

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／
自動運転（システムとサービスの拡張）／

BRT（Bus Rapid Transit）への自動運転による 正着制御技術等の導入に向けた調査

中間報告書

2021年3月



一般財団法人
計量計画研究所
THE INSTITUTE OF BEHAVIORAL SCIENCES

- バスのバス停への正着は、バス車両とバス停の隙間と段差を小さくすることで、車いす利用者、高齢者、ベビーカー利用者等もスムーズに乗降可能なバリアフリー化の一要素として重要性が認識されている。
- 欧州諸国などでは、専用の縁石を用いた手動正着を導入する事例もみられるが、日本への導入に際しては、タイヤの摩耗や停止時のタイヤと縁石による接触による揺れ等が懸念されている。
- 一方で、正着制御技術は近年開発が進められている次世代都市交通システムの一要素として位置付けられており、自動運転技術として導入が期待されている。
- 正着制御技術にはいくつかの方式がありそれぞれ開発が進められているが、本調査では、海外で導入実績があり、2020年に実用化が期待されている「誘導線をカメラで読み取る方式（以下、誘導線方式）」について、導入に向けた検討を行っている。

1. 検討概要 1-2 検討目的

○現時点で以下の課題が残されており、誘導線式正着制御システムのBRT等への社会実装に関する採否が未決定である。

- ① 誘導線の耐久性、メンテナンス頻度や手法が不明
- ② 天候（降雨、降雪）や夜間におけるシステムのロバスト性が未確認
- ③ システムの社会的効果の検討が未整理
- ④ 誘導線の施工・管理主体（道路管理者・事業者）が未調整
- ⑤ システム異常発生時の対応、責任の所在が不明確
- ⑥ 導入の採否が未決定のため、公道のバス停区間への誘導線設置可否に関する関係者調整が未実施

○本調査では、2020年10月より開始された東京BRTの1次プレ運行の期間中に実証実験を実施し、①～③の課題を検証することで、今後④～⑥の課題解決への道筋をつけることを目的とする。

■ 東京BRT運行ルート（1次プレ運行）



10月1日より、
虎ノ門ヒルズ
～晴海BRTターミナル
間を運行中

晴海BRTターミナルで
正着制御が可能な
誘導線とバス停を設置

(1) 誘導線式正着制御の技術的課題検証

① システム使用条件の明確化

- ・ 夜間、雨天、降雪時などにおけるシステム使用条件（照度、雨量、降雪）の関係を把握

② 誘導線耐久性確認

- ・ 誘導線の塗装の状況とシステムの誘導線の認識状況を把握し、誘導線の劣化状況や既存の調査結果等を踏まえ、メンテナンス頻度を整理

(2) 誘導線式正着制御技術の社会的効果の検証

① 正着によるバリアフリー化効果の検証

- ・ 利用者へのアンケート調査や運転者へのヒアリングにより具体的な効果を把握

② 正着による乗降時の時間短縮効果

- ・ 正着による時間短縮等の個別効果（1人1人で得られる効果）と、路線全体の効果を把握

③ 乗車時・降車時の転倒防止効果検証

- ・ 乗降時の利用者のつまずき状況を正着有無別に把握し、乗降時の転倒防止効果を把握

④ 停車・発進時の転倒防止効果検証

- ・ バスの停車・発進時の車両の揺れ（操舵角や加減速）と乗客への影響を正着有無別に把握し、停車・発進時の転倒防止効果を把握

2. 検討状況 2-1 検討の概要

- 本年の検証の状況は下記のとおり。
- 緊急事態宣言の発出等によりモニター募集による一部の調査等ができず、次年度実施を行う予定である。

■ 検討状況

分類	検証項目	検証状況
(1) 技術的 課題検証	① システム使用条件の 明確化	○ 夕方、降雪のシステム使用条件を検証 → 降雨時の使用条件は次年度に検証
	② 誘導線耐久性確認	○ グランシャルシートを用い、誘導線の劣化時のカメラの認識状況を確認 △ 設置後の誘導線の劣化状況を把握 → 次年度、時系列的な劣化状況を2回確認し、メンテナンス頻度を推定
(2) 社会的 効果検証	① 正着による バリアフリー化 効果の検証	△ (2)②のモニター30名に対し、アンケート調査実施（目標150名） △ 運転手にヒアリング調査を実施 → 次年度、モニターを募集し、追加調査を実施
	② 正着による乗降時の 時間短縮効果	○ モニターを募集し、属性別の乗降時間を計測 → 次年度、BRT利用者数を計測し、全体の時間短縮効果を把握
	③ 乗降時の 転倒防止効果検証	△ 乗降時の転倒状況をカメラで観測 → 次年度、カメラで乗降者を観測し、乗降者別転倒者数を計測
	④ 停車・発車時の 転倒防止効果検証	△ 停車・発車の転倒状況をカメラで観測 → 次年度、カメラで車内を観測し、停車・発車時の転倒者数を計測

