

栃木県における無人自動運転移動サービス導入 に向けた取り組み ～栃木県 ABC プロジェクト～

大皿 陽康¹・田中 敦士²・安池 健³・西井 成志⁴・津田 溪太郎⁵
胡内 健一⁶・川又 憲二⁷・坂井 康一⁸・亀山 泰剛⁹・安生 真人¹⁰

¹⁻⁶ 非会員 日本工営株式会社 交通政策事業部 交通都市部 (〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4)

⁷ 非会員 日本工営株式会社 仙台支店 交通都市部 (〒980-0803 宮城県仙台市青葉区国分町 3-1-11)

E-mail: ml-autonomous-tochigi@dx.n-koei.co.jp

⁸ 正会員 栃木県 県土整備部 (〒320-8501 宇都宮市埜田 1-1-20)

⁹⁻¹⁰ 非会員 栃木県 県土整備部 交通政策課 (〒320-8501 宇都宮市埜田 1-1-20)

E-mail: kotsu@pref.tochigi.lg.jp

栃木県県土整備部交通政策課では、自動運転車両を活用することにより、①県内の各地域が抱える社会的課題解決に向け無人自動運転移動サービスの今後の可能性を探る、②利用者に安心して利用してもらえるよう県内における社会的受容性の醸成を図る、③県内の公共交通における自動運転システムの導入に向けた課題整理・ノウハウ蓄積等を図ることを目的とした「栃木県 ABC プロジェクト」を立ち上げ、自動運転移動サービスの実現に向けた実証実験を進めている。

令和 2 年度に県内実証地域 10 箇所を選定し、令和 3 年 6 月より自動運転バスによる公道での実証実験を開始した。本稿では、これまでに実施した 4 箇所の実証実験を通じて確認した自動運転移動サービスの社会受容性や地域への効果、今後の展開に向けて得られた知見について報告する。

Key Words: 自動運転, 実証実験, 公共交通

1. はじめに

栃木県県土整備部交通政策課では、自動運転車両を活用することにより、①県内の各地域が抱える社会的課題解決に向け無人自動運転移動サービスの今後の可能性を探る、②利用者に安心して利用してもらえるよう県内における社会的受容性の醸成を図る、③県内の公共交通における自動運転システムの導入に向けた課題整理・ノウハウ蓄積等を図ることを目的とした「栃木県 ABC プロジェクト」を立ち上げ、自動運転移動サービスの実現に向けた実証実験を進めている。ここで、栃木県 ABC プロジェクトという名称は、自動運転システム (Autonomous) を導入した路線バス (Bus) の本格運行を目指した挑戦 (Challenge) を意味する。

令和 2 年度に県内実証地域 10 か所を選定し、令和 3 年 6 月より自動運転バスによる公道での実証実験を開始し、令和 4 年 9 月時点で 5 か所 (茂木町, 壬生町, 小山市, 那須塩原市, 那須町) の実証実験を実施した (表-1)。

表-1 栃木県 ABC プロジェクト実証地域

実施予定年度	実証地域	地域特性
R2 年度	茂木町 (道の駅もてぎ～茂木駅～ふみの森もてぎ)	中山間地域
R3 年度	小山市 (小山駅～白鷲大学)	市街地
	壬生町 (道の駅みぶ)	観光地
	那須塩原市 (塩原温泉郷)	観光地
R4 年度	那須町 (黒田原駅周辺)	中山間地域
	宇都宮市 (西川田駅～県総合運動公園)	観光地
	足利市 (足利学校周辺)	市街地
R5 年度	日光市 (奥日光低公害バス路線)	観光地
	下野市 (自治医大駅～自治医大病院)	市街地
	芳賀町 (芳賀工業団地)	市街地

※太字は令和 4 年 9 月時点で実施済み

本稿では、茂木町、小山市、壬生町、那須塩原市の4か所の実証実験により得られたアンケート調査結果及び手動介入の発生状況を分析した自動運転移動サービスの社会受容性や地域への効果、今後の展開に向けて得られた知見について報告する。

