

「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」

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・検討における沖縄県での バス自動運転における社会適応性に係る調査

平成29年3月27日

先進モビリティ株式会社

LTEの電界強度およびGPS測位精度の現地調査



モバイルルータ:
NEC『Aterm
MR04LN』



計測車両



ZEPHYR 2 ANTENNA

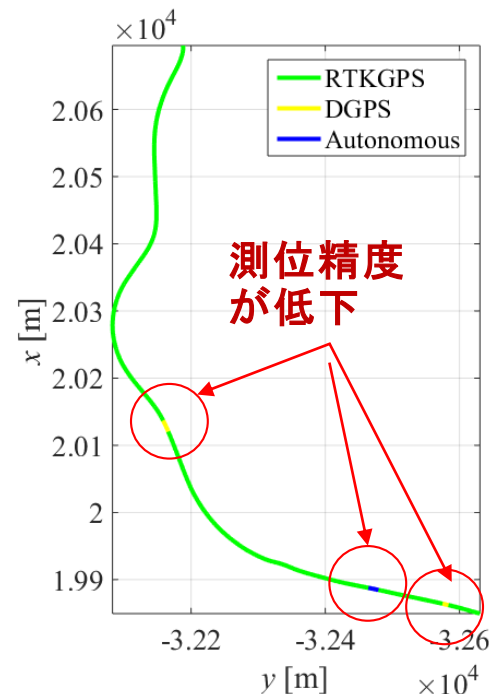
GPSアンテナ:
Trimble『ZEPHYR 2
ANTENNA』



GPSレシーバ:
Trimble『BX935-
INS』



LTEの電界強度の調査結果



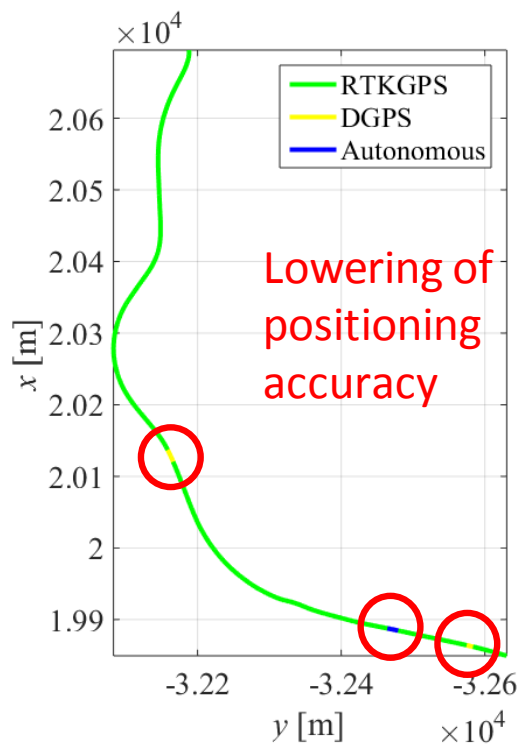
