

(28) 位相差方式レーザスキャナを搭載した MMS の 走行速度と層厚検出精度に関する基礎的研究

藤村 大輔¹・笹野 拓海²・山口 裕哉³・白石 宗一郎⁴・岡本 直樹⁵
岩上 弘明⁶・佐田 達典⁷・江守 央⁸

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: csda19015@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: csta20004@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 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

⁶ 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

⁷ 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

⁸ 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

現在土木構造物の効率的な点検手法として、モービルマッピングシステム (MMS) が活用されている。MMS に搭載されるレーザスキャナには従来の TOF 方式に加え、近年位相差方式 (PS 方式) が採用されている。既往研究では PS 方式による MMS の基礎的な精度検証は行われているが、走行速度に着目した検証は十分に行われていない。そこで本研究では、PS 方式による MMS の計測を時速 20km と時速 40km の速度別で実施し計測精度を比較した。結果として側方水平における厚み算出結果では、TOF 方式では速度の上昇に伴い較差の平均値が増大したが、PS 方式では速度が上昇した場合でも較差に大きな変化はなく、安定して良好な計測精度を保つことが示された。

Key Words: MMS, driving speed, laser scanner, layer thickness, phase difference type method

1. はじめに

車両を走行させながら道路周辺の 3 次元位置情報を取得することが可能なモービルマッピングシステム (以下: MMS) は現在、点検分野での活用が浸透してきている。MMS のレーザスキャナには Time of Flight (以下: TOF) 方式が数多く採用されてきたが、近年では位相差方式 (以下, PS 方式) によるレーザスキャナが注目されている。既往研究として藤村らは PS 方式と TOF 方式

による MMS の計測を実施し、その計測精度を比較することで、PS 方式による車載型レーザスキャナの基礎的な精度検証を行った。厚みをさまざまに変えた円盤状のターゲットの層厚を検出し、実寸法との較差を比較した。結果として PS 方式の方が較差の平均値が TOF 方式より小さく、計測精度が良好であった。しかしながら、20km/h 走行時における解析のみであり、20km/h 以上の走行速度において PS 方式による MMS の層厚検出精度を検証した例は少ない。そこで本研究では PS 方式による

MMS の計測を速度別で実施し、その計測精度を比較することで、PS 方式にによる車載型レーザスキャナの基礎的精度検証を行う。本稿では、物体の厚み（層厚）を比較対象とした実験結果について報告する。

2. MMS の概要

本研究で使用する MMS は図-1 に示す PS 方式のレーザスキャナを搭載した Fagerman Technologies 社製 ScanlookZ と、図-2 に示した TOF 方式のレーザスキャナを搭載した Trimble 社製 MX9 である。それぞれのシステム仕様を表-1 に示す¹⁾²⁾。

3. 計測精度に関する実証実験

(1) 実験方法

PS 方式による MMS の計測精度を把握し、PS 方式の MMS である ScanlookZ で複数のターゲットを走行速度別に計測する実験を行った。比較対象として TOF 方式の MMS である MX9 を同条件にて計測し比較した。計測したデータよりターゲットの層厚を計測し、実寸法と比較した。PS 方式による実験を 2019 年 9 月 30 日に、TOF 方式による実験を 2019 年 8 月 25 日に日本大学理工学部船橋キャンパス交通総合試験路にて行った。

層厚検出を行うために、厚みを様々に変えた円盤状のターゲットを使用した。ターゲットはステンレス製であり、金属の表面の露出を避けるため表面にグレーのサフ塗装を施している。それを石膏ボードに直接貼り付けた。各ターゲットの寸法をに表-2 示す。ターゲットの直径は 100mm、厚みは 0.5mm、1～10mm である。これらのターゲット路面に直接設置した。

設置箇所は図-3 に示したように、道路構造令第 5 条 4 項より最も幅広い幅員（3.4m）を想定し、車線端の状況を再現するために車線より 175cm 側方に設置した側方水平に設置した。計測開始前に 10 分程スタート地点に停止し、車載している GNSS/IMU 装置より車両の位置を求めた後計測を行った。実験箇所を図-4 に示す。図-4 より南東方向から北西方向に向けて走行した。加減速区間にて設定速度まで加速し、計測区間において検証点の計測を行い、加減速区間にて減速して停止した。本研究では走行速度は 20km/h 走行と 40km/h 走行、周波数は 200Hz、発射数は 1,000,000 点/秒とした。20km/h 走行で 2 回、40km/h 走行で 2 回、計 4 回計測した。本研究では各速度で最初に計測した各 1 回分を解析した。



