

JAEA原災法対象施設における 四足歩行ロボットの走行機能確認

Run Function Confirmation of the Quadrupedal Robots in JAEA Facilities Targeted
for Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness

渡辺 夏帆 西山 裕 今橋 正樹 田口 祐司
飯塚 由伸 大内 卓哉 井上 修一 小澤 太教
根本 隆弘 菅谷 孝 清水 俊二 中村 恵英
小川 貴裕 野々上 和樹 大藤 優斗

Kaho WATANABE, Yutaka NISHIYAMA, Masaki IMAHASHI, Yuji TAGUCHI
Yoshinobu IITSUKA, Takuya OHUCHI, Shuichi INOUE, Takayuki KOZAWA
Takahiro NEMOTO, Takashi SUGAYA, Shunji SHIMIZU, Yoshihide NAKAMURA
Takahiro OGAWA, Kazuki NONOUE and Yuto OHDO

福島廃炉安全工学研究所
安全管理部

Safety Administration Department
Fukushima Research and Engineering Institute

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 研究開発推進部 科学技術情報課
〒 319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49
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 Library, Institutional Repository and INIS Section,
Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

JAEA 原災法対象施設における四足歩行ロボットの走行機能確認

日本原子力研究開発機構
福島廃炉安全工学研究所 安全管理部

渡辺 夏帆、西山 裕、今橋 正樹⁺¹、田口 祐司⁺¹、飯塚 由伸⁺¹、大内 卓哉⁺²、
井上 修一⁺²、小澤 太教⁺³、根本 隆弘⁺³、菅谷 孝⁺⁴、清水 俊二⁺⁴、中村 恵英⁺⁵、
小川 貴裕⁺⁵、野々上 和樹⁺⁶、大藤 優斗⁺⁶

(2025 年 2 月 28 日受理)

日本原子力研究開発機構 (JAEA) 福島廃炉安全工学研究所 安全管理部 遠隔機材運用課 (旧: 檜葉遠隔技術開発センター (Naraha Center for Remote Control Technology Development (NARREC)) 遠隔機材整備運用課) (以下「運用課」という。) 所管の原子力緊急事態支援組織は、JAEA 各拠点の防災業務計画に定められた遠隔機材を発災時に備え管理している。

当該防災業務計画の対象は、原子力科学研究所の JRR-3 (Japan Research Reactor-3)、核燃料サイクル工学研究所の再処理施設、大洗原子力工学研究所の材料試験炉 JMTR (Japan Materials Testing Reactor)、高温工学試験研究炉 HTTR (High Temperature Engineering Test Reactor) 及び高速実験炉 常陽、高速増殖原型炉もんじゅ及び新型転換炉原型炉ふげんの 7 施設である。運用課は、令和 3 年度に当該 7 施設の想定発災事象・現場及び走行ルートの調査を行った。その結果、特定の現場において、現有のクローラタイプの走行ロボットの使用よりも操作要員の被ばくを低減できると判断し、令和 4 年度に四足歩行ロボット Spot を調達した。そして令和 5 年度に、当該各走行ルートにおいて、映像確認、階段走行等、Spot の機能が問題なく実行できるか、確認を行った。

本報告書は、現地において令和 5 年度に確認試験を実施した 6 施設 (JRR-3、JMTR、HTTR、常陽、もんじゅ及びふげん) について、その走行機能確認の結果を示したものである。

檜葉遠隔技術開発センター：〒979-0513 福島県双葉郡檜葉町大字山田岡字仲丸 1-22

+1：原子力科学研究所 研究基盤技術部

+2：大洗原子力工学研究所 環境技術開発部

+3：大洗原子力工学研究所 高温工学試験研究炉部

+4：大洗原子力工学研究所 高速実験炉部

+5：高速増殖原型炉もんじゅ 安全・品質保証部

+6：新型転換炉原型炉ふげん 廃止措置部

Run Function Confirmation of the Quadrupedal Robots in JAEA Facilities Targeted for Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness

Kaho WATANABE, Yutaka NISHIYAMA, Masaki IMAHASHI⁺¹, Yuji TAGUCHI⁺¹,
Yoshinobu IITSUKA⁺¹, Takuya OHUCHI⁺², Shuichi INOUE⁺², Takayuki KOZAWA⁺³,
Takahiro NEMOTO⁺³, Takashi SUGAYA⁺⁴, Shunji SHIMIZU⁺⁴, Yoshihide NAKAMURA⁺⁵,
Takahiro OGAWA⁺⁵, Kazuki NONOUE⁺⁶ and Yuto OHDO⁺⁶

Safety Administration Department, Fukushima Research and Engineering Institute
Japan Atomic Energy Agency
Naraha-machi, Futaba-gun, Fukushima-ken

(Received February 28, 2025)

There is an emergency response team against 7 nuclear facilities (JRR-3 in Nuclear Science Research Institute, Tokai Reprocessing Plant (TRP) in Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories, JMTR, HTTR and Joyo in Oarai Research and Development Institute, Prototype Fast Breeder Reactor Monju, Fugen Decommissioning Engineering Center) accidents of Japan Atomic Energy Agency (JAEA). The team is in Naraha Center for Remote Control Technology Development (NARREC).

On site surveys which are about the situations and the access entering route of the 7 site emergencies were conducted by the team in 2021. And the results of the surveys made the team get two Spot (quadrupedal robots) in 2022. This is because the team thought using Spot gave operators the less exposure than using crawler robots which had been belonged to the team. After that it was confirmed that the Spot have the ability to respond to the emergency on the route of each facility in 2023.

This report shows the results of the Spot's run function (= shooting videos, running oversteps, running up and down stairs, and so on) confirmation about 6 facilities (JRR-3, JMTR, HTTR, Joyo, Monju and Fugen).

Keywords: Remote Control Technology, Emergency Response, NARAHA Remote Control Technology Development Center, JAEA

+1 : Department of Research Infrastructure Technology Development, Nuclear Science Research Institute

+2 : Department of Waste Management and Decommissioning Technology Development, Oarai Nuclear Engineering Institute

+3 : Department of HTTR, Oarai Nuclear Engineering Institute

+4 : Experimental Fast Reactor Department, Oarai Nuclear Engineering Institute

+5 : Safety and Quality Assurance Management Department, Prototype Fast Breeder Reactor Monju

+6 : Decommissioning Project Department, Fugen Decommissioning Engineering Center

目 次

1. はじめに	1
2. 走行機能確認結果	2
2.1 全体総括.....	2
2.1.1 走行機能確認に用いた各施設の現場について	2
2.1.2 各施設における確認事項及び結果の概要.....	2
2.2 添付資料：施設別結果.....	5
2.2.1 JRR-3.....	5
2.2.2 JMTR.....	11
2.2.3 HTTR.....	16
2.2.4 常陽	23
2.2.5 もんじゅ	29
2.2.6 ふげん.....	34
2.2.7 再処理施設（走行機能確認のための打合せ報告）	39
3. まとめ	41
謝辞.....	41
参考文献.....	41
付録：NARREC における Spot 動作確認試験結果	43

Contents

1. Introduction	1
2. The results of the run function confirmation	2
2.1 The overall summary	2
2.1.1 Each field for confirmation at each site.....	2
2.1.2 Things to confirm and results at each site	2
2.2 Attachments: Reports of the result at each site.....	5
2.2.1 JRR-3.....	5
2.2.2 JMTR.....	11
2.2.3 HTTR.....	16
2.2.4 Joyo.....	23
2.2.5 The Prototype Fast Breeder Reactor Monju	29
2.2.6 Fugen Decommissioning Engineering Center.....	34
2.2.7 Tokai Reprocessing Plant	
(The meeting report about the run function confirming)	39
3. Summary	41
Acknowledgment	41
References	41
Appendices: The Spot test result at NARREC	43

1. はじめに

平成 23 年に発生した東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の事故に伴い、原子力災害特別措置法及び同計画等命令^(注 1)が改正され、原子力事業者に原子力災害発生時の準備を義務付けられたことを踏まえ、日本原子力研究開発機構（JAEA）はその対応を行った。

JAEA 福島廃炉安全工学研究所 安全管理部 遠隔機材運用課（旧：楳葉遠隔技術開発センター（Naraha Center for Remote Control Technology Development（以下「NARREC」という。）遠隔機材整備運用課）（以下「運用課」という。）は、当該計画等命令に対応するための JAEA 内の原子力緊急事態支援組織を運営する担当課^{[1][2]}であり、遠隔機材を発災時に備え管理している。

ここで、JAEA 各拠点の当該計画の対象施設は、原子力科学研究所の JRR-3（Japan Research Reactor-3）、核燃料サイクル工学研究所の再処理施設、大洗原子力工学研究所の材料試験炉 JMTR（Japan Materials Testing Reactor）（以下「JMTR」という。）、高温工学試験研究炉 HTTR（High Temperature Engineering Test Reactor）（以下「HTTR」という。）及び高速実験炉常陽（以下「常陽」という。）、高速増殖原型炉もんじゅ（以下「もんじゅ」という。）及び新型転換炉原型炉ふげん（以下「ふげん」という。）である。

運用課は、令和 3 年度に NARREC で保有する遠隔機材を念頭に、各発災想定現場の走行ルート及び現場対応作業の調査を各施設において行った。その結果、特定の現場において、階段昇降及び扉開閉の両方の性能を有するロボットを使用すれば、ロボットを現場に進行させるための作業員の扉開閉動作（被ばく作業）を行う必要がなくなり、現有のクローラタイプの走行ロボットの使用よりも操作要員の被ばく低減が見込まれると判断し、翌令和 4 年度に前述の両方の性能を持つ四足歩行ロボット（以下「Spot」^[3]という。）を購入した。

Spot は除染が容易なこと^(注 2)から、運用課は、令和 5 年度に再処理施設を除く各施設における想定発災現場（一部、想定発災現場を模擬した現場）において Spot を走行させ、問題なく走行することができるか確認を行った。確認においては、Spot のアームなしタイプの偵察用ロボット（T-05：運用課内識別番号）及び同アーム付きタイプの作業用ロボット（S-05：同前）を使用した。

なお、本確認に先立ち、Spot の走行上問題となる障害物（階段、段差、扉の開閉等）については、施設の全想定発災現場において一番厳しい条件のステージ（試験場）を独自に準備し、動作確認試験を行い、問題なく動作可能であることを確認した（付録参照）。

本報告書は、確認を実施した 6 施設（JRR-3、JMTR、HTTR、常陽、もんじゅ及びふげん）について、その走行機能確認の結果を示したものである。

なお、本走行確認を行うに当たり事前に検討した結果、令和 5 年度には確認を実施しなかった再処理施設については、その検討結果を示した。

(注 1) 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

(注 2) NARREC で現有の地上走行用遠隔機材はクローラタイプのロボットであり、管理区域を試験走行させ、クローラが汚染した場合に除染困難であることより、各施設の発災現場で

の実走行試験は、これまで実施されていなかった。

Spot は四足歩行のため、床接触部分(足)をビニルで覆う等汚染防止措置を容易に施すことができ、当該ビニルが汚染した場合に廃棄できるため、床接触部分に関して除染を簡便に行うことができる。

2. 走行機能確認結果

2.1 全体総括

2.1.1 走行機能確認に用いた各施設の現場について

1 章記載の対象施設である 7 施設の内、令和 5 年度に 6 施設 (JRR-3、JMTR、HTTR、常陽、もんじゅ及びふげん) について、現地において Spot を走行させ、その有する機能の確認を行った。

ここで JRR-3 及び JMTR については、Spot を管理区域に入域させ、原子炉施設内の想定発災現場まで走行させることにより、確認を行った。

常陽については、無線通信距離の確認のみであったため、Spot を管理区域内に搬入して走行確認を行うのではなく、実際とは配置を逆にし、Spot を管理区域外、操作者を管理区域内に配置させ、走行確認を行った。

HTTR、もんじゅ及びふげんについては、現地の非管理区域に想定発災現場を模擬した現場を設定し走行確認を行った。非管理区域で行った理由は、管理区域に入域させた場合、走行確認後に非管理区域に Spot を持ち出すことが、各施設の規定上不可能と判断したための代替措置である。

なお、再処理施設については、令和 5 年度においては、現場での確認は実施しなかった。これは、上記施設と同様の理由により管理区域内での確認が不可能と判断し、さらに非管理区域においても、想定発災現場を模擬した現場の設定ができなかつたためである。

