



R5年度実証実験 ～日光市～

栃木県無人自動運転移動サービス推進協議会

0. 実験概要 (1) 実験場所等

(1) 実験場所

本実験は、日光国立公園内に位置する赤沼自然情報センター～千手ヶ浜間の国道120号および日光市道1002号線で実施。



航空写真出典：Google Earth

(2) 地域課題

国立公園内の二次交通の充実が全国的な課題である中、日光市内ではCASE事業を展開し、奥日光地区ではH5年に一般車両の通行を規制し国立公園で初めて低公害バスの運行を開始。しかし、近年のバス運転士の高齢化に伴い、運転士の人手不足が課題である。

(3) 特記事項

H30年から東武鉄道が当該地域における自動運転バス導入の共同研究を実施している。

(4) 実験目的

日光市内の既存路線（赤沼車庫⇄千手ヶ浜）の維持、及びそれを活用した観光周遊性の向上を目的に、一部区間で一般車両の通行が規制されている営業運行路線において自動運転バスを運行する実証を行い、将来的な自動運転の導入可能性について検証する。

また、自動運転バスの導入に向けた個別具体的な課題整理、検討ノウハウを蓄積するとともに、社会実装を見据えた地域の検討体制を構築する。

(5) 実験車両



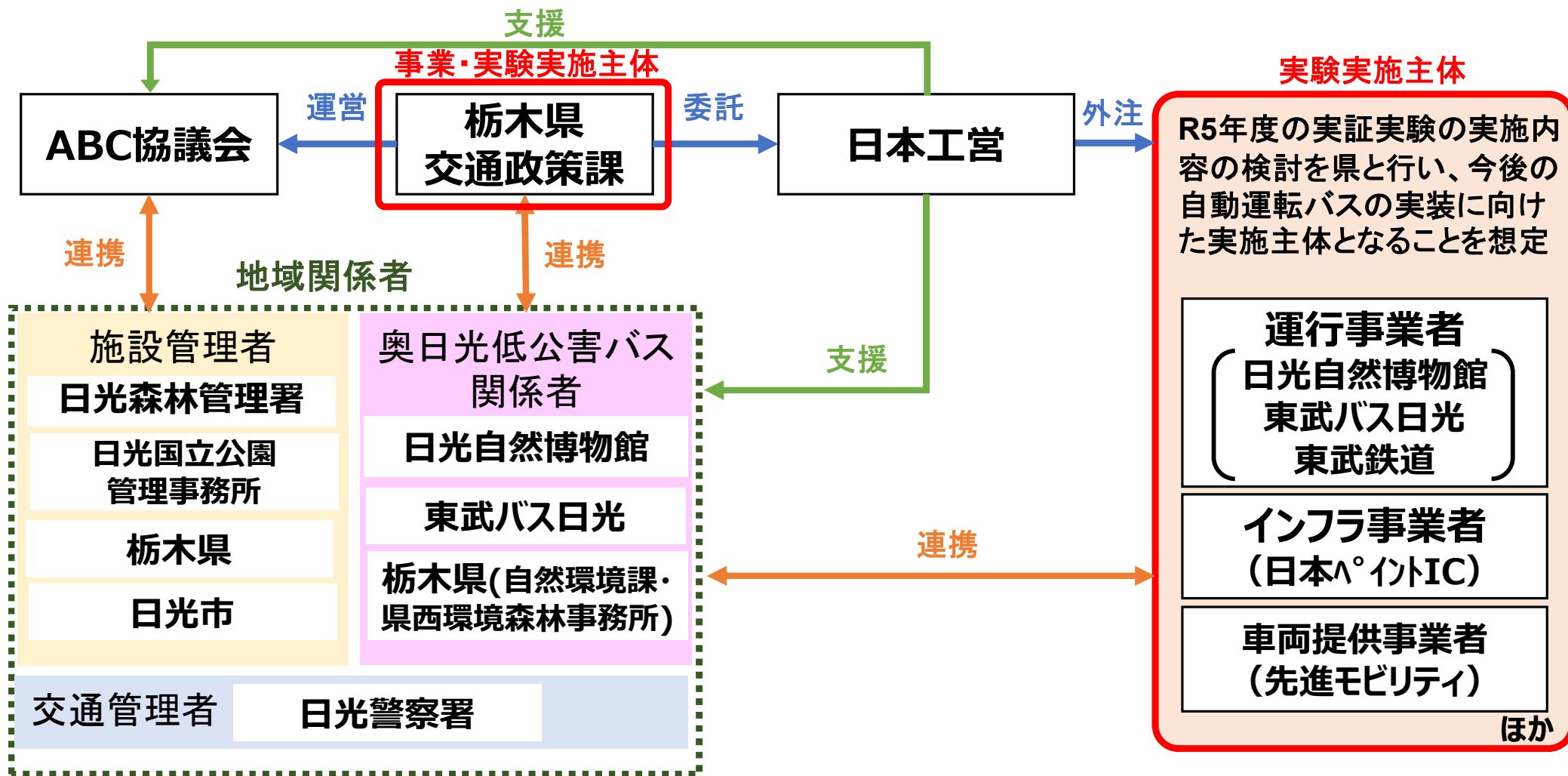
- ① ベース車両：BYD J6(先進モビリティ(株)製システムを搭載)
- ② 乗客人数：15人(着座のみ)
- ③ 動力源：電気
- ④ 走行速度：最高35km/h
- ⑤ 自動運転：レベル2
- ⑥ その他：緊急時は同乗の運転士が介入

(6) 実験期間

R5 (2023) 年9月21日(木)～10月4日(水)
(うち9月23日(土)および9月28日(木)は運休)

0. 実験概要 (2) 実施体制と役割分担

- 実証実験へ場所・機会を提供いただく地域関係者と連携するとともに、今後の実装に向けて、地元関係者との検討体制を構築



0. 実験概要 (2) 実施体制と役割分担

区分	担当	対応事項
実験主体	栃木県	<ul style="list-style-type: none">実験全体統括
実験運営	日本工営(株)	<ul style="list-style-type: none">実験準備・運営
自動運転バス運行	(株)日光自然博物館	<ul style="list-style-type: none">低公害バスおよび自動運転バスの運行
	東武バス日光(株)	<ul style="list-style-type: none">実証実験期間中のドライバー手配運行計画に関する助言 等
運行支援 NIKKO MaaS販売	東武鉄道(株)	<ul style="list-style-type: none">NIKKO MaaSの販売取扱い運行計画に関する助言 等
実験車両提供	先進モビリティ(株)	<ul style="list-style-type: none">自動運転バスの準備・点検保守走行に必要なデータ取得・セットアップ技術的資料・取得データの提供自動運転バスの走行に係る支援 等
路車協調支援	日本ペイント・インダストリアルコーティングス(株) 先進モビリティ(株)	<ul style="list-style-type: none">路車協調技術の提供技術的資料・取得データの提供
関係機関	日光市 日光森林管理署 日光国立公園管理事務所 日光警察署	<ul style="list-style-type: none">路車協調に関する設備の設置許可および自動運転車両の走行許可の承認 等

1. 実験結果(概要)

- 大きなトラブルもなく、概ね予定通りに運行
- 実験期間中には、延べ830人(乗車率 46.1%)が乗車
- アンケート調査(実験参加者)及びヒアリング調査(運行事業者)、手動介入発生状況調査より、実験結果を検証

栃木県ABCプロジェクト @日光市

自動運転バスに乗ろう

戦場ヶ原 小田代原 西ノ湖 千手ヶ浜

運賃(片道)
大人500円
小児250円
※詳細は裏面に記載

運行日時
9月21日(土)～10月4日(水)
9:25～16:20 (1日10便(5往復)運行)
※自動運転バス運休日:9月23日(土)と9月28日(木)
ただし、低公害バスは運行しています。

自動運転バス BYD J6 (EV)

運行区間
赤沼車庫
石橋花橋
小田代原
西ノ湖入口
千手ヶ浜

お問い合わせ先
栃木県 県土整備部 交通政策課 公共交通担当
☎ 028-623-2447 (中休:30～17:15)
自動運転バスにご乗車いただいた方を対象に、記念品のプレゼントや入場料割引サービス等を実施します。
詳細については、ABCプロジェクトHPをご覧ください。

栃木県誕生150年
みんなで創る、未来のとちぎ
栃木県ABCプロジェクト
Autonomous Bus Challenge project
http://www.abc-project.tochigi.jp/

■乗車実績

項目		人数
乗車定員		1,800人
延べ乗車人数(乗車率)		830人(46.1%)
乗車人数 内訳	ICカード・現金支払い	782人
	NIKKO MaaS利用	43人
	訪日外国人向けNIKKO Pass利用	5人

■実験結果の検証概要

区分	対象者	調査方法	回答者数
アンケート調査	実験参加者	自動運転バス乗車時に、アンケート用紙・WEBアンケート用QRコードを配布し回答を依頼	432人
ヒアリング調査	運行事業者(運転士・運行管理者)	予備調査としてアンケート調査を実施後、ヒアリング調査を実施	8人 (アンケート回答者)
手動介入発生状況調査	-	手動介入発生状況を乗務員で記録	-

2. 実験概要 (1) 運行ルートの設定

- 低公害バスと同様の区間(赤沼車庫⇔千手ヶ浜)で片道9.3kmを走行
- 運行ルートでは、赤沼車庫における転回部分を除き、全区間で自動走行が行えるように調律を実施

※市道区間は、低公害バスと同様に自由乗降可能とした



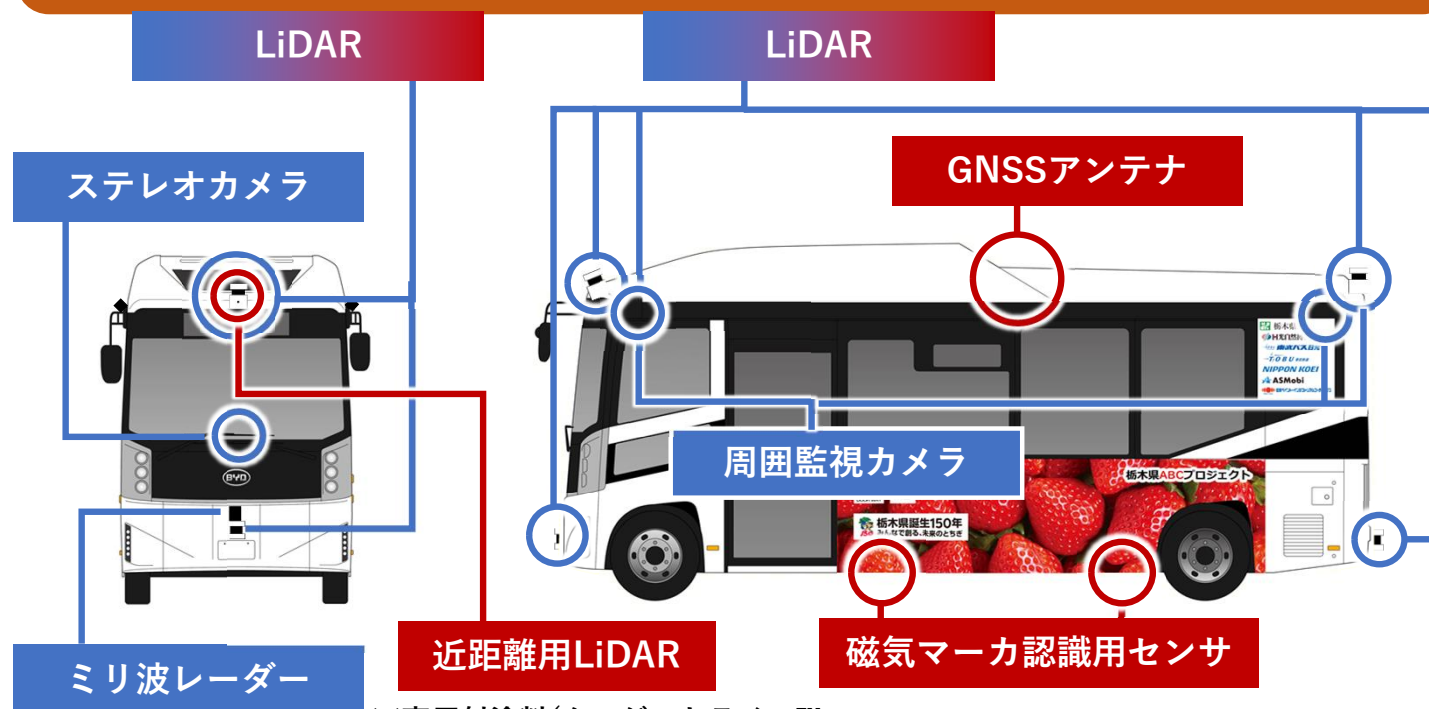
2. 実験概要 (2) 今回の自動運転技術

- 実験車両には、LiDAR、全方位カメラ、GNSSアンテナ等を搭載し、運転士が同乗
- 自動運転時には、3次元デジタル地図とLiDAR、ステレオカメラ、ミリ波レーダ、GNSSアンテナ等に加え、市道区間は路面に施工した高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)や磁気マーカを活用して走行。
- 緊急時には、同乗の運転士が手動介入(自動運転レベル2)

車両諸元

車両名	BYD J6
乗車人数	18人 (運転士1人、オペレーター1人、車内スタッフ1人、乗客(着座)15人)
サイズ等	全長 : 7,110mm 全高 : 3,090mm 全幅 : 2,230mm 空車重量 : 7,400kg 総重量 : 8,075kg
性能	最高速度 : 70km/h (実験では最高速度35km/h程度で走行) 1充電走行距離 : 約200km
使用台数	1台

車両技術

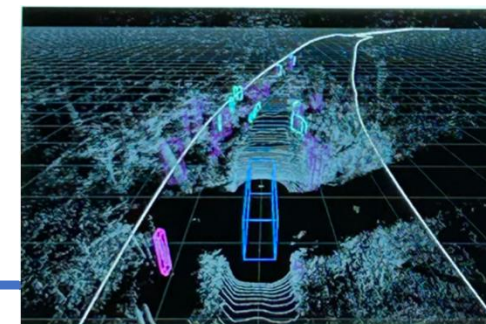


※高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の認識に活用

凡例

- 障害物等を認識する技術
- 車両の位置を特定する技術

3次元デジタル地図



2. 実験概要 (3) 路車協調支援

- 日光国立公園内の日光市道1002号線区間は、樹木が生い茂りGNSS測位が困難であるため、8.7kmの区間においてインフラ協調技術を用いて走行空間認識を補助し、位置情報を補正
- 高反射塗料(ターゲットライン™ペイント) : 自動運転バスの走行ルートガイドとなるよう、センサーにて検知可能なアスファルト近似色の塗料を路面に施工
- 磁気マーカ: バス停や急カーブなど精緻な車両位置の認識および車両の加減速が必要な箇所に、路面貼り付けタイプの磁気マーカを設置
- 走行支援看板: バス停での停止位置精度向上を目的として、看板型の高反射パネルを設置

高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)



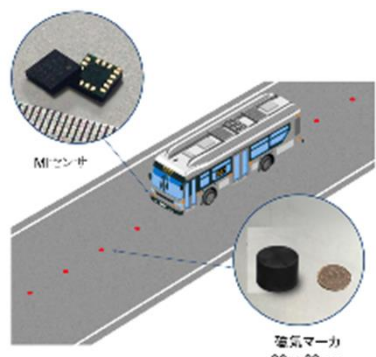
走行支援看板

自動運転バスに設置されたセンサ(LiDAR)で検知しやすい看板型の高反射パネルを設置



▲走行支援看板

磁気マーカ



▲磁気マーカ設置イメージ

出典: 先進モビリティ株式会社資料



▲磁気マーカ設置の様子



▲路車協調支援位置図

2. 実験概要 (4) 車両制御方法の設定

運行シーン	制御方法
基本	<ul style="list-style-type: none"> 原則として自動運転で走行 走行ルート上で障害物を検知した場合、自動でブレーキが作動し、手動運転で障害物を回避。周囲の安全性を確認した後、運転士の判断で発進（自動運転再開） 歩行者等の急な飛び出し等があった場合、運転士の判断で手動介入し、周囲の安全性を確認した後、運転士の判断で発進（自動運転再開） 運転士のアクセル・ブレーキ操作により車両が加減速する場合、手動介入操作が優先されるが、自動運転モードは維持され、操作を停止すると自動運転が再開 ハンドル操作による手動介入の場合には、走行ルート上に戻り、運転士の判断によりボタンを押すと自動運転が再開 車両が停止している場合には、運転士が走行ルート上でボタンを押すと自動運転が再開 自由乗降区間における乗客の乗降の際には、手動で車両を停止させ、乗降対応後、安全確認の上、運転士の判断で自動運転再開
停留所	<ul style="list-style-type: none"> 赤沼車庫停留所出発時は、停留所まで手動で走行し、停留所から自動運転開始 石楠花橋停留所、小田代原停留所、西ノ湖入口停留所、千手ヶ浜停留所は自動で停止し、運転士が周囲の安全性を確認した後、運転士の判断で自動運転再開 赤沼車庫停留所到着後は手動で転回
交差点部	<p>赤沼茶屋付近</p> <p>【赤沼車庫→千手ヶ浜】</p> <ul style="list-style-type: none"> 交差点手前の一時停止線で自動停止、運転士の判断で自動運転再開をしたのち、左折時に交差点での安全を確認できた場合には自動運転での左折を行い、一般車や歩行者の接近等がある場合には手動により左折 <p>【千手ヶ浜→赤沼車庫】</p> <ul style="list-style-type: none"> 交差点手前で減速し、右折時に交差点での安全を確認できた場合は停止せず自動運転で右折、対向車の接近等がある場合には、手動ブレーキでの減速・停止または、ステアリングやアクセルの介入での右折
	<p>市道出入口付近</p> <p>【赤沼車庫→千手ヶ浜】</p> <ul style="list-style-type: none"> ゲートへの右折前に減速し、右折時に交差点での安全を確認できた場合は停止せず自動運転で右折、対向車の接近等がある場合には、手動ブレーキでの減速・停止または、ステアリングやアクセルの介入での右折 ゲート手前で自動停止、ゲート開閉用スイッチにより開門。完全に開門したことを確認した後、運転士の判断で自動運転再開 <p>【千手ヶ浜→赤沼車庫】</p> <ul style="list-style-type: none"> ゲート手前で自動停止、ゲート開閉用スイッチにより開門。完全に開門したことを確認した後、運転士の判断で自動運転再開 ゲートを通過後、自動停止し、ゲート開閉用スイッチにより閉門。完全に閉門したことを確認した後、運転士の判断で自動運転を再開し、左折前に再度一時停止をして、運転士の判断で自動運転再開
その他	<ul style="list-style-type: none"> 大雨等の悪天候時は、自動運転運行中止（手動での走行のみ実施する可能性あり）

2. 実験概要 (5) 運行日程・運行ダイヤ・運賃等

- 自動運転バスは、既存の低公害バスの運行ダイヤの一部において、低公害バスの後続を走行
- 低公害バスと同様に有償での運行

- 1) 運行日 : 9月21日(木)～10月4日(水) ※うち9月23日(土)および9月28日(木)は運休
- 2) 運行時間帯 : 9時25分～16時20分(運行ダイヤは下表参照)
- 3) 運賃 : 大人(中学生以上)500円、小児(6～12歳)250円、
幼児(1～6歳未満)無料(2人まで)
- 4) 支払い方法 : ①現金および交通系ICカード
②NIKKO MaaSの乗車証の提示
③訪日外国人向けNIKKO PASS
- 5) 予約便の有無 : なし
- 6) ドライバー : 東武バス日光(株)運転士



