

IRID

 **MITSUBISHI**
HEAVY INDUSTRIES, LTD.

HITACHI



TOSHIBA
Leading Innovation >>>



「福島第一原子力発電所 上部階除染装置」の開発

* 当装置の開発は、「平成25年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金
(原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発)」を活用しています。

2015年12月16日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

三菱重工業株式会社

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

株式会社東芝

東京電力株式会社

目次

1. 除染装置開発の課題と目的
2. 除染装置の開発方針
3. 上部階除染装置の概要
4. 共用台車の概要
5. 除染ユニットの概要
6. 実証試験の概要
7. 開発の概要と今後の予定
8. 本日のデモ実演内容

1. 除染装置開発の課題と目的

除染技術開発の課題

漏えい箇所調査、補修等の各種作業を円滑に進めるためには、**作業場所の環境改善**が必要

課題

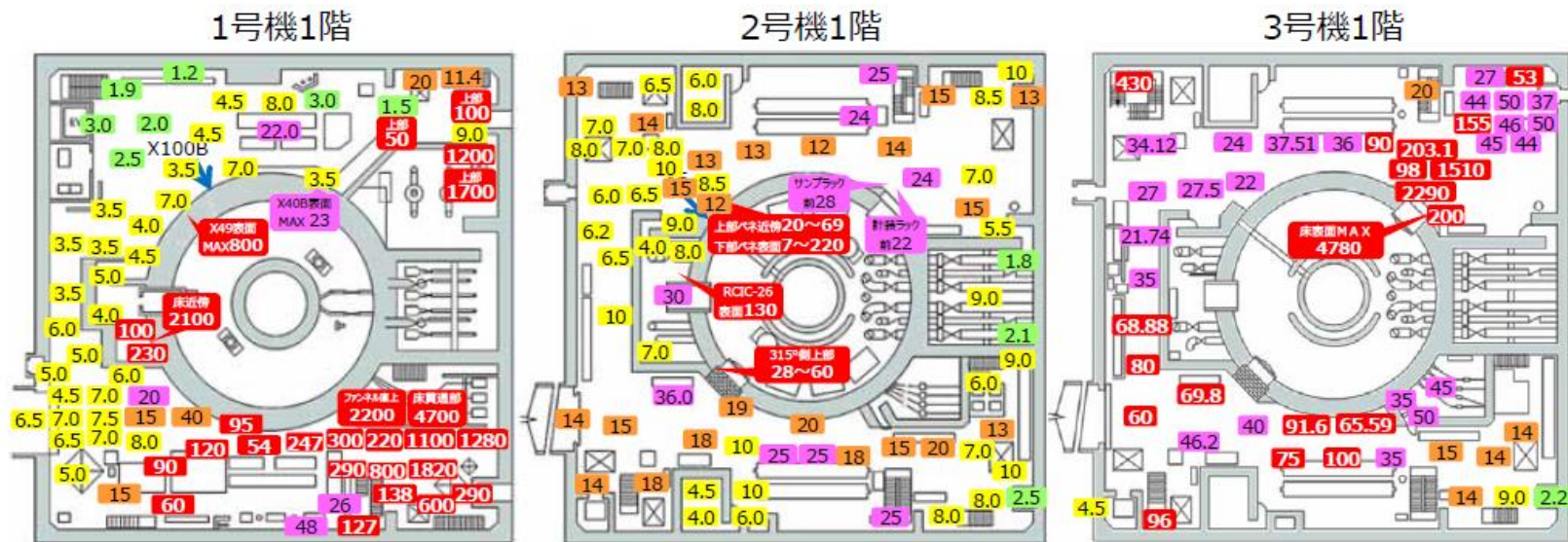
- 高線量エリアでの作業
- 多様な汚染形態／多様な作業場所への対応要

<環境改善目標>

作業エリア: 3 mSv/h以下
 アクセスルート: 5 mSv/h以下
 (従事者の線量限度: 1年間で50mSv、5年間で100mSv)

- ⇒ 遠隔技術の確立
- ⇒ 対象部位ごとの仕様検討・開発

1～3号機の線量状況



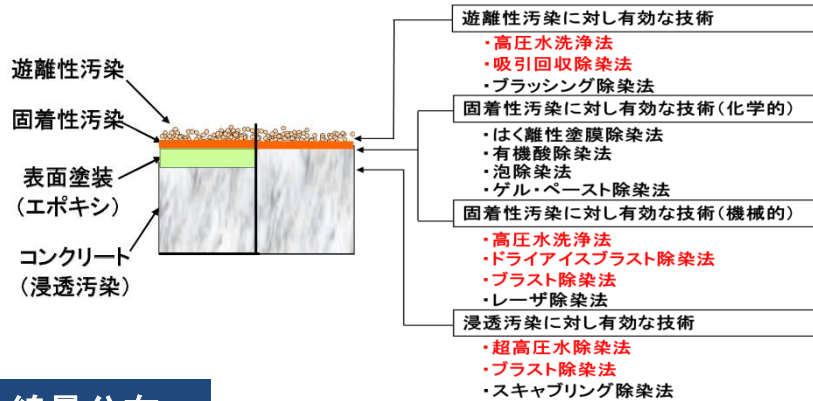
3mSv/h 以下 3mSv/h ~10mSv/h 10mSv/h ~20mSv/h 20mSv/h ~50mSv/h 50mSv/h 以上

「建屋内の空間線量率について」
 東京電力 H25.3.22
 を参考に作成

2. 除染装置の開発方針

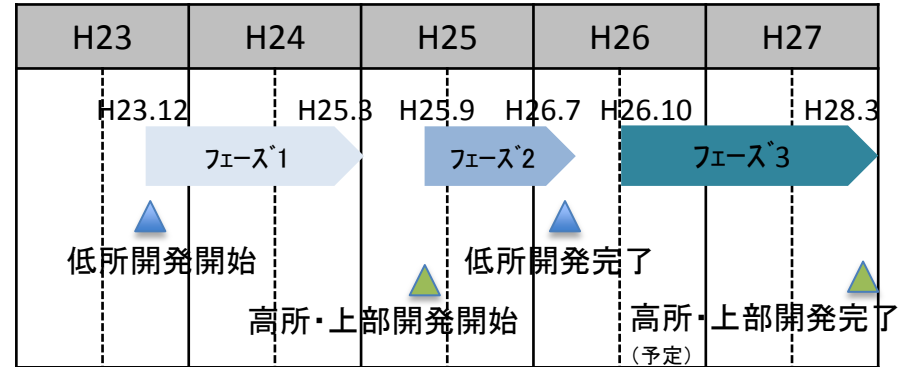
汚染形態

- ◆ 原子炉建屋の汚染形態は、**遊離性**、**固着性**、**浸透性**の3形態
- ◆ 除染装置は**組合せで全ての汚染に対応できる**ように4技術を選定
 - ・遊離性汚染: 吸引、高圧水
 - ・固着性汚染: ドライアイスブラスト、ブラスト、高圧水
 - ・浸透性汚染: ブラスト、高圧水



