

除雪ドーザのガイダンスシステムの開発と HUD 用 GUI の検討

山下 和海・酒井 龍之介

近年、除雪機械への適用が進められている作業装置の自動制御システムは、吹雪時の自車位置把握に有効であることが確認されているが、機材が高価で、除雪ドーザへの適用は進んでいない。

本稿では、除雪ドーザの実際の姿勢を画面上に反映可能なガイダンスシステムの開発と、ヘッドアップディスプレイ（HUD）を用いた表示手法を検討した。

ガイダンスシステムの開発では、6 軸加速度計による作業装置の姿勢と GNSS 測位に基づく自車位置情報の入力処理、周辺構造物の表示、接近警告などの動作確認を行った。

HUD の適用検討では、グラフィカルユーザインタフェースの配色案について、夜間及び昼間の環境にて比較評価し、改良の方向性を明らかにした。

キーワード：除雪、維持用機械、除雪ドーザ、アプリケーション、ガイダンス、ヘッドアップディスプレイ

1. はじめに

国土交通省では、2016 年 4 月より i-Construction（建設生産システム全体の生産性向上の取り組み）を行ってきた¹⁾。

筆者らは、それらの取り組みの一環である除雪機械の作業装置を自動で制御するシステムの開発^{2), 3)}の事業に参画してきた。

これまで国土交通省主導で開発を行ってきた ICT 除雪機械の自動制御システムは、ロータリ除雪車および小形除雪車、除雪トラック、除雪グレーダを対象としており⁴⁾、除雪ドーザを対象とした自動制御システムの開発はされていなかった。

また、システムを構成する機材が高価であるため、除雪ドーザを多く配備している地方自治体への普及には時間を要すると考えられる⁵⁾。

筆者らは、ICT 除雪機械の現場導入に携わる中で、除雪機械の自動制御システムの一部であるガイダンスシステム（地図上に自車位置を表示するシステム）が吹雪の状況下でオペレータが自車の位置を把握する際に役立つというコメントを多く耳にしたことから、高価な機材を用いた自動制御システムではなく、自己位置の表示のみを目的とした安価なガイダンスシステムの開発を行うこととした。

除雪ドーザ向けのガイダンスシステムの先行事例として、自己位置推定結果に基づき夏場の周辺画像を表示する技術⁶⁾や、3次元のベクトルデータを表示し、車

両と道路構造物の接近をオペレータに通知する技術^{7), 8)}などがあるが、いずれのアプリケーションも、実際の除雪ドーザの作業姿勢が、アプリケーション上に表示されたドーザのモデルに反映される仕組みに放っていないようである。除雪ドーザによる除雪作業では、作業姿勢によって、障害物と接触するかもしれないかが決まるため、作業装置の姿勢の把握が重要となる。

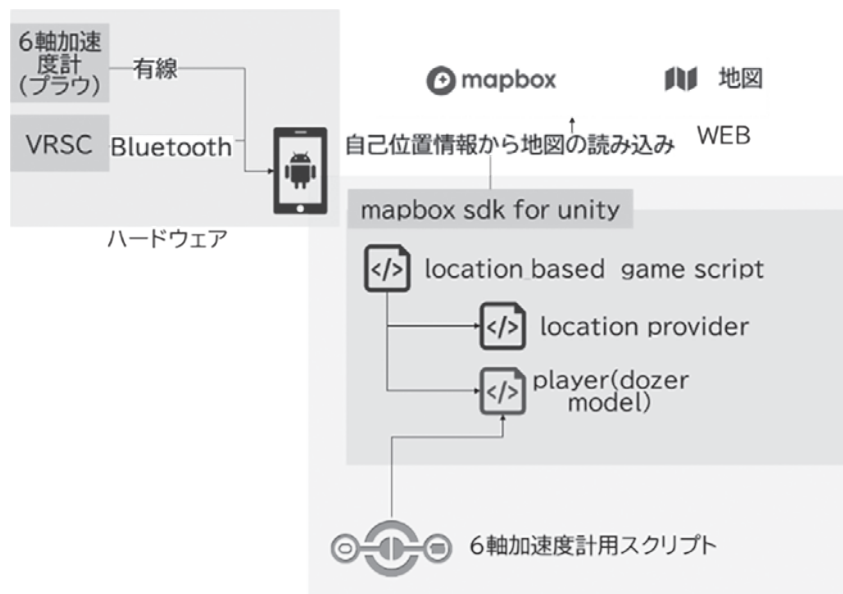
そこで、本検討では、安価な機材で除雪ドーザの自己位置と作業姿勢をオペレータに通知することのできるガイダンスシステムの開発と、ガイダンスシステム表示に対する HUD（ヘッドアップディスプレイ）の適用について検討した。

