

**「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）
自動走行システム／大規模実証実験／
次世代都市交通／
次世代都市交通システム正着制御に係る
センシング技術や制御技術の実用化」**

成果報告 概要

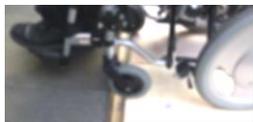
2019.2.28
(株)ジェイテクト
研究開発本部

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や制御技術の実用化

センシング技術と制御技術を融合し、自車位置検知から制動、操舵制御までの制御技術を一本化、将来含め最適な正着制御技術のあるべき姿を検討する。

目指す姿

① 停留所での円滑な乗降



- ・安全な乗降
- ・乗降時間の短縮

② 悪条件下でも安定正着

- ・狭いバス停や、バス停付近に違法駐車があっても可能な範囲で最善の正着軌跡がとれる

③ 滑らかな減速旋回での正着



- ・車内事故防止
- ・乗客の快適性向上

④ 運転者と協調した正着制御



把持

操舵

・ドライバーによる緊急回避を可能にする

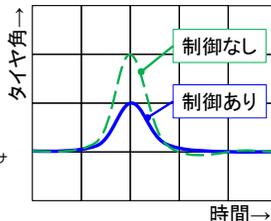
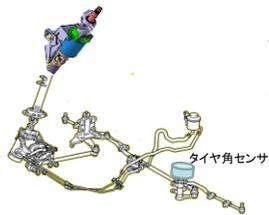
具体策

1) 法令線と両立できるセンサフュージョン技術



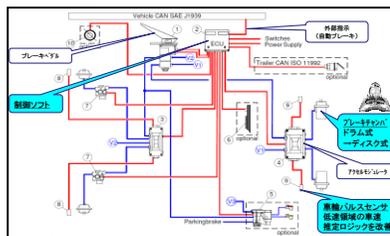
- ・最適センサ技術組合せ
- ・対環境ロバスト性の向上
- ・インフラの整備の最小化
- ・イメージ処理部高速化

2) 操舵系システム制御性能向上



- ・操舵進み制御
- ・アクチュエータ系機械リンク系の不感領域や応答遅れ低減

3) 加減速/旋回時のジャーク低減



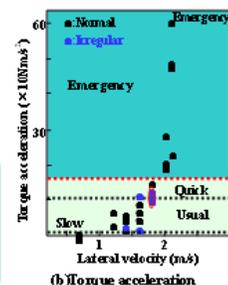
- ・操舵/制動の高度協調制御
- ・予測制御ロジック

4) 運転者の操作と自動制御の利点の両立

- ・操舵トルク偏差、操舵トルク変化加速度などからドライバーの意図を判定

将来の実用化に向けた取り組み

- EPS用ECU技術活用
- ・機能安全対応
- ・操舵・制動の統合連携制御
- ・制御処理部の乗用車用との共用(標準化)



1) 正着制御に関する課題調査

- 操舵系システム制御性能向上
- 制動系システム制御性能向上
- 大規模実証実験

操舵系システム制御性能向上

- 制御ゲインの最適化
- 横偏差算出の最適化
- 操舵系あそびを考慮した制御

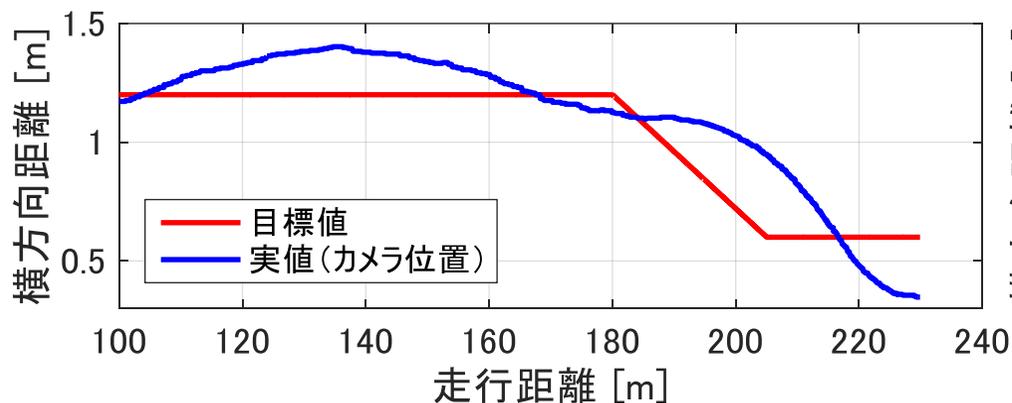
制御ゲイン k_2 （目標との横偏差の縮小に寄与する項）

直線走行から正着まで一律 → 直線走行／正着で切替

⇒ 各シチュエーションに合わせた最適な車両挙動の実現が可能

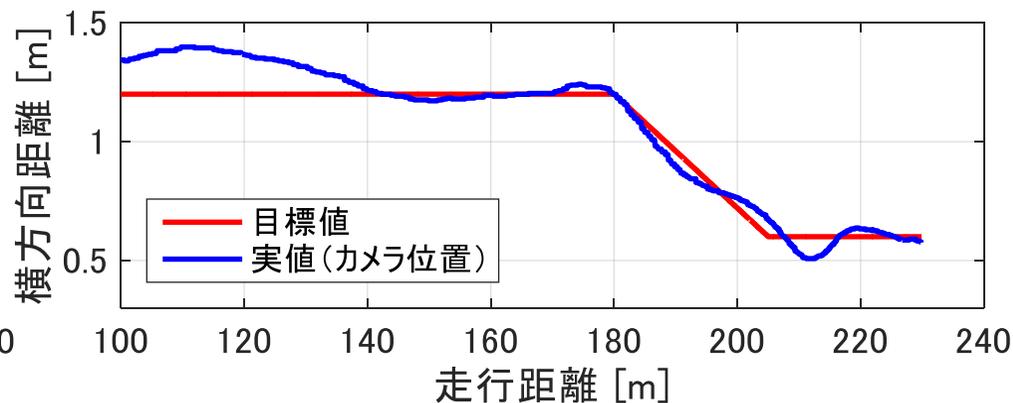
直線走行から正着までゲイン一律

（直線時に調整した設定）



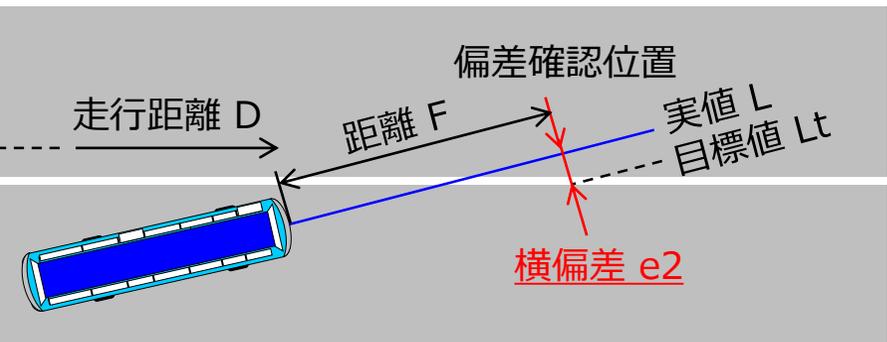
直線走行／正着でゲイン切替

（各シチュエーションで調整した設定）



◎ 目標への追従性が大幅に向上

- ① 目標横方向位置に対しても、偏差確認位置での値を採用
 ※横方向距離(実値)には偏差確認位置での横偏差を使用 (昨年度より実施済)
- ② 速度, 走行条件(直進/正着)に応じて, 最適な偏差確認距離を抽出