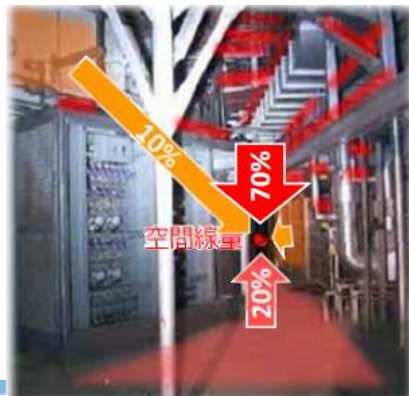
除染装置の開発方針

除染対象(低所、高所、上部階)、汚染形態(遊離性・固着性・浸透性)等に応じた最適な除染方法を検討し技術開発を行う。



線量分布

床面、壁面、ダクトや配管などの天井面の線源から構成



低所(床、下部壁面)用



吸引・ブラスト



高圧水ジェット



ドライアイスブラスト

高所用



高圧水ジェット



ドライアイスブラスト



吸引・ブラスト

上部階用

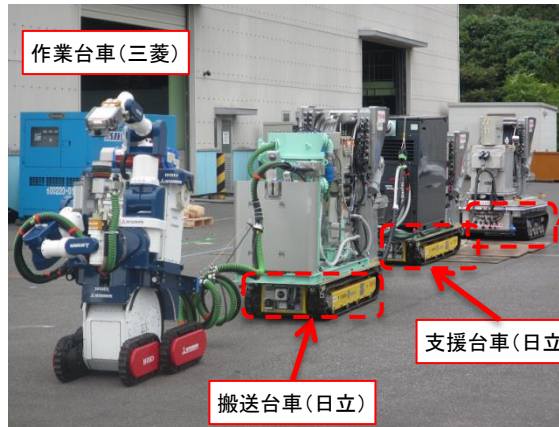


3. 上部階用除染装置の概要

上部階除染装置

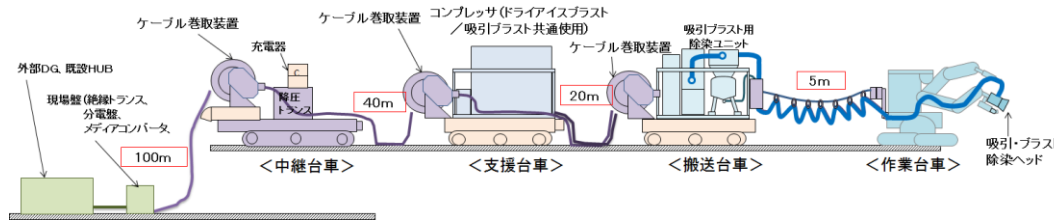
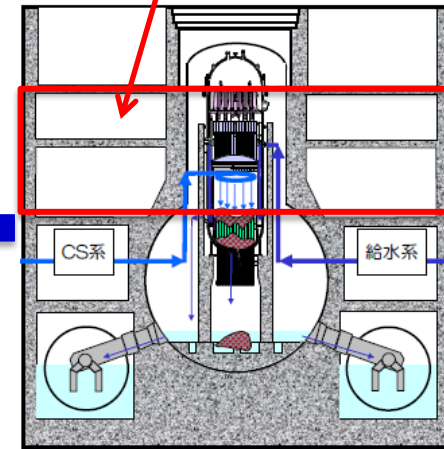
除染対象	2・3階の床面及び壁面(高さ約2m)
除染方式	吸引、ブラスト、ドライアイスブラスト、 高圧水ジェットの4技術*
上部階アクセス方法	昇降リフト(実機で手配)で機器搬入口より進入
非常時装備	非常用電源および通信装備

* 台車は**共用化**を図りメーカーで分担開発。適用する除染方式に応じて除染ユニットを交換する

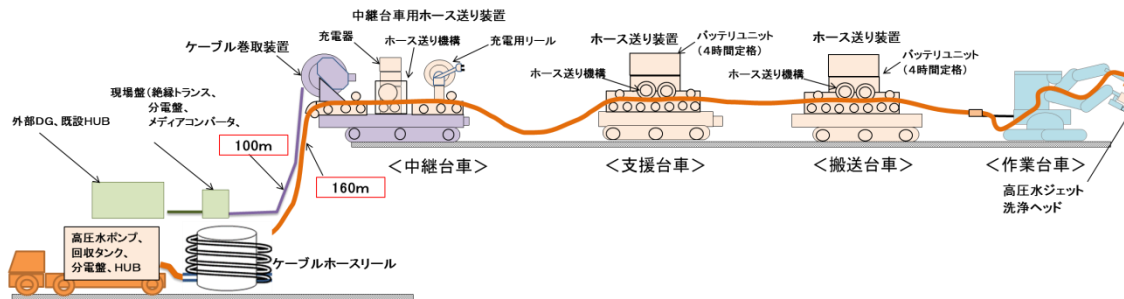


吸引・ブラストユニットを搭載した装置

2・3階で作業(PCV調査・補修等)を円滑に行うため、アクセスエリアの線量低減が重要



吸引、ブラスト、ドライアイスブラストのシステム概念図



高圧水ジェットのシステム概念図

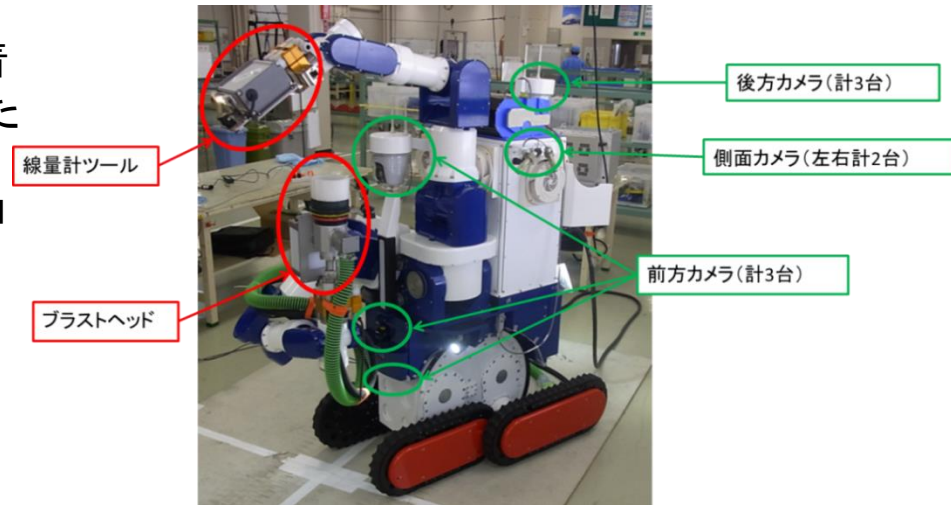
<開発課題>

- 昇降リフト外に搭載可能な寸法・質量とする必要あり
⇒ **台車・除染ユニットの小型化**
(複数台化/連結方式採用)
- 各除染装置が適用できる共通のアクセスシステムが合理的
⇒ **台車を共用化**
(台車/ユニット毎に各社分担)

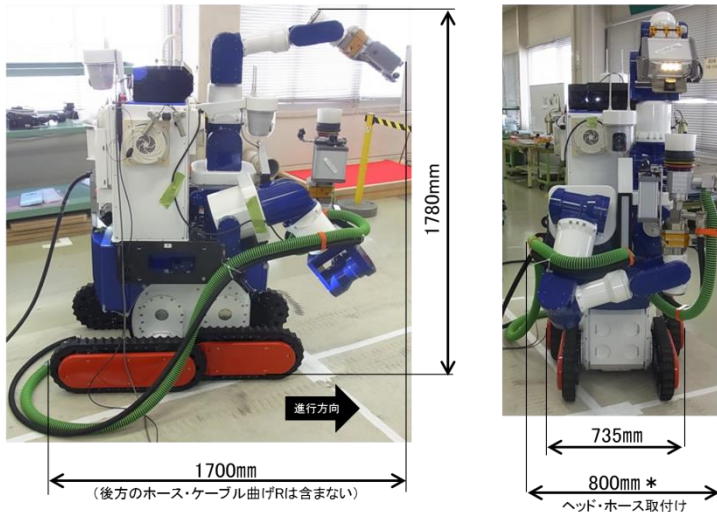
4. 共用台車の概要①

■ 作業台車

- ◆ 除染作業を行う台車で、各種除染ヘッドを装着し除染を行う。ヘッドの交換をスムーズに行うためにツールチェンジャを採用している
- ◆ 低所除染装置の作業台車(MHI-MEISTeR)のコンセプトをベースに開発。**7軸多関節のアーム(可搬重量25kg)を2本搭載。**
- ◆ 作業台車には、大学と連携した開発した**疑似俯瞰画像システム**と**3次元測域センサ**を搭載している。



