

(27) MMS による上部空間の計測精度に関する基礎的研究

笹野 拓海¹・藤村 大輔²・山口 裕哉³・白石 宗一郎⁴・岩上 弘明⁵
佐田 達典⁶・江守 央⁷

¹ 学生会員 日本大学大学院 理工学研究科交通システム工学専攻

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: csta20004@g.nihon-u.ac.jp

² 学生会員 日本大学大学院 理工学研究科交通システム工学専攻

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: csda19015@g.nihon-u.ac.jp

³ 正会員 朝日航洋株式会社 (〒350-1165 埼玉県川越市南台 3-14-4)

E-mail: yuuya-yamaguchi@aeroasahi.co.jp

⁴ 非会員 朝日航洋株式会社 (〒350-1165 埼玉県川越市南台 3-14-4)

E-mail: souichirou-shiraishi@aeroasahi.co.jp

⁵ 正会員 株式会社ニコン・トリムブル (〒144-0035 東京都大田区南蒲田 2-16-2)

E-mail: iwakami.hiroaki@nikon-trimble.net

⁶ 正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

⁷ 正会員 日本大学准教授 理工学部交通システム工学科

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: emori.hisashi@nihon-u.ac.jp

モバイルマッピングシステム (MMS) は現在道路台帳作成や構造物の点検などの用途で活用が進んでいる。既往研究では MMS の路面 (下方) や壁面 (側方) を計測対象とした精度検証は行われているが、天井などの上部を対象とした精度検証は十分になされているとはいえない。そこで、本研究では上部を対象とした MMS の計測をレーザ発射点数を 1,000,000 点/秒と 500,000 点/秒の 2 つの計測レートで行った。結果として、上部空間にターゲットの設置した場合は両計測レートで計測精度に差がみられないことが示された。

Key Words: MMS, laser scanner, measurement accuracy, upper space

1. はじめに

現在、MMS は道路台帳の作成や基盤地図の作成などで活用されている。移動と同時に情報を取得することが可能であり、3次元点群データを活用することで点検や維持管理でも活用が期待されている。特に点検業務では精度の高い3次元点群データが必要とされている。一方で、計測時の衛星配置状況や搭載したレーザスキャナの性能などにより計測精度に影響してしまう可能性がある。そこで、本研究ではレーザスキャナの性能のうち、レー

ザ発射数の違いに着目して精度検証を行う。

MMSに関連した既存研究として、藤村ら¹⁾により、性能の違うレーザスキャナを搭載した MMS を比較した際にレーザスキャナの性能が高い機種の方が計測精度が高いこと、ターゲットが重なるような場合では計測精度に影響が出ることが明らかとされている。この研究では道路上に設置したターゲットに対する計測精度について検証しており、MMS の上部に設置されたターゲットの計測精度については検証されていない。このように、ターゲットが道路上にある場合の MMS に精度検証は行われ

ているが、ターゲットが上部空間に設置された場合の研究は十分になされていない。

そこで本研究では MMS の上部空間にターゲットを設置した場合の計測精度について基礎的な実験を行い、検証を行った。

2. MMS の概要

本研究で使用した MMS は TrimbleMX9 (以下、MX9) である。MX9 の外観を図-1 に示す。また、MX9 の仕様表を表-1 に示す。表-1 より、レーザスキャナの計測精度は距離精度で 5mm、距離確度で 3mm となっている²⁾。距離精度とは複数回計測した場合の再現性のことである。また、距離確度とは正確度のことである。測定値と参照値の近さを表すものである。

3. 計測精度に関する実験

(1) 実験方法

レーザの発射点数の違いによる計測精度への影響を検証するため、レーザ発射数を 1,000,000 点/秒、500,000 点/秒と変え、スキャン周波数を 200Hz と設定して複数のターゲットを計測した。レーザ発射数 1,000,000 点/秒で 2 回、500,000 点/秒で 2 回計測した。本研究では各レーザ発射



