

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

高橋憲吾*1, 酒井龍之介*2*3,
三好孝典*1, 佐野昌伴*3, 山下和海*3, 北條理恵子*1, 阿部雅二郎*1

1. はじめに

国土の約6割が積雪寒冷地域⁽¹⁾となる日本では、降雪地域の道路交通の確保のために機械による除雪作業が必要不可欠である。除雪機械が故障した場合、修理中は除雪作業ができず円滑な道路交通の確保に影響を及ぼす。除雪機械が故障した事例として、道路の拡幅除雪の作業を終え現場から戻る途中だったロータリ除雪車のタイヤが脱輪した事故がある。タイヤを固定するためのボルトが劣化により破断し、タイヤが脱輪したと推察され、タイヤのつけ直し作業に約5時間を要し、周辺道路に一時的に渋滞が生じた⁽²⁾。この事例では、外れたタイヤによる人的被害はなかったが、万一步行者等にタイヤが衝突した場合、重大な人身事故になっていた可能性がある。また、道幅の狭い道路上での修理作業は、走行車両と作業員の距離が近く、接触可能性が高かったと考えられる。このように、道路上での除雪機械の故障は、道路交通に支障をきたすだけでなく、修理対応に当たる作業者を危険にさらすことにつながる。

安全かつ効率的な除雪作業を実施するためには、降雪期間中に除雪機械を常に良好な状態に維持しておくことが望まれる。そのためには、日々の除雪作業における点検および整備が重要となる。図1は、除雪作業の一日の施工フローの例⁽³⁾を示す。図に示すように、朝礼・KY活動後に始業点検、出動前に作業前点検、作業終了後に機械点検・整備を実施することが求められている。始業点検には、法定点検項目のほか、除雪車メーカーの取扱説明書等に記載の点検項目もあり、除雪車によっては20以上の点検項目がある。除雪車の取扱いに慣れていないオペレータや点検整備を担当する除雪作業従事者にとっては、全ての点検項目における点検箇所および内容を把握するのは簡単ではない。そこで始業点検における点検箇所および内容を学習することができる教育ツールがその一助になると考えた。

本研究では、除雪車の取扱いに慣れていない除雪作業従事者が始業点検における点検箇所および内容を学習するための3D教育ツールの基盤開発を目的とする。本発

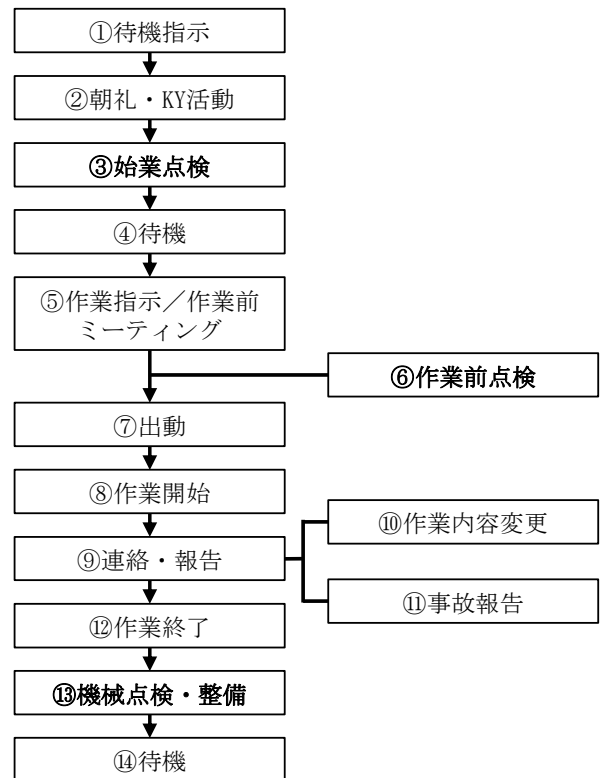


図1 施工フローの一例⁽³⁾

表では、ロータリ除雪車の始業点検を対象に開発した3D教育ツールの概要について述べる。なお本研究は、長岡技術科学大学の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展開している、「除雪作業」と「足場の組立等の作業」の安全化に資する教育コンテンツの開発と普及を目的としたプロジェクト「除雪足場メタバースプロジェクト（通称 JAMP: Josetsu Ashiba Metaverse Project）」^{(4),(5),(6)}にて実施された。

