

「SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)・自動走行システム」

次世代都市交通システム正着制御に係るセンシング 技術に関する調査検討

先進モビリティ(株)

検討項目について

公募項目		提案骨子	
実施内容	① バス停からの相対位置検出と経路特定	1)可視光外の透明反射する塗料やシート等による位置・経路特定	高日射反射塗料による位置・経路特定技術検討
		2)路面上に恣意的に設けたランダムパターンの学習による位置・経路特定	バス停付近に描画されたオリンピックシンボルマークを画像認識して位置特定する方法の検討
		3)路面汚れやタイヤ痕等の自然発生ランダムパターンの学習による位置・経路特定	レーザ光による路面反射パターンにより位置を特定する方法の検討
		4)バス停周辺地物の画像認識による位置学習・経路特定	ライダーの点群データによる位置・経路特定技術検討
		5)RFIDやBLEビーコンのような電子道標を活用した位置検出・経路特定	磁気マーカとGPSによる位置・経路特定技術検討
	②ロボスタ性の高い正着制御技術の研究	危険ポテンシャル制御則を用いた障害物回避を含む正着制御アルゴリズムの検討	
実施方法	①テストベンチでの検討	上記位置検出法のテストベンチ評価	1)、4)、5)における屋外での台車、評価実車
	②実車検討	上記位置検出法の実車正着制御評価	ライダーの点群データによる正着制御評価
	③新たな正着制御アルゴリズムの検討	新たな正着制御アルゴリズムの机上検討	シミュレーションモデルの作成およびシミュレーション評価

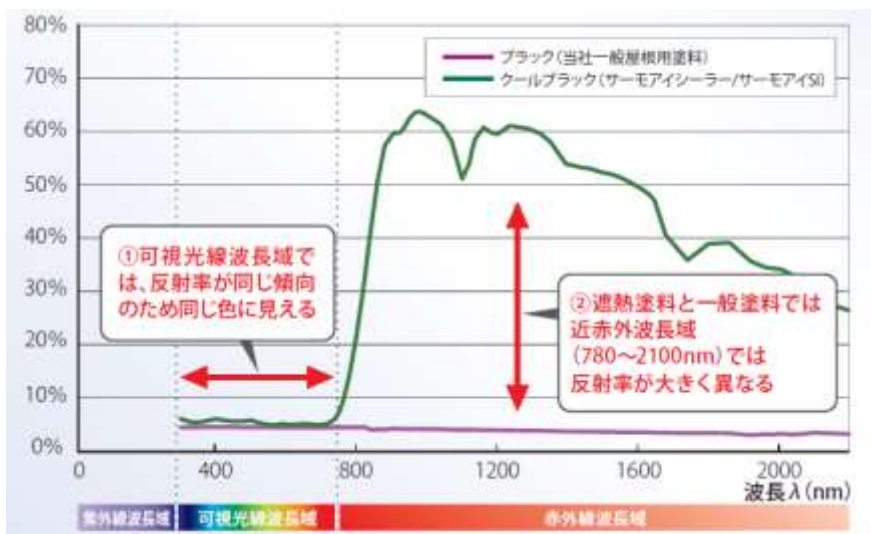
① 検討する具体的実施内容について

- ①—1) 高日射反射塗料(遠赤外線反射塗料)による位置検出技術検討
- ①—4) ライダーによる位置検出技術検討
- ①—5) 磁気マーカとGPSによる位置検出技術検討

①-1)高日射反射塗料による位置・経路特定技術

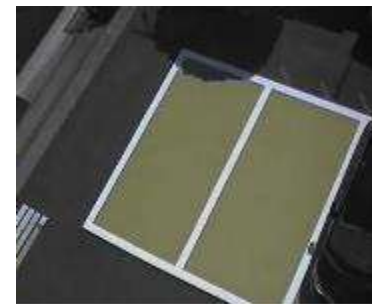
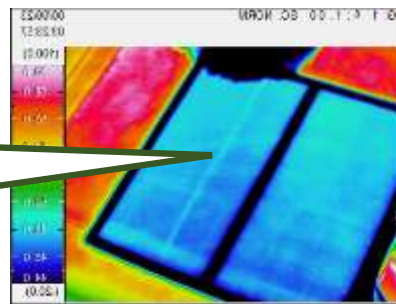
高日射反射塗料(赤外線反射塗料)および赤外線カメラによる位置・経路特定技術の検討

