



平成30年度福島研究開発部門 成果報告会

廃炉作業における遠隔マニピュレータ用 のVRシミュレータ開発

平成31年2月20日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門 福島研究開発拠点
櫛葉遠隔技術開発センター

大野 貴裕

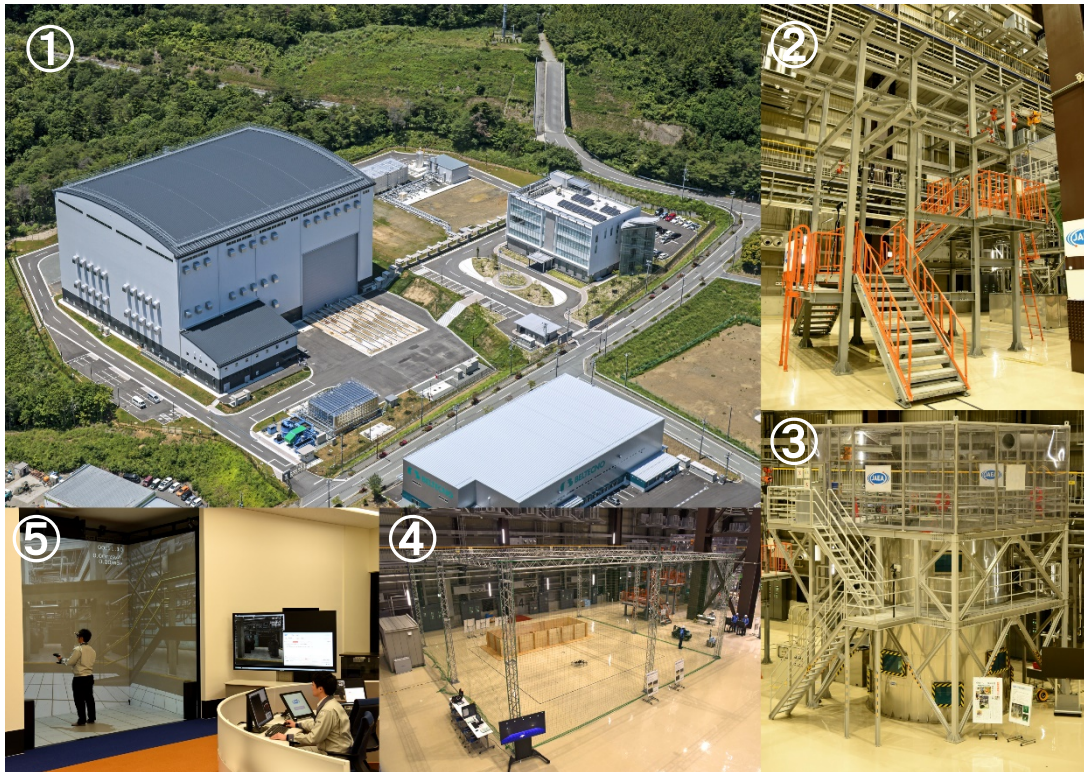
1. はじめに

- 1. 1 櫛葉遠隔技術開発センターの概要
- 1. 2 技術開発の背景
- 1. 3 技術開発の目的

2. VRシミュレータの開発

- 2. 1 基本機能の開発
- 2. 2 精度向上のための取組み
- 2. 3 比較検証による精度向上
- 2. 4 精度向上の例
- 2. 5 経費削減効果

3. まとめ



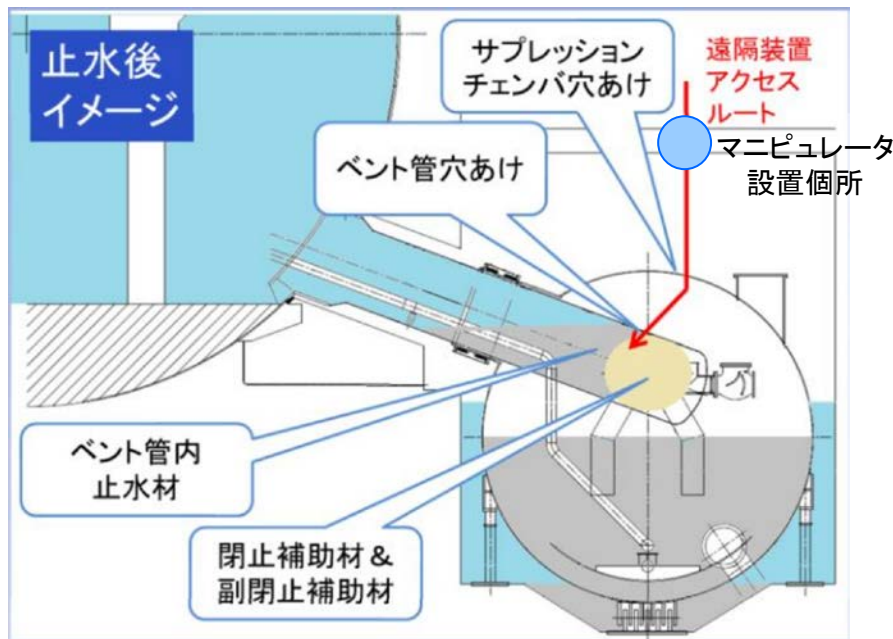
- ① 櫛葉遠隔技術開発センター
- ② モックアップ階段
- ③ ロボット試験用水槽
- ④ モーションキャプチャ
- ⑤ **バーチャルリアリティシステム**

