

パーソナルモビリティを活用した三次元点群計測の効率化

Efficiency Improvement of 3D Point Cloud Measurement by Use of a Personal Mobility Vehicle

北見工業大学工学部地域未来デザイン工学科	○学生員	幸谷有毅 (Yuki Kotani)
北見工業大学工学部社会環境系	正会員	富山和也 (Kazuya Tomiyama)
大林道路株式会社 本店 技術部	非会員	山口雄希 (Yuki Yamaguchi)
大林道路株式会社 大阪支店 技術部	正会員	森石一志 (Kazushi Moriishi)
北見工業大学工学部地域未来デザイン工学科	非会員	板垣智哉 (Tomoya Itagaki)

1. はじめに

近年、「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（通称、バリアフリー法）」¹⁾の改正に代表されるように、誰もが安心して快適に利用できる歩行空間の整備に向けた取り組みがますます重要となっている。また、既往研究²⁾では、道路管理者へのヒアリング調査から地方都市においても「バリアフリーおよび防災の観点から歩道の路面性状調査を行いたい」との需要が確認されており、今後歩行空間整備への需要はさらに高まるものと予想される。一方、目視や利用者からの通報による主観的な手法を除くと、歩道を含めた歩行空間では、車道で用いられている路面性状自動測定装置の適用が困難なため、効果的かつ効率的な路面調査技術が必要となっている。

以上の背景から筆者らは、歩道など自動車の進入が困難な箇所における新たな路面調査手法の開発を目的に、歩道走行に特化したパーソナルモビリティの代表であるハンドル型電動車いす（以下、「電動車いす」とする）と、地上型レーザースキャナ（Terrestrial Laser Scanner, 以下、「TLS」とする）を組み合わせ、道路の三次元計測手法について検討を行っている。本研究では、TLSと全球測位衛星システム（GNSS）を組み合わせることで、従来、レジストレーションと呼ばれる、異なる地点から計測された点群データの合成で必要とされていたターゲットを省略した方法を活用した^{3),4)}、三次元計測手法について検討する。

2. 試験ヤード

本研究は、北海道北見市にある北見地区農道離着陸場（スカイポートきたみ）の全長 800m、幅員 25m の滑走路の一部を試験ヤードとして実施した。試験ヤードの舗装種別は、密粒度アスファルト舗装であり、状態は、部分的に施工継ぎ目にひび割れが見受けられるものの図-1に示すように大きな損傷箇所はなく良好である。



図-1 北見地区農道離着陸場

3. 計測方法

計測装置は、先行研究^{3),4)}を参考に図-2に示すように、電動車いすに TLS および高精度に位置情報を得ることが可能な GNSS 受信機（i システムリサーチ製）の器具を搭載し、TLS の機械中心から左右に各 0.25m の箇所に GNSS の移動局アンテナを設置した。また、TLS を水平に保つため、TLS 下部には整準台を設置した。

点群の計測は、あらかじめ目標とする測線を設け、計測を実施した。計測手順は、はじめに、電動車いすで測線上の任意の箇所へ移動し停止させる。停止後に、各装置を起動し、点群および位置座標の計測を実施する。計測完了後に次の計測位置まで移動させ、停止させたのちに計測する。本実験では、今回利用した計測機器（FARO Focus 3D X 130）の計測精度が 6.136(mm/10m)として点群を取得することを踏まえ、10m 間隔で計測を行った。以降、同様に Stop & Go の作業を繰り返す。図-3に Stop & Go の作業フローを示す。

