

**「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」のうち**

**次世代都市交通システムの正着制御に係る
インフラ要件に関する研究開発**

報告書

－ 概要版 －

2019年2月

一般財団法人 計量計画研究所

目次

1. 検討内容
2. 公道での誘導線設置に向けた事前検討
3. 実証実験に必要な停留施設の整備
4. 技術実証
5. 正着制御に対するニーズ及び導入効果の検証
6. まとめ

- ・ 検討が進められているARTをバス停へ正着させる制御方法のうち、路面上に設置した誘導線に追従する方法は、近い将来実装可能であり、制御誤差も少ないという利点がある。一方、公道への誘導線やプラットフォーム設置に際しては、誘導線の意味や役割についての正しい理解醸成や実環境下における様々な外的要因に対する安全性、ロバスト性の担保が必要である。
- ・ このような状況の中で、本プロジェクトでは、実環境下における誘導線及びプラットフォームの設置とそれを用いての技術検証、関係者への訴求を行い、設置・維持管理体制の明確化と早期社会実装に向けた最終課題を洗い出すことを目的とする。

1 検討内容 1-2 検討フロー

a. 公道での誘導線設置に向けた事前検討

- ① 誘導線・バス停の設置場所の選定
- ② 誘導線の設置位置、プラットフォームの設置場所・形状等の検討

b. 実証実験に必要な停留施設の整備

- i. 正着用誘導線
- ii. バス用プラットフォーム

d. 正着機能に対するニーズ及び導入効果の検証

- i. 関係者向けの試乗会の実施
 - SIP、東京都関係者
 - 交通事業者、地方自治体、地元住民
 - 車椅子利用者、ベビーカー利用者、高齢者等
- ii. ニーズ検証及び導入効果の検証

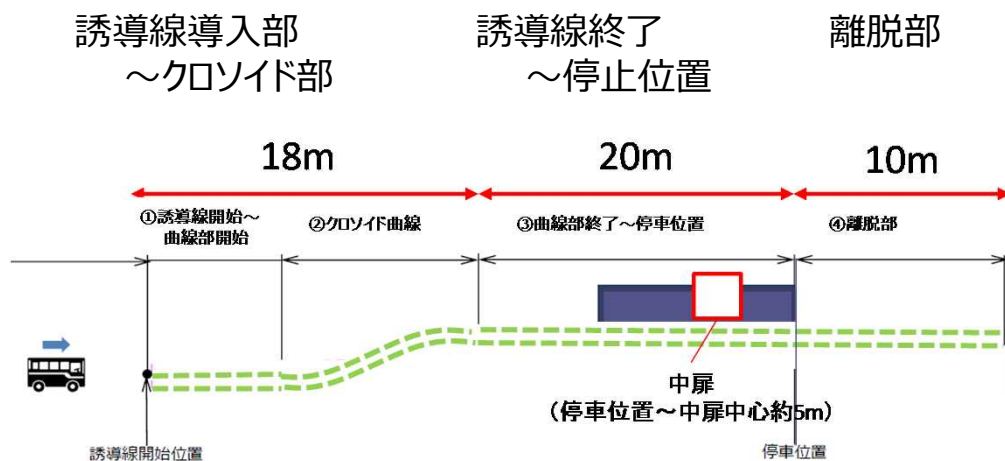
c. 技術実証の実施

- 1) 事前検証
 - i. 夜間環境下での誘導線の認識性の評価
 - ii. 正着制御用プラットフォーム構造の安全性検証
 - iii. 一般ドライバーへの誘導線の認知・理解促進
- 2) 実環境での実証
 - i. 夜間環境下での誘導線の認識性の評価
 - ii. 正着制御用プラットフォーム構造の安全性検証
 - iii. 一般ドライバーへの誘導線の認知・理解促進

とりまとめ

- ・ 誘導線は下図のと通りの構成とした。
- ・ プラットフォームの構造は、以下に示す要件（利用者視点、事業者視点）を満たすものを整備する。

■ 誘導線の構成



■ プラットフォーム構造

- ①利用者視点
 - ・ 乗降しやすさのため、高さはバスの床の高さ
 - ・ 車いすでもすれ違い可能な幅
 - ・ 5%程度のスロープの勾配
- ②事業者
 - ・ 車両と接触しても車両、プラットフォームが安全な構造
 - 案1) 接触面に保護材を設置
 - 案2) タイヤが接触しても縁石
 - ・ 車体から最も突出しているタイヤのボルトが接触しない構造

- ・各関係機関と協議を行い、東京都臨海部の南部地区から、以下の観点で実証実験の候補地を選定した。
- ・歩道の状況、道路構造等を考慮し、誘導線、プラットフォームの設置位置を検討

■実証実験地点の選定の視点

	観点	考慮すべき点・優先すべき点
施工容易性	工事による 時間的・金銭的負担の 最小化	①ガードレールや植樹帯が無い事
	周辺交通への 影響最小化	②車線数・車線幅員が十分あること ③自転車レーンやバス停がないこと
実証のしやすさ	全般	④直線部分(48m)が確保できること
	正着制御用 プラットフォーム構造の 安全性検証	⑤試乗会をするにあたり人がアクセスしやすい場所であること(車椅子利用者等も含め) ⑥バス待ちなどで一定数の人数が待機するスペースが近くに存在すること
	一般ドライバーへの 誘導線の 認知・理解促進	⑦一般ドライバーの通行が一定程度あること

■実証実験地点の選定結果

バス停①武蔵野大学前
バス停②日本科学未来館前



3 実証実験に必要な停留施設の整備

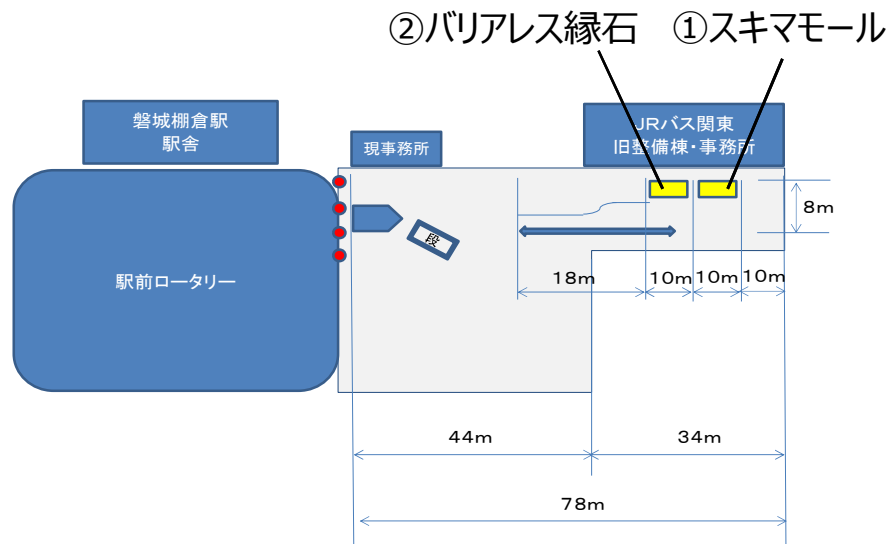
- ・テストコースと公道の実証実験で使用する停留施設（誘導線、プラットフォーム）の構造について検討した。
- ・構造の検討に際しては、各実証実験の目的、現地の状況等を勘案し、設置している。
- ・なお、上屋は、公道での実証実験で可搬型のものを検討したが、風等の安全を考慮すると、柱を一定の長さ埋設する必要があるため、今回の実証実験では設置しないこととした。

