

**注意**

本図書は株式会社IHIの秘密情報を含んでいます。  
本図書について以下のことをIHIの書面による事前承諾なく行うことを禁じます。

- (1) 複製(方法を問わず)
- (2) 第三者への開示
- (3) 供与目的以外への使用

**PROPRIETARY**

This document contains information proprietary to IHI Corporation (IHI). It shall not be reproduced, used or disclosed to anyone without the prior written permission of IHI.

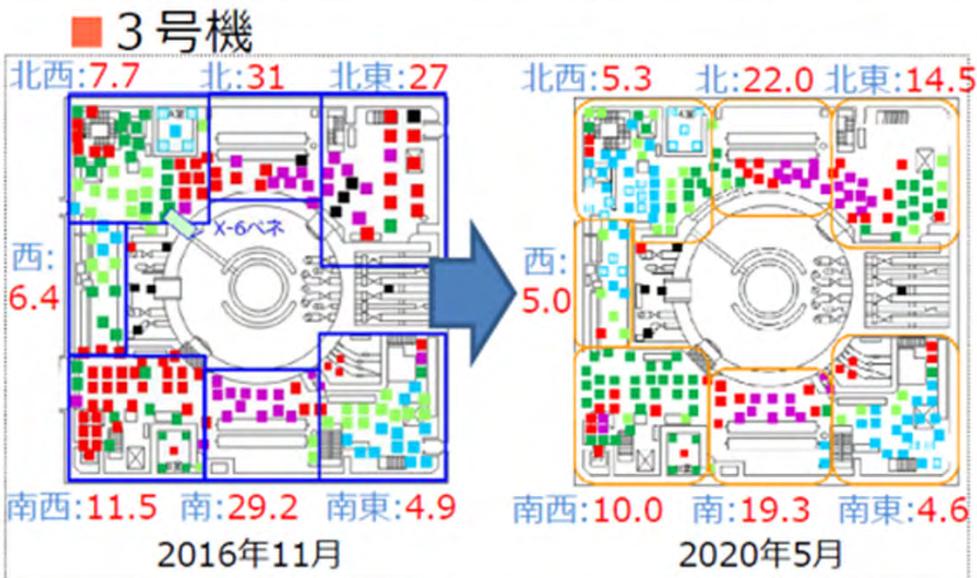
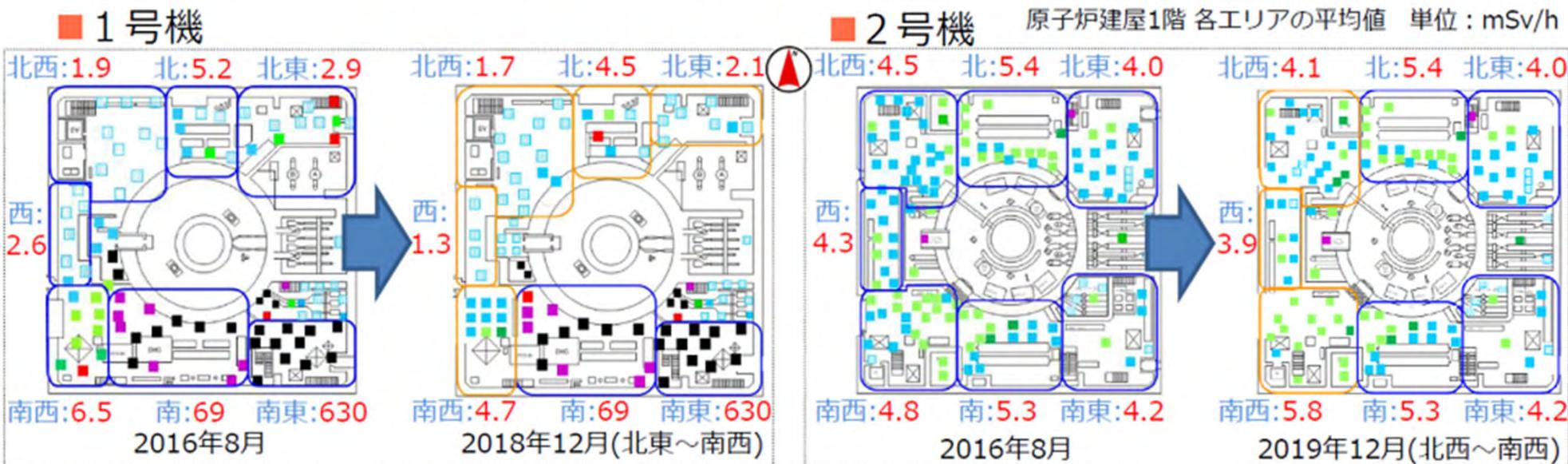
# 原子炉建屋内の環境改善・干渉物撤去のための遠隔技術の開発

