

1.1. 地域社会を支える冬期道路交通サービスの提供に関する研究開発

■ 目的

積雪寒冷地においては、日常的な降積雪や路面凍結により、渋滞やスリップ事故が発生し、地域の住民生活や社会経済活動に影響を与えている。さらに財源の制約、高齢化などによる生産年齢人口の減少が進む中、除雪機械の老朽化と担い手不足が深刻化し、これまでと同様な対応は困難になりつつある。そこで本研究開発プログラムでは、先進的技術を活用し、持続可能な冬期道路交通サービスの安全性・信頼性向上に資する技術の開発を行うことを目的とする。

■ 貢献

AI を活用して、スマートフォン等の画像から路面状態を推定する技術を開発し、広域の路面状態を把握して冬期道路管理の判断を支援する技術を開発するとともに、ICT 等の新技術を活用して、除雪機械の作業を支援するシステムや除雪機械の部品の劣化度を監視するシステムを開発し、担い手不足や除雪機械の老朽化等の課題解決を図ることで、信頼性の高い冬期道路交通の確保に貢献する。さらに、粗面系舗装の現場実装技術を開発することで、冬期路面のすべり抵抗を確保し、冬期道路の安全性向上に貢献する。

■ 達成目標および令和6年度に得られた成果・取組の概要

① 先進的技術を活用した冬期道路交通の信頼性確保に資する技術の開発

積雪または路面凍結時のすべり計測値に加えて乾燥または湿潤路面のすべり計測値および画像データを用いて路面すべり摩擦係数を推定する AI の改良を行った。その結果、路面画像から非積雪時の路面すべり摩擦係数を推定することが可能となったほか、学習用データの拡充により積雪および路面凍結時の路面すべり摩擦係数の推定精度が向上した（図-1）。

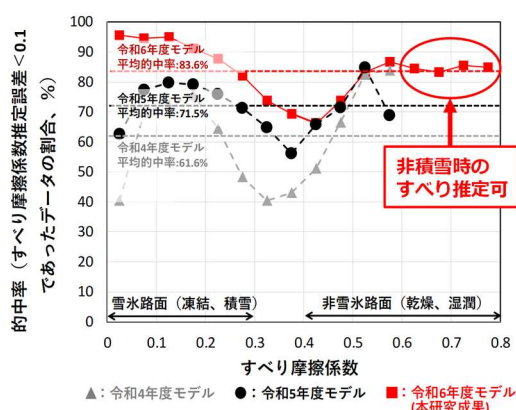


図-1 非積雪時の学習用データ拡充による路面すべり摩擦係数推定的中率の向上

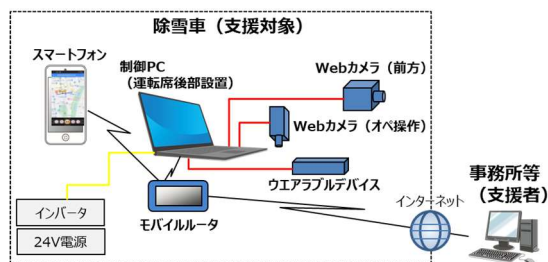


図-2 除雪等機械オペレータ支援システム（システム構成図）

表-1 除雪機械シミュレータの性能比較

主な機能等	東北 技術事務所	北陸 技術事務所	寒地 土木研究所
除雪機械の種類	除雪グレーダ	除雪トラック	除雪トラック
診断評価システム	—	—	搭載(予定)
訓練シナリオ	導入	—	導入(予定)
自動運転モード	—	搭載	—
走行映像	VR	VR	VR, AR(予定)
雪の量・質	変更可	変更不可	変更不可
周囲の交通流	再現あり	—	再現あり
運転席の振動	—	—	装備(予定)

除雪基地から遠隔で除雪等機械オペレータの作業・安全運転を支援するシステムについて、プロトタイプの開発を行った(図-2)。

試作した除雪機械シミュレータについて東北・北陸地方整備局の各技術事務所が開発したものとの性能比較を行い(表-1)、北海道の除雪オペレータへのヒアリングにより課題を整理した上で、開発方針をAR(拡張現実)からVR(仮想現実)へと見直した。

運搬排雪作業のダンプトラック台数を計画するため、モバイル端末のLiDARで取得した路肩堆雪形状から堆雪断面を抽出し、断面積を算出するプログラムを試作した(図-3)。

