

# 公道自動運転レベル4を目指した路車連携技術の実証

トンネル壁面への高反射塗料の塗布による自車位置補正の有効性検証

清水 友理\*<sup>1</sup>・杏村 潤貴\*<sup>2</sup>・宮阪 健夫\*<sup>3</sup>・竹内 栄二郎\*<sup>3</sup>・平川 一成\*<sup>4</sup>・斉藤 充人\*<sup>4</sup>

Keywords : Autonomous Driving, Localization, LiDAR, Vehicle-Infrastructure Cooperation, Vehicle-to-Infrastructure(V2I)

自動運転, 自己位置推定, LiDAR, 路車連携, 路車間通信

## 1. はじめに

少子高齢化, 人口減少が進展する中で, 公共交通のドライバーの人手不足や路線バスの維持困難が深刻化している。通常, レジリエンスな社会とは, 大規模災害等の急激な変化に対して, 短時間で復旧が可能な状態を指すが, 人口減少や高齢化といった確実に訪れる長期間での変化に対しても対応できることが, 長期的な変化に対しレジリエンスな社会と言える。住み続けられるまちであるために, 地域の交通課題に対し自動運転に寄せられる期待は大きい。自動運転のレベル<sup>1)</sup>はレベル1から5まであり, レベル1は有人運転での運転支援の位置づけであり, 上述の課題解決には, 無人運転であることが必須となる。無人運転となる場合, 自動運転レベルではレベル4以上が必要となる。レベル4とは, 特定区間において, 完全に無人で自動運転するシステムを指している。公共交通等は, 特定区間に該当するため, レベル4の実現が上述の諸課題に対するブレイクスルーポイントとなる。

レベル4の実現に向けて, 内閣府はSIP<sup>注1)</sup>の縦断的取り組みにより, 自動運転の社会実装に向けた技術開発及び実証実験を進めている。更に2021年度からは経済産業省が国土交通省や民間企業と連携し, レベル4を見据えた自動運転の実現・普及に向けて, 研究開発から社会実験, 社会実装までを一貫した取り組みを行う「RoAD to the L4」<sup>注2)</sup>が発足し, 2025年度までに全国40ヵ所以上の地域で無人自動運転サービスの実現を掲げた取り組みを開始した<sup>2)</sup>。

レベル4の実現に向けて, 公道における自動運転車両と一般車両および歩行者等の混在する環境において,

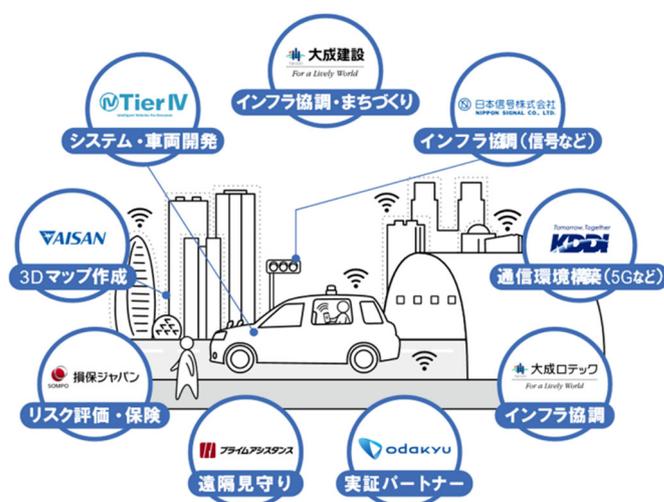


図-1 実施体制

Fig.1 Implementation system

安全性を担保する要素の一つとして, 自動運転車両の自車位置を正確に把握することが重要である。特にトンネル区間は自車位置の誤差が大きく, 車載センサーのみでは難易度の高い走行環境となる。本プロジェクトは, 東京都公募事業「令和3年度西新宿エリアにおける自動運転移動サービス実現に向けた5Gを活用したサービスモデルの構築に関するプロジェクト」として, 公道における実証実験を自動運転に関わる様々な企業のコンソーシアムからなる合計9社(図-1)の共創活動として実施した。車載センサーのみでは走行困難な環境において, インフラ側からの情報と連携することを路車連携と呼ぶが, 筆者らはその一つとして, トンネル壁面に高反射塗料を塗布することによる, 自車位置補正に取り組んだ。本報では, 公道実証に先立ち実施した事前検証と, 公道での実証実験について報告する。

\*1 技術センター イノベーション戦略部 技術開発戦略室

\*2 都市開発本部 新事業推進部

\*3 (株)ティアフォー

\*4 大成ロテック(株)

## 2. 概要

表-1 手法の位置づけ

Table 1 Positioning of methods for Autonomus Localization

手法		電磁誘導線・磁気マーカー	GNSS	三次元点群地図	本手法
位置特定	車両側	磁気センサ	GNSS	LiDAR	LiDAR
	インフラ側	電磁誘導線・磁気マーカーの敷設(路面改良)	—	—	塗料塗布(壁面改良)
課題	環境条件	—	上空が遮られる環境や反射が多い環境で精度低下(例:山間部等)	形状変化が少ない環境で精度低下(例:トンネル等)	—
	気象条件	—	—	積雪時に検出精度低下	—
	維持管理	他路面工事の影響を受ける	—	地図の作成・更新が必要	—