**IHI**

2023年9月

株式会社 IHI

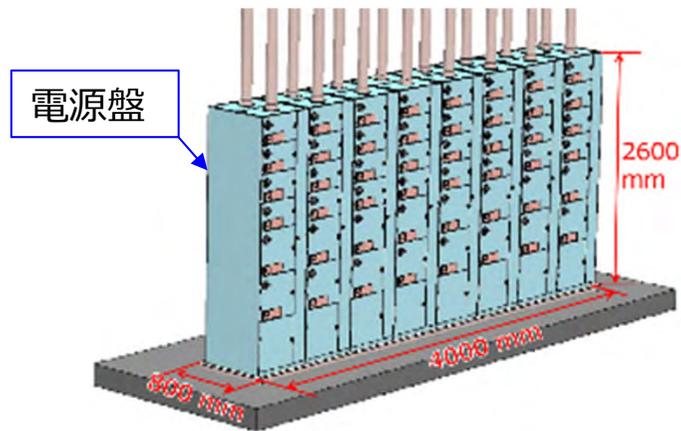
# 1 原子炉建屋一階の空間線量率の推移



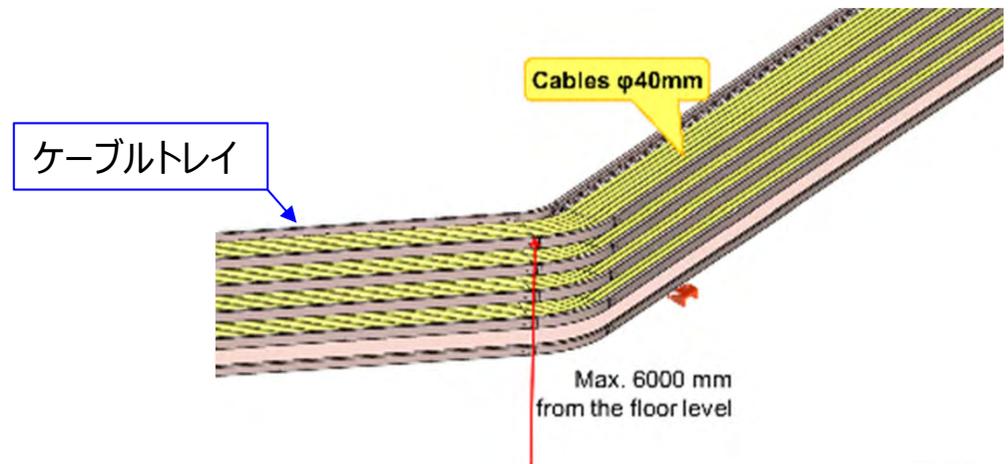
燃料デブリや炉内構造物などの取り出しのためには、原子炉建屋内の環境改善が必要。しかし、線量の高い環境での作業が必要であり、作業員のアクセスに限界がある。  
 →遠隔技術の活用が望まれる。

