(62) 位相差方式レーザスキャナ MMS での路側ターゲットの計測時にノイズが発生する条件の研究

加藤　創大[1]・山口　裕哉[2]・岡本　直樹[3]・岩上　弘明[4]
佐田　達典[5]・江守　央[6]

[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: csso23006@g.nihon-u.ac.jp

[2]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

[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: naoki-okamoto@aeroasahi.co.jp

[4]正会員　株式会社ニコン・トリンブル（〒144-0035 東京都大田区南蒲田 2-16-2）
E-mail: iwakami.hiroaki@nikon-trimble.net

[5]正会員　日本大学理工学部交通システム工学科　教授（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1）
E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

[6]正会員　日本大学理工学部交通システム工学科　准教授（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1）
E-mail: emori.hisashi@nihon-u.ac.jp

近年モービルマッピングシステム（MMS）を用いた 3 次元点群の計測が普及してきた．レーザスキャナの計測方式には飛行時間（ToF）方式と位相差（PS）方式がある．既存研究では PS 方式レーザスキャナの方が ToF 方式より精度が高いとされている．一方，PS 方式では標識など，反射強度の高いものでは特有のノイズが発生し，形状が正確に把握できない場合がある．そこで本研究では PS 方式のレーザスキャナを搭載した MMS にて色および表面素材の異なるターゲット板に対してレーザの入射角度ごとに反射条件・素材条件によるノイズ発生状況を明らかにしその対処法を検討した．その結果，塗料塗布素材，反射素材ともに入射角度 60°で計測するのが良好であることが示された．

Key Words: *MMS, Laser Scanner, Phase-Shift*

1. はじめに

近年，Mobile Mapping System（以下，MMS）を用いた 3 次元点群の計測が注目されている．MMS では 3 次元点群データを効率的に取得することができる．しかし，トンネル内における計測では GNSS が利用できないため精度が低下する．位置精度を補正するために標定点を用いた測地座標系との標定が必要であり，標定点として既存構造物の活用が見込まれている．

MMS に使用されるレーザスキャナには従来用いられてきた飛行時間方式と位相差方式（以下，PS 方式）がある．飛行時間方式はレーザ光が対象物で反射して帰ってくるまでの時間を元に測定を行い，PS 方式は複数に変調させたレーザ光を照射し戻ってきた際の位相差を元に測定を行い短時間で点群を取得できる．

PS 方式レーザスキャナに関する既存研究として，榎本ら [1]は複数のレーザスキャナを用い，対象物との距離を変えながら平面板の計測精度の検証を行った．その結果 PS 方式レーザスキャナは飛行時間方式レーザスキャナと比べ計測速度が早く，計測精度が高く取得できることを示された．一方で，PS 方式では標識など，反射強度の高いものでは特有のノイズが発生し，形状が正確に把握できない場合がある．

笹野ら [2]は PS 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による特性の検証を行なった．材質の異なるターゲット板を設置し MMS の設置角度を変

更しながら計測し影響を比較した．ターゲット板には黒色の塗料塗布，灰色の塗料塗布，黄色の反射材の 3 種類を用いている．その結果，反射強度の高い黄色ターゲット板では特有のノイズが発生することが明らかになった．GNSS の電波が遮蔽される環境では，ずれを補正するために標定点による補正が必要である．例えば道路環境では，距離標のような既存地物を標定点として用いることが見込まれている．しかし，PS 方式レーザスキャナでは距離標のような反射強度の高い素材では，特有のノイズが生じるため形状が正確に把握できないとされている．この既存研究では素材や色を統一しての検証はされていないため，ノイズの発生原因が色なのか材質なのか明らかにされていない．そこで，PS 方式レーザスキャナを搭載した MMS にて色および表面素材の異なるターゲット板に対して，レーザの入射角度ごとに反射条件・素材条件によるノイズの発生状況を明らかにし，その対処法を検討する．

2. 実験概要

(1) 実験車両

本研究では PS 方式レーザスキャナを搭載した MMS を使用した．計測性能を**表-1**，計測車両を**図-1** に示す．

表－１ レーザスキャナの計測性能 [3), 4)]

