

## (60) 位相差方式レーザスキャナを搭載した MMS における取得地物の素材種別による特性の検証

笹野 拓海<sup>1</sup>・山口 裕哉<sup>2</sup>・白石 宗一郎<sup>3</sup>・岡本 直樹<sup>4</sup>・岩上 弘明<sup>5</sup>  
佐田 達典<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 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

<sup>4</sup> 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: naoki-okamoto@aeroasahi.co.jp

<sup>5</sup> 正会員 株式会社ニコン・トリンプル (〒144-0035 東京都大田区南蒲田 2-16-2)

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

<sup>6</sup> 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

モバイルマッピングシステム (MMS) に搭載されるレーザスキャナは TOF (Time of Flight) 方式が主流であったが、近年では位相差方式レーザスキャナを搭載した機種が登場している。そこで本研究では位相差方式レーザスキャナを搭載した MMS による計測時におけるターゲット表面の素材が異なる場合での取得点群の分析および検証を行った。結果として、反射強度が強いターゲットではターゲットの設置位置とは異なる場所に点群がプロットされゴーストを生じやすいこと、反射強度が中程度となる場合は正常な計測となり、反射強度が弱いターゲットでは取得した点群の形状に乱れや取得点数が少なくなることが示された。

**Key Words:** MMS, phase difference laser scanner, surface material, reflection intensity

### 1. はじめに

MMS はレーザスキャナや GNSS アンテナ等を用いて車両の走行と同時に周辺状況を計測するシステムである。現在は道路台帳の作成や基盤地図の作成に活用されている。MMS に搭載されているレーザスキャナは TOF (Time of Flight) 方式が主流となっているが、近年は位相差方式レーザスキャナを搭載した MMS が登場した。藤村ら<sup>1)</sup>は位相差レーザスキャナを搭載した MMS を用いて走行ルート直下および走行ルート側方における層厚検出精度の検証を行った。しかし、検証対象の素材の違

いやレーザスキャン角度の違いによる取得点群への影響については検証されていない。そこで本研究では位相差方式レーザスキャナを搭載した MMS により、表面素材が異なるターゲットを設置し、レーザのスキャン角度を変えて計測する基礎的な実験を行った。

### 2. 実験方法

#### (1) 実験方法

実験は日本大学理工学部船橋キャンパス構内で行った。

本研究で使用した MMS は位相差方式レーザスキャナを搭載した ScanlookZ である。ScanlookZ の性能諸元を表-1 に示す<sup>2)</sup>。

検証用ターゲットとして、寸法を 40cm×40cm としたプラスチック段ボールを使用した。表面の反射強度を強中弱の3段階とするため、反射強度が強いターゲットとしてプリズム型反射テープを貼り付けたもの、反射強度が中程度となるターゲットとして表面を素材そのままの灰色としたもの、反射強度が弱いターゲットとしてラッカープレーを塗布し黒色としたものの3種類を作成した。各ターゲットの外観を図-1 に示す。ターゲットの設置方法を、上部水平、上部垂直、側方垂直、側方水平と4つに分類する。上部水平は A1~A5、上部垂直は B1~B3、側方垂直は C1, C2、側方水平は D1, D2 の計 12 枚のターゲットを設置した。ターゲットの詳細を表-2 に、設置状況を図-2 に示す。

計測条件はスキャン周波数 200Hz とし、レーザスキャナの設置角度を変えることにより、スキャン角度を 45°、60°、75°、90°と変えて計測を行った。各スキャン角度で各3回計測を行った。計測の様子を図-3 に示す。また、スキャン角度 45°を設定した様子を図-4 に示す。

## (2) 解析方法

MMS で取得した 3 次元点群データを点群処理ソフト CloudCompare を用いて必要部分を手動で抽出した。ターゲット形状の再現性は点群処理ソフト CloudCompare 上で確認し、形状が正方形に近くレーザ照射に乱れがなく正常の場合は①、形状やレーザ照射に乱れがある場合は②、形状に乱れがありレーザ照射点も明らかに少ない場合を③、ターゲットを設置した位置とは異なる位置に点群がプロットされゴーストが発生した場合を④、計測を行ったものの点群が取得されなかった場合を⑤と判断する。判断の例を図-5 に示す。

また、各ターゲットのレーザ照射による取得点数を求める。

表-1 ScanlookZ性能諸元<sup>2)</sup>

GPS/IMU	
位置精度	水平0.02m 高度0.05m (GNSS信号連続受信時)
	水平0.10m 高度0.07m (GNSS信号非受信時が1分間)
レーザスキャナ性能	
計測レート、計測角度	1,000,000点/秒、計測角度360°
計測精度	レーザ測距精度2mm
	測距確度0.5mm( $\sigma$ 、ターゲット距離5m、白色)
※精度仕様はRMS値	

