

JAEA櫛葉遠隔技術開発センターにおけるDXを活用した1F廃炉等の過酷環境ロボット開発環境の整備

NARREC

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
福島廃炉安全工学研究所
櫛葉遠隔技術開発センター

(NARaha center for REmote Control technology development)

田川 明広



JAEAの研究開発拠点

福島廃炉安全工学研究所

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所(1F)の事故関連の対応業務を実施



櫛葉遠隔技術開発センター (NARREC)



廃炉環境国際共同研究センター (CLADS)



大熊分析・研究センター



幌延深地層研究センター



青森研究開発センター



本部 東海



本部



原子力科学研究所



核燃料サイクル工学研究所



J-PARCセンター

敦賀



新型転換炉原型炉「ふげん」



高速増殖原型炉「もんじゅ」



人形峠環境技術センター

播磨 (大型放射光施設 SPring-8)



東濃地科学センター



大洗原子力工学研究所



福島廃炉安全工学研究所の活動

3つの主要課題

福島環境回復に関する研究開発

1F廃止措置に関する研究開発

研究開発基盤の整備

福島の復興への貢献

- 地元の関係機関とのコミュニケーション
- 地元企業との連携
- 人材育成

東京電力ホールディングス(株) 福島第一原子力発電所

福島県地図



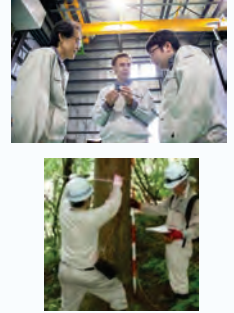
1 楢葉遠隔技術開発センター (NARREC) 楢葉町

- ・モックアップ施設の運営・管理
- ・VRシステム及び3Dデータの整備
- ・性能情報等の提供



2 廃炉環境国際共同研究センター (CLADS) 富岡町、三春町、南相馬市

- JAEAの福島復興に関する研究開発の司令塔
- ・1F廃止措置に関する研究開発
 - 燃料デブリに関する研究
 - 放射性廃棄物管理に関する研究
 - ・環境動態・環境モニタリングに関する研究開発



3 大熊分析・研究センター 大熊町

- ・分析手法の開発
- ・放射性廃棄物と燃料デブリの性状分析
- ・ALPS処理水の第三者分析



NARRECの沿革

★東日本大震災

★東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所事故

★遠隔技術の試験施設建設決定
(第1回東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議)

★楢葉南工業団地内に立地決定

現在
(8年経過)

2011.3

2013.3

試験棟



建設時

2013.5

2015.10

★研究管理棟竣工
開所式開催



開所式

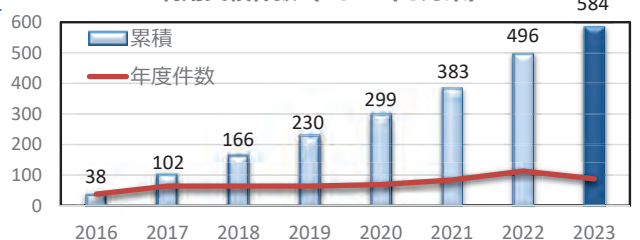
2016.2

★試験棟竣工

2016.4

★供用施設※として本格運用開始

利用実績件数 (2024年3月末)



※供用施設・・・JAEAが保有する施設・設備の中で、企業や大学、研究機関などの機構外の方でもご利用可能な施設のこと

NARRECの役割

遠隔技術開発の中核拠点として1F廃炉及び福島復興へ貢献

供用施設として、企業・大学等の利用者に技術開発、実証等の場を提供するとともに有益な技術・情報等の提供により利用者を支援する

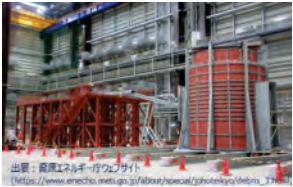
試験設備等の
整備・運営

遠隔技術等に関わる課題

技術開発・実証等

設備の高度化、情報蓄積（利便性の向上、利用者支援）

活動例



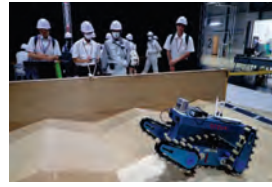
試験設備等の整備・運営
(1F実規模モックアップ)



