

除雪作業等の人材不足の解消および安全作業の促進を目的とした メタバースプロジェクト「JAMP」の紹介

酒井龍之介*1*3 高橋憲吾*2 佐野昌伴*3 山下和海*3 北條理恵子*2
阿部雅二郎*2 穴田啓樹*4 田島達人*5 寺島伸介*6 中岡正博*7 福川秀典*7
森田智恵*4 清水尚憲*8 三好孝典*2

1. 背景

近年、生産年齢人口の減少や、地方の過疎化（少子高齢化の進展）といった問題が深刻化している [1]。文部科学省では、これらの課題について、様々なステークホルダーとの連携・協働により、社会変革や地域の課題解決を主導していく国立大学に対して支援を行っている [2]。

長岡技術科学大学および豊橋技術科学大学（以下、両技科大と呼ぶ）は、令和4年に「地域」や「特定分野」の中核として強み・特色のある教育研究活動に取り組む国立大学法人」として、国立大学経営改革推進事業に採択された [3]。

両技科大では、大学経営改革推進事業に対する構想として「メタバース¹の活用と技科大リソースマネジメントによる研究教育システムの価値向上と財政基盤の拡大」に取り組んでいる [4]。

こうした背景から、両技科大ではリアルとバーチャルがシームレスに融合した世界最大級のテック系コミュニティ「テックメタバース」を構築し、各種コンテンツを一般公開している [5]。

それらの取り組みの中で、長岡技術科学大学では、システム安全工学関係の教員および大学院学生からなるメンバを中心に、長岡技術科学大学が位置する地域ならではの課題として、「除雪作業」における人材不足や労働災害の予防と [6]、建設業における労働災害のうち、死亡災害の約18%を占める足場からの墜落・転落災害の予防 [7]を目的とした取り組み「除雪足場メタバースプロジェクト」（通称 JAMP : Josetsu Ashiba Metaverse Project）を展開している

(<https://jamp.nagaokaut.ac.jp/>) (図 1.1)。

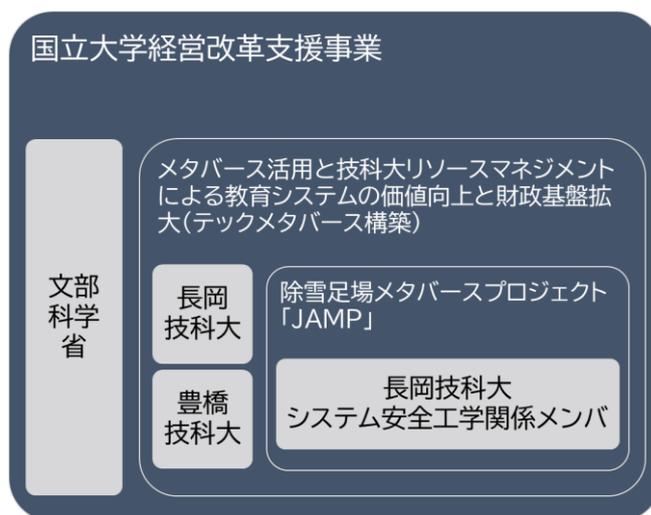


図 1.1 本プロジェクトの位置づけ

2. 従来の研究と JAMP の位置づけ

これまで、除雪作業を支援するメタバースの取り組みとして、夏冬の点群モデルの重畳をすることで、除雪重機（バックホウ）の操作シミュレーションに活用する取り組み [8]や、除雪車（除雪トラック）オペレーターの効率的且つ早期のスキル習得に資する除雪車シミュレータの開発 [9], [10]などがあった。