## 2 対象撤去干渉物

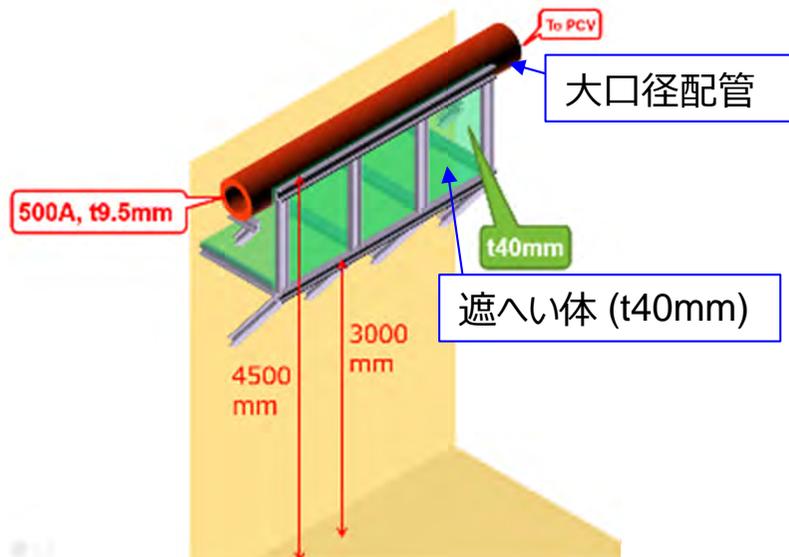
<1F 3号機内代表干渉物>



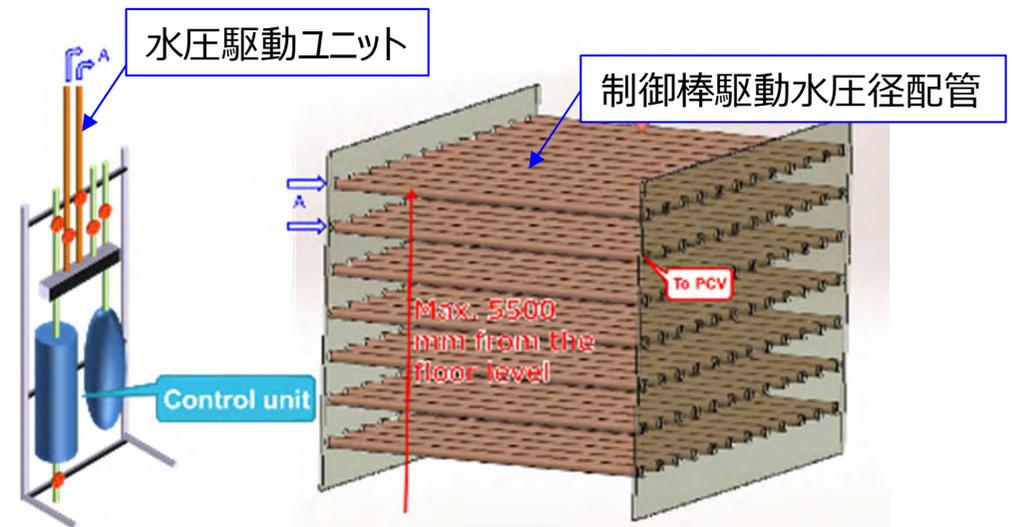
電源盤：建屋通路上に多数存在する



ケーブルトレイ：高所（6m）に存在する



大口径配管および遮へい体：  
厚板・大口徑PCV接続配管

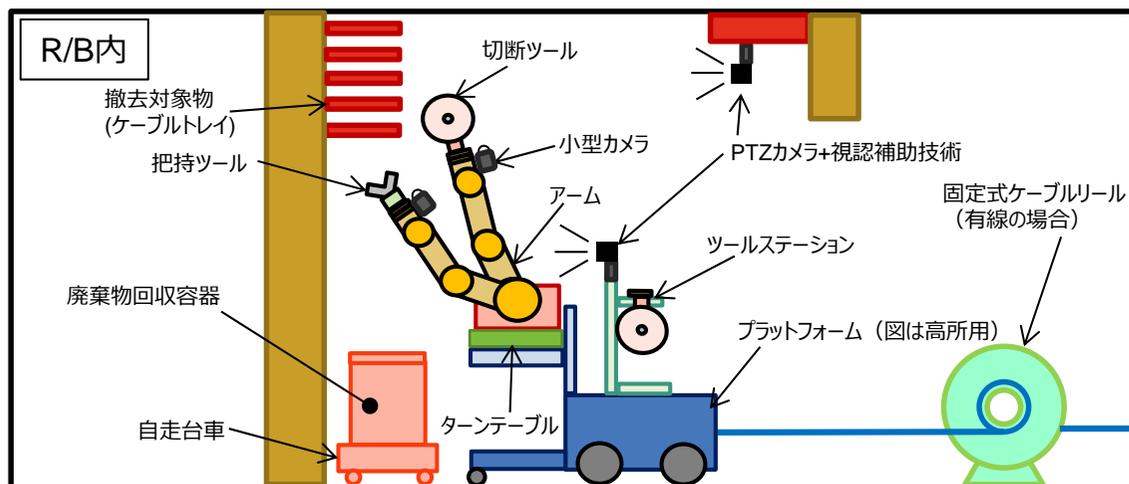


水圧駆動ユニットおよび制御棒駆動水圧径配管：  
狭隘・小口径PCV接続配管

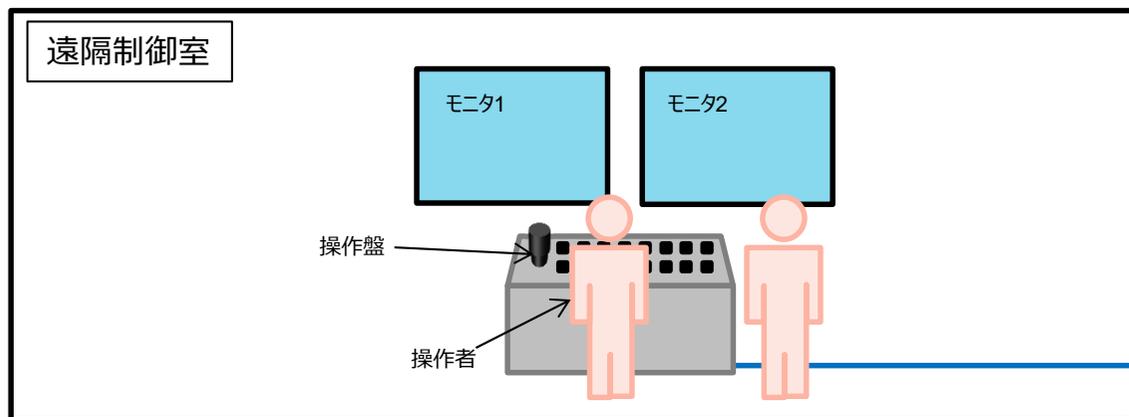
### 3 ロボットシステムの構築

#### <遠隔ロボットシステムの構成>

- 代表干渉物の撤去に必要な要求機能を達成する遠隔ロボットシステムを構築した。



- 撤去作業：アーム, 先端ツール
- 作業位置へアクセス：プラットフォーム, ターンテーブル
- 先端ツールの遠隔交換：ツールステーション
- 作業状況/周辺状況の把握, 外観調査：小型カメラ, PTZカメラ, 視認補助技術
- ケーブル送出, 巻取制御：ケーブルリール
- 撤去物の収納～搬送：廃棄物回収容器
- 作業ロボットの操作：操作盤

