

凍結防止剤散布作業支援システムの開発

大廣 智則*1, 金子 雅之*2, 齊田 光*1, 村上 健志*1

1. はじめに

冬期間、積雪寒冷地域では、凍結路面の発生を抑制するための凍結防止剤散布作業等、冬期道路管理は重要な役割を果たしている。北海道の国道では、凍結防止剤を路線全線に散布するのではなく、予め凍結路面が発生しやすい箇所や凍結が発生した場所に交通障害の程度が大きくなる区間を重点管理エリアとして設定し、これらの箇所・エリアにおいて気象予測等に基づいた事前散布（凍結予防）や現場での目視確認による事後散布（雪氷融解）を実施している¹⁾。このため、現地でのオペレータによる路面状況の的確な判断が重要となる。

一方、これらの作業を担う新たなオペレータの確保は、近年の少子化による人口減少に伴う人手不足が大きな課題となっている²⁾。また、新たなオペレータを確保・育成することが困難になってきており³⁾、現在作業に従事している経験豊富なオペレータ（以降、熟練オペレータ）に頼らざるを得ない状況にある。また、これらの熟練オペレータの高齢化も進んでおり、今後更に人手不足が進めば、運転手がオペレーターを兼ねる作業形態（以降、ワンマン化）が想定され、作業の確実性と安全性の低下が懸念されている。他方、これらの課題を解決するため、散布作業の自動化⁴⁾が試行されるなど、人手不足・ワンマン化への対応の検討が進められている。しかしながら、これらの技術は導入コストが高額等の理由もあり、普及が進んでいないのが現状である。

寒地土木研究所の寒地交通チームでは、凍結防止剤散布において、新たなオペレータでも作業可能で、かつワンマン化でも安全で確実な散布作業を可能とする支援技術の開発を目指している。徳永ら⁵⁾は、苫小牧寒地試験道路において、オペレータの熟練度および情報の有無・種別（情報なし・音声のみ・画像のみ・音声+画像）による散布作業時の心理状態および視線挙動の変化について調べ、情報提供により、オペレータの熟練度にかかわらず主観的MWは減少し、路面状態の認知・判断等の改善に寄与することを示した。しかし、情報提供方法によっては前方の道路を注視する割合が著しく減少し、散布時の安全性確保が課題となることを示唆した⁶⁾。そこで、徳永ら⁷⁾は、苫小牧寒地試験道路において、散布作業支援の有無・種別（支援なし、情報提供（音声+画像）のみ、情報提供+音声散布、情報提供+音声散布+自動散布）による運転中のオペレータの

心理状態および視線挙動の変化について調べ、情報提供+音声散布+自動散布（以降、凍結防止剤散布作業支援システム）の使用により、オペレータの主観的MWが著しく減少し、路面状態の認知・判断等が速やかかつ的確になり、散布作業時の安全性も向上することを示した。さらに、徳永ら⁸⁾・⁹⁾・¹⁰⁾は、凍結防止剤散布作業支援システムを構築し、実道において助手席に被験者が乗車した実験を行い、凍結防止剤散布作業支援システムによる散布は、散布が必要な箇所に散布が必要な量を的確に散布できており、実用上問題が無いことを確認した。

本研究では、凍結防止剤散布作業のワンマン化を視野に、実道において運転手がオペレーターを兼ねる作業形態での凍結防止剤散布作業支援システムの実用性を検証した。また、ヒアリングを実施し、ワンマン化での作業状況を確認するとともに当該システムの課題を整理して今後の改良予定を示す。

2. 凍結防止剤散布作業支援システム

本研究で使用した凍結防止剤散布作業支援システム⁸⁾・⁹⁾・¹⁰⁾を図1に示す。凍結防止剤散布作業支援システムは、散布指示支援ツール（以降、指示ツール）、散布判断支援ツール（以降、判断ツール）、散布操作支援ツール（以降、