性能情報等の提供
(試験設備、装置の活用)



データ整備・提供、技術開発
(1F建屋内環境データ等)

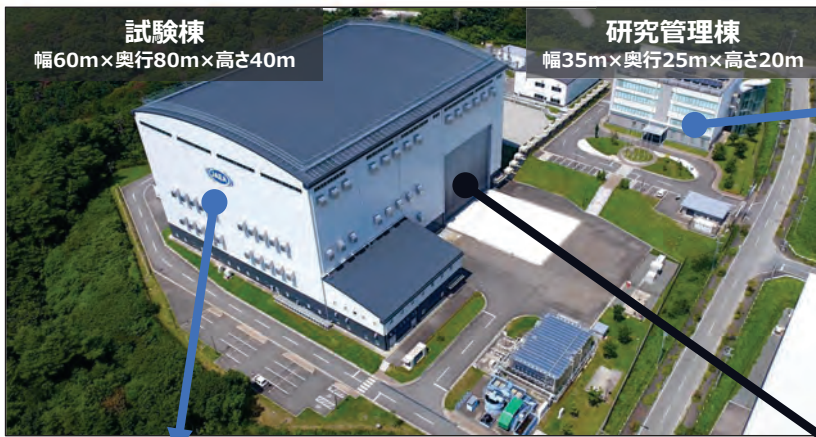


人材育成
(ロボット操作実習プログラム等)



地域への貢献
(ならはっ子ども教室等)

