

地域社会 DX 推進パッケージ事業(自動運転レベル 4 検証タイプ)

神奈川県横浜市

ローカル 5G と路側インフラを活用した狭隘道路等での走行支援と
無線リソース最適化技術を活用した車内遠隔監視の実証

実績報告書

2026 年 1 月 30 日

NTT ドコモビジネス株式会社

自動運転の社会実証機関

目次

0.	エグゼクティブサマリ.....	1
0.1	実証概要.....	1
0.2	KPI/KGI の内容と達成状況.....	1
0.3	考察.....	4
0.4	成果.....	6
0.5	課題.....	7
1.	実証の背景・目的.....	9
1.1	実証の背景.....	9
1.2	レベル4 自動運転を社会実装する上での実証地域における課題.....	9
1.3	実証の目的.....	10
1.4	最終目標・構想イメージ.....	11
1.5	「最終目標・構想イメージ」における本実証の位置づけ・目標.....	12
2.	業務実施体制.....	14
2.1	実証機関.....	14
2.2	実施体制図.....	15
3.	自動運転の運行結果.....	17
3.1	運行場所.....	17
3.2	運行時間帯・頻度・運行方式.....	18
3.3	運行者.....	18
3.4	運行体制.....	18
3.5	自動運転車両の特徴.....	20
3.6	自動運転に関する手続き.....	22
4.	実証の手法.....	24
4.1	①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保.....	24
4.2	②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保.....	24
4.2.1	Cradio による安定した映像伝送と ISAP を用いたネットワークリソースとコンピューティングリソースの効率化の実施.....	24

1)	目的	24
2)	実証内容の詳細	24
3)	利用技術	25
4)	必要性・緊急性・新規性	25
5)	検証条件	25
6)	開発・評価項目	26
7)	KPI/KGI	32
4.3	③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用 する技術の頑健性検証	50
4.3.1	路側インフラからの点群データ伝送にセルラーネットワークとコア設備を共 用するローカル 5G ネットワークを活用し、経済的に道路環境の認識・検知 機能向上と自動運転バスの適切な制御の実現	50
1)	目的	50
2)	実証内容の詳細	50
3)	利用技術	51
4)	必要性・緊急性・新規性	53
5)	検証条件	54
6)	開発・評価項目	58
7)	KPI/KGI	60
4.4	④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危 険回避行動の連携・実装	70
4.5	⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証	70
4.6	レベル4の社会実装に向けた検討	70
4.6.1	運用検証	70
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)	70
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	71
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	79
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	79
4.6.2	効果検証	79
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	79
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	80
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	80
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	80
5.	通信システムに関する構築	82

5.1	通信システムの全体像.....	82
5.2	システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等.....	82
6.	実証結果・考察	84
6.1	①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保.....	84
6.2	②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保.....	84
6.2.1	Cradioによる安定した映像伝送とISAPを用いたネットワークリソースとコンピューティングリソースの効率化の実施.....	84
1)	実証スケジュール.....	84
2)	開発・評価項目の結果.....	84
3)	KPI/KGIとの比較結果.....	111
4)	成果・課題.....	135
6.3	③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用する技術の頑健性検証.....	137
6.3.1	点群データ伝送にローカル5Gネットワークを活用し、経済的かつ検知機能向上と自動運転バスの適切な制御の実現.....	137
1)	実証スケジュール.....	137
2)	開発・評価項目の結果.....	137
3)	KPI/KGIとの比較結果.....	147
4)	成果・課題.....	181
6.4	④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装.....	182
6.5	⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証.....	182
6.6	レベル4の社会実装に向けた検討の結果.....	182
6.6.1	運用検証.....	182
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).....	182
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.....	183
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.....	192
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....	193
6.6.2	効果検証.....	194
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.....	194
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	196
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.....	197
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.....	198
6.7	レベル4 社会実装に向けた考察.....	205
7.	本実証の総括.....	207
7.1	本実証の成果・課題.....	207
7.2	社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性.....	209

0. エグゼクティブサマリ

0.1 実証概要

バス運転手は地域公共交通を支える重要な人材であるが、全国的な人手不足が深刻化しており、2024年には約2.1万人、2030年には約3.6万人の不足が見込まれている。横浜市においても運転手不足を背景に、2024年には市営バス全路線の約4%が減便となった。こうした状況を受け、横浜市交通局では賃金改善や採用制度の見直しなどの人材対策と並行して、自動運転技術の導入を民間事業者と連携して進めている。本実証では、実運行を想定した走行ルート¹の延長および2台の自動運転バス同時走行を行い、相鉄バスが目指す自動運転レベル4の早期実現に向けた検証を行う。

本実証での走行ルートは、相鉄バスが運行する鶴ヶ峰駅～よこはま動物園(ズーラシア)間を設定した。同区間では、バス運転手不足への対応として自動運転レベル4の導入を目指しており、導入により平日には2台運行で約2名分の省人化が期待されている。一方、走行ルートの約半分を占める狭隘道路(歩車分離がされておらず、離合時の衝突・接触回避を目的とした譲り合い通行を要する程度の道幅の道路)や見通しの悪い区間、渋滞の頻発により走行難易度が高く、自動運転の導入に向けた障壁となっている。このため、路側インフラと連携した車両制御や、遠隔監視による安全確保等が課題となっている。

そこで、鶴ヶ峰駅～よこはま動物園(ズーラシア)間における自動運転レベル4運行の早期実現に向け、特に重要な課題である混雑地域における駐車場への入出庫待ち車列(渋滞)回避と、狭隘道路における大型車両同士の離合制御の解決を目的として、以下の検証テーマを設定し本実証を実施する。

【UC②に該当】

- Mobile-QoS(無線リソースの優先割当技術)、スライシングを活用したセルラーネットワークを、Cradio(通信品質予測技術)により動的に無線リソース最適化し、安定した映像伝送と車両制御通信を実現
- システムのMEC集約、およびISAP(ネットワーク融合サービス高速処理基盤)を用いたネットワークリソースとコンピューティングリソースの効率化を実現

【UC③に該当】

- 路側インフラからの点群データ伝送に、セルラーネットワークのコア設備を共用するローカル5Gネットワークを活用し、低コストで道路環境の認識・検知機能を向上させるとともに、自動運転バスの適切な制御を実現

以上を通じて、本実証により横浜市の地域交通課題の解決に寄与するとともに、対象区間での自動運転レベル4の早期実現を図り、その成果を基に相鉄線沿線への拡大を目指す。また、狭隘道路や局地的渋滞など同様の課題を抱える他地域に対しても、センサやカメラのみでは対応困難な状況への解決策として活用し、各自治体における自動運転レベル4の早期実装に貢献する。

0.2 KPI/KGIの内容と達成状況

下記の表1および表2に各ユースケースごとのKPI/KGIの内容と達成状況について示す。

表 1 UC② 遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保 KPI/KGI 達成状況

No.	目標値	結果
1	<p>(定性評価)</p> <p>伝送後の映像について、遠隔監視員による遠隔監視業務や自動運転への支障の有無、および、支障がある場合の映像の特徴と具体的な支障の内容など確認する。</p> <p>上記評価データを 4 名分以上取得する。</p>	<p>・車内の監視映像では「映像が途切れない安定性(飛び/フリーズの低減)」が最重要とされ、乗客の表情を判別できるほどの高画質な映像への優先度は低かった。また、一定の映像の乱れがあっても挙動が確認できれば監視への支障はなかった。一方、車外の監視は、一定の解像度とフレームレートの維持が必要とされた。(4 名へのインタビュー結果)</p> <p>・車内監視は「継続性」、車外監視は、「一定の解像度を維持した上での即時性」を重点的に確保するという、監視対象に応じた最適化の必要性が導き出された。</p>
2	<p>(定性評価)</p> <p>以下の観点から AI 検知を車内遠隔監視に活用した際の効果、およびネットワークへの影響を確認する。また改善に向けた課題を特定し、必要な支援についても整理する。</p> <p>・AI 検知により、監視員 1 名による 2 台の同時監視において質(迅速性、確実性など)を落とさず実現できるか。</p> <p>・AI 処理をネットワークを経由し実施した場合の検知率低下は許容できるか</p> <p>上記評価データを 4 名分以上取得し、課題を 3 点以上抽出する。</p>	<p>・本検証において、AI 検知は迅速性等には直接寄与しなかったものの、監視員の「見落とし防止」や「疲労軽減」において有用と評価された。補助的な利用であれば「遅延 5 秒・80%の精度」が許容範囲となる一方で、将来的な多車両監視や本格運用においては、「1 秒程度の即時性」と「100%に近い極めて高い精度」の確保が求められた。また、多車両監視では、常時監視の限界、状況把握と意思決定の遅延、運行継続性の確保とサービスの維持が課題として示唆され、AI の高度化が求められた。(4 名へのインタビュー結果)</p> <p>・自動運転レベル 4 における複数台監視の実現には、AI 通知時のみ介入する「オンデマンド監視」への移行と監視員の「意思決定者」への役割転換に加え、低リスク・高即応領域(自動アナウンスや車両制御等)の自動対応化による業務削減と安全確保の両立が不可欠である。</p>
3	<p>(定量評価)</p> <p>無線区間において所望スループットになる時間率 95%以上(劣化する時間率が 5%未満)</p>	<p>Cradio による制御によって、制御を行わなかった場合と比較して無線区間の UDP スループットが向上。所望スループット(4Mbps)以上の時間率が約 96%となり、KPI である『95%以上』を達成した。</p>

4	(定量評価) 無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ、帯域使用できる時間率90%以上(劣化する時間率が10%未満)	Cradio・ISAPによる制御によって、制御を行わなかった場合と比較してエンドツーエンドでのTCPスループットが向上。所望スループット(4Mbps)以上の時間率が約90.3%となり、KPIである『90%以上』を達成した。
5	(定量評価) エッジ側処理に対し、遠隔処理(ネットワーク経由)での乗客の姿勢検知(座位/立位/転倒)成功率比90%以上	・検知成功率比は91.1%を記録し、単体での検知成功率は90.4%であった。 ・現状エッジコンピュータを活用しているユースケースにおいて、精度劣化が10%ほど許容できるものについてはネットワーク活用による遠隔処理とすることも可能であることが示唆された。
6	(定量評価) 通信劣化に起因するAIの検知劣化の発生頻度と発生パターンを確認する。	・スループット量低下に起因して検知成功率が低下することが示唆されたため、通信方式による最適化は一定の成果を収めたと言える。 ・次なる品質向上に向けては、スライシングなどの帯域確保や、物理的に電波が微弱な不感地帯の解消といった、ネットワークの低レイヤにおけるカバレッジ対策が不可欠である。

表 2 UC③ 安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用する技術の頑健性検証 KPI/KGI 達成状況

No.	目標値	結果
1	大型バス運転経験のある評価者から、離合制御および車列回避の安全性・走行品質に対する主観評価および、課題や改善点を取得する。 (2名分以上の意見を抽出する)	・離合制御では、離合ポイントでの確実な停止、および停止・発進タイミングや加減速の滑らかさなど、安全性・走行品質ともに基本性能は実用水準にあることが確認された。一方で、一部の「制御挙動」や「環境に応じた状況判断」、乗客および周辺交通参加者に向けた「制御意図の可視化」が課題として挙げられた。 ・車列回避については、車両検知に伴う急制動により衝撃が発生しており、安全性に懸念が示された。ただし、当該の急制御を除く一連の車列回避挙動自体については、自然な走行であると評価された。 ・制御挙動や交通参加者との非言語コミュニケーションの特性を踏まえ、想定されるODDにおいて、路側システム、車両、および遠隔監視員がそ

		れぞれ担うべき役割の境界について、再検討が必要である。
2	手動介入時の原因を明らかにする。原因分析については関係者の運転日報およびヒアリングなどを通じ実施する。	・離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上であったことから、社会実装時も活用可能であることが示唆された。
3	離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上	離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率90%以上を達成した。 ・普通車とのすれ違いを避けるための手動介入が3回発生した。 ・仕組み自体は有効であるものの、社会実装時に活用するためにはネットワークを改善することで検知を安定化する必要があると考えられる。
4	車列回避ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上	・車列回避ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 100%を達成したことから、社会実装時も活用可能であることが示唆された ・より確実な安全性を目指す場合、駐車場北側の対向車も検知する必要がある。
5	LiDAR の要求スループット(56Mbps)およびカメラの要求スループット(10Mbps)を継続的に確保できること	・LiDAR の点群情報、カメラの映像情報共に、スループット量を継続的に確保できることを確認した。 ・ローカル 5G の活用により、自動運転には必要不可欠な大容量データの安定通信が可能となることが明らかとなった。
6	連続して 15 分間のスループット試験を実施し、スループットの実測値が要求スループット(66Mbps)を上回る時間が 99%以上	・スループットの実測値が要求スループット(66Mbps)を上回る時間が 99%以上であることを確認した。 ・ローカル 5G の活用により、自動運転には必要不可欠な大容量データの安定通信が可能となることが明らかとなった。

0.3 考察

➤ UC②

- ・ Cradio および ISAP を連携させた通信制御により、TCP 通信におけるスループット向上が確認された。レベル 4 実装時においても、車両移動に伴う瞬時変動を抑え、遠隔監視に不可欠な通信品質を安定的に提供できる通信システムの構築が可能である。

- ・ 検知成功率 90.4%という結果から、10%程度の精度劣化が許容されるユースケースにおいては、エッジ処理からネットワーク経由の遠隔処理へ移行できる可能性が示唆された。これにより、システム構成の柔軟性向上が期待できる。
- ・ 通信方式の最適化に加え、さらなる品質向上には、ネットワークスライシングによる帯域確保や、不感地帯の解消といった低レイヤにおけるカバレッジ対策が不可欠である。物理的な通信インフラの高度化が、社会実装を加速させる鍵となる。
- ・ 伝送後の映像について、遠隔監視員観点では、「映像が途切れない安定性（飛び/フリーズの防止）」が最優先要件であることが示された。また、遠隔監視における映像品質要件は一律ではなく、車内監視は「継続性」、車外監視は、「一定の解像度を維持した上での即時性」を重点的に確保するという、監視対象に応じた最適化の必要性が導き出された。今後は本知見に基づき、通信環境の変動に適応する技術などを活用し、いかなる状況下でも途切れない通信の確立を目指すべきである。
- ・ 遠隔監視員から監視台数に関わらず長時間の集中力維持は困難であるとの懸念が示されており、AI 検知による通知は、見落とし防止策および、心理的安心感の獲得として有効である。将来的な自動運転レベル 4 における複数台監視を実現するためには、AI 検知だけでなく、車両側の自律化を推進し、監視員の介在を真に必要な判断に特化させることが、多車両運用における安全性とスケラビリティの両立に向けた有効なアプローチと考えられる。

➤ UC③

- ・ 離合制御の基本性能は実用水準にあることが確認された一方、急制動に伴う安全性の懸念や、状況判断の精度、周辺交通への「制御意図の可視化」に課題が残る。今後は、制御挙動や非言語コミュニケーションの特性を踏まえ、想定される ODD において、路側システム、車両、および遠隔監視員が担うべき役割境界を再検討する必要がある。
- ・ 対向車検知や車列回避の仕組みは社会実装において有効であるものの、現状では検知の不安定さに起因する手動介入が発生している。確実な安全性を担保するためには、検知対象エリアの拡大（駐車場北側の対向車等）に加え、ネットワーク環境の改善による検知情報の安定化が不可欠である。
- ・ 本実証を通じて、自動運転の運用に不可欠な大容量データの安定通信におけるローカル 5G の有効性が明らかとなった。社会実装に向けては、こうした高品質な通信基盤を維持・活用することが、システムの信頼性を支える鍵となる。

➤ 運用検証

- ・ 将来的な多車両監視の実現には、AI 通知時にのみ介入する「オンデマンド監視」への移行と、監視員を「意思決定者」と定義する役割転換が不可欠である。あわせて、緊急度に応じて通知強度を段階的に切り替える UI の実装や、低リスク領域の自動対応化を推進することで、業務負荷の軽減と安全性の両立を図るべきである。
- ・ 試乗距離の延伸に伴い市民の受容性と関心は着実に高まっており、今後は技術面のみならず、有事の際に周囲の協力を得やすいルートを選定するなど、緊急時対応の即時対応を行うために運行設計(ODD)に「救助のしやすさ」を組み込む視点が重要となる。こうした視点は、

地域交通としての持続可能性を担保する上で極めて有効なアプローチと考えられる。

- ・ 多層的なサイバー・物理セキュリティ対策の有効性が確認されるとともに、遠隔での保守・運用体制の構築により、実証期間中の安定稼働と運用効率化を実現した。これらの知見は、将来のレベル 4 運用におけるトラブルの迅速な解決と、管理・保守コストの大幅な抑制に大きく寄与するものである。
- ▶ 効果検証
 - ・ 遠隔 AI 監視の実用化には、ネットワーク環境の改良により検知精度を 99%まで引き上げる必要がある。また、路車協調システムの導入は専用道路の整備を不要とするため、地域交通の持続性向上に極めて有効である。
 - ・ 有人施設周辺や緊急車両の進入経路を優先する「救助のしやすさ」を運行設計(ODD)に組み込むことが、本実証のルートだけでなく同様の構造をもつ他地域の道路での運用の持続性を高める。あわせて、閉域網の構築や物理的な現物確認といった多層的な防御策が、不正アクセスやデータ漏洩の防止に寄与する。
 - ・ システム運用のリモート化により、実証において約 20 時間の工数削減を実現した。社会実装時においても同様の体制を講じることで、現地対応の最小化と管理・保守コストの大幅な低減が可能になると考えられる。

0.4 成果

- ▶ UC②
 - ・ TCP 通信のアップリンクスループット計測の結果、Cradio・ISAP 技術無しでは所望スループットである 4Mbps 以下の確率が約 28%であったのに対し、技術ありでは約 9.7%となっており、所望スループットを超える確率は約 90.3%となった。Cradio・ISAP 技術を活用することで、安定した通信を確保し、遠隔監視などに求められる所望スループットを満たせるような通信システムの構築が可能であることが分かった。
 - ・ CradioとISAPの両通信技術の活用によって、遠隔処理の場合の車内映像分析精度は、エッジ処理の場合の1割未満減にとどまることが明らかとなった。
 - ・ 遠隔監視における映像品質要件は一律ではなく、車内監視では「継続性」を、車外監視では「一定の解像度を維持した上での即時性」を重点的に確保するなど、監視対象の特性に応じた最適化が必要であることを導出した。
 - ・ 遠隔監視の運用シミュレーションにより、監視台数に関わらず長時間の集中力維持は困難であることが再確認された。これに対し、AI 検知を用いた通知機能は、見落とし防止策および監視員の心理的安心感の獲得に有効であり、持続可能な監視体制の構築に寄与することが確認された。AI 検知の遅延および精度が業務に及ぼす影響を特定した。監視員の「気づき」の補助としての利用では約 5 秒のリードタイムや 80%程度の検知率が許容される。一方、将来的な多車台同時監視の実現には、1 秒程度の即時性が必要であること、また、誤検知による監視員へ

の負荷を抑制するため、検知対象を特定の事象に絞り込んだ上で 100%に極めて近い精度を確保すべきであるとの知見を得た。将来的な複数台監視の実現に向け監視規模別の課題を構造的に整理し、各課題に対応するために必要となる AI 検知の具体的な機能要件を定義した。

➤ UC③

- ・ 路車協調システムによって、離合制御・車列回避双方において自動走行達成率が 90%以上となった。また、運用観点からも、おおよその動作は自然である旨の評価を得た。したがって、社会実装時にも有用なシステムであることが示唆された。
- ・ 今後安全性や円滑性を高めていくために、安定した通信環境を整備する必要があることが分かった。

➤ 運用検証

- ・ 離合・車列回避の自動走行達成率 90%超を達成し、運行経路拡大の可能性を実証した。実車体験により安全性への理解が進み、居住地域内走行に対し 9 割超の肯定的回答を得るなど、高い社会的受容性を確認した。
- ・ AI 検知は監視員の集中力維持を補完し、心理的安心感の獲得や身体的疲労の抑制に有効であることが示された。全対象者が継続利用を希望しており、多車両監視の実現に向けた「緊急度に応じた優先順位付け」や「直感的な UI」の必要性を特定した。
- ・ 遠隔 AI 監視の検知成功率は 90.4%となり、実用化には経路全体の通信安定化が不可欠であることを特定した。また、将来の保安員不在時を見据え、周囲への異常報知や乗客等への救護依頼を組み込んだ運用の重要性が示唆された。
- ・ 二重化ファイアウォールによる多層防御で不正アクセスを完遂し、通信起因の運行支障ゼロを達成した。さらに、リモート保守システムの導入により、約 2 ヶ月間で現地作業時間を約 20 時間削減し、管理コスト低減の実効性を証明した。

➤ 効果検証

- ・ 離合制御および車列回避の双方において、路車協調システムの活用により自動運転率 90%以上を達成した。これにより、1 日あたり 1 台につき約 10 回の手動介入削減が見込まれるとともに、死角車両検知情報の連携により安全性と円滑な走行判断の両立を確認した。
- ・ 双方向コミュニケーションシステムの実装により、遠隔監視における車内確認工数を削減し、異常停止から再開までの時間を短縮できる見通しを得た。また、路車協調による「死角の可視化」は、安全確保のための極低速走行を不要とするため、運行時間および乗客の移動時間の短縮(利便性向上)に直結することが示唆された。
- ・ 基地局設備の共有型ローカル 5G(L5G-TypeD)や既設道路灯の活用により、インフラ構築コストを従来比で約 5 分の 1 に抑制した。あわせて、今後はエッジ処理の最適化により通信データ量の削減を図ることで、安価なキャリア網の活用を含めた、より持続可能なシステム構成の可能性を提示した。

0.5 課題

➤ 今年度の検証において未解決の課題

- ・ 遠隔処理による AI 検知機能をよりミッションクリティカルな場面で使用する場合、エッジ処

理と遜色ない検知率を実現する必要があるが、Cradio の活用に加え、経路全体でネットワークが持続的に繋がるような環境整備(アップリンクでの 5G スライシング等)が求められる。

- ・ 離合制御システムは、通信環境によって検知率に差が乗じる点が課題であり、「離合制御箇所での手動介入要因である検知すべき対向車の遺漏」をゼロとするためには、5G スライシングやローカル 5G 等の活用による安定した通信帯域確保が必要である。
- 検証前からある程度想定されていた自明な課題
 - ・ キャリア通信のエリア品質が悪い地域では、Cradio・ISAP の制御を行ってもスループットが悪化するため、走行するエリアの通信品質について予め検証し、一部区間でのローカル 5G エリア化等による品質確保を行う必要がある。
 - ・ 将来的なレベル 4 自動運転実装や 1:Nモニタリングの実現に向けて、物標情報の自動運転車両への伝送でとどまらず、自動運転システム本体の制御にまで活用し、低リスク・高即応領域の自動対応化による業務削減と安全確保の両立を目指す必要がある。
 - ・ 監視画面のインターフェースに関して、監視者の負担軽減のため、優先度明示に加え、緊急度に応じた通知方法の工夫が必要である。
- 将来的に解決されることが望ましいが、相対的に優先度の落ちる課題
 - ・ 対象とする狭隘道路や中空の障害物についての検知範囲や回避方法(今回は自動運転側が停車したが、状況によっては交通参加者に注意を促しスムーズな走行を行えるようにする等)については、社会実装に向けて判定基準を明確にする必要がある。
 - ・ 社会実装に向けて、BPO を活用した幅広い人材登用により、遠隔監視装置のモニタリング業務の更なる効率化が求められる。
 - ・ 社会実装に向けて、路側インフラの整備コスト低減が必要であり、多様な道路環境下におけるオーナーカーを含む運行情報や、データ連携基盤(都市 OS 等)と連携した、新規通信インフラ設備の敷設を必要としない幅広いエリアの情報活用を模索する必要がある。

1. 実証の背景・目的

1.1 実証の背景

バス運転手はバス事業を営む上での根幹となるものであるが、近年、バス運転手の不足により減便や路線廃止の動きが相次いでおり、バス運転手は全国で 2024 年に 2.1 万人、2030 年には 3 万 6000 人不足する見込みである¹。さらにバス運転手の拘束時間が制限される「2024 年問題」の影響もあり、各自治体では喫緊の対応を迫られている。今回の実証予定地の横浜市においても、運転手不足により 2024 年に横浜市営バスが運営する路線バス全路線のうち、4%にあたる 367 便が減便となった¹。

このような背景を踏まえ、横浜市交通局では、少ない人材で、効率的にバス事業を運営するための施策導入として、給与の引き上げ、採用試験の見直し、再就職先の拡充などソフト面での対応とあわせて自動運転に対する取組についても民間企業と地域交通事業者と連携して進めている状況である²。

本実証事業では、過年度実証より走行ルートを延長し、さらに 2 台の自動運転バスの同時走行を行う。実証に取り組むにあたり、地域交通事業者である相鉄バスが検討を進める横浜市での自動運転レベル 4 走行の実装計画に基づき、早期実現を目指す実際の走行ルート上と台数を想定して実証を行う。

なお、横浜市としても持続可能な街づくりを推進するため、当該ルートの一部区間を含む自動運転実証を通じて、早期の自動運転レベル4の営業運行を目指す姿勢を示している³。

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

本実証事業は、相鉄バスが運行する横浜市の「鶴ヶ峰駅～よこはま動物園（ズーラシア）エリア（正門 5 番バス停～北門バス停ルート）」において実施する。

なお、横浜市・相鉄バスにおいても全国的な傾向と同様、バス運転手の確保に向けた対応が迫られており、過去にも自動運転バスの導入に向けて積極的に取組⁴を実施している。

本実証を行う鶴ヶ峰駅～横浜動物園（ズーラシア）区間においては、相鉄バスの見立てでは平日であれば 2 台の自動運転レベル 4 のバス運行により約 2 名分の乗務員の削減効果が期待されており、自動運転レベル 4 走行の早期実現を目標に取組んでいる走行ルートでもある。

一方で、走行ルート上の約半分を占める白根街道に散在する狭隘道路（離合時の衝突・接触回避を目的とした譲り合い通行を要する程度の道幅の道路）は、片側1車線かつ、歩車分離もされておらず、場所によっては電柱が車線にはみ出している等、見通しが悪いうえに対向車両と譲り合い通行が必要である。さらに、地元住民から「ズーラシア渋滞」と呼ばれる動物園の駐車場への入庫待ち車列（渋滞）や

¹ 産経新聞「2024 年問題が修学旅行を直撃 バス運転手を確保できず 路線バスの大幅減便も」
<https://www.sankei.com/article/20240522-VXAH6FBNTJO3ZPTPOSQYYCS4J4/> (2024/5/22)

² 毎日新聞「給与アップや試験見直しでバス運転手確保 横浜市交通局「最重要」」
<https://mainichi.jp/articles/20240225/k00/00m/020/175000c> (2024/2/25)

³ 相鉄バス「小型バスを用いた自動運転の実証実験を実施【相鉄バス・先進モビリティ・東海理化・横浜市経済局】」
<https://www.sotetsu.co.jp/pressrelease/bus/r24-52/> (2024/3/26)

⁴ 横浜市「I=TOP横浜「路線バス自動運転プロジェクト」～日本初 大型バスによる遠隔監視・操作での自動運転を実施～」<https://www.city.yokohama.lg.jp/city-info/koho-kocho/press/keizai/2020/itopautomobile.files/kisyahappyo.pdf> (2020/8/26)

走行経路上の商業施設の出入口付近で頻繁に発生する駐車待ち渋滞も発生しているため、自動運転バスにとっては、非常に走行難易度が高い走行ルートとなっている。また、見通しの悪い箇所での離合や渋滞を回避するためには、自動運転バスに搭載されているセンサやカメラからの情報だけでは対処が難しく、手動介入をせざるを得ない状況にある。そのため、自動運転レベル4の実現(手動介入を要しない車両の走行)のためには、路側インフラからの情報を連携した車両制御の仕組みの構築が課題となっている。

また、乗客の安心安全な輸送を第一に心がける相鉄バスとしては、多くの住民も利用する当該生活路線での自動運転走行に際して、乗客の車内安全の確保も重要な課題となっている。

そのため、当該ルートの自動運転レベル4 走行の実現に向けては、2 台の自動運転バスを効率的に同時遠隔監視することに加え、これと連動した車内安全の確認および異常発生時の適切な車両制御の仕組みを構築することが課題となっている。

加えて、社会実装の際に自動運転バスの保管場所として現在想定している相鉄バスの旭営業所は各種公共交通機関から一定の距離があるため、自動運転バスのシステム保守運用作業時には、オンサイトでエンジニアが対応できる環境を構築することも課題となっており、こちらは保守費用等にも関わってくるため、効率的な運用モデルの検討が必要となっている。

1.3 実証の目的

本実証事業は、相鉄バスが検討を進める鶴ヶ峰駅～よこはま動物園(ズーラシア)での2 台の自動運転バスの自動運転レベル4 運行の早期実現に向けて、実際の走行ルート上で現在顕在化している特に重要度の高い以下2 つの交通課題の解決を目指すものである。

- ・混雑地域における駐車場への入出庫待ち車列(渋滞)回避
- ・狭隘道路における大型車両同士の離合制御

さらに、ローカル 5G、ネットワークスライシング⁵、センサフュージョン⁶などの先進技術を活用し、センシングから車両制御までを含んだエンドツーエンドの路車協調に取り組む。また、AI による映像検知技術を導入し、遠隔監視員の負担軽減を図るほか、遠隔での複数車両の安全確保や緊急停止制御支援を適切に運用する。走行ルート上の他の車両等の認識・検知から車両制御に至るまでのエンドツーエンドの通信を安定的かつ低遅延で構築するとともに、高い経済性も具備する。上記目標の実現に向けて、各ユースケース(以下、UC)において、以下の実証テーマを設定する。

【UC②に該当】

- ・ Mobile-QoS⁷、スライシングを活用したセルラーネットワークを、Cradio⁸により動的に無線リソー

⁵ 5G SA(Standalone)で実現される次世代のネットワーク技術で、1つの物理ネットワークを“仮想的に分割(スライス)”して、用途に最適化された通信品質を提供する仕組み。スライスごとにリソースを確保するため、混雑時でも通信品質を維持できる。

⁶ 一定基準を満たす複数のセンサから得た情報を統合し、自動で目的に応じた情報処理を行うことで使用者の意思決定を補助する技術。それぞれのセンサの苦手分野を互いに補い、データの欠落や歪みを解消し、複合的な分析が可能になる。

⁷ 端末から基地局までの無線区間を対象として、通信速度と安定性を高める「優先制御」を行う。混雑時でもライブ映像伝送の映像の乱れが減る。5G エリアとLTE エリアで利用可能。

⁸ 無線通信環境に関する把握・予測・制御の3 技術を連動させ、無線ネットワークを意識させないナチュラルな通信環境を実現する技術。(参考)NTT 研究開発「マルチ無線プロアクティブ制御技術:Cradio システム 1.0」

<https://www.rd.ntt/research/AS0096.html>(2022/10/27)

スを最適化し、安定した映像伝送と車両制御通信を実現

・ システムの MEC 集約、および ISAP⁹(ネットワーク融合サービス高速処理基盤)を用いたネットワークリソースとコンピューティングリソースの効率化を実現

【UC③に該当】

・ 路側インフラからの点群データ伝送に、セルラーネットワークのコア設備を共用するローカル 5G ネットワークを活用し、低コストで道路環境の認識・検知機能を向上させるとともに、自動運転バスの適切な制御を実現

横浜市の地域交通課題の解決に寄与するとともに、相鉄バスにおける、本実証区間での早期レベル4自動運転走行の実現をステップとして、横浜市内相鉄線沿線での拡大を目指す。

また本実証で得られた成果は、見通しの悪い狭隘道路が存在することや商業施設・文化施設が原因の局地的な渋滞が発生するなど類似の地域特性や地域特性でも起こることが確認できた。これらの地域では自動運転バスのセンサやカメラだけでは離合や渋滞回避ができないという課題をもつ自治体での自動運転レベル4の早期実現への寄与も目的として、結果を取り纏める。

1.4 最終目標・構想イメージ

横浜市では、「横浜都市交通計画」および「地域公共交通計画」に基づき、自動運転の導入を推進しており、令和6年度以降、法定協議会化された「横浜市地域公共交通活性化協議会¹⁰」でも自動運転の実装について議論が続けられている。

市の中期計画(2022-2025)¹¹では、郊外部のまちづくり戦略として「地域交通の確保」と「誰もが安全・安心・円滑・快適に移動できる環境の確保」を掲げ、新たなモビリティの普及を推進。自動運転は、国際会議での移動手段、子育て世帯の移動支援、高齢者の選択肢として位置付けられている。市は、事業の安全性や持続性を考慮し、地域とバス事業者が主体となる取り組みを目指している。

【役割分担¹²】

- ・ 地域:運行計画の検討・移動ニーズの把握
- ・ バス事業者:運行主体、適切な交通手段の提案、事業採算性の検証
- ・ 行政:コーディネーター派遣、現地調査の実施、運行支援

本実証を通じ、横浜市が取り組む持続可能な公共交通システムの実現のため、自動運転レベル4営業走行の早期実現に寄与する。

⁹ 端末やサーバとネットワーク内のコンピューティング機能を高速に同期・連携させる技術。(参考)NTT 研究開発「IOWN を支える技術解説 ネットワークを介した高速エンドエンド情報同期・連携技術 (ISAP: In-network Service Acceleration Platform)」 https://www.rd.ntt/iown_tech/post_16.html (2025/3/24)

¹⁰ 横浜市「横浜市地域公共交通活性化協議会」 <https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/kotsu/toshikotsu/seisaku/kyogikai.html> (2025/7/4)

¹¹ 横浜市「横浜市中期計画 2022-2025」https://www.city.yokohama.lg.jp/city-info/seisaku/hoshin/4kanen/2022-2025/chuki2022-files/0069_20230213.pdf (2022/12/23)

¹² 横浜市「SIP 自動運転・市民ダイアログ横浜での取組から考える都市郊外の移動～自動運転の社会実装に向けて Part3」 <https://www.youtube.com/watch?v=nbyUPnSkmc> (2021/6/26)

【本実証地域における最終目標】

■ 自動運転システムの常時通信接続確保(主に UC②関連)

・ 相鉄バスの自動運転レベル 4 営業運行ルート(鶴ヶ峰駅発西ひかりが丘団地、旭台、中山駅行き)の拡張を視野に、安定した通信環境を実現

・ 複雑な車両制御に耐え得るネットワークリソースの最適化と、自動運転全体を統合管理するプラットフォームの構築

■ 周辺環境情報の安定取得と連携(主に UC③関連)

・ 路側設備やサービスカー・オーナーカーなどの各種センサから取得したデータを活用し、ルート最適化や走行効率化を推進

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

本実証は横浜市の地域公共交通に関する方針を踏まえ、相鉄バスが早期自動運転レベル 4 自動運転走行を目指す鶴ヶ峰駅～よこはま動物園(本実証ルート)において、特に重要度の高い交通課題の解決にあたり、通信観点及び社会実装後の経済性も考慮したうえで取り組む。各ユースケースにおける目標と取組は以下の通り。

【UC②】

本実証では、過年度実証で用いた Mobile-QoS 技術に加え、新たにスライシングを活用したセルラーネットワークを導入する。Cradio を用いて動的に無線リソースを最適化し、ネットワークリソースの変化に応じてコンピューティングリソースを適応(※本実証では「映像の送信レートを適応」)させる ISAP 技術を実装する。これにより、ネットワークレイヤとアプリケーションレイヤの両面から安定した映像伝送と車両制御の通信システムを検証する。

走行ルートを昼夜巡回する自動運転バスを遠隔監視するために無線通信は重要であり、Cradio は無線通信の切替(ハンドオーバー)や調整(バンド選択)を最適に制御する技術である。ISAP はその最適化された通信レイヤを活用するアプリケーション通信の効率化を行う技術となる。本実証では、Cradio の無線レイヤ制御技術と ISAP のアプリケーション通信レイヤ制御技術を組み合わせることにより、intdash を用いた遠隔監視に必要な自動運転バスのカメラ映像のクラウドへの伝送(アプリケーション通信)を、いかに安定化できるかを実証する。

さらに、路側インフラからの点群データ伝送には、セルラーネットワークとコア設備を共用するローカル 5G ネットワークを活用する。自動運転バスからの情報をクラウド上で統合処理し、道路環境の認識・検知機能向上と適切な車両制御の実現に向けた通信性能と経済性を評価する。

また、遠隔監視については、1:N(本実証ではレベル 2 での 1:2)の監視体制において、AI による映像検知技術を活用する。これにより、自動運転バス車内の異常検知と迅速な対応を可能にし、自動運転バスの簡易制御支援による監視負担の軽減と業務効率化を目指す。

【UC③】

過年度実証では、路側インフラの AI カメラを活用し、自動運転バスの死角となる箇所からの映像をリアルタイム配信する遠隔監視環境を構築した。本実証では、これをさらに進化させ、自動運転バスのセンサーやカメラでは対応が難しい複雑な交通環境において「路車協調」による認識・検知機能の強化を図る。また、キャリア網や設備の活用により、経済性を確保しつつ、路側インフラ情報を活用したエンドツーエンドの自動運転バス制御を検証する。

路車協調については、路側インフラに搭載された LiDAR やカメラの映像情報と、自動運転バスの LiDAR やカメラ情報をネットワーク経由で MEC にて統合・解析する。これにより、遠隔監視装置での可視化だけでなく、エンドツーエンドでの自動運転バス制御を実施する。

2. 業務実施体制

2.1 実証機関

表 3 実証機関

代表機関	法人名	NTT ドコモビジネス株式会社
	代表者氏名	小島 克重
	所在地	〒100-8019 東京都千代田区大手町 2-3-1 大手町プレイスウエストタワー
	業務の概要	実証事業の全体統括
構成員	法人名	NTT アドバンステクノロジー株式会社
	代表者氏名	伊東 匡
	所在地	東京都新宿区西新宿三丁目 20 番 2 号 東京オペラシティタワー
	業務の概要	通信技術実証の実施
	構成員とする理由	IOWN における無線システムの開発、評価、検証ノウハウを有しており、実証事業の遂行に向けて寄与できると考えるため
構成員	法人名	株式会社 NTT データ経営研究所
	代表者氏名	山口 重樹
	所在地	東京都千代田区平河町 2-7-9 JA 共済ビル 9 階・10 階
	業務の概要	実証事業の全体統括支援
	構成員とする理由	過去、多数の国が所管する実証プロジェクトのプロジェクトマネジメントを実施しており、コンソーシアム構成員を取り纏め、円滑に実証事業の遂行に向けて寄与できると考えるため
構成員	法人名	スタンレー電気株式会社
	代表者氏名	貝住 泰昭
	所在地	〒153-8636 東京都目黒区中目黒 2-9-13
	業務の概要	路側インフラ(スマート道路灯)の設計・調整
	構成員とする理由	過年度の自動運転実証実績を有し、円滑に実証事業の遂行に向けて寄与できると考えるため
構成員	法人名	株式会社東海理化
	代表者氏名	二之夕 裕美

	所在地	愛知県丹羽郡大口町豊田三丁目 260 番地
	業務の概要	遠隔監視装置の提供と実証実験の実施 QoS 関連の適用による遠隔監視装置の映像伝送品質向上の評価実施
	構成員とする理由	遠隔監視に関する実証には、同社の遠隔監視技術が必要不可欠であるため。
構成員	法人名	ドコモ・テクノロジー株式会社
	代表者氏名	中村 寛
	所在地	東京都千代田区永田町二丁目 11 番 1 号 山王パークタワー 16 階
	業務の概要	通信技術実証の実施
	構成員とする理由	5G 技術を用いる端末の開発と応用について多岐にわたる実績を有するため。
構成員	法人名	相鉄バス株式会社
	代表者氏名	大久保 忠昌
	所在地	神奈川県横浜市西区北幸 2-9-14
	業務の概要	実証実験における調律走行、乗客を乗せた自動運転走行、遠隔監視、車内外の保安、これらに伴う安全、操作などの教育、期間中の車両維持・管理。
	構成員とする理由	実証地域において自動運転バスの実証実験を繰返し実施し、安全と運行に知見と経験があるため
構成員	法人名	先進モビリティ株式会社
	代表者氏名	瀬川 雅也
	所在地	茨城県つくば市緑ヶ原 4 丁目 13 番地
	業務の概要	Lv2 自動運転バスの提供、走行環境に併せた自動運転システムの調整および運行担当ドライバーへの操作トレーニング
	構成員とする理由	一般道、混在交通環境における大型自動運転バスの実証実験の実績を多数有するため。

2.2 実施体制図

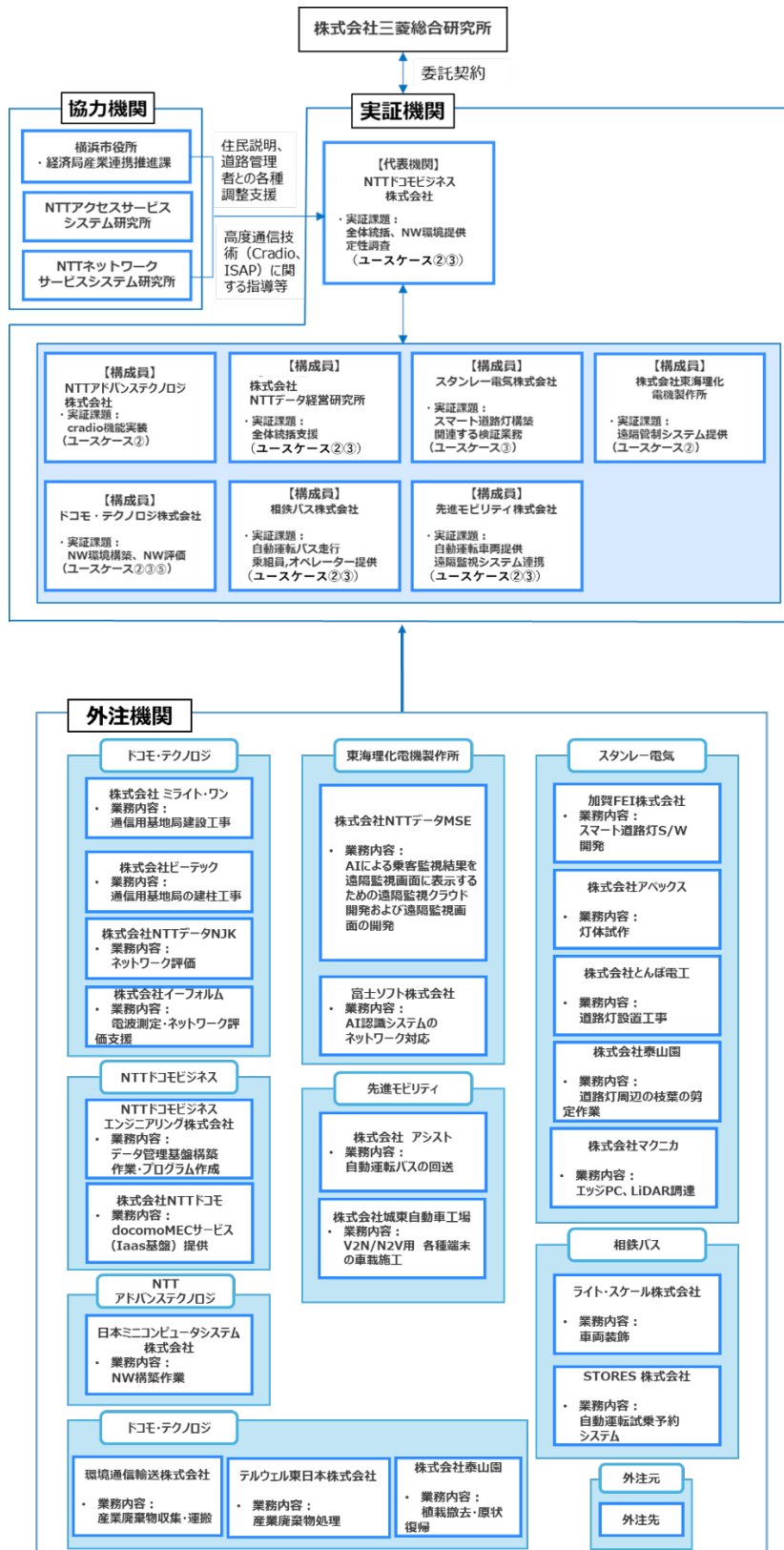


図 1 実施体制図

3. 自動運転の運行結果

3.1 運行場所

自動運転バスの走行ルートは、鶴ヶ峰駅バス停からよこはま動物園(ズーラシア)経由よこはま動物園北門バス停間を往復する 10.6km(片道約 5.3km)の区間。原則レベル 2 の自動運転であり、自動運転バス及び路車協調による制御対象外の事象が発生した際は安全確保のため手動介入を行った。

なお、本実証走行ルートは現在相鉄バスの旭 10 系統営業路線となっている。

遠隔監視装置は実際の社会実装時を見据えて相鉄バス旭営業所(よこはま動物園より約 2.4km)に設置した。



図 2 走行ルート

※「国土地理院」(<http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>)

表 4 運行期間

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	12月25日～1月15日 計13日間(年末年始を除く)
関係者試乗運行	1月16日(メディア向け)、1月19日
一般運行等	1月17日～22日 計5日(1月19日を除く) ※実施計画書では計9日間の一般走行を予定していたが、準備運行までの調整に時間を要したため、一般運行期間を短縮した。予定していた検証は準備運行中も含めて実施したため、当初の検証項目は実施できている。
その他運行	—

3.2 運行時間帯・頻度・運行方式

運行時間帯:9時～17時

頻度:1本/30～45分

運行方式:路線バス方式

3.3 運行者

相鉄バス株式会社

同社は、横浜市ならびに神奈川県県央部において122系統の乗合路線バスを運行している。自動運転レベル4による路線バス営業運行を目指し2019年より自動運転バスの実証実験に取り組んでいる。

3.4 運行体制

表5 運行体制

項目		内容
運行管理者の選任・人員体制		実証地域から至近の相鉄バス旭営業所の運行管理有資格者と補助者(常時計2名以上)が当該自動運転バスの出庫から帰庫までの運行管理を実施した。
遠隔監視設備	種類・特徴	カメラからの映像に対して、映像を統合する事により従来のドライバーが見えている範囲(約210度)を一括で画面に表示できると共に、側方/後方/車室内のカメラ映像に関しても統合し、一つのストリームとして送る事で、通信容量削減/画質向上が可能な遠隔監視装置
	機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車両周囲全体を死角なく遠隔監視装置に表示 ・ 車室内映像について遠隔監視装置に表示 ・ 自動運転バスの車両状況を映像と共に表示 ・ 複数台の自動運転バスの映像を一括画面にて表示 ・ 車室内の乗客検知による安全確認と通知
	設置場所	〒241-0806 神奈川県横浜市旭区下川井町393 相鉄バス株式会社 旭営業所
遠隔監視員	事業者	相鉄バス株式会社
	人員体制	遠隔監視員:1名 自動運転バス1台当たりの配置人数:1名
	オペレーション	自動運転バスに取り付けられたカメラや音声等の情報を遠隔監視システムを通じて遠隔監視員がモニタリング

	遠隔監視体制	常時 1 名体制で実施(1:2 にて遠隔監視を実施)
	業務従事者教育	自動運転バスの安全な運行に必要な知識と技術を習得した。具体的には、遠隔監視装置画面からの情報を通じて車内外の状況をリアルタイムで把握できるようにした。また異常が発生した場合にはすぐに適切な対策を講じられるように、迅速に連絡を取るなどの対応を行った。
テスト ドライバー	事業者	相鉄バス株式会社
	人員体制	自動運転バス 1 台当たりの配置人数:1 名 運転手:9 名 教育係:3 名 これまでの実証実験の経験から、今後の運転手不足の深刻化に伴い専任者を決めることが難しくなる可能性があることが分かっている。そこで多くの運転手に対し自動運転教育やテストを実施し、病欠時なども含めて交代や配置を容易にすることを目指した。 運転手は自動運転システムを提供する協業者からシステムや操作方法に関するレクチャーを受け、安全な運行に必要な知識と技術を習得している。具体的な項目は、自動運転バスの運行経験者からシステムの操作方法、危険箇所、そして緊急時の対応方法などである。
	オペレーション	事前指導、点呼、出庫前点検、営業所から実証実験場所の回送、実証走行、乗務記録、帰庫点検、給油、EV 車両充電
	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	<p>■ 確保</p> <p>2019 年より自動運転バスの実証に取り組んでいるため、<u>自動運転バスのテストドライバーの経験を有する運転手が約 15 名在籍</u>している。本実証においても経験を有する運転手を中心に割り当てた。</p> <p>■ アサインする者(どれか一つにあてはまること)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>過去に自動運転バスの運転経験がある者</u> ・ 運転士への教育、指導及び安全運転等の訓練ができる者 ・ 運転技術のみならず、旅客対応時の接遇等についても十分に理解している者 ・ 自動運転や遠隔システムなどの新技術に関して興味関心度が高く、熱意のある者

		・ 過去の自動運転実証実験を実施する段階で自動運転バスの操作を経験している者
遠隔監視員 (※上記以外 で運行の安 全のために配 置する人員)	事業者	相鉄バス株式会社
	人員体制	自動運転バス 1 台当たりの配置人数:1 名 車外への配置人数:1 名
	オペレーション	テストドライバー補助、乗客介助、起終点バス停の安全確認 及びお客様案内
	業務従事者 教育	遠隔監視員については、安全な運行に必要な知識と技術を 学んだ。具体的には、自動運転バス特有の機器の把握や自 動運転バスのシステムの理解、緊急時の対応、テストドライ バーと同等の運転操作やお客さまとのコミュニケーション方 法について学んだ。

3.5 自動運転車両の特徴

表 6 自動運転車両の特徴

項目		内容
台数		2台
所有者		先進モビリティ株式会社
車両 スペック	車両名	ポンチョ
	自動運転レベル	レベル 2
	車両定員	34 人
	試乗枠の定員	11 人
	最高速度	車両機能上限:80km/h
		実証実験時上限:60km/h
	センシングデバイス	※センシングデバイスの種類別の個数 (2D・3D LiDAR ミリ波レーダー、物体検知カメラ等) 3D LiDAR:8 台、物体検知カメラ:10 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	

			<input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 乗車定員は、実証地域で将来的に実装することを想定した適当な規模であること		
	運行管理システム (チェックを入れること)		<input type="checkbox"/> 車両に搭載したカメラによる車両内外の遠隔監視		
			<input type="checkbox"/> 緊急時における車内との通話		
			<input type="checkbox"/> 速度や位置等の車両走行状態のリアルタイムでの取得		
			<input type="checkbox"/> 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		
			<input type="checkbox"/> 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		—			
走行可能環境	天候		晴天、曇天、雨天(小雨)		
	照度		130lx 以上		
保有機能	自車操作	左折	走行可否	可	
		右折	走行可否	否	
		車線変更	走行可否	可(特定の条件下でのみ可)	
		障害物回避	対応可否	可(特定の条件下でのみ可)	
	対象認識		4 輪車、2 輪車、人、三角コーン		
	白線認識		可		

	標識認識	否
	信号認識	可
	MRM	否(レベル 2 のため)
本実証のために実施する自動運転システム改修の内容		路側インフラとの連携を行うためのソフトウェアを開発し、自動運転バスに搭載する
その他特徴等		—
車両の外観		

図 3 ポンチョの外観

3.6 自動運転に関する手続き

実施に当たって、下記の報告及び許可申請を実施した。

表 7 自動運転に関する手続き

申請先・調整先	申請内容・調整内容
神奈川県警 (本部・旭署)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証概要や実証におけるリスク管理について報告。 ・ 道路使用許可、通行許可申請を実施。
横浜市 旭区	<ul style="list-style-type: none"> ・ 旭区民向けに実証概要について報告。 (主な報告内容) <ul style="list-style-type: none"> ・ 実証概要(運行期間や走行車両、乗車方法) ・ 運行ルート ・ 実証に向けて実施する工事
横浜市 経済局	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証概要や機器設置場所等について報告。 ・ 道路占有許可、工事許可、自動運転の行為許可、建築リサイクル法届出の申請を実施。

緑の協会・ズー ラシア	<ul style="list-style-type: none">・ 実証概要や機器設置場所等について報告・ 公園占有許可、公園内行為許可申請を実施。
----------------	---

4. 実証の手法

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

当該ユースケースは実施していない

4.2 ②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保

4.2.1 Cradio による安定した映像伝送と ISAP を用いたネットワークリソースとコンピューティングリソースの効率化の実施

1) 目的

近年、全国でバス運転手不足により減便や路線廃止の動きが相次いでおり、本実証エリアも同様の傾向にある。少ない人材で、効率的にバス事業を運営するための施策導入が急務の状況である。

これに対応するため、ネットワークの品質予測と通信制御の技術を組み合わせ、車両からの鮮明な映像の安定した伝送を確保し、高度な車両制御と AI 検知技術を活用した効率的な 1:2 の遠隔監視業務を実現することを目的に検証を行った。

2) 実証内容の詳細

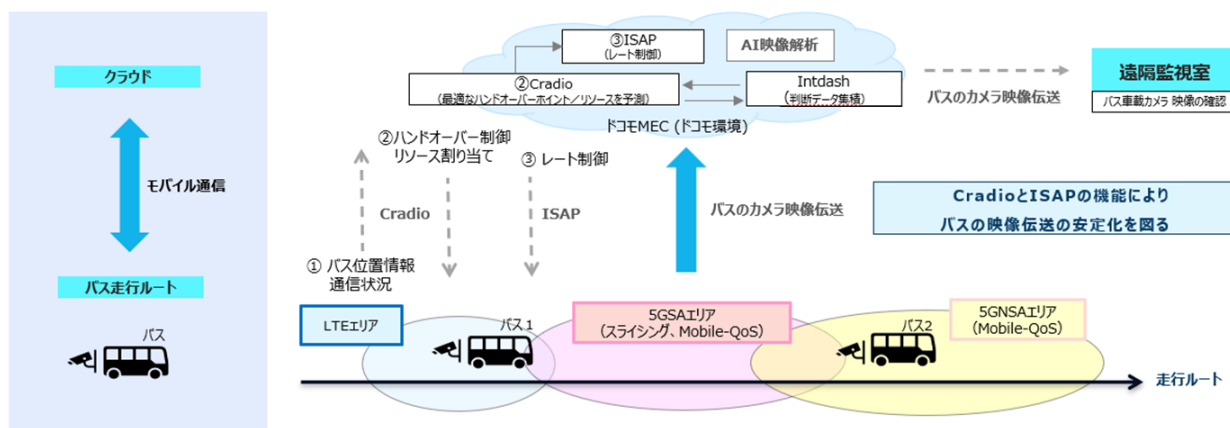


図 4 UC②実証内容の全体像(イメージ)

自動運転バスの遠隔監視においては、走行中のバス車内での乗客の離席(立ち上がり)や転倒などのトラブルを監視することが困難であると予測される。その対策としてシステムにより乗客の状態を検知し、監視員にトラブル発生を通知する仕組みが有効であると考えた。そこで、車室内のカメラ映像を撮影し、AI で人の姿勢を検知するシステムを用いて有効性を検証した。

また、複数の自動運転バスで AI 処理装置を設置する場合、AI 処理装置が自動運転バスの台数分必要であり、初期投資および保守などの面で経済性が落ちる。そのため、各自動運転バスの車

室内映像をネットワーク伝送して、AI 処理をクラウドに集約することを考えた。その際、映像の伝送による映像劣化による AI 検知の精度低下や遅延が懸念されるため、本実証における通信安定化技術が AI 検知の精度を保つものであるかどうかを検証する必要がある。本実証における通信安定化技術は、電波環境の時間的・地理的変化を捉えてネットワーク品質を予測し、走行ルート上の無線通信品質の安定化を図るものである。これにアプリケーション通信制御技術を組み合わせることで、明瞭で乱れのない映像をクラウドへ伝送できるようになり、AI による遠隔監視を支える技術としてその有用性を増すと考えられる。

3) 利用技術

走行するバスのモバイル通信は複数の帯域(バンド)の切り替えを行うハンドオーバーを前提とする。Cradio の予測に基づいた最適なハンドオーバー制御と複数周波数帯の動的なりソース割り当てを行うことでスループットの確保を行う。また、ISAP によるアプリケーションレベルの通信レート制御により映像伝送の低遅延・スループットの安定化を図る。更にキャリア 5G 通信サービスのスライシングや Mobile-QoS を活用し、安定した映像伝送と遠隔監視を実現する。

4) 必要性・緊急性・新規性

必要性：自動運転バスの社会実装には、車内の安全を確保するための遠隔監視、とりわけ乗客の姿勢検知が不可欠である。さらに、走行中のバスからクラウド上の AI へカメラ映像をモバイル通信で伝送するため、その通信品質を安定的に確保することも重要となる。

緊急性：自動運転バスの社会実装では、遠隔監視が安全確保の要となるが、人手に依存した監視は負担増や見落としによるリスクを招く。したがって、AI による自動検知・自動アラート・状況要約などの導入による、監視業務・体制の効率化が急務である。

新規性：昨年度のよこはま自動運転バス実証でも Cradio を活用したが、その際はハンドオーバーポイントを固定的に捉えており、時間帯による混雑状況などの変化を反映できなかったため、最適な予測には至らなかった(2024 年度の残課題)。今回の取り組みでは、学習機能を持つクラウド AI「Cradio」により、状況に応じて動的にハンドオーバーを予測する仕組みを導入する。これは自動運転実証として初めての試みである。また、映像伝送のレート制御を担う ISAP が Cradio の予測と連携する仕組みも初めてとなり、通信安定化に向けた新たなアプローチとなっている。

5) 検証条件

走行ルート：2台の自動運転バスは、本実証で定めた「鶴ヶ峰駅～よこはま動物園(ズーラシア)エリア(正門 5 番バス停～北門バス停ルート)」を往復走行する。鶴ヶ峰駅バスロータリーを始点として、動物園へ向かい、動物園北門で折り返して鶴ヶ峰駅バスロータリーまで戻って終点となる。

走行ルートにおけるモバイルエリアと各技術の適用範囲：走行ルートはキャリアモバイルの 5G(SA)、5G(NSA)、LTE が混在している。バスにはキャリアモバイル対応端末を搭載して通信を行うが、その

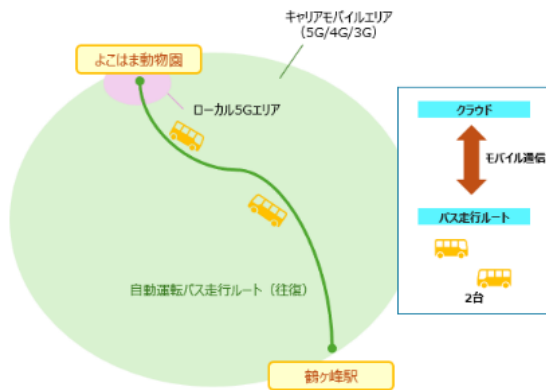


図 5 UC2 バス走行ルートのキャリアモバイルエリア

際に Cradio 予測に基づいたハンドオーバー制御とリソース割り当てを行う。L5G 通信は行わない。ISAP、Mobile-QoS はキャリア 5G (SA)、5G(NSA)、LTE の通信において機能する。スライシング技術は 5G(SA)エリアにおける DL 通信にて機能する。

計測車両： 実証試験のモバイル通信の測定は、自動運転バスによるルート運行のほか、測定車によるルート走行において行う。ただし、測定車(一般車両)は鶴ヶ峰駅バスロータリーと動物園正門ロータリーには進入できないため、それら地点での測定は行わない。

定点計測： 遠隔監視室(臨時設営)のモバイル通信の測定は、よこはま動物園正門一般車駐車場入り口付近の定位置で測定を行う。

時間的条件： 本実証の自動運転バスの調律走行期間および本番走行期間に自動運転バスの運行ダイヤに合わせて、日中時間帯にて実証を行う。

天候条件： 雨天時も実証は行うが、通信品質への影響を考慮するため、実証時の天候を記録する。降雪時は自動運転バスを運行しない可能性がある。

6) 開発・評価項目

表 8 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	Cradio 技術を開発し、MEC 上に実装
(2)	ISAP 技術を開発し、MEC 上に実装
(3)	Cradio による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間のスループットを確認する
(4)	ISAP による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間のスループットに対するネットワークリソース使用率を確認する
(5)	自動運転バス車内の映像をビデオカメラで撮影し、遠隔監視装置に設置の AI 処理機構にリアルタイム映像伝送を行う。
(6)	遠隔監視装置に設置の AI 処理機構で乗客の姿勢を AI 検知し、不安全状態かどうかを判定する。
(7)	乗客が不安全状態である場合、遠隔監視画面で表示する。

(8)	エッジ側(車両側)での AI 処理と遠隔処理(ネットワーク経由)による AI 検知率を比較する
(9)	伝送後の映像品質(遅延も含めて)を確認する

(1) Cradio 技術を開発し、MEC 上に実装

Cradio 制御 VM(Cradio の制御ロジック実行の中核となる仮想サーバ)を MEC 上に配置し、バスの走行ルートにおけるモバイル通信の品質予測を行う。バス搭載の遠隔監視装置である intdash T1(車両情報、映像、ネットワーク品質予測情報などを集約・伝送する車載エッジコンピュータ)にネットワーク選定制御機能を実装し、Cradio 制御 VM からの予測通知に従ってバスのモバイル通信ルータのハンドオーバー制御とリソース割り当てを行う。

(2) ISAP 技術を開発し、MEC 上に実装

ISAP レート制御 VM(サービス要求に応じて通信レートを最適化する仮想サーバ)を MEC 上に配置する。バス側には ISAP-GW を搭載する。ISAP 機能は、バスの intdash T1(車両情報、映像、ネットワーク品質予測情報などを集約・伝送する車載エッジコンピュータ)が MEC の intdash サーバ(クラウド上のデータを集約・連携・伝送するデータ連携基盤)に監視カメラ映像伝送を行うため、適切な伝送量を判断し、映像伝送のレート制御を調節する。

(3) Cradio による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間のスループットを確認する

※(4)にて合わせて説明する

(4) ISAP による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間のスループットに対するネットワークリソース使用率を確認する

本実証では、自動運行中のバスの車内カメラ映像をリアルタイムで MEC 上の intdash サーバへ伝送する際に、通信安定化技術がどの程度有効であるか評価する。評価対象とする通信安定化技術は、Cradio と ISAP、およびそれらの組合せとする。

表 9 【組合せパターン】

a.Cradio(なし)／ISAP(なし)	一般的なモバイル回線を利用した映像伝送試験。モバイル端末は、基地局制御の影響下でハンドオーバーを実施する。また、TCP の制御は標準的な CUBIC-TCP となる。 本実証のような複数のセルが重畳しているエリアで移動体通信を行う際、移動端末の状態を基地局で確認してバスの移動に伴うハンドオーバー先を決定するが、必ずしもアップリンクスループットが良いセルにハンドオーバーするとは限らず、低品質 band/方式に帰属すると、スループットが劣化してしまう。
b.Cradio(あり)／ISAP(あり)	本実証で提言する通信技術を使用する映像伝送試験。モバイル端末は、Cradio の予測・制御によって動的なハンドオーバーを実施する。また、

	TCP の制御は、通常の BBR 処理に対し、Cradio から予測値をもらうことで動的なフロー制御を行う改良型 BBR となる。 本実証では、実証エリア内の band/方式(LTE/NSA/SA)に関する無線スループット予測を Cradio で実施し、所定のスループット(6Mbps)を満たさないと判断したときは、条件を満たす別の band/方式(LTE/NSA/SA)へ主体的に切り替える制御を実施する。この方法により、従来で問題であった低品質 band/方式への接続を最小限に抑え、スループットを改善する。
c.Cradio(あり)／ISAP(なし)	Cradio は機能するが、ISAP は機能しない映像伝送試験。モバイル端末は、Cradio の予測・制御によって動的なハンドオーバーを実施する。また、TCP の制御は、標準的な CUBIC-TCP となる。
d.Cradio(なし)／ISAP(あり)	ISAP は機能するが、Cradio は機能しない映像伝送試験。ISAP により、TCP の制御として BBR 制御を実施するが、Cradio が存在しないため、標準的な BBR 処理となる。

計測項目は以下のとおり。

表 10 計測項目

性能	スループット(定量評価)
	遅延(RTT)／ジッタ(定量評価)
	無線区間において所望スループットになる時間率 95%以上(劣化する時間率が 5%未満)(定量評価)
	無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が 10%未満)(定量評価)
	スムーズなハンドオーバー(定量評価)

測定手法について

・バスに搭載した遠隔監視装置 intdash T1 が MEC 上の intdash サーバに映像伝送を行うが、その通信経路上に位置する ISAP-GW(バス搭載)、ISAP 統合レート装置(MEC 上)または intdash サーバ(MEC 上)において、映像伝送の実効スループットや RTT を計測する。留意点として、カメラ映像は基本的に一定のビットレートで通信を行うが、時によりパケット流量が減じる場合がある。例えばバスが信号待ちで停車したときなど、カメラの映像に動きがなければ伝送情報量は減じるためスループットは低下する。計測結果を分析する際にスループットの揺らぎ(低下)の要因がネットワークの通信品質にあるのか、パケットの流量の変化にあるのかは判別しにくい。したがって、一定量の負荷による測定が可能な iPerf によるスループット測定も行う。iPerf クライアントを計測車に搭載し、バスの走行ルートを走らせることで MEC の intdash サーバと同じ論理セグメントに配置する iPerf サーバまでの通信を行い、スループットを測定する。※iPerf 測定における測定パターンは「Cradio(なし)／ISAP(なし)」と「Cradio(あり)／ISAP(あり)」とする

