

福島第一原子力発電所 3号機原子炉建屋 オペレーティングフロアの除染方法・除染作業の振り返り

2016.08.25

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

はじめに

TEPCO

- 3号機原子炉建屋オペレーティングフロア（以下、オペフロ）の除染は、2013年11月に着手し、2016年6月に完了した。
- 3号機のオペフロ除染は、屋外で大規模な除染を行った初めての試みであったことから、今後の後続号機における除染計画立案等の一助となすことを目的に、除染方法・除染作業等について振り返りを行うものである。



大型ガレキ撤去着手前のオペフロ（撮影日2011年3月24日）



大型ガレキ撤去完了後のオペフロ（撮影日2014年1月31日）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

【除染計画】

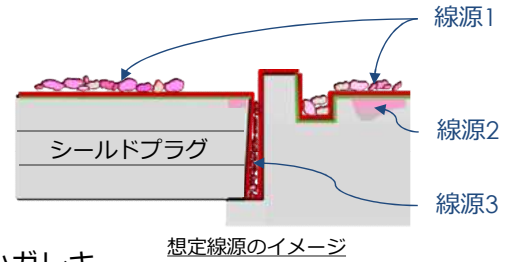
■ 燃料取出工程のクリティカルにならぬよう、2012年3月、大型ガレキ撤去と並行して検討着手した。

● 除染方法・開発方針

- 除染方法は吸引・はつり・高圧水など各種の**既往技術**を単一あるいは複数の方法を組み合わせて合理化すること。
- 除染装置は高線量下を踏まえ遠隔操作式とすること。
- 除染装置は床の形状や床の損傷状況に対応できること。

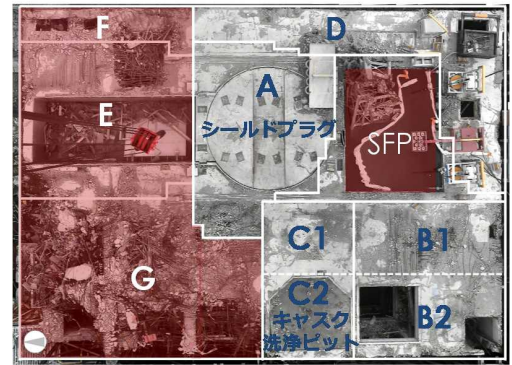
● 除染対象となる線源の想定

- 線源1：オペフロ床に散在する小ガレキ
- 線源2：オペフロ床表層に浸透した汚染源
- 線源3：シールドプラグ縁の隙間等(狭隘部)に堆積した小ガレキ



【実施概要】

- 床の状況に応じて除染エリアを工区分けし、工区毎に除染装置(P3)を選定し、2013年11月に除染着手した。
- 除染過程で、十分に線源除去できない箇所を確認したことから、当該箇所に対応する除染装置(P4)を追加開発した。
- また、除染作業の効率を高めるため、集積アタッチメント(P7)等を追加製作した。
- 2016年6月、全工区の除染が完了した。



除染工区（撮影日2014年1月31日）

除染装置(1/2)

名称	I	II	III	IV
外観				
実施工区	全工区		A	A・B1・B2・C1（床損傷部・狭隘部） ＜床損傷部＞ ・クラックまたは多少の凹凸箇所 ＜狭隘部＞ ・シールドプラグ縁の隙間等
除染方法	集積	吸引	機械式はつり (はつり肩吸引機装備)	高圧水はつり、水ジェット (はつり水吸引機装備)
除染対象	線源1 (100～300角)	線源1 (100角未満)	線源2	線源2 線源3
操作	自走式			定置式

