

「戦略的イノベーション創造プログラム（S I P） ・自動走行システム」 沖縄におけるバス自動運転に係る調査

成果報告概要

2019. 3.20
(株)ジェイテクト
研究開発本部

1) 調査の概要

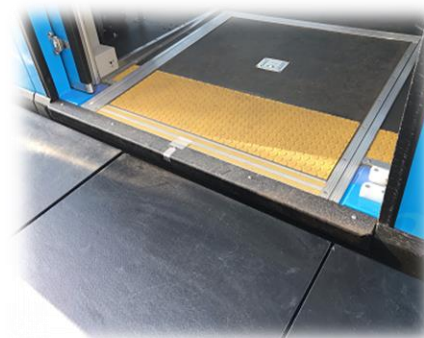
- 調査内容
- 実験車両
- システム構成

検証項目／課題	今回の実証実験の狙い
<p><u>正着制御</u> 〔課題〕</p> <ul style="list-style-type: none"> バスベイ型バス停では、正着距離が不足 	<ul style="list-style-type: none"> 異なる仮設バス停でのロバスト性検証 (横風、路面形状、進入経路など／4箇所) 現地の一般的なバスベイ型バス停における正着距離検証 (2箇所) 正着制御の利便性／有効性調査 (4 + 2箇所)
<p><u>減速(速度)制御</u> 〔課題〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 制御が粗く、危険を感じる 40km/h超では未実施 	<ul style="list-style-type: none"> 2種類の減速度による検証 (速達性重視〔0.15～0.2G減速〕／乗り心地重視〔0.08～0.1G減速〕) 制限速度上限 (50km/h) からの減速制御の検証
<p><u>車線維持制御</u> 〔課題〕</p> <ul style="list-style-type: none"> GNSS受信レベル低下時の制御が不安定 40km/h超では未実施 	<ul style="list-style-type: none"> 制限速度上限 (50km/h) での検証 (横風、路面形状など異なる環境下含む) カメラ及びライダーでの白線・歩道縁石検出精度の検証
<p><u>準天頂衛星</u> 〔課題〕</p> <ul style="list-style-type: none"> cm級の位置精度達成 	<ul style="list-style-type: none"> 測位精度、測位センサとしての検証 (RTK-GNSS／CLAS／MADOCA)
<p><u>社会受容性調査</u> 〔バス運行会社様／自治体様／一般利用客様〕</p>	<ul style="list-style-type: none"> 関係者様向け試乗と意見交換会〔バス運行会社様、自治体様〕 (バス運行会社様運転手の試乗体験含む) 一般利用客様向け試乗会 (WEB等による事前予約、当日受付)

実験車両・システム構成



※準天頂衛星システムサービス
株式会社の登録商標



正着制御

実験車両

車種：大型バス「日野ブルーリボン・シティ」
座席数：乗客席20名
車椅子：ジェットコースター型安全バー1名
フロア固定 1名
全長：10.5m×**全幅**：2.5m×**全高**：3.3m
床高さ：約34cmノンステップ
主要装備：車内監視用カメラ、
自動操舵装置、自動ブレーキ制御装置
GNSS、準天頂衛星受信機
前方・側方・後方監視用カメラ
側方測距用LiDAR



大型バス実験車両 車内



表示モニター

2) 実証実験概要

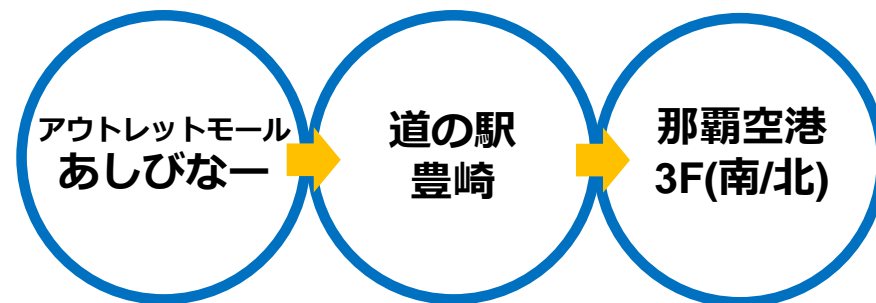
- ・ 走行ルート
- ・ 実証実験項目



実証実験期間（一般試乗）

- 2019年2月18日（月）～3月7日（木） ※土日除く
1日5～6便（往復）を運行

走行ルート(往復 約18km)



実証実験項目

- ハンドル、ブレーキの自動制御（一部手動運転）
- 法定速度上限（時速50km/h）での車線維持制御
- 正着制御
（バス停との隙間を最小限かつ正確に停止）

沖縄実証実験 開始式の様子

◇ 2月16日 開始式典

- 内閣府 幸田審議官
- 葛巻PD
- 豊見城市長
- 琉球大学 工学部長
- 沖縄県内バス会社 社長 他

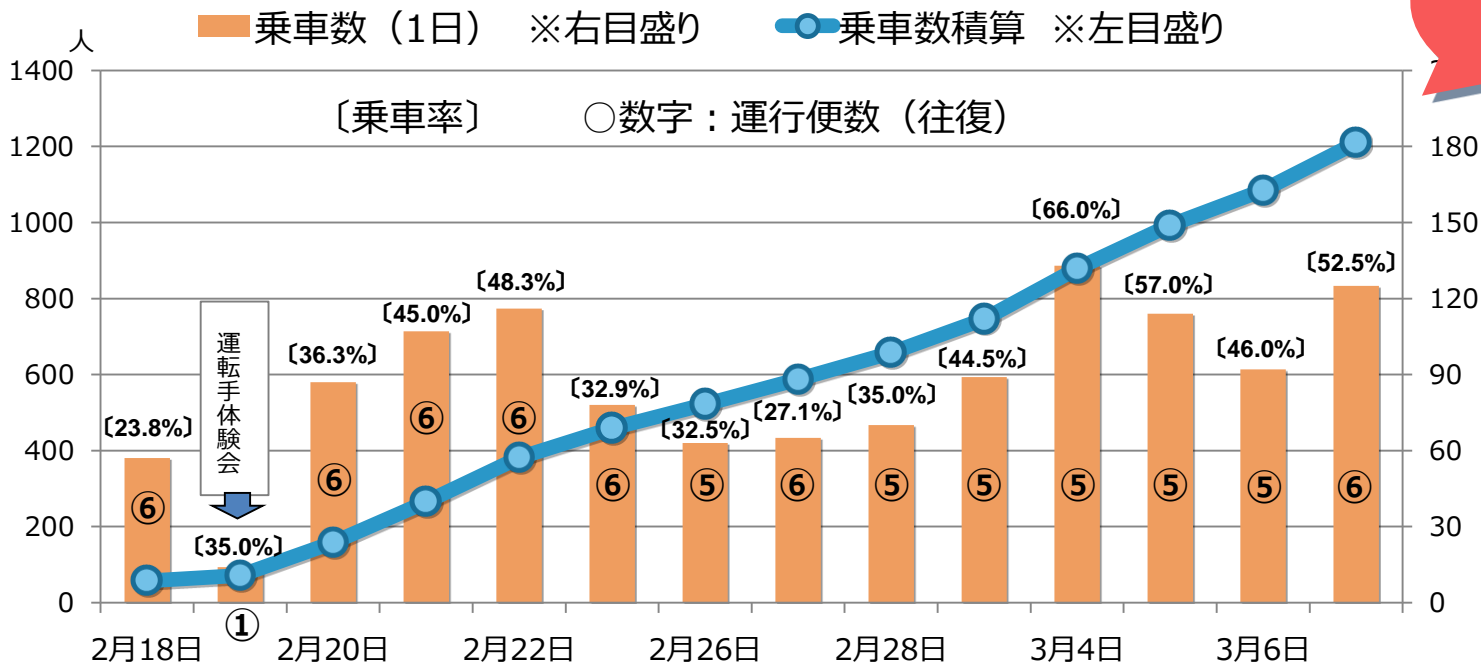


開始式、一般試乗、バス運転手体験会の主な報道

- テレビ局 : NHK (ローカル) 、沖縄テレビ放送、琉球放送、琉球朝日放送
- 新聞社 : 琉球新報、沖縄タイムス、八重山日報
毎日、日経等大手新聞社Webメディア
- 雑誌 : (株)ネコ・パブリッシング「バスグラフィック®」
- ラジオ局 : FM沖縄 (sh@reTIME) 、FMとよみ (豊見城市ローカル) 、AM RBCiラジオ

- **大手テレビ局・新聞社、地元新聞社・ラジオ等、広く取り上げていただき、集客UPにつながった (当日受付の案内が効果大)**
- **その他県庁・市役所、受付拠点等でリーフレット配布等の広報を実施**

