

地域社会 DX 推進パッケージ事業(自動運転レベル 4 検証タイプ)

島根県松江市

見通し困難な都市環境・降雪時におけるキャリア網・光無線通信を活用した
自動運転車両制御の実証

実績報告書

2026年1月30日

ソフトバンク株式会社

松江市自動運転に資する通信システム実証機関

目次

0.	エグゼクティブサマリ	1
0.1	実証概要	1
0.2	KPI/KGI の内容と達成状況	1
0.3	考察	4
0.4	成果	5
0.5	課題	6
1.	実証の背景・目的	8
1.1	実証の背景	8
1.2	レベル 4 自動運転を社会実装する上での実証地域における課題	9
1.3	実証の目的	10
1.4	最終目標・構想イメージ	10
1.5	「最終目標・構想イメージ」における本実証の位置づけ・目標	12
2.	業務実施体制	13
2.1	実証機関	13
2.2	実施体制図	14
3.	自動運転の運行結果	15
3.1	運行場所	15
3.2	運行期間	17
3.3	運行時間帯・頻度・運行方式	18
3.4	運行者	18
3.5	運行体制	19
3.6	自動運転車両の特徴	20
3.7	自動運転に関する手続き	22
4.	実証の手法	24
4.1	①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保	24
4.2	②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保	24
4.3	③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用	

	する技術の頑健性検証	24
4.4	④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装.....	24
4.4.1	④-1:見通しの悪い交差点右折時の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、右折の安全性確保	24
	1) 目的	24
	2) 実証内容の詳細	24
	3) 利用技術	25
	4) 必要性・緊急性・新規性	26
	5) 検証条件	26
	6) 開発・評価項目	32
	7) KPI/KGI	33
4.4.2	④-2:見通しの悪いバス停からの発車および短距離での車線変更の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、バス停発車の安全性確保.....	35
	1) 目的	35
	2) 実証内容の詳細	35
	3) 利用技術	36
	4) 必要性・緊急性・新規性	36
	5) 検証条件	37
	6) 開発・評価項目	37
	7) KPI/KGI	38
4.5	⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証.....	39
4.6	⑦その他:路車間通信の安定性確保.....	39
4.6.1	V2Iの光無線通信による通信回線の冗長構成を構築し、通信事業者網が使用不可の場合に切り替えることで、通信事業者の障害や電波障害に耐えられるロバストなODD確保が可能であることを実証する。.....	39
	1) 目的	39
	2) 実証内容の詳細	39
	3) 利用技術	40
	4) 必要性・緊急性・新規性	40
	5) 検証条件	41
	6) 開発・評価項目	42
	7) KPI/KGI	44
4.7	レベル4の社会実装に向けた検討.....	45
4.7.1	運用検証	45
	1) システムの操作性やユーザインターフェースに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)	45
	2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直し等、地域交通の持続性への寄与度	45

3)	データの処理・管理に係る運用等のセキュリティ対策	46
4)	通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守	46
4.7.2	効果検証	46
1)	通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化	46
2)	自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度 .	47
3)	通信システム等による支援によるルート設定の柔軟化・時間短縮・交通利便性の向上効果	47
4)	初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策	47
5.	通信システムに関する構築	49
5.1	通信システムの全体像	49
5.1.1	通信システムの概要	49
5.1.2	電気通信回線の概要	51
5.2	システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等	57
6.	実証結果・考察	58
6.1	①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保	58
6.2	②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保	58
6.3	③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用する技術の頑健性検証	58
6.4	④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装	58
6.4.1	④-1:見通しの悪い交差点右折時の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、右折の安全性確保	58
1)	実証スケジュール	58
2)	開発・評価項目の結果	59
3)	KPI/KGI との比較結果	68
4)	成果・課題	70
6.4.2	④-2:見通しの悪いバス停からの発車および短距離での車線変更の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、バス停発車の安全性確保	73
1)	実証スケジュール	73
2)	開発・評価項目の結果	74
3)	KPI/KGI との比較結果	77
4)	成果・課題	79

6.5	⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証.....	80
6.6	⑦その他:路車間通信の安定性確保.....	80
6.6.1	V2Iの光無線通信による通信回線の冗長構成を構築し、通信事業者網が使用不可の場合に切り替えることで、通信事業者の障害や電波障害に耐えられるロバストなODD確保が可能であることを実証する。.....	81
	1) 実証スケジュール.....	81
	2) 開発・評価項目の結果.....	81
	3) KPI/KGIとの比較結果.....	104
	4) 課題・成果.....	106
6.7	レベル4の社会実装に向けた検討の結果.....	109
6.7.1	運用検証.....	109
	1) システムの操作性やユーザインターフェースに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等).....	109
	2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直し等、地域交通の持続性への寄与度.....	112
	3) データの処理・管理に係る運用等のセキュリティ対策.....	113
	4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む)の維持管理・保守....	114
6.7.2	効果検証.....	115
	1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化.....	115
	2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度.....	118
	3) 通信システム等による支援によるルート設定の柔軟化・時間短縮・交通利便性の向上効果.....	118
	4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策.....	119
6.8	レベル4社会実装に向けた考察.....	122
7.	本実証の総括.....	124
7.1	本実証の成果・課題.....	124
7.2	社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性.....	124

0. エグゼクティブサマリ

0.1 実証概要

人口減少や新型コロナウイルス感染症の影響、労働規制強化に伴ういわゆる「2024 年問題」により、全国的にバス運転士不足が顕在化し、路線バスの減便・廃止が進んでいる。島根県松江市においても同様の課題を抱えており、地方部では多くの路線バス事業者が厳しい経営環境に置かれている。一方、地域公共交通は住民の移動手段としてのみならず、医療・福祉、観光振興、地域コミュニティの維持、災害時の移動手段確保等、まちづくりを支える重要な社会基盤として、その役割は一層重要性を増している。

松江市におけるレベル 4 自動運転の社会実装に向けては、起伏やカーブにより見通しの悪い交差点での右折やバス停発車時の安全性確保、降雪・積雪地域特有の走行環境への対応、ならびに自動運転に対する社会受容性の醸成といった課題が存在する。

本実証では、交通量の多い市街地路線を対象に、路側センサーにより取得した対向車や自転車の接近情報を通信により自動運転バスへ連携し、右折時およびバス停発車時の安全性を確保できるか検証する。また、通信の信頼性確保を目的として、閉域網(LTE)を用いたセキュアな通信に加え、携帯通信網が使用不能となる状況を想定し、トラッキング光無線通信を副回線とした冗長構成による安定的な通信の有効性についても検証を行う。

0.2 KPI/KGI の内容と達成状況

- ユースケース④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装
 - ④-1 見通しの悪い交差点右折時の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、右折の安全性確保

表 0-2-1:ユースケース④-1 における KPI/KGI および妥当性

番号	KPI 目標値	目標値設定の妥当性・設定理由	KPI 達成状況
定量評価 1	対向車線の車両および自転車通行による手動介入数 [目標:当該原因手動介入数 0 回]	対向する車線および歩道を走行する車両および自転車通行を正確に検知し、自動運転車が安全に右折できる必要があるが、当該場所でのセンシングが初めてであるため	未達成

2	自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度 [目標:交差点通過時 30km/h 以上(対向車線が交差点先で詰まっていない場合)]	自動運転バスの右折が対向する車両や自転車の急制動に繋がることによる事故とならないことや、社会受容性の面で、生活道路の推奨制限速度(30km/h)と同程度までの減速であれば、許容されると推測	達成
	路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間 ・路側センサーが、交差点中心から170m 以内に接近する対向車と70m 以内に接近する自転車を検知した情報を、400ms 以内に自動運転バスが受信できること [目標遅延時間: 400ms 以内(物標処理等含む)]	自動運転バスが右折し交差点を通過するために必要な対向車および自転車の検知範囲を設定	達成
	天候条件の路側センサー検知性能 ・天候条件の違いによる設置センサー(LiDAR とミリ波レーダ)が検知する車両と自転車の検知距離 [目標検知距離: 対向車 170m 以内、自転車 70m 以内)	自動運転バスが右折し交差点を通過するために必要な対向車および自転車の検知範囲を設定 天候条件の違いによる路側センサーの検知性能を評価するため	達成

- ④-2 見通しの悪いバス停からの発車および短距離での車線変更の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、バス停発車の安全性確保

表 0-2-2:ユースケース④-2 における KPI/KGI および妥当性

番号	KPI 目標値	目標値設定の妥当性・設定理由	KPI 達成状況
定量評価 1	バス停発車から第 2 車線への車線変更区間で、周辺車両による手動介入数 [目標:当該原因手動介入数 0 回]	交差点手前の車線変更可能区間で、後方および接近する車両を正確に検知し、自動運転車が安全にバス停を発車し、第 2 車線にまで変更できる必要があるが、当該場所でのセンシングが初めてであるため	未達成

	2	路側センサーから自動運転バスへの情報伝送の遅延時間 [目標:400ms 以下]	バス停止位置から 33m 後方の交差点信号現示が赤である上で、路側センサーではバス停後方交差点の交差道路から進入し接近してくる車両を検知するために必要な時間を設定	達成
定性評価	3	バス停後方の交差点の交差する道路からの車両検知 [目標:交差する道路から交差点に進入する車両を路側センサーが検知すること]	バス停後方の交差点の交差する道路が車両の死角となり、左折する車とバス停までの距離が約 33m と短距離であるため、路側センサーで交差点に進入する車両を検知できているかを評価	達成

■ ユースケース⑦その他:路車間通信の安定性確保

表 0-2-3:ユースケース⑦における KPI/KGI および妥当性

番号	目標値	目標値設定の妥当性・設定理由	KPI 達成状況	
定量評価	1	通信確立状態におけるパケットロス [目標:10%以下]	パケットロスが 10%以下であれば 1s 以内には路側センサー情報を十分に取得することが可能。また、V2V や V2I で利用される DSRC (IEEE802.11p)ではパケットロス率を 10%に設定し設計される事例が多くあるため、妥当であると考えられる	未達成
	2	遅延時間 [目標:10ms 以下]	LTE 回線と同等もしくはそれ以下の遅延時間でデータ送信を行うことができれば、自動運転制御技術の要件を十分に満たすことが可能	達成
	3	通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI) [目標:通信可能状態(2V 以上)を維持]	光無線通信装置の通信は太陽光等の外光や雨/雪等の影響により不安定になることがあるため、天候や時間帯に関わらず安定した通信が可能な閾値を設定	未達成
定性評価	4	自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること	バス停から右折までの自動運転バスが走行する速度に対応できることを評価	定性評価項目

0.3 考察

本検証における考察をユースケースごとに記載する。

- ユースケース④-1:見通しの悪い交差点右折時の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、右折の安全性確保
 - 通信を活用した路車連携は、自動運転バスの安全性向上に有効であるといえるが、右折時には路側センサーの検知範囲を入念に検討していく必要がある。
 - 路車連携が、交差点における安全性の確保と対向車通行の円滑性の両立に寄与しているといえるが、レベル4自動運転の社会実装に向けては交通需要が高い時間帯等様々なパターンにおける右折挙動についても検証を行っていく必要がある。
 - インターネット通信および閉域網通信のいずれも十分に活用可能であると評価できる。実運用を見据えた場合には、通信の安定性に加えてセキュリティ面での対策も重要となることから、閉域網通信の活用がより有効であると考えられる。
 - センサーの性能を比較するにあたり、降水量が 2mm/h を大きく超える悪天候や降雪時に実証実験をできなかったため、今後はサンプル数をより確保できる期間を確保した上で実証実験を行うことが必要である。

- ユースケース④-2:見通しの悪いバス停からの発車および短距離での車線変更の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、バス停発車の安全性確保
 - 信号無視等の交通ルールから逸脱した車両の挙動への対応不足と、バス停後方交差点から進入する車両を検知できないケースがあった。自動運転車の特性に関する啓発活動や、明確な信号表示・専用レーンの導入により、周囲との円滑な連携も検討していく必要がある。
 - インターネット通信および閉域網通信のいずれも十分に活用可能であると評価できる。実運用を見据えた場合には、通信の安定性に加えてセキュリティ面での対策も重要となることから、閉域網通信の活用がより有効であると考えられる。
 - 路側センサーを設置する場合は、交通状況や道路の地形を考慮した上でセンサーの種類を検討することが必要となる。

- ユースケース⑦:路車間通信の安定性確保
 - トラッキングが不安定なケースや、カーブが発生する地点において、パケットロスが上昇する傾向があった。KPI を達成するためには、画像処理精度および速度を向上させることによる、より滑らかなトラッキングを実現する必要がある。
 - 今回検証の気候パターンが晴れと曇りの 2 パターンのみであったため、雪や雹/雷の場合等さまざまな気象状態においても通信遅延時間が KPI を達成できるか検証をする必要がある。
 - 試験期間中にバス側の電圧測定器が故障する事象が発生したため、電柱側に比べてバス側の KPI 達成率が低くなったと考える。運行速度が速い場合やカーブの際はトラッキングが不安定となり、RSSI が小さくなる傾向がある。KPI を達成するためには、画像処理精度および速度を向上させることによる、より滑らかなトラッキングを実現する必要がある。
 - 太陽光の逆光時における画像認識精度の低下によるトラッキングの失敗が課題である。カメラの映像から逆光の程度を判定し、逆光の強さに応じて逆光復元アルゴリズムを適用することで解決可能と考える。

0.4 成果

本検証における成果をユースケースごとに記載する。

- ユースケース④-1:見通しの悪い交差点右折時の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、右折の安全性確保
 - 路車連携した状態での手動介入数は 1 走行回あたり 0.05 回、連携未実施の状態では 1 走行回あたり 0.69 回であり、路車連携を行うことで手動介入数の低減に繋がることが確認できた。
 - 一般車の右折時と比較しても対向車速度は変わらず、自動運転バス特有の交通阻害は発生していないことが確認できた。
 - インターネット通信および閉域網通信のいずれも十分に路車連携の通信手段として活用可能であることが確認できた。
 - 2mm/h 程度の雨天時と西日が差す時に LiDAR とミリ波レーダーの性能を比較した結果、いずれも晴天時と同等の検知率が得られ、これらの天候においては性能劣化の発生がないことを確認できた。
- ユースケース④-2:見通しの悪いバス停からの発車および短距離での車線変更の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、バス停発車の安全性確保
 - 路車連携した状態での手動介入数は 1 走行回あたり 0.29 回、連携未実施の状態では 1 走行回あたり 0.56 回であり、路車連携を行うことで手動介入数の低減に繋がることが確認できた。

認できた。

- インターネット通信および閉域網通信のいずれも十分に路車連携の通信手段として活用可能であることが確認できた。
- 2mm/h 程度の雨天時と西日が差す時に LiDAR とミリ波レーダーの性能を比較した結果、いずれも目視で確認した本検知区間を走行する一般車両(自動車)を良好に検知することを確認できた。

■ ユースケース⑦:路車間通信の安定性確保

- 見通しの悪い車線変更や右折がある中でも、トラッキング光無線の成功率は 5 割程度あった。
- トラッキングが成功した場合において平均 1.4ms の遅延時間であり、トラッキングできたバスの走行速度は 20km/h までであった。
- 通信確立状態においては、通信遅延時間は平均 10ms と安定しており、パケットロス率は 15.9%と目標値の 7 割を達成していた。光無線通信機の受光レベルも平均で 2V を超えており、通信可能状態を十分維持できていることを確認した。

0.5 課題

本検証における課題をユースケースごとに記載する。

- ユースケース④-1:見通しの悪い交差点右折時の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、右折の安全性確保
 - 自動運転バスの手動介入については、自動運転バスの死角となる当該道路のような環境下において路車連携が有効であると確認できた。一方で、道路形状を踏まえ 2 台のセンサーを設置したが、設置場所の制約により低視認性区間が生じ、手動介入が発生するケースが発生した。
 - センサーの性能の比較をするにあたり、降水量が 2mm/h を大きく超える悪天候や降雪時に実証実験を行えなかった。
- ユースケース④-2:見通しの悪いバス停からの発車および短距離での車線変更の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、バス停発車の安全性確保
 - 自動運転バスの後方カメラによって検知した情報を活用し、発車制御を行っていたが、後方から接近する左折車や信号無視による直進車を検知した場合において、発車制御が適切に実行できていないケースが確認された。このため、後方カメラによる検知結果をもとに安全な発車制御を行う仕組みについて、今後も改善および検証を継続して進める必要がある。

- ミリ波レーダーの場合、通信距離の制約により路側センサーを設置する電柱が交差点入口から約 20m 付近となってしまう、検知区間および評価対象区間が短くなってしまった。

- ユースケース⑦:路車間通信の安定性確保
 - 自動運転バスの走行速度に対して追従できなかった。

現状のトラッキング光無線通信装置では、自動運転バスの走行速度に対する追従性能が十分ではないことが確認された。また、特にバス停区間における高速度域では、安定したトラッキングの確保が困難であることが確認された。
 - 逆光時に画像認識マーカを識別精度が低下する。

電柱の光無線通信機がバスより高い位置に設置されたことで、バスと電柱と太陽の位置関係によっては、バス側から見た電柱側の光無線通信機の背後に太陽が配置するタイミングがあり、太陽光の逆光の影響を直接的に受けることになった。今後は、強い逆光の課題に対し、カメラの映像から逆光の程度を判定し、逆光の強さに応じて逆光復元アルゴリズムを適用することで解決可能と考える。

1. 実証の背景・目的

本稿における「遠隔監視」及び「遠隔監視員」は、特定自動運行主任者に係る対応業務並びに特定自動運行保安員等に係る保安上の監視・確認等の業務を包含するものとする。

1.1 実証の背景

人口減少やコロナ禍による利用者の減少、労働規制強化(いわゆる「2024 問題」)によって顕在化した運転士不足等により、バス路線の減便や廃止が相次いで発生する等、路線バスを中心とした地域公共交通を取り巻く社会環境は大きく変化しており、島根県松江市においても、路線バスの減便・廃止が続いている状況である。また、令和 4 年度時点で、大都市を除く地方の路線バス事業者の 96%が赤字という状況にある等交通事業者の経営環境も厳しさを増している。

一方で、地域公共交通は単なる住民の移動手段にとどまらず、医療や福祉の質の向上、産業や観光振興、地域コミュニティの強化、まちのブランド力 UP、災害時の避難手段の確保等、まさにまちづくりの重要な柱として、その重要度を増している。

利便性の高い公共交通による持続可能なまちづくりをもとに「コンパクト・プラス・ネットワーク」のまちづくりを実現していくため、運転士不足対策の一助として、将来的な既存路線バスへの自動運転車両の導入により、島根県松江市の市民生活に必要な不可欠であるバス路線を確保・維持することを目指す。

あわせて、自動運転という新しい交通モードの導入による市民のおでかけ需要の創出、先進的取り組みにチャレンジするまち松江として、まちの魅力向上に貢献することを目的とする。

路線バス事業者においては、深刻な運転士不足から、現行ダイヤの維持が難しい状況である。一畑バスでは、2019 年度に 77 人いたバス運転士が 2024 年 4 月 1 日時点で 56 人と大きく減っており、2024 年 10 月 1 日から一部路線が廃止および減便となっている。松江市交通局についても、運転士数は横ばいではあるが、利用者数、運賃収入が減少傾向にある。廃止となった路線に関してはコミュニティバスの新設等代替手段の対応を行っているが、市民の皆様の利便性を中長期的に確保していくために、最も課題となる運転士不足に起因する課題へ対応していく必要がある。(図1-1-1 参照)

表1-1-1:松江市路線バス事業者の現状

1. 路線バス事業者の現状

➤ 深刻な運転手不足から現行ダイヤの維持が困難に

数字は各年度末（3月31日）時点

一畑バス	R元年度	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6.4.1
運転手(人)	77	75	68	64	56	56
採用(人)	4	1	0	2	5	—
退職(人)	2	8	8	5	9	—
利用者(人)	1,543,086	1,099,284	1,204,567	1,429,708	1,513,639	—
運送収入(千円)	411,304	272,444	294,643	356,133	352,665	—

※運送収入・・・松江管内+隠岐汽船接続バス収入合計

数字は各年度末（3月31日）時点

市交通局	R元年度	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度	R6.4.1
運転手(人)	86	88	91	89	91	88
採用(人)	3	12	9	5	7	—
退職(人)	3	8	5	2	5	—
利用者(人)	2,813,091	2,132,996	2,227,821	2,458,185	2,483,687	—
運送収入(千円)	409,938	275,567	290,399	314,227	381,080	—

(出典)松江市ホームページ「市内路線バスの現状と維持に向けた取り組み」2 頁

https://www.city.matsue.lg.jp/material/files/group/5/20240708_4.pdf

1.2 レベル4 自動運転を社会実装する上での実証地域における課題

■ 見通しの悪い道路形状におけるバス停からの発車や右折時の安全確保

菅田町バス停がある道路は、起伏やカーブにより見通しが悪いにも関わらず制限速度 50km/h となっている箇所がある。特に、バスが右折する菅田町交差点は見通しが悪く、対向車は上り坂から交差点 70m 手前で勾配率 5.8%の坂を下ってくるため、対向車側も右折中の車両発見が交差点直前になる。

また、バス停では後方の見通しが悪く、制限速度前後で走行する周辺車両があるため、当該路線のバス運転士は後方の信号が赤に変わってから発車している等、バス運転士が最も注意を払っているところである。当該路線へのレベル4自動運転の実装に向けては、当該場所での安全性確保が最重要である。

■ 積雪・降雪地域

島根県松江市は「日本海側気候」であり、冬季は降雪や積雪が発生する。社会実装を想定し、現在運行している路線バスの運行ルートで走行するにあたって、降雪や吹雪など見通しの悪さへの影響、路面凍結における車両の制動距離への影響、柱上の着雪の影響等、冬季における環境下において安全な運行を行うことが必要である。

■ 社会受容性の醸成

島根県松江市はこれまで自動運転バスの走行実績がなく、島根県内でもまだ実績が少ない。したがってレベル4自動運転の社会実装に向けて、自動運転移動サービスの社会受容性を向上していくことが必要である。具体的には、路上駐車削減や無理な追越しの防止、見通し確保のための植栽のせん定等を含む自動運転車の走行環境の確保に関して、導入対象ルート of 道路利用者や地域住民等の理解促進が重要である。また、自動運転バスを事業として本格運行するにあたって、価格や運行頻度等、利用いただく市民の理解や受容を図りながら取り組みを推進していく必要がある。

1.3 実証の目的

本実証では、起伏やカーブにより見通しの悪い交差点において、バス停からの発車および右折時の安全確保が課題となっている点に着目する。

これらに対し、周辺環境情報を通信システムの活用により自動運転バスへ連携し、車両制御を行うことでの安全性確保の有効性について検証を行う。

また、キャリア通信が利用できない場合にトラッキング光無線通信の活用により安定的な通信の確保ができるかについて検証を行う。

1.4 最終目標・構想イメージ

■ 最終的に達成を目指す目標、構想のイメージ

① 既存バス路線の自動運転化

- ・ 運行予定ルートにおいて、2027年度にレベル4自動運転の許認可を取得、本格運行することを目指す。
- ・ 現在、路線バスとして運行している路線を自動運転化することで、運転士の余剰を生み出し、他路線に再配置を行うことにより松江市全体でのバス路線維を図る。(図 1-4-1 参照)

② おでかけ需要創出による公共交通利用者の増加

- ・ 交通結節点である松江駅を起点に、新たな交通モードの運行によるおでかけ需要の喚起を促し、路線バスを含めた公共交通利用者の増加を図る。

③ まちの魅力向上

- ・ 「Ruby」をはじめとするソフトビジネス産業と自動運転の相乗効果を創出し、起終点でもあるソフトビジネスパーク、テクノアークしまねを中心に企業立地の増加に貢献する。

■ 松江市地域公共交通計画(第4次計画)

松江市地域公共交通計画(第4次計画)において、基本戦略①「輸送資源を総動員し、持続可能な公共交通ネットワークを構築する」の中で、「新たなモビリティや技術の導入・検討」を施策として定めている。(図1-4-2 参照)

自動運転の活用によって、持続可能な公共交通ネットワークの構築に寄与することで、松江市

地域公共交通計画の基本理念でもある「松江市民だれもが安心して、やさしく移動できるまち」の実現に貢献する。

【松江市の取り組みに関する参考資料】

- 首長や地域、交通事業者の強いコミットメント
 - 2024年10月4日に島根県松江市は2027年度のレベル4自動運転許認可取得および本格運行を目指し、事業連携協定を締結
https://www.softbank.jp/sbnews/entry/20241015_01
※出典:ソフトバンク株式会社/ソフトバンクニュース
 - 2024年11月8日に「レベル4モビリティ・地域コミッティ」を設立。
「公共交通で暮らしやすい未来を実現するプロジェクトチーム」自動運転WG
関係機関、交通事業者、警察、島根県と松江市、ソフトバンクとの連携体制を構築
https://www.city.matsue.lg.jp/material/files/group/92/241223_keika.pdf
※出典:松江市ホームページ
 - 本事業のコンソーシアムへ交通事業者(松江市交通局、一畑バス)が参画。なお、松江市交通局および一畑バスにおいては「公共交通で暮らしやすい未来を実現するプロジェクトチーム」自動運転WGにも参画している。
 - 2027年度にレベル4自動運転許認可取得後は松江市の運送事業者における定期運行を見込む。



図 1-4-1: 自動運転導入のねらい


施策 4 新たなモビリティや技術の導入・検討	
事業の ねらい	利用者一人ひとりの移動ニーズに効率的に対応するためには、AI や自動運転などの新技術を活用して、最適な移動サービスと組み合わせることが必要です。このため、新たなモビリティ運行や自動運転の導入の検討に取り組みます。
	

図 1-4-2:松江市地域公共交通計画 44 頁(第 2 章 基本戦略)

<https://www.city.matsue.lg.jp/material/files/group/92/keikakuhennkou.pdf>

※出典:松江市ホームページ/松江市地域公共交通計画(第四次計画)

1.5 「最終目標・構想イメージ」における本実証の位置づけ・目標

■ 事業目標

2027 年度にレベル4自動運転許認可を取得し、鳥根県松江市で現在運行しているバス路線においてレベル4自動運転の本格運行を目指す。

2025 年度においては本事業でレベル2での運行を行い、レベル4自動運転に向け、最も大きなハードルとなる走行箇所において、通信を活用した路車協調システムの有効性を検証することで 2027 年度のレベル4自動運転許認可に向けて取り組む。

① 技術面

- ・ レベル4自動運転の実現に向け、レベル2での運行を通じた課題の洗い出しと対策
- ・ 自動運転バス導入に際し、関係者(運送事業者・道路管理者)とともに運行体制を計画
- ・ 通信システムを活用した路車協調システム(路側センサー・信号連携)の有効性の検証
- ・ キャリア通信が利用できないケースを想定した光無線通信の有効性の検証

② 社会面

- ・ 自動運転に対する社会受容性の構築
- ・ 自動運転の社会的意義、利便性、安全性等への理解浸透
- ・ 松江市内の関係者との自動運転バスの社会実装に向けた連携強化

2. 業務実施体制

2.1 実証機関

表 2-1-1:実証機関一覧

代表機関	法人名	ソフトバンク株式会社
	代表者氏名	(代表取締役 社長執行役員 兼 CEO)宮川 潤一
	所在地	東京都港区海岸一丁目 7 番 1 号
	業務の概要	移動通信サービスの提供、携帯端末の販売、固定通信サービスの提供、インターネット接続サービスの提供
構成員	法人名	先進モビリティ株式会社
	代表者氏名	(代表取締役社長)瀬川 雅也
	所在地	茨城県つくば市緑ヶ原4丁目13
	業務の概要	自動運転システムの開発、販売
	構成員とする理由	自動運転バスの走行検証を行うために先進モビリティ社の自動運転技術が必要
構成員	法人名	沖電気工業株式会社
	代表者氏名	(代表取締役社長執行役員 兼 最高経営責任者)森 孝廣
	所在地	東京都港区虎ノ門 1-7-12
	業務の概要	パブリックソリューションおよびエンタープライズソリューション、コンポーネントプロダクト、EMS の各分野における製品の製造・販売、システムの構築・ソリューションの提供、工事・保守・その他サービス等
	構成員とする理由	安全かつ効率的な自動運転に資する通信システム等に関する実証には、同社のセンサーの技術が不可欠であるため
構成員	法人名	日本信号株式会社
	代表者氏名	(代表取締役社長)塚本 英彦
	所在地	東京都千代田区丸の内 1-5-1 新丸の内ビルディング 13 階
	業務の概要	鉄道信号・交通信号のインフラ支援
	構成員とする理由	安全かつ効率的な自動運転に資する通信システム等に関する実証には、同社の信号情報連携の技術が不可欠であるため
構成員	法人名	松江市交通局
	代表者氏名	(松江市交通局長)小村 隆
	所在地	島根県松江市平成町 1751-21
	業務の概要	一般乗合旅客運送事業 一般貸切旅客運送事業 旅行業 広告事業 (バス広告) 駐車場事業

	構成員とする理由	将来的にレベル4自動運転移動サービスを運行することを見据え、一般旅客自動車運送事業の許可を有する事業者としての協力
構成員	法人名	一畑バス株式会社
	代表者氏名	(代表取締役社長)吉田 伸司
	所在地	島根県松江市西川津町 1656-1
	業務の概要	乗合・貸切バス事業
	構成員とする理由	将来的にレベル4自動運転移動サービスを運行することを見据え、一般旅客自動車運送事業の許可を有する事業者としての協力

2.2 実施体制図

本実証の実施体制は、以下のような枠組みとなっている。

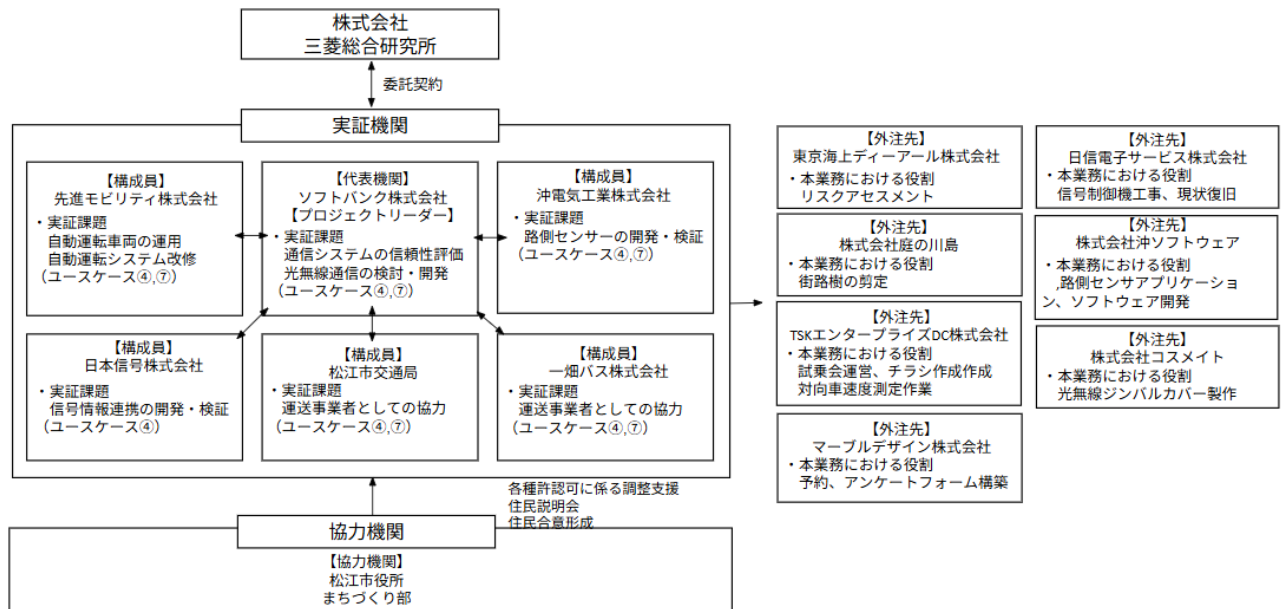


図 2-2-1:実施体制

3. 自動運転の運行結果

3.1 運行場所

【全(試乗会)ルート】



図 3-1-1:本実証における走行ルート(緑色)
(出典:国土地理院地図)

【データ取得走行ルート】

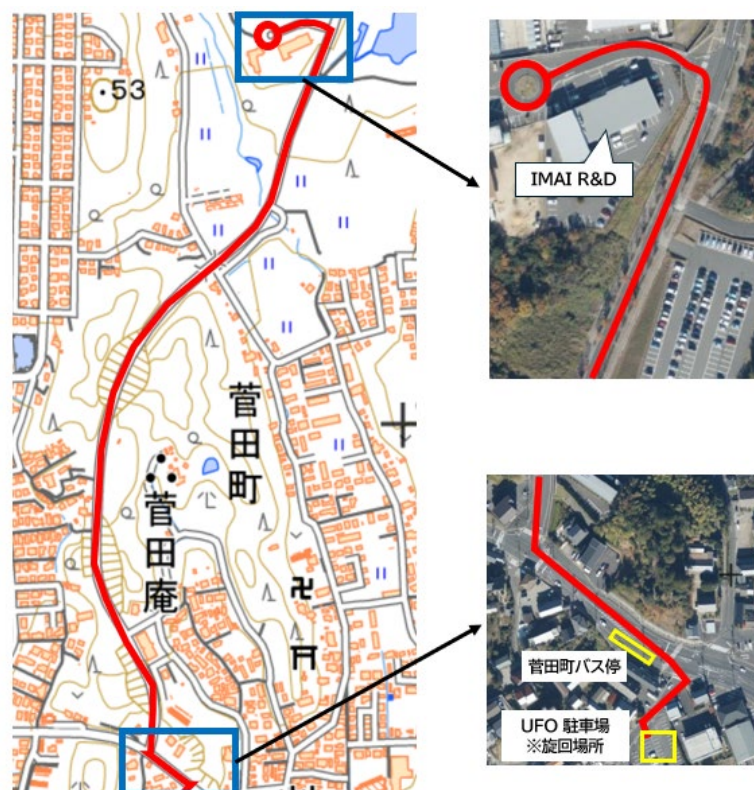


図 3-1-2:本実証におけるデータ取得のための走行ルート
(出典:国土地理院地図)

【運行ルートにおけるインフラ設備】



図 3-1-3: 本実証における運行ルート上のインフラ設備設置箇所の概要
(出典: 国土地理院地図)

松江市の運行ルートの物理的な環境条件、気象条件等(多車線・駐車車両・高速走行、積雪・雪道、降雨等)で想定される複雑な環境下において、路車協調システムで検知した情報を、通信システムを活用し自動運転車両へ連携、自動制御を行うことで、運行ルートにおける自動運転で走行する課題解決を図る。

3.2 運行期間

表 3-2-1: 運行期間一覧

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	計14日間 9月17日～9月19日 9月24日～9月26日

	9月30日～10月3日 10月6日～10月8日
関係者試乗運行	計5日間 11月27日～12月28日 12月10日～12月12日 ※12月10日:総務省視察会
一般運行等	計7日間 11月29日～11月30日 12月3日～12月5日 12月13日～12月14日
その他運行	※路側機等との連携試験のための運行 計9日間 10月9日～10月10日 10月15日～10月17日 10月21日～10月24日 ※データ取得・検証のための運行 計18日間 10月28日～10月31日 11月5日～11月7日 11月11日～11月14日 11月18日～11月21日 12月17日～12月19日