アスファルトと同色の高日射反射塗料にて正着誘導線を敷設し、アスファルト面と誘導線の温度差を遠赤外線カメラにて検出し、正着誘導線を認識する



赤外線カメラ(温度分解能: 0.06度)にて温度差を検出

遠赤外線の反射率が高いため、アスファルト面より温度低下



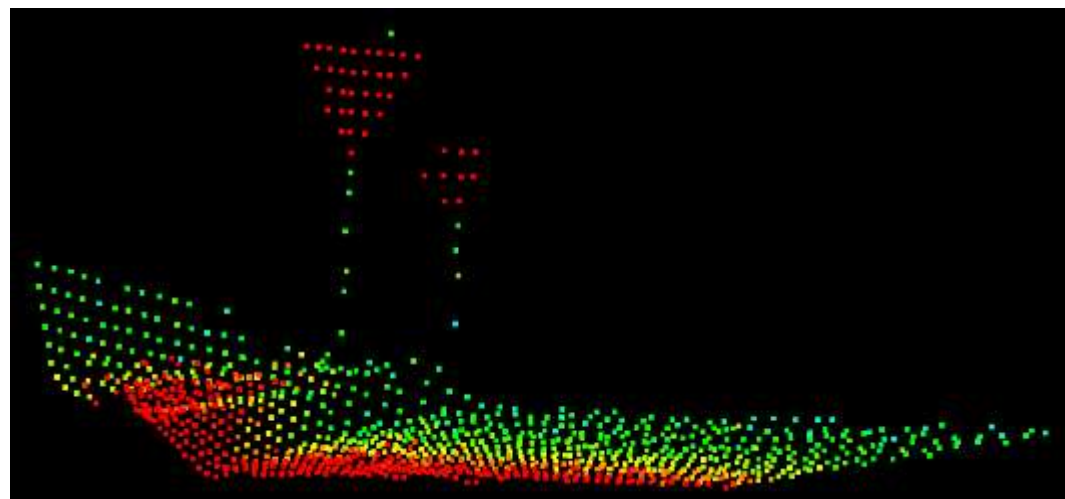
①-2) LiDARによる位置・経路特定技術



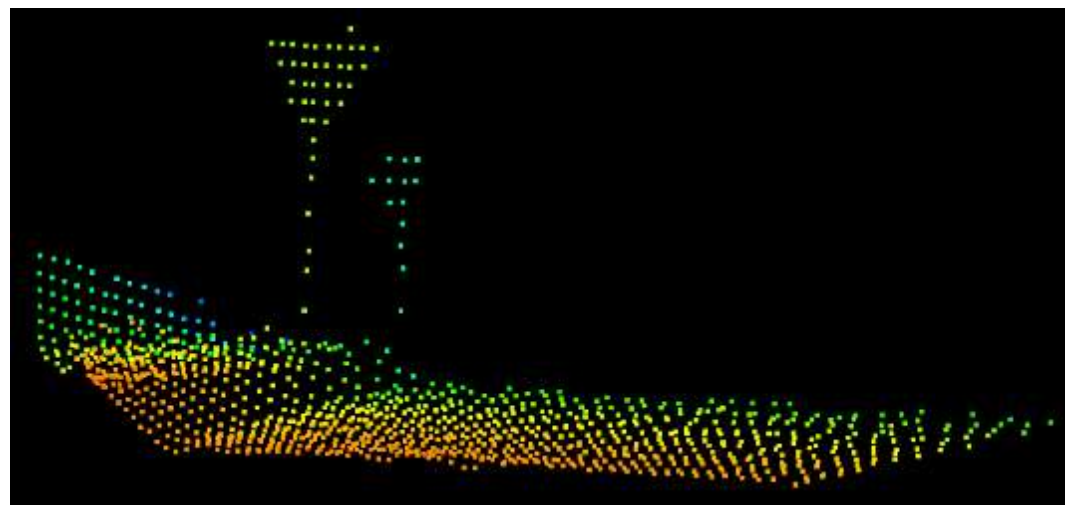
MEMSスキャンミラー方式3Dライダー

LiDARで取得できる情報

- センサに対する相対座標 (x, y, z)
- レーザーの反射強度



強 弱
反射強度

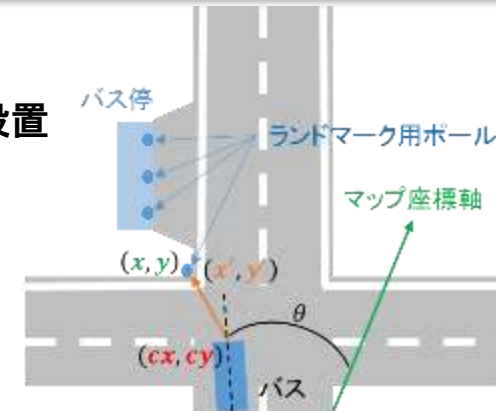


近 遠
距離

①-2) LiDARによる位置・経路特定アルゴリズムの概要

・ランドマーク用ポールの設置

- バス停または交差点部にレーザー光を反射する複数のランドマーク用ポールを設置
- 各ポールの設置時にRTK-GPSによりポールの位置座標を測位



・ランドマーク用ポールに対する自車の相対位置検出

- 3D LiDARによりランドマーク用ポールを認識し、自車からポールまでの距離と方位から自車とポールとの相対位置を検出
- ランドマーク用ポールへの反射板取り付けパターンの違いから複数のポールを区別して認識

・自車の傾き角算出

- 走行開始時の自車の向きとヨーレートセンサの累積値から現在の自車の向きを算出

・自車位置の算出

- ポールのマップ座標 (x, y) , 自車に対するポールの相対座標 (x', y') , 自車の傾き角 θ から自車のマップ座標 (cx, cy) を算出

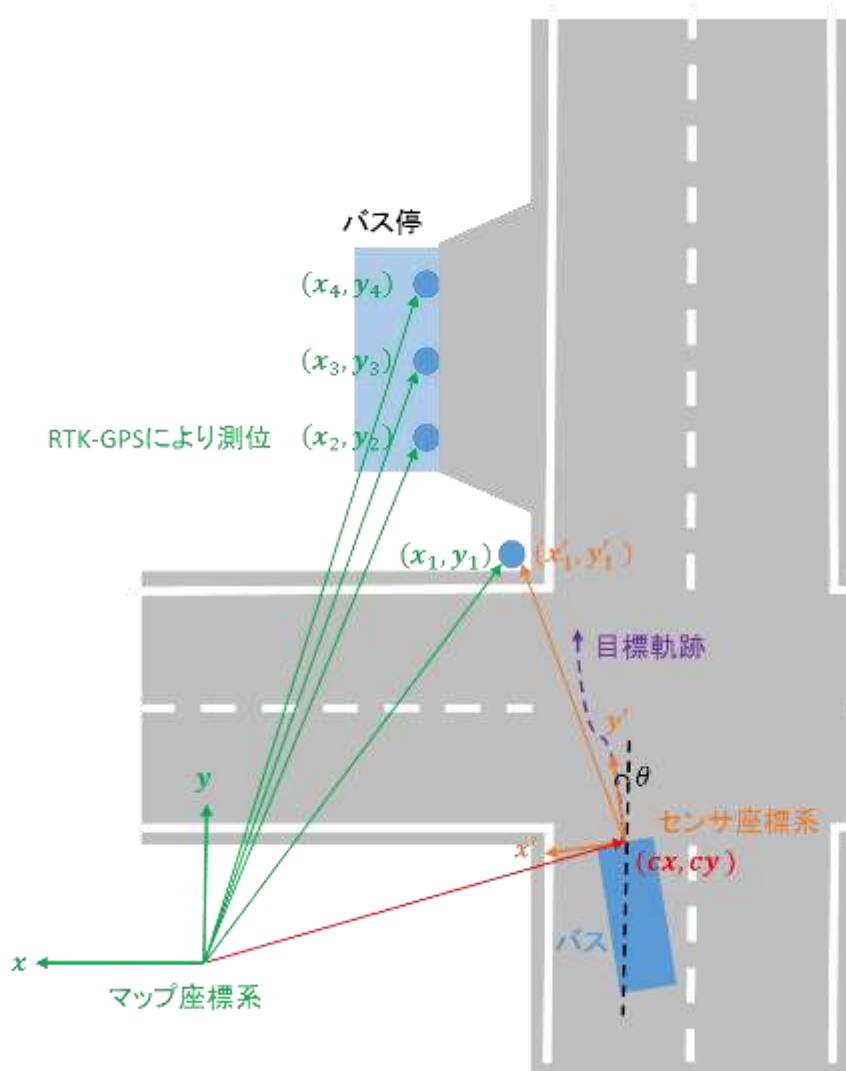
- ランドマーク用ポール1本から自車位置が算出可能

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & cx \\ \sin \theta & \cos \theta & cy \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix}$$