しかし、これらの取り組みは、除雪機械の運転操作の習熟のみを目的としており、作業開始前点検から運転操作までを取り扱うプロジェクトはなかった。

本プロジェクトでは、作業開始前の点検から、運転操作の体験までを1つのプロジェクトで取り扱い、作業員にとって安全な除雪作業の実現を目指す。

*1 長岡技術科学大学 大学院 工学研究科 修士課程 工学専攻 システム安全工学分野

*2 長岡技術科学大学 技学研究院 システム安全系

*3 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所, *4 株式会社アトリエ

*5 株式会社 LiNK オフィス, *6 寺島労働安全コンサルタント事務所, *7 株式会社ポケット・クエリーズ,

*8 ジー・オー・ピー株式会社

¹ メタバースは「コンピュータによって生成された環境やほかのユーザとのインタラクションが可能なバーチャルリアリティ空間」を指す [18], [19]. 32.

3. JAMP の目的とねらい

JAMP の目的は、「プラットフォーム上でのゲームやバーチャルでの安全学習体験を通じて、除雪作業や足場建設に関する知識と安全を楽しく学び体験し、社会変革や地域の課題解決を皆さんとともに目指す」ことである。

本稿では、JAMP の取り組みのうち、ロータリ除雪車の作業体験ゲーム、ロータリ除雪車の始業点検のための 3D 教育ツール [11]、AR 作業前点検支援ツールについて紹介する。

それぞれの取り組みには、3つのねらいがある(図 3.1)。



図 3.1 JAMP のコンテンツと狙い

3.1. ロータリ除雪車の作業体験ゲーム

ロータリ除雪車による除雪作業ゲームは、除雪作業を知らない人に対し、ゲームを通じて除雪作業に興味をもってもらおうことを目的として制作した。

ゲームをきっかけとして除雪作業に興味をもってもらい、将来的には、除雪作業や建設業、建設機械に関連する業界への人材の流入を目指す。

3.2. ロータリ除雪車の始業点検のための 3D 教育ツール

本ツールは、「除雪機械安全施工技術講習会」等の講習会後に、受講者が除雪機械の始業時点検項目について、おさらいを行うことを目的として作成した。

除雪機械安全技術講習会等の講習会において実機を用意し、受講者に実機を触っていただくことは難しい。

そこで、仮想空間上にロータリ除雪車のモデルを構築し、作業開始前点検を模擬した操作を行うことで、実機がなくても点検項目の学習ができることを目指す。

3.3. AR 始業時点検支援ツール「Rot[AR]y」の開発

AR を用いたロータリ除雪車のための始業前点検支援ツール「Rot[AR]y」(読み:ロータリ)は、除雪作業および、除雪機械の始業時点検に不慣れな作業員(オペレータ)に対し、作業装置の名前と、点検すべき項目の情報提供を行うことを目的とした。情報提供を行うことで、点検の抜け・漏れの低減が期待される。

4. ロータリ除雪車の作業体験ゲーム

4.1. 概要

ロータリ除雪車の作業体験ゲームは、web ブラウザで遊ぶことができる簡易型のシミュレータである。

ゲームはサーバ上 (<https://nagaokaut.pq-projects.net/>) に保存されており、PC とインターネット環境があれば誰でもプレイすることが可能である。

プレイにはユーザ名とパスワードを登録する必要があるが、これはバーチャル空間上におけるユーザ(作業員)同士のインタラクション(プレイ時間やスコアを競い合う)を生み出すための仕組みである。また、プレイヤーは、属性として、社会人か学生かを選択して登録する。

ユーザ(作業員)には、ゲーム開始時点で、10 ポイントの持ち点と 5 分の作業時間が与えられており、コースアウトや速度超過などにより持ち点が減点される仕組みである。

ユーザ(作業員)は、キーボード操作により、ロータリ除雪車の走行(前進/後退)および方向転換(前後左右)が可能であり、仮想空間内に表示されたガイドラインに沿ってロータリ除雪車を走行させる(図 4.1)。

ガイドラインは縁石を想定しており、ロータリ除雪車がガイドラインに接触したり、ガイドラインを乗り越えたりすると、コースアウトとしてポイントが減点される(図 4.2)。また、コース上の直線ルートごとに制限速度が設定され、前進を続けることによる加速でロータリ除雪車の速度が制限速度を越えることでもポイントが減点される。