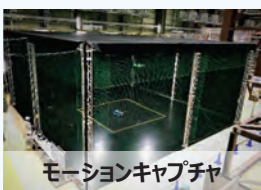
NARRECの試験設備等



バーチャルリアリティ(VR)システム



ロボット性能評価のための要素試験エリア



モーションキャプチャ



モーションキャプチャ用
赤外線カメラ



反射マーカールを
付けたドローン

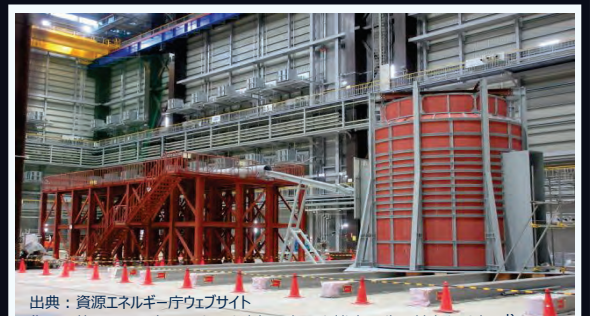


モックアップ階段



試験用水槽

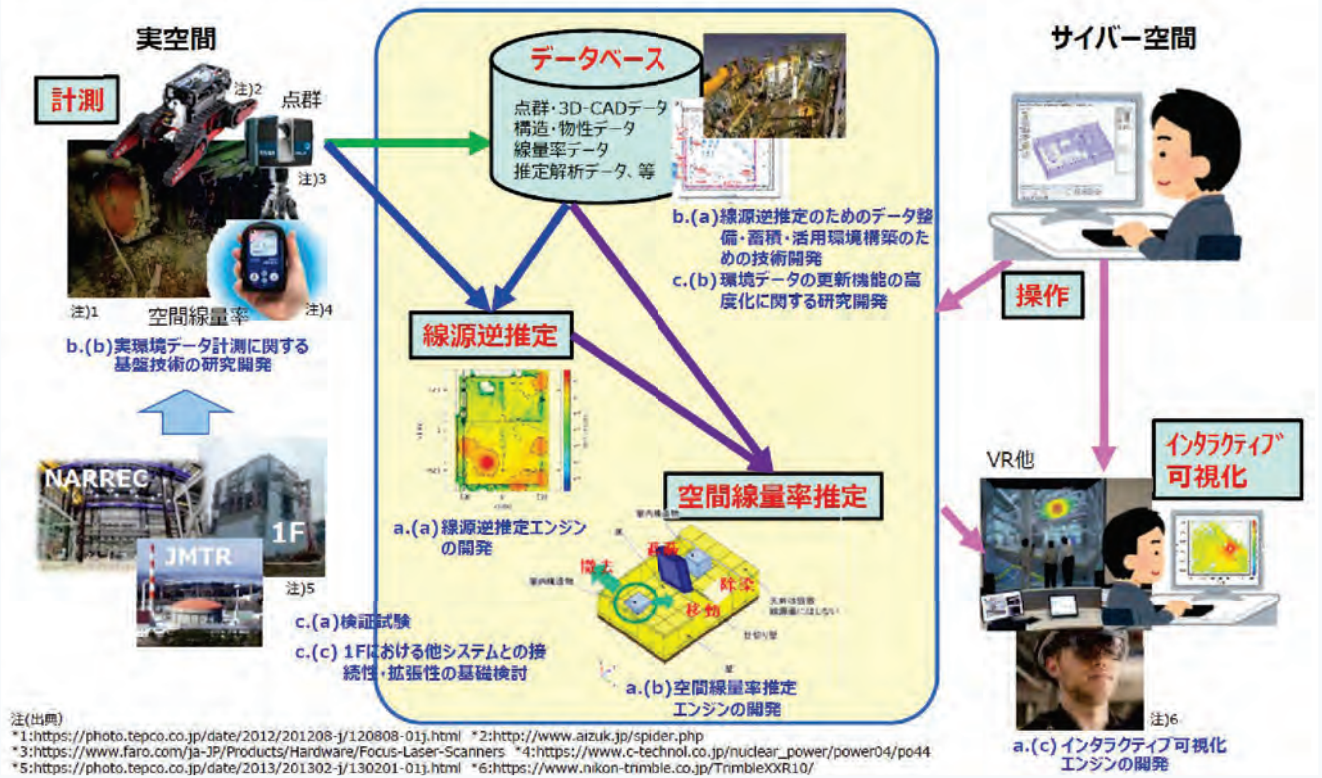
廃炉作業を実証するための 実規模試験エリア



出典：資源エネルギー庁ウェブサイト
(https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/debris_3.html)

1F廃止措置への貢献 (1)

計測と計算を組み合わせた汚染分布の可視化

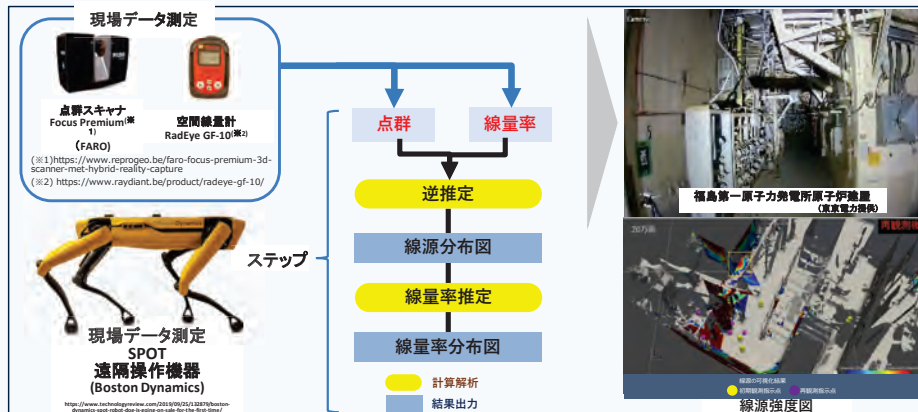


1F廃止措置への貢献 (2)