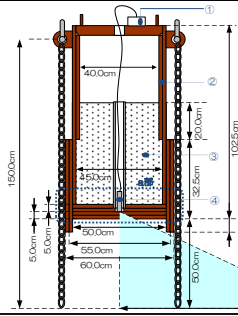
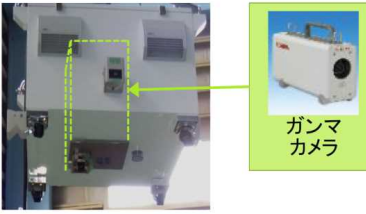
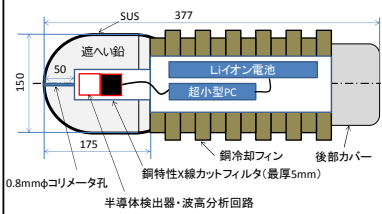
線源1：オペフロ床に散在した小ガレキ 線源2：オペフロ床表層（浸透汚染） 線源3：狭隘部に堆積した小ガレキ

名称	V	VI
外観		
実施工区	B 1	C 2
除染方法	吸引	酸性泡剤による錆部溶解およびキレート剤によるCs吸着
除染対象	線源3 (床コンクリート欠損により露出した鉄筋間に堆積した小ガレキ)	線源4 (キャスク洗浄ピット 金属板ライニング)
移動	定置式	クレーン吊

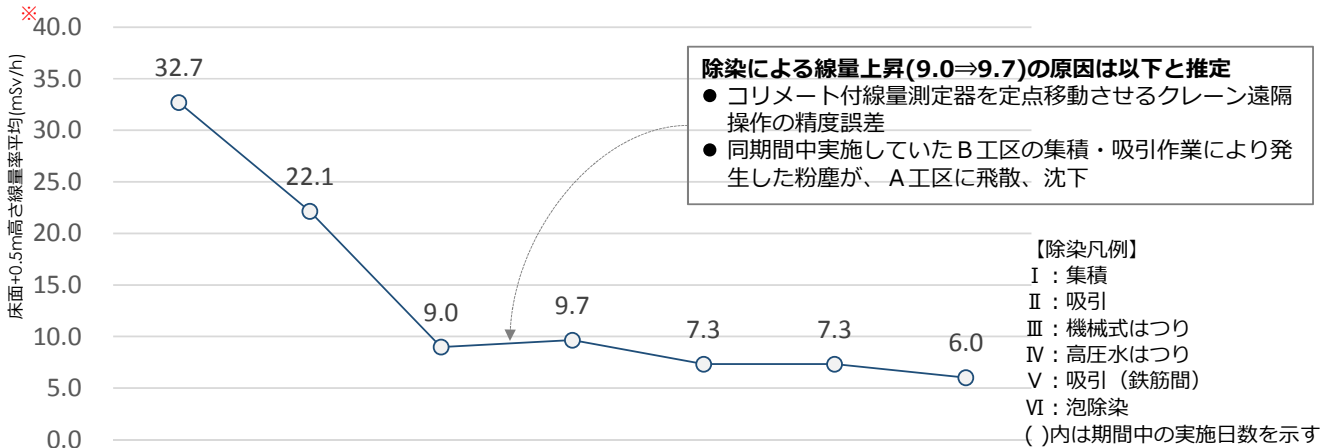
線源3：狭隘部に堆積した小ガレキ 線源4：金属表面に生じた錆

除染効果の確認方法

- 当初「①コリメート付線量測定」と「②γ線カメラ」を組み合わせることで除染効果を確認した。
- 除染進捗に伴い、各工区とも除染効果（線量低減量）が減少してきたことを「①」で確認し、除染継続の要否を確認するため「③γ線スペクトル測定」を2015年10月に実施した。
- 「③」の結果から、オペフロ上の線量は**散乱線の寄与が大き**く、**主要線源はオペフロ表面ではなく建屋内部にある**と推定でき、除染から遮へいに移行する段階にあると判断した。

