1-14 モービルマッピング技術の基本性能検証実験

Field Experiments on the Basic Performance of Mobile Mapping Technology

村山盛行¹ · 佐田達典² · 金綱淳次³ · 清水哲也⁴ · 丹野貴之⁵ · 岡田雅人⁶

Murayama Shigeyuki, Sada Tatsunori, Kanetsuna Junji, Shimizu Tetsuya, Tanno Takayuki, and Okada Masato

抄録:モービルマッピング技術は走行しながら道路周辺の三次元データを取得できる計測技術であり、 今後様々な利活用が期待されている.しかし、基本的な性能について詳細に実証した例は少ない。そこで、 計測条件や計測精度などについて検証するため、上空視界が開けた好条件の場所で走行実験を実施し、路 面形状を計測した.取得したデータを比較検証するため、水準測量も実施した.得られたデータから GPS 測位条件に関する検討、データ解析手法による考察、選択した計測機器に依存する計測精度の影響など、 多角的な視点から詳細な検証を行った.その結果得られた新たな知見について、本論文にまとめた。

Abstract: Mobile Mapping is a measurement technology to acquire the three-dimensional data around the road while running. This technology will be expected of a variety of profit use in the future. However, the example of verifying the basic performance of this technology is few. Then, the field experiments to measured the road profile in the favorable place for satellite observation where the sky view had opened were executed. Comparing the acquired data with leveling data on the course, we did a detailed verification about the GPS measurement condition, the data analysis technique, and the measurement accuracy depending on the measurement hardware.

キーワード: GPS, GPS/IMU, モービルマッピング, 路面計測, レーザースキャナー *Keywords* : GPS, GPS/IMU, Mobile Mapping, Road Surface Measurement, Laser Scanner

1. 研究の背景と経緯

平成19年8月29日に地理空間情報活用推進基本法が施行され、地理空間情報の活用についての基盤データの 整備や利用方法について様々な活動が報告されている. 地理空間情報の基盤技術における大きな要素のひとつと して、ポジショニング技術が挙げられる.地理空間情報 における高精度なポジショニングを担保するためには、 衛星測位技術の向上や衛星測位技術を含む複合システム の開発が不可欠であり、これらの技術開発は準天頂衛星 システム計画を始め、産官学の連携による高度化が進め られている.こうした社会的背景もあいまって、近年、 モービルマッピングによる計測技術の開発が盛んに行わ れており¹¹²¹³¹、その利活用について注目されている.

モービルマッピングは最先端の車載型のポジショニン グ技術であり、主な構成要素は GNSS 衛星による測位、 高精度ジャイロに代表される慣性航法システム、画像計 測、およびレーザー計測などである.これらのひとつひ とつの要素技術と、これらを統合する同期技術やデータ 処理技術により、高度な測位技術の集合体として統合・ 構築されている.各要素の特徴として、高度な技術力に 基づいていること、膨大なデータを取得しているため、 データ処理に高性能な処理環境を必要とすることが挙げ られる. 近年の IT 技術の発展がなければ、今日の実用化 には至らなかったであろうことは容易に想像でき、モー ビルマッピングは各要素技術の発展の上に成り立つ最新 技術であると言える.

モービルマッピング技術の活用用途は幅広く,道路の 舗装状況の調査から道路付帯物などの道路周辺状況の3 次元データ化まで可能であるとされる.米国では早くか ら導入され,近年,日本国内でも導入が始まっている.

筆者らはこれまでに, GPS 測位技術を初めとする要素 技術についての基礎的な研究やレーザースキャナーによ る計測技術の利活用方法の検討, GPS/IMU を利用したシ ステム開発⁴⁾など様々な活動を行ってきた.こうした経 緯から,今回これらの統合計測技術であるモービルマッ ピングに関する利活用方法についての研究開発を実施す るに至った.

2. 本研究の目的

モービルマッピング技術を利用して取得できるデータ は、市街地の状況をリアルな3次元動画などで視覚的に 表現できる.そのため、一般的な事例報告ではその表現 力についての内容が多く、計測精度を詳細に実証した例 は少ない.今後、この技術が様々な分野で活用されてい

1	:	正会員	(株)テクノバンガード
		(〒110-0016 및	東京都台東区台東 2-24-10,Tel :03-6303-3154, E-mail : sh-murayama@t-vang.co.jp)
2	:	正会員 博士	(工学) 日本大学 理工学部
		(〒274-0581	千葉県船橋市習志野台 7-24-1,Tel :047-469-8147, E-mail : sada@trpt.cst.nihon-u.ac.jp)
3	:	非会員	(株)ニコン・トリンブル
4	:	非会員	(株)タクモ
5	:	非会員	日立造船(株)
6	:	非会員	東日本旅客鉄道(㈱)

くためには、実際に取得したデータがどの程度の位置精 度を持っているのかを実データから検証し、測定条件と 取得データの信頼性を担保しておく必要がある.

