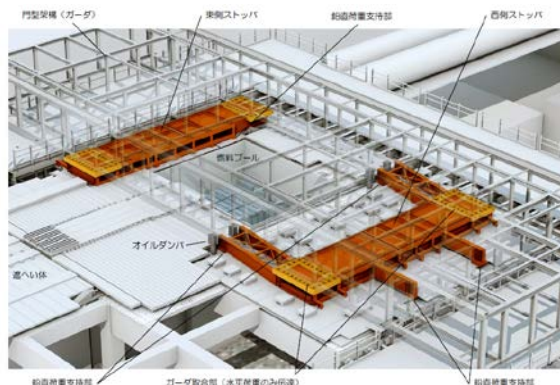
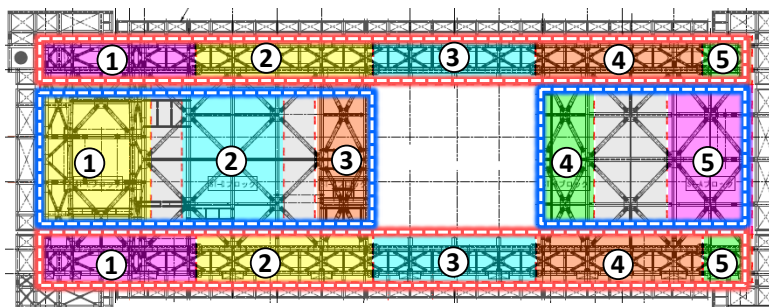


図3 水平揺れ止装置



PN
4

図4 門型架構ガーダ鉄骨のユニット分割



三日月型モジュールを移動式架台に支持させて組立



移動式架台でガーダ上をスライドさせドームユニットを所定の位置に据付



揚重可能範囲内のユニットはクレーンの相吊りにより直接据付

図5 ドーム屋根鉄骨の組み立て概要

3-2. 施工性確認試験

現地施工に先立ち、各種施工性確認試験を実施した。図 6 に組み立てが完了した各種大型ユニット鉄骨のサイト外仮置き状況を示す。また、図 7 と図 8 に門型架構の組立試験、図 9～図 11 にドーム屋根の組立試験、図 12 にスライド試験の状況を示す。これらの試験を通じ、作業員の習熟化をはかると共に、高線量下における現地作業の円滑化と被ばく低減に向けた一層の改善を行っている。



図 6 各種大型ユニット鉄骨のサイト外仮置き状況

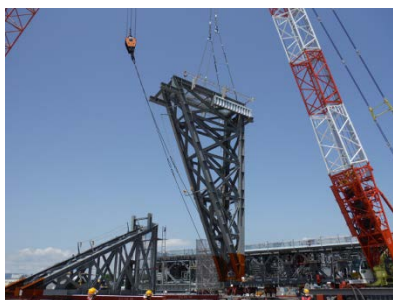


図 7 門型架構脚部組立試験



図 8 門型架構ガーダー鉄骨組立試験

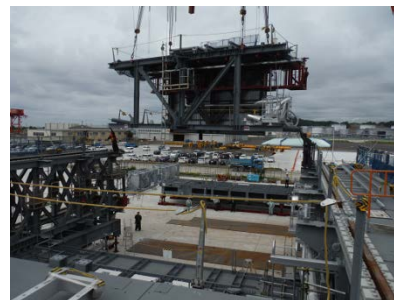


図 9 三日月ユニット組立試験



図 10 ドーム屋根合吊り試験



図 11 ドーム屋根側面組立試験



図 12 ドーム屋根スライド試験

*Ippei Matsuo¹, Kihei Ogawa¹, Shinya Okada¹, Kazuhiro Kato¹, Ippei Matsuoka²

¹ Kajima Corp, ² Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc

総合講演・報告 1

「福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて」

(6) 3号機 燃料取扱設備等の設計および施工計画

(6) Design and Construction plan of Spent Fuel Removal System for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 3

諏訪 蘭 司¹, 東倉 一郎¹, 伊藤 悠貴¹, *篠崎 史人¹, 山口 貫太²¹株式会社 東芝, ²東京電力ホールディングス株式会社

1. はじめに

福島第一原子力発電所第3号機（以下、3号機）オペレーションフロアは雰囲気線量が高く、被ばく低減の観点から有人作業による使用済燃料プールからの燃料取り出し作業が困難であるため、遠隔操作にて燃料を安全確実に取り出す設備が必要である。また燃料を取り出すためには、使用済燃料プール内の特に燃料上部に堆積した瓦礫（以下、小型瓦礫）の撤去を行うことが必要である。

