

日本原子力学会「水化学部会」第24回定例研究会

福島第一原子力発電所の環境改善活動と技術開発

2015年 6月 15日

株式会社 東芝
原子力化学システム設計部
化学システム設計第4担当

酒井 仁志

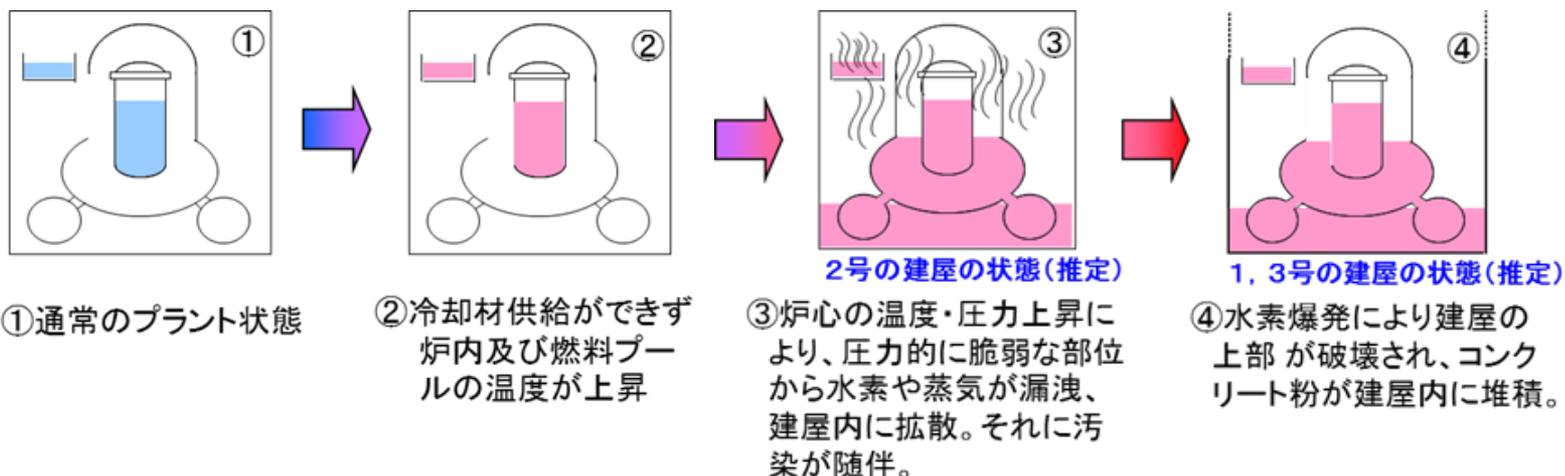
1. 概要

震災以降、福島第一原子力発電所の除染工事や国プロにおいて、活動した内容について紹介します。

年度	2011	2012	2013	2014	2015
除染工事					
2号機原子炉建屋1階除染工事			■		
3号機原子炉建屋1階除染工事			■		
3号機原子炉建屋オペフロ除染工事			■		
国プロ「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」		フェーズ1	フェーズ2	フェーズ3	
	■		■	■	

2. 原子炉建屋内の汚染状況

原子炉建屋内の汚染の移行経路の推定



原子炉建屋内の汚染の分類

飛散した汚染の降り積もり(遊離)	汚染蒸気にはく露(固着・浸透)	滞留水に浸漬(固着・浸透)
エポキシ塗装されているコンクリート床面に、コンクリート破砕層が降り積もり	エポキシ塗装されているコンクリート床面が、汚染蒸気や凝縮水に接触しその後乾燥	エポキシ塗装されているコンクリート床面に、滞留水が接触しその後乾燥
		

2. 原子炉建屋内の汚染状況

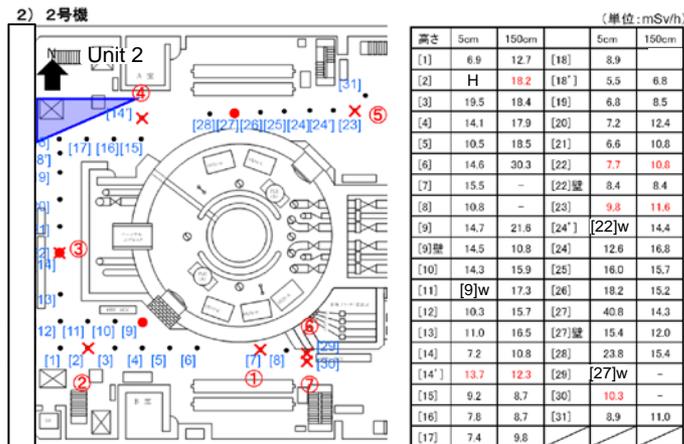
原子炉建屋1階通路部雰囲気線量率

遠隔操作ロボット(PackBot)に線量率計(高さ50mm,1500mm)を搭載し、1~3号機通路部の線量率を測定した。高さ1500mmの線量率は以下の通りであった。

- 1号機 3.2~8.9mSv/h(南側高線量率エリアを除く)
- 2号機 6.8~30.3mSv/h
- 3号機 15.8~124.7mSv/h
(2012年5月~6月測定)

ホットスポット

遠隔操作ロボット(PackBot)にγカメラを搭載し、線源(ホットスポット)調査を行った。主なホットスポットはペネ、HCU下部、3号機機器ハッチのレール部等であった。



線量率調査結果(2号機の例)

w: wall



線源調査結果の例
(3号機南側HCU)

「この成果は、経済産業省／発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費により得られたものです。」

2. 原子炉建屋内の汚染状況

汚染状況

1号機～3号機の原子炉建屋1階通路部の床、壁、機器表面から遊離性汚染サンプル(スミヤ等により採取)固着性汚染サンプル(ストリッパブルペイントにより採取)を採取した。

核種分析結果については号機毎の変動は少なく、大よそCs137 60%、Cs134 40%であった。

(2012年6月測定)

γ 線スペクトロメトリー測定による汚染核種の同定では、Cs134及びCs137が全号機において検出され、加えてごく微量のAg110mが1号機にて、同様にごく微量のAg110m,Sb125が2号機で検出された。



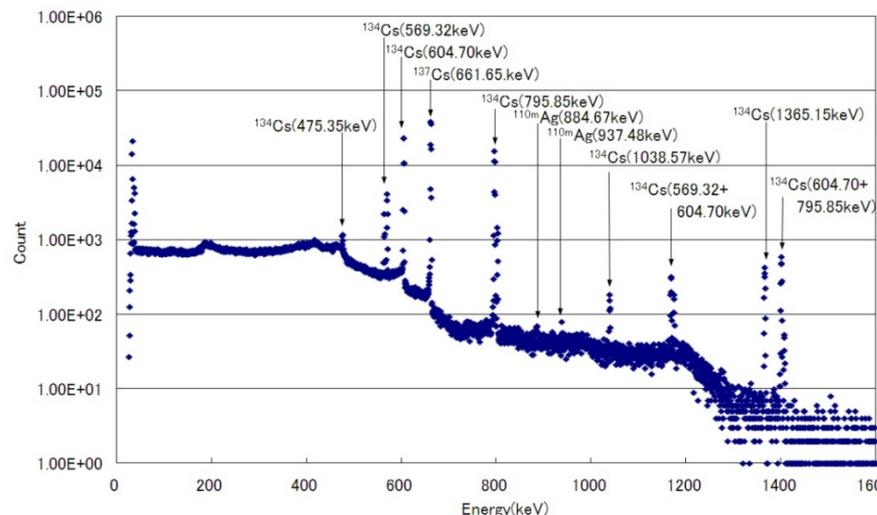
遊離性汚染サンプル



固着性汚染サンプル



コンクリートコアサンプル



γ 線スペクトロメトリー測定結果の例

「この成果は、経済産業省／発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費により得られたものです。」