ユニット名	Z+F PROFILER 9012
計測レート	1,016,000 点/秒
測距確度	計測距離 10m の場合 0.5mm



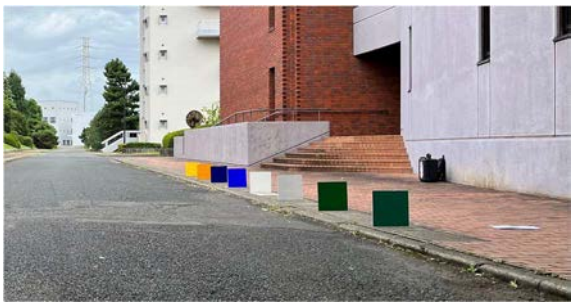
図－１ PS 方式レーザスキャナを搭載した MMS 外観

(2) 実験概要

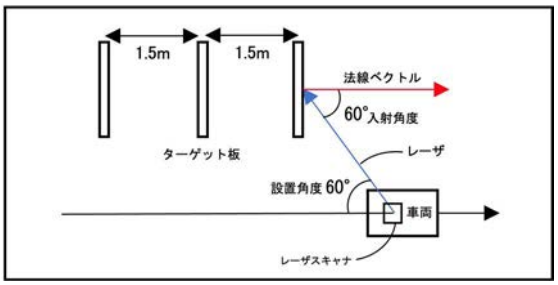
本実験は 2022 年 9 月 7 日に日本大学理工学部船橋キャンパス内通路において PS 方式レーザスキャナを搭載した MMS を用いて計測を行った．MMS による計測実験を行うにあたり，素材条件，レーザ照射条件の 2 つの条件を設定した．

検証用ターゲットは道路側面の距離標を想定し道路路面に対して垂直に 1.50m 間隔で設置した．各ターゲット板は一辺 0.30m の正方形である．外観とターゲット板の設置状況を**図-2** に示す．手前から緑，白，青，黄のターゲット板が反射素材，塗料塗布素材の順に並んでいる．

ターゲットは 1 辺が 0.30m の正方形とし 2 種類の素材でターゲットを作成した．3M 株式会社製の HIP 高輝度反射シートと，反射強度が高くなく作業性が良いアクリルラッカースプレーにて塗料を塗布した素材を用いた．本実験では既存研究 [2)]の実験結果よりサイズが小さくても十分レーザが照射されており本研究の解析ができることが判断できることから一辺が 0.30m のターゲット板を用いて実験を行った．



図－２ ターゲット板の設置状況



図－３ レーザスキャナ設置角度とターゲットへの入射角度

(3) 計測条件

笹野ら [2)]はターゲット板への入射角度を 45°から 90°に設定した実験で行なっている．そこで本研究では既存研究 [2)]と比較を行うため，レーザスキャナの設置角度（車両進行方向とレーザの発射方向のなす水平角度）を 45°，60°，75°の 3 パターンで計測した．また各スキャン角度で各 2 回計測を行なった．**図-3** に示すようにレーザスキャナの設置角度がターゲット板への推定入射角度になる．

(4) 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 にて必要部分を手動で抽出して解析を行なう．ターゲット形状の再現性は点群処理ソフト上で確認する．点群の解析には重回帰分析を用いて平面をモデル化し，法線ベクトルを求める．また同時刻の走行軌跡データを用いてレーザ照射ベクトルを作成する．これらのなす角は内積を用いて求めることでターゲット板の入射角度を算出する．

(5) 設置角度と入射角との関係

設置角度と各色の入射角度の関係は，**図-3** に示すようにレーザスキャナの設置角度がターゲット板への推定入射角度になると推定されることから，本研究では設置角度を入射角度として扱う．

3. 解析結果

(1) 点群データの取得状況

図-4 から**図-6** は各入射角度ごとの塗料塗布素材，反射素材の取得点群である．入射角度 45°が**図-4**，60°が**図-5**，75°が**図-6** である．塗料塗布素材は点群に乱れなく取得できたが，反射素材は点群に乱れが発生した．また，入射角度が大きくなると，ターゲット面に照射される点数が少なくなることがわかる．

表-2 は入射角度と素材条件の正しい平面上にある点群である．入射角度 45°の塗料塗布素材では取得点群付近にノイズが発生し，反射素材ではノイズによる大きな乱れが発生した．入射角度 60°，75°では各素材各色でノイズが発生しなかった．

表-3 は入射角度と素材条件の平面上の点に乱れが発生した点群である．入射角度 45°白色反射素材のみ点群に乱れが発生した．それ以外の角度では点群に乱れはなかった．これらのことから，入射角度が鋭角になると乱れが発生しやすく，入射角度が鈍角になるほど乱れが発生しにくくなることがわかる．

図-7 は入射角度 45°白色反射素材のノイズの発生状況である．ターゲット板はピンク色，ノイズを水色で示す．その他は反射強度で着色した．ターゲット設置位置付近にノイズが 1 箇所発生し，その後間隔を空けてノイズ群が列をなすように現れている．

