

地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル 4 検証タイプ)

茨城県日立市

狭隘交差点における安全走行および遠隔監視の継続性向上の実証

実績報告書

2025 年 1 月 31 日

日本電気株式会社

日立市自動運転通信実証コンソーシアム

目次

1.	実証の背景・目的	1
1.1	実証の背景	1
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	3
1.3	実証の目的	4
1.4	最終目標・構想イメージ	4
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	5
2.	業務実施体制	7
2.1	実証機関	7
2.2	実施体制図	7
3.	自動運転の運行結果	8
3.1	運行場所	8
3.2	運行期間	8
3.3	運行時間帯・頻度・運行方式	8
3.4	運行者	9
3.5	運行体制	9
3.6	自動運転車両の特徴	10
4.	実証の手法	13
4.1	自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証	13
4.2	交差点における車両の認知機能の補助機能(自動車の死角にいる交通参加者/交通弱者の情報を車両に通知する機能)の検証	13
4.3	見通し外や路上駐車など複雑な交通環境下における周辺環境情報のリアルタイム映像分析及び車側の危険回避行動の連携	27
4.4	軽量映像伝送システムの実証	28
4.5	高度な安全配慮が必要な踏切道や緊急車両行き違い等ボトルネックケースにおける他者とのシステム連携による安全性向上	37
4.6	経済性・実装性向上のための路側インフラ技術の標準化・量産化・共通化の実証 ..	37
4.7	レベル 4 の社会実装に向けた検討	37
4.7.1	運用検証	37
4.7.2	効果検証	39

5.	通信システムに関する構築	41
5.1	通信システムの全体像	41
5.2	使用機器・ソフトウェア一覧	49
5.3	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	51
5.3.1	手続き面	51
5.3.2	手配面	54
5.3.3	施工・システム環境構築面	55
6.	実証結果・考察	57
6.1	自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証	57
6.2	交差点における車両の認知機能の補助機能(自動車の死角にいる交通参加者/交通弱者の情報を車両に通知する機能)の検証	57
6.3	見通し外や路上駐車など複雑な交通環境下における周辺環境情報のリアルタイム映像分析及び車側の危険回避行動の連携	74
6.4	軽量映像伝送システムの実証	74
6.5	高度な安全配慮が必要な踏切道や緊急車両行き違い等ボトルネックケースにおける他者とのシステム連携による安全性向上	93
6.6	経済性・実装性向上のための路側インフラ技術の標準化・量産化・共通化の実証 ..	93
6.7	レベル4の社会実装に向けた検討	93
6.7.1	運用検証	93
6.7.2	効果検証	97
7.	本実証の総括	108
7.1	本実証の成果・課題	108
8.	参考資料	115
8.1	監視員に対するインタビューの設問	115

1. 実証の背景・目的

1.1 実証の背景

日立市は関東平野の北東端に位置し、太平洋に面して南北の海沿いに長く市街地が形成され、日立製作所に代表される企業城下町として発展し、市内居住者だけでなく近隣市町村から多くの就業者が通勤移動するため、南北に移動する海沿いの限られた幹線道路では慢性的な渋滞が発生している。一方、日立市においても人口減少と高齢化が進み、市内の移動性の確保とともに広域的な公共交通の充実が重要な都市課題となっている。これらの課題を解決し持続可能な街づくりを進めるため、まちの基盤としての公共交通網の整備が重要課題であり、図 1-2 に示すコンパクト・プラス・ネットワークというコンセプトの下で、事業者と連携して交通ネットワークの維持・発展を進めている。

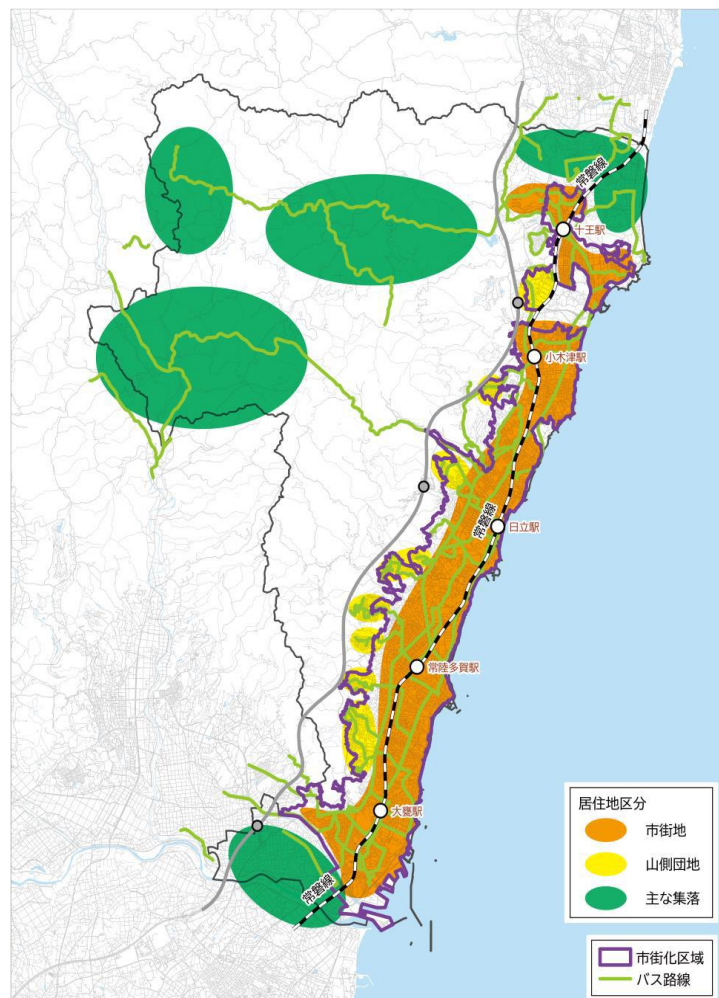


図 1-1 土地利用¹

¹ 出所)「日立市地域公共交通計画」

https://www.city.hitachi.lg.jp/res/projects/default_project/page/001/012/175/hitachikotukeikaku.pdf

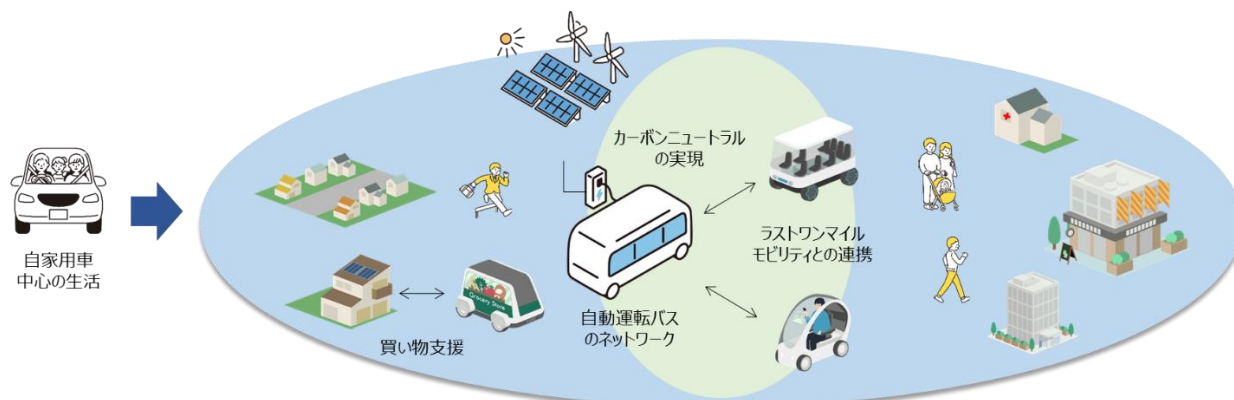


図 1-2 コンパクト・プラス・ネットワーク イメージ

日立市では南北移動の基幹交通手段として、2013 年から鉄道の廃線跡地を利用したバス専用道を整備し、総延長約 8km、専用道空間約 6.1km の路線を「ひたち BRT」として運行している。路線の大半を占める専用道区間は、一般車両が侵入できない走行空間で歩車分離環境を実現しており、自動運転車両の走行に適した環境にあることから、2018 年度から継続的に自動運転実証を実施し、自動運転の走行技術の開発・実証において先導的な役割を担っている。

さらに、専用道区間では 2023 年から自動運転レベル 4 の許可取得のための審査を受けており、2024 年 11 月 26 日には、これまで認可された自動運転車（レベル 4）の中で最長の約 6.1km の運行区間で認可を取得した。

これに追従し、専用道のみならず一般道路を含めた自動運転レベル 4 の実装による路線全体への拡充と事業性向上に向けて各種取り組みを進めており、図 1-3 の大甕駅を起点とする路線についても 2025 年度から自動運転レベル 4 の実装を目指している。

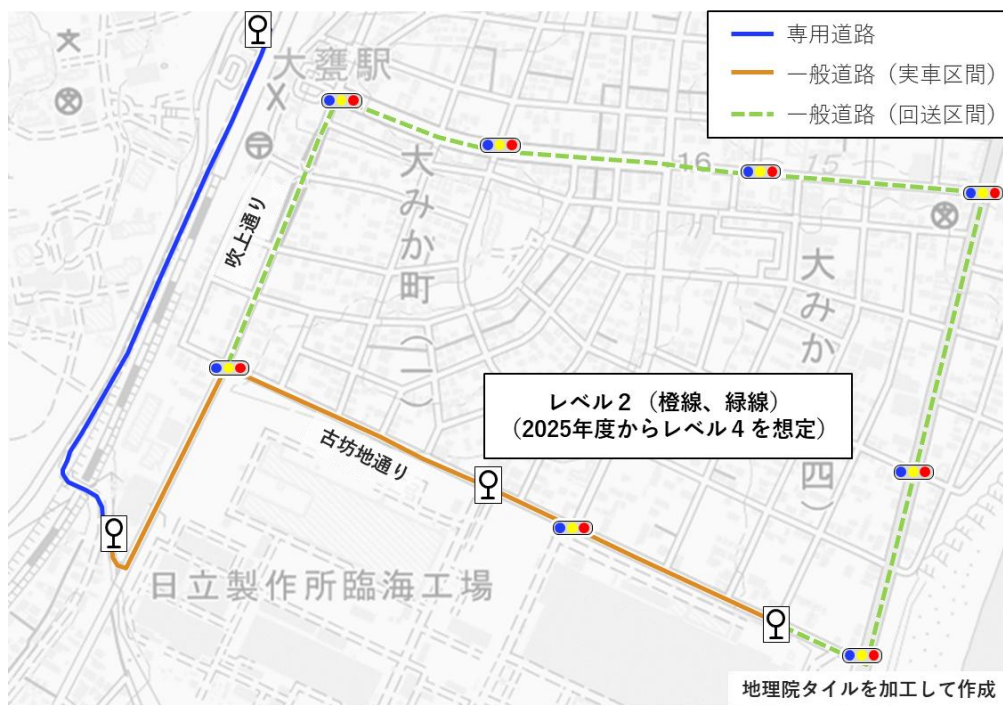


図 1-3 大甕駅を起点とする実装予定路線

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

上述の通り、ひたち BRT 路線を中心に自動運転技術の導入による持続可能な公共交通ネットワークの実現を目指しているが、一般車両や歩行者が存在する一般道路の混在交通下においては、周囲の状況を正確かつ即時に把握し、自動運転バスが安全かつ円滑に走行するための機能がより求められるが、今回実証を行った大甕駅を起点とする路線においても自動運転レベル 4 での走行にあたっては以下 2 つの課題が浮き彫りになっている。

- ① 混在交通下における自動運転車両と歩行者の安全離隔の確保
- ② 乗務員無型に向けた遠隔監視業務の継続性・運用効率性の向上

① 混在交通下における自動運転車両と歩行者の安全離隔の確保

今回の実証場所の交差点周辺は片側一車線道路で歩道が狭く、大規模な工場が隣接しており、通勤時間帯及び帰宅時間帯には車両、歩行者含め多くの交通参加者が行き交い、特に朝の通勤時間帯の大甕駅と工場間の道路では約 100 人～200 人程度の従業員が歩行している。自動運転車両の右折進入時に歩行者と十分な離隔距離を確保しなければ接触するリスクが想定されるため、自動運転バスの車載センサでは検知しづらい道路空間の情報を路側インフラにて通知し支援することが有効と考えられる。また、自動運転バスが他交通参加者と近接する環境では、特に路側に留まる歩行者が横断しないことが明らかであるかを認識するのは難しいことから、自動運転バスの接近や動作状況を路側 HMI により歩行者に認知してもらうことで円滑な通行に寄与することが考えられる。

これらは、多くの交通参加者が行き交う中で自動運転バスが接近、通行するタイミングに合わせてリアルタイムに実施することが重要となるため、自動運転バス・路側センサ・路側 HMI 等の間で安定かつ速やかな情報の伝達が必要となる。そのため、通信システムとしては路側と車両を同時に接続して、路側から映像等のセンサデータを低遅延に収集し即時に分析処理をして伝達できる点、かつ他システムの影響を受けづらく通信遅延の揺らぎを押さえることができる点が求められる。

② 乗務員無型に向けた遠隔監視業務の継続性・運用効率性の向上

1 人の監視員が複数台の自動運転バスを集約的に監視・運行できる体制を構築することで初めて運行業務の省人化ができ生産性の向上が期待される。

一方、遠隔監視装置は、鮮明で常時かつ即時に受信できることとされ、自動運転システムでは対応ができない、警察官の指示への対応や交通事故発生時の措置を、確実に履行できる程度の映像、音声、位置情報を常時かつ即座に受信することができる性能を有している必要がある。今回の実証場所では隣接する大規模工場で日中多くの従業員が勤務しているため、この周辺一帯で携帯電話回線の通信速度が低下し、鮮明な映像の受信を担保できないことが想定され、これを解決するための機能が必要となる。

なお、今回の実証場所は通勤時間帯と日中によっても交通参加者が激しく増減する特徴があるこ

とから、本課題は日立市のみならず、同等の地方中核都市の駅周辺や類似する道路環境、また、人の賑わう観光地などの地域において共通する課題であると想定している。

1.3 実証の目的

1.2 で挙げた①、②のそれぞれの課題に対して、本実証では以下について取り組むことで、自動運転レベル4の実装を見据えた通信による支援による安全対策の適応性向上と監視の継続性・運用効率性の向上を目指す。

① 狭隘交差点にて自動運転バスと歩行者の安全離隔を確保するためのシステム要件

- 自動運転バスの動作（右折開始/一時停止/発進）に連動した路側スピーカーから付近の歩行者に対する注意喚起のアナウンスによる効果検証
- 車道を横断する歩行者や遠方から接近する対向車などの周辺環境周辺環境情報を路側インフラシステムから自動運転バスに伝送することによる物体認識支援の通信機能の評価及び効果検証

「狭隘交差点における歩行者と自動運転バスの安全離隔の確保」というユースケーステーマにて、実施詳細を4章以降で後述する。

② 運用体制の省人化を見据えたシステム要件

- 鮮明な映像を常時・即時配信するための映像圧縮機能の評価及び自動運転バスの遠隔監視業務・運行管理業務の負荷軽減に資する補助機能としての効果検証

「軽量映像伝送システム」というユースケーステーマにて、実証詳細を4章以降で後述する。

1.2 にて前述した通り、日立市における課題は全国の地方中核都市や観光地などにおいても共通的な課題であると想定されるため、自動運転レベル4に必要な通信システムにおける様々な地域に適用可能なベストプラクティスとなる。さらにはアーキテクチャやサービスデザイン、運用上の課題まで視野に入れた形で検討・考察することにより、本実証で得られた成果は通信システム要件に留まらず、事業性も含めた横展開のためのロールモデルとなることを目指す。

1.4 最終目標・構想イメージ

日立市では自動運転技術の活用を、2024年3月に策定した「日立市地域公共交通計画」に明確に位置付け、レベル4での実証走行を具体的目標として掲げている。これらの計画では、公共交通の維持・確保を進めるとともに、上位計画である都市計画マスタープランにおいて、公共交通利便性の強化及び拠点間の連携強化のため、結節点となる駅・ターミナルを都市の拠点及び生活の拠点として、日常生活に必要な機能の集約を目指している。これらの結節点に必要となる機能をデジタルライフライン全国総合整備実現会議にて議論されているモビリティ・ハブとして検討しており、またアーリーハーベストプロジェクトの先行地域として選定されていることから先駆的なモデルケースとなるエリアであると言える。

また、日立市で目指す交通ネットワークは、市民の日常生活の移動を支える路線バス等の公共交通を確保する取り組みに加えて、より細やかな移動需要に対応する地域内交通の拡充が必要であると述べられている。そのため、公共交通の運転士不足等、公共交通を取り巻く環境が厳しさを増す中で、将来にわたって運行サービスを維持、向上するためにより効果的、効率的、持続的な公共交通ネットワークを構築するとともに、さらなる利用促進を目指している。その中で自動運転技術を市域に積極的に導入・利用することにより労働生産性を高めることが重要であると考えられており、表 1-1 のロードマップに表現されるように、自動運転による運行エリア及び台数を年々拡大していくとともに、車内の乗務員無型かつ 1 対 N の遠隔監視体制での運用を実現することを目指している。

表 1-1 日立市における自動運転の実装に向けたロードマップ

項目	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度
運行台数	1 台	3 台 (中型 2 台、小型 1 台)	4 台 (中型 3 台、小型 1 台)	5 台	10 台
運行 エリア	ひたち BRT+大甕路線			ひたち BRT+大甕路線 +多賀駅周辺エリア	
運行方式	路線バス				
自動運転 レベル	L2	BRT（専用 道）：L4 その他：L2	L4		
運賃	無償	有償	有償	有償	有償
運転手	有	有	無 (専用道 以外は乗 車)	無	無
保安員	有	有	有	無 (専用道 以外は乗 車)	無
遠隔 監視員	無	無	有	有	有
遠隔監視 体制	—	—	1：1	1：3	1：5

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

1.4 節にて示した計画に掲げる将来像の実現とそれを担うレベル 4 自動運転の実装を目指すには、バス路線全域において安全かつ効率的に安定して運行できる環境を整えることが重要となる。これには、ひたち BRT の専用道のような歩車分離環境での走行に加え、一般道のような混在交通

下においてもレベル4自動運転で走行できることが前提となるが、一般交通参加者への考慮に加えて、乗客の快適性も含めた自動運転社会の実現が真意の社会実装といえる。

本実証において実施するユースケースの検証を通じて、インフラから自動運転バスや他交通参加者への支援による安心・安全かつ円滑な走行及び運用コスト削減にかかる効率的な1対Nサービスの確立を目指し、さらには本実証の取り組みそのものが地域における自動運転の認知度・社会受容性向上に繋がることが期待でき、日立市が目指すコンパクト・プラス・ネットワークのまちづくりを実現することに寄与することができる。

2. 業務実施体制

2.1 実証機関

本実証の実証機関を表 2-1 に示す。

表 2-1 実証機関

代表機関	法人名	日本電気株式会社
	代表者氏名	森田 隆之
	所在地	東京都港区五丁目7番1号
	業務の概要	IT サービス事業、社会インフラ事業
構成員	法人名	株式会社みちのりホールディングス
	代表者氏名	松本 順
	所在地	東京都千代田区丸の内一丁目9番2号
	業務の概要	交通事業、グループ事業会社の経営支援
	構成員とする理由	本実証では自動運転バスの実走行を予定していることから、同社が不可欠であるため
構成員	法人名	株式会社ティアフォー
	代表者氏名	加藤 真平
	所在地	愛知県名古屋市中村区名駅1丁目1番3号 名古屋大学オープンイノベーション拠点
	業務の概要	自動運転関連ソフトウェアの開発・サービス提供
	構成員とする理由	本実証では同社の自動運転システムが不可欠であるため

2.2 実施体制図

本実証における実証機関、及びその委託先まで含めた実施体制図を図 2-1 に示す。

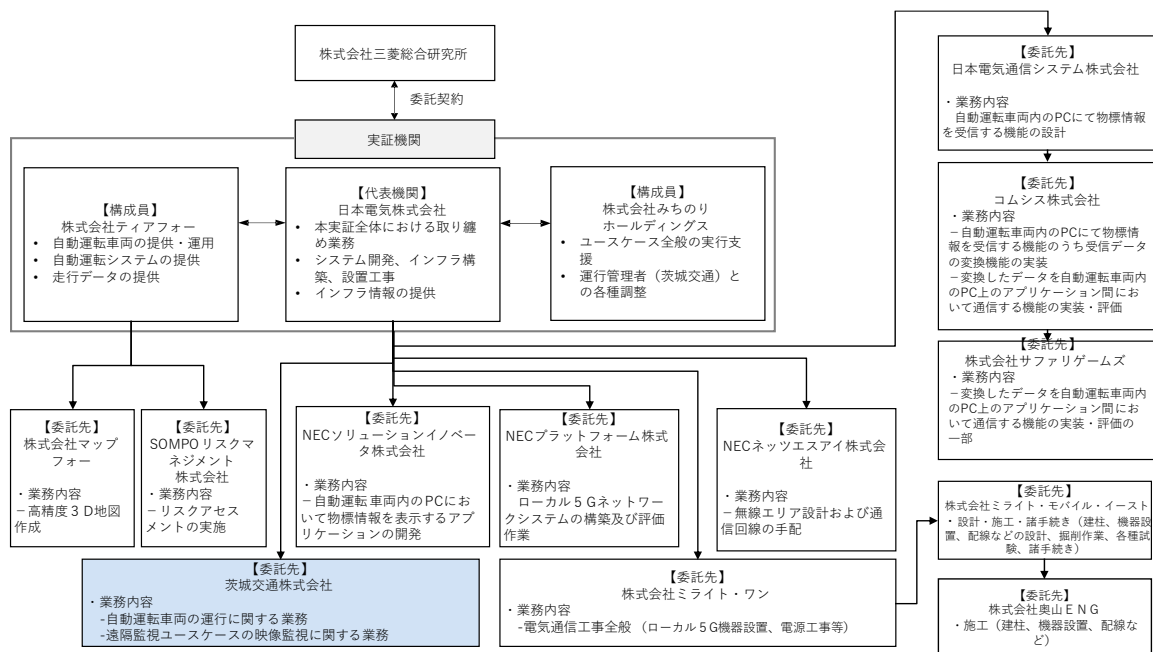


図 2-1 実施体制図

3. 自動運転の運行結果

3.1 運行場所

本実証における運行場所は図 3-1 の通りである。なお、実証場所は図中に示す市道 27 号線（吹上通り）と市道 7709 号線（古坊地通り）が交わる交差点（以下「実証場所の交差点」という。）に加え、遠隔監視の継続性にかかるユースケースについては走行ルート全体を対象として実施した。

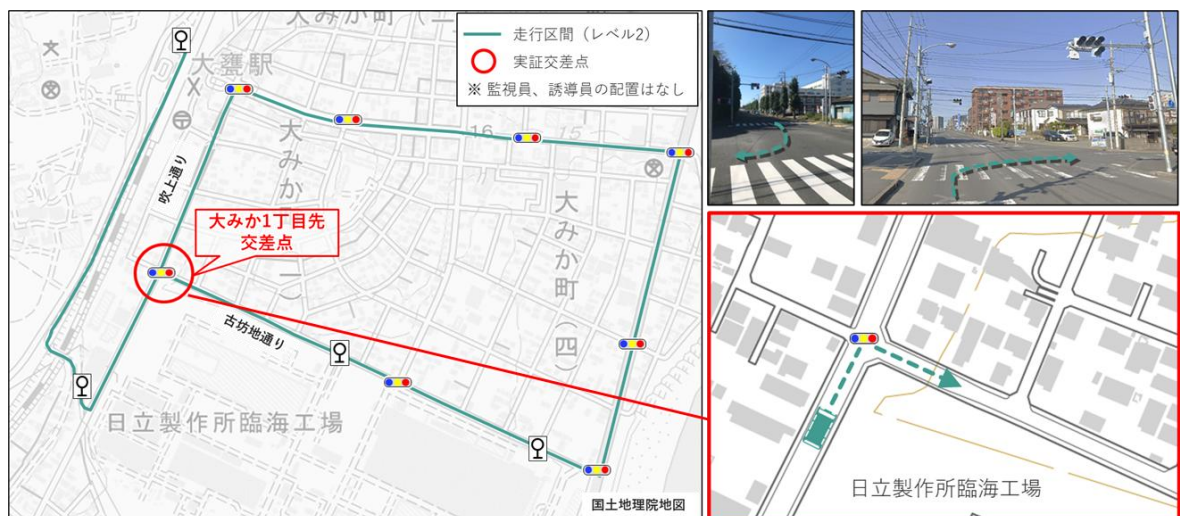


図 3-1 運行場所と実証場所の交差点

3.2 運行期間

本実証における運行期間を表 3-1 に示す。

表 3-1 運行期間

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	12 月 2 日（月）～12 月 7 日（金）
関係者試乗運行	実証視察会 12/13（金）
一般運行等	12 月 9 日（月）～12 月 19 日（木）（土日を除く）
その他運行	—

3.3 運行時間帯・頻度・運行方式

運行時間帯：8 時～14 時

頻度：5 便／日

運行方式：定時定路線型運行（白ナンバーでの無償運行）
 ※ただし、将来的には4条運行（緑ナンバー、有償）

3.4 運行者

茨城交通株式会社

本社所在地：〒310-0055 茨城県水戸市袴塚3丁目5番36号

3.5 運行体制

本実証における運行体制を表 3-2 に示す。

表 3-2 運行体制

項目		内容
運行管理者の選任・人員体制		茨城交通日立南営業所の運行管理者が兼務 （当該路線を運用する実運用体制）
遠隔監視装置	種類・特徴	<車両> ・ 車載カメラ：8カメラ、HD画質 ・ 通信網：携帯電話回線及びローカル5G通信 ・ ディスプレイ：28インチ程度のモニターと、GPU搭載PCを設置 <遠隔監視卓> ・ ノートPC、ディスプレイ(32インチ)
	機能	・ 遠隔監視映像の受信 ・ 自動運転車両の状態監視 ・ 自動運転車両へのルート送信、地図更新、エラーログ
	設置場所	茨城交通株式会社 日立南営業所に設置 〒319-1231 茨城県日立市留町字前川 1270-55
監視員	事業者	茨城交通株式会社
	人員体制	遠隔監視員の人数：計5人 自動運転車両1台当たりの配置人数：1人 ※自動運転バスの遠隔監視業務を想定し、車載映像の視認性の評価を行う対象者の人数であり、遠隔監視による介入操作などの業務は実施していない
	オペレーション	自動運転バスの車内・社外に取り付けた遠隔監視カメラから映像の視認性を確認。
	遠隔監視体制	監視員：自動運転バス＝1：1
	業務従事者教育	本実証においては、現場に複数のスタッフを配置したため、警察・消防等の通報は現場から行うことを第一とした。 【運行スタッフ（自動運転バス）】2名以上配置 現場での負傷者の救護や道路における危険を防止する等の必要な措

		置を実施し、警察・消防への通報及び専用道区間の場合管理者の日立市都市政策課への連絡
テスト ドライバー	事業者	株式会社ティアフォー
	人員体制	運転手の人数：1人 オペレータの人数：1人 自動運転車両1台当たりの配置人数：2人
	オペレーション	・ 運転操作を行う。 ・ 車両に対して自動運転の開始指示及び解除を行う。 ・ 自動運転走行時、ハンドル及びステアリング、ブレーキの自動操作を監視する。 ・ 交通状況や車両状況に応じ手動介入操作を行う。
	テストドライバーの確保及びこれらに対する業務従事者教育・訓練の計画	・ ティアフォー社が指定する自動運転の認可に対応した走行試験トレーニングプログラムの受講を完了し、テストコースにおいて制御失陥、自己位置推定の欠落や障害物の誤認識及び非検出時のオーバーライドに関するトレーニングを行った者が担当する
保安員 (※上記以外で 運行の安全のため に配置する人員)	事業者	保安員は採用しない
	人員体制	無し
	オペレーション	無し
	業務従事者教育	無し

3.6 自動運転車両の特徴

本実証で用いた自動運転車両の特徴を表 3-3 に示す。

表 3-3 自動運転車両の特徴

項目		内容
台数		1台
所有者		株式会社ティアフォー
車両 スペック	車両名	ティアフォーMinibus
	自動運転レベル	レベル4相当
	車両定員	23

	試乗枠の定員		14（着座指定）	
	最高速度		車両機能上限：70km/h	
			実証実験時上限：35km/h	
	センシングデバイス		3DLiDAR：8台（長：4台・短：4台） ミリ波レーダ：1台（長：1台・短：4台） カメラ（信号認識用）：1台 カメラ（物体認識用）：7台 カメラ（遠隔監視用）：8台 GNSS：1台 IMU：1台	
	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	
			☑自動運転レベル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自動運転レベル4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走行可能であること	
	運行管理システム （チェックを入れること）		☑車両に搭載したカメラによる車両内外の遠隔監視	
			☑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、センサの作動状況等について、交通事故又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		電気自動車	
走行可能環境	天候		晴れ、曇り、雨に対応（15mm以下）	
	照度		1～10000lux 街灯がある環境においては夜間～昼間まで対応 （本ルートにおいては夜間も走行可能）	
保有機能	自車操作	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
	対象認識		20cm 立方体以上	
	白線認識		行わない	
	標識認識		行わない	
		信号認識	可（カメラ及び信号連携（V2I））	
	MRM	有り		
本実証のために実施する自動運転システム改修の内容				
その他特徴等			・ インフラセンサー情報の受信及び表示性能を確認するために、試験用の受信機器と表示機器を搭載する。 ・ BYD 社より購入した車両を日本国内で改造している。 ・ 業務委託契約の別添 1 の 6 条 1(1) で記載のある、基準緩和認定について、本実証で使用する車両は今回の走行においては「特別装置型自動運転車」に該当しないため、基準緩和認定は不要。	

4. 実証の手法

4.1 自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証

当該ユースケースは実施していない

4.2 交差点における車両の認知機能の補助機能（自動車の死角にいる交通参加者/交通弱者の情報を車両に通知する機能）の検証

本実証では、「狭隘交差点における歩行者と自動運転バスの安全離隔の確保」というテーマでこの検証を実施するものとし、以降では必要に応じてユースケース 2 と呼称する。

(1) 目的

1.2 節で整理した、一般道も含めた自動運転レベル 4 の社会実装に向け目指すべき実証地域の環境及び課題のうち、①に着目した検証を行う。本検証では、狭隘交差点において自動運転バスと他の交通参加者との安全離隔を確保するため、自動運転バスの右折進入を歩行者に対して注意喚起する機能の有効性、及び路側カメラを用いて検知した歩行者、対向車の周辺環境情報を自動運転バスに搭載した PC へ適時に通知する機能が車載センサの補完となり得るかを確認する。そして、周囲環境に影響されづらく広帯域通信容量を確保可能なローカル 5G を用いた通信システムにより、これら機能の実現性を検証する。

(2) 実施内容の詳細

本検証における実施内容を以下の図に記す。

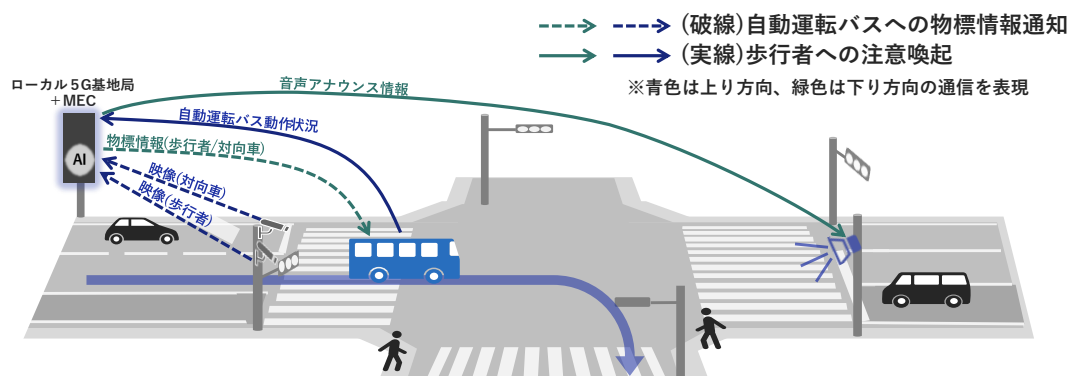


図 4-1 歩行者と自動運転バスの安全離隔の確保における実施イメージ

1) 自動運転バスへの周辺環境情報通知

車両から死角になる箇所や遠方など、自車で検知が難しい領域の対向車と歩行者に関する周辺環境情報をインフラから提供することで、車載センサ情報の補完となりうるかを確認する。検証における実施内容は以下の通りとする。

- ① 本検証に関する通信システムのアーキテクチャを検討する。
- ② アーキテクチャに基き周辺環境情報の配信機能を構築する。
- ③ 実証場所の交差点にて路側インフラを構築し、性能測定及び効果検証を実施する。

2) 歩行者への注意喚起

他交通参加者と近接する環境では特に、路側に留まる歩行者が横断しないことが明らかであるかを認識するのは難しい。自動運転バスの接近や動作状況をインフラから通知し、歩行者に認知してもらうことで、安全かつ円滑な通行の一助となりうるかを確認する。検証における実施内容は以下の通りとする。

- ① 本検証に関する通信システムのアーキテクチャを検討する。
- ② 自動運転システムと路側インフラとのインターフェースを定義する。
- ③ 自動運転システムからの通知を路側インフラに配信し、スピーカーから音声アナウンスを発音する機能を構築する。
- ④ 実証場所の交差点にて路側インフラを構築し、性能測定及び効果検証を実施する。

また実施にあたり、自動運転バスが右折する際の走行パターンを整理し、及び周囲の歩行者に自動運転バスの接近や動作状況を認知してもらうための音声アナウンスの位置づけとメッセージ内容を検討した。まず自動運転バスの右折時における走行パターンを図 4-2 のように可視化した。大きく分けて3つの走行パターンがあり、1つ目が交差点付近で一度も停止せず右折し通過するパターン、2つ目が交差点内で右折開始前のみ一時停止するパターン、3つ目が交差点内の右折開始前と横断歩道手前の二箇所で一時的に停止するパターンが想定される。この中で特に着目すべきなのは、図中に青色の背景で記載している行動が不確かな「停まっている人(路側)」と死角等により存在が不確かな「隠れている人」がある場合と考える。このような状況下で安全かつ円滑に走行できるようにするための予防措置として、表 4-1 に示す位置づけとメッセージ内容で音声アナウンスを定義した。

表 4-1 音声アナウンスの位置づけとメッセージ内容

音声アナウンスの位置づけ		メッセージ内容
予防措置①	自動運転バスが接近することを前もって伝える	「自動運転バスが接近します、ご注意ください。」
予防措置②	安全確認中のために停止していることを横断歩道周辺の交通参加者に伝える ※横断歩道前で一時停止しない場合はアナウンスなし	「安全確認中です。」
予防措置③	横断歩道付近を通過することを伝える ※横断歩道前で一時停止しない場合はアナウンスなし	「通過します。」

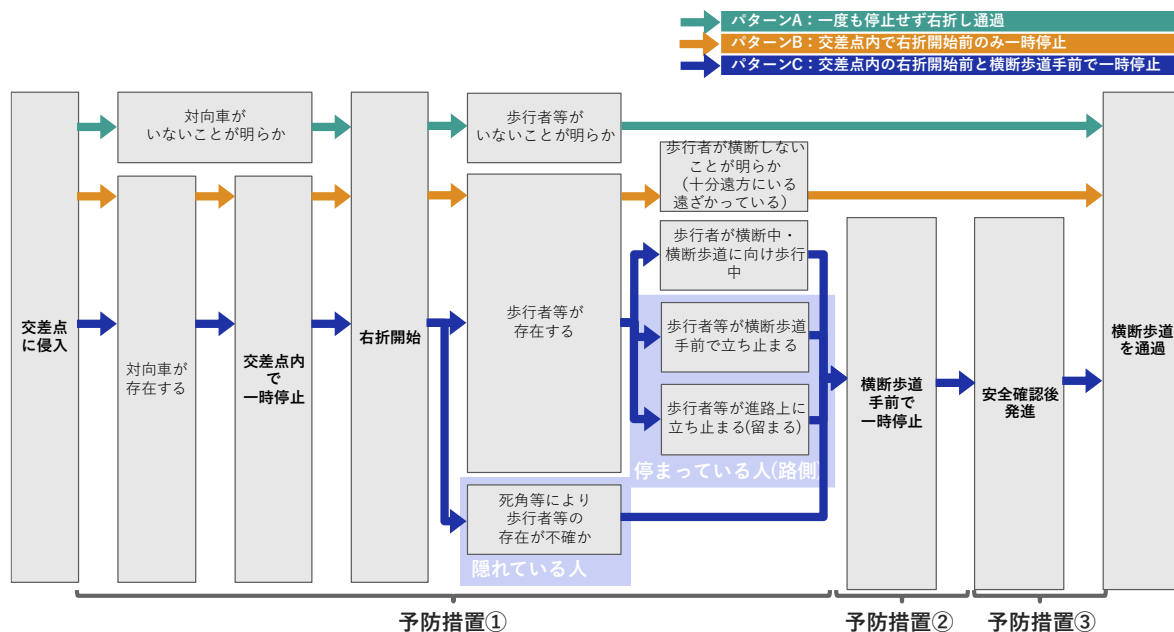


図 4-2 自動運転バスの右折時における走行パターン

(3) 利用技術

狭隘交差点における右折支援にあたり、自動運転バスへの周辺環境情報通知と歩行者への注意喚起ともに、多くの交通参加者が行き交う中で自動運転バスが接近、通行するタイミングに合わせてリアルタイムに機能させることが重要となるため、自動運転バス・エッジコンピュータ・路側センサ・路側 HMI(スピーカー)の間で安定かつ速やかな情報の伝達が必要となる。特に本検証のように対象物の種別まで分類する場合、路側センサとしてはカメラを選択することが多く、また近傍の広角と遠方の望遠の双方の画角が必要になる場合には複数台を設置することになると考えられる。そのような場合においても、路側と車両を同時に接続し大容量かつ低遅延な通信が可能である点、現場にエッジコンピュータ(MEC)を配置して即時に分析処理をして情報伝達できる点、かつ他の利用者による混雑等の影響や他の通信システムによる電波干渉の影響を受けづらく通信遅延の揺らぎを押さえることに繋がる点から、通信手段としてローカル 5G を選択した。MEC (Multi-access Edge Computing) は、端末の近くにアプリケーションサーバを配置することにより、通信の低遅延化、バックホールドラヒックの削減、処理効率化、セキュリティ向上等を実現するエッジコンピューティングの技術や規格を指し、ETSI ISG MEC²及び 3GPP³にて関連仕様が標準化されている。本実証では基地局と一体にすることで映像伝送の低遅延化や複数カメラの処理効率化等を実現している。