のべ試乗者数の推移



最終実績
1210名

- 運行便数
146便
(73往復)
- 平均乗車率
41.6%

- 一般・関係者合わせ、約3週間で1200名超の試乗客を達成
- Web予約、当日受付含め、皆さまに円滑にご乗車いただけた



ベビーカーでの乗車

3) 実証実験結果

- 正着制御
- 減速制御
- 車線維持制御
- センシング技術
- 社会受容性調査

正着制御

- 道の駅豊崎
- アウトレットモール あしびなー
- 那覇空港
- バスベイ

◆再現性の高い正着を実現



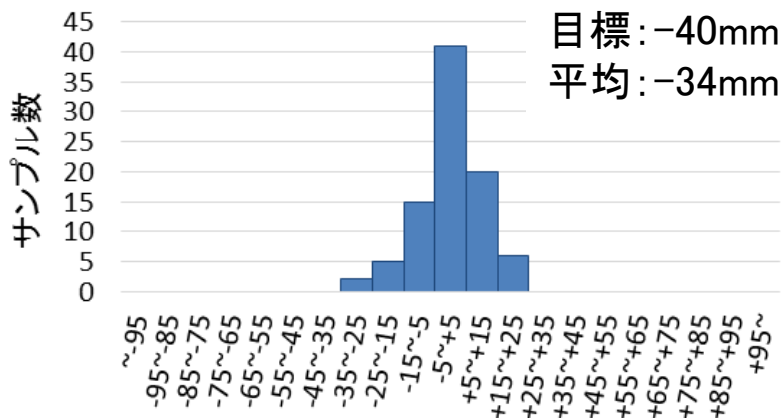
正着パターン



乗降台

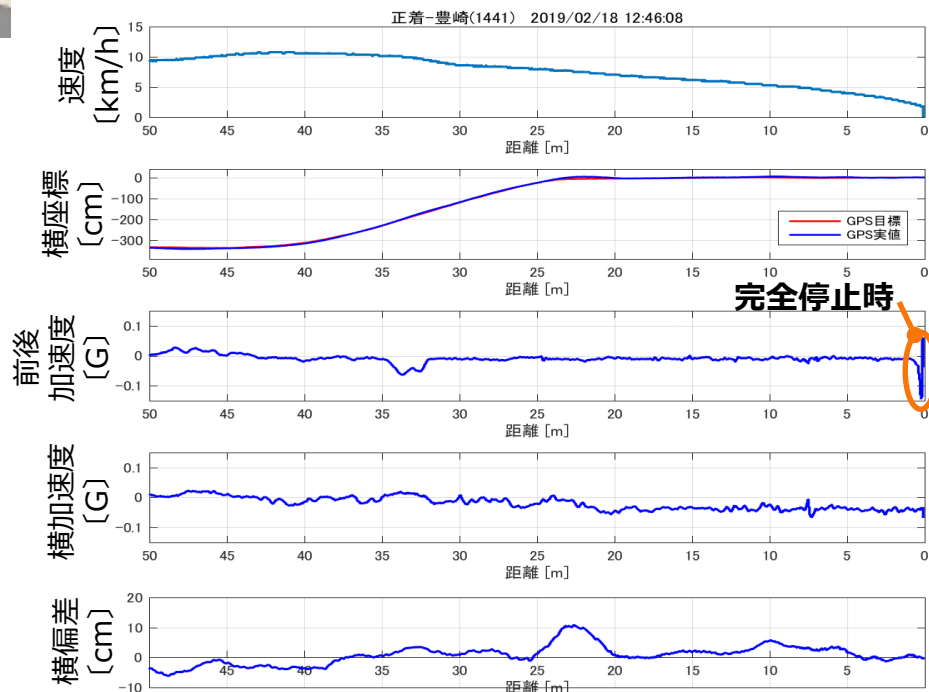


道の駅豊崎での正着の様子



平均からのばらつき [mm]

LiDARで計測した縁石までの距離の分布



道の駅豊崎正着時の走行データ

アウトレットモール あしびなー

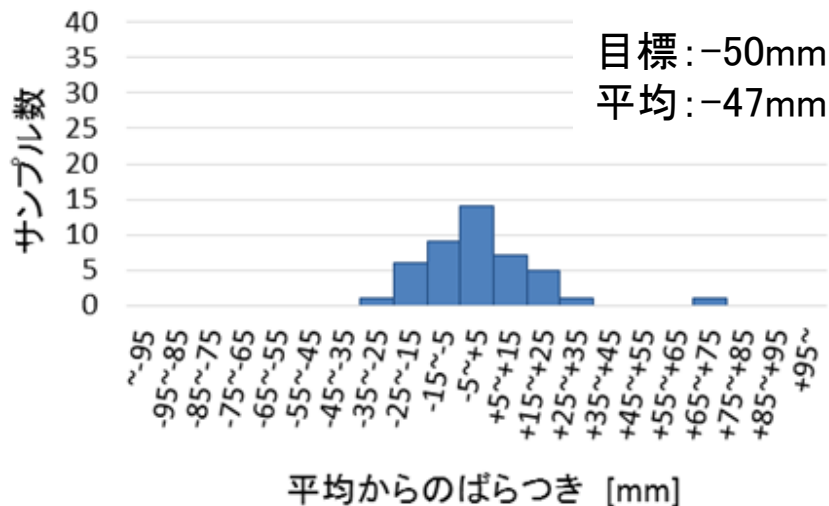
- ◆ RTK-GNSSの受信状態が良好であれば、再現性の高い正着を実現
- ◆ 大舵角旋回時に横揺れ振動発生する事例あり（位置ずれに起因）



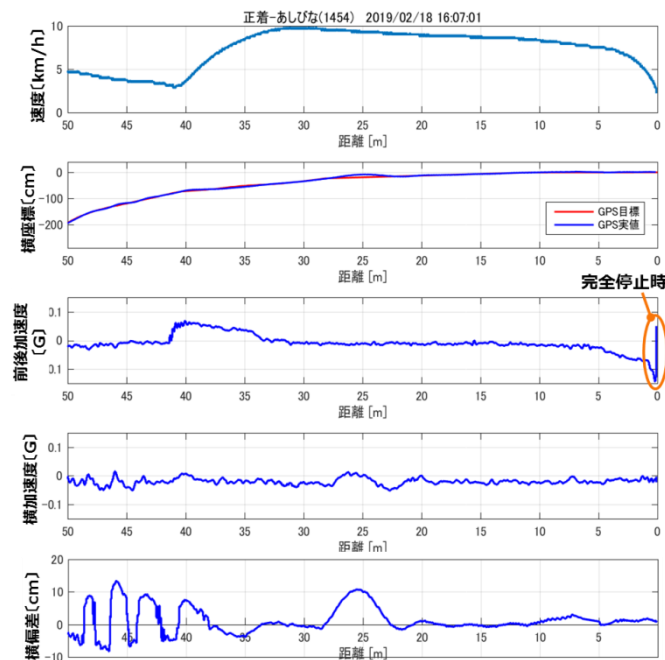
あしびなーでの正着の様子

正着パターン

乗降台



LiDARで計測した縁石までの距離の分布



あしびなー正着時の走行データ

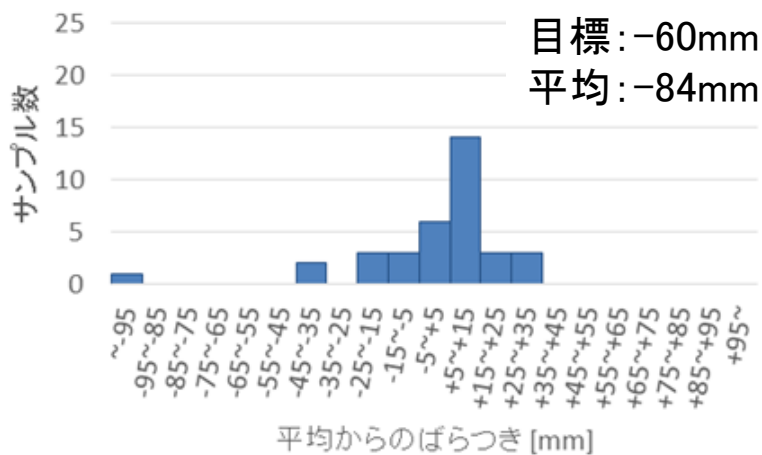
◆路面の轍が大きく、車体揺れの影響を受けながらも、RTK-GNSSの受信状態復帰が良好であれば、
安定的に正着（約10cm強と安全サイドに目標設定）