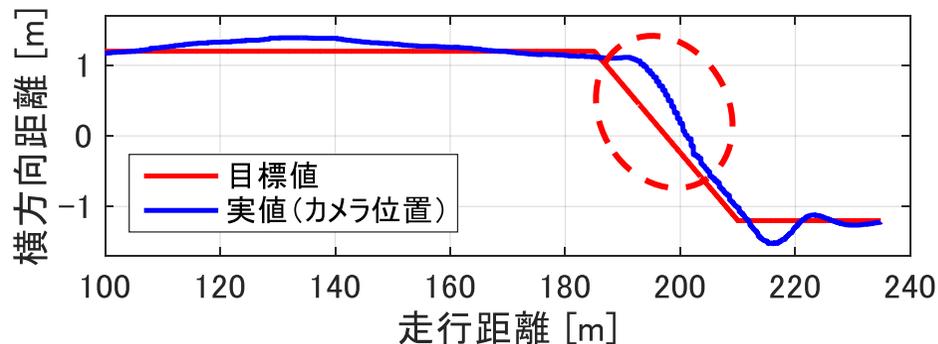


$$e2 = Lt(D + F) - L(D + F)$$

偏差確認位置での横偏差
 走行距離 (目標値)
 横方向距離 (実値)
 車体から偏差確認位置までの距離

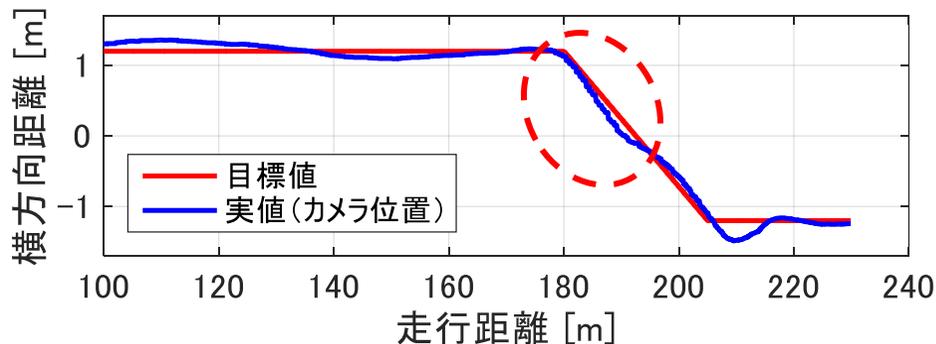
目標値：車体前端位置 の場合

$$e2 = Lt(D \text{ [] }) - L(D + F)$$



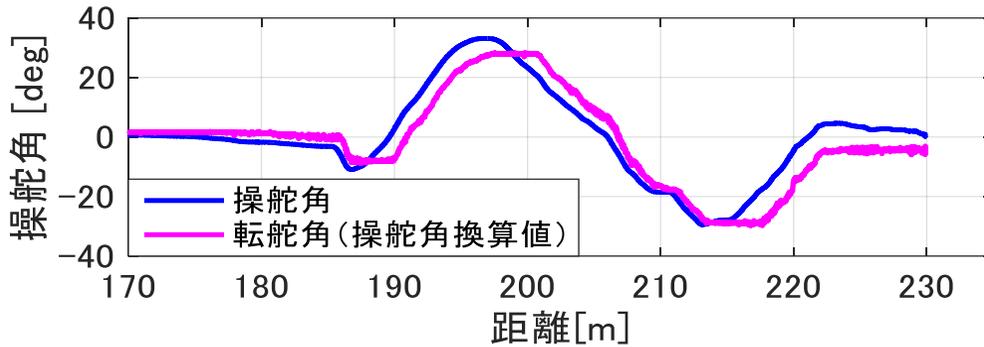
目標値：偏差確認位置 の場合

$$e2 = Lt(D + F) - L(D + F)$$



偏差確認位置を最適に設定 ⇒ ◎ 目標追従性が向上

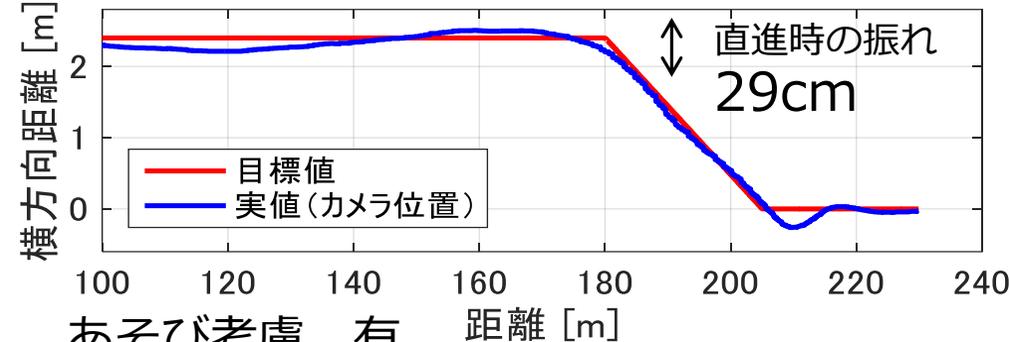
操舵角とタイヤ転舵角のあそびは
操舵角11deg相当と推定.
⇒目標操舵角算出に反映



