

凍結防止剤散布支援システムの開発と実用化

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○大廣 智則
北海道開発局 建設部 道路維持課 在田 尚宏
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 齊田 光

筆者らは、凍結防止剤散布において、ワンマン化でも安全で確実な散布作業を可能とするシステム開発を目指している。本研究では、実際の作業に使用している散布車に搭載可能な凍結防止剤散布支援システムを開発した。北海道開発局の散布車に開発したシステムを搭載し、有効性を確認した。その結果、凍結防止剤散布支援システムは機能・散布精度ともに実用レベルで、現場からはワンマン化に資するシステムとして評価された。さらに、令和4年度、 μ （路面のすべり摩擦係数）に応じた自動散布システムを開発し、ワンマン化に寄与する新たな検証計画を示した。

キーワード：冬期道路管理、ワンマン化、自動散布、凍結防止剤

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し、安全な道路交通を確保するため、凍結防止剤散布作業は重要な役割を果たしている。散布作業は多くの場合、運転手と助手席に乗車したオペレータの2人体制で行われている¹⁾。現在、これら作業に従事する作業員の確保は、近年の生産年齢人口の減少や新規入職者の減少等から困難になってきている²⁾。

これらの課題に対応するため、札幌市における凍結防止剤散布車における既存機械の1人乗り（以降、ワンマン）化の検討³⁾や北海道の高速道路で凍結防止剤を全線に散布せず、路面状態を自動判別し、散布が必要な区間の100m手前から自動散布⁴⁾する取り組みが行われているが、これまで散布作業のワンマン化について実用化に至った新たな技術はほとんどない。

上述した背景に鑑みて、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、経験の浅い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。

本研究では、国土交通省北海道開発局の散布作業に用いられている全ての散布機械に対応して凍結防止剤を自動散布するための方法として、凍結防止剤散布支援システムを新たに開発した。このシステムの開発状況を詳細に示す。また、路面状況は日々変化するので、事前に設定した以外の箇所でも散布できるように、このシステムでは音声散布機能も開発した。そして、自動散布中に音声散布機能を併用した作業の安全性を示し、アンケートによる検証結果からその実用性を明らかにする。また、助手席のオペレータが目視で判定した結果から、このシステムの自動散布による散布精度を明らかにする。最後に、

令和4年度に試行導入予定である凍結防止剤散布支援システムに路面すべり摩擦係数推定システム⁵⁾を組合せ、運転するだけのシステムを構築し、ワンマン化に寄与する新たな計画を示す。

2. 凍結防止剤散布支援システムの開発

(1) 従来からの凍結防止剤の散布方法

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、急勾配、急カーブ、交差点、橋梁、日陰、トンネル出口等を重点散布区間として設定し、散布を行っている⁶⁾。固形剤と溶液を散布直前に混合して散布する湿式散布は、路面への付着効果が高く速効性・持続性があり、固形剤が飛散しない効果を期待して通常の凍結防止剤散布方法として用いられている。

(2) 自動散布制御装置の設計

北海道開発局の凍結防止剤散布作業に用いられている全ての散布車規格で自動散布を実施するため、自動散布制御装置を新たに設計し、制御PC・GNSS・IoTルータ・継電器モジュール・電源装置等を収納した。自動散布制御装置と他の機器は、自動散布制御装置に電源を供給し、凍結防止剤散布車・タッチパネル液晶ディスプレイ・マイク・GNSSレシーバー・IoTルータアンテナに接続した。

(3) 自動散布ソフトの開発

CANプロトコルは、ISO-11898仕様に準拠したBosch2.0B active対応、データフォーマットは、CAN ID：11bitの標準フォーマットとして凍結防止剤散布車のCAN通信仕様を取り決めた。そして、自動散布制御装置

からの散布量、散布幅、溶液の割合、散布方向、散布 ON/OFFの信号を受信し、制御できるように散布車ソフトを新たに開発した。自動散布の実施は、散布車のエンジンをONにするとモニターの電源が入り自動散布ソフトが自動で起動し、30秒程度待つと接続チェックを行う。散布車のオペレータが、図-1に示す散布パターンボタンを選択すると、自動散布ボタンは連動され自動散布が実行される。自動散布終了後、エンジンをOFFにすると自動散布ソフトは自動で終了する。このように、自動散布ソフトは、散布車の運転手やオペレータが散布車操作卓を操作することなく、自動散布ソフトの画面を作業前に1回タッチするだけで自動散布を実行可能とした。

