

平成25年度実績概要

原子炉建屋内の 遠隔除染技術の開発

平成26年8月28日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

無断複製・転載禁止 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

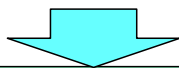
1. 研究開発の目的及びこれまでの成果①

(1) 雰囲気線量率低減の目的

燃料デブリの取り出しに向けた、PCV漏えい調査等の作業における被ばく低減

<状況：原子炉建屋1階の線量率調査結果(高さ150cmの例)>

- ・1号機 3~9mSv/h(南側通路を除く)
- ・2号機 7~30mSv/h
- ・3号機 16~125mSv/h



<目標線量率>

作業エリア：3mSv/h 以下

アクセス通路：5mSv/h 以下

(2) 雰囲気線量率低減の方法

プラント汚染状態により、**除染、遮へい、線源撤去**を適切に組み合わせ

(3) 原子炉建屋内の汚染調査状況(H24年度プロジェクト成果)

◆1, 3号機は遊離性汚染が主体、2号機は固着性汚染が主体

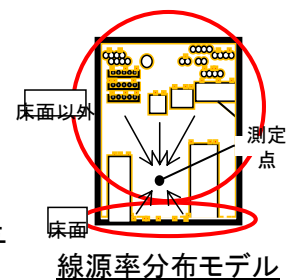
◆エポキシ塗装面内部、コンクリート内部への浸透汚染無し

◆主要核種(H24年6月の分析結果)

- ・Cs137:約60%
- ・Cs134:約40%
- ・Ag110m:極微量
- ・Sb125:極微量
- (α 核種未検出)

◆雰囲気線量率への寄与

- ・床面:20%程度
- ・壁・天井、ホットスポット:10%程度
- ・高所エリアのダクト、ケーブルトレイ、配管、サポート等:70%程度



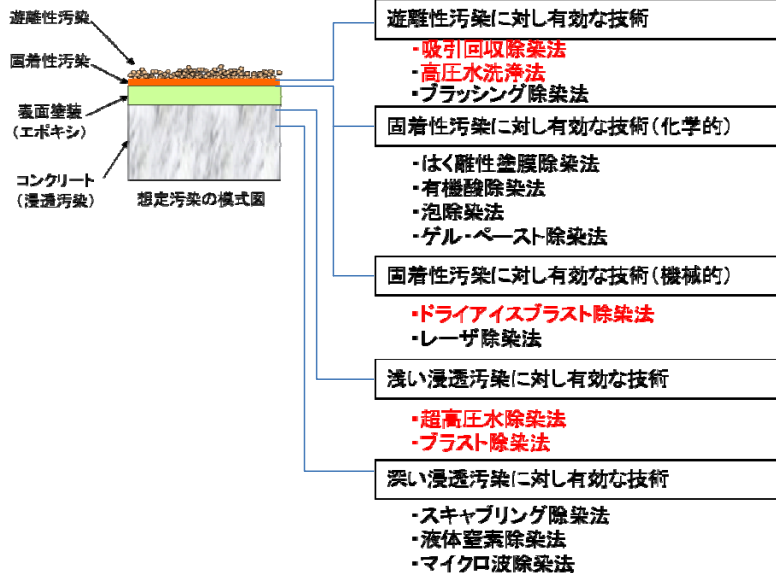
1. 研究開発の目的及びこれまでの成果②

(4) 除染技術の選定

汚染状況の推定、調査

除染技術の分類、適用性検討

模擬汚染による除染試験



| 除染技術 | 除染対象 | 模擬汚染除染試験結果 |
|---------------|--------------|---------------------------|
| 吸引回収除染法 | 遊離汚染 | 遊離汚染に対し、除去率ほぼ100% |
| 高圧水除染法 | 遊離汚染 固着汚染 | 遊離性汚染、固着性汚染に対し、除去率ほぼ100% |
| ドライアイスプラスト除染法 | 固着汚染 | エポキシ塗装表面の固着汚染に対し、除去率97%以上 |
| 超高圧水除染法 | 浸透汚染 | コンクリート表層の研削可能 |
| プラスト除染法 | 浸透汚染 | 固着汚染、浸透汚染に対し、除去率96~99% |

