

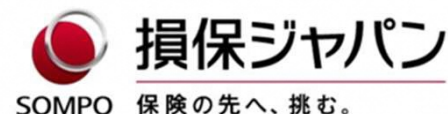
2021年度 自動運転車社会実装サポート事業 (千葉県未来技術等社会実装促進事業)

実施報告 (速報版)

2022年2月18日

 Keisei Bus 京成バス株式会社

Copyright©Keisei Bus Co., Ltd. All rights reserved.



1. 幕張新都心の背景と実証実験の目的・狙い（全体像）
2. 実証実験概要
3. ODD（運行設計領域）の設定
4. 技術検証およびサービス検証
5. 成果と今後の課題



【自動運転車両】

1. 幕張新都心の背景と実証実験の目的・狙い（全体像）

■ 幕張新都心の背景

- 幕張新都心は、「職・遊・学・住」の複合機能が集積
- 就業者・居住者・就学者及び新都心への来訪者を合わせると現在日々約23万人の人々が活動するまち
- 自動運転やパーソナルモビリティの実証実験等により国家戦略特区プロジェクトを推進



■ 幕張新都心モビリティコンソーシアムの目的・役割

目的	<ul style="list-style-type: none"> ● 移動ニーズへの対応、移動と各種サービスの一体的、効率的な提供により、地域を活性化 ● 新しい時代の社会的ニーズ、ライフスタイルに対応した快適で魅力的な街の実現（図1参照）
役割	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 多様な主体の積極的な参画、官民連携の促進 ➢ 行政や企業の垣根を越えた「共創」 ➢ 移動と他のサービスの一体的、効率的な提供、新たな価値を創造 ➢ 自動運転の実現に向け、実証フェーズから実装フェーズ、サービス拡大フェーズへ（図2参照）



■ 本実証実験の目的・狙い

- 幕張新都心において自動運転の技術的課題とその解決方法を検証し、実証実験からのステップアップを目指す。
- 新駅開業等を見据え、都市の回遊性の向上や街全体の賑わい創出に向けた、自動運転技術による移動サービス実装に向けた実証実験を実施するものである。



出典：幕張新都心モビリティコンソーシアム総会（第1回：2021年2月9日）

図1 幕張新都心の将来の目指す姿



出典：幕張新都心モビリティコンソーシアム総会（第2回：2021年5月26日）

図2 モビリティコンソーシアムが目指す方向性（案）

2. 実証実験概要 (1) 概要

実証概要

2023年のJ R京葉線幕張豊砂駅開業を見据え、幕張新都心地域での自動運転の技術的課題とその解決方法を検証するとともに、地域住民の生活に必要な旅客輸送の確保、都市の回遊性向上や街全体の賑わい創出に向けた、自動運転技術による移動サービス実装の可能性を検証するため、実証実験を行った。

実証実験ルート (片道 : 約3km)

- **往路** : イオンモール幕張新都心 (乗車) → ZOZOマリンスタジアム経由 (降車) → 幕張温泉湯楽の里 (降車)
- **復路** : 幕張温泉湯楽の里 (乗車) → イオンモール幕張新都心 (降車)

実証実験期間

- テスト期間 : 2022年1月11日 (火) ~14日 (金)
- 本番期間 : 2022年1月15日 (土) ~16日 (日)

自動運転車両・自動運転レベル

- 車両 : 日野リエッセ II をベースとした自動運転小型バス (詳細 : P4参照)
- レベル : 非遠隔level 2
※運転手席ドライバー有での自動運転

自動運転バス乗車人数 (モニター数)