2. 実証実験概要

各実証地域の実証実験概要を表-2、走行ルートを図-1に示す。実験車両としては、茂木町や小山市は走行ルートの大部分が国道や県道等の幹線道路であることを踏まえ、一般的なバスタイプの車両を選定した。一方、壬生町では公園内、那須塩原市では温泉街の移動そのものを楽しむことを踏まえ、グリーンスローモビリティを選定した。このように、中山間地域、市街地、公園内、観光地等の多様なルートに対して、地域の走行環境に応じた適切な車両を採用し、自動運転による実証実験を実施していることが他県の同様な実証実験と比べて特徴的な取組と言える。

表-2 実証実験概要

実証地域	運行区間（地域特性）	区間延長
	実験車両	最高速度
	自動運転技術／インフラ協調 実証期間（日数）	自動運転レベル 延べ乗車人数
茂木町	道の駅もてぎ～ふみの森もてぎ（中山間地域）	往復約 3.7km
	日野リエッセ II（埼玉工業大学：所有）乗客定員：9人 高精度 3 次元地図、LiDAR、カメラ、GNSS 等	40km/h レベル 2
	2021 年 6 月 6 日（日）～ 2021 年 6 月 20 日（日）（13 日）	897 人
小山市	小山駅西口～白鷺大学大行寺キャンパス（市街地）	往復約 3.6km
	日野ポンチョ（先進モビリティ：開発）乗客定員：11人 高精度 3 次元地図、LiDAR、カメラ、GNSS 等／信号連携、一般車両・歩行者等の検知情報の提供	40km/h レベル 2
	2022 年 1 月 16 日（日）～ 2022 年 1 月 29 日（土）（10 日）	797 人
壬生町	みぶハイウェーパーク～ わんぱく公園内（観光地）	往復約 2.2km
	NAVYA ARMA（マクニカ：チューニング等対応）乗客定員：5人 高精度 3 次元地図、LiDAR、SLAM、GNSS 等	18km/h レベル 2（公園内はレベル 3 相当）
	2022 年 2 月 26 日（土）～ 2022 年 3 月 6 日（日）（7 日）	238 人
那須塩原市	塩原支所～湯っ歩の里（観光地）	往復約 3.6km
	eCOM-10（群馬大学：開発）乗客定員：9人 高精度 3 次元地図、LiDAR、カメラ、GNSS 等	19km/h レベル 2
	2022 年 5 月 21 日（土）～ 2022 年 6 月 5 日（日）（12 日）	1,008 人



図-1 走行ルート

3. 実証実験調査結果

(1) 実験参加者アンケート調査

各実証実験では、実験参加者に対して乗車後のアンケート調査を実施し、自動運転バスの社会受容性や将来的な利用意向等について評価を行った。

a) アンケートの回収率

各実証実験におけるアンケートの回答者数及び回収率を表-3に示す。小山市及び那須塩原市は片道を1便と設定していることから延べ乗車人数が多く、見かけ上の回収率が低い値となっている。壬生町は新型コロナウイルス感染拡大の影響により、乗車人数を1グループのみに限定し、途中停留所での乗降をなくしたため、乗車人数が少ない一方で、降車時にアンケート調査にそのまま誘導しやすく、回収率が高くなっている。

表-3 アンケート回答者数及び回収率

実証地域	延べ乗車人数	回答者数	回収率
茂木町	897人	483人	53.8%
小山市	797人	233人	29.2%
壬生町	238人	179人	75.2%
那須塩原市	1,008人	305人	30.2%

表-4 実験参加者の属性

		茂木町	小山市	壬生町	塩原市 那須
回答者数 (人)		483	233	179	305
性別	男性	61%	68%	55%	64%
	女性	38%	31%	45%	35%
	その他	0%	0%	0%	0%
	無回答	0%	0%	0%	0%
年齢	10歳代	5%	8%	7%	2%
	20歳代	5%	10%	8%	8%
	30歳代	18%	22%	19%	15%
	40歳代	24%	29%	23%	20%
	50歳代	21%	20%	24%	28%
	60~64歳	7%	6%	8%	10%
	65~74歳	11%	3%	9%	13%
	75歳以上	8%	1%	2%	4%
無回答	0%	0%	0%	0%	
居住地	市町内	40%	55%	26%	32%
	栃木県内	58%	37%	66%	36%
	栃木県外	2%	8%	7%	31%
	無回答	0%	0%	0%	0%
就労区分	就労者	75%	78%	80%	75%
	学生	5%	12%	6%	3%
	主婦・主夫	8%	5%	8%	11%
	無職・定年退職	11%	3%	4%	10%
	無回答	1%	2%	1%	2%
運転免許保有	保有している	91%	89%	94%	93%
	保有していたが返納した	1%	0%	0%	2%
	保有したことがない	8%	11%	6%	5%
	無回答	0%	0%	0%	0%