1. 研究開発の目的及びこれまでの成果③

(5) 低所(床面、低所壁)用遠隔除染装置の開発

- ◆技術カタログに含まれる除染技術の中から、実機の汚染状態を考慮して3種類の遠隔除染装置を開発
- ◆平成24年度 2Fサイトにて遠隔操作実証試験実施。

高圧水除染装置

- 原理** 水を高圧で除染対象面に噴射することにより表面を機械的に除染
- 特長** 圧力を高めることで、コンクリート面をはつることも可能
- 装置構成** 遠隔除染ロボット(高圧水ヘッド、アーム、走行台車)、制御ユニット、供給ユニット、回収タンクユニット



高圧水除染装置(アーム展開時)

ドライアイスプラスト除染装置

- 原理** ドライアイスのパウダーを除染対象面に噴射し、表面を機械的に除染
- 特長** ドライアイス自身は昇華してしまうため二次廃棄物が少なく、母材を痛めにくい
- 装置構成** 除染台車、支援台車、制御装置



ドライアイスプラスト除染装置(除染台車)

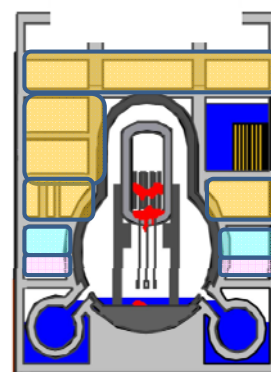
吸引/プラスト除染装置

- 原理** 研削材を噴射し、表面を研削する工法
- 特長** 研削材(スチールグリッド)を、噴射後に回収して汚染と分離した後に再利用可能。単独吸引モードが可能であり、1cm程度の小さいガレキの回収が可能
- 装置構成** 除染台車、供給ユニット、回収ユニット、制御ユニット



吸引/プラスト除染装置(除染台車)

(6) H25年度の実施範囲と今後の展開



上部階用除染装置

基本設計

1階高所用除染装置

装置単体製作

低所用除染装置

2011-12年度に開発
2F実証試験まで完了

装置改良
1Fサイト実機実証試験

H25年度の実施範囲

| 事項/年度 | 第1期 | | | 第2期 | |
|----------|-----------------------|------------|------------|--------------------|------------|
| | I23 (2011) | I24 (2012) | I25 (2013) | H26 (2014) | H27 (2015) |
| ①低所除染装置 | 装置設計・製作(2年度) | | | 装置改良、シミュレーション、現地実証 | |
| ②高所除染装置 | 装置設計・製作 装置改良、シミュレーション | | | | |
| ③上部階除染装置 | 装置設計 | | 装置製作 | | シミュレーション |

平成25年度遠隔除染装置開発の全体概要

平成25年度主要目標

- (1) 上部階(爆発損傷階を除く原子炉建屋2階以上)及びフロア高所部の建屋内汚染の状況(雰囲気線量率、線源、汚染分布等)を確認する。
- (2) 上部階用遠隔除染装置の共用化の仕様検討及び設計を行う。フロア高所部の遠隔除染装置の設計、製作を行う。
- (3) 原子炉建屋1階のホットスポットに対して、必要な遮へい体を製作し、遠隔で設置可能であることを確認するための実証を行う。

平成25年度の実施内容

1. 汚染状況の基礎データ取得

1~3号機の原子炉建屋上部階及びフロア高所部を中心に線量率調査、汚染分布調査、表面汚染調査、内包線源調査、汚染浸透調査を行う。調査項目と対象箇所を下表に示す。汚染浸透調査においては、採取する浸透汚染(コンクリートコア)サンプルについて、オンサイト分析を行い、放射能量を評価する。一部のサンプルについてはJAEAに輸送し、汚染浸透の詳細分析を行う。

