



JAEA-Testing

2024-004

DOI:10.11484/jaea-testing-2024-004

偵察用ロボット及び作業用ロボットの シミュレータ操作マニュアル

Simulator Operation Manuals for a Reconnaissance Robot and Work Robots

渡辺 夏帆 鈴木 健太

Kaho WATANABE and Kenta SUZUKI

福島廃炉安全工学研究所
櫛葉遠隔技術開発センター

Naraha Center for Remote Control Technology Development
Fukushima Research and Engineering Institute

February 2025

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Testing

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

偵察用ロボット及び作業用ロボットのシミュレータ操作マニュアル

日本原子力研究開発機構
福島廃炉安全工学研究所
檜葉遠隔技術開発センター

渡辺 夏帆、鈴木 健太

(2024年10月28日受理)

日本原子力研究開発機構（JAEA）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 内各拠点の原子力事業者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。

運用課では、当該計画に則り、NARREC において各拠点操作要員に遠隔機材の操作訓練を行っている。使用する遠隔機材は、①偵察用ロボット（発災現場における映像確認、温度・線量の測定等）、②作業用ロボット（発災現場の障害物撤去等）及び③ドローンである。これら実機を用いた操作訓練は、操作要員一人当たり年に1、2回程度であるため、操作感覚の維持が難しいという課題があった。そこで運用課は、実機を用いた操作訓練を補完するものとして、シミュレータ（動力学シミュレーションソフト Choreonoid を元に作成したプログラムを組み込んだノートパソコンと、コントローラより構成される。）を製作し、各拠点に提供した。

本報告書は、令和5年度に各拠点に提供した偵察用ロボット及び作業用ロボット（2種類）計3種のシミュレータの操作マニュアルについて示したものである。

Simulator Operation Manuals for a Reconnaissance Robot and Work Robots

Kaho WATANABE and Kenta SUZUKI

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

(Received October 28, 2024)

There is an emergency response team against nuclear facilities' accidents of Japan Atomic Energy Agency (JAEA). The team is in Naraha Center for Remote Control Technology Development (NARREC).

Trainings of maneuvering emergency response robots are performed at NARREC by the team for operators temporarily coming from all facilities which are possibility to have a huge nuclear emergency in JAEA. There are three kinds of robots to be used in the training: (1) Reconnaissance robots (for shooting a video and for measuring radiation level and temperature in nuclear accidents field), (2) Work robots (for obstacles removal in nuclear accidents field) and (3) Drones. As for the training, each operator person has been trained once or twice a year. Therefore, it is difficult for operators to retain their own sense of the maneuvering robots. Then, the team provided a simulator system which is consists of a palm-sized controller and a PC installed operation programs based on Choreonoid as dynamics simulation software, and we provided the system for operators in order to supplement a real robot operation training.

This report shows the operation method of the provided simulator system regarding one reconnaissance robot and two work robots.

Keywords: Remote Control Technology, Reconnaissance Robot, Work Robot, Simulator, Emergency Response, Naraha Remote Control Technology Development Center, JAEA

目 次

| | |
|-----------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 操作マニュアル..... | 2 |
| 2.1 共通事項..... | 4 |
| 2.2 偵察用ロボット (T-01,02) | 7 |
| 2.3 作業用ロボット (S-01,02) | 10 |
| 2.4 作業用ロボット (S-03,04) | 13 |
| 3. まとめ | 16 |
| 謝辞..... | 16 |
| 参考文献..... | 16 |
| 付録..... | 17 |

Contents

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 1 |
| 2. The operation method | 2 |
| 2.1 The common subject | 4 |
| 2.2 Reconnaissance robot (T-01,02) | 7 |
| 2.3 Work Robot (S-01,02)..... | 10 |
| 2.4 Work Robot (S-03,04)..... | 13 |
| 3. Summary | 16 |
| Acknowledgment | 16 |
| References | 16 |
| Appendix | 17 |

This is a blank page.

1. はじめに

平成 23 年に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が発生し、翌年原子力災害特別措置法及び同計画等命令が改正され、各電気事業者は、原子力災害発生時の準備を義務付けられた当該特別措置法及び同計画等命令への対応を行った。さらに平成 29 年に当該計画等命令が研究開発段階発電炉、10MW 以上の試験研究炉及び再処理施設にも適用されることとなり、日本原子力研究開発機構（JAEA）も同様に原子力災害発生に備えた対応を行った。

JAEA 檜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]であり、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。

運用課では、当該防災業務計画に則り NARREC において各拠点操作要員に遠隔機材の操作訓練^[2]を行っている。使用する遠隔機材は、①偵察用ロボット（発災現場における映像確認、温度・線量の測定等）、②作業用ロボット（発災現場の障害物撤去等）及び③ドローンである。

これまで操作訓練を実施してきている過程で各拠点操作要員より、「訓練頻度が少ないため、操作方法を忘れてしまう」、「発災時の操作が不安である」等の意見が寄せられている。

上記意見への対応の一つとして、実機を用いた操作訓練を補完する目的で、シミュレータを各拠点に提供することとした。これは各拠点においてシミュレータを用いた操作練習を操作要員が行うことにより、実機を操作しない期間における操作感覚を維持する効果、あるいは操作方法の忘却を低減させる効果及び発災時の操作不安を低減させる効果を期待したものである。

これまで NARREC では、汎用性及び拡張性の高いオープンソースの動力学シミュレーションソフト Choreonoid^[3]を元に、廃炉作業を模擬するために必要と考えられる様々な作業条件（例えば、通信障害・不鮮明画像・放射線挙動等）・環境を統合的に扱える機能拡張（Plugin）を加えたシミュレータを開発してきた^[4]。そしてこのシミュレータは、日本原子力発電美浜原子力緊急事態支援センター（M-NEACE）に提供し、既にロボット遠隔操縦の体験提供及び訓練プログラム実施に利用されている^[2]。

今回各拠点に提供したシミュレータも、上述の M-NEACE に提供したものと同様に Choreonoid をベースに製作したものである。具体的には、既述の①偵察用ロボット及び②作業用ロボット（2種類）の計 3 種の走行ロボットと、さらに実機訓練と同様の走行訓練用ステージ及び物体把持訓練用ステージをモデル化しシミュレータに組み込んだ。

このようにして整備されたシミュレータは、上述のモデルを組み込んだノートパソコンと、実機と同じコントローラより構成される。

本報告書は、令和 5 年度に各拠点に提供した偵察用ロボット及び作業用ロボット（2種類）、計 3 種のシミュレータの操作マニュアルについて示したものである。

2. 操作マニュアル

- (1) シミュレータに組み込んだロボット 3 種の実機写真を図 1～図 3 に示す。さらに、実際の操作訓練場において、偵察用ロボット (T-01,02) に使用する訓練ステージの写真を、図 4 に示す。



