

福島第一原子力発電所検討委員会セッション

1F廃炉に貢献するロボット技術開発

燃料デブリ取り出しのための作業空間整備に用いる遠隔技術

2023/09/08

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

原子力生産本部

福島・廃止措置エンジニアリングセンタ 福島エンジニアリング設計グループ

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

清水 和也

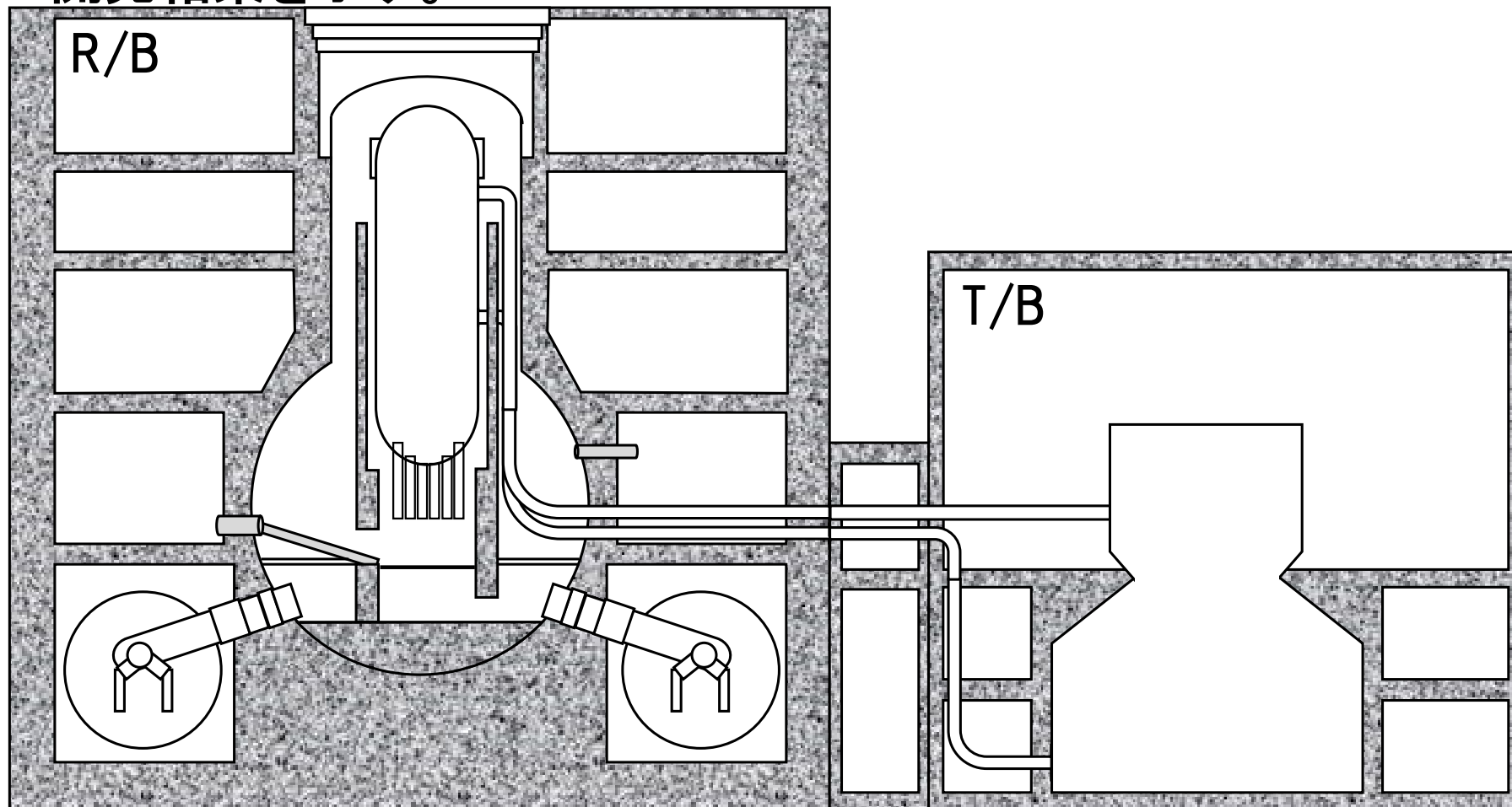


Contents

1. これまでに1Fに適用された遠隔技術と開発実績

2 1Fにおけるこれまでの遠隔作業

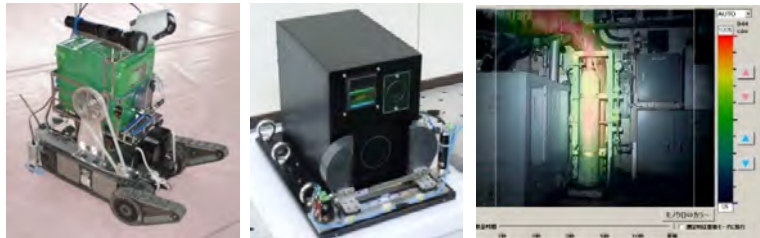
- 原子炉建屋及びタービン建屋で実施した遠隔作業の実績と開発結果を示す。



3 1Fにおけるこれまでの遠隔作業（調査）

調査

γカメラによる放射線分布調査(2013)



γカメラ搭載Warrior

PCV内部調査:
B1調査 (2015)、B2調査 (2017)



PMORPH

PCV内部調査:B3調査 (2023)