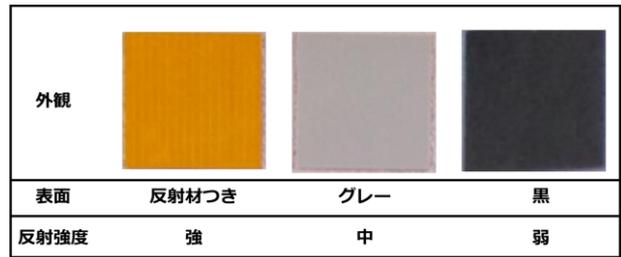


図-1 ターゲット

表-2 ターゲット詳細

ID	上部水平					上部垂直			側方垂直		側方水平	
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2
表面	黒	黒	黒	黒	黒	黒	反射材	グレー	反射材	グレー	反射材	グレー
反射強度	弱	弱	弱	弱	弱	弱	強	中	強	中	強	中

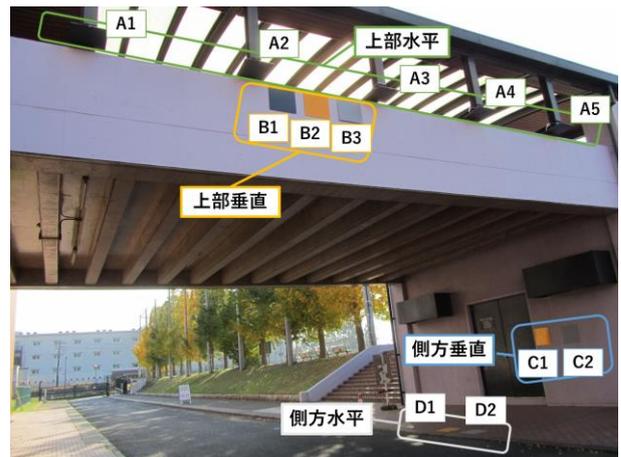


図-2 ターゲット設置状況



図-3 計測の様子

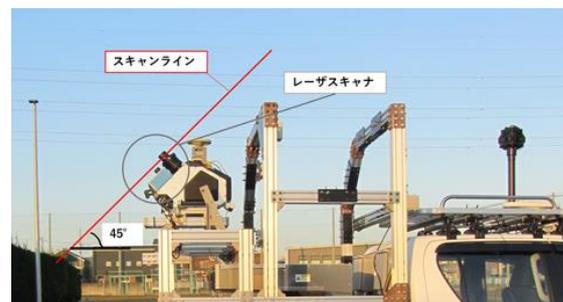


図-4 スキャン角度 45° を設定した様子

### 3. 解析結果

#### (1) ターゲット形状

実験箇所付近の取得された点群データを図-6 に示す。図-6 はスキャン角度 45°, 1 計測目のデータを示しており、ターゲット部分の点群を白色で表示している。

ターゲット形状の再現性を確認した結果を表-3 に示す。表-3 から、反射強度が弱い黒色ターゲットでは、形状やレーザー照射に乱れがある場合が多いこと、反射強度が中程度となるグレーのターゲットでは正常に計測される場合が多いこと、反射強度が強い反射材ターゲットでは、ゴーストが発生し本来のターゲットの位置とは異なる

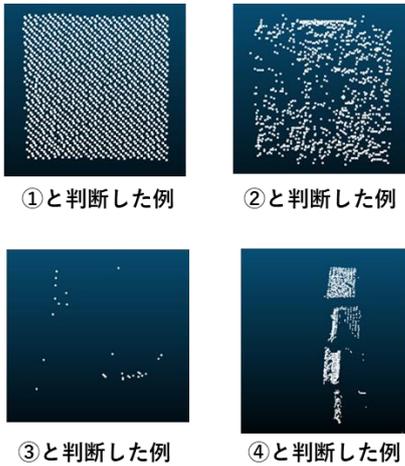


図-5 再現性の判断例 (CloudCompare より作成)

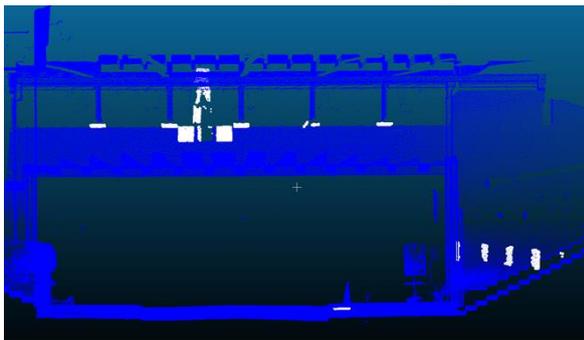


図-6 ターゲット周辺の計測結果 (45°, 1 計測目)  
(CloudCompare より作成)