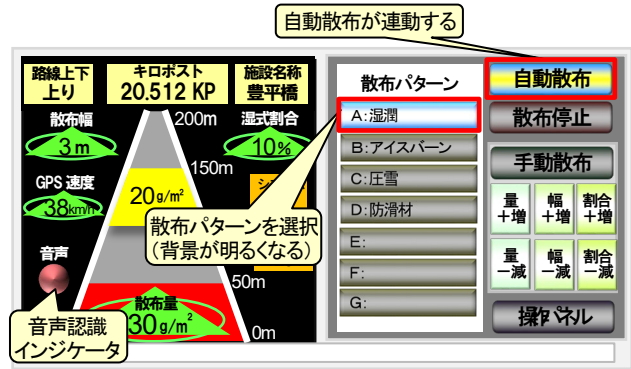


図-1 自動散布ソフト

(4) 凍結防止剤散布支援システムを構成する3つの散布支援ツール

図-2に、凍結防止剤散布支援システムを構成する3つの散布支援ツール「散布指示支援ツール」、「散布判断支援ツール」、「散布操作支援ツール」とそれらをつなぐ凍結防止剤散布フローを示す。これらの散布支援ツールは、インターネットを介したWEBサーバで連携している。

散布指示支援ツールは、各道路事務所で道路管理者等が、WebGIS上に散布が必要な区間(KP(キロポスト))を指定し、散布量・散布幅・溶液の割合・散布方向の情報を入力する。また、Excel等を使用し帳票形式で入力して、WEBサーバにアップロードすることも可能である。

散布判断支援ツールは、散布車の作業員に散布が必要な箇所200m手前から、散布の開始および終了、散布量等の情報を画像と音声とで提供し、凍結防止剤散布作業を促す。また、散布幅・溶液の割合・車両速度・上下線・KPや施設名称等の情報を画像で作業員に提供する。

散布操作支援ツールは、散布指示支援ツールで設定した散布パターンに従って散布条件を凍結防止剤散布車へ送信し、凍結防止剤を自動散布する。手動モードに切り替えた場合は、タッチパネルの量・幅・割合の増減ボタンで散布条件を変更でき、作業員の発声に従って音声での散布が可能である。



図-2 凍結防止剤散布支援システムによる散布フロー

表-1 試行導入状況

開発建設部	事務所	基地・ST	機械	規格
札幌	札幌道路	札幌ST	散布車	4.0m ³
小樽	小樽道路	小樽基地	除トラ	10t.I.G.散布
旭川	旭川道路	末広基地	散布車	4.0m ³
室蘭	苫小牧道路	苫東中央ST	除トラ	10t.I.G.散布
釧路	釧路道路	恋問ST	除トラ	10t.I.G.散布
帯広	足寄道路	足寄基地	除トラ	10t.I.G.散布
網走	網走道路	網走基地	除トラ	10t.I.G.散布
留萌	留萌開発	大別川ST	除トラ	10t.I.G.散布

※10t.I.G.散布：Iは一方方向スノーブラウの略称、Gは路面整正装置の略称、散布は散布装置の略称

(5) 凍結防止剤散布支援システムの試行導入

これまで北海道開発局では、運転手の死角にカメラを配置するなど、ワンマン化を支援する技術の試行が実施されている⁷⁾。令和3年度は、表-1に示す8開発建設部(札幌、小樽、旭川、室蘭、釧路、帯広、網走、留萌)で各1台、凍結防止剤散布車もしくは散布装置付き除雪トラックに凍結防止剤散布支援システムを試行導入した。図-3に示すように、自動散布制御装置とタッチパネルとマイクを散布車に搭載し、電源を車両から自動散布制御装置に供給し、そこからタッチパネルとマイクへ電源・通信ケーブルで接続した。凍結防止剤散布車とは、CAN通信ケーブルで接続し、2.(3)で開発した散布車ソフトをインストールした。