・路側帯検出による正着制御

- バス停に近接した状態で3D LiDARにより路側帯のエッジが検出可能な場合は自車前方5mの路側帯と自車側面との横方向の距離を基に正着制御

①-2) 自車位置の算出



(x_n, y_n) : マップ座標系におけるランドマークポール的位置
 (x'_n, y'_n) : センサ座標系におけるランドマークポール的位置
 θ : マップ座標系に対するセンサ座標系の傾き角
 (cx, cy) : マップ座標系におけるセンサ(バス)の位置

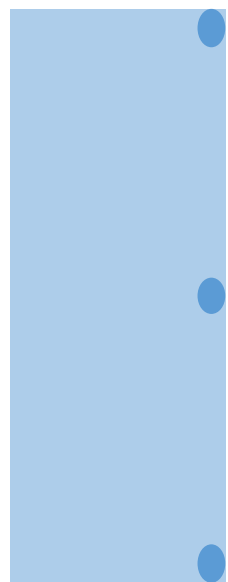
$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & cx \\ \sin \theta & \cos \theta & cy \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'_n \\ y'_n \\ 1 \end{pmatrix}$$

座標系の 回転 平行移動

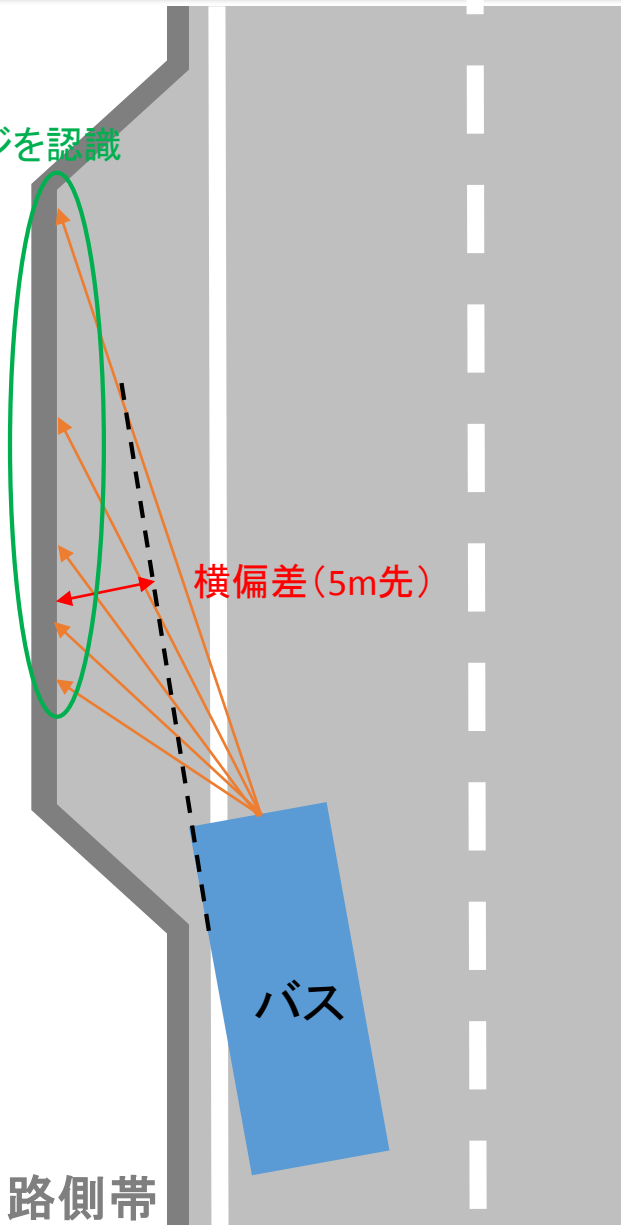
RTK-GPSにより測位したポール的位置 (x_n, y_n) とLiDARにより測位したポール的位置 (x'_n, y'_n) の1組からセンサ(バス)の位置 (cx, cy) を算出可能