・バスから伝送されたりリアルタイムカメラ映像は intdash サーバから遠隔監視室の監視システムに配信されモニタに投影される。遠隔監視室の監視システムにおいて監視画面の映像キャプチャを録画し、

監視員の閲覧による定性評価に利用する。

・測定結果分析の補助データとして、自動運転バスの位置情報ログ、ハンドオーバーログ、T1 の Web ソケット切替ログ、自動運転バス搭載の 5G ルータから取得した電波品質ログを収集する。

【追加】遠隔監視室(臨時設営)における無線ダウンリンクでの映像伝送の有用性の実証と評価

遠隔監視のためのカメラ映像伝送の通信は自動運転バスや路側から遠隔監視システムへのアップリンク通信が主となる。しかしながら、災害対応やイベント対応等により遠隔監視室を臨時設営する場合には有線回線の敷設が困難となるケースが想定される。この場合、intdash サーバに集約された映像を、無線ダウンリンクにより遠隔監視室にて受信する必要があるが生じる。そこで遠隔監視室を臨時設営することを想定して、無線ダウンリンクによる映像伝送を行い、5G の新技術であるスライシングの有用性を検証する。

※本実証試験の実施期にあって開発中のスライシングがまだアップリンクで十分機能しない見込みであったため、ダウンリンクでの実証として本実証項目を追加した

計測項目は以下のとおり。

表 11 スライシングの有用性検証に係る計測項目

性能	スループット	(背景負荷あり):5G(ノーマル):(定量評価)
		(背景負荷あり):5G(優先制御あり):(定量評価)
		(背景負荷なし) :ローカル 5G:(定量評価)
録画	主観的映像品質評価:(定性評価)	

モバイル通信は一般的に、アップリンクよりダウンリンクの方がスループットが高い仕組みとなっている。5G の新技術であるスライシングの有用性をダウンリンクで見ると、要求基準のハードルを高くすることが可能である。したがって、測定場所の周囲において最大 50 台分のスマートフォンによる混雑を模擬した背景負荷(ネットワークへの定量的負荷)を作出して測定を行う。

※一般的な首都圏や地方の主要の駅、桜木町駅、広島駅のホームの通勤ラッシュ時の混雑に相当

スループットはMEC上に配置した iPerf サーバからのダウンリンクにて測定。

スライシングは概ね 30Mbpsを確保する設定とし、5G-SA エリアであるよこはま動物園一般駐車場入り口付近を測定場所とし、5G(SA)-SIM(優先制御あり)と比較用に5G(SA)-SIM(ノーマル)にて行う。 ※図 6 臨時遠隔監視室設置想定場所(測定場所) 参照

この測定場所は同時に本実証(UC③)のスマート道路灯向けのローカル 5G の電波エリアでもあり、比較用にローカル 5G-SIM による測定も行った。

※ローカル 5G はユーザ専用設備であり、ユーザが意図しない混雑は発生しないものであるため、背景負荷は作出しない



図 6 臨時遠隔監視室設置想定場所(測定場所)

映像配信についても高レートを要求するスマート道路灯の映像を準備し、MEC 上の intdash サーバから、比較する回線種別 3 パターンすべて同一の映像データを配信(ダウンリンクで受信)して、そのキャプチャ録画を行う。

- (5) 自動運転バス車内の映像をビデオカメラで撮影し、遠隔監視装置に設置の AI 処理機構にリアルタイム映像伝送を行う。

車内映像を遠隔監視装置側にある AI 処理機構にリアルタイム映像伝送することを目指す。具体的には、自動運転バス車内に設置したカメラの映像を、車載器、MEC を経由して、遠隔監視装置側の AI 姿勢検知アプリ(以下、遠隔側 AI 姿勢検知アプリ)が機能する roscube(ROS 組み込みコンピュータ)へリアルタイム映像伝送する。この映像伝送の動作確認は、遠隔側 AI 姿勢検知アプリの機能状態を可視化した ECU 画面上で確認する。

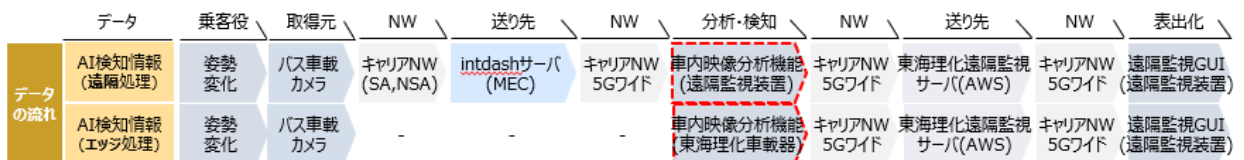


図 7 AI 姿勢検知情報が表出化するまでのフロー図※赤点線段階の可視化画面で確認

- (6) 遠隔監視装置に設置の AI 処理機構で乗客の姿勢を AI 検知し、不安全状態かどうかを判定する。

遠隔側 AI 姿勢検知アプリが、乗客役が転倒した場合に、それを正しく転倒状態であると判定できる

かを、遠隔側 AI 姿勢検知アプリの機能状態を可視化した ECU 画面上で確認する。

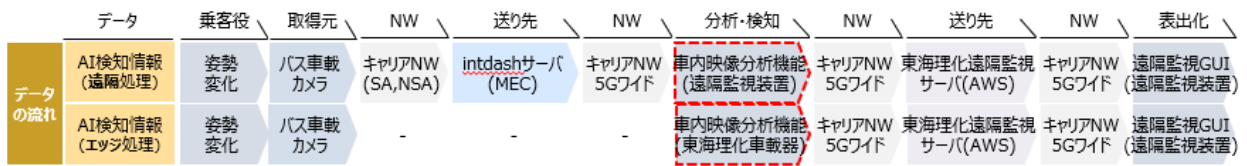


図 8 AI 姿勢検知情報が表出化するまでのフロー図※赤点線段階の可視化画面で確認

(7) 乗客が不安全状態である場合、遠隔監視画面で表示する。

乗客の姿勢変化から、AI 姿勢検知アプリでの分析・検知、遠隔監視画面への姿勢変化内容の表示までが一貫して機能するかを確認する。そのため乗客が自動運転バス内通路で立位状態と転倒状態の姿勢を取り、AI 姿勢検知機能が遠隔監視画面でその状態に対して期待したアイコン表示・音声通知できるかどうかを、遠隔監視画面上で確認する。

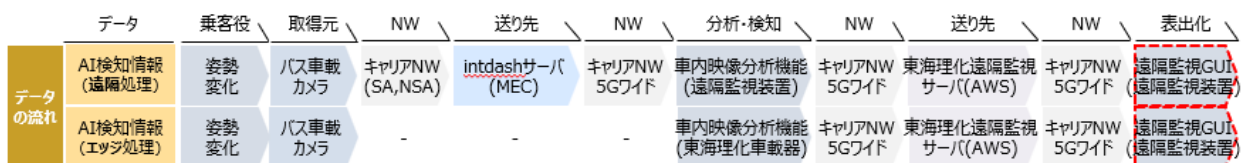


図 9 AI 姿勢検知情報が表出化するまでのフロー図※赤点線段階の画面で確認

(8) エッジ側(車両側)での AI 処理と遠隔処理(ネットワーク経由)による AI 検知率を比較する

本開発項目を通して、エッジ・遠隔それぞれの場合における AI 処理の性能差を比較可能とする。そのため、エッジ処理と遠隔処理の結果を同時に表示可能なシステムを開発し、車内での姿勢変化に対して、遠隔処理とエッジ処理それぞれの結果が、遠隔監視画面上に期待通りに表示されることを確認する。また、この際、先端通信技術(Cradio・ISAP)の活用有無による比較も実施する。

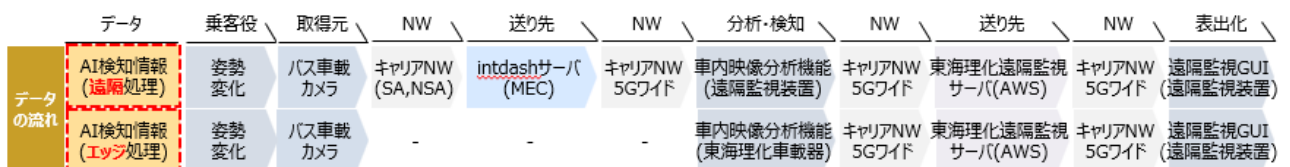


図 10 AI 姿勢検知情報が表出化するまでのフロー図※遠隔処理とエッジ処理の差を比較

(9) 伝送後の映像品質(遅延も含めて)を確認する

実際の映像が、車両制御支援及び監視業務に支障なく、実装に合う安定・高品質な映像であることを確認する。

7) KPI/KGI

表 12KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	伝送後の映像について、遠隔監視員による遠隔監視業務や自動運転への支障の有無、および、支障がある場合の映像の特徴と具体的な支障の内容など確認する。 上記評価データを4名分以上の取得。
	(2)	AI検知を車内遠隔監視に活用した際の効果およびネットワークの影響を確認する AI検知により、監視員1名による2台の同時監視において質(迅速性、確実性など)を落とさず実現できるか AI処理をネットワークを経由し実施した場合の検知率低下は許容できるか また、改善に向けた課題を特定し、必要な支援についても整理する。 上記評価データを4名分以上の取得、課題を3点以上抽出
定量評価	(3)	無線区間において所望スループットになる時間率95%以上(劣化する時間率が5%未満)
	(4)	無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ、帯域使用できる時間率90%以上(劣化する時間率が10%未満)
	(5)	エッジ側処理に対し、遠隔処理(ネットワーク経由)での乗客の姿勢検知(座位/立位/転倒)成功率比90%以上
	(6)	通信劣化に起因するAIの検知劣化の発生頻度と発生パターンを確認する。

(1) 伝送後の映像に関する遠隔監視業務への支障有無の確認【定性評価】

評価内容

伝送後の映像について、監視員による遠隔監視業務や自動運転への支障の有無、および、支障がある場合の映像の特徴と具体的な支障の内容など確認する。

上記評価データを4名分以上の取得。

設定理由

- ・専門性のある者を対象とすることで、質の高い意見を抽出可能と見込まれるため。
- ・遠隔監視員の視点で監視が実現できるかどうかを検証するため。

昨年度は車外を対象としたが、今年度は車内を対象とし、映像品質に求められる差異なども整理する。

実施概要

4.2.1 3)に記載の、ISAP や Cradio など複数の通信基盤技術を対象に、採用する技術パターンごとに伝送後の映像品質を評価した。評価は以下のとおり、運行上の重大な支障の有無、支障がある場合の映像の特徴、および具体的な支障内容について、監視員の主観評価を実施した。

表 13 映像品質に係る評価項目

評価項目	評価内容
1.通信基盤技術の活用パターンごとの映像品質の評価	カクツキや飛び/フリーズ、画質の低下などの映像の乱れがどの程度あったかを評価した。 各通信技術の活用について、「映像の乱れ」「確認のしやすさ」「監視への支障」に分けて評価を実施した。
2.劣化映像に対する許容度の評価	監視の役割ごとに監視の支障の有無を評価。 支障がある場合、映像の特徴や具体的な支障の内容を確認した。

表 14 実施概要

実施日	1日目:12/18(木)、2日目:12/19(金)の計2日
実施時間	計120分/人 (説明:20分、検証・インタビュー:100分)
実施場所	相鉄バス 旭営業所 室内
インタビュー対象者	バス事業者 社員4名 (いずれもバス運転士歴、運行管理歴あり)

評価方法

運行管理経験を有するバス事業者4名を対象に、自動運転バスの遠隔監視業務を想定した主観評価を実施する。評価者は車内録画映像を視聴し、評価項目1、2に対してアンケート用紙を用いて評価を行うことで、伝送後の映像品質が監視業務に及ぼす支障の有無について確認する。

評価項目 1. 通信基盤技術の活用パターンごとの映像品質の評価

対象者は、往路・復路の2回分の映像を視聴した上で、「映像の乱れ」「確認のしやすさ」「監視への支障」について評価を行う。その後、評価内容に関してヒアリングを実施する。これらの手順を、各通信基盤技術を活用したパターン a~d の映像に対して繰り返し、最終的に総合評価を実施する。

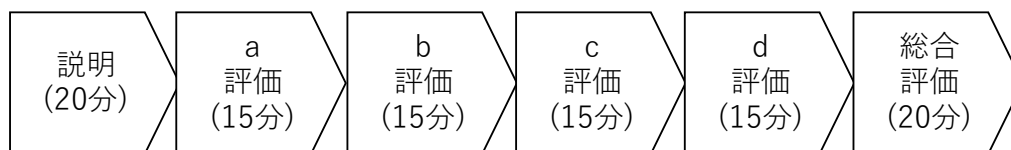


図 11 各映像品質の評価の流れ

通信基盤技術の活用パターン

アップリンクにおいて Mobile-QoS に複数の通信基盤技術を組み合わせた 4 つのパターンを用意した。検証に使用した通信基盤技術のパターンは表 15 に示す通りである。なお、遠隔監視システムには intdash を利用する。

表 15 通信基盤技術の活用パターン

a	Mobile-QoS +(技術無し)
b	Mobile-QoS + Cradio / ISAP
c	Mobile-QoS + Cradio
d	Mobile-QoS + ISAP

評価に使用する録画映像データの抽出方法

本検証では、提案する通信基盤技術の構成差異が映像品質に及ぼす影響を評価するため、同一の走行エリアにおける往路・復路、計2走行分の映像データを抽出し使用した。対象エリアについては、定量的な通信特性が顕著に現れる区間を評価地点として選定した。(図 12 参照)これにより、地理的条件を共通化した条件下で、通信機能の性能向上が主観的な映像品質評価に与える影響を確認する。



図 12 対象エリア(出典:国土地理院地図 Vector を加工して作成)

主観評価のアンケート項目

「映像の乱れ」について、対象者に以下の3項目について事前にデモ映像を見せながら説明し、その上で視聴映像に各「映像の乱れ」がどの程度みられたか、対象者自身の主観による5段階評価を実施した。

表 16 「映像の乱れ」に関するアンケート内容

項目	内容
カクツキ	映像の滑らかさが損なわれ、カクカクとした動きになるか
飛び/フリーズ	カクツキの範疇を超えて、映像が一時的に静止、または映像の一部が欠落し、映像に不自然な間が発生するか
画質の低下	映像のぼけ、粗さ、ノイズなどの画質の低下により、細かい部分が判別しにくくなるか

「確認のしやすさ」について、映像を視聴し、以下3項目について映像からどの程度確認可能か6段階で評価を実施した。

表 17 「確認のしやすさ」に関するアンケート内容

確認項目	アンケート内容
人物の存在	車内に乗客が何名いるか確認することができるか
人物の挙動	乗客がどのような動作をしているか確認することができるか
人物の表情	乗客がどのような表情をしているか確認することができるか

「監視への支障」について、遠隔での車内監視を前提とし、以下5つの監視の役割を想定した時に、それぞれ監視に支障があるかどうかの評価を実施した。

表 18 車内「監視への支障」に関するアンケート内容

確認項目	アンケート内容
対象者周辺の状況確認	対象者の周辺を確認し、自動運転バスが停止した状況や原因を把握できるか
車内全体の状況確認	対象の乗客だけではなく、他の乗客などへの新たな危険が発生しないか、より広範囲の状況を確認できるか
走行再開のロック解除	自動運転バスが動き出しても車内の乗客に問題がないことを確認し、遠隔から走行再開のロックを解除できるか
非常停止ボタンの押下	車内の状況を確認し、非常停止ボタン(EDSS相当)の安全スイッチを遠隔から押下できるか
扉の開閉ボタンの押下	扉付近に乗客がいないことを確認し、遠隔から扉の開閉ボタンを押下できるか

評価項目 2. 劣化映像に対する許容度の評価

対象者は、劣化の程度が異なる約 10 秒間の 4 つの映像を視聴し、それぞれについて、車内監視と車外監視における役割ごとに「監視への支障」があるかどうかの評価を行う。その後、評価内容に関してヒアリングを実施する。

評価に使用する録画映像データの抽出方法

表 15 記載の、通信基盤技術の活用パターン「a(技術なし)」において、定量的に測定したスループットの発生状況、ならびに目視による劣化状況に基づき分類した 4 種類の映像(各 10 秒程度/表 19 参照)を用意した。

表 19 劣化映像の許容度の評価で使用した映像一覧

使用映像	スループット	目視での劣化状況
映像 1	2Mbps~4Mbps (対象区間内の 70%において 3Mbps 以下)	動きに軽度の不安定さを感じさせる細かなカクツキが継続的に発生
映像 2	1Mbps~ 3Mbps (対象区間内の 70%において 2Mbps 以下)	再生速度にばらつきを感じさせる重たいカクツキが発生
映像 3	0Mbps (waiting 未発生)	ところどころスローモーションに感じさせる断続した乱れが発生
映像 4	0Mbps (10 秒ほどの waiting 発生)	waiting 表示を伴う 10 秒ほどの映像の完全停止が発生

主観評価のアンケート項目

車内監視を前提とした「監視への支障」についてのアンケート項目は確認項目 1 と同様である。(表 18 参照)車外監視を前提とした「監視への支障」についてのアンケート項目は以下の通りである。

表 20 車外「監視への支障」に関するアンケート内容

監視の役割	アンケート内容
対象車両周辺の状況確認	対象車両の周辺を確認し、自動運転バスが停止した状況や原因を把握できるか
対象車両から離れた先の状況確認	他の自動運転バスや後続車等、他の交通参加者への新たな危険が発生しないか、より広範囲の状況を確認できるか
走行再開のロック解除	停止位置から走行復帰しても問題ないことを確認し、遠隔から走行再開のロックを解除できるか
非常停止ボタンの押下	対象車両周辺の状況を確認し、非常ボタン(EDSS 相当)の安全スイッチを遠隔から押下できるか

評価環境

本検証は以下の構成および環境にて実施した。

表 21 車外「監視への支障」に関するアンケート内容

遠隔監視環境	実際の遠隔監視を想定し、閉じられた空間を使用。 関係者のみが入室可能な専用部屋にて実施。
モニタの仕様	モニタ型番:JN-IPS2706UHDR サイズ:27 インチ、解像度:1920×1080 まで対応
遠隔監視システム	データ管理基盤(intdash)を利用。 車載カメラで撮影した車内前方および後方 2 つの映像を表示する監視画面を使用。(図 13 参照)
映像伝送の設定詳細	伝送レート:4Mbps(カメラ 1 台あたり 1Mbps) フレームレート:60fps 解像度:最大 Full-HD
実施方法	モニタ 1 台に予め用意していた遠隔監視映像の録画 a~d を投影。モニタとの視距離は、監視しやすい距離を監視者が設定。



図 13 映像確認環境



図 14 車載カメラの映像を表示する監視画面
(左)車内前方カメラ/(右)車内後方カメラ

- (2) AI 検知を車内遠隔監視に活用した際の効果およびネットワークの影響を確認する。上記評価データを 4 名分以上の取得、課題を 3 点以上抽出【定性評価】

設定理由

- ・専門性のある者を対象とすることで、質の高い意見を抽出可能と想定されるため。
- ・将来的に遠隔監視員 1 人が自動運転バス 1 台を監視するという方法では、必要な人材を確保することが困難であり、少人数で複数台の自動運転バスを監視することが必須である。それに向け、AI の支援により、まずは監視員 1 名による 2 台の車内状況の同時監視を実現し得るかを確認する必要があるため。

実施概要

本調査では、自動運転レベル 4 の本格運用に不可欠な「遠隔監視業務の高度化」を目指し、AI 処理システムが監視員の業務負担や判断品質に与える影響を検証する。

自動運転バスの安定的な運行には、監視員の負担軽減と判断の正確性を両立させる AI の補助(検知・状況把握等)が不可欠である。本調査の主眼は、AI の介入によって監視業務の「迅速性・確実性・一貫性」および「心理的・身体的負担」がどう変化するかを、インタビューを通じて明らかにすることにある。

検証にあたっては、「現行の AI 処理機能による効果」に加え、「将来的な理想機能が具備された際の効果」の二段階で分析を行う。なお、「現行の AI 処理機能による効果」の検証の際には、AI 処理をクラ

ウド等の「遠隔側」に配置した際の通信遅延や映像劣化が監視業務に及ぼす影響を評価し、車両側（エッジ）で処理する場合と比較した際の許容度の検証も行う。

- ・ 現 AI 処理機構の負担軽減効果および、AI 処理機構の配置場所に対する通信劣化への許容度
- ・ 複数台監視の実現にむけた AI 活用の課題と期待

現 AI 処理機構の負担軽減効果

実施概要

4.2.1(2)に記載した、AI 検知を車内遠隔監視に活用した際の監視員の負担軽減に与える有効性を検証する。

具体的には、自動運転レベル 4 での遠隔監視業務について、遠隔監視員が複数台の車両を同時監視する環境を想定し、AI による補助の有無によりどのように業務が変容するか分析する。本検証における「負担軽減」とは、単なる作業量の減少のみならず、業務の迅速性・確実性・一貫性の向上、および監視員の心身における負荷の抑制と定義する。

特に、監視対象が 1 台の場合と比較し、複数台を同時監視する状況下においても、AI の介在によって業務の質（迅速性・確実性・一貫性）が同等に維持できるかを重要な評価指標とする。これらの観点に基づき、事前に取得した映像を用いた運用シミュレーションとインタビューによる主観評価を実施し、自動運転レベル 4 の実現に向けた AI 検知の効果と課題を明確にする。

表 22 AI 検知の負担軽減効果に係る評価項目

評価項目	評価内容	
A. 状況把握の迅速性・確実性及び、対応判断の一貫性	A-1. 状況把握の迅速性	AI 検知の有無が、乗客の転倒や立位の状況把握までのリードタイム短縮に影響を与えるかを、自動運転バスの同時監視台数ごとに評価する。
	A-2. 状況把握の確実性	AI 検知の有無が、乗客の転倒や立位の把握における見落としの防止に影響を与えるかを、自動運転バスの同時監視台数ごとに評価する。
	A-3. 対応判断の一貫性	AI 検知の有無が、乗客への対応順序に影響を与えるかを評価する。
B. 遠隔監視業務の心身の負担軽減	B-1. 心理的負担	AI 検知の有無が、監視員の心理的疲労にどのような影響を与えるかを評価する。

	B-2. 身体的負担	AI 検知の有無が、監視員の身体的疲労にどのような影響を与えるかを評価する。
C. 総合評価		本検証を踏まえ、自動運転レベル 4 の実施に向けた AI 検知の継続利用意向率を評価する。

表 23 前提事項表

遠隔監視員の役割	<ul style="list-style-type: none"> ・システム正常監視 ・安全監視(車内) ・自動運転バス操作(車両の停止・始動指示/自動手動切り替え) ・乗客の対応
乗客の異常発生時における遠隔監視員の対応事項	<ul style="list-style-type: none"> ・転倒:自動運転バスの停車指示 ・立ち歩き・立ち上がり:車内との通話を通じた注意喚起

表 24 実施概要

実施日	1 日目:12/18 (木) 2 日目:12/19 (金)
実施時間	計 140 分/人 (説明:20 分、運用シミュレーション+記録:60 分、休憩:10 分、インタビュー:50 分)
実施場所	相鉄バス 旭営業所 訓練車車内
インタビュー対象者	バス事業者 社員 4 名 (いずれも運転士歴、運行管理歴あり)

検証方法

映像を用いた運用シミュレーション

事前(12/3)に録画した車内映像を用い、表 25 に示す流れで運用シミュレーションを実施した。シミュレーションは表 26 のパターンに基づき実施し、各パターンでの観察や時間計測により、調査項目 A を評価する。

インタビュー

遠隔監視業務における AI 検知による補助が、監視員の負担軽減に繋がったかどうかインタビューし、評価項目 B・C を評価する。

表 25 運用シミュレーションの流れ

1. シミュレーション開始	<ul style="list-style-type: none"> ・録画映像を再生 ・実際の監視画面と見立て、評価対象者が遠隔監視業務を実施
2. 異常発生の判断	<ul style="list-style-type: none"> ・(AI 検知利用時)アラートによる異常通知 ・対象者が異常を把握し左手を挙手(調査項目 A-2) ・異常発生から挙手までの時間を計測(調査項目 A-1)
3. 対応の着手	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視画面内の、車両の停車ボタンや、車内通話ボタンに触れる(調査項目 A-3)
4. シミュレーション終了	<ul style="list-style-type: none"> ・映像の再生完了

表 26 検証パターン

(a)	AI 処理機構なし:自動運転バス 1 台監視
(b)	AI 処理機構なし:自動運転バス 2 台同時監視
(c)	AI 処理機構あり:自動運転バス 1 台監視
(d)	AI 処理機構あり:自動運転バス 2 台同時監視

検証環境

運用シミュレーション時の、自動運転バス 1 台、自動運転バス 2 台それぞれの監視に使うモニタ配置と、画面構成を図 15～図 20 に示す。

※12/3 に撮影した映像を用いて評価を行ったため、J6 とポンチョの車内映像を使用した



図 15 自動運転バス 1 台監視の際のモニタの配置



図 16 自動運転バス 2 台監視の際のモニタの配置

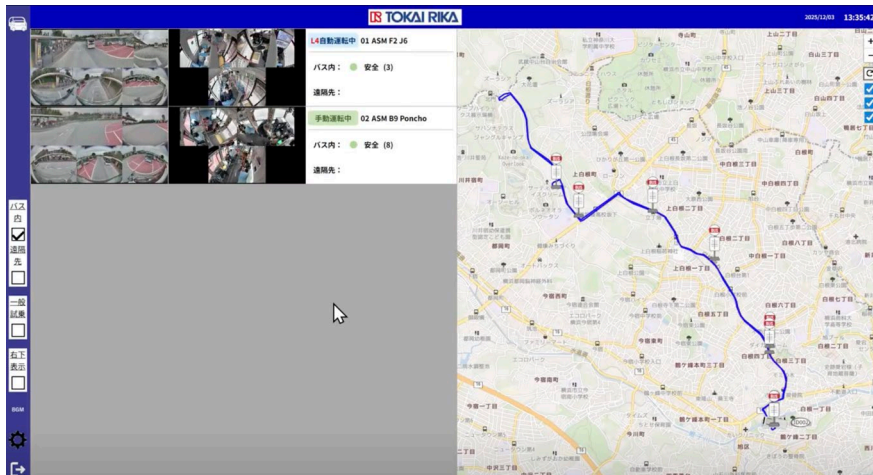


図 17 自動運転バス 2 台監視の際の全体画面



図 18 個別画面(J6・ポンチョ)



図 19 停車指示画面

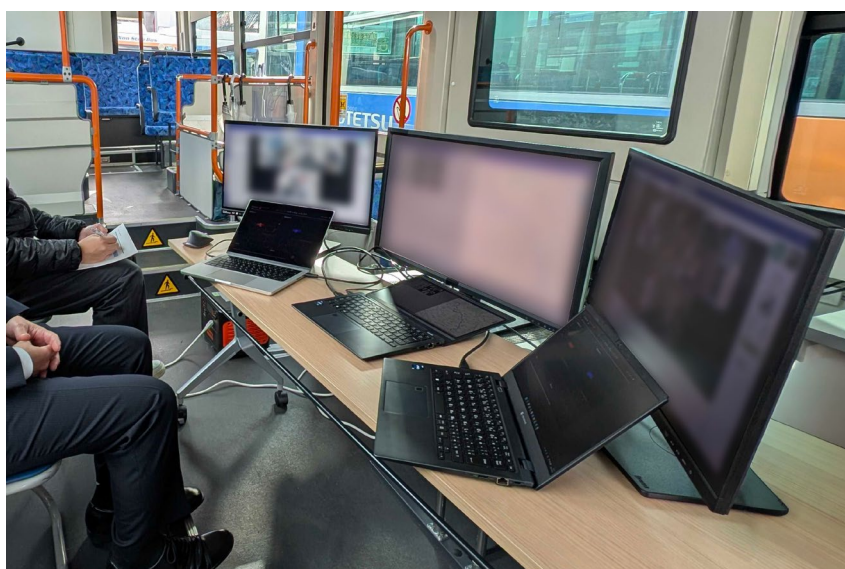


図 20 検証の様子

AI 処理機構の配置場所に対する通信劣化への許容度

実施概要

4.2.1 6)(8)に記載した、AI 処理機構の配置場所に対する通信劣化への許容度を検証する。具体的には、自動運転レベル 4 の遠隔監視業務への AI 処理機構導入に際し、通信環境による AI 検知精度の劣化が運用へ及ぼす影響を検証する。

特に、AI 処理をクラウド等の「遠隔側」に配置した際の通信遅延や映像劣化が監視業務の質(迅速性・確実性)に及ぼす影響を評価し、車両側(エッジ)で処理する場合と比較した際の許容度の検証を行う。

これにより、通信劣化における運用上の許容範囲を明らかにするとともに、解決すべき課題や改善点を明確にする。

表 27 AI 処理機構の配置場所に対する通信劣化への許容度に係る評価項目

評価項目	評価内容
A. 通信劣化によるリードタイムの許容度合い	通信の劣化による検知結果が、迅速性の観点で運用上どの程度までであれば許容可能かを評価する。
B. 通信劣化による検知精度の許容度合い	通信の劣化による検知率の差異が、運用上どの程度までであれば許容可能かを評価する。

表 28 前提事項

遠隔監視員の役割	<ul style="list-style-type: none"> ・システム正常監視 ・安全監視(車内) ・自動運転バスの状態確認 ・乗客の対応
乗客の異常発生時における遠隔監視員の対応事項	<ul style="list-style-type: none"> ・転倒:自動運転バスの停車指示 ・立ち歩き・立ち上がり:車内との通話を通じた注意喚起

表 29 実施概要

実施日	1 日目:12/18(木) 2 日目:12/19(金)
実施時間	計 40 分/人 (説明:5 分、運用シミュレーション+記録:10 分、インタビュー:25 分)
実施場所	相鉄バス 旭営業所 訓練車車内
インタビュー対象者	バス事業者 社員 4 名 (いずれも大型バス運転士歴、運行管理歴あり)

検証方法

映像を用いた運用シミュレーション

事前に録画した車内映像を用い、表 30 に示す流れで運用シミュレーションを実施した。

インタビュー

シミュレーションで実施した内容を踏まえて、通信環境による AI 検知精度の劣化が運用へ及ぼす影響についてインタビューし、検証項目 A、B を評価した。

表 30 運用シミュレーションの流れ

1. シミュレーション開始	<ul style="list-style-type: none"> ・録画映像を再生 ・実際の監視画面と見立て、遠隔監視員が遠隔監視業務を実施
2. 異常発生の判断	<ul style="list-style-type: none"> ・(AI 処理機構利用時)アラートによる異常通知 ・対象者が異常を把握し左手を挙手 ・異常発生から挙手までの時間を計測
3. 対応の着手	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視画面内の、車両の停車ボタンや、車内通話ボタンに触れる
4. シミュレーション終了	<ul style="list-style-type: none"> ・映像の再生完了

表 31 検証パターン リードタイム参照値(A. 通信劣化によるリードタイムの許容度合い)

		事象発生から通知までの時間(リードタイム)
(a)	エッジ版・遠隔監視(ISAP あり、Cradio あり)版 相当	5 秒
(b)	遠隔監視(ISAP なし、Cradio なし)版 相当	10 秒

※6.2.1 2) (8)に記載の計測値に基づき、参照値として設定した。

表 32 検知率目安値(B. 通信劣化による検知精度の許容度合い)

	想定検知率
①導入「不可」水準	50%:発生した乗客の転倒のうち 2 回中 1 回以上は正確に検知される
②実用可能水準	80%:発生した乗客の転倒のうち 5 回中 4 回以上は正確に検知される

上記の検知率は、それぞれの対象者に対して、許容できる検知率がどの値であるかを確認する目安値として使用した。

検証環境

運用シミュレーション時の、監視に使うモニタ配置と画面構成を、図 21、図 22 に示す。



図 21 監視の際のモニタの配置



図 22 検証の様子

複数台監視の実現にむけた AI 活用の課題と期待

実施概要

自動運転バスの社会実装および普及を現実のものとするためには、少数の遠隔監視員で多数の車両を効率的に運用できるシステムや体制の構築が不可欠である。本調査では、遠隔監視業務への AI 導入が監視品質の維持にどの程度寄与するかを整理する。具体的には、本実証で実施した「1:2」に加え、将来的な多車両の管理を見据えた「1:10」および「1:40」の各ケースを想定し、これらのケースにおいて、どのような課題が生じ得るのか、および、どのような AI 機能(検知、予測、意思決定支援など)が求められるのか、バスの運行管理経験者へのインタビューを通じて明らかにする。

また、上記インタビューでは以下を前提にして進める(表 33、表 34)。

表 33 前提事項

遠隔監視員の役割 (保安員はなし)	<ul style="list-style-type: none"> ・システム正常監視 ・安全監視(車内 / 車外)
----------------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> ・自動運転バス操作(自動運転の終了・始動指示/自動手動切り替え) ・事故対応指示連絡
監視体制	複数人のチームで複数台の車両を監視する。手の空いている監視員が順に対応するものとする。

表 34 実施概要

実施日	11/19(水)、11/25(火)、12/18(木)、12/19(金)
時間帯	11/19(水)10:00~11:00、13:00~14:00 11/25(火)9:00~10:00、15:00~16:00 12/18(木)11:30~12:00、15:30~16:00 12/19(金)11:30~12:00、15:30~16:00
実施時間	計 90 分/人 (説明:20 分、インタビュー:合計 70 分)
実施場所	オンライン
対象者	相鉄バス社員 4 名 (いずれも運転士歴、運行管理歴あり)

(3) 無線区間において所望スループットになる時間率 95%以上(劣化する時間率が 5%未満)
【定量評価】

遠隔監視業務に資する通信環境の構築が可能かどうかを検証する。

昨年度実証の劣化時間率が 5%程度であったため、今回 5%を下回ることを目標とする。

所望スループットはアプリケーションが無線区間も含む END ポイント区間で要求する性能となるため、アプリケーション通信の区間(自動運転バス→クラウド)の計測とし、基準を下回るボトルネックが無線区間に存在するかどうかを検証する。

留意点として、映像伝送について、アプリケーションは常に所望スループット相当の通信を走らせる訳ではない(パケット流量に波がある)ため、iPerf による定量トラフィックでの測定も行う。

(4) 無線区間のスループットを有効活用してネットワークリソース使用率を向上させた上で、帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が 10%未満) 【定量評価】

ISAP の統合レート機能は従来アプリケーションレベルで行う通信調整であり、アプリケーション処理能力と通信レートを調整することで、ENDポイント間のスループット向上や遅延の改善が期待できる。さ

らにISAPが Cradio の無線品質予測と連携することでハンドオーバー時の統合レート調整が瞬時に実現できる。映像伝送を行っている自動運転バス運行時間の全体を通じて無線通信の品質を向上できている時間率を評価基準とする。

(5) エッジ側処理と比較して遠隔処理(ネットワーク経由)での乗客の姿勢検知(座位/立位/転倒)成功率比 90%以上【定量評価】

a. 姿勢検知成功率比

【定義】

姿勢検知成功率比は、以下のように定義する。

姿勢検知成功率比 = 遠隔処理の成功率比 / エッジ処理の成功率比

また姿勢検知成功率は、以下のように定義する。

姿勢検知成功率 = 立位検知表示時間 / 走行時間

【目的】

今後の自動運転の社会実装を見据えると、各種の異常・緊急事態は、遠隔監視者ではなくまずシステム側により検知することが必要となる。システムを機能させるための処理を、AI ではなくエッジ側で実施した場合、車両の台数の分だけエッジ機器を搭載する必要が出てくる。しかしエッジ機器は高額であるため、センター側で処理の方が経済性は高いと考えられる。そこで、通信技術の活用により AI 処理に必要となる映像を、高品質な状態で遠隔まで伝送することにより、遠隔処理はエッジ処理に対してどの程度の有用性があるかを確かめる必要がある。

【計測方法】

- 自動運転バス車内でダミー乗客1名が、バス通路上で、走行中に立位状態を保持する。その際、遠隔監視画面内の AI 姿勢検知結果表示上では立位状態と表示されることで、検知成功となる。また、人がいないと分析すると安全状態と表示される。これらの前提に基づき、ダミー乗客1名が立位状態を保持したままの総走行時間における、立位表示時間を成功時間とする。そして、成功時間の総走行時間に対する割合を算出し、目的の数値を取得する。

b. 参考：遅延時間

【定義】

AI 姿勢検知における遅延時間は以下のように定義する。

遅延時間 = 終点時間(検知結果ログが乗客の変化後の姿勢に切り替わった時間) - 起点時間

(車内乗客が姿勢変化した時間)

【目的】

社会実装を見据えると、無人の自動運転バスにおいて乗客が転倒した際に遠隔監視者がどの程度の時間でそれに気づけるか、どの程度の時間で検知結果を表示しアラートを出す必要があるかは、非常に重要な論点である。そのため、その論点や要件の検討に向けて、定義した遅延時間がどの程度になるかを計測する。また、遠隔処理とエッジ処理の差分を比較することによる、遠隔処理の性能評価も目的として、本計測を実施する。

【計測方法】

車内で1名の乗客が1分毎に座位状態と立位状態を繰り返す。それによって、座位から立位、立位から座位になった時間と、それぞれに対応する検知結果表示画面の切り替わり時間を、それぞれ車内映像の録画と、遠隔監視画面の録画により記録する。その後その記録映像から、姿勢変化時間・表示結果の切り替わり時間を特定し、姿勢変化ごとの遅延時間を集計する。

(6) 通信劣化に起因する AI の検知劣化の発生頻度と発生パターンを確認する。【定量評価】

本検証では、遠隔処理の場合に AI 姿勢検知精度が、通信によってどの程度、どのような影響を受けるかを確かめる。そこで、KPI(5)における成功率比で取得したデータに、同時間で記録したスループットデータを紐づけることで、検知劣化が発生したタイミングで、車両からクラウドへのアップリンクスループット値がどのようになっていたかを確認する。

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

4.3.1 路側インフラからの点群データ伝送にセルラーネットワークとコア設備を共用するローカル5G ネットワークを活用し、経済的に道路環境の認識・検知機能向上と自動運転バスの適切な制御の実現

1) 目的

自動走行可能エリアの拡大を目指し、本実証地域における狭隘道路・車列渋滞発生道路における、路車協調システムの活用による自動走行の可否を検証する。本実証地域では、離合を必要とする狭隘道路や、動物園への入庫待ち車列の発生する道路が存在する。通常、自動運転車両は他の交通参加者や障害物などを車載検知機器により認知し、判断・制御までを車両内で完結する。そして、各道路環境を走行するには、自動運転バスの車載機器のみでは捉えきれない死角スペースの交通参加者を認知する必要がある。そのため、今回は道路灯に設置したカメラ・LiDAR により死角スペース内の交通参加者を検知し、その検知情報を車両に連携することで、手動介入なしでの各道路環境の走行を目指す。

2) 実証内容の詳細

【離合制御エリア(図 23 UC③実証内容イメージ図 左側)】

まず離合が必要とされる狭隘道路脇の道路灯へ、動物園側から駅へ南下する方向にカメラを設置する。次に、そのカメラによって取得する映像データをモバイルネットワークにより MEC 上へアップロードし、MEC 上で駅から動物園へと北上する車両(対向車)の有無を分析・検知する。その結果として生成された物標情報を自動運転バスへ連携するとともに、物標情報を活用した自動運転バス制御までを行う一連のシステムを構築する。

そして今回は、この対向車検知から車両制御までの一連のシステムが期待通りに機能するか、機能した結果として本エリアにおける手動介入なしでの自動走行が達成可能か、その自動走行は旅客サービスとしての安全性・走行品質の要件を満たすか、を確認する。具体的には、映像データのアップリンクスループット量の計測および、当該エリア内における自動運転率の算出による定量評価に加えてバス事業者からの定性評価を実施する。

またコストの観点から、今回の実証のように既設の道路灯へカメラや分電盤を設置する方式により、道路灯の新設と比較してコストを抑えることが可能かどうか評価する。

【車列回避エリア(図 23 UC③実証内容イメージ図 右側)】

まず、車列回避が必要とされる動物園駐車場出入口付近の道路灯へと、動物園駐車場から出庫してくる車両に向かってカメラ・LiDAR を設置する。次に、そのカメラ・LiDAR によって取得する映像データ・点群データをローカル5G により MEC 上へアップロードし、MEC 上で出庫車両の有無を分析・検知するとともに、その結果として生成された物標情報の自動運転バスへの連携し、物標情報による自動

運転バス制御までを行う一連のシステムを構築する。

そして今回は、この出庫車検知から車両制御までの一連のシステムが期待通りに機能するか、機能した結果として本エリアにおける手動介入なしによる自動走行が達成可能か、その自動走行は旅客サービスとしての安全性・走行品質の要件を満たすか、を確認する。具体的には、映像データのアップリンクスループット量の計測および当該エリア内における自動運転率の算出による定量評価に加えて、バス事業者からの定性評価を実施する。

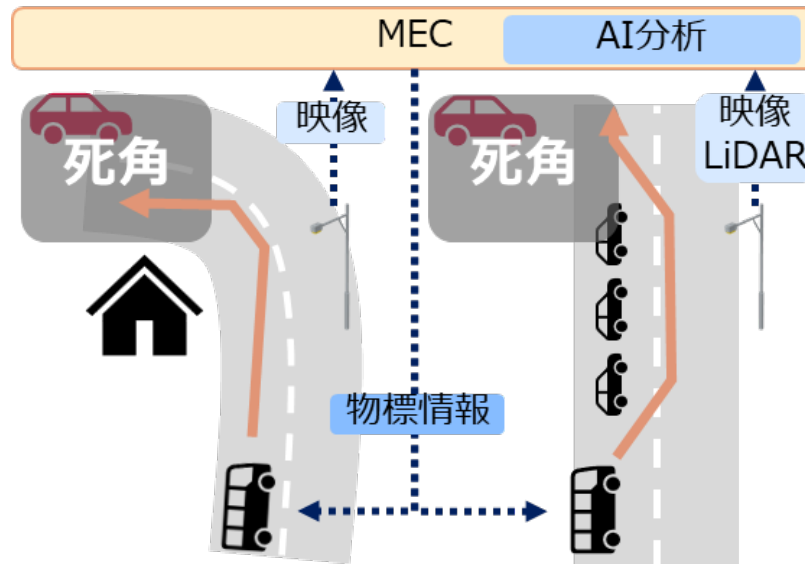


図 23 UC③実証内容イメージ図

また、今回の道路灯は、既設の道路灯へカメラや分電盤を設置するのみであるため、道路灯の新設と比較してコストを抑えることが可能であると考えられるため、コスト観点での評価も行う。

3) 利用技術

死角内にある車両検知のため、無線通信システムを用いた大容量通信と低遅延通信の実現が不可欠である。また、安全かつ円滑な交通流を維持するため、情報の収集・分析・車両の検知・自動運転バスへの連携をスムーズに行う必要がある。そこで、自動本実証における UC③においては以下の 2 つの通信技術を利用する。

- ① 路車協調システム
- ② 5G 技術(ローカル 5G)

それぞれの通信技術の内容、選択した理由を述べる。



図 24 スマート道路灯

① 路車協調システム

路車協調システムは、インフラと車両が情報連携をすることによって、自動運転車両だけでは自動走行不可能な道路を、より安全かつより確実に自動走行できるようにする技術である。例えば、離合が必要とされる狭隘道路や、駐車場への入庫待ち車列が発生する箇所に自動運転を実装する場合、自動運転バスのセンサ技術だけでは、十分な安全確保ができない場合があるため、路車協調システムが必要となる。

本実証では、上記したような場面を想定して、既設道路灯にカメラ・LiDAR を取り付けてスマート道路灯とし、自動運転バスからは死角にある対向車・出庫車をそれらの機器で捉える。そして、捉えた情報の無線通信による MEC 上へのアップロード、そこでの映像・点群データ分析・物標情報の生成、その物標情報の車両への連携・自動運転バスによる挙動の判断までの一連の流れを実現可能とするシステムを構築する。

本路車協調システムは、「狭隘道路や車列発生箇所を安全に自動走行する」という目的の達成に有効であり、また、実装に向けて考慮すべき経済性の観点においても、既設灯具の活用による効果が見込まれる。したがって、本実証では、本路車協調システムを利用する。

② 5G 技術(ローカル 5G)

ローカル 5G は、地域や各種産業における個別の要求・需要に応じて企業や自治体などが管理する土地や建物に、自ら構築する 5G ネットワークであり、以下の特長がある。

- キャリア 5G の既存エリアやエリア拡大状況とは関係なく、必要な場所、タイミングで 5G ネットワークを構築可能である。
- ネットワークの用途に応じて必要な通信性能を設定・カスタマイズ可能であり、上りのトラフィック需要にも柔軟に対応できる。

- 他のネットワークにおける通信障害や災害などの影響を受けにくく、通信サービスの継続性を得やすい
- 無線 LAN などのアンライセンスバンドを使用する無線アクセス手段と比較し、専用のライセンスバンドを無線局免許に基づいて使用することで干渉問題を極力回避した、安定性の高い大容量通信が可能である。

本実証における UC③では、LiDAR から取得した点群データを活用して車両を検知し、かつ他の車両の挙動パターンに応じて判断する必要がある。そのため大容量通信が可能であり、かつ安定して伝送できることが求められる。これらの要件を満たすためには、周辺の混雑状況によりスループットへの影響を受けるキャリア 5G に比べ、無線帯域を確保できるローカル 5G 活用することが適切である。

また、自動運転の社会実装に向けては、前提として通信要件に適合すると同時に高い経済性を確保する必要がある。本実証では、すでに冗長構成をとっているキャリアの通信設備を共用する形でローカル 5G 導入を実施することによって、その目的の達成を目指す。そのため、本実証を通じて経済面の評価も実施する。

今後、車両以外の交通参加者やその他の外部環境変化に関する情報を連携することも必要になると想定されるため、ますます安定した大容量通信が求められるケースが増えると想定される。したがって、「想定される要件に耐える通信量・通信の安定性・実装に適う経済性」を確保可能な技術を早期に探っていく必要がある。それゆえに本実証ではローカル 5G を利用する。



図 25 ローカル 5G 基地局

4) 必要性・緊急性・新規性

■ 必要性

- 相鉄バスが自動運転レベル 4 サービス実装を志向している本実証ルートには、自動運転バス単体では手動介入をせざるを得ない見通しの悪い箇所も存在する。そのため、安定した通信に基づいた路車協調システムによる車両制御支援が必要となる。

- 将来的に、信号のない交差点などのより複雑な情報取得・連携が要求される交通環境では、自動車以外の交通参加者も検知する必要がある。その場合、より大容量のデータを安定的に通信する必要がある。そのため、ローカル 5G を活用した路車協調システムの検証が必要となる。

■ 緊急性

- 政府は自動運転レベル 4 サービスの社会実装を、2027 年度に 100 カ所で実現することを目指している。本実証での UC③で検証する離合制御や車列回避が必要とされる道路・交通環境と類似する環境は日本国内に多いと考えられる。したがって、政府目標の達成に向けて緊急性があるといえる。

■ 新規性

- 本実証で開発した、情報取得から車両制御までを一貫して処理可能なシステムについて、その実用性を検証した点が新規性として挙げられる。去年度は、カメラ映像で他の交通参加者を捉えそれを遠隔監視室のモニタ上に表示する、自動運転バスが近づいてきたことを他の交通参加者へ電光掲示板で伝えるなど、遠隔監視室・道路灯設備への反映までに止まっていた。しかし今年度は、他の交通参加者の情報を取得し、それを自動運転の挙動に反映するまでの検証を実施する。
- 車両検知のための AI 分析・処理を、エッジ側ではなくセンター(クラウド)側で行うことが新規性として挙げられる。UC③では、狭隘道路での対向車や駐車場からの出庫車を検知するが、その検知までの流れは、「道路灯のカメラ・LiDAR で取得した情報を、クラウドへネットワークで伝送し、そのクラウド側で AI 処理・分析する」というものになる。去年度は、エッジ AI で処理していたため、センター側での処理は新たなアプローチと言える。
- 路側インフラの LiDAR・カメラや、出庫車検知のアプリに、自動運転車両に用いるものを用い、路側利用に必要な変更や修正を加えて当てはめるアプローチも、去年度と比較して新規性がある。これまでよりさらに高い精度で対象物を検知可能となることが期待される。
- ローカル 5G TypeD の活用が新規性として挙げられる。去年度活用したローカル 5G と比較して、同様の性能を持ちつつも安価に使用できるという特長を持つ。今後の通信量増加に伴う、ローカル 5G 需要の増大を見据え、安全かつ高性能なローカル 5G を可能な限り安価で導入できるよう、今回の検証を実施する。

5) 検証条件

■ 離合制御

➤ 地理・道路形状的条件

- ◇ 狭隘な曲線道路であるため、大型車は対向車線の間隙を走行する、あるいは対向車線にはみ出して走行する必要がある
- ◇ 大型車同士が本区間を走行する場合は、片方の車両の一時停止が必要となる
- ◇ 片側 1 車線でありかつ、片側のみ歩道と車道の区別あり
- ◇ 図 26、図 28 の通り、構造物 A があるため、曲線道路の先が死角になる

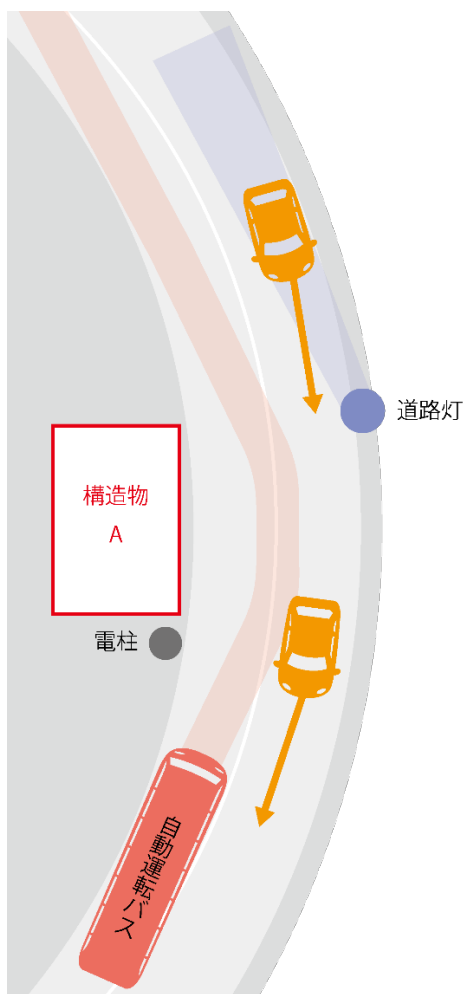


図 26 離合制御に係る実証場所のイメージ



図 27 離合制御の実証場所

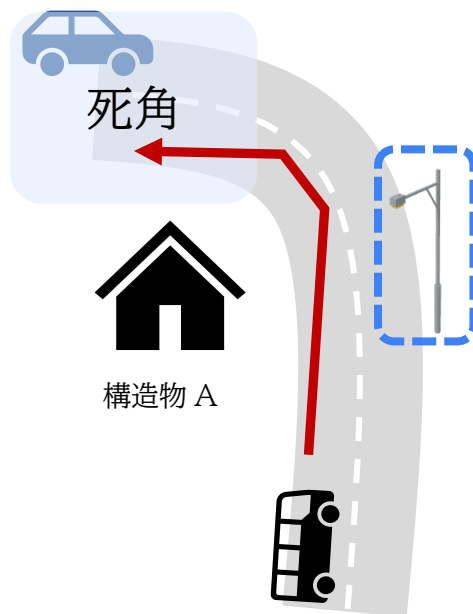


図 28 スマート道路用による死角の対向車の検知のイメージ

- 交通条件
 - ◇ 離合区間前後と中間に T 字路が計 4 箇所あり、中間地点に駐車場の出入口あり
 - ◇ 停留所(離合制御区間には停留所はなし)は無いため、離合制御は意図的に行う必要あり
 - 時間的条件
 - ◇ 9:00~17:00 に走行を実施する。
 - 天候条件
 - ◇ 晴天、曇天、小雨 ←晴天時のみデータ取得となれば、この天候条件は削除する。
 - システム機能条件
 - ◇ 路側インフラからネットワークへの情報伝送方法としてキャリア 5G を使用すること。
 - ◇ 路側インフラへ安定的な電源が使えること。
 - ◇ 枝葉などが路側インフラのカメラの画角に重ならないこと。
 - ◇ 対向車が法定速度を遵守すること
- 入庫待ち車列回避
- 地理・道路形状的条件
 - ◇ 車列のため、出庫車の有無・挙動を視認しづらい。
 - ◇ 片道 1 車線である。

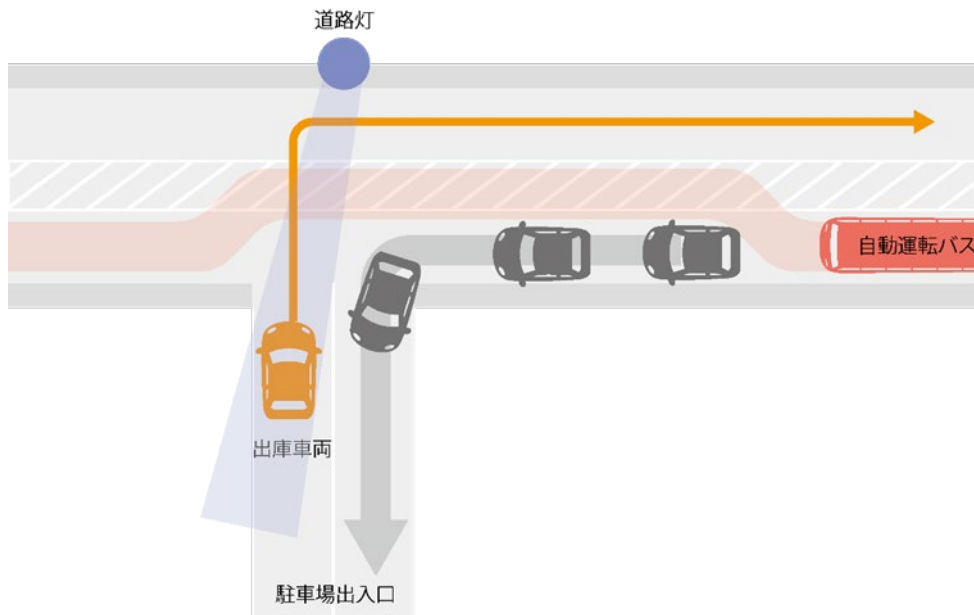


図 29 入庫待ち車列回避に係る実証場所のイメージ図

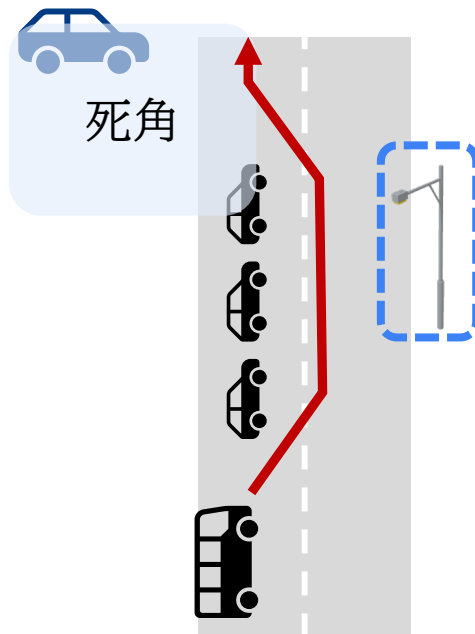


図 30 スマート道路灯による死角の出庫車の検知のイメージ

- 交通条件
 - ◇ 停留所(車列回避区間には停留所はなし)
- 時間的条件
 - ◇ 9:00~17:00 に走行を実施する。
- 天候条件
 - ◇ 晴天、曇天、小雨
- システム機能条件

- ◇ 路側インフラからネットワークへの情報伝送方法としてローカル 5G を使用すること。
- ◇ 路側インフラへ安定的な電源が使えること。
- ◇ 枝葉などが路側インフラの LiDAR やカメラの画角に重ならないこと。
- ◇ 出庫車が法定ルールに従うこと。
- 入庫待ち車列が発生する地点を選定し、実証を行う。

■ ローカル 5G の検証、評価

- システム機能条件
 - ◇ ローカル 5G 基地局の適切な置局設計を行うこと。
 - ◇ 枝葉などが基地局と端末間に重ならず見通しが効くこと。

6) 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	路側インフラに設置した LiDAR、カメラから、それぞれ点群情報・映像をローカル 5G を使用してクラウド上へ伝送する。
(2)	クラウド上において、道路上の車両等を検知し物標情報を作成する。
(3)	物標情報を自動運転システムに伝送し、駐車待ち回避制御を実施する。
(4)	路側インフラに設置したカメラ映像をキャリア 5G を使用してクラウド上へ伝送する。
(5)	MEC において対向車線の車両有無を分析し、物標情報を生成する。
(6)	物標情報を自動運転システムに伝送し、離合制御を実施する。
(7)	安定したローカル 5G 通信を維持できているか、通信性能の評価を行う。

(1) 路側インフラに設置した LiDAR データ、カメラ映像をローカル 5G の活用によりクラウド上へ伝送する。

本開発項目は、路側インフラの LiDAR・カメラで取得した情報をネットワーク上へ伝送することで、自動運転バス単体では検知できない「動物園駐車場からの出庫車両」を検知可能とすることを目的とする。そのため、この目的が達成できているかについて、①点群情報の伝送ができていること、②映像情報の伝送ができていること の 2 点を、サーバ上のログおよび可視化アプリで確認する。

(2) クラウド上において、道路上の車両等を検知し、物標情報を作成する。

本開発項目は、(1)で検知した情報を自動運転バスの挙動制御に活用可能な情報に変換することを目指す。そのため、路側インフラより得られた情報を基にしたクラウド上の AI 処理分析により、出庫車を検知することが可能かを確認する。そこで、物標情報が作成できることを確認する。物標情報を自動運転システムに伝送し、駐車待ち回避制御を実施する。

(3) 物標情報を自動運転システムに伝送し、駐車待ち回避制御を実施する。

本開発項目は、「検知結果を自動運転バスへ伝送し、その検知結果に応じた駐車待ち車列回避ができること」を目指す。そのため、路側インフラに設置したカメラ映像をキャリア 5G の活用によってネットワーク上へ伝送することで、車列回避が可能となり、当該ポイントにおける自動走行達成率が 90%以上となるかを確認する。

(4) 路側インフラに設置したカメラ映像をキャリア 5G を使用してネットワーク上へ伝送する。

本開発項目は、自動運転バス単体では検知できない、鶴ヶ峰駅方面から動物園方面へ向かう対向車両を検知可能とすることを目指す。路側インフラのカメラから取得した映像を、ネットワーク上へ伝送できることを目的とする。そのため、この目的が達成できているかについて、カメラなどの情報を問題なく MEC 上に送信できているかを確認する。

(5) MEC において対向車線の車両有無を分析し、物標情報を生成する。

本開発項目は、(4)で検知した結果を自動運転バスの挙動制御に活用可能な情報に変換することを目指す。そのため、路側インフラより得られた情報を基にしたクラウド上の AI 処理分析により出庫車を検知することが可能かを確認する。そこで、対向車線の車両を検知できることを確認する。

(6) 物標情報を自動運転システムに伝送し、離合制御を実施する。

本開発項目は、検知結果を自動運転バスへ伝送し、その検知結果に応じて駐車待ち車列を回避可能とすることを目指す。そのため、離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率が 90%以上となるかを確認する。

(7) 安定したローカル 5G 通信を維持できているか、通信性能の評価を行う。

車列回避エリアにおいて、路側インフラから MEC 上へ、LiDAR 点群情報・カメラ映像情報をアップロードする際のネットワーク経路にローカル 5G を活用する。そこで、LiDAR の要求スループット(56Mbps)、カメラの要求スループット(10Mbps)を継続的に確保できるかを確認する。

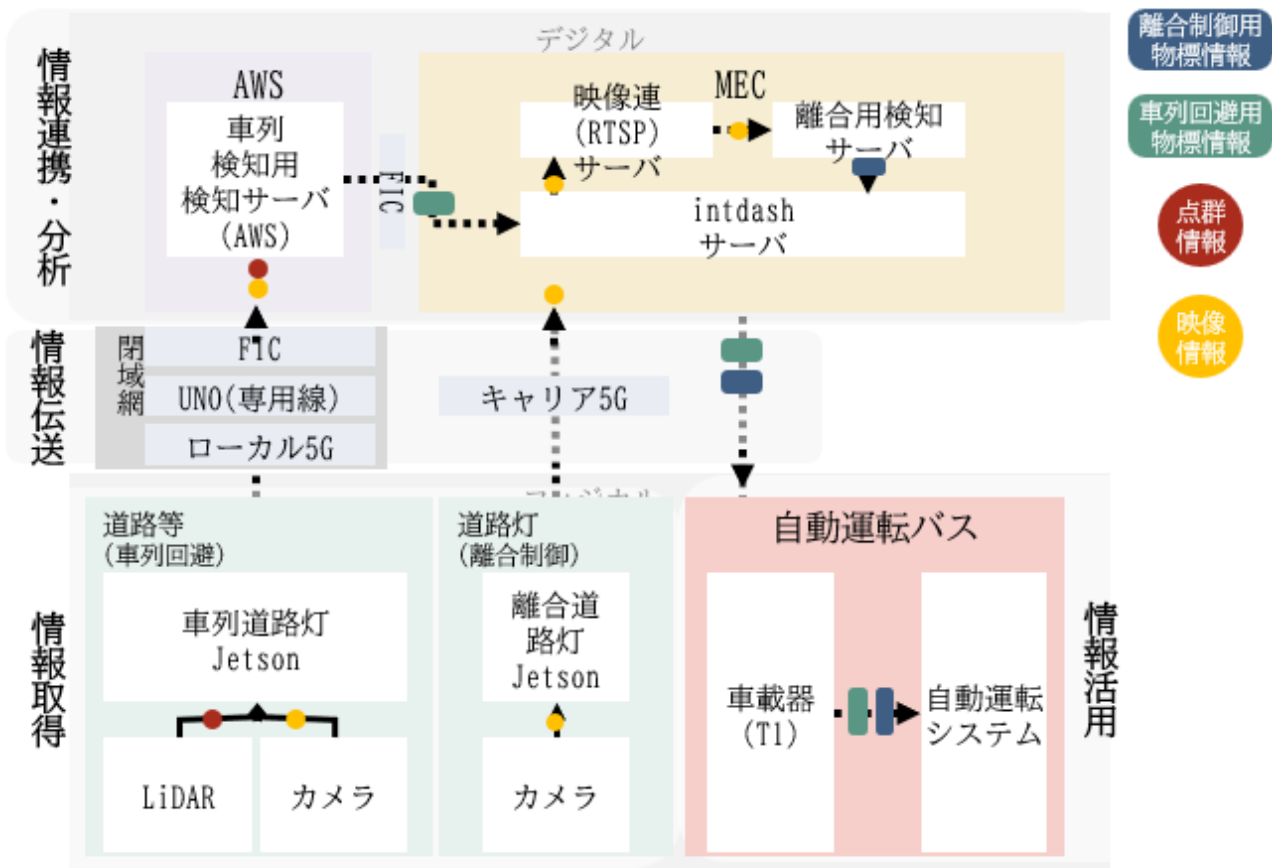


図 31 路車協調システムにおけるデータの流れの全体像

7) KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	大型バス運転経験のある評価者から、離合制御および車列回避の安全性・走行品質に対する主観評価と、課題及び改善点を取得する。 ・2名以上の意見を抽出する
	(2)	関係者の運転日報およびヒアリングに基づき、手動介入の原因を分析する。
定量評価	(3)	離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上
	(4)	車列回避ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上

	(5)	LiDAR の要求スループット(56Mbps)およびカメラの要求スループット(10Mbps)を継続的に確保できること
	(6)	連続して 15 分間のスループット試験を実施し、スループットの実測値が要求スループット(66Mbps)を上回る時間が 99%以上

- (1) 大型バス運転経験のある評価者から、離合制御および車列回避の安全性・走行品質に対する主観評価および、課題や改善点を取得する。【定性評価】

設定理由

- ・専門性のある者を対象とすることで、質の高い意見を抽出可能と想定されるため。
- ・社会実装に向け、既存バスサービスと同等の安全性・走行品質が求められるため。

実施概要

4.3.15)に記載した離合制御および入庫待ち車列回避の挙動について、大型バスの運転経験を有する評価者による、走行品質・安全性に対する主観評価を実施し、運用上の課題や改善点を取得する。これにより、路側インフラの物標情報に基づく車両制御が、バス事業者の視点でサービス提供し得るレベルかを明らかにする。評価項目は以下に示す通りである。

表 35 主観評価に係る評価項目

評価項目	評価内容
A. 安全性評価	路側インフラの物標情報に基づく、自動運転バスの停止/発進時の挙動および対象区間全体の走行挙動について、運転士目線で安全性を評価した。
B. 走行品質評価	路側インフラの物標情報に基づく、自動運転バスの停止および発進時の挙動の適切性を評価するとともに、対象区間全体の走行を通じて、一般的な路線バス同等の走行品質が確保されているかどうかを評価した。