図-1 MMS (MX9) 外観

表-1 MX9 性能諸元²⁾

GPS/IMU	
位置精度	水平0.02m、高度0.05m (GNSS連続受信時)
姿勢精度	水平0.02m、高度0.05m (GNSS非受信時)
姿勢精度	ピッチ、ロール角0.005° ヘディング角0.015°
イメージセンサ性能	
イメージ取得間隔	最大 10フレーム/秒 距離同期による計測
ピクセル数・サイズ	球状カメラ 30メガピクセル (6×5メガピクセル) × 1台 側面カメラ 5メガピクセル × 2台 後方/下面カメラ 5メガピクセル × 1台
レンズ、Fov	球状カメラ 90%の球状
レーザスキャナ性能	
計測レート、計測角度	最大2,000,000点/秒、計測角度360° (1台あたり1,000,000点/秒)
計測距離	計測レート 300kHz時: 150m (反射率10%)、420m (反射率80%)
	計測レート 500kHz時: 120m (反射率10%)、330m (反射率80%)
	計測レート 700kHz時: 100m (反射率10%)、270m (反射率80%)
	計測レート 1MHz時: 85m (反射率10%)、235m (反射率80%)
計測精度	レーザ距離精度 5mm、確度 3mm

※精度仕様はすべてRMS値

数で南方向に走行して計測した各 1 回分を解析した。ターゲットの形状の再現性、ターゲットの寸法の正確性を比較した。実験は平成 30 年 7 月 30 日に日本大学理工学部船橋キャンパスのスポーツホール付近で行った。

検証のために用いたターゲットは 40cm 四方のベニヤ板をスポーツホールにつながる歩道橋の鉄骨に地面と平行になるように設置した。路面から橋の底面までの高さは約 3.085m である。ターゲットの設置状況を図-2 に、ターゲットの位置関係を図-3 に示す。

MMS は加速区間で 30km/h まで加速し、ターゲット付近を通過し、減速区間で減速・停止するという走行を行った。

(2) 解析方法

本稿では車両の右側に搭載されたレーザスキャナで計測したデータを使用する。取得した点群データは点群処理ソフト RiSCANPRO および CloudCompare を用いて手動で必要部分のみを抽出した。

ターゲットの寸法は横幅と奥行で求め、実寸法と比較する。ターゲットを真上から見た場合のイメージを図-4 に示す。計算方法は、X 軸方向の座標が最大・最小となる点の差、Y 軸方向の座標は最大・最小となる点の差から求める。計算は図-5 のように、 $X_{max}(X_a, Y_a)$, $X_{min}(X_b, Y_b)$, $Y_{max}(X_c, Y_c)$, $Y_{min}(X_d, Y_d)$ を求めたとしても、X 軸方向の距離は X_a と X_b の差、Y 軸方向の差は Y_c と Y_d の差となる。なお、Z 軸方向に生じる差は、極め



図-2 ターゲットの設置状況

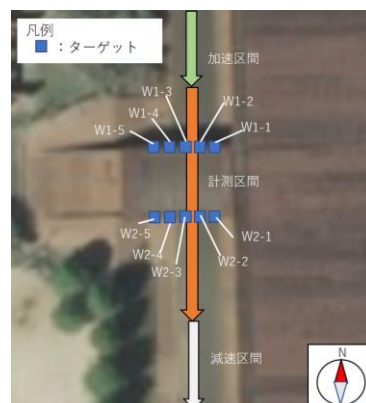


図-3 ターゲットの位置関係(国土地理院地図より作成)

て小さいため考慮していない。最大・最小となる点は RiSCAN PRO で確認している。また、形状の再現性は点群処理ソフト RiSCAN PRO 上でターゲットの形状が正方形であれば正常、欠損がある場合は欠損あり、と判断した。図-6 に正常と判断した場合の一例を、図-7 に欠損ありと判断した場合の一例を示す。

4. 解析結果

(1) ターゲット形状の再現性

ターゲットの形状の再現性を確認した結果を表-2 に示す。この表にあるように、1,000,000 点/秒での計測、500,000 点/秒での計測ともに、W1-1,W2-3,W2-4,W2-5 のターゲットは確認できなかった。ターゲット周辺の点群について、南側から見た状況を図-8、北側から見た状況を