2. 検討状況 2-2 検証の実施場所

- 2020年11月17日～22日の6日間、晴海BRTターミナルで実証実験を行った。
- 晴海BRTターミナルは、メインバス（乗車客用）、サブバス（降車客用）の2つのバスバースが設置されており、今回の実証実験ではサブバスを使用した。
- サブバスは乗降部の高上げがされていないため、乗降台を設置し、実証実験を行った。

■ 東京BRTの路線図と実証実験場所



■ 使用車両（トヨタ：SORA）



■ 乗降台



■概要

- 誘導線式正着制御では、バス車両に搭載したカメラが路面の誘導線を読み取り、カメラの情報に基づき誘導線に沿って自動操舵され、バス停への正着が行われる。
- 外的な要因でカメラの読み取り精度は変化するため、本格導入に向けて、夜間（夕方）、雨天・荒天時、降雪時の様々な条件下における正着制御システムの誘導線の認識可能な使用条件を明確化する。
- なお、雨天・荒天に関しては、2020年度の実証可能な期間中に雨天が発生しなかったため、2021年に実施することとした。

【検証項目1】

- ・夕方・夜間の正着の可否

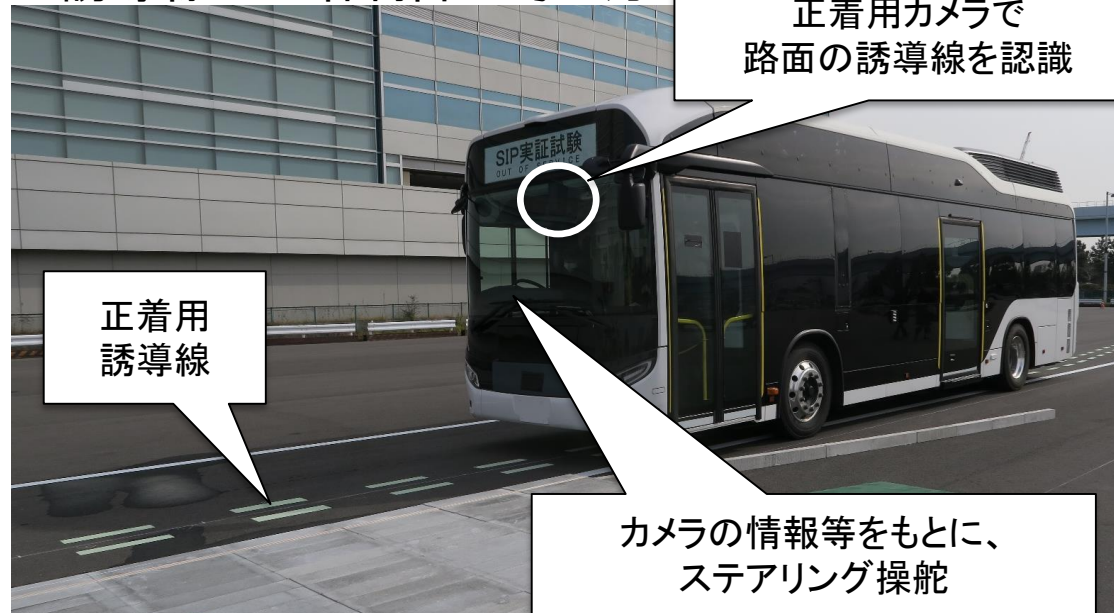
【検証項目2】

- ・雨天・荒天時の正着の可否条件

【検証項目3】

- ・降雪時の正着の可否条件

■誘導線式正着制御の考え方



■ 検証1: 夜間

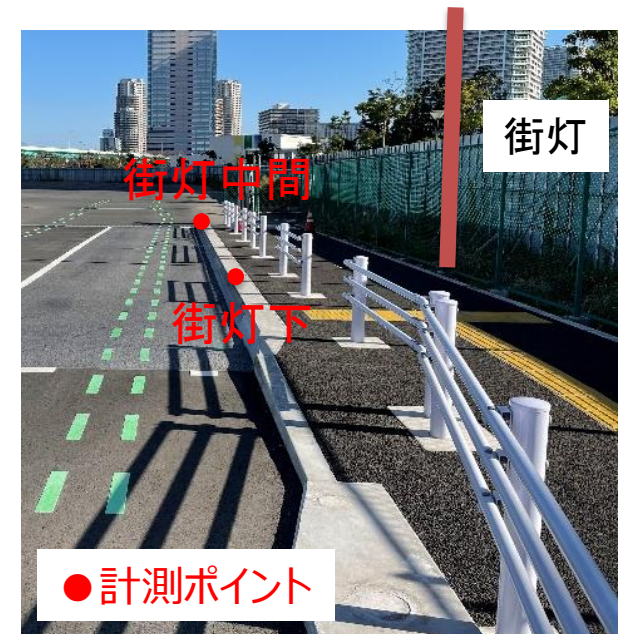