2. ロータリ除雪車および点検項目の概要

ロータリ除雪車は、オーガと称するリボンスクリュー型の雪を中央に掻き集める機構と、掻き集めた雪を投雪するブロウおよび投雪方向を調整するシュート機構により構成される除雪装置を車体前方に備えた機械である⁽³⁾。

*1 長岡技術科学大学 工学研究院 システム安全系

*2 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

*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

多雪地域において道路脇にある雪を飛ばして走行車線の幅を広げる拡幅除雪や、雪をダンプトラックに積み込んで排出する運搬排雪の作業に用いられる。本研究において開発する 3D 教育ツールでは、運搬排雪から山間部や市街地の拡幅除雪まで幅広い除雪作業に用いられる最大除雪量 3,100 トン／時の HTR308⁽⁷⁾を対象とした。

3D教育ツールの始業点検項目の設定にあたり、社団法人日本建設機械化協会北陸支部（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⁽⁸⁾を参照した。この要項は、除雪作業の機械化が進んでいた当時、除雪機械の取扱いおよび保全面で不十分な点があることを踏まえ、現場において実施可能な始業点検、定期点検および取扱い上の注意点を明示し、除雪作業現場にこれらが浸透することを目的に作成された。本研究では、同要項に掲載のロータリ除雪車において、最大除雪量が同程度であるHTR200を参考に、始業点検項目を設定した。

表1に、除雪機械点検要項におけるHTR200の始業点検項目の一覧を示す。なお表の右列に○印のある項目は、3D教育ツールにおいて設定した点検項目である。3章にて詳述するように、ロータリ除雪車の3D画像上において確認可能な点検項目を設定した。

3. 3D教育ツールの開発

3.1 概要

本研究では、冬季以外の期間のように実機ロータリ除雪車を確認することが難しい場合においても、除雪作業従事者がロータリ除雪車の始業点検の箇所と名称、点検内容の概要を学習できる教育ツールを要求定義とした。これを実現するため、パソコン上でロータリ除雪車の3D画像を表示させ、始業点検における点検箇所をクリックすることで、点検内容を表示させるシステムを要件定義とした。次節では、システムの主要機能である3D画像の表示方法と、クリックによる点検内容の表示方法の概要について述べる。

3.2 ロータリ除雪車の3D画像表示

3D 教育ツールの開発にあたり、2D および 3D ゲームやシミュレータ、各種アプリ開発に用いられる Unity（バージョン 2022.3.39f1）⁽⁹⁾をプラットフォームとした。実機ロータリ除雪車を Luma AI アプリ⁽¹⁰⁾の Scene キャプチャーモードで撮影し、ロータリ除雪車の 3D 画像を作成した。撮影機材は iPhone 15 Pro である。作成した 3D 画像を Unity に取り込み、撮影時の背景や不要な部分を削除した。なお、Unity 上で Luma AI で作成した 3D 画像を取扱ためのコード⁽¹¹⁾を導入した。

3.3 点検内容の表示方法

点検箇所をクリックされた時に点検内容を表示させるため、光線を飛ばす機能である Raycast と、衝突を検知する要素である Collider を使用した。画面上のクリックした位置から画面の垂直奥行方向に光線を飛ばし、この光線が表 1 にて○印で示す各点検箇所に配置した