①-2) 路側帯検出による正着制御

路側帯のエッジを認識



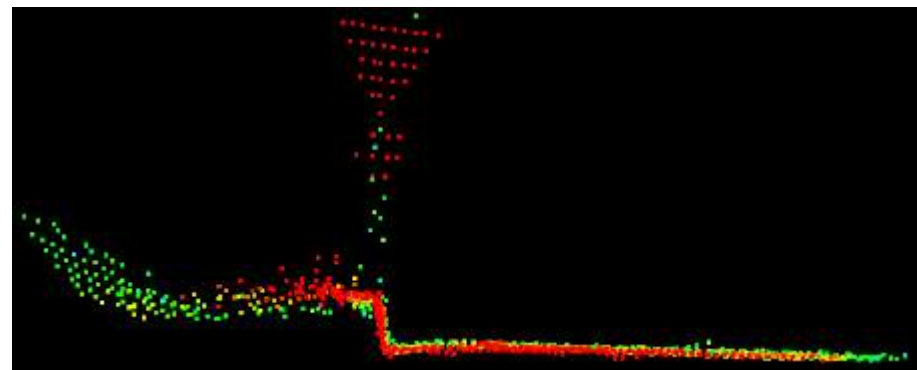
バス停



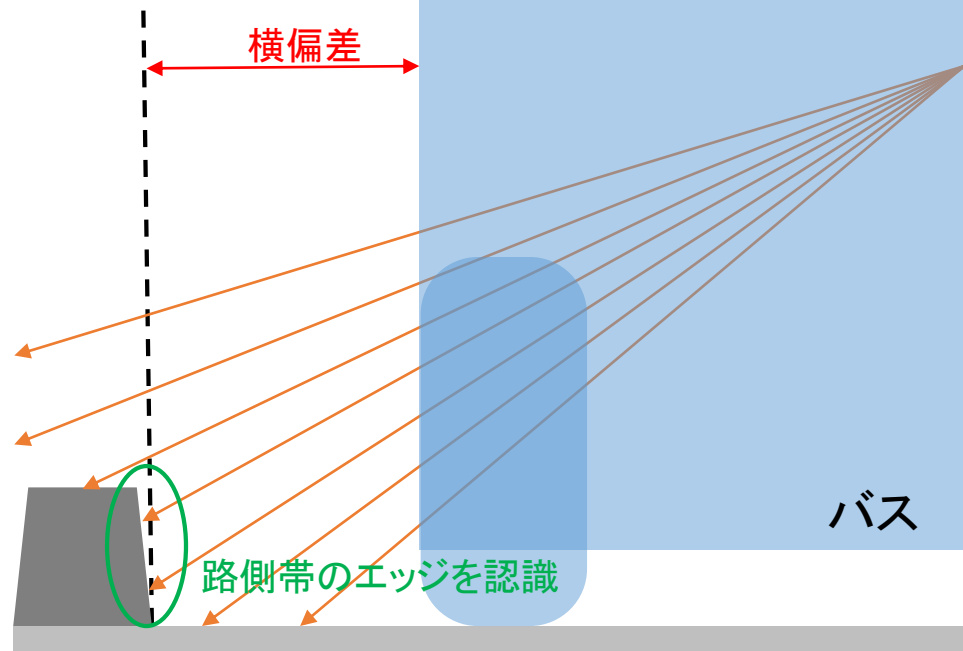
横偏差 (5m先)

バス

路側帯



横偏差



路側帯のエッジを認識

バス

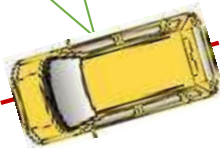
路側帯

①-3) 磁気マーカとGPS・車載センサを用いた正着制御法

- 正着走行軌跡上に磁気マーカを約20m間隔に設置
- 正着ECUには目標正着走行軌跡座標を入力
- 車載の磁気センサECUでマーカ通過時の磁気マーカと車両の横ずれ量検出。
- 磁気マーカ間の相対位置座標はIMUによる慣性航法による推定
- 目標走行軌跡座標と現在走行位置座標の偏差をゼロにするよう操舵をFB制御