※整備した停留施設の概略はP7,8を参照

3 実証実験に必要な停留施設の整備 3-1 テストコース実証実験

7

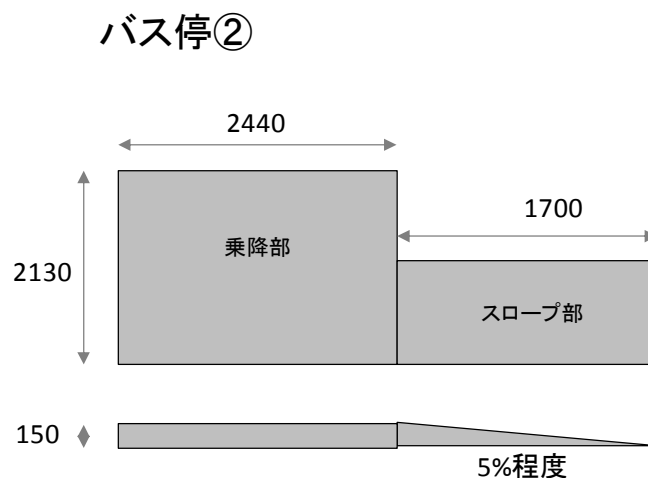
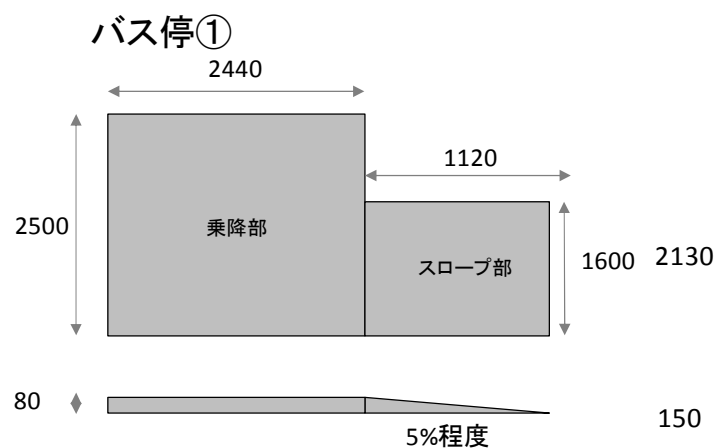
- ・テストコースでの事前検証は福島県棚倉町のバス事業者の敷地内で実施した。
- ・プラットフォームは、誘導線用のものと、バリアレス縁石用のものを2つ用意し、誘導線とあわせて設置し、技術検証を行った。
※誘導線は先に示したとおり。



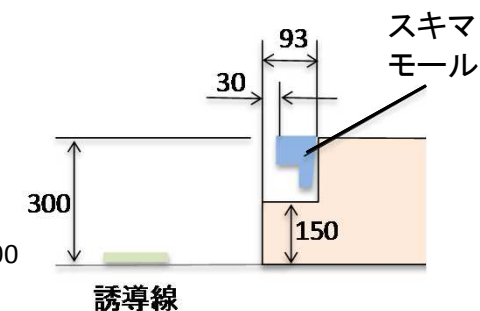
3 実証実験に必要な停留施設の整備 3-2 公道・試乗会

- 公道実証・試乗会は、東京都の臨海部南地区で実施した。
- バス停2箇所を設置するプラットフォームは下記の構造のものとした。
- 安全な構造とするため、車両との接触面には保護材としてスキマモールを設置した。また、タイヤのハブボルトが接触しないように、スキマモール設置部は、セットバック構造としている。

■プラットフォーム構造



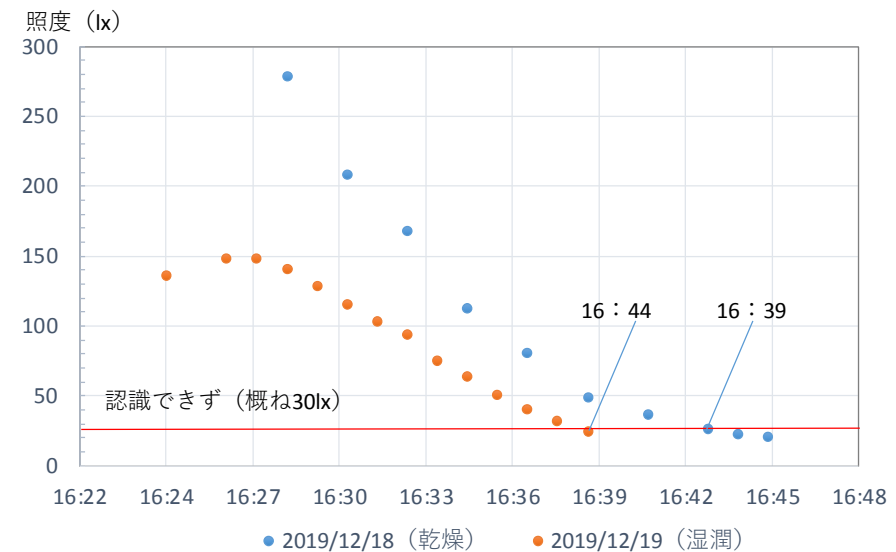
■プラットフォーム断面構造



4 技術実証 4-1 夜間環境下での誘導線認識性能評価 (1)事前検証

- 乾燥状態、湿潤状態で、日没時のカメラによる誘導線の認識状況を確認した。
- 乾燥路面では22lx、湿潤路面では24lxが、カメラが認識できる最低の照度と確認した。そのため、カメラの誘導線の認識には、30lx程度必要であると考えられる。

検証目的	<ul style="list-style-type: none">● 日没時のカメラによる誘導線の認識限界を確認。● 路面が乾燥状態、湿潤状態で正着制御を行い、湿潤状態の影響を確認
検証方法	<ul style="list-style-type: none">● 日没時に、照度を計測しつつ、ヘッドライトを点灯しながら、連続して正着制御を行い、照度と正着制御の関係を整理。● 乾燥状態と湿潤状態で同様に正着制御を行い、湿潤状態の影響を確認。
検証項目	<ul style="list-style-type: none">● 検証時の照度● 正着制御距離