表1 点検項目一覧

除雪機械点検要項 ⁽⁸⁾			3D 教育ツール 対応
No.	点検箇所	状態	
1	オーガ・ブローア	亀裂, 損傷	○
2	カッチングエッジ (ボルト)	ゆるみ, 摩耗	
3	シュー (そり)	摩耗	
4	シュート	亀裂	○
5	チェーン伝動機	油もれ, 油量	○
6	オーガ減速機	油もれ, 油量	
7	ブローア減速機	油もれ, 油量	
8	デファレンシャル ケース	油もれ	
9	タイヤ	空気圧, 損傷	○
	タイヤチェーン	ゆるみ, 摩耗	
10	動力分配器	油もれ, 油量	
11	エンジン	油もれ, 油量	○
12	ラジエータ	油もれ, 水量	○
13	ファンベルト	ゆるみ, 摩耗	
14	油圧系統	油もれ, 油量	
15	ステアリング機構	重さ, ガタ, 遊び, 油もれ	
16	クラッチ系統	踏み代, 機能	
17	主ブレーキ	踏み代, きき具合, 液量	
18	駐車ブレーキ	引き代	
19	ヒータ, クラクション, ワイパー, 計器類	機能	○ (ヒータ, ワイパー のみ)
20	各種灯具関係	機能	○

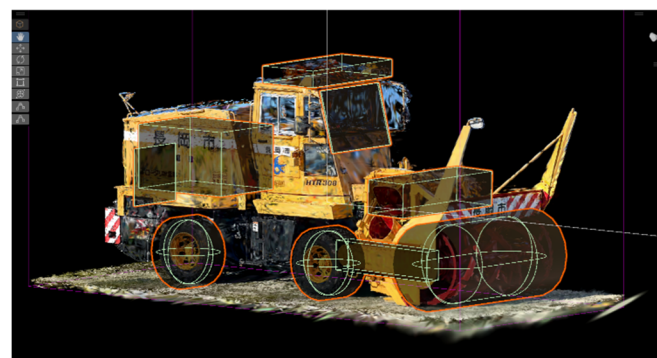


図2 3D画像上のColliderの形状および配置

Collider に光線が衝突した場合に、対応する点検箇所の名称と内容が画面左下に表示されるようにした。

図 2 に、Collider の形状および配置を示す。ロータリ除雪車の 3D 画像上において確認可能な点検箇所に Collider を配置した。オーガおよびタイヤについては、カプセル形状の Capsule Collider を円筒形状に変形させて配置した。シュート、チェーン伝動機、エンジン、ラジエータ、ヒータ・ワイパー、および各種灯具類については、箱型形状の Box Collider をそれぞれの形状に調整して配置した。なお、ヒータ・ワイパーおよびラジエータは、Box Collider の厚さを薄くし、ロータリ除雪車を側面から見た画面上では光線が当たりにくいようにした。これは 4 章で詳述するように、学習者が視点を回転させ、点検箇所を確認した上でクリックさせるためである。

4. ロータリ除雪車の始業点検のための 3D 教育ツール

図 3 に 3D 教育ツールのプレイ画面を示す。各画面の内容について以下に述べる。

(1) タイトル画面

図 3(a) はタイトル画面を示す。ロータリ除雪車の全体が見えるよう、除雪車の周囲を周るように視点を回転させた。画面下部の「Start」をクリックすると、始業点検画面に移動する。



(a) タイトル画面

(2) 始業点検画面

図 3(b) および (c) は始業点検画面を示す。タイトル画面から移動すると、まずロータリ除雪車を右側から見た 3D 画像が表示される (図 3(b))。学習者は始業点検する箇所にマウスカーソルを合わせてクリックしていく。表 1 にて○印が記載された点検項目箇所をクリックすると、画面左下に、点検箇所の名称と点検内容の概要が表示される。左右の矢印ボタンをクリックすると、ロータリ除雪車を中心に視点を回転させることができる。除雪車後部にあるラジエータをクリックする場合は除雪車を後方から見た画面 (図 3(c)) に、除雪車の運転席の前面窓に備わるヒータ・ワイパーをクリックする場合は除雪車を前方から見た画面にすると当該箇所をクリックしやすくなる。実際の始業点検では、ロータリ除雪車の周囲を歩いて各点検箇所を確認するため、本 3D 教育ツールにおいても点検箇所が見えるように視点を回転させてからクリックできるようにした。全ての始業点検箇所をクリックするか制限時間に達すると、リザルト画面に移動する。

(3) リザルト画面

図 3(d) はリザルト画面を示す。リザルト画面では、プレイ時間、総クリック数および各点検箇所のクリック数が表示される。なお総クリック数は視点を回転させる左右矢印をクリックした数は除いている。ロータリ除雪車