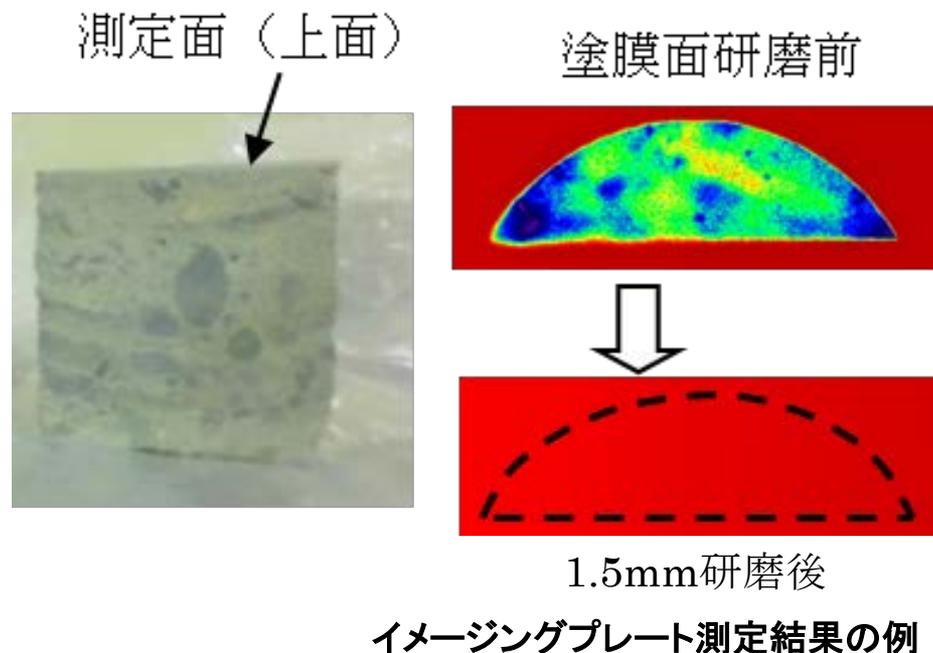
2. 原子炉建屋内の汚染状況

浸透汚染

コンクリートコアサンプルの断面、表面についてイメージングプレート測定（以下：IP測定）、 γ スキャン測定を実施した。全号機において汚染はコンクリートコアサンプルの塗膜（エポキシ樹脂）表面近傍に存在し、コンクリート内部（深さ方向）への浸透はなかった。

なお、塗膜（エポキシ樹脂）への浸透は、2号機が最大で約1mm程度であった。

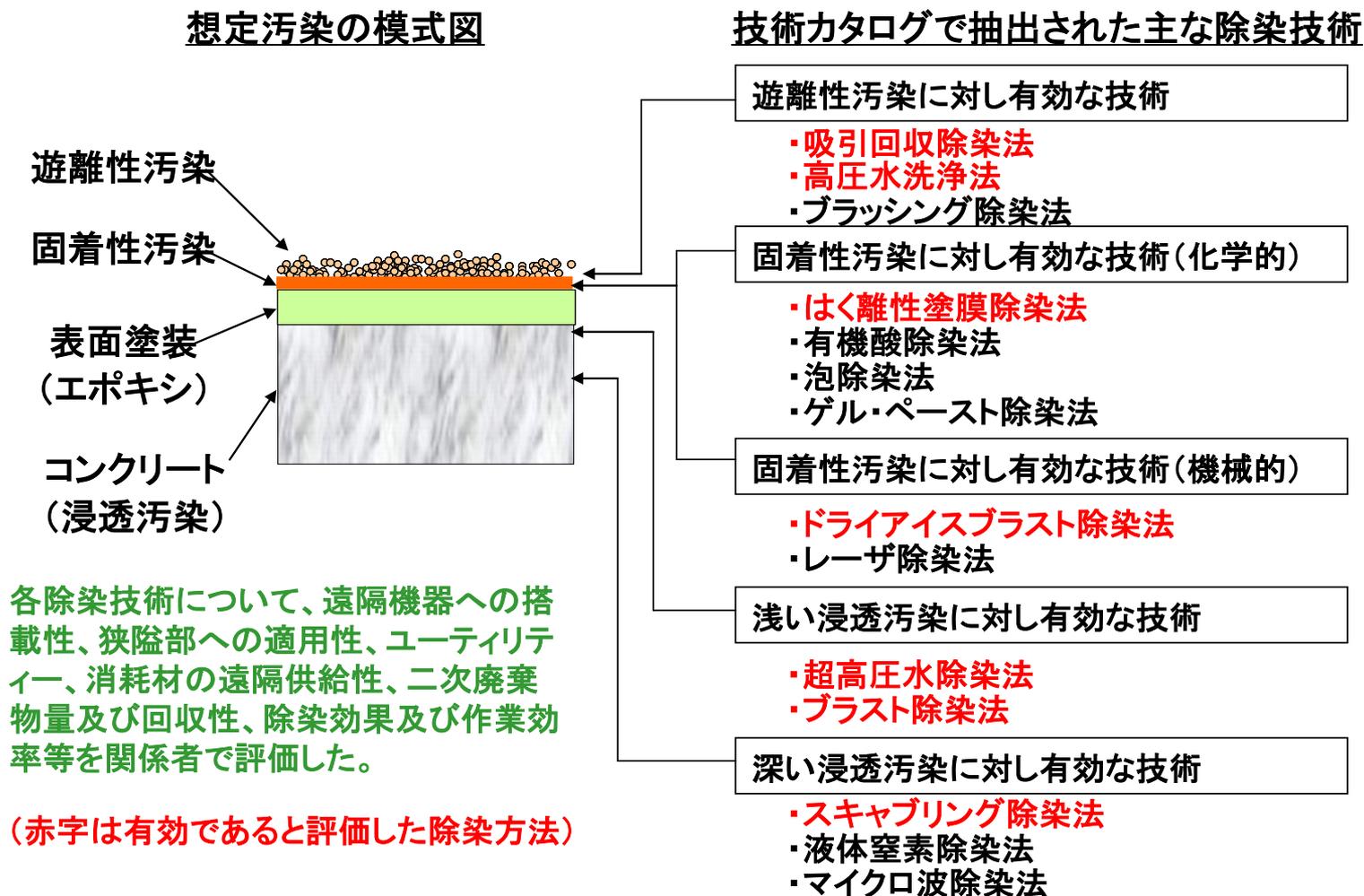
しかしながら、この汚染は、塗装表面のキズ等に入り込んだ汚染であり、塗装そのものに浸透したものではないことがわかった。