4 技術実証 4-1 夜間環境下での誘導線認識性能評価 (2)実環境

10

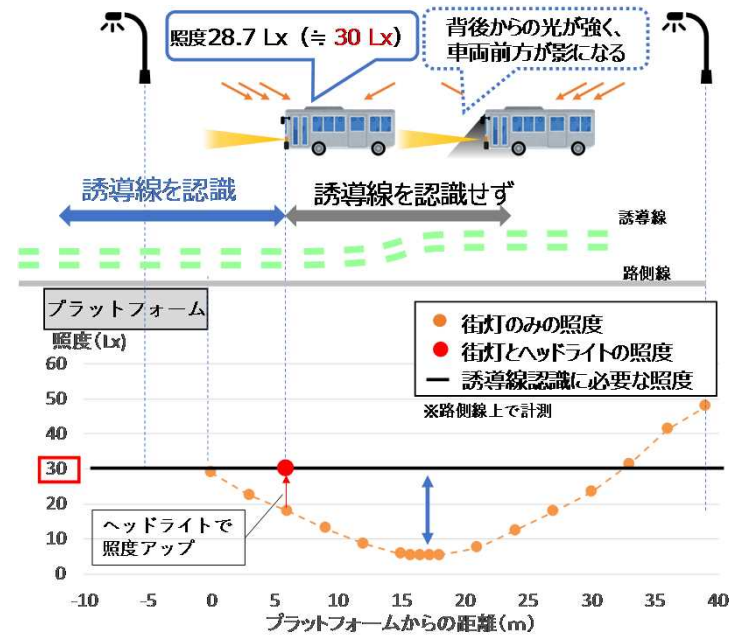
- ・ 試乗会テストコースでは、複数のライトのパターンで正着制御実証を行った。
- ・ 最も強い照度設定であるパターン①においてもカメラが認識できなかった。
- ・ カメラが誘導線を認識できた地点の照度を計測すると、ヘッドライトも含め30lxであった。誘導線の劣化がない好条件での結果であることを踏まえ、街路灯で確保が必要な照度を30lxと考える。

■ 実環境を想定した街灯のパターン

- パターン①： ナトリウム照明並み
(豊洲のバス停付近の明るさを再現)
- パターン②： LED照明並み
(都基準：片側2車線・歩道あり)
- パターン③： LED照明並み
(都基準：片側3車線・歩道あり)
- パターン④： 誘導線にブラックライトで光る
素材を使用した場合



■ 検証結果の概略



- ・テストコースにおいて、正着制御用プラットフォーム構造の安全性検証は、以下に示す目的、方法で検証を行った。

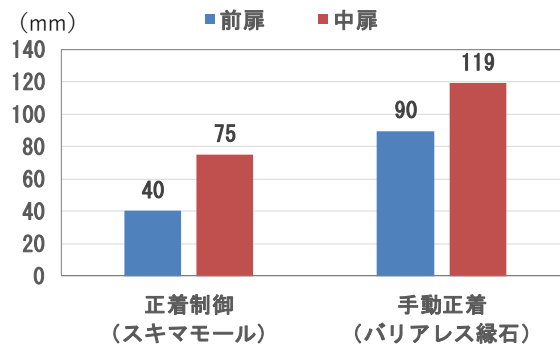
<p>検証目的</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①通常通りに正着制御の状況を確認（バリアレス縁石との優位性を確認） ②正着制御の失敗時の車両、プラットフォーム、車内乗客への影響を確認 ③バス停付近に停車車両がある場合（停車時）の手動での寄せ状況を確認 ④バス停付近に停車車両がある場合（発車時）の物理的な出発可能性を確認 ⑤バリア縁石の凹凸のカメラへの影響の確認
<p>検証方法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①通常通り正着し、正着距離を計測 ②バス停への正着直前の低速時にハンドルを切ってプラットフォームとバスを接触させ、加速度等を計測 ③手前の一定距離にコーンを設置し、それらを避けて手動で停車したときの正着距離を計測 ④正着状況から操舵し、前方の車両を回避できる物理的な距離を計測 ⑤バリアレス縁石で正着したときのカメラの状況を確認
<p>検証項目</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●速度、操舵角、前後加速度、左右加速度 ●正着制御距離

4 技術実証 4-2 正着制御用プラットフォーム構造の安全性検証 (1)事前検討

12

- 通常の正着制御とバリアレス縁石への手動運転での正着では、前扉までの距離は前者は4cm、後者は12cm程度と、誘導線を用いた正着制御が優位である。
- 正着の失敗の再現では、接触による車体・タイヤ等の損傷、スキマモールの機能の損傷は見られず、車内への乗客への影響も最小限であることが確認された。
- 接触した場合の運転方法は、検討課題である。

① 正着制御と手動運転での正着距離の比較 (正着制御:11回、手動正着:3回)



※中扉が十分に寄せ切れていない可能性

② 正着制御の失敗時の影響の確認

■ スキマモールの状況

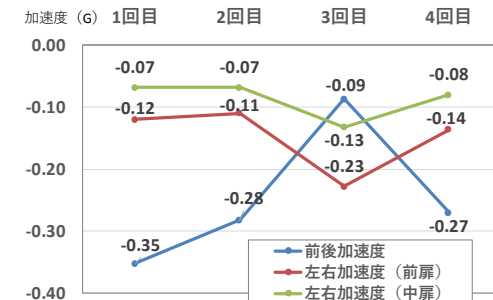


■ タイヤ・車体の状況



- スキマモールの機能の損傷は見られなかった。
- タイヤにコンクリートの接触跡はみられたものの、車体・タイヤの損傷はみられなかった。
- 車内の調査員は接触による大きな揺れは感じなかった。
- 実験では、接触直後車体へのダメージを最小限にするため、急ブレーキを踏んだこともあり、前後加速度は0.1未満であった。