### 2.1 本取り組みの概要

本プロジェクトの実施体制及び役割を図-1 に示す。まず自動運転車両のシステム・車両開発を行う開発会社((株)ティアフォー)を中心に、走行環境整備を行う2社(通信:KDDI(株)、三次元地図:アイサンテクノロジー(株))、利用者が安心して自動運転を利用できるためのサービスを提供する2社(保険:損害保険ジャパン(株)、遠隔見守り:(株)プライムアシスタンス)、路車連携を実施する3社(日本信号(株)、大成ロテック(株)、大成建設(株))により、安全性向上・精度向上を目指した。更に社会実装を見据え、交通事業者である小田急電鉄(株)を加えた合計9社により、プロジェクトを実施した。

### 2.2 既往手法と本手法の位置づけ

自動運転車両の自車位置推定に用いられる主な手法と本手法の位置づけを表-1 示す。

電磁誘導線・磁気マーカーによる方式では、車両底部に磁気センサを設置し、インフラ側には路面に電磁誘導線を敷設ないし磁気マーカーを埋設し走行位置を把握する手法<sup>3)</sup>である。積雪環境下でも走行可能であり、積雪地域をはじめ固定ルートを巡回するモビリティに対して有効な手法である。一方、車両側に磁気センサの設置が必要であることと、路面側は他の路面工事の影響を受けることが課題である。

次にGNSS<sup>注3)</sup>方式は、複数の衛星基地局と車載のGNSSアンテナ間の距離により位置を推定する方式であり、インフラ整備を必要とせず利用可能な方式である。GNSS方式はインフラ側の整備が不要であるメリットがある。一方、山間部や高層ビル群や高速道路の上部に構造部が複雑に組み入った箇所においては、測位精度が低下する。また、トンネルや地下道といった構造物により遮蔽される環境では受信できない。

次に三次元点群地図方式は、レーザー光を対象物に照射し、反射光を測定することにより対照物との距離を測定するLiDAR<sup>注4)</sup>等の装置等を積載したMMS<sup>注5)</sup>を走行させ、点群データとして取得し、三次元点群地図を作成する。自動運転車両が走行する際は、LiDARを積載し、作成済の三次元地図と参照することで位置を推定する方法である。ロボットの自律走行で飛躍的に発達した方式であり、位置推定の各種アルゴリズムの開発が盛んに行われている。位置推定アルゴリズムの一つであるNDT<sup>注6)</sup>を例にとると、車両から得られ



写真-1 西新宿でのトンネル走行環境  
Photo.1 Tunnel driving environment in Nishi-Shinjuku

た点群データを、一定の大きさのセルに分割し、各セルの平均・分散を計算し、予め取得した点群と自車が取得した点群をニュートン法によりマッチングさせることで位置推定を行う<sup>4)</sup>。セルに分割することで膨大な点群データを単純化し、効率的な計算が可能になる。一方で、三次元点群地図と車両で取得する点群の変化量が少ない場合、即ちトンネルや廊下等の形状的特徴が乏しい単調な空間については、マッチングの精度が低下することが課題となる<sup>5)</sup>。

以上の各手法の特徴と課題から、トンネル区間における自動運転車両の自車位置推定を補助する路車連携技術の方向性を以下に定めた。

- I. 車両側のセンサは追加せず、既存の車載センサを利活用するものとする。筆者らは三次元点群地図方式で走行する方式のため、LiDARを利用するものとする。
- II. 路側の改良コストや頻繁なメンテナンスが必要となると、自動運転が実現するエリアは限定的となる恐れがある。そのため他工事の影響を受けない路面以外を改良するものとする。
- III. 路車連携インフラは形状的な改良を行わず、表面的な改良により特徴量を与えるものとする。

### 2.3 トンネル壁面への高反射塗料の塗布による自車位置補正

西新宿でのトンネル走行環境を写真-1 に示す。走行車線側は壁面で構成されており、追い越し車線側は中央分離帯の列柱により構成されている。2.2 で述べたように、三次元地図方式では、予め取得した点群と車両から得られた点群間の変化量が多い場合は、マッチングの精度が高い。今回の西新宿の走行環境では、追い越し車線側は列柱という形状的特徴があるため、形状による位置推定精度が得やすい。一方で、他車両により列柱が遮られる場合には、列柱の形状的特徴が利用できなくなる。そのため、走行車線側の壁面の表面的な改良により特徴量を持たせる必要がある。表面的な改良の例として、原らの研究<sup>6)</sup>では白色と黒色でLiDARの反射強度が異なることを利用し、幾何学的特徴がなく白色の壁面が連続する通路に対し、壁面の一部のドアを黒色に塗布することでドアを検出する提案がなされている。これはLiDARの波長(905nm)では、分光反射率が白色と黒色で大きく離れる特性<sup>7)</sup>を利用している。しかし、自動運転を補助する道路上の設置物は、道路法<sup>注7)</sup>により自動運行補助施設の位置付けとなる。自動運行補助施設は、電子的方法、電磁的方法その他の知覚によって認識することができない方法で構築するものと定められている。よって、白色と黒色の色彩による人の知覚で認識可能な変化量では、自動運行補助施設として成立しない。このことから、公道自動運転では以下のIVの条件を加えた、4条件を前提に手法の検討を進めた。