また、除雪機械のメンテナンス最適化に向け、振動加速度計測による状態監視手法について、作業時の各除雪装置の稼働やその作業における振動が特出する周波数帯を把握し、状態監視計測データのスリム化等を図った(図-4)。

② 冬期道路交通の安全性向上に資する技術の開発

機能性 SMA などの粗面系舗装の耐久性向上技術を開発するため、積雪寒冷環境下における変形性能に優れたポリマー改質アスファルト(H型-F)を使用した機能性 SMA の室内試験および試験施工を実施した。その結果、室内試験によりポリマー改質アスファルト H 型-F を使用した機能性 SMA は、ポリマー改質アスファルト II 型や改質 H 型を使用した機能性 SMA よりも骨材飛散抵抗性が高いことを確認し(図-5)、試験施工により現行のポリマー改質アスファルト II 型や H 型を使用した機能性 SMA と同程度の施工性と路面性状を得られることを確認した。

既設コンクリート舗装路面に対して表面研削工法を施工後、約 10 年経過後までの長期的な追跡調査を行った結果をとりまとめ、供用後のすべり抵抗値やきめ深さなどの路面性状が良好に推移していることを確認した(図-6)。

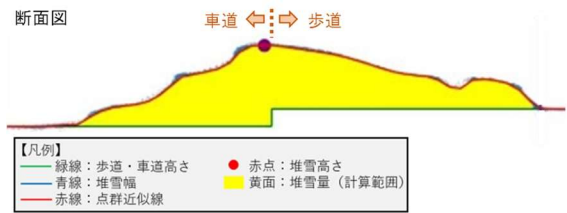


図-3 LiDAR(計測)による路肩堆雪断面抽出例

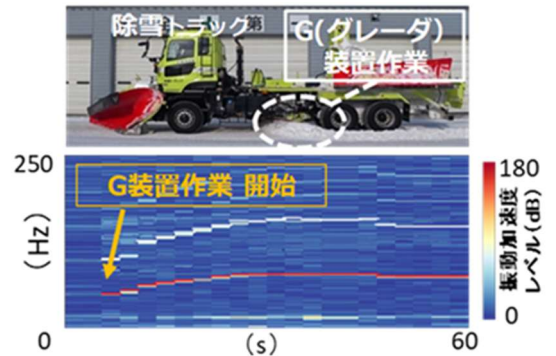


図-4 外乱、装置毎の周波数特性 (除雪トラックのグレーダ装置作業時の例)

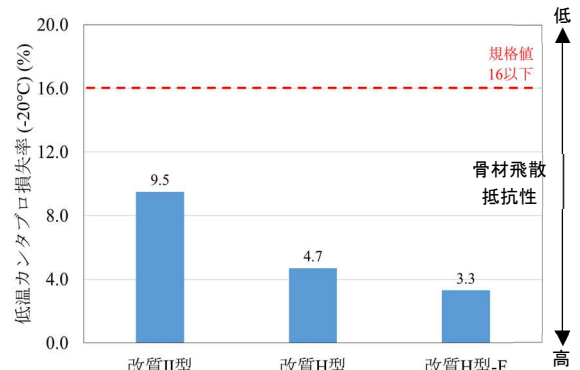


図-5 機能性 SMA の低温カンタブロ試験結果

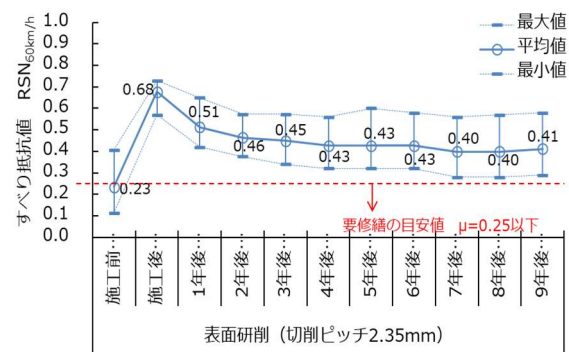


図-6 既設コンクリート舗装路面に対する表面研削後のすべり抵抗値の推移

RESEARCH AND DEVELOPMENT ON THE PROVISION OF WINTER ROAD TRAFFIC SERVICES THAT SUPPORT LOCAL COMMUNITIES

Research Period : FY2022-2027

Program Leader : Director of Cold-Region Road Engineering Research Group
MATSUZAWA Masaru

Research Group : Cold-Region Road Engineering Research Group (Traffic Engineering)
Cold-Region Maintenance Engineering Research Group (Road Maintenance)
Director for Cold-Region Technology Development Coordination (Machinery Technology)

Abstract : In snowy and cold regions, traffic congestion and skidding accidents affect socioeconomic activities. In addition, due to the aging of snow removal machinery and labor shortages due to financial constraints and to the demographic aging of the working population, the following goals have been set toward developing sustainable winter road transportation services that utilize advanced technologies.