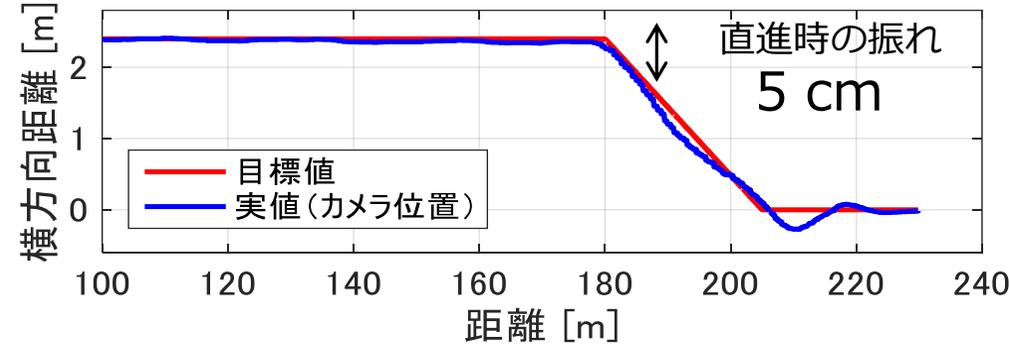
幅寄せ量 (2.4m) 正着結果

	操舵系あそび考慮	
	無(N=15)	有(N=23)
OK (前中扉とも)	30%	73%
NG (片扉NG含む)	70%	27%

あそび考慮 無



あそび考慮 有



OK条件：目標±20mm

◎操舵系あそびを考慮した制御の有効性を確認

制動系システム制御性能向上

- ・ 高精度停止位置の実現
- ・ ディスクブレーキの制動性能検証

制動制御：高精度停止位置の実現

【制御手法】

- 現在の車速と停止目標位置から

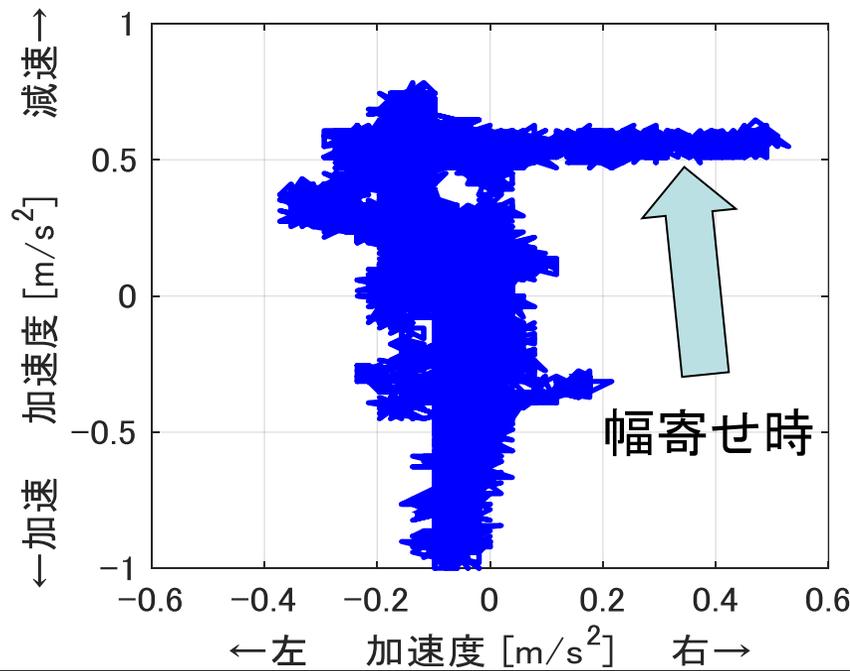
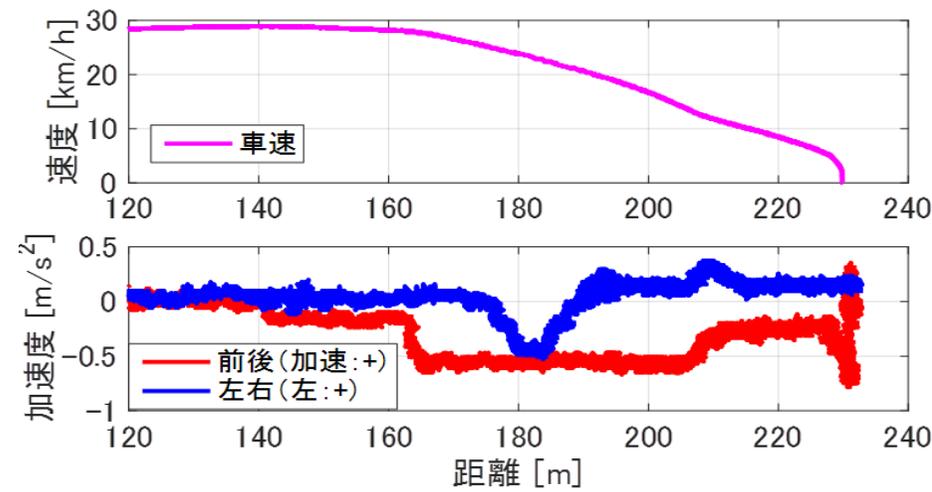
$$\text{目標加速度算出. } a = \frac{v^2}{2(St - S)}$$

※ a : 目標減速度, v : 車速

S : 走行距離, St : 目標停車想定位置

- 停止目標位置を前半と後半で変化させて目標位置に停止する.
前半 : 0.5m/s²程度
幅寄せ後 : 0.2m/s²程度

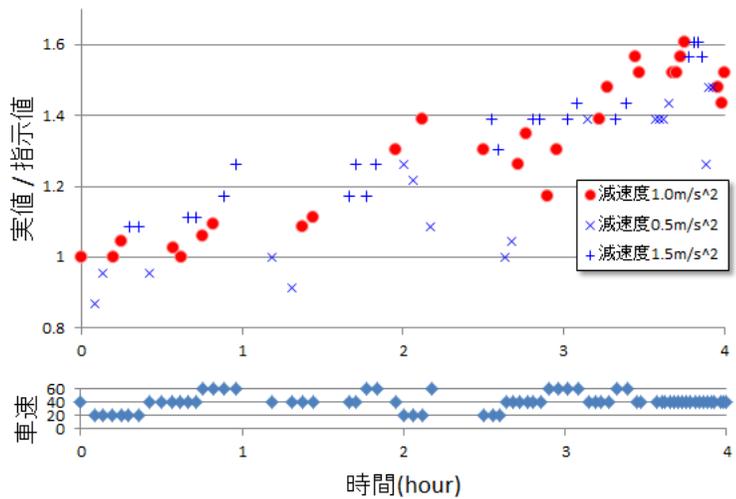
【結果】基準位置に対するずれ
±0.2m以内を実現(目標 ±0.5m以内)



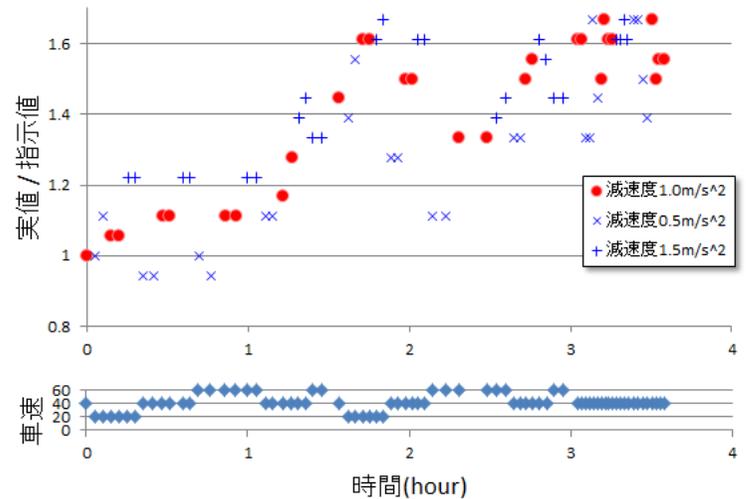
ドラムブレーキとディスクブレーキに置き換えた場合で制動性能を比較検証

ディスクブレーキはドラムブレーキに比べて安定

- ・ドラムブレーキのほうがばらつきが大きく
また右肩上がりに増加
- ・ディスクブレーキは試験開始後しばらく一定
また車速に応じた変化が見られた



ドラムブレーキ



ディスクブレーキ

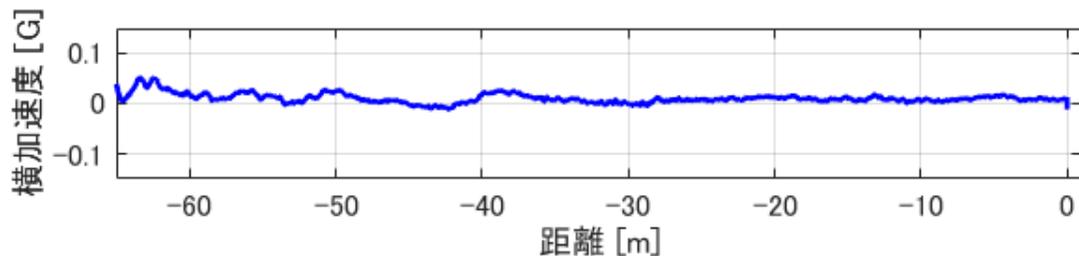
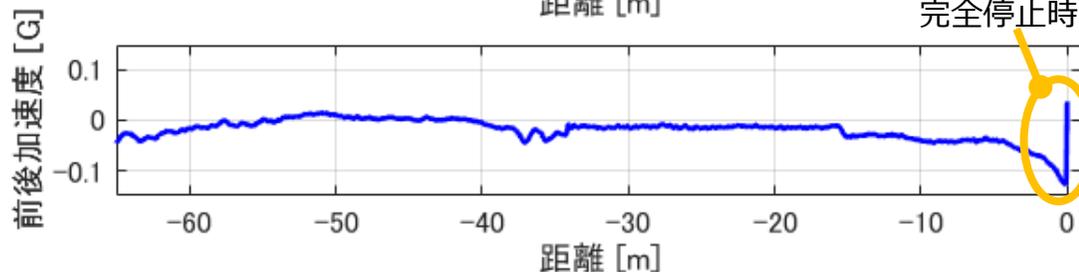
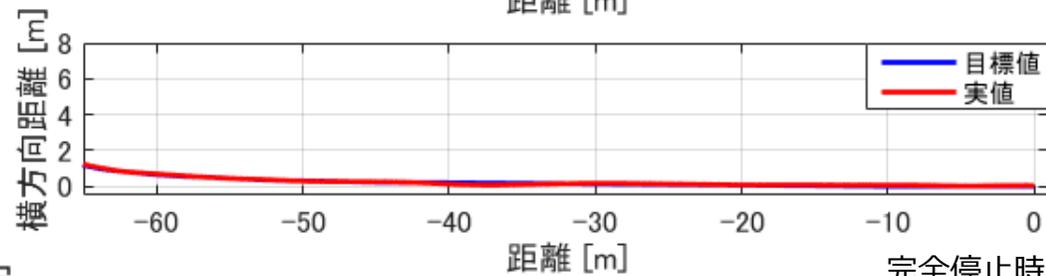
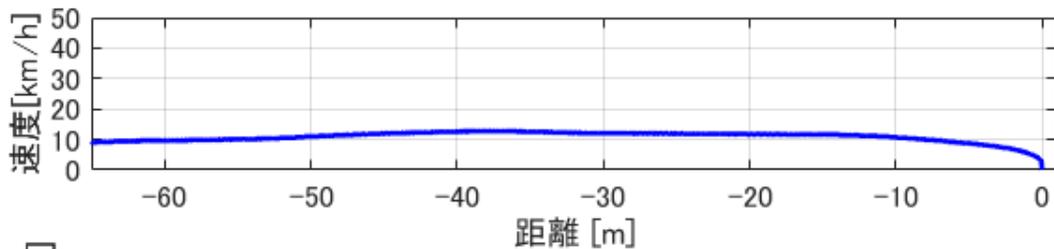
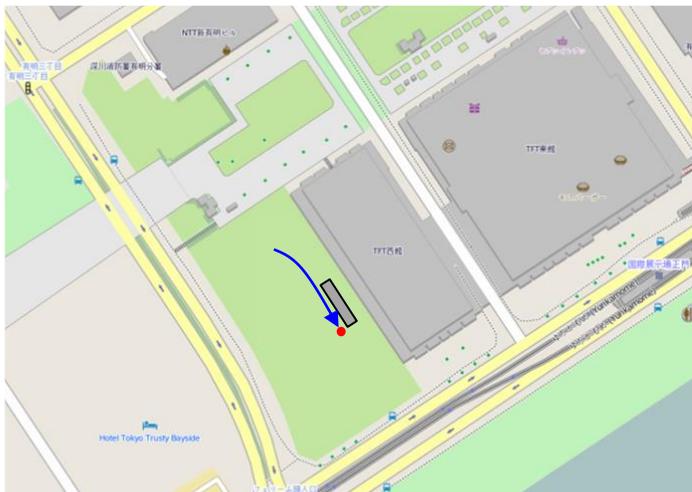
制動指示に対する減速度変化