| 号機 | 階層・エリア | 調査項目 | | | | | 備考 |
|-----|---------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| | | 線量率調査 (線量率計) | 汚染分布調査 (γカメラ) | 表面汚染調査 (β線線量率計あるいは積算線量計) | 内包線源調査 (積算線量計) | 汚染浸透調査*4 (コア分析) | |
| 1号機 | 1階・南側 | ○ | ○ | ○ ^{*2} | - | ○ | |
| | 1階・高所 | ○ | ○ | - | - | - | |
| | 2階・全域*1 | ○ | ○ | - | - | - | |
| 2号機 | 1階・高所 | ○ | ○ | ○ ^{*3} | ○ ^{*3} | - | |
| | 2階・全域*1 | ○ | ○ | - | - | - | |
| | 3階・全域*1 | ○ | ○ | - | - | - | |
| 3号機 | 5階(オペフロ)・全域*1 | ○ | ○ | ○ | - | ○ | |
| | 1階・高所 | ○ | ○ | - | - | - | 3階へのアクセスは、階段部にガレキが山積しているため不可 |
| 3号機 | 2階・全域*1 | ○ | ○ | - | - | - | |
| | 2階・全域*1 | ○ | ○ | - | - | - | |

*1:小部屋は含まない *2:コアサンプルの表面汚染を調査 *3:北西コーナーにて実施予定 *4:JAEA殿にサンプルを輸送して分析

2. 除染技術整理及び除染概念検討

H24で調査した汚染状況を踏まえ、上部階の除染に適した除染技術を選定(H24で実施した除染技術絞り込み結果の見直し)を行い、上部階及びフロア高所部除染のための基本方針を検討する。

3. 遠隔除染装置設計製作、遠隔除染実証

上部階に適用する遠隔除染装置の共用化のための仕様検討及び設計を行う。フロア高所部除染に適用する遠隔除染装置の設計、製作を行う。また、平成24年度に実証した装置の改造等を行い、実機適用実証を行う。

4. 実機遮へい設置実証

原子炉建屋1階のホットスポットに対して、必要な遮へい体を製作し、遠隔で設置可能であることを確認するための実証を行う。

取組方針

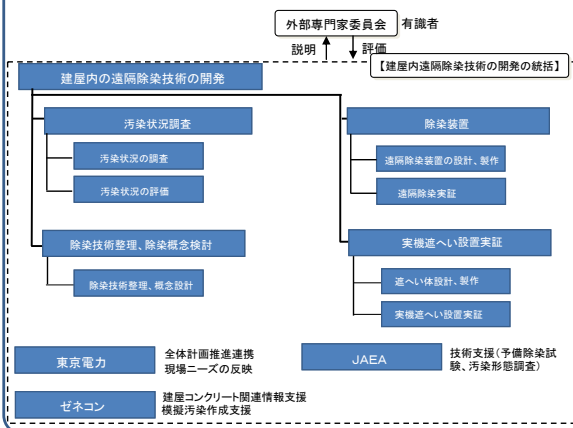
○中長期的な人材育成

関連技術の学会や分科会、セミナー等にて、大学、研究機関や関連素材、部品メーカー等企業に所属する若手を対象に実施計画や技術課題を紹介することにより、関心を持ってもらう(啓蒙活動)とともに、大学・研究機関との共同研究等について検討する。また若手技術者や研究者には、国内外の関連技術調査、国内外の学会等における評価や成果発表、討議を経験させてスキルアップを図る。

○国内外の教習の活用

装置開発に必要な技術の一部では、国内外の教習を反映して作成した技術カタログを活用して一般競争入札等を行い、国内外からベンダーを選定する。

実施体制



実施工程(平成25年度)

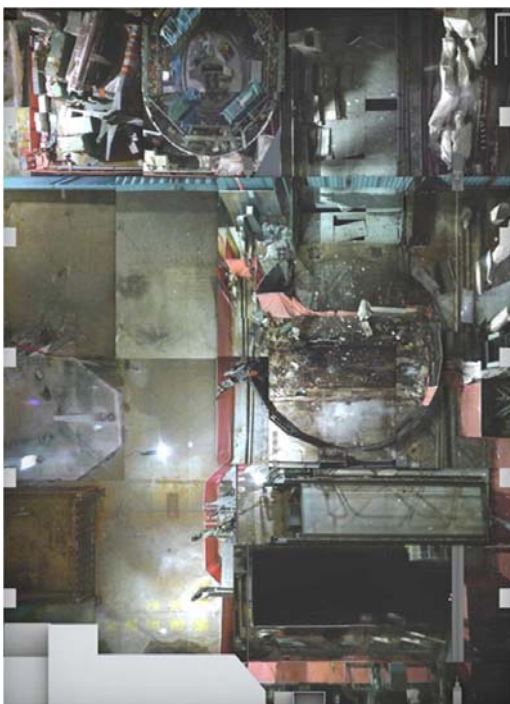
| | H25上期 | H25下期 |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| 1. 汚染状況の基礎データ取得 | | |
| ・汚染状況の調査 | Progress bar | |
| ・汚染状況の評価 | | Progress bar |
| 2. 除染技術整理及び除染概念設計 | | |
| ・除染概念設計 | Progress bar | |
| 3. 遠隔除染装置設計製作、遠隔除染実証 | | |
| ・高所部除染装置設計、製作 | Progress bar | |
| ・上部階除染装置設計 | Progress bar | |
| ・実機適用実証(H24製作装置) | | Progress bar |
| 4. 遠隔除染装置設計製作、遠隔除染実証 | | |
| ・遮へい体設計製作 | Progress bar | |
| ・遠隔遮へい実証 | | Progress bar |

2. 基礎データの取得(2号オペフロ調査結果)

可視カメラにより機器の損傷状況を確認。

ガンマ線イメージャ(N-Visage)によるホットスポット確認、床面コアサンプルによる汚染状況評価を実施。

2号機オペフロの線量低減計画の立案にデータを活用。

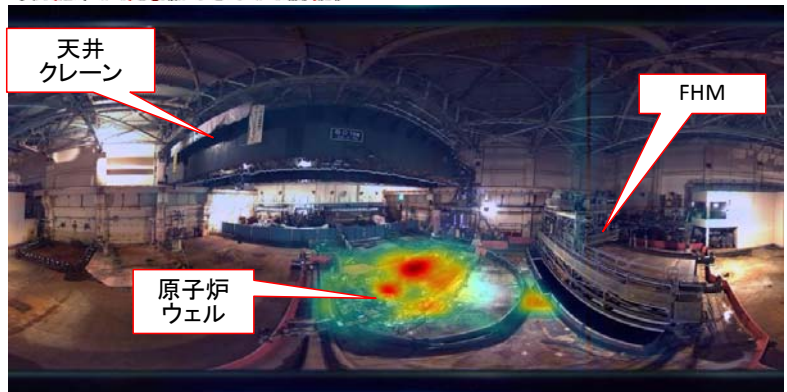


2号オペフロの状況(可視カメラ撮影)
(床面の状況、塗装面の剥離等を確認出来た)



<コアサンプル採取と評価>

- ・原子炉ウエル近傍の床面コンクリートサンプルを採取(左図の3か所で採取)
- ・JAEAにて詳細評価を実施中
- ・塗装面、コンクリート内への浸透汚染は生じていない



2号オペフロのホットスポットの状況
(原子炉ウエル上に高い分布を確認出来た)

3. 低所用除染装置の開発

- ◆ H24年度に福島第二で実施した試験で抽出した改良項目に基づき、装置の改良を実施した。
- ◆ 工場試験及びその後の実機実証にて改良目的を満足することを確認した。

| 除染装置 | 装置写真 | 主な改良項目 | 改造内容、効果等 |
|----------------|------|-------------------|--|
| 高圧水除染装置 | | ケーブルホース巻取り装置の導入 | 遠隔巻取り装置を導入し、作業被ばく低減を図る。 |
| | | 回収タンクユニットの車載化 | 回収タンクを車載化し、作業時間短縮、被ばく低減を図る。 |
| | | 高圧水ヘッドフレームの剛性強化 | フレームの剛性・強度を強化して耐久性の向上を図る。 |
| 吸引・ブラスト除染装置 | | 除染効率の向上 | 回転ブラシを搭載し、かつ幅広い吸引除染専用ヘッドを製作し除染効率向上させる。 |
| | | 視認性・操作性の向上 | カメラ配置を見直し周辺範囲の視野拡大を図る。また状態表示画面の大型化する。 |
| | | ホース・ケーブル類の引き回し性向上 | ホース・ケーブル取回し治具を追加し引き回し性を向上させる。 |
| ドライアイスブラスト除染装置 | | 除染ヘッド可動範囲拡大、精度向上 | ソフト改造により、除染ヘッド可動範囲の拡大を図る。 |
| | | 除染継続時間の向上 | 装荷ブロックを3段にし、除染継続時間を向上させる。 |
| | | 移動速度の向上 | カメラ操作効率化、光LAN採用により視認性を向上させる。 |

3. 低所用除染装置の開発(高圧水の実証結果)

平成24年度に製作した装置の改良を行い、福島第一1号機1階南西エリアにおいて実証試験を実施。所期の性能を満足することを確認するとともに実機での有効性を確認できた。

<実証結果>

- 段差、狭隘部の走行性および所定の除染動作が正常に実施できることを確認。
- 除染速度は、高圧水除染、高圧水はつり除染ともに**2m²/h以上**の速度を確認。
- 高圧水はつり除染はエポキシ塗装の剥離)を満足することを確認。
- 除染効果は高圧水除染は**DF:1.2以上**と評価された。また、吸引後及び高圧水除染後のはつり除染では、はつり前後の評価値が検出限界以下で評価不可となった。
- 除染効果(DF)については、除染対象面の汚染レベルによりバラツキがあるが、除染前の汚染レベルが高い箇所については高いDFを得ることを確認。

| | 除染前 | 除染後 |
|----------|-----|-----|
| 高圧水除染 | | |
| 高圧水はつり除染 | | |



図1 除染時の作業ロボット



図2 除染エリア

3. 低所用除染装置の開発(吸引・ブラストの実証結果)

平成24年度に製作した装置の改良を行い、福島第一1号機1階南西エリアにおいて実証試験を実施。所期の性能を満足することを確認するとともに実機での有効性を確認できた。

<実証結果>

- 段差、狭隘部の走行性および所定の除染動作が正常に実施できることを確認。
- 除染速度は、吸引除染では約 $2\text{m}^3/\text{h}$ 、ブラスト除染では約 $0.4\sim 1\text{m}^3/\text{h}$ の結果となった。
- 吸引除染、ブラスト除染とも所期の除染性能を満足することを確認
 - ・吸引除染：粉塵、1cm以下の瓦礫の回収
 - ・ブラスト除染：エポキシ塗装の剥離(約 $0.1\text{mm}\sim 0.4\text{mm}$ 研削と推定)
- 除染効果は吸引除染はDF:2以上~17以上、吸引+ブラストの除染効果はDF:2以上~6以上と評価された。
- 除染効果(DF)については、除染対象面の汚染レベルによりバラツキがあるが、除染前の汚染レベルが高い箇所については高いDFを得ることを確認。





| | 除染前 | 除染後 |
|---------|--|---|
| 吸引 |  |  |
| 吸引+ブラスト |  |  |



図1 除染時の作業ロボット



図2 除染エリア

3. 低所用除染装置の開発(ドライアイスブラストの実証結果)

平成24年度に製作した装置の改良を行い、福島第一2号機1階南西エリアにおいて実証試験を実施。遠隔操作性、アクセス性に関する所期の性能を満足すること、実機での有効性を確認できた。除染性能については、床面の固着汚染の除染に有効であることを確認できた。

<実証結果>

- 段差、狭隘部の走行性および所定の除染動作が正常に実施できることを確認。
- 除染速度は、 $2\text{m}^3/\text{h}$ 以上の速度を確認。
- 除染効果は床面(散水ブラシ洗浄後)についてDF:2.6(除去率62%)であり、ドライアイスブラスト除染の目的とする固着性汚染の除去に有効であることを確認した。また、前段の散水ブラシ洗浄とあわせてDF:5以上を達成していると評価した。
- 床面(未除染箇所)についてはDF2.3であり、期待した効果が得られなかった。この要因として、ブラシによる再汚染等が考えられ、コールドによる確認試験を実施中。





| | 除染前 | 除染後 |
|--------------|--|---|
| 床面(散水ブラシ洗浄後) |  |  |
| 床面(未除染箇所) |  |  |



図1 除染時の作業ロボット

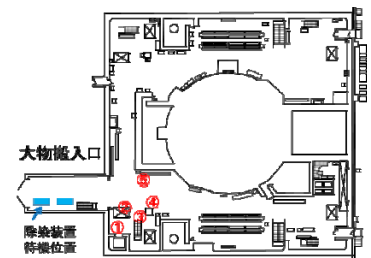
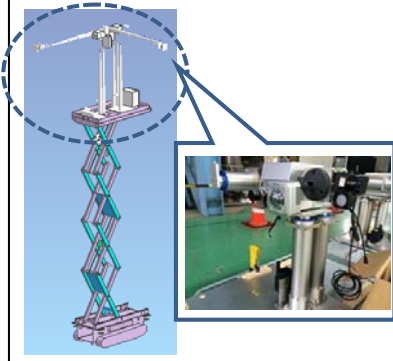
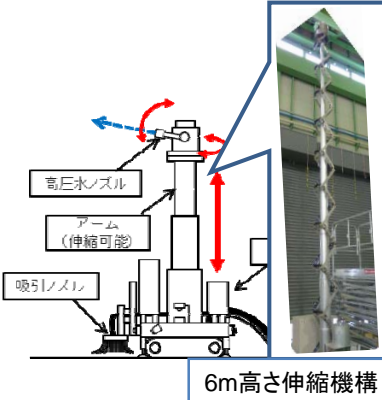
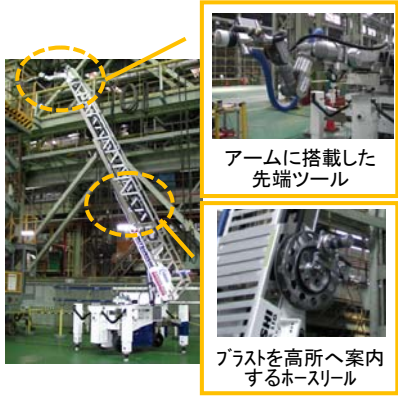


図2 除染エリア

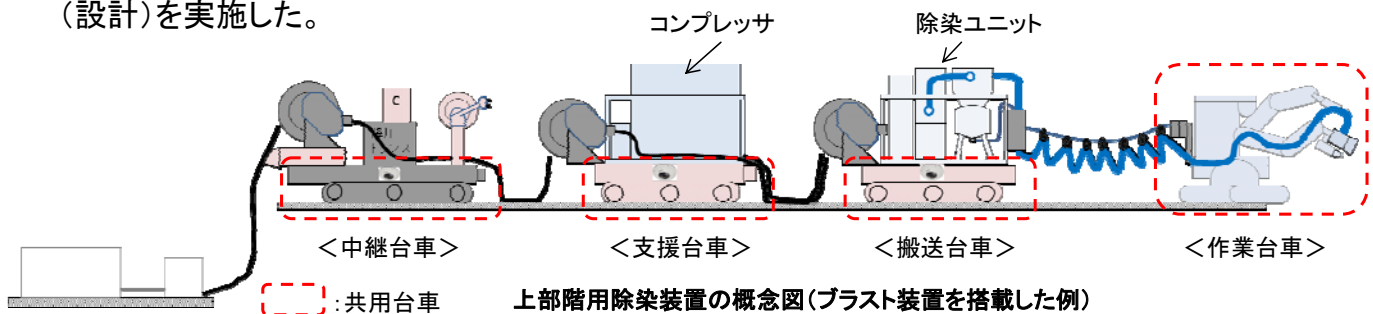
4. 高所用除染装置の開発

- ◆高所の線源全てに対し、除染のみで対応することは不可であることから、他の線量低減技術との補完性(撤去・遮へいとの組合せ)を考慮し、開発を行った。
- ◆除染方式については、各種汚染に対応可能で、かつ低所技術のノウハウを活用できる吸引、ドライアイスブラスト、高圧水、ブラストの4技術(3装置)を選定した。
- ◆各装置の製作(要素部分)、検証を実施し実用化の見通しを得た。

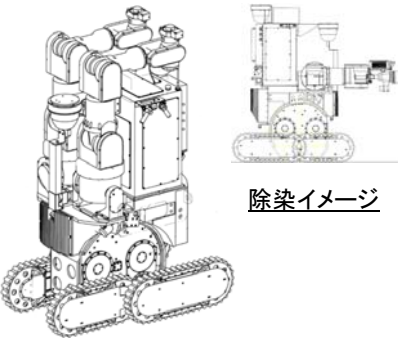
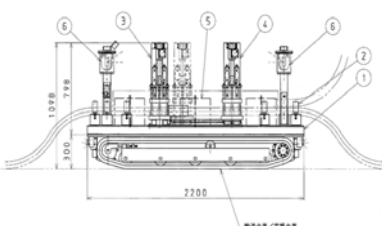
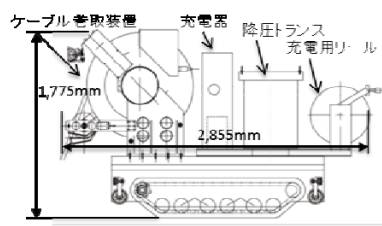
| | ドライアイスブラスト | 高圧水 | 吸引ブラスト |
|-------|---|--|---|
| イメージ |  |  |  |
| 除染方式 | 圧縮空気を用いてドライアイスを対象に吹き付け、研削/回収する。(昇降台車は一般産業界で実績のある昇降作業台を流用) | 除染対象面から少し離れた位置から高圧水を噴射。汚染水はあらかじめ閉じたドレンファンネル周辺で回収。 | 圧縮空気を用いてスチールグリッドを対象に吹き付け、研削/回収する。(昇降台車はNEDO開発機を活用) |
| 主な適用先 | 構造物に付着した遊離・固着性汚染 | 構造物に付着した遊離性汚染(比較的広範囲の施工が可能) | 天井・壁面の固着/浸透汚染(モード切替で遊離性も対応) |

5. 上部階用除染装置の開発

- ◆「機器ハッチ開口部からのアクセス」を想定し、上部階運用を考慮した各除染技術(吸引・ドライアイス・高圧水・ブラスト)の開発を行うとともに、各除染技術の取扱いが可能な共通システムの開発(設計)を実施した。



- ◆上部階へのアクセスシナリオに基づき、各除染装置及び共用台車の設計を実施した。

| | 作業台車 | 搬送/支援台車 | 中継台車 |
|-------|---|--|---|
| 概念図 |  |  |  |
| 寸法・質量 | L 1200 × W 740 × H 1700 [mm]、550 [kg] | L 2200 × W 700 × H 300 [mm]、600 [kg] | L 2000 × W 1100、H 500 [mm]、500 [kg] |

6. 遠隔遮へい体の開発

- ◆ 遠隔遮へいの工法を検討し、高所配管類に対する架台設置型遮へい、低所機器類に対する衝立型遮へいの実証を行った。
- ◆ 高所配管を対象とした遠隔遮へい容器・架台の移送、組立、遮へい材充填試験を行い機能検証を行った。
- ◆ 低所機器としてHCUを遮へい対象として想定した衝立型遮へいに対し、遮へい材の供給移送、供給ホース切り離し、遮へい材回収に関する試験を行い、機能検証を実施。

高所配管を対象とした遮へい容器・架台の移送組立てに関する検証



架台を移送



遮へい容器を移送



架台及び遮へい容器を組立て設置



遮へい材充填試験結果

◆ 検証による実機適用への見通し

- ・各技術要素の検証を実施し、実用化の見通しを得た。
- ・必要遮へい能力の設定は、遮へい体設置場所の床耐荷重を考慮した遮へい厚さの設定、除染・撤去との組合せによる最適化が必要となる。

7. 国内外の叡智の活用、人材育成

| 研究機関 | 研究内容 | 装置外観等 |
|------------|---|------------------------|
| 東京大学 | 疑似俯瞰画像生成システムの開発 MEISTeRに搭載された前後左右のカメラで撮影した画像を用いてキャリブレーションを行い、その結果を用いて疑似俯瞰画像を生成するプログラムを開発し、実装した。 | 疑似俯瞰画像 |
| 神戸大学 | 9軸冗長マニピュレータを用いた直観的操縦可能性の確認 7軸マニピュレータに2軸のベース部を加えた9軸の 冗長マニピュレータを対象とした、冗長自由度の 直感的な操作が可能な制御方法として3つのセルフモーションパターンを提案、これにより障害物の存在する環境で、周囲との干渉なく直感的に操縦が可能であることを確認検証した。 | シミュラによる障害物回避の様子 |
| 筑波大学 | 超広角低歪レンズMY125Mの歪み補正の検討 超広角低歪レンズMY125Mの歪み補正について 高次多項式モデルを当てはめた近似精度を調査。12次程度まで次数を増やすことにより、高い 近似精度を得られることがわかった。また、実際にMY125M を装着したカメラの Zhang の手法によるカメラキャリブレーションを 行い、カメラのパラメータを求めることと歪み補正が可能であることを示した。 | 低歪曲レンズ MY125M |
| REACT社(英国) | 軽量なガンマ線イメージャ(N-Visage)の導入 (ロボットで搬送可能、N-Visageは英国セラフィールドで活用実績あり) ロボット搭載、調査・データ処理に関する技術協力を実施。 | N-Visage |
| 千葉工業大学 | N-Visage搭載システム構築のための機械的・電氣的インターフェース構築に関する技術協力 N-Visageの搭載、遠隔充電機能をRosemaryに追加対応。Rosemaryとの無線通信、遠隔充電機能、有線ケーブルリール搭載、線量率計(床上5cm、150cm)をSakuraに追加対応を実施。 | Rosemary Sakura |
| JAEA | 1Fサイトから採取したサンプルの分析 2号原子炉建屋オペフロ床面コンクリートコアサンプル他 IPIによる汚染分布、Ge測定器によるγ核種分析 他 | コアサンプル |

8. 今後の計画について

今後の主要実施事項

- ・遠隔除染装置の開発は、平成25年度事業の成果を基に、①高所除染装置は改良、モックアップ試験を実施。②上部階装置は製作、モックアップ試験を実施。それぞれ実機適用の目途を得る。
- ・滞留水浸漬部の除染について具体的箇所を想定した概念検討を完了。

| 事項／年度 | 第1期 | | | 第2期 | | | |
|-------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | H23 (2011) | H24 (2012) | H25 (2013) | H26 (2014) | H27 (2015) | H28 (2016) | H29 (2017) |
| (1)汚染状況の基礎データ取得 | | 低所部調査 | 高所部調査 | | | | |
| (2)除染技術整理及び除染概念設計 | 低所の除染概念検討 | | 高所・上部階の除染概念検討 | | 滞留水滞留部の除染概念検討 | | |
| (3)模擬汚染試験 | | 模擬汚染試験 | | | | | |
| (4)遠隔除染装置の開発 | | | | | | | |
| ①低所除染装置 | 装置設計・製作(2F検証) | | 装置改良、モックアップ試験、現地実証 | | | | |
| ②高所除染装置 | | | 装置設計・製作 | 装置改良、モックアップ試験 | | | |
| ③上部階除染装置 | | | 装置設計 | 装置製作 | モックアップ試験 | | |
| (5)実機遮へい設置実証 | | | 装置設計、製作、設置実証 | | | | |

H25年度の実施範囲(2014/7月)