櫛葉遠隔技術開発センターは、福島第一原子力発電所の廃炉推進に資する研究開発、福島イノベーション・コースト構想におけるロボット開発、災害対応ロボット等の技術開発及びこれらに関する人材育成を支援する拠点として、一般の方々にもご利用いただいている施設です。

現在福島第一原子力発電所の一部号機では水漏れを起こしており、これを止めるためには**補修が必要**

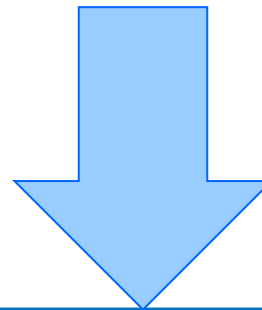
このような場合、人が直接作業することができないため**遠隔技術が必要**

この遠隔技術の実証試験のため、櫛葉遠隔技術開発センターに原子炉の一部を模擬した試験体を設置し、国際廃炉研究開発機構が試験を実施



実機を用いたマニピュレータの操作訓練では以下の課題がある

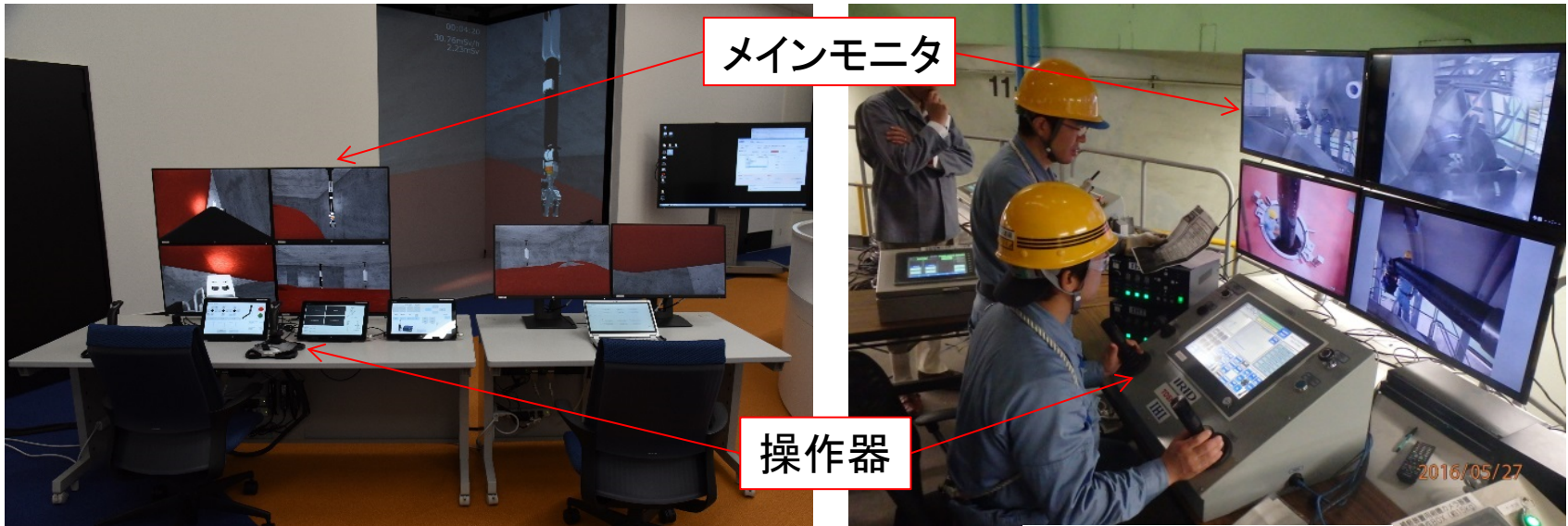
- ① 実機訓練には油圧等周辺機器の稼働が必要で**コスト**がかかる
- ② 実機訓練には**実機を破損**させる恐れがある
- ③ **カメラ映像のみ**での操作は距離感を掴み辛く、操作に**熟練を要する**