b) 実験参加者の属性

各実証実験における実験参加者の属性を表-4に示す。

c) 実証実験について何を見て知ったか

実証実験について何を見て知ったかという広報による取り組みの評価を行った(図-2)。実証実験に関する広報は栃木県ABCプロジェクトの特設サイトやTwitter、実証実験のチラシの他、地元広報誌の活用といった実証地域の市町とも連携の上、実施した。

全体では「特設サイト」、「実験のチラシ」が比較的多く、プロジェクト内で作成した広報媒体による実証実験周知の効果がある程度得られたものと推測される。那須塩原市では「現地を知った」が多く、観光客による利用が多かったものと考えられる。

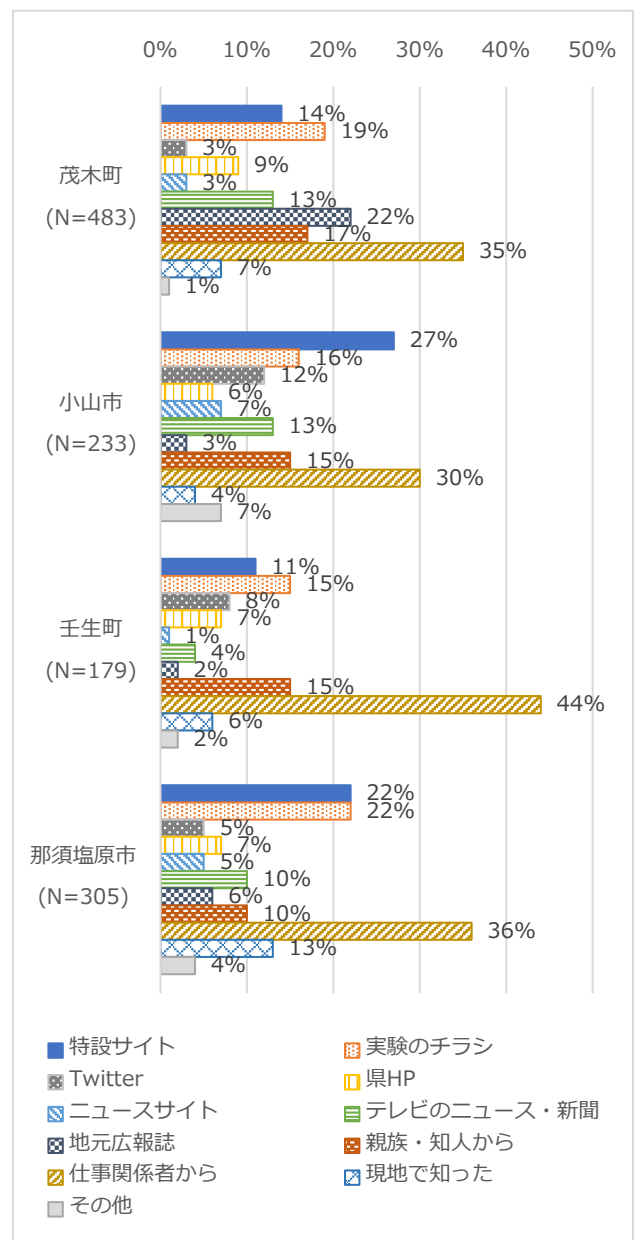


図-2 実証実験について何を見て知ったか

d) 自動運転バスについて

まず、自動運転バスに乗車した際、一般的な路線バスと比較した急ブレーキや急ハンドルの回数に対する印象を伺った(図-3)。なお、茂木町では多い～変わらない～少ないの3段階とし、小山市、壬生町、那須塩原市では多い～やや多い～変わらない～やや少ない～少ないの5段階とした。

茂木町は「やや」という評価がないこともあり、「少ない」という回答が多く得られた。壬生町では「少ない、やや少ない」の回答が多い一方で、小山市では「多い、やや多い」の回答が比較的多い。これは小山市では最高速度が40km/h 出ることから既存のバスとの比較評価がしやすいことの影響が考えられる。