GPS測位精度の調査結果

GPS測位精度改善策

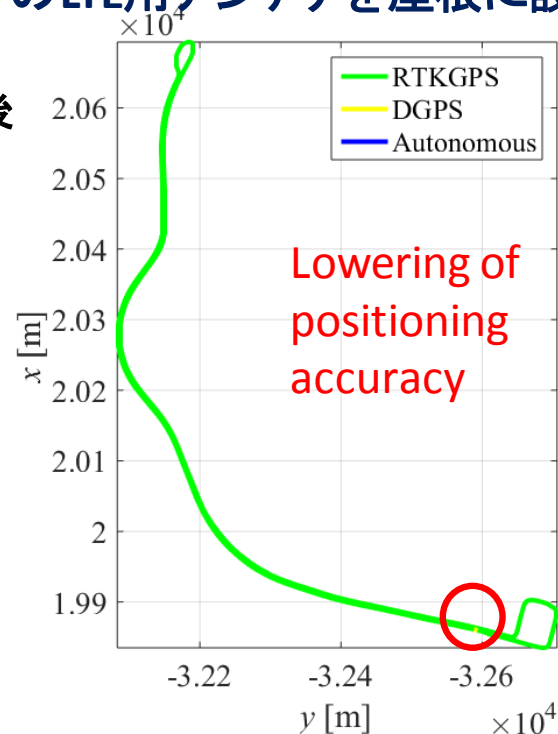


2つのLTE用アンテナを屋根に設置

設置前

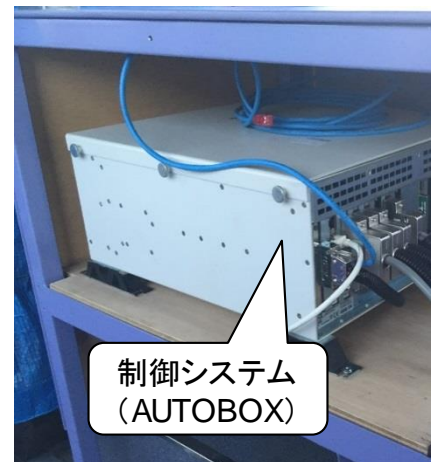


設置後



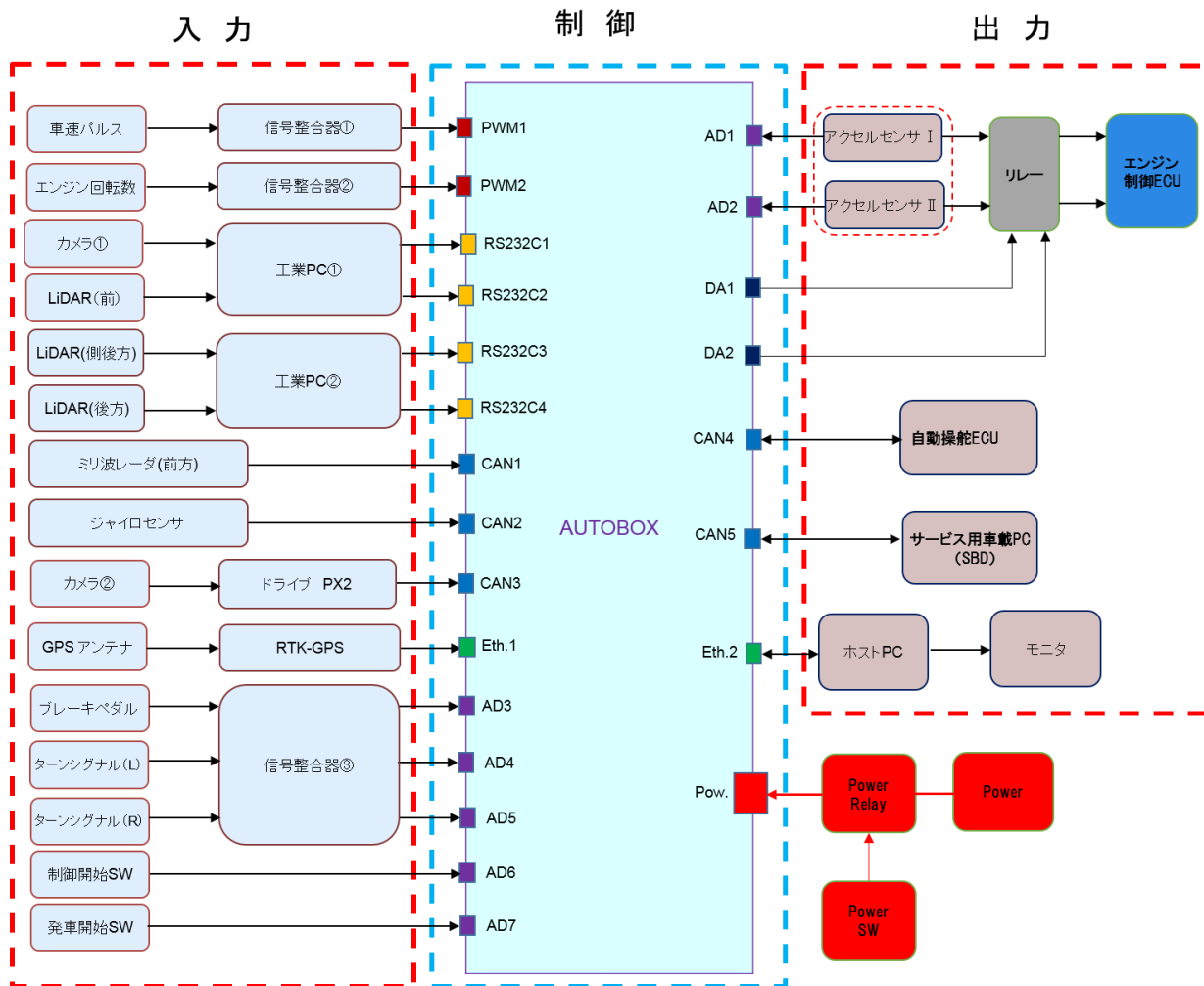
自動走行バス実験車の改装

日野リエッセ(PB-RX6)に対して、各種センサの搭載、自動操舵コラムの交換、自動制御ECU(AUTOBOX)及び各制御機器の搭載を実施



制御システムの構成図

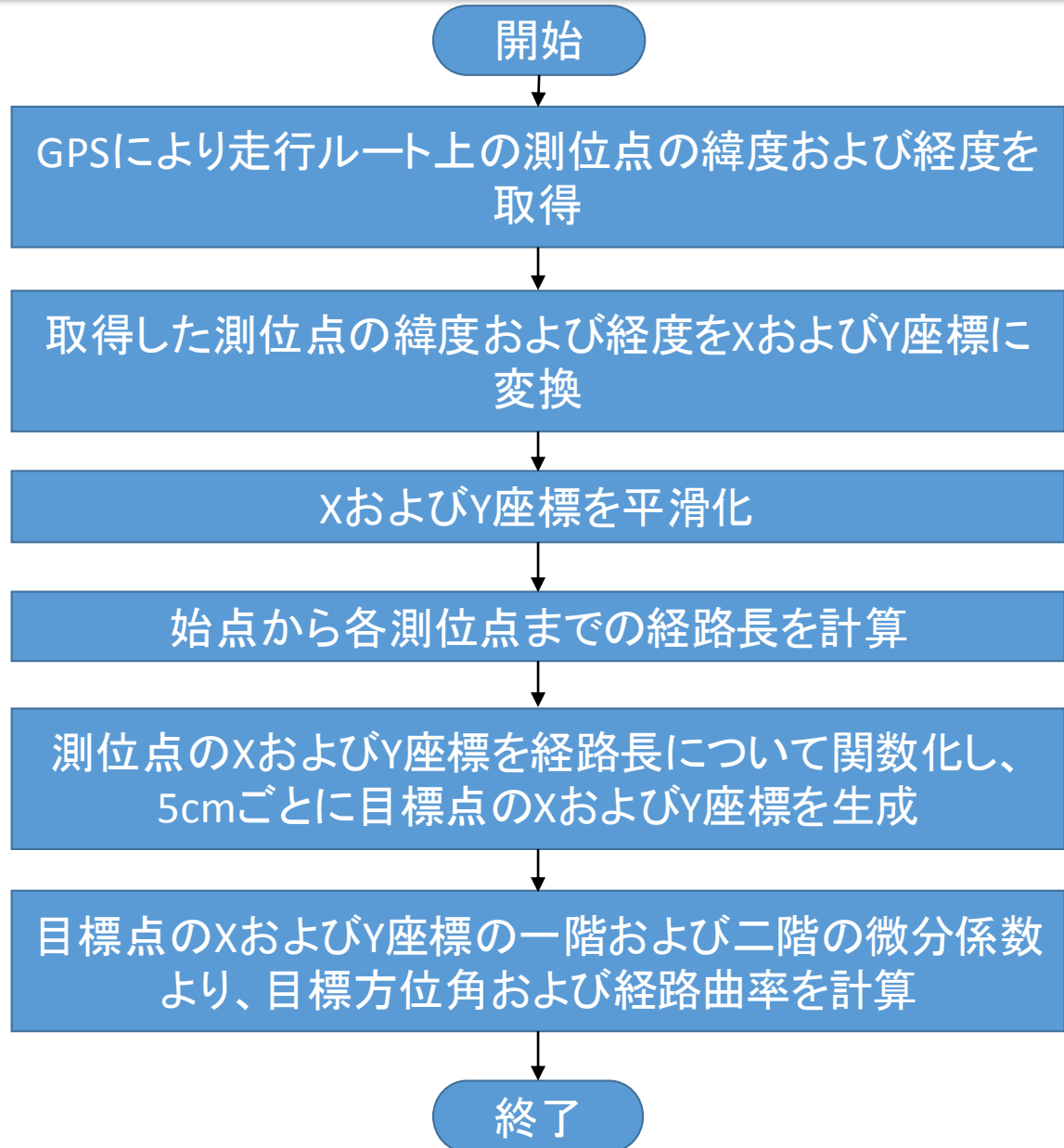
- ①入力部： 車両情報およびセンサ情報
- ②制御部： 制御ECU（dSPACE社AUTOBOX）
- ③出力部： 速度制御、自動操舵制御、サービス用車載PCとの通信とHMI