線量低減確認方法	①コリメート付線量測定	②γ線カメラ撮影	③γ線スペクトル測定
外観イメージ			
目的	オペフロ床面高さ+0.5mにおける線量率を130点測定して、工区毎の除染効果を確認すること。	①の4m間隔の定点測定では捉えることができないホットスポットを検知すること。	オペフロの線量に寄与する核種を同定するとともに、主要な線源がオペフロ表面にあるか否かを評価して除染の要否を判断すること。
実施時期	除染期間①～⑥(P6,11,12)の終了時	2013年11月、2014年3月/7月 2015年2月、2016年3月	2015年10月20日～21日

- 複数の除染装置を用いることにより、床面+0.5m高さでの線量率平均が約81%(32.7⇒6.0)低減した。
 - 期間①②と比べて③以降は線量低減効果が減少した。
 - 期間①②においてⅢ(機械式はつり)を実施したが、作業開始前にダスト飛散抑制対策として実施した飛散防止剤散布により対象箇所が湿潤状態となり、はつり屑の吸引回収が十分に行えなかったため、はつり屑の回収はⅡ(吸引装置)を併用した。



測定日	H25/11/6	H26/4/1	H26/11/22	H27/1/8	H27/6/25	H27/8/21	H28/3/11
除染期間	①	②	③	④	⑤	⑥	
除染内容	I・II(3) III(8),IV(6)	II(7),III(2)	I(3),II(2)	II(6)	—		II(7)

※コリメート付線量測定器検出部の遮へいにより実際の線量率はグラフ中の数値（指示値）の約10倍の値となる

除染作業中に生じた課題と改善策

- 除染装置に関する課題およびその改善策の代表例は以下の通り（詳細P13～15）。
 - 集積装置(I)は、アタッチメントアーム稼働範囲の制約上、床面に凹凸があると集積できない箇所があった。このため、**ブラシ状**、**熊手状**等の集積アタッチメントを追加製作した（左図）。
 - 吸引装置(II)は、瓦礫には100角を超えるものも混在していた為、吸引ホースが詰まるがあった。このため、吸引ノズルについて、**径が吸引ホース径より小さいもの（異外径配管）**に取り換えた（右図）。



集積アタッチメント（ブラシ状）



吸引アタッチメント（異外径配管）

【装置開発】

- 集積装置および吸引装置の仕様は対象ガレキの形状および大きさに依存するため、可能な限りガレキ状況調査を事前に行うことが望ましい。また、床面の損傷状況やガレキ形状等、幅広く想定し、**複数のアタッチメントを用意することも有効**と考えられる。

【除染方法】

- 集積・吸引作業では、機械式はつり等を完了した隣接する工区を再汚染させた可能性があった。オペフロ全面にて集積・吸引作業を実施した後、次工程のはつり作業等に移行することが望ましい。
- 金属表面に生じた錆に対して**泡除染は有効**と考えられる。
- 作業前、オペフロに飛散防止剤を散布した**湿潤状態**では、**機械式はつり装置の吸引能力が大幅に低下**した。飛散防止剤は、1ヶ月以上効果が継続することを確認しており、除染作業では**作業前の飛散防止剤を散布する必要性は低い**と考えられる。
- 除染作業において作業前に散布した飛散防止剤が**床面の窪みに集まり、層状に固化した箇所**の除染は**困難**であり、飛散防止剤を化学的に剥離する方法等を用いる必要があると考えられる。