#### IV. 人が認識しづらい自動運行補助施設であること

## 3. 事前検証

公道での実証実験に先立ち、事前実験として大成建設技術センター内において、停車させた車両による実験を行った。また国土交通省国土技術政策総合研究所実大トンネル実験施設において、走行実験を実施し検出精度の検証や塗料の知覚的な見え方の検証を行った。

### 3.1 塗料及び設置位置の検討

塗料は大成ロテックの構造物表面保護工法「ワンダーコーティング™」に対して、LiDARの波長(903nm)に対し検出性能を向上させる改良をした塗料を採用した。塗装する下地はコンクリート、スチール、ステンレス等、様々な材質に塗布が可能であり、表面がガラ

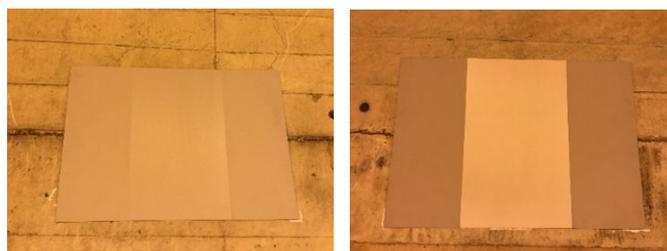


写真-2 高反射塗料 (左：グレー色、右：白色)  
Photo.2 Highly reflective paint (left: gray, right: white)



写真-3 使用した自動運転車両  
Photo.3 Autonomous-driving vehicle

ス質膜に硬化し形成することで構造体表面を保護することができ、インフラの維持保全にも繋がる。ガラス質膜により、トンネル区間で発生する煤煙が表面に付着しにくく、水洗浄で容易に汚れが落ちるため、ローメンテナンスで自動運転車両の走行を支援することが出来る。

#### 3.1.1 塗料の検討

塗料の色調はグレー色(N-70)と白色(N-85)の2色(写真-2)を選定した。グレー色は既設のトンネルを自動運転走行向けに一部改修するケースを想定し、自動運行補助施設として、既存壁面の色彩に馴染ませる色調として選定した。一方、白色については、トンネル内の視線誘導及び表面の汚れ保護の観点から、路面から高さ2,000mm程度の壁面を塗装する仕様が多くのことを受けて、視線誘導と自動運行補助施設を兼ねる目的で選定した。また今回は、実証実験であるため、一時的に塗料を塗布したパネル(幅700mm、高さ500mm)を設置し、実証実験後撤去する方法とした。既存のトンネル壁面の反射を考慮し、高反射面(幅:300mm)の両側を低反射面(幅:200mm)とする構成とした。これにより、既存のトンネル壁面の反射が高かった場合でも、高反射面を検出することが可能となる。

### 3.1.2 高反射塗料の設置位置検討

車載 LiDAR が検出しやすい高反射塗料の設置位置を検証した。検証に使用した車両を写真-3 に示す。Velodyne 社の LiDAR (VLS-128 Alpha Prime) を車体頂部に積載し、水平 360°、垂直 40° の視野角で最大 300m 先まで測定可能である。周辺環境の三次元地図から自己位置推定を行う目的で車体頂部に積載されている。他にも側方・後方・前方障害物を検知する LiDAR が取り付けられている。

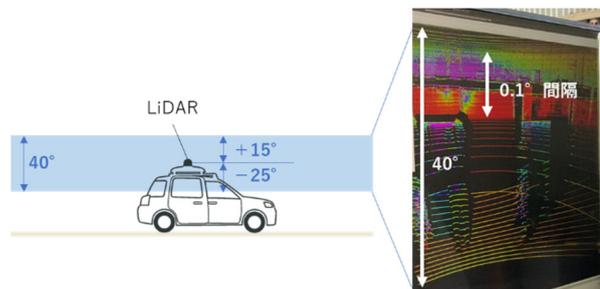


図-2 壁面に対する LiDAR 視野角と分解能  
Fig.2 LiDAR viewing angle and resolution for walls

壁面に対する車体頂部の LiDAR 視野角を図-2 に示す。壁面に対する鉛直方向の LiDAR 視野角は LiDAR 中心から上方向に+15°、下方向に-25°の合計 40° となっている。40° 視野角に対し、128本のレーザー走査線(ライン)が中心部 0.1° 間隔～最外部 0.4° 間隔で走査される設計となっている。図-2 中の右に示した写真では、中心部付近は 0.1° 間隔のレーザー走査線により壁面(赤の表示)が密に検出される様子を確認できる。一方、最外部 0.4° の間隔に位置する下方向の床面は操作線が疎に表示されていることが分かる。このことから、反射面を多く得られるのは、走行車線から壁面に対する LiDAR 視野角 40° の範囲であり且つレーザー走査線が中心部 0.1° 付近に設置した場合、反射面を多く得られると言える。