次に、乗車前後での自動運転バスに対する印象の変化について伺った(図-4, 図-5)。いずれの実証実験においても乗車後の方が自動運転バスに対して安心と感じる傾向にあり、自動運転バスの乗車経験が安心感の醸成につながることが確認できた。

加えて、無人の自動運転バスに対する印象について伺った(図-6)。茂木町、小山市、那須塩原市では約半数が「不安、やや不安」と回答している一方で、壬生町では「不安、やや不安」は約2割のみである。これは壬生町では乗車後に将来の無人自動運転移動サービスを想定した遠隔監視画面を用意し、実験参加者に紹介する取組を行っており、将来的に無人で運行する際のイメージを持っていただけたことが影響していると考えられる。無人自動運転移動サービスが本格導入される際にも、安全・安心に運行できるように遠隔監視を行うことを理解してもらうことにより、無人の自動運転バスに対して安心感を持っていただけたことが確認できた。

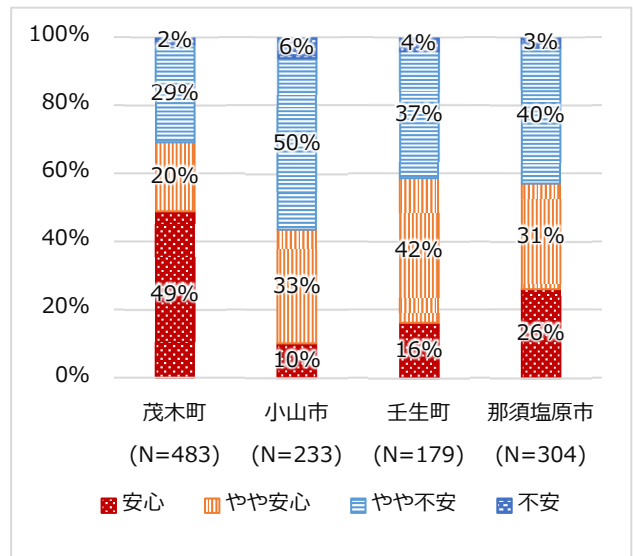


図4 乗車前の自動運転バスに対する印象

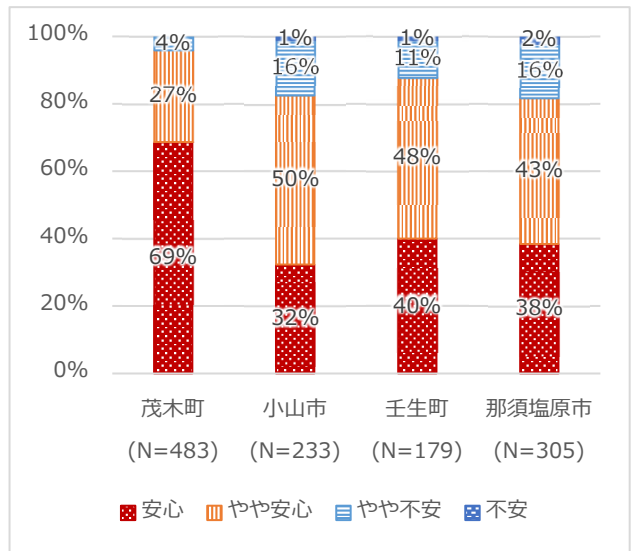


図5 乗車後の自動運転バスに対する印象

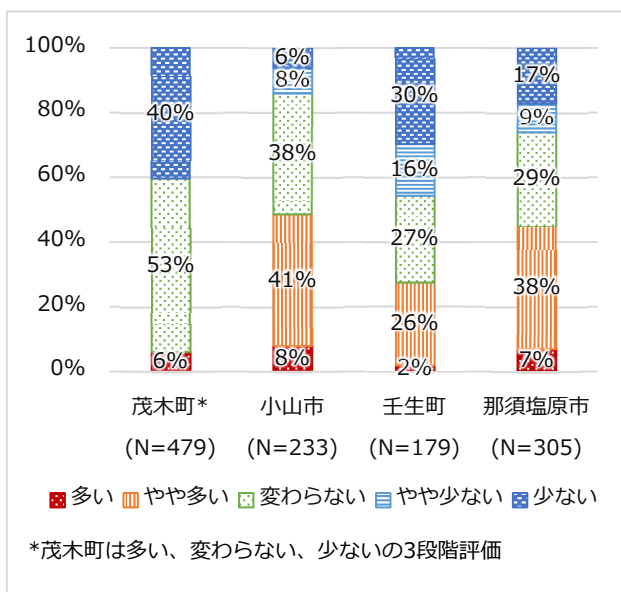


図3 急ブレーキや急ハンドルの回数に対する印象

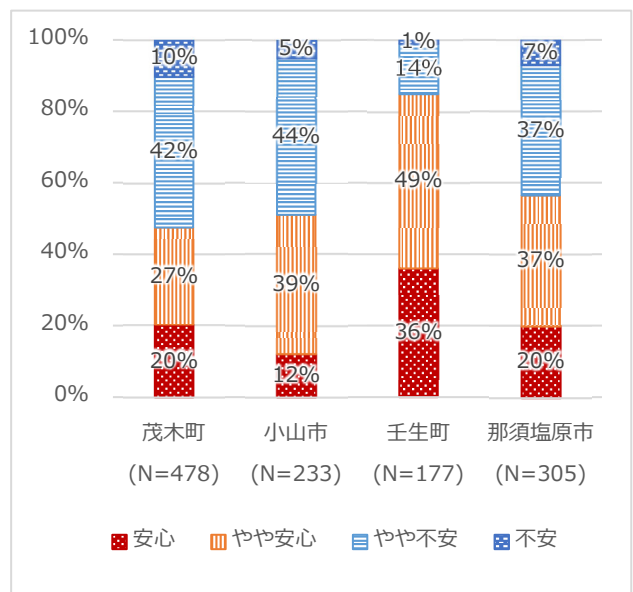


図6 無人自動運転バスに対する印象

e) 支払意思額