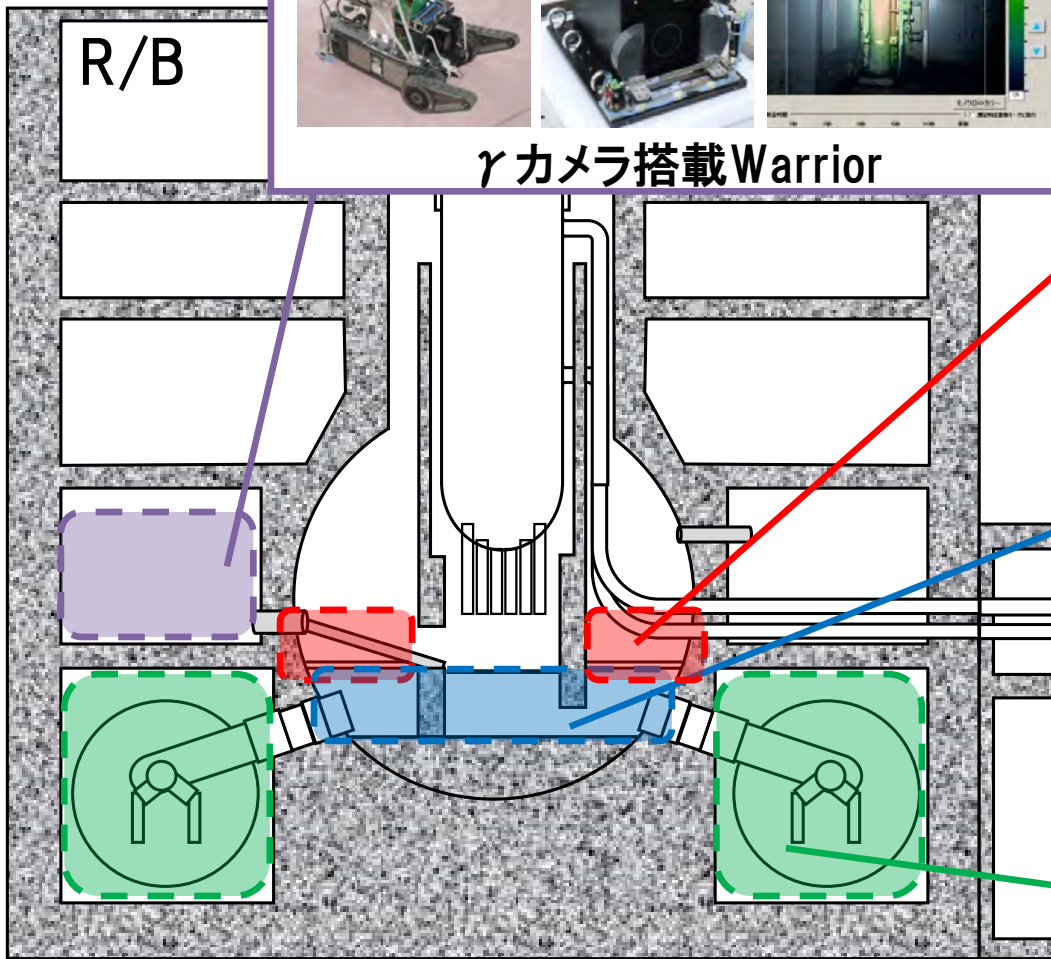


水中ROV

トラス室内調査 (2014)