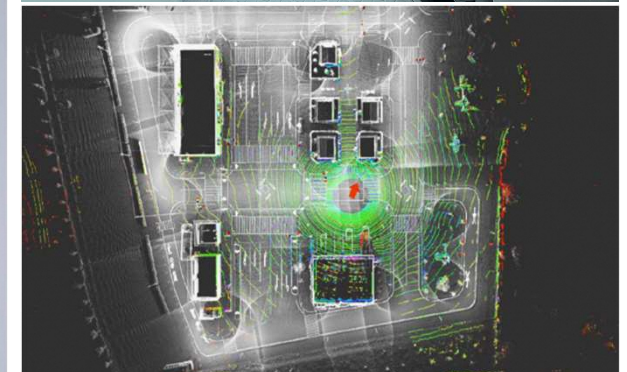
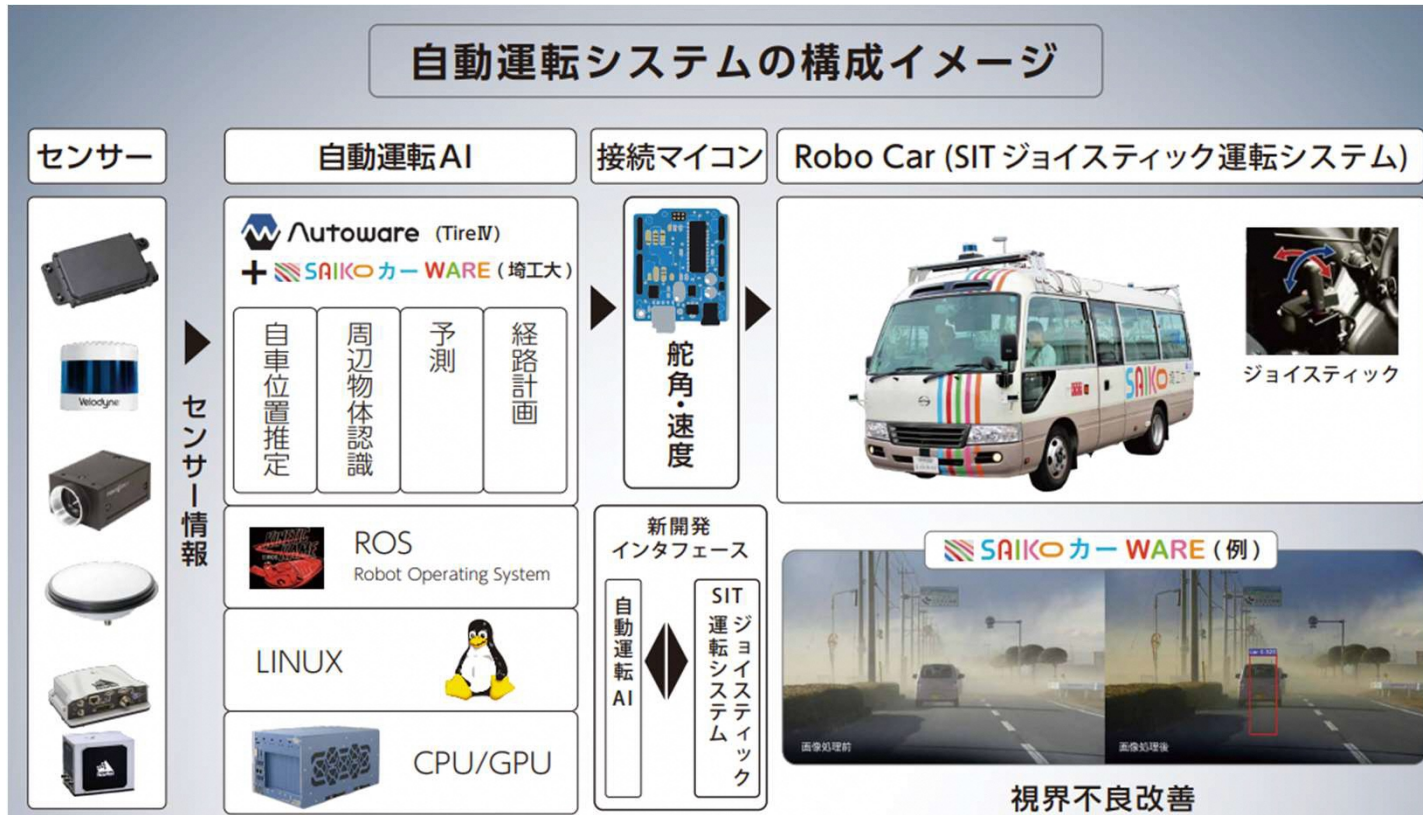
- 2022年1月15日 (土) : 42名
 - 2022年1月16日 (日) : 44名 合計 : 86名
- ※1日あたり5便運行、1便あたり最大9名乗車



図3 自動運転バスの走行ルート

2. 実証実験概要 (2) 自動運転車両・自動運転システム

- 本実証実験に用いるリエッセIIは、日野自動車（株）の車両をベースに、自動運転システムAutoware（オートウェア）やLiDAR、GNSSアンテナ等を搭載し、運転席無人かつ遠隔型自動運転等が可能となるように構築された車両である。また、事前に作成した高精度3次元地図により走行、自己位置推定補助・障害物認識（予測・停止・回避）等の機能を実装している。さらに、2011年に産学連携にて開発・実用化し後付けのジョイスティック運転装置を搭載している。
- 自動運転システムAutowareは制御、支援、自動運転の3つの構成から成り、基本的には、事前に計画した経路情報に基づき走行する。走行する際には、3次元地図情報より横断歩道や信号等の情報を取得し、交通ルールに則った走行を行った。
- 本実証実験の自己位置推定については、継続的なGNSSでの自動走行は適わないと判断し、高精度3次元地図+LIDARのスキャンデータを用いた「NDTスキャンマッチング」による自動走行とした。

