

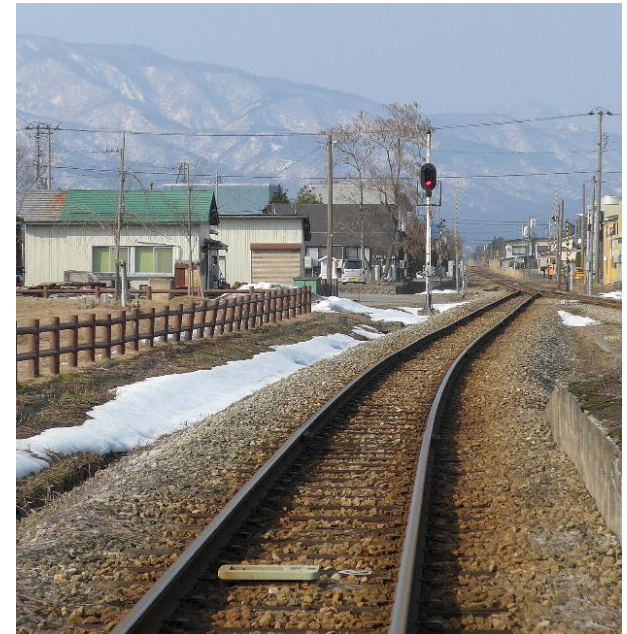
LiDARセンサを利用した 衛星測位の補完手法に関する検討

交通システム研究部 主席研究員 山口 大助

(公開用の講演資料は動画のスライドを割愛しています)

はじめに

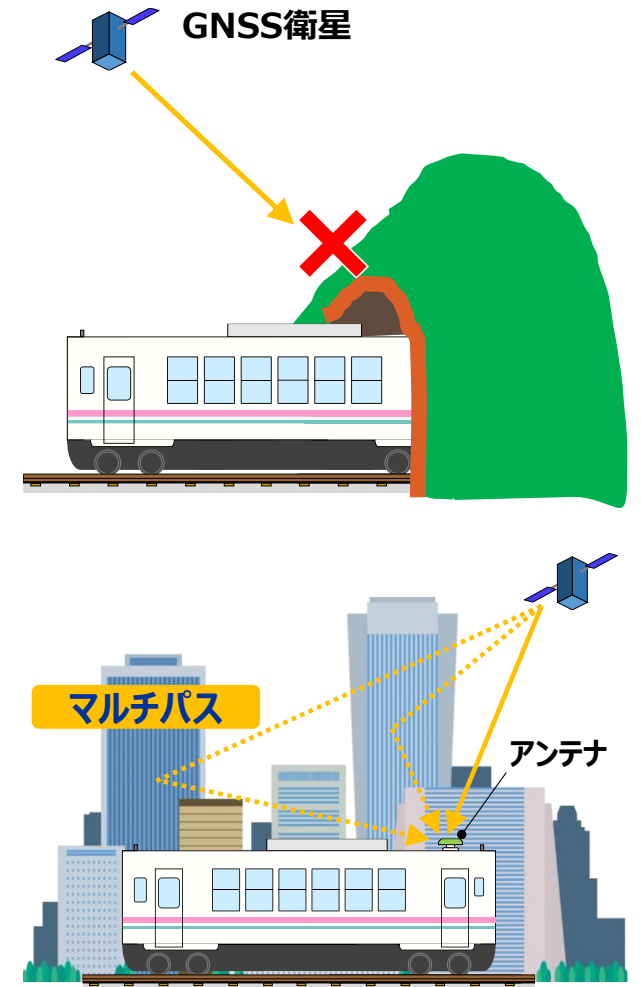
- 鉄道ではこれまで軌道回路や地上子を用いて列車の位置検知を正確に行う列車制御システムによって安全を確保
- 地方鉄道をはじめとする採算性の厳しい路線では、軌道回路のような地上主体の設備の維持や更新に係るコストが大きな負担
- 車上で列車の位置検知が可能な技術として、GPS等の衛星測位システム（GNSS*）への期待



GNSS* : Global Navigation Satellite System

はじめに

- 衛星測位は現在位置を推算するために衛星からの電波の受信が必須
- トンネル等の電波受信が難しく衛星測位が困難な地点やマルチパスによる測位精度の低下の懸念がある地点では、衛星測位を補完する他の位置検知手法が必要
- LiDAR (Light Detection And Ranging) センサに着目し、軌道側にマーキングして固有地点をコード化の上、LiDARセンサでコードを読み取る手法を考案し、実車実験を通じて本手法の実現可能性を検討



LiDARセンサ (Light Detection And Ranging)

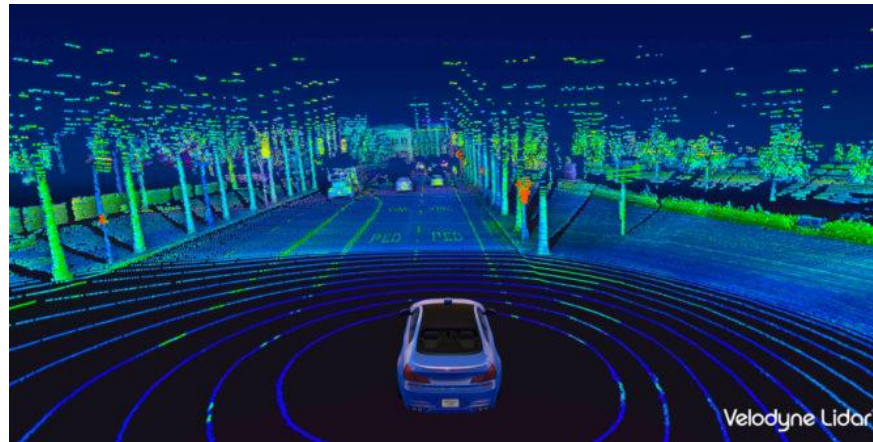
- レーザ光をパルス状に照射し，物体からの反射光を受光することで物体までの距離や方向を測定するセンサ
- 交通安全環境研究所では，自動車の分野で採用が進んでいるセンサ技術のうち，検出距離や検出精度，耐環境性能で有利なLiDARセンサが今後，鉄道分野へ活用され得ると予想



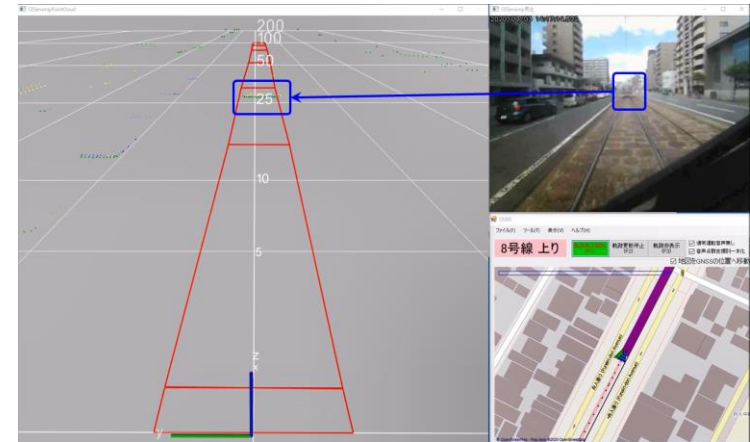
SICK社ホームページより



Velodyne社ホームページより



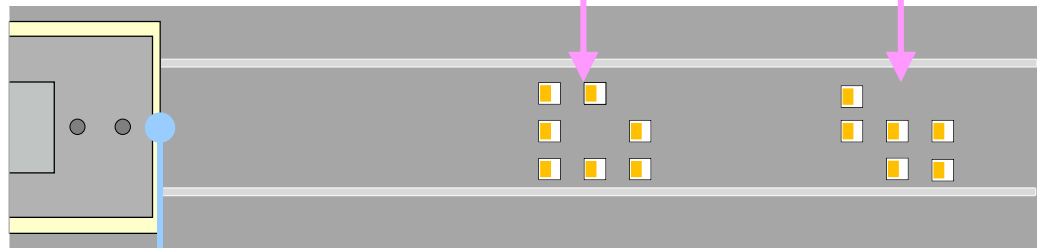
NVIDIA社ホームページより



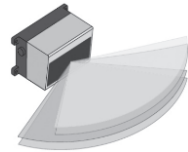
交通研フォーラム2020 竹内の講演資料より

LiDARセンサを利用した衛星測位の補完手法

- LiDARセンサを車上側，ターゲットマーカを軌道側に設置
- 軌道側はターゲットマーカを複数個使用し，固有地点に応じてターゲットマーカの並べ方を変えることで固有地点をコード化