VRシミュレータの開発

シミュレータにより得られる効果

- ① 周辺機器の稼働が不要なため**低コスト**に訓練可能である
- ② 実機を**破損**させる**恐れがない**
- ③ バーチャルリアリティ(以下、VR)システム上にシミュレータを投影することで操作時の**距離感等を効率的に習得可能**である



シミュレータ操作器

実機操作器

設計情報をもとにシミュレータを開発

- マニピュレータの主な動作を模擬（各関節部の動作，ウォータージェットによる切断等）
- 櫛葉遠隔技術開発センターのVRシステムとの連携により、仮想空間内で、現場にいるのと同じように体験でき、効率的な訓練が可能

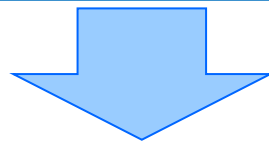
基本機能の開発後、操作者等によるレビューを実施

<好評点>

- 初期の操作訓練には**有効なツール**
 - 操作者の空間認識力を養うために有効
 - 操作方法の把握に有効
 - 初心者に取り扱わせても機器破損の心配がない
- カメラ配置の検討に効果的(カメラ視点位置の自由な設定が可能)

<課題点>

- 操作器が異なるが習熟訓練には**操作器の模擬も重要** ⇒ ①
- 照明等、操作時の**視覚的な感覚に相違**がある ⇒ ②