■ 試行時の前後・左右加速度の最大値の検出状況

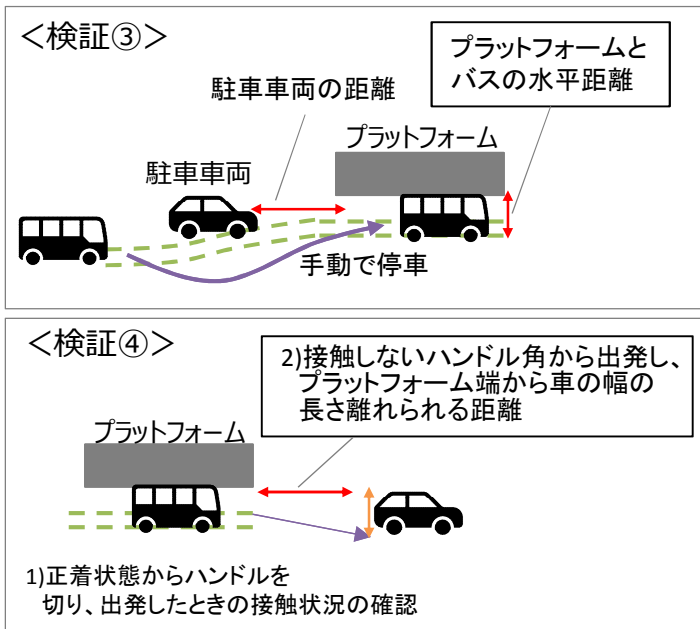


4 技術実証 4-2 正着制御用プラットフォーム構造の安全性検証 (1)事前検討

13

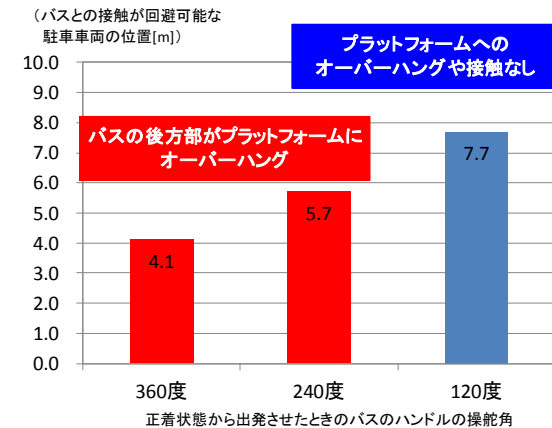
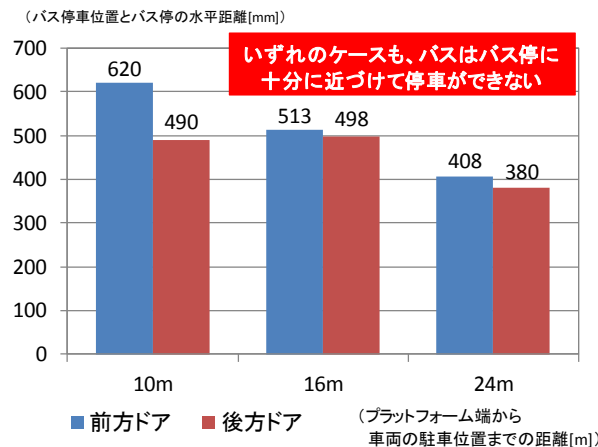
- ・バス停車前に駐車車両があり、手動でバスをプラットフォームに正着させる場合、プラットフォームと駐車車両の距離が長い程、水平距離は縮まるが十分に近くで停車することは難しい。
- ・正着時に、バス停先に駐車車両がある場合、バスがバス停から出発することができる距離は概ね10m程度である。

■ 検証方法



■ 検証結果

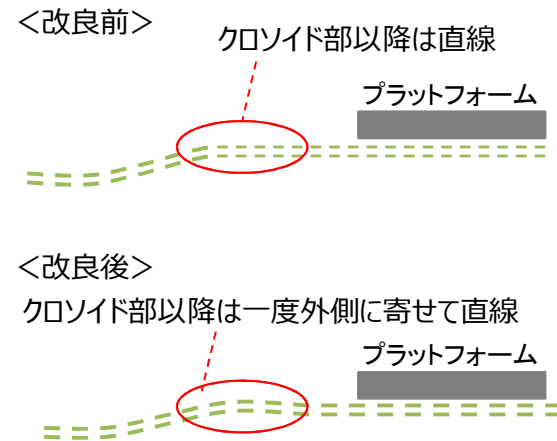
③バス停車前での駐車車両の影響の検証 ④バス停車先の駐車車両の回避可能性の検証



- ・公道での以下を目的とした実証実験を行った。
 - ①公道での正着状況や課題の確認
 - ②テストコースで課題となった中扉の寄せ幅に対応した誘導線の改良効果の確認
 - ③公道に設置した誘導線の一般車への影響の確認

検証目的	①公道での正着状況の確認 ②テストコースでは中扉が寄せ切れなかったため、早く寄せられるように誘導線を改良し、その効果の確認 ③公道に設置した誘導線の一般車への影響の確認
検証方法	①、②誘導線を改良し、その正着精度を確認し、テストコースの精度と比較 ③バス停付近で一般車両の挙動を確認（減速、車線変更等）
検証項目	●速度、操舵角、前後加速度、左右加速度 ●正着制御距離

■ 誘導線の改良



※中扉がプラットフォームにより近い位置で停車する

■ 公道実証の場所



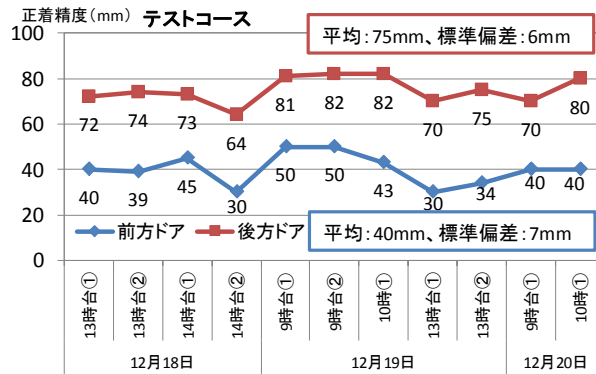
4 技術実証 4-2 正着制御用プラットフォーム構造の安全性検証 (2)実環境

15

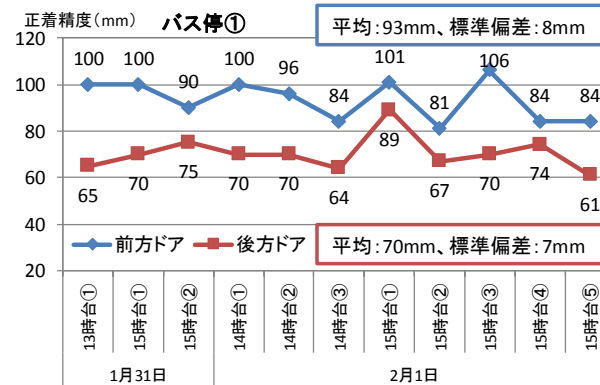
- ・改良した誘導線における正着状況の確認をした。
- ・公道においても概ね安定的に正着したことが確認された。
- ・テストコース（棚倉町）での正着状況と比較すると、前扉と中扉の正着距離の差は縮小しており、誘導線の改良の効果が確認された。