「この成果は、経済産業省／発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費により得られたものです。」

3. 除染技術の開発

除染カタログから抽出された除染技術を分類し、比較検討により、有効と考えられる除染技術を抽出した。東芝では、これらの技術のうち、固着性汚染の除去をターゲットとしたドライアイスブラスト除染法の遠隔除染装置を開発することとした。



各除染技術について、遠隔機器への搭載性、狭隘部への適用性、ユーティリティー、消耗材の遠隔供給性、二次廃棄物量及び回収性、除染効果及び作業効率等を関係者で評価した。

(赤字は有効であると評価した除染方法)

「この成果は、経済産業省／発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費により得られたものです。」

3. 除染技術の開発（ドライアイスブラスト除染）

■ 原理

・ドライアイスブラスト除染はドライアイスの粒子を噴射して除染する技術である。ドライアイスの粒子が衝突した際の衝撃力とドライアイス粒子が衝突時に直ちに昇華する際の膨張力により除染するものである。



■ ドライアイスブラストの特長

・航空機の塗装剥離を目的として開発された技術であり、塗装、油の除去に有効である。一方、金属母材の表面を研削するほどの衝撃力はなく、汚染が塗装表面に限定されている場合は有効である。また、スキマ部の汚染除去にも有効である。除染後のブラスト材は昇華してしまうため、ブラスト材に起因する二次廃棄物は発生しない。

ドライアイス粒子

■ 発電所での実績等

・工具類の除染や発電所床面、壁面の塗装剥離に使用した例がある。一般産業においては、航空機、戦闘機の塗装剥離、鋳造工場の金型清掃等に使用されている。

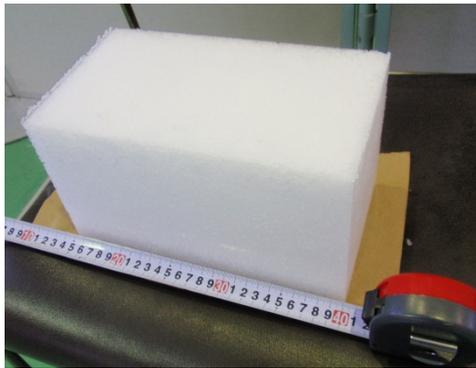
3. 除染技術の開発（ドライアイスブラスト除染）

建屋の汚染状態（エポキシ塗層されているコンクリート表面の汚染はエポキシ塗層に浸透している部分はわずかであり、ほとんどが表面に付着している。）、装置の遠隔操作性から、成型体研削型を選定した。

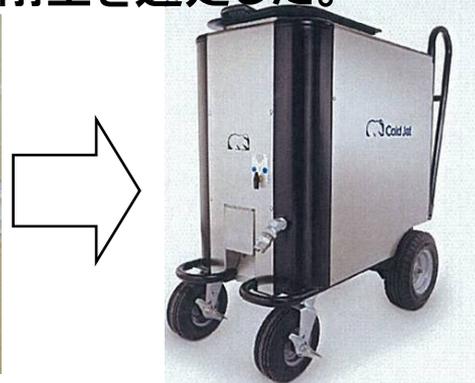


ドライアイス粒子
(約Φ3×3~10)

↓ 圧縮成型



ドライアイス成型体
(約□140×250)



ドライアイスブラスト装置
(粒子噴射型)

ドライアイス噴射圧力: ~0.7MPa
ドライアイス噴射量: 3.0kg/min
空気供給量: ~6.0m³/min



エポキシ塗層(グレー)を剥離可能

成型体研削型を選定



ドライアイスブラスト装置
(成型体研削型)

ドライアイス噴射圧力: ~0.5MPa
ドライアイス噴射量: 0.3kg/min
空気供給量: ~0.9m³/min



エポキシ塗層(グレー)の上に塗布した水性塗料(青: 固着性汚染模擬)を剥離可能

4. 遠隔除染装置の開発、実機適用

高圧水はつり装置



除染前の状況写真



除染後の状況写真



主な装置仕様
概略寸法: W8700×L3300×H19200mm(一体化吊上げ時の寸法)
概略質量: 約27ton
吐出圧: 245MPa
吐出流量: 20L/min
はつり速度: 4.3m²/時
はつり深さ: 5~10mm

4. 遠隔除染装置の開発、実機適用

小型遠隔除染装置（ラクーン）



外形寸法：L859×W470×H438mm
質量：53kg
散水高さ：～5m
最大異物通過径：～1mm
回収幅：300mm
洗浄圧力：17MPa

除染前の状況写真



除染後の状況写真



4. 遠隔除染装置の開発、実機適用

粉塵吸引装置



対象瓦礫：～φ20mm
外形寸法：L1200×W750×H1300mm
質量：350kg
回収容器容量：18L
動力：バッテリー
制御：遠隔無線

除染前の状況写真



除染後の状況写真



4. 遠隔除染装置の開発、実機適用

小瓦礫回収装置



除染前の状況写真



除染後の状況写真



対象瓦礫：φ20～150mm
外形寸法：L1830×W750×H1300mm
質量：400kg
回収容器容量：35L
動力：バッテリー
制御：遠隔無線

4. 遠隔除染装置の開発、実機適用

中所除染装置（ハスクバーナ）



ベース：遠隔解体ロボット：DXR140
外形寸法；W771×L1614×H854mm
質量；975kg
長アーム最大到達高さ：5m
除染治具：吸引ノズル、モップ

除染前の状況写真



除染後の状況写真



4. 遠隔除染装置の開発、実機適用

中所除染装置 (双腕台車)



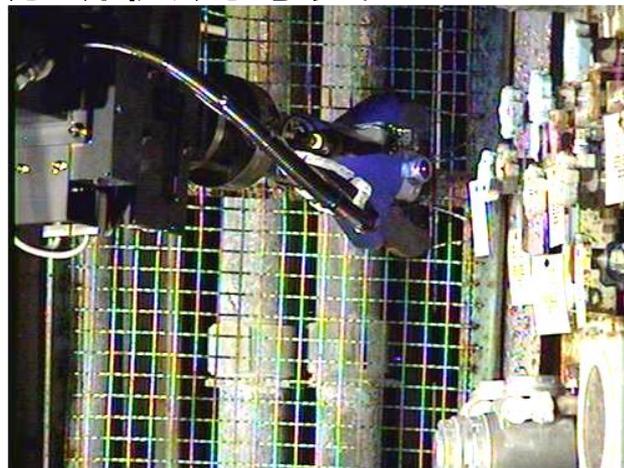
■仕様

- ・外形寸法：W850×L2300×H1800mm(アーム除く)
- ・重量：約2.6t
- ・登坂能力：20度(無負荷状態)
- ・乗り越え可能段差：約10cm
- ・構成：
 - 主アーム・・・長さ約3.6m、4軸、1本、
延長アーム／アタッチメント装着により各種作業実施
吊上げ搬送荷重：正面200kg、横面50kg
 - 補助アーム・・・長さ約1.8m、6軸＋ハンド1軸、2本、
ハンドを有し工具等を掴み作業実施
吊上げ搬送荷重：正面50kg
- ・主な機能：吸引、拭き取り、散水、干渉物の撤去(切断含む)
- ・監視設備：装置周辺監視設備、上方監視カメラ、他

