JAEA-Review
2023-015
DOI:10.11484/jaea-review-2023-015

JAEA-Review

2021年度 楢葉遠隔技術開発センター年報

Annual Report for FY2021 on the Activities of Naraha Center for Remote Control Technology Development
(April 1, 2021 - March 31, 2022)

秋山 陽一　柴沼 蒼　柳澤 憲一　山田 大地
鈴木 健太　吉田 萌夏　大野 貴裕　川端 邦明
渡辺 夏帆　森本 恭一　小泉 健治

Yoichi AKIYAMA, So SHIBANUMA, Kenichi YANAGISAWA, Taichi YAMADA
Kenta SUZUKI, Moeka YOSHIDA, Takahiro ONO, Kuniaki KAWABATA
Kaho WATANABE, Kyoichi MORIMOTO and Kenji KOIZUMI

福島研究開発部門
福島研究開発拠点
楢葉遠隔技術開発センター

Naraha Center for Remote Control Technology Development
Fukushima Research Institute
Sector of Fukushima Research and Development

September 2023
Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（https://www.jaea.go.jp）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　JAEA イノベーションハブ　研究成果利活用課
〒 319-1195　茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2023

JAEA-Review 2023-015

2021 年度　楢葉遠隔技術開発センター年報

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
楢葉遠隔技術開発センター

秋山　陽一、柴沼　蒼、柳澤　憲一*、山田　大地+、鈴木　健太+、吉田　萌夏、
大野　貴裕、川端　邦明+、渡辺　夏帆、森本　恭一、小泉　健治

（2023 年 7 月 10 日受理）

楢葉遠隔技術開発センターは、東京電力ホールディングス株式会社が実施する福島第一原子力発電所の廃炉作業に資するため、遠隔操作機器・装置による廃炉作業の実証試験・要素試験が実施できる施設・設備を有している。2021 年度は 84 件の施設利用を支援し、福島第一原子力発電所廃炉作業等に貢献した。また、福島第一原子力発電所の廃炉・除染に携わる事業者、災害対応分野においてロボット技術等を必要としている事業者との技術マッチングの機会として開催された廃炉・災害対応ロボット関連技術展示実演会に出展し、地域活性化・福島県の産業復興に協力した。さらに、第 6 回廃炉創造ロボコンや国際原子力人材育成イニシアチブ事業等の支援を通じて、長期にわたる福島第一原子力発電所の廃炉関連業務を担う次世代の人材育成に貢献した。新たな取組みとして、楢葉町教育委員会が実施している「ならはっ子こども教室」への協力として、楢葉町小学生を対象とした遠隔ロボット操作及び VR の体験会を実施し、地域教育活動に貢献した。

本報告書は、2021 年度における楢葉遠隔技術開発センターの施設・設備の整備・利用状況およびそれに係る取組み、遠隔基盤技術の開発状況、緊急時対応遠隔操作資機材の整備・訓練等の活動状況について取りまとめたものである。

楢葉遠隔技術開発センター：〒979-0513　福島県双葉郡楢葉町大字山田岡字仲丸 1-22
＋　廃炉環境国際共同センター遠隔技術ディビジョン
＊　株式会社ジック

JAEA-Review 2023-015

Annual Report for FY2021 on the Activities of Naraha Center for Remote Control Technology Development (April 1, 2021 - March 31, 2022)

Yoichi AKIYAMA, So SHIBANUMA, Kenichi YANAGISAWA*, Taichi YAMADA+, Kenta SUZUKI+, Moeka YOSHIDA, Takahiro ONO, Kuniaki KAWABATA+, Kaho WATANABE, Kyoichi MORIMOTO and Kenji KOIZUMI

Naraha Center for Remote Control Technology Development
Fukushima Research Institute
Sector of Fukushima Research and Development
Japan Atomic Energy Agency
Naraha-machi, Futaba-gun, Fukushima-ken

(Received July 10, 2023)

Naraha Center for Remote Control Technology Development (NARREC) was established in Japan Atomic Energy Agency to promote a decommissioning work of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (Fukushima Daiichi NPS). NARREC consists of a Full-scale Mock-up Test Building and Research Management Building. Various test facilities are installed in these buildings for the decommissioning work of Fukushima Daiichi NPS.

These test facilities are intended to be used for various users, such as companies engaged in the decommissioning work, research and development institutions, educational institutions and so on. The number of NARREC facility uses was 84 in FY2021. We participated booth exhibitions and presentations on the decommissioning related events. Moreover, we also contributed to the development of human resources by supporting the 6th Creative Robot Contest for Decommissioning. As a new project, "Narahakko Children's Classroom" was implemented for elementary school students in Naraha Town.

This report summarizes the activities of NARREC in FY2021, such as the utilization of facilities and equipment of NARREC, the development of remote-control technologies for supporting the decommissioning work, arrangement of the remote-control machines for emergency response, and training for operators by using the machines.

Keywords: Remote Control Technology, Annual Report, Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Full-scale Mockup Test, Naraha Center for Remote Control Technology Development, Emergency Response, JAEA

+ Remote System and Sensing Technology Division, Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science
* Growth Industry Create Corporation

目　次

1　はじめに 1
1.1　楢葉遠隔技術開発センターの概要 1
1.2　楢葉遠隔技術開発センターの施設・設備の構成 1
1.3　楢葉遠隔技術開発センターの 2021 年度の活動概要 2
2　施設・設備の整備および利用状況 4
2.1　施設・設備の整備状況 4
2.1.1　VR システム 4
2.2　利用促進活動 6
2.3　利用状況 7
2.3.1　利用実績 7
2.3.2　利用事例 10
2.3.3　利用者等からの意見・要望 10
3　遠隔基盤技術開発 11
3.1　ロボットシミュレータ 11
3.1.1　開発経緯・年度概要 11
3.1.2　年度成果 11
3.1.3　年度まとめ 15
3.2　原子力災害対応用ロボットの標準試験法 15
3.2.1　開発経緯・年度概要 15
3.2.2　年度成果 16
3.2.3　年度まとめ 17
3.3　遠隔基盤整備開発の総括 18
3.3.1　ロボットシミュレータの総括 18
3.3.2　標準試験法の総括 19
3.3.3　開発に付随した活動について 19
4　原子力緊急事態支援用遠隔操作資機材の整備と運用 21
4.1　遠隔操作資機材の整備 21
4.2　遠隔操作資機材操作要員の操作訓練 23
4.3　各拠点現場調査 26
5　まとめ 28
参考文献 29
付録 1　楢葉遠隔技術開発センターの組織・業務概要 30
付録 2　利用事例 31
付録 3　利用者等からの意見・要望 51
付録 4　外部発表リスト・表彰 60

Contents

1 Introduction 1
1.1 Overview of Naraha Center for Remote Control Technology Development 1
1.2 Outline of Facilities 1
1.3 Outline of FY2021 Activities 2
2 Improvement and Utilization of Facility and Equipment 4
2.1 Improvement 4
2.1.1 Virtual Reality System 4
2.2 Promotional Activities for Utilization 6
2.3 Utilization 7
2.3.1 Results of Utilization 7
2.3.2 Examples of Utilization 10
2.3.3 Comments and Requirements from Facility Users 10
3 Development Activity of Remote Technology 11
3.1 Robot Simulator 11
3.1.1 Development History and Fiscal Year Summary 11
3.1.2 Results 11
3.1.3 Summary 15
3.2 Standard Test Methods for Nuclear Emergency Response Robots 15
3.2.1 Development History and Fiscal Year Summary 15
3.2.2 Results 16
3.2.3 Summary 17
3.3 Summary of Development Activity of Remote Technology 18
3.3.1 Summary of Robot Simulator 18
3.3.2 Summary of Standard Test Methods 19
3.3.3 Activities Associated with Development 19
4 Operation and Maintenance of Remote Control Equipment for Nuclear Emergency Response 21
4.1 Maintenance of Remote Control Equipment 21
4.2 Training for Operators 23
4.3 Site Surveys at Each Location 26
5 Summary 28
References 29
Appendix 1 Organization of Naraha Center for Remote Control Technology Development 30
Appendix 2 Examples of Utilization 31
Appendix 3 Comments and Requirements from Facility Users 51
Appendix 4 Awards and Presentation List 60

略語一覧

3D-CAD：3 Dimensional Computer Aided Design
FY：Fiscal Year
CG：Computer Graphics
CLADS：Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science
GPS：Global Positioning System
NARREC：Naraha Center for Remote Control Technology Development
NIST：National Institute of Standards and Technology
PCV：Primary Containment Vessel
ROV：Remotely Operated Vehicle
SA：Severe Accident
SLAM：Simultaneous Localization and Mapping
STM：Standard Test Methods
TMI-2：Three Mile Island, Unit 2
UAV：Unmanned Aerial Vehicle
VR：Virtual Reality

This is a blank page.

1　はじめに

本報告書では、2021 年度における国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」と略す。）福島研究開発部門 福島研究開発拠点 楢葉遠隔技術開発センター（以下、「NARREC」と略す。）における以下の活動状況について報告する。

・施設・設備の整備や利用状況およびそれらに係る取組み
・遠隔基盤技術の開発状況
・原子力災害対策に係る遠隔操作資機材の整備と訓練等

まず、本章では NARREC の概要を述べる。

1.1　楢葉遠隔技術開発センターの概要

東京電力ホールディングス株式会社（以下、「東京電力」と略す。）福島第一原子力発電所（以下、「1F」と略す。）の廃炉は、高放射線量･高汚染環境での作業があり、その実施に当たっては様々な遠隔操作機器・装置の活用が必須である。

NARREC は、1F 廃炉作業等に携わる企業や研究機関、大学等による遠隔操作機器・装置を用いた実証試験・要素試験が実施可能な試験棟とバーチャルリアリティ技術を用いた作業者訓練システム（以下、「VR システム」と略す。）等を備えた研究管理棟から構成されている。

1.2　楢葉遠隔技術開発センターの施設・設備の構成

NARREC の主な施設は、「研究管理棟」（4 階建：幅 35 m×奥行 25 m×高さ 20 m）と各種試験が実施できる「試験棟」（1 階建：幅 60 m×奥行 80 m×高さ 40 m）で構成されている。研究管理棟には、VR システムや規模の異なる複数の会議室が備えられている。また、試験棟北側に屋外試験が実施できる「多目的試験エリア」を設置している。この他、長期利用者等のために機材保管が可能な「倉庫」も有している。これらを図 1.2-1 に示す。

試験棟は図 1.2-2 に示すように、要素試験エリアと実規模試験エリアから構成されている。要素試験エリアには、遠隔操作機器・装置等の性能評価を行う設備が設置されている。一方、実規模試験エリアでは、廃炉作業等に必要な要素技術の開発・検証のための実証試験を実規模スケールで行うことが可能である。また、要素試験エリアと実規模試験エリアの間は共通エリアとなっており、利用内容に応じて必要なスペースを分割して利用できる。

図 1.2-1　NARREC の全景（撮影日 2020 年 8 月）[1]

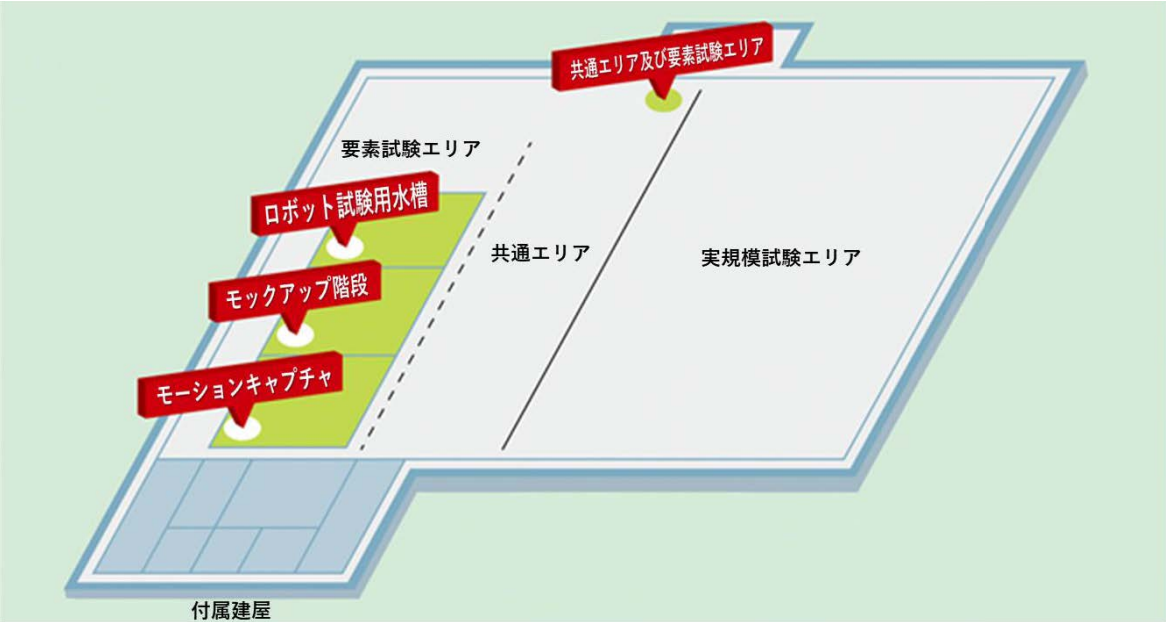


図 1.2-2　試験棟の概略 [1]

1.3　楢葉遠隔技術開発センターの 2021 年度の活動概要

2021 年度は、技術研究組合国際廃炉研究開発機構（以下、「IRID」と略す。）および企業等における廃炉作業に向けた技術開発試験、大学の研究開発試験が実施された。また、人材育成に関わ

[1] 出典：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　福島研究開発部門楢葉遠隔技術開発センター（https://naraha.jaea.go.jp/）（参照:2023 年 5 月 31 日）の「センターの概要」、「施設マップ」HTML 版を元に作成

るサマースクールや第 6 回廃炉創造ロボコン（原子力機構、廃止措置人材育成高専等連携協議会主催）等のイベントが開催された。なお、2021 年 10 月 17 日に予定していた「ふたばワールド 2021 in J ヴィレッジ」の開催に合わせて施設見学会を予定していたが、新型コロナウイルス感染症（以下、「COVID-19」と略す。）の影響により上記イベントが中止となったため、施設見学会も中止とした。地域教育活動への貢献として、文部科学省放課後子供教室推進事業の一環で、楢葉町教育委員会が実施している「ならはっ子こども教室」への協力として、楢葉町小学生を対象として冬休みの体験活動の充実を目的とした遠隔ロボット操作及び VR の体験会を 2022 年 1 月 7 日に実施し、保護者を含めた 38 名が参加した。NARREC の視察・見学については、2021 年度は 105 件、1,702 名の視察・見学者が来訪し、2015 年 10 月の一部運用開始から延べ約 1,600 件、2022 年 3 月 31 日時点で 22,057 人に達している。報道機関による取材や、地元の小・中・高・高専生をはじめ、県内外の高校や大学からも多数来訪しており、1F 廃炉作業への理解醸成の場としても貢献した。なお、2021 年度は COVID-19 感染対策のため、2021 年 4 月から 9 月まで及び 2022 年 2 月から 3 月まで NARREC の視察・見学の受入れを停止した。

また、「廃炉・汚染水対策事業費補助金（原子炉建屋内の環境改善のための技術の開発（被ばく低減のための環境・線源分布のデジタル化技術の開発））」に係る補助事業に応募・採択され、研究開発を行っている。本事業では、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けて、事故による損傷状態が不明な場所が残り、未だに線量率が高い原子炉建屋（以下、「R/B」と略す。）における作業を安全、効率的に行うために必要となる環境改善に関わる技術開発を実施することを目的に、「線源逆推定・線量率推定技術開発」、「実環境データのデジタル化基盤技術の開発」、「現場適用のための技術開発」を行っている。

2　施設・設備の整備および利用状況

NARREC では、施設利用の促進を図るために、施設・設備の整備や利用促進活動を行っている。本章では、2021 年度における NARREC の施設・設備の整備状況、利用促進の活動実績について報告する。