また、5G 等の V2N を使用した路車協調では、異なるベンダーのモビリティが共通的に路側の情報を使用できるよう工夫が必要となる。例えば、欧州の 5G-CARMEN⁴の活動では路車間の情

² MEC White Papers, <https://portal.etsi.org/TB-SiteMap/MEC/MEC-White-Papers>

³ 3GPP, <https://www.3gpp.org/>

⁴ 5G-Carmen, <https://5g-ppp.eu/5g-carmen/>

報共有に Publish-subscribe 形式の通信プロトコル(AQMP)を採用した事例があり、この方式を用いると、自動運転バスに限らず、他の交通参加者や交通誘導員からの情報も共有できる。

このような事例を参考に本実証では、利用する側が必要なタイミングで情報配信を要求できることによりネットワーク利用効率が良いという点から、路側センサの情報から生成した周辺環境情報を自動運転バスに通知する場合、及び自動運転バスからスピーカーに対して通知する場合に Publish-subscribe 形式の通信プロトコルを活用することとした。また、具体的な実証方法としては、AQMP よりも軽量な MQTT を採用した。

本実証で使用した MQTT のプロトコルはメッセージの送信者 (Publisher) と受信者 (Subscriber) の間に Broker を介すことで独立に送受信することで、多対多の接続が容易であり、また受信者が欲しいタイミングで欲しい情報を送信者に要求して情報を入手することができる。MQTT は以下の要素から構成されている。

- MQTT ブローカー (サーバ)

MQTT ブローカーは、メッセージの仲介役として機能し、以下のような役割がある。

- メッセージの受信と配信

パブリッシャーから受け取ったメッセージをフィルタリングし、適切なサブスクライバーに配信する。

- トピック管理

各メッセージには情報の種類を識別する「トピック」が付与されており、ブローカーはこのトピックに基づいてメッセージの配信先を決定する。

- MQTT クライアント

MQTT クライアントは、メッセージを送受信する機能で、以下のような役割がある。

- パブリッシャー (Publisher)

メッセージを送信する役割を持つクライアント。本実証実験の構成では MEC が該当する。

- サブスクライバー (Subscriber)

メッセージを受信する役割を持つクライアント。本実証実験の構成では車載 PC が該当する。

(4) 必要性・緊急性・新規性

本実証のルートにおける自動運転バスの運行は、隣接する大規模工場の従業員の通勤に活用してもらうことを想定しており、通勤時間帯の混雑時に自動運転バスを運行する必要がある。バスの場合は車体が大きく最小回転半径や内輪差が大きいため、実証場所の狭隘な交差点ではバスと信号待ちの歩行者が接近し通行に注意が必要であると考えられる。

ここで実施内容に対する必要性や新規性を検討するにあたり、まず自動運転バスが安全に通行するために、どのような支援があるべきかを図 4-3 のように整理した。自動運転バスを主体に考えた場合、4つの領域のうち左上に位置する「自者(自動運転車両)に対する自車の支援」は、車両に搭載された外界センサによる安全確保と捉えることができ、自律走行の基本であると言える。一方で、路側インフラの立ち位置としては図中に赤枠で囲んだ2つの領域にあり、上段の「自者

(自動運転バス)に対するインフラの支援」と下段の「他者(他の交通参加者)に対するインフラの支援」であると整理される。この整理を本実施内容に当てはめると、自動運転バスへの周辺環境情報の通知は「自者(自動運転バス)に対するインフラの支援」であり、歩行者への注意喚起は「他者(他の交通参加者)に対するインフラの支援」であると言える。

誰の 誰に 対する	自車 (自動運転バス)	インフラ
自者 (自動運転バス)	自者(自動運転バス)に対する 自車(自動運転バス)の支援 ※自律走行の基本	自者(自動運転バス)に対するインフラの支援
他者 (他の交通参加者)	他者(他の交通参加者)に対する 自車(自動運転バス)の支援	他者(他の交通参加者)に対するインフラの支援

図 4-3 自動運転バスが安全に通行するための支援

実証場所のような狭隘な交差点など歩行者が接近し通行に注意が必要となる場所では、路側や横断歩道手前で立ち止まっていたり、進路近くに留まっていたりする歩行者がいる場合、死角等により歩行者の存在が不確かな場合に、自動運転バスが単独で「横断する歩行者等がいらないことが明らか」であることを担保することが難しいと想定される。安全確認が完了できず一時停止する時間が長くなれば交通の円滑性を損なう恐れがあるこのような状況において、「他者(他の交通参加者)に対するインフラの支援」により歩行者に認知してもらうことにより、安全かつ円滑な通行の実現に繋がると考えられる。

なお、歩行者への音声アナウンスとしては、自動運転バスから音を発することも想定されるが、道路運送車両の保安基準第 43 条 4⁵において、「歩行者の通行その他の交通の危険を防止するため自動車は右左折、進路の変更若しくは後退するときにその旨を歩行者等に警報する」ことのみが認められている点から伝えられるメッセージに限りがあること、また本実証のような右折のケースでは歩行者と離れた状態からアナウンスを開始することになるため、朝夕のラッシュ時など環境音が大きい場合には音声伝わりづらくなることが想定される。

(5) 検証条件

自動運転バスの走行経路となる臨海西工場路線のうち大規模工場近くの右折交差点付近を対象とし、実証実験の期間及び運行時間帯内において、自動運転バスの運行レベルの範囲内で日照条件や天候条件の変化に応じて検証を行う。

⁵ 国土交通省, 2003, 道路運送車両の保安基準【2003.7.7】第 43 条 (警音器), <https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/H043.pdf>

(6) 開発・評価項目

開発・評価項目の一覧を表 4-2 に示す。

表 4-2 開発・評価項目一覧

番号	開発・評価項目
1	路側センサで検知した歩行者及び対向車の周辺環境情報を路側インフラから配信 (publish) し、車載 PC で受信 (subscribe) してモニタ上に表示する機能の開発・評価
2	自動運転システムから車両の動作状況に関する通知を受信して路側インフラに配信 (publish) し、スピーカーから音声アナウンスを発音する機能の開発・評価

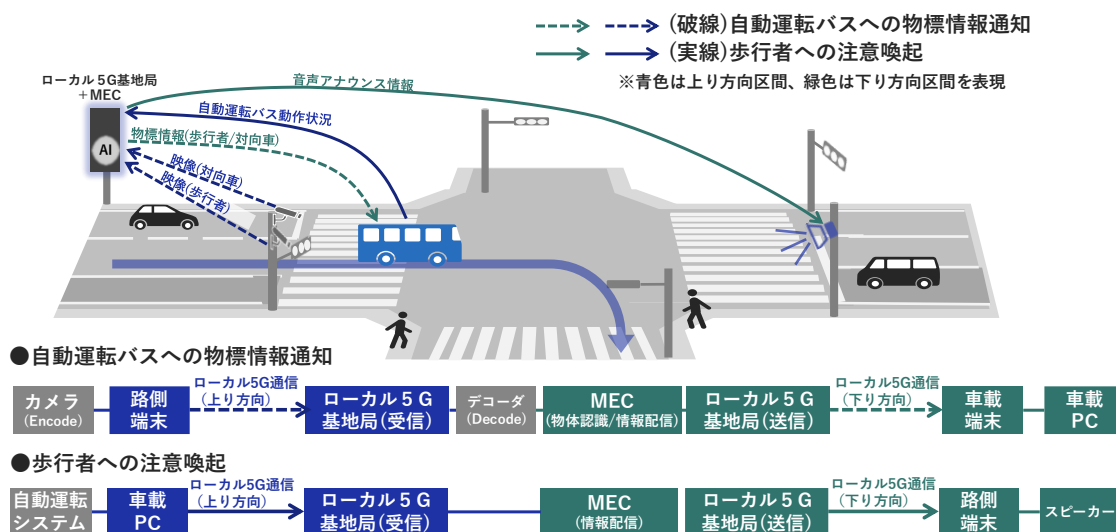


図 4-4 歩行者と自動運転バスの安全離隔の確保における処理及び通信の流れ

1) 路側センサで検知した歩行者及び対向車の周辺環境情報を路側インフラから配信 (publish)し、車載 PC で受信(subscribe)してモニタ上に表示する機能の開発・評価

本検証の実施にあたり、路側インフラの MEC から周辺環境情報を配信 (publish)する機能と、車載 PC で周辺環境情報を受信 (subscribe)してモニタ上に表示する機能を構築した。それぞれの機能に関する開発、及び本検証での評価内容について以下に記す。

a. 路側インフラの MEC から周辺環境情報を配信 (publish)する機能

路側センサの映像情報を受信し、物体認識により周辺環境情報を生成し、自動運転バスに配信する機能を路側インフラの MEC に実装した。全体に対する本機能の位置づけは、図 4-4 の自動運転バスへの周辺環境情報通知のフローにおける「MEC(物体認識/情報配信)」のブロックに該当する。

情報を配信する方式としては、前述の通り Publish-subscribe 形式の通信プロトコルである

MQTT を採用した。自動運転バスに対して周期的に周辺環境情報を配信する MQTT ブローカー（サーバ）を MEC 上に配置し、サーバは物体認識処理により生成される歩行者及び対向車の周辺環境情報を取得し、車載 PC からのデータ送信要求を受け付けて配信する仕組みとした。今回の実証では、MQTT の 1 つのトピックの中に対向車と歩行者の両方の周辺環境情報を記録するようにしている。

b. 車載 PC で周辺環境情報を受信(subscribe)してモニタ上に表示する機能

路側インフラの MEC から配信される周辺環境情報を受信し、モニタ上に位置情報を表示する機能を車載 PC に実装した。全体に対する本機能の位置づけは、図 4-4 の自動運転バスへの周辺環境情報通知のフローにおける「車載 PC」のブロックに該当する。

車載 PC 上に MQTT クライアントを配置し、ローカル 5 G の車載端末が通信圏内に入った時点で MEC 上のサーバに対してデータ送信要求を発出し、セッションが確立できたら周辺環境情報の受信を開始する。車載 PC にて周辺環境情報を受信した場合、図 4-5 のように現地交差点を含む地図上に対向車及び歩行者の周辺環境情報を表示する。周辺環境情報を表示した左側の地図には画像下端に右折交差点が描かれており、水色の矩形で表現した領域が対向車の検知対象エリア、青色で五角形のアイコンが対向車の周辺環境情報を表している。また、右側の地図には画像左側に右折交差点が描かれており、緑色で円形のアイコンが歩行者の周辺環境情報を表している。

歩行者を例に、物体認識の結果とアイコンの対応関係のイメージを図 4-6 に示す。物体認識の結果として、画像上の対象物を囲む矩形が算出される。その矩形の下端が対象物の接地個所と一致しているという前提でカメラを原点とした対象物の相対位置を算出する。そして、カメラの設置位置における緯度と経度を元にして対象物の緯度と経度を算出し、地図上の該当する箇所にアイコンを描画するものとしている。

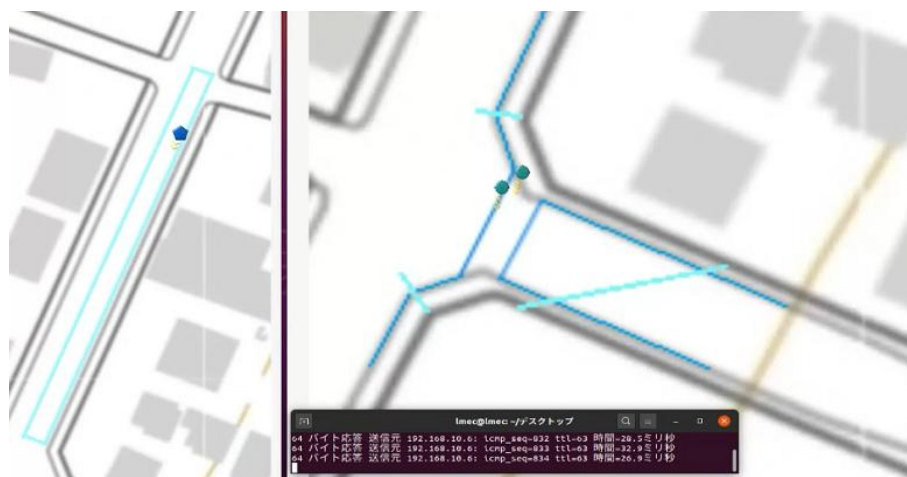


図 4-5 モニタへの周辺環境情報の表示



図 4-6 物体認識結果とアイコンの対応関係イメージ

c. 路側センサであるカメラから車載 PC までの情報伝達時間の測定

本機能に関する評価としては、路側センサであるカメラから車載 PC までの情報伝達時間の測定を行う。評価における測定手法及び評価基準については、次項の KPI/KGI に詳細を記載する。

2) 自動運転システムから車両の動作状況に関する通知を受信して路側インフラに配信 (publish) し、スピーカーから音声メッセージを発音する機能の開発・評価

本検証の実施にあたり、車載 PC で自動運転システムから車両の動作状況に応じた通知を受け取る機能と、車載 PC から音声アナウンスの発音トリガ情報をスピーカーに配信する機能を構築した。それぞれの機能に関する開発、及び本検証での評価内容について以下に記す。

a. 車載 PC で自動運転システムから車両の動作状況に応じた通知を受け取る機能

自動運転システム側に車両の動作状況に応じた通知を発信する機能と、車載 PC 側に通知を受け取る機能を実装した。全体に対する本機能の位置づけは、図 4-4 の歩行者への注意喚起のフローにおける「自動運転システム」と「車載 PC」のブロックに該当する。

まず、自動運転システムと車載 PC の間で通知のやり取りをするため、通知内容の定義を行った。まず自動運転システムからの通知内容、及び通知の開始と終了の条件を表 4-3 にて定義した。通知は 3 種類の音声アナウンスに紐づいており、開始と終了の条件は自動運転バスの判断状況や

自己位置に基づく内容としており、予防措置①と予防措置②の音声アナウンスは終了条件を満たすまで繰り返し発音され、予防措置③の音声アナウンスは終了条件の定義に従い1回のみ発音される。次に、自動運転システムと車載PC間のメッセージはRC-016⁶に合わせたフォーマットとし、UDP パケットによりデータ転送するようプロトコルを定義した。これらをもとに自動運転システムと車載PC間の通信シーケンスを整理すると、図 4-7 の「自動運転バス」に示す流れとなる。

表 4-3 自動運転システムからの通知内容と開始/終了条件

通知 ID	音声アナウンスとの対応関係	通知の開始条件	通知の終了条件
1	予防措置①	右折レーンの停止線に到達した場合	横断歩道前の一時停止を判断した場合（一時停止しない場合は、横断歩道を通過した場合）
2	予防措置②	横断歩道前の一時停止を判断した場合（一時停止しない場合は通知しない）	安全確認が完了し走行可能と判断した場合
3	予防措置③	走行開始し一定速度を超えた場合（一時停止しない場合は通知しない）	通知を1回送信した場合

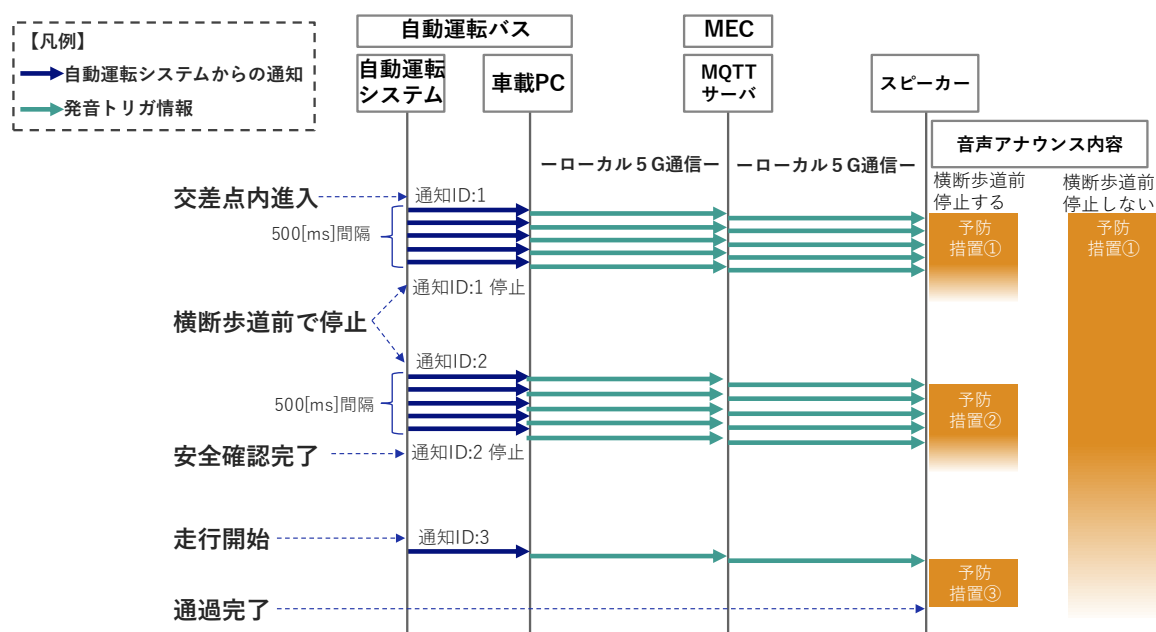


図 4-7 各機能ブロック間の通信シーケンスと音声アナウンス鳴動パターン

⁶ ITS 情報通信システム推進会議, 2022, 「自転車・歩行者事故防止支援システム向け実験用通信メッセージガイドライン」, <https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p68/ITS FORUM RC-016 v10.pdf>

b. 車載 PC から音声アナウンスの発音トリガ情報をスピーカーに配信する機能

車載 PC で受け取った通知に基づき、MEC 上のサーバに対して音声アナウンスの発音トリガ情報を配信する機能、及び MEC 上のサーバからスピーカー上に配置された MQTT クライアントに対して情報配信する機能を実装した。全体に対する本機能の位置づけは、図 4-4 の歩行者への注意喚起のフローにおける「MEC(情報配信)」と「スピーカー」のブロックに該当する。

図 4-7 における車載 PC～MEC 間、MEC～スピーカー間の情報伝達はどちらも MQTT を採用しており、車載 PC は自動運転システムから通知を受け取ると、MEC 上のサーバに対して MQTT プロトコルを用いて発音トリガ情報として配信する。さらに、MEC 上のサーバは発音トリガ情報が入力されると、接続しているスピーカー上の MQTT クライアントに発音トリガ情報を配信する。

MEC 上のサーバを介して、車載 PC からの発音トリガ情報をスピーカーに配信する際の通信シーケンスと対応する音声アナウンスの鳴動パターンを整理すると、図 4-7 の「MEC」「スピーカー」、「音声アナウンス内容」に示す流れとなる。

c. 自動運転システムから路側 HMI までの情報伝達時間の測定

本機能に関する評価としては、自動運転システムから路側 HMI までの情報伝達時間の測定を行う。評価における測定手法及び評価基準については、次項の KPI/KGI に詳細を記載する。

(7) KPI/KGI

KPI/KGI の項目の一覧を表 4-4 に示す。

表 4-4 KPI/KGI 項目一覧

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	1	自動運転システムから路側 HMI (スピーカー) までの情報伝達時間 100ms 未満 (95 パーセンタイル)
	2	路側センサから自動運転システムまでの情報伝達時間 700ms 未満 (95 パーセンタイル)
	3	歩行者の立ち入り検知精度 (対象範囲における歩行者の検知精度) 未検知率 5%以下 (日中・晴天時)
	4	自動運転バスが交差点へ接近する際にローカル 5G 通信により周辺環境情報の受信が可能となる場所 交差点手前 10m
定性評価	5	自動運転システム・路側インフラ (MEC・カメラ・スピーカー) 間の通信品質 (通信量、安定性、通信遅延時間等) を確認できること。

	6	意図したタイミングで音声アナウンスが通知されていること、 音声アナウンスの通知により歩行者の注意を引き出すことができること。
	7	自動運転システムによる対向車と歩行者の認識状況と路側システムから配信された 周辺環境情報の突き合わせにより有効性が確認できること。

1) 自動運転システムから路側 HMI(スピーカー)までの情報伝達時間：100ms 未満（95 パーセンタイル）

自動運転バスの動作に連動させて音声アナウンスを発音させるため、情報伝達時間が長いと意図した情報が伝わらなくなる恐れがある。違和感なく通知できる伝達時間として目標値を 100ms と設定した。

この評価では、自動運転システムから音声アナウンスの発音トリガ情報がスピーカーに伝達されるまでの時間を測定する。自動運転システムからスピーカーまでは、図 4-8 に示す情報伝達経路であり、図中の区間 1 と区間 2 に分けて伝達時間を計測する。音声アナウンスの発音トリガ情報はデータ量が小さいため、計測には ping コマンドによる RTT（ラウンドトリップタイム）の測定結果を用いることとし、伝達時間としては片道分に換算して扱う。

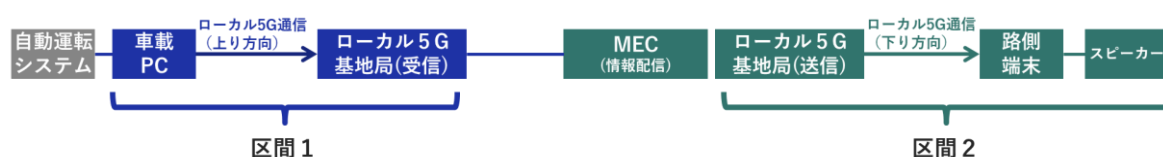


図 4-8 自動運転システムからスピーカーまでの情報伝達経路

2) 路側センサから自動運転システムまでの情報伝達時間：700ms 未満（95 パーセンタイル）

歩行者の立ち入りが発生した後、歩行者の移動距離が 1m 以内の範囲内で自動運転バスに通知することで、自動運転バスと歩行者との最低限の離隔距離を確保できると考えた。5km/h(1.4m/s) の速度で移動中の歩行者が 1m 進む時間として 700ms を目標値とした。

この評価では、路側センサから収集した映像を元に生成された周辺環境情報が自動運転バス上の車載 PC に伝達されるまでの時間を測定する。路側センサであるカメラから車載 PC までは、図 4-9 に示す情報伝達経路であり、図中の区間 1 と区間 2 に分けて伝達時間を計測する。

区間 1 については、カメラからはデータ量の大きい映像ストリームが伝送されるため、実際に通信されるデータの伝達時間を計測しなければ実態を把握することができない。そのため、MEC 上で取得した映像ストリームの伝達にかかるパケットキャプチャを元に、映像フレーム毎の伝達時間を算出するものとする。

区間 2 については、通信に関わる時間だけではなく、カメラの映像から物体認識処理を行って周辺環境情報を生成する時間や、生成された周辺環境情報を周期的に配信するサーバの処理時間も含めて伝達時間として扱うものとする。また MEC と車載 PC は時刻同期されているため、区

間 2 における MEC 上の物体認識処理の開始時刻、及び車載 PC にて周辺環境情報を受信した時刻の差分を算出することで伝達時間の計測を行う。

そして最終的な伝達時間としては、映像処理に関するカメラ内のエンコード処理、及び MEC 内のデコード処理にかかる時間の推定値も加算したうえで評価を行う。



図 4-9 路側カメラから自動運転システムまでの情報伝達経路

3) 歩行者の立ち入り検知精度（対象範囲における歩行者の検知精度）：未検知率 5%以下（日中・晴天時）

この評価では、対象範囲に立ち入る歩行者を路側インフラから検知できる精度を評価する。立ち入り検知を評価する対象範囲（立ち入り検知エリア）は歩道に属さない車道と横断歩道の領域とし、図 4-10 及び図 4-11 において赤枠で囲み示している。以下に、立ち入り検知精度の算出手順を記す。なお、本検証では異常検知タスクとして検知漏れと誤検知を重点的に評価するようにしている。

- ① 図 4-10 のような路側インフラのカメラ映像を録画したデータ目視し、赤枠で囲む A～C の領域内に歩行者が写っているかを確認する。
- ② ①で存在が確認された歩行者に対し、画像認識の結果として重畳表示される検知枠の有無と位置を確認し、歩行者検知における正検知(TP)・誤検知(FP)・未検知(FN)を判別し、検知漏れの指標として再現率(Recall)⁷を、誤検知の指標として適合率(Precision)⁸を算出する。
- ③ ①で存在が確認された歩行者に対し、図 4-11 のような周辺環境情報を自動運転バス内でモニタ表示した画面を録画したデータを目視し、赤枠で囲む A～C の領域内に歩行者を示すアイコンが表示されているかを確認する。
- ④ ③の確認結果から、歩行者の立ち入り検知としての正検知(TP)・誤検知(FP)・未検知(FN)を判別し、検知漏れの指標として再現率(Recall)を、誤検知の指標として適合率(Precision)を算出する。

また、評価対象のデータとしては、通勤ラッシュにより歩行者の通行が多い 1 便を中心にして少なくとも全便が 2 回ずつ含まれるよう、合計 10 便以上を対象とする。

⁷ 再現率 = $TP / (TP + FN)$

⁸ 適合率 = $TP / (TP + FP)$

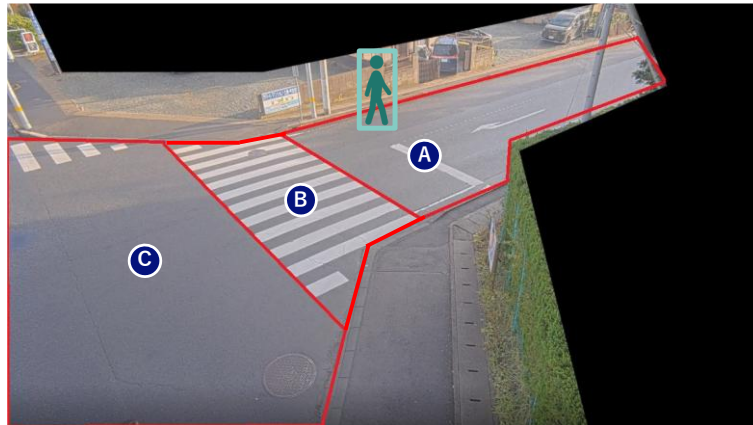


図 4-10 歩行者の立ち入り検知の対象イメージ

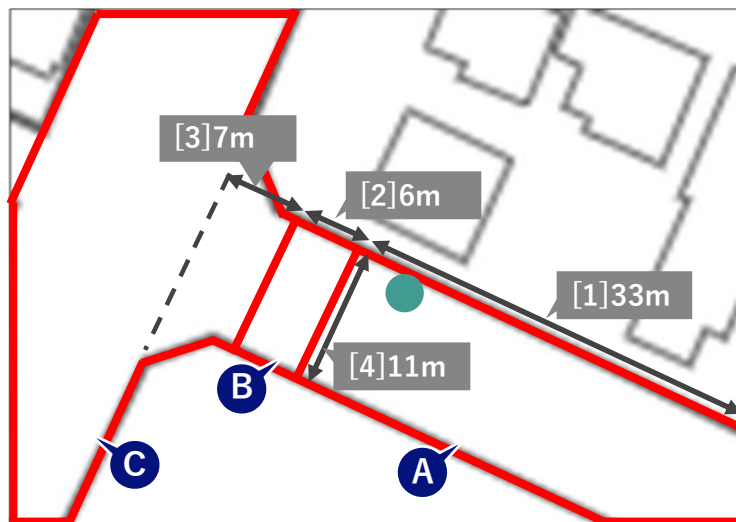


図 4-11 モニタ表示画面のキャプチャイメージ

表 4-5 歩行者の立ち入り検知の判別基準

判別	判別基準
TP	カメラ映像の A・B・C いずれかの領域に歩行者が写っており、モニタ表示上も同じ領域にアイコンが表示されている場合
FP	カメラ映像で歩行者が存在しない領域にモニタ表示のアイコンが表示された、あるいはカメラ映像の歩行者とは別の領域にモニタ表示のアイコンが表示された場合
FN	カメラ映像の A・B・C いずれかの領域に歩行者が写っているが、モニタ表示上では、同じ領域にアイコンが表示されなかった場合

4) 自動運転バスが交差点へ接近する際にローカル 5G 通信により周辺環境情報の受信が可能となる場所：交差点手前 10m

対向車や歩行者の周辺環境情報は、自動運転バスが交差点に進入する時点で取得できている必要がある。実際は交差点に進入する時点である程度減速していることが想定されるが、運行速度の最大値である 35km/h(9.7m/s)で走行していると仮定したときに、交差点進入の約 1 秒前から周辺環境情報が受信できるよう目標値を交差点手前 10m と設定した。

この評価を実施するにあたり、自動運転システムが推定する自己位置に基づき、右折レーン停止線の手前 10m 地点に到達した時点で車載 PC に対してトリガとなる通知が発信される仕組みを構築している。このトリガを車載 PC が自動運転システムから受信した位置に対して、ローカル 5G の通信圏内に到達した位置、及び周辺環境情報の受信を開始した位置がどのような時間関係にあったかを確認する。

5) 自動運転システム・路側インフラ(MEC・カメラ・スピーカー)間の通信品質（通信量、安定性、通信遅延時間等）を確認できること。

この評価では、車載 PC～MEC 間、路側のカメラ～MEC 間、路側のスピーカー～MEC 間の区間において、自動運転バスが交差点を通過する時間帯に通信品質が確認できることを確かめる。通信品質としては、ping コマンドによる RTT（ラウンドトリップタイム）を連続的に測定して時系列データとしてプロットしたときの応答時間により確認する。

また、特にデータの通信量が大きい路側のカメラを収容するローカル 5G 端末については、電波強度とスループットを指標にして期待する通信品質を得られているかを評価する。電波強度については、路側に設置したローカル 5G 端末から RSRP⁹、RSRQ¹⁰、SINR¹¹の値を取得し、特に受信電力の強度を示す RSRP がシミュレーション結果と同等のレベルであるかを確認し、またスループットについては、ネットワーク性能測定ツールを用いて疑似的なデータを流して確認する。

6) 意図したタイミングで音声アナウンスが通知されていること、音声アナウンスの通知により歩行者の注意を引き出すことができること。

この評価では、音声アナウンスが意図通りに動作しているか、音声アナウンスの効果が見られるかを定性的に評価する。

まず、音声アナウンスが意図通りに動作しているかは、図 4-7 に整理した設計上の想定シーケンスと現実の動作が合致しているかを以て評価する。具体的には、シーケンス上に表現されている音声アナウンスの発音タイミングに対し、発音時の自動運転バスの位置関係を現地で目視確認する。

次に、音声アナウンスの効果については、音声アナウンスの発音に合わせて図 4-12 における橙色の歩道と横断歩道を対象エリアとして歩行者が反応を示したかで評価する。発音時の現地の

⁹ RSRP (Reference Signal Received Power)：リファレンスシグナルの受信電力

¹⁰ RSRQ (Reference Signal Received Quality)：リファレンスシグナルの受信品質

¹¹ SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)：信号とノイズ・干渉の比率

様子を直接観察することと、発音時における路側のカメラ映像を目視することの双方を通して、歩行者に下記の振る舞いが見られたかどうかで注意を引き出すことができたかを確認する。

- 顔を上げた
- スピーカーの方を見た
- 自動運転バスを見た
- 立ち止まった(道を譲った)
- 歩調が変わった(急ぎ足になった等)



図 4-12 音声アナウンスの対象エリアと距離のイメージ

7) 自動運転システムによる対向車と歩行者の認識状況と路側システムから配信された周辺環境情報の突き合わせにより有効性が確認できること。

この評価では、自動運転システムにおける対向車と歩行者の認識状況と、路側インフラから車載 PC に配信された周辺環境情報とを突合せて、自動運転システムから捉えづらい位置の周辺環境情報を路側インフラが補完し得るかを確認する。突合せの方法としては、自動運転システムの認識状況を記録した UI 画面と路側インフラから配信された物標を表示したモニタ画面の双方を同期してキャプチャして記録しておき、両者における物標の検知結果を比較するものとする。

4.3 見通し外や路上駐車など複雑な交通環境下における周辺環境情報のリアルタイム映像分析及び車側の危険回避行動の連携

本ユースケースは実施していない

4.4 軽量映像伝送システムの実証

「軽量映像伝送システム」に関する検証を実施するものとし、以降では必要に応じてユースケース4と呼称する。

(1) 目的

日立市の自動運転バス社会実装に向けたロードマップでは、2025年度から監視員が導入され、さらに専用道から順次、運転手と保安員ともに乗車しない状態での運行に移行していくことが想定されている。さらに、2026年度からは1対Nの体制を構築していくことを目指している。また、一般道も含めたレベル4自動運転走行の社会実装に向けて着目すべき、実証地域の道路周辺の環境として以下のような特徴が挙げられる。

- 片側一車線道路で歩道が狭い
- 大規模工場が隣接し、ラッシュ時には車両、歩行者含め多くの交通参加者が行きかう（通勤時間帯は約100人～200人程度の従業員が歩行）
- 狭隘歩道またはガードレールなどで隔離されていない場所も多い

このような状況下にて、ロードマップで目指す体制のもと自動運転バスを運行するためには、車両から鮮明な映像を常時かつ即時配信する環境の整備、監視員の負担を軽減する仕組みの導入が必要と考えられる。そのため本検証では、携帯電話回線の通信品質に応じて動的に映像圧縮を制御する技術による監視の継続性、及びアラートによる通知機能が複数車両をモニタリングするための補助として有効であるかを確認する。

(2) 実施内容の詳細

本検証における実施内容を以下に記す。



図 4-13 ユースケース4の実施イメージ

1) 映像圧縮技術の検証

本検証では、通信速度の低下をリアルタイムに予測して事前に圧縮率を上げる技術、及び業務に必要となる領域（注視領域）の視認性を維持しつつ非注視領域の圧縮率を上げる技術の適用による映像配信の安定性を確認する。検証における実施内容は以下の通りとする。

- ① 自動運転バスの走行経路上にて携帯電話回線の通信品質を測定し、通信帯域が低下する区間を確認する。
- ② 学習型メディア送信制御技術を組み込んだエンコーダのアーキテクチャを検討する。
- ③ 自動運転バス及び遠隔監視卓に機材を設置し、本技術を用いた実験環境を構築する。
- ④ 自動運転バスの運行時、本技術の有効・無効それぞれにおける映像を比較検証することで有効性を検証する。

2) アラート通知技術の検証

本検証では、アラートによる通知技術が監視員による複数台のモニタリングとして有効であることをインタビュー等により確認する。検証における実施内容は以下の通りとする。

- ① アラート通知技術を組み込んだ遠隔監視装置のアーキテクチャを検討する。
- ② 自動運転バス及び遠隔監視卓に機材を設置し、本技術を用いた実験環境を構築する。
- ③ 自動運転バスの運行時、本技術を有効にした際にアラート通知が意図した事象に対して発出されるかを検証する。
- ④ インタビューにより、アラート通知が監視員のモニタリングの負担軽減に繋がるか有効性を検証する。

(3) 利用技術

携帯電話回線を使用する場合、通信速度が急激に変動することがあり、通信速度が低下した状態でデータサイズが大きい映像を伝送してしまうと、伝送に時間がかかってしまうため、通信速度の低下をリアルタイムに予測して事前に圧縮率を上げることが重要である。この通信速度の予測について独自のアルゴリズム¹²を持っており、様々な業務に適用して効果を発揮した実績がある。これに加えて、今回、非注視領域の圧縮率を上げることにより業務に必要となる領域の視認性を維持する学習メディア送信制御技術¹³を追加する。本技術は、受信側で画像認識の学習機能を持ち、受信側の画像認識結果を送信側へ反映する方式を採用している。これにより、様々な環境変化や物体に対して的確に注視領域を指定できるメリットがある。この技術により、注視領域の視認性を維持しつつ無線通信帯域を最大 10 分の 1 に削減でき、1 回線で多数のカメラ映像を安定して配信可能である。このようなメリットがあるため、本実証ではこの映像圧縮技術を活用して遠隔監視業務への適合性について検証する。

また、複数台のモニタリングに向けた補助を目的として、映像分析に基づいて注意や介入が必要ケースを自動で検出し、監視員にマーカーやアラートで通知する技術を活用する。この技術で

¹² 日本電気株式会社, 2018, 「適応映像配信制御技術」,
https://jpn.nec.com/rd/tg/smc/research/adaptive_video_feed_control.html

¹³ 日本電気株式会社, 2021, 「学習メディア送信制御技術」,
https://jpn.nec.com/press/202101/20210108_02.html

は、遠隔監視装置に配信される映像から車・人・自転車の物体を検出し、検出結果の信頼度スコア¹⁴に応じて物体の位置を示すマーカーを監視員に提示する。さらに、映像上に設定した領域の中に物体のマーカーが存在し、その信頼度スコアが一定以上の場合には、注意や介入が必要になる可能性のあるケースとしてアラートによる通知を行う。本実証では、このアラート通知技術を活用して、複数台のモニタリングに向けた補助機能の有効性を検証する。

(4) 必要性・緊急性・新規性

移動体である自動運転バスから常に映像や音声のデータを配信し続けるためには、広い通信エリアを持つ携帯電話回線の活用を第一に検討すべきと考えられる。一方で、携帯電話回線を活用して膨大な映像データ途切れなく配信し続けようとした場合、電波環境や混雑状況により潤沢な帯域を確保できず映像が乱れたり停止したりしてしまうことが課題となっており、映像配信の安定性の確保が必要であると言える。

また、無人自動運転の社会実装に向けて、経済性試算における整理としてバス3台に対して1人の監視員で対応するといった経済性イメージを提示している¹⁵ほか、前述の通り日立市の自動運転バスの社会実装に向けたロードマップにおいても2026年度は3台に対して1人、2027年度には5台に対して1人のモニタリングの実現が位置付けられている。自動運転バスのモニタリングのため、車両1台あたり6つ（前方面、左前方、右前方、左側方、右側方、後方）のカメラが設置されると仮定すると、車両5台を1人で対応するためには同時に30もの映像を監視する必要がある。遠隔監視機能の正常性確認を含め、1人でこれだけの映像を同時に監視することは困難なため、車両の動作状況や状態、周囲の状況(映像)の確認を機械的に行い監視員の補助をすることが重要となる。さらに将来的には、正常時に監視員の代替で監視し、自動的に異常を見つけて監視員に引き継ぐことまで必要になると想定される。

