秋田県立大学

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

(元)秋田県立大学システム科学技術学部

教授　御室　哲志

2019年6月5日(水)　国土技術研究センター
第19回ＪＩＣＥ研究開発助成 成果報告会

1

社会的ニーズ（降積雪道路における道路端位置把握）

- 降雪により，視界と路面状態が悪化し，交通物流が阻害される
- 降雪や除雪で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，直近のポールしか見えないときは走行速度が低下する
- 道路交通の確保のために多大な除雪の労力が必要

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）

2

新技術（積雪道路におけるレーン誘導システム）の提案

悪天候下で適用可能なセンシング技術についての検討が不足.
降雪や除雪によって形が変わるランドマークは使えない.

車載センサとして4レイヤレーザスキャナを用いる（普及容易）
ランドマークをスノーポール類に限定する（インフラライト）

2017年度成果(システムの成立可能性を示した)
(1)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
(2)スノーポールの位置把握に基づくレーン誘導システムの構成

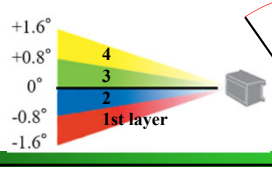
2018年度課題（システムの実用性と発展性を示す）
(1)積雪高に対応したレーザスキャナの車両搭載
(2)悪天候下のスノーポールの計測精度と検出率
(3)道路左端ポールの誤検出と不検出への対策
(4)積雪道路の横断形状の計測

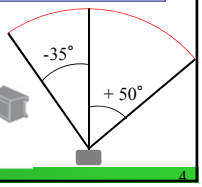
3

使用する４レイヤレーザスキャナの仕様 SICK LD-MRS

Size(W × H × D)	164.5mm × 88mm × 93.2mm
Laser class and wave length	Class 1，905nm
Range	200m/50m(10% remission)
Horizontal field of view	85deg(+35deg~ -50deg)
Vertical field of view	3.2deg，4layers
Scan interval	40ms
Multi-echo function	Up to three echoes
Power supply, Consumption	9〜27V DC, Typ. 8W

LD-MRS
SICK AG

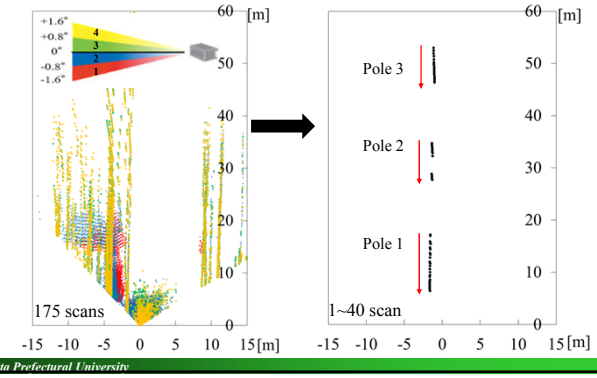




4

スノーポールの抽出可能性確認（2017年度）

第3，第4レイヤの近接した反射点のペアを抽出した.
吹雪（中），車速30km/h

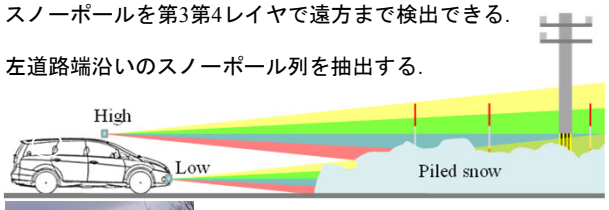


5

積雪高に対応したレーザスキャナの車両搭載

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

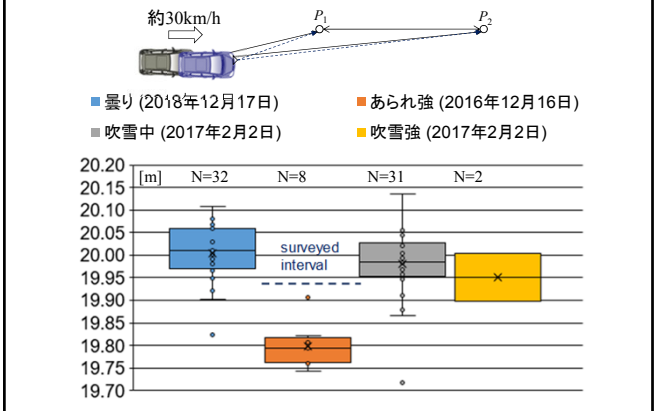
左道路端沿いのスノーポール列を抽出する.