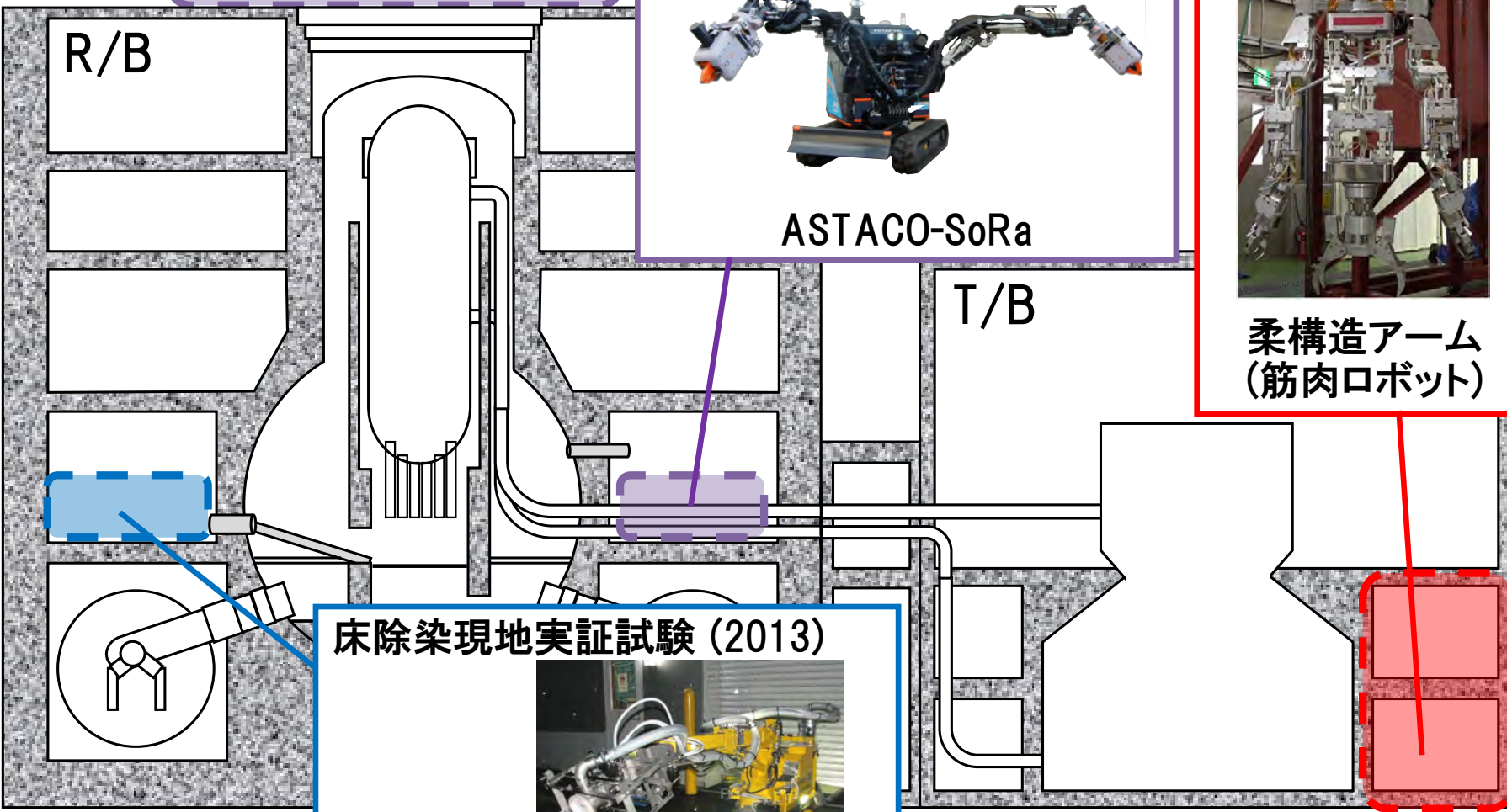


テレランナー・トライダイバー・げんごROV



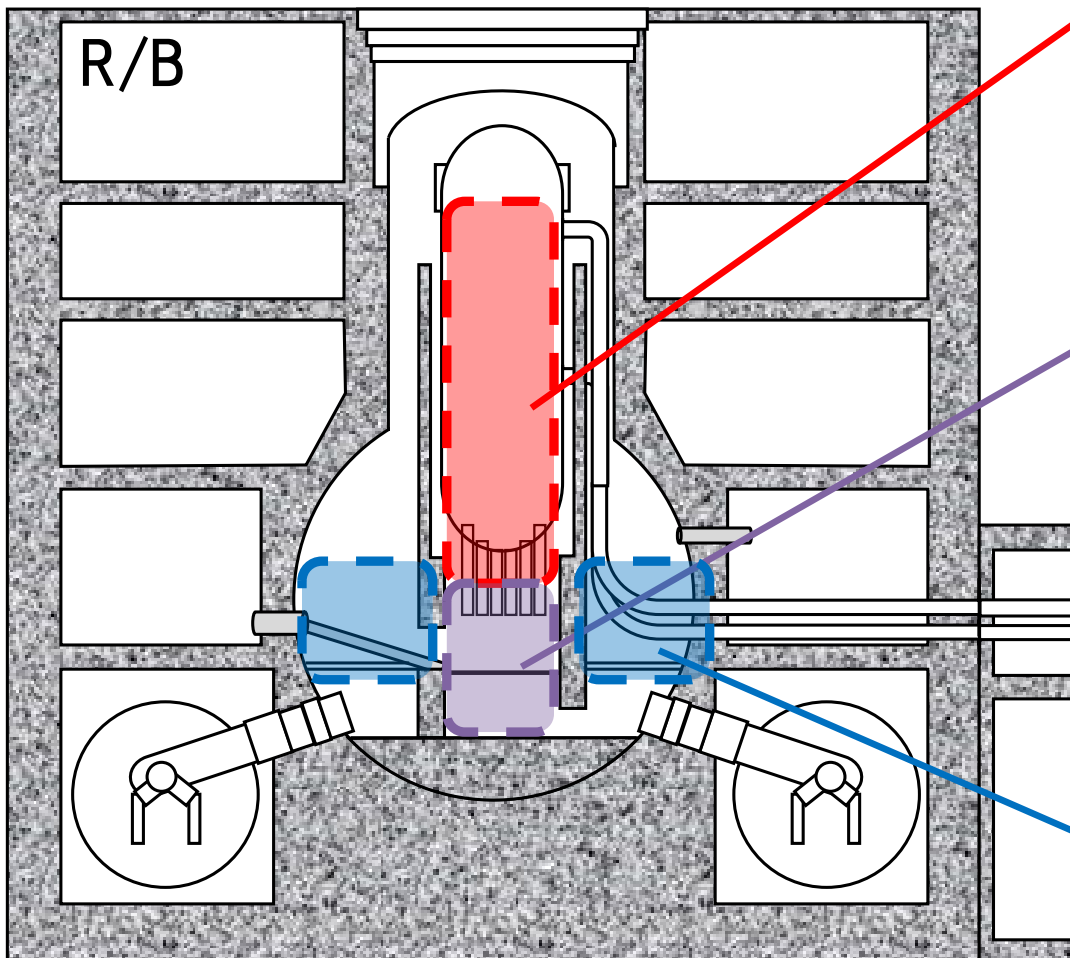
4 1Fにおけるこれまでの遠隔作業（撤去・除染）

・ 撤去・除染



5 1Fにおけるこれまでの遠隔作業（開発）

燃料デブリ取り出しに向けた作業装置



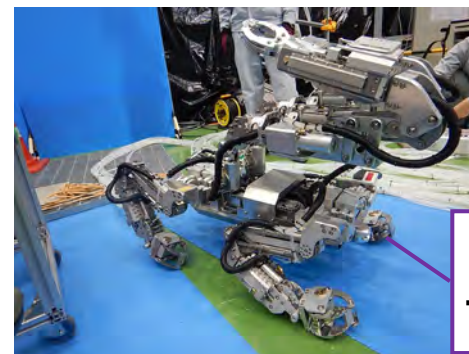
RPV内構造物・燃料デブリ取り出し



RPV内を降下し
デブリ取り出し

気中-上アクセス工法 取り出し装置

ペデ内構造物・燃料デブリ取り出し



多脚+双腕で
デブリ取り出し

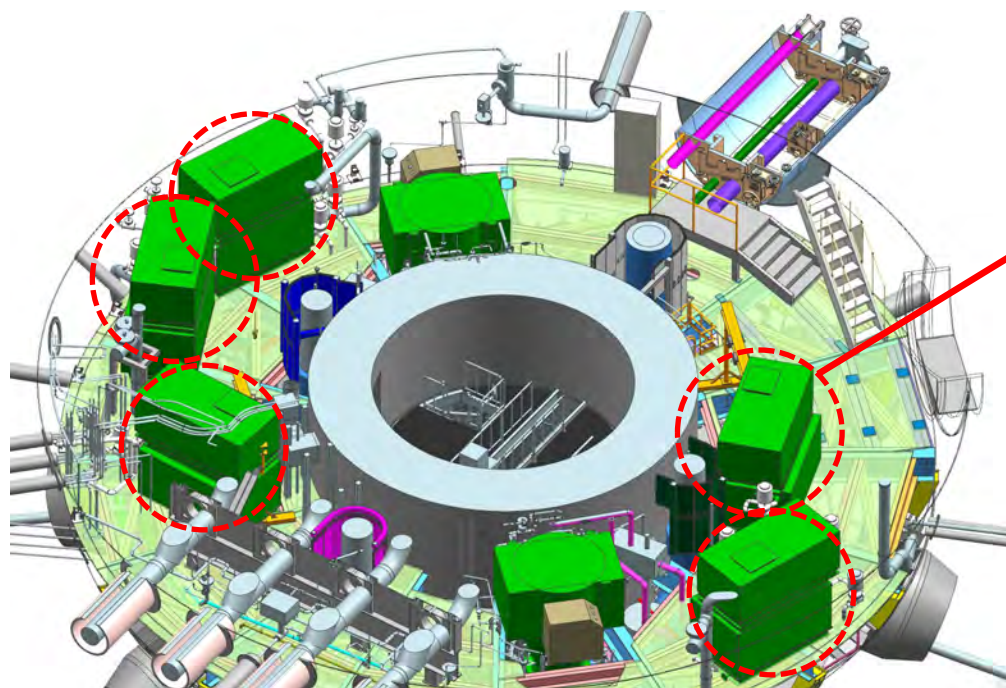
HUMALT(筋肉ロボット)

PCV内準備作業・干渉物撤去

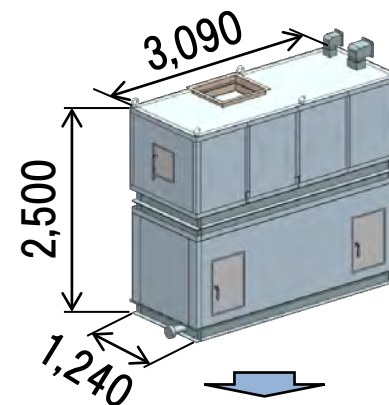
本発表にて紹介

6 PCV内の環境と撤去対象物について

- PCV内は機器・配管・サポート等が敷設されており、燃料デブリ取り出しを行うためには作業エリアの確保が必要。
- HVH※は、大型かつ複雑構造のため撤去難易度が高い。
※: Heating Ventilating Handling Unit (PCV内の空調ユニット)

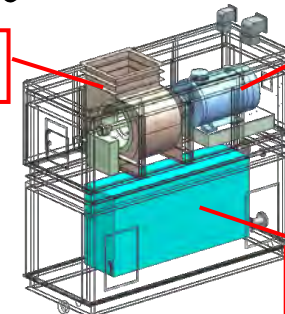


1号機のPCV内1階の環境(事故以前)



送風機

モータ
(約400kg)



冷却コイル

大型機器の例(3号機のHVH)