【除染効果の確認】

- 除染効果の確認は、目的に合わせた測定方法・装置を用いる。

考察②（後続号機におけるオペフロ除染手順(案)）

①集積・吸引作業は、小ガレキの線量寄与を小さくする、および他工区への飛散による汚染回避の観点から工区毎ではなく、オペフロ全工区に対し行う。

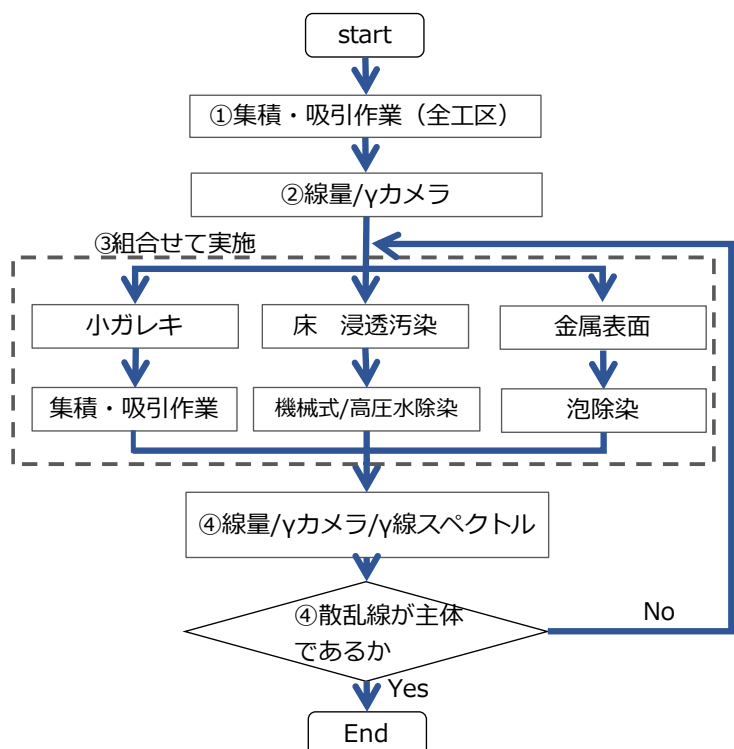
②コリメート付線量測定による集積・吸引効果の確認、および、γ線カメラによるホットスポット線源の特定を行う。

③「手順②」で特定したホットスポット線源について、以下の除染を実施する。

- 小ガレキ : 集積吸引
- 浸透汚染 : 各種はつり
- 金属表面の錆 : 泡除染

④浸透汚染箇所等の除染後、線量測定を行い、線量の低減傾向を確認すると共にオペフロ面のγ線スペクトルの結果が散乱線主体と判断できる状況（もしくは線量測定で目標線量を達成）であれば、オペフロ除染を完了する。