除染ヘッド/ホース取付け時(走行姿勢)の寸法



*ドライアイス/高圧水ヘッド取付けの場合は寸法変わる可能性有り。別途測定必要

外形寸法	全長1700(*)×幅750×全高1700 [mm]
質量	約550 [kg]
移動方式	対地自動追従式独立4クローラ方式
移動・走行性能	段差50 [mm] 走行 最大20[m/min] 瓦礫等不整地走行(砂地以外)、その場旋回
通信方式	有線(光) ※非常時対応として無線搭載
常用電源	DC100V
非常用電源	バッテリー内臓(約4時間)
ロボットアーム	7軸多関節、先端取扱質量25 [kg]、 繰返し位置精度0.5 [mm]

* 姿勢変更により、約1200mmまで短縮可能

4. 共用台車の概要②

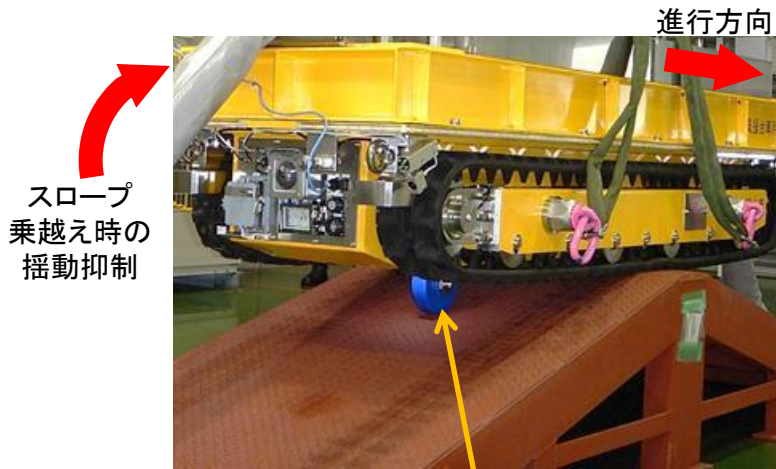
■ 搬送/支援台車

- ◆ 除染ユニット(除染方式により搭載物は異なる)を搭載・搬送する。
- ◆ 通信インターフェースの冗長化(有線1系統、無線2系統)
- ◆ 衝撃緩衝機構(前・後に配置)により、段差・スロープ乗越え時のピッチ方向揺動を抑制

搬送台車/支援台車諸元



搬送台車/支援台車



外形寸法	L2410mm×W714mm×H350mm
車重量	約750kg
走行形式	電動モータ駆動左右独立クローラ走行式
最大積載荷重	約950kg
最大走行速度	20m/min
最大乗越え段差	50mm
最大登坂傾斜	15度
常用電源	DC12VまたはAC200V
非常用電源	バッテリー内蔵(約30分走行可能)
通信 インターフェース	有線1系統 IEEE802.3ab/u/i (1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T) 無線2系統 IEEE802.11n/a/b/g (2.4GHz帯・5GHz帯両対応) Spanning Tree Protocolによる冗長化対応

4. 共用台車の概要③

■ 中継台車

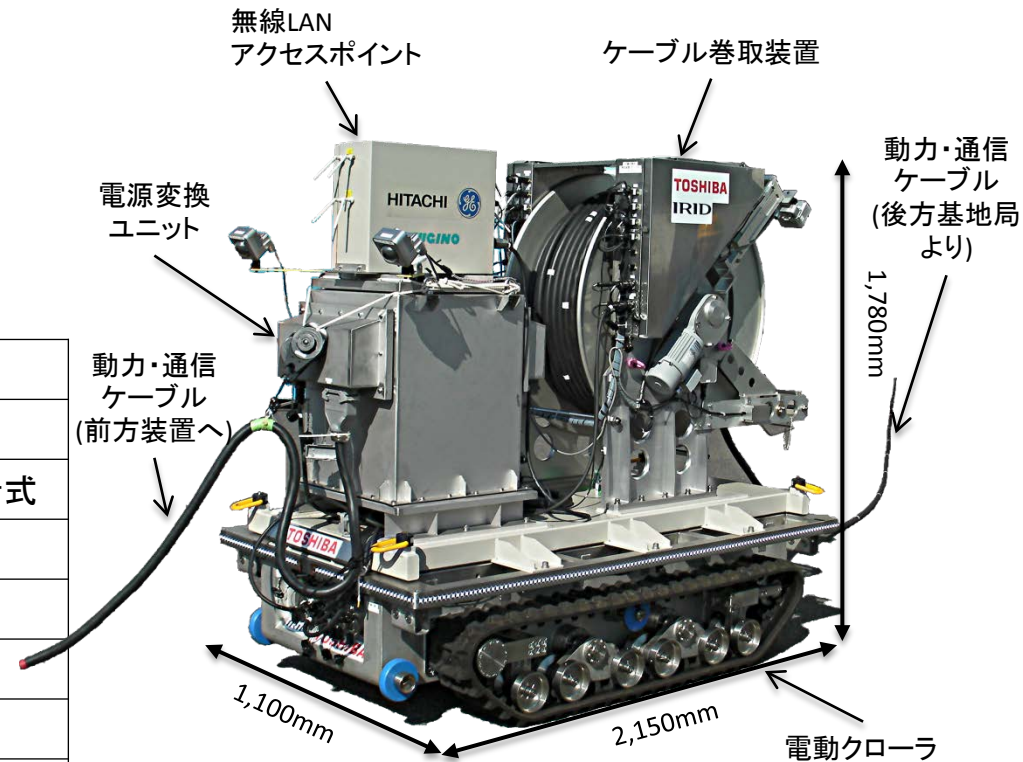
吸引・ブラスト除染および高圧水ジェット除染方式において、基地局から先頭の作業台車までの各装置に必要な動力と通信を中継する



中継台車本体

中継台車本体諸元

外形寸法	L2000mm×W1100mm×H500mm
車重量	約680kg
走行形式	電動モータ駆動左右独立クローラ走行式
最大積載荷重	約950kg
最大走行速度	20m/min
最大乗越え段差	50mm
最大登坂傾斜	15度
常用電源	AC200V
非常用電源	バッテリー内蔵(約30分走行可能)
通信方式	有線LAN(光通信)および無線LAN(通常時親機、有線故障時は子機)