磁気マーカ間はIMUにより相対的位置座標を算出

磁気マーカ



目標走行軌跡座標

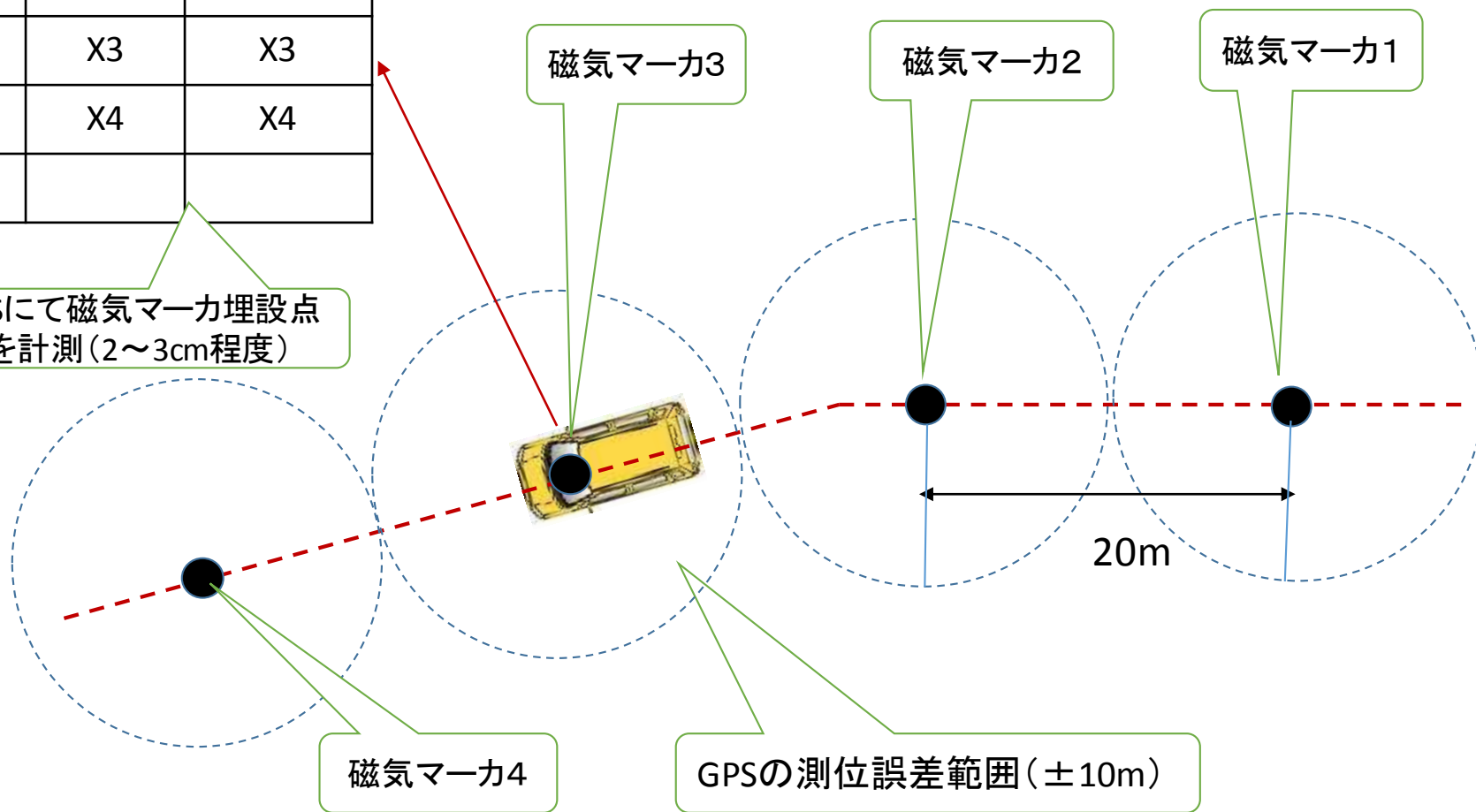
①-3) 磁気マーカの特特定法(マーカ通過時)について

磁気マーカ位置テーブル

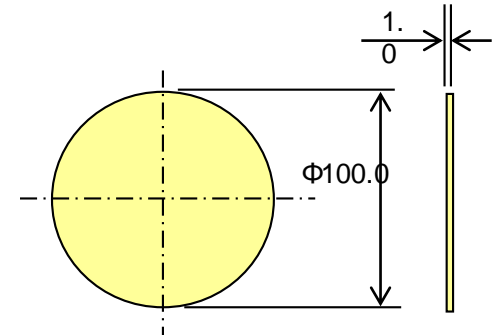
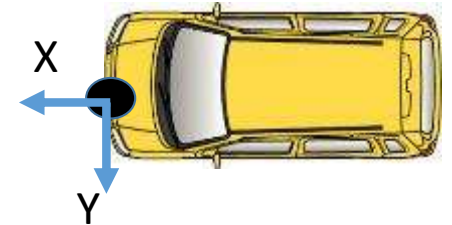
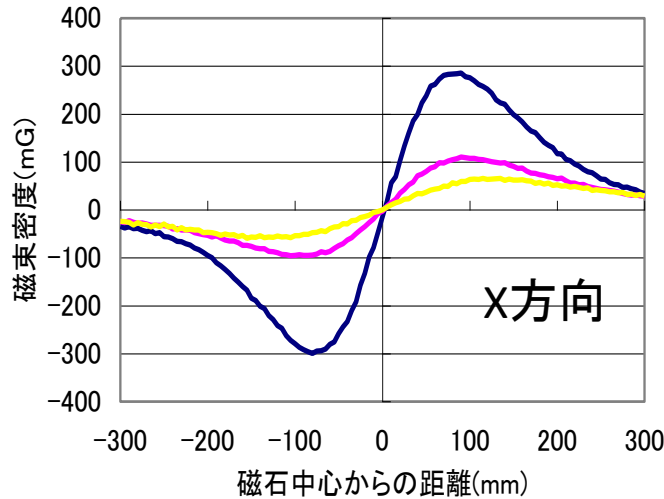
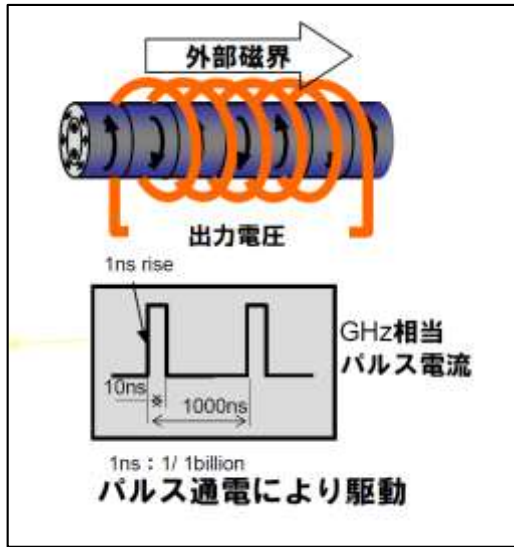
マーカ	座標X	座標Y
1	X1	Y1
2	X2	Y2
3	X3	X3
4	X4	X4
M		

磁気マーカ通過時、GPSの測位情報とマーカ番号およびマーカテーブルより現在のマーカ番号と位置座標を検出

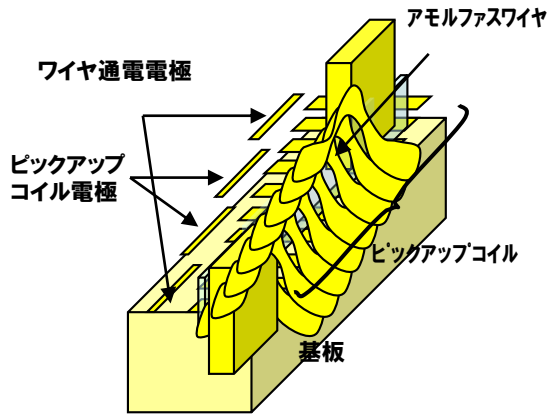
RTK-GPSにて磁気マーカ埋設点の座標を計測(2~3cm程度)



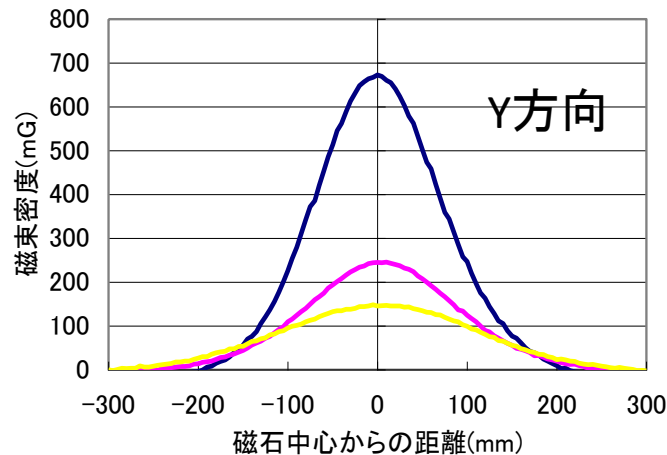
①-3)磁気マーカ・MI磁気センサによる横偏差検出



フェライト磁粉をゴムに分散させた、微弱磁界発生マーカー



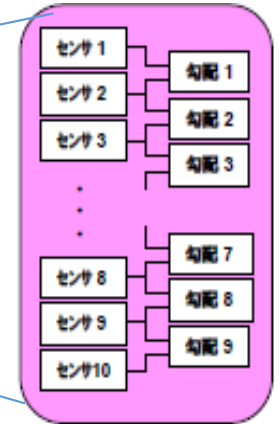
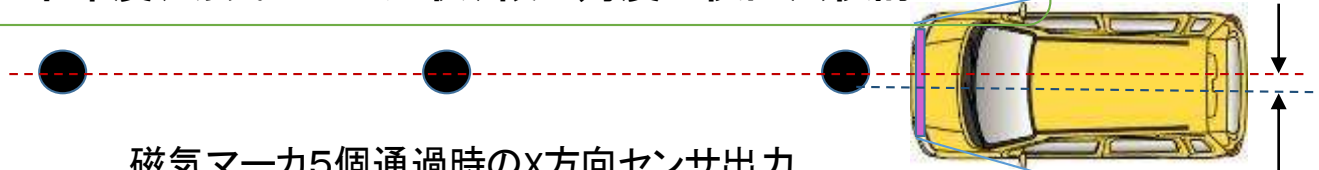
MIセンサ