3.3 運行時間帯・頻度・運行方式

■運行時間帯・頻度

運行時間帯：9～17時

対向試験、データ検証のための運行：5～20回/日

関係者試乗会・一般試乗会：頻度：4便/日

■運行方式

路線バス

3.4 運行者

先進モビリティ株式会社

3.5 運行体制

表 3-5-1:運行体制

項目		内容
運行管理	事業者	松江市交通局
	人員体制	人員体制:8名
	オペレーション	走行前、走行後の点呼をリモートで実施
遠隔監視設備	種類・特徴	everfleet を用いた遠隔監視。リアルタイムかつ安定したデータ伝送が可能である。
	機能	車内外のカメラ映像および車両情報を1画面で遠隔から監視することが可能。また、運行中の全データをクラウド上のサーバーに保存し、インシデント発生時の後検証やレベル4自動運転を目指す上での課題を検証することも可能。
	設置場所	松江市朝日町 478 番地 18 松江テルサ別館 2 階
遠隔監視員	事業者	先進モビリティ株式会社
	人員体制	遠隔監視員の人数:1人 自動運転車両 1 台あたりの配置人数:1人
	オペレーション	遠隔監視員は、車内外に装着されたカメラにおよび各種センサー機器類から得た車両情報をリアルタイムで監視を行う。
	遠隔監視体制	1:1
	業務従事者教育	遠隔監視員は先進モビリティ株式会社の主催する勉強会を受講し、終了した者が従事する。
テスト ドライバー	事業者	先進モビリティ株式会社
	人員体制	運転士の人数:1人 自動運転車両 1 台あたりの配置人数:1人
	オペレーション	自動運転システムの起動、自動走行の開始、終了を行う。
	テストドライバーの確保およびこれらに対する業務従事者教育・訓練の計画	<ul style="list-style-type: none"> ・相当の運転経験を有し、かつ、運転技術が優れていること ・実験車両の自動走行システムの仕組みや特性を十分に理解していること ・公道実証実験の実施前に、実験施設等において、自ら実験車両の自動走行システムを用いて運転し、緊急時の操作に習熟していること
保安員 (※上記以外で運行の安全)	事業者	先進モビリティ株式会社
	人員体制	保安員の人数:1人 自動運転車両 1 台あたりの配置人数:1人

のために配置する人員)	オペレーション	自動運転車両に同乗し、自動運転システムの監視を行うとともに、同システム上の不具合等が発生した際の対応を行う。 手動介入の発生状況や要因の記録、自動運転走行データの収集を行う。
	業務従事者教育	保安員は、先進モビリティ株式会社によるトレーニングを受講し、終了した者が従事する。

3.6 自動運転車両の特徴

表 3-6-1:自動運転車両の特徴

項目		内容
台数		1台
所有者		先進モビリティ株式会社
車両 スペック	車両名	BYD J6
	自動運転レベル	レベル2
	車両定員	29名
	試乗枠の定員	11名(着座)
	最高速度	車両機能上限: 70km
		実証実験時上限: 45km
	センシングデバイス	※センシングデバイスの種類別の個数 (2D・3DLiDAR ミリ波レーダー、物体検知カメラ等) LiDAR 8個 カメラ 11個
	車両性能 (チェックを入れること)	☑走行中に自動運転と手動運転を切り替えることが可能な遠隔型自動運転システムを備えた自動車として生産された車両である
☑レベル2以上での走行が可能であり、かつ将来的に車両調整等によりレベル4自動運転での走行が可能であること		
☑乗車定員は、実証地域で将来的に実装することを想定した適当な規模であること		
運行管理システム	☑車両に搭載したカメラによる車両内外の遠隔監視	

	(チェックを入れること)	☑緊急時における車内との通話			
		☑速度や位置等の車両走行状態のリアルタイムでの取得			
		☑実験車両に車両周辺の状況や車両状態情報の記録を行うドライブレコーダーやイベントデータレコーダー等を搭載すること			
		☑公道実証実験中の実験車両に係るセンサー等により収集した車両状態情報を含む各種データ、センサーの作動状況等について、交通事故または交通違反が発生した場合の事後検証に利用することが可能な方法により、適切に記録・保存すること			
	その他装備	磁気マーカースセンサー			
走行可能環境	天候	晴天、曇天、小雨			
	照度	130 ルクス以上			
保有機能	自転車操作	左折	走行可否	可	
		右折	走行可否	可	
		車線変更	走行可否	可	
		障害物回避	対応可否	可(停止による回避)	
	対象認識		可		
	白線認識		可		
	標識認識		否		
	信号認識		可		
MRM		否(レベル2で運行)			
本実証のために実施する自動運転システム改修の内容		従来の LTE による路側センサー情報の送信に加え、光無線通信装置を新たに装着することにより、走行難易度の高い車道における路側センサー情報を円滑かつ的確にバスが受信する仕組みを追加改修する。			

その他特徴等	前方2席を使用し、車いすでの乗車も可能
--------	---------------------

3.7 自動運転に関する手続き

実施にあたって、下記の報告および許可申請を実施した。

表 3-7-1:自動運転に関する手続き一覧

申請先・調整先	申請内容・調整内容
警察庁	(日本信号)本実験にて信号連携を実施するにあたり、実験申請書を提出 (日本信号)警察庁内で確認のうえ、決裁。
島根県警察本部	(日本信号)警察庁の実験申請決裁後、協定書の協議を実施。信号連携を実施するにあたり、交通信号制御機を交換することの承諾・実験期間中の体制等の認識合わせを実施し、協定書を締結 (沖電気工業)信号柱、感知器柱への共架に伴う調整および強度計算の実施 (松江市)乗合自動車の停留所における旅客の運送の用に供する自動車の停車または駐車に関する合意
松江警察署	(沖電気工業)交通安全施設使用許可申請 (沖電気工業)道路使用許可申請 (沖電気工業)物品設置完了届の提出 (ソフトバンク)スピード計測装置による速度測定のための道路使用許可申請 (ソフトバンク)走行ルートの街路樹剪定のための道路使用許可申請
松江市道路課	(沖電気工業)松江市道における通行規制の調整 (沖電気工業)松江市道における道路占用許可申請 (沖電気工業)機器設置に伴う点検計画書の作成
中国電力	(沖電気工業)共架申請(電柱への共架に伴う調整および強度計算の依頼) (沖電気工業)電源引込線工事に伴う申請(引込工事、電気料金申請) (沖電気工業)共架完了届
近隣住民	(沖電気工業)工事実施に伴う近隣住民への周知 マンション、アパート×5棟(82件) ・戸建×14件 合計96件 ※工事周知文書、作成済 (沖電気工業)近隣施設への挨拶
西日本旅客鉄道	(松江市)自動運転走行に係る松江駅前ロータリーの利用の合意
島根県松江県土整備事務所	(松江市)宍道湖遊覧船乗場バス停での試乗会受付対応に伴うテント設置許可申請
島根県	(松江市)テクノアークしまねの敷地内への駐車の手諾(自動運転バスの一時駐車に

	利用)
その他	(松江市)UFO 菅田店北側駐車場の使用承諾(自動運転バスの旋回にて利用)

4. 実証の手法

- 4.1 ①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保

※当該ユースケースは本実証対象外のため記載なし

- 4.2 ②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保

※当該ユースケースは本実証対象外のため記載なし

- 4.3 ③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用する技術の頑健性検証

※当該ユースケースは本実証対象外のため記載なし

- 4.4 ④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装

- 4.4.1 ④-1:見通しの悪い交差点右折時の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、右折の安全性確保

1) 目的

自車の死角を補うための路側センサーからの情報(対向車および自転車の接近情報)を、安定的かつセキュアな通信により自車と連携し、自車の右折安全性を確保するとともに、対向車の通行の円滑性を確保する。通信はサイバーセキュリティの確保のために、通信事業者の閉域網(LTE)での実験も実施する。

2) 実証内容の詳細

- ・ 地形により死角となる周辺環境情報を自動運転車両に連携し、自律的に車両を制御
- ・ 対向車線の車両および自転車通行による手動介入、対向車通行の円滑性、路側センサーから自動運転バスへの遅延時間を検証

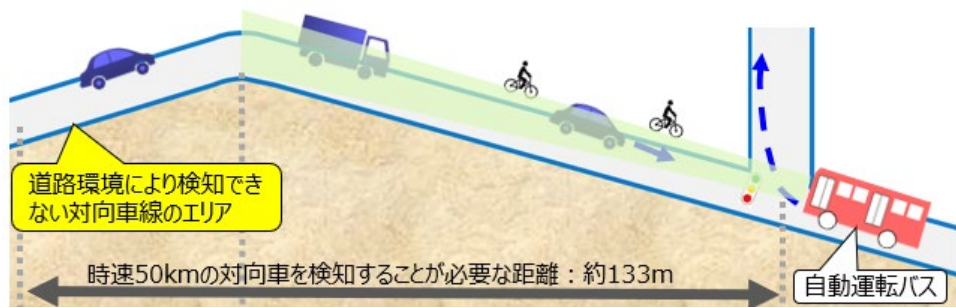


図 4-4-1-1:実証内容の俯瞰図—交差点右折時

3) 利用技術

■ 構成図

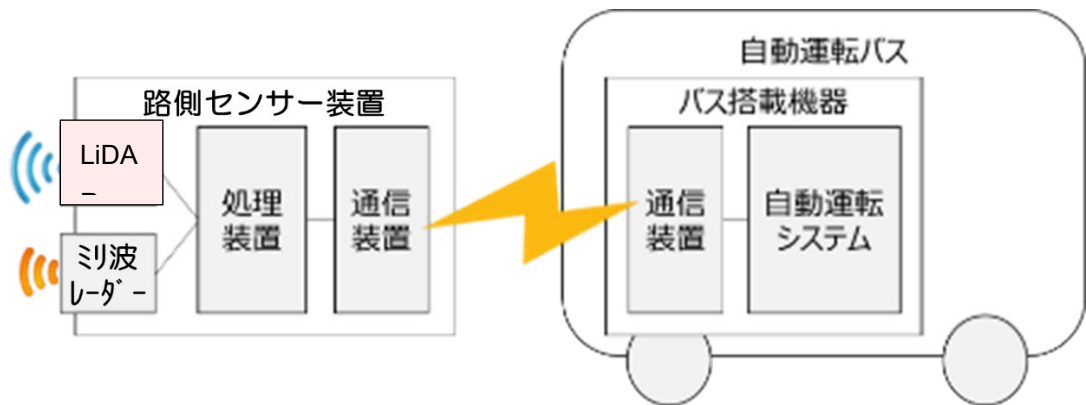


図 4-4-1-2:路側センサー連携イメージ

■ 情報提供・活用フロー

- ① LiDAR およびミリ波レーダーで検知した情報は、処理装置で検知した物体の情報(物体の場所、移動速度、サイズ等)として編集
- ② 編集された情報を 100ms サイクルで送信
- ③ 自動運転バス搭載の通信装置を経て自動運転システムが受信
- ④ バスの自動運転システムが、受信情報および自車のセンサー情報により、右折開始可否の判断を行う

■ 利用センサー、通信方式

路側センサー

- ・ ミリ波レーダー

ミリ波レーダーは短波長電波を発射し、対象物にあたって反射した電波を受信することで距離を測定するものである。天候条件の影響を受けにくく、小型で安価であるため、ADAS 用センサーとして広く使用されている。降雨や降雪が多い地域でも安定的に車両を検知できる。

- ・ LiDAR

LiDAR はレーザーパルスを発射し、その反射光を検出することで距離を計測するものである。多くの自動運転車に搭載されており、自動運行装置の認可を受けた車両でも利用されている。今回の実験では自動運転バスの死角となる対向車線の車両や自転車を検出するために、電柱に設置し、100ms 間隔で自動運転バスと情報通信する。Cepton 社の「Vista®-X90 Plus」は 10Hz で検出でき、車両搭載も可能である。

- ・ 通信事業者提供の閉域サービス

通信事業者からはモバイル通信の閉域サービスがサイバー攻撃対策として提供され、LTE や 5G 通信で利用可能である。インターネット経由でも VPN 等で対策できるが、通信装置のセキュリティーパッチ対応等の維持管理が必要である。ソフトバンク株式会社が提供する「セキュアインターネットアクセス 3」を活用することで、セキュアな通信環境を維持でき、また遅延時間も安定している。

4) 必要性・緊急性・新規性

少子高齢化により、公共交通の重要性が高まっている一方で、労働力不足の社会問題は、島根県松江市の路線バスにおいても顕著であり、運転士不足により、一部路線廃止や減便等が実施されている。この対策の一つとして、比較的用户が多い路線でレベル4自動運転を実装し、捻出された運転士を他路線で活用することにより、路線バス網全体の充実化を狙っている。

一方で、松江市は路線バスが走る道路の多くは狭いが、松江駅とテクノアークしまね間は、比較的道路幅員が広く、歩道がある道路を走行する路線であるので、レベル4自動運転の実装を早期に実現しやすいと考えている。

しかし、菅田町バス停がある道路は、制限速度 50km/h であるところで起伏やカーブにより見通しが悪い。特に、バスが右折する菅田町交差点は見通しが悪く、対向車は上り坂から交差点 70m 手前で勾配率 5.8%の坂を下ってくるため、対向車側も右折中の車両発見が交差点直前になるため、当該路線へのレベル4自動運転の実装に向けては、当該場所での安全性確保が最重要である。

さらに、松江市は日本海側の気候で降雨や降雪が多いこと、特に雪の水分量が高く着雪しやすいこと等から、気象条件の影響を受けにくいセンサーで安定的に動作することが必要である。

5) 検証条件

- 自動運転バス走行環境条件

- ・ 荒天でなく、また、路面凍結していないこと。(当該路線の路線バスがタイヤチェーンを装着することなく運行できていること。)
- ・ 変更先の車線に自動運転バスが入るスペースがあること。(渋滞等により他車両が詰まっていないこと。)

- 運行時間帯・頻度

- ・ 運行時間帯: 9~17 時
- ・ 対向試験、データ検証のための運行: 5~32 回/日

- ・ 関係者試乗会・一般試乗会:頻度:4 便/日

【環境条件】

表 4-4-1-3:環境条件一覧

気象条件	積雪	あり
	降雪	あり
	降雨	あり
	その他	風は一般に山陽側よりも強く、冬、出雲平野に吹く季節風が強いのが特徴
道路環境	多車線	あり(2車線) ※「くにびき道路(幹線道路)」を走行
	駐車車両	あり(一部エリア)
	高速走行	あり ※「くにびき道路(幹線道路)」を走行 (実勢速度として 60km 超えるケースも見受けられる)
電波の状況	キャリア通信	良好 Softbank < https://www.softbank.jp/mobile/network/ > Docomo < https://www.docomo.ne.jp/area/ > KDDI < https://www.au.com/mobile/area/ >
	RTK-GNSS	概ね良好 事前調査では走行中に精度が悪化する場所が2箇所あり (計3回 RTK-GNSS 事前調査を実施)

■ 路側センサー設置場所

- ・ 検知エリアの車両および自転車を見通せる場所であること
- ・ 携帯通信事業者の提供エリアであること

菅田町バス停付近における機器設置場所は図 4-4-1-4 の通りである。

<菅田町バス停:〒690-0824 島根県松江市菅田町>

なお既存柱に対する路側センサーの設置イメージを図 4-4-1-5 で示す。

設置場所:1(城北幹 42 号)

設置する理由:交差点の右折支援のため

設置方法:既設柱(電柱、照明柱、信号柱等)への設置

設置する機器と数量:

路側センサー_ミリ波レーダー ×1

路側センサー_LiDAR ×1
路側センサー_NW カメラ ×1
路側センサー_データ処理機器 ×1
光無線通信装置(固定)×1
PoE スイッチ ×21
LTE ドングル ×2

設置場所:2(城北幹 45 号)

設置する理由:交差点の右折支援のため

設置方法:既設柱(電柱、照明柱、信号柱等)への設置

設置する機器と数量:

路側センサー_ミリ波レーダー ×1
路側センサー_LiDAR ×1
路側センサー_NW カメラ ×1
路側センサー_データ処理機器 ×1
光無線通信装置(固定)×2
光無線通信装置_管理用 PC ×1
PoE スイッチ ×2
LTE ドングル ×2

設置場所:3(北環状線 42 号)

設置する理由:交差点の右折支援および菅田町バス停発車支援のため

設置方法:既設柱(電柱、照明柱、信号柱等)への設置

設置する機器と数量:

光無線通信装置(固定)×2
光無線通信装置(トラッキング)×1
ジンバル制御装置 ×1
光無線通信装置_管理用 PC ×1
PoE スイッチ ×2
LTE ドングル ×1

設置場所:4(交通感知器(交通信号機)専用柱)

設置する理由:交差点の右折支援および菅田町バス停発車支援のため

設置方法:既設柱(電柱、照明柱、信号柱等)への設置

設置する機器と数量:

光無線通信装置(固定)×2
光無線装置_管理用 PC ×1
PoE スイッチ ×1

LTE ドングル ×1

設置場所:5(城北幹 49 号)

設置する理由:交差点の右折支援および菅田町バス停発車支援のため

設置方法:既設柱(電柱、照明柱、信号柱等)への設置

設置する機器と数量:

光無線通信装置(固定)×2

光無線通信装置(トラッキング)×1

ジンバル制御装置 ×1

光無線装置_管理用 PC ×1

PoE スイッチ ×12

LTE ドングル ×1

設置場所:6(北環状線 45 号右 1 号)

設置する理由:菅田町バス停発車支援のため

設置方法:既設柱(電柱、照明柱、信号柱等)への設置

設置する機器と数量:

路側センサー_ミリ波レーダー ×1

路側センサー_LiDAR ×1

路側センサー_NW カメラ ×1

路側センサー_データ処理機器 ×1

光無線通信装置(固定)×1

PoE スイッチ ×12

LTE ドングル ×2



図 4-4-1-4:機器設置場所の俯瞰図
(出典:国土地理院地図)

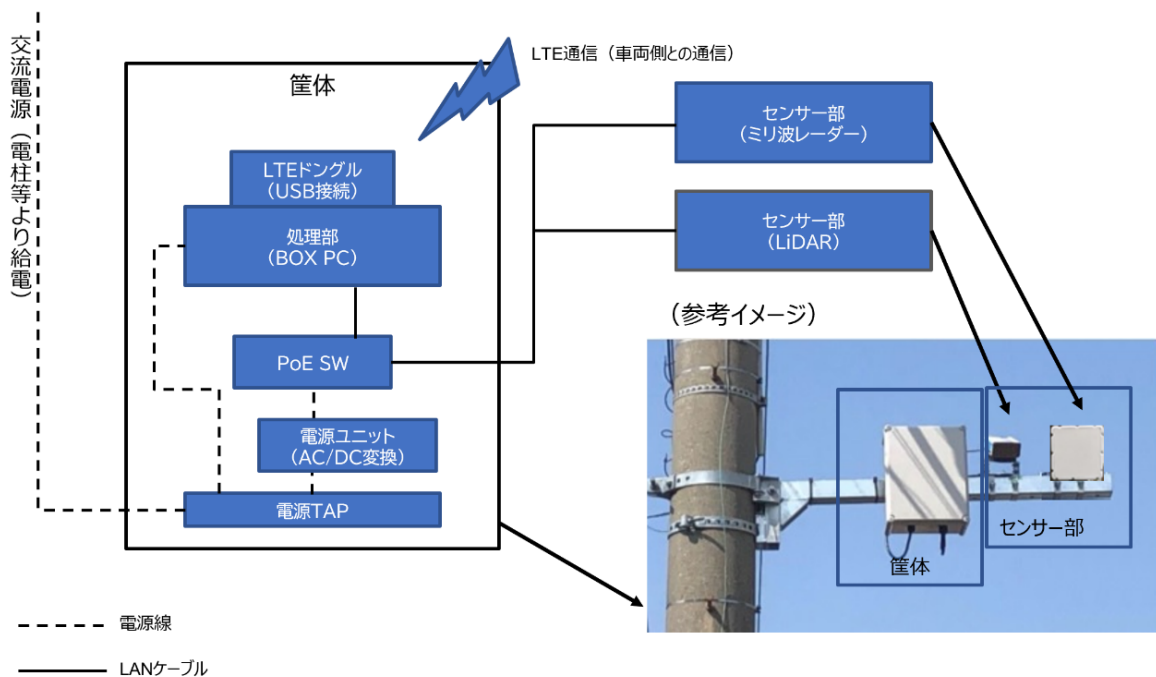


図 4-4-1-5:路側センサー設置イメージ図

■ 路側センサー検知エリア

以下の図 4-4-1-6 に路側センサーの設置位置を示す。交差点中心から約 200m 地点まで山なり(勾配-4.1%、勾配+4.3%)かつ緩やかなカーブの道路で車両を検知する必要があるため、2箇所の電柱(設置高 5.4m(設置場所:1)、5.9m(設置場所:2))に路側センサー(LiDAR とレーダー)を設置した。設置場所:2 に設置された路側センサーは、交差点中心から約 35m～約

105m 区間(基準線から約 10m~約 80m 区間)の車道および歩道を検知区間とし、右折交差点に接近する自動車や自転車、および歩行者を検知することを想定して開発した。設置場所:1に設置された路側センサーは、交差点中心から約 105m~約 175m 区間(基準線から約 80m~145m 区間)の車道および歩道を検知区間とし、右折交差点に接近する自動車や自転車、および歩行者を検知することを想定して開発した。なお、各路側センサーから約 15m の範囲は死角となるため、検知区間対象外である。また、設置場所:1 の付近は設置場所:2 の路側センサーから見て、頂上から下り坂となる地形となっているため、センサーの視認性が低下する区間が生じている。



図 4-4-1-6:路側センサー設置位置—右折する交差点の先の坂修正
(出典:国土地理院地図)

以下の図 4-4-1-7 に路側センサーの設置位置を示す。交差点入口から約 20m 地点の設置場所:6 に路側センサー(LiDAR とレーダー)を設置した。設置場所:6 に設置されたセンサーは、交差点入口から約 0m~約 60m 区間(基準線から約 0m~約 60m 区間)の車道を検知区間とし、交差点入口に接近する自動車を検知することを想定して開発した。なお、路側センサー(LiDAR)は、水平画角 360°タイプの LiDAR 装置を利用し、交差点入口から 60m までが検知できるように開発した。レーダーは画角の制約上、交差点入口から 12m までが検知できるように開発した。

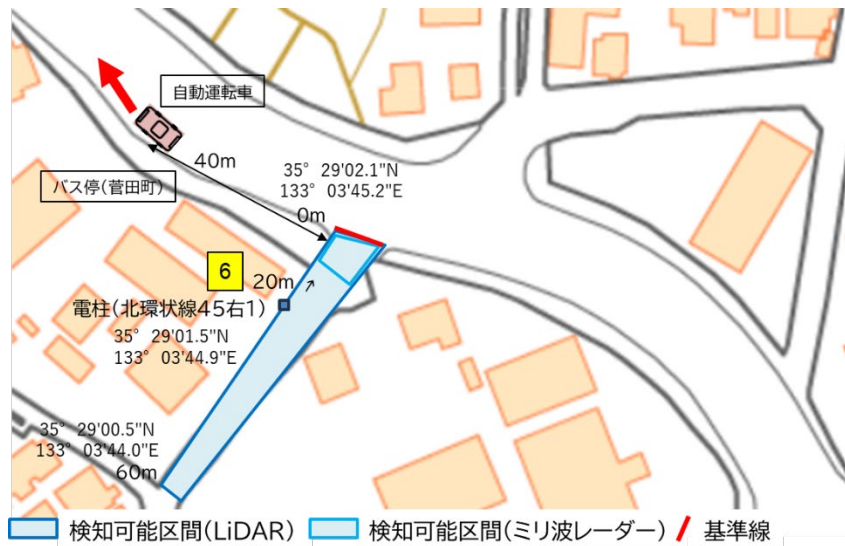


図 4-4-1-7:路側センサーの設置位置—バス停車前の交差点
(出典:国土地理院地図)

6) 開発・評価項目

表 4-4-1-8:開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	開発:路側センサー情報をバスへ送信する仕組みを改修 評価:路車連携の有無による手動介入発生状況の比較
(2)	開発:路側センサー情報をバスへ送信する仕組みを改修 評価:自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度を計測し、比較
(3)	開発:自動運転バスと路側センサー間の通信のため、インターネット通信に加え、サイバーセキュリティの確保を目的として通信事業者の閉域網サービスを準備 評価:路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間を計測し、比較
(4)	開発:路側センサーを既設柱へ設置、検知性能検証のためアプリケーション開発 評価:天候条件の違いによる路側センサー検知性能を比較

(1) 対向車線の車両および自転車通行による手動介入数

【目的】

- ・ 自動運転バスの走行における路側センサーを活用した周辺環境情報連携の有効性を評価する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 自動運転バスのシステムログとして、手動介入発生と自動運転復帰した場所と時刻を記録する。
- ・ 自動運転バスに乗車した記録員が、車内モニターで手動介入の発生状況を監視し、手動介入

発生時点でその発生要因を記録する。

(2) 自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度

【目的】

- ・ 交差点右折時の対向車通行の円滑性に対する影響を確認する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 自動運転バスが右折中に、スピード計測装置にて対向車の速度を計測し、その情報を記録する。走行終了後に集計する。

(3) 路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間

【目的】

- ・ 路側センサーによる周辺環境情報を活用し自動運転バスが走行するための通信品質を評価する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 路側センサーからのデータ送信時間と自動運転バスのデータ受信時間を集計する。
- ・ 路側センサーと自動運転バス間の時刻同期誤差を評価する。
- ・ 上記の時刻同期誤差で補正をすることで、路側センサーと自動運転バスの時刻ずれを考慮した通信遅延時間を算出する。

(4) 天候条件の路側センサー検知性能

【目的】

- ・ 天候条件における LiDAR/ミリ波レーダーの検知性能を評価する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 天候条件による車両および自転車の検知距離を計測する。
- ・ 検知区間を撮影したカメラ録画映像を用いて検出した車両の検知率を算出する。

7) KPI/KGI

表 4-4-1-9:定性評価/定量評価

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(-)	特になし
定量評価	(1)	■対向車線の車両および自転車通行による手動介入数 当該原因手動介入数が 0 回
	(2)	■自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度 交差点通過時 30km/h*以上(対向車線が交差点先で詰まっていない場合)

		(*:生活道路の推奨制限速度を参考)
(3)	<p>■路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間</p> <p>路側センサーが、交差点中心から 170m 以内の接近する対向車と 70m 以内の接近する自転車を検知した情報を、400ms 以内に自動運転バスが受信できること</p>	
(4)	<p>■天候条件の路側センサー検知性能</p> <p>天候条件の違いによる設置センサー(LiDAR とミリ波レーダー)が検知する車両と自転車の検知距離[目標検知距離: 対向車 170m 以内、自転車 70m 以内)</p>	

- (1) 対向車線の車両および自転車通行による手動介入数[目標:当該原因手動介入数 0 回]【定量評価】

対向する車線および歩道を走行する車両および自転車通行を正確に検知し、自動運転車が安全に右折できる必要があるが、当該場所でのセンシングが初めてであるため。

- (2) 自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度[目標:交差点通過時 30km/h 以上(対向車線が交差点先で詰まっていない場合)]【定量評価】

自動運転バスの右折によって対向する車両や自転車の急制動を招き、それが事故とならないことや、自動運転バスの社会受容性の面で、生活道路の推奨制限速度(30km/h)と同程度までの減速であれば、許容されると推測される。

- (3) 路側センサーが、交差点中心から 170m 以内の接近する対向車と、70m 以内の接近する自転車を検知した情報を、400ms 以内に自動運転バスが受信できること【定量評価】

※対向車は 170m 以内、自転車は 70m 以内の設定値は、以下の数式により算出。

- 自動運転バスは、右折開始後約 19m を約 6.7 秒で交差点を通過
- 時速 60km で走行している対向車
 $112\text{m}(\text{右折時間 } 6.7 \text{ 秒の走行距離}) + 8\text{m}(\text{通信遅延 } 0.5 \text{ 秒の走行距離}) + 50\text{m}(\text{安全距離}) = 170\text{m}$
- 時速 20km で走行している自転車
 $37\text{m}(\text{右折時間 } 6.7 \text{ 秒の走行距離}) + 3\text{m}(\text{通信遅延 } 0.5 \text{ 秒の走行距離}) + 10\text{m}(\text{交差点中心付近から歩道までの距離}) + 10\text{m}(\text{安全距離}) = 70\text{m}。$

- (4) 自動運転バスが交差点を通過終了するまで、100ms 間隔の通信切断がないこと【定量評価】

ITS 無線と同様の通信間隔。

4.4.2 ④-2:見通しの悪いバス停からの発車および短距離での車線変更の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、バス停発車の安全性確保

1) 目的

バス停の停止位置から第 2 車線(右折車線)への車線変更可能な距離が 38m と短距離である。既存の路線バスと同様に、菅田町バス停発車時は、バス後方の信号現示が赤になり後方から車両が接近していない状態を確認の上で、バスパイから発車し第 2 車線に車線変更することを実現するために、信号連携および路側に設置したセンサーからの周辺情報を通信により自動運転バスと連携し、安全性を確保する。通信はサイバーセキュリティの確保のために、通信事業者の閉域網(LTE)での実験も実施する。

2) 実証内容の詳細

- ・ バス停後方の信号および周辺環境情報を自動運転車両に連携し、自律的に車両を制御する。
- ・ 周辺環境に起因する手動介入、路側センサーから自動運転バスへの遅延時間を検証する。

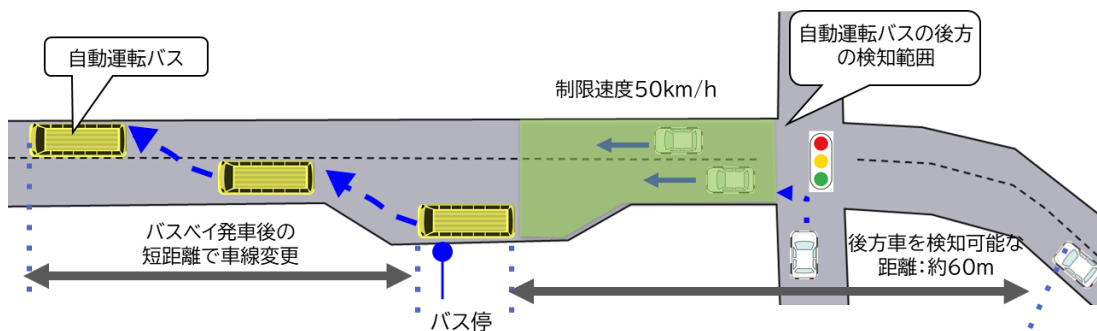


図 4-4-2-1:実証内容の俯瞰図—バス停発車から第 2 車線への車線変更

3) 利用技術

■ 構成図

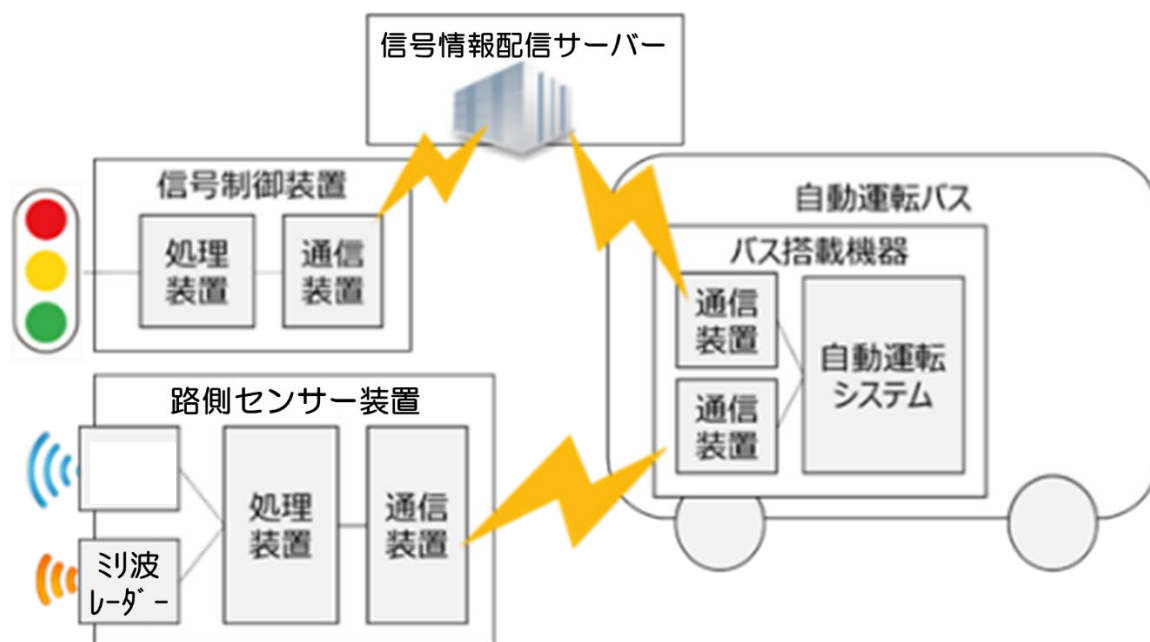


図 4-4-2-2:信号、および路側センサー連携イメージ

■ 情報提供・活用フロー

- ① 信号情報は、常に 1s サイクルで信号制御装置から信号情報配信サーバーに送信する。
- ② 自動運転バスから信号情報を要求後、1s サイクルで信号情報配信サーバーから自動運転バスに送信する。
- ③ 自動運転バス搭載の自動運転システムが通信装置を介して受信する。
- ④ 路側センサー装置の LiDAR およびミリ波レーダーで検知した情報は、処理装置で検知した物体の情報(物体の場所、移動速度、サイズ等)として編集する。
- ⑤ 編集された情報を 100ms サイクルで送信する。
- ⑥ 自動運転バス搭載の通信装置を経て自動運転システムが受信する。
- ⑦ 自動運転システムが、現示が「赤」の信号情報を受信する。
- ⑧ ⑦の状態中に、路側センサー情報で周辺車両がなく、自車のセンサー情報で周辺車両がない状態になると、バスの自動運転システムによりバス停から発車する。

■ 利用センサー、通信方式

4.4.1 と同じ。

4) 必要性・緊急性・新規性

少子高齢化により、公共交通の重要性が高まっている一方で、労働力不足の社会問題は、島根県松江市の路線バスにおいても顕著であり、運転士不足により、一部路線廃止や減便等が実施されている。この対策の一つとして、比較的用户が多い路線でレベル4自動運転を実装し、捻出さ

れた運転士を他路線で活用することにより、路線バス網全体の充実化を狙っている。

一方、松江市は路線バスが走る道路の多くは狭いが、松江駅とテクノパークしまね間は、比較的
道路幅員が広く、歩道がある道路を走行する路線であるので、レベル4自動運転の実装を早期に
実現しやすいと考えている。

しかし、菅田町バス停がある道路は、起伏やカーブにより見通しが悪いにも関わらず制限速度
50km/h となっている箇所がある一方で、制限速度前後で走行する周辺車両があるため、当該
路線のバス運転士は後方の信号が赤に変わってから発車している等、バス運転士が一番注意を
払っているところである。当該路線へのレベル4自動運転の実装に向けては、当該場所での安全
性確保が最重要である。

さらに、自動運転バス停発車時の後方信号現示確認では、朝日・西日および着雪の影響をなく
すことができる通信システムを使った信号連携により、安定的に確認できることが必要である。

5) 検証条件

4.4.1と同じ。

6) 開発・評価項目

表 4-4-2-3:開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	開発:路側センサー情報をバスへ送信する仕組みを改修 評価:路車連携の有無による手動介入発生状況の比較
(2)	開発:自動運転バスと路側センサー間の通信のため、インターネット通信に加え、サイ バーセキュリティの確保を目的として通信事業者の閉域網サービスを準備 評価:路側センサーから自動運転バスへの情報伝送遅延時間を計測し、比較
(3)	開発:路側センサーを既設柱へ設置、検知性能検証のためアプリケーション開発 評価:バス停後方の交差点の交差する道路からの車両を正しく検知できるか確認

(1) バス停発車から第2車線への車線変更区間で、周辺車両による手動介入数

【目的】

- ・ 自動運転バスの走行における路側センサーを活用した周辺環境情報連携の有効性を評価す
る。

【計測項目・評価手法】

- ・ 自動運転バスの自動運転システムログとして、手動介入が発生した時刻を記録する。
- ・ 自動運転バスに乗車した記録員が、車内モニターで手動介入の発生状況を監視し、手動介入
発生時点でその発生要因を記録する。