その中でも計測精度を担保する上で最も重要なのは, 走行経路および経路周辺の環境を考慮したデータ取得方 法である.市街地などのように上空視界が狭く,マルチ パスの影響を受けやすい環境で計測を行った場合,十分 な衛星測位ができず,取得データと実際の位置情報に大 きな差が生じることは一般的にも知られている.そのよ うな場所でもできる限り高精度な位置情報を取得するた めには,走行コースの選定や走行する時間帯,1回の計 測で走行する時間などの条件を見極めることが必須とな る.

筆者らは今回,上空視界が開け,走行経路に隣接する 建物による影響が極力少ない条件下でデータを取得し, モービルマッピングシステムの持つ基本的な特性を明ら かにすることを目的として,走行計測実験を実施した. 本論文では,モービルマッピング技術を活用するための 根幹となる測位精度及び統合システムの精度検証を実施 した結果,新たな知見を得ることができたので報告する.

3. LANDMark システムの概要

現在,市場で提供されているモービルマッピングシステムはいくつか存在するが,筆者らはApplanix社製のLAND Markシステム(図-1,2)を採用した.LANDMarkシステムは,航空レーザー測量などで利用されているPOS

(Position & Orientation System)を基幹とし,他の計測セン サを組み合わせた車載型の統合計測システムである.本シ ステムは,POSを構成する4つのハードウェア(GPS,IMU, DMI,PCS)部と,デジタルビデオカメラとレーザースキャ ナーの2つの計測センサ部,各ハードの情報を統合・分配 するラックマウントコンピュータ部という7つのハード ウェアから構成されている.このうち,レーザースキャナ ーとデジタルビデオカメラの種類は目的と要求精度に応 じた機器選択が必要であり,個々の特性を把握し,車載す る際の設置位置などについても考慮する必要がある.各ハ ードウェアの詳細を次の(1)~(7)に示す.

(1) GPS受信機

GPS 測位技術は、本システムの位置情報を決定する最 も重要な役割を果たしている要素である.受信機にはボ ードタイプの受信機 Trimble 社製 BD960 を採用している. この受信機は RTK-GPS,DGPS,VRS の機能を持つことに 加え,GPS のL2C,L5 信号と Glonass のL1/L2 にも対応 した GNSS 受信機であるため、将来的な拡張性も備えて いる.

GPS 測位により車両位置のX,Y,Zの座標値を20Hz 間隔で取得する。筆者らが使用するにあたっては、DGPS 機能を利用してデータ取得を行っている.取得データは



図-1 LANDMark システム 車外部



図-2 LANDMarkシステム 車内部

後処理解析で RTK-GPS と同等の測位精度を得ることが 可能で,走行位置を 20mm の精度で計測することができる.

(2) IMU (Inertial Measurement Unit)

IMUは3軸の光ファイバージャイロと3軸の高精度加速 度センサを内蔵した慣性航法装置で、車のロール角、ピッ チ角、ヘディング角の連続測定ができる.データは200Hz で出力可能なため、GPSの位置情報をシームレスに補間す ることが可能である.

(3) DMI (Distance Measuring Instrument)

DMIは車輪に取り付け、走行距離を測定するロータリー エンコーダである. IMUデータと同様に200Hzのパルス信 号としてデータを記録する. DMIから得た走行距離情報を 与えることで、GPSの位置情報の補正を行う.

(4) PCS (POS Computer System)

GPS,IMU,DMIから得られるデータを統合し、車両の任 意位置(リファレンスポイント)における位置情報と姿勢 情報をリアルタイムに算出するデータ制御部である.高層 ビル街や細い路地、トンネルなどにおける状況下ではGPS 測位精度が劣化し、主に都市部ではGPS単独では測位でき ないことが多い.そのため、GPS 信号が受信できないと きはIMU とDMIで走行位置の計測を継続し、高精度な位 置情報を維持することを可能とする.