磁気マーカ特性

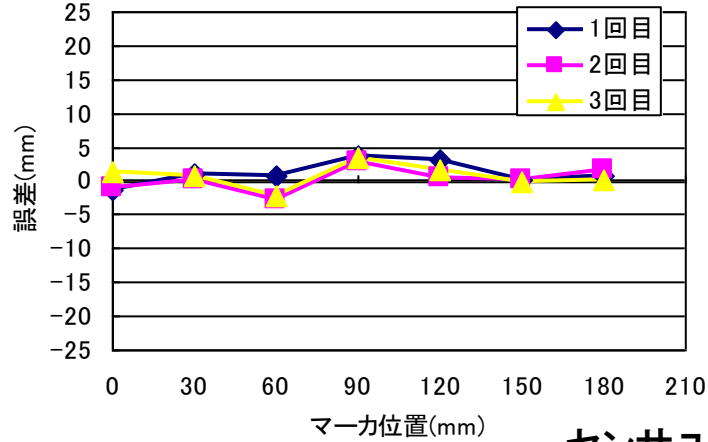
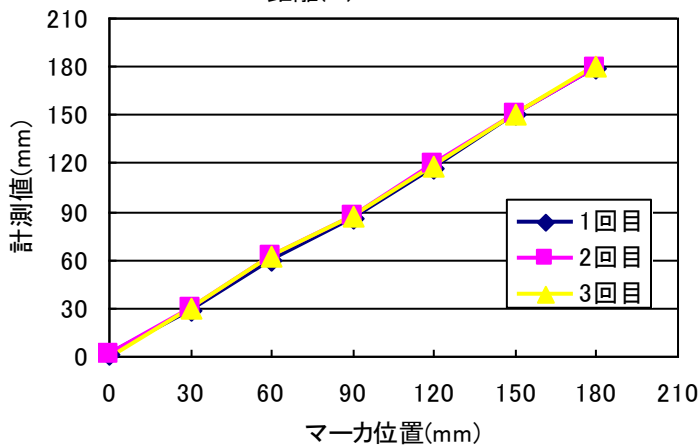
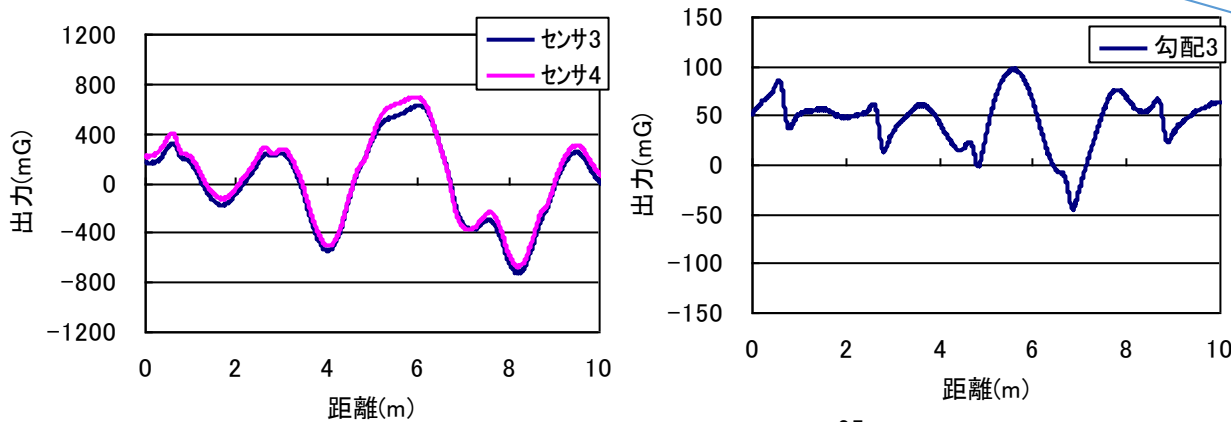
①-3) MIセンサによる横偏差検出性能

