地域デジタル基盤活用推進事業（自動運転レベル４検証タイプ）

群馬県前橋市・中之条町

レベル４自動運転バス実装に向けた多様な通信課題の実証

実績報告書

2025年1月31日

一般社団法人ICTまちづくり共通プラットフォーム推進機構

L4自動運転群馬モデルコンソーシアム

目次

1. 実証の背景・目的 1
1.1 実証の背景 1
1.2 レベル 4 自動運転を社会実装する上での実証地域における課題 2
1.2.1 レベル 4 自動運転バス実現のためのインフラ設備の維持費確保 3
1.2.2 レベル 4 自動運転バスのバス停アプローチ 3
1.2.3 レベル 4 自動運転バスと鉄道等との接続を考慮した柔軟なバス運行 . 3
1.2.4 レベル 4 自動運転バスの緊急車両対応 3
1.2.5 レベル 4 自動運転導入のための通信劣悪環境への対応 3
1.2.6 路側デバイスの通信品質に応じた情報制御 4
1.2.7 複数のレベル4自動運転バスの情報連携による円滑運行実現 4
1.3 実証の目的 5
1.4 最終目標・構想イメージ 5
1.5 「最終目標・構想イメージ」における本実証の位置づけ・目標 7
1.5.1 レベル 4 自動運転バス実現のためのインフラ設備の維持費分担、回収モデルの実証と効果評価 7
1.5.2 レベル 4 自動運転バスの安全性や運用性向上に資する情報 Hub バス停の実証と効果評価 8
1.5.3 レベル 4 自動運転バスと鉄道等との接続を考慮した柔軟なバス運行の実現と手段の比較評価 8
1.5.4 レベル 4 自動運転バスの自律的な緊急車両対応の実現と手段の比較評価 8
1.5.5 レベル 4 自動運転導入のための通信劣悪環境への対応の実現と手段の比較評価 8
1.5.6 通信品質に適応する路側デバイスの情報制御の実現 8
1.5.7 複数のレベル 4 自動運転バスの情報連携による円滑運行実現に向けての課題 8

2. 業務実施体制 10
2.1 実証機関 10
2.2 実施体制図 11

3. 自動運転の運行結果 12
3.1 運行場所 12
3.1.1 群馬県前橋市 12
3.1.2 群馬県中之条町 13

3.2 運行期間 13
3.3 運行時間帯・頻度・運行方式 14
3.4 運行者 16
3.5 運行体制 17
3.6 自動運転車両の特徴 21

4. 実証の手法 23

4.1 自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証 23
4.1.1 携帯通信網圏外における複数手段による自動運転車両の通信継続、監視継続手法の実証と比較検証 23
4.2 交差点における車両の認知機能の補助機能（自動車の死角にいる交通参加者/交通弱者の情報を車両に通知する機能）の検証 31
4.2.1 無線通信を用いた路側センサ（LiDAR）と協調型信号化装置の通信品質に応じた情報適用制御 31
4.3 見通し外や路上駐車など複雑な交通環境下における周辺環境情報のリアルタイム映像分析及び車側の危険回避行動の連携 35
4.3.1 工事・路上駐車等の環境変動に対する自動走行の柔軟化 36
4.4 明瞭な映像・音声による常時遠隔監視を実現する自動運転用軽量映像伝送システムの実証 40
4.4.1 軽量映像伝送システムの試設計・実証 40
4.5 高度な安全配慮が必要な踏切道や緊急車両行き違い等ボトルネックケースにおける他者とのシステム連携による安全性向上 45
4.5.1 レベル 4 自動運転バスの緊急車両対応システムの実現 45
4.5.2 鉄道との接続を考慮した柔軟性のある自動運転バス運行を実現する、鉄道車両・最寄踏切からの鉄道接近検知の実現 60
4.6 経済性・実装性向上のための路側インフラ技術の標準化・量産化・共通化の実証 66
4.6.1 バス停を中心とした、自動運転バスの支援と、情報ハブとしての利活用との共用による費用低廉化・普及促進 66
4.7 レベル 4 の社会実装に向けた検討 71
4.7.1 運用検証 71

5. 通信システムに関する構築 73

5.1 通信システムの全体像 73
5.1.1 ユースケース①、④: 73
5.1.2 ユースケース②、③、⑤、および⑥の情報 Hub バス停: 82
5.2 使用機器・ソフトウェア一覧 92
5.3 システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等 95
5.3.1 路側インフラシステム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等 95

6. 実証結果・考察 99

6.1 自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証.....99

6.1.1 携帯通信網圏外における複数手段による自動運転車両の通信継続、監視継続手法の実証と比較検証.....99

6.2 交差点における車両の認知機能の補助機能（自動車の死角にいる交通参加者/交通弱者の情報を車両に通知する機能）の検証.....129

6.2.1 無線通信を用いた路側センサ（LiDAR）と協調型信号化装置の通信品質に応じた情報適用制御.....129

6.3 見通し外や路上駐車など複雑な交通環境下における周辺環境情報のリアルタイム映像分析及び車側の危険回避行動の連携 138

6.3.1 工事・路上駐車等の環境変動に対する自動走行の柔軟化.....138

6.4 自動運転用軽量映像伝送システムの実証 143

6.4.1 軽量映像伝送システムの試設計・実証.....143

6.5 高度な安全配慮が必要な踏切道や緊急車両行き違い等ボトルネックケースにおける他者とのシステム連携による安全性向上.....150

6.5.1 レベル 4 自動運転バスの緊急車両対応システムの実現 150

6.5.2 鉄道との接続を考慮した柔軟性のある自動運転バス運行を実現する、鉄道車両・最寄踏切からの鉄道接近検知の実現.....174

6.6 経済性・実装性向上のためのカメラシステムの標準化・量産化・共通化の実証....182

6.6.1 バス停を中心とした、自動運転バスの支援と、情報ハブとしての利活用との共用による費用低廉化・普及促進.....182

6.7 レベル 4 の社会実装に向けた検討.....191

6.7.1 運用検証.....191

7. 本実証の総括 193

7.1 本実証の成果・課題.....193

7.1.1 自動運転を導入するとサービス品質が低下するとの課題 193

7.1.2 通信に関連する問題により導入候補地域が限定されるという課題.194

7.1.3 通信に関するコストパフォーマンスのバランス点という問題 194

8. 参考資料 196

8.1 自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果 196

8.2 参考文献 207

1.　実証の背景・目的

1.1　実証の背景

群馬県では、平成 27 年度に実施した群馬県パーソントリップ調査において「自動車分担率約 78%」と、自家用車に依存していることが明らかとなった。

この原因の 1 つの見解として、人口減少と市街地拡散により都市機能が低下、自家用車が無くては生活できない都市構造に変化したことなどが考えられており、こうした都市構造の変化とモータリゼーションは「公共交通利用者の減少」、「経営環境の悪化」、「路線の減便や撤退」といった負のスパイラルに陥り、公共交通を取り巻く環境が深刻な状況となっている。

これに対し、「交通」と「まちづくり」を一体化としてとらえる「交通まちづくり」の理念のもと、『群馬県交通まちづくり戦略』を策定し、移動の技術革新を踏まえつつ、20 年後の都市構造を見据えた施策を進めている。

公共交通の旅客輸送の持続可能性や経済性の観点から、その解決の鍵と期待される自動運転バスの実現と社会実装に向けて、平成 29 年度より前橋市と当時の技術提供者であった（大）群馬大学、対象路線のバス運行事業者である日本中央バス(株)で連携協定を締結したことに始まり、前橋駅―中央前橋駅間の前橋市の委託バス路線を対象に、緑ナンバーによる自動運転定期運行を毎年実施するなどの活動を進めてきた。令和 4 年度からは、前橋市、日本中央バス(株)や日本モビリティ(株)などが連携し、令和 7 年度を目標に、本格的に当該対象路線に自動運転レベル 4 での本格運行を目指すという合意の下、レベル 4 を実現するための残課題の洗い出しを行い、システムの信頼性向上やリスク低減に資する車両側機能の開発や、協調システムを取り入れた課題解決など多角的な取り組みを実施してきた。

また群馬県が中心となり、自動運転社会実装の取り組みの輪を広げ、渋川市や中之条町といった特色ある各地域に横展開を並行して進めている。横展開においては、技術プラットフォームの共通化により遠隔監視を県下で統合することで、自動運転導入における経済合理性を成り立たせるという仮説を基に、自動運転実装モデルである「群馬モデル」の構築を目指している（図 1-1 参照）。

図 1-1 群馬県下で進行中の自動運転の社会実装モデル「群馬モデル」のイメージ

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

先に述べた通り、群馬県では平成 29 年度より前橋駅―中央前橋駅間の前橋市の委託バス路線を先端モデルとして、令和 7 年度を目標にレベル 4 自動運転での運行を実現すべく着実に歩みを進めており、自動運転車両の技術的課題や走行環境に関する課題は様々な視点で存在するものの、抽出されているものから順次対応を進めていく別途の計画もあるので、ここでは本事業に関係する部分のみ抽出して述べる。

本事業で焦点を当てる実証地域の課題は、図 1-2 のような本事業と「群馬モデル」の課題の関係性から、これまで運転手により補助されてきた障がい者介助や、鉄道遅延を察しての乗客待ちなど「自動運転を導入するとサービス品質が低下するという課題」、複数場所での運行を目指した場合に発生する「通信に関連する問題により導入候補地域が限定されるという課題」、通信不安定地域における自動運転サービス提供のために必要十分な通信が確立されていないことによる「通信に関連するコストパフォーマンスのバランス点に関する課題」の 3 つである。とかく昨今は自動運転の走行技術の課題解決がクローズアップされた事業が展開されているが、実際には上記の課題を解決しないと、社会受容性を満たせないことが導入の最大の障壁となる可能性がある。これらの課題解決が他事業において見過ごされてきた点も一つの課題と言える。

上記の実証地域、前橋市については地方都市型混在公共交通として、人・緊急車両・鉄道の存在を踏まえた自動運転の実装における課題解決のため、中之条町については山間部観光地として、

キャリア通信の繋がらないエリアへの自動運転の実装における課題解決のために、以下の取り組みと、その課題が挙げられる。

1.2.1 レベル 4 自動運転バス実現のためのインフラ設備の維持費確保

レベル４自動運転バスを安全に手動のサービス品質と同様に実現するためには、信号の先読みや死角の視野を補助する路側センサなどの路側デバイスが欠かせない。しかし、路側デバイスを追加するほど、その維持費が増えることとなり、自動運転導入における経済合理性が成り立たなくなる問題がある。そこで、路側デバイスの情報を自動運転以外の交通や全く別の用途に提供することができれば、コストを分担したり回収したりする効果を期待できる。ただし、それらの具体的なモデルは未だ確立していないという課題がある。

1.2.2 レベル 4 自動運転バスのバス停アプローチ

レベル４自動運転バスが走行する上で最もリスクが高い箇所の一つがバス停周辺である。バス停付近からの歩行者の飛び出し、駐車車両などへの対応の他、車いす対応のための正着制御、他バスとのバス停共用、乗客判定など様々な課題があるが、これらはバス停を高度化することで解決できる可能性がある。また広告表示やMaaS 連携などバス停を情報ハブとしての活用も期待できる。ただし、これらの具体的なモデルは未だ確立していないという課題がある。

1.2.3 レベル 4 自動運転バスと鉄道等との接続を考慮した柔軟なバス運行

本事業で対象とする前橋駅―中央前橋駅間のバスのように、鉄道との接続が乗客の利便性の観点で重要なバス路線は多い。レベル４自動運転バス導入によるサービス品質を維持するためには、鉄道の遅延等の運行ダイヤの揺らぎを考慮した「柔軟なバス運行」を実現するための機能の確立が課題となる。

1.2.4 レベル 4 自動運転バスの緊急車両対応

レベル４自動運転バスの社会実装を実現するためには、道路交通法に定められた緊急車両への進路譲りなどの対応について、自律的かつ円滑に行える機能の実現が求められるが、その具体的な有効手段の検証が充分に進められていない課題がある。

1.2.5 レベル 4 自動運転導入のための通信劣悪環境への対応

群馬県には、山間地域に温泉などの観光資源が多く存在し、外国人観光客などの自家用車を利用しない観光客の交通手段の確保維持・拡大が重要であり、そこに自動運転導入のニーズがある。一方で、こうした地域では他交通が少なく走行環境としての自動運転導入の難易度は低いものの、トンネルなどの物理的な障害や採算性の観点から、携帯通信網の圏外である場合が多い。代替する通信環境や対応する遠隔監視機能等を安価かつ効率的に構築するための知見やノウハウを蓄積

することにより、通信劣悪環境下にある地域への自動運転導入を可能にすることで、自動運転普及のブレークスルーとなることが期待できる。ただし、これらの具体的モデルは確立していないという課題がある。

1.2.6 路側デバイスの通信品質に応じた情報制御

路側デバイスの導入において自動運転導入における経済合理性を成り立たせるためには、費用削減の観点から携帯通信網などの公共通信を用いる手段が重要となるが、これらの公共通信は周囲での利用状況によって通信品質がばらつく問題がある。一方で、路側デバイスの情報は自動運転の走行にとって重要な情報であることから、通信品質に応じその重要な情報を取捨選択して送信する情報制御が必要となる。ただし、これらの具体的モデルは未だ確立していないという課題がある。

1.2.7 複数のレベル４自動運転バスの情報連携による円滑運行実現

レベル 4 自動運転導入において経済合理性を高めるためには、なるべく 1 人の遠隔オペレーターが複数台の車両を監視運用している状況を作ることが必須となる。同一路線を複数台の自動運転車両が走行する場合、前走車が得た情報を後続車にとっての先読み情報として活用できることが期待できる。ただし、これらの具体的モデルは未だ確立していないという課題がある。