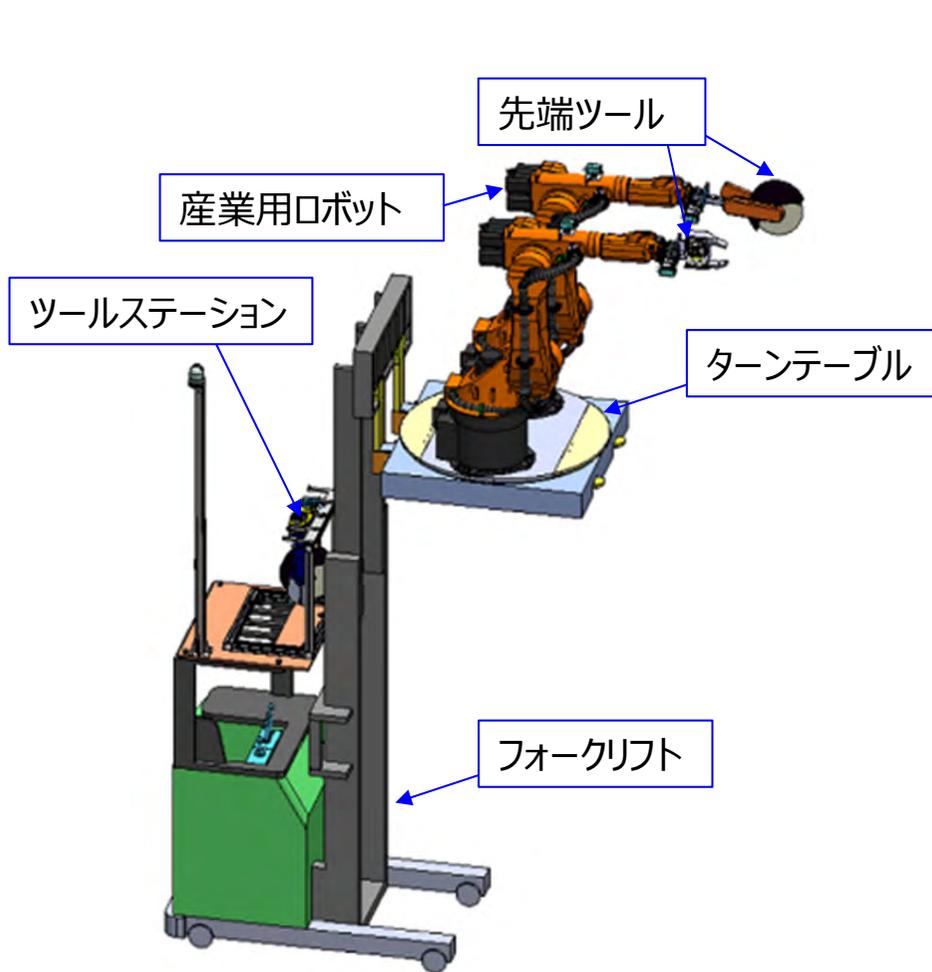


本図は高所にある干渉物の撤去をイメージしているが、低所作業の場合は、低所用プラットフォームに変更することで、現場状況に応じた柔軟な対応が可能なシステムである。

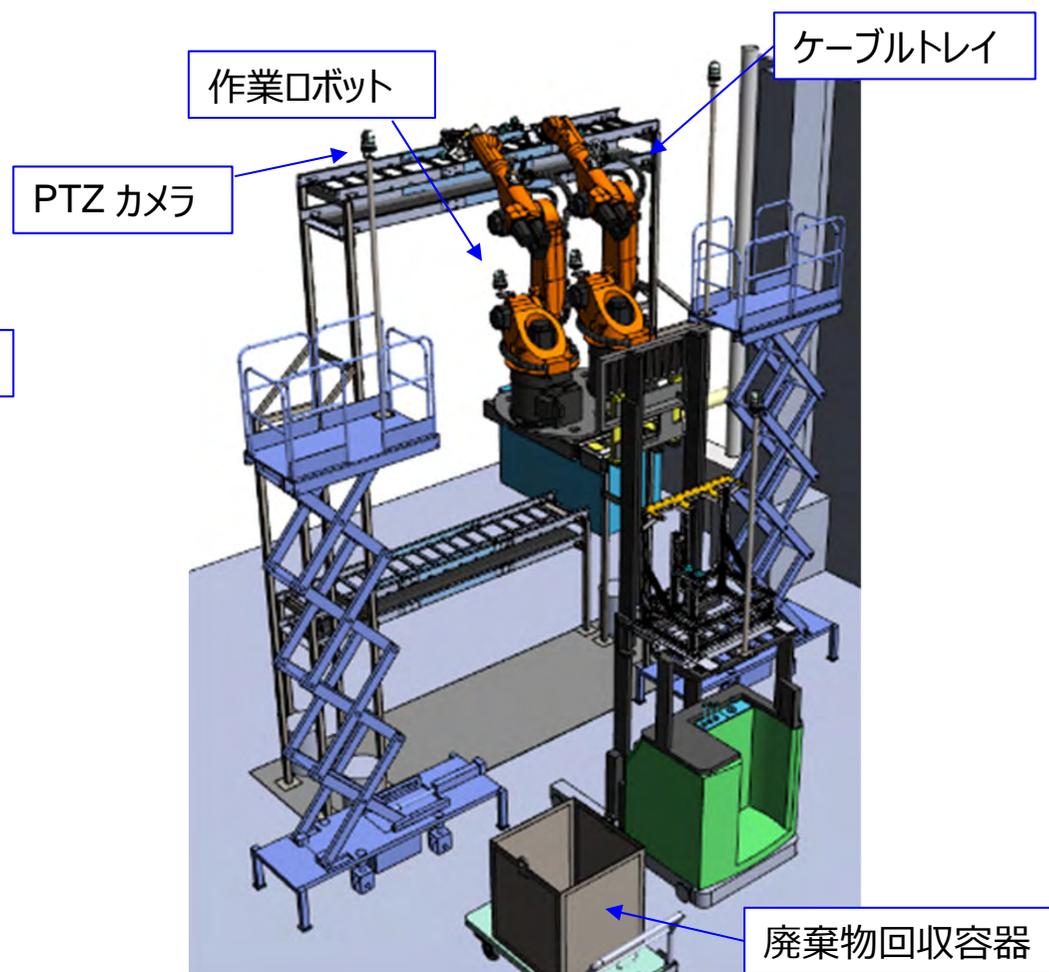
## 4 試験設備

〈遠隔ロボットシステムの高所作業性検証のためのモックアップ試験設備〉

- 構築した遠隔ロボットシステムの性能検証を目的として、作業ロボットとモックアップ設備を用意した。
- 撤去対象のケーブルトレイは1F現場を模擬するため、6mの高さに設置した。



作業ロボットの構成

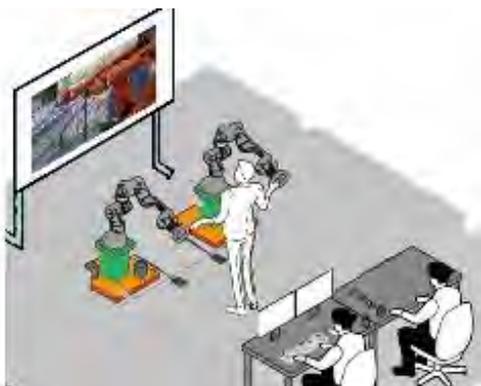


モックアップ試験設備の構成