1. 離合制御挙動の評価

よこはま動物園発・鶴ヶ峰駅行きの自動運転バスを対象に、離合ポイントで対向車が同時に進入する状況の評価する。対象者は自動運転バスに乗車し、離合時の自動運転バスの挙動を評価する。一般道路での実施となるため、対向車は一般車両または検証用に配置した 1~2 台の車両を使用する。なお、走行評価アンケートは本検証日だけでなく、本番走行期間(1/16~1/22)の各走行でも実施する。

表 36 実施概要

実施日	予備調査 1/14(水)、本調査 1/19(月)、1/20(火)
実施時間	計 75 分/人

	((走行:20分、アンケート/ヒアリング:5分)×2回、 ヒアリング:15分) ヒアリング:15分)
実施場所	4.3.1(5) の記載の場所
インタビュー 対象者	バス事業者 社員 7 名 (いずれも大型バス運転士歴あり) 内訳:予備調査のみ 3 名、本調査のみ 3 名、本調査および予備調査 1 名

評価方法

バス事業者に所属する、大型バスの運転士経験を有する 4 名の評価者に対し、以下の流れで評価を実施した。評価者は、実際に自動運転バスに乗車し、Microsoft Forms で作成した走行評価アンケートを用いて評価を行う。

表 37 離合制御挙動の評価手順

1.離合制御区間の走行	評価者は、離合制御区間を通過する自動運転バスに乗車し、バスの挙動を体験する。
2 .走行評価アンケート	各走行後、走行評価アンケートにて、評価項目「A. 走行品質評価」「B. 安全性評価」に対する評価を行う。(表 35 参照)
3 .総合評価/ヒアリング	1、2 のプロセスを 2 回繰り返し、評価結果についてヒアリングする。

2. 入庫待ち車列回避挙動の評価

よこはま動物園正門駐車場入口付近を対象に、入庫待ちの車列と駐車場からの出庫車両を準備する。出庫車両と車列のパターンを用意し、対象者は自動運転バスに乗車して、それぞれのパターンにおける自動運転バスの車列回避挙動を評価する。

表 38 実施概要

実施日	予備調査 1/13(火)、本調査 1/20(火)
実施時間	計 90 分/人 ((走行:10分、アンケート/ヒアリング:5分)×5回、 ヒアリング:15分)
実施場所	4.3.1(5) の記載の場所
インタビュー対象者	バス事業者 社員 6 名 (いずれも大型バス運転士歴あり) 内訳:予備調査のみ 3 名、本調査のみ 2 名、本調査および予備調査 1 名

検証パターン

出庫車両の動きに応じた自動運転バスの入庫待ち車列回避挙動を確認するため、以下パターンを設定して検証を実施した。(詳細は表 87 参照)

- ・出庫車両 1 台(右折)、車列なし
- ・出庫車両 1 台(右折)、車列 4 台
- ・出庫車両 2 台(右折)、車列 4 台
- ・出庫車両 2 台(左折)、車列 4 台

評価方法

バス事業者に所属する、大型バスの運転士経験を有する 6 名の評価者に対し、以下の流れで検証を実施した。評価者は、実際に自動運転バスに乗車し、Microsoft Forms で作成した走行評価アンケートを用いて評価を行う。

表 39 入庫待ち車列回避挙動の評価手順

1.車列回避区間の走行	評価者は、車列回避区間を通過する自動運転バスに乗車し、バスの挙動を体験する。
2 .走行評価アンケート	各走行後、走行評価アンケートにて、評価項目「A. 走行品質評価」「B. 安全性評価」に対する評価を行う。(表 35 参照)
3 .総合評価/ヒアリング	1、2 のプロセスを全パターンで実施し、評価結果についてヒアリングする。

(2) 手動介入時の原因を明らかにする。原因分析については関係者の運転日報およびヒアリングなどを通じ実施する。【定性評価】

セーフティドライバーが自動走行モードでの走行時に、手動介入が発生した際、その手動介入の要因となった事象を運転日報へ記載する。それを分析することで手動介入の要因となる事象としてどのようなパターンがあるかを明らかにする。

(3) 離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上 【定量評価】

a. 自動走行達成率

定義

自動走行達成率の定義は以下とする。

自動走行達成率

= 離合制御エリア内における自動走行モードでの走行距離/離合制御エリアの総距離

【目的】

本実証では、曲線があることで対向車両が死角となる、離合対応を要する狭隘道路を、自動運転システムと路車協調システムのみ(手動介入なし)で走行することを目的としている。そのため、当該区間における走行が、どの程度自動走行モードで実現できたかを確かめるため、自動走行達成率を計測する。目標値としては、社会実装を目指す途上段階であること、全国の自動運転事例での目標値が「自動走行達成率 90%程度」とされていることから、90%以上とした。

【計測方法】

自動運転バス車載システム内で記録されるログデータに記録される走行モード、位置情報より、当該エリアにおける自動走行モードでの走行距離を算出する。

※自動走行達成率計測の際には、その時の天候・路面状態を記録する。また、路車協調システムの各種変数(検知精度・遅延時間)も参考値として記録する。

b. 参考:検知精度①(実用性検証:シーン基準)

【定義】

離合制御用道路灯のカメラ画角内への対向車の進入から退出までを 1 シーンとし、その 1 シーンの間に対向車を検知できていれば正解する。総サンプル数に対する正解サンプル数の割合を正解率とし、それをシーン基準の検知精度とする。

【目的】

アプリ検知精度は、車協調システムとの連携により自動運転バスが自動走行モードで走行可能にするための構成要素の一つである。したがって、実装を見据えてどの程度正確に対向車の検知が可能であるかを確かめる目的で算出する。

【計測方法】

対向車をレンタカーを用い意図的に準備し実施した 1 月 14 日の道路灯映像より、対向車がフレーム内に現れるシーンを抽出し、対向車がフレーム外へ移動するまでに対向車検知 AI がそれを検知できるかを確かめる。なおその際には何フレーム目で検知できたかも確認する。

c. 参考:検知精度②(解像度最適設計検証:フレーム基準)

【定義】

対向車を検知する AI アプリの検知精度は、再現率と適合率により算出することとする。それぞれの数値については、以下のように定義する。

※サンプル数については計測方法の段で記載する。

再現率 = TP (AI が車両と検出したバウンディングボックスと正解のバウンディングボックスが、IoU (正解のバウンディングボックスと AI により検出されたバウンディングボックスとの重なり度合い ※ 図 32 IoU0.5 の場合のバウンディングボックスのイメージ図参照) 0,5 以上で一致した

ものの総数) / TP+FN(正解のバウンディングボックスの総数)

適合率 = TP(AI が車両と検出したバウンディングボックスと正解のバウンディングボックスが、IoU0.5 以上で一致したものの総数)

/ TP+FP(AI が車両と検出したバウンディングボックスの総数)

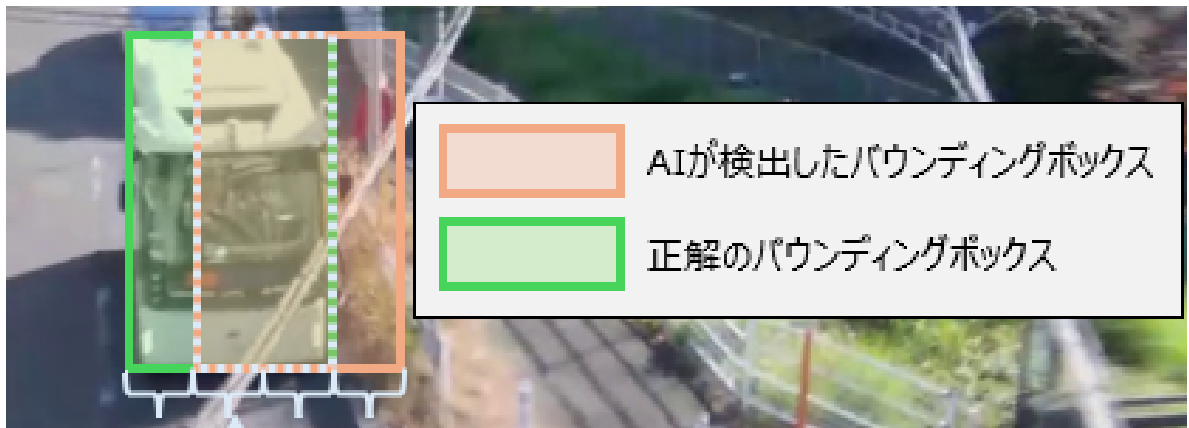


図 32 IoU0.5 の場合のバウンディングボックスのイメージ図

【目的】

解像度条件(VGA/FHD)、照度条件それぞれにおける検知率を算出することにより、性能を考慮したコスト最適なカメラ・映像伝送設計に関する今後の検討に活用する。

【計測方法】

解像度について、VGA/FHD それぞれの設定でサンプルフレームを作成する。そしてその際それぞれパターンサンプルについては、良好な条件(日中・晴天)/難易度の高い条件(夜間・雨天)でパターン分けをする。各パターンのフレーム枚数は表 40 に記載の通り。また本検知精度は、MEC 上の AI 検知アプリとエッジコンピュータ上の AI 検知アプリそれぞれで算出する。

表 40 解像度条件・気候条件・AI モデル・検知率分類別の検知精度結果

解像度条件	VGA		FHD	
気候条件	日中・晴天	夜間・雨天	日中・晴天	夜間・雨天
フレーム枚数	220	91	111	111

d. 参考:遅延時間

【定義】

遅延時間の定義は以下とする。

遅延時間＝起点時間(車両 A が検知範囲内に進入した時間 t_{As}) - 終点時間(車両 A ありと検知した物標情報が自動運転バスで受信した時間 t_{Ag})

【目的】

遅延時間計測は、路車協調システムとの連携により自動運転バスが自動走行モードで走行可能とするための構成要素の一つである。したがって、実装を見据えてどの程度の時間で対向車の検知から連携までがなされるかを確かめる目的で算出する。

【計測方法】

まず起点時間として、手元のカメラでミリ秒表示デジタル時計と対向車を同フレーム内に収めて撮影し、映像内で対向車が所定のラインを超えた瞬間を記録する。

次に終点時間として、対向車検知 AI アプリで生成された物標情報(起点時間で撮影した車両とは物標情報内の一部項目で紐づけ)を、自動運転システムが受信した時間を記録する。

参考:検知範囲内進入時間を起点として、①対向車検知AIアプリが検知結果を出すまでの時間、②車両側の intdash サーバに連携するまでの時間、③車載器T1に連携するまでの時間についても算出する。

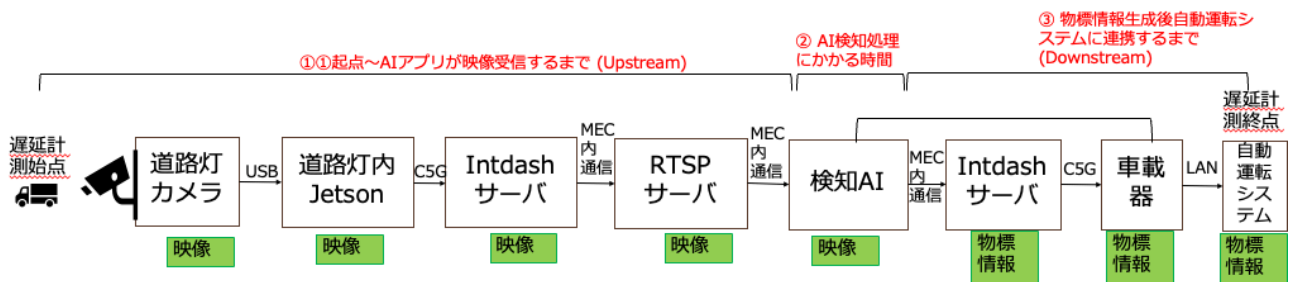


図 33 遅延時間計測の全体観

(4) 車列回避ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上 【定量評価】

e. 自動走行達成率

【定義】

自動走行達成率の定義は以下とする。

自動走行達成率

= 車列回避エリア内における自動走行モードでの走行距離/車列回避エリアの総距離

【目的】

本実証では、入庫待ち車列によって出庫車両が死角となる道路を、自動運転システムと路車協調システムのみ(手動介入なし)で走行することを目的としている。したがって当該区間における走行が、どの程度自動走行モードで実現できたかを確かめるため、自動走行達成率を計測する。目標値としては、社会実装を目指す途上段階であること、全国の自動運転事例での目標値が「自動走行達成率 90%程度」とされていることから、90%以上とした。

【計測方法】

自動運転バス車載システム内で記録されるログデータに記録される走行モード、位置情報より、当該エリアにおける自動走行モードでの走行距離を算出する。

※自動走行達成率計測の際には、そのときの天候・路面状態を記録する。また特定日においては、路車協調システムの各種変数(検知精度・遅延時間)も紐づけられるように記録する。

f. 参考: 検知精度

【定義】

出庫車を検知する AI アプリの検知精度は、正解率により算出することとする。

車列回避検証における出庫車ありパターンの走行回数を母数とし、そのうち検知できた回数を分子とし、その割合を算出する。

【目的】アプリ検知精度は路車協調システムとの連携により自動運転バスが自動走行モードで走行可能するための構成要素の一つである。今後の社会実装を見据え、どの程度正確に出庫車の検知が可能であるかを確認することを目的に、検知精度を算出する。

【計測方法】

自動走行達成率の検証の際に、自動運転バス車内の検知結果表示画面を撮影する。そして、出庫車が実際に検知範囲内に存在する試行の際に、出庫車検知情報が車両内モニタに表示されるかを確認する。

g. 参考: 遅延時間

【定義】

遅延時間の定義は以下とする。

遅延時間 = 起点時間(車両 A が検知範囲内に進入した時間 t_{As}) - 終点時間(車両 A ありと検知した物標情報が自動運転バスで受信した時間 t_{Ag})

【目的】

遅延時間計測は、路車協調システムとの連携により自動運転バスが自動走行モードで走行可能とするための構成要素の一つである。今後の社会実装を見据えどの程度の時間で対向車の検知から連携までがなされるか確認することを目的に、遅延時間を算出する。

【計測方法】

まず起点時間については、手元のカメラで、ミリ秒表示デジタル時計と対向車を同フレーム内に収めて撮影することで記録する。具体的には、その撮影した映像内で、対向車が所定のラインを超えた瞬間を起点時間とする。

次に終点時間については、出庫車検知 AI アプリで生成された物標情報(起点時間で撮影した車両とは物標情報内の一部項目で紐づけ)を、自動運転システムが受信した時間とする。

参考:検知範囲内進入時間を起点として、①出庫車検知AIアプリが検知結果を出すまでの時間、②車両側の intdash サーバに連携するまでの時間、③車載器T1 に連携するまでの時間 についても算出する。

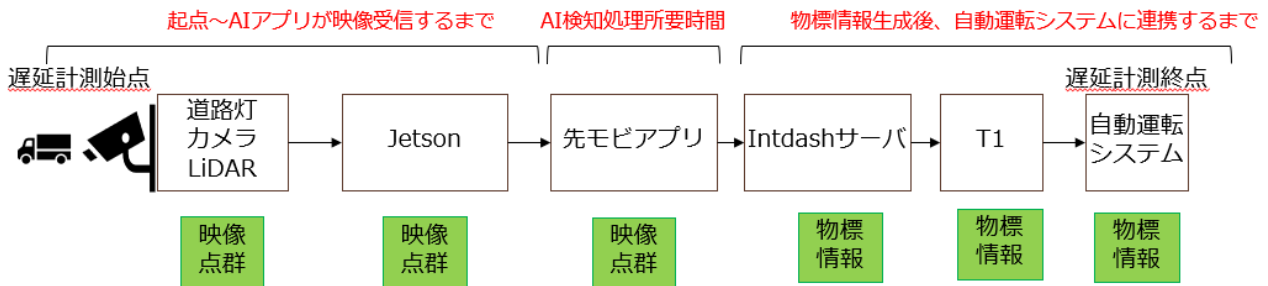


図 34 遅延計測区間(車列回避)の全体像

- (5) LiDAR の要求スループット(56Mbps)およびカメラの要求スループット(10Mbps)を継続的に確保できること 【定量評価】

【定義】

計測するスループットの数値は以下とする。

スループット量 = iPerf によるスループット計測により得られたスループット値

【目的】

本路車協調システムが機能するためには、出庫車両を検知するために十分な映像・点群情報を伝送する必要がある。そこで、十分な伝送量を確保可能であることを、本検証項目を通して確認する。目標値としては、LiDAR の要求スループット(56Mbps)およびカメラの要求スループット(10Mbps)の和より、66Mbpsとした。

【計測方法】

- ① 道路灯に iPerf クライアントを構築する
- ② MEC 側に iPerf サーバを構築する。
- ③ 道路灯から MEC に対して iPerf にて、スループット計測を実行する。
※本番走行期間に計測実施し、結果を集約する。車列回避検証を実施する 1 月 13 日、20 日の朝一に計測する。

(6) 連続して 15 分間のスループット試験を実施し、スループットの実測値が要求スループット(66Mbps)を上回る時間が 99%以上 【定量評価】

【定義】

「スループットの実測値が要求スループットを上回る時間」は以下のように算出した。
スループット実測値が要求スループットを上回る時間 = iPerf による 15 分間連続のスループット計測による実測値が 66Mbps を上回る時間 / 15 分間

【目的】

本路車協調システムは、自動運転バスに対して出庫車検知情報を提供し、公道上での走行判断を支援するとともに、走行中の車両同士の衝突を避けるためのシステムである。そのため、このシステムが機能するのに必要な程度の通信量を高いレベルで安定的に確保することが不可欠である。したがって、連続的にスループット量を計測し、その安定性を確認する。目標値としては、出庫車検知のための情報アップロードという目的に鑑み、ほとんど途切れることのない維持率 99%以上とした。

【計測方法】

KPI(5)の方法により、15 分間連続での iPerf によるスループット計測を実施する。

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

当該ユースケースは実施していない。

4.5 ⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証

当該ユースケースは実施していない。

4.6 レベル4の社会実装に向けた検討

4.6.1 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)

本実証では、2台の自動運転バスを同時走行させ、AIによる乗客検知を実施する。検知を契機に遠隔監視装置に向けアラートを発出し、遠隔監視装置にて監視員によるアラートおよび映像の確認を行う。運用性の検証として、これらのAI検知/アラートにより監視員の負担がどの程度軽減されるか確認する。

■定量調査

- ・ ログ分析によるネットワーク経由での検知率の対エッジ検知率比評価
- ・ 検証時期:調律走行期間/本番走行期
- ・ 達成目標
 - ネットワーク経由での検知率の対エッジ検知率比 90%以上
 - 通信に起因するAI検知精度劣化の頻度やパターンの算出/明確化
(例:通信負荷が高いタイミングで転倒/立位など、何のパターンでも検知率が低下/映像劣化タイミングで、細かい作業や曖昧な動きなどの検知率低下)

■定性調査

- ・ インタビューによるAI検知の運用に与える主観的評価
- ・ 検証時期:調律走行期間/本番走行期
- ・ 対象者:バス運行会社の監視員2名以上
- ・ 質問項目の案
 - 検知の有用性
 - ◇ コンセプトの有効性:AI検知システムにより遠隔監視業務の負担はどの程度軽減されるか
 - ◇ 現システムの有効性:通信劣化も含め、現AI検知システムはどの程度有効か
 - ◇ 通信に起因する劣化の許容度:通信の劣化に起因するAI検知の劣化は運用上どの程度許容できるか

◇ 台数による影響:1台と2台の運用で監視員の負担にどのような違いがあったか

- ・ 達成目標
 - 総合評価で継続利用意向率 75%以上の取得
 - 課題を3点以上抽出

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

自動運転バス車内映像伝送とAIによる乗客検知および、路車協調による、狭隘道路における大型車両同士の離合制御、駐車場への入出庫待ち車列(渋滞)回避、車庫における通信環境強化は、以下の観点から地域交通の持続性に寄与すると考える。

1人あたりの監視台数の増加:AIの検知により業務の中で人が介在すべき箇所が削減でき、監視員1人あたりの業務量を増加可能であるため、監視員1人あたりの監視台数を増加させることができる。

業務可能従事者の拡大:複雑な道路および状況での手動介入を削減でき、短中期的な社会実装を見据えることで、業務の属人性を低減させ、業務可能従事者の範囲を拡大できる。

上記のように、本実証の取り組みは将来的な地域交通の持続性に寄与すると考えられ、本実証では以下の四点について検証する。

- ・主観的業務負荷削減効果
- ・自動走行達成率
- ・乗客の自動運転バスの受容性
- ・異常発生時の車両制御と乗客への対応事項の運用性

主観的業務負荷削減効果

- ・指標:主観的業務負荷削減効果
- ・測定・検証方法:4.2.1.7) (2)参照

自動走行達成率

- ・指標:自動走行達成率
- ・測定・検証方法

ログ分析:自動運転システムのログを解析し、離合・駐車待ちそれぞれにおける路車協調システムを活用した場合の自動走行達成率を測る。

乗客の自動運転バスの受容性

- ・指標:自動運転バスの受容性
- ・測定・検証方法

本実証で導入した技術を利用した自動運転バスが市民にどのように受け入れられるか、その主観的な受容性を評価した。1/17から1/22にかけて実施した試乗会の全参加者を対象に、Microsoft

Forms を活用し、アンケートによる意識調査を行った。乗車前後における安全性への認識の変化や、生活圏内での走行に対する許容度を測定することで、体験と知識提供が受容性の向上に資するかを分析した。

異常発生時の車両制御と乗客への対応事項の運用性

実施概要

自動運転レベル 4 において、特定自動運行の実施責任を持つ主体(バス会社や自治体など)による運用のもと、遠隔監視員が異常発生時に車両を緊急停止するなど、適切な安全確保を実現できるかを確認する。特定自動運行の実施責任を持つ主体(バス会社など)の視点では、異常発生時に特に過失責任に問われる可能性がある「乗客や交通参加者を巻き込んだ事故発生時」における救護品質の担保が重要であるため、救護対応フローを明確にする必要がある。

本件では、事故発生時の救護対応フローの「車両緊急停止まで」と「車両停止後」について、ロールプレイングとインタビューを通じて、車内 AI 処理システムを含んだ監視体制を構築した際の適切性を評価した。

表 41 異常発生時の対応事項の運用性に係る調査項目

調査項目	調査内容
A. 車両緊急停止までの運用性	乗客の安全を迅速に確保し、安全な停車に至るために必要な機能と、停止までの運用フローを調査した。
B. 車両停止後の対応フローの運用性	車両停止後の対応フローが運用可能であるかを調査した。
C. 救護品質の担保	車両停止後の対応フローについて、遠隔監視員の視点から現実の運用と照らし合わせ、救護対応の質が適切であるかを調査した。
D. 緊急時の役割分担	保安員不在時の緊急事態対応において、AI 処理システムを活用しながら、誰がどのような役割を担うのが適切であるかを調査した。

表 42 実施概要

実施日	12/4 (木)
実施時間	計 180 分/人 (説明:20 分、ロールプレイング+記録:60 分、休憩:10 分、インタビュー:90 分)
実施場所	遠隔側:相鉄バス 旭営業所 自動運転バス側:自動運転バス(J6)車内 (12/4 に評価を行ったため、J6 車内にて実施)
インタビュー対象者	相鉄バス社員 2 名

	(いずれも大型運転バスの運転歴、運行管理歴あり)
ロールプレイング実施者	遠隔監視員役: 上記、インタビュー対象者 保安員役: 相鉄バスのバス運転士(インタビュー対象者以外) 乗客役: NTT ドコモビジネスの社員

調査方法

表 43 に示す遠隔監視員と保安員の役割設定のもと、安全確保に向けた対応フローとして、(a)手動運転(図 35)、(b)自動運転レベル 4(保安員同乗)(図 36)、(c)自動運転レベル 4(保安員同乗なし)(図 37)の 3 パターンを策定した。(a)手動運転については、運行管理経験を有する評価者への事前説明におけるヒアリングに基づき作成しており、現状の運用における「前提条件」として定義する。(b)・(c)については、評価者とともにフローのロールプレイングを行った上でインタビュー調査を実施し、対応フローの介入性や運用性を検証した。

表 43 遠隔監視員と保安員の役割

遠隔監視員の役割	保安員の役割
<ul style="list-style-type: none"> ・ システム正常監視 ・ 安全監視(車内/車外) ・ 自動運転バス操作(自動運転の終了・始動指示/自動手動切り替え指示) ・ 現場措置業務実施者への事故対応指示連絡 ・ 運行管理 ・ 乗客との通話 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 乗客のサポート ・ 乗客の乗り降りのサポート ・ 体調不良の際の現場の救護対応 ・ 自動運転の終了指示 ・ 遠隔監視室との連絡 ・ 自動運転バス操作(自動運転の終了・始動指示/自動手動切り替え)

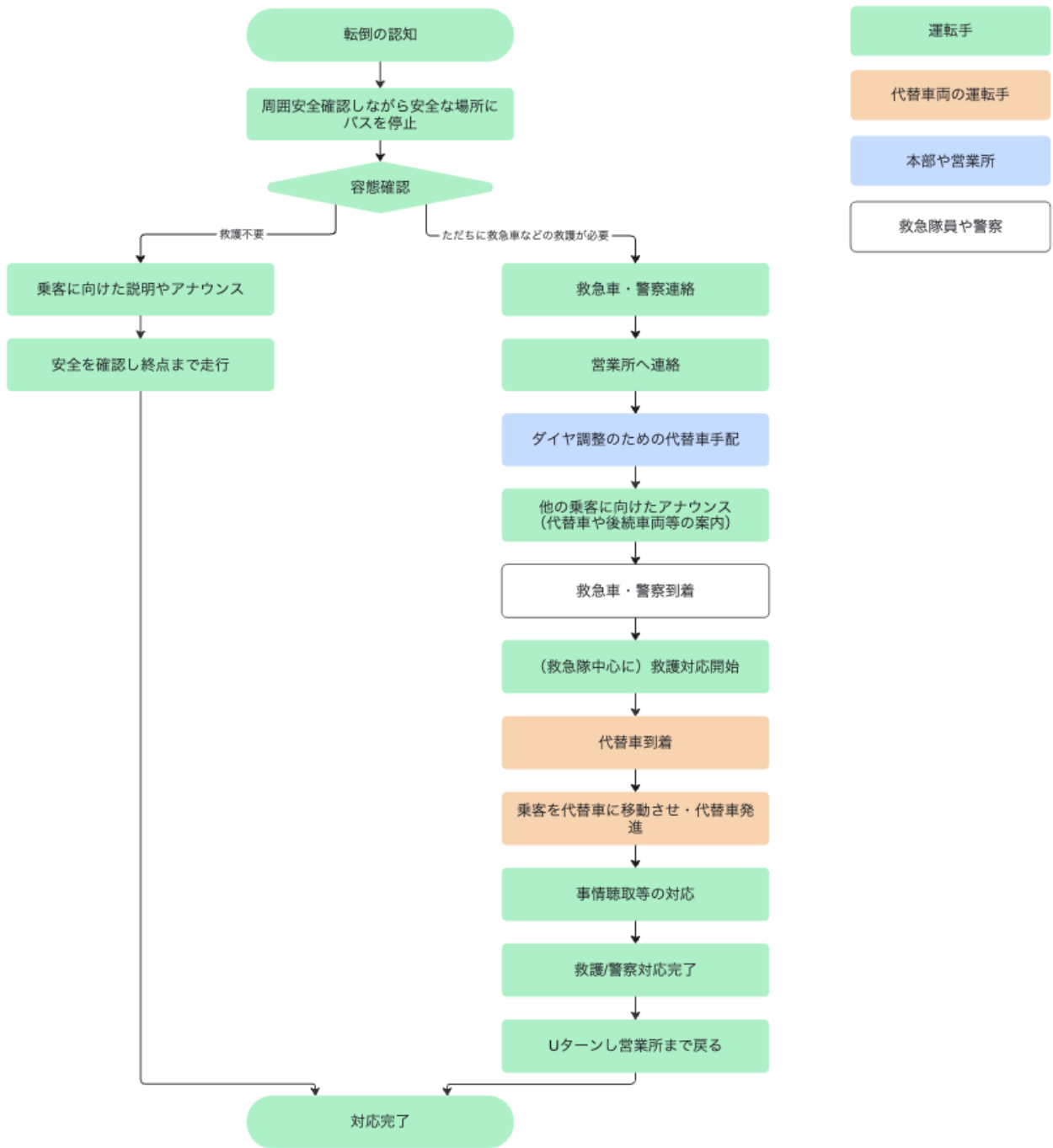


図 35 (a)手動運転時の対応フロー

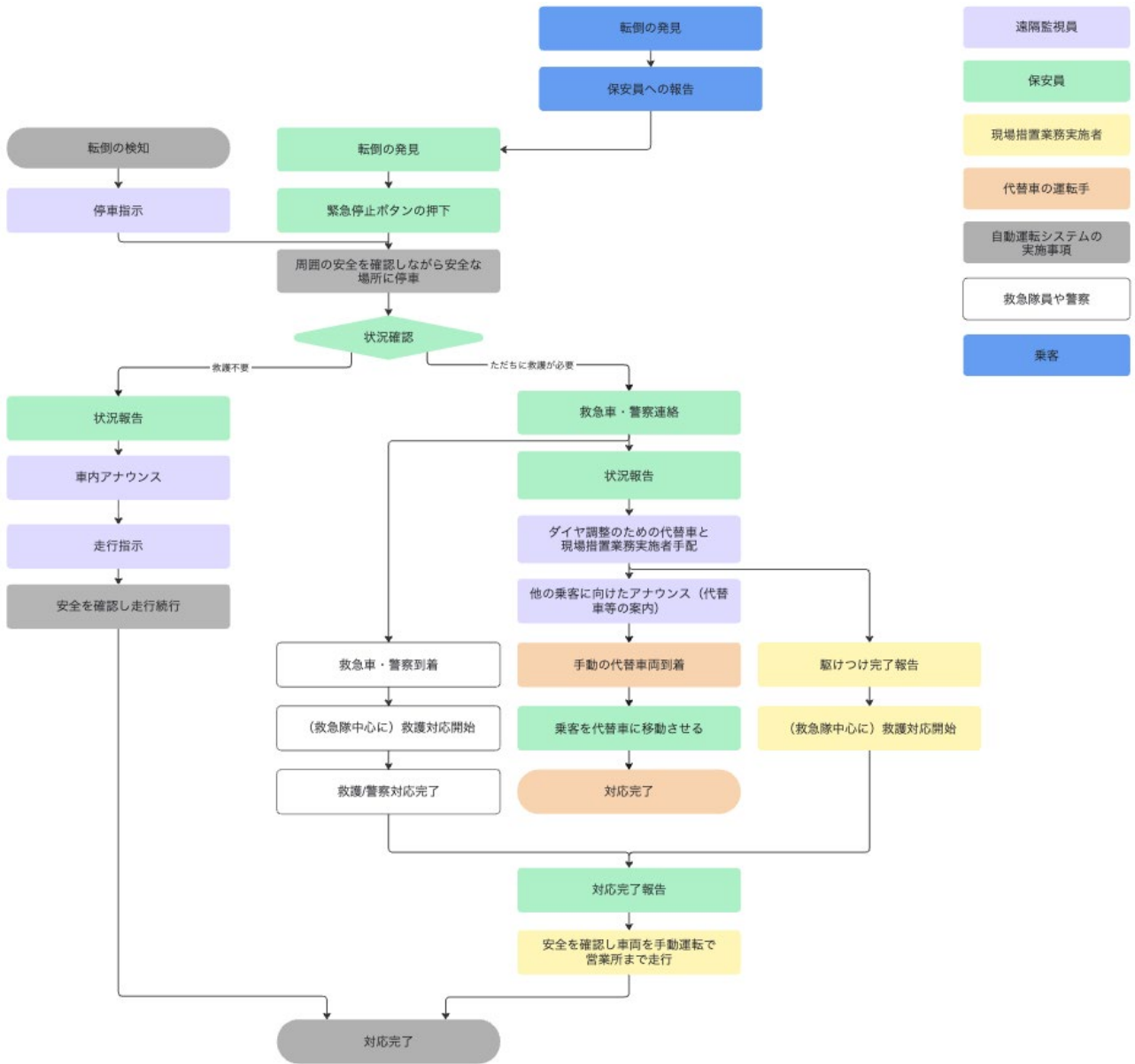


図 36 (b)自動運転レベル4(保安員同乗)時の対応フロー

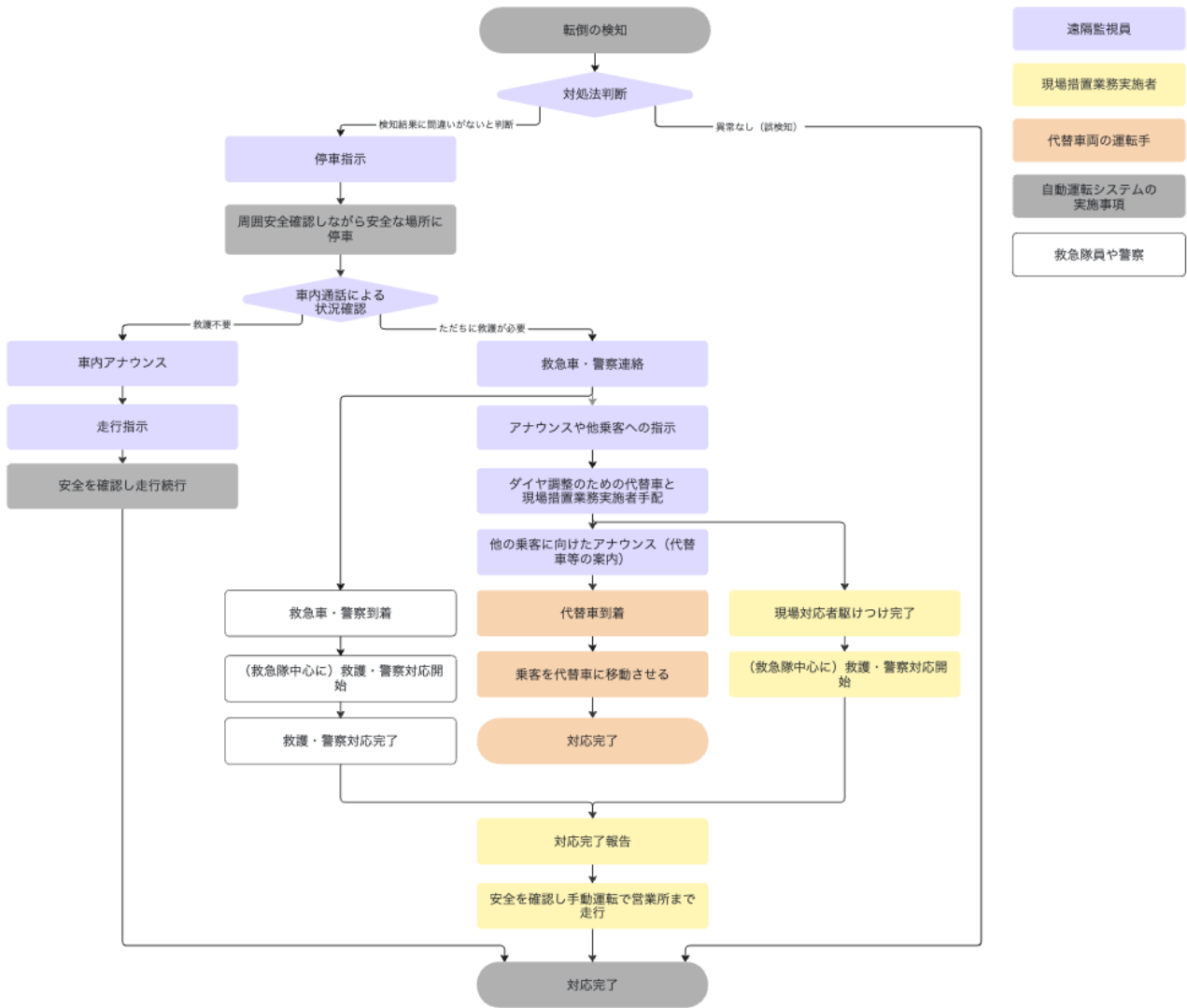


図 37 (c)自動運転レベル 4(保安員同乗なし)時の対応フロー

調査手順

図 38 に示す通り、3ステップで調査を行った。

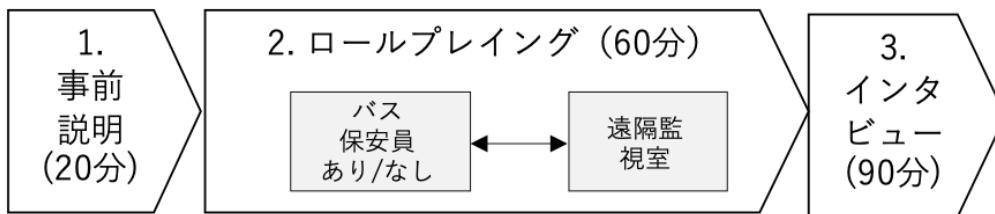


図 38 調査の流れ

1. 事前説明

遠隔監視員・保安員の役割および、対応フロー(a)(図 35)について、対象者とともに現行の手動運転に即した内容かの確認と、具体的な実施事項の確認を行った。

2. ロールプレイング

表 44 のロールプレイングの設定のとおり、保安員同乗あり、保安員同乗なしの2パターンについて、対応フロー(b)、対応フロー(c)を用いながら、車内事故発生時の救護について、ロールプレイングを実施した。

3. インタビュー

ロールプレイング実施後の振り返りと、調査項目 A～D についてインタビュー形式で深掘りを行った。

表 44 ロールプレイングの設定

前提条件	自動運転バスは自動運転レベル 4 を想定。走行中の自動運転バス車内で乗客が転倒したため、安全確保、迅速な救護、再運行判断を実施。	
実施パターン	パターン 1. 保安員同乗	パターン 2. 保安員同乗なし
確認資料	対応フロー(b)	対応フロー(c)
登場人物	遠隔監視員：遠隔監視室より監視 乗客 1：転倒 保安員：車内での乗客対応を実施	遠隔監視員：遠隔監視室より監視 乗客 1：転倒 乗客 2：自動運転バスに乗り合わせた乗客
ロールプレイングのシナリオ	登場人物の役割に応じて、大きく以下の流れでロールプレイングを実施。 1. 乗客が転倒 2. 状況確認・運行判断 3. 車両の緊急停車 4. 救護対応・指示	

検証環境

ロールプレイング実施時の、監視に使うモニタ配置と、各画面の詳細を図 39～図 42 に示す。

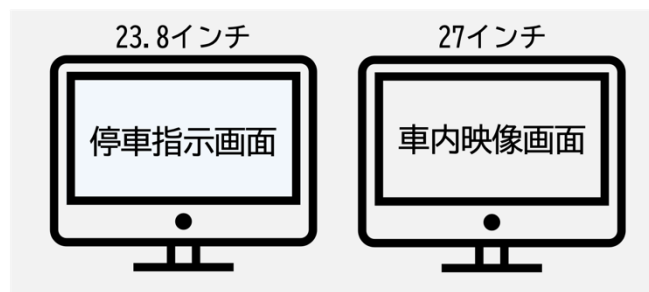


図 39 バス 1 台監視の際のモニタの配置



図 40 車内映像画面



図 41 停車指示画面



図 42 ロールプレイング時の画面の様子(遠隔監視室側)

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

- 実証で取得したログデータ等はコンソーシアムの指定するセキュアなファイル共有サービスを使用して、管理・運用する
- MEC 上のシステムへのアクセス権は必要最低限のコンソーシアムメンバーにのみ許可し、アクセス元の IP アドレスごとに接続を許可するとともに、アクセスログを監視する。

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

- 路車協調システムで屋外設置のものは、人の手の届きにくい地面から 3m以上の高所の BOX 内に格納する
- 自動運転バスの車載システムは施錠可能な車内ラックに格納する。自動運転バスを運行するときは、走行ルート走行時以外は一般車立ち入り禁止のバスロータリーに停車し、自動運転バスの扉は施錠する。運行後の夜間、休日は相鉄バス旭営業所内に停車し、自動運転バスの扉は施錠する
- 通信システムは日毎に起動確認し、故障時は担当者が保守を行う ※休日はそのぞく
- 夏季・年末の長期休暇前に通信用モバイル SIM とネットワーク機器の現物確認を行う

4.6.2 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

レベル4自動運転社会の実現に向けて、今後も路車間協調による自動運転支援の重要性がより一層高まると考えられる。路側インフラの設置場所は、

- ・本実証の走行ルートでもある離合制御が必要な狭隘道路区間
- ・入庫待ち車列(駐停車)の回避が必要な箇所
- ・出庫車両の存在する箇所
- ・対向車両や車列の間から横断する歩行者が存在する箇所

など、複雑に変動する交通環境把握が必要なロケーションへの設置を検討している。離合制御、入庫待ち車列(駐停車)の回避について、日本政府が全国一般道も含めた自動運転バスの社会実装を目指すうえで、自動運転バスに搭載センサのみで、精緻な情報把握がどこまで可能かといった懸念が想定される。本実証により、複合通信技術でのネットワークリソース最適化を図り、監視業務・路車協調の高度化、効率化を実現することで、車両内外の状況をより正確に把握し適切な車両制御が可能となり、安全性・円滑性に資すると考える。

【上記課題を達成するための検証方法】

当該課題の解決に向けて複合通信技術でのネットワークリソース最適化と路側インフラ(本年度のスマート道路灯等)による離合制御、入庫待ち車列の回避シーンにおける、周辺交通車両状態の検知、歩

行者の検知を遅延なく行い、遠隔監視装置経由でレベル 2 自動運転車の運転手との円滑な連携が出来るか、設定したユースケースの KPI/KGI に基づき行う。

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

レベル4自動運転社会に向けて、今後も協調型自動運転における路車間協調による自動運転支援の重要性がより高まると考えられる。

路側インフラの設置場所は、本実証の「離合制御」が必要な区間、または「入庫待ち車列(駐停車)渋滞の回避」など複雑に変動する交通環境把握が必要なロケーションの路車協調機器設置を検討している。

上述した離合制御、車列回避について、広く全国の自動運転バスの社会実装を目指すうえで、自動運転バス搭載センサのみでは十分な情報把握が困難という懸念を示されることが想定される。

複合通信技術を活用することにより、ネットワークリソースを最適化し、遠隔監視・路車協調の高度化・効率化を実現することで、車両内外の状況を正確に把握した車両制御が可能となり、通信の観点からも安全性・円滑性に資する自動運転の社会実装を目標とする。

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

◆運行効率化:

狭隘道路で歩車分離なし、車道に路側構造物のはみ出しがある車線での対向車両とのすれ違い(離合)が発生する区間において、手動運転バスでは対向車両の接近と歩行者の行動を運転士が培った経験に基づいて判断して発進・停止を繰り返しながら運行している。将来的にレベル 4 自動運転時の遠隔監視席において路側インフラと情報協調して状況を把握することで、自動運転バスの運行効率化・最適化を図りたい。

◆時間短縮:

片側 1 車線区間で、時間帯によりスーパーマーケット、飲食店、アミューズメント施設など駐車場への入庫待ち車列が発生する。また同環境では出庫車両や対向車両、車列影からの歩行者も存在する。手動運転によるバス運行では、複雑な交通状況の下で、運転士が高度な認識・判断に基づいて発進・停止を行っている。将来的にレベル 4 自動運転時に遠隔監視装置にて路側インフラと情報協調・安全把握を行うことで、バス停車時間の短縮化、最適化を図りたい。

◆利便性向上:

上述した、レベル 4 自動運転バスの離合制御、入庫待ち車列の回避について、路側インフラとの路車協調で安全運行の効率化・時間短縮化は、定刻運行順守に繋がり、自動運転バスの社会実装時における路線バス利用者の利便性向上に繋がるものと思料する。

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

■キャリアのコア設備共用型のローカル 5G の活用

LiDAR 点群データの伝送において、同データは安定的な大容量通信であるローカル 5G が必要と考える。一般的なローカル 5G は導入時に専用機器が多数必要であり、また親局装置から子局装置間の光ケーブル敷設が必要な場合、同装置間の距離拡大は光ケーブル費用コストに影響を与える。

キャリアのコア設備共用型のローカル 5G を採用することで、設置場所の柔軟性向上及び初期/運用コスト低減を図り、過年度実証採用の一般ローカル 5G と比較したコスト低減効果を評価する。

■スマート道路灯にかかる初期費用比較:支柱新設/既設支柱活用

自動運転の社会実装に向けた路車協調システムの活用にあたって、そのシステムに不可欠な要素をいかに経済的に構築可能であるかが重要となる。そこで本実証では、検知機器を既設道路灯に設置することで、支柱を新設する場合と比較してコストを低減できると考え、既設道路灯を活用することとした。併せて既設灯具と灯具新設の場合のコスト比較も行った。

■複数基盤の同一構成活用

車内映像 AI 分析のため、データ収集基盤と路車協調基盤を同一構成(intdash 上に構築)し活用することで、別々の基盤を構築する必要がなくなり、初期コスト・ランニングコストの低減を図る。本実証を通じてコスト低減が、実装時においても可能な内容であるか、定性的な確認・検討を行う。

また、スマート道路灯において、新たに路側システム専用の支柱を設置する場合と、既設灯具をスマート道路灯に交換する場合の初期費用の比較を行う。

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

図 43 に通信システム全体図を示す

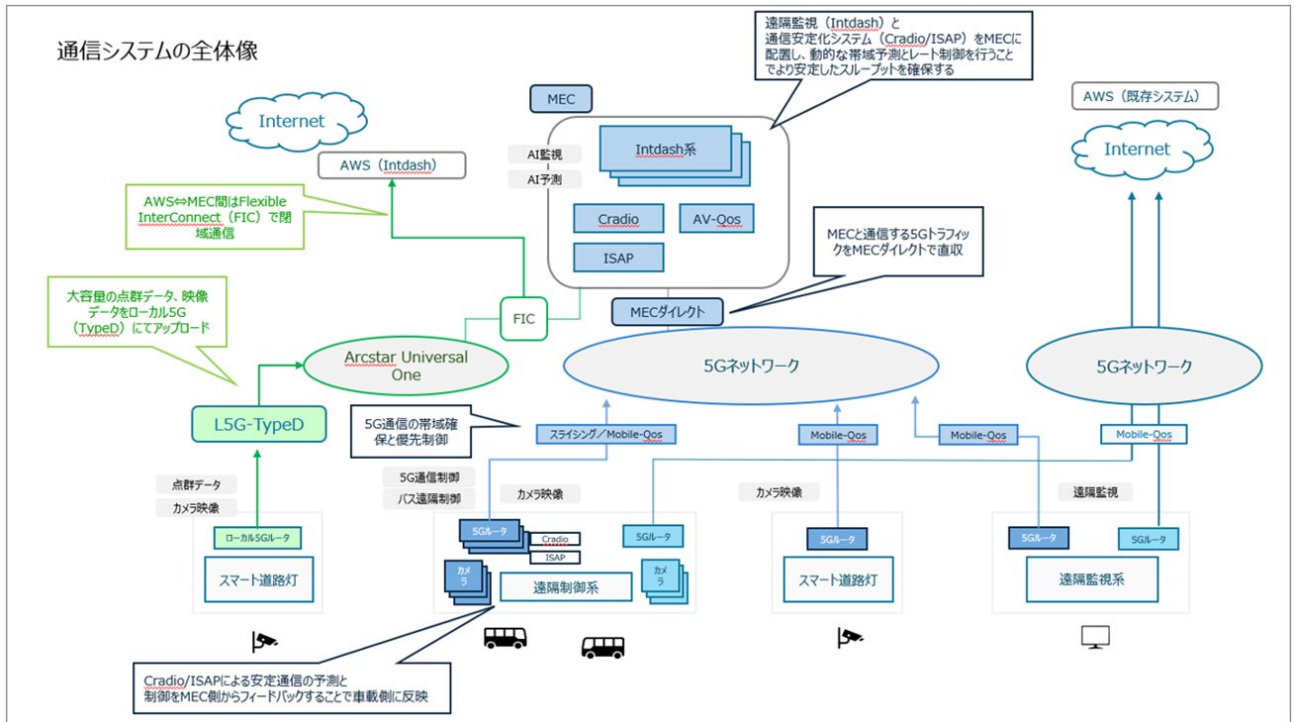


図 43 通信システム全体図

- 自動運転バス(2台)の車載機は MEC ダイレクト回線によりクラウド(MEC)の intdash サーバ群と通信する(遠隔制御系)。また、東海理化の遠隔監視車載システムは 5G 回線により Internet 経由で AWS と通信する。
- スマート道路灯(車列回避)は L5G-TypeD に接続してクラウド(MEC)の intdash サーバ群と通信する。
- スマート道路灯(離合制御)は MEC ダイレクト回線によりクラウド(MEC)の intdash サーバ群と通信する。
- 遠隔監視室の監視システムは MEC ダイレクト回線によりクラウド(MEC)の intdash サーバ群と通信する(遠隔制御系)。また、東海理化の遠隔監視システムは 5G 回線により Internet 経由で AWS と通信する。

5.2 システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等

- スマート道路灯は LiDAR の点群データをクラウドに伝送するために 80Mbps 相当のスループットが要求される。このためローカル 5G を導入することとしたが、基地局の建設や免許申請など法的な手続きに時間を要するため、早い段階で通信利用の目的、方法、基本設計を決定する必要があった。今後のローカル 5G 導入においても上記の内容は留意すべきと考える。
- MEC 上に遠隔監視系の VM を構築したが、実証フェーズになってログデータが想定より膨大となりストレージの拡張を行うこととなった。また、映像処理系 VM のコンピュータリソースが当初想定では不足したため、リソース拡張を行った。
- 実証で通信速度や遅延を測定したが、各システムのエンドツーエンドや通信経路はそれぞれ異なるため、どの位置に iPerf サーバなどの測定装置を配置するかについて、基本設計段階で十分検討しておくべきである。
- 本実証のバックホール回線として新規サービス回線を活用するに際し、2025 年 5 月に申込みを行う予定であったが、回線事業者側の申込み窓口の開設が遅延したため、7月にずれ込んだ。また、その後の回線開通に至る工期も予定される期限通りに進捗せず、スケジュール調整を余儀なくされた。今後、バックホール回線利用に限らず、新規申込開始のサービスを利用する場合は、サービス申込開始が予定より後ろ倒しになる可能性を留意すべきと考える。
- 本実証では自動運転バスに搭載するモバイルルータ用の外部アンテナの外出しを行った。

※自動運転バスの天井の外側にアンテナ(6 か所)を設置

各アンテナの向き(方角)を、走行ルートでの事前検証を通じて十分検討した上で設計し、バスに設置した。また車内機器へのアンテナケーブル配線も、事前に配線経路が定まらなかったためケーブル長の長いものを調達したが、結果ケーブル長が余ることとなり、ケーブルを収容する車内ラック内のスペースを圧迫した。なお、アンテナの外部設置とケーブル配線(外から中への引き込み)は雨などによる浸水対策が必要なことから、専門業者に委託して行った。上記の点は今後の自動運転バスへの外部アンテナ設置の際も留意すべきと考える。

6. 実証結果・考察

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

当該ユースケースは実施していない。

6.2 ②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保

6.2.1 Cradio による安定した映像伝送と ISAP を用いたネットワークリソースとコンピューティングリソースの効率化の実施

1) 実証スケジュール

遠隔監視時のバス映像伝送および通信安定化技術実証は、自動運転バスが走行ルートにて運行する調律走行期間と本番走行期間にて実施した。測定車によるスループット計測などもこの期間に合わせて実施した。臨時遠隔監視室のダウンリンク測定など自動運転バスの走行とは関係なく定点位置で測定できるものは、総合試験完了後の11月後半から実施した。

表 45 実証スケジュール(実証準備～実証評価)

ユースケース	フェーズ	2025年		2026年		
		11月	12月	1月	2月	
②	実証準備	→				
	実証	調律走行	→		本番走行	→
	実証評価	データ取りまとめ				→

2) 開発・評価項目の結果

番号	開発・評価項目
(1)	Cradio 技術を開発し、MEC 上に実装
(2)	ISAP 技術を開発し、MEC 上に実装

(3)	Cradio による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間のスループットを確認する
(4)	ISAP による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間のスループットに対するネットワークリソース使用率を確認する
(5)	自動運転バス車内の映像をビデオカメラで撮影し、遠隔監視装置に設置の AI 処理機構にリアルタイム映像伝送を行う。
(6)	遠隔監視装置に設置の AI 処理機構で乗客の姿勢を AI 検知し、不安全状態かどうかを判定する。
(7)	乗客が不安全状態である場合、遠隔監視画面で表示する。
(8)	エッジ側(車両側)での AI 処理と遠隔処理(ネットワーク経由)による AI 検知率を比較する
(9)	伝送後の映像品質(遅延も含めて)を確認する

(1) Cradio の開発・評価

※(2)ISAP の開発・評価にて合わせて説明

(2) ISAP の開発・評価

遠隔監視システム(intdash)と Cradio と ISAP はそれぞれ自動運転バス側とクラウド側に装置と機能を配置して連携する。システム構築と結合試験・総合試験を 2025 年 7 月～11月に実施。想定どおり機能動作することを確認した。

(1)開発・実装した連携機能について説明する。MEC 上に配置した Cradio 制御 VM は、自動運転バス搭載の遠隔監視装置である intdash T1 と連携して走行する自動運転バスの現在位置を把握し、数分後の移動先のネットワーク品質予測を行う。Cradio 予測情報を受けて T1 のネットワーク選定制御機能が、iDY ルータ(モバイルルータ)の回線種別とリソース割り当て(Band 調整)を行う。iDY ルータは 3 台あり、自動運転バスの遠隔監視カメラの映像伝送はそのうちの 1 台の iDY ルータで行い、残りの 2 台はスタンバイとなる。予測値に基づいて事前にスタンバイルータで Band 調整を行っておき、ハンドオーバーポイントにおいてエッジ Cradio の回線選択機能が映像伝送を行う iDY ルータの切替えを行う。

■Cradio 予測情報を用いた intdash 端末の回線選択機能の流れ

- ①T1(自動運転バス搭載の intdash エッジ端末)の Cradio コンテナが車両の位置情報を受け取り、Cradio サーバへ intdash サーバ経由で伝達
- ②T1 の Cradio コンテナが 3 台分のルータ情報を約 1Hz 間隔にて Cradio サーバへ intdash サーバ経由で送信しつづける

- ③T1 の Cradio コンテナが Cradio サーバからの回線予測情報を intdash サーバ経由で受け取る
- ④T1 の Cradio コンテナがルータを切り替えると判断した場合に、マルチコネクションの REST API でルータを切り替える
- ⑤T1 の Cradio コンテナが回線選択結果を intdash サーバ経由で Cradio サーバに送る

上記にて実装した機能について、参考として下記の図 44 に自動運転バス内の機器設置状況と T1 側の動作ログを、図 45 に intdash ダッシュボード画面にて確認した実際にルータが切り替えられた様子を示す。

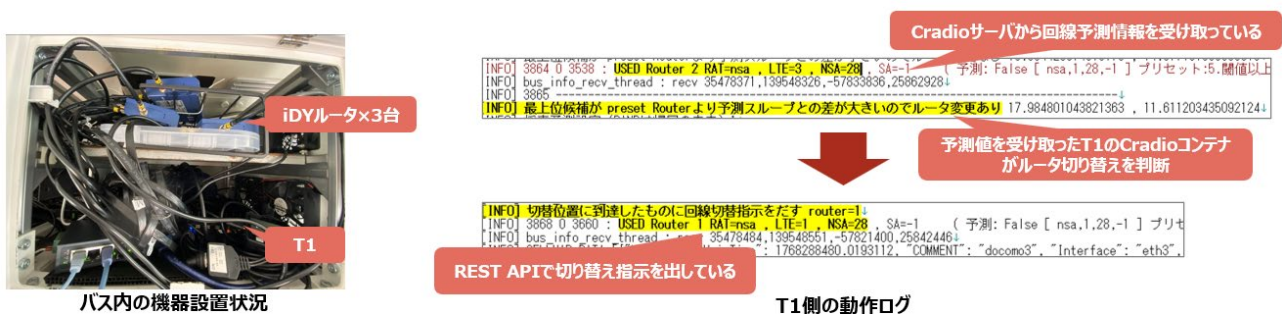


図 44 自動運転バス内の機器設置状況および T1 側の動作ログ



図 45 intdash ダッシュボード画面のキャプチャ

(2)ISAP レート制御 VM を MEC 上に配置する。自動運転バスの車載機はMEC上の intdash サーバへ映像伝送を行うが、その通信は ISAP レート制御 VM を経由して行う。また、自動運転バス側の ISAP-GW は T1 と iDY ルータ間に配置し、同じく intdash サーバへ映像伝送を中継する。

※映像伝送を行う iDY ルータは 3 台(3 つの通信経路)あり、ISAP-GW はそれぞれの通信経路に配置する。ISAP-GW は Cradio のハンドオーバー予測と連携し、ハンドオーバー先の回線種別とリソース割り当てに適した映像伝送レート調整を瞬時に行う。

下記にレート制御の流れを示す。図 46 中にも①～④について注記を行う。

①自動運転バスの走行位置と無線品質情報を取得

車載端末と連携し、運行中の自動運転バスの位置情報と無線品質情報をリアルタイムで収集(ルータ情報収集機能)

②自動運転バスの数秒後の位置を予測し、最適な通信帯域を判定

自動運転バスの移動情報を踏まえて数秒後の位置を予測し、その時点における最適なモバイル回線種別と周波数バンドを判定(Cradio:無線品質予測機能)

※無線品質予測は過去の学習データを根拠に AI を用いて行う。根拠データには過去の走行ルートバンド毎のスループット等も含まれるので、単に“電波強度が最も高い”といった判定ではなく、“スループットが安定するバンドの選択”といった判定が行われる。

③通信品質予測情報を基に、通信ルータ切替を実施

通信品質予測技術(Cradio)の予測情報に基づき、自動運転バス搭載の intdash エッジエージェントに組み込まれたネットワーク選定制御機能が、自動運転バスの無線ルータの切替制御を行う。

④無線品質状況に応じて、遠隔監視システムに関する通信レート制御を自動で行う

自動運転バス⇄クラウド間の通信経路に配置された通信量制御技術(ISAP)のネットワーク装置が、通信品質予測技術(Cradio)に適合する最適なレート制御(パケット流量制御)をアプリケーションレイヤで動的に行う。

通信品質予測技術と通信品質に基づく通信量制御技術を組み合わせた制御の例

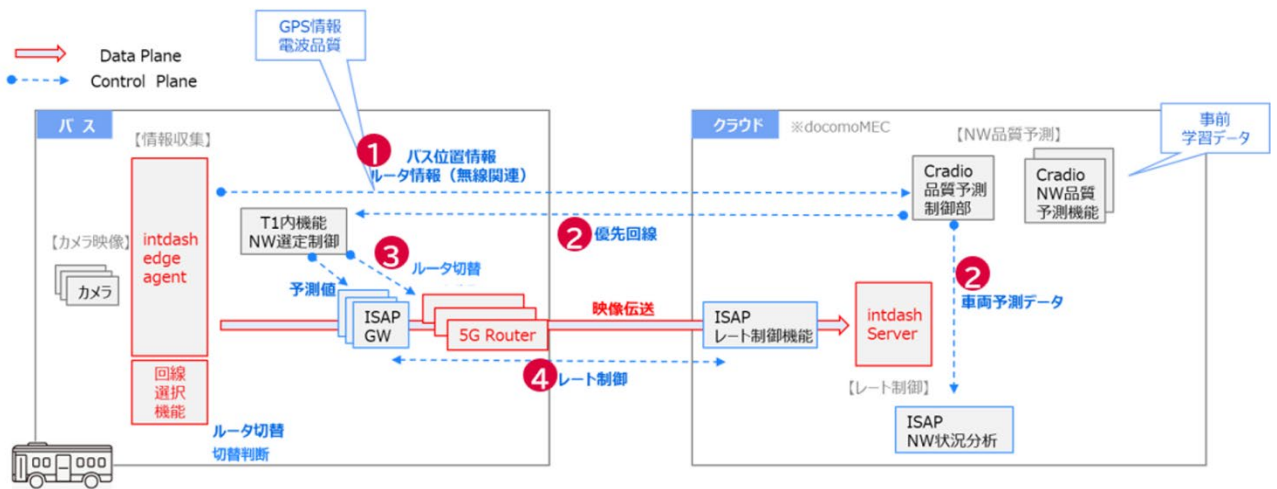


図 46 映像データのレート制御のイメージ

上記、(1)の Cradio 実装と(2)の ISAP の実装および intdash との連携機能の実装を 7～8 月に行い、結合試験と全体テストを 9 月～11 月にかけて実施した。※図 47 Cradio と ISAP の実装および intdash との連携工程参照

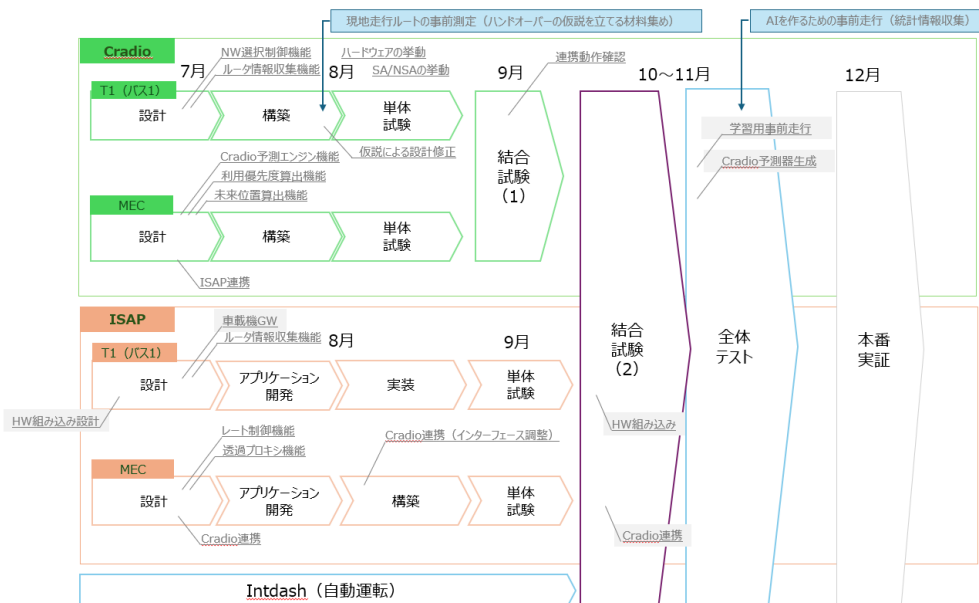


図 47 Cradio と ISAP の実装および intdash との連携工程

(3) Cradio による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間(自動運転バスから基地局)のアップ

リンクスループットを確認する

Cradioの予測に基づき最適なハンドオーバーとリソース割り当てを行うことで、スループットの向上が期待できるため、その効果を測定し評価する。※無線区間において所望スループットになる時間率 95%以上(劣化する時間率が5%未満)

①無線区間のスループット結果

まず、Cradio 制御によるスループット改善効果について定量評価する。表 46 に実施した諸元を示す。

表 46 Cradio による制御あり、なしの場合に分けたスループット測定諸元

測定日	2026年1月8日
測定回数	Cradioによる制御有り無しともに往復2回
通信プロトコル	UDP
帯域制限	100Mbps

本検証では、測定ルート上でアップリンクのスループットを毎秒測定し、2往復分の位置を合わせて平均化したものをデータとして採用しており、サンプル数は2往復分のデータ数となる。また、無線区間のスループット特性を評価するため、フロー制御等が存在しないUDPデータを使用してiPerfの計測を実施した。図48に測定した位置とスループットのグラフを示す。