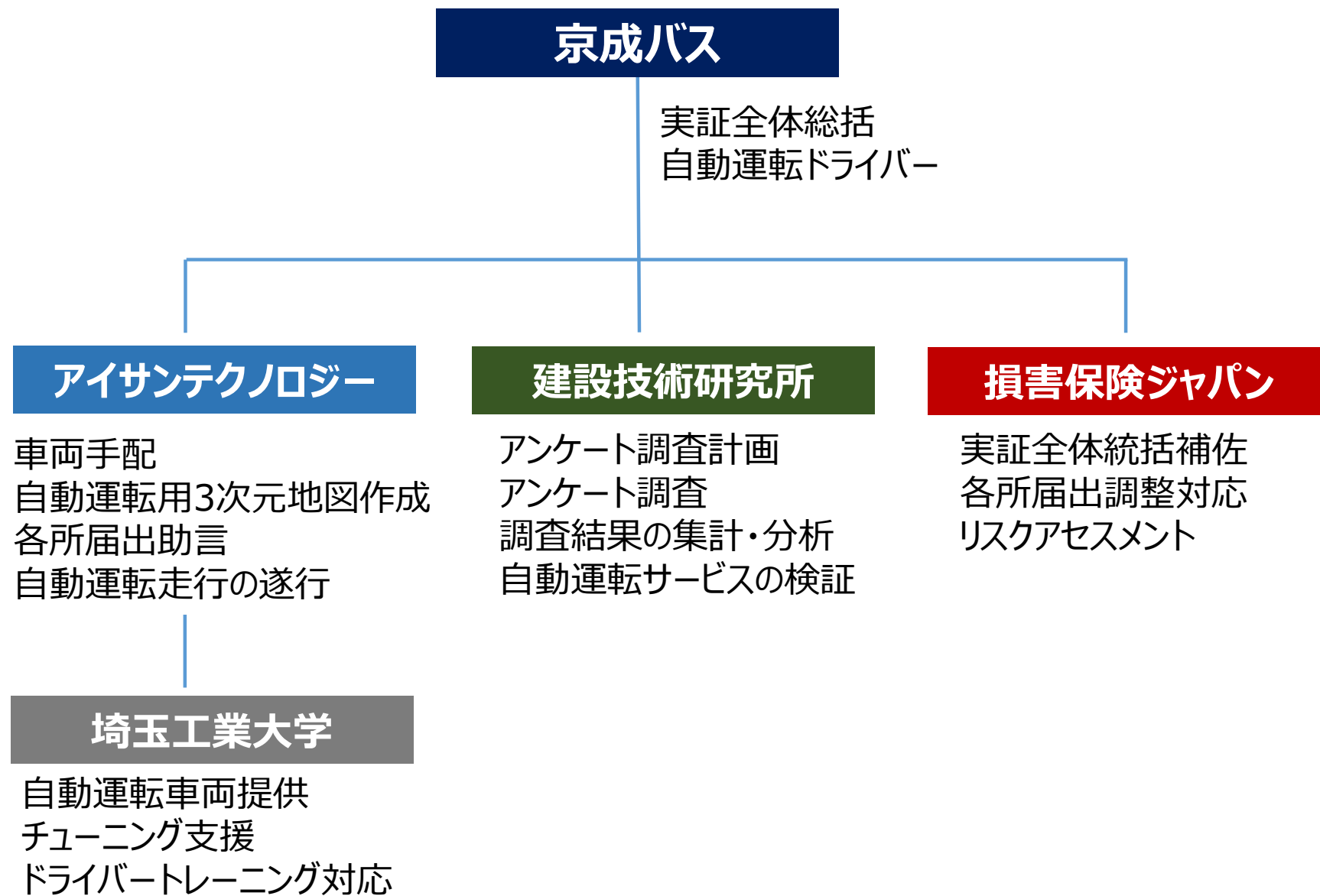


2. 実証実験概要 (3) 運行時間・運行ルート

- 実証実験（本番走行）の運行時間は、10時～15時30分であり、2日間で10便運行した。
- 本番走行では、1便あたり9名のモニターを募集し、運行した。（車両定員は20名）

1月11日（火）	10時～16時	（テスト走行）イオンモール⇄湯楽の里
1月12日（水）	9時～16時	（テスト走行）イオンモール⇄湯楽の里
1月13日（木）	9時～16時	（テスト走行）イオンモール⇄湯楽の里
1月14日（金）	9時～16時	（テスト走行）イオンモール⇄湯楽の里
1月15日（土）	運行時間	ルート
① 1 ライド目	10時～10時30分	イオンモール→ZOZO経由→湯楽の里
② 2 ライド目	11時～11時30分	湯楽の里→イオンモール
③ 3 ライド目	13時～13時30分	イオンモール→ZOZO経由→湯楽の里
④ 4 ライド目	14時～14時30分	湯楽の里→イオンモール
⑤ 5 ライド目	15時～15時30分	イオンモール→ZOZO経由→湯楽の里
1月16日（日）	運行時間	ルート
⑥ 1 ライド目	10時～10時30分	イオンモール→ZOZO経由→湯楽の里
⑦ 2 ライド目	11時～11時30分	湯楽の里→イオンモール
⑧ 3 ライド目	13時～13時30分	イオンモール→ZOZO経由→湯楽の里
⑨ 4 ライド目	14時～14時30分	湯楽の里→イオンモール
⑩ 5 ライド目	15時～15時30分	イオンモール→ZOZO経由→湯楽の里

2. 実証実験概要 (4) 実施体制



3. ODD（運行設計領域）の設定

➤ 走行ルートについて、リスクや走行コースの状態、形状、実証実験の内容等を考慮して、以下の通り、ODDの設定を行った。

項目	詳細
前提条件	<ul style="list-style-type: none">・晴天時のみ実施雨天・夜間・降雪・凍結・霧は運行停止・視界が悪い場合運行停止・最大速度50Km/h以下・障害物検知は行うが、ドライバーによる介入を前提とする・自動での路上駐車回避は行わない・信号交差点では、信号の認識は行うが、ドライバーによる介入を前提とする（警察協議：安全面を十分に考慮）・右左折時は、実勢速度を踏まえつつ速度を落として、安全に走行する
必須介入	<ul style="list-style-type: none">●介入<ul style="list-style-type: none">・ZOZOマリスタジアムバス停車前にて手動切り替えを行い、バス停に正着・コストコ出入口にて手動切り替えを行い、イオンモール発着場所へ向かう直進にて自動へ切り替える・湯楽の里ロータリー進入前にて手動切り替えを行い、バス停（駐車場）へ向かう・障害物（路上駐車などすべて）●ブレーキのみ<ul style="list-style-type: none">・赤信号停止（すべて）・前方車両停止・交差点の歩行者、自転車●その他<ul style="list-style-type: none">・ウinkerやハザードランプ（ZOZOマリスタジオ進入時）
場合により介入	<ul style="list-style-type: none">●ブレーキ<ul style="list-style-type: none">・右左折で黄色信号、他車両で進行が難しい場合●アクセル<ul style="list-style-type: none">・他交通を妨げる場合全般（右左折で停止線を過ぎ黄色信号や他の交通の妨げになると判断した場合）●ステアリング<ul style="list-style-type: none">・幕張メッセ付近の路駐が存在する場合、ステアのみ介入する（復路）・右左折で他車両で進行が難しい場合（進路変更を含む）●その他<ul style="list-style-type: none">・あおり運転など通常交通でない場合

4. 技術検証およびサービス検証

- 過年度成果を踏まえた車両・自動運転技術の対処法の検証、自動運転実装に向けた自動運転技術及び、道路環境のクリアすべきポイントを確認した。
- モニターに対しては実際に乗車した実感、一般来訪者に対しては自動運転サービスに対する印象を調査し、回遊性向上等に向けた自動運転サービスを検証した。