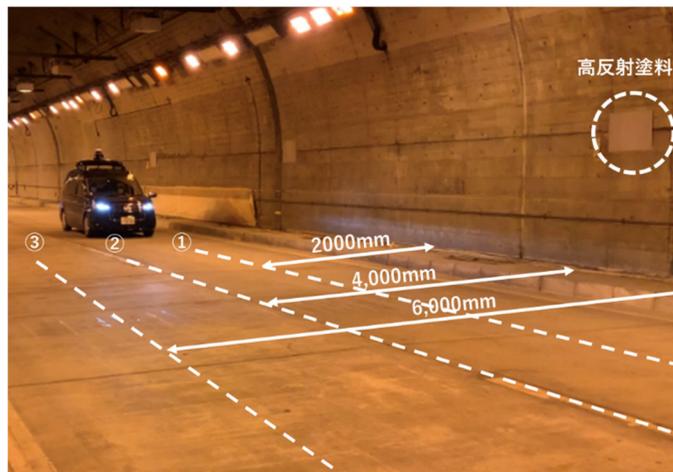


図-3 実大トンネル実験施設での走行位置  
Fig.3 Driving position in a full-scale tunnel experimental facility

### 3.2 走行実験による事前検証

塗料及び設置位置を検討の上、実大トンネルでの走行実験を実施した。実験は国土交通省国土技術政策総合研究所実大トンネル実験施設における、西新宿のトンネルと類似構造の RC 区間(約 200m)で実施した。

走行位置を図-3 に示す。走行位置は①壁面から 2m(西新宿における走行車線)、②壁面から 4m(他地域でのトンネルを想定した走行車線)、③壁面から 6m(西新宿における追い越し車線側)の 3 走行位置で実施した。また、今回の条件IVとして、人の認識しづらい自動運行補助施設であることを確認するため、走行時の見え方を実際の西新宿のトンネル内照度を模擬して検証を行った。

#### 3.2.1 車速条件

車速条件は、10km/h(徐行)、30km/h(実際の西新宿での目標速度)、60km/h(一般道路での速度上限)を想定した 3 速度で検証を行った。

#### 3.2.2 検証結果

西新宿の走行環境に近い条件(走行位置①、車速



写真-4 検出状況  
Photo.4 Detection status

	全点灯(413lx)	片側(218lx)	片側間引(69lx)
白色(N85)			
グレー(N70)			

図-4 照度別での塗料の見え方  
Fig.4 Verification of paint appearance (by illuminance)

30km/h)での検出結果を写真-4に示す。高反射塗料が写真中央に紫色で検出されており、RC壁面に対し高い受光強度が得られている。また3.1.2で検討した設置位置により、レーザー走査線の密度が高い中心部付近で検出出来ていることを確認した。その他の走行位置、車速の条件においても、安定した検出を確認した。

### 3.2.3 塗料の見え方検証

光の影響による塗料の見え方の検証として、走行時の実大トンネル内の照度条件を変化させた実験結果を図-4に示す。実大トンネルの照明器具で制御可能な区分により点灯状態を変化させ、照度計により照度を測定した<sup>注8)</sup>。全点灯では413lx、片側点灯では218lx、片側間引点灯では69lxであった。

全点灯の条件では、トンネル全体が均一に明るく塗料を設置したパネル位置が目視で確認できる(図-4左上・下)。片側点灯の条件では、照明の当たっていない部分に設置されているグレー色のパネルは殆ど壁面に馴染むことを確認した(図-4中央下)。片側間引では、照明部分と非照明部分の照度差が著しい場合、非照明下に設置された塗装面が光る状況が確認された(図-4右上・下)。実際の西新宿の走行区間の照度条件は90~350lx程度となっており、最も近い点灯状態は片側点灯だった。西新宿の300mのトンネル走行区間は上記検証における片側点灯と同程度の照度となっていることから、トンネル走行中では特に目立たないことが確認できた。一方、西新宿のトンネル区間が東から西へ抜ける方角であるため、時間帯によっては西日が予想される。片側間引点灯で起きたような現象が、逆光によりトンネルの出口付近で起きる可能もあるため、トンネル出口付近ではパネルを非設置とした。

このことから、各トンネルの照度条件や出口付近の照度差を考慮して設置することが望ましいと言える。またトンネルの出口の形状により、通常形状変化による位置推定により位置精度が得られるため、出口付近では、本手法による自車補正が不要と言える。