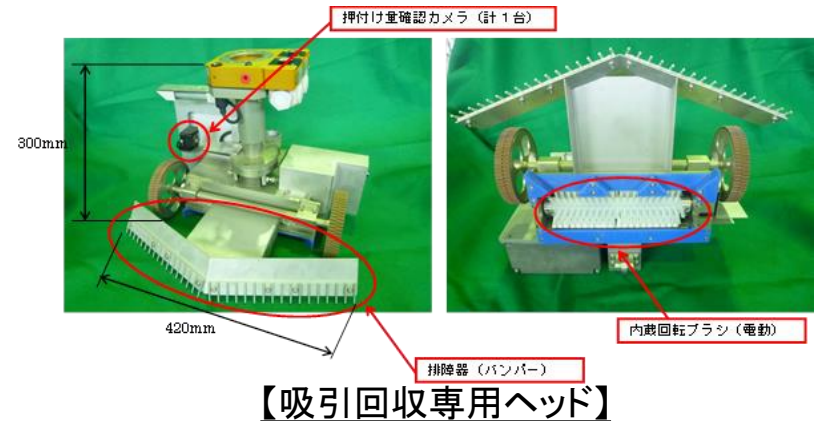
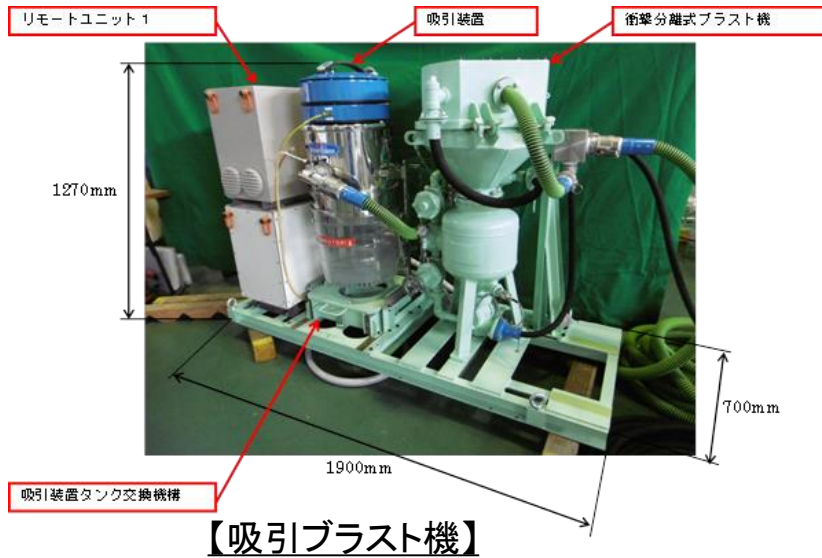
中継台車と搭載装置の例

(吸引・ブラスト/ドライアイスブラスト除染方式)

5. 除染ユニットの概要①

■ 吸引・ブラストユニット

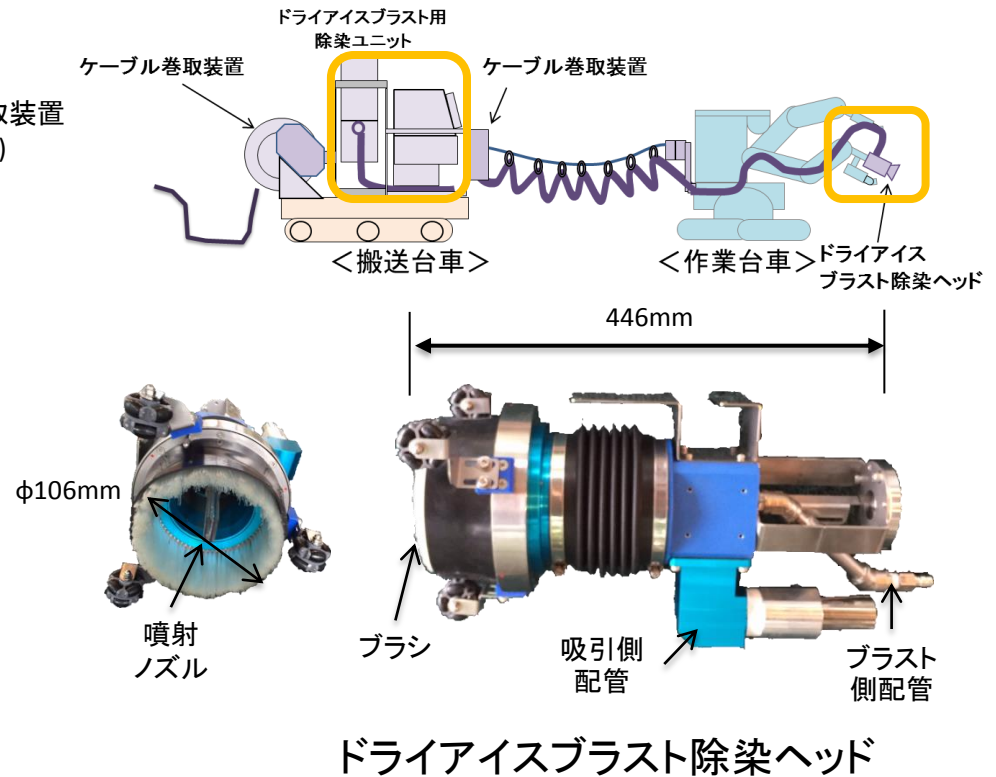
- ◆ 研削材を除染対象面に噴射し表面を研削する装置。(研削材は回収・汚染と分離して再利用)
- ◆ モード切替とヘッド交換により、吸引除染としても使用可能
- ◆ 上部階エリアでのアクセス性向上のため、低所用装置に比べ各ユニットを小型化している



5. 除染ユニットの概要②

■ ドライアイスブラストユニット

- ◆ 支援台車より供給される圧縮空気にドライアイスブラスト装置内で生成したドライアイス粒子を混合し、対象に吹付、汚染物質を回収する。
- ◆ ドライアイスブロック1個あたり約20分の施工が可能で、本装置は3個を装填し除染作業を行うことが可能。