4-1. 自動運転実装に向けた技術検証

車両・自動運転技術

GNSSの正確性評価

- ・自動運転車へ搭載したGNSS受信機を用いて自動運転車が、走行ルート上を正常走行できることを確認した。昨年度調査業務「幕張新都心における自動運転車両走行環境適正調査業務委託」におけるGNSS感度分析結果を応用した。
- ・GNSS受信感度が悪い場合、走行速度を変更する/走行時間帯を限定する/自動運転地図とライダーによる補正を行うといった、対処案を検討し評価した。

道路環境、交通環境への適応

- ・自動運転車両が多車線環境の中で道交法に即し安全に交差点の右左折動作を行うことを確認した。
- ・走行ルート内において、渋滞区間や高速車両と低速車両が混在しがちな区間が一部存在しており、このような状況下において、自動運転車両が適切に前方車両を追従し、加減速を行いながら安全走行することを確認した。
- ・西日や大型車両による障壁等外的影響を受けやすい信号認識判定において、本走行ルート上において苦手とするシーンや時間帯などを確認する。逆に正常判定ができる環境および時間帯を確認した。
- ・本走行ルート内に存在する歩車混在空間などにおいて、適切な障害物判定、発進停止が出来ることを確認した。
- ・実際の自動運転走行により、技術的にクリアすべき課題を抽出し、道路環境側における必要な対策案を提案した。

4-2. 回遊性向上等に向けたサービス検証

アンケート調査対象

より多くの意見を収集するため、自動運転モニターへの調査に加え、イオンモール幕張新都心へ来訪されている方も対象に、アンケート調査を実施した。

アンケート調査によるサービス検証

アンケート調査では、以下の項目について検証を実施した。

検証①：新駅開業に伴う新ルートのニーズ確認 (モニター、一般来訪者)

新駅開業に向け、幕張新都心内の回遊性向上のため、集客施設（イオンモール幕張新都心、Z O Z O マリンスタジアム・J F A 夢フィールド湯楽）へ直結するルートの移動ニーズ（現況および将来）を確認した。

検証②：自動運転バスの社会的受容性の検証 (モニター)

自動運転バスの受容性を検証するため、「自動運転システムの安全性、安心感」、「サービスの満足度（乗り心地、速度等）」について、検証を行った。

検証③：自動運転バスサービスの事業性の検証 (モニター、一般来訪者)

自動運転バスサービスの事業性を検証するため、「利用意向、支払い意思額」をもとに、サービス内容やサービスの運用（コストや将来需要を踏まえた採算性）について検証を行った。

4. 技術検証およびサービス検証

▶ 新駅開業時および、現在の施設間の回遊性向上の実現のため、イオンモール幕張新都心～Z O Z O マリンスタジアム～湯楽の里をつなぐルートを設定し、技術検証およびサービス検証を実施した。



4-1. 技術検証 (1) 車両・自動運転技術 (GNSSの正確性評価)

- 事前 (リスクアセスメント) および試走時 (チューニング) において、GNSS・高精度測位端末を用いて、衛星からの電波の受信状況を調査した。
- GNSSを用いて安定した自動走行を行うためには、衛星からの電波を連続で受信する必要がある。
- 本実証コース周辺には高い建物や歩道橋、湯楽の里付近の森林等が存在し、必ず遮蔽される箇所が複数あるため、継続的なGNSSでの自動走行は適わないと判断した。