2.1.2 各施設における確認事項及び結果の概要

令和 5 年度に確認を行った 6 施設 (JRR-3、JMTR、HTTR、常陽、もんじゅ及びふげん) について、その結果の概要は、以下のとおりである。

- ① 6 施設共通の確認事項 : Spot を想定発災現場まで走行させることができること。
 - 6 施設とも Spot を想定発災現場まで走行させることができると判断した。その判断根拠は、以下のとおりである。
 - i. JRR-3 及び JMTR については、2.1.1 項に記載のとおり、Spot を実際に現場で走行させることにより、良好な結果を得ることができたため。
 - ii. 常陽については、想定現場の経路が平坦であるため、無線遠隔操作さえ可能であれば、Spot の走行は可能であると判断した。そして 2.1.1 項に記載のとおり、Spot と操作者の配置を逆にして無線遠隔操作を行い、良好な結果を得ることができたため。
 - iii. HTTR 及びふげんについては、2.1.1 項に記載のとおり想定発災現場を模擬した現

- 場において走行確認を行い、良好な結果を得ることができたため。
- iv. もんじゅについては、2.1.1 項に記載のとおり想定発災現場を模擬した現場において走行確認を行ったが、想定発災現場までの走行上、一番の懸念点であった扉からの搬入可否について、可能であることが確認されたため。

② 施設個別の確認事項

6 施設において、①の走行以外の要求について、以下のとおり確認を行った。

- i. JRR-3、JMTR、HTTR 及び常陽においては、①の走行を無線操作できる条件を選定及び確認を行った。その結果、各施設において、適した条件を選定及び確認することができた。
- ii. JMTR 及びもんじゅについては、作業用 Spot によるアームカメラでのカメラ撮影を行った。両施設共に、全ての要求を叶えることはできないことを確認した。
- iii. HTTR 及びふげんについては、作業用 Spot による扉開動作、扉開維持操作等の確認を行った。その結果、作業用 Spot によるそれらの動作が良好であることを確認した。

③ 各施設確認結果のまとめ

再処理施設を除く各施設における Spot の走行機能確認の結果の概要を、表 2.1 に示す。

表 2.1 各施設における Spot の走行確認の結果の概要 (1/2)

	要 求	結 果
JRR-3 (現場確認)	① 目的地までの走行	良好： 階段及び踊り場走行に問題なし。
	② 無線通信が可能な距離及び条件の確認	良好： <u>RAJANT 3 台で操作可能。</u> 内訳： ① 二重扉内の操作者 ② 目的地の Spot ③ 二重扉より内側の中継機
	③ 線量測定及びカメラ撮影	良好： ②の結果と合わせ、Spot のカメラ映像及び Spot 付属の線量率計による線量測定に問題なし。
JMTR (現場確認)	① 目的地までの走行	良好： 狭隘箇所の走行に問題なし。
	② 無線通信が可能な距離及び条件の確認	良好： <u>RAJANT 3 台で操作可能。</u> 内訳： ① 二重扉内の操作者 ② 目的地の Spot ③ 二重扉より内側の中継機
	③ 水位計の判読	不良： 作業用ロボット (S-05) のアームカメラ

表 2.1 各施設における Spot の走行確認の結果の概要 (2/2)

	要 求	結 果
HTTR (模擬現場確認)	① 階段走行及び扉開操作	では判読不可であったため、コントローラ内の写真を取り出してズームし、確認を行うことを検討する。
	② 無線通信が可能な距離及び条件の確認	良好： <u>RAJANT 3 台で操作可能。</u> 内訳： ① 二重扉内の操作者 ② 目的地の Spot ③ 二重扉より内側の中継機
常陽 (模擬現場確認)	① 無線通信が可能な距離及び条件の確認	良好： <u>RAJANT 3 台で操作可能。</u> 内訳： ① 二重扉外の操作者 ② 目的地の Spot ③ 二重扉内の中継機 ※他施設と異なり、二重扉内に中継器を 1 台配置すれば、二重扉外から操作しても通信が可能であることが確認された。
もんじゅ (模擬現場確認)	① カメラの映像確認	概ね良好： 作業用ロボット (S-05) のアームカメラにおいて、目的物の大きさは確認可能。ただし、文字は判読不可であったため、今後、付属品である 360 度カメラの導入を検討する。
	② 扉からの搬入可否の確認	良好： 指定された扉において、収納ケースでの通過が可能であることを確認。
ふげん (模擬現場確認)	① 階段走行及び踊り場走行	良好： 指定の階段及び踊り場での走行について、問題なし。
	② 扉開閉及び扉開維持操作	良好： 指定された扉での開閉操作及び開維持操作に問題なし。

2.2 添付資料：施設別結果

2.2.1 JRR-3

JRR-3 では、Spot を管理区域に入域させ、原子炉施設内の想定発災現場まで走行させることにより、確認を行った。

JRR-3において、令和 5 年 6 月 12~13 日に行行った走行機能確認結果を、以下に示す。

令和 5 年 7 月 14 日
改定 令和 6 年 2 月 8 日
遠隔機材整備運用課
JRR-3 管理課

JRR-3 における遠隔機材の発災現場対応確認結果 報告書

檜葉遠隔技術開発センター（以下「NARREC」という。）所在の原子力緊急事態支援組織は、各拠点の防災業務計画に定められた遠隔機材を発災時に備え管理している。令和 3 年度に調査を行った JRR-3 における発災想定ルートに対し、令和 4 年度に調達した四足歩行ロボット（Spot）が問題なく走行することができることを確認した。

1. 現場確認年月日

令和 5 年 6 月 12 日（月）～ 6 月 13 日（火）

2. 作業内容

【令和 5 年 6 月 12 日（月）】

○ 輸送物

- ・偵察用ロボット（T-05） 1 台
- ・作業用ロボット（S-05） 1 台
- ・Spot 用バッテリー 2 台
- ・無線通信器 RAJANT 1 台
- ・360 度カメラ 1 台

○ 輸送車両

RC-6

○ スケジュール

時間	内容	担当課
9:00～10:00	機材積み込み	遠隔機材整備運用課
10:00～12:00	NARREC⇒ 本部 移動	
13:00～13:30	本部⇒原科研 移動、荷物搬出	
13:30～15:00	事前打合せ・建家内見学	遠隔機材整備運用課 JRR-3 管理課
15:00～17:30	事前訓練、入域準備等※ 原科研 ⇒ 本部 移動（駐車）	

※事前訓練は、JRR-3 の A 会議室で行った。

入域準備に使用する足カバー、養生テープ等は、JRR-3 のものを使用した。

【6月13日（火）】

○ スケジュール

時間	内容	担当課
9:00～9:30	本部集合 ⇒ 原科研 移動	遠隔機材整備運用課
9:30～12:00	走行確認	遠隔機材整備運用課 JRR-3 管理課
13:00～14:00	走行確認	
14:00～15:00	講評、機材積み込み	
15:00～17:00	原科研 ⇒ NARREC 移動	遠隔機材整備運用課

3. 体制

本走行確認について、5. 走行確認結果の内容に示すとおり、基本的にロボットの操作は JRR-3 操作要員が行い、遠隔機材整備運用課員は操作補助者として実施した。

関係者については、下記のとおりである。

遠隔機材整備運用課	JRR-3 管理課
課長 加島 洋一 (※NARREC 待機)	課長 荒木 正明 (施設管理者、作業担当課長)
課員 渡辺 夏帆	課員 小林 健一 (作業責任者)
課員 西山 裕	課員 今橋 正樹 (作業担当者、※上級操作要員)
課員 羽生 敏紀	課員 田口 祐司 (作業員、※上級操作要員)
課員 猪狩 聰治	課員 飯塚 由伸 (作業員、※上級操作要員)

4. 発災想定シナリオ

令和3年度に行った調査概要を元に、走行確認を行う。

なお、当時の調査概要は以下のとおりである。

項目	内容
発災想定シナリオ	全電源が喪失し、原子炉建家内の原子炉プール内に装荷・貯蔵している燃料が破損する事象（冠水維持機能の喪失）。
調査の目的	原子炉建家の入口である二重扉から原子炉プール上部踊り場まで進入し、線量測定及び映像の入手を行う。
要求されているロボット	<ul style="list-style-type: none"> ・偵察用ロボット (階段（踊り場3ヶ月）を上り、放射線量測定を行う) ・無線中継機（階段の昇降有）
現状の現場対応	原子炉建家入口の二重扉まで施設のスタッフが、遠隔資機材を移動させて二重扉の操作を行い、原子炉建家内に遠隔資機材を入室させてから、無線又は有線による遠隔資機材の操作をして現場調査を行う。
要確認事項・課題	無線中継機の必要性の有無

5. 走行確認結果

① 階段及び踊り場の走行確認

○確認内容

偵察用ロボット（T-05）について、階段の昇降及び踊り場の走行確認を2回実施した。その際、本体に設置した線量計の値及び操作画面の線量計の値が問題なく表示されているか確認を行った。炉頂部は、シートを敷いて汚染防止を図り、到達点は炉頂のレールを越えない位置とした。

○結果

階段を昇る際は手すりをセンサーが認識し、ほぼ接触することなく目的地までたどり着くことができた。下りは足が手すりと軽く接触することはあったが、大きくバランスを崩すようなことはなかった。線量率計の表示については、問題なく表示されていることを確認した。

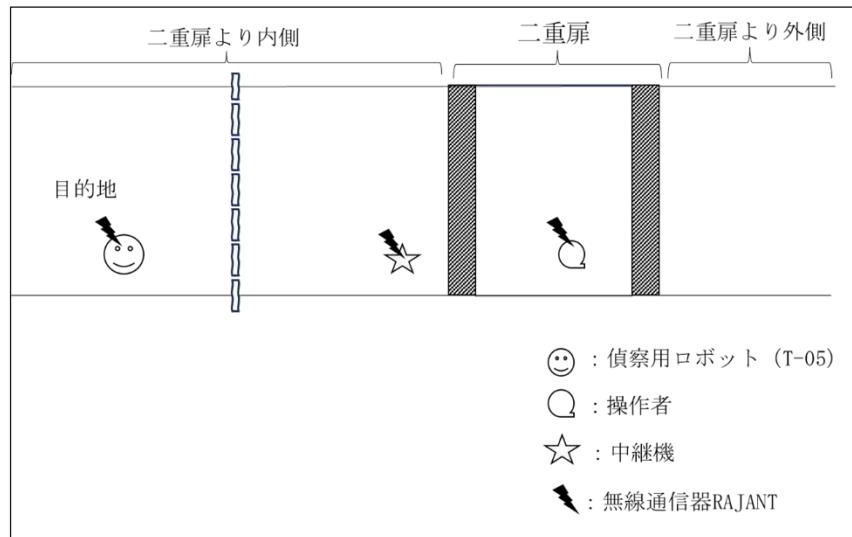
作業用ロボット（S-05）については、時間の関係上実施できなかった。

② 無線中継機 RAJANT の通信確認

○確認内容

無線中継機 RAJANT を用いて、偵察用ロボット（T-05）の通信距離を確認した。

無線通信器 RAJANT の内訳は、1台を操作用端末に接続、1台を偵察用ロボット（T-05）に搭載、他1台を中継機として使用し、図-1及び図-2のとおり配置した。



中継機は二重扉のすぐ近くに配置し、偵察用ロボット（T-05）を一番遠い目的地（炉頂）に移動させ、通信に問題がないことを確認した。

図-1 二重扉内の操作

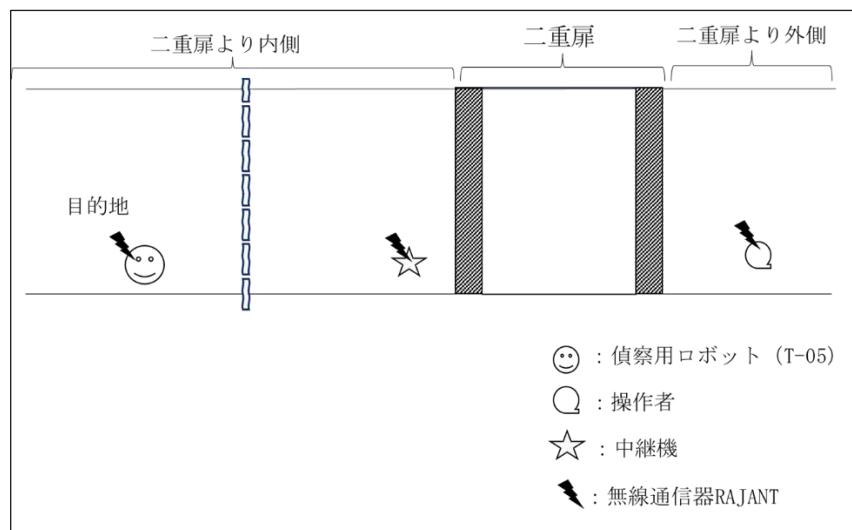


図-2 二重扉より外側での操作

○結果

図-1 の配置において、炉頂に配置した偵察用ロボット（T-05）の通信が切れず、座る、立つ、足踏みする等の動作が実施できることを確認した。ただし、カメラ画像に一時的な遅れ及び乱れはあった。二重扉より内側の中継機を OFF にしたところ通信は途切れた。