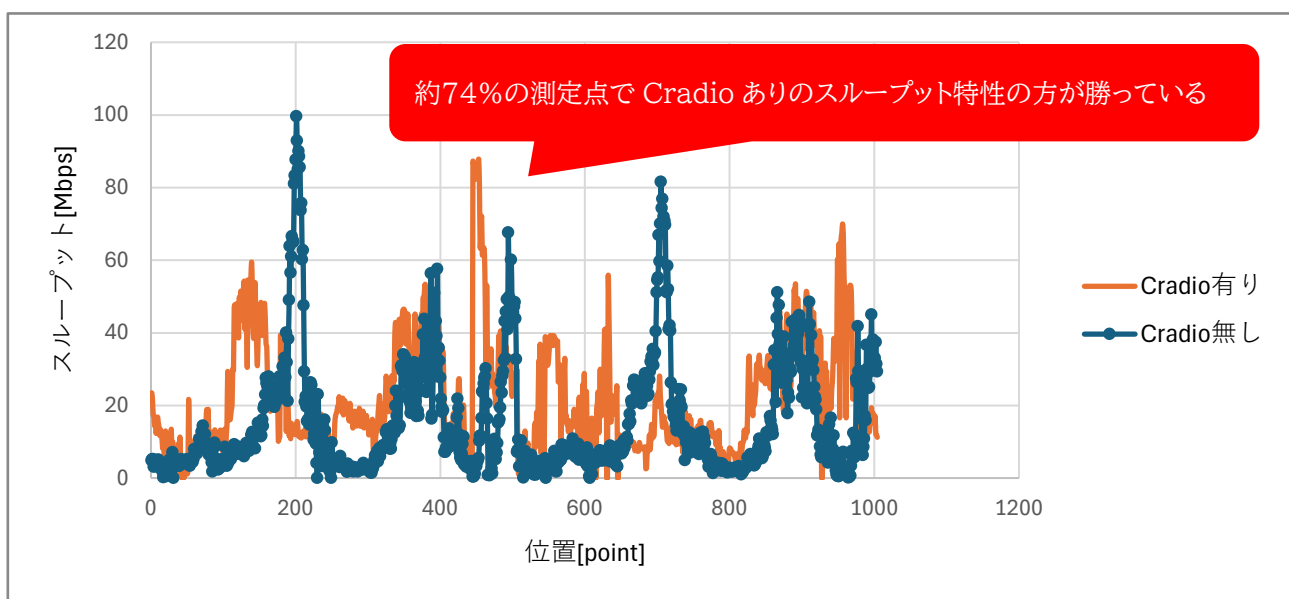


図 48 測定した位置とスループットのグラフ

図 48 における横軸は、コース上の位置に対し、インデックス(コース上の位置を知るための連番)を振ったものである。本データにはコース上の往復データが含まれており、index0 から往路をスタートし、中間となる index500 番付近で折り返して復路となり、index1000 番付近でスタート地点に戻ってくる。2 周取得したデータは、毎秒、スループットとその位置情報を記録しており、自動運転バスが実際に走行した位置情報に最も近いデータを集めることで周回ごとに異なる位置情報を統合し、平均化処理を行った。図 48 を見ると、全体的に技術ありのスループット特性の方が、技術無しのスループット特性より勝っている点が多く、約74%の測定点で技術ありのスループット特性の方が勝っていた。図 48 ではスループットが 0~約80Mbps の間で変動を繰り返しており、スループットの出現傾向が分かりづらい。そこで、スループットの出現傾向を確認するため、本データを累積分布関数で評価する。図 49 に技術有り無しの場合に分けたスループットの累積分布関数を示す。

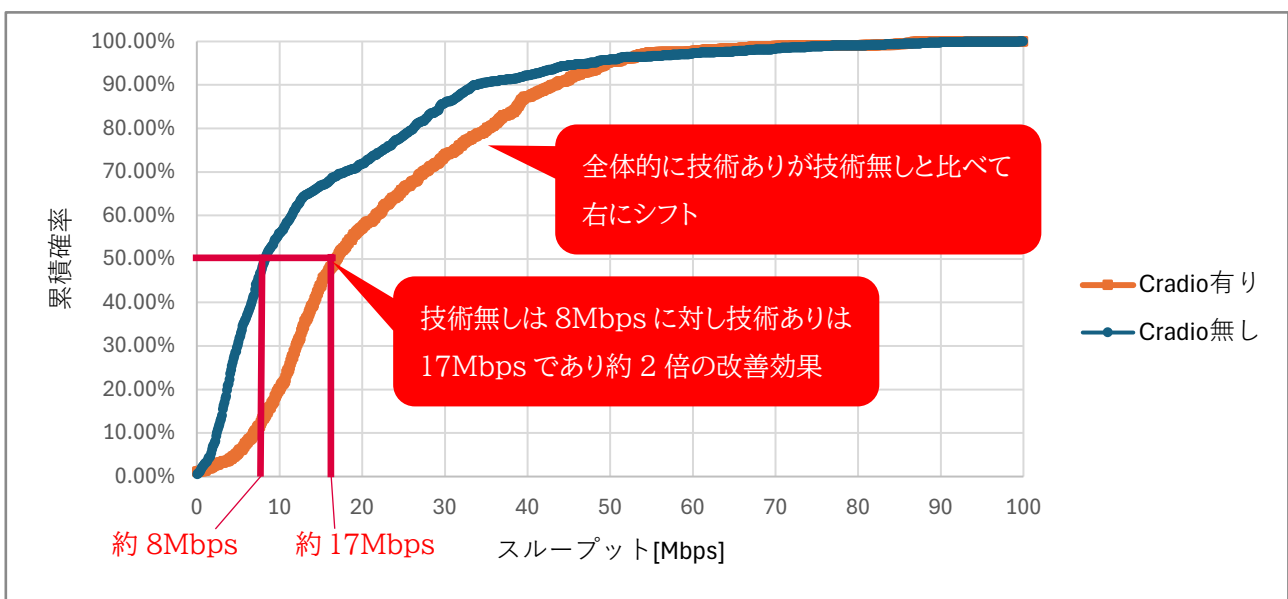


図 49 Cradio による制御有り無しの場合に分けたスループットの累積分布関数

図 49 から、技術ありの方が技術無しの特性に比べ、全体的に右にシフトしていることがわかる。これは、後述する Cradio による動的なハンドオーバー制御の効果であり、Cradio によってよりスループットが高くなる band/方式にトラフィックを流す制御を行った結果、高スループットが出やすくなったためと考えられる。累積確率=50%のスループットに着目すると、Cradio 無しは約 8Mbps であるのに対し、Cradio 有りの場合、約 17Mbps となっており約 2 倍のスループット改善効果がある。

本実証では、遠隔監視のビデオトラフィックを流すため、4Mbps を所望スループットとしている。そこで、本データをスループット=4 [Mbps] に注目して分析を行う。図 50 に、10Mbps 以下の領域における累積分布関数を示す。

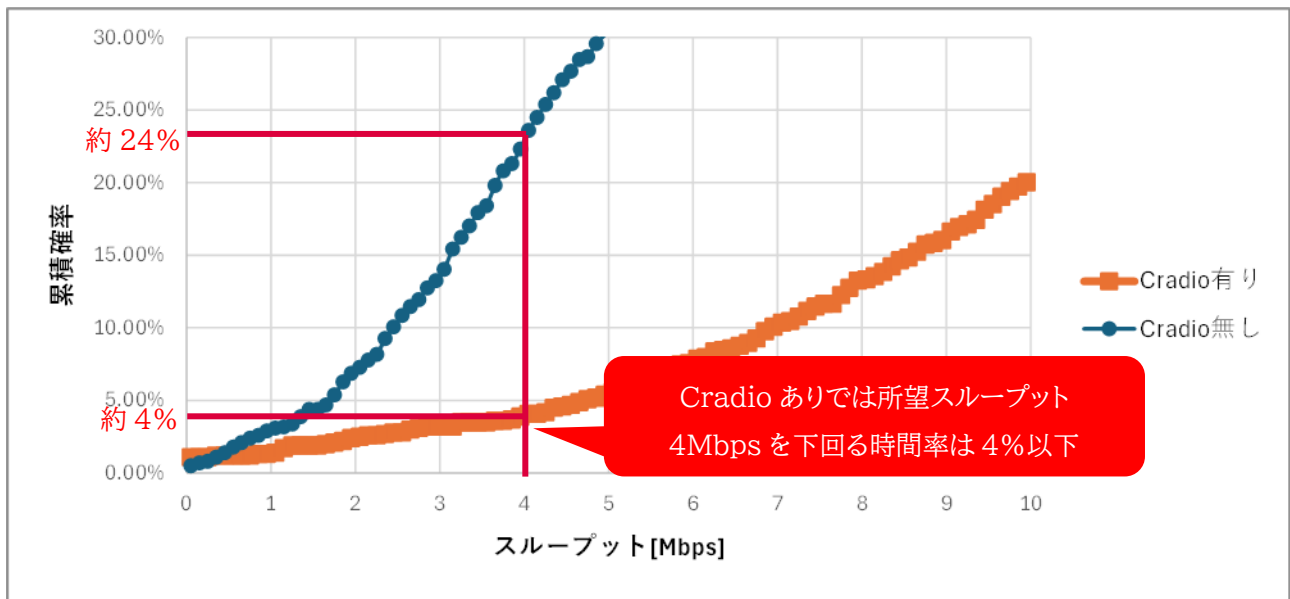


図 50 5Mbps 以下の領域における累積分布関数

図 50 では、スループット=4Mbps の特性に注目すると、Cradio 無しは 4Mbps 以下の確率が約 24% であるのに対し、Cradio ありでは約 4% となっており、所望スループットの帯域で約 20% の改善効果がある。また、Cradio ありの所望スループット以下になる特性が約 4% であるため、所望スループット以上となる確率は約 96% となる。よって、Cradio による制御を用いることで、KPI である『無線区間において所望スループットになる時間率 95% 以上 (劣化する時間率が 5% 未満)』を達成できた。

本節では Cradio 制御によるスループット改善効果について述べた。次節では、実証エリアにおける無線の問題と、Cradio 制御を使用した結果、スループットを改善するハンドオーバー制御について述べる。

②ハンドオーバー制御に関する結果

技術有無による結果を確認するため、最初に Cradio 無しときのハンドオーバー特性について確認する。図 51 に Cradio 無しときのスループットと方式(LTE/NSA/SA)の変化を示す。

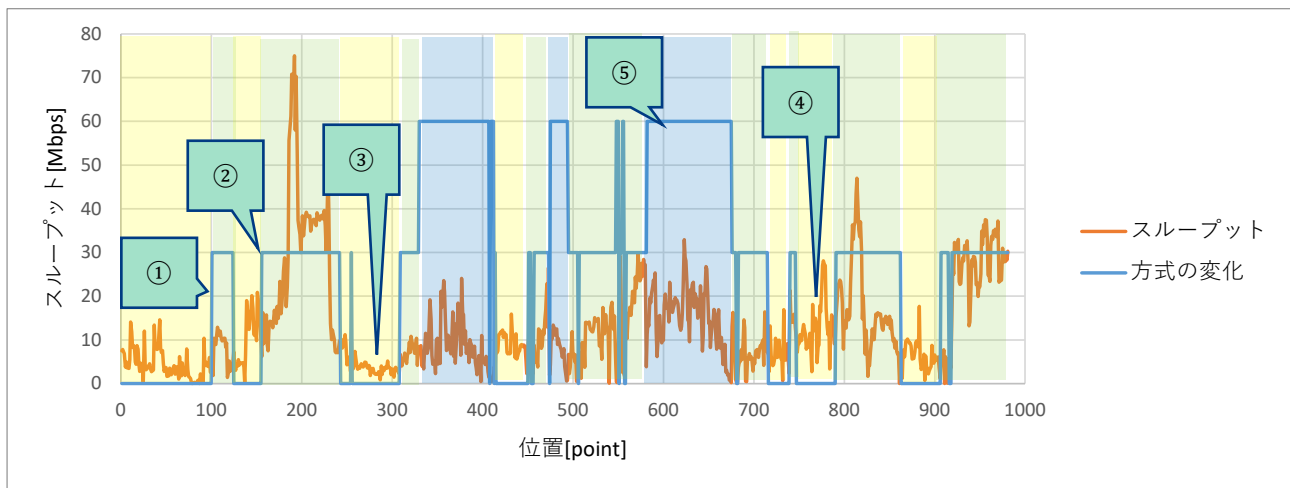


図 51 Cradio 無しの際のスループットと方式(LTE/NSA/SA)の変化

図 51 において橙色の折れ線グラフはスループットを表し、青の折れ線グラフは方式の状態(0:LTE(黄) 30:NSA(緑) 60:SA(青))を表す。

※カッコ内は背景色。瞬時変化の背景色は付け切れておらず一定区間維持している背景色を付けている

今回の走行では、Cradio 無しの場合、図 51 における方式の変化(青線)の切り替え点を数えると、方式の切り替え点が39か所存在した。また、981[point]あるデータの内、LTE:359[point]、NSA:421[point]、SA:201[point]があり、それぞれの方式の出現確率はLTE:37%、NSA:43%、SA:20%となっていた。

Cradio 無しの場合、通常の移動体通信と同様の処理となり、基地局によるハンドオーバー制御を受ける。この時、①のようなNSA区間で約10Mbpsのスループットしか出ない区間もあれば、②のように同じNSA区間でも約40Mbps程度のスループットを出せる区間も存在し、NRの状態によっては良好なスループットを得られない可能性がある。また、LTE区間においても、③のように約4Mbpsのスループットしか出せない区間もあれば、④のように約10Mbpsを概ね上回る区間も存在する。④のLTE区間は、①のNSA区間のスループットと大差なく、通信品質の良いLTE回線の有効活用がスループットの底上げに寄与すると考えられる。また、⑤のSA区間のように、スループットが約20Mbpsを概ね上回っている区間があるものの、自動運転バスの移動に伴い、セルの境界まで接続を維持するため、ハンドオーバーする直前では、瞬間的にスループットが落ち込むリスクがある。そのため、低品質になる可能性が高いセルの境界まで当該接続を維持するのではなく、先行して接続先を切り替えることがスループットの底上げに寄与すると考えられる。

次に、Cradio 有りのときの確認を行う。図 52にCradio 有りのときのスループットと方式(LTE/NSA/SA)の変化を示す。

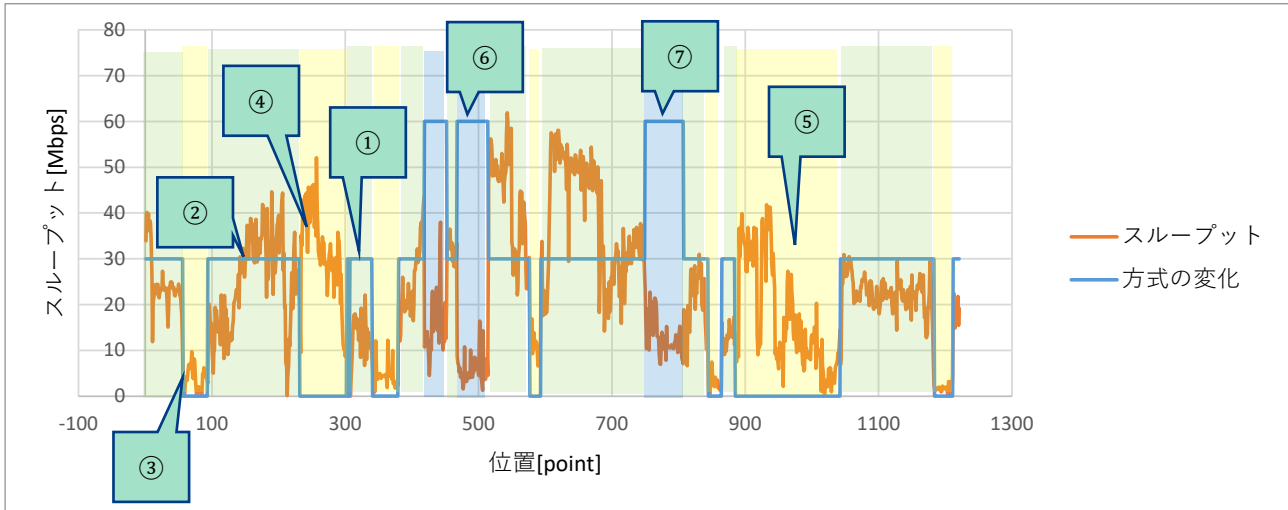


図 52 Cradio 有りのときのスループットと方式(LTE/NSA/SA)の変化

図 52 において橙色の折れ線グラフはスループットを表し、青の折れ線グラフは方式の状態(0:LTE(黄) 30:NSA(緑) 60:SA(青))を表す。

※カッコ内は背景色。瞬時変化の背景色は付け切れておらず一定区間維持している背景色を付けている。

今回の走行では、Cradio 有りの場合、図 52 における方式の変化(青線)の切り替え点を数えると、方式の切り替え点が 22 か所存在した。また、1221[point]あるデータの内、LTE:372[point]、NSA:710[point]、SA:139[point]があり、それぞれの方式の出現確率は LTE:30%、NSA:58%、SA:11%となっていた。

Cradio 技術有りの場合、band や方式ごとにスループットを予測し、予測に基づいて端末局からトラフィックを流す band や方式を切り替える。NSA 区間(方式の変化の値が 30[背景色:緑]の部分)では、①のような 15Mbps 程度のスループット区間も存在するが、②のような区間では同じ NSA でも 20Mbps 以上を概ね達成している場所も多い。今回の実証地域では、2 つの band で NSA が構成されているが、Cradio によってスループット予測値がより高い NSA の band に接続したため、Cradio 無しの場合の NSA 特性より平均して高いスループットを得ることができた。また、LTE 区間(方式の変化の値が 0 の部分)については、③のように概ね 5Mbps 程度と Cradio 無しと比較して改善効果が見えないところがある一方、④や⑤のように LTE 区間でも概ね 15Mbps 以上を達成するようなエリアを作ることに成功した。今回の実証地域では、3 つの band で LTE が構成されているが、Cradio によってスループット予測値が高い 2band に限定して接続した LTE 構成にしたため、Cradio 無しの場合の LTE 特性より高いスループットを得ることができた。SA 区間(方式の変化の値が 60 の部分)に関しては、Cradio の予測によって⑥や⑦のような所定のスループット(6Mbps)を満たすエリアだけに限定して使用する制御を行い、Cradio の無しの時に問題としていたセルの境界における低品質接続の維持を改善した。NSA や LTE 区間の底上げを行いながら、SA 区間における高品質エリアの限定化を行ったことで、Cradio 技術の使用によって全体的なスループット改善効果を得ることができた。

(4) ISAPによる制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間のスループットに対するネットワークリソース使用率を確認する

Cradio の予測に基づき ISAP が TCP 送信速度を調整する(レート制御を行う)ことで帯域の変動幅の大きいモバイル無線環境において安定した通信を行うことと、低帯域幅でのスループット押し上げ効果(帯域幅を効率よく使い切る効果)が期待できるため、その効果を測定し評価する。

※無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が10%未満)

① ISAP の効果を確認するための iPerf 試験

前節にて、Cradio 制御によるハンドオーバーとスループット改善効果を確認した。次に、Cradio 制御に加え、ISAP も併用した制御有り無しの場合に分けてアップリンクのスループット測定を実施した結果を本節に示す。表 47 に実施した諸元を示す。

表 47 ISAP による制御有り無しの場合に分けたスループット測定諸元

測定日	2025 年 12 月 23 日～24 日
測定回数	ISAP による制御有り無しともに往復 2 回
通信プロトコル	TCP
帯域制限	無制限

本検証では、測定ルート上でアップリンクのスループットを毎秒測定し、2 往復分の位置を合わせて平均化したものをデータとして採用しており、サンプル数は 2 往復分のデータ数となる。また、ISAP の制御対象であるフロー制御効果を確認するため、TCP データを使用して iPerf の計測を実施した。

図 53 に測定した位置とスループットのグラフを示す。

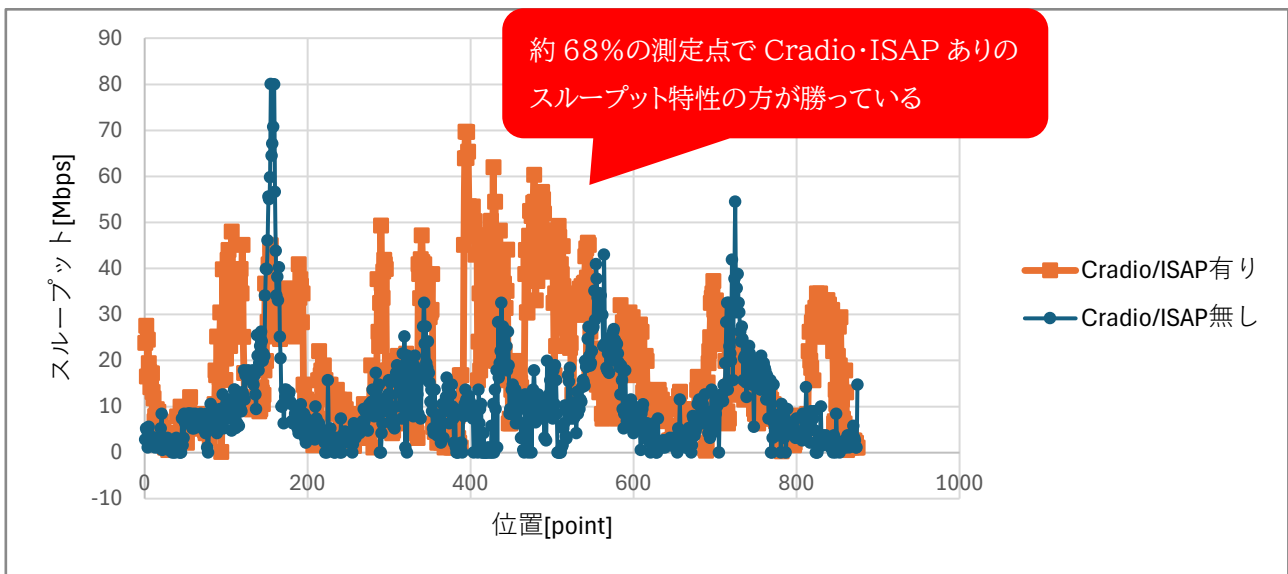


図 53 測定した位置(point)とスループットのグラフ

図 53 における横軸は、コース上の位置に対し、インデックスを振ったものである。本データにはコース上の往復データが含まれており、index0 から往路をスタートし、中間となる index450 番付近で折り返して復路となり、index900 番付近でスタート地点に戻ってくる。2 周取得したデータは、毎秒、スループットとその位置情報を記録しており、自動運転バスが実際に走行した位置情報に最も近いデータを集めることで周回ごとに異なる位置情報を統合し、平均化処理を行った。なお、前項における Cradio 効果測定(図 48 で示したもの)と同じコース・距離を走行しているが、point 数が少なくなっている理由は、交通状況により自動運転バスの走行時間が短くなり、その分取得した point 数が少なくなっている為である。図 53 を見ると、全体的に技術ありのスループット特性の方が、技術無しのスループット特性より勝っている点が多く、約68%の測定点で技術ありのスループット特性の方が勝っていた。図 53 ではスループットの変動が 0~約80Mbps の間で変動を繰り返しており、スループットの出現傾向が分かりづらい。そこで、スループットの出現傾向を確認するため、本データを累積分布関数で評価する。図 54 に技術有り無しの場合に分けたスループットの累積分布関数を示す。

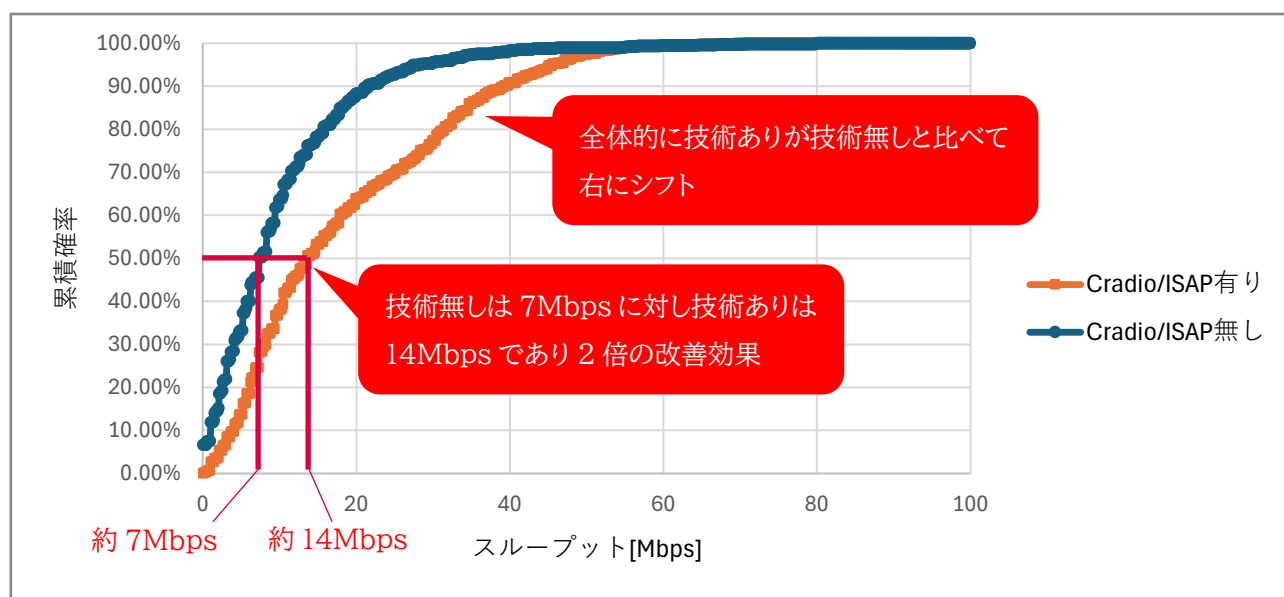


図 54 技術有り無しの場合に分けたスループットの累積分布関数

図 54 から、技術ありの方が技術無しの特性に比べ、全体的に右にシフトしていることがわかる。これは、Cradio による制御によって、ルート全体に渡って帯域が確保されたことに加え、ISAP によって帯域制御できたためである。累積確率=50%のスループットに着目すると、Cradio/ISAP 無しは約 7Mbps であるのに対し、Cradio/ISAP 有りの場合、約 14Mbps となっており約 2 倍のスループット改善効果がみられた。

次に、KPI「無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ、帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が10%未満)」について考察する。図 55 に、10Mbps 以下の領域における累積分布関数を示す。

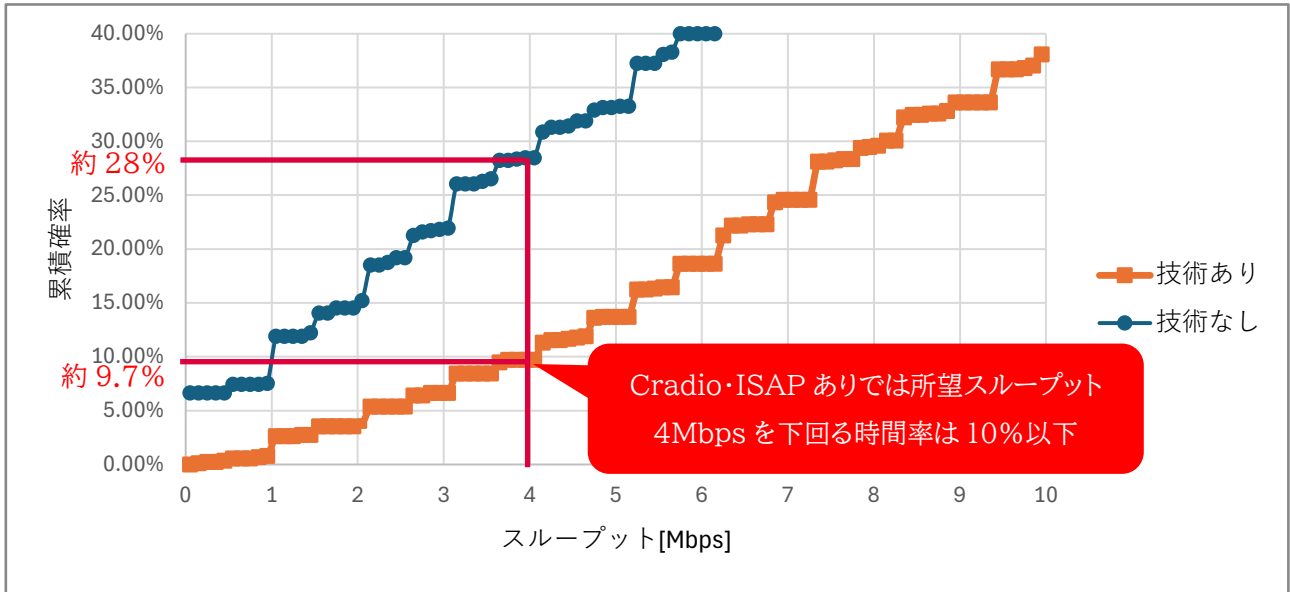


図 55 10Mbps 以下の領域における累積分布関数

図 55 では、スループット=4Mbps の特性に注目すると、技術無しは 4Mbps 以下の確率が約 28%であるのに対し、Cradio ありでは約9.7%となっており、所望スループットの帯域で約 18.3%の改善効果がある。また、技術ありの所望スループット以下になる特性が約 9.7%であるため、所望スループット以上となる確率は約 90.3%となる。よって、Cradio および ISAP による制御を用いることで、KPI:無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ、帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が 10%未満)を達成できた。

② 実際のビデオトラフィックを用いた Cradio+ISAP 制御の併用試験

以降では、実際に自動運転バスから遠隔監視用映像を流した時の試験結果を述べる。本試験では、Cradio および ISAP 制御の有無から表 48 に示すパターンに分類し、評価を行った。

表 48 Cradio および ISAP 制御の有無のパターン

<p>a.Cradio(なし)／ISAP(なし)</p>	<p>一般的なモバイル回線を利用した映像伝送試験。モバイル端末は、基地局制御の影響下でハンドオーバーを実施する。また、TCPの制御は標準的なCUBIC-TCPとなる。</p> <p>本実証のような複数のセルが重畳しているエリアで移動体通信を行う際、移動端末の状態を基地局で確認して自動運転バスの移動に伴うハンドオーバー先を決定するが、必ずしもアップリンクスループットが良いセルにハンドオーバーするとは限らず、低品質 band/方式に</p>
------------------------------	--

	接続すると、スループットが劣化してしまう。
b.Cradio(あり)／ISAP(あり)	<p>本実証で提言する通信技術を使用する映像伝送試験。モバイル端末は、Cradio の予測・制御によって動的なハンドオーバーを実施する。また、TCP の制御は、通常の BBR 処理に対し、Cradio から予測値をもらうことで動的なフロー制御を行う改良型 BBR となる。</p> <p>本実証では、実証エリア内の band/方式 (LTE/NSA/SA)に関する無線スループット予測を Cradio で実施し、所定のスループット(6Mbps)を満たさないと判断したときは、条件を満たす別の band/方式 (LTE/NSA/SA)へ主体的に切り替える制御を実施する。この方法により、従来で問題であった低品質 band/方式への接続を最小限に抑え、スループットを改善する。</p>
c.Cradio(あり)／ISAP(なし)	Cradio は機能するが、ISAP は機能しない映像伝送試験。モバイル端末は、Cradio の予測・制御によって動的なハンドオーバーを実施する。また、TCP の制御は、標準的な CUBIC-TCP となる。
d.Cradio(なし)／ISAP(あり)	ISAP は機能するが、Cradio は機能しない映像伝送試験。ISAP により、TCP の制御として BBR 制御を実施するが、Cradio が存在しないため、標準的な BBR 処理となる。

表 48 の項目について、各測定を実施した。表 49 に実施した諸元を示す。

表 49 実際のビデオトラフィックを用いた Cradio+ISAP 制御の併用試験の諸元

測定日	2026 年 1 月 13 日～20 日
測定回数	a,b,c,d のパターン共に往復 2 回
通信プロトコル	TCP+websocket
映像レート	3Mbps

●スループットに関する試験結果

a,b,c,d の 4 パターンについて、映像を流した時のスループットを測定した。図 56 に、a,b,c,d の累積分布関数を示す。本検証において理想的なスループットの出方は、伝送レート(約 3Mbps)と一致することである。そのため、図中には理想的な場合の線形(3Mbps で 100%となる)を赤色点線にて示した。この線形に近いほど

理想値に対しての変動が少なく、安定した伝送が行えていると言える。

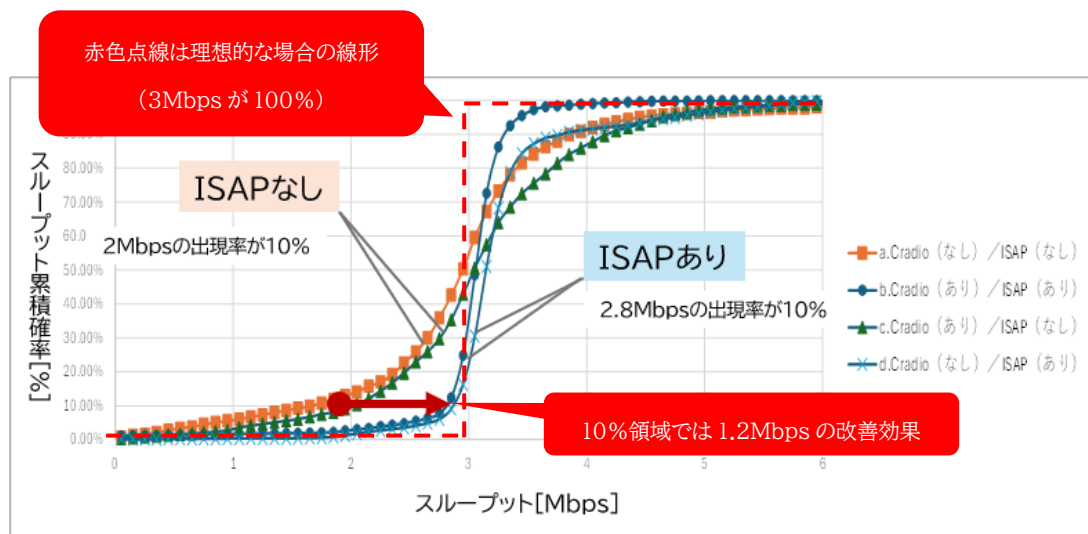


図 56 映像を流した時のスループットの累積分布関数

帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が 10%未満)を考慮し、10%の確率における結果を述べる。表 50 に、累積確率=10%のスループットを示す。

表 50 累積確率=10%のスループット

a.Cradio(なし)／ISAP(なし)	1.7Mbps
b.Cradio(あり)／ISAP(あり)	2.8Mbps
c.Cradio(あり)／ISAP(なし)	2Mbps
d.Cradio(なし)／ISAP(あり)	2.9Mbps

・c.Cradio(あり)／ISAP(なし)に対する結果

Cradio 制御を使用し、スループット予測値が良い band、方式を選択・切り替え制御を行うことで、a に対して累積分布関数が全体的に右(スループットが高い方)にある。累積確率=10%の特性に注目すると、a は 1.7Mbps であるのに対し、c では 2Mbps となっており、累積確率 10%の領域で約 0.3Mbps の改善効果がある。

「(3)Cradio による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間(自動運転バスから基地局)のスループットを確認する」の節で、負荷を 100Mbps にしたときの Cradio の改善効果について述べたが、図 56 では(3)で述べたほど、改善効果が大きく出ていないように見える。今回の実証では、ビデオストリームを 3Mbps で実現し、低スループットでの遠隔監視を実現した。そのため、低スループットエリアについては、Cradio 制御を行わない低品質の LTE 等でも通信できるエリアが増え、改善度合いが小さく見える結果となった。ただし、自動運転の実装において、遠隔監視トラフィックの拡張やそれ以外のアップロード通信による拡充が必要なシーンにおいては、同じエリアでのスループット拡充が必要となってくるため、本技術は有効であ

ると考えられる。

・d.Cradio(なし)／ISAP(あり)に対する結果と考察

ISAP 制御を使用し、BBR-TCP 制御にすることで、スループットが 3Mbps 弱まで横ばいとなっており、スループット 3Mbps 付近で急激に出現確率が伸びている。累積確率=10%の特性に注目すると、a は 1.7Mbps であるのに対し、d では 2.9Mbps となっており、累積確率 10%の領域で約 1.2Mbps の改善効果がある。ISAP を導入することで、スループット=3Mbps より低いスループット領域における確率が減っており、低品質エリアが改善される結果となった。

・b.Cradio(あり)／ISAP(あり)に対する結果と考察

Cradio と ISAP 制御を併用することで、スループットが 3Mbps 弱までの特性としては、横ばいとなっており、スループット 3Mbps 付近で急激に出現確率が伸びているdと同様の傾向となっている。3Mbps より高い領域については、dは a のデータと似た傾向になっていたが、b は 3Mbps に近いスループット領域での確率が増え、3.5Mbps 付近でほぼ 100%となる結果となっている。累積確率=10%の特性に注目すると、a は 1.7Mbps であるのに対し、b では 2.8Mbps となっており、累積確率 10%の領域で約 1.1Mbps の改善効果がある。また、標準偏差を比較すると、a は 1.14 であるのに対し、b の標準偏差は 0.49 となっており Cradio と ISAP を併用することでばらつきを小さく抑えることが出来た。そのため、Cradio と ISAP を併用することで、実際の映像レートに対し、より適正な帯域を使用して通信できていると考えられる。したがって、Cradio と ISAP 制御の併用は、安定した遠隔監視通信に効果的と言える。

●遅延(RTT)／ジッタに関する試験結果

Cradio・ISAP 連携による遅延(RTT)／ジッタの低減効果を確認するため、Cradio なし ISAP なし(パターン a)と Cradio あり ISAP あり(パターン b)の RTT 測定を実施した。表 51 に実施した諸元を示す。カメラ映像伝送中に ISAP-GW から ping を送信し ISAP サーバで折り返し ISAP-GW で受信した値を RTT としている。

表 51 RTT、ジッタ測定諸元

測定日	2026 年 1 月 9 日、2026 年 1 月 13 日
測定回数	往復 1 回
通信プロトコル	ping
帯域制限	3Mbps

図 57 にパターン a、パターン b の RTT 測定値、表 52 に RTT 測定値まとめを示す。パターン a は平均値 59.7ms、中央値 46.7ms、最小値 13.0ms、最大値 2.7s、パターン b は平均値 51.7ms、中央値 28.3ms、最小値 10.1ms、最大値 2.8sであった。Cradio と ISAP の連携効果により全体的に RTT が短縮できてい

ることが分かる。平均値で見ると約 4ms の改善だが、中央値で見ると約 18ms と大きく改善している。

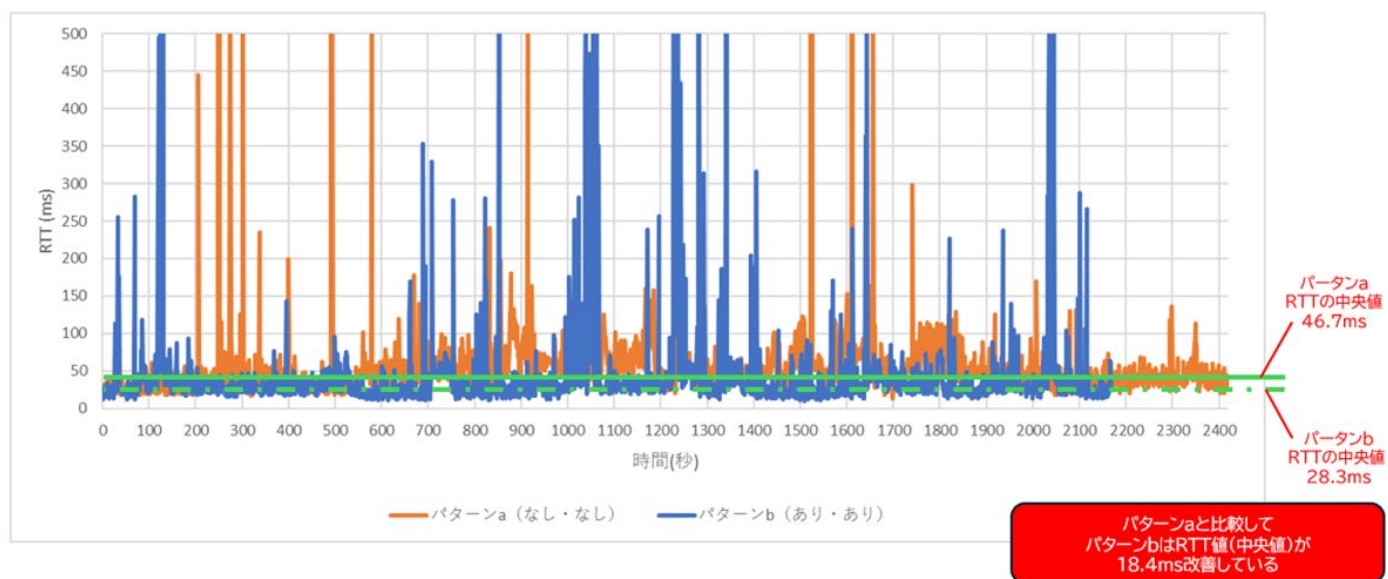


図 57 RTT 測定結果(500ms 以下抜粋)

表 52 RTT 測定値まとめ

	パターン a	パターン b
平均値	59.7ms	51.7ms
中央値	46.7ms	28.3ms
最小値	13.0ms	10.1ms
最大値	2.7s	2.8s

続いて RTT のばらつきを確認するため、図 58 と図 59 に RTT のヒストグラムを示す。パターン a では山が 40-50ms 帯に来ており全体的に RTT のばらつき幅が広く、パターン b では山が 20-30ms 帯に来ておりばらつき幅も狭くなっている。ISAP は Cradio と連携してハンドオーバー時の急激な無線帯域変動に高速で追従して送信量を制御するとともに、通常時ではネットワークが混んでバッファが溜まるにつれ、遅延が増加しないよう送信量を下げ制御を行うため、この効果により RTT のばらつきが 20ms 程度抑えられていると考えられる。

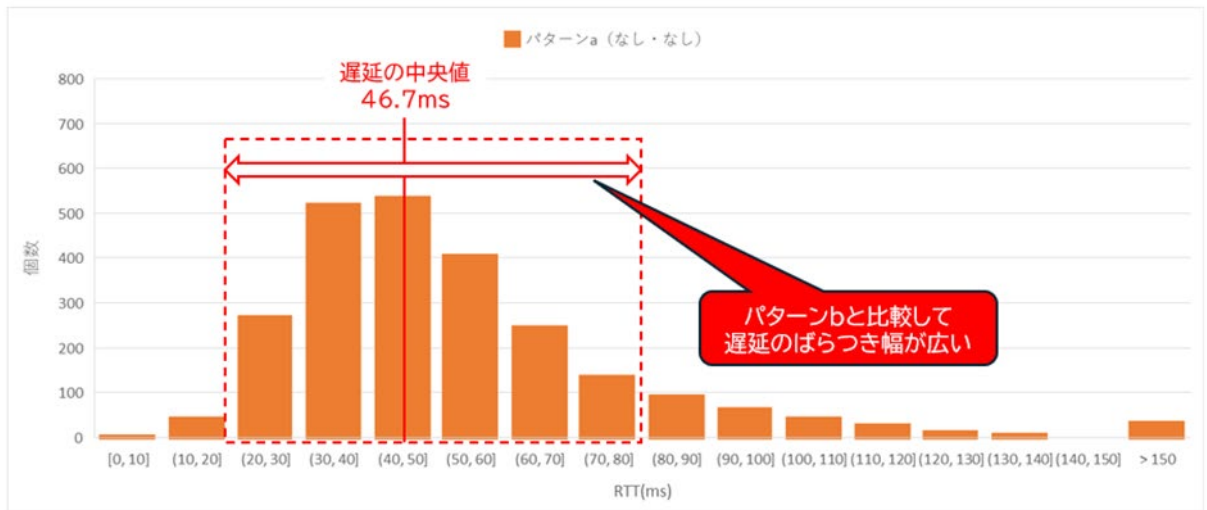


図 58 パターン a の RTT のヒストグラム

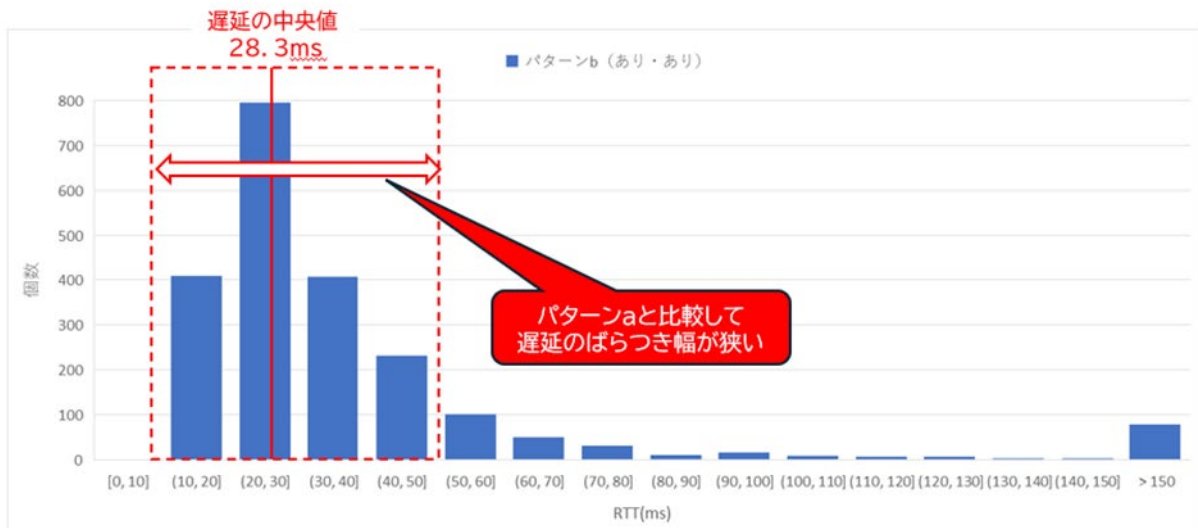


図 59 パターン b の RTT のヒストグラム

図 60 にパターン a、パターン b のジッタ測定値、表 53 にジッタ測定値まとめを示す。今回ジッタは直接測定せず、ping で測定した RTT を 10 秒毎に最大値と最小値の差を算出し、それをジッタと定義している。パターン a は平均値 98.0ms、中央値 36.4ms、最小値 10.7ms、最大値 2.6s、パターン b は平均値 129.0ms、中央値 31.7ms、最小値 8.3ms、最大値 2.8s であった。平均値で見ると約 31ms 悪化しているが、中央値で見ると約 5ms 改善している。

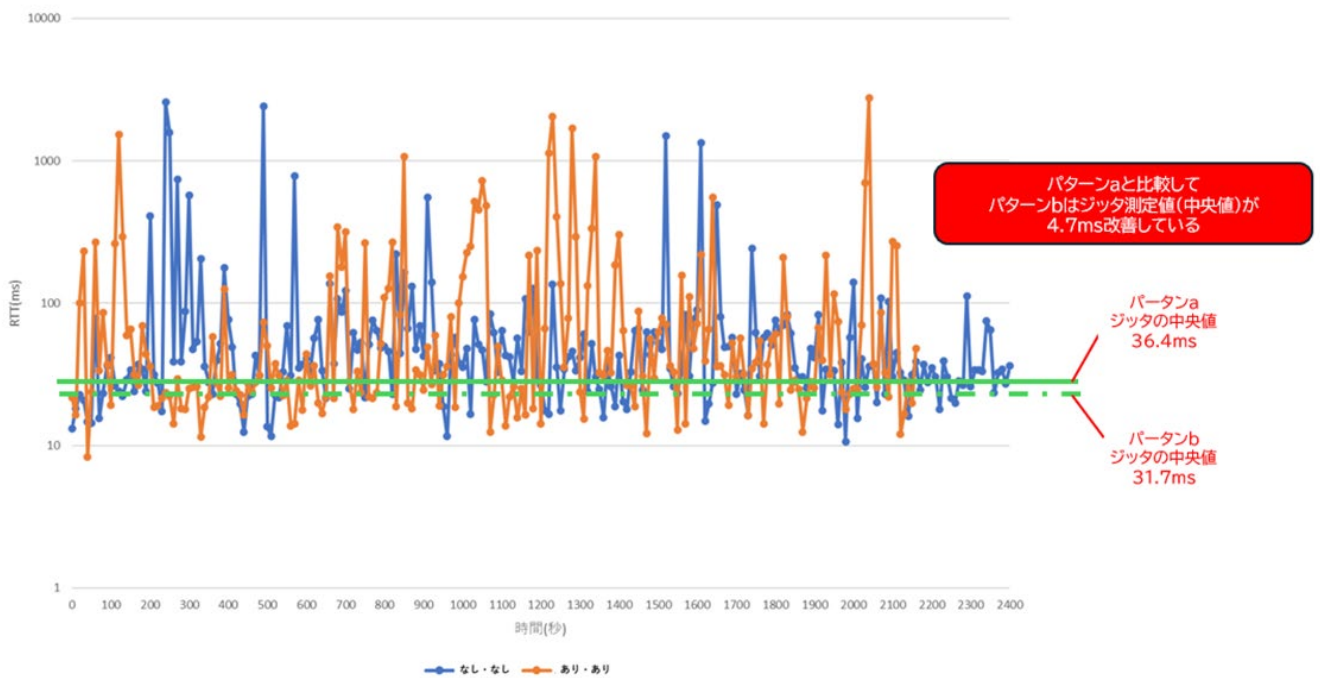


図 60 ジッタ測定結果

表 53 ジッタ測定値まとめ

	パターン a	パターン b
平均値	98.0ms	129.0ms
中央値	36.4ms	31.7ms
最小値	10.7ms	8.3ms
最大値	2.6s	2.8s

【追加】遠隔監視室(臨時設営)の無線ダウンリンクでの映像伝送の有用性の実証の評価

参考試験として、臨時遠隔監視室へのクラウドからの遠隔監視映像のダウンリンク配信における、スライシング(5Gの新技术)の有用性の検証を実施した。自動運転バスとは異なり移動しない定位置にある遠隔監視室で監視映像を受信する場合、通信回線は光回線(固定回線)を使用することが望ましいが、臨時設営の遠隔監視室の場合には無線回線を利用せざるを得ないケースも想定される。加えて、自動運転事業の社会実装に向けて遠隔監視室はさらなる高速回線が求められることが予想されている。

そのため、今回は敢えて難易度を上げて高スループットを要求するダウンリンク試験を行った。比較対象としては、専用回線で混雑の生じないローカル 5G と混雑の生じうるキャリア 5G の非スライシングを選択し、iPerf による定量負荷試験(定量評価)と映像伝送受信録画データの比較(定性評価)を実施した。

表 54 評価項目

性能	スループット	(背景負荷あり):5G(ノーマル):(定量評価)
		(背景負荷あり):5G(スライシング):(定量評価)
		(背景負荷なし) :ローカル 5G:(定量評価)
	録画	主観的映像品質評価:(定性評価)

① iPerf スループット測定

図 61 に定量評価の実証構成図を示す。

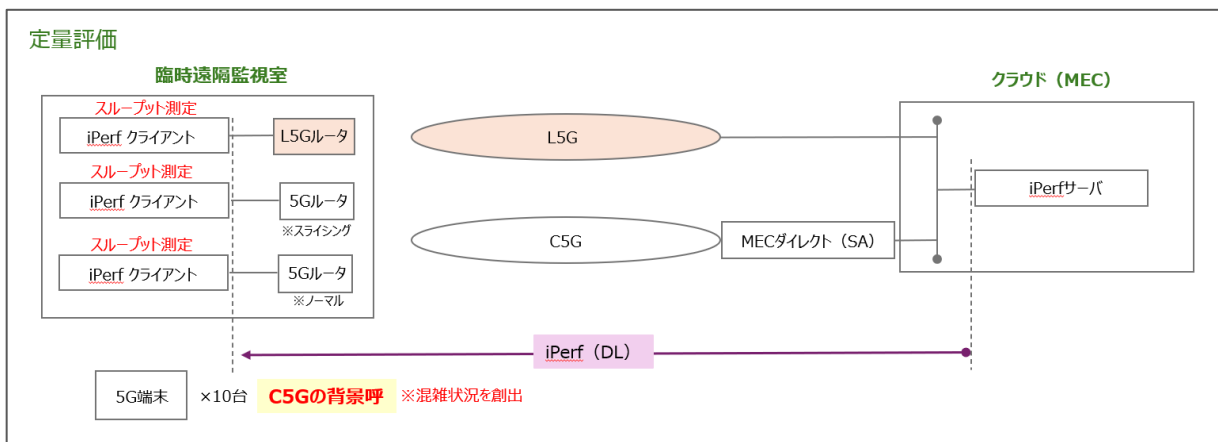


図 61 iPerf ダウンリンク測定の構成

【測定方法】

- L5G ルータ(1 台)とキャリア 5G ルータ(2 台)を使用。
- キャリア 5G ルータはスライシングを適用した回線とスライシングなど優先制御オプション非適用のノーマル回線に分けた。
- 3台のルータは MEC へアクセスし、それぞれ END-END で iPerf の通信を行った。
- 別に同時通信(背景呼)を行うキャリア5G 回線とルータ(10 台)を使用し、iPerf 測定時に背景負荷を創出し都市部の駅のラッシュアワー相当の混雑状況を再現した。
※背景呼は MEC にはアクセスせず、Internet と通信(測定場所の 5G エリアへ負荷をかけた)

【測定結果】

図 62 に iPerf ダウンリンク測定の結果を示す。

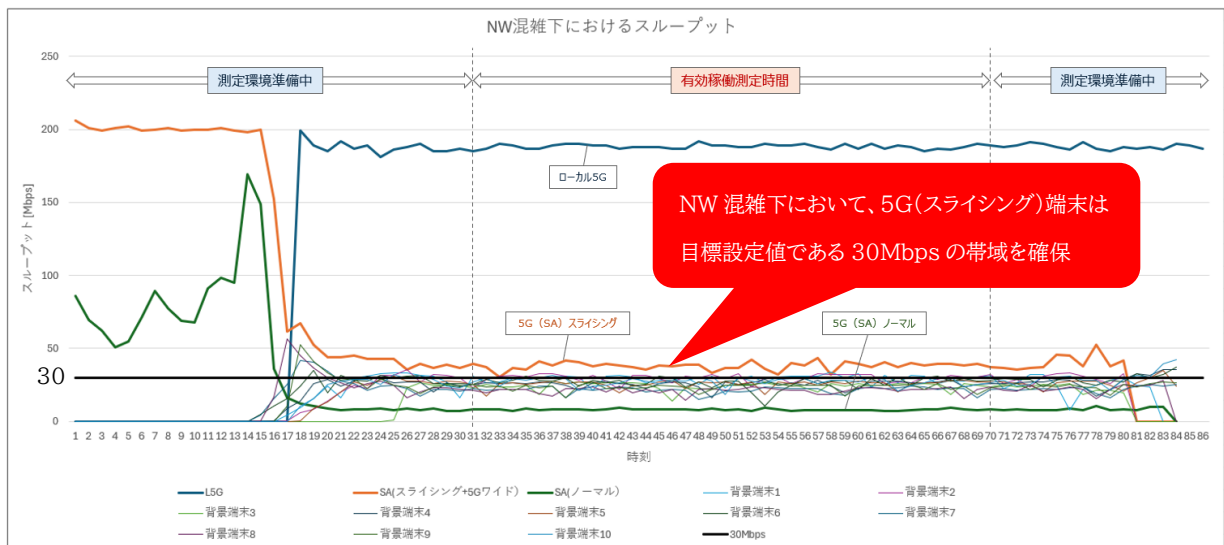


図 62 iPerf ダウンリンク測定結果

図 62 のグラフの横軸のインデックス 1~30 および 71~86(数値は秒単位での経過時間を表す)は各端末の起動や iPerf 通信の準備中の時間となり直接評価対象となるデータとしては採用しない。全端末が起動して背景呼が出そろい測定条件が整ったインデックス 31~70 の区間を有効稼働測定時間とし評価対象とした。

縦軸は各端末のダウンリンクの実効スループットとなる。目安となる 30Mbpsの黒ラインをグラフに記載した。30Mbps ラインのやや下あたりに集まっている折れ線グラフは負荷をかけ混雑状況を再現するための背景呼端末のスループットである。ローカル5G端末(青色のライン)は 200Mbps の天井付近で高スループットを維持した。5G(スライシング)端末(オレンジ色のライン)は 30Mbps を下回らない水準をキープし、5G(ノーマル)端末(緑色のライン)は 10Mbps を超えない水準であった。

※インデックス 1~30 の測定環境準備中のグラフを掲載している理由は、背景負荷のない状態における 5G 回線のスループットの水準を示すためである。

以下にスループット測定結果の統計値を示す

表 55 スループット測定結果の統計値

背景負荷端末 10 台印可後の 39 秒間(※)の統計値

※図 61 iPerf ダウンリンク測定結果の「有効稼働測定時間」(31 秒~70 秒)の 39 秒間が対象

全端末印可後の統計値	L5G	SA_slicing	SA_normal
最大	192.0	43.3	9.6
最小	185.0	30.4	7.0
平均	188.2	38.1	8.1
中央値	188.0	38.4	8.1
標準偏差	1.5	2.8	0.6
下位 5%値	185.1	31.9	7.1

【考察】

5G(SA)スライシング端末は背景負荷がかかる前(混雑していないとき)はスループット 200 Mbpsの水準であったが、背景負荷を与えた後は 50Mbps 以下のスループットとなった。ただし、30.4Mbps を下回ることなく、中央値 38.4Mbpsのスループットを維持した。これに対して、5G(SA)ノーマル端末は背景負荷がかかる前は50~150Mbps の水準から、中央値 8.1Mbps のスループットに落ち込んだ。(※同じ回線種別である背景負荷端末の中央値は 26.1Mbpsであり、5G(SA)ノーマル端末のスループット水準を上回っている。これは背景負荷端末には効率的にネットワークに負荷を発生させるために Mobile-QoS(優先制御)オプションを適用しているためと考えられる。)

本検証結果より、スライシングが混雑時でも帯域確保する効果(ここでは 30Mbps を確保)があることを示している。

※ローカル 5G 端末は中央値188Mbpsの水準をキープしている。ローカル 5G には背景負荷をかけていないためであるが、本実証のローカル 5G のバックホール(MEC へのアクセス回線)は 200Mbps の固定回線であることから、制限値までのスループットを維持したものと考えられる。

【評価】

5G スライシング技術はダウンリンクの帯域確保(本実証では 30Mbps を目標設定)を都市部の駅のラッシュアワー相当の混雑状態においても果たした。臨時遠隔監視室の自動運転バスの監視映像受信において、将来高スループットを要求する場面においても活用することが期待できる。

② ダウンリンク映像伝送受信の録画

図 63 に定量評価の実証構成図を示す。

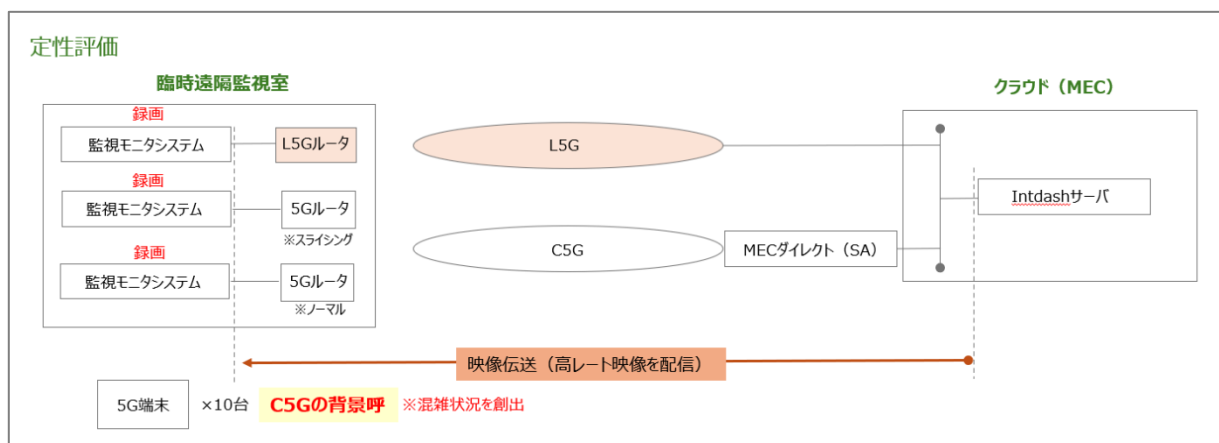


図 63 映像伝送ダウンリンク測定の構成

【測定方法】

- L5G ルータ(1 台)とキャリア 5G ルータ(2 台)を使用。
- キャリア 5G ルータはスライシングを適用した回線と、スライシング等の優先制御オプション非適用のノーマル回線に分けた。
- 3台のルータは MEC へアクセスし、それぞれ END-END で映像伝送のダウンリンクの受信を行った。
- 別に背景呼を行うキャリア5G 回線とルータ(10 台)を使用し、iPerf 測定時に背景負荷を創出し、都市部の駅のラッシュアワー相当の混雑状況を再現した。
※背景呼は MEC にはアクセスせず、Internet と通信(測定場所の 5G エリアへ負荷をかけた)。
- 伝送する映像データは高スループット(10Mbps 程度)を所望する映像とした。
- 3つの回線種別ごとに端末を用意し、それぞれが同一の映像データを配信した。
※測定は同一のタイミングでは実施していないため、一斉配信ではない。
- リアルタイム再生の録画を事後検証するため、3つの回線種別ごとの端末に接続する遠隔監視モニタシステムで intdash サーバから配信されたストリーム映像のリアルタイム再生画面のキャプチャ録画を行った。
※。

【測定結果】

図 64 映像伝送リアルタイム再生録画の比較結果に映像伝送リアルタイム再生録画の比較結果を示す。

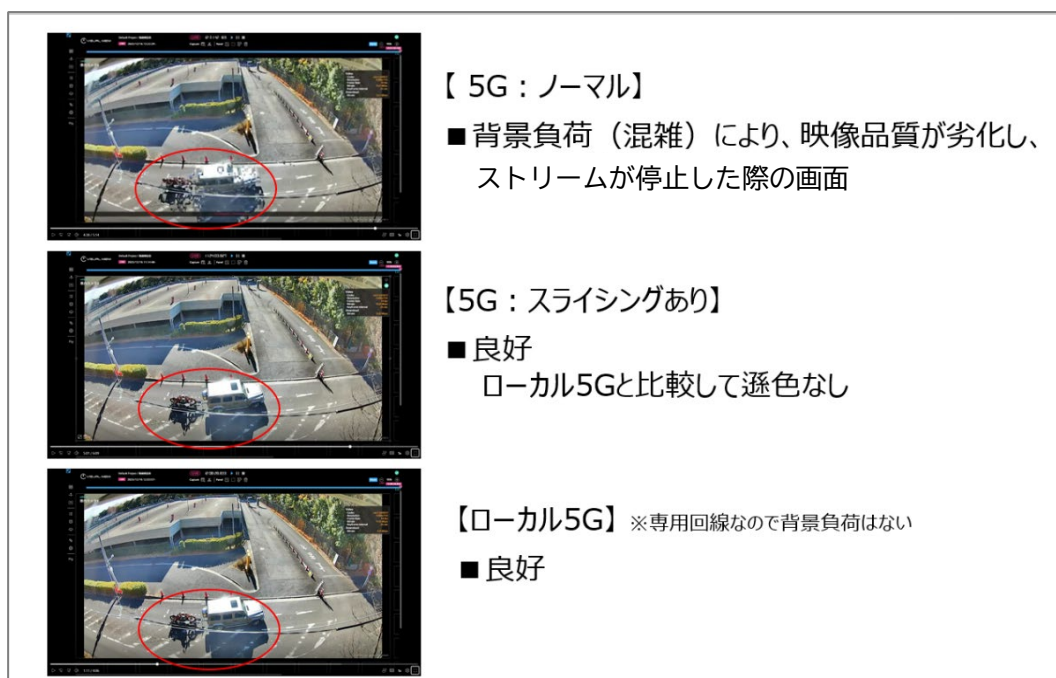


図 64 映像伝送リアルタイム再生録画の比較結果

【考察】

【5G:ノーマル】の受信映像は映像劣化が発生し、ストリームが停止した。

本実証の配信映像では図 64 の赤色の楕円でマークしてある箇所にオートバイをけん引しているオフロード車が映っているが、この車両がここから左折してよこはま動物園の駐車場に入場しようとしている状況の映像である。このオフロード車の移動が映像の中で動きのある部分となっている。【5G:ノーマル】(※)の受信映像では、このオフロード車(けん引されるオートバイも含めて)の映像部分が劣化しており、その後映像自体が停止してしまった。※映像が固まった状態

5G(スライシング)の受信映像では映像劣化はなく、オフロード車が移動する映像もクリアであった。ローカル 5G の受信映像もクリアであったが、5G(スライシング)の受信映像はローカル 5G の受信映像と比較して遜色のないものであった。

【評価】

映像目視による定性的な分析として、5G スライシング技術は混雑時のダウンリンク映像伝送の映像劣化を防止する効果が認められた。今回の様な 10Mbps 程度を要求する高レート映像受信において 5G スライシング技術の活用が期待できる。

※5G スライシングの帯域確保目標値を 30Mbps に設定したケース

(5) 自動運転バス車内の映像をビデオカメラで撮影し、遠隔監視装置に設置の AI 処理機構にリアルタイム映像伝送を行う。

車内映像を遠隔監視装置側にある AI 処理機構にリアルタイム映像伝送することを目指す。具体的に、自動運転バス車内に設置したカメラの映像を、車載器、MEC を経由して、遠隔監視装置側の AI 姿勢検知アプリ(以下、遠隔側 AI 姿勢検知アプリ)が機能する roscube(ROS 組み込みコンピュータ)へリアルタイム映像伝送する。この映像伝送の動作確認は、遠隔側 AI 姿勢検知アプリの機能状態を可視化した ECU 画面上で確認する。(再掲:図 65 AI 姿勢検知情報が表出化するまでのフロー図参照)

システム開発を通して、遠隔側 AI 姿勢検知アプリが機能する roscube までリアルタイムに映像を伝送可能であることを、遠隔側 AI 姿勢検知処理 ECU 画面(図 66)上で確認した。リアルタイム性・遅延性については、後段の 6.2.1.3)において記述する。



図 66 遠隔側 AI 姿勢検知処理 ECU 画面①

(6) 遠隔監視装置に設置の AI 処理機構で乗客の姿勢を AI 検知し、不安全状態かどうかを判定する。

遠隔側 AI 姿勢検知アプリが、乗客役が転倒した場合に、それを正しく転倒状態であると判定できるかを、遠隔側 AI 姿勢検知アプリの機能状態を可視化した ECU 画面上で確認する。(再掲)

