

除雪機械オペレーティングの安全性向上技術に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 26～平 29

担当チーム：寒地機械技術チーム

研究担当者：巖博、牧野正敏、高本敏志、
村上和也、新保貴広

【要旨】

除雪機械の運転操作は、運転手と助手の 2 名乗車を基本としているが、今後、担い手不足等による運転手単独の除雪作業に対応するためには、助手が担っている安全確認作業等を代替し、運転手の負担軽減に寄与する技術が必要である。

本研究では、運転手及び助手が行っている安全確認行動について、ドライブレコーダを用いて映像分析調査を行った。その結果、運転手、助手ともに作業装置や後続車、追い越し車両の確認割合が高く、道路附属物については、2 人乗りに比べて 1 人乗りの運転手の確認割合が高い傾向となった。

また、除雪作業中に要注意箇所等が接近した際に注意喚起を行う安全確認作業支援装置を試作して、認知程度の主観評価試験を行った結果、音を主体とした警告方法の評価が高かった。試験結果を踏まえ、安全確認作業支援装置の仕様を作成した。

キーワード：除雪機械、1 人乗り、安全確認行動、作業支援、警告方法

1. はじめに

除雪作業の主力機械である除雪グレーダは、作業の安全性確保を目的に、運転手と助手が搭乗する 2 人乗りの運転室が採用されてきた。しかし、特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（オフロード法）の 2014 年規制対応に向けて、転倒時保護構造（ROPS）を有する 1 人乗りキャブ以外の運転室を製造しない方針が、機械メーカーより示され、平成 27 年度（2015 年）以降に導入された除雪グレーダは、運転手単独による除雪作業となった。

併せて、運転手の高齢化や担い手不足等が深刻な状況となっており、経験の浅い運転手の 1 人乗り作業では、除雪機械の操作における安全性や作業効率の低下が危惧される。

本研究では、除雪作業において助手が担っている安全確認作業等を代替し、運転手単独作業時の負担軽減に寄与する技術を提案するため、以下の事項について検討を行った。

- ・運転手及び助手の操作・安全確認作業等の把握と分析
- ・各種情報の提供技術に関する検討
- ・オペレーティングの安全性向上技術のとりまとめ

2. 運転手及び助手の操作・安全確認作業等の把握と分析

2.1 ドライブレコーダによる映像分析調査

除雪グレーダ操作時に行われている自車周囲の車両や道路附属物等に対する安全確認行動について、ドライブレコーダを用いて映像分析調査を行った。分析に当たっては、運転手及び助手の顔の動き、確認方向にある車両や附属物等をカウントし、傾向把握を行った。

2.2 調査対象車両及び調査期間

調査対象車両は、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部札幌道路事務所の月寒工区 3 台、麻生工区 2 台、旭川開発建設部旭川道路事務所の旭川工区 2 台の除雪グレーダとし、平成 26 年度から平成 28 年度の 3 年間調査を実施した。調査対象車両及び調査期間について、表-1 に示す。

表-1 調査対象車両及び調査期間

配置先	対象車両	調査期間
札幌開発建設部 札幌道路事務所 (月寒工区)	2人乗りA	H26～H27
	2人乗りB	"
	1人乗りA	H27～H28
札幌開発建設部 札幌道路事務所 (麻生工区)	1人乗りB	H28
	1人乗りC	"
旭川開発建設部 旭川道路事務所 (旭川工区)	2人乗りC	H26～H27
	2人乗りD	"

2.3 調査機器設置方法

本調査に用いたドライブレコーダの本体や各カメラの

取付状況を図-1に示す。

なお、ドライブレコーダ本体及びカメラの取付位置は、対象車両毎に運転室の形状等が異なるため、車両により異なる。



図-1 ドライブレコーダ本体・カメラ取付状況

2.4 映像分析方法

各車両で撮影した映像を、ビューアソフトを用いて4画面（車内・前方・作業装置・後方）を同時に表示し、運転手と助手の動きや車両前後の状況等について確認した。安全確認行動の分析用画面表示例を図-2、確認項目内容を表-2に示す。



図-2 分析用画面表示例

図-2に示す例では、運転手は後、助手は左斜め後を確認

しており、進行方向は後進、作業種別は作業中、作業区間は単路部、確認対象は運転手及び助手共に左路側帯に停車している車両である。

表-2 確認項目内容

項目	内容
確認者	運転手、助手
確認方向	前、後、左、右
進行方向	前進、後進、停止
作業種別	作業中、回送中
作業区間	交差点部、単路部
天候	晴、曇、雨、雪、吹雪 (夜間は晴・曇の判別無し)
確認対象	歩行者、追い越し車両（右、左）、 停止車両、後続車両、道路附属物、 作業装置(ブレード)、その他
梯団内位置	先頭車両、後続車両

2.5 映像分析結果

前節で示す映像分析方法により、運転手及び助手が行った安全確認行動について、確認方向や回数、確認方向にある対象物等を分類・集計し、傾向把握を行った。分析結果の詳細について、以下に示す。

なお、確認方向の前は、明確に前を確認する行動があった時のみとし、他の方向から前を向いた場合等はカウントしていない。

2.5.1 映像分析対象時間

映像分析対象時間は、平成26年度から平成28年度の3ヶ年分、68回・約371時間となっている。分析対象時間の内訳について、表-3に示す。

表-3 映像分析対象時間

対象車両	回数及び分析時間					
	H26		H27		H28	
札幌						
2人乗りA	3回	22:18	6回	35:22	-	-
2人乗りB	3回	22:23	6回	34:53	-	-
1人乗りA	-	-	7回	37:08	5回	34:28
1人乗りB	-	-	-	-	5回	34:38
1人乗りC	-	-	-	-	6回	32:14
札幌小計	6回	44:41	19回	107:23	16回	101:20
札幌合計	41回 253:24					
旭川						
2人乗りC	8回	28:33	7回	37:42	-	-
2人乗りD	5回	14:12	7回	36:44	-	-
旭川小計	13回	42:45	14回	74:26	-	-
旭川合計	27回 117:11					
総計	68回 370:35					

2.5.2 確認方向別の割合（全体）

運転手及び助手が行った安全確認行動の確認方向別の割合を分類した結果を図-3に示す。

運転手については、左右方向の確認割合が同程度となっており、常に自車周囲に注意を払っていることがわかる。また、助手については、左方向の確認割合が非常に高い傾向となった。これは助手席が運転席の左側（図-2左上参照）に配置されていることが要因と考えられる。