車上側への
LiDARセンサの設置



軌道側へのターゲットマーカの設置

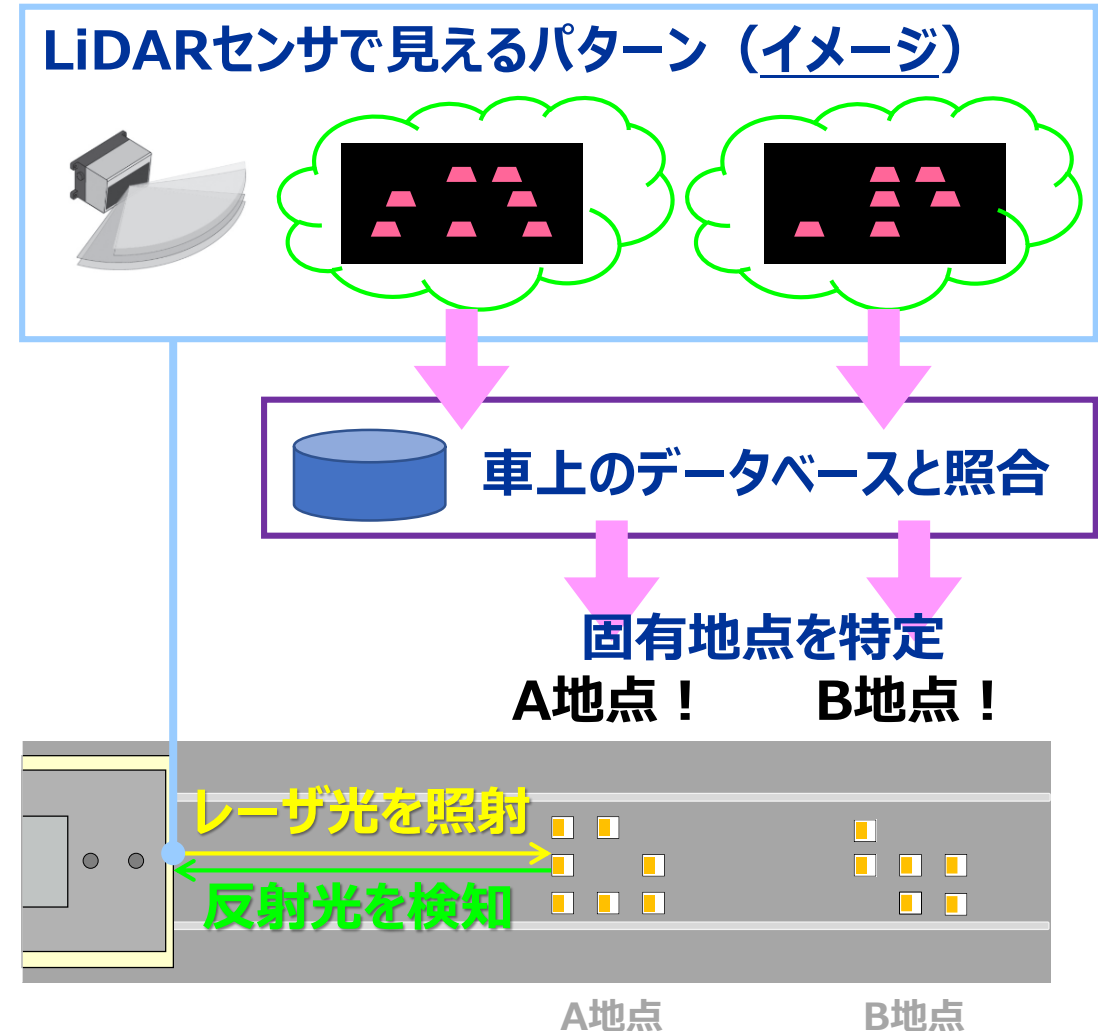
固有地点に応じてターゲットマーカの並べ方を変えることで固有地点をコード化

コード化によって

- 固有地点ごとにIDを付加
- 緯度・経度や起点からのキロ程をIDに持たせることが可能

LiDARセンサを利用した衛星測位の補完手法

- LiDARセンサがターゲットマーカに向けてレーザ光を照射し、ターゲットマーカからの反射光の強さ（輝度）を測定してコードを読取
- 固有地点とコードを紐付けたデータベースを車上側に装備し、LiDARセンサが読み取ったコードをデータベースに照合して固有地点を特定



LiDARセンサを利用した衛星測位の補完手法

- LiDARセンサが照射したレーザ光は周辺の様々な物体からも反射してくるため、LiDARセンサが照射したレーザ光がターゲットマーカから確実に反射するよう、ターゲットマーカに再帰反射性能を持った物体（再帰反射体）を使用

再帰反射体として「道路鎮」を使用

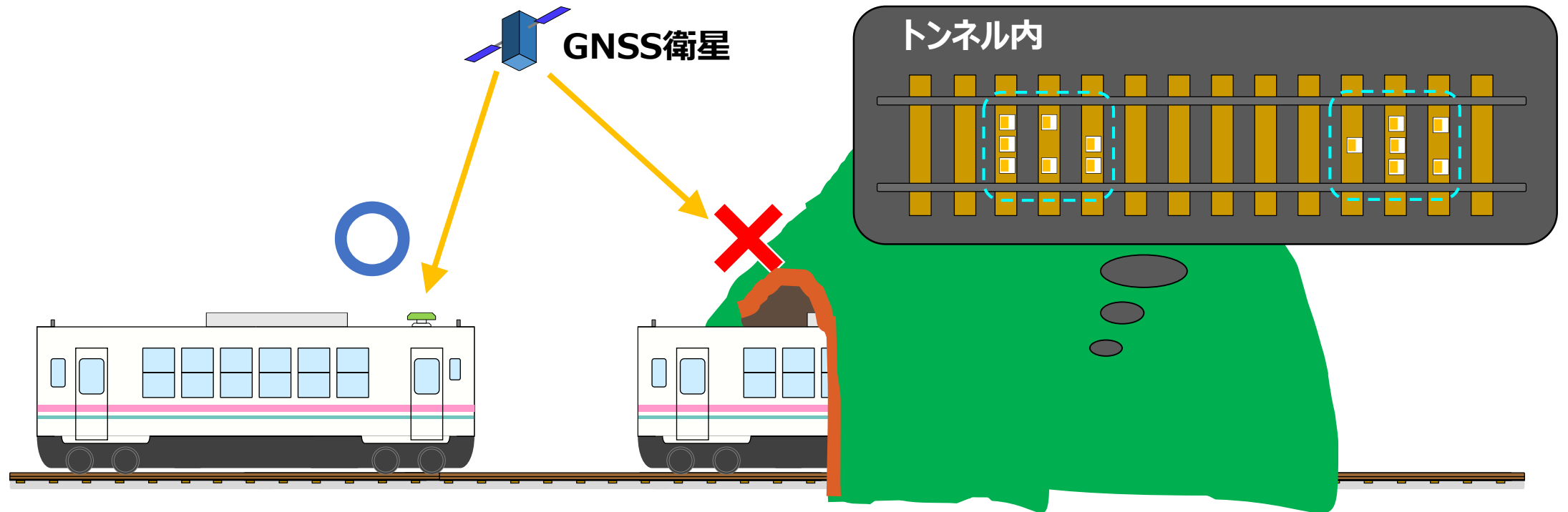
再帰反射体からの反射光は強く、輝度が大きいことから、輝度の検出に閾値を設けてコードの認識率を向上