(5) 検証条件

自動運転バスの走行経路となる臨海西工場路線の全域（約3km）を対象とし、実証実験の期間及び運行時間帯内において、自動運転バスの運行レベルの範囲内で日照条件や天候条件の変化に応じて検証を行う。

(6) 開発・評価項目

開発・評価項目の一覧を表4-6に示す。

表 4-6 開発・評価項目一覧

¹⁴ 信頼度スコア（confidence score）とは、画像認識の結果に対する信頼度を表す値で、一般的に0から1の値で表現され、1に近いほど高い信頼度を示す。

¹⁵ 経済産業省製造産業局, 2023年, 「自動運転移動サービスの実現に向けた今後の取り組みの方向性の案について」, https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/jido_soko/jido_butsuryu/pdf/2023_0228_jimukyokushiryo.pdf

番号	開発・評価項目
1	映像圧縮技術の適用による映像配信の安定性に関する評価
2	アラートによる通知技術におけるモニタリングの補助機能としての有効性の評価

1) 映像圧縮技術の適用による映像配信の安定性に関する評価

映像の安定性に関する評価を行うために、本検証では下記のデータを計測、収集する。

a. 通信速度情報

走行路上の携帯電話回線の通信速度の確認を行うため、自動運転バス運行時の通信速度情報を記録する。この評価では、自動運転バスの経路走行中に、ネットワーク性能の測定に広く用いられるツールである iperf3¹⁶を用いて連続的に携帯電話回線の通信速度を測定する。さらに、通信速度の測定と同時に GPS 受信機から取得した緯度、経度情報も合わせて記録し、経路上のどの地点でどれだけの通信速度が出ていたかを明らかにするものとする。また、本検証は映像を配信しながらの測定ができないため、映像評価とは別日にデータ収集を行う。KPI/KGI の項目に紐づく評価方法は次項に詳細を記す。

b. 映像の乱れや再生停止の頻度

自動運転バスから遠隔監視装置に配信した画面の映像を録画し、録画映像の目視により映像の乱れあるいは再生停止の発生状況を確認して、事象の種別、及び開始時刻と継続時間を記録する。

まず、自動運転バスの運行ダイヤである 1 便から 5 便の各便において技術の有効と無効の比較を行うため、評価に用いる録画映像は双方とも全 5 便分を記録する。技術の有効と無効とそれぞれを 1 日にまとめて記録すると、その日特有の傾向があった場合に見落としてしまう可能性があるため、1 便から技術有効・無効の順に記録する日と、技術無効・有効の順に記録する日に分けて実施する。

次に、録画映像から映像の乱れ、再生停止の発生状況を目視確認により抽出し、事象の種別と事象の開始時間、及び継続時間を記録する。事象の継続時間は基本的に秒単位での確認とするが、技術有効においては 1 秒に満たない場合も多いため、そのケースではフレーム毎に映像を確認しミリ秒単位で継続時間を算出する。さらに、技術の有効と無効それぞれについて、映像の乱れとカクツキ、再生停止の発生状況を時系列で比較できるよう結果を分析する。事象の発生状況は、u 各便それぞれで経過時間を元に整理しているが、その場の交通状況により車速や停止時間が異なるため単純な時系列の比較では、位置に起因した事象の比較が困難である。そのため本検証では、

¹⁶ Iperf3: <https://iperf.fr/>

GPS から取得した位置情報（スタート地点からの走行距離）をもとにした比較を行う。

そして、頻度の指標については、録画された監視画面の映像の総時間を分母とし、事象の継続時間の総計を分子として算出するものとする。KPI/KGI の項目に紐づく評価方法は次項に詳細を記す。

c. 帯域情報

映像配信に伴い実際に使用された帯域の情報として、映像のエンコード時に設定されたビットレート値を時系列データとして記録する。これらの情報は、本検証に用いた遠隔監視システムにて実行時のログファイルとして出力できるようになっている。本検証では、映像の乱れや再生停止の頻度の評価と合わせてこれらの帯域情報を取得するものとする。KPI/KGI の項目に紐づく評価方法は次項に詳細を記す。

d. Glass to Glass 遅延時間

本検証では、車載カメラの内部処理遅延から遠隔監視装置の画面の描画遅延まで含めた遅延時間を図 4-14 のように測定する。時間の計測誤差が無視できるレベルである 2 台のストップウォッチを用意し、1 台は自動運転バス車内に、もう 1 台は遠隔監視装置のディスプレイの傍に設置する。そして車載カメラで車内のストップウォッチを撮影した映像を配信し遠隔監視装置のディスプレイに表示させる。ディスプレイに表示されたストップウォッチの映像とディスプレイの傍に設置したストップウォッチが写るように計測用カメラで静止画を撮影し、両者の時間差を映像伝送の遅延時間として算出する。実験の開始前には、2 台のストップウォッチを 1 台のカメラで撮影し、ストップウォッチ間の時間のズレのオフセット値を求め、時間差の算出時に反映するものとした。また、この 2 台のストップウォッチは、計測開始から 1 時間以上経過した時点でも両者の誤差は 50ms 程度に収まることを事前に確認している。KPI/KGI の項目に紐づく評価方法は次項に詳細を記す。

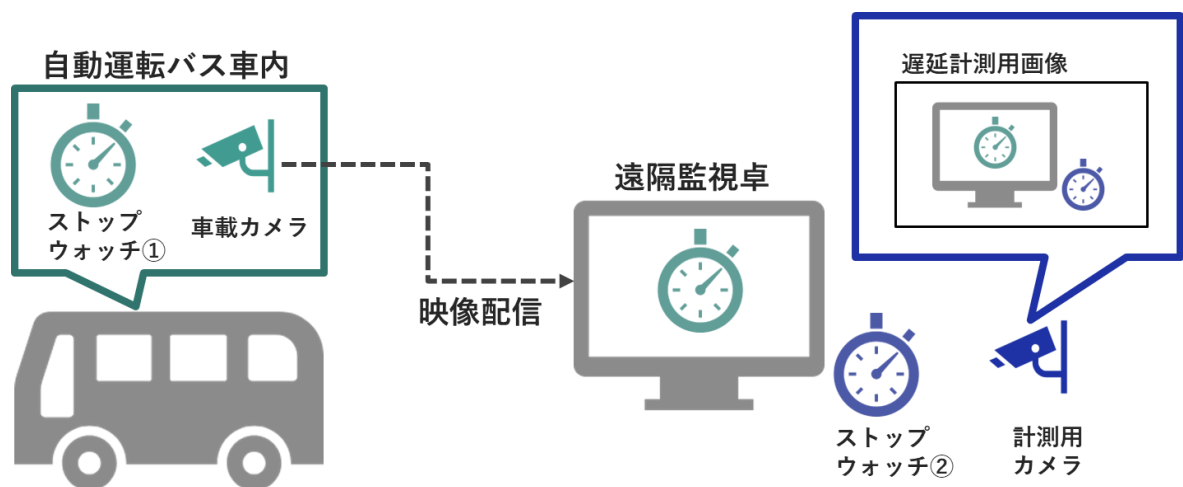


図 4-14 Glass to Glass 遅延の測定イメージ

2) アラートによる通知技術におけるモニタリングの補助機能としての有効性の評価

アラートによる通知技術の有効性を評価するため、本検証では下記のデータを計測、収集する。

a. アラート発出情報

自動運転バスから遠隔監視装置に配信した映像を録画して記録する。この記録映像に重畳されている物体検知結果を表すマーカー、及びアラートのアイコンの発出状況を目視で確認する。マーカーとアラートは、表 4-7 と表 4-8 に示す基準で正検知(TP)・誤検知(FP)・未検知(FN)を判別し、検知漏れの指標として再現率 (Recall) ¹⁷を、誤検知の指標として適合率 (Precision) ¹⁸を算出する。なお、本検証では異常検知タスクとして検知漏れと誤検知を重点的に評価するようにしている。

表 4-7 マーカーの判別基準

判別	判別基準
TP	自車周辺及び走行経路上の走行に影響を与えそうな車・人・自転車を検出した場合
FP	車・人・自転車以外にマーカーが表示された場合、あるいは車・人・自転車に対して異なる種別のマーカーが表示された場合
FN	自車周辺及び走行経路上の走行に影響を与えそうな車・人・自転車を検出できなかった場合

表 4-8 アラートの判別基準

判別	判別基準
TP	アラート発出対象の領域にかかった車・人・自転車に対してアラートが上がった場合
FP	アラートを発出すべきでないシーンで表示された場合 (マーカーで FP と判断された対象にアラートが表示された場合)
FN	車・人・自転車がアラートエリアにかかったが、アラートが上がらなかった場合 (マーカーの有無は関係なく判断)

(7) KPI/KGI

KPI/KGI の評価項目の一覧を表 4-9 に示す。

¹⁷ 再現率 = $TP / (TP + FN)$

¹⁸ 適合率 = $TP / (TP + FP)$

表 4-9 KPI/KGI 項目一覧

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	1	映像圧縮技術の有効・無効との比較で、映像の乱れや再生停止の頻度 1/10 以下
	2	映像認識 AI の危険予兆アラート発出漏れ 5%以下
	3	Glass to Glass 遅延時間 500ms 以下 (95 パーセントイル)
定性評価	4	自動運転バスの走行路上の携帯電話回線の通信速度を測定し、本技術の適用効果を確認できること。
	5	本技術の有効・無効それぞれで受信側の映像品質（解像度、フレームレート、ビットレート、遅延時間、カクツキの有無等）を測定し、本技術の適用効果を確認できること。
	6	監視員に対してインタビュー等により本システムの有効性を確認できること。

1) 映像圧縮技術の有効・無効との比較で、映像の乱れや再生停止の頻度：1/10 以下

技術が無効にした場合の映像品質はその場の通信環境により大きく変化するため、技術の有効と無効の比較において乱れや停止の発生回数は適切な指標ではないと判断し、映像の乱れ・再生停止の頻度を低減することを目標とした。そして映像圧縮技術が無効の場合の頻度に対して、映像圧縮技術が有効な場合の頻度が 1/10 以下に抑制できるかを確認する。また、1/10 という数値は人の目で視覚的な効果を実感できるレベルであり要素技術の評価を元に決定した。

2) 映像認識 AI の危険予兆アラート発出漏れ：5%以下

この評価では、映像圧縮技術が有効な場合の遠隔監視装置の映像を録画しておき、録画映像の目視により映像認識 AI の物体検知の結果を確認する。そして、検知した物体に対し発出条件に該当しているにもかかわらずアラートが出ていない場合を発出漏れとしてカウントし頻度を算出する。

3) Glass to Glass 遅延時間：500ms 以下

歩行者が接近するシーンを想定し、映像と現実の歩行者の位置ずれが 1m 未満になることを目標とすると、歩行者の速度が 5km/h (1.4m/s) の場合には 700ms までの遅延時間を許容できることになる。なお今回の目標値は、過去の実証実験における実績値とその際のユーザの意見を踏まえて 500ms と設定した。

4) 自動運転バスの走行路上の携帯電話回線の通信速度を測定し、モバイル空間統計情報に基づく人口分布との相関関係、及び本技術の適用効果を確認できること。

この評価では、自動運転バスの経路走行中に、ネットワーク性能の測定に広く用いられるツールである iperf3¹⁹を用いて連続的に携帯電話回線の通信速度を測定する。また、通信速度の測定と同時に GPS 受信機から取得した緯度、経度情報も合わせて記録を行う。そして、通信速度の測定結果を緯度経度情報と紐づけることで、経路上のどの地点でどれだけの通信速度が出ていたかを明らかにする。そして、通信速度の情報とモバイル空間統計情報に基づくリアルタイムの人口分布情報を突き合わせることで相関関係の有無を確認し、通信速度の情報と定量評価 1 の結果を突き合わせることで技術の適用効果を確認する。

5) 本技術の有効・無効それぞれで受信側の映像品質（解像度、フレームレート、ビットレート、遅延時間、カクツキの有無等）を測定し、本技術の適用効果を確認できること。

映像品質に関連する要素として、カクツキの有無や遅延時間は定量評価 1 及び 3 として別途評価を実施している。その他に映像品質に関して動的に変動するパラメータとして、ビットレートが挙げられるため、この評価では技術の有効、無効それぞれで映像配信に係る実効ビットレートを測定し、技術の適用効果を確認する。

6) モニタリングの監視員に対してインタビュー等により本システムの有効性を確認できること。

この評価では、交通事業者における監視員や特定自動運行主任者の候補となる社員に、技術の有効、無効それぞれの映像を閲覧してもらい、インタビューにより有効性に関する情報を収集することとした。

インタビュー実施にあたり、無人運行時における特定自動運行主任者に義務付けられる措置内容前提として、映像の閲覧及びインタビューの回答をするものとした。

またインタビューの設問としては、0～3 までの 4 段階で回答するように設計した。4 段階の位置づけは表 4-10 に示す内容で定義し、これらを図示すると図 4-16 のようになる。具体的な設問については、8 章に記載する。

表 4-10 インタビュー設問における4段階の定義

段階	機能の位置づけ	性能の位置づけ
3	社会実装に必要な機能を満たしている。	社会実装に必要な性能を満たしている。
2	特定自動運行主任者に義務付けられる措置を実施するうえで、最低限必要な機能は満たしている。	特定自動運行主任者に義務付けられる措置を実施するうえで、最低限必要な性能は満たしている。

¹⁹ Iperf3: <https://iperf.fr/>

1	特定自動運行主任者に義務付けられる措置を実施するうえで、最低限必要な機能の一部ではあるが、不足している。	特定自動運行主任者に義務付けられる措置を実施するうえで、最低限必要な性能に達していない。
0	社会実装に必要な機能、特定自動運行主任者に義務付けられる措置を実施するうえで、最低限必要な機能とはかけ離れている。	特定自動運行主任者に義務付けられる措置を実施するうえで、特に必要としない性能である。 (方向性が誤っている)

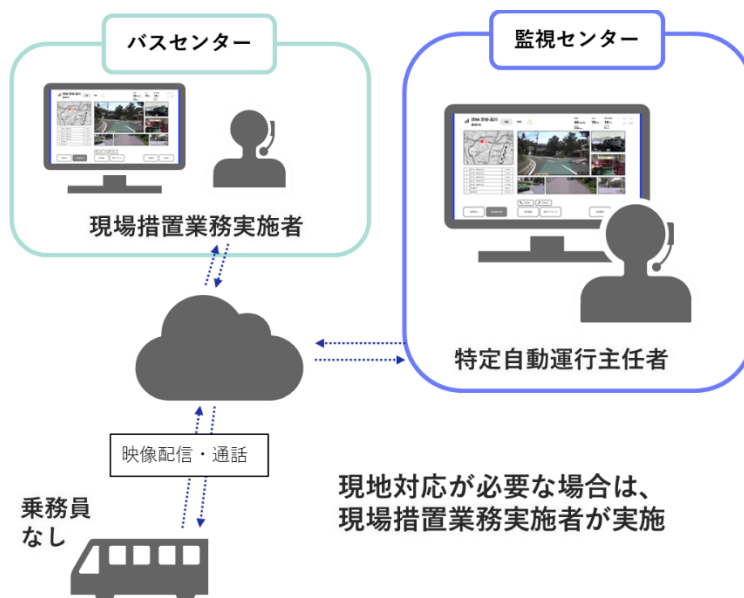


図 4-15 インタビュー実施の前提イメージ

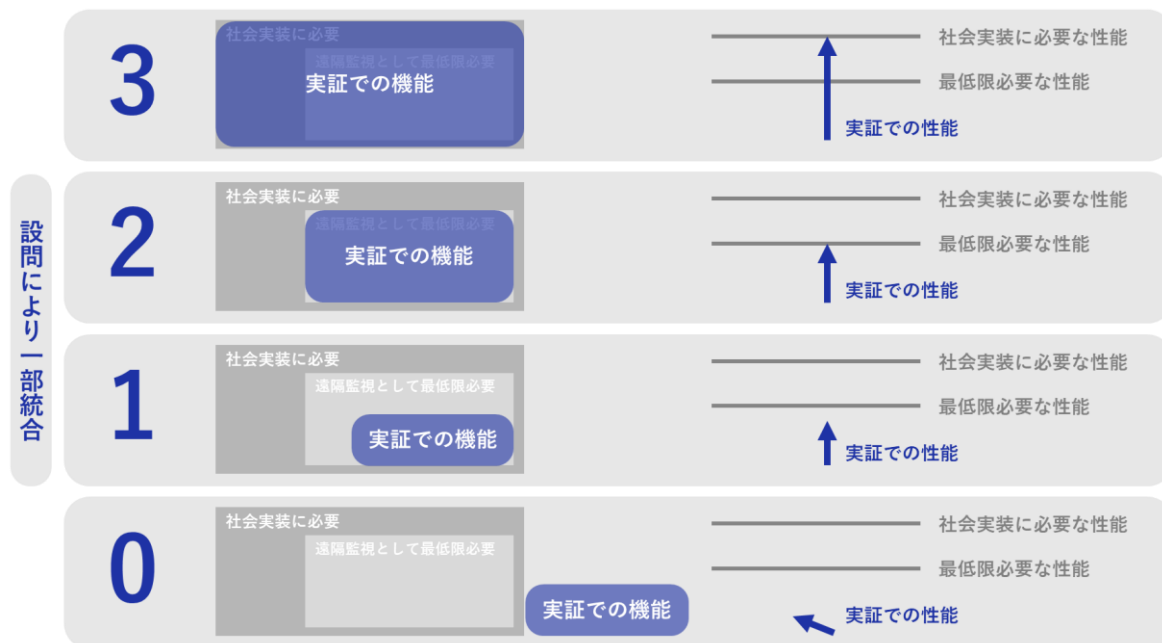


図 4-16 インタビュー設問における4段階の図解

4.5 高度な安全配慮が必要な踏切道や緊急車両行き違い等ボトルネックケースにおける他者とのシステム連携による安全性向上

本ユースケースは実施していない

4.6 経済性・実装性向上のための路側インフラ技術の標準化・量産化・共通化の実証

本ユースケースは実施していない

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）

1) 遠隔監視システムのインターフェースに関する評価（ユースケース 4）

遠隔監視システムのインターフェースに関する評価は、4.4 (7) 6) に記載のインタビューを通して実施するものとする。評価の観点は大きく分けて 2 つあり、映像圧縮技術の有効と無効を比較した映像の継続性や視認性の改善効果を確認する点と、アラートによる通知技術がモニタリングの補助効果を確認する点がある。

映像の継続性や視認性の改善効果については、監視に足る画質や安定性が確保されているかの確認を基本とし、さらに監視員の負担に繋がる映像の違和感の有無等を確認する設問を盛り込んでいる。また、アラートによるモニタリングの補助効果については、アラートの内容やタイミングが適切と感じられたかを確認することに加え、将来の複数台モニタリングに有効であるかを直接確認する設問も盛り込んだ。

2) 路側 HMI(スピーカー)の効果に関する評価（ユースケース 2）

路側 HMI であるスピーカーの効果に関する評価は、4.2 (7) 6) に記載の音声アナウンスに関する効果確認により実施するものとする。評価の観点は 2 段階に分けており、インターフェースが意図通りの動作をしているかの確認と、周囲の歩行者に対して意図した効果を得られているかの確認である。

まず、インターフェースが意図通りの動作をしているかについては、スピーカー発音時の現地の様子を直接観察し、車両の動作と音声アナウンスのタイミングが設計上の想定シーケンスと合致しているかを確認する。次に、周囲の歩行者に対して意図した効果を得られているかについては、音声アナウンスの発音前後で周囲の歩行者が反応を示したかを観察することで確認する。

(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など、地域交通の持続性への寄与度（ユースケース 4）

無人自動運転サービスが実現した際の人員配置等の見直し効果として、モニタリングの負荷軽減及び効率化による 1 : N の運行体制の実現への寄与が期待される。

本実証においては 4.4 (7) 6) に記載のインタビューを通して、モニタリングの継続性、及び負荷軽減の効果を確認する。それらの結果を元に、乗務員無し運行の実現や 1 : N の運行体制の実現に対する通信システム寄与度を考察するものとする。

(3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策（ユースケース 2・ユースケース 4）

不正アクセスによる通信障害やデータ漏洩等のリスクを低減するためのセキュリティ対策として、予防と検知を実施する。予防の基本的方針としては、多層防御の考え方により、一つが突破されても複数の防御を組み合わせる。万が一不正アクセスがあった場合には、検知により何が起ったのか記録を追跡することが可能である。

1) 予防

アクセス認証、外部通信の暗号化(VPN 等)、アクセス制限(ホワイトリスト)、ファイアウォール／フィルタリング、IPS (不正侵入防止システム) や WAF (Web Application Firewall) による不正侵入防御、要塞化等を必要に応じて実施する。

2) 検知

システム内の各装置にアクセスするときは、認証を行ったアカウントで、必ず中継サーバを経由してアクセスを行う。その中継サーバでは、万が一の不正アクセスを見つけるために証跡記録を残す。

システム構成要素の脆弱性を適宜確認し、PSIRT (Product Security Incident Response Team) と連携し組織的・継続的な対応を行う。脆弱性レポート及びセキュリティインシデントの検出時には、速やかに応急処置を実施し、調査及び恒久対策を実施する。

(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（ユースケース 2）

本システム内に存在する様々な機器及びアプリケーションを一元管理する運用管理システムを配置することにより運用性の向上を実現する。運用管理システムは主にシステム監視とシステム制御の機能を有する。

1) システム監視

システム監視においては、各機器・OS・アプリケーションが発出するアラートを集約することで、個々の監視対象にアクセスすることなく障害状況を可視化できる。また、リアルタイム及び過去のパフォーマンスデータ参照機能を提供することにより、予期しないダウンタイムの抑制、問題の検出の迅速化が可能となる。加えて、監視機能を WebGUI で提供することで、運用者に直感的な操作性、アクセスの容易性、視覚的な監視・分析結果を提供することができ、状況を把握しやすく、システム運用の効率化と最適化を実現できる。

2) システム制御

システム制御においては、セキュアなリモート保守機能を提供することで、問題検出時の調査・修正において開発者が現地に行くことなくシステムの保守作業を行うことができる。これによりトラブルシューティングやモジュールのアップデート、パッチ適用等のタスクを迅速かつ効率的に実行でき、運用性を大幅に向上することが可能となる。

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(ユースケース 2)

自動運転バスの走行経路全体に対する自動運転での走行距離の割合を確認する。また、手動介入の発生回数と代表的な事象の発生場所を記録し、右折支援を行った実証場所の交差点において手動介入が発生した場合は、その要因が本システムにて対策可能な内容であったかどうかを考察する。

(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(ユースケース 2)

本実証では、朝の通勤時間帯を含む運行ダイヤを設定して実施するため、実証交差点付近には多くの歩行者等の交通参加者が存在する。前項の手動介入への対策としての効果確認と合わせて、音声アナウンスの通知により自動運転バスの接近等を周辺の歩行者に通知することで、車両の円滑な通行に効果があり得るか、自動運転バスのオペレータあるいはドライバーへのヒアリングで確認する。

(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(ユースケース 2・ユースケース 4)

本実証における自動運転バスの走行経路は、朝の通勤時間帯とそれ以外で交通状況が大きく異なる特徴がある。そのため、実証の運行ダイヤのうち朝の通勤時間帯に当たる 1 便とそれ以外で、運行にかかる所要時間の傾向と、その変動要因を確認する。そして、運行時間の変動要因に対して、本実証における「自動運転バスに対するインフラの支援」と「他の交通参加者に対するイン

フラの支援」が寄与し得るかを考察することで、時間短縮等の向上効果を確認する。

(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

自動運転バスの社会実装に向け、自動運転車両に対する初期投資及び維持管理に関する継続的な投資を行いつつ、路側インフラ設備の設置と運用に対するコストも必要となると負担が大きい。特に社会実装の初期には自動運転バスの対象路線や稼働台数の規模が小さく、路線や車両当たりのコスト負担が大きくなることが想定される。その点を考慮して、初期コストとランニングコスト負担の在り方、コスト低減方策を検討する。

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

(1) システム構成

1) システムの全体像

本実証では、4.2 節における狭隘交差点における歩行者と自動運転バスの安全隔離の確保（ユースケース 2）と 4.4 節におけるモニタリングの継続性向上（ユースケース 4）とで、それぞれ異なる通信メディアを用いたシステムを図 5-1 のように構築した。ユースケース 2 にはローカル 5G 網を、ユースケース 4 には携帯電話回線網を用いており、自動運転バスに端末装置を設置し車外と通信するアーキテクチャとしている。

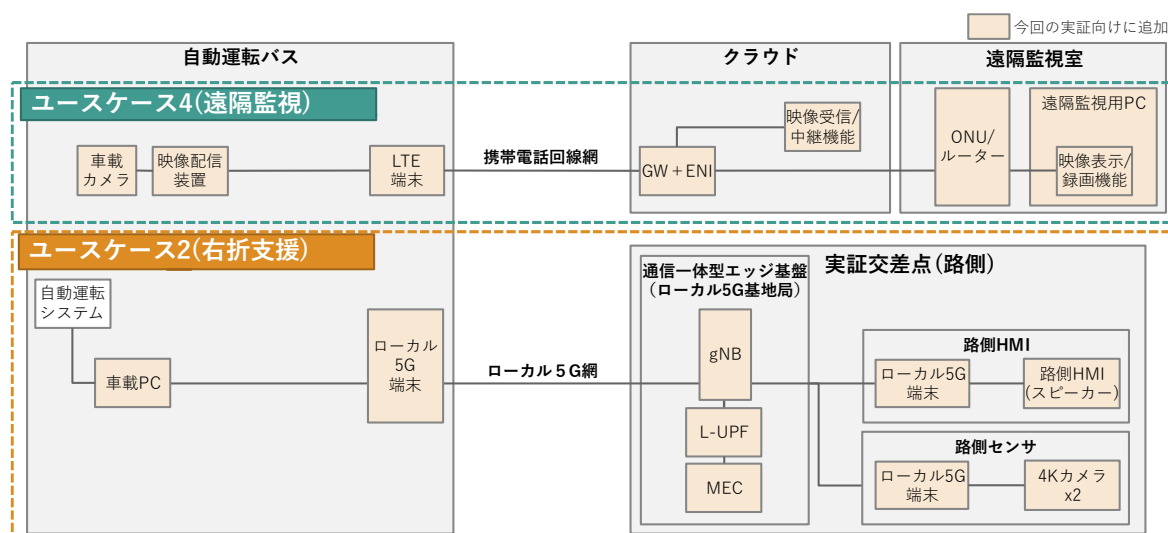


図 5-1 システムの全体イメージ

2) ユースケース 2 のシステム構成

ユースケース 2 における主にソフトウェア機能に着目したシステム構成を図 5-2 にて整理した。システム構成図において、灰色の背景色で機器及び機能の場所を表現し、紺色の矩形が主要な機器を、機器の内側に描かれた矩形がソフトウェアの機能ブロックを表している。また、データの流れについては、図中の矢印で接続関係と伝達方向を表現している。さらにソフトウェア機能ブロックについては、本実証に向けて追加あるいは改造したものを橙色に色分けして記載している。

路側センサで検知した歩行者及び周辺環境情報を路側のインフラから配信し車載 PC で受信してモニタ上に表示する機能、及び自動運転システムから車両の動作状況に関する通知を受信して路側インフラに配信し、スピーカーから音声アナウンスを発音する機能の全体的な仕組みと開発項目は、4.2 節にて記載の通りである。

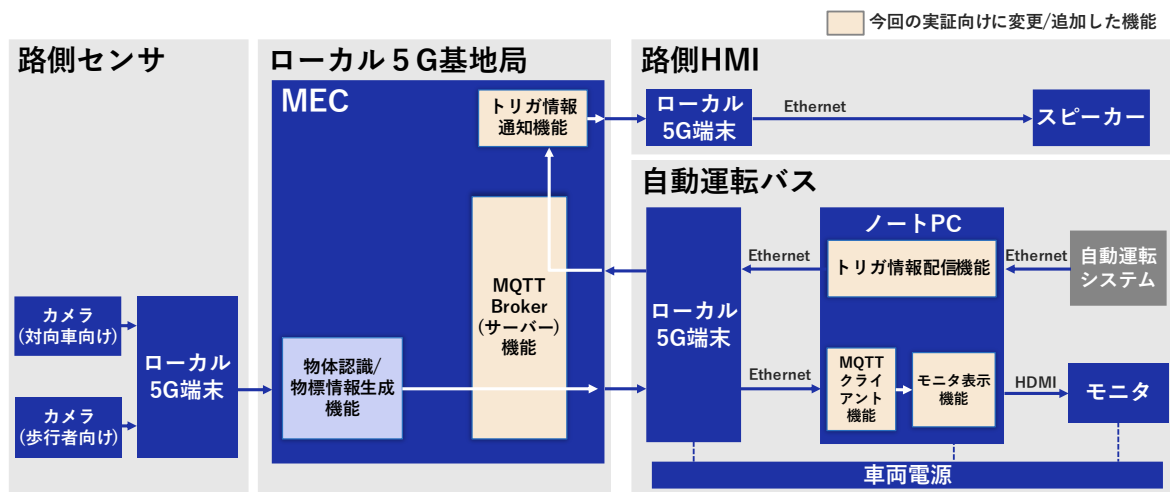


図 5-2 ユースケース2のシステム構成

3) ユースケース 4 のシステム構成

ユースケース 4 における主にソフトウェア機能に着目したシステム構成を図 5-3 に示す。各ブロックの凡例について、青背景は機器構成を示し、白背景は主なソフトウェアの動作を表現している。

帯域により解像度を可変しながら映像配信を行い、さらに映像分析によりアラートを発出する機能を実装しており、映像配信装置から遠隔監視用 PC までセキュアかつ効率的に映像を伝送するため、AWS の Kinesis video streams を用いて構成する WebRTC ベースの映像配信基盤を活用して実装した。全体的な機能は 4.4 節にて記載の通りである。

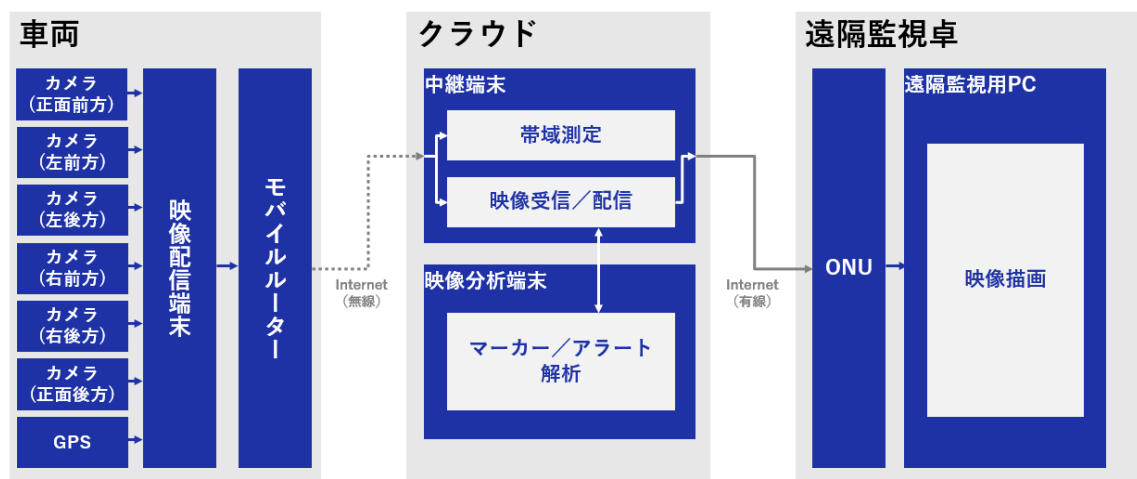


図 5-3 ユースケース4のシステム構成

(2) ネットワーク構成と機器配置

1) ネットワーク構成の全体像

前項のシステムを実現するネットワーク構成を検討した。通信システムを構成する機器とネットワーク接続の全体像を図 5-4 に記す。図中の青・赤・緑色の矩形がネットワーク機器を表しており、灰色の矩形がその他処理装置等を示している。ネットワーク機器については、青色がローカル 5 G 通信に関わるもの、赤色が携帯電話回線に関わるもの、緑色がインターネット接続に関わるものである。また、各矩形を接続する罫線はネットワークとしての接続を表しており、紫色が無線通信、黄色が光回線通信、緑色が有線 LAN 通信の区間となる。

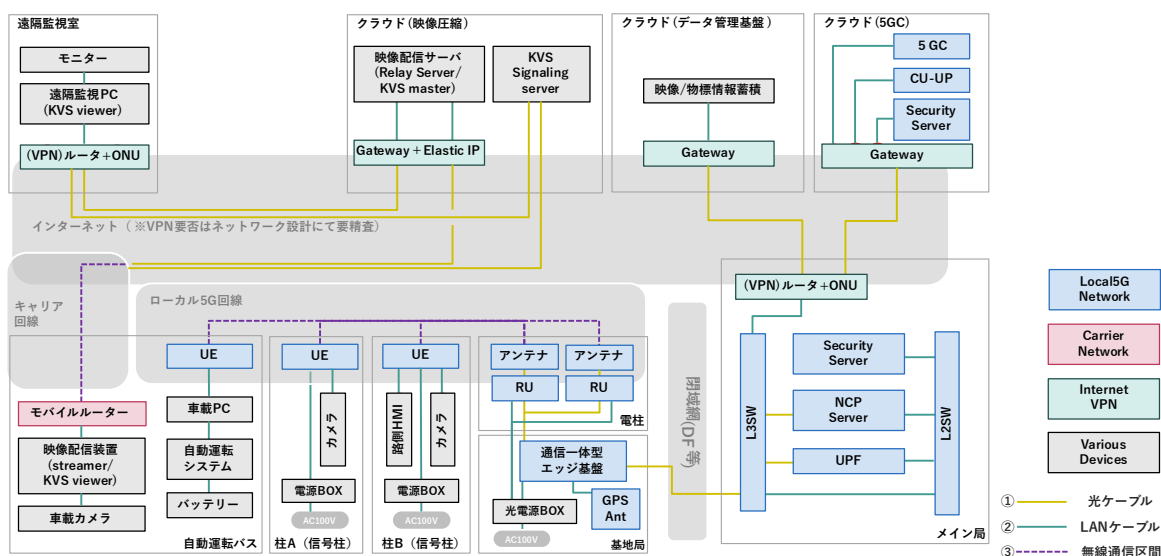


図 5-4 ネットワーク全体構成図

2) ユースケース 2 の機器配置

本実証では、ターゲットとなる交差点の周辺に通信エリアを形成できるよう、ローカル 5 G 基地局を設置した。本実証においてローカル 5 G 基地局と通信するローカル 5 G 端末には、交差点の信号柱に設置した路側センサであるカメラ 2 台と接続された固定端末、路側 HMI のスピーカーと接続された固定端末、自動運転バス上の移動端末の 3 台がある。周囲の物理的な条件や道路事情により機器を設置できる場所には制限があるため、図 5-5 のように電波強度のシミュレーションを行い基地局の設置場所を確定した。また、ローカル 5G の運用・セキュリティ保護を目的としたサーバ類 (NCP サーバ、セキュリティサーバ)、及びネットワーク機器類 (レイヤ 3 スイッチ、レイヤ 2 スイッチ、VPN ルータ) は、茨城交通株式会社の日立南営業所内に設置したサーバラックに収容し、交差点の近くにあるローカル 5 G 基地局との間はダークファイバを活用して接続している。機器配置の全体像を図 5-6 に、スピーカーとローカル 5 G 端末を設置した信号柱 I の機器配置を図 5-7 に、カメラ 2 台とローカル 5 G 端末を設置した信号柱 G の機器配置を図 5-8 に、基地局の機器配置を図 5-9 に記す。

特に基地局については、交差点周辺の道路事情から車道の至近距離には機材の設置が困難であり、歩道のさらに外側に位置する電柱の近くから電波発射する必要があった。そのため、右

折交差点の約 50m 手前にある電柱近傍の私有地内を設置場所とし、交差点方向と BRT 方向の 2 方向にアンテナを向けることで通信エリアを形成した。交差点方向のアンテナは、路側の固定端末と安定して通信すること、BRT 方向のアンテナは交差点に接近する自動運転バスとの通信開始地点を交差点より手前に置くことを意図した配置としている。自動運転バス上の移動端末で考えると、まず BRT 方向のアンテナ（RU）と接続し、交差点の手前で交差点方向のアンテナ（RU）にハンドオーバーしながら通信を継続させることとなる。

図 5-5 には、電波強度のシミュレーション結果と電波測定の結果を合わせて表現しているが、シミュレーション結果と実際の電波測定結果ともに固定端末 2 台、及び車道を走行する自動運転バスのいずれからも十分な電波強度を得られることが確認できている。また、ローカル 5 G 基地局の無線特性を表 5-1 に、コアネットワークの性能を表 5-2 に示す。

表 5-1 ローカル5G基地局無線部特性

分類	特性
無線局数	1
周波数帯	中心周波数帯 4.85 GHz
通信方式	ローカル 5G（Sub6-SA）
帯域幅	40MHz 幅

表 5-2 コアネットワーク性能

分類	特性
1 つの 5GC で利用可能な拠点数	20
トラフィック転送性能	スループット：4Gbps 平均パケット長：512Byte
接続数（1UPF あたり）	10,000
制御信号	NGAP で 100TPS
収容加入者数（5GC）	10,000
同時接続数（5GC）	10,000
DNN 数（5GC）	50 ※同一 SIM に設定可能な DNN 数は 20 まで
gNB 数	100