※空港3Fへ登坂する直前のゆいレールや道路上方に設置された看板の影響で衛星による測位信号が遮断



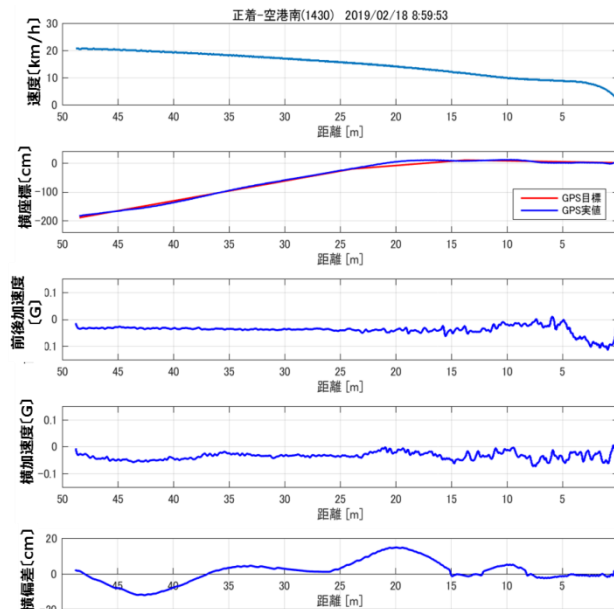
正着パターン

乗降台



LiDARで計測した縁石までの距離の分布

那覇空港南側での正着の様子



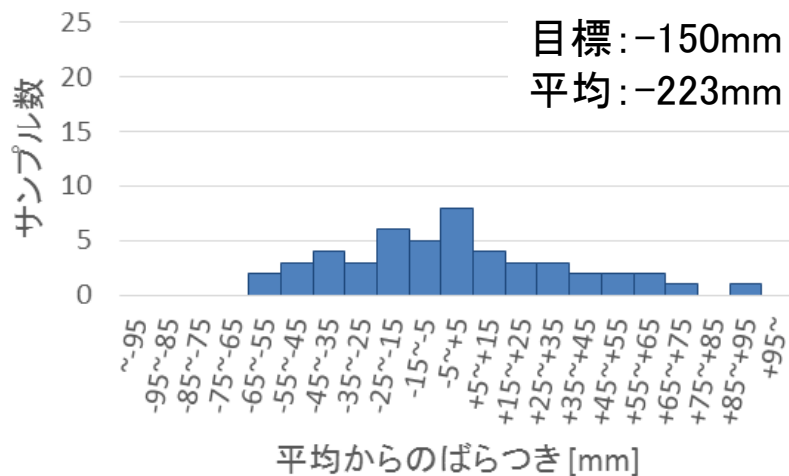
那覇空港南側正着時の走行データ

北向きバスベイ

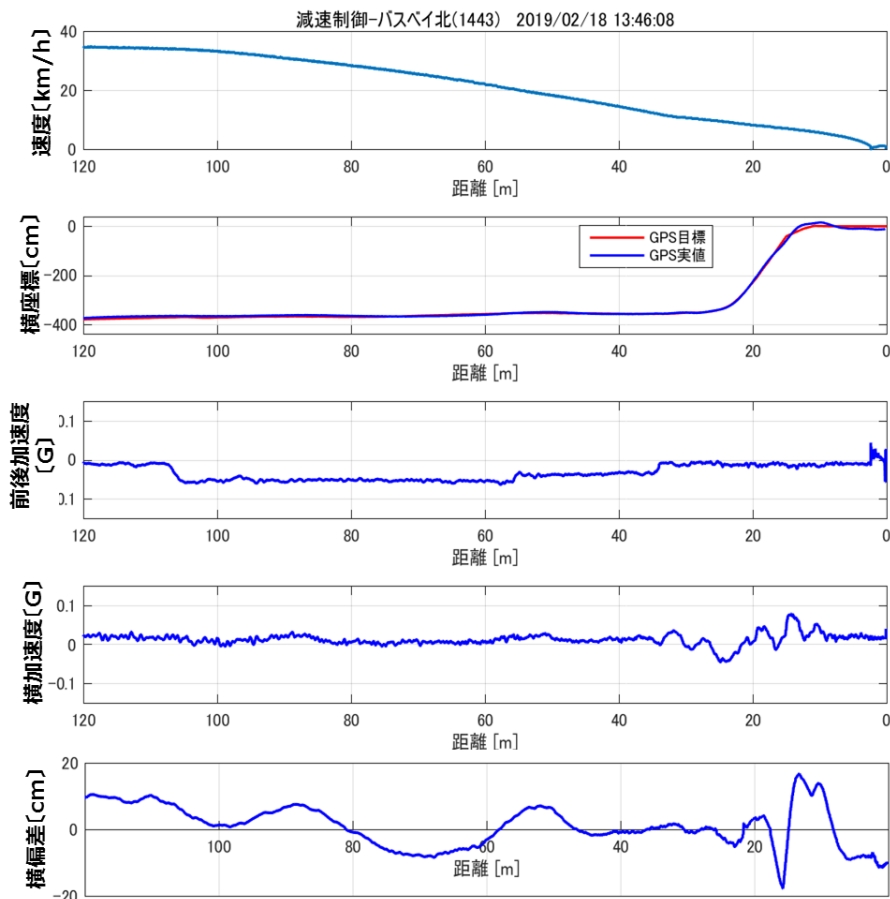
- ◆街灯、縁石、バスベイ形状の影響で目標を150mmに設定、100~300mmの間で安定して幅寄せ・停止
比較的高い減速度 (0.15~0.2G) での実験は、事前調整が間に合わず、一般モニタの安全確保の観点から断念



減速・幅寄せ・停止 (バスベイ北向き)



LiDARで計測した縁石までの距離の分布



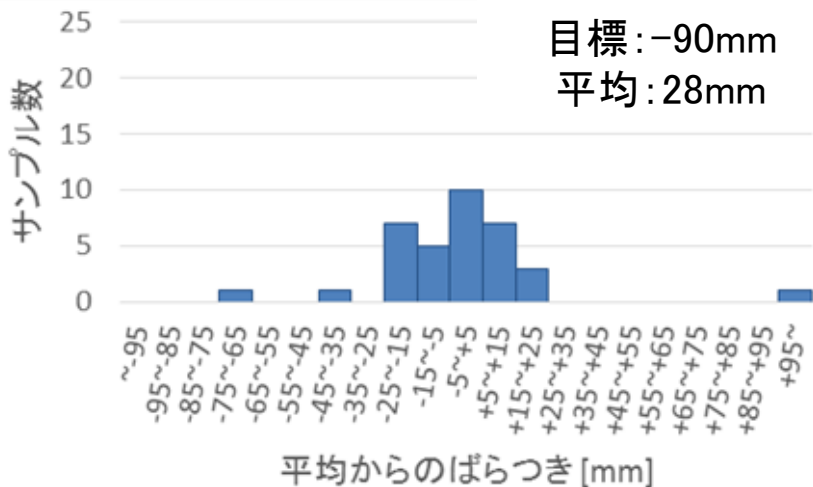
北向きバスベイの走行データ

南向きバスベイ

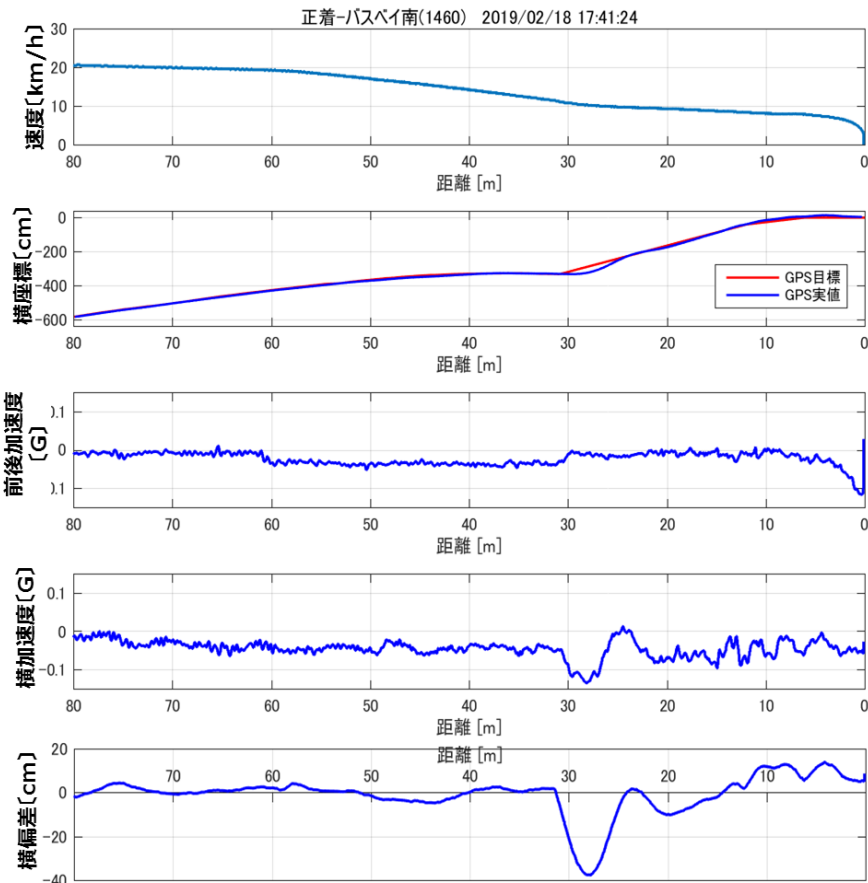
◆バスベイ入口の縁石が低いため、北向とほぼ同様のバスベイ形状であるが、20cm以内に安定して幅寄せ・停止を実現