自動運転バスの将来的な本格導入を想定した際の支払意思額について PSM (Price Sensitivity Measurement : 価格感度測定) 分析により検証した。PSM 分析とは、サービスの価格について、いくらから「高い」、「安い」、「高すぎて利用できない」、「安すぎてサービスが不安」と感じるかという 4 つの質問をすることで、「最高価格」、「妥協価格」、「理想価格」、「最低品質保証価格」を導き、サービスとして許容される価格帯を把握する手法である。なお、本調査項目は茂木町の実証実験以降に追加したため、小山市、壬生町、那須塩原市の 3 地域の分析結果を示す (図-7)。

分析の結果、最低品質保証価格はいずれの地域も 150 円程度であった。観光地としての地域特性を持つ那須塩原市、壬生町では最高価格が 240 円程度と小山市よりも高い結果となった。小山市は路線バス「おーバス」が 200 円で運行していることもあり、同様の価格帯の結果となったと考えられる。いずれの地域においても 150~250 円の範囲が自動運転移動サービスとして許容される価格帯であることが確認できた。

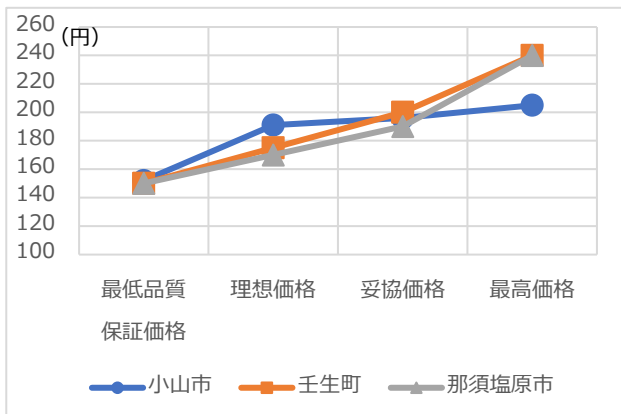


図-7 自動運転移動サービスの支払意思額

(2) 手動介入発生状況調査

a) 手動介入発生状況

自動運転バスの運行時に手動介入 (ブレーキ、ハンドル、アクセル等の操作) が発生する道路、交通、自動運転技術等の条件を把握することを目的に、手動介入発生状況調査を行った。各実証実験における 1 往復あたりの手動介入回数を図-8、手動介入の要因割合を図-9 に示す。

茂木町では、67 往復の運行の内、147 回の手動介入が発生し、1 往復あたりの手動介入回数は 2.2 回であった。手動介入の要因のほとんどは路上駐停車車両によるものであり、片側 1 車線区間における追い越しにおいて手動介入が必要であった。