2.1　施設・設備の整備状況

2.1.1　VR システム

(1) 整備目的

VR システムは、廃炉作業に係る被ばく低減、安全かつ効率的な作業計画の検討や作業訓練を支援することを目的に、没入（CAVE）型の VR システムとして 2015 年度から開発・整備を行っている。本システムは、1F の廃炉作業に携わる作業員に対し、仮想空間を用いて国内最大級の大型スクリーン内に事故後の 1F 原子炉建屋内の構造、放射線環境を再現することができる。1F 原子炉建屋内の疑似体験ができる環境を提供することにより、施設の構造に対する理解向上や原子炉格納容器（以下、「PCV」と略す。）下部の作業等に対する教育や訓練が可能である。

(2) データ整備

NARREC の VR システムの映像は、事故後にロボットを用いて取得された 1F 原子炉建屋内の点群データ（1 号機～3 号機）などをベースに構成されている。本 VR システムのスクリーンには様々な 3 次元データを投映できるが、点群データから 3D-CAD データに、さらに 3D-CAD データから CG データに変換することにより、様々な用途に対応できるよう 1F データの整備を進めている。

2021 年度は、一部未整備なデータ範囲があった 3 号機 1 階及び PCV 内部第 2 層の 3D-CAD データを追加整備した。また、3D-CAD から作製する CG データの整備では、2020 年度に整備した 3D-CAD データ（3 号機 1 階）を対象に整備した。図 2.1.1 に 2021 年度末における 1F3 号機原子炉建屋のデータ整備状況を示す。

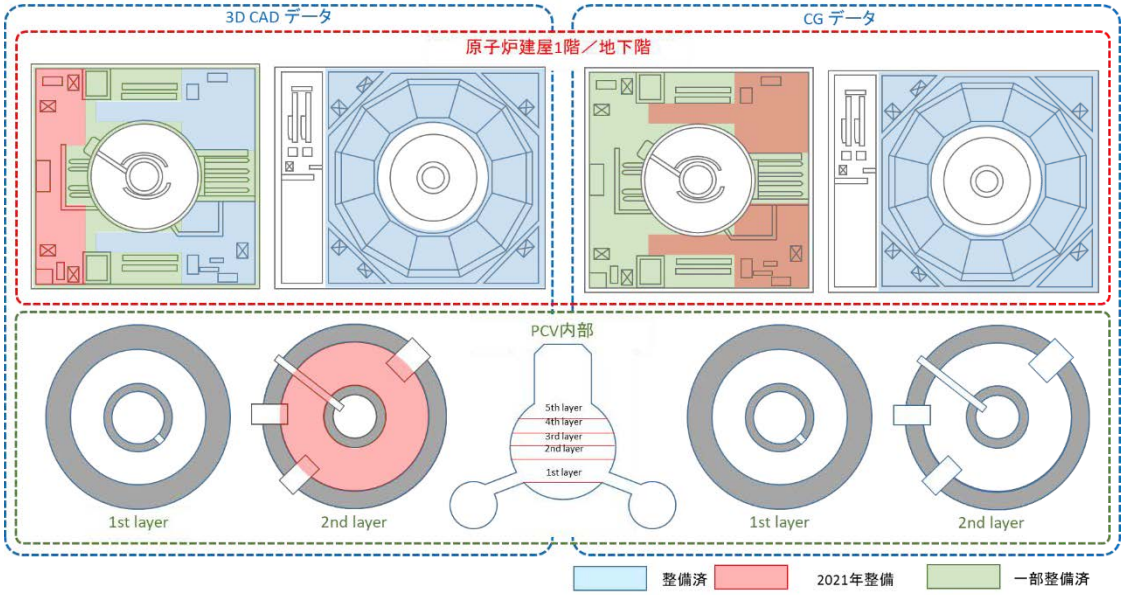


図 2.1.1　1F 3 号機の原子炉建屋 1 階および地下階のデータ整備状況

2.2　利用促進活動

NARREC の施設利用の促進を図るため、ロボットに関連する企業の展示会およびイベントへの出展を行った。出展においては、以下のものをブースで展示した。

- ポスター展示（NARREC 等）
- ヘッドマウントディスプレイ装置による VR での NARREC 設備紹介および 1F 2 号機原子炉建屋データの 3 次元映像閲覧
- ホームページ動画の放映
- 資料配布（NARREC パンフレット、施設利用案内、VR 外部利用チラシ等）

2021 年度の出展実績は、COVID-19 感染の影響より、表 2.2-1 に示すように 2 件にとどまった。

表 2.2-1　2021 年度のイベント等出展実績

日程	名称	開催地
11/5	福島県内企業・大学 廃炉・災害対応ロボット関連技術展示実演会	NARREC
11/19	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2021	福島県

(1) 廃炉・災害対応ロボット関連技術展示実演会

本実演会は、東京電力 1F の廃炉・除染作業に関わる事業者、火災や水害、土砂災害等の災害対応分野におけるロボット技術等を必要としている事業者に対し、福島県廃炉・災害対応ロボット研究会会員や大学等の技術や製品、取組等を展示や実演で紹介し、これらの活動を通じて廃炉・除染作業の推進や災害対応に貢献するものであり、2021 年度は NARREC で開催された。

本実演会にブースを設け、訪れた関連事業者に試験施設の概要紹介や施設利用の手続き等を説明した。

(2) ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2021

本フェスタは、COVID-19 感染対策を十分に行った上で郡山市のビッグパレットふくしまで開催された。原子力機構のブースでは、小型のロボットアームを 2 基配置し、ミニゲームとして遠隔操作によるつかみ取りが体験できるように設営し、多数が体験した。さらに、施設利用に関する説明を行い、利用促進活動を行った。

2.3　利用状況

2.3.1　利用実績

(1) 利用実績の一覧

NARREC は、2016 年度より供用施設として外部利用者への施設利用受入を開始し、2021 年度はこれまでで最高の 84 件の利用を受け入れた。利用実績の一覧を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1　2021 年度の施設利用実績（1/3）

No.	利用者区分	利用期間	利用内容（概要）
1	官	年間（365 日）	実規模試験体を用いた実証試験
2	官	年間（365 日）	試験計画・工程調整等
3	官	年間（365 日）	遠隔機材の開発等の試験準備
4	官	年間（365 日）	シミュレータ構築作業のための居室利用
5	官	年間（365 日）	研究人材育成型廃炉研究プログラムのための居室利用
6	官	年間(4 日/週間程度)	遠隔操作ロボットの整備・開発等
7	産	年間（365 日）	1F 関連のモックアップ試験
8	官	年間（365 日）	2 号機 CAD データを用いた R/B 内放射性物質移行挙動の評価
9	官	年間（365 日）	ROV による遠隔計測を可能にする ROV と VR の連動システムによる遠隔操作技術の開発
10	官	年間（365 日）	格納容器内アクセスおよび調査のためにアーム型の軌道についての研究開発
11	産	年間（365 日）	1F 廃止措置に関わる検討業務への原子炉建屋 3D-CAD データ活用
12	官	年間（365 日）	倉庫保管
13	官	4/5～7/16	給排水設備解体撤去工事
14	産	4/5～8/18	2 号機オペフロ除染モックアップ試験
15	産	4/14～9/22	グローブボックス及び MS マニピュレータ操作訓練
16	産	4/20～3/31	1F2 号機および 3 号機の R/B 内 3D CAD データの利用
17	官	5/24～5/27	非 GPS 飛行のドローンの性能評価
18	産	5/25	クローラロボットと無線通信機器間の通信強度と性能評価
19	学	6/18	ロボット操作実習プログラム
20	官	6/18～6/23	ロボットの性能評価試験法の実証実験
21	学	6/24	ロボット操作実習プログラム
22	産	6/30	水中ドローンの動作確認と操作訓練
23	産	7/2	南東北支店営業職セクション会議

表 2.3.1　2021 年度の施設利用実績（2/3）

No.	利用者区分	利用期間	利用内容（概要）
24	官	7/12	ロボット操作実習プログラム
25	学	7/15	ロボット操作実習プログラム
26	官	7/29～3/31	遠隔資機材の操作訓練（大洗研究所　HTTR、常陽、JMTR）
27	官	7/29～3/31	遠隔資機材の操作訓練（原科研　JRR-3）
28	官	7/29～3/31	遠隔資機材の操作訓練（ふげん）
29	産	8/2～12/24	ハイブリットドローン屋内飛行試験
30	学	8/6～8/7	クローラロボット動作試験及び環境情報取得試験
31	官	8/23～8/27	非 GPS 飛行するドローンの性能評価方法に関する意見交換会
32	産	8/25～8/26	4 足歩行ロボット走行試験
33	産	8/26～10/1	1F-1 プール内ガレキ撤去検討
34	官	8/30～9/3	夏期休暇実習
35	産	9/3～9/22	4 足歩行ロボット走行試験
36	官	9/8	ロボット操作実習プログラム
37	学	10/9	廃炉ロボコンサマースクール
38	産	10/11～10/29	水中ドローン性能確認及び VT 検査模擬
39	官	10/11～3/31	原子炉建屋内の環境改善のための技術の開発
40	産	10/13～3/23	グローブボックス及び MS マニピュレータ訓練
41	産	10/15	水中ドローン性能確認
42	官	10/18～10/22	ロボットの性能評価試験法の実証実験
43	産	10/29	南東北支店営業職セクション会議
44	官	11/4～11/5	福島県内企業・大学 廃炉・災害対応ロボット関連技術展示実演会
45	官	11/15～11/19	非 GPS 飛行するドローンの性能評価方法に関する意見交換会
46	官	11/11	ロボット操作実習プログラム
47	学	11/17	ロボット操作実習プログラム
48	学	11/18	ロボット操作実習プログラム
49	産	11/22～11/26	小型無人潜水ロボットの動作試験
50	官	11/25	ロボット操作実習プログラム
51	官	11/29～12/6	ロボットの性能評価試験法の実証実験
52	学	12/1	多連結移動ロボットの実証実験
53	学	12/3	ロボット操作実習プログラム

表 2.3.1　2021 年度の施設利用実績（3/3）

No.	利用者区分	利用期間	利用内容（概要）
54	学	12/6	ロボット操作実習プログラム
55	官	12/8	ロボット実習プログラム（福福交流会）
56	学	12/9～12/10	第 6 回廃炉創造ロボコン
57	産	12/13～1/7	環境改善・干渉物撤去のための遠隔技術の開発
58	官	12/15	ロボット実習プログラム
59	産	12/16	走行ロボットの性能評価試験
60	官	12/16	ロボット実習プログラム
61	学	12/20～3/31	燃料デブリ取り出しのための機械式マニピュレータのナビゲーションおよび制御
62	官	12/20～3/31	ロボット遠隔制御用無線技術の評価
63	産	12/23～3/31	1F-1～4 号機　D ピット周辺線量低減のための干渉物撤去工事のモックアップ
64	官	12/28	学校団体と原子力機構職員との意見交換
65	学	1/5～2/2	「ラドほたるⅣ」の計測制御確認試験および総合試験
66	産	1/6～3/31	原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発
67	官	1/7	ロボット操作実習プログラム（ならはっ子こども教室）
68	学	1/20	ロボット操作実習プログラム
69	官	1/28	ロボット操作実習プログラム
70	産	1/31～2/1	4 足歩行ロボットの性能確認及び走行性能試験
71	産	2/14～2/15	水中ドローン性能確認及び VT 検査模擬
72	官	2/15～3/17	PCV 内部監察用軌道構造体の実現性検証実験
73	学	2/21～2/22	「ラドほたるⅣ」の計測制御確認試験
74	官	2/25	ロボット操作実習プログラム
75	産	2/28	4 足歩行ロボットの操作トレーニング
76	産	3/3	合同調査研究委員会の打合せ
77	産	3/3	福島エリア会議
78	産	3/8～3/10	炉内目視用水中カメラ動作確認試験
79	官	3/17～3/31	PCV 内部観察用軌道構造体の実験機材の保管
80	官	3/22～3/25	水中デブリ探査技術の開発
81	産	3/22～3/31	タンク内包スラッジの回収装置適応性確認及び習熟訓練
82	学	3/23	ロボット操作実習プログラム
83	官	3/24～3/25	遠隔資機材の操作訓練（核サ研）
84	産	3/31	4 足歩行ロボットの操作デモ

※　表の並びは受け付け順となっている。また、表中の利用者区分欄は利用者の分類を示している。

産は産業界、官は官界、学は学界の利用者を示す。

(2) ロボット操作実習プログラムについて

ロボット関連の人材育成を検討している機関や学校、新たにロボットの導入を検討している企業を対象に、「ロボット操作実習プログラム」を 2019 年度から提供を開始し、ロボット関連の人材育成に貢献している。

2021 年度は福島イノベーション・コースト構想推進機構の事業の一環として、福島県内から 7 つの高校が実習を行った。参加した学校からは、多くの生徒たちが最先端の技術を目の当たりにして学習する気持ちが刺激された、また東日本大震災や 1F 事故を考えるよい機会となった、などといった感想をいただいた（図 2.3.1）。

図 2.3.1　実習プログラムに参加する生徒

2.3.2　利用事例

付録 3 に、利用目的ごとに利用者報告書より利用事例を抜粋し紹介する。なお、利用者報告書中の NARREC の設備名称は、本項では正式な名称に改めた。また、利用者の記載した設備名称（略称含む。）のうち一般的な名称のあるものについては、一般的な名称に改めた。

2.3.3　利用者等からの意見・要望

NARREC では、施設利用の促進を図るために施設利用者等からの意見・要望を集め、試験設備等の充実・改善を行っている。意見および対応例について、手続き関連および設備関連に分けて付録 4 に示す。

3　遠隔基盤技術開発

NARREC では、設置以来遠隔基盤技術の開発を行ってきた。①廃炉作業を支援する技術としてロボットシミュレータ及び、②廃炉作業推進のためロボット性能や操作者の技能について事前評価を行う原子力災害対応用ロボットの標準試験法の各開発である。

① ロボットシミュレータについて、2021 年度はこれまで開発を行ってきた模擬機能（プラグイン）の追加開発を行い、これまで同様に追加機能のダウンロード提供方式による一般公開を行った。また、日本原子力発電株式会社敦賀事業本部美浜原子力緊急事態支援センター（以下、「M-NEACE」と略す。）との共同研究開発により、同センター専用のロボットシミュレータの開発を行なった。

② 原子力災害対応用ロボットの標準試験法について、2021 年度はこれまで開発した試験法の手順書整備を行った。また、原子力災害発生に備え遠隔操作ロボットを業務上管理運用する組織と協力し、開発した試験法の試用及び意見交換並びに一部改良を行った。

上記二つの課題は、原子力機構の第 3 期中長期計画の終了（2021 年度）とともに開発終了となった。ここでは総括として、これまで得られた成果及び付随した活動についても記載した。

3.1　ロボットシミュレータ

3.1.1　開発経緯・年度概要

1F での原子力事故後、原子炉建屋内の調査や作業等のために遠隔操作ロボットが投入されている。調査や作業を安全に遂行するためには、オペレータがロボットの遠隔操縦に習熟することが重要である。そこで NARREC では、ロボットの遠隔操作を擬似的に体験できる環境をロボットの操作者（オペレータ）に提供するために、Choreonoid [1]をプラットフォームとするシミュレータを開発してきた [2]。具体的には、これまでに実施された原子炉建屋内での廃炉作業事例や東京電力により公開されている資料や報告されている事象等を参考に、ロボットの遠隔操作の習熟に必要と考えられる廃炉作業環境及び状況を訓練環境内で体験できるようにするための拡張機能（プラグイン）をシミュレータに実装した。

2021 年度は、ロボットの遠隔操縦に関わるデータを収集・蓄積し、実行した操縦の再現・分析ができることを目的とした、プラグインを HAIROWorldPlugin [2]に追加実装し、オンラインで一般に公開した。

3.1.2　年度成果

3.1.2.1　HAIROWorldPlugin の概要

HAIROWorldPlugin は、原子力機構が開発した廃炉作業環境及び状況を模擬するための Choreonoid 用のプラグインをまとめたものである。ここでは、2021 年度に HAIROWorldPlugin に追加実装された各機能の概要について述べる。各機能の詳細については、“HAIROWorldPlugin マニュアル” [3]を参照していただきたい。