計測と計算を組み合わせた汚染分布の可視化



システム全体像及びその動作イメージ



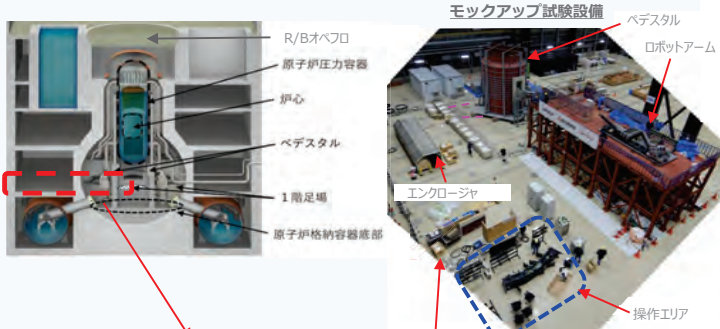
1F5号機を対象にモックアップ試験概要

1F廃止措置に貢献する利用(1)

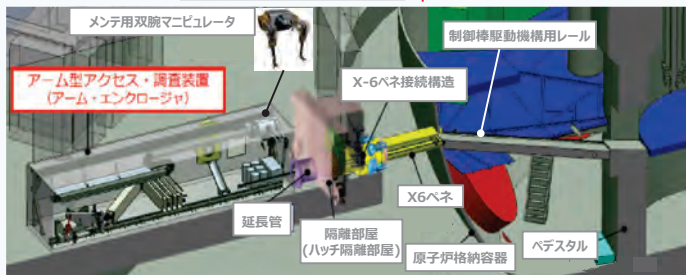
モックアップ試験

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

2号機 原子炉格納容器内部調査及び燃料デブリ試験的
取り出しモックアップ試験 (2021年度～)



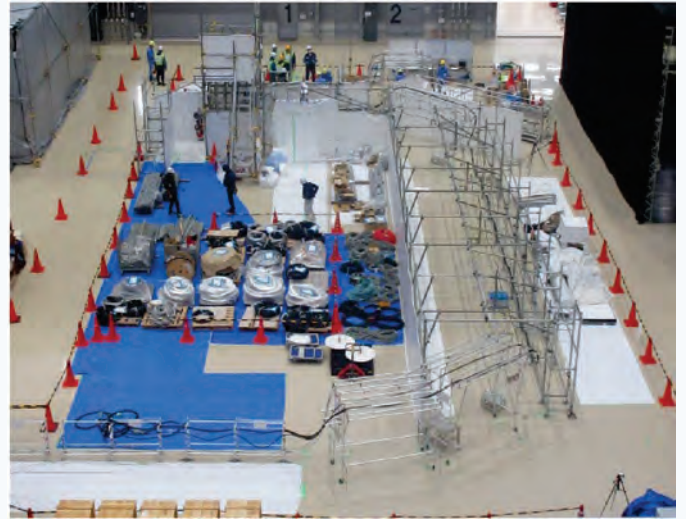
アクセス・調査装置設備概要



この成果は、経済産業省/廃炉汚染水対策事業費補助金の活用により得られたものです。
資料提供：国際廃炉研究開発機構 (IRID)

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発
(X 6 ペネトレーションを用いた内部詳細調査 技術の現場実証)
(2023.8.7～9.13)



アーム型調査装置の原子炉建屋内部でのケーブル、ホース類の取り回し、据え付けを確実に実施するための実規模の作業性検証

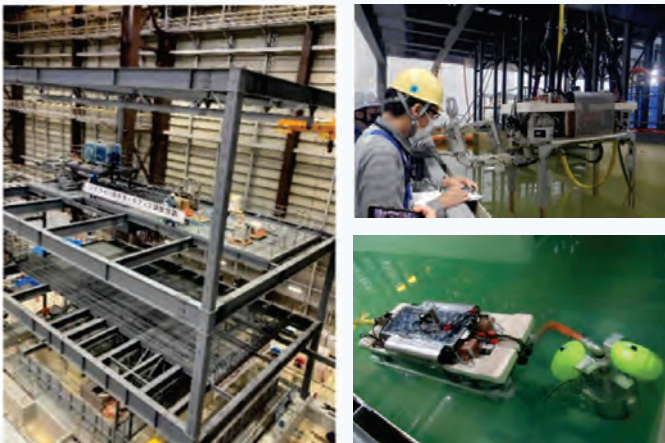
1F廃止措置に貢献する利用(2)