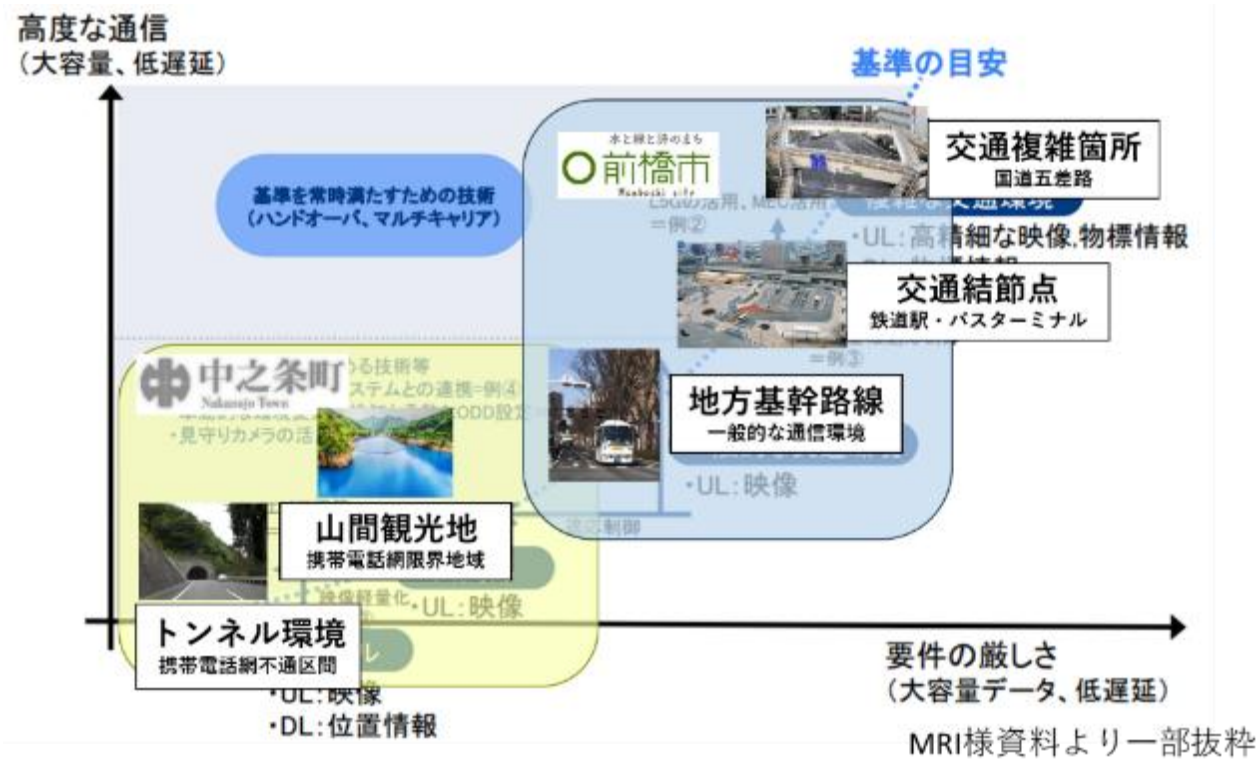


図 1-2 本事業と「群馬モデル」の課題の関係性

1.3　実証の目的

レベル４自動運転バスを社会実装する上での重要な課題ポイントである「自動運転を導入するとサービス品質が低下するという課題」「通信に関連する問題により導入候補地域が限定されるという課題」「通信に関連するコストパフォーマンスのバランス点に関する課題」の３つに対し、代表される具体的課題の解決に向けた取り組みとして、エビデンスの伴った実証を行うことにより、対象地域のレベル４自動運転導入の実現可能性の実証に繋げるとともに、社会受容性の確保や経済合理性の確立といった、持続可能な社会実装に向けた足掛かりとなることを明らかにする。

また、レベル４自動運転バスの社会実装、その先の普及に向けては、いかに多くの地域に横展開し、同時運行による経済性を高めるかが重要な鍵となる。本事業は、その成果をエビデンスの伴う実証として広く周知することで、レベル４自動運転バスの導入機運を醸成することができる。また、本事業で取り扱う諸課題は、対象地域に限定されたものではなく、得られた結果について一般化した考察を行うことが可能である。本事業の成果が、レベル４自動運転の社会実装の推進に向けた「自動運転」の可能な領域（地域や機能）の外縁を拡げ、全国の自動運転導入の検討主体が実装イメージを構築するためのリーディングケースとなることも期待できる。

1.4　最終目標・構想イメージ

前橋市においては、人口減少や少子高齢社会に対応した長期的な視点に立った持続可能なまちづくりを推進するため、多様な交通手段を選択することが出来る公共交通ネットワークの再構築を図る「前橋市地域公共交通計画」を策定し、地域公共交通確保の一手段としての自動運転バスの実装を掲げている。この計画の中では、公共交通の問題点の一つとして、中心市街地における公共交通が挙げられており、「公共交通による、まちなかの回遊性の向上」を目標に個別施策が展開されている。官庁エリア、中心市街地、鉄道駅、大型商業施設を接続する都心幹線を設定し、各エリアをつなぐ主たる交通手段として路線バスが想定されているが、その充実のために生じる課題への対処として運転事業者のドライバー不足対策、運用コストの低減が必須かつ喫緊の課題となっている。そこで、複数事業者の共同運行および自動運転バスの導入等がその解決策として掲げられ、自動運転バスについては、図 1-3 に示すようにこれまで前橋市、前橋駅―中央前橋駅間ルートにおける L4 自動運転の社会実装を当初目標として事業が推進されてきており、政府策定のデジタルライフライン全国総合整備計画、アーリーハーベストの中で経済産業省が掲げる、2025 年目途に全国 50 箇所程度、2027 年度までに全国 100 箇所以上で自動運転車による移動サービス提供に対し、前橋市路線はその１つに相当するものである。

また、本実証路線は前橋市の委託路線であるため、自動運転実装となった場合は引き続き、自動運転での持続的な運行に必要な経費について支援を行うことが可能である点も特徴として挙げられる。

近年では、令和５年のデジタル田園都市国家構想推進交付金（デジタル実装タイプ）、令和５、６ 年の国土交通省道路局による実証実験により路車協調デバイスの設置と効果検証を行い、事業終了後も撤去せずに継続利用できる建付けを確保して、自動運転バスの社会実装に向けて本格的な取り組みを行っている。また、当該路線において自動運転バスのレベル４での運行の実現と並

行し、走行空間という切り口から、トランジットモール化など、前橋市や群馬県で進めている様々な取り組みとの連携を図り、円滑かつ効果的な施策に繋げる取り組みも行っている。

中之条町においては、群馬県で検討を進めている、技術プラットフォームの共通化により遠隔監視を県下で統合することで、自動運転導入における経済合理性を成り立たせる仮説を基とした自動運転実装モデルである「群馬モデル」の構築の横展開地域として連携を開始した。

「群馬モデル」では、前橋駅―中央前橋駅間ルートを先行事例としており、当該ルートの 2025 年の社会実装を先行として群馬県下で横展開を進め、中長期的に多数の社会実装を目指す。これにより県下の大きな観光資源の一つである温泉などの山間観光地での交通の諸課題に対して自動運転を適用することができれば、普及が促進されることが期待される。中之条町は、令和 6 年度より地域公共交通の活性化及び再生に関する法律に基づく「地域公共交通計画」の策定業務を 2 か年にて実施予定である。スクールバス、福祉バス、デマンドバス、買い物バスなどを総合的に検証し、より分かりやすく効率的な方法へ改善し、交通弱者対策を推進していく。四万温泉地区では人口減少、観光客入込減少による 2 交通不足が地域課題となっており、本事業を通じて交通空白地での自動運転を導入することにより、「世のちり洗う四万温泉」での自然を感じるモビリティとしてパーク＆ライドを実装し、安心して愉しく散策できる温泉地を目指す。導入により地域の回遊性が高まり、滞在時間が延伸し、消費金額が増加し持続可能な観光地域づくりを実現させる。（図 1-4 参照）

図 1-3 前橋市の特徴

図 1-4 中之条町四万温泉の特徴

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、群馬県下で自動運転の実装が有力視される、前橋市のような地方部幹線路線と中之条町のような山間観光地へのレベル 4 自動運転の社会実装を最終目標とし、「自動運転を導入するとサービス品質が低下するという課題」「通信に関連する問題により導入候補地域が限定されるという課題」「通信に関連するコストパフォーマンスのバランス点に関する課題」の 3 つの課題ポイントの解決を実現し、対象地域のレベル 4 自動運転導入の実現可能性の実証に繋げるとともに、社会受容性の確保や経済合理性の確立といった、持続可能な社会実装に向けた足掛かりとすることが大目標となる。

より具体的な小目標としては、以下が挙げられる。

1.5.1 レベル 4 自動運転バス実現のためのインフラ設備の維持費分担、回収モデルの実証と効果評価

「４．実施内容提案」にて提案する路側デバイスの情報を自動運転以外の交通や全く別の用途に提供するモデルによって、インフラ設備維持費を分担したり回収したりする仮説を実証する。これにより、路側デバイスの導入を促進し、自動運転バスの性能向上による運用範囲の拡大等に繋げる。

1.5.2 レベル 4 自動運転バスの安全性や運用性向上に資する情報 Hub バス停の実証と効果評価

「４．実施内容提案」で提案する情報 Hub バス停によって、バス停付近からの歩行者の飛び出し、駐車車両などへの対応の他、車いす対応のための正着制御、他バスとのバス停共用、乗客判定など様々な課題を一挙に解決し、レベル４自動運転バスの実現可能性を高める。また広告表示や MaaS 連携などバス停導入コストの削減効果を明らかにする。

1.5.3 レベル 4 自動運転バスと鉄道等との接続を考慮した柔軟なバス運行の実現と手段の比較評価

「４．実施内容提案」で提案する複数の手法によって、鉄道との接続が乗客の利便性の観点で重要なバス路線は多い。鉄道の遅延等の運行ダイヤの揺らぎを考慮した柔軟なバス運行を実現し、レベル４自動運転バス導入がサービス品質を維持する効果を明らかにする。また、手法の比較による技術的、運用的、経済的なメリット・デメリットを明らかにする。

1.5.4 レベル 4 自動運転バスの自律的な緊急車両対応の実現と手段の比較評価

「４．実施内容提案」で提案する複数の手法によって、道路交通法に定められた緊急車両への進路譲りなどの対応について、自律的かつ円滑に行える機能を実現し、レベル４自動運転バスの実現可能性を高める。また、手法の比較により技術的、運用的、経済的なメリット・デメリットを明らかにする。

1.5.5 レベル 4 自動運転導入のための通信劣悪環境への対応の実現と手段の比較評価

「４．実施内容提案」で提案する複数の手法によって、トンネルなどの物理的な問題や採算性の観点から、携帯通信網の圏外である山間観光地への導入を実現するための、複数の通信手段の検討や専用の遠隔監視用ソフトウェアを実現し、レベル４自動運転バスの導入可能範囲を拡大する。また、手法の比較により技術的、運用的、経済的なメリット・デメリットを明らかにする。

1.5.6 通信品質に適応する路側デバイスの情報制御の実現

「４．実施内容提案」にて提案する情報制御機能を実現し、通信品質に応じてより重要な情報を取捨選択して送信する情報制御を体系的なモデルにまとめ、機能を実現する。これにより、携帯通信網などの公共通信の活用を促し、路側デバイスの導入・維持コスト削減につなげる。

1.5.7 複数のレベル 4 自動運転バスの情報連携による円滑運行実現に向けての課題

「４．実施内容提案」にて提案する自動運転バス間の情報連携機能を実現し、前走車が得た情報は後続車にとっての先読み情報として活用できるユースケースを整理し、機能を実現する。こ

れにより、レベル４自動運転バスの複数台運用のメリットを高め、普及を促進させる。

2.　業務実施体制

2.1　実証機関

表 2-1 実証機関

代表機関	法人名	一般社団法人 ICT まちづくり共通プラットフォーム推進機構
	代表者氏名	小林　寛史
	所在地	群馬県前橋市大友町一丁目 6 番地の 11
	業務の概要	実証統括
構成員	法人名	日本モビリティ株式会社
	代表者氏名	小峰　千紘
	所在地	群馬県前橋市荒牧町 4-2 群馬大学 11 号館 208
	業務の概要	技術検証用自動運転車両の提供、自動運転システムの提供、自動運転車両の運行、整備、ユースケース①、②、③、④、⑤の緊急車両手法 1 および鉄道協調、⑥の情報 Hub バス停での通信システムの開発、検証、該当ユースケースに関する関係者調整、手続き実施
	構成員とする理由	自動運転システムの提供であるとともに、実証カルテ①-⑥の開発や評価に中心的に関わるため
構成員	法人名	日本電気株式会社
	代表者氏名	森田　隆之
	所在地	東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
	業務の概要	ユースケース⑥-2 自動運転バスの支援に必要な路側インフラ技術および経済合理性の検討と通信技術を活用した実証の対応
	構成員とする理由	協調システムの知見があり、ユースケース⑥-2 の開発・実証に中心的に関わるため
構成員	法人名	国立大学法人群馬大学
	代表者氏名	石崎　泰樹
	所在地	群馬県前橋市荒牧町 4 丁目 2
	業務の概要	本島研究室によるユースケース①の電波環境の検証と、次世代モビリティ社会実装研究センターによる施設（試験路）や設備提供
	構成員とする理由	電波計測に関する専門的な知識と、自動運転に関係する設備や施設の活用といった本事業に必要不可欠な構成員であるため
構成員	法人名	公立大学法人　前橋工科大学
	代表者氏名	今村　一之
	所在地	群馬県前橋市上佐鳥町 460 番地 1
	業務の概要	ユースケース⑤の緊急車両手法 2
	構成員とする理由	実証カルテ⑤の開発や評価に中心的に関わるため

2.2　実施体制図

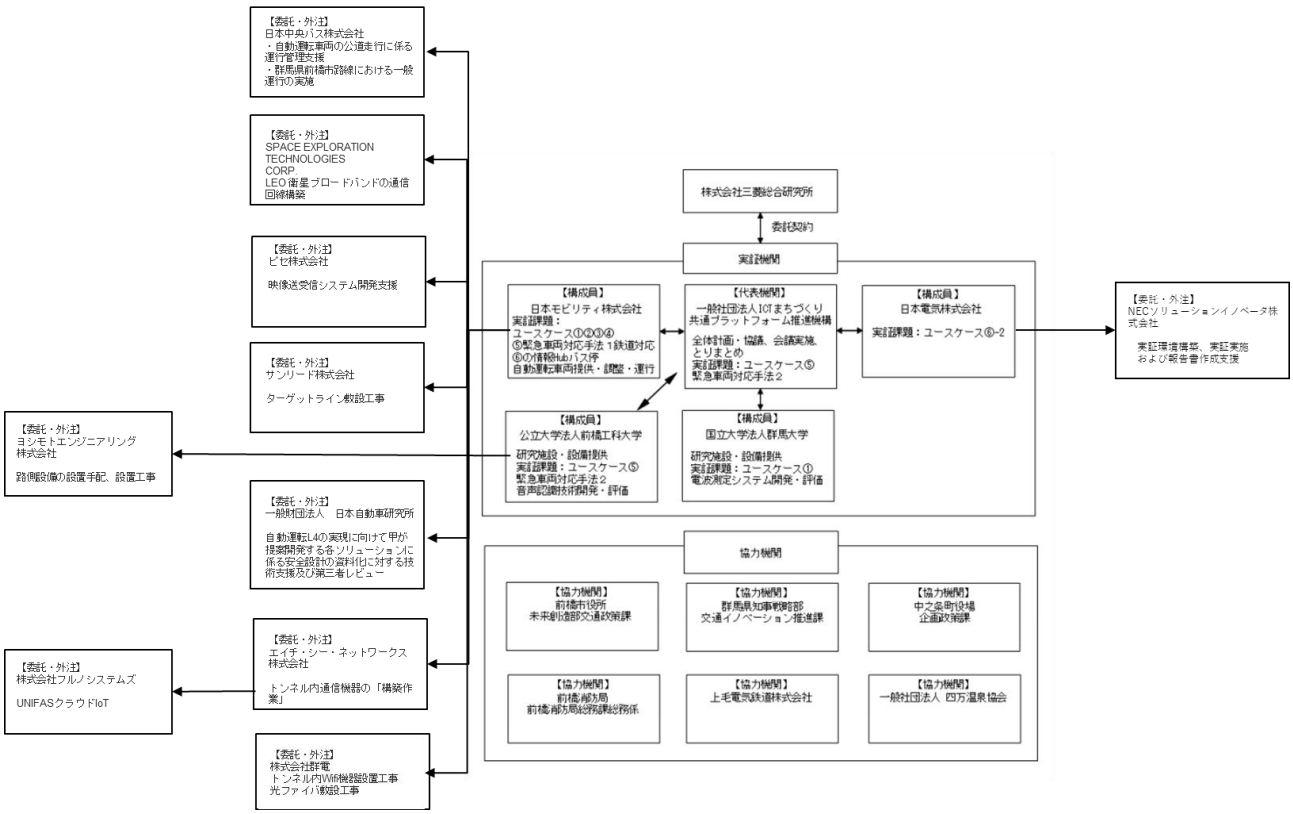


図 2-1 実施体制図

3.　自動運転の運行結果

3.1　運行場所

本事業で自動運転車両を運行するルートは群馬県前橋市で 1 ルート、群馬県中之条町で 2 ルート存在し、いずれも L2 での自動運転となる。群馬県前橋市のルートは、前橋市が日本中央バス(株)に委託する JR 前橋駅と上毛電気鉄道中央前橋駅を結ぶ約 1km のシャトルバス路線であり、地方部幹線路線のモデルケースとして、レベル 4 自動運転バスを実装する上での課題を解決する。群馬県中之条町のルートは、群馬県を代表する四万温泉が存在する山間観光地にあたり、そこの代表的な観光資源である奥四万湖と四万温泉を結ぶ観光路線である。本事業においては、事業推進の効率化の観点から、四万温泉から奥四万湖を結ぶルート A 約 2km と、奥四万湖を周遊するルート B 約 4km に分けて、それぞれの課題解決を目指す。なお、最終的な実装イメージとしてはルート A、ルート B を結合して、外国人など自家用車を持たない観光客の四万温泉―奥四万湖間の足の確保としての活用を想定している。

