



積雪道路におけるインフラライトな レーン誘導システムに関する研究

秋田県立大学システム科学技術学部

教授 御室 哲志

平成30年6月7日(木) 国土技術研究センター
第18回 J I C E 研究開発助成 成果報告会

Akita Prefectural University

研究の背景（降積雪道路での道路端位置把握のニーズ）

- 降雪により、視界と路面状態が悪化
- 道路交通の確保のために多大な除雪の労力が必要
- 堆積した雪は路側帯、縁石、ガードレールなどを覆う
- 矢羽根付きポールやスノーポールなどが有効であるが、ホワイトアウト時には無力である



スノーポールが頼りの状況（国道7号線）

雪に覆われた路側（磐梯）

Akita Prefectural University

積雪道路におけるレーン誘導システムの提案と課題

降雪や除雪によって、短時間に道路環境は一変する。
降雪や除雪によって埋もれたり形が変わるランドマークは
使えない。



ランドマークをスノーポール類に限定する。
普及が容易な4レイヤレーザスキャナを用いる。

平成29年度は、次の二つの基本的な技術課題について、大学構
内道路のシンプルな環境における実車試験を中心に取組んだ。

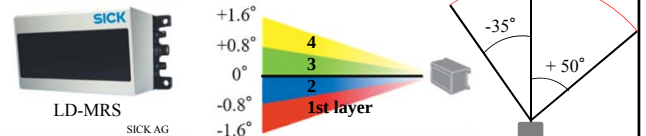
課題

- 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
- 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

Akita Prefectural University

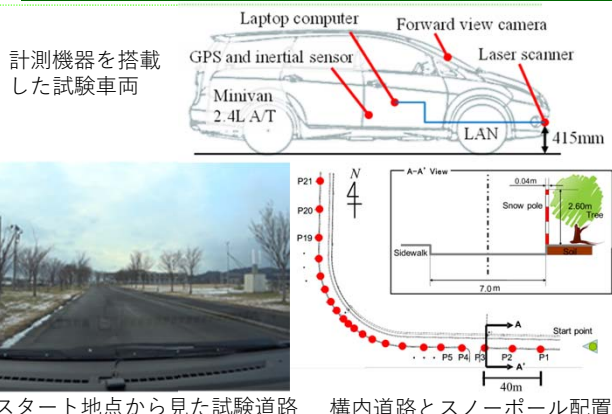
使用する4レイヤレーザスキャナ

Laser sensor type (Supplier)	LD-MRS (SICK)
Size(W×H×D)	164.5mm×88mm×93.2mm
Laser class and wave length	Class 1, 905nm
Range	200m/50m(10% reflectance)
Horizontal field of view	85deg(35deg~50deg)
Angular resolution	0.5deg
Vertical field of view	3.2deg 4 layers
Scan interval	40ms



Akita Prefectural University

試験車両と試験道路環境



スタート地点から見た試験道路 構内道路とスノーポール配置

Akita Prefectural University

視界指標の導入（領域輝度の標準偏差）

レーザスキャナが計測する0~100m程度の範囲の視界を簡易的に数値化するために、スタート地点の試験車の前方カメラ画像の消失点を取り囲む矩形領域のピクセル色輝度（0~255）の標準偏差を視界指標とする。

使用カメラ : HDR-AS200V(SONY)
画像サイズ : 1920×1080 pixel
評価エリア : 消失点まわりの130×110 pixel
データ処理ソフト : Photoshop Elements 14



スタート地点からの前方映像 吹雪（中）

Akita Prefectural University

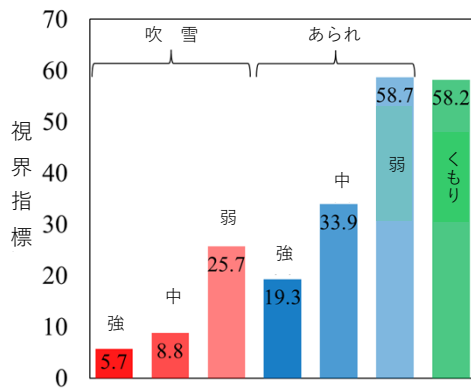
指標

5.7
吹雪
(強)

8.8
吹雪
(中)

25.7
吹雪
(弱)