株式会社東芝は東京電力ホールディングス株式会社と共に、小型瓦礫撤去と燃料取り出し、及び燃料を収納した構内用輸送容器を原子炉建屋地上階に移送するまでの一連の作業を遠隔にて実施可能な燃料取扱設備を開発した。ここでは燃料取扱設備の概要と各機器を用いた施工計画、及び燃料取扱設備の操作訓練実施状況を紹介する。

2. 燃料取扱設備の設備概要

燃料取扱設備は、3号機使用済燃料プール上部に懸架されたFHMガーダ上に設置され、さらに全体を燃料取り出し用カバーで覆われる。燃料取扱設備の設置イメージを図1に示す。

燃料取扱設備は、小型瓦礫撤去、燃料取り出し及び構内用輸送容器への収納を行うための燃料取扱機、構内用輸送容器の一次蓋ボルトの締付と、原子炉建屋の地上階まで移送するクレーン、各機器を駆動するための制御盤コンテナ内の制御盤及び水圧ユニット、及び一連の作業を遠隔監視するためのITVシステム等で構成される。各機器の操作は別建屋内（事務本館）に設置される遠隔操作室から操作する。燃料取扱設備の主構成機器の概要を次項以降に示す。

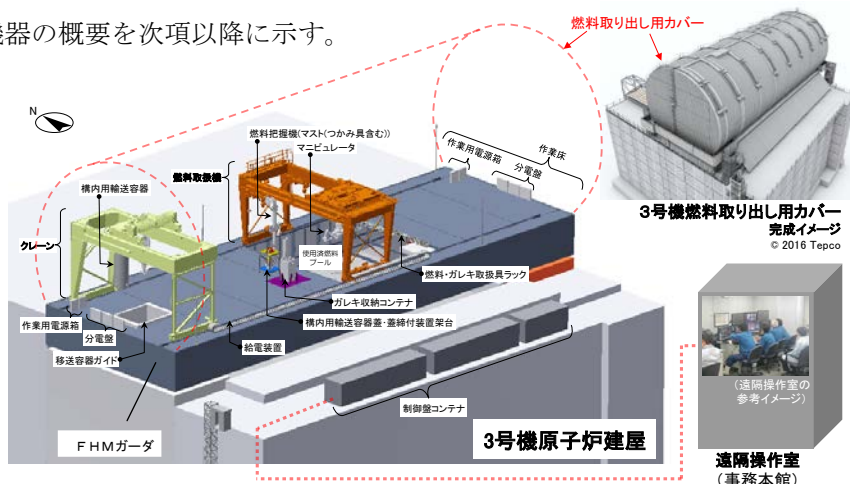


図1 燃料取扱設備の設置イメージ

2-1. 燃料取扱機

燃料取扱機は、ブリッジ、燃料把持機、テンシルトラス、マニピュレータ及び補助ホイスト（東西各1基）で主に構成され、FHMガーダに設けられたレール上に設置し、遠隔操作室内に設置する操作卓にて遠

隔操作する。テンシルトラスは図2に示すように、ブリッジ上のテンシルトラス・トロリに設置され、ブリッジ上を横行し、燃料把持機、補助ホイストはブリッジ側面を横行する。

使用済燃料プール内の燃料は、燃料把持機先端の燃料つかみ具にて取り扱い、また小型瓦礫撤去は主にテンシルトラスに設置されたマニピュレータと吸引装置にて行う。マニピュレータは両腕タイプでテンシルトラスに取り付けられており、小型瓦礫の把持、切断、燃料取り出し時の作業補助等を行う。マニピュレータの左腕先端には標準つかみ具が取り付けられ、右腕先端には瓦礫の切断、把持などの作業に応じた各種の瓦礫取扱具に取替えができる構造となっている。吸引装置は、水中ポンプと吸引した小型瓦礫を集積するフィルタ付きの容器（遠隔操作にて取替可能）からなり、マニピュレータでの取扱いでは時間を要する細かな瓦礫を回収する。