計装ラック柵切断状況

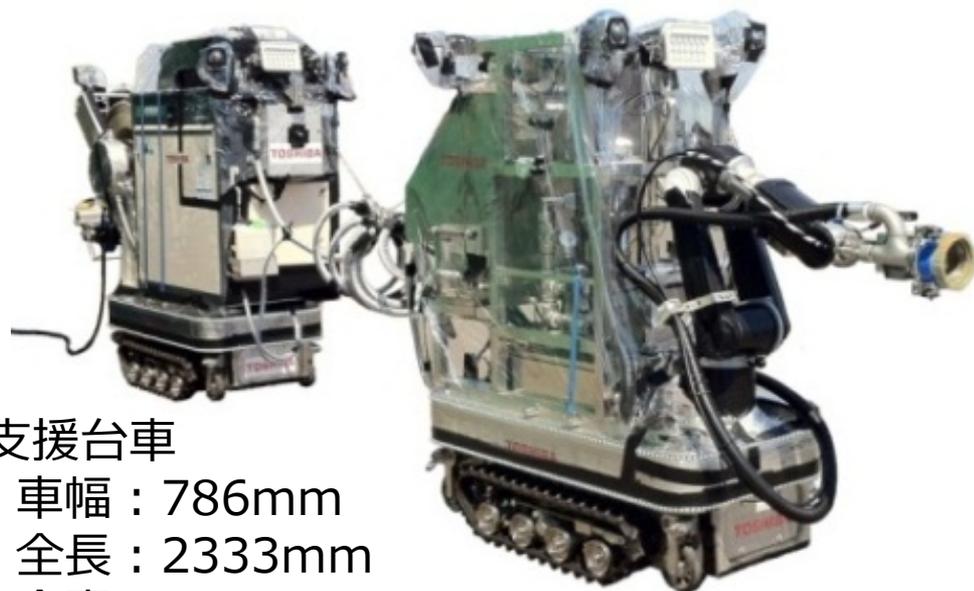


金網切断状況写真



4. 遠隔除染装置の開発、実機適用

低所用ドライアイスブラスト除染装置



支援台車

車幅：786mm
全長：2333mm
全高：1990mm
車重量：850kg

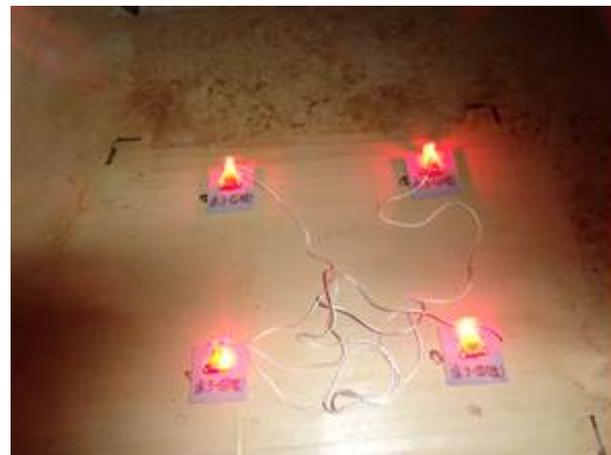
除染台車

車幅：923mm
全長：1460mm
全高：1841mm
車重量：580kg

除染前の状況写真

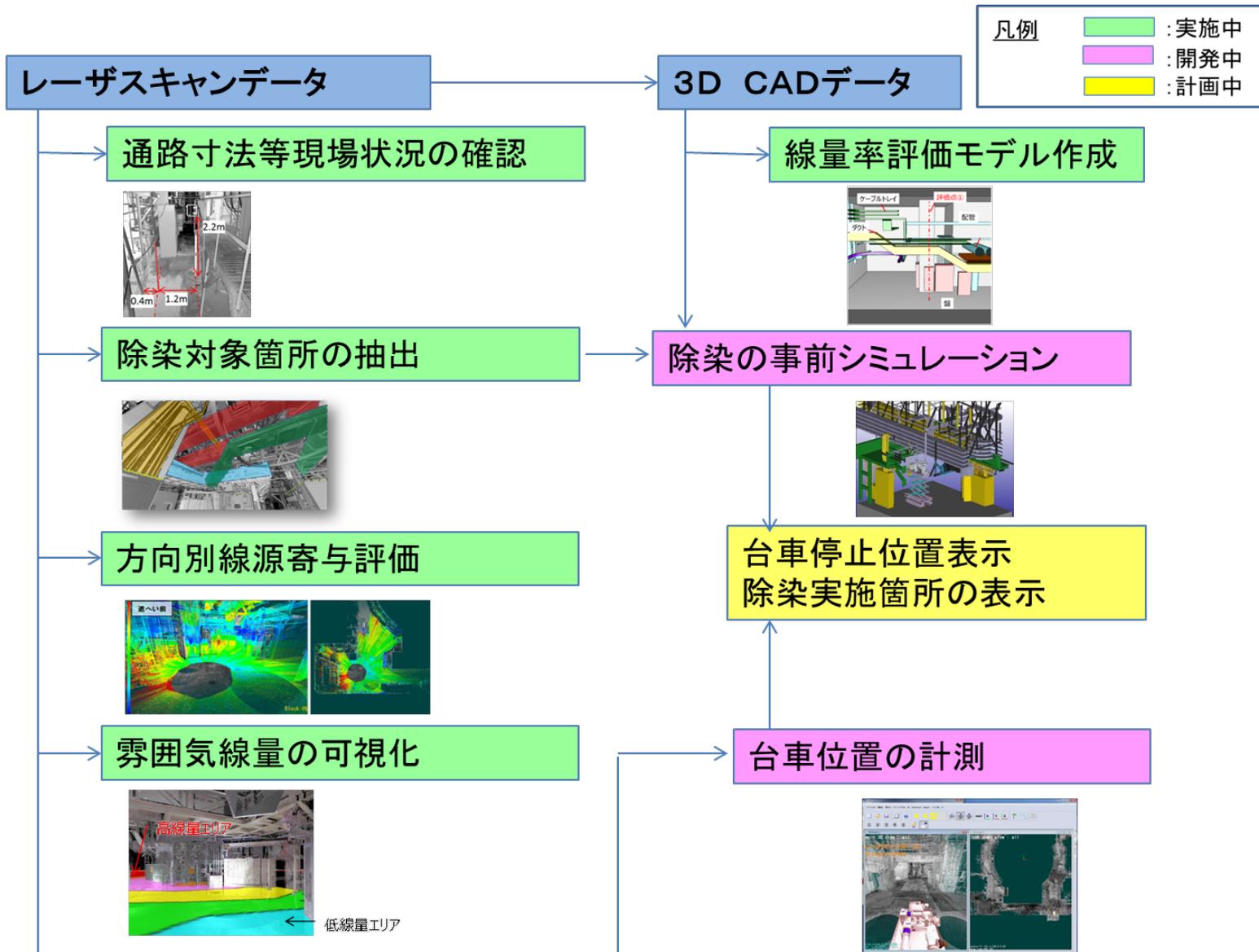


除染後の状況写真



「この成果は、経済産業省／発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費により得られたものです。」