図 1 偵察用ロボット (T-01,02)

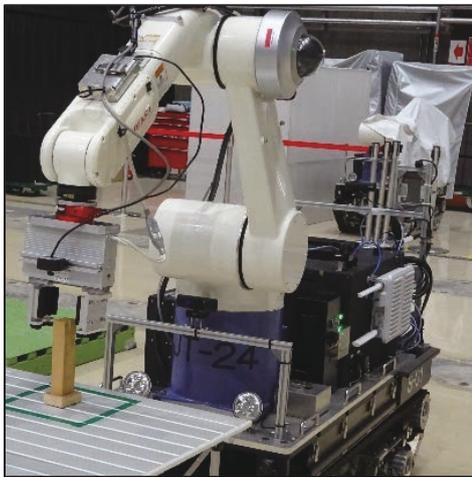


図 2 作業用ロボット (S-01,02)



図 3 作業用ロボット (S-03,04)



図 4 訓練ステージ

なお、対象とした各ロボットの実機の操作マニュアルとしては、偵察用ロボット（T-01,02）用^⑤、作業用ロボット（S-01,02）用^⑥及び作業用ロボット（S-03,04）用^⑦が、それぞれ JAEA-Testing の形式で公刊済である。同様に、訓練ステージの設計及び製作に関して、ロボット訓練用ステージの製作^⑧が、JAEA-Technology の形式で公刊済である。

(2) 配付物は、以下のとおりである。

- ・ノート PC 一式（PC 本体、電源、PC 用ケース）
- ・コントローラー台（コントローラ本体、配線）

(3) 操作マニュアルは、2.1～2.4 の 4 編構成とし、その内容は以下のとおり。

- ① 2.1 に、パソコン操作の共通事項として、シミュレータの起動から終了まで及びパソコンのシャットダウンの手順を示す。
- ② 2.2 に、偵察用ロボット（T-01,02）のシミュレータの取扱説明書を示す。
- ③ 2.3 に、作業用ロボット（S-01,02）のシミュレータの取扱説明書を示す。
- ④ 2.4 に、作業用ロボット（S-03,04）のシミュレータの取扱説明書を示す。