図-3 凍結防止剤散布車への凍結防止剤散布支援システムの搭載状況

(6) 凍結防止剤散布支援システムの機能性の検証

a) 検証方法

凍結防止剤散布支援システムを1冬期間運用し、散布が必要な箇所ですべて設定した散布（量・幅・方向）ができていないか検証を行った。凍結防止剤散布支援システムの自動散布機能で散布したときの散布ログデータを集計し、有効データ数と散布正答数から正答率を算出した。なお、散布正答は、予め設定した散布開始位置と実際の散布開始位置の距離差を散布ログデータのGNSSから求め、予め設定した散布開始位置の前後50mの範囲内に実際の散布開始位置が収まった場合とした。散布終了も同様である。

b) 検証結果

凍結防止剤散布支援システムの自動散布機能についての正答率を表-2に示す。旭川道路事務所では正答数がある有効データ数と完全に一致していない。これは凍結防止剤散布支援システムを導入当初、散布車ソフトが想定を上回るデータ量の受信を行いCAN通信エラーが発生したためである。これは直ちに、自動散布制御装置からの通信が増えても問題ない条件に変更した。また、留萌開発事務所で正答率が100%にならなかった理由は、GNSSの故障で自律航行による位置把握機能に不具合が生じたためである。この散布区間ではトンネル区間が長く、GNSSの自律航行が機能しなかったため、予め設定した散布をすることができなかった。

全事務所の有効データ数 219,539 に対し、正答数は 219,349 であり、正答率はほぼ 100%であった。凍結防止剤散布支援システムは、想定した機能を果たした。

3. 音声散布機能の開発と実用性の検証

(1) 音声散布機能の開発

これまで開発してきた凍結防止剤散布支援システムは、事前に設定した要散布箇所手前で情報提供とともに自動散布が可能であるが、日々変化する路面状況へ対応できていない。そこで、ワンマンでも道路と背景から視線を外すことなく、路面状況の変化に柔軟に対応した散布の変更を可能とするため、音声散布機能を開発した。音声散布機能はシステム起動時（散布車起動時）、待機状態となっている。この状態では音声指示は受け付けない。これは、図-1 左下と表-3 に示す音声認識インジケータの赤丸表示で確認することができる。「へいサンブ」とのコマンド用語彙を発声すると図-1 左下の赤丸表示が表-3 に示す青丸表示となり音声認識受付状態に遷移し、最大で10秒間待機する。この間に表-4 に示す予め登録した作動用語彙リストにある「サンブ」、「テイシ」、「キョウセイ」、「パネル」等と発声すると、図-1 左下の赤丸表示が表-3 に示す緑丸表示となり自動散布の操作を

表-2 凍結防止剤散布支援システムの自動散布機能についての正答率

事務所	検証期間	有効データ数	散布量・幅・方向の正答数	正答率%
札幌道路	2022/3/4~3/21	10,463	10,463	100
小樽道路	2022/2/11~3/21	4,591	4,591	100
旭川道路	2022/1/12~3/15	142,434	142,424	100
苫小牧道路	2022/1/11~3/16	36,364	36,364	100
釧路道路	2022/2/8~3/20	2,715	2,715	100
足寄道路	2022/3/17~3/20	5,745	5,745	100
網走道路	2022/2/7~3/16	3,962	3,962	100
留萌開発	2022/2/15~3/14	13,265	13,085	99
全事務所	—	219,539	219,349	100

表-3 音声認識インジケータ




画面表示	表示内容	状態
	赤丸表示	音声認識待機状態
	青丸表示	音声認識受付状態
	緑丸表示	音声認識操作実行状態

表-4 作動用語彙リストの一覧

コマンド	読み	実行内容
自動散布	サンブ	自動散布を開始する
散布停止	テイシ	散布を停止する
強制散布	キョウセイ	強制散布を開始する
操作パネル	パネル	操作パネルへの切替え
散布パターンA:湿潤	シツジュン	散布パターンAへの変更
散布パターンB:アイスバーン	アイス	散布パターンBへの変更

実行する。10秒経過するか、語彙リストに無い音声認識を受け付けると待機状態に戻る。図-1 に示す散布パターンの変更は、上記方法と同様に散布パターン名を読み上げることで、対象の散布パターンに切り替えることが可能である。このように、コマンド用語彙と作動用語彙を組み合わせることで、精度良く音声認識して凍結防止剤を散布することが可能である。

(2) 安全対策

音声や画像による散布支援情報の提供は、作業員の精神的負荷が軽減され事前に路面状態を認知できるが、散布支援情報提供にタッチパネルを視認することが含まれていることから道路と背景の注視率が低下するため、画像のみおよび画像と音声を組み合わせた散布支援情報提供には安全面に課題があることを明らかにしている^{8)・9)}。そ