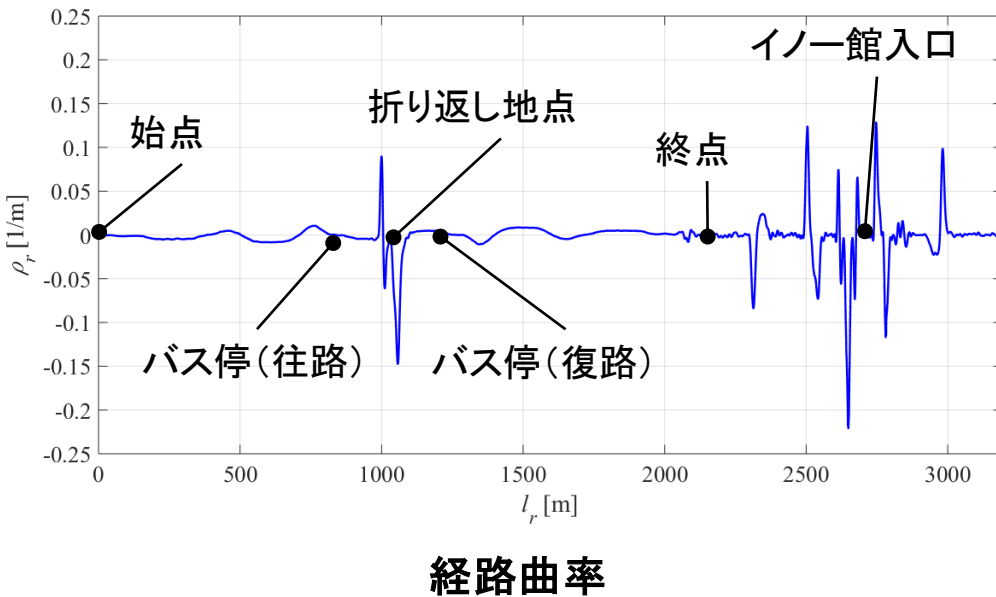
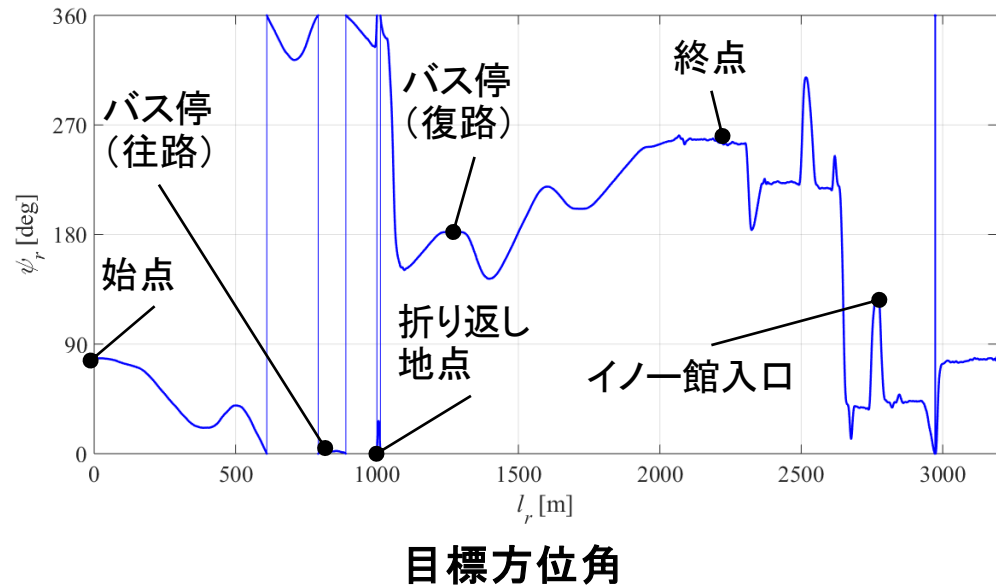
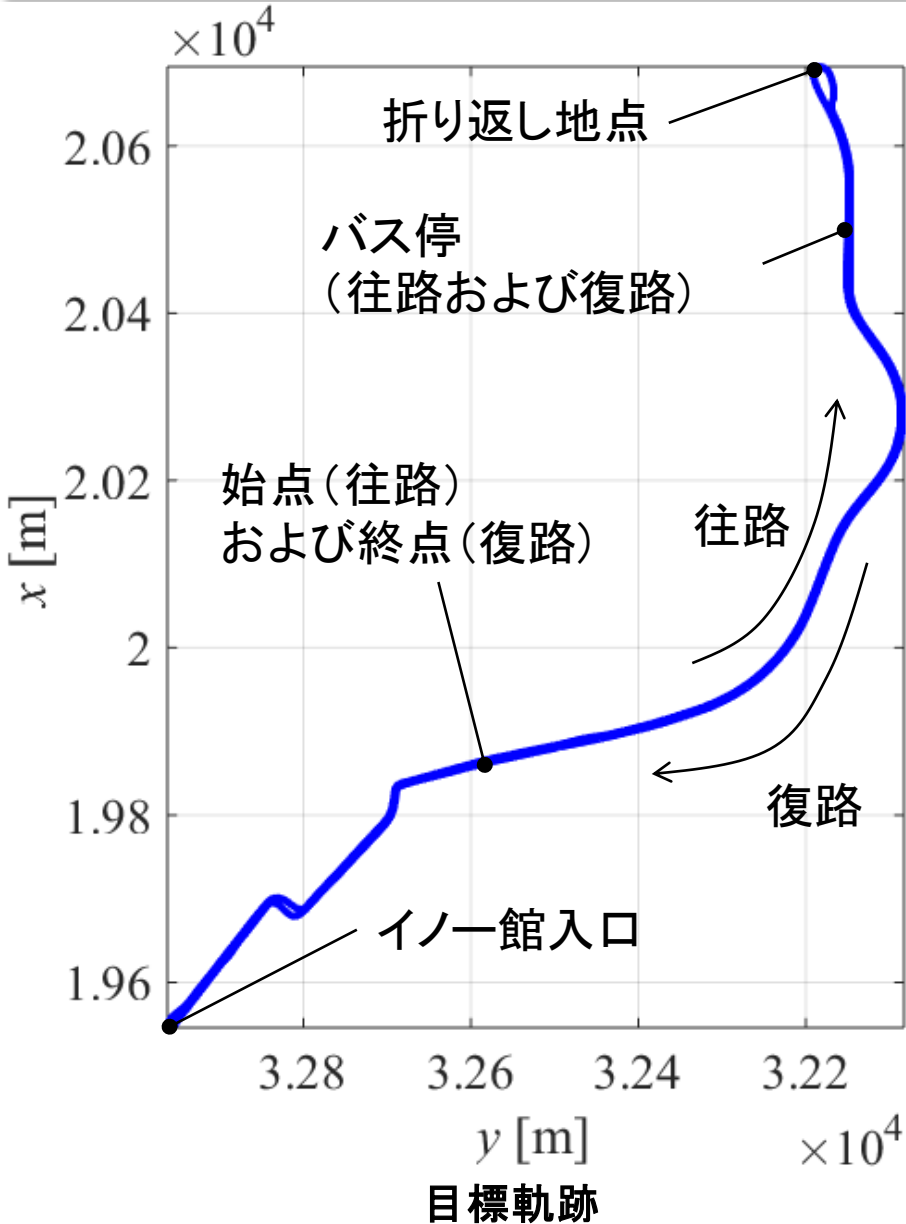
目標軌跡生成手順