ユーザ(作業員)は、持ち点である 10 ポイントを使いきるとゲームオーバーとなり(図 4.3)、ポイントを残したまま作業を終えることができるとステージクリアとなる(図 4.4)。

ステージをクリアすると、次のステージにトライすることができ、全てのステージをクリアすると、ゲームクリアとなる。



図 4.1 プレイ画面

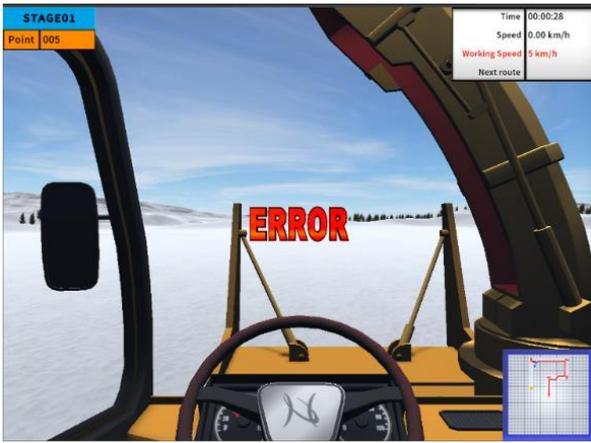


図 4.2 エラー画面（コースアウト）

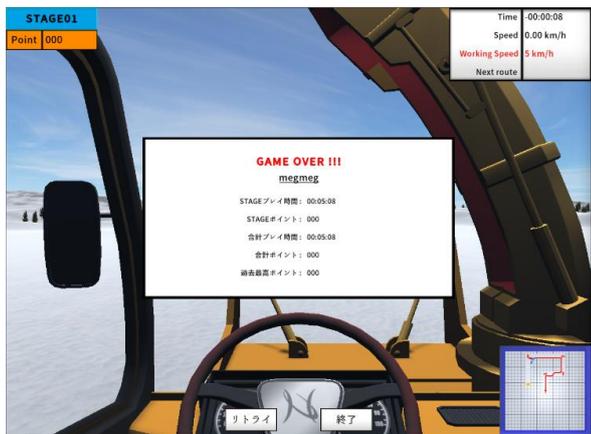


図 4.3 ゲームオーバー画面（作業時間超過）



図 4.4 クリア画面

4.2. 展示

本ゲームは、2024年9月14日に長岡技術科学大学の大学祭にて展示を行い、161名のブース来訪者にプレイをしていただいた。特に親子連れ(小学生程度の子供)に好評であったことから、当初目標の「ゲームを通じて除雪作業に興味をもたせる」一定の効果はあるものと推測できる。なお、本ゲームは、2024年11月13日から15日まで開催の「緑十字展」にて、長岡技術科学大学および「JAMP」ブースにて展示する予定である。

5. ロータリ除雪車の始業点検のための 3D 教育ツール

5.1. 概要

本ツールは、仮想空間上にロータリ除雪車の3Dモデルを作成し、そのロータリ除雪車の作業装置や走行装置などの部位をクリックすることで、作業装置の名称と始業時点検にて着目すべき内容が表示される(図 5.1)。

各作業装置の名称と始業時点検で着目すべき内容は、社団法人日本建設機械協会北陸支部(現・一般社団法人日本建設機械施工協会北陸支部)が昭和53年に発行した除雪機械点検要項を参照した[12]。

なお、仮想空間上のロータリ除雪車のモデルは、Luma AI社製「Luma AI:3D Capture」を使用し、長岡市保有のHTR308をスキャンすることにより制作した。

本ツールは、Windows PC用にビルドされており、使用に際しては特別な機材を必要としないことから、事業所が保有するPCにインストールすることが可能であるため、講習会で学習した内容の復習に役立てやすいと考える。