さらに、図-1 と同様の配置方法で、操作者を非常口に配置したところ、一時的に無線のレベル低下警報が操作タブレットに出ることはあったが、場所を変える前と同様に、通信が途切れないことを確認した。この場合も、二重扉より内側の中継機を OFF にしたところ、通信は途切れた。

図-2 の配置においては、通信できないことが確認できた。

③ 想定ルート走行確認

○確認内容

無線中継機 RAJANT を図-1 のとおり配置し、操作者は二重扉の外からブラインドで操作を行い、偵察用ロボット（T-05）に想定ルートを一通り走行させ、問題なく走行できることを確認した。

○結果

操作者を変えて 2 回実施したが、通信及び走行に問題なく、走行できることを確認した。

④ 自動走行モード

Auto Walk 機能を使用し、想定ルートを問題なく走行できることを確認する予定であったが、時間の関係上、実施できなかった。

6. 調査結果

JRR-3において、偵察用ロボット（T-05）は想定される発災時に、走行上問題なく目的を達成できることを確認した。

以下に、必要とされる遠隔機材及び取付け用具の詳細を示す。

※必要とされる遠隔機材及び取付け用具

- ・偵察用 Spot : 1 台（交換バッテリー含む）
- ・バッテリー充電器 : 1 台
- ・操作タブレット
- ・RAJANT : 最低 3 台（三脚、モバイルバッテリー含む）
- ・線量率計 : 1 台
- ・CORE（線量率計用）: 1 台
- ・付属品取付け工具
- ・シューズカバー : 8 枚
- ・養生テープ

7. 課題・要望等

① 遠隔機材整備運用課が考える課題

- ・脚のシューズカバーを 2 重にして走行確認を行ったが、走行しているうちに 1 枚破れている脚があったため、注意が必要。
- ・目的地到達地点において、レールに脚が挟まる可能性があるため、注意が必要。
- ・2 重扉のレールは、専用の板を人が設置する必要がある。

② JRR-3 管理課の要望

- ・Spot へのライトの設置
- ・管理区域外から操作を行いたい場合は、RAJANT の増設が必要。
- ・警告アラームの詳細及びその解除方法についての教育を今後行ってほしい。
- ・各施設に合ったヘリのマニュアルの作成
(災害時に、建家の高さ、大きさ等を図面で調べているような余裕はないと考えられるため。)

③ JRR-3 管理課の感想

- ・今まででは実際の発災対応がイメージできなかつたが、Spot が階段を昇降する様子や現場到達を確認できたことで、より現実味を持つことができた。
- ・Spot は操作が簡単で、扱いやすかつた。
- ・どんな時に警告が出て、どのくらいで解除される等の感覚は、やはり毎日使用している現場の人の方が理解しているため、実際の発災時にはサポートする等の体制も検討してほしい。

2.2.2 JMTR

JMTR では Spot を管理区域に入域させ、原子炉施設内の想定発災現場まで走行させることにより、確認を行った。

JMTRにおいて、令和 5 年 9 月 26 日に行った走行確認結果を、以下に示す。

令和 6 年 1 月 15 日
遠隔機材整備運用課
JMTR 原子炉課

JMTR における遠隔機材の発災現場対応確認結果 報告書

楢葉遠隔技術開発センター（以下「NARREC」という。）の原子力緊急事態支援組織は、原子力事業者防災業務計画に定められた遠隔機材を原子力機構の原災法施設の発災時に備え管理している。令和 3 年度に調査を行った HTTR における想定発災シナリオに対し、令和 4 年度に調達した四足歩行ロボット（Spot）が問題なく機能することを確認した。

1. 現場確認年月日

令和 5 年 9 月 26 日（火）

2. 作業内容

○輸送物

- ・作業用ロボット（S-05） 1 台
- ・無線通信器 RAJANT 1 式
- ・Spot 用バッテリー 1 式

○輸送車両

- ・RC-6

○スケジュール（実績）

時 間	内 容
9:00～9:45	本部から大洗研（JMTR）へ移動 (前日、HTTR の走行確認を実施)
9:45～10:00	会議室にて打合せ
10:00～11:00	作業用ロボット（S-05）の操作訓練
11:00～12:00	JMTR 原子炉建家（管理区域内）入出手続き及び移動 ①目的指示値の確認 ②無線中継機 RAJANT の通信確認
13:00～14:00	②無線中継機 RAJANT の通信確認（続き） ③想定ルート走行確認
14:00～14:30	遠隔機材の汚染検査及び管理区域外への搬出
14:30～15:15	片付け、まとめ、講評等
15:30～	JMTR から本部へ移動

3. 体制

本走行確認について、5. 走行確認結果の内容に示すとおり、基本的にロボットの操作は HTTR 操作要員が行い、遠隔機材整備運用課員は操作補助者として実施した。

関係者については、下記のとおりである。

遠隔機材整備運用課	JMTR 原子炉課
課長 加島 洋一 (※NARREC 待機)	課長 谷本 政隆 (施設管理者、作業担当課長)
課員 渡辺 夏帆	課員 荒木 大輔 (作業責任者)
課員 西山 裕	課員 大内 卓哉 (作業担当者、※上級操作要員)
課員 羽生 敏紀	課員 井上 修一 (作業員、※上級操作要員)
課員 猪狩 聰治	

4. 発災想定シナリオ

令和 3 年度に行った調査概要を元に、走行確認を行う。当時の調査概要は以下のとおりである。

項目	内容
発災想定シナリオ	全電源が喪失し、カナル（使用済燃料貯蔵施設）水位低下により使用済燃料の冠水維持が喪失し、原子炉建家内が高線量になる事象※。
調査の目的	原子炉建家入口の二重扉から炉室 1 階のカナル脇まで進入し、放射線量の測定（継続的監視）及び水位計の確認を行う。
要求されているロボット	・偵察用ロボット（昇降台付き放射線測定器） ・ドローン（建家上部の線量測定、損傷の状況確認）
現状の現場対応	原子炉建家入口の二重扉まで施設のスタッフが、遠隔資機材を移動させて二重扉の操作を行い、原子炉建家内に遠隔資機材を入室させてから、無線又は有線による遠隔資機材の操作をして現場調査を行う。
要確認事項・課題	偵察用ロボットからカナルの水位計の確認が可能かどうかの調査。

* : JMTR の使用済燃料は、冷却期間が 15 年経過しているため、冷却機能は考えなくて良い。

5. 走行確認結果

① 目的指示値の確認

○確認内容

作業用ロボット（S-05）について、想定されるルートを問題なく走行し、アームカメラにおいて目的の指示値を読むことができることを確認する。

○結果

想定されるルートの走行に問題はなかった。ただし、水位計の場所付近は道幅が狭いため、注意して走行する必要があることが確認できた。

アームカメラでは、水位計の場所の確認は可能であったが、指示値自体は文字が小さく、アームカメラにはズーム機能がないことから、確認はできなかった。

② 無線中継機 RAJANT の通信確認

○確認内容

無線通信器 RAJANT を二重扉より内側、作業用ロボット (S-05) を最終目的地に配置させ、通信に問題がないことを確認する。

○結果

無線通信器 RAJANT を二重扉付近に置き、作業用ロボット (S-05) を最終目的地に配置させ、二重扉を入ってすぐの場所から操作したところ、走行及びアーム操作に問題ないことを確認した。続いて、無線通信器 RAJANT を二重扉付近に置き、作業用ロボット (S-05) を最終目的地に配置させ、二重扉の中の場所から操作したところ、走行及びアーム操作に問題ないことを確認した。ただし、何度も通信が途切れては繋がる、という事象が発生した。

③ 想定ルート走行確認

○確認内容

想定ルートを一通り走行させ、問題なく走行できることを確認する。

なお、操作者及び無線通信器 RAJANT は二重扉より内側に配置し、作業用ロボット (S-05) に想定ルートを走行させ、通信、走行及びアーム操作に問題のないことを確認する。

○結果

無線通信器 RAJANT を二重扉付近に置き、作業用ロボット (S-05) を二重扉の中の場所から操作して、スタート地点から目的地まで走行させ、アーム操作を行い、水位計の指示値を確認したところ、問題なく実行することができた。

6. 調査結果

JMTRにおいて、作業用ロボット (S-05) は、想定される発災時に、走行上問題なくおよそその目的を達成できることを確認した。

※必要とされる遠隔機材等

- ・ 作業用ロボット (S-05) 及び操作タブレット
- ・ 無線通信器 RAJANT：最低 2 台
- ・ 取り付け部品工具
- ・ シューズカバー及び養生テープ

7. 課題・要望等

① 遠隔機材整備運用課

全体をとおして、実際の発災を模擬した確認をすることができ、現在の機材でおおよそ問題のないことが確認できた。今後、JMTR 側で確認しておきたい事項が生じた場合は、対応することとしたい。

走行確認の途中、無線通信器 RAJANT の通信が途切れた事象については、後日、メーカーに問い合わせたところ、コントローラと無線通信器 RAJANT の接続不良が考えられるとのことであった。その後、NARREC にて実証試験を行ったところ、本体とコントローラとの接続が途切れたとしても、コントローラを再度近づければ、通信が再開されることを確認した。今回の通信不良は、物理的な原因（接続部が外れやすい）も考えられることから、今後、接続部の確認を 2 人以上で行うこととした。

② JMTR 原子炉課

- ・ 無線通信が何度も途切れてしまったため、改善を検討してほしい。さらに、実際の発災時を想定すると、無線通信器 RAJANT を原子炉建家内に常時備え付けておく、ということも検討した方が良いと感じた。
- ・ 水位計の指示値が確認できなかつたため、実際の発災時は、コントローラ内の写真を保存し、それを持ち出してズームし、確認することを考えたい。
- ・ 四足歩行ロボットは操作しやすく、ブラインド操作も問題なく行うことができた。

2.2.3 HTTR

HTTR では、非管理区域に想定発災現場を模擬した現場を用意し、その場所を走行させ、確認を行った。非管理区域で行ったのは、管理区域に入域させた場合、走行確認後に非管理区域に Spot を持ち出すことが、規定上不可能と判断したための代替措置である。

HTTRにおいて、令和 5 年 9 月 25 日に行った走行確認結果を、以下に示す。

令和 6 年 1 月 30 日
遠隔機材整備運用課
HTTR 運転管理課
HTTR 技術課

HTTR における遠隔機材の発災現場対応確認結果 報告書

楓葉遠隔技術開発センター（以下「NARREC」という。）の原子力緊急事態支援組織は、原子力事業者防災業務計画に定められた遠隔機材を原子力機構の原災法施設の発災時に備え管理している。令和 3 年度に調査を行った HTTR における想定発災シナリオに対し、令和 4 年度に調達した四足歩行ロボット（Spot）が問題なく機能することを確認した。

なお、HTTRにおいては、核物質防護上カメラを搭載したロボットは管理区域に入域できないことから、実際の現場を模擬した非管理区域の場所において、走行確認を行った。

1. 現場確認年月日

令和 5 年 9 月 25 日（月）

2. 作業内容

○輸送物

- ・作業用ロボット（S-05） 1 台
- ・無線通信器 RAJANT 1 式
- ・Spot 用バッテリー 1 式

○輸送車両

- ・RC-6

○スケジュール（実績）

時 間	内 容
9:00～10:00	機材積み込み
10:00～12:00	NARREC から本部へ移動
12:45～13:40	本部から大洗研（HTTR）へ移動
13:40～14:00	会議室にて打合せ
14:00～14:30	新倉庫建家へ移動し、資機材の使用前点検
14:30～15:00	① 作業用ロボット（S-05）の操作訓練 ② 階段走行及び扉開操作の確認
15:00～16:00	使用済燃料建家※へ移動 ③ 無線通信器 RAJANT の通信確認
16:00～16:20	まとめ、講評
16:20～17:00	JMTR へ移動し、遠隔機材の積み下ろし・保管
17:00～18:00	JMTR から本部へ移動