Highポジション
4レイヤレーザスキャナ

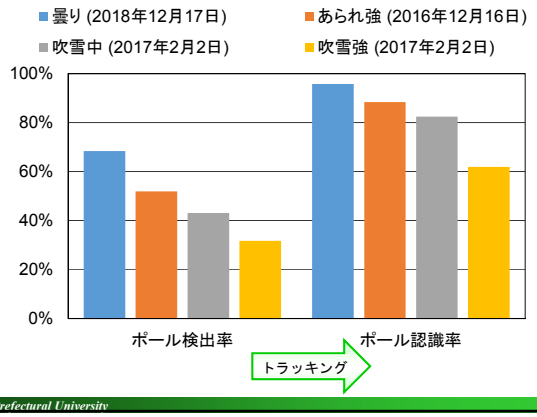
6

天候別のポール間隔計測精度



7

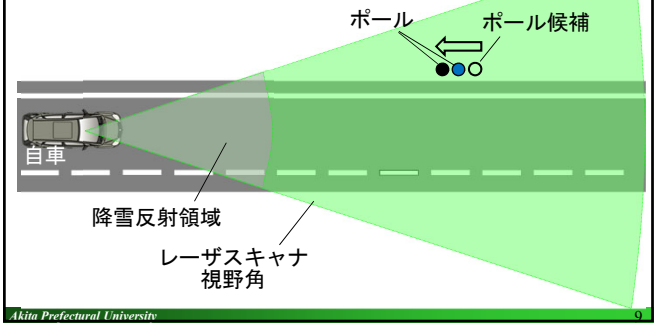
天候別のポール検出率と認識率



8

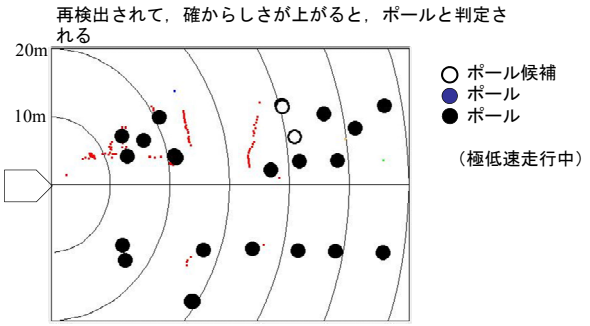
ポール候補のトラッキング

あるスキャンで検出された第3，第4レイヤの近接した反射点ペアをポール候補とする．
次のスキャン時の自車位置からみたポール候補の再検出位置を予想し，再検出された場合はポールとしての確からしさを上げる．



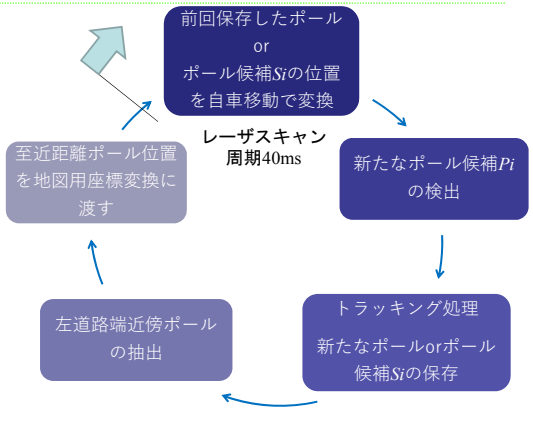
9

ポール候補検出，トラッキングによりポール判定



10

ポール検出ロジック（レーザスキャンループ）



11

トラッキング処理によるポールの確からしさ

前回保存したポールor
ポール候補の位置Gx, Gy
を自車移動量で変換し，
今回検出ポール候補の予
測位置とする．

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

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

$$\Delta\psi = \int_0^{\Delta t}\dot{\psi}dt = \dot{\psi}\Delta t \quad (4)$$

V ：車速
$\dot{\psi}$ ：ヨー角速度
β ：重心横すべり角

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

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

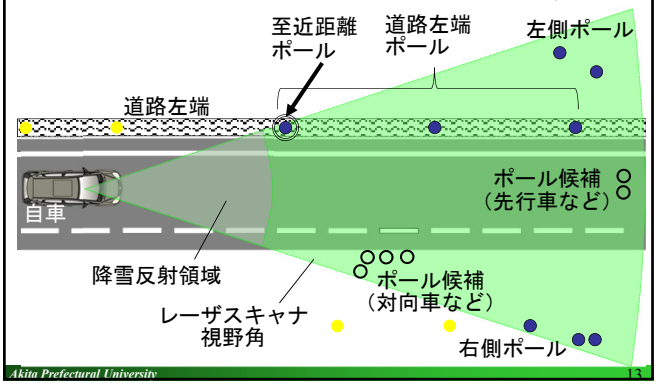
$\Delta x, \Delta y$ ：Δtの間の車両重心の水平移動距離
$\Delta\psi$ ：Δtの間の車両ヨー角変化