積水樹脂株式会社ホームページより

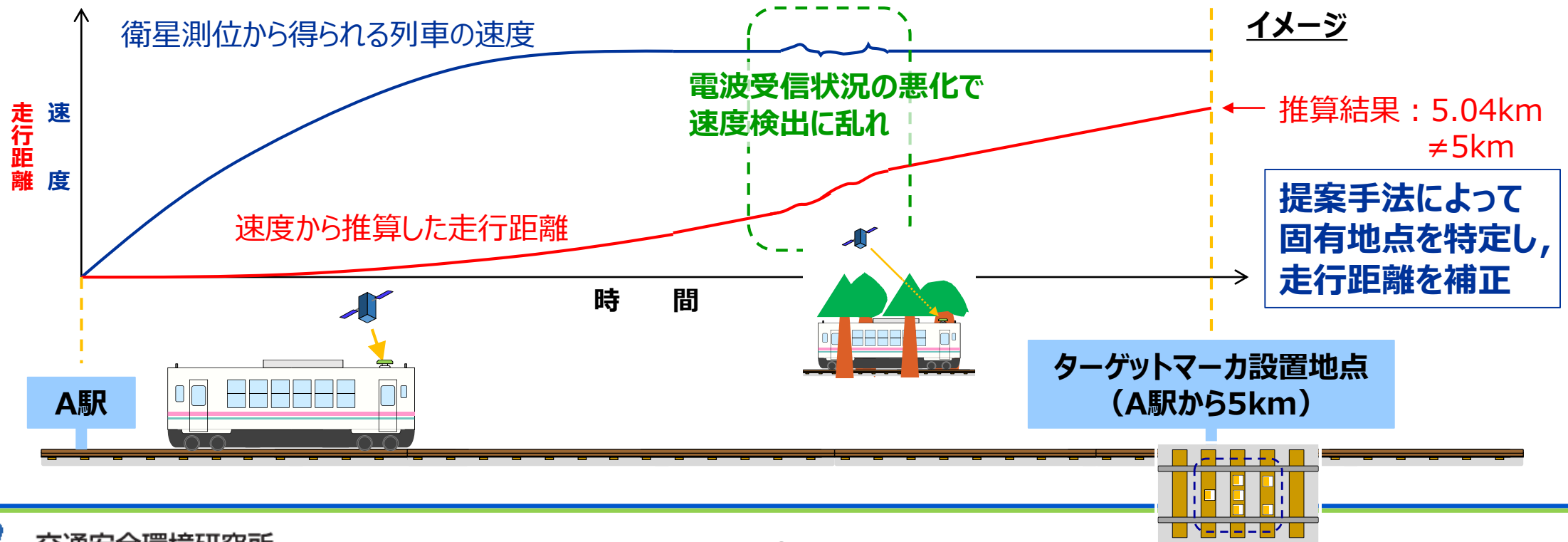
想定される提案手法の利用

- ① 列車の走行位置を基本は衛星測位によって把握し，測位精度が低下する区間や電波受信が困難で測位不可となる区間では提案手法によって衛星測位を補完



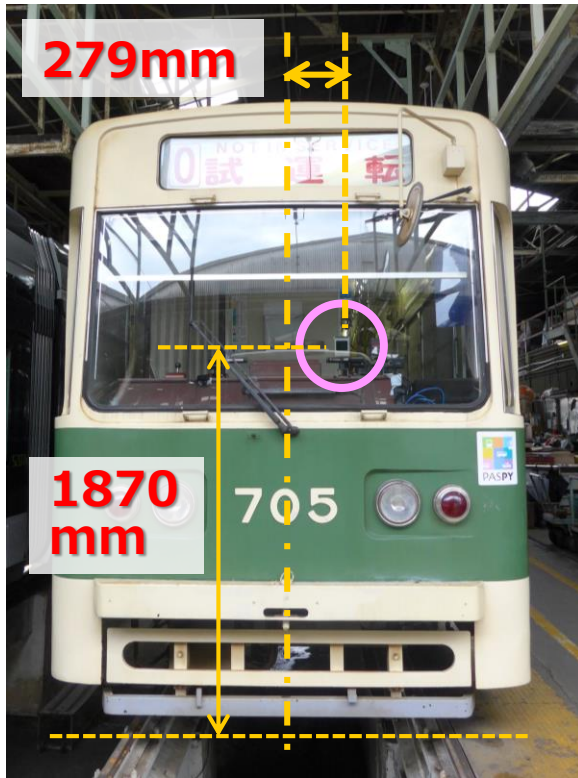
想定される提案手法の利用

- ② 衛星測位から得られる列車の速度を利用して列車の走行距離を推算し、LiDARセンサがターゲットマーカを検知したときの列車とターゲットマーカの間を測距するとともに、提案手法によって固有地点を特定して、推算した走行距離を補正