ここで、図-1に示すようにタッチパネルを散布車操作卓の横に配置し、運転視野の妨げにならないようにした。また、図-1に示すように無指向性のマイクを運転手の声を集音する位置に配置し、散布中に散布停止や強制散布等、散布条件や散布パターンを変更するときには、道路と背景を視認しながらの設定変更を可能とした。

(3) 音声散布機能の実用性の検証方法

本研究では、主観的評価法として、凍結防止剤散布支援システムを使用して冬期道路維持作業に従事した作業員に対し、開発したシステムの実用性についてアンケート形式で検証を行った。検証時期は2022年3月中旬である。

アンケート項目は、年齢や主に担当している作業内容と、表-5に示す3つの検証項目と「回答理由」である。アンケートの評価尺度は、「大いに思う」、「概ね思う」、「少し思う」、「どちらとも言えない」、「あまり思わない」、「殆ど思わない」、「全く思わない」の7段階とした。作業員は、アンケート用紙で与えられた各設問に対し、評価尺度の「大いに思う・全く思わない」の両極を持つ7段階の線分上に、○印で記入した。

(4) 音声散布機能の実用性の検証結果

a) 年齢や主に担当している冬期道路維持作業内容の基礎情報

アンケートでは、図-4に示すように40歳台・50歳台を中心に18名から回答を得た。アンケートの回答者は全て男性である。主な作業内容は、散布作業が11名と最多で、除雪作業が5名、主任技術者と現場代理人が4名ずつであった。ただし、主な作業内容に関して散布作業と除雪作業または、主任技術者と現場代理人の重複回答があった。

b) ワンマン化の必要性

「ワンマン化は必要だと思いますか?」との設問1(表-5)に対する検証結果は、図-5に示すように、凍結防止剤散布作業にはワンマン化が必要との肯定的な意見が大勢を占める結果となり、否定的な意見は無かった。その理由として、手動の方が確実との意見が一定数あったが、自動散布があればワンマン化で良い、安全に作業できれば必要、人が集まらないとの回答が多くあった。つまり、この検証結果から、現場ではワンマン化の必要性を認識している。

c) 凍結防止剤散布支援システムのワンマン化の適合性

「凍結防止剤散布支援システムはワンマン化に適したシステムだと思いますか?」との設問2(表-5)に対する検証結果は、図-6に示すように凍結防止剤散布支援システムは、ワンマン化に適したシステムとして肯定的な意見が大勢を占める結果となった。その理由として、効率的・作業が確実・作業が楽との回答が最も多

表-5 アンケート内容

検証項目	
設問1	ワンマン化は必要だと思いますか?
設問2	凍結防止剤散布支援システムはワンマン化に適したシステムだと思いますか?
設問3	音声による散布切り替えはワンマン化に必要な機能だと思いますか?

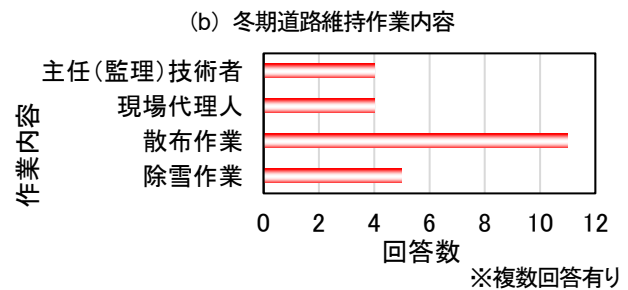
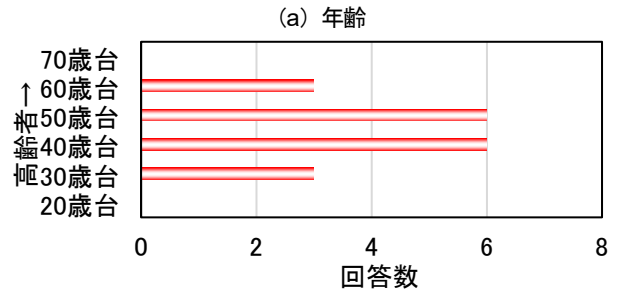