5. 除染ユニットの概要③

■ 高圧水ジェットユニット

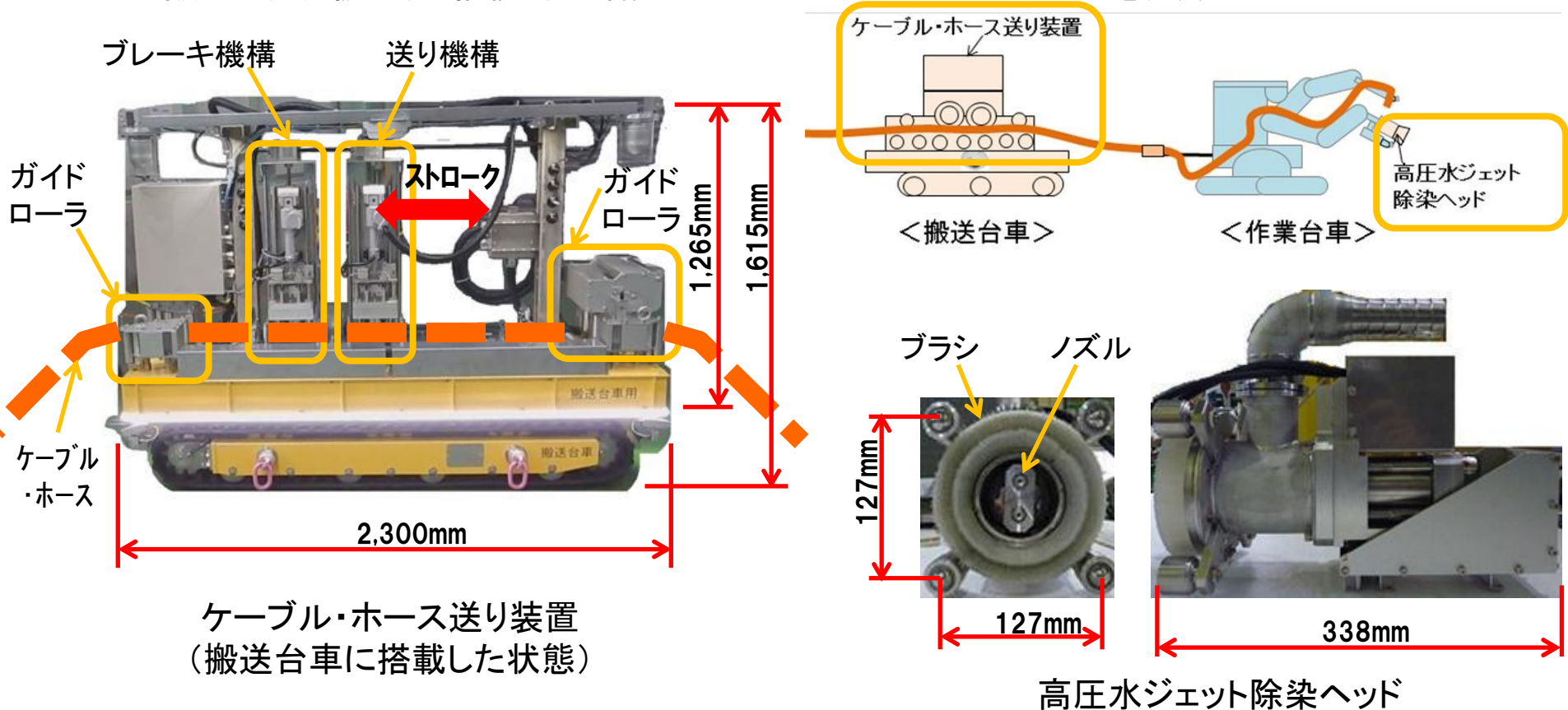
◆ 高圧水ジェット除染ヘッド

高圧水を噴射することで汚染箇所の遊離性汚染を除去する。

噴射した高圧水は、除染ヘッド部で真空吸引することで、ほぼ除染水を漏らさずに除染可能。

◆ ケーブル・ホース送り装置

搬送台車/支援台車に搭載し、上部階でのケーブル・ホースのハンドリングを行う。



6. 実証試験の概要

実証試験の目的

平成27年度末を目標に実証試験を実施し、福島第一発電所への適用性を評価する。実証試験では、実機を模擬した工場モックアップ設備を用い、以下の性能について確認を行う。

【除染装置に求められる性能】

- ・目標線量率(作業エリア3mSv/h以下、アクセスエリア5mSv/h以下)を踏まえた除染性能
- ・遠隔での操作性、走行性、アーム動作性
- ・附帯機器等との連携性
- ・故障時の機器回収性、転倒防止能力、安全機能
- ・除染に使用する水やブラスト材等を飛散させずに回収する機能

【上部階特有事項】

- ・上部階との往復には汎用の昇降作業台を使用
- ・上部階との往復に要する時間を極力短縮
- ・上部階の構造躯体、機器配置の中で動作

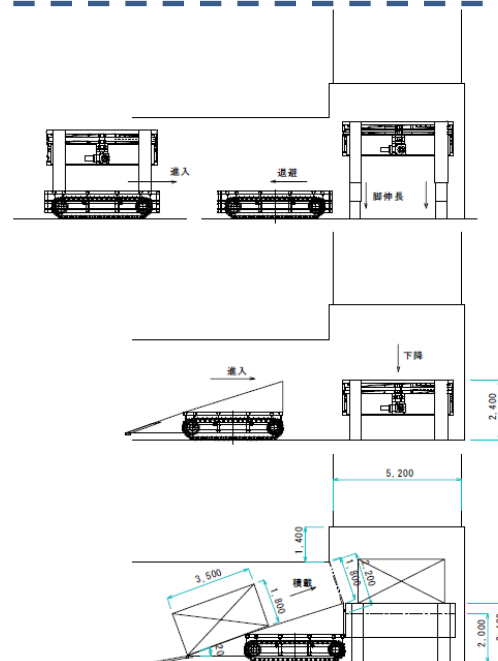
■ 実機モックアップ

昇降設備は実機向けに基本検討したリフトとおおむね同程度の基本スペックのものを用意。



架台
(幅13.6m × 奥行き8m × 高さ8.5m)

試験用昇降設備



実機リフト(試設計)のイメージ

7. 開発の概要と今後の予定

①上部階用除染装置は、「複数の除染技術を共通のロボットに搭載でき、上部階にアクセスし作業できるシステム」を実現することを目的として開発を行った。なお、装置の検討は以下の分担で実施。

<共用台車>

- ・作業台車……………三菱重工業
- ・搬送/支援台車……………日立GEニュークリア・エナジー
- ・中継台車……………東芝

<除染ユニット>

- ・吸引ブラストユニット……………三菱重工業
- ・ドライアイスブラストユニット……………東芝
- ・高圧水ジェットユニット……………日立GEニュークリア・エナジー

また、遠隔操作技術開発の一部は、知識・経験の豊富な大学研究室に委託。

②開発した装置については、それぞれ実機形状等を模擬したモックアップを用い、実機での適用を想定した実証試験を実施し、実機適用の目途を得た。なお、抽出された課題については今後改良を加え実機適用までに改善する。

③本年度をもってプロジェクトは終了予定。開発した装置は適宜福島第一原子力発電所に投入(平成28年度以降)していく予定。

8. デモ実演の内容

①地上走行デモ:

オペレーションルームにおいて、ロボットからの情報のみを頼りに遠隔操作で地上走行を実施します。

②除染作業デモ:

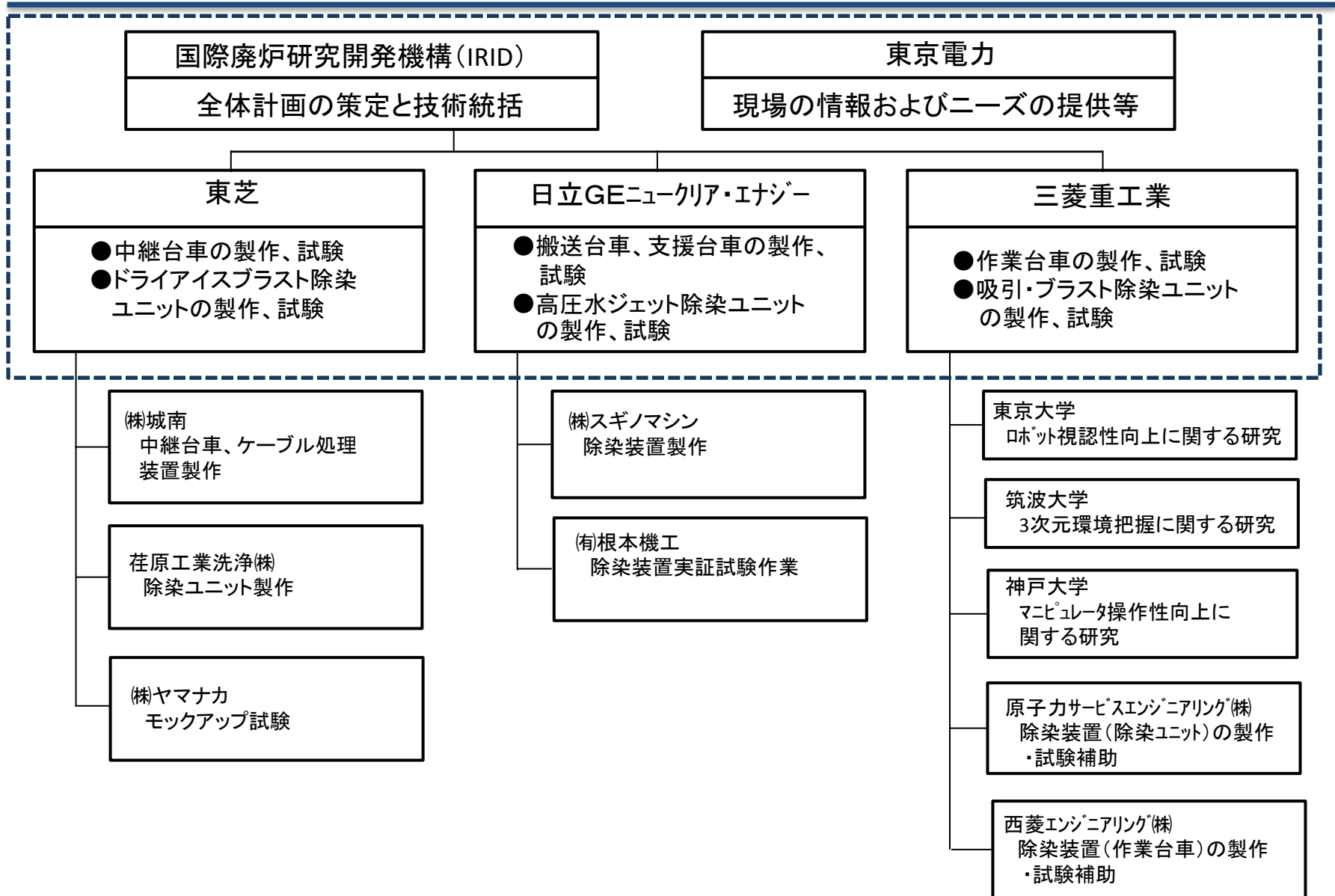
各種除染方法のうち、研削材(金属粒)を除染対象面に噴射し、汚染を吸引する「ブラスト除染」を実施します。

