

一般財団法人新潟県建設技術センター 研究助成事業（2025年度）

車両搭載型 3D 計測システムによる道路・路肩の積雪情報取得に関する事業

令和8年3月15日

代表者 長岡技術科学大学 環境社会基盤系 高橋一義

1. 事業の概要

除雪作業従事者の高齢化や人手不足は、積雪地域の社会生活の維持において深刻な課題となっており、近年では ICT を活用した効率化や省力化が進められている。一方で、人口減少が加速する地方都市では、単に除雪作業を効率化・省力化するだけでなく、道路・路肩の積雪状況を的確に反映した除雪体制の確保が必要である。代表的な道路・路肩の積雪情報として、除雪パトロールによる調査結果が挙げられる。しかし、この調査点は空間密度が低く、市街地全体の道路・路肩の積雪状況を推測するには十分ではない。広範囲かつ高密度な道路・路肩の積雪情報を取得・蓄積できれば、AI 技術や気象予報情報を組み合わせた積雪状況の推測や予測が可能となり、合理的な除雪ルートや除雪頻度の選定が進むと期待される。

2. 事業の内容

本事業では、道路および路肩の積雪情報を効率的に取得可能な車両搭載型 3D 計測システム（Mobile Mapping System : MMS）の開発と試験運用を通じて、持続可能な除雪体制の確保に寄与することを目的とする。安価なセンサを組み合わせることで低コスト MMS を開発し、実環境下で運用することで、低コスト MMS を用いた道路・路肩の積雪情報提供の一連の処理過程を検証するとともに、実用的なシステム構築に向けた課題を明らかにする。

3. 低コスト MMS の開発

2021 年度助成事業「除雪業務の DX 化促進に関する事業」において、数万円から十数万円のセンサを用いて MMS を試作し、その基本性能を評価している。この知見を活用し、主要センサ費用（LiDAR と GNSS/INS）の総額を 50 万円程度に抑えた MMS（以降、本



図 1 主要センサの外観

表 1 主要センサの諸元

(a) LiDAR, Livox Mid-360

レーザ走査範囲	水平360° , 鉛直59°
検出距離	40m@10%反射率
距離精度	2cm@10m
レーザ発散角	水平25.2° , 鉛直8°
フレームレート	10 Hz
ポイントレート	20万点/秒 (非反復走査)

(b) GNSS/INS, Bynav X1-5H

位置精度(RTK)	水平 : 1cm+1ppm 鉛直 : 1.5cm+1ppm
姿勢角 (精度)	RollとPitch : 0.018° Azimuth : 0.084°
出力レート	125 Hz (最大)



(a)本装置の外観



(b)車両搭載した様子

図 2 本装置の外観と車両搭載時の様子

装置)を開発した。図 1 と表 1 に主要センサの外観と諸元を示す。

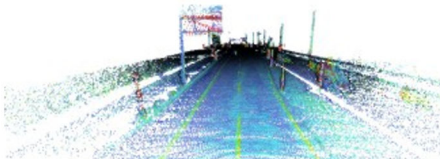



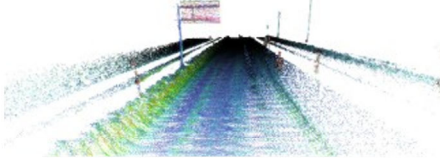

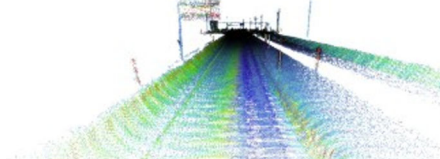




本装置は車両への着脱を容易とするため、筐体と GNSS アンテナを固定する金属フレームの下部にマグネットステーを取り付けた。センサのデータロギングはメーカー付属のアプリケーション、点群への位置情報付与は自作アプリケーションにより実施する。本装置の外観と車両搭載時の様子を図 2 に示す。

4. 実道路環境における計測実験

点群記録から道路積雪情報提供までの一連の処理体系を整理するため、2025年12月中旬から2026年2月中旬にかけて、実環境下にて本装置による計測実験を断続的に実施した。計測対象は長岡市街地を含む一般道とした。2026年2月中旬までに計15回分の点群データを取得した。雪堤の経時変化の例として、長岡市の東西バイパスの一部区間の点群の経時変化を表 2 に、長岡アメダスの最深積雪の経時変化を図 3 に示す。掲載した結果は、長岡アメダスにおいて最深積雪が概ね増加する期間に対応している。点群データ上では、道路標識やスノーポールも確認できる。また、雪堤に関しては、高さや車道側への張

り出しが経時変化していることが読み取れる。路面部分に着目すると、積雪が全くない
 2025年12月16日では、路面点群が観察される一方で、路面が濡れている残りの5つの
 計測日においては、一部の路面点群が欠落している。これは、開発したMMSに搭載した
 LiDARの特性によるものであり、濡れた表面からの反射が著しく低下するためである¹⁾。