- 日の入時刻前から、照度を計測しながら、正着制御を繰り返し実施し、カメラが誘導線を認識しなくなる照度の閾値を確認した。
- 概ね**日の入後15分、照度30luxでカメラが認識**しなくなった。

検証項目	計測項目	実施概要
【検証①】 夕方・夜間	①正着用カメラの認識有無 ②照度 ③路面の乾湿状況	・日の入時刻前から正着制御を繰り返し実施 (2分間隔程度) ・正着制御した際の条件を照度計・目視で確認 →4日間実施

■ 計測結果の概要

	日の入時刻	照度 (lux) (照明下)	計測時刻	照度 (lux)		計測時刻	照度 (lux)	
				誘導線認識			誘導線認識せず	
				照明下	照明中間		照明下	照明中間
11/18	16:33	495	16:47	108	68	16:50	80	41
11/19	16:33	534	16:49	76	35	16:51	78	19
11/20	16:32	315	16:46	90	47	16:48	72	32
11/21	16:32	480	16:48	66	34	16:51	59	26

※路面は何れも乾燥



■ 検証3: 降雪

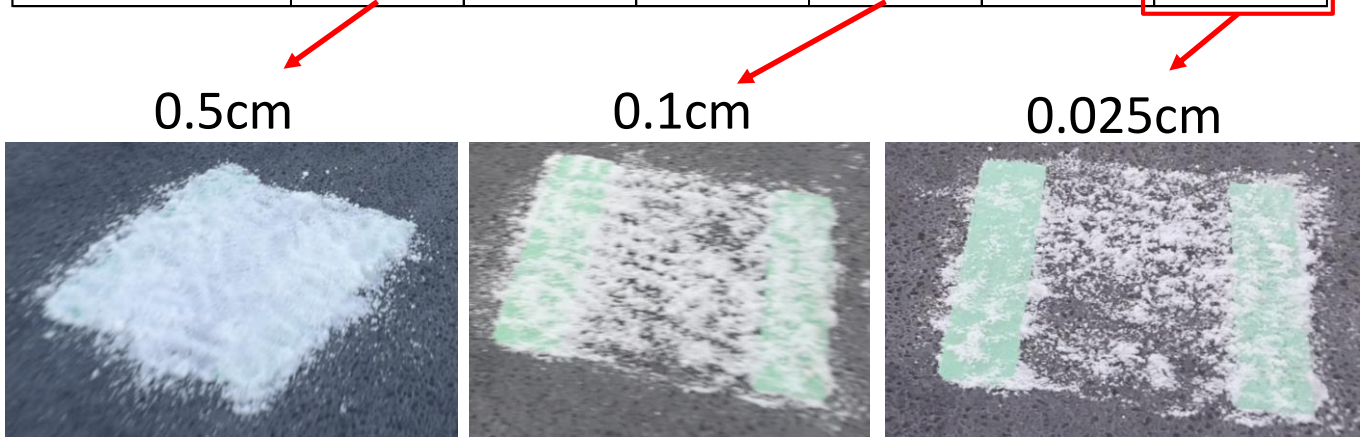
- 誘導線上にスノーパウダーをまいて正着用カメラの誘導線認識有無を確認した。
- 降雪深0.025cmでも、誘導線の読取り精度は大きく低下（5回中読取り2回）した。
- 少量でも降雪が発生した場合はシステムは認識しないことが確認された。