走行コース … TFTビル～豊洲駅
正着箇所 … TFTビル西側 駐車場
有明テニスの森駅 付近
(北向き, 南向き)
豊洲駅ロータリー

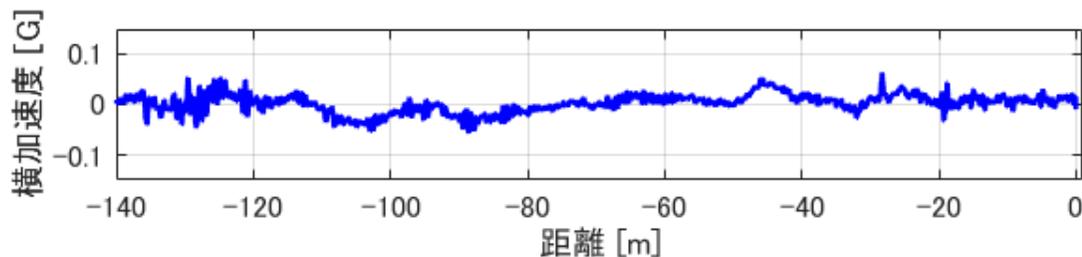
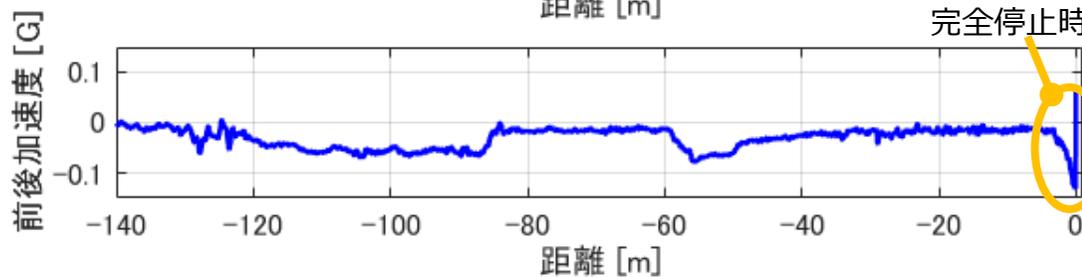
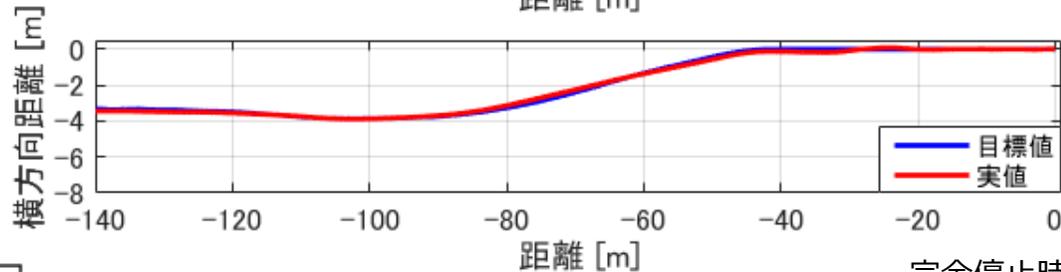
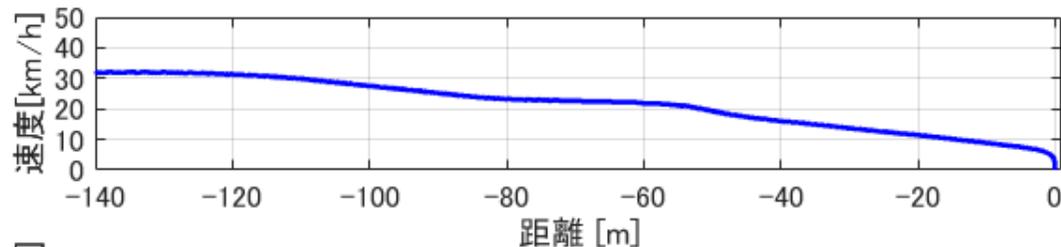
1) TFTビル G1臨時駐車場

GPS受信状況に問題なく、安定して正着可能
ART体験会の試乗では、幅寄せ量を大きくすることを検討中



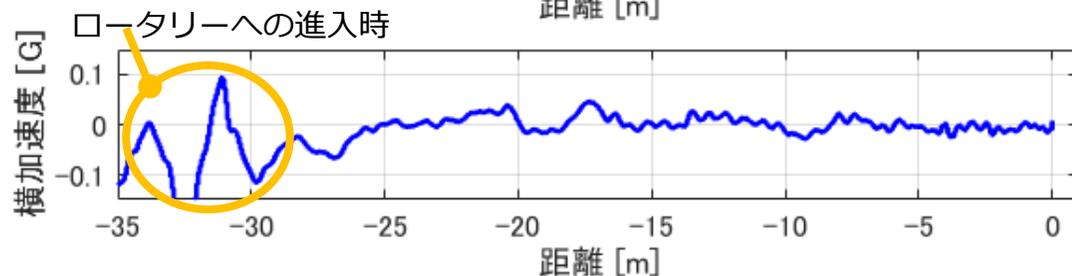
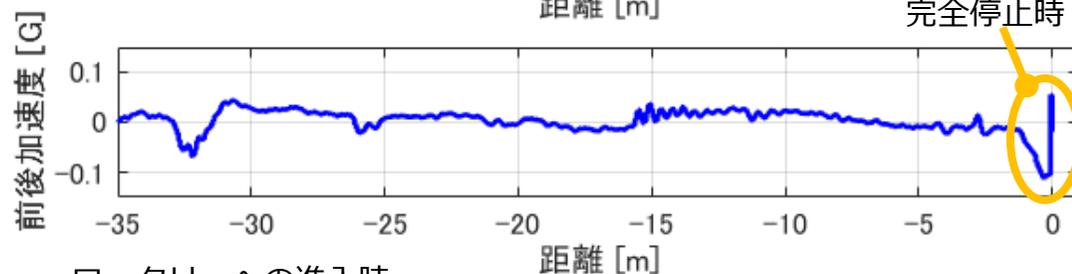
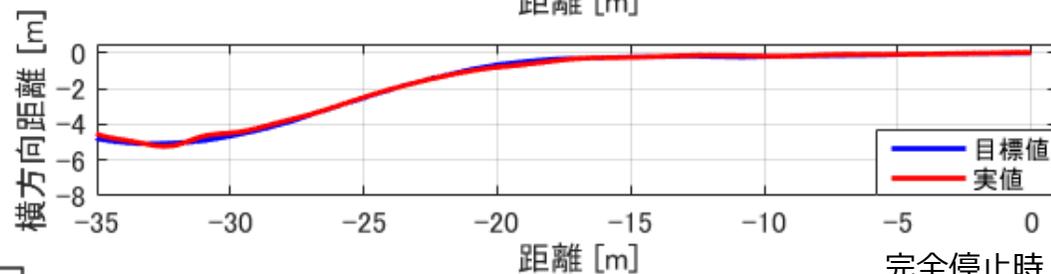
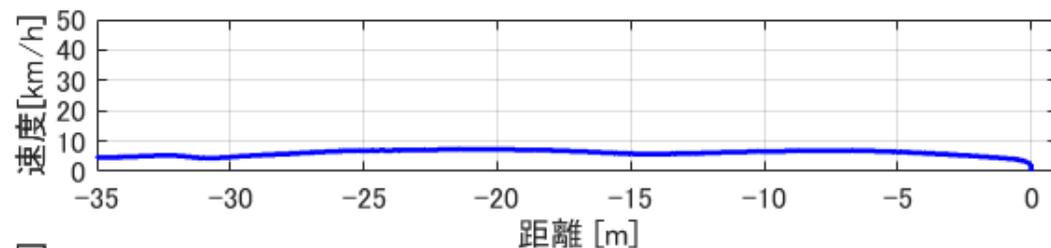
2) 有明テニスの森駅付近 (北向き)