- 対応策として、本実証では、高精度3次元地図+LIDARのスカンデータを用了「**NDTスキャンマッチング**」による自動走行とした。

【グラフの補足】

青色：FIX

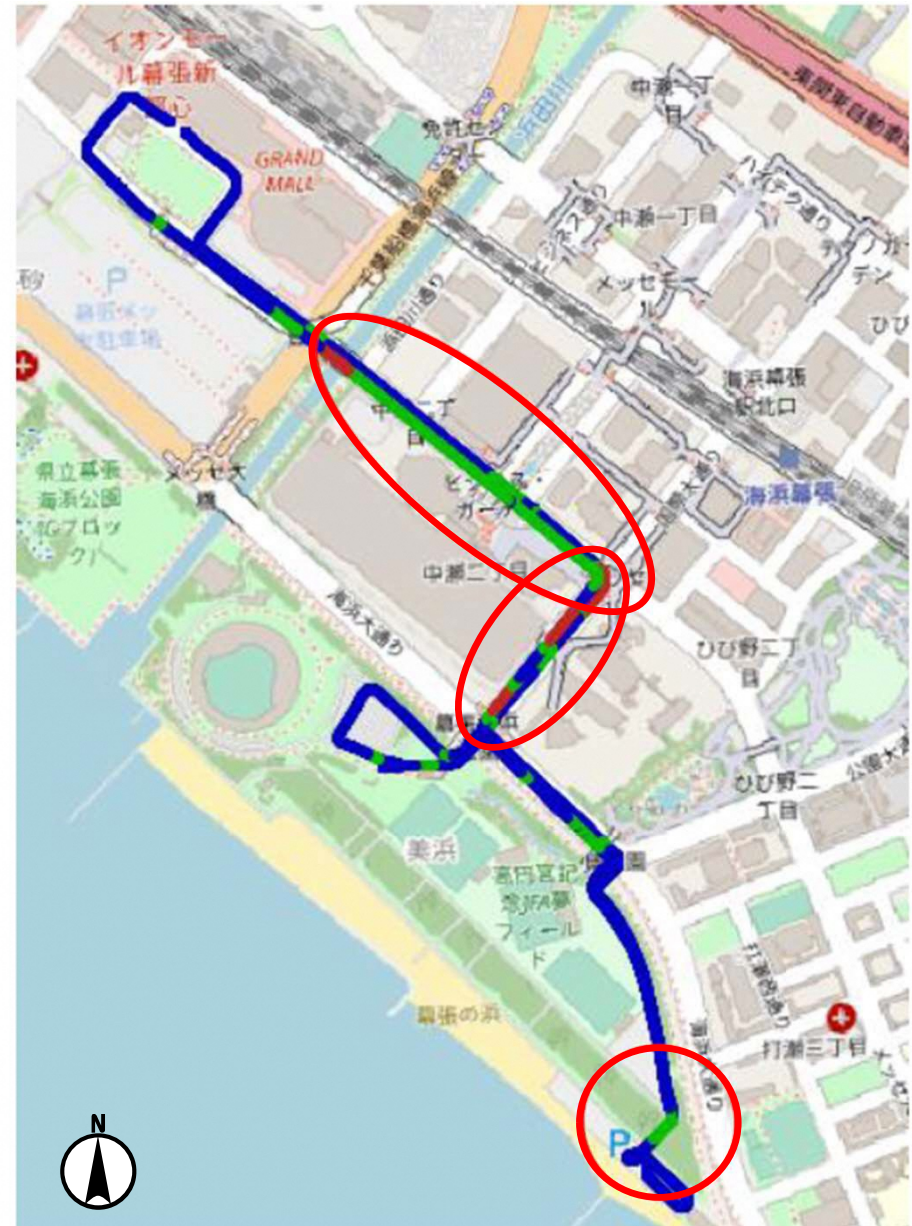
※FIX=自車位置推定の箇所がわかる状態

緑色：FLOAT

※FLOAT=複数の自車位置推定の箇所候補がある状態

赤色：単独測位

■ GNSS調査結果 (リスクアセスメント実施時)



4-1. 技術検証 (2) 道路環境・交通環境への対応

➤ ODDの設定において、信号交差点では、信号の認識は行いが、ドライバーによる介入を前提としているなど、多くの介入が発生している。

■ 自動運転走行ルートにおける介入状況

→ 往路
→ 復路

【介入回数】

1月15日(土)
計 38回※

1月16日(日)
計 40回

※1/15には、実験後の試走も含む

■ 運行別介入回数

	10:00~	11:00~	13:00~	14:00~	15:00~	15:30~	計
1月15日(土)	6	5	9	5	7	6※	38
1月16日(日)	8	6	8	8	10	—	40



※1/15には、実験後の試走も含む

幕張温泉湯楽の里

4-1. 技術検証 (2) 道路環境・交通環境への対応

- 自動運転走行ルートにおける介入理由は、「**交差点**」や「**信号**」が多く、「**ブレーキ**」のみの介入が多い。
- また、幕張メッセ周辺の「**路上駐車**」回避のための介入もみられる。

■ 自動運転走行ルートにおける介入理由・要因

日付	走行回数	介入回数	1走行の介入数	介入理由				対象要因				道路状況			車両状態			事象		介入対応		備考	
				交差点	信号	施設内	路上駐車	対向車	自動車	バイク自転車	歩行者	その他無し	直線	交差点	カーブ	直進	右折	左折	ハンドル+ブレーキ	ブレーキ	正しい挙動		ドライバー判断
1月15日(土)	6	38	6.3	20	5	6	7	0	7	0	0	31	17	20	1	19	13	6	12	26	38	0	
1月16日(日)	5	40	8.0	23	7	5	4	1	7	0	0	33	24	25	1	20	11	7	10	30	38	2	駐車場から出てくる車両をよける介入(1回) 対向車とのすれ違いによる介入(1回)
合計	11	78	7.1	43	12	11	11	1	14	0	0	64	41	45	2	39	24	13	22	56	76	2	

■ 交差点 ■ 信号 ■ 施設内
■ 路上駐車 ■ 対向車

■ 自動車 ■ バイク自転車
■ 歩行者 ■ その他無し

■ 直線 ■ 交差点 ■ カーブ

■ 直進 ■ 右折 ■ 左折

■ ハンドル+ブレーキ ■ ブレーキ

■ 正しい挙動 ■ ドライバー判断

【介入用語の補足説明】

- ※ 介入理由:施設内 → イオンモール・ZOZOマリンスタジアム・湯楽の里
- ※ 事象:ハンドル+ブレーキ → ドライバーによる、ハンドル操作とブレーキペダルによる介入。
- ※ 介入対応:正しい挙動 → 介入タイミングが事前に分かるケース(路上駐車車両があったり、歩行者がいる場合など)。
ドライバー判断 → 突発的な介入を伴うケース(車両・歩行者の飛出しによる介入など)。

4-1. 技術検証 (2) 道路環境・交通環境への対応

②信号認識 (直進) : 豊砂交差点

- ②信号認識 (直進) では、**信号は問題なく認識**。赤信号の場合は、**すべての走行で介入 (ペダルのみ)**、ハンドルは自動。
- 青信号の場合は、ハンドル・ペダルともに**自動で走行**できている。

■ ②信号認識 (直進)



▲ ②信号認識 (直進) の状況



4-1. 技術検証 (2) 道路環境・交通環境への対応

③ 信号認識 (右左折) : メッセ交差点

- ③信号認識 (右左折) では、**信号は問題なく認識**。赤信号の場合、**すべての走行で介入 (ペダルのみ)**、**ハンドルは自動**。
- 右折時の対向車の有無も今回使用したAutowareシステムでは、判断していないため、ドライバー判断となった。
- 青信号での通過も数回あり、その場合は、自動で走行できている。

■ ③信号認識 (右左折) の状況



▲ ③信号認識 (右折) の状況



4 - 1. 技術検証 (2) 道路環境・交通環境への対応

④ 信号認識 (直進・右折) : 幕張海浜公園交差点 (右折)

- ④信号認識 (右折) では、交差点右折において、搭載カメラの画角が小さく、**信号機自体が認識できない**事象がみられた。
- 幕張新都心エリアにおいては、広い道路や大きな交差点も多く、信号機の設置位置や自動運転バスの走行位置 (今回右折レーン) によって、信号機自体が認識できない事象が考えられる。

■ ④ 信号認識 (右折)