## 5 ヒューマン・マシン・インターフェース

### <ヒューマン・マシン・インターフェース (HMI) の構成>

- ロボットの操作者の負担軽減のため、M/S形式<sup>(※)</sup>の専用HMIをロボットシステムに導入した。  
(※) メインロボット (M) の動きにセカンダリロボット (S) を追従させて遠隔操作する形式
- 専用HMIの付加機能を以下に示す。
  - 両腕協調制御…2基のセカンダリロボットが近接時にメインロボットの動きを抑制し、操作に負荷を与えることで、2基のセカンダリロボット間の接触を防止する。
  - リアルタイムシミュレーション…セカンダリロボットの姿勢を予め作成した3D空間上に表示することで、カメラの無い視野を確認できる。



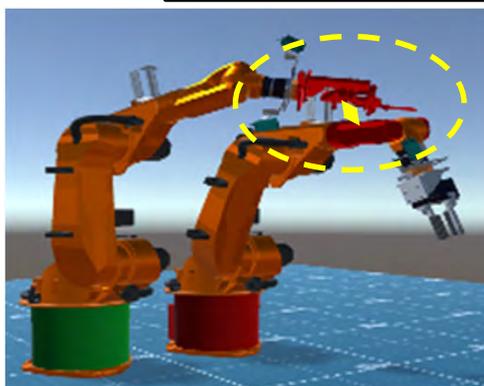
専用HMIの構成



メインロボット (操作者が動かすロボット)



セカンダリロボット (作業ロボット)