減速・幅寄せ・停止 (バスベイ南向き)



LiDARで計測した縁石までの距離の分布

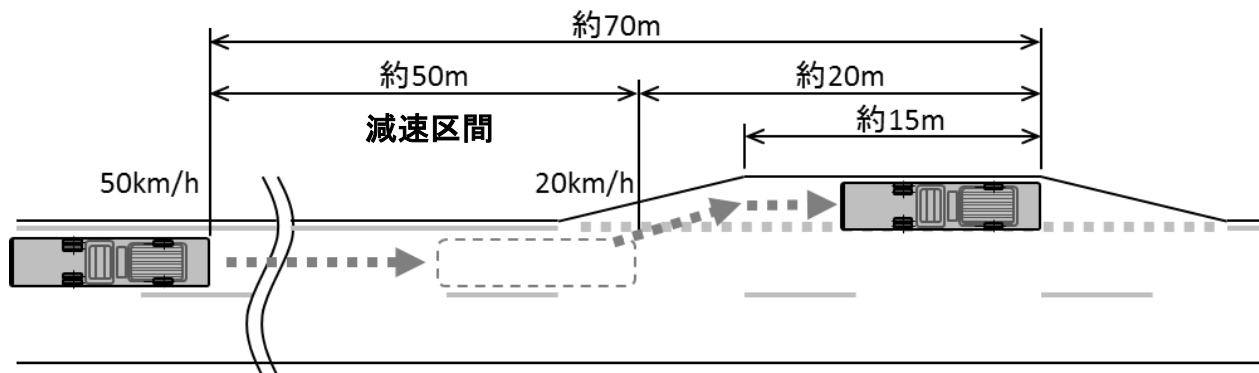


南向きバスベイの走行データ

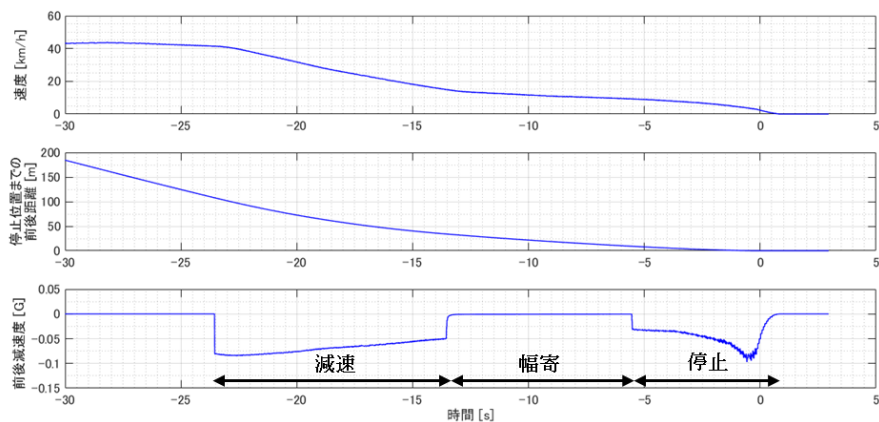
減速制御

減速制御

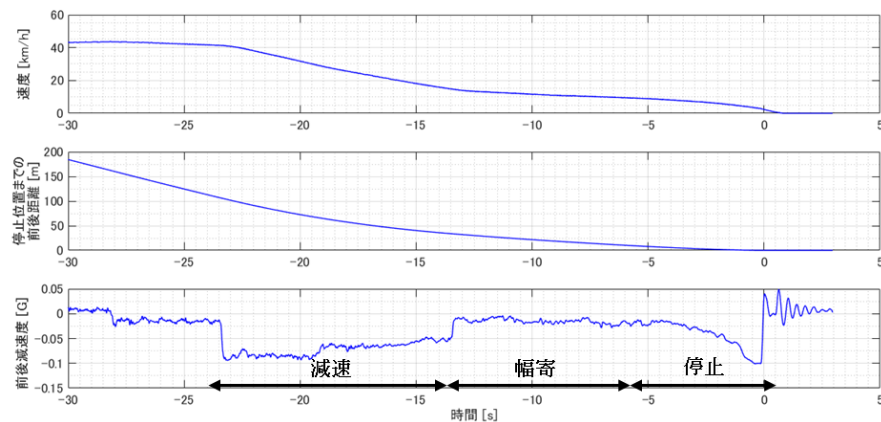
- ◆ 車速40km/h超から減速制御を実施、ほぼ指令値通りの減速制御の実現を確認
- ◆ 事前調整期間や周辺交通量の影響で、高い減速度での評価は出来なかった



減速制御パターンの一例



指令値



実測値

車線維持制御

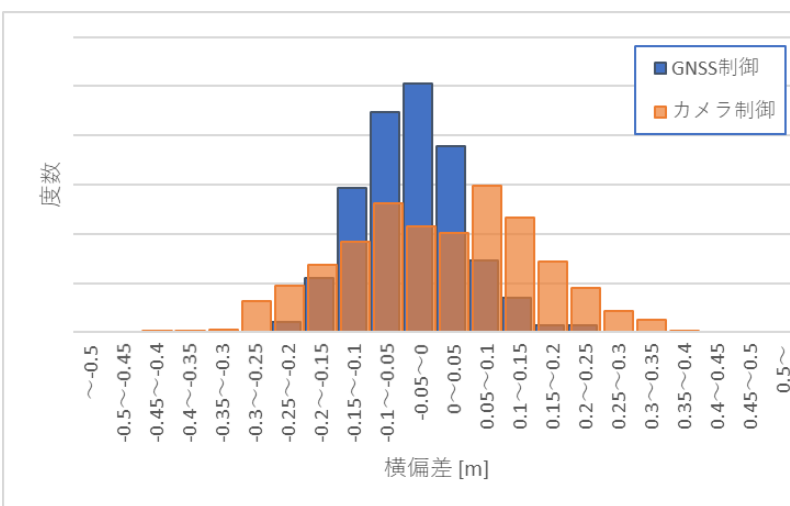
- GNSS/カメラ切替
- 40km/h超走行
- S字カーブ

GNSS/カメラ切替

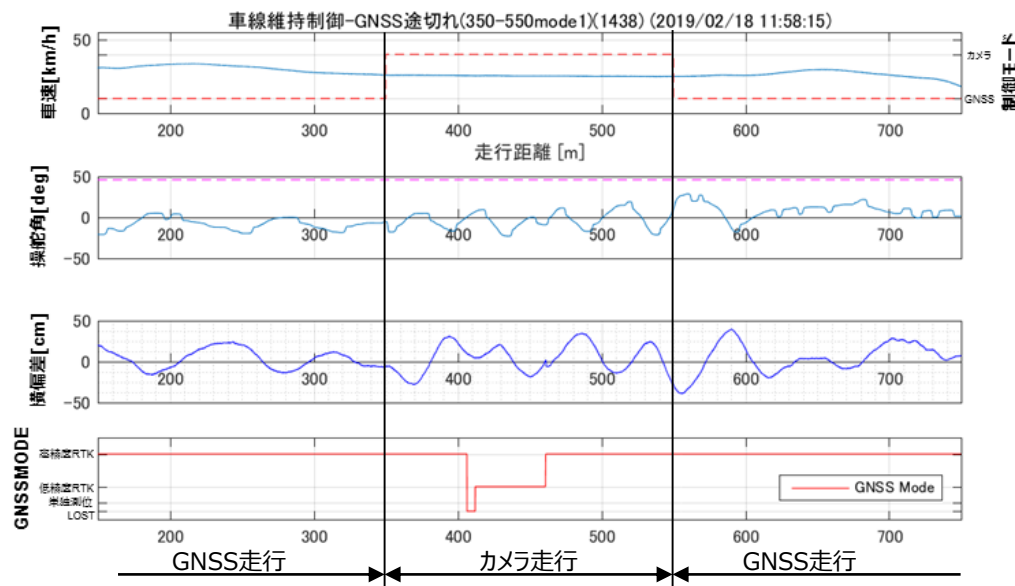
- ◆ 上方遮蔽物通過時のGNSS状態低下による車両制御性低下を避けるため、カメラによる車線維持制御に切替えて走行を実施
- ◆ GNSS制御と比較してカメラによる制御では横偏差の幅は大きくなるが、車線内での走行を実現できた。