▲ ④ 信号認識 (右折) の状況

4-1. 技術検証 (2) 道路環境・交通環境への対応

⑨車線変更

- ⑨車線変更（第1車線から第2車線）では、すべて自動で走行することができた。
- ただし、今回の実証実験では、**後続に伴走車**が走っていたため、安全な走行が可能であった。

■ ⑨車線変更の状況



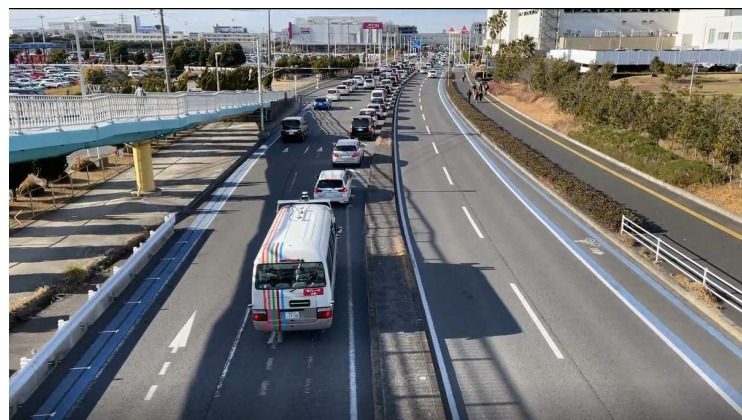
▲ ⑨車線変更の状況

4-1. 技術検証 (2) 道路環境・交通環境への対応

⑩ 渋滞区間走行

➤ ⑩ 渋滞区間の走行では、すべての走行で介入（ペダルのみ）している。

■ ⑩ 渋滞区間の走行状況

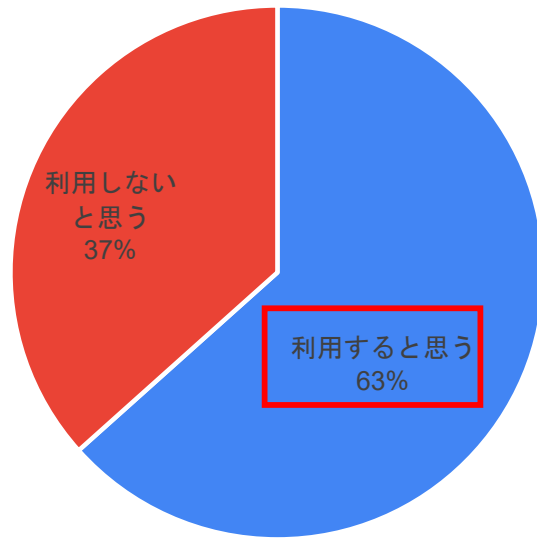


▲ ⑩ 渋滞区間の走行状況

4-2. サービス検証 検証①：新駅開業に伴う新ルートのご案内確認

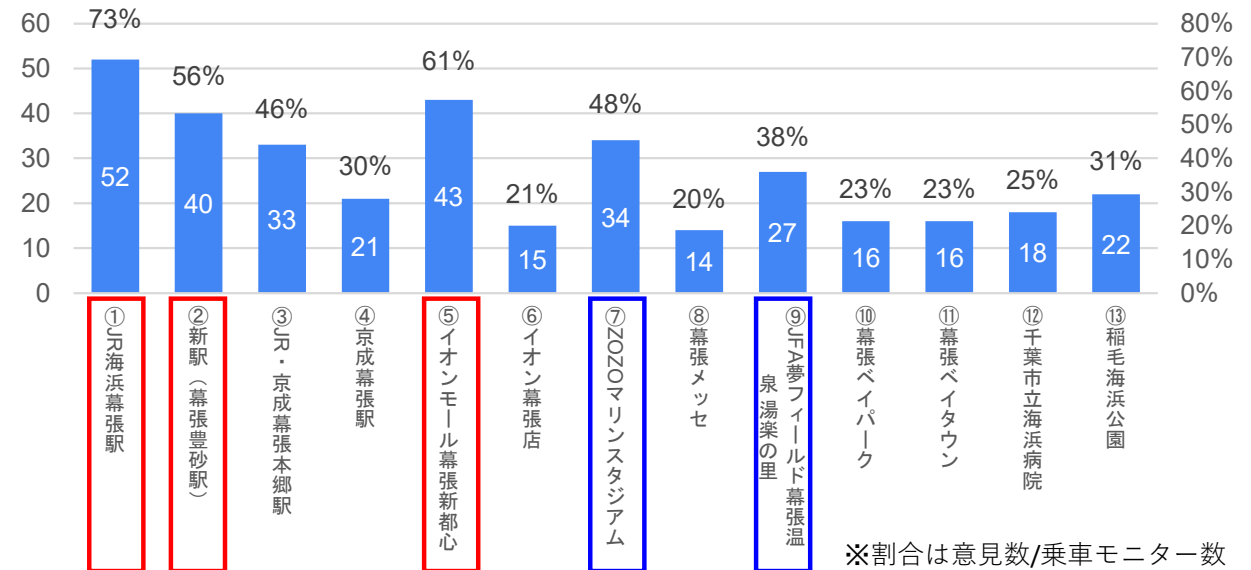
- 新たなバス路線（実証実験ルート）の利用意向について、約6割が利用する意向（モニター）。
- バス路線として、①JR海浜幕張駅や②新駅（幕張豊砂駅）、⑤イオンモール幕張新都心のニーズが多い。
- 海側では、⑦ZOZOマリンスタジアムや⑨JFA夢フィールド・湯楽の里のニーズが多い。