3.1.1　群馬県前橋市

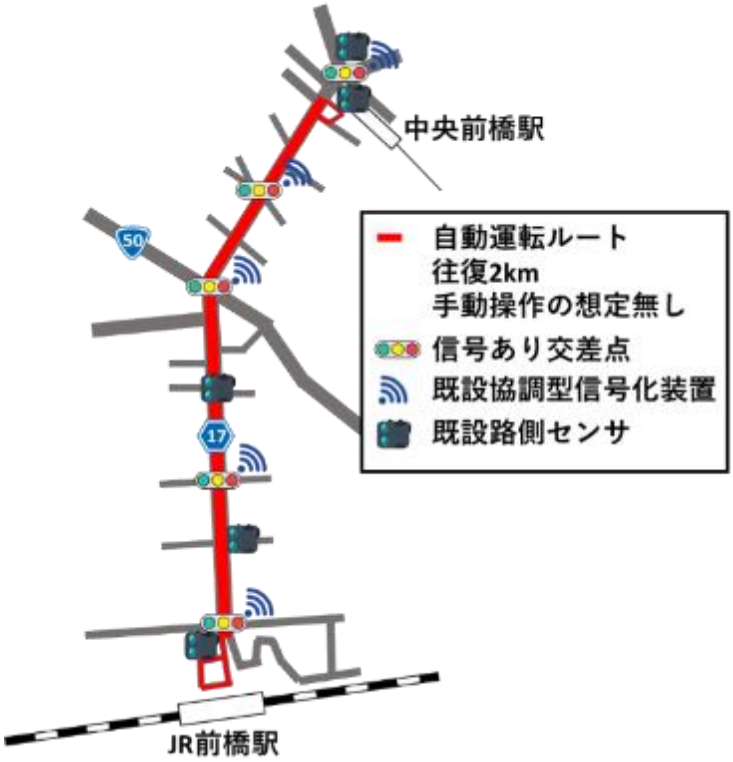


図 3-1　JR 前橋駅―中央前橋駅ルート

3.1.2　　群馬県中之条町

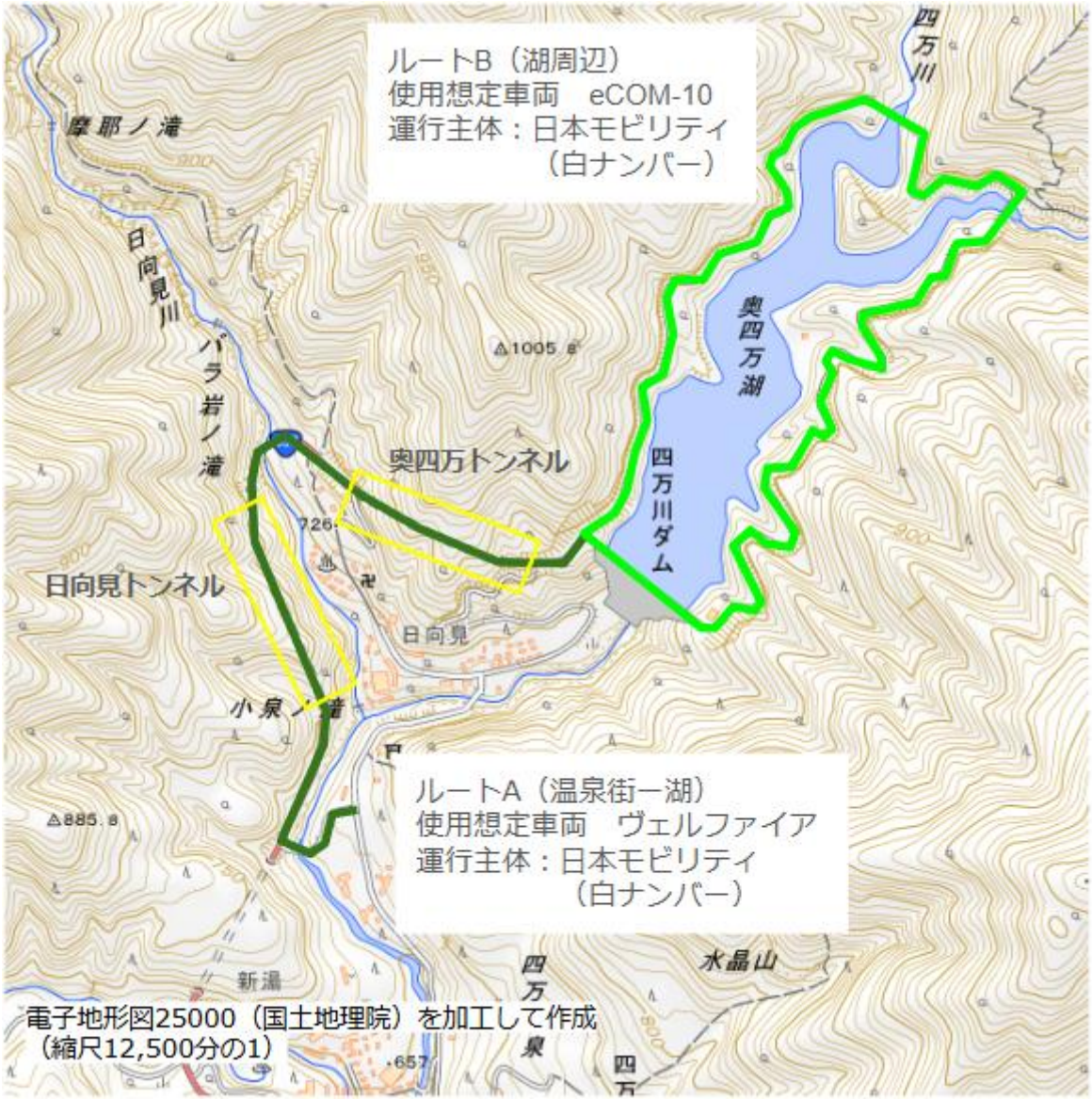


図 3-2 中之条町 ルート A･B
※「標準地図(国土地理院)」を加工して作成

3.2　　運行期間

表 3-1 群馬県前橋市運行期間

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	10 月 28 日～11 月 24 日
技術検証運行	12 月 23 日～1 月 31 日
関係者試乗運行	―

一般運行等	12 月 3 日～12 月 21 日

表 3-2 群馬県中之条町ルート A

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	9 月 16 日～11 月 9 日
技術検証運行	1 月 6 日～1 月 31 日
関係者試乗運行	12 月 5 日
一般運行等	11 月 11 日～12 月 3 日

表 3-3 群馬県中之条町ルート B

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	9 月 23 日～10 月 18 日
技術検証運行	10 月 21 日～11 月 8 日
関係者試乗運行	12 月 5 日
一般運行等	11 月 11 日～12 月 3 日

3.3 運行時間帯・頻度・運行方式

表 3-4 運行時間帯･頻度･運行方式

ルート	運行時間帯	頻度
群馬県前橋市	準備期間：22 時～30 時頃、7 時～20 時頃 技術検証：不定 関係者運行：不定 一般運行：7 時～20 時	準備期間：不定期 技術検証：不定期 関係者運行：不定期 一般運行：約 30 分間隔（1 日 32 便） ※後述の表のとおり
群馬県中之条町ルート A	準備期間：22 時～30 時頃、9 時～16 時頃 技術検証：不定 関係者運行：不定 一般運行：9 時～16 時頃	準備期間：不定期 技術検証：不定期 関係者運行：不定期 一般運行：約 1 時間隔（1 日 7 便）
群馬県中之条町ルート B	準備期間：22 時～30 時頃、9 時～16 時頃 技術検証：不定 関係者運行：不定	準備期間：不定期 技術検証：不定期 関係者運行：不定期

	一般運行：9 時～16 時頃	一般運行：約 1 時間隔（1 日 7 便）

表 3-5 群馬県前橋市ルート営業運行時刻表(平日)

通過予定時刻表（平日）

上毛電鉄着時刻	59A 前橋駅行		
	中央前橋駅	JR前橋駅	けやきウォーク前橋
6:16			
6:39			
7:07	7:12	7:20	
7:34	7:39	7:47	
7:54	7:59	8:06	
8:11 8:22	8:26	8:34	
8:52	8:55	9:02	
9:08	9:12	9:19	
9:38	9:40	9:47	
10:08	10:10	10:17	
10:38	10:40	10:47	
11:08	11:10	11:17	
11:38	11:40	11:47	
12:08	12:10	12:17	
12:38	12:40	12:47	
13:08	13:10	13:17	
13:38	13:40	13:47	
14:08	14:10	14:17	
14:38	14:40	14:47	
15:08	15:10	15:17	
15:38	15:40	15:47	
16:08	16:10	16:17	
16:38	16:40	16:47	
17:08	17:10	17:18	
17:38	17:40	17:48	
18:08	18:10	18:18	
18:38	18:40	18:48	
19:08	19:10	19:17	

59A 中央前橋駅行			上毛電鉄発時刻
けやきウォーク前橋	JR前橋駅	中央前橋駅	
			6:02
			6:32
			7:00
			7:20
	7:25	7:33	7:47
	7:50	7:58	8:15
	8:12	8:20	8:45
	8:41	8:49	9:00
	9:03	9:10	9:15
	9:26	9:33	9:45
	9:56	10:03	10:15
	10:26	10:33	10:45
	10:56	11:03	11:15
	11:26	11:33	11:45
	11:56	12:03	12:15
	12:26	12:33	12:45
	12:56	13:03	13:15
	13:26	13:33	13:45
	13:56	14:03	14:15
	14:26	14:33	14:45
	14:56	15:03	15:15
	15:26	15:33	15:45
	15:56	16:03	16:15
	16:26	16:33	16:45
	16:56	17:04	17:15
	17:26	17:34	17:45
	17:56	18:04	18:15
	18:26	18:34	18:45
	18:56	19:03	19:15

表 3-6 群馬県前橋市ルート営業運行時刻表(土日祝)

通過予定時刻表 （土日祝）

上毛電鉄 着時刻	59A前橋駅行・59Bけやきウォーク前橋行		
	中央前橋駅	JR前橋駅	けやきウォーク前橋
6:16			
6:39			
7:07	7:12	7:19	
7:34	7:39	7:46	
7:54	7:59	8:06	
8:11 8:22	8:26	8:33	
8:52	8:55	9:02	9:12
9:08	9:12	9:19	9:29
9:38	9:40	9:47	9:57
10:08	10:10	10:17	10:27
10:38	10:40	10:47	10:57
11:08	11:10	11:17	11:27
11:38	11:40	11:47	11:57
12:08	12:10	12:17	12:27
12:38	12:40	12:47	12:57
13:08	13:10	13:17	13:27
13:38	13:40	13:47	13:57
14:08	14:10	14:17	14:27
14:38	14:40	14:47	14:57
15:08	15:10	15:17	15:27
15:38	15:40	15:47	15:57
16:08	16:10	16:17	16:27
16:38	16:40	16:47	16:57
17:08	17:10	17:17	17:27
17:38	17:40	17:47	17:57
18:08	18:10	18:17	18:27
18:38	18:40	18:47	18:57
19:08	19:10	19:17	19:27

59A・59B 中央前橋駅行			上毛電鉄 発時刻
けやきウォーク前橋	JR前橋駅	中央前橋駅	
			6:02
			6:32
			7:00
			7:20
	7:25	7:33	7:47
	7:50	7:58	8:15
	8:12	8:20	8:45
	8:41	8:49	9:00
	9:03	9:11	9:15
9:17	9:26	9:34	9:45
9:47	9:56	10:04	10:15
10:17	10:26	10:34	10:45
10:47	10:56	11:04	11:15
11:17	11:26	11:34	11:45
11:47	11:56	12:04	12:15
12:17	12:26	12:34	12:45
12:47	12:56	13:04	13:15
13:17	13:26	13:34	13:45
13:47	13:56	14:04	14:15
14:17	14:26	14:34	14:45
14:47	14:56	15:04	15:15
15:17	15:26	15:34	15:45
15:47	15:56	16:04	16:15
16:17	16:26	16:34	16:45
16:47	16:56	17:04	17:15
17:17	17:26	17:34	17:45
17:47	17:56	18:04	18:15
18:17	18:26	18:34	18:45
18:47	18:56	19:04	19:15

3.4 運行者

各路線の運行者は以下の通り

表 3-7 【群馬県前橋市一般運行】

事業者名	日本中央バス㈱
設立	H7.3.13
代表者	代表取締役　戸塚　博恵
住所	〒371-0815　群馬県前橋市下佐鳥 455 番地
事業	乗合バス事業・貸し切りバス事業

表 3-8【中之条町ルートA･ルートB運行及び全ルート技術検証運行】

事業者名	日本モビリティ㈱
設立	R2.7.15
代表者	代表取締役　小峰　千紘
住所	〒371-0044　群馬県前橋市荒牧町4丁目2番地 群馬大学11号館215号室
事業	自動運転システム開発、自動運転導入事業等