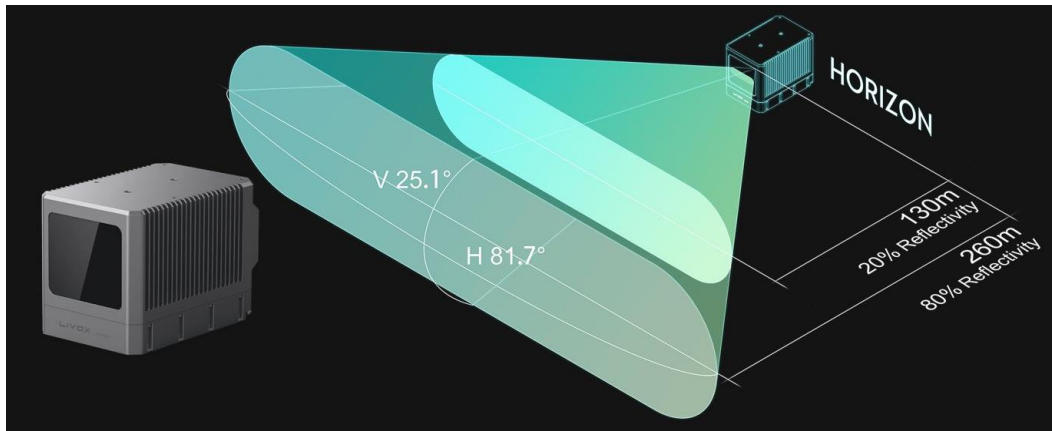
実車による実験

- 広島電鉄株式会社のご協力を得て実施
- LiDARセンサを車内に仮設し，車庫内及び営業線にて実施

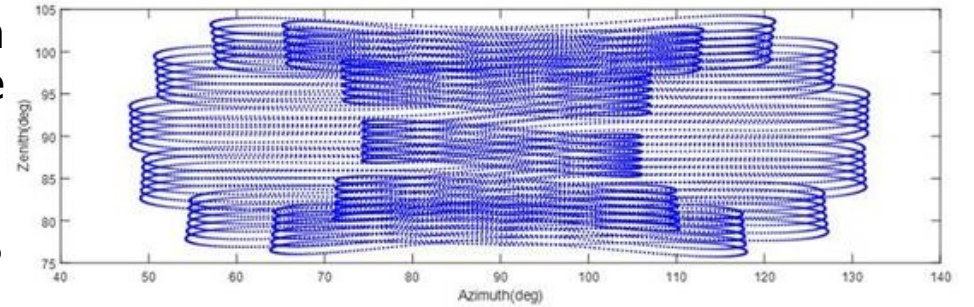


実験で使用したLiDARセンサ

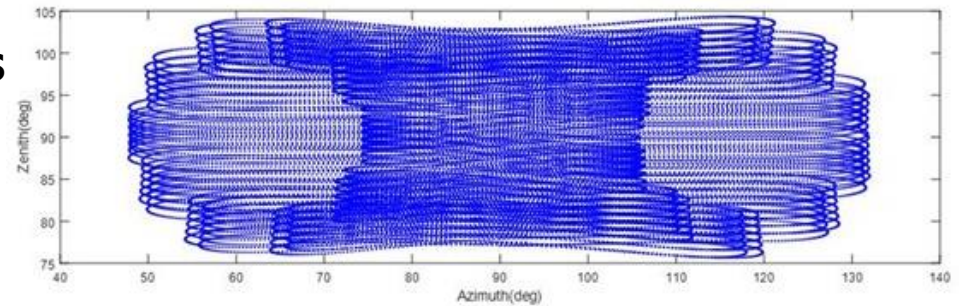
- 非反復走査と呼ばれる独特なスキャンが特徴の機種
- 反射光の輝度と再帰反射体からの反射光の輝度は別の数値で記録



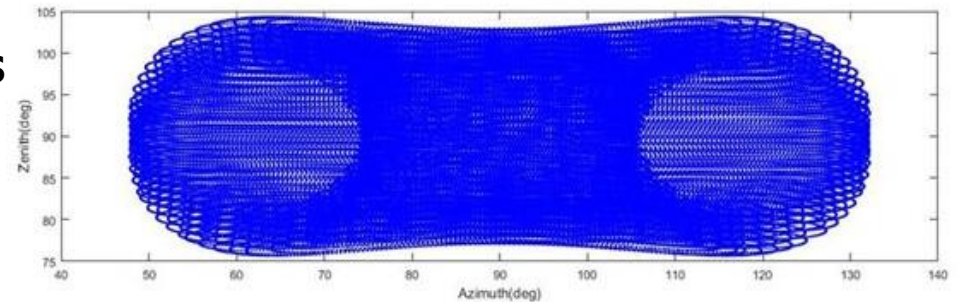
Integration Time
露光時間
(積分時間)
0.1s



0.2s



0.3s

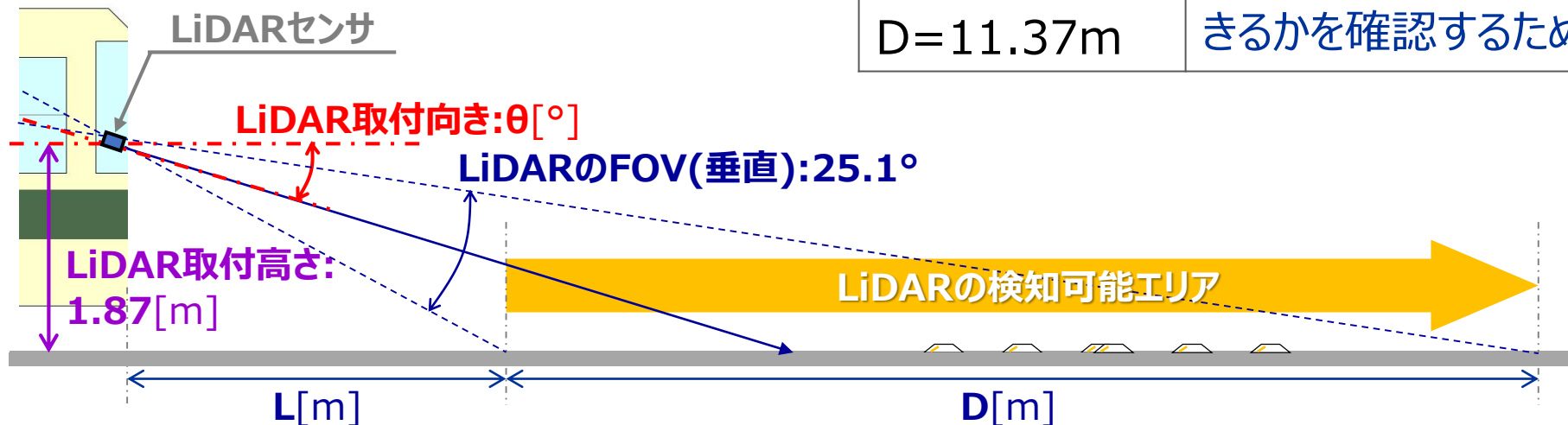


画像はいずれも当該センサのメーカー Livox_JAPANのtwitterより抜粋

LiDARセンサの取付向きと検知エリアの関係

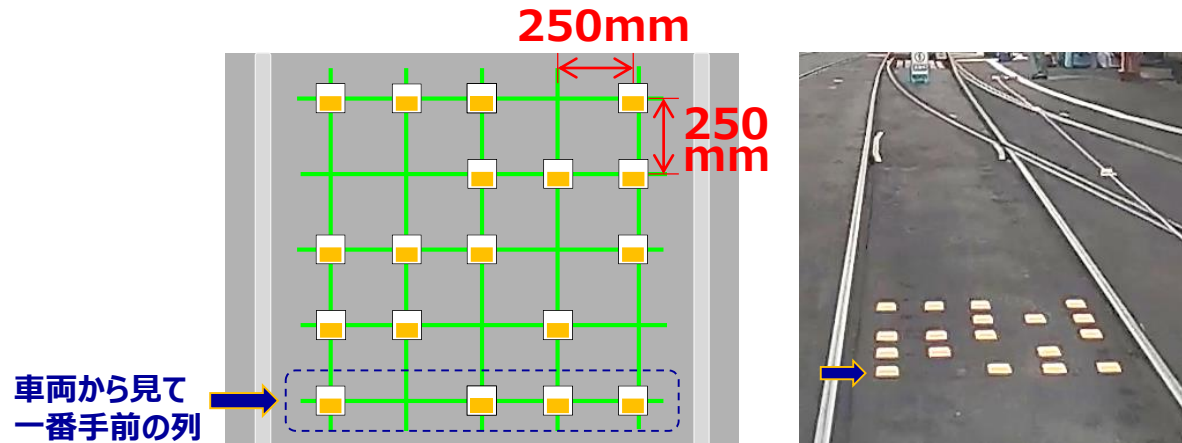
- LiDARセンサの取付向き（軌道面に対する取付角度）によってレーザ光の照射状況が変化し、ターゲットマーカを検知できるエリアが変化
- 12.5度と20度の2条件を設定（営業線では12.5度のみ設定）

	LiDARセンサの検知エリア
$\theta=12.5^\circ$ L=4.00m D=256.00m	電車先端L=4.00mより奥で、遠方はセンサ諸元により260m ターゲットマーカだけでなく 先行する電車も検知 することを狙って設定
$\theta=20^\circ$ L=2.93m D=11.37m	電車先端より2.93m～14.30m 車両に極力近い側で検知 できるかを確認するために設定



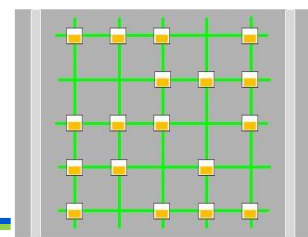
車庫内での実験

- 実用を想定して250mm間隔の格子状にターゲットマーカである再帰反射体（道路釘）を複数個並べ、所々再帰反射体を置かないことで固有地点のコードをイメージ（パターンI）
- 停車時と低速走行時で実験