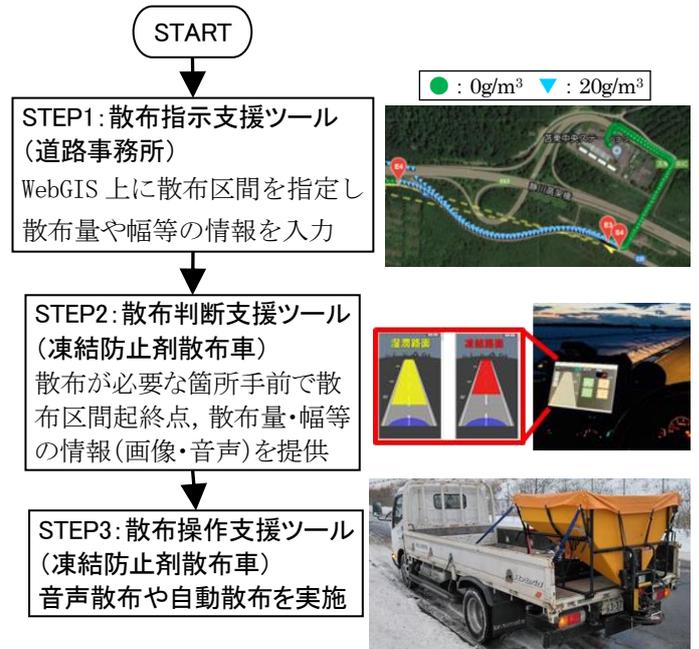


図1 凍結防止剤散布作業支援システム

*1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所, *2 国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 道路整備保全課

操作ツール)の三つの散布支援ツールで構成している。また、これらの散布支援ツールは、インターネットを介したWEBサーバにより、リアルタイムに連携している。指示ツールは、道路事務所等で道路管理者等が、WebGIS上に散布が必要な区間を指定し、散布が必要な散布量や幅等の情報を入力する。判断ツールは、凍結防止剤散布車のオペレータに、散布が必要な箇所手前で散布区間の起終点、散布量・幅等の情報(画像・音声)を提供する。操作ツールは、凍結防止剤散布車に制御信号を送り、信号変換器を介して音声散布や自動散布を実施する。

3. 検証方法

3.1 検証期間と場所

検証は、令和3年1月28日から2月23日の期間に行った。実施場所は、国土交通省北海道開発局(室蘭開発建設部 苫小牧道路事務所)が所管する一般国道235号の約10km区間(苫東中央IC~KP1.7の側道往復区間)とした。

3.2 検証機器

検証に使用した機器は、上記路線の工事を行っている維持従事者が所有する車両(4トントラック・平ボディ・道路維持車両・**図1**)を用いた。荷台に市販の車載式凍結防止剤散布装置を搭載し、継電器モジュールを介して運転席付近に設置した車載タブレットPC(**図2**)と連結させて判断ツールおよび操作ツールをインストールした。

3.3 検証作業者

検証期間中、判断ツールおよび操作ツールを搭載した上記車両は、中型自動車運転免許以上を保有する建設作業員1名(年齢50代、自動車運転歴34年、凍結防止剤散布作業経験3年以上)が運転した。

3.4 散布指示方法

指示ツールは、前述の路線を管轄する除雪ステーション内事務所に置かれた端末のブラウザを介して閲覧・操作できるようにし、これを維持作業指示責任者が冬期道路マネジメントシステム等による各種予測情報、CCTV画像、道路巡回による現地の天候・路面状況等を踏まえ、散布区間、散布量、散布幅等の散布条件を指示ツールに入力した。

3.5 検証準備

凍結防止剤散布作業支援システムの操作マニュアルを作成し、検証期間初日に当該マニュアル、支援システムを搭載した車両等を用いて道路管理者・維持従事者を対象とした講習会(**図3**)を開催して凍結防止剤散布作業支

援システムの特徴や各ツールの操作方法の説明および操作の練習を行った(**図4**)。

3.6 検証方法

本検証は、凍結防止剤散布作業のワンマン化を視野に、



図1 検証に用いた道路維持車両(4トントラック)