▲NIKKO MaaS・NIKKO PASS
出典：東武鉄道HP

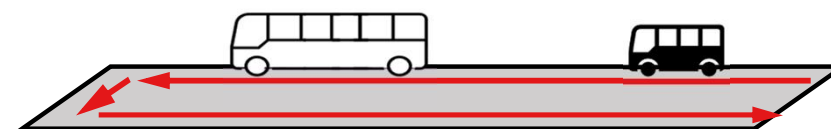
■実証実験期間における運行ダイヤと運行イメージ

赤字：自動運転バス運行 □ 土日祝および10/2(月)～10/4(水)運行

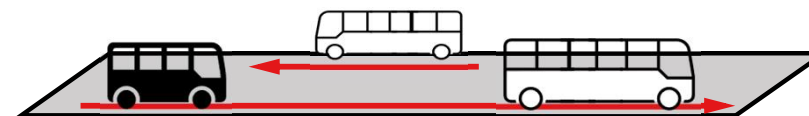
赤沼車庫→千手ヶ浜					千手ヶ浜→赤沼車庫				
赤沼車庫発	石楠花橋	小田代原	西ノ湖入口	千手ヶ浜着	千手ヶ浜発	西ノ湖入口	小田代原	石楠花橋	赤沼車庫着
8:10	8:15	8:22	8:32	8:40	8:40	8:44	8:57	9:05	9:10
8:45	8:50	8:57	9:07	9:15	9:20	9:24	9:37	9:45	9:50
9:25	9:30	9:37	9:47	9:55	10:00	10:04	10:17	10:25	10:30
10:05	10:10	10:17	10:27	10:35	10:40	10:44	10:57	11:05	11:10
10:45	10:50	10:57	11:07	11:15	11:20	11:24	11:37	11:45	11:50
11:25	11:30	11:37	11:47	11:55	12:00	12:04	12:17	12:25	12:30
12:05	12:10	12:17	12:27	12:35	12:40	12:44	12:57	13:05	13:10
12:45	12:50	12:57	13:07	13:15	13:20	13:24	13:37	13:45	13:50
13:55	14:00	14:07	14:17	14:25	14:30	14:34	14:47	14:55	15:00
14:35	14:40	14:47	14:57	15:05	15:10	15:14	15:27	15:35	15:40
15:15	15:20	15:27	15:37	15:45	15:50	15:54	16:07	16:15	16:20
15:55	16:00	16:07	16:17	16:25	16:25	16:29	16:42	16:50	16:55

▲既存の低公害バスダイヤ

①平日
(低公害バス1台、自動運転バス1台)



②土日祝および10/2(月)～10/4(水)
(低公害バス2台、自動運転バス1台)



2. 実験概要 (6) 地域連携 ①PR・地元関係者向け試乗会

- 多くのマスコミが取材に訪れ、本実証実験を広くPR
- 地元関係者試乗会等、乗車機会を創出することにより、自動運転バスに対する地域の受容性が向上

報道による実験PR

▼マスコミ取材の様子



掲載新聞社(3社)

- ・朝日新聞
- ・読売新聞
- ・東京新聞

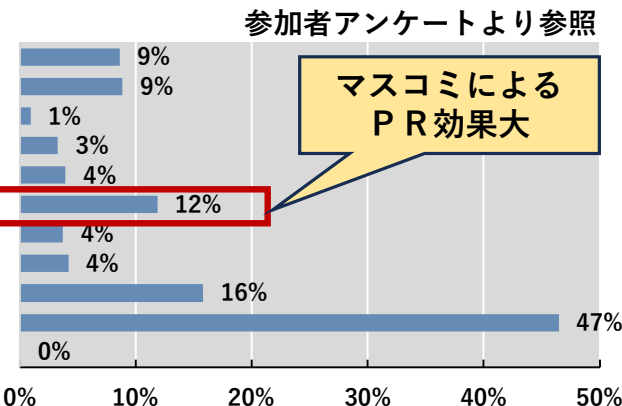
▼日光自然博物館によるSNS上の発信

日光自然博物館 (X・YouTube) ...

奥日光の原生林の中を最先端の技術で走る自動運転バスに、本日の関係者試乗会で一定早く乗車させて頂きました！明日から10月4日までの間の12日間は、どなたでもご乗車頂けます。(23日、28日は自動運転バス運休)各便とも先着15名様限定となりますので、この機会を是非お見逃しなく！詳しくはこちら！

午後10:36 · 2023年9月

- 特設サイト (栃木県ABCプロジェクト)
- 本実験のチラシ 9%
 - X(旧Twitter) 9%
 - 県HP 1%
 - ニュースサイト 3%
 - テレビのニュース・新聞 4%
 - NIKKO MaaSの案内 12%
 - 親族・知人から 4%
 - 仕事関係者から 4%
 - 現地で知った 16%
 - その他 47%
- n=430(回答者数)



▲実験を知ったきっかけ

地元関係者等試乗

地元関係者、関係者に試乗いただき、車両技術を説明



自動運転バスの実証実験

栃木・日光市(21日~来月4日)

- 車奥の前後にカメラやセンサーを搭載し歩行者や障害物を検知
- 運転手が一人業務し緊急時には運転手の判断で手動に

担い手不足の解消に寄与することを期待している



▲X(旧Twitter)上での取り上げ事例(NHK・テレビ朝日・東京新聞)

2. 実験概要 (6) 地域連携 ②施設等との連携

- 実証実験期間中、実験参加者に対する記念品の配布、記念乗車券の提示による、日光自然博物館・日光田母沢御用邸記念公園の入館料・入園料割引、日光宇都宮道路日光口PAにおけるお菓子の詰め合わせプレゼント等を実施
- 各施設合計で100人が利用し、周辺の地元観光施設への周遊を確認

実験参加者への記念品の配布

東武鉄道	クリアファイル
日光自然博物館	コースター
その他	各種チラシ(記念乗車券、自動運転バス関連チラシ、観光パンフレット等)



▲クリアファイル(東武鉄道)



▲コースター(日光自然博物館)



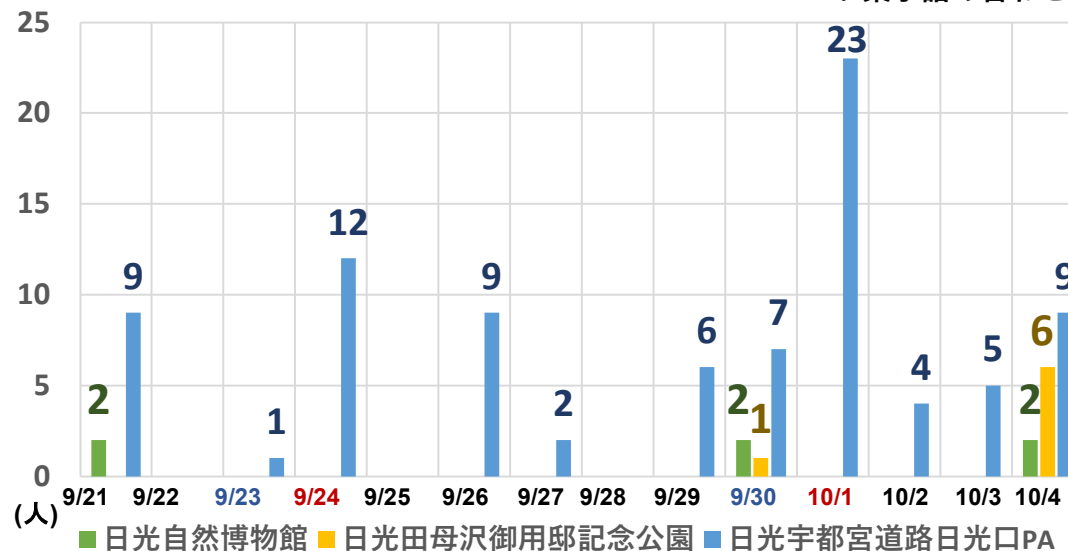
▲各種チラシ

地元観光施設との連携

日光自然博物館	日光自然博物館の入館料割引
日光田母沢御用邸記念公園	日光田母沢御用邸記念公園の入園料割引
日光宇都宮道路日光口PA(宇都宮方面)	お菓子の詰め合わせプレゼント



▲お菓子詰め合わせ



	日光自然博物館	日光田母沢御用邸記念公園	日光宇都宮道路日光口PA	合計
大人	6	7	78	91
小人	0	0	9	9
合計	6	7	87	100

3. 実験結果の検証 (1) 検証項目

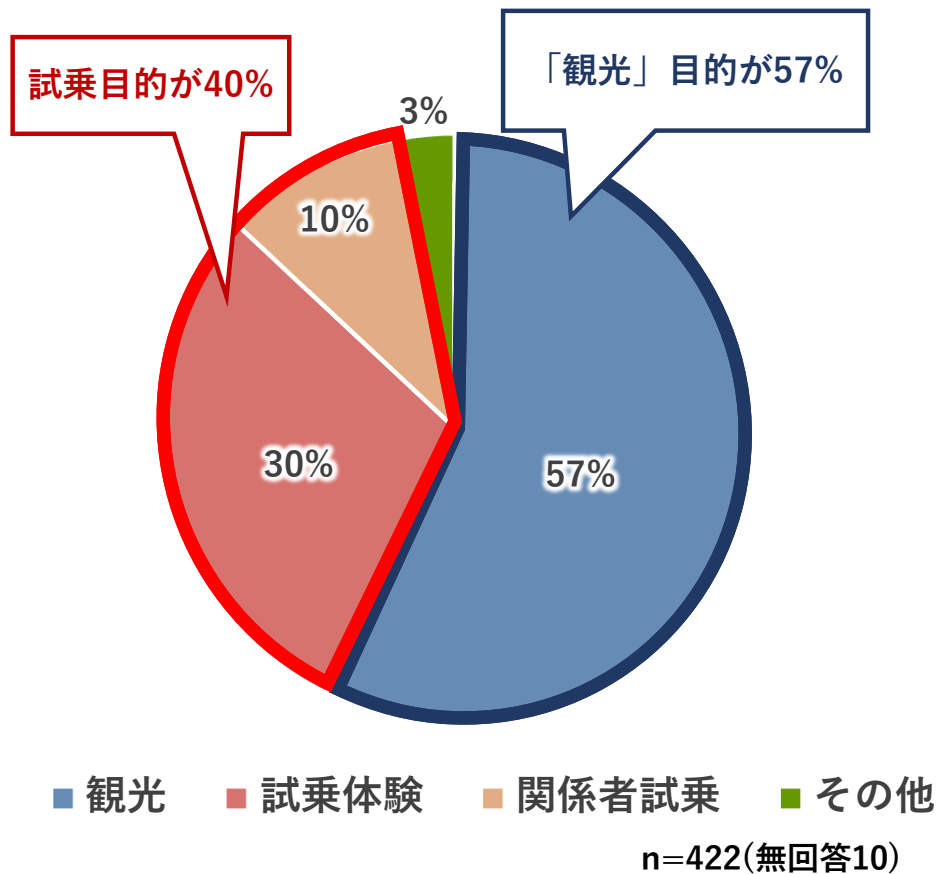
- 実証実験後のアンケートやヒアリングによる、実験参加者や地元関係者、運行事業者の受容性を調査し、今後の課題や必要な対策を検討
- 手動介入が発生した状況を記録し、発生した道路、交通、自動運転技術等の条件を分析

検証項目	調査対象	調査方法			調査内容
		アンケート	ヒアリング	その他	
実験参加者・地元関係者の受容性	<ul style="list-style-type: none"> ・実験参加者 ・関係者試乗参加者 	●	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・実験参加者の属性、交通手段等 ・自動運転バスに対する印象 ・実験車両の挙動、速度等に対する印象 ・自動運転バス乗車に対する満足度 ・自動運転バスの利用意向 等
運行事業者の受容性	<ul style="list-style-type: none"> ・運転士 ・運行管理者 	●	●		<ul style="list-style-type: none"> ・自動運転バスに対する印象 ・実験車両の挙動、速度等に対する印象 ・自動運転バスの導入・普及に対する課題や必要な対策等
手動介入の発生状況	—	—	—	● 車内スタッフによる記録	<ul style="list-style-type: none"> ・自動運転時において手動介入が発生する道路、交通、自動運転技術等の条件 ・高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)及び磁気マーカの有効性

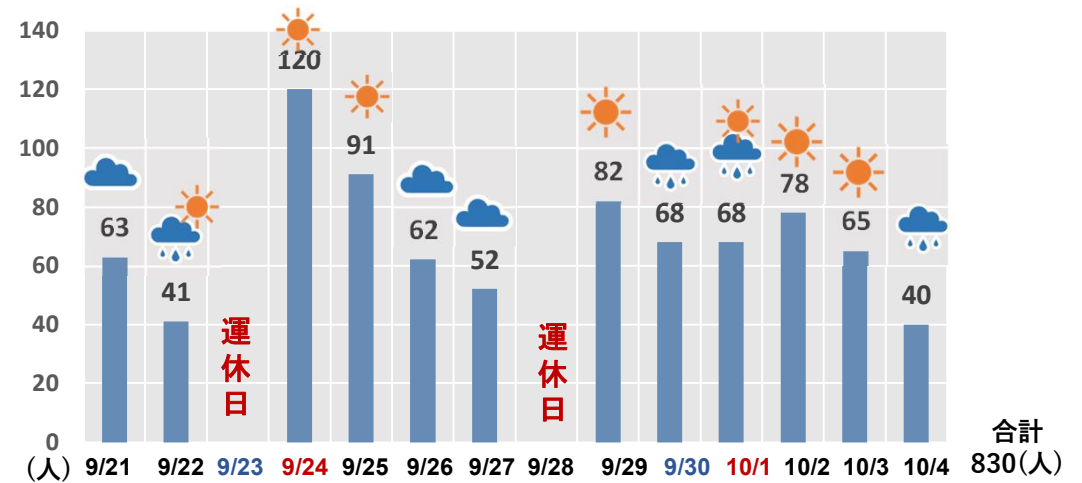
3. 実験結果の検証 (2) 社会受容性 ①本実験での利用状況について 13

- 実験における乗車目的は、「観光」目的が57%、「試乗」目的が40%
- 観光地という特性上、雨天時に比べ晴天時に多く利用されることを確認
- ハイキング目的の観光客が多いため、朝は赤沼車庫発 千手ヶ浜着の利用者が多く、夕方は千手ヶ浜発 赤沼車庫着の利用者が多いことを確認

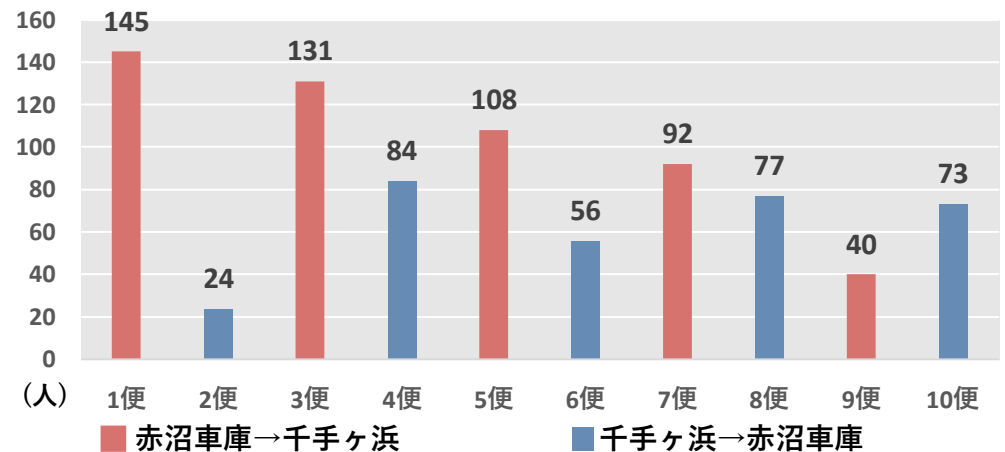
実験における乗車目的



日別利用者数



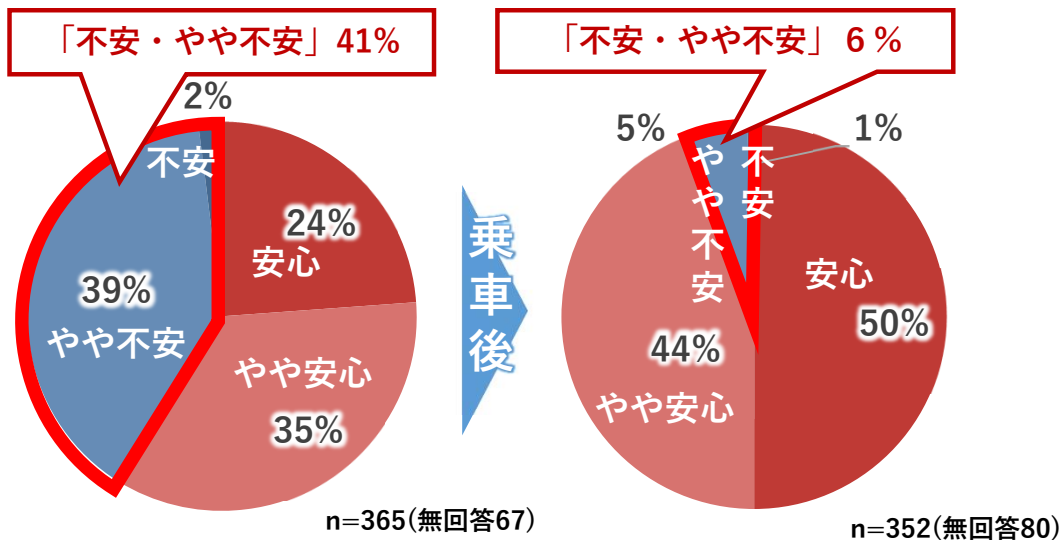
便別利用者数



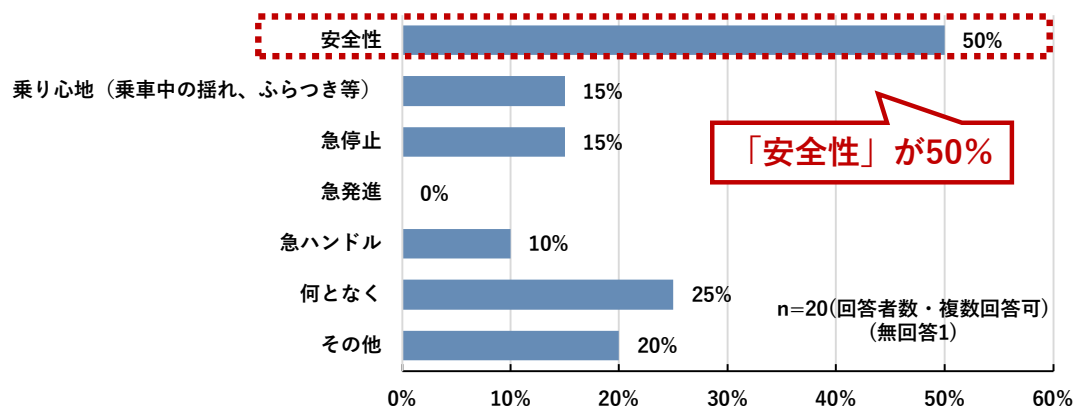
3. 実験結果の検証 (2) 社会受容性 ②自動運転バスに対する印象

- 実際に乗車することで、自動運転バスに対する「不安」「やや不安」が41%から6%に大きく減少。「不安」「やや不安」に感じた理由として、「安全性」が多く、車両制御技術の向上や走行環境整備が課題
- 自動運転バスの無人運行については、26%が「不安」「やや不安」と回答した。理由として、「安全性」「事故時の対応」が多く、遠隔監視や緊急通報システム導入等の対応策の検討が課題