① Development of technologies that contribute to ensuring the reliability of winter road traffic services by utilizing advanced technologies

The following activities were conducted in FY2024: improvement of AI for estimating road surface friction coefficients by using images of the road surface without accumulated snow, the development of a prototype system that remotely supports an operator's snow and ice control judgments and operations from a management station, performance comparisons of snow removal machinery simulators, the trial production of a program for calculating sectional areas of snow piles based on the shapes of snow piles obtained by using mobile terminal LiDAR technology, and the streamlining of data on the condition monitoring and measurement of various devices during operation toward optimizing the maintenance of snow removal machinery.

② Development of technologies that contribute to improving the safety of winter road traffic

It was confirmed in FY2024 that high-float polymer-modified asphalt, which is durable even under snowy and cold conditions, effectively improves the durability of functional SMA. Additionally, follow-up research after surface grinding clarified the long-term changes in the characteristics of the traveled surface.

Keywords : Winter road management, Snow removal support, Machine maintenance, Functional SMA

11.1 AI を用いた路面雪氷状態推定による冬期道路管理支援技術に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令 4～令 9

担当チーム：寒地交通チーム

研究担当者：中村浩、谷津臣則、
松島哲郎、齊田光、奥村航太

本研究では、①の達成目標について、以下の成果を得た。

① 先進的技術を活用した冬期道路交通の信頼性確保に資する技術の開発：

令和 5 年度に開発した画像から積雪時の路面凹凸深さを推定する AI について、PC やスマートフォン等の情報端末上で動作するアプリケーションを開発した。また、上記の AI と定性的な路面性状（乾燥、湿潤、シャーベット、圧雪および凍結の 5 分類）を画像から推定する AI および路面すべり摩擦係数を画像から推定する AI を用いて、道路 CCTV カメラ画像から路面すべり摩擦係数・雪氷の有無および定性的な路面性状・積雪時の路面凹凸深さを推定し Web 上で配信するシステムを構築した。

また、画像から路面すべり摩擦係数および定性的な路面性状を推定する AI を組み合わせて、路面画像から凍結防止剤の散布作業要否を自動で判別する手法を開発し、自動判別の精度および判別の処理速度について実用可能であるか検証を行った（論文リスト c-10）。

キーワード：AI、路面すべり摩擦係数、路面雪氷状態、意思決定支援、凍結防止剤散布作業、省力化

11.2 除雪等機械オペレータの作業・安全運転支援技術に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令 4～令 9

担当チーム：寒地機械技術チーム、寒地交通チーム

研究担当者：片野浩司、澤口重夫、山崎貴志、山田充、木村崇、村田晴彦、
中村浩、谷津臣則、四辻裕文、齊田光

本研究では、①の達成目標について、以下の成果を得た。

① 先進的技術を活用した冬期道路交通の信頼性確保に資する技術の開発：

除雪等機械オペレータの作業・安全運転支援技術の開発について、除雪基地から遠隔で除雪等機械オペレータの作業・安全運転を支援するシステムに関するプロトタイプの開発を行った。

また、除雪等技能向上・継承支援技術の開発について、令和 5 年度に開発した除雪トラック・シミュレーターの実作品と国土交通省東北技術事務所並びに北陸技術事務所が開発した除雪グレーダ・シミュレーター並びに除雪トラック・シミュレーターとの比較検証を行った。同試作品に搭載予定の評価システム構築のため北海道内の直轄国道除雪業者の熟練オペレータにヒアリングし、除雪の勘所を確認した（論文リスト c-14）。

キーワード：除雪機械、シミュレーター、技術継承、支援技術、オペレータ

11.3 運搬排雪作業の計画支援技術及び省力化・自動化に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令4～令9
担当チーム：寒地機械技術チーム
研究担当者：片野浩司、澤口重夫、
吉田智、木村崇、飯田美喜