小山市では、65 往復の運行の内、60 回の手動介入が発生し、1 往復あたりの手動介入回数は 0.9 回と 1 回未満であった。手動介入の要因は、先行車に対する制動不十分、対応車の接近等、他の一般車に起因するものが多い。また、一部交差点では信号連携や一般車両・歩行者等の検知情報の提供を行ったが、これらインフラ連携を実施していない交差点では赤信号先頭停車の際に手動介入が発生した。

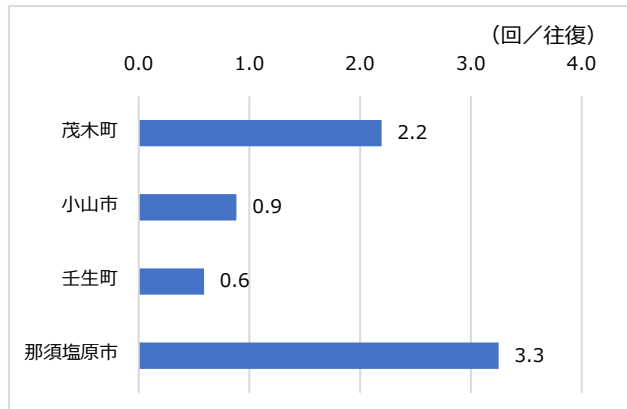


図-8 1 往復あたりの手動介入回数

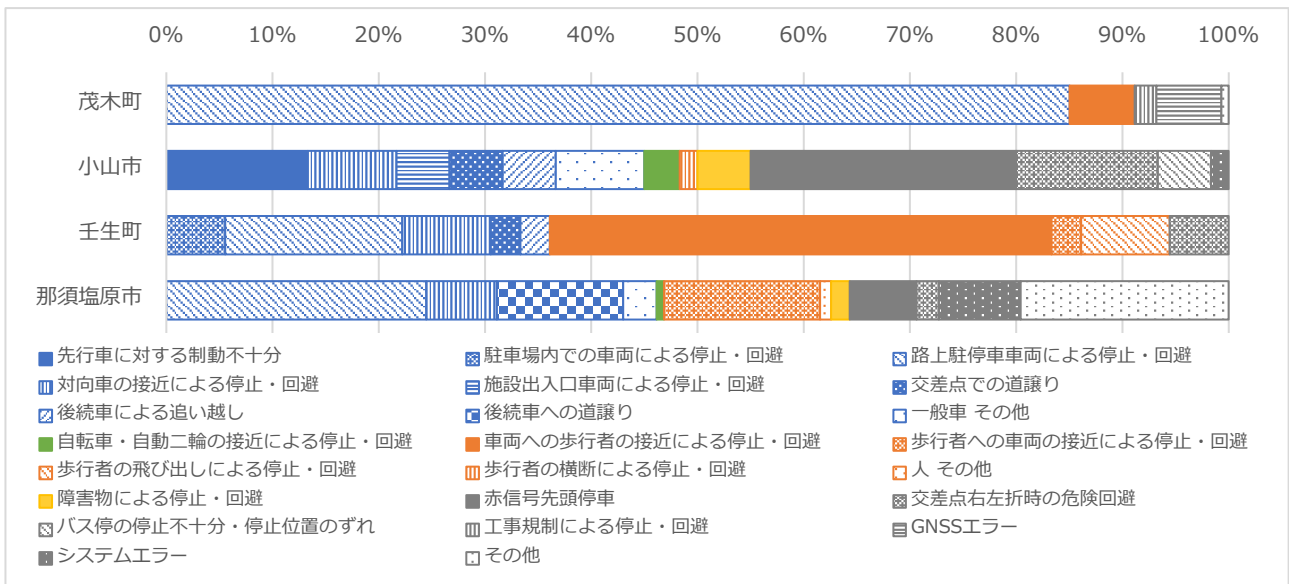


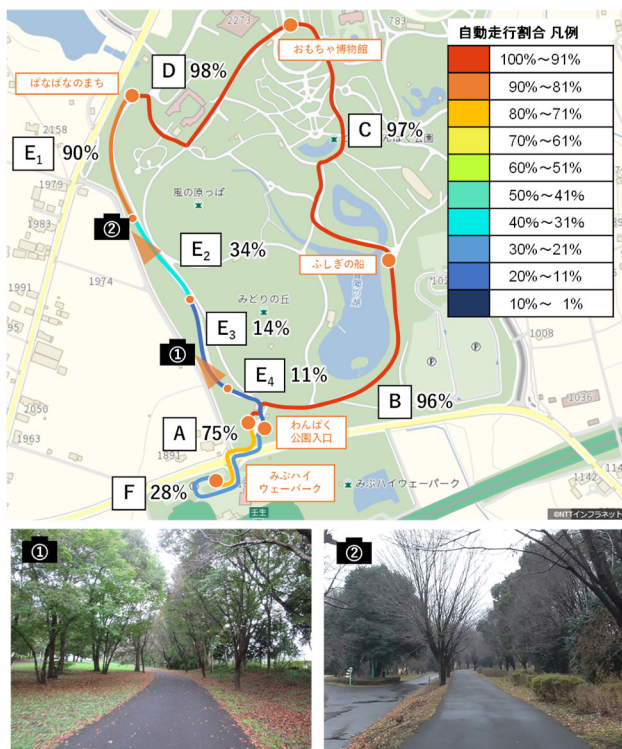
図-9 手動介入の要因割合

壬生町では、61 往復の運行の内、36 回の手動介入が発生し、1 往復当たりの手動介入回数は0.6回であった。なお、壬生町では公園内で一部 GNSS 測位困難な区間があり、状況に応じて手動運転を行った。その結果は、手動介入数とは別で記録しており、後述する。壬生町は公道と公園内の両方を走行したため、公道では一般車による手動介入、公園内では人による手動介入が主に発生した。最も多いのは車両への歩行者の接近による手動介入であった。システムでは人を事前に検知し、自動で減速・停止する動作をとるが、一部狭隘な区間では、より安全を重視する観点から手動介入が多くなった。

那須塩原市では、88 往復の運行の内、286 回の手動介入が発生し、1 往復当たりの手動介入回数は3.3回であった。那須塩原市の走行環境はほとんどの区間で片側 1 車線であり路肩の余裕幅も狭く、車両が低速であることもあり、手動介入回数が多くなった。手動介入の要因は、一般車によるものが約半数を占めており、路上駐停車車両によるものが約 2 割と最も多い。次いで、片側 1 車線による後続の渋滞を回避するため、後続車への道譲りが多かった。また、観光地であることから、歩行者も多く、歩行者への車両の接近による手動介入も発生した。