3.1.2.2　JoystickStatusPlugin

JoystickStatusPlugin は、シミュレーション中にオペレータが入力した操作データを記録・表示するための機能である。本機能では、シミュレータに USB 接続されているコントローラ（ゲームパッド）のスティックとボタンの入力状態を時系列データとして記録する。記録した時系列データは、シミュレーションのログデータと同期してグラフ表示することができる。これによりシミュレーション中のロボットに対して、オペレータがどのような指令をどのタイミングで入力したかを確認することができる（図 3.1.2.2-1）。また本機能では、シミュレーション中のコントローラの入力状態を表示することができ、どのスティックやボタンが入力されているのかを確認することもできる（図 3.1.2.2-2）。本機能により、オペレータの操作入力データとシミュレーション中のロボットの姿勢の関係について、シミュレーション後に再現し、オペレータが自身の行った操作を第三者的に確認できることとなった。

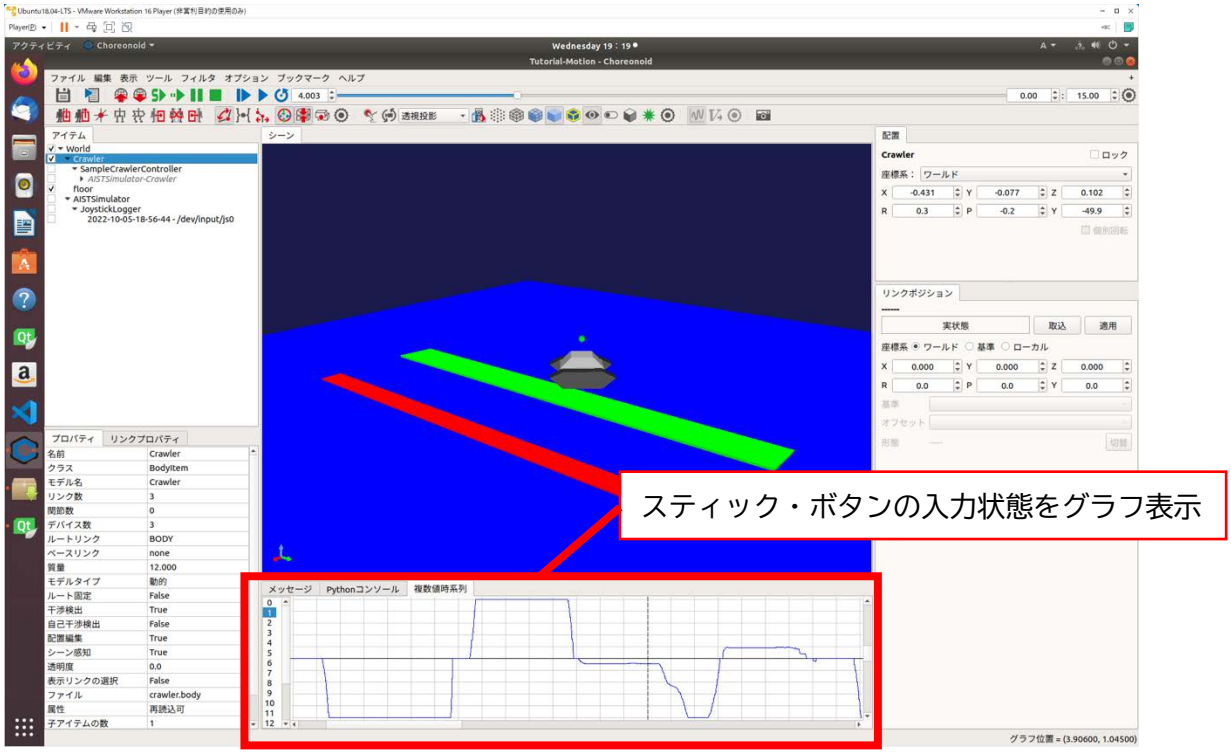


図 3.1.2.2-1　スティックとボタンの入力状態の時系列データの表示例

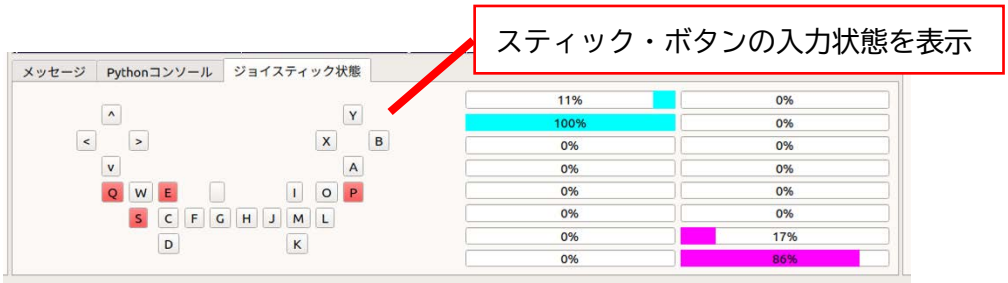


図 3.1.2.2-2　スティックとボタンの入力状態を確認するための画面例

3.1.2.3　CollisionSeqPlugin

CollisionSeqPlugin は、シミュレーション中のロボットと他の物体との間の干渉状態（接触しているか／接触していないか）を記録・表示するための機能である。本機能では、シミュレーション中のロボットを構成するパーツと他の物体との間で干渉が生じたと Choreonoid が判断した干渉状態を時系列データとして記録する。記録した時系列データは、前述の JoystickStatusPlugin で記録した時系列データと同様に、シミュレーションのログデータと同期してグラフ表示することができる（図 3.1.2.3-1）。また本機能では、干渉状態を可視化することもできる（図 3.1.2.3-2）。

本機能により、シミュレーション中のロボットがどの物体と干渉しているかを確認しつつ、さらにシミュレーション後にロボットの挙動を再現し、オペレータが自身の行った操作を第三者的に確認できることとなった。

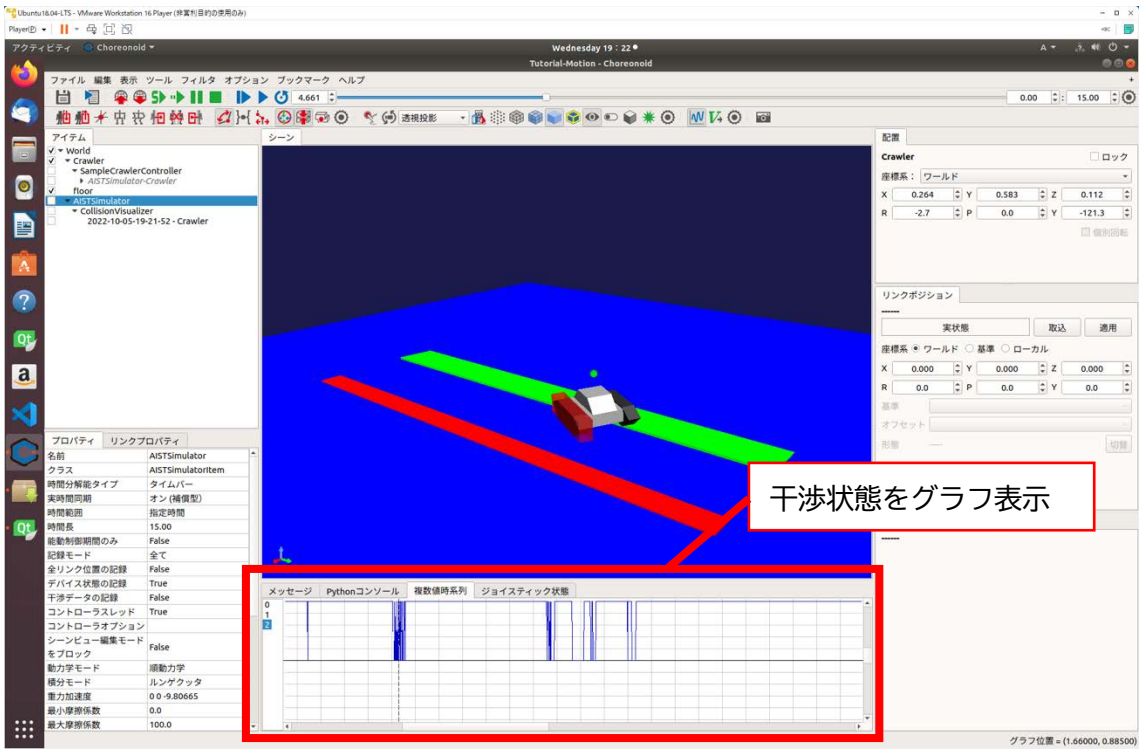


図 3.1.2.3-1　干渉状態の時系列データの表示例

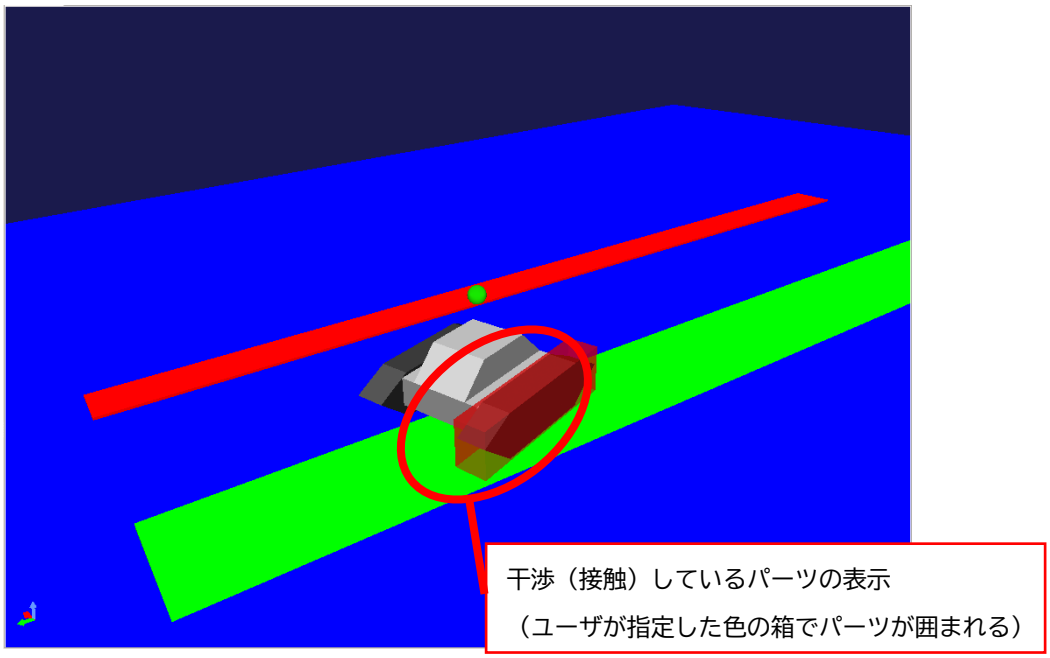


図 3.1.2.3-2　干渉しているパーツの表示例

3.1.2.4　美浜原子力緊急事態支援センターとの共同研究

M-NEACE では、遠隔操縦ロボット操作員の育成訓練を実施している。NARREC と M-NEACE との情報交換において、ロボット操縦技能向上のため、M-NEACE に NARREC のロボットシミュレータの活用可能性があることが分かった。そこで、NARREC は、M-NEACE との共同研究を実施し、M-NEACE が活用できるシミュレータを開発した。具体的には、原子力緊急事態への対応のために M-NEACE が所有しているロボットのモデルと、その遠隔操作の訓練時に使用している試験場（フィールド）のモデルを制作した。図 3.1.2.4-1 にロボットのモデル、図 3.1.2.4-2 に試験場のモデルを示す。加えて、実際にオペレータらによる試用によるフィードバックを実施しながら、ロボットの操作性・操作感を実機のロボットに近づけるために、ロボットの走行速度や関節の回転速度、カメラの画角等の設定をチューニングした。本共同研究を通じて、開発されたシミュレータは、M-NEACE の遠隔操縦ロボット操作員の育成訓練に活用されている。

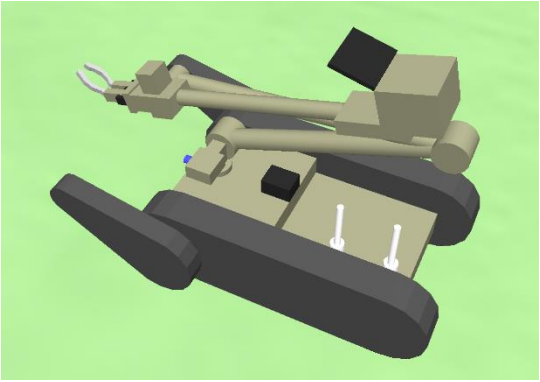


図 3.1.2.4-1　制作したロボットモデル

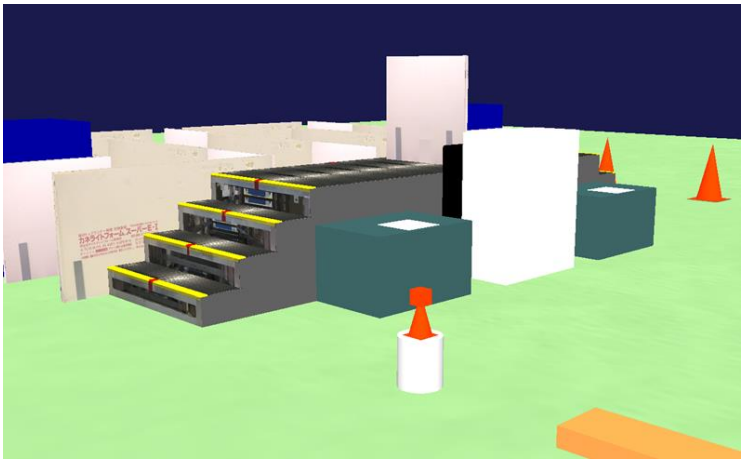


図 3.1.2.4-2　制作した M-NEACE の試験場モデル

3.1.3　年度まとめ

2021 年度は、ロボットの遠隔操縦に関わるデータを収集・蓄積し、実行した操縦の再現・分析をできるプラグインを HAIROWorldPlugin に追加実装し、オンラインで一般に公開した。また、M-NEACE と共同研究を行い、M-NEACE が活用できるシミュレータを開発した。

なお、HAIROWorldPlugin は、Choreonoid の最新版で動作するように適宜継続的に機能の追加・メンテナンスを実施しており、以下から入手できるよう処置している。

https://github.com/k38-suzuki/hairo-world-plugin.git

3.2　原子力災害対応用ロボットの標準試験法

3.2.1　開発経緯・年度概要

1F で発生した事故直後からロボット等の遠隔機器が原子炉建屋内に展開され、長期間に亘ることが予想されている廃炉作業を効果的に推進するためには、要求タスクへの対応可能性を判断するためのロボット性能の評価や操作者の訓練が必要となってくる。これに関わる技術開発の先行例として、 アメリカ国立標準技術研究所（以下、「NIST」と略す。）が開発、提案を行っている NIST-STM[7]がある。NIST-STM はロボットの機能を個別に分けて定量的に性能評価することに焦点を置いており、その評価結果は災害現場で実施すべきタスクが判明した際に適性をもったロボットを選択し、投入するための判断材料となる。これにより、想定外の事態への対応が要求される災害現場において遠隔操作ロボットの実用を推進している。

NARREC では、廃炉作業推進のためにロボット性能や操作者の技能について事前評価を行う環境や方法を提供する NIST-STM の考え方を取り入れることは重要であると考え、同考え方を取り入れた原子力災害時に利用されるロボット等遠隔機器のための標準的な試験法について研究開発を行ってきた。

2020 年度までに、廃炉作業におけるロボットの遠隔操作による作業について作業現場までの移動と移動後にロボットアームを用いて行う作業[4][5][6]を対象として、トラブルが生じた事例を中心に難しい作業に着目し、試験すべき項目の抽出し、対応する試験法を作成した。

2021 年度は、前年度までに作成した試験法について、原子力災害に備えて遠隔操作ロボットを業務上管理運用する組織が、試験を容易に実施できる試験手順書を作成した。また、前述組織の協力の元、試験法を実施し、意見を聴取し、試験法を改善した。