GPS受信の回復が遅い場合があるが、ほぼ安定して正着可能
停止位置精度向上と前後加速度変化の低減に取り組み中



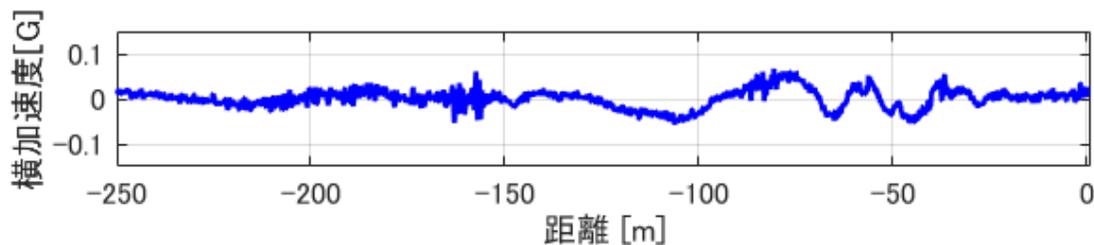
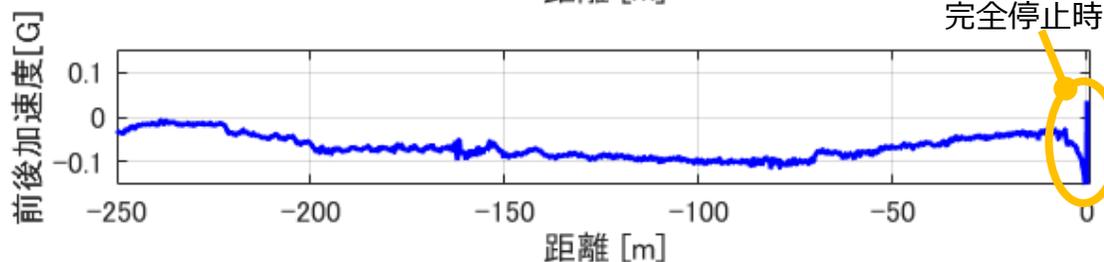
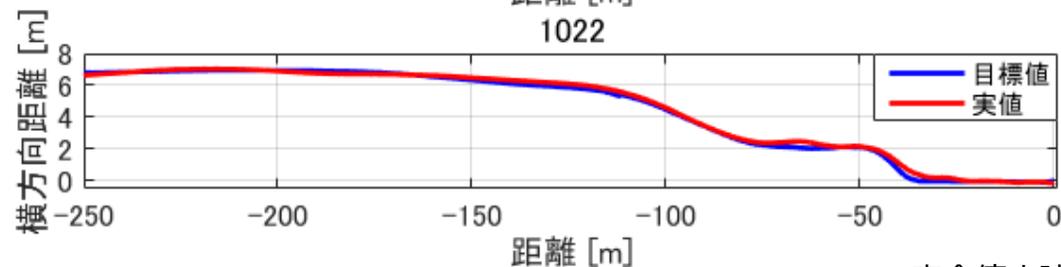
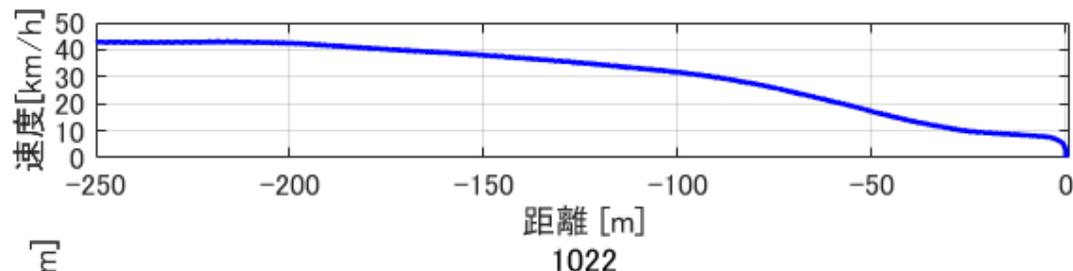
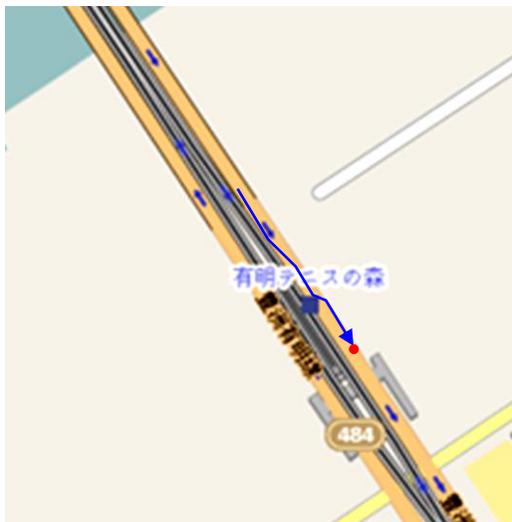
3) 豊洲駅ロータリー

アプローチの直線が短い中で、柱とのクリアランス限界での正着を実現
ART体験会の試乗では、仮設プラットフォームの設置を検討中



4) 有明テニスの森駅付近 (南向き)

下り勾配において、比較的高い車速から、滑らかな減速による正着を実現
ART体験会の試乗では、正着軌跡の変更を検討中 (幅寄せを1回とし、速やかに停止)



2)インフラ整備の最小化に向けた 課題調査

- 白線工ツヰの検出
- 縁石工ツヰの検出
- 白線 + 縁石検出の統合

- $40 \pm 20\text{mm}$ の正着精度を実現するためにはGPSや前方カメラ画像では、分解能が不足
- 誘導線や磁気マーカなどはインフラ整備が必要
駐車車両など障害物に対応困難
- 側方カメラを用いて白線などの境界線検出・位置検出の高応答・高精度化を図った。
- 最終的には複数のセンシングを統合することでインフラ整備の最小化と目標の正着精度を実現する



バス停付近の路上駐車

白線エッジの検出

大型バスに単眼カメラを搭載 → **白線を検出**

→ただし誤検出あり … 要因:白線のかすれ・路面の濡れ/乾燥

→**検出アルゴリズムを改善** (フィルタ処理)

