







降雪前のレーザ反射点データにおいて、 $y = -2, +8\text{m}$  付近に見られる第1レイヤ反射点列は路肩縁石によるものである。 $y = -5\text{m}$  付近に見られる第1レイヤ反射点列は、歩道奥の畑地との境界に生えている雑草によるものであり、 $y = +12\text{m}$  付近に見られる複数レイヤ反射点列は防風柵である。路肩縁石からの反射点上、もしくはその延長線上にある第3第4レイヤからの反射点はスノーポール、もしくは街路灯ポール（直径9-17cm、高さ3.5m）からの反射である。スノーポールや街路灯ポール以外にも、電柱や標識等、背の高い円柱形状の物体（スノーポール類と呼ぶ）は良好なレーザ反射が得られる。

降雪後のレーザ反射点データでは、縁石があった位置に、雪壁によるより高いレイヤの反射点が見られる。左路肩の前方26m付近にスノーポールの反射が見られるが、この1回のスキャンデータでは他のポール類を見落としている。

## (2) 道路端の位置把握

本研究の2番目の課題は、スノーポール位置の検出とともに、スノーポールに対する道路端の位置把握である。道路端の位置把握は、様々な考え方があり、路肩構造によって、種々の検出手法を使い分ける必要が出てこよう。以下に四つの手法を列挙する。

① 左路肩沿いのスノーポール列を、イコール道路端とみなす、最もシンプルな手法である。ここでは、スノーポールは縁石の上、あるいはガードレールの上に設置されていると仮定している。実際、スノーポールの大きな目的の一つは、除雪作業者に縁石等の地物の存在を知らせるためであるので、多くの場合、縁石等の直上にある。この仮定に沿わないイレギュラーなスノーポール設置がどの程度あるのか、あるいはスノーポールの縁石等からの設置オフセット量が無視できないことが多いのかは、実際のフィールドを調査する必要がある。

② 縁石がある道路の場合(図5に示したように積雪が無い状態では)、4レイヤレーザスキャナの第1第2レイヤによって連続的なエッジとしてとらえられる。ガードレールの場合も連続したレーザ反射点から道路端を検出できる。

③ 多くのレーン逸脱警報システムやレーンキーピングアシストシステムが用いているカメラによるレーン認識（主として白線認識）を、積雪が無い状態で適用する。

④ 理想的なダイナミックマップが完全整備されたとすると、そこにはスノーポールと道路端の位置関係も記述されている可能性がある。現状のダイナミックマップの検討項目にはガードレール、キャッツアイ、デリニエータ、ラバーポール、照明灯、電柱、信号機、道路標識板等が含まれるが、残念ながらスノーポールは見当たらない<sup>13)</sup>。

本研究においては、①、②について検討する。

## 5. 積雪道路におけるレーン誘導システム

### (1) 想定する道路環境

積雪寒冷地の高速道路、国道、地方道に一般的に見られる中央分離帯がある片側2車線道路の左レーン走行、もしくは片側1車線+路肩スペース、もしくは中央分離帯の無い片側1車線を走行している状態を想定する。道路線形としては直線と滑らかなカーブからなる単路部とし、カーブの曲率半径は左道路端で40mR以上とする。路肩縁石上に十分な高さのスノーポールがランダムな間隔で設置されており、曲線区間のポール間隔は適度に小さいものとする。一般国道等の視線誘導標の設置間隔は50R以内であれば5m、300R前後であれば20mと定められており、その程度の間隔での設置を想定する。今回使用する大学構内道路は中央分離帯の無い片側1車線道路として、以上の条件に適合している(2(3)節参照)。