両腕協調制御



リアルタイムシミュレーション

## 6 遠隔操作室

＜遠隔ロボットシステムの操作のための遠隔操作室＞

- 付加機能（両腕協調制御，リアルタイムシミュレーション）を備えたHMIで作業ロボットの遠隔操作を実施
- 産業用ロボットの標準HMIとの操作性を比較



付加機能を備えた専用HMIと産業用ロボットの標準HMIを比較し、  
専用HMIの優位性を確認した（操作時間を1/2程度削減）。

## 7 高所作業性検証手順

<高所干渉物（ケーブルトレイ）の撤去検証>

- 地上から6mの位置にセットしたケーブルトレイを遠隔で撤去する検証を以下手順で実施した。

手順1



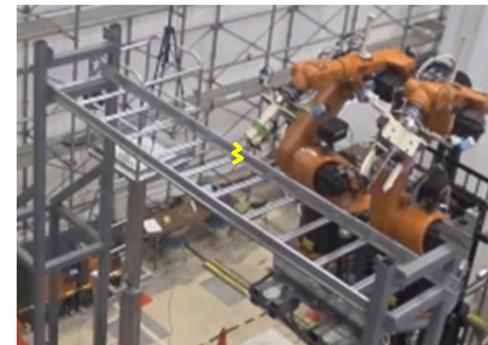
先端ツールを交換する

手順2



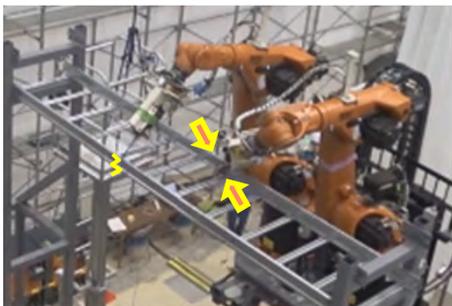
フォークリフトを上昇させる

手順3



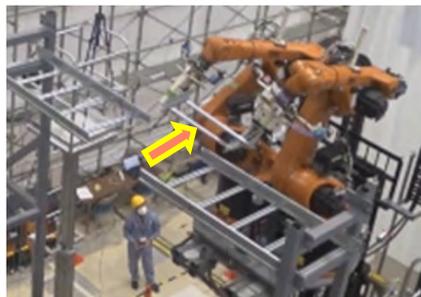
ケーブルトレイ（片側）を切断する

手順4



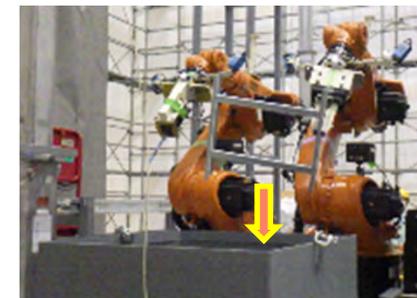
ケーブルトレイを把持し、切断する

手順5



ケーブルトレイを撤去する

手順6



廃棄物回収容器に収納する

計画した遠隔のロボットシステム構成により、  
代表的な高所の干渉物に対する遠隔撤去作業性を確認した。

## 8 高所作業性検証試験の様子

<動画：2分40秒>

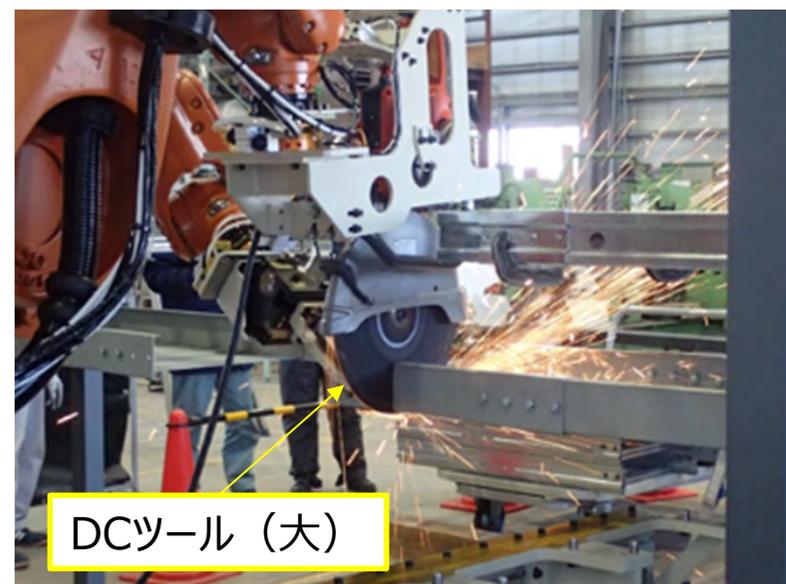
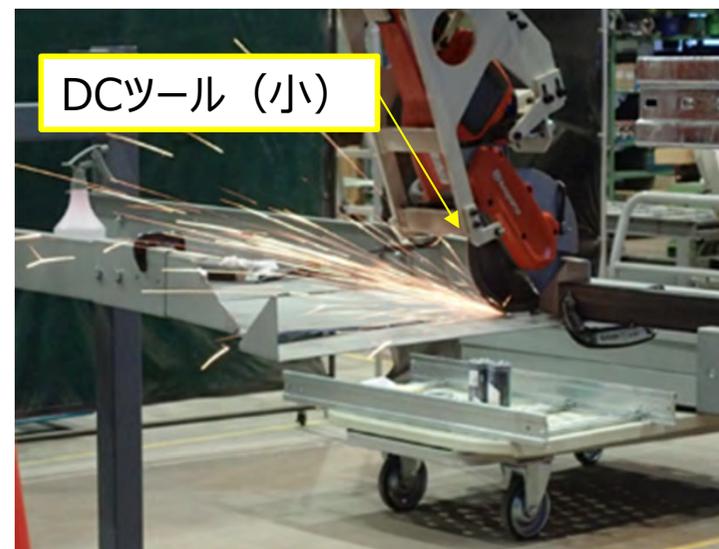
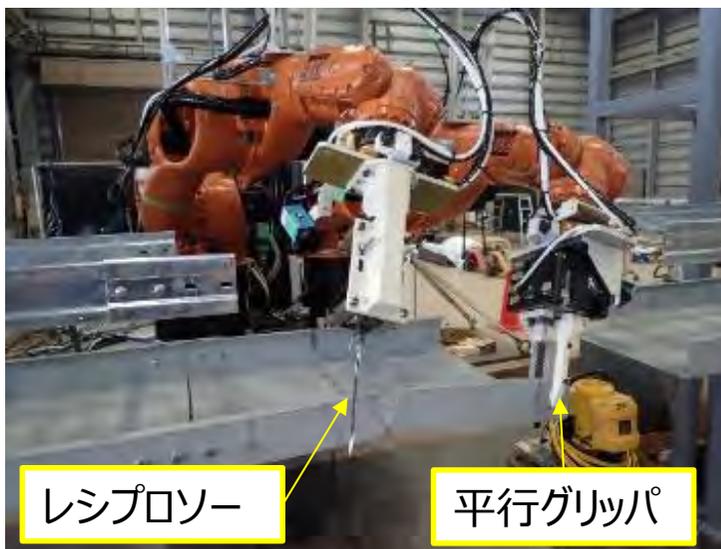
- 高所干渉物（ケーブルトレイ）の撤去作業検証試験の様子