今回検出位置が予測位置に近ければ確からしさを上げる．
確からしさが高いものをポールとする．

12

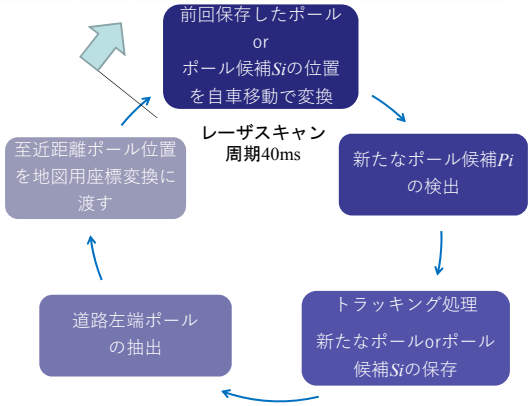
道路左端ポール，至近距離ポール

走行路左側にあるポールから，更に道路左端のポールのみに
限定し，最終的に至近距離ポールの位置を地図用座標変換に渡す．



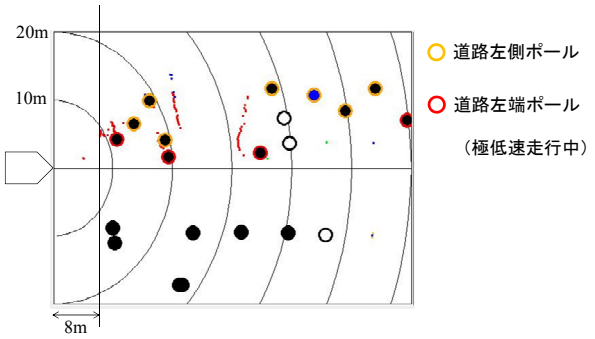
13

ポール検出ロジック（レーザスキャンループ）



14

道路左端ポールと至近距離ポール（CRP）の抽出

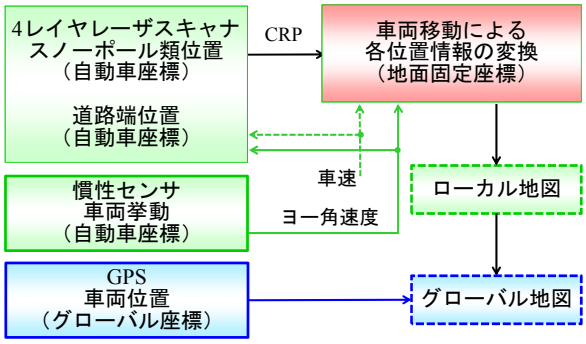


道路左端ポールの内，車に近接したものがCRPになる

15

地図の生成

道路左端のスノーポ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．



16

至近距離ポールCRP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．

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

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

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

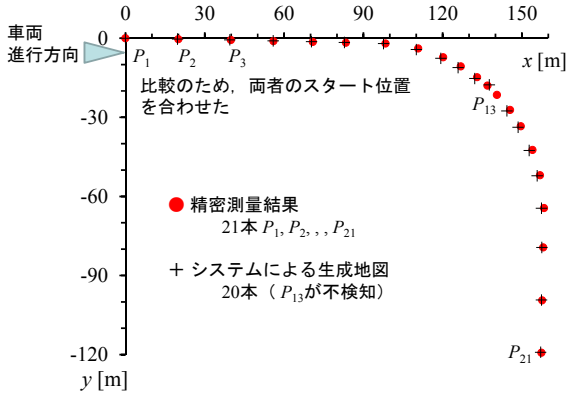
至近距離ポールCRPの位置 Gx, Gy を自車現在位置で変換し，
ローカル地図（地面固定座標）におけるポール位置とする．

$$\begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\psi(t) & -\sin\psi(t) \\ \sin\psi(t) & \cos\psi(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