b) 壬生町における自動走行割合

壬生町における自動走行割合を図-10 に示す。壬生町では走行ルートが多くが公園内であったが、公園内の特に西部は上部が樹木に覆われた区間が長いことから GNSS 測位が難しく、さらに一部区間は開けた空間となっており、マップによる自己位置推定が難しいという状



況が重なり、それらの区間では自動走行割合が低くなった。自動走行割合改善のためには、GNSS が使用できない状況にあっても自動走行が可能な多重系のシステム構築や新たに目標物を設置する等により走行精度を向上させることが必要であると考えられる。

4. 調査結果を踏まえた今後の課題・方向性

(1) 社会受容性

実験参加者の自動運転バスに対する印象について、乗車前は約 5~7 割が不安感を感じている一方で、乗車後には約 1~2 割まで減少し、自動運転バスの乗車経験により自動運転バスに対する安心感が向上することが確認できた。いまだ自動運転バスへの乗車経験のない人は多く、自動運転バスの社会受容性を向上させるためには、引き続き県内の実証実験を進め、自動運転バスに触れる機会を設けることが重要である。

また、無人の自動運転バスの運行については、茂木町、小山市、那須塩原市において約半数が不安感を感じていることが確認できた。これについては、壬生町で実施した遠隔監視の運行管理イメージを伝えるデモンストラーションの実施が一つの施策として効果的であり、将来的に無人運行になった際にどのように安全・安心な運行を行っていくかを伝えることが重要である。