## 9 干渉物撤去用先端ツール

### <先端ツール一覧>

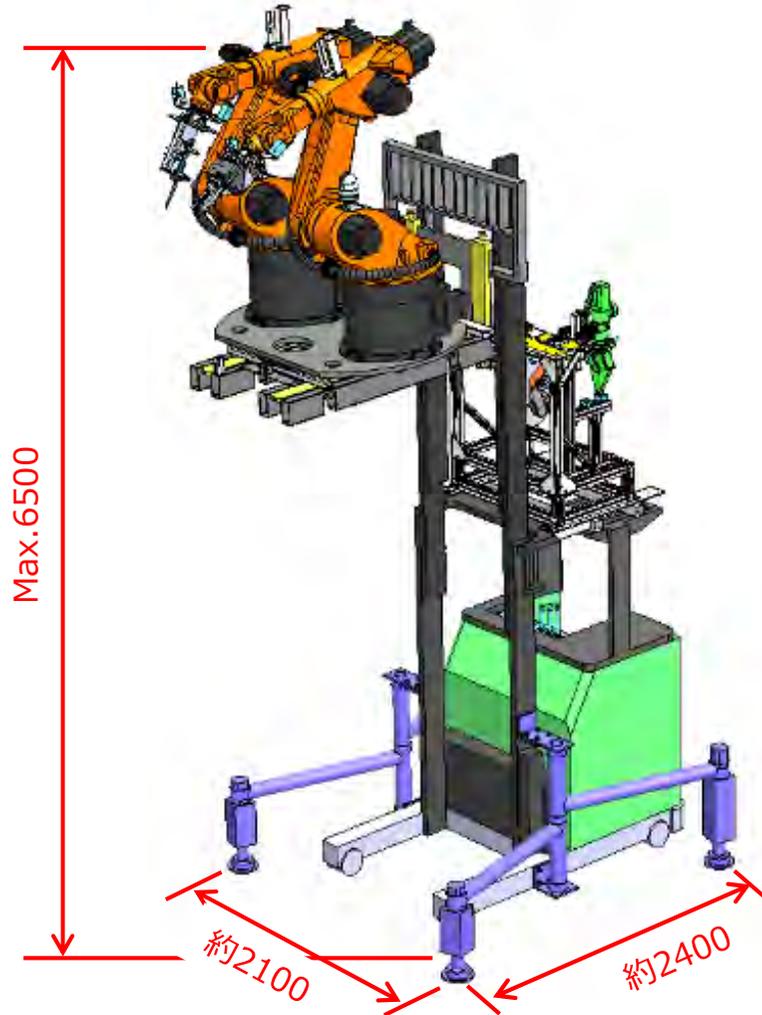
- 対象の干渉物を撤去するために選定した先端ツールを下図に示す。



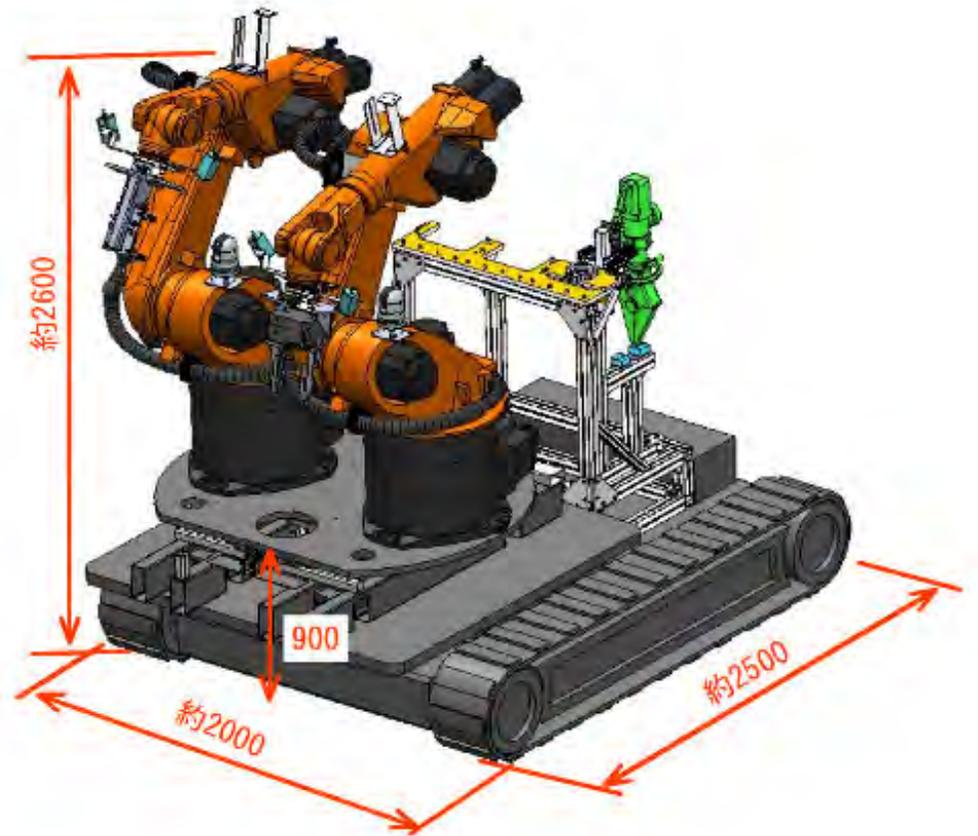
# 10 作業ロボット構成

## <作業ロボット仕様>

- 高所作業ロボットおよび低所作業ロボットの寸法を下図に示す。
- 対象となる干渉物の位置により、作業ロボットの構成を変更可能



高所作業ロボット寸法（アウトリガー展開時）



低所作業ロボット寸法