### (2) 地図の生成

4章に示した路肩構造物のレーザ反射の特徴を踏まえて、道路端位置を含むデジタル地図を生成する手法を開発した。そのフローを図7に示す。4レイヤレーザスキャナにより、想定最大積雪高より高い路肩近傍にある構造物（スノーポール類）と道路端の相対位置を自動車座標で検出する。道路端の位置は、ここでは4(2)節の①の手法に従って、スノーポール位置と同じとしている。車速と車載の慣性センサから得るヨー角速度から車両移動量が算出される。自動車座標で検出されたスノーポール類の位置を、車両の移動に伴う座標変換を施しつつ地面固定座標で記述し、一定区間のローカルマップを作成する。区間ごとにGPSで得たグローバル座標を加えてグローバルマップを得る。

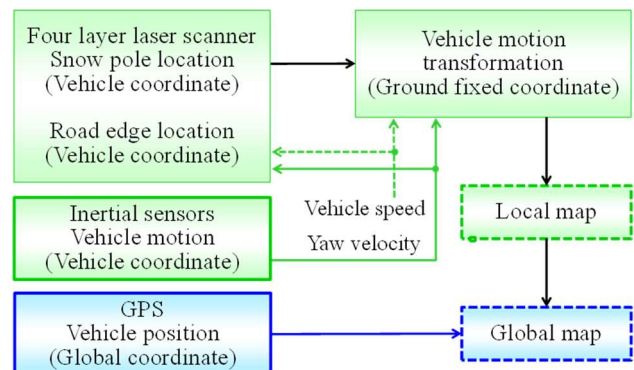


Fig.7 Generating maps consist of snow pole-like roadside objects and road edges

図7の左上ブロックのスノーポール位置検出手順を図8に示す。一連の手順はレーザスキャナのスキャン周期40msの間に行われる。レーザスキャナの反射点の内、第

3 第4 レイヤ反射点の推定位置が近接するものをポール候補  $P_i$  として、車両の移動とともにトラッキングし、繰り返し検出され、信頼性が高いと判定されたものをポールと呼び、ポールに準ずる信頼性のポール候補とともに  $S_i$  とする。前方 10m 以内まで近づいた左道路端の至近距離ポールの位置を、地面固定座標への座標変換ブロックに渡し、地図用データとする。

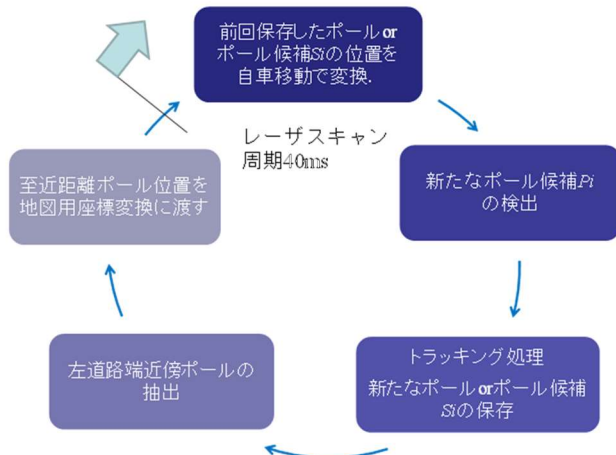


図8 スノーポール位置検出手順

(3) スノーポールをランドマークとした自己位置推定

通常のスノーポールの設置間隔は、比較的密なところで 10m~30m といったところであり、レーザスキャナにより、ある時刻に検出される左路肩のスノーポール類は多くても 3 個くらいと想定される。この少ないリアルタイム検出のスノーポール類の位置情報だけでは、精度の高い自己位置推定はおぼつかないため、通り過ぎて後方に行ったスノーポール類の位置情報も使うことにする。後方のポール類を検出するのではなく、至近距離ポールとして検出された位置情報を、その後の自車の移動で座標変換しながら、多数のスノーポール類の位置情報を保持する。次図はそのイメージである。