撤去が想定される干渉物のうち、難易度が高いHVHを選定し技術開発



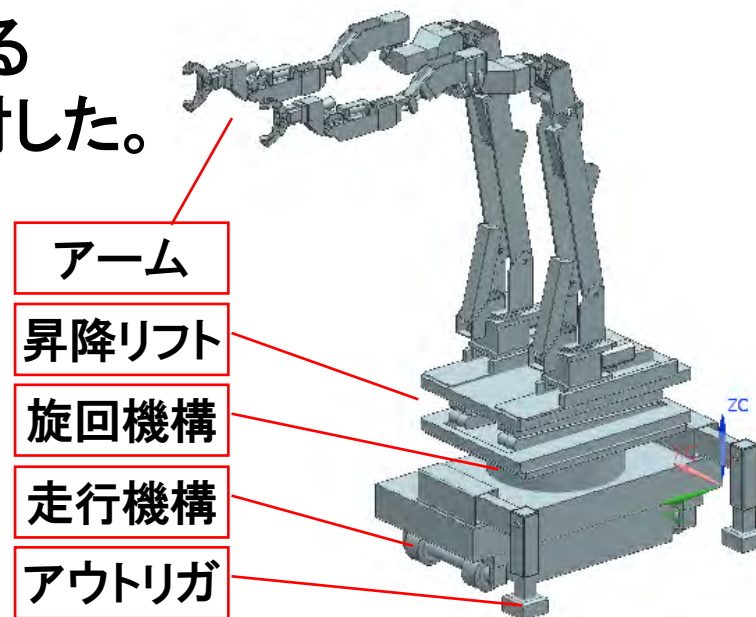
2. HVH解体撤去の方法

8 HVH解体ロボットの概要

- 以下のコンセプトで遠隔作業によるHVH解体撤去を行うロボットを検討した。

【ロボットのコンセプト】

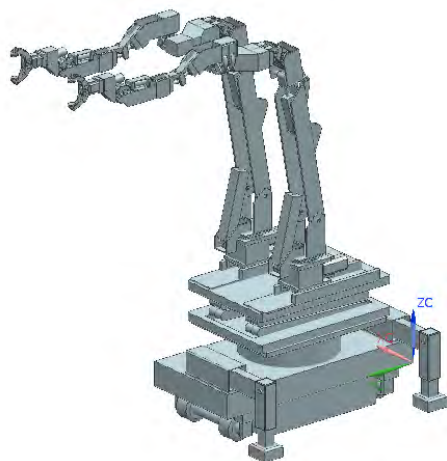
- 高い耐放射線性
- 切断方法を選択可能
- 広い可動範囲のアーム
- 重量物の揚重、解体片の運搬は他ロボットと協調作業で実施



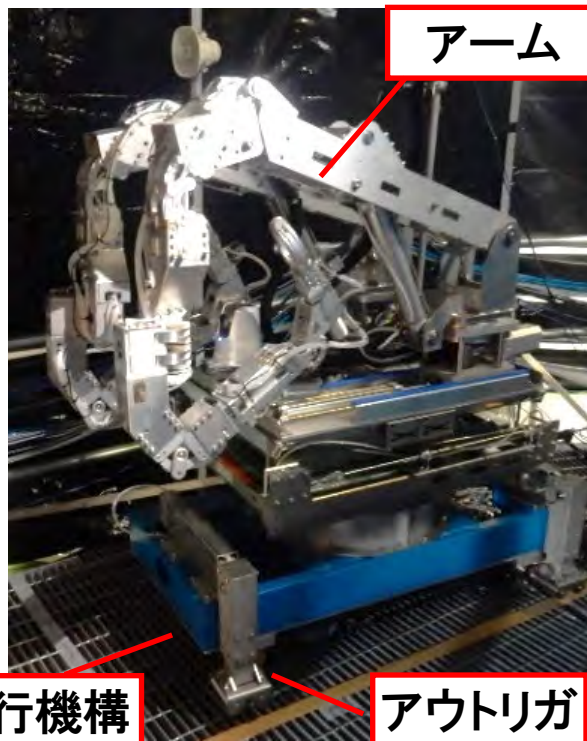
	仕様	機能・備考
装置寸法(移動時)	L1480×W740×H1350mm	HVH上面(H2500mm) の作業可。
構成	作業アーム10軸×2	切断ツールを把持・操作。もう一方で解体片を把持。
	走行機構:タイヤ	要素試験ではタイヤ駆動。実機仕様ではクローラ。
アーム可搬重量	約20kg/腕	切断ツール及び解体片を把持・操作。
装置重量	約440kg	軽量化かつ、作業中に転倒しない重量。
動力	水圧	高耐放性・接触等に高いロバスト性・故障時の周辺影響の最小化。

9 HVH解体ロボットの試作結果

- 試作したHVH解体ロボットを示す。



概要図



走行機構

アウトリガ

走行時の姿勢



アーム先端
(グリッパ+カメラ)

アーム

昇降リフト

旋回機構

アウトリガ

アーム・リフトを最大可動させた姿勢
(転倒有無の確認中)

HVH解体ロボットを遠隔で操作し解体撤去が可能なことを確認する

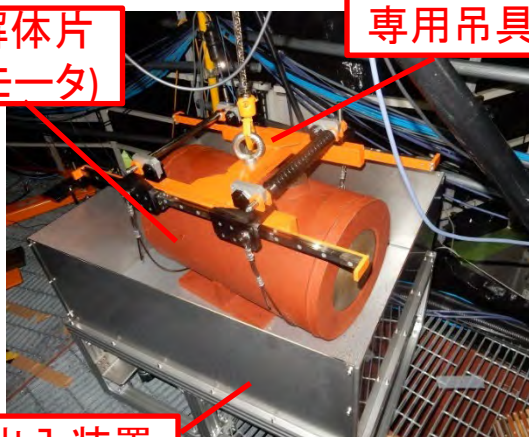
10 切断ツールとその他のロボット

- ・ 切断ツールを持ち替え、補助ロボットと連携し作業を実施

① 搬出入装置

解体片
(モータ)

専用吊具



搬出入装置

② 揚重機(試験用)



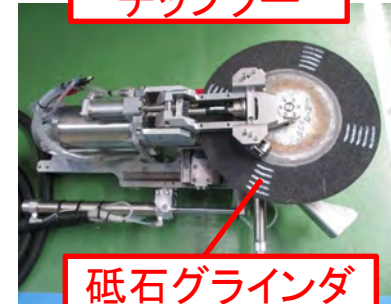
③ 切断ツール(3種)+ホールソー(1種)