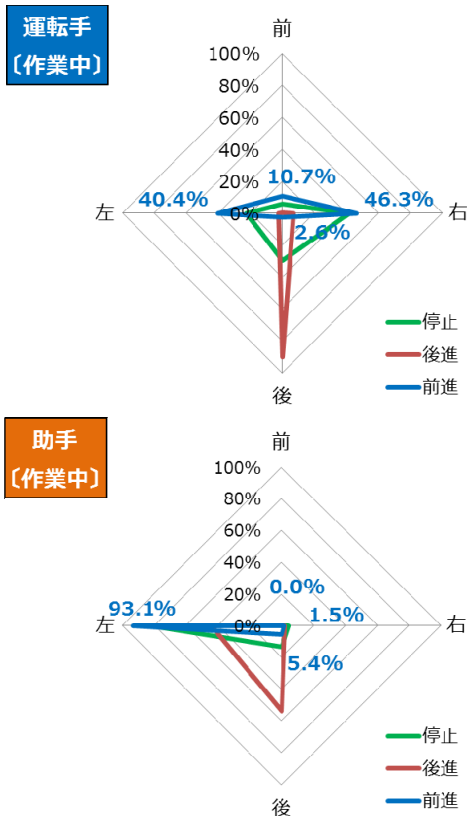


図-3 運転手と助手の確認方向別割合

2.5.3 確認方向別の割合（乗員数別）

運転手が行った安全確認行動の確認方向別の割合を1人乗りと2人乗りに分類した結果を図-4に示す。

1人乗りと2人乗りの割合を比較した結果、1人乗りの左右方向の確認割合は、2人乗りと比べて若干高い傾向であった。

運転手（乗員数別）の確認方向別割合を時間当たり確認回数割合（前進時）に換算した結果を図-5に示す。

確認回数割合とした場合、前後方向は大きな違いはないが、左右方向の差は1人乗りで約4%、2人乗りでは約13%の違いがあった。特に2人乗りでは右方向の確認割合が大きく、左方向の確認作業を助手に頼っていると考えられる。また、1人乗りとなることで、左方向の確認作業が増加する傾向となった。

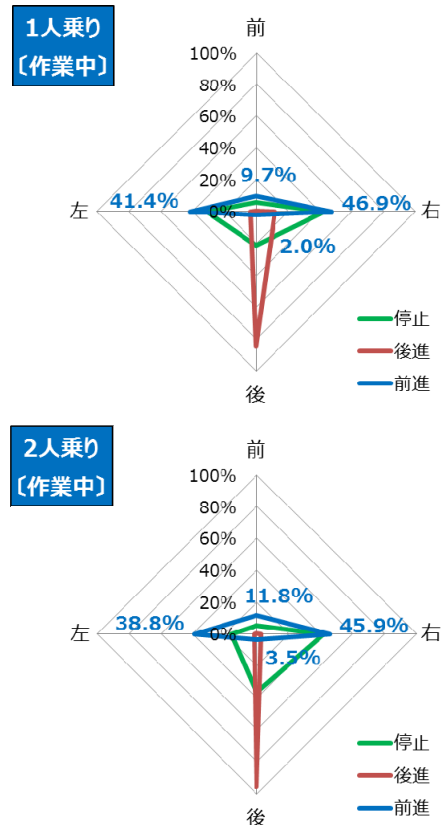


図-4 運転手の確認方向別割合（乗員数別）

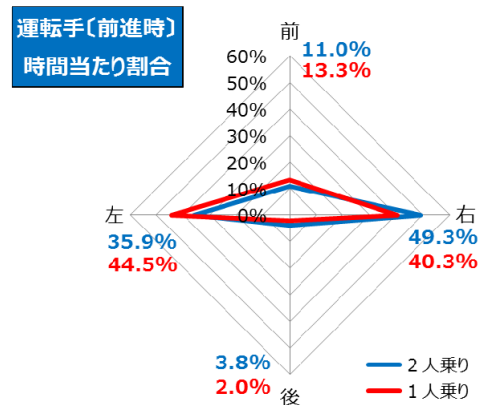


図-5 運転手の時間当たり確認回数割合（乗員数別）

2.5.4 確認対象物別の割合（全体）

運転手及び助手が確認動作を行った際の対象物別割合について、図-6、図-7に示す。

運転手については、作業装置の確認割合が高く、続いてその他（判別不能）となった（図-6上）。割合の高い作業装置及びその他の2項目を除外した再分析では、後続車・左右追い越し車両に対して注意を払っている傾向となった（図-6下）。また、助手についても運転手と同様の結果（図-7上）となったが、上記と同様に作業装置

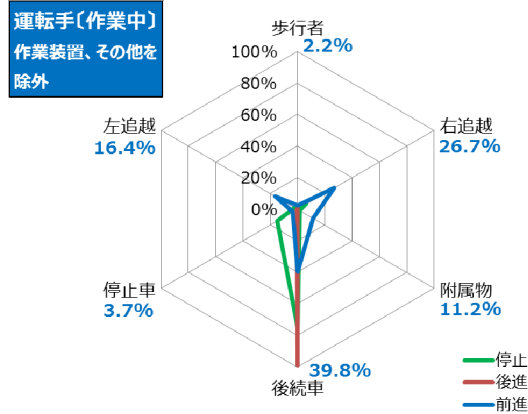
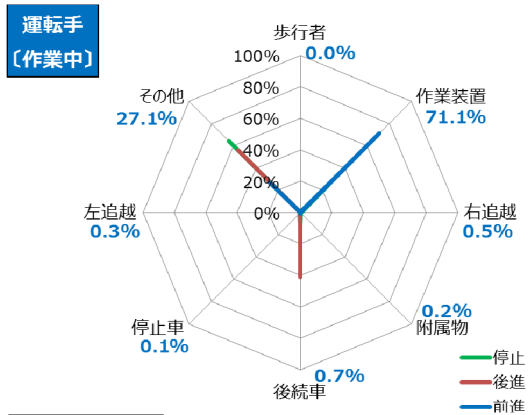


図-6 運転手の確認対象物別割合

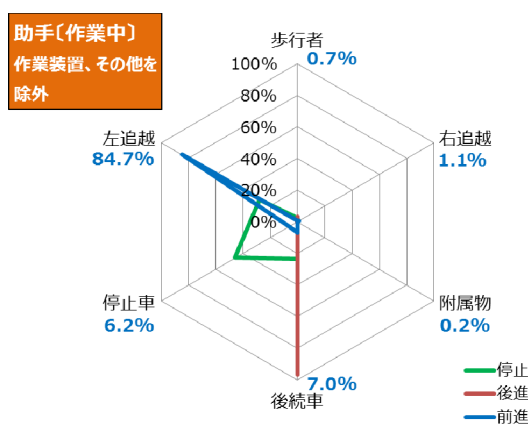
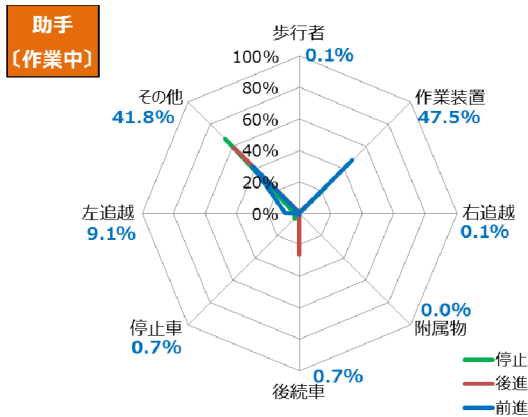