表 2 道路雪堤点群の経時変化

計測日	点群	ドラレコ画像
2025年 12月16日		
2026年 01月21日		
2026年 01月22日		
2026年 01月23日		
2026年 01月25日		データ欠落
2026年 02月02日		

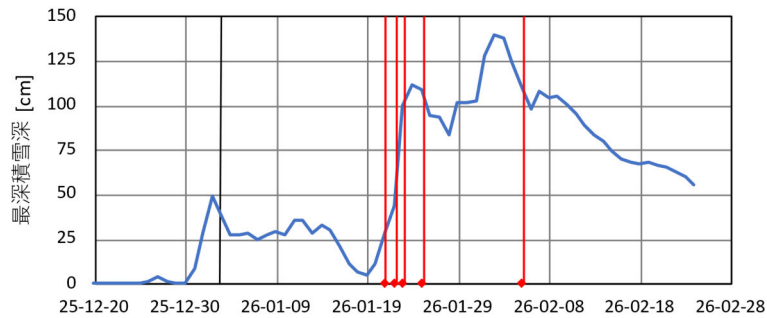


図 3 長岡アメダスの最深積雪の経時変化と掲載データの計測日（赤線）

5. 道路・路肩の積雪情報の生成方法

道路・路肩の積雪情報として、路面積雪深、車道の側方余裕、雪堤高さを想定すると、これらの情報を生成するには、路面位置や車道外側線といった深さ、距離、高さの基準となる位置の付与が必要である。基準位置の付与方法のひとつは、無雪期点群を利用することである。この場合、道路・路肩の積雪情報の生成過程は、おおよそ（１）ノイズ点群の削除、（２）点群間（積雪期と無雪期）の位置合わせ、（３）点群の分類、（４）積雪情報の生成、となる。（１）から（３）は前処理となる。

ノイズ点群は、おもに降雪粒子による空中ノイズと計測車両近傍の車両点群である。実務上、これら点群を効率的に削除することが求められる。効率的な手法として、空中ノイズに関しては、レーザ反射強度や空間密度が相対的に低いことを利用した手法^{3),4)}、近傍の車両点群に関しては、道路横断面状の連続する点群に直線を当てはめ、その勾配から車両点群を判別する手法⁵⁾が提案されている。本事業では、実装が容易な SOR フィルタ³⁾を使用した。

点群間の位置合わせに関しては、反復処理により 2 つの点群の位置を合わせる手法が提案されている。オーソドックスな手法として、C2C (Cloud-to-Cloud) 距離を最小化する ICP⁶⁾がある。この手法は、処理結果が初期状態に依存することが知られている。一方、積雪により同一地点の地物が隠れたりするため、ICP を単純に利用することはできない。一方、低コスト MMS にて同一地物を繰り返し計測した際の相対位置誤差を調査した著者らの先行研究²⁾では、衛星測位モードが RTK Fixed 状態ならば、点群間の相対位置誤差は 5 cm 程度であった。そこで本事業では、水平方向の位置誤差成分は無視し、衛星測位モードが RTK Fixed 状態の区間においては、積雪時においても観測可能性が高い路面に着目し、路面位置（鉛直成分）を点群間で一致させる手法を採用し、積雪情報を生成することにした。

点群の分類処理は、対象とする積雪領域を正しく認識する上で重要である。幾何学的・統計的な手法や深層学習を利用した手法などがある。本事業では、深層学習を利用した手

法のひとつである PointNet++による点群分類を試みた。

積雪情報は、表 2 で示した区間の空中ノイズや近傍車両の点群がない着目点において生成した。まず、着目点を含む区間において、車両進行方向を表す基線を車道の中央を通るように設定した。つぎに基線の両側にそれぞれ長さ 8 m の測線を設定し、測線を含む道路縦断方向に 50 cm の幅で点群を抽出する領域を設定した。そして、この領域を道路横断方向に幅 10 cm で細分化し、細分化領域ごとに計測点の Z 成分の代表値を決定し横断データとした（代表値は中央値とした）。

横断データを無雪期と積雪期の点群について生成し、路面位置を一致させる演算後に、両者の差分から積雪深を計算した。なお、路面位置を用いた位置合わせは、基線を中心とする 2 m の範囲で実施した。積雪深のうち、車道外側線よりも車道側領域の値が路面積雪深、外側領域において最大の積雪深を雪堤高さとした。また、車道外側線を基準に雪堤の車道側への張り出し距離を計算した。このとき、積雪深 5 cm 以上の区間を雪堤と判断した。なお、この距離が正の場合は、車道の側方余裕が負の値となる。