チップソー

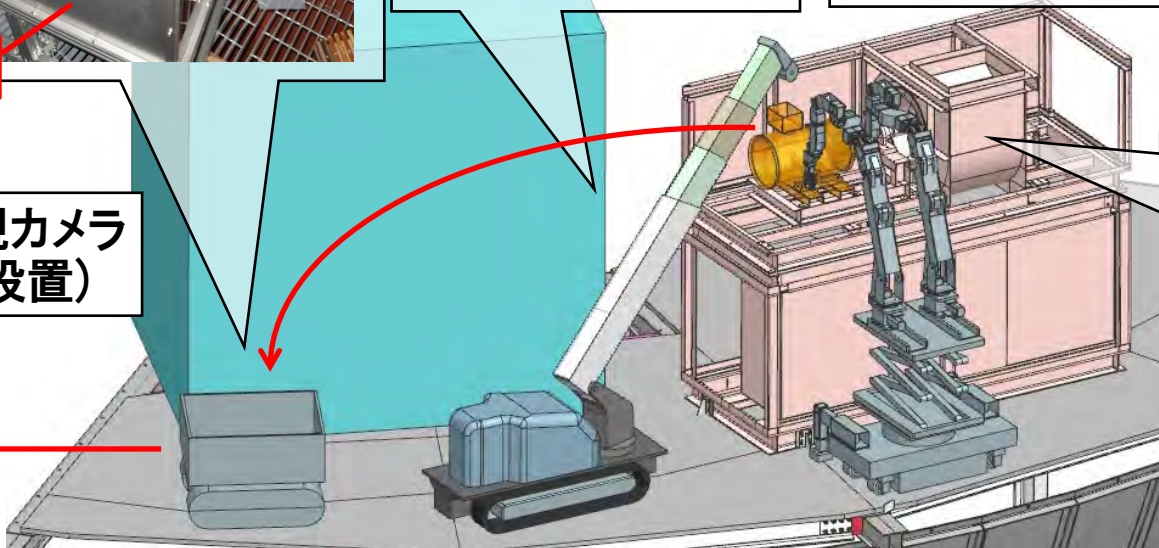


センターレス
チップソー



砥石グラインダ

④ 俯瞰監視カメラ (複数箇所設置)



重量物(モータ)を撤去する際の例

ホールソー

11 HVH解体における切断方法について

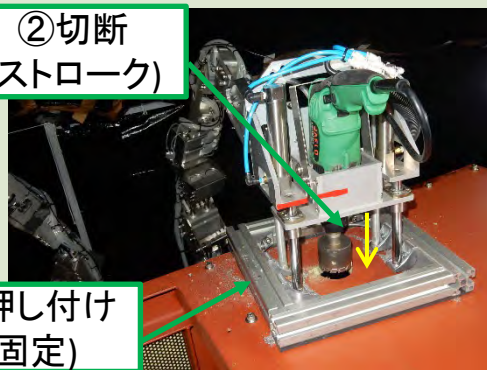
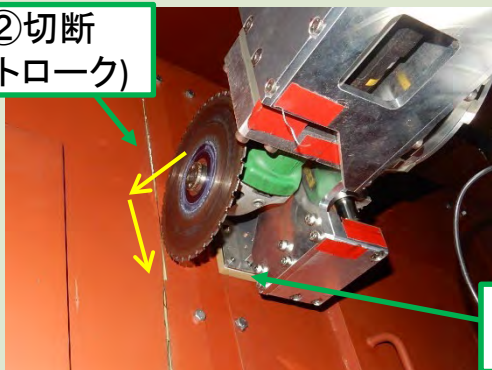
- ・ HVH解体ロボットで把持した切断ツールの使用方法を示す。

切断ツールの動作

切断対象

②切断
(ストローク)

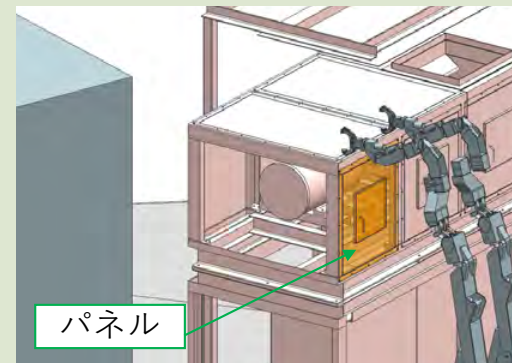
②切断
(ストローク)



①押し付け
(固定)

チップソー

ホールソー

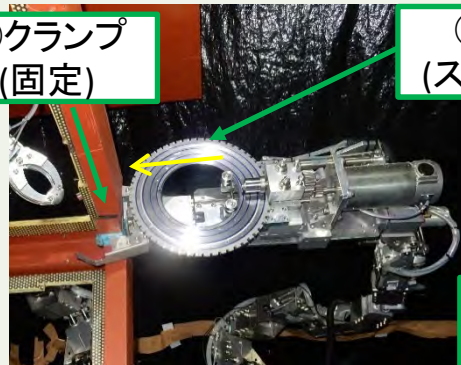


パネル

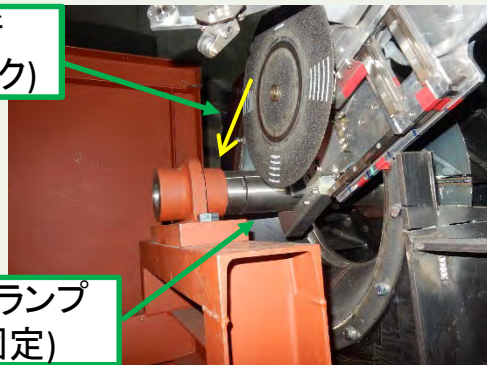
パネルやダクト 等(板材)

①クランプ
(固定)

②切断
(ストローク)



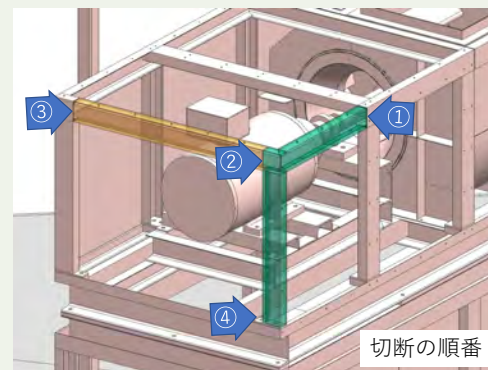
①クランプ
(固定)



センターレスチップソー

砥石グラインダ

「固定機構」+「切断ストローク機構」を持つ



切断の順番

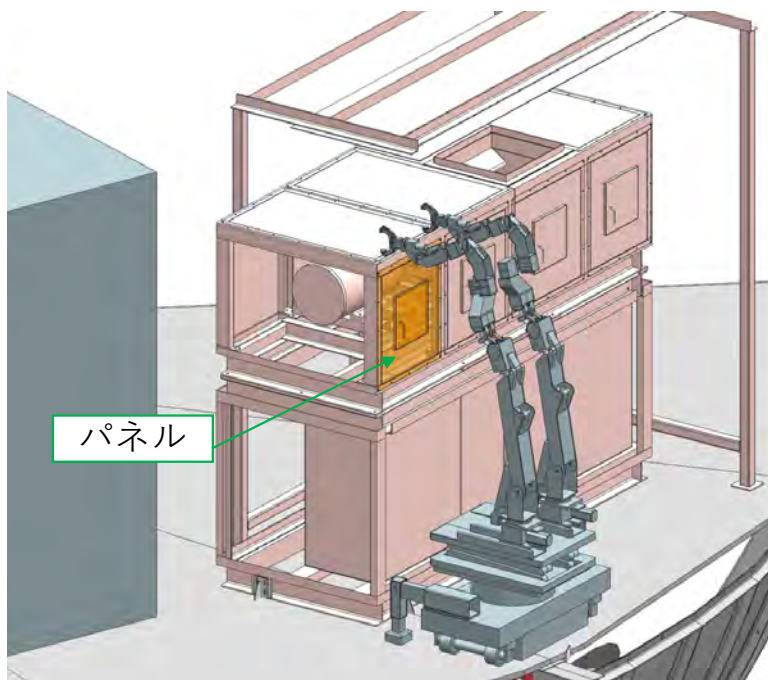
チャンネル鋼や軸 等(形鋼)