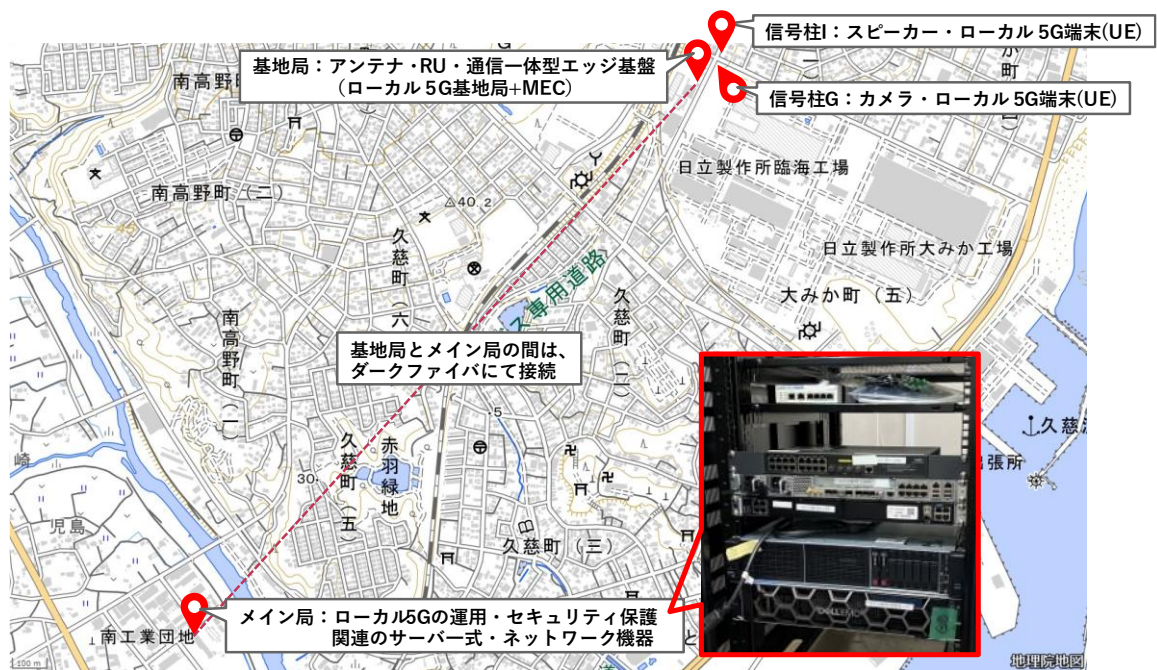
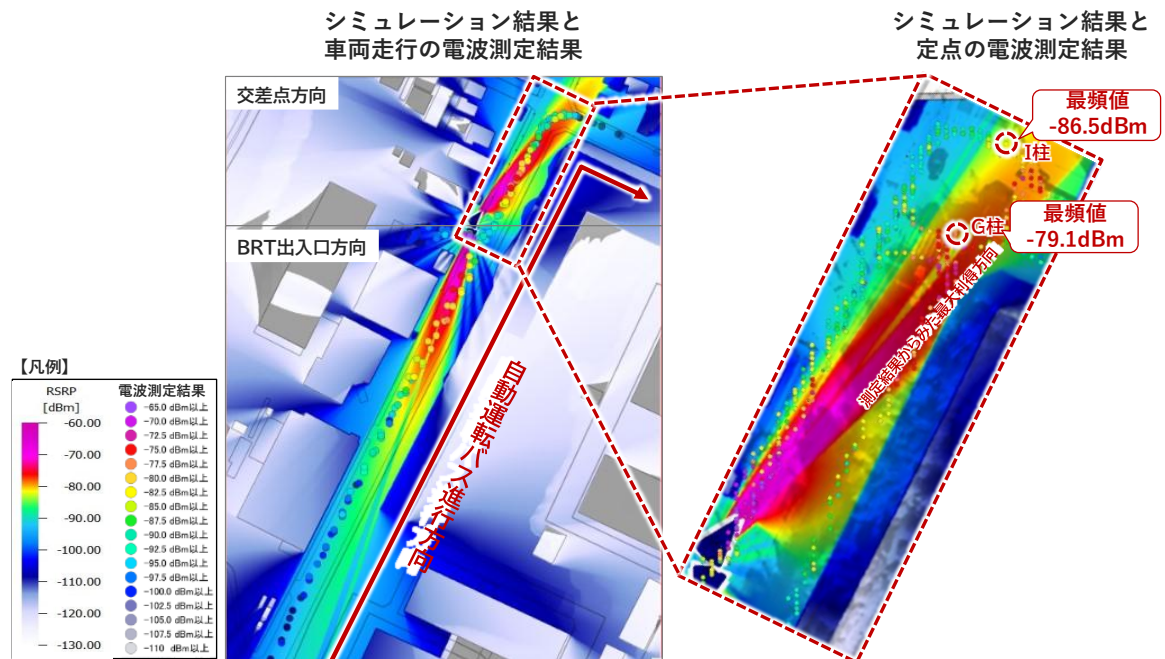




図 5-7 ユースケース2の機器配置(信号柱 I)

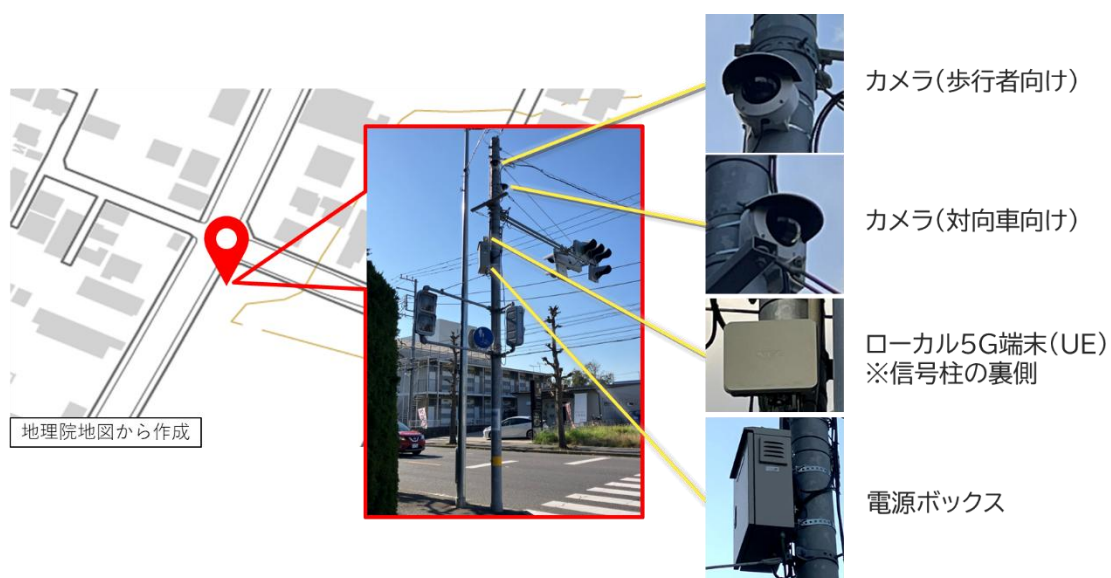


図 5-8 ユースケース2の機器配置(信号柱 G)

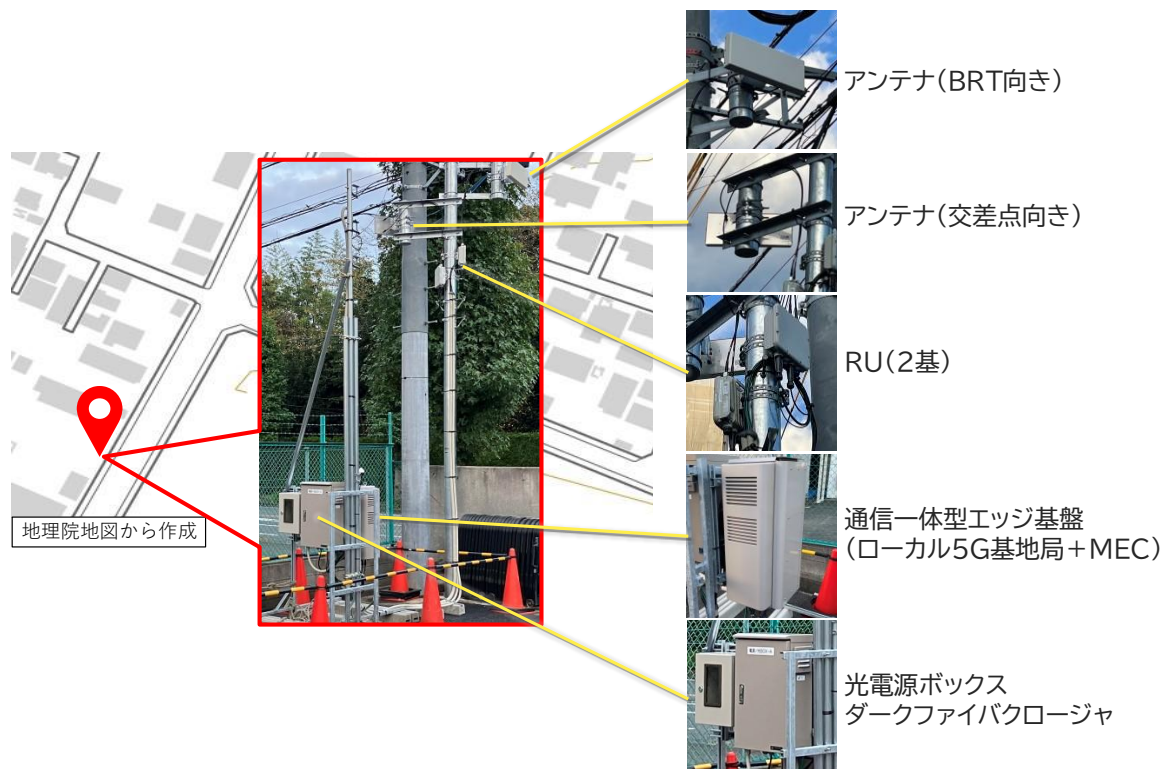


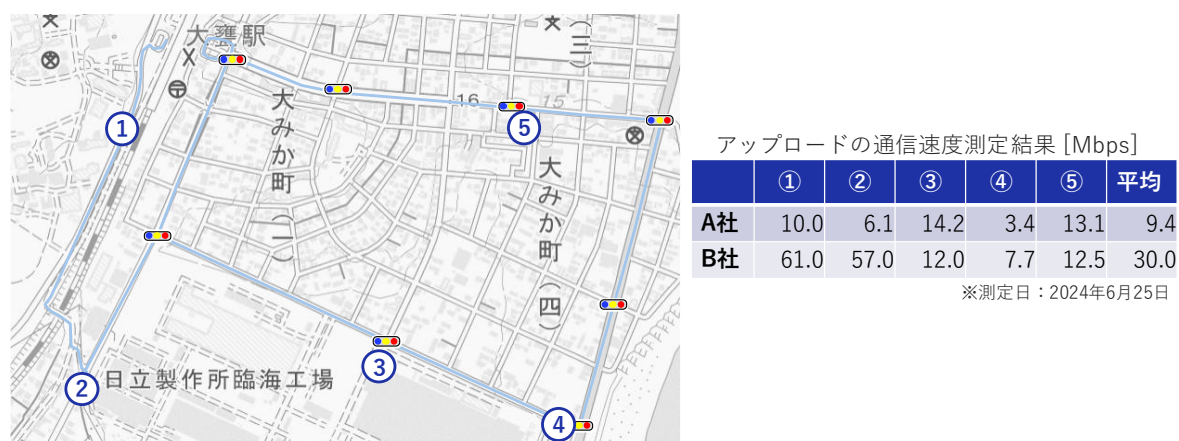
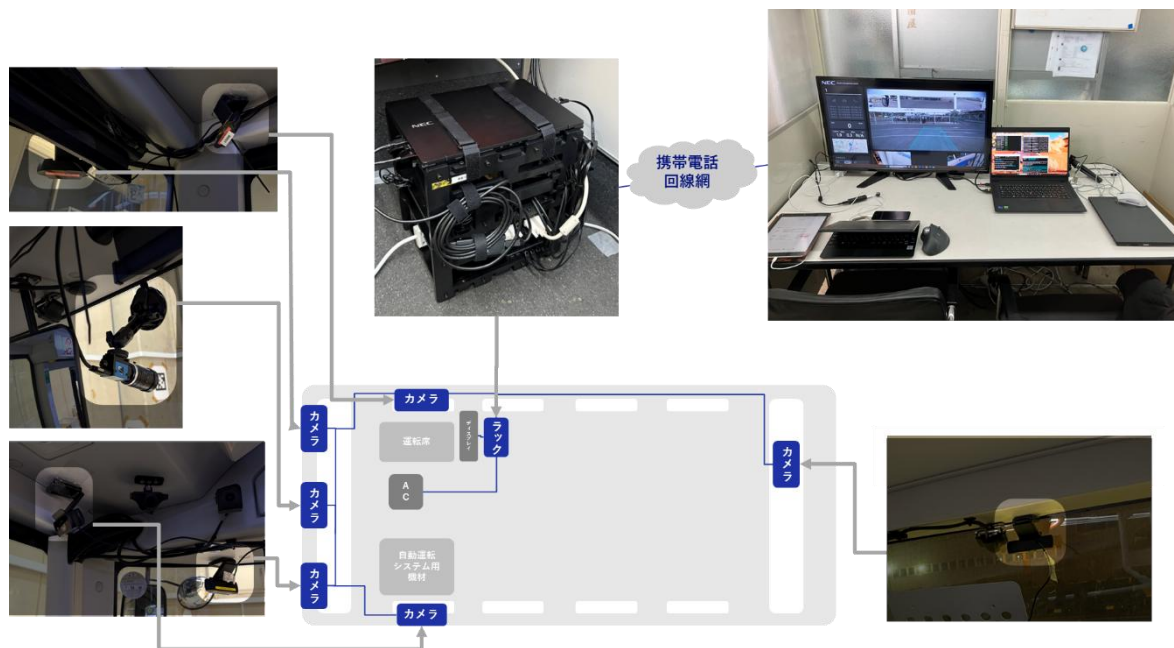
図 5-9 ユースケース2の機器配置(基地局)

3) ユースケース 4 の機器配置

ユースケース 2 とは異なり移動体における走行ルートの網羅的な通信が必要であることから、無線通信手段として携帯電話回線（4G 回線）を使用した。携帯電話回線については、これまでの実績から 2 社を候補に事前調査を行い選定した。事前調査では、図 5-11 に示すルート上の 5 箇所で Google が提供するインターネット速度テスト²⁰を用いた通信速度の計測を行い、A 社と B 社におけるアップロードの通信速度の平均値を算出し、値の大きい B 社を採用した。

カメラからモバイルルーターまでは有線を経由し、公衆回線による無線通信を通りクラウド上に映像等の情報が配信され、光回線を通り遠隔監視用 PC に情報が伝送される流れである。本ユースケースで使用した配置イメージを図 5-10 に示す。

²⁰ Google, インターネット速度テスト,
https://support.google.com/websearch/answer/6283840?visit_id=638548644009265103-4134994170&p=speedtest&rd=1



5.2 使用機器・ソフトウェア一覧

(1) ユースケース2の使用機器・ソフトウェア一覧

データ取得、データ通信、データ利用に分類した使用機器の一覧を表 5-3 に、図 5-2 のシステムを構成する機能要素の一覧を表 5-3 に記す。

表 5-3 ユースケース2の使用機器一覧

データ取得	データ通信	データ利用	機器	設置場所	数量	概要
●			カメラ	信号柱	2	4K 映像が撮影可能なカメラ
	●		UE (路側)	信号柱 G・I	2	ローカル 5G の通信端末装置 (路側)
	●		電源ボックス	信号柱 G 信号柱 I	2	UE への電源供給用
	●		UE (車載)	バス車内	1	ローカル 5G の通信端末装置 (車載)
	●		アンテナ	基地局	2	電波を発射するアンテナ
	●		RU	基地局	2	ローカル 5G 基地局装置の無線子局
	●		通信一体型エッジ基盤	基地局	1	ローカル 5G の基地局機能と MEC 機能を一体化した装置
	●		ダークファイバ クロージャ	基地局	1	ダークファイバ回線の終端装置
	●		光電源ボックス	基地局	1	通信一体型エッジ基盤・RU への AC, DC 電源、光回線の接続用
	●		L3SW	メイン局	1	ネットワーク層のデータ転送処理を担うネットワーク機器
	●		L2SW	メイン局	1	データリンク層のデータ転送処理を担うネットワーク機器
	●		VPN ルータ	メイン局	1	VPN 機能を搭載したルータ
	●		UPF	メイン局	1	5G ネットワークでユーザデータの転送等を担う機能を持つサーバ
	●		NCP サーバ	メイン局	1	5G 基地局のファームウェア等を管理する機能を持つサーバ
	●		セキュリティ サーバ	メイン局	1	システムのセキュリティ・ログ収集を担う機能を持つサーバ
	●		ONU	メイン局	1	インターネット回線の終端装置
		●	スピーカー	信号柱 I	1	音声アナウンスを発音する路側 HMI
		●	車載 PC	バス車内	1	周辺環境情報を受信しモニタ表示する PC

表 5-4 ユースケース2の機能要素の一覧

コンポーネント	役割
物体認識・周辺環境情報生成機能	路側センサのカメラから収集した映像情報を元に AI による画像認識で歩行者と車両を検知し、4.2 (6) 1) に示す方法で実世界上の位置情報を算出して周辺環境情報を生成する。生成した周辺環境情報は、後段の MQTT Broker に入力する。
MQTT Broker (サーバ) 機能	入力された周辺環境情報を配信するための機能。MQTT を利用して、クライアントからの送信要求を受け付けると歩行者と対向車の周辺環境情報をトピックとして毎秒 10 回の頻度で定期的に配信する。
MQTT クライアント機能	路側インフラから周辺環境情報を取得するための機能。ローカル 5 G の通信圏内に入ると、サーバに対して送信要求を送り、周辺環境情報を連続して受信する。
モニタ表示機能	路側インフラから取得した周辺環境情報を地図上に描画する機能。対向車向けと歩行者向けに、それぞれ異なる地図及びアイコンを用意し対象物を分けて描画する。
発音トリガ情報通知機能	自動運転システムからの車両の動作状況に関する通知を元に音声アナウンスの発音トリガ情報を通知する機能。自動運転システムから車両の動作状況に関する通知を受信し、路側の MEC に向けて通知する。
発音トリガ情報配信機能	車両の動作状況に関する通知に基づき、路側 HMI のスピーカーに向けて音声アナウンスの発音トリガ情報を配信する機能 MQTT を用いて、スピーカーに対して音声アナウンスの発音トリガ情報を配信すると、スピーカーから対応する音声アナウンスが鳴動する。

(2) ユースケース 4 の使用機器・ソフトウェア一覧

データ取得、データ通信、データ利用に分類した使用機器の一覧を表 5-5 に、図 5-3 のシステムを構成する機能要素の一覧を表 5-6 に記す。

表 5-5 ユースケース4の使用機器一覧

データ取得	データ通信	データ利用	機器	設置場所	数量	概要
●			カメラ	車両	6	フル HD 映像が撮影可能なカメラ
●			GPS レシーバー	車両	1	車両の位置情報を取得する
	●		映像配信端末	車両	1	カメラから取得した映像を配信する装置

	●		モバイルルーター	車両	1	遠隔監視装置との通信用の車両側機器
		●	中継端末	クラウド (AWS)	1	車両との通信間の帯域測定及び予測、遠隔監視卓への映像を中継する仮想マシン
		●	映像分析端末	クラウド (AWS)	1	中継端末で受け取った映像に対して画像処理を行い、アラート発出等の分析を行う仮想マシン
		●	遠隔監視用 PC (遠隔監視装置)	遠隔監視卓	1	映像配信装置から配信された映像や、映像分析端末から配信された分析結果を、UI 上に描画し可視化するノート PC

表 5-6 ユースケース4の機能要素一覧

コンポーネント	役割
映像圧縮機能（学習型メディア）	車両からの通信帯域を測定し、実行ビットレートに応じて映像の解像度を帯域に合わせて圧縮する機能。 なお、映像を一律で圧縮するのではなく、注視領域を自動判別し（本実証では交通参加者周辺と定義）、その領域以外を圧縮する。
マーカー／アラート発出機能	車両からの映像を分析し、交通参加者を物体認識で検知する。さらに走行ルート上かつ車両付近に存在する場合、アラートを発出する。
モニタ表示機能	遠隔監視用の複数カメラからの映像／位置情報／マーカー・アラート情報を網羅的に描画する機能。

5.3 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

本節では、これから自動運転システム向けの路側システムを検討される自治体様や関係企業様向けに、実証時の留意点を手続き面、手配面、施工・システム環境構築面の3つの観点で記載する。

5.3.1 手続き面

道路近傍に路側インフラとしてセンサ類（本実証ではカメラ）や無線機器類などを設置する必要がある場合に必要手続きと申請期間（申請してから許可が下りるまでの目安期間）について以下に記す。なお、設置許可が下りなければ、実証に必要な機器類を設置することも、ローカル 5G 環境を構築することもできないため、期限が決まっている実証事業では、まずこの手続き面を確認することを推奨する。

(1) 信号柱にセンサ類や無線機器等を設置するために必要な行政手続き

センサ類や無線機器等を信号柱に設置する場合に必要な行政手続きを表 5-7 に示す。

表 5-7 センサ類や無線機器等の設置に必要な行政手続き

#	行政手続き・申請	申請先	備考
1	公有財産借用申請 (地方自治法第 238 条の 4 第 7 項並びに茨城県行政財産の使用料徴収条例(昭和 39 年茨城県条例第 8 号)及び茨城県公有財産事務取扱規則(昭和 39 年茨城県規則第 21 号))	茨城県警察本部 交通部 交通規制課 交通総務課	提出書類: 公有財産借用申請書 地図・交差点位置図 設置図面 設置機材・諸元 規制図(保安図) 信号柱強度計算書 個人情報の取扱いに関する掲示 申請期間: 約 1 週間(申請～許可)※1 その他: 行政財産使用料は令和 6 年 11 月 1 日～令和 7 年 3 月 31 日の期間で 1,875 円 申請前に事前協議が必要となるため、十分な余裕をもって申請することが望ましい。※2
2	道路使用許可申請 (道路交通法第 78 条第 1 項)	茨城県警察 日立警察署	提出書類: 道路使用許可申請書 道路占用許可書(様式第 7 号) 道路占用(使)許可協議書 道路占用許可書(許可書の写し) 申請期間: 3 営業日程度(申請～許可) その他: 茨城県警察本部交通規制課及び交通総務課に事前協議のうえ、予め所轄の日立警察署の担当に連絡いただいた
3	道路占用許可申請 (道路法第 32 条)	日立市役所 都市建設部都市政策課※3	提出書類: 地図・交差点位置図 設置図面 設置機材・諸元 個人情報の取扱いに関する掲示 申請期間: 約 2 週間(申請～許可)※1 その他: 申請前に事前協議が必要となるため、十分な余裕をもって申請することが望ましい

4	通行制限実施申請		提出書類：道路占用許可申請書類に加え以下の書類 通行制限実施申請書 規制図（保安図） 申請期間：約 2 週間（申請～許可）※1 その他： 道路占用許可と同時に申請 申請前に事前協議が必要となるため、十分な余裕をもって申請することが望ましい
---	----------	--	--

※1 事前協議期間は除く

※2 本事業では契約後、早期に事前相談・協議を行ったことに加え、必要書類等についても事前確認をしたことで申請～許可までを迅速に実施いただいた

※3 本申請は道路管理課所掌となるが、自動運転事業に係る取り組みのため都市政策課経由で提出

（2）ローカル 5G 環境を構築するための行政手続き

ローカル 5G 環境を構築するための行政手続きは表 5-8 の通りである。総務省関東総合通信局に対して実験試験局の免許申請を行い、免許状の交付を受けた。また、実証を進める際に実験試験局を運用するにあたって、無線従事者²¹を選任し、総務省関東総合通信局に対して無線従事者選(解)任届を提出した。

表 5-8 ローカル5G 環境を構築する際に必要な行政手続き書類一覧と留意事項等

#	対応内容	留意事項等
1	実験計画書作成	総務省 電波利用ホームページに掲載されている実験計画書の記載例※1 を参考に、 1. 目的 2. 実証内容 3. 実験試験局の構成 (1) システム構成 (2) 実験試験局の諸元 (3) 周波数の選定理由 (4) 占有周波数帯幅 (5) 空中線電力（回線設計） (6) 空中線の特性 (7) 無線設備系統図 4. 実験場所

²¹ 第三級陸上特殊無線技士以上の資格保持者が必要

		5. 実験スケジュール 6. その他(干渉調整の状況)等を記載。
2	総務省関東総合通信局相談	実験計画書を総務省関東総合通信局へメール送付し、事前相談を実施。 指摘事項を実験計画書及び免許申請書類に反映。
3	干渉調整	NTT ドコモ実験試験局干渉調整窓口（ローカル 5G の実験試験局を全国移動で使っているため）に対して干渉調整を依頼。 NTT ドコモより問題無しとの回答。回答内容を実験計画書に反映。
4	免許申請書類作成	総務省 電波利用ホームページに掲載されている様式を使用して、 無線局免許申請書 無線局事項書 工事設計書を作成し、関東総合通信局に提出。
5	免許状受領	総務省関東総合通信局より免許となった旨の連絡を受領

※1 https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/exp/keikakusyo_ex.pdf

5.3.2 手配面

行政手続きと並行して、路側インフラに設置するセンサ類や無線機器類、ケーブル類、当該機器等を柱に設置する工事会社手配、及び本実証ではローカル 5G 環境を構築するために利用した通信サービス手配等について留意点を以下に記す。

(1) センサ類や無線機器類、ケーブル類等の手配

機器等を手配する場合、以下の点について留意する必要がある。

- 実証ユースケースの内容が確定しないと、センサ、機器類等の員数が確定しない。
- 実証場所が確定しないと、手配ケーブル長がわからないため、特殊ケーブルがある場合は、特に設置場所や納期に注意が必要である。
- 基地局－L5G 端末の位置関係を考慮し、図 5-5 のような電波強度のシミュレーション等を実施しながら、無線伝送に適切な指向性を持つアンテナの選定と設置向きの検討を行う。

(2) 当該機器を柱などに設置する工事会社手配

設置工事を請負う元請の場合、以下の点について留意する必要がある。

- 見積依頼書には、契約形態や元請と下請けの SOW を明確化する。
- 下請法適用企業か確認する。

- 工事部材は細部に至るまで SOW 整理を行う。
- ケーブル接続箇所、接続方法、ケーブル仕様の明確化を行う。
- 特定建設業；電気通信工事を持っている会社を選定する。
- 適切な安全管理体制、労務管理体制をとれる会社を選定する。
- 付帯工事として建柱工事など発生する可能性があるため、建柱が可能な業者を施工体制に組み込めるか事前確認する。
- 機器の設置場所が交差点内かつ、既存信号設備の操作が絡む工事となる場合は、全信工協会加入業者に施工を依頼する必要があるため、留意が必要。

(3) ローカル 5G 環境を構築するために利用した通信サービス手配

光回線による通信サービスを手配する場合、以下の点について留意する必要がある。

- フレッツ光（フレッツ 光ネクスト オフィスタ입）の回線は場所により手配リードタイムが異なるため、回線開通したい日付からバックキャストし 3 ヶ月程度前から NTT 手配担当との協議を開始する。
- 専用光回線（ダークファイバ）を用いる場合は、End to End で回線開通場所を確定した上で、電気通信事業者として総務大臣の登録を受けている業者が、回線開通申込を実施する。契約主体は申込業者となり、契約途中での名義変更は不可。申込から回線開通予定日まで 5 ヶ月程度前(100 営業日前)を要する。回線開通申請のち、NTT にて既存ダークファイバ網の調査や敷設光ケーブル設計作業に入る。既存回線網が近隣に無い場合は開通工事費用が多額となったり、回線開通不可判定となる場合もある。回線開通可能判定となった場合、回線開通作業に移る。回線両端（局舎設置箇所等）での回線開通作業時は、申込業者の立ち合いが必要となる。回線開通後、1 年以内に廃止をする場合は月額利用料×6 か月分程度の違約金が発生する。
- 回線開通のためには柱番号や建物、フロア、室の明示が必要になるため、予め表記方法を明文化、ルール化させる。
- 回線開通場所確定後、NTT と申請企業（代理 OK）で現場下見が必要な場合があるため、余裕を持った日程を検討する。
- 回線開通工事实施の際にも申請企業（代理 OK）が立ち会う必要があるため、リソース確保を事前にしておく必要がある。

5.3.3 施工・システム環境構築面

本実証では、検証場所にセンサ類、無線機器類等を設置する設置工事中及び、設置工事終了後に以下の対応を実施した。それぞれの対応において、留意点を以下に記す。

(1) 設置工事中に路側インフラで利用するセンサ（本実証はカメラ）の画角調整作業を行う際の留意点

- 使用するセンサ種類や機種により検知できる範囲が異なるため、ユースケースを満たすこ

とができるセンサの選定が必要になる。

- カメラ等の光学センサは光源が無いと検知精度が低下するため、光源がどこから取れるのか設置個所、角度調整時に調整する必要がある。
- カメラの画角調整は設置場所の制約上、高所作業車が必要になるため、予め画角調整日程を工事会社と調整する必要がある。
- カメラ等のセンサをどこに取り付けるかによって、行政財産使用許可申請、道路占有許可申請、道路使用許可申請などの申請が必要になるため、画角調整実施日までに必要な許可申請が承認されている必要がある。
- 使用センサの取扱説明を読み込み、設定漏れや作業抜けによる手戻りに留意する必要がある。
- 雨天時の調整はカメラ内部に湿気が流入する可能性があり、後々レンズの曇りなどトラブルの元になるため、極力別日程で調整することを推奨する。

(2) 設置工事終了後にローカル 5 G 機器がシミュレーション通りに設置されているかを検証する電波伝播測定時の留意点

- 電波発出エリアを満遍なく歩行測定し、発出電波の向きや電波強度がシミュレーション通りか、面で確認を行う必要がある。

6. 実証結果・考察

6.1 自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証

本ユースケースは実施していない

6.2 交差点における車両の認知機能の補助機能（自動車の死角にいる交通参加者/交通弱者の情報を車両に通知する機能）の検証

(1) 実証スケジュール

本検証における実証スケジュールを表 6-1 に示す。

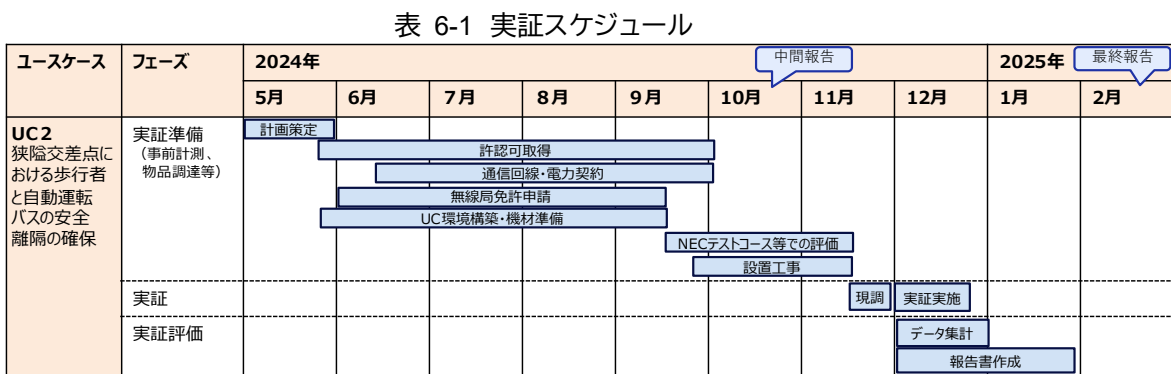


図 6-1 実証スケジュール

(2) 開発・評価項目の結果

本検証における開発・評価項目の一覧を表 6-2 に示す。

表 6-2 開発・評価項目一覧(再掲)

番号	開発・評価項目
1	路側センサで検知した歩行者及び対向車の周辺環境情報を路側インフラから配信 (publish) し、車載 PC で受信 (subscribe) してモニタ上に表示する機能の開発・評価
2	自動運転システムから車両の動作状況に関する通知を受信して路側インフラに配信 (publish) し、スピーカーから音声アナウンスを発音する機能の開発・評価

- 1) 路側センサで検知した歩行者及び対向車の周辺環境情報を路側インフラから配信 (publish) し、車載 PC で受信 (subscribe) してモニタ上に表示する機能の開発・評価

a. 路側インフラの MEC から周辺環境情報を配信(publish)する機能

路側センサの映像情報から物体認識により生成した周辺環境情報を配信する機能を路側インフラの MEC に実装した。実装内容については、4.2 節に記載している。

b. 車載 PC で周辺環境情報を受信(subscribe)してモニタ上に表示する機能

路側インフラの MEC から配信される周辺環境情報を受信し、モニタ上に位置情報を表示する機能を車載 PC に実装した。実装内容については、4.2 節に記載している。

c. 路側センサであるカメラから自動運転システムまでの情報伝達時間の測定

本機能に関する評価として、路側センサであるカメラから車載 PC までの情報伝達時間の測定を行った。測定手法を 4.2 (6) 1) に記載しており、情報伝達時間の測定範囲は図 4-9 の通りである。伝達時間の測定は、2024 年 12 月 12 日(木)の全便に当たる 1～5 便において自動運転バスが右折交差点を通過する前後の時間帯を対象とした。測定は、図 4-9 に示す区間 1 と区間 2 に分けて実施した。また区間 1 について、路側センサであるカメラは歩行者向けと対向車向けの 2 台があるため、それぞれ分けて測定している。

カメラからローカル 5 G 基地局までの区間 1 に関する測定結果を図 6-2 及び図 6-3 に示す。グラフの横軸が経過時間を縦軸が区間 1 における映像フレーム毎の情報伝達時間を示している。どちらのグラフについてもスパイク状の変位が見られるが、これは情報量の大きい I フレーム(キーフレーム)²²の伝送に係る時間である。

MEC 上での物体認識の開始から車載 PC に周辺環境情報が配信されるまでの区間 2 に関する測定結果を図 6-4 に示す。グラフの横軸が経過時間を縦軸が区間 2 における情報伝達時間を示している。グラフから、およそ 100ms ほどの振幅で細かく振動するような変位が見て取れるが、これは 100ms 周期で入力された周辺環境情報を MQTT ブローカーが配信する際に 2 回分をまとめて発信する振る舞いをしているためである。

²² 前後の参照を必要とせず、そのフレームを構成する情報を全て持った映像フレームのこと

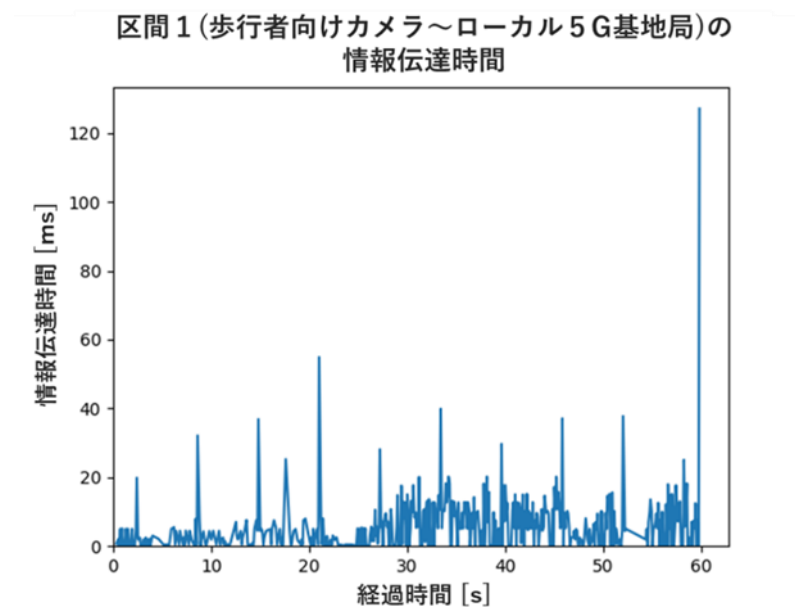


図 6-2 区間1(歩行者向けカメラ～ローカル5G 基地局)の情報伝達時間

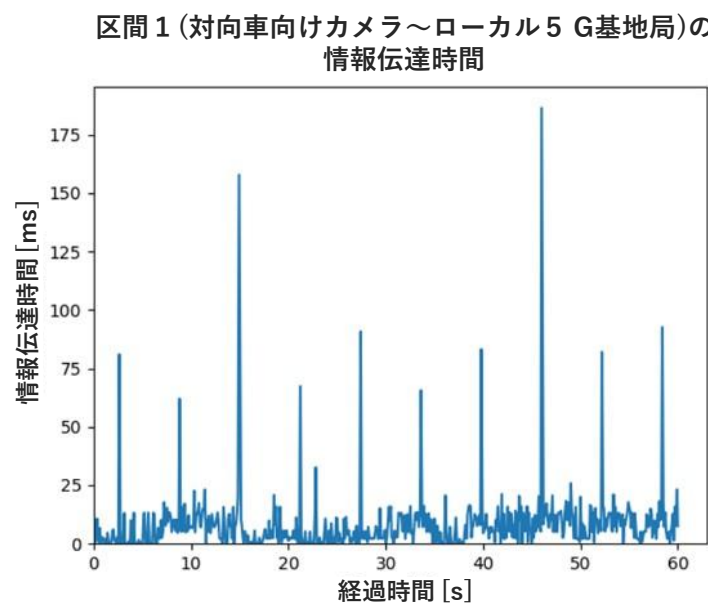


図 6-3 区間1(対向車向けカメラ～ローカル5G 基地局)の情報伝達時間

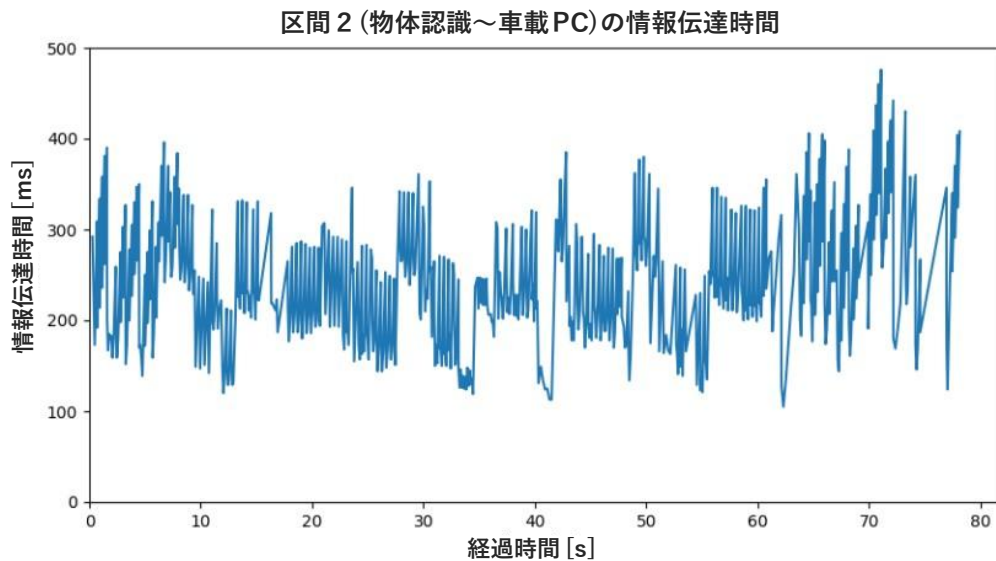


図 6-4 区間2(物体認識～車載 PC)の情報伝達時間

2) 自動運転システムから車両の動作状況に関する通知を受信して路側インフラに配信 (publish)し、スピーカーから音声メッセージを発音する機能の開発・評価

a. 車載 PC で自動運転システムから車両の動作状況に応じた通知を受け取る機能

自動運転システム側に車両の動作状況に応じた通知を発信する機能と、車載 PC 側に通知を受け取る機能を実装した。実装内容については、4.2 節に記載している。

b. 車載 PC から音声アナウンスの発音トリガ情報をスピーカーに配信する機能

車載 PC で受け取った通知に基づき、MEC 上のサーバに対して音声アナウンスの発音トリガ情報を配信する機能、及び MEC 上のサーバからスピーカー上に配置された MQTT クライアントに対して情報配信する機能を実装した。実装内容については、4.2 節に記載している。