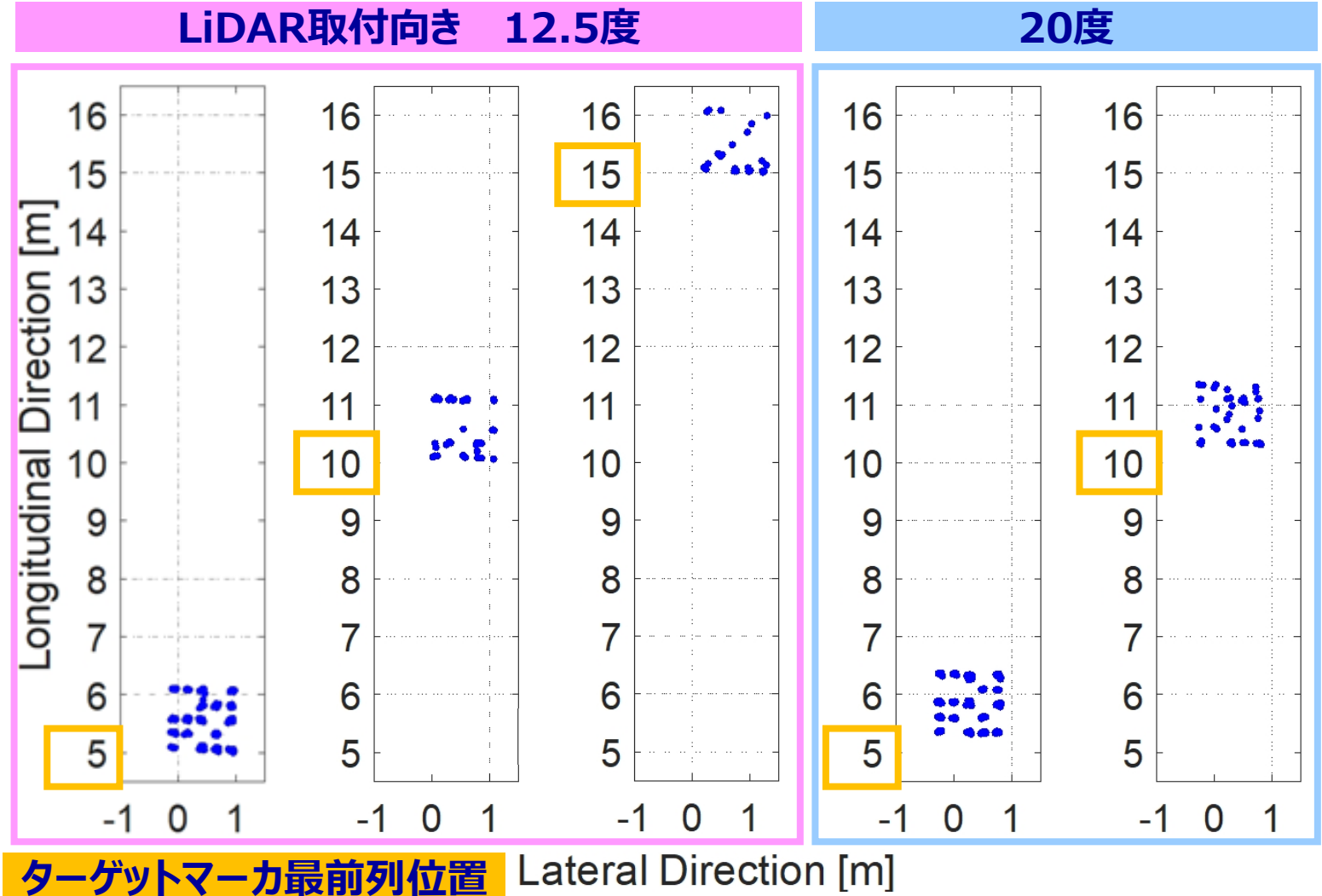


車庫内での実験の結果 (停車時)

パターンI

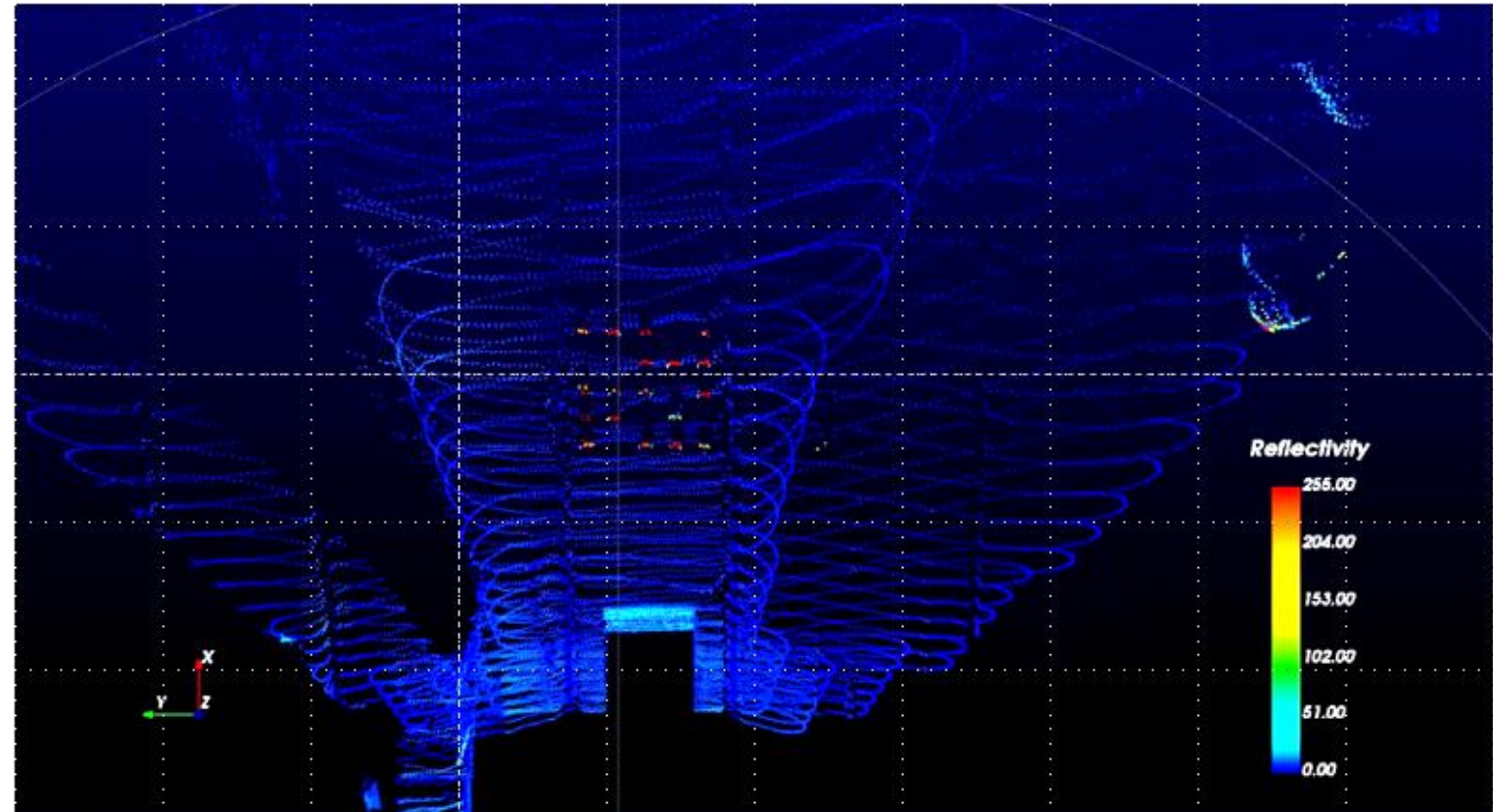


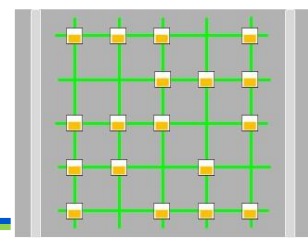
- 取付向き12.5度, 20度ともにターゲットマーカを5m先に置いた場合は概ね検知し, コードの読み取りが可能
- 車両から離れるにつれてターゲットマーカの配置通りの検知は不可