(2) 路側センサーから自動運転バスへの情報伝送の遅延時間

【目的】

- ・ 路側センサーによる周辺環境情報を活用し自動運転バスが走行するための通信品質を評価する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 路側センサーからのデータ送信時間と自動運転バスのデータ受信時間を集計する。
- ・
- ・ 路側センサーと自動運転バス間の時刻同期誤差を評価する。
- ・ 上記の時刻同期誤差で補正をすることで、路側センサーと自動運転バスの時刻ずれを考慮した通信遅延時間を算出する。

(3) バス停後方の交差点の交差する道路からの車両検知

【目的】

- ・ 自動運転バスの走行における路側センサーを活用した周辺環境情報連携の有効性を評価する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 路側センサーと同じ場所に設置したカメラの録画映像に映る、交差点に進入する車両有無を正として、路側センサーが交差点に進入する物標を検知できているかを手動で評価する。
- ・ 検知区間を撮影したカメラ録画映像を用いて検出した車両の検知率を算出する。

7) KPI/KGI

表 4-4-2-4: 定性評価/定量評価

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	(1)	<p>■自動運転バスの手動介入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バス停発車から第 2 車線への車線変更区間で、周辺車両による手動介入数[目標:当該原因手動介入数が 0 回]
	(2)	<p>■路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間</p> <ul style="list-style-type: none"> ・路側センサーが、交差する道路からの進入車両検知情報を、400ms 以内に自動運転バスが受信できること
定性評価	(3)	<p>■バス停後方の交差点の交差する道路からの左折車検知</p> <ul style="list-style-type: none"> ・交差する道路からの左折車を検知し、自動運転バスに通信で連携できること[目標:交差する道路から交差点に進入する車両を路側センサーが検知すること(情報通信の遅延時間は定量評価)]

- (1) バス停発車から第 2 車線への車線変更区間で、周辺車両による手動介入数[目標:当該原因手動介入数 0 回]【定量評価】

交差点手前の車線変更可能区間で、後方および接近する車両を正確に検知し、自動運転車が安全にバス停を発車し、第 2 車線にまで変更できる必要があるが、当該場所でのセンシングが初めてであるため。

- (2) 路側センサーから自動運転バスへの情報伝送の遅延時間[目標:400ms 以下]【定量評価】

バス停発車時は、バス停停止位置から 33m 後方の交差点信号現示が赤である上で、路側センサーではバス停後方交差点の交差道路から進入し接近してくる車両を検知する。

40km/h で走行する車両が左折するために 20km/h に減速しながら交差点に進入。進入後、約 11m を 1.44 秒で自動運転バスの検知範囲に入る。

安全のために、1 秒間の余裕をもつとすると

1.44 秒 - 1 秒 = 約 400ms

- (3) バス停後方の交差点の交差する道路からの左折車検知[目標:交差する道路から交差点に進入する車両を路側センサーが検知すること]【定性評価】

交差する道路からの左折車を路側センサーで検知し、自動運転バスに通信で連携できること。

4.5 ⑤経済性確保:1 人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証

※当該ユースケースは本実証対象外のため記載なし

4.6 ⑦その他:路車間通信の安定性確保

- 4.6.1 V2I の光無線通信による通信回線の冗長構成を構築し、通信事業者網が使用不可の場合に切り替えることで、通信事業者の障害や電波障害に耐えられるロバストな ODD 確保が可能であることを実証する。

1) 目的

レベル 4 自動運転の実装にあたって、LTE や 5G による無線通信がキャリア障害により使用不能となるケースや、災害や事故、犯罪による電波障害や輻輳が発生するケースを想定し、携帯通信網を主回線、トラッキング光無線通信を副回線とし、携帯通信網が使用不可状態でも回線切り替えて通信できることを実証する。

2) 実証内容の詳細

菅田町バス停近傍に設置された複数の路側センサーから自動運転車両への情報連携を、携帯通信網と「画像認識 AI を活用したトラッキング光無線通信による V2I 通信」の冗長構成とすることによつ

て、通信事業者回線の障害や電波障害等の状況においても自動運転車両の安全かつ円滑な走行ができるよう支援する。この際、携帯通信網を主回線、トラッキング光無線通信を副回線とし、携帯通信網が使用不可状態でも回線切り替えて通信できることを実証する。

本ケースでは、前述のユースケース④の実証に併せて、路側センサーと自動運転車両の自動運転システム間で安定的な通信が継続することを検証する。

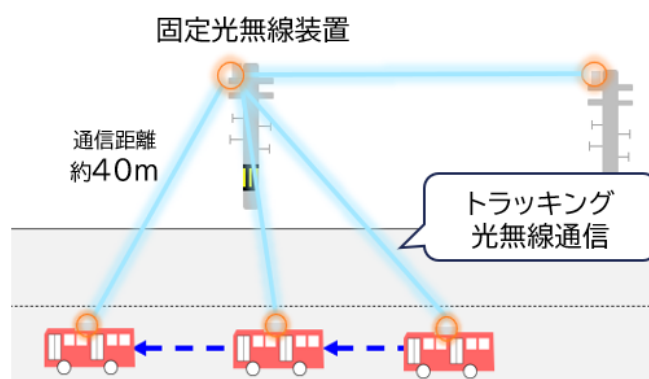


図 4-6-1-1:実証内容の詳細

3) 利用技術

■ 光無線通信

光無線通信機2台がそれぞれ正面を向きあう形で正対することで通信を確立することができる。トラッキング光無線通信では、対となるトラッキング光無線通信機を画像認識で検出し、光無線通信機同士が正対するように光軸を調整する(光無線通信機を動かす)ことで、通信機確立を行う。

光無線通信は電波法の規制対象外で運用の自由度が高く、一般的には電波通信と比較し、大容量・低遅延な通信が可能なトラッキング光無線通信を活用した V2I の冗長回線の構築という新しいアプローチで解決する。

光無線通信は電波干渉を受けないため電波障害に強く、さらに光無線通信装置間で通信を行うためキャリア障害にも強い。長大な通信ケーブルの敷設が不要で運用コストが安い点も大きなメリットである。また、当社が特許を取得しているトラッキング技術を活用した光無線通信であれば、走行中のバスと路側間で安定した通信を実現することが可能である。

4) 必要性・緊急性・新規性

レベル 4 自動運転の実装にあたって、LTE や 5G による無線通信がキャリア障害により使用不能となるケースや、災害や事故、犯罪による電波障害や輻輳が発生するケースを想定した通信の冗長性が課題となる。この課題に対して、当社が研究開発を進めている、トラッキング光無線通信を活用した V2I の冗長回線の構築という新しいアプローチで解決する。光無線通信は電波干渉を受けないため電波障害に強く、さらに光無線通信装置間で通信を行うためキャリア障害にも強い。長大な通信

ケーブルの敷設が不要で運用コストが安い点も大きなメリットである。また、当社が特許を取得しているトラッキング技術を活用した光無線通信であれば、走行中のバスと路側間で安定した通信を実現することが可能である。

本実証により、レベル 4 自動運転の実装における冗長回線として光無線通信が活用可能であることが証明されれば、松江市のような地方自治体におけるレベル 4 自動運転の実装の ODD (Operational Design Domain) ロバストネス向上とコスト削減に大きく貢献することが期待される。これにより、レベル 4 自動運転の社会実装に大きく寄与するものと考えられる。

5) 検証条件

- 自動運転バス走行環境条件
 - ・ 荒天でなく、また、路面凍結していないこと(当該路線の路線バスがタイヤチェーンを装着することなく運行できていること)。
- 光無線通信装置
 - ・ 地上装置間は見通せること、また、間隔は 100m 以内であること。
 - ・ 自動運転バスとの通信を行う装置は、バスとの距離が 40m 以内であること。
 - ・ 光無線通信装置と通信する自動運転バスは時速 30km 以下であること。

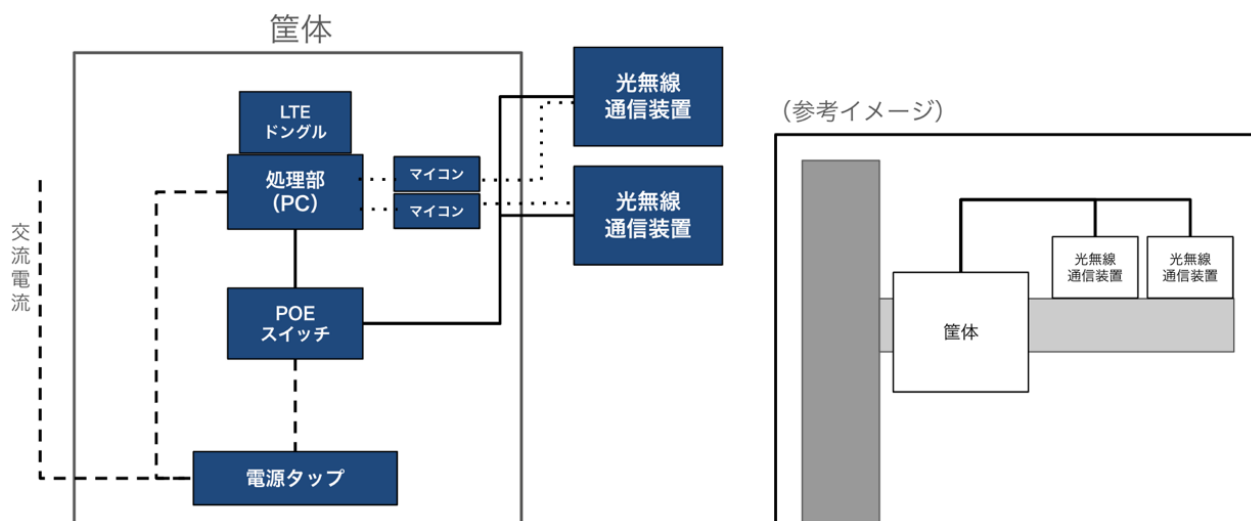


図 4-6-1-2:光無線通信装置(固定) 電柱設置イメージ図

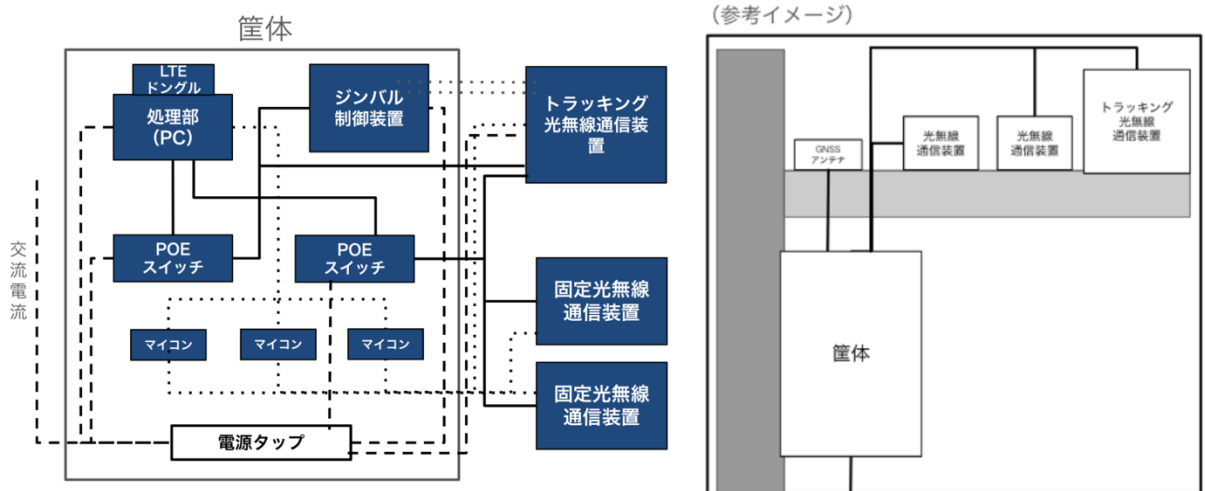


図 4-6-1-3:光無線通信装置(トラッキング) 電柱設置イメージ図

6) 開発・評価項目

表 4-6-1-4:開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	通信確立状態におけるパケットロス
(2)	遅延時間
(3)	通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI)
(4)	自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること (走行速度)

(1) 通信確立状態におけるパケットロス

【目的】

- 路側センサーの情報を取得するために十分なパケットロス率を検証する。

【計測項目・評価手法】

- 路側センサーの PC からバス自動運転システムまでの PING のパケットロス率を計測する。

(2) 遅延時間

【目的】

- 自動運転制御技術の要件を満たすことを検証する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 路側センサーの PC からバス自動運転システムまでの PING の RTT(ラウンドトリップタイム)を計測する。

(3) 通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI)

【目的】

- ・ 天候や時間帯に関わらず通信が確立できることを検証する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 固定光無線通信装置の通信状況を確認する。
- ・ 各通信装置の受光レベル(電圧値)を測定、安定した通信が可能な閾値(2V)以上であることを確認する。

(4) 自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること(走行速度)

【目的】

- ・ 自動運転バスの走行速度におけるトラッキング光無線の通信確立状況を検証する。

【計測項目・評価手法】

- ・ 自動運転車両の走行ログとトラッキング光無線通信区間の通信確立状態を監視する。
- ・ 光無線通信装置に搭載のカメラにより、対向の光無線通信装置に搭載しているマーカを画像認識により検出、トラッキングできているかを確認する。

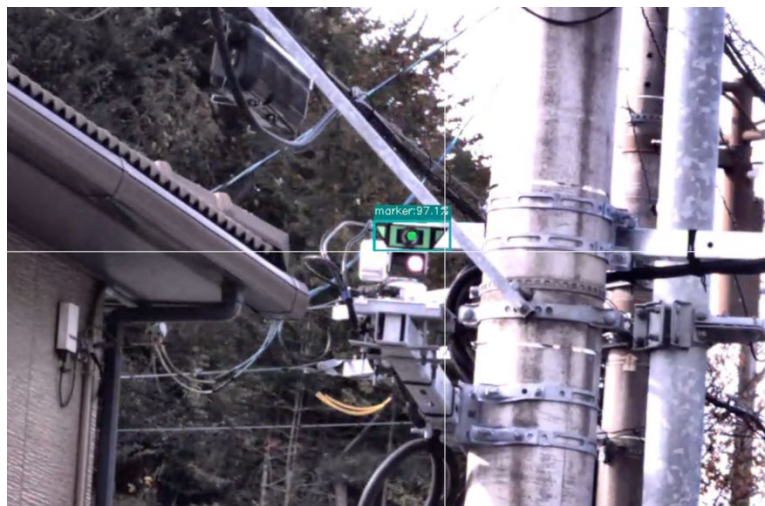


図 4-6-1-5:光無線通信装置のマーカを画像認識により検出/トラッキングしている様子

7) KPI/KGI

表 4-6-1-6:定性評価/定量評価

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	(1)	■通信確立状態におけるパケットロス [目標:10%以下]
	(2)	■遅延時間 [目標:10ms 以下]
	(3)	■通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI) [目標:通信可能状態(2V 以上)を維持]
定性評価	(4)	■自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること

(1) 通信確立状態におけるパケットロス 【定量評価】

パケットロスが10%以下であれば1s以内には路側センサー情報を十分に取得することが可能。また、V2V や V2I で利用される DSRC(IEEE802.11p)ではパケットロス率を10%に設定し設計される事例が多くあるため、妥当であると考えられる。

(2) 遅延時間 【定量評価】

LTE 回線と同等もしくはそれ以下の遅延時間でデータ送信を行うことができれば、自動運転制御技術の要件を十分に満たすことが可能であると考ええる。

(3) 通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI)

[目標:通信可能状態(2V 以上)を維持] 【定量評価】

光無線通信装置の通信は太陽光等の外光や雨/雪等の影響により不安定になることがあるため、天候や時間帯に関わらず安定した通信が可能な閾値として設定した。

(4) 自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること 【定性評価】

バス停から右折までの自動運転バスが走行する速度に対応できることを評価する。

4.7 レベル4の社会実装に向けた検討

4.7.1 運用検証

1) システムの操作性やユーザインターフェースに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)

■ 遠隔監視システムの稼働率

実証期間中の全体および下記の稼働率を集計する。

- ・ 自動運転バス搭載機器の稼働率
- ・ 遠隔監視室側機器の稼働率
- ・ 自動運転バスと遠隔監視室間のネットワーク稼働率

■ 各機器および通信の故障数

実証期間中の機器の故障数を集計する。

- ・ 自動運転バス搭載機器
- ・ 遠隔監視室側機器
- ・ 自動運転バスと遠隔監視室間の通信システム

■ システムの応答性能

遠隔監視システムの表示完了までの時間を集計する。

- ・ 画面変更や表示更新等の操作した際、表示完了までの時間

■ 遠隔監視システムの操作性

下記内容の達成度を確認する。

○ 遠隔監視員の観点

- ・ 自動運転を停止した理由が判別できるか(予定通り/アクシデント)
- ・ 監視カメラ映像は、アクシデントの状況を判別できるのか
 - － 消防にけが人等の状況を説明できるか
 - － 警察にアクシデントの状況を説明できるか
- ・ 遠隔監視システムの作動状態を判別できるか
- ・ バスの状態を判別できるか
- ・ 乗客の安全状態を判別できるか(車内状態、扉状態)

2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直し等、地域交通の持続性への寄与度

GSMの自動運転バスであれば、比較的に自動運転の実装が容易であるが、低速であり地方都市では手動運転車両通行の支障になるため、速度差が少ない路線バスで運行されている車両での実装が望ましい。

速度が速い自動運転バスでは、自動運転バスのセンシング死角エリアを、路側センサーや信号との連携で補うことにより、実装を早めることが期待できる。運転士が不要となる自動運転バスの実装により、自動運転バス実装が難しい路線(狭路や交通弱者が多い等)の維持のために、運転士を

配置していくことで、地域交通の持続性を図ることができると考える。

3) データの処理・管理に係る運用等のセキュリティ対策

■ 通信事業者提供の閉域網通信サービスの活用

通信事業者からはモバイル通信の閉域サービスがサイバー攻撃対策として提供され、LTE や 5G 通信で利用可能である。路側センサーを必要とする場所では、自動運転車のセンサーの死角を補うために使用される。インターネット経由でも VPN 等で対策できるが、通信装置のセキュリティーパッチ対応等の維持管理する体制を作ることが必要である。

通信事業者提供の閉域サービスを活用することで、運行事業者および路側センサー管理者が、通信およびセキュリティの技術者を確保しなくても、セキュアな通信環境を維持できる。

4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守

■ 路側センサー情報連携の下記個別項目および全体の稼働率

・ 路側センサーと自動運転バス間の稼働率

通信開始から終了の時間(計画的停止以外)に対して、通信できた時間

・ 信号連携の稼働率:

通信開始から終了の時間(計画的停止以外)に対して、通信できた時間

■ 路車連携の各機器故障率

・ 路側センサーを構成する各機器の故障発生数

・ 路側センサー情報を連携するバス搭載の各機器の故障発生数

■ 信号連携の各機器の故障率

・ 信号制御装置側の信号情報送信機器の故障発生数

・ 信号制御装置から信号情報を受信するサーバー側機器の故障発生数

・ サーバー側機器から自動運転バスに信号情報送信を行うサーバー側機器の故障発生数

・ 自動運転バス側の信号情報を受信する機器の故障発生数

4.7.2 効果検証

1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化

路車および信号と連携しない期間と、連携する期間を設けて下記情報を取得し、比較する。

■ 菅田町交差点右折時の自動運転バスの手動介入

・ 自動運転バスの自動運転システムログとして、手動介入発生と自動運転復帰した場所と時刻が記録される。

・ 自動運転バスに乗車した記録員が、車内モニターで手動介入の発生状況を監視し、手動介入発生時点でその発生要因を記録する。

・ 走行終了後に、記録された手動介入要因とログを突き合わせ、周辺情報による手動介入に絞り込み、集計する。

- 菅田町バス停発車から第2車線への車線変更まで自動運転バスの手動介入
 - ・ 計測方法は、「菅田町交差点右折時の自動運転バスの手動介入」と同様である。
- 自動運転バスの走行停止時間
 - ・ 自動運転バスの自動運転システムログをもとに、菅田町バス停に停止後から、テクノアークしまね到着までを走行時間とする。(当該区間の右折後道路では、脇道および他交通が少ないので走行時間は安定している。)
 - ・ 走行終了後に、走行時間を集計する。

2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度

路車および信号と連携しない期間と、連携する期間を設けて下記情報を取得し、比較する。

- 交差点右折時の対向車通行の円滑性
 - ・ 自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度
自動運転バスが右折中に、スピード計測システムにより対向車の速度を計測し、その情報を記録。走行終了後に、集計する。
- 手動介入が発生した際の自動運転バス周辺映像による安全確認
 - ・ 自動運転の車内モニターに表示した自動運転状態、および自動運転バス車外映像を記録媒体に保存する。(映像には日時情報が入るようにする)
 - ・ 手動介入が発生した日時をもとに、当該時間の記録媒体保存映像で、周辺の交通状況を確認する。

3) 通信システム等による支援によるルート設定の柔軟化・時間短縮・交通利便性の向上効果

本実証に特化した検証の実施事項なし。

4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策

- 菅田町交差点右折支援用の路側センサーおよび通信システムのコスト負担の在り方
 - ・ 当該交差点の右折では、どのような車両でも見通しが悪い。乗用車等の大きい加速度で交差点を右折できる車両は通過時間が短いためリスクは小さいが、今回の自動運転バス以外にも、トラック等バスと同程度の加速能力の車両右折時は、同様の事故リスクがあると想定される。
 - ・ 上記から当該路側センサーは、サービスカーやオーナーカーともに活用することで、当該交差点右折に関わる安全性確保に寄与するため、道路管理者あるいは信号補助設備としての扱いが妥当と考える。
 - ・ 当該センサーを共用する場合は、広く使える通信システムとすることによって、より利益を享受できる人が増えると期待できる。
 - ・ しかし、当面はバス運行事業者が使用するのみであり、運行事業者判断で通信障害等による運行支障リスクを軽減することを図るのであれば、運行事業者が当該コストを負担すること

が妥当と考える。

- ・ 地方のバス運行事業者の多くは、赤字であり自治体の補助を必要としている状況と、自治体として交通システム維持を図っていくこと等を鑑みると、自治体が負担するということも考えられる。
- バス停発車および車線変更支援用の路側センサーと信号連携システムおよび通信システムのコスト負担の在り方
当該センサーおよびシステムでメリットを享受できるのは、バス運行事業者であるため、受益者負担の考え方が妥当と考える。
- バス運行事業者の負担の在り方
地方のバス運行事業者の多くは、赤字であり自治体の補助を必要としている状況と、自治体として交通システム維持を図っていくこと等を鑑みると、上記コストは自治体が負担するということも考えられる。

5. 通信システムに関する構築

5.1 通信システムの全体像

本実証の通信システムは、以下で構成される。

A:路側センサー

B:信号情報連携

また、各々の路側設置機器と自動運転バス間の伝送路として以下の電気通信回線を構成する。

ア.通信キャリアによるインターネット網を経由するLTE通信<AおよびBにおいて>

イ.通信キャリアによる閉域網を経由するLTE通信<Aにおいて>

ウ.ソフトバンク社構築による光無線通信<Aにおいて>

このネットワークの構成図は図 5-1-1 の通りである。

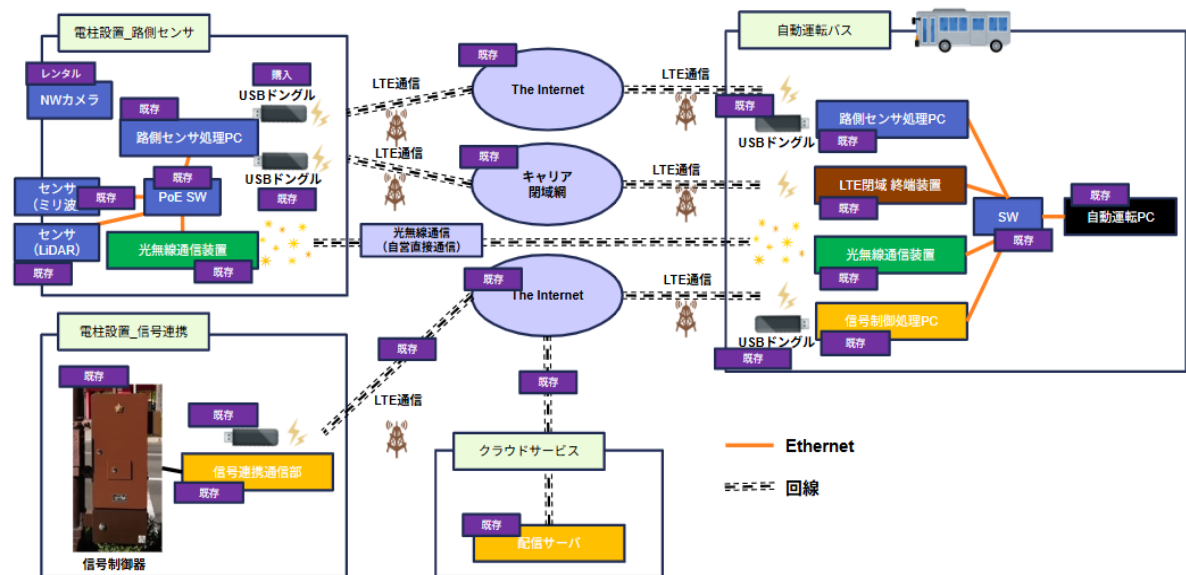


図 5-1-1:ネットワーク構成図

5.1.1 通信システムの概要

A:路側センサーシステムの概要

路側センサーは、一例として自動運転車両のセンサー類では把握が困難なく対向車線の車両(図 5-1-1-1:aエリア)と<見通しの悪い坂道頂点付近(図 5-1-1-1:b エリア)>を検知して、その情報を自動運転車両へ通知する。なお、物標の補足は一つではなく複数の情報を 100ms 周期で通知し、その都度接続されたネットワークを介して自動運転車両へ通知する。通知は路側センサーと車両がキャリア網等により直接通信を行う。(図 5-1-1:ネットワーク構成図)

物標の情報は、路側センサー内の処理部において必要な情報処理が行われデータ量を最適化した上で自動運転車両へ通知する。また遅延を最小限に抑えるため、路側センサー側でデータサイズを最小化し、自動運転車両に通知することで送信データのサイズは 1 回の送信あたり 1K バイト程度を目指す。

本プロジェクトにおいては物体情報数、必要最小限のデータサイズ等について、路側センサーと

して期待されている LiDAR とミリ波レーダーの比較検証を行うためにこれらを各設置箇所において併設し、検知エリアや気象条件等のセンサー特性を把握する。物体情報数とは路側センサーの検知範囲において、検出・追跡できる物体の数をいう。

B: 信号情報連携システムの概要

信号情報と車両の連携は以下および(図 5-1-1-2)の通りとする。

通信方式: LTE 通信(インターネット経由)

MQTT プロトコル

通信サイクル: 1sec



図 5-1-1-1: 路側センサー設置場所一例
(出典: 国土地理院地図)

- ①自動運転車両と信号制御機(実験用)間のプロトコルは、
MQTT方式とする
- ②信号情報は、自動運転車両等で実績のあるフォーマットで配信
→信号制御機(実験用)からは標準フォーマットで提供し、配信サーバで変換する方式

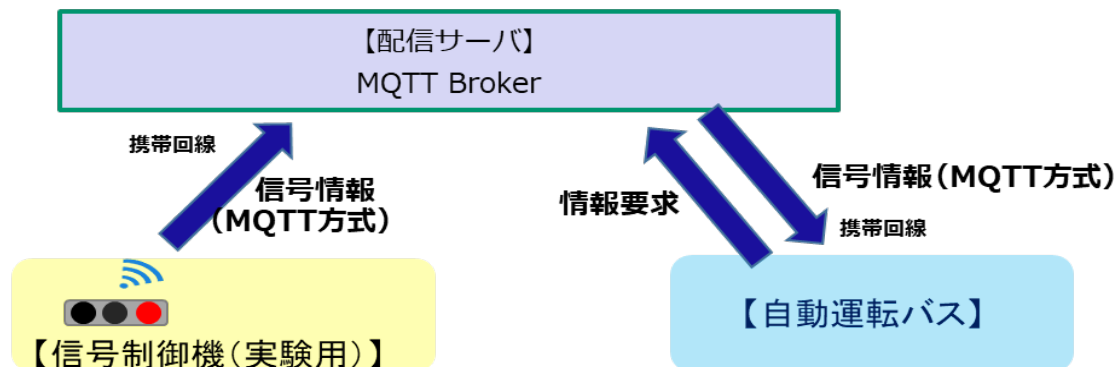


図 5-1-1-2:信号情報連携イメージ図

5.1.2 電気通信回線の概要

ア.通信キャリアによるインターネット網を経由する LTE 通信の概要

LTE 通信にて、基地局からインターネット接続を実現し、それを経由して情報を伝送する。なお実証走行路におけるエリアカバレッジは(図 5-1-2-1)のピンク着色部であり実証に支障はないと想定する。

イ.通信キャリアによる閉域網を経由する LTE 通信の概要

LTE 通信にて、基地局からインターネット等を経由することなく、本実証専用に構築する閉域ネットワークを利用し、情報を伝送する。

なお実証走行路におけるエリアカバレッジは前述(図 5-1-2-2)のピンク着色部であり実証に支障はないと想定する。

ウ.ソフトバンク社構築による光無線通信の概要

路側センサー情報の伝送路として使用する光無線通信装置は、2種類の装置を使用する。路側センサー情報をバス停近傍の電柱まで中継する「固定光無線通信装置」と、バス停近傍の電柱と自動運転車両の通信を担う「トラッキング光無線通信装置」である。「トラッキング光無線通信装置」は、画像認識 AI を用いた移動体追尾機能によって移動中の自動運転車両と V2I 通信を行う。光無線通信装置は通信用の光が遮蔽されると通信断となるため、路側センサー設置箇所からバス停近傍の電柱までの経路および、バス停近傍から移動中の自動運転車両までの経路は、光が遮蔽されない見通し(LOS : Line Of Sight)が確保可能な電柱を選定する。

固定光無線通信装置の通信限界距離は100m、トラッキング光無線通信装置の通信限界距離は40m であり、本実証では固定光無線通信装置による電柱間の路側センサー情報の中継がリンク断やパケットロスを生じさせず安定して通信可能とする。

トラッキング光無線通信装置が設置された電柱から半径 40m 以内において移動中またはバス停に停車中の自動運転車両がリンク断を起こさず継続した通信も実現する。

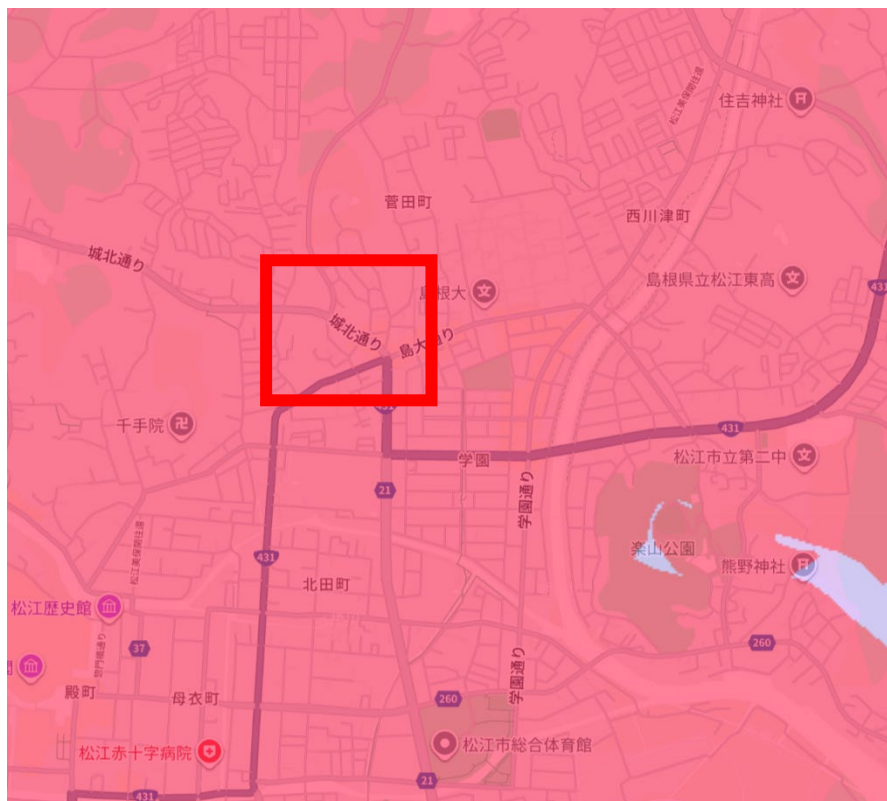


図 5-1-2-1:菅田町バス停付近の NTT ドコモの LTE 基地局 エリアカバレッジ
<赤枠がユースケース対象エリアを示す>

(出典:https://www.docomo.ne.jp/area/service_area/)

株式会社 NTT ドコモ / サービスエリアマップ

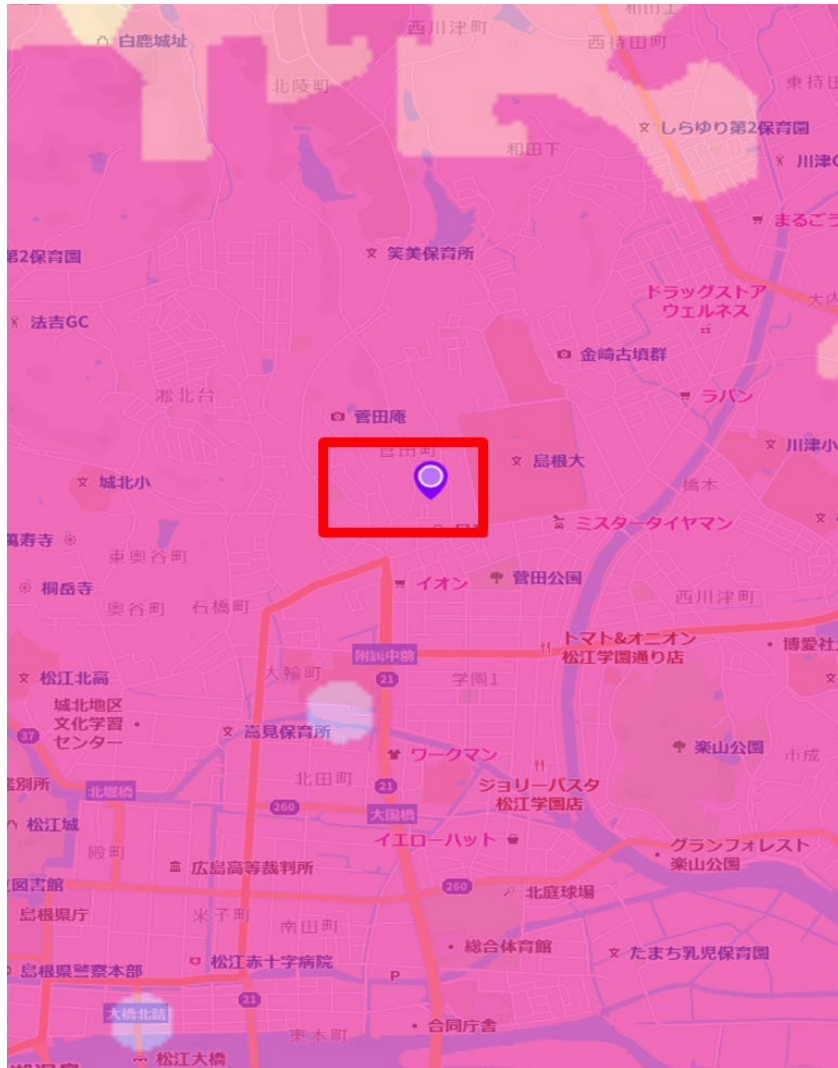


図 5-1-2-2: 菅田町バス停付近のソフトバンク LTE・5G 基地局 エリアカバレッジ

<赤枠がユースケース対象エリアを示す>

(出典:<https://www.softbank.jp/mobile/network/>)