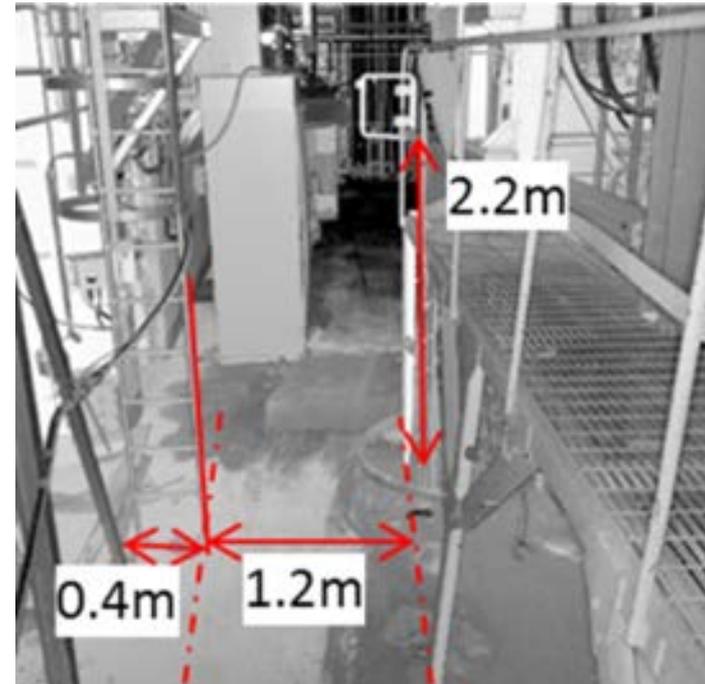
5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術



5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術

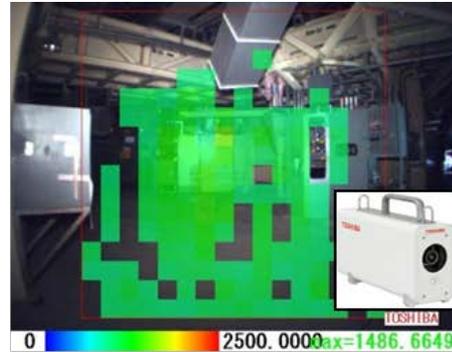
通路寸法等現場状況の確認

レーザースキャンによる3次元点群データにより、現場の状況や寸法の確認が可能である。



5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術

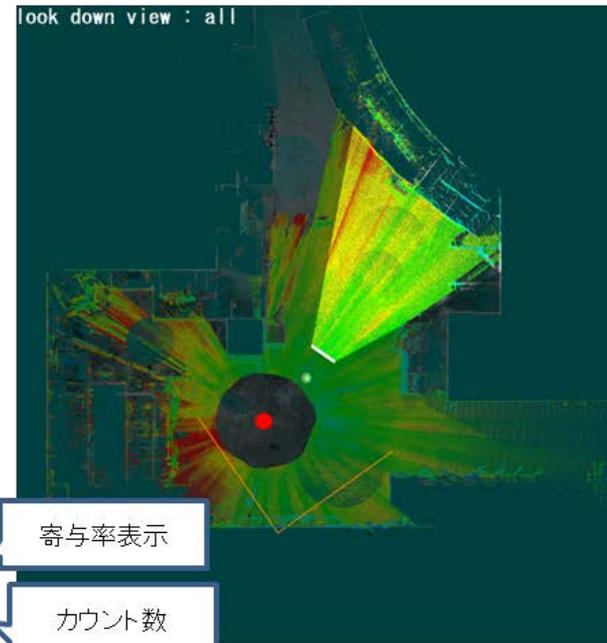
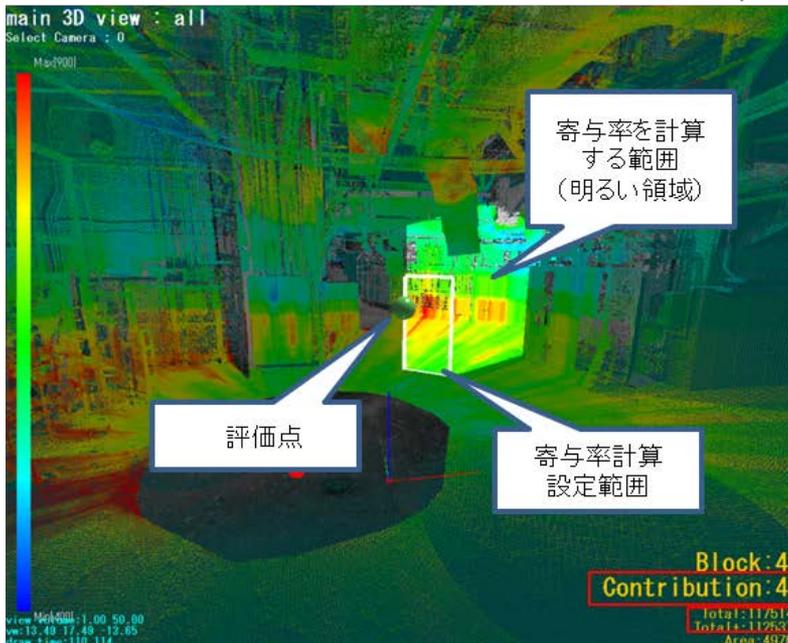
方向別線源寄与評価