モックアップ試験

日立GEニュークリア・エナジー(株)

ゼオライト土壌等処理設備を使用した容器封入作業
(2023.8.24～10.21)

ゼオライト土壌等の回収を行うための実証試験
(事故直後、プロセス主建屋・高温焼却炉建屋の最下階に原子炉からの汚染水を移送し、放射線核種を吸着するためのゼオライト土壌等を設置)

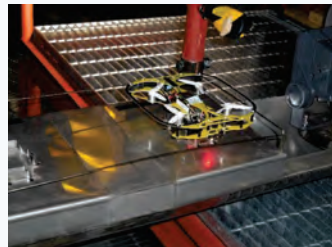


(株)東京エネシス

PCV内部のドローンによる調査、ベDESTAL内部の状況確認
(設備の現状、線量把握) (2023.4.1～12.7)

ドローンを使ったPCV内部調査に必要な以下の作業を確実にを行うための実証訓練

- ① 機器挿入設備の移動、設置、撤去
- ② ドローン、通信設備挿入
- ③ 調査対象部への機器操作
- ④ 通信システムの映像、音声確認



4足歩行ロボット試験及び無人観測船搭載探知機の校正

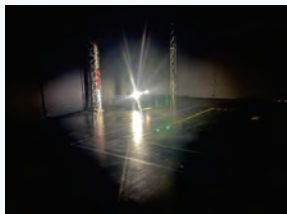
(株)東北エンタープライズ

4足歩行ロボットの走行性能試験
(2023.4.11~5.18、12.19)

4足歩行ロボットのステップフィールド及び2段ステップ並びに暗闇環境、障害物検知機能の試験を実施



不規則な階段状のフィールド（ステップフィールド）走行試験



暗所における周囲環境認識等試験

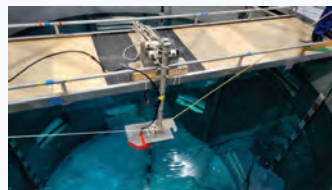


段差昇降試験

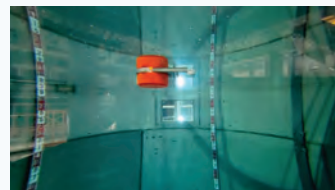
(株)ウインディーネットワーク

計量魚探音波機器のキャリブレーション試験
(2023.10.23)

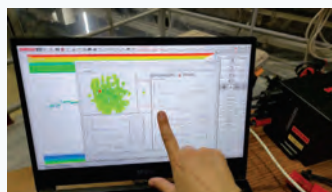
福島県沿岸の海底放射能観測時に同時観測で使用する計量魚群探知機のトランスデューサー（変換器）部の校正試験（キャリブレーション試験）



計量魚探設置（艦装）



キャリブレーション試験



校正数値確認 終了



無人観測船「Windy-3S号」

性能情報等の提供

要素技術ごとの評価や解析結果の提供

遠隔操作システム/ロボット技術の適用分野

廃炉作業

災害対応

インフラ点検

共通する要素技術



遠隔作業

ロボットアーム
映像
通信技術



情報収集

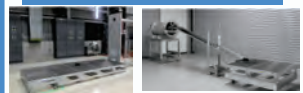
環境情報
3次元計測
SLAM



移動技術

ドローン/クローラ
車輪/四脚型

移動・情報収集能力



移動・情報収集能力



不整地移動能力



性能試験法

JAEA-TM

遠隔作業能力



NIST-TM*

要素試験設備

- モーションキャプチャ
- モックアップ階段
- ロボット試験用水槽

特殊計測機器等

- モーションキャプチャ
- 映像記録システム
- etc.