図-7 助手の確認対象物別割合

及びその他の2項目を除外した再分析では、左追い越し車両に対する割合が非常に高い傾向であった(図-7下)。先述の2.5.2 確認方向別の割合(全体)で示したものと同様、運転手は左右方向、助手は左方向の割合が高い傾向となった。

2.5.5 確認対象物別の割合(乗員数別)

運転手の確認対象物別の割合を1人乗りと2人乗りに分類した結果を図-8に示す。

1人乗り、2人乗りともに作業装置の確認割合が高く、続いてその他(判別不能)の割合が高くなった。

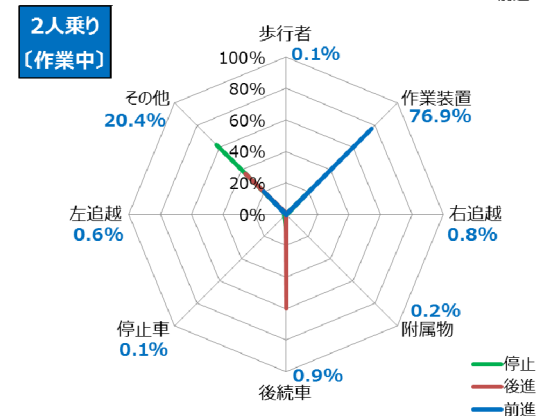
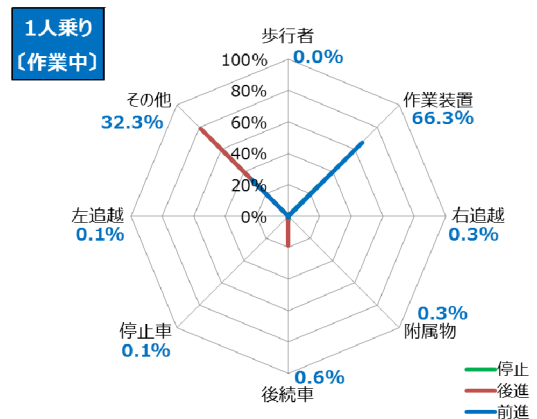


図-8 運転手の確認対象物別割合(乗員数別)

乗員数別の確認対象物別割合を時間当たり確認回数割合(前進時)に換算した結果を図-9に示す。

確認回数割合では大きな違いがない(図-9上)が、前項同様に、割合の高い作業装置及びその他の2項目を除外し、再分析した結果、後続車・左右追い越し車両・道路附属物に対して注意を払っている傾向となった(図-9下)。特に道路附属物については、1人乗りと2人乗りの確認割合に約3倍の違いがあった。

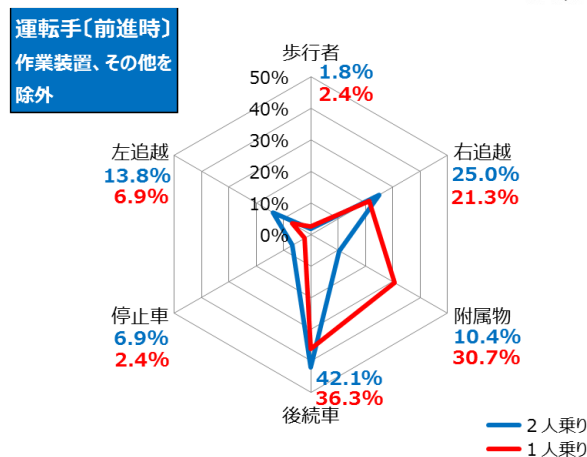
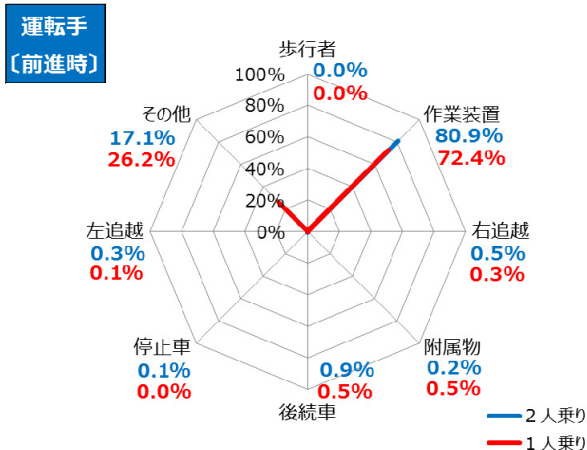


表-4 アンケート調査内容

項目	内容
基礎情報	年齢、性別、職種、従事歴
除雪作業中の注意点	車両・附属物との離隔、接触確認、車両周囲確認、その他
技術継承 (自由記述)	技術継承への方策案
助手不在による運転手の負担増	車両・附属物との離隔、接触確認、車両周囲確認、操作関係、その他
各種意見 (自由記述)	代替装備の希望、1人乗りグレーダへの搭乗有無、導入への抵抗感、その他

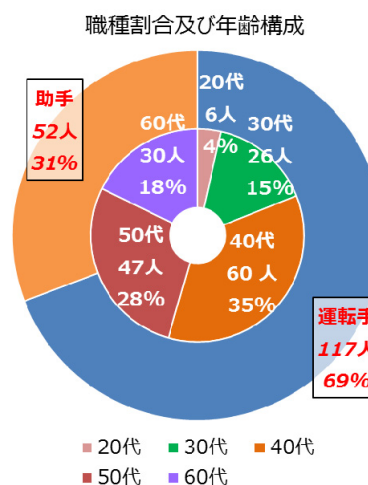


図-9 運転手の時間当たり確認回数割合 (乗員数別)

3. アンケート調査

3.1 調査内容

全道の国道の除雪工事を担当している除雪グレーダの運転手と助手を対象に、平成27年度にアンケート調査を実施した。

経験年数等の基礎情報のほか、作業中の注意点、助手不在により運転手の負担が増えると思われる点等について調査した。アンケート調査内容について、表-4に示す。

3.2 調査結果

3.2.1 回答者の基礎情報

除雪グレーダに乗務している運転手と助手、169人から回答を得た。回答者の基礎情報について、図-10に示す。

回答者における年齢構成は40代と50代で約60%以上を占めており、次いで30代と60代が各15%以上となっている。また、除雪グレーダの従事歴については、運転手は10年以上の割合が65%と高いが、助手については10年未満が66%となっている。