本機能に関する評価としては、自動運転システムから路側 HMI であるスピーカーまでの情報伝達時間の測定を行った。測定手法を 4.2 (6) 2) c に記載しており、情報伝達時間の測定範囲は図 4-8 の通りである。伝達時間の測定は、2024 年 12 月 12 日(木)の全便に当たる 1～5 便において自動運転バスが右折交差点を通過する前後の時間帯を対象とした。測定は、図 4-8 に示す区間 1 と区間 2 に分けて実施した。

車載 PC からローカル 5G 基地局までの区間 1 に関する測定結果を図 6-5 に、MEC からスピーカーまでの区間 2 に関する測定結果を図 6-6 に示す。どちらの区間もローカル 5G による無線伝送に係る情報伝達時間を表しており、グラフの時間変位からは区間 1 の方が変動が大きいことが見て取れる。また平均値と標準偏差から、区間 1 が $7.9 \pm 2.3\text{ms}$ 、区間 2 が $9.0 \pm 3.6\text{ms}$ であることから区間 2 の方がばらつきの大きいデータであると言える。これは自動運転バス上に搭載されて道路上を移動する端末との通信であるため、よりマルチパスフェージングの影響によ

り無線区間での再送²³が多く発生したためと考えられる。

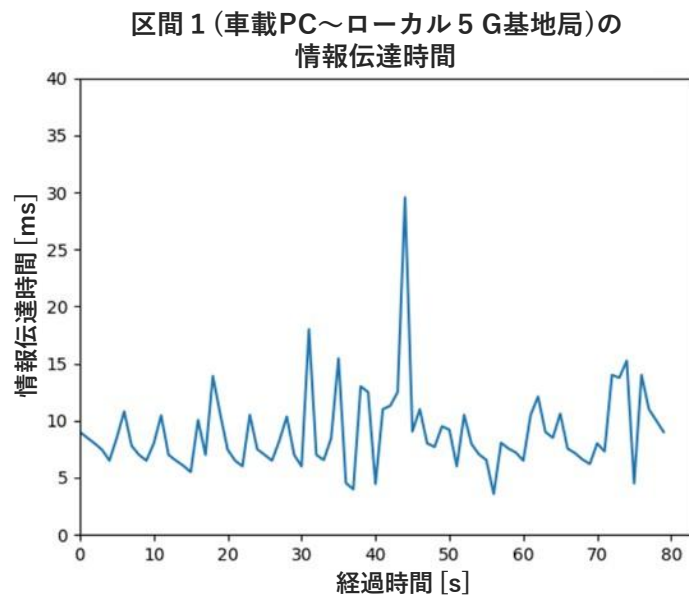


図 6-5 区間1(車載 PC～ローカル5G 基地局)の情報伝達時間

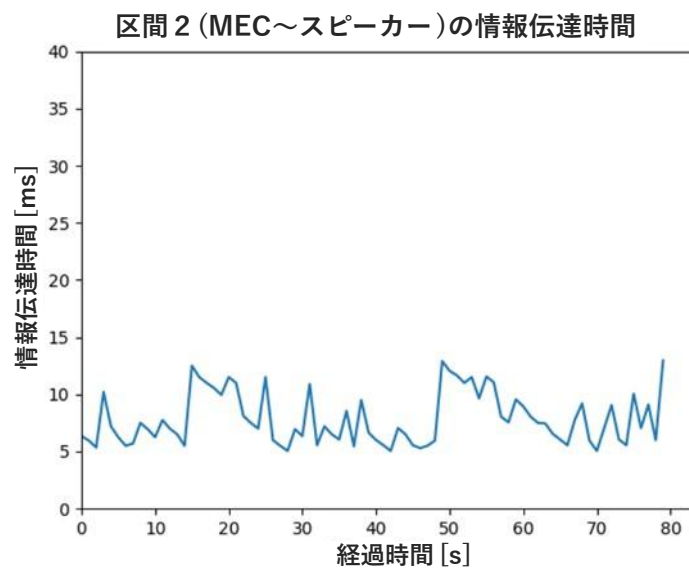


図 6-6 区間2(MEC～スピーカー)の情報伝達時間

(3) KGI/KPI との比較結果

KGI/KPI の項目一覧を表 6-3 に示す。

²³ 本実証で使用したシステムにおいては、レイヤ 1 とレイヤ 2 が連携し再送制御の性能を高めるハイブリッド ARQ をサポートしている。

表 6-3 KGI/KPI 項目一覧(再掲)

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	1	自動運転システムから路側 HMI (スピーカー) までの情報伝達時間 100ms 未満 (95 パーセンタイル)
	2	路側センサから自動運転システムまでの情報伝達時間 700ms 未満 (95 パーセンタイル)
	3	歩行者の立ち入り検知精度 (対象範囲における歩行者の検知精度) 未検知率 5%以下 (日中・晴天時)
	4	自動運転バスが交差点へ接近する際にローカル 5G 通信により周辺環境情報の受信が可能となる場所 交差点手前 10m
定性評価	5	自動運転システム・路側インフラ (MEC・カメラ・スピーカー) 間の通信品質 (通信量、安定性、通信遅延時間等) を確認できること。
	6	意図したタイミングで音声アナウンスが通知されていること、 音声アナウンスの通知により歩行者の注意を引き出すことができること。
	7	自動運転システムによる対向車と歩行者の認識状況と路側システムから配信された 周辺環境情報の突き合わせにより有効性が確認できること。

1) 自動運転システムから路側 HMI(スピーカー)までの情報伝達時間：100ms 未満 (95 パーセンタイル)

6.2 (2) 2) にて測定した区間 1 と区間 2 の情報伝達時間を用いて評価を行う。前項では 5 便のうち 1 便を選択して時系列グラフで表現していたが、全ての便に対して累積分布関数を作成し 95 パーセンタイル値を確認した。区間 1 における累積分布関数を図 6-7 に、区間 2 における累積分布関数を図 6-8 に示す。これらのグラフから、縦軸が 0.95 となる時の情報伝達時間 (95 パーセンタイル値) を読み取ると表 6-4 のようになる。

95 パーセンタイル値をまとめた表 6-4 より、全区間の情報伝達時間は全便を通してみた場合、及び各便を個別に見た場合でも目標値である 100ms 未満を達成していることが確認できる。また、図 6-8 のグラフより区間 1 は各便でばらつきの少ない結果であることがわかるが、図 6-8 のグラフから区間 2 については、1 便が他の便と大きく異なり値に大きくばらつきがあることがわかった。1 便は通勤ラッシュに当たり、右折待ちの車列に並んでいる間、左側の直進レーンを追い越していく車両や右側の対向車線をすれ違う車両が多く存在するため、移動物体に対する電波の反射が影響して突発的に遅延時間が増加したものと想定される。

表 6-4 自動運転システムから路側 HMI までの情報伝達時間(95 パーセンタイル値)

便数	区間 1 [ms]	区間 2 [ms]	全区間 [ms]
----	-----------	-----------	----------

1 便	59.0	9.0	68.0
2 便	15.0	11.5	26.5
3 便	11.0	16.0	27.0
4 便	14.5	12.0	26.5
5 便	15.5	13.0	28.5
全便通し	24.0	12.5	36.5

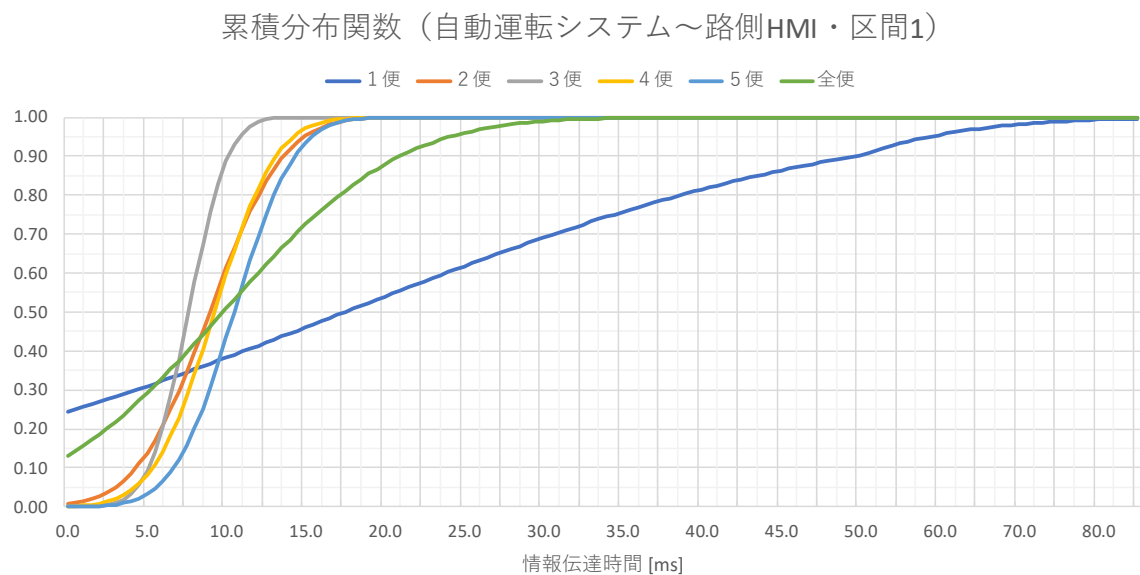


図 6-7 情報伝達時間における累積分布関数(自動運転システムから路側 HMI まで・区間 1)

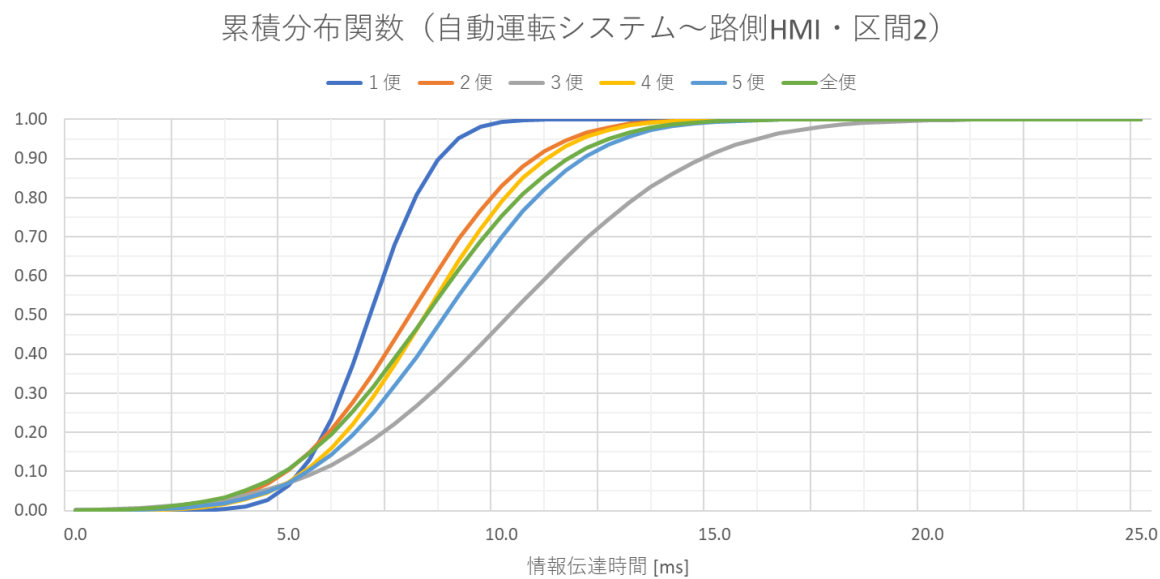


図 6-8 情報伝達時間における累積分布関数(自動運転システムから路側 HMI まで・区間 2)

2) 路側センサから自動運転システムまでの情報伝達時間：700ms 未満（95 パーセンタイル）

6.2 (2) 2) にて測定した区間 1 と区間 2 の情報伝達時間を用いて評価を行う。前項では 5 便のうち 1 便を選択して時系列グラフとして表現したが、全ての便に対して累積分布関数を作成し 95 パーセンタイル値を確認した。区間 1 における累積分布関数を図 6-9 に、区間 2 における累積分布関数を図 6-10 に示す。これらのグラフから、縦軸が 0.95 となる時の情報伝達時間（95 パーセンタイル値）を読み取ると表 6-5 のようになる。周辺環境情報の生成に用いるカメラは歩行者向けと対向車向けの 2 台あり、区間 1 の経路は 2 パターンが存在するが、ここでは両者の測定結果を統合して区間 1 の情報伝達時間を評価するものとした。

95 パーセンタイル値をまとめた表 6-5 より、全区間の情報伝達時間は全便を通してした場合、及び各便を個別に見た場合でも目標値である 700ms 未満を達成していることが確認できる。

その一方で図 6-10 のグラフからは、便によって縦軸が 0.5 となる情報伝達時間の中央値と 95 パーセンタイル値の間に 100ms 以上の差があることがわかる。これは、区間 2 の情報伝達時間を時系列にプロットした図 6-4 に表れる上下の変動が影響している。前述の通りこの変動は MQTT ブローカーの振る舞いによるものであると考えられることから、抑制するためにはオープンソースである MQTT ブローカーの設定変更やパラメータチューニング、ロジック改造といったアプローチがあると想定される。

また表 6-5 より、ローカル 5 G で映像を伝送する区間 1 の時間に対して、区間 2 やエンコード・デコードにかかる時間が 10 倍以上大きいことがわかる。このことから、今後の情報伝達時間の短縮には、センサ情報からの周辺環境情報の抽出やデコードに係るエッジ処理の高速化、周辺環境情報の配信周期に伴う待ち合わせ時間の最適化等が有効であると考えられ、またエンコードについては低遅延なネットワークカメラの登場に期待する。

表 6-5 路側センサから自動運転システムまでの情報伝達時間(歩行者向けカメラ・95 パーセンタイル値)

便数	区間 1 [ms]	区間 2 [ms]	エンコード・デコード [ms]	全区間 [ms]
1 便	27.0	240.0	200.0	467.0
2 便	25.5	350.0		575.5
3 便	20.5	415.0		635.5
4 便	22.5	345.0		567.5
5 便	31.0	200.0		431.0
全便通し	25.5	360.0		585.5

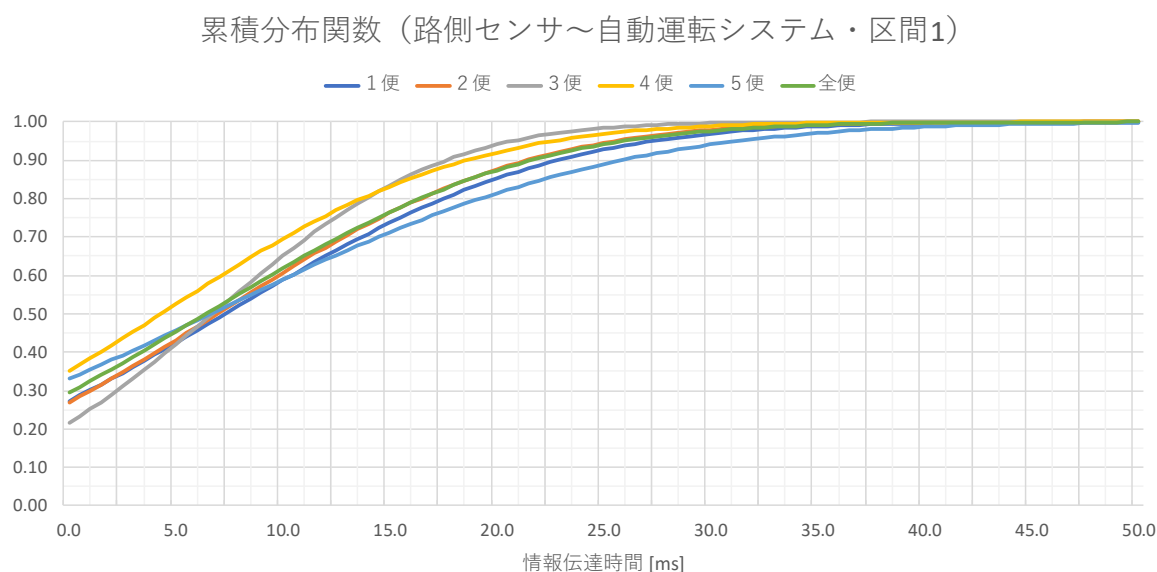


図 6-9 情報伝達時間における累積分布関数(路側センサから自動運転システムからまで・区間 1)

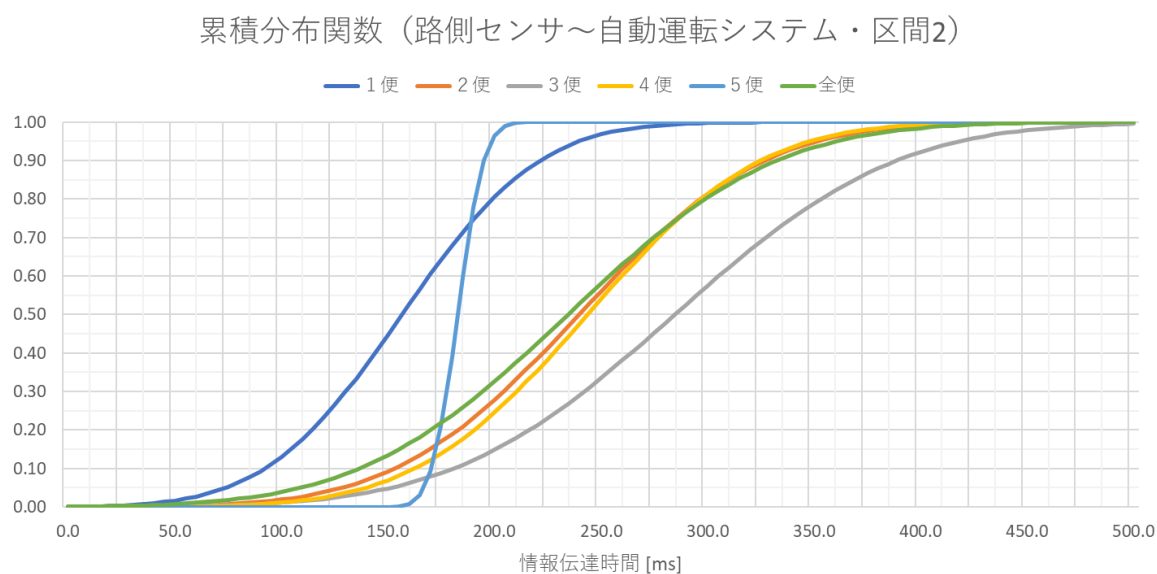


図 6-10 情報伝達時間における累積分布関数(路側センサから自動運転システムからまで・区間 2)

3) 歩行者の立ち入り検知精度（対象範囲における歩行者の検知精度）：未検知率 5%以下（日中・晴天時）

この評価を実施するため、路側インフラのカメラ映像と車載 PC のモニタ表示のキャプチャ映像の収集を行った。その収集結果のうち、4.2 (7) 3) に記載の方針通り少なくとも全便 2 本ずつを含む表 6-6 の本数を対象とした。さらに、各便において自動運転バスが右折レーンの停止線の手前 10m に到達した時刻を始点、右折先の横断歩道を通過しきった時刻を終点として評価対象となるデータを抽出した。また、評価は抽出したデータを 1 秒毎にサンプリングしたうえで実

施している。以下に 4.2 (7) 3) の手順①～④に沿って評価結果を記す。

まず、手順①におけるカメラ映像に対する歩行者の存在確認の結果を表 6-7 に示す。表中の歩行者データ数は単純な人数ではなく、1 秒毎にサンプリングした映像フレームのうち、4.2 (7) 3) の歩行者の総数である。この結果より、映像フレームに写る歩行者の約 60%が横断歩道上に存在しているものの、その他の約 40%は車道上を通行していたということがわかる。

次に手順②における、映像上の歩行者に対する歩行者検知の結果を正検知(TP)・誤検知(FP)・未検知(FN)で判別した結果、及び再現率 (Recall) と適合率 (Precision) を算出した結果を表 6-8 に示す。本検証にて設定した立ち入り検知エリア全体に対する結果として、Recall が 95.2%、Precision が 99.5%となった。

次に手順③と④における、歩行者の立ち入り検知の結果を正検知(TP)・誤検知(FP)・未検知(FN)で判別した結果、及び再現率 (Recall) と適合率 (Precision) を算出した結果を表 6-9 に示す。この結果より、Recall が 97.3%であることから立ち入り検知における未検知率は 2.7%と算出することができる。この結果より、目標値である未検知率 5%以下を達成できていることが確認できた。

一方で、立ち入り検知における Precision は 85.8%であり、歩行者検知の結果である 99.5%よりも低い結果となった。歩行者としては正しく検知できているにも関わらず立ち入り検知で FP が多くなる理由としては、A～C で分割した領域の境界付近にアイコン表示されるケースにおいて、アイコンの表示位置が隣の領域に越境してしまうことによるものであった。アイコンの表示位置は、歩行者の検知枠の下端が歩行者の接地個所と一致しているという前提で算出されるため、画像認識により歩行者の足下と地面をどれだけ正確に捉えられるかが影響している。そのため、アイコンの表示位置の精度を向上させるためには、画像認識における測距の精度を向上させる、あるいは歩行者の足下と地面を正確に分離するためのロジックを追加する、さらには、測距センサや測域センサといったアクティブセンサを取り入れるといったアプローチが有効であると考える。

表 6-6 歩行者の立ち入り検知精度の対象本数

便名	本数
1 便	7
2 便	2
3 便	2
4 便	2
5 便	2

表 6-7 カメラ映像に対する歩行者データ数の確認結果

領域	歩行者データ数	割合
A : 右側の車道	44	6.8%
B : 横断歩道上	387	59.5%

C : 左側の車道	219	33.7%
-----------	-----	-------

表 6-8 歩行者検知の判別結果

	TP	FN	FP	Recall	Precision
A : 右側の車道	40	2	2	95.2%	95.2%
B : 横断歩道上	372	14	1	96.4%	99.7%
C : 左側の車道	204	15	0	93.2%	100.0%
合計	616	31	3	95.2%	99.5%

表 6-9 歩行者の立ち入り検知の判別結果

TP	FN	FP	Recall	Precision
545	15	90	97.3%	85.8%

4) 自動運転バスが交差点へ接近する際にローカル 5G 通信により周辺環境情報の受信が可能となる場所：交差点手前 10m

自動運転バス上の車載 PC にて、周辺環境情報の受信を開始した時刻、ローカル 5G の通信圏内に到達した時刻を記録し、それぞれの時刻における GPS から取得した位置情報により自動運転バスの位置を確認した。周辺環境情報の受信開始位置と、ローカル 5G の通信圏内に到達した位置を右折レーン停止線からの距離で整理した結果を図 6-11 のグラフに示す。グラフの横軸は日付とそれに続く数値で自動運転バスの便を表しており、縦軸は右折レーン停止線からの距離を表している。

ローカル 5G の通信圏内到達と周辺環境情報の受信開始の位置を表す図 6-11 において、いずれの便でも周辺環境情報の受信開始位置を示す橙色の棒グラフは、灰色のライン以上に伸びており、目標とする右折レーン停止線の手前 10m の地点で在圏し、かつ周辺環境情報を受信できていることが確認できた。また、周辺環境情報の開始位置は、全体の平均と標準偏差から $111 \pm 53\text{m}$ という結果が見えている。周辺環境情報の受信開始や通信圏内到達の位置には各便での差異が見られる便もあり、12/17-5 便や 12/18-2 便では、通信圏内に到達してから周辺環境情報の受信を開始するまでの距離が他の便に対して大きな結果となっているが、これは車速が比較的速かった点と、その時の電波状況により安定して物標が受信できるようになるまでに時間を要したと想定される。その場合にも周辺環境情報の受信開始位置は目標を達成しており、意図通りの通信エリアを構築できていることが確認できた。

ローカル 5 G 通信圏内到達と周辺環境情報の受信開始位置

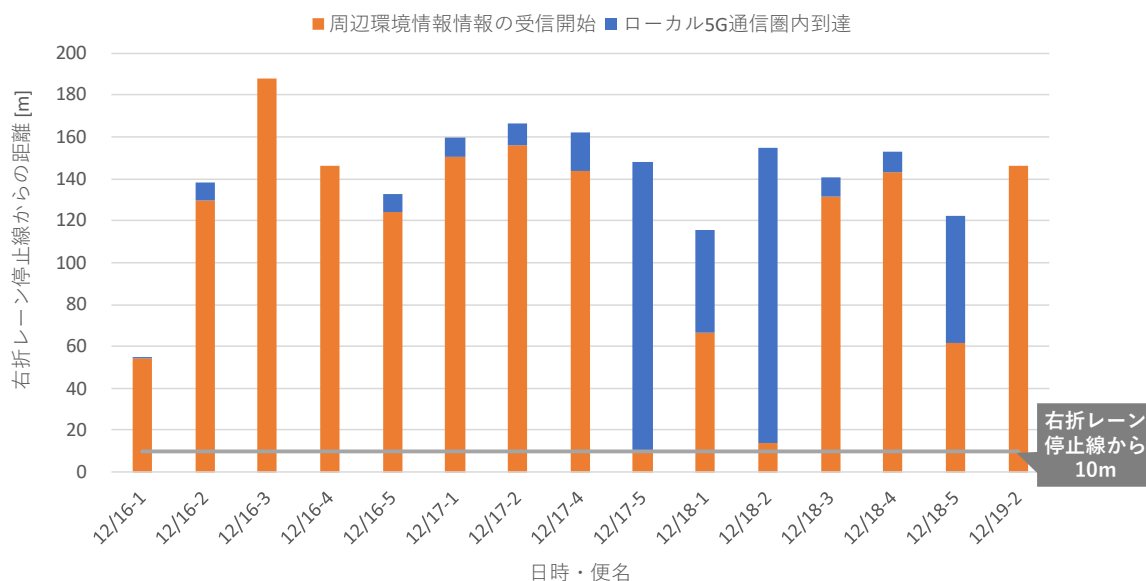


図 6-11 ローカル5G通信圏内到達と周辺環境情報受信開始の位置

5) 自動運転システム・路側インフラ(MEC・カメラ・スピーカー)間の通信品質（通信量、安定性、通信遅延時間等）を確認できること。

自動運転システムとローカル 5 G 基地局の間の通信品質として ping コマンドによる往復の応答時間を測定した結果を図 6-12 に示す。また、路側インフラ(カメラ)とローカル 5 G 基地局の間の通信品質に関する指標として電波強度とスループットを測定した結果を表 6-10、表 6-11 に示す。スループットは、ネットワーク性能の測定に広く用いられるツールである iperf3 を使用し、アップリンクとダウンリンクそれぞれについて、30 秒間の測定を 3 回実施して平均値を算出した。

いずれの結果からも通信品質に関わる指標を観測できていることがわかった。路側カメラを 2 台接続するローカル 5 G 端末のスループットを示す表 6-11 の結果から、アップリンクの平均値が 89.5Mbps、最小値でも 86.8Mbps であることがわかる。これより、本ユースケースを実施するに当たり必要な 60Mbps の性能が得られていることが確認できた。

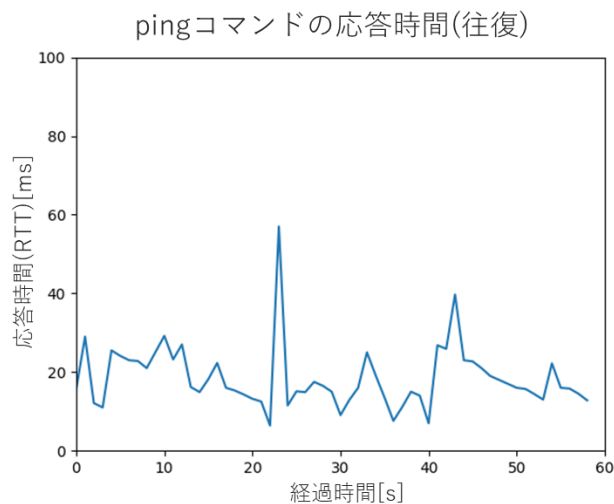


図 6-12 自動運転システムとローカル5G 基地局の間の通信品質(応答時間)

表 6-10 路側インフラとローカル5G 基地局の間の通信品質(電波強度)

指標	カメラ向け端末
RSRP	-74 [dBm]
RSRQ	-11 [dBm]
SINR	30 [dB]

表 6-11 路側インフラ(カメラ)とローカル5G 基地局の間の通信品質(スループット)

TCP	1 回目 [Mbps]	2 回目 [Mbps]	3 回目 [Mbps]	平均 [Mbps]
アップ リンク	86.8	87.8	93.9	89.5
ダウン リンク	87.4	87.1	86.8	87.1

6) 意図したタイミングで音声アナウンスが通知されていること、音声アナウンスの通知により歩行者の注意を引き出すことができること。

前述の通り、調査員がリアルタイムに現地の交差点の様子を観察することと、路側カメラ及び調査員の手持ちカメラ映像を後から確認することの2通りで、それぞれ別の人員が評価を実施した。これら2通りの評価結果を元に、音声アナウンスが意図通りに動作しているか、音声アナウンスの効果が見られるか、という2つの観点に分けて整理した。

a. 音声アナウンスが意図通りに動作しているか

音声アナウンスが聞こえていたか、意図通りのタイミングで発音されていたかという2点に分けて評価を行なった。

まず音声アナウンスが聞こえていたかについては、現地の調査員がデジタル騒音計で騒音レベルを測定しつつ音声アナウンスの聞き取り確認を実施した。結果として、評価を行なった全26便

で音声アナウンスが聞こえたことが確認できた。デジタル騒音計の測定値を記した図 6-13 中の表より、周囲の騒音レベルはある程度高い状況ではあったと捉えられるが、対象とする歩行者の近傍にある信号柱から歩道に向けて発音していることもあり、明瞭な音声が届けられていたものと考えられる。

次に発音のタイミングについては、図 4-7 にて定義したフローに沿って発音されているかを現地の調査員による聞き取りで確認した。図 6-13 に示す結果から、94%の割合で意図通りのタイミングで発音できていることが確認された。一方で残りの 6%についてはタイミングが遅いという結果になった。表 4-1 に示す予防措置①と予防措置②の音声アナウンスは、表 4-3 にて定義されている終了条件を満たすまで繰り返し発音される。一方でスピーカーの仕様として、再生中の音声を終了しないと次の音声は再生されないという制約があるため、ある音声アナウンスの再生中に終了条件を満たして別の音声アナウンスに遷移しようとする場合、再生中の音声を終了するまで待つ必要がある。タイミングが遅いという結果となったのは、このタイミングが影響しているものと考えられ、この影響を軽減するにはより簡潔で短いメッセージに変更していくことが求められる。

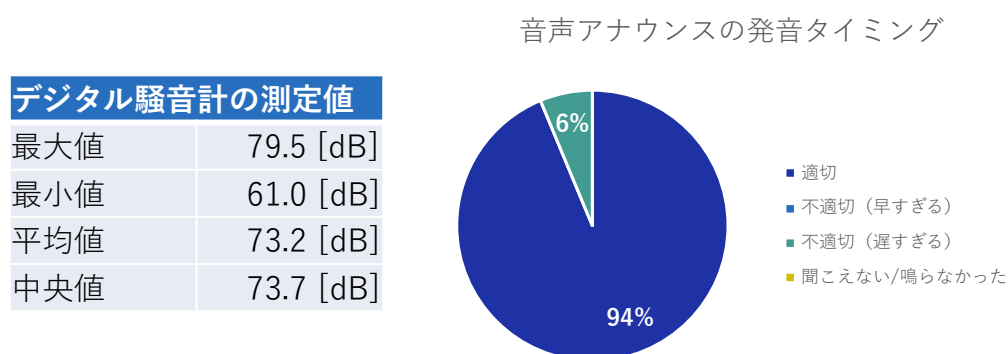
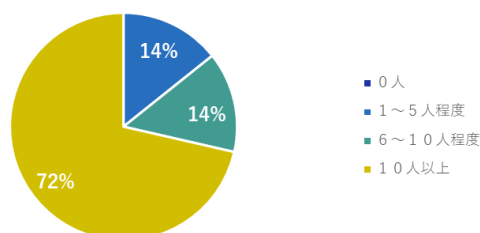


図 6-13 周囲の騒音レベルと音声アナウンスの発音タイミング

b. 音声アナウンスの効果が見られるか

本検証の実施場所である右折交差点付近は、朝のラッシュ時とそれ以外で交通環境が大きく異なるという特徴があり、実証における自動運転バスの運行ダイヤに当てはめると 1 便とそれ以降に分けることができる。実際に確認した歩行者数を図 6-14 に示しており、1 便は 10 人以上の歩行者がいるケースが 7 割以上である一方、2 便以降では約 4 割が自動運転バス通行時に歩行者がいなかった。ここでは、歩行者が 1 人以上いた場合を対象として、音声アナウンスの効果を確認するものとする。

自動運転バス通行時の歩行者数（1便）



自動運転バス通行時の歩行者数（2～5便）

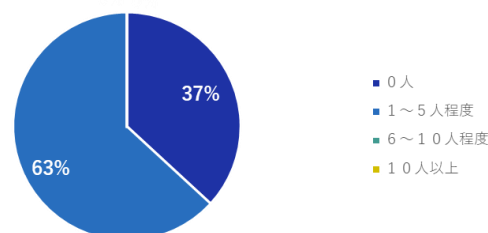


図 6-14 自動運転バス通行時の歩行者数

まず、音声アナウンス発音時に歩行者が反応を示したかの確認結果を図 6-15 に記しており、約 8 割のケースで歩行者の何かしらの反応が見られた。これは、現地の調査員による観察結果と後からカメラ映像で確認した結果のいずれかで反応があると認められた場合に、反応ありと評価している。次に、歩行者がどのような反応を示したかをまとめた図 6-16 より、約 6 割で『自動運転バスを見た』という反応が見られたことがわかる。これらの歩行者の反応の有無、及び反応の種類の確認結果より、歩行者の注意を引くという音声アナウンスの意図が達成できていると考えられる。さらに、3 割強の場合に『歩調が変わった』、『立ち止まった』といった歩行者の行動を引き出すことができていることもわかった。

反応を示した歩行者の位置をまとめた図 6-16 より、歩道にいる歩行者が全体の 8 割を占めており、残りの 2 割が横断歩道を移動中であることがわかった。本検証では、音声アナウンスにより横断歩道を移動中の歩行者を立ち止まらせてしまうような問題は発生していないが、この結果からも歩行者の行動を阻害しないメッセージとすることが重要であると言える。

音声アナウンス発音時の歩行者の反応有無

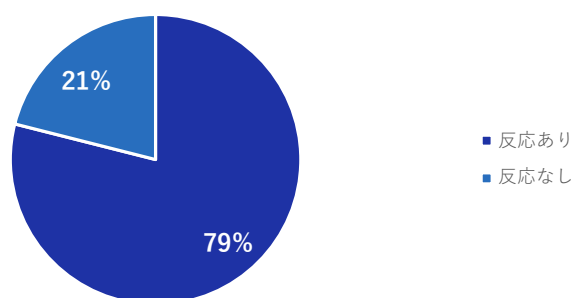


図 6-15 音声アナウンス発音時の歩行者の反応有無

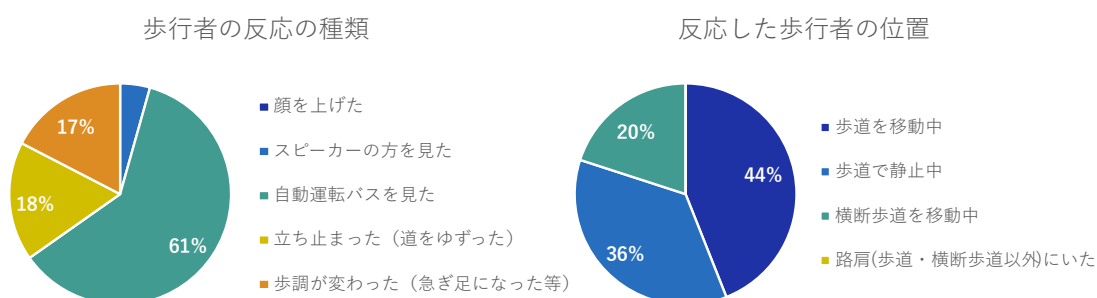


図 6-16 歩行者の反応の様子と反応した歩行者の位置

7) 自動運転システムによる対向車と歩行者の認識状況と路側システムから配信された周辺環境情報の突き合わせにより有効性が確認できること。

自動運転システムのセンサ情報を可視化した画面と路側インフラから配信された周辺環境情報を可視化した画面の双方をキャプチャした映像を目視確認し、両者における物標の検知結果やその時の周囲環境等を評価した。映像の目視確認は周辺に交通参加者の多い1便を中心に実施し、代表的な例として、2024年12月17日(火)の1便に対する分析、評価結果を以下に記す。

この便では、まず自動運転バスは右折レーンの先頭で赤信号の信号待ちを行った。その時、対向車線には6台の車両が信号待ちをしている状況であった。灯色が青に変わった後、信号待ちをしていた6台の対向車と、後続の4台の計10台が交差点を通過する間、自動運転バスは右折レーンの停止線前で停車をしていた。そして、最後の対向車であった路線バスが左折した後に、自動運転バスが右折を開始する流れだった。また、その間に25人ほどの歩行者が右折先の横断歩道を通行した。

このような交通状況の中で、本検証では対向車である路線バスが左折する場面に着目した。路線バス左折時における自動運転システムのセンサ情報を可視化した画面と路側インフラの周辺環境情報を可視化した画面の突き合わせ結果を図6-17に示す。図の右側の画面には、赤色の丸で囲んだ位置に歩行者の周辺環境情報を示すアイコンが合計3点描画されていることが見て取れる。また、この時の路側のカメラ映像からこれらのアイコンが誤検知ではないことを確認している。モニタ表示における周辺環境情報を図の左側の自動運転システムの画面と対比させると、まず図中の矢印「A」で結ぶ自動運転システムの画面の位置に、1人の歩行者を示すオブジェクトが描画されていることが確認できた。一方で、図中の矢印「B」の先には、歩行者のオブジェクトが描画されていないことが確認された。