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

17

生成地図（50Rを含む構内道路）

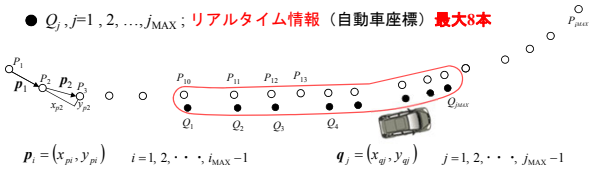


18

マップマッチングによる自己位置推定

○ P_i , i=1, 2, …, i_{MAX} ; マップ情報（地面固定座標）．現在地近傍の**最大21本**

● Q_j , j=1 , 2, …,j_{MAX} ; リアルタイム情報（自動車座標）**最大8本**



$\boldsymbol{p}_i = (x_{pi}, y_{pi})$　$i = 1, 2, \cdots, i_{MAX}-1$　　$\boldsymbol{q}_j = (x_{qj}, y_{qj})$　$j = 1, 2, \cdots, j_{MAX}-1$

ポール配置の局所特徴量として，ローカル座標によるポール間ベクトル$\boldsymbol{p}_i$，$\boldsymbol{q}_j$をとる．

不検出，誤検出に対応できるよう，弾性マッチング$j = u_i$を適用

u_i (warping function)でi列とj列の対応をとる．

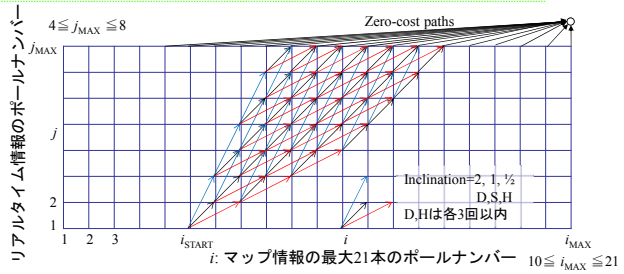
コスト関数$d_i(j)$は区間ベクトル$\boldsymbol{p}_i$ と $\boldsymbol{q}_j$の違い（ポール間隔と角度変化）で定義する．

マッチングを取ることは，　$F = \sum_{i=i_{START}}^{i_{MAX}-1} d_i(u_i)$　を最小化すること．

ここで　$u_1, u_2, \cdots$ は次のトレリス上のルートに対応する．

19

弾性マッチングのためのトレリス



i: マップ情報の最大21本のポールナンバー　$10 \leqq i_{MAX} \leqq 21$

マップ情報やリアルタイム情報に不検出や誤検出があっても，良好なマッチングを可能とする弾性マッチングは，上図のトレリス上の全てのルートを参照して実行する．

マップのi_{START}番目のポールをリアルタイムの1本目に対応させる時，それ以降のポールの対応関係は，トレリス座標(i_{START}, 1)からj_{MAX} まで，赤か黒か青のパス（矢印）を選択して生成されるルートで表される．j_{MAX} =8 の時，**ルート数は308**でSSSSSSS等と表す．

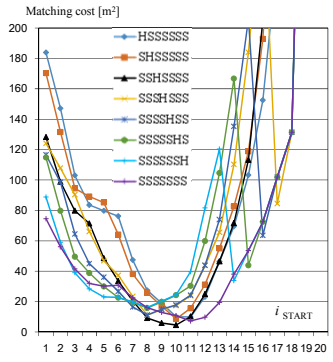
20

弾性マッチングの計算例　（Dなし，Hが1個以下の8ルートのみ示す）

精密測量結果21本 $P_1, P_2, , , P_{21}$の地図データに対し，P_{13}が不検知の8本のポール$Q_1, Q_2, , , Q_8$（7区間）をマッチングさせた場合のコスト．

表は，i_{START}=10の場合のみ

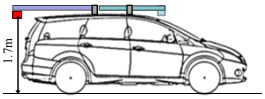
P_{13}不検知	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	P_{17}	P_{18}
HSSSSSS	10	12	13	14	15	16	17	18
SHSSSSS	10	11	13	14	15	16	17	18
SSHSSSS	10	11	12	14	15	16	17	18
SSSHSSS	10	11	12	13	15	16	17	18
SSSSHSS	10	11	12	13	14	16	17	18
SSSSSHS	10	11	12	13	14	15	17	18
SSSSSSH	10	11	12	13	14	15	16	18
SSSSSSS	10	11	12	13	14	15	16	17