ソフトバンク株式会社/サービスエリアマップ

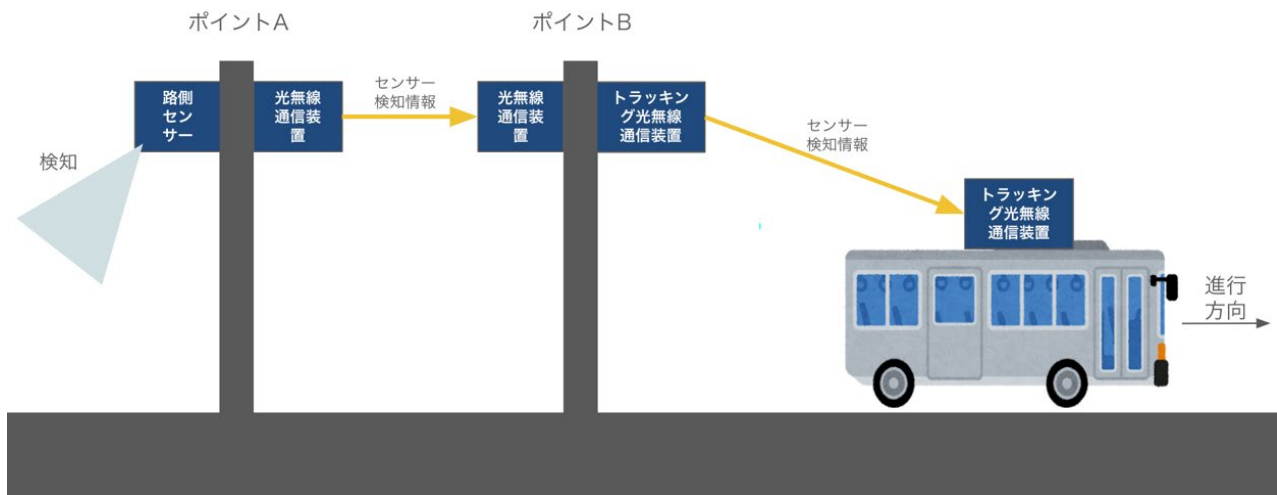


図 5-1-2-3:電柱～自動運転車両間の光無線通信イメージ図

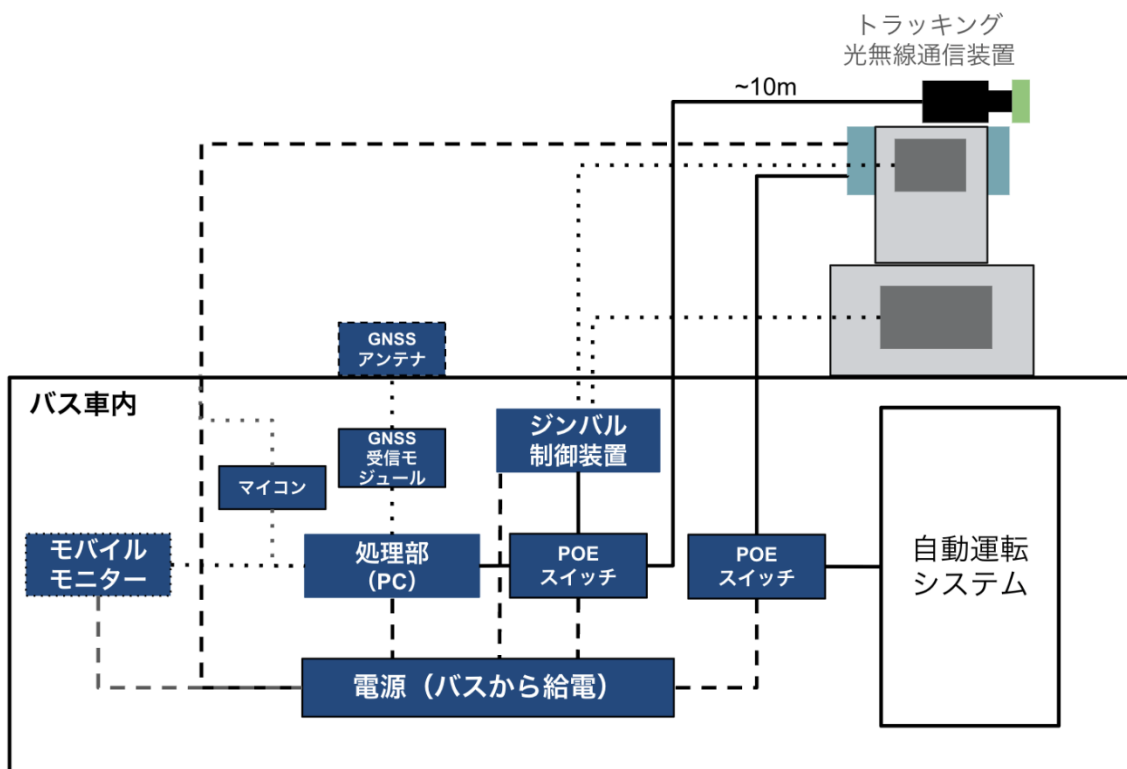
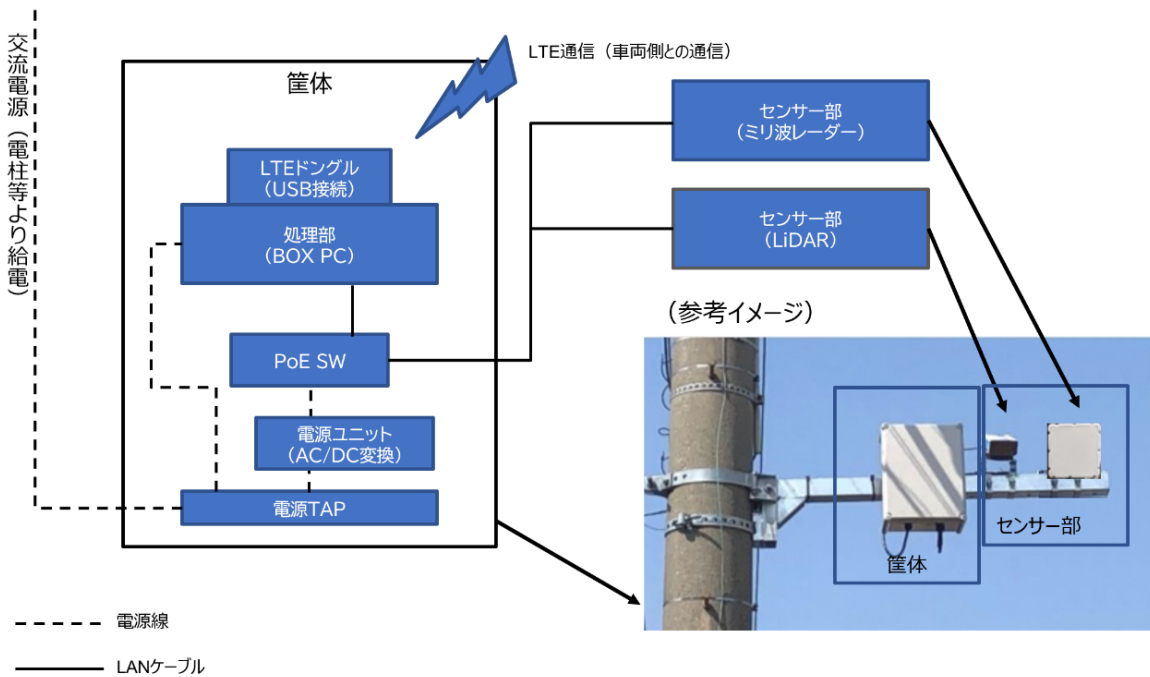


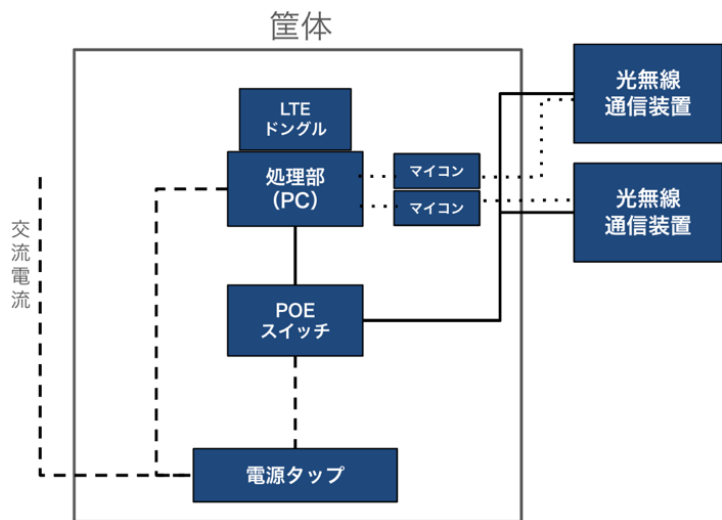
図 5-1-2-4:トラッキング光無線通信装置 自動運転車両設置イメージ図



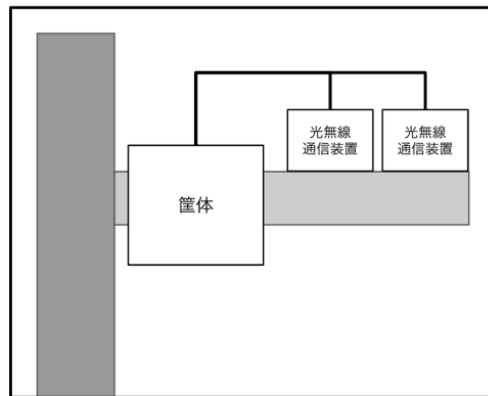
(再掲)図 4-4-1-4:機器設置場所の俯瞰図
(出典:国土地理院地図)



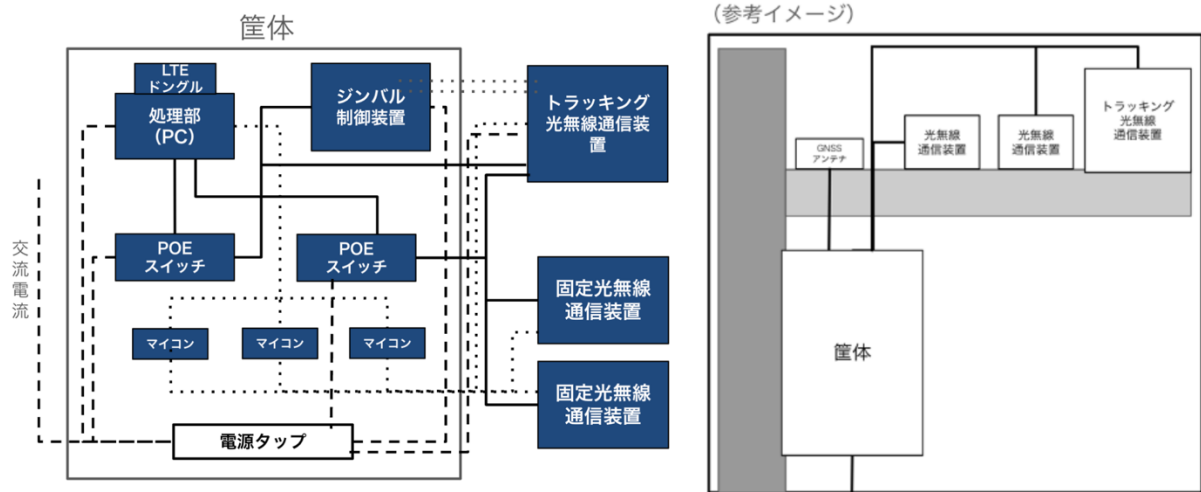
(再掲)図 4-4-1-5:路側センサー設置イメージ図



(参考イメージ)



(再掲)図 4-6-1-2:光無線通信装置(固定) 電柱設置イメージ図



(再掲)図 4-6-1-3:光無線通信装置(トラッキング) 電柱設置イメージ図

5.2 システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等

本実証実験のネットワーク構築の留意事項は以下 3 つの通りである。

- ・リモートでの監視機能(リモート接続、カメラ監視)
- ・落雷等による機器故障等を考慮した予備機の準備
- ・各種設置する機器、ネットワークの時刻同期サーバーの統一

6. 実証結果・考察

6.1 ①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保

※当該ユースケースは本実証対象外のため記載なし

6.2 ②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保

※当該ユースケースは本実証対象外のため記載なし

6.3 ③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用する技術の頑健性検証

※当該ユースケースは本実証対象外のため記載なし

6.4 ④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装

6.4.1 ④-1:見通しの悪い交差点右折時の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、右折の安全性確保

1) 実証スケジュール

実証スケジュールは下表 6-4-1-1 の通りである。

表 6-4-1-1:実証スケジュール

フェーズ	2025年								2026年	
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
実証準備 (事前計測、物品調達等)		機器調達				事前運行				
実証		環境構築					対向試験	現地実証 (データ取得)	試乗会	現地実証 (降雪時)
実証評価									報告書作成	

2) 開発・評価項目の結果

表 6-4-1-2:開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	路車連携の有無による手動介入発生状況の比較
(2)	自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度を計測し、比較
(3)	路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間を計測し、比較
(4)	天候条件の違いによる路側センサー検知性能を比較

(1) 路車連携の有無による手動介入発生状況の比較

自動運転バスの交差点右折時に発生したすべての手動介入は、表 6-4-1-2 の通り、路車連携した状態では 47 回、連携なしの状態では 59 回であった。なお、後者において手動介入発生回数が母数を上回ったのは、1 走行で複数状況の手動介入が発生したためである。

手動介入発生回数を 1 走行あたりで比較すると、路車連携ありの場合は 0.24 回、連携なしの場合は 1.13 回であったため、通信を用いて路車連携することが、自動運転走行の安定性および安全性の向上に寄与する有効な手段であることが確認できた。

突出して多かったのは、3)記載の KPI を除くと、表 6-4-1-3 の通り、上り道になっている交差点で車両が後方に下がったためブレーキもしくはアクセル操作を行った状況であった。なお、この課題や今後の考察に関しては 4)成果・課題にて述べる。

表 6-4-1-3:右折時に発生したすべての手動介入回数(KPI 含む)路車連携

	走行回数 (母数 N)	手動介入 発生回数	1 走行あたりの 手動介入発生回数
あり	194 回	47 回	0.24 回
なし	52 回	59 回	1.13 回

表 6-4-1-4:右折時に発生したすべての手動介入の状況(KPI 含む)

右折時の手動介入の状況	手動介入発生回数	
	路車連携あり	路車連携なし
対向車線の車両および自転車によるブレーキ操作(KPI)	36 回	9 回
車両の後退によるブレーキもしくはアクセル操作	20 回	27 回
その他	3 回	11 回
【合計】	59 件	47 件

(2) 自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度を計測し、比較

自動運転バスが右折する際に最接近した対向車の速度を下記の表に示す。

なお、本評価は、対向車線が交差点先で滞留していないケースが対象となり、19件のデータを取得することができた。(表 6-4-1-5)

表 6-4-1-5:自動運転バス右折時に最接近した対向車の速度一覧

日付	便	右折時信号	計測時刻	速度(km/h)	対象
11/13/2025	15	1: 青信号	14:38:40	35.5	1: 小型車
11/13/2025	23	1: 青信号	16:45:00	41.5	1: 小型車
11/13/2025	24	1: 青信号	16:55:10	35.8	1: 小型車
11/14/2025	11	1: 青信号	13:22:00	27.9	1: 小型車
11/14/2025	18	1: 青信号	15:15:00	41.2	1: 小型車
11/19/2025	2	1: 青信号	10:02:00	32.2	1: 小型車
11/19/2025	6	1: 青信号	10:59:00	30.1	2: 大型車
11/19/2025	7	1: 青信号	11:12:00	38.1	2: 大型車
11/19/2025	9	1: 青信号	11:37:00	37.0	1: 小型車
11/19/2025	19	0: 信号矢印	15:03:00	26.8	1: 小型車
11/20/2025	2	1: 青信号	10:10:00	39.3	1: 小型車
11/20/2025	7	1: 青信号	11:14:00	40.1	2: 大型車
11/20/2025	9	1: 青信号	11:38:00	46.4	2: 大型車
11/20/2025	11	1: 青信号	12:02:00	44.3	1: 小型車
11/20/2025	12	1: 青信号	13:45:00	39.5	1: 小型車
11/20/2025	25	1: 青信号	17:07:00	35.4	1: 小型車
11/21/2025	5	1: 青信号	11:06:00	39.4	1: 小型車
11/21/2025	15	1: 青信号	13:49:00	32.7	1: 小型車
11/21/2025	17	1: 青信号	14:14:00	40.1	1: 小型車

同表より、自動運転バスの右折時に最接近した対向車の平均速度は 37.6km/h であった。また、自動運転バスが通行する際の対向車の速度ヒストグラムは図の通りである。

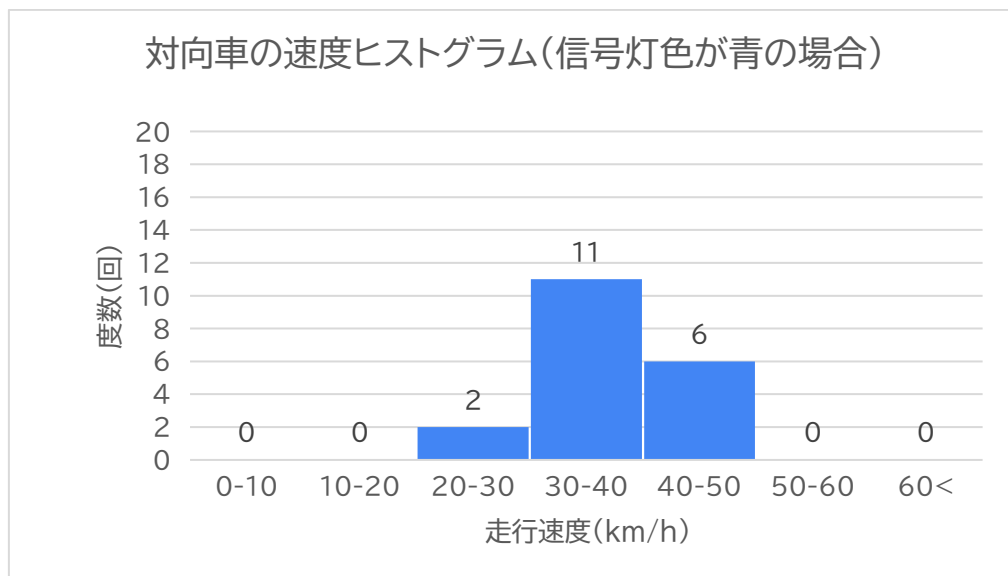


図 6-4-1-6:対向車の速度ヒストグラム

また、比較対象として取得した一般車両の右折時における対向車速度分布を図 6-4-1-7 に示す。

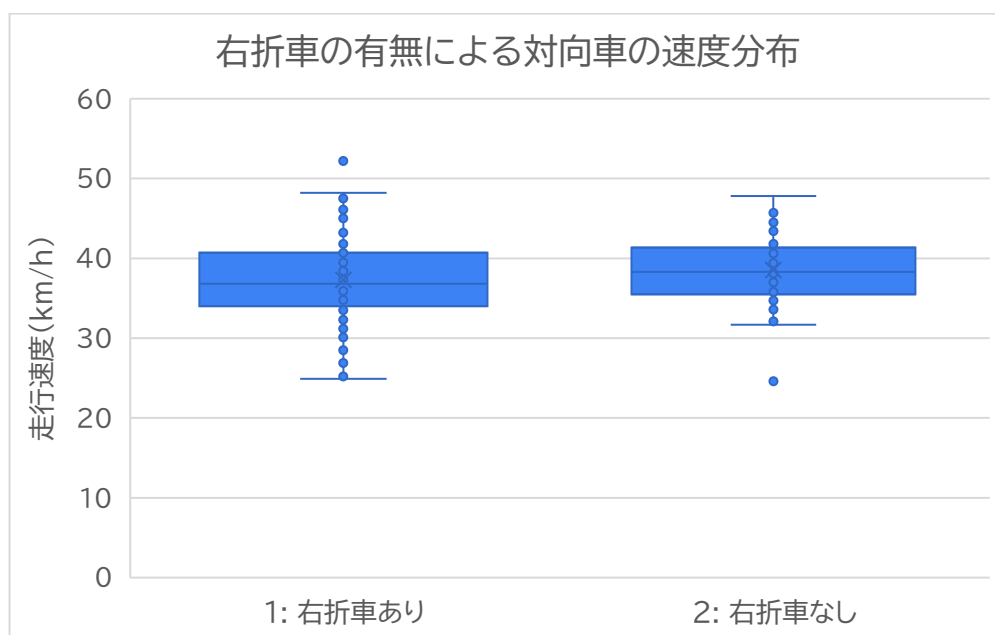


図 6-4-1-7:右折車の有無による対向車の速度分布

次に、ヒストグラムは以下の図 6-4-1-8 の通りである。

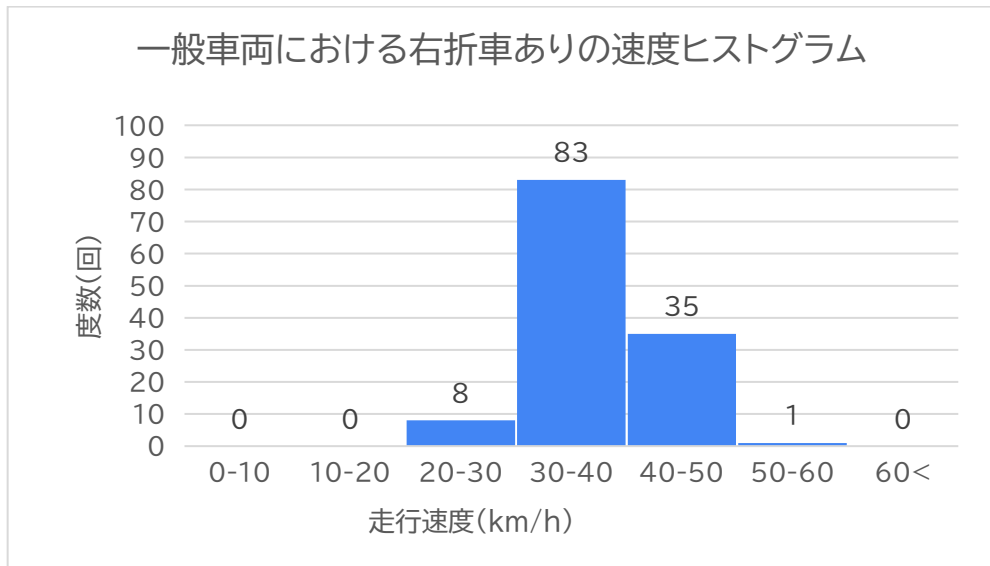


図 6-4-1-8:一般車両における右折車ありの速度ヒストグラム

取得した全データ 212 件を対象に分析した結果、右折時に最接近した対向車の平均速度は 37.3km/h であった。

また、自動運転バスと一般車両における対向車速度を比較した結果、自動運転バスの右折時においても、対向車の通過平均速度は通常時と同程度の水準であることが確認された。これにより、自動運転バスの右折挙動が対向交通に対して特段の速度低下を生じさせていないことが示された。

(3) 路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間を計測し、比較

通信遅延時間について、今回の実証実験では以下の測定を実施した。

「路側センサー装置にて検知情報の処理実施後のデータを送信した時点から車両側装置にて情報を受け取るまでの時間の平均時間」(図 6-4-1-9 参照)



図 6-4-1-9:時間測定方法の概要図

■ 通信遅延時間 計測結果

インターネット通信、閉域網通信それぞれの、測定結果は下記の通りであった。

表 6-4-1-10:計測結果

通信経路	通信遅延時間 平均	通信遅延時間 最小	通信遅延時間 最大
インターネット	106ms	67ms	348ms
閉域網	59ms	23ms	310ms

測定対象走行回数(N)

インターネット通信: N=216/閉域網通信:N=175

※100ms 間隔で情報送信を実施しているため 1 走行あたり 1,500~2,000 超の情報連携が行われている。その通信遅延時間の平均値を集計。

(4) 天候条件の違いによる路側センサー検知性能を比較

路側センサーの検知性能について、天候条件ごとの検知性能の比較と、RTK-GNSS 測地を用いた検証を実施した。

■ 天候条件ごとの検知性能の比較

LiDAR とミリ波レーダーのそれぞれの車両検知結果は下記の通りであった。本検証では、LiDAR、ミリ波レーダーのそれぞれの路側センサーで別々にデータを取得し、同一天候条件の日時のデータを使用して比較を行った。天候:雨は1時間あたりの降水量が 2mm の時間帯とし、天候:西日は、晴れの日の 15:00~16:00 とした。なお、天候条件は気象庁ホームページを参照した。

(気象庁ホームページ:<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>)

また、本検証期間内において、降雪時における路側センサーの検知性能を他の天候条件と比較、評価するために十分なデータを取得することができなかった。他の天候条件とデータ数が異なるため、降雪時における路側センサーの検知性能を参考値として示す。なお、気象庁ホームページでは当該時間帯の天気はみぞれと記録されているが、カメラ映像の目視から雪として扱った。

表 6-4-1-11:天候条件ごとの車両検知性能(LiDAR)

実施日	天候	検知区間 (車道)	母数(台)	センサー 検知台数 (台)	センサー 検知率
2025/11/6 9:00~15:00 10分間/各1時間帯	晴れ	交差点中心から 35m~ 105m	655	655	100%
2025/11/18 9:00~10:00	雨 降水量:2mm/h		737	737	100%
2025/11/6 15:00~16:00	西日		644	644	100%
2025/12/26 15:58~16:28	雪 (参考値)		315	315	100%
2025/11/6 9:00~15:00 10分間/各1時間帯	晴れ	交差点中心から 105m~ 170m	651	651	100%
2025/11/18 9:00~10:00	雨 降水量:2mm/h		736	736	100%
2025/11/6 15:00~16:00	西日		641	641	100%
2025/12/26 15:58~16:28	雪 (参考値)		309	293	95%

表 6-4-1-12:天候条件ごとの車両検知性能(ミリ波レーダー)

実施日	天候	検知区間 (車道)	母数 (台)	センサー 検知台数 (台)	センサー 検知率
2025/11/21 9:00~15:00 10分間/各1時間帯	晴れ	交差点中心から 35m~ 105m	631	631	100%
2025/10/31 10:00~11:00	雨 降水量:2mm/h		730	730	100%

2025/11/22 15:00~16:00	西日		747	746	99.9%
2025/12/26 8:21~8:31 8:40~9:00	雪 (参考値)		401	401	100%
2025/11/21 9:00~15:00 10分間/各1時間帯	晴れ		637	636	99.8%
2025/10/31 10:00~11:00	雨 降水量:2mm/h	交差点中心から105m~170m	732	732	100%
2025/11/22 15:00~16:00	西日		747	746	99.9%
2025/12/26 8:21~8:31 8:40~9:00	雪 (参考値)		381	381	100%

また、LiDAR とミリ波レーダーのそれぞれの自転車の検知結果は下記の通りであった。表内において、センサー未検知台数欄に、センサーで検出できなかった台数とその要因を示す。

ただし、(近接)は、複数の自転車が並列あるいは縦列で走行しており複数の自転車を1台として検知したことを意味する。(端)は、歩道の端(センサー検知エリアの端)を走行しており、検知されなかったことを意味する。

表 6-4-1-13:天候条件ごとの自転車検知性能(LiDAR)

実施日	天候	検知区間 (歩道)	母数 (台)	センサー 検知台数 (台)	センサー 未検知台数 (台)	センサー 検知率
2025/11/6 9:00~15:00 10分間/各1時間帯	晴れ	交差点中心から35m~70m	91	83	7(近接) 1(端)	91%
2025/11/6 15:00~16:00	西日		16	14	2(近接)	88%

表 6-4-1-14:天候条件ごとの自転車検知性能(ミリ波レーダー)

実施日	天候	検知区間 (歩道)	母数 (台)	センサー 検知台数 (台)	センサー 未検知台数 (台)	センサー 検知率
2025/11/21 9:00~15:00 10分間/各1時 間帯	晴れ	交差点中心 から 35m ~70m	93	91	2(近接)	98%
2025/11/22 15:00~16:00	西日		19	18	1(近接)	95%

なお、雨天時および降雪時にセンサー検知エリアを走行する自転車のサンプル数が少なかったため、参考として検知結果を以下に示す。

表 6-4-1-15:天候条件:雨の自転車検知性能(LiDAR)(参考値)

実施日	天候	検知区間 (歩道)	母数 (台)	センサー 検知台数(台)	センサー 検知率
2025/11/18 9:00~10:00	雨 降水量:2mm/h (参考値)	交差点中心から 35m~70m	6	6	100%
2025/12/26 15:58~ 16:28	雪 (参考値)		2	2	100%

表 6-4-1-16:天候条件:雨の自転車検知性能(ミリ波レーダー)(参考値)

実施日	天候	検知区間 (歩道)	母数 (台)	センサー 検知台数(台)	センサー 検知率
2025/10/31 10:00~11:00	雨 降水量:2mm/h (参考値)	交差点中心から 35m~70m	3	3	100%
2025/12/26 8:21~8:31 8:40~9:00	雪 (参考値)		2	2	100%

■ RTK-GNSS 測位を用いた検証

路側センサーログと被験車両に設置した RTK-GNSS 測位装置で取得した位置から、交差点中心から 170m 以内の物標(車両)を検知できているか検証した。LiDAR とミリ波レーダーのそれぞれの検知結果は下記の通りであった。

表 6-4-1-17:RTK-GNSS 測位を用いた検証(LiDAR)

実施日	検知区間 (車道)	母数 (台)	センサー 検知台数 (台)	センサー 検知率
2025/11/18~19	交差点中心から 35m~105m	45	45	100%
	交差点中心から 105m~170m	45	45	100%

表 6-4-1-18:RTK-GNSS 測位を用いた検証(ミリ波レーダー)

実施日	検知区間 (車道)	母数 (台)	センサー 検知台数(台)	センサー 検知率
2025/11/20~21	交差点中心から 35m~105m	48	48	100%
	交差点中心から 105m~170m	69	69	100%

また、路側センサーログと自転車に設置した RTK-GNSS 測位装置で取得した位置から、交差点中心から 70m 以内の物標(自転車)を検知できているか検証した。LiDAR とミリ波レーダーのそれぞれの検知結果は下記の通りであった。

表 6-4-1-19:RTK-GNSS 測位を用いた検証(LiDAR)

実施日	検知区間 (歩道)	母数 (台)	センサー 検知台数(台)	センサー 検知率
2025/11/18~19	交差点中心から 35m~70m	28	28	100%

表 6-4-1-20:RTK-GNSS 測位を用いた検証(ミリ波レーダー)

実施日	検知区間 (車道)	母数 (台)	センサー 検知台数(台)	センサー 検知率
2025/11/20~21	交差点中心から 35m~105m	39	39	100%

3) KPI/KGI との比較結果

表 6-4-1-21:定性評価・定量評価一覧

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	-	-
定量評価	(1)	■自動運転バスの手動介入 ・対向車線の車両および自転車通行による手動介入数 [目標:当該原因手動介入数が 0 回]
	(2)	■対向車通行の円滑性 ・自動運転バスの右折時に最接近した対向車の最低速度 [目標:交差点通過時 30km/h*以上(対向車線が交差点先で詰まってい ない場合)] (*:生活道路の推奨制限速度を参考)
	(3)	■路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間 ・路側センサーが、交差点中心から 170m 以内の接近する対向車と、70m 以内の接近する自転車を検知した情報を、400ms 以内に自動運転バス が受信できること
	(4)	■天候条件の路側センサー検知性能 ・天候条件の違いによる設置センサー(LiDAR とミリ波レーダー)が検知す る車両と自転車の検知距離 [目標検知距離: 対向車 170m 以内、自転車 70m 以内)

(1) 対向車線の車両および自転車通行による手動介入数

「対向車線の車両および自転車通行による手動介入数」において、路車連携した状態では 9 回、連携なしの状態では 36 回の手動介入が発生した。

手動介入発生回数を 1 走行あたりで比較すると、路車連携ありの場合は 0.05 回、連携なしの場合は 0.69 回であったため、通信を用いて路車連携することが、自動運転走行の安定性および安全性の向上に寄与する有効な手段であることが確認できた。なお、この課題や今後の考察に関しては 4)成果・課題にて述べる。

表 6-4-1-22:右折時における対向車の車両および自転車通行による手動介入数

路車連携	走行回数 (母数 N)	手動介入 発生回数	1 走行あたりの 手動介入発生回数
あり	194 回	9 回	0.05 回
なし	52 回	36 回	0.69 回

(2) 対向車通行の円滑性

前項 2)で示した通り、自動運転バス右折時における最接近対向車の平均速度は 37.6km/h であり、目標値である 30km/h を上回る結果となった。

このことから、本評価項目については KPI を達成したと判断する。

また、速度分布全体を見ると、30km/h を下回るケースはほとんどなく、多くの対向車が生活道路の推奨制限速度以上を維持したまま交差点を通過していることが確認できる。

さらに、通常の右折車における対向車速度分布と比較しても顕著な差異は見られず、自動運転バスの右折が対向車の通行円滑性を阻害していないことが示唆される。

以上のことから、路側センサー等により取得した対向車の接近情報を、安定的かつセキュアな通信により自動運転バスへ連携することで、右折可否判断が適切なタイミングで行われ、対向車に急減速や不必要な減速を強いることなく、交差点通行の円滑性を維持できていると考えられる。

(3) 路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間

- インターネット通信
 - ・ 106ms
- 閉域網通信
 - ・ 59ms

センサー検知情報の処理(検知～情報送信まで)については 100ms サイクルで実施しており、その点も加味すると下記の通りとなり、目標値の「400ms 以内に自動運転バスが受信できること」は達成できているといえる。

表 6-4-1-23:路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間の比較

通信経路	平均通信 遅延時間	処理時間	合計
インターネット網	106ms	100ms	206ms
閉域網	59ms	100ms	159ms

測定対象走行回数(N)

インターネット通信: N=216/閉域網通信:N=175

(4) 天候条件の路側センサー検知性能

表 6-4-1-17 および表 6-4-1-18 で示した通り、170m 以内の車両を所定の位置で検知できている。また、表 6-4-1-19 および表 6-4-1-20 で示した通り、70m 以内の自転車を所定の位置で検知できていることから、目標の KPI を達成している。

表 6-4-1-11 および表 6-4-1-12 で示した通り、LiDAR、ミリ波レーダーともにいずれの天候条件でも、車両の検知精度は 99%以上である。

また、表 6-4-1-13 および表 6-4-1-14 で示した通り、LiDAR、ミリ波レーダーともにいずれの天候条件でも、自転車の検知精度は 88%以上であり、センサーによる大きな差異はないと考える。

4) 成果・課題

■ 自動運転バスの手動介入 について

前項 2)および 3)で述べたように、自動運転バスの走行において通信を用いて路車連携することは有効的であり、今後の展開においても一定の効果が見込めるものと考えられる。ただし、「自動運転」という観点では、手動介入の回数を限りなくゼロに近づけていく必要があるため、本実証実験を通して克服すべき課題が判明した。以下で、突出して多かった状況の発生回数順に原因と対策を述べる。

なお、ドライバーの安全重視の判断により、早めに手動介入したケースも散見された。この点に関しては、今後、実証実験を重ねてサンプル数を増やした上、安全性を担保できるようシステム・車両双方の調整を進めていくことが必要になると考える。

表 6-4-1-24:手動介入の原因と対策—対向車線の車両および自転車によるブレーキ操作

対向車線の車両および自転車によるブレーキ操作(KPI)	
原因	<ul style="list-style-type: none"> ● 交差点先の坂の頂上付近に設置された2台の路側センサーの検知範囲の一部が、道路形状の制約により低視認性エリアとなってしまう(図 4-4-1-6 参照)、車両側が対向車の位置を正確に把握できなかったため。 ● 本実証実験では、道路形状および既設柱上の設置箇所に制約があり、また、道路幅員が狭く仮設ポールの設置が難しかったため、先述の低視認性エリアが発生してしまったため。
対策	<ul style="list-style-type: none"> ● 路側センサーの検知範囲と画角を考慮した上でその設置箇所を再検討する。 ● 交差点全体をカバーできるよう路側センサーの設置密度を高めて死角をなくし、自転車等の小型モビリティまで検知できるよう精度を向上させる。

