

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による自車位置補正の有効性検証—

大成建設(株) 正会員 ○ 清水 友理 非会員 杏村 潤貴
(株)ティアフォー 非会員 宮阪 健夫 非会員 竹内 栄二郎
大成ロテック(株) 正会員 平川 一成 非会員 斉藤 充人

1. 目的

現在、過疎地域の人口減少が加速するに加え、公共交通のドライバー不足や路線維持困難が深刻化しており、これらの課題に対し自動運転に寄せられる期待は大きい。一方で、走行環境条件により位置精度が低下する課題があり、特にトンネル区間は位置誤差が大きくなる課題がある。令和2年3月31日時点の国内道路の総延長距離¹⁾のうち、トンネル区間は高速道路 1,185.5[km](12.8%)、一般道路 3,658.9[km](0.3%)を占めている。トンネル区間が自動運転導入のボトルネックをなることを解決するため、トンネル壁面に高反射塗料による自車位置補正の有効性検証について報告する。

2. 本手法の位置づけ概要

表-1 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に示す。はじめに電磁誘導線・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または磁気マーカーを設置し走行位置を把握する手法²⁾である。積雪下でも検出可能で有用な手法である一方で、車両側に磁気センサの設置が必要であり、コスト面での課題がある。2番目の路面に塗料を塗布する方式は、施工が簡易的であるが、耐久性等の課題がある。令和元年度の一般道路の道路事業量の統計は 18,779.8[km]であり¹⁾、総延長距離から換算すると年間約 1.5%の路面が更新されることを示す。更に水道・ガス等の他工事に伴う道路工事も加味すると、路面改良による両方式はそれらに伴い再整備が必要となり、維持管理上の課題がある。3番目のGNSS^{注1)}方式は、トンネル等の構造物によって遮蔽される環境では受信ができず、他の方式との併用が必要となる。最後に、三次元点群地図方式は、MMS^{注2)}を走行させ予め点群データを取得し、走行時には作成済の三次元点群地図と車載LiDAR^{注3)}で取得した点群データを重ね合わせて位置を推定する方法³⁾である。点群間の変化量が少ない環境（トンネル等）については進行方向の位置推定精度が低下する課題がある⁴⁾。

手法		電磁誘導線・磁気マーカー	路面塗布	GNSS	三次元点群地図	本手法
位置特定	車両側	磁気センサ	LiDAR	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(路面改良)	—	—	塗料塗布(壁面改良)
課題	環境条件	—	雨天や積雪時に検出精度低下	上空が遮られる環境や反射が多い環境で精度低下(例:トンネル等)	形状変化が少ない環境で精度低下(例:トンネル等)	—
	維持管理	道路工事の影響、除雪時の路面剥がれ等の課題		—	三次元点群地図の作成が必要	

置が必要であり、コスト面での課題がある。2番目の路面に塗料を塗布する方式は、施工が簡易的であるが、耐久性等の課題がある。令和元年度の一般道路の道路事業量の統計は 18,779.8[km]であり¹⁾、総延長距離から換算すると年間約 1.5%の路面が更新されることを示す。更に水道・ガス等の他工事に伴う道路工事も加味すると、路面改良による両方式はそれらに伴い再整備が必要となり、維持管理上の課題がある。3番目のGNSS^{注1)}方式は、トンネル等の構造物によって遮蔽される環境では受信ができず、他の方式との併用が必要となる。最後に、三次元点群地図方式は、MMS^{注2)}を走行させ予め点群データを取得し、走行時には作成済の三次元点群地図と車載LiDAR^{注3)}で取得した点群データを重ね合わせて位置を推定する方法³⁾である。点群間の変化量が少ない環境（トンネル等）については進行方向の位置推定精度が低下する課題がある⁴⁾。

以上の各方式の特長と課題から、全ての走行区間において自動運転車両の走行精度を確保するためには、多くの課題（コスト、耐久性等）があり未だ技術改良と実証実験が必要と考える。これらの背景を踏まえ、本研究では位置推定誤差が大きくなるトンネル区間に着目し、形状的变化をつけず、かつ路面改良を行わない方法として、トンネル壁面に塗料を塗布することで、既存の車載LiDARの反射強度から位置補正を行う検証（実証実験期間：2022年1月22日～2月24日）を行った。また、公道の自動運行補助施設^{注4)}では、色彩や形等、自由に設計することができない。以上を踏まえて、本研究では同一色で周辺環境に馴染みながら、反射強度を高反射とすることで反射強度を利用する方式とした。

キーワード 自動運転，路車連携技術，自車位置補正，自動運行補助施設，LiDAR，高反射塗料
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL045-814-7221