対象によってツールを選択

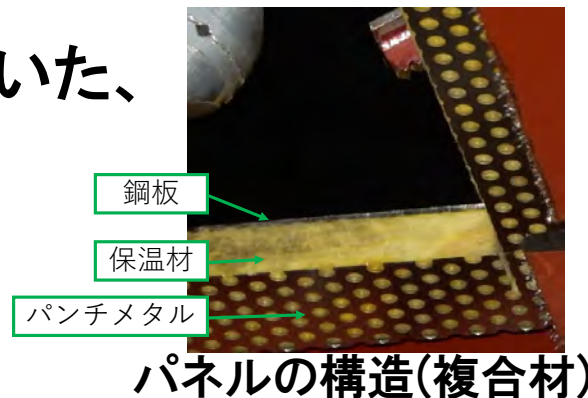
3. 要素試験結果と課題の抽出

13 要素試験結果 (パネルの切断)

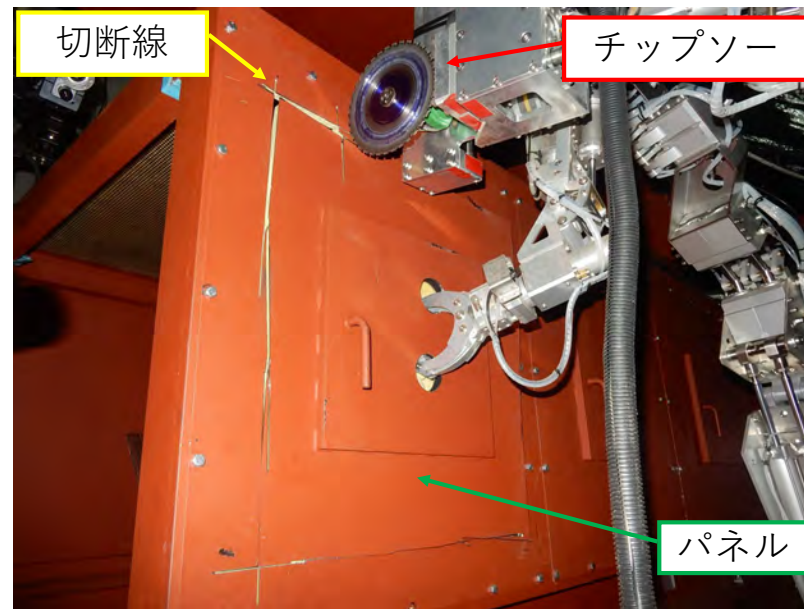
- PCV模擬設備及びHVH模擬体を用いた、チップソーによるパネルの切断



撤去対象の説明図



パネルの構造(複合材)

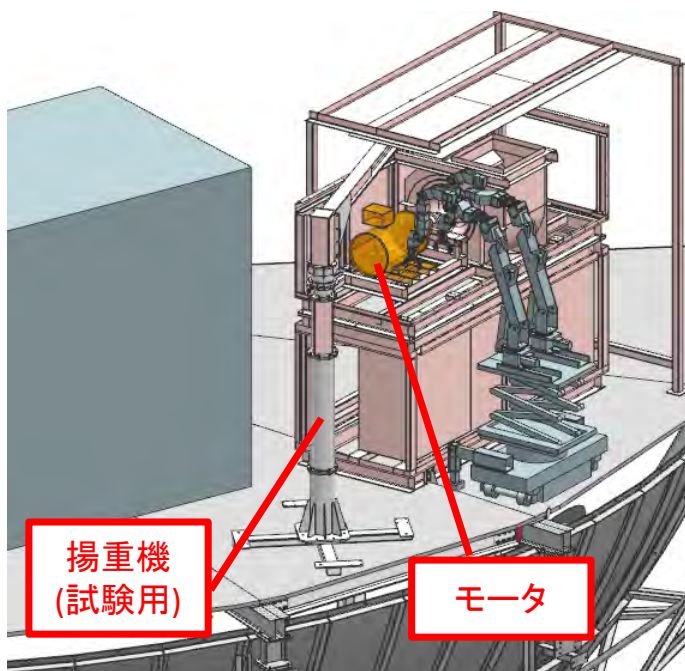


チップソーによるパネルの切断

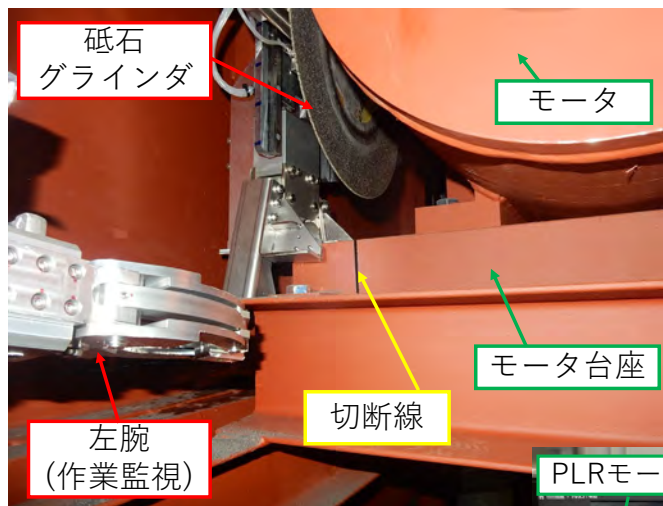
HVH解体ロボットによる切断ツールを用いた作業が可能なことを確認

14 要素試験結果 (モータ撤去)

