

## 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<sup>1</sup>， \*井上 隆司<sup>1</sup>， 林 弘忠<sup>2</sup>， 西岡 信博<sup>2</sup>， 松岡 一平<sup>3</sup><sup>1</sup>鹿島建設株式会社，<sup>2</sup>東芝，<sup>3</sup>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)

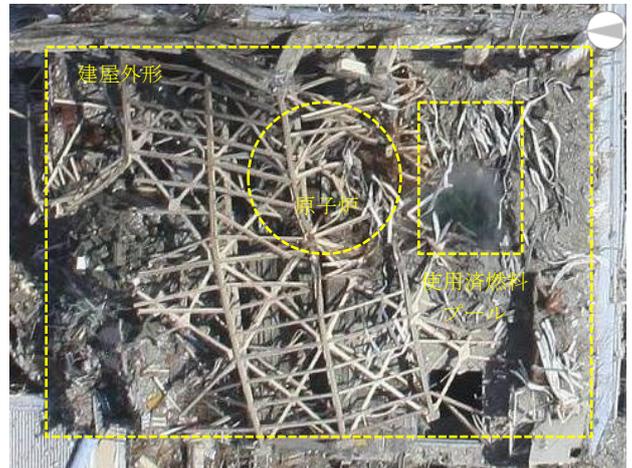


図2 オペフロ上部状況 (事故当時)

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。

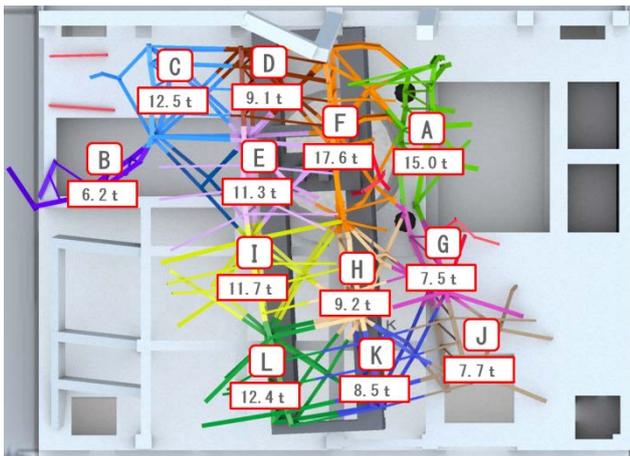


図3 屋根トラス解体ブロックモデル

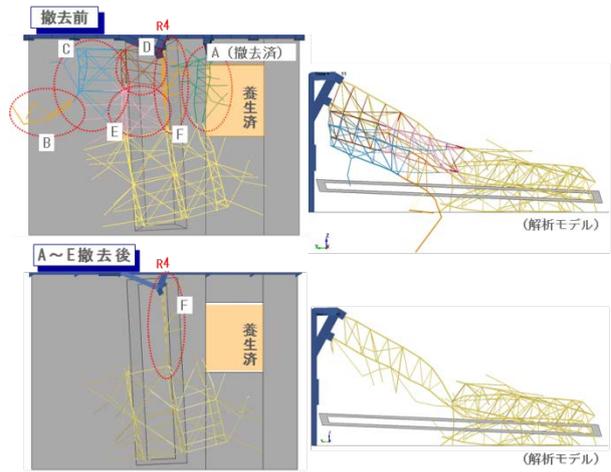


図4 屋根トラス解体シミュレーション

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：15t  
自重：3.7t

油圧ペンチ (吊下げ)



最大把持能力：500kg  
自重：4.0t

油圧グラブバケット (吊下げ)



容量：3m<sup>3</sup>  
自重：5.0t

ZX330カッター機 (吊下げ)



↑ショートアーム  
←ロングアーム

自重：38t(ロング)  
25t(ショート)

ZX480 (解体用油圧重機)



ツーピースブーム仕様  
自重：59t

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つたため、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)