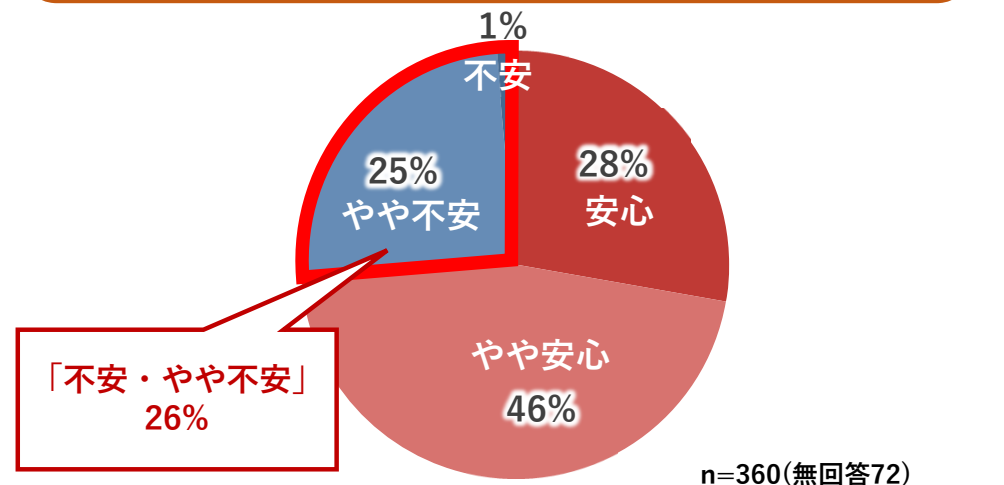
自動運転バスに対する安心感



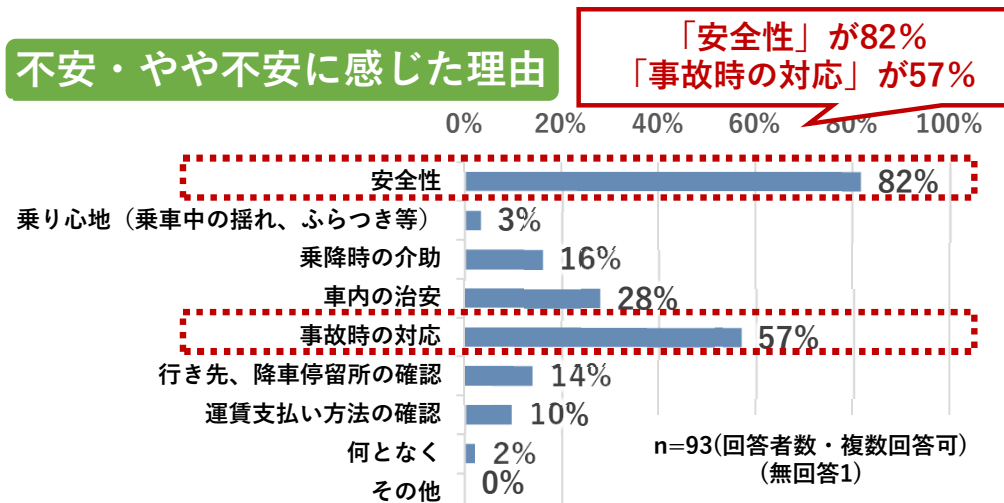
不安・やや不安に感じた理由



自動運転バスの無人運行に対する安心感



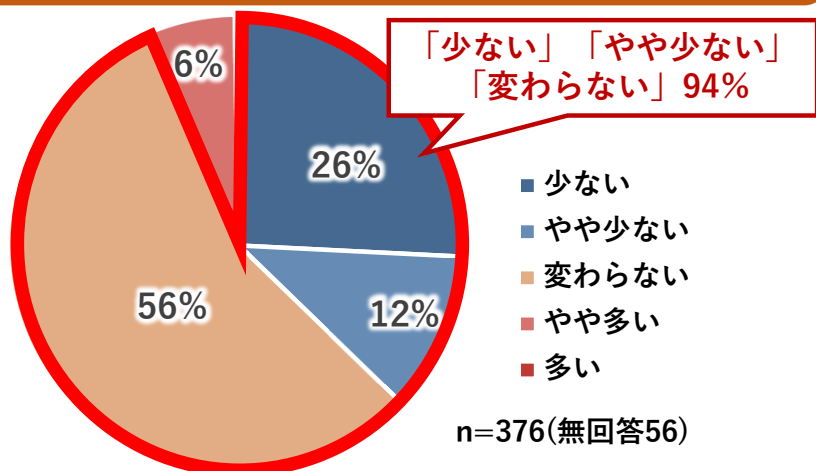
不安・やや不安に感じた理由



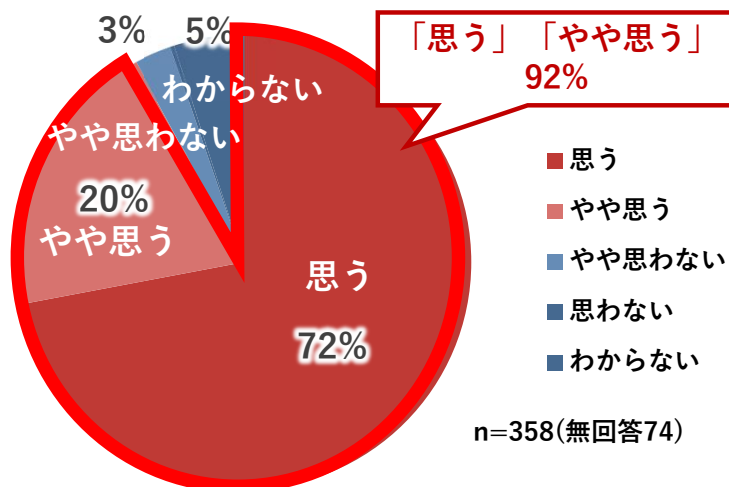
3. 実験結果の検証 (2) 社会受容性 ③自動運転バスの受容性

- 一般の路線バスと比較した急ブレーキ等の回数の印象について、回答者の94%が「少ない」「やや少ない」「変わらない」と回答。高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)を施工した市道区間内において、自動走行、停止がスムーズであったかとの設問に、92%が「思う」「やや思う」と回答
- アンケートでは、本格導入には安全性の向上、実証実験の継続が必要との意見が多く、自由意見では緊急時の対応に関するの意見を確認

走行の安定性について

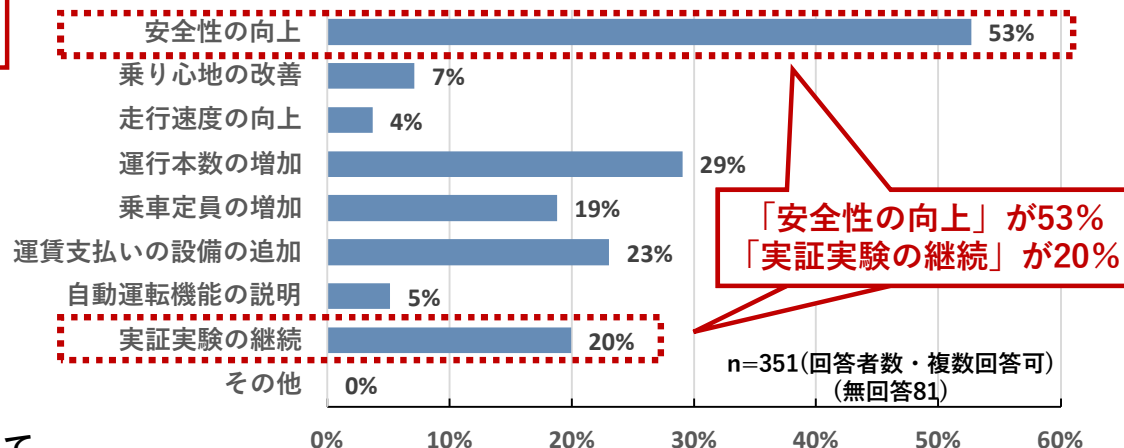


▲一般的な路線バスと比べた急ブレーキ等の回数の印象について



▲市道区間内での自動走行・停止はスムーズであったか

今回のルートにおける本格導入に必要な取組



参加者から得られた意見

好意的な意見

- 有人の場合全く不安を感じなかった。無人自動運転の想像がつかないが、今後普及していくのが楽しみ
- とちぎ国体の期間における宇都宮の実験時よりも走行がスムーズに感じた

改善点

- 緊急時に完全無人自動運転は対応が難しいのではないかと
- 緊急時の対応を行う体制がしっかり整備されていることが乗客の自動運転バスに対する理解に必要

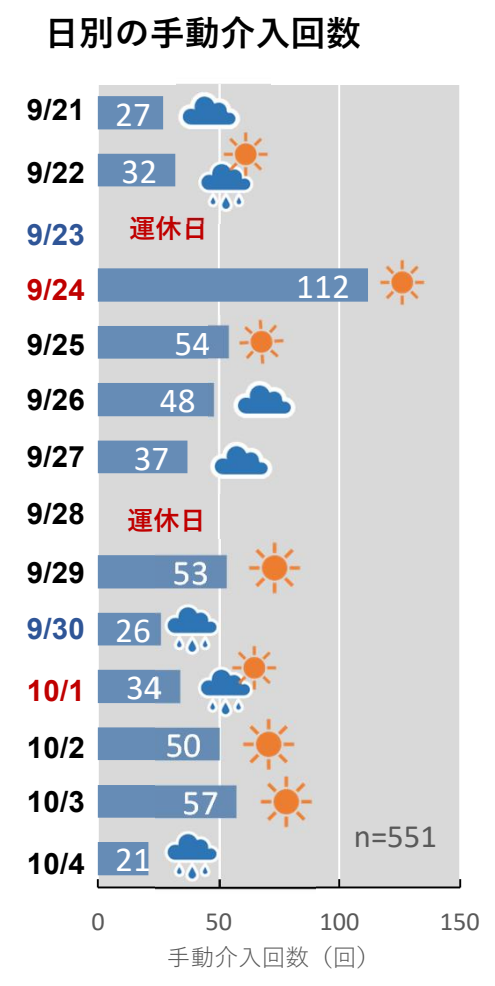
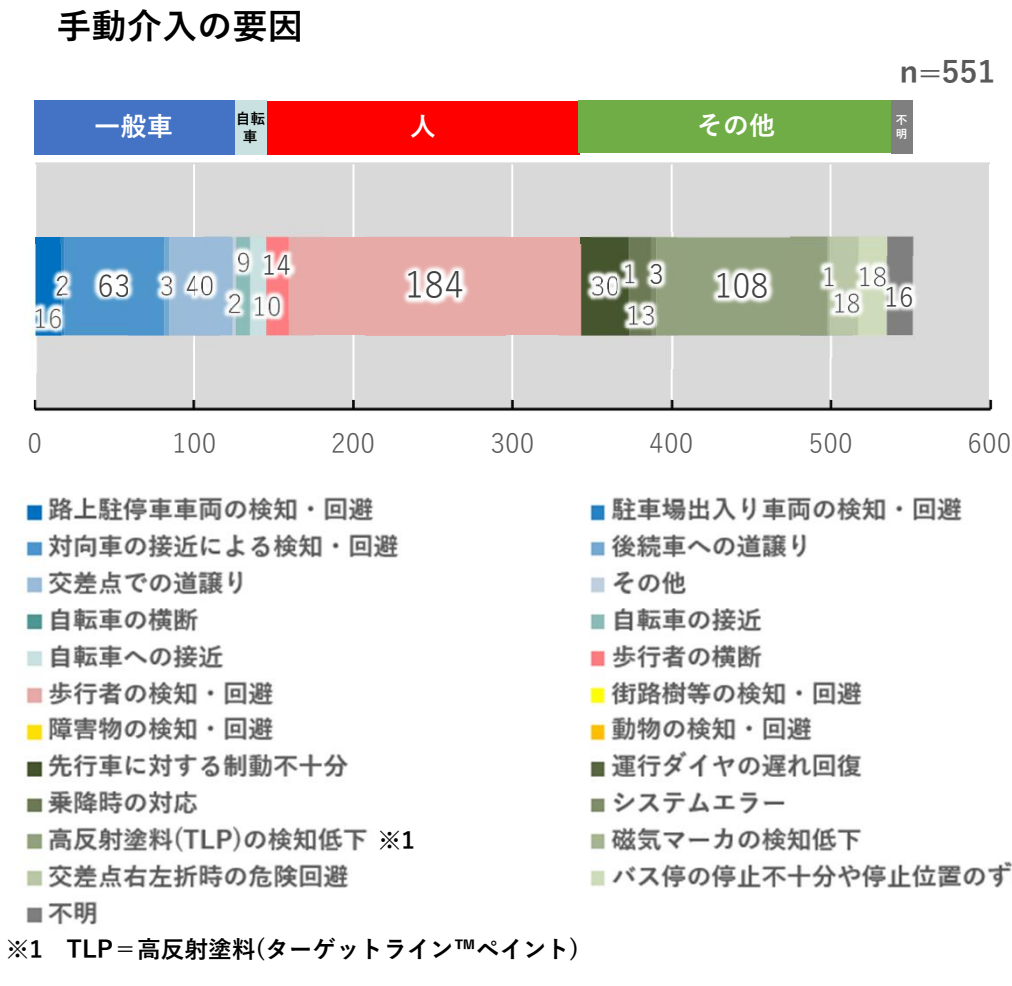
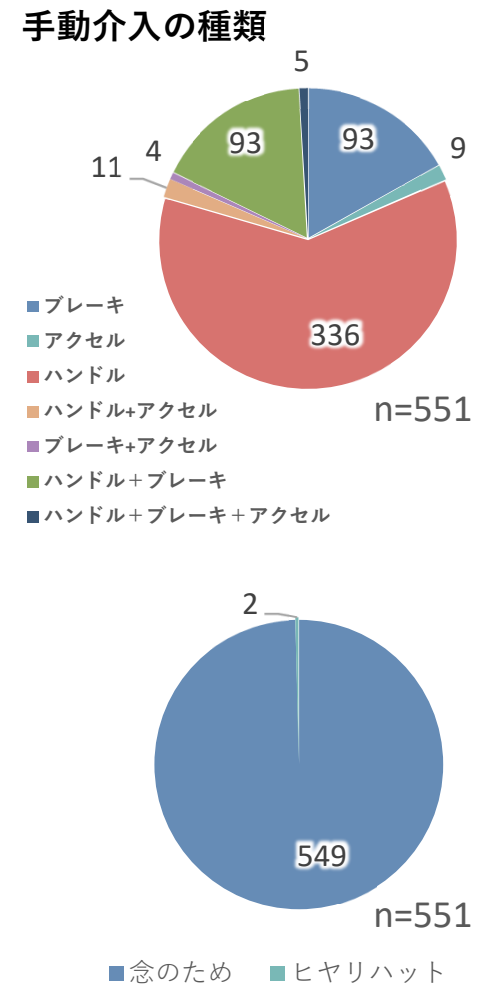
3. 実験結果の検証 (2) 社会受容性 ④ 運行事業者へのヒアリング

- 運行管理側からは、電波状況の不良による緊急時の対応への課題や無人運行の場合の乗客対応の課題、運転士からは注意が必要な場所や事象などの意見を確認

項目	主な意見
運行管理	<ul style="list-style-type: none">◆ <u>当該地域は電波状況が不良であることに加え、東武バス日光の営業所から離れた地域であるため、緊急時における連絡や対応が遅れる可能性がある。</u>◆ 高齢の運転士ほど運転操作の習得に時間を要し、心理的負担も大きい傾向がみられた。運転士の高齢化が進行している中、時間を掛けての<u>自動運転バスの操作に関する教育が必要</u>である。◆ (遠隔監視を運行管理者が行う場合) 通常のバスの運行管理もある中で、運行管理者が自動運転バスのみを監視することは困難である。自動運転バス専用の遠隔監視専門スタッフの配置が必要になると考えられる。◆ 車いす固定等の乗客対応は乗務員が必要となるため、無人での乗客対応は困難である。
乗務員の負担軽減について	<ul style="list-style-type: none">□ 高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の不検知等による、正しい走行位置からの逸脱に対して、<u>実験での対応を重ねても負担を感じる運転士もいた。</u>◆ 臨時的に運行される<u>早朝の便において無人自動運転が可能になれば、運転士の負担軽減にもつながる。</u>
車両技術	<ul style="list-style-type: none">□ 自動運転バスの走行が、<u>想像以上にスムーズだったという回答が多数</u>であった。□ 走行ルート上で国道に出る際に、<u>一般車両への注意が必要</u>である。□ カーブでの必要以上の減速等により、前方を走行している低公害バスとの車間距離が開く事象があったため、定時運行のためには適切な速度設定等、場面に応じたスムーズな走行が望まれる。
走行環境	<ul style="list-style-type: none">□ 高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)が読み込めない場面があり、<u>落ち葉や雨による不検知、除雪作業による劣化への対応が必要</u>である。□ 石楠花橋周辺は道路幅員が小さいため、輸送力を上げるために大型車両での走行を想定すると安全な運行に不安がある。
サービス	<ul style="list-style-type: none">◆ 車内無人運行は、道路環境により<u>車いすのスロープが出せるかの判断が必要であるため、保安員や乗務員の対応が必要</u>である。◆ NIKKO MaaS等のフリーパスは運転士の目視での確認が必要なため、無人自動運転バスの実装時の対応が課題である。□ 乗客とのコミュニケーションや、野生動物を見せるために減速する等の<u>柔軟な対応が困難になることに寂しさを感じる。</u>