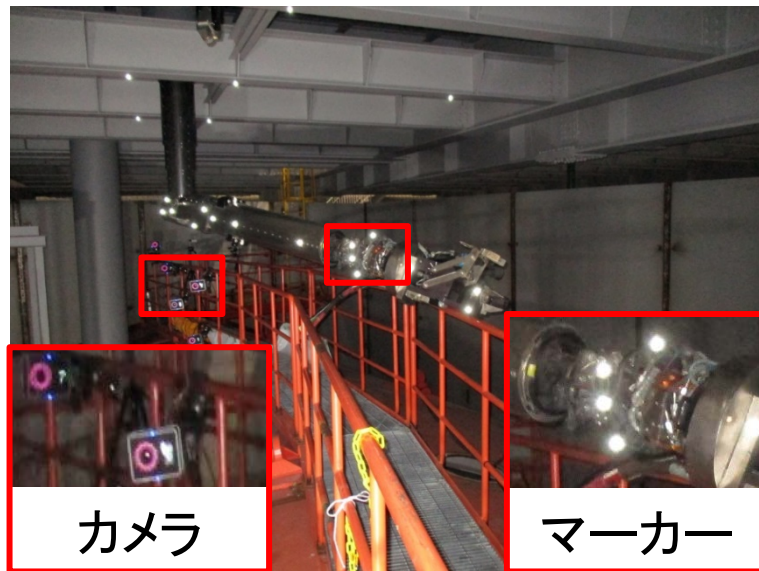
レビューを踏まえたさらなる開発

- ① 操作器を**実機と同一仕様**のものへ変更
- ② 実機の動作計測とカメラ映像計測を実施し、**実機との比較検証**により更なる**精度向上を達成**

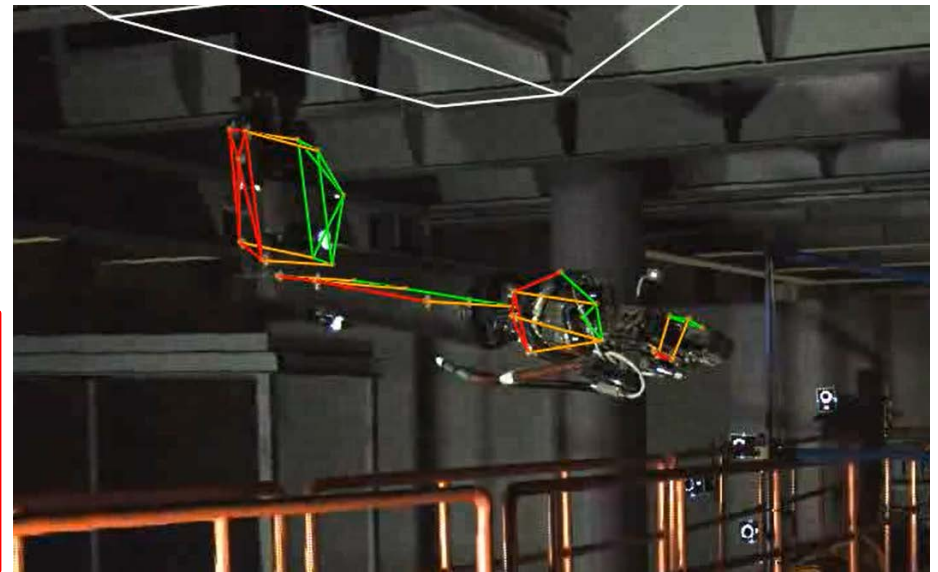


精度向上は以下の手順で実施

- モーションキャプチャを用いて機器の動作を数値化
- カメラ映像を解析し映像の歪みや照度分布等を計測
- 各計測結果を基にシミュレータの精度向上
- 実機とシミュレータで同じ作業を実施し操作感を確認



計測時の様子



動作解析モデル



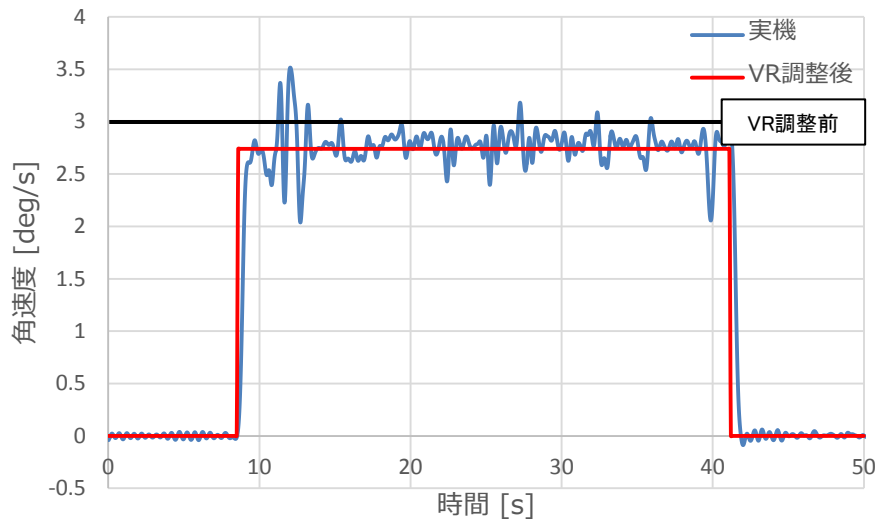
実機



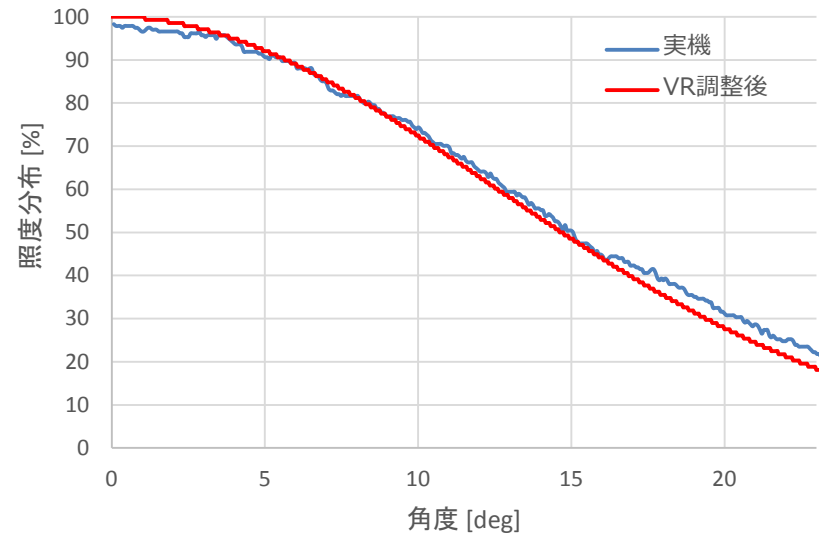
シミュレータ

実機計測データと精度向上後のシミュレータ計測データを比較

- 実機計測時の振動等の影響、カメラや試験体の傷や汚れによる照明の反射の影響により、実機とVRの計測データに少し差異が認められるものの、**良好な性能**であることを確認