図-1 ScanlookZ 外観



図-2 MX9 外観

表-1 システム仕様¹⁾²⁾

機種	Scanlook Z	MX9
GPS/IMU		
位置精度 (GNSS信号連続受信時)	水平 0.02m、高度 0.05m	水平 0.02m、高度 0.05m
位置精度 (GNSS信号非受信時が1分間)	水平 0.10m、高度 0.12m	水平 0.10m、高度 0.07m
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°	最大 2,000,000点/秒(1台あたり 1,000,000点/秒)、計測角度 360°
計測精度	レーザ測距精度2mm、 測距精度0.5mm(σ、ターゲット距離5m、白色)	レーザ測距精度 3mm、 測距精度 5mm

※ 精度仕様は全てRMS値

表-2 各ターゲット寸法

ターゲットID	各ターゲットの厚み (mm)	直径 (mm)
S1-1	0.5	100
S1-2	1	100
S1-3	2	100
S2-1	3	100
S2-2	4	100
S2-3	5	100
S2-4	6	100
S3-1	7	100
S3-2	8	100
S3-3	9	100
S3-4	10	100

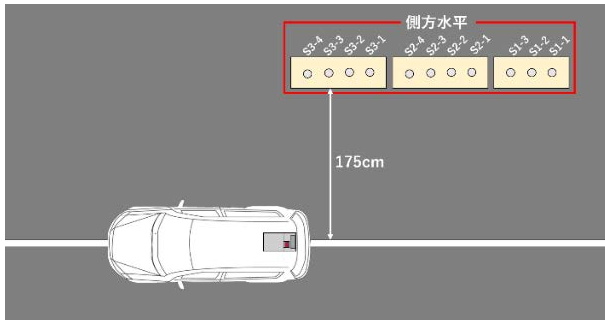


図-3 ターゲット配置図

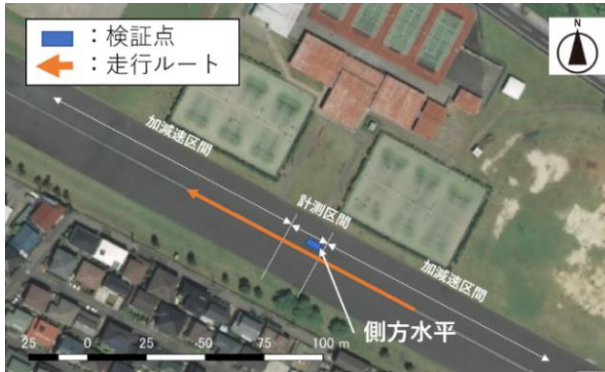


図-4 実験箇所（国土地理院地図より作成）

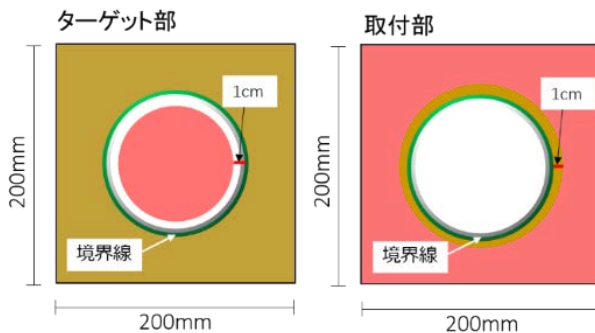


図-5 検証点の区分分け

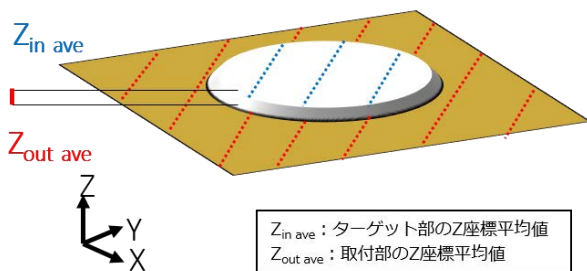


図-6 厚み算出の概略図

(2) 解析方法

PS方式とTOF方式によるMMSのレーザスキャナの精度を走行速度別に検証するため、車両上部に搭載されたレーザスキャナで計測した結果を点群処理ソフト Cloud compare を使用して手動で抽出した。解析はターゲット