目標軌跡は制御偏差およびFF制御の計算に使用される目標点を滑らかに結んだ軌跡である。

各目標点はXおよびY座標、目標方位角、経路曲率および始点からの経路長の情報を有する。



生成した目標軌跡



車線維持制御ソフトのパラメータ調整

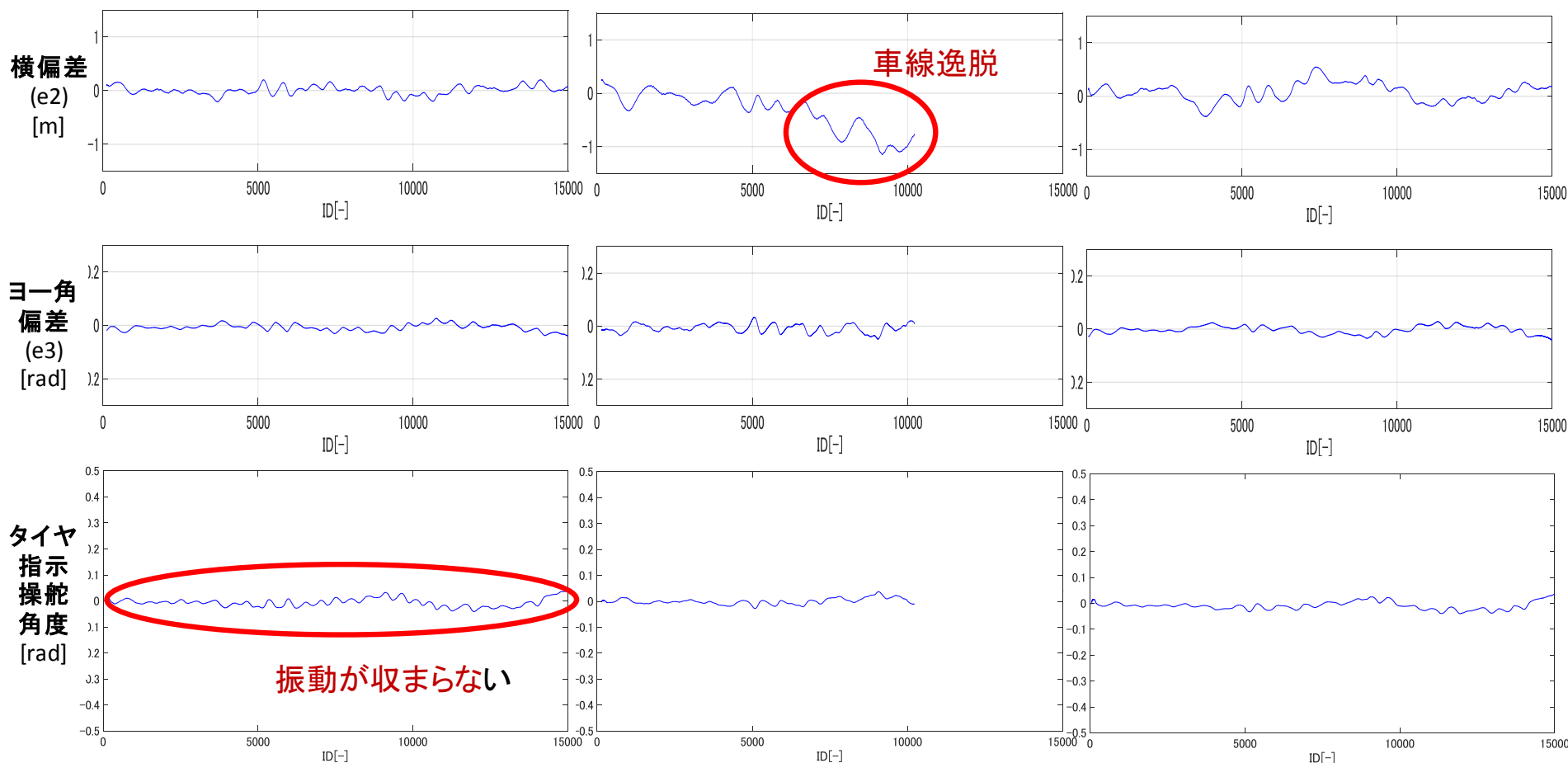
■ 横偏差(e2)、ヨー角偏差(e3)のフィードバックゲインであるK2、K3を調整

$$\delta_c = \frac{MV}{2K_f} \left[\frac{2(K_f l_f - K_r l_r)}{MV^2} \gamma + \frac{2(K_f + K_r)}{MV} \beta - K_2 e_2 V - K_3 \sin e_3 \right] + \delta_r$$