図-8 は入射角度 60°，75°の各ターゲットの状況である．ターゲット板はピンク色，ノイズを水色で示す．**表-2** に示すように入射角度 45°ではノイズが発生しており，入射角度 60°，75°ではノイズが発生いないことがわかる．

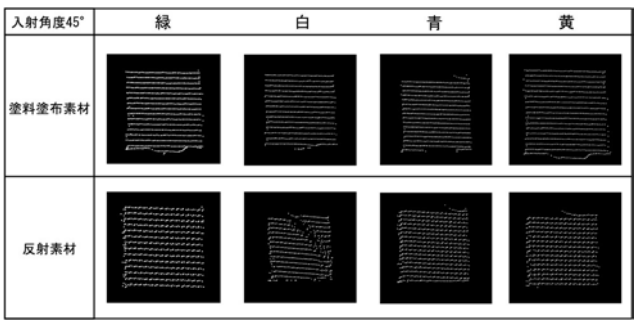


図-4　入射角度 45°におけるレーザスキャナの取得点群

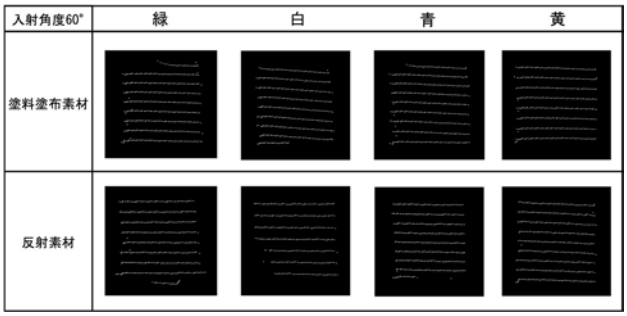


図-5　入射角度 60°におけるレーザスキャナの取得点群

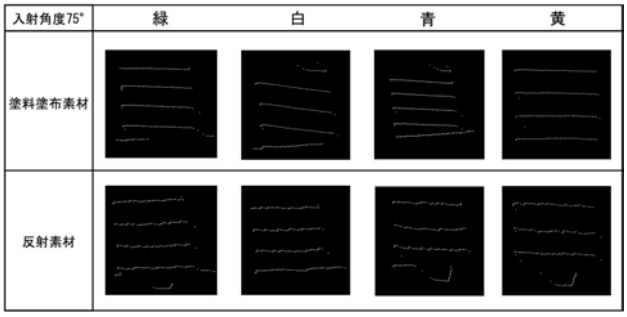


図-6　入射角度 75°におけるレーザスキャナの取得点群

表-2　入射角度と素材条件の正しい平面上にある点群

取得点群の精度

素材条件		入射角度 45°	60°	75°
塗料塗布素材	緑	△	○	○
	白	△	○	○
	青	△	○	○
	黄	△	○	○
反射素材	緑	×	○	○
	白	×	○	○
	青	×	○	○
	黄	×	○	○

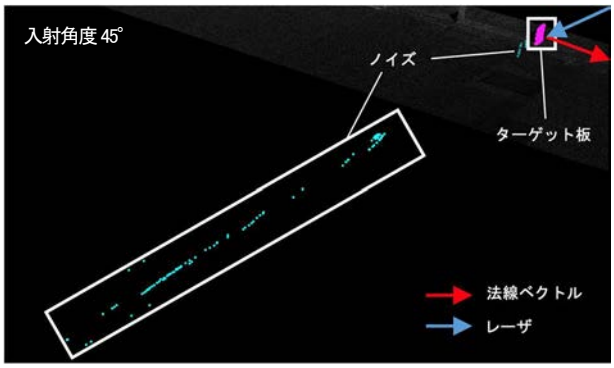
凡例
○：ノイズが発生しなかった
△：平面近くにノイズが発生したが大きな乱れはなかった
×：ノイズが発生した

表-3　入射角度と素材条件の平面上の点に乱れが発生した点群

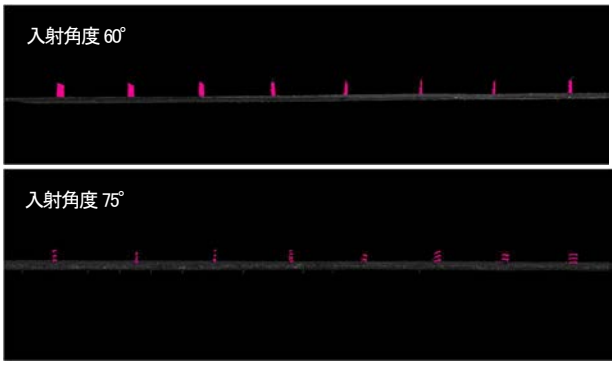
点群取得状況

素材条件		入射角度 45°	60°	75°
塗料塗布素材	緑	○	○	○
	白	○	○	○
	青	○	○	○
	黄	○	○	○
反射素材	緑	○	○	○
	白	△	○	○
	青	○	○	○
	黄	○	○	○