図6-17の矢印「B」の先に歩行者のオブジェクトが描画されなかった理由としては、路線バスの車体による死角となっていたことが考えられる。自動運転バスの自車位置を起点に路線バスを表す点群の端を通る直線を作図し、その直線の間の区間が死角となっていたことが推測される。実際に、矢印「B」で結ぶ位置は死角と推測される区間の内側にあり、矢印「A」で結ぶ位置は外側にあった。

路側インフラのカメラは自動運転バスとは異なる位置にあり、また高い視点からセンシングしている点から、自動運転バスから検知しづらい領域の物標を得られていたものと考えられる。ま

たこれらの結果より、左折する対向車が死角となって自動運転バスから検知できない歩行者の周辺環境情報を提供できていたことから、路側インフラの有効性を確認できる場面であったと判断した。

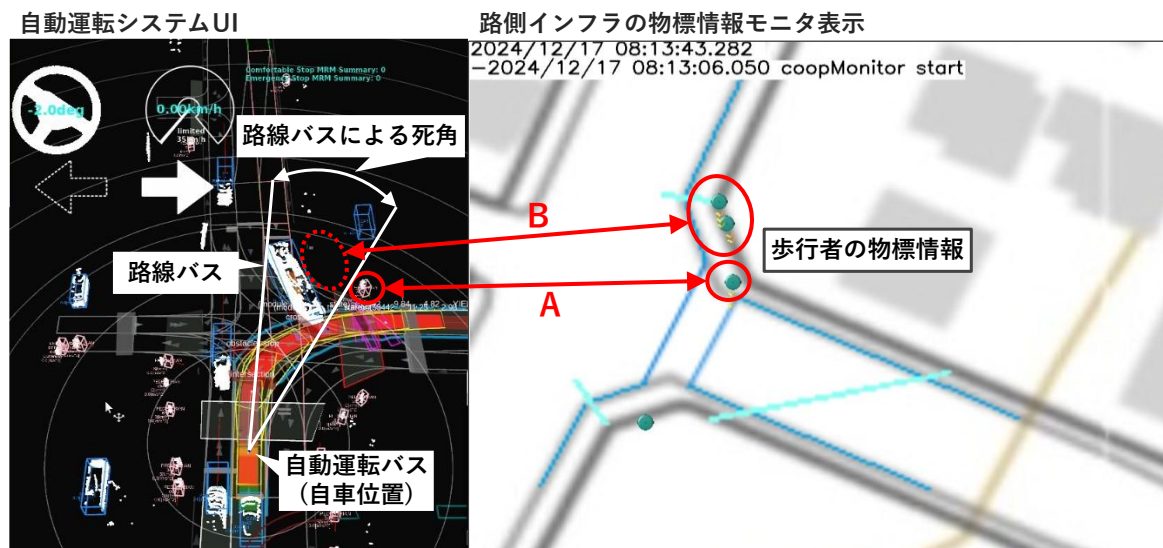


図 6-17 自動運転システム UI と路側インフラモニタ表示の突き合わせ(歩行者)

(4) 考察

本実証では、社会実装に向けて、一般道区間の特に多くの交通参加者が行き交う交差点等の複雑な環境において自動運転バスが安全かつ円滑に通行できることが重要であり、特に、多くの車両や歩行者が通行する狭隘な交差点で自動運転バスと他の交通参加者との安全離隔を確保することが必要であると考えた。そこで、周囲の交通状況（交通参加者の数）の影響を受けず広帯域通信容量が確保可能なローカル 5 G を活用して自動運転バス・MEC・路側センサ・路側 HMI 間を接続する実験環境を構築し、路側インフラのカメラにより検知した歩行者や対向車の情報を自動運転バスに通知する機能、及び歩行者に対して注意喚起する機能の有効性を確認した。

路側インフラから自動運転バスへの周辺環境情報の通知については、まず自動運転バス通行時の安全離隔を確保するために重要となる歩道からはみ出した歩行者の検知精度を評価し、検知漏れが 5%以下に収まることを確認した。また、自動運転システムのセンサ情報を可視化した結果と、路側インフラから自動運転バスに配信した周辺環境情報を突き合わせることで、自動運転バスからは動的に死角となる領域の周辺環境情報を路側インフラから配信できていることから、車載センサの情報を補うことができていることが確認できた。ただし本検証においては、路側インフラからの周辺環境情報を車載 PC に配信してモニタに表示したため、自動運転システムにとって走行制御に活用できる情報であるのか、今後は路側と車両のシステムを連携させた評価検証を実施していくことが望ましい。

歩行者への注意喚起については、自動運転バスの状態や動作状況に連動して路側インフラから発音する音声アナウンスが意図通りに動作したか、歩行者の反応や注意を引き出す、行動を促す

といった期待効果を得られたか評価した。まず、音声アナウンスが意図通りに動作したかについては、自動運転バス通行時に音声アナウンスが聞こえていたか、意図通りのタイミングで発音されていたかという2点に分けて評価を行い、明瞭な音声が届けられていたことが確認できた。また、音声アナウンスの効果については、約8割のケースで歩行者が何かしらの反応を示しており、さらにそのうち約6割で「自動運転バスを見た」という反応を得られている点から、歩行者の反応や注意を引き出すという期待効果が得られたことが確認できた。さらに、歩行者の反応のうち3割強において「歩調が変わった」、「立ち止まった」といった行動を引き出すことができていることもわかった。

一方で、音声アナウンスのメッセージについては、一部に改善の余地が見られる結果となった。連続して音声アナウンスを行う場合、メッセージの文言が長いと次のアナウンスが開始されるまでの待ち時間が発生し、タイミングが遅れるという問題が起きるため、メッセージはなるべく簡潔に定義できることが望ましい。また、本実証では音声アナウンスにより横断歩道を移動中の歩行者を立ち止まらせてしまうような問題は発生していないが、この点からも歩行者の行動を阻害しないメッセージとすることが重要であると言える。

6.3 見通し外や路上駐車など複雑な交通環境下における周辺環境情報のリアルタイム映像分析及び車側の危険回避行動の連携

本ユースケースは実施していない

6.4 軽量映像伝送システムの実証

(1) 実証スケジュール

本検証における実証スケジュールを図 6-18 に示す。

ユースケース	フェーズ	2024年								2025年	
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
UC 4 遠隔監視の 継続性向上	実証準備 (事前計測、 物品調達等)	計画策定									
			システム設計	車載検討・機器選定	通信回線選定・契約						
				UC環境構築・機材準備			NECテストコース等での評価				
	実証							現調	実証実施		
	実証評価								データ集計	報告書作成	

図 6-18 実証スケジュール

(2) 開発・評価項目の結果

本検証における開発・評価項目を表 6-12 に示す。

表 6-12 開発・評価項目(再掲)

番号	開発・評価項目
1	映像圧縮技術の適用による映像配信の安定性に関する評価
2	アラートによる通知技術におけるモニタリングの補助機能としての有効性の評価

1) 映像圧縮技術の適用による映像配信の安定性に関する評価

映像の安定性に関する評価を行うために、本検証でデータを計測、収集した結果を以下に記す。

a. 通信速度情報

この評価に対して、自動運転バスの運行ダイヤである 1 便から 5 便の各便の走行中に 4.4 (6) 1) a にて記載の通り iperf3 を用いて連続的に携帯電話回線の通信帯域(通信速度)を測定した。iperf3 実行時の通信プロトコルは映像配信と同じ UDP とし、目標ビットレートは、映像圧縮技術を適用しない場合においてモニタリングに必要な画質を得るための映像ビットレートを元に 5Mbps とした。また、測定は 2024 年 12 月 17 日(火)の全便で実施した。

測定結果は時系列データとして記録されるため、GPS 受信機から取得した時刻情報と緯度・経度情報と照合して走行距離ベースに整理し直すことで、経路上のどの地点でどれだけの通信速度が出ていたかを可視化した。まず、経路上の地点と走行距離との対応関係を図 6-19 に示す。図中の青色の数値は、始点から約 200m ごとに走行距離をプロットしたものである。次に、経路上における通信速度の測定結果を図 6-20 に示す。図中のグラフは 1 便から 5 便の各便における通信速度の測定結果を表しており、横軸が走行距離で縦軸が通信速度の測定結果を表している。各グラフの横軸上の数値を図 6-19 のプロットと突き合わせることで、どの地点でどれだけの通信速度が出ていたのかを確認することができる。測定結果からは、通信速度が大きく変動すること、通信速度の変動の特徴は場所や時間帯によって変化する傾向が見られることの 2 点を読み取ることができた。

まず、通信速度における最小値、最大値、平均値を表 6-13 に示す。各便の平均値は 4.73Mbps から 4.96Mbps であり、全便を平均すると 4.87Mbps という結果となった。一方で、最小値と最大値を見ると、最小値は 0.03Mbps、最大値は 8.30Mbps と変動の幅が大きいことがわかる。また、目標ビットレートの±10%を超える変動が発生した回数と、変動の継続時間を確認した表 6-14 の結果から、各便で 20 回以上、継続時間が最大で 50 秒と、変動の回数と継続時間が大きいことも確認できた。

次に、図 6-19 における 1 便から 5 便の測定結果に共通した変位の特徴として、800m 付近 (A 地点)、1,500m 付近 (B 地点)、2,000m～2,500m 付近 (C 地点)、4,700m 付近 (D 地点) に通信速度の落ち込みが見られた。図 6-19 より、A 地点は BRT 区間から一般道に左折進入する場所、B 地点は大規模工場に面した場所、C 地点は海岸沿いの道路、D 地点は BRT 区間内の跨線橋上であることがわかり、これらは経路上において定常的に通信環境の悪いエリアであるこ

とが考えられる。また3便以降、特に3便と5便では1,500m から 2,500m までの区間 (E 地点) で通信速度が大きく低下しているが、これは便ごと、つまり時間帯ごとに異なる特徴であることから、動的な要因により通信環境が悪化したことが考えられる。

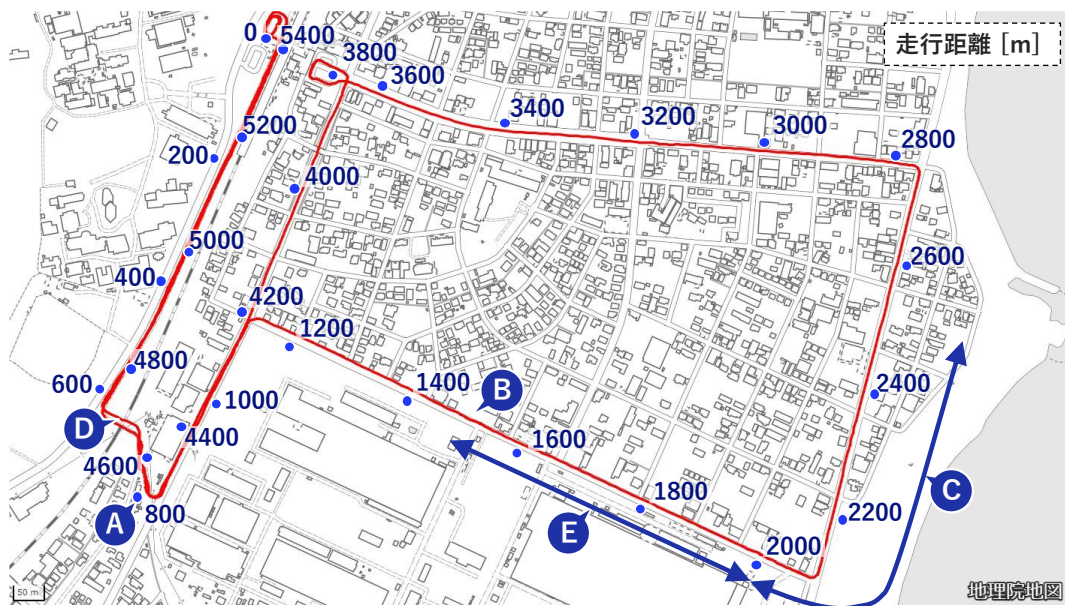


図 6-19 経路上の地点と走行距離との対応関係

表 6-13 各便の通信速度における統計値

便数	最小値 [Mbps]	最大値 [Mbps]	平均値 [Mbps]
1 便	0.78	6.38	4.90
2 便	0.46	6.81	4.92
3 便	0.05	8.30	4.73
4 便	1.12	6.79	4.96
5 便	0.03	6.80	4.84

表 6-14 通信速度の変動回数と変動の最大継続時間

便数	変動の回数 [回]	変動の最大継続時間 [s]
1 便	28	44
2 便	21	28
3 便	39	50
4 便	25	9
5 便	23	27

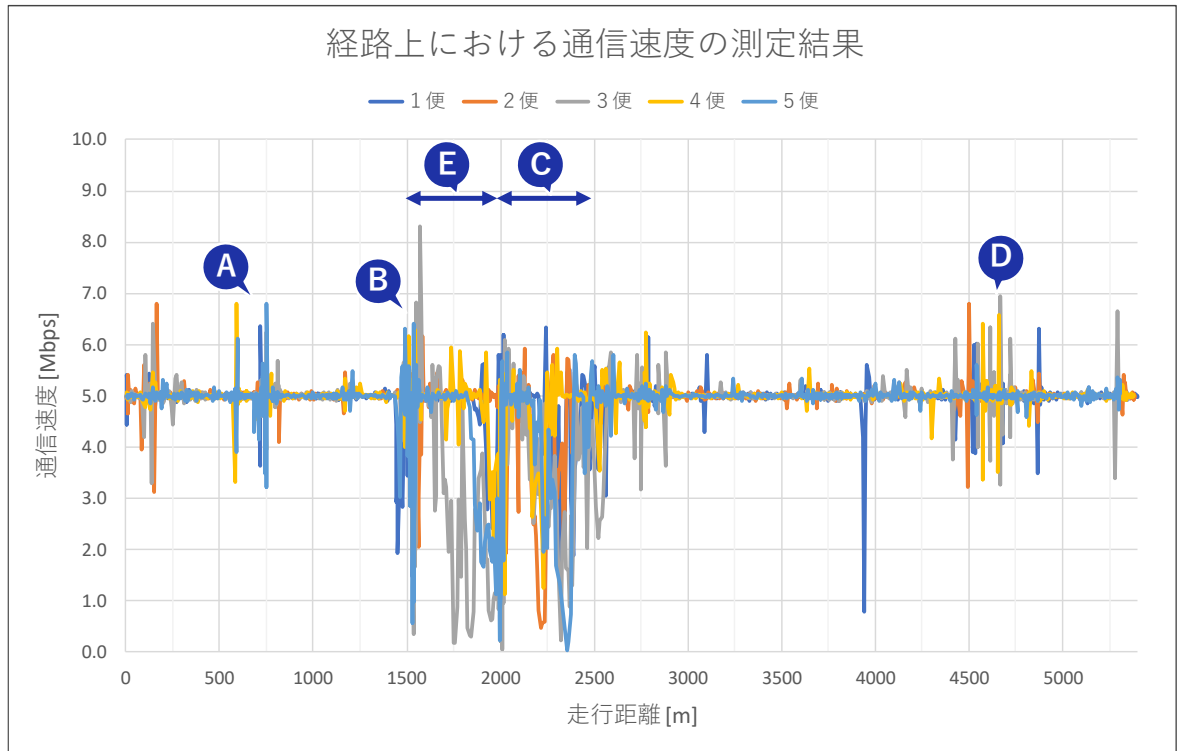


図 6-20 経路上における通信速度の測定結果

b. 映像の乱れや再生停止の頻度

この評価に対して、2024年12月9日(月)は1便から技術有効・無効の順に、2024年12月16日(月)は1便から技術無効・有効の順に映像の録画を実施した。そして録画映像から映像の乱れ、再生停止の発生状況を目視確認により抽出した結果を図 6-22 と図 6-23 に示す。図中のグラフは、縦軸が自動運転バスの便を表し、横軸が走行距離を表しており、便ごとに映像の乱れを三角形、再生停止を四角形のアイコンでプロットした一次元散布図としている。さらにグラフ横軸の走行距離は、図 6-19 における地図上のプロットと対応しており、突き合わせて見ることでよりどの場所で何の事象が発生したかを確認することができる。

映像圧縮技術が無効の場合の事象発生位置を表す図 6-22 より、全便を通して見た場合に走行距離が約 2,000m から約 2800m までの区間で、長時間の乱れと再生停止が発生していることがわかる。図 6-19 のプロットから、大規模工場の正門付近を起点として海岸沿いの道路を大甕駅方向に左折するまでの区間であり、定常的に通信環境の悪いエリアである C 地点を含む区間であることが読み取れる。また、3 便以降に見られる特徴として、事象の開始タイミングが約 1,500m 地点と手前になっており、より長時間にわたって乱れと再生停止が発生していることがわかる。こちらについても、図 6-19 のプロットにおける E 地点と一致しており、かつ通信環境の悪化が見られた時間帯とも同様であることが確認できた。これらの結果から、映像圧縮技術が無効の場合においては、通信環境の悪化による影響を受けて長時間の乱れや再生停止が発生することがわかった。映像圧縮技術が有効の場合の事象発生位置を表す図 6-23 からは、映像圧縮技術が無効の場合に比べて、乱れや再生停止の頻度と長さがどちらも大幅に改善していることが読

み取れる。特に映像圧縮技術が無効の場合においては、図 6-19 のプロットにおける E 地点から C 地点にかけておよそ数十秒間に渡り、乱れと再生停止が継続したケースが見られたのに対し、映像圧縮技術が有効の場合には短い時間で収束できていた。

一方で、映像圧縮技術が有効の場合においても複数の便で乱れや再生停止が発生した地点があり、走行距離で見ると、700～800m 付近、1,500m 付近、4,700～4,800m 付近の 3 地点だった。これは、図 6-19 のプロットにおける A 地点、B 地点、D 地点とそれぞれ一致しており、定常的に通信環境が悪いエリアであることがわかる。技術の効果によりいずれの地点でも事象の発生時間を短く抑えられてはいるが、通信品質に対して更なる改善が必要な場合には、該当箇所における異なる通信回線との併用、あるいは切り替えを検討することが考えられる。

次に、映像の乱れや再生停止における事象の継続時間と発生回数の特徴について、継続時間を区間にとって発生回数を度数分布で表現したグラフを用いて図 6-23 と図 6-24 のように可視化した図 6-24。映像圧縮技術が無効の場合を示す図 6-23 より、継続時間が 2 秒以上の事象が全体の 45%を超えており、継続時間が 10 秒以上となる事象も全体の約 10%を占めることから、長時間の乱れや再生停止が高頻度で発生したことがわかる。一方で映像圧縮技術が有効の場合を示す図 6-24 図 6-24 より、継続時間が 2 秒未満の事象が全体の 95%近くを占めている点から乱れや再生停止を短い時間で収束できていることが確認でき、また累積回数の比較から事象の発生回数も少なく抑えられていることがわかる。この結果より、録画された監視画面の映像の総時間を分母とし、事象の継続時間の総計を分子として頻度の指標を算出すると、映像圧縮技術が無効の場合は 16.73%、映像圧縮技術が有効の場合は 1.46%という結果となった。

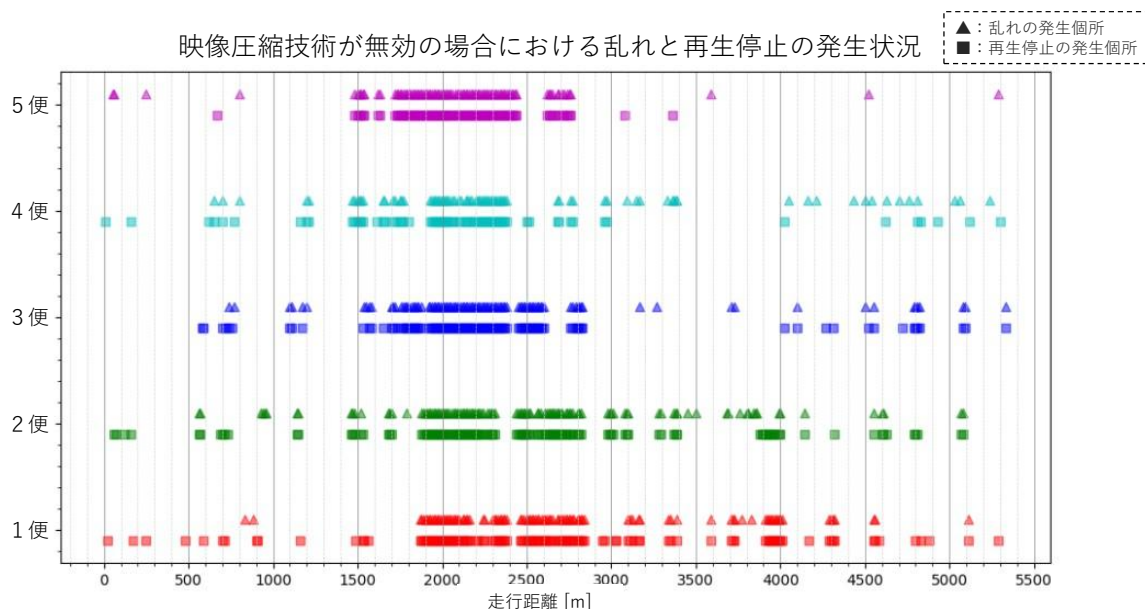


図 6-21 映像圧縮技術が無効の場合における乱れと再生停止の発生状況

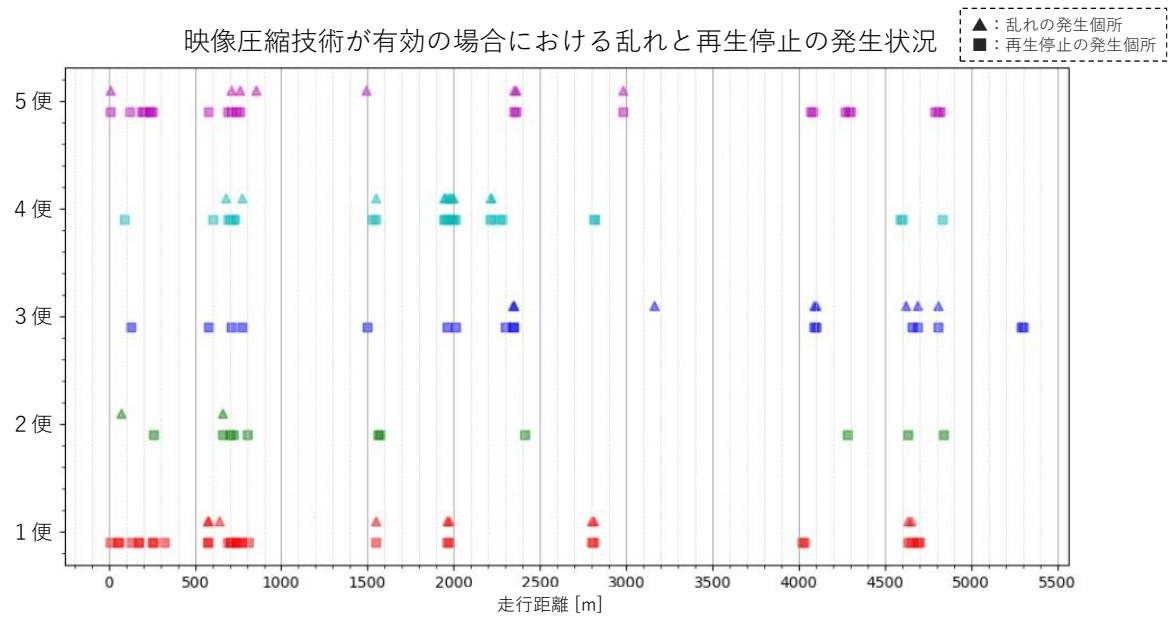


図 6-22 映像圧縮技術が有効の場合における乱れと再生停止の発生状況

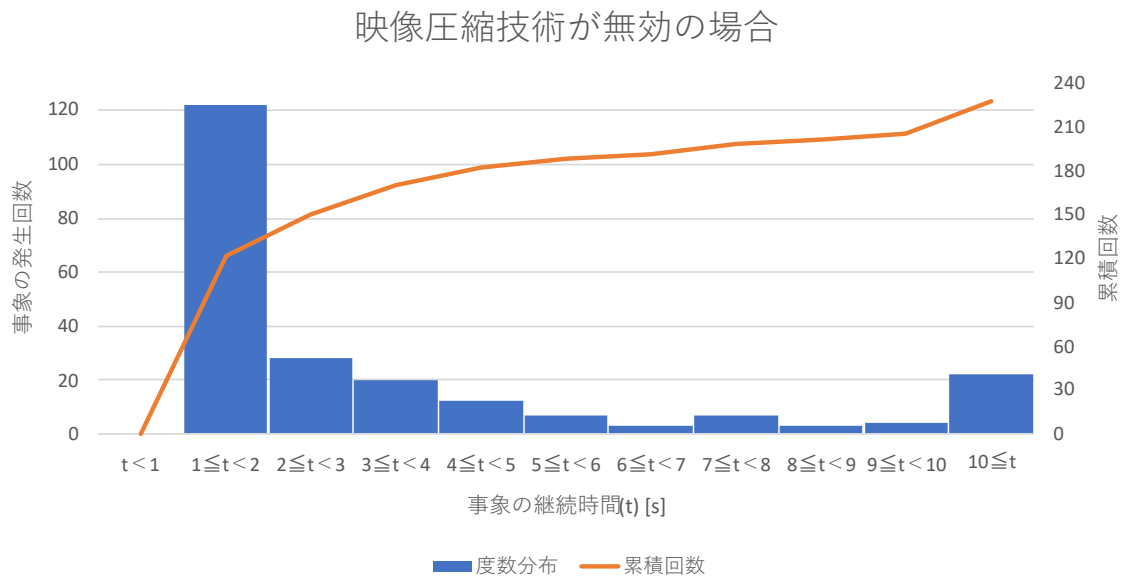


図 6-23 映像圧縮技術が無効の場合における事象発生回数の度数分布

映像圧縮技術が有効の場合

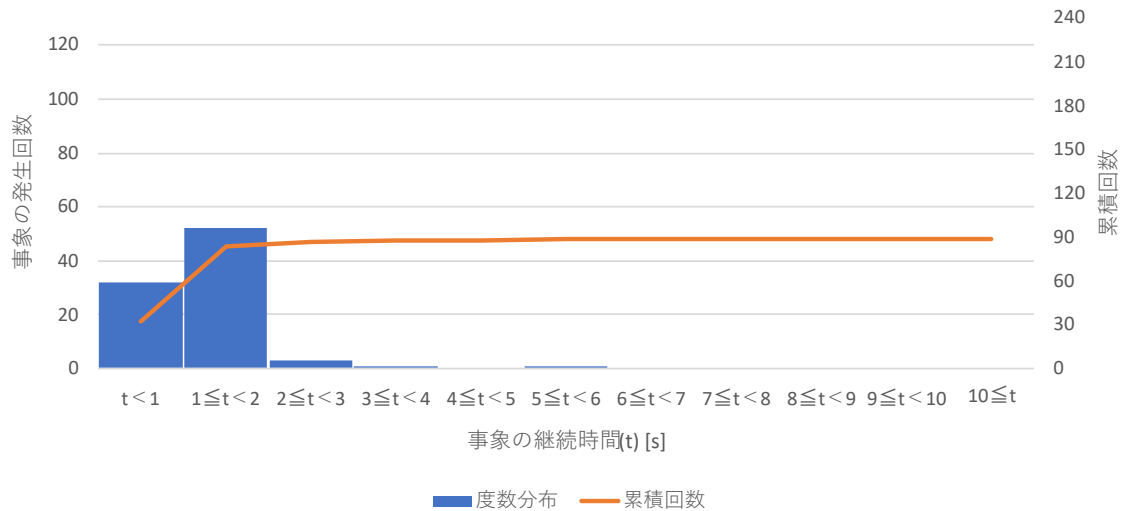


図 6-24 映像圧縮技術が有効の場合における事象発生回数の度数分布

a. 帯域情報

この評価に対して、前項における映像の乱れや再生停止の頻度を評価したのと同じ便にて、実際に映像エンコード時に設定されたビットレート値の記録を行った。記録されたデータを走行距離ベースに変換し、1 便から 5 便の平均を取って可視化した。映像圧縮技術が無効の場合と有効の場合を対比させる形でグラフにまとめたものを図 6-25 に示す。

映像圧縮技術が無効の場合には、モニタリングとして必要な画質を得るためビットレートの設定値として 5Mbps が与え続けられており、それに対して実際の映像ビットレート値は平均で 5.19Mbps となることがわかった。一方で、映像圧縮技術が有効の場合は、実際の映像ビットレート値が平均で 0.44Mbps となることがわかった。映像圧縮技術が無効の場合と比べて 1/10 以下に抑えられており、4.4 (3) で述べている映像圧縮技術の期待効果が得られていることが確認できた。

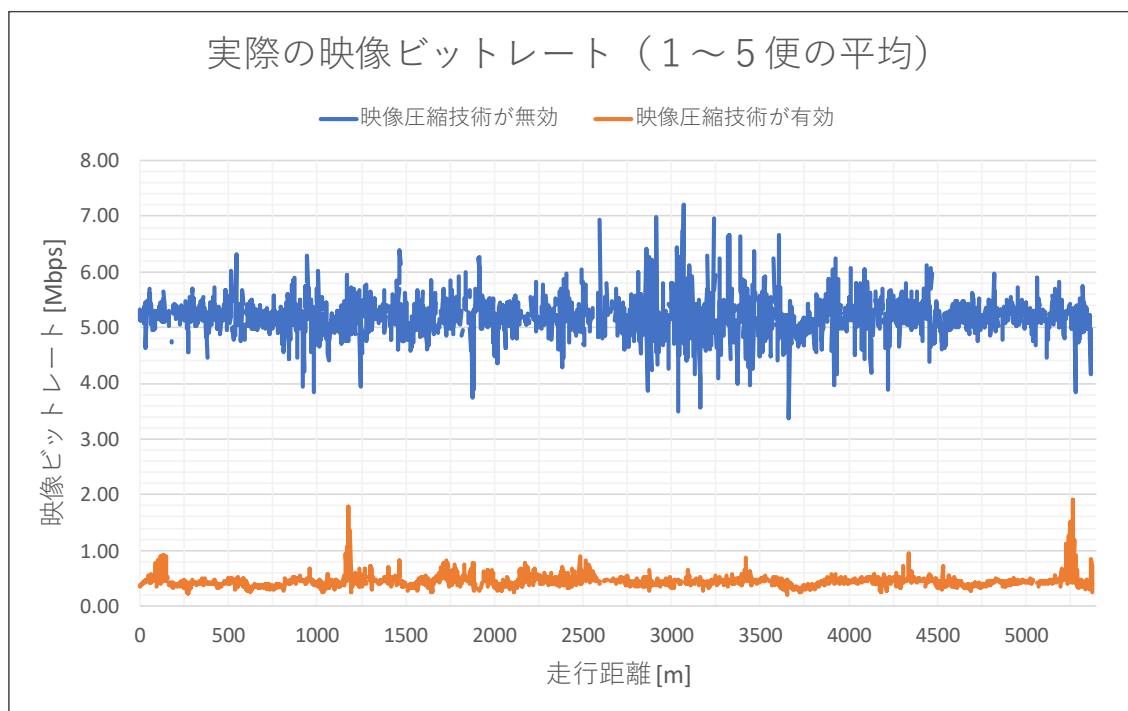


図 6-25 映像圧縮技術が無効と有効の場合における実際の映像ビットレート比較

b. Glass to Glass 遅延時間

この評価に対して、4.4 (6) 1) に記載の通り 2 台のストップウォッチが写るように計測用カメラで静止画の撮影を行った。具体的には、2024 年 12 月 17 日(火)の 1 便から 5 便を対象として、映像圧縮技術が有効な状態で映像を配信しながら 10 秒毎に計測用カメラにより連続した複数フレームの静止画を撮影し、ストップウォッチの時間表示にブレが少ない画像を目視で選別して時間差を確認した。

各便で計測した時間差を走行開始から終了までの経過時間でプロットした Glass to Glass の遅延時間を図 6-26 のグラフに示す。各便で走行開始から終了までの所要時間が異なるためグラフの長さは異なるが、遅延時間の時間変化は多少の上下があるものの特徴的な変位は特に無く横ばいで、走行中において遅延時間がほぼ一定であったこと、また各便の間で特徴的な差異も見られないことが読み取れる。

また、各便と全便通しで見た場合における Glass to Glass 遅延時間の最小値、最大値、平均値を表 6-15 に示す。全便を通して見た時の最小値は 0.41 秒、最大値は 0.66 秒、平均値は 0.55 秒であり、統計値として見た場合にも便間で大きな差異が無いことがわかる。

表 6-15 Glass to Glass 遅延時間における統計値

便数	最小値[s]	最大値[s]	平均値[s]
1 便	0.42	0.66	0.55
2 便	0.41	0.62	0.55
3 便	0.43	0.60	0.55

4 便	0.44	0.66	0.55
5 便	0.42	0.59	0.54
全便通し	0.41	0.66	0.55

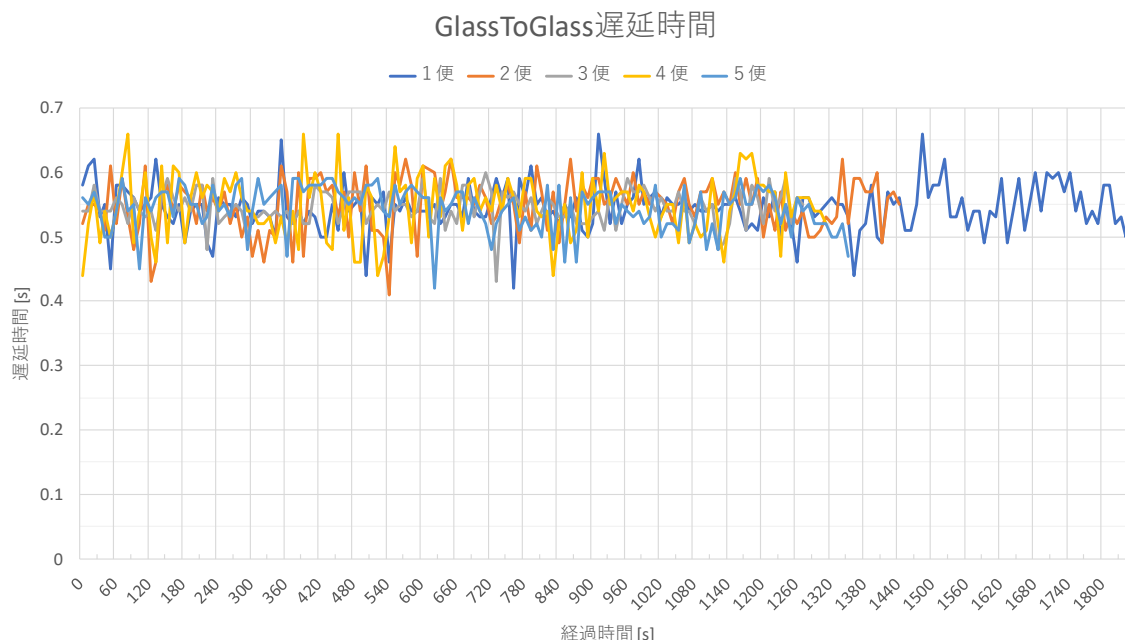


図 6-26 Glass to Glass 遅延時間

2) アラートによる通知技術における遠隔監視の補助機能としての有効性の評価

アラートによる通知技術の有効性を評価するため、本検証では下記のデータを計測、収集する。

a. アラート発出情報

この評価に対して、まずは、自動運転バスの運行ダイヤである 1 便から 5 便の各便を対象として、映像圧縮技術が有効の場合における映像を録画した。次に、録画した映像の目視確認により、マーカーに対する TP・FP・FN の判別、及び Recall、Precision の算出を行った結果を表 6-16 に示す。このうち、全便を通して見た場合の結果において Recall が 96.6%であることから、マーカーを表示すべき対象物に対する見落としを 3.4%に抑えられていることがわかる。また、同じく全便を通して見た結果の Precision は 90.4%であり、マーカーを表示すべき対象物が存在しない場合にマーカーが表示される、あるいは誤った種別のマーカーが表示される誤検知は 9.6%であった。

次に、アラートに対する TP・FP・FN の判別結果、及び Recall、Precision の算出結果を表 6-17 に示す。このうち、全便を通して見た場合の結果における Recall が 84.9%であることから、アラートの見落としが 15.1%であることがわかる。また、同じく全便を通して見た結果の Precision が 94.9%であることから、アラートの誤警報は 5.1%であったことがわかる。

アラートの判定結果において、1 便では FN と判定されるケースが他の便に比べて顕著に高く、全体の Recall を引き下げる要因になっていることがわかる。これは、BRT 出口から一般道に左

折進入する際に交差する自動車に対して、アラートが発出されなかったことによるもので、FN と判定された場面の一例を図 6-27 に示す。このような場合にアラートが発出されなかった主な原因は、アラート発出条件のしきい値設定が最適でなかったためである。マーカー・アラートの表示有無を決定するにあたって、物体検出の結果として出力される信頼度スコアを使用している。今回の実証における車に対するマーカー・アラートは、信頼度スコアが 0.4 以上の場合にマーカーを表示し、0.6 以上の場合にアラートを表示するようにしていた。アラートのしきい値をマーカーより高くしていた理由は誤発出を抑制するためである。これまでの実証において、今回採用した 0.6 が発出漏れ・誤発出ともにほとんど発生しない最適な値と考えていたが、図 6-27 のように至近距離を横方向に走行する車両は信頼度スコアが低くなるケースが多かったため、今回のアラート発出漏れが発生した。同様の事象に対して漏れなくアラートが発出できるようになると仮定すると、この評価における判別結果は表 6-18 のように改善することが想定される。

表 6-16 マーカーの判別結果

マーカー 判別結果	TP	FN	FP	Recall	Precision
1 便	152	4	27	97.4%	84.9%
2 便	83	11	5	88.3%	94.3%
3 便	81	0	9	100.0%	90.0%
4 便	99	1	8	99.0%	92.5%
5 便	74	1	3	98.7%	96.1%
全便通し	489	17	52	96.6%	90.4%