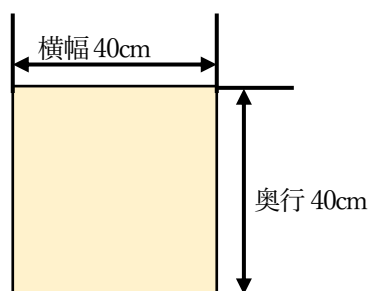


図-4 ターゲットのイメージ図

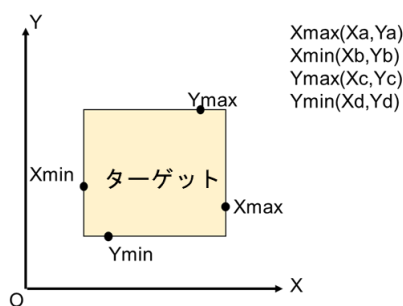


図-5 計算のイメージ

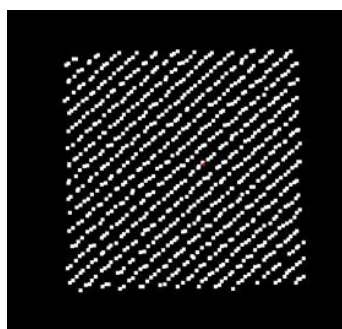


図-6 レーザが正常に照射された例
(RiSCAN PRO より作成)

図-9 に示す。図-8、図-9 より、本検証では右側のレーザスキャナのみであったため、進行方向に対して右側の橋梁部分が十分に照射されていないことがわかる。

図-3 に示すように、南側のターゲットはターゲット名 (TG 名) W2-1 から W2-5 を設置しているが、図-8 点群上では TG 名 W2-3 から W2-5 が計測されていないことがわかる。同様に図-3 に示すように、北側では TG 名 W1-1 から W1-5 を設置しているが、図-9 点群上では W1-1 が計測されていないことがわかる。ターゲットの形状に着目すると、W1-2 は両計測ともに、W1-5 はレーザ発射数 500,000 点/秒の場合、W2-2 は両計測ともに形状に欠損が見られた。

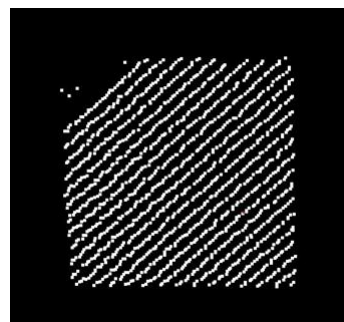


図-7 レーザ照射に欠損がある例
(RiSCAN PRO より作成)

表-2 各計測でのターゲット形状の再現性

	W1-1	W1-2	W1-3	W1-4	W1-5	W2-1	W2-2	W2-3	W2-4	W2-5
1,000,000 (点/秒)	×	△	○	○	○	○	△	×	×	×
50,000 (点/秒)	×	△	○	○	△	○	△	×	×	×

凡例 ×：確認できず △：欠損あり ○：正常

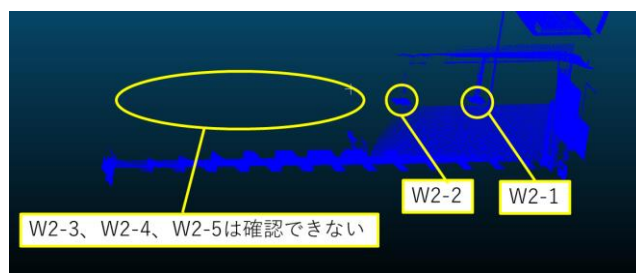


図-8 ターゲット周辺の計測点群状況 (南側から)
(CloudCompare より作成)

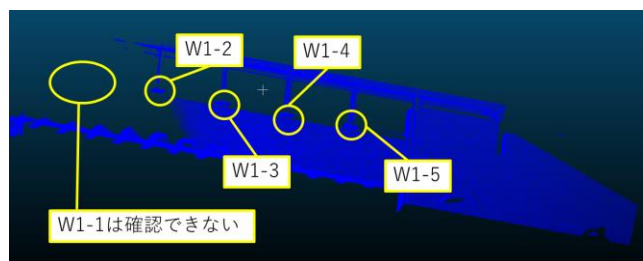


図-9 ターゲット周辺の計測点群情報 (北側から)
(Cloudcompare より作成)