(5) デジタルビデオカメラ

本システムで使用できるカメラは複数あり,走行中の周 辺状況を記録したい場合は全方向カメラ,撮影画像から写 真解析を行いたい場合は高解像度カメラといった具合に, 撮影の目的や用途によって選択することができる.

今回選択したカメラはPoint Grey社製のScorpionで,これ は1600×1200の解像度を持つ.カメラの設置位置や姿勢の 情報は、PCSから得たリファレンスポイントの位置・姿勢 情報から与えられ、取得画像から写真解析を行うことがで きる.また、2台のカメラを使用することによりステレオ 写真解析が可能となる.

(6) レーザースキャナー

カメラと同様に、目的や用途によって選択できる. 主な 計測対象物は路面形状や道路付帯物などを含む周辺地形 形状である. 今回は路面形状の計測を行うため、2次元レ ーザースキャナーであるSICK社製のLMS211-S14を選択 した. この機器の性能仕様は、スキャン範囲は90度、レー ザーの照射角度は0.5度間隔、計測距離範囲は最大80m(黒 色では30m)、計測距離誤差は±35mmである.

(7) ラックマウントコンピュータ部

ラックマウントコンピュータ部には、デジタルビデオカ メラとレーザースキャナーの制御・データ統合・分配を行 うマルチプレクサ部と、PCSから得られた位置情報データ とデジタルビデオカメラ及びレーザースキャナーの計測 データをGPS時刻で同期して、全ての計測データを同一座 標系に基づいたデータに処理するPC部がある.最終的な 計測データはラックマウント部から出力され、専用のソフ トウェアを用いることでリアルタイムにモニターで計測 データを確認することができる.

4. 実験1 LANDMark システムによる路面計測

LANDMark システムの基本的な特性を評価するため, 路面形状の走行計測実験を2008年9月1日に実施した. 実験場所には日本大学理工学部船橋キャンパス内にある 交通総合試験路を選択した(図-3).この場所は上空 視界が開けており,走行路の幅も30m以上確保できるた め,周辺の建物によるマルチパスなどの影響を受けにく い.また,試験路の延長も最大約600m あることから, 低速度から時速80km程度の高速度まで走行速度を変化 させて実験を行うことができ,基本的なデータを取得す るには最適な条件だと判断した.

実験方法は、試験走行路の直線部分のうち 100m 区間 の路面を LANDMark システムに搭載したレーザースキ ャナーで計測した(図-4). 速度は 20km/h, 40km/h, 60km/h, 80km/h の4パターンで走行した.また,路面に 対してレーザーの照射角度が変わるよう,走行する直線 位置は道路中心線をコース とし、コース を基準に



図-3 実験場所と周辺状況



図-4 走行実験の様子



図-5 水準測量の実施状況

3.75m 間隔でコース②とコース③を設定した. 走行回数 は各速度とも2往復とし,計24回の走行を行った.24 回の走行データは一括で解析処理できるよう,一度も停 車することなく連続して走行した.

走行実験により得られた路面計測の結果を比較検証す るため、別途試験走行路の水準測量を実施した(図-5). 水準測量は 100m 区間全体を縦断方向に 2m, 横断方向 に 1mの間隔で実施した.

5. 解析処理と結果考察(実験1)



図-6 走行コース毎における縦断図の走行軌跡の比較

実験1で取得した LANDMark システムのデータを解 析処理し,試験走行路の三次元点群データを出力した. 解析ソフトは Applanix 社の POSPacLAND5.0 を使用した. 点群データの座標系は世界測地系に準拠しており,高さ は楕円体高とした.次に,三次元点群データから3次元 の面モデルを作成し,更に 0.5m 間隔の点データにメッ シュ化処理した。水準測量の結果も同様に処理し,1対1 の比較ができるようにした.

解析処理後の路面の点データと水準測量の結果を縦横 断図に重ね合わせ、比較した.縦断図では速度変化によ る走行軌跡の差について、横断図ではレーザースキャナ ーの計測精度について考察した.縦断図の断面位置は3 パターンの走行コース上の位置とした.横断図の断面位 置は、走行区間 100m における 20m, 50m, 80m位置の 3 箇所とした.

(1) 縦断図による考察

縦断図の比較グラフを図-6に示す.横軸の追加距離は,走行した100m区間に対する位置を表したものである。

縦断図の高さに注目してコース①往路を見ると,どの速 度の軌跡も水準測量の結果とほぼ同じラインを描いてい ることが確認できる.高さのバラつきは3cm程度に収ま っており,非常に高精度な結果を得ている.一方,コー ス 復路を見ると,描いているラインは相対的には同じ 軌跡を描いているが,高さのバラつきが10cm程度に大 きくなっている.