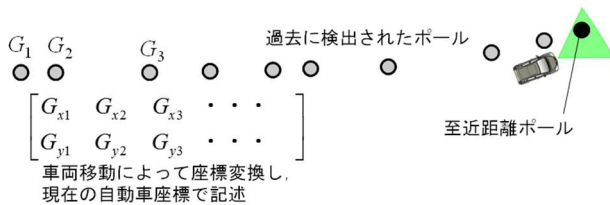


図9 後方スノーポール類の位置データの保持

レーン誘導サービスを受けようとする車両は、進行方向別の道路区間毎に、左道路端近傍スノーポール類と道路端の位置座標からなる地図データを持つものとする。ある道路区間に近づくと、区間の最初に記録されたグローバル座標と現在の GPS 位置情報が十分近くなったことをトリガに、システムは当該地図データを読み込む。

システムが保持あるいはリアルタイム検出中のスノーポール類の位置情報（地面固定座標）と、地図が持つスノーポール類の位置情報（グローバル座標）との間でマッチングを行って、最も適合するポール列を探索し、自己位置推定を行う（図 10）。保持するポール類の数が増えれば、検出漏れや誤検出に対しても許容範囲が増えることが期待される。

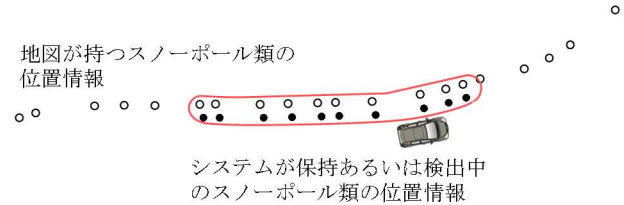


図10 地図とのマッチング

(4) レーン誘導の方法

自己位置推定により、スノーポール類と自車の相対的位置関係が分かると、道路端との位置関係もわかる。レーンキープしながら走行中のドライバーにとって必要な情報は、前方の道路線形であるので、車内表示器に自車に対する相対的な道路端位置を表示することが、レーン誘導のための情報提供サービスである。地図はレーザスキャナ検出レンジよりもさらに先の道路端情報まで保持しているので、ドライバーは視界やレーザスキャナの検出レンジの制約なしに、十分前方の道路線形を把握することが可能になる。

また、通常のレーン逸脱警報（積雪なしの天候が良好な場合に白線カメラによって提供される）に相当する支援機能も提供可能である。ドライバーのレーン逸脱回避操舵に必要なのは、2 秒程度前方の横位置である。図 11 は、現在の車速とヨー角速度から  $\tau$  秒先の自車位置を 2 次予測し、道路端からの距離  $\epsilon$  を推定する方法を、地面固定座標で表現したものである。 $\epsilon$  がある閾値を下回ると表示と音でドライバーに警報する。

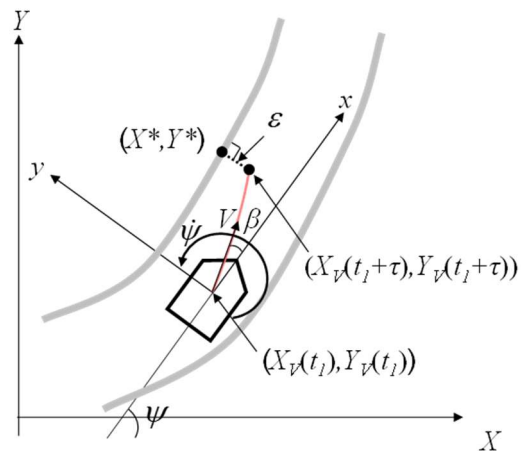


図11 レーン逸脱判定のための  $\tau$  秒先の道路端との距離予測

## 6. まとめ

本研究では、積雪悪天候下で道路横位置が確認しづらい時の自己位置推定手法ならびにレーン誘導手法を具体化し、その実験システムを構築した。主要センサとして、普及が容易な4レイヤレーザスキャナを用い、想定積雪高より背の高いスノーポール類の位置を検出してランドマークとする。積雪の無い時に道路端位置を合わせて取得しておけば、積雪時に雪の上に突き出ているスノーポールを検出して、ランドマーク地図とのマッチングにより、雪に埋もれた道路端位置を推定することができる。この提案の実現性を検証するために、