3.5　運行体制

表 3-9 運行体制

<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>内容</th></tr>
<tr><td colspan="2">運行管理者の選任・人員体制</td><td>【群馬県前橋市一般運行】
<table>
<tr><td>事業者名</td><td>日本中央バス㈱</td></tr>
<tr><td>設立</td><td>H7.3.13</td></tr>
<tr><td>代表者</td><td>代表取締役　戸塚　博恵</td></tr>
<tr><td>住所</td><td>〒371-0815　群馬県前橋市下佐鳥455番地</td></tr>
<tr><td>事業</td><td>乗合バス事業・貸し切りバス事業</td></tr>
</table>
【その他】
<table>
<tr><td>事業者名</td><td>日本モビリティ㈱</td></tr>
<tr><td>設立</td><td>R2.7.15</td></tr>
<tr><td>代表者</td><td>代表取締役　小峰　千紘</td></tr>
<tr><td>住所</td><td>〒371-0044　群馬県前橋市荒牧町4丁目2番地
群馬大学11号館215号室</td></tr>
<tr><td>事業</td><td>自動運転システム開発、自動運転導入事業等</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>遠隔監視設備</td><td>種類・特徴</td><td>【遠隔監視用ディスプレイ】
1:N 運用を想定し、複数台の自動運転車両、あるいは路側に取り付けられたカメラ等の映像を同時監視するマルチディスプレイと1台の自動運転車両を手厚くフォローするための集中監視用ディスプレイの構成となっている。
日本中央バス(株)：マルチ3+集中監視1
（大）群馬大学：マルチ10+集中監視1

【遠隔操作用タッチパネル】
集中監視に設定した車両のドアの開閉や音声入出力、緊急停止等の操作の他、遠隔型自動運転を想定した車線変更指示や遠隔操縦切替等の統合操作機能を司るタッチパネルとなっている。
日本中央バス(株)：1台
（大）群馬大学：1台

【車内外会話用ヘッドセット】
集中監視に設定した車両の車内外に設置されたマイクとスピーカーを遠隔操作用タッチパネルで制御し、車内外と音声会話ができるようになっている。
日本中央バス(株)：1台
（大）群馬大学：1台</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>内容</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>【ハンドルコントローラー】
集中監視に設定した車両を対象に、遠隔型自動運転を想定した遠隔操縦を行うためのハンドル型コントローラーである。
日本中央バス(株)：1 台
（大）群馬大学：1 台

【遠隔操作用コンピュータ】
上記の機能を処理するためのコンピュータが 1 セットにつき 2 台で構成される。
日本中央バス(株)：2 台
（大）群馬大学：2 台</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>機能</td><td>【音声出力・入力】
自動運転車両の内外に取り付けられたマイク・スピーカがヘッドセットと接続されており、音声のやり取りができる。

【映像】
自動運転車両の内外に取り付けられたカメラ映像を遠隔カメラ画面に表示し、車両内外を監視できる。

【遠隔操作】
遠隔型自動運転を想定し、自動運転車両が必要とする遠隔操作（発進指示、緊急停止、ウィンカー、前照灯）を実行できる。※今年度は遠隔監視のみのため使用なし

【遠隔操縦】
遠隔型自動運転を想定し、操縦介入モードの際に遠隔監視・操作者がハンドル型コントローラーを使用し、自動運転車両を操縦することができる。※本事業では遠隔操縦は無効化する。</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>設置場所</td><td>日本中央バス(株)：群馬県前橋市下佐鳥町 455（郵便番号 371-0815）
（既設）日本中央バス株式会社社屋内
（大）群馬大学：群馬県前橋市荒牧町 4 丁目 2（郵便番号 371-0044）
（既設）国立大学法人群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センター内</td></tr>
<tr><td>遠隔監視員</td><td>事業者</td><td>【群馬県前橋市一般運行】
<table><tr><td>事業者名</td><td>日本中央バス㈱</td></tr><tr><td>設立</td><td>H7.3.13</td></tr><tr><td>代表者</td><td>代表取締役　戸塚　博恵</td></tr><tr><td>住所</td><td>〒371-0815　群馬県前橋市下佐鳥 455 番地</td></tr><tr><td>事業</td><td>乗合バス事業・貸し切りバス事業</td></tr></table>
【その他】
<table><tr><td>事業者名</td><td>日本モビリティ㈱</td></tr><tr><td>設立</td><td>R2.7.15</td></tr><tr><td>代表者</td><td>代表取締役　小峰　千紘</td></tr><tr><td>住所</td><td>〒371-0044　群馬県前橋市荒牧町 4 丁目 2 番地
群馬大学 11 号館 215 号室</td></tr><tr><td>事業</td><td>自動運転システム開発、自動運転導入事業等</td></tr></table></td></tr>
<tr><td></td><td>人員体制</td><td>時期や検証内容によって群馬県前橋市ルート、群馬県中之条町ルート A、ルート B を単独あるいは同時監視を実施することを想定している。
遠隔監視員の人数：1 人以上
自動運転車両 1 台当たりの配置人数：1 人以下</td></tr>
<tr><td></td><td>オペレーショ</td><td>遠隔監視操作装置の前に一定期間常駐し、運行中の自動運転車両の監</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>内容</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>ン</td><td>視を行う。映像伝送システムを介して運行を監視する際の遠隔監視員の役割をもつ。</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>遠隔監視体制</td><td>本事業では 1:1-3 の体制を想定し、技術的・運用的課題を分析する。</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>業務従事者教育</td><td>遠隔監視員の確保にあっては、本事業においては搭乗型レベル 2 での運用に遠隔監視機能を付与して実証するもので、自動運転車両の運用主体は車両側のテストドライバーにあることから、特に要件を設定していない。ただし、目安 5 日間の慣熟走行時に検証する内容に応じた操作の習熟を行ってから、運用を開始するようにする。</td></tr>
<tr><td rowspan="4">テストドライバー</td><td colspan="2">事業者</td><td>【群馬県前橋市一般運行】
<table><tr><td>事業者名</td><td>日本中央バス㈱</td></tr><tr><td>設立</td><td>H7.3.13</td></tr><tr><td>代表者</td><td>代表取締役　戸塚　博恵</td></tr><tr><td>住所</td><td>〒371-0815　群馬県前橋市下佐鳥 455 番地</td></tr><tr><td>事業</td><td>乗合バス事業・貸し切りバス事業</td></tr></table>
【その他】
<table><tr><td>事業者名</td><td>日本モビリティ㈱</td></tr><tr><td>設立</td><td>R2.7.15</td></tr><tr><td>代表者</td><td>代表取締役　小峰　千紘</td></tr><tr><td>住所</td><td>〒371-0044　群馬県前橋市荒牧町 4 丁目 2 番地
群馬大学 11 号館 215 号室</td></tr><tr><td>事業</td><td>自動運転システム開発、自動運転導入事業等</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">人員体制</td><td>【群馬県前橋市一般運行】
運転手の人数：3 人
自動運転車両 1 台当たりの配置人数：1 人

【群馬県前橋市その他】
運転手の人数：3 人
自動運転車両 1 台当たりの配置人数：1 人

【群馬県中之条町ルート A】
運転手の人数：2 人
自動運転車両 1 台当たりの配置人数：1 人

【群馬県中之条町ルート B】
運転手の人数：2 人
自動運転車両 1 台当たりの配置人数：1 人</td></tr>
<tr><td colspan="2">オペレーション</td><td>基本的には走行ルート全区間で自動運転率 100%（実験により条件は後述）であるため、運転操作は生じないものの、搭乗型 L2 での運用となるため、運転手としての基本的な役割を担うことを原則とする。走行中自動運転システムの状況や周囲の交通状況によって自動走行継続が適切でないと判断した場合は、ブレーキ等を操作して手動運転に切り替え操縦を行う。</td></tr>
<tr><td colspan="2">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</td><td>テストドライバーの確保にあっては、自動運転システム提供ベンダーである日本モビリティ（株）にて、以下の教習を行って適切な人材の選定を行い、かつ現地での慣熟走行を含めた必要な教育を施した者のみを用いることとしている。

<u>受講および免許所有資格</u>
・ 対象車両を運転可能な二種免許を有すること
・ 自動車を所有し、安全運転であり、日常的に利用している期間が現在から 3 年以上あること</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>内容</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>・ 日常的に安全運転であること
・ 自動運転の実証実験に対して意欲的であること
・ 心身ともに健康なこと（運転に影響のある疾患や外傷、内服中の薬がないこと）
・ 反社会的勢力に属していないこと

<u>教習内容</u>
1.　座学の部　（合計約 3 時間）
講義映像を見ながら、自動運転の仕組みや安全運用について学ぶ。
・　本教習の概要説明
・　仕組み編
・　操作編
・　安全運用編
・　筆記試験
2.　実技の部　（合計約 5 時間）
試験路にて自動運転車両を用いて操作練習を実施する。
・　自動運転体験乗車
・　手動運転試験
・　自動運転車操作練習
・　総合試験評価
3.　慣熟走行　（日数は運行難易度によって異なる。目安 5 日間）
本番ルート上で走行練習と運用テストを行い、検定者からのチェックを受ける。
上記すべての項目に合格した方のみ、対象地域のテストドライバー資格が付与される。</td></tr>
<tr><td rowspan="3">保安員
（※上記以外で運行の安全のために配置する人員）</td><td>事業者</td><td>【その他】<table><tr><td>事業者名</td><td>日本モビリティ㈱</td></tr><tr><td>設立</td><td>R2.7.15</td></tr><tr><td>代表者</td><td>代表取締役　小峰　千紘</td></tr><tr><td>住所</td><td>〒371-0044　群馬県前橋市荒牧町 4 丁目 2 番地
群馬大学 11 号館 215 号室</td></tr><tr><td>事業</td><td>自動運転システム開発、自動運転導入事業等</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>人員体制</td><td>【群馬県前橋市】
保安員の人数：2 人
自動運転車両 1 台当たりの配置人数：1 人

【群馬県中之条町ルート A】
保安員の人数：2 人
自動運転車両 1 台当たりの配置人数：1 人

【群馬県中之条町ルート B】
保安員の人数：2 人
自動運転車両 1 台当たりの配置人数：1 人</td></tr>
<tr><td>オペレーション</td><td>自動運転システムのエンジニアとして、システムの状況を搭乗して監視するとともに、ログデータ取得作業等を行う。</td></tr>
<tr><td></td><td>業務従事者教育</td><td>本事業においては搭乗型レベル 2 での運用であり、自動運転車両の運用主体は車両側のテストドライバーにある。保安員の確保にあっては、ログデータ取得作業など、自動運転の走行には直接関係しない作業を実施する者であるため、特に要件を設定していない。ただし、目安 5 日間の慣熟走行時に検証する内容に応じた操作の習熟を行ってから、運用を開始するようにする。</td></tr>
</table>

3.6　自動運転車両の特徴

表 3-10 自動運転車両の特徴

項目		内容
台数		2 台
所有者		【群馬県前橋市一般運行】 所有者：日本中央バス（株） 【群馬県前橋市その他】 所有者：日本モビリティ（株）
車両スペック	車両名	日野　ポンチョ改（2 台とも同車両）
	自動運転レベル	搭乗型/遠隔型自動運転レベル 2（レベル 4 想定装備）
	車両定員	31 人
	試乗枠の定員	30 人
	最高速度	車両機能上限：50km/h
		対象路線上限：35km/h
	センシングデバイス	測位用途：GNSS 受信機（デュアルアンテナ）RTK 方式　1 台 測位用途：全方位 LiDAR　1 台 障害物検知用途：LiDAR 8 台 自車姿勢観測用途：MEMS ジャイロ　1 台
	車両性能（チェックを入れること）	走行中に自動運転と手動運転を切り替えることが可能な遠隔型自動運転システムを備えた自動車として生産された車両である
		自動運転レベル 2 以上での走行が可能であり、かつ将来的に車両調整等により自動運転レベル 4 での走行が可能であること
		乗車定員は、実証地域で将来的に実装することを想定した適当な規模であること走行可能であること
	運行管理システム（チェックを入れること）	車両に搭載したカメラによる車両内外の遠隔監視
		緊急時における車内との通話
		速度や位置等の車両走行状態のリアルタイムでの取得
		実験車両に車両周辺の状況や車両状態情報の記録を行うドライブレコーダーやイベントデータレコーダー等を搭載すること
		公道実証実験中の実験車両に係るセンサ等により収集した車両状態情報を含む各種データ、センサの作動状況等について、交通事故又は交通違反が発生した場合の事後検証に利用することが可能な方法により、適切に記録・保存すること
	その他装備	遠隔監視操作用途：カメラ 13 台 遠隔監視操作用途：集音マイク 3 台 遠隔監視操作用途：スピーカー3 台
走行可能環境	天候	運用上の規定として、降水量 3mm 以上、あるいは降雪がある場合は、手動での運用と定めている

<table>
<tr><th colspan="3">項目</th><th colspan="2">内容</th></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">照度</td><td colspan="2">特になし</td></tr>
<tr><td rowspan="10">保有機能</td><td rowspan="4">自車操作</td><td>左折</td><td>走行可否</td><td>可能</td></tr>
<tr><td>右折</td><td>走行可否</td><td>路側デバイスである路側センサとの連携により可能</td></tr>
<tr><td>車線変更</td><td>走行可否</td><td>可能</td></tr>
<tr><td>障害物
回避</td><td>対応可否</td><td>可能（ただし実施については十分なリスクアセスメントの上で箇所ごと設定）</td></tr>
<tr><td colspan="2">対象認識</td><td colspan="2">走行軌道上にある走行に影響する物体をすべて「障害物」として認識する。
走行制御に用いる対象の物体識別（車であるか、ヒトであるかなど）は、誤認識が起こった場合の危険リスクと、価値判断と難しさから、未実装。</td></tr>
<tr><td colspan="2">白線認識</td><td colspan="2">LiDAR により実施可能(ただし実施については十分なリスク分析の上で箇所ごと設定)</td></tr>
<tr><td colspan="2">標識認識</td><td colspan="2">静的な情報として、あらかじめ車両内データベースに登録し、判断する</td></tr>
<tr><td colspan="2">信号認識</td><td colspan="2">路側デバイスである協調型信号化装置との連携により可能</td></tr>
<tr><td colspan="2">MRM</td><td colspan="2">何らかの異常をシステムが検出した場合には、ハザード点灯しながらその場で停車して安全を確保する挙動を取る。搭乗型の場合は、設定により警告音とともに手動運転に切り替わる。(広義の MRM の機能は基本的に実装される)</td></tr>
<tr><td colspan="3">本実証のために実施する自動運転システム改修の内容</td><td colspan="2">ユースケース②③④⑤⑥に対応する自動運転ソフトウェアの改修</td></tr>
<tr><td colspan="3">その他特徴等</td><td colspan="2">本自動運転システムは、群馬大学ならびに日本モビリティ(株)で開発したシステムであり、これまで 2016 年 10 月から約 80 事例の実証実験で用いたシステムである。
また、日本モビリティ(株)はそれらの実証実験から得られた運用や実験運営のノウハウと経験豊富な人材により、確実かつ迅速な対応を可能としていることが特徴である。</td></tr>
</table>

4.　実証の手法

4.1　自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証

4.1.1　携帯通信網圏外における複数手段による自動運転車両の通信継続、監視継続手法の実証と比較検証

（1）目的

日本の観光地の多くは山間地や沿岸に立地し、インバウンドは公共交通利用が多い。観光地の魅力を活かすには公共交通の維持強化が必要であり、そこに自動運転バス等の参入可能性が生まれる。山間地や沿岸部はトンネル等の携帯通信不通スポットが点在するが、自動運転普及に向けては、通信環境が劣悪なトンネルなどにおける携帯通信網外環境の存在により遠隔監視が不能になることが、横展開地域の拡大を妨げる障害となっている。過去にも携帯通信網のほかに、ローカル 5G での遠隔監視継続や路車連携の可能性を評価してきたが、より多くの自営通信網等の導入という選択肢を持ち、メリット・デメリットに応じて使い分けることのできる技術や知見を蓄積することで、特定の通信環境に依存しない条件構築が自動運転の普及拡大には不可欠である。中之条町ルート A においては、日向見トンネル及び奥四万トンネル内の携帯通信不通スポットが存在、ルート B においては、奥四万温泉最奥部に位置し、携帯通信が不通となるため、ルート A 日向見トンネルではワイヤレスバックホール（Cisco CURWB）、奥四万トンネルでは LCX（漏洩同軸ケーブル）及び両トンネルに IEEE802.11ah によるバックアップ通信による通信伝送検証を行う。なおワイヤレスバックホールとして、Cisco CURWB を利用した理由は、スムーズなハンドオーバーが可能であり移動体との通信に適正があるためである。