検証項目	計測項目	実施概要
【検証③】 降雪	①正着用カメラの認識有無 ②照度 ③降雪状況	・プレ運転期間前の1日で検証を実施 ・スノーパウダーにより降雪状態を段階的に再現し、読取り状況を検証

■ 降雪深

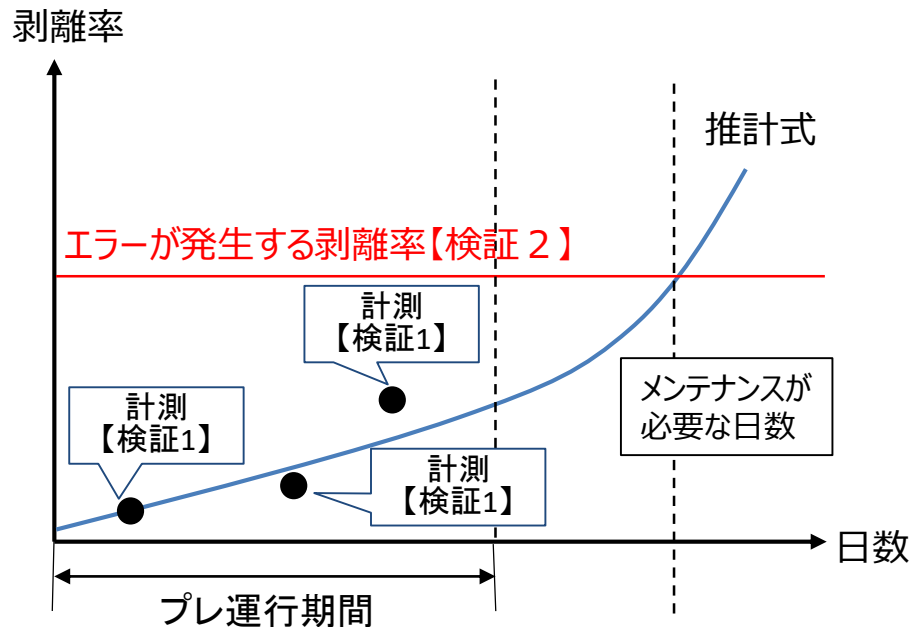
降雪深	0.5cm	0.3cm	0.2cm	0.1cm	0.05cm	0.025cm
読取り回数 (計測5回中)	0	0	0	0	0	2

計量カップでパウダーの量を計測し、所定の範囲に撒くことで、平均的な降雪深を把握

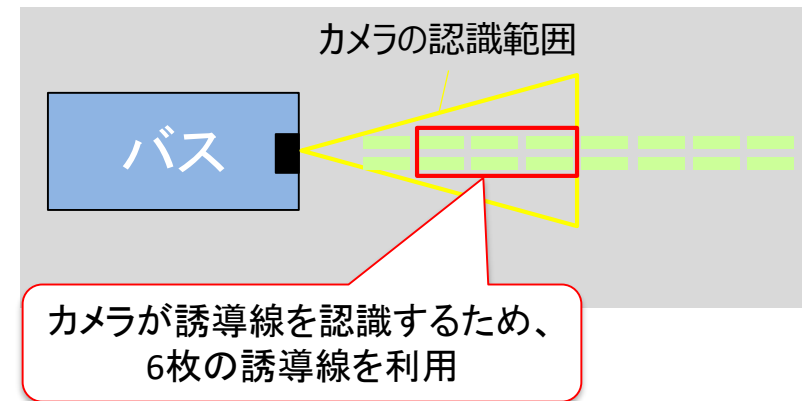


- 誘導線の劣化の推移を計測し、経年劣化の状況（塗装の剥離率等）を踏まえ、誘導線のメンテナンス頻度を推定する。
- 誘導線のメンテナンス頻度の推定にあたっては、以下の2点の検証を実施する。
 - 【検証項目1】プレ運行期間中に誘導線劣化状況（剥離率）を計測
 - 【検証項目2】エラーが発生する誘導線劣化状況（剥離率）を計測
- 本年度は、検証項目1の一部の計測と、検証項目2を検証した。
- 来年度は、剥離率の計測を2回程度実施し、剥離率の閾値を超える日数を推計する。