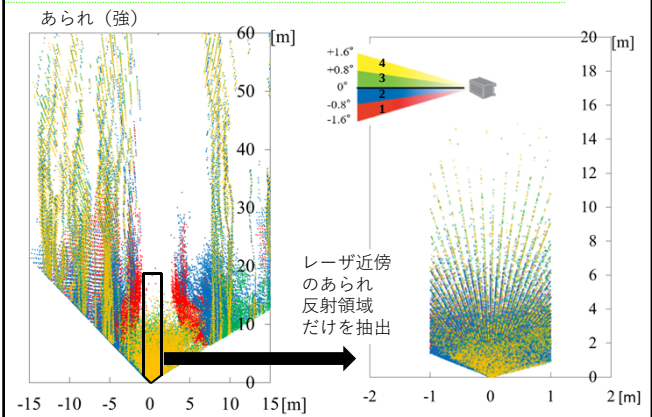
主観的な視界レベル別の視界指標



Akita Prefectural University

7

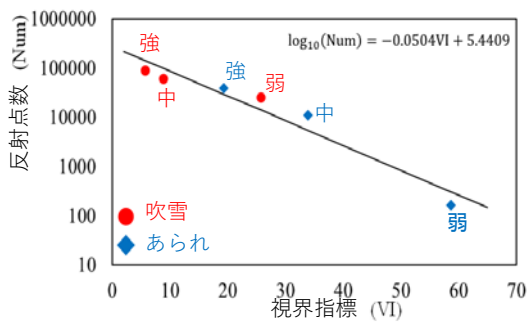
レーザスキャナ近傍のあられからの反射点



Akita Prefectural University

8

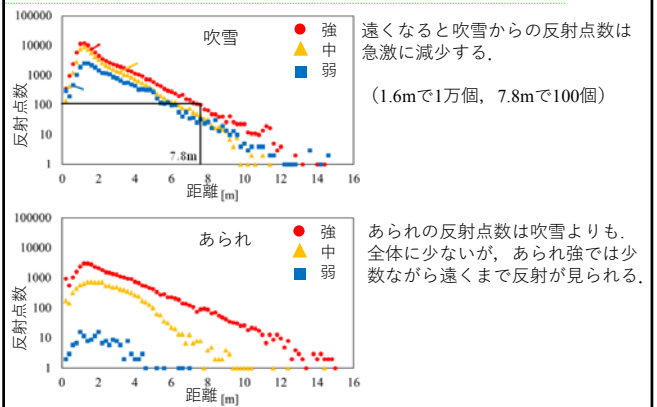
視界指標に対する降雪の反射点数



Akita Prefectural University

9

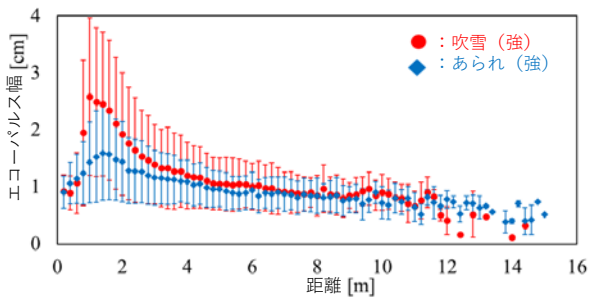
距離に対する降雪の反射点数 (階級幅20cm, 4レイヤ合計)



Akita Prefectural University

10

距離に対する降雪のエコーパルス幅

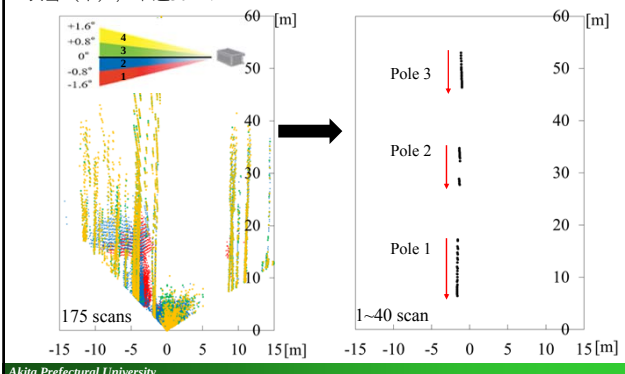


Akita Prefectural University

11

スノーボールの抽出可能性確認

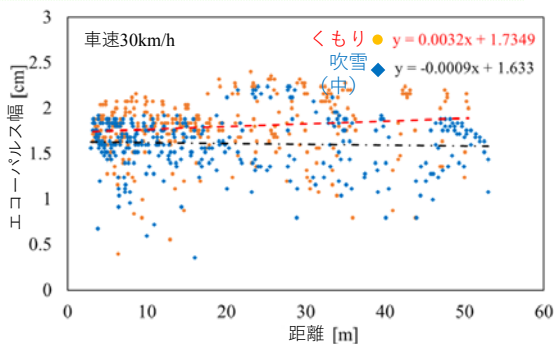
第3, 第4レイヤの接近した反射点のペアを抽出した。
吹雪 (中), 車速30km/h