燃料取扱機には、3台の気中用の耐放射線性カメラと水中でも使用可能な7台の耐放射線性カメラが取り付けられている。燃料取扱機の操作は、遠隔操作室に設置される操作卓を用いてカメラ画像等を確認しながら遠隔操作にて行う。ブリッジ、トロリ、燃料把持機、補助ホイスト等にはインターロック機能を設け、燃料の落下防止、クレーンとの衝突防止、使用済燃料プールから燃料が過度に吊り上げられるのを防止する等の安全対策を設けている。

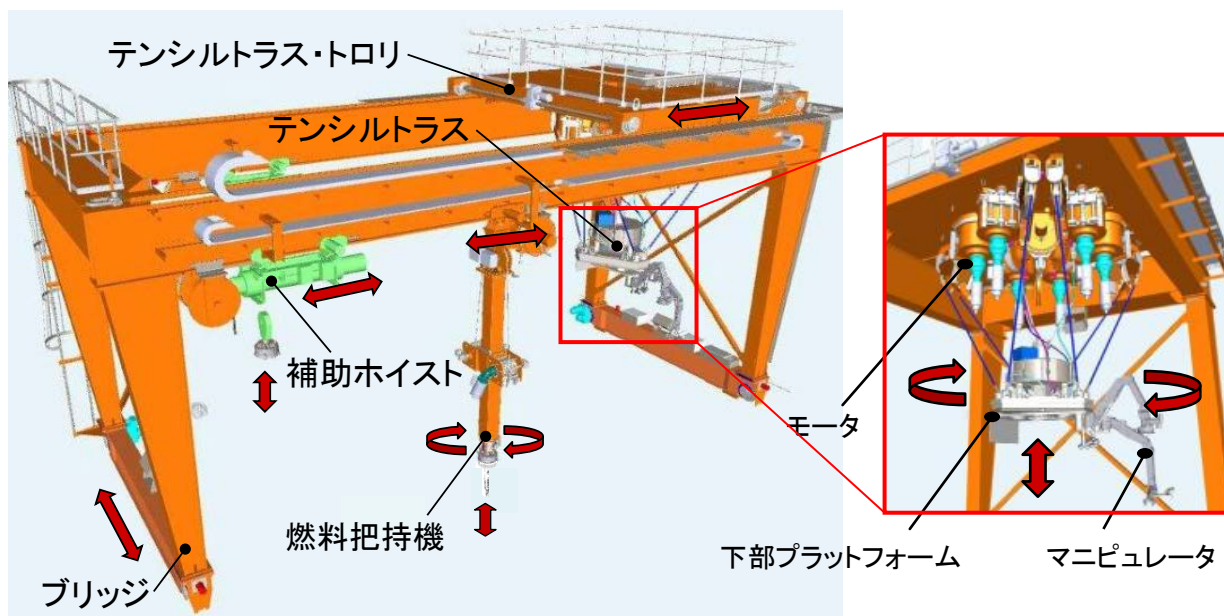


図2 燃料取扱機概略図

2-2. クレーン

クレーンは、ブリッジ、トロリ、主巻及び補巻で主に構成され、遠隔操作室内に設置される操作卓にて操作し、FHMガーダに設けられた走行レール上を走行する。図3に示すように、トロリには主巻と補巻を備え、ブリッジ上のトロリレールを横行する。

構内用輸送容器と瓦礫収納コンテナの地上階までの吊下げ及びFHMガーダ上への吊り上げは、主巻にて行う。補巻の先端は各種ツールが付け替え可能な構造となっており、遠隔操作による構内用輸送容器の一次蓋の取り付け・取り外し等が可能な蓋締付装置等を接続可能である。クレーンには、3台の気中用の耐放射線性カメラと水中でも使用可能な2台の耐放射線性カメラが取り付けられている。

クレーンの操作は、燃料取扱機の操作と同様に遠隔操作室に設置される操作卓を用いてカメラ画像等を確認しながら遠隔操作にて行う。ブリッジ、トロリ等にはインターロック機能を設け、構内用輸送容器の安全輸送経路の設定、クレーンの衝突防止等の安全対策を設けている。