■ 誘導線のメンテナンス頻度の推定のイメージ



■ カメラの誘導線の認識イメージ



- エラーが発生する誘導線の劣化状況の閾値を検証した。
- 劣化状況はグランシャルシートを用いて再現した。具体的には、誘導線と同色のグランシャルシートの端を黒色とし、黒色の面積によって剥離率40～80%の状態を再現した（下図参照）。
- このグランシャルシートを誘導線上に貼り付け、実際の誘導線の一部が剥離した状況を再現し、カメラの認識有無を確認した。
- 剥離率が50%を超えるとカメラが誘導線を認識しなくなった。

■ 誘導線の劣化状況の再現イメージ

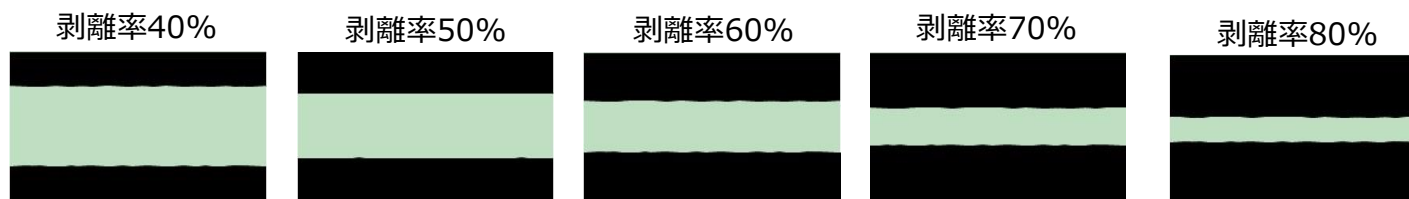


表 計測結果

		計測1回目	計測2回目	計測3回目
剥離率40%の グランシャルシート (横欠け)	照度(lx)	7,500	7,100	7,000
	路面の乾湿	乾	乾	乾
	正着の有無	有	有	有
剥離率50%の グランシャルシート (横欠け)	照度(lx)	7,200	7,000	7,000
	路面の乾湿	乾	乾	乾
	正着の有無	有	有	有
剥離率60%の グランシャルシート (横欠け)	照度(lx)	7,800	7,800	7,600
	路面の乾湿	乾	乾	乾
	正着の有無	無	無	無

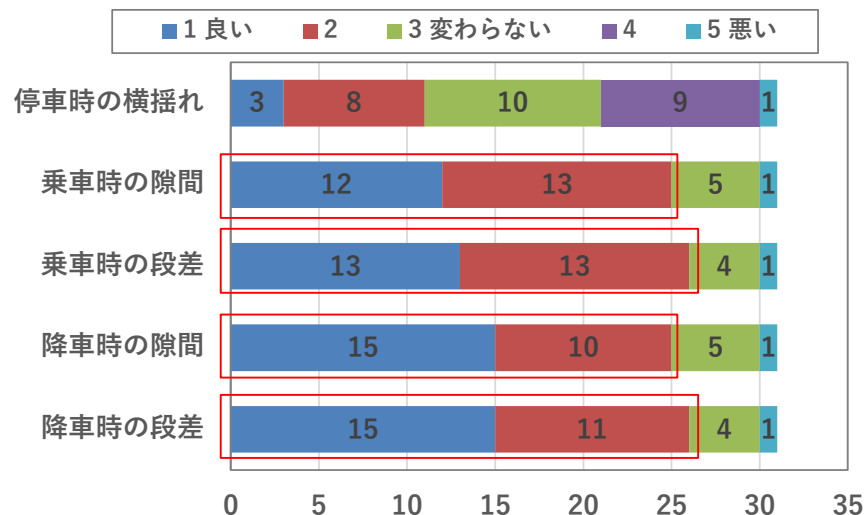
- BRT利用者、運転手に対し、アンケートやヒアリング調査を行い、利用者や運転手が感じる正着によるバリアフリー化効果を明らかにする。
- 本年度は、「②乗降時間調査」で募集するモニターを対象とする利用者アンケートと、その際運転手に対するヒアリング調査を実施した。
- 来年度、モニターを増やし、最終的には150サンプル程度で結果を取りまとめる予定である。