実証実験の広報として、特設サイトや実験チラシ、地元広報誌等の媒体を準備したことが実験の周知に多少の効果があったと考えられる。また、地域における受容性向上の取組として、壬生町や7月に実証実験を実施した那須町では車両展示を実施した。壬生町では実証実験終了後に公園内の車庫に自動運転バスを戻す前に公園利用者に対して自動運転バスを紹介した。那須町では、実証実験前の「黒田原夏まつり」と連携し、自動運転バスのブースを設け、自動運転バスの紹介や実験参加者の募集を行った(写真-1)。このように、自動運転バスを紹介する場を設けることにより、地域の受容性向上にもつながると考えられる。



写真-1 那須町における黒田原夏まつりでの車両展示

(2) 手動介入回数減少のための対策

自動運転バスの手動介入の発生要因として、駐停車車両によるものが多くみられた。自動による追い越しは乗用車タイプでの技術実証の事例はあるが、バスタイプでの事例はみられない。そのため、現時点では道路・交通側での対策が必要であり、駐停車のための空間を整備する、駐停車の規制を行う等のハード・ソフトの両面からの対策が必要である。

また、歩行者や自転車を回避するための手動介入が発生した。これについては、今回使用した自動運転車両の技術では自動で回避することが困難であるため、インフラ側のハード対策として歩行空間の確保や自転車道の整備等により物理的に分離する対策が考えられる。一方で、那須塩原市のように道路空間が狭く、歩行空間が十分に確保できない地域においては、自動運転バスの走行に関する理解を醸成するための案内看板の設置や、地域での説明会の実施といったソフト対策が必要である。

小山市や那須塩原市の実証実験では信号交差点が多く、赤信号による停止の際に手動介入する場合があった。小山市では一部交差点での信号連携やセンサによる一般車や歩行者等の検知情報を提供するインフラ協調を実施し、スムーズな走行を実現することができた。自動運転バスの本格導入に向けては、自動運転バスの技術のみでなく、信号連携等のインフラ協調による対策が必要となる。

以上の通り、今後の自動運転バスの実証実験や将来的な本格導入に向けては、自動運転技術の向上のみでは手動介入を減らし、無人運行を目指すことは容易ではない。

そのため、ハード対策としてインフラ協調の取組や道路空間の再配分、ソフト対策として路上駐停車規制、道路利用者への周知等の取組を組み合わせ、自動運転技術のみでは対応できない課題をフォローアップすることが重要である。

5. おわりに

栃木県ABCプロジェクトは、令和2年度から令和5年度まで栃木県内 10 か所で実証実験を実施する取組であり、本稿執筆時点で5か所の取組を実施しており、次は9月末から宇都宮市での実証実験を予定している。

今後は、これまでの実証実験で得られた課題を参考に、受容性向上のための取組を進めていくとともに、手動介入回数を減少させる対策の充実化が求められる。将来的な自動運転移動サービスの本格導入に向けてステップアップを図る。

謝辞：栃木県ABCプロジェクトの実施に際しては、各実証実験の対象市町における自治体や施設管理者、周辺施設、交通事業者等の担当者、関係する皆さまにご協力頂き、事前の調整及び、実験期間中の安全な車両の走行、実験運営に支援を頂きました。皆さまに本稿の執筆へのご理解を頂きこの場を借りて、謝辞を申し上げます。ありがとうございました。

(2022.9.30 受付)

An approach to introduce automated driving mobility services in Tochigi Prefecture

～ Tochigi Prefecture ABC Project ～

Takayasu OSARA, Atsushi TANAKA, Takeru YASUIKE, Seiji NISHII,
Keitaro TSUDA, Kenichi KOUCHI, Kenji KAWAMATA, Koichi SAKAI,
Yasutake KAMEYAMA and Masato ANJO

The Tochigi Prefecture Department of Land Development Transportation Policy Division launched the "Tochigi Prefecture ABC Project" and continues to conduct demonstration experiments for the realization of automated driving transportation services. There are three purposes to aim for by utilizing automated driving vehicles, 1: Exploring the future possibilities of unmanned automated driving transportation services to solve social issues faced by each region in the prefecture, 2: fostering social acceptance in the prefecture so that users can use it with peace of mind, and 3: organizing issues and accumulating know-how for the introduction of automated driving system in public transportation in the prefecture. In 2020, 10 demonstration areas were selected in the prefecture, and from June 2021, 1st demonstration experiments on public roads were conducted by using automated driving buses. In this paper, we reports on the social acceptability of the automated driving transportation service, its effect on the region, and the knowledge obtained for future development through the demonstration experiments conducted so far.