表 6-4-1-25:手動介入の原因と対策—車両の後退によるブレーキもしくはアクセル操作

車両の後退によるブレーキもしくはアクセル操作	
原因	<ul style="list-style-type: none"> ● 坂道環境に対する車両挙動の制御精度が十分に確保されていなかったため。
対策	<ul style="list-style-type: none"> ● 短期的に以下の対策案 A を優先して検討した上、中長期的に対策案 B のような路面勾配を考慮した制御ロジックの高度化・恒久対策を検討する。

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 対策案 A:車両既存機能(ヒルホールド相当機能)の活用 車両側に備わっているヒルホールド機能(アシストブレーキ)を活用し、傾斜地での停止時にブレーキを保持し、発進時に必要な駆動力が発生するまで後退を抑制する。車両仕様や設定可否の確認が必要となるが、適用可能な場合は、実装負荷が低く、即効性のある対策と考える。 ➤ 対策案 B:路面勾配を考慮した制御ロジックによる対応 車両が走行する地点の勾配情報(国土地理院の標高データ等)と、車両側で使用している走行マップ情報を紐づけることで、走行位置ごとの転がり加速度を算出し、停止時に後退方向への転がりを抑制し、発進時に勾配に応じた補正加速を加える制御方式を検討する。ただし、転がり加速度の算出精度や環境条件の影響により、本方式を全面適用するにはさらなる検証・精度向上が必要であることが確認されているため、現時点では限定的な適用・検証フェーズに位置付けている。
--	---

■ 対向車通行の円滑性 について

成果として、見通しの悪い交差点において自動運転バスが右折する際、対向車が急減速することなく通行していることを、最接近対向車の速度データを用いて定量的に確認した。

その結果、KPI として設定した最低速度 30km/h を上回る値が得られ、右折支援に係る路車連携が、交差点における安全性の確保と対向車通行の円滑性の両立に寄与していることが示された。

また、通常の右折車両と比較しても対向車速度分布に顕著な差異は認められず、自動運転バス特有の交通阻害が発生していないことが確認された。

一方で、本評価は、対向車線が交差点先で滞留していない条件下に限定した結果である。今後は、渋滞発生時や交通需要が高い時間帯における右折挙動についても検証を行い、より実運用を想定した評価を実施する必要がある。なお、朝夕の交通需要が増加する時間帯については本実証では検証が未実施であるため、レベル 4 自動運転の社会実装に向けては、これらの時間帯を含めた追加検証が必要であると考えられる。

■ 路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間 について

通信経路別に平均通信遅延分布を分析した結果、300ms を超えるケースがインターネット通信では 3 回(1.4%)、閉域網通信では 1 回(0.5%)発生しており、通信環境の影響による遅延のばらつきが若干確認される。

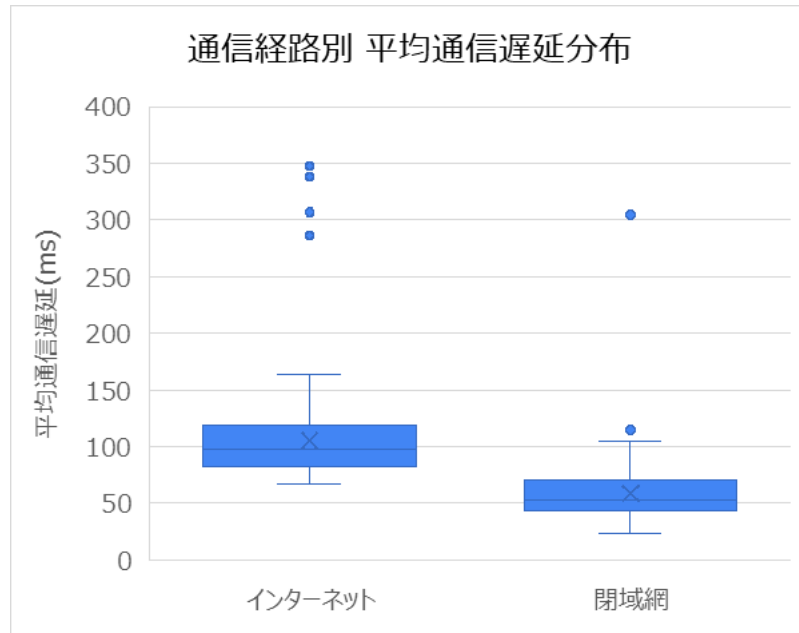


図 6-4-1-26:通信経路別 平均通信遅延分布

測定対象走行回数(N)

インターネット通信: N=216/閉域網通信:N=175

いずれの通信方式においても目標値である 400ms を下回っており、通信遅延の観点からは、インターネット通信および閉域網通信のいずれも十分に路車連携の通信手段として活用可能であると評価できる。

一方、実運用を見据えた場合には、通信の安定性に加えてセキュリティ面での対策も重要となることから、閉域網通信の活用がより有効であると考えられる。

■ 天候条件の路側センサー検知性能について

RTK-GNSS 測位を用いた検証結果より、山なりで緩やかなカーブである道路(約 170m 長)に路側センサー(2台)を配置することにより、各検知区間内を走行する試験車両(自動車)を所定の位置で検知したことを確認できた。また、検知区間内を走行する試験車両(自転車)についても、所定の位置で検知したことを確認できた。

また、天候条件ごとの車両検知性能の比較結果より、いずれの天候条件においても晴日と同等の検知率が得られた。本実証実験の条件下において、気象による性能劣化は発生しないことを確認できた。雨天時に検知率が高い要因は、交通量が少なく、並走等の事象が発生しなかったためである。西日で検知率が 90%を下回った要因は、並走する自転車を1物体として検知したことが原因であり、センサー装置における天候による差異ではないと考える。

なお、本実証実験の検知区間は、表 6-4-1-27 に示すように、10 分間に 83 台~125 台の車両が走行する道路であったが、検知区間にて車両同士の隠ぺいが多発していることが確認された。そのため、カメラ映像および路側センサーにおいて、検知区間の一部でも車両が検知できたことを評価指標として用いた。その結果、発生頻度は非常に低い、車両同士の大きさ

や位置関係により、検知区間内(70m程度)でも、路側センサー(レーダー)から一度も検知できないケースが発生することも確認できた。

表 6-4-1-27:時間帯(10 分間)ごとの交通量(交差する道路から進入する車両台数)

	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
2025/11/6 交差点中心から 105m~170m	125	107	106	99	105	111
2025/11/21 交差点中心から 105m~170m	104	121	119	112	100	83

一方で、検知区間の壁ぎわを走行する自転車を検知できないケースが1件発生した。道路形状に対し、路側センサーの検知区間が適切に設定されていなかったことによるものであり、対策が必要である。また、本実証実験においては、路側センサーで検知した生データを物標情報へ変換するソフトウェアの構成の制約から、LiDARとミリ波レーダーを同時に動作させることができず、直接センサー検知結果を比較することができなかった。天候条件ごとの検知結果を直接的に比較するためには、複数のセンサーデータを同時に処理できるようにソフトウェアの改修が必要である。また、本実証実験期間内に、センサー装置の比較をするために十分な気象条件を得ることができなかった。特に、天候条件:雨および雪での比較において、本検証の条件下では、LiDARとレーダー間の耐環境性能差を確認することができなかった。適切な気象条件が得られるように、実証実験の期間を確保する等の検討が必要である。

また、降雪時に置いて、LiDARのセンサーレンズ部への雪の付着が原因と思われる未検知(約5%)が発生しており、降雪を想定したLiDARフードの設計および装着等を検討する必要がある。

- 6.4.2 ④-2:見通しの悪いバス停からの発車および短距離での車線変更の可否判断に必要な情報を、安定的かつセキュアな通信で自動運転バス(自車)に連携することによる、バス停発車の安全性確保

1) 実証スケジュール

実証スケジュールは下記の通りである。(※実施スケジュールについては6.4.1章と同様)

表 6-4-2-1:実証スケジュール

フェーズ	2025年								2026年	
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
実証準備 (事前計測、物品調達等)		機器調達				事前運行				
		環境構築								
実証						対向試験	現地実証 (データ取得)	試乗会	現地実証 (降雪時)	
実証評価									報告書作成	

2) 開発・評価項目の結果

表 6-4-2-2:開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	路車連携の有無による手動介入発生状況の比較
(2)	路側センサーから自動運転バスへの情報伝送遅延時間を計測し、比較
(3)	バス停後方の交差点の交差する道路からの車両を正しく検知できるか確認

(1) 路車連携の有無による手動介入発生状況の比較

バス停発車から第2車線への車線変更区間で発生したすべての手動介入は、表 6-4-2-3 の通りで、路車連携した状態では 60 回、連携なしの状態では 32 回発生した。

手動介入発生回数を 1 走行あたりで比較すると、路車連携ありの場合は 0.31 回、連携なしの場合は 0.62 回であったため、通信を用いて路車連携することが、自動運転走行の安定性および安全性の向上に寄与する有効な手段であることが確認できた。

なお、この課題や今後の考察に関しては 4) 成果・課題にて述べる。

表 6-4-2-3:バス停発車から第2車線への車線変更区間で発生したすべての手動介入の状況(KPI 含む)

路車連携	走行回数 (母数 N)	手動介入 発生回数	1 走行あたりの 手動介入発生回数
あり	194 回	60 回	0.31 回
なし	52 回	32 回	0.62 回

表 6-4-2-4:バス停発車時に発生したすべての手動介入の詳細

バス停発車から第 2 車線への車線変更区間での手動介入の状況	通信あり	通信なし
周辺車両の挙動によりブレーキもしくはアクセル操作(KPI)	57 件	29 件
その他	3 回	3 回
【合計】	60 件	32 件

(2) 路側センサーから自動運転バスへの情報伝送遅延時間を計測し、比較

通信遅延時間の測定の区間については 6.4.1 章と同じ基準にて測定。

■ 通信遅延時間 計測結果

インターネット通信、閉域網通信それぞれの、平均・最小・最大の測定結果は下記の通りであった。

表 6-4-2-5:通信遅延時間の計測結果

通信経路	通信遅延時間 平均	通信遅延時間 最小	通信遅延時間 最大
インターネット	106ms	67ms	339ms
閉域網	66ms	19ms	259ms

測定対象走行回数(N)

インターネット通信: N=108/閉域網通信:N=88

(3) バス停後方の交差点の交差する道路からの車両を正しく検知できるか確認

路側センサーの検知性能について、天候条件ごとの検知性能の比較と、RTK-GNSS 測地を用いた検証を実施した。

■ 天候条件ごとの検知性能の比較

LiDAR とミリ波レーダーのそれぞれの車両検知結果は下記の通りであった。なお、本検証期間内において、降雪時における路側センサーの検知性能を他の天候条件と比較、評価するために十分なデータを取得することができなかった。他の天候条件とデータ数が異なるため、降雪時における路側センサーの検知性能を参考値として示す。なお、気象庁ホームページでは当該時間帯の天気はみぞれと記録されているが、カメラ映像の目視から雪として扱った。

表 6-4-2-6:天候条件ごとの車両検知性能(LiDAR)

実施日	天候	検知区間 (車道)	カメラ 検知台数 (台)	センサー 検知台数 (台)	センサー 検知率
2025/11/6 9:00~15:00 10 分間/各 1 時間帯	晴れ	交差点入口か ら 0m~12m	24	24	100%
2025/11/18 9:00~10:00	雨 降水量: 2mm/h		25	25	100%
2025/11/6 15:00~16:00	西日		39	39	100%
2025/12/26 15:58~16:28	雪 (参考値)		20	20	100%

表 6-4-2-7:天候条件ごとの車両検知性能(ミリ波レーダー)

実施日	天候	検知区間 (車道)	カメラ 検知台数 (台)	センサー 検知台数 (台)	センサー 検知率
2025/11/21 9:00~15:00 10 分間/各 1 時間帯	晴れ	交差点入口か ら 0m~12m	37	37	100%
2025/10/31 10:00~11:00	雨 降水量: 2mm/h		28	28	100%
2025/11/22 15:00~16:00	西日		32	32	100%
2025/12/26 8:21~8:31 8:40~9:00	雪 (参考値)		26	26	100%

■ RTK-GNSS 測位を用いた検証

路側センサーログと被験車両に設置した RTK-GNSS 測位装置で取得した位置から、交差点入口から 12m 以内の物標(車両)を所定の位置で検知できているか検証した。LiDAR とミリ波レーダーのそれぞれの検知結果は下記の通りであった。

表 6-4-2-8:RTK-GNSS 測位を用いた検証(LiDAR)

実施日	検知区間 (車道)	母数 (台)	センサー 検知台数(台)	センサー 検知率
2025/11/18~19	交差点入口から 0m~12m	28	28	100%

表 6-4-2-9:RTK-GNSS 測位を用いた検証(ミリ波レーダー)

実施日	検知区間 (車道)	母数 (台)	センサー 検知台数(台)	センサー 検知率
2025/11/20~21	交差点入口から 0m~12m	28	28	100%

3) KPI/KGI との比較結果

表 6-4-2-10:定性評価・定量評価

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	(1)	<p>■自動運転バスの手動介入</p> <p>・バス停発車から第 2 車線への車線変更区間で、周辺車両による手動介入数[目標:当該原因手動介入数が 0 回]</p>
	(2)	<p>■路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間</p> <p>・路側センサーが、交差する道路からの進入車両検知情報を、400ms 以内に自動運転バスが受信できること</p>
定性評価	(3)	<p>■バス停後方の交差点の交差する道路からの左折車検知</p> <p>・交差する道路からの左折車を検知し、自動運転バスに通信で連携できること[目標:交差する道路から交差点に進入する車両を路側センサーが検知すること(情報通信の遅延時間は定量評価)]</p>

(1) 自動運転バスの手動介入

「バス停発車から第 2 車線への車線変更区間で、周辺車両による手動介入数」において、路車連携した状態では 57 回、連携未実施の状態では 29 回の手動介入が発生した。

手動介入発生回数を1走行あたりで比較すると、路車連携ありの場合は0.29回、連携なしの場合は0.56回であったため、6-4-1章と同様に、通信を用いて周辺環境情報を連携することが、自動運転走行の安定性および安全性の向上に寄与する有効な手段であることが確認できた。

なお、この課題や今後の考察に関しては4)成果・課題にて述べる。

表 6-4-2-11:バス停発車から第2車線への車線変更区間における、周辺車両による手動介入数

路車連携	走行回数 (母数 N)	手動介入 発生回数	1走行あたりの 手動介入発生回数
あり	194回	57回	0.29回
なし	52回	29回	0.56回

(2) 路側センサーから自動運転バスへの平均通信遅延時間

- インターネット通信
 - ・ 106ms
- 閉域網通信
 - ・ 66ms

センサー検知情報の処理は100ms周期で実施しており、この処理時間を加味した場合の結果は下記の表6-4-2-12に示す通りである。その結果、6-4-1章と同様に、目標値である400ms以内を満たしていることが確認された。

表 6-4-2-12:路側センサーから自動運転バスへの平均通信遅延時間の比較

通信経路	平均通信 遅延時間	処理時間	合計
インターネット網	106ms	100ms	206ms
閉域網	66ms	100ms	166ms

測定対象走行回数(N)

インターネット通信: N=108 / 閉域網通信: N=88

(3) バス停後方の交差点の交差する道路からの車両検知

表 6-4-2-8 および表 6-4-2-9 で示した通り、交差点に進入する車両を所定の位置で検知できていることから、目標のKPIを達成している。また、表 6-4-2-6 および表 6-4-2-7 で示した通り、LiDAR、ミリ波レーダーともにいずれの天候条件でも、車両の検知精度は100%となっており、センサーによる大きな差異はないと考える。

4) 成果・課題

■ 自動運転バスの手動介入 について

前項 2)および 3)で述べたように、自動運転バスの走行において通信を用いて路車連携することは有効的であり、今後の展開においても一定の効果が見込めるものと考えられる。ただし、「自動運転」という観点では、手動介入の回数を限りなくゼロに近づけていく必要があり、本項目では、その課題および対策に言及する。

表 6-4-2-13:原因と対策—周辺車両の挙動によりブレーキもしくはアクセル操作

周辺車両の挙動によりブレーキもしくはアクセル操作(KPI)	
原因	● 検知距離・相対速度・検知信頼度・他センサーとの整合性等を踏まえてシステム側で総合評価し、発進判断への反映可否を動的に決定するが、車両後方に設置したカメラの検知情報がその制御判断へ十分に反映される条件に至らなかったため。
対策	● カメラによる検知結果をもとに安全な発車制御を行う仕組みについて、車両後方に設置したカメラの検知情報が制御判断により的確に反映されるよう、改善および検証を継続して進める。

■ 路側センサーから自動運転バスへの通信遅延時間 について

通信経路別に平均通信遅延分布を分析した結果、300ms を超えるケースがインターネット通信では 1 回(1.0%)発生していた。6-4-1 とほぼ同等の状況といえる。

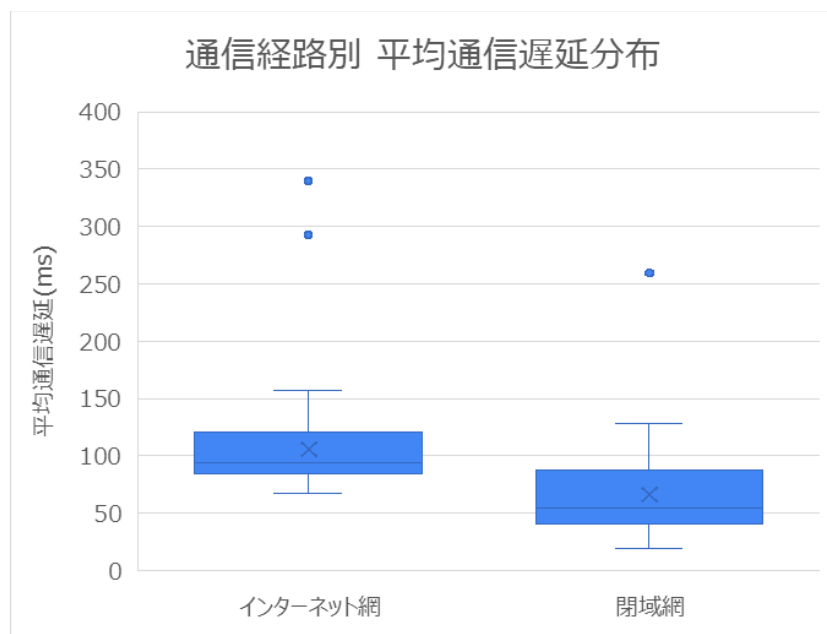


図 6-4-2-14:通信経路別 平均通信遅延分布

測定対象走行回数(N)

インターネット通信: N=108/閉域網通信:N=88

6-4-1 と同様の考察となるが、通信遅延の観点からは、インターネット通信および閉域網通信のいずれも十分に路車連携の通信手段として活用可能であると評価できる。
 一方、実運用を見据えた場合には、通信の安定性に加えてセキュリティ面での対策も重要となることから、閉域網通信の活用がより有効であると考えられる。

■ バス停後方の交差点の交差する道路からの左折車検知 について

RTK-GNSS 測位を用いた検証結果より、交差点に進入する車両を所定の位置で検知することを確認できた。

また、いずれの天候条件においても晴日と同等の検知率が得られた。本実証実験の条件下において、気象による性能劣化は発生せず、かつセンサーによる大きな差異がないことも確認できた。

なお、本実証実験の検知区間は、表 6-4-2-15 に示すように、10 分間の走行台数が 10 台以下の交通量が比較的少ない道路であり、かつ検知区間が路側センサー近傍(~20m)であったため、車両同士の隠れも発生せず、良好に検知できた。

表 6-4-2-15:時間帯(10 分間)ごとの交通量(交差する道路から進入する車両台数)

	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
2025/11/6 交差点入口から 0m~12m	4	2	7	3	3	3
2025/11/21 交差点入口から 0m~12m	9	4	7	4	10	3

一方で、路側センサーを設置可能な既設柱の位置の制約から、設置箇所が交差点入口から約 20m の箇所となり、路側センサー(ミリ波レーダー)の検知区間および評価対象区間が短くなってしまった。路側センサー(ミリ波レーダー)の画角に合わせた設置箇所の再検討が必要である。

また、本実証実験期間内に、センサー装置の比較をするために十分な気象条件を得ることができなかつた。適切な気象条件が得られるように、実証実験の期間を確保する等の検討が必要である。

6.5 ⑤経済性確保:1 人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証

※当該ユースケースは本実証対象外のため記載なし

6.6 ⑦その他:路車間通信の安定性確保

6.6.1 V2I の光無線通信による通信回線の冗長構成を構築し、通信事業者網が使用不可の場合に切り替えることで、通信事業者の障害や電波障害に耐えられるロバストな ODD 確保が可能であることを実証する。

1) 実証スケジュール

上記の内、2025年11月11日から2025年11月14日の4日間にて、検証を実施した。

表 6-6-1-1:実証スケジュール

フェーズ	2025年									2026年
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
実証準備 (事前計測、物品調達等)		機器調達				事前運行				
		環境構築								
実証						対向試験	現地実証 (データ取得)	試乗会	現地実証 (降雪時)	
実証評価									報告書作成	

2) 開発・評価項目の結果

表 6-6-1-2:開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	通信確立状態におけるパケットロス
(2)	遅延時間
(3)	通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI)
(4)	自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること(走行速度)

今回検証に利用したルートとして、図 6-6-1-3 に示す実施計画書に記載のルート(以降ルート 1 とする)と図 6-6-1-4 に示すデータ取得するために走行した特殊なルート(以降ルート 2 とする)の 2 通りのルートを利用した。

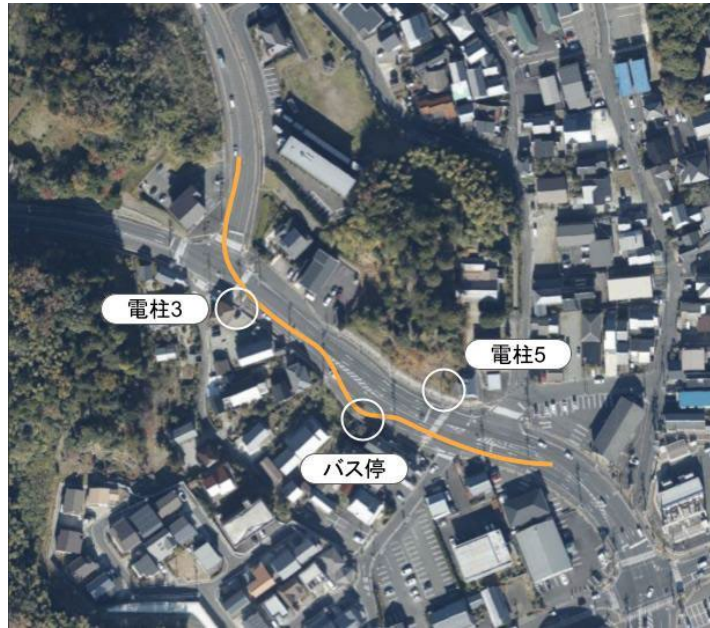


図6-6-1-3:実施計画書記載のルート(ルート1)
(出典:国土地理院地図)



図 6-6-1-4:データ取得のために利用した特殊なルート(ルート2)
(出典:国土地理院地図)

トラッキング光無線通信は、通信機 2 台をそれぞれ正面に向きあう形で正対させることで通信を確立させる通信はした、対となるトラッキング光無線通信機を画像認識するところから始まる。図 6-6-1-5 のように、電柱3回りの区間を交差点区間、電柱5回りの区間をバス停区間とする。交差点区間とバス停区間では、電柱と太陽光とバスの位置関係が正反対となりトラッキングの条件が変わる

ため、今回区分を分ける。

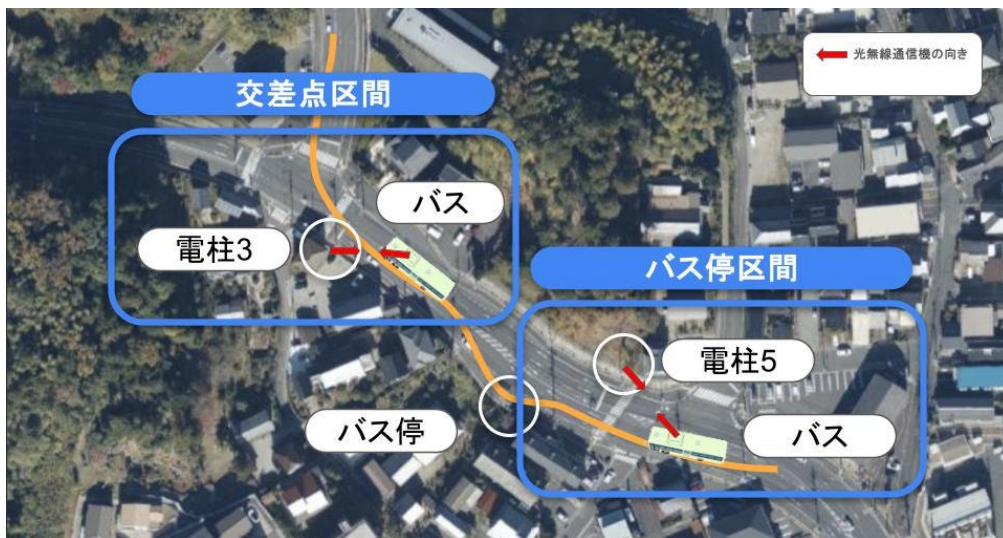


図 6-6-1-5:交差点区間とバス停区間
(出典:国土地理院地図)

下記の図 6-6-1-6 と図 6-6-1-7 が示す通り、バス停区間において 2 パターンの走行ルートがあり、その関係で電柱 5 からのバスの見え方が変わってしまう。そのため、開発・評価項目について、2つのルートそれぞれ分けて結果を記載する。

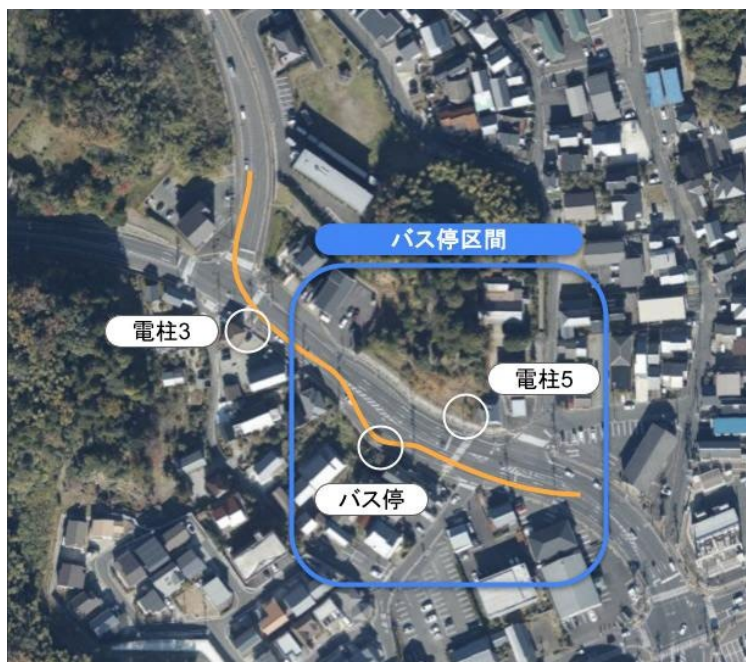


図 6-6-1-6:ルート1におけるバス停区間
(出典:国土地理院地図)

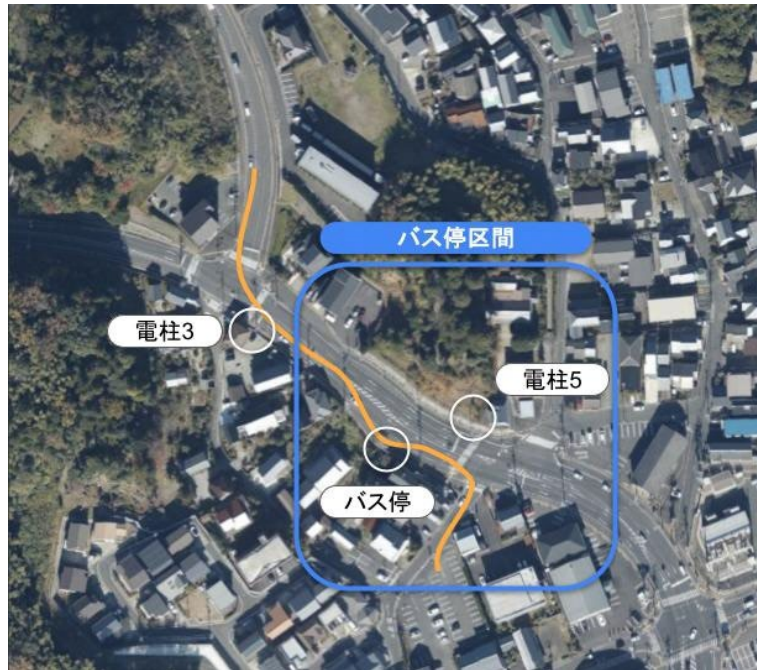


図 6-6-1-7:ルート2におけるバス停区間
(出典:国土地理院地図)

(1) 通信確立状態におけるパケットロス

ルート1において、交差点区間の通信確立状態におけるパケットロスの結果を表 6-6-1-8 に、バス停区間におけるパケットロスの結果を表 6-6-1-9 に記載する。交差点区間の開始位置から終了位置まで、バス停区間の開始位置から終了位置座標をそれぞれ一本の走行とし、各地点の通過時刻を開始時間、終了時間とし表に記載する。

表 6-6-1-8:ルート1の交差点区間における通信確立状態におけるパケットロス

開始時間	終了時間	パケットロス(%)
2025/11/12 8:53:10	2025/11/12 8:53:48	88.4
2025/11/12 9:32:48	2025/11/12 9:36:11	0.6
2025/11/12 13:37:47	2025/11/12 13:39:30	14.9
2025/11/13 9:53:26	2025/11/13 9:55:00	6.4
2025/11/13 13:33:48	2025/11/13 13:35:13	3.9
2025/11/14 9:59:39	2025/11/14 10:01:28	1.0
2025/11/14 10:48:07	2025/11/14 10:49:45	17.7

表 6-6-1-9:ルート1のバス停区間における通信確立状態におけるパケットロス

開始時間	終了時間	パケットロス(%)
2025/11/14 9:58:01	2025/11/14 9:59:34	18.1
2025/11/14 10:46:48	2025/11/14 10:48:02	9.0

また、地図上のどの地点において光無線通信の通信が確立していたのかを可視化するために、通信失敗例と成功例のパケットロスと位置情報の例をそれぞれ図 6-6-1-10、図 6-6-1-11 にプロットする。



図 6-6-1-10(1):ルート1における通信失敗例(11月12日13時37分~13時40分区間)

※パケット通信結果の凡例 青丸:OK 赤×:NG(出典:国土地理院地図)

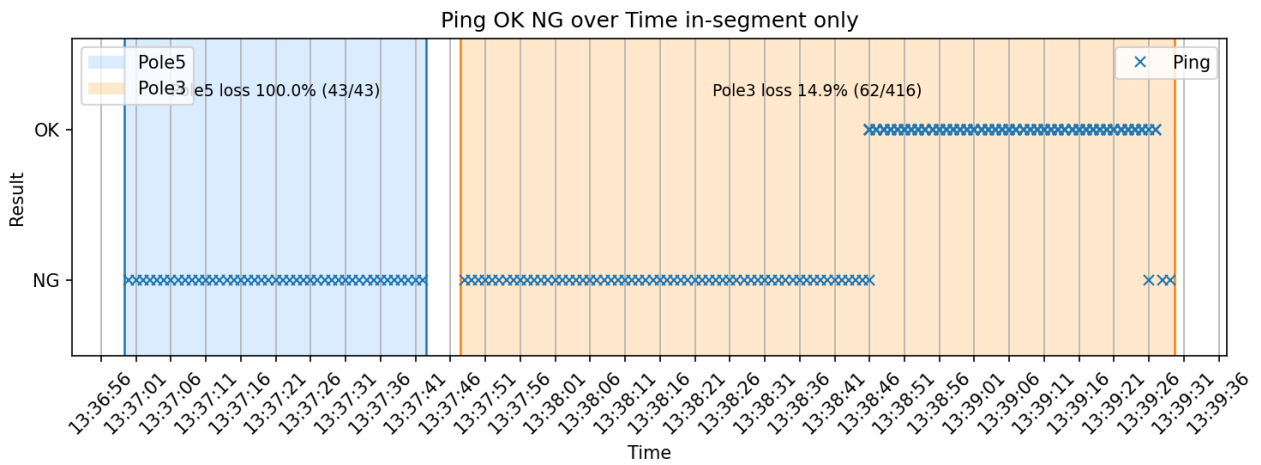


図 6-6-1-10(2):ルート1における通信失敗例(11月12日13時37分~13時40分区間)

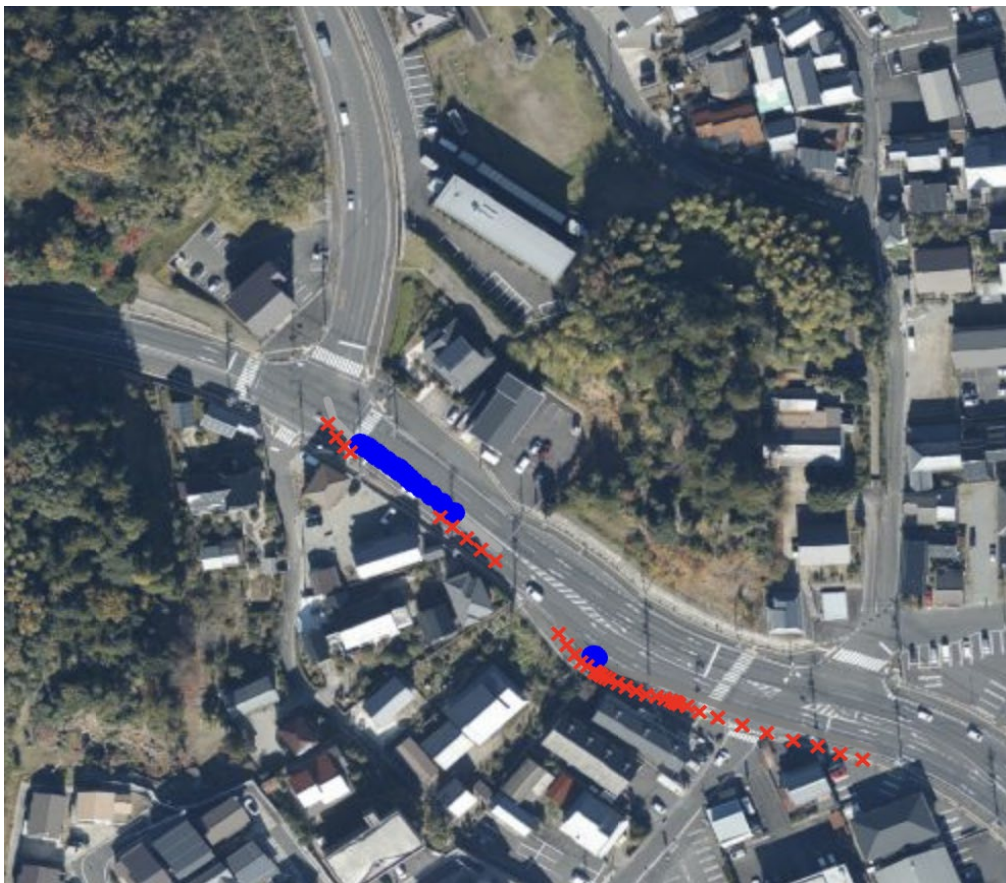


図 6-6-1-11(1):ルート1における通信成功例(11月14日09時58分~10時02分区間)