図 5.1 プレイ画面

5.2. 展望

今後は、座学と併用し、本ツールを活用した場合の効果を検証していく必要があると考える。

また、現在実装されている点検項目は、オーガ、プロワ、チェーンケース、前照灯など、外観から見える部分だけであるため、運転室の中やエンジンルーム、車両の下などの詳細な部分についてもコンテンツを追加していく。

将来的には、スマートフォンおよびタブレット端末への展開、webコンテンツ化を検討し、より多くのユーザー(作業員)が活用できるように開発を進める。

6. AR 始業時点検支援ツール「Rot[AR]y」の開発

6.1. 概要

ゲームエンジンである Unity (Version 2021.3.29f1 Personal) をプラットフォームとして、AR を活用した始業時点検支援ツール「Rot[AR]y」(名称：ロータリ)を開発した。

Rot[AR]y は、Android OS を搭載したスマートフォンにインストールが可能な AR アプリケーションである。

Rot[AR]y は、ロータリ除雪車の「オーガ」、「ブロワ」、「シュート」の3つの作業装置付近に貼り付けたマーカを読み取ることで、現実の作業装置の様子と仮想(アプリケーション上)の点検項目を重ね合わせて表示し、作業者に情報提供を行う(図 6.1)。

なお、マーカと AR コンテンツの紐づけや、デバイスのカメラの制御には、Unity AR Foundation (Version 4.2.10) パッケージを使用した。

制作したマーカを図 6.2, ロータリ除雪車に貼り付けた状況を図 6.3 に示す。なお、現実世界におけるマーカの寸法は 100 mm×100 mm である。

文字表示の内容を以下に示す(図 4.7)。

各作業装置の名称および機能は、「除雪機械用語集」から引用した [13]。

点検項目は【mission】として表示しており、鍵が手元にある状態はエンジンが停止した状態であるという仮定のもとに、「鍵を拾って、以下を見つけてください」という文言を表示するようにした。

始業時の点検項目としてはチップ摩耗、変形、損傷、油漏れを表示するようにしており、これは「道路除雪施工の手引」より引用した [14]。



図 6.2 AR マーカの例 (オーガ)



図 6.3 AR マーカをロータリ除雪車に貼り付けた例

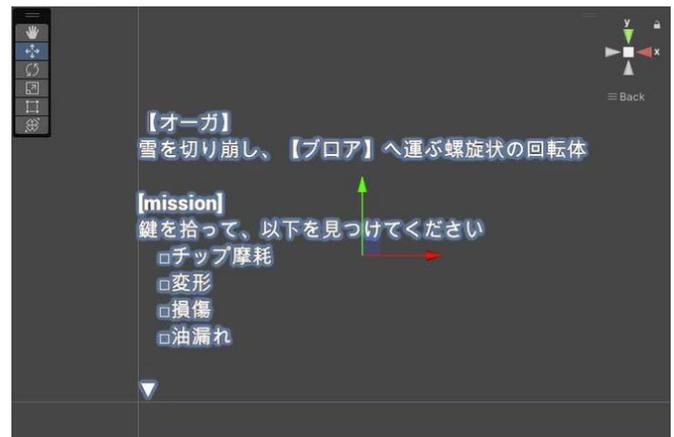


図 6.4 文字表示の内容

6.2. 結果

Rot[AR]y をアンドロイド向けにビルドし、実行した結果を図 6.5 に示す。図 6.5 は、スマートフォンのスクリーンショットであり、マーカに紐づけた文字表示内容がマーカに対して垂直方向に表示されている。