表 6-17 アラートの判別結果

アラート 判別結果	TP	FN	FP	Recall	Precision
1 便	97	27	9	78.2%	91.5%
2 便	22	0	0	100.0%	100.0%
3 便	13	0	1	100.0%	92.9%
4 便	27	7	0	79.4%	100.0%
5 便	26	0	0	100.0%	100.0%
全便通し	185	34	10	84.5%	94.9%

表 6-18 アラートの判別結果(事後のシミュレーション結果)

アラート 判別結果	TP	FN	FP	Recall	Precision
1 便	123	1	9	99.2%	93.2%
2 便	22	0	0	100.0%	100.0%
3 便	13	0	1	100.0%	92.9%
4 便	34	0	0	100.0%	100.0%
5 便	26	0	0	100.0%	100.0%

全便通し	218	1	10	99.5%	95.6%
------	-----	---	----	-------	-------

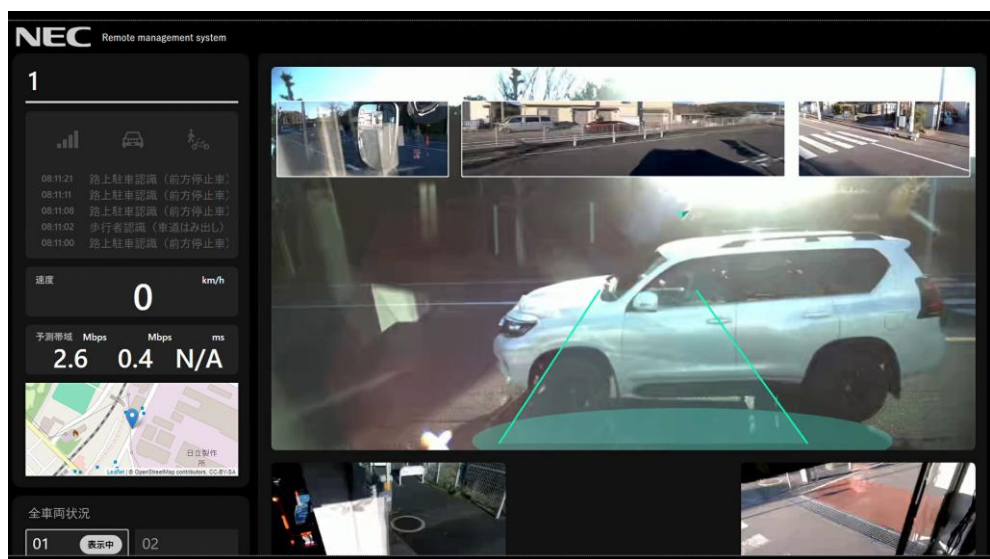


図 6-27 交差する自動車に対してアラートが発出されなかった例

(3) KGI/KPI との比較結果

本検証における KGI/KPI の項目一覧を表 6-19 に示す。

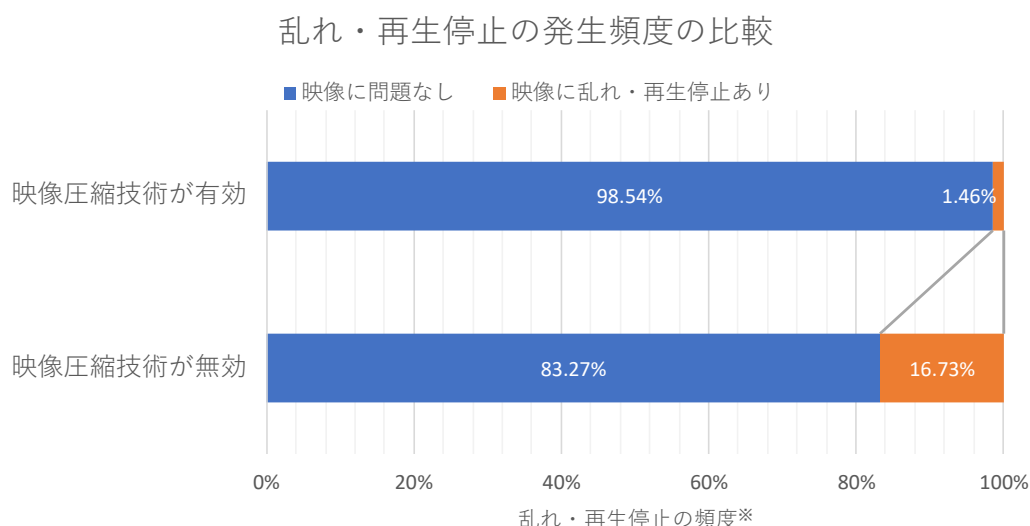
表 6-19 KGI/KPI 項目一覧(再掲)

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	1	映像圧縮技術の有効・無効との比較で、映像の乱れや再生停止の頻度 1/10 以下
	2	映像認識 AI の危険予兆アラート発出漏れ 5%以下
	3	Glass to Glass 遅延時間 500ms 以下 (95 パーセンタイル)
定性評価	4	自動運転バスの走行路上の携帯電話回線の通信速度を測定し、本技術の適用効果を 確認できること。
	5	本技術の有効・無効それぞれで受信側の映像品質（解像度、フレームレート、ビット レート、遅延時間、カクツキの有無等）を測定し、本技術の適用効果を確認でき ること。
	6	監視員に対してインタビュー等により本システムの有効性を確認できること。

1) 映像圧縮技術の有効・無効との比較で、映像の乱れや再生停止の頻度：1/10 以下

映像圧縮技術が有効と無効の場合における映像の乱れ・再生停止の発生頻度を確認し結果を図 6-28 に記す。1 便から 5 便までの映像の総再生時間に対し、映像圧縮技術が無効の場合は 16.7% の頻度で映像の乱れ・再生停止が発生していたが、映像圧縮技術が有効の場合にはその頻度が 1.46% まで抑制できていることがわかる。そして、この結果より 1/10 以下という目標値が達成できていることが確認できた。

また、6.2 (2) の確認結果より、映像圧縮技術が無効の場合は数十秒間に渡り乱れと再生停止が継続したケースが見られたのに対し、映像圧縮技術が有効の場合には短い時間で収束できていることがわかっている。また、映像圧縮技術が有効の場合における再生停止は、事象の継続時間が 1 秒未満である、いわゆるカクツキも含んだ結果となっているため、遠隔監視業務における映像品質の体感差は、本検証における数値としての比較結果よりもさらに大きくなるものと推察される。



(※録画された監視画面の映像の総時間を分母とし、事象の継続時間の総計を分子として算出。)

図 6-28 技術の有効と無効における乱れ・再生停止の発生頻度の比較

2) 映像認識 AI の危険予兆アラート発出漏れ：5%以下

この評価に対して、6.4 (2) 2) に記載の通り、録画した映像からアラートに対する TP・FP・FN の判別、及び Recall と Precision の算出を行った結果を表 6-17 に示す。また、このうち Recall を用いて以下のように算出した各便と全体におけるアラート発出漏れ²⁴の結果を表 6-20 に示す。

全便を通したアラート発出漏れの結果は 15.5% となっており、目標値である 5% 以下に対して未達であることがわかる。これは、6.4 (2) 2) における考察に記載の通り、アラート発出条件のしきい値設定が最適でなかったためである。至近距離を横方向に走行する車両を想定してしき

²⁴ アラート発出漏れ = 1.0 - Recall

い値設定を見直し、同様の事象に対して漏れなくアラートが発出できるようになると仮定すると、事後のシミュレーションによる判別結果は表 6-18 のようになり、この評価におけるアラート発出漏れも表 6-21 のように改善し、全便通したアラート発出漏れは 0.5%となることが想定される。

表 6-20 アラート発出漏れの算出結果

	アラート発出漏れ
1 便	21.8%
2 便	0.0%
3 便	0.0%
4 便	20.6%
5 便	0.0%
全便通し	15.5%

表 6-21 アラート発出漏れの算出結果(事後のシミュレーション結果)

	アラート発出漏れ
1 便	0.8%
2 便	0.0%
3 便	0.0%
4 便	0.0%
5 便	0.0%
全便通し	0.5%

3) Glass to Glass 遅延時間：500ms 以下（95 パーセンタイル）

この評価では、6.4 (2) 1) における Glass to Glass 遅延時間の測定結果から 95 パーセンタイルの指標を算出する。そのために、まずは 1 便から 5 便の各便における遅延時間データと、全便を通して見た時の遅延時間データを用いて図 6-29 のように累積分布関数のグラフを作成した。これらのグラフから、95 パーセンタイル値（縦軸が 0.95 となるときの横軸の値）と、50 パーセンタイル値（中央値）を読み取ると表 6-22 のようになる。

表中の 95 パーセンタイル値より、全便を通して見た場合と各便を個別に見た場合のいずれにおいても目標値である 500ms 以下に対して未達である結果となった。

遅延時間が想定よりも大きくなったことに対する要因として、映像の回転と解像度変更に関わる処理時間が影響していたことが判明している。本実証では、ストップウォッチの撮影にも使用したフロントカメラは、車両への搭載条件により天地を逆転して設置していたことから、映像を 180° 回転させることが必要となった。また、カメラからはフル HD の解像度で映像が出力されるが、今回の検証に必要な映像品質を得るための解像度は HD で十分と判断したことから、映像

の解像度変更が必要となった。そして、これらの比較的成本の大きい処理²⁵を車両内の映像配信装置（エッジデバイス）上の CPU で実行していたことにより、遅延時間が想定よりも大きくなってしまった結果となった。別途、同じシステムを用いて映像の回転と解像度変更の処理にかかる時間を実測したところ約 120ms であることが判明した。そのため、カメラから出力される映像を回転・縮小させる、あるいはカメラの設置方法を変更することで時間短縮が見込めると仮定すると、表 6-22 の全便を通して見た場合の遅延時間は中央値で 430ms、95 パーセンタイル値でも 480ms と目標を達成可能な水準まで改善することが想定される。

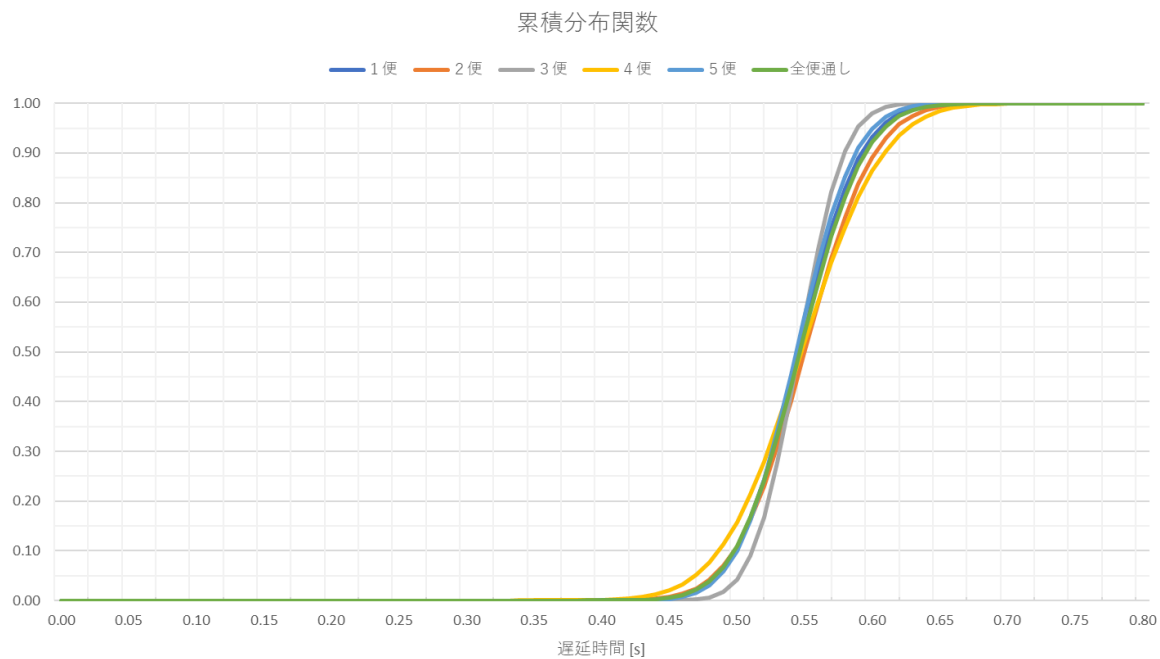


図 6-29 Glass to Glass 遅延時間における累積分布関数

表 6-22 Glass to Glass 遅延時間における 95 パーセンタイル値

	50 パーセンタイル値 [s]	95 パーセンタイル値 [s]
1 便	0.55	0.61
2 便	0.55	0.61
3 便	0.54	0.59
4 便	0.55	0.63
5 便	0.55	0.59
全便通し	0.55	0.60

²⁵ 一般的に、拡張や回転など画素ごとの演算が必要になる画像処理を CPU で実行する場合は、解像度(画素数)に依存して処理時間が増大する。

4) 自動運転バスの走行路上の携帯電話回線の通信速度を測定し、モバイル空間統計情報に基づく人口分布との相関関係、及び本技術の適用効果を確認できること。

この評価では自動運転バスの経路上で携帯電話回線の通信速度を測定し技術の適用効果の確認を行うとともに、モバイル空間統計情報に基づく人口分布との相関関係を確認する。評価のために収集したデータは、6.4 (2) の通信速度情報の評価にて記載の通りである。

6.4 (2) の通信速度情報の評価では、走行距離をベースに通信速度をまとめた図 6-20 から読み取った通信環境が悪化するポイントとして、図 6-19 における A 地点～E 地点を抽出している。一方で、同じく 6.4 (2) における映像の乱れや再生停止の頻度の評価では、映像圧縮技術が無効の場合の事象発生位置が図 6-19 における A 地点～E 地点と一致していること、さらに完全に解消できてはいないものの、映像圧縮技術が有効の場合において同地点で発生していた長時間の乱れや再生停止が大幅に抑制できていることが確認されている。これらから、自動運転バスの経路上で測定した携帯電話回線の通信速度は映像品質との関連性があること、また携帯電話回線の通信環境が悪化する地点において、技術の適用効果が見られることが確認できた。

また、携帯電話回線の通信速度と人口分布との関係については、モバイル空間統計におけるリアルタイムの人口マップ²⁶を参照した。これは、1 時間前の人口分布を 500m メッシュで web 公開しているもので、6.4 (2) の通信速度情報の評価を実施した日時における人口マップを記録し、通信速度情報との比較確認を行った（人口マップの図は著作権上の理由で非掲載）。比較の結果として、図 6-19 における A 地点～E 地点は、2 便以降でいずれも人口マップにおいて周囲と比べて相対的に人口密度が高いエリアに含まれていることがわかり、特に B・E 地点の周辺については昼の時間帯に近づくにつれ人口密度が高いエリアが拡大しており、通信速度（通信環境の悪化する地点）と人口分布との関連性が確認できた。

5) 本技術の有効・無効それぞれで受信側の映像品質（解像度、フレームレート、ビットレート、遅延時間、カクツキの有無等）を測定し、本技術の適用効果を確認できること。

この評価では映像圧縮技術の有効、無効それぞれにおいて実際の映像ビットレート値を取得し、事前に計測した通信速度情報と対比させて、技術の適用効果を確認する。評価のために収集したデータについては、6.4 (2) の帯域情報、通信速度情報に記載の通りである。

まず、帯域情報から、全便を通した実際の映像ビットレートの平均値は、映像圧縮技術が無効の場合は 5.19Mbps、映像圧縮技術が有効の場合は 0.44Mbps であることが確認されている。次に、図 6-20 に示す通信速度の測定結果において、各グラフの値が全便を通した実際の映像ビットレートの平均値を割り込む回数と、割り込んだ状態の継続時間を算出したものを表 6-23 に示す。映像圧縮技術が有効の場合は、無効の場合に比べて実際の映像ビットレートの平均値を割り込む回数は割り込む回数は約 4.1%、継続時間は 0.3% まで減少することが確認できた。

これらの結果から、映像圧縮技術が有効の場合はその期待効果通り、無効の場合に比べて実際の映像ビットレート値が 1/10 以下、かつ通信速度の測定結果を割り込まない値に抑えられてい

²⁶ 株式会社ドコモ・インサイトマーケティング、「モバイル空間統計 人口マップ」,
<https://mobakumap.jp/#36.510436,140.624415,16z>

る点から、本技術の適用効果が表れている点を確認することができたと考える。

表 6-23 通信速度の測定結果が映像ビットレートの平均値を割り込む回数と継続時間

便数	映像圧縮技術が無効		映像圧縮技術が有効	
	割り込む回数[回]	継続時間[s]	割り込む回数[回]	継続時間[s]
1 便	32	590	0	0
2 便	43	213	0	0
3 便	48	194	6	2
4 便	40	150	0	0
5 便	34	176	2	2
全便通し	39.4	590	1.6	2

6) モニタリングの監視員に対してインタビュー等により本システムの有効性を確認できること。

a. インタビューの実施

システムの有効性確認を目的に実施したインタビューの流れを図 6-30 に示す。流れとしては、まず図 4-15 の前提イメージを含めた本実証におけるモニタリングの位置づけを説明し、次に実際に走行する自動運転バスからの監視映像を閲覧して映像の品質やアラートの発出状況を確認してもらうようにした。さらに映像の確認後に、図 6-31 に示す社会実装に向けたモニタリングの発展に関する仮説を説明し、図中の Step3 に足る機能や性能である場合に図 4-16 の区分において3ポイントの評価とするように案内したうえでインタビュー（アンケート）を実施した。

本検証では、社会実装に向けたモニタリングが3段階に分けて発展していくものと仮説を置いた。まず1段階目となる Step1 では、1人の監視員が1台の自動運転バスをモニタリングしながら、必要に応じて車内アナウンスや駆け付け対応の手配を行うことを想定している。この段階では、監視員は1台の自動運転バスの画面を注視することになる。次の2段階目となる Step2 では、1人の監視員が複数台の自動運転バスを並行して監視することを想定している。遠隔員は、複数台の画面を同時に確認しつつ注目すべき状況が発生した場合には、自ら対象となる車両を選択する必要がある。そして、3段階目となる Step3 では、複数台の自動運転バスを並行して監視する複数人の監視員がチームで対応することを想定している。各監視員の監視方法は Step2 と大きく変わらないが、リーダーが各監視員の稼働状態を確認しながら、注目すべき状況が発生した場合の担当者をアサインすることにより、チームでの対応が可能となる。

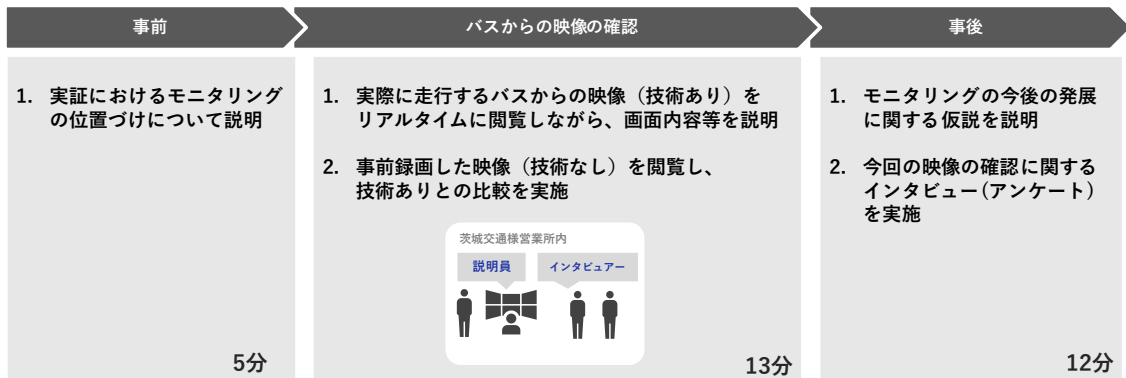


図 6-30 監視映像の確認とインタビューの流れ

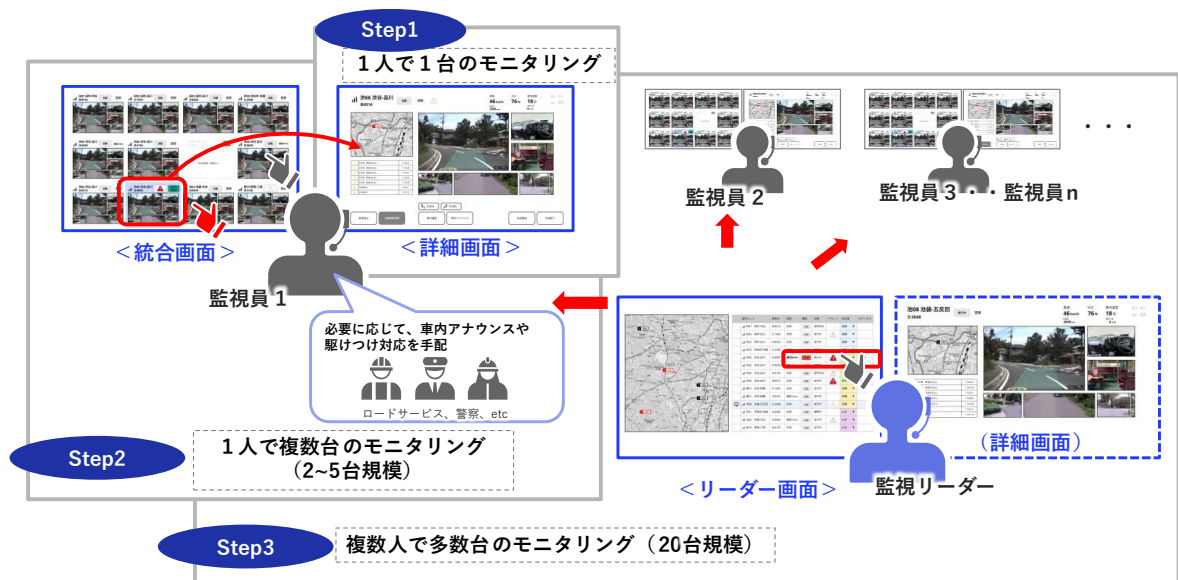


図 6-31 社会実装に向けたモニタリングの発展に関する仮説イメージ

b. インタビューの実施結果

インタビューは、2024年12月10日(火)から12日(木)までの3日間において、茨城交通株式会社（茨城交通）及び株式会社みちのりホールディングス（みちのりHD）から合計7名に参加者（インタビューイ）として対応いただき実施した。実施タイミングは自動運転バスの実証ダイヤに沿った形とし、表 6-24 のように各枠1名ずつ個別に行った。また茨城交通からの参加者の内訳は、特定自動運行主任者への選任予定者2名、運行管理者2名、特定自動運行主任者には選任しないが今後の実証におけるL2運行の乗務予定者1名である。

インタビューにおける全設問は8章に記載し、ここでは表 4-10 で定義した4段階の区分に基づく回答の集計結果を元に分析を行う。4段階の区分に基づく回答を行う設問は、映像配信に関するものが5問（設問3, 5, 7, 9, 11）、アラートに関するものが7問（設問17, 19, 21, 23, 25, 27, 29）あり、設問ごとに全ての回答のポイントを加算し人数（7名）で除したものを集計

結果として算出した。対象となる設問の集計結果をまとめたものを図 6-32 に示す。

集計結果より、設問 No.9 の「人や車などは安全判断に必要な画質が確保されていましたか？」という問いに対する回答が平均 2.29 ポイントとなり、高い評価を得られていることがわかる。必要なレベルを満たしている可能性が高いことが推測される結果となった。

しかしながら、設問 No.17 の「今回のシステムで必要な業務が実施できそうと感じましたか？」という問いに対しては、「監視の上で有効であり、最低限の機能や性能は満たされている」という 2 ポイントに該当する回答が多く、さらに「無効であり、もはや無い方が良い」という 0 ポイントの回答もあったことから、平均 1.71 ポイントとなり課題があることが推測される。低評価の回答に関連して、具体的には「システムを監視するにあたって必要な機能がない」、「有事の際に特定自動運行主任者が適切な対応ができるかが大切であり、特にアラートについては、アラート条件・頻度の問題もあるが、そもそも危険表示を見て監視員がどうすれば良いのか/どうして欲しいのかが分からない」といった意見があった。本検証におけるアラートに関する設問には、自動運転バス使い方に対する解釈により低評価となる面があったと言える。具体的には、遠隔からの常時監視により安全を確保するのではなく、有事の際に特定自動運行主任者が適切な対応ができるかが重要との見解に基づくものであると考えられ、社会実装に向けて監視員と遠隔監視システムとの役割分担、及びシステムに求められる支援・補助機能の要件について、より具体的な定義が重要であると考えられる。

表 6-24 インタビュー実施タイミングと参加者

	12月10日	12月11日	12月12日
2 便 (9:20-9:50)	茨城交通-①	茨城交通-④	
3 便 (10:10-10:40)	茨城交通-②		みちのり HD-①
4 便 (10:50-11:20)		茨城交通-⑤	
5 便 (13:30-14:00)	茨城交通-③		みちのり HD-②

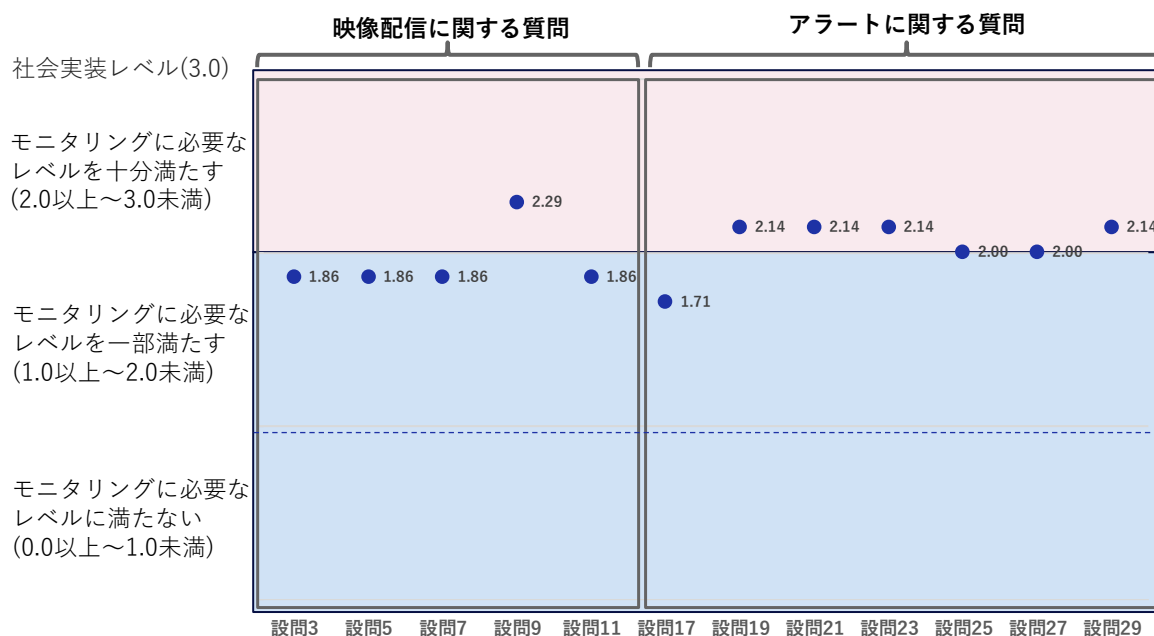


図 6-32 インタビュー回答の集計結果

(4) 考察

日立市の自動運転バス社会実装に向けたロードマップにおいて、2025 年度からの監視員の導入、さらには専用道から順次、運転手と保安員ともに乗車しない運行への移行し、2026 年度からは1対Nの体制を構築していくことを目指している点に着目し、車両から鮮明な映像を常時かつ即時配信する環境の整備、監視員の負担を軽減する仕組みの導入が必要と考えた。そこで、携帯電話回線の通信品質に応じて動的に映像圧縮を制御する技術とアラート通知技術を組み込んだ遠隔監視システムの実験環境を構築し、モニタリングの継続性とモニタリングの補助に対するアラート通知の有効性を確認した。

ユースケース4については、まず自動運転バスの走行経路上で携帯電話回線の通信品質を測定し、通信帯域が低下する区間を確認した。次に、技術を適用しない場合に携帯電話回線の通信品質が悪化する区間で長時間の乱れや再生停止が発生することがわかった。さらに、通信速度の低下をリアルタイムに予測し事前に圧縮率を上げる技術や、業務に必要な領域の視認性を維持しつつ非注視領域の圧縮率を上げる技術を適用することで乱れや再生停止を大幅に軽減できることを確かめた。

アラート通知技術については、意図した事象に対してマーカ表示やアラート発出が行われるかを検証し、またインタビューにより将来の1対N体制に向けた補助機能として有効であるかを検証した。まず、マーカ表示については95%を超える精度で検出できていることが確認でき、またアラート発出漏れは、発出条件のパラメータチューニングが必要であるという課題が見えたものの、調整により目標値を十分達成可能な結果が得られることがわかった。次に、インタビューによる検証から、マーカ表示の分かりやすさや、マーカ等により負荷軽減に繋がると感じられるかを確認する設問に対して肯定的な回答が得られた一方で、低評価となる回答もあった。具

体的には、交通事故等の発生の際に適切な対応ができるかが重要、との見解に基づくものであると考えられる。社会実装に向けて監視員と遠隔監視システムとの役割分担、及びシステムに求められる支援・補助機能の要件について、より具体的な定義が重要であると考えられる。

6.5 高度な安全配慮が必要な踏切道や緊急車両行き違い等ボトルネックケースにおける他者とのシステム連携による安全性向上

本ユースケースは実施していない

6.6 経済性・実装性向上のための路側インフラ技術の標準化・量産化・共通化の実証

本ユースケースは実施していない

6.7 レベル 4 の社会実装に向けた検討

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

a. 遠隔監視システムのインターフェースに関する評価

6.4 (3) 6) にて結果を記載したインタビューの中で、遠隔監視システムのインターフェースに関する評価を実施した。インタビューの項目から、監視員とのインターフェースに関わる設問、及びその回答結果を抽出したものを表 6-25 に示す。

映像の画質や視認性に関わる設問である No9 の結果から必要な画質が確保できていることが確認できている。また、設問 No13 の画面サイズの確認では、今回のディスプレイサイズが適当であるという回答が過半数であるものの、2 名からは、より大きいサイズを望む回答が得られた。一方で、今回のディスプレイサイズが適当であると回答した参加者からは、「大きすぎても見づらくなってしまう。」というコメントもあったため、個々人により最適と感じるサイズが異なる可能性が示唆される。

アラート通知におけるマーカー表示の分かりやすさに関する設問 No29 の結果からは、ポジティブな回答が大半を占める一方で、1 名からはマーカー表示の判別がつかなかったという回答もあった。マーカーのサイズや表示方法、種別による表現の分け方等は、ユーザの声を広く取り入れ改善を続けていくことが必要であると考えられる。

表 6-25 監視員とのインターフェースに関わる設問と回答結果

No	設問	選択肢	回答数
9	人や車などは安全判断に必要な画質が確保されていたか？	人や車の画質は十分で、画像全域に全く違和感は無かった。	2
		人や車の画質は問題無かった。	5
		人や車は判別できるが、見づらさを感じた。	0
		映像から人や車が判別できなかった。	0
13	監視しやすい画面サイズ(ディスプレイサイズ)はどの程度だと感じましたか？	今回より小さい方が良い。	0
		今回の大きさが適当。	5
		今回より大きい方が良い。	2
29	マーカーの表示は分かり易かったですか？	全く違和感は無かった。	2
		戸惑うことなくマーカー表示の判別ができた。	4
		マーカー表示の判別に時間がかかることがあった。	0
		マーカー表示の判別がつかなかった。	1

b. 路側 HMI(スピーカー)の効果に関する評価

6.2 (3) 6) にて結果を記載した音声アナウンスに関する効果確認により、インターフェースが意図通りの動作をしているかの確認と、周囲の歩行者に対して意図した効果を得られているかの確認を実施した。

まず、意図通りの動作をしているかについては、現場の交差点で実際に音声アナウンスが聞こえたかどうかを確認し全 26 便で明瞭な音声が届けられていたことがわかった。また発音のタイミングについては、図 4-7 にて定義したフローに沿って発音されているかを確認し 94%の割合で意図通りのタイミングで発音できていることが確認された。

次に、周囲の歩行者に対して意図した効果を得られているかについては、まず音声アナウンス発音時に約 8 割のケースで歩行者が何かしらの反応を示すことが確認できた。その反応の内容は、約 6 割が『自動運転バスを見た』という結果であり、歩行者の注意を引くという路側 HMI のインターフェースとしての期待効果が得られていると考えられる。さらに、3 割強の場合に『歩調が変わった』、『立ち止まった』といった歩行者の行動を引き出すことができていたこともわかった。

2) 考察

a. 遠隔監視システムのインターフェースに関する評価

遠隔監視システムのインターフェースに関連する設問の回答結果から、ポジティブな回答が過半数を超えていたものの、社会実装に向けて検討や改善が必要な 2 つのポイントが見えてきた。

1 つ目は画面や映像のサイズであり、2 つ目はアラートの提示方法である。

画面や映像のサイズについては、もっと大きい方が良いという意見と、大きすぎても見づらい

という方向性の異なる意見が出てきており、個人ごとに見やすいと感じるサイズが異なることが推察される。本実証では表示する映像のサイズを固定としていたが、このニーズに対して、監視員の好みによりサイズを変更する機能、あるいは映像の内容により見やすい映像のサイズに自動調整できるような機能を持ったインターフェースが有効である可能性が考えられる。

アラート通知やマーカーについて、本実証では歩行者・自動車・自転車の検知結果に応じて提示しており、その判別の容易性を評価した。しかしながら、実際の業務においては、注意すべき対象の種別を判別することよりも、映像のどこをなぜ確認すべきなのかを容易に把握できることが重要と推測される。また、監視員によりアラート通知で支援してほしいポイントが異なることも想定されるため、映像の目視にあたって着目する事象や注意するシーンに応じた通知ができること、さらには監視員がリクエストした事象に対して通知できるようなインターフェースが望ましいと考える。

b. 路側 HMI(スピーカー)の効果に関する評価

本実証における評価結果より、路側のスピーカーから伝える音声アナウンスにより歩行者の注意を引くことができ、さらに反応を示した歩行者の3割強からは『歩調が変わった』、『立ち止まった』といった歩行者の行動を引き出すこともできていることがわかった。反応を示した歩行者の位置は、歩道にいる場合が全体の8割を占めており、残りの2割が横断歩道を移動中であることがわかった。本実証では、音声アナウンスにより横断歩道を移動中の歩行者を立ち止まらせてしまうような問題は発生していないが、歩行者の行動を阻害しないメッセージとすることが重要であると言える。

(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など、地域交通の持続性への寄与度

1) 実施結果

本実証では、乗務員無し運行の実現や1:N体制の実現に繋がると考える、モニタリング業務の負荷軽減や効率化の効果を確認した。6.4 (3) 6) にて結果を記載したインタビューの中で、モニタリング業務の負荷軽減や効率化に関わる設問、及びその回答結果を抽出したものを表6-25に示す。

まず、モニタリングを継続可能な時間を確認した設問 No15 の回答は、30 分以内から1 時間以上まで分散する結果となり、モニタリングの負荷は個人により感じ方に幅がある可能性が考えられる。次に、アラート通知がモニタリング業務の負荷軽減に繋がる可能性があるかを確認した設問 No32 と No34 の結果を合わせて見ると、一定の負荷軽減効果を感じたという回答は11 となるが、一方で軽減効果を感じられなかったという回答も3あるという結果となった。具体的には、「マーカーが出れば人や車がいるのだろうということがわかるが、人や車がいるのは当たり前状況なので、本当に危険な状況に絞り表示させることが必要。」というコメントがあった。

表 6-26 モニタリング業務の負荷軽減や効率化に関わる設問と回答結果

No	設問	選択肢	回答数
15	このシステムで何時間監視継続できそうと感じましたか？	1 時間以上	2
		1 時間以内	4
		30 分以内	1
32	マーカーによる負荷軽減を感じる事ができましたか？	とても軽減した。	3
		やや軽減した。	3
		軽減せず無い方がいい。	1
34	AI の進化により、負荷、コストが軽減される可能性を感じましたか？	とても感じた。	4
		やや感じた。	1
		感じなかった。	2

2) 考察

モニタリングの継続可能な時間に関する確認結果は分散していたものの、最多の回答を得ていたのが 1 時間以内であり、「また画像を集中してみるには 1 時間ほどだと思う。」といったコメントがあったことから、現状の仕組みでは約 1 時間ごとに監視員が交替し休憩を取るような運用が必要になってくると考えられる。

マーカーの提示やアラート通知による負荷軽減効果については、一定の効果を感じられたという回答が約 8 割あったが、効果を感じられなかった 2 割の参加者からは、交通参加者に対する単なるマーカー表示や、その検出位置によるアラート通知だけだと不十分と捉えられていると推測される。それを解消するには、映像の目視にあたって着目する事象や注意するシーンに応じた通知ができることが望ましいと考える。

(3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策

検証する通信システムにおいて、データの処理・管理に関するガイドラインが未整備のため、自社のサイバーセキュリティ対策ガイドラインに準拠し、不正アクセスによるデータ漏洩や通信システム障害等のリスクを低減させるため表 6-27 に示す対策を行った。結果として、実証期間中に不正アクセスを理由としたシステム障害やデータ漏洩は発生しなかった。

表 6-27 セキュリティ対策の例

代表的な対策例	概要
ユーザ認証	第三者にアクセスできないよう各機能にアクセス可能なユーザを必要最小限にし、また多要素認証を導入した。
アクセス制御	ユーザごとに必要な操作ポリシーを設定し、同じ機能内でも操作権限を可変することで悪意のある操作や操作誤りを未然防止した。
暗号化	インフラ／車両等で撮影した映像等の個人情報を含む機密データにおいては、保管時にすべて暗号化により保護した。

ログ管理	不正アクセス・障害等の発生時に備え、アクセス証跡等のセキュリティに関する事象についてはログを記録し、一定期間保存した。
要塞化	盗聴を防止するため、リモート接続には SSH プロトコルのみを使用する等、不要なサービス・プロトコル等は停止した。
脆弱性対策	脆弱性診断ツールを使用し、リスクのある個所においては対策を導入した。

(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

本実証における通信システムに対し、継続的に運用できるよう表 6-28 のような技術的な対策を導入するとともに、リモートからシステムが問題なく稼働していることの確認、及び不具合発生時の保守対応が実施可能な環境を構築し運用した。その結果、実証期間中の全便数に対し、通信システムが問題無く稼働していた便数の割合は 94%を超え、また通信システムの不具合対応のために駆け付けが必要になる事象は無く全てリモートから対処することができた。