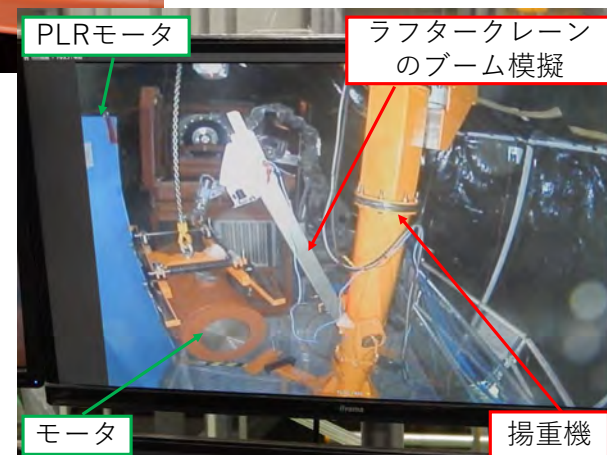
- PCV模擬設備及びHVH模擬体を用いた、揚重機との協調によるモータ撤去



撤去対象の説明図



砥石グラインダによる
チャンネル鋼の切断



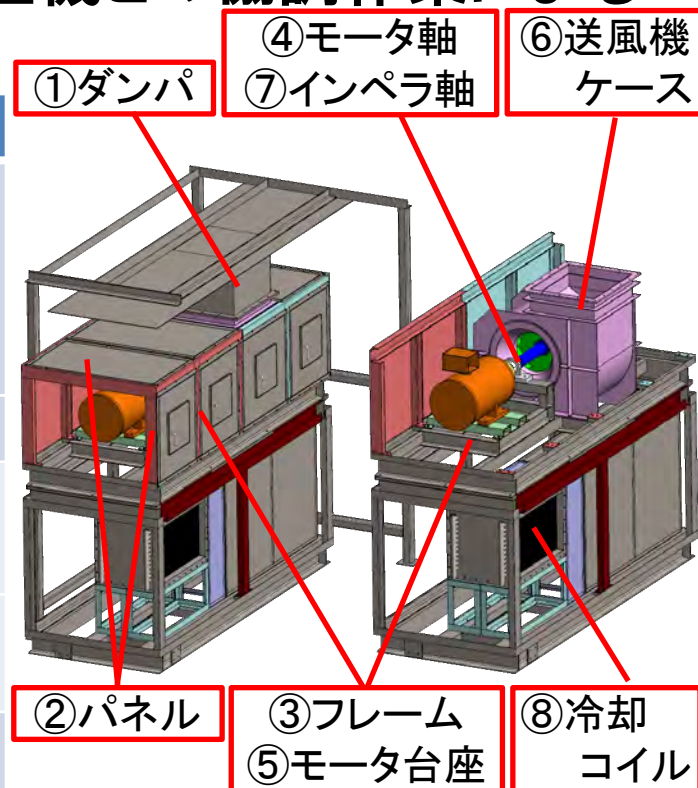
揚重機によるモータの移送

協調作業による重量物(モータ)の撤去が可能であることを確認

15 要素試験結果 (まとめ)

- 下表に示すHVHの主要部品をHVH解体ロボット及び切断ツールを用いて切断が可能であることを確認した。
- 重量物のモータ、送風機(インペラ)を揚重機との協調作業による撤去が可能であることを確認した。

No.	名称	主要寸法	材質	切断ツール
1	ダンパ	鋼板t4.5mm	SS400	
2	パネル	鋼板t1.6mm グラスウールt14mm パンチメタルt0.8mm	SS400 グラスウール SUS304	チップソー ホールソー
3	フレーム	溝形鋼100×50mm	SS400	センターレス
4	モータ軸	中実軸φ55mm	S45C	砥石グラインダ
5	モータ台座	溝形鋼125×65mm	SS400	
6	送風機 ケース	鋼板t4.5mm	SS400	チップソー センターレス
7	インペラ軸	中実軸φ90mm	S45C	砥石グラインダ
8	冷却コイル	フィンt0.3×P2.9mm	C1220R	

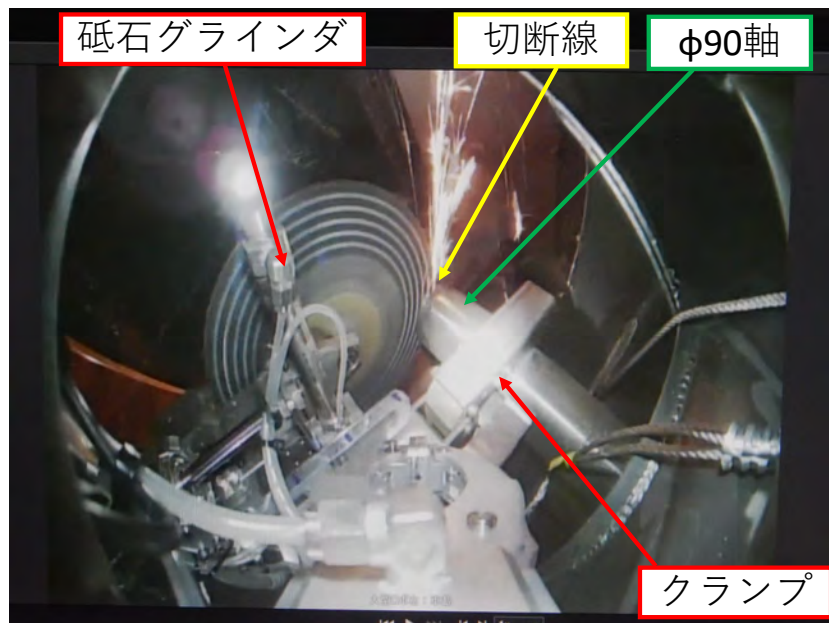


要素試験で使用したHVH模擬体

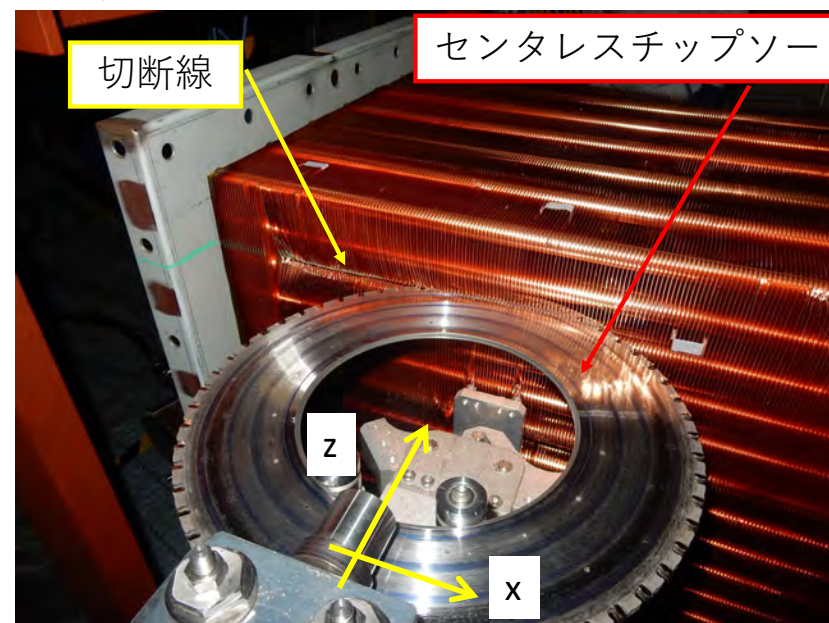
HVH解体ロボット、切断ツール及び協調作業で主要部品の解体撤去が可能

16 課題の抽出 (切断ツール)

- 切断方法は、過去に実績のある機械式切断方法から選定した。
- しかし、材質、構造によって切断に時間が掛かってしまう。
 - 中実軸 $\phi 90\text{mm}$ S45Cのような太く硬い部品
 - 冷却コイル フィン+チューブ 銅のような複雑構造で熱膨張しやすい部品