本研究では、①の達成目標について、以下の成果を得た。

① 先進的技術を活用した冬期道路交通の信頼性確保に資する技術の開発：

運搬排雪作業におけるダンプトラック台数を計画するため、モバイル端末のLiDARで取得した堆雪形状から堆雪断面を抽出し、断面積を算出するプログラムを試作した。また、積込状況を確認するツールを試作後、ロータリ除雪車に搭載したLiDARを用いて模擬試験を実施し、ダンプトラック荷台底面に溜まる水等の影響を受けるといった課題を抽出した（論文リストc-4, c-9, c-13）。

キーワード：運搬排雪、計画支援技術、積込作業支援、自動化、省力化

11.4 状態監視診断技術を活用した除雪機械メンテナンスの最適化に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令4～令9
担当チーム：寒地機械技術チーム
研究担当者：片野浩司、中島淳一、澤口重夫、
植野英睦、齋藤勉、山田充

本研究では、①の達成目標について、以下の成果を得た。

① 先進的技術を活用した冬期道路交通の信頼性確保に資する技術の開発：

除雪機械の状態監視技術の開発として、除雪トラック作業時の振動加速度を計測し、周波数と振動加速度レベルから異常により振動が大きくなった部品等を検出する状態監視手法を検討した。各除雪装置の稼働や、その作業で振動が特出する周波数帯の把握(図-1)により、計測データのスリム化、周波数分析の時間短縮を図り、故障等の早期発見の可能性を確認した（論文リストc-5）。

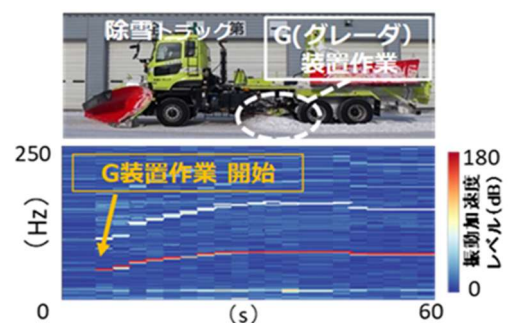


図-1 周波数毎の振動加速度レベル
(除雪トラックG作業 例)

キーワード：除雪機械、異常検出、振動加速度、状態監視、メンテナンス

11.5 安全安心な冬期道路環境の提供に寄与する路面对策技術に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令4～令9

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：丸山記美雄、佐藤圭洋、布施浩司、
紅林俊、大江弘希

本研究では、②の達成目標について、以下の成果を得た。

② 冬期道路交通の安全性向上に資する技術の開発：

冬期路面時の安全性能と構造的耐久性を兼ね備えた新たな舗装構造構築技術の現場実装について、水平振動ローラを用いた機能性 SMA の試験施工および、積雪寒冷環境下における耐久性に優れたポリマー改質アスファルト（H型-F）を使用した機能性 SMA の室内試験および試験施工を実施した。水平振動ローラおよびポリマー改質アスファルト H 型-F の使用が、機能性 SMA の耐久性向上に有効であることを確認した。

粗面系舗装による冬期路面对策技術の便益算定手法の構築について、機能性 SMA は、排水性舗装と比較して維持修繕が必要な面積が少ないため、長期供用時のトータルコストが排水性舗装よりも低くなることを確認した。また、冬期路面時のすべり摩擦係数の出現傾向を把握し、道路利用者便益の算定に必要な情報と課題点を整理した。

適材適所の路面すべり対策活用技術の現場実装について、特殊バインダー SMA 舗装および小粒径 SMA 舗装の凍結路面時の路面すべり抵抗値を把握した。また、既設コンクリート舗装路面に対して表面研削工法施工後約 10 年経過後まで追跡調査を行い、供用後のすべり抵抗値やきめ深さなどの路面性状の長期的な推移について明らかにした（論文リスト c-15, c-16）。

キーワード：機能性 SMA、耐久性、施工技術、配合設計技術、冬期路面对策

論文リスト

査読付論文・国内（計2本）

- a-1) 平澤匡介、中村浩、山田慶太：ワイヤロープ式防護柵の端部衝突事故対策としてのガードレール型緩衝装置の開発、第44回交通工学研究発表会論文集、2024.8
- a-2) 平澤匡介、中村浩、山田慶太：ワイヤロープ式防護柵の端部衝突事故対策としてのガードレール型緩衝装置の開発、交通工学論文集11巻2号、B_1-B_7、2025.2

査読付論文・海外（計1本）

- b-1) 平澤匡介、伊東靖彦、山田慶太：Research and Development to Improving Deformation Performance of Wire Rope Barriers、Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies、Vol.15、2024.6