ルート B では、LEO 衛星ブロードバンド通信(スターリンク)と 429MHz 特定小電力モデムによる通信環境を構築し、走行時通信が途絶しないことの検証を行う。

（2）実施内容の詳細

本事業で群馬県中之条町に自動運転のルート 2 つを構築し、そのルート上にある通信劣悪環境である日向見トンネル、奥四万トンネルおよび、携帯通信不通スポットである湖周辺にて種類の異なる自営通信網を構築し検証を行う。

図 4-1 奥四万ルート

1） 日向見トンネル

日向見トンネル（延長 499m、緩やかなカーブ）内に、Cisco CURWB 技術を用いた通信環境と IEEE802.11ah によるバックアップ通信環境を構築し、トンネル内において遠隔監視映像その他自動運転システムに必要な品質の伝送が可能であるかについて確認を行う。

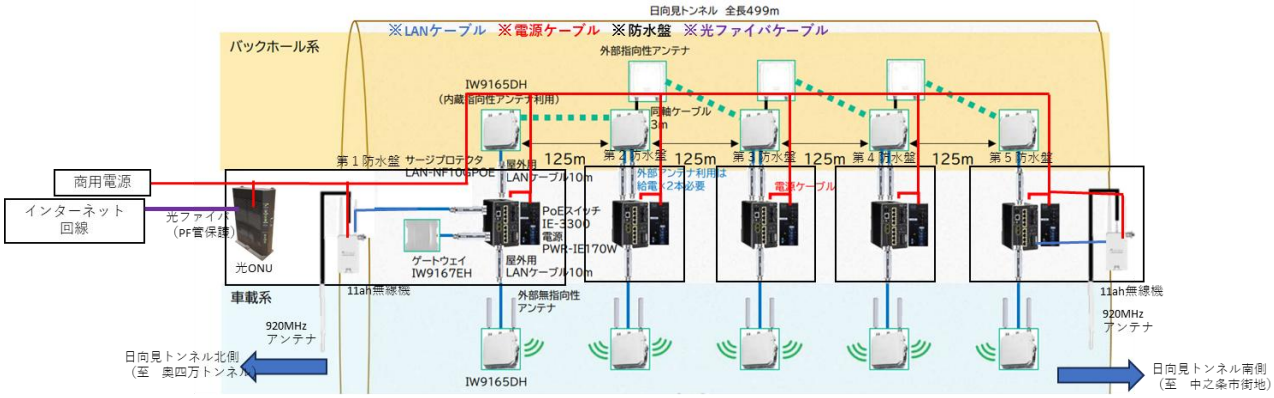


図 4-2 日向見トンネル Cisco 構成図

2） 奥四万トンネル

奥四万トンネル（延長 362m、ほぼ直線）内に LCX（漏洩同軸ケーブル）による通信環境と

IEEE802.11ah によるバックアップ通信環境を構築し、トンネル内において遠隔監視映像その他自動運転システムに必要な品質の伝送が可能であるかについて確認を行う。

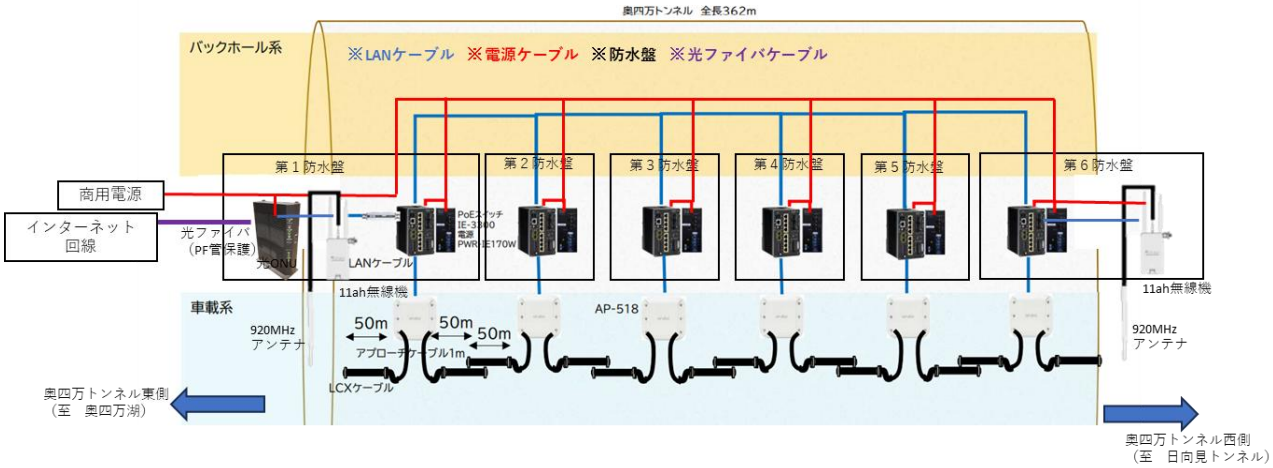


図 4-3 奥四万トンネル LCX 構成図

3） 奥四万湖周辺

奥四万湖の中央にある公園に LEO 衛星ブロードバンド（スターリンク）を設置し、429MHz 特定小電力無線を使用してスターリンクと車両との通信環境を構築し、湖周辺を走行時に通信が途切れることなく行えることを確認する。

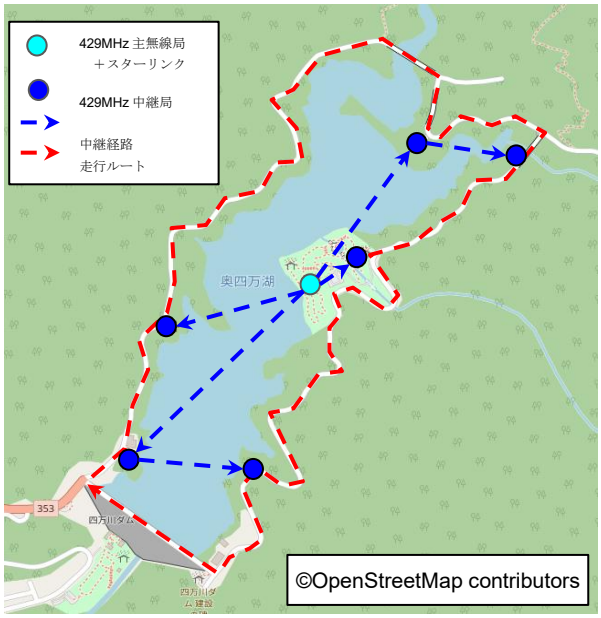


図 4-4 奥四万湖 ルート B 構成図

※OpenStreetMap のデータを加工して作成（https://www.openstreetmap.org/copyright）

(3) 利用技術

表 4-1 利用技術

通信技術	使用周波数帯	技術の内容・特徴・重要性
CURWB （Cisco Ultra-Reliable Wireless Backhaul）	5.6GHz	ロスレスローミングであり、移動体に対応した無線通信。 バックホールも無線通信であり取り回しやすいが、コストが高い。
LCX （漏洩同軸ケーブル）	2.4GHz	ケーブル自体から電波を放射して無線 LAN 通信（Wi-Fi）を行う。 電波は微弱なためケーブルから電波が届く範囲は狭いが、電波伝搬が線状に可能な点で他車両による遮蔽に強い物理的メリットがありトンネルのような場所に適している。また、ケーブル長は最大 100m である。
802.11ah	920MHz	無線 LAN 通信（Wi-Fi）2.4GHz/5GHz 帯を用いた Wi-Fi と比べ、省電力（空中線電力 20mW 以下）、長距離伝送（最大約 1km）が可能となっているが、スループットが数 Mbps 程度という欠点もある。
LEO 衛星ブロードバンド通信 （スターリンク）	ダウンリンク （宇宙から地球） 10.7～12.7GHz アップリンク （地球から宇宙） 14.0～14.5GHz 特定小電力モデム：429MHz	人工衛星を使用してインターネットとの接続を行う。 設置したアンテナから人工衛星が見通せるのであれば、山間地であっても安定したインターネット接続を行うことができる。スループットも 20Mbps 以上あり、遠隔監視を行うのに十分である。ただし、山間地においては地形によって衛星が見通せなくなり、接続が途切れる可能性がある。 また、移動しながらの電波発射は、日本国内において禁止されているため、停車時の実証に留まる。
429MHz 特定小電力無線	429MHz	無線通信を行う。 周波数が低いため障害物を回り込んで隅々まで届く特性を持っており、山間地のように地形が複雑な地域に適しているが、通信速度が低い（1Kbps 未満）という欠点がある。

(4) 必要性・緊急性・新規性

この通信システムが実現されないと、山間観光地での自動運転バス実装に大きな制約がかかる。山間観光地は日本全国に数多く存在し、自動運転バスのニーズが高くかつ技術的導入難易度が低い箇所が多いにもかかわらず、通信に関する課題がボトルネックになっている。

自動運転システムのセキュアな常時接続を可能にする通信システムが実現されないと、山間観光地での自動運転バス実装に大きな制約がかかる。

提案する複数の手法によって、トンネルなどの物理的な問題や採算性の観点から、携帯通信網の圏外である山間観光地への導入を実現するための、複数の通信手段の検討や専用の遠隔監視用ソフトウェアを実現し、レベル４自動運転バスの導入可能範囲を拡大することが可能となる。

(5) 検証条件

1) 地理的条件

群馬県中之条町内、国道 353 線の日向見トンネル（延長 499m、緩やかなカーブ)、奥四万トンネル （延長 362m、ほぼ直線)、携帯通信網圏外環境（奥四万湖周遊)、電波暗室

2) 時間的条件

9 時～17 時

3) 天候条件

降水量 3mm 以上あるいは降雪時、路面凍結時は手動走行

(6) 開発・評価項目

表 4-2 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	自動運転車両を電測車とする後付け電測システムの開発
2	携帯通信網圏内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能の開発
3	トンネル環境及び携帯通信網圏外環境における電波強度等の電波環境の実地評価

1) 自動運転車両を電測車とする後付け電測システムの開発

自動運転車両を電測車とする後付け電測システムを群馬大学本島邦行教授監修の下で構築し、自動運転車両に架装した。また、電波暗室での電測によって、電測車の性能に影響が出る可能性のある機器については対策を施した。

電測システムを架装した自動運転車両を電波暗室に持ち込み、走行中に車両から発出される電

波を計測してスペクトラム評価の実施結果をまとめることとした。車両本体から発出する電波が、手法の評価に影響がないことを定量的に証明することとした。

2)　携帯通信網圏内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能の開発

自動運転システムの測位機能を改修して携帯通信網圏内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能を開発した。

群馬大学試験路等で模擬的な電測環境を構築し、GNSS の定点計測で得た位置の真値と電測システム単独での電測結果（スペクトラム評価、EVM 評価、通信リンク確立評価を想定）を走行路上で 100 点計測を行った。その後電測システムを架装した自動運転車両を 10 回走行させ、自動運転車両で得た測位情報と、車載の電測システムの電測結果を取得した。これらの結果をまとめ、車載の電測システムの電測結果の傾向について明らかにすることとした。

3)　トンネル環境及び携帯通信網圏外環境における電波強度等の電波環境の実地評価

群馬県中之条町内、国道 353 線の日向見トンネル（延長 499m、緩やかなカーブ）、奥四万トンネル （延長 362m、ほぼ直線）、携帯通信網圏外環境（奥四万湖周遊）において、電波強度等の電波環境を検証した。

トンネル環境においては、以下のうち手法 1、2、4 の 3 つの手法、携帯通信網圏外エリアにおいては、手法 3、4 の 2 つの手法を組み合わせて通信環境を構築し、その効果を評価した。

（手法１）メッシュ方式による IEEE802.11ax(5GHz)での環境構築
（手法２）LCX（漏洩同軸ケーブル）による環境構築
（手法３）低軌道(LEO)衛星ブロードバンドでの環境構築
（手法４）IEEE802.11ah によるバックアップ環境構築

日向見トンネルについては手法 1+4、奥四万トンネルについては手法 2+4、奥四万湖周遊については手法 3+4 で環境を構築した。自動運転車両の巡行速度はいずれも低速（30km/h 以下を想定）の設計とすることとした。

特に自営通信網（手法 1，2，3）については、以下の検証を行った。

（検証１）最適なアンテナ設置位置を検討するための本固定前検証。電測システムを架装した自動 運転車両を用いて走行することで、電波環境の計測、分析を行った。
（検証２）本固定後に、他車両（対向車、前後車等）の影響等の外乱に対する多角的な検証。電測システムを架装した自動運転車両を用いて走行することで、電波環境の計測、分析を行った。

（7） KGI/KPI

表 4-3 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・電測システムを架装した自動運転車両を電波暗室に持ち込み、走行中に車両から発出される電波を計測してスペクトラム評価の実施結果をまとめる。車両本体から発出する電波が、当該手法の評価に影響がないことを定量的に証明する。
	2	・自動運転車両にて当該路線を走行し、通信がない状態でも走行性能（車両横位置、車両速度、加減速度、障害物検知）に影響がないことを証明する。
	3	・（一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	4	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	5	・自動運転システムの測位機能を改修してトンネル内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能については、NSS の定点計測で得た位置の真値と電測システム単独での電測結果 100 点と、電測システムを架装した自動運転車両を 10 回走行させた記録の比較。
	6	・手法 1，2，4 については、回線の End-to-End でスループット 10Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下。1080p,30fps,SDR 以上の映像をトンネル区間でカクツキの無く伝送可能。
	7	・手法 3 については、回線の End-to-End でスループット 1Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下。720p,3fps,SDR 以上の映像品質が得られること。
	8	・手法 1＋3，2＋3，4＋5 については、携帯通信網圏外で接続が完全に途切れることなく維持されること。
	9	・群馬県、中之条町、四万温泉観光協会、関越交通（株）、（大）群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、（株）三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施
	10	・自動運転車両による一般公開運行 7 便/日以上を 20 日間以上実施

1） 電測システムを架装した自動運転車両を電波暗室に持ち込み、走行中に車両から発出される電波を計測してスペクトラム評価の実施結果をまとめる。車両本体から発出する電波が、当該手法の評価に影響がないことを定量的に証明する。

各検証評価前に、当該車両に架装されている自動運転用センサ・機器・システムが、走行中に発生させる電波ノイズを測定し、検証に影響を及ぼさないレベルになっているかのエビデンスを作成し、検証結果の妥当性を裏付けるものである。