6. 道路・路肩の積雪情報の結果

前述の方法で着目点の断面と積雪分布を生成した（図 4、図 5）。新雪除雪により車道の積雪が路肩部へ移動することで路肩部の雪堤が成長する（高くなる）。この様子が 2026

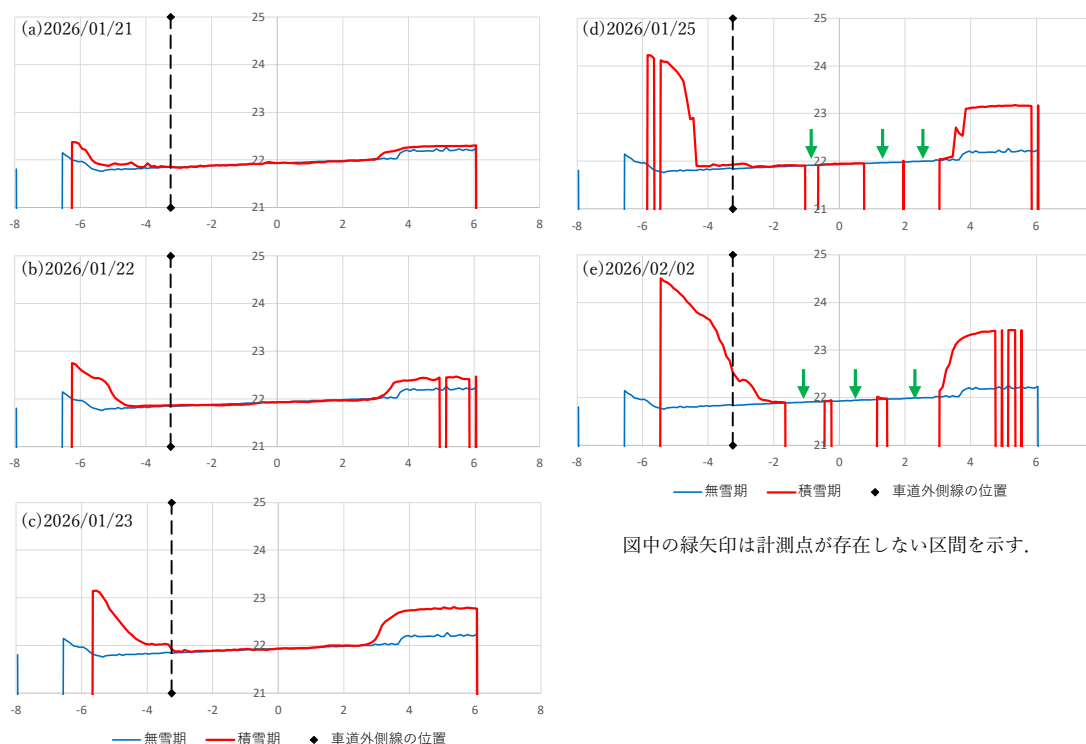


図 4 着目点における道路横断図の経時変化

年1月21日から1月23日の断面図から読み取れる（雪堤が車道側まで徐々に張出している）。1度目の降雪のピークを過ぎた2026年1月25日では、雪堤の車道側の形状がほぼ鉛直になっている。これまでの雪堤の成長と形状の変化より、これは拡幅除雪により雪堤の一部が削れたことで生じたと考えられる。

2回目の降雪のピーク後にあたる2026年2月2日では、雪堤が一段と成長したこと、新雪除雪により形成された雪堤が車道側に大きく張出していることが読み取れる。横断データから、路面積雪深（車道外側線から基線までの区間）、車道の側方余裕、雪堤高さを算出した結果を表3に示す。この期間において雪堤高は最大2.72mに達し、側方余裕が