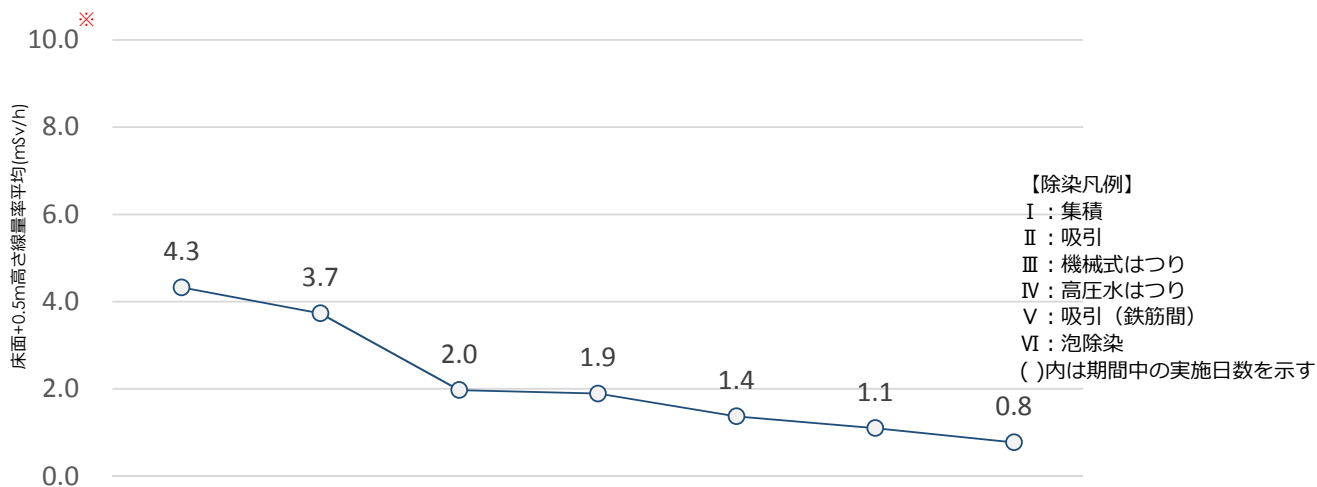
⇒遮へい体設置へ移行



参 考 資 料

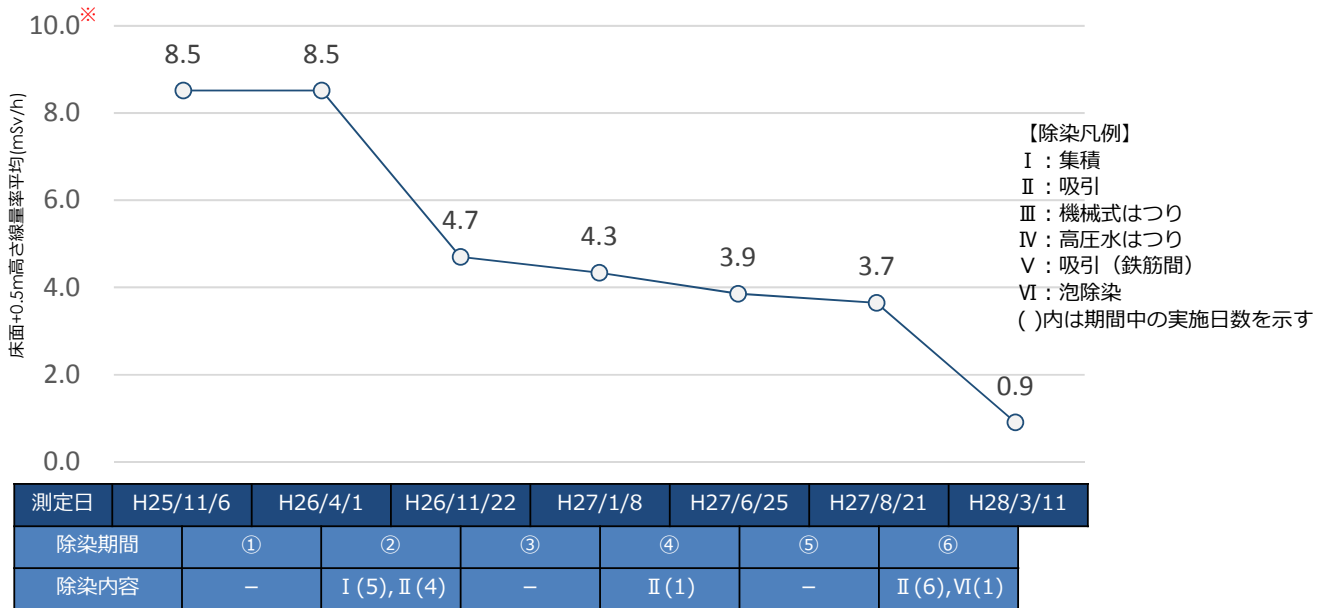
除染実績の例（B1工区 床面+0.5m高さ線量率平均）

- 複数の除染装置を用いることにより、床面+0.5m高さでの線量率平均が約81%(4.3⇒0.8)低減した。
 - 期間②では1.7mSv/h低減したが、その他の期間では1mSv/h未満の低減となった。
 - 期間①②においてⅣ(高压水はつり)を実施したが、はつり水が、床面の凹凸により導水してしまい、吸引回収できなかった。このため、③以降はⅣを用いずⅡおよびⅤ(吸引)で対応した。