有益な情報

試験・評価

- 性能・機能の確認
- 特性の確認

データの詳細解析

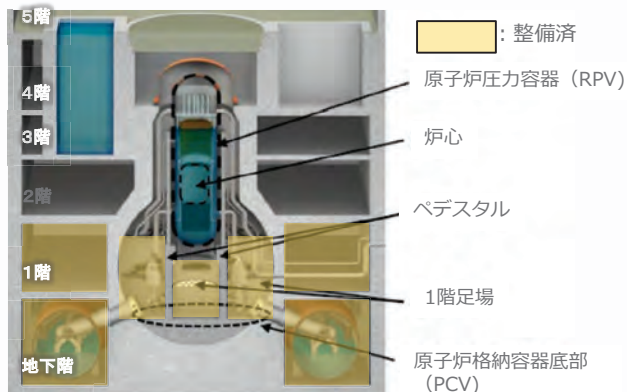
- 性能・機能の向上に資する情報提供
- 操作技術の向上に資する情報提供

米国標準技術研究所 - 災害対応用ロボットの標準試験法
(National Institute of Standards and Technology - Standard Test Method)

データ整備・提供、技術開発

1F建屋内環境データ整備及び関係者へのデータ提供

データ整備の状況例（2号機）



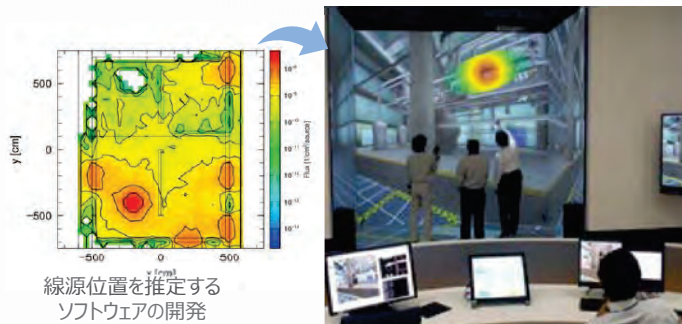
注1) 2階以上については躯体部分データのみ整備
 注2) ペDESTAL内は5号機データ流用
 注3) 原子炉格納容器内は事故前取得データ反映

出典：資源エネルギー庁ウェブサイト
 (https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2019html/1-1-1.html)

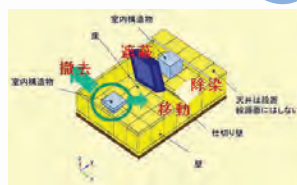
廃炉計画の検討や訓練に活用するため、建屋・格納容器内のデジタルデータを整備し、VRとしての利用及び1F廃炉関連メーカー等へのデータ貸出を実施

廃炉作業環境の改善に向けた技術開発

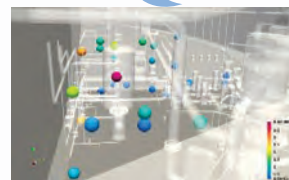
1F廃炉作業環境での線源位置の推定・可視化と作業に伴う空間線量率の変化を推定するシステムを構築することで、作業員の被ばく低減に貢献



線源位置を推定するソフトウェアの開発



空間線量率の変化を推定するソフトウェアの開発

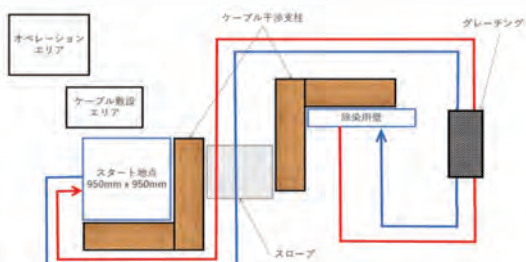


観測データ取得地点を指示するためのソフトウェア開発

人材育成(1)

第8回廃炉創造ロボコン (14校・17チーム参加, 2023.12.23)

文部科学省の「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」で開始され、現在継続して「廃炉研究等推進事業費補助金」(CLADS補助金)に基づき実施