往路と復路での走行軌跡の違いをコース別に見てみる と、コース でも復路の方が高さのバラつきが大きくな っている傾向が見られる.コース では、往路復路の高 さのバラつきにそれほど大きな差は見られないが、双方 ともバラつきが 10cm 程度あることがわかる.

走行速度による計測データへの影響を判断するため,3 つのコースの往復ごとに追加距離50m地点における速度 別の高さ順をそれぞれ比較した.高さの順番からは、速 度依存性のある明確な傾向は見られなかった.グラフ全 体から見ても、速度依存の傾向は確認できなかった.

時系列に見ると、走行の順番はコース 往路が最初の

走行データであり、コース 復路が最後のデータである. 時間の経過とともに高さのバラつきが大きくなっている 傾向が見られる.これは時間経過による GPS, IMU, DMI の誤差の累積が影響していると考えられる。特に GPS 測 位環境は始点側と終点側では多少の変化が生じる.実験 区間全体の上空視界は良好な状態だが、終点側では車を Uターンする必要があり、その際に高層棟に最も近づく ことになる.高層棟付近では GPS 衛星の補足数が少なく なることがあったため(図-7)、取得データの一部で GPS 測位による Fix 解を得られなかった.再度 Fix 解を 得るためには単独測位→フロート解→Fix 解の順序を辿 る必要があるため、多少の初期化時間を必要とする.

本システムでは GPS 測位状況が瞬断された場合など は IMU データなどで位置情報を補間することにより初 期化時間を短縮する技術を備えているが, GPS 測位状況 の劣化時間が長くなるほど,全体の精度は劣化する.こう した影響が往路と復路の高さのバラつきに差を生じさせ たのではないかと考えられる.

特徴的な現象として、コース の復路 20km/h とコー ス の往路 40,80km/h のグラフにおいて、35m、45m 付 近で高さのドリフトが確認できることである.この現象 の原因はいくつか考えられるが、今回の実験のように GPS 測位状況が良好な場所・条件においても位置精度の 劣化が起こりうることを示している.これは実運用にお いても注意すべき点である.

以上のことから、全体的な高さの位置精度が劣化する 原因は、速度に依存したものではなく、GPS 測位結果に よる影響と、走行の経過時間による誤差の累積であると 考えられる.

(2) 横断図による考察

次に、横断図の走行コース における 50m 地点の水準 測量との高さの比較グラフを図-8に示す.縦断図のグ ラフを検証した結果、速度依存の傾向が見られなかった ため、40km/h のみのデータで検討を行っている.また、 上のグラフは水準測量とレーザースキャナーとの楕円体 高における比較、下2つのグラフは、水準測量の結果に 対して LANDMark システムの計測データの高さの差を 横断面の追加距離毎に計算し、往路と復路のそれぞれの 差を表したものである.

比較グラフから、全体的な高さのバラつきは最大で 4cm 以内に収まっていることがわかる.また、差分のグ ラフからは、往路は左側の差分が大きく、復路は全体的 に高さが高くなり、かつ右側の差分が大きくなっている ことがわかる.この原因はレーザースキャナーの距離計 測誤差及び照射角度誤差に依存している可能性がある. また、レーザースキャナーの姿勢自体が車体に対して傾 いていることも可能性として考えられる.しかし、特定 の横断面だけで結論付けるのは難しい.

そこで、レーザースキャナーで計測した往路の路面デ













図-9 40km/h 往路の平均高低差と標準偏差

ータ全体で水準測量の結果との差分を計算し、平均高低差と標準偏差を求めた.結果グラフを図ー9に示す.図 ー9では、コース①~③ごとに高低差がみられるが、こ れは縦断図で検証した全体的な高さのシフトによるもの である.各コースとも、平均高低差は走行位置である中心 部分から両側に向かうにつれ、3cm 程度の幅を持って山 なりになっていることが確認できる.しかし、標準偏差 からは山なりの傾向が見られず、横断方向全体に対して 1cm 以内に安定して納まっている.このことから、レー ザースキャナーの照射角度と計測距離に依存する誤差が 路面高さのバラつきに影響しているが、高さの精度とし ては 3cm 以内に安定して計測ができていると言える.こ れは使用した機器の仕様とほぼ一致しており、実データ として実証される形となった.