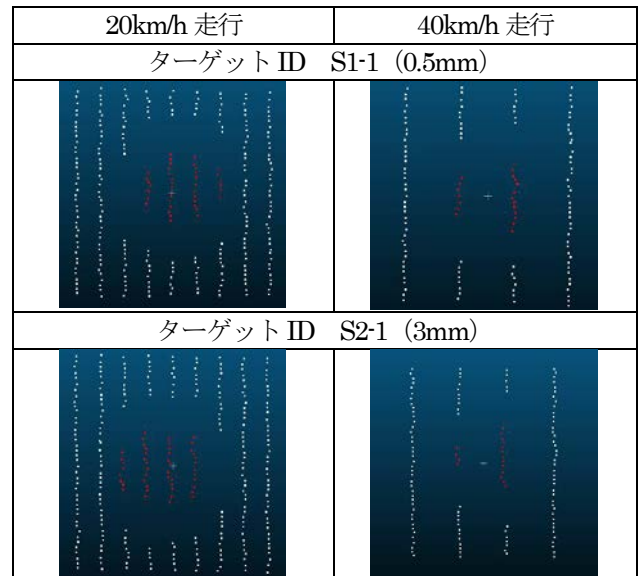


図-7 PS方式における走行速度別で比較した照射画像
(赤：ターゲット部、白：取付部)

部と取付部のZ座標の平均値から層厚を計算し、実寸法と比較した。ターゲットの厚みは、まず抽出した点群の3次元点群データから、検証点部分の点群を抽出した。次に検証点の中から取付部分とターゲットに分けて抽出を行う。取付部分とターゲット部の境界線では、ターゲット側面に照射された点群が乱れるため、図-5に示すようにターゲット部は取付部との境界線より10mm内側の部分とする。また取付部はターゲットを中心として、200mmの正形状の範囲から、ターゲット部の境界線より10mm外側の部分とする。厚み算出は図-6に示すようにターゲット部に照射された点群のZ座標の平均値から取付部に照射された点群のZ座標の平均値を引いた差を厚みとする。

4. 解析結果

(1) ターゲットへの照射状況

図-7にPS方式における境界線部を切り取ったターゲットの照射画像を、図-8にTOF方式における境界線部を切り取ったターゲットの照射画像をそれぞれ示す。

図-7、図-8よりPS方式では車両上部から見た場合、進行方向に対して90°傾いた向きにレーザ光が照射されている。また、スキャンラインの間隔は40km/h走行では20km/h走行のほぼ2倍となっている。一方でTOF方式では車両上部から見た場合、進行方向に対して45°傾いた向きにレーザ光が照射されている。また、スキャンラインの間隔は40km/h走行では20km/h走行のほぼ2倍となっている。

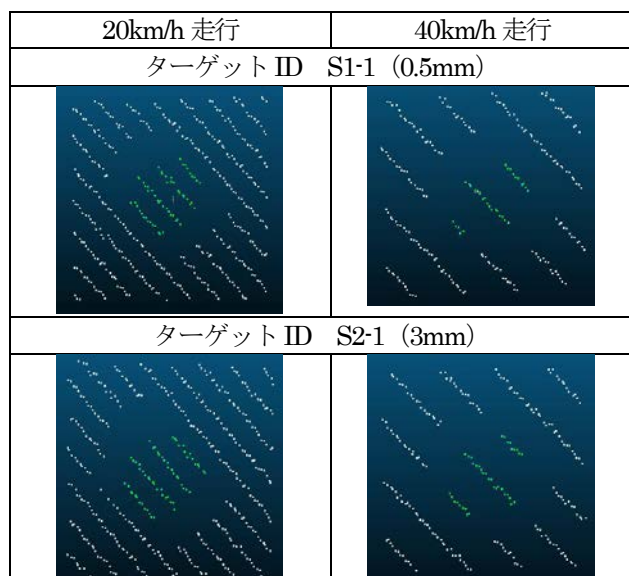


図-8 TOF方式における走行速度別で比較した照射画像
(緑：ターゲット部，白：取付部)