車庫内での実験の結果（停車時）

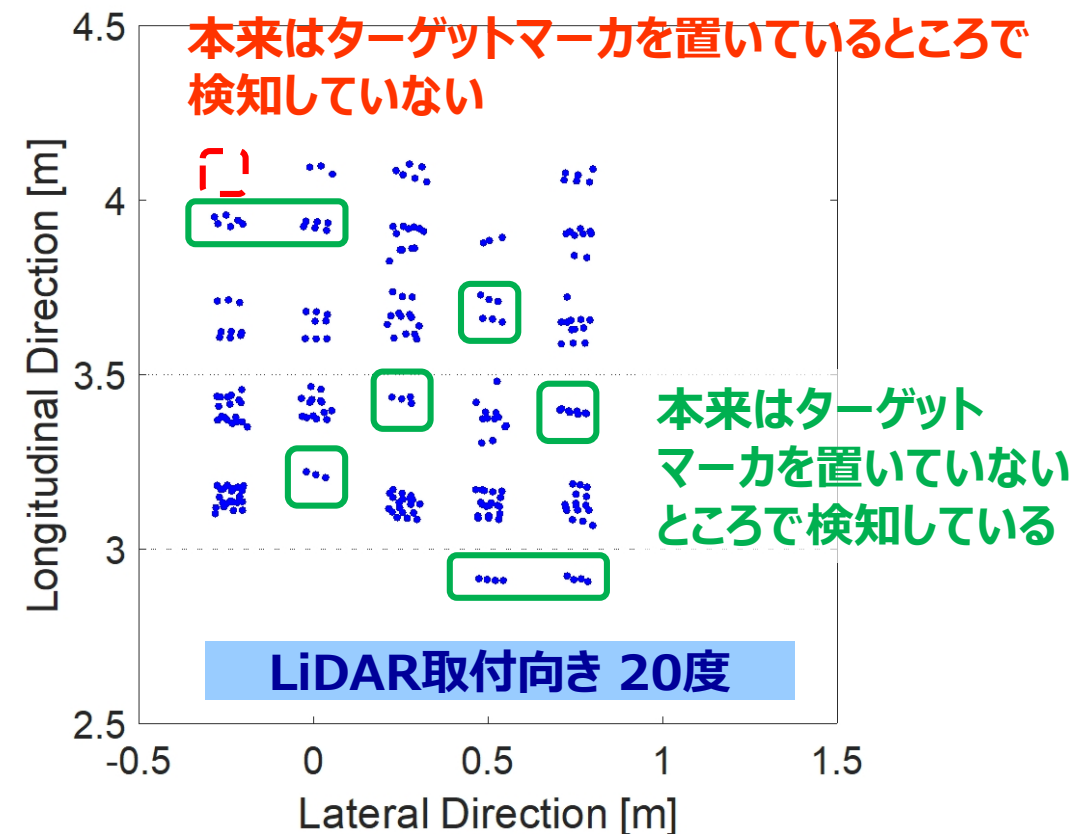
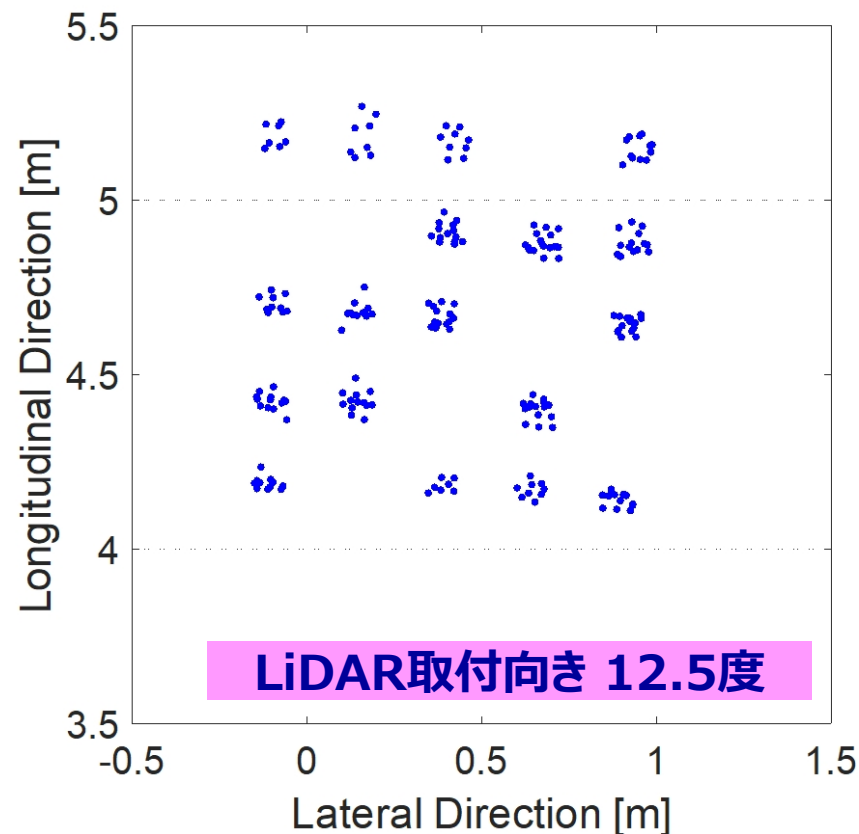
取付向き20度,
ターゲットマーカを
5m先に置いた場合





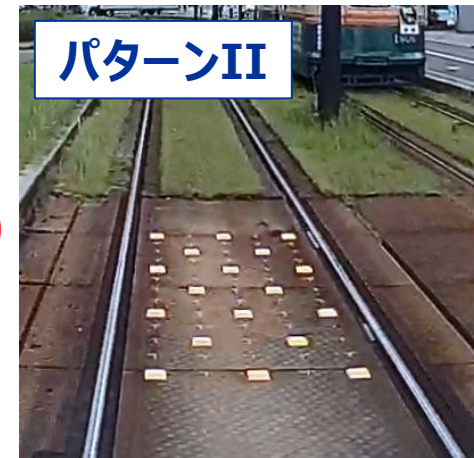
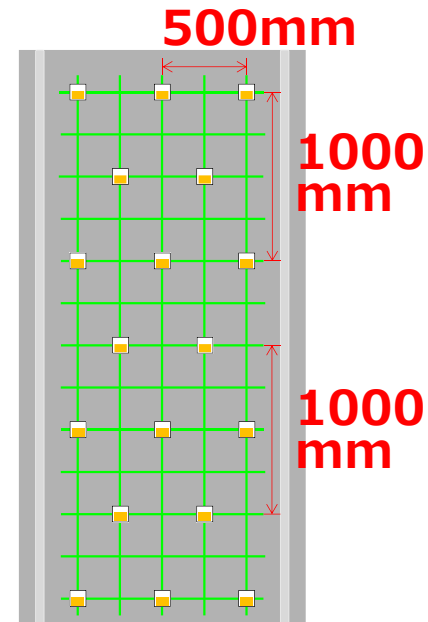
車庫内での実験の結果（低速走行時：8km/h程度）