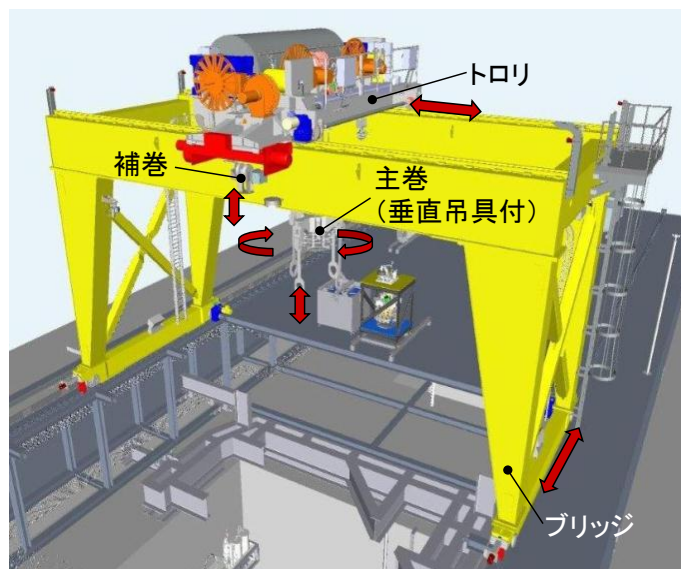


図3 クレーン概略図

3. 施工計画

燃料取り出し作業は、①小型瓦礫撤去、②使用済燃料プール内の燃料を構内用輸送容器へ充填、③構内用輸送容器の地上階とFHMガーダ上への搬出入の3つに大きく分類される。作業フローを図4に示す。

小型瓦礫撤去は、主に燃料取扱機のマニピュレータと吸引装置等を用いて実施され、撤去した瓦礫は瓦礫収納バスケット及び瓦礫収納コンテナに集められ、クレーン主巻にて地上階に搬出される。使用済燃料プール内の566体の燃料取り出し及び構内用輸送容器への燃料充填は、燃料把持機先端の燃料つかみ具を用いて実施する。構内用輸送容器には7体の燃料を充填でき、構内用輸送容器の搬出入は、クレーン主巻で実施する。また使用済燃料プール内に設置した構内用輸送容器の一次蓋ボルトの緩めと取り外し、及び燃料充填後の一次蓋の取り付けと一次蓋ボルトの締め付けは、クレーン補巻先端に接続した蓋締付装置で実施する。各作業では、機器の細かな位置合わせ等の作業補助のためマニピュレータを使用する。またマニピュレータ、テンシルトラス、補助ホイスト、マスト等に設置されたカメラを用いて各作業時の視野を確保しながら施工する計画となっている。

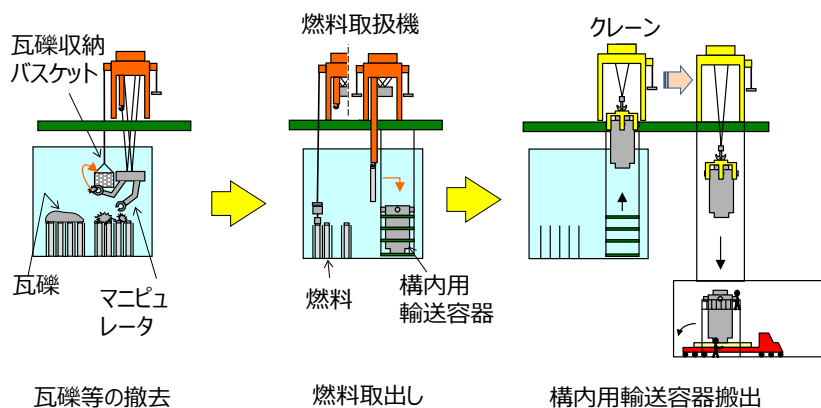


図4 作業フロー

4. 操作訓練状況

燃料取り出し作業は、現場に作業員を配置することなく遠隔操作室からカメラ映像を確認しながらの遠隔操作となるため、操作技術の習熟が必要である。このため、実機環境を模擬した訓練設備を準備して燃料取

扱設備を用いた操作訓練を実施した。操作訓練は、①小型瓦礫撤去、②模擬燃料の取り出し及び構内用輸送容器への充填、③模擬構内用輸送容器の取扱い等について実施した。またこの操作訓練によって得られた知見（作業員の改善要望等）に基づき設備の細かな修正を図るだけでなく、実機での作業要領に反映し、現場作業の更なる安全性の向上を図っている。水中での瓦礫把持・切断訓練の状況を図5、図6に示す。