システム開発を通して、遠隔側 AI 姿勢検知アプリが乗客役の転倒を正しく検知することを、遠隔側 AI 姿勢検知処理 ECU 画面(図 67)上で確認した。検知率については、後段の 6.2.1.3)において記述する。



図 67 遠隔先処理 ECU 画面②

(7) 乗客が不安全状態である場合、遠隔監視画面で表示する。

乗客の姿勢変化から、AI 姿勢検知アプリでの分析・検知、遠隔監視画面への姿勢変化内容の表示までが一貫して機能するかを確認する。そのため、AI 姿勢検知がバス内通路で立位状態と転倒状態の姿勢を取り、遠隔監視画面上でその状態に対して期待したアイコン表示・音声通知がなされるかどうかを、遠隔監視画面上を視認することで確認する。(再掲)

乗客が立位状態の場合と転倒状態の場合の両方で、遠隔監視画面上に正しく検知結果が表示されることを確認した(図 68)。また、音声通知も期待通りに機能することを確認した。遠隔監視画面上への検知結果反映に特に問題がないことが明らかとなった。AI 検知が監視業務に与える効果と有効性については、後段の 6.2.1.3)(2)において記述する。



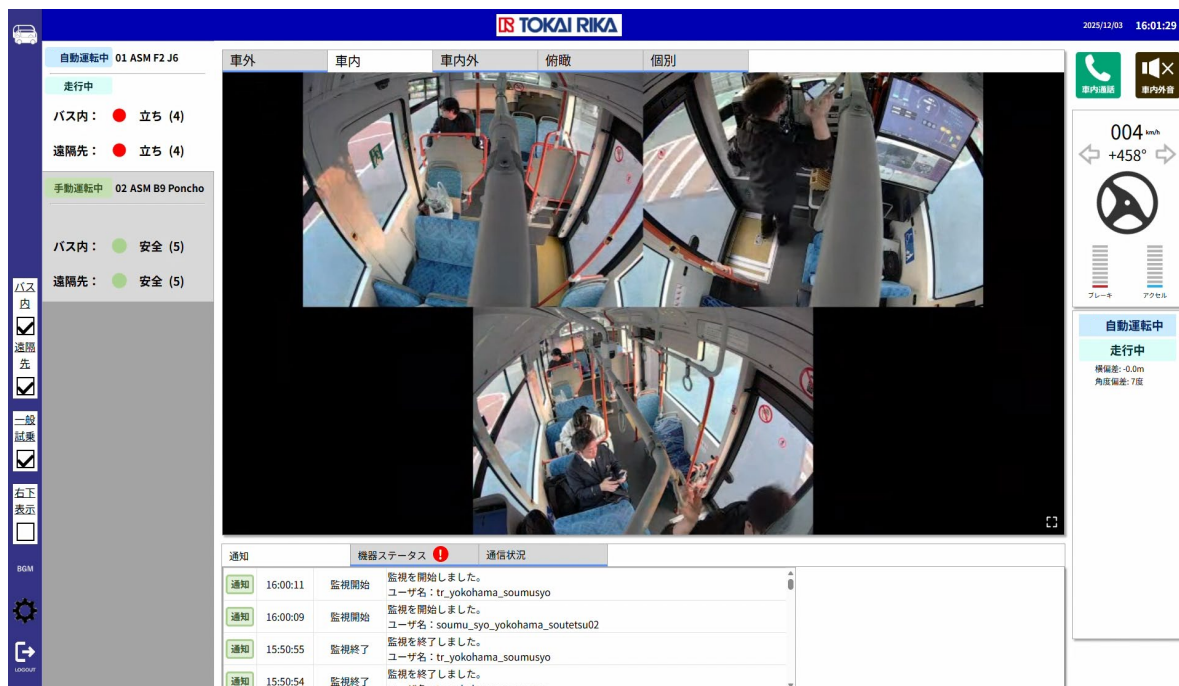


図 68 車内に立位状態の乗客がいる場合の遠隔監視画面

(8) エッジ側(車両側)での AI 処理と遠隔処理(ネットワーク経由)による AI 検知率を比較する

遠隔処理とエッジ処理の場合について、同じ映像の生データに対してそれぞれの処理時の検知結果をアウトプットするシステム設計を行い、それが正常に機能していることを確認した(図 69)。遠隔監視画面上の UI としてもそれぞれの処理結果が表示されることを確認した。遠隔処理とエッジ処理を問題なく比較可能であることが分かった。遠隔処理(ネットワーク経由での)での AI 検知率が、エッジ側での AI 検知率に対して大幅に劣化しないことの確認については、後段の 6.2.1.3)において記述する。

```

mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:49.001,...,6,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:49.058,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:50.015,...,5,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:50.067,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:50.976,...,5,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:51.107,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:52.020,...,6,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:52.084,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:53.041,...,5,0,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:53.087,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:54.039,...,6,0,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:54.106,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:56.081,...,6,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:56.110,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:56.121,...,6,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:56.197,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:57.078,...,6,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:57.177,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:58.182,...,6,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:58.191,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:58:59.159,...,5,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:58:59.191,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:59:00.203,...,6,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:59:00.290,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:59:01.258,...,6,1,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:59:01.573,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:59:02.657,...,6,0,0,1
mqtt.service.ts:777 ASM B9 Poncho,エッジ,2015-12-08T12:59:02.855,0,1,0,4,1,0,0
mqtt.service.ts:779 ASM B9 Poncho,遠隔先,2015-12-08T12:59:03.638,...,6,1,0,1

```

図 69 遠隔監視画面上の UI の処理結果

(9) 伝送後の映像品質(遅延も含めて)を確認する

伝送後の映像の監視員による品質評価による結果は、6.2.1 3)(1)記載のとおりである。

3) KPI/KGI との比較結果

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	<ul style="list-style-type: none"> 伝送後の映像について、監視員による遠隔監視業務や自動運転への支障の有無、および、支障がある場合の映像の特徴と具体的な支障の内容など確認する。 上記評価データを4名分以上取得。
	(2)	<ul style="list-style-type: none"> AI検知を車内遠隔監視に活用した際の効果およびネットワークへの影響を確認する <ul style="list-style-type: none"> AI検知により、監視員1名による2台の同時監視において質(迅速性、確実性など)を落とさず実現できるか

		<ul style="list-style-type: none"> AI 処理をネットワークを經由して実施した場合の検知率低下が許容可能か検証するとともに、改善に向けた課題を特定し、必要な支援についても整理する。 上記評価データを 4 名分以上取得、課題を 3 点以上抽出
定量評価	(3)	無線区間において所望スループットになる時間率 95%以上(劣化する時間率が 5%未満)
	(4)	無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ、帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が 10%未満)
	(5)	エッジ側処理に対し、遠隔処理(ネットワーク経由)での乗客の姿勢検知(座位/立位/転倒)成功率比 90%以上
	(6)	通信劣化に起因する AI の検知劣化の発生頻度と発生パターンを確認する。

(1) 伝送後の映像に関する遠隔監視業務への支障有無の確認【定性評価】

評価項目 1. 通信基盤技術の活用パターンごとの映像品質の評価結果

対象者 4 名の評価結果から、同一エリアの 1~2 分程度の映像の範囲内では、ISAP を使用したパターン b(Cradio/ISAP)とパターン d(ISAP)で「乗客の表情まで確認できる」ほど映像が鮮明になることが確認された。一方で、車内監視における監視映像において最も重視されるべきは「映像の鮮明さ」や「映像の滑らかさ」ではなく、「映像が途切れない安定性(飛び/フリーズの低減)」であることが明らかになった。(1-1 参照)乗客の表情を判別できるほどの高画質化は、実務上の優先順位は低く、一定の映像の乱れがあっても乗客の挙動が把握できれば、監視業務への支障は極めて限定的であることが確認された。(1-2 参照)

「映像の乱れ」「確認のしやすさ」「監視への支障」について、対象者 4 名分の評価結果やコメントを統合した結果の詳細を以下に示す。

1-1. 映像の軽微な乱れは許容範囲とされるが、状況把握が困難なほどの飛び/フリーズが発生した場合、監視業務に支障が生じる(表 56、表 57 参照)

「映像の乱れ」については、全パターンにおいて一定程度確認されたものの、今回の検証環境において、「車内監視業務への支障」に直接関連した要因は「映像の飛び/フリーズ」に限定される結果となった。

具体的には、パターン d(ISAP あり)の条件では、映像自体は比較的鮮明であったが、微細な飛びや「waiting」表示を伴う約 8 秒間のフリーズが発生した。これに対し、「フリーズの発生によりその間の情報が欠落すれば、状況把握が困難になり、その間を前後の状況から補完せねばならず、対応に個人差が生じる懸念がある」との指摘がなされ、評価者 4 名のうち 1 名が「監視業務に支障あり」と評価した。

一方で、本検証では軽微なカクツキや画質の低下は直接支障とは結びつかない結果となった。ただし、

これは乗客全員が着席しており、車内での動きが少ない環境下であったことに留意が必要である。立位の乗客がいるような動的な環境下においては、映像の乱れについて許容されるレベルが変化する可能性がある。

表 56 「映像の乱れ」に対する主観評価の結果まとめ

		表示の乱れ (カクツキ、飛び/フリーズ)	画質の低下 (画面ぼけ、粗さ、ノイズ)
a	(技術なし)	軽微なカクツキや飛び/フリーズが発生。	画質は少し粗いが気にしなくても良いレベル。
b	Cradio/ISAP	パターン a,c,d より滑らかな映像だが、カクツキが散見される。	パターン a,c,d より鮮明な映像だが、西日によるボケが発生している。
c	Cradio	細かいカクカクとしたカクツキや飛び/フリーズが頻繁に発生し、映像に重さを感じる。	映像全体にパターン a と同程度の粗さが常時発生している。
d	ISAP	飛びの発生頻度が多く、8 秒程度の長いフリーズが 1 回発生している。	画質はパターン b より劣るものの、明暗差が大きくはっきりと見える。

表 57 車内監視に対する「監視支障あり」の回答数

監視への支障						
		対象者周囲の状況 確認	車内全体の 状況確認	走行再開の ロック解除	非常停止 ボタンの押下	扉の開閉 ボタンの押下
a	(技術なし)	—	—	—	—	—
b	Cradio/ISAP	—	—	—	—	—
c	Cradio	—	—	1 名	—	1 名
d	ISAP	1 名	—	1 名	1 名	1 名

※4 名分の評価結果を統合し、「支障あり」と評価されたもののみ表に記載。

1-2.ISAP の使用により映像の鮮明さが向上したが、表情の確認が可能なほどの映像の画質は監視においては重視されていなかった。(表 58 参照)

「確認のしやすさ」に関する評価では、全てのパターンにおいて被験者の存在および挙動が確認可能であり、表情についてはパターン b(Cradio/ISAP) と d(ISAP)の映像でのみ認識できるという結果

が得られた。特に、パターン b(Cradio/ISAP)は「映像にカクツキが散見されるものの、車内監視業務に支障を来すほどではなく、鮮明かつ滑らかな画質により被写体の表情まで判別できる」とのコメントがあり、最もストレスの少ない監視が可能と評価された。一方、「運転手が運転時において乗客の表情に基づいて対応を判断する機会は極めて少なく、主として着目されるのは乗客の挙動である」との指摘があった。これらを踏まえると、現時点での車内状況確認においては、挙動の判別が可能な画質が確保されていれば、さらなる高精細化の優先度は必ずしも高くないことが確認された。

表 58 「確認のしやすさ」に対する主観評価結果のまとめ

		人物の存在/挙動	人物の表情
a	(技術なし)	確認可能	確認不可
b	Cradio/ISAP	確認可能	確認可能
c	Cradio	確認可能	確認不可
d	ISAP	確認可能	確認可能

また、通信基盤技術以外における車内監視の課題として以下の2点が指摘された。

- ・ 外光の影響: 特定の時間帯における直射日光の射し込みによる、映像のボケや視認性の低下。
- ・ 死角と画角: 車内支柱により死角が発生したため、カメラ配置や画角の再検討に加え、扉開閉業務の遂行には車内外の扉付近を捉える映像が必要。

評価項目 2. 劣化映像に対する許容度の評価結果

対象者 4 名の評価結果から、車内監視については、乗客が着座しており急激な状況変化が起こりにくいこと、また前後の映像から、状況の推察が比較的容易であることから、一定の映像の乱れは運用上許容されると評価された。(2-1 参照)一方、車外監視においては異常発生時に即時性の高い判断が求められることに加え、車両速度の影響で映像の補完が困難となる場合が多いことから、通信途絶やカクツキを最小限に抑えた映像品質が求められることが明らかになった。(2-2 参照)

評価結果の詳細は以下に示すとおりである。

2-1.通信が維持されている限り、一定の映像劣化が生じても「車内監視」の運用に致命的な支障はないことが確認された。

定量的に通信途絶が生じていない映像 1 と映像 2 は、映像にカクツキを感じるものの、「人の移動速度は遅いので、ある程度の劣化映像でも確認可能」という意見があり、車内監視の場合はある程度前後の記録を組み合わせると人物の動きを捕捉することができるため、「支障なし」と評価された。一方で、通信途絶が発生している映像 3 は、「車内であればギリギリ操作可能だが支障はある」として、操作を伴う場合に支障ありと 4 名中 1 名が評価した。さらに、通信途絶による waiting が発生した映像 4 では、「1 秒でも本当は嫌」「頭の中で判断が繋げられなくなるため状況確認を行う上でも怖さを感じる」というコメントもあり、4 名中 2 名が状況確認にも支障ありと評価した。

表 59 劣化映像を用いた車内監視に対する「監視支障あり」の回答数

	対象者周辺の状況確認	車内全体の状況確認	走行再開のロック解除	非常停止ボタンの押下	扉の開閉ボタンの押下
映像 1	—	—	—	—	—
映像 2	—	—	—	—	—
映像 3	—	—	1 名	1 名	1 名
映像 4	2 名	2 名	3 名	3 名	3 名

※映像 1 (2~4Mbps):動きに軽度の不安定さを感じさせる細かなカクツキが継続的に発生

映像 2 (1~3Mbps):再生速度にばらつきを感じさせる重たいカクツキが発生

映像 3 (0Mbps):ところどころスローモーションに感じさせる断続した乱れが発生

映像 4 (0Mbps):waiting 表示を伴う 10 秒ほどの映像の完全停止が発生

2-2. 車外監視は異常発生時に即時判断が求められるため、車内監視よりも途切れやカクツキの少ない映像が求められる。

車外監視の場合、車両移動に伴う景色の変化が速く、映像の飛びが発生した場合の推察が困難であるため、映像に軽微なカクツキのある映像 1 および映像 2 は、対象車両から離れた先の状況確認に支障があると評価された。

また、評価者から「車内監視は起こったことに対してどうするのかという状況確認のための映像であり、車外監視は危険を防ぐための判断が必要」とのコメントがあった。車内監視は、異常発生後の状況確認を主目的とするのに対し、車外監視はリスクを最小限にするため、異常発生後即座に車両の停止判断が求められる場合があり、より正確な映像が必要になる。そのため、車外監視映像においてはより途切れず、カクツキの少ない映像品質が求められることが明らかになった。

表 60 劣化映像を用いた車外監視による「監視支障あり」の回答数

	対象車両周辺の状況確認	対象車両から離れた先の状況確認	走行再開のロック解除	非常停止ボタンの押下
映像 1	—	1 名	—	—
映像 2	—	2 名	1 名	—
映像 3	—	2 名	2 名	2 名
映像 4	3 名	4 名	3 名	3 名

※映像 1 (2~4Mbps):動きに軽度の不安定さを感じさせる細かなカクツキが継続的に発生

映像 2 (1~3Mbps):再生速度にばらつきを感じさせる重たいカクツキが発生

映像 3 (0Mbps):ところどころスローモーションに感じさせる断続した乱れが発生

映像 4 (0Mbps):waiting 表示を伴う 10 秒ほどの映像の完全停止が発生

結果のまとめ

- ・ ISAP を使用したパターンで映像の鮮明さが向上したが、車内監視における監視映像において最も重視されるべきは「映像が途切れない安定性(飛び/フリーズの低減)」であり、乗客の表情を判別できるほどの高画質化は、実務上の優先順位は低い。一定の映像の乱れがあっても挙動さえ把握できれば、監視業務への支障は極めて限定的である。
- ・ 車内監視は異常発生後の状況確認が主目的であり、人物挙動の把握については前後の映像による推察が比較的容易であるため、映像の軽微な乱れは許容範囲と評価される。一方、車外監視はリスクを最小限にするため即時性の高い判断が求められるのに加え、車両速度の影響で映像の補完が困難となる場合が多いことから、通信途絶やカクツキを最小限に抑えた映像品質が求められる。

考察

本検証の結果、自動運転レベル 4 の遠隔監視として「映像が途切れない安定性(飛び/フリーズの防止)」が最優先要件であることが示された。この結果に基づき、映像品質および、それを支える通信制御について考察する。

1. 監視対象の特性に応じた映像品質要件と通信リソースの配分

本検証を通じ、求められる映像品質要件は、監視対象の特性に強く依存することが明らかとなった。

- ・ 車内:安定伝送を重視した通信設計
乗客の着座が基本となる車内環境は、車外と比較して映像情報の変化が限定的であり、軽微な映像の乱れは前後の文脈から補完が可能である。表情が判別できるほどの高精細な映像は、監視員のストレス軽減には寄与するものの、安全判断において必ずしも必須ではない。したがって、車内監視には過度な高ビットレートを割り当てず、安定伝送を優先する設計が合理的である。
- ・ 車外:高度技術の集中投入
本検証のインタビューで、移動速度が速い車外映像では、脳内補完が困難な場合があるとの指摘がなされた。特に操作を伴う判断には、一定の解像度とフレームレートの維持が不可欠であり、車内監視とは異なる優先的な品質確保が求められる。

2. 瞬断を回避する適応型制御

検証結果で示した通り、映像の乱れが生じても監視の継続は可能であるが、通信途絶(Waiting/フリーズ)が発生した瞬間に監視は破綻する。したがって、今後の通信における最優先課題は、通信環境悪化時においても「途絶を回避し、接続を維持する」ための制御技術の確立である。

例えば、電波環境の悪化時に、相対的に映像品質に対する許容度が高い車内映像の帯域を動的に抑制し、確保したリソースを車外監視の維持に優先配分する手法が考えられる。これにより、自動運転バス運行の安全性と通信リソースの有効活用を両立できる。また、通信の接続が維持困難なレベルまで

品質が低下すると予測される場合は、その情報をトリガーとして、速やかに MRM へ移行し、車両を安全に停止させることも必要になる。このように通信状態と車両制御が密に連携することが、自動運転レベル 4 の実装に向けて不可欠である。

総括

本検証により、遠隔監視における映像品質要件は一律ではなく、車内監視は「継続性」、車外監視は、「一定の解像度を維持した上での即時性」を重点的に確保するという、監視対象に応じた最適化の必要性が導き出された。今後は本知見に基づき、通信環境の変動に適応する技術などを活用し、いかなる状況下でも途切れない通信の確立を目指すべきである。

- (2) AI 検知を車内遠隔監視に活用した際の効果およびネットワークの影響を確認する。上記評価データを 4 名分以上取得、課題を 3 点以上抽出【定性評価】

現 AI 処理機構の負担軽減効果

検証結果

評価項目 A. 状況把握の迅速性・確実性及び、対応判断の一貫性

本検証の条件下では、AI 検知の有無による状況把握の迅速性・確実性および判断の一貫性に対して顕著な差は見られなかった。

これらの要因として、主に以下の 2 点が考えられる。第一に、短時間の検証であったため、対象者の集中力低下が抑制されたこと、第二に、最大 2 台という少ない台数での同時監視であったため、目視のみでも十分に認知可能であったことである。以上の結果は、認知負荷が低い検証条件に起因する側面が大きい。一方で、長時間の監視や 2 台以上の複数台同時監視など、高い認知負荷が発生する状況においては、異常発生の見落としを防止し、確実な状況把握を担保する上で AI 検知による補助が必要不可欠であるとの見解が得られた。

AI 検知の有無は状況把握の迅速性・確実性、および判断の一貫性に対して顕著な差は見られなかった

表 61 と表 62 に示す通り、状況把握の迅速性(A-1)・確実性(A-2)において、AI 検知の有無が状況把握までの所要時間や状況把握の遂行に与える直接的な影響は見られなかった。

対応判断の一貫性(A-3)についても、全ての対象者で対応判断の一貫性は保たれており、いずれの条件下においても、緊急度や優先度の高い転倒事象から順次対応がなされていた。

表 61 乗客の異常発生から状況把握までの所要時間(自動運転バス 1 台監視時)

	(a) AI 検知なし		(c) AI 検知あり		(c)-(a) 所要時間の差分
	状況把握	所要時間	状況把握	所要時間	
対象者 A	○	0 秒	○	2 秒	+2 秒
対象者 B	○	5 秒	○	0 秒	-5 秒

	(a) AI 検知なし		(c) AI 検知あり		(c)-(a)
	状況把握	所要時間	状況把握	所要時間	所要時間の差分
対象者 C	○	3 秒	○	2 秒	-1 秒
対象者 D	○	2 秒	○	2 秒	0 秒

表 62 乗客の異常発生から状況把握までの所要時間(自動運転バス 2 台監視時)

	(b) AI 検知なし				(d) AI 検知あり				(d)-(b)	
	状況把握		所要時間		状況把握		所要時間		所要時間の差分	
	1 台目	2 台目	1 台目	2 台目	1 台目	2 台目	1 台目	2 台目	1 台目	2 台目
	立位	転倒	立位	転倒	立位	転倒	立位	転倒	立位	転倒
対象者 A	○	○	挙手せず ^{※1}	0 秒	○	○	2 秒	1 秒		+1 秒
対象者 B	○	○	4 秒	-4 秒 ^{※2}	○	○	2 秒	1 秒	-2 秒	+5 秒
対象者 C	○	○	4 秒	0 秒	○	○	4 秒	4 秒	0 秒	+4 秒
対象者 D	○	○	2 秒	11 秒	○	○	6 秒	12 秒	+4 秒	+1 秒

※1 乗客役の立位を把握したが、把握したことの申告(挙手)は実施されなかった。

※2 乗客役が転倒する(両手を地面に接地した瞬間)よりも 4 秒早く、異常を察知し、申告をした。

AI 検知の有無による差がみられなかったことの要因

AI 検知の有無による、状況把握の迅速性・確実性、および対応判断の一貫性においては著しい差は見られなかった。主な要因として以下の 3 点が挙げられた。

要因 1: 集中力が維持できる短い時間内での監視

「短い時間だったから、(画面に)注視できていた」という発言の通り、本運用シミュレーションにおける評価時間が、1 パターンあたり 3 分程度と短時間であったため、長時間の監視業務に伴う疲労や集中力の低下は発生せず、対象者が高い集中力を維持できていた。

要因 2: 認知負荷が低い監視台数

本検証における最大「自動運転バス 2 台の同時監視」という条件下では、AI 検知による補助がなくとも、対象者が 2 台の映像をそれぞれ交互に確認することで、乗客の姿勢や状況を十分に把握可能であった。また評価対象者からは、「集中してれば、2 台でも見られる」という意見が得られ、認知負荷が業務遂行の許容範囲内に収まっていたと考えられる。

要因 3: 監視対象の服装や行動が印象に残りやすい状況

一車両の自動運転バスにおいて、検証時に監視対象となる乗客役が、「色ついた服を着ていたり、目印になる感じがあった」といった発言もあったように、周囲と識別しやすい色の服装を着用していたことや、両車両ともに車内で乗客役が携帯電話による通話をしているという共通かつ特異な行動をとっていたことが、対象者にとっての目印になっていたと言える。これにより、映像上での視認性が高まり、AI 検知のアラートに依存せずとも目視による状況把握が容易であった。

複数台同時監視における AI 検知の役割に対する示唆

2 台以上の自動運転バスを 1 名の監視員が同時に監視する状況下では、「1 台に注視するともう 1 台はおろそかになる」という声が挙がった。このような発言から、一方の車両状況や特定の事象を注視している際、他方の車両に対する注意が不十分となり、状況把握の確実性の観点から、乗客の異常発生を見落とすリスクが指摘された。

そのため、複数台の同時監視において、AI 検知を用いた聴覚および視覚的な通知は、監視員の認知の限界を補完する役割を果たし、見落としを防止する目的として不可欠であるとの評価が全ての対象者から得られた。

評価項目 B. 遠隔監視業務の心身の負担軽減

AI 検知の導入が遠隔監視員の心身に与える影響について、対象者 4 名へのインタビューを通じて以下の評価が得られた。

B-1. 心理的負担: 安心感の獲得と誤検知に伴うリスク

AI 検知の導入に対し、対象者からは「自身が注視していない車両についても、AI が異常を検知してくれる」「(AI 検知があることで)心の余裕ができた」との評価が得られた。これは、一方の車両確認に集中している際も、AI による補助が心理的な安心感をもたし、過度な緊張状態の緩和に寄与することを示唆している。

しかし一方で、誤検知や過検知が頻発する環境下では、「オオカミ少年のようになって使えない」という意見があるように、不要な確認作業によるストレスが増大し、システムに対する信頼性を損なうリスクも懸念された。

B-2. 身体的負担: 「俯瞰して見られる状態」の実現

2 台同時監視においては、モニタを交互に確認するための頻繁な視線移動や、画面内の乗客の動きを凝視し続ける必要があり、AI 検知がない状態では、「目がすごく疲れる」「AI がないと左右を交互に見ないといけないから首が疲れる」などの意見があった。AI 検知の導入により個別の画面を注視し続ける必要がなくなることから、「身体的にも楽になる」「俯瞰して見られる」など、身体的なストレスや疲労の軽減効果が得られると評価された。

評価項目 C. 総合評価

これまでの結果から実運用を見据えた長時間の監視においては「集中力の維持」が大きな課題であることが確認された。自動運転レベル 4 の社会実装に向け、対象者 4 名に AI 検知の継続利用意向を確認したところ、監視台数が 1 台の場合でも、見落としリスクを軽減するために「必ず利用したい」という評価が全対象者から得られた。また複数台監視においても、1 台に注視している間の別車両での異常事態を見落とさない目的として、全員が「継続利用を希望する結果」となった。

結果のまとめ

運用シミュレーションでは、AI 検知の有無による迅速性・確実性・一貫性の差異は確認されなかった。しかし、評価対象者からは、台数に関わらず長時間の集中力維持は困難との懸念が示され、見落とし防止策として、AI 検知を用いた通知の有効性が評価された。

業務負担の観点では、AI の補助による安心感の獲得に加え、常時注視を要さない「俯瞰的な監視」の実現による身体的疲労の抑制効果も示唆された。以上の結果から、AI 検知は監視員の心身負荷を軽減し、持続可能な監視体制の構築に寄与するといえる。

AI 処理機構の配置場所に対する通信劣化への許容度

検証結果

評価項目 A. 通信劣化によるリードタイムの許容度合い

運用シミュレーションにおけるリードタイム(事象発生から AI 検知を用いた通知までの時間)ごとの対象者の評価は以下の通りである。

エッジ版・遠隔監視(ISAP あり、Cradio あり)版相当の遅延(約 5 秒)

監視台数が少なく、主に映像による異常把握が可能な状況において、5 秒程度の遅延は全ての対象者が「車内の監視として許容できる」と評価した。この遅延時間は対象者自身の目視による「気づき」とほぼ同時であった。そのため AI 検知が監視員の「気づき」を適時に裏付ける役割を果たし、「判断の妥当性を示すものとして活用できる」と評価された。しかし、同時監視台数が増加し、遠隔監視員が自身の目視よりも AI 検知を主軸として監視に用いる段階になった際には、検知から映像確認までのタイムラグが発生する可能性があるため、「遅すぎる」という意見もあった。

遠隔監視(ISAP あり、Cradio あり)版相当の遅延(約 10 秒)

本条件下では、対象者 4 名のうち「許容不可」が 2 名、「許容可能」が 2 名と評価が二分された。それぞれの主な理由は以下の通りである。

許容不可とする理由

対象者から「目で見た方がわかりやすいし、早く判断できた」と意見があったように、10 秒

程度遅延すると AI 検知を用いた通知は監視員の目視による認知よりも常に遅いものとなる。本来は異常発生への「気づき」を促すべき AI 検知が、不要な追確認情報となり、かえって遠隔監視員の注意力を散漫にさせる懸念が示された。

許容可能とする理由

手動運転バスにおいても、運転手は常に前方注視が求められ、車内の全事象に即座に反応できるわけではない。そのため、数秒程度の遅延であれば、「現状の手動運転における認知速度と同等」とみなし、「支援ツールとして許容の範囲内である」との見解が示された。

今後の運用に向けたリードタイム要件

複数台同時監視におけるタイムラグの極小化

前項「AI 検知の負担軽減効果」にて詳述した通り、複数台同時監視においては、一方の画面への意識集中により、他方への注意が散漫になるリスクが確認されている。

このような状況下において、AI 検知が「他方の車両における異常」を通知し、注意を喚起するためのトリガーとして機能するためには、事象発生から通知までのタイムラグの極小化を要する。

台数が1台や2台程度であり、主に映像で異常の把握ができる段階では約5秒程度で許容可能だが、「より複数台の同時監視の実運用においては、検知から映像確認までのタイムラグが発生する可能性があるため、1秒程度の即時性が求められる」ことが対象者へのヒアリング結果から示唆された。

車外状況を含む監視における示唆

将来的な遠隔監視業務の対象範囲は、車内状況のみならず、車両運行の安全性に直結する車外状況の確認も含まれることが予想される。具体的には、交差点通過時の安全確認や路上障害物への対応等が挙げられ、異常発生時の二次災害を防止するためには、即時の状況判断および車両制御への介入が不可欠である。

このような車外環境への対応を遠隔監視員に求める場合、AI 検知を用いた通知の遅延は、事故等の重大なリスクに直結し得る。したがって、車外監視を業務範囲とする場合においても、「1秒程度の即時性が求められる」と対象者から述べられた。

評価項目 B. 通信劣化による検知精度の許容度合い

AI の検知精度は、遠隔監視員のシステムに対する信頼度、および業務遂行の実現可能性に直結することが確認された。各検知率における評価結果は以下の通りである。

導入「不可」水準

検知率 50%については、全ての対象者が如何なる条件においても「実運用に耐え難い」、「使うことはできない」と判断した。頻繁な誤検知や過検知は度重なるアラートによる疲労を引き起こし、システムに対する信頼を著しく損なう。「精度が当てにならなければ、見ない」という発言が対象者からあったことも踏まえると、遠隔監視員がアラートを意図的に無視する運用が常態化し、AI 検知への導入意義そのものを喪失させる懸念が示された。

実用可能水準

遠隔監視員が主に映像により異常を把握する状況において、「補助的な役割」として AI 検知を活用する場合、検知率 80%程度であれば、許容可能と評価された。対象者からは、「最終的な判断は映像で行うものの、事象への気付きを得る契機にはなる」との意見が挙げられた。

しかし、将来的に多数の車両の同時監視を実現する場合は、映像を見て判断するのではなく、主に AI の検知結果を主軸とした判断が重要になると考えられる。このような段階に達すると、AI 検知は「100%に近い極めて高い検知精度が望ましい」とする意見も挙げられた。

検知対象の特化による高精度化

車内外のあらゆる事象を網羅的に検知するのではなく、「急発進・急制動時」の転倒など、真に危険度が高い特定のタイミングと事象に「絞り込むアプローチ」を期待する意見も挙げられた。

複雑な状況下での信頼性向上

自動運転バスの満員状態など、検知対象が多数、かつ映像上で検知対象の重なりが発生するような、映像解析のみでの状況把握が困難な環境下では、映像情報への依存に伴う検知精度の低下や誤検知の発生が課題として挙げられた。

したがって、映像情報のみ依存せず、カメラ以外のセンサも活用するなど、情報を組み合わせた複合的な判断ロジックを導入し、AI 検知システム全体の信頼性を向上させる必要性が示唆された。

結果のまとめ

通信劣化が AI 検知へ及ぼす影響について、AI 検知を監視員の「気づき」の補助として用いる場合、約 5 秒程度のリードタイムは全ての対象者から許容範囲内であると評価された。一方、約 10 秒程度の遅延は評価が分かれる結果となり、将来的な多数の車両における複数台同時監視の実現には 1 秒程度の即時性が求められることが明らかになった。

また、AI 検知の精度に関しては、補助的な利用であれば 80%程度で許容可能とされた。本格運用に向けては、誤検知による監視員の負荷増大を防ぐため、検知対象を特定の危険事象に絞り込み、

100%に極めて近い精度の確保が必要であるとの示唆を得た。

複数台監視の実現に向けた AI 活用の課題と期待

調査結果

車内外で発生し得る事象を表 63 に整理した上で、各事象発生時における監視業務遂行の可否を調査した。あわせて、各監視規模において顕在化する課題を特定し、これらへの対応として具備すべき AI 機能の要件を整理した。なお、本稿では、監視員 1 名あたりの監視台数に基づき「1:2」「1:10」「1:40」と表記する。

表 63 事象種別および具体事案

事象種別	具体事案(例)
緊急対応事象	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人命に関わる事象(急病、人身事故等) ・ 自転車起因の事故(転倒等) ・ システムトラブル(車両トラブル、通信トラブル等)
運行支障事象 (運行遅延に影響するため即時対応を要するもの)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドア周りのトラブル(ドア挟み等) ・ 乗降時の支障(定員超過、乗降車困難等)
一般対応事象 (サービス維持に関わるため対応を要するもの)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車内環境・衛生維持(嘔吐、失禁等) ・ 乗客間トラブル(痴漢、喧嘩等) ・ 各種問い合わせ(車内温度管理、遺失物対応等) ・ 注意喚起(立席者、ベビーカー・大きな荷物の置場等) ・ 乗降時の支障(無賃乗車等)

複数台監視の課題と要件

表 64 に複数台監視における監視規模別の課題を整理し、各課題に対応する機能要件(①～⑦)を後述する。複数台監視における課題は、規模の拡大に伴い以下の 3 点に集約される。

第一に、常時監視の限界(検知の壁)である。小規模監視は補助的な AI 活用を含む監視員主体の体制で対応可能だが、「1:10」以上の中規模監視では看過のリスクが高まるため、監視員主体から AI 主体の検知体制への転換が不可欠である。その際、AI 検知には運転士と同等の検知精度が求められる。これらが実現されなければ、重大事象の見落としリスクが顕在化するため、遠隔監視者による映像の常時監視もしくは、保安員の継続乗車は不可避となる。(機能要件:①)

第二に、状況把握と意思決定の遅延(情報の壁)である。「1:10」を超える規模では、対象車両の増加に伴い監視員の認知負荷が限界に達し、迅速な判断が阻害される。意思決定に至る時間の短縮が最大のボトルネックとなるため、監視員の能力を補完する情報処理機能が不可欠である。具体的には、対応優先度の判定支援、該当映像の自動抽出による確認時間の短縮、事象・原因把握の省力

化、および実施事項のリコメンドといった機能が必要とされる。(機能要件:②、③、④、⑤)

第三に、運行継続性の確保とサービス維持(運用の壁)である。運行管理が適切に行われない状況で事故が発生した場合、運行事業者は安全管理責任を問われるリスクを負う。このリスクを低減するため、事故時の責任所在を明確にする映像証跡の確実な保存や、車載システムによる自動アナウンス等の一次対応の完遂が不可欠である。こうした注意喚起や一次対応は、遠隔監視員がすべてを代替するのではなく、可能な限り車載システム側で完結させるべき領域である。これにより、遠隔側の人的リソース不足に起因する対応遅延を回避し、現場で求められる即時性の高い対応を実現することで、運行の安全性と信頼性の両立が可能となる。(機能要件:⑥、⑦)

表 64 複数台監視における規模別の課題整理

種別	1:2(小規模)	1:10(中規模)	1:40(大規模)
常時監視の限界 (機能要件:①)	<ul style="list-style-type: none"> 長時間の集中力維持が困難 注視箇所以外での看過リスク発生 		
	<ul style="list-style-type: none"> 監視員による異常発見がある程度可能 	<ul style="list-style-type: none"> 監視員主体の検知は物理的に困難なため、AI主体の検知体制への転換が不可欠 	
状況把握と意思決定の遅延 (機能要件:②,③,④,⑤)	<ul style="list-style-type: none"> 異常発生時の対応プロセスの明確化と確実な実行 		
	<ul style="list-style-type: none"> 情報の横断的統合は比較的容易 	<ul style="list-style-type: none"> 情報の自動抽出等による効率化が不可欠 	<ul style="list-style-type: none"> 対応すべき事象の同時多発による、監視員の認知的リソース逼迫への対応 意思決定を支援する情報の最適化
運行継続性の確保とサービス維持 (機能要件:⑥, ⑦)	<ul style="list-style-type: none"> 事故、異常発生時の確実な原因究明 発車、停車時の注意喚起不足による安全管理責任追求のリスク サービス維持のための均質な対応プロセスの明確化と実行 		
	—	<ul style="list-style-type: none"> 監視員の人的リソース不足に起因する対応遅延回避のため、車載システム側での一次対応の完結 	

機能要件① 異常検知と通知アラート

6.2.1 3)(2)(負担軽減)の検証において、「ずっとモニタを見ているには、監視員としては限界がある。」と述べられた通り、監視員が長時間の集中力を維持することは困難である。特に「1:10」以上の中規模以上の監視では注視箇所以外の異常を看過するリスクが指摘された。こうした人的限界を補完するためには、異常検知およびアラート通知機能の具備が不可欠である。

中規模以上の監視においては、監視員主体の異常発見は物理的に困難なため、AI検知を主体とした監視体制への転換が求められる。その際、検知精度には極めて高い水準(検知率100%に近似する精度)が要求される。「病人、急病人とか、そういったものは100%(の検知精度)じゃないと困りますね。」という意見のように、特に、表63に示す人身事故や急病人といった人命に関わる事象の看過は、事業者の安全管理責任に直結する重大なリスクであるとの懸念が示された。したがって、AIには現行の運転士と同等の「異常察知能力」の確保が不可欠と考えられる。通常、運転士は乗客の

挙動のみならず、周囲の反応や車内のざわつきから生じる「違和感」を捉えることで、前兆を察知している。こうした高水準の検知が担保されない限り、遠隔監視者による常時映像監視、あるいは保安員の継続的な乗車は不可避であるとの見解が示された。

機能要件② 対応の優先度判別

本調査では、監視台数の増加に伴い情報の横断的な統合が困難となり、優先順位の誤認や判断遅延を招くリスクが顕著に高まることが示唆された。「台数が増えてくるに従って、情報量が多すぎて見ていられない。要は人が処理しきれない。」という指摘の通り、監視対象が「1:10」から「1:40」へと増加するにつれ、膨大なアラート通知が監視員の認知処理能力を圧迫し、許容の限界に達する。この「アラート疲れ」による混乱を助長する要因は、膨大な情報のなかで「今、何を見るべきか」という優先順位が不明確である点にある。また、状況に応じた優先順位付けを個人の判断に委ねた場合、監視員は強い心理的ストレスに晒されるだけでなく、判断の迷いが初動の遅延に直結する。

したがって、アラートが多発する環境下においては、システムが緊急度に応じた優先順位を明示することが、監視員の負担を減らし、最優先事項への迅速な対応を促すための鍵となる。具体的には、直感的に状況を把握できるよう、緊急度に合わせて通知方法(警告音・音声・色別表示等)や通知強度(ポップアップ表示、画面全体への割り込み表示、音量調整等)を段階的に切り替える機能の実装が不可欠である。

機能要件③ 映像の自動クリップ

監視台数の増加に伴い、異常発生時の状況把握をいかに短縮できるかが重要となる。そのため、事象の前後を即座に確認できる「自動クリップ機能」の重要性が指摘された。

「1:2」程度の小規模監視では、映像の常時監視がある程度可能であり、AIによる映像提示は「見落としを補完する補助的な役割」に留まる。また、監視員の時間的な余裕があるため、必要に応じて手動で映像を巻き戻して確認することも可能であり、自動クリップ機能の優先度は相対的に低い。一方、「台数が増えてくれば、一個一個、自分らで操作している時間はない。」と述べられた通り、「1:10」や「1:40」といった中規模以上の監視では、アラートが同時多発する可能性が高まり、監視員が手動で映像を操作する時間は消失する。したがって、AIが異常の原因となった箇所を特定し、該当する気感の映像を自動で切り出して提示する機能は、中規模以上の監視を実現するための不可欠な要件と考えられる。

機能要件④ 事象・原因のテキスト解説

監視の規模拡大に伴い、状況把握および対応判断における負荷増大が予想されるため、映像だけでなくテキストによる事象や原因の解説も不可欠となる。「1:2」程度の小規模監視では、監視員に時間的猶予があるため映像の直接確認が優先され、テキストによる補足情報の必要性は相対的に低い。しかし、監視規模が「1:10」から「1:40」へと拡大するにつれ、全車両の映像を逐一確認して詳細を把握することは物理的に困難となり、初動が遅れる懸念が生じる。こうした状況下では、「テキスト解説があれば映像確認が必要かを判断する基準になる」との意見が得られた通り、文字情報が「今すぐ映像を見るべき事象か」を瞬時に見極めるための重要な判断材料となる。

また「1:40」の大規模監視においては、単に事象(例:乗客の転倒)の通知に留まらず、その発生要因を補完する情報の提供が有効である。具体的には、急ブレーキなどの自車両の制動に起因するものか、あるいは車内移動中のつまずきや乗降時の接触といった客観的状況によるものかを判別可能とすることで、注視すべき箇所の特定が迅速化される。こうした原因に応じた付加情報の活用により、警察への通報要否や後続対応の適切な判断が可能となり、対応フロー全体の最適化が期待される。

機能要件⑤ 対応事項のレコメンド

遠隔監視業務の遂行においては、表 63 に定義した事象に対し、監視員の役割および基本的な対応プロセスを明確化し、適切に運用することが不可欠である。監視員に時間的猶予がある「1:2」程度の小規模監視においては、実施すべき事項が即座に参照可能な状態であれば、非システム化の運用(マニュアルや掲示物の活用等)であっても適切な対応が可能と考えられる。

一方、監視規模が「1:10」から「1:40」へと拡大するにつれ、事象の多発に伴い監視員の思考リソースが逼迫し、判断遅延を招くリスクが顕在化する。こうした環境下では、次を取るべき具体的な行動を即座に決定することが困難となるため、意思決定を補助する「対応レコメンド機能」の必要性が示唆された。

本機能は、AI が異常事態の内容を分析し、停車指示、安全確認、救急手配といった具体的な手順を逐次提示することで、思考、確認時間を短縮し、初動までのタイムラグを最小化する役割を担う。こうした異常検知と連動したレコメンド機能は、「(次の対応事項がわかると)遠隔監視の方の心理的な不安とかストレスみたいなものも軽減できると思う。」「(対応事項の)優先順位を決めといていただけると、全社で同じ対応ができるのかなと思うので、絶対必要だなと思います。」といった意見にも見られるように、迅速かつ均質な初動を実現するだけでなく、監視員のスキルに依存しない一定水準の対応や、監視員個人の責任に帰属することによる心理的ストレスの低減が期待された。

機能要件⑥ 映像の事後証跡

現在の自動運転バス運行管理において、事故発生時のドライブレコーダー映像は不可欠な証跡となっている。特に人身・物損事故の発生時には、警察への提出資料や係争、保険対応における客観的証拠として広く活用されている。「将来、自動運転、無人の自動運転になった場合には、より重要性っていうのは増してくる気がします。」と述べられているとおり、無人運転を前提とする自動運転レベル4においては、責任所在の明確化および証拠能力の担保という観点から、映像記録の重要性はさらに増大すると考えられる。そのため、監視台数にかかわらず、確実な録画・保存機能は標準的に具備すべき要件であることが示唆された。証拠としての映像品質については、少なくとも前方映像において他車両のナンバープレートが識別可能な鮮明さが求められる。なお、映像の活用にあたっては、遠隔側へ即座に送信されることは不要であり、事故発生後に何が起きたのかを正確に裏付けられることや、後から事実関係を確実に突き合わせられることが重視される。

機能要件⑦ 車両制御と連動した自動アナウンスおよび自動応答

車内の乗客に対し、適切な注意喚起が行われない状況で事故等が発生した場合、運行事業者の安全管理責任を問われるリスクが生じる。そのため、車両システムによる確実な車内アナウンスの実行

が不可欠である。具体的には、AI が車両走行時に乗客の車内移動や立席状態を検知した際、当該乗客への着座喚起をリアルタイムで行うなど、検知内容に即した自動アナウンスの実装が期待される。また、車内状況の把握のみならず、発着時や信号待ち、振動が予想される地点といった特定の走行条件に応じて自動で注意を促し、車内事故の未然防止を図る運用が求められる。さらに、乗客からの定型的な問い合わせに対しては、システムが即座に回答を返す「自動応答機能」の具備も、利便性の向上のために不可欠となる。

「遠隔監視の方が対応を臨機応変にしなくてもいいこと(が必要)ですね。例えばもう立ち歩いているのであれば、絶対に座るように声をかけるとか、マニュアル化されて確実に決まっているものに関しては、自動でシステムの方からアナウンスを出して。」と述べられたように、こうした注意喚起および一次的な応答業務は、従来の運転士の役割をすべて遠隔監視員が代替するのではなく、可能な限り車両側のシステムで完結させるべき領域である。これにより、遠隔側の対応リソースの限界による対応遅延を回避し、現場で求められる即時性の高い対応を実現することが可能となる。

考察

本調査を通じて、将来的な自動運転レベル 4 における複数台監視を実現するためには、前述した「常時監視の限界(検知の壁)」の克服が最優先事項であることが示唆された。この壁を越えるためには、以下の 2 つの設計思想に基づき、遠隔監視における役割を根本から再定義することが不可欠であると考えられる。

1. 「常時接続・オンデマンド監視」への移行

監視台数の増加に伴い、遠隔監視員が同時に全車両の映像を常時見続けることは不可能である。そのため、監視のあり方を「能動的に異常を探し続ける」方式から、必要に応じて介入する「オンデマンド監視」方式へ移行することが必須である。

- ・ オンデマンドな介入: 監視員は、AI が「今、確認が必要」と判断し遠隔に通知されたタイミングのみ介入する。このオンデマンド形式により、監視員の認知負荷を最小化し、多車両運用においても高い集中力と判断精度を維持することが可能となる。
- ・ オンデマンド監視を担保する常時接続: オンデマンドな監視を実現するためには、異常発生時にタイムラグなく現場の状況を確認できることが絶対的な前提条件となる。通信インフラが「常に繋がっている(常時接続)」状態を維持することで、監視員が必要と判断した瞬間に高品質な映像情報を即座に取得し、遅滞のない意思決定を下すための安全基盤を確保する。

2. 「運転士業務の遠隔への完全移管」を前提としないシステム自律化

これまで運転士が現場で行ってきた全業務を、そのまま遠隔監視員が引き継ごうとするアプローチは、監視台数が増加するにつれ破綻する。1:10 や 1:40 といった高比率の運用下では、対処すべき事案数や情報量が監視員の処理能力を超えるためである。したがって、監視員を「現場作業の代行者」から解放し、高度な判断を担う「意思決定者」へと昇華させることが不可欠となる。遠隔監視

員の業務量を低減し、かつ現場から離れているという物理的制約を克服するため、以下の領域において優先的に自動化を推進すべきである。

- ・ 自動化に伴うリスクが低い領域：やり直しが可能で、人命への直接的なリスクが低いもの（例：立席者検知時の「お座りください」等の自動アナウンス、行き先などの定型的な問い合わせへの自動回答）
- ・ 即応性が求められる領域（車両連動領域）：監視員の判断を介することで対応に遅延が生じ、安全性を損なう恐れがあるもの。（例：急ブレーキ時の「お掴まりください」等の自動アナウンス、ドア挟み時の自動開閉や発車抑止）

結論

将来のレベル4 複数台監視の実現には、AI 通知に基づく「オンデマンド監視」への移行と監視員を高度な「意思決定者」へと昇華させることが必要である。そのためには車両側の自律化を推進し、監視員の介在を真に必要な判断に特化させることが、多車両運用における安全性とスケラビリティの両立に向けた有効なアプローチと考えられる。

- (3) 無線区間において所望スループットになる時間率 95%以上(劣化する時間率が 5%未満)
- 「6.2.1 2)開発・評価項目の結果 (3)Cradio による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間(自動運転バスから基地局)のスループットを確認する」にて記載
- (4) 無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ、帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が 10%未満)
- 「6.2.1 2)開発・評価項目の結果 (4)ISAP による制御有り無しの場合における位置や時刻と無線区間のスループットに対するネットワークリソース使用率を確認する」にて記載
- (5) エッジ側処理に対し、遠隔処理(ネットワーク経由)での乗客の姿勢検知(座位/立位/転倒)成功率比 90%以上【定量評価】

【結果概要】

表 65 乗客の姿勢検知に係る結果概要

測定	通信技術パターン	処理場所	結果	処理場所による差分
検知率	Cradio あり ISAP あり	遠隔	90.4%	91.1%

	Cradio なし ISAP なし	エッジ	99.2%	52.8%
		遠隔	51.8%	
		エッジ	98.1%	
遅延時間 (参考)	Cradio あり ISAP あり	遠隔	4.96 秒	0.36 秒
		エッジ	4.60 秒	
	Cradio なし ISAP なし	遠隔	10.48 秒	5.94 秒
		エッジ	4.54 秒	

ア) 成功率比

【結果】

成功率比は 91.1%を記録した。

【考察】

単体での検知成功率は 90.4%となった。現状エッジコンピュータを活用しているユースケースにおいて、精度劣化が 10%ほど許容できるものについてはネットワーク活用による遠隔処理とすることも可能であることが示唆された。

【検証概要】

表 66 乗客の姿勢検知に係る検証概要

項目	内容
検証日時	2025 年 12 月 8 日(月)15:13~15:35 先端技術なしパターン 2026 年 1 月 15 日(木)16:04~16:18 先端技術ありパターン
検証経路	復路(動物園北門から鶴ヶ峰駅バスロータリー)
車内環境	検知対象を限定するため、車内の乗車人数を、乗客役 1 名、ドライバー 1 名、連絡役 1 名の合計 3 名に限定する。 ※検知範囲内に存在するのは 1 名のみとなる。
検知結果ログ数 (1 走行)	先端技術なしパターン:1335

	先端技術ありパターン:852
検証方法	自動運転バス車内でダミー乗客1名が、バス通路上で、走行中に立位状態を保持する。その際、遠隔監視画面内の AI 姿勢検知結果表示上では立位状態と表示されることで、検知成功となる。また、人がいないと分析すると安全状態と表示される。これらの前提に基づき、ダミー乗客1名が立位状態を保持したままでの総走行時間における、立位表示時間を成功時間とする。そして、成功時間の総走行時間に対する割合を算出し、目的の数値を取得する。

イ) 参考:遅延時間

【結果】

先端通信技術(Cradio・ISAP)ありの場合における遅延時間は平均 4.96 秒でありエッジ処理の場合との差は、0.36 秒であった。

【考察】

Cradio・ISAP ありの場合、車載器側での処理(エッジ処理)に比べて遠隔先 AI に映像伝送しても 0.36 秒の遅延増加で検知できることを確認した。なお先端通信技術なしの場合は映像途切れなどにより遅延値が大幅に増加していた。

【検証概要】

表 67 姿勢変化の際の検知時間測定に係る検証の概要

項目	内容
検証日時	12月8日(月)14:48~15:06 先端技術なしパターン 1月15日(木)14:15~14:35 先端技術ありパターン
検証経路	往路(鶴ヶ峰駅バスロータリーから動物園北門)
車内環境	検知対象を限定するため、車内の乗車人数を、乗客役1名、ドライバー1名、連絡役1名の合計3名に限定する。 ※検知範囲内に存在するのは1名のみとなる。
検知結果切替り回数 (1走行)	先端技術なしパターン:19 先端技術ありパターン:21
検証方法	1. 車内で1名の乗客が1分毎に座位状態と立位状態を繰り返す。

	<p>2. 座位から立位、立位から座位になった時間と、それぞれに対応する検知結果表示ログの切り替わり時間を、それぞれ車内映像の録画と、検知結果ログより記録する。</p> <p>3. その後その記録映像から、姿勢変化時間・表示結果の切り替わり時間を特定し、姿勢変化ごとの遅延時間を集計する。</p>
--	--

(6) 通信劣化に起因する AI の検知劣化の発生頻度と発生パターンを確認する。【定量評価】

【結果】

■ 回帰分析結果

・ロジスティクス回帰分析を選択した理由

本検証では検知精度を、正解を検知結果が立位検知であること、不正解を検知結果が立位検知以外であることと定義した。そのため、検知精度は、正解か不正解のダミー変数となる。また、検知精度に影響を与えると想定するスループット量は連続変数である。そこで、被説明変数を正解になる確率として定義し、スループット量が正解となる確率に与える影響を定量的に評価することとした。したがって、本評価のため、説明変数と正解確率の非線形な関係をロジット関数として表現可能なロジスティクス回帰分析を選択した。

表 68 回帰分析結果とその説明

分類	項目	通信技術あり	通信技術なし	説明
モデル全体の適合度	サンプルサイズ	851	1,334	検知結果のデータサンプル数を示す。
	疑似決定係数	0.232	0.099	モデルがどれくらい現象を説明できているか示すスコア(0~1)。 通信技術ありのモデルは、説明変数が被説明変数を十分に説明しているといえる。
	モデル全体の p 値	6.83×10^{-29}	6.03×10^{-42}	尤度比検定の結果を示す。 両モデルについて p 値はともに極小の値でありスループットと検知結果に関係がない可能性が 0 に近いことを示す。
回帰係数	係数(スループット量変数の係数)	1.181	0.617	説明変数が被説明変数にどのような影響を与えるかを示す。 技術有無について両方の場合において、スループット量の増加が検知精度を向上させる正の相関を示しており、技術ありのほうはよりその傾向が高くなることも示している。
	係数の z 値	10.852	12.191	統計検定量を示す。

				両方の場合において有意水準 5%の境界線である 1.96 を超えているため、スループットが検知結果に与える影響の強い有意性を示す。
	係数の p 値	0.000	0.000	スループット量変数の有意性を示す。 偶然スループットと検知結果の関係があるように見えている確立を示す値で、0 のため偶然ではないことを表している。
	係数の 95%信頼区間	[0.968, 1.394]	[0.517, 0.716]	真の係数が左記の範囲内にある確率が 95%であることを示す。
オッズ比	係数のオッズ比	3.26	1.85	スループット量が 1Mbps 増加すると、成功する見込みが何倍になるかを示す直感的な指標。
	オッズ比の 95%信頼区間	[2.63, 4.03]	[1.68, 2.05]	オッズ比がこの範囲内にある確率が 95%であることを示す。

■2 変数の重畳グラフ

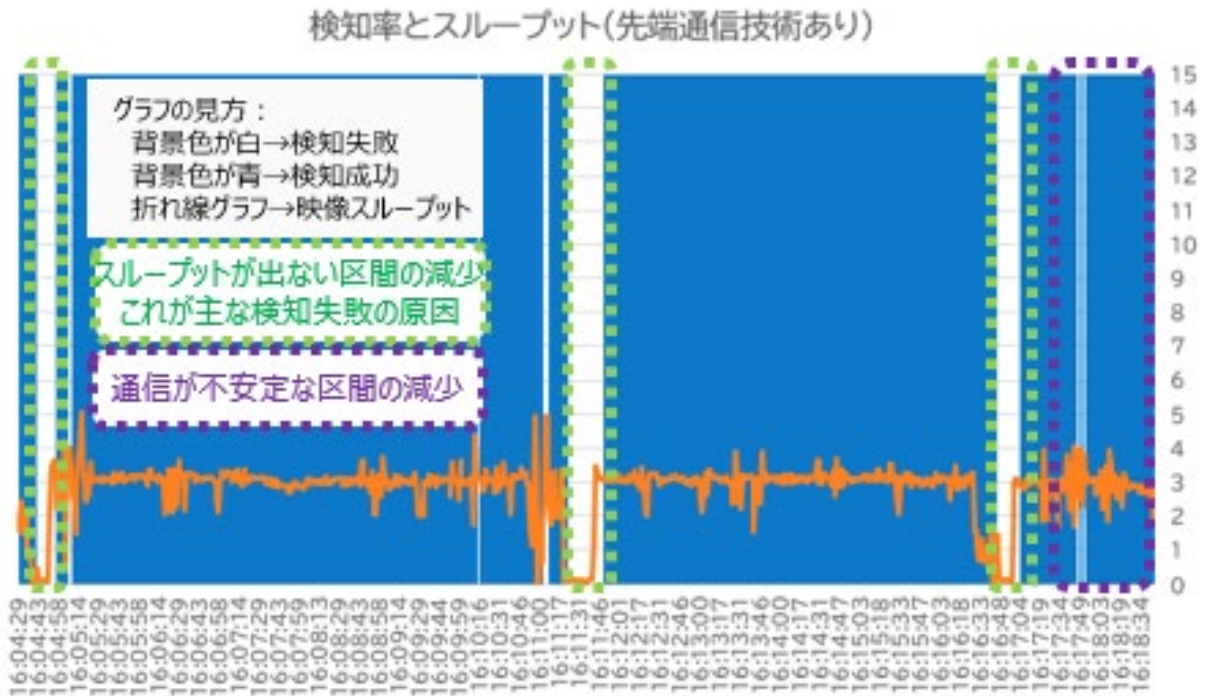


図 70 検知率とスループット(先端通信技術あり)

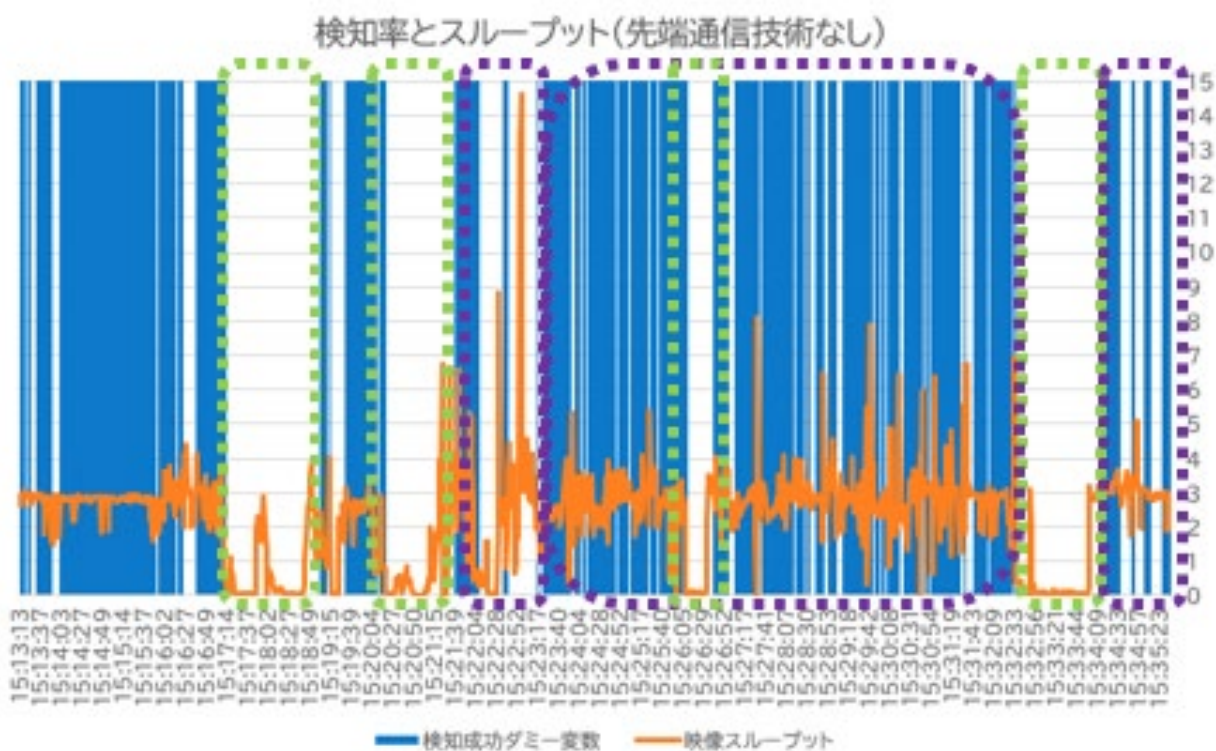


図 71 検知率とスループット(先端通信技術なし)

表 69 AI 検知成功確率ごとに必要なスループット量

成功確率	必要なスループット(Mbps)	
	先端通信技術あり	先端通信技術なし※
50%	0.441	2.050
80%	1.576	4.235
90%	2.240	5.512
95%	2.851	6.690
99%	4.203	9.291

※先端通信技術なしパターンは、疑似決定係数が低いため実装時の要求値とは差異があると考慮する必要あり。別の変数(遅延、ジッタなど)の影響を示唆するため表記している。

【考察】

技術なしでは、たとえスループットが十分であっても、通信環境の変化に伴い通過できるパケットの流量が変化することで、遅延やジッタ、それらに関連した映像の途切れや復旧に時間を要するなど「スループット以外も含む数多くの要因」で AI 検知が失敗していた。

Cradio と ISAP の導入によって、通信が不安定な区間の減少と遅延低下、最適な輻輳制御によって、下から上のレイヤに跨った通信の質を向上させた。その結果 AI 検知の成否を分ける要因が「スループットが足りているか否か」という点に集約され、検知率は向上した。

これは目的変数と検知可否、説明変数をスループットとしたロジスティクス回帰分析による疑似決定係数が旧技術では 0.099 であった一方、新技術では 0.232 とスループットが成否の主因となっていることから確認できる。

次なる品質向上に向けては、物理的に電波が微弱な不感地帯の解消といった、ネットワークの低レイヤにおけるカバレッジ対策が不可欠である。

【検証】

検知成功率計測時の走行に合わせて、アップリンクスループット量を計測し、検知成功ダミーデータを目的変数、同時間におけるアップリンクスループット量を説明変数としてロジスティクス回帰分析を実施した。また、各データの重畳も実施した。

【エッジ処理と遠隔処理の経済性観点評価】

■前提

①乗客監視に必要な映像は、遠隔監視に必要な映像情報としてすべてクラウドに送信されることとする。

②乗客監視用の映像は、映像伝送により映像劣化、遅延および切断されることはないこととする。
(※ネットワークがレベルアップしている時代を想定)

③乗客監視アプリに必要な処理性能は現状と同等とする。

④乗客監視の結果は遠隔監視画面に使用に限定し、バスでは使用しないものとする。

⑤1ドル=155円とする。

⑥クラウド利用料は、AWS 推論インスタンス(infl.xlarge)を想定する。その際は別途開発費が必要となる。

⑦鶴ヶ峰駅から動物園までは、平日と土日を平準化すると 9 時から 17 時までの運行となっている。それに前後 2 時間のバッファを持たせて、車内映像分析のためのインスタンス稼働時間は 10 時間として計算する。

⑧エッジコンピュータの減価償却期間を5年とする。

表 70 AI 姿勢検知分析についてエッジ処理と遠隔処理でかかる費用の違い

1台 1 か月		初期費用	¥90,000	¥0		
		運用費用	¥5,261	¥13,333		
項目			クラウド処理(バス1台)	エッジ処理(バス1台)	備考	
初期費用	アプリ	AI姿勢検知アプリ開発	同じ	同じ	同様の精度のAIを開発とする。	
		クラウド環境用AI姿勢検知改修開発	90000	-	開発費を要する。	
		アプリ用環境構築(エッジコンピュータ)	同じ	同じ	前提①より同様の環境構築費とする。	
	デバイス	エッジコンピュータ	0	エッジコンピュータ 保守費用に記載	クラウド：前提①より、乗客監視としての追加は0円、 エッジ：前提③として、現ROSCUBE1台スペックを必要のため、80万円と記載する。 ※5年での減価償却として「エッジコンピュータ保守費用」に記載	
		クラウド	クラウド利用料(初期契約)	同じ	同じ	遠隔監視映像としてクラウド利用があるため、乗客監視として0円 ※課金のため運用費月額のみ存在
ネットワーク	ネットワーク構築	同じ	同じ	前提①より同額		
運用費用	アプリ	通信料(初期契約)	同じ	同じ	前提①④より同額	
		アプリ保守費用(クラウド/エッジ)	同じ	同じ	前提①④より同額	
	デバイス	エッジコンピュータ保守費用	-	-	13,333	前提⑥より5年償却として、現ROSCUBE1台を車両へ搭載とする。
		クラウド	クラウド利用料	5,261	-	10h稼働で計算する。クラウド利用料について、inf1.xlargeは1hあたり0.308USDのコスト
	ネットワーク	通信料(月額契約)	同じ	同じ	前提②として同じとする。	

■考察

上記試算結果より、100 台を 5 年間運行させるとすると、遠隔処理の場合およそ 3150 万円、エッジ処理の場合、およそ 8000 万円となる。したがって、上記仮定(100 台を 5 年間)に基づくと、コストに関しておよそ 4850 万円の差が生まれる。しかしこれのためには遠隔側とエッジ側で性能差が生まれない必要がある。今回の AI 姿勢検知ユースケースは乗客の安全に直結するため、本検証のように 10%の差がある点は不適と考えられる。ただしユースケースによっては、このようなコスト優位性が想定される遠隔処理という手段も選択肢として検討する必要があるといえる。