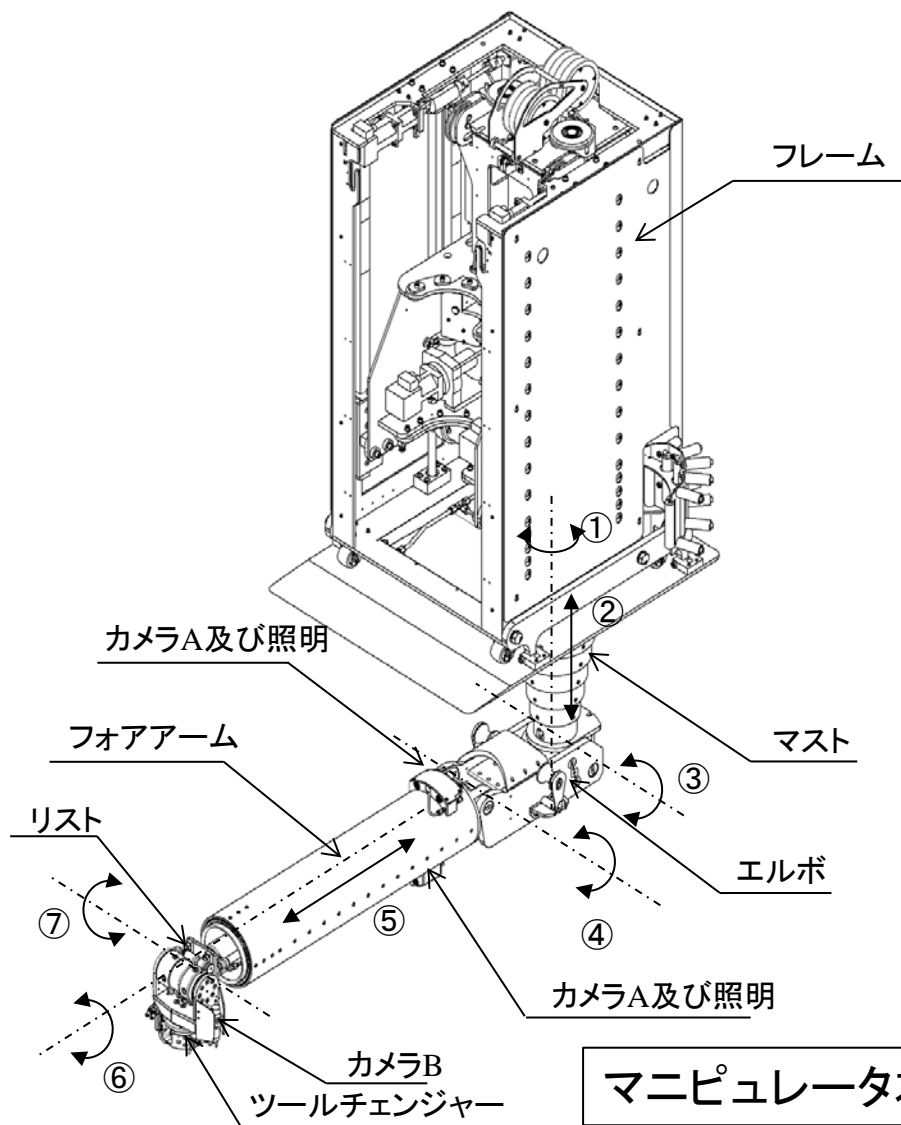
計測データ比較例
(マスト回転動作)



計測データ比較例
(俯瞰カメラ照度分布)

- 今回対象としたマニピュレータは原子炉格納容器とサプレッションチェンバを繋ぐベント管での作業が検討されているが、ベント管は原子炉一つあたり8本存在し、それぞれの機器配置等の作業環境が一部異なる。
- 現在櫛葉遠隔技術開発センターに設置されている試験体は1本のベント管周辺を再現したものであるが、今後それぞれのベント管の実機モックアップを作製し、試験及びカメラ配置等の検討を行った場合**数億円規模**の費用が見込まれる。
- それらの作業をシミュレータと実機モックアップ併用とした場合、**大幅な経費削減**が期待できる。

- 原子炉格納容器補修作業のため、高精度なマニピュレータ用シミュレータを開発し、**良好な性能**であることを実証した。
- 試験や訓練をすべて実機でするよりも、シミュレータを併用することで**大幅な経費削減が可能である**。
- 今後この成果を燃料デブリ取り出し等、他のプロジェクトに適用することで、開発コストの低減が見込め、**更なる経費削減が期待できる**。
- モーションキャプチャによる計測・評価値をシミュレータに反映させ精度を向上させる本技術は一般に使用される**多くの機器に適用可能**であるため今後他の遠隔操作機器への応用が期待される。



No.	軸名称	動作範囲
①	マスト回転	±180°
②	マスト伸展	0~5681 mm
③	エルボ1回転	0~90°
④	エルボ2回転	0~100°
⑤	フォアアーム伸展	0~1645mm
⑥	リスト回転	±180°
⑦	リスト揺動	±90°