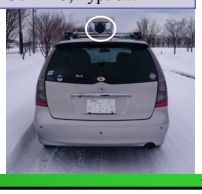


21

横断形状計測用レーザースキャナの仕様 SICK LMS111-10100

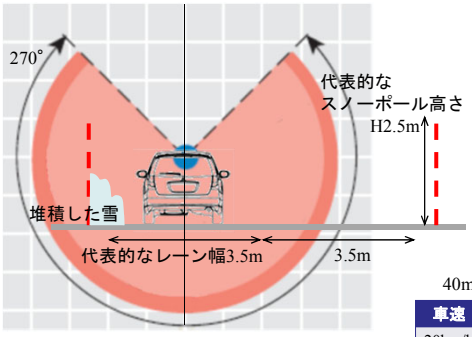
Size(W × H × D)	105 mm x 102 mm x 162 mm
Laser class and wave length	Class 1，905nm
Range	20m/18m(10% remission)
Field of view	270deg
Angular resolution	0.25deg/0.5deg
Scan interval	40ms/20ms
Multi-echo function	Up to two echoes
Power supply, Consumption	10.8～30V DC, Typ. 8W





22

横断形状計測用レーザースキャナの取付（後面視）



40ms間隔で計測

車速	断面データ間隔
20km/h	22.2cm
50km/h	44.4cm

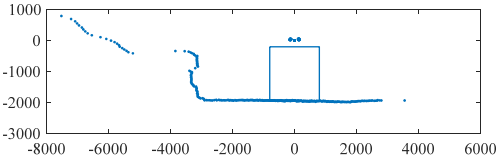
23

横断形状計測事例（2018年3月 裏磐梯　極低速）

路肩の雪壁

前方の録画映像

横断形状計測



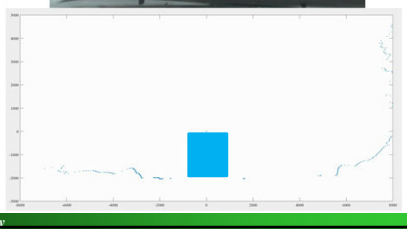
24

横断形状計測事例（2018年12月 裏磐梯　通常走行）

スノーシェッド

前方の録画映像

横断形状計測



25

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レイヤ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30年度は，次の四つの基本的な技術課題について取組んだ．

(1)想定積雪高より高い位置にレーザスキャナを取付けることにより，車両近傍の雪壁や他車両に遮られること（オクルージョン）が減り，スノーポールの検出がより確実なった．

(2)悪天候下ではスノーポールの検出率が低下するが，トラッキング処理を施すことで，認識率が大幅に向上する．位置計測精度は良好．

26

まとめ（つづき）

(3)道路左端ポールの抽出アルゴリズムを具体化し，実データで動作を検証した．また道路左端ポールに不検出や誤検出があった場合でもマッチングが悪化しないように，弾性マッチングを導入した．

(4)2Dレーザスキャナを搭載して道路横断面計測を行った．横断面のデータは良好で走行しながらの計測も実用範囲である．

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．

27

スノーポール設置ルールの提言

カーブにおける設置間隔：

✓ 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，本システムにおいてもこの程度あれば十分．
✓ 一般道を含めたスノーポールの設置間隔は，必ずしもそれほど密ではなく，主たる目的が除雪作業の目印としての設置になっていることも多く，視線誘導用として改善が必要．

直線路における設置間隔：

✓ 設置間隔がずっと一定の場合，直線路のどこにいるのかが分からなくなる可能性があり，最悪，次のカーブ進入を予測できない恐れがある．意図的に設置間隔をランダムにする．

28

スノーポール設置ルールの提言（つづき）

高さ，直径，反射率（今回主として使用したスノーポール）：

✓ その地域の想定最大積雪（堆積）高より十分高いこと．（高さ2.5m）
✓ 直径はできれば60mm以上．（直径38mm ）
✓ 円柱であれば材質，表面塗装に関わらず反射率は良好．（鉄管もしくは樹脂管に赤白塗装）

保守，設置上の留意点：

✓ 設置中のスノーポールの傾きが大きく変動することは位置誤差につながるので，シビアではないものの，好ましくはない．
✓ 本システムを応用して，設置時のポール地図データと自動照合すれば，位置ずれや滅失の把握が容易である．

29

ご清聴ありがとうございました

30