Akita Prefectural University

12

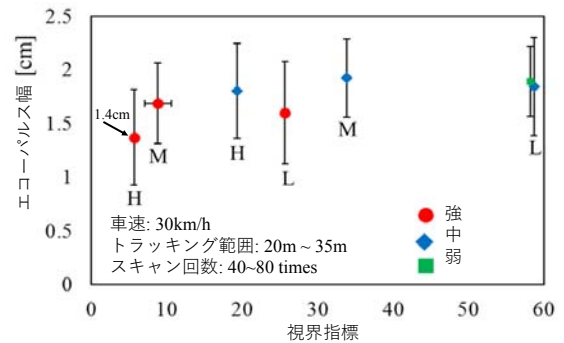
距離に対するスノーボールのエコーパルス幅



Akita Prefectural University

13

視界指標に対するスノーボールのエコーパルス幅



Akita Prefectural University

14

レーザスキャナによる積雪道路環境検出例

由利本荘市内の郊外道路（シンプルな路側環境）

くもり（雪なし）

吹雪（強）

両側の縁石上にスノーボール
左側に街灯など
右側に防風柵

両側の道路端に70cmの雪の堆積



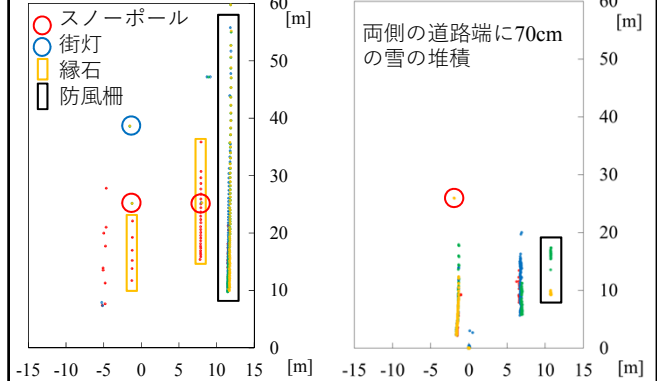
Akita Prefectural University

15

レーザスキャナによる積雪道路環境検出例

くもり（雪なし）

吹雪（強）



Akita Prefectural University

16

スノーボール類の位置検出と道路端の位置把握

降雪や除雪によって、短時間に道路環境は一変する。
降雪や除雪によって埋もれたり形が変わるランドマークは使えない。

ランドマークをスノーボール類に限定する。
普及が容易な4レイヤレーザスキャナを用いる。



レーザスキャナの取付高は想定積雪高より高くする。
スノーボールを第3第4レイヤで遠方まで検出できる。

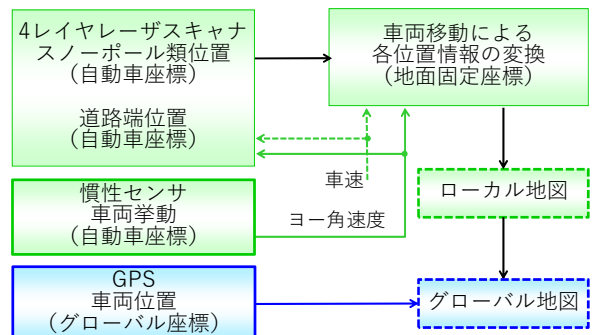
左路肩沿いのスノーボール列を、イコール道路端とみなす。

Akita Prefectural University

17

地図の生成

道路端のスノーボール類をランドマークとした地図を、
道路区間ごとに作成する。

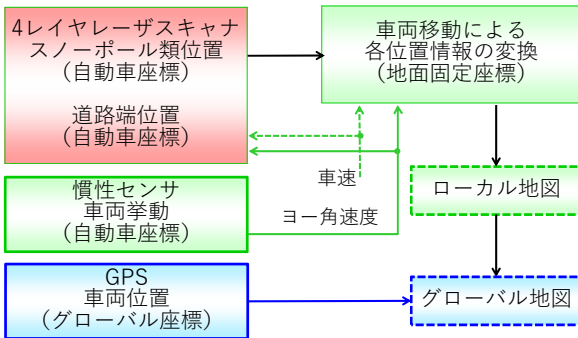


Akita Prefectural University

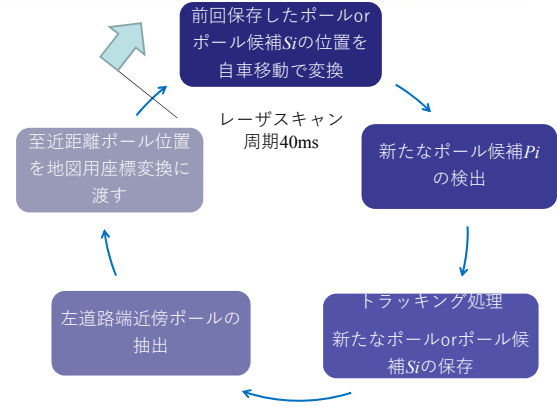
18

地図の生成

道路端のスノーボール類をランドマークとした地図を、道路区間ごとに作成する。



ボール位置の検出ロジック (全体ループ)



トラッキング処理によりボール検出の信頼性を高める

前回検出時からの自車移動量 Δx , Δy , $\Delta\psi$ を、車速 V とヨー角速度 $\dot{\psi}$ から求める。

$$\Delta x = x(\Delta t) = \int_0^{\Delta t} V \cos(\beta + \psi t) dt \cong \int_0^{\Delta t} V dt = V \Delta t \quad (2)$$

$$\Delta y = y(\Delta t) = \int_0^{\Delta t} V \sin(\beta + \psi t) dt \cong \int_0^{\Delta t} V(\beta + \psi t) dt \quad (3)$$