- 2015年度の成果:実道にて±0.5cmの検出性能を確認
- 本年度、磁気マーカ形状、傾き角度の検出法検討



センサユニット

磁気マーカ5個通過時のX方向センサ出力

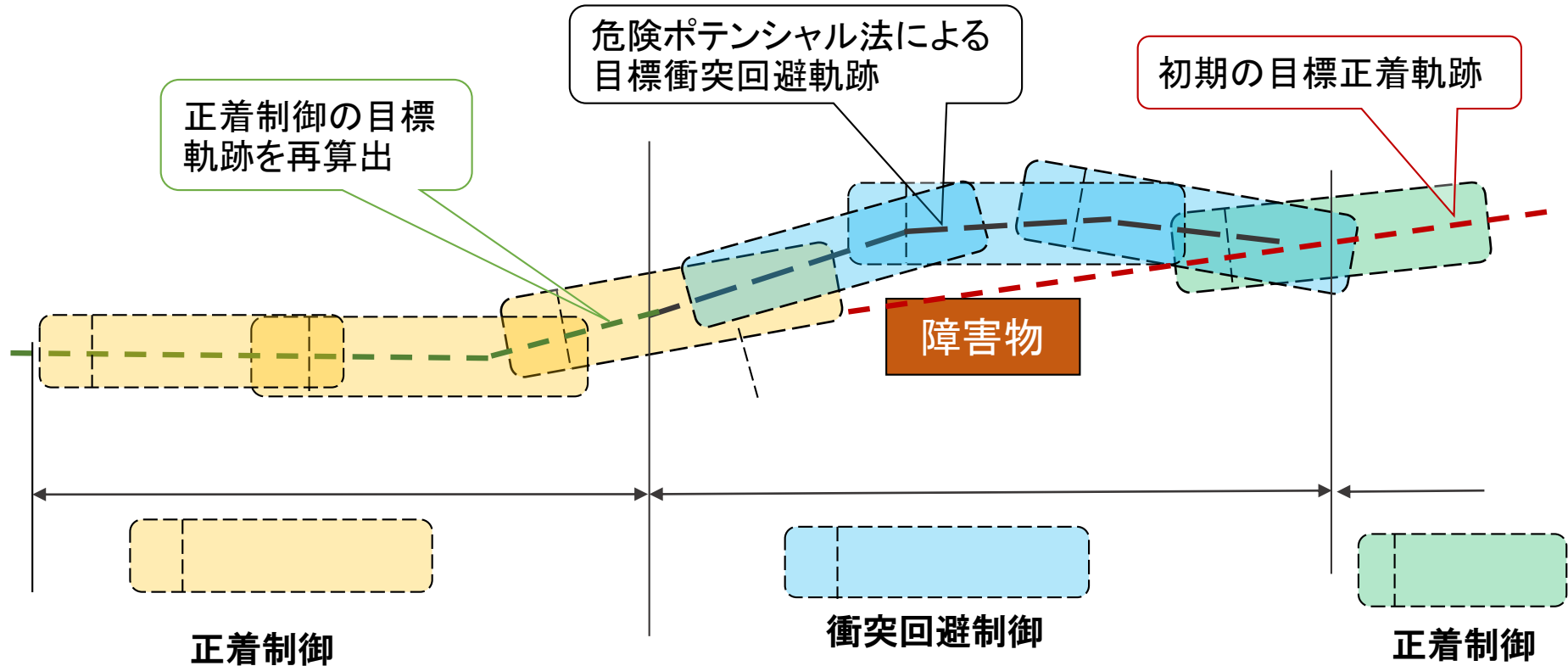


センサユニット横位置検出特性

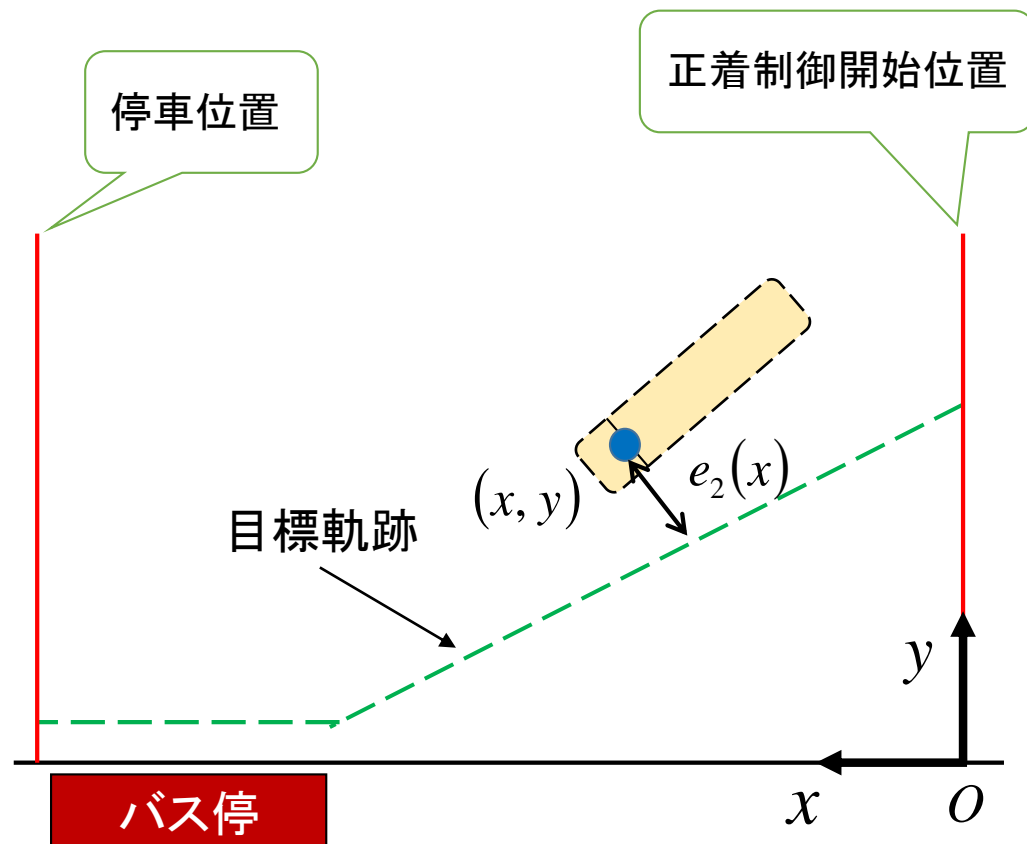
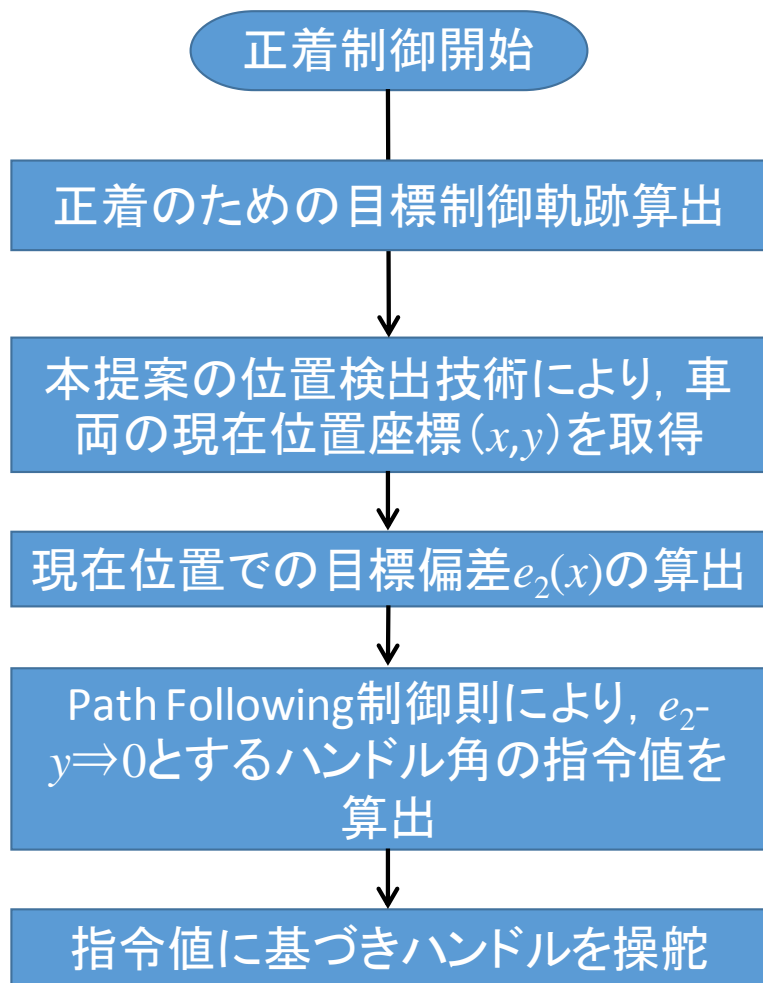
② ロバストな正着アルゴリズムの検討