# 11 研究のまとめ

## <まとめ>

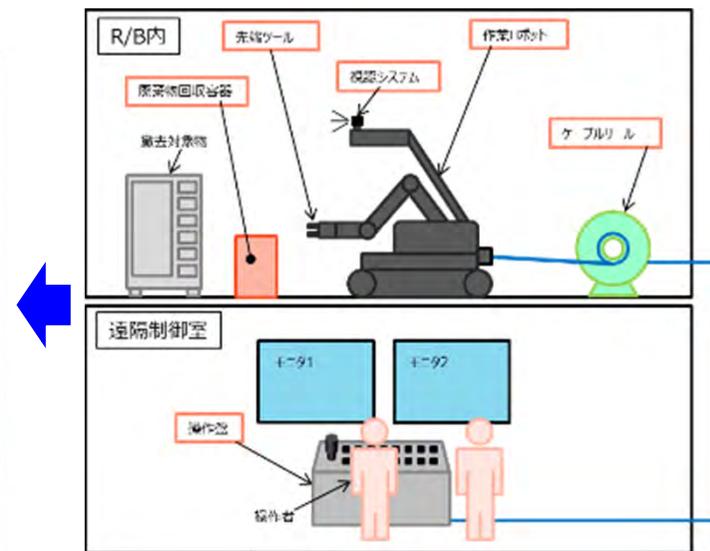
- 本作業ロボットは市場で入手可能な技術で構成し，HMIのみを改良して適用
- 原子力利用に特化した専用ロボットと作業効率・作業結果共に遜色なし  
→機器調達の相対的な容易さによる工事全体の費用削減
- HMIの改良により優れた操作性を実現→操作者による撤去作業時間の短縮

## <今後の予定>

- 本研究で開発した遠隔撤去システムを早期に現場投入することを目的に，具体的な撤去対象物を定め，成立性を検討する



遠隔作業ロボットイメージ  
(写真：高所ケーブルトレイの撤去作業)



**IHI**

**Realize your dreams**