■ 検証結果

<テストコース>



<バス停①>



<バス停②>

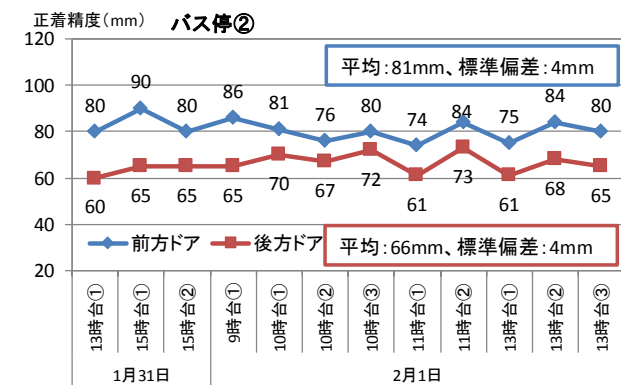


表 検証結果まとめ

		前方ドア	後方ドア	差分(後方ドア-前方ドア)
公道	バス停①	93	70	-23
	バス停②	81	66	-15
事前検証	テストコース(棚倉)	40	75	35

- ・バス停①、バス停②で誘導線を通過する車両の挙動を午前午後の各20分ずつ確認したところ、通過した何台かの車両は、誘導線を避けるようにセンターライン寄りに走行していた。
- ・急ハンドルや急ブレーキなどの危険につながる運転はみられなかった。
- ・歩道の植栽が車道側に成長している枝等は選定する必要がある。

■ 検証結果

＜走行する車両の様子＞

バス停①



バス停②



＜誘導線の影響と考えられる車の挙動＞

事例	車種	挙動内容
①	軽乗用車、乗用車、トラック	誘導線を避けるように道路中心付近に寄って走行
②	トラック	誘導線を避けるように道路中心付近に寄って走行
③	トラック	誘導線を避けるように道路中心付近に寄って走行
④	乗用車	誘導線の前で車線変更、誘導線通過後、再度元の車線に戻った
⑤	乗用車	誘導線を避けるように道路中心付近に寄って走行

■ その他



4 技術実証 4-3 一般ドライバーへの誘導線の認知・理解促進 (1)事前検討

17

- ・誘導線の認知・理解促進のため、下表の施策・調査を整理した。このうち、パンフレットの配布、看板の設置などによりPRを行い、Webアンケート調査により実施結果を確認した。

検証目的	検証方法	検証項目	方策(案)	対象範囲	内容	調査手法(案)		
						誘導線の認知度	誘導線の理解度	
①PRにより、一般ドライバーに誘導線、正着制御を認知・理解してもらう。 ②実施した状況と効果を確認する。	①Webサイトやパンフレットの配布、沿道での看板の設置により広報 ②Webアンケート調査による確認	<ul style="list-style-type: none"> ● 誘導線の認知状況（認知有無、目的、効果） ● 公道実証実験の認知状況 	テレビ・新聞等での広報	全般	実証実験や誘導線の設置など、マスコミでの紹介、Webでの掲載により、幅広い国民に誘導線を「認知」してもらう。	Web調査【調査①】	Web調査【調査①】	
			WEBサイトへの掲載					
			パンフレットの配布	沿線住民	沿道で、看板設置、リーフレット配布を行うことで、誘導線の実物等を現場で見ってもらうことにより、「理解度」を深める。 (+認知度を高める)		Web調査【調査①】	Web調査【調査①】 + 沿線施設アンケート
				沿線事業者				
看板の設置 (誘導線設置区間)	誘導線設置区間通過者			23区居住者へのWEB調査【調査①】				

<実施内容>

- ・SIP成果報告会でのWebサイトへの掲載
- ・パンフレットの配布
- ・看板の設置

<実施内容>

- ・WEB調査
※1,000サンプル

4 技術実証 4-3 一般ドライバーへの誘導線の認知・理解促進 (2)実環境

- ・ 誘導線の認知・理解促進のため、下表の施策・調査を整理した。
- ・ 誘導線をみたことがある人は全体の14.5%で、正しく認識している人は全体の9.7%である。
- ・ 何れも年齢による大きな差はない。

■ Webアンケート調査項目

- 属性
 - ・性別、年齢、居住地、職業
- 誘導線について
 - ・公道で見たことがあるか。
 - ・誘導線の目的
- 正着制御について
 - ・知っていたか。
 - ・正着制御の社会的なメリット・デメリット
- 車いす、ベビーカー、バスの利用について

■ 誘導線をみたことあるか。

	n=	■ ある	■ ない	(%)
合計	(1,030)	14.5	85.5	
20代	(206)	20.9	79.1	
30代	(206)	15.0	85.0	
40代	(206)	15.0	85.0	
50代	(206)	9.2	90.8	
60代以上	(206)	12.1	87.9	

■ 誘導線の目的 (複数回答)

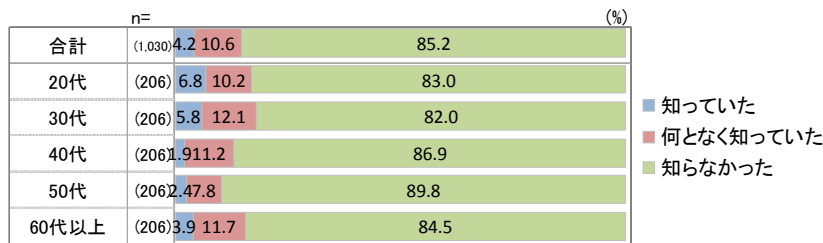
	n=	0.9	43.6	13.3	18.5	9.7	0.32	23.4	(%)
全体	(935)								
20代	(183)	2.2	47.5	16.9	19.1	12.0	0.55	18.0	
30代	(187)	-	49.7	18.2	19.8	11.2	-	12.8	
40代	(185)	1.1	41.6	11.9	19.5	9.7	0.54	23.8	
50代	(192)	1.0	48.4	10.4	15.6	7.3	-	25.5	
60代以上	(188)	-	30.9	9.0	18.6	8.5	0.53	36.7	

- 道路工事のための線
- 自転車の走行場所を示す線
- バイクの走行場所を示す線
- 左折車両が道路の左側に寄るための線
- バスを誘導するための線
- その他
- 何のための線なのか想像がつかない