$$\Delta\psi = \int_0^{\Delta t} \dot{\psi} dt = \dot{\psi} \Delta t \quad (4) \quad \begin{array}{l} V: \text{車速} \\ \dot{\psi}: \text{ヨー角速度} \\ \beta: \text{重心横すべり角} \end{array}$$

前回保存したボールor ボール候補の位置 G_x , G_y を自車移動量で変換し、今回検出ボール候補の予測位置とする。

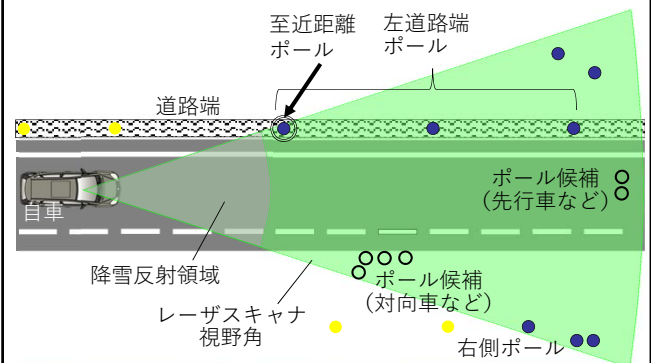
$$\begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta\psi & \sin \Delta\psi \\ -\sin \Delta\psi & \cos \Delta\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_x - \Delta x \\ G_y - \Delta y \end{bmatrix} \quad (1)$$

今回検出位置が予測位置に近ければ信頼性を上げる。信頼性が高いものをボールとする。

$\Delta x, \Delta y$: Δt の間の車両重心の水平移動距離
 $\Delta\psi$: Δt の間の車両ヨー角変化

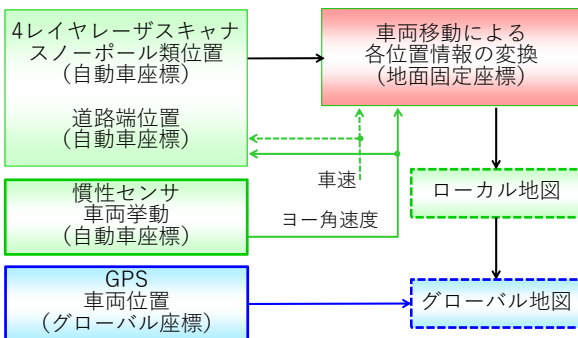
左道路端ボール、至近距離ボール

走行路左側にあるボールから、更に左道路端のボールのみに限定し、至近距離ボールの位置を地図用座標変換に渡す。



地図の生成

道路端のスノーボール類をランドマークとした地図を、道路区間ごとに作成する。



至近距離ボールを使ってローカル地図を作成

区間入り口を原点とした自車移動軌跡 $X(t)$, $Y(t)$, $\psi(t)$ を求める。

$$X(0)=0, Y(0)=0, \psi(0)=0 \quad (7)$$

$$\psi(t) = \psi(t - \Delta t) + \Delta\psi \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} X(t) \\ Y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(t - \Delta t) \\ Y(t - \Delta t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \psi(t) & -\sin \psi(t) \\ \sin \psi(t) & \cos \psi(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (9)$$