図-4 回答者の年齢と冬期道路維持作業内容

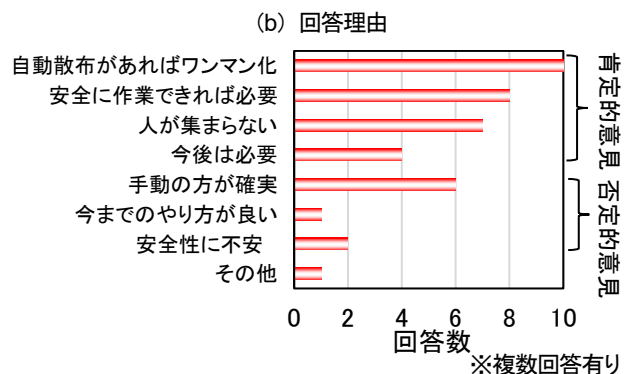
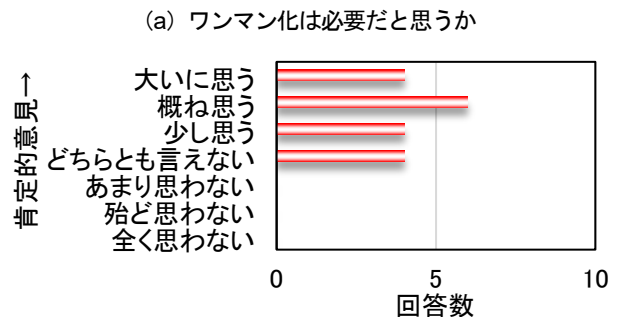


図-5 ワンマン化の必要性

く、一人で散布できる、安全、今後は必要との回答理由が続いた。この検証結果から、当該システムはワンマン化に資するシステムとして評価されている。

d) 音声散布機能のワンマン化への必要性

「音声による散布切り替えはワンマン化に必要な機能だと思いませんか?」との設問3(表-5)に対する検証結果は、図-7に示すように凍結防止剤散布支援システムの音声散布機能は、ワンマン化に必要な機能として肯定的な意見が大勢を占める結果となった。その理由として、一人で散布できる、作業が楽、安全だから、効率的との回答が多くあった。この検証結果から音声散布機能は、想定していた安全性と効率性を備えており、ワンマン化に必要な機能として評価された。

4. 凍結防止剤散布支援システムの散布精度検証

(1) 検証方法

a) 検証期間

凍結防止剤散布支援システムの自動散布機能による散布精度の検証は、2022年2月14日～4月1日の47日間に行った。期間の中で凍結防止剤散布支援システムの自動散布機能を使用して60回の散布が行われた。

b) 検証箇所

検証箇所は、表-1に示す試行導入の中で凍結防止剤や防滑材の散布頻度の多い旭川道路事務所とした。旭川道路事務所の凍結防止剤散布支援システムを搭載した散布車が凍結防止剤を散布する区間は、国道40号KP0～8.5と国道12号KP142.52～144.68である。

c) 検証方法

旭川道路事務所の凍結防止剤散布支援システムを搭載した散布車が担当している散布区間の中で、散布が必要な箇所は94ある。2022年2月14日～4月1日の期間の中で60回の散布が行われたため、全5640データについて、助手席のオペレータが目視で10m単位で散布精度を判定した。

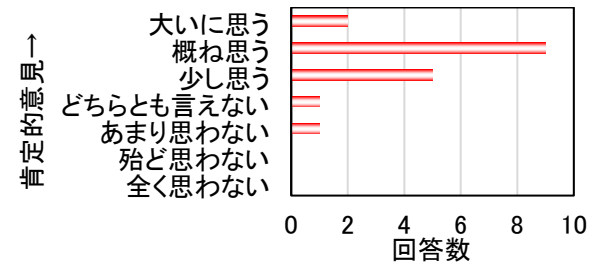
(2) 検証結果

凍結防止剤散布支援システムの散布精度の検証結果を図-8に示す。縦軸は散布回数、横軸は0mが散布地点、マイナスは手前から散布した、プラスは散布地点を過ぎて散布したということを示している。全5640データの中で8データは散布精度の判定ができなかったため、図-8は5632データの散布精度をとりまとめた。凍結防止剤散布支援システムの自動散布機能による散布精度は、全体のうち82%は事前に設定した散布位置と一致した。