GNSS/カメラ切替走行区間



横偏差の度数分布 (GNSS制御/カメラ制御)



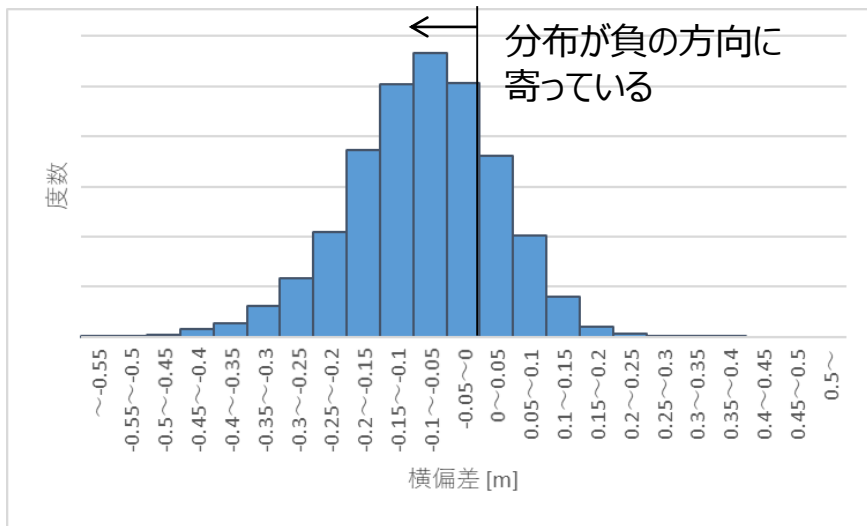
GNSS/カメラ切替走行区間走行データ一例

40km/h超での車線維持走行

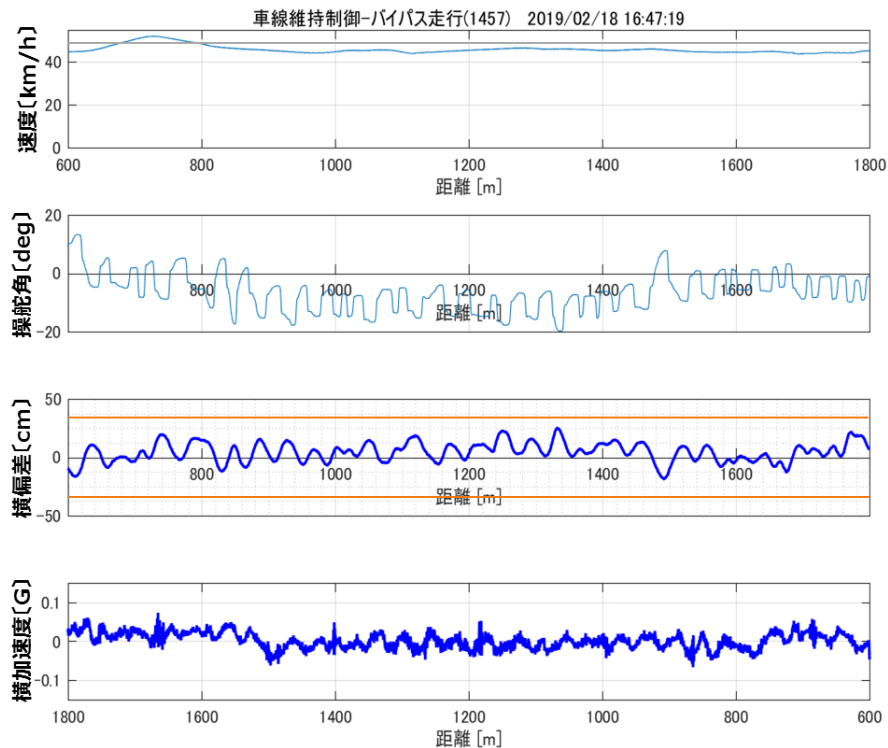
- ◆ 概ね40km/h超（最高速度50km/h）での車線維持制御を実施
- ◆ 横風の影響を受けたが車線内を走行できていることを確認



40km/h超走行区間（国道331号線:豊崎～瀬長間）



横偏差の度数分布（40km/h超走行）



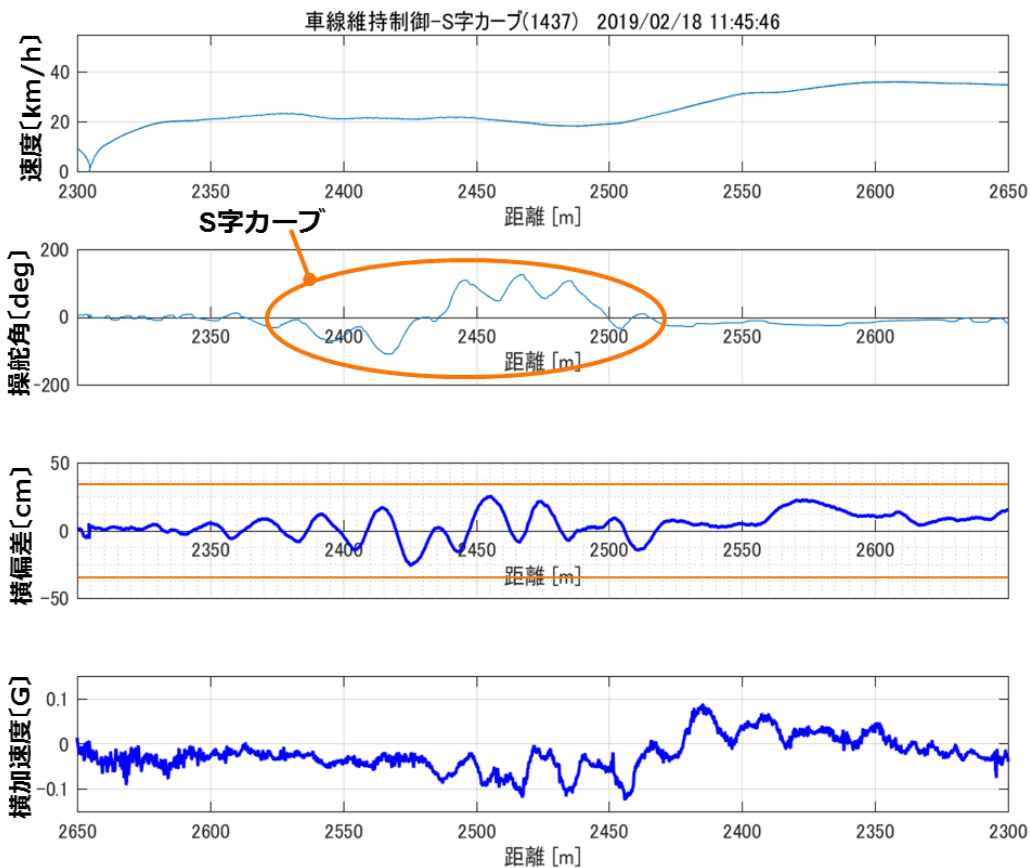
40km/h超走行区間走行データ一例

S字カーブ

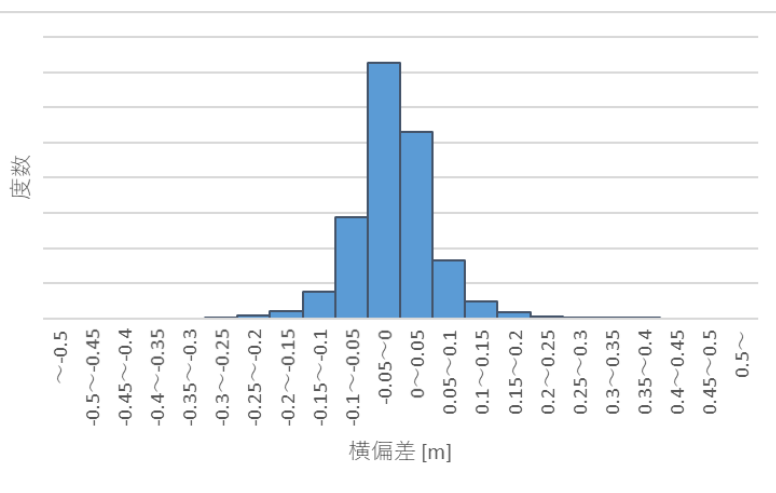
◆交通量の多い片側複数車線のS字カーブでも、逸脱することなく通過 (20~25km/h)