■ 調査内容（本年度）

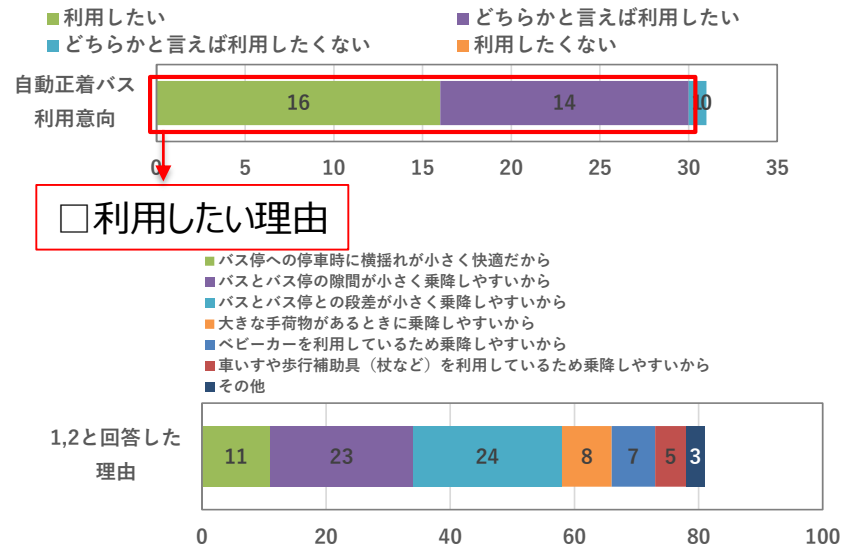
区分	方法（案）	対象・サンプル	調査項目
利用者 アンケート 調査	・「②乗降時間調査」のモニター30人に対し、アンケート調査を実施 ・乗降時間調査に際し、正着制御を体験後、モニターにアンケート調査に回答してもらう。	一般 : 10名 高齢者 : 10名 車椅子 : 5名 ベビーカー : 5名 合計30名	性、年齢、職業、正着の認知度 普段の公共交通の利用状況 正着制御の効果・影響 利用や導入の意向、改善点、要望
運転手 ヒアリング 調査	・乗降時間調査におけるバスの運転手を対象に実施	正着制御搭載バスの運転経験者	性別、年齢階層別、運転手歴 運転等への負担・手間、安心感 正着制御の効果・影響（正着時の距離、段差、揺れ等） 導入への意向、改善点、要望

- 自動正着時のバス停への停車に関する評価は、乗降時とも隙間、段差については、ほとんどが「良い」と回答している。横揺れは1/3が悪いと回答している。
- 自動正着バスが導入された場合の利用意向は、ほとんどが「利用したい」と回答している。その理由は、8割の人が「隙間が小さく乗降しやすい」「段差が小さく乗降しやすい」と回答している。
- 正着バスの普及意向は、回答者全員が「普及して欲しい」と回答している。