3.2.2　年度成果

2020 年度までに、危険な環境までの移動に不可欠となる走破性に関する試験と、そのほかアームを搭載したロボットによる作業に関する計 6 種の試験法を開発した（図 3.2.2-1）。2021 年度はこれらの開発した試験法の実用性について議論し、改善するために、上述の組織の協力を得て、実際に各組織が使用している災害対応用ロボットを用いて試験法を実施し意見交換を行った。

図 3.2.2-1　開発した原子力災害対応用ロボットのための試験法

具体的には、NARREC 遠隔機材整備運用課及び M-NEACE の協力を得て、6 月、10 月、12 月に試験法及び意見交換を実施した。ここで、6・10 月は遠隔機材整備運用課所有ロボットにて試験法を実施し、12 月は遠隔機材整備運用課及び M-NEACE の各所有ロボットにより試験法を実施した。このとき実施した試験法は、各ロボットが想定している作業で要求される動作に該当する試験に適する、狭隘通路走破性能試験、階段走破性能試験、ロボットアームによる障害物の乗り越えを介した接近試験の 3 種類の試験法である。

図 3.2.2-2 に意見交換を元にした試験法の改善を示す。狭隘通路走破性能試験については、参考にしていた 1F での作業事例の環境からグレーチングを用いた通路の試験場を構成していた。しかし、意見交換の結果、グレーチング上の走行を想定していないロボットもあるため、平らな床面にて狭隘通路の走行試験もできる試験場を作成した。階段走破性能試験については、階段と踊り場の走行について試験することとしていたが、ロボットの滑落などに対する安全対策が難しく、試験の実施が容易ではなく、またコスト低減の効果も見込めることにより、階段の昇降と踊り場の走行を個別に分けて試験することとした。さらに、ロボットの遠隔操作においてオペレータはロボットに搭載されたカメラの映像をもとに操作するので、現場で手すりなどのカメラに映るも

のを試験においても映るようにすることは重要であることが指摘された。これより試験場に手すりを追加した。ロボットアームによる障害物の乗り越えを介した接近試験についても、カメラに映るものの模擬は重要であるとの指摘から、試験場の領域を床に張ったテープに加えて、壁を設置することとした。また、ロボットアームを用いて作業する環境の広さについて、多様なケースが想定されるため、作業エリアのスペースを任意に変更できることとした。

また、これらの意見交換とそれによる改善のほか、貫通孔を通過した後の床面上走破性能試験、貫通孔を通過した後の傾斜面上走破性能試験及びロボットアームによる障害物の乗り越えを通過した後の接近試験について、容易に試験を実施できるように手順書を整備した[8][9]。これにより、前年度までに整備した走破性能試験法 3 種の手順書を加えて、6 種の試験法のすべてにおいて手順書を整備した。

図 3.2.2-2　意見交換による試験法の改善

3.2.3　年度まとめ

1F 事故のような重大な災害に対して、円滑な廃炉並びに今後の社会で同様の災害が繰り返すことのないように技術的な課題の克服が望まれる。これまでの試験法の研究開発では、1F 事故の緊急時対応および廃止措置における遠隔操作ロボットの難しい作業事例を分析し、技術的な課題を抽出した。また、抽出した技術的な課題に対するロボットの性能を評価するための試験法として、

試験場、評価指標、その指標を測るための手順を開発した。これらの試験法は多く利用されることによって、研究者・開発者らが知識や技術を結集し、課題の解決を促進する効果が期待される。このため、2021 年度の研究開発においては業務として原子力災害対応ロボットを運用する組織の協力のもと試験を実施し、試験法の実用性について改善に取り組んだ。今後は広く利用されるための利用促進が期待される。

3.3　遠隔基盤整備開発の総括

遠隔技術による廃炉作業を支援するための技術開発として、ロボットシミュレータ及び原子力災害対応用ロボットの標準試験法の開発を過去 6 年間にわたって行い、今年度で研究開発を終了した。

3.3.1　ロボットシミュレータの総括

ロボットシミュレータの開発は、研究開発開始当初の有識者らによる検討会で具備すべき機能として挙げられた項目の全てを包含する形で、廃止措置に係るロボットの開発や操作訓練等をより効果的に進められることを目標に整備した。

2016 年度（開発初年度）からの各年度の開発成果を表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1　ロボットシミュレータの各年度開発成果

年　度	成　果
2016 年度	マルチコプタの挙動を模擬する機能とガンマカメラの画像を生成・表示する機能を開発した。
2017 年度	通信障害を模擬する機能を開発し、マルチコプタ模擬機能と Virtual Reality を連携した 3 次元可視化システムを構築した。
2018 年度	ロボットの運動軌跡を記録・表示する機能を開発し、シミュレータ上のロボットのモデルを実機のロボットと同様に動作させるための手法について調査した。
2019 年度	ロボットの累積線量を計算する機能の開発とベンチマークテストを行い、複数のロボットの挙動を同時にシミュレートする場合の演算負荷を調査した。
2020 年度	前年度までに開発した拡張機能をまとめたパッケージ（HAIROWorldPlugin）を制作し、オンラインで一般に公開した。
2021 年度	コントローラの入力状態を時系列データとして記録する機能と物体間の干渉状態を時系列データとして記録する機能を開発し、HAIROWorldPlugin に追加実装した。

本シミュレータは、今日まで廃炉作業に関わる形で展開されておらず、福島研究開発部門の掲げる使命「1F 事故からの復旧、復興に貢献する」に、直接合致する成果は得られていない。

3.3.2　標準試験法の総括

原子力災害対応用ロボットの標準試験法の開発は、研究開発開始当初の有識者らによる検討会で出された方針に沿って、先行している NIST-STM と適宜情報交換し開発を行い、6 種類の評価手法を整備し、それらを容易に実施できるように手順書を刊行物として作成・公開した[8][9][10]。

2016 年度（開発初年度）からの各年度の開発成果を表 3.3.2 に示す。

表 3.3.2　原子力災害対応用ロボットの標準試験法の各年度開発成果

年　度	成　果
2016 年度	・公開されている 1F での作業ロボットの動画の動作分析を行い、試験場を試作してロボットによる走行予備実験を行った。
2017 年度	・原子炉建屋内路面を模擬した試験場の設計・製作を行った。また、格納容器の貫通孔を介したロボット投入作業に関わる調査・分析を実施し、検証実験用の配管モジュールの製作を行った。
2018 年度	・5 種類の走破性能試験法について試験手順や試験内容記録フォーマットの案を作成した。また、ロボットの地図作成の性能試験・評価法の開発に取り組んだ。
2019 年度	・走破性能以外の試験すべき項目について、1F におけるロボットの遠隔操作の事例を調査し、ロボットアームを用いた作業に着目して分析を行った。
2020 年度	・ロボットアームにより壁上の障害物の奥側にある目標物へアクセスするための性能試験方法の開発に取り組んだ。 ・5 種類の走破性能試験の手順書を公開した。
2021 年度	・前年度までに開発した試験法について、遠隔操作ロボットのユーザに試験を実施してもらい、その際の意見をもとに試験法の改善を行った。 ・2 種類の貫通孔を介した展開後の走破性能試験およびロボットアームによる障害物の乗り越えを介した接近試験の手順書を公開した。

1F 廃炉作業においては、現状はロボット性能を比較して選定する状況にないことから、本試験法の展開は、なされておらず、福島研究開発部門の掲げる使命「1F 事故からの復旧、復興に貢献する」に、直接合致する成果は得られていない。

3.3.3　開発に付随した活動について

(1)　ロボットシミュレータに関して

開発したロボットシミュレータは、NARREC 遠隔機材整備運用課の操作訓練ツールとしての利用、複数のロボット事業への参画、ロボット操作体験プログラムや夏季実習での若手育成、原子力災害対応の関係者（M-NEACE）による共同研究に用いられている。

今後は、NARREC における施設の利用促進・高度化、M-NEACE での活用等を通じて、データ・情報の収集、課題抽出等を実施し適宜修正等を行う。これにより、廃炉に関連する研究者・

技術者、廃炉に関心のある者、他分野の研究者らなどにも広く普及し、活用されることを期待している。

(2)　原子力災害対応ロボットの標準試験法に関して

開発した手法やその知見は、学会講演等を通じて情報発信の結果、外部有識者に成果が認められ、World Robot Summit （2021 年/2022 年）、レスキューロボットコンテスト（2021 年）、NEDO 事業（2020 年度～2021 年度）への参画へつながった。

今後は、NARREC 施設利用を通じて、データ・情報の収集、課題抽出等を実施し適宜改良を行う。これにより，廃炉に関連する研究者・技術者、廃炉に関心のある者、他分野の研究者らなどにも広く普及し、活用されることを期待している。

4　原子力緊急事態支援用遠隔操作資機材の整備と運用

NARREC の遠隔機材整備運用課（以下、「運用課」と略す。）は 2017 年度に行われた原子力災害対策特別措置法（以下、「原災法」と略す。）及び「原子力災害対策特別措置法に基づき原子力事業者が作成すべき原子力事業者防災業務計画等に関する命令」（平成 24 年文部科学省・経済産業省令第 4 号、以下、「計画等命令」と略す。）の改正を受け、原子力緊急事態支援組織（以下、「支援組織」と略す。）に係る業務所掌をプロジェクト管理課より引き継ぐことにより 2018 年 4 月に新規設置された。現在、運用課は、2020 年度以降に支援組織の本格運用が始まり、原子力事業者防災業務計画（以下、「防災業務計画」と略す。）に定める遠隔操作資機材（以下、「遠隔機材」と略す。）の整備及び操作訓練等の管理・運営を行っている。

2021 年度は、運用課で保有している遠隔機材が各拠点の発災想定現場において支援活動が問題なく実施されるのか調査した。調査は、発災が想定される各拠点の現場状況と想定される発災シナリオに対し、保有する遠隔資材が対応可能かを確認した。現場調査に基づく各拠点のニーズに応える遠隔機材と操作訓練内容の整備を今後検討していくこととした。また、原子力機構の原災法対象 5 拠点 7 施設（以下、「各拠点」と略す。）から選出された遠隔機材操作要員に対する操作訓練、及び支援組織要員に対する教育・訓練も昨年度に引き続き実施した。原災法対象 5 拠点とは、原子力科学研究所（以下、「原科研」と略す。）、核燃料サイクル工学研究所（以下、「核サ研」と略す。）、大洗研究所（以下、「大洗研」と略す。）、高速増殖原型炉もんじゅ（以下、「もんじゅ」と略す。）、新型転換炉原型炉ふげん（以下、「ふげん」と略す。）である。

4.1　遠隔操作資機材の整備

2021 年度における遠隔機材の整備は、小型無人ヘリ（SR70-1、SR70-2：FLIR Systems 社製 SkyRangerR70）2 台の購入及び資機材搬送用車両（RC-6：トヨタ社製ハイエースバン及びトレーラー）である。

小型無人ヘリについては、運用課で整備を行ってきた現有の小型無人ヘリはエンルート社製であるが、ドローン業界の撤退により現有小型無人ヘリのサポートが受けられなくなった。小型無人ヘリは、各拠点の操作訓練において修理の頻度が大きいため、早急にエンルート社に代わるメーカーの小型無人ヘリを調達する必要がでてきた。また、2021 年度から調達する小型無人ヘリは、「政府機関等における無人航空機の調達に関する方針」の運用手引き（令和 3 年 3 月 18 日内閣官房）に基づき、サイバーセキュリティ及びサプライチェーン上のリスクを考慮し、飛行情報の漏えい防止機能等を備えた機種を選定し、内閣官房と協議の上、調達を行った。

一方、資機材搬送用車両については、十分な積載量を有し、長距離輸送が可能であり、通常時の運用性にも優れる車両であることを要件として検討を行い、トレーラーけん引式バン型車両を調達した。さらに、車両については緊急自動車登録を行い、原子力緊急時におけるより円滑な資機材輸送を可能とした。

その他、2021 年度も前年度に引き続き、現有遠隔機材のメンテナンス（点検・調整・修理）及

び消耗品の補充を実施した。

表 4.1 に主な遠隔機材一覧を、図 4.1 に 2021 年度に新規購入した小型無人ヘリ（SR-70）及び機材搬送用車両（RC6）を示す。

表 4.1　主な遠隔機材一覧（訓練用資機材を含む）

分　類	名　称	用　途　等	保有台数
遠隔操作資機材	偵察用ロボット	現場の撮影、放射線測定等	4 台
	作業用ロボット	試料採取および障害物除去等の軽作業	4 台
	小型無人ヘリ（マルチコプタ）	高所からの偵察（屋外）	8 台
運搬車両	ロボット運搬車両	遠隔機材の搬送	3 台
現地活動用資機材等	作業用資機材	作業用工具、予備パーツ類他	1 式
	一般資機材	照明、小型発電機、サニタリー用品他	1 式

注）保有台数は、新規購入・製作した機器を含む。

(1)　SR70-1,2　小型無人ヘリ　　(2)　RC6　資機材搬送用車両

図 4.1　2021 年度に整備した主な遠隔機材

4.2　遠隔操作資機材操作要員の操作訓練

運用課は防災業務計画に基づき、各拠点の操作要員に対して操作訓練を実施した。防災業務計画では、原子力緊急時における発災現場での遠隔機材操作は発災事業所の操作要員が行うこととなっている。操作要員は、後方支援拠点にて支援組織要員から遠隔機材を受け取った後、発災現場周辺へ向かい遠隔機材の操作を行う。支援組織要員は、後方支援拠点から技術的支援等を行うものの、現場で発生した機材トラブル等については操作要員が対応する必要がある。そのため、運用課では、各拠点操作要員に対して以下の操作訓練を実施した。

2021 年度における各拠点の遠隔機材操作要員に対する操作訓練は、操作要員養成訓練と称し、遠隔機材の操作技能レベルを 3 段階（初級、中級、上級）に分けたうえ、初級を 2 回、中級を 4 回、上級を 10 回、合計 21 名に対して実施した。なお、もんじゅからの操作要員（上級 1 名）は、訓練予定日程（2022 年 3 月 17 日）の間際にもんじゅ施設内から COVID-19 陽性者が発生したため 2021 年度の訓練は中止した。操作要員養成訓練の実績を、表 4.2-1（初級）、表 4.2-2（中級）及び表 4.2-3（上級）に、操作要員養成訓練の状況を、図 4.2 に示す。

表 4.2-1　操作要員養成訓練（初級）の実績

	実施日	受講者人数 （所属拠点・施設）
第 1 回	2022 年 1 月 18 日、 19 日	原科研・JRR-3　1 名
第 2 回	2022 年 3 月 24 日、 25 日	核サ研　4 名

表 4.2-2　操作要員養成訓練（中級）の実績

	実施日	受講者人数 （所属拠点・施設）
第 1 回	2021 年 7 月 29 日	大洗研・HTTR　1 名
第 2 回	2021 年 9 月 9 日	大洗研・HTTR　1 名
第 3 回	2021 年 11 月 10 日	大洗研・JMTR　1 名 ふげん　1 名
第 4 回	2021 年 11 月 18 日	大洗研・HTTR　1 名 大洗研・常陽　1 名

表 4.2-3　操作要員養成訓練（上級）の実績

	実施日	受講者人数 （所属拠点・施設）
第 1 回	2021 年 8 月 24 日	大洗研・JMTR　1 名
第 2 回	2021 年 8 月 31 日	大洗研・常陽　1 名
第 3 回	2021 年 9 月 28 日	大洗研・常陽　1 名
第 4 回	2021 年 10 月 19 日	原科研・JRR-3　1 名
第 5 回	2021 年 10 月 21 日	原科研・JRR-3　1 名
第 6 回	2021 年 10 月 26 日	大洗研・JMTR　1 名
第 7 回	2021 年 11 月 25 日	大洗研・HTTR　1 名
第 8 回	2021 年 12 月 7 日	大洗研・HTTR　1 名
第 9 回	2022 年 3 月 2 日	ふげん　1 名
第 10 回	2022 年 3 月 3 日	ふげん　1 名