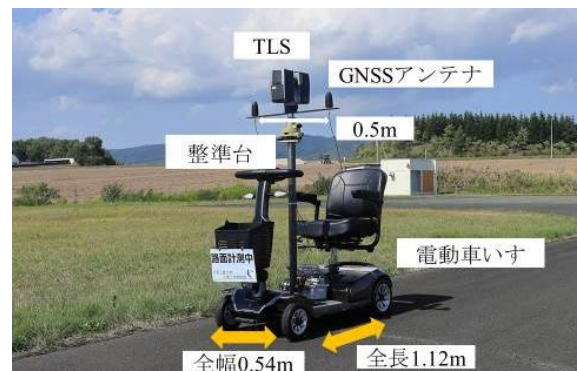


図-2 TLS および GNSS を搭載した電動車いす



図-3 Stop & Go の作業フロー

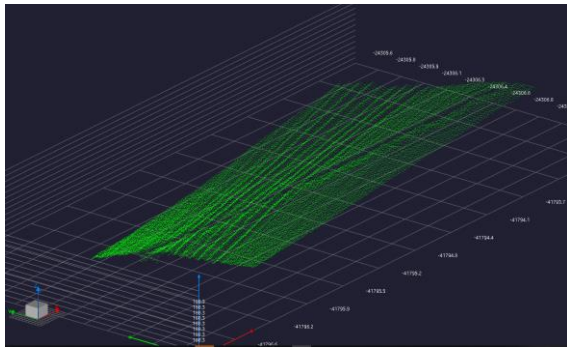


図-4 点群が波打っている箇所

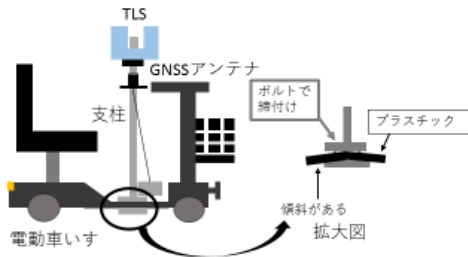


図-5 TLS および GNSS を支える支柱の構造

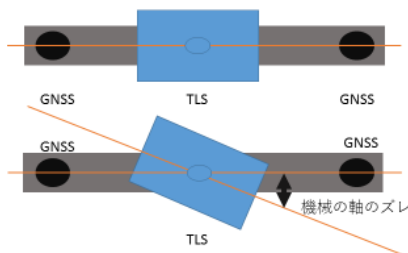


図-6 機械の軸のズレの概念

4. 点群処理

4.1. 点群の状況

図-4 に計測で得られた点群の一部を示す。図より、点群が波打つ箇所が確認された。原因としては、図-5 に示すように支柱を固定するため、電動車いす本体の傾斜がある箇所にボルトで平板を締め付ける構造をとったため、完全に支柱を固定できず、風や TLS の回転に起因する振動などの影響により点群に波が生じたものと考えられる。

4.2. セルフレジストレーション

本研究では、既往研究で精度が確認されている高性能 GNSS を利用したセルフレジストレーション^{3),4)}を実施した。以下にセルフレジストレーションの実施手順を示す。

- 1) 2 基の GNSS アンテナの座標から TLS の座標を算出する。2 基のアンテナ座標取得の際にメインアンテナからサブアンテナまでの方位角を同時に算出する。
- 2) TLS の機械中心座標を基に各点群の相対位置を算出する。

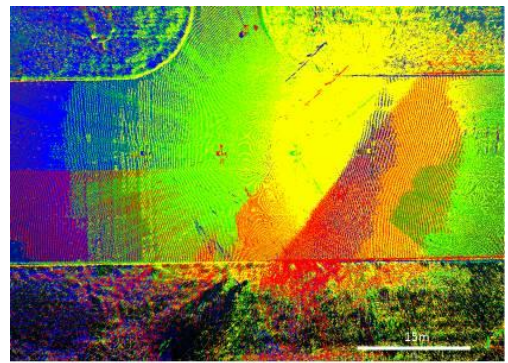
左からそれぞれ
青：1点目、赤：2点目、緑：3点目、黄：4点目

図-7 セルフレジストレーション実施後の点群

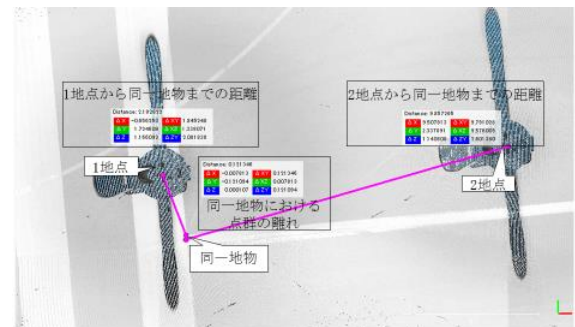


図-8 点群の離れ (ズレ) 算出

表-1 点群の離れ数値

	1 地点から同 じ地物までの 距離(m)	2 地点から同 じ地物までの 距離(m)	点群の 離れ(m)
ΔX	-0.656250	9.791028	-0.007813
ΔY	1.724609	2.337891	-0.121094
ΔZ	1.166092	1.140808	0.000107
計	2.182822	9.857265	0.121346

- 3) 算出した方位角と相対位置より各点群の地理座標を定める。
- 4) 定めた座標を点群データに入力する。

計測後、図-6 に示すように、TLS と GNSS アンテナでの機械の軸を合わせる必要が生じた。1) にて算出した方位角に機械軸のズレ分の角度を考慮した方位角を算出し、4) の作業時に入力した。セルフレジストレーション実施後の点群を図-7 に示す。

4.3. 点群の離れ (ズレ)

レジストレーションの精度は、各計測地点から得られた同じ地物の点群の離れ(ズレ)を確認することで検証した。図-8 および表-1 に示すように、使用機器の計測範囲である 10m 以内にある、異なる計測地点から 2.183m および 9.858m 離れた地物を利用して同一点の離れを計測したところ、0.121m のズレが確認された。これらの誤差は、前述した TLS の固定方法および GNSS アンテナ間距離に起因するものであり、現在改良に向けて取り組んでいるところである。