- (a) レーザスキャナによる悪天候下のスノーポールの検出可能性
  - (b) スノーポールの位置検出と道路端の位置把握に基づくレーン誘導システムの開発
- の二項目について検討した。

冬期の様々な気象条件下での試験により、以下の結論を得た。降雪時のレーザスキャナの近傍では降雪からの反射点数が多いが、8m以遠になると反射点数は激減し、反射強度も低下する。一方、スノーポール等の路肩構造物の反射強度は距離に対してあまり変わらないことから、8m以遠のポール候補を車両の移動に合わせてトラッキングすることによって、比較的安定したスノーポール類の位置検出が可能である。

積雪が無い時にスノーポール類と道路端の配置を含む地図を得て、積雪がある時には、スノーポール類の配置を得て、両者のマッチングを行うことで、道路端の推定を行うシステムの構成を示し、実際に車載してリアルタイムで動くシステムを開発した。今回は路肩縁石上にスノーポールが配置されたシンプルな構内道路で動作することを当面のターゲットとして開発を行った。また動作検証が不十分であり、今後、システムの完成度を上げるとともに、更に多様な道路環境の下で、システムの実用性評価を進めていきたい。

**謝辞:** 終わりに、計測やデータ処理にあたってアドバイスやご協力を頂いた木村健二氏、小山早苗氏に感謝の意を表す。また研究助成をいただいた国土技術センターの関係各位に御礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 北の道ナビ, 吹雪による視界の程度, [http://northern-road.jp/navi/info/guide1\\_2.html](http://northern-road.jp/navi/info/guide1_2.html), (2018年3月閲覧)。
- 2) 石黒克弥, 御室哲志, 磯田陽次: 悪天候時レーンキーピングシステムのロジック検証とHMIの検討, 日本機械学会第24回交通・物流部門大会(TRANSLOG2015), 交通・物流部門大会講演論文集, No.1401, 2015.
- 3) 添田勝真, 他, 除雪車支援ICTシステムにおけるデータ転送方式の検討, 電子情報通信学会技術研究報告. IA, 109(421), 17-22, 2010-02-12.
- 4) 東日本高速道路, 準天頂衛星を活用した除雪車運転支援システムの開発, 定例記者会見資料, 2017年10月.
- 5) 山田純, 佐藤史隆, 川村武, 他: UHF帯RF-IDと方位情報を用いた曲線路における車両誘導, ITS Japan 第14回ITSシンポジウム, 2016.
- 6) トヨタ系素材メーカーが後押しする、磁気マーカーを活用した自動運転, 日刊工業新聞, 2018年03月25日.
- 7) 自動運転の社会実証実験への7人乗り小型車両の提供について 20年以上にわたり培ったゴルフカーの電磁誘導式自動運転技術を転用, ヤマハ発動機プレスリリース, 2017年09月15日.
- 8) 渋谷奈保, 他, 車載レーザスキャナによる距離データマップの構築と高精度自車位置推定, 電子情報通信学会誌, Vol.192-D No.2, pp.215-225, 2009.
- 9) 加藤正浩, 他, ランドマーク情報を活用したLiDARデータ処理による自己位置推定技術の開発, 自動車技術会論文集 Vol.49 No.1, 2018.
- 10) LD-MRS Laser Scanner Operating Instructions, SICK AG(2009)
- 11) 谷口直也, 御室哲志, 4レイヤレーザスキャナを用いた積雪道路のスノーポールの検出, 自動車技術会論文集 Vol.49, No.2, pp. 341-346 (2018), DOI:10.11351/jsaeronbun.49.341.
- 12) Adobe Support, ヒストグラムとピクセル値の表示, <https://helpx.adobe.com/jp/photoshop/using/viewing-histograms-pixel-values.html> (2017年4月3日参照).
- 13) ダイナミックマップ構築検討コンソーシアム, 自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討におけるダイナミックマップ構築に向けた試作・評価に係る調査検討. 委託業務成果報告書(本編), 2017年3月.