※パケット通信結果の凡例 青丸:OK 赤×:NG

(出典:国土地理院地図)

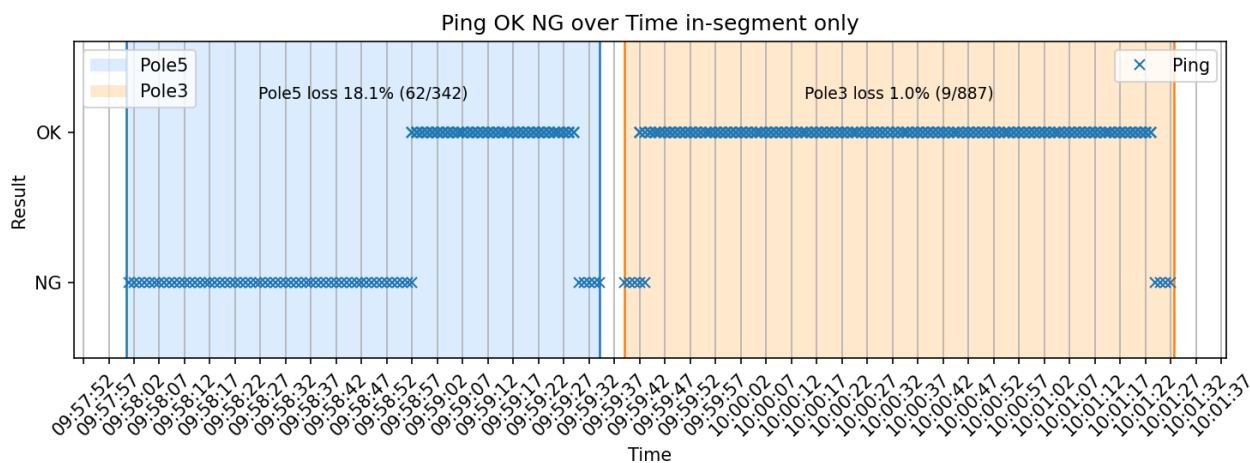


図 6-6-1-11(2):ルート1における通信成功例(11月14日09時58分~10時02分区間)

図 6-6-1-10 からわかる通り、バス停区間はトラッキングが全体的にうまくいかなかった。

また失敗例として交差点区間については、電柱3に対する最初の画像認識からのトラッキングに失敗する傾向があり、電柱3横の停止線位置にてトラッキングが回復し、途中からの通信が再開している例が見られた。

図 6-6-1-11 から、バス停区間について初めはトラッキングができておらず、バス停においてトラッキング光無線通信機のジンバル手動制御を行うことでトラッキングを回復させ、バス停から通信が再開している。

なお交差点区間においてはトラッキングが問題なくできており、通信確立状態において通信が維持できていることが確認できた。



図 6-6-1-12:電柱3横の停止線(出典:国土地理院地図)

ルート2において、交差点区間の通信確立状態におけるパケットロスの結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-1に、バス停区間における見通しの悪いパケットロスの結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-2に記載する。交差点区間の開始位置から終了位置まで、バス停区間の開始位置から終了位置までをそれぞれ一本の走行とし、各地点の通過時刻を開始時間、終了時間とし表に記載する。表8-4-1の標本数は74、表8-4-2の標本数は70である。

また、地図上のどの地点において光無線通信の通信が確立していたのかを可視化するために、通信失敗例と成功例のパケットロスと位置情報の例をそれぞれ図6-6-1-13、図6-6-1-14にプロットする。



図 6-6-1-13(1):ルート2における通信失敗例(11月11日16時00分～16時05分区间)
 パケット通信結果の例を図示 青丸:OK 赤×:NG
 (出典:国土地理院地図)

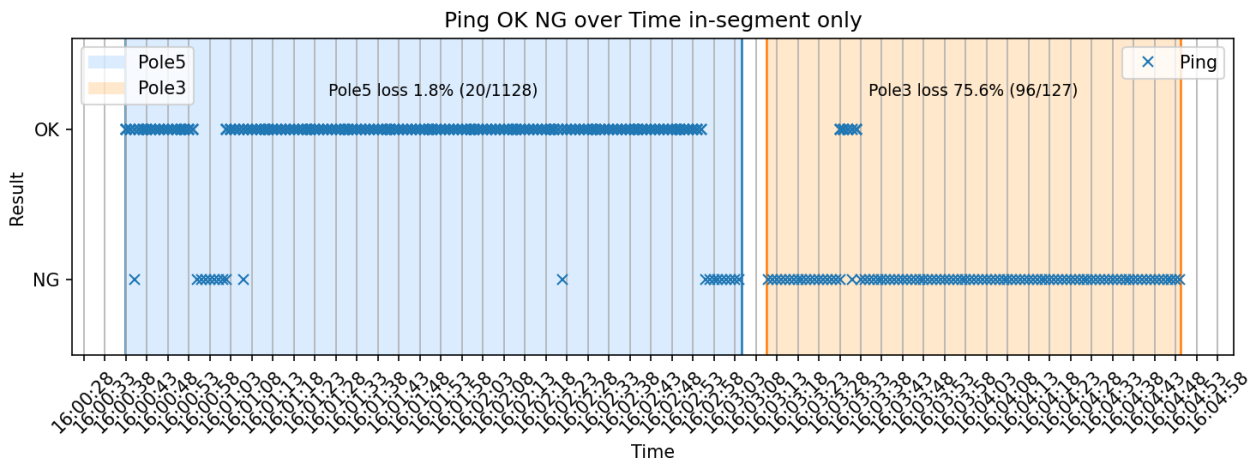


図 6-6-1-13 (2) ルート2における通信失敗例(11月11日16時00分～16時05分区间)

図 6-6-1-13 から、失敗例においては、バス停区間は途中でトラッキングがうまくいかなかったため通信が切断され、バス停停車時にトラッキングが復旧したためバス停地点からは通信が再開

している様子がわかる。交差点区間についても、最初のトラッキングには失敗するが、電柱3横の停止線位置にてトラッキングが回復し、途中から通信が再開する傾向があることがわかる。

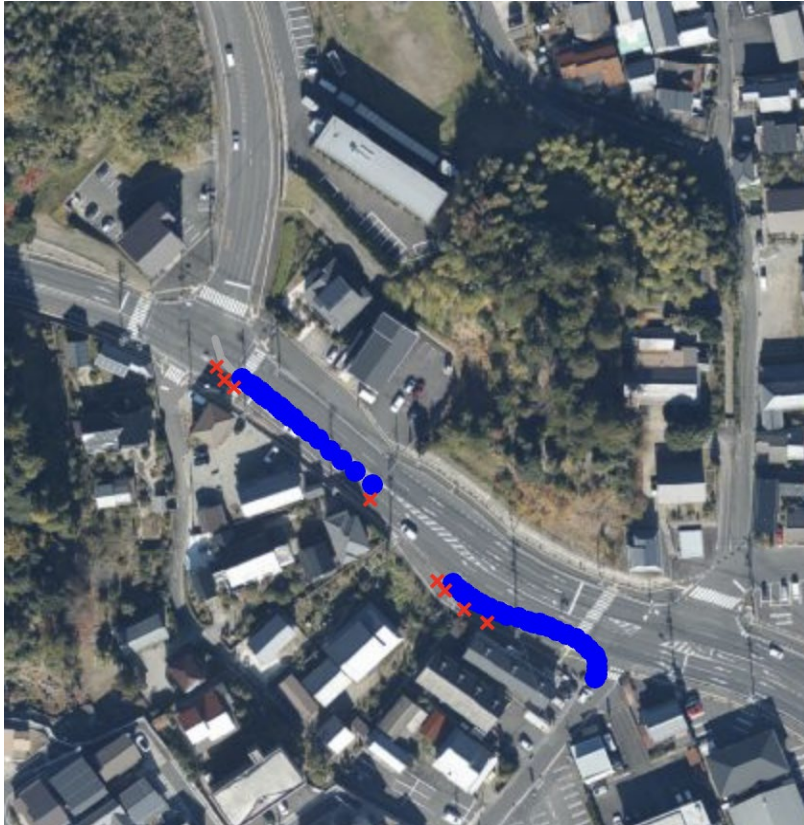


図 6-6-1-14(1):ルート1における通信成功例(11月13日11時23分~11時27分区間)

※パケット通信結果の例を図示 青丸:OK 赤×:NG

(出典:国土地理院地図)

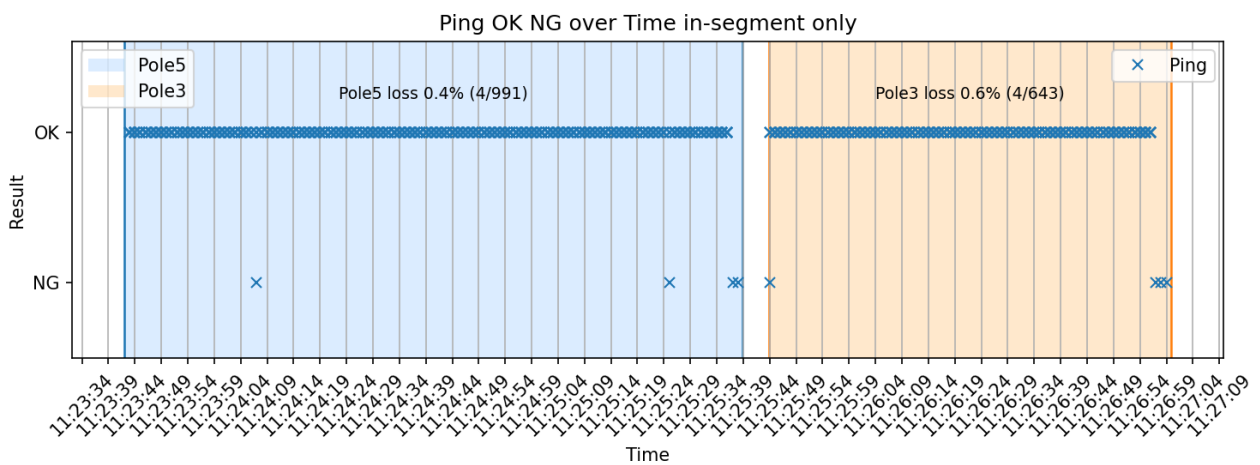


図 6-6-1-14(1) ルート1における通信成功例(11月13日11時23分~11時27分区間)

図 6-6-1-14(1)および(2)から、通信成功例においては、トラッキングが安定していることを確認した。

また、全体の通信確立状態でのパケットロスの分布を可視化するために、通信確立状態でのパケットロスの割合を、交差点区間は図 6-6-1-15 に、バス停区間は図 6-6-1-16 にヒストグラムとして記載する。平均値は交差点区間が 12.95%でバス停区間が 5.95%である。

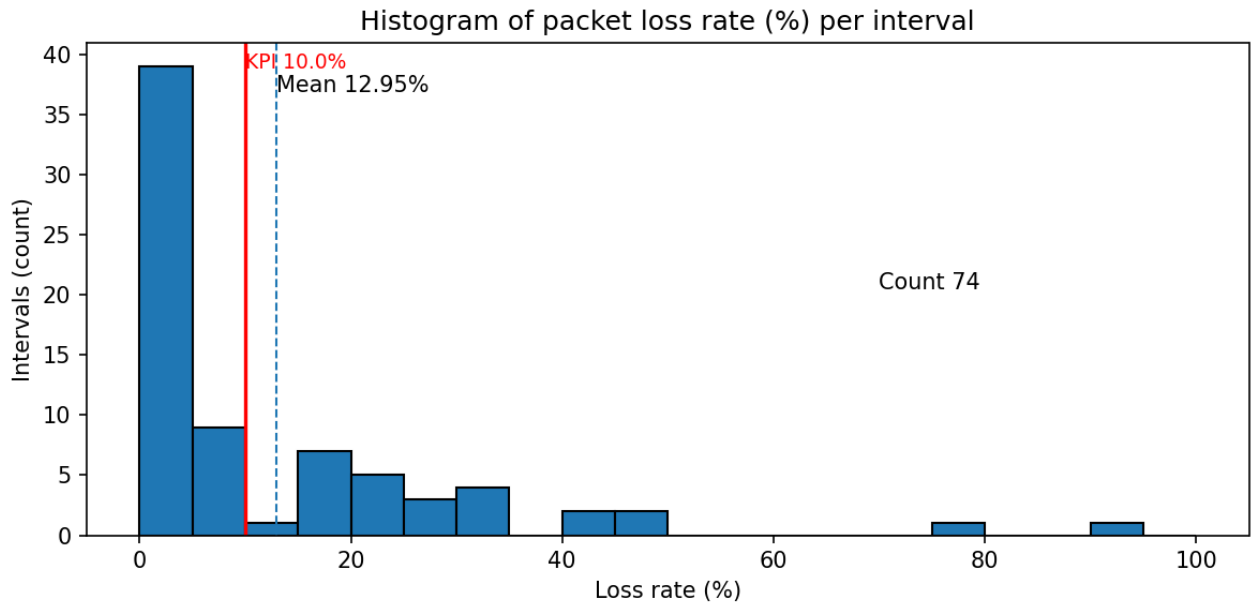


図 6-6-1-15:ルート2の交差点区間における通信確立状態でのパケットロスのヒストグラム

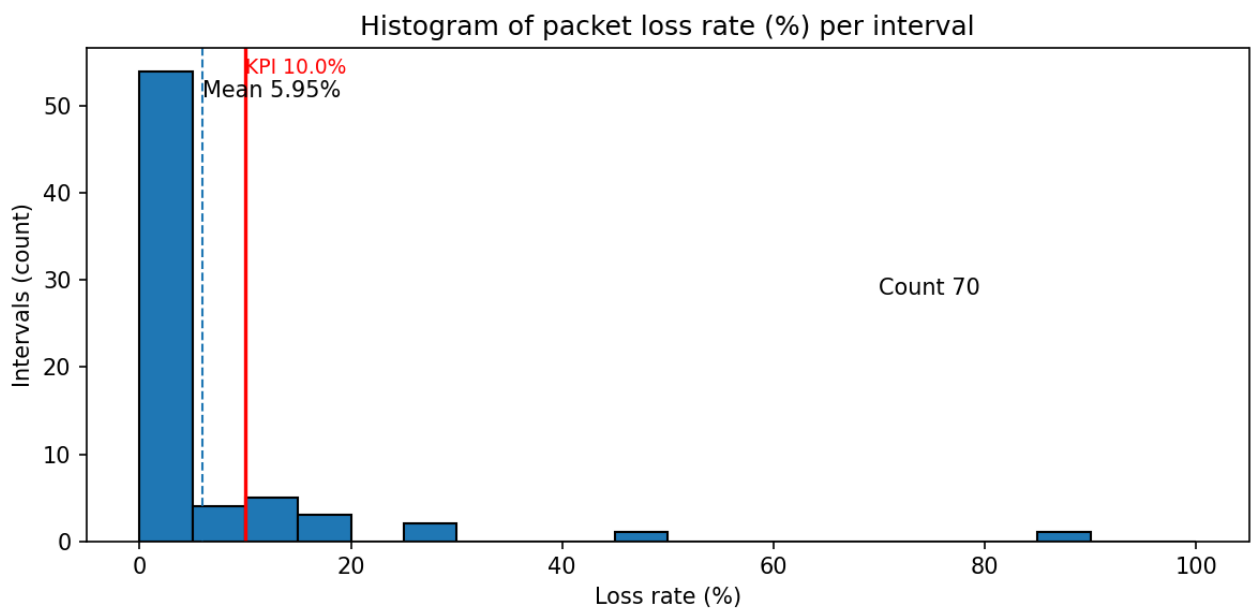


図 6-6-1-16:ルート2のバス停区間における通信確立状態でのパケットロスのヒストグラム

図 6-6-1-15、図 6-6-1-16 から、バス停区間より、交差点区間の方が通信確立状態におけるパケットロスの値が悪くなっている。バス停区間で通信が安定した理由は、太陽光の位置関係など画像認識における条件がバス停区間では比較的良く、かつルート2は電柱5の最初の画像認識においてトラッキング光無線通信機の向きとバスの進行方向が一致していること、交差点にて低速で左折したこと等、トラッキングに好都合な条件が揃ったためと考えられる。



図 6-6-1-17:交差点の左折区間
(出典:国土地理院地図)

また、交差点区間では図 6-6-1-18 のように、バスから見て電柱3に設置されているトラッキング光無線通信機が太陽を背にしているため、太陽光の逆光により画像認識精度が下がった影響でトラッキングが不安定になり、結果として通信の接続も不安定となった。

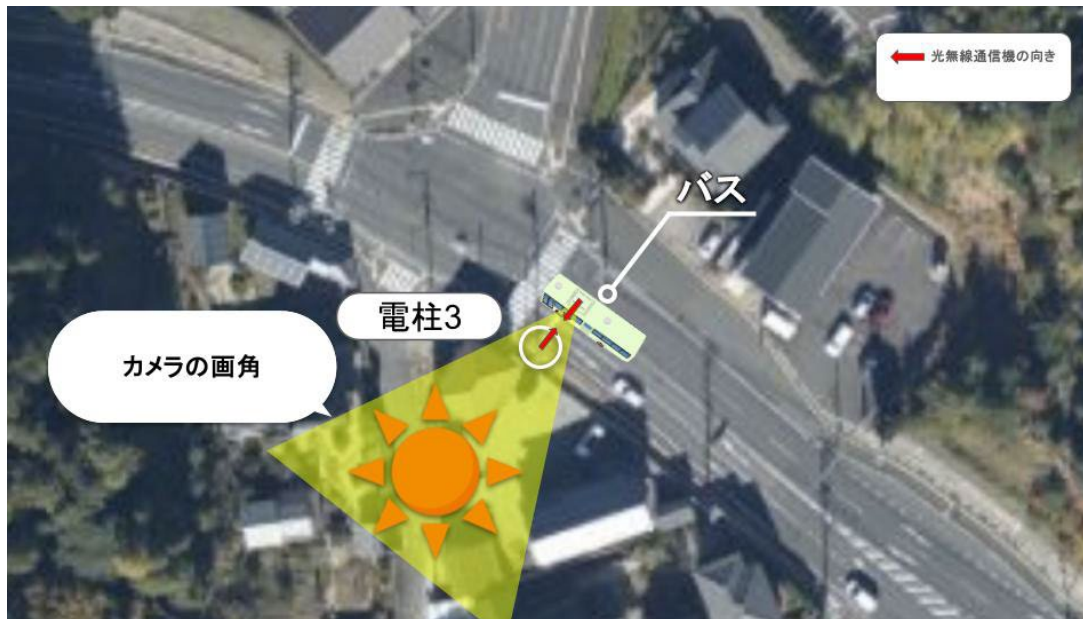


図 6-6-1-18: 電柱3における太陽光とバスの位置関係
(出典: 国土地理院地図)

(2) 遅延時間

ルート1において、交差点区間におけるパケットが確立している状態における通信の遅延時間(以降遅延時間とする)の結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-3に、バス停区間における遅延時間の結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-4に記載する。交差点区間とバス停区間における走行をそれぞれ一本の走行とし、表に開始時間と終了時間を記載する。

遅延時間の分布を可視化するために、交差点区間の遅延時間を図 6-6-1-19 に、バス停区間の遅延時間を図 6-6-1-20 にヒストグラムとして記載する。最大値、最小値、平均値についてもそれぞれ図に記載する。

図 6-6-1-19、6-6-1-20 から、遅延時間はすべて 10ms 以内に収まっており、光無線通信において通信中の遅延時間は非常に安定していることが確認できる。

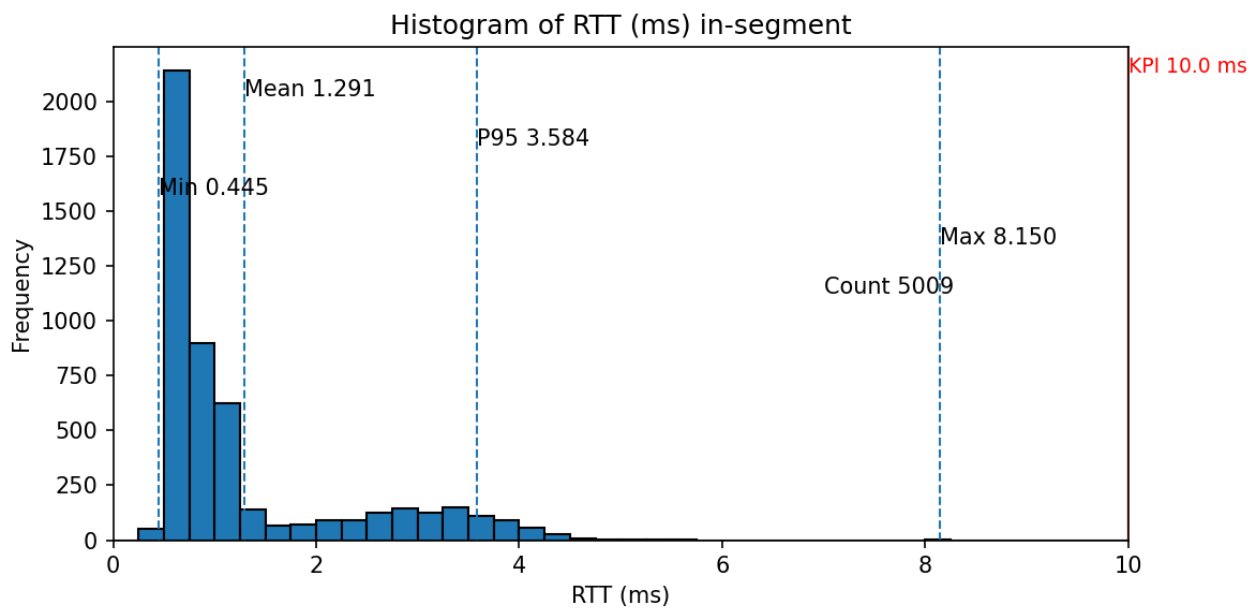


図 6-6-1-19:ルート1の交差点区間における遅延時間のヒストグラム

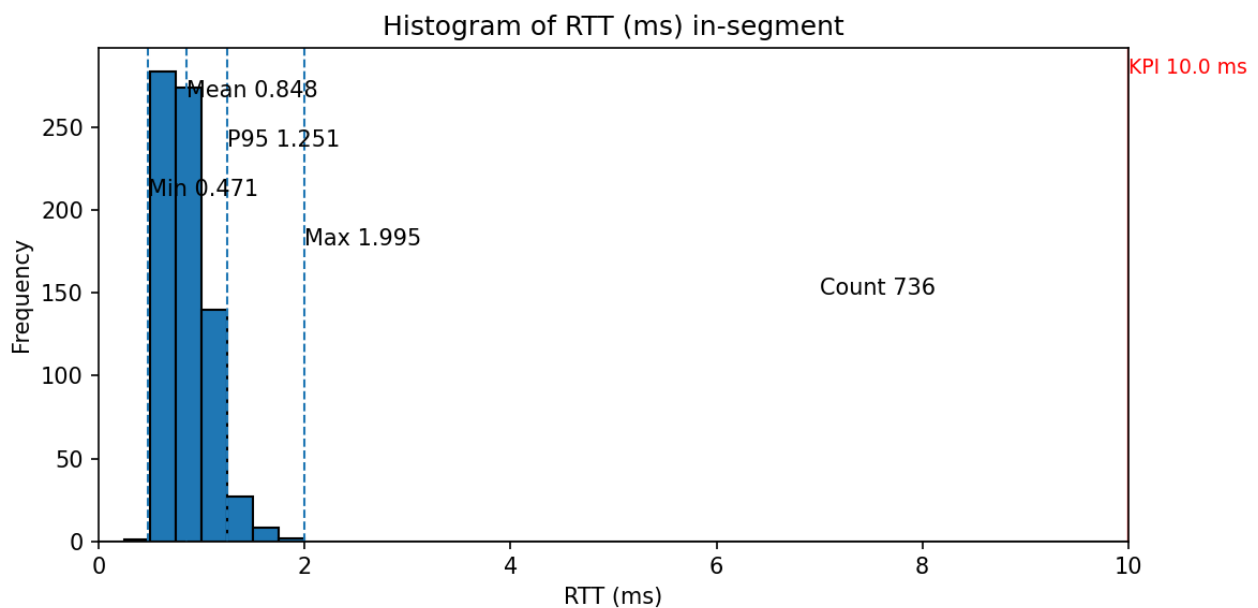


図 6-6-1-20:ルート1のバス停区間における遅延時間のヒストグラム

ルート2において、交差点区間における遅延時間の結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-5、バス停区間における遅延時間の結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-6に記載する。交差点区間とバス停区間における走行をそれぞれ一本の走行とし、表に開始時間と終了時間を記載する。

遅延時間の分布を可視化するために、交差点区間の遅延時間を図 6-6-1-21 に、バス停区間の遅延時間を図 6-6-1-22 にヒストグラムとして記載する。最大値、最小値、平均値についても

それぞれ図に記載する。

図 6-6-1-21、図 6-6-1-22 から、標本数の95%が10ms 以内に遅延時間が収まっており、光無線通信において通信中の遅延時間は非常に安定していることが確認できる。

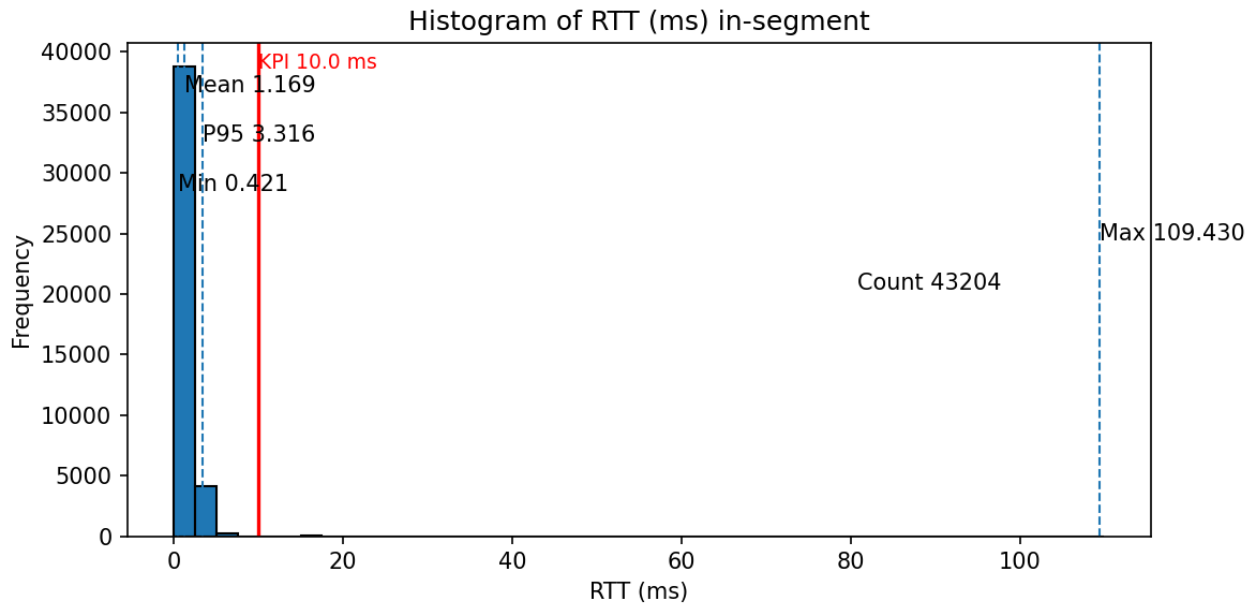


図 6-6-1-21:ルート2の交差点区間における遅延時間のヒストグラム

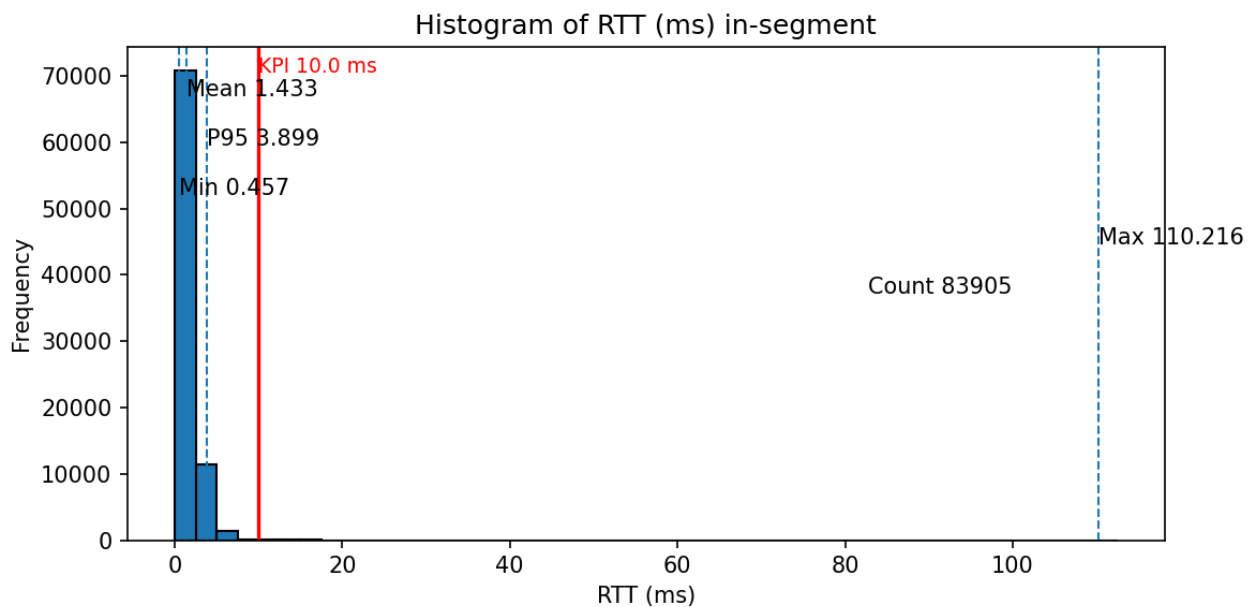


図 6-6-1-22:ルート2のバス停区間における遅延時間のヒストグラム

(3) 通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI)

ルート1において、交差点区間の通信確立状態におけるバス側および電柱側のトラッキング光無線通信装置の受光レベル(以降 RSSI とする)の結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-7に、バス停区間のバス側および電柱側の RSSI の結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-8に記載する。交差点区間とバス停区間における走行をそれぞれ一本の走行とし、表に開始時間と終了時間を記載する。

表8-4-7、8-4-8より、11月14日のバス側の RSSI の値が低いことが確認できる。これは11月14日に発生したバス側の電圧計の故障により受光レベルが実際よりも低く計測されたためであり、当該期間のデータについては評価上その点を留意すべきである。

RSSI の分布を可視化するために、交差点区間の RSSI のバス側を図 6-6-1-23 に、電柱側を図 6-6-1-24、バス停区間の RSSI のバス側を図 6-6-1-25 に、電柱側を図 6-6-1-26 にヒストグラムとして記載する。最小値、最大値、平均値も図に記載する。図 6-6-1-23、図 6-6-1-24 より、交差点区間において、通信可能状態である 2000mV 以上を安定的に満たしていることが確認できる。