3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ①手動介入の発生状況

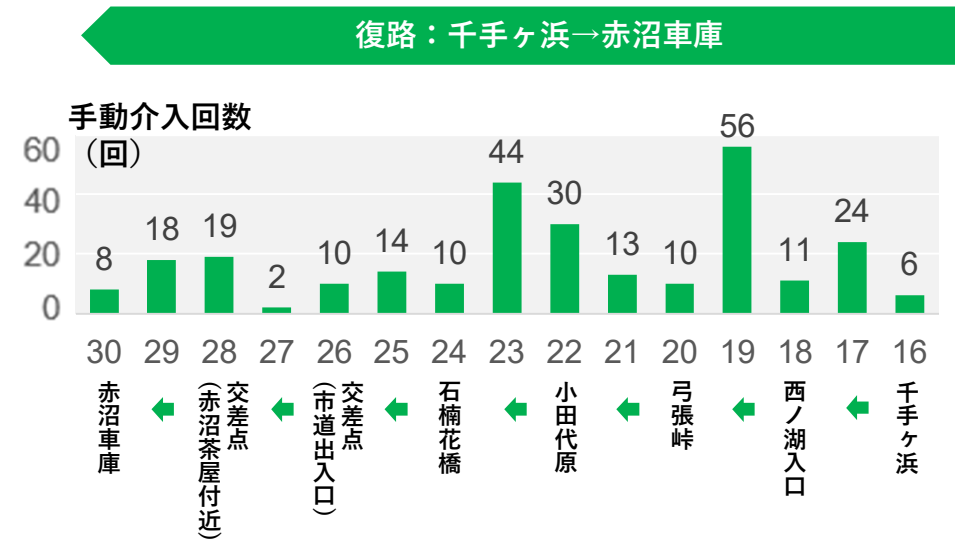
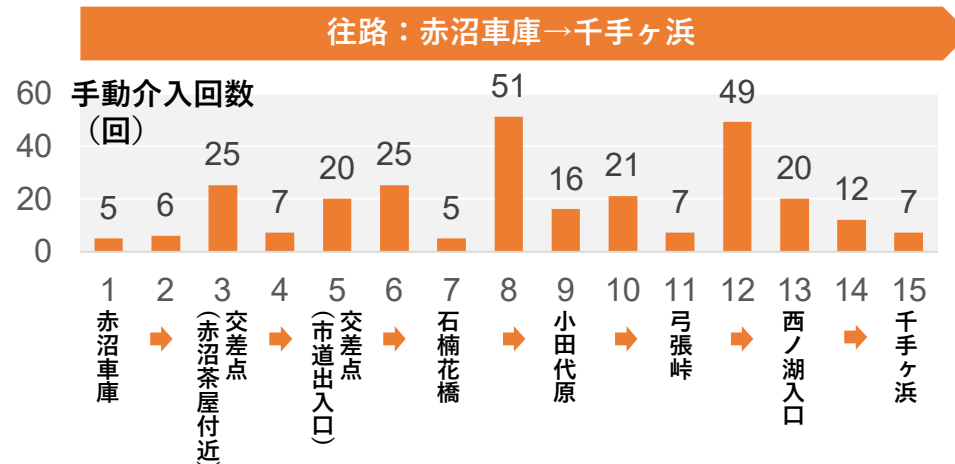
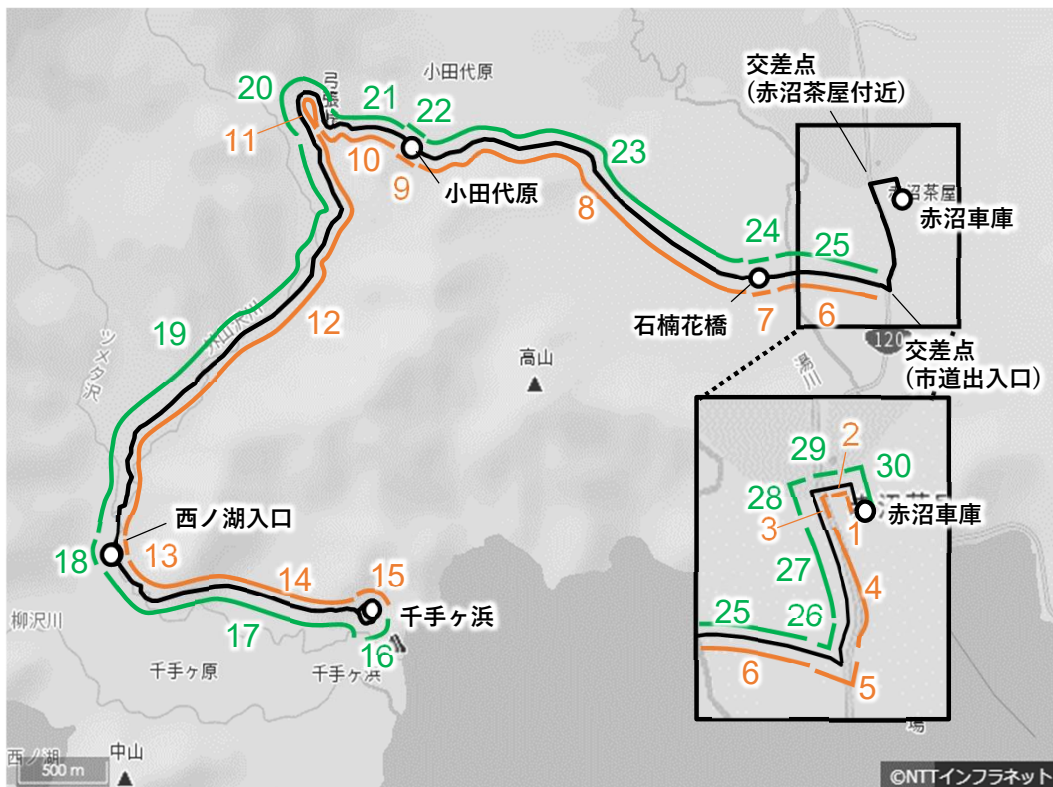
- 実験期間中(120便・走行距離1,116km)551件(1kmあたり0.49回)の手動介入が発生(うちヒヤリハット2件)。なお、連続して約100m以上手動走行となった場合は、初めに手動介入した事象をカウント
- 手動介入の種類は、ハンドル操作:336件(約61%)、ブレーキ操作:90件(約17%)、ハンドル+ブレーキ:90件(約17%)
- 手動介入の最も多い要因は、「歩行者の検知・回避」が184件(約33%)、次いで、「高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の検知低下」が108件(約20%)



3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ①手動介入の発生状況

- 走行ルートを実験区間、交差点、停留所で30区間に分割し、区間毎の手動介入回数を集計
- 手動介入は、復路：西ノ湖入口～弓張峠(区間19)が56回と最も多く、次いで、往路：石楠花橋～小田代原(区間8)が51回と、単路部での発生が多い
- 停留所付近の手動介入は、復路：小田代原が30回と最も多く、次いで、往路：西ノ湖入口が20回と、小田代原停留所と西ノ湖入口停留所での発生が多い

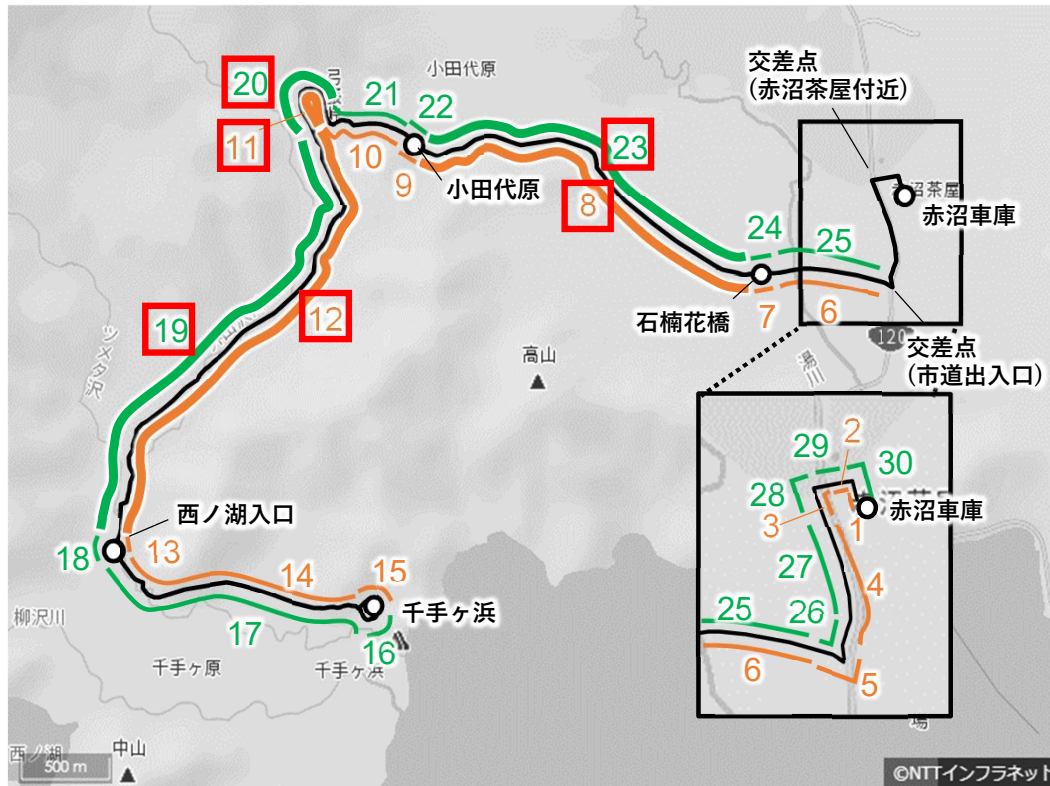
区間別手動介入回数



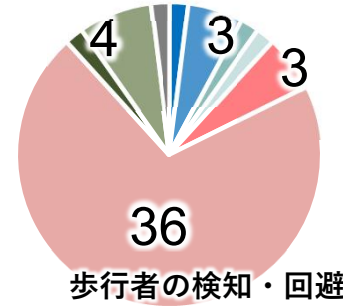
3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ①手動介入の発生状況

■ 市道区間の単路部の手動介入は要因「歩行者の検知・回避」や「高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の検知低下」が多い

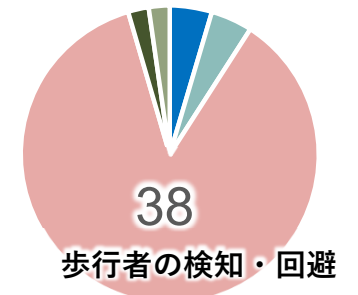
市道区間・単路部の手動介入要因



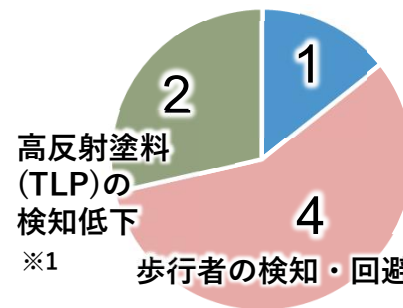
8：往路 石楠花橋⇒小田代原



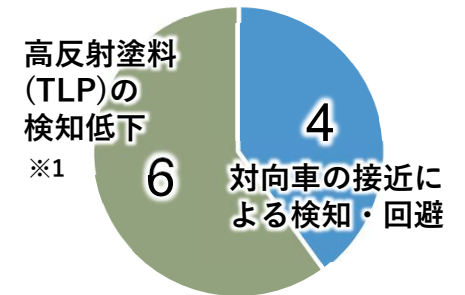
23：復路 小田代原⇒石楠花橋



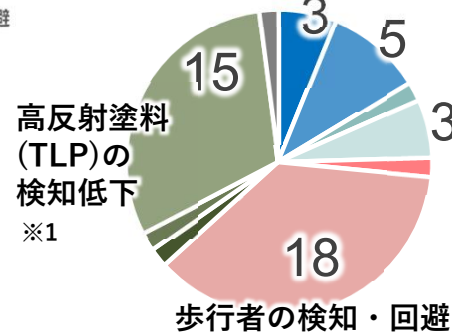
11：往路 弓張峠



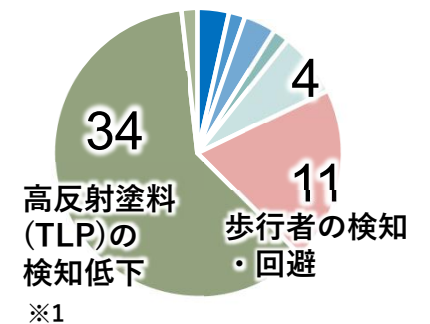
20：復路 弓張峠



12：往路 小田代原⇒西ノ湖入口



19：復路 西ノ湖入口⇒小田代原



手動介入要因凡例

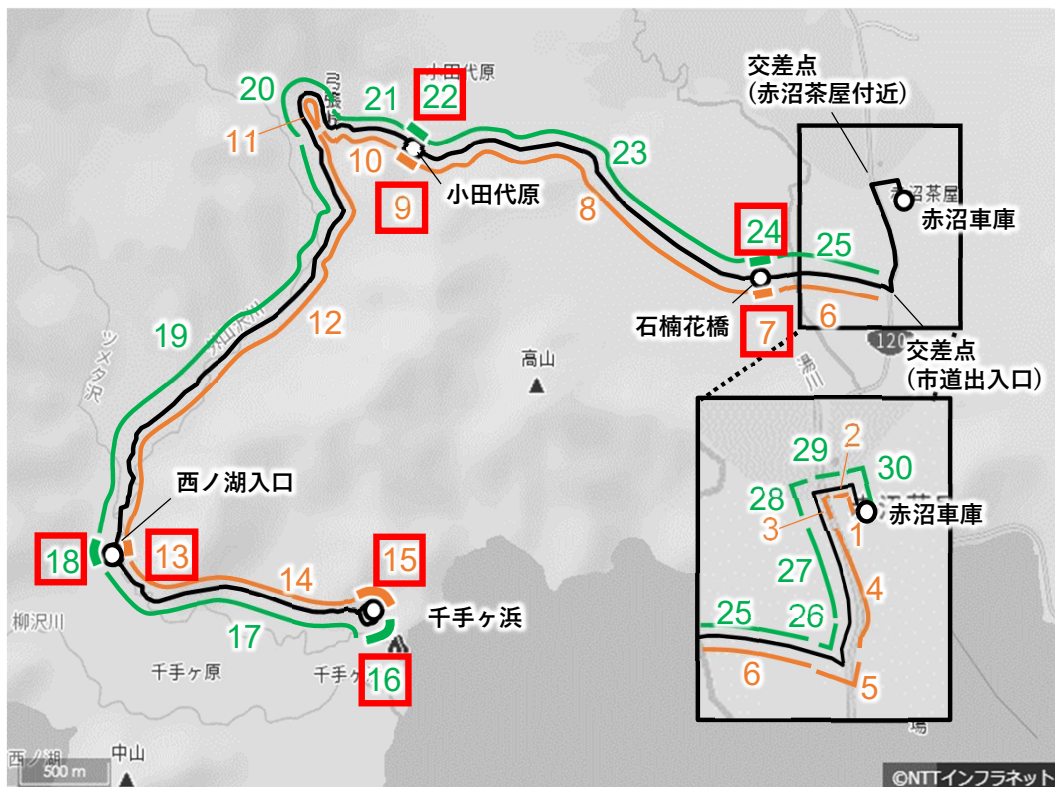
- | | | |
|----------------------|------------------|------------------|
| ■ 路上駐停車車両の検知・回避 | ■ 駐車場出入り車両の検知・回避 | ■ 対向車の接近による検知・回避 |
| ■ 後続車への道譲り | ■ 交差点での道譲り | ■ その他 |
| ■ 自転車の横断 | ■ 自転車の接近 | ■ 自転車への接近 |
| ■ 歩行者の横断 | ■ 歩行者の検知・回避 | ■ 街路樹等の検知・回避 |
| ■ 障害物の検知・回避 | ■ 動物の検知・回避 | ■ 先行車に対する制動不十分 |
| ■ 運行ダイヤの遅れ回復 | ■ 乗降時の対応 | ■ システムエラー |
| ■ 高反射塗料(TLP)の検知低下 ※1 | ■ 磁気マーカの検知低下 | ■ 交差点右左折時の危険回避 |
| ■ バス停の停止不十分や停止位置のずれ | ■ 不明 | |

※1 TLP = 高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)

3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ① 手動介入の発生状況

■ 停留所付近では「歩行者の検知・回避」や先行して停車する低公害バスに起因した手動介入(先行車に対する制動不十分、バス停の停止不十分や停止位置のずれ)が多い

市道区間・停留所付近での手動介入要因

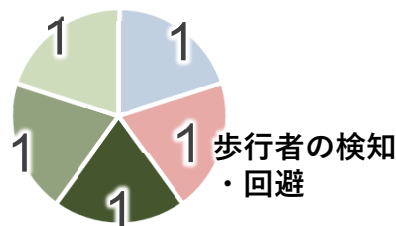


手動介入要因凡例

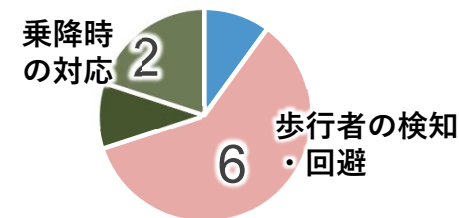
- | | | |
|----------------------|------------------|------------------|
| ■ 路上駐停車車両の検知・回避 | ■ 駐車場出入り車両の検知・回避 | ■ 対向車の接近による検知・回避 |
| ■ 後続車への道譲り | ■ 交差点での道譲り | ■ その他 |
| ■ 自転車の横断 | ■ 自転車の接近 | ■ 自転車への接近 |
| ■ 歩行者の横断 | ■ 歩行者の検知・回避 | ■ 街路樹等の検知・回避 |
| ■ 障害物の検知・回避 | ■ 動物の検知・回避 | ■ 先行車に対する制動不十分 |
| ■ 運行ダイヤの遅れ回復 | ■ 乗降時の対応 | ■ システムエラー |
| ■ 高反射塗料(TLP)の検知低下 ※1 | ■ 磁気マーカの検知低下 | ■ 交差点右左折時の危険回避 |
| ■ バス停の停止不十分や停止位置のずれ | ■ 不明 | |

※1 TLP=高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)