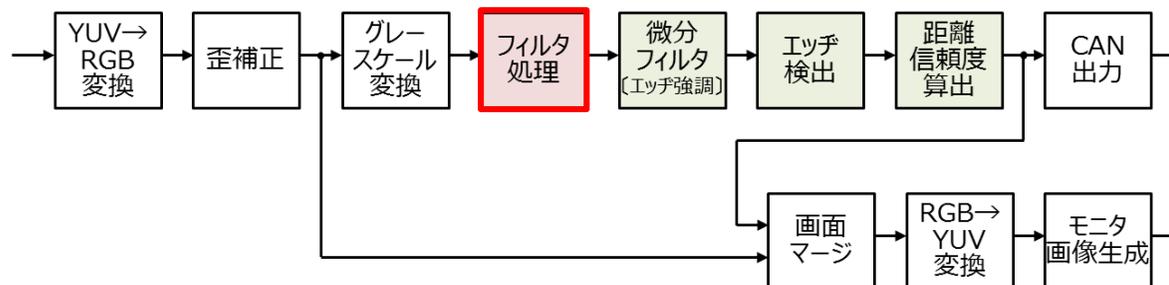
→かすれや路面の濡れへの耐性を向上

白線エッジ以外のライン検出・ボディ映り込みの 影響を排除

→**測定ばらつきを10mm程度に抑制**



側方カメラ (単眼)



白線検出 処理フロー



白線検出結果

横変位 検出結果

横変位実測値	側方カメラ検出結果	検出誤差
732 mm	731 mm	-1 mm
740 mm	739 mm	-1 mm
760 mm	767 mm	7 mm
775 mm	773 mm	-2 mm

バス停付近には 白線のない場合も多い



縁石エッチの検出



単眼カメラによる識別は困難



ステレオカメラにより縁石エッチを検出



バス停（豊洲駅前）



カメラ取付け位置（中扉上）



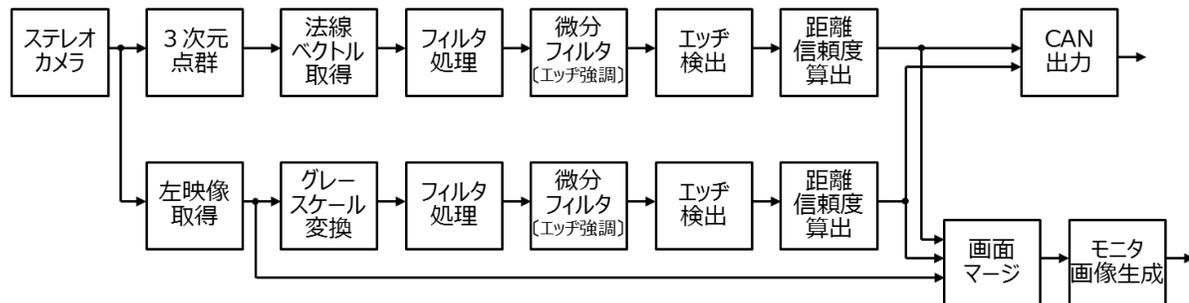
ステレオカメラ

白線 + 縁石エッジの検出

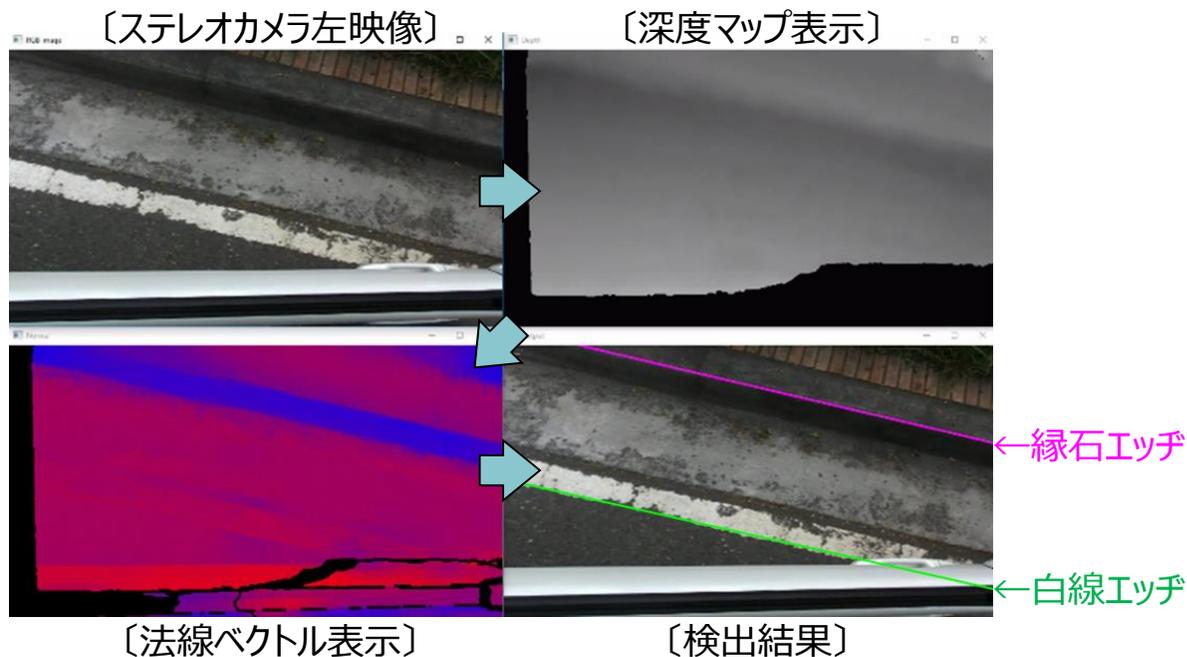
白線検出と縁石検出を統合し
バス停付近にて検出を実施



白線・縁石共に検出可能に



白線検出と歩道縁石検出を統合化した処理フロー



白線と縁石の検出結果

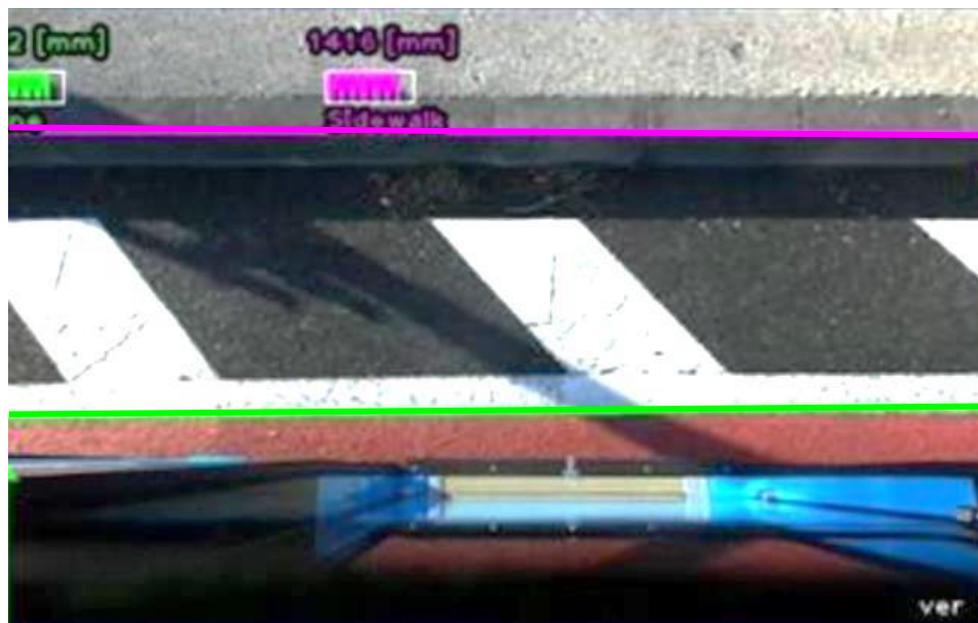
- 側方カメラにより白線を検出し、
- バス車体からの距離を算出
- 60mm~1.5m程度の範囲において、誤差±10mm程度の結果が得られた

距離測定誤差（白線に対する結果例、正着後）

横変位実測値	側方カメラ検出結果	検出誤差
732mm	731mm	-1mm
740mm	739mm	-1mm
760mm	767mm	+7mm
775mm	773mm	-2mm