S字カーブ走行区間 (瀬長交差点通過後)



S字カーブ走行データ一例



横偏差の度数分布 (S字カーブ走行)

センシング技術

- ・ カメラによる測距
- ・ LiDARによる測距
- ・ 準天頂衛星測位
- ・ センサフュージョン

カメラによる測距



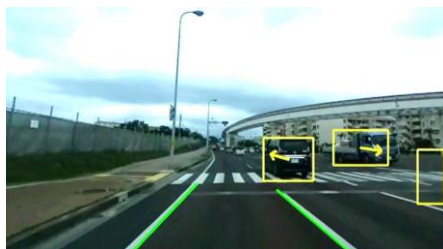
前方カメラ



実験車両



側方カメラ



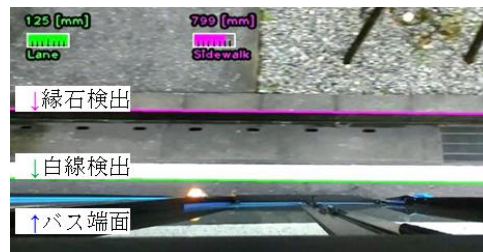
車両検出例



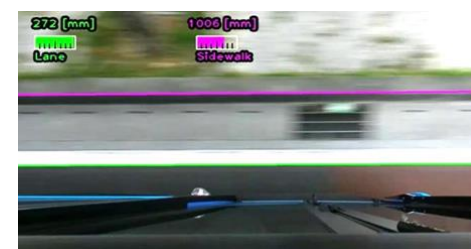
人間検出例



衝突可能性のある例



白線、縁石の検出例



車速が速い場合



植生の影響で縁石未検出となった例

- ・障害物の検出を確認
- ・未検出、誤検出の改善が課題

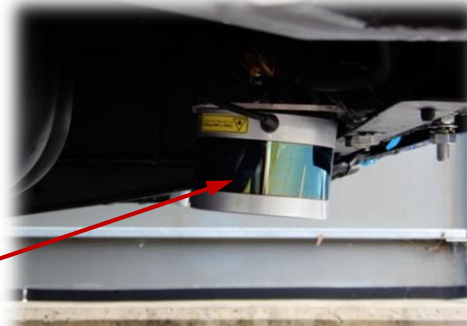
- ・縁石、白線の検出を確認
- ・植生や水溜りなどで未検出の可能性
(イメージ処理の改善、センサフュージョン)

LiDARによる測距

◆ 正着時の縁石までの距離、角度を検出

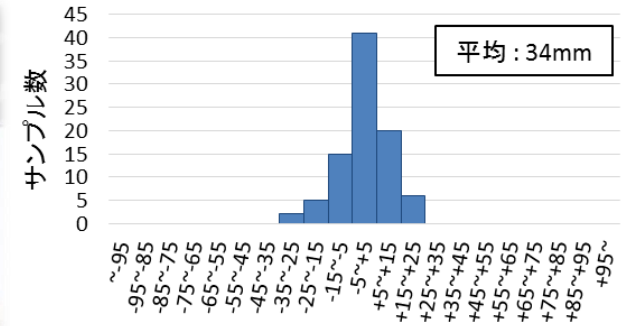


実験車両



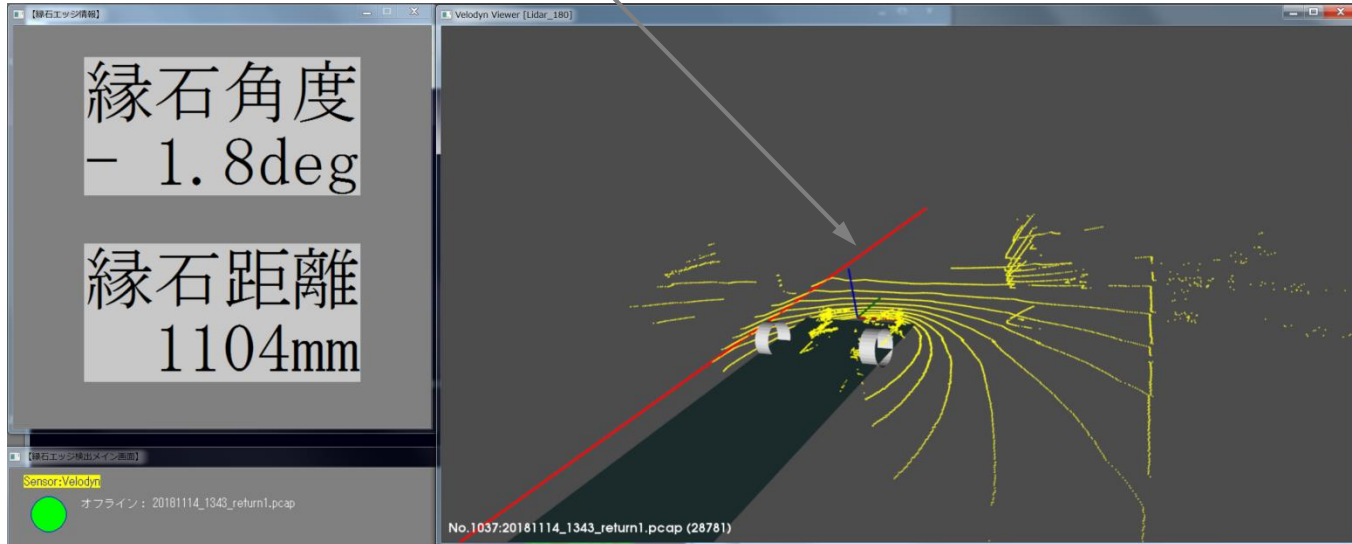
LiDAR (VLP-16)

検出している境界線



平均からのばらつき [mm]