## 4. 公道での実証実験

### 4.1 実証実験概要

実証は2022年1月から2月の合計10日間を行った。トンネル走行区間を図-5に示す。ルートは、新宿駅西口地下とロータリーから出発し、地下道路で約300mの走行区間とした。300m区間に対し10m間隔で塗料を塗



図-5 西新宿での実証実験ルート(トンネル区間)  
Fig.5 Demonstration experiment route (tunnel section) in Nishi-Shinjuku

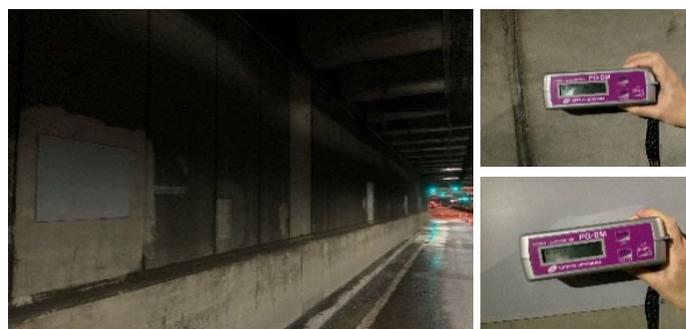


写真-5 パネルの設置状況(左:グレー),  
(右上:既存壁面の光沢度測定, 右下:パネル面光沢度測定)  
Photo.5 Panel installation status

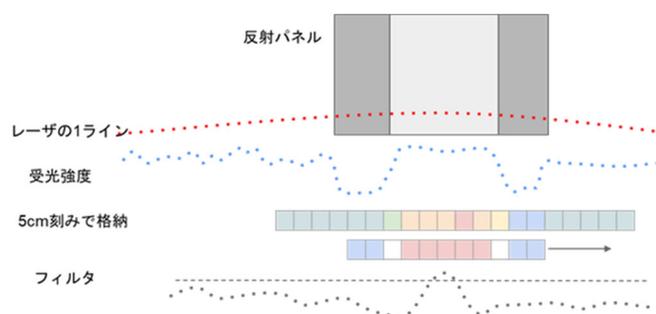


図-6 フィルタリング処理方法  
Fig.6 Filtering processing method

布した合計25枚のパネルを設置し(非常口3箇所を除く)、出口付近は非設置とした。パネルの設置状況を写真-5に示す。25枚のうち、トンネル出入口付近はグレー色(N70)を配置し(計11枚)、中間区間は白色(N85)を配置し(計14枚)、色による検出性能の影響についても検証した。また、設置時に光沢計(日本電色工業製PG-IIM)による光沢度の測定を行い、既存トンネル壁面では4.0°、パネル面では4.3°となり、既存壁面とほぼ同一の光沢度であることを確認した。

## 4.2 検出精度の検証

### 4.2.1 パネルの検出処理方法

パネルの検出処理方法を図-6 に示す。自動運転車両の車載 LiDAR からパネル設置位置（高反射塗料の幅30cm,壁面との距離2.2m）に対し、LiDARは10Hzで撮影をしている。時速30km/hで走行した場合は、幅30cmの高反射塗料面を検出する回数は計算上平均5.6回となる。反射パネルの高反射面、低反射面の幅は既知の情報として取り扱うことが出来るため、検出した受光強度情報（生データ）に対し5cm単位で係数をかけ、値を増幅ないし減衰させることで、規定サイズの反射パネル以外の高反射面があった場合のノイズを抑える目的で、フィルタリング処理を実施する。