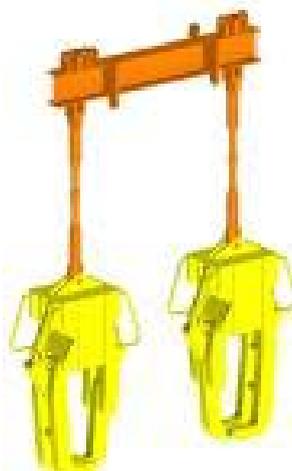


図8 燃料交換機撤去ツール

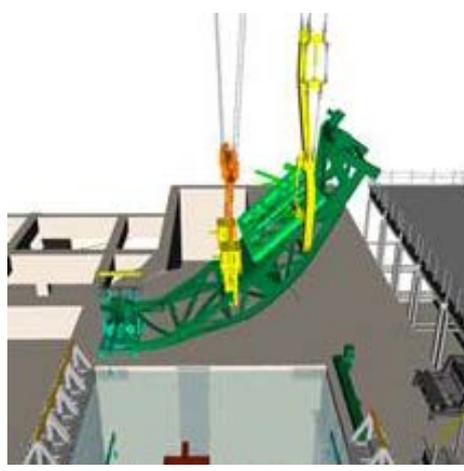


図9 燃料交換機吊上げシミュレーション



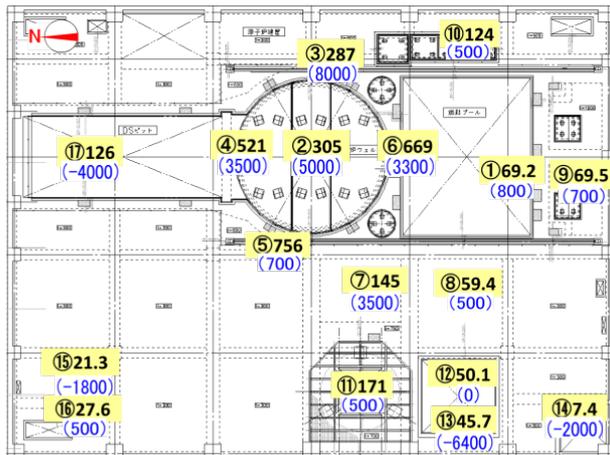
図10 燃料交換機吊上げ写真

### 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)

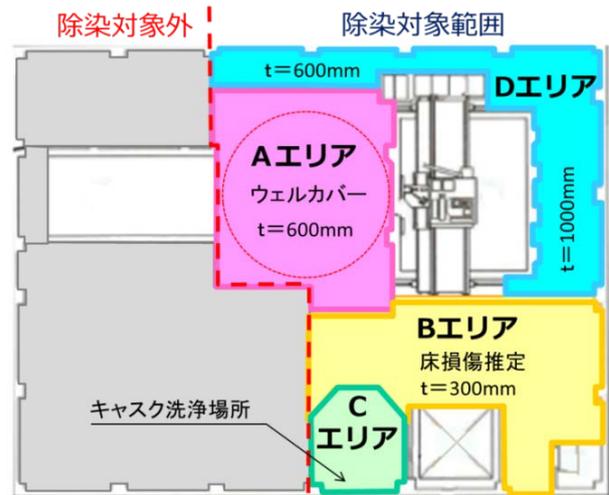


図12 除染対象エリアとエリア区分

#### 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	浸透	浸透	表層	表層
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 多少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。

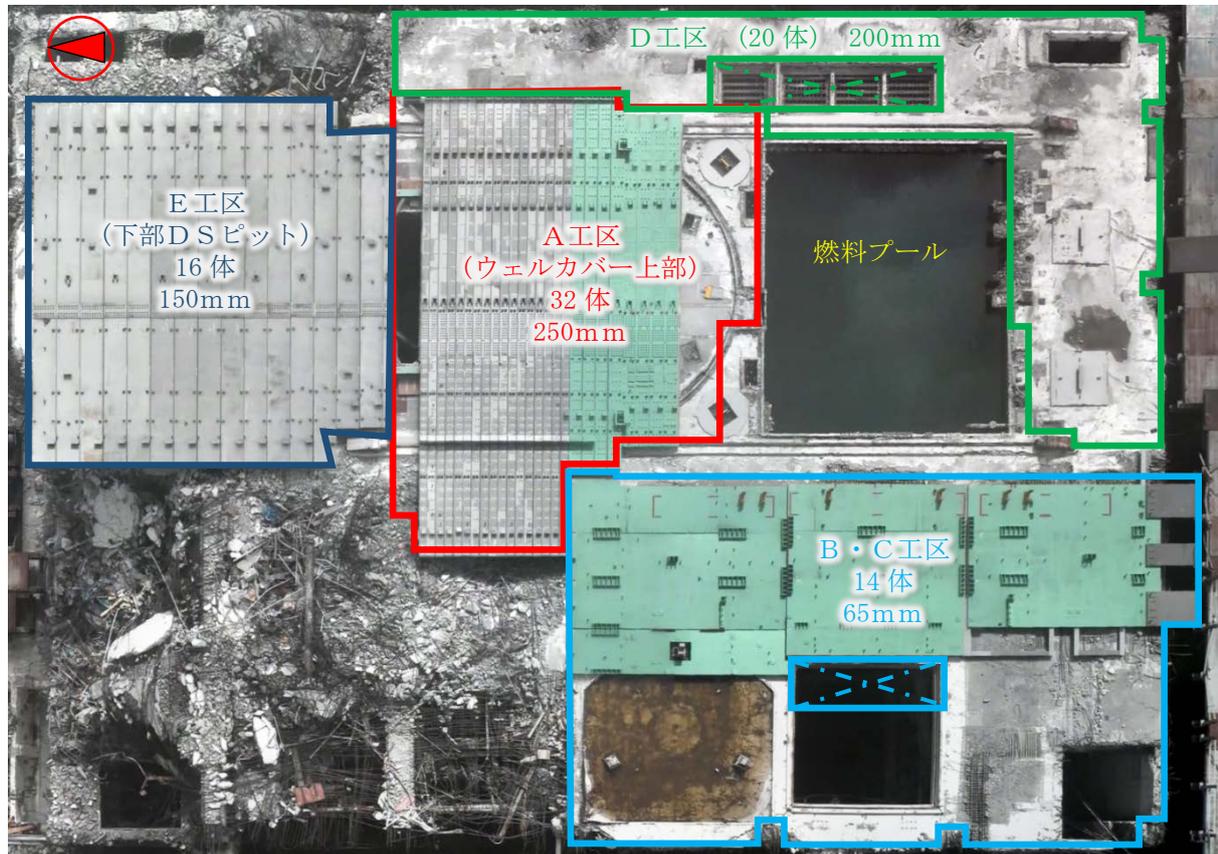


図 15 遮蔽体配置・設置状況

遮蔽体は全て遠隔化施工での設置が必要のため、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 Okada<sup>1</sup>, \*Takashi Inoue<sup>1</sup>, Hirotsada Hayashi<sup>2</sup>, Nobuhiro Nishioka<sup>2</sup>, Ippei Matsuoka<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kajima Corp, <sup>2</sup>Toshiba, <sup>3</sup>TEPCO