特徴的な現象として, 追加距離 16m 位置の道路中心線 付近だけ平均高低差が小さいことが確認できる.これは, レーザーによる反射強度が白線とアスファルト面では異 なるため,反射強度が強い白線部分の高低差が小さい. この特徴は,実運用における道路面計測でも留意してお く必要がある.また路面以外の対象物を高精度で計測す る場合は,今回の実験条件よりも計測距離が長くなるこ とが予想できるため,レーザーの照射角度とビームの広 がり角,計測距離と走行速度に対するレーザーの照射間 隔,測定対象物の反射強度などを考慮して機器の選定を 行う必要がある.

6. 実験2 POS システムによる走行軌跡の検証

実験1の結果から、走行速度や走行位置の変化は結果 に対して殆ど影響しないことがわかった.一方、同一路 線を走行していても、GPS 測位結果による影響で高さに ついて10cm 程度のばらつきがあることが縦断図の検証 結果から確認できた.そこで、GPS 測位結果による影響 について検証するため、LANDMark システムの POS 部 分(GPS/IMU)のみを使用して追加実験を行った.実験 は2008年12月21日に実施した.今回の実験では、走行 往復データを個別に解析できるよう、1回の往復毎に始 点位置で5分間停止することにした.また、個別解析と 連続解析が比較できるように連続した走行も再度実施し た.実験場所は実験1と同じ条件とし、走行位置は道路 中心線のラインとした.

7. 解析処理と結果考察(実験2)

実験2で得た走行データを異なる解析手法で計算した. 具体的には、走行データを連続して解析する場合、1往 復を1回のデータとして個別に解析する場合、解析ソフ トウェア(POSPacLAND5.0 と POSPacMMS5.2)による 結果の違い、以上3つの解析による比較を行った.実験 1を実施してから今回の実験を実施するまでの間に、ソフトウェアがバージョンアップされ、POSPacMMS5.2という新しいソフトウェアが提供された. MMS5.2 はLANDMark システム用にLAND5.0を改良したソフトウ



図-10 走行実験とデータ解析パターンの模式図

区問夕	解析区間	解析ソフト	
		Land5.0	MMS5.2
-1	T1 T2	G1	G6
-1-1	T2 T3 T4 T5 T6	G2	G7
-1-2	T2 T6	G3	G8
-2	T1 T6	G4	G9
-2	T1 T6	G5	G10

表-1 区間名と対応グラフ(G1~G10 がグラフ名称)

表-2 解析データの比較検証結果一覧

同一ソフトによる解析区間の違いによる結果への影響					
比較区間	検証結果				
G1とG4	高さのバラつきはあまりないが 全体的な高さが5cm程度シフトしている				
G2とG3とG5	解析区間が長いほうが 高さのバラつきが少ない				
G6とG9	バラつきも少なく 大きな差は見られない				
G7とG8とG10	高さのバラつきは同程度だが 全体的な高さが5cm程度シフトしている				
角	Z Aインフトの違いによる結果への影響				
比較区間	検証結果				
G1とG6	高さのバラつきは同程度だが 全体的な高さが5cm程度シフトしている				
G2とG7	MMS5.2のほうが高さのバラつきが少ない				
G3とG8	高さのバラつきは同程度だが 全体的な高さが3cm程度シフトしている				
G4とG9	高さのバラつきは同程度だが 全体的な高さが10cm程度シフトしている				
G5とG10	高さのバラつきは同程度だが 全体的な高さが10㎝程度シフトしている				
総合的な判断					
全区間	解析区間が長いほうが安定した 解析結果を得ている 解析ソフトの違いで高さの バラつきが3cm~10cm				



- 123 -

ェアである. 演算処理など機能面での違いは GPS データ 解析に PCV (Phase Center Variation) 補正を反映させるこ とができるようになった点である. 一般的に,使用する アンテナ機種が異なると GPS 衛星からの電波の入射角 に応じて受信位置が変化し,高さ方向に誤差が生じるこ とが知られている. PCV 補正を適用することで高さ方向 の精度が向上することが期待できる.

走行データの比較条件と検証結果を表-1,2に,走 行実験とデータ解析パターンの模式図を図-10に,そ れぞれのグラフを図-11と図-12に示す.