除雪グレーダ従事歴 (運転手/助手)

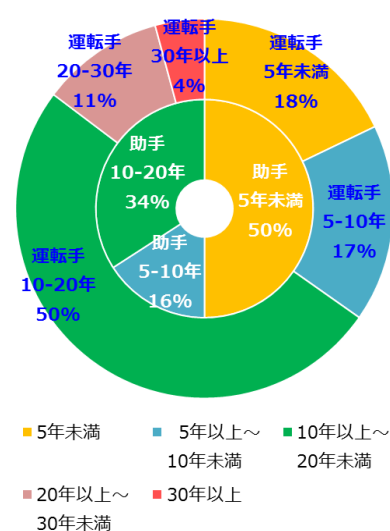


図-10 回答者基礎情報

3.2.2 除雪作業中の注意点

除雪作業中の注意点として、「車両・附属物との離隔、接触確認」、「車両周囲確認」、「その他」について、質問した結果を図-11に示す。

注意点として回答割合が高かったのは、対向車両・後

続車両及び歩行者等の状況、橋梁ジョイントやマンホール蓋、縁石（中央分離帯含）等の道路附属物、後進・方向転換時の安全確認であった。

除雪グレーダが配置されている路線はほとんどが市街地・多車線区間であり、かつ後進作業も行うことから、周囲車両及び歩行者への注意の割合が高くなったと考えられる。

また、道路附属物への注意の割合が高いのは、作業装置との接触による附属物及び車両の損傷を懸念したことによると考えられる。

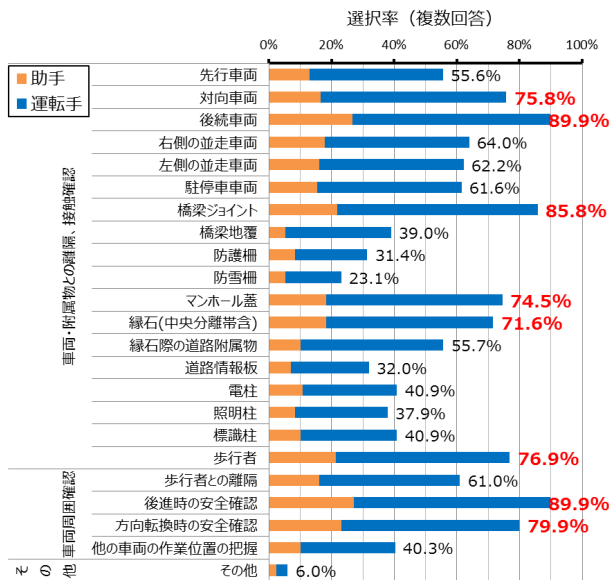


図-11 除雪作業中の注意点

3.2.3 助手不在による運転手の負担増

次に、助手が不在になることで運転手の負担が増加すると思われる点として、「車両・附属物との離隔、接触確認」、「車両周囲確認」、「操作関係」、「その他」について、質問した結果を図-12に示す。

後続車両及び歩行者等の状況、及び後進・方向転換時の安全確認については前項と同様高い割合であり、助手の在否に関わらず除雪作業中に注意が必要な点であるといえる。

また、前項では高い割合を示していた、橋梁ジョイントやマンホール蓋、縁石（中央分離帯含）等の道路附属物に関しては全体的に選択率が低下した。

本来必要な注意点にも関わらず選択率が低下したのは、助手が不在となることで車両周囲確認の負担が高まることを懸念した結果と考えられる。

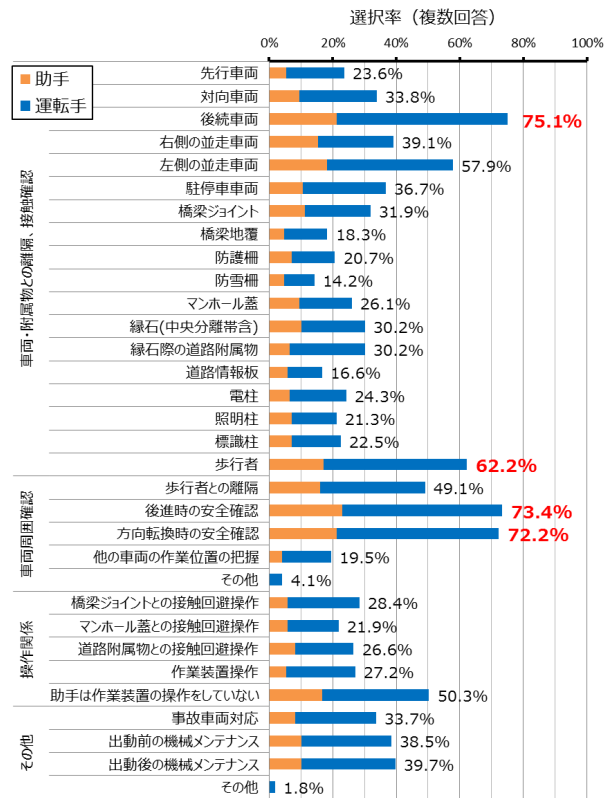


図-12 助手不在により運転手の負担が増加すると思われる点

4. 各種情報の提供技術に関する検討

前章の結果（映像分析及びアンケート調査）から、1人乗り除雪作業時の負担軽減には、対向車両・後続車両及び歩行者等の状況、橋梁ジョイントやマンホール蓋、縁石（中央分離帯含）等の道路附属物、後進・方向転換時の安全確認等の情報（以下、「ガイドンス情報」という）を、運転手へ効果的に提供する必要がある。

それら除雪作業時の負担軽減に必要なガイドンス情報を、効果的に提供するための機能検討に向けた基礎資料とするため、既往のガイドンス技術を調査した（表-5）。

なお、注意割合が高い後続車や追い越し車両については、既に1人乗り除雪グレーダの安全対策として、後方確認用カメラ及びモニタ、除雪梯団内や伴走車と双方向同時通信ができる通信装置が装備されていることから、本研究では対象外とした。

表-5 ガイダンス技術の調査結果

項目	ガイダンス技術		
	A	B	C
システム概要	・1周波RTK-GNSSによる衛星測位技術を活用 ・3Dマップ上で除雪車両の位置を表示 ・障害物等の接近時にガイダンスを実施	・タブレット端末付属のGPSを活用し車両の位置情報を把握 ・道路静止画をタブレット端末で表示	・RTK-GNSSによる衛星測位技術を活用 ・左右隔離、投雪禁止区間のガイダンスを実施
ガイダンス情報	・マンホール、橋梁ジョイント、縁石等 ・センターライン、外側線	・非積雪時の道路画像	・路側端までの距離 ・投雪禁止箇所
機能等	位置情報・道路線形・現在地	△	○
	地図データ	△	△
費用	○	○	△
評価	○	△	○