至近距離ボールの位置 G_x , G_y を自車現在位置で変換し、ローカル地図 (地面固定座標) におけるボール位置とする。

$$\begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi(t) & -\sin \psi(t) \\ \sin \psi(t) & \cos \psi(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix}$$

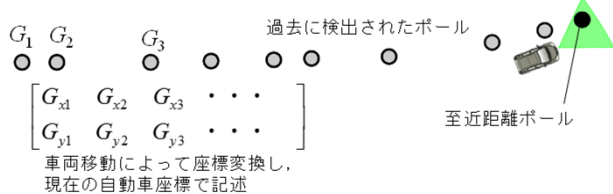
(5)

$$\begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_x + X(t) \\ G_y + Y(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

スノーポールをランドマークとした自己位置推定

<後方スノーポール位置情報の保持>

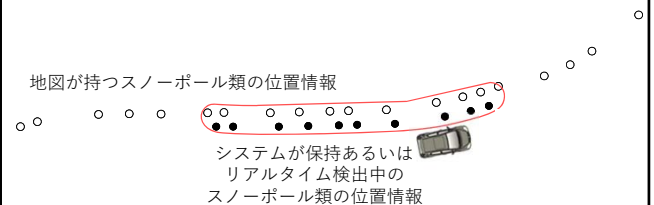
レーザスキャナにより、ある時刻に検出される左道路端のスノーポール類は多くても3個くらいと想定される。この少ないリアルタイム検出のスノーポール類の位置情報だけでは、精度の高い自己位置推定はおぼつかないため、通り過ぎて後方に行ったスノーポール類の位置情報も使うことにする。



スノーポールをランドマークとした自己位置推定

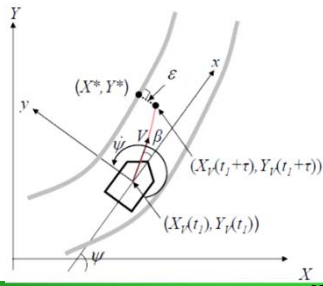
<地図とのマッチング>

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と、地図が持つスノーポール類の位置情報の間でマッチングをとり、自己位置を推定する。



レーン誘導の方法

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。
現在の車速とヨー角速度から τ 秒先の自車位置を2次予測し、道路端からの距離 ϵ を推定し、 ϵ がある閾値を下回ると表示と音でドライバに警報する。



まとめ

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。

- ✓ 主センサとして、普及が容易な4レイザレーザスキャナを適用。
- ✓ 想定積雪高より高いスノーポール類をランドマークとする。

平成29年度は、次の二つの基本的な技術課題について、大学構内道路のシンプルな環境における実車試験を中心に取組んだ。

- (1)レーザスキャナによる悪天候下でのスノーポールの検出可能性
 - ✓ 近距離では降雪からの反射が多いが、8m以上では反射点数は少なく、エコーパルス幅も1cm程度になる。
 - ✓ 一方、スノーポールからのエコーパルス幅は距離によってほとんど変化せず、1.6cm以上ある。
 - ✓ ゆえに、8m以上であれば悪天候下でもスノーポール検出可能。

まとめ

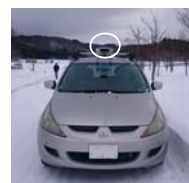
- (2) スノーポールの位置検出と道路端の位置把握に基づくレーン誘導システムの開発
 - ✓ 左道路端のスノーポール類の位置情報を持つ地図生成方法を示した。
 - ✓ 積雪時に、スノーポール類を検出して、地図とのマッチングを行うことで、道路端を推定し、レーン誘導するシステムの構成を示した。
 - ✓ 以上のロジックからなる車載リアルタイムシステムを開発した。

まだ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。

今後の予定

平成30年度は、一般道路の多様な環境での動作を目指すとともに、積雪道路の横断形状計測との組合せについても検討する。

前方用 横断形状計測用
4レイザレーザスキャナ 2次元レーザスキャナ



ご清聴ありがとうございました