4) 成果・課題

成果：

走行ルート(往復)におけるスループット測定データからは、全体的に技術ありのスループット特性の方が、技術無しのスループット特性より勝っている点が多く、約 74%の測定点で技術ありのスループット特性の方が勝っていた。本結果で Cradio による制御有りの有効性が確認できた。

所望スループット=4Mbps の特性に注目すると、Cradio・ISAP 技術無しの場合の TCP アプリンクスループットは 4Mbps 以下の確率が約 28%であるのに対し、技術ありでは約 9.7%となっており、所望スループットの帯域で約 18.3%の改善効果があった。所望スループットを超える確率は約 90.3%となった。

また Cradio と ISAP の連携効果により全体的に RTT が短縮され、技術なしと比較して RTT が約 18ms 改善された。

さらに KPI 無線区間のスループットを有効活用し、ネットワークリソース使用率を向上させ、目標値である「帯域使用できる時間率 90%以上(劣化する時間率が 10%未満)」を達成した。

課題：

通信劣化に起因して検知成功率が低下することが示唆された。

検知成功ダミーデータと、同時間におけるスループットデータを重畳した結果、スループットが低下した際に、検知不成功となる時間が散見されたため、スループット低下に伴う映像品質の劣化が、検知率に影響を与えることが示唆された。したがって、確実かつ安定的な検知に向けたネットワーク強化が必要と考えられる。

本実証の自動運転バスの走行ルートには、環境的な制約によりカメラ映像伝送に必要なスループットを確保できない区間が存在した。回線種別やBand設定を変更しても最大 1Mbps 程度が限界となるエリアがあり、Cradioの予測・ハンドオーバー制御やISAPの通信レート調整でも改善が困難だった。今後、自動運転バスの社会実装を進めるにあたり、こうしたCradio・ISAPの新技术でも改善が難しい区間をどのように補完・対策していくかが重要な課題となる。

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

6.3.1 点群データ伝送にローカル 5G ネットワークを活用し、経済的かつ検知機能向上と自動運転バスの適切な制御の実現

1) 実証スケジュール

表 71 実証スケジュール(実証準備～実証評価)

フェーズ	2025年								2026年	
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
実証準備(事前計測、物品調達等)	要件検討		システム設計、開発、試験							
実証									調律走行	本番走行
実証評価									データ取りまとめ	報告書作成

2) 開発・評価項目の結果

番号	開発・評価項目
(1)	路側インフラに設置した LiDAR データ、カメラ映像をローカル 5G を活用してネットワーク上へ伝送する。
(2)	クラウド上において、道路上の車両等を検知し、物標情報を作成する。
(3)	物標情報を自動運転システムに伝送し、駐車待ち回避制御を実施する。
(4)	路側インフラに設置したカメラ映像を、キャリア 5G を使用してネットワーク上へ伝送する。
(5)	MEC において対向車線の車両有無を分析し、物標情報を生成する。
(6)	物標情報を自動運転システムに伝送し、離合制御を実施する。

(7) 安定したローカル 5G 通信を維持できているか、通信性能の評価を行う。

※(1)(2)(3)(7)は駐車待ち車列回避制御に関する項目であり、(4)(5)(6)は離合制御に関する項目である。

(1) 路側インフラに設置した LiDAR データ、カメラ映像をローカル 5G の活用によってネットワーク上へ伝送する。

駐車待ち車列回避制御を実施するために使用したシステム構成図を以下に示す。

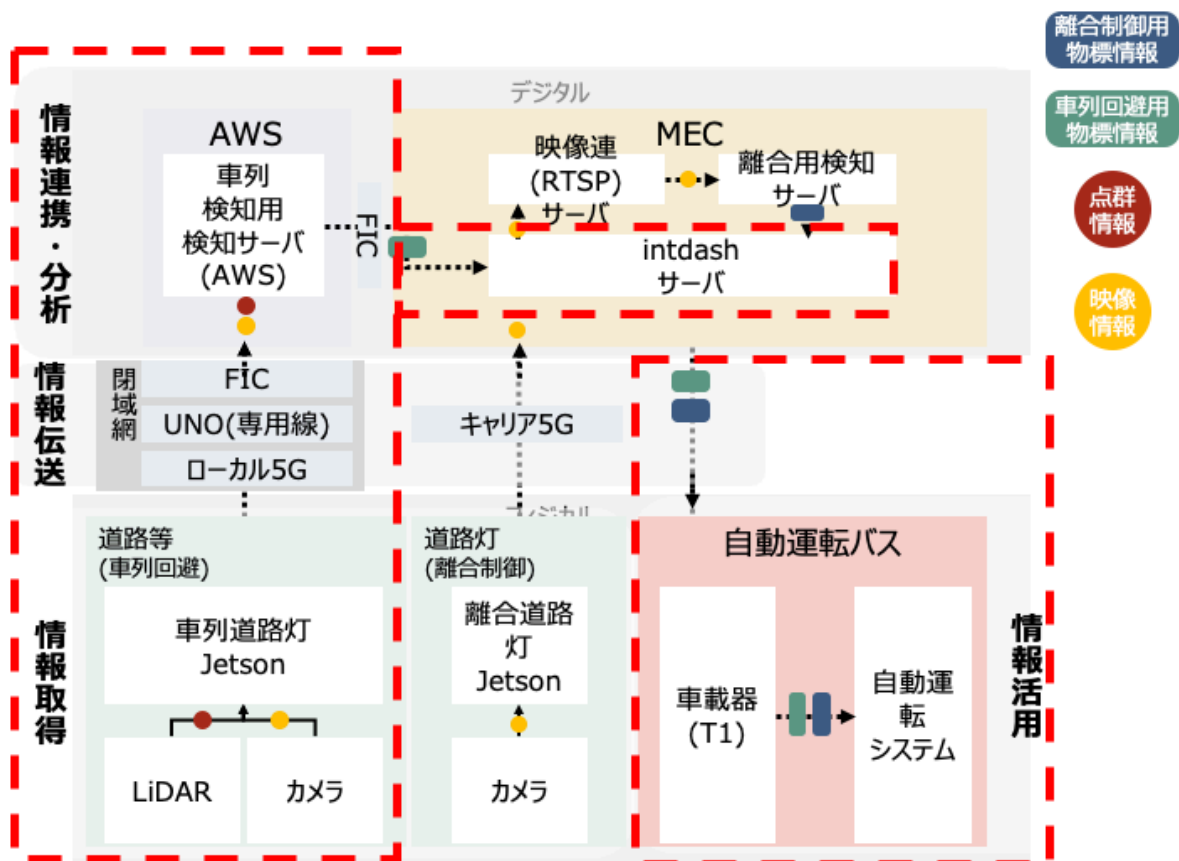


図 72 路車協調に関するシステム構成図のうち車列回避に関する部分(赤枠)

①群情報の伝送ができていること、②映像情報の伝送ができていることを、上記図中にも示している AWS 上の出庫車検知用検知サーバ上のログおよび可視化アプリで確認した。

出庫車検知用サーバのログからは図 71 に注釈して示した映像と点群情報それぞれについて FPS10 と想定通りの速度で受信できていることが確認できた。可視化アプリ上では、期待通りに車両を検知できていること(緑色の枠で示されるバウンディングボックス、桃色の枠で示される点群情報による補足、赤色の文字で示され

る車両の位置と速度)が確認できた。

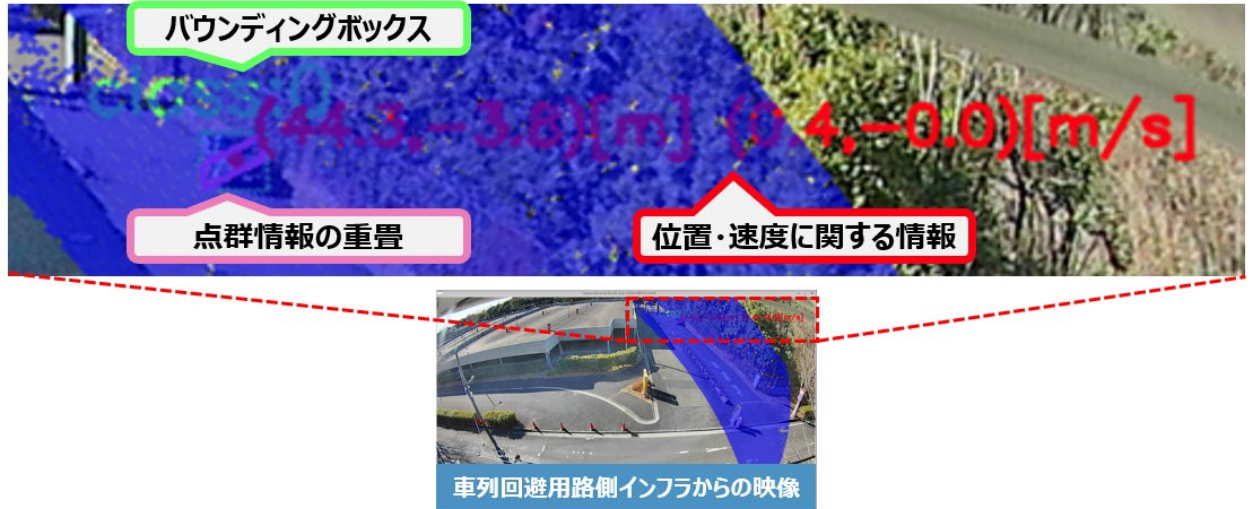


図 73 出庫車検知の様子

ubuntu@ip-192-168-50-68:~\$ podman exec -it asmobi-server asmlogger

Name	Cycle	Life	ID	FPS	Elapsed	Time	W	R
Cb_front120_Sbgr	100ms	5s	3524	10.0	5m 52.393468s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	2
Cb_front120_Sbgr_r	100ms	5s	3524	10.0	5m 52.498075s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	1
Db_object_front120	70ms	10s	3435	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	2
Db_object_front120_2	70ms	10s	3435	10.0	6m 6.606185s	2026-01-06 10:26:53.715487	1	2
F_filtered_objects	67ms	10s	3434	10.0	6m 6.606185s	2026-01-06 10:26:53.715487	1	1
F_fusion_objects	70ms	10s	3435	10.0	6m 6.606185s	2026-01-06 10:26:53.715487	1	2
F_fusion_to_autobox	50ms	10s	3434	10.1	6m 9.518692s	2026-01-06 10:26:53.843599	1	2
L_lane_map_points	67ms	10s	3434	10.0	6m 6.606185s	2026-01-06 10:26:53.715487	1	1
front_bottom_at128_lidar	80ms	5s	3368	10.2	6m 9.575809s	2026-01-06 10:26:53.748658	1	2
front_bottom_at128_lidar_raw	10ms	5s	19104	56.5	6m 9.706018s	2026-01-06 10:26:53.878867	1	1
Cb_front120_Sbgr	100ms	5s	3524	10.0	5m 52.493493s	2026-01-06 10:26:53.915538	1	2
Cb_front120_Sbgr_r	100ms	5s	3524	10.0	5m 52.598100s	2026-01-06 10:26:53.915538	1	1
Db_object_front120	70ms	10s	3522	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	2
Db_object_front120_2	70ms	10s	3435	10.0	6m 6.606185s	2026-01-06 10:26:53.715487	1	2
F_filtered_objects	67ms	10s	3434	10.0	6m 6.606185s	2026-01-06 10:26:53.715487	1	1
F_fusion_objects	70ms	10s	3435	10.0	6m 6.606185s	2026-01-06 10:26:53.715487	1	2
F_fusion_to_autobox	50ms	10s	3434	10.1	6m 9.518692s	2026-01-06 10:26:53.843599	1	2
L_lane_map_points	67ms	10s	3434	10.0	6m 6.606185s	2026-01-06 10:26:53.715487	1	1
front_bottom_at128_lidar	80ms	5s	3368	10.2	6m 9.575809s	2026-01-06 10:26:53.748658	1	2
front_bottom_at128_lidar_raw	10ms	5s	19104	56.5	6m 9.706018s	2026-01-06 10:26:53.878867	1	1
Cb_front120_Sbgr	100ms	5s	3524	10.0	5m 52.493493s	2026-01-06 10:26:53.915538	1	2
Cb_front120_Sbgr_r	100ms	5s	3524	10.0	5m 52.598100s	2026-01-06 10:26:53.915538	1	1
Db_object_front120	70ms	10s	3523	10.0	6m 6.806236s	2026-01-06 10:26:53.915538	1	2
Db_object_front120_2	70ms	10s	3436	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	2
F_filtered_objects	67ms	10s	3435	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	1
F_fusion_objects	70ms	10s	3436	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	2
F_fusion_to_autobox	50ms	10s	3435	10.1	6m 9.622881s	2026-01-06 10:26:53.947788	1	2
L_lane_map_points	67ms	10s	3435	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	1
front_bottom_at128_lidar	80ms	5s	3369	10.2	6m 9.685959s	2026-01-06 10:26:53.858808	1	2
front_bottom_at128_lidar_raw	10ms	5s	19109	56.5	6m 9.810605s	2026-01-06 10:26:53.983454	1	1
Cb_front120_Sbgr	100ms	5s	3525	10.0	5m 52.593526s	2026-01-06 10:26:54.015571	1	2
Cb_front120_Sbgr_r	100ms	5s	3525	10.0	5m 52.698133s	2026-01-06 10:26:54.015571	1	1
Db_object_front120	70ms	10s	3523	10.0	6m 6.806236s	2026-01-06 10:26:53.915538	1	2
Db_object_front120_2	70ms	10s	3436	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	2
F_filtered_objects	67ms	10s	3435	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	1
F_fusion_objects	70ms	10s	3436	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	2
F_fusion_to_autobox	50ms	10s	3435	10.1	6m 9.622881s	2026-01-06 10:26:53.947788	1	2
L_lane_map_points	67ms	10s	3435	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	1
front_bottom_at128_lidar	80ms	5s	3369	10.2	6m 9.685959s	2026-01-06 10:26:53.858808	1	2
front_bottom_at128_lidar_raw	10ms	5s	19110	56.5	6m 9.865483s	2026-01-06 10:26:54.038332	1	1
Cb_front120_Sbgr	100ms	5s	3525	10.0	5m 52.593526s	2026-01-06 10:26:54.015571	1	2
Cb_front120_Sbgr_r	100ms	5s	3525	10.0	5m 52.698133s	2026-01-06 10:26:54.015571	1	1
Db_object_front120	70ms	10s	3524	10.0	6m 6.906269s	2026-01-06 10:26:54.015571	1	2
Db_object_front120_2	70ms	10s	3436	10.0	6m 6.706211s	2026-01-06 10:26:53.815513	1	2

図 74 AWS サーバでのデータ受信ログ

表 72 AWS サーバでのデータ受信ログの読み取り方

項目	説明
Name	<p>データ名称を表示する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Cb_front120_Sbgr:カメラ映像(BGR 形式) ・Cb_front120_Sbgr_r:カメラ映像 180°回転 ※ 元のカメラが 180°反転されているため 180°回転して修正 ・Db_object_front120:2 次元物体認識結果 ・Db_object_front120_2:3 次元物体認識結果 ・F_fusion_objects:センサフュージョン結果 ※路側センサは複数のカメラ・LiDAR を持たないため、厳密には fusion していないため利用しないデータカラムとなるが、既存のデータストリーム流用のためデータカラムの宣言は必要となる。 ・F_filtered_objects:走路内判定エリアでフィルタしたセンサフュージョン結果 ・F_filtered_to_autobox:外部に送信する物標情報 ・L_lane_map_points:走路内判定エリア ※ ズーラシアの駐車場出口路を走路とした ・front_bottom_at128_lidar:点群データ ・front_bottom_at128_lidar_raw:点群データ (パケット形式)
Cycle	データの更新頻度(更新間隔時間(ミリ秒))
Life	データの生存時間
ID	データフレーム ID
FPS	1 秒ごとのデータフレーム数 (Frames Per Second)
Elapsed	(生成からの)経過時間
Time	最新時刻
W	書き込み数
R	読み込み数



図 75 AWS サーバでのデータ受信画面(映像と点群)

(2) クラウド上において、道路上の車両等を検知し物標情報を作成する。

①出庫車検知 AI アプリの検知機能が期待通りに動作していること、②物標情報を作成できていることを、サーバ上のログで確認した。

①に関しては前述の図 AWS サーバでのデータ受信画面(映像と点群)から確認できる。

次に示す図は intdash サーバにて検知サーバ(AWS)から送信される物標情報を可視化したものである。およそ 10FPS で物標情報の生成ができており、物票情報が受信できていることが確認できた。

```

avoidance_server
車列回避用物標情報
2026/01/20 09:26:14.233380 00 00 00 c8 00 00 00 01 00 00 00 01
2026/01/20 09:26:14.048647 00 00 00 c8 00 00 00 01 00 00 00 01
2026/01/20 09:26:13.945146 00 00 00 c8 00 00 00 01 00 00 00 01
2026/01/20 09:26:13.839256 00 00 00 c8 00 00 00 01 00 00 00 01
2026/01/20 09:26:13.731960 00 00 00 c8 00 00 00 01 00 00 00 01
2026/01/20 09:26:13.626669 00 00 00 c8 00 00 00 01 00 00 00 01
2026/01/20 09:26:13.532240 00 00 00 c8 00 00 00 01 00 00 00 01

```

図 76 AWS サーバの物標情報の作成と intdash サーバへの連携確認ログ

次の図は車載器にて物標情報を受信したログである。こちらもおおよそ 10FPS で情報連携できている。

```

avoidance_info_2026-01-20.csv X
avoidance_info_2026-01-20.csv
123502 2026-01-20 13:07:01.367625,avoidance_info
123503 2026-01-20 13:07:01.469540,avoidance_info
123504 2026-01-20 13:07:01.565622,avoidance_info
123505 2026-01-20 13:07:01.679683,avoidance_info
123506 2026-01-20 13:07:01.769298,avoidance_info
123507 2026-01-20 13:07:01.867116,avoidance_info
123508 2026-01-20 13:07:01.970545,avoidance_info
123509 2026-01-20 13:07:02.065041,avoidance_info
123510 2026-01-20 13:07:02.166570,avoidance_info
123511 2026-01-20 13:07:02.263741,avoidance_info
123512 2026-01-20 13:07:02.365541,avoidance_info
123513 2026-01-20 13:07:02.469042,avoidance_info
123514 2026-01-20 13:07:02.566356,avoidance_info
123515 2026-01-20 13:07:02.665175,avoidance_info
123516 2026-01-20 13:07:02.766099,avoidance_info
123517 2026-01-20 13:07:02.863294,avoidance_info
123518 2026-01-20 13:07:02.971532,avoidance_info
123519 2026-01-20 13:07:03.071118,avoidance_info
123520 2026-01-20 13:07:03.167199,avoidance_info

```

図 77 intdash サーバから車載器への物標情報の連携確認ログ

表 73 intdash サーバから車載器への物標情報の連携確認ログの読み取り方の説明

項目	説明
123502 等	テキストエディタで表示しているファイル行番号
2026-01-20 13:07:01,367625 等	車載器で受信したデータの受信日時(JST)
Avoidance_info	車載器で受信したデータの名称 車列回避用の物標情報のため、avoidance_info と表示

物標情報は車載器から最終的に自動運転システムへと連携され、駐車待ち回避制御を行うエリアにて出庫車両の存在を示す物標情報を受信した際に、下図のように自動運転バス中の運転席横モニタに警告を出す。こちらも期待どおり動作することを目視にて確認した。



図 78 自動運転システムでの物標情報受信確認

(3) 物標情報を自動運転システムに伝送し、駐車待ち回避制御を実施する。

受け取った物標情報の内容に従って、駐車待ち回避制御を実施可能であることを確認した。

車載モニタ上にその旨の表示が確認できる。(赤破線部分)

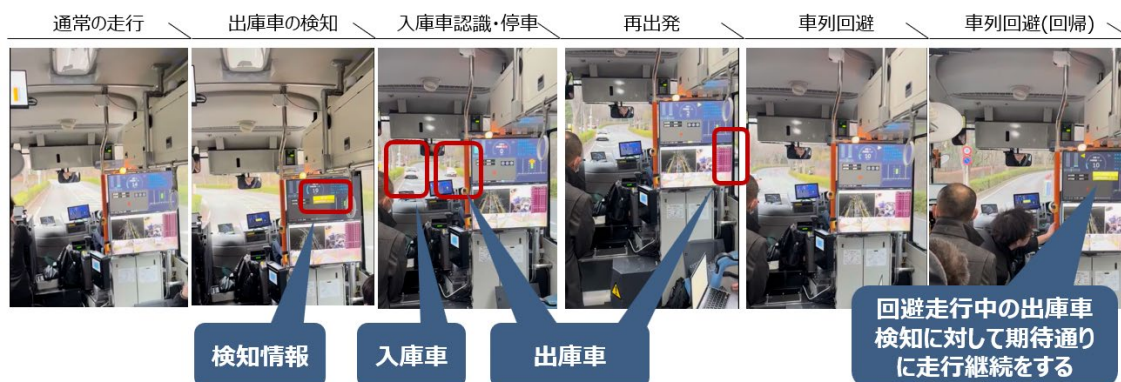


図 79 入出庫車の見地から車列回避までの流れ

(4) 路側インフラに設置したカメラ映像をキャリア 5G の活用によってネットワーク上へ伝送する。

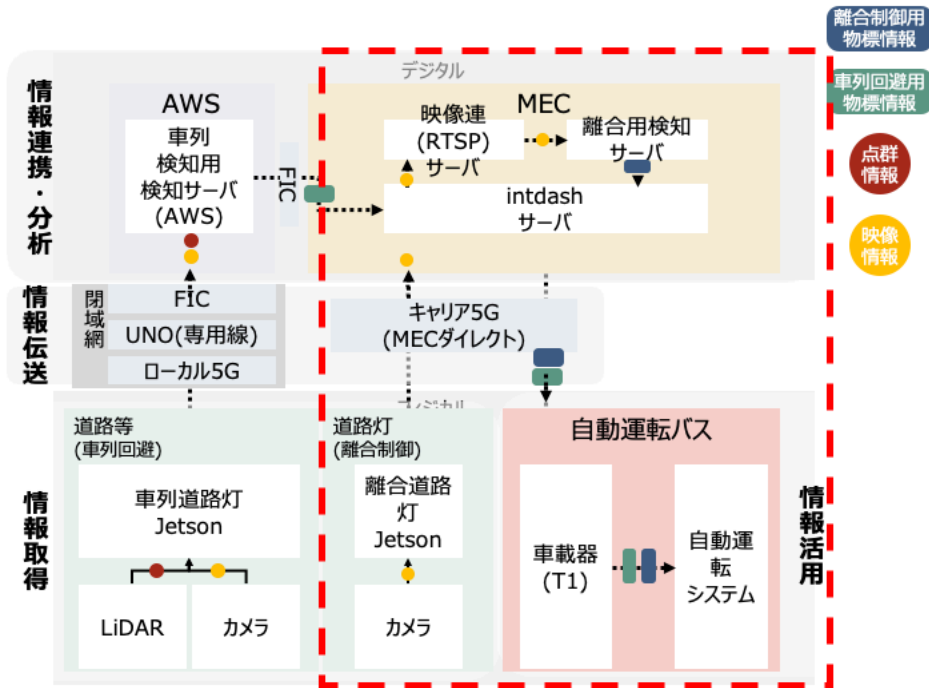


図 80 路車協調に関するシステム構成図のうち離合制御に関する部分(赤枠)

映像情報を MEC 上の intdash サーバまで伝送できていることを、サーバ上のログおよび可視化アプリより確認した。

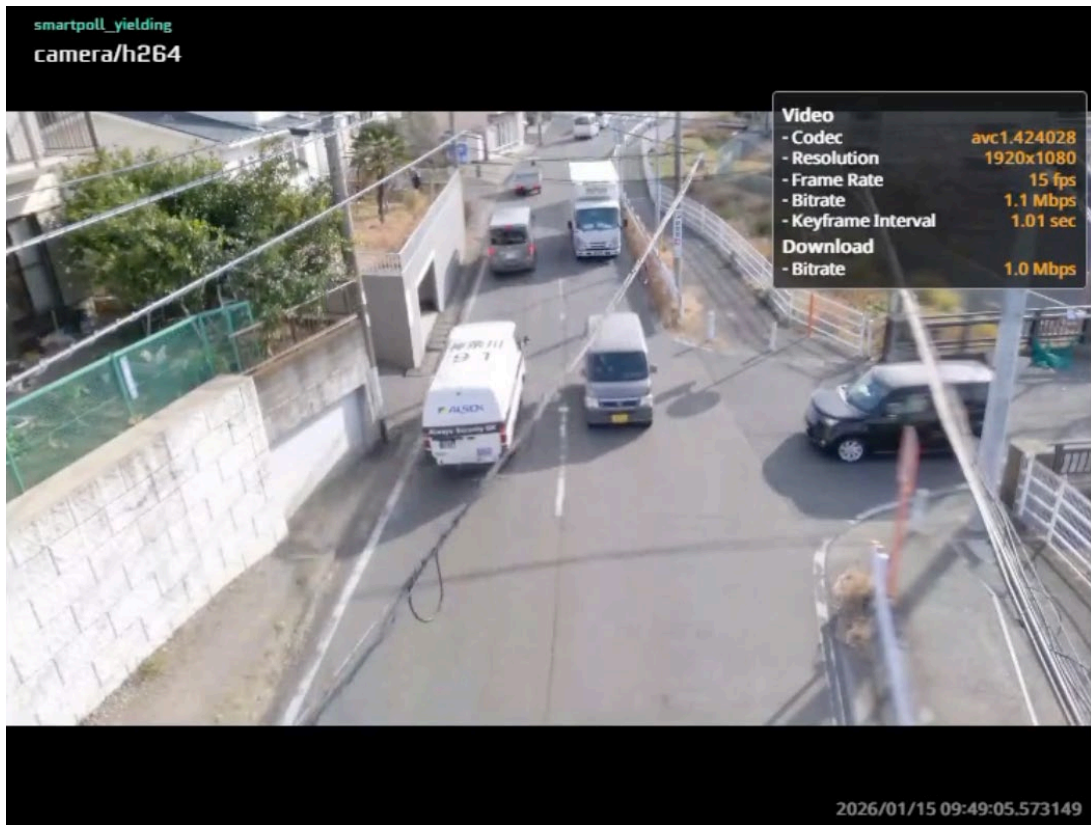


図 81 intdash サーバ可視化アプリの確認

(5) MEC において対向車線の車両有無を分析し、物標情報を生成する。

①対向車検知 AI アプリの検知機能が期待通りに動作していること、②物標情報を作成できていることを、サーバ上のログで確認した。



2026/01/22 13:37:00.932
離合制御用車両検出結果画像

対向車とバウンディングボックス

2026/01/22 13:37:00.953374

```
yielding_server 17.74%  
離合制御用物標情報  
2026/01/22 10:58:37.503209 01 01 12 5f 00 00 00 00 8a 3a 92 0d 00 6f 00 00 00 03 00 00  
2026/01/22 10:58:37.391788 01 01 12 5e 00 00 00 00 8a 3a 91 a9 00 6f 00 00 00 03 00 00  
2026/01/22 10:58:37.293153 01 01 12 5d 00 00 00 00 8a 3a 91 45 00 93 00 00 00 04 00 00
```

```
yielding_server 7.61%  
離合制御用車両検出結果JSON  
2026/01/22 09:51:57.713520 {"message_id": 30244, "read_frame_time": "2026/01/22 09:51:57.713520"}  
2026/01/22 09:51:57.611521 {"message_id": 30243, "read_frame_time": "2026/01/22 09:51:57.611521"}  
2026/01/22 09:51:57.515935 {"message_id": 30242, "read_frame_time": "2026/01/22 09:51:57.515935"}
```

図 82 intdash 可視化画面(対向車検知物標情報の作成と intdash サーバへの連携確認)

```
yielding_info_2026-01-20.csv X
yielding_info_2026-01-20.csv
67249 2026-01-20 11:12:11.234757,yielding_info,11:12:11.113
67250 2026-01-20 11:12:11.581961,yielding_info,11:12:11.213
67251 2026-01-20 11:12:11.582622,yielding_info,11:12:11.313
67252 2026-01-20 11:12:11.583209,yielding_info,11:12:11.413
67253 2026-01-20 11:12:11.837796,yielding_info,11:12:11.513
67254 2026-01-20 11:12:11.838593,yielding_info,11:12:11.613
67255 2026-01-20 11:12:11.839340,yielding_info,11:12:11.714
67256 2026-01-20 11:12:12.136802,yielding_info,11:12:11.813
67257 2026-01-20 11:12:12.137570,yielding_info,11:12:11.913
67258 2026-01-20 11:12:12.138206,yielding_info,11:12:12.013
67259 2026-01-20 11:12:12.465663,yielding_info,11:12:12.113
```

図 83 intdash サーバから車載器への物標情報の連携確認ログ



図 84 自動運転システムでの物標情報受信確認

(6) 物標情報を自動運転システムに伝送し、離合制御を実施する。

受け取った物標情報の内容に従って、離合制御を実施可能であることを確認した。

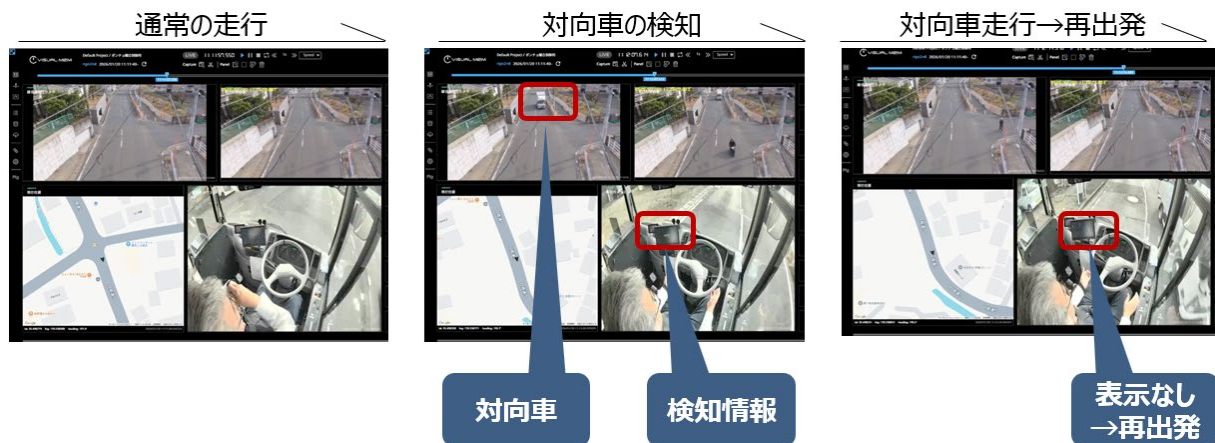


図 85 離合制御の様子

(7) 安定したローカル 5G 通信を維持できているか、通信性能の評価を行う。

通信性能の評価を行い、安定的にアップリンクスループット量を確保できていることが分かった。詳細については、KPI の段に記載する。

3) KPI/KGI との比較結果

表 74KPI/KGI との比較結果

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	(1)	離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上
	(2)	車列回避ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上
	(3)	LiDAR の要求スループット(56Mbps)およびカメラの要求スループット(10Mbps)を継続的に確保できること
	(4)	連続して 15 分間のスループット試験を実施し、スループットの実測値が要求スループット(66Mbps)を上回る時間が 99%以上
定性評価	(5)	大型バス運転経験のある評価者から、安全性・走行品質に対する主観評価および、課題や改善点を取得する。
	(6)	手動介入時の原因を明らかにする。原因分析については関係者の運転日報およびヒアリングなどを通じ実施する。

(1) 離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上

【シナリオ分析に基づく考察概要】

本実証における要離合制御道路における自動走行達成率は、自動運転システムの認知力・走行のスムーズさに加えて、路車協調システムの性能も重要な因子となる。そこで、今後の路車協調システムに

求められるあるべき姿としてどの程度の性能が求められるかを、今回の検証条件、検証結果を踏まえて机上試算する。

自動運転バスの走行ロジック、実地での観察や交通事業者からの助言をもとに、以下のような前提を設計する。そして、その前提のもと路車協調システムが、安全かつ円滑な離合制御支援の目的を果たすために操作するべき変数を整理する。また、その変数の改善に限界があるのではないかと思料される場合に考えられる別の仕組みの方向性について通信・路側システムの面から検討する。

表 75 離合制御検証に係る前提

自動運転車両	対向車	その他
離合制御エリアにおいて自動運転バスが従うルールに基づいた速度、加減速度で走行する。	検知可能範囲の起点を対向車検知起点ラインとし、マップ上での簡易計測より、当該ラインから接触ラインまでを 75m とする。 そして対向車はその 75m について、最初の 40m を 30km/h で、後半の 35m を、減速度 0.75G のブレーキをかけて 25 km/h まで減速しつつ走行する(※大型車のはみだしを注意するため)。	自動運転バスが車線に戻り切る位置を接触ラインとする。 また対向車から自動運転バスが視認可能となる位置を、自動運転バス視認可能ラインとする。 対向車側では、接触ラインから手前 10m で、自動運転バス視認可能ラインにきた自動運転バスを視認できるとし、視認可能であれば対向車は停止可能であり、接触は防げるとする。

試算対象

最も難易度の高い条件(自動運転バスの走行判断直後に対向車が検知範囲へ進入する場合)を想定した際の、自動運転バスが視認可能ラインへ到達するまでの時間と、対向車が接触ラインまで到達する時間の差を出す。それによって、自動運転バスが走行・一時停止からの出発の判断を下して走行する中で、対向車がそれを認知して譲ることが可能な程度の時間差があるかを確かめる。

試算結果

A 自動運転バスが、図 86 内オレンジ色の丸型図形で示している最終判断ラインにおいて最終判断を下し、そのまま走行する際、最終判断直後に対向車が検知範囲内に入った場合

- ・差分:1.18 秒
- ・自動運転バスが自動運転バス視認可能ラインへ到達するまで:8.64 秒
- ・対向車が接触ラインへ到達するまで:9.82 秒

B 自動運転バスが、図 86 内赤色の丸型図形で示している停止ラインにおいて、再出発判断を下し、そのまま走行する際、再出発判断を下した直後に対向車が検知範囲内に入った場合

- ・差分:1.70 秒
- ・自動運転バスが自動運転バス視認可能ラインへ到達するまで:8.12 秒
- ・対向車が接触ラインへ到達するまで:9.82 秒 (A パターンと同値)

考察

- ・試算結果から得られる示唆

本実証における離合制御システムは、対向車が検知範囲内に進入してから、自動運転バスの制御としてその判断が表出化されるまで、A の場合は接触 1.18 秒以内、B の場合は 1.70 秒以内に完了する必要がある。もしそうでなければ、例えば差が負となった場合、自動運転バスが自動運転バス視認可能ラインに到達した際には既に対向車が接触ラインを越えてしまうためである。

この段では対向車の進入タイミングが最も厳しい条件で試算をしたが、安全確保のためには総じて短い時間である方の 1.18 秒以内にするのが望ましいと考えられた。これはあくまで様々な前提(表 75 離合制御検証に係る前提)を置いた場合の数値であることに留意されたい。

■自動運転バスの走行ロジック

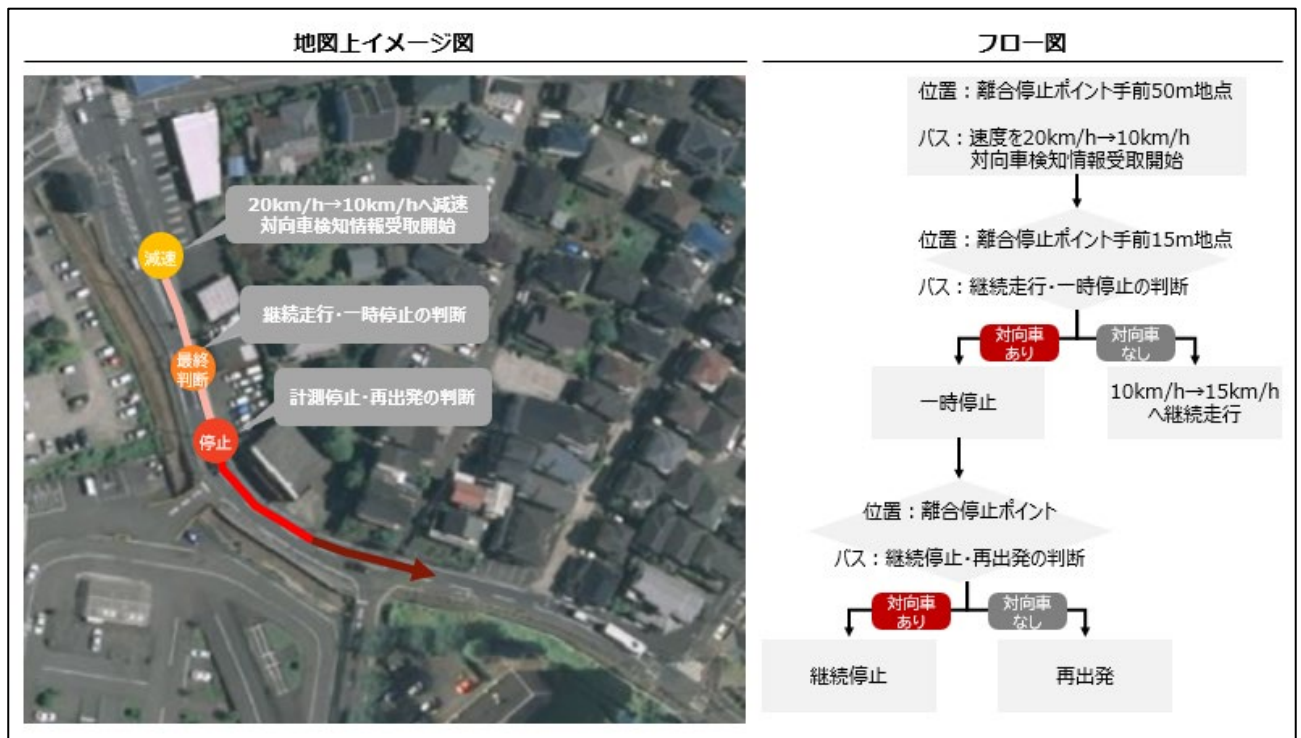


図 86 離合制御エリアにおいて自動運転バスが従うルール

■検知可能範囲



図 87 離合エリアにおける検知可能範囲

a. 自動走行達成率

【結果】

自動走行達成率:90%以上

総走行回数:23 回

手動介入回数:3 回

表 76 実施日ごとの自動走行に係る結果概要

日付	時刻	車両	対向車有無	手動介入有無	映像受信スループット (Mbps)
1月20日 ※2号車は車 列回避検証	10:02:33	1号車	有	無	0.96
	11:11:52	1号車	有	無	1.00
	16:10:34	1号車	有	無	1.08

1月21日	10:09:14	1号車	無	無	0.98
	11:19:50	1号車	有	無	計測なし
	13:29:40	1号車	無	無	1.03
	14:39:47	1号車	有	無	1.06
	15:54:19	1号車	無	無	0.92
	10:39:33	2号車	有	無	1.12
	11:58:37	2号車	無	無	1.11
	14:02:26	2号車	有	無	0.95
	15:22:27	2号車	有	有	1.49
	16:39:46	2号車	有	無	0.92
1月22日	10:08:18	1号車	無	無	1.09
	11:12:15	1号車	有	無	0.83
	13:27:48	1号車	有	有	1.11
	14:35:40	1号車	有	有	1.09
	15:53:57	1号車	有	無	1.24
	10:40:59	2号車	無	無	0.99
	11:50:10	2号車	有	無	1.04
	14:13:04	2号車	無	無	計測なし

	15:20:51	2号車	有	無	1.16
	16:43:35	2号車	無	無	1.02

表 77 離合制御エリアにおける手動介入内容

項目	1回目	2回目	3回目
日時	1月21日8便	1月22日5便	1月22日7便
介入内容	ブレーキ	ハンドル操作	ハンドル操作
対象	対向車	対向車	対向車
位置	自動運転バス正面	自動運転バス正面	自動運転バス正面
自動運転バス走行状況	走行中	走行中	走行中
環境	道路:乾き 天候:晴れ	道路:乾き 天候:晴れ	道路:乾き 天候:晴れ
原因	対向車不検知で走行継続したものの、対向車が存在したため。またその対向車と接触の危険があったため。	対向車不検知で走行継続したものの、対向車が存在したため。またその対向車と接触の危険があったため。	対向車不検知で走行継続したものの、対向車が存在したため。またその対向車と接触の危険があったため。

表 78 離合制御区間における距離ベースでの自動走行達成率

	1便目 (B9)	2便目 (B5)	3便目 (B9)	4便目 (B5)	5便目 (B9)	6便目 (B5)	7便目 (B9)	8便目 (B5)	9便目 (B9)	10便目 (B5)	平均(%)
	9:30	10:00	10:40	11:20	12:50	13:30	14:00	14:40	15:15	16:00	
1/20(火)	100.0	—	100.0	—	0.0	—	0.0	—	100.0	—	100.00
1/21(水)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	90.7	100.0	100.0	99.07
1/22(木)	100.0	100.0	100.0	100.0	95.6	100.0	93.6	100.0	100.0	100.0	98.92
平均(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	97.8	100.0	96.8	95.3	100.0	100.0	99.13

備考

※離合制御検証対象期間を 1/20～22 と設定

※1/20 の 5・7 便目は評価・調律事由により手動走行(ハンドオーバーではなくマニュアルモードでの走行)割合が高いため、平均値の計算対象から除外する。

【考察】

・成果

本実証経路上でのレベル4走行実装に向けた課題であり、かつ本 KPI での検証目的である「要離合制御道路での安全かつ円滑な自動走行の実現」に向けては、自動走行達成率が 90%以上であることより、一定の成果が得られたといえる。

具体的に、本検証場所では自動運転バスが中央線側に寄って走る必要があるため、すれ違い時に接触・擦過・衝突の危険性のある対向車を優先的に走行させる、または、自車が優先的に進むみ走行する、といういずれかの判断が必要である。しかし曲線構造の道路と構造物の存在により、優先的に走行させるべき対向車の視認が不可という道路状況となっている。そのため、自動運転バスのみで当該ポイントを走行することは安全性を考えると不可能という状況であった。そこで、①死角範囲にある対向車の存在有無を、道路灯カメラからクラウドを通して当該離合制御箇所通過前に自動運転バスと連携し、②自動運転バスはその連携された情報にもとづき、走行継続するか、または一時停止して対向車を優先的に走行させるかの判断をし、それに即した走行をするという一連のシステムを設計した。

そして、実際の実証走行を通して、①②共に、設計時の期待通りに機能したことを確認した。実例として、対向車としてバス1台、一般車両4台が連なって走行していた際には、擦過リスクのある箇所を全台が通過するまでその手前で一時停止し、通過しきった後に再出発(離合制御)することが確認できた。また、モニタ上に対向車検知ありの情報がない(対向車検知なし情報が連携されていると考えられる)場合にそのまま走行することを実走行で確認した。また一時停止した際後続車両が5台連なる場面もあったが、それを起因として交通流の異常な停滞は発生しなかった。以上より、すれ違い防止による安全性の向上、対向車検知情報の事前連携による円滑性の確保をしたうえでの要離合制御道路での自動走行、この双方が実現したといえる。

・課題と今後の方向性

本検証における課題として、3 回の手動介入全ての原因となった対向車との接触リスクが挙げられる。具体的には、対向車が存在するにもかかわらず、路車協調システムから検知情報が連携されない状態でそのまま進行してしまい、当該対向車との接触の危機があった。手動介入が発生した際の車載器のログを確認すると、該当の時間に物標情報を受信できていないことが分かった。今回の離合制御を行うエリアはスループット量データより、アップリンクの帯域が混雑しネットワークも不安定であり、Cradio や ISAP による安定化を行ったとしても遠隔監視画面が途切れることも多かった。物標情報の連携は車載器と intdash サーバ間の WebSocket の中で行われ、いわゆる pull 型のデータ取得法で連携している。そのため上記の物標情報が受信できなかった事象は、このような不安定なエリアにおいて遠隔監視のための車両からの映像アップロードや、道路灯からの映像アップロードが行われている最中にアップ

リンクのネットワークでパケット詰まり等が発生した結果、物標情報取得のリクエストがサーバに届かず、物標情報を受信することができなかったためと推察される。

今後の方向性としては以下の通り大きく2つある。なお想定する社会実装までのタイムスパンを考慮し、道路構造自体を変化させることは検討スコープ外とする。

- ①本検証での路車協調の各性能の改良をする
- ②活用する情報を変化させる

まず①について具体的には、最も大きな要因と考えられる通信をはじめとして、以下のような性能改善が考えられる。

- ・通信：電波や通信環境の改善
 - ：車両の他社回線、ローカル 5G など複数回線への切り替えやボンディング
- ・道路灯：検知範囲の拡張
- ・検知システム：検知精度の改善
 - ：検知スピードの高速化

次に②について、自動運転車両と一般車両のやり取りのコミュニケーション問題であると考え、自動運転車両の情報を道路灯へ伝送し、その情報を一般車両向けに発信したり、自動運転バス位置情報の一般車両への連携・信号機情報との連携行うことでの改善が考えられる。

【検証概要】

表 79 離合制御区間における検証概要

項目	内容
自動走行達成率	離合制御区間における自動走行モードでの走行距離/離合制御区間走行距離
データ取得対象走行	1月20日(火)～1月22日(木)の1号車・2号車
検証場所	白根通りにおける鶴ヶ峰自動車学校付近の公道
気候条件	晴天・曇天

【離合制御エリアにおける自動運転バスの走行ロジック】

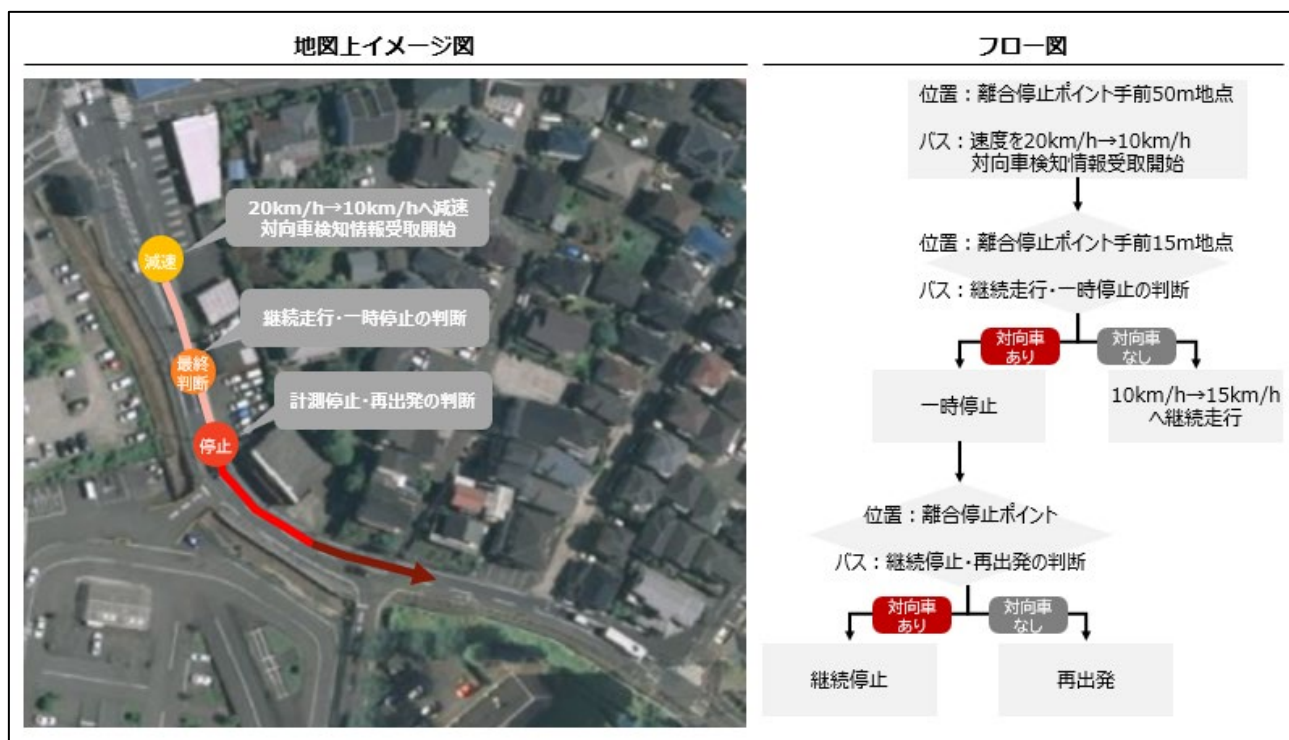


図 88 離合制御エリアにおいて自動運転バスが従うルール

b. 参考：検知精度①(実用性検証：シーン基準)

【結果】

対向車が画角内に入ってから出るまでを1シーンとし、その1シーンの間に対向車検知ができれば正解、できなければ不正解として総サンプル数の内の正解の割合を算出する。また、カメラ画角内に対向車の輪郭すべてが入ったところを1フレーム目とし、車両としてAI検出できるまでに必要となったフレーム数も測定した。

結果として、正解率は100%となった。そのため、対向車を見過ごすことはなかったといえる。また、検出所要フレーム数は平均値が2.33フレームであった。1フレーム目で検出することが理想であるところ、全130フレームのうちのおよそ14.5%のシーンにおいては、1フレーム目での対向車未検出であった。

表 80 離合制御エリアにおける検知精度に係る検証結果

項目	内容
正解率	100%
検出所要フレーム数平均	2.33 フレーム
1 フレーム目未検出サンプル割合	14.5%

【考察】

今回の対向車検知 AI には 10fps で映像データを読み込ませているため、2.33 フレームで対向車検知する場合、AI の対向車検知処理自体に所要する時間はおよそ24ミリ秒である。対向車が検知領域に進入してから、検知情報が車両に連携されるまでのおよその目標時間を NW 伝送や情報連携も含んで1.5秒と設定したところ、そのうちの24ミリ秒は路車協調システムのプロセスの一部として、ほとんどのシーンについては実用に適うスピードで検知できていたといえる。

【検証概要】

表 81 離合制御エリアにおける検知精度に係る検証概要

項目	内容
サンプル数	130 シーン
サンプル取得日	2026 年 1 月 14 日、1 月 18 日

c. 参考:検知精度②(解像度最適設計検証:フレーム基準)

【結果】

本検証で稼働させた両方の AI モデル(DETR と YOLO)の対向車検知アプリにおいて、解像度条件(VGA / FHD)と気候条件(日中 / 夜間 / 雨天)における適合率、および再現率の比較評価を実施した。結果、FHD 映像での検知は VGA 映像での検知よりも全データセットの条件で高い適合率・再現率を示した。特に夜間においては、FHD 映像の検知精度は気候条件が雨天であったにも関わらず、晴天時の VGA 映像の検知精度との差が顕著であった。また、夜間(・雨天時)は日中と比較して精度が低下することを確認した。

表 82 解像度条件・気候条件・AI モデル・検知率分類別の検知精度結果

解像度条件	VGA(解像度低)								FHD(解像度高)							
	日中・晴天				夜間				日中・晴天				夜間・雨天			
気候条件	DETR		YOLO		DETR		YOLO		DETR		YOLO		DETR		YOLO	
AI モデル (参考)	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE
検知率分類	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE	PR	RE
結果(%)	75.4	82.1	22.6	64.9	56.4	76.0	17.9	58.0	74.7	93.2	41.1	85.6	64.8	91.5	16.4	76.8

※PR は Precision の略で適合率、RE は Recall の略で再現率を意味する。

【考察】

・成果

実際の道路灯取得映像を用いた、解像度条件の違い、天候・照度条件の違いによる AI 検知精度の定量数値の比較結果を得られた。条件ごとの差は表 82 に記載の通り、FHD の場合の方が検知精度が高い・晴天である場合の方が検知精度が高いという結果となった。

・課題と今後の方向性

コスト最適なシステム設計を模索する中で、社会実装には FHD での映像伝送が必要であることが分かった。

【検証概要】

実際の道路灯のカメラから取得された映像から 4 つの環境別に種々のフレームを無作為に抽出し、検知精度評価用のデータセットを作成した。クラウド側とエッジ側の対向車検知 AI に対して本データセットを入力情報として、IoU を 0.5 に設定して適合率と再現率を算出し、評価した。各評価用データセットのフレーム数は下記表 83 に記載のとおりであり、フレーム全体に対する車両検出を行った。

クラウド側、エッジ側でそれぞれ評価に使用した AI モデルは RT-DETRv3(Finetuning あり・重複排除の後処理なし)、YOLOX-Tiny(Finetuning なし・重複排除の後処理あり)である。

表 83 各 AI モデルの稼働環境・特徴

AI モデル	RT-DETRv3-R18 ベース	yolox-tiny
分析場所	クラウド側	エッジ側
推論入力 fps	10fps	15fps
AI 稼働環境	MEC 上 CPU(Intel Xeon Processor (Skylake) 32 コア)	GPU 搭載エッジ PC (jetson)
特徴	<ul style="list-style-type: none">・学習コストが高い・複雑な背景や照度変動へのロバスト性が比較的高い・処理が重く比較的遅い	<ul style="list-style-type: none">- 学習コストが低い- 小さい車両の検出がしにくい- 処理が軽く高速

d. 参考：電波強度

2026 年 1 月 22 日に 5 分程度道路灯を設置したポイントで電波強度について測定機にて測定した。
※実際に離合制御に活用している映像送信のために使用しているルータとは別の測定端末を使用。

今回の実証ではキャリアネットワークとしてドコモのみ使用している。この地点では LTE のみと接続し、4 つの周波数帯が使用可能であった。離合制御に活用している映像送信のために使用しているルータにおいて、5G/LTE を使用した場合通信が安定しなかったため、LTE のみ接続する設定にして運用とした。ルータの仕様上、実際にどの周波数帯を使用していたかは確認できなかったが、全体の平均 RSRP は-101.4dBm、平均 RSRQ は-10.6dB とやや低めで品質が悪く混雑や干渉があるものの、

実運用上は大きな問題のないレベルと考えられる。

表 84 離合制御ポイントにおける RSRP

BAND	平均値	最大値	最小値
Band 1 (2.1GHz)	-103.0	-101	-106
Band 3 (1.8GHz)	-99.1	-97	-106
Band 19 (800MHz)	-101.2	-92	-108
Band 21 (1.5GHz)	-103.8	-99	-107

表 85 離合制御ポイントにおける RSRQ

BAND	平均値	最大値	最小値
Band 1 (2.1GHz)	-10.5	-9	-12
Band 3 (1.8GHz)	-9.9	-8	-14
Band 19 (800MHz)	-10.7	-8	-13
Band 21 (1.5GHz)	-11.5	-9	-13

e. 参考:遅延時間

【結果】

1/14,1/20,1/21 に測定を行った 22 個の測定データによる解析結果を以下に示す。

表 86 遅延時間の計測結果

所要時間 (単位: 秒)	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差
起点~自動運転システムが受信するまで(E2E)	2.054	2.117	1.417	2.468	0.25
① 起点~AI アプリが映像受信するまで (Upstream)	1.838	1.94	1.273	2.244	0.285
② AI 検知処理にかかる時間	0.126	0.103	0.095	0.373	0.068
③ 物標情報生成後自動運転システムに連携するまで (Downstream)	0.089	0.011	0.007	1.025	0.216

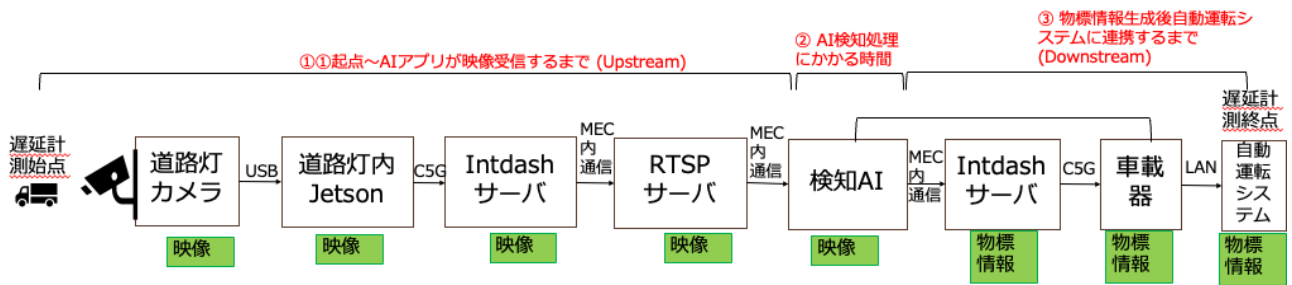


図 89 遅延時間の分解

【考察】

下表に各測定値を示す。エンドツーエンド延(平均 2.054 秒)のうち、約 89.5%(1.838 秒)が「カメラから検知 AI サーバが映像を受信するまでの区間」で発生している。これは映像エンコード、バッファリング、無線レイヤを含む伝送処理、および RTSP 配信に起因するものと推測される。0-5 回目のデータは 1/21 の 10 時 40 分頃に測定、5-21 個目のデータは 1/20 の 13 時 40 分頃に測定したものである。自動運転バスが離合制御箇所にあるときや別のルートを走行しているものが混在しており、自動運転バスの位置による連携速度の違いは評価できなかった。1/21 の方が①区間の所要時間が大きい原因は、日による LTE の伝送速度の揺れや現地で測定した PC の NTP との同期のズレなどが影響したためと考えられる。今回の実証では単一の AI を使用しているが、遠隔監視における監視画面作成の容易さや車両データの収集基盤と同じ基盤を使うことのコスト圧縮効果や、今後のユースケース拡大も見据えてデータ伝送 Hub である intdash や RTSP サーバによる映像連携を行う構成としている。このうち特に RTSP サーバによる連携にかかる時間が多くなっていると考えられ、今後この部分のロジック見直しや別技術の採用が改善のためには必要である。

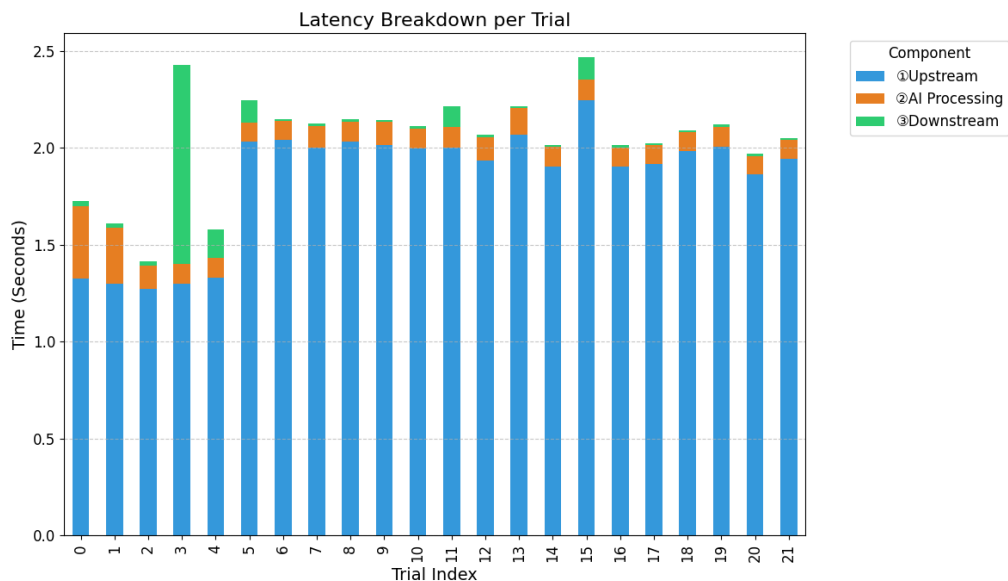


図 90 遅延時間可視化グラフ

AI 解析処理時間(平均 126ms)と車両への配信時間(平均 89ms)の合計は、平均約 215ms であった。AI 解析処理時間は最小値で 95ms を記録した。解析モデル単体では今回使用しているファイルフォーマット(rc-016)による物標情報連携の 100ms 周期の配信に極めて近いパフォーマンスを発揮していることが確認された。車両への配信時間の最小値に関しては車載器から自動運転システムに対し MQTT によって 100ms 周期でファイル生成・送信している。この配信周期のタイミングが最小になるタイミングで車載器がサーバから物標情報を受信した為であると考えられる。NTP 同期による誤差も考えられる。物標情報連携は ITS フォーラムで策定されている「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(ITS FORUM RC-016 1.0 版)」に即し 100ms 周期で行っている。そのためその周期での情報連携を実施するためには伝送される映像フレームの更新頻度、AI 解析処理時間、物標情報の伝送にかかる時間がそれぞれ 100ms 以下である必要がある。映像のフレームは 15FPS で連携されており、66ms 周期となり 100ms 以下である。今回計測した範囲での物標情報伝送にかかる時間の中央値は 11ms、平均値 89ms であり 100ms 以下である。今回計測した範囲での AI 解析処理時間の中央値は 103ms、最小値は 95ms であり定性的に見ても検知結果表示が時間経過とともに遅延している様子は確認できなかったことから 100ms 以下の水準に達していると考えられ、今回使用した AI 解析システムが 100ms 周期の物標情報配信システムとして妥当なことを示している。全試行のうち、1 件において下り配信に 1.025 秒の遅延が確認された。この試行の際、ネットワーク品質が悪い箇所を走行したことにより、TCP 再送制御等のネットワーク揺らぎが発生したためと考えられるが、それ以外の試行では中央値 11ms と非常に安定しており、intdash および MQTT による配信基盤の信頼性は概ね高いと判断した。

【検証概要】

まず起点時間については、手元のカメラで、ミリ秒表示デジタル時計と対向車を同フレーム内に収めて撮影することで記録する。具体的には、その撮影した映像内で、対向車が所定のラインを超えた瞬間を起点時間とする。

次に終点時間については、対向車検知 AI アプリで生成された物標情報(起点時間で撮影した車両とは物標情報内の一部項目で紐づけ)を、自動運転システムが受信した時間とする。

この際各システム、端末では同一の NTP サーバと時刻同期させた。



図 91 離合制御における遅延計測イメージ(左が現地の時間、右が AI で検知した時刻)

参考: 検知範囲内進入進入時間を起点として、①対向車検知AIアプリが検知結果を出すまでの

時間、②車両側の intdash サーバに連携するまでの時間、③車載器T1 に連携するまでの時間についても算出する。

(2) 車列回避ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率 90%以上

f. 自動走行達成率

【結果】

自動走行達成率:100%

【考察】

・成果

本実証経路上でのレベル4 走行実装に向けた課題であり、かつ本KPIでの検証目的である「車列回避を要する道路環境での安全かつ円滑な自動走行の実現」に向けては、自動走行達成率が100%であることより、自動運転バスの社会実装に資する成果が得られた。

・課題

前方車両の回避行動には車列最後尾から 40~50m 程度を要するため、より認知・判断・挙動に柔軟性とスピードが求められる「路駐車回避」を見据えた場合には、自動運転システムの改良が必要になると考えられる。

【検証概要】

- ・シナリオ作出方法:自動運転バス車内の指示役、出庫車役で連携を取り、自動運転バスの動きに対して必要なシナリオごとに出庫車を出現させる。
- ・想定シナリオに基づく検証パターンは、表 87 の通りである。
- ・電波強度は、平均-80dBm 程度であり、良好な電波環境であった。

表 87 出庫車の想定 検証パターン

シナリオ		出庫車	入庫車列			
A0	バス停車なし	バス判断ライン通過後 1 台進入	1 台	なし		
A1		バス判断ライン通過後 1 台進入	1 台	4 台		
B	停車→再出発	バス判断ライン通過前 1 台進入	右折	バス再出発後 1 台進入	2 台	4 台
C			左折	バス再出発後 1 台進入	2 台	4 台

表 88 車列回避区間における時間ベースでの自動走行達成率

1/20(火)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	11回目	平均
時間	14:28	15:00	15:15	15:28	15:36	16:02	16:19	16:37	16:45	16:53	17:11	
パターン	B	A1	C	B	B	C	B	A1	B	A0	A0	
平均(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