5. 安全確認作業支援装置の試作

マンホール蓋等の道路附属物や、投雪禁止区間等の要注意箇所等の位置情報を予め登録することにより、作業中の運転手に注意喚起を行う機能を有する安全確認作業支援装置（以下、「支援装置」という）を試作し、検証試験を行った。

5.1 概要

支援装置の基本機能は、2章及び3章の調査結果で注意割合が高い傾向であったマンホール蓋、橋梁ジョイント部等の道路附属物（以下、「ガイダンス対象物」という）が接近した場合に、画面による接近表示や音、光、振動、画面点滅により注意喚起を行うものとした。

5.2 機能

支援装置が有する各機能の概要について、機能一覧を表-6、表示画面イメージを図-13に示す。

なお、本支援装置の機能開発にあたっては、開発期間短縮及び費用低減を目的に、市場に現存するガイダンス技術（表-5のA）のカスタマイズを基本に構築した。

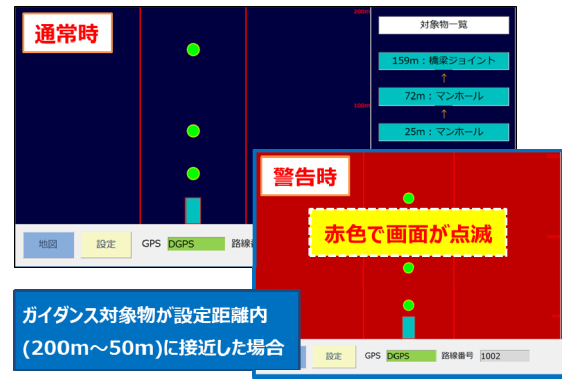


図-13 表示画面イメージ

表-6 機能一覧

機能	概要
対象物表示機能	○GNSSで取得したリアルタイム自車位置情報と、予め登録したガイダンス対象物の緯度経度から、自車とガイダンス対象物の位置関係を表示 ○ガイダンス対象物と自車位置の距離が200m以内 ^{*1} になった場合、音・光・振動・画面点滅で警告を実施 音：車載デバイスのスピーカで、距離毎に異なる音を発音 光：外部デバイス（LEDライト）で、距離毎に異なる光量を発光 振動：外部デバイス（振動ボール）で、距離毎に異なる振動を発振 画面点滅：車載デバイス画面で、距離毎に異なる色を点滅 ○ガイダンス対象物と自車位置が200m以内になった場合、画面上にガイダンス対象物の種類と相対距離を表示 ○複数のガイダンス対象物が存在する場合は、対象物毎に種類と相対距離を表示 ○自車位置と道路外側線を表示 ^{*1} 200m以内は、200m・100m・50m・0m(登録地点)を示す。
対象物登録・削除機能	○ガイダンス対象物の位置、種別、警告の有無等を専用ツールで登録 ○対象区間の路線図を専用ツールで登録
表示等設定機能	○ガイダンス対象物の表示、警告レベルの設定等を設定ファイルで行う
地図表示機能	○現在位置を電子国土に表示

5.3 機器仕様

除雪作業時の除雪車運転室内における衝撃や振動、寒さ等の厳しい環境下で利用可能な車載デバイスを選定するため、市場で調達可能な製品を対象に調査を行った。調査対象は、車内の設置場所や操作性等を考慮し、タブレット型のPCとした（表-7）。

調査結果を基に、冬期の除雪車運転室内の環境に対応できるものとして、表-8に示すタブレット型のPCを選定した。

また、自車位置の把握やガイダンス対象物の警告に利用するGNSSは、測位精度や機器費用等を勘案した結果、D-GPS（デファレンシャル方式）を基本とした。

表-7 車載デバイスの調査結果

項目	調査対象機器				
	A	B	C	D	E
OS	Windows8.1 64bit	Windows8.1 64bit	Windows8.1 64bit	Windows8.1 32bit	Windows8.1 32bit
駆動時間	9時間	10時間	9.3時間	15.5時間	9.3時間
GNSS	○	○	○	○	○
ディスプレイ	10.1型	10.8型	10.1型	10.1型	10.1型
防塵	○:IP6x	×	○:IP5x	○:IP5x	×
防滴	○:IPx5	×	○:IPx5 / IPx7 / IPx8	○:IPx5 / IPx7	×
動作温度	○:-10~50℃	×	×:5~35℃	×:10~35℃	×:5~35℃
価格	市場価格 ≒23万円	市場価格 ≒9万円	市場価格 ≒16.5万円	市場価格 ≒12.5万円	市場価格 ≒8万円
評価	◎	×	○	○	×

表-8 機能一覧

項目	性能等
機器本体	Panasonic社製 TOUGHPAD FZ-G1R3010VJ
OS	Windows10 Pro (64bit)
CPU	Intel Corei5-6300U 2.4GHz
ディスプレイ	10.1型 (1920 x 1200)、タッチパネル
ストレージ	SSD128GB
メモリ	4GB
バッテリー	約10時間
駆動時間	約10時間
動作性能等	防塵・防滴：IP65準拠 動作温度：-10~50℃ 耐振動：MIL-STD-810G準拠 耐落下：120cm (非作動時)
GNSS	測位方式:D-GPS及び単独 VRS-GNSS演算ユニット内蔵 GPS, GLONASS, 準天頂衛星対応
3G/LTE	あり
その他	FZ-G1用車載マウンター (アンテナ端子、電源端子含む) 外部デバイスコントローラ (LEDライト、振動ボール用)



5.4 検証試験

5.4.1 試験概要

支援装置の有効性を検証するため、寒地土木研究所苫小牧寒地試験道路において、被験者による警告方法の主観評価試験を行った。

評価方法は、支援装置(図-14)を搭載した試験車両(図-15)を被験者が運転し、試験道路内に設置したガイダンス対象物登録地点に接近した際に発する各種警告(音・光・振動・画面点滅)の認知程度について、アンケート調査を行った。また、ガイダンス対象物登録地点及び事

前警告地点を通過した際の位置精度についても検証した。

- ・試験日：平成29年2月7日～2月8日 (2日間)
- ・被験者：寒地土木研究所研究員 (各日10人)
- ・試験車両：スバル・フォレスター (2台)



図-14 支援装置搭載状況



図-15 試験車両

5.4.2 ガイダンス対象物登録地点

本試験では、試験道路内に5箇所のガイダンス対象物登録地点を設置した。設置箇所は、直線区間内に3箇所(地点①、②、④)、曲線区間内に1箇所(地点③)、直角区間内に1箇所(地点⑤)とし、各登録地点の座標はVRS-RTK方式を用いた5分間の定点測位結果を真値とした。登録地点配置図を図-16に示す。