表-3 形状判断結果

設置場所	上部水平					上部垂直			側方垂直		側方水平		
	表面	黒	黒	黒	黒	黒	反射材付	グレー	反射材付	グレー	反射材付	グレー	
スキャン	計測回	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2
	1	2	2	2	3	2	2	4	1	4	1	2	1
	2	2	2	2	3	2	2	4	1	4	1	4	1
45°	3	2	2	2	3	2	2	4	1	4	1	4	2
	1	2	2	2	3	2	3	4	2	4	1	4	1
	2	2	2	2	3	2	3	4	1	4	1	4	1
60°	3	2	2	2	3	2	3	4	1	4	1	4	1
	1	2	2	2	3	2	3	4	2	4	1	4	1
	2	2	2	2	3	2	3	4	1	4	1	4	1
75°	3	2	2	2	3	2	3	4	1	4	1	4	1
	1	2	2	2	3	2	3	4	2	4	1	4	1
	2	2	2	2	3	2	3	4	1	4	1	4	1
90°	3	2	1	1	3	2	5	5	5	4	1	4	1
	1	2	2	1	3	2	5	5	5	4	1	4	1
	2	2	2	1	3	2	5	5	5	4	1	4	1

なる場所に点群がプロットされる場合が多いことがわかる。特筆すべきは上部垂直に設置した反射材ターゲット (B2) である。このターゲットの各スキャン角度での計測結果を正面から見た場合と俯瞰した場合を図-7 に示す。ここでは各スキャン角度の 1 計測目での形状を示している。スキャン角度 45°, 60°ではゴーストが発生しているが、スキャン角度 75°では発生していないことがわかる。スキャン角度 90°では計測を行ったものの、上部垂直は取得できなかった。

#### (2) 取得点数

各ターゲットの取得点数を表-4 に、各スキャン角度ごとの平均値をまとめた図を図-8 に示す。B2, C1, D1 のターゲットではゴーストが発生した部分も取得点数群として算出している。

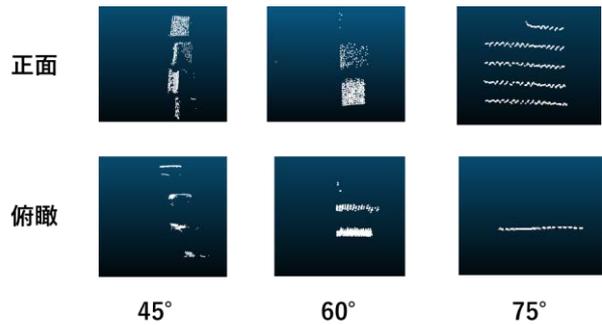


図-7 上部垂直・反射材ターゲット(B2)の計測結果  
(CloudCompare より作成)

表-4 取得点数

設置場所	上部水平					上部垂直			側方垂直		側方水平		
	表面	黒	黒	黒	黒	黒	反射材	グレー	反射材	グレー	反射材	グレー	
スキャン	計測回	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2
	1	494	974	639	28	364	800	1512	1539	1594	1435	1155	1080
	2	599	1074	457	59	244	866	1415	1398	1300	1126	838	731
45°	3	613	1095	462	36	264	882	1505	1558	1409	1253	969	862
	1	774	1779	1101	34	262	115	792	995	1295	1173	1057	927
	2	761	1621	1020	20	241	177	896	927	1090	941	794	706
60°	3	702	1474	1049	16	252	72	773	850	991	858	710	620
	1	801	1539	1364	19	175	13	412	294	852	760	616	605
	2	837	1738	1402	24	128	128	484	394	885	798	691	601
75°	3	773	1734	1557	18	199	24	442	410	971	865	748	676
	1	769	1569	1542	42	254	照射点なし	照射点なし	照射点なし	1022	891	804	721
	2	893	1687	1546	35	212	照射点なし	照射点なし	照射点なし	932	825	711	663
90°	3	1003	1854	1857	24	219	照射点なし	照射点なし	照射点なし	1139	1015	853	810

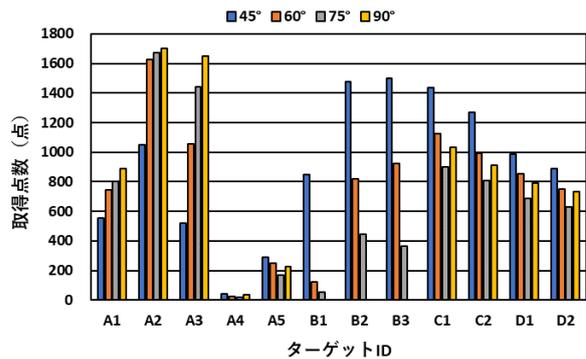


図-8 取得点数 (各スキャン角度の平均値)