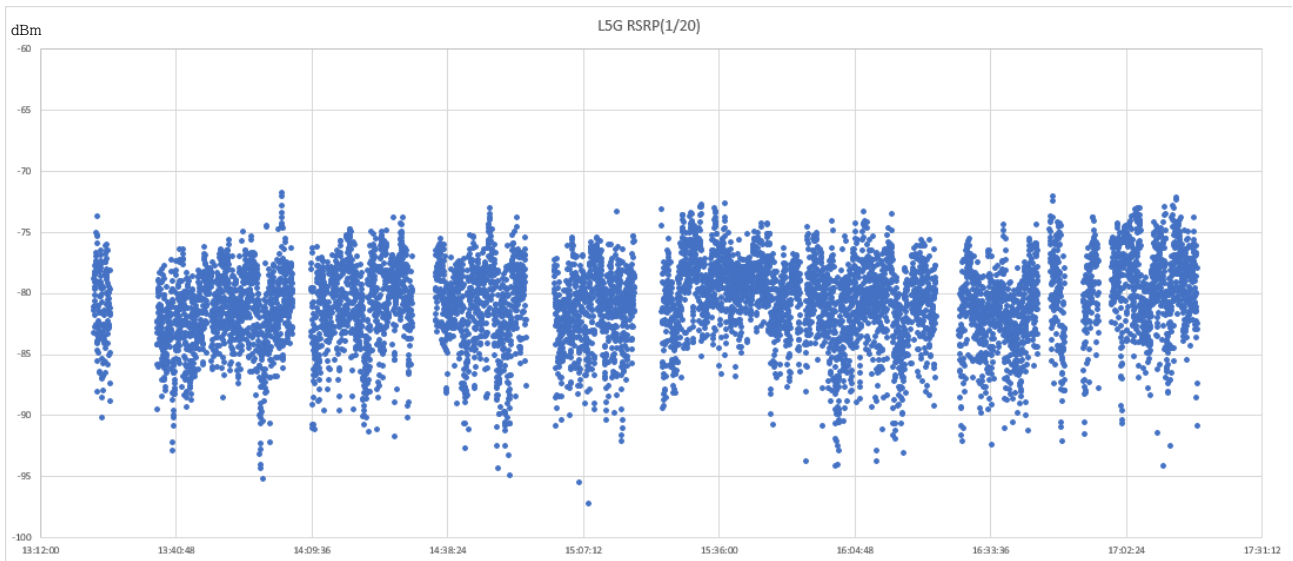


図 92 1月20日における電波強度

【自動運転バスの走行ロジック】

地図上イメージ図



フロー図

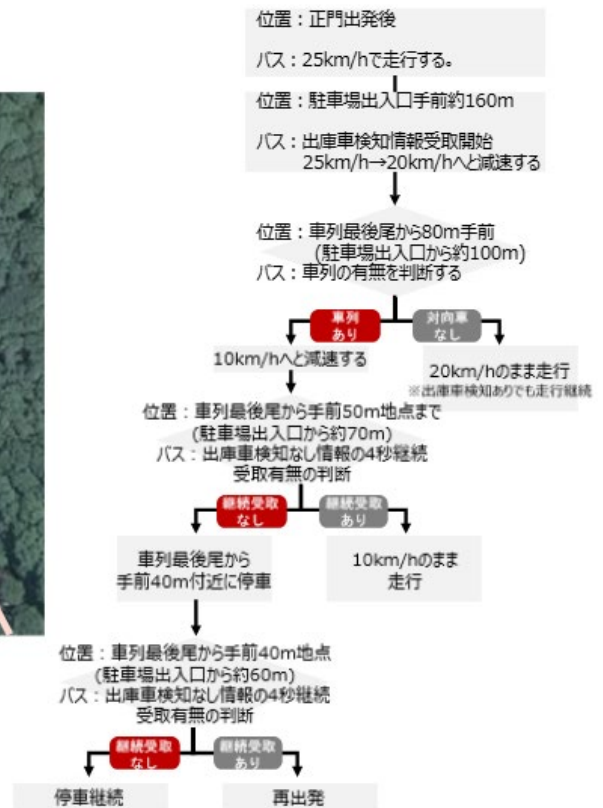


図 93 車列回避エリアにおいて自動運転バスが従うルール

g. 参考：検知精度

【結果】

正解率 90%(対象サンプル数 10)

【考察】

日没後の 1 走行で出庫車が検知されなかった。今回、車列回避の際に使用した物体検知 AI は先進モビリティ社の車両内でも使用している物体検知アプリと同様のものでありカメラと LiDAR それぞれにおいて物体を検知した際に物標情報を生成する。検知されなかった日没後の 1 走行においてはカメラで物体検知するには照度が不足していたと考えられる。

【検証概要】

出庫車が画角内に入ってから出るまでを 1 シーンとし、その 1 シーンの間に出庫車検知をしていれば正解、していなければ不正解として総サンプル数の内の正解の割合を算出する。

表 89 車列回避の物体検知に係る検証概要

項目	内容
サンプル数	10 走行分
日時	2026 年 1 月 20 日
場所	よこはま動物園ズーラシア
気候	曇り

h. 参考:遅延時間

【結果】

映像送信端末までの連携遅延 300ms

RTP による伝送遅延 200ms

処理遅延 500ms

結果伝送遅延 150ms

NTP による誤差 100ms 程度が見込まれる

【考察】

・成果

遅延時間は、当初想定の 1.5 秒以内に収まった。

・課題と今後の方向性

現状の自動運転システムに合わせるため、また、より安全な走行、円滑な判断・制御を支援するために、フェーズごとに遅延時間の短縮化が必要である。

(3) LiDARの要求スループット(56Mbps)およびカメラの要求スループット(10Mbps)を継続的に確保できること。

車列回避における物標情報生成のため、カメラ映像と LiDAR から取得した情報を 10FPS で道路灯からクラウド上のサーバにローカル 5G を使用し送信している。そのトラフィックを 1 秒毎にキャプチャし十分なスループットを確保できていたか確認する。

表 90 車列回避におけるスループット測定に係る検証概要

日時	2026年1月17,18,20日の9-17時
場所	よこはま動物園ズーラシアの一般車駐車場出入口付近
気候	17日,18日晴天、20日曇り

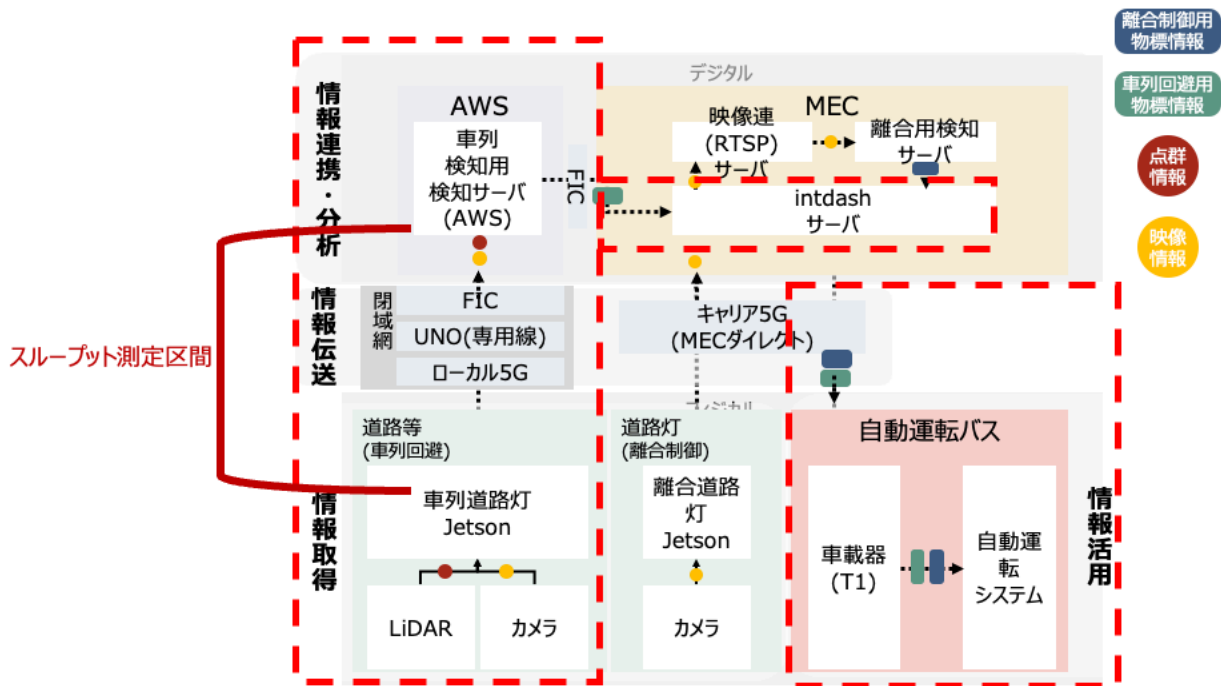


図 94 車列回避に関わるシステム構成図(赤枠部分)とスループット測定区間

【結果】

スループット計測値から算出した各種統計値を以下に示す。

表 91 映像・点群データのスループット計測値

	映像	点群
平均値	16.70 Mbps	58.15 Mbps
最大値	21.06 Mbps	67.81 Mbps
最小値	8.00 Mbps	20.97 Mbps
中央値	17.70 Mbps	58.24 Mbps
標準偏差	2.26 Mbps	0.59 Mbps
下位5%値	12.91 Mbps	57.28 Mbps

目標達成率 (映像 10Mbps, 点群 56Mbps を上回る時間率)	98.60%	99.64%
--	--------	--------

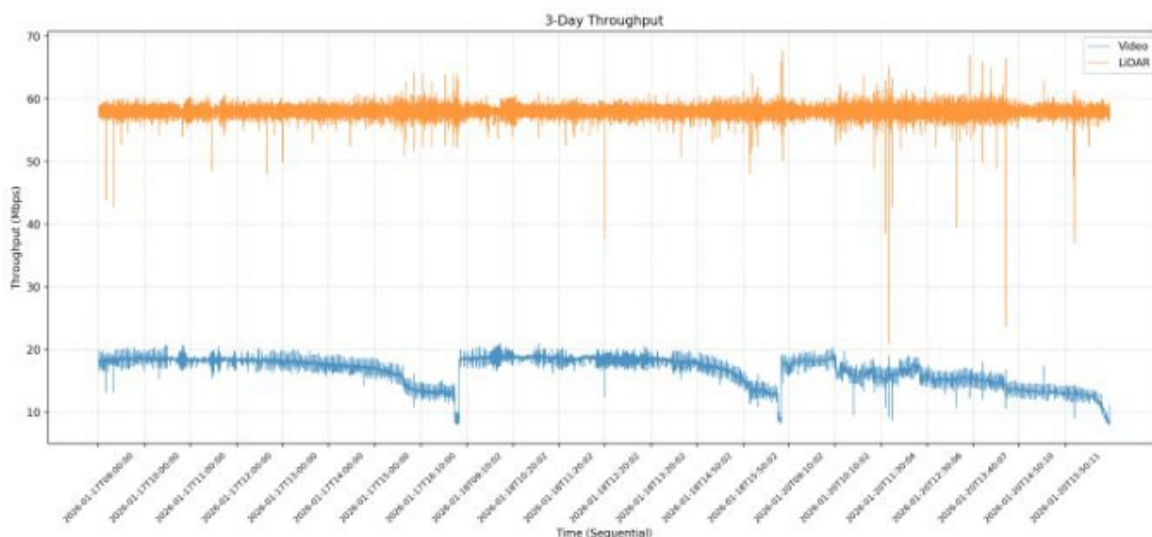


図 95 12/22 における車列回避道路灯からのデータ受信スループット

また、1/20 の 13:23-17:17 の L5G の RSRP についても、道路灯ふもにて計測端末にて計測した。

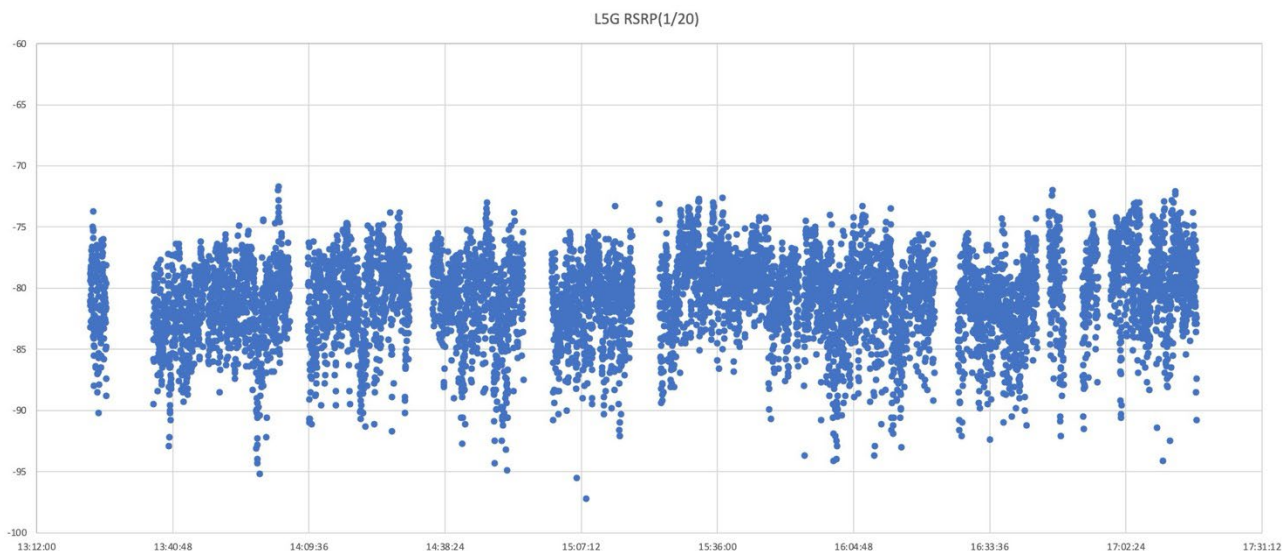


図 96 1/20 の 13:23-17:17 の L5G の RSRP

RSRP も平均-81dBm と問題ない電波強度であり、点群データも使用した LiDAR(AT128P)の仕様である 56Mbps を瞬間的なスパイクはあるが時間率で 99.64% で満たしており、非常に安定した伝送ができていることを確認できた。一方カメラに関しては平均値 16.70Mbps に対し標準偏差が 2.26Mbps とばらつきが大きい結果となった。目標の 10Mbps は使用するカメラのスループットを考慮して設定した値であったが、

実際の平均値は 10Mbps を超える 16.70Mbps となった。スループットの傾向を見るため日毎のスループットの 5 分移動平均の図を以下に示す。

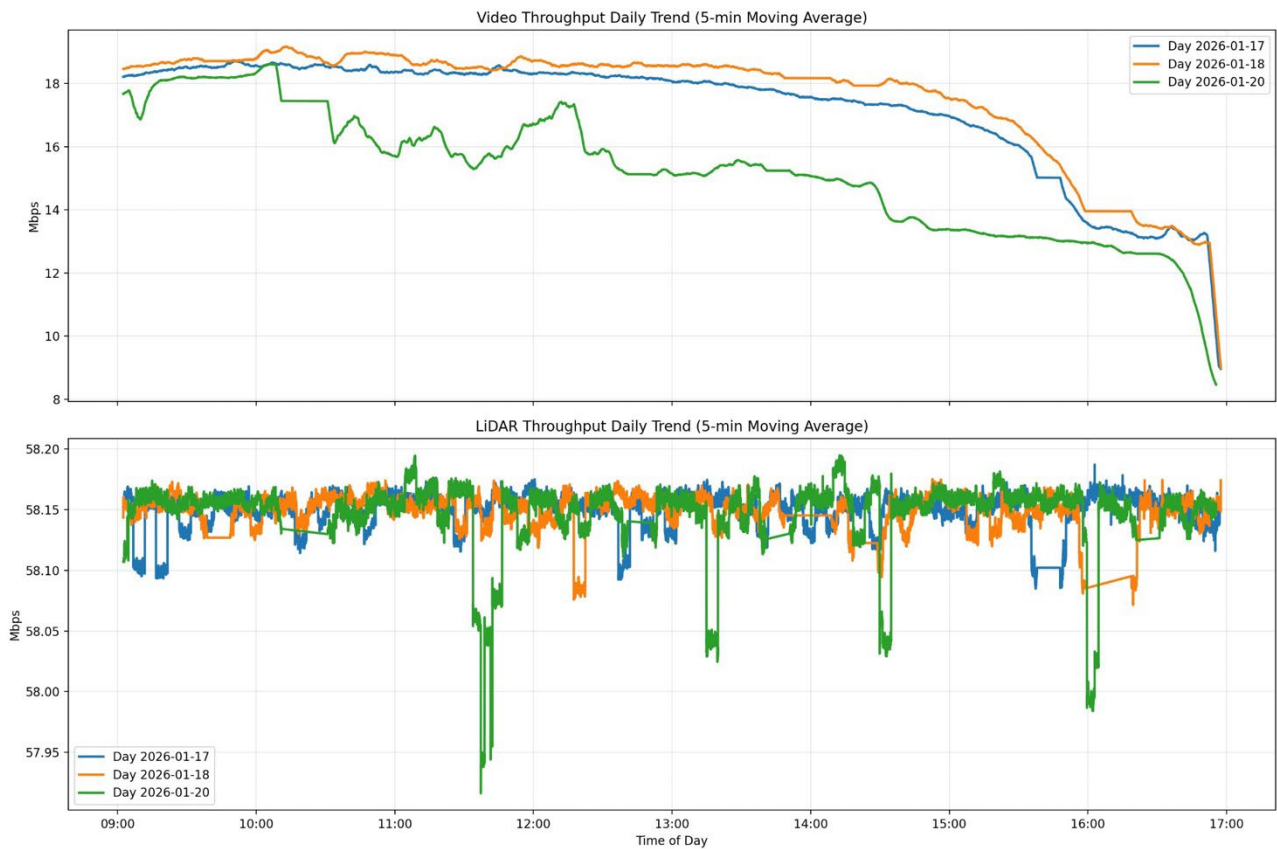
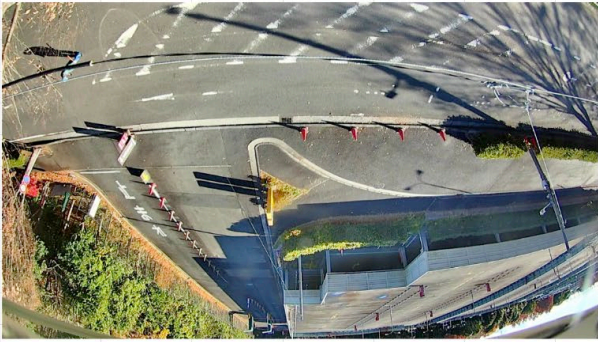


図 97 車列回避のための映像と点群のスループットの 5 分移動平均

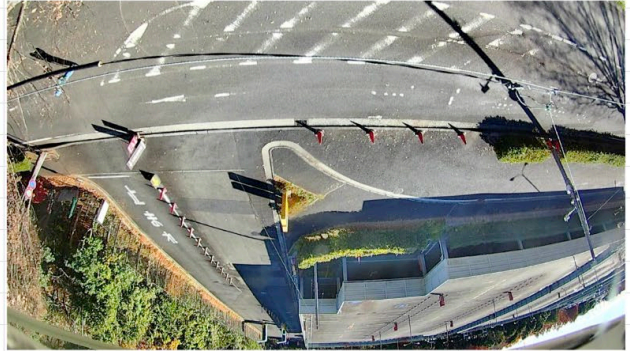
グラフから 14 時や 15 時を過ぎるとカメラのスループットが低下していることが改めて確認された。1/20 は 10 時過ぎからスループットの揺れが大きくなっていることから、時間帯による日照条件の変化に伴い可変ビットレートによりスループットが低下したと考えられる。以下は 2025 年 12 月 4 日に道路灯から送信した映像と送信スループットである。※映像は処理の都合上、上下が反転している。

9時



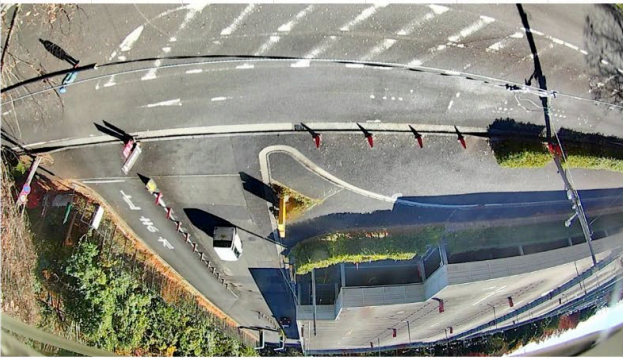
9時から1分間送信時の平均スループット：21.85Mbps

10時



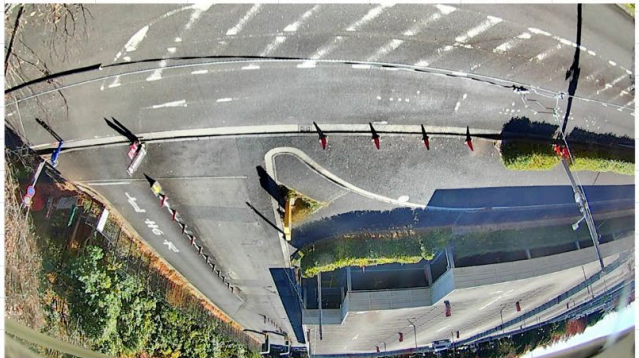
10時から1分間送信時の平均スループット：21.97Mbps

11時



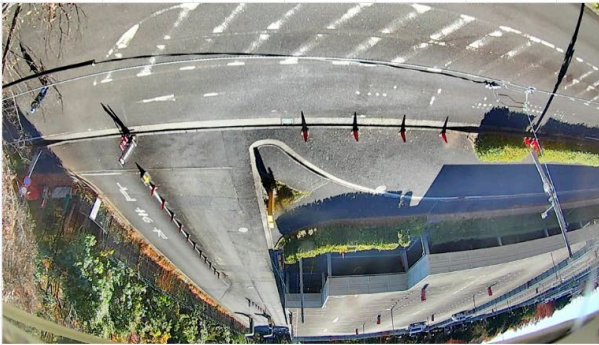
11時から1分間送信時の平均スループット：21.60Mbps

12時



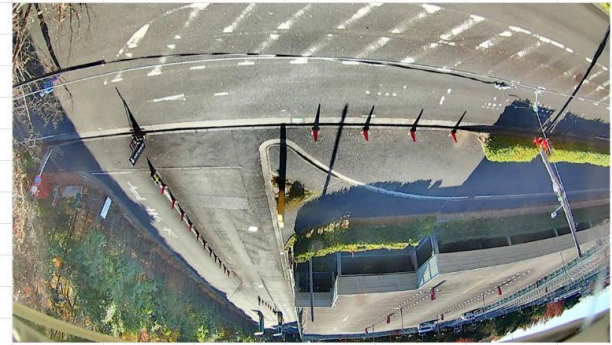
12時から1分間送信時の平均スループット：21.37Mbps

13時



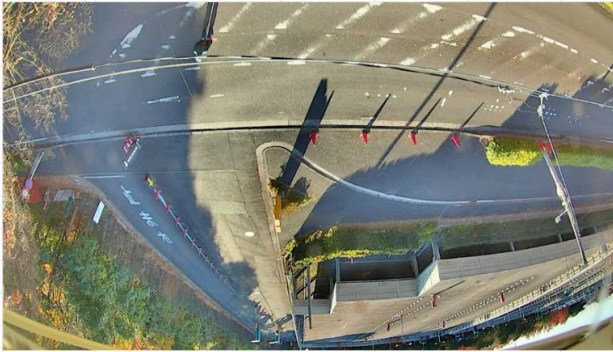
13時から1分間送信時の平均スループット：21.16Mbps

14時



14時から1分間送信時の平均スループット：20.26Mbps

15時

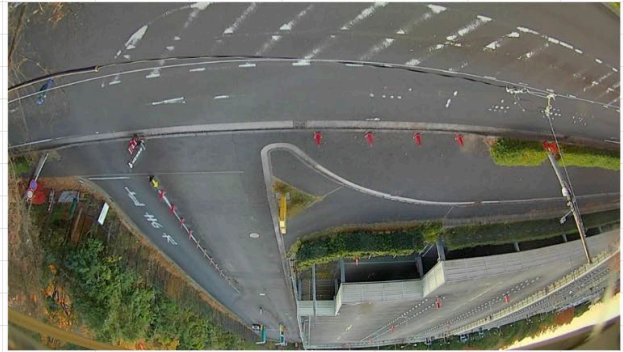


15時から1分間送信時の平均スループット：18.85Mbps

14時までの映像と比較して少し黄ばみがあった映像

日陰の領域が拡大

16時



16時から1分間送信時の平均スループット：14.90Mbps

全体的に薄暗い映像

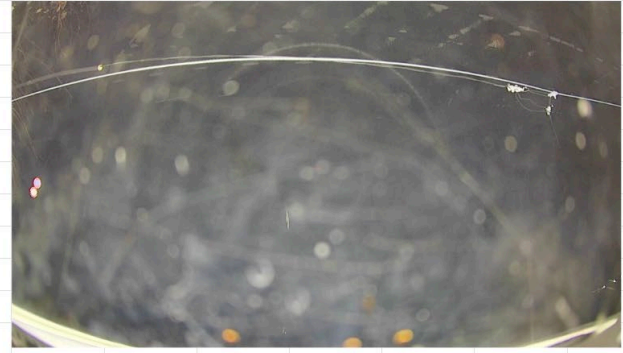
17時



17時から1分間送信時の平均スループット：7.40Mbps

照明点灯、蜘蛛の巣により全体的に暗い映像

18時



18時から1分間送信時の平均スループット：7.39Mbps

照明点灯、蜘蛛の巣により全体的に暗い映像

平均送信スループット

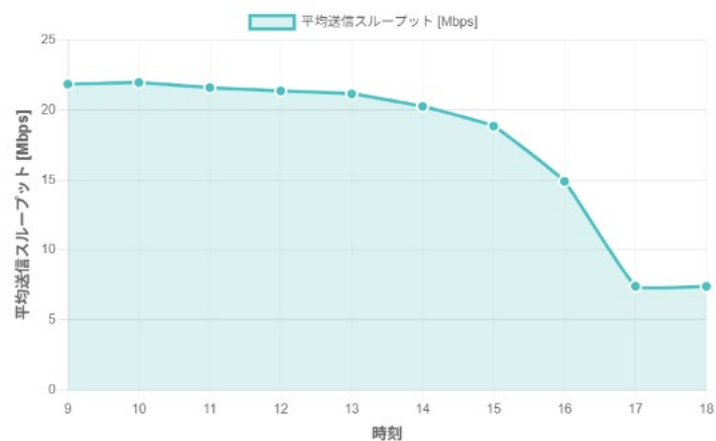


図 98 12/4 の車列回避のための映像スループット

■上記原因についての考察

15 時以降は路面の日陰領域が拡大し、16 時以降は画面全体の照度が低下していた。さらに 17 時以降は照明が点灯するほど暗い環境であることを確認した。これにより午後の画像は午前中の画像と比較して、画像中

の高周波成分(エッジや細やかな輝度変化)が減少すると考えられる。JPEG 圧縮では、これらの高周波成分の量が圧縮後データ量に影響するため、画像中の高周波成分が減少した場合、1 フレームあたりの JPEG データサイズが小さくなり、結果として送信スループットが低下する可能性がある。そこで画像中の高周波成分量を定量的に評価する指標として、下図に示すラプラシアン分散を算出する。これにより、午後以降に画像の高周波成分が減少しているかを定量的に評価し、JPEG 圧縮後のデータ量低下との関係性を検証する。上記で示した、1 時間ごとの道路灯映像のラプラシアン分散の大きさ(画像の中に急激な色変化がどれだけ含まれているか)を計算した結果を示す。結果として 9 時～13 時までは同程度の大きさであるが、14 時以降右肩下がり小さくなり、夕方にかけて画像中の高周波成分が減少していることが確認できる。これにより、画像内の高周波成分(エッジや輝度の変化)が減少したことが原因で、JPEG の圧縮効率が上がり jpeg データ量が減少したため、道路灯からの送信スループットも低下したと推察する。

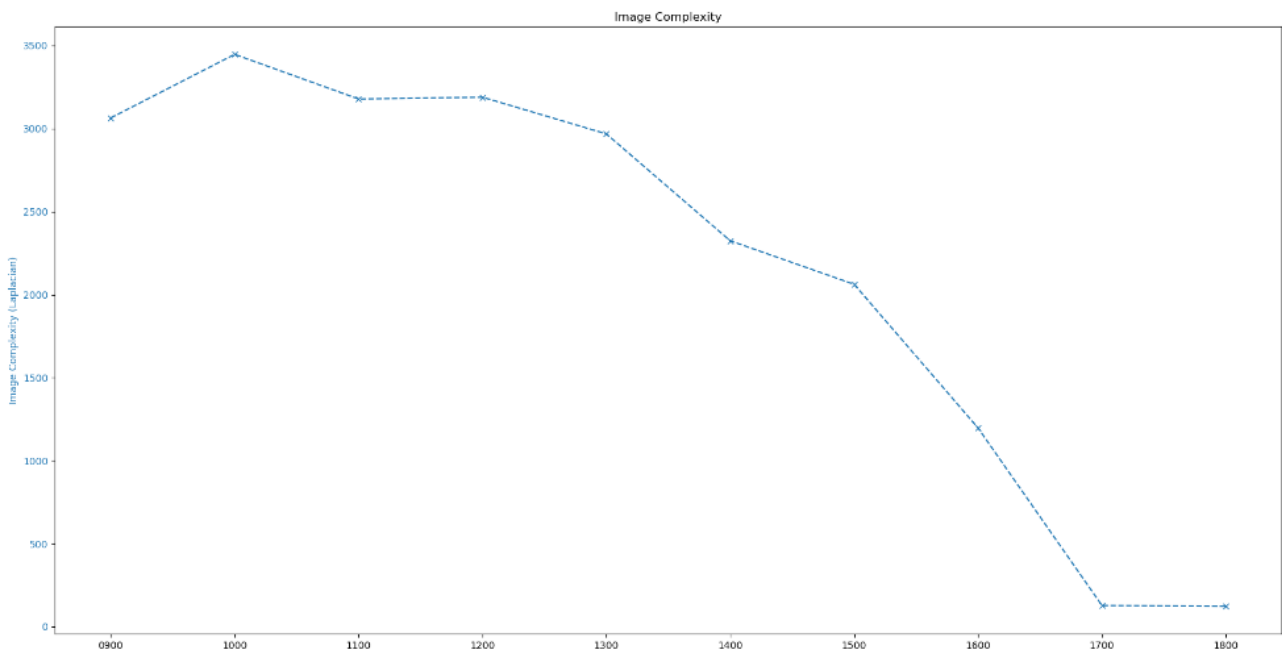


図 99 1 時間ごとの道路灯映像のラプラシアン分散の大きさ

スループットの値が 1 月に取得したデータよりも全体的に高いのは、12 月 4 日の場合と送信の仕方が異なっていたためである。12 月 4 日は道路灯内の Jetson にてエンコードしたうえで送信していたため、カメラデバイス(正確には変換アダプタ)からの MJPEG をそのまま送った 1 月のデータと比べて差が出ていた。しかしどちらも JPEG 圧縮されることには変わりなく、画像中の高周波成分によってスループットが変化する性質は同様と思われる。目標値を設定した際は室内におけるスループットを参考に目標値 10Mbps としたが、屋外の晴天時ではスループットが平均値 16Mbps 程度と多くなっていた。

また目標値を下回る形となった 17 時付近についても必要とするスループットが下がったことが原因であるため、実運用上は問題とはならない。つまり、車列回避のための映像と点群のスループットの 5 分移動平均の図(※図 100 L5G 連続スループット試験におけるスループット、レイテンシ、パケットロスのグラフ)におい

て、時間とともにスループットが下がっていた原因は画像圧縮の仕組みの影響でありネットワークとしては問題がなく、カメラデータが要求するスループットを確保できた時間率は 100%に近い値になると推察される。

結論:LiDAR およびカメラの要求スループットはそれぞれ 99.64%、98.60%で達成し実用上問題ない性能を確認した。

(4) 連続して 15 分間のスループット試験を実施し、スループットの実測値が要求スループット (66Mbps)を上回る時間が 99%以上

【結果】

ネットワーク通信料やアプリ仕様履歴を収集・記録する SRU を収容している交換機ネットワークに設置した iPerf サーバと L5G 端末間の、ほぼ無線区間のスループットを、UDP80Mbps を要求する水準にて iPerf で 15 分間測定した。L5G-TypeD における通信帯域の性能の評価を行った。

■検証概要

日時:2025 年 12 月 25 日 2026 年 1 月 15 日

場所:よこはま動物園ズーラシアの一般車駐車場出入口付近

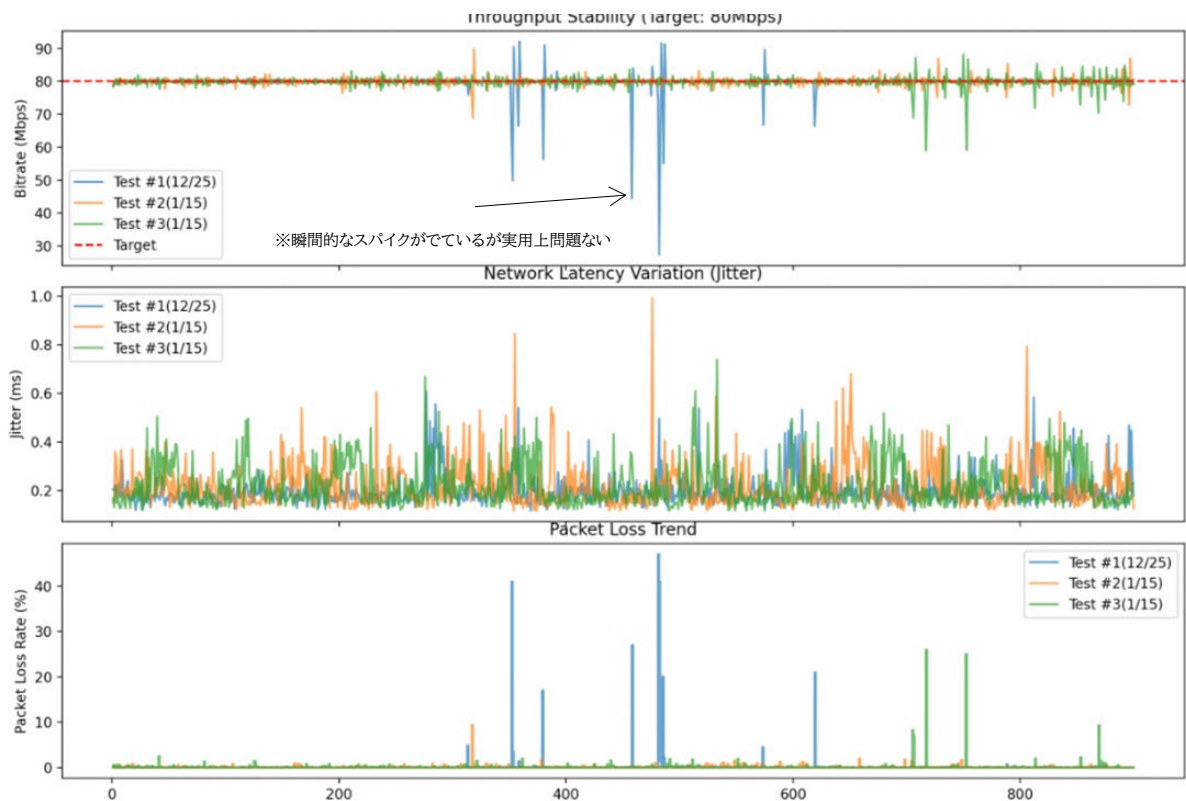


図 100 L5G 連続スループット試験におけるスループット、レイテンシ、パケットロスのグラフ

表 92 L5G 連続スループット測定試験統計表

統計値	66Mbps を上回る時間率	平均ビットレート	最大 jitter	Total Loss (%)
Test #1(12/25)	99.2%	79.77 Mbps	0.608	0.281767
Test #2(1/15)	100%	79.91 Mbps	0.992	0.102330
Test #3(1/15)	99.7%	79.85 Mbps	0.738	0.178125

今回は要求スループットである 66Mbps を上回る 80Mbps を目標値として設定し、スループット測定を実施した。図 100 および表 92 のとおり、目標の 80Mbps に対し、瞬間的なロスを除けば、定常状態では 79.5～80.5 Mbps の極めて安定した帯域確保ができています。トータルロスについても 0.3%以下となっており、ストリーミング配信には十分な性能を有すると評価できる。

本検証によって、ローカル 5G の活用により自動運転に必要な不可欠な LiDAR の点群情報、カメラの映像情報等の大容量データの安定通信が可能であることが明らかとなった。

(5) 大型バス運転経験のある評価者から、安全性・走行品質に対する主観評価および、課題や改善点を取得する。

本項で記載するアンケート結果は本調査のみを対象とした集計値であるが、評価者のコメントについては、内容の補完を目的に一部予備調査での回答も引用している。

1. 離合制御挙動の評価

A. 安全性評価

(要約)

本実証では、路側インフラによる制御作動中の手動介入は発生せず、確実な停止動作が評価された。一方で、大型バス同士の離合時にカーブ入口で斜行停止し、対向車の内輪差を考慮したスペースを確保できず自車が先行せざるを得ない事例も確認された。今後は、停止位置の最適化に加え、運転士が離合の判断基準とする車両サイズや走行軌跡等の要素を、検討項目として取り入れる余地があることが示唆された。

本調査およびアンケート収集期間において、路側インフラによる車両制御の作動中、手動介入(ブレーキ、ハンドル、アクセル操作)は一度も発生しなかった。また、離合区間における対向車検知後の停止動作については、離合ポイントで確実に停止した点が評価された。一方で、より安全な離合の実現に向けては、道路線形や対向車の状況に応じた制御など、考慮すべき事項が抽出された。

具体的な事例として、路線バスとの離合が発生した際、本実証における自車の停止位置がカーブの入り口(曲線導入部)にかかり、車体が斜行した状態で停止したケースが挙げられる。この状態では、大型の対向車が通過する際の内輪差による張り出しを考慮すると、十分な走行スペースを確保しきれない。

そのため、自車の停止状態では相手車両の通過が困難となり、対向車側の停止を確認した上で、自車が先行せざるを得ない事象が発生した。こうした状況では、本実証の停止位置よりも「15～20m 手前の[カーブ進入前の直線区間]において停止することが望ましい」との意見が挙げられた。

上記の例に加え、評価対象者からは、狭隘道路における離合の際、運転士は自車および対向車のサイズに加え、速度、走行軌跡、道路形状、具体的な離合方法などを考慮し、離合判断を行っていることが明らかとなった。今後は、停止位置の最適化に加え、これらの要素を検討項目として取り入れる余地があることが示唆された。

本検証における発進動作については、路側インフラから提供される物標情報に基づき、運転士が走行再開ボタンを押下する運用とした。通常は、物標情報により対向車の検知が解除された後に走行を再開するが、例外として、対向車が停止し「道を譲られた」際などは、この手順に依らない場面も見受けられた。具体的には、対向の路線バスが接近・停止した際、運転士が周囲の安全を確認した上で対向車側に合図を送り、走行再開ボタンを押下して離合を完了させる場面が確認された。

こうした発進のトリガーを物標情報に依存する運用は、安全確保の観点からは有効であった。しかし、狭隘な離合区間における譲り合いや先行といった「暗黙の交通マナー」を考慮すると、こうした対向車との「非言語的なコミュニケーション」をいかに代替・補完するかといった点が、今後の検討事項として指摘された。

また、再発進時の挙動について、再発進後に低速のまま緩やかに動き出す挙動は手動運転と異なる部分であり、後続車に「バス停での停車」という誤認を与え、追い越しを誘発する懸念がある。そのため、周囲の交通参加者にとっても予測しやすい挙動を示すなど、「他車への配慮」を組み込んだ速度制御が望ましいとの意見も挙げられた。

B. 走行品質評価

(要約)

一定の停止挙動は「新人以上の安定感」と評価されたが、社会実装に向けて必要となる「ベテラン運転士」の領域(対向車や走行状況に応じた「柔軟な制動」が可能)には至っていないとの見解が示された。

検知後のブレーキが自然であり、常に一定のタイミングおよび位置で停止できている点が評価された。実際の大型バス運転士と比較した場合、新人運転士は制動タイミングにばらつきが生じやすい傾向にあるが、本車両は「止まるべきところで確実に停止できおり、新人よりも安定している」と肯定的に評価された。これにより、基本的な走行品質においては、新人レベル(2名/4名中)または、一般的な運転士と同等(2名/4名中)の水準に達していることが確認された。

加速性能については自然な挙動である一方、減速時の初期制動(踏み込み)が強く感じられる点が指摘された。また、ベテラン運転士は車内状況や周囲の環境に合わせ、制動の微調整を意図的に行うことが可能である。現状のシステムは、こうしたベテラン運転士の配慮に基づいた制御には至っておらず、改善の余地があるとされた。

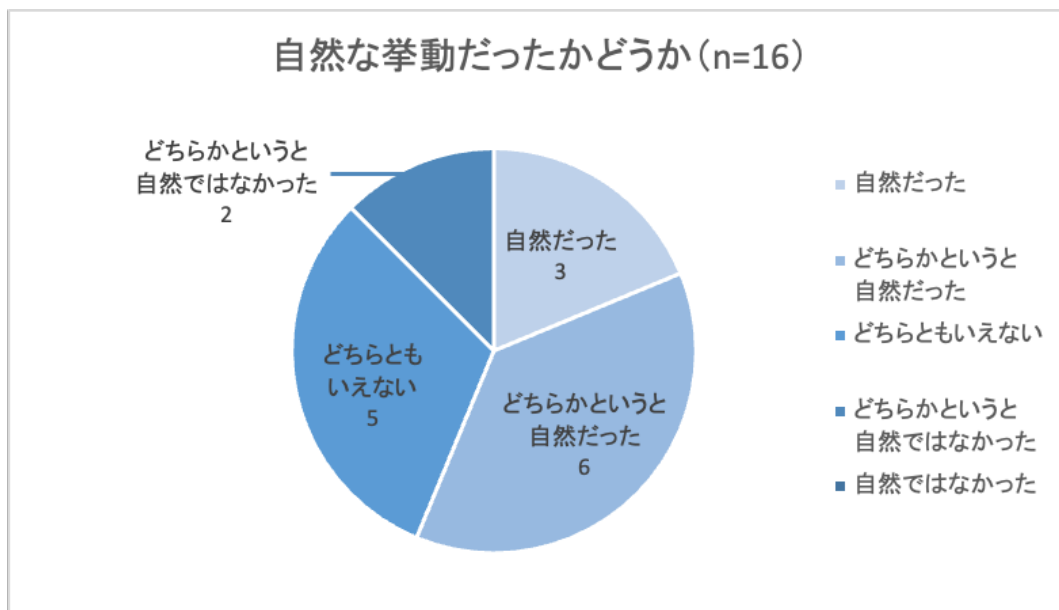


図 101 挙動の自然さ評価結果(n=16)

路側インフラによる死角検知は安全に寄与すると評価された。一方、対向車を目視できない位置での停止は不安も招くため、停止意図の可視化や対象の距離や速度に応じた柔軟な判断など、不安解消や円滑な走行に向けた制御の高度化を求める声も挙げられた。

本実証環境下において、路側インフラによる物標情報の取得により、目視困難な死角に位置する車両を検知し、警戒すべき地点で欠かさず適切な停止制御が行われた。安全確保において優先されるべき「警戒ポイントでの確実な停止」が、すべての走行において安定して遂行された点が安全な走行に役立つとして高く評価された。

一方で、システムが対向車を検知して停止した直後に、対向車が右折して離合が発生しなかった事例では、運転士に「肩透かしにあったような感覚」や、停止の意図が不明瞭であることへの戸惑いが生じることが確認された。「対向車が視認できない状況での停止」は不安材料にもなり得るため、停止に至る前の段階で「何 m 先に車両が接近しているか」や「対向車の進入スピード」などの情報を事前に提示してほしいという意見が挙げられた。

また、対向車との離合の場面においても、単なる物標検知による一律の停止制御にとどまらず、より柔軟な判断を求める声がある。例えば、「対向車が勢いよく進入してきた場合は停止し、逆に相手が控えめな挙動であれば先に行く」といった、相手の状況や速度に応じた「判断の幅」を設けるなど、円滑な走行に向けた制御の高度化を期待する指摘もなされた。

2. 車列回避挙動の評価

A. 安全性評価

(要約)

車列や出庫車両との安全な間隔が確保されており、停止や発進のタイミングは概ね適切である。路側

インフラによる物標情報の取得によって、目視できない死角の車両の認知に役立ったが、出庫車両検知時の急制動(急ブレーキ)は安全性に課題がある。

出庫車両検知後の停止のタイミングについては、先行車列との距離感や、車列回避時に安全なハンドル操作が可能な間隔が確保されており、全 9 回答中 7 回答において「ちょうどいい」と評価された(図 102 参照)。「少し速い」との評価については、運転手視点で出庫車両が視認できない状況で停止していることや、手動運転と比較して手前で停止していることが理由として挙げられた。これらに対しては、「出庫車両の存在が事前に把握できれば許容可能である」との意見や、「急制動(急ブレーキ)を回避するための早期停止であれば容認できる」とする見解が示された。一方で、停止位置が過度に手前となることで、後続車両による追い越しを誘発し、新たな危険が生じる可能性も指摘されている。

発進タイミングについては、9 回答中全てで「ちょうどいい」と評価された。(図 103 参照)具体的な評価内容として、「対向車両の通過を確認した後に走行を開始している点や、対向車両が自動運転バスの真横に達する直前(斜め前方付近)のタイミングで発進を開始している点が、運転手による操作と似た感覚である」と評価された。

また、本実証環境下において、路側インフラによる物標情報の取得により、目視できない死角の車両を検知できていた点が役立つと評価された。一方で、否定的な意見として、車両検知による急制動(急ブレーキ)の発生が指摘されている。たとえ乗客が全員着席している状況であっても、小児や高齢者が椅子から転倒する恐れがあるレベルの衝撃であり、安全性に懸念が示されている。これに対し、検知後の制動開始を早め、より手前から緩やかに減速するなどの工夫が必要であると指摘された。

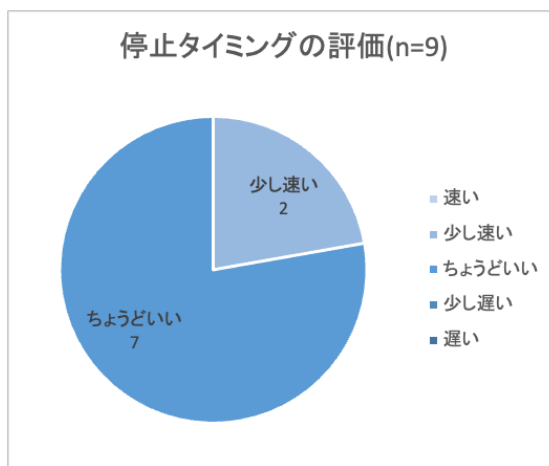


図 102 停止タイミングの評価結果(n=9)

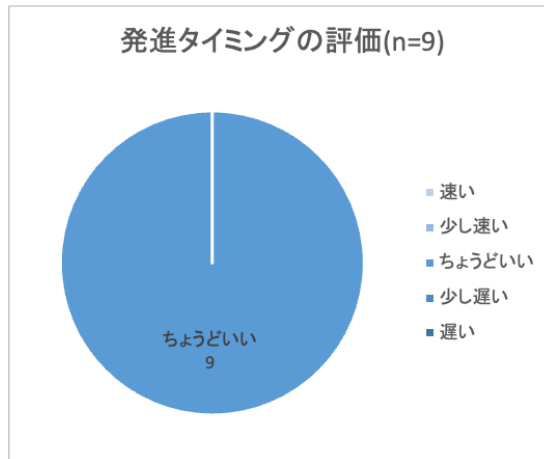


図 103 発進タイミングの評価結果(n=9)

B. 走行品質評価 (要約)

急制動(急ブレーキ)を除く一連の車列回避挙動については、「スムーズで自然である」と評価された。一方で、意図がわからない不自然な停止については乗客および周囲の交通参加者を困惑させる可能性が示唆された。

挙動の自然さについて、15 回答中 6 割において自然な挙動であるとの評価が得られた。特に車線変更や車列を回避する際のタイミング、および一連の加減速に対して「スムーズで自然である」と評価された。自車線への復帰動作も安定しており、前述した急制動(急ブレーキ)を除く基本動作については、実際の大型バス運転手と比較しても新人または一般の運転手と同等の水準にあり、乗客を乗せて走行可能な品質であると評価された。

一方で、検知した出庫車両が左折するなどして、停止したにもかかわらず出庫車両とのすれ違いが発生しなかった状況に対しては、不自然であると指摘された。手動運転であれば、出庫車両の進行方向が判明した瞬間に再発進するため、3~4 秒間の停止が、「なぜ止まっているのだろう」と乗客に困惑や違和感を与える要因となる。加えて、こうした不自然な停止は、後続車両による強引な追い越しを誘発するなど、周囲の車両の挙動に予期せぬ変化をもたらし、交通流の安全を阻害する可能性があることも指摘された。

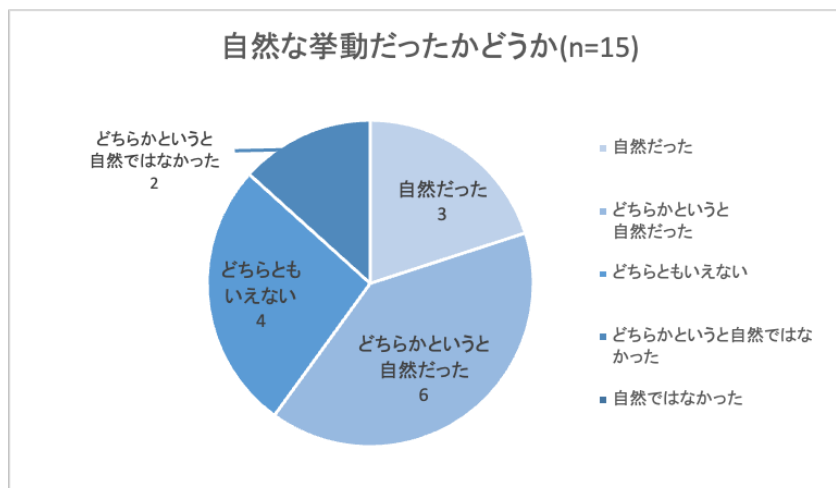


図 104 挙動の自然さ評価結果(n=15)

考察

本検証の結果、挙動の調整に加え、課題として「非言語コミュニケーション」の補完や路側システムによる「検知情報の可視化」、さらには対象の距離や速度に応じた「柔軟な判断」を求める意見が挙げられた。これらの結果に基づき、以下の3点について考察する。

1. 路車協調における検知範囲と制御の役割分担

路側インフラによる死角検知は、警戒ポイントでの確実な停止を支援する上で有効だが、今後は路側インフラで「どこまで検知し、どこから車両制御へ引き継ぐか」の境界線が重要となる。今回の「物標の有無」のみの判断では、狭隘道路等で自転車と対向車が道路中で向き合い、身動きが取れなくなる最悪の状況を招く懸念がある。これを回避するには、路側または車両側が進入スピードや対向車との距離も検知し、「どちらが優先して通過すべきか」といった戦略的な判断まで担う必要がある。広域情報を基にした路側の「状況予測」と、車両センサによる「直近制御」をシームレスに統合し、役割分担を明確化することが、円滑な走行を実現する上での基盤になるといえる。

2. 離合時における走行再開判断の自動化

今回の離合制御の検証では、運転士の周囲確認と発進ボタン押下により安全な離合が成立したが、この判断の自動化には高いリスクが伴う。評価者からは遠隔監視員が発進判断を担うのは困難であり、自動化が必要との意見も寄せられた。単なる物標の消失を待つだけでなく、対向車の挙動から「道を譲られた」ことをシステムが確信し、安全かつ円滑な走行再開トリガーを自律的に生成できるかが、無人化に向けた大きな技術的障壁となる。

3. 周囲への意思疎通と走行環境(ODD)の最適化

今後の社会実装を見据えた際には、制御の最適化のみならず、自動運転車両特有の挙動について周

辺車両や歩行者へ周知・理解を促す取り組みが必要である。現在の路線バスが車外表示器で「乗降中」等の状態を示し、周囲に安全配慮や先行を促しているように、自動運転でも自車の意図(停止理由や次の挙動)を伝える代替手段を確立し、周囲にとって予測しやすい挙動を構築することが必要である。また、走行環境については、歩行者の飛び出しや予期せぬ路側からの進入を物理的に抑制できる、ガードレールが整備された歩車分離道路が望ましいという意見が挙げられた。ソフトとハードの両面から環境を整えることで、システムの判断負荷を抑制し、より確実性の高い自律走行の実現に寄与すると考えられる。

(6) 手動介入時の原因を明らかにする。原因分析については関係者の運転日報およびヒアリングなどを通じ実施する。

離合制御は1/19 から1/22 の間に26回走行し、うち3回手動介入を行った。その際の状況を記載する。なお、車列回避においては、手動介入は発生しなかった。

表 93 離合制御エリアにおける手動介入内容(再掲)

項目	1回目	2回目	3回目
日時	1月21日8便	1月22日5便	1月22日7便
介入内容	ブレーキ	ハンドル操作	ハンドル操作
対象	対向車	対向車	対向車
位置	自動運転バス正面	自動運転バス正面	自動運転バス正面
自動運転バス走行状況	走行中	走行中	走行中
環境	道路:乾き 天候:晴れ	道路:乾き 天候:晴れ	道路:乾き 天候:晴れ
原因	対向車不検知(ネットワーク不安定による映像の断絶)	対向車不検知(ネットワーク不安定による映像の断絶)	対向車不検知(ネットワーク不安定による映像の断絶)

【結果】

・経路全体における自動走行達成率

表 94 経路全体における便・日付別自動走行達成率

	1便目	2便目	3便目	4便目	5便目	6便目	7便目	8便目	9便目	10便目	平均(%)	平均*(%)
	9:30	10:00	10:40	11:20	12:50	13:30	14:00	14:40	15:15	16:00		
1/16(金)	96.4	94.0	—	—	—	95.5	95.9	88.4	—	—	94.04	95.44
1/17(土)	95.6	97.0	95.6	92.7	97.4	95.1	96.2	97.3	98.7	89.8	95.54	95.54
1/18(日)	97.8	99.0	96.0	97.4	99.3	95.0	98.1	98.9	99.0	96.6	97.71	97.71
1/19(月)	—	—	—	—	—	95.9	97.6	93.7	—	—	95.73	95.73
1/20(火)	97.5	—	91.9	—	53.6	—	47.2	—	88.9	—	75.82	92.62
1/21(水)	99.4	94.7	98.0	97.0	97.5	96.2	95.0	96.4	97.6	93.8	96.56	96.56
1/22(木)	99.0	96.5	98.4	94.0	95.9	95.7	97.6	95.9	98.7	98.5	97.02	97.02
平均(%)	97.62	96.24	95.98	95.28	88.74	95.57	89.66	95.10	96.58	94.68	94.43	—
平均*(%)	97.62	96.24	95.98	95.28	97.50	95.57	96.64	96.68	96.58	94.68		96.31

表 95 車種別の経路全体における自動走行達成率

バス名称	平均(%)	平均*(%)
B9	93.93	96.80
B6	95.78	95.78

自動走行達成率:96.3%
運行時間帯、バス種別による大きな違いはなかった。

備考

*1/16の8便目、1/20の5・7便目は評価・調律事由により手動走行(ハンドオーバーではなくマニュアルモードでの走行)割合が高いため、平均値の計算対象から除外する。緑色の数値は、該当日の自動走行達成率を除いた計算結果である。

※1/16(金)は1,2,6,7,8便目のみ運行(メディア試乗)

※1/19(月)は6,7,8便目のみ運行(視察会)

※1/20(火)はB9のみ運行

・手動介入要因

手動介入要因の3分の1は路駐車回避となっている

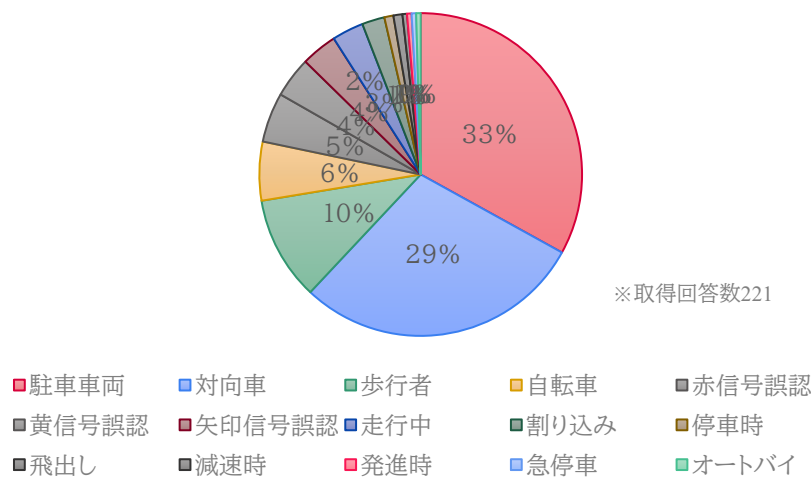


図 105 手動介入要因割合グラフ

表 96 手動介入要員ごとの報告回数及び割合

手動介入要因	報告数(回)	割合 (%)
駐車車両	73	33.0%
対向車	64	29.0%
歩行者	23	10.4%
自転車	13	5.9%
赤信号誤認	11	5.0%
黄信号誤認	9	4.1%
矢印信号誤認	8	3.6%
走行中	7	3.2%
割り込み	5	2.3%
停車時	2	0.9%
飛出し	2	0.9%
減速時	1	0.5%
発進時	1	0.5%
急停車	1	0.5%
オートバイ	1	0.5%

【考察】

駐車車両が手動介入要因の3分の1以上を占めることより、自動運転バス単体で路上駐車車両回避システムを備える必要があることが確認されたが、回避スタート・回避中・回避後の走行ルート復帰や自転車や一般車の割り込みなどの情報を取得する必要があるため実装が難しい面もある。また自動運転バスは大型車両であるためサイズ観点での難易度も高い。しかし路駐車が存在する経路上に緻密に道

路灯を設置することは現実的ではない。そのため、他車両の位置情報のリアルタイム活用等を検討していく必要がある。

対向車については、白根通り上の電柱がはみ出ているエリア(本実証のユースケースである離合制御エリアとは別エリア)での、対向車との接触を避ける目的での手動介入が多数を占めたと推測されることから、狭隘道路での走行の安定性が求められる。

4) 成果・課題

【成果】

要離合制御道路や要車列回避道路において、死角範囲の情報を連携する仕組みが、自動運転のレベル 4 社会実装に向けて一定程度有用であることを確認した。また、ローカル 5G の活用により、安定的に出庫車検知のための大容量データ伝送が可能であることを確認した。

【課題】

- ・ 要離合制御道路におけるネットワークを安定化させることで検知の安定性・迅速性を確保する必要がある。
- ・ より認知・判断・挙動の柔軟性やスピードが求められる路駐車回避を見据えた場合、車列認知時間・車列回避距離を短くしていくための自動運転システムの改良が必要である。
- ・ 制御挙動や交通参加者との非言語コミュニケーションの特性を踏まえ、想定される ODD において、路側システム、車両、および保安員がそれぞれ担うべき役割の境界について、再検討が必要である。
- ・ 今回の路車協調システムでは、自動運転バス側へ、対向車の情報を連携する仕組みとした。しかし、二重の安全策になるという点、他の交通参加者の安全確認に資するという点、また以下の図 106 にある特徴から、対向車側への自動運転バスの存在を伝えるための情報連携や一定のエリア・条件における交通参加者全体が情報を得られる仕組み(視認による情報受取が可能な電子的な看板など)の検討も必要である。

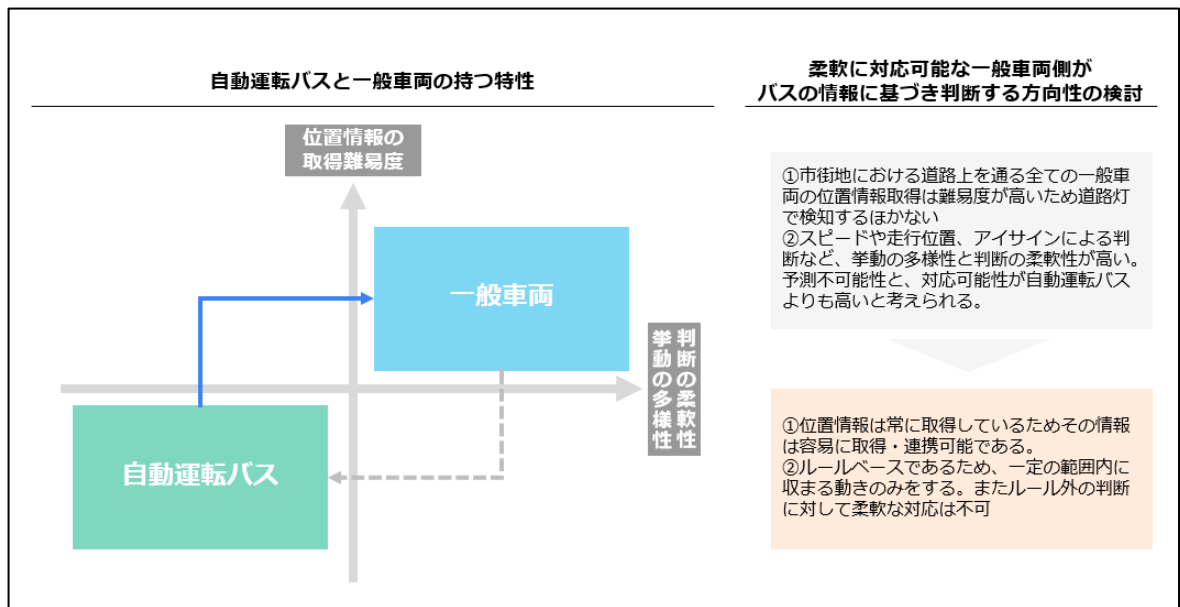


図 106 情報連携の方向性の再検討

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

当該ユースケースは実施していない。

6.5 ⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証

当該ユースケースは実施していない。

6.6 レベル4の社会実装に向けた検討の結果

6.6.1 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

【定量調査結果】

遠隔処理時の検知成功率は 90.4%となった。車内の安全を十分に確保できるとは言えない数値であり、かつスループットを紐づけた分析結果では通信劣化の影響が確認されることから、経路全体の通信を安定的にする必要があると考えられる。なお参考として記録した、乗客の姿勢変化から検知結果が変化するまでの時間は、エッジ処理と遠隔処理で大差がないことが分かった。

【定性調査結果】

AI 検知の有無による迅速性・確実性・一貫性の差異は確認されなかった。

しかし評価対象者からは、台数に関わらず長時間の集中力維持は困難との懸念が示され、見落とし防止策や心理的安心感の獲得、身体的疲労の抑制効果があるとのコメントを得た。

継続利用意向に関しては、実運用を見据えた長時間の監視においては「集中力の維持」が大きな課題であり、監視台数が 1 台の場合でも、見落としリスクを軽減するために「必ず利用したい」という評価が全対象者から得られた。また複数台監視においても、1 台に注視している間の別車両での異常事態を見落とさない目的として、全員が「継続利用を希望する結果」となった。

将来的な多車両監視に向けては、1.常時監視の限界、2.状況把握と意思決定の遅延、3.運行継続性の確保とサービスの維持が課題として示唆され、AI の更なる高度化が求められた。その具体例の一つとして、アラート多発時の監視員負担を軽減するため、システムによる緊急度の優先順位付けとより直感的なインターフェースが挙げられる。

(2) 考察

将来的な多車両監視に向けては、AI 通知時のみ介入する「オンデマンド監視」への移行と監視員の「意思決定者」への役割転換に加え、低リスク・高即応領域(自動アナウンスや車両制御等)の自動対応化による業務削減と安全確保の両立が不可欠である。またこれをコスト優位性のある遠隔処理で実現する為には、経路全体でネットワークが持続的に繋がるような環境整備が必要である。

また、将来的な監視画面のインターフェースに関しては、優先度明示に加え、緊急度に応じた通知方法(警告音・音声・色別表示等)や通知強度(ポップアップ表示、画面全体への割り込み表示、音量調整等)を段階的に切り替える表現機能の実装が不可欠である。

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

(1) 実施結果

主観的業務負荷削減効果

・検証結果:6.2.1 3)(2)参照

自動走行達成率

・離合制御:90%以上

(手動介入については、6.3.1 3)(6)参照)

・車列回避:100%

乗客の自動運転バスの受容性

調査の概要

1/17～22 の計 6 日間で、試乗会参加者を対象にアンケートを実施し、自動運転バスの試乗および技術説明を通じた受容性の変容を調査した。

本調査には 10 代～60 代の男女 76 名が回答した。詳細な属性は、図 107 の通りである。なお、回答者属性は事前に設定したものではなく、アンケートの回答結果から属性を抽出したものである。

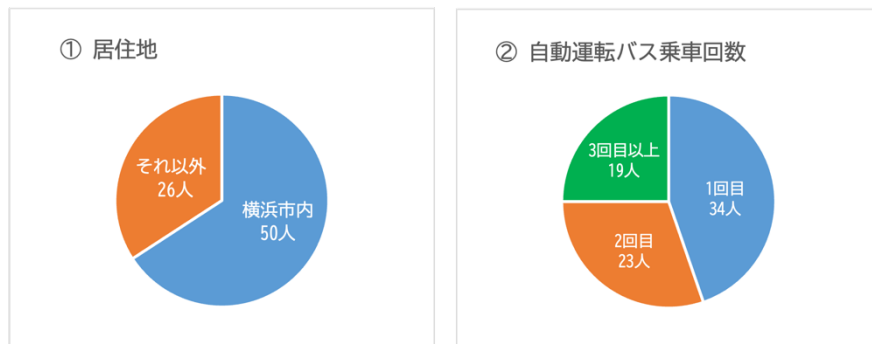


図 107 アンケート回答者の属性

安全性に対する乗車前後の意識変容の調査結果

乗車前後の安全性に対する意識変化を調査した結果、「安全」「やや安全」と回答した割合が大きく増加し、安全性に関する意識の向上が確認された(図 108)。

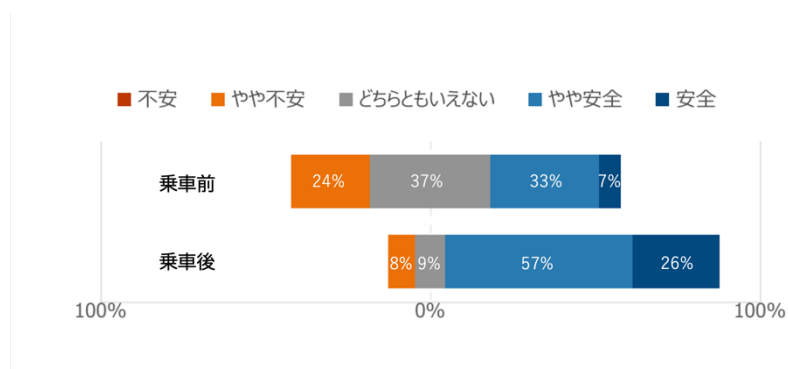


図 108 自動運転の安全性に対する乗車前後の意識の変化

また評価にあたっては、安全性に関する各回答の選択肢に対して、各選択肢に5段階のスコアを設定した(表 97)。

表 97 安全性の選択肢に対する各設定ポイント

選択肢	設定スコア
安全	5ポイント
やや安全	4ポイント
どちらともいえない	3ポイント
やや不安	2ポイント
不安	1ポイント

各回答者に対して、乗車前後の安心度のスコア数の増減を評価した。それらのスコア増減数を、今までの自動運転バスの乗車回数ごとに整理した結果を図 109 に示す。特に初めて自動運転バスに乗車した回答者は安心度のスコアが大きく上昇し、安全性に関する意識の向上が顕著に見られる結果となった。