図 6.5 作業装置名と始業時点検項目の表示例

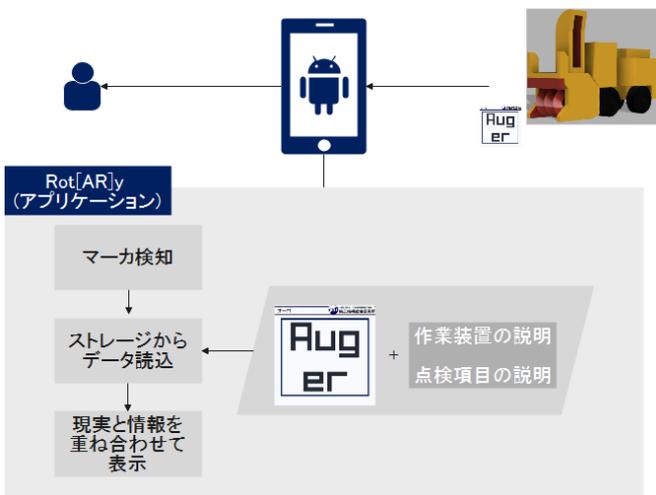


図 6.1 Rot[AR]y の概要

6.3. 展望

始業時点検は除雪機械の格納庫（特定の場所）にて行われると考えられること、除雪機械に貼付したマークは作業中に損耗し、読み取りができなくなることが懸念されるため、今後はマーカレス化、あるいはメーカーが除雪機械に貼り付けを行う安全標識をマークとして活用したARの検討を行う[15]。安全標識をARマークとして活用した場合は、マーク同士が類似するおそれがあることから、Rot[AR]yで使用したパッケージがどの程度安全標識を識別可能であるかを検証する必要があるほか、地面から垂直の面に貼り付けたマークに対して平行に（地面と垂直になるように）情報表示を行うように改良する。

また、本アプリケーションは情報提供を行うのみであり、メタバースの定義である「ほかのユーザとのインタラクションが可能なバーチャルリアリティ空間」には該当しない。今後は、熟練ユーザと非熟練ユーザとのインタラクションが可能となるようなweb AR化を検討していく必要がある。

将来的には、現場でこのツールを使用した際の始業前点検の漏れや、取扱説明書と比較した点検作業のしやすさ、ARコンテンツの視認性などを評価する必要がある。

7. 結言

本稿では、長岡技術科学大学のシステム安全工学関係メンバが主体となって取り組んでいる、除雪や足場の人材不足への対応や、安全な作業の実現を目的としたプロジェクト「JAMP」における3つの取り組みについて紹介した。

これらの取り組みは、開発の初期段階ではあるが、いずれも効果の検証や、ブラッシュアップを行うことで、除雪作業の現場の課題解決につながるものと期待できる。

8. 謝辞

本取り組みにあたり、各種資料をご提供くださった一般社団法人日本建設機械施工協会 北陸支部の穂苅様をはじめ、ロータリ除雪車についての基礎知識および作業前点検情報の効果的な伝達について示唆をくださった株式会社新潟トランスの白樫様、佐々木様、大学構内の除雪作業に際して作業上の留意点などをご教授くださった株式会社吉茂造園の久住様、土木学会の文献の情報提供をくださった北澤様、ならびにご支援や意見交換をいただいた多くの皆様に感謝申し上げます。