2. ガイダンスシステムの構成

本ガイダンスシステムは、除雪ドーザのブラウに取り付けた 6 軸加速度計から入力される姿勢情報と GNSS 受信機から入力される位置情報を Android 端末内にインストールしたアプリケーションにより処理することで、自己位置の表示とブラウ姿勢の表示を行う。

Android 端末にインストールするアプリケーションのプラットフォームは Unity (Editor Version 2021.1.24f1) を採用し、GNSS の自己位置推定に基づく自己位置周辺の地図表示には、Mapbox SDK for Unity (Mapbox 社) を活用した。

なお、6 軸加速度計から入力される姿勢情報の処理には Serail Port Utility Pro v2.81 (WIZAPPLY Co.,



図一 除雪ドーザ用ガイダンスシステムの構成概要

Ltd.) を使用した。

除雪ドーザ用ガイダンスシステムの構成概要を図一 1 に示す。

3. ドーザモデルとあたり判定

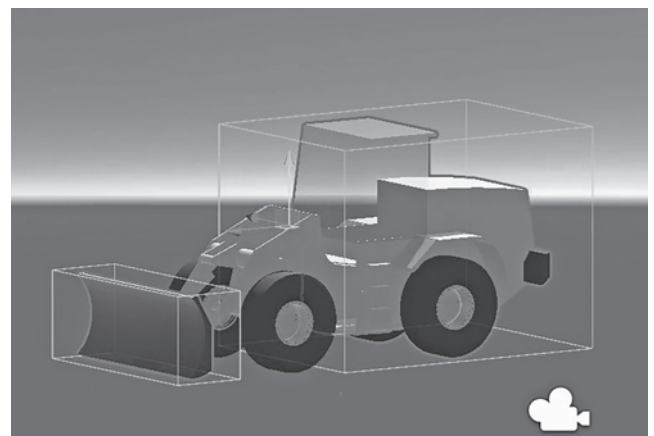
本アプリケーション内の除雪ドーザの三次元モデルの各部寸法は、8t級（CAT910）アングリングブラウを参考とした。

8t級を選択した理由は、国内3社が製作または販売している除雪ドーザの中で、共通して製作されている除雪ドーザのうち最も小さい仕様であり、APを選定した理由は、サイドスライドアングリングブラウやマルチアングリングブラウなどの他の仕様と比較して構造と動作が単純だと考えられるためである⁹⁾。

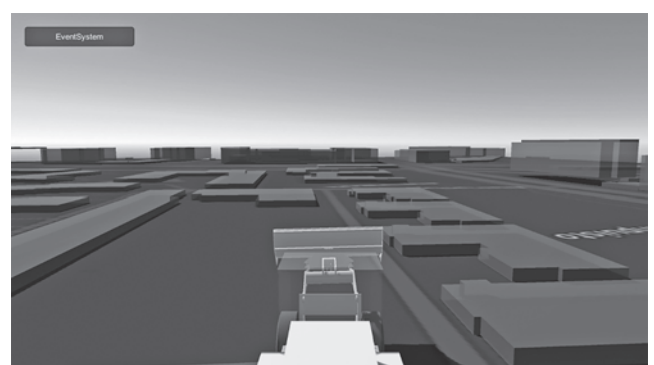
また、周辺の構造物と、除雪ドーザとの接触を推定するため、ソフトウェア内のドーザの3Dモデルに対して、あたり判定（Collider）を設定した。