ガンマカメラ画像

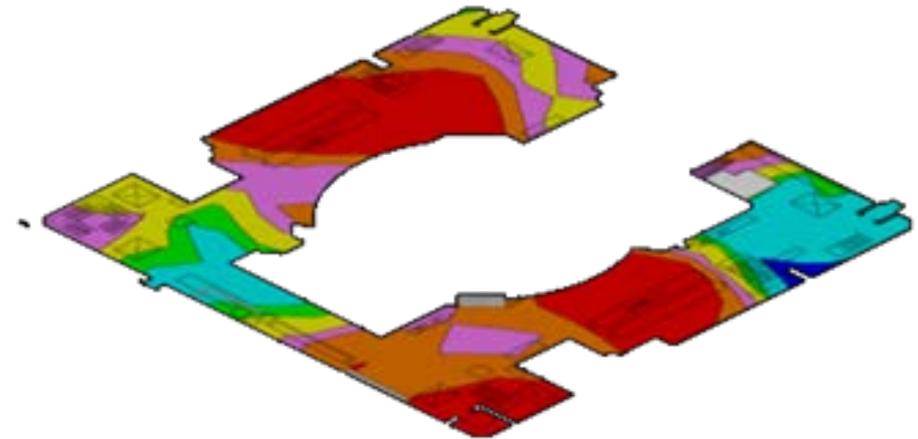


3Dレーザスキャンデータ



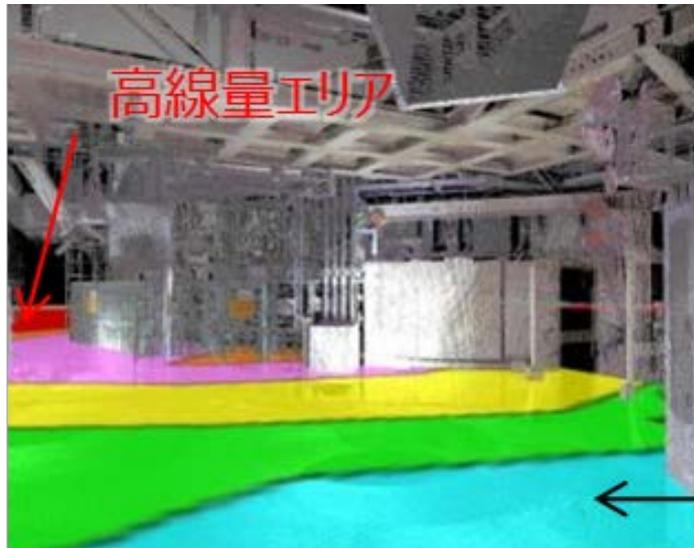
5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術

雰囲気線量の可視化



低線量

高線量



高線量エリア

低線量エリア

5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術

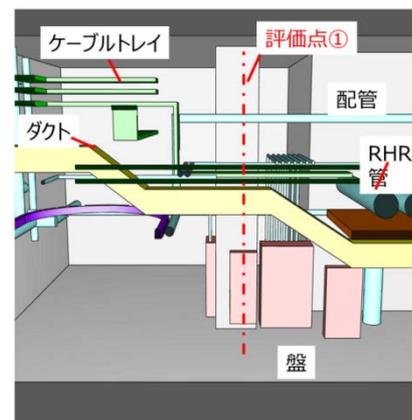
線量率評価モデル

2号機北西部での高所汚染分布、線量分布調査を実施。

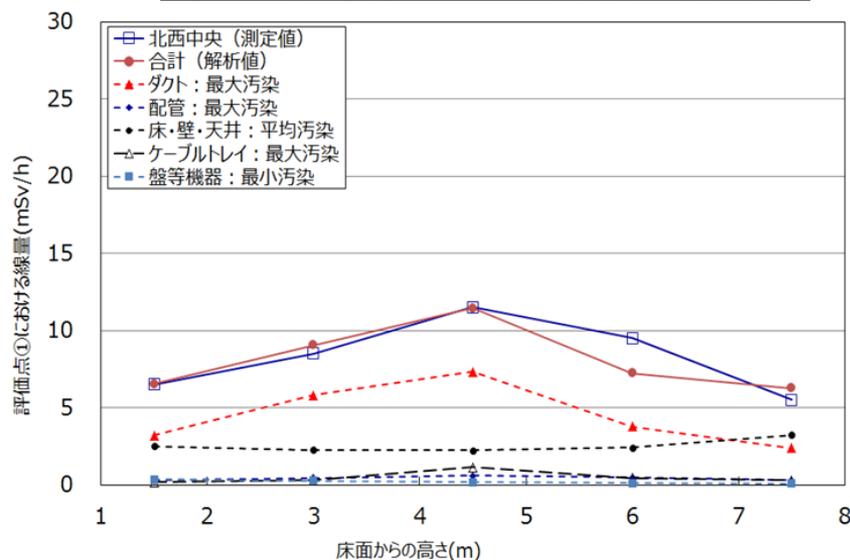
近傍機器のモデル化、機器表面汚染密度の推定値をモデル化。

高さ方向の線量分布について解析と実測が30%程度の誤差にて推定可能な評価結果を得た。

線量低減シミュレーションを実施可能な見通しを得た。



2号北西部の機器モデル化と評価点の位置概要

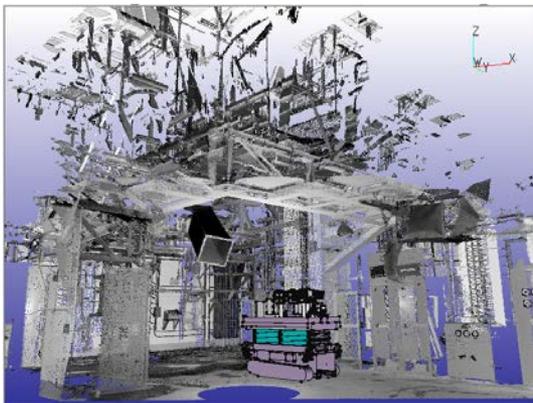


高さ方向(横軸)の線量分布の評価

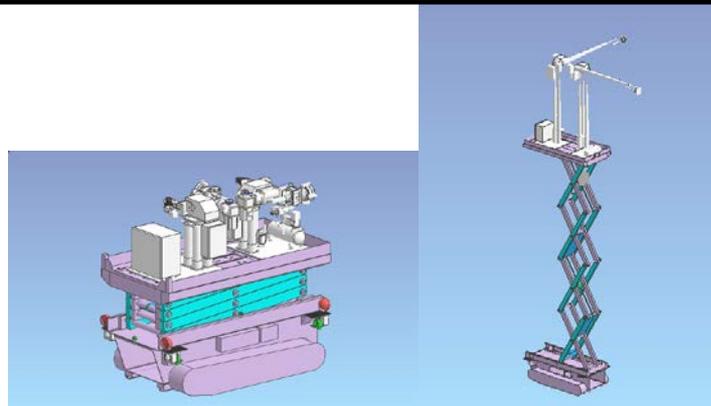
「この成果は、経済産業省／発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費により得られたものです。」