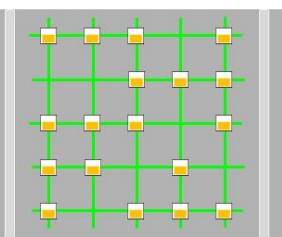
- 取付向き12.5度：ターゲットマーカを概ね検知し，コードの読み取りが可能
- 取付向き20度：ターゲットマーカの配置通りの検知は不可



営業線での実験

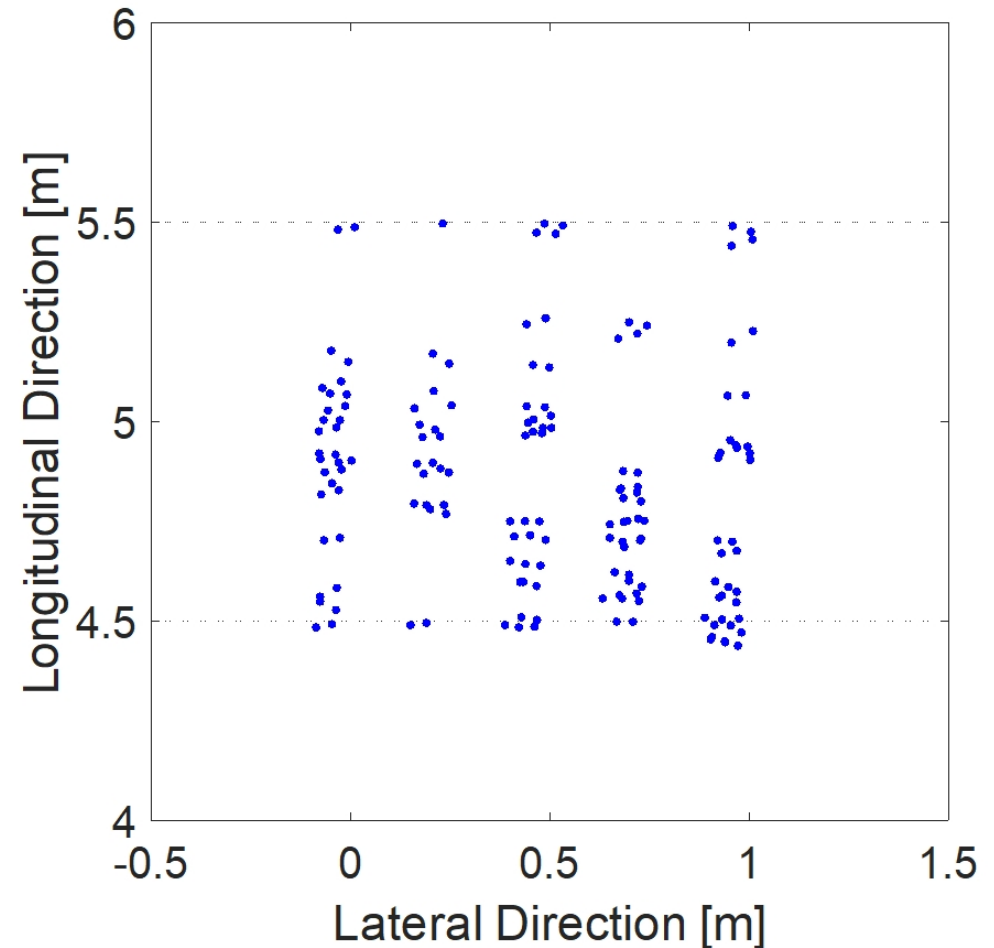
- 実用を想定したターゲットマーカの配置（パターンI）のほか、線路方向に長い配置（パターンII）を設定
- LiDARセンサ取付向きは12.5度
- 営業運転時の速度で走行（パターンI：25km/h，パターンII：34km/h）





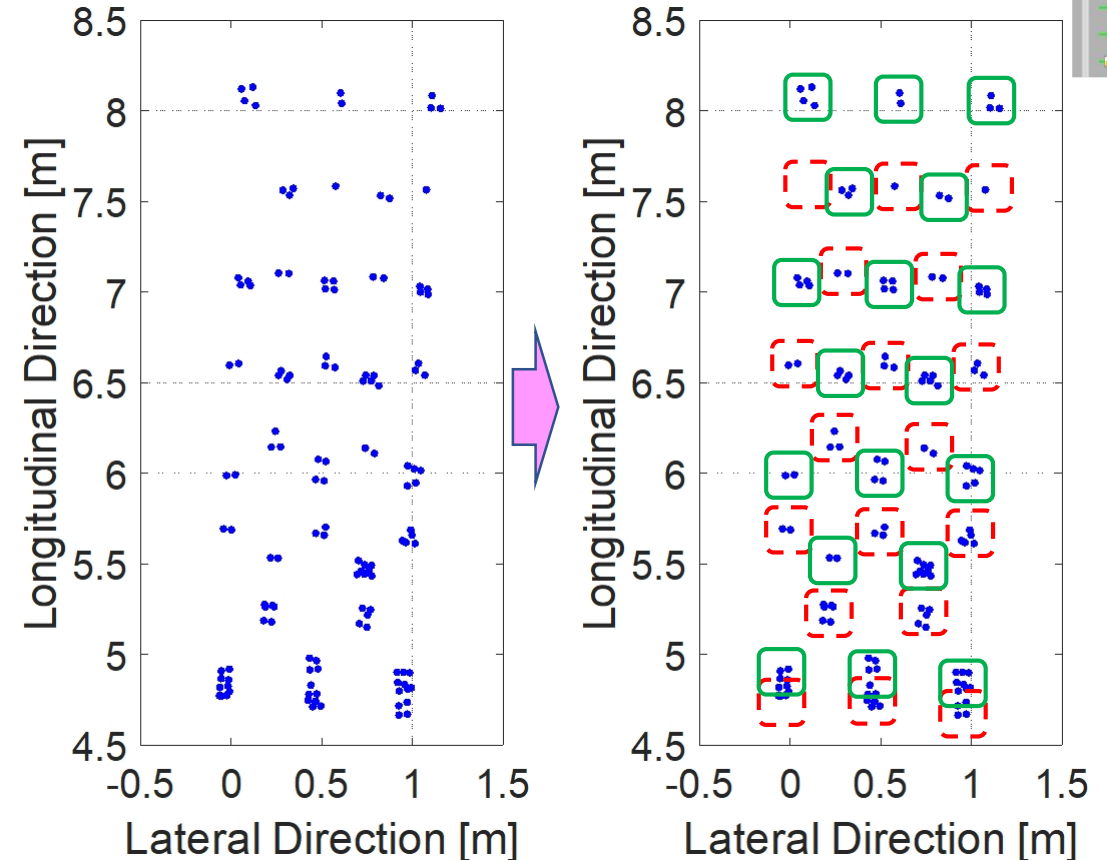
営業線での実験の結果（パターンI）

- 走行速度25km/h
- ターゲットマーカの配置通りの検知は不可
- 特に線路方向での重複が顕著
- まくらぎ方向のターゲットマーカは重複せずに検知



営業線での実験の結果 (パターンII)