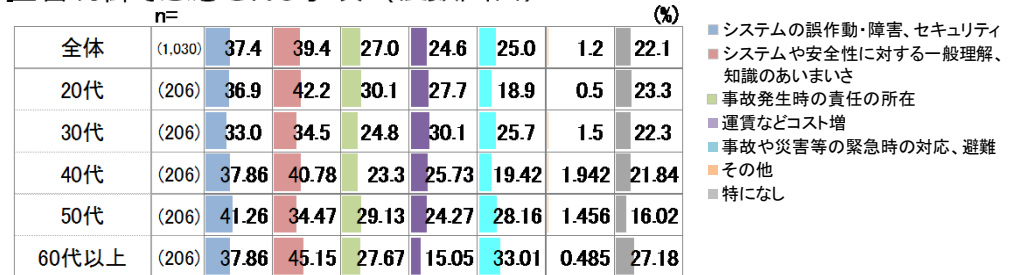
4 技術実証 4-3 一般ドライバーへの誘導線の認知・理解促進 (2)実環境

- ・ 正着制御技術を知っている人は4.2%で、85.2%は知らなかった。
- ・ 社会的メリットは、「高齢者等の移動支援」「バリアフリー社会への貢献」等の回答が多い。
- ・ 正着制御で懸念する点は、「システムの安全性に対する一般理解」「システムの誤作動等」等の回答が多い。
- ・ 全体では、70%以上が「非常に有益」または「どちらかというとも有益」と回答している。

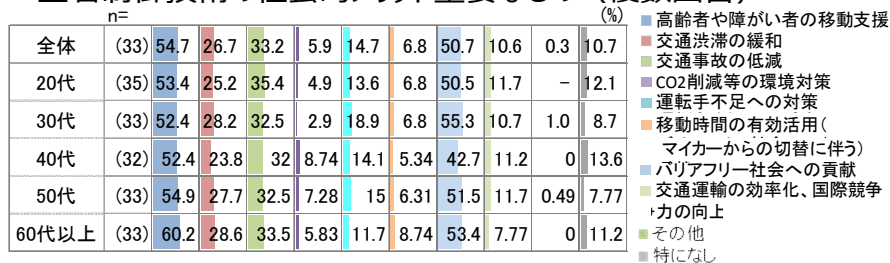
■ 正着制御を知っているか。



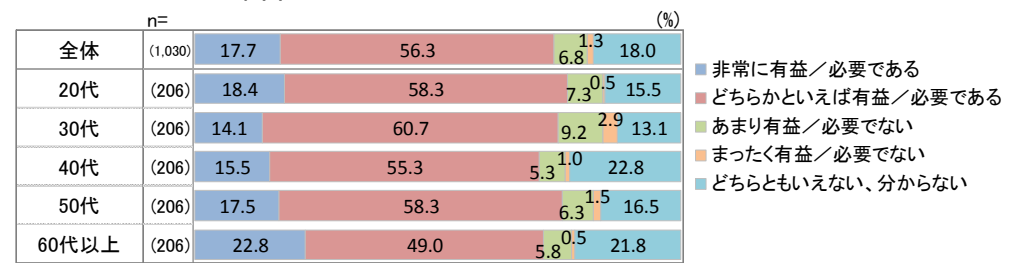
■ 正着制御で懸念される事項 (複数回答)



■ 正着制御技術の社会的メリット重要なもの (複数回答)



■ 正着制御に対する評価



※Web調査では、正着制御に関する質問の前に、正着制御の意義を回答者に説明した上で回答を求めている。

5 正着制御に対するニーズ及び導入効果の検証

- 「正着制御に対するニーズ」及び「導入効果」を検証するため、関係者向け試乗会として、「試乗会」と「SIP成果報告会」を開催した。
- 「試乗会」では関係者とモニターによる正着制御の試乗が、「SIP成果報告会」は報告会参加者の正着制御の試乗とバス停とバス車両の高さと幅のギャップの模型による体験会が行われた。

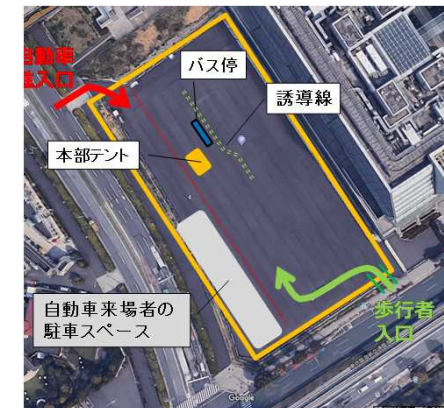
■開催概要

検証場面	日時	場所	対象者/狙い
試乗会	2019年 1月29日(火) 1月30日(水) 平日:2日間	有明G1 駐車場	関係者、モニター ⇒乗車体験を経たうえでの 正着制御に対するニーズ・導入効果を検証
			バス運転手 ⇒運転手目線でのニーズ を把握する
SIP 成果 報告会	2019年 2月6日(水) 2月7日(木) 平日 2日間	TFTビル 屋内展示 ホール内	SIP成果発表会参加者 ⇒バス車両とバス停間の 空間ギャップに関する詳細なニーズを把握
		有明G1 駐車場	SIP成果発表会参加者 ⇒乗車体験を経たうえでの 正着制御に対するニーズ・導入効果を検証

■開催場所



■開催レイアウト (試乗会の例)

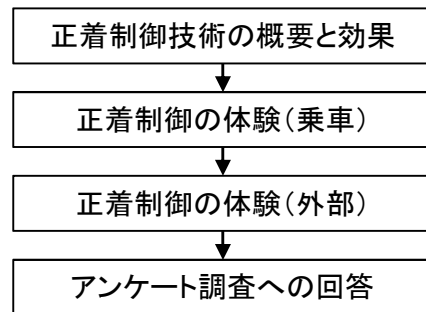


5 正着制御に対するニーズ及び導入効果の検証 5-1 関係者向け試乗会の実施

21

- 「試乗会」では、関係者とモニターに対し、正着制御の技術の概要と効果について説明を行ったうえで、正着制御の体験をしてもらい、その後、アンケートに回答していただいた。

■ 試乗会の流れ



■ 参加者

- 20歳から75歳までの方 (92)
 - ・車いすの方、ベビーカーユーザーの方 含む
- 東京都
- 交通管理者
- 交通事業者
- 自治体
- 車両メーカー 等