5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術

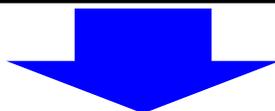
除染の事前シミュレーション



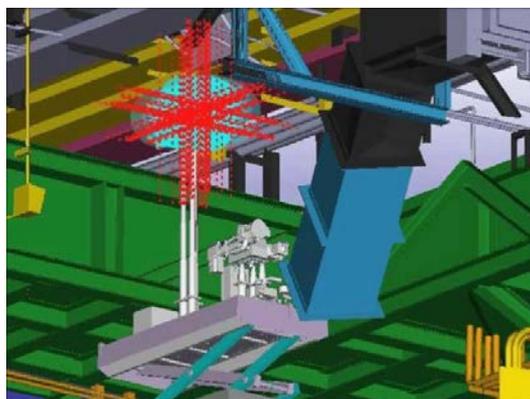
点群データ



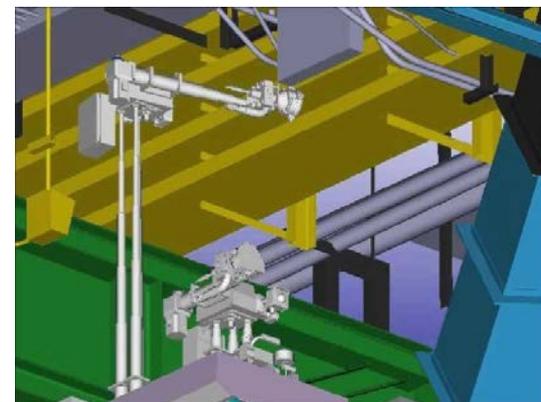
装置CAD



建屋内での装置動作

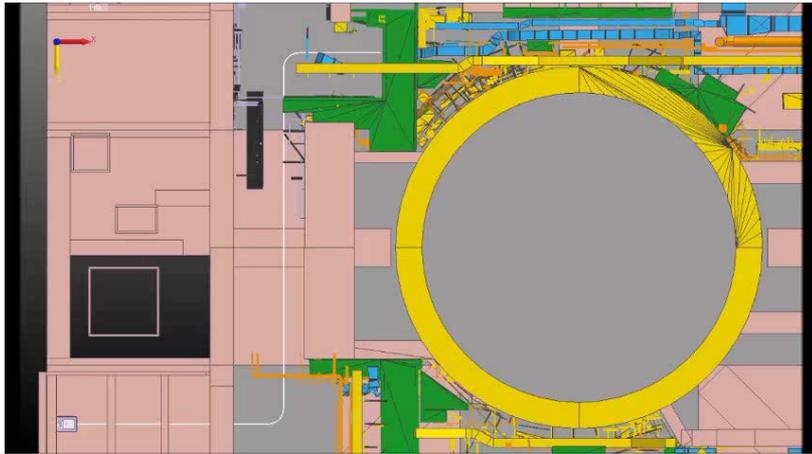


建屋との動的干渉確認

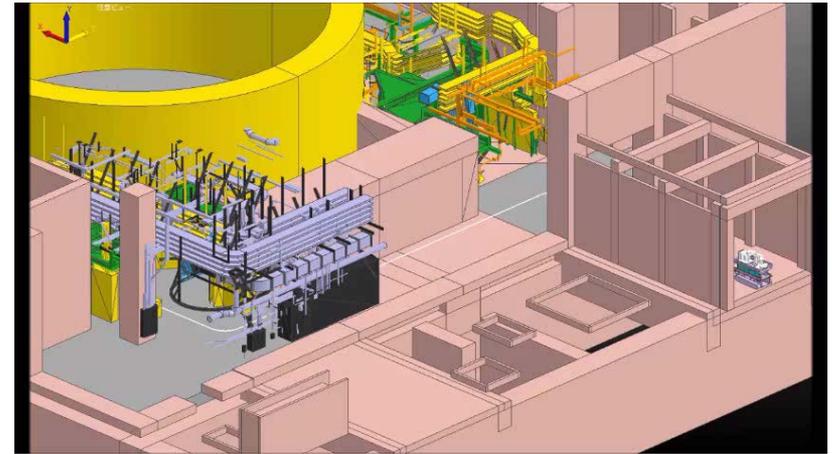


ケーブルダクト間の除染

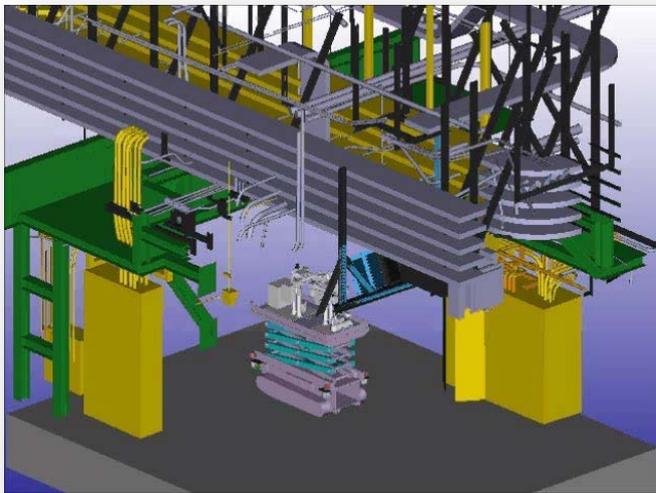
5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術



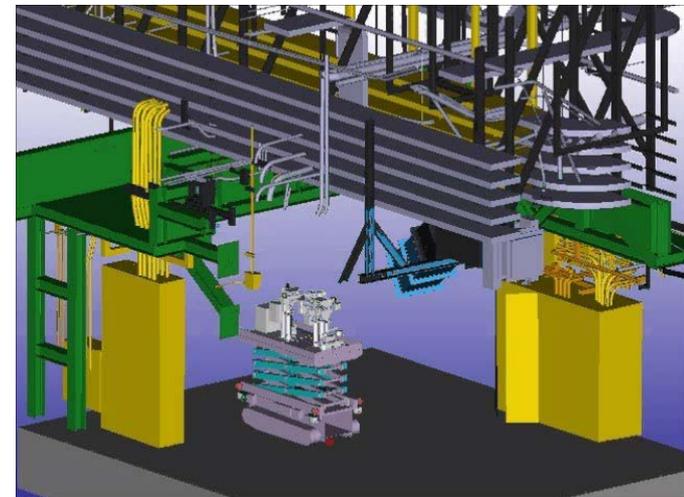
北西エリアへの移動 (TOPVIEW)



北西エリアへの移動 (鳥瞰)