③昇降作業台デモ:

上部階へのアクセスを検証するため、ロボットを試験昇降設備へ載せて、昇降のデモを実施します。

參考資料

参考資料-1 研究開発体制



参考資料-2(1/2) 実証試験の様子

■ オペレーションルームの様子



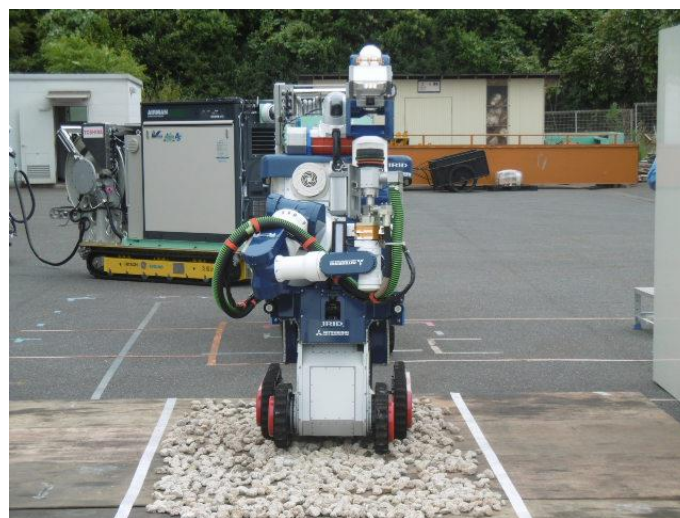
■ 除染動作



■ 走行試験



■ 走行試験(砂利道)



参考資料-2(2/2) 実証試験の様子

■ 作業台車・搬送台車 リフト乗入



■ 作業台車 上部階進入



■ 支援台車 リフト昇降

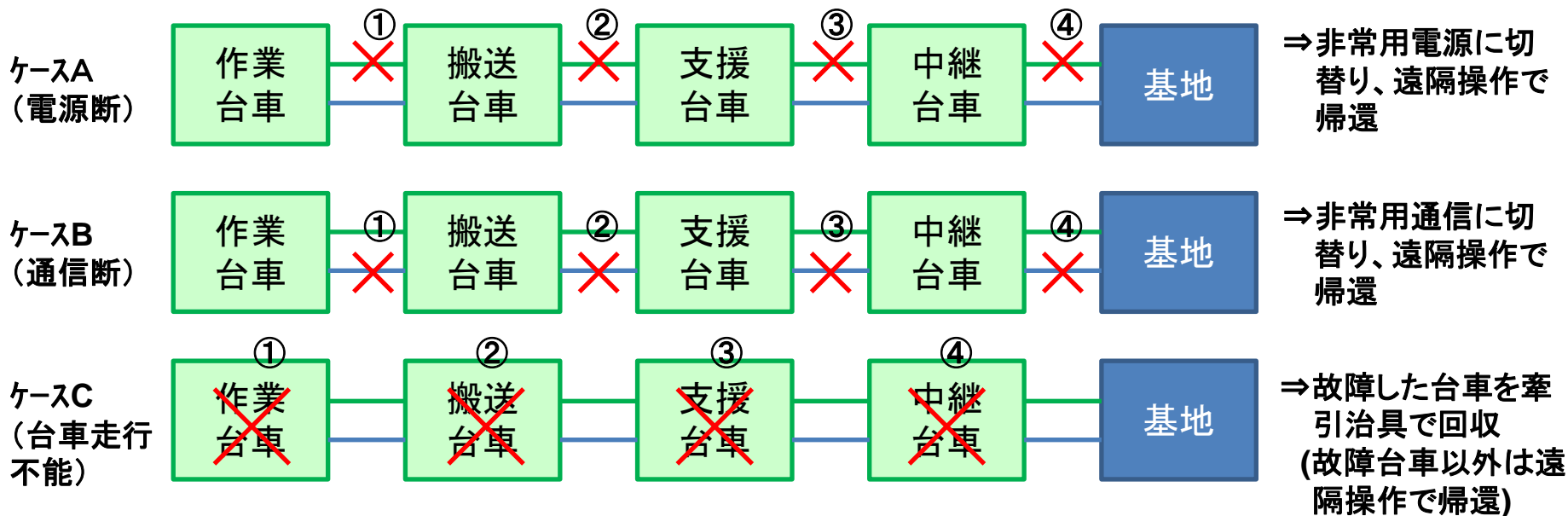


■ 中継台車 リフト昇降



参考資料-3 非常時を想定した機能・試験

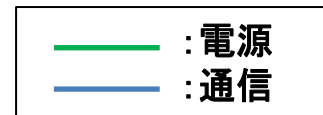
- 上部階除染装置は実機での不具合を想定し、非常用電源・非常用通信を装備している。
- 実証試験ではこれらが満足に機能することを確認するとともに、台車自体が走行不能となった場合においても回収できることを確認した。



中継台車の牽引回収の様子(ケースC-④)



牽引治具を操作している様子



参考資料-4 大学との連携

技術的課題

- ロボットに搭載している通常カメラの情報のみでロボットを操作することは、ロボット周囲の状況を把握しにくく、操作しにくい。
- 多関節マニピュレータを狭い場所で用いる場合、周囲と干渉無く動かすことは、操作が複雑で難しい。

解決方法

これらの対応技術の知識豊富な大学研究室に検討を委託

周辺把握1【東京大 山下研究室】

- ロボットに搭載した複数のカメラ画像を補正し、ロボットを上空から見下ろすような画像（疑似俯瞰画像）を表示させ周囲状況をわかり易く表示
- カメラの種類や取付け位置・方向の変更に柔軟に対応できるように、画像補正量を簡単に調整できる技術を開発

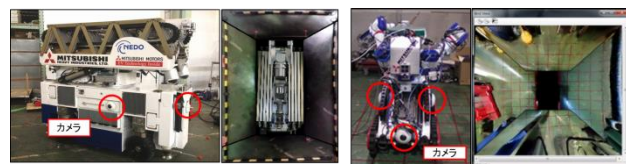
周辺把握2【筑波大 坪内研究室】

- カメラやレーザセンサによる3次元計測情報をロボット周囲にマッピングし、判り易く表示させるシステムを開発
- ロボットへの適用性を考慮し、通信速度が遅い場合にも柔軟に対応できるように、必要な解像度の静止画や動画を適宜選択できるシステムを開発