3. 実証実験の概要

図-1 に実証実験を行った約 300m のトンネル区間を示す。既にルーフトップに設置された車載 LiDAR を活用するため、LiDAR の真横位置に走査線が位置するよう、高反射塗料を塗布したパネルを 300m 区間に対し合計 25 枚 (10m 間隔) を設置した^{注5)}。トンネルの既存壁面は LiDAR に対し高反射であったため、高反射面を強調させる方法として両側に低反射面を設置した。パネルの検出処理方法の概要を図-2 に示す。まず、パネルにレーザ (赤線) のラインが当たった時、低反射部では低い受光強度となるため、高反射部では高い受光強度を示す、谷/山/谷の受光強度のパターン (青線) が検出される。谷/山/谷の検出幅はパネルの幅より決定するため、既知の情報として取り扱うことができる。今回設けたパネル以外にも高反射面 (掲示物等) がトンネル内に存在する場合、誤検出となることを防ぐため、検出した受光強度に対し、高反射面は値を増幅し低反射面は値を減衰させるフィルタリング処理をすることで、トンネル壁面に存在する高反射面の誤検出を抑制する。フィルタリング処理のデータ例を図-3 に示す。横軸は検出データのステップ数を示し、縦軸は受光強度を示す。フィルタリング処理前 (緑線) のデータでは、パネル位置 (横軸:250) 以外に高い受光強度 (横軸:330) が確認できる。フィルタリング処理後 (紫線) のデータでは、パネル位置 (横軸:250) のみを検出し、横軸:330 位置の高い受光強度をフィルタリング処理で除去できていることが確認できる。



図-1 実証実験ルート (トンネル区間)

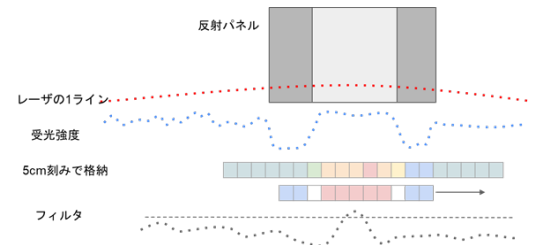


図-2 フィルタリング処理方法の概要

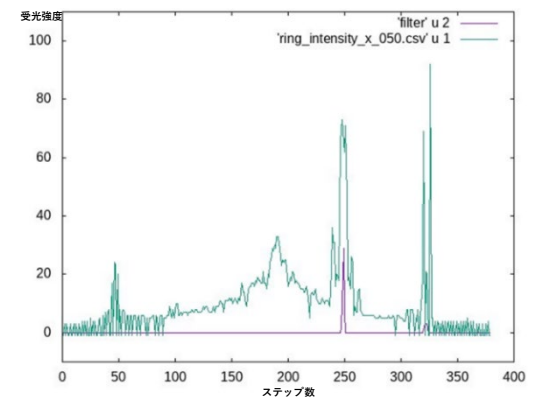


図-3 フィルタリング処理の結果

4. 実証結果

フィルタ処理の効果検証のため実環境において走行実証を行った。10 回走行した 25 枚のパネルの検出回数は 236 回^{注6)} のうち 232 回 (98.3%) 正常に検出した。誤検出した 4 回は、パネルと類似した反射パターンによる誤検出や、走行計画では走行車線を走行する計画であるものの、実環境では駐停車の影響により追い越し車線を走行した場合^{注7)} に発生した。今後、実環境での様々なケースを想定した改善が必要となる。

5. まとめ

自動運転車両の走行が困難なトンネル区間に対し、車載センサの一つである LiDAR が検出しやすい高反射塗料をトンネル壁面に塗布することで、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を行うことで、自動運転の普及を支える安全で持続可能な環境整備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」の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。

注釈

注 1) Global Navigation Satellite System の略で、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。

注 2) Mobile Mapping System の略で、レーザ等の装置等を搭載し道路上の点群地図を作成するシステムを指す。

注 3) Light Detection and Ranging の略で、単一の走査線 (2DLiDAR) と複数の走査線 (3DLiDAR) があり、ここでは 3DLiDAR を指す。

注 4) 道路法第二条第二項第五号において電子的方法、磁気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と定義されている。

注 5) 非常口等、トンネルの機能を確保する上で一部区間是非設置とした。

注 6) 全回数は 250 回となるが、駐停車や他車両により非検出となった 14 回は除外した。

注 7) LiDAR では複数の走査線を取得することが可能なため、レーザの 1 走査線毎のフィルタリング処理に加えて、縦方向のパネル高さ部分を検出した走査線が一定閾値以上となった場合を検出と判定した。追い越し車線での非検出は、走行壁面に対する LiDAR 視野角が変化し、検出した走査線数が一定閾値以下となり、非検出となった。

参考文献

1) 国土交通省道路統計年報 2021 : <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/index.html>

2) 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>

3) Takeuchi Eijiro, et al. "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.

4) 清水学ほか : 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, 2020.10