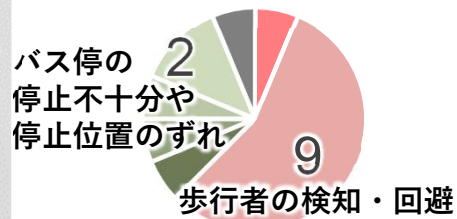
7：往路 石楠花橋停留所



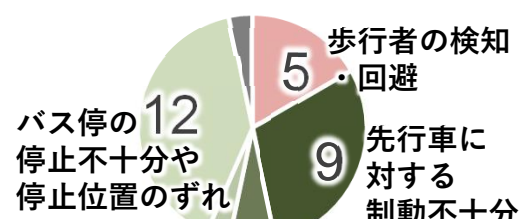
24：復路 石楠花橋停留所



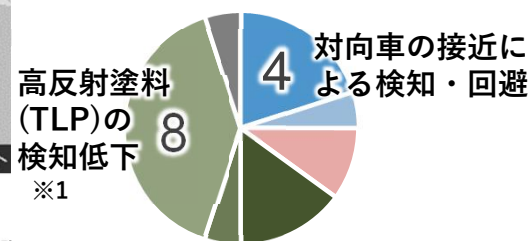
9：往路 小田代原停留所



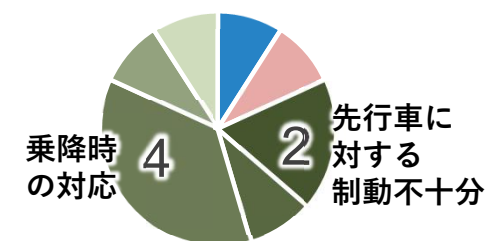
22：復路 小田代原停留所



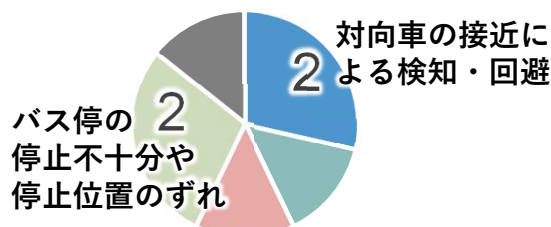
13：往路 西ノ湖入口停留所



18：復路 西ノ湖入口停留所



15：往路 千手ヶ浜停留所



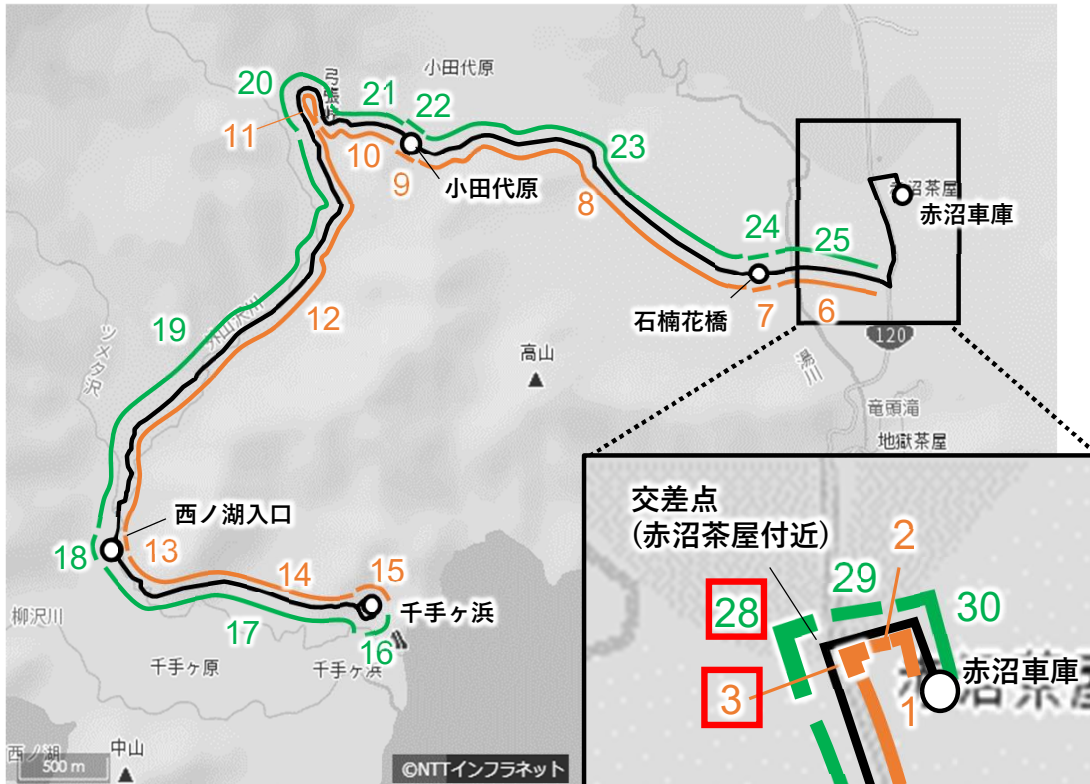
16：復路 千手ヶ浜停留所



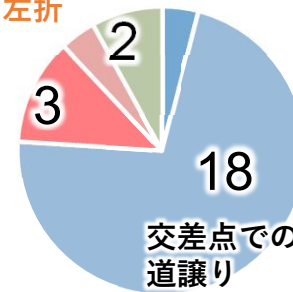
3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ①手動介入の発生状況

■ 国道区間の交差点における手動介入要因は「交差点での道譲り」や「対向車の接近による検知・回避」が多い

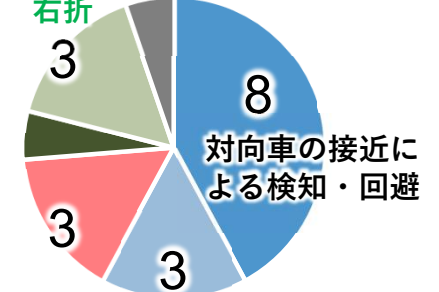
交差点右左折時の手動介入要因



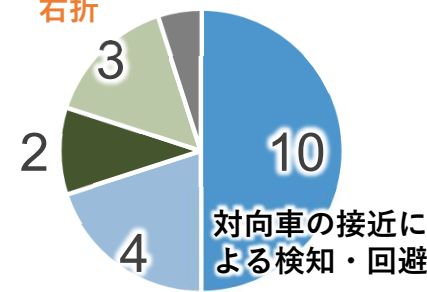
3：往路 交差点(赤沼茶屋付近) 左折



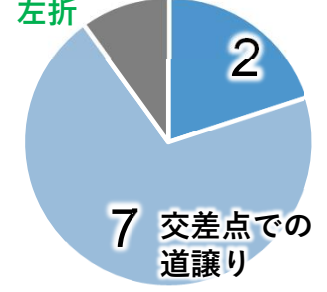
28：復路 交差点(赤沼茶屋付近) 右折



5：往路交差点(市道出入口) 右折



26：復路 交差点(市道出入口) 左折



手動介入要因凡例

- | | |
|----------------------|---------------------|
| ■ 路上駐停車車両の検知・回避 | ■ 駐車場出入り車両の検知・回避 |
| ■ 対向車の接近による検知・回避 | ■ 後続車への道譲り |
| ■ 交差点での道譲り | ■ その他 |
| ■ 自転車の横断 | ■ 自転車の接近 |
| ■ 自転車への接近 | ■ 歩行者の横断 |
| ■ 歩行者の検知・回避 | ■ 街路樹等の検知・回避 |
| ■ 障害物の検知・回避 | ■ 動物の検知・回避 |
| ■ 先行車に対する制動不十分 | ■ 運行ダイヤの遅れ回復 |
| ■ 乗降時の対応 | ■ システムエラー |
| ■ 高反射塗料(TLP)の検知低下 ※1 | ■ 磁気マーカの検知低下 |
| ■ 交差点右左折時の危険回避 | ■ バス停の停止不十分や停止位置のずれ |
| ■ 不明 | |
- ※1 TLP=高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)

3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ①手動介入の発生状況

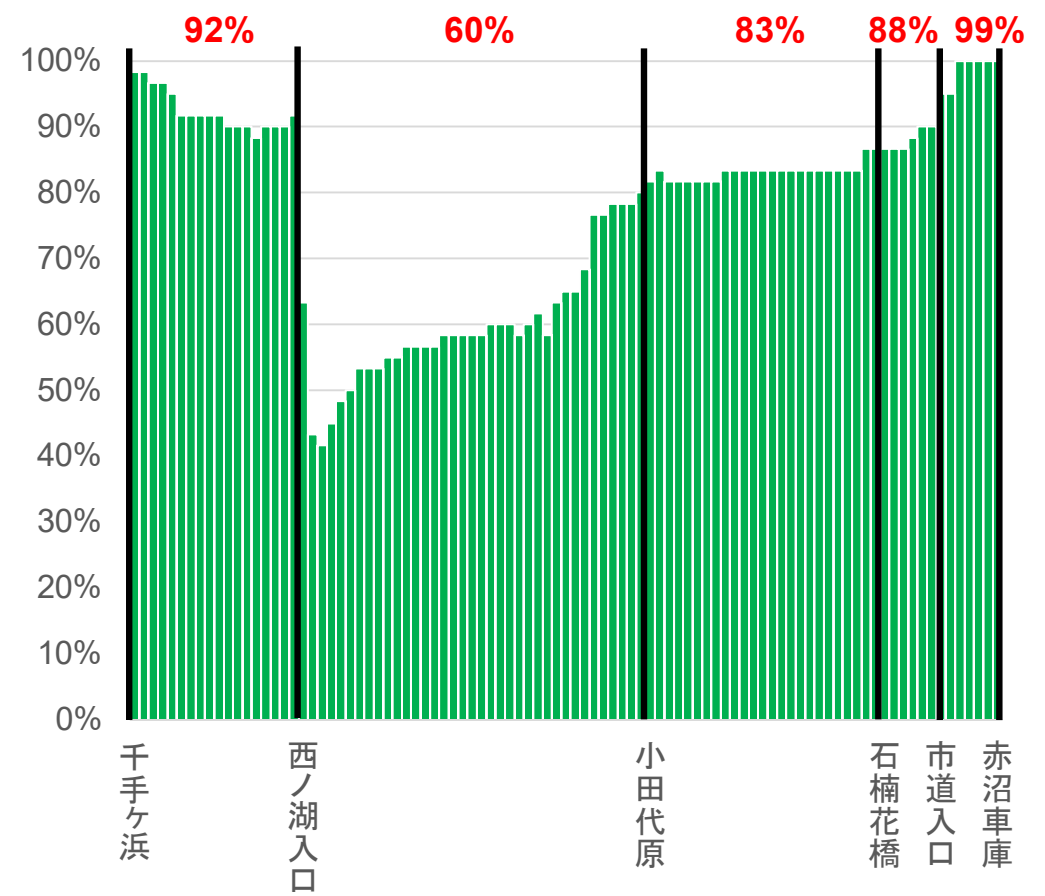
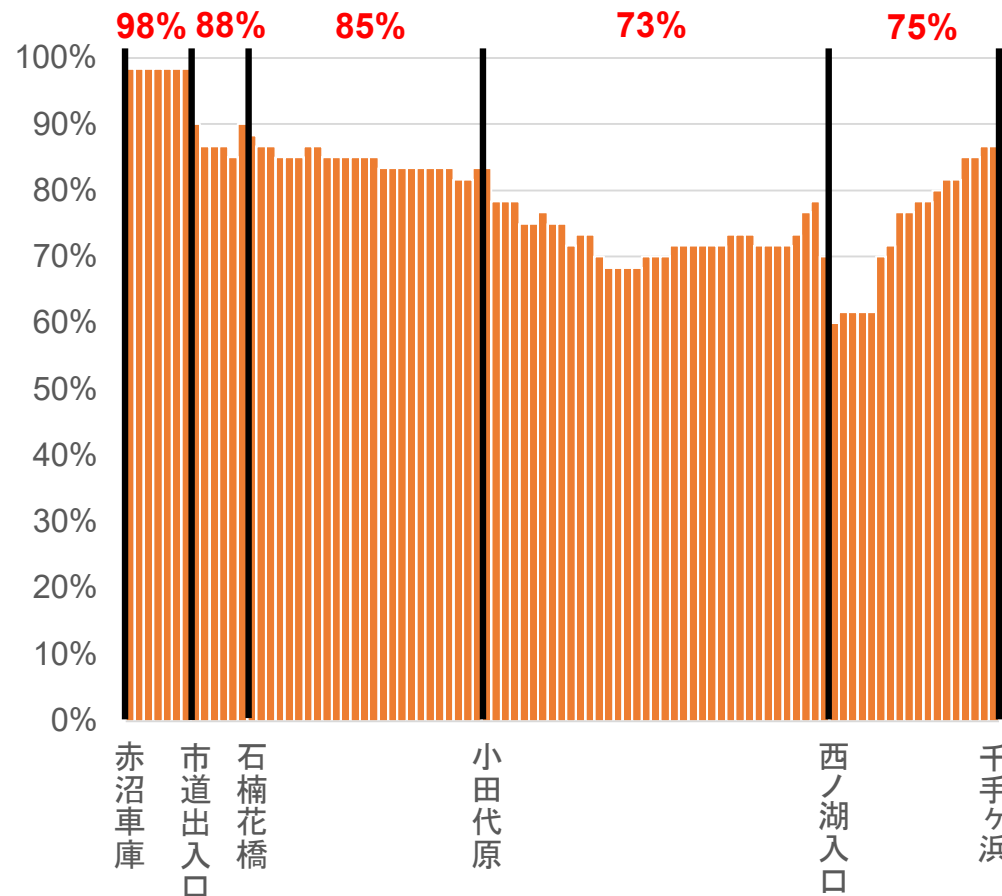
- 走行ルート約9,300mを100mずつの区間に区切り、各区间における片道60回の走行における自動走行回数を集計し、自動走行割合(自動走行できた回数÷走行回数(60回))を算出
- 往路・復路ともに小田代原～西ノ湖入口間において手動走行となることが多く、特に復路の西ノ湖入口停留所を出発する際に自動走行割合が低下

区間毎の自動走行割合

往路：赤沼車庫→千手ヶ浜

復路：千手ヶ浜→赤沼車庫

自動走行割合 (赤字は区間平均)



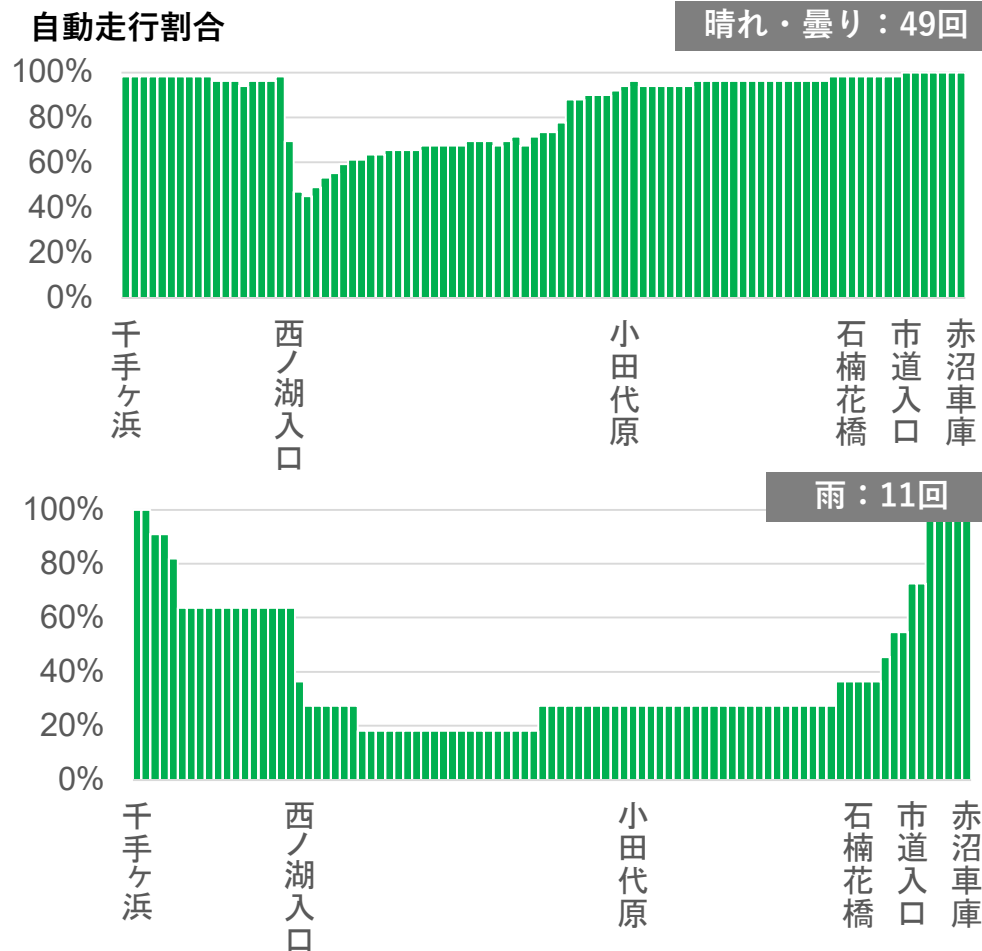
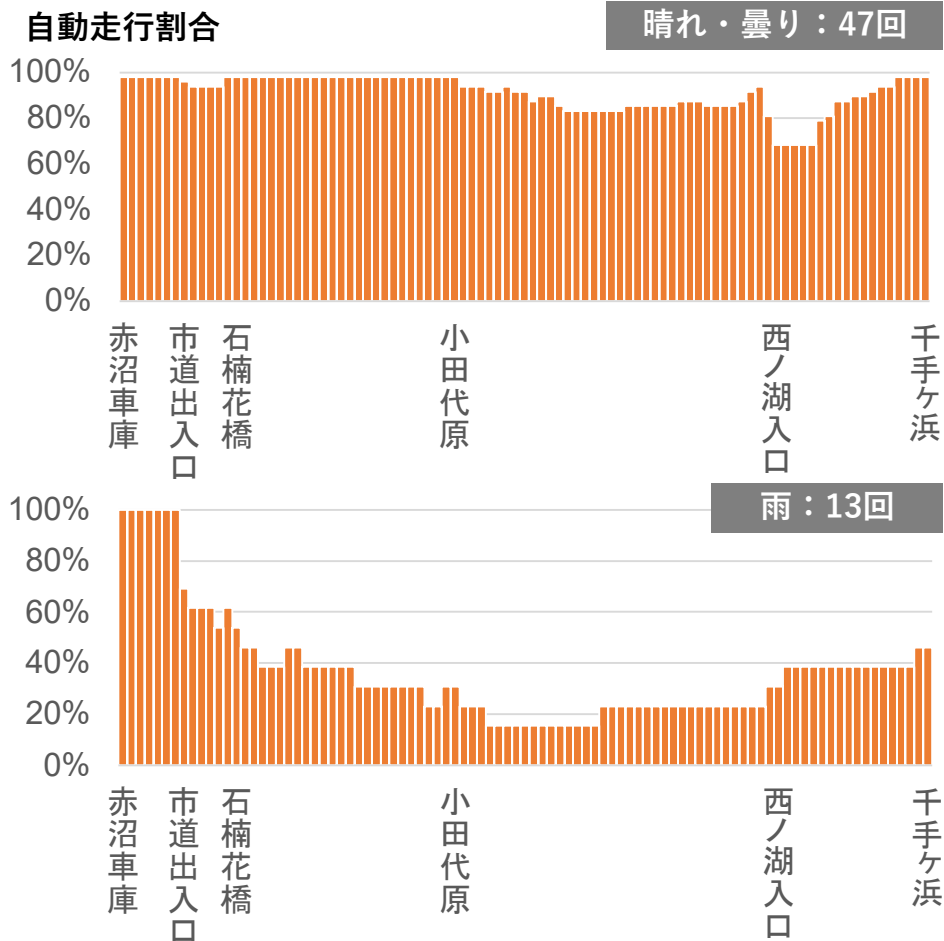
3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ① 手動介入の発生状況

- 急なカーブが連続する西ノ湖入口停留所付近では、自動走行割合が低下する傾向
- 天候別で比較すると、雨天時は市道区間内で自動走行割合が低下する傾向

区間毎・天候別の自動走行割合

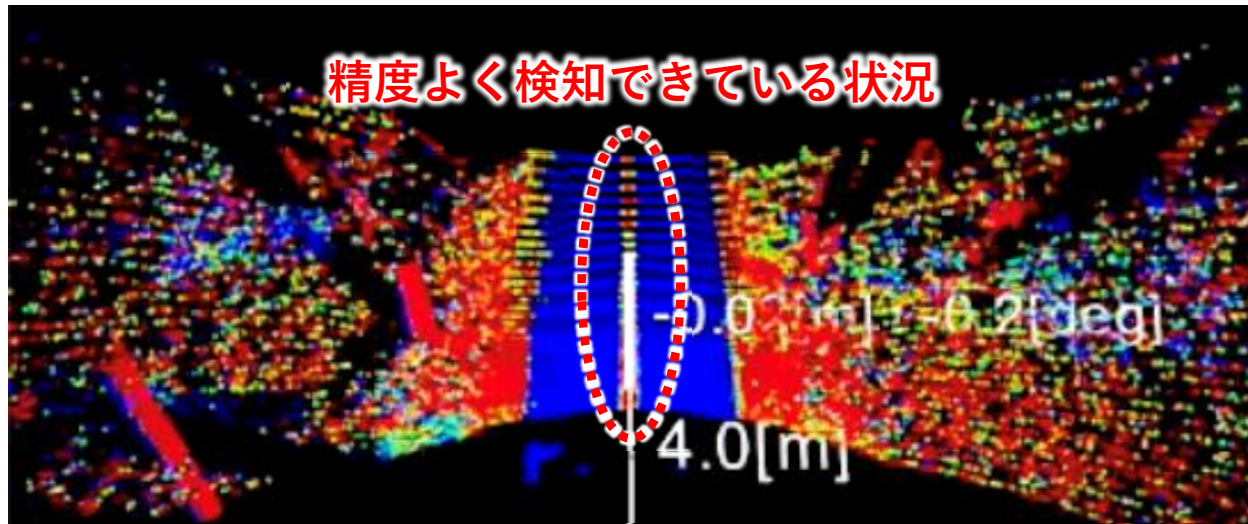
往路：赤沼車庫→千手ヶ浜

復路：千手ヶ浜→赤沼車庫



- 市道区間は上部が樹木に覆われ、GNSSが入りにくく、車両位置の特定が課題であったが、高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)を市道区間に施工したことにより、安定した自動走行を実現
- 一部、雨天時やカーブ走行時などにおいては高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)未検知による手動介入が発生したが、多くのケースでは安定した自動走行が可能であった。今後はLiDARの精度向上、高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の輝度の向上等により更なる自動走行の安定化に期待