K2、K3が大きいとき

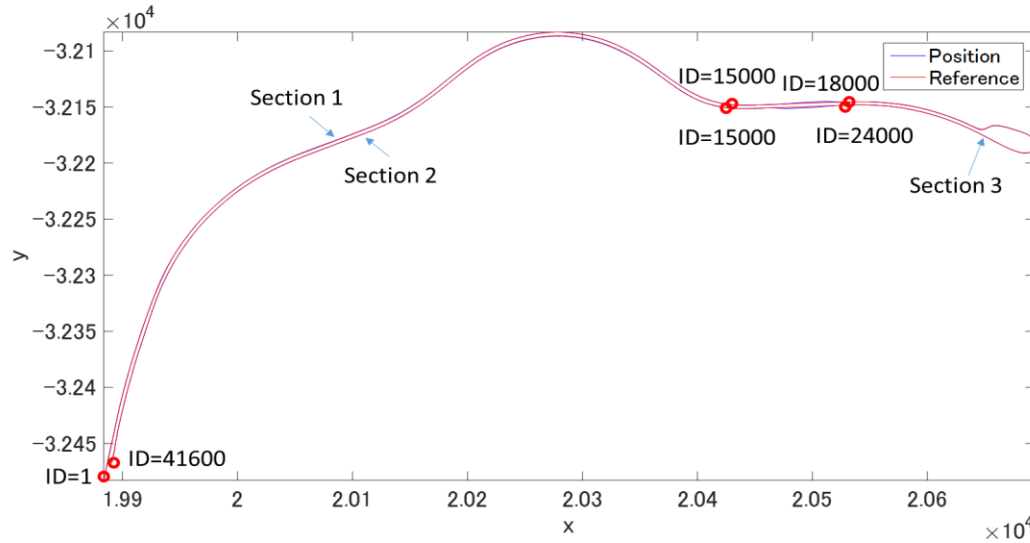
K2、K3が小さいとき

K2、K3 調整後

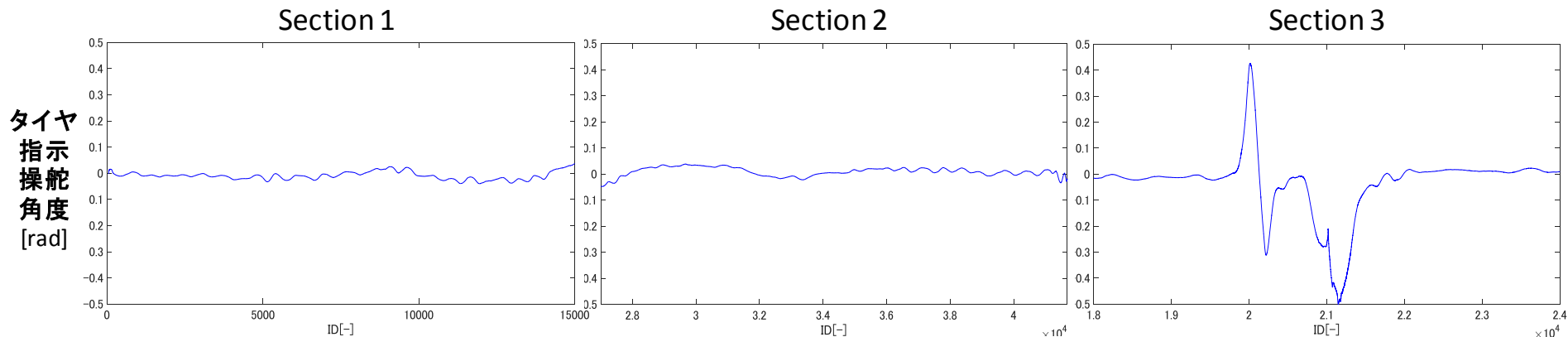


車線維持制御ソフトのパラメータ調整

■ Sec.1、2(ゆるやかな曲線と直線部)、Sec.3(左折、Uターン部) とも問題なく走行可能

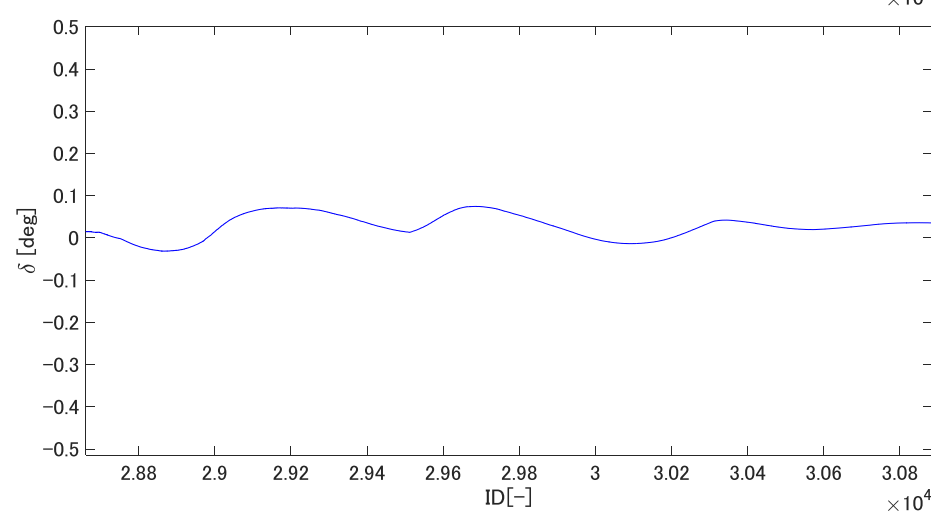
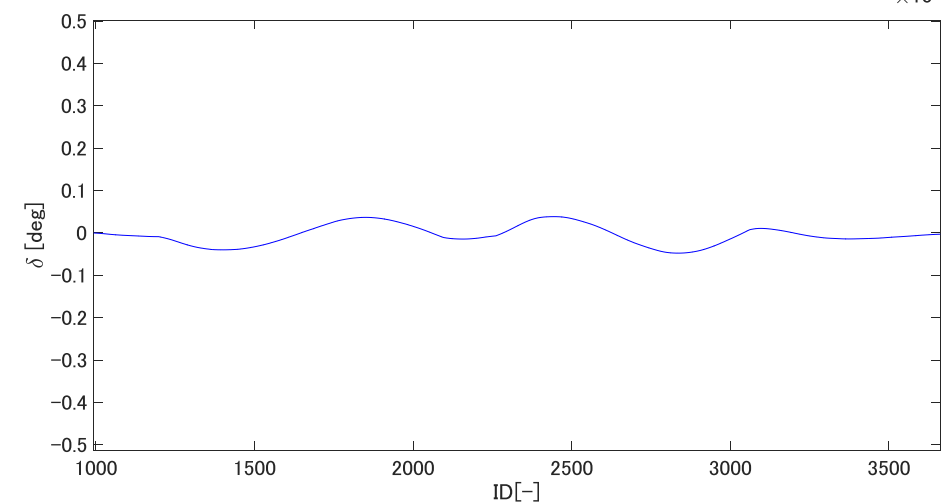
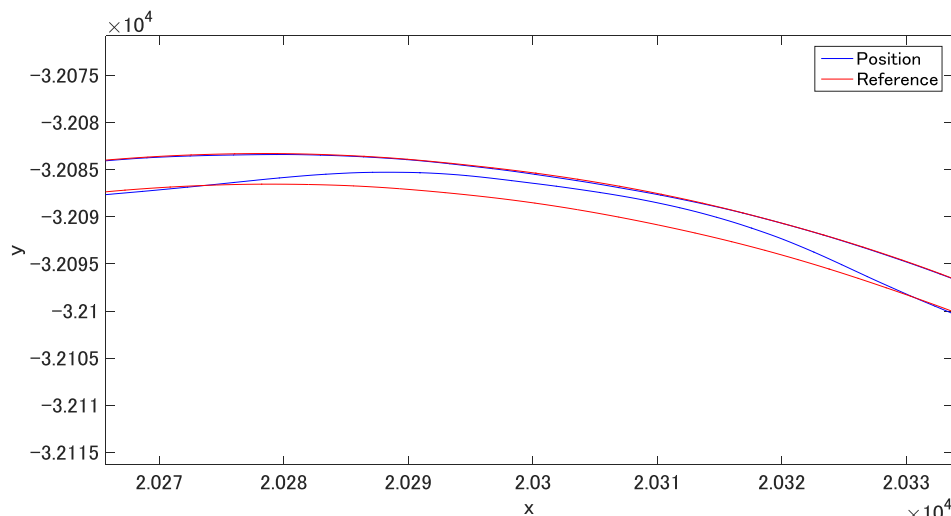
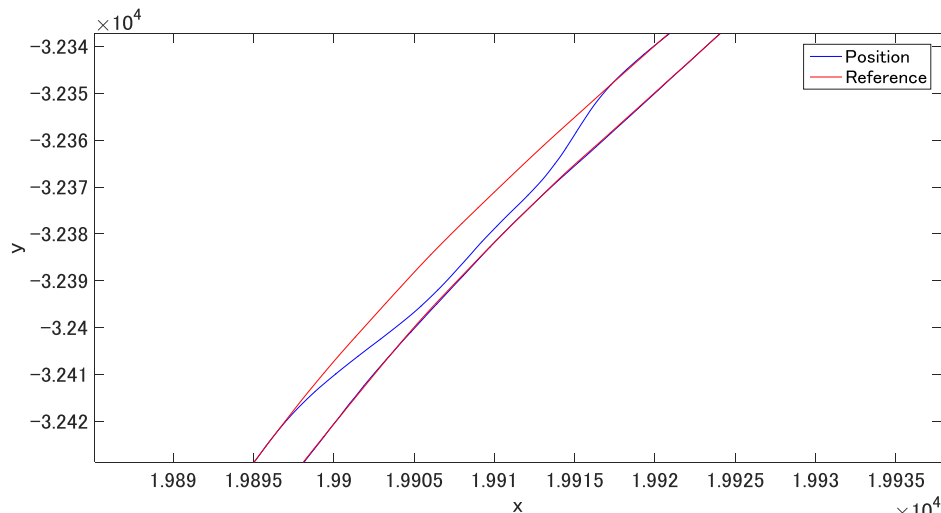


自動運転コースの目標軌跡



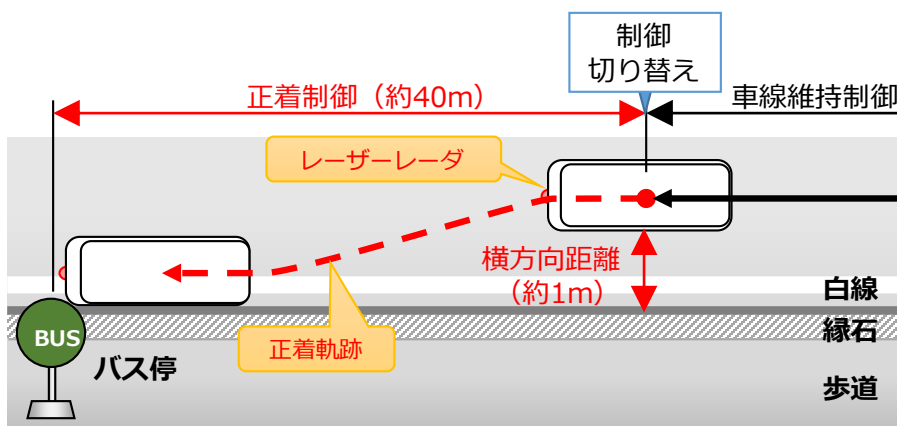
車線変更制御ソフト設計とパラメータ調整

- 車線変更開始時点で、目標軌跡、ヨー角、曲率が連続的になるように新たな軌跡を生成
- 曲率の小さい区間、比較的大きい区間とも、**車線変更がスムーズにできることを確認**