2. 1 共通事項

シミュレータの起動

①デスクトップの「VMware Workstation 16 Player」をダブルクリックする



②「Ubuntu 64 ビット」をダブルクリックする



③「フルスクリーンモードを開始」のアイコン  をクリックする



コントローラの接続

①コントローラにUSBケーブルのType-C側を接続する



②パソコンにUSBケーブルのType-A側を接続する



③「Player(P)」→「取外し可能デバイス(R)」→「Microsoft Controller」→「接続 (ホストから切断) (C)」をクリックする



④USBケーブルのType-Cを一度抜き、もう一度コントローラに接続する



⑤コントローラの「Xboxボタン」が点灯していることを確認する。点滅している場合は、①からやり直す

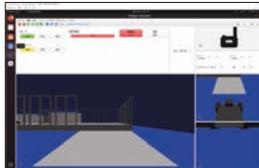


シミュレーションの開始

①デスクトップの「teisatsu_t-01_02.sh」をダブルクリックする



②T-01の操作画面が表示され、シミュレーションが開始する



③「非常停止中」のボタンをクリックする



④ダイアログが表示される



⑤「はい(Y)」のボタンをクリックする



⑥「非常停止中」が「非常停止解除中」に切り替わる



シミュレーションの停止・再開・終了

◆ シミュレーションの停止

「シミュレーションの停止」のアイコン  をクリックする



◆ シミュレーションの再開（初期位置から）

「初期位置からのシミュレーションを開始」のアイコン  をクリックする



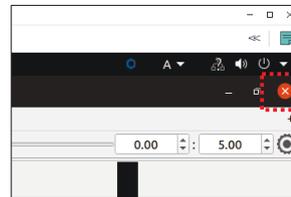
◆ シミュレーションの再開（現在位置から）

「現在位置からのシミュレーションを開始」のアイコン  をクリックする



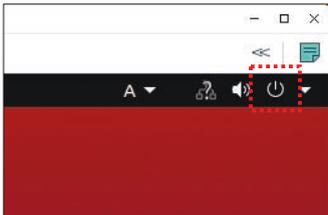
◆ シミュレーションの終了

画面右上の「×」をクリックする

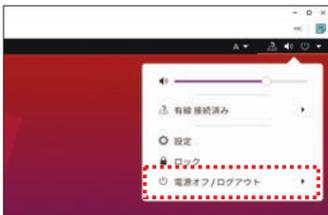


シミュレータのシャットダウン

① 「⏻」をクリックする



② 「電源オフ/ログアウト」をクリックする



③ 「電源オフ...」をクリックする



④ 「電源オフ」をクリックする



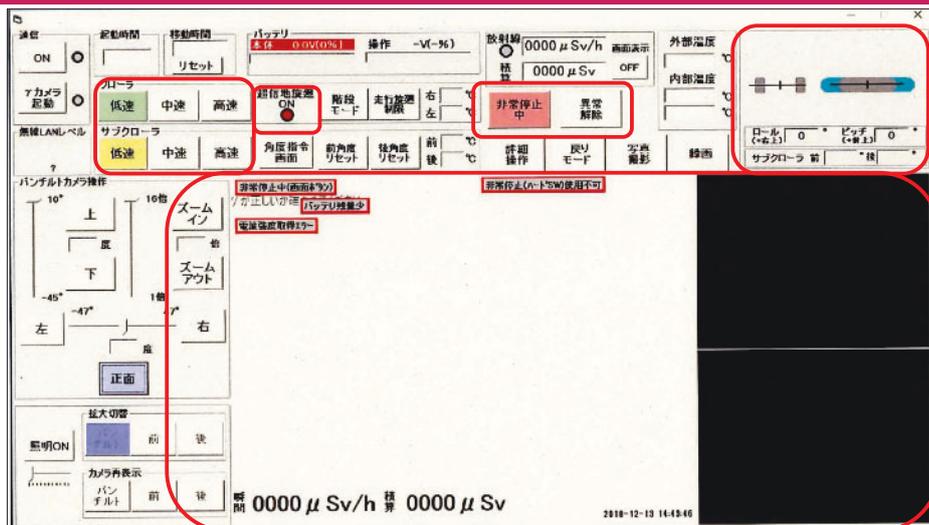
※画面上部に表示されるツールバーの「×」は絶対に使用しないこと。



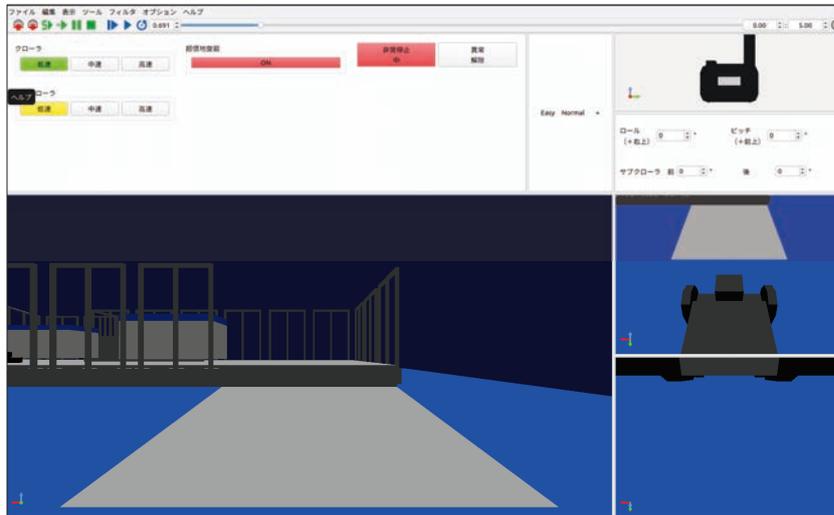
2.2 偵察用ロボット (T-01, 02)

実際の操作画面

 シミュレータ操作画面に有



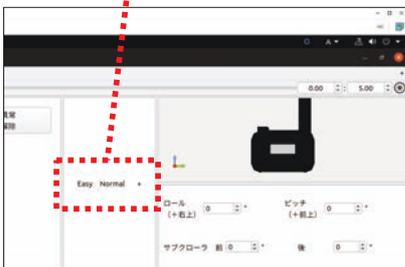
シミュレータ操作画面



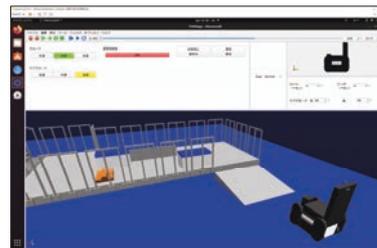
実際の操作画面にはない、モード切替

操作画面の切替

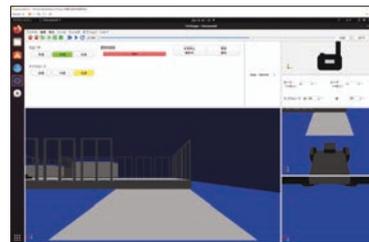
- ◆ Easy (初心者モード)
- ◆ Normal (通常モード)



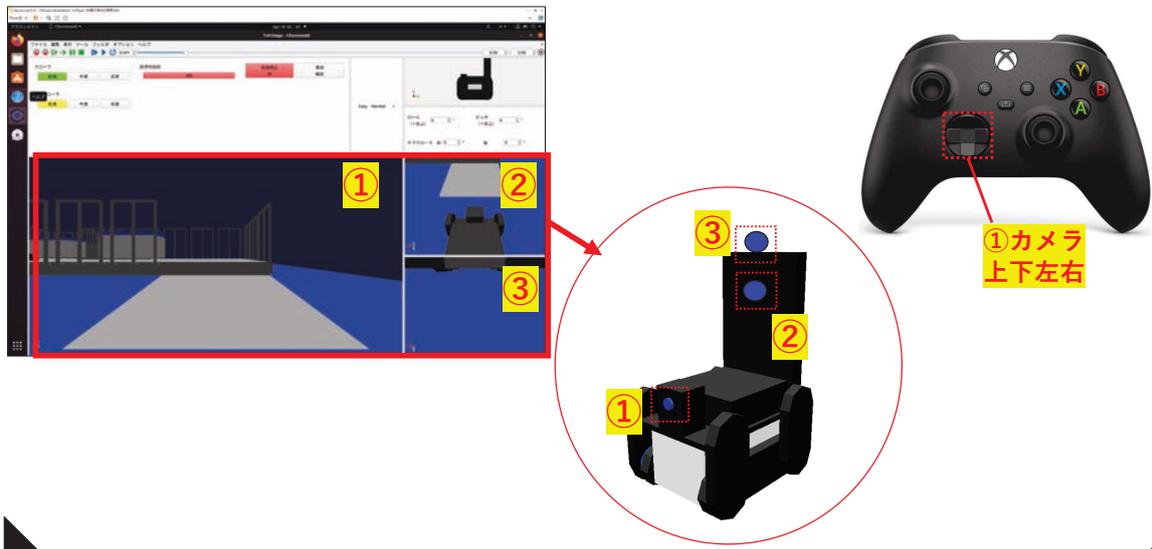
- ◆ Easy (初心者モード) : 画像の見え方の調整が可能



- ◆ Normal (通常モード) : 実際のブラインド操作



補足①（カメラの位置）



補足②（その他操作）

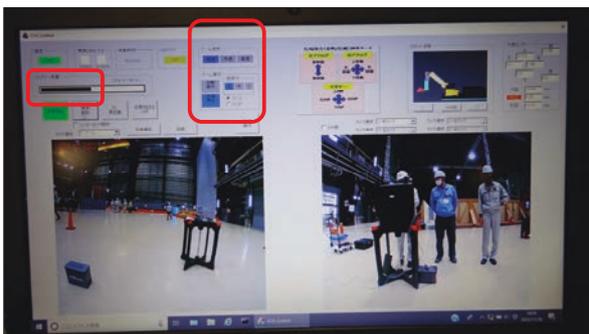


2.3 作業用ロボット (S-01, 02)

実際の操作画面

シミュレータ操作画面に有

※作業用ロボット (S-01, 02) は、アームを操作するPCと、走行台車を操作するPCが分かれています。



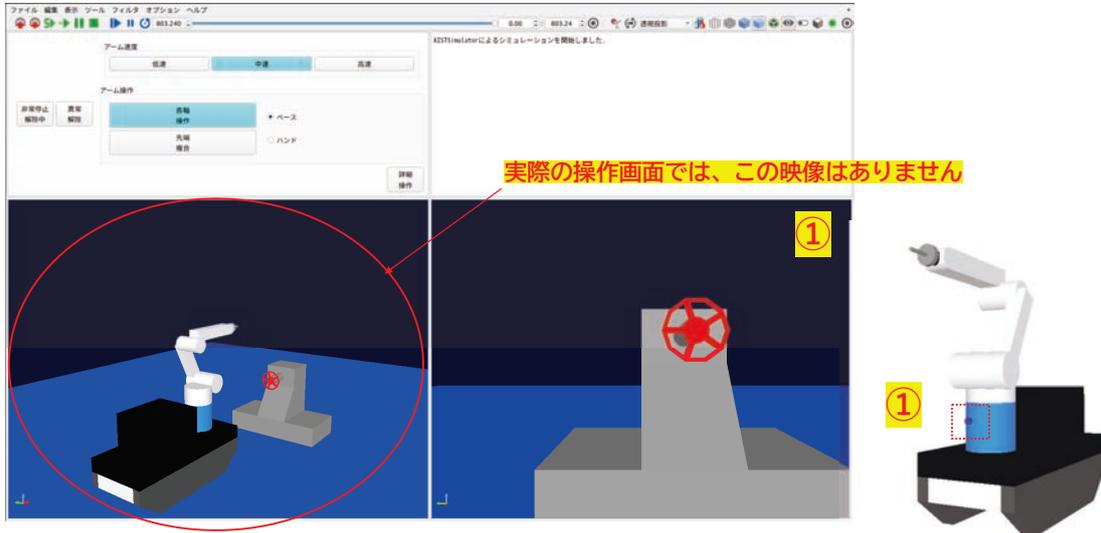
アームの操作画面



走行台車の操作画面

(こちらの画面は、実装されていません)