除雪ドーザの接触事故の事例としては、ブラウが構造物に接触する事例¹⁰⁾や、雪を積み上げたあと、除雪ドーザが後退する際に車両後方が構造物や通行者に接触する事例¹¹⁾があるため、車体とブラウの2分割であたり判定を設定した（図一 2）。あたり判定は、除雪ドーザのモデルよりも前後、左右方向に0.5mずつ大きく設定した。

また、画面に表示する地図上の建物にも同様にあたり判定を設定し、除雪ドーザのモデルに設定されたあたり判定の範囲が、地図上の構造物のあたり判定に接触すると、警告音を吹鳴させる方式とした。



図二 Colliderの設定



図三 シミュレータ上での動作検証（6軸加速度計からの有力に基づき作業姿勢が変化）

なお、ガイダンスシステムは、Unityの再生モード（Unity Editor内で直接プロジェクトを実行することができる）にて、姿勢情報の入力処理および、自車の周辺構造物の表示、地図上の構造物との接近警告などの動作確認を行った（図一 3）。

4. ガイダンス画面表示手法の検討

除雪ドーザの運転室は、視界確保のために窓が大きくとられ、インストルメントパネルは最小化されている。ロータリ除雪車や除雪トラックでは10インチ程度の大型ディスプレイをダッシュボード上やインストルメントパネルに設置することが可能であるが、除雪ドーザにはメータパネルや視界を遮らずに設置できる場所がない。そこで、視界を遮らないガイダンス表示装置として、ヘッドアップディスプレイ（Head-Up Display, HUD）を検討した。

HUDは、運転席と対面するフロントガラスなどに虚像を投影し、運転者の視線や焦点を大きく移動させることなく、必要な情報を伝達することができる装置である。近年、完成車メカによる乗用車への標準搭載も進んでおり、車両速度や運転支援システムの通知表示、ナビゲーションの補助などとして使われる。

HUDは、液晶パネルなどに表示した映像をミラーによって透過性のある面に投影する仕組みである。フロントガラスに直接投影するダイレクトタイプと、コンバイナと呼ばれる小型の半透明パネルに表示するコンバイナタイプの2種類に分かれる。いずれのタイプでも、投影先が透明であることから、HUDの光源の明るさに限界があることから、グラフィカルユーザインタフェース（GUI）はコントラストの大きいデザインである必要がある。乗用車では、黒色背景に白色系の文字やアイコンを表示することが一般的である。また、投影する映像が運転手による路面などの認識を妨げないように、面的なオブジェクトを用いたGUIは避けられる。路面の視認性と、ガイダンス装置の機能性を両立するGUIデザインの基礎的な方向性を明らかにするため、除雪ドーザガイダンスGUI案を複数作成し、主観評価を行った。

(1) 除雪ドーザガイダンスGUI案の作成

本ガイダンスシステムは、表1に示す要素でGUIが構成され、表中①の配色（図4）である。これらの構成要素を満たしたうえで、要素の塗りつぶし色や縁取り色を変化させたGUI案を複数作成した（表中②～⑨、図5、6）。GUI案の配色はコントラストが大きくなるよう白色と黒色を基本とし、除雪作業中に接触の危険がある建物縁や走行時に目安となる道路端は、明度が高い白色とした。なお、表下のカラーコードはGUI案を液晶ディスプレイ上で表示した際の色を示しており、HUDに投影される色とは異なる。

表1 ガイダンスGUIの構成要素と配色パターン

要素	① (従来)	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
空	青緑	濃紺				黒			
地面	明灰	黒				濃紺			
道路	白	濃灰	明灰	濃灰	明灰	濃灰	明灰	濃灰	明灰
道路縁	青	白							
建物	濃灰	濃灰		明灰		濃灰		明灰	
建物縁	なし	白							
除雪 ドーザ モデル	黄／青／濃灰								