表 6-28 システムの安定運用のための対策例

代表的な対策例	概要
信頼性	通信機能や画像処理機能等のアセットを分離することで単一障害を防ぎ、縮退運転ができるよう設計した。
可用性	画像処理等のインプットデータによって処理量が可変する機能については、負荷分散処理でシステムの安定性を担保した。
耐久性	システムの動作ログ等は定期的にクラウドサービス等に退避させ、監視することで路側機器のハードウェア故障時の原因特定や追跡を容易にした。

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（ユースケース 2）

1) 実施結果

本実証では、対象のユースケースにおいて路側インフラの情報を自動運転バスの車両制御に連携していない。そこで本パートでは今回の走行で実際に発生した手動介入に着目し、本システムにて対処可能であったかを考察する。

まず、本実証の運行全体に対する自動走行の割合を確認した。総走行距離 230.1km に対して、自動走行の距離が 216.0km で手動走行の距離が 14.1km という結果となったため、自動走行の割合は 93.9%であった。距離を軸に見ると高い割合で自動走行を実施できていたことがわかるが、一方で期間中には全部で 246 回の手動介入が発生していた。本項では、走行経路全体の中で

手動介入が発生した理由と発生場所を整理した表 6-29 より、本システム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を考察する。

表 6-29 手動介入が発生した場所と理由の関係

発生場所 手動介入理由	BRT 内	県道 288 号線	古坊地通 り	吹上通り (復路)	BRT 入 口(帰路)	大甕工場 前交差点	大甕駅東 口ロータ リー	BRT 出 口(往路)	吹上通り x 古坊地 通り交差 点(往路)	国道 245 号 線	吹上通り (往路)	その他	合計	比率
BRT 接近表示機認識	63											1	64	26.02%
障害物(路駐車)回避		22	2	3			5				1	1	35	14.23%
横断歩道付近の歩行者/自転車	3	1	4		3	5		5	3			3	27	10.98%
[運用] 予防的手動介入 (周辺交通優先)	2	2	4	2	1		2	1		1	1	5	21	8.54%
障害物(工事)回避		1			3	7		2				1	14	5.69%
[運用] 予防的手動介入 (飛び出し検知)		1	7	3	1								12	4.88%
[運用] 予防的手動介入 (譲り合い/パッシング)					7			3					10	4.07%
対向車が自車経路へ干渉			3	4	1	1		1					10	4.07%
カットイン		1	1	1			1			1	1	2	8	3.25%
MRM	1						1		2			2	6	2.44%
[運用] 予防的手動介入(信号)						2			2			1	5	2.03%
その他	8	3	2	4		1	5	1		2		8	34	13.82%
合計	77	31	23	17	16	16	15	13	7	4	3	24	246	100%
比率	31.30%	12.60%	9.35%	6.91%	6.50%	6.50%	6.10%	5.28%	2.85%	1.63%	1.22%	9.76%	100%	

(表枠内数字：手動介入回数。空欄は手動介入が発生していないことを示す。)

2) 考察

表 6-29 のうち、本システムを運用した場所である「吹上通り x 古坊地通り交差点（往路）」列における合計 7 回の手動介入について、本システムに対処可能であったかを考察するため、それぞれの手動介入理由とシステム運用における処置について考察した。結果を表 6-30 に示す。

【A】 路側 HMI による処置については、6.2 (3) 6) により効果が見られており、実証期間中でも歩行者を起因とした手動介入は 2 回に留まった。この処置により、不必要な一時停止や保守的な判断による発進遅れを回避できると期待する。今回の検証より強い効果を引き出すためには、自動運転バスの挙動情報を通知するだけでなく、歩行者に行動の指示が出せることが必要になると考察する。社会実装においては道法令も考慮しながら通知内容や運用について検討が必要であろう。

【B】 伝達時間については 6.2 (3) 2)、カバーエリアについては 6.2 (3) 2)、通信品質については 6.2 (3) 5) で結果を考察した。本実証では周辺環境情報の配信であったが、同様の手法を用いて信号機が赤になるまでのサイクル情報を連携することで、対向車や横断方向者の進行の阻害や、衝突事故等の回避における安全面に寄与できると判断した。信号機の色情報についてはカメラセンサーから判断するが、サイクル情報を提供することにより交差点進入の判断ミス等を最小限に抑えることに効果的と考察する。

本システムが上記の考察通りに十分機能した場合、発生した 7 回の手動介入のうち、約 57% (4/7) の改善効果を期待できる。

表 6-30 システムを運用した交差点における手動介入理由と処置

日付	便	手動介入理由	システム運用における処置
12 月 10 日	1	横断歩道付近に歩行者が存在し、他交通参加者の挙動に対する保守的な判断により停止する判断をしたため、手動介入し走行を継続した。	【A】路側 HMI によるスピーカー通知により、他交通参加者の行動を変化させる
12 月 12 日	2	信号切り替わりタイミングで判断の遅れ等が発生し、他交通参加者の通行に影響を及ぼす可能性があるため、手動介入し走行を継続した。	今回のユースケースでは該当なし
12 月 12 日	2	MRM の発生により、手動介入し走行を継続した。	【B】L5G 通信を使用した信号機のサイクル情報の連携
12 月 12 日	3	他交通参加者を検知する車載センサが、実際に存在しない交通参加者を誤検知し停止する判断をしたため、手動介入し走行を継続した。	今回のユースケースでは該当なし
12 月 18 日	2	信号切り替わりタイミングで判断の遅れ等が発生し、他交通参加者の通行に影響を及ぼす可能性があるため、手動介入し走行を継続した。	【B】L5G 通信を使用した信号機のサイクル情報の連携

12月19日	1	横断歩道付近に歩行者が存在し、他交通参加者の挙動に対する保守的な判断により停止する判断をしたため、手動介入し走行を継続した。	【A】路側 HMI によるスピーカー通知により、他交通参加者の行動を変化させる
12月19日	2	MRM の発生により、手動介入し走行を継続した。	今回のユースケースでは該当なし

(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(ユースケース 2)

1) 実施結果

本システムを運用した交差点は、道路状況に応じて安全かつ円滑に走行するため、予め走行パターン（図 4-2）を組み立てた上で検証を行っている。この走行パターン通りに運行できていなかった便を改善することが、他交通参加者（対向車・横断歩行者）を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上に寄与すると考え、本システムで対処可能であったかを考察する。結果と考察については次の表 6-31 にてまとめて記載する。

2) 考察

走行パターン通りに運行できていなかった便については、3 件が該当した。（本実証において手動介入で回避したケースについては、6.7.2（2）と重複するため対象外とする）

【C】 インフラによる他交通参加者の認識の補完については 6.2（3）7）で結果を考察した。本ケースを活用することによって対向車線の進入判断に活用できると判断した。これにより対向車や横断方向者の進行の阻害や、衝突事故等の回避における安全面に寄与できると考える。一方で、今回の交差点より遠方に敷設することで十分に効果が期待できると考察する。横断歩道前での停止時間を考慮し何秒後までの情報が必要かを検討した上で敷設場所は決定すべきであろう。

前述した【A】【B】【C】の処置により、安全性・円滑性においては以下の 3 つが回避できたと考えられる。

- （1） 緊急停止による乗客の転倒等の回避
- （2） 不必要な一時停止による対向車・横断歩行者の通行の阻害
- （3） 保守的な判断による発信遅れによる後続車に対する通行の阻害

表 6-31 走行パターン通りでなかった便の状況と処置

日付	便	状況	システム運用における処置
12月10日	5	横断歩道付近に歩行者が存在し、他交通参加者の挙動に対する保守的な判断により、不必要な一時停止が発生した。	今回のユースケースでは該当なし
12月11日	1	交差点進入タイミングが早く、横断歩道手前で停車することにより、対向車の走行を阻害した。	【C】対向車線の遠方の車両を検知し、車両へ情報連携することにより対向車線に進入するか判断に使用する。
12月17日	1	交差点進入タイミングが早く、横断歩道手前で停車することにより、対向車の走行を阻害した。	【C】対向車線の遠方の車両を検知し、車両へ情報連携することにより対向車線に進入するか判断に使用する。

(3) 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

a. 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方

自動運転サービスを全国に広く横展開するにあたっては、自動運転車両や自動運転インフラの導入コスト（以下、「初期コスト」）に加え、維持管理・運用コスト（以下、「ランニングコスト」）を賄うことができる持続可能なビジネスモデルの確立が重要となる。

初期コスト負担については、特に立ち上げ時に言えるが車両、路側インフラ等の設備コストが高額になることから、初期コストを含めた独立的な整備運営では事業の採算性が課題となるため、自動運転技術の実用化による交通公共サービスという観点からも、これらの導入整備に際しては社会資本として国からの戦略的な財政支援が不可欠である。そのうえで、ランニングコスト負担については、地域交通を運営する自治体や民間事業者が一体となり、最終的には自動運転レベル4を実装した運用性の高い自走できるモデルを構築することが重要であるが、それらを実現する上での課題及び方策は次項で述べる。

また、これらのコスト負担の在り方については、民間の資金やノウハウを活用しつつも、効率的かつ効果的な公共サービスの提供を実現する官民連携による事業スキームの活用がひとつの手段となるものと思料する。

b. コスト低減方策

自動運転のコスト低減方策を検討するために、まず図 6-33 に示すようにコスト低減における

解決策の方向性と打ち手を整理した。自動運転のコスト削減は導入コストと運用コストの削減に分解し、それぞれのコスト構造を細分化することで、これらのコスト削減を実現するための打ち手として、運用効率化によるコスト低減方策の観点で以下6つの方策を洗い出した。

- ① 地域ごとの導入台数の増加
- ② 導入車種の絞り込み
- ③ 先読み情報を活用した運行の効率化・省人化
- ④ 1対Nの効率的な運用の確立
- ⑤ モニタリング(車内外)
- ⑥ インフラ等による補助

これらの打ち手より、社会実装におけるコスト低減方策として、乗務員無型の自動運転レベル4の実現及び現場駆け付けなどの人の介入を抑制した効率的な運用、また一定規模での集中的かつ物理的に近い場所での集約的な運用を行うとともに、車種を絞り込んだうえで一定規模の車両を導入し、1対Nで遠隔から効率的に管理できる運用体制（集約的な運用モデル）の構築による導入コスト・運用コストの削減、及びインフラ等の補助を活用した車載センサの単価や数量の緩和・演算コスト減による車両コストの削減が重要であると考えられる。

また、コスト低減のみならず事業の収益性向上の観点においても、面的に路側インフラが整備され道路交通の有用なデータが得られると、自動運転サービスを主軸にしつつも、自動運転サービス以外の様々な事業領域へ利活用されることで収益が拡大し、より持続的に自走されるモデルになると考える。具体的には、路側センサから得たデータにて設置場所周辺の渋滞などの交通状況把握や交通事故抑止などの交通領域での活用、また、地域の見守りや防犯、観光などのまちづくり領域への活用により、地域の安全・安心なまちづくりへの寄与、地域経済活性化が期待できるとともに、目的毎にデバイスを設置することなく、ひとつの路側インフラを複数の事業者でシェアリングすることによって設備コストの削減効果も期待できる。

以上により、運用効率化による自動運転のコスト低減の実現及び新たな収益の獲得によって持続可能なビジネスモデルを実現することができると思料する。

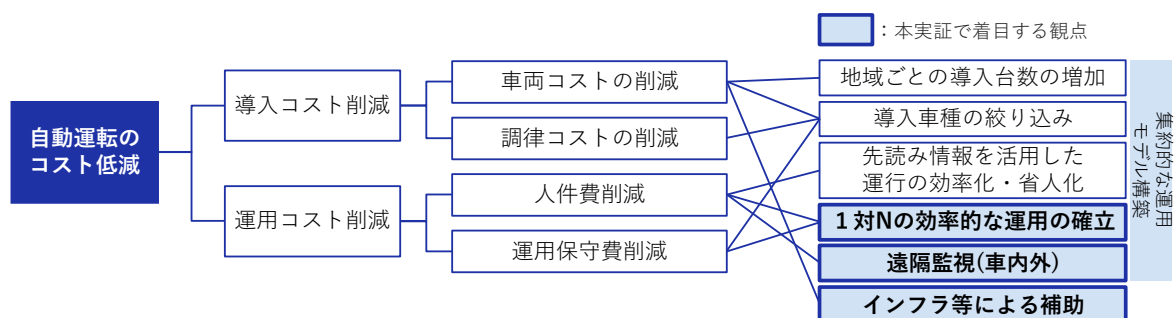


図 6-33 コスト低減に対する解決策の方向性と打ち手

2) 考察

コスト負担の在り方について、初期コストでは事業の採算性や自動運転技術の実用化による公

公共交通サービスという側面から、国からの戦略的な財政支援が必要である点に加え、ランニングコストでは運用性の高い自走できるモデルの構築の必要性から、6.7.2 (3) 1) bにて運用効率化の観点による打ち手を示し、さらにはデータ利活用、インフラシェアリングによる新たな収益の獲得及び設備コスト削減による持続可能なビジネスモデルの実現性について述べた。

自動運転を取り入れた公共交通サービスには以下の事業特性があると想定され、その実現手段は、図 6-34 に示す官民連携の PPP (Public Private Partnership) / PFI (Private Finance Initiative) による事業スキームを活用することが一案であると思料する。

- 国策に則る公共性・公益性の高い重要インフラ
- 長期間での事業の継続性確保
- 大規模投資に適したファイナンス
- 技術革新・民間活力の最大活用

しかしながら、各スキームによっても委託範囲や契約形態などの特徴が異なるため、これらの手法に限らず、地域の特徴や規模に応じて公共機関、運行事業者、インフラ事業者それぞれの視点から事業モデルを検討する必要がある。

コスト低減方策については、自動運転のコストを導入コストと運用コストに分解して解決策の方法を整理し、5つの打ち手から集約的な運用モデルの構築が必要である点を導出した。車両コストとインフラコストは相関関係にあるが、集約的な運用モデルを構築したうえで、インフラからの時間的・空間的な先読み情報等の提供も活用しながら MRM や ODD 外の発生頻度、手動介入の頻度を低減することにより運行効率を向上させていくことが更なるコスト低減につながると考えられる。

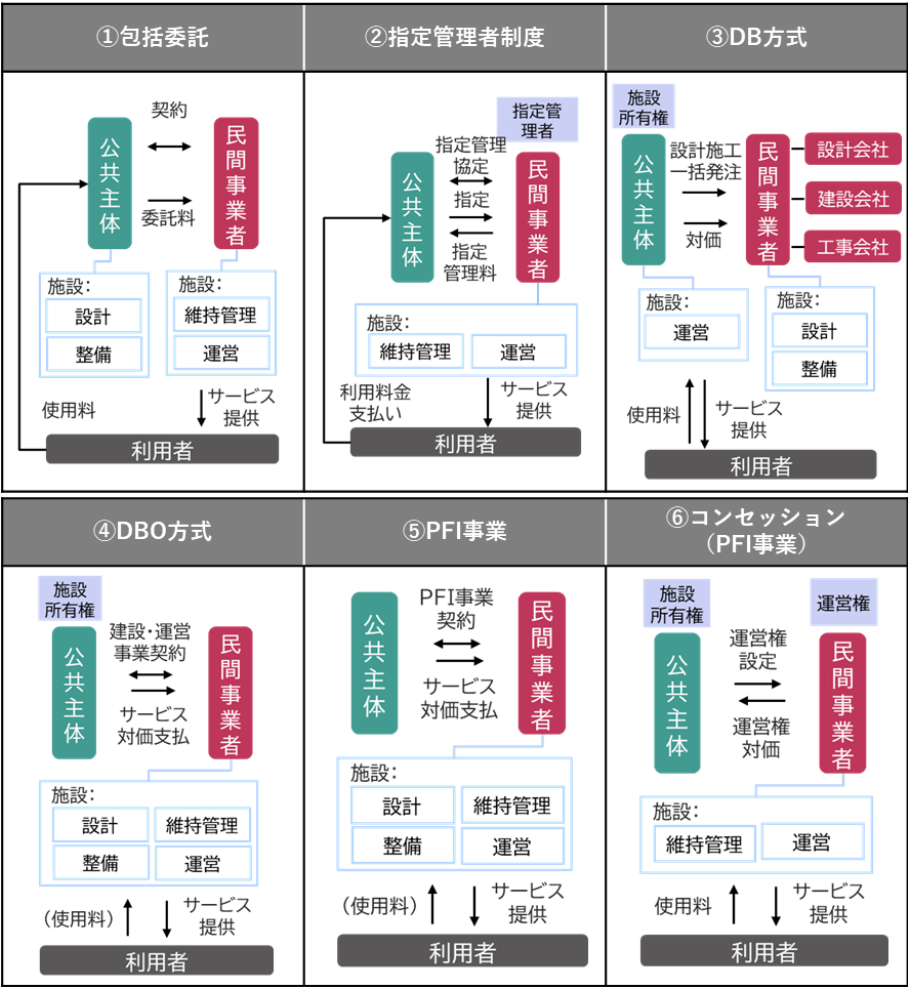


図 6-34 官民連携スキーム案

7. 本実証の総括

7.1 本実証の成果・課題

(1) 社会実装に向けた課題と本実証の位置づけ

地域交通の持続的な運用に寄与する自動運転バスの社会実装に向けた課題として、自動運転のコスト低減、安全性・円滑性、社会受容性の3点が挙げられると考える。これらの3点の課題を起点に課題解決の方向性と、解決のための打ち手を整理したものを図 7-1 に示す。

まず、自動運転のコスト低減については、解決策の方向性は導入コスト削減と運用コスト削減に分解される。次に、自動運転の安全性・円滑性、社会需要性については互いに共通した方向性があり、安全性・円滑性に関わるのは混在空間での円滑な運行と車内外の事故抑止で、社会需要性はこれらに加え認知度の向上も関連している。それらから導き出される打ち手は、全部で11種類を挙げることができ、社会実装に向けて様々な取り組みが必要であることを示していると言える。さらに、これらの打ち手がどのような位置付けに分類されるかを図 7-2 にて整理する。打ち手には大きく2つの分類があり、1つは自動運転バスの走行にあたっての補助・支援に関する分類で、もう1つは集約的な運用モデルの構築に関する分類であり、図 7-1 の打ち手をマッピングしている。

一方で本実証においては、日立市の自動運転バス社会実装に向けたロードマップにて1対Nのモニタリング体制のもと一般道も含めたレベル4自動運転走行の実現を目指している点に着目している。さらに、本実証地域の道路周辺の環境として、大規模工場が隣接している点、歩道が狭く通勤ラッシュ時には車両や歩行者等多くの交通参加者が行き交う点に特徴がある。そこで全部で11種類を挙げた打ち手のうち、本実証では以下の4つの観点に着目した。

- ① インフラ等による補助
- ② 路側の表示板や音響装置による交通整理
- ③ モニタリング(車内外)
- ④ 1対Nの効率的な運用の確立

このうち、①と②は狭隘交差点における歩行者と自動運転バスの安全離隔の確保のユースケースに関わる観点であり、③と④はモニタリングの継続性向上のユースケースに関わる観点である。

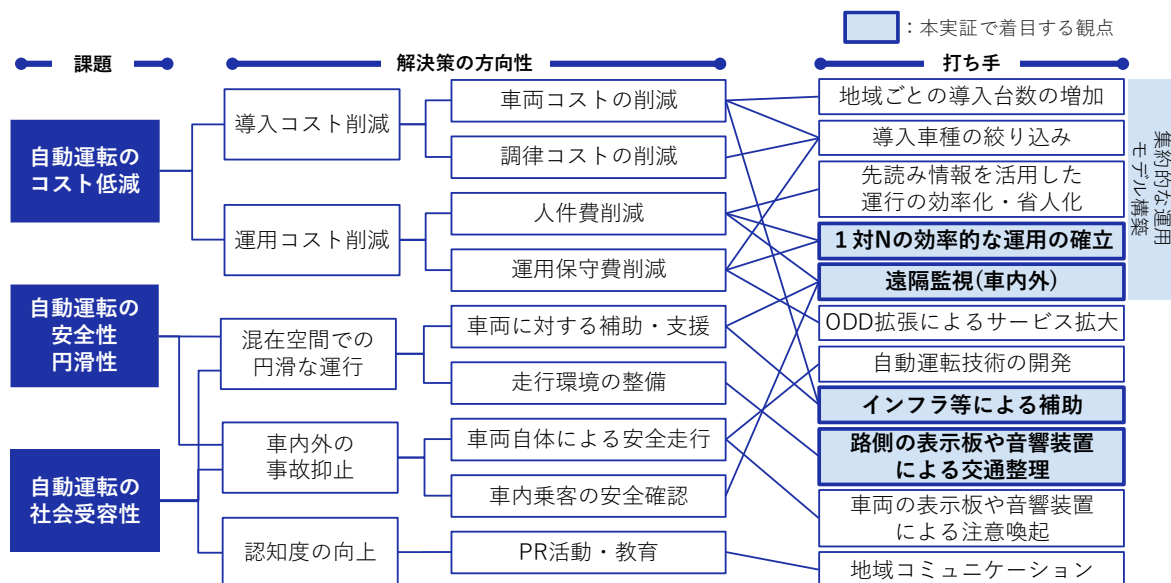


図 7-1 自動運転バスの社会実装に向けた課題整理

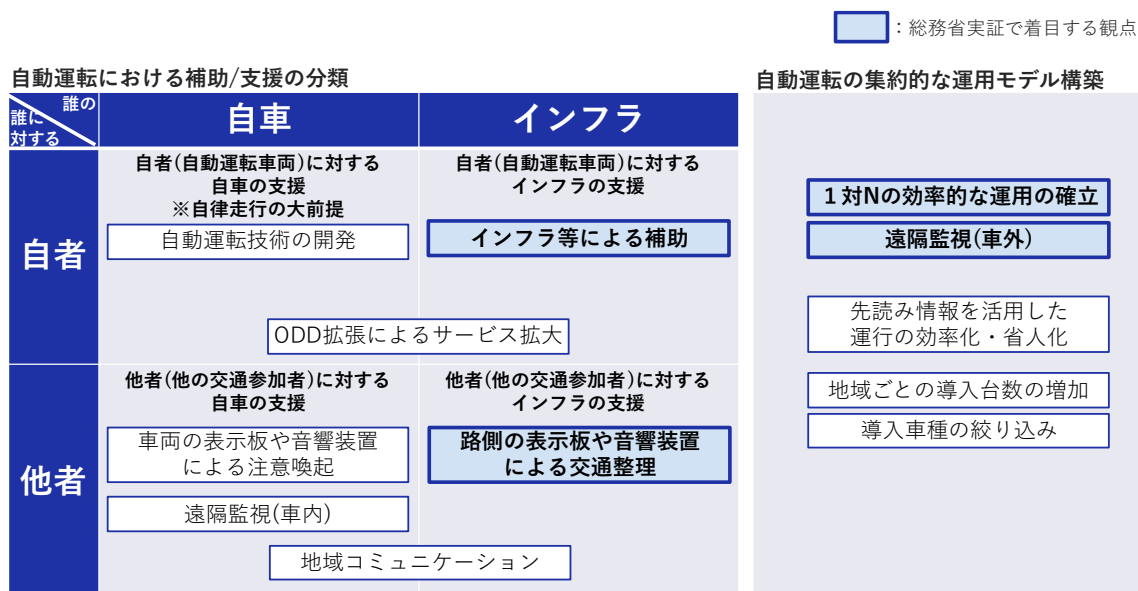


図 7-2 打ち手の位置づけ

(2) 本実証の成果

1) 狭隘交差点における歩行者と自動運転バスの安全離隔の確保

本実証では、社会実装に向けて、一般道区間の特に多くの交通参加者が行き交う交差点等の複雑な環境において自動運転バスが安全かつ円滑に通行できることが重要であり、特に、多くの車両や歩行者が通行する狭隘な交差点で自動運転バスと他の交通参加者との安全離隔を確保することが必要であると考えた。そこで、周囲の交通状況（交通参加者の数）の影響を受けず広帯域通信容量が確保可能なローカル 5G を活用して自動運転バス・MEC・路側センサ・路側 HMI 間を

接続する実験環境を構築し、路側インフラのカメラにより検知した歩行者や対向車の情報を自動運転バスに通知する機能、及び歩行者に対して注意喚起する機能の有効性を検証した。

自動運転バスに対する補助という観点では、路側インフラにおける歩道からはみ出した歩行者の検知精度や自動運転バスに配信した周辺環境情報の評価結果、及び手動介入に対する考察から円滑に通行するための補助として効果が見られることを確認した。

また、路側の表示板や音響装置による交通整理という観点では、自動運転バスの状態や動作状況に連動して路側インフラから発音する音声アナウンスに対して、伝達時間や交通参加者の行動の評価から、システムが意図通りに動作すること、音声アナウンスにより歩行者の反応や注意を引き出す、行動を促すといった期待効果を得られることを確認した。

2) モニタリングの継続性向上

日立市の自動運転バス社会実装に向けたロードマップにおいて、2025 年度からの監視員の導入、さらには専用道から順次、運転手と保安員ともに乗車しない運行への移行し、2026 年度からは1対Nのモニタリング体制を構築していくことを目指している点に着目し、車両から鮮明な映像を常時かつ即時配信する環境の整備、監視員の負担を軽減する仕組みの導入が必要と考えた。そこで、携帯電話回線の通信品質に応じて動的に映像圧縮を制御する技術とアラート通知技術を組み込んだ遠隔監視システムの実験環境を構築し、モニタリングの継続性とモニタリングの補助に対するアラート通知の有効性を検証した。

車外の映像のモニタリングという観点では、通信速度の低下をリアルタイムに予測し事前に圧縮率を上げる技術や、業務に必要な領域の視認性を維持しつつ非注視領域の圧縮率を上げる技術を適用することで、携帯電話回線の通信帯域が低下する区間においても映像の乱れや再生停止を大幅に軽減でき、モニタリングの継続性が向上できることを確認した。

1対Nの効率的な運用の確立の観点では、アラート通知技術に対し意図した事象に対してマーカ表示やアラート発出が行われるかを確認し、またインタビューによりマーカ表示の分かりやすさや、負荷軽減への効果に対して肯定的な回答が得られた。一方で低評価となる回答もあり、その要因は遠隔からの常時監視により安全を確保するのではなく、有事の際に特定自動運行主任者が適切な対応ができるかが重要、との見解に基づくものであると考えられる。そのため、今後は社会実装に向けて、監視員と遠隔監視システムとの役割分担、及びシステムに求められる支援・補助機能の要件について、より具体的な定義が重要であると考えられる。

(3) 今後の課題

今回は一部の交差点に絞り検証を行ったが、社会実装においては走行ルートすべての場所における課題を解決していく必要がある。6章では手動介入が発生した箇所を示した表 6-29 のうち実証場所を中心に考察を進めたが、本パートでは「発生場所」列のうち、「手動介入理由」が最も多かった箇所（赤文字下線）について主な課題・原因・解決策を考察する。（国道 245 号線・吹上通り（往路）については発生数が他地点と比べ少ないため対象外とする）

上記考察結果は表 7-1 の通りである。また、各番号との位置関係を示した地図情報を図 7-3

に示す。「解決策」列においては複数の解決策の候補があるものは優先度をつけて記載しており、図 4-3 のどの範囲の対策となるかを隅付き括弧書きで明記している。

仮に表 7-1 に示した解決策がすべて機能した場合、今回の走行で 246 回あった手動介入は 125 回となり、約 50.8% の手動介入を回避することが可能となる。ただし、インフラ単独での解決策はすべての箇所に対処することは非現実的であり、第 2、第 3 候補である他の処置も考慮しながら実装難易度に合わせて適切に選択していく必要がある。また、特に自車とインフラとの組み合わせとなる解決策（自車×インフラ）については、車両とインフラの間で責任分界点を定めていく必要がある。

これらに対し、本実証にて有効性が確認できたことを活かして、音声アナウンスや表示板等の路側 HMI によるインフラから他交通参加者への注意喚起、またモニタリングに加えて遠隔から走行ルート変更の助言といった解決策を適用していくことで、本実証の走行ルートにおける実運用に近づけられると考える。



図 7-3 手動介入発生場所の地図情報(発生回数が多い順番に番号付与)

表 7-1 走行試験を通した走行課題と今後に想定される解決策

#	発生数	場所	走行課題	原因	想定される解決策
1	63	BRT 接近表示機 (2か所)	BRT 接近表示機の認識ができず立往生する。	場所が低く表示機がカメラの画角に収まっていないため。	① 規格を一意に定める ② 【自車×自車】 カメラを追加する ③ 【自車×インフラ】 表示機の情報を無線通信等を使用して配信する
				信号機認識を使用しているため検知しない。	① 規格を一意に定める ② 【自車×自車】 学習により改善する。 ③ 【自車×インフラ】 表示機を無線通信等を使用して配信する
2	22	県道 288 号線	昼過ぎ〜夕方になると路駐車が多く、手動介入がはいる。	路駐車両	① 【自車×自車】 路駐回避モードを追加する。※最新世代で対応。 ② 【自車×インフラ】 車両が接近する前に路駐車の有無を定点カメラで検知し、走行ルートを阻害する可能性がある場合は走行ルート変更等などの処置を行う。
3	7	BRT 出口 (帰路)	対向車線に車両が連続的に接近していると、保守的な判断により右折できない。	対向車が道を譲ってくれることもあるが、右折判断をしているうちに走行再開してしまうなど、対向車との意思疎通が難しいため。	① 【インフラ単独】 信号機をつける ② 【インフラ×他交通参加者】 路側表示版をつけ、状況をドライバーに伝える。 ※走行に指示をするのではなく、譲り合いの観点で
4	7	古坊地通り	駅方向から古坊地通りに入ってくる歩行者のベクトルから、歩行者が横断すると判断されたと想定して停止する。	駅方向から古坊地通りに入ってくる歩行者のベクトルから、歩行者が横断すると判断されるため。(実際に横断するケースは稀)	① 【自車×自車】 アルゴリズム改善？徐行しながらも立往生せずに通過できる仕組みづくり ② 【インフラ単独】 ガードレールを設置する
5	7	大甕工場前交差点	経路上に工事のロードコーンや機材があり手動介入で	経路上に工事のロードコーンや機材などの障害物があるため。	① 【自車×自車】 ここは路駐とは違い、工事の範囲等、回避パターンが多く、路駐回

			対応した。		避とは難易度が異なる認識。施工は流動的に発生するものではないので、運用で回避する。 ② 【自車（特定自動運行主任者経由）×インフラ】 データ連携基盤等を用いて、事前に工事情報を管理すし、走行ルートに影響しそうな工事情報があれば特定自動運行主任者に通知を行い、対処する。（突発発生の場合は退避／事前の場合は代車での運行等）
6	6	東口ロータリー内	駅の送迎車や乗り入れが多数発生しており、手動介入がはいる。	ロータリー内の停車車両。	① 【他交通参加者×インフラ】 ロータリー内にいる路駐車（ルール違反エリア）を検知し、通知を行う。 ② 【自車（特定自動運行主任者経由）×インフラ】 車両が接近する前に路駐車の有無を定点カメラで検知し、走行ルートを阻害する可能性がある場合は走行ルート変更等などの処置を行う。
7	5	BRT 出口（往路）	★歩行者／自転車 交差車両が途切れたタイミングで歩行者が接近しており、保守的に判断すると発進できない。 ★自動車 走行車線に車両が連続的に接近していると、保守的な判断により左折できず、歩行者を妨害してしまう。	歩行者との距離を保守的にとると、交差車両が途切れたタイミングに合わせて発進できないため。 横断歩道を跨いだ後で交差車両の接近を確認することから、交差車両が来ていると横断歩道を跨いだ一時停止の時間が長くなってしまったため。	① 【インフラ単独】 信号機をつける ② 【インフラ×他交通参加者】 路側表示版をつけ、状況をドライバー／歩行者に伝える。 ※走行に指示をするのではなく、譲り合いの観点で ① 【インフラ単独】 信号機をつける→単独では難しいのでは？ ② 【インフラ×他交通参加者】 路側表示版をつけ、状況をドライバー／歩行者に伝える。 ※走行に指示をするのではなく、譲り合いの観点で
8	4	吹上通り（復路）	対向車に反応して急ブレーキがかかる。	対向車のベクトルから自車線に干渉すると判定された。（速度が大きい場合に発生傾向）	① 【インフラ単独】 中央線にポールを設置する ② 【自車×自車】 急制動を起こさずに危険回避するアルゴリズム改善

8. 参考資料

8.1 監視員に対するインタビューの設問

モニタリング等におけるインタビューの設問を表 8-1～表 8-3 に示す。設問は実施タイミングの記録と映像確認に関する評価、マーカとアラートに関する評価の3観点で定義した。

表 8-1 実施タイミングの確認に関する設問

No	項目	内容	質問形式
1	監視タイミング	監視頂いた日付を教えてください。	1: 12/10(火) 2: 12/11(水) 3: 12/12(木)
2		監視頂いた号車を教えてください。	1: 2 便 9:20-9:50 2: 3 便 10:10-10:40 3: 4 便 10:50-11:20 4: 5 便 13:30-14:00

表 8-2 モニタリングの映像品質に関する設問

No	項目	内容	質問形式
3	カメラ映像 (数/画角)	車内で安全確認をする場合と比較してシステムで十分な情報が得られましたか？	3: 直接目視で確認するよりも広範囲が同時に見えた。 2: 十分な画角が得られている。 1: 最低限の画角が得られている。 0: カメラの数が不足している。
4			1と0回答の方 そのように感じたのはなぜですか？
5	映像(遅延)	車内で安全確認をする場合と比較して遅れなく判断ができましたか？	3: 直接目視で確認するよりも安全確認がやりやすかった。 2: 遅れを感じることは無かった。 1: 多少の遅れは感じたが、安全確認はできた。 0: 安全確認として成立しなかった。
6			1と0回答の方 そのように感じたのはなぜですか？
7	映像品質 (学習型)	画像の乱れによって安全確認できないことはありましたか？	3: 画像の乱れが全くなかった。 2: 画像の乱れはあったが、安全確認に支障は無かった。 1: 画像の乱れで安全確認しづらいと感じる場面があった。 0: 安全確認が全くできなかった。
8			1と0回答の方 具体的にどのようなシーンでしたか？
9		人や車などは安全判断に必要な画質が確保されていましたか？	3: 人や車の画質は十分で、画像全域に全く違和感は無かった。 2: 人や車の画質は問題無かった。 1: 人や車は判別できるが、見づらさを感じた。 0: 映像から人や車が判別できなかった。
10			1と0回答の方 具体的にどのようなシーンでしたか？
11	映像品質 (学習型)	判断に必要な部分の画質低下に違和感はありませんでしたか？	3: 画像全域に全く違和感は無かった。 2: 高画質の領域とのコントラストは問題無い画像だった。 1: 高画質の領域とのコントラストに違和感を感じた。 0: 高画質の領域とのコントラストが受け入れがたい画質だと感じた。
12			1と0回答の方 具体的にどのようなシーンで違和感がありましたか？
13	画面サイズ	監視しやすい画面サイズ(ディスプレイサイズ)はどの程度だと感じましたか？	今回より小/今回の大きさ/今回より大
14			そのように感じたのはなぜですか？
15	監視時間		30 分以内/1 時間以内/1 時間以上

16		このシステムで何時間監視継続できそうだと感じましたか？	そのように感じたのはなぜですか？
17	システム全般	今回のシステムで遠隔監視業務が実施できそうと感じましたか？	3：監視の上で有効であり、機能や性能は十分である。 2：監視の上で有効であり、最低限の機能や性能は満たされている。 1：監視の上で有効であり、一部の機能や性能は満たされている。 0：監視の上で無効であり、もはや無い方が良い。
18			1と0回答の方 そのように感じたのはなぜですか？

表 8-3 マーカーとアラートの通知に関する設問

No	項目	内容	質問形式
19	検知有効性	マーカー、アラートの機能仕様はいかがでしたか？	3：監視の上で有効であり、機能や性能は十分である。 2：監視の上で有効であり、最低限の性能は満たされている。 1：監視の上で有効であり、一部の性能は満たされている。 0：監視の上で無効であり、もはや無い方が良い。
20			1と0回答の方 そのように感じたのはなぜですか？
21		マーカー、アラートで検知精度、頻度はいかがでしたか？	3：適切であり性能は十分である。 2：やや適切であり、最低限の性能は満たされている。 1：やや適切であり、一部の性能は満たされている。 0：不適切なことが多く、もはや無い方が良い。
22			1と0回答の方 そのように感じたのはなぜですか？
23		この機能は複数台監視に有効でしょうか？	3：機能や性能は十分で、複数台監視時にあったら良い。 2：改善は必要だが、複数台監視時にあったら良い。 1：適切な部分もあるが、複数台監視時というにはかなりの改善を要する。 0：かえって邪魔になる、無い方が良い。
24			1と0回答の方 そのように感じたのはなぜですか？
25	検知対象	バス運行の安全確認に必要な対象はアラートされていましたか？	3：適切であり性能は十分である。 2：やや適切であり、最低限の性能は満たされている。 1：やや適切であり、一部の性能は満たされている。 0：不適切なことが多く、もはや無い方が良い。
26			1と0回答の方 そのように感じたのはなぜですか？

27	応答性	安全確認に不安のないタイミングでアラートされていましたか？	3：適切かつ揺らぎが無く、毎回同じタイミングだと感じた。 2：タイミングはやや適切だった。 1：タイミングの早さ／遅れが目立ったが、一部適切だった。 0：不要なタイミングがほとんどだった。
28			1と0回答の方 具体的にどのようなシーンでしたか？
29	マーカ表示	マーカ表示は分かり易かったですか？	3：全く違和感は無かった。 2：戸惑うことなくマーカ表示の判別ができた。 1：適切な部分もあるが、複数台監視時というにはかなりの改善を要する。 0：かえって邪魔になる、無い方が良い。
30			1と0回答の方 具体的にどのようなシーンでしたか？
31	負荷軽減	遠隔監視で労力が必要と感じている(今回感じた)のはどのようなことですか？	<フリーコメント>
32		マーカによる負荷軽減を感じることができましたか？	とても軽減した/やや軽減した/軽減せず無い方がいい
33			とても軽減した/やや軽減したと回答の方 具体的にどのような負荷低減効果を感じましたか？
34	運行コスト低減	AIの進化により、負荷、コストが軽減される可能性を感じましたか？	とても感じた/やや感じた/感じなかった
35			とても感じた/やや感じたと回答の方 具体的にどのような可能性を感じますか？

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
実績報告書

地域デジタル基盤活用推進事業（自動運転レベル 4 検証タイプ）

2025 年 1 月

日本電気株式会社・日立市自動運転通信実証コンソーシアム