市道区間における安定的な自動走行の実現



LiDARによる高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の検知状況

凡例



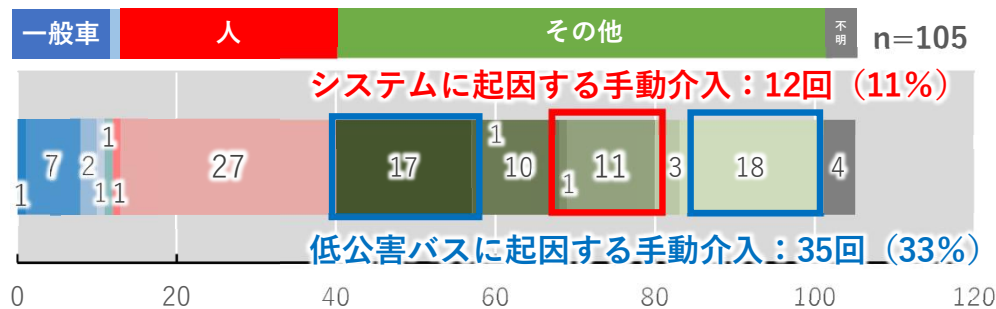
課題

- 雨天時の影響
雨天時に車載LiDARの性能の限界や高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の輝度低下等による未検知が発生
- 道路のひび割れや落ち葉の影響
アスファルトのひび割れや落ち葉は輝度が高く、高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の検知に支障
- カーブ走行時
一部のカーブ走行時において高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の検知精度の低下が発生
- 泥のタイヤ痕による影響
実証直前に西ノ湖周辺で伐採作業していた車両による泥のタイヤ痕がLiDARでみると高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)に類似しており、誤検知が発生

3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ③磁気マーカ・走行支援看板の効果と課題 25

- 市道区間内の石楠花橋・小田代原・西ノ湖入口・千手ヶ浜停留所には、それぞれ自己位置の特定を安定化させる目的で、磁気マーカを設置、走行支援看板を1枚ずつ設置。また急カーブ区間等においても加減速を制御し、走行安定性を向上させる目的で磁気マーカを設置
- 停留所での手動介入では、システムに起因する手動介入は約1割と少なく、磁気マーカや走行支援看板により自己位置の特定が安定していたと推測
- 一方、停留所で先に停車している低公害バスに起因する手動介入が発生しており、低公害バスに追従する形式で実装する際には低公害バスの停車位置を踏まえた調律が課題
- ヘアピンカーブのある弓張峠は、手動介入回数が少なく、磁気マーカによる加減速の制御や自己位置の特定により走行安定性が向上したと推測

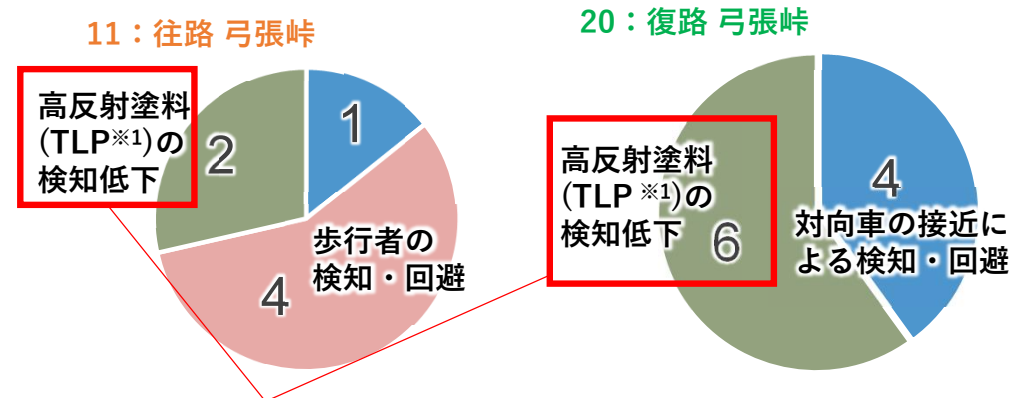
市道区間内の停留所付近走行時における手動介入要因



手動介入要因凡例

- 路上駐停車車両の検知・回避
- 駐車場出入り車両の検知・回避
- 交差点での道譲り
- その他
- 自転車への接近
- 歩行者の横断
- 障害物の検知・回避
- 動物の検知・回避
- 乗降時の対応
- システムエラー
- 交差点右左折時の危険回避
- バス停の停止不十分や停止位置のずれ

弓張峠走行時における手動介入要因



システムに起因する手動介入

- 対向車の接近による検知・回避
- 後続車への道譲り
- 自転車の横断
- 自転車の接近
- 歩行者の検知・回避
- 街路樹等の検知・回避
- 先行車に対する制動不十分
- 運行ダイヤの遅れ回復
- 高反射塗料(TLP)の検知低下
- 磁気マーカの検知低下
- 不明

※1 高反射塗料(TLP) = ターゲットライン™ペイント)

3. 実験結果の検証 (3) 走行安全性 ②課題と今後の対応案

- 雨天時やカーブ走行時といった特定の環境において高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の検知精度が低下することが確認されたため、LiDARの精度向上、高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の輝度の向上等の対応が課題
- 貼付式の磁気マーカは耐久性に課題があり、埋設式の磁気マーカの設置等の対応が必要
- 交差点の走行においては、一般車や歩行者等への対応について自動運転バス側の技術による対応に限界もあり、交差点への路側センサーの設置等のハード整備による対応が課題

走行ルートの問題点	実証実験での対応策	実証実験で得られた課題	今後の対応案
<ul style="list-style-type: none"> ・ 市道区間内は上部が樹木に覆われ、GNSSが入りにくく、車両位置の特定が困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 市道区間に高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)を施工 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 雨天時はLiDARによる高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の検知精度が低下 ・ カーブ走行時に高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の検知精度が低下 ・ カーブ走行時の検知精度を上げるため、検知の閾値設定を下げると、誤検知が発生・継続する事象が発生 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 車載LiDARの精度の向上 ◆ 急カーブ区間の高反射塗料を読み取りやすくするための調律(閾値の設定) ■ 高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の輝度の向上 ● 磁気マーカの設置等による車両位置特定の多重化
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 停留所付近や急カーブ区間に磁気マーカを設置 ・ 停留所付近に走行支援看板を設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 磁気マーカや走行支援看板は停留所等での走行安定性の向上に寄与する一方で、貼付式の磁気マーカでは耐久性に課題 	<ul style="list-style-type: none"> ● 埋設式の磁気マーカの設置
<ul style="list-style-type: none"> ・ 赤沼車庫や市道区間から国道120号に出る交差点の左右が死角になりやすい ・ 交差点(赤沼茶屋付近)は歩行者が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 交差点に入る前に一時停止し、周囲の安全を確認しドライバー判断で再開する設定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国道120号に出る左折時に一般車への道譲りや歩行者が多いための手動介入が発生 ・ 交差点右折時に対向車に起因する手動介入が発生 	<ul style="list-style-type: none"> ● 路側センサーの設置による車両側への死角情報(一般車の接近、歩行者の横断等)の提供 ● 信号の設置 ■ 目視による安全確認がしやすいように調律において二段階停止を設定

【凡例】 ◆ : 自動運転技術による対応 ● : ハード整備が必要な対応 ■ : その他の対応

3. 実験結果の検証 (4) 利用者ニーズに関する検証

- 往路は小田代原停留所での降車が多く、停留所以外での降車が3人。復路では停留所以外での乗車が8人
- 途中区間での自由乗降もあり、実装する場合には停留所以外で乗車降車を希望するバス利用者への対応の検討が課題

往路：赤沼車庫→千手ヶ浜

	赤沼車庫	→	石楠花橋	→	小田代原	→	西ノ湖入口	→	千手ヶ浜	計
乗車	510	0	1	0	5	0	0	0	0	516
降車	0	0	1	0	142	1	67	2	303	516

停留所以外での降車

乗車場所は概ね赤沼車庫であり、途中停留所での降車も多数(小田代原、西ノ湖入口)



復路：千手ヶ浜→赤沼車庫

	千手ヶ浜	→	西ノ湖入口	→	小田代原	→	石楠花橋	→	赤沼車庫	計
乗車	277	4	18	0	11	0	0	4	0	314
降車	0	0	0	0	28	0	28	0	258	314

乗車場所は概ね千手ヶ浜であり、途中停留所での乗降者も見られる

停留所以外での乗車

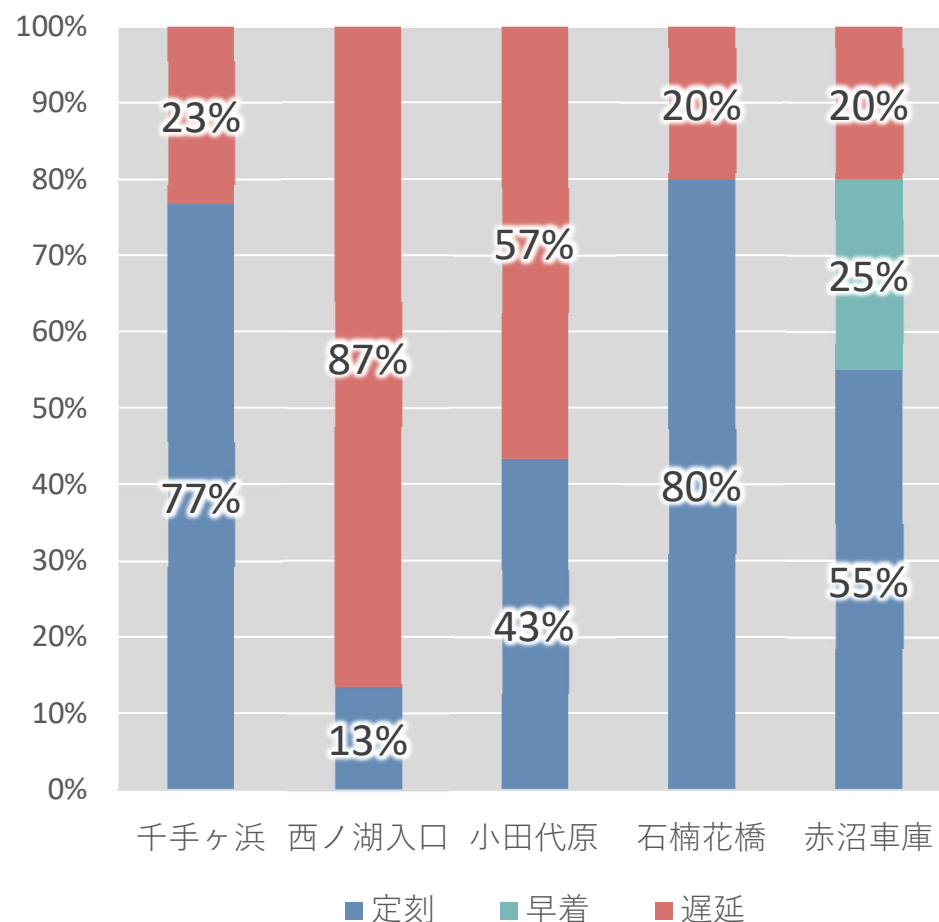
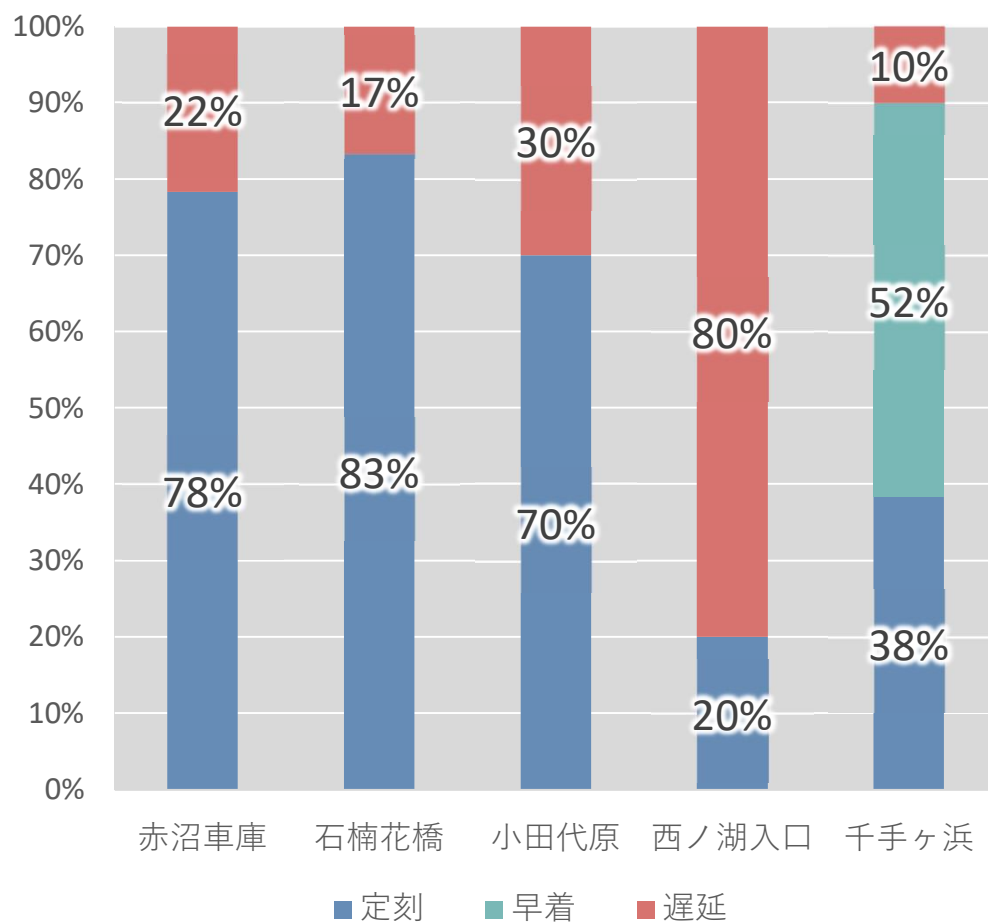
3. 実験結果の検証 (5) 自動運転バスの定時性に関する検証

- 往路・復路における各停留所における実際の発着時間と時刻表の時間の差から定刻・遅延・早着(終点停留所のみ)の状況を整理し、実装時に低公害バスと同様のダイヤでの運行が可能かを検討
- 往路・復路ともに、西ノ湖入口等の途中停留所での遅延があるが、終点停留所では遅れを回復し、定刻あるいは早着の割合が8割以上を占めている。また、次の便への支障は見られず、同様のダイヤでの運行が可能であることを確認

各停留所における発着状況

往路：赤沼車庫→千手ヶ浜

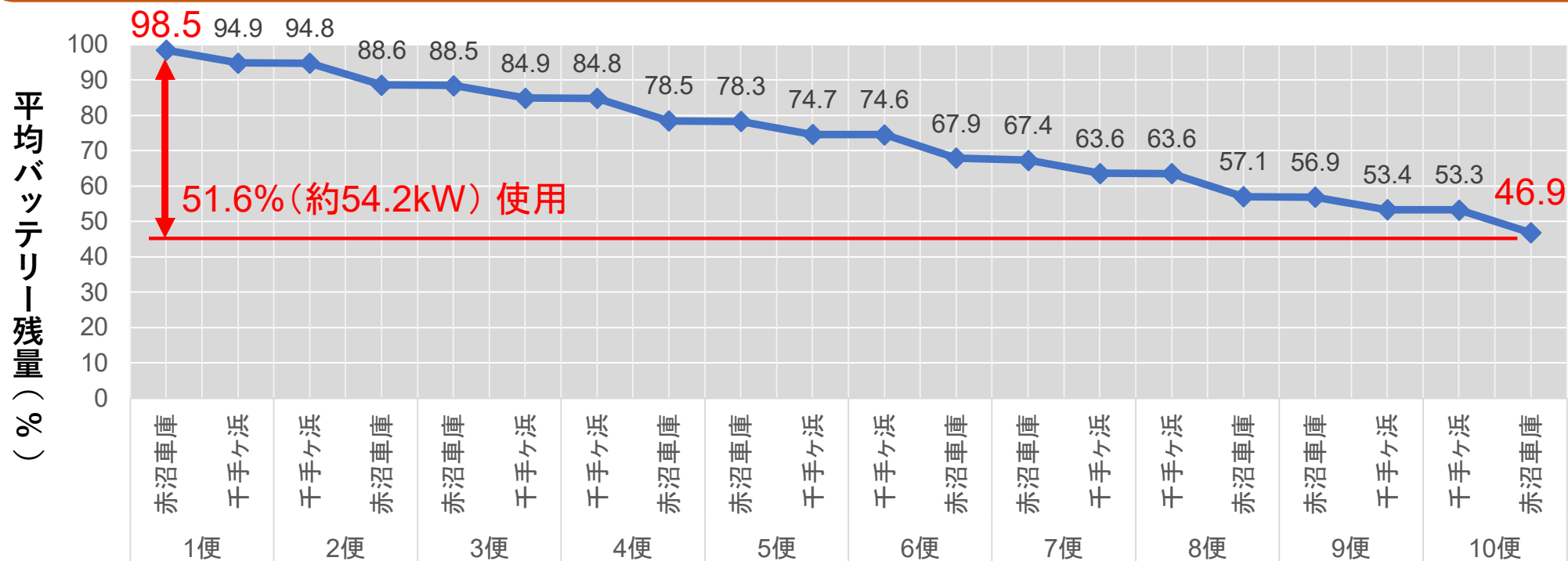
復路：千手ヶ浜→赤沼車庫



3. 実験結果の検証 (6) バッテリー使用状況に関する検証

- 日毎の赤沼車庫及び千手ヶ浜停留所における出発時・到着時のバッテリー残量を記録、平均のバッテリーの使用状況※を整理し、低公害バスと同様の運行が可能かを検証
※実験期間中のほとんどの日で空調を使用せずに走行
- 走行開始時は平均98.5%、走行終了時は平均46.9%であり、1日の運行(93km)あたり平均51.6%(J6の充電容量105kWを踏まえると約54.2kW)のバッテリーを使用し、電費は1.72km/kWh (J6公表値: 1.90km/kWh(航続距離200km、充電容量105kW))
- 低公害バスは通常1日あたり6往復走行するが、今回の実証時期であれば、バッテリー使用状況に余裕があることから、低公害バスと同様に6往復運行することが可能
- 一方、空調が必要な時期は、バッテリーの消費が早くなるため、6往復の運行が困難な可能性があり、バッテリー容量の大きい車両や電費のいい車両手配の検討が課題