*非管理区域であり、現在、燃料は貯蔵されていない。

3. 体制

本走行確認について、5. 走行確認結果の内容に示すとおり、基本的にロボットの操作は HTTR 操作要員が行い、遠隔機材整備運用課員は操作補助者として実施した。

関係者については、下記のとおりである。

遠隔機材整備運用課	HTTR 運転管理課
課長 加島 洋一 (※NARREC 待機)	課長 斎藤 賢司 (施設管理者、作業担当課長)
課員 渡辺 夏帆	課員 小澤 太教 (訓練担当者、※上級操作要員)
課員 西山 裕	課員 根本 隆弘 (訓練員、※上級操作要員)
課員 羽生 敏紀	
課員 猪狩 聰治	

4. 発災想定シナリオ

令和3年度に行った調査概要を元に、走行確認を行う。当時の調査概要は以下のとおりである。

項目	内容
発災想定シナリオ	原子炉建家内にある原子炉容器内のヘリウムガス配管の漏えいにより放射性物質が拡散し、原子炉建家1階オペレーションフロアへの人が立ち入る場所の放射線量が高線量になる事象。
調査の目的	原子炉建家1階オペレーションフロアに入り、線量の測定及び映像の入手を行う。原子炉格納容器内(CV)におけるヘリウムガスの漏えい箇所 ^{※1} の特定のため、周辺の放射線量を測定 ^{※2} する。
要求されているロボット	<ul style="list-style-type: none"> ・偵察用ロボット(線量測定、人による扉の補助の必要有) ・ドローン(建家上部の線量測定、損傷の状況確認)
現状の現場対応	原子炉建家入口の扉まで施設のスタッフが、遠隔資機材を移動させて扉の操作を行い、原子炉建家内に遠隔資機材を入室させてから、無線又は有線による遠隔資機材の操作をして現場調査を行う。
要確認事項・課題	<ul style="list-style-type: none"> ・無線中継機の必要の有無(原子炉建家内及びCV内) ・CV内の狭隘部、階段部は、要検討

^{※1}：建家内がHeガスで充満している場合は、人は立ち入ることができない。

さらに、Heガス漏えい箇所は、カメラでは確認できない。

^{※2}：原子炉格納容器内でヘリウムガスが漏えいした場合、CV上部にヘリウムガスが上昇・拡散するため。

5. 走行確認結果

① 階段の昇降及び手動扉の開操作

○確認内容

新倉庫建家において、作業用ロボット(S-05)を用いた階段の昇降及び手動用扉の開操作の確認を複数回行った。

なお、本確認内容は、発災想定シナリオの対応とは直接関係はないが、施設側の要望により実施したものである。

○結果

階段の昇降は、手すりと接触することなく、走行することができた。手動扉の開操作については、ドアノブタイプの押し扉であったが、自動モードの操作で問題なく扉を開けて

進むことができた。

② 無線通信器 RAJANT の通信確認

○確認内容

原子炉建家の出入口に似た構造の使用済燃料建家の二重扉において、無線通信器 RAJANT を用いた通信距離を確認した。無線通信器 RAJANT の内訳は、1台を操作用端末に接続、1台を作業用ロボット（S-05）に搭載、他 1台を中継機として使用し、図-1 及び図-2 のとおり配置した。

さらに、作業用ロボット（S-05）地下一階まで降ろし、地下一階内を走行させ、通信距離の確認を行った。各機材の配置は図-3 のとおりである。

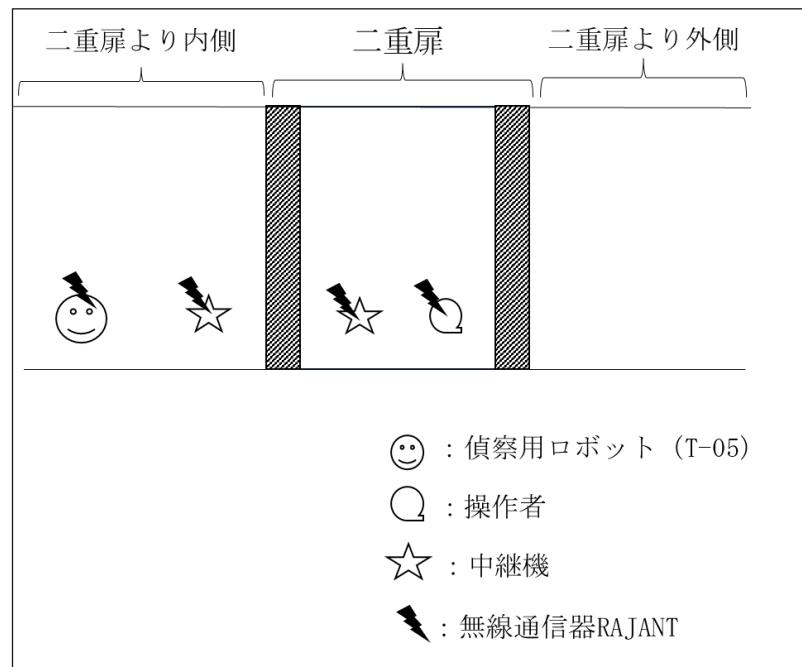


図-1 二重扉内の操作

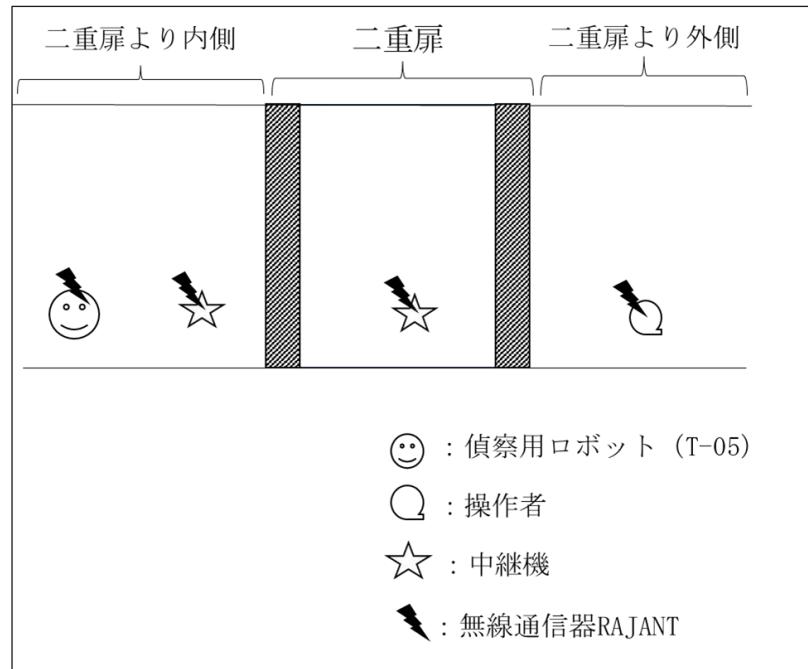


図-2 二重扉より外側での操作

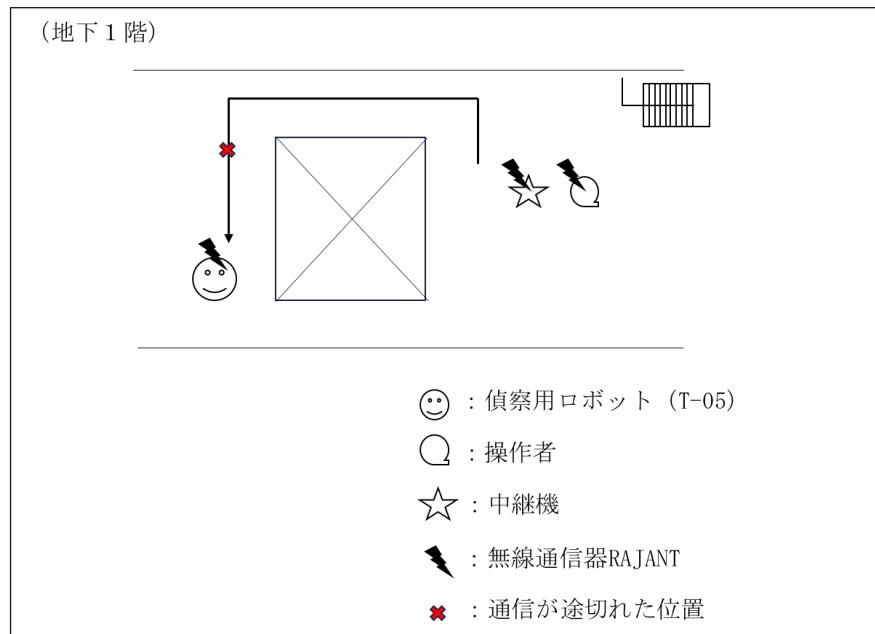


図-3 地下一階内の配置図

○結果

図-1 の配置において、作業用ロボット（S-05）の通信が切れず、座る、立つ、足踏みする等の動作が実施できることを確認した。図-2 の配置においては、通信が届かないことを確認した。

さらに、図-3 のとおり地下一階で走行させ、通信距離を確認した結果、途中の位置で通信が途切れたことを確認した。

6. 調査結果

HTTRにおいて、想定される発災時の無線通信器 RAJANT のおおよその距離（使用済燃料建家において、入り口から約 8m）を確認することができた。さらに、発災想定シナリオにはないが、作業用ロボット（S-05）による階段走行及び扉の開閉操作についても、確認することができた。

以下に、実際の発災時に必要とされる遠隔機材及び取り付け器具を示す。

ただし、本走行確認においては、実際の発災時を模擬した内容であることから、参考として、記載するものである。

※必要とされる遠隔機材等

- ・ 作業用ロボット（S-05）及び操作タブレット
- ・ 無線通信器 RAJANT：最低 3 台
- ・ 無線通信器 RAJANT 取り付け用工具
- ・ シューズカバー及び養生テープ

7. 課題・要望等

①遠隔機材整備運用課

今回の走行確認は、管理区域での発災想定現場の走行ができなかつたため、施設側の要望により非管理区域での確認となった。確認の内容も発災が想定される現場の対応方法が異なったが、施設側の要望により計画通り実施することができた。今後 HTTR 側で確認しておきたい事項が生じた場合は、対応することとしたい。

走行確認時に生じた、Spot 及び無線通信器 RAJANT が途切れた状態から、Spot と無線通信器 RAJANT を近づけても復帰しなかった（通信が途切れたままの状態であった）事象については、取り扱い企業に問い合わせたところ、必ず復帰するということから、コントローラと無線通信器 RAJANT の接続不良が原因と考えられるため、再現テストを行う必要がある。

②HTTR 技術課、HTTR 運転管理課

- ・ 本番を想定して、無線通信がもう少しスマーズに機能するよう、調整をしてほしい。
- ・ 今後、無線通信器 RAJANT の数を増やして、通信距離を伸ばすことを検討してほしい。
- ・ 扇の開閉について、ノブを回して開けるタイプに対応できるロボット（又は付属機器）の検討をしてほしい。

2.2.4 常陽

常陽では想定される走行ルート上に主な障害物がないことから、遠隔機材に要求される主な能力は無線通信機能のみである。そのため、Spot を管理区域内に搬入して走行確認を行うのではなく、実際とは配置を逆にし、Spot を管理区域外、操作者を管理区域内に配置させ、走行確認を行った。

常陽において、令和 5 年 12 月 14～15 日に行った走行確認結果を、以下に示す。

令和 6 年 1 月 29 日
遠隔機材整備運用課
高速炉第 1 課

「常陽」における遠隔機材の発災現場対応確認結果 報告書

檜葉遠隔技術開発センター（以下「NARREC」という。）の原子力緊急事態支援組織は、原子力事業者防災業務計画に定められた遠隔機材を原子力機構の原災法施設の発災時に備え管理している。令和 3 年度に調査を行った「常陽」における想定発災事象に対し、令和 4 年度に調達した四足歩行ロボット（Spot）が問題なく機能することを確認した。

1. 現場確認年月日

令和 5 年 12 月 14 日（木）、15 日（金）

2. 作業内容

○ 輸送物

- ・偵察用ロボット（T-05） 1 台
- ・無線通信器 RAJANT 1 式
- ・Spot 用バッテリー 1 式

○ 輸送車両

- ・RC-6

○ スケジュール（実績）

・12月14日（木）

時 間	内 容
9:00～9:30	輸送物チェック（前日積み込み）
9:30～11:30	NARREC から本部へ移動
12:40～13:00	本部から大洗研（「常陽」）へ移動
13:20～13:30	会議室にて打合せ
13:30～14:30	現場確認
14:30～15:30	機材積み下ろし、Spot 操作訓練、機材整備等
15:30～16:10	「常陽」から本部へ移動→解散

・12月15日（金）

時 間	内 容
8:30～9:15	本部から「常陽」へ移動
9:15～9:30	会議室にて打合せ
9:30～12:10	管理区域側と非管理区域側の二手に移動し、走行確認を実施
13:00～13:50	講評、まとめ
13:50～14:00	片付け及び車両への積み込み
14:00～14:45	常陽から本部へ移動
14:45～16:15	本部から NARREC へ移動

3. 体制

本走行確認について、5. 走行確認結果の内容結果に示すとおり、基本的にロボットの操作は「常陽」操作要員が行い、遠隔機材整備運用課員は操作補助者として実施した。

関係者については、下記のとおりである。

遠隔機材整備運用課	「常陽」
課長 加島 洋一 (※NARREC 待機)	高速炉第1課長 齊藤 隆一 (施設管理者、作業担当課長)
課員 渡辺 夏帆	高速炉第1課マネージャー 則次 明広 (作業担当課マネージャー)
課員 西山 裕	高速炉第1課員 菅谷 孝 (作業責任者、作業担当者、※中級操作要員)
課員 羽生 敏紀	高速炉照射課員 清水 俊二 (作業員、※上級操作要員)
課員 角田 正勝	

4. 発災想定シナリオ

令和3年度に行った調査概要を元に、走行確認を行う。当時の調査概要は以下のとおりである。

項目	内容
発災想定事象	多量の放射性物質等を放出する事故を超える事象として、ナトリウム冷却高速中性子型炉である「常陽」の特徴を踏まえて大規模なナトリウム火災を考え、格納容器床上（炉上部ピット内）に内包する設備が損壊し、漏えいしたナトリウムによる大規模な火災が発生する事象。
調査の目的	原子炉格納容器入口の二重扉から原子炉容器付近まで進入し、線量測定及び映像の入手を行う。
要求されているロボット	・偵察用ロボット ・ドローン（格納容器の損傷の有無の確認、線量測定、監視）
現状の現場対応	原子炉格納容器入口の二重扉まで施設のスタッフが、遠隔資機材を移動させて二重扉の操作を行い、原子炉格納容器内に遠隔資機材を入室させてから、無線又は有線による遠隔資機材の操作をして現場調査を行う。
要確認事項・課題	・原子炉格納容器内の環境温度測定器 (人が侵入できる温度であるかの確認のため) ・無線通信が可能であるかの確認（扉を微開にして操作するため）

5. 走行確認結果

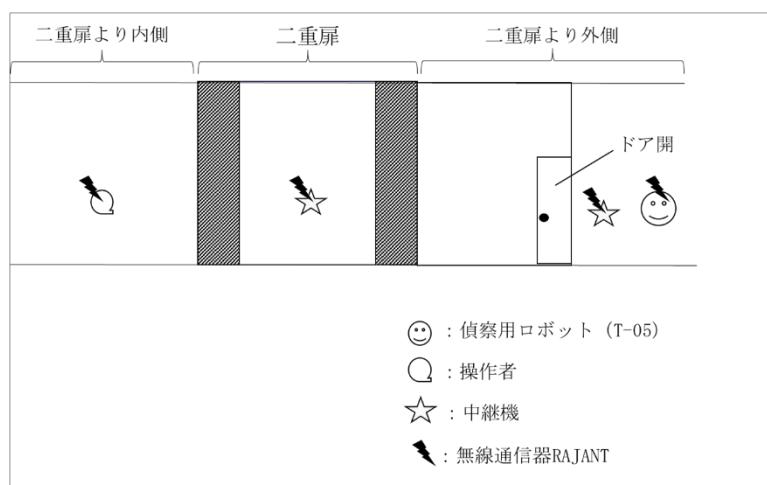
○内容

無線通信器 RAJANT を用いて、偵察用ロボット（T-05）が通信できる距離を確認した。

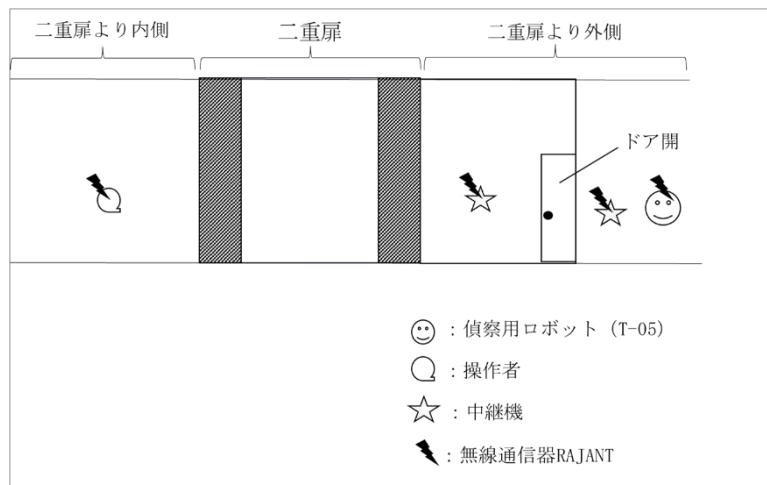
本来、4. 発災想定シナリオを考慮すると、二重扉から原子炉建家内に無線通信器 RAJANT 及び偵察用ロボット（T-05）を配置し、二重扉を閉めた状態で、偵察用ロボット（T-05）が発災現場までたどり着けることの確認を行うことが望ましいが、「常陽」施設側にて試験方法の検討を行ったところ、核物質防護上及び管理区域内運用（汚染等の考慮）を踏まえ、施設側で推奨する対応可能な条件にて試験を行うこととした。結果として、四足歩行ロボット（Spot）を管理区域外に設置し、操作者が管理区域内から操作する体系を取り、下記①～⑤のとおり無線通信器 RAJANT の配置を変え、走行確認を行った。

無線通信器 RAJANT の内訳は、1台を操作用端末に接続、1台を四足歩行ロボットに搭載、他2台を中継地点用として使用した。

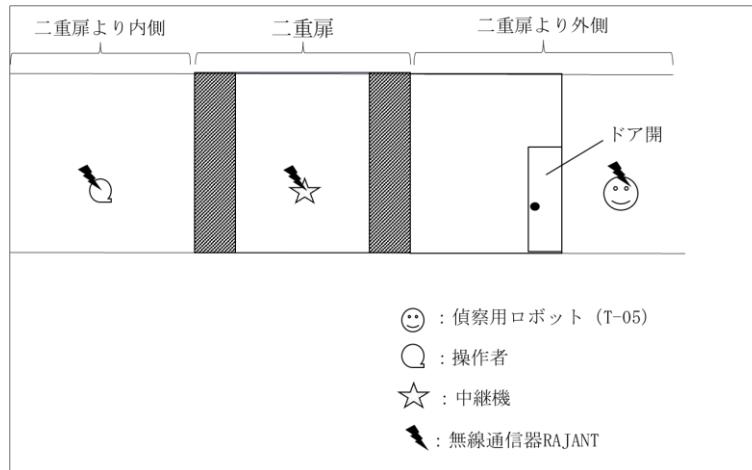
① 無線通信器 RAJANT4 台（中継地点 2ヶ所：二重扉内及び二重扉より外側）



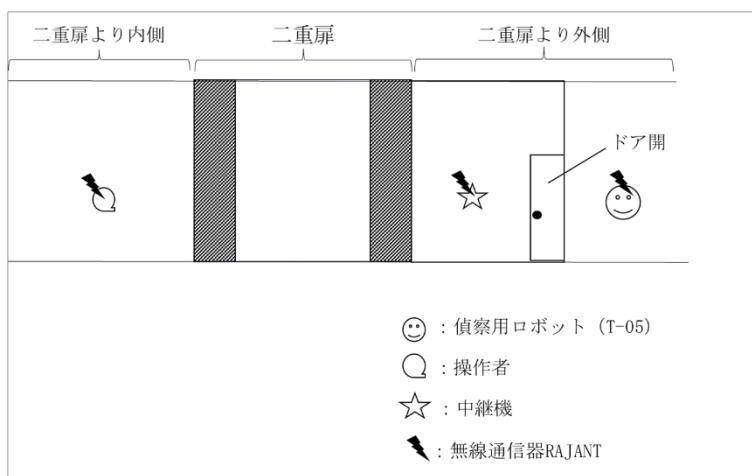
② 無線通信器 RAJANT4 台（中継地点 2ヶ所：二重扉より外側 2ヶ所）



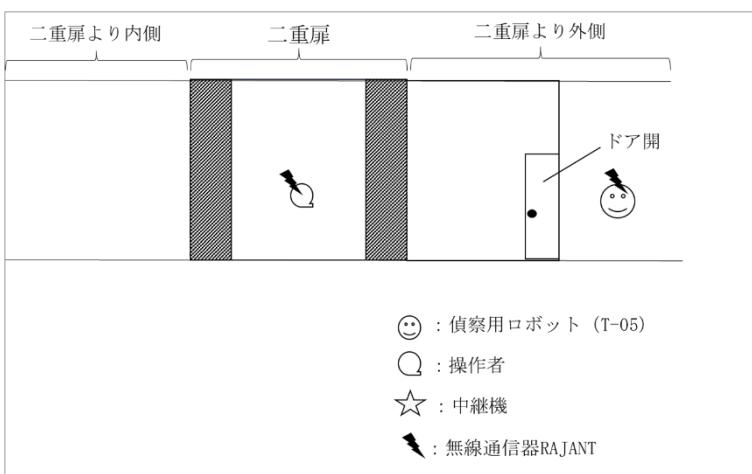
③ 無線通信器 RAJANT3 台（中継地点 1ヶ所：二重扉内）



④ 無線通信器 RAJANT3 台（中継地点 1ヶ所：二重扉より外側）



⑤ 無線通信器 RAJANT2 台（中継地点設置なし）



○結果

①～④の配置について、二重扉の内側及び外側が「閉」状態でも、偵察用ロボット（T-05）の通信が切れず、座る、立つ、足踏みする等の動作及びカメラ映像の確認が可能であることを確認した。⑤については、二重扉内においては通信が可能であることが確認できた。

6. 調査結果

「常陽」において、想定される発災時に問題となる障害物はなく、問題となるのは通信距離のみである。本走行確認において、二重扉内に無線通信器 RAJANT を一台配置すれば、二重扉の内側及び外側が「閉」状態でも通信が可能であり、発災時の目的（格納容器内の状況観察）を達成できることを確認した。

以下に、実際の発災時に必要とされる遠隔機材及び取り付け器具を示す。

※必要とされる遠隔機材等

- ・ 作業用ロボット（T-05）及び操作タブレット
- ・ 無線通信器 RAJANT：最低 3 台
- ・ 取り付け部品工具
- ・ シューズカバー及び養生テープ

7. 課題・要望等

①遠隔機材整備運用課

- ・ 実際の発災想定現場での走行は叶わなかったが、今回の実施場所は発災現場よりも厳しい条件であったため、通信距離はさらに伸びると考えられる。
- ・ 無線通信器 RAJANT3 台でも通信は可能であったが、4 台の方が通信は安定し、より長距離まで走行が可能であったため、実際の発災時は 4 台を準備したい。

②「常陽」

- ・ 本番を想定した試験を行うことができて、有意義であった。
- ・ ロボット操作時に、格納容器内に設置されている計測機器に関連する中央制御室の計器（チャート）にノイズが入らないことが確認できた。
- ・ 操作者の被ばく低減の観点からは、可能な限り発災場所から距離を取れる体制が求められるため、設置手順及び中継器の配置（1 台又は 2 台）等を策定し、「常陽」現場指揮所等に整備しておくことも検討する必要がある。

2.2.5 もんじゅ

もんじゅでは、非管理区域に想定発災現場を模擬した現場を用意し、その場所を走行させ、確認を行った。非管理区域で行ったのは、管理区域に入域させた場合、走行確認後に非管理区域に Spot を持ち出すことが、規定上不可能と判断したための代替措置である。

もんじゅにおいて、令和 5 年 11 月 9 日に行った走行確認結果を、以下に示す。

令和 6 年 1 月 23 日

遠隔機材整備運用課

もんじゅ施設保安課

もんじゅにおける遠隔機材の発災現場対応確認結果 報告書

檜葉遠隔技術開発センター（以下「NARREC」という。）の原子力緊急事態支援組織は、原子力事業者防災業務計画に定められた遠隔機材を原子力機構の原災法施設の発災時に備え管理している。令和 3 年度に調査を行ったもんじゅにおける想定発災シナリオに対し、令和 4 年度に調達した四足歩行ロボット（Spot）が問題なく機能することを確認した。

なお、もんじゅにおいては、ロボットの駆動モーター空冷系統の除染ができない構造であるため、実際の発災現場（管理区域）に入域できない（入域させた場合非管理区域に搬出できない）ことから、非管理区域である模擬施設において、走行確認を行った。

1. 現場確認年月日

令和 5 年 11 月 9 日（木）

2. 作業内容

○ 輸送物

- ・作業用ロボット（S-05） 1 台
- ・Spot 用バッテリー 1 式

○ 輸送車両

- ・RC-6

○ スケジュール（実績）

時 間	内 容
8:30～9:00	敦賀本部からもんじゅへ移動
9:00～9:30	もんじゅ入域手続き
9:30～9:50	会議室にて打合せ
9:50～10:30	機材積み下ろし T/B 建屋 2 階の作業場所へ移動
10:30～11:30	・動作確認（有線接続作業）及び操作訓練 ・以下の走行確認 ①カメラの映像確認 ②扉からの搬入可否の確認
11:30～12:00	機材片付け・積み込み
12:00～12:15	講評、まとめ
12:30～	もんじゅからふげんへ移動

3. 体制

本走行確認について、5. 走行確認結果の内容に示すとおり、基本的にロボットの操作はもんじゅ操作要員が行い、遠隔機材整備運用課員は操作補助者として実施した。

関係者については、下記のとおりである。

遠隔機材整備運用課	もんじゅ施設保安課
課長 加島 洋一 (※NARREC 待機)	課長 稲垣 佳温
課員 渡辺 夏帆	課員 中村 恵英
課員 西山 裕	課員 小川 貴裕 (※初級操作要員)
課員 羽生 敏紀	
課員 角田 正勝	

4. 発災想定シナリオ

令和 3 年度に行った調査概要を元に、走行確認を行う。当時の調査概要は以下のとおりである。

項目	内容
発災想定シナリオ	全電源が喪失し、使用済燃料水位低下により冠水維持機能が喪失し、原子炉建家内が高線量になる事象。
調査の目的	トラック通路用の大扉から燃料池まで進入し、漏えい状況（燃料池水位）及び線量を確認する。
要求されているロボット	・偵察用ロボット（昇降台付き放射線測定器） ・ドローン (建家上部の線量及び建家の損傷等の状況を確認)
現状の現場対応	使用済燃料プール室の トラック通路用の大扉まで施設のスタッフが、遠隔資機材を移動させて扉を開け、使用済燃料プール室内に遠隔資機材を入室させてから、無線又は有線による遠隔資機材の操作をして現場調査を行う。
要確認事項・課題	なし

5. 走行確認結果

① カメラの映像確認

○確認内容

燃料池の水位確認を模擬した場所（タービン建屋(T/B 建屋)2F）で、作業用ロボット（S-05）のアームカメラを用いて、燃料池の底部とみなし掲示した貼紙（図 1 を A4 サイズに印刷したものを T/B 建屋 1F に掲示）の映像の解像状況を確認した。

なお、周辺機器への影響を考慮し、接続方法は通常の Wi-Fi 接続ではなく、有線接続とした。

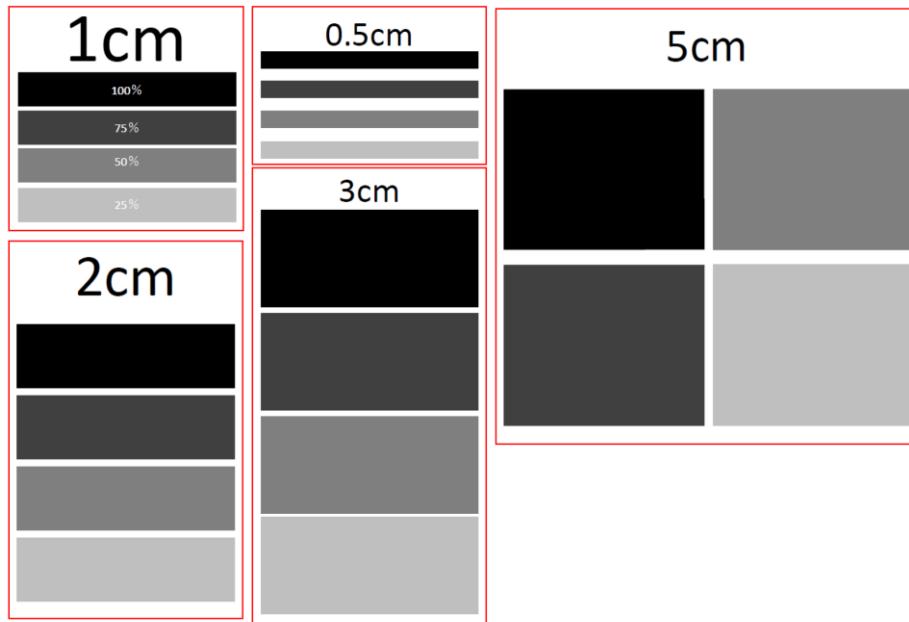


図 1 貼紙（模擬溶接線）

○結果

アームカメラからの映像を確認したところ、貼紙の配置場所及び模擬溶接線の太さを確認することはできた。ただし、文字の値を読むことはできなかった。

② 扉からの搬入可否の確認

○確認内容

T/B 建屋 3F の PP ゲートを燃料池エリアのロボット搬入扉とみなし、作業用ロボット (S-05) を走行又は運搬して通過できるかを確認した。

○結果

作業用ロボット (S-05) は、自走による扉の通過はできなかった。そのため、収納ケースに入れた状態で、人の手で運んだところ、通過できることを確認した。

6. 調査結果

もんじゅにおいて、想定される発災時に作業用ロボット (S-05) は、問題なく目的を実施できることが確認できた。

以下に、実際の発災時に必要とされる遠隔機材及び取り付け器具を示す。ただし、本走行確認においては、実際の発災時を模擬した内容であることから、参考として、記載するものである。

※必要とされる遠隔機材等

- ・ 作業用ロボット（S-05）及び操作タブレット
- ・ 無線通信器 RAJANT：最低 3 台
- ・ 取り付け部品工具
- ・ 360 度カメラ（要検討）
- ・ シューズカバー及び養生テープ

7. 課題・要望等

① 遠隔機材整備運用課

- ・今回の走行確認は、実際の発災想定現場の走行こそできなかつたものの、施設側の提案により非管理区域で行うこととし、その計画通り実施することができた。今後、もんじゅ側で確認しておきたい事項が生じた場合は、可能な対応を行う。
- ・カメラ映像の確認については、アームカメラの倍率を上げるとより実効性が増すと判断できたことから、360 度カメラ（30 倍までズームが可能）の導入を検討する。ただし、360 度カメラを用いた映像確認の場合は、アームカメラのように上からのぞき込む体勢は取れないので、ロボットの配置及び体勢も併せて検討する必要がある。

② もんじゅ施設保安課

- ・PP ゲートの通過については、ロボットの入った収納ケースは重量物であるため、搬入時の負担軽減に向け、扉通過時用のスロープ、台車の配備等の改善が必要である。

2.2.6 ふげん

ふげんでは、非管理区域に想定発災現場を模擬した現場を用意し、その場所を走行させ、確認を行った。非管理区域で行ったのは、管理区域に入域させた場合、走行確認後に非管理区域に Spot を持ち出すことが、規定上不可能と判断したための代替措置である。

ふげんにおいて、令和 5 年 11 月 9 日に行った走行確認結果を、以下に示す。

令和 6 年 1 月 23 日

遠隔機材整備運用課

ふげん施設保安課

ふげんにおける遠隔機材の発災現場対応確認結果 報告書

楢葉遠隔技術開発センター（以下「NARREC」 という。）の原子力緊急事態支援組織は、原子力事業者防災業務計画に定められた遠隔機材を原子力機構の原災法施設の発災時に備え管理している。令和 3 年度に調査を行ったふげんにおける想定発災シナリオに対し、令和 4 年度に調達した四足歩行ロボット（Spot）が問題なく機能することを確認した。

なお、ふげんにおいては、ロボットの構造上の懸念点（吸排気部分が分解できない点）により、実際の発災現場（管理区域）に入域できないことから、非管理区域である模擬施設において、走行確認を行った。

1. 現場確認年月日

令和 5 年 11 月 9 日（木）

2. 作業内容

○ 輸送物

- ・作業用ロボット（S-05） 1 台
- ・Spot 用バッテリー 1 式

○ 輸送車両

- ・RC-6

○ スケジュール（実績）

時 間	内 容
12:30～13:00	もんじゅからふげんへ移動 (午前中はもんじゅ走行確認を実施)
13:10～13:20	会議室にて打合せ
13:20～13:30	機材積み下ろし
13:30～15:30	① 防護区域へ移動し、階段の走行確認 ② 会議室へ移動し、扉の開閉確認
15:30～16:00	機材片付け及び積み込み
16:00～16:15	講評及びまとめ
16:30～17:00	ふげんから敦賀本部へ移動

3. 体制

本走行確認について、5. 走行確認結果の内容に示すとおり、基本的にロボットの操作はふげん操作要員が行い、遠隔機材整備運用課員は操作補助者として実施した。関係者については、下記のとおりである。

遠隔機材整備運用課	ふげん施設保安課
課長 加島 洋一 (※NARREC 待機)	課長 大谷 洋史
課員 渡辺 夏帆	MG 廣田 隆
課員 西山 裕	課員 野々上 和樹 (※上級操作要員)
課員 羽生 敏紀	課員 大藤 優斗 (※上級操作要員)
課員 角田 正勝	

4. 発災想定シナリオ

令和 3 年度に行った調査概要を元に、走行確認を行う。当時の調査概要は以下のとおりである。

項目	内容
発災想定シナリオ	全電源が喪失し、使用済燃料貯蔵プール水位低下により冠水維持機能が喪失し※1、原子炉建家内が高線量になる事象。 ※1：使用済燃料貯蔵プールは、全電源が喪失しても、小型発電機によりプールの水位は確認できるため、プール水面から燃料が露出しないことが確認できれば、人が立ち入ることができる。
調査の目的	出入口から使用済燃料貯蔵プールまで進入し、プール内の映像及び線量を確認する。
要求されているロボット	・偵察用ロボット（昇降台付き放射線測定器） ・ドローン（建家上部の線量、建家の損傷等の状況確認）
現状の現場対応	現在保有する遠隔資機材は、階段を上ることは可能だが、扉の開操作ができないため、使用済燃料貯蔵プールの出入口の扉まで施設のスタッフが、遠隔資機材を移動させて扉を開けて、使用済燃料貯蔵プールに遠隔資機材を入室させてから、無線又は有線による遠隔資機材の操作をして現場調査を行う。
要確認事項・課題	・扉の開操作ができる作業用ロボット（S-05）の動作確認

5. 走行確認結果

① 階段の走行確認

○確認内容

作業用ロボット（S-05）を主建屋（非管理区域）1階に運び、想定されるルート上にある階段と同等の階段を問題なく走行できることの確認を複数回行った。

○結果

発災現場と同仕様の階段を、手すりと接触することなく、昇り降りできることを確認した。踊り場の走行についても、問題なく走行できることを確認した。防護区域内に運ぶ際も、問題となる障害物はなかった。

② 扉の開閉確認

○確認内容

作業用ロボット（S-05）について、想定されるルート上にある扉と同等の扉を自動モードで開閉し、問題なく操作できることの確認を行った。

○結果

手動扉の開操作（ドアノブタイプの押し扉及び引き扉）を自動で行い、問題なく通り抜けできることを確認した。さらに、開状態を維持できることを確認した。

6. 調査結果

ふげんにおいて、想定される発災時に作業用ロボット（S-05）は、おおよそ問題なく目的を実施できることができた。

以下に、実際の発災時に必要とされる遠隔機材及び取り付け器具を示す。ただし、本走行確認においては、実際の発災時を模擬した内容であることから、参考として、記載するものである。

※必要とされる遠隔機材等

- ・ 作業用ロボット（S-05）及び操作タブレット
- ・ 無線通信器 RAJANT：最低 3 台
- ・ 取り付け部品工具
- ・ シューズカバー及び養生テープ

7. 課題・要望等

① 遠隔機材整備運用課

- ・今回の走行確認は、実際の発災想定現場の走行ができなかつたため、施設側の要望により非管理区域での確認となつたが、計画通り実施することができた。今後、ふげん側で確認しておきたい事項が生じた場合は、対応することとした。
- ・想定発災ルート上の障害物に幅の狭い場所があるが、道幅の測定を行い、NARREC での模擬試験場において走行できることを確認しているため、通路の走行については問題ないことを確認している。ただし、扉の開閉については、実際の発災ルート上の扉に比べ、形状、重さ等が異なることから、実際の発災時は注意して操作する必要があると考える。

② ふげん施設保安課

- ・Spot は操作が簡単であり、実際の発災時にも機能に問題はないことが確認できた。

- ・来年度の四足歩行ロボットの訓練について、扉の開閉は丸ノブ及びレバーの両タイプの実施をお願いしたい。

2.2.7 再処理施設（走行機能確認のための打合せ報告）

再処理施設では、打合せの結果、令和5年度にSpotの走行確認を行わなかった。

これは、管理区域に入域させた場合、走行確認後に非管理区域にSpotを持ち出すことが、規定上不可能と判断したこと及び当施設では想定発災現場を模擬した非管理区域の用意ができなかつたためである。

ここでは、今後の同施設での走行確認の実施に資するため、令和5年6月12日に行つた実物確認及び令和5年7月19日に行った打合せ結果を記す。

令和6年5月8日
遠隔機材整備運用課
核燃料サイクル工学研究所 保安管理部 危機管理課

再処理施設における 遠隔機材の発災現場対応確認打合せ結果 報告書

1. 打合せ日程・参加者

(1) Spot の実物確認

日 時：令和5年6月12日（月）

参加者：(再処理施設)

山口副センター長

再処理センター前処理施設課 内田課長、高橋マネージャー、谷田部担当

再処理センター技術管理課 向マネージャー

(遠隔機材整備運用課)

西山、渡辺、羽生、猪狩

内 容：JRR-3 走行確認の訓練時に、実際のSpotの形状、動作等について確認を行つた。

(2) 走行確認打合せ

日 時：令和5年7月19日（水）13:15～14:15

場 所：核サ研防災管理棟2階会議室

参加者：(再処理施設)

危機管理課 植野担当、根本マネージャー

再処理センター前処理施設課 内田課長、高橋マネージャー、谷田部担当

再処理センター技術管理課 向マネージャー

(遠隔機材整備運用課)

西山

内 容：遠隔機材整備運用課より本走行確認についての趣旨を説明し、再処理施設からの疑問点、懸念点等について打合せを行つた。

2. 再処理施設による検討結果

管理区域からの持出を前提とした場合、汚染防止の観点から、ロボット可動部へフィルタ類の取り付けが必須となるが、ロボットの構造上、フィルタを取り付けることはできないため、再処理施設の走行確認については、実施しないこととする。

3.まとめ

本走行機能確認の結果、6施設（JRR-3、JMTR、HTTR、常陽、もんじゅ及びふげん）いずれにおいても、想定される発災時の走行ルートにおいて、偵察用ロボットとしてのSpot「T-05」及び同アーム付きタイプの作業用ロボット「S-05」は、想定発災現場までの走行が可能であることが確認された。さらに、各施設において個別の要求事項である映像確認、階段走行等の動作を、おおよそ問題なく実行することが確認できた。そのため、上記対象6施設において原子力災害が起こった際に上記ロボットを使用すれば、各施設の要求事項を満足することが可能であると判断した。

ここで、2. 走行機能確認結果に示したとおり、JRR-3及びJMTR及び常陽については、実際の想定発災現場である管理区域内で実施した。常陽についても、実際とは配置が逆であるが、管理区域内外の無線通信距離確認を実施した。HTTR、もんじゅ及びふげんについては、核物質防護上の規定によるカメラ付ロボットの搬入不可及びSpot駆動モーター冷却系統部への汚染の可能性による懸念の理由により、今回は管理区域外の類似の場所での走行確認となった。今後、それらの問題が解決された場合、必要に応じて各管理区域内での走行確認を実施することとした。

本走行確認の結果により、Spotは想定される発災時に十分活用できることが確認されたため、運用課は、偵察用ロボット「T-05」及び同アーム付きタイプの作業用ロボット「S-05」を発災機（事故時に現場に投入するロボット）として運用することとした。

また本走行確認により新たに上がった課題（無線通信器の通信距離、カメラ性能等）については、解決策が策定できた段階で、今後の調達に反映させる。

謝辞

本走行確認は、派遣職員の株式会社アセンドの羽生敏紀氏、角田正勝氏、猪狩聰治氏より多大なご協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 榛葉遠隔技術開発センター, 2021年度 榛葉遠隔技術開発センタ一年報, JAEA-Review 2023-015, 2023, pp.21-27.
- [2] 千葉悠介, 西山裕, 椿裕彦, 岩井正樹, 緊急時対応遠隔機材の機構内各拠点操作員育成プログラム 初級編・中級編, JAEA-Technology 2019-002, 2019, p.1.
- [3] Boston Dynamics 社製（米国）Spot®, <https://bostondynamics.com/products/spot/>, (参照: 2025.4.30) .

This is a blank page.

付録： NARREC における Spot 動作確認試験結果

令和 5 年 3 月 8 日～令和 5 年 3 月 28 日に NARREC において実施した Spot 動作確認の試験結果を付表 1 に示す。

付表 1 NARREC における Spot 動作確認試験結果の概要

試験内容	試験結果
無線通信器 RAJANT の通信距離の測定	<ul style="list-style-type: none"> ● 障害物なしの通信 <ul style="list-style-type: none"> ・ 通常通信 (Wi-Fi) での走行 : 約 56m ・ 無線通信器 RAJANT を介した走行 : 約 193m (測定限界) ● 屋内－屋外間の通信 <ul style="list-style-type: none"> ・ 通常通信 (Wi-Fi) での走行 : 約 6m ・ 無線通信器 RAJANT を介した走行 : 約 46m
階段昇降試験	角度 43 度、手すり幅 80cm (グレーチング構造及び平板構造) の階段において、問題なく昇降可能。
階段踊り場走行試験	幅 74～78cm の模擬ステージにおいて、問題なく通行可能。
狭隘通路走行試験	幅 70cm の模擬ステージにおいて、問題なく走行可能。

試験に当たり使用した要領書及び詳細な試験結果を、以下に示す。

This is a blank page.

Spot 動作確認試験
要領書

R 5. 3

楢葉遠隔技術開発センター
遠隔機材整備運用課

This is a blank page.

1. 目的

楓葉遠隔技術開発センター 遠隔機材整備運用課は、原子力緊急事態支援組織として、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」という。）内の研究開発段階発電炉（もんじゅ、ふげん）、試験研究炉（10MW以上）（JRR-3、常陽、HTTR、JMTR）、再処理施設における原子力災害対策に取り組んでいる。当該施設において、原子力災害が発生し、放射性物質による汚染により原子力事業所災害対策に従事する者が容易に立入ることができない場所における情報収集及び軽作業を行うことを目的としたロボットとして、Spot（四足歩行ロボット）を導入した。今回の試験は、本ロボットの当該7施設への動作確認のための事前確認として実施するものである。

2. 試験年月日

令和5年3月8日～令和5年3月28日

3. 試験場所

- ・楓葉遠隔技術開発センター（以下「楓葉センター」とする。）
- ・National Training Center J-VILLAGE（以下「J-Village」とする。）

4. 対象機器

- Boston Dynamics 社製（米国）Spot（Enterprise Package）
- ・偵察用 Spot : 1台
 - ・作業用 Spot : 1台

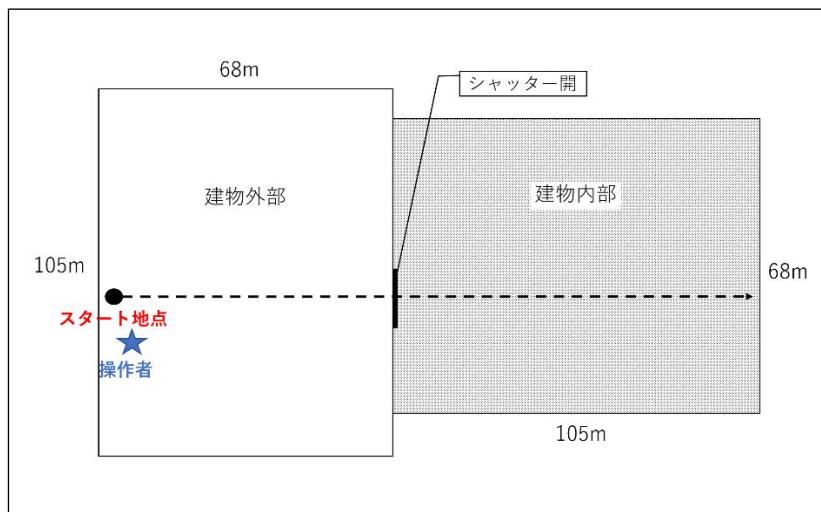
5. 試験内容・手順

（1）無線通信器 RAJANT の通信距離の測定試験

J-Village の全天候型練習場及び隣接する人工芝エリアに偵察用又は作業用 Spot を運び、以下の条件における通信距離を測定する。
なお、通信は Wi-Fi のみの場合及び無線通信器 RAJANT を使用した場合の 2 パターンを検証する。

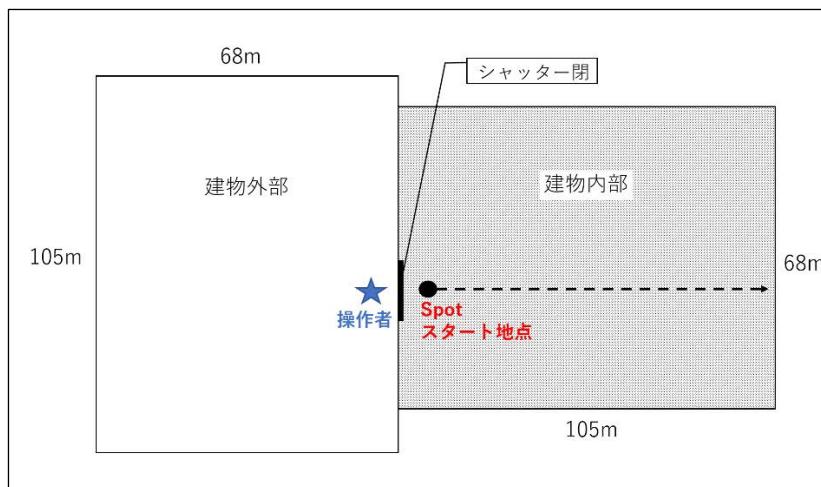
① 障害物のない状態

シャッターを開けた状態で、スタート地点より Spot をスタートさせ、通信が途切れることなく進むことができる距離を測定する。



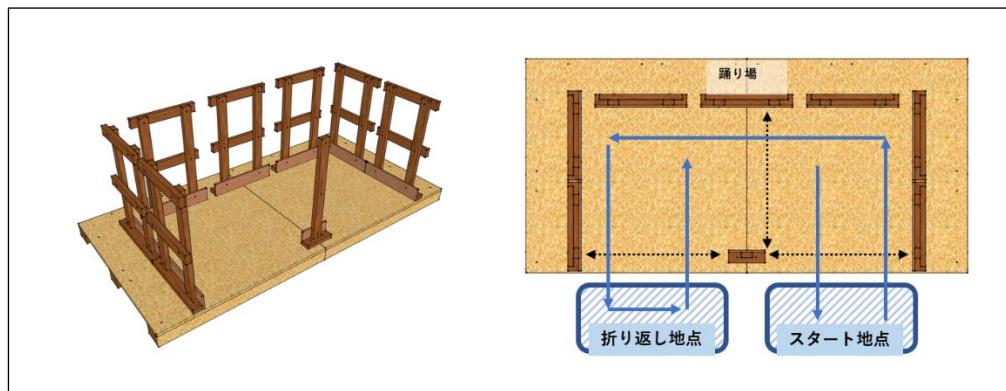
② 建物（壁）を挟んだ状態

シャッターを閉じ、操作者は建物外部にいる状態で、スタート地点より Spot をスタートさせ、通信が途切れることなく進むことができる距離を測定する。



(2) 段差・踊り場試験

楓葉センターの試験棟内に段差・踊り場走破試験ステージを作成し、スタート地点から Spot をスタートさせ、折り返し地点を通り、スタート地点まで戻る操作を行い、柵にぶつかることがなくスムーズに走行できることを確認する。Spot は偵察用及び作業用の両方を使用し、前向き歩行及び後ろ向き歩行をそれぞれ 5 往復走行させる。踊り場の広さは、各拠点の想定シナリオを考慮し、約 80×165cm とする。



(3) 階段昇降試験

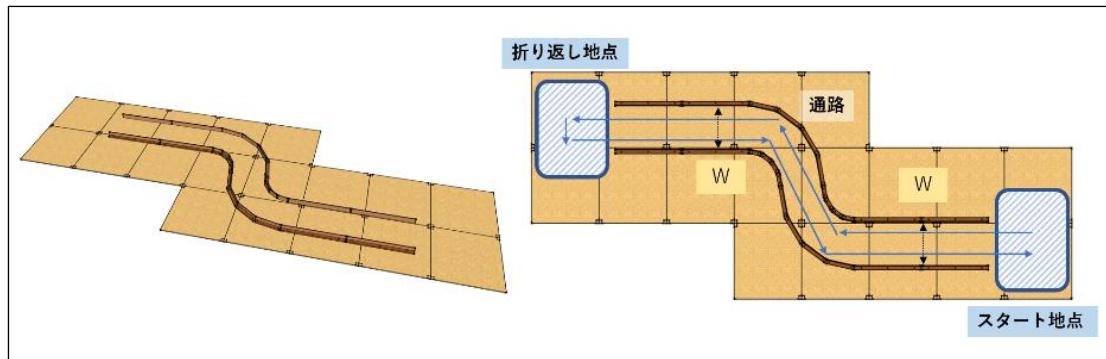
楓葉センター試験棟内モックアップ階段を傾斜角度 43°、手すり幅 80cm に設定し、Spot を 5 往復させ、つまずくことなく昇降できることを確認する。

なお、階段の傾斜角度 43° 及び手摺幅 80cm は、各拠点の想定シナリオを考慮し、一番厳しい角度を選定したものである。

Spot は偵察用及び作業用の両方を使用し、作業用 Spot については、360°カメラを取り外して試験を行う。

(4) 狹隘部試験

楓葉センター試験棟内に狭隘部・段差試験ステージを作成し、スタート地点から Spot をスタートさせ、折り返し地点を通り、スタート地点まで戻る操作を行い、スムーズに走行できることを確認する。通路の狭さは各拠点の想定シナリオを考慮し、70cm とする。Spot は偵察用及び作業用の両方を使用し、それぞれ 5 往復走行させる。



This is a blank page.

Spot 動作確認試験結果

R 5 . 3

楢葉遠隔技術開発センター

遠隔機材整備運用課

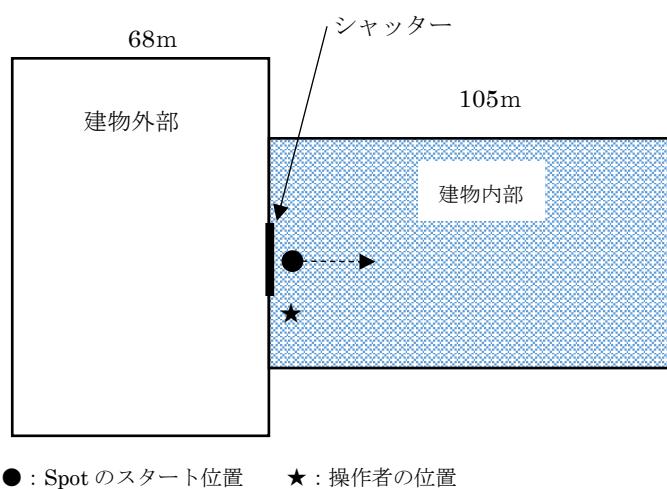
This is a blank page.

1. 無線通信器 RAJANT の通信距離の測定試験

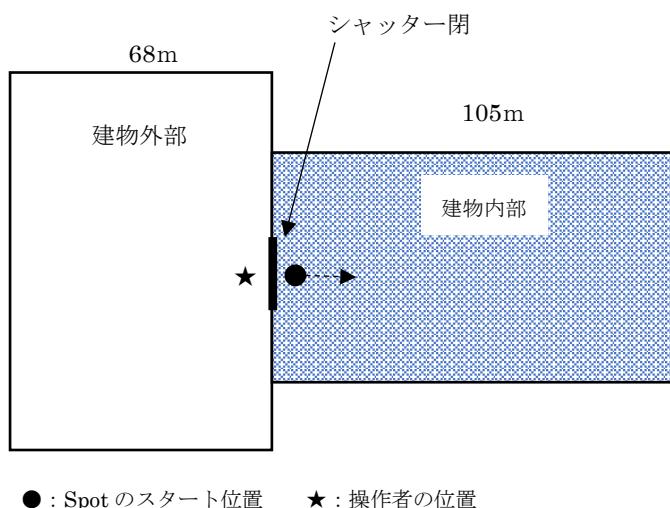
- (1) 試験年月日：令和 5 年 3 月 8 日（水）
- (2) 試験検査者：根本課長、渡辺夏帆、西山裕、早坂寿郎、羽生敏紀
- (3) 試験用 Spot : S-05
- (4) 試験内容

J ヴィレッジの屋外サッカー場（建物外部）と屋内サッカー場（建物内部）を利用し、Spot を走行させ RAJANT の通信が途切れるまでの距離を測定した。

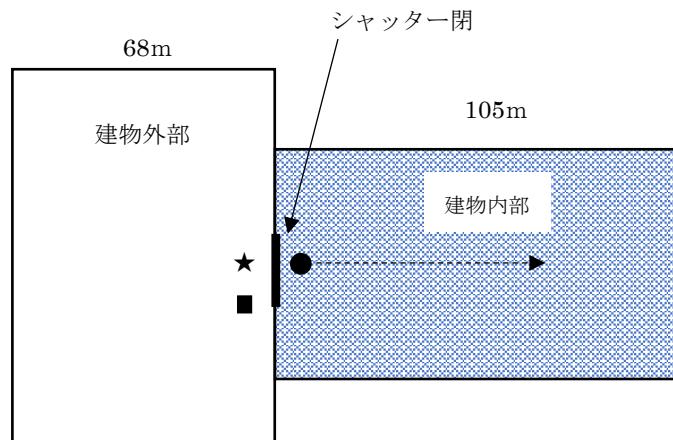
【試験 1】：通信は Spot の Wi-Fi のみ、建物内部での走行距離の測定を 4 回行った。



【試験 2】：通信は Spot の Wi-Fi のみ、Spot を建物内部、操作者を建物外部で、シャッターを閉状態での Spot の走行距離の測定を 3 回行った。

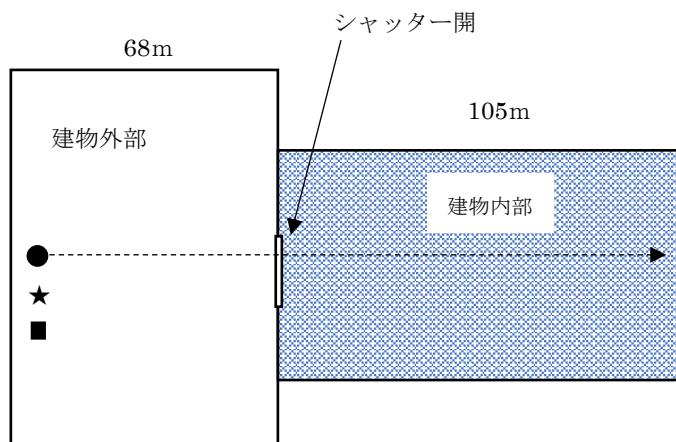


【試験 3】：通信は Spot の RAJANT を使用、Spot を建物内部、操作者を建物外部で、シャッターを開状態での Spot の走行距離の測定を 4 回行った。



● : Spot のスタート位置 ★ : 操作者の位置 ■:RAJANT の位置

【試験 4】：通信は Spot の RAJANT を使用、Spot を建物外部、操作者を建物外部で、シャッターを開状態での Spot の走行距離の測定を 1 回行った。



● : Spot のスタート位置 ★ : 操作者の位置 ■:RAJANT の位置

(5) 試験結果

単位 : m

	1回目	2回目	3回目	4回目
試験 1	51.5	51.3	55.6	64.3
試験 2	5.0	7.5	6.65	
試験 3	52.1	51.3	43.3	41.1
試験 4	193.2m*			

* : 測定限界位置

(6) 問題点

試験 3において、途中通信が途切れたときモーター電源（ロックアウトボタン）が断となり、再起動を行う事象が生じた。この時再度 Spot のロックアウトボタンを投入する必要があり、発災現場でこのような事象が起こった場合は問題となる。

2. 階段昇降試験

- (1) 試験年月日：令和 5 年 3 月 22 日（水）
- (2) 試験検査者：根本課長、渡辺夏帆、西山裕、早坂寿郎、羽生敏紀
- (3) 試験用 Spot : S-05、T-05
- (4) 試験内容

試験棟に設置している試験用階段（角度 43 度、手摺幅 80cm）2ヶ所（グレーチング構造及び平板構造）をスタート地点（階段の下）から第 1 踊り場までの昇降試験を 5 回（そのうち 1 回は第 2 踊り場までの階段途中まで）の昇降試験を行った。その後 S-05 に無線通信器 RAJANT を搭載し、上記と同様に試験を行った。

(5) 試験結果

問題なく階段の昇り降りをスムーズに行うことができた。

3. 階段踊り場走行試験

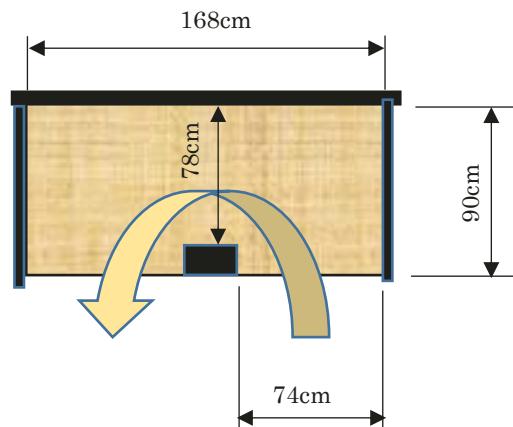
- (1) 試験年月日：令和 5 年 3 月 23 日（木）
- (2) 試験検査者：根本課長、渡辺夏帆、西山裕、早坂寿郎、羽生敏紀
- (3) 試験用 Spot : S-05、T-05
- (4) 試験内容

利用課から借用した木製の踊り場の模擬ステージを使用し、以下の試験を行った。

- ①右側から進入し、左側から抜けていく走行を 5 回。
- ②左側から進入し、右側から抜けていく走行を 5 回。
- ③バックで右側から進入し、左側から抜けていく走行を 5 回。
- ④バックで左側から進入し、右側から抜けていく走行を 5 回。

(5) 試験結果

①から④の試験を行った結果、踊り場の側面（支柱）に当たることなく走行が可能であった。

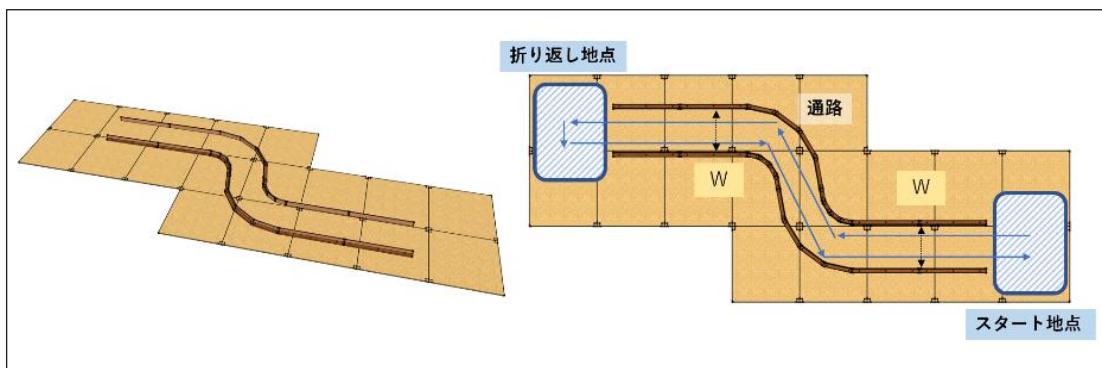


4. 狹隘通路走行試験

- (1) 試験年月日：令和 5 年 3 月 28 日（火）
- (2) 試験検査者：渡辺夏帆、西山裕、早坂寿郎、羽生敏紀
- (3) 試験用 Spot : S-05、T-05
- (4) 試験内容

利用課から借用した木製の踊り場の模擬ステージを使用し以下の試験を行った。

スタート地点から折り返し地点を折り返し、スタート地点に戻る走行を前向きに 5 往復、後ろ向きで 5 往復行った。なお、通路幅（W）は 70cm で行った。



(5) 試験結果

通路幅に立てた支柱に触れることなく走行ができる事を確認した。