(b) 始業点検画面 (右側面)



(c) 始業点検画面 (後方)



(d) リザルト画面

図3 3D教育ツールのプレイ画面

の取扱いに慣れていない新人の除雪作業従事者の場合ではプレイ時間が長く、取扱いに慣れている熟練の除雪作業従事者ではプレイ時間は短くなると考えられる。また、新人の除雪作業従事者は点検箇所以外の部分のクリックや、点検箇所を複数回クリックするため総クリック数および各点検箇所のクリック数が多く、熟練の除雪作業従事者ではそれらは少ない傾向になると予想される。これらプレイ時間およびクリック数から、始業点検の習熟度を確認することができる。

5. おわりに

ロータリ除雪車の始業点検の項目および内容を学習するための3D教育ツールの基盤を開発し、その概要を述べた。

今後は点検項目の追加や、スマートフォン等を利用しWeb上から学習できるようにする等、本3D教育ツールを発展させる。また関連する各種展示会等で紹介し、本3D教育ツールを広く普及させていく。

謝 辞

本研究の実施に際し、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正昭氏、ロータリ除雪車についての基礎知識および作業前の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純氏および佐々木譲一氏、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吉茂造園株式会社の久住やよい氏、ロータリ除雪車の3D画像の撮影にご協力いただいた長岡市土木部交通管理課の関係者の皆様に御礼申し上げます。また本研究は、文部科学省国立大学経営改革推進事業「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」にて実施したことを示し謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省北陸雪害対策技術センター, 雪国 日本～世界有数の雪国ならではの知恵～, available from< https://www.hrr.mlit.go.jp/hokugi/yukinavi/pdf/archive/leaflet/t_02.pdf>, (参照日 2024年10月18日).
- (2) 北海道ニュースHUB, 道幅広げる作業を終えた除雪車「右前タイヤ 脱輪」一整備不良か「ボルト劣化し切断」つけ直しに5時間かかり渋滞 現場は札幌市幹線道路230号, available from< <https://www.uhb.jp/news/single.html?id=40364>>, (参照日 2024年10月18日).

- (3) 一般社団法人日本建設機械施工協会, 道路除雪施工の手引, 令和5年9月1日改訂版.
- (4) 長岡技術科学大学, 除雪足場メタバースプロジェクトHP, available from< <https://jamp.nagaokaut.ac.jp/>>, (参照日 2024年10月18日).
- (5) 三好孝典, 高橋憲吾, 福田仁史, 中岡正博, 佐々木宣彦, 穴田啓樹, 森田智恵, 寺島伸介, 田島達人, 清水尚憲, 阿部雅二郎, 北條理恵子, 足場組立作業におけるオンライン教材を用いた安全教育への取り組み, 安全工学シンポジウム2024講演論文.
- (6) 酒井龍之介, 高橋憲吾, 佐野昌伴, 山下和海, 北條理恵子, 阿部雅二郎, 穴田啓樹, 田島達人, 寺島伸介, 中岡正博, 福川秀典, 森田智恵, 清水尚憲, 三好孝典, 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, 第36回ゆきみらい研究発表会論文集 (掲載予定).
- (7) 株式会社日本除雪機製作所, HTR308製品カタログ, available from< <https://www.nichijo.jp/wordpress/wp-content/uploads/2015/12/HTR308-1.pdf>>, (参照日 2024年10月18日).
- (8) 社団法人日本建設機械化協会北陸支部 (現・一般社団法人日本建設機械施工協会北陸支部), 除雪機械点検要項, (1978), available from< <https://jcma-hokuriku.info/wp-content/uploads/2019/02/tenken.pdf>>, (参照日 2024年10月18日).
- (9) Unity, Ver.2022.3.39f1ダウンロードページ, available from< <https://unity.com/releases/editor/archive>>, (参照日 2024年10月18日).
- (10) Luma AI, Inc., Luma AI, available from< <https://lumalabs.ai/app>>, (参照日 2024年10月18日).
- (11) Aras Prancevičius, UnityGaussianSplatting, available from< <https://github.com/aras-p/UnityGaussianSplatting>>, (参照日 2024年10月18日).