縁石検出結果→

白線検出結果→



白線・縁石検出結果例

前方カメラと側方カメラによる
白線検出結果を比較し、
信頼度を判断するシステムを構築



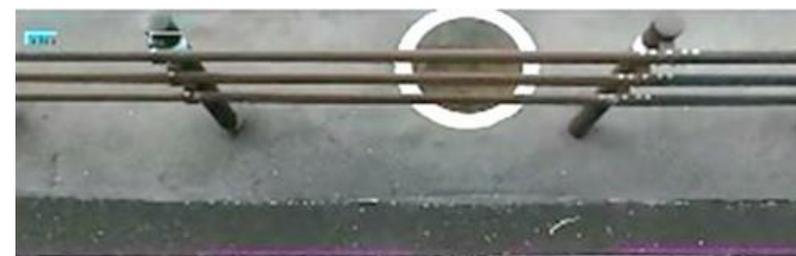
前方カメラによる白線検出結果



比較 → 一致 → 高信頼度

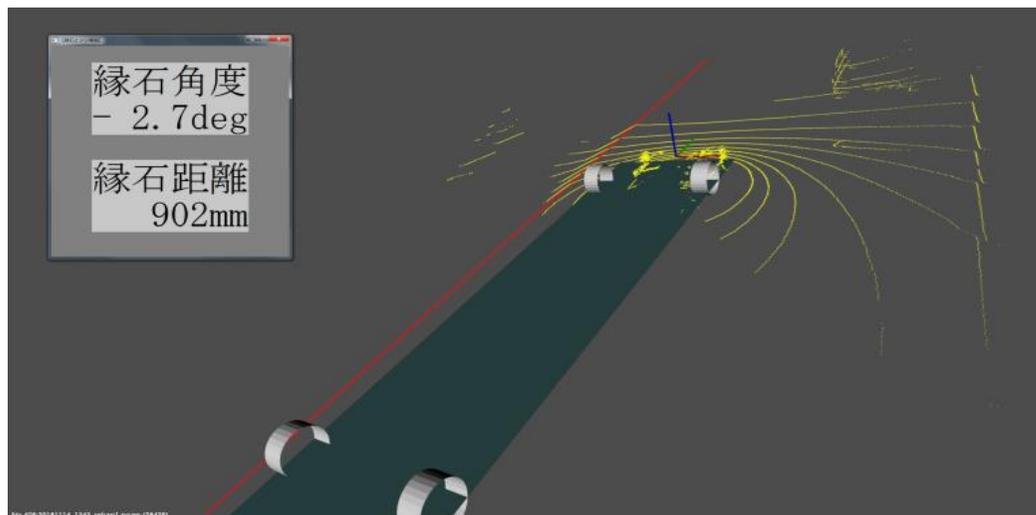


側方カメラによる白線検出結果



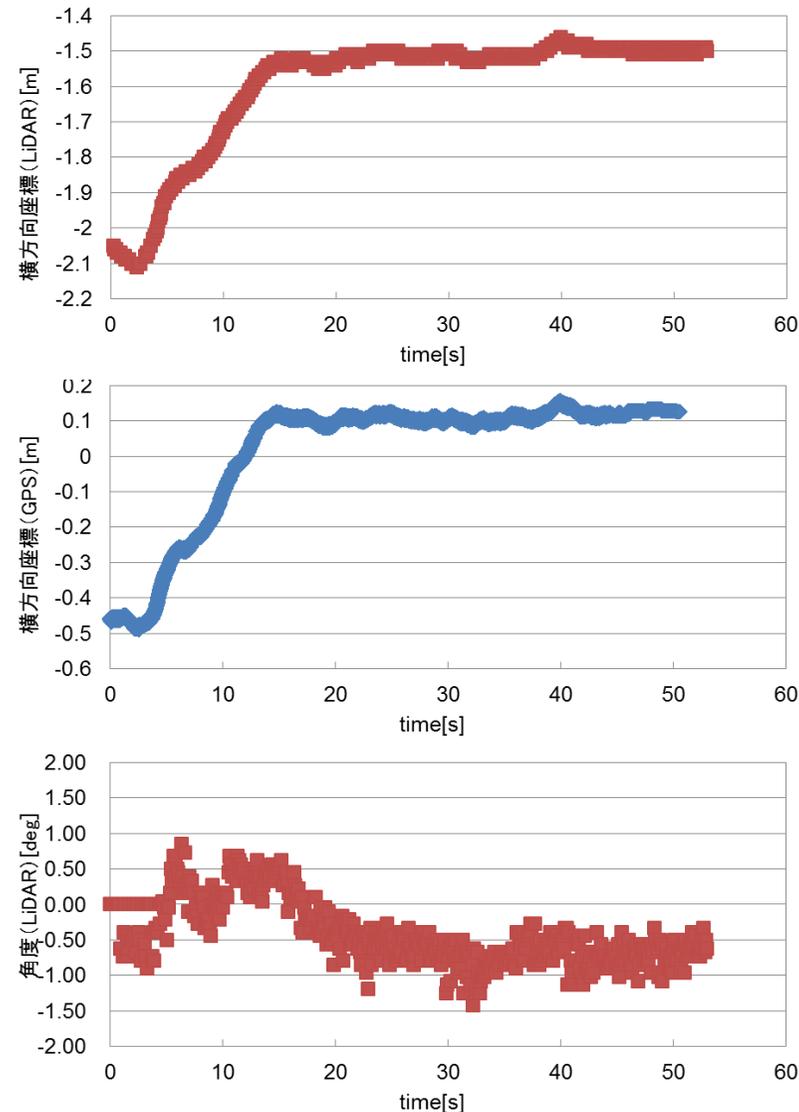
歩道縁石側面を探索し、車両との距離、
角度の計測が可能となった。

- 検出可能範囲
 - 距離：約2.2m
 - 角度： $\pm 45\text{deg}$
- 正着時の精度（静止状態）
 - 距離： $\pm 1.7\text{cm}$
 - 角度： $\pm 0.5\text{deg}$