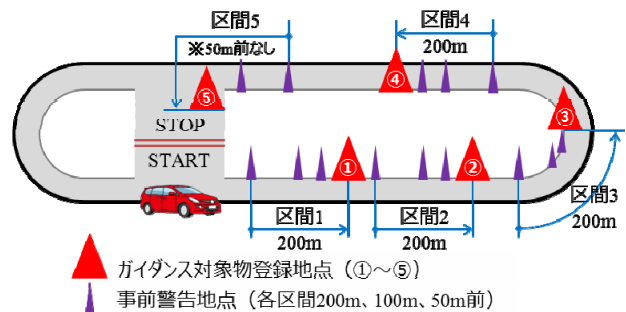


図-16 登録地点配置図

5.4.3 試験条件

試験道路内に設置した区間1から区間5の試験区間(図-16)を、それぞれ設定した速度(10km/h・20km/h・

30km/h) で走行した (図-17)。なお、試験回数は、警告方法及び速度条件が違う検証パターン (表-9) 毎に、各日10回、延べ20回とした。

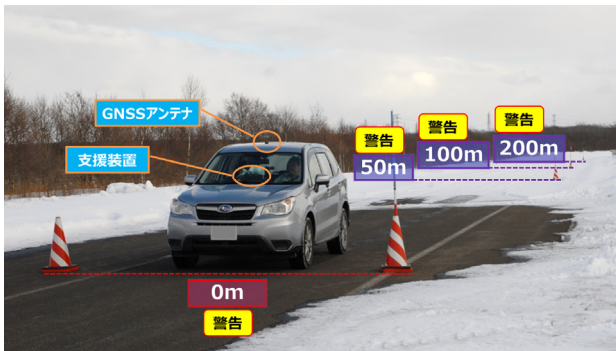


図-17 試験状況 (試験区間4・20km/h)

表-9 検証パターン

検証パターン	地点	警告方法 (単独及び組み合わせ)				試験日/設定速度(km/h)					
						2/7			2/8		
						10	20	30	10	20	30
1	1	音	-	-	-	○	-	-	○	-	-
	2	光	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	振動	-	-	-	10回	-	-	10回	-	-
	4	点滅	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	音	光	-	-	-	○	-	-	○	-
	2	音	振動	-	-	-	10回	-	-	10回	-
	3	音	点滅	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	光	振動	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1	光	点滅	-	-	-	○	-	-	-	○
	2	振動	点滅	-	-	-	10回	-	-	-	10回
	3	音	光	振動	-	-	-	-	-	-	-
	4	音	光	点滅	-	-	-	-	-	-	-
4	1	音	振動	点滅	-	-	-	○	-	-	○
	4	光	振動	点滅	-	-	-	10回	-	-	10回
	5	音	光	振動	点滅	-	-	-	-	-	-

a) 速度

試験区間への進入前に予め設定した速度まで加速し、試験区間を抜けるまでの間、車両の速度計を参考に一定の速度を保ち走行した。

b) 警告

各警告は200m地点より開始し、以降100m、50mと警告強度を上げ、その後0m (ガイダンス対象物登録地点) 到達時には連続的な警告とした。警告間隔のイメージを図-18に示す。

警告地点	警告間隔	警告強度
200m		余裕のある警告間隔 連続的な警告
100m		
50m		
0m		

図-18 警告間隔のイメージ

5.4.4 主観評価

各ガイダンス対象物登録地点及び事前警告地点での警告方法について、認知程度の主観評価を行った。先入観を排除するため、各地点における警告方法 (表-9) の事前周知は行わなかった。

評価は、試験走行毎に図-19に示す5段階評価のアンケートにより行い、併せて待機中の被験者へのヒアリング調査も行った。

検証パターン1 車両A:10km/h 車両A

警告方法	認知程度 (5段階評価)					コメント
	わかりやすい 5	4	普通 3	2	わかりにくい 1	
音						
光						
振動						
点滅						

図-19 警告方法の認知程度アンケート表

5.4.5 位置精度の検証

主観評価試験と並行し、ガイダンス対象物登録地点及び事前警告地点通過時の位置精度を検証した。

検証は、試験車両室内から支援装置及びガイダンス対象物登録地点に設置した目印 (セフティコーン+赤白ポール) を撮影できる位置にビデオカメラを設置 (図-20) し、車両左側サイドウィンドウの前方部 (三角窓) に目印が確認できた通過時刻を記録 (図-21) した。



図-20 ビデオカメラ設置状況

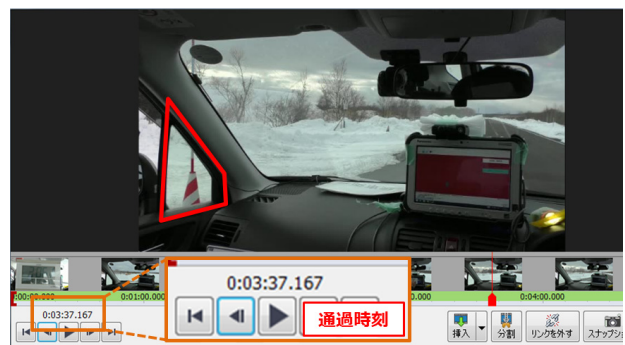


図-21 通過時刻記録状況

記録した通過時刻に符合する緯度・経度情報を支援装置のログデータ（NMEA形式）から取得し、事前に定点測位したガイダンス対象物の緯度・経度との距離がどの程度離れているかを求めた。

なお、曲線区間3と直角区間5については、被験者により走行位置が安定しないため検証から除外した。

a) GNSS測位方式

支援装置で利用する測位方式は、D-GPS（デファレンシャル方式）を基本としているが、ガイダンスにおける位置精度の比較を行うため、より測位精度の高いVRS-RTK（バーチャルレファレンシャルステーション方式）を用いた検証も行った。

5.5 検証試験結果

5.5.1 主観評価の結果

被験者へのアンケートによる5段階評価を単純集計し、認知程度を確認した結果を図-22に示す。

評価が高かった（わかりやすい・ややわかりやすい）警告方法は音が一番多く、次いで振動となった。また、警告方法を組み合わせた場合でも、音を含むものが高い評価となった。

評価が低い（わかりにくい・ややわかりにくい）結果となった警告方法は光であった。要因として考えられることは、試験が日中で、光源が目立たない状況であったことが推測される。