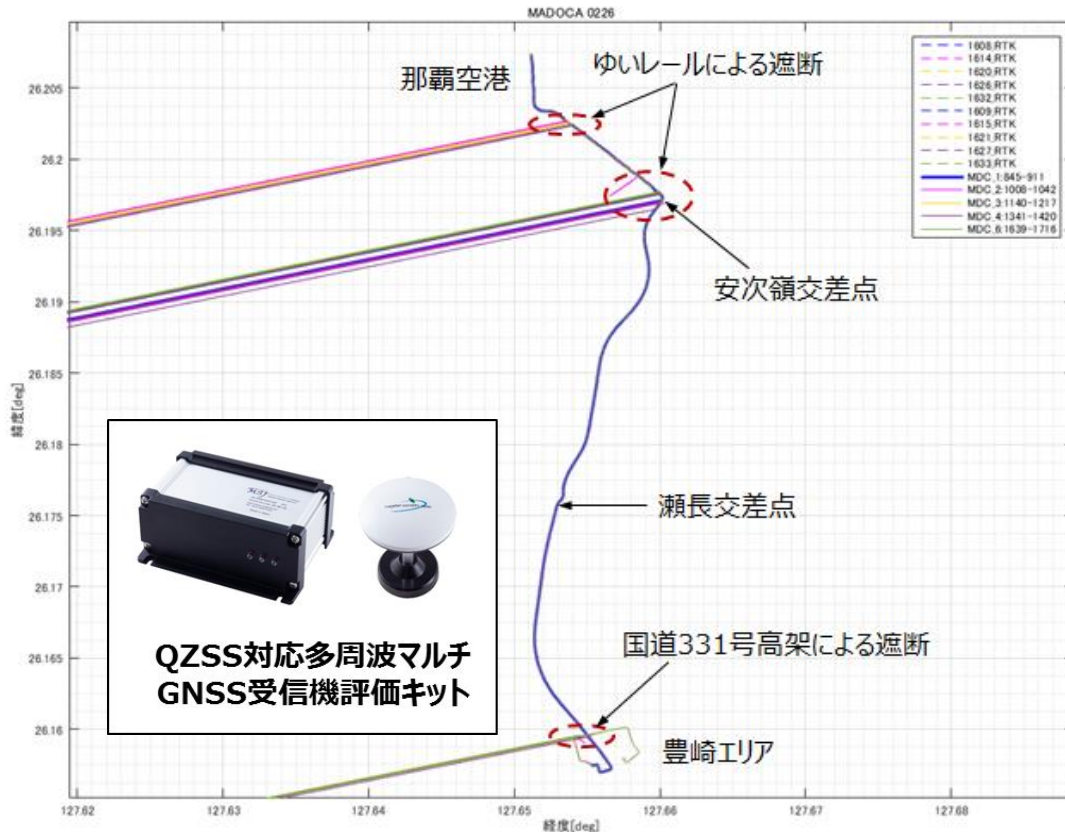
正着距離計測結果



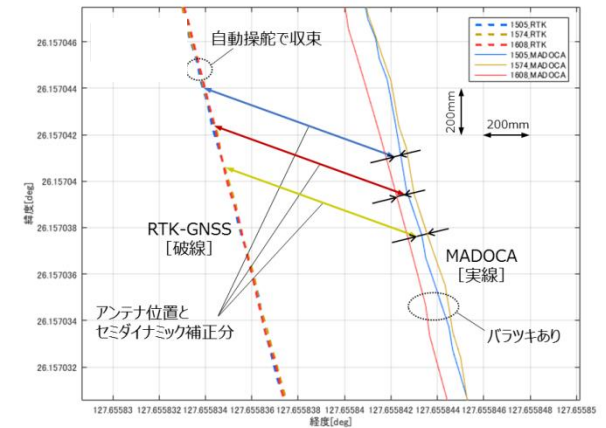
LiDARによる測距 (事前に計測したデータ)

準天頂衛星測位

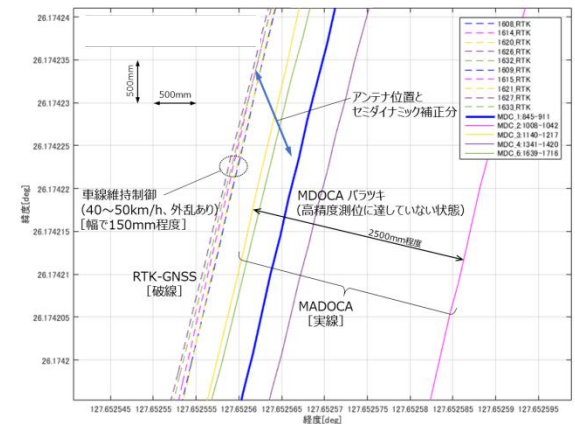
- ◆ CLASの仕様変更があったため、MADDOCAを評価
- ◆ 上方遮蔽物によって信号が遮断される箇所が複数存在するため、高精度測位状態になるまでの時間（約30分）を安定的に確保できなかった
- ◆ 高精度測位状態を安定的に継続できる環境では数十cm級の精度を確認



実証コースQZSS受信状態



MADDOCA高精度測位状態



MADDOCA高精度測位状態未復帰

◆ RTK-GNSS・前方カメラ・LiDARを組み合わせることで走行ルート上の99.8%で自車位置検出を実現



北向き
南向き
自車位置検出状態 (GNSS+前方カメラ+LiDAR)

自車位置検出率

走行距離 [m]	15126	
	検出距離 [m]	検出率 [%]
RTK-GNSS	13791	91.2
前方カメラ	12438	82.2
LiDAR	9150	60.5
RTK-GNSS + 前方カメラ	15024	99.3
RTK-GNSS + LiDAR	13791	91.2
前方カメラ + LiDAR	13566	89.7
RTK-GNSS + 前方カメラ + LiDAR	15102	99.8

- ・上方障害物によりRTK-GNSS状態低下中に交差点を通過する場所で未検出となった
- ・白線や縁石の存在しない交差点内での自車位置検出手段が課題

社会受容性調査

- 試乗者アンケート
- バス運転手試乗体験会

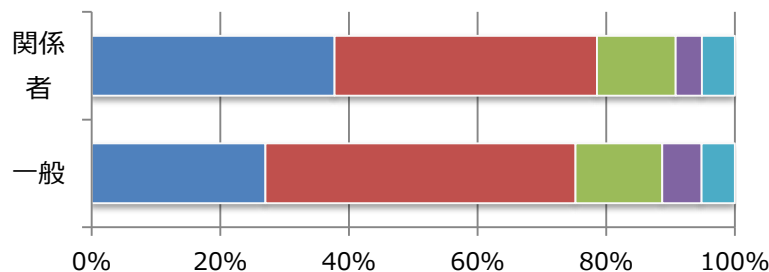
アンケート結果（1）

■ 社会受容性向上の効果検証

1. 自動運転バスに対する印象；

・「中立・不安」⇒「安心」（一般、関係者とも約7割）

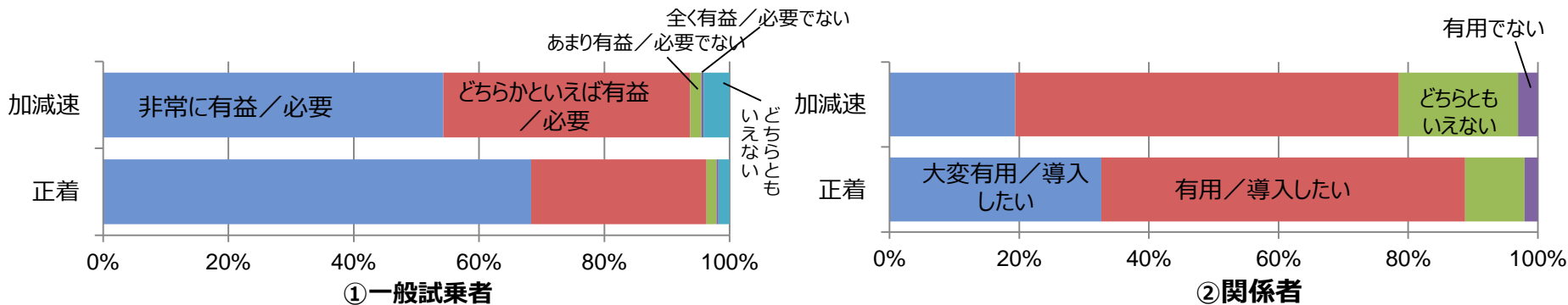
- 「どちらでもない」「やや不安」「不安」⇒「安心」「やや安心」
- ・一般 300人／434人 = 69%
- ・関係者 40／58人 = 69%