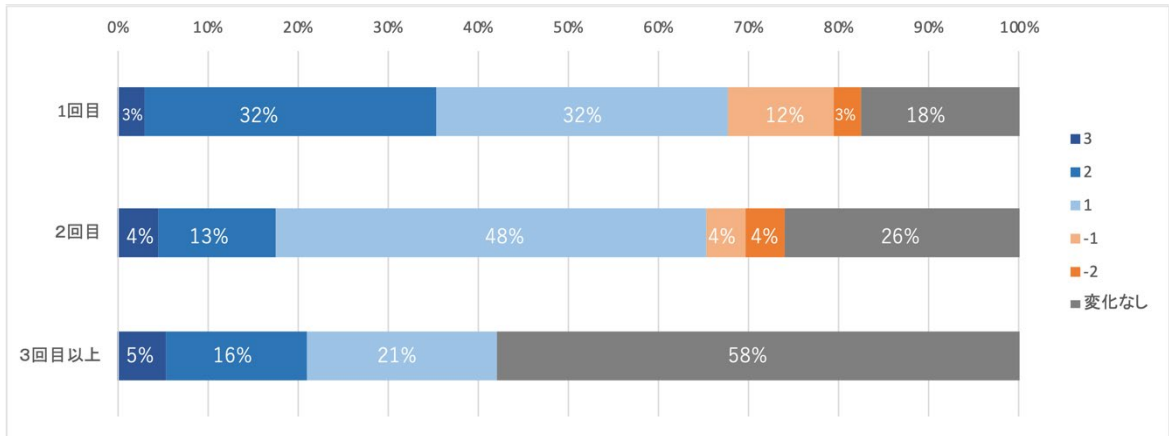


図 109 乗車経験回数別の本実証での乗車前後の安心度の増減

さらに、自動運転バスの日常的な利用意向については、7 割超の回答者が、「そう思う」、「ややそう思う」を選択した。在住する街での走行に関しては 9 割超の回答者が、「そう思う」、「ややそう思う」を選択し自動運転バスを受容する結果となった(図 110)。

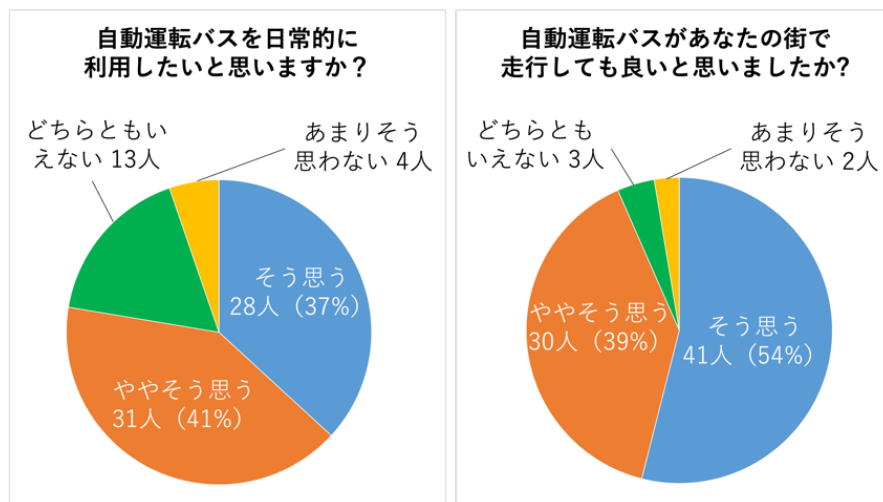


図 110 試乗会を通じた自動運転バスに対する受容性の評価

本実証で検証した技術に関しては、どの技術に対しても 85%以上の回答者が「ややそう思う」、「そう思う」と安心感の向上に貢献していると評価したが、特に遠隔監視システムと高度通信技術および離合制御に関しては、90%以上の回答者から肯定的な評価を得た(図 111)。

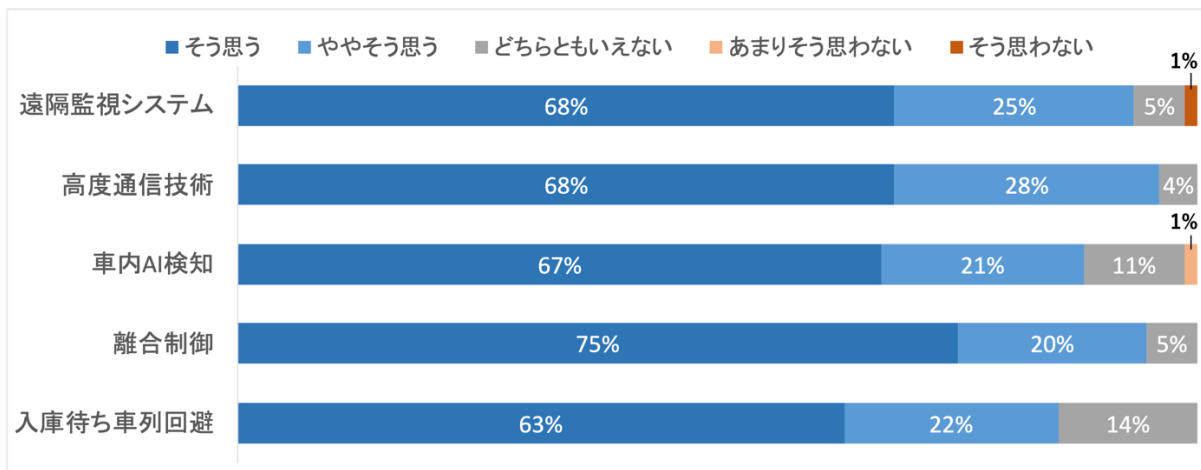


図 111 各システムにおける乗車に対する安心感への貢献度

受容性向上に関するアイデア

乗車に対する安心感を高めるために、あれば良いと思う技術やサービスについて、自由記述で回答を募ったところ、自動運転における操縦改善に向けた意見に加えて、乗降車や車内の安全確保に向けた意見などが挙げられた(図 112)。

自動操縦の改善 (7名)

- ・ 揺れが少なく、乗客に優しいブレーキ制御。
- ・ 緩やかな加速度の変化。

路車協調 (1名)

- ・ 信号機制御情報との連携。

車車間通信 (3名)

- ・ 車同士の通信による相互制御

乗降車への配慮 (5名)

- ・ 高齢者や障がいを持つ方が安全に乗降できるシステム。
- ・ 乗車人数による乗降制御。

周囲の交通参加者への案内 (3名)

- ・ 他の交通参加者に挙動や状態を示すディスプレイ。
- ・ 「自動運転につき無理な追い越し注意」などの電光掲示。

コミュニケーション (6名)

- ・ 発車や停車、右左折時のアナウンス。
- ・ AI車掌による挨拶など。

情報公開 (6名)

- ・ 地域住民に認知を拡大するようなサービスや施策。
- ・ 一般利用者への安全機能における説明。
- ・ 乗車機会の提供。

車内の安全設備 (2名)

- ・ 無人運転に向けた、非常ボタンのようなもの。
- ・ 車内の防犯対策。

その他 (3名)

- ・ トラブル事例への対処や改善を反映した仕組み。

図 112 乗車に対する安心感を高めるために、あれば良いと思う技術やサービス(n=30)

乗車体験後の感想・気づき

実際に乗車体験をしたことにより、「想像以上に安全性が高かった」「初期の頃に比べて速度や操作が驚くほど向上していた」等、技術の確実な進歩を評価するポジティブな意見が多く見られた。

一方で、実用化に向けた課題として「ブレーキのかけ方がきつい」「ブレーキが急である」などの[ブレーキ操作等の乗り心地の改善]を求める声が多数挙がったほか、遠隔監視のコストやビジネスモデル、交通マナーを含む社会受容性の必要性など、技術面以外でも重要な指摘がなされた。

コメントの例

- ・ 初期の自動運転バスに試乗した際に比べて、速度や運転操作等が驚くほど向上しており、将来の実現に向けて期待がさらに高まった。
- ・ 狭隘区間や交通量の多い難易度の高いルートであってもスムーズに走行できており、この環境で走れるならば他地域でも展開できると感じた。
- ・ 全体的にスムーズだったが、ブレーキのかけ方がきつく、乗り心地に関しては改善の余地があると感じた。「人間の代わり」となるような AI 学習による制御の追求が必要だと思う。
- ・ 運転手が度々手動ブレーキをかけて回避する場面があったため、完全な実用化にはまだ課題があると感じた。介入の理由や基準が分かるとより安心できる。
- ・ 危険なのは自動運転そのものではなく、人間側の交通マナーや突発事象であると実感した。普及には市民への啓発や道路整備も不可欠だという気づきがあった。
- ・ 遠隔監視について進んだ取り組みが印象的だった一方で、莫大なコストや維持管理を誰が担うのかといった、汎用性やビジネスモデルの検討が必要だと感じた。
- ・ 車両制御(特に加減速)に関して、信頼性がさらに高まることを期待したい。

異常発生時の車両制御と乗客への対応事項の運用性

調査項目 A. 車両緊急停止までの運用性

自動運転レベル 4 における異常発生時、乗客の安全確保と安全な停車を確実に実現するため、以下の対応事項や機能が必要であることがヒアリング調査から明らかになった。

異常発生時における停止措置の実施主体

異常発生時における車両の緊急停止は事象の認知次第、即座に実施できることが何よりも求められる。そのため、車内に保安員が同乗している場合は「当該保安員が異常を認識次第、直ちに停止措置を講じることが、迅速な安全確保を図る上で有効である」との意見が全ての評価対象者から示された。また上記に加えて、将来的な保安員が不在の運用においては、「(遠隔監視員の停止措置を補完する)バックアップとして、乗客が車両を緊急停止させる仕組みの構築」が必要であると述べられた。

一方で、たとえ車内に人員が同乗していても、死角等で発生した事象を車内から即座に認知できないリスクがある。「こうした現場における視界の限界をカバーする上で、カメラ映像を通じて客観的に状況を俯瞰できる遠隔監視側も停止措置の実施主体として重要であり、その役割を維持・活用していく必要がある」との指摘がなされた。これにより、車内(保安員・乗客)と遠隔監視室の双方がそれぞれの視点から異常の認知を補完し合い、確実かつ迅速に停止できる体制を構築することの重要性が確認された。

停車機能の高度化

将来的な実運用を見据えた場合、確実な車両停止と遠隔監視室への通知を前提としつつ、さらなる安全性向上に向けて以下の機能が求められる。

確実な停止と異常報知の確立(EDSS^{※3} 準拠)

異常発生時に車両を安全かつ確実に停止させるため、まずは既存の技術基準である「EDSS(非常停止用ブレーキおよび非常停止表示灯等)に準ずる機能の実装が必要である」との指摘が挙げられた。基準に則った適切な減速・停止制御を確立するとともに、車内外へ異常を即座に報知することで、周囲の交通参加者に注意を促し、追突等の二次被害を防止する効果が期待できる。

適切な場所への退避機能への高度化

前述の停止・報知機能を基礎とした上で、将来的には「周囲の交通状況を自律的に判断し、路肩やバス停等の適切な場所まで車両を移動させて停車する退避機能への高度化が必要である」との意見が示された。これにより、交通流への影響を最小限に抑えるとともに、さらなる安全確保が可能となる。

※3 「ドライバー異常時対応システム(Emergency Driving Stop System)」の略。運転士が体調急変などで運転不能になった際に、乗客や乗務員がスイッチ操作でバスを自動停止さ

せる安全装置のこと。ホーンを鳴らし、ストップランプとハザードランプを点滅させることで、車外にも異常を報知する。

調査項目 B. 車両停止後の救護対応フローの運用性

自動運転レベル 4 における救護対応に関しては、遠隔監視室と現場で役割をいかに補完し合うかという、連携のあり方が重要な論点となった。

救護判断における遠隔監視の限界と現場対応の重要性

異常発生時には保安員の有無に関わらず、「救護対象者の容態把握を最優先に実施すべき」であるとの指摘がなされた。しかし、現時点では呼吸等の詳細なバイタル確認までを、遠隔からの映像やセンサ情報のみで判断することは困難であり、「現場における人的介在が不可欠である」との意見が示された。

このため、当面は保安員による対応を前提とするが、将来的な保安員が不在状態での運用においては、現場措置業務実施者の到着を待つ猶予がない緊急事態を想定し、「乗客や周囲の交通参加者に対して、一時的な状況確認や可能な範囲での救護協力の依頼を検討せざるを得ない」との指摘があった。これには機能面の整備に加え、周囲が自然に救護に関わることができるような社会的認知の醸成も不可欠となる。

救護対応フローの運用評価

上記を踏まえた各フローの評価として、保安員が同乗している場合(図 36)に関しては、従来の運転手の代替的役割を保安員が担うことで、手動運転時と同等の運用性を維持できると全ての評価対象者から述べられた。

一方、保安員が不在となるケース(図 37)については、状況確認や救護対応を乗客等の協力者に依存せざるを得ない。そのため、協力者の属性(若年層、高齢層等)や救護活動への習熟度、および時間的制約(急ぎの有無等)といった個別の状況要因により、対応の確実性や所要時間が変動するリスクが内在する。こうした背景から、「定型的なフローのみによる安定的な対応は困難であり、遠隔監視員による協力者への臨機応変な支援が強く要求される」との懸念が示された。

現地対応の課題と「後方支援・併走」の必要性

現場に通報や救護対応を頼らざるを得ない場合のリスクとして、現場の対応者がパニック状態で「まずは遠隔監視員へ相談」しようとすることで、一刻を争う救急・警察への通報が遅れる可能性が懸念された。物理的な救護対応は遠隔からは不可能であり、かつ異常発生時は現場措置業務実施者や代替車の手配など、遠隔監視員側でも様々な事務対応が発生する。

そのため、現場の対応者が通報・救護を最優先で行えるよう、遠隔監視側や車内設備は、現場の主体的な行動を支える「後方支援および併走の役割を担うべきである」との意見が示された。

調査項目 C. 救護品質の担保

救護品質の担保に関する要件および課題については、前項「救護対応フローの運用性(B)」にて詳述した通りである。

具体的には、「遠隔監視の限界を補完する現場の介在」および、「通報遅延を防ぐための連携(後方支援・併走)の最適化」の2点が、救護品質を維持する上での不可欠な要素であると本検証を通じて確認された。

調査項目 D. 緊急時の役割分担

自動運転レベル4の救護対応における各者の役割分担は、評価対象者へのインタビューに基づき「自動運転レベル4における緊急時の役割分担(図113)」として整理した。各構成要素の役割および課題は以下の通りである。

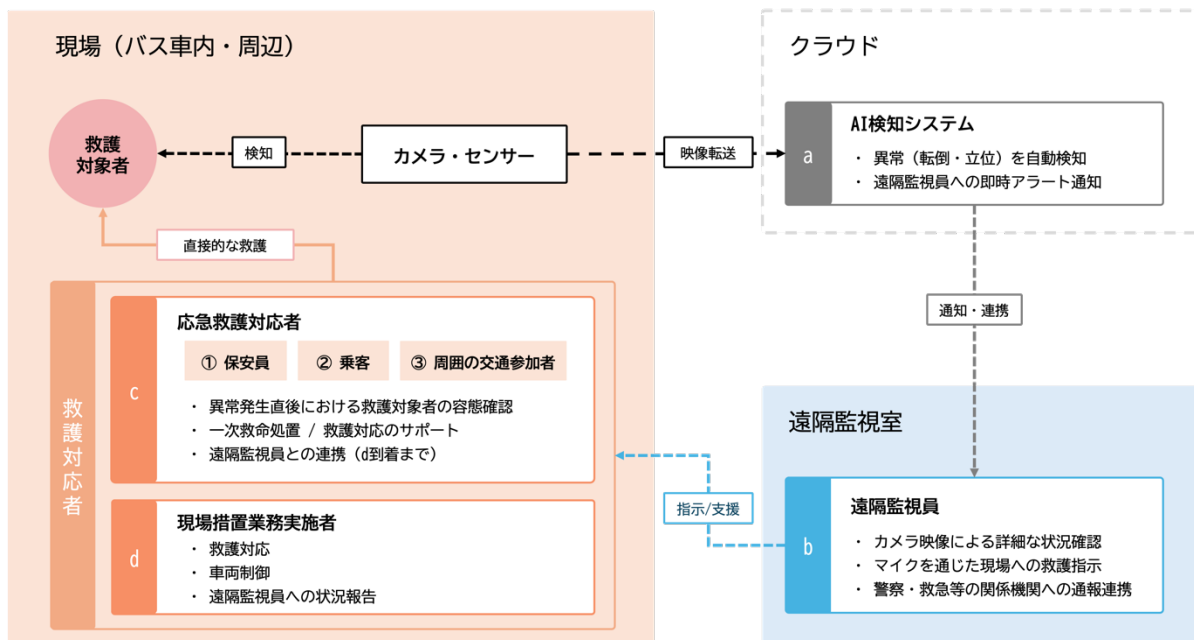


図 113 自動運転レベル4における緊急時の役割分担

a. AI 検知システム

異常発生時において、遠隔監視員の気づきを促す存在として機能する。保安員が同乗する場合においても、保安員の「死角の補完」として重要な役割を果たす。

b. 遠隔監視員

状況把握と緊急対応の実施判断を行い、現場の状況に応じた支援を担う。

基本的には、現場の救護対応者による通報や救護を促す「後方支援および併走」の立場をとるが、救護対応者がパニック状態にある場合や、協力が得られない状況においては、自ら主導して救命要請や具体的な指示を行う必要がある。

また、現場措置業務実施者が到着するまでの間、応急救護対応者が現場の救護に専念で

きるよう、俯瞰的な運行情報と現場からの生の情報を集約し、最新情報を共有し続ける、情報の架け橋としての役割も求められる。

c. 応急救護対応者

現場での救護対応は、異常発生時の状況に応じて直接救護対応可能な者が主体となることが望ましい。保安員同乗時は当該保安員が対応の主軸となるが、保安員の不在時や保安員自身の被災等により現場の主導者が不在となる状況においては、現場措置業務実施者が到着するまでの空白の時間を埋める存在として、図 113 における②乗客、③周囲の交通参加者等に可能な範囲での協力を仰ぐ必要がある。これには、応急救護対応者が自然に救護に関われるような設備面の整備に加え、共助を支える社会的認知の醸成が不可欠である。

d. 現場措置業務実施者

遠隔監視員からの要請を受け、現場へ急行して実地での救護対応および車両制御を担う主体である。保安員同乗時においても、事案の規模により車内人員のみでの対処が困難な状況や、保安員自身が負傷・発病により対応不能となった場合に備え、バックアップとして速やかに派遣される必要がある。遠隔監視では困難な身体的・物理的な処置を完遂し、事案を最終的に収束させる上で不可欠な役割を担う。

結果のまとめ

自動運転レベル 4 における異常発生時の対応として、安全な車両の停止に向けては、遠隔監視側からの停止機能だけでなく、保安員や乗客が操作可能な車両側の停止機能、および周囲への異常報知（いずれも EDSS に準ずる機能）を実装することの重要性が確認された。その上で、将来的には周囲の安全を確認し、路肩やバス停等の適切な場所へ退避・停車する機能への高度化が必要であるとの意見が示された。

救護フローの運用性については、遠隔監視室と車内の物理的距離に伴う制約を解消するための、役割分担と連携のあり方が焦点となった。現時点では現場の人的介在が不可欠であり、当面は保安員による対応を前提とするべきとの意見が示された。将来的な保安員不在の運用においては、現場の乗客や周囲の交通参加者に対して、一時的な状況確認や可能な範囲での救護対応を依頼せざるを得ないとの指摘があった。また、現場に通報や救護対応を頼らざるを得ない場合の課題として、現場の救護対応者がパニック状態になり、「まずは遠隔監視員へ相談」しようとすることで、一刻を争う救急や警察への通報が遅れるリスクが懸念された。

(2) 考察

・ 昨年度よりも試乗距離が大幅に延伸した状況下において、横浜市居住者の回答者数と自動運転バスの走行に対する受容性結果がどちらも向上していることから、横浜市民の自動運転技術に対する関心・注目は着実に高まっているものと推察される。

・周囲の交通参加者や住民が自然に救護活動に関与できるよう、公共施設や消防・警察署などの助けを求めやすい有人施設の周辺や、緊急自動車が進入しやすいルートを優先的に選定するなど、運行設計そのものに対する「救助のしやすさ」を組み込むことが重要である。

・上記の通り走行可能経路が拡大する場合、自動運転専用道路の整備を必要とせずに走行可能な箇所が増えるため、これまでよりも地域交通の持続性への寄与が可能になったと考えられる。

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

(1) 実施結果

本実証の自動運転バス遠隔監視のネットワークは閉域ネットワーク構成であり、MEC を中心として、自動運転バス(遠隔監視システム)、路車協調システム、AWS、遠隔監視室は閉域回線で通信する。唯一、MEC の Internet-GW を介してインターネットと通信することが可能であるが、MEC と各拠点およびインターネットとの通信は必ず MEC に配置する2台のファイアウォール(STH5528/STH5525)を経由する構成である。

- MEC配置のファイアウォール

- ① STH5525 : MEC ダイレクトからのアクセスを管理

※自動運転バス、路車協調システム、遠隔管理室

- ② STH5528 : Internet-GW、FIC-GW からのアクセスを管理

※インターネット側から MEC 側(外から内に向かって流れる通信:インバウンドセッション)は基本的に不可、特別に許可する場合は送信元のグローバル IP アドレスのみ許可

※FIC-GW は路車協調システムと AWS の閉域接続を管理

- 実施したセキュリティ監査

- ①ネットワーク

各拠点およびインターネットとの通信は必ず MEC 上に配置する2台のファイアウォール(STH5528/STH5525)を経由する構成であるため、これらのファイアウォールのログよりインターネットからの不正アクセスが全て遮断されているか、不正な送信元からのパケットがファイアウォールを通過していないかの2項目を調査した。結果として、下記表にまとめたとおり不正アクセスの遮断および不正な送信元からのパケットのファイアウォール通過が無いことを確認した。

表 98 NW 監査項目ごとの検証概要及び結果

監査項目	監査の対象となるファイアウォール	方法	実施日	結果	備考
1. Internetからの不正アクセスが拒否されていることの確認	STH5528	ログの確認	日毎	不正アクセスはすべて拒否されていることを確認	・不正アクセスが検知され、遮断されたことを確認する
2. ファイアウォールを通過したパケットの送信元の確認	STH5525 STH5528	ログの確認	MEC利用最終日(1/26)	ファイアウォールを通過したパケットはすべて許可または信頼できるサイトを送信元とするものであった	・送信元が許可されたIPアドレスであることを確認する ・送信元グローバルIPアドレスの場合は信頼できる送信元であることを確認する

②物理的なアクセスに対する対策

屋外設置のネットワーク機器については、人の手の届きにくい地面から 3m以上の高所の BOX 内に格納した。自動運転バスの車載システムは施錠可能な車内ラックに格納し、走行ルート走行時以外は一般車立ち入り禁止のバスロータリーに停車し、自動運転バスの扉は施錠した。さらに、運行後の夜間、休日は相鉄バス旭営業所内に停車し、自動運転バスの扉は施錠した。

また、通信 SIM の抜き取りによる不正なアクセスを予防するため、MEC-SIM と L5G-SIM は月毎に現物確認(写真を撮影し確認)を行い、所在と運用状況が管理簿と相違ないか確認した。

③データの処理、管理

MEC 上の遠隔監視システム、Cradio や ISAP の各システムで処理・生成されたデータは各システムのボリュームまたは MEC 上のストレージに格納した。

実証のログデータを分析のため持ち出すときは、MEC にアクセス許可(登録)された MEC ダイレクト SIM にて VM にアクセスし、ダウンロードデータは実証コンソーシアムで指定する方法(Teams の共有フォルダまたは Box)に格納した。

(2) 考察

本実証のネットワークは基本的にローカル 5G や MEC 通信といった閉域ネットワークで構成しており、やむを得ずインターネットと繋げている通信経路上にもファイアウォールを設置し、適切なファイアウォールポリシーを設定している。以上の対策が適切に実施されていたことにより不正なアクセス・通信を防ぐことができたと考えられる。また、屋外設置のネットワーク機器は人の手の届きにくい地面から 3m以上の高所の BOX 内に格納し、かつ通信 SIM の物理的な現物確認を定期的実施するなどの対策も講じたことで、通信 SIM の抜き取り等の物理面からの通信システムへの不正アクセスを未然に防ぐことができた。更に、各種データは信頼できるストレージに格納するなどの運用も適切に実施したことにより、データ漏洩等の被害を未然に防ぐことができたと考えられる。

4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守

(1) 実施結果

- ローカル 5G:
キャリアのコアネットワークを共用するタイプであるため、基地局とバックホール回線についてはキャリアの常時監視下にあった。実証期間を通じて、故障、不具合、サービスダウンは発生しなかった。
- 通信デバイス:
開発中に想定外の挙動が見られたため、端末メーカーに仕様を確認して、Cradio 連携と適合させた。また、路車協調システムの通信デバイスにおいて SIM が認識されなくなる不具合

が生じたが、SIM カードを交換することで解消した。

- ネットワークの運用監視：
通信システムは日毎に起動確認を行った。ネットワークの通信状況は、END ポイント(通信デバイスとサーバ)のログからの正常に稼働しているか確認した。通信不具合発生時の対処として、ファイアウォールのログ確認(パケットが到達し通過しているか)や通信デバイスからの ICMP による疎通確認・経路確認を行った。
- 遠隔対応：
車載器の遠隔監視、パッチ適用、再起動を可能にするシステムを導入することで、現地派遣を含めた作業時間を、およそ 2 か月の実証期間で約 20 時間削減できた。

(2) 考察

- NW 運用：
路側に設置する通信機器については一度設置をした後は容易に機器点検・保守できないことから、設置前の試験を十分に行い、設置後はリモート運用する形で実証期間中、無事に運用することができたと考えている。レベル 4 運用の際も通信機器について設置前に十分な検討・検証を行うことや、ネットワーク遠隔監視のリモート化を進めることで、運用時のトラブル削減やなるべく現地対応を少なくすることによる管理・保守コストの削減が見込めるものと思われる。
- 遠隔対応
実際の作業記録より、車載器の作業者は、車載器周りの設定変更、アップデート作業、ログ取得、監視用モジュール(シェルスクリプト)のデプロイなどを遠隔対応していた。今後自動運転バスを日本全国の地域で走行させたり、自動運転バスの運行台数が増加したりする状況となれば、さらなる効果を見込めることが想定される。

6.6.2 効果検証

1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化

(1) 実施結果

路車協調システムによって、離合制御・車列回避双方において自動運転率が 90%以上となった。通話装置による双方向コミュニケーションシステムを実装し、車内・遠隔監視室のどちらからも通話可能であることを確認した。

(2) 考察

手動介入回数：自動運転バスの認知機能のみでは走行不可である状況でも、路車協調システムから

の情報連携があることによって走行可能となる場面がある。本走行経路上においても路車協調システムにより本来必要となる手動介入回数から、大幅に減じたと思料される。具体的には、往路上の車列回避、復路上の離合制御の箇所であるため、1日の走行において1台あたり10回の手動介入回数が減ったと試算(1台の自動運転バスが本経路を往復する間に、離合制御・車列回避箇所において1度ずつ計2回の走行支援がなされるため、1日に5回走行するため、1台×2回×5走行より算出)される。

運行停止時間:乗客と遠隔監視室での双方向コミュニケーションが可能となり、車内異常があった際に即座に自動運転バスを停車し、現場措置実施者を派遣するという対応ではなく、車内からの情報に応じてグラデーションを持った対応が可能となる。したがって双方向コミュニケーションシステムが実装された場合の運行停止時間は、それが無い場合と比較して短縮されると考えられる。

路車協調システム活用による手動介入回数の減少

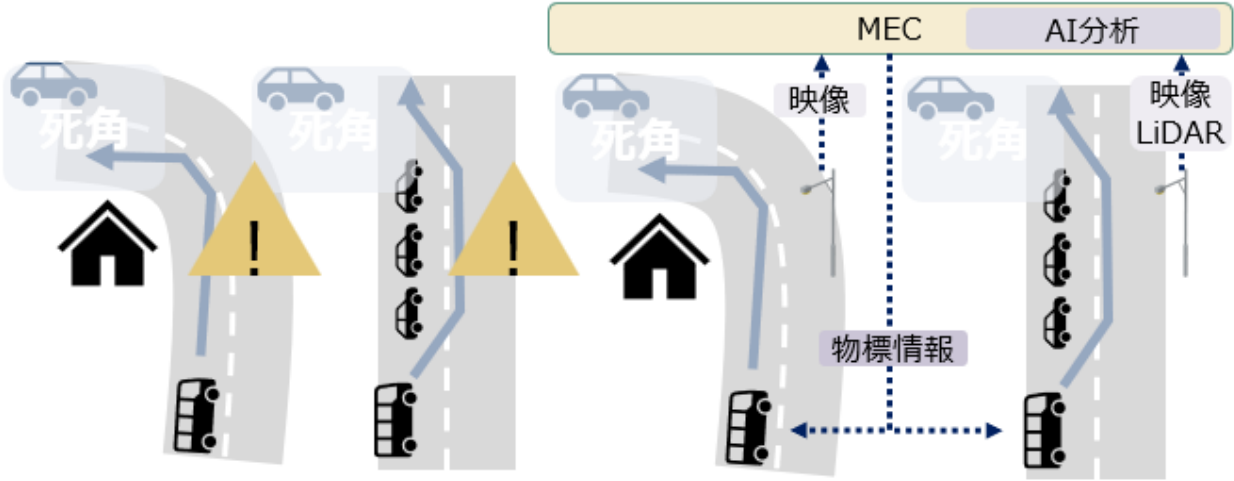


図 114 路車協調システム活用による手動介入回数の減少イメージ図

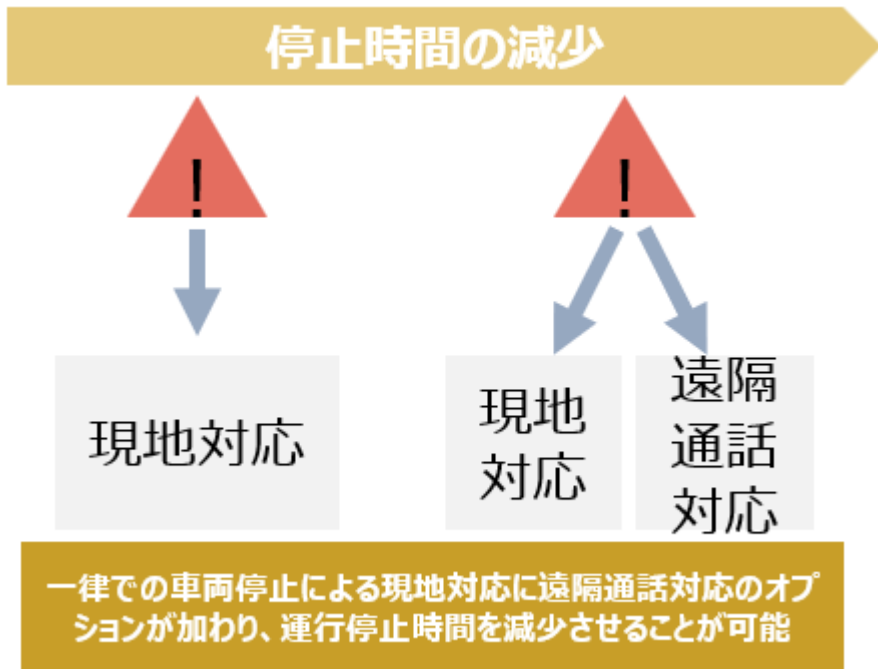


図 112 路車協調システム活用による好影響のイメージ図

2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度

(1) 実施結果

路車協調システムによって、離合制御・車列回避双方において自動運転率が 90% 以上となった。

各路車協調による車両の挙動について、入庫車列手前停止時のブレーキ以外はほぼ自然な走行であるとの評価を得た(※図 101 挙動の自然さ評価結果(n=16)参照)。

(2) 考察

安全性:自動運転バスの認知機能のみでは走行不可である、死角範囲を把握する必要のある道路状況においても、その死角範囲の情報をインフラ側の LiDAR とカメラによって補うことを可能としたため、より安全に対する確実性を担保しての走行が可能となった。従って、安全性向上に対して高い有効性が認められる。

円滑性:インフラ側からの情報がない限り、死角範囲を把握する必要のある道路状況の走行においては、非常に低速で進むなどの設計が必要となる。そうなった場合、自動運転バス運行時間自体の延長が発生する可能性があり、また後続車両の停滞の要因ともなる。そのため、本実証での取り組みは、道路交通全体の円滑性向上にも寄与するといえる。

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

(1) 実施結果

路車協調システムによって、離合制御・車列回避双方において自動運転率が 90%以上となった。

対向車が検知範囲領域に進入してから、対向車あり検知情報を自動運転バスに連携するまでの所要時間が通信状況に依存しており、通信状況が悪いエリアにおいてはエッジ側で画像処理するなどの改善の余地があった。

(2) 考察

ルート設定の柔軟化:本実証を通した路車協調システムによる協調制御によって、要離合制御道路、要車列回避環境を含むルートも走行可能となった。また、本地域の当該エリアに類似する道路においても、本システムの活用による走行が可能となると推測される。そのため、その分だけルート設定のオプションが増えたことになるため、路車協調システムによる支援でルート設定を柔軟化できたといえる。

時間短縮:路車協調インフラ側からの情報がない限り、死角範囲を把握する必要のある道路状況の走行においては、ごく低速で進むなどの設計が必要となる。そうした場合、自動運転バス運行時間自体の延長が発生する。そのため、本システムを活用することで運行時間を守り、バス利用者の利便性につながるという。一方、各路車協調ユースケースにおいて自動運転バスが停車判断・再出発判断をするための所要時間については、ネットワーク伝送やアプリ処理の時間の低減によるさらなる停止時間の短縮が可能と考えられるため、今後のあらゆる路車協調システムにおいて、ネットワーク伝送の方式やアプリ処理方式の改善が必要となる。

交通利便性:上記 2 つの観点に対するポジティブな影響により、路線バス利用者にとっての利便性が

向上する。まずルート設定の柔軟化により、様々な路線バス乗客のニーズに応えられるようになる。また、運行時間の短縮は移動時間の短縮を意味する。したがって、路車協調システムによる自動運転バス支援は、交通利便性向上に効果的である。

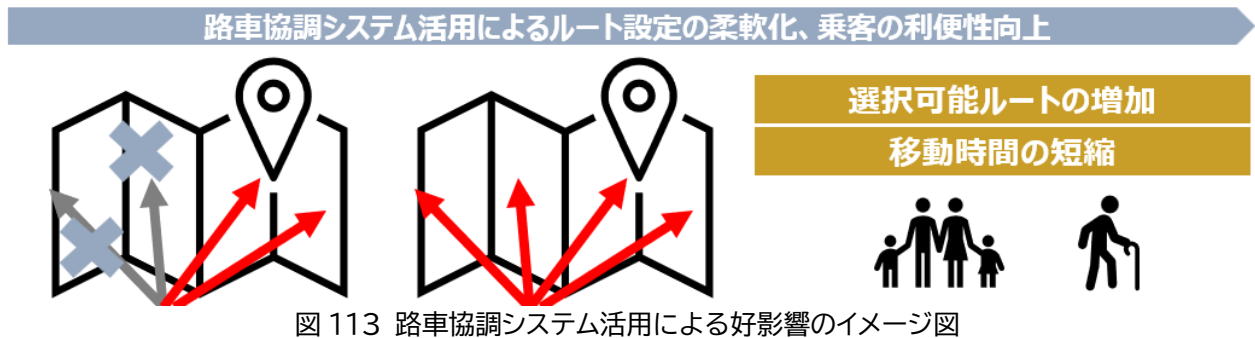


図 113 路車協調システム活用による好影響のイメージ図

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

(1) 実施結果

初期コスト・ランニングコストの現時点での概算を以下に示す。(本実証におけるコストを記載)】

表 99 本実証における初期コスト・ランニングコスト

自動運転車両	車両使用料(車内外カメラ・LiDARを含む、また自動運転システム不具合時対応も含む)	ランニングコスト (1台・1年)	6,205万円
	調律費用	インシャルコスト (1経路)	1,080万円
	他システム連携費用	インシャルコスト (1式)	715万円
遠隔監視	A遠隔監視システム構築費用(映像伝送・モニター・AI機能)	インシャルコスト (1式)	858万円
	A遠隔監視システム運用費用	ランニングコスト (1式・1年)	358万円
	B遠隔監視システム構築費用(通信、路車協調システム連携)	インシャルコスト (1式)	2,286万円
	B遠隔監視システム運用費用	ランニングコスト (1式・1年)	1,572万円
	C.インフラ (ルータ)	インシャルコスト (7台)	200万円
	C.インフラ (SIM、MEC)	ランニングコスト (1式・1年)	2,298万円
	D.離合制御用物体検出サーバー構築費用	インシャルコスト (1式)	72万円
D.離合制御用物体検出サーバー運用費用	ランニングコスト (1式・1年)	715万円	
スマート道路灯	現地調査・手続申請費用・工事費用	インシャルコスト (1台)	215万円
	道路灯設備構築費用(カメラ1台、LiDAR1台構成)	インシャルコスト (1台)	1,143万円
	スマート道路灯運用保守費用	ランニングコスト (1台・1年)	129万円
ローカル5G	免許申請等手続き費用	インシャルコスト (1式)	143万円
	基地局構築費用(建柱含む)	インシャルコスト (1式)	1,015万円
	利用料(装置・構築・保守・回線利用料等含む)/年	インシャルコスト (1式・1年)	2,858万円
合計			21,862万円

※記載の金額は実証中における参考価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

※設計・設置・運用に係る人件費等は別途必要。

(2) 考察

a. ローカル 5G のコア設備共用

ローカル 5G については今回、キャリアのコア設備共用型のローカル 5G である L5G-TypeD を採用した。これにより設置場所の柔軟性向上や構築コスト低減が見込まれる。本項では、L5G-TypeD と過年度実証採用の一般ローカル 5G とでコストの比較を実施した。下記の表 100 にコスト比較の条件を、表 101 に比較結果を示す。

表 100 ローカル 5G コスト比較条件

項目	内容	備考
方式	下記 2 方式で比較を行う ①L5G-TypeD ②一般ローカル 5G	①は本案件で活用したキャリアのコア設備共用型のローカル 5G、②は令和 6 年度実証にて活用した一般的なローカル 5G を指す。
構成	基地局数 2 局	令和 6 年度実証の構成に合わせ、ローカル 5G の基地局数は 2 局とする。
通信量・帯域	データ通信量:1TB/月 データ通信帯域:100Mbps	本条件は①L5G-TypeD にのみ適用される。L5G-TypeD は 1 カ月のデータ通信量や通信帯域によって料金プランが設定されている。今回は今年度実証の結果を踏まえ、本数値を設定した。
運用期間	5 年間	ローカル 5G の無線局免許は 5 年毎に再免許申請が必要であり、免許申請にかかる費用が発生すること、また、それに合わせた設備更改が発生することが見込まれるため設定。
対象費用	初期費用および 5 年間のランニング費用の合計 ※設置工事費用(環境工事費含む)は対象外	設置工事費用(コンクリート柱の建柱などの環境工事費を含む)については条件を揃えることが困難なため今回比較の対象外とする

表 101 L5G-TypeD と一般ローカル 5G のコスト比較

方式	初期費用	ランニングコスト(5 年間)	合計(5 年間)
①L5G-TypeD	¥1,000,000	¥45,600,000	¥46,600,000
②一般ローカル 5G	¥58,000,000	¥28,500,000	¥86,500,000

比較の結果、①L5G-TypeD 使用により②一般ローカル 5G と比較して、本条件において 5 年間合計で約 4,000 万円のコスト削減が見込めることが分かった。

まず、両方式を比較した際に初期費用の差異が大きいことが分かる。これは一般的なローカル 5G においては初期費用として高額な基地局装置、5G コア装置の調達費用が発生(本試算においては基地局装置 400 万円/局、5G コア装置 5,000万円)するが、①L5G-TypeD についてはこれら装置の調達費用が不要であり、免許申請手続き費用以外はほとんど初期費用が発生しないことが最も大きな理由として考えられる。

更に、今回の試算では初期費用として通常発生する設置工事費用(コンクリート柱の建柱やバックホール通信用光ファイバの敷設等の環境工事費を含む)については条件を揃えることが困難なため比較の対象外としたが、②一般ローカル 5G で発生する無線装置の取付工事費用について、①L5G-TypeD ではサービス費用としてランニングコスト中に既に含まれており、別途発生する工事費用は環境工事費のみとなることや、その環境工事についても①L5G-TypeD において設置が必要な装置は RU とアンテナのみと②一般ローカル 5G と比較して大幅に少なく(設置スペース 9 割程度削減)、付随する環境工事費の大幅な低減が見込まれることから、設置工事費用についても②一般ローカル 5G より①L5G-TypeD の方が低くなると考えられる。

一方で、ランニングコストについては①L5G-TypeD の方が②一般ローカル 5G と比較して高くなる結果となった。これについては、上述の通り①L5G-TypeD においては現地調査、置局設計、詳細設計、取付工事等の無線機器取付に係る費用(今回試算の対象外としたが、②一般ローカル 5G では本内容に相当する費用が工事費用として別途発生)についてサービス費用としてランニングコスト中で回収するサービス形態となっていることや、通信キャリアの設備を利用するためのサービス費用が発生することが要因として考えられる。また、①L5G-TypeD のランニングコストについては、利用するデータ通信量および通信帯域に応じて変動するため、より大量のデータ通信が発生する場合やより広帯域の通信が必要となる場合は更にランニングコストが増大し、トータルコストでも②一般ローカル 5G を上回る可能性がある点には注意が必要である。

なお②一般ローカル 5G については、実証期間中にローカル 5G の運用ノウハウを持つ実証機関によって運用された実績値を基にした試算値であり、実際に一般の企業や団体がユーザとなりローカル 5G を利用する場合は運用・保守について専門業者へ別途委託となることが多く、その場合の②一般ローカル 5G についてのランニングコストは本表に示す費用より大きくなると想定される。(①L5G-TypeD は通信キャリアが 24 時間 365 日体制で監視を実施し、ユーザ拠点への駆けつけ保守もサービス費用中に含まれる)

上記の比較により、今年度の実証において採用したキャリアのコア設備共用型のローカル 5G である L5G-TypeD について、過年度実証で活用した一般的なローカル 5G と比較して構築コストを低減できることが示された。

b. スマート道路灯にかかる初期費用比較：支柱新設/既設柱活用

自動運転の社会実装に向けた路車協調システムの活用にあたって、そのシステムに不可欠な要素をいかに経済的に構築可能であるかが重要となる。そこで本実証では、検知機器の設置先を既設道路灯と

することで、支柱を新設する場合よりもコストを低減できると考え、既設道路灯を活用することとした。ここでは、スマート道路灯を構築する際の要素、費用、工数、性質を一般化し、テーマごとにパターンごとの評価の比較結果を記す。

3つの観点からの比較を通して、既設柱を活用することによりコスト低減効果が認められることが分かった。

※なお、地域や具体的な仕様、工事業者、環境要件によって変化するため、その点には注意が必要である。

■費用

スマート道路灯単体の費用は、大きく、①機器資材費、②工事費、③手続き申請費の3つに分けられる。そして今回着目する灯体部分の新設/既設による費用差は、3つの項目すべてに見られる。具体的に、①機器・資材費では、新設柱自体の費用、それを建柱するためのコンクリート等の資材に差が出る。②工事費では、新たに建柱するための工事費に差が出る。また、新設柱への電源引込が必ず必要になる点も費用に影響する。③手続き・申請費では、新規で建柱する予定地にリスクがないか調べる事前調査等が必要になり、それに伴い確認項目が増えることで費用に影響する。現状の、一般的な建柱フローを踏まえると、費用としてはおよそ80万円の差が生まれる。既設柱は新設柱にかかる費用をおよそ5分の1に抑えることができる。

表 102 コスト比較表

項目	新設	既設	備考
I 機器 ・資材費	¥320,000	¥5,000	ポールやコンクリートの購買が不要となることが多い。 ※両手段で同様に必要となる灯体部分の費用は含まない。
II 工事費	¥520,000	¥130,000	基礎・建柱工事、電源引込工事が不要となることが多い。
III 手続き ・申請費	¥180,000	¥60,000	事前調査時間や確認項目の多寡に差異が乗じる。
合計	¥1,020,000	¥195,000	既設道路灯活用により、新設道路灯の場合と比較して <u>5分の1</u> のコストに抑えられる。

■工数

工数としては、申請・手続きに関するものと、現場作業に関するものに分けられる。申請・手続きでは、新設の場合、調査・確認項目数が増えること、物件所有者との調整として自治体での既決所の添付が必要になる場合があることなどにより、工数が増加する。現場工事では、新設する際の基礎工事(掘削、コンクリート打設等)が必要となることで工数が増加する。

表 103 工数比較表(申請・手続きに要する工数)

項目	新設	交換	備考
道路占用許可	10～30日	1～3日	新設は新規の図面審査や現地調査など、既設と比較すると調査や確認する項目が多くなるけいこうがある。
道路使用許可	7～14日	3～7日	交通規制や工程の審査が必要。新設の方が規制範囲や期間が長くなる傾向があり、審査に時間を要する傾向がある。
電力会社(受電・契約)	14～30日	3～7日	新設は変圧器容量の検討、配電線の引込設計などが必要なことに対して、交換は契約内容変更のみで済む場合もある。
自治体(物件所有者との調整)	14～45日	14～30日	自治体によって申請時期、審査の厳格さ、議決が必要か否かで大きく変わります。特に「議決書の添付」が必要な場合は、議会の日程に左右され、45日以上かかることもある。
合計期間	約1.5～3ヶ月	約2週間～1ヶ月半	各手続きは並行可能ですが、新設で補助金申請が絡むと、3ヶ月を超えるケースもある。

表 104 工数比較表(現場作業に要する工数)

項目	新設	交換	備考
基礎・建柱	1.5日	0日	新設の主要な作業であり、掘削、コンクリート打設、建柱が必要です。コンクリートの養生期間は工数に含めていない。
幹線工事	0.5日	0.5日	電柱や地中埋設など、現場の状況によりこの時間が長くなることがある。

灯体設置	0.5 日	0.5 日	灯体(器具)を取り付けて結線し、動作確認を行う作業です。新設でも交換でも、この作業自体にかかる時間に差はない。
合計作業工数	約 2.5 日	約 1.0 日	新設と交換の差は、基礎工事の有無が工数の差となる。

■性質

道路灯を機能させるまでのコスト・工数という定量面の比較評価に加えて、新設・既設灯柱活用それぞれの手段が持つ特性面からも比較評価を実施した。項目として、①設置後の維持管理コスト、②各種法規制に対する手続きの難易度、③社会受容性、④技術拡張性の 4 観点で評価を実施した。表 105 に記載のとおり、①、②、③においては、既設灯柱活用の方にメリットがあると考えられる。ただ④においては、路車協調を活用する場所・場面・目的に応じて仕様設計可能な、灯柱新設の方にメリットがあることが分かった。

表 105 新設・既設それぞれの手段の性質の比較表

項目	新設	既設
維持管理コスト	路車協調機能追加 + 新設設備により管理コスト増加。保守契約・点検体制の新規構築が必要	路車協調機能追加により管理コスト増加。ただし既存体制を一部活用可能
法規制・許認可難易度	道路占用・電源引込・構造安全性確認など手続きが複雑	占用許可・設置許可が簡略化される可能性あり
社会受容性	景観や合意形成に時間がかかる場合あり	景観変化が少なく、住民受容性が高い
技術拡張性	強度・信頼性設計を保証し、通信・センシング機器の最適配置が可能	設置位置や構造に制約あり

c. 基盤の同一構成活用によるコスト低減

初期コスト・ランニングコストの低減を目指して、車両データ・車内映像データの収集基盤と 2 か所の路車協調基盤において、データの収集から活用までの流れを同一の構成とした。この際、データパイプライン(intdash)が重要な役割を担っている。以下、今回の実証を踏まえての定性分析を行う。

【概要】

・前提として、本実証における構成で、サーバダウン等の障害は発生しなかったため、本構成は実装時にも同構成であれば活用可能であると想定される。具体的に、車両、道路灯からのデータ収集をし、それらをデータパイプライン(intdash サーバ)に伝送していたため、データパイプラインは車内

映像、道路灯映像を同時に受け取っていたが、特に障害が発生することはなかった。

・データパイプラインによって、以下①、②の情報の流れを一元管理することが可能となった。具体的に、データ形式自体は異なるものの、そのデータを、メタデータの付与により同一のルール(取得時間・取得場所・生成元・生成時間・活用先)で管理できた。

①車両からの映像データ、車両データ(位置情報、ルータ情報)、道路灯 A からの映像データ、道路灯 B からの LiDAR 点群データ・映像データを、所定のアプリへ連携すること

②アプリ上で分析した結果として出力される物標情報、回線予測情報を車両へ連携すること

【初期コスト】

■開発コスト

ゼロベースのシステム開発と比較し、以下の点において大幅な開発工数の削減を実現した。

①データ収集・連携機能の「設定ベース」での実装:映像およびセンシングデータの収集において、独自のプログラムコードを記述することなく、パラメータ設定のみで構築を完了させた。特に、システム間連携においては既存のコネクタ機能を活用し、以下の複雑なデータフローをノンプログラミングまたは最小限の工数で実現した。

- ・映像データの連携: 物体検出アプリおよび東海理化 AI アプリへのストリーミング配信
- ・解析結果の連携: 物体検出アプリおよび Cradio サーバからの出力データを車載器へ連携
- ・エッジ情報の連携: ルータ情報および位置情報の Cradio サーバへの集約

②エッジ環境の立ち上げ:エッジコンピューティングに必要なハードウェアと、データ収集ソフトウェアが一体となったソリューションを採用したため、機器選定、OS セットアップ、ミドルウェア検証などの環境構築工数を削減し、実証実験の迅速な開始に寄与した。

【ランニングコスト】

■運用コスト:以下の点において工数の低減を実現した。

①データ一元管理による管理・分析工数の圧縮:データパイプライン上で、データ収集・活用が一元管理されているため、必要なデータの分析が総合的に可能となることでストレージ量の最適管理が容易となった。散在するデータの収集作業(名寄せやフォーマット統一など)を不要とし、過去データの抽出・分析にかかる準備工数を最小化することができた。また、同様の理由で、機能が期待通りに動かない際の原因分析工数が低減することにつながった。

②リモートメンテナンスによる現地対応工数の削減:車載器へのセキュアなりモート接続機能を活用することで、トラブルシューティングやログ確認を遠隔地から実施可能とした。これにより、現地への技術者派遣(移動時間・交通費)を削減し、障害発生時の初動対応時間を大幅に短縮した。

③設定変更の即時対応:実証実験の進捗に合わせたデータ収集条件の変更(カメラ台数や伝送

ビットレートの調整など)を、開発ベンダーへ改修依頼することなく、運用担当者がリモート設定画面から即座に実施可能な体制を構築した。これにより、仕様変更に伴う追加コストを抑制した。

■拡張コスト:現状のデータ構成が一元管理されることによって、将来的に、センサ数・管理対象モビリティの台数・アプリ数・走行地域数の変化や都市 OS データの追加等があった際に、それに必要なシステム・基盤の拡張の検討が容易となる。また、データの組み合わせや相互活用が必要になる際にも同様の効果が期待される。

6.7 レベル 4 社会実装に向けた考察

ユースケース②

【成果】

- Cradio による制御によって、制御を行わなかった場合と比較して無線区間のスループットが向上し、所望スループット(4Mbps)以上の時間率が約 96%となり、KPI である『95%以上』を達成した。
- Cradio・ISAP による制御によって、制御を行わなかった場合と比較してエンドツーエンドでのスループットが向上し、所望スループット(4Mbps)以上の時間率が約 90.3%となり、KPI である『90%以上』を達成した。
- Cradio と ISAP の両通信技術の活用によって、遠隔処理の場合の車内映像分析精度は、エッジ処理の場合の 1 割未満減にとどまることが明らかとなった。
- 映像の鮮明化よりも、コマ飛びやフリーズを抑えた「途切れない通信」が遠隔監視の継続において最重要であることを確認した。
- 車内監視:映像の軽微な乱れは許容範囲と評価され、「継続性」が重視された。
- 車外監視:一定の解像度を維持した上での即時性が必要である。
- AI 検知は迅速性の向上に直接は寄与しなかったものの、監視員の「見落とし防止」および「精神的・身体的疲労の軽減」において高い有用性を持つことが確認された。運用フェーズごとに求められる AI 性能の閾値を明確化した。
- 補助的利用:遅延 5 秒以内、検知精度 80%程度が許容範囲であった。
- 多車両監視・本格運用:遅延 1 秒程度の即時性、および 100%に近い極めて高い精度が必要である。

【課題】

- 今回利用したキャリア通信については、エリア品質が悪い場合には Cradio・ISAP による制御を行った場合であっても、スループットの悪化が避けられない。本課題については、キャリアの通信品質が悪いエリアについてローカル 5G などの別の品質の良いネットワークを別途構築し、それらのネットワークも含めて Cradio による制御を行うことで、全体としての安定した通信の確保

が見込めると考えられる。

- 車内映像の分析を遠隔処理によって行う場合は、伝送される車内映像の品質に左右されることが分かった。そしてその映像は伝送時のアップリンクスループット量に影響を受けている可能性が高いと考えられる。車内安全確保には現状よりも高い精度が求められるため、映像伝送と検知精度の関係に加えて今後はアップリンクスループット量を確保するための通信の改善が必要である。
- 将来的な多車両監視では、常時監視の限界、状況把握と意思決定の遅延、運行継続性の確保とサービスの維持が課題として示唆され、AI の高度化が求められた。AI 通知時のみ介入する「オンデマンド監視」への移行と監視員の「意思決定者」への役割転換に加え、低リスク・高即応領域（自動アナウンスや車両制御等）の自動対応化による業務削減と安全確保の両立が不可欠である。

ユースケース③

【成果】

- 離合制御ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率は 90%以上となった。
- 車列回避ができ、当該ポイントにおける自動走行達成率は 100%となった。
- LiDAR の点群情報、カメラの映像情報共に、スループット量を継続的に確保できることを確認した。
- 合計 66Mbps のスループット量を継続的に確保できることを定量的に確認した。

【課題】

- 普通車とのすれ違いを避けるための手動介入が 3 回発生した。仕組み自体は有効であるものの、社会実装に向けてはネットワーク改善による検知の安定化が必要である。
- 路車協調システム（車列回避、離合制御の実施）は社会実装時も活用可能であることが示唆された。より確実な安全性を目指す場合、駐車場北側の対向車も検知する必要がある。
- ローカル 5G の活用により、自動運転に必要な不可欠な大容量データの安定通信が可能となることが明らかとなった。

7. 本実証の総括

7.1 本実証の成果・課題

➤ UC②

- ・ TCP 通信のアップリンクスループット計測の結果、Cradio・ISAP 技術無しでは所望スループットである4Mbps以上となる確率が約72%であるのに対し、技術ありでは約90.3%となった。Cradio・ISAP 技術を活用することで、安定した通信を確保し、遠隔監視などに求められる所望スループットを満たすことができる通信システムの構築が可能であることが分かった。
- ・ ISAP を使用したパターンで映像の鮮明さが向上したが、車内監視における監視映像において最も重視されるべきは「映像が途切れない安定性(飛び/フリーズの低減)」であり、乗客の表情を判別できるほどの高画質化は、実務上の優先順位は低い。一定の映像の乱れがあっても挙動さえ把握できれば、監視業務への支障は極めて限定的である。
- ・ 車内監視は異常発生後の状況確認が主目的であり、人物挙動の把握については前後の映像による推察が比較的容易であるため、映像の軽微な乱れは許容範囲と評価される。一方、車外監視はリスクを最小限にするため即時性の高い判断が求められるのに加え、車両速度の影響で映像の補完が困難となる場合が多いことから、通信途絶やカクツキを最小限に抑えた映像品質が求められる。
- ・ AI 検知を用いた、遠隔監視の運用シミュレーションでは、AI 検知の有無による迅速性・確実性・一貫性の差異は確認されなかった。しかし、評価対象者からは、監視台数に関わらず長時間の集中力維持は困難であるとの懸念が示されており、見落とし防止策として、AI 検知を用いた通知の有効性が確認された。また、業務負担の観点では、AI の補助による心理的安心感の獲得に加え、常時注視を要さない「俯瞰的な監視」の実現による身体的疲労の抑制効果も示唆された。これらの結果より、AI 検知は監視員の心身負荷を軽減し、持続可能な監視体制の構築に寄与すると考えられる。
- ・ AI 検知の遅延と精度が遠隔監視業務に及ぼす影響について、AI 検知を監視員の「気づき」の補助として用いる場合、約5秒のリードタイムは全ての対象者にとって許容範囲内であった。一方、将来的な多数の車両における複数台同時監視の実現には1秒程度の即時性が求められることが明らかになった。
- ・ AI 検知精度に関しては、補助的な利用であれば80%程度で許容されるものの、本格運用に際しては、誤検知による監視員の負荷増大を回避する必要がある。そのため、検知対象を特定の危険事象に絞り込んだ上で、100%に極めて近い精度の確保が必要であるとの示唆を得た。

➤ UC③

- ・ 離合制御を行ったうえでの当該ポイントにおける自動走行達成率90%以上を達成した。また車列回避を行ったうえでの当該ポイントにおける自動走行達成率100%も達成した。交通事業者の観点からも、車列最後尾での停止時のブレーキ強度を除き、停止ポイント、停止・発進のタイミングや加減速の滑らかさなど、安全性・走行品質ともに基本性能は実用水準にあることが確認された。本地域における検証ポイントや、死角範囲の情報取得を要する類似の環境にお

る自動運転社会実装に活用可能であることが示唆された。

- ・ 課題として、離合制御ポイントにおける通信環境の安定化が挙げられる。対向車を捉えた映像をクラウド上へ伝送し AI 分析し、その分析結果を車両に連携して車両を制御した際に、映像が止まるなどの支障があった。そのため、車両が実証ポイントのような状況の道路を安全にかつ円滑性を担保して走行するには、本システムを安定的に機能させる土台となる通信環境の整備が必要であるといえる。
- ・ ローカル 5G の活用により、大容量通信を安定的に確保可能であることが確認できた。混雑環境を走行する自動運転車両向け通信として、社会実装時にも有用な通信手段であるといえる。

➤ 運用検証

- ・ 将来的な多車両監視に向けては、AI 通知時のみ介入する「オンデマンド監視」への移行と監視員の「意思決定者」への役割転換に加え、低リスク・高即応領域(自動アナウンスや車両制御等)の自動対応化による業務削減と安全確保の両立が不可欠となる。
- ・ 路車協調システムの導入により、自動運転専用道路の整備を必要とせずに走行可能な箇所が増えるため、自動運転の地域交通の持続性への寄与度が高まったといえる。
- ・ 不正なアクセスを防ぐために、基本的にローカル 5G や MEC 通信といった閉域ネットワークでシステムを構成した。やむを得ずインターネットと繋げる場合もファイアウォールを設置し、適切なファイアウォールポリシーを設定する、通信装置の物理的な現物確認を定期的実施するなどの対策を適切に実施することが必要である。
- ・ 本実証では通信機器について設置前に十分な検討・検証を行い、ネットワーク遠隔監視・各種システム運用のリモート化を進めることで、運用期間中通信システムに大きなトラブルが発生せず、発生時もスムーズに対処することができた。遠隔操作機能により工数を約 20 時間削減した。

➤ 効果検証

- ・ 路車協調システムによって、離合制御・車列回避双方において自動運転率が 90%以上となった。そのため、路車協調システムが機能する箇所は経路上に2か所あり、ダイヤは1日に5便であるため、1日において1台あたり10回程度の手動介入回数が減じたと試算される。
- ・ 死角車両検知情報の連携は、接触回避やスムーズな走行判断・制御に資するため、安全性・円滑性の向上に寄与するといえる。
- ・ インフラ側からの情報がない限り、死角範囲を把握する必要のある道路状況の走行においては、ごく低速で進むなどの設計が必要となり、自動運転バス運行時間自体の延長が発生する。そのため、本システムを活用することで運行時間を守ることに繋がるといえる。またこれに伴い乗客の移動時間が短縮するため、利便性向上にも効果があるといえる。
- ・ ローカル 5G については、キャリアのコア設備共用型の L5G-TypeD を利用したことで基地局構築の費用を削減できた。
- ・ 既設道路灯の活用によって、道路灯を新設する場合と比較してコストを 5 分の 1 程度に抑えることができた。

7.2 社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

表 106 将来構想

	2025年	2026年	2027年～
自動運転(サービス)	<ul style="list-style-type: none"> 各種ソリューション及び通信システム(L5GTypeD/5G ワイド/スライシング)の活用による限定されたエリア内(狭隘な生活道路を含み将来自動運転バスの社会実装を目指す路線バスルート)における実証 	<ul style="list-style-type: none"> 各種ソリューション及び通信システムの活用による幅広いエリア内における実証 自動運転システムの一部機能(周辺 準動的・準静的情報処理)クラウドへの移行 	<ul style="list-style-type: none"> 各種ソリューション及び通信システムの活用による一部エリア内における実証 一部オーナーカーから取得したの運行情報の活用や、オーナーカー領域への実証済技術の展開 自動運転システムの更なるクラウドへの移行
遠隔監視(ソリューション)	<ul style="list-style-type: none"> 車内状況の AI 検知(着座/立位/転倒)を契機にした車両の簡易遠隔制御支援と監視員の負担軽減 1人の監視員による複数台(2台)の車両の監視 	<ul style="list-style-type: none"> AIによる異常検知や判断の自動化を強化し、遠隔監視の負担を軽減 実証ルートにとらわれない、複数拠点の遠隔監視 1人の監視員とBPOを考慮した複数台(2台以上)の車両の監視 	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転システムにとらわれない複数の自動運転システムの一括遠隔監視 BPOを活用した幅広い人材登用による遠隔監視装置のモニタリング業務の更なる効率化 遠隔監視装置の冗長化
路車協調(ソリューション)	<ul style="list-style-type: none"> 多様な道路環境下(狭隘な生活道路や駐車待ちの渋滞)における運行監視映像、路側(スマート道路灯)データと連携したエンドツーエンドでの頑健な複数(2台)自動運転バス制御 	<ul style="list-style-type: none"> 多様な道路環境下における運行監視映像、路側データ、外部データ連携基盤(都市OS等)と連携した新規通信インフラ設備の敷設を必要としない頑健なエンドツーエンドでの複数自動運転バス制御 	<ul style="list-style-type: none"> 多様な道路環境下におけるオーナーカーを含む運行情報、路側データ、外部データ連携基盤(都市OS等)と連携した新規通信インフラ設備の敷設を必要としない幅広いエリアの情報を集約、ブロードキャストする仕組みを活用した頑健な複数自動運転バス制御
通信(技術)	<ul style="list-style-type: none"> ネットワークリソースの動的な制御による通信状況の最適化(Cradio/ISAP) スライシングにより確保された静的コアリソースの有 	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転システムやアプリケーション単位のネットワークリソースの有効利用 UE(User Equipment)単位で静的に確保されたネットワー 	<ul style="list-style-type: none"> モバイルインフラシェアによるコアネットワークオフローディング 動的なエンドツーエンド通信リソース最適化 無線アクセスネットワーク～コ

	効利用	クリソースの有効利用の検証 ・状況によりエッジ側処理を効率よく利用したネットワークリソースに頼らない処理方式の検証	アのオーケストレーション
--	-----	--	--------------

地域社会 DX 推進パッケージ事業(自動運転レベル 4 検証タイプ)
安全な自動運転に資する通信システム等の検証に関する調査研究
(実証地域:神奈川県横浜市)

実績報告書

ローカル 5G と路側インフラを活用した狭隘道路等での走行支援と
無線リソース最適化技術を活用した車内遠隔監視の実証

2026 年 1 月

代表事業者:NTT ドコモビジネス株式会社