2） 自動運転車両にて当該路線を走行し、通信がない状態でも走行性能（車両横位置、車両速度、加減速度、障害物検知）に影響がないことを証明する。

通信途絶が走行性能に影響がない仕組み（ターゲットラインを想定）による多重化を施し自動運転車両の安全性を確保するため。

a. (一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

自動運転システムの安全設計についての第三者レビューは、対外的にそのシステムの安全性を証明するためには不可欠と考える。レビューを委託する日本自動車研究所は自動車や道路交通に関連する研究、試験を行う団体であり、以前は経済産業省所管の財団法人であった準公的な組織である。また、同研究所は自動車の第三者評価を行う国内最大の機関であることから、自動運転レベル４の第三者評価について、過去の豊富な知見から的確なレビューとフィードバックを実施できる国内唯一の機関である。

3） 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

自動運転バスの乗客には高度の自動運転技術がわかる人はほとんどいないと想定されるので、自動運転バス社会受容性に焦点を当てて調査する。

4） 自動運転システムの測位機能を改修してトンネル内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能については、NSS の定点計測で得た位置の真値と電測システム単独での電測結果 100 点と、電測システムを架装した自動運転車両を 10 回走行させた記録の比較。

今回の検証結果がどれだけ真値かをスコア化し、結果評価の基準とする。また、連続再現性を検証する。

5） 手法 1,2,4 については、回線の End-to-End でスループット 10Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下。1080p,30fps,SDR 以上の映像をトンネル区間でカクツキの無く伝送可能。

メイン回線の通信品質の評価については、過去の遠隔監視の実績から自動運転ベンダーが設定した、必要とされる最低限の品質を設定している。

6） 手法 3 については、回線の End-to-End でスループット 1Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下。720p,3fps,SDR 以上の映像品質が得られること。

バックアップ回線については、その通信手段で実現できると想定される最低限の品質を想定している。本項目の評価にあたっては、群馬大学荒牧キャンパス内における試験路での評価と、実環境での評価の双方を実施した。

7） 手法 1+3,2+3,4+5 については、携帯通信網圏外で接続が完全に途切れることなく維持されること。

携帯通信網外の山間観光地で自動運転バスを実装するには、手法 1+3,2+3,4+5 において通信の接続が完全に維持される必要がある。

8） 群馬県、中之条町、四万温泉観光協会、関越交通（株）、（大）群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、（株）三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

本事業の具体的な実施内容を直接体験することにより、その意義や必要性について地域関係者に十分ご理解いただき、実施のご協力を得るとともに、先駆的な取り組みに対する社会的な受容性が今後どのように変化していくかを本事業関係者に実感していただくことを目的とした。

9） 自動運転車両による一般公開運行 7 便/日以上を 20 日間以上実施

検証の実施回数や実施時間は、本事業の公募要領等から得られる実施に関わる拘束条件と確保できる人員、車両、その他設備や施設とそれらを活用した過去の実績を総合的に勘案し、実施できる最大数を設定している。

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

4.2.1 無線通信を用いた路側センサ（LiDAR）と協調型信号化装置の通信品質に応じた情報適用制御

（1） 目的

現在国交省道路局で路側センサの標準化を目指した取組みを行っているが、障害物認識情報やセンサを取り付ける位置や向きを対象としたものである。経済性の観点からも携帯通信網の活用が必須であるとともに、携帯通信網は通信性能の不安定性が課題であることから、携帯通信網を活用した体系的な対応策の策定は不可欠である。

（2） 実施内容の詳細

本事業では、対応策の機能を開発する前段階として、「路車協調デバイス通信設計ガイドライン」を作成する。具体的には、路側センサおよび協調型信号化装置を対象に、提供可能な情報を一般化して体系化し、通信側の状態モードを定義して、それぞれの状態モードで自動運転車両の運行継続さらには安全を最大限維持する情報の優先付けを行う。また、策定したガイドラインに基づき、実システムを構築し、検証を行う。

（3） 利用技術

当該技術の主要な部分としては、路車協調デバイスの状態に合わせて、自動運転車両への共有情報を制御して影響を最小化する効果を体系的に整理して設計し、設計に基づき自動運転システムを改修し、それぞれの状態に合わせて自動運転車両の挙動を変化させる仕組みであるが、特筆すべき特殊な技術の選択を要しない(その技術を実現することに意味がある)。通信については、携帯通信網を前提とする。

(4) 必要性・緊急性・新規性

路側協調デバイスの通信品質に応じた情報適用制御を行う通信システムにより信頼性が確立されないと、路車協調デバイスの情報を自動運転の制御レベルまで反映する上で致命的な壁となっている。

路車協調デバイスは自動運転に対して支援的な立ち位置ではなく、機能の一部を担ってこそ設置の価値がある。これを実現するためには単に正常時の価値を高める取り組みだけでなく、本システムの実現を通じ、異常時の、MRC（ミニマル・リスク・コンディション）の細分化と最適なMRM（ミニマル・リスク・マヌーバ）が整理されることが急務である。

提案する情報制御機能を実現し、通信品質に応じてより重要な情報を取捨選択して送信する情報制御を体系的なモデルにまとめ、機能を実現する。これにより、携帯通信網などの公共通信の活用を促し、路側デバイスの導入・維持コスト削減につなげる。

(5) 検証条件

1) 地理的条件

群馬大学試験路、前橋駅ー中央前橋駅運行ルート（往復約 2km）

2) 時間的条件

9 時～17 時

3) 天候条件

降水量 3mm 以上あるいは降雪時、路面凍結時は手動走行

(6) 開発・評価項目

表 4-4 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	通信品質による情報の優先付けを行い伝送する情報を適用制御する機能の開発
2	自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修
3	試験路（閉鎖空間）での検証
4	地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

1) 通信品質による情報の優先付けを行い伝送する情報を適用制御する機能の開発

自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修を行う。具体的には、通信品質

の推定機能と、「路車協調デバイス通信設計ガイドライン」に基づき、通信品質によって情報の優先付けを行い、伝送する情報を適用制御する機能を開発する。

路側センサおよび協調型信号化装置の各通信の状態モードに合わせた必要十分な情報を明らかにし、通信の効率化と自動運転システムの性能最大化を図る設計ガイドライン「路車協調デバイス通信設計ガイドライン」を(一財)日本自動車研究所の協力の下、作成する。

＜開発の流れ＞

① 路側センサおよび協調型信号化装置の提供可能な情報を一般化して体系化する。
② 各情報が必要とする通信容量を見積もる。
③ 通信側の状態モード(正常、通信容量減、遅延増、通信瞬断増等を段階分けする)を一般化する。
④ それぞれの状態モードで自動運転車両の運行継続さらには安全を最大限維持する情報の優先付けを行う。

2) 自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修

自動運転システム側においては、携帯電話回線網を経由して専用クラウドサーバを介して路側センサおよび協調型信号化装置からの情報を受信し、情報提供制御により変化する情報に合わせた判断を可能とするアルゴリズムを自動運転システムに実装する。

3) 試験路（閉鎖空間）での検証

群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて当該機能を検証する。

＜計測項目・評価手法＞

- 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に用意、合計 100 回のテスト施行を実施する。
  - 通信品質を疑似的にステップ的に変化させ、通信の状態モード選択正答率 100%、切替時間 10 秒以内の達成を確認する。
  - 情報適用制御により変化する情報に合わせた自動運転車両の判断正答率 100%の達成を確認する。
- 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施、各機能動作を含む 12 時間連続稼働を手法毎に 5 日間行う。
  - 当該機能を要因とする自動走行の中止が 0 回であることを確認する。

4) 地方基幹路線（前橋駅―中央前橋駅ルート）におけるの効果測定

地方基幹路線(前橋駅―中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)を実施し、運用してデータを収集、機能の動作状態を評価する。また、「路車協調デバイス通信設計ガイドライン」

の妥当性を評価する。

＜計測項目・評価手法＞

10 便/日以上（通信混雑時間を含む）を 15 日間以上実施する。

- 自動運転車両の判断正答率 100%であるかを確認する。
- 失敗がある場合はその原因を特定し、対策案をまとめる。

（7） KGI/KPI

表 4-5 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修を行う。通信品質(一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に用意、合計 100 回のテストを実施する。通信品質を疑似的にステップ的に変化させ、通信の状態モード選択正答率 100%、切替時間 10 秒以内の達成を確認する。
	4	・群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に意、合計 100 回のテストを実施する。情報適用制御により変化する情報に合わせた自動運転車両の判断正答率 100%の達成を確認する。
	6	・地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 Ｌ２ を想定)を実施する。7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施し、15 日分以上のデータを取得する。
	7	・群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学、などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

1） 自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修を行う。通信品質(一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

自動運転システムの安全設計についての第三者レビューは、対外的にそのシステムの安全性を証明するためには不可欠と考える。レビューを委託する日本自動車研究所は自動車や道路交通に関連する研究、試験を行う団体であり、以前は経済産業省所管の財団法人であった準公的な組織である。また、同研究所は自動車の第三者評価を行う国内最大の機関であることから、自動運転レベル４の第三者評価について、過去の豊富な知見から的確なレビューとフィードバックを実施できる国内唯一の機関である。

2） 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

自動運転バスの乗客には高度の自動運転技術がわかる人はほとんどいないと想定されるので、自動運転バス社会受容性に焦点を当てて調査する。

3) 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に用意、合計 100 回のテストを実施する。通信品質を疑似的にステップ的に変化させ、通信の状態モード選択正答率 100%、切替時間 10 秒以内の達成を確認する。

機能の正答率は試行回数から 100%と設定した。切替時間については、自動運転ベンダーの過去の経験から導き出した最低限の性能を設定した。

4) 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に意、合計 100 回のテストを実施する。情報適用制御により変化する情報に合わせた自動運転車両の判断正答率 100%の達成を確認する。

機能の正答率は試行回数から 100%と設定した。

5) 地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)を実施する。7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施し、15 日分以上のデータを取得する。

検証の実施回数や実施時間は、本事業の公募要領等から得られる実施に関わる拘束条件と確保できる人員、車両、その他設備や施設とそれらを活用した過去の実績を総合的に勘案し、実施できる最大数を設定している。

6) 群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学、などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

本事業の具体的な実施内容を直接体験することにより、その意義や必要性について地域関係者に十分ご理解いただき、実施のご協力を得るとともに、先駆的な取り組みに対する社会的な受容性が今後どのように変化していくかを本事業関係者に実感していただくことを目的とした。

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

4.3.1　工事・路上駐車等の環境変動に対する自動走行の柔軟化

（1） 目的

自動運転バスにおける経済合理性を成り立たせるためには、遠隔監視員による複数台の車両監視が必要である。裏を返せば、複数台の自動運転車両が近傍で運用されている環境が必要と言える。そのため、重複路線を運用する場合の、自動運転車両間の情報共有で走行の柔軟性を向上させることが重要となる。その代表的なシーンとなる駐車車両・工事箇所の共有による車線選択の円滑化、それによる事故リスクの削減に焦点を当てる。

具体的には、工事や路上駐車等の環境変動に対して、準動的情報として観測した情報を複数自動運転車両で共有する機能を実現することにより、走行経路の判断高度化を実現する。

（2） 実施内容の詳細

2 車線道路で 2 台のバスを使用して走行検証を実施する。

1 台目のバスは第 1 車線を走行し、路駐車両等の障害物がなければそのまま走行し、障害物があったら障害物検知にて停車後、手動走行にて回避を行う。障害物検知での停車時に、準動的情報をクラウドサーバにアップロードする。

2 台目のバスはクラウドサーバを参照し、準動的情報がなければ第 1 車線を走行し、準動的情報があるのであれば回避するために自動で第 2 車線に入る。

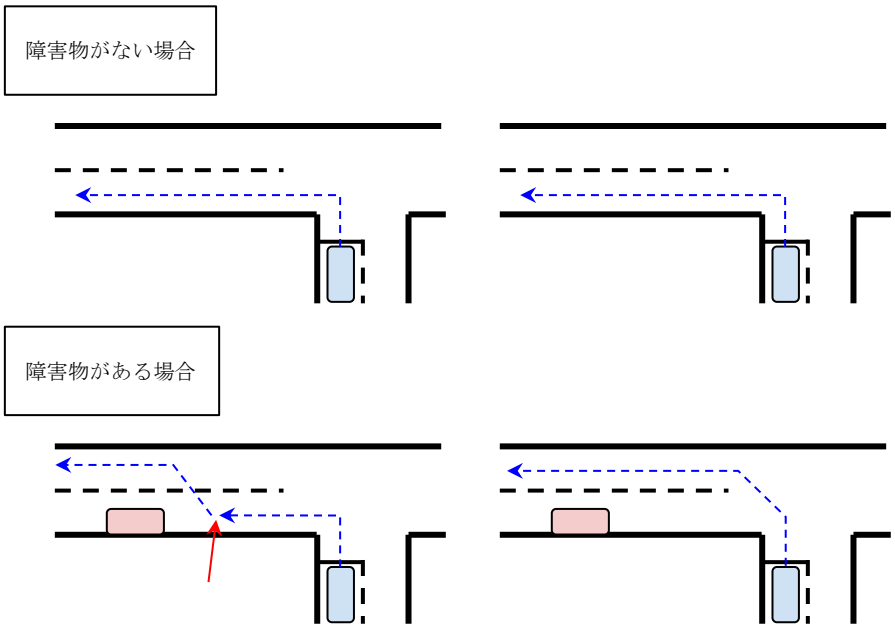


図 4-5 動作イメージ図

(3) 利用技術

クラウドサーバとして AWS を使用し、準動的情報を共有するためのサーバを構築する。車両間で直接通信するのではなくサーバを介することで、車両のネットワーク環境（通信キャリア）に依存せずに使用することができ、また、連携車両の増減にもフレキシブルに対応することが可能となる。

(4) 必要性・緊急性・新規性

このシステムが実現されないと、複数台自動運転車両が走っている環境における自動運転が潜在的に持つ効果を引き出すことができない。自動運転は車両台数が増えれば増えるほど、それぞれが情報を共有し、人では難しかった高度な交通を生み出す力を持っている。その第一歩が自動運転バスの複数台協調であり、その現場で培われた知見は、その後乗用車への自動転普及時代の礎となる。

(5) 検証条件

1) 地理的条件

群馬大学試験路、前橋駅―中央前橋駅運行ルート（往復約 2km）

2) 時間的条件

9 時～17 時

3) 天候条件

降水量 3mm 以上あるいは降雪時、路面凍結時は手動走行

(6) 開発・評価項目

表 4-6 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	他の自動運転車両へ準動態情報をリアルタイム配信する機能の開発
2	試験路（閉鎖空間）での検証
3	地方基幹路線における減速シーンの減少、手動介入の減少等の効果測定

1) 他の自動運転車両へ準動態情報をリアルタイム配信する機能の開発

自動運転車両側に搭載した LiDAR により、工事や駐車車両を準動的情報として観測し、観測時刻や位置や範囲の情報として変換し、携帯電話通信網を経由してクラウドを介し、他の自動運

転車両に当該情報をリアルタイム配信する機能を開発する。

本機能は、リアルタイム配信情報を、各自動運転車両の判断機能に入力し、走行軌道の選択を変更することで、走行軌道の効率的な選択を実現し、減速シーンの減少、手動介入の回数を減少させる。