■ 今回の実証実験ルートにおいて、新たにバスルートが運行された場合の利用意向



利用すると思う	45	63%
利用しないと思う	26	37%
モニター計	71	100%

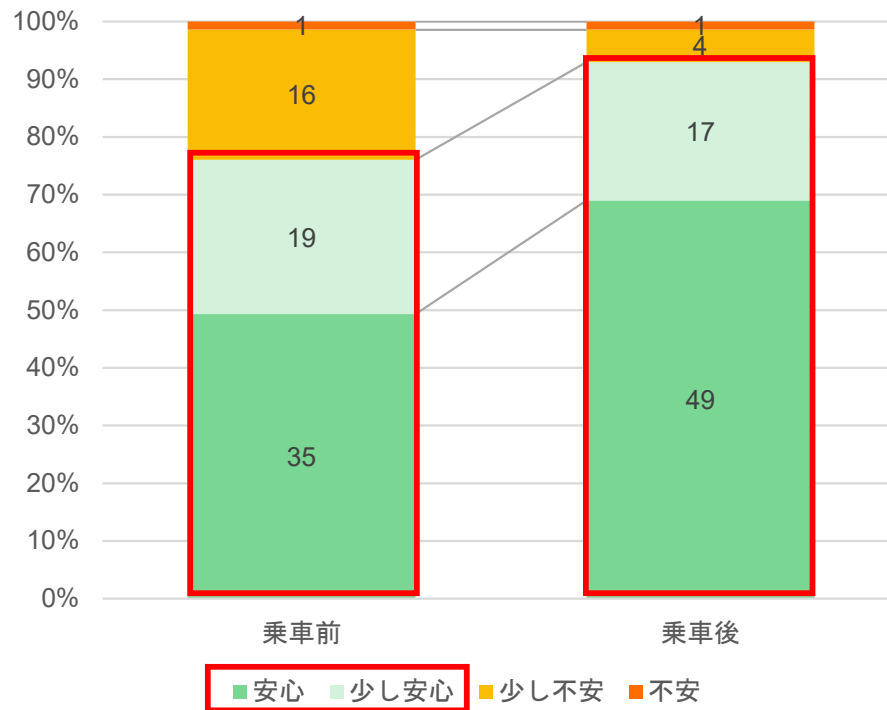
■ バスルートで結ばれた場合に利用したい施設



4-2. サービス検証 検証②：自動運転バスの社会的受容性の検証

- 自動運転バスの安心感について、乗車後の安心感が向上。
- 乗車前に「**少し不安**」と感じる方の多くが、乗車後に「**安心**」「**やや安心**」と感じると回答。
- 不安と感じた理由としては、乗車前は「**安全性が不安**」が多いが、乗車後は大きく減少。

■ 自動運転バスの乗車前後の安心感の変化



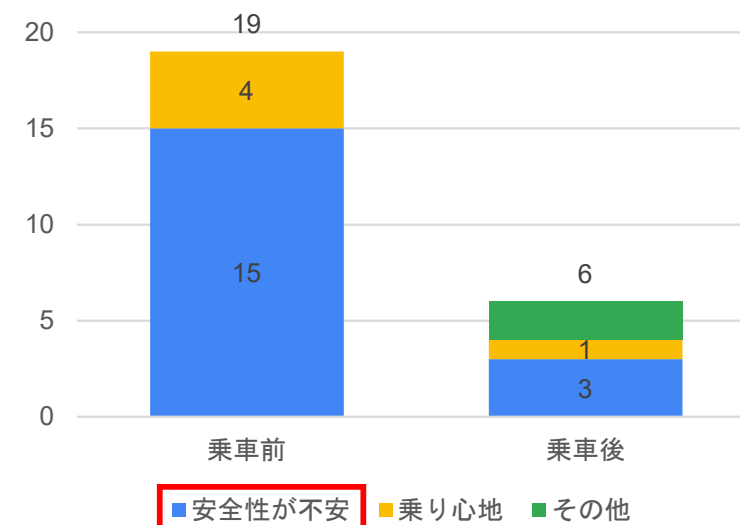
	乗車前	乗車後
安心	35	49
少し安心	19	17
少し不安	16	4
不安	1	1
モニター計	71	71

乗車後安心感が低下

		乗車後の安心感				計
		安心	少し安心	少し不安	不安	
乗車前の 安心感	安心	33	2	0	0	35
	少し安心	7	12	0	0	19
	少し不安	9	3	4	0	16
	不安	0	0	0	1	1
	計	49	17	4	1	71