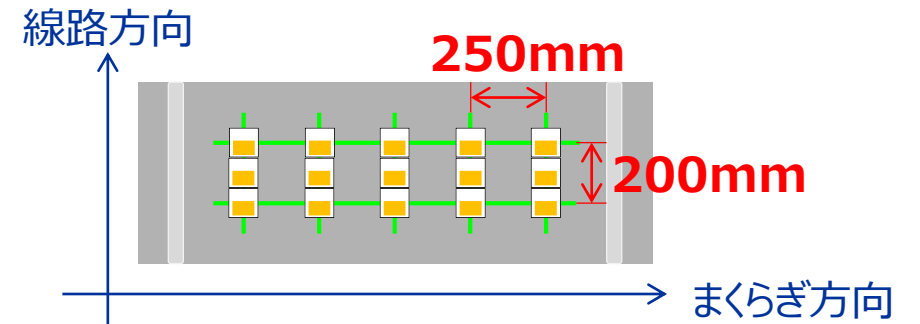
- 走行速度34km/h
- パターンIと同様に, ターゲットマーカの配置通りの検知は不可
- 特に線路方向での重複が顕著
- 点群は線路方向に対して二つのグループに分けられ, これは走行していることによって二重に検知されたためと考えられる
- まくらぎ方向のターゲットマーカは重複せずに検知



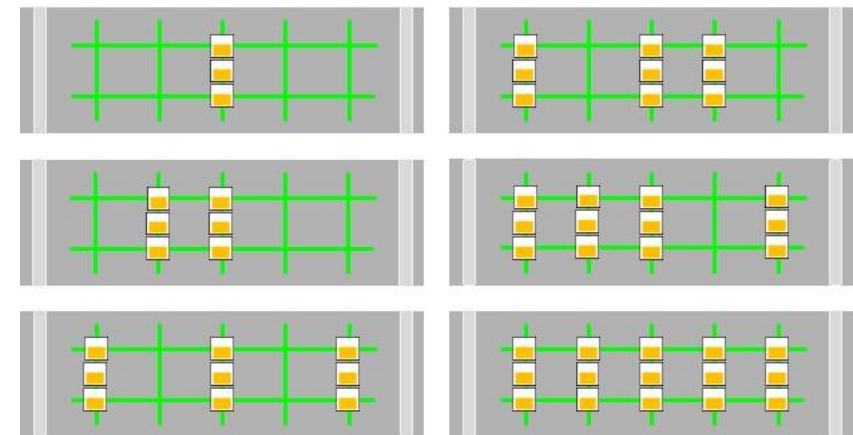
実験結果を踏まえた提案手法の利用

実験で使用したLiDARセンサを取付向き12.5度で設置し，標準軌の路面電車の走行速度（40km/h以下）で使用する場合

- 線路方向にはターゲットマーカを複数個連続に置いて一つの塊として確実に検知できるようにする
- まくらぎ方向のターゲットマーカの有無でコード化
- 中央列にはターゲットマーカを必ず置き，「ここにコードがある」ことを明示
- この配置では最大16通り（ $= 2 \times 2 \times 1 \times 2 \times 2$ ）のコードを生成可能



例



今後の展開

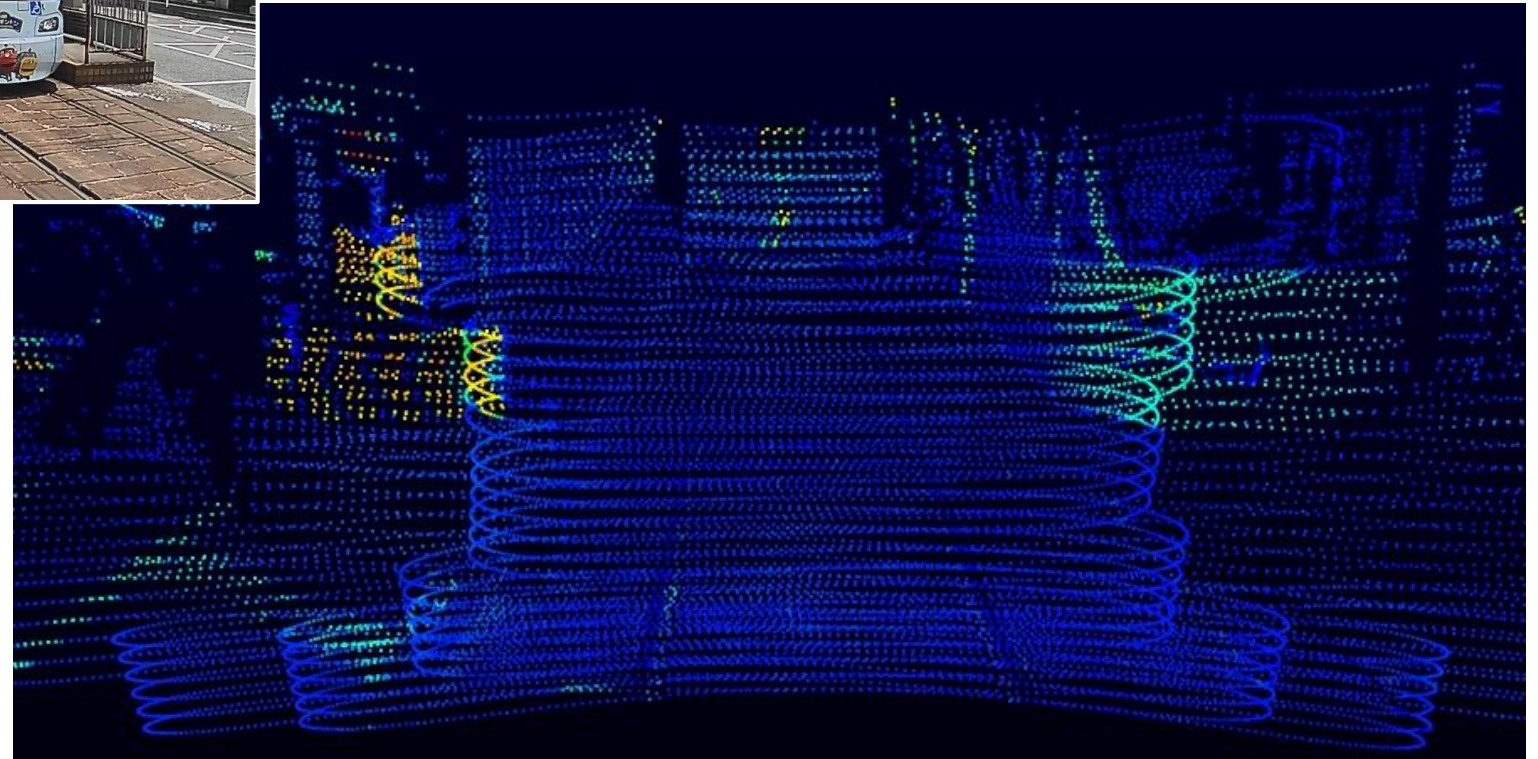
- 実験結果を踏まえると、提案手法の実現には使用するLiDARセンサの機構や仕様によるところが大きい
- 実験で使用したLiDARセンサは内部をプリズムが回転する機構であったため、特に線路方向のコードの読み取りが困難であったと考えられる
- 可動部分を持たない新しいタイプのLiDARセンサの開発が現在進んでおり、このタイプを使用すればコードを読み取れる可能性が高い

【参考】 先行電車の検知



- 先行電車の下半分を概ね検知できている

先行電車までの距離は
12.7m (ビューワ)
+ 4.00m (検知エリア)
= 16.7m (推定)



おわりに

- 衛星測位を補完する手法として、軌道側にマーキングして固有地点をコード化の上、LiDARセンサでコードを読み取る手法を考案
- 実車実験を通じて提案手法の実現可能性を検討した結果、使用するLiDARセンサの機構や仕様に応じて適切に調整することで、提案手法を実現できる可能性が高い
- 今後は下記について進める予定
 - 新しいタイプのLiDARセンサによる検知傾向の把握
 - 一般の高速鉄道での提案手法の実現可能性の検討
 - 保安の用途を含む衛星測位補完の具体的な手法及び測位精度の総合的な評価手法の検討

謝辞

本稿は広島電鉄株式会社との共同研究の成果の一部をまとめたものです。
ここに謝意を表します。