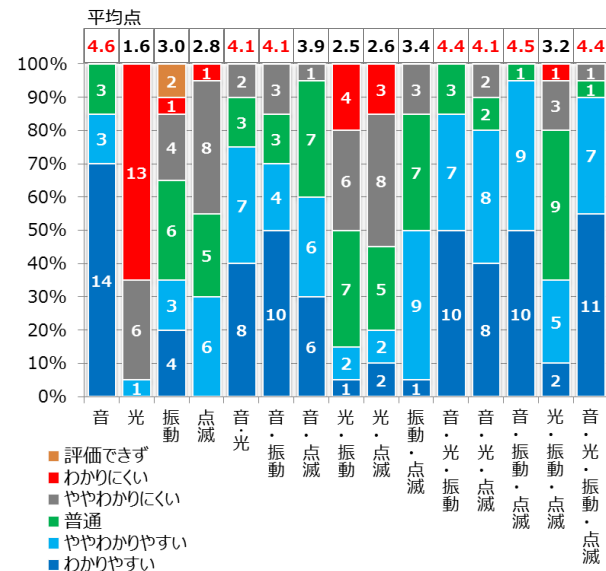


図-22 5段階評価の集計結果

今回の試験で評価した警告方法の認知程度結果から、その特徴と課題を把握した結果を表-10に示す。課題についてはアンケートに記入された自由意見のほか、待機時間に実施したヒアリングから整理した。

表-10 警告方法の特徴と課題

警告方法	評価	特徴/課題
音	○	特徴 ・視認行動等が不要 ・直接的に運転手に伝達
	課題	・除雪作業中の各種騒音が混在する中での気付き程度 ・音の種類（音声案内も含む）
光	×	特徴 ・視認行動等が場合により不要（夜間有効） ・直接的に運転手に伝達
	課題	・昼間の警告には不向き（色の種類による） ・夜間の気付き程度 ・発光方法や色
振動	△	特徴 ・体感によって運転手に伝達
	課題	・除雪作業中の各種振動が混在する中での気付き程度 ・デバイスの装着箇所
点滅	△	特徴 ・視認行動等が必要 ・運転手の確認行動による伝達
	課題	・昼間の警告には不向き（色の種類による） ・夜間の気付き程度 ・点滅方法や色 ・アイコン等による有効性

5.5.2 位置精度の検証結果

ガイダンス対象物登録地点及び事前警告地点通過時の緯度経度座標（以下、「通過時座標」という）を確認した。

表-11 通過時座標と登録地点座標の距離の算出結果例（登録地点①、検証パターン1）

試験No	GPS	速度 (km/h)	登録地点①				
			0m地点				
			計測時刻の X座標	計測時刻の Y座標	事前測位との 距離(m)	事前測位の X座標	事前測位の Y座標
1-1	VRS	10	-147768.9333	-38906.21795	-1.040	-147768.2243	-38906.9791
1-2	VRS	10	-147769.1747	-38906.08465	-1.305	-147768.2243	-38906.9791
1-3	VRS	10	-147769.1574	-38907.06045	0.937	-147768.2243	-38906.9791
1-4	VRS	10	-147769.0206	-38906.91855	-0.799	-147768.2243	-38906.9791
1-5	VRS	10	-147768.9285	-38906.80805	-0.725	-147768.2243	-38906.9791
1-6	D-GPS	10	-147768.6899	-38903.54445	-3.466	-147768.2243	-38906.9791
1-7	D-GPS	10	-147768.062	-38906.56025	-0.449	-147768.2243	-38906.9791
1-8	D-GPS	10	-147769.9983	-38901.32485	-5.926	-147768.2243	-38906.9791
1-9	D-GPS	10	-147768.8363	-38907.13835	0.632	-147768.2243	-38906.9791
1-10	D-GPS	10	-147768.5924	-38907.71085	0.819	-147768.2243	-38906.9791

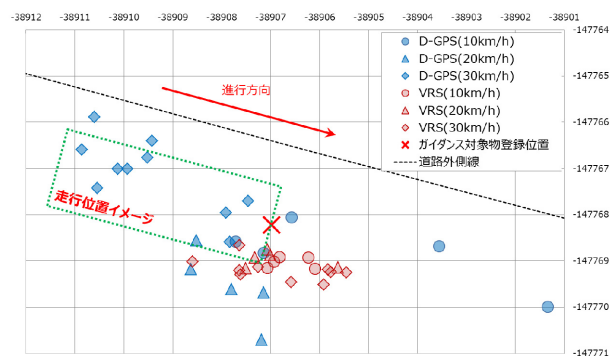


図-23 相対位置の比較例（測位方法別、登録地点①）

本試験で利用したVRS-RTK方式は、支援装置での演算処理に約0.5秒を要する。そのため、事前測位した登録地点座標（以下、「登録地点座標」という）との距離を算出する際は、0.5秒後の通過時座標を用いた。（例：登録地点通過時の時刻が14:42:18.50の場合、0.5秒後の14:42:19.00に最も近い時刻の通過時座標を使用した。）