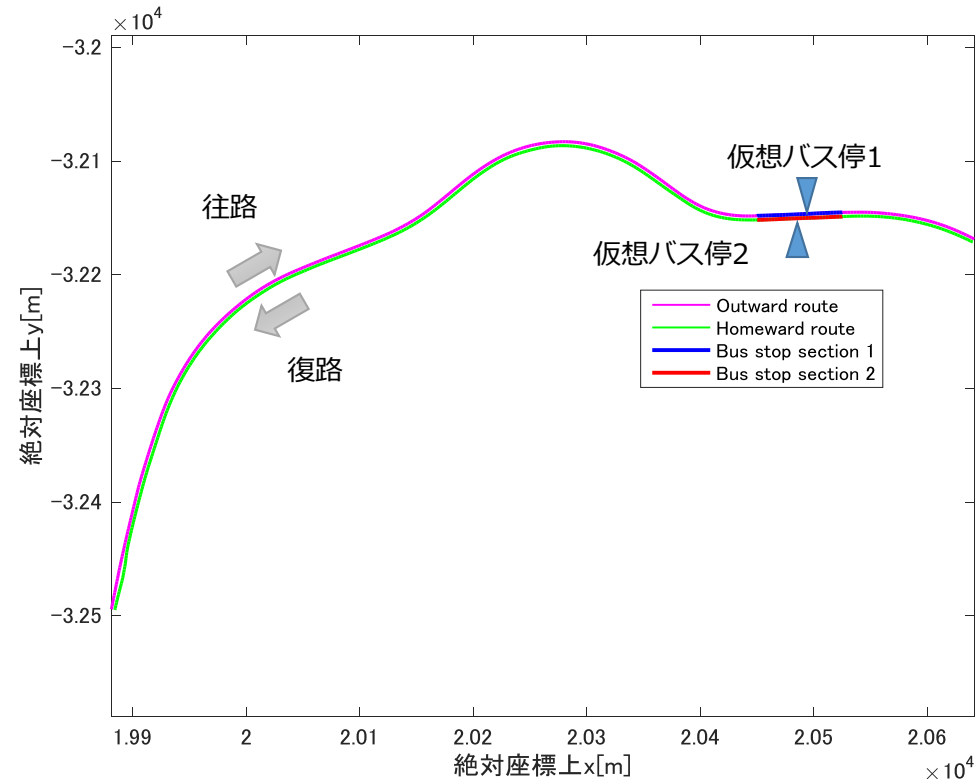


正着の概要

- 一般的にも多く採用されている直線型バス停を対象として正着制御を実施した
- バス停は、実証実験コースの直線と見なせる区間に仮想的に設置
(往路、復路それぞれ一箇所)
- ①本線を車線維持制御で自動運転している状態から、②バス停付近(約40m手前)で正着制御に切り替え、③縁石に寄せてバス停に停車することとした



バス停への正着制御イメージ



実証実験コースと仮想バス停位置

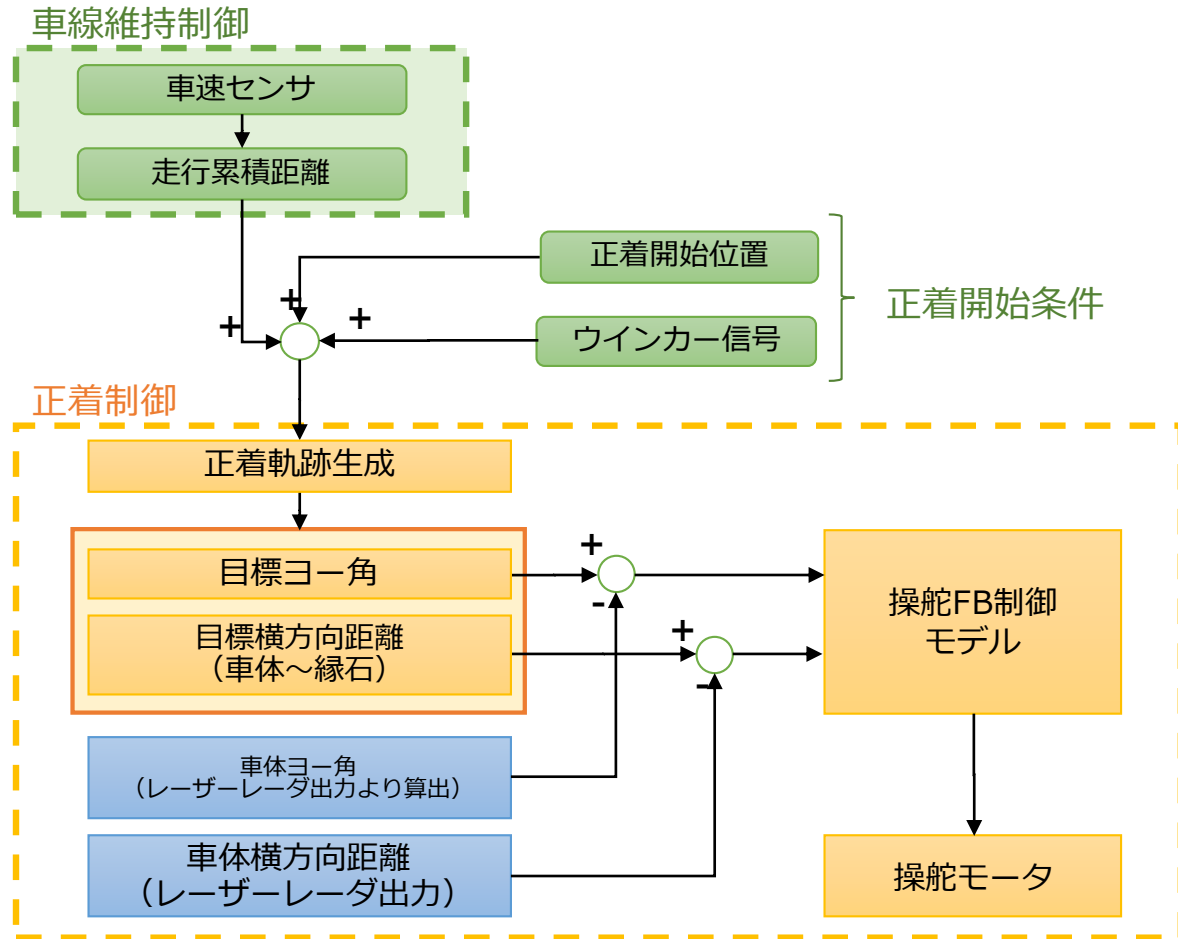
正着制御のシステム構成

■正着制御への切り替えは、本線(規定コース)の車線維持制御による走行中から、正着開始点情報およびウinker信号を開始条件とし、車両制御状態をシームレスに移行できるようにシステムを構築

■ウinkerおよびブレーキ操作は、ドライバーによる手動操作

■正着開始時の速度は、約15km/hに抑え、制御開始とともに加速を停止し、正着目標地点近傍まではエンジンブレーキにより減速

■正着目標地点(仮想バス停)では、手動ブレーキ操作で停車



正着制御のシステムフロー図

正着制御のパラメータ調整

- 操舵FB制御は、パスフォロイング制御アルゴリズムを用いた
- FB制御ゲイン K_2 および K_3 は、正着制御においては以下の観点で調整を図った
 - ✓ 乗り心地および感受性を考慮し、急激な挙動変化無くスムーズに縁石側に接近すること
 - ✓ 縁石に寄り過ぎることなく、直進安定性が保たれていること

$$\delta_c = \frac{K_f l_f - K_r l_r}{K_f v} \gamma + \frac{Mv}{2K_f} \omega_c$$

$$\omega_c = -K_2 e_2 v_r - K_3 \sin e_3$$

ω_c : FB制御部
 γ : ヨー角
 e_2 : 横方向偏差
(車体と縁石の距離)
 e_3 : 車両と縁石の
接線角偏差
 K_2, K_3 : 操舵FBゲイン
 M : 車重
 v : 車速