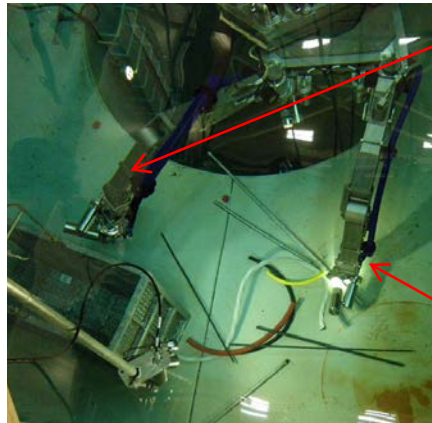


図5 瓦礫を左腕で把持している状態

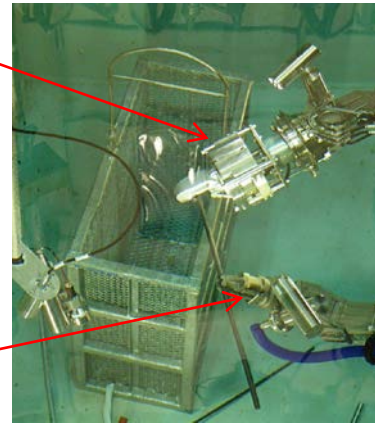


図6 左腕で把持した瓦礫を
右腕で切断する状態

5. まとめ

3号機は現場の雰囲気線量が高いため、遠隔操作にて小型瓦礫の撤去と燃料取り出しを安全確実に実施できる設備が必要である。そこで、小型瓦礫撤去と燃料の取り出しから構内用輸送容器による燃料の原子炉建屋地上階への搬出までの一連の作業を、遠隔にて実施可能な燃料取扱設備を開発した。また開発した燃料取扱設備の操作技術の習得を目的とした操作訓練を実施することで、設備改善要望等の知見（作業員の改善要望等）を得られた。今後、得られた知見を実機及び各作業要領に反映することで、現場作業における更なる安全性の向上を図り実機に適用する。

Tsukasa Suwazono¹, Ichiro Tohkura¹, Yuki Itoh¹, *Fumihito Shinozaki¹, Kanta Yamaguchi²

¹TOSHIBA CORPORATION, ²Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc

総合講演・報告 1

「福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて」

(7) 3号機 燃料取り出しに向けた準備状況

(7) Current situation of preparation for fuel removal

from the Spent Fuel Pool of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 3

* 山口 貫太¹, 工藤 深也¹, 加賀見 雄一¹, 二木 貴敏¹, 徳森 律朗¹

¹ 東京電力ホールディングス株式会社

概要: 3号機使用済燃料プール（SFP: Spent Fuel Pool）があるオペレーティングフロアは常時作業を有
人で行うには高線量下であり、使用済燃料プール内の燃料ラックにはガレキが堆積している状態であ
る。燃料取扱設備を設置した後、遠隔操作にてガレキ撤去、燃料取り出し、構内用輸送容器への燃料
移動の作業を行うことになる。これらは、これまで経験したことのない遠隔操作で実施することから
模擬燃料プール、燃料取扱設備を設置し、遠隔操作方法を習得するために訓練を実施した。

設備概要: 3号機の燃料取り出し設備は図1のようにオペレーティングフロア上に作業床を設置し、その上に燃料取扱機(FHM: Fuel Handling Machine)、クレーンを設置し、遠隔操作室から操作を行う。プール内はガレキが堆積しているため、ガレキの吸引装置、マニピュレータ、マストや補巻のアタッチメントのツールを設置し、あらゆるガレキの撤去、燃料取り出しができる構成としている。構内用輸送容器は原子炉建屋の機器ハッチを通さず、原子炉建屋周囲に建造した構台内から吊り上げ、吊り降ろしを行う。訓練は図2のように実際に燃料取り出しに使用するFHM、クレーン、マニピュレータ等を用いて模擬燃料プールを設置して実施した。