操作性向上【神戸大 横小路研究室】

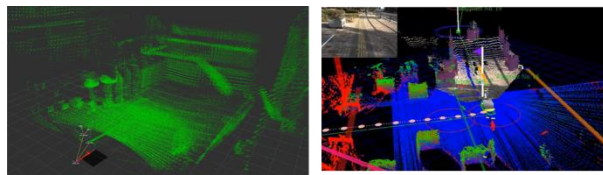
- 多自由度のマニピュレータは障害物回避や狭隘空間へのアプローチが有利な反面、操作が複雑である
- 操作の複雑化を低減すべく、直感的にセルフモーション*の運動指令ができる、判り易い操作インターフェースを開発

*：マニピュレータの手先とベースを固定した状態で全体の形を変化させる動作



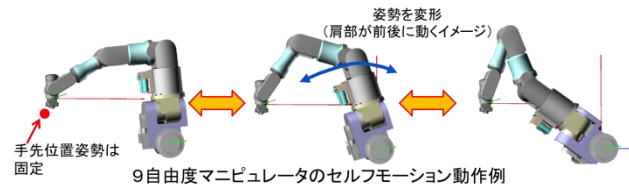
Super Giraffeの疑似俯瞰画像

MEISTeRの疑似俯瞰画像



Super Giraffe で取得したデータの3Dマッピング画面（開発中）

3Dセンサ情報やカメラ映像を用いた周囲環境把握表示のイメージ



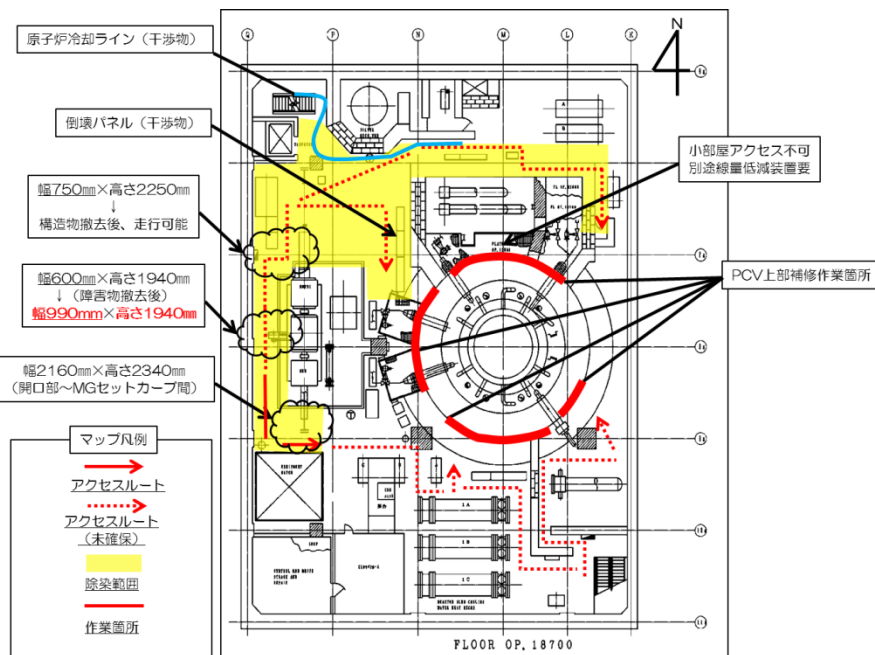
手先位置姿勢は固定

9自由度マニピュレータのセルフモーション動作例

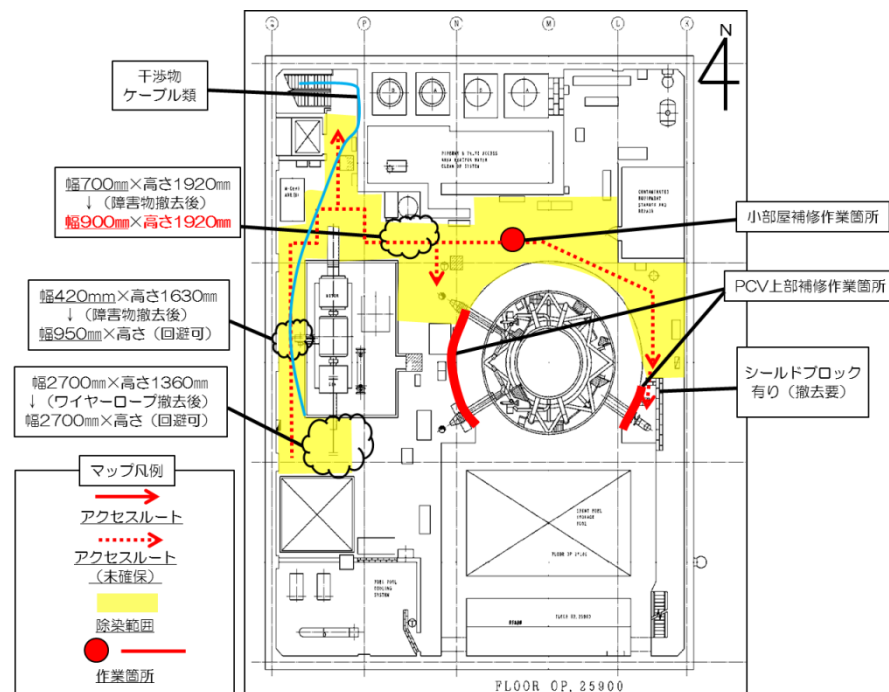
参考資料-5(1/3)上部階装置の適用範囲

【1号機の場合】

- 1号機は機器ハッチ開口部周辺に機材等が散乱しており、装置がアクセスするためにはこれらの撤去が必須である。
- また、西側通路はMGセット等との干渉でアクセス不能、北側通路は原子炉冷却ラインによりアクセスが制限されることを調査により確認されており、除染のためにはこれら干渉物の撤去が必要。
- これら干渉物が撤去されることを前提とし、2階、3階の除染エリア、装置アクセスルートについて検討した結果を以下に示す。