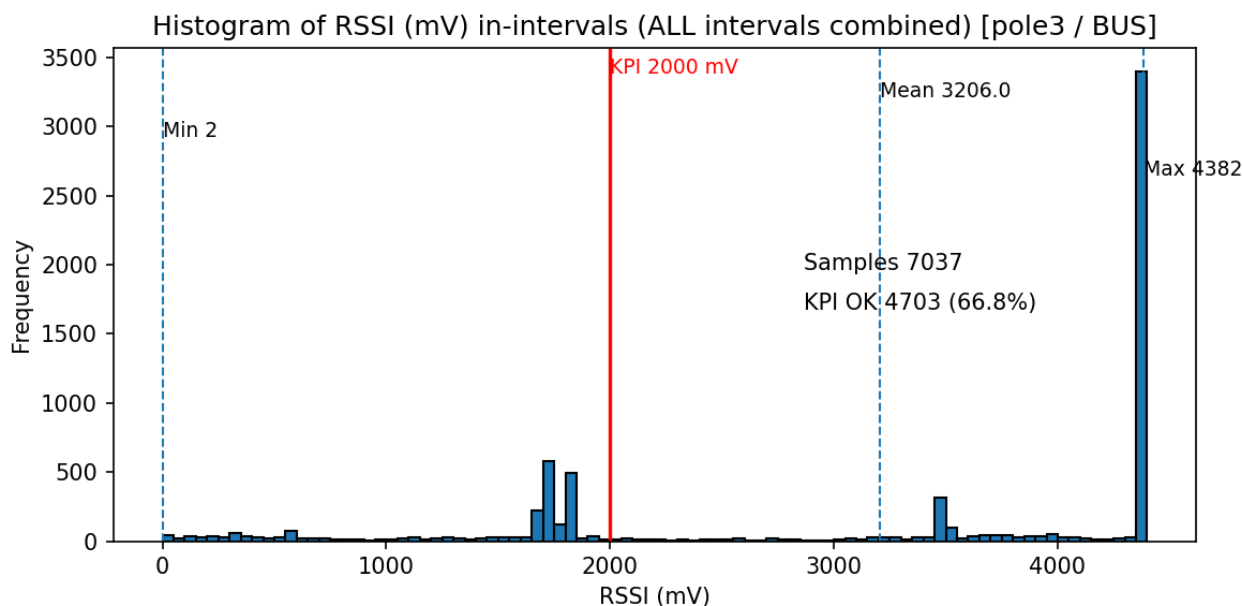


図 6-6-1-23:ルート1の交差点区間におけるバス側 RSSI のヒストグラム

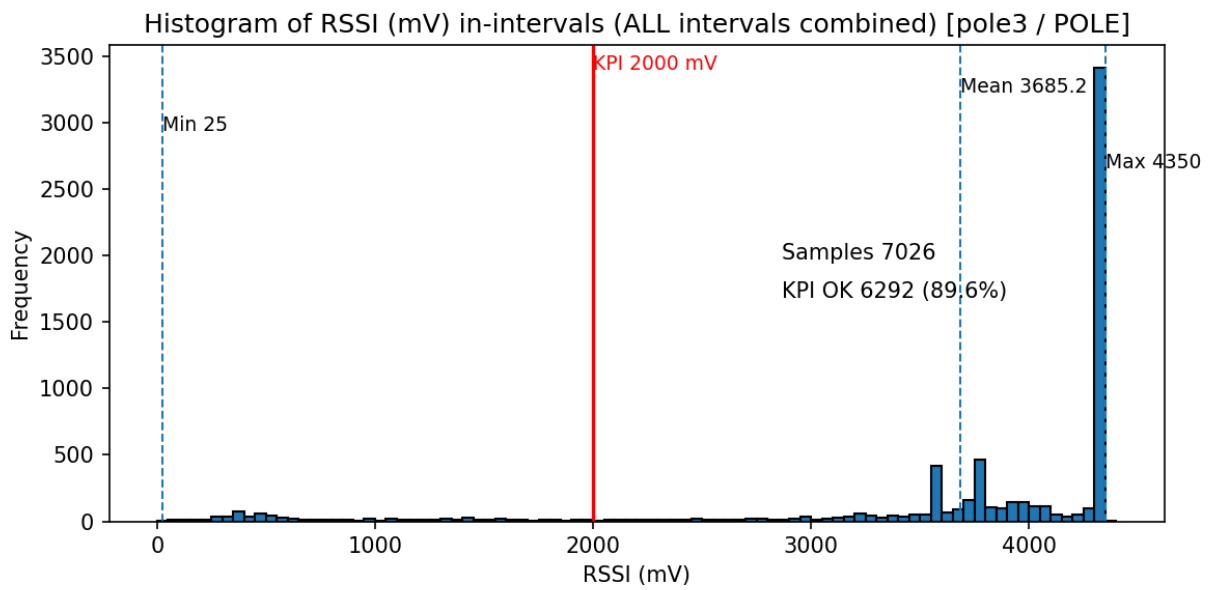


図 6-6-1-24:ルート1の交差点区間における電柱側 RSSI のヒストグラム

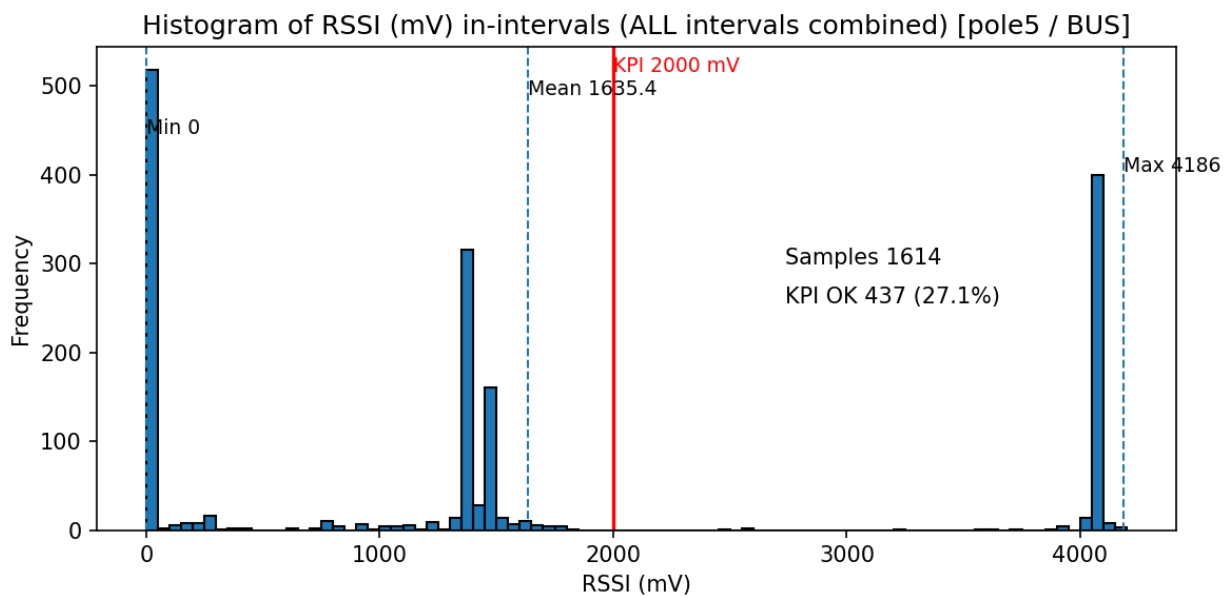


図 6-6-1-25:ルート1のバス停区間におけるバス側 RSSI のヒストグラム

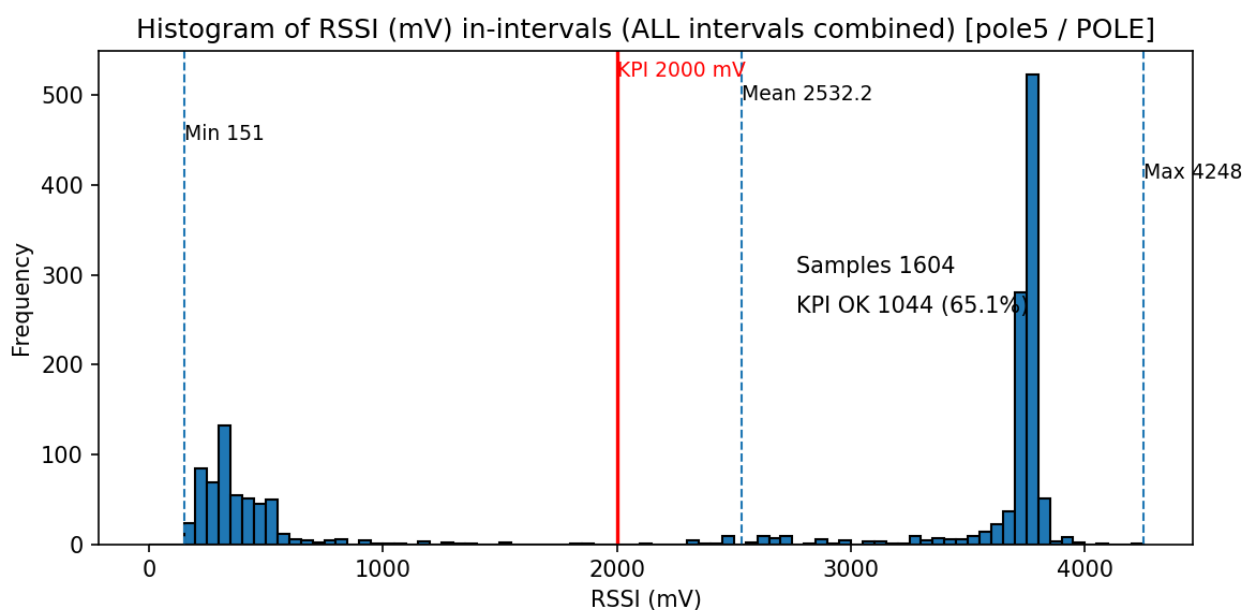


図 6-6-1-26:ルート1のバス停区間における電柱側 RSSI のヒストグラム

ルート2において、バス停区間のRSSIの結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-9に、バス停区間におけるバス側および電柱側の RSSI の結果を別紙実績報告書参考資料編の表8-4-10に記載する。交差点区間とバス停区間における走行をそれぞれ一本の走行とし、表に開始時間と終了時間を記載する。表8-4-10において、11月11日午前中の一部の時間において電柱5側の電圧計が正常に動作せずに RSSI の値が取得できなかったため、対象時間帯は評価外としている。

RSSI の分布を可視化するために、交差点区間の RSSI のバス側を図 6-6-1-27 に、電柱側を図 6-6-1-28、バス停区間の RSSI のバス側を図 6-6-1-29 に、電柱側を図 6-6-1-30 にヒストグラムとして記載する。

図 6-6-1-27、6-6-1-28、6-6-1-29、6-6-1-30 より、交差点区間およびバス停区間において、通信可能状態である2000mV 以上を安定的に満たしていることが確認できる。

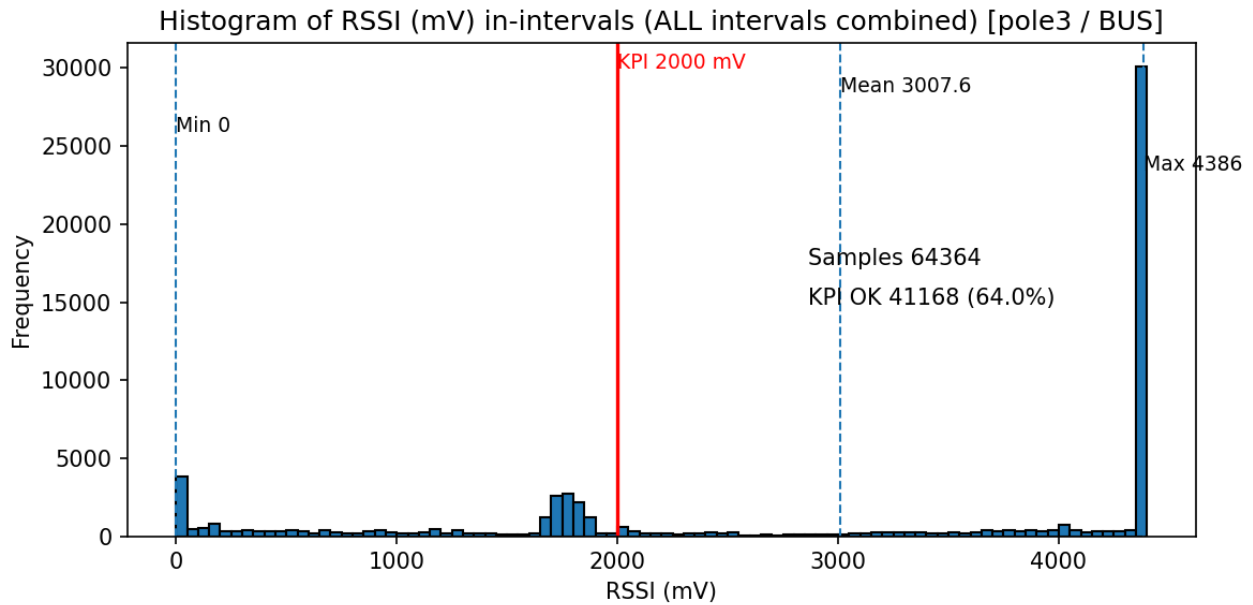


図 6-6-1-27: ルート2の交差点区間におけるバス側 RSSI のヒストグラム

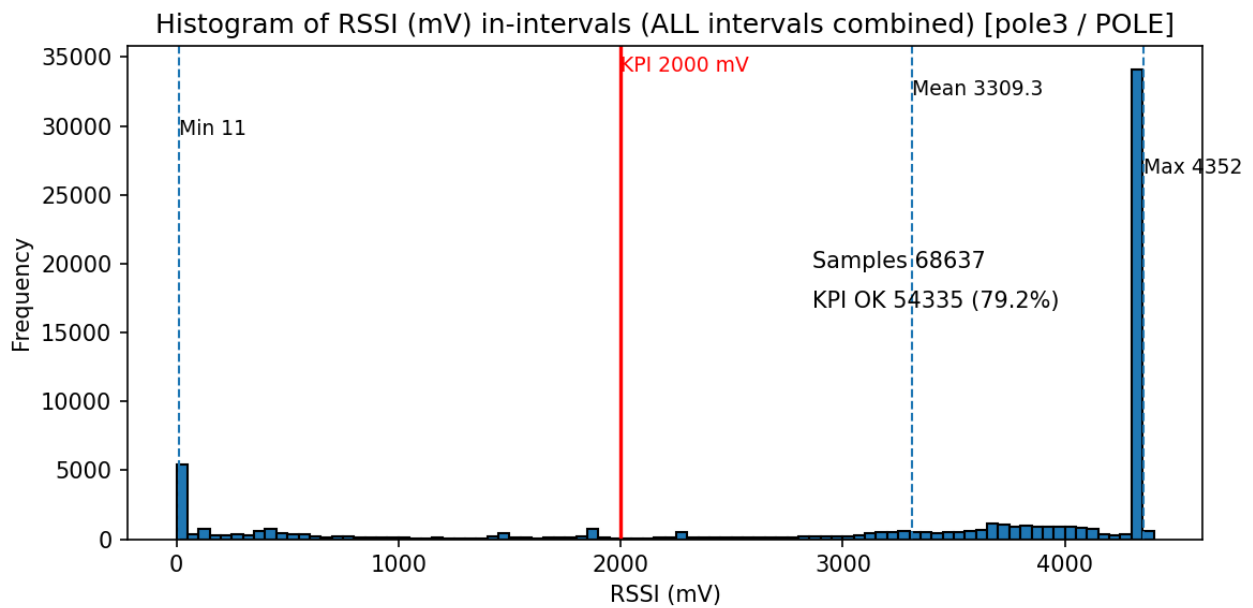


図 6-6-1-28: ルート2の交差点区間における電柱側 RSSI のヒストグラム

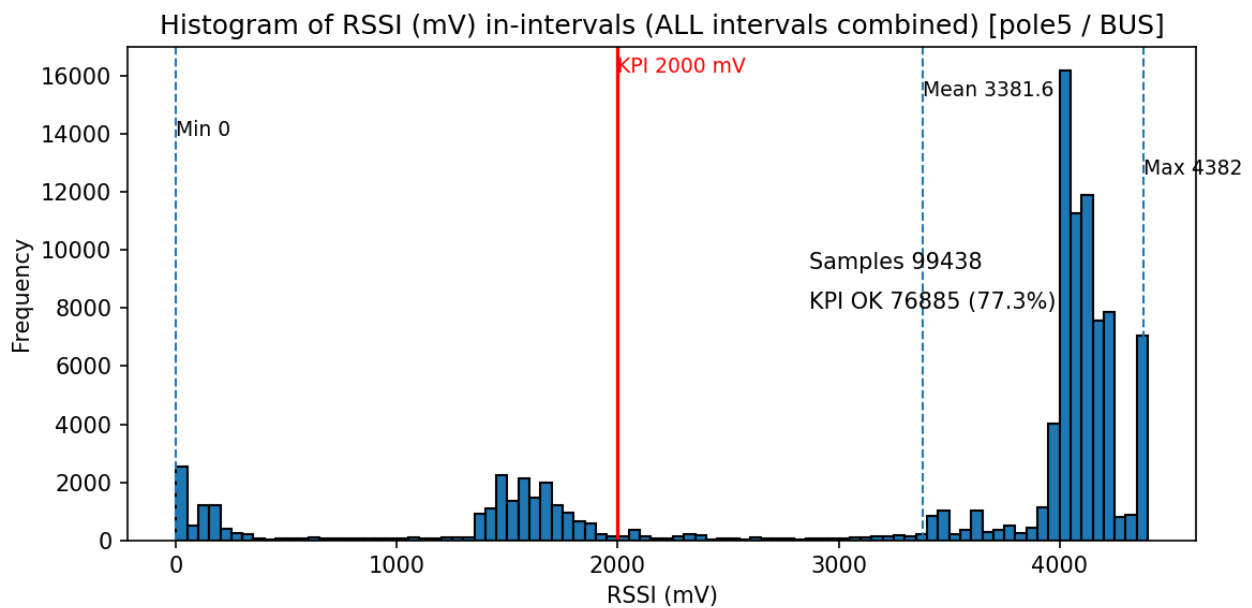


図 6-6-1-29:ルート2のバス停区間におけるバス側 RSSI のヒストグラム

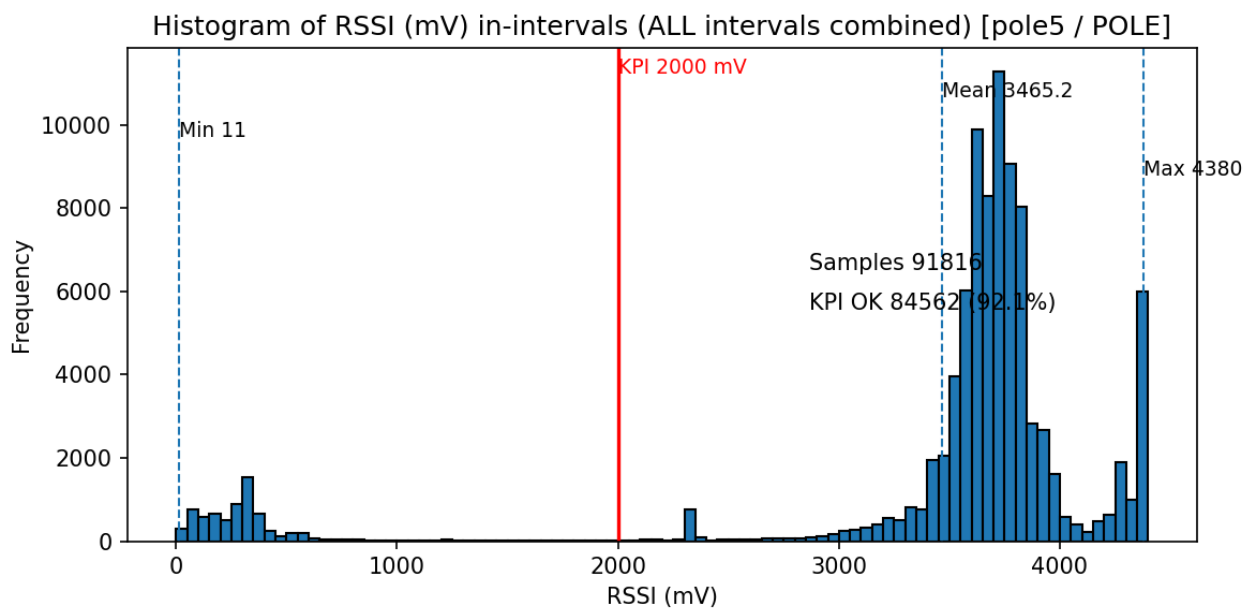


図 6-6-1-30:ルート2のバス停区間における電柱側 RSSI のヒストグラム

(4) 自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること (走行速度)

ルート1において、交差点区間のトラッキングの結果を表 6-6-1-31 に、バス停区間のトラッキングの結果を表 6-6-1-32 に記載する。交差点区間とバス停区間における走行をそれぞれ一本の走行とし、表に開始時間と終了時間を記載する。トラッキングの状態としては、下記の 5 つの状態に分かれて評価を行い、表 6-6-1-31、表 6-6-1-32 に記載する。

- ・ OK:トラッキングが問題なく動作している状態
- ・ ジンバル手動制御:トラッキングが途中で失敗し、見失ってしまったが、トラッキング光無線通信機のジンバルを手動で介入、操作することにより、トラッキングが再開した状態
- ・ カメラパラメータ手動制御:トラッキングが途中で失敗し、見失ってしまったが、トラッキング光無線通信機のカメラパラメータを手動で調整、変更することにより、トラッキングが再開した状態
- ・ 自動復帰:トラッキングが途中で失敗し、見失ってしまったが、位置情報を用いた位置推定によりトラッキングが再開した状態
- ・ NG:トラッキングに失敗しており、またトラッキング再開に失敗した状態

表 6-6-1-31、表 6-6-1-32 から、電柱側は安定的にトラッキングできており、かつトラッキングが失敗しても自動で復帰していることがわかる。これは、電柱側はバスに比べて揺れが小さい上に、動かないためであると考える。

表 6-6-1-31:ルート1の交差点区間におけるトラッキング結果

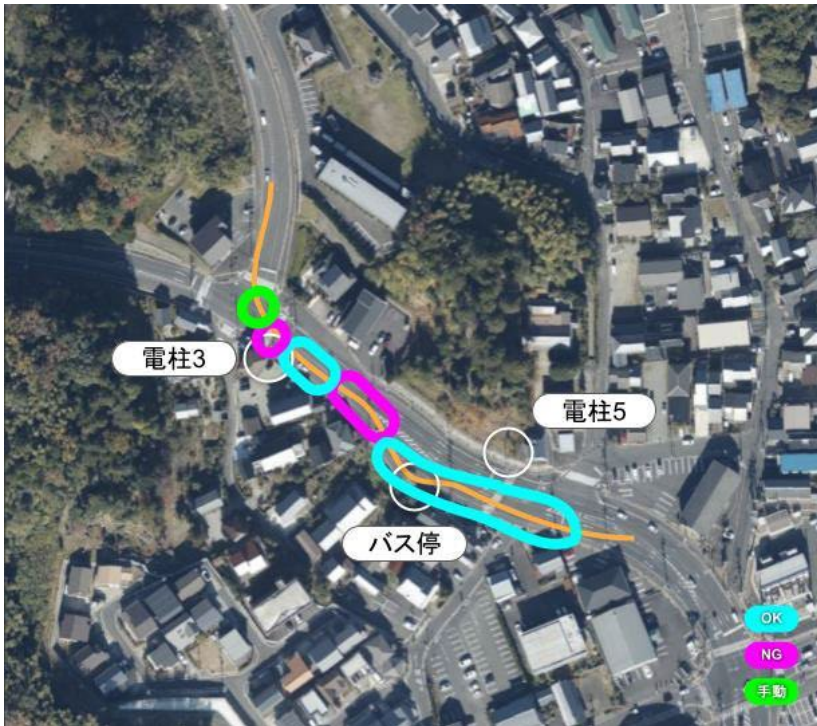
開始時間	終了時間	バス側追跡結果	電柱側追跡結果	バス真横通過速度(km/h)
2025/11/12 8:53:10	2025/11/12 8:53:48	OK	OK	13.5
2025/11/12 9:32:48	2025/11/12 9:36:11	OK	OK	2.3
2025/11/12 13:37:47	2025/11/12 13:39:30	ジンバル手動制御	OK	2.4
2025/11/13 9:03:33	2025/11/13 9:04:05	OK	OK	10
2025/11/13 9:53:26	2025/11/13 9:55:00	OK	OK	2.1
2025/11/13 13:33:48	2025/11/13 13:35:13	ジンバル手動制御	OK	2.1
2025/11/14 9:59:39	2025/11/14 10:01:28	OK	OK	0.9

2025/11/14 10:48:07	2025/11/14 10:49:45	OK	OK	2.2
------------------------	------------------------	----	----	-----

表 6-6-1-32:ルート1のバス停区間におけるトラッキング結果

開始時間	終了時間	バス側追跡結果	電柱側追跡結果	バス真横通過速度(km/h)
2025/11/11 10:14:39	2025/11/11 10:15:17	NG	NG	25.2
2025/11/12 8:52:58	2025/11/12 8:53:07	NG	NG	33.8
2025/11/12 9:32:09	2025/11/12 9:32:42	NG	自動復帰	25
2025/11/12 13:36:59	2025/11/12 13:37:43	OK	OK	19.7
2025/11/13 9:03:21	2025/11/13 9:03:29	NG	OK	33.1
2025/11/13 9:52:42	2025/11/13 9:53:21	カメラパラメータ手 動制御	OK	18.4
2025/11/13 13:33:13	2025/11/13 13:33:44	ジンバル手動制御	OK	23.7
2025/11/14 9:58:01	2025/11/14 9:59:34	ジンバル手動制御	OK	23
2025/11/14 10:46:48	2025/11/14 10:48:02	ジンバル手動制御	OK	23.8

トラッキングの成否を可視化した図を掲載する。バス停区間のトラッキング成功例を図 6-6-1-33、交差点区間のトラッキング成功例を図 6-6-1-34、失敗例を図 6-6-1-35 とする。これらの図から、交差点区間の停止線までのトラッキングは安定して行えていることがわかる。



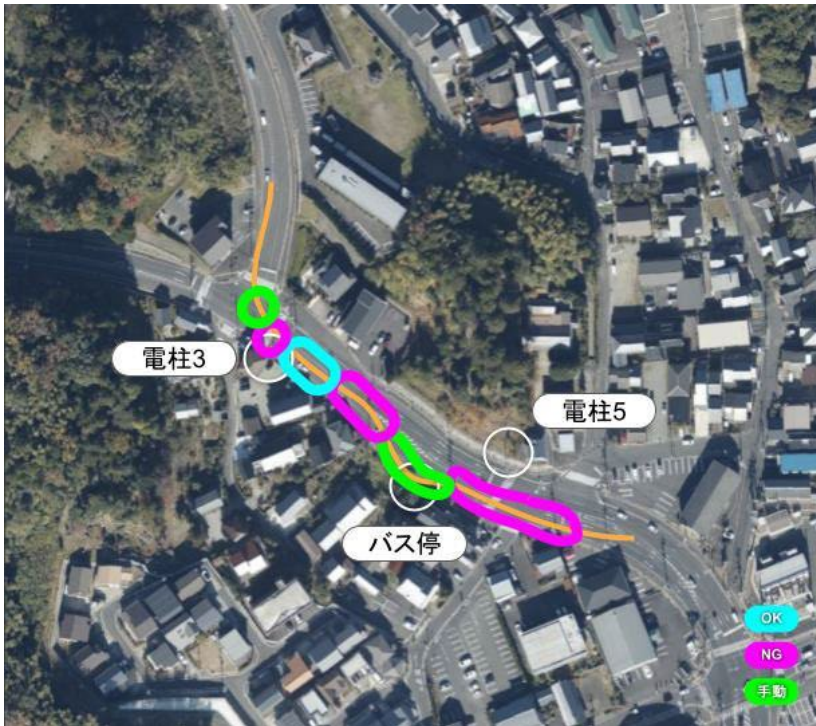
成功例

図 6-6-1-33:ルート1におけるトラッキング結果(11月12日13時35分~13時40分区間)
(出典:国土地理院地図)



成功例

図 6-6-1-34:ルート1におけるトラッキング結果(11月13日09時52分~09時55分区間)
(出典:国土地理院地図)



失敗例

図 6-6-1-35: ルート1におけるトラッキング結果(11月13日13時33分~13時35分区間)
(出典: 国土地理院地図)

3) KPI/KGI との比較結果

表 6-6-1-36: 定性評価/定量評価

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	(1)	通信確立状態におけるパケットロス [目標: 10%以下]
	(2)	遅延時間 [目標: 10ms 以下]
	(3)	通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI) [目標: 通信可能状態(2V 以上)を維持]
定性評価	(4)	自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること

(1) 通信確立状態におけるパケットロス [目標: 10%以下] 【定量評価】

表 6-6-1-8、表 6-6-1-9、別紙実績報告書参考資料編の表 8-4-1、8-4-2 より、各ルートの走行ごとに対する通信確立状態におけるパケットロスの値を用いて、走行数(以降データ数と表記する)と KPI 達成件数、KPI 達成割合[%]、パケットロスの平均値[%]を表 6-6-1-37 で示す。

表 6-6-1-37 から、KPI は未達成であり、KPI 達成割合は 67.7%であった。また、通信確立

状態での走行データ(164 件)におけるパケットロスの平均値は15.9%であった。

表 6-6-1-37:通信確立状態におけるパケットロスの集計結果

評価項目	データ数	KPI 達成件数	KPI 達成割合(%)	平均値(%)
通信確立状態におけるパケットロス	164	111	67.7	15.9

(2) 遅延時間[目標:10ms 以下]【定量評価】

別紙実績報告書参考資料編の表8-4-3~8-4-6より、各ルートの走行ごとに対する遅延時間の値を用いて、データ数と KPI 達成件数、KPI 達成割合[%]、遅延時間の平均値[ms]を表 6-6-1-38 で示す。

表 6-6-1-38 から、KPI は達成しており、安定した通信遅延時間を確認できた。

また、走行データ(154 件)における遅延時間の平均値は 1.3ms であり、目標値よりも大幅に良好な値を確認した。

表 6-6-1-38:遅延時間の集計結果

評価項目	データ数	KPI 達成件数	KPI 達成割合(%)	平均値(ms)
遅延時間	154	154	100	1.3

(3) 通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(RSSI)

[目標:通信可能状態(2V 以上)を維持]【定量評価】

別紙実績報告書参考資料編の表8-4-7~8-4-10より、各ルートの走行ごとに対する通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(以降 RSSI で表記)の値を用いて、データ数と KPI 達成件数、KPI 達成割合[%]、RSSI の平均値[mV]を表 6-6-1-39 で示す。

表 6-6-1-39 から、KPI は未達成であり、KPI 達成割合はバス側では76.5%であり、電柱側では94%であった。バス側は11月14日の電圧計が故障しており RSSI の値が小さく表示されていたので、電柱側に比べて目標達成率が低くなっていると考えられる。

また、バス側の走行データ(153 件)および、電柱側走行データ(149 件)の平均値はともに 2000mV を超えており、通信確立状態においては通信可能状態を維持できていることを確認できる。

表 6-6-1-39:通信確立状態におけるバス側および電柱側の RSSI 集計結果

KPI 項目	データ数	KPI 達成件数	KPI 達成割合(%)	平均値(mV)
通信確立状態におけるバス側 RSSI	153	117	76.5	3218.5
通信確立状態における電柱側 RSSI	149	140	94.0	3402.2

(4) 自動運転バスの走行速度においてトラッキングができること【定性評価】

自動運転バスと電柱に搭載されたトラッキング光無線通信機同士のトラッキング可能速度と、バス走行速度をまとめる。対象としては、ルート1の交差点区間における電柱3と、ルート1のバス停区間における電柱5それぞれに対して、トラッキングが成功したバスの走行速度について評価する。

表 6-6-1-31 に示す通り、電柱 3 においてトラッキングが成立した自動運転バスの走行速度は、概ね約 1~13km/h の範囲であった。

また、表 6-6-1-32 に示す通り、電柱 5 においてトラッキングが成立した自動運転バスの走行速度は、約 20km/h 程度であった。

一方、表 6-6-1-31、表 6-6-1-32 より、自動運転バスの走行速度は、交差点区間においては概ね約 1~15km/h 程度であったのに対し、バス停区間においては概ね約 20~35km/h 程度であった。

以上の結果から、現状のトラッキング光無線通信装置では、自動運転バスの走行速度に対する追従性能が十分ではなく、特にバス停区間における高速度域では安定したトラッキングの確保が困難であることが確認された。自動運転バスと電柱に搭載されたトラッキング光無線通信機同士のトラッキング可能速度とバス走行速度をまとめる。対象としては、ルート1の交差点区間における電柱 3 と、ルート1のバス停区間における電柱5それぞれに対して、トラッキングが成功したバスの走行速度について評価する。

4) 課題・成果

■ 実証で検証した範囲

- ・ 通信確立状態におけるパケットロスの計測
- ・ 遅延時間の計測
- ・ 通信確立状態におけるトラッキング光無線装置の受光レベル (RSSI) の計測
- ・ 自動運転バスの走行速度におけるトラッキングの評価

■ 設置時に考慮すべき制約条件/設置に不向きな環境、留意が必要な観点

- ・ トラッキング光無線装置同士の見通しの確保 (通信機間に遮蔽物が無いこと)
- ・ 路側は電柱への設置にあたり高さ制限がある。勾配が強い道においては高さ制限と見通し確保の両立に注意が必要。

- ・ バス側のトラッキング光無線装置は、走行中に路側のトラッキング光無線装置へ順次切り替えながら走行する。その際、装置の向きを切り替える瞬間は通信が行えない。
- ・ 電波干渉は考慮の必要が無い。

■ 実証結果の概要

本実証において、遠隔監視に資する通信システムの安定性およびトラッキング性能に関する検証を実施した結果、以下の成果と課題を確認した。

- ・ パケットロス率の達成状況:通信確立状態におけるパケットロス率について、目標とする10%以下を約7割の精度で達成した。
- ・ 通信遅延時間の安定性:通信遅延時間については、全データにおいて平均値が10ms以内に収束していることを確認し、遠隔監視システムに要求される通信遅延の安定性を実証した。
- ・ 受光レベルの維持:通信確立状態におけるトラッキング光無線通信装置の受光レベル(以降RSSIと表記)の計測では、車載機器側で一時的な不具合により測定値が低下したものの、路側機側においては、通信可能状態(2,000mV)を94%の精度で維持できることを確認した。
- ・ トラッキング性能の検証結果と課題:見通しの悪い右折区間では、車載機と路側機間のトラッキング機能が正常に動作することを確認した。しかしながら、見通しの悪い車線変更区間における検証では、バス走行速度の走行速度範囲(20~30km/h)に対し、トラッキング可能速度が20km/hに留まり、当該区間における実用的な性能の確保が今後の課題として明確になった。

■ 課題

本実証において、トラッキングが大きな課題となり、トラッキングが失敗することで、パケットロスやRSSIの目標値に届かない事象に繋がった。トラッキングの課題は、画像認識の処理速度が遅いことに起因するトラッキング追従速度の低下と、太陽光の逆光による画像認識精度の低下である。

トラッキング追従速度が低下することで、カーブやバス停区間のバス走行速度が速い区間において、トラッキングが追いつかずパケットロスやRSSIの値が悪くなる傾向があった。

画像認識の処理速度の遅さは、逆光対策アルゴリズムを搭載したこと等による処理速度の低下等が原因であり、結果的にトラッキングの追従速度が遅くなった。画像処理PCのスペックを上げることで、解決可能であると考えられる。

電柱3のトラッキング光無線装置が太陽を背にした状態では、逆光によって画像認識マーカの認識精度が低下し、トラッキングが不安定となった。

逆光による画像認識精度の低下については特に晴天日の午後に発生しやすいことが確認された。図6-6-1-40のように、特に見通しの悪い右折区間の電柱に設置されているトラッキング光無線通信機の背景が建物から空に変化する際に、太陽が建物に隠れ、画角に入らない瞬間におい

では、明度差が激しく変化し、画像認識が困難になることが確認されている。

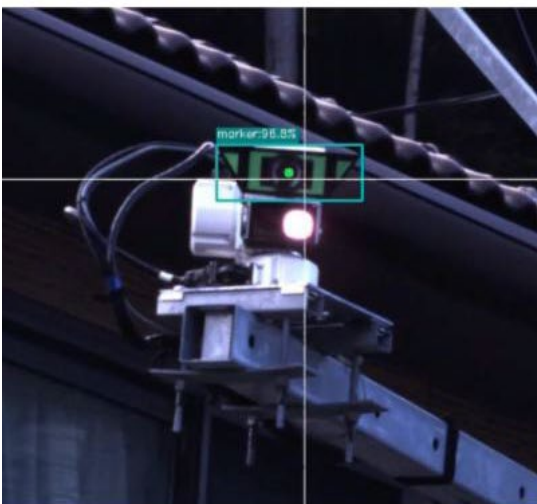
太陽光の逆光の課題に対しては、カメラの映像から逆光の程度を判定し、逆光の強さに応じて逆光復元アルゴリズムを適用することで解決可能と考える。

逆光復元アルゴリズムの流れを下記に示す。

- ① 入力画像の状態推定
明るさ分布、影領域の割合、逆光スコアを算出し、復元必要強度を推定
- ② 復元候補画像の生成
軽量の処理で作る候補と、画質優先の処理で作る候補を複数生成
- ③ 候補ごとの品質評価スコア算出
各候補について画質評価指標を計算し、候補選択用スコア(以降スコアと表記)を算出
スコアは、影側改善量、白飛び変化、シャープネス比、コントラスト比等を合成して算出
- ④ 最終画像の決定と出力
スコアに基づき最終採用候補を決定

作成した逆光復元アルゴリズムの結果を図 6-6-1-41 に示す。強い逆光下においても画像認識可能な状態に逆光画像を復元できることを確認した。

通常時(検出可)



逆光時(検出不可)



図 6-6-1-40:逆光時のマーカの映り方の様子(左が通常時の画像、右が逆光時の画像)



図 6-6-1-41:逆光復元アルゴリズムの復元結果(左が元の画像、右が逆光復元した画像)

6.7 レベル 4 の社会実装に向けた検討の結果

6.7.1 運用検証

1) システムの操作性やユーザインターフェースに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)

(1) 実施結果

遠隔監視においては、自動運転バス 1 台に対し、遠隔監視員 1 名体制で常時監視を実施した。監視画面では、車内外のカメラ映像、車両状態、通信状態を一画面で把握でき、通常運行時には監視業務を継続できた。以下に全体システムの構成図のイメージを示す。

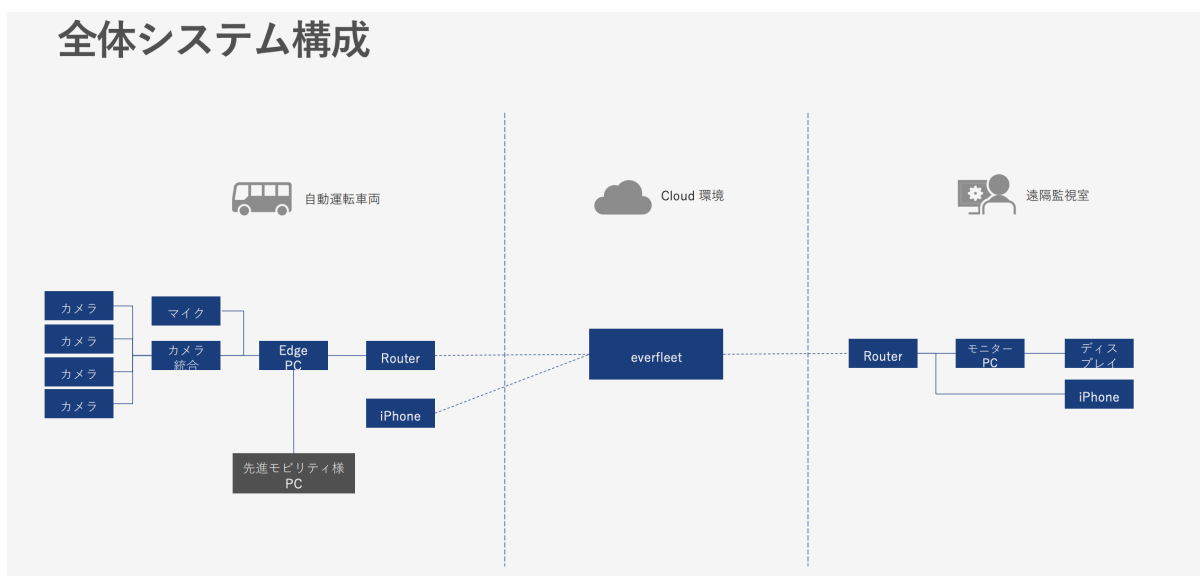


図 6-7-1-1:遠隔監視を含む全体システムの構成図

また、画面切り替えや情報確認操作についても、運行監視に支障をきたすことなく実施可能であった。

4.7 レベル4の社会実装に向けた検討で記載した内容をもとに、下記の集計データ(11月27日～12月14日(12日間)の試乗会期間における達成度)を示す。チェック内容についてそれぞれ動作状況を毎日確認し、確認できない日があれば動作状況できない日として達成度を計上した。