黒：#000000、濃紺：#44546A、濃灰：#262626、明灰：#F2F2F2、白：#FFFFFF



図4 GUI案①の配色

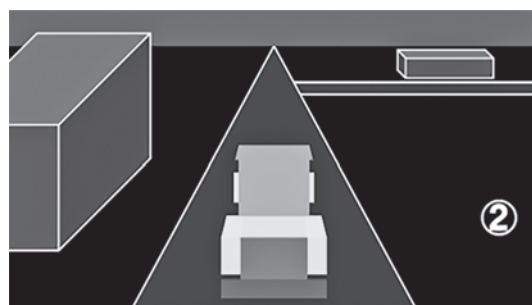


図5 GUI案②の配色



図6 GUI案⑨の配色

(2) 評価条件

評価対象は、HUDに表示されるGUIの視認性と、HUDを通した路面の視認性のふたつとした（表2）。評価は昼間と夜間に行い、それぞれの項目に対して、主観評価により表3に示す3段階で評価した。

表一 2 視認性評価項目

	評価項目	条件
HUD に 表示される GUI	羞明 ^a の少なさ	昼間
	道路端の視認性	昼間, 夜間
	建物位置の視認性	昼間, 夜間
	自己位置・方向の わかりやすさ	昼間, 夜間
HUD を通した路面	舗装路面の視認性	昼間, 夜間

a まぶしいこと。

表一 3 主観評価基準

評価	評価基準	点数
良	見やすい・わかりやすい	1
可	見える・わかる	2
不可	見えにくい・見えない・わからない	3



図一 7 検証機材と据付状況

(3) 評価方法

評価は、構内道路上に停車させたバン型車両のダッシュボードに、コンバイナタイプの HUD (HUDWAY CAST) を据え付けて実施した。タブレット端末に表示したガイダンス GUI 案をスクリーンミラーリング機能により HUD に伝送して表示し (図一 7)、太陽光や街灯光が評価者や HUD に直射して視認性が低下しないよう留意した。

(4) 評価結果

主観評価の結果を表一 4 に示す。また、一例として、GUI 案④のときの画面構成と検証風景を図一 8 に示す。

GUI ①は、白色や淡色の背景を多用していることから、昼間は外界の明るさと一体となり視認性が低く、夜間はコンバイナ全体が発光しているように見えるため、HUD を通した路面の視認性が低い結果となった。GUI 案②～⑨は、①と比較すると良い評価である。特に、④は地面や道路色が暗色で建物が明色のため、道路端部や建物縁のコントラストが大きく、視認性が高かった。一方で、面的な白色オブジェクトは光量が多いため透過せず、路面の視認性が低かった。特に夜間は強く発光して見えるため、オブジェクト境界がわかりにくくなった。また、GUI 案②～⑨は地面と空の

表一 4 主観評価結果

評価項目	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
羞明の少なさ	2	1	1	1	2	1	1	1	1
道路端視認性 (昼)	3	1	1	1	1	1	2	1	1
道路端視認性 (夜)	2	1	1	1	1	1	1	1	1
建物位置視認性 (昼)	3	2	2	1	1	2	2	1	1
建物位置視認性 (夜)	2	2	2	2	2	2	1	2	2
自己位置・方向の わかりやすさ (昼)	2	1	2	1	2	1	2	1	2
自己位置・方向の わかりやすさ (夜)	2	2	2	1	3	1	2	1	2
舗装路面の 視認性 (昼)	2	1	1	1	1	1	2	2	2
舗装路面の 視認性 (夜)	3	2	2	1	3	3	3	3	3
得点	21	13	14	10	16	13	16	13	15
得点 (昼)	12	6	7	5	7	6	9	6	7
得点 (夜)	9	7	7	5	9	7	7	7	8



図一 8 GUI 案④と検証状況 (昼)