LiDAR計測画面

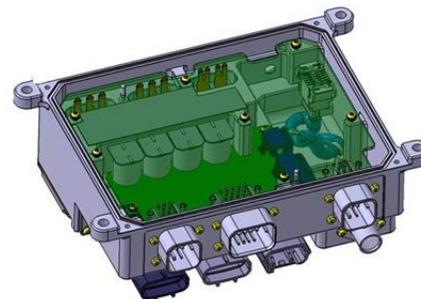
正着制御計測結果



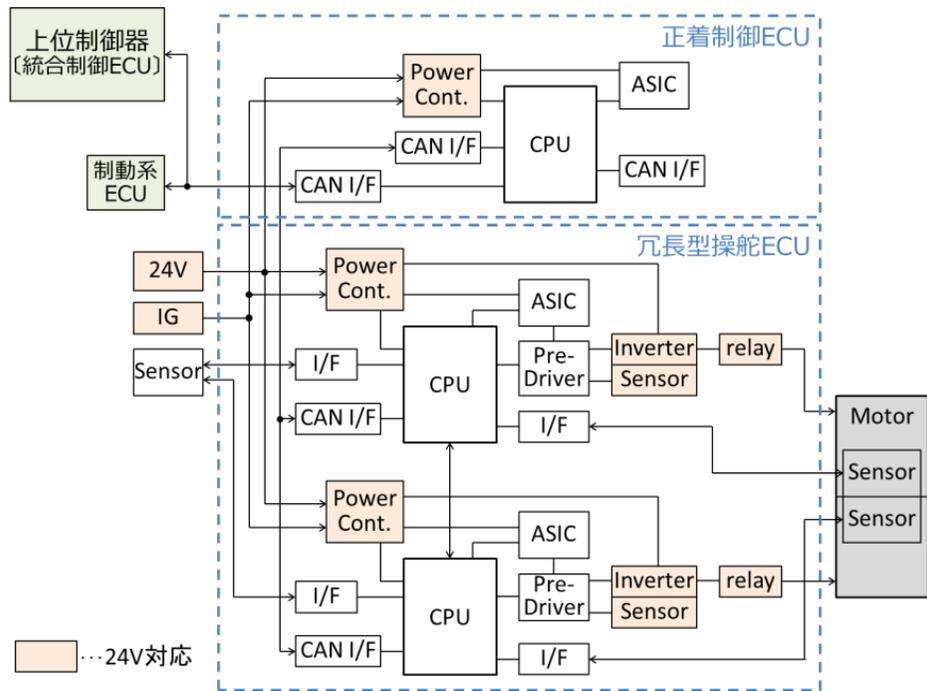
3) 乗用車と共用できる ECU構造の検討

乗用車と共用可能なECU構成

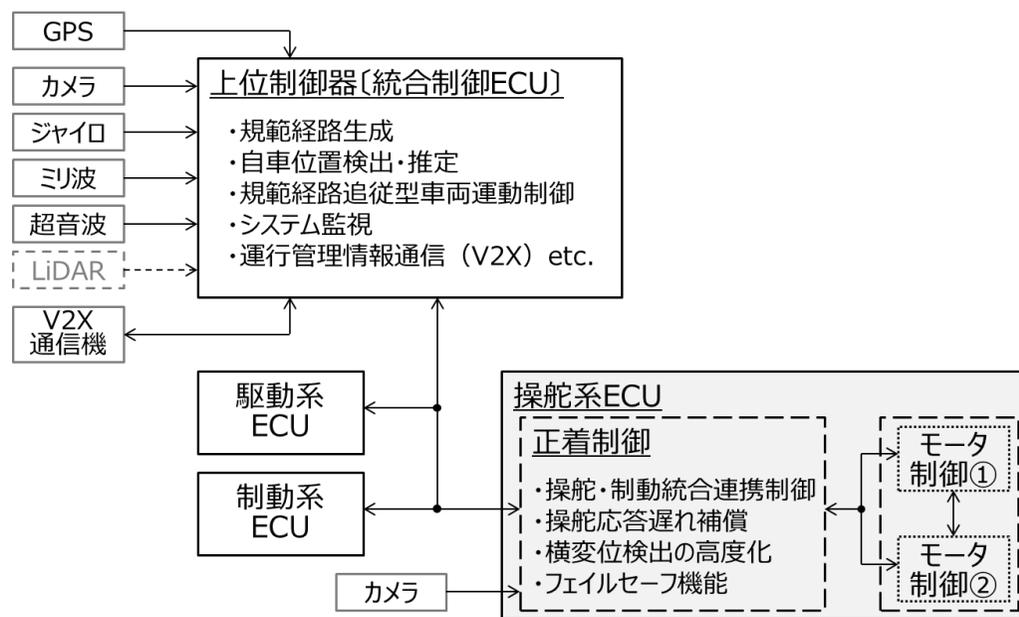
- ・乗用車と共通の冗長型操舵ECU
- ・異なる電源電圧(乗用車:12V→大型バス:24V)対応
- ・大型バス特有の制御を行う正着制御機能の追加



操舵系ECU外観 (構想)



自動運転対応大型バス用
操舵系制御システムのブロック図

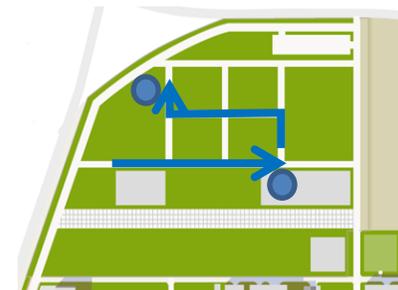


大型バス自動運転システム構成例 (概略)

4) 運転者の操作と自動制御の 利点の両立

【目的】

最適な正着制御の実現のため、
運転操作，走行軌跡のデータを取得。



東京大学 実験フィールド

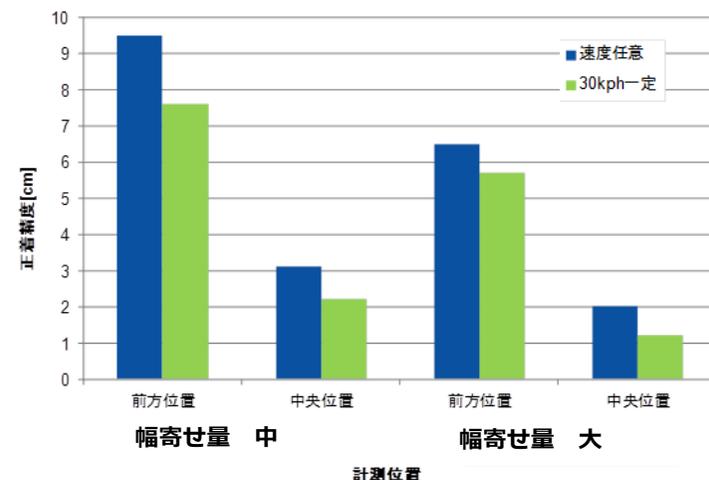
- 実験車両 : リエッセ（先進モビリティ株式会社より借用）
- 走行内容 : 正着軌跡走行(幅寄せ量3パターン)，交差点右左折，駐車，一般道
- 取得データ : 位置情報(GPS)，縁石情報(LIDAR)，白線情報(カメラ)，車両挙動(ジャイロセンサ)操舵角，操舵トルク(コラム)，視線(視線計測器)

【解析例】

正着直前の車速の影響(右図)

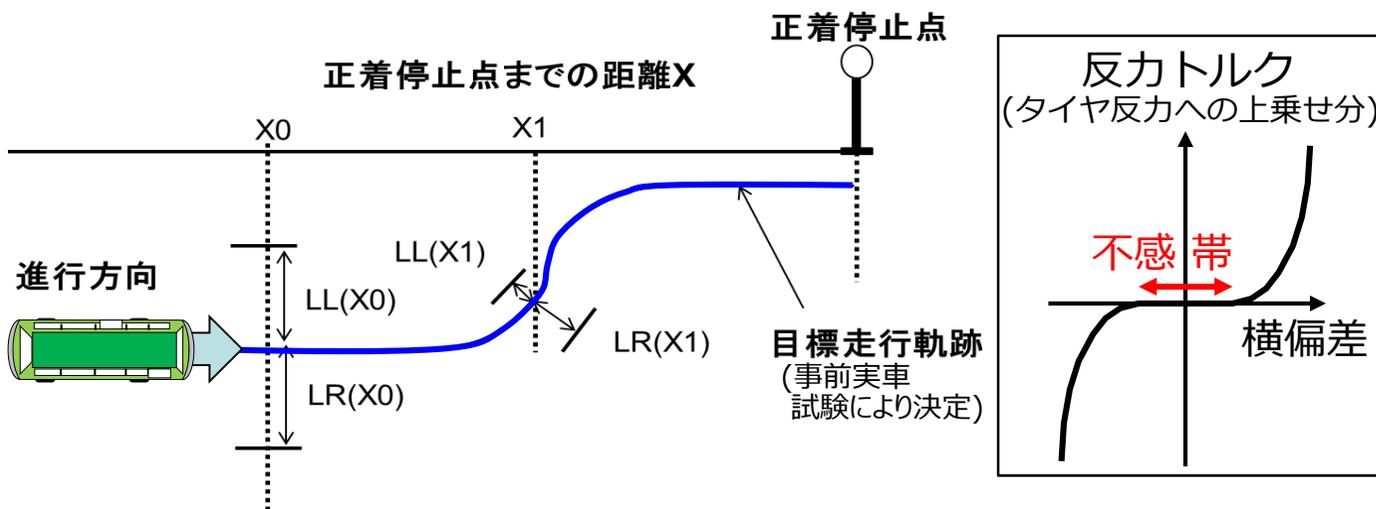
- ・正着直前車速：①30km/h指定②ドライバ任意

結果：①30km/h指定の方が②ドライバ任意より
正着時の横偏差が小さい。



【今後の予定】 取得データを詳細に解析し、
路線バスドライバの運転傾向を抽出、
正着制御の目標の参考にする。

ガイダンストルクにより走行軌跡を誘導するLKA制御において
制御パラメータの最適値を検討



N増し確認 (被験者6名でのDS評価)

目標正着軌跡に対する被験者の慣熟度の影響を考慮し、

- ・コース事前走行 (目標軌跡をマーカーで提示し走行)
- ・システム理解走行 (システム支援での慣熟走行)

を被験者がシステム動作に慣れるまで実施。

(それぞれ3~5回実施)

- 制御パラメータ(事前実験によって水準を決定)

幅寄せ量	小	大	
不感帯	なし	あり	
横偏差に対するトルクゲイン	小	中	大