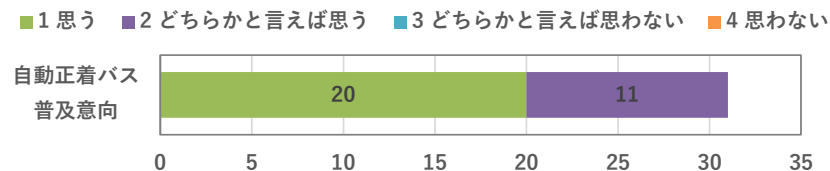
■ 自動正着時のバス停への停車時の評価



■ 自動正着バスの利用意向



■ 自動正着バスの普及意向



- 東京BRTへの誘導線式正着制御技術の導入による時間短縮効果を推計する。
- 停車時間短縮効果について、以下を検証する。本年度は検証①のみ調査を実施する。

【検証①】乗降時間調査（モニター調査）

1) 正着制御、2) 手動正着（バリアレス縁石）、3) 通常 の3パターンの停車を比較

【検証②】利用者数調査

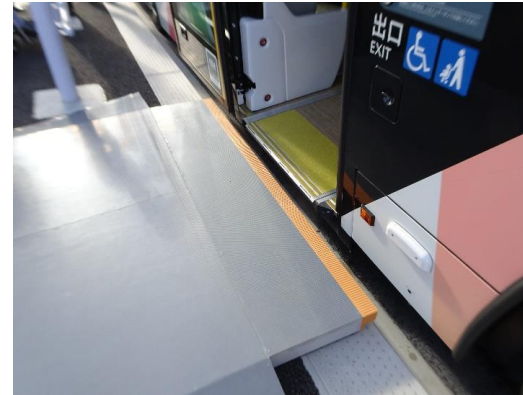
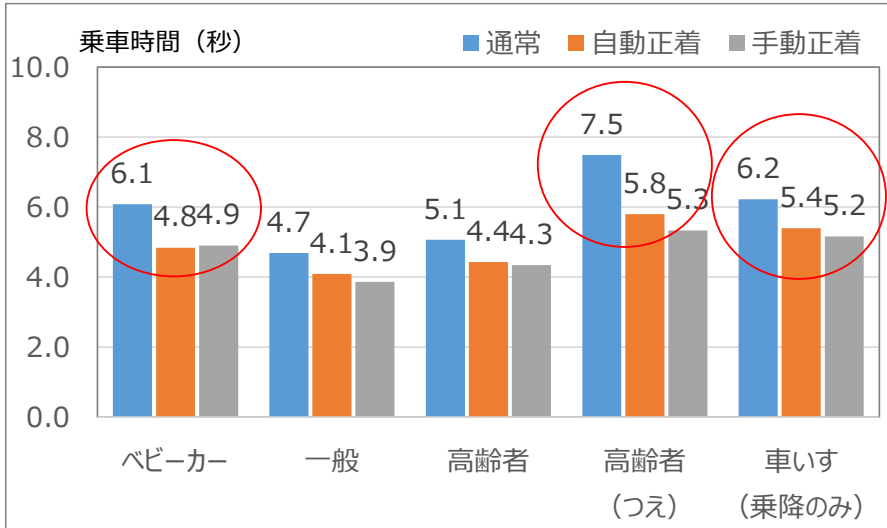
■ 評価の考え方



■ 調査内容

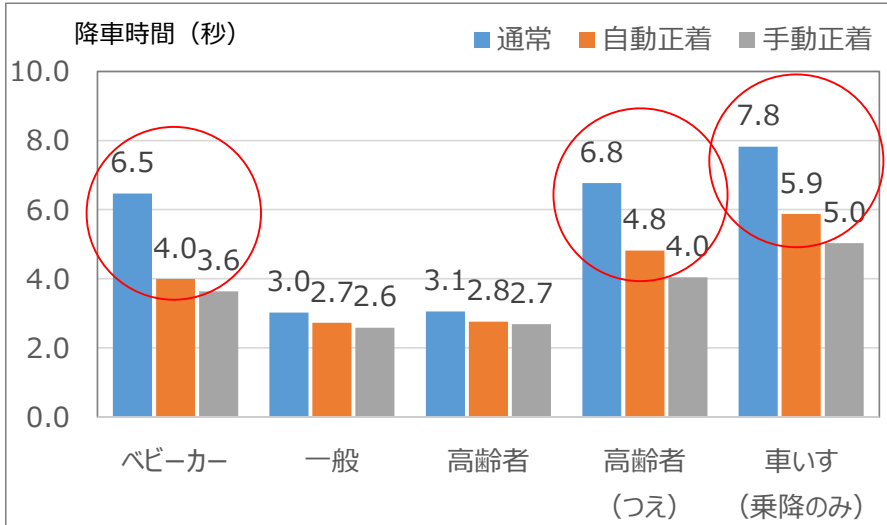
	検証方法	検証時期
【検証①】 乗降時間 調査	<ul style="list-style-type: none">・モニターとして、一般10名、高齢者10名、車いす5名、ベビーカー5名を募集・3パターンの停車状態でバスの乗降時間を1人各5回計測	2020年11月19～22日
【検証②】 利用者数 調査	<ul style="list-style-type: none">・バス乗客数をバスの出入口にビデオを設置し、事後的に映像を目視で確認し、属性別のユーザー数をカウントする。	来年度、ビデオ観測

○自動正着と手動正着に乗降時間の大きな差はみられないが、通常のバスと比べると特に、ベビーカーユーザー、高齢者、車いす利用者の差が大きい。
 ○車いす利用者の運転手によるスロープ設置、ベルトによる固定時間も含めると、15~20秒の差もみられる。