フィルタリング処理後のデータ例を図-7 に示す。生データ（緑線）では、パネル位置（横軸：250位置）

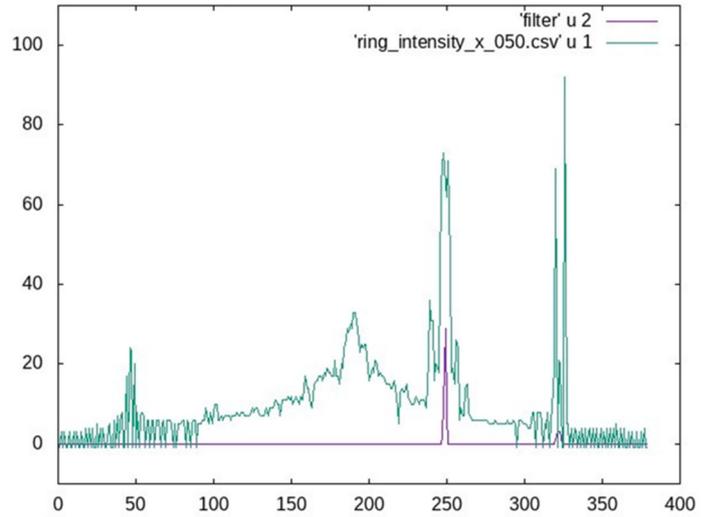


図-7 フィルタリング処理の結果  
Fig.7 Result of filtering process

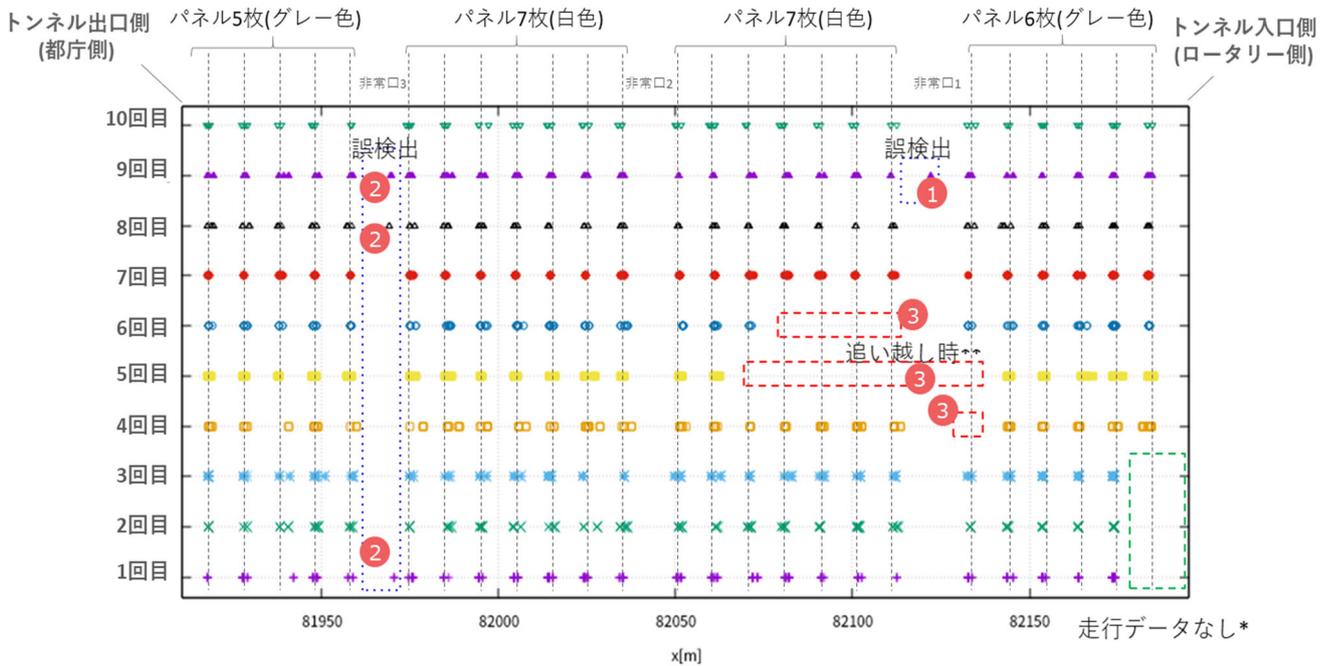


図-8 検出結果  
Fig.8 Detection results

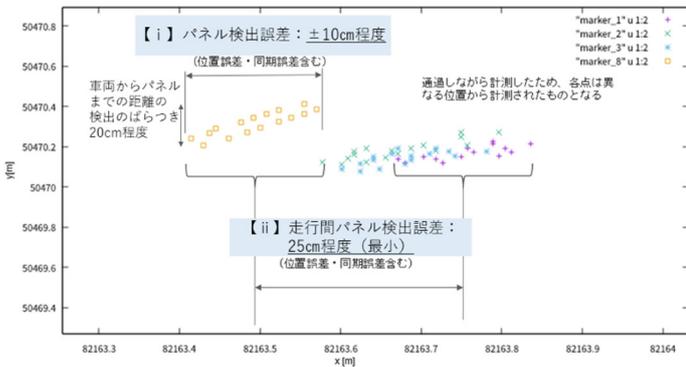


図-9 走行間パネル検出誤差（最小）  
Fig.9 Panels detection error in different driving (minimum)

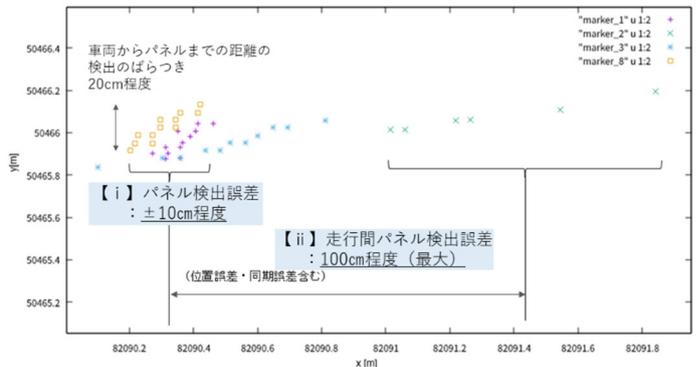


図-10 走行間パネル検出誤差（最大）  
Fig.10 Panels detection error in different driving (maximum)