ケーブルダクトへの干渉

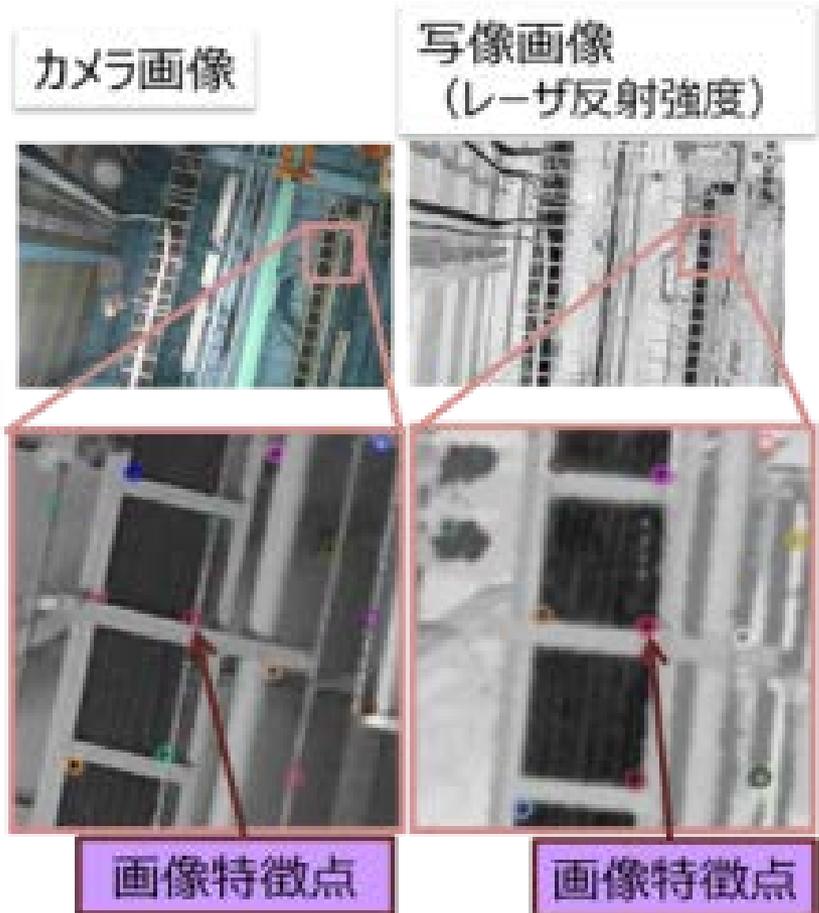
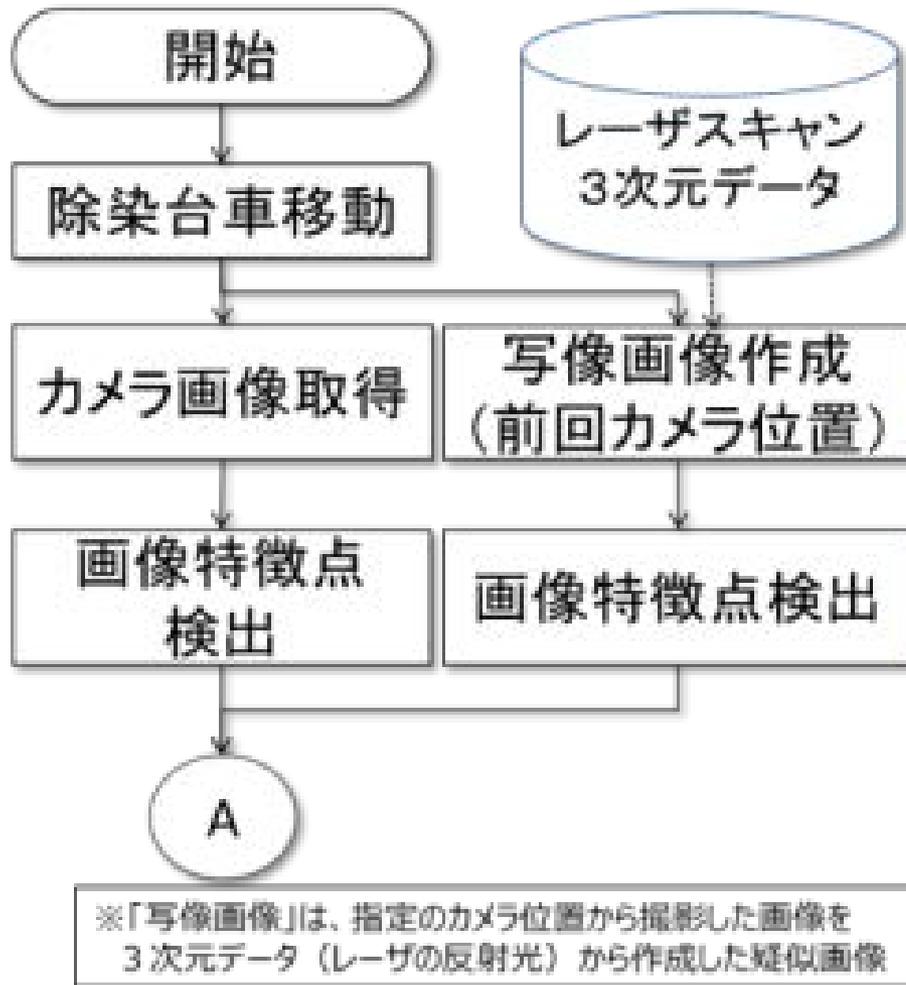


ケーブルダクト間の除染

「この成果は、経済産業省／発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費により得られたものです。」

5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術

台車位置の計測技術



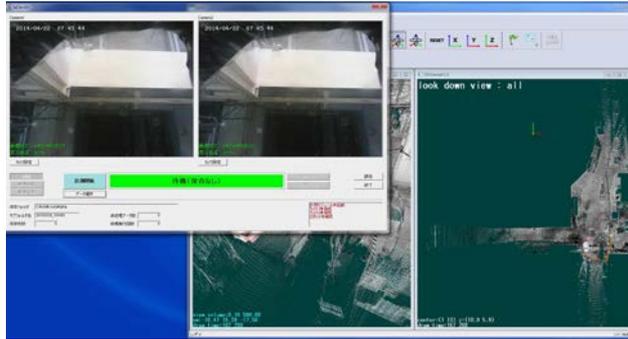
＜画像特徴点検出結果＞

「この成果は、経済産業省／発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費により得られたものです。」

5. 環境改善活動効率化のためのサポート技術

台車位置の計測結果（動画）

1F2号機1階 低所除染装置の実証実験時の台車位置

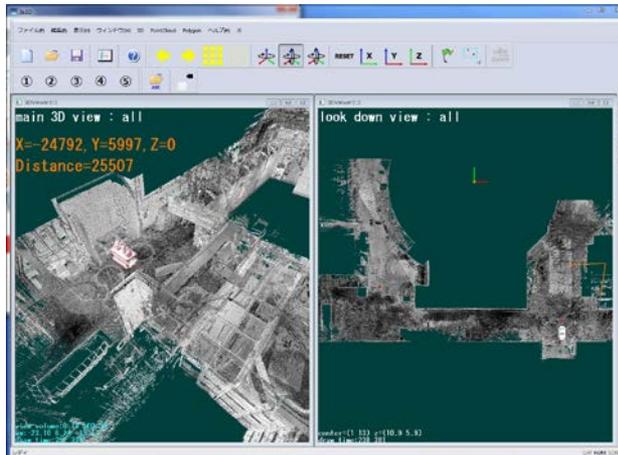


鳥瞰

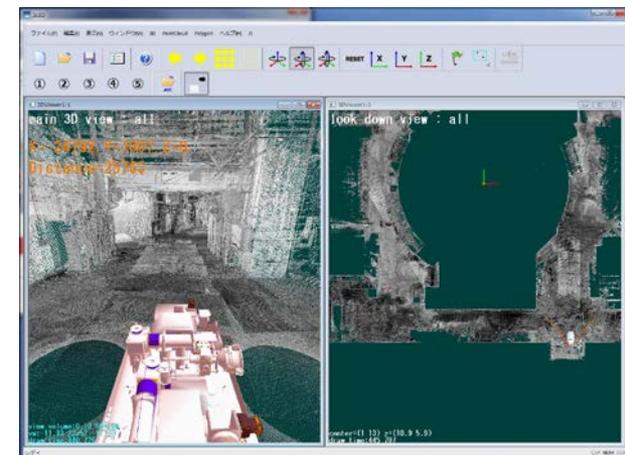


台車視点

1F3号機1階 北西エリア移動時の台車位置（イメージ）



鳥瞰



台車視点

6. まとめ

当社は、今後も福島第一原子力発電所の環境改善に努め、廃止措置を推進していく所存です。

本資料の作成にあたり、東京電力(株)殿、国際廃炉研究機構(IRID)殿、(株)アトックス殿の協力を頂きました。ここに感謝申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。

TOSHIBA

Leading Innovation >>>