同一の解析ソフトウェアを使用した場合,解析を開始・終了する区間が異なると,高さのバラつきが変化することが確認できる.特に顕著なのは,LAND5.0で解析を行った G2 と G3 のグラフである.G2 では各走行速度の往復毎に解析を実施しているために高さのバラつきが大きく,最大で15cmの高低差が出ている.これは,

T2,T3,T4,T5,T6 それぞれの開始時点における GPS 測位結 果の差がそのまま走行軌跡に反映されていることを示し ている.同じことが G7 と G8 と G10 の比較結果でも確 認できる.

次に G3 を見ると、G2 と比較して高さのバラつきが 5cm 程度まで収束していることがわかる.これは、T2 と T6 の GPS 測位結果が走行区間中の全体的な高さを固定 化しているため、T3~T5 における GPS 測位結果の高さ の変動は走行中データと同一に扱われ、停車中の高さも 平均化されていることを示している.

一方, 同一ソフトウェアを使用している G7 と G8 を比 較してみると, G2 と G3 のような顕著な変化は見られな い. また, G4 と G9 を比較すると, 高さのバラつきは同 程度だが, 全体的に高さが 10cm 程度シフトしているこ とがわかる.

G6~G10 全体で見ると、どの解析区間も高さのバラつ きは小さく、最大でも 5cm 程度の差になっている.これ は PCV 補正を反映させたことで高さ方向の精度が向上 しており、POSPacMMS5.2 の優れた特長であると言える.

実験2のまとめとしては,解析区間を細切れに設定せ ず,まとまった区間で解析するほうが,解析結果の高さ のバラつきが小さくなることがわかった.また,解析を 行う際の始点位置と終点位置で安定した GPS 測位結果 を得ておく必要があり,始点終点位置の GPS 測位結果が 走行データ全体に大きく影響することがわかった.解析 についても,ソフトウェアが新しくなったことで GPS 測 位結果の高さに関する精度が向上したことが確認できた.

8. まとめと今後の展望

今回,2回の基礎実験を実施したことにより,モービ ルマッピング技術の基本的な特性について,実際のデー タから様々な検証をすることができた.今回の結論とし ては、以下のことが確認できた。

走行速度の変化によって取得データの精度に大きな 変動はないことが確認できた.

解析を行う始点終点位置の高さを精度良く取得して おくことにより、走行データ全体で良好な解析結果 を得ることができる。

走行区間を細切れに分割してデータ解析を行うより も、ある程度連続した区間を一括でデータ解析する ほうが、安定した高さを得ることができる.

GPS 測位状況が良好な場所においても測位位置の変動があり、今回の検証データからは 10cm 程度の高さのバラつきが確認された.

レーザースキャナーで走行中データを取得する場合 には、使用するレーザースキャナーの照射角度によ る精度への影響を考慮し、有効距離範囲と測定対象 に適した機器を使用する必要がある.

同じ取得データでも解析ソフトウェアが異なると結 果に差が生じることがある.

これらの結果は、今回使用した LANDMark システム固 有の特徴ではなく、他のモービルマッピングシステムお よび解析ソフトウェアを使用する場合でも同様の注意が 必要であると考えられる.

今後の展望として、より解析精度の高いソフトウェア が提供されることが期待できる. GPS,IMU,DMI といっ た複数センサから得られた良好な走行データをバランス 良く解析する新たなアルゴリズムが発展すれば、精度の 高い出力データが期待できる.

モービルマッピング技術はまだ開発途上であるため, 今後も様々な分野で利用されていくであろうと思われる. 本論文で検証した内容が,今後の技術発展に少しでも役 立つことになれば幸いである.

謝辞:今回の実験を行うにあたり,多くの方々のご協力 を得た.特に(株)ニコン・トリンブルの岩部忠行氏,日 本大学理工学部社会交通工学科空間情報研究室の学生諸 氏には,多大なるご協力をいただいた.ここに感謝の意 を表する.

参考文献

 辻 求,今野達夫,水谷信之:車両搭載型センサを用いた3次元都市空間モデルの構築,応用測量論文集,Vol.14, pp.79-84,2003年6月

- 2)南澤輝雄,前田近邦:道路現況計測システム: Real,写真測 量とリモートセンシング, Vol.47, pp.10-13, 2008
- 3) 來島輝武:道路管理評価システム,写真測量とリモートセンシング, Vol.47, pp.14-17, 2008

4)村山盛行,佐田達典:地上型レーザースキャナーと GPS/IMU を用いた三次元形状計測システムの開発,応用 測量論文集,Vol.15, pp.91-102, 2004 年6 月