(2) 側方水平における厚み算出結果

PS方式とTOF方式で計測した各targetの厚みを相対速度の違いより比較した。20km/h走行時における側方水平の各ターゲットの厚みについてのグラフを図-9に、40km/h走行時の場合を図-10に示す。各ターゲットの厚みを基準とし、計測された点群により算出された解析値との較差を縦軸、ターゲットIDを横軸とする。図-9と図-10よりPS方式はTOF方式に比較し20km/h走行と40km/h走行のいずれにおいても較差が小さい。また、PS方式では較差がほとんど正の値をとっているが、TOF方式では較差は全て負の値となっている。

ターゲット部と取付部の標準偏差の平均値、厚みの較差の平均値をPS方式は表-3に、TOF方式は表-4にそれぞれ示す。表-3よりPS方式では20km/h走行と40km/h走行で較差の平均値がほぼ同じであり、走行速度が変化しても良好な計測精度を維持していることがわかる。一方、TOF方式は表-4より40km/h走行の方が較差の平均値が増大している。

5. おわりに

本研究ではPS方式によるMMSの計測精度を速度別で比較した。結果として、PS方式では走行速度が上昇しても較差に大きな変化はなく、安定して良好な計測精度を保つことが示された。要因としてTOF方式ではターゲットに対して1点1点レーザ光を照射してから、レーザスキャナに戻るまでの時間の差を計測して距離を求める。一方でPS方式では数種類のレーザ波の位相差を検出して距離を求める。つまりターゲット全体を計測する

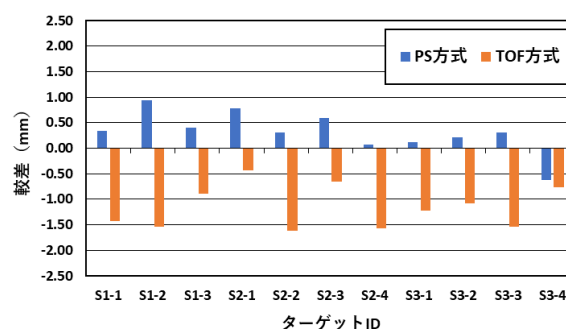


図-9 20km/h 走行時における厚み算出結果

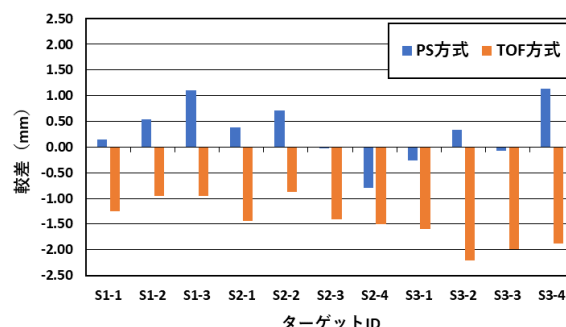


図-10 40km/h 走行時における厚み算出結果

表-3 PS方式における側方水平の各検証点の統計値

走行速度 (km/h)	ターゲット部 標準偏差の平均値 (mm)	取付部 標準偏差の平均値 (mm)	較差の 平均値 (mm)
20	1.13	1.01	0.31
40	1.12	1.00	0.29

表-4 TOF方式における側方水平の各検証点の統計値

走行速度 (km/h)	ターゲット部 標準偏差の平均値 (mm)	取付部 標準偏差の平均値 (mm)	較差の 平均値 (mm)
20	2.41	2.60	-1.16
40	1.38	1.63	-1.46

ため、安定した計測が可能であることが考えられる。

今後は、進行方向の直下に設置したターゲット等の計測精度の検証を行う。

参考文献

- 1) Zoller +Fröhlich GmbH : Datasheet Z+F PROFILER 9012 ,
<https://www.zflaser.com/fileadmin/editor/Datenblaetter/Z_F_PROFILER_9012_Datasheet_E_final_compr.pdf>, (入手2020.6.1).
- 2) 株式会社ニコン・トリムブル : 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).
- 3) 総務省 : 行政手続のオンライン利用の推進, <<https://www.e-gov.go.jp/doc/facilitate/index.html>>, (入手2020.6.1).