表一 5 GUI 改良要素

改良項目	改良前	改良案
空の着色	あり	なし
建物の着色	白黒	黄 (#FFFF00), 黄緑 (#99FF33), シアン (#00FFFF), マゼンタ (#FF66FF), 薄橙 (#FFCC66), 桃 (#FF99CC), 薄青 (#66CCFF), 緑 (#33CC33)
建物端線色	白	マゼンタ, 黄緑, 灰 (#404040)
道路着色	なし	青グラデーション (基本色: #00FFFF, #33CCFF, #0000FF, #3366FF)

色を区別して作成したが、GUI 上の空はガイダンスに不要な情報であり、濃紺色であっても路面の視認性が低くなることから、地面と同色の黒色が望ましいと考えられる。

(5) GUI 改良

(4) より、白色系のオブジェクトに彩度をもたせる、空と地面の色を黒色に統一するなどの改良を施した GUI を検討した。改良要素は表一 5 に示す項目である。項目順に改良前と改良案を HUD に投影し、要素単体の視認性と路面の視認性の観点から比較した。

(6) 改良 GUI 評価結果

GUI 改良項目の評価結果を表一 6 に示す。建物の着色は、シアンやマゼンタなどの高彩度な色は、建物

表—6 評価結果

改良項目	改良前	改良案
空の着色	あり	なし
建物の着色	白黒	薄橙（#FFCC66）
建物端線色	白	白
道路着色	なし	青グラデーション（#33CCFF）



図—9 GUI 案⑳と検証状況（夜）

表—7 主観評価による比較

評価項目	②	④	⑥	⑧	⑳
まぶしさ ^b	1	1	1	1	1
道路端視認性（昼）	1	1	1	1	1
道路端視認性（夜）	1	1	1	1	2
建物位置視認性（昼）	2	1	2	1	1
建物位置視認性（夜）	2	2	2	2	1
自己位置・方向の わかりやすさ（昼）	1	1	1	1	1
自己位置・方向の わかりやすさ（夜）	2	1	1	1	3
舗装路面の視認性（昼）	1	1	1	2	1
舗装路面の視認性（夜）	2	1	3	3	2
得点	13	10	13	13	13
得点（昼）	6	5	6	6	5
得点（夜）	7	5	7	7	8

b まぶしさは、「まぶしい」ほど得点が高く（視認性が低いと評価）、「まぶしさを感じない」ほど得点を低く（視認性が高い）して評価した。

部が塗りつぶされて見えることから HUD を通した路面の視認性が低かった。彩度を落とした淡色では路面の視認性が高く、特に外部環境との区別がしやすい薄橙色を採用した。道路の着色は、カーナビゲーションシステムなどを参考にして青色のグラデーションを試行したところ、GUI 上の道路の視認性と路面の視認性がいずれも高かったことから、4 種類の基本色を比較して最も視認性が高い #33CCFF を基本色としたパターンを採用した。以上の結果を受けて作成した GUI 案⑳を図—9 に示す。

GUI 案⑳に対して、(2) と同様の主観評価を実施した。評価結果と (4) の比較を表—7 に示す。②～⑨と比較し、着色を変更した建物位置の視認性が向上した。また、空と地面の色を黒色同色にしたことから路面の視認性は高い状態を維持した。一方で、夜間の自己位置・方向はわかりにくかった。これは、道路の着色と車両モデルの着色のコントラストが小さいこ

と、道路が発光して見えることにより車両モデルが認識しづらかったことによる。

(7) HUD の利用検討結果

ガイダンス画面表示手法としての HUD の利用検討では、GUI による昼夜の視認性を主観評価により検証した。コントラストが大きい GUI の視認性は高かった一方で、白色や高彩度のオブジェクトは夜間強く発光して見えることから境界がわかりづらく、建物の塗りつぶし色は淡色が適していることがわかった。路面の視認性が高い色は黒色であり、濃紺色は適さなかった。本検証は舗装路面上で実施したが、実作業環境への適応性を向上させるため、積雪路面や雪壁直前、逆光条件での検証も今後行う方針である。また、実際の建設機械に HUD を設置して作業装置の視認性が確保されることの確認も併せて行っていきたい。