バッテリーの使用状況



4. 奥日光低公害バス路線での自動運転バス実装に向けて

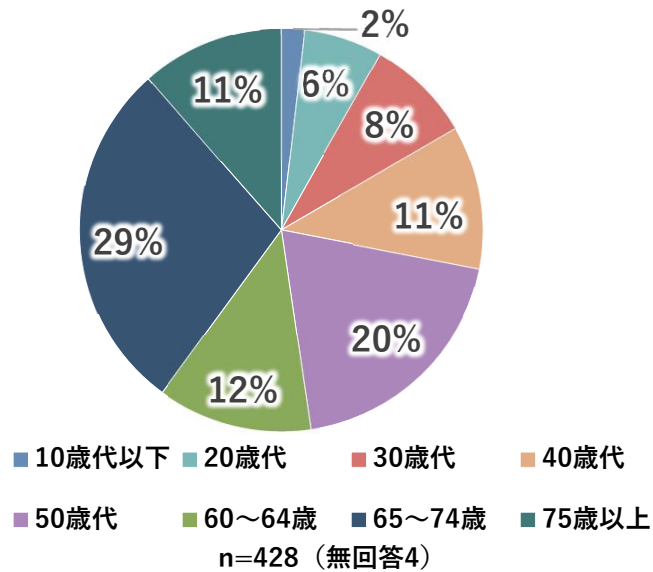
- バス運転士の高齢化に伴う運転士の人手不足に対応するため、自動運転レベル4の実現による省人化や負担軽減に向けた、自動運転技術向上やインフラ連携による走行安全性の向上が課題
- 低公害バスと同様のサービスレベルを確保するためには、低公害バスと同様に大型バスでの運行が求められるが、車両が大型化することによる走行安全性や定時性の確保に向けた検証が課題

達成すべき目標	必要な対応	実装に向けた課題と今後の対応案
自動運転レベル4の実現による省人化・負担軽減	自動運転技術の向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 市道区間内はGNSSによる車両の位置特定が困難であるため、高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)を活用した位置特定が重要であり、走行安定性を向上させるためにLiDARの性能の向上 ・ 市道区間内における歩行者等の回避のための手動介入を減少させるため、LiDAR等のセンサの精度向上や自動による回避機能の導入
	インフラ連携	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)を活用した位置特定の精度を高めるため、高反射塗料(ターゲットライン™ペイント)の輝度の向上 ・ 貼付式磁気マーカの耐久性及び埋設式磁気マーカ設置の検討 ・ 国道の交差点の走行では一般車の存在や観光客の多さが課題であり、走行安定性を高めるため、路側センサーや信号の設置等の検討
	運転士の育成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運転士の高齢化が進行している中で、自動運転バスの操作方法について高齢の運転士に対しても分かりやすい教育、十分な研修期間の確保
低公害バスと同様のサービスレベルの確保	輸送力・バッテリー容量の大きい車両の手配	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今回使用したBYD J6では、空調が必要な時期ではバッテリーが持たない可能性があり、バッテリー容量の大きい車両や電費のいい車両手配の検討 ・ 輸送力の面からは、低公害バスと同様の大型バスでの運行が望ましく、大型バスを使用する場合、狭隘区間での自動走行の安全性の検証
	定時性の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・ BYD J6 (小型バス)では、概ね低公害バスと同様のダイヤでの運行が可能であったが、大型バスでの定時性の検証
	利用者ニーズに沿った対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ これまで低公害バスにおいて、運転士がきめ細やかに対応してきた運賃収受や車いす利用者、訪日外国人、自由乗降希望者等への対応について自動運転バスでの実現可能性の検討