で、ピークとなる波形となっていることが確認できるが、トンネル内にノイズとなるような突出した受光強度（横軸：330位置）についても同時に検出している。上述のフィルタ処理後の結果（紫線）では、パネル位置（横軸：250位置）のピークのみを検出出来ており、330位置で生じたノイズを除去できていることが確認できる。このフィルタ処理後のデータを評価対象とする。更にレーザー走査線の密度の高い位置でパネルを設置しているため、複数のレーザー走査線を取得することが出来る。これにより縦方向の反射パネル高さや検出した走査線が一定閾値以上となった場合をパネル検出と評価する。

#### 4.2.2 パネルの検出結果

パネルの設置位置及び検出結果を図-8 に示す。破線はパネル設置位置 25 箇所を示しており、正常に検出できた場合には、破線上にマークで表示されている。図-8 の右側がトンネル入り口側（ロータリー側）である。

対象とした 10 回の走行のうち、車載 LiDAR による 25 枚のパネルの総検出回数は 236 回であった。98.3%に当たる 232 回は正常に検出しており、誤検出は 4 回（検出箇所：図-8 中、①～②）、追い越し時の非検出（図-8 中、③赤線枠内）であった。1～3 回目走行時のトンネル入り口付近の非検出（緑枠内）は、駐停車車両の影響による非検出だった。誤検出となった①②は、パネル設置時に壁面を清掃した範囲がパネルサイズと反射が類似しているため、発生した。非検出となった③は、追い越し車線に移動すると、壁面に対する LiDAR 視角度が変化するため、評価対象としていた縦方向の反射パネル高さや検出した走査線が一定閾値以下となり非検知となった。これらに対しては走行位置に対して動的に評価対象を変更する等、今後改善が必要となる。また、評価に用いたデータは、実証前半の 5 走行（1～5 回目）と実証後半の 5 走行（6～10 回目）のデータであり、上述の誤検出と追い越し時の非検出は期間を問わず発生しており、実証後半の汚れによる影響ではないことを確認した。またグレー色と白色のパネルの検出性能の差は見られず、いずれも検出可能であることが示された。

#### 4.2.3 パネルの検出結果を用いた位置補正効果

図-8 中のパネル設置位置に対し、複数点検出結果がプロットされており、位置がずれていることが確認できる。これは、車両が真横を通過する際に検出するだけでなく、通過前後の斜めからでも検出するため、一

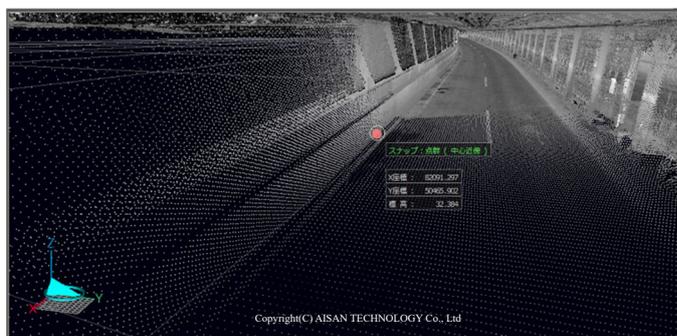


図-11 最大誤差位置の三次元点群情報

Fig.11 3D point cloud information of maximum error position

枚のパネルを複数回検出することを示している。この同一走行の中でも検出時の走行位置によってパネル検出結果に生じるばらつきを【i】パネル検出誤差とする。また異なる走行の場合、同一パネルを検出する結果に生じるばらつきを【ii】走行間パネル検出誤差とする。

【i】パネル検出誤差と【ii】走行間パネル検出誤差が最小、最大となった時の検出結果を図-9・図-10 に示す。1 回の走行単位で同色としており、"maker\_1,2,3,8"は走行 1, 2, 3, 8 回目を指している。凡例では、走行 1 回目：紫+, 2 回目：緑×, 3 回目：水色\*, 8 回目：黄色□で示している。図-9・図-10 の x 軸が車両進行方向であり、y 軸が車両に対するトンネル壁面に設置したパネル設置となる。

車両進行方向（x 軸）では、同一走行中の複数検出（凡例：黄色□（走行 8 回目））では、【i】パネル検出誤差が±10 cm だった。一方、異なる走行間での【ii】走行間パネル検出誤差が最小（図-9）では、【i】黄色□（走行 8 回目）と【ii】紫+（走行 1 回目）の差は、25 cm 程度だった。最大（図-10）では、【i】黄色□（走行 8 回目）と【ii】緑×（走行 2 回目）の差は、100 cm 程度だった。車両に対するパネル設置（y 軸）では、最小位置（図-9）最大位置（図-10）共に 20cm 程度のばらつきとなった。

図-9・図-10 の x,y 座標軸は、三次元地図の絶対座標軸となっており、誤差の最小・最大となった x,y 座標軸を確認すると、誤差の最小位置はトンネル入り口付近（入口から 10m 地点）、最大位置はトンネル中腹位置（入口から 150m 地点）となっていた（図-11 中 赤丸座標：X 座標：82091.297, Y 座標：50465.902）。