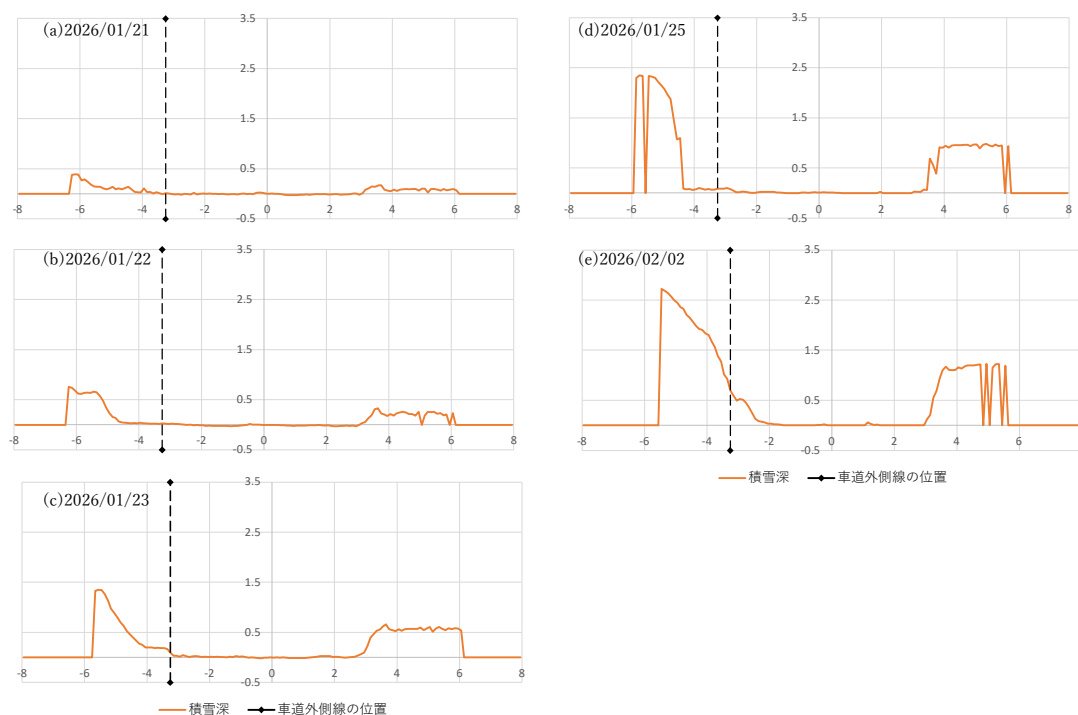


図5 着目点における積雪分布の経時変化

表3 側方余裕と雪堤高の経時変化

*は雪堤の張出し領域を除いた値

計測日	側方余裕 [m]	雪堤高 [m]	車道部の積雪深 [m]
2026/1/21	1.0	0.39	0.01
2026/1/22	1.0	0.76	0.02
2026/1/23	0.0	1.35	0.02
2026/1/25	-0.4	2.35	0.01*
2026/2/2	-1.1	2.72	0.02*

1 m ほど減少し、実質的な走行車線が1車線に減少したことがわかる。ただし、雪堤高については、雪堤の断面形状と車両に搭載されたMMSの高さから、レーザ光が雪堤最上部に照射されず、雪堤高を過小評価した可能性がある点に留意が必要である。

6. 1 点群の分類

手作業にて作成した学習データを用いて、PointNet++のファインチューニングを試みた。分類項目を積雪、構造物、植生、道路、その他として再学習させたものの、分類精度は低く、期待した結果は得られなかった。しかし、手動で教師データを生成する際の初期値を付与する手段として利用できる可能性がある。また、現状では分類処理速度が遅く、リアルタイム性を求める用途には適さないと判断した。

7. まとめ

本事業では、道路および路肩の積雪情報を効率的に取得可能な車両搭載型3D計測システム(Mobile Mapping System : MMS)の開発と実環境での試験運用を通じて、道路・路肩の積雪情報を提供する一連の処理過程を検証した。

結果は以下の成果が得られた。

- (1) 路面積雪深、車道の側方余裕、雪堤高の基本的な生成過程を構築した
- (2) 降雪と除雪により雪堤形状が経時変化する様子を可視化した

また、実用的なシステム構築に向けた課題として

- (1) 対象となる積雪点群の自動分類手法の確立が必要である。このためには、処理単位を点ではなく、Voxelへ変更するのが望ましいと考えられる。
- (2) MMSを搭載する車両は背の高いバンタイプが望ましい。雪堤がLiDAR取付け位置よりも高くなると、雪堤最上部にレーザ光が照射されない可能性が生じるため、

が挙げられる。
今後は、広域の積雪情報の生成の実現を目指し、まずは高速な点群の自動分類手法について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 高橋一義, 中村 健 : Livox Mid-360 を用いた路面積雪深計測のための車両搭載 LiDAR システム開発, 日本写真測量学会, 令和 6 年度年次学術講演会発表論文集, pp. 13-14, 2024.
- 2) 清水琉我, 小島由記子, 中村 健, 高橋一義 : 低コスト MMS による道路積雪計測に向けた点群位置の相対精度の検討, 土木情報学シンポジウム講演集, 50, pp. 61-65, 2025.
- 3) Rusu, R.B.; Cousins, S. 3D is here: Point Cloud Library (PCL). In Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, China, 9–13 May 2011.
- 4) Le, M.H., Cheng, C.H., Liu, D.G. and Nguyen, T.T. : An Adaptive Group of Density Outlier Removal Filter: Snow Particle Removal from LiDAR Data. Electronics 11, 2993 (2022).

- 5) Varela-González, M., González-Jorge, H., Riveiro, B., Arias, P. : Automatic filtering of vehicles from mobile LiDAR datasets. *Measurement* 53, 215–223, 2014
- 6) Paul J. Besl, Neil D. McKay: A Method for Registration of 3-D Shapes, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(2), 239–256, 1992.