1号機2階の主作業エリア

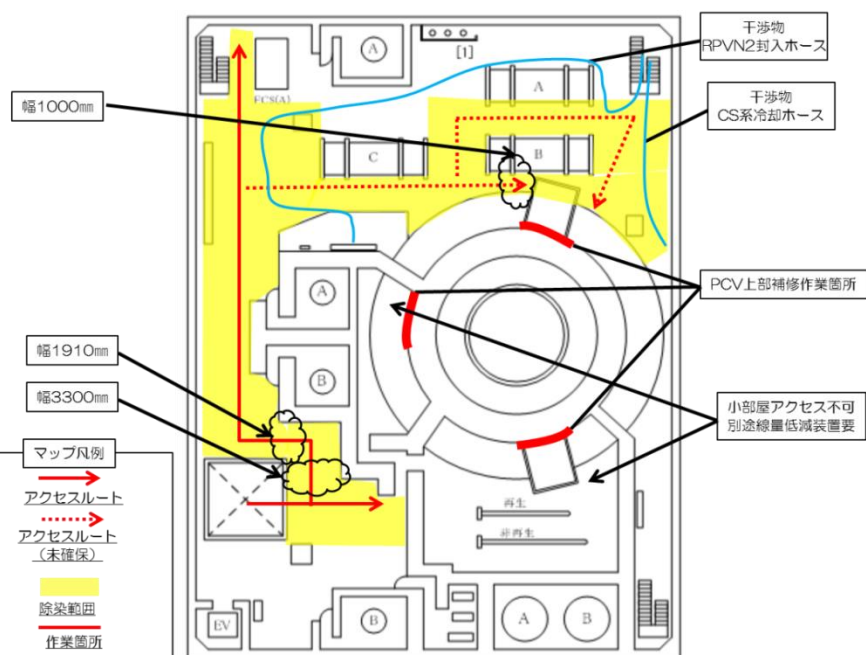


1号機3階の主作業エリア

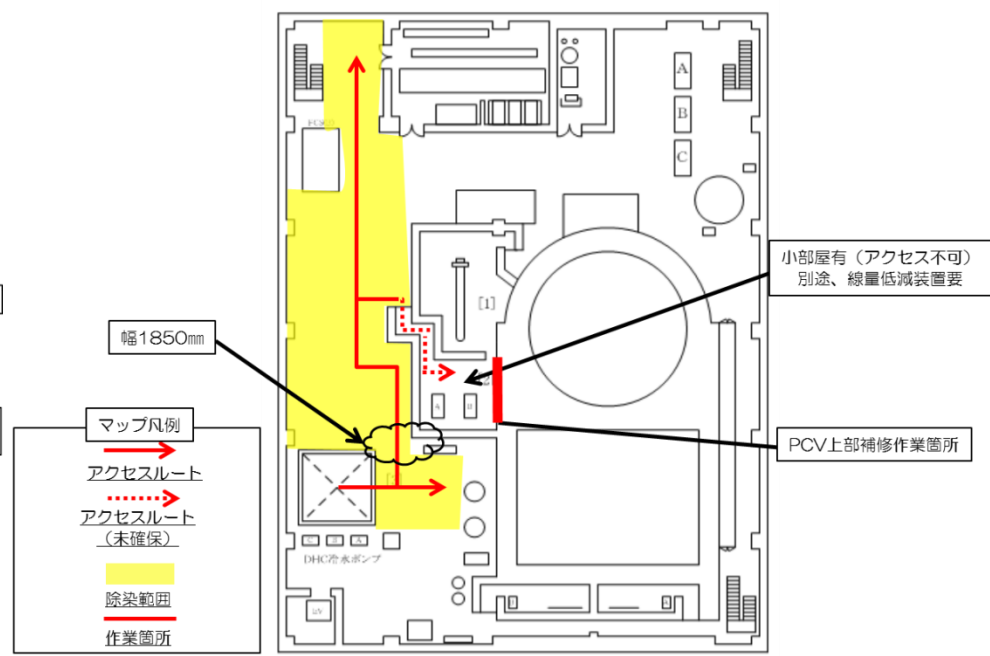
参考資料-5(2/3)上部階装置の適用範囲

【2号機の場合】

- 2号機は瓦礫等の飛散がなく、1/3号機に比べ比較的アクセスしやすい環境にある。
- 2階北側通路には重要設備等あり、アクセス時は別途干渉物の移設や撤去が必要。
- これらを踏まえ2,3階の除染エリア、装置アクセスルートについて検討した結果を以下に示す。



2号機2階の主作業エリア

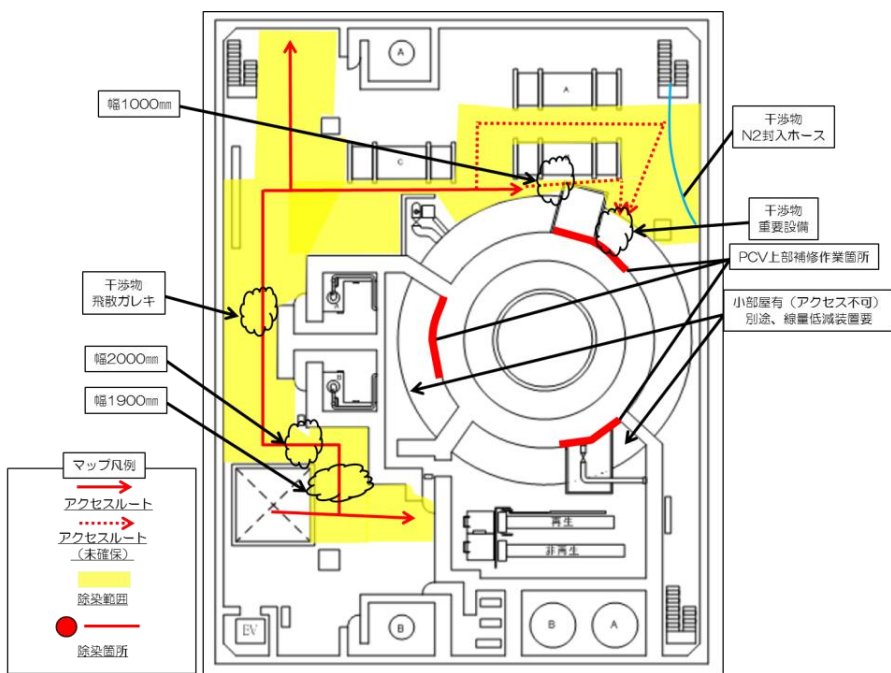


2号機3階の主作業エリア

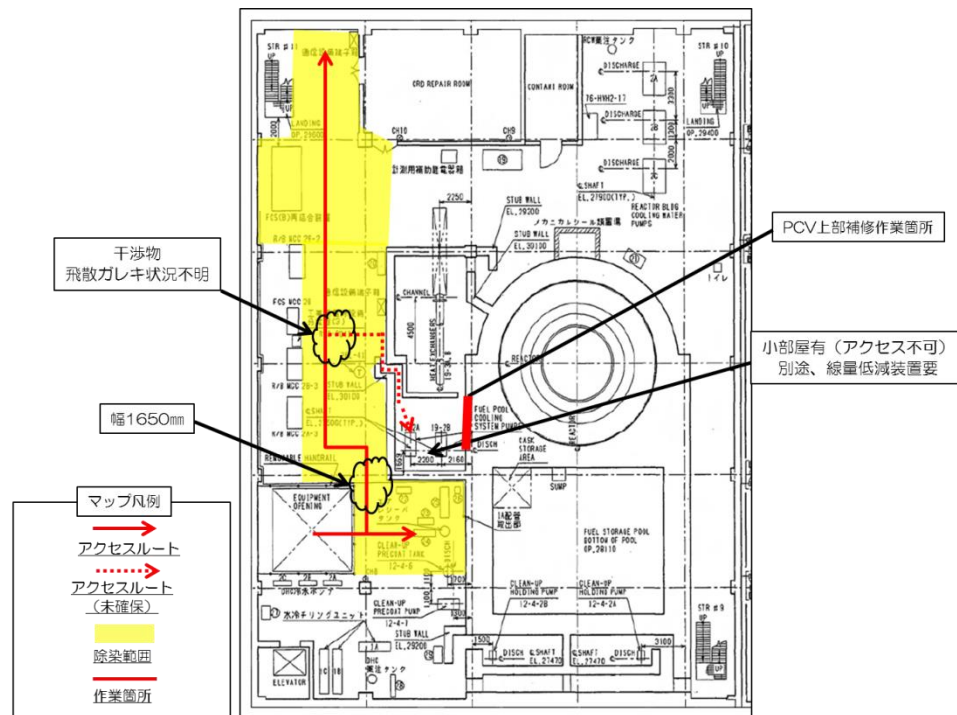
参考資料-5(3/3) 上部階装置の適用範囲

【3号機の場合】

- 3号機は調査が行われておらずエリア全体の状況が不明であるが、1号機と同様に機器ハッチ周辺の瓦礫等の飛散(飛散範囲不明)、アクセス通路部における重要構造物との干渉の可能性が確認
- また、アクセスルートに対する狭隘部寸法についても、機器配置図から採寸しており1・2号機の調査時の計測値とは異なることが懸念される。
- これらを踏まえ2,3階の除染エリア、装置アクセスルートについて検討した結果を以下に示す。



3号機2階の主作業エリア



3号機3階の主作業エリア