試乗前後の印象変化

2. 技術面の評価（加減速、正着制御）

・加減速、正着制御など、技術検証項目に対し高い評価（一般、関係者とも）



⇒実証実験を通じて、自動運転の社会受容性向上を促進できた

アンケート結果（2）

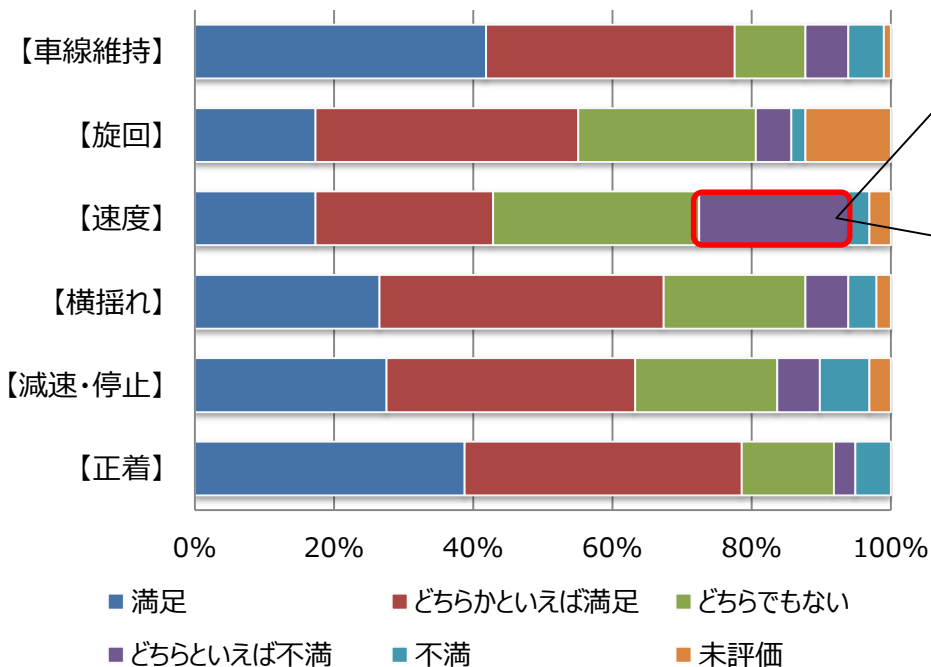
■ 乗り心地評価についての検証

一般試乗者、関係者とも高い評価

一般試乗者：乗り心地と利用頻度の相関もなく、高い評価

バス事業者：約8割が良いと回答（「非常に良い」「良い」「どちらかといえば良い」の合計）

関係者 検証項目ごとの満足度



○「速度」に対する不満が多い

①速度と速達性（定時性）について検証が必要

⇒乗客にとって重要なのは速達性（定時性）と思われ、速度を増す効果については検証の余地有。（③も関連）

②周辺走行車両との速度差や

GPSエリアとカメラエリアでの速度差を感じた
⇒ルート選定、法規制、センシング技術向上

③中間バス停停車後などで、発進待機時間が長い

⇒安全に配慮し、信号切り替わりまでバス停で待機。
公共車両優先システム（PTPS、信号連携）等による待機時間短縮が有効と思われる。

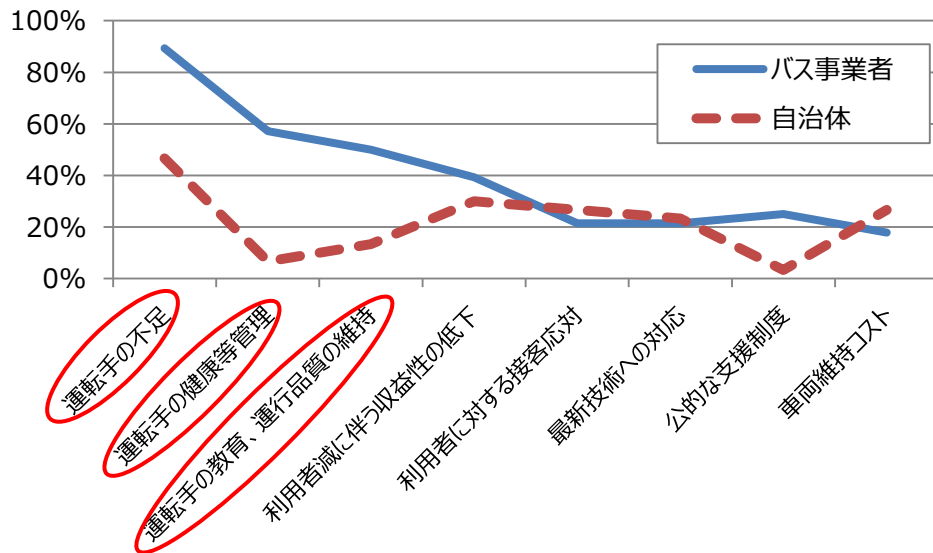
⇒自動運転バスの乗り心地に関する評価は、現状と同等以上

■自動運転バス導入意向（課題、価格含む）についての検証（バス事業者）

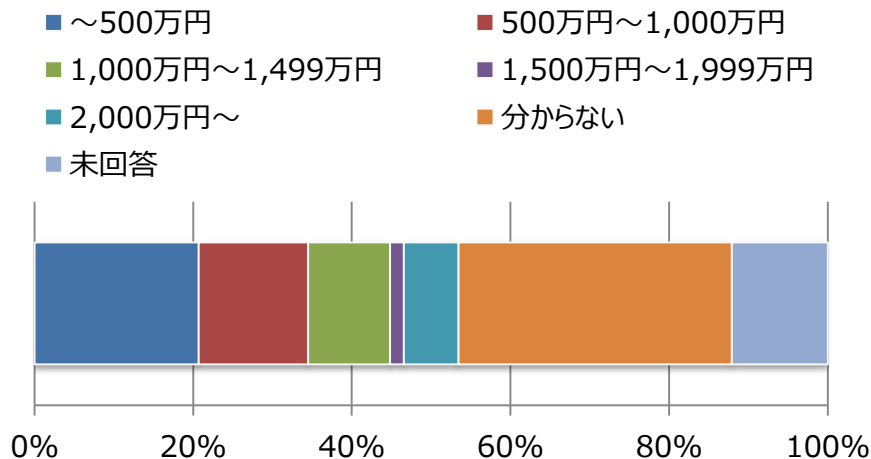
- ・ 現状の運営課題；コスト・収益性、運転手不足等
- ・ Lv.2導入メリット；交通事故低減、運転手負担軽減、習熟支援が多い（自治体比）
- ・ 導入価格イメージ；500万円以下から2000万以上とばらつきがある。また「分からない」が最も多かった。

1. バス事業運営上の課題

※3つまで選択。グラフは上位項目を表示



2. 導入価格イメージ（バス事業者、自治体計）



⇒Lv.2運転支援に対して導入意義は感じていただけただけ。
ただし、「投入費用」対「導入効果」を明確化する必要有。

実施内容 (2/19)

- 約700メートルの自動運転（操舵、アクセル・ブレーキ）体験ルートを設定
- 那覇バス、沖縄バス、東陽バスから5名の運転手に自動運転を体験いただいた

結果

- 自動運転技術、自動運転⇔手動運転の切替え等について理解いただけた
- 運転手からは、慣れるまでは違和感があったとのことだが自動運転技術について良好な評価をいただいた
- コメント例『経験がないと停止位置が離れたりするが、意外とすんなり自動で実現できたので驚いた』

- **社会実装を見据え、事業者側の受容性、理解向上に寄与**
- **レベル2：運転品質の均質化に貢献。経験浅い運転手でも安全運行可。**
(←大阪シティバス様の事例：熟練度により軽微な自損がまま起こる)



- ▶ : 自動運転 (操舵, 加減速)
- -▶ : 自動運転 (操舵, 減速停止)
- ▶ : 手動運転



4) 実用化に向けた課題

◆ 正着制御の精度

- ・路面凹凸などによる車体揺れに起因する正着結果のバラツキ
→センシング精度の改善、停留所付近の路面や道路形状の改良が課題

◆ 操舵／減速制御における乗り心地

- ・乗り心地に関する試乗者アンケート結果は好評価であった
→完全停止時のピッチング挙動、旋回半径が小さい時の横揺れ挙動の改善が課題
- ・強めの減速度(0.15G~0.2G)や高い速度からの減速制御の試乗者評価は準備不足のため未実施

◆ 車線維持制御

- ・RTK-GNSSを用いた制御では、制限速度上限(50km/h)、横風、S字カーブにおいて車線から逸脱せずに走行可能なことを確認
→センサのシームレスな切替、さらなるロバスト性向上が課題

◆ センシング技術

- ・センサ毎に長所・短所があり、良好な条件においては仕様通り良好な検出結果を得ることができたが、単一のセンサのみでは環境条件がかなり限定的となる。
→異なる複数のセンシング技術を用いたセンサーフュージョン技術が必要不可欠

◆ 実証実験事前調整

- ・実証実験をより有効なものとするため、事前調整の完成度を上げる必要があるが、複数車線かつ交通量の多い今回のルートでは、計画通り作業が進まなかった
→限定的な交通規制を行う検討も必要
→実験ルートでの工事計画、交通規制、イベント計画なども調整を行うことが望ましい

バス事業者様など様々な方々からいただいたご意見を考慮すると以下の2通りのアプローチが必要

◆ レベル2の運転支援技術を安価に提供する

- 乗用車で量産されている技術を流用し運転支援技術普及を加速させる
- 軽微な接触事故防止や運転手の負担を軽減する

◆ 限定的なレベル4自動運転の実証実験

- 免許を持たないサービス員の乗務や集中管制システムによる無人運行
- 運転手不足や採算性について議論を継続

理想的には、今後の新型車両にはレベル2の運転支援技術が装備され、将来のレベル4実現に向けて機能向上していく素地を備えていることが望ましい。

5) まとめ

- ◆ 『「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」沖縄におけるバス自動運転に係る調査』を実施した。
- ◆ 総走行距離は1300km超となり、1200名超の方に試乗していただいた。アンケートにより一般試乗者のバス自動運転に関する課題、ニーズや社会実装を見据えた事業者側のニーズ、課題認識を把握をすることができた。
- ◆ テレビ局をはじめとする多くのマスコミ関係者に取上げていただき、地域住民や観光客の関心向上にも寄与できた。
- ◆ 交通量の多い環境下で車線維持制御、減速制御、正着制御、各種センシング技術、信号機情報連携システムなど幅広い検証を長期に渡り実施でき、試験場では認識することが難しい各々の技術課題や有用性を確認することができた。
- ◆ 社会実装を実現するためには、実証実験で得た課題を元に、さらなる技術向上と導入に向けたインフラ整備、事業者を含む地域の理解や法制度の整備といった取組みを緊密に実施していく必要があり、我々も社会実装に向け継続して取り組んでいく。