2) 試験路（閉鎖空間）での検証

群馬大学試験路等の模擬的な環境において、2 台の自動運転バスを自動走行させ、工事や駐車車両を疑似的に設置して、所望の機能が得られることを検証する。

＜計測項目・評価手法＞

- 群馬大学試験路等で模擬的な環境を構築し、テストケースを用意、晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施する。
  - 検知率、情報伝送、走行軌道の選択の正答率 100%の確認する
  - 準動的情報範囲誤差、進行方向+1m，-0m、横方向+0.5m，-0m※範囲を小さく誤検知しない
- 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施する。
  - 各機能動作を含む 12 時間連続稼働を手法ごとに 5 日間行い、当該機能を要因とする自動走行の中止 0 回の達成を確認する。

3) 地方基幹路線における減速シーンの減少、手動介入の減少等の効果測定

地方基幹路線(前橋駅―中央前橋駅ルート)において二台の自動運転バス車両を自動走行で運行し、駐車車両を配置するなどして機能の検証を行う。減速シーンの減少、手動介入の回数を減少等の効果測定を行う。

＜計測項目・評価手法＞

- 7 時から 19 時まで計 26 回（定常運行便数)、15 日分以上のデータを取得する。
  - 走行軌道の選択の正答率 100%の達成を確認する。

（7） KGI/KPI

表 4-7 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・（一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

定性評価/定量評価	番号	目標値
定量評価	3	・群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計100 回のテストを実施する。100%の検知率、情報伝送、走行軌道の選択の正答率を達成する。
	4	・群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計100 回のテストを実施する。準動的情報範囲誤差、進行方向+1m, -0m、横方向+0.5m, -0m※範囲を小さく誤検知しない。
	5	・準動的情報範囲誤差、進行方向+1m, -0m、横方向+0.5m, -0m※範囲を小さく誤検知しない ・また、群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施、各機能動作を含む 12 時間連続稼働を手法毎 5 日間行い、当該機能を要因とする自動走行の中止 0 回を達成。
	6	・群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。
	7	・地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)において二台の自動運転バス車両を自動走行で運行し、駐車車両を配置するなどして機能の検証を行う。7 時から 19 時まで計 26 回（定常運行便数）自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、100%の走行軌道の選択の正答達成を確認

1) (一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

自動運転システムの安全設計についての第三者レビューは、対外的にそのシステムの安全性を証明するためには不可欠と考える。レビューを委託する日本自動車研究所は自動車や道路交通に関連する研究、試験を行う団体であり、以前は経済産業省所管の財団法人であった準公的な組織である。また、同研究所は自動車の第三者評価を行う国内最大の機関であることから、自動運転レベル４の第三者評価について、過去の豊富な知見から的確なレビューとフィードバックを実施できる国内唯一の機関である。

2) 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

自動運転バスの乗客には高度の自動運転技術がわかる人はほとんどいないと想定されるので、自動運転バス社会受容性に焦点を当てて調査する。

3) 群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施する。100%の検知率、情報伝送、走行軌道の選択の正答率を達成する。

天候条件に関し自動運転バスの運用で想定されるシーンを網羅するために設定した。検知率や正答率は試行回数からいずれも 100％であることが求められる。

4)　群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施する。準動的情報範囲誤差、進行方向+1m, -0m、横方向+0.5m, -0m※範囲を小さく誤検知しない。

天候条件に関し自動運転バスの運用で想定されるシーンを網羅するために設定した。検出範囲誤差については、衝突危険のない方への誤差を許容し、自動運転ベンダーの過去の実績から実現できる目標値を設定した。

5)　群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施する。各機能動作を含む 12 時間連続稼働を手法毎 5 日間行い、当該機能を要因とする自動走行の中止 0 回を達成する。

信頼性評価については、設置環境から想定し、試験コンサルティング会社と協議して求めた目標値を設定した。

6)　群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

本事業の具体的な実施内容を直接体験することにより、その意義や必要性について地域関係者に十分ご理解いただき、実施のご協力を得るとともに、先駆的な取り組みに対する社会的な受容性が今後どのように変化していくかを本事業関係者に実感していただくことを目的とした。

7)　地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)において二台の自動運転バス車両を自動走行で運行し、駐車車両を配置するなどして機能の検証を行う。7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、100%の走行軌道の選択の正答達成を確認する。

前橋―中央前橋ルートにおいて自動運転バスを自動走行させると共に、経路上に障害物となる駐車車両を配置することで、回避制御の検証を実施する。

4.4　明瞭な映像・音声による常時遠隔監視を実現する自動運転用軽量映像伝送システムの実証

4.4.1　軽量映像伝送システムの試設計・実証

(1) 目的

遠隔監視は L4 実装のうえで自動運転技術に次ぐ必須技術である。自動運転バスはイニシャル・ランニングコストに厳しい制約のある市場である。不必要に多くの営利企業が連携してパイを分け合う構造は馴染まない。機能と価格の両面のバランスをとるためには、自動運転ベンダーが自動運転走行に最適化し、かつ柔軟に更新できる映像伝送システムを自動運転システムに組込むこ

とが不可欠である。移動体通信でありながら、映像・音声伝送の安定性・継続性をなるべく高めつつ、映像品質を最大化するという自動運転の遠隔監視を目指すことを目的としている。

具体的には、監視対象が様々な環境で走行する移動体であるため、遅延等の通信の品質をリアルタイムで評価する機能を実装し、映像の品質（フレームレート、解像度等）を制御することで、映像の安定性・継続性の高い自動運転システム向け監視ソフトウェアを実現する。

(2) 実施内容の詳細

延等の通信の品質をリアルタイムで評価する機能を実装し、映像の品質（フレームレート、解像度等）を制御する、映像の安定性・継続性の高い自動運転システム向け監視ソフトウェアの実現を図るための、軽量映像伝送システムの試設計を行う。

開発した映像伝送システムを、通信帯域が厳しく制約される環境下（奥四万ルート）において、自動運転車両に実装し、通信帯域が厳しく制約される環境下であっても、遠隔監視が継続できることを自動走行の実施を通して評価する。

(3) 利用技術

1) STUN (Session Traversal Utilities for NATs)

NAT（ルータ、無線 LAN のアクセスポイント等で行っている別ネットワークにアクセスする際の IP アドレス変換）を超えて通信するための技術。STUN サーバを設置し、通信を行う双方が STUN サーバにアクセスし互いのネットワーク情報をやり取りすることで、その後は STUN サーバを介さずに直接通信を行えるようになる。

2) TURN (Traversal Using Relay around NAT)

NAT の設定によっては、STUN を使用した直接通信が行えない場合がある。TRUN を使用することで通信を行えるようにする。TURN サーバを設置し、通信を行う双方が TURN サーバにアクセスし中継をしてもらうことで、インターネットへの接続が可能な状態であればネットワーク環境にかかわらず、互いに通信が行えるようになる。

(4) 必要性・緊急性・新規性

これまで進めてきた実証実験では、経済合理性を重視して汎用ソフトを転用したり、逆に技術優先で外部の高機能ソフトを使用したりしていたが、最終的に機能と価格の両面のバランスをとるためには、自動運転ベンダーとして自動運転走行に最適化され、かつ今後の技術向上に柔軟に更新できる映像伝送システムを自動運転システムに組込むことが自動運転 L4 での社会実装促進に不可欠である。

(5) 検証条件

1) 地理的条件

群馬県中之条町内、国道 353 線の日向見トンネル（延長 499m、緩やかなカーブ）、奥四万トンネル （延長 362m、ほぼ直線）、携帯通信網圏外環境（奥四万湖周遊）前橋駅―中央前橋駅運行ルート（往復約 2.2km）

2) 時間的条件

9 時～17 時

3) 天候条件

降水量 3mm 以上あるいは降雪時、路面凍結時は手動走行

(6) 開発・評価項目

表 4-8 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	４個の機能を満たす軽量映像伝送システムを開発
2	奥四万ルートにおける効果測定

1) ４個の機能を満たす軽量映像伝送システムを開発する。

通信遅延などの品質と、安定性・継続性を両立させるために、①―④の機能をもった軽量伝送システムを開発する。

① 遅延等の通信の品質をリアルタイムで評価する機能を実装し、映像の品質（フレームレート、解像度等）を制御する機能

② 複数の通信回線（複数系統の携帯通信網、自営網等）での映像を同時取得し、通信状態によって最適な映像に自動で切り替える機能

③ 通信の遅延を最小化するために、P2P 接続方式と中継サーバ経由接続方式の切替が可能な機能

④ 1 台の車両に対して複数拠点での同時監視（1:N 接続）、複数台の車両に対して一箇所の拠点での監視（N:1 接続）に対応する機能

2) 奥四万ルートにおける効果測定

通信帯域を厳しく制約される環境下(奥四万ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)にて遠隔監視員による常駐遠隔監視を実施し、機能の動作状態を監視し評価する。

＜計測項目・評価手法＞

- 7 便/日以上を 15 日間以上実施する。
  - 携帯通信網と自営網の 2 系統の切替による 1 秒以上の映像途絶が 0 回か確認する。
  - 性能リッチなメインの自営網とバックアップの自営網の 2 系統の切替による 5 秒以上の映像途絶が 0 回か確認する
  - 低軌道（LEO)衛星ブロードバンドとバックアップ自営網の 2 系統の切替による 5 秒以上の映像途絶が 0 回か確認する。
  - その他軽量伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶が 0 回か確認する。

（7） KGI/KPI

表 4-9 KGI/KPI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・（一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、①～④の機能検証を網羅する 12 通り以上のテストケースを用意、各 100 回以上のテスト施行で、 ・切り替え失敗 0 回の達成。切り替え時以外の映像のカクツキ発生 0 回を達成。②切り替え失敗 0 回の達成。切り替え時以外の映像のカクツキ発生 0 回を達成。 ・切り替え失敗 0 回の達成。P2P 接続方式については、従来使用してきた中継サーバ経由映像伝送システムよりも遅延が少ないことを達成。 ・④同時監視の達成。映像のカクツキ発生 0 回を達成。
	4	・通信帯域を厳しく制約される環境下(奥四万ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、7 便/日以上の自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、以下の結果を達成する。 ・通信品質の高い複数携帯通信網への自動切り替えによる 1 秒以上の映像途絶 0 回 ・②その他軽量映像伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶 0 回
	5	・通信帯域を厳しく制約される環境下(奥四万ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、群馬県、中之条町、関越交通(株)、四万温泉協会、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施
	6	・地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、10 便/日以上(通信混雑時間に集中して実施)の自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、以下の結果を達成する。 ・通信品質の高い複数携帯通信網への自動切り替えによる 1 秒以上の映像途絶 0 回 ・②その他軽量映像伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶 0 回
	7	・地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

1)　(一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

自動運転システムの安全設計についての第三者レビューは、対外的にそのシステムの安全性を証明するためには不可欠と考える。レビューを委託する日本自動車研究所は自動車や道路交通に関連する研究、試験を行う団体であり、以前は経済産業省所管の財団法人であった準公的な組織である。また、同研究所は自動車の第三者評価を行う国内最大の機関であることから、自動運転レベル４の第三者評価について、過去の豊富な知見から的確なレビューとフィードバックを実施できる国内唯一の機関である。

2)　自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

自動運転バスの乗客には高度の自動運転技術がわかる人はほとんどいないと想定されるので、自動運転バス社会受容性に焦点を当てて調査する。

3)　群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、①～④の機能検証を網羅する 12 通り以上のテストケースを用意、各 100 回以上のテスト施行で、①切り替え失敗 0 回の達成。切り替え時以外の映像のカクツキ発生 0 回を達成。②切り替え失敗 0 回の達成。切り替え時以外の映像のカクツキ発生 0 回を達成。③切り替え失敗 0 回の達成。P2P 接続方式については、従来使用してきた中継サーバ経由映像伝送システムよりも遅延が少ないことを達成。④同時監視の達成。映像のカクツキ発生 0 回を達成。

機能の失敗回数、カクツキ発生回数、映像途絶については、試行回数からするといずれもゼロであることが求められる。

4)　通信帯域を厳しく制約される環境下(奥四万ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、7 便/日以上の自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、以下の結果を達成する。

① 通信品質の高い複数携帯通信網への自動切り替えによる 1 秒以上の映像途絶０回
② その他軽量映像伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶０回

映像途絶の秒数については、過去の遠隔監視の実績から自動運転ベンダーが設定した、必要とされる最低限の品質に設定している。また、検証の実施回数や実施時間は、本事業の公募要領等から得られる実施に関わる拘束条件と確保できる人員、車両、その他設備や施設とそれらを活用した過去の実績を総合的に勘案し、実施できる最大数を設定している。

5)　通信帯域を厳しく制約される環境下(奥四万ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、群馬県、中之条町、関越交通(株)、四万温泉協会、(大)群馬大学などの地域関係

者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

本事業の具体的な実施内容を直接体験することにより、その意義や必要性について地域関係者に十分ご理解いただき、実施のご協力を得るとともに、先駆的な取り組みに対する社会的な受容性が今後どのように変化していくかを本事業関係者に実感していただくことを目的とした。

6) 地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、10 便/日以上(通信混雑時間に集中して実施)の自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、以下の結果を達成する。

① 通信品質の高い複数携帯通信網への自動切り替えによる 1 秒以上の映像途絶 0 回

② その他軽量映像伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶 0 回

映像途絶の秒数については、過去の遠隔監視の実績から自動運転ベンダーが設定した、必要とされる最低限の品質に設定している。

また、検証の実施回数や実施時間は、本事業の公募要領等から得られる実施に関わる拘束条件と確保できる人員、車両、その他設備や施設とそれらを活用した過去の実績を総合的に勘案し、実施できる最大数を設定している。

7) 地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する

本事業の具体的な実施内容を直接体験することにより、その意義や必要性について地域関係者に十分ご理解いただき、実施のご協力を得るとともに、先駆的な取り組みに対する社会的な受容性が今後どのように変化していくかを本事業関係者に実感していただくことを目的とした。

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

4.5.1 レベル 4 自動運転バスの緊急車両対応システムの実現

(1) 目的

レベル 4 での自動運転バス公道走行の大きな課題の一つとして、緊急車両への対応（道路交通法第 40 条への対応）がある。自動運転車両が緊急車両に対して、対応の要否を自動で判断することが難しいため(位置関係等の把握、将来挙動の推定等)、現状は遠隔監視との連携による対処を行うほかない。今後の自動運転車両の複数台監視によるコストメリットの創出、複雑環境への導入に向けては、自動判断のソリューションは必須である。ここでは、想定される二つの可能性を探求し、メリット・デメリットを比較したうえで、将来の方向性への指針としたい。

レベル４自動運転ではドライバーが車両に不在となるため、そのままでは緊急車両への対応が困難となる。そのため、緊急車両側から位置情報を自動運転車両に送信することにより、ドライバー不在であっても自動運転車両が緊急車両への対応を行えるようにする。

(2) 実施内容の詳細

1) 手法１：位置情報端末設置

緊急車両の位置情報を送信する端末として、GNSS 受信機、ジャイロセンサ、モバイルルータを組み合わせた装置を開発する。装置では緊急走行を検知し、車両の位置情報を携帯電話網経由でクラウドサーバに送信する。自動運転車両はクラウドサーバから緊急車両の位置情報を取得する。緊急車両として、前橋市消防署の消防車と救急車に上記端末を設置させていただいている。