【競技内容】

1F内における高線量エリアの壁の遠隔高所除染を想定壁は非磁性体とし、移動経路にはスロープ、障害物(グレーチング)を設置
 今年度は新たに復路を追加



【受賞校】

文部科学大臣賞
 福島県知事賞
 高専機構理事長賞
 原子力機構理事長賞
 イノベ機構理事長賞

小山高専 (3年連続)
 熊本高専
 舞鶴高専
 一関高専
 大阪公立大高専

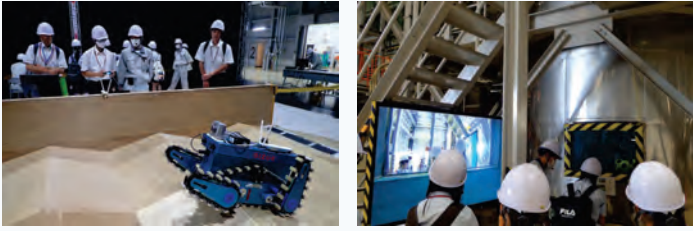


【競技(除染)状況】

人材育成(2)

ロボット操作実習プログラム(2023年度実績：37件)

福島県立磐城高等学校 (2023.8.2)



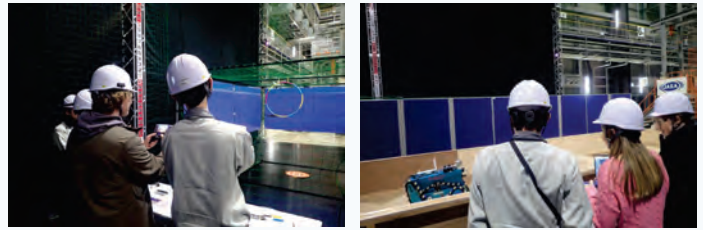
広島学院高等学校 (2023.8.21)



福島県立ふたば未来学園中学校 (2023.12.1)



福島学院大学 & 英国ペトロック大学 (2024.3.19)



地域への貢献

楡葉町への貢献

人材育成に係る楡葉町への協力

ならはっ子ども教室
(文部科学省「放課後子供教室事業」)
(2023.7.21, 2024.2.20)

楡葉町の小学生の体験活動の機会の充実を目的として小学校へ出張授業を行い、クローラロボット及びドローン等の操作体験を実施



クローラロボット操作体験



ドローン操作体験

キャリアスクール (2024.3.29)

楡葉町の小中学生のキャリア形成を目的として、NARRECの業務紹介及び各種実習 (VR、ロボットシミュレータ、クローラロボット操作) を実施
今回は特別に大熊分析・研究センター職員による放射線教育も実施



VR体験

ロボット操作体験

放射線教育

イベントへの出展

楡葉町の皆様にNARRECで行っている業務を理解いただけるように、アームロボット操作及びVRを体験できる企画を展示・実施



ならSUNフェス (2020年度以降毎年出展)



地域行事への参加

楡葉町の地域の一員として、楡葉町で行われている各種行事に積極的に参加



クリーンアップ作戦
(毎年 春・秋)



職域対抗ソフトボール大会
(2021年度以降毎年参加)

今後(こんなことしたいな)

- ✓ 更なる燃料デブリ取出しに関する大型モックアップ試験への協力継続
- ✓ 性能試験法を活用した、ロボット性能向上への貢献
- ✓ 異分野との融合による1F廃炉への貢献
→例えば、バイオメカニクス×ロボティクスによる1F内作業効率の向上
- ✓ 実践的な人材育成への貢献
→研究人材育成型廃炉研究プログラム(英知事業)との連携
- ✓ 地元地域からの更なる活用と福島復興への貢献
→福島県ホープツーリズム等への積極的協力



ボストンダイナミクス社
「ATLAS」



×
モーションキャプチャによる人間動作の学習
バイオメカニクス



NARRECは施設登録され、
多くの方々の見学を受入れ

<https://www.hopetourism.jp/>

まとめ

NARRECでは、1F廃炉への貢献のみならず、福島復興や新産業創出等の多様な利用を目指して
今後も積極的な活用を模索する。**原子力学会員の方からの気軽な問合せ・利用をお待ちしています。**