乗車後安心感が向上

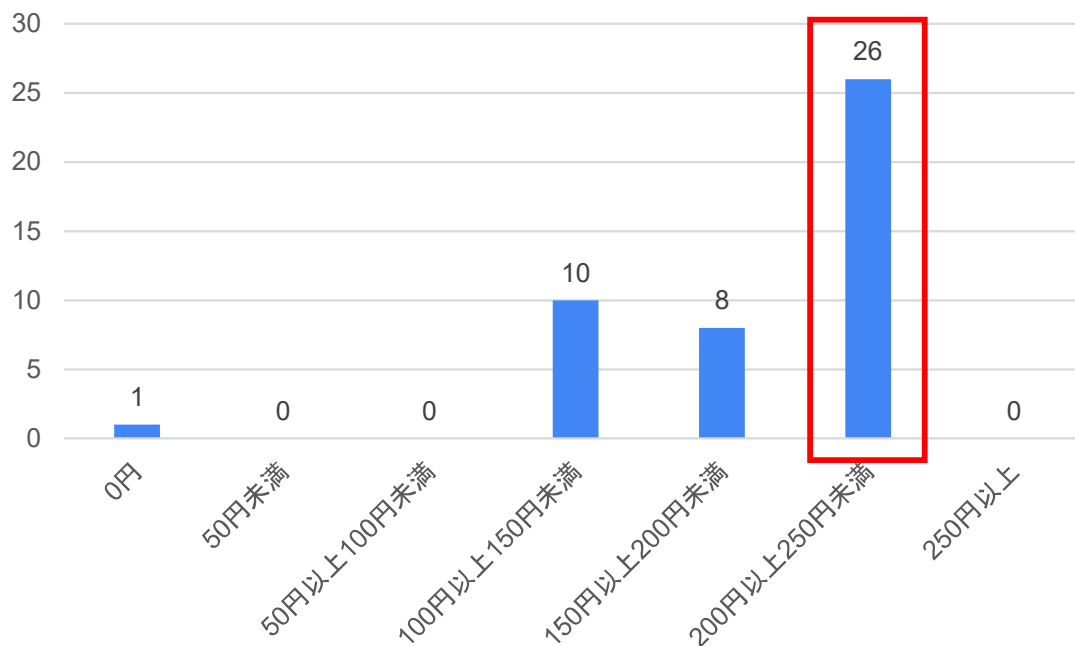
■ 「不安」「少し不安」と感じた理由（複数回答）



4-2. サービス検証 検証③：自動運転バスサービスの事業性の検証

- 新たなバスルートのバス料金（支払意思額）は、200～250円が約6割と最も多い。
- 自動運転バスの導入においては、運行コストが同等もしくは減少することが、事業採算性の条件となる。
- また、実装に向けては、現時点では、**行政の補助、施設の負担等の支援**が必要となる。

■ 新たなバスルートのバス料金（支払意思額）



0円	1	2%
50円未満	0	0%
50円以上100円未満	0	0%
100円以上150円未満	10	22%
150円以上200円未満	8	18%
200円以上250円未満	26	58%
250円以上	0	0%
モニター計	45	100%

例えば、
 1日片道換算16便（8往復）
 × 220円/人 × 14人/便
 = 4.9万円（運賃収入）

※参考

幕張本郷駅～イオンモール幕張新都心イオンスタイル口：220円
 海浜幕張駅～イオンモール幕張新都心：100円
 幕張本郷駅～zozoマリスタジアム：270円
 海浜幕張駅～zozoマリスタジアム：100円

海浜幕張駅～イオンモール幕張新都心：無料送迎バスあり
 海浜幕張駅～幕張温泉湯楽の里：無料送迎バスあり

5. 本事業の成果と今後の課題

■ 本事業の成果

【技術検証】

- 自己位置推定については、NDTマッチングに絞った運用に定めたが、評価期間にGNSSとNDTマッチングを併称した走行評価を実施することができた。現在の自動運転では、どちらかの機能のみを主に採用し走行するものが多いが、将来的には主な機能と補完機能が混ざった走行手法も必要だと考えられる。幕張新都心のような走行環境で且つ事前に衛星状態をある程度理解して臨めたことで、2つの機能を併用した走行検証を行うことができた。
- 信号交差点では、警察協議等による安全面を十分に考慮し、ドライバーによる介入（ペダル）を前提とした。
- 信号の認識（色判別）は、概ね問題なく行うことができた。ただ、幕張新都心エリアには、広い道路や大きな交差点も多く、信号機の設置位置や自動運転バスの走行位置によって、信号機自体が認識できない事象が考えられる。
- ステアリング（ハンドル）については、十分に正しい自立走行を行っており、路上駐車回避を除き、正しくコースを走行することが確認できた。
- 自動運転システムについては、今後積極的に車両制御による発進停止・追従が行えるように、チューニングを重ね改良することが必要である。

【サービス検証】

- 今回の実証実験ルートについては、新たなバスルートとして運行された場合、モニターの約6割が利用すると回答しており、利用意向が確認できた。
- 自動運転バスの安心感については、乗車前後で安心感が向上しており、社会的受容性も確認できた。
- 自動運転サービスの事業性については、新たなバスルートのバス料金（支払意思額）は、200～250円が約6割と最も多い。自動運転バスの導入においては、運行コストが同等もしくは減少することが、事業採算性の条件となる。また、実装に向けては、現時点では、行政の補助、施設の負担等の支援が必要となる。

【広報周知】

- 実験期間2日間で86名のモニターが自動運転バスに試乗した。また、イオンモール幕張新都心や幕張温泉湯楽の里におけるアンケート調査によって、一般の来訪者への自動運転バスに関する周知を行うことができた。
- 事前のプレスリリースにより、幕張新都心における自動運転の取り組みを広く広報・周知することができた。

5. 本事業の成果と今後の課題

■ 今後の課題

- 自動運転バスサービスの導入にあたっては、前述のとおり【技術面】や【サービス面】で課題が残っている。
- 技術面においては、幕張新都心特有の課題（GNSS不感、路上駐車、渋滞など）を考慮し、日々進歩する周辺技術やインフラ側の対応により、課題解決を図っていく必要がある。
- サービス面においては、移動サービスに加え、地域サービスとの連携、自治体や関連施設からの補助・支援も踏まえた、持続可能な移動サービスの検討を行う必要がある。
- 幕張新都心や千葉市内の回遊性向上や賑わい創出を図るべく、自動運転サービスの事業化や他地域への展開等に向けたロードマップを実現するために、一時的な実証実験ではなく、継続的に実証実験を実施し、フォローアップしていく必要がある。
- また、地域住民や道路利用者などへの自動運転サービスに関する理解醸成を図るため、広報・周知が必要である。

■ 事業化や他地域展開等に向けたロードマップ

2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
今回実証	実証	新駅開業	検証・実装・横展開		
・幕張新都心地区内の集客施設間を結ぶルートでの実証	・賑わい創出に不可欠なアクセスルート（幕張本郷駅～海浜幕張駅間）、海浜幕張駅北口バスロータリーを発着とする営業運行による実証	・新駅開業後による路線再編を踏まえたルートでの営業運行による実証実験	・過去3回の実証実験結果の総括、及び必要に応じた今後の展開の見直し	・幕張新都心地区内における実証実験により得られた成果等に基づき、千葉市内他地区の人口減・過疎化が進む大規模団地（花見川団地・さつきが丘団地他）等での実証実験	・千葉市内他地区での営業運行による実証実験 ・過去の実証実験結果の総括を踏まえた真に自動運転の導入効果が見込まれる地区の具体的な選定、及び社会実装の具体的検討