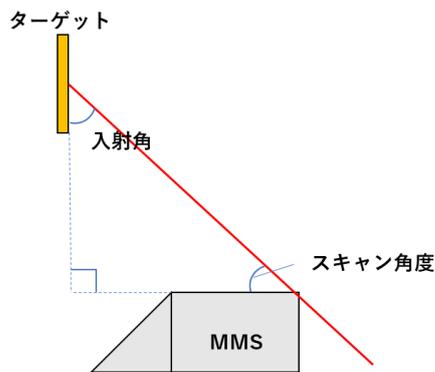


図-9 側面から見た入射角模式図

#### 4. 考察

表-3, 表-4, 図-8 より設置場所ごとに考察を行う。まず, 上部水平ではスキャン角度によらず A4 および A5 において取得点数が少なくなっていることがわかる。MMS の走行ルートは図-3 のように A2, A3 の直下付近であった。このため A2, A3 の取得点数が多くなったと考えられる。スキャン角度 90° の計測で A2, A3 は正常に計測されたことも走行ルートが関係していると考えられる。また, A1 も形状やレーザー照射に乱れがあるものの, 取得点数は安定している。これに対して A4 及び A5 では取得点数が極端に少なくなっている。これは実験時のレーザー照射方向と太陽の位置の関係から, 太陽光の影響を受けたことが推察される。

上部垂直では反射強度が弱い B1, 中程度の B3 ではスキャン角度が浅い計測の方が取得点数は多くなっていることがわかる。反射強度が強い B2 ではスキャン角度 45°, 60° では取得点数は多いものの, ゴーストを発生している。一方, スキャン角度 75° では取得点数は少ないものの, ゴーストは発生していない。このことからスキャン角度はゴースト発生の有無に関係している可能性がある。図-9 に示すようにスキャン角度が大きくなれば, 上部垂直ターゲットへの入射角が小さくなるので, 入射角とゴースト発生との関係をさらに調べる必要がある。

側方垂直では反射強度が強い C1 ではすべての場合でゴーストを生じている。反射強度が中程度の C2 はすべて正常に計測された。

側方水平では反射強度が強い D1 は 45° での 1 計測分を除き, ゴーストを生じた。反射強度中程度の D2 では 45° 75° の各 1 計測分を除き正常に計測された。

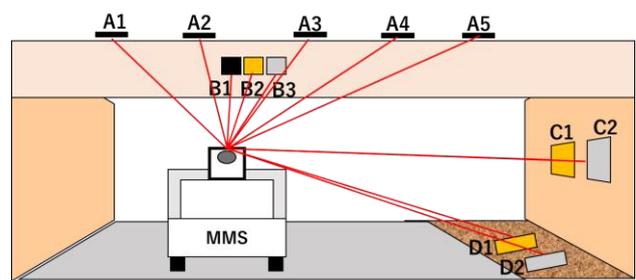


図-10 正面から見た入射角模式図

以上の考察から, ゴーストの発生にはターゲットへのレーザー入射角が関係している可能性がある。今後は MMS と各ターゲットの位置を考慮し, 図-9, 図-10 に示したようなターゲットへのレーザー入射角を求めて検証する必要がある。

#### 5. おわりに

本研究では, 表面の素材が異なるターゲットを設置しレーザー反射の異なる状況を想定し, レーザのスキャン角度を変えて計測を行った。結果として, 反射強度が強いターゲットではゴーストを生じさせ, 本来のターゲットの位置とは異なる場所に点群がプロットされてしまうこと, 反射強度が中程度としたターゲットでは正常に計測されること, 反射強度が弱いターゲットでは取得点群の形状に乱れを生じる場合, 取得した点群自体が少なくなることがわかった。

反射強度が高いターゲットを計測する際は, 計測車両と正対するような場合において対象へのレーザー入射角を小さくすることでゴーストの発生を抑制できる可能性があることがわかった。

今後は MMS と各ターゲットの位置関係を考慮し, ターゲットへのレーザー入射角を求め, さらなる解析を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 藤村大輔, 笹野拓海, 山口裕哉, 白石宗一郎, 岡本直樹, 岩上弘明, 佐田達典, 江守央: 位相差方式レーザースキャナを搭載した MMS による層厚検出精度の基礎的研究, 応用測量論文集第 31 巻, pp.67-78, 2020.7.
- 2) Zoller+Fröhlich GmbH: Datasheet Z+F PROFILER 9012, <[https://www.zf-laser.com/fileadmin/editor/Datenblaetter/Z\\_F\\_PROFILER\\_9012\\_Datasheet\\_E\\_final\\_compr.pdf](https://www.zf-laser.com/fileadmin/editor/Datenblaetter/Z_F_PROFILER_9012_Datasheet_E_final_compr.pdf)> (入手 2021.6.1) .