※ ヨーレート γ に対する補正項は車両運動モデルから導出されたもので、発生しているヨーレートをゼロにするための修正操舵角であり、制御安定性を向上させるものである。

正着精度の検証

- **正着距離は4cmを目標**とし、往路、復路各12回(合計24回)分を評価
- 実験は乗員2~4名で実施
- 正着距離は、停車時のレーザーレーダの検出した縁石との距離とした



正着完了時の様子
(前後)

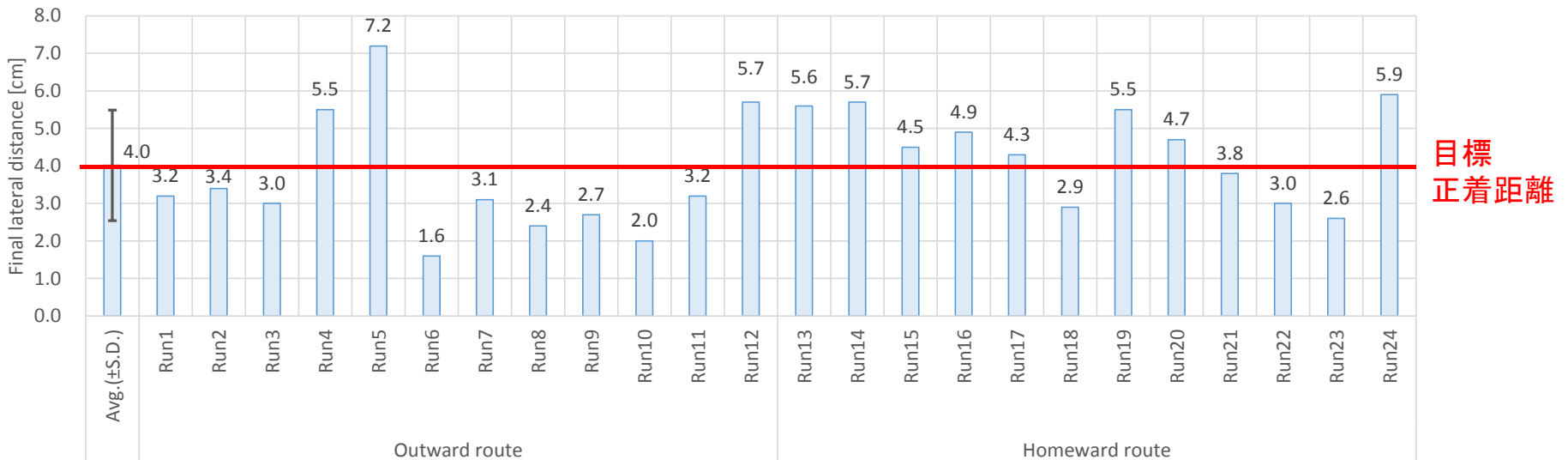


正着完了時の様子
(側方および仮想バス停、縁石との隙間)

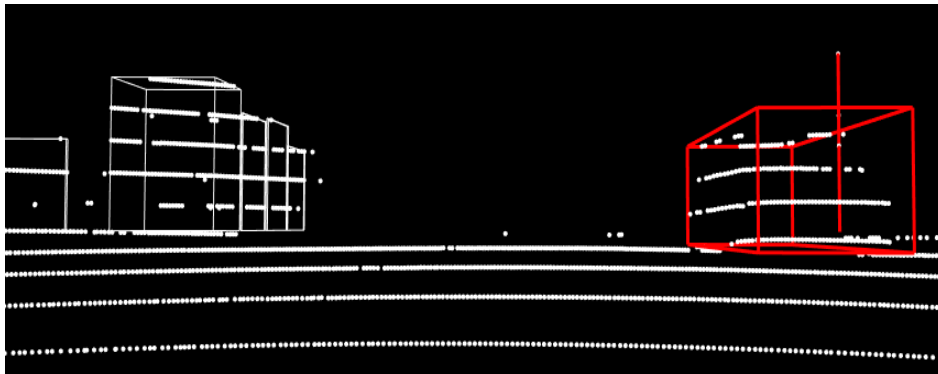
正着精度の評価

正着距離は平均4.0cm(標準偏差1.47)、最大7.2cm(平均+3.2cm)、最小1.6cm(-2.4cm)となることを確認した。また、縁石と接触するケースは確認できなかった。

- 復路は往路に比べて正着距離が大きい傾向となっている。
⇒ 道路の傾き等が影響していることが考えられ、**制御モデルに道路情報を正確に反映**することで
一層の精度向上とロバスト性が期待できる可能性が考えられる。
- 往路復路それぞれのバラツキは、**ドライバーによるブレーキ操作といった要因**が考えられる。
⇒ **ブレーキも自動化して減速制御**することで改善が望めるものと考えられる。



LiDARを用いた障害物検出



LiDARによる障害物検出結果

・路面点群の除去

局所領域毎に垂直方向の点群のばらつきを計算し、路面点群と立体物点群とに切り分ける

・クラスタリング

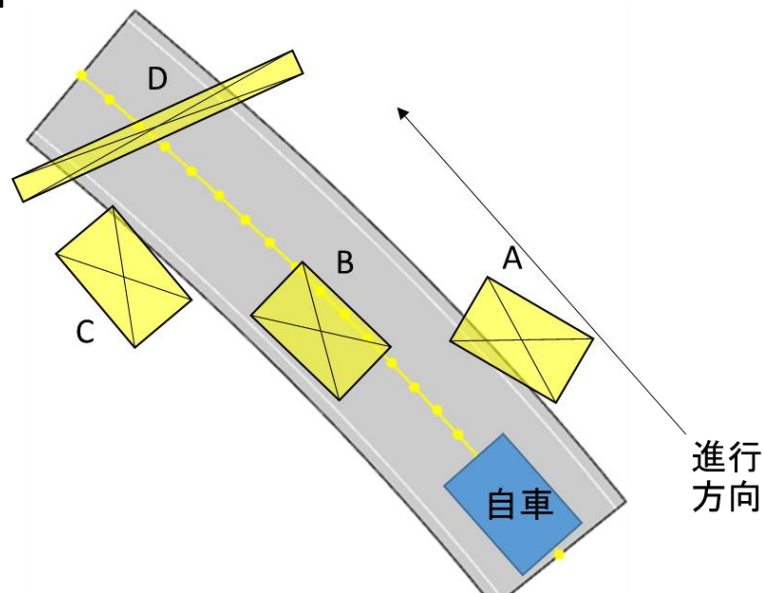
クラスタリング処理によって障害物点群を塊毎に切り分ける

・矩形の計算

各クラスタに関して、点群の分布に基づいて矩形の向きと大きさを算出する

障害物車線内判定アルゴリズム

1. 自車のGPSより出力される絶対座標および方位角、LiDARから出力される障害物の矩形の各頂点までの相対座標より、矩形の頂点および重心点の絶対座標を計算
2. LiDARで計測した障害物各頂点および重心点までの前方距離より目標点を参照
3. 各目標点の車線幅内にその目標点を参照した障害物の頂点あるいは重心点が存在するか計算
4. 3.において一つの目標点あるいは重心点でも車線内にあれば、障害物が車線内にあると判断