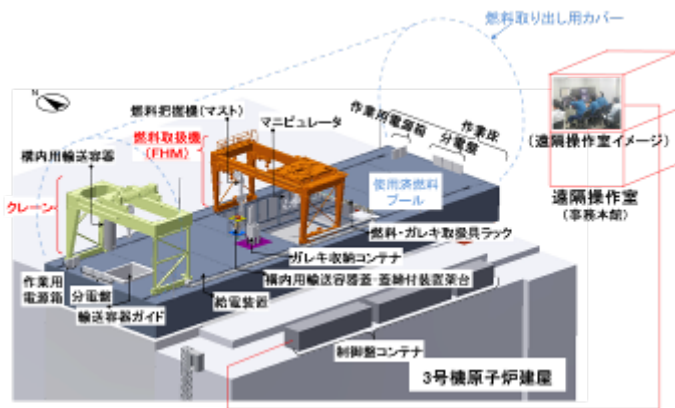


図 1.3 号機オペフロ設備概要



図 2. 訓練設備概要

訓練内容: 訓練はガレキ撤去、燃料取り出し、構内用輸送容器取扱作業について行った。共通項目として座学、遠隔で SFP 内、オペレーティングフロア上を監視するためのカメラ操作訓練、マニピュレータの基本的な操作訓練、設備の駆動源となる水圧ユニット取扱訓練、各操作卓の基本的な操作訓練、マニピュレータ、クレーンマスト、補巻のアタッチメントのツール交換訓練、総合訓練、警報対応訓練、クレーン、FHM 点検訓練を実施した。各作業個別にはガレキ撤去訓練ではガレキの収納容器取扱訓練、ガレキの移動・把持・切断・吸引訓練を実施した。燃料取り出し訓練では燃料取扱訓練、燃料ラックに燃料が引っかけた場合の引っ掛け解除、ラック切断・拡張訓練を実施した。構内用輸送容器取扱訓練では燃料装てん後の容器の密封確認訓練、燃料装てん時に輸送容器蓋のフランジ面に乗ったガレキの吸引訓練、輸送容器の蓋の締付装置が固着した場合の分離訓練を実施した。



図 3. 訓練イメージ（左：燃料取扱訓練、右：ガレキの移動・把持・切断訓練）（提供：（株）東芝）

抽出された問題点: 訓練等から明らかとなった問題点を抽出した。問題点としてカメラの映像のみで作業を実施するために、有人作業と比較して、視野が制限されること、燃料を移動させるための構内用輸送容器の蓋閉めが、遠隔操作のために時間を要すること、また、同様に、遠隔操作のため機器の故障時の対応に長期間作業中断となることなどが挙げられた。

今後の方針: これら問題点についてリスクアセスメントを実施し、安全性を担保しながら、作業手順、設備等の改善を図る。リスクアセスメントの結果、特に実施を検討している改善事項の一例として監視カメラの増設、カメラの確認作業を効率的に行うためのマーキング、異常時対応の要領書、予備品の準備、及び交換が容易となるような設計変更などがある。また、3号機へ燃料取扱設備設置後に実機における再訓練も予定している。

*Kanta Yamaguchi¹, Shinya Kudo¹, Yuichi Kagami¹, Takayuki Futatsugi¹, Ritsuro Tokumori¹

¹Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc

総合講演・報告 1

「福島第一原子力発電所使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた取り組みについて」

(8) 1号機 建屋カバー解体における遠隔誘導システム、ガレキ吸引装置等の開発

(8) Development of Remote Guiding System, Rubble Suction Device, etc.,

for Dismantling Building Cover of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 1

*黒澤 到¹, 梶波 信一¹, 山崎 忍¹, 塚原 裕一¹, 廣瀬 豊¹, 木ノ下 英雄²¹清水建設株式会社, ²東京電力ホールディングス株式会社**1. はじめに**

水素爆発により原子炉建屋のオペフロ上部が損傷した福島第一原子力発電所1号機からの放射性ダストの飛散を抑制するため、2011年10月に原子炉建屋カバーを設置した。その後、原子炉の安定冷却の継続等によりダスト放出量が大幅に低減したことから、2015年4月より建屋カバーの解体に着手した。建屋カバー解体後は原子炉建屋オペフロのガレキ撤去、燃料取り出し用カバー架構等を設置した後、使用済み燃料プールから燃料を取り出すことを計画している。

ここでは、建屋カバー解体技術である遠隔誘導システムの開発、万一の放射性ダストの飛散に備えた、ミスト散布装置の設置に干渉する小ガレキを吸引する装置の開発、及び、支障鉄骨を撤去する装置の開発について報告する。