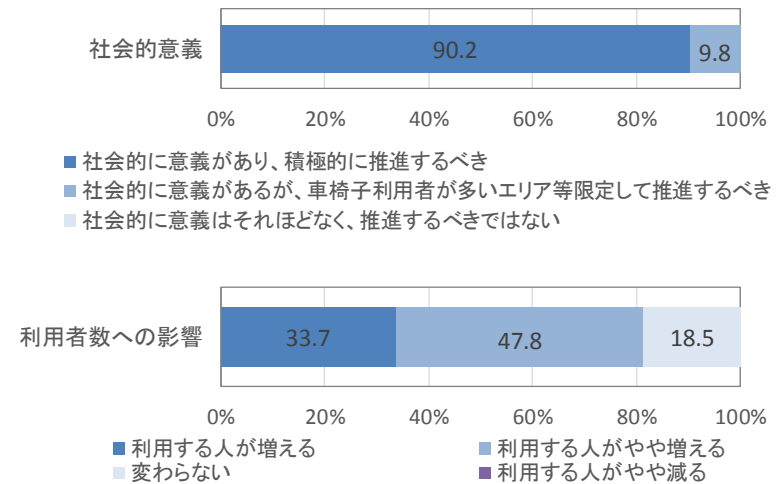
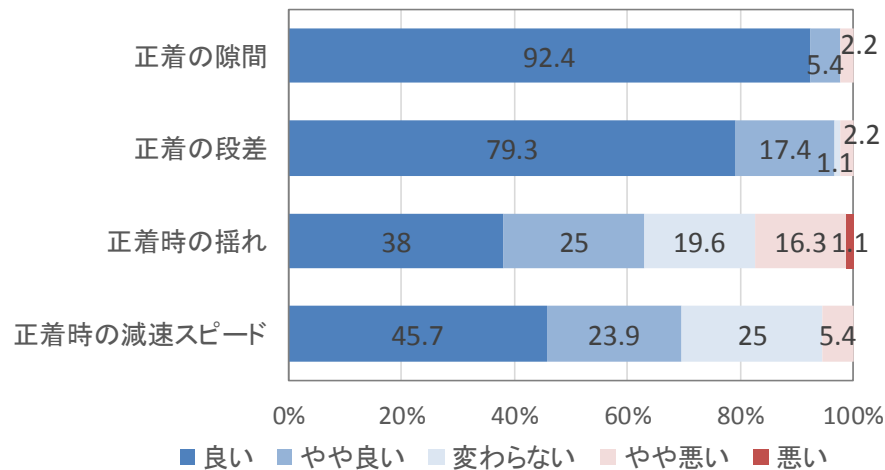
■ アンケート調査

- 属性
 - ・性別、年齢、職業
 - ・車いす、ベビーカー、バスの利用について
- バス乗降高さ・正着幅別の評価
 - ・バスとプラットフォームの間、段差
 - ・幅寄せ時の車両の揺れ
 - ・幅寄せ時の減速スピード
- 将来バス路線に誘導線が設置について
 - ・社会的な意義 等



5 正着制御に対するニーズ及び導入効果の検証 5-1 関係者向け試乗会の実施

- ・従来のバスと比較して、「正着の隙間」、「正着の段差」は95%以上の方が、「良い」あるいは「やや良い」と回答している。
- ・「正着時の揺れ」「正着時の減速スピード」も大半が「変わらない」か「やや良い」「良い」と回答している。
- ・社会的な意義は、全ての人が感じており、90%以上は「積極的に推進すべき」と回答している。



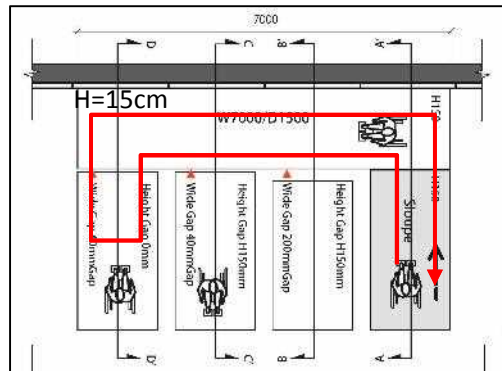
5 正着制御に対するニーズ及び導入効果の検証 5-2 SIP成果報告会

23

- ・ 来場者に、正着時の高さ、幅の違いによる乗降しやすさを、車いすを利用して体験いただいた。
- ・ その後、アンケート調査を行い、正着制御に対するニーズと導入効果を確認した。

■ 正着の効果体験ブースの概要

- ・ 正着時の高さ、幅の違いによる乗り降りのしやすさを車いすで体験
- ・ 15cmの高さの台に対し、スロープ、H30cm・W20cm、H15cm・W4cm、H30cm・W20cm台で乗り降りのしやすさを体験



H=15cm H=30cm H=30cm
W=4cm W=4cm W=20cm



■ アンケート調査の概要

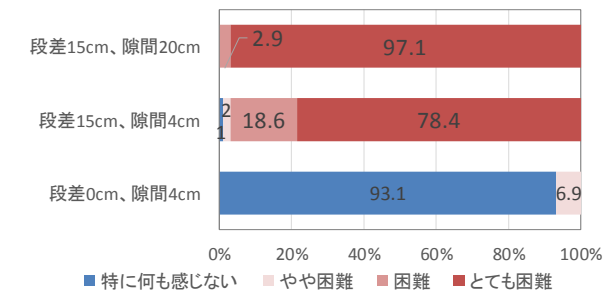
○ 属性

- ・ 性別、年齢
- ・ 普段のバス利用状況、
- ・ 車いす、ベビーカー使用の有無

○ バス乗降高さ・正着幅別の評価

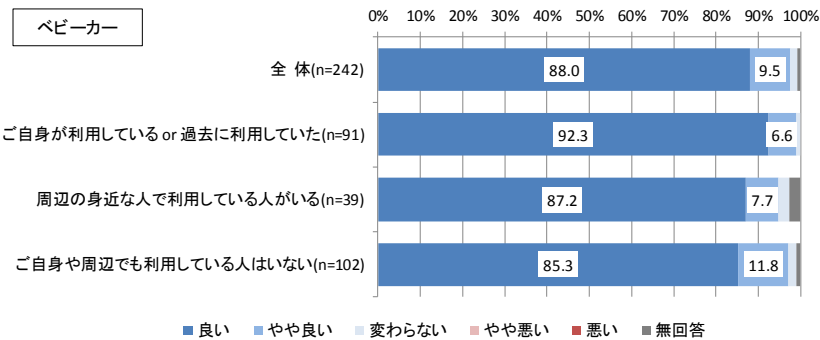
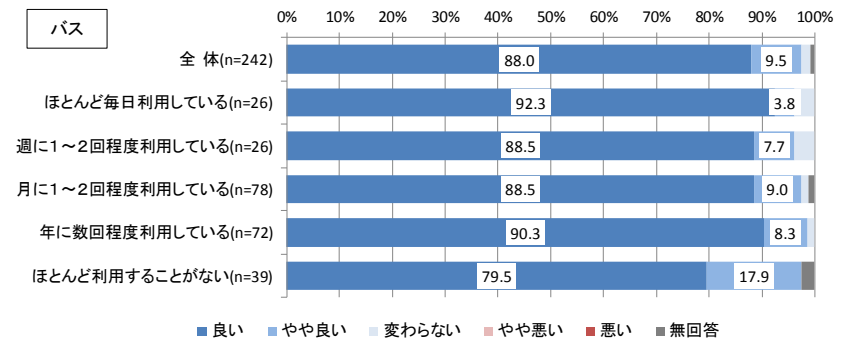
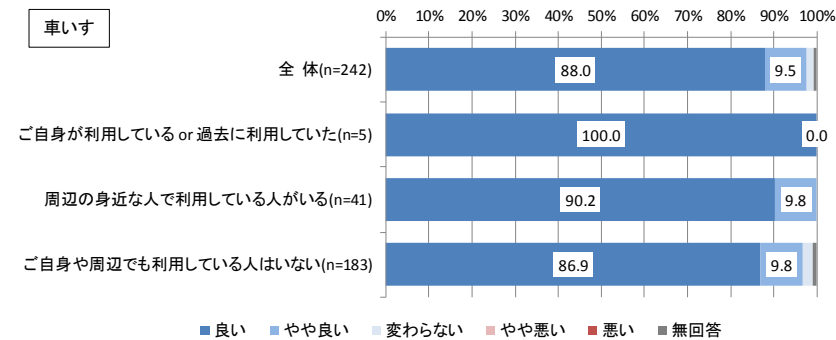
- ・ プラットフォームの利用しやすさ (通常時/車いす利用時)
- ・ 自由意見