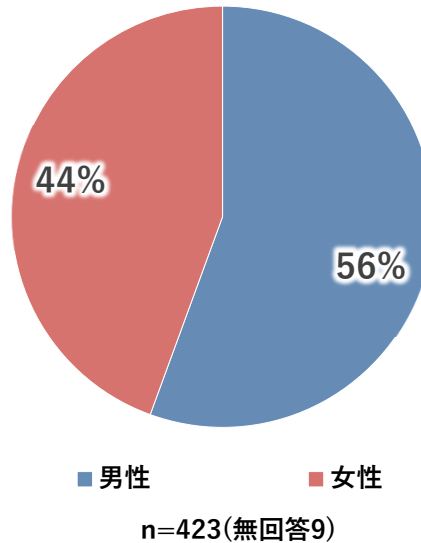
參考資料

参考1. アンケート調査 (1) 実験参加者 ①回答者属性

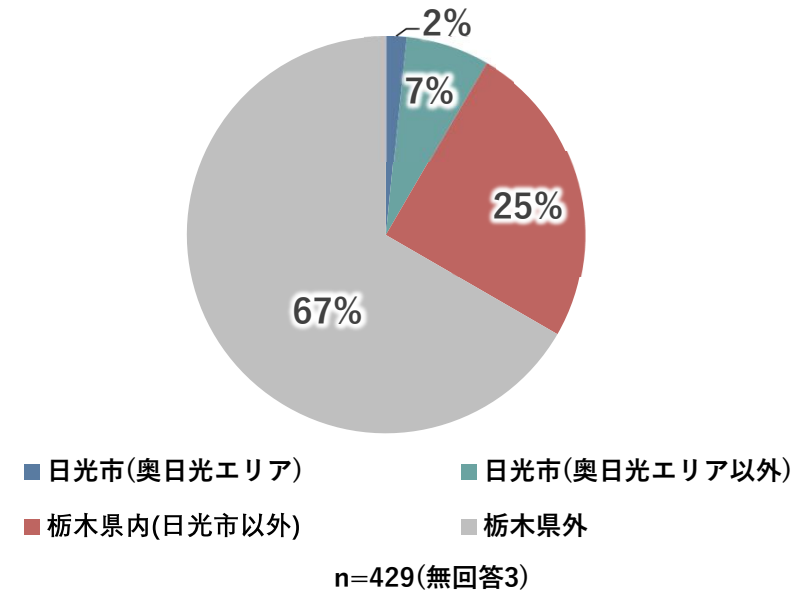
【年齢】



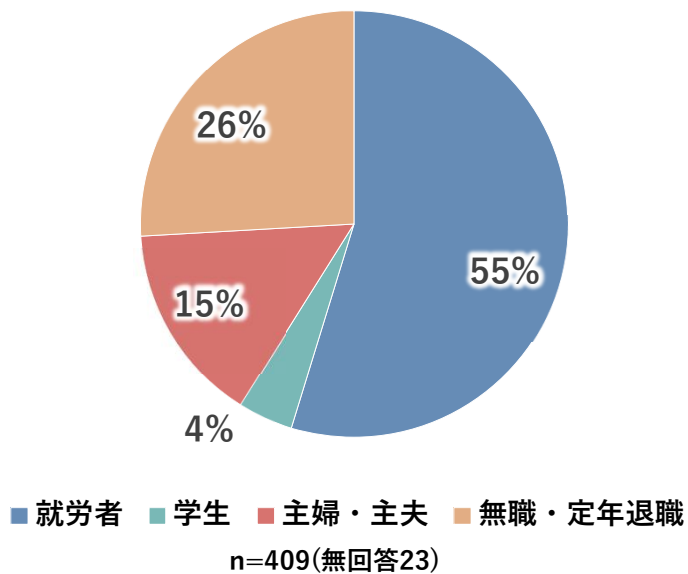
【性別】



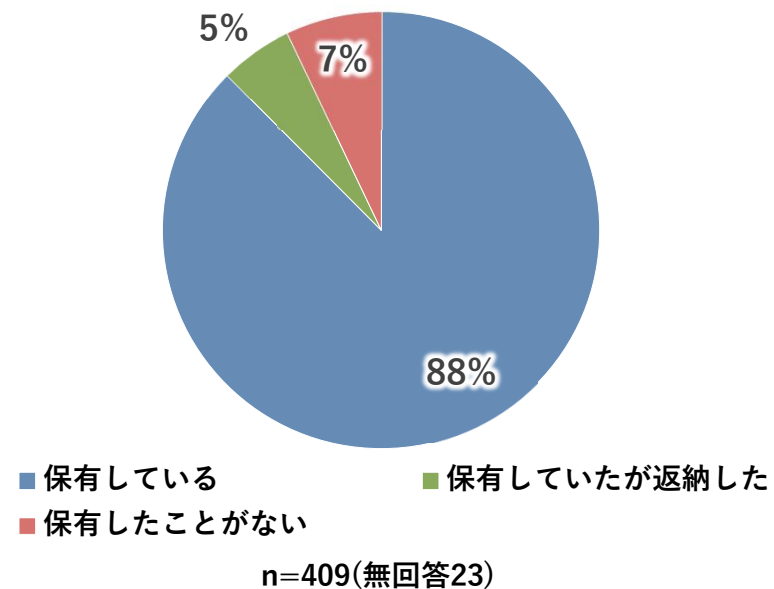
【居住地】



【就労区分】

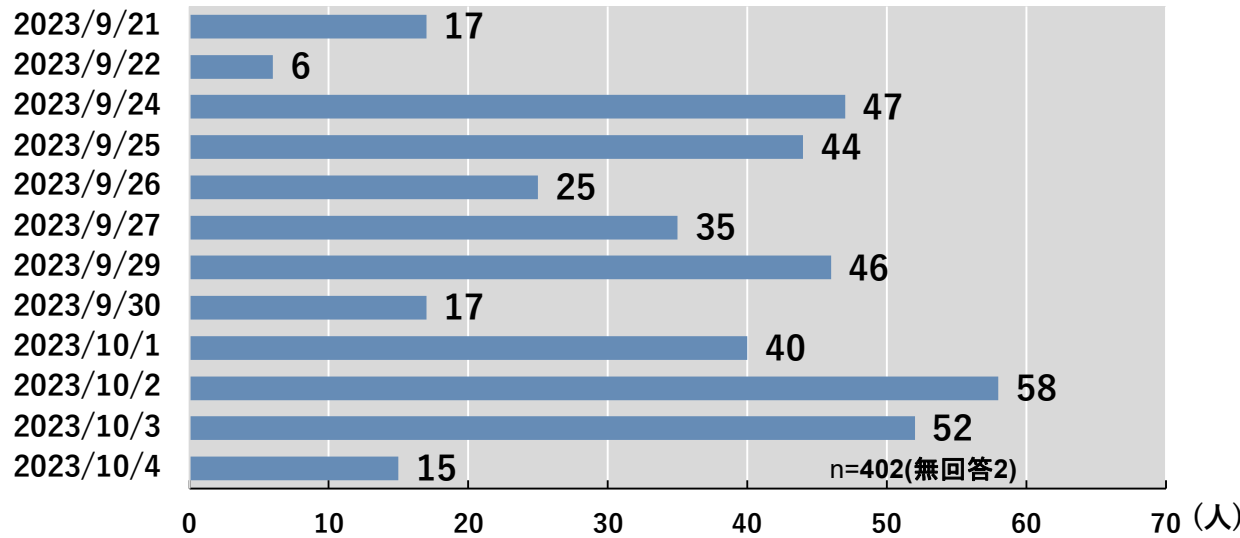


【運転免許証保有】

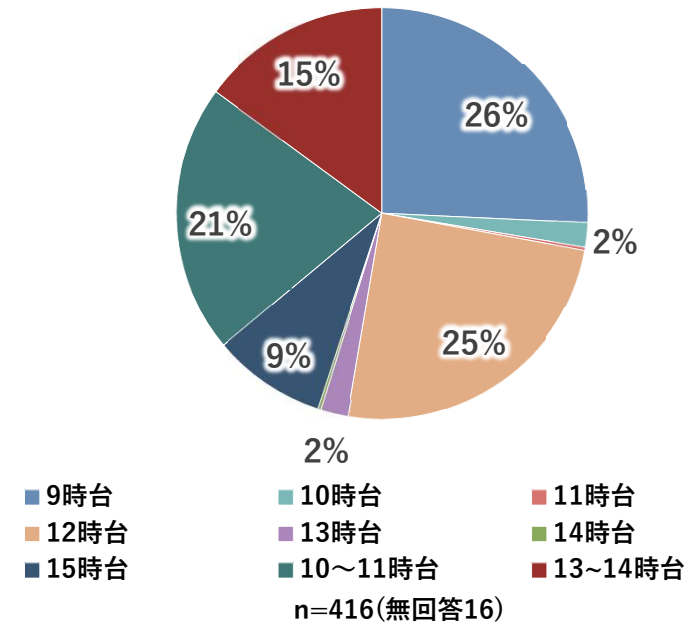


参考1. アンケート調査 (1) 実験参加者 ②乗車日時・利用実態

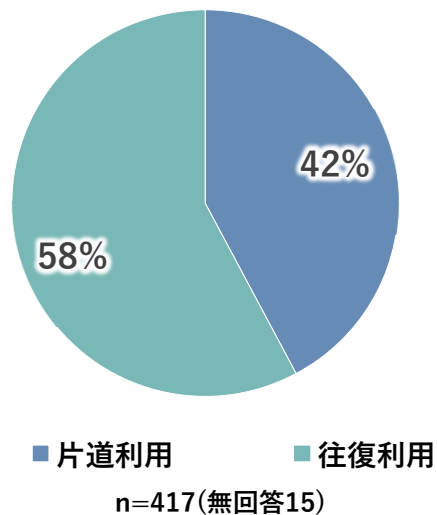
【乗車日付】



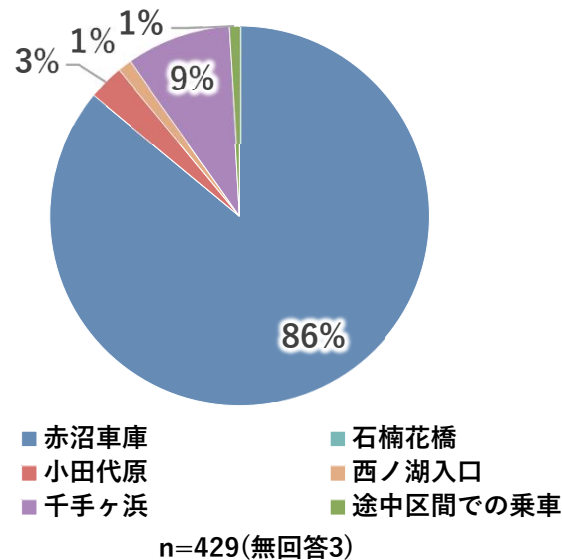
【乗車時間帯】



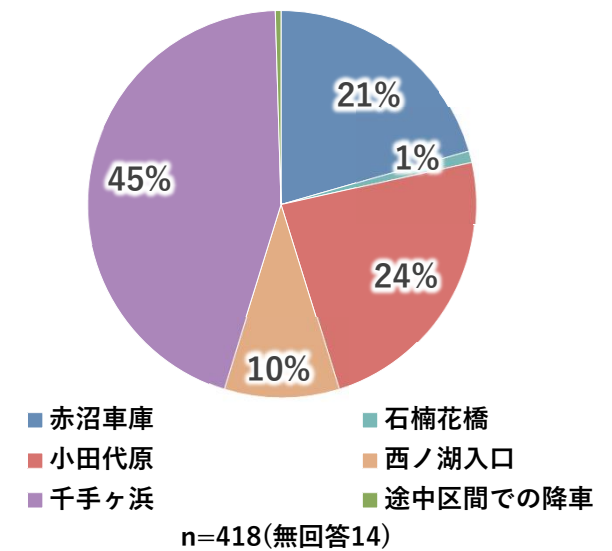
【利用形態】



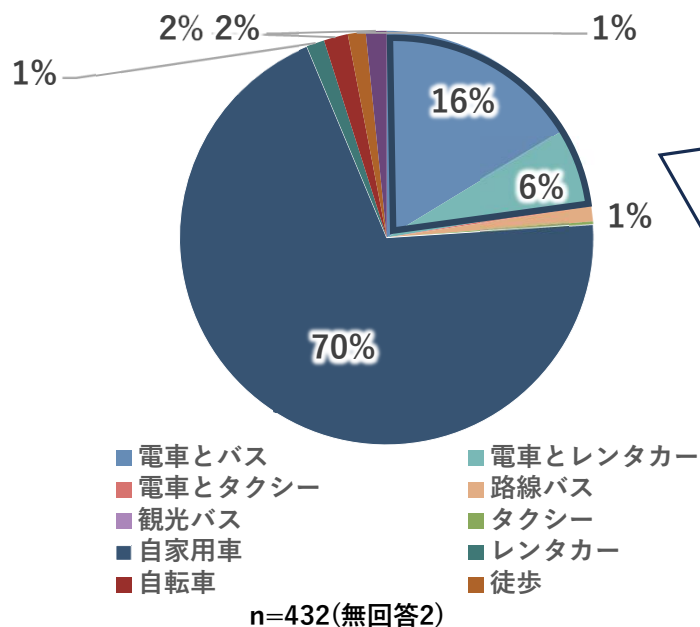
【乗車停留所】



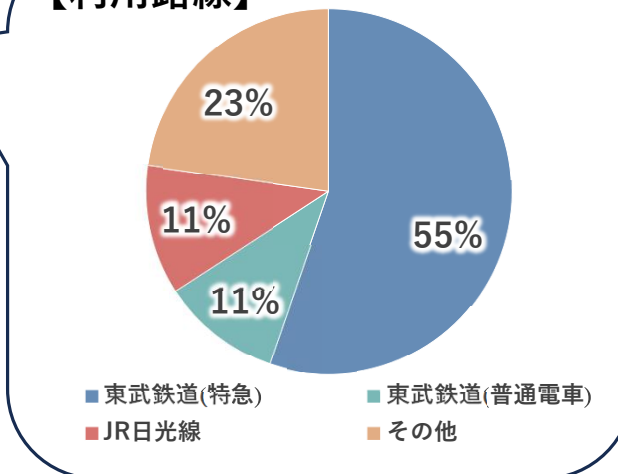
【降車停留所】



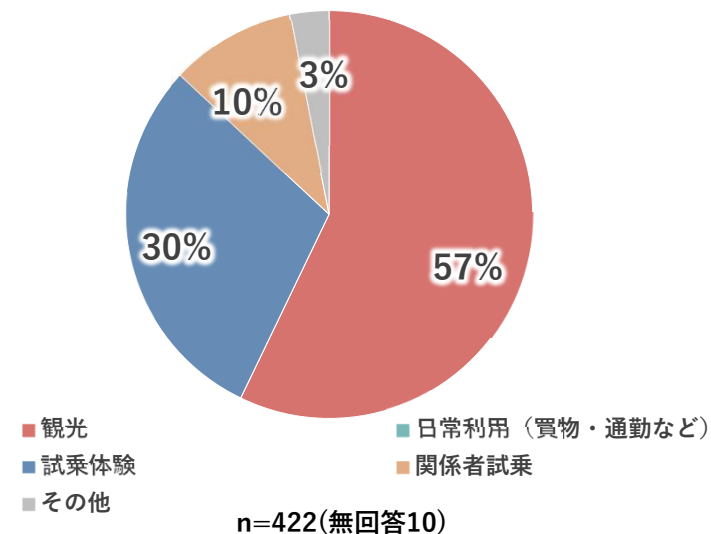
【乗車にあたってのアクセス手段・複数回答可】



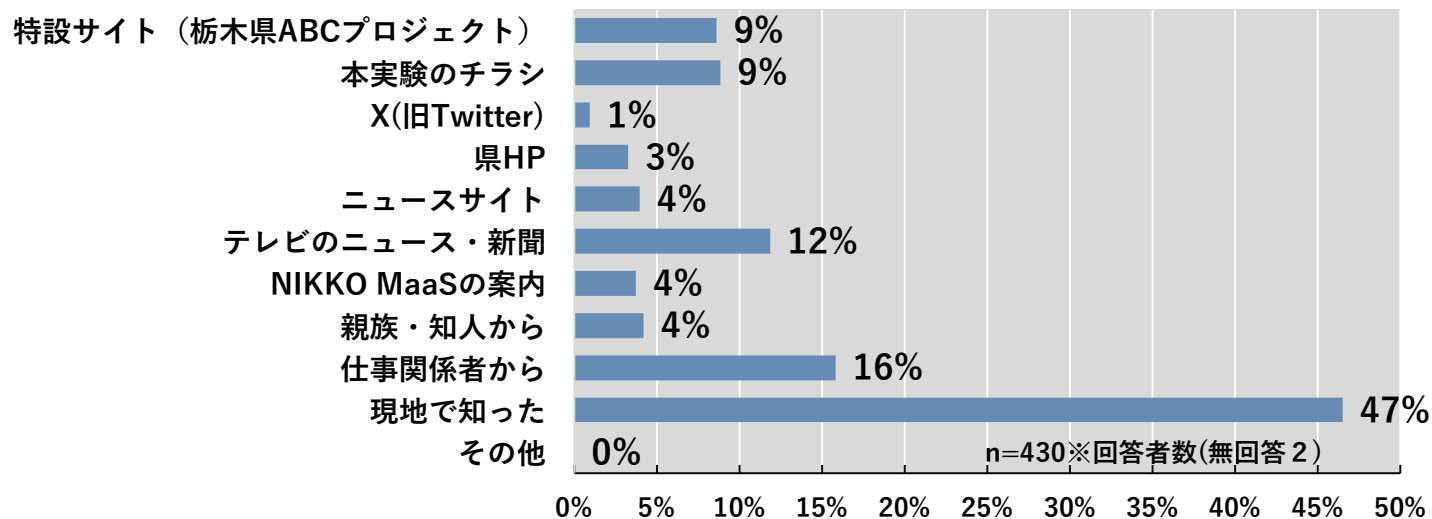
【利用路線】



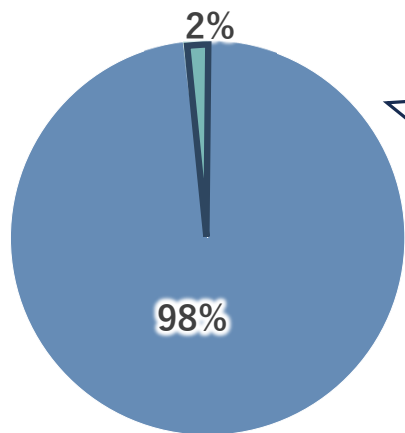
【乗車目的】



【実験を知ったきっかけ(複数回答可)】

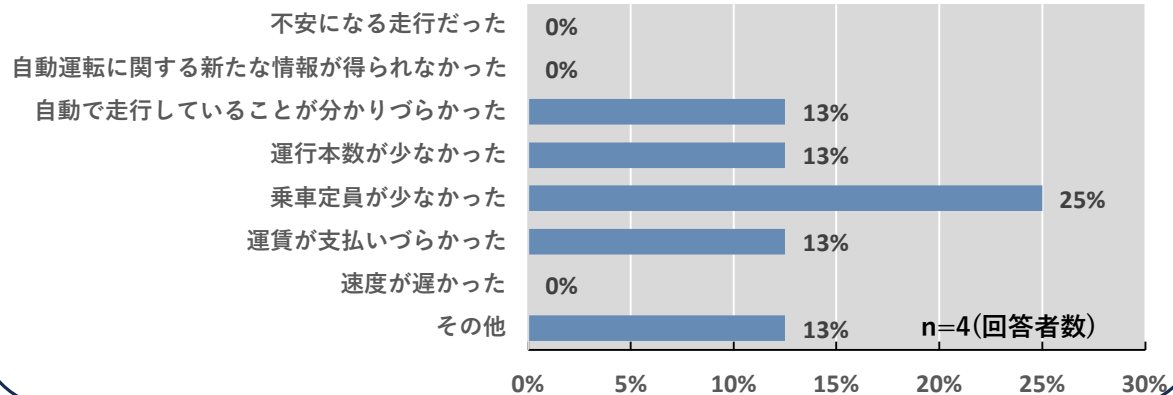


【乗車体験の満足度】

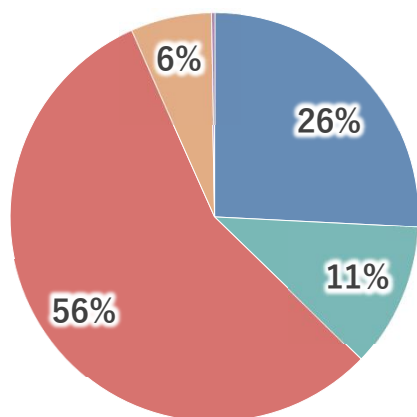


■ 満足できた ■ 満足できなかった
n=411(無回答20)

【満足できなかった理由(複数回答可)】

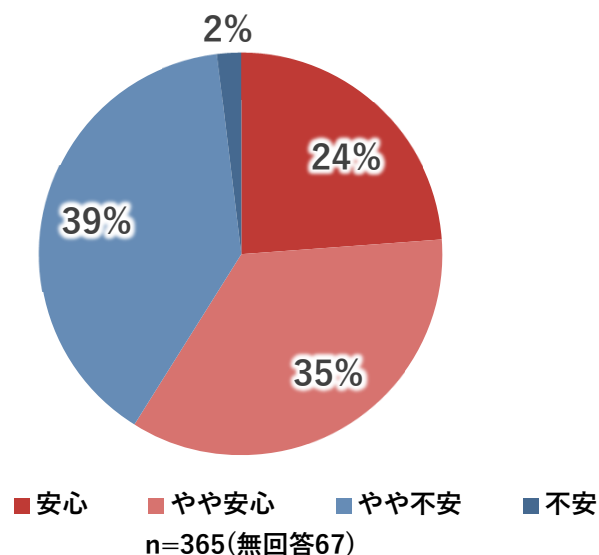


【一般的な路線バスと比べた急ブレーキや急ハンドルの回数】

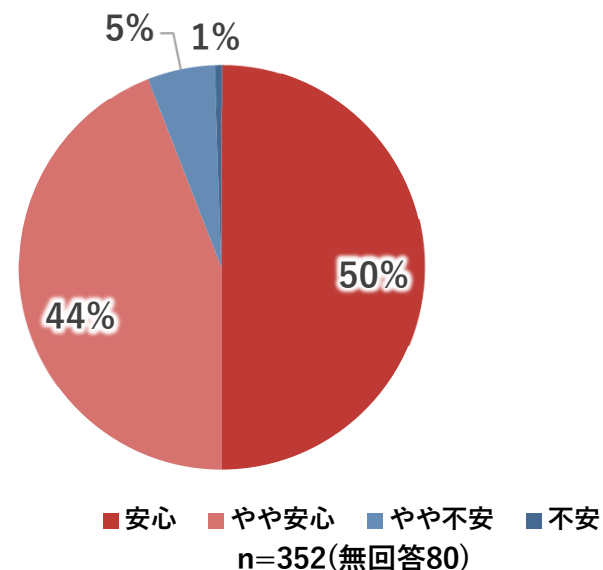


■ 少ない ■ やや少ない ■ 変わらない ■ やや多い ■ 多い
n=376(無回答56)

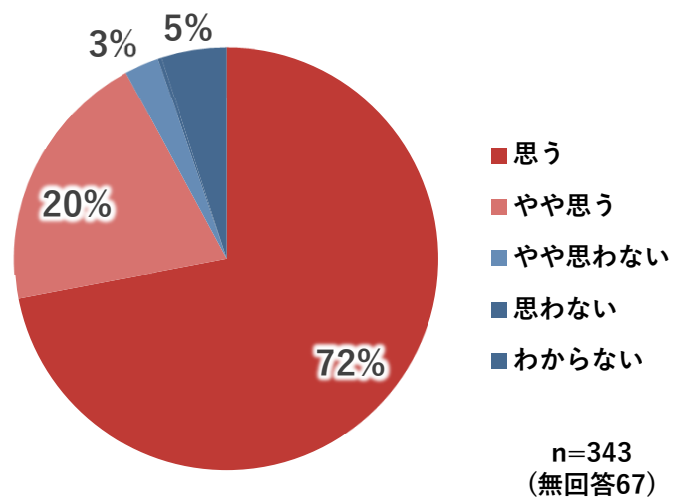
【自動運転バスへの 印象（乗車前）】



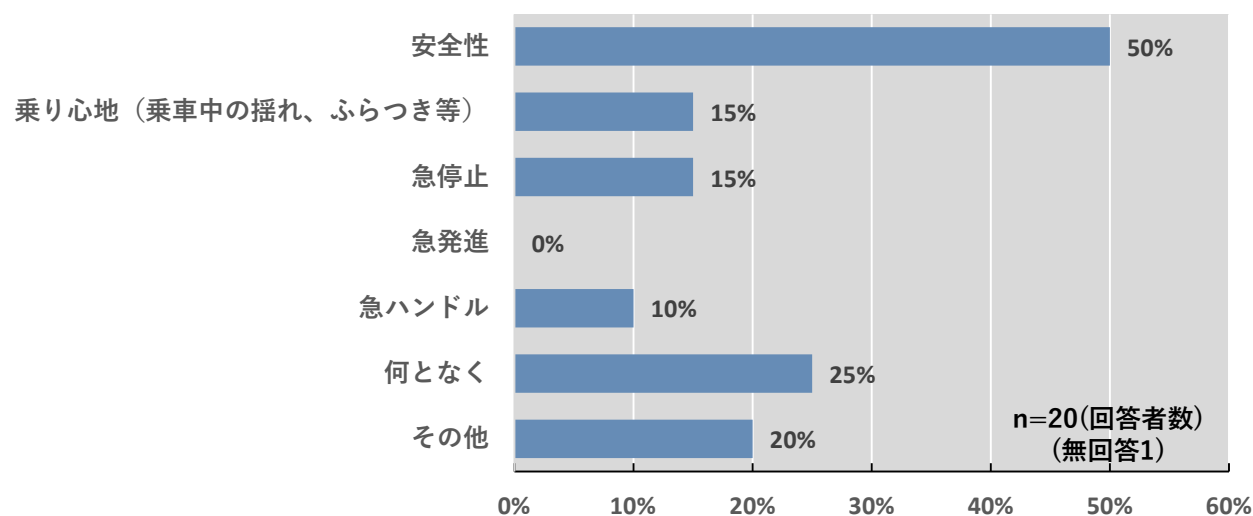
【自動運転バスへの 印象（乗車後）】



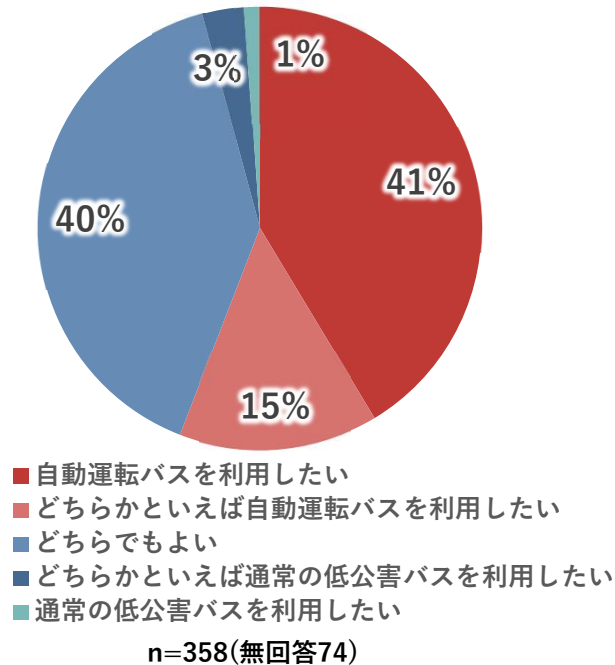
【国立公園内の区間における自動走行やバス停の停止はスムーズだったか】



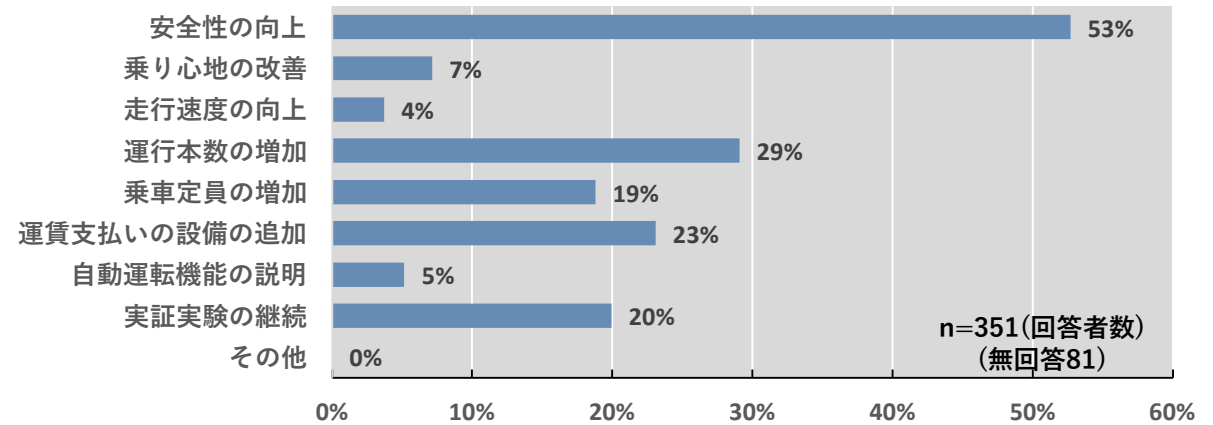
【「やや不安」「不安」と感じた点（複数回答可）】



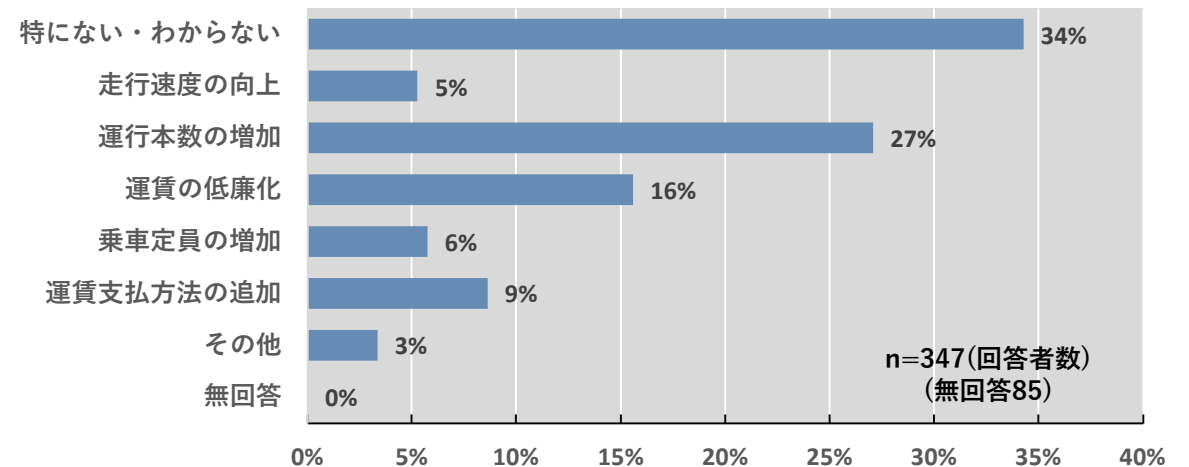
【赤沼車庫～千手ヶ浜間の移動手段として、通常の低公害バスと比べて、自動運転バスを利用したいと思うか】



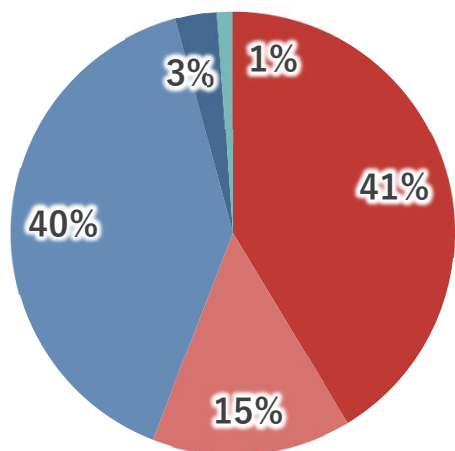
【今回のルートにおいて本格導入のために必要な取り組み(複数回答可)】



【「奥日光低公害バス」をよりよくするために必要な取り組み(複数回答可)】



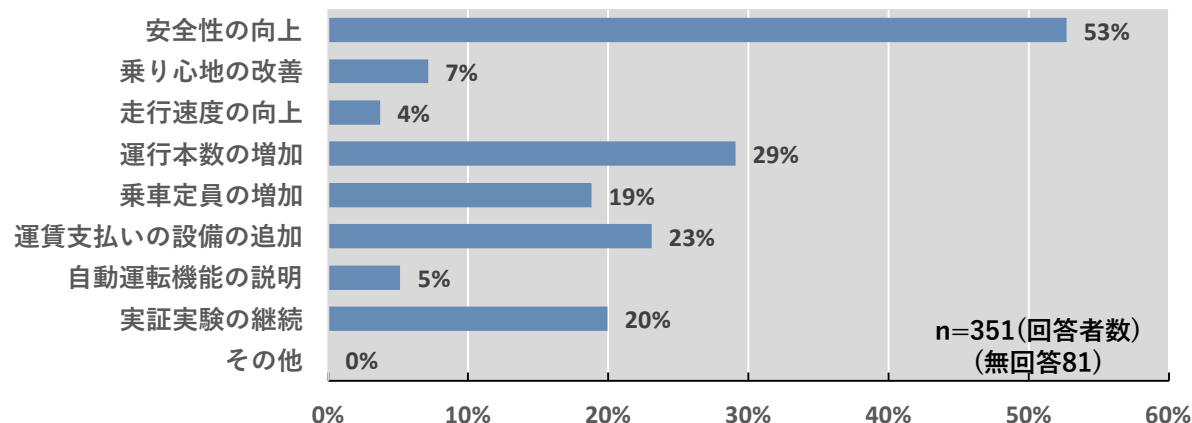
【赤沼車庫～千手ヶ浜間の移動手段として、通常の低公害バスと比べて、自動運転バスを利用したいと思うか】



- 自動運転バスを利用したい
- どちらかといえば自動運転バスを利用したい
- どちらでもよい
- どちらかといえば通常の低公害バスを利用したい
- 通常の低公害バスを利用したい

n=358(無回答74)

【今回のルートにおいて本格導入のために必要な取り組み(複数回答可)】



【「奥日光低公害バス」をよりよくするために必要な取り組み(複数回答可)】