2. 建屋カバー解体技術遠隔誘導システムの開発**2-1. 遠隔誘導システムの開発**

原子炉建屋カバーの設置や解体は、作業員が近づけない高線量環境下での作業となるため、遠隔誘導により部材の設置や取外しを行う必要不可欠な技術として、2011年の着工時（カバー設置時）に開発したものである。図1及び写真1に、誘導システムのプロット及び誘導システムのモニター画面を示す。

原子炉建屋の周囲に配置したレーザー計測器を免震重要棟から遠隔操作し、吊り治具に取り付けたプリズムの位置を正確に把握するシステムを構築した。このシステムを用いることで、カメラワークに頼る施工を計測数値による正確な施工に変えることができ、玉掛け時間が短縮し、解体作業の安全性が飛躍的に高まった。

このシステムは、建屋カバーの設置や解体のみならず、ガレキ状況を把握するための各種調査機械の誘導、飛散防止剤散布装置の誘導等、主な工事の誘導ツールとして幅広く活用している。

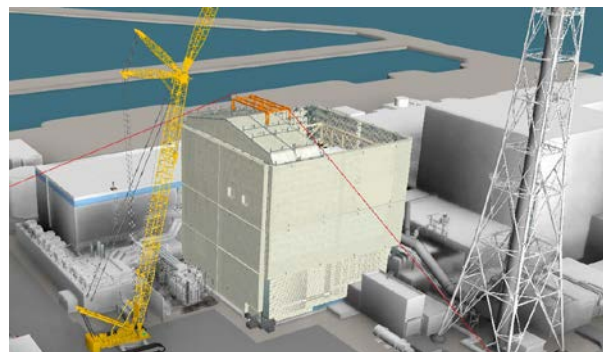


図1 誘導システム
(レーザー計測器による吊り治具の位置把握)



写真1 誘導モニター
(複数のカメラ映像、吊り治具の位置を数値で表示)

2-2. 自動玉掛装置の開発

自動玉掛装置は、2011 年の着工時（カバー設置時）に開発した技術である。建屋カバーは応急措置として設置した構築物であり、解体することを見据え、あらかじめ自動玉掛装置を開発した。写真 2 に屋根パネルの吊り治具及び自動玉掛装置を示す。遠隔誘導システムを使って吊りピースとクランプの位置を一致させたのち、電動シリンダの遠隔操作によって、吊りピンを吊りピース孔に挿入することで玉掛けが完了する装置である。



写真 2 屋根パネル吊り治具、自動玉掛装置

3. 小ガレキ吸引装置【 Karuwaza-1 】の開発

3-1. 背景

1 号機は原子炉建屋オペフロ上部の鉄骨構造のうち、屋根部材の大部分は最上階の上に崩落しているが、壁を構成していた鉄骨部材は外周に残存している。この残存鉄骨を利用し、ガレキ撤去作業時の万一の放射性ダストの飛散に備え、舞い上がった放射性ダストを抑え込むミスト散布装置の設置を計画したが、残存鉄骨上に堆積した小ガレキが計画の障害となっていた。そこで、小ガレキを吸引する装置を開発した。

3-2. 開発のポイントと対応

図 2、写真 3 にガレキ吸引装置の概要を、写真 4 に狭隘部での小ガレキの吸引状況を示す。開発のポイントは以下に示す通りである。

- ①狭隘部の小ガレキを吸引できること
- ②放射性ダストを排気ガスと一緒に排出しないこと
- ③吸引した小ガレキを容易に、安全にサイト内の保管箱に移動できること

①については、伸縮式吸引ダクトおよびダクト旋回装置を組み込むことで、ブレース用ガセット付近等の狭隘部にある小ガレキの吸引を可能とした。また、排気ガスノズルに水平旋回装置を組込むことで、吸引装置のより細かい姿勢制御を可能とした。②については、HEPA フィルタを備えたガレキ収納 BOX を内部に持つ構成とした。また、万一のフィルタの損傷に備えて、排気ガス出口にさらに同種のフィルタを組み込むことによって、2 重化した。③については、上記のガレキ収納 BOX をそのまま家庭用掃除機の紙パックの要領で回収ボックス（保管容器）に収納できるサイズとした。