（左：小型無人ヘリ（初級）の操作訓練　右：暗渠内における偵察ロボットの操作訓練）

図 4.2　操作要員養成訓練の状況

また、支援組織要員が各拠点操作要員に対して指導等を行うための、技能維持・向上を目的として、支援組織要員に対する教育・訓練を実施した。

各拠点が実施する総合防災訓練への協力業務においては、運用課は総合防災訓練当日の通報連絡訓練及び遠隔機材を実際に搬送する要素訓練に参画した。2021 年度の訓練実施内容を以下に記す。

まず、通報連絡訓練等については、茨城地区の大洗研、原科研および核サ研、敦賀地区のもんじゅ及びふげんの各拠点における各総合防災訓練時に、支援組織内において通報連絡訓練を実施した。表 4.2-4 に各拠点の総合防災訓練における通報連絡訓練の実績を示す。

表 4.2-4　各拠点の総合防災訓練における通報連絡訓練および
NARREC 内の運搬車両への積載訓練の実績

<table>
<tr><th>拠点</th><th>通報連絡訓練実施日</th><th>NARREC 内の運搬車両への
積載訓練実施日</th></tr>
<tr><td>ふげん</td><td>2021 年 10 月 15 日</td><td rowspan="5">2021 年 10 月 15 日

上記のほか、表 4.2-5 に示す要素訓練に合わせて実施</td></tr>
<tr><td>大洗研</td><td>2021 年 11 月 9 日</td></tr>
<tr><td>もんじゅ</td><td>2021 年 12 月 14 日</td></tr>
<tr><td>核サ研</td><td>2022 年 2 月 22 日</td></tr>
<tr><td>原科研</td><td>2022 年 3 月 8 日</td></tr>
</table>

次に、遠隔機材の搬送に係る要素訓練は茨城地区及び敦賀地区において実施した。訓練内容は、遠隔機材をNARRECから後方支援拠点まで搬送し、搬送先にて動作確認を実施するものである。表 4.2-5 に遠隔機材の動作確認を伴う要素訓練の実績を示す。

表 4.2-5　遠隔機材の動作確認を伴う要素訓練の実績

実施日	2022 年 1 月 28 日	2022 年 2 月 17 日、18 日
実施地区	茨城	敦賀
対象施設	茨城地区全施設	ふげん、もんじゅ
後方支援拠点	本部	敦賀事業本部 （今回の訓練では、ひばり社宅グラウンドを敦賀事業本部と想定）
搬送ルート	NARREC（一般道）⇒ 広野 IC（常磐道）⇒ 日立南太田 IC（一般道）⇒ 本部	NARREC（一般道）⇒ 広野 IC（常磐道）⇒ つくば JCT（圏央道）⇒ 海老名 JCT（東名高速）⇒ 御殿場 JCT（新東名高速）⇒ 豊田東 JCT（伊勢湾岸道）⇒ 豊田 JCT（東名高速）⇒ 小牧 IC（名神高速）⇒ 米原 JCT（北陸道）⇒ 敦賀 IC（一般道）⇒ ひばり社宅グラウンド
使用車両	ロボット運搬車両 RC-6	ロボット運搬車両 RC-5、RC-6
搬送した遠隔機材	偵察用ロボット T-04、 小型無人ヘリ JH-211	偵察用ロボット T-04、 小型無人ヘリ JH-211、JH-212
訓練概要	原子力機構対策本部より支援指示を受けた支援組織が遠隔機材を後方支援拠点まで搬送し、動作確認を行い拠点操作要員へ引き渡す。	
訓練概要	原子力機構対策本部より支援指示を受けた支援組織が遠隔機材を後方支援拠点まで搬送し、動作確認を行い拠点操作者へ引き渡す。	

4.3　各拠点現場調査

2021 年度に、各拠点における原子力緊急事態発生時の想定現場調査を行った。

各拠点にて想定発災シナリオの提示を受け、偵察用ロボットについて、現場投入場所より現場

目的場所までの走行上の課題の有無及び現場映像観察等作業上の課題の有無の調査を行った。

各拠点ともロボット投入の際の二重扉の開操作は人力で行う必要のあること（調査前の想定範囲内）及び一部の施設では発災場所直近の扉も開操作は人力で行う必要のあること（本調査により判明）、並びに各拠点とも現場映像確認等作業上の課題は特にないこと（本調査により判明） が分かった。なお調査結果を受け、被ばく低減の観点より、発災場所直近の扉の開操作可能なロボットの調査（存在の有無、及び存在有の場合その価格確認）を行うこととした。

表 4.3 に各拠点現場調査の実績及び結果を示す。

表 4.3　各拠点現場調査の実績及び結果

<table>
<tr><th>拠点・施設</th><th>現場調査実施日</th><th>結果</th></tr>
<tr><td>核サ研・再処理</td><td>2021 年 7 月 2 日</td><td rowspan="7">全拠点共通として、管理区域内ロボット投入にあたって、二重扉の開操作は人力で行う必要を確認。（調査前の想定範囲内）

再処理施設のみ、発災場所直近においても扉開操作を人力で行う必要を確認。（本調査により判明）

全拠点共通として、現場映像確認等作業上の課題は特になし。（本調査により判明）</td></tr>
<tr><td>大洗研・常陽</td><td>2021 年 7 月 8 日</td></tr>
<tr><td>原科研・JRR-3</td><td>2021 年 7 月 16 日</td></tr>
<tr><td>ふげん</td><td>2021 年 11 月 12 日</td></tr>
<tr><td>もんじゅ</td><td>2021 年 11 月 12 日</td></tr>
<tr><td>大洗研・ JMTR</td><td>2021 年 11 月 18 日</td></tr>
<tr><td>大洗研・ HTTR</td><td>2021 年 11 月 19 日</td></tr>
</table>

5　まとめ

1F の廃炉作業は、高放射線量･高汚染環境での作業であるため、様々な遠隔操作機器・装置を用いなければならず、これまで国内外にこのような過酷な作業の実施例はほとんどない。1F の廃炉作業を安全かつ確実に進めるためには、十分な事前準備が必要であり、NARREC は廃炉作業に携わる企業や研究機関、大学等による遠隔操作機器・装置を用いた実証試験・要素試験が実施できる施設を整備し、2016 年度から本格運用している。

2021 年度の利用促進活動は、COVID-19 感染の影響より 2 件の出展にとどまったが、これまでの活動等を通じて 2021 年度の施設利用実績は過去最高の 84 件となった。

また、廃炉・災害対応ロボット関連技術展示実演会への出展や、第 6 回廃炉創造ロボコンや国際原子力人材育成イニシアチブ事業等の支援、楢葉町教育委員会が実施している「ならはっ子こども教室」への協力などを通じ地域活性化、人材育成、地域教育活動に貢献した。

遠隔技術による廃炉作業を支援するための技術開発として、ロボットシミュレータおよび原子力災害対応用ロボットの標準試験法の開発を行ってきた。ロボットシミュレータにおいては、ロボットの遠隔操縦に関わるデータを収集・蓄積し、実行した操縦の再現・分析ができることを目的とした、プラグインを追加実装し、一般公開した。原子力災害対応用ロボットの標準試験法においては、これまでに作成した試験法について、原子力災害に備えて遠隔操作ロボットを業務上管理運用する組織の協力のもと、試験法の改善、手順書の整備を行い、原子力機構の第 3 期中長期計画の終了（2021 年度）とともに開発終了となった。

原子力緊急事態支援用遠隔操作資機材の整備と運用について、2021 年度は保有している遠隔機材が各拠点の発災想定現場において、発災が想定される各拠点の現場状況と想定される発災シナリオに対し、保有する遠隔資材が対応可能か調査した。また、原子力機構の原災法対象各拠点から選出された遠隔機材操作要員に対する操作訓練、及び支援組織要員に対する教育・訓練も昨年度に引き続き実施した。

参考文献

[1] Nakaoka S., “Choreonoid: Extensible Virtual Robot Environment Built on an Integrated GUI Framework”, Proc. of the 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2012), pp. 79-85, December 2012.

[2] Suzuki K., Kawabata K., “Development of a Robot Simulator for Decommissioning Tasks Utilizing Remotely Operated Robots”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.32, No.6, pp.1292-1300, 2020.

[3] Suzuki K., Abe F., Yashiro H., Kawabata K., “HAIROWorldPlugin operation manual”, JAEA-Testing 2020-009, 245p., 2021, https://doi.org/10.11484/jaea-testing-2020-009.

[4] 東京電力株式会社, “2 号機原子炉建屋 1 階高所 PCV 貫通部周辺の調査結果について（STEP2 の実施）”, https://www.tepco.co.jp/decommision/principles/technology/robot/robot_upper/pdf/high_altituderobot01.pdf,（参考：2022 年 10 月 5 日）.

[5] 東京電力株式会社, “2 号機原子炉建屋オペレーティングフロアフェンス撤去およびコアサンプル採取について（結果報告）”, https://www.tepco.co.jp/decommision/principles/technology/robot/robot_upper/pdf/meister02.pdf,（参考：2022 年 10 月 5 日）.

[6] 東京電力株式会社, “2 号機原子炉格納容器内部調査（A2 調査）X-6 ペネ用遮へいブロック撤去の状況について”, https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2015/07/20150713.pdf,（参考：2022 年 10 月 5 日）.

[7] National Institute of Standards and Technology, “Standard Test Methods for Response Robots”, https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/standard-test-methods-response-robots （参考：2022 年 10 月 5 日）.

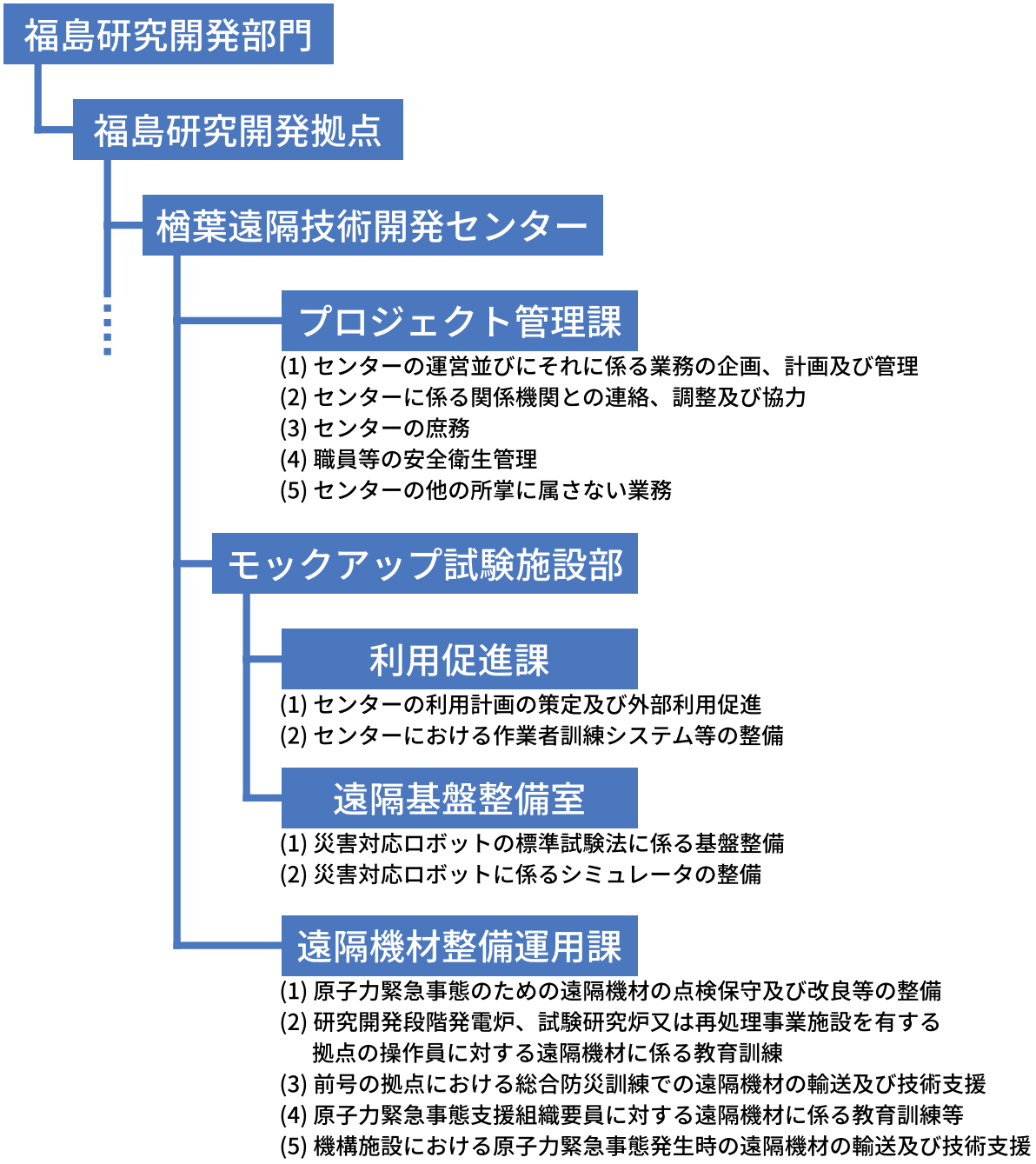
[8] 川端　邦明，山田　大地，阿部　浩之，“原子力災害対応用ロボットの性能試験法；貫通孔を介した展開後の走破性能試験(JAEA-TM-0004、JAEA-TM-0005).” JAEA-Technology 2021-021, 30p., 2021, https://doi.org/10.11484/jaea-technology-2021-021.

[9] 山田　大地，川端　邦明，阿部　浩之，“原子力災害対応用ロボットの性能試験法；ロボットアームによる障害物の乗り越えを介した接近試験(JAEA-TM-0006).” JAEA-Technology 2021-033, 18p., 2022, https://doi.org/10.11484/jaea-technology-2021-033.

[10] 川端　邦明，山田　大地，阿部　浩之，“原子力災害対応用ロボットの性能試験法；走破性能試験(JAEA-TM-0001、JAEA-TM-0002、JAEA-TM-0003).” JAEA-Technology 2020-015, 37p., 2020, https://doi.org/10.11484/jaea-technology-2020-015.