表 6-7-1-2:遠隔監視におけるチェックリスト一覧

項番	チェック内容	達成度
1	自動運転を停止した理由が判別できるか(予定通り/アクシデント)	100%
2	監視カメラ映像は、アクシデントの状況を判別できるのか	100%
	- 消防にけが人等の状況を説明できるか	100%
	- 警察にアクシデントの状況を説明できるか	100%
3	遠隔監視システムの作動状態を判別できるか	98%
4	アクシデント発生場所(住所や目印等)を判別できるのか	98%
5	バスの状態を判別できるか	98%
6	乗客の安全状態を判別できるか(車内状態、扉状態)	100%

項番	チェック内容	不良数
1	自動運転バス搭載機器	1
2	機器/通信システムの故障数	1
3	自動運転バスと遠隔監視間の通信システム	0

項番	チェック内容	平均時間
1	システム応答性能	表示更新作業をした時の表示完了までの時間
		12秒

なお、稼働率が100%でない内容に関する詳細は下記の通りである。

- 11月28日
 - 第3走:自動運転システムと連携できておらず、車両データを取得できなかったため、自動運転状況と詳細が確認できなかった
 - 原因:システム再起動後の手順実施漏れ

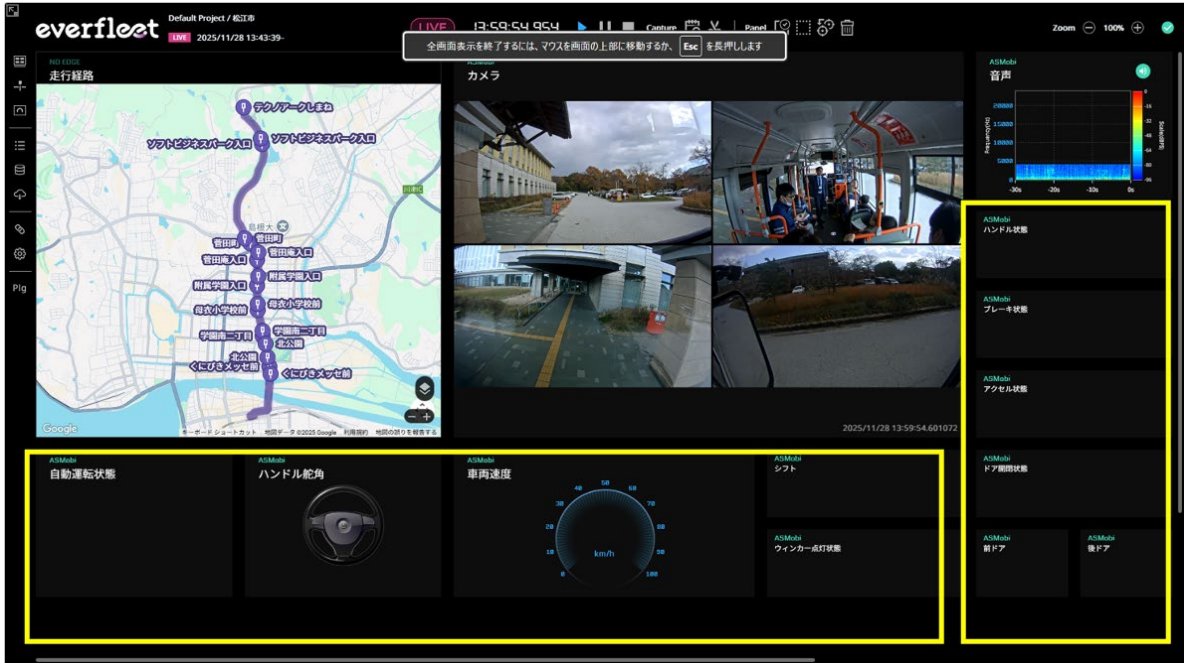


図 6-7-1-3:稼働率未達の詳細—11月28日

- 12月11日
 - 第2走:自動運転システムと連携できておらず、車両データを取得できなかったため、遠隔監視室からは後ドアが開いている状態となっていた
 - 原因:システム構成セットアップ漏れ

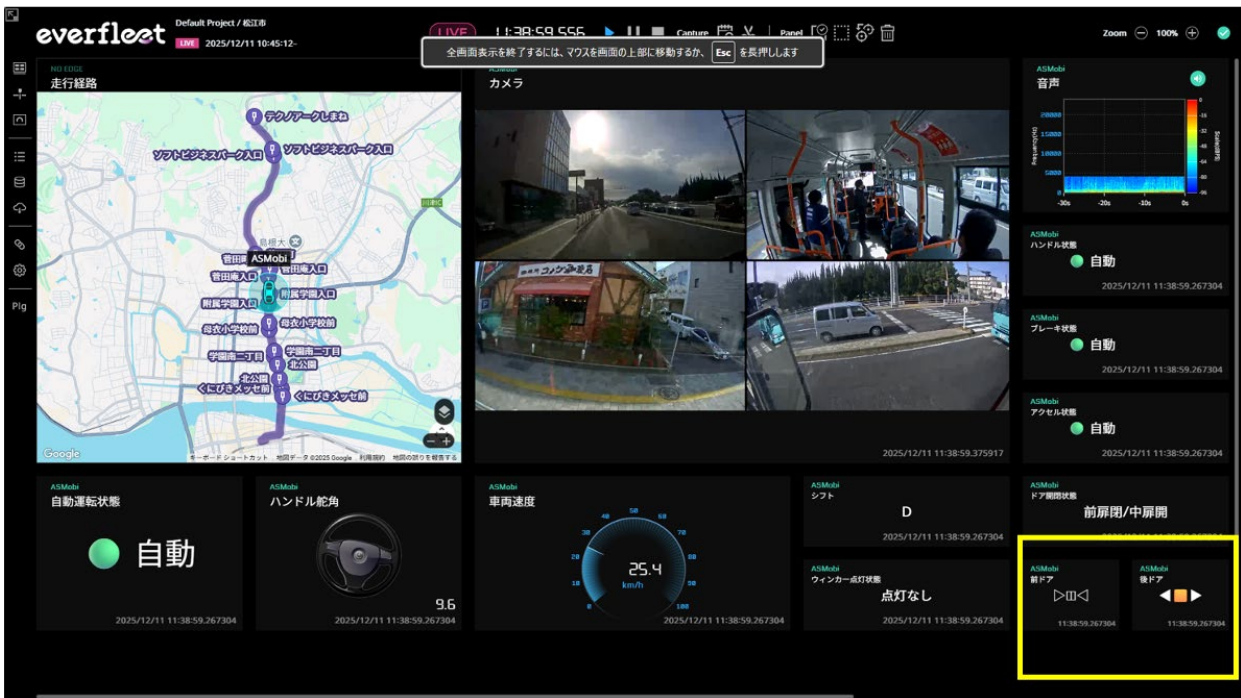


図 6-7-1-4:稼働率未達の詳細—12月11日

- 12月12日
 - 第2走: 車載機器については正常稼働していたが、遠隔システムサーバーが一時停止しており、自動運転状況と詳細が確認できなかった
 - 原因: サーバーのリソース枯渇により一時停止

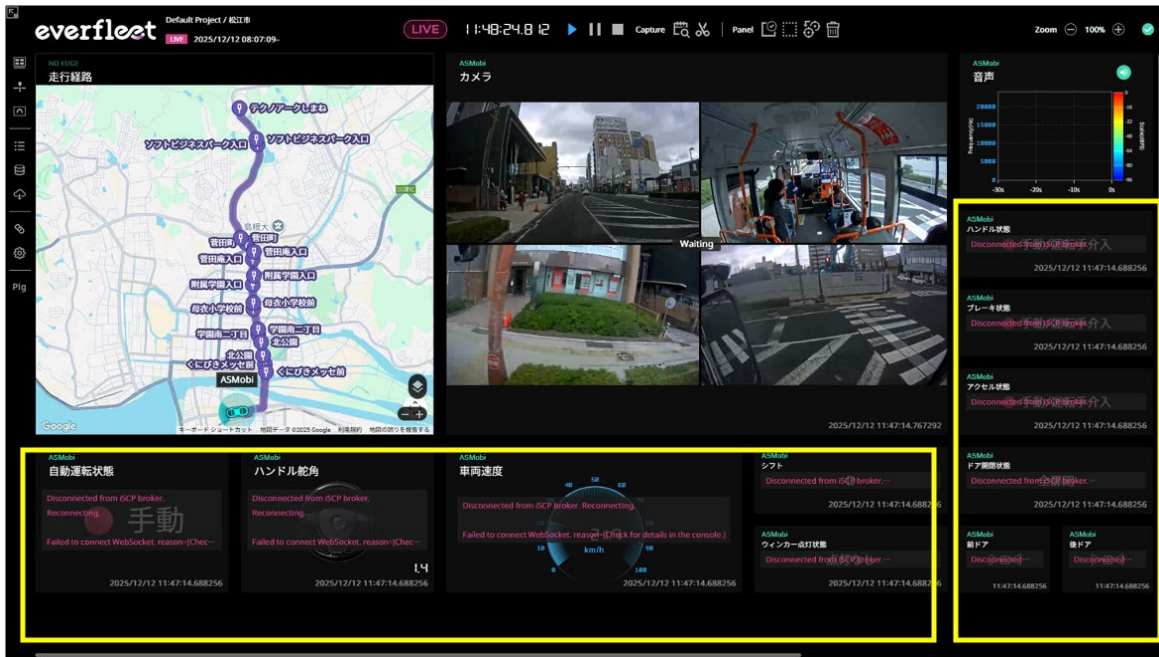


図 6-7-1-5:稼働率未達の詳細—12月12日

(2) 考察

遠隔監視システムは、常時監視を前提としつつも、操作頻度を抑えた UI 構成となっており、遠隔監視員の認知的・操作的負担が抑えられている。本実証結果は、将来的な複数車両の遠隔監視運用を検討する上で、操作性の観点から有効な知見を提供するものである。

稼働率ならびに不良数に関して、1日通して遠隔システムが使えなかったケースはなく、システムの立ち上げを再度実施することで通常通りに監視することができた。

一方で、1:N のケースにおけるレベル4自動運転を見越した際に、上記のような不良ケースは安全に直結するものとなる。そのため、バックアップシステムや、機器不良時の監視のあり方については引き続き検討する必要がある。

2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直し等、地域交通の持続性への寄与度

(1) 実施結果

本検証においては、路側センサーおよび信号情報等の周辺環境情報を通信システムにより自動運転バスへ連携するとともに、遠隔監視室から自動運転バスの走行状況を常時監視する運用を実

施した。

交差点右折やバス停発車といった見通しの悪い箇所においては、路車連携により自動運転バスが周辺状況を把握した上で走行判断を行い、遠隔監視員は運行全体の状態把握を担う役割分担とした。

(2) 考察

路車連携によって自動運転バス自身が安全判断を行い、その挙動を遠隔監視により把握する運用形態は、運転士や現地要員の負担を増加させることなく、運行管理を成立させる有効な手法であると考えられる。

本実証結果は、将来的にレベル4自動運転を導入した場合において、運行経路上のリスクが高い箇所を通信インフラで補完しつつ、少人数による遠隔監視体制で運行を支える可能性を示すものであり、限られた人員で公共交通を維持する観点から、地域交通の持続性向上に寄与する知見が得られた。これは、将来的な1:Nでの監視体制に向けた人員配置の効率化や、運行管理業務の集約化に資する結果と考えられる。

3) データの処理・管理に係る運用等のセキュリティ対策

(1) 実施結果

本検証においては、路車連携に伴い車両側で取得される走行データや位置情報等を安全に取り扱うため、ソフトバンク株式会社が提供する「セキュアインターネットアクセス 3」を活用し、インターネットから論理的に分離された閉域網による通信基盤を構築した。

当該閉域網により、路側設備、車両、データ処理基盤間の通信経路を特定の接続先のみに限定することが可能となり、不特定多数が接続可能な公衆インターネットを経由しない構成としたことで、外部からの不正アクセスやサイバー攻撃のリスクを低減した。

さらに、セキュアインターネットアクセス 3 に備わるファイアウォールおよび UTM(Unified Threat Management)機能を有効化し、通信の制御および監視を実施した。これにより、不正通信やマルウェア等の脅威を検知・遮断する体制を構築し、閉域網構成と組み合わせた多層的なセキュリティ対策を実現した。

また、路車連携により収集されたデータはクラウド環境ではなくオンプレミス環境にて保管・処理する構成とした。オンプレミス環境を採用することで、データの保管場所やアクセス経路を限定し、管理主体を明確化するとともに、アクセス権限管理やログ管理を自組織内で一元的に実施可能な体制を整備した。

(2) 考察

レベル4自動運転の社会実装においては、サイバー攻撃対策等の観点から高い安全性・信頼性を確保することが不可欠であり、本サービスのようなセキュアな通信サービスを用いたネットワーク構築が求められる。また、ネットワーク障害への備えとして冗長化の対応も必要となる一方で、運用コストの増加といった新たな課題が生じる点についても考慮が必要である。

4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む)の維持管理・保守

(1) 実施結果

4.7記載の項目について下記の図の通り示す。10月24日～11月21日の内、走行した15日に関するデータを集約する。

表 6-7-1-6:センサーの稼働率と発生数が異なる項目

	チェック内容	稼働率
1	路側センサーと自動運転バス間の稼働率	80%
2	信号連携の稼働率	100%

	チェック内容	発生数
1	路側センサーを構成する各機器の故障発生数	3
2	路側センサー情報を連携するバス搭載の各機器の故障発生数	0

	チェック内容	発生数
1	信号制御装置側の信号情報送信機器の故障発生数	0
2	信号制御装置から信号情報を受信するサーバー側機器の故障発生数	0
3	サーバー側機器から自動運転バスに信号情報送信を行うサーバー側機器の故障発生数	0
4	自動運転バス側の信号情報を受信する機器の故障発生数	0

本検証期間中に路側センサーを構成する機器の障害が3回発生した。各事象の発生確認から復旧対応までの経過を以下に記載する。

① 閉域網 NW でのアクセス不可

2025年10月9日 11時頃、対向試験開始時に閉域網 NW で路側センサー制御 PC へのアクセス不可を確認。(現地での機器設置後、閉域網 NW では初回の接続)

2025年10月9日 13時頃、現地にて当該 PC を確認し、USB ドングルが正しく接続されていないことを確認。その後 USB ドングルの接続しなおしにより、復旧を確認。

② 路側センサー制御 PC へのリモートデスクトップ接続不可

2025年10月27日 AMに路側センサー制御PCにリモートデスクトップ接続できないことを確認。

2025年10月28日 13時頃、現地にて当該PCを収容する筐体盤の電源ブレーカOFF/ONにより、復旧を確認。

③ 光無線装置のマイコン動作不良

2025年11月10日 AMに、光無線装置マイコン動作不良を確認。遠隔から状況確認を実施するも正常復旧せず。

2025年11月11日 11時頃、現地にて当該マイコンを収容する筐体盤の電源ブレーカOFF/ONにより、復旧を確認。

(2) 考察

運用条件としては、設置期間が限定的であることから、リモートからのアクセス(リモート接続、カメラ監視)は有していたが、本番運用で必要と思われる以下の対策、機能を保有していなかったことが、復旧までに時間を要してしまった要因と考える。

- 現場保守体制を構築していなかった(トラブル発生時はあくまでもスポット対応を前提)
- H/Wリセット機能(ワイヤレス式オートリセットブレーカ)の未対応
- 同一筐体に各社機器を収容しており、責任分界点の明確化、対応方法の検討の議論が不十分
- 落雷等による機器故障に伴う代替品は不要と割り切り(今回はH/W故障無し)

レベル4自動運転の社会実装に向けては上記に関する対策を講じた上で、維持管理の徹底が必要となる。

6.7.2 効果検証

1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化

(1) 実施結果

前述の通り、自動運転バスの走行において、閉域網もしくはインターネット通信を用いた路車連携による手動介入回数の低減が、走行の安定性および安全性の向上に寄与する有効な手段だと確認できた。KPIの1つである右折時の「対向車線の車両および自転車通行による手動介入数」に関しては、1走行あたりで比較すると、路車連携ありの場合は0.05回、連携なしの場合は0.69回であった。また、バス停発車～第2車線へ車線変更する時の「周辺車両による手動介入数」に関しては、1走行あたりで比較すると、路車連携ありの場合は0.26回、連携なしの場合は0.54回であった。これらのことから、自動運転走行の安定性および安全性の向上に寄与する有効な手段であることが確認できた。

自動運転バスの運行時間については、車両制御データをもとに、図6-7-2-1で示した菅田町バス停に停止後(測定開始)から交差点を右折して約10m進んだ地点(測定終了)までの区間の、平均走行時間を計測した。(表6-7-2-2参照)。この結果、閉域網もしくはインターネットの通信を用いた路車連携によって自動運転した時より路者連携せずに自動運転した時の方が、右折しようとし

た時の平均走行時間が 30 秒以上短かった。これは、路側センサーから情報が連携されたことにより、バス搭載のシステムが周囲の状況をより慎重に判断し、安全確認のためにかかる時間が増えたことに起因する。今後、これを改善するため、データ処理や通信の速度を向上させる技術的改善や、路側センサー設置箇所の最適化、情報選別の精度向上が求められると考える。



図 6-7-2-1:平均走行時間の測定区間(出典:国土地理院地図)

表:6-7-2-2:測定区間を走行した時の平均時間(秒)

環境情報 連携	走行数	測定区間走行時の平均時間(秒)		
		右折時信号:赤	右折時信号:黄	右折時信号:青
あり	191 回	134 秒	137 秒	138 秒
なし	46 回	96 秒	74 秒	89 秒

(2) 考察

周辺環境情報を車両に連携することにより手動介入の可能性が低減されたことは、レベル 4 自動運転実現に向けた重要な示唆となる。情報連携は、車両上のシステム単体での認識の限界性を補完し、交通状況や障害物の検出精度を向上させるだけでなく、安全性の向上にも寄与するためである。

今後の運用においては、路側センサーの信頼性と通信の確度が重要な鍵となるため、インフラ整備の推進が必要不可欠となると考える。それと同時に、自動運転システムと路側センサーの連携の標準化、運用ルールの策定等により、技術の普及と社会実装の加速が期待され、安全で効率的な次世代交通システムの構築に貢献するものと思われる。

なお連携なしで運行した場合と比較して、連携ありの方が運行時間が延びる傾向にあるのは、周辺の交通環境情報を受け取ることで、システムが潜在的リスクや安全性に配慮し、より慎重な運行を行うようになる可能性が高いためである。例えば合流地点での巻き込み事故防止や、歩行者との接触リスクを完全に回避するために速度を調整するといった動作が増え、相対的に時間がかかることとなる。そのため路線ごとに、安全性の確保と円滑な運行のバランスを考慮したダイヤ調整等が必要となる。

2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度

(1) 実施結果

道路交通全体の安全性を図るための具体的な実証実験はないものの、6.4.1章2)の(2)でも述べたように、自動運転バスの右折が対向車の通行円滑性を阻害していないことが示唆された。

(2) 考察

今回の実証実験では、バス乗務員の目視確認を加えた形態で実証実験を行い、レベル4自動運転への移行に向けて道路交通全体の安全性と円滑性に寄与できる道筋が立てられた。安全性に関しては、自動運行システムを取り入れることによって、周囲の道路状況や他車両の動向をリアルタイムに把握でき、ヒューマンエラーを抑えた運行を実現できるものとする。ただし、特定の予測不能な事態や複雑な状況への即応性においては、従来のシステム技術だけでは限界がある場面も想定される。そのため、これらの課題を解消するために、さらなる検討が必要と思われる。

円滑性に関しては、交差点右折時の対向車両の速度が一定に保たれていることが確認できたため、路車連携によって交通円滑性向上に寄与していることが確認できた。今後、自動運行バスが適切に速度を調整しながら経路を運行することで、他の車両との衝突リスクを低減し、渋滞を回避することが期待できる。

3) 通信システム等による支援によるルート設定の柔軟化・時間短縮・交通利便性の向上効果

(1) 実施結果

本実証に特化した検証の実施事項なし。ユースケース④での路車連携の結果を踏まえた考察のみ記載とする。

(2) 考察

自動運転バスにおいて通信を活用し周辺交通環境情報を車両と連携することで、運行ルートの柔軟化と交通利便性の向上に一定の効果をもたらす可能性が示唆された。路側センサーが死角を補完することで、見通しの悪い道路や右折車線を含む複雑な交通環境下でも安全な走行が可能となり、自動運転バスの導入が難しかったエリアを含む運行ルートの展開が期待できる。

また、遠隔監視の際に用いたリアルタイムマップ(バスの現在の走行地点を確認できる地図)をバスロケーションアプリに組み込むことによって、乗客にとっての利便性につながる可能性がある。これらのように、通信を用いた路車連携は自動運転バスの運行を支えるだけでなく、新たな移動手段の提供や都市交通の効率化の鍵を握ると考える。

4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策

(1) 実施結果

【初期コスト・ランニングコストの現時点での概算】

本実証で用いた主な通信システムおよび自動運転システムの構築・運用に要した費用を以下に示す。

<注意事項>

- ※ 設計・設置・運用に係る人件費等は含まれない。
- ※ 実証対応のため、既存設備・システムの活用(流用)により含まれていない金額が存在する。
- ※ 記載の金額は実証中における参考価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

表 6-7-2-3:初期コスト・ランニングコストの概算

路側センサーの構築、設置 (イニシャルコスト)	センサ等設置・撤去 注1	1,411万円
	筐体・組込備品	42万円
	ソフトウェア・アプリケーション開発	562万円
光無線装置の製作、設置 (イニシャルコスト)	組込備品	191万円
	機器製作	66万円
信号連携装置の製作・設置 (イニシャルコスト)	信号制御機設置工事・現状復旧	158万円
路側センサーの構築、設置 (ランニングコスト)	NWカメラレンタル費	68万円
	PC (保守用・切替用)	12万円
	通信費	40万円
光無線装置の製作、設置 (ランニングコスト)	電気使用料 注2	8万円
信号連携装置の製作・設置 (ランニングコスト)	信号配信サーバ使用料	24万円
	通信費	6万円
	交通信号制御機使用料	55万円
その他 (ランニングコスト)	遠隔監視室用レンタルオフィス	75万円
合計		2,718万円

注 1 光無線装置に関する工事費も含む。

注 2 路側センサーの電気使用量も含む。

注 3 ランニングコストは本実証期間(5 カ月)に関する利用料。

【コスト負担の在り方・コスト低減策に関する検討】

自動運転車両および関連するインフラ機器の導入においては、コスト面でのハードルが高いことが課題として挙げられる。その主な要因として、以下の点が考えられる。

機器導入に係る財源は、実証実験や初期導入段階における補助金に依存しているケースが多く、運用開始後に必要となる保守、更新、バージョンアップ等の費用については、現時点では十分な整

理・議論がなされていない。

設置方法や運用方法が地域特性に依存する 경우가多く、結果として自治体ごとの個別対応が必要となり、導入および運用に係る負担が増大する。

インフラ機器の設置場所や設置数量が限定されるため、案件ごとに機器を個別に準備する必要があり、スケールメリットを得にくい構造となっている。

また、コスト面に加え、自治体が主体となって機器調達や事業推進を行う必要があることから、財政力や企画力、推進体制を有する自治体以外では、導入そのものが困難となる可能性がある。

これらの現状を踏まえ、本検証で設置したインフラ機器については、以下の観点からコスト低減策およびコスト負担の在り方を検討することで、導入および社会実装に向けたハードルを低減できると考えられる。

■ コスト低減策について

インフラ機器に係るコスト低減については、機器自体のコスト低減に加え、調達および利用形態の工夫を組み合わせることが有効である。

① 機器自体のコスト低減(一定の市場規模が見込めることを前提)

- ・ 機器の統一化による量産効果の確保
機器仕様を統一し、大量生産を前提とすることで、生産コストの低減を図る。
- ・ 車両側および路側センサー側のインタフェース標準化
自治体や車両メーカーごとに個別設計・開発を行うのではなく、仕様の共通化を進めることで、開発および導入コストの削減を図る
- ・ 設置性の向上による作業負担の軽減
簡易設置や工事期間短縮を可能とする設計(オートキャリブレーション機能等)により、現地作業に係る人的負担を低減する
- ・ 運用・保守費用の削減
リモートメンテナンス機能の活用や保守部材の長寿命化により保守頻度を低減するとともに、部材のリサイクル化を通じて保守コストの抑制を図る

② 調達・契約面での工夫

- ・ プラットフォーム提供型やサブスクリプションモデルの検討
自治体が個別に機器を導入・所有するのではなく、インフラをプラットフォームとして貸与する仕組みや、サブスクリプション型の契約形態を採用することで、財政規模の小さい自治体においても導入しやすい環境を整備する
- ・ 多用途利用を前提とした活用の検討
公共自動運転バス用途に限定せず、安全運転支援等の他車両や、他の交通事業者への活用を視野に入れることで、機器の稼働率向上および費用対効果の向上を図る

■ コスト負担の在り方について

自動運転バスを運行する交通事業者が、導入後の運用に伴うコストを単独で負担することは、事業継続の観点から困難である。そのため、今後は多様なコスト負担の在り方について検討を進める必要がある。

例えば、受益者負担の考え方にに基づき、自動運転インフラを交通事業者以外の複数の事業者が利用可能とすることで、インフラの共同利用(シェアリング)を図ることが考えられる。さらに、インフラを活用した新たなサービスやビジネスモデルを創出することにより、運用コストの一部を補完する仕組みの構築も検討対象となる。

これらの検討を行わない場合、補助金に依存した導入にとどまり、補助金終了後に設備が陳腐化するリスクが高まることから、実証段階においても社会実装後を見据えたコスト負担モデルの整理が重要である。

(2) 考察

レベル4自動運転の社会実装には、技術的成立性の確認にとどまらず、地域公共交通を取り巻く環境変化を踏まえた導入・運用スキームの構築が不可欠であることが明らかとなった。特に、人口減少、運転手不足、運行コストの増大といった構造的課題を抱える地域交通においては、自動運転を将来の交通維持に向けた選択肢の一つとして位置付け、中長期的視点に基づく制度設計および事業設計を行う必要がある。

1. 地域公共交通を取り巻く課題と自動運転の位置付け

従来、地域公共交通は、コミュニティバス等を中心に行政が主体となり、赤字補填を前提として最低限の移動サービスを維持してきた。しかし、これらの交通サービスは採算性が低く、運行本数や路線規模が限定的となるケースが多い。

加えて近年では、運転手不足や人件費・燃料費の上昇を背景に、民間交通事業者による幹線路線においても減便や廃止が進行しており、自治体内の交通ネットワーク全体の維持が課題となっている。このような状況下において、従来の運行体制を前提とした交通サービスの維持には限界があり、自治体と交通事業者が連携し、持続可能な運行形態を構築する必要性が高まっている。

自動運転モビリティは、こうした構造的課題に対し、人材制約の緩和や運行効率の向上を通じて、地域交通を将来にわたり維持するための手段として検討されるべきものである。

2. 自動運転導入コストの評価に関する視点

自動運転導入に伴う初期コストおよび運行コストについては、従来の交通サービスと単純に比較することは困難である。特に、行政による赤字補填を前提として維持されてきた地域交通においては、採算性のみを指標とした評価は必ずしも適切とは言えない。

一方で、今後さらなる増大が見込まれる人件費や運行維持コストを踏まえると、自動運転導入に要するコストは、将来的な交通維持コストの抑制やリソースの効率的活用という観点から、相対的に合理性を有する可能性がある。そのため、自動運転の導入は、短期的な費用対効果のみならず、中長期的な地域交通維持への寄与という視点から評価することが重要である。

3. 自治体主導による導入モデルの課題

現状の自動運転実証および導入は、自治体を中心となってインフラ機器の調達や事業推進を行う形態が主流である。しかし、このモデルは自治体の財政力や企画・推進体制に大きく依存するため、導入可能な地域が限定される傾向にある。

また、自治体ごとに仕様や運用方法を個別に検討することは、導入コストや運用負担の増大を招き、他地域への横展開や全国的な普及の妨げとなる。このため、自治体単独で完結する導入モデルには限界がある。

4. 標準化・共通化を前提とした社会実装の方向性

レベル 4 自動運転を社会インフラとして展開するためには、インフラ機器やシステムの標準化・共通化を前提とした導入が不可欠である。一定の標準仕様を設定することで、導入・運用コストの低減や保守の効率化が図られ、自治体規模や地域特性に左右されない展開が可能となる。

さらに、標準化・共通化は、複数地域におけるデータや運用知見の蓄積・共有を促進し、制度設計や技術高度化を進める上での基盤となる。

5. 持続可能な運用モデルの構築に向けた考察

補助金を活用した実証および初期導入は、自動運転の社会実装を進める上で有効である一方、補助金終了後の運用・更新を見据えた仕組みが構築されていない場合、設備の陳腐化や事業継続の困難化といった課題が生じる。

そのため、社会実装段階においては、補助金を立ち上げ段階の支援と位置付け、運用フェーズでは自治体や交通事業者が役割分担しながら、自立的に成立する事業モデルを構築することが重要である。自動運転の導入は、単なるコスト増としてではなく、将来の地域交通維持に必要な投資として評価する必要がある。

6.8 レベル 4 社会実装に向けた考察

自動運転車両の社会実装に向けては、路車および信号情報の連携によって、より多くの交通環境の情報が得られ、安全性および運行効率の向上が期待できる。

例えば、信号機情報を車両に直接伝達することで、車両は信号変化を事前に把握し、適切な停止や進行判断を行うことが可能となり、交通流の円滑化に寄与する。また、路側センサーを活用することで、車両のセンサーでは把握が困難な視界外の障害物や交通の遅滞情報を補完的に取得でき、不確実性の低減につながる。

一方で、課題も明らかとなった。実証実験ルートにおいては、特定の状況下で手動介入が複数回発生しており、完全自動運転の実現に向けては、なお改善の余地が残されている。また、自動運転バスのカメラの検知範囲と路側センサーの検知範囲をより細かく調整する必要があるだけでなく、センサーフュージョンの高度化や車両制御の最適化とともに、路側設備や交差点構造等周辺環境の整備も求められる。

自動運転車両の社会実装においては、技術的成熟のみならず、周囲の交通参加者の理解と協力が不可欠である。歩行者や他の運転者が自動運転車両の挙動を正しく理解し、それを前提とした行動

をとることで、より高い安全性と円滑な交通環境の実現が可能となる。そのため、継続的な情報発信や実証実験を通じて、社会全体での理解醸成と合意形成を進めていくことが必要である。多様な主体の協力による新たな交通社会の構築が、今後の重要な鍵となる。

7. 本実証の総括

7.1 本実証の成果・課題

本実証では、信号と右折車線がある見通しの悪い交差点での右折や、バス停発車後の右折車線への移動といった複雑なルートが存在したため、自動運転を行う上で課題となるシーンを想定し、実証実験を行った。併せてキャリア通信が利用できない場合にトラッキング光無線通信の活用により安定的な通信の確保ができるかについても検証を行った。

見通しの悪い道路形状におけるバス停からの発車や右折においては、自動運転バスが走行するために通信システムを活用した路車連携が、手動介入に対して一定の有効性があることを示した。

また、インターネットと閉域網の異なる通信方式を併用することによって、自動運転バスが安全に走行するために必要な通信速度を確保ができること、多様な天候下におけるセンサ(LiDAR・ミリ波レーダー)の検知性能について十分な検知性能が得られることを確認できた。

一方で、自動運転の社会実装に向けては課題が残る結果となった。

交差点を右折する際に手動介入が発生した要因として、該当区間を2台の路側センサーで車両検知を行っていたが、道路形状における制約により一部エリアが車両検知の死角となってしまう、車両側が対向車の位置を正確に把握できなかったことが挙げられる。対策として、交差点全体をカバーできるよう路側センサーの設置密度を高めて死角をなくし、車両のみならず自転車等の小型モビリティまで検知できるよう精度を向上させることが必要である。また、路側センサーを設置可能な既設柱の位置の制約から、設置箇所が交差点入口から約 20m の箇所となり、ミリ波レーダーの検知区間および評価対象区間が短くなってしまったエリアも存在した。今後は路側センサーの画角に合わせた設置箇所の再検討が必要である。

キャリア通信が利用できない場合を想定したトラッキング光無線通信の活用については、高速な通信速度が確保できることが確認できたが、太陽光の逆光時における画像認識精度の低下によるトラッキングの失敗等、こちらも社会実装に向けた課題が明らかになった。カメラの映像から逆光の程度を判定し、逆光の強さに応じて逆光復元アルゴリズムを適用することで対策することが有効である。また、現状のトラッキング光無線通信装置では、自動運転バスの走行速度に対して追従性能が不十分であることが確認できた。社会実装に向けてはバスの走行速度に対応できることを目指していく必要がある。

7.2 社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

自動運転バスを社会に実装するにあたり、2027年度を目標としたレベル4自動運転の許認可取得に向けた取り組みを中心に据え、技術的発展と社会的受容性の構築を両立させることを計画する。本実証を通じて確認した課題に対して対応策を講じ、2027年度のレベル4自動運転許認可を取得した上で、本格運行を目指していく。

自動運転バスにより市内の持続的な公共交通ネットワークを維持していくためにも、本実証の課題に対して取り組んでいくとともに、関係行政機関や地域関係者を含む多様な関係者との連携を一層強化し、自動運転技術の実用化を通じた地域社会への貢献と利便性の向上を図っていく必要がある。

本実証において、松江市の SNS やホームページ等において市民向けに認知拡大のための取り組みを行った。また自動運転バスの試乗会を行うことで、試乗を通じて市民の方々に体験いただくことで理解促進を図った。試乗会においては乗車後にアンケートを行い、自動運転バスの導入意向、希望するルート、運賃、支払方法等における調査を行った。導入意向については 85%が導入してほしい、13%がどちらでもよい、2%が導入してほしくないといった結果となった。自由記述等で寄せられた意見には椅子利用者の乗降介助や、急病・トラブル発生時や問い合わせ時の対人サポートに対する不安の声も寄せられており、社会実装に向けては交通事業者とともに運用面の課題に対する対応の検討を進めていくことが必要である。

通信システムを活用した本実証の成果を踏まえ、社会実装に向けては市内でも需要が高いルートへ展開していくことが重要である。試乗会における市民へのアンケートにおいても、主要施設を結ぶ路線バス、松江市街地内の循環バスにおける自動運転バスの運行を望む声が多かった。将来的には松江城をはじめとした需要の高い主要観光地へ接続する路線の展開を視野に入れることで、観光産業の活性化にも寄与し、地域全体の価値を高める交通基盤の構築を進める。これらの取り組みによって技術的・社会的な課題の解決を図り、さらなる発展性を有するモデルケースとして可能性を示すものとする。

地域社会 DX 推進パッケージ事業(自動運転レベル 4 検証タイプ)

安全な自動運転に資する通信システム等の検証に関する調査研究(実証地域:島根県松江市)

実績報告書

見通し困難な都市環境・降雪時におけるキャリア網・光無線通信を活用した自動運転車両制御の実証

2026 年 1 月

ソフトバンク株式会社・松江市自動運転に資する通信システム実証機関