● 障害物回避を含めた正着制御アルゴリズムの検討

27年度に開発した目標軌跡算出法に**危険ポテンシャル法による障害物回避目標軌跡**を付加したロバストな正着制御アルゴリズムの検討

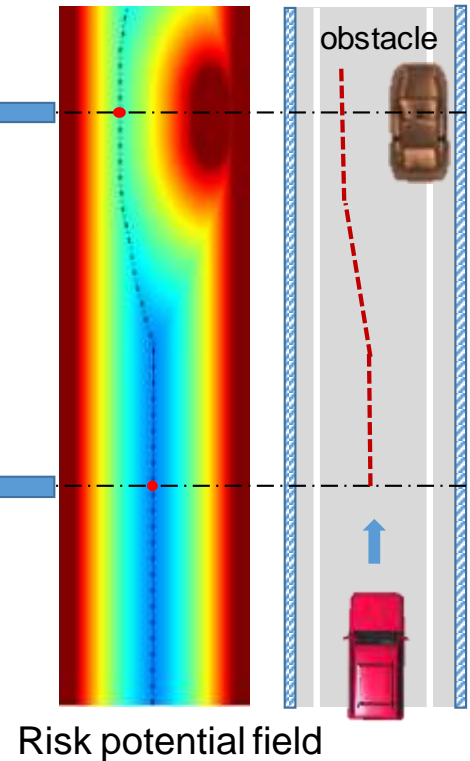
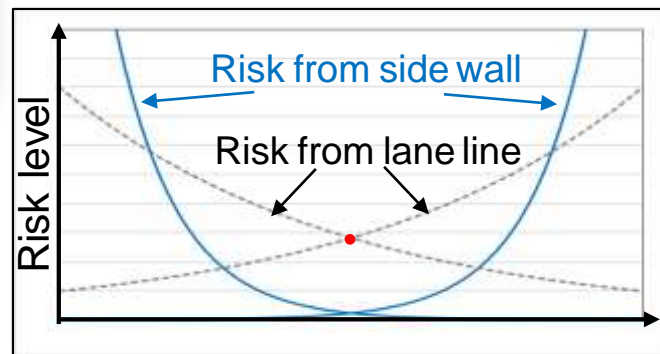
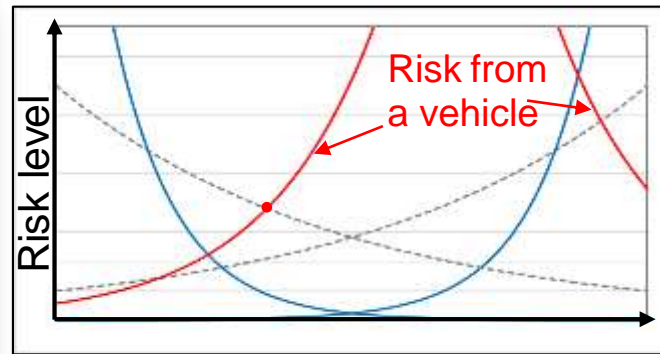
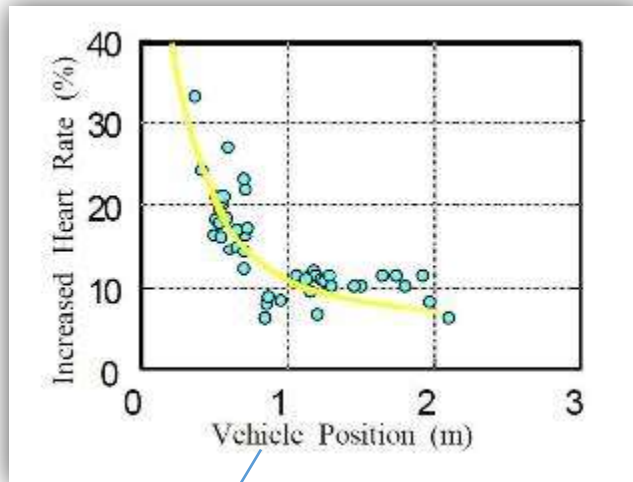


正着制御の基本アルゴリズム



危険ポテンシャル法による軌跡算出

- リスクポテンシャル: ドライバが左右側壁や車両周辺の物体などから受ける危険感覚を指数関数表記したもの
- リスクポテンシャルが最少になる走行軌跡を算出



実施方法

公募項目		検討内容
① テストベンチでの検討	1)高日射反射塗料による位置検出検討	1)、4)、5)項 屋外アスファルト平面路に実験施設を設置 ・通常環境下での性能評価 ・雨天、夜間等での性能評価 ・台車又はバスを使用
	2)画像認識による位置検出検討	
	3)レーザ光路面反射パターンによる位置検出の検討	
	4)ライダーの点群データによる位置検出検討	2)、3)項 机上にて認識アルゴリズム等の方法論を検討する。
	5)磁気マーカとGPSによる位置検出検討	
②実車検討	上記位置検出法の内、実現性の高い位置検出法について実車による正着制御を評価する。	テラス型バス停における正着性能評価 ア 障害物がない場合の正着制御性評価 イ 手動にて障害物回避した場合の正着制御性
③ロバストな正着制御アルゴリズムの検討	危険ポテンシャル法による正着制御アルゴリズム検討	テラス型バス停における正着時のシミュレーションモデルの作成およびシミュレーション評価

本年度のOUTPUT目標

1. 白線等有色線以外の位置検出位置検出技術

5種類の検出技術について調査および実験評価を通じ、性能、コスト、課題について整理をおこない、**実用化すべき技術の絞り込み**をはかる。

位置検出技術	位置検出性能	保守性	ロバスト性 (自然環境変化)	コスト (インフラ、車両)	車載センサ 実用化
1)高日射反射塗料					
2)画像パターン認識					
3)レーザ光反射率パターン					
4)レーザレーダによる ポイントクラウド方式					
5)磁気マーカ+GPS					

2. ロバストな正着制御アルゴリズムの検討

正着実験およびシミュレーションを通じ、正着に対する障害物回避時の制御性能および正着に対する限界領域を見極める。

履行体制図