物体	車線内判定
A	○
B	○
C	×
D	○

【現状】

障害物(車線内)の未検知は、未発生

【今後の課題】

誤判定を減らすロバストなアルゴリズム構築

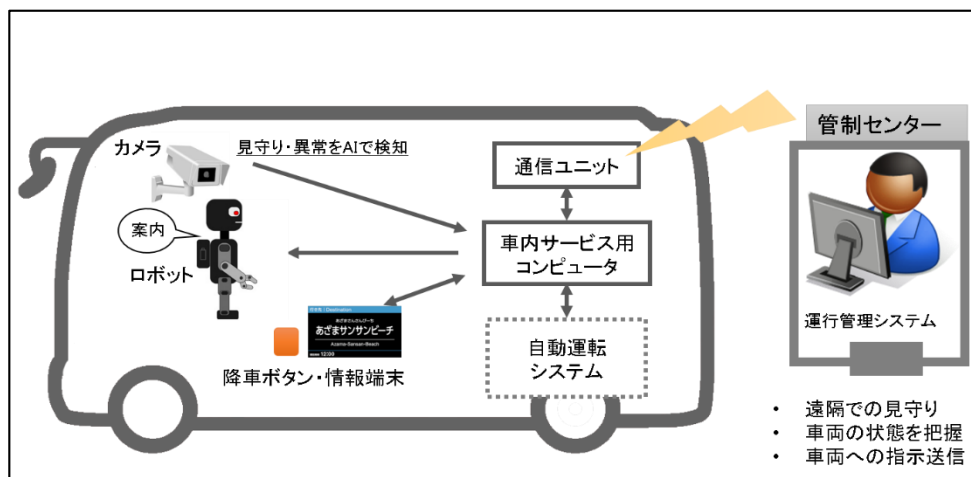
3月24日、25日 自動走行バスの受容性調査(1)

■ 3月24日及び25日に地域交通事業者等を対象にした試乗会を実施

- ・ 試乗前に本事業の概要について説明
- ・ 試乗後に自動走行技術と車内サービスシステムについてアンケートとヒアリング調査を実施



会場風景



車内サービスシステムイメージ図。車両内に①車両情報を伝達するロボット、②車内状況及び車両状況を遠隔からみまもるためのカメラ等を搭載。

3月24日、25日 自動走行バスの受容性調査(2)

■アンケート結果

- ・自動車線維持技術について29人中23人が試乗前は「懐疑的で不安だった」と回答
→試乗後は29人中28人が「信頼できる技術であり安心を覚えた」と回答
- ・自動車線変更技術について29人中25人が試乗前は「懐疑的で不安だった」と回答
→試乗後は29人中24人が「信頼できる技術であり安心を覚えた」と回答
- ・車内サービスシステムについては「ロボットの音声が聞こえにくい」「車内温度の監視まで出来ると良い」などの意見を得ることが出来た。

■ヒアリング結果

- ・車線維持制御機能は概ね好評であったが、課題として「イレギュラーな落下物への対応」「割り込み車両への対応」が挙げられた。
- ・車線変更制御機能は「車線変更時の動きが速い」という意見が挙がった。
- ・正着制御機能については「バス停に一般車両が路駐している際の対応が気になる」「車内が大きく揺れた時の車内事故等が心配」という意見を得ることができた。
- ・車内サービスシステムについては「バスの遅延情報を乗客に伝えられるとよい」「運賃収受をどうするか課題」等の意見を得ることができた。

次年度以降の実証実験場所候補の調査(1)

■ 沖縄県の離島(石垣島、宮古島、久米島、波照間島、多良間島)を調査

- ・ 道路線形や交通状況、実験路線距離およびバス利用者の有無等 (文献、WEB)
- ・ 石垣島と宮古島については現地調査を実施

項目	石垣島		宮古島	
現地調査	実施日03/21		実施日03/21	
想定 走行ルート	北方面 国道390号	南方面 国道390号 および県道79号	県道190号線 県道202号線 県道235号線	
道路	道路幾何構造 (車線数、交差点、信号)	国道仕様 信号なし 無信号交差点	国道仕様 信号あり、交差点あり	信号あり、交差点あり
	道路構造ほか (白線工、舗装種別、路肩、歩道)	白線あり 一部歩道あり	白線あり 歩道あり	白線あり 一部歩道あり
	道路施設 (橋梁、トンネルなど)	なし	なし	なし
既存バス路線	あり		あり	
バス停	標識のみ	バスベイあり/屋根付き	空港 観光地	
乗り合い旅客自動車 運送事業者	14		8	
交通拠点など	空港 観光地	空港 役場 観光地 フェリーターミナル	空港 リゾートホテル 観光地、トイツ村	
需要予想	観光、北部地区 需要は低い	都市部 需要は高い	観光中心 需要普通、シフト予測困難	
予測利用者	一部旅行者	住民 旅行者	一部旅行者 ホテル関係者	
評価	×	○	△	

項目	久米島	波照間島	多良間島	
現地調査	WEB等	WEB等	WEB等	
想定 走行ルート	県道89号線		県道205号線	
道路	道路幾何構造 (車線数、交差点、信号)	一部あり	要調査	一部あり
	道路構造ほか (白線工、舗装種別、路肩、歩道)	白線有	要調査	要調査
	道路施設 (橋梁、トンネルなど)	なし	なし	なし
既存バス路線	あり	有償バスあり (乗り合い小型バス)	要調査	
バス停	バスベイなし	要調査	要調査	
乗り合い旅客自動車 運送事業者	4	2	3	
交通拠点	空港 役場	空港なし 港 観光地	空港 港	
需要予想	需要は普通 シフト予測困難	需要は少ない シフト予測困難	需要は少ない シフト予測困難	
予測利用者	住民	住民 一部旅行者	住民	
評価	△	×	△	

■ 調査結果

- ・ **石垣島(南方面)の空港～石垣市街地間** の国道390号沿線 を候補地として抽出

次年度以降の実証実験場所候補の調査(2)

■候補地の詳細（石垣島南方面ルート）

・ルート

- ・空港～石垣市街地・フェリーターミナル間
- ・国道390号線、県道70号線

・走行環境面として優れている点

- ① 本推奨ルートは、空港から石垣市に向かうルートであり、多くの利用者が見込まれるとともに、潜在ニーズの掘り起こしが期待される。
- ② 路線バスが通っており、住民（高齢者など）だけでなく旅行者にも親しみがある。
- ③ 国道仕様で歩道が設置されており、歩車分離が確保でき、安全性が高い。
- ④ 車道の維持管理状況（舗装状況、道路付属施設等）が非常に良い。
- ⑤ 白線も明確になっている。
- ⑥ バス停留所は、屋根付きで切欠きがあり、一般交通への影響が少ないルートとして、人々が最先端の技術を身近で見、体験できる交通施設となり得る可能性が高い。
- ⑦ 景観的にも、次世代交通導入にふさわしい環境となっている。
- ⑧ 石垣島のさらなる観光資源として、日本全体に発信することができる。

・技術的面でふさわしい点

- ① 走行ルート路線の舗装状況が非常に良好である。
- ② 歩道設置されており、歩車分離が確保でき、安全性が高い。
- ③ フェリーターミナル、空港ともに十分な土地（発着場所としてのの）を確保できる。
- ④ フェリーターミナル、空港とも、自動走行車両の正着可能な距離を確保できる。
- ⑤ 現状の「自動走行技術」で路線の70%程度以上の自動走行化は可能
- ⑥ 石垣市内の交通、交差点付近は、運転手による操舵を行う
- ⑦ 実際的なモーダルシフトの円滑性の確認の検証ができる。

・課題

- ・市街地中心部を走行 ⇒ 部分的に手動運転の可能性あり



南方面ルート 市街地