付録

付録１　楢葉遠隔技術開発センターの組織・業務概要



付録 2　利用事例

(1) 1F 廃炉関連

株式会社アトックス

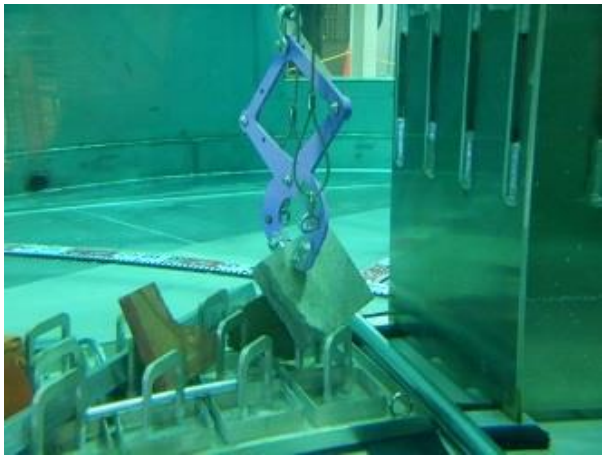
利用期間：　2021 年 4 月 7 日（水）～ 2021 年 8 月 18 日（水）
利用施設：　実規模試験エリア
利用内容：　1F-2 号機オペレーティングフロア内に於いて遠隔操作重機等を用いての除染作業を実施する為、人員の育成と作業手順を確実にすること目的として、当施設に設置した模擬試験場でのモックアップ操作を実施。

株式会社アセンド

利用期間： 2021 年 4 月 14 日（水）～ 2021 年 9 月 22 日（水）
2021 年 10 月 13 日（水）～ 2022 年 3 月 23 日（水）
利用施設： 実規模試験エリア
利用内容： グローブボックス、マニピュレータ操作習熟訓練
グローブボックス用ビニルバッグ及びグローブの取扱い、バッグイン・バッグアウト作業、ビニルバッグ及びグローブ（押込み式）の交換作業、マニピュレータの操作について、個人の技術の習得、習熟を目的として訓練を実施。

東京パワーテクノロジー株式会社

利用期間： 2021 年 8 月 30 日（月）～ 2021 年 10 月 1 日（金）
利用施設： ロボット試験用水槽
利用内容： 1F-1 号機燃料取り出しに向け、使用済燃料プール内に堆積したガレキの撤去作業等の水中作業に係る検討及び力量向上を目的とした訓練の実施。



⑵ 人材育成関連

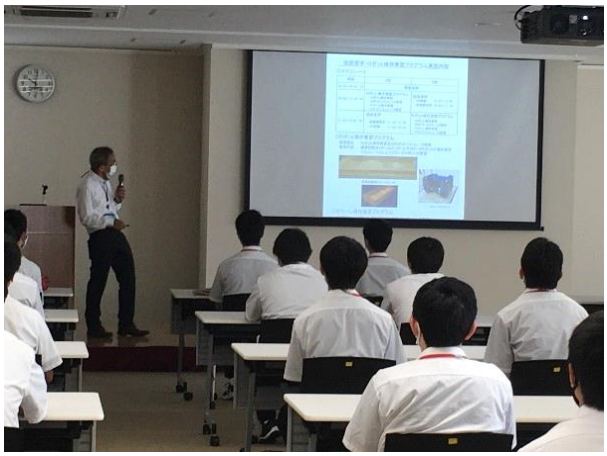
福島県立郡山北工業高等学校（機械科）3 年 1,2 組

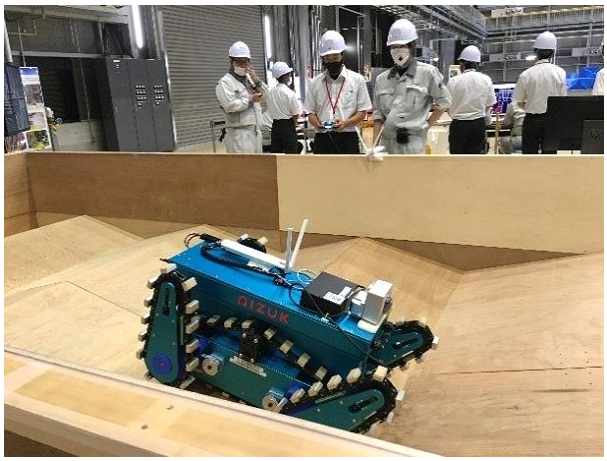
実施日：　2021 年 6 月 18 日（金）
実習内容：　ロボット操作実習（階段走行、凹凸（山谷）走行）プログラム体験。

福島県立郡山北工業高等学校（機械科）1 年 1 組

実施日：　2021 年 7 月 12 日（月）

実習内容：　ロボット操作実習（階段走行、ドローン飛行）プログラム体験。

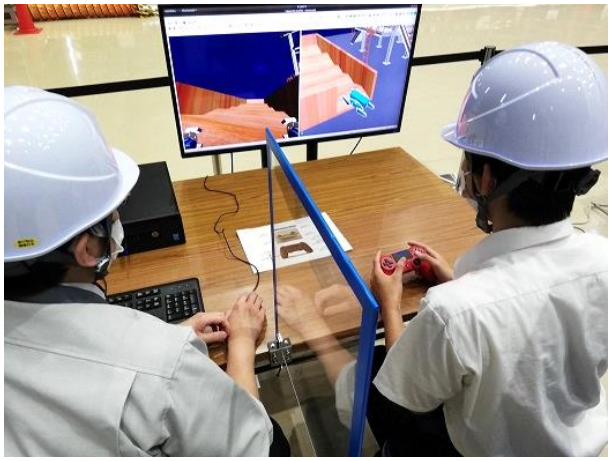


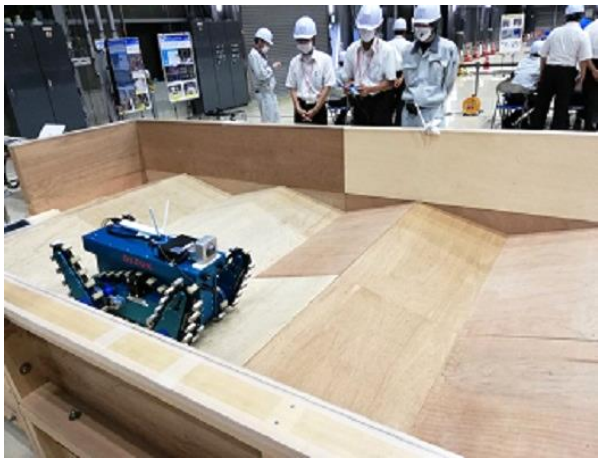


福島県立郡山北工業高等学校（機械科）1 年 2 組

実施日：　2021 年 7 月 12 日（月）

実習内容：　ロボット操作実習（階段走行、凹凸（山谷）走行、水中ロボット操作）プログラム体験。



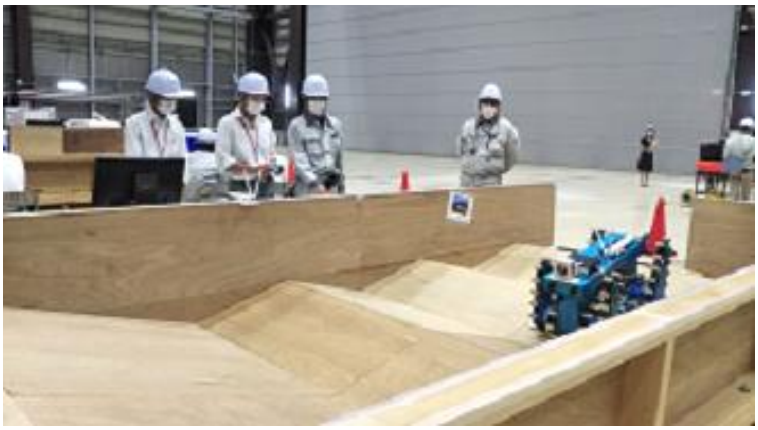


福島県立相馬高等学校　2 年生

実施日：　2021 年 7 月 15 日（木）
実習内容：　VR システムによる福島第一原子力発電所内のシミュレーションを体験。
試験棟内の見学に加えて、ロボットの遠隔操作を体験。

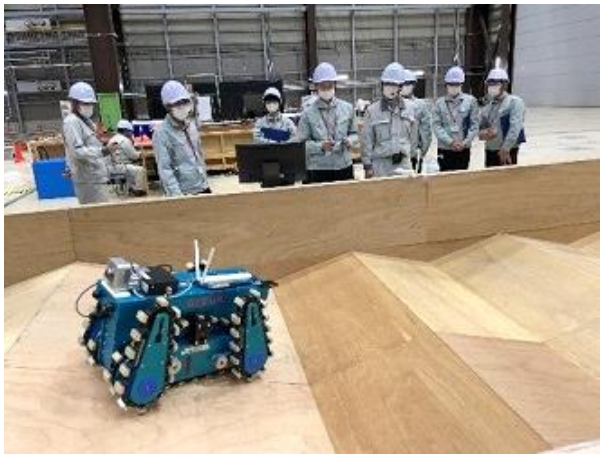
福島県立勿来工業高等学校（電子科）2 年生

実施日：　2021 年 9 月 8 日（水）
実習内容：　「福島イノベーション・コースト構想」人材確保に係わる施設見学及び体験。



福島県立福島工業高等学校（機械科）2 年生

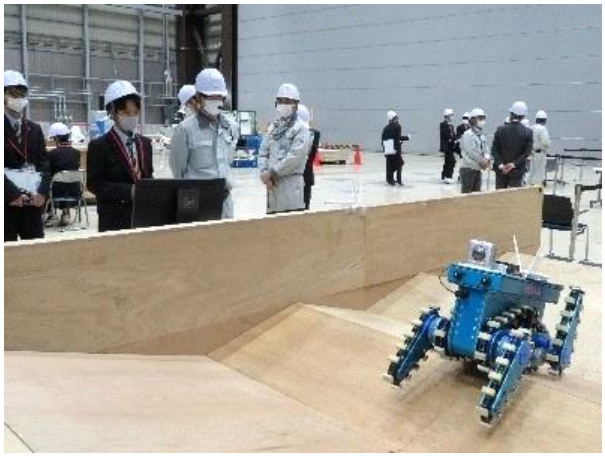
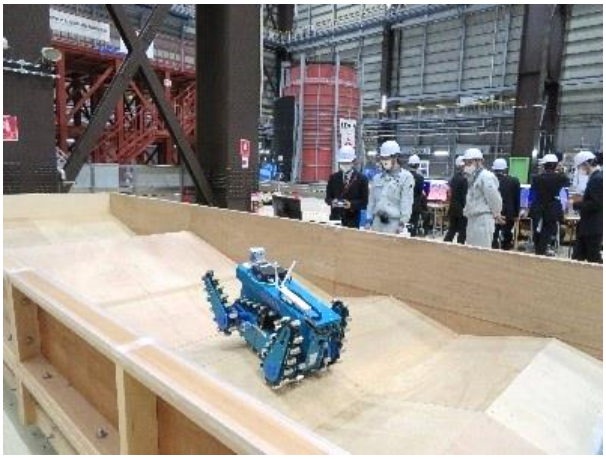
実施日：　2021 年 11 月 11 日（木）
実習内容：　企業見学(福島イノベーション･コースト構想推進機構)
ロボット等の操作体験、VR による原子炉建屋内の見学。



福島県立喜多方桐桜高等学校（電気・電子科　機械科）1 年生

実施日：　2021 年 11 月 18 日（木）

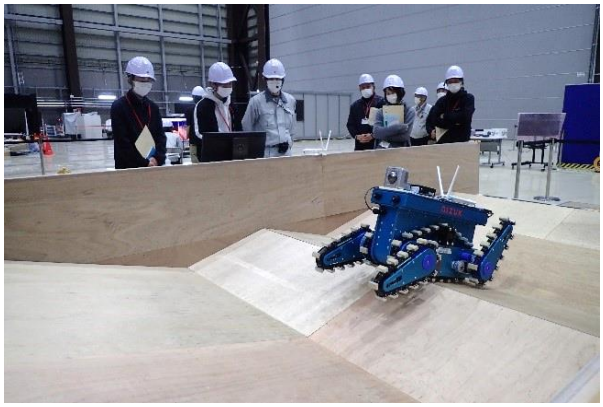
実習内容：福島イノベーション・コースト構想「先進的な施設等の見学」
電気・電子科と機械科の 1 学年の生徒 54 名が NARREC の見学及びロボット操作実習プログラムを実施。

国立大学法人福島大学

実施日：　2021 年 12 月 6 日（月）

実習内容：　英知事業“化学計測技術とインフォマティックスを融合したデブリ性状把握手法の開発とタイアップ型人材育成”
施設見学及びロボット操作実習プログラム（クローラロボット＆ROV）を実施。

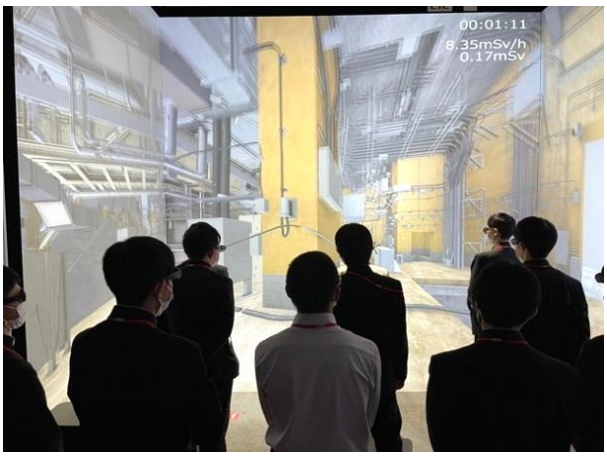


福島県立勿来工業高等学校

実施日：　2021 年 12 月 15 日（水）
実習内容：　一人一人が、実際にドローンの操縦体験や凹凸のあるフロアをロボットにより操縦を体験。

福島県立平工業高等学校（情報工学科）2 年生

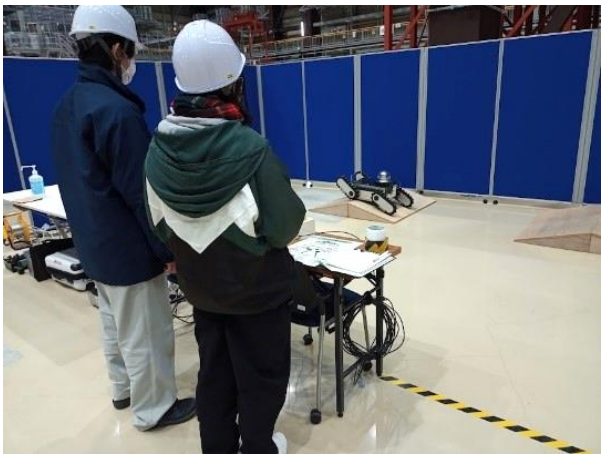
実施日：　2021 年 12 月 16 日（木）
実習内容：　福島イノベーション・コースト構想 施設見学及び体験。



福島県立テクノアカデミー郡山（建築科）1 年生

実施日：　2022 年 1 月 28 日（金）

実習内容：福島イノベーション・コースト構想産業人材確保支援事業により、施設見学及び体験を実施。



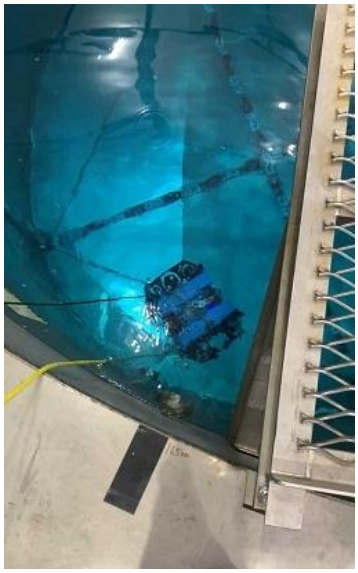
福島県立テクノアカデミー郡山（知能情報デザイン学科）1,2 年生

実施日：　2022 年 2 月 25 日（金）
実習内容：　産業人材育成に係る施設見学ツアー
施設見学にて「施設概要説明」、「VR システムの体験」、「試験棟の見学及びドローン操作体験」を実施。

(3) その他

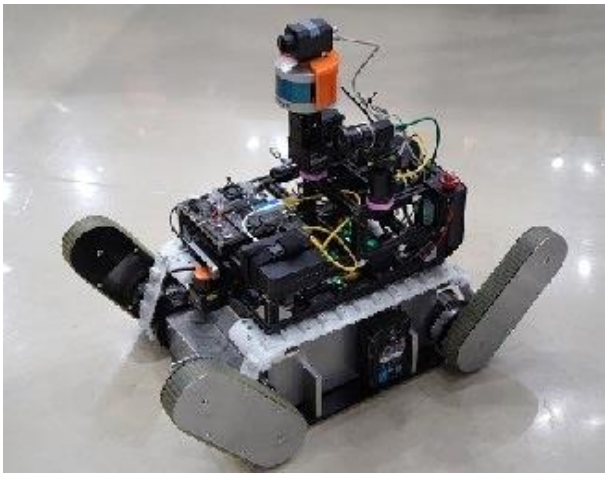
株式会社チック

利用期間： 2021 年 6 月 30 日（水）
利用施設： ロボット試験用水槽
利用内容： 水中ドローンの動作確認と操作訓練を実施。



東京工芸大学、千葉工業大学、北陸先端科学技術大学院大学

利用期間： 2021 年 8 月 6 日（金）
利用施設： 共通エリア
利用内容： 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（若手研究），被災地探査や原子力発電所建屋内情報収集のための半自律ロボットを用いたセマンティックサーベイマップ生成システムの開発の成果を評価する目的で実施。

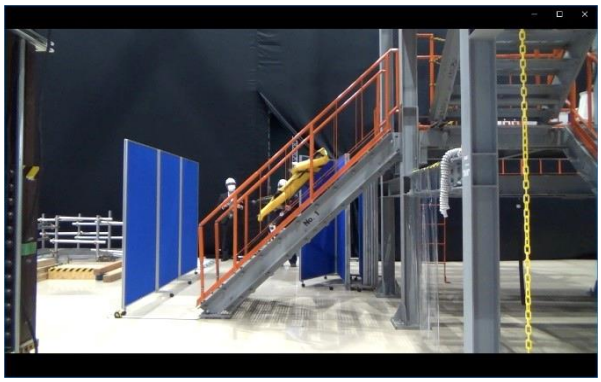


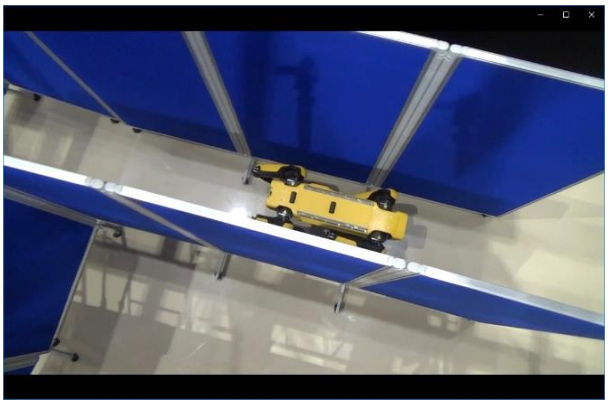
株式会社東北エンタープライズ

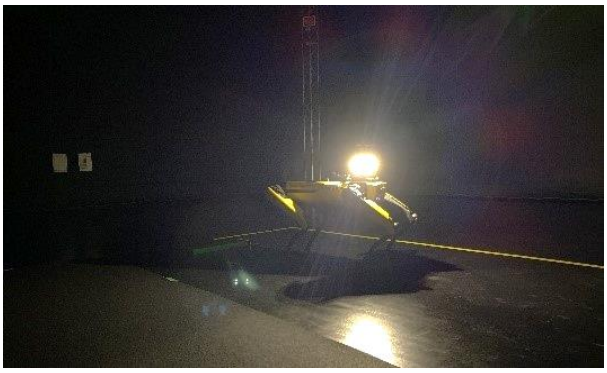
利用期間： 2021 年 8 月 25 日（水）～ 2021 年 8 月 26 日（木）
2021 年 9 月 3 日（金）、2021 年 9 月 21 日（火）
2022 年 1 月 31 日（月）～ 2022 年 2 月 1 日（火）
2022 年 2 月 28 日（月）

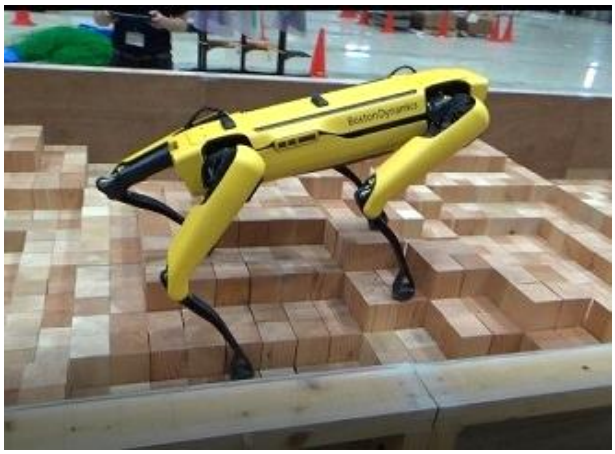
利用施設： モックアップ階段、標準試験体

利用内容： 4 足歩行ロボットの走行性能試験
・モックアップ階段を使用した階段昇降。
・自動走行によるモックアップ階段を使用した階段昇降。
・プラントの狭隘な通路を模擬し、自動走行による挙動を検証。
・モーションキャプチャーを使用した暗所走行。









株式会社 SAC 東京

利用期間： 2021 年 10 月 11 日（月）～ 2021 年 10 月 13 日（水）
2021 年 10 月 27 日（水）

利用施設： ロボット試験用水槽

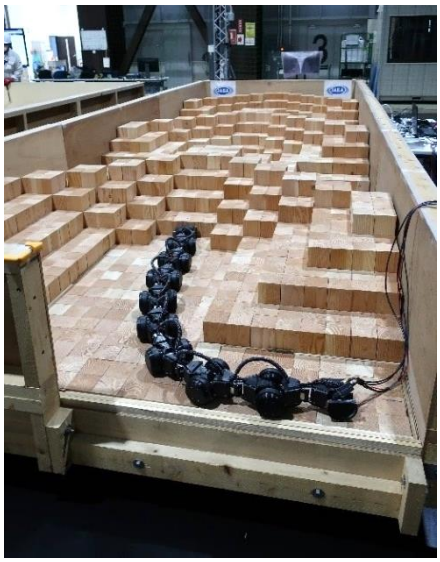
利用内容： 水中ドローンの性能確認を行い、原子力発電所内における水中の構造物に対し外観検査を模擬し検査が可能であるかの確認を実施。

東京パワーテクノロジー株式会社

利用期間： 2021 年 10 月 22 日（金）
利用施設： ロボット試験用水槽
利用内容： タンク内部点検において使用する水中ドローンの性能試験を実施。

電気通信大学

利用期間： 2021 年 12 月 1 日（水）
利用施設： 標準試験体
利用内容： モーションキャプチャエリアに設置された STM のフィールド 2 種にて、多連結移動ロボットの「動作不能状態からの復帰制御」の実証実験を実施した。多連結移動ロボットに実装されたセンサの値を用いたスタック状態の検知アルゴリズムやスタックからの復帰制御について検証し、その性能や課題がある程度明らかになった。

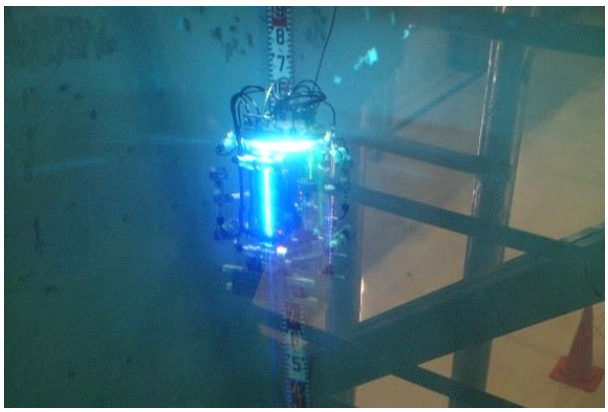


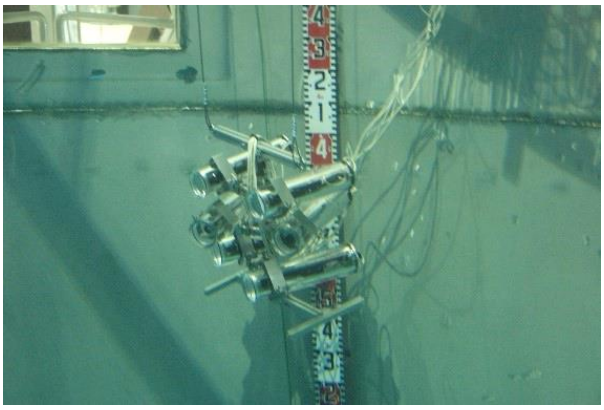
株式会社シマノ

利用期間： 2021 年 12 月 16 日（木）
利用施設： モックアップ階段
利用内容： グレーチング床上での 6 脚ロボットの歩行および走行試験
原子力機構と株式会社シマノで実用化共同研究開発として実施している、令和 3 年度 成果展開事業　実用化共同研究開発にて製作した 6 脚ロボットが、福島第一原発で使用されているグレーチング床を歩行および走行できるか実験を行い、またグレーチング床になっている階段の昇降試験も同時に行う。

福島工業高等専門学校

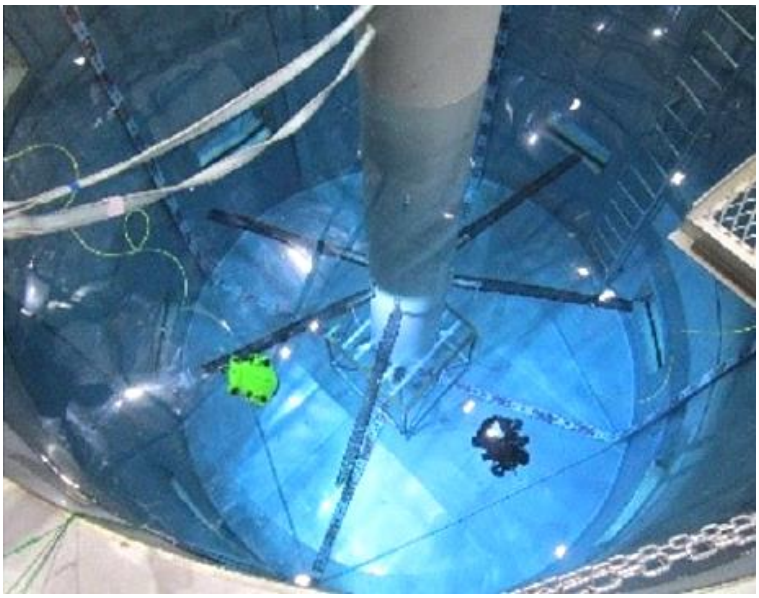
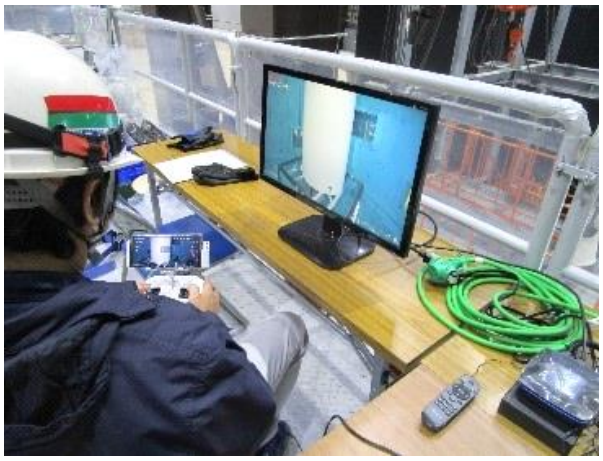
利用期間： 2022 年 1 月 5 日（水）～ 2 月 2 日（水）
利用施設： ロボット試験用水槽
利用内容： 平成 30 年度 ～令和 2 年度の「ラドほたる開発」プロジェクトを受けて開発した、ペイロード 8 [kg]の水中ロボット「ラドほたるⅣ」の総合機能試験を実施。





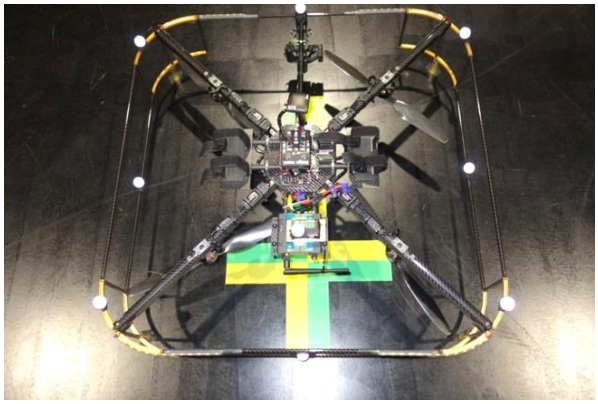
株式会社 SAC 東京

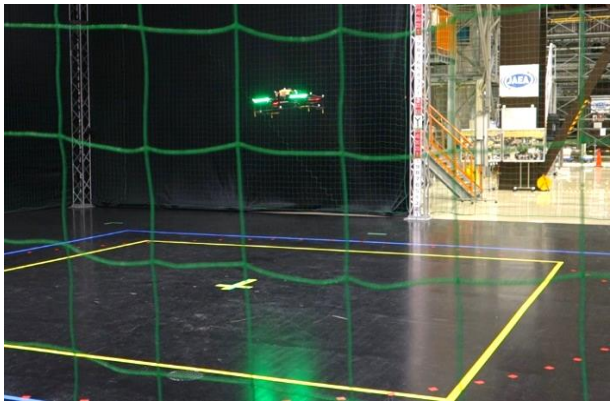
利用期間： 2022 年 2 月 14 日（月）～ 2022 年 2 月 15 日（火）
利用施設： ロボット試験用水槽
利用内容： 水中ドローン外観検査模擬
水中ドローンを使用して模擬した構造物を検査し、検査時間を測定。

海上技術安全研究所

利用期間： 2022 年 3 月 23 日（水）～ 2022 年 3 月 24 日（木）
利用施設： モーションキャプチャエリア
利用内容： 慣性測定ユニットの性能試験
無人ヘリの原子炉格納容器（PCV：Primary Containment Vessel）内での自己測位システムとして、慣性測定ユニットの動作確認を実施。





付録 3　利用者等からの意見・要望

(1) 手続き関連

<table>
<tr><th>利用者からの意見（要望、改善提案、不満）</th><th>対応</th></tr>
<tr><td>以前の手続き時より確認項目が多く複雑になっていました。（チック）</td><td rowspan="3">初めて利用する方でも分かりやすいように、マニュアルの抜粋版を作るなどして今後改善を検討する。</td></tr>
<tr><td>手続きの流れがわかり難かった。（日川高等学校）</td></tr>
<tr><td>以前のシステムより簡便にさらには UI も改善されたと感じた。しかしまだ少し申請に当たっての注意事項や、事前に読むべき書類が貴機構の連絡担当者の補足なしには理解しにくい、もしくは資料の閲覧に到達しにくいと感じた。（東京工芸大学）</td></tr>
<tr><td>全体的な処理を事務員に指示したかったが、専門職に頼まないと申請できないのは不便に思う。（以下、理由）
・各種の様式が別ファイルで提出となっているが、アップロードする際は１つのファイル（PDF）に統合する必要がある。
・サイト内で提出する様式の名称と様式集の文言を統一した方が分かり易いと思う。（シマノ）</td><td>提出の際に 1 つのファイルに統合する必要があった点については改善済み。
様式集のファイル名は保存の際にローマ字表記になってしまうため、サイト内の説明でファイル名を補足するなどして対応とする。</td></tr>
<tr><td>各設備の空情報を利用申請システムに追加してほしい（空情報がすぐわかるシステムが欲しい）。（東北エンタープライズ）</td><td>利用状況によってエリアを柔軟に変更しているため、空情報が分かるシステムの導入は難しい。対応については見送る。</td></tr>
<tr><td>ID とパスワードを取得する必要がある点が敷居が高い。（小高産業技術高等学校）</td><td>利用者情報の登録の有無で手数はさほど変わらないため、対応は見送る。</td></tr>
<tr><td>チャット機能があるが、担当職員が張り付いていないと即時性がないため、メールでもいいと思う。（海上技術安全研究所）</td><td>定期的にチャットを確認するよう努める。</td></tr>
</table>

(2) 料金関連

利用者からの意見（要望、改善提案、不満）	対応
高校生の見学ということもあり、こちらとしても慣れない訪問地でしたので、請求の金額（見学に関しての費用）などが、申し込み時点で事前にわかると見学計画の際に助かると思います。見学と、研究目的の施設利用と、同様に費用が掛かる等、わかり難かったです。（日川高等学校）	R4 年 4 月に楢葉センターホームページ内にて「ロボット操作実習プログラム」のページを作成し、内容やスケジュール、それぞれの料金について記載した。

(3) 設備等改善関連

利用者からの意見（要望、改善提案、不満）	対応
1 階フロアの角型水槽（希釈槽）はジブクレーンが寄り付かず、また電動ウィンチも巻上げ時に，ワイヤーが絡むようなので改善願いたい。（福島工業高等専門学校）	電動チェーンブロックを購入する。安全に関することであるため早急に対応する。
水没（水槽内の）階段　（福島工業高等専門学校）	今後の需要によって導入するかを検討する。
階段モックアップでキャットウォールとか橋？のような、階段を上り→橋走行→階段降りる，という流れでロボットを走行させる、より複雑なモックアップがあると良いと感じた。（東京工芸大学）	
ロボットで扉を開けるための試験用扉が欲しい。ロボットアームで扉の開閉の試験及び訓練用として使用したい。ドアノブは種類によって交換できる仕様だと嬉しいです。（東北エンタープライズ）	
標準試験体の枠（塀）を高くしてほしい。弊社のロボットでは枠の高さが足りず、ロボットが外に倒れ込む危険性がある。今後も標準試験体を使用してロボット操作の訓練を考えていますのでご検討宜しくお願い致します。（現状より 600～800mm 程度高いと良い） 可能であれば角材を敷き詰めた方の標準試験体を角材のグラつきがないようにしてもらえると嬉しいです。（東北エンタープライズ）	壁にベニヤ板を立てる、角材の隙間を埋めるなどして随時対応を行う。

(3) 設備等改善関連（つづき）

標準試験体（角材バージョン）にもスロープを設置してほしい。（東北エンタープライズ）	ロールピッチのスロープを移動して対応する。
NIST における標準試験体を全種・迷路・不整地。（東北エンタープライズ）	試験法の運用に合わせて今後検討する。
密封線源など（セシウム 137、コバルト）。（シマノ） 放射線下での無線（レーダー含む）試験設備（来場者から意見があったようです）。（福島県ハイテクプラザ）	当センターは放射線を用いたモックアップ試験は行わない。
Remote で試験をした際に、エアコンの送風音が気になった。（福島工業高等専門学校）	他利用者の利用状況にもよるが、必要に応じてエアコンの電源を切って対応する。音を小さくするのは現状不可能。

参考　すべてのご意見

利用手続きはいかがでしたか（HP からの申し込み手順）。

特にありません。
以前の手続き時より確認項目が多く複雑になっていました。
まあまあ簡単。
以前のシステムより簡便に、さらには UI も改善されたと感じた。しかしまだ少し申請に当たっての注意事項や、事前に読むべき書類が貴機構の連絡担当者の補足なしには理解しにくい、もしくは資料の閲覧に到達しにくいと感じた。
初めての利用という事で電話で確認を何度か行ったが、マニュアルを確認すれば問題なく手続きができると感じた。
記載内容の書き方が専門的な内容で難しかったが、職員の方のサポートでスムーズにできた。
全体的な処理を事務員に指示したかったが、専門職に頼まないと申請できないのは不便に思う。（以下、理由） ・各種の様式が別ファイルで提出となっているが、アップロードする際は 1 つのファイル（PDF）に統合する必要がある。 ・サイト内で提出する様式の名称と様式集の文言を統一した方が分かり易いと思う。
書類のやりとりや押印などの煩雑な手続きがなく、非常に簡便でした（慣れてきたので、難しいとは感じなくなりました）。
ID とパスワードを取得する必要がある点が敷居が高い。
各設備の空情報を利用申請システムに追加してほしい（空情報がすぐわかるシステムが欲しい）。

福島イノベーション・コースト構想産業人材確保支援事業により実施したため、利用手続き等については公益財団法人福島イノベーション・コースト構想推進機構により行っていただきました。
1 回目の利用時は、確認しながら手続きを実施した為、時間がかかったが今回は、2 回目の利用ということもありスムーズに実施することができた。
公益財団法人福島イノベーション・コースト構想推進機構に利用手続きをしていただきました。
手続きの流れがわかり難かった。
特に問題はないのだが、チャット機能があるが、担当職員が張り付いていないと即時性がないため、メールでもいいと思う。

試験施設・設備の使い勝手はいかがでしたか。

特にありません。
高校生が興味深く体験できる試験施設であった。
充実した内容で、生徒たちの評判も良かったのでとても満足でした。
標準試験体（SYMMETRIC STEPFIELDS）の外枠の壁を高くしてほしい。今回使用したロボットでは身長が高いため、標準試験体の外に倒れこむ可能性がある。 また、SYMMETRIC STEPFIELDS の木材の揺れがないような状況でも走行させたいと思った。もちろん、揺れがある状態でもロボットがどのような挙動をするか観察することができたので良かった。
ロボット試験用水槽を利用したが他の件名でも使用できると感じました。最終日に客先立会いを行い設備に興味を持っていました。 今後の工事モックアップで利用を検討しています。
少数で体験させてもらえてよかった。
職員の皆さんの丁寧や説明を拝聴させていただきとても感動しました。 体験学習では、一人ひとりが確実に体験できるように時間配分を考えていただき、満足できる内容でした。
1 階フロアの角型水槽はジブクレーンが寄り付かず、また電動ウィンチも巻上げ時に、ワイヤーが絡むようなので、改善願いたい。
他ではできない貴重な体験ができてとても良かった。
標準試験体（角材バージョン）にもスロープを設置してほしい。
今回は施設見学及び体験という形でしたが、とても分かりやすく施設、設備の案内や操作指導をしていただいたので満足することができました。
特になし。今後も利用させていただきたいと思います。

新たに整備してほしい試験施設・設備や追加してほしい機能等のご意見をお書きください。

階段モックアップでキャットウォールとか橋？のような，階段を上り→橋走行→階段降りる，という流れでロボットを走行させる，より複雑なモックアップがあると良いと感じた.
NIST における標準試験体を全種 ・迷路 ・不整地
満足です。素晴らしいプログラムだと感じました。
・四方から見やすい水槽 ・ローカル 5G ・放射線下での無線（レーダー含む）試験設備（来場者から意見があったようです）
密封線源など（セシウム 137、コバルト）。
特にありません。
屋内 GPS 設備。
水没（水槽内の）階段。
今のところは特にございません。
希望の設備が整っており特にございません。
標準試験体の枠（塀）を高くしてほしい。弊社のロボットでは枠の高さが足りず、ロボットが外に倒れ込む危険性がある。今後も標準試験体を使用してロボット操作の訓練を考えていますのでご検討宜しくお願い致します（現状より 600～800mm 程度高いと良い）。 可能であれば角材を敷き詰めた方の標準試験体を角材のグラつきがないようにしてもらえると嬉しいです。 ロボットで扉を開けるための試験用扉が欲しい。ロボットアームで扉の開閉の試験及び訓練様として使用したい。ドアノブは種類によって交換できる仕様だと嬉しいです。

本施設の利用に関し、今後の予定はいかがですか。

PCV 内部詳細調査用モックアップ設備を既に設置していて、必要に応じて研究開発を実施していく予定です。
7/12 本校機械科 1 年生 80 名が利用予定です。他施設の見学を合わせて実施します。お世話になります。
水中ドローンの潜水・動作確認。
また利用したい。
レスキューロボットの走行実験で定期的に利用したい。
業務による利用ではなく、イノベーション・コースト構想の人材育成事業の一環で利用させていただいたため。
ロボットの性能確認。操作訓練。弊社顧客へのデモンストレーション。

ロボット試験用水槽を利用してダイバー水中溶接のモックアップを検討しています。 福島第一原子力発電所の作業も行っている為、教育等で VR 体験も利用したいと検討しています。 廃炉関係の工事もある為、今後モックアップを検討しています。
来年度も同様のプログラムでお願いいたします。
福島県廃炉・災害対応ロボット研究会会員や大学等と廃炉・除染に携わる事業者、災害対応分野においてロボット技術等を必要としている事業者との技術マッチングの機会を創出するための展示実演会の開催。
同様の実験。
学校の施設見学等で利用できればと考えています。
利用目的として、凸凹の路面を予定（ロボットの走行試験）。
次年度に見学させていただきたいと思います。
来年度以降の計画は未定ですが、今後も試作ドローン等の試験飛行に利用させて頂ければと思います。
2022 年 4 月以降で、国プロ「干渉物撤去技術の開発」の要素試験での利用を考えています。
水中ロボット及び水中クローラロボットの開発試験のため。
毎年同時期に活用させていただきたい。
弊社取り扱いのロボットを中心に、顧客へのデモンストレーション及び納入後のトレーニングとして、不定期ではありますが使用していきたいと考えています。
今回で 2 回目の実施となりましたが、できる限り毎年同じ時期に 1 年生に対しては施設見学を実施していきたいです。
社員の力量向上を継続的に図っていく予定であり、計画が整い次第、使用させて頂きたい。
ロボット試験用水槽を利用してダイバー水中溶接のモックアップを検討しています。 その他、水中ドローンのスクール（安全潜航操縦士講習会）を検討しています。
年度ごとに見学先を検討するので、現在のところ次年度の施設利用は業務計画にありませんが、施設外研修先の候補の一つとして考えております。
弊社取り扱いのロボットを中心に顧客へのデモンストレーション及び納入後のトレーニングとして不定期ではありますが使用していきたいと考えています。
廃炉作業のモックアップや習熟訓練。
実験に利用したい。

本施設を利用して、総合的に満足いただけましたか。

特になし
大変満足でした。時間が許すのであればフルコースで体験したいと考えています。
満足。

施設の設備、環境、サポートすべてにおいて満足でした。どんなモックアップ試験でも可能ではないかと感じました。
アクセスの悪さだけが不満点。
PC の画面を映すモニターを急遽借用させて頂くなど、対応に満足している。 夜間のシャッターの開閉対応など、急なお願いに対応頂きありがとうございました。
施設は良いが、事務手続きが難しかった。
2 時間という見学時間の中で、班分けにより一人一人がより多く器材の操作を体験できた点は良かったと思います。
施設の設備、環境、サポートすべて満足でした。どんなモックアップでも可能と考えています。 今後、水槽以外でもモックアップを実施する際には利用したいと考えています。

その他、本施設をご利用になってのご意見・ご感想をご自由にお書きください。

施設利用に関しては、事前に JAEA 殿の担当者と密な調整を実施し、施設利用に関するアドバイスを丁寧且つ詳細に頂きました。今後も弊機構所有の PCV 内部詳細調査用モックアップ設備を利用していく予定ですので、変わらずご指導をお願いします。
職員の方の対応も親切で不安無く利用できました。 引き続き弊社の教育・訓練での利用を考えておりますので、よろしくお願い申し上げます。
大変ありがとうございました。今後、他科や本科において紹介すると共に、継続的に体験させたいと考えております。
2021 年 10 月に同様の会議予定しており、その際はまたご利用させて頂くと思います。宜しくお願い致します。
施設をお借りし、ありがとうございました。次回利用する際も、よろしくお願いいたします。
今回、大変満足のいく施設利用となった。ご協力ありがとうございました。
当日は大変お世話になりました。様々な配慮をしていただき大変感謝しています。
作業に関し、職員さんからいろいろ助言いただき助かりました。 また、長岡技術科学大学の木村先生をご紹介いただきありがとうございました。ロボットの性能試験にかかわる講義までしていただき、弊社としても大変勉強になりました。 今後の利用においても、よろしくお願いします。
現場職員さんのご協力をいただきありがとうございました。 今後の利用においても、よろしくお願いします。
今回は、職員の方々に搬入・搬出のサポートまでお手伝いしていただき大変助かりました。
利用にあたり、様々な課題がありましたが、丁寧に対応いただき本当に感謝しております。生徒も多くの学びを得ており、素晴らしい時間を過ごさせていただきました。来年度以降も継続して利用させていただきたいと思います。よろしくお願いいたします。

職員の対応もよく、資機材を運搬する際にもクレーン操作を実施していただき非常に助かりました。設備においても期待以上のものであり、目的であった性能試験を十分に実施することができました。今後も利用させていただきたいと思います。
VR システムがとても面白かったです。試験棟の中に入ったのは初めてだったので、大変大きい施設に感動しました。また、ロボットシミュレーション操作実習では、沢山の施設の方に協力していただき、大変有意義な体験をすることができました。ありがとうございました。
ノート PC で施設 Wi-Fi が利用できませんでした。
準備の段階から利用促進課職員の皆様には、様々な御配慮、御協力をいただきました。 無事開催することができ、事故なく、閉会することができました。 ありがとうございました。
職員の皆さまには大変お世話になりました。設備のセッティングや測定も含め、とても丁寧かつ親切にご対応いただきました。心より感謝申し上げます。
生徒が、普段触れることのできないものを体験させてもらえてよかった。ロボットの製作等に興味を持った生徒が増えました。また、震災から 10 年が経ち、いまの生徒は原発での作業や現在の状況など、分からないことばかりでしたが、原発事故を学ぶのではなく復興作業という面から多くを学ぶことができ、よかったと思います。ありがとうございました。
この度は、お忙しい中にもかかわらず、ご対応いただき誠にありがとうございました。生徒達も、はじめは施設設備の大きさに驚いておりましたが、シミュレータ体験、クローラ操作体験、ドローン操縦体験、VR による原子炉建屋内の見学をさせていただき、遠隔操作や高度な技術開発の一端を垣間見ることができて、とても感動していました。検証された遠隔技術によって廃炉作業が少しでも早く進行して収束するように願っております。
トイレを 1 階に設置して欲しい。現地では様々なサポートを頂き、また丁寧なご対応を頂きまして有難う御座いました。
今回の見学では、VR やロボット制御技術を実際に体験することができました。最先端の技術を目の当たりにして、今後「情報工学」分野を学習する気持ちが刺激されたと感じました。6 割の生徒が「より詳しい見学」を希望していることからも、強く印象に残る見学だったと感じました。 また、震災や原発事故を考えるよい機会となり、今でも現場では必死に戦っている人々の存在があることを改めて認識した様子でした。 本日見学をした生徒は、アンケート結果の内容も良好で興味関心を持って参加できたと考えています。今後、「イノベーション・コースト構想」に関連する技術者を目指すきっかけとなることを期待します。
Remote で試験をした際に，エアコンの送風音が気になった。
大変お世話になりました。
今回も色々とご準備いただきありがとうございます。

今回の施設見学により震災（原発事故）を実際に経験した学生が、今後廃炉に向けて国・県としてどのような取り組みが必要なのか、またそれに立ち向かうためにどのような技術が求められていて現時点では何ができるのかなど、普段の生活の中だけでは考えることができないことについて、学生一人一人が少しでも考える良い機会となったと思います。その中で自分たちには何ができるのかを考えて欲しいと思います。 今回はこのような機会を与えていただきまして、ありがとうございました。
冬季には作業場所にヒーターを準備して下さるなどの職員の方の対応が良く大変満足して利用できました。
前回同様、職員の方々に搬入・搬出のサポート及びクレーンの操作を実施していただき大変助かりました。 今後ともよろしくお願い致します。
お忙しいところ施設見学を受け入れていただきありがとうございました。学生たちも東日本大震災及び原子力災害についての知識と、そこからの復興、廃炉に向けて遠隔操作機器が研究・開発されている現場を直に学ぶことができ、施設について学ぶことができました。
今回も色々とご準備いただきありがとうございます。
原子力機構の職員の方々が親身に相談に乗ってくれるため、大変利用しやすいです。
高校生の見学ということもあり、こちらとしても慣れない訪問地でしたので、請求の金額（見学に関しての費用）などが、申し込み時点で事前にわかると見学計画の際に助かると思います。見学と、研究目的の施設利用と、同様に費用が掛かる等、わかり難かったです。

付録 4　外部発表リスト・表彰

1.　外部発表

研究開発報告書類

- 鈴木 健太, 八代 大, 川端 邦明, “HAIROWorldPluginマニュアル（改訂版）”, JAEA-Testing 2021-004, https://doi.org/10.11484/jaea-testing-2021-004, 2022,125p.
- 川端 邦明, 山田 大地, 阿部 浩之, “原子力災害対応用ロボットの性能試験法; 貫通孔を介した展開後の走破性能試験(JAEA-TM-0004、JAEA-TM-0005)”,JAEA-Technology 2021-021, https://doi.org/10.11484/jaea-technology-2021-021, 2021,30p.
- 山田 大地, 川端 邦明, 阿部 浩之, “原子力災害対応用ロボットの性能試験法; ロボットアームによる障害物の乗り越えを介した接近試験(JAEA-TM-0006)”,JAEA-Technology 2021-033, https://doi.org/10.11484/jaea-technology-2021-033, 2022,18p.

国内会議・講演会

- 鈴木 健太, 川端 邦明, “ネットワーク通信障害を模擬するためのアプリケーション開発”, 2021 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2021.
- 山田 大地, 阿部 浩之, 川端 邦明: “福島第一原子力発電所事故対応事例に基づくロボットの性能評価のための試験法の開発 ”, 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2H5-03, 2021.

2.　表彰

原子力機構内表彰

1）理事長表彰

区分　　：創意工夫功労賞

受賞名　　：廃炉作業を模擬する拡張機能パッケージの考案

グループ名：ロボットシミュレータ開発チーム

表彰年月日：2021 年 10 月 1 日