西新宿のトンネルでは、トンネル中腹が僅かに逆くの字型で変曲点となっていることから、形状の特徴が乏しいトンネル区間では、車両進行方向に対し誤差が蓄積し、形状の変曲点となる中腹で誤差が最大となることが、確認できた。

以上のことから、通常のトンネル空間では上述の誤差が発生するのに対し、トンネル入り口付近から高反射塗料を検出する際の誤差は±10cmであり、そこから定周期の間隔(10m間隔)で設置されていることを利用し、フィルタリング処理により高反射塗料を検出することにより、10m間隔で位置を補正を施すことで、誤差を蓄積することなく、常時入り口付近からの誤差程度(±10cm誤差)にする効果があることが確認できた。今回のトンネル区間は形状変化が乏しい区間が150mに対し進行方向の誤差1mが生じる環境で、時速30km/hで走行する時、万が一のブレーキ制御が行われる場合の停止距離(L)の算定は式(1)となり、システムでの作動差があるため、人の平均的な反応時間 $s_r = 0.75[s]$ として、 $\mu = 0.7$ (乾いたアスファルト、普通タイヤ)で計算すると、 $L = 11.3m$ となる。自己位置推定誤差が1mがある時、その影響は8%相当に該当し、±10cm誤差に抑えることが可能になると、その影響は1.7%まで低減することが可能となる。また特に走行速度が高速となり、且つ単調なトンネル区間が長距離となる高速道路等ではよりその誤差低減は重要になると考える。

$$L = v/3600 \times s_r + v^2 / (2 \times 9.8 \times \mu) \quad (1)$$

空走距離[m]:  $v/3600 \times s_r$

$s_r$  [s]: 危険を検出しブレーキが作動するまでの反応時間

停止距離[m]:  $v^2 / (2 \times 9.8 \times \mu)$

$\mu$ : 摩擦係数

## 5. おわりに

本実証により得られた知見を以下にまとめる。

自動運転車両の走行が困難なトンネル区間に対し、自動運転の車載センサーの一つであるLiDARが検出しやすい塗料を、トンネル壁面に塗布することによる、自車位置補正の有効性を確認した。今後は、検出精度を更に向上させる取り組みや、長期使用による検出性能の低下に対する適切なインフラメンテナンス方法を確立していきたい。本共創活動により、レジリエンスな社会の次世代交通として期待される自動運転と、それを支えるインフラの次世代化に寄与していきたい。

## 謝辞

本実証は東京都実証事業「令和3年度西新宿エリアにおける自動運転移動サービス実現に向けた5Gを活用したサービスモデルの構築に関するプロジェクト」による助成を受け実施した。この場を借りて深く御礼申し上げます。

## 注

- 注1) 戦略的イノベーション創造プログラム(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)の略  
 注2) Project on Research, Development, Demonstration and Deployment (RDD&D) of Autonomous Driving toward the Level 4 and its Enhance Mobility Serviceの略  
 注3) Global Navigation Satellite Systemの略  
 注4) Light Detection and Rangingの略で、測域センサとも呼ばれる。  
 注5) Mobile Mapping Systemの略  
 注6) Normal Distributions Transformの略  
 注7) 道路法改正(令和2年11月25日から施行)により自動運行補助施設は道路附属物として定義され、道路管理者が設ける(民間事業者の場合は占用)と規定された。  
 注8) 全点灯では道路中心位置、片側点灯及び片側間引点灯では、道路中心位置且つ点灯した照明間の中間位置の位置で照度を測定した。

## 参考文献

- 国土交通省: 自動運転のレベル分けについて, <https://www.mlit.go.jp/common/001226541.pdf>
- 経済産業省: 自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト(RoAD to the L4)について, 2021.9  
[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/automobile/Automated-driving/RoADtotheL4.html](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/RoADtotheL4.html)
- 国土交通省 道路局 ITS 推進室: 自動運転に関する国土交通省道路局の取組について, 2021.12  
<https://www.road.or.jp/event/pdf/20211216-2.pdf>
- Takeuchi Eijiro, and Takashi Tsubouchi. "A 3-D scan matching using improved 3-D normal distributions transform for mobile robotic mapping." Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2006.
- 清水学, 水野靖紀: 屋内自律移動型清掃ロボットの試験運用において見えた課題と可能性, 第38回日本ロボット学会学術講演会, 1J3-02, 2010.10
- 原祥堯, 川田浩彦, 大矢晃久, 油田信一: 測域センサの反射強度データを用いたスキャンマッチングによる移動ロボットの自己位置推定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2P1-C29\_1-4, 2006
- 酒井英樹, 永村一雄, 井川憲男: 分光反射率に基づく建築材料の日射反射率の測定方法, 測定条件の妥当性の検証, 日本建築学会環境系論文集, 第616号, pp.31-36, 2007.6