図2 運転席付近に設置した車載タブレットPC



図3 講習会の様子



図4 判断・操作ツールを用いた練習の様子

運転手がオペレーターを兼ねる作業形態（一人乗車）で実施した。また、自動散布機能を主として使用し、音声散布等の機能を試した。

4. 検証結果

4.1 検証中の不具合

検証期間中、対象路線の路面状態や気候条件に応じて当該支援システムを用いた散布作業（図5）が行われたのは2月2日・8日・10日・12日・13日・18日および19日の計7日間であった。ただし、これらの散布作業時にシステム内に不具合が生じ、散布作業が一時的に中断または中止せざるを得ない場面が数回発生した。不具合の発生個所は、GNSSの停止および操作ツールを構成するアプリケーションの強制停止によるものであった。GNSSが停止した原因は、GNSS測位補正に必要な車両側の速度パルス信号にノイズが生じたためである。また、アプリケーションが強制停止した原因は、手動散布・音声散布・自動散布の3つの機能を同時に使用すると操作ツールに過度な負荷がかかり、オーバーフローしたためである。

4.2 検証結果

表1に事前に散布が必要と設定した地点（開始・終了）と年度別（令和2年度、令和元年度、平成30年度）の検証で得られた自動散布の散布地点（開始・終了）との距離差を示す。また、図6に表1の結果から得られた基本統計量（平均値、標準偏差等）と箱ひげ図を示す。令和2年度の結果は、全部で44データある。このうち、前述の不具合発生時の16データを除き、28データを採用した。

令和2年度における自動散布の平均距離差は、散布開始で-7.3m、散布終了で-8.1mと令和元年度の検証結果とほぼ同様であった。標準偏差は、散布開始で1.2m、散布終了で1.0mと令和元年度と比べると0.6~0.8m大きくなっているが、誤差の範囲内であり、平成30年度と比べると小さい。自動散布の散布開始・終了地点が散布指示地点より7~8m手前となっているのは、地表面に落下した凍結防



図5 実道における散布作業の様子

止剤は、車両の風圧で進行方向に移動するため、少し手前から散布する必要があることを考慮したアプリケーションの機能であり、散布が必要な個所に散布が必要な量を的確に散布できていることを確認した。

4.3 ヒアリング結果

検証期間中および終了後、凍結防止剤散布作業支援システムを利用したオペレータを対象に当該システムの課題や実用性についてヒアリングを行った。

4.1節で示したとおり、複数の機能（手動散布・音声散布・自動散布）を同時に使用した場合、車載タブレットPCが応答しなくなったことに対する指摘があった。音声散布は、散布量を設定する命令に対する誤認が多かったとの指摘があった。また、本検証に用いた車載式凍結防止剤散布装置は、最大積載容量が0.5m³と容量が小さく散布延長が短いため、実用性に問題があるとの指摘があった。

一方、自動散布による散布作業は的確かつ精度良く実施されているとの回答を得た。

表1 事前に散布が必要と設定した地点と年度別の検証で得られた自動散布の散布地点との距離差

自動散布結果	標本数	距離差 (m)			
		平均値	中央値	標準偏差	
平成30年度	散布開始	18	8.6	9.1	7.5
	散布終了	18	9.1	11.6	9.6
令和元年度	散布開始	103	-7.3	-8.0	0.4
	散布終了	103	-7.3	-8.0	0.4
令和2年度	散布開始	16	-7.3	-7.3	1.2
	散布終了	12	-8.1	-8.2	1.0