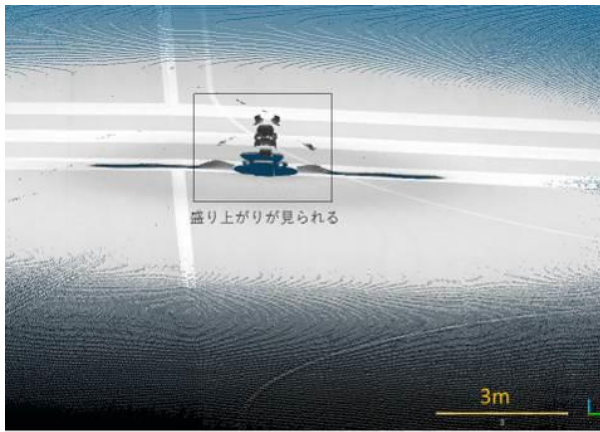


図-9 電動型車いす部の盛り上がり

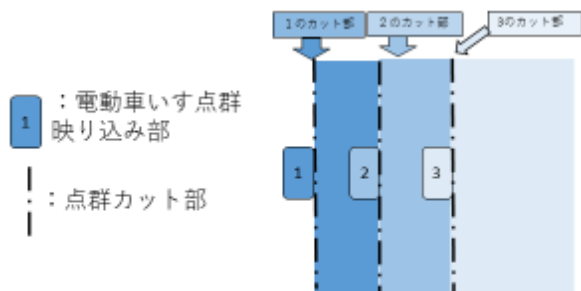


図-10 点群カット

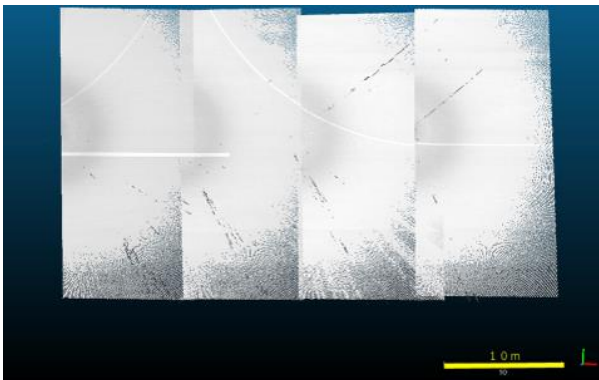


図-11 4.4. 作業後の点群

4.4. 電動型車いす部分の点群除去

図-9 に示すように、平面的に見て 8m×3m ほど遮蔽物となり当該箇所が盛り上がるために路面性状の評価をする際に悪影響を及ぼすため、電動型車いす部分の点群を除去する必要性が明らかとなった。本研究では、解析の容易性などを考慮し、図-10 に示すように、電動型車いすおよび GNSS アンテナが影響する箇所を除いた前方のみを使用した。また、同時に遠方の点密度が低い点群や路面評価に無関係な構造物の点群も除去した。図-11 に示すように電動型車いすの影響を排除することができた。

4.5. 考察

車道と比較しマンホールや側溝など構造物や段差が多い環境である歩道において、三次元点群による面的な路面管理の重要は今後高まっていくものと想定される。本研究では、TLS の固定方法が原因となり、水平方向で約 12cm のレジストレーション誤差が生じる結果となったが、既往研究³⁾では同様のレジストレーション手法により、路面プロファイル取得に必要な精度が確保できることが報告されており、電動型車いすへの TLS の取付方法を改善することで、精度向上につながるものといえる。また、従来のターゲットを用いた TLS 計測および三脚を据付けて取得する方法と比較し、本手法は、一人でも計測可能であり、かつ GNSS より得られた位置情報と点群データを組み合わせることで、効率的にレジストレーションを行うことができる。以上より、本研究は、歩道のような幅員が狭い道路やターゲット設置が困難な場所および人通りが多く短時間で計測の実施が必要な箇所における路面調査の効率化に寄与するものと期待できる。

5. まとめ

本研究では、電動型車いすに TLS および GNSS を搭載し点群を取得する方法を提案するとともに、ターゲットを省略した点群レジストレーションの適用性について検討したものである。その結果、電動型車いすへの TLS の取付方法に課題が残ったものの、歩行空間における効率的な点群計測の可能性を示すことができた。TLS の取付方法については、現在改良を行っており、今後、実用化に向けた検討を行っていききたい。

謝辞

本実験の実施にあたり、i システムリサーチ株式会社 西川啓一氏の協力を得た。ここに記し感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律(国土交通省ホームページ)
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/content/001349372.pdf>, アクセス日 2020 年 12 月 18 日
- 2) 富山和也,川村彰,三上修一：道東における舗装路面の管理実態とモバイルプロフィロメータ(MPM)の地域実装,平成 29 年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第 74 号 E-30,2018.
- 3) 森石一志, 富山和也, 西川啓一, 山口雄希：三次元計測機器を用いた路面管理の運用効率化, 土木学会論文集 E1, Vol76,p.I_169-p.I_177,No.2,2020.12.
- 4) 森石一志, 富山和也：ICT 舗装工における点群データ取得の効率化と適用範囲拡大について, 土木学会論文集 E1, Vol75,p.I_77-I_85,No.2,2019.12.