■ アンケート調査の結果



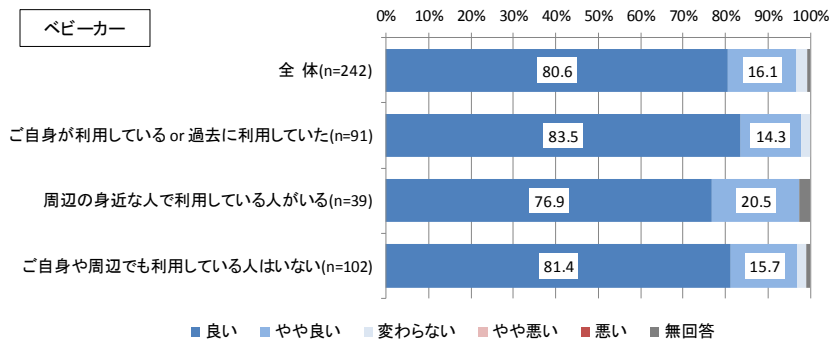
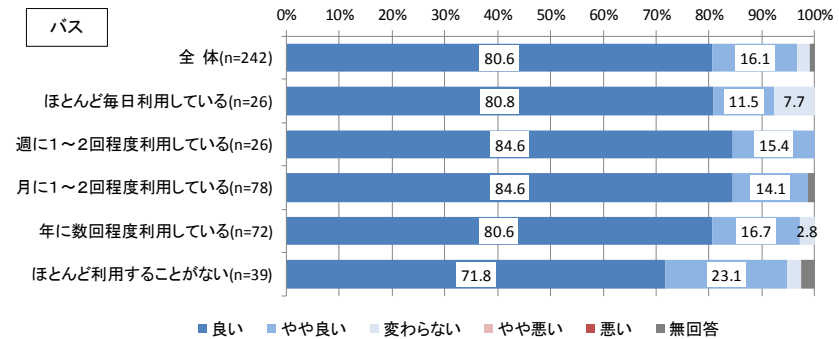
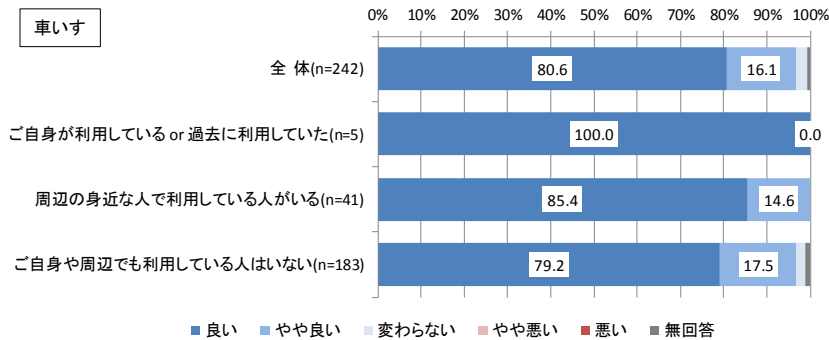
5 正着制御に対するニーズ及び導入効果の検証 5-2 SIP成果報告会

- 成果報告会に隣接する駐車場では、参加者に正着バスへ試乗してもらい、試乗者を対象にアンケートを実施した。
- 隙間の評価は、何れも「良い」が大半を占める。車いすユーザー、ベビーカーユーザー、バス利用者の方が高い傾向にある。



5 正着制御に対するニーズ及び導入効果の検証 5-2 SIP成果報告会

- ・ 段差の評価も全体的に「良い」「やや良い」と回答している人の割合が高い。
- ・ 「良い」と回答している人の割合は車いすの利用者やバスの利用頻度が高い人の方が高い傾向がある。



■ 夜間認識性評価

- ・夜間は、誘導線の劣化等の影響を踏まえると、より安全な照度が必要となり、街灯の明かりのみで30lx程度確保が必要である。確保に際しては、影で暗くならない配慮も必要となる。

■ 安全性の検証

- ・バリアレス縁石による正着制御を比較すると、誘導線方式の正着制御は安定的、より近い距離で正着が可能で、有意である。
- ・正着制御が失敗した場合でも、プラットフォーム上部をセットバックさせ、緩衝材を設置することで、車体、プラットフォーム、乗客の何れも安全が担保できる。ただし、接触後のより安全な運転方法は今後の検討課題である。
- ・手動の場合、停車、出発が難しくなるため、バス停手前の誘導線設置区間とバス停の先10mの間は、駐車車両を禁止する、可能であれば専用区間とする必要がある。バス停手前に駐車車両があり、手動で正着する場合、客の乗降方法は要検討である。

■ 一般ドライバーの誘導線の認知・理解促進

- ・誘導線の目的を認識する人は1割であり、属性の違いはみられない。正着技術を知る人は、何となく知っているも含め15%程度である。
- ・誘導線や正着制御の意義を説明した上で、社会的メリットとして「高齢者等の移動支援」「バリアフリー社会への貢献」を半数以上があげ、正着制御に対する評価として有益であるとの回答が70%を超えており、正着制御の意義が理解されている。
- ・今後も認知・理解を推進し、正着制御の意義を理解してもらうことが重要である。

■ 正着制御に対するニーズ及び導入効果の検証

- ・「正着の隙間(4cm)」「正着の段差(0cm)」に対し、従来と比較して「良い」「やや良い」との回答は95%以上を占め、社会的意義を感じる回答者が大多数であった。