砥石グラインダによる中実軸の切断

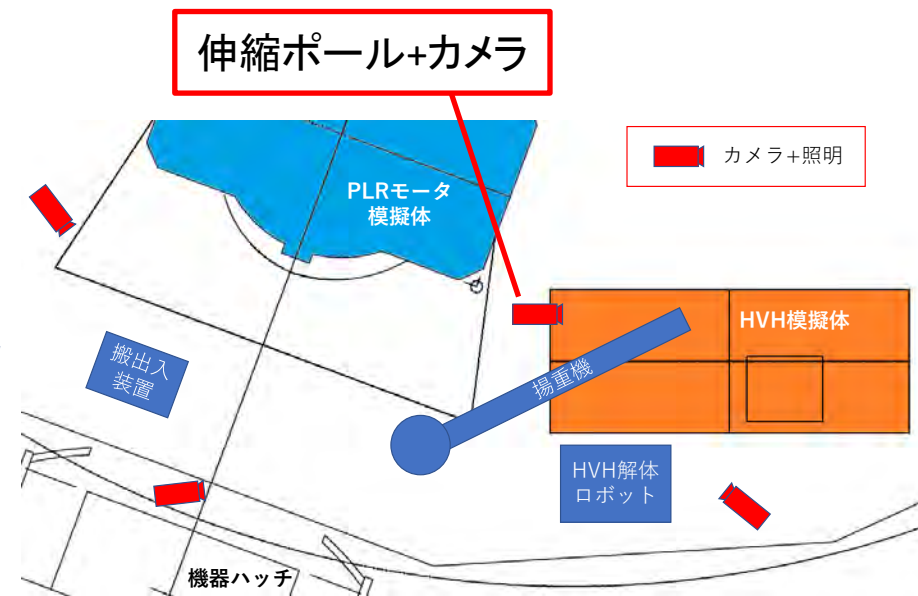
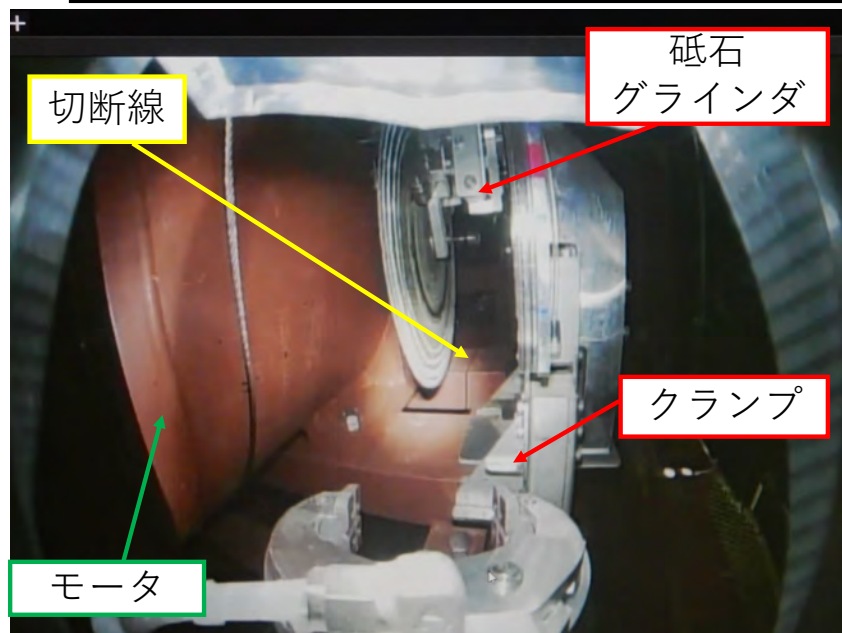


センターレスチップソーによる冷却コイルの切断

より効率よく解体撤去するために切断ツールの開発が必要

17 課題の抽出（視野）

- ・ オペレータの視野が限られており、狭隘部作業の難易度が高い。
- ・ 切断ツールを把持していないアームのカメラでも監視可能だが、もう一つ視点があれば作業が容易になるケースが多々あった。
- ・ 高所、狭隘部にアクセスできるカメラの追加が望ましい。



アームカメラによる作業の監視の様子

監視カメラの設置例(モータ撤去時)

高所、狭隘部へのカメラ設置工法や補助ロボットの開発が必要



4. まとめ

- PCV内環境を模擬した設備内で、HVH模擬体を用いた遠隔作業による要素試験を実施した。
- HVHの主要部品及び部材の切断及び撤去が可能なことを確認した。
- 切断及び撤去に際しては、複数のロボットの協調作業により重量物の撤去が可能であることを確認した。

- 以上の結果から、
HVHを遠隔作業で解体撤去が可能である見通しを得た。
- また、要素試験の結果から課題の抽出を行った。
- HVHの解体撤去作業を基本としてその他の干渉物も複数ロボットの協調作業により撤去することも可能と考えられる。

本発表は、経済産業省資源エネルギー庁「廃炉・汚染水対策事業費補助金」により実施された成果の一部を取りまとめたものである。

令和3年度開始「廃炉・汚染水対策事業費補助金」
「燃料デブリの取り出し工法の開発」2022年度最終報告 2023年6月

END

1F廃炉に貢献するロボット技術開発

燃料デブリ取り出しのための作業空間整備に用いる遠隔技術

2023/09/08

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

原子力生産本部

福島・廃止措置エンジニアリングセンタ 福島エンジニアリング設計グループ

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

清水 和也

- P.3 (トーラス室内調査):
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140527_06-j.pdf
- P.3 (PMORPH):
<https://irid.or.jp/topics/pcv%E5%86%85%E9%83%A8%E8%AA%BF%E6%9F%BB%EF%BC%8F1%E5%8F%B7%E6%A9%9F%E5%8E%9F%E5%AD%90%E7%82%89%E6%A0%BC%E7%B4%8D%E5%AE%B9%E5%99%A8%E5%86%85%E9%83%A8%E8%AA%BF%E6%9F%BB%EF%BC%88%E3%83%9A%E3%83%87/>
- P.3 (水中ROV):
<https://irid.or.jp/topics/%E7%A6%8F%E5%B3%B6%E7%AC%AC%E4%B8%80%E5%8E%9F%E5%AD%90%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB%E6%89%80%EF%BC%91%E5%8F%B7%E6%A9%9F%E5%8E%9F%E5%AD%90%E7%82%89%E6%A0%BC%E7%B4%8D%E5%AE%B9%E5%99%A8%E5%86%85%E9%83%A8/>
- P.4 (Arounder):
https://www.tepco.co.jp/decommision/principles/technology/robot/robot_upper/pdf/arounde_r01.pdf
- P.4 (柔構造アーム):
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2019/10/4-3.pdf>
- P.5 (気中-上アクセス工法 取り出し装置):
https://irid.or.jp/pdf/20160000_03.pdf

HITACHI