※コリメート付線量測定器検出部の遮へいにより実際の線量率はグラフ中の数値（指示値）の約10倍の値となる

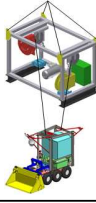
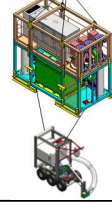
- 複数の除染装置を用いることにより、床面+0.5m高さでの線量率平均が約89%(8.5⇒0.9)低減した。
 - 期間②ではガレキ吸引に加えて、キャスク洗浄ピットの溜まり水を吸引除去した。
 - 期間⑥ではⅡ(キャスク洗浄ピットに堆積した汚泥吸引)、および、Ⅵ(泡除染)を実施した。
 - **Ⅵは金属ライニング表面に生じた錆に対して有効と推察される。**



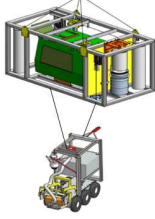

※コリメート付線量測定器検出部の遮へいにより実際の線量率はグラフ中の数値(指示値)の約10倍の値となる

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

除染作業中に生じた課題と改善策【装置 I、II】

名称	I	II
外観		
除染方法	集積	吸引
除染対象	線源1	線源1
課題	【走行性】3号機オペフロ床面は損傷や小ガレキによる凹凸が著しく、走行範囲が限定された。 【集積性】アタッチメントアーム稼働範囲の制約上、床面に凹凸があると集積できない箇所があった。	【走行性】同左 【吸引性】瓦礫には100角を超えるものも混在していた為、吸引ホースが詰まることがあった。 【保守性】飛散防止剤が吸引ノズルに付着し、吸引ノズルが高線量化した為、メンテナンス時の作業員被ばくが増加した。
改善策	【走行性】著しい凹凸箇所はクレーン吊りで移動させた。 【集積性】床面への追従性を上げるために、ブラシ状、熊手状等の各種追加アタッチメントを製作した。	【走行性】クレーン吊りの状態で操作する、補助コンテナ機構を新規開発し、使用した。 【吸引性】吸引ノズルについて、径が吸引ホースより小さいもの(異外径配管)に取り換えた。 【保守性】吸引ノズル等の高線量化に対し従来のホースバンド止めをワンタッチカブラーに置き換える等の対策を行い、ユニット化による交換作業時間の短縮を図った。

線源1：オペフロ床に散在した小ガレキ 線源3：狭陰部に堆積した小ガレキ

名称	III	IV
外観		
除染方法	機械式はつり(はつり屑吸引機装備)	高圧水はつり・水ジェット(はつり水吸引機装備)
除染対象	線源2	線源2 線源3
課題	【走行性】 I と共通 【集積性】 作業開始前にダスト飛散抑制対策として、飛散防止剤を散布(湿潤状態)した状態では、はつり粉塵を吸引する能力が大幅に低下した。	【集積性】 床面の凹凸により、水が周囲に流れてしまい、はつり粉塵を回収する能力が大幅に低下した。 【操作性】 冬季に水配管やノズルが凍結した。
改善策	【集積性】 「装置 II」で対応した。	【集積性】 「装置 II」で対応した。 【操作性】 保温材を追加するとともに、運転終了後に水抜きする運用で対応した。

線源2：オペフロ床表層（浸透汚染） 線源3：狭隘部に堆積した小ガレキ

名称	V	VI
外観		
除染方法	吸引	酸性泡剤による錆部溶解、キレート剤によるCs吸着除去
除染対象	線源3	線源4
課題	特になし B1工区露出鉄筋間のガレキ吸引用に小口径ノズルを採用しており、ノズルの微少移動⇒静止⇒吸引を繰り返すため、対象規模によっては工程短縮の観点から複数台並行稼働について検討することが望ましい。	特になし 廃液は、中和剤を用いて中性化した後、回収した。なお、壁面等を対象とする場合は液垂れに関して泡除染剤散布方法および廃液回収方法の検討を要する。
改善策	—	—

線源3：狭隘部に堆積した小ガレキ 線源4：金属表面に生じた錆