5. 令和4年度の試行

(1) 試行導入予定

(a) 凍結防止剤散布支援システムはワンマン化に適したシステムだと思うか



(b) 回答理由

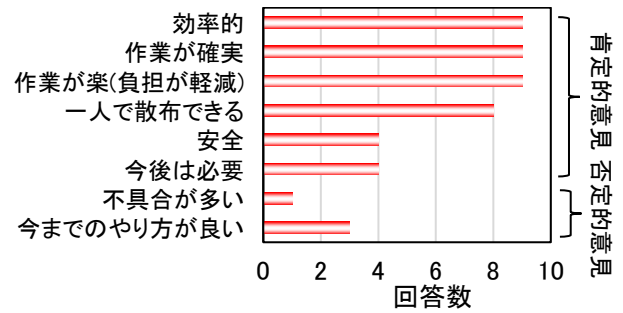
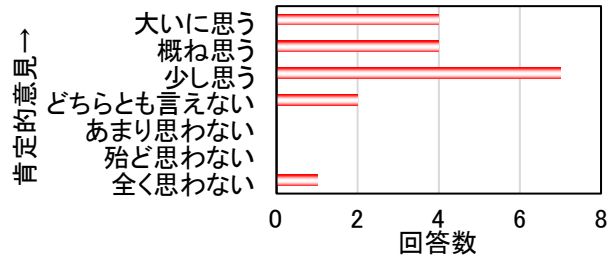


図-6 凍結防止剤散布支援システムのワンマン化への適合性

(a) 音声による散布切替はワンマン化に必要な機能と思うか



(b) 回答理由

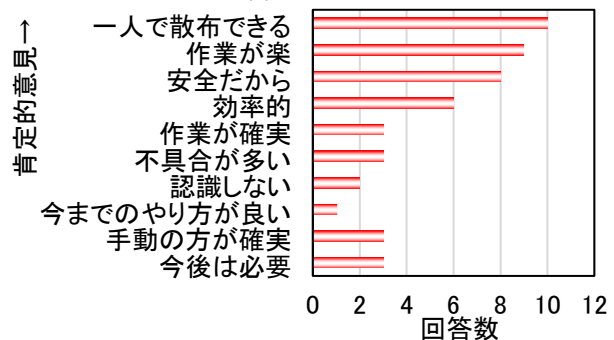


図-7 音声散布機能のワンマン化への必要性の回答結果

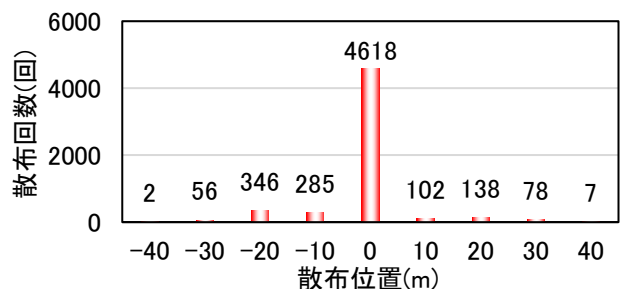


図-8 凍結防止剤散布支援システムの散布精度の検証結果

令和4年度は、令和3年度に北海道開発局において、凍結防止剤散布作業におけるワンマンオペレータ化の試行を実施した地域（札幌、小樽、旭川、室蘭、釧路、帯広、網走、留萌の8開発建設部で各1台）に函館、稚内を加え、10開発建設部で各1台試行導入し検証を実施する予定である。この検証では、 μ （路面のすべり摩擦係数）に応じた自動散布、市街地向けの散布精度向上や車線認識による散布向きを自動可変等を予定している。

(2) μ に応じた自動散布システムの構築

これまでの凍結防止剤散布支援システムによる凍結路面対策における散布方法は、2.(1)に示した従来の方法と同様に凍結防止剤を路線全線に散布するのではなく、急勾配、急カーブ、交差点、橋梁、日陰、トンネル出口等を重点散布区間として設定し、自動散布を行ってきた。重点散布区間であっても図-9に示すように一部乾燥路面の場合、これまでは音声による散布停止等、人が介在した動作変更が必要であった。そこで、これらの課題を解決するために凍結防止剤散布支援システムに路面すべり摩擦係数推定システム（図-10）を組合せ、 μ （路面のすべり摩擦係数）に応じた自動散布システムを構築した。このシステムでは、車載カメラ映像から路面の μ を推定して、散布の必要性を自動で判断することが可能なため、図-9の路面状態の場合、湿潤路面は自動で散布し、乾燥路面は自動で散布しない。つまり、設定変更させる作業が不要となり、ワンマン化でも運転に集中して安全に確実に凍結防止剤を散布することが可能となる。

6. まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 凍結防止剤散布支援システムの開発状況を詳細に示すとともに、8開発建設部で各1台試行導入し、1冬期間運用して機能性の検証を行った結果、散布が必要な箇所ですべて設定した散布（量・幅・方向）ができていたことを示した。
- (2) 音声散布機能の開発状況を詳細に示すとともに、音声散布機能の実用性についてアンケートにより検証を行った。凍結防止剤散布支援システムの音声散布機能は実用レベルで安全性に資するワンマン化に必要な機能として評価された。
- (3) 凍結防止剤散布支援システムの散布精度について、目視で10m単位で検証を行った結果、事前に設定した散布位置と概ね（82%）一致した。
- (4) 令和4年度、凍結防止剤散布支援システムを全て（10）の開発建設部に各1台試行導入した。また、 μ に応じた自動散布システムを開発し、ワンマン化に寄与する新たなシステムの検証を計画した。

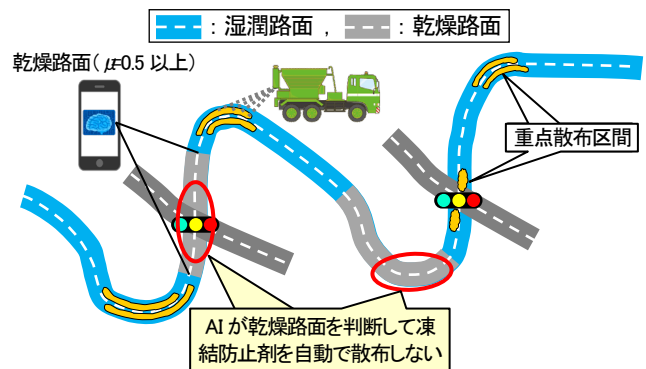


図-9 凍結防止剤散布支援システムに路面すべり摩擦係数推定システムを組合せた自動散布方法

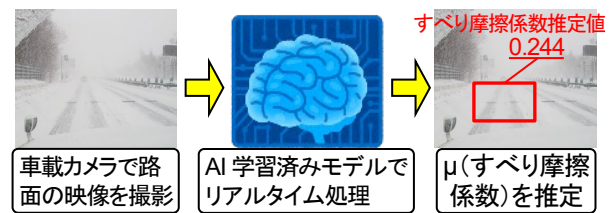


図-10 路面すべり摩擦係数推定システム

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：ITを用いた凍結防止剤散布作業の効率化に関する技術資料，国土技術政策総合研究所資料，No.342，106p，2006年10月。
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0342pdf/ks0342.pdf>（2022年12月確認）
- 2) 札幌市建設局雪対策室計画課：札幌市冬のみちづくりプラン2018，pp.21-36，2018年12月。
<https://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/keikaku/documents/03genjoutokadai.pdf>（2022年12月確認）
- 3) 松井聖浩：除雪機械の1人乗り化について，一般社団法人日本建設機械施工協会北海道支部だより，No.121，pp.6-8，2021年4月。
https://www.jcmahs.jp/files/news/news_121.pdf（2022年12月確認）
- 4) 大廣智則，高倉清，桜庭拓也，花塚泰史，萩原亨：自動路面状態判別システムを活用したスマート凍結防止剤散布システムの開発，交通工学論文集，第5巻，第4号（特集号B），pp.B_7-B_15，2019年4月。
- 5) 齊田光，大廣智則，畠山乃：AIによる画像認識技術を用いた冬期路面滑り摩擦係数推定手法の開発，第65回北海道開発技術研究会論文集，管18（道），2022年2月。
- 6) 国土交通省北海道開発局札幌開発建設部：“凍結路面対策”
https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/douro_keikaku/kluhh400000adla.html（2022年12月確認）
- 7) 梅木弥弥，谷津臣則，在田尚宏：除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組，第65回北海道開発技術研究会論文集，防22（道），2022年2月。
- 8) 徳永ロベルト，佐藤賢治，高橋尚人：凍結防止剤散布オペレータの現地状況判断支援技術に関する研究，寒地技術論文・報告集，Vol.32，pp.151-156，2016年11月。
- 9) 徳永ロベルト，佐藤賢治，中島知幸，藤本明宏，高橋尚人：情報提供方法が凍結防止剤散布オペレータの注視点にもたらす影響について，寒地技術論文・報告集，Vol.33，pp.143-148，2017年11月。