5. おわりに

本稿では、安価な機材で除雪ドーザの自己位置と作業姿勢をオペレータに通知することのできるガイダンスシステムの開発とガイダンスシステム表示に対する HUD の適用について検討した。

ガイダンスシステムの開発については、Unity Editor 内の仮想環境にて、6 軸加速度計からの入力処理および、自車の周辺構造物の表示、地図上の構造物との接近警告などの動作確認を行った。

HUD の適用検討では、各 GUI 案について、夜間及び昼間の環境にて比較評価し、HUD の活用を前提とした GUI 改良の方向性を明らかにした。この結果を受けて、ガイダンスソフトウェアの GUI に反映するほか、Android 端末へのインストールおよび実車への搭載、現場における作業装置の視認性評価など、残存した課題を解決するため、開発を進めていきたい。

J C M A

《参考文献》

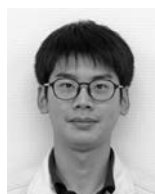
- 1) 国土交通省. i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～. 2024 年 4 月 16 日.
- 2) 国土交通省北海道開発局. i-Snow. 国土交通省北海道開発局. (オンライン) 2023 年 12 月 13 日. <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/splaat0000010dmm.html>.
- 3) 国土交通省北陸地方整備局道路部道路管理課. ICT 除雪機械の開発. 雪のトップランナー～道路除雪の役立ち情報を発信！～. (オンライン) 2025 年 7 月 16 日 (参照日). <https://www.hrr.mlit.go.jp/road/toprunner/202101.html>.
- 4) 北海道開発局の除雪自動化の取り組み. 小野寺敬太. 札幌：内閣府宇宙開発戦略推進事務局, 2023. みちびき講演会 2023 in 北海道. ページ: 31.
- 5) (一社) 日本建設機械施工協会北陸支部 永雪部会. 道路除雪オペレータ実態調査報告. 新潟市：(一社) 日本建設機械施工協会 北陸支部

氷雪部会, 令和5年.

- 6) マルマテクニカ. スマート除雪ナビ. マルマテクニカ HP. (オンライン) 2025年7月16日(参照日). <https://www.maruma.co.jp/product/snow-removal-navi/>.
- 7) ダイナミックマッププラットフォーム(株). NEWS「除雪支援システム」実証実験について. ダイナミックマッププラットフォーム HP. (オンライン) 2022年01月14日. <https://www.dynamic-maps.co.jp/news/2022/0114.html>.
- 8) 山田充, 山崎貴志. 除雪車オペレータ用道路付属物位置情報提供アプリの開発. 札幌市:(国研)土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム, 2022.
- 9) (一社)日本建設機械施工協会東北支部 監修:施工部会. 除雪機械仕様一覧表. 仙台市:(一社)日本建設機械施工協会東北支部, 令和3年.
- 10) (一社)日本建設機械施工協会北陸支部 氷雪部会. 参考文献・除雪工法. 北陸支部 文献・報告書. (一社)日本建設機械施工協会北陸支部. (オンライン) 2019年2月. <https://jcma-hokuriku.info/wp-content/uploads/2019/02/jiko.pdf>.
- 11) 読売新聞. 除雪車が後退. 新聞配達を手伝う女性にぶつかり死なす. 読売新聞オンライン. 2022年12月3日, ページ: <https://www.yomiuri.co.jp/national/20221203-OYT1T50067/>.
- 12) (一社)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:(一社)日本建設機械施工協会北陸支部 氷雪部会, 平成30年.
- 13) 国土交通省. 道路機械オペレータ調査結果(直轄国道除雪業者).
- 14) 三英技研. 事業案内. 除雪支援. 三英技研 web サイト. (オンライン) 2025年5月1日. <https://sanei.co.jp/snowplow/>.

[筆者紹介]

山下 和海(やました かずみ)
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部
研究員



酒井 龍之介(さかい りゅうのすけ)
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部
研究員