確認した通過時座標と登録地点座標との距離を算出した結果例を表-11、相対位置の比較例を図-23に示す。

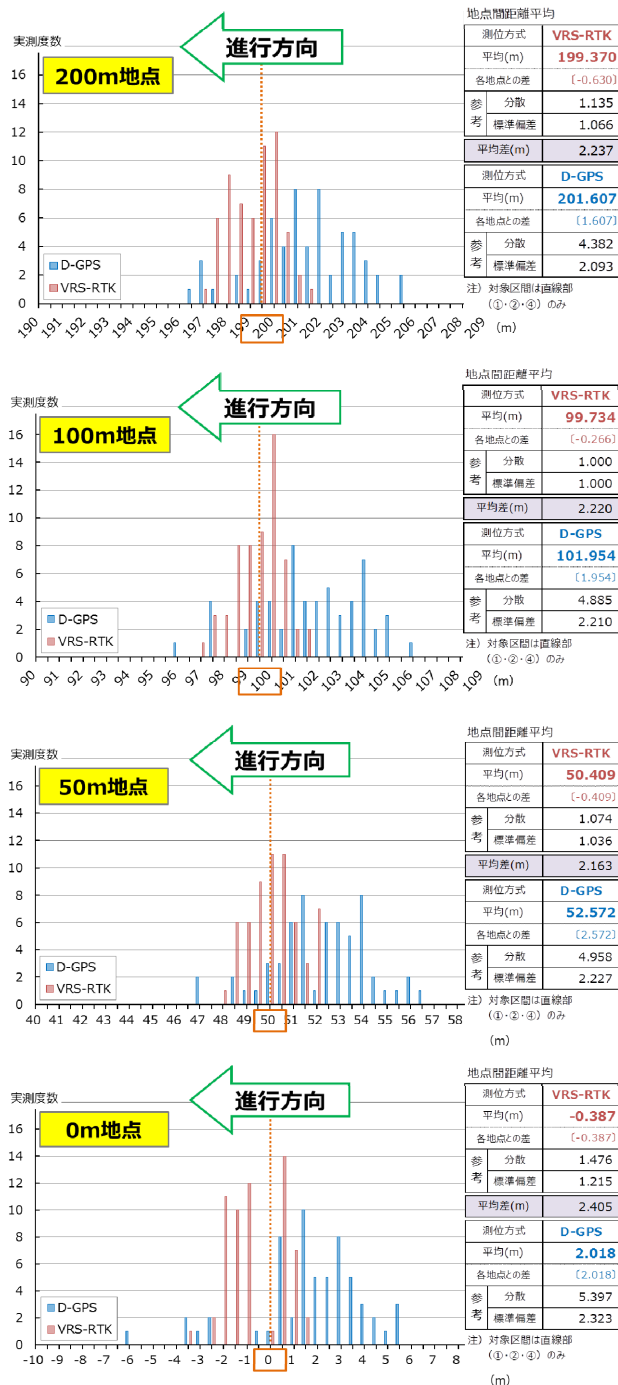


図-24 地点間距離平均及び実測度数分布グラフ

通過時座標と登録地点座標の距離の算出結果から、地点間距離の平均と実測度数分布（図-24）を確認した。

各地点共にVRS-RTK方式の方が平均距離が少なく安定した結果となったが、利用予定であるD-GPS方式の平均距離とVRS-RTK方式の平均距離を比較しても各地点の平均で約2.3mの差であり、全体的に極端な差はみられなかった。

また、実測度数分布グラフからは、地点間距離平均が進行方向に対して、VRS-RTK方式は登録地点座標より奥側、D-GPS方式では手前側となる傾向であった。

利用予定の測位方式（D-GPS方式）において、断続的な間隔の警告が始まる50m地点での差は2.572mであるが、支援システムの搭載を想定している除雪グレーダの作業速度は約15km/h²⁾（約4.2m/s）で、ガイダンス対象物登録地点到達までは、10秒以上の時間的余裕があることから、実用には支障がない測位精度である。

6. オペレーティングの安全性向上技術のとりまとめ

支援装置による試験結果を踏まえ、機能や機器構成等を整理し、オペレーティングの安全性向上技術として支援装置の仕様を作成した。また、支援装置の機能向上に必要なと考えられる検討項目について、今後の実装（機能の組み込み）に向けた要件の調査、及び検討を行った。検討結果を表-12に示す。

表-12 機能向上技術の検討結果

区分	検討項目	実装可否	要件・課題等
周 ・ 障 害 物 検 知	①周囲探知技術	△	・信号処理装置(制御用PC)が必要 ・ソフトウェアの開発が必要
	ミリ波レーダによる障害物検知		
自 車 位 置 推 定	②近接車両検知システム ³⁾	○	・信号ケーブルの変換が必要 ・警告表示プログラムの改良が必要
	東北地方整備局において開発した後方車両検知装置の利用		
自 車 位 置 推 定	③準天頂衛星（みちびき）	△	・専用の受信機等が必要 ・移動体(除雪車)には検証が必要
	センチメートル級（L6信号）による高精度測位結果の利用		
自 車 位 置 推 定	④サブメートル級（LS1）GNSS受信機	○	・ソフトウェアで精度向上
	汎用性があり、精度向上等が見込まれるもの		

7. まとめ

除雪機械の運転操作において助手が担っている安全確認作業等を代替し、運転手単独作業時の負担軽減に寄与する技術を提案するため、運転手及び助手の操作・作業内容等の把握と分析、各種情報の提供技術に関する検討、及びオペレーティングの安全性向上技術のとりまとめを行った。

その結果、以下の成果を得た。

- ・運転手の安全確認行動を分析した結果、2人乗りでは右方向の確認割合が大きく、1人乗りとなることで左方向の確認作業が増加する傾向となった。
- ・助手の安全確認行動を分析した結果、左方向の確認割合が高い傾向となった。
- ・確認対象物としては、運転手、助手ともに作業装置や後続車、追い越し車両の確認割合が高く、道路附属物については、2人乗りに比べて1人乗りの運転手の確認割合が高い傾向となった。
- ・除雪グレーダに乗務している運転手と助手にアンケート調査を行った結果、除雪作業中の注意割合が高いのは、対向車両・後続車両及び歩行者等の状況、道路附属物、方向転換時の安全確認であった。
- ・道路附属物等の要注意箇所等の接近を運転手に注意喚起する安全確認作業支援装置を試作した。警告方法の認知程度について主観評価試験を行った結果、音を主体とした警告方法が高い評価となった。
- ・安全確認作業支援装置に利用する D-GPS 方式は、試験結果より、実用には支障がない測位精度である。
- ・試験結果を踏まえ、安全確認作業支援装置の仕様を作成した。

参考文献

- 1) 石道国弘、林朋幸、五十嵐匡：「新型1人乗り除雪グレーダの導入について」、第60回（平成28年度）北海道開発技術研究発表会、2017
- 2) 一般社団法人日本建設機械化協会：「除雪機械技術ハンドブック平成19年12月」、第6章除雪グレーダ、2007
- 3) 大沼玄樹、中島朋也：「1人乗り除雪グレーダの安全性向上の検討」、第32回日本道路会議、2017

A STUDY ON TECHNOLOGIES FOR IMPROVING SAFETY OF SNOW REMOVAL MACHINERY OPERATION

Research Period: FY2014-2017

Research Team: Machinery Technology Research Team
R&D Promotion Group

Author: IWAO Hiroshi
MAKINO Masatoshi
TAKAMOTO Satoshi
MURAKAMI Kazuya
SHIMBO Takahiro

Abstract

A snow removal machine is basically operated by two crew members: one driver and one assistant. In the future, a snow removal machine will have to be operated by one driver due to the anticipated labor shortage. To cope with such situation, technologies that perform the work of the assistant, including safety confirmation, and contribute to reducing the burden on the driver are required.

In this study, the safety confirmation behavior by operators and assistants were analyzed using event data recorder images. In this analysis it was found that the frequency of actions by both the operator and assistant for checking safety regarding work equipment and vehicles behind or passing them tended to be high. It was also found that the frequency of confirmation actions regarding the road auxiliary facilities was higher for the driver of a one-person operation vehicle than that for a two-person operation vehicle.

We made a test model of safety confirmation support equipment that draws the attention of the driver when the snow removal vehicle is approaching a location that requires extra caution, and conducted a subjective recognition evaluation experiment. We found in the experiment that the evaluation for warning methods that mainly use sound was high. Based on the experiment result, we created a specification for the safety confirmation support equipment.

Keywords: snow removal machinery, one-person operation, safety confirmation actions, work support, warning method