9. 参考文献

1. **総務省**. 情報通信白書. 一. 一 : 総務省, 2022.
2. **文部科学省**. 令和4年度 国立大学改革・研究基盤強化推進補助金. 文部科学省ホームページ. (オンライン) 2022年11月07日. https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/houjin/mext_01904.html.
3. -. 令和4年度国立大学改革・研究基盤強化推進補助金(国立大学経営改革推進事業)採択一覧. (オンライン) 2022年11月07日. (引用日: 2024年10月02日.) https://www.mext.go.jp/content/20221107-mxt_hojinka-000022956_2.pdf.
4. **国立大学法人長岡技術科学大学**. メタバースの活用と技科大リソースマネジメントによる研究教育システムの価値向上と財政基盤の拡大. (オンライン) 2022年. (引用日: 2024年10月02日.) <https://tech-meta.nagaokaut.ac.jp/>.
5. **国立大学法人 長岡技術科学大学, 国立大学法人 豊橋技術科学大学, 独立行政法人 国立高等専門学校機構**. テックメタバースポータル. (オンライン) 2022年. (引用日: 2024年10月02日.) <https://vr.tut.ac.jp/>.
6. **一般社団法人日本建設機械施工協会 北陸支部 氷雪部会**. 道路除雪オペレータ実態調査報告. 新潟市 : 一般社団法人日本建設機械施工協会 北陸支部 氷雪部会, 令和5年.
7. **厚生労働省**. 足場からの墜落・転落災害防止総合対策推進要綱. 千代田区 : 厚生労働省, 2015.
8. **船越 天彩、須田 清隆、柳瀬ひろし、Vu Hoang Cuongjevica, jevica**. 除雪作業を支援するメタバースモデル化の検討. 新宿区 : 土木学会, 2024.
9. **西部美鈴、濱口隆成**. 除雪車オペレーターの効率的且つ早期のスキル習得に資する除雪車シミュレータの開発. 新潟市 : 北陸地方整備局, 2022.
10. **中田京之介**. DXによる除雪トラックシミュレータの製作とその活用. 新潟市 : 北陸技術事務所, 2024.
11. **高橋憲吾**. ロータリ除雪車の始業点検のための3D教育ツールの基盤開発. 新潟市 : 国土交通省北陸地方整備局, 2024. 一.
12. **社団法人日本建設機械化協会 北陸支部**. 除雪機械点検要項. 新潟市 : 社団法人日本建設機械化協会 北陸支部, 1978. 一.
13. **一般社団法人日本建設機械施工協会 機械部会 除雪機械技術委員会**. 除雪機械技術委員会. (オンライン) 一年一月一日. (引用日: 2024年10月2日.)

https://jcmanet.or.jp/kikaibukai/jyosetsu/pdf/yougo_a.pdf.

14. **一般社団法人日本建設機械施工協会 北陸支部**. 道路除雪施工の手引. 第17版. 新潟市 : 一般社団法人日本建設機械施工協会 北陸支部, 2023.
15. **経済産業大臣**. JIS Z 9101:2018 (ISO 3864-1:2011) 図記号-安全色及び安全標識 - 安全標識及び安全マーキングのデザイン通則. 千代田区 : 日本産業標準調査会 (JISC), 2018年.
16. **福田智弘**. 1日で学べる XR とメタバース (表現技術検定 公式ガイドブック XR-メタバース 表現技術検定認定). 初版. 港区 : フォーラムエイト・パブリッシング, 2024.
17. **Robin Rombach, Andreas Blattmann, Dominik Lorenz, Patrick Esser, Björn Ommer**. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models. (オンライン) 2022年4月13日. (引用日: 2024年10月02日.)
<https://arxiv.org/abs/2112.10752>.
18. **厚生労働省**. 労働安全衛生規則 (昭和四十七年労働省令第三十二号). 千代田区 : 厚生労働省, 2024年.
19. -. 労働安全衛生法 (昭和四十七年法律第五十七号). 千代田区 : 厚生労働省, 昭和四十七年 (令和4年6月17日施行) 年.
20. -. 労働安全衛生法施行令 (昭和四十七年政令第三百十八号). 千代田区 : 厚生労働省, 昭和四十七年 (令和6年4月1日施行) 年.
21. **一般社団法人日本機械工業連合会 (JMF)**. JIS B 9700:2013 (ISO 12100:2010) 機械類の安全性-設計のための一般原則-リスクアセスメント及びリスク低減. 千代田区 : 厚生労働大臣及び経済産業大臣, 2013年.
22. **国土交通省**. (参考資料) 豪雪地帯の現状. 千代田区 : 国土交通省, 平成26年年.
23. **菅野裕, 山岸義彦**. 使用者における取扱説明書実態調査. 板橋区 : 一般社団法人PL研究学会, 2020.