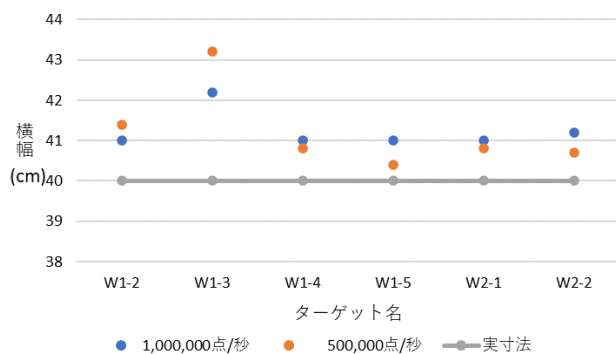


図-10 計測結果の比較（横幅）

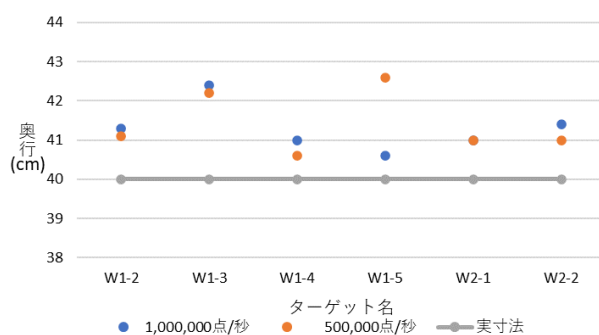


図-11 計測結果の比較（奥行）

W1-5において、レーザ発射数 500,000 点/秒で計測した場合に欠損となったのは、レーザ発射数の違いによりターゲットの端部にレーザが十分に照射されなかったためと考えられる。

(2) ターゲット寸法の比較

レーザ発射数 1,000,000 点/秒、500,000 点/秒での計測について、横幅についてまとめたものを図-10 に、奥行についてまとめたものを図-11に示す。2つのグラフともに点群を確認できなかったターゲットについては省略している。計測値から実寸法の差をとると、発射点数 1,000,000 点/秒の場合には平均の横幅は 41.2cm、奥行は 41.3cm となり、発射点数 500,000 点/秒では平均の横幅 41.2cm、奥行は 41.4cm となった。ただし、点群を確認できなかったターゲットは計算に含めていない。確認できたすべてのターゲットにおいて実寸法より計測値が大きかったことがわかった。藤村ら²⁾の研究によると、地上に同じターゲットを路面に対し垂直になるように設置した。レーザ発射数 1,000,000 点/秒での計測では実寸法 40cm に対し横幅の平均値が 42.1cm、レーザ発射数 500,000 点/秒での計測では実寸法 40cm に対し横幅の平均値が 41.5cm となった。地上にターゲットを設置した場合にはレーザ発射数が多い方が横幅の平均値が実測値に近い結果であったが、今回の上部空間に設置した場合においては形

状の再現性は 1,000,000 点/秒で計測した方が若干良いが、精度に着目した場合は横幅では W1-2, W1-3, 奥行では W1-5 を除き、500,000 点/秒で計測した方が実測値に近くなった。今回の実験結果からはレーザ発射数の違いによる計測精度への影響は明確にはみられない。

5. おわりに

本研究では、レーザ発射数と計測精度の関係を検証するため、MMS のレーザ発射数を変えて計測した。結果として、上部空間にターゲットを設置した場合ではレーザ発射数の違いによるターゲットの実寸法における再現性への影響がみられないことが示された。

今後は、MMS の計測速度やスキャン周波数などといった条件を変えた場合の比較を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 藤村大輔, 佐田達典, 江守央: MMS のレーザスキャナ性能と計測精度に関する基礎的研究, 応用測量論文集, pp.85-96, 2019.
- 2) 株式会社ニコン・トリンブル: Trimble MX9 カタログ, <https://www.nikon-trimble.co.jp/pdf/field/0301_geospatial/trimble_mx9_e.pdf>, (入手 2020.6.1).