シミュレータ操作画面



補足①（走行台車の操作）

※「走行台車／アームの切替」は、実際の操作画面にはないものです。



補足②（アームの操作）

◆共通



◆先端複合×ベース



◆各軸操作



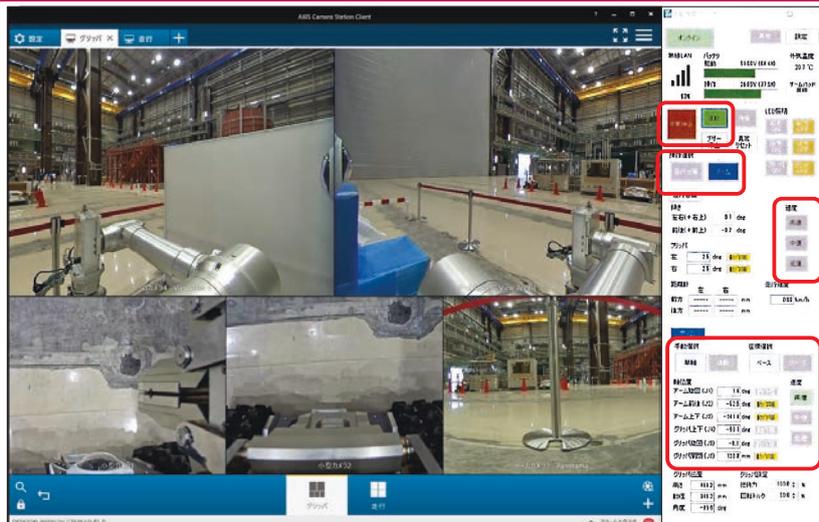
◆先端複合×ハンド



2.4 作業用ロボット (S-03, 04)

実際の操作画面

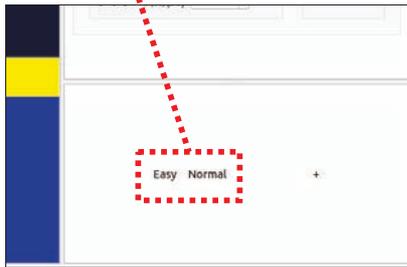
 シミュレータ操作画面に有



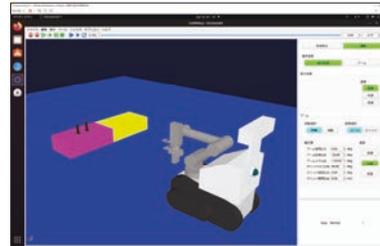
実際の操作画面にはない、モード切替

操作画面の切替

- ◆ Easy (初心者モード)
- ◆ Normal (通常モード)



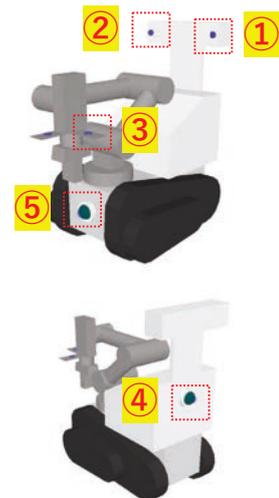
◆ Easy (初心者モード) : 画像の見え方の調整が可能



◆ Normal (通常モード) : 実際のブラインド操作



補足① (カメラの位置)



補足②（走行台車の操作）

LB：前部フリップを上げる
 LT：前部フリップを下げる



補足③（アームの操作）

◆共通



◆連動×ベース



◆単軸



◆連動×グリッパ



3. まとめ

本報告書は、運用課が NARREC において実施している遠隔機材の実機を用いた操作訓練を補完する目的で製作したシミュレータの操作マニュアルを示したものである。製作したシミュレータ一式は、令和 5 年度に JAEA の各拠点に提供し、各操作要員が操作練習のために活用している。これらの活用により、各操作要員に対し、実機を操作しない期間における操作感覚の維持、操作忘却の低減及び発災時の操作における不安軽減を期待する。

なお、同様のシミュレータは、令和 3 年度に M-NEACE のために開発及び提供し、M-NEACE においても訓練プログラムの補完的な実施に利用されている^[1]。

謝辞

本操作マニュアルは、ロボットの点検を手掛けている請負業者の株式会社アセンドの羽生敏紀氏、角田正勝氏、猪狩聡治氏がこれまで経験された知識によるところが多岐であり、多くの助言を頂けたことに感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 檜葉遠隔技術開発センター，2021 年度 檜葉遠隔技術開発センター年報，JAEA-Review 2023-015, 2023, 60p.
- [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] 中岡慎一郎，拡張可能なロボット用統合 GUI 環境 Choreonoid，日本ロボット学会誌，Vol.31, No.3, 2013, pp.226-231.
- [4] 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, 2020, pp.1292-1300.
- [5] 千葉悠介，西山裕，椿裕彦，岩井正樹ほか，偵察用ロボット操作マニュアル，JAEA-Testing 2020-007, 2021, 42p.
- [6] 千葉悠介，西山裕，椿裕彦，岩井正樹ほか，作業用ロボット（扉開閉用）操作マニュアル，JAEA-Testing 2020-005, 2021, 29p.
- [7] 千葉悠介，西山裕，椿裕彦，岩井正樹ほか，作業用ロボット（弁開閉用）操作マニュアル，JAEA-Testing 2020-006, 2021, 24p.
- [8] 椿裕彦，小泉聡，ロボット訓練用ステージの製作，JAEA-Technology 2020-016, 2020, 16p.

付録

※2.1 共通事項～2.4 作業用ロボット (S-03,04) の PC 画面が小さく表示されている部分について、拡大版を付録に示す。

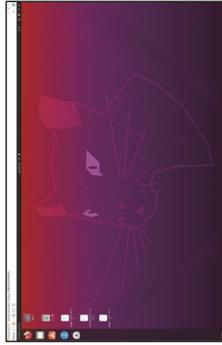
なお、ページ番号に示す数字は、本文のページ番号及び拡大部分の項目の順番を示す。

(例) 4-1 : p.4 の拡大部分の 1 つ目

This is a blank page.

シミュレータの起動

② 「Ubuntu 64 ビット」 をダブルクリックする



シミュレータの起動

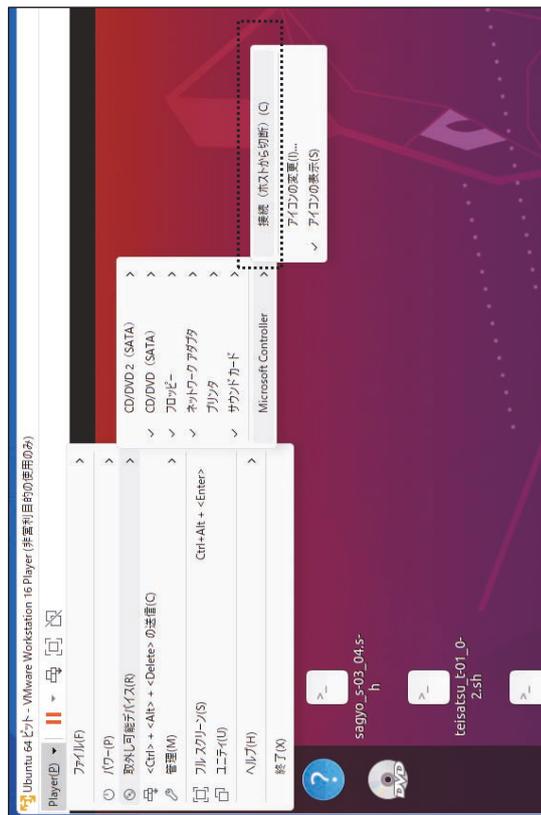
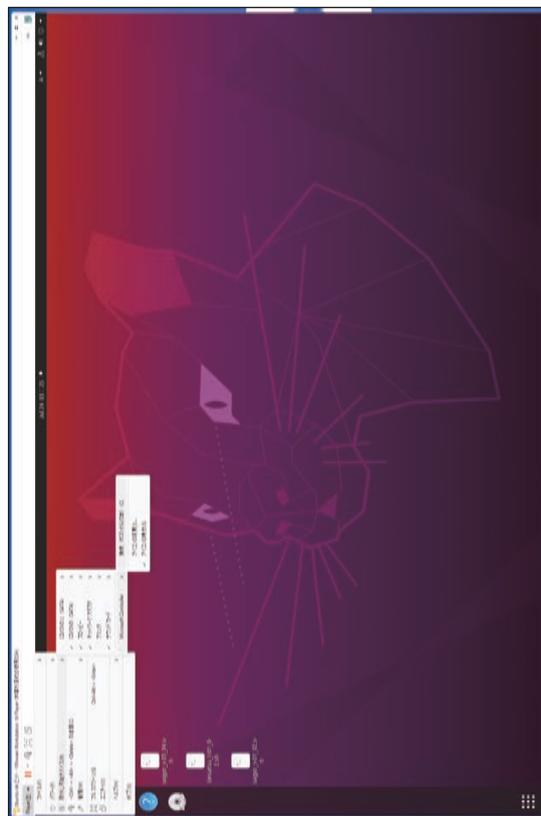
- ③ 「フルスクリーンモードを開始」のアイコン [] をクリックする



-4-2-

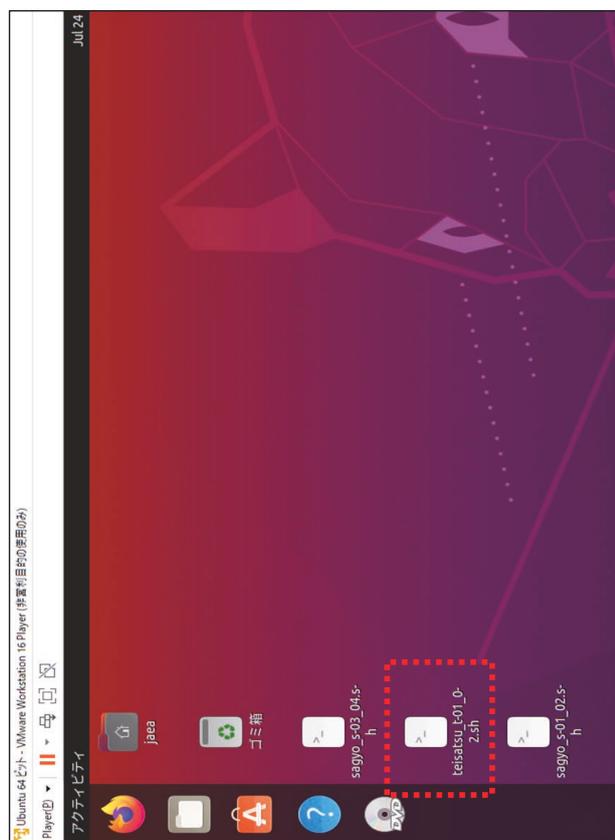
コントローラの接続

- ③ 「Player(P)」 → 「取外し可能デバイス(R)」 → 「Microsoft Controller」 → 「接続 (ホストから切断) (C)」



シミュレーションの開始

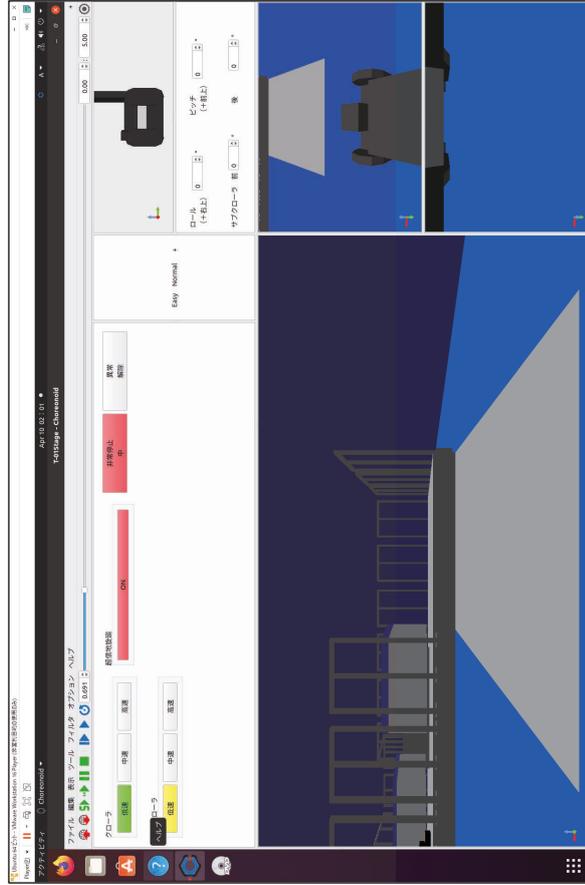
①デスクトップの「teisatsu_t-01_02.sh」をダブルクリックする



-5-2-

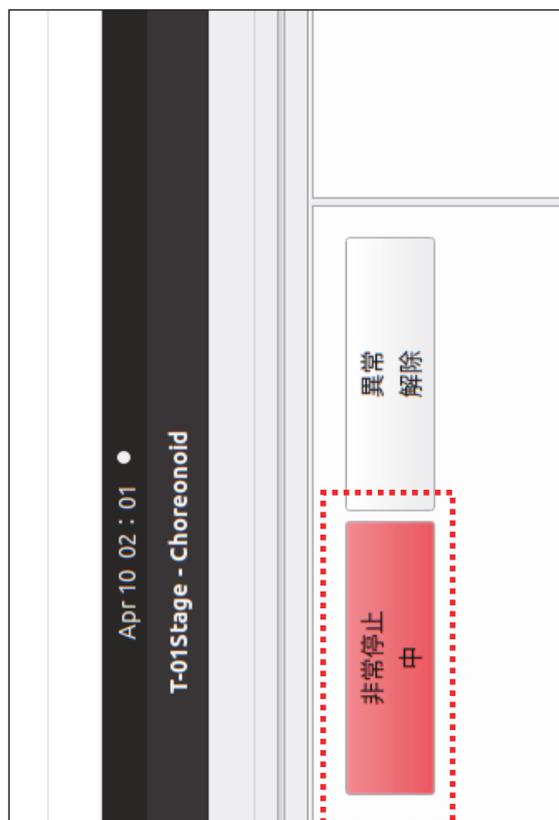
シミュレーションの開始

②T-01の操作画面が表示され、シミュレーションが開始する



シミュレーションの開始

- ③ 「非常停止中」のボタンをクリックする



-5-4-

シミュレーションの開始

④ダイアログが表示される



-5-5-

シミュレーションの開始

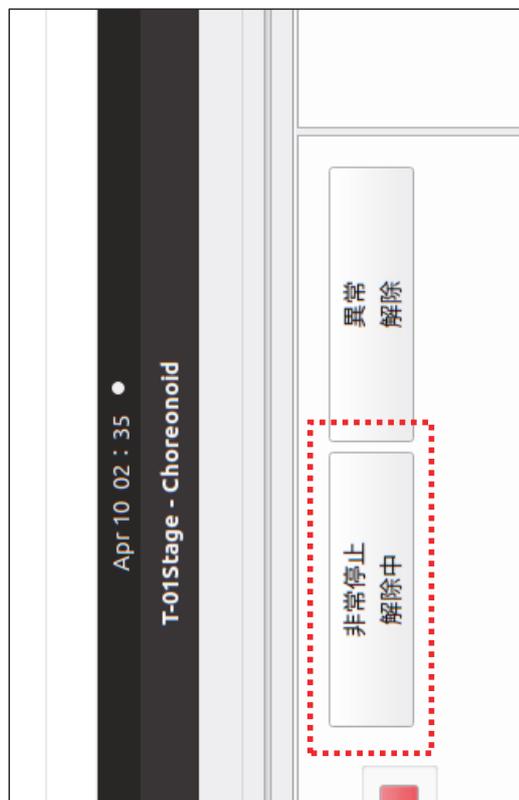
- ⑤ 「はい(Y)」のボタンをクリックする



-5-6-

シミュレーションの開始

⑥ 「非常停止中」が「非常停止解除中」に切り替わる



-5-7-

シミュレーションの停止・再開・終了

- ◆シミュレーションの停止
「シミュレーションの停止」のアイコン  をクリックする



-6-1-

シミュレーションの停止・再開・終了

- ◆シミュレーションの再開（初期位置から）
「初期位置からのシミュレーションを開始」のアイコン  をクリックする



-6-2-

シミュレーションの停止・再開・終了

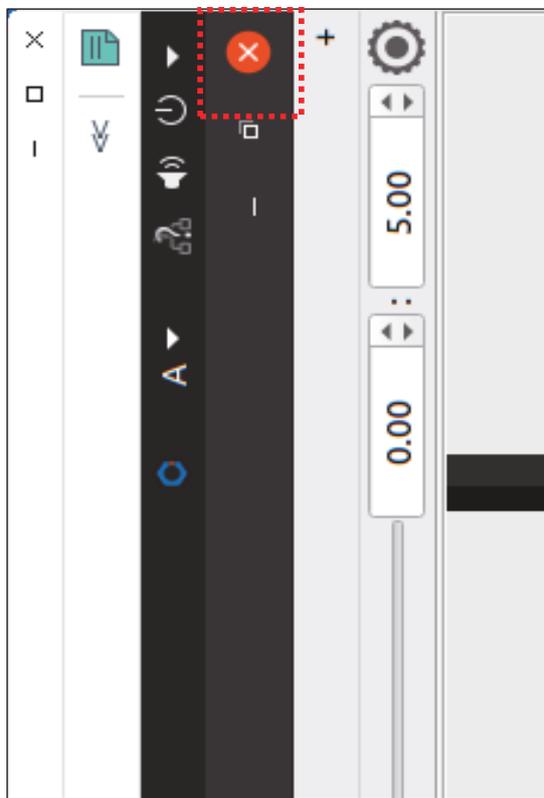
- ◆シミュレーションの再開（現在位置から）
「現在位置からのシミュレーションを開始」のアイコン  をクリックする



-6-3-

シミュレーションの停止・再開・終了

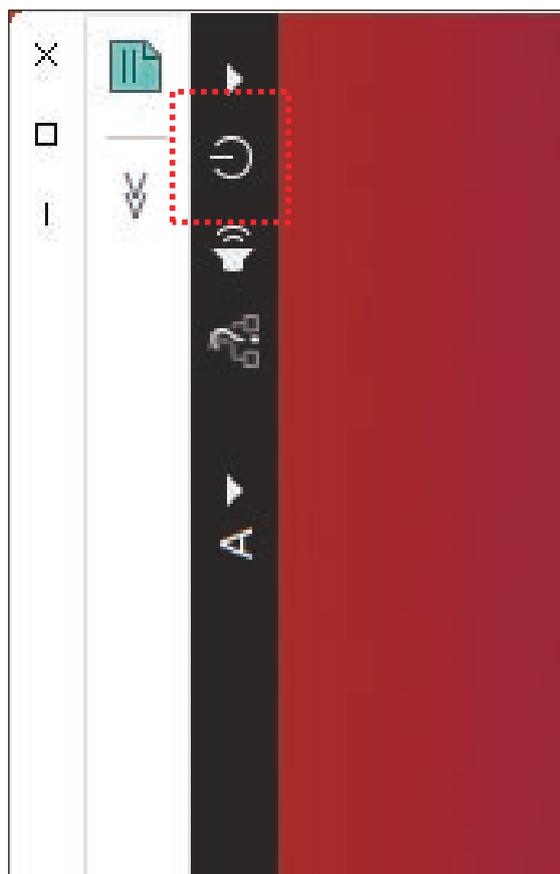
- ◆シミュレーションの終了
画面右上の「×」をクリックする



-6-4-

シミュレータのシャットダウン

- ① 「」をクリックする



-6-5-

シミュレータのシャットダウン

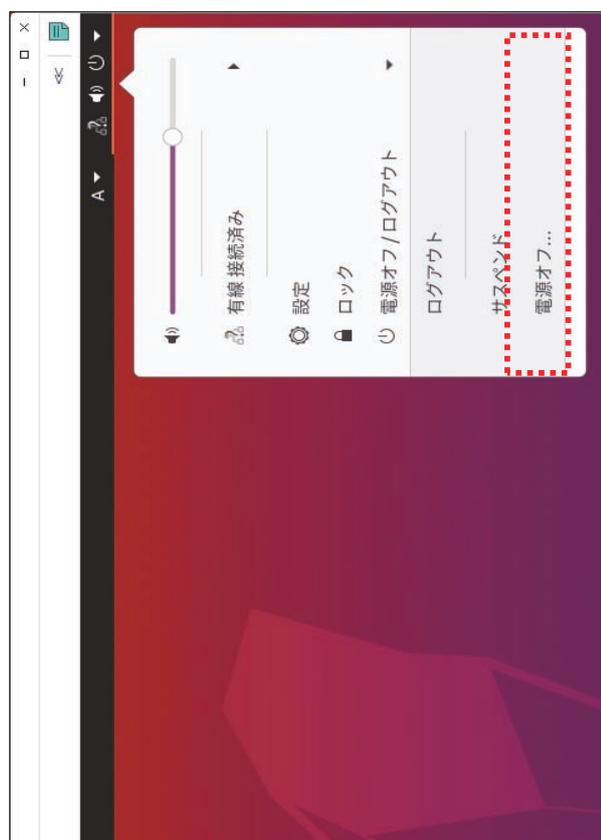
② 「電源オフ/ログアウト」をクリックする



-6-6-

シミュレータのシャットダウン

③ 「電源オフ...」をクリックする



-6-7-

シミュレータのシャットダウン

- ④ 「電源オフ」をクリックする



※画面上部に表示されるツールバーの「X」は絶対に使用しないこと。

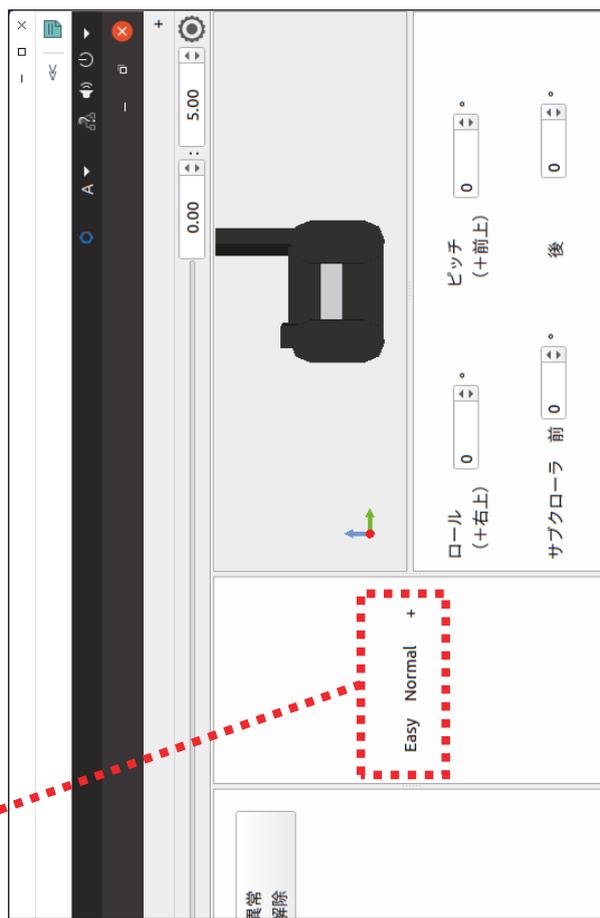


-6-8-

実際の操作画面にはない、モード切替

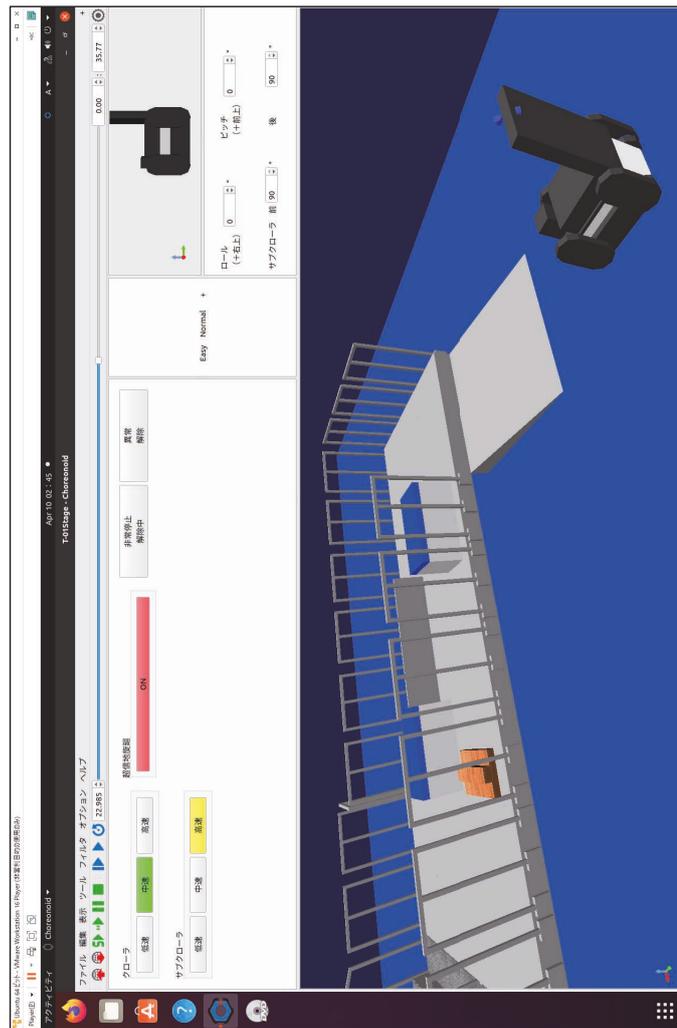
操作画面の切替

- ◆ Easy (初心者モード)
- ◆ Normal (通常モード)



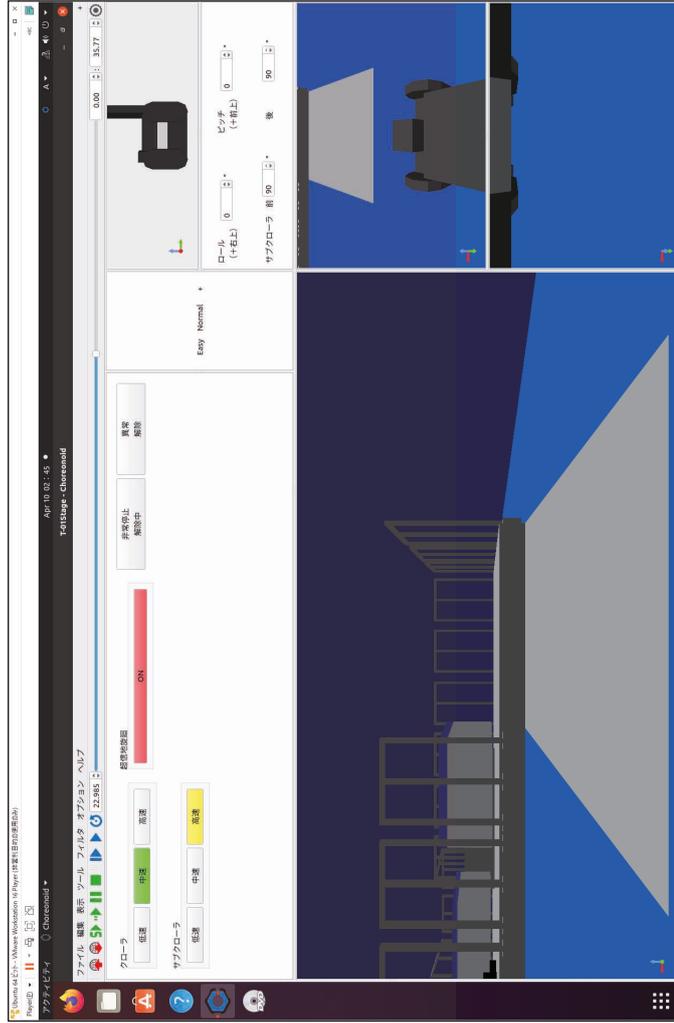
実際の操作画面にはない、モード切替

- ◆ Easy（初心者モード）：画像の見え方の調整が可能



実際の操作画面にはない、モード切替

◆ Normal (通常モード) : 実際のブラインド操作

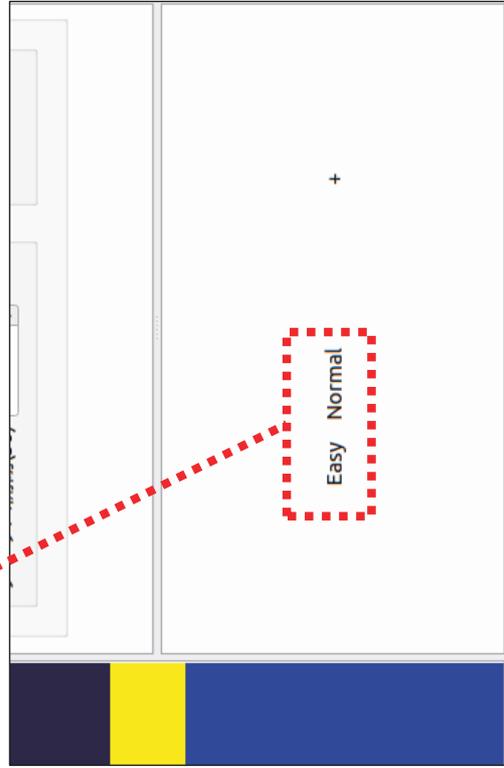


-8-3-

実際の操作画面にはない、モード切替

操作画面の切替

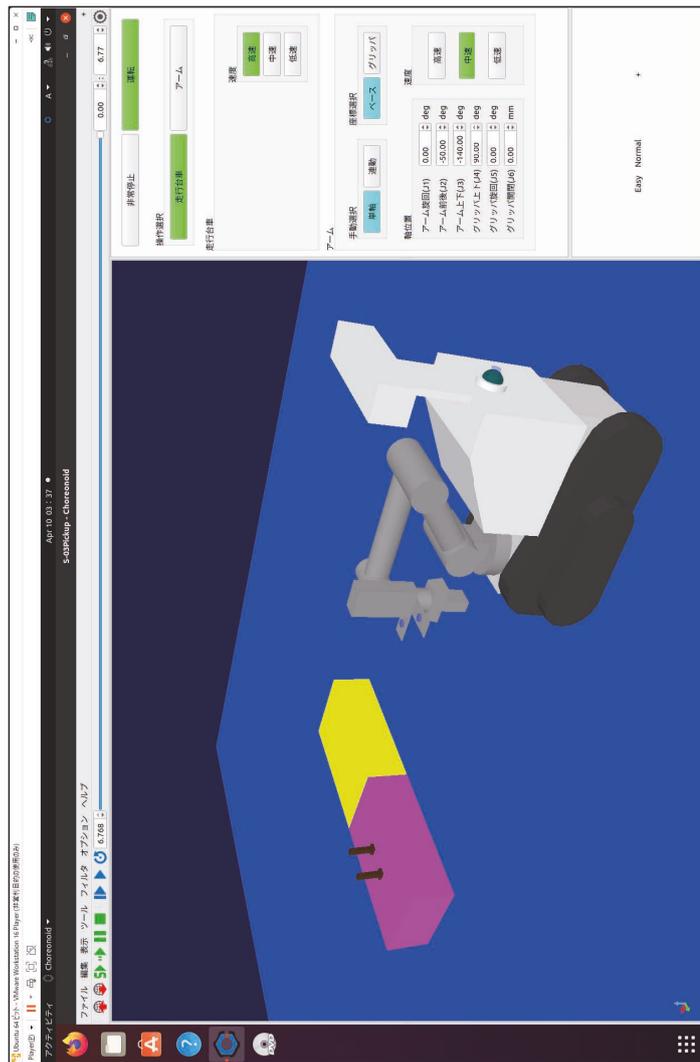
- ◆ Easy (初心者モード)
- ◆ Normal (通常モード)



-14-1-

実際の操作画面にはない、モード切替

- ◆ Easy（初心者モード）：画像の見え方の調整が可能



-14-2-

This is a blank page.