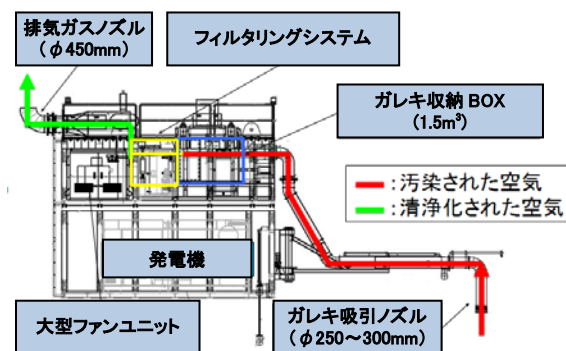


図 2 ガレキ吸引装置

- ・重量：約 22t（ガレキ回収前）
- ・ガレキ吸引能力（小ガレキ 1 個）
- 寸法：約 250mm
- 重量：約 20kg

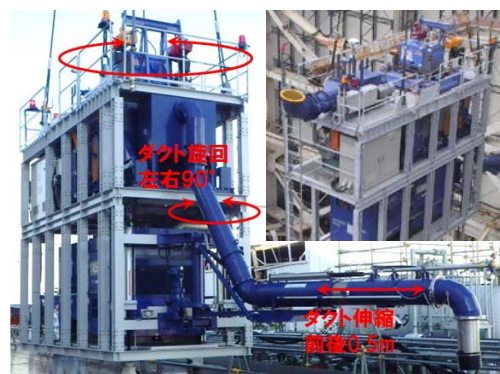


写真 3 ガレキ吸引装置



写真 4 小ガレキの吸引状況

4. 支障鉄骨撤去装置【 Hitokuchi 】の開発

4-1 背景

前章で述べた原子炉建屋最上階の外周の残存鉄骨には、小ガレキだけではなく、折れ曲がった鉄骨や配管等が引っかかっており、ミスト散布装置を残存鉄骨に引っ掛ける計画の障害となっていた。このため、これらを撤去する装置を開発した。

4-2 開発のポイントと対応

開発のポイントは以下に示す通りである。

- ①撤去時・切断時に撤去対象物を落下させないこと
- ②細かな位置合わせができること
- ③狭隘部でも安全に作業できること

写真 5～写真 7 に装置全景、切断ツール及び把持ツールの概要を示す。①については、鉄骨の切断ならびに確実な把持力を確保するために油圧駆動方式を採用し、切断ツールにも把持機能を設けた。200kg までのガレキの保持・切断が可能とした。②、③については、装置上部に旋回制御装置を具備することで、クレーンでの大まかな位置決めと方向制御を可能とした。また、装置のアーム部分から先に 5 つの自由度を設けることで、最適な姿勢でのアプローチを可能とした。更に、全体の機器構成を縦型とすることで、残存鉄骨コーナ部等の狭隘部での作業も可能とした。

装置各所にカメラを合わせて 6 台装備しているが、それでもクレーンオペレータが対象物と装置の距離感をつかむことは極めて難しい。今回の作業では、高い安全性と精度が要求されるため、本装置に並行して盛替可能な昇降式俯瞰カメラを合わせて開発した。本カメラは、作業部位の位置に合わせて設置し、対象作業の高さに合わせて高さを変えて俯瞰した画像を取得できるので、対象部位への衝突を回避しつつ、把持、切断作業が効率的に行えた。あわせて、クレーンオペレータの負荷が大きく軽減された。

5. おわりに

建屋カバーの屋根パネルを撤去し、更にミストノズルユニットに干渉する小ガレキの吸引、鉄骨や配管等の撤去後、写真 8 に示す通り原子炉建屋オペフロ既存鉄骨にミストノズルユニットを設置した。

今後も作業員の被ばく低減に資する省人化・無人化機器を活用し、廃炉に向け安全・着実に作業を進めていく。



写真 5 装置全景
(クレーンで吊り下げて使用)
重量： 約 18t
駆動装置： 油圧



写真 6 切断ツール



写真 7 把持ツール



写真 8 ミストノズルユニット設置状況
(東面) (東面 7 箇所、西面 6 箇所)

* Itaru Kurosawa¹, Shinichi Kajinami¹, Shinobu Yamazaki¹, Yuichi Tukahara¹ and Yutaka Hirose¹, Hideo Kinoshita²

¹ Shimizu Corporation, ² Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc