

技術カタログWS

「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」

平成24年2月24日

(株)東芝

日立GEニュークリア・エナジー(株)

三菱重工業(株)

過酷事象を経験したプラントの建屋内での作業では、被ばく低減の観点から汚染されたエリア等の**除染**が重要となる。その除染方法の選定にあたっては、**除染性能、適用性、被ばく、二次廃棄物処理特性等を総合的に評価して選定**する必要があるが、現状、汚染状態および除染方法による除染性能のデータが少ない。そのため、**模擬汚染による除染試験**を踏まえた上での適用性評価・最適化が必要となる。また、格納容器(PCV)等の除染対象箇所は高線量率となるため、**ロボット等遠隔自動化装置**が必要となり、PCV周りのエリアを含め、最適な遠隔自動装置の適用性を評価することも必要である。

本検討においては、以上のような状況を踏まえ、**汚染状況の基礎データ取得**を行い、汚染状況に適した除染方法を選定し、選定した除染方法について遠隔適用の検討を行い、実証することを目的とする。

研究開発の進め方

②

検討フロー

除染技術

遠隔操作技術

1. 汚染状態の推定、調査

除染概念検討に先立って、条件となる汚染状態を設定する必要があるため、除染対象箇所の汚染状態を推定・調査し、そのベースとする。まずPCV周りのエリア(原子炉建屋1階)の汚染状況を調査し、その後、他のエリア(各建屋の代表的な汚染源)について調査する。なお、調査のためにはロボット等遠隔装置が必要であり、汚染状況調査のための遠隔装置を検討し調査に利用する。

調査のための
遠隔操作技術

2. 除染技術整理および除染概念検討

除染技術について、除染性能、除染にかかる時間、二次廃棄物発生量と処理特性、ロボット等遠隔装置との組合せの可能性等について整理を行う。また、現場の汚染状況調査の結果により、汚染箇所に対する除染技術を検討・選定し、除染概念と実機適用性を評価する。

技術カタログ作成

除染技術
一次選定

3. 模擬汚染による除染試験

候補となる除染技術の試験を実施し、汚染の状態と適用可能な除染技術のベースデータを作成する。試験に使用するサンプルは調査で得られた汚染状態を模擬して製作する。

模擬汚染による

除染試験

除染技術
二次選定

4. 除染技術の実証

除染装置を製作し、ロボット等遠隔装置と組み合わせ、除染技術の実証試験を行う。

除染実証

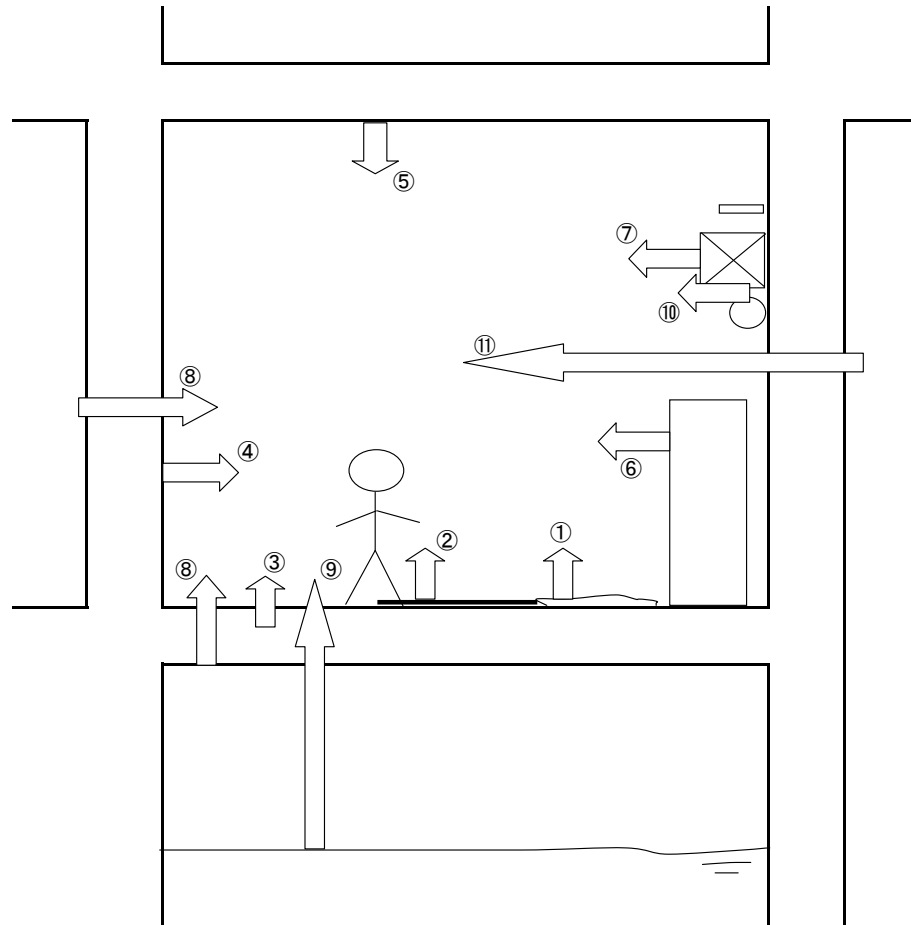
除染のための
遠隔操作技術

計画概要 (1) 汚染状態の推定・調査

空間線量率に影響を与える線源としては、通路部からアクセスして除染あるいは除去が可能な床面、壁面等の他に、すぐには除染できない機器、配管、ダクト内面の汚染、PCVや滞留水からの直接線等が考えられる。(右図参照)

本研究においては、プラント内の線源を特定し、除染対象となるものの除染計画、除染対象でないものの遮蔽計画等を立案するために以下の調査を行う計画である。

- ①原子炉建屋内の表面及び空間線量率等調査
- ②原子炉建屋内の線源調査
- ③建屋内状況、外観・表面目視調査
- ④原子炉建屋内の壁・床面における汚染調査
- ⑤原子炉建屋内の機器表面における汚染調査
- ⑥原子炉建屋内のコンクリートサンプル採取



番号	線源	除染対象	備考
①	床面堆積物	○	
②	床面固着汚染	○	
③	床面浸透汚染	○	
④	壁面付着、浸透汚染	○	アクセス通路に影響のある範囲を対象とする。
⑤	天井付着、浸透汚染	○	アクセス通路に影響のある範囲を対象とする。
⑥	機器外表面汚染	○	アクセス通路に影響のある範囲を対象とする。
⑦	配管、ダクト、ケーブルトレイ等外表面汚	○	アクセス通路に影響のある範囲を対象とする。
⑧	隣接エリア外表面汚染	△	影響のある箇所ではアクセス可能な範囲は対応
⑨	地下滞留水	×	地下滞留水の浄化、遮蔽で対応
⑩	配管、ダクト内汚染	△	遮蔽で対応、フラッシング、撤去等が可能であれば対応
⑪	PCV内	×	遮蔽で対応

計画概要(2) 除染技術整理

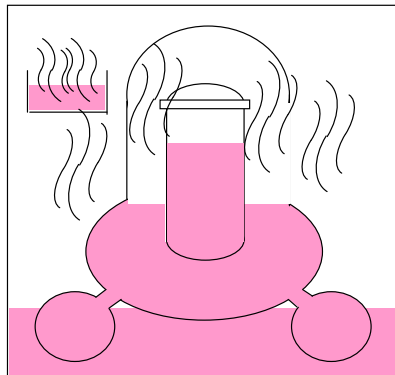
4

過酷事象を経験したプラント内の汚染状態は、右図に示すように、水素爆発時に飛散した汚染、汚染蒸気に暴露された汚染および滞留水に浸漬された汚染等が考えられる。

除染技術を整理するにあたっては、これらの推定汚染に対し、以下の分類で整理する計画である。

- ①表面の堆積物を回収あるいは除去する技術
- ②表面の固着物を除去する技術
- ③塗膜あるいはコンクリートに浸透した汚染を除去する技術
- ④コンクリートに浸透した汚染をコンクリートごと除去する技術

汚染蒸気に暴露された汚染



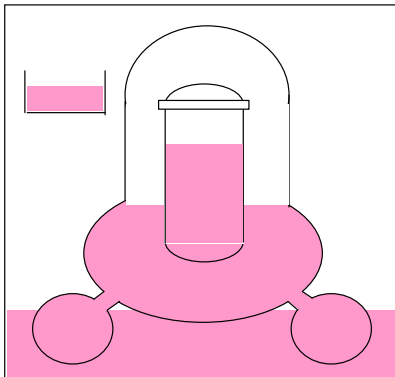
コンクリートの床面がエポキシ塗装されており、汚染蒸気が表面で乾燥した状態



コンクリートの床面が無垢の状態であり、汚染蒸気が浸透した後乾燥した状態



滞留水に浸漬された汚染



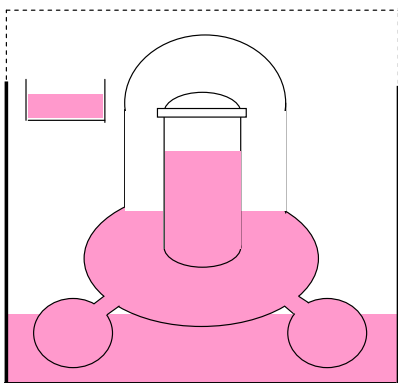
コンクリートの床面がエポキシ塗装されており、滞留水移送後残渣が表面で乾燥した状態



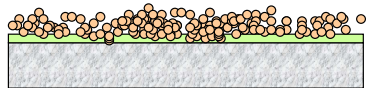
コンクリートの床面が無垢の状態であり、滞留水が浸透した後乾燥した状態



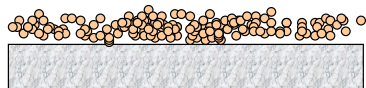
水素爆発時に飛散した汚染



コンクリートの床面がエポキシ塗装されており、コンクリートの粉砕屑が表面に積もっている状態



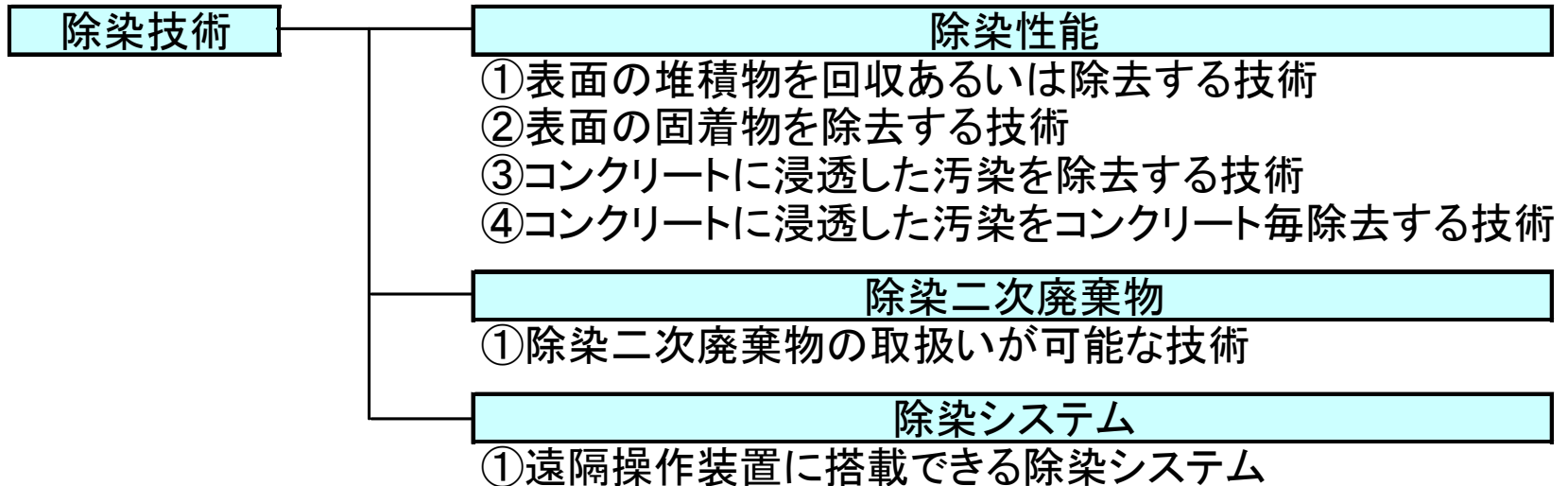
コンクリートの床面が無垢の状態であり、コンクリートの粉砕屑が表面に積もっている状態



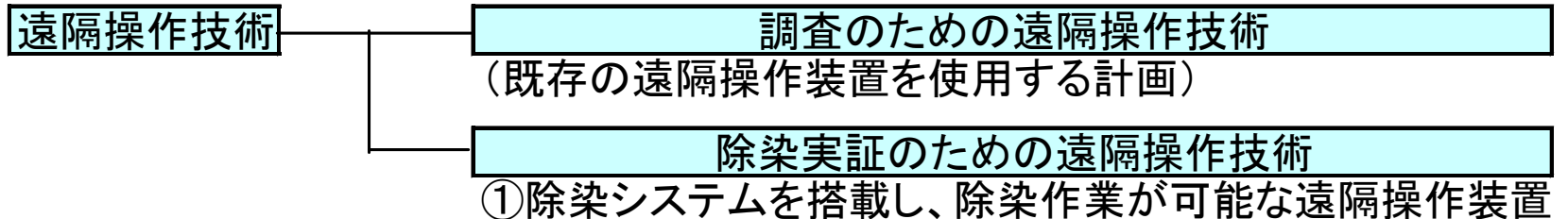
要求技術

5

「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」に要求される技術は、以下の通り体系つけることができる。



要求仕様: 除染性能のいずれかの能力を有し、二次廃棄物の取扱いが可能な技術でかつ遠隔操作装置に搭載できる除染システムを構築できる除染技術

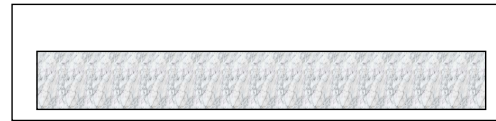
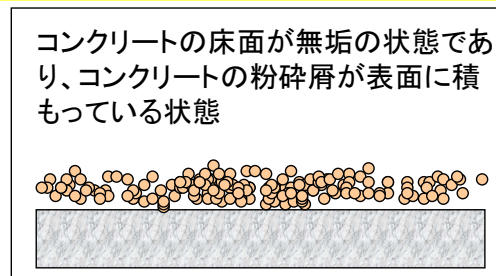
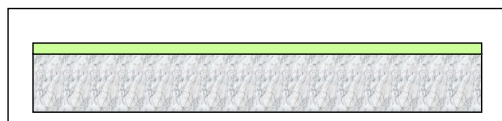
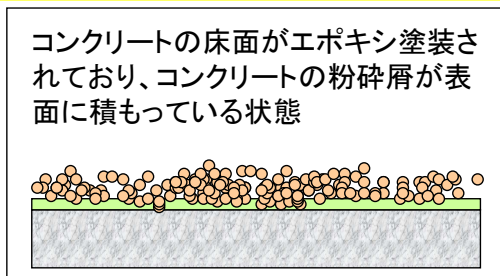


要求仕様: 除染システムを搭載し、除染作業が可能な遠隔操作装置

要求仕様 (1) 除染性能①

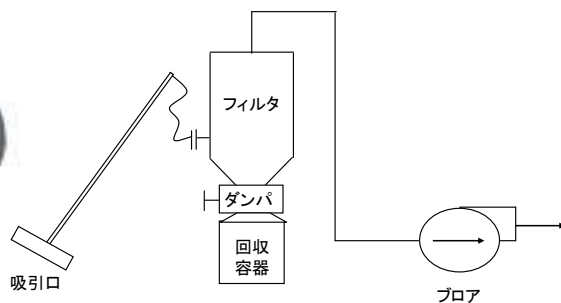
6

要求仕様: 表面の堆積物を回収あるいは除去する技術



<除染技術の例>

吸引回収 堆積しているコンクリート粉砕屑等を吸引回収する。



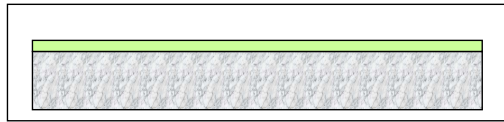
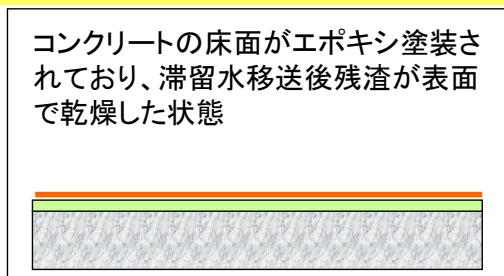
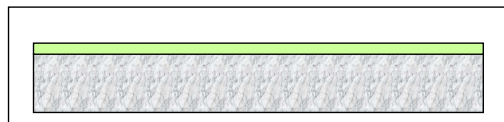
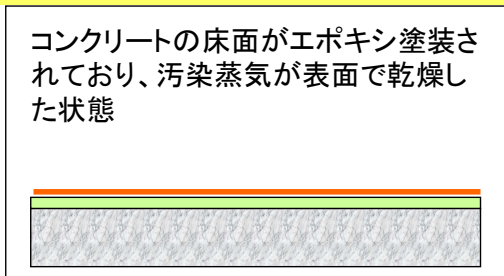
<その他の除染技術>

水ジェット洗浄

等

要求仕様 (1) 除染性能②

要求仕様: 表面の固着物を除去する技術



<除染技術の例>

ドライアイスブラスト



ブラスト状況



ドライアイス
ペレット



除染前後の状況

<その他の除染技術>

レーザ除染

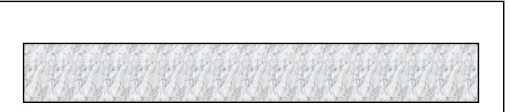
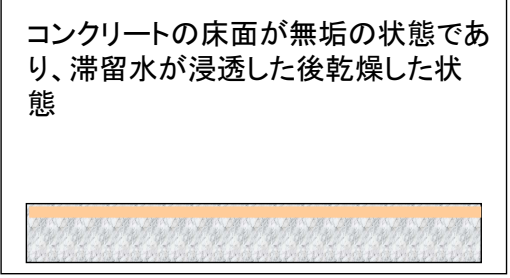
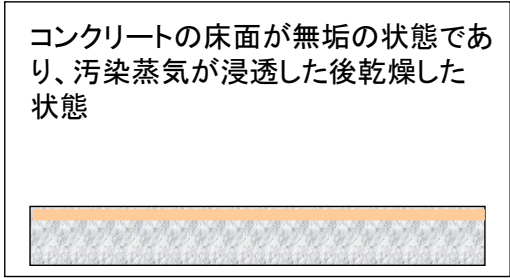
剥離性塗膜

泡除染

等

要求仕様 (1)除染性能③

要求仕様: 塗膜あるいはコンクリートに浸透した汚染を除去する技術



<除染技術の例>

剥離性塗膜



塗料の塗布、剥離状況



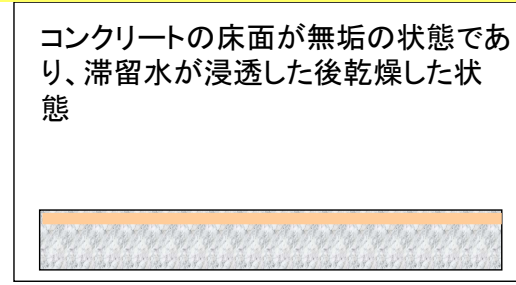
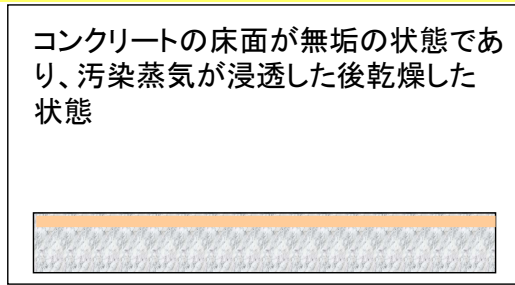
発電所プールでの使用状況

<その他の除染技術>

泡除染
等

要求仕様 (1) 除染性能④

要求仕様: コンクリートに浸透した汚染をコンクリートごと除去する技術

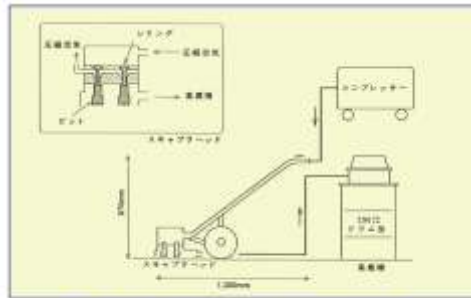


<除染技術の例>

はつり



PENTEC社のはつり装置



JPDRの床面除染の概念図

<その他の除染技術>

高圧水ジェット洗浄

ブラスト処理

等

要求仕様 (2) 除染二次廃棄物

要求仕様: 除染二次廃棄物の取扱が可能な技術

除染で発生する二次廃棄物は適切な容器に回収し、保管場所まで移送する必要がある。この場合、容器は高線量率になることが想定されることから、その取扱いに関して作業者が極力被ばくしない方式が望ましい。

以下に吸引回収における回収容器の取扱いの検討例を示す。

吸引回収では、堆積物を収集した回収容器が高線量率となる。この回収容器を取外し、保管場所まで移送する際の被ばくを極力抑えるためには、以下のような対策が考えられる。

回収容器の着脱性: 短時間で着脱あるいは遠隔で着脱できる構造

回収容器の遮蔽: 回収容器を遠隔で取扱う場合は、必要により遮蔽を検討する。

回収容器の構造: 遠隔装置で取扱える構造とする。



高線量率となる回収容器

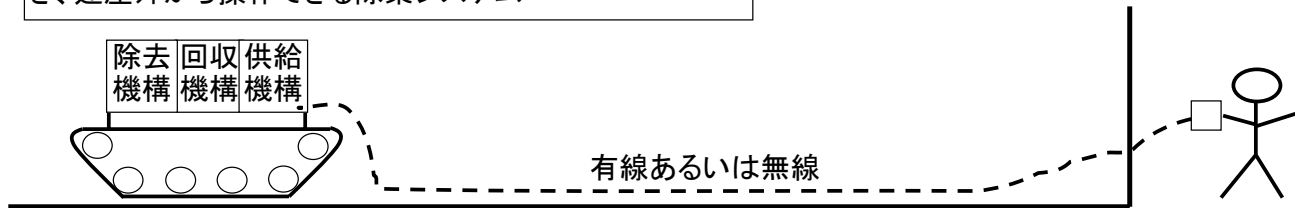
要求仕様 (3) 除染システム

11

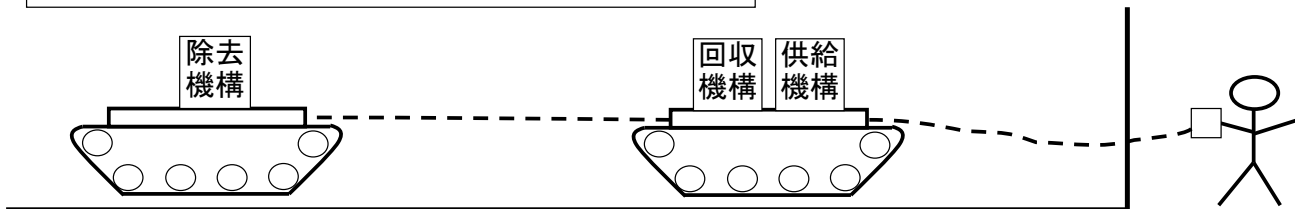
要求仕様: 遠隔操作装置に搭載できる除染システム

遠隔除染の実証を現場で実施するためには、メインとなる除去機構だけでなく、供給機構、回収機構もあわせた除染システム全体として遠隔操作できる必要がある。

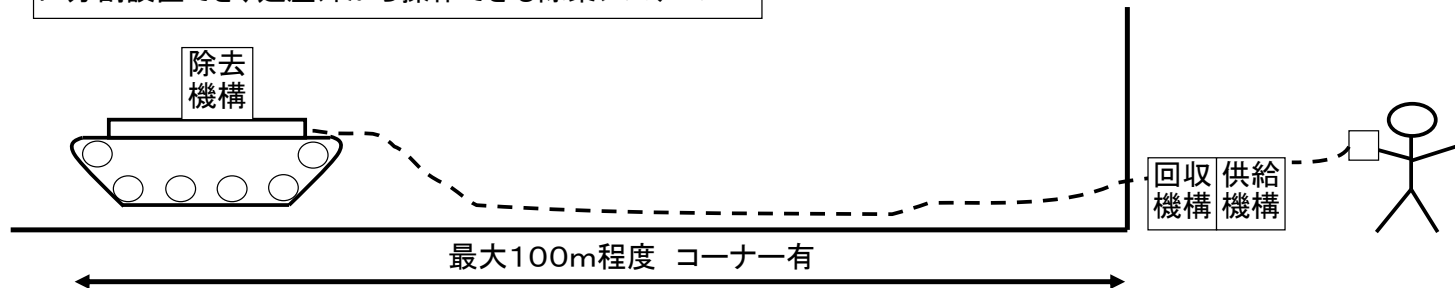
除去機構、供給機構、回収機構を遠隔操作装置に搭載でき、建屋外から操作できる除染システム



除去機構、供給機構、回収機構を2台の遠隔操作装置に搭載でき、建屋外から操作できる除染システム



除去機構、供給機構、回収機構を遠隔操作装置と建屋外に分割設置でき、建屋外から操作できる除染システム

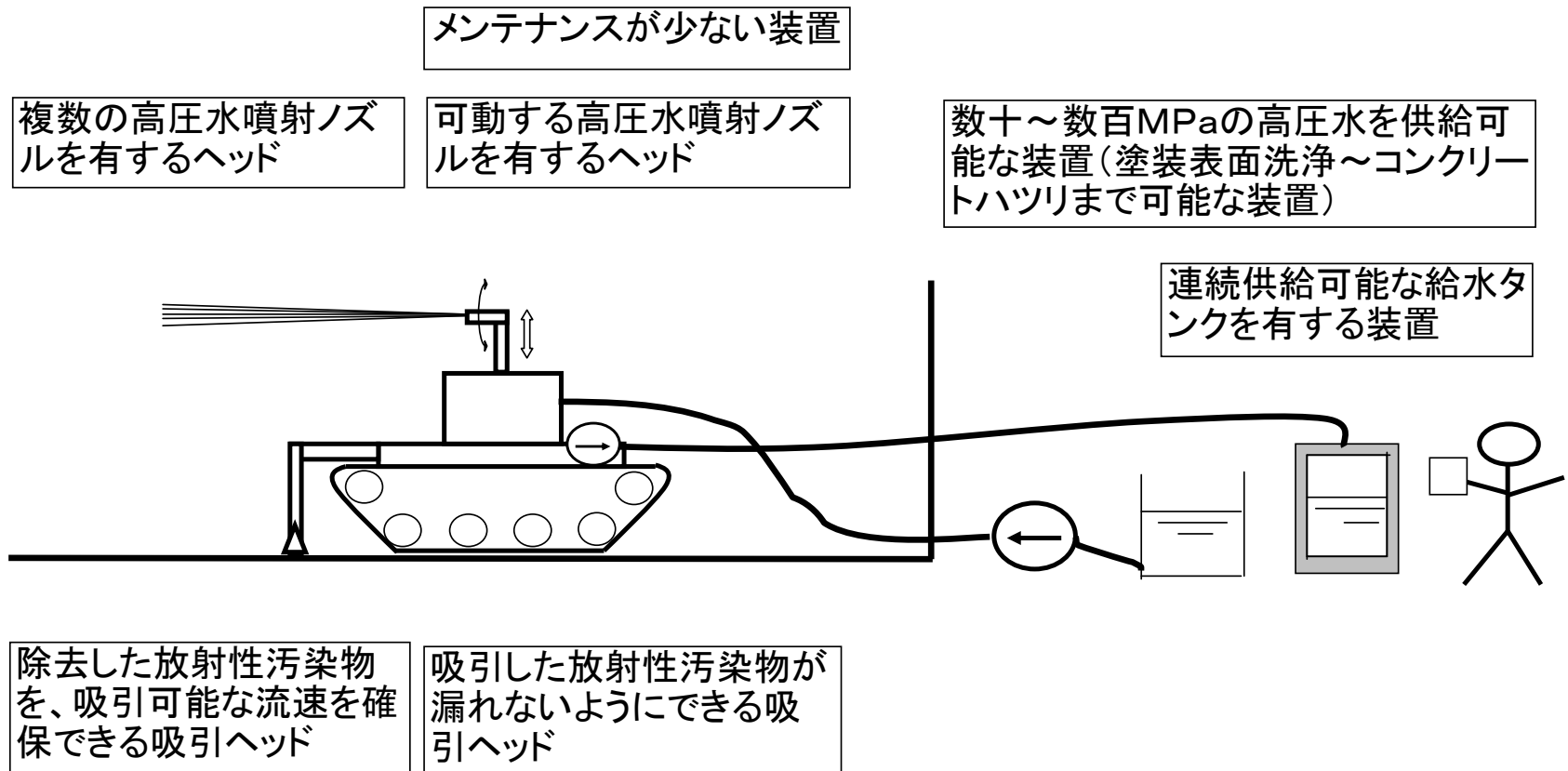


要求仕様 (3) 除染システム

12

要求仕様: 遠隔操作装置に搭載できる除染システム

高圧ジェット洗浄を遠隔操作装置に搭載する場合の要求仕様の例



要求仕様 (4) 除染のための遠隔操作装置 ⑬

要求仕様: 除染システムを搭載し、除染作業が可能な遠隔操作装置

除染システムを遠隔操作装置に搭載する際の要求仕様の一例を示す。

注) 実証する除染技術の仕様については今後検討していくことから、要求仕様は変わる可能性がある。

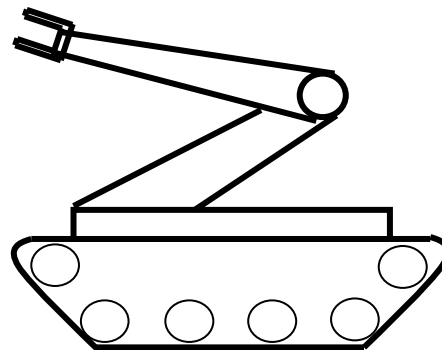
位置決め機構
搭載した装置を移動機構周りの指示した場所に設定する機構

監視装置
遠隔で運転操作する際の各機器、装置の状態監視ができる装置又はセンサ

制御装置
移動台車、通信装置、監視装置、位置決め機構を操作するための制御装置

支援装置
ホース巻取り又は引き出し可能な機構 ケーブル巻取り可能な機構 引き出したホース、ケーブルを少ない抵抗でスライド可能な装置

計測装置
装置、機構の異常を検知可能な装置 放射線環境下での運転時間集積、集積線量を計測できる装置 作業周辺の環境を計測、表示できる装置 作業場所の位置を計測表示可能な装置



通信装置
移動装置や、計測装置、及び監視装置と制御装置を接続し、遠隔で操作可能な装置

その他の要求仕様
装置使用後の除染性の良い装置(表面状態、気密性等)

移動機構
R/Bの隅々までアクセス可能な機構 搭載した装置を目的の除染場所まで移動する機構 作業時間を確保できる移動速度

要求技術

- ①除染性能、二次廃棄物の取扱い、遠隔操作装置に搭載できる除染システムが構築できる除染技術
- ②除染システムを搭載し、除染作業が可能な遠隔操作装置

実証のステップ

- ①原子炉建屋1階通路部
- ②上部階、地下階、部屋等

技術選定のポイント

- ①前記要求仕様
- ②処理速度
- ③コストパフォーマンス

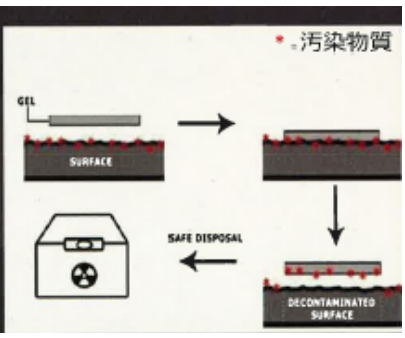
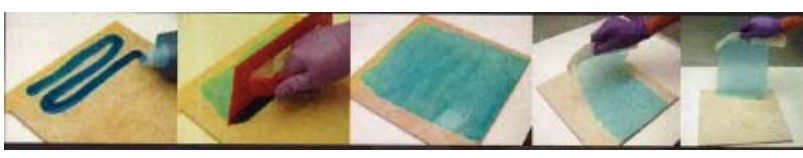
技術カタログ ベンダリスト(原子炉建屋内の除染作業)

分類	必要技術 (構成要素)		技術概要(ニーズ)	技術を保有するベンダー	備考
除染性能	表面の堆積物を回収、除去する技術	吸引回収	・建屋床面等の堆積物を吸引回収できる技術	多数	
		ジェット洗浄	・建屋床面等の堆積物をジェット水で洗い流し、水とともに回収できる技術	多数	
	表面の固着物を除去する技術	ドライアイスブラスト	・建屋床面等に固着した汚染を除去するとともに、除去物を極カクロスコンタミさせないで回収できる技術	荏原工業洗浄(株)	
		液体窒素除染		イーエナジー(株) /AREVA/STMI	
		レーザー除染		イーエナジー(株)/AREVA	
		ゲル・ペースト除染		AREVA/三菱重工業(株)	
	コンクリートに浸透した汚染を除去する技術	はく離性塗膜除染	・建屋床面等のコンクリートに浸透した汚染に対し、コンクリートをはつることなく、汚染を回収できる技術	日本環境調査研究所	
		泡除染		荏原工業洗浄(株) イーエナジー(株) /AREVA/STMI	
	コンクリートに浸透した汚染をコンクリートごと除去する技術	研削(スキヤブラ)除染	・建屋床面等のコンクリートに浸透した汚染に対し、コンクリート毎汚染を除去し、除去物を回収できる技術	大成建設(株)/BROKK	
				PENTEK社	
		栗太岩盤鑿岩機社			
		高圧水ジェット・ウォータージェット除染		多数、スギノマシン	
		スポーラ除染			
		スチールブラスト除染		三菱重工業(株)	
		ジルコニアブラスト除染		(株)東芝	
アルミナブラスト除染		三菱重工業(株)			
レジンブラスト除染		多数			
除染二次廃棄物の取扱が可能な技術	(回収容器の例)	・短時間で着脱できる構造あるいは遠隔で着脱できる構造 ・遠隔で取扱う場合の必要遮蔽ができる構造 ・遠隔で取扱える構造	PENTEK社、三菱重工業(株)		
			三菱重工業(株)		
除染システム	全体システム	・除去機構、供給機構、回収機構を遠隔操作装置に搭載でき、建屋外から操作できる除染システム ・除去機構、供給機構、回収機構を2台の遠隔操作装置に搭載でき、建屋外から操作できる除染システム ・除去機構、供給機構、回収機構を遠隔操作装置と建屋外に分割設置でき、建屋外から操作できる除染システム	日立GEニュークリアエナジー(株) スギノマシン		
			日立GEニュークリアエナジー(株) スギノマシン		
			三菱重工業(株)		

技術カタログ ベンダリスト(原子炉建屋内の除染作業)

分類	必要技術 (構成要素)	技術概要(ニーズ)	技術を保有するベンダー	備考	
除染システム	遠隔操作装置に搭載できる除染システム	除去機構	清水建設 日立GEニュークリアエナジー(株) スギノマシン 三菱重工業(株) 大成建設(株)/BROKK PENTEK社		
		供給機構	・数十～数百MPaの高圧水を供給可能な装置 ・連続供給可能な給水タンクを有する装置 ・塗装表面洗浄～コンクリートハツリまで可能な装置 ・メンテナンスが少ない装置	HGNE、スギノマシン 三菱重工業(株)	
		回収機構	・除去した放射性汚染物を、吸引可能な流速を確保できる吸引ヘッド ・吸引した放射性汚染物が洩れないように出来る吸引ヘッド	日立GEニュークリアエナジー(株) スギノマシン PENTEK社 三菱重工業(株)	
調査のための遠隔操作技術	(既存の遠隔操作装置を使用する)	—	—	—	
除染実証のための遠隔操作技術	除染システムを搭載し、除染作業が可能な遠隔操作装置	移動機構	・床を走行し、R/B内の隅々までアクセス可能な機構 ・搭載した除染装置や回収装置を、目的の除染場所までに移動する機構 ・搭載した除去機構及び回収機構に接続したホース、ケーブルを牽引できる機構 ・床の凹凸に対し、バランスをくずすことなく走行可能な機構	(株)東芝 日立GEニュークリアエナジー(株) スギノマシン 三菱重工業(株) iRobot QinetiQ Brokk	
		位置決め機構(取扱装置)	・除去機構及び回収機構を移動機構周りの指示した場所に設定する機構	(株)東芝 日立GEニュークリアエナジー(株) スギノマシン 三菱重工業(株)	
		制御装置	・移動台車、通信装置、監視装置、位置決め機構を操作するための制御装置機構等	(株)東芝 日立GEニュークリアエナジー(株) スギノマシン 三菱重工業(株)	
		通信装置	・移動装置や、計測装置、及び監視装置と制御装置を接続し、遠隔で操作可能な装置	(株)東芝 日立GEニュークリアエナジー(株) 三菱重工業(株)	
		計測装置	・装置、機構の異常を検知可能な装置 ・放射線環境下での運転時間集積、集積線量を計測できる装置 ・作業周辺の環境を計測、表示できる装置 ・作業場所の位置を計測表示可能な装置	(株)東芝 日立GEニュークリアエナジー(株) 三菱重工業(株)	
		監視装置	・遠隔で運転操作する際の各機構、装置の状態監視ができる装置又はセンサ	(株)東芝 日立GEニュークリアエナジー(株) 三菱重工業(株)	
		支援装置	・ホースの巻取り又は、引きだし可能な機構 ・ケーブルを巻取り可能 ・引き出したホース、ケーブルを少ない抵抗でスライド可能な装置	(株)東芝 日立GEニュークリアエナジー(株) 三菱重工業(株)	

 : 特に求められる技術

除染技術カタログ		技術区分 NO.	頁
技術名称	剥離性塗膜除染		提案者 荏原工業洗淨(株)/ CBIポリマーズ社
【適用汚染形態】		【遠隔除染への適用実績】	
汚染形態	液体・ 固体 ・粉体	適用除染場所環境	有 ・ ・ ・ 無
付着	ソフト ・ハード	床 ・ 壁 ・ 天井	垂直面を昇降移動可能な口 ポットにスプレーを装着し、 ポリマを自動塗布する手法 が確立
浸透	浅い ・深い	機器表面 ・機器内面	反力
核種	γ ・ αβ	配管内部・他	有()・無
【原理】		【回収方法】	
<p>中性でほとんど無臭のポリマー ・ハイドロジェル除染剤</p> <ul style="list-style-type: none"> - 界面活性剤により汚染物質をリフトアップ - 溶性キレート剤が汚染物質に密着 - ポリマーが乾燥すると汚染物質がその中に封入される 		塗膜の剥離回収	
		【二次廃棄物の形態】	
【原理説明】		塗膜	
水・界面活性剤・キレートその他の物質を含有するポリマーを硬い物質に付着		【必要ユーティリティ】	
【適用除染実績・除染効果(DF)例】		・電源, SW	
<ul style="list-style-type: none"> ・米 国立研究所、原子炉その他多数除染実績あり ・日本 福島原発事故後の援助活動で被曝した米軍の車両や初動部隊の除染に使用 ・東京電力福島第一原子力発電所内において施工された除染実証試験に際し、建物内の床にポリマーを塗布した場合の除染率は、93.1～97.1%までの範囲であったことが報告されている。 ・装甲車両について、数次にわたる高圧水洗浄後も放射線強度が25,000cpm～35,000cpmであったフロントガラスにポリマーを塗布した場合の除染率は、94.0%～96.8%までの範囲であったことが報告されている。 		【基本機器構成】	
【特記事項】		<ul style="list-style-type: none"> ・グラコ ウルトラマックスIIシリーズ 695ローボーイ エアレス・スプレイヤー ・ペイントブラシ等 	
<p>ポリマーは、水性であり、水分が90%以上を占めている。アルコール及び塩化ナトリウムの含有量は1%以下であり、焼却炉において焼却可能である。</p>		【安全対策他適用留意点】	
【引用・参考文献他】		【除染能力・速度等】	
<ul style="list-style-type: none"> ・CBIポリマーズ社提供資料 ・CBIポリマーズ社HP ・米環境保護庁 公開資料 		能力については、左記参照 塗布後の乾燥に約24～48時間が必要	
		【寸法/質量(目安)】	
		ポリマーの組成は90%以上が水であるため、質量も水と同等。	
		【福島第一原子力発電所への適用可と 考える根拠. 技術的課題】	
		海外の原子力プラントにて多数の実績有 事故後の福島原発にも適用実績有	

除染技術カタログ		技術区分 NO.	頁
技術名称	研削(スキャブラ)除染		提案者 大成建設(株)/(株)BGE/ BROKK社
【適用汚染形態】		【遠隔除染への適用実績】	
汚染形態	液体()・ 固体 ・粉体	適用除染場所環境	有・無 遠隔操作を基本に設計。 無線操作
付着	ソフト・ ハード	床 ・ 壁 ・ 天井	
浸透	浅い・ 深い	機器表面・機器内面	
核種	γ ・ αβ	配管内部・他	
【原理】		【回収方法】	反力
<p>汚染状況によって区画方法や換気装置の仕様は変化する</p>		・吸引回収	有 () ・ 無
<p>【二次廃棄物の形態】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・切削片, 粉塵, 切削片・粉塵を吸引した粗フィルタ, HEPAフィルタ 		【必要ユーティリティ】	・電源, 吸・排気口
<p>【基本機器構成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ベースマシン ・スキャブラ装置 (スキャブラ, 集塵フード含む) ・フィルタ類 ・ブロア ・ファン 		【安全対策他適用留意点】	遠隔操作のため労働安全対策が大幅に軽減される。
<p>【原理説明】</p> <p>ベースマシン先端に取り付けた研削ヘッドを回転させることにより、コンクリート表層部を剥ぎ取る。コンクリート片及び粉塵はヘッドと一体となっている集塵フードにより吸引回収する。床、壁、天井部への適用が可能。他の先端ツールと遠隔による交換が可能</p>		【除染能力・速度等】	・左記(適用除染実績)参照
<p>【適用除染実績・除染効果(DF)例】</p> <p>《ベースマシン》 欧米の原子力施設にて300台程度の販売実績有り。 英国セラフィールドで50台。</p> <p>《スキャブラー》 英国原子力検査局から再汚染なしの工法認定を受けトロスフィニス発電所(ガス炉)の使用済燃料プールはつり(表面積:5600m²)を1.5年で工事実施</p> <p>《能力》 はつり深さ:2~30mm はつり速度:約14m²/h(深さ11mm) 切削能力:約0.15m³/h</p>		【寸法/質量(目安)】	・ベースマシン重量:0.5~10t ・アタッチメント重量:70~800kg
<p>【特記事項】</p> <p>中小型機はモータ駆動用のためパワーケーブルが必要。大型機はディーゼル駆動。 先端ツールをカニバサミ等に交換することで、ガレキ撤去作業に転用することが可能。</p>		【福島第一原子力発電所への適用可と 考える根拠、技術的課題】	海外の原子力プラントにて多数の実績有 遠隔操作が可能。悪路でも走行可能。
		【引用・参考文献】	BROKK社スキャブラ資料 (大成建設株式会社, 株式会社BGE)