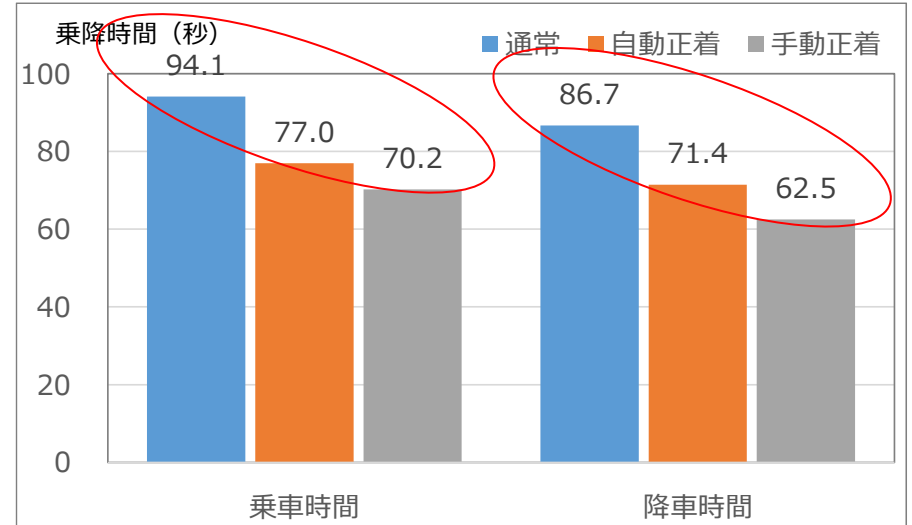


■ 正着状況 (平均値)

通常 : 25.0cm
 自動正着 : 5.3cm
 手動正着 : 1.3cm



■ 車いす乗降時間 (運転手の時間含む)



- 乗降時、発車停車時の転倒防止効果については、来年度実施するバリアフリー化効果で実施するモニター調査の際に、モニターの乗降時・発車停車時の様子に基づき検証する。
- ただし、多くのサンプルを収集することは難しく、定量的に評価することは困難である。そのため、動画から乗降時に「乗り降りしにくそうな人」「つまずきそうな人」を、停車発車時に「体の揺れの状況」と「加速度」を確認し、定性的な考察により転倒防止効果を整理する。

■評価の考え方

区分	方法	計測機器
乗車時・降車時 転倒防止 効果	・モニター調査に際し、利用者の乗降時の様子を撮影し、事後的につまずき状況（乗り降りしにくそうな人、転倒、つまずいた人の割合）を計測し、定性的に評価	・乗降口の様子を撮影するためのドライブレコーダ
停車・発進時 転倒防止 効果	・モニター調査に際し、バス発車・停車時の乗客の様子を撮影し、事後的に体の揺れの状況や、停車・発進時の加速度を計測し、定性的に評価	・車体の揺れを計測するための速度計・加速度計（スマートフォン等） ・車内の様子を撮影するためのドライブレコーダ

- 2020年度の検証の状況は下記のとおり。
 ○緊急事態宣言の発出により、社会的効果の検証は当初の予定通り進めることができなかった。残された検証項目に関しては、次年度検証を行う。

分類	検証項目	検証状況
(1)技術的 課題検証	①システム使用条件の 明確化	○夕方、降雪のシステム使用条件を検証 ●降雨時は次年度に検証
	②誘導線耐久性確認	○誘導線劣化時のカメラの認識状況と晴海バスターミナルの誘導線の劣化状況を把握 ●次年度、時系列的な劣化状況を2回確認し、メンテナンス頻度を推定
(2)社会的 効果検証	①正着による バリアフリー化 効果の検証	○モニター30名にアンケート調査を、運転手にヒアリング調査を実施 ●次年度、モニターを募集し、追加調査を実施
	②正着による乗降時の 時間短縮効果	○モニターを募集し、属性別の乗降時間を計測 ●次年度、BRT利用者数を計測し、全体の時間短縮効果を把握
	③乗降時・降車時の 転倒防止効果検証	○乗降時の転倒状況をカメラで観測 ●次年度、カメラで乗降者を観測し、乗降者別転倒者数を計測
	④停車・発進時の 転倒防止効果検証	○停車・発進の転倒状況をカメラで観測 ●次年度、カメラで車内を観測し、停車・発進時の転倒者数を計測