査読無し論文・国内（計16本）

- c-1) 齊田光、奥村航太、中村裕貴、松島哲郎、中村浩：路面画像と深層学習による湿潤路面のすべり摩擦係数推定手法の開発、第70回土木計画学研究発表会・講演集、2024.11
- c-2) 奥村航太、齊田光、松島哲郎、中村浩：機械学習を用いた車両挙動データによる路面のすべり摩擦係数推定手法、第70回土木計画学研究発表会・講演集、2024.11
- c-3) 中村裕貴、齊田光、奥村航太、松島哲郎、中村浩：乾式散布と湿式散布による冬期路面状態への散布効果および防滑材の定着性の比較、第70回土木計画学研究発表会・講演集、2024.11
- c-4) 飯田美喜、吉田智：LiDARを用いた路肩堆雪計測技術の適用性検証、第40回寒地技術シンポジウム、2024.11
- c-5) 植野英睦、山田充：振動加速度レベルによる除雪トラックフレームに作用する作業種別毎の負荷傾向について、令和6年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集、pp.109~112、2024.11
- c-6) 齊田光、奥村航太、松島哲郎、中村浩：深層学習と道路CCTVカメラを用いた路面雪氷状態推定手法、第36回ゆきみらい研究発表会、2025.1
- c-7) 四辻裕文、奥村航太、谷津臣則、中村浩：北海道でのハンプ常設化に資する冬期試験設置の効果検証～車速抑制効果に着目して～、第36回ゆきみらい研究発表会、2025.1
- c-8) 中村裕貴、齊田光、奥村航太、松島哲郎、中村浩：凍結防止剤の事前散布による散布方法ごとの効果の検討、第36回ゆきみらい研究発表会、2025.1
- c-9) 飯田美喜、吉田智：モバイル端末による路肩堆雪計測技術の適用性について、第36回ゆきみらい研究発表会、2025.1
- c-10) 齊田光、奥村航太、中村浩：AI路面雪氷状態推定手法を用いた凍結防止剤散布作業の自動化に関する基礎的検討、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会、2025.2
- c-11) 四辻裕文、奥村航太、谷津臣則：苫小牧寒地試験道路におけるプレキャストコンクリート製ハンプの試験設置、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会、2025.2
- c-12) 奥村航太、渡部剛喜、四辻裕文：As製ハンプに関する除雪作業へのアンケート結果と路面損傷の調査ー北見市三輪小通道路を対象としてー、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会、2025.2
- c-13) 飯田美喜、吉田智：モバイル端末による堆雪間距離計測技術の検証、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会、2025.2
- c-14) 木村崇、山崎貴志、山田充：除雪車オペレータ支援システムの設計・開発、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会、2025.2
- c-15) 大江弘希、上野千草、丸山記美雄：粗面系舗装の高耐久化に向けた取り組み、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会、2025.2
- c-16) 佐藤圭洋、丸山記美雄：既設舗装路面へのダイヤモンドカッタによる表面研削工法施工後の路面性状に関する一考察、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会、2025.2

学会発表等その他（計 7 本）

- e-1) 齊田光、大廣智則、奥村航太、伊東靖彦：深層学習を用いた路面画像による非雪氷路面のすべり摩擦係数推定に関する基礎的検証、土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会講演概要集、2024.9
- e-2) 青木聡、柳瀬匡雄、齊田光、高橋要一：画像 AI による冬季路面すべり摩擦係数推定方法の検討、土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会講演概要集、2024.9
- e-3) 奥村航太、齊田光、松島哲郎、中村浩：川砂利を用いた凍結路面对策に関する防滑材散布実験、土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会講演概要集、2024.9
- e-4) 齊田光、奥村航太、中村裕貴、松島哲郎、中村浩：機械学習を用いた路面すべり摩擦係数予測に関する基礎的検討、雪氷研究大会講演要旨集、2024.9
- e-5) 奥村航太、齊田光、松島哲郎、中村浩：気象データと日照情報を活用した冬期路面温度の推定、雪氷研究大会講演要旨集、2024.9
- e-6) 中村裕貴、齊田光、奥村航太、松島哲郎、中村浩：凍結路面への湿式散布による防滑材の定着性比較、雪氷研究大会講演要旨集、2024.9
- e-7) 齊田光：深層学習と道路 CCTV カメラ画像を用いた路面すべり摩擦係数推定手法の開発、道路会会報「道（みち）」第 35 号、2024.10