凡例
○：ノイズ以外の点群に乱れがない
△：ノイズ以外の平面上の点群に乱れがある
×：点群が取得できなかった



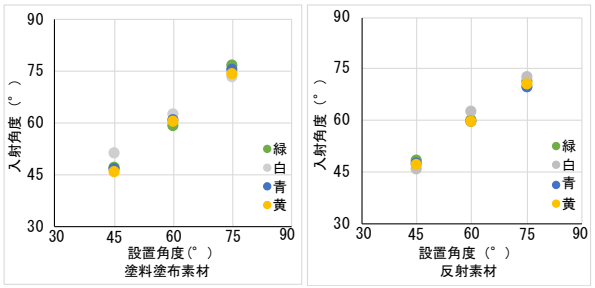
図−７　入射角度 45°　白色反射素材ノイズ発生状況



図−８　ターゲットの点群分布状況（入射角度 60°，75°）

４．　設置角度と各色の入射角度計算結果

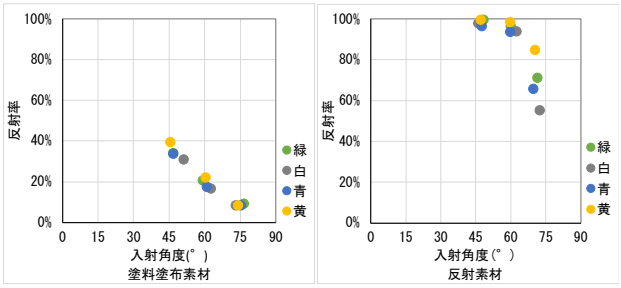
図-9 に設置角度と各色の入射角の計算結果との関係を示す．塗料塗布素材，反射素材の両方において，各実験の入射角度を計算した結果，若干の較差はあるものの，設置角度の値とほぼ一致した．特に入射角度 60°においては他の入射角度と比較して設置角度に近い値を示している．



図−９　設置角度と入射角度計算結果の関係

５．　入射角度計算結果と反射率の関係

図-10 は入射角度計算結果と反射率の関係である．塗料塗布素材では入射角が大きくなると反射率は低下するが，入射角度 45°では反射率が 30%以上になったので**表-2** に示す平面近くにノイズが発生したことが可能性がある．反射素材では反射率は入射角の大きさに関わらず，50%以上の値を示した．



図−１０　入射角度計算結果と反射率の関係

６．　まとめ

本研究では反射条件・ノイズ発生条件に注目し，PS 方式レーザスキャナを搭載した MMS により道路環境で主に用いられている各色の塗料塗布素材と反射素材を用いてどのような条件の場合に計測可能かを判断した．

その結果，塗料塗布素材では平面近くにノイズが発生したものの反射素材のように地物の奥側に生じるノイズは見られなかった．**表-2** より反射の強い素材はノイズを生じるが，入射角度が大きいほどノイズが減少することがわかる．また，**図-4** から**図-6** より，入射角度が大きいほどターゲットにあたる点の間隔が広がり，取得される点群数が減少し，入射角度 75°では 4 測線程度しか照射されない．よって塗料塗布素材，反射素材ともに入射角度 60°で計測するのが望ましいと考える．

今後はより鋭角な角度で計測を行った場合のノイズ発生状況に関しても検証が必要である．

参考文献

1) 榎本昌一，小栗昇悟，増田宏，田中一郎：複数のレーザースキャナによる平面計測精度の比較，精密工学会学術講演会講演論文集，Vol.2012S G24，pp.547-548，2012.
2) 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：位相差方式レーザスキャナを搭載した MMS における地物の素材特性と計測条件が取得点群に及ぼす影響の検証，土木学会論文集 F3，Vol.78，No.2，pp.II_26-II_33，2022.
3) LiDAR USA：Highway Mapper Z+F，<https://www.li-darusa.com/hiway-mapper-z--snoopy-custom.html>，（入手日 2023.6.1).
4) Geo3D：Z+F PROFILER 9012 データシート，<https://www.geo3d.hr/sites/default/files/2018-06/Z_F_PROFILER_9012_Datasheet_E_final_compr.pdf>，(入手日 2023.6.1).