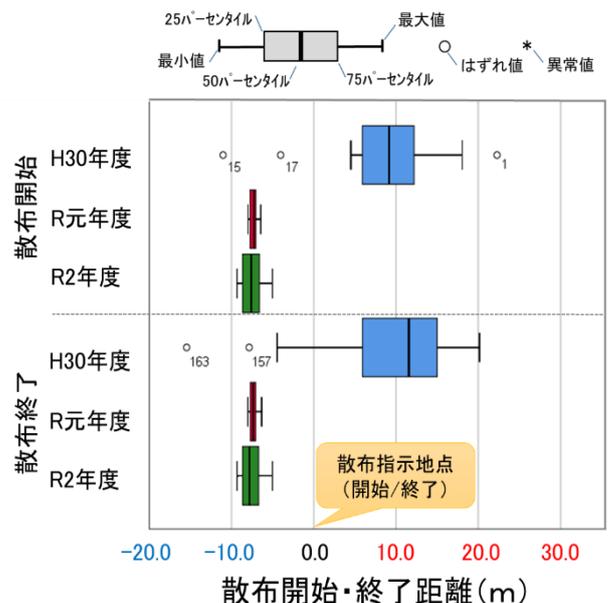


図6 年度別による距離差（自散）

5. まとめと今後の改良予定

筆者らは、新たなオペレータでも作業可能で、かつワンマン化でも安全で確実な散布作業を可能とする支援技術の開発に取り組んでいる。本研究で得られた成果を以下にまとめる。

・実道において運転手がオペレーターを兼ねる作業形態での自動散布（凍結防止剤散布作業支援システム）は、散布が必要な個所に散布が必要な量を的確に散布できており、実用上問題が無い。

・検証期間中および終了後のヒアリング結果により、自動散布による散布作業は的確かつ精度良く実施されているとの回答を得た。

今後、GPS（GNSS測位）や車載タブレットPC等の制御装置の改良や音声散布の音声認識機能の向上、実際の散布作業に使用している2～10m³の凍結防止剤散布車での試行導入等、当該システムの改良を実施する予定である。そして、ワンマン化でも安全で確実な凍結防止剤散布作業が可能な自動散布システムを確立し、実用化を目指す所存である。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：安全で円滑な冬期道路交通を確保します！～頻発する暴風雪を踏まえた今冬の取組について～，令和2年12月。
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/release/splaat000001yy4k-att/splaat0000020es8.pdf>（令和3年10月確認）。
- 2) 国土交通省：冬期道路交通の確保のあり方に関する検討委員会提言，持続的な冬期道路交通確保をめざして～連携と協働～，pp.25-26，平成25年5月。
<http://www.mlit.go.jp/common/000997537.pdf>，（令和3年10月確認）
- 3) 経済産業省：2050年までの経済社会の構造変化と政策課題について，平成30年9月。
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/2050_keizai/pdf/001_04_00.pdf，（令和3年10月確認）。
- 4) Thompson Gregory and Thompson Todd: Clear Roads - Developing a Totally Automated Spreading System, Final Report, February 2014,
http://clearroads.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/11-03-Totally-automated-spreader_final_report.pdf，（令和3年10月確認）。
- 5) 徳永ロベルト，佐藤賢治，高橋尚人，石田樹：凍結防止剤散布におけるオペレータの現地作業判断支援に関する研究，寒地土木研究所月報，No.767，pp.2-10，平成29年4月。
- 6) 徳永ロベルト，佐藤賢治：凍結防止剤散布作業時におけるオペレータの注視点に関する研究，寒地土木研究所月報，No.783，pp.8-16，平成31年8月。
- 7) 徳永ロベルト，佐藤賢治，齊田光，星卓見，佐藤昌哉：凍結防止剤散布支援技術による散布作業の負担軽減および的確性について，第32回ふゆトピア研究発表会，pp.209-214，令和2年1月。
- 8) 徳永ロベルト，齊田光，佐藤昌哉：凍結防止剤散布作業支援技術の構築と精度検証について，第36回寒地技術シンポジウム，pp.88-91，令和2年11月。
- 9) 徳永ロベルト，齊田光，佐藤昌哉：凍結防止剤散布支援システムの構築および精度検証について，第64回（令和2年度）北海道開発技術研究発表会，令和3年2月。
- 10) 徳永ロベルト，齊田光，佐藤昌哉：凍結防止剤散布支援技術の構築および実道における検証について，寒地土木研究所月報，No.815，pp.20-25，令和3年3月。