実際に自動運転車両に近づいた際の動作については、今年度は以下の通り。警察の指導により、完全に自動での制御は先送りとなった。

① ポップアップを表示し、ドライバーに緊急車両が近づいている旨の通知を行う。
② ドライバーは安全確認をしたうえで、ポップアップのボタンを押す。
③ 自動で停車する。

2) 手法２：音検知

一般的に運転手は緊急車両の存在を認知するにあたり、音を聞き、方向を推測し、音の拡大・縮小から近接度合いを推定している。これを自動運転車両に適用し、サイレン音を検知、方向推計、近接推計することで緊急車両検知を行う。

緊急車両の検知、方向推計、接近情報推計の判定にあたり、街灯柱および移動体に取り付ける音検知装置として、マイクロフォンアレイと音源分離を組み合わせた音計測・伝送装置を構築する。

電測装置から送られたデータを前橋工科大学内のサーバで処理し、緊急車両の検知、方向、接近情報を生成する。

今年度においては、システム開発のため前橋工科大学の学内サーバでのアルゴリズム処理を実施しており、一連動作の各部開発を行う。

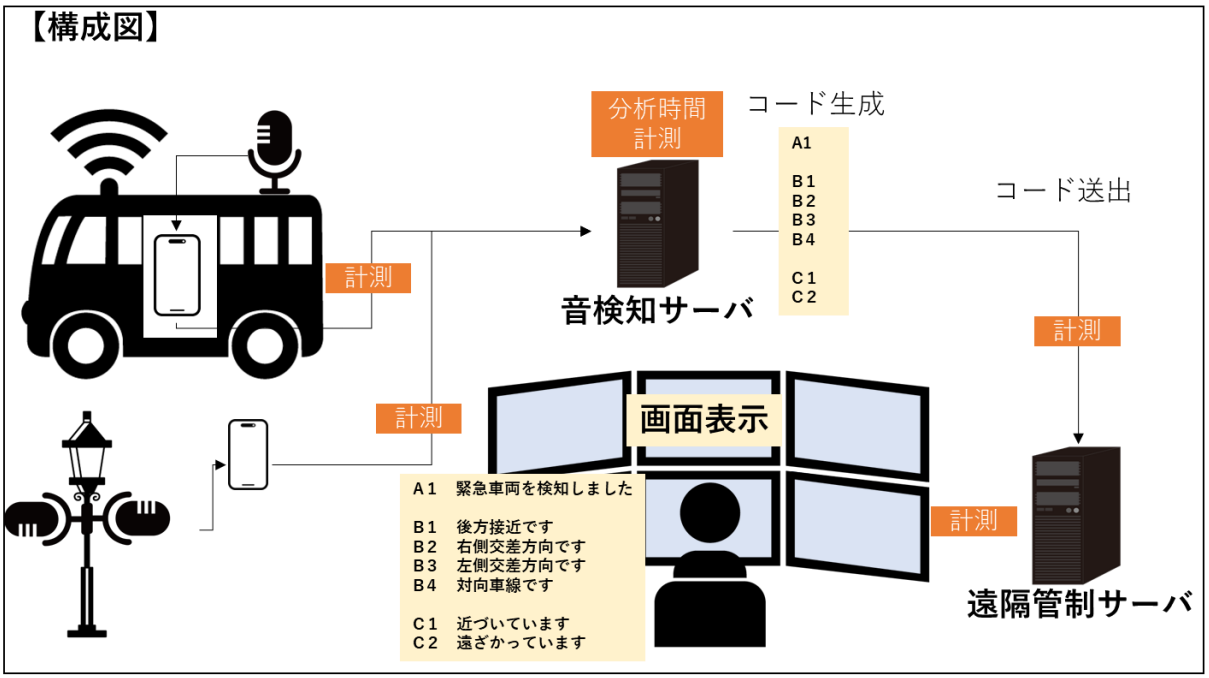


図 4-6 音検知構成図

前橋工科大学キャンパス内に 8 本 1 セットのマイクロフォンアレイを約 300 メートルずつ離し、3 セットが 1 直線にならないように設置した。これに対し準備した音源を移動させながらマイクロフォンアレイからの音声データを、スマートフォンを介して研究室の計算機サーバへ伝送し、準備したアルゴリズムで検出の有無の確認を行う。

上記に続き、公道のスマートポールに 8 本 1 セットのマイクロフォンアレイを配置するとともに、緊急車両を想定した自動車の天板上にセットした 1 セットのマイクロフォンアレイからの音声データを、伝送システム（スマートフォン）を介して大学研究室の計算機サーバに送り、上記と同様のアルゴリズムで検出の有無の確認を行う。

ただし、緊急車両の音源は、前橋市の消防局近くの公道にスマートポールを設置することで、実際の救急車のサイレンを用いる。

学内実験と公道実験の違いは、学内実験ではアルゴリズム自体の検証であるのに対し、公道実験での検証テーマは実用化を想定し、

① 緊急車両の移動に伴うドップラーエコーに対する検証

② 建物の音販社による影響の検証

③ 街中での騒音・雑音に関する影響の検証

を目的とする。

今年度は、①②③が問題となるか検証し、問題となるようであれば、次年度以降それぞれの問題解決の手法を理論レベルから解析する必要がある。

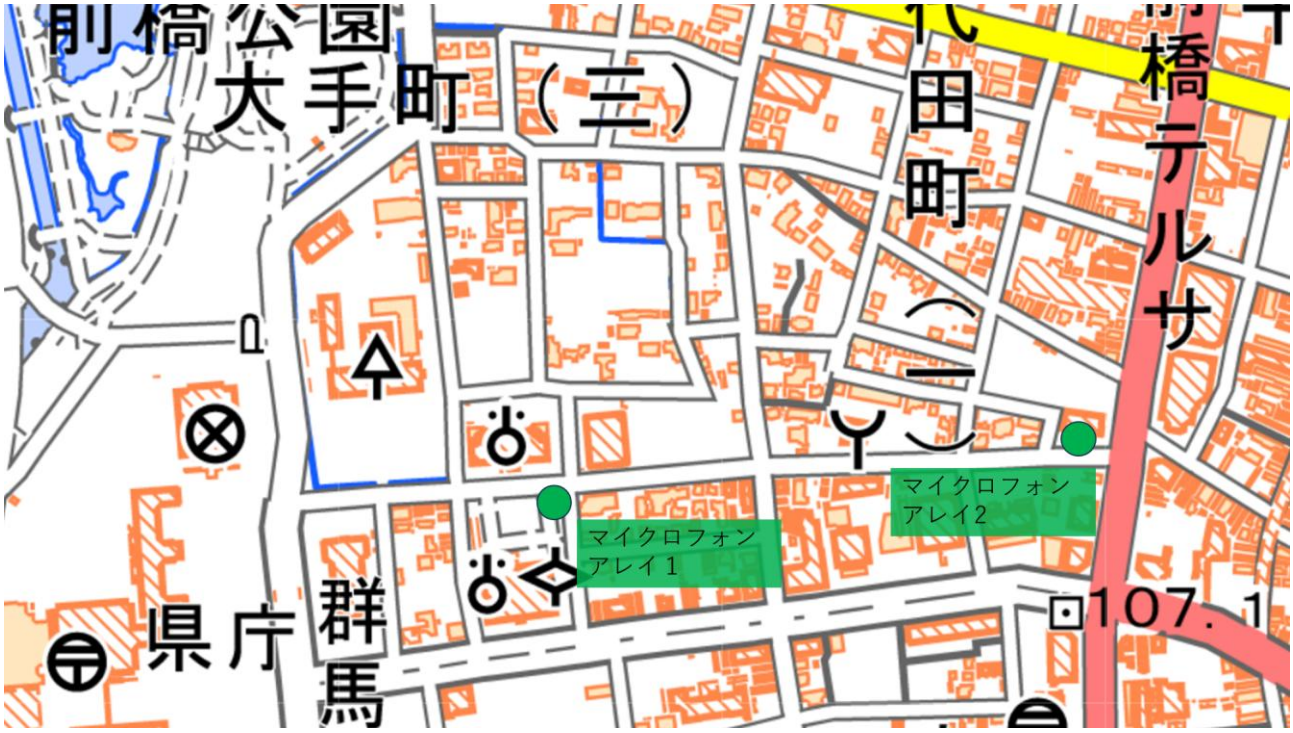


図 4-7 公道のマイク設置箇所

※「標準地図（国土地理院）」を加工して作成

上記の技術実証で扱う各種データ（マイクロフォンアレイで収集した音データ、および音検知サーバの処理結果）の伝送遅延時間を以下の手順で計測する。

(1) 区間ごとの時間を計測する

装置間の時間の累積結果を伝送遅延時間として扱うため、下図 4-8 の 4 区間に分割する。

街灯柱～音検知サーバ

移動体～音検知サーバ

音検知サーバ～遠隔管制サーバ

遠隔管制サーバ～遠隔管制システム画面

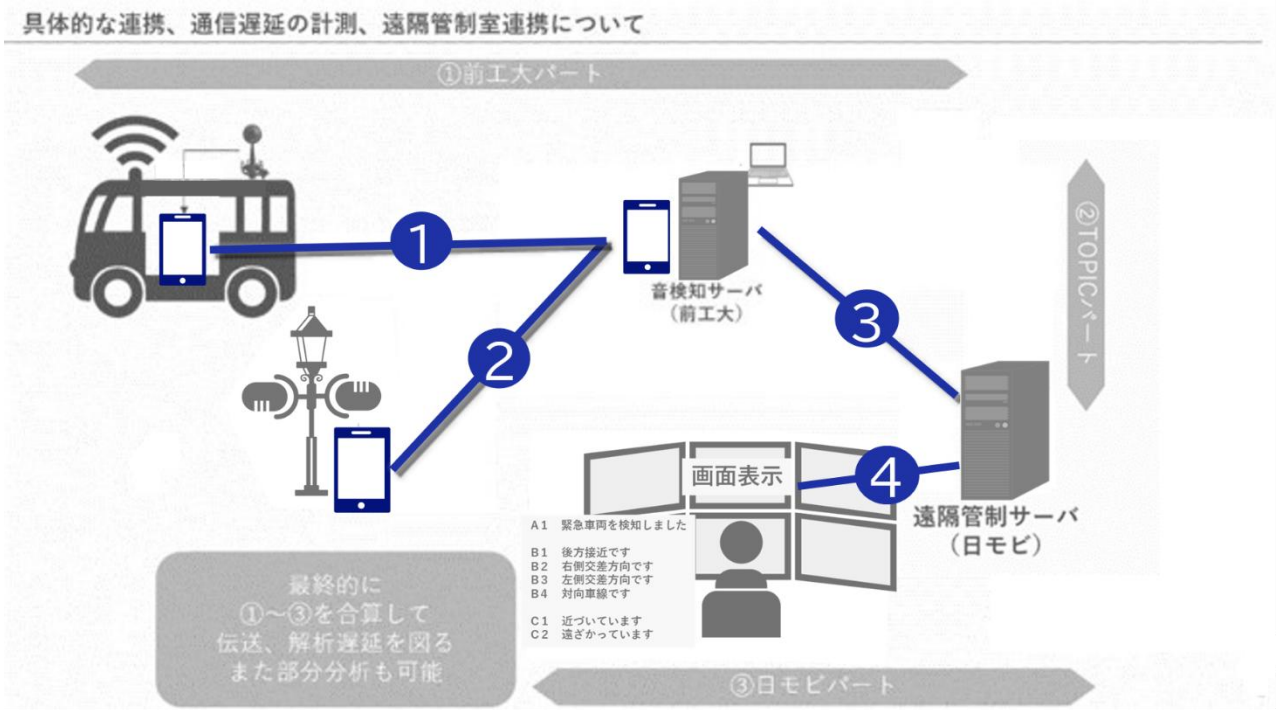


図 4-8 システム通信区画分割

それぞれの区間を以下の要領で計測する

- 測定ツール ping を利用する（1 秒間隔、60 回測定）
- 60 件の結果中、上位／下位 5 件を削除する
- 残件 50 件の平均値・中央値・標準偏差をもとめる。

(2) マイクロフォンアレイの位置ごと、伝送遅延時間を算出する。

移動体の場合

区間① ＋ 区間③ ＋ 音検知サーバの処理時間

街灯柱の場合

区間② ＋ 区間③ ＋ 音検知サーバの処理時間

計測にあたり区間①と②は音声伝搬経路のため skype の通話サービスを利用する構成で環境を構築していたことから以下の通り分割した。

Ⓐ 街灯柱～skype サーバ

Ⓑ skype サーバ内の処理時間

Ⓒ skype サーバ～前工大サーバ

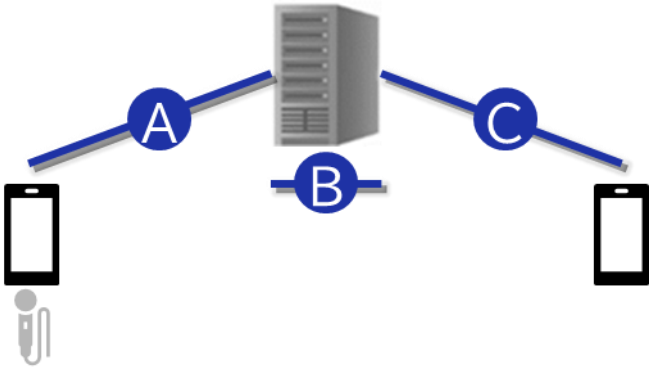


図 4-9 区間①･②分割

区間 Ⓐ と 区間Ⓒは、ネットワーク通信の区間のため先に記載した要領で計測する。

区間 Ⓑ の skype サーバ内処理時間は、以下の手順で計測する。

(1) 以下の環境を構築する。

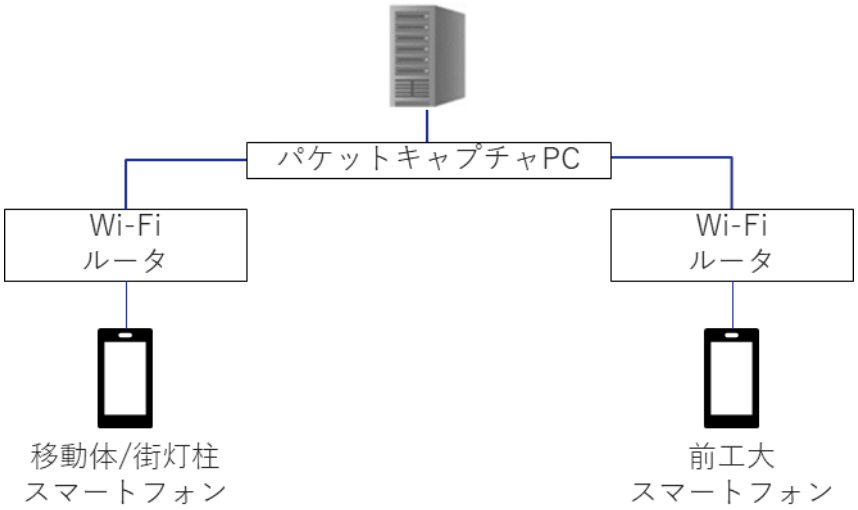


図 4-10 区間 B 計測手順

(2) パケットキャプチャ PC で以下 2 種類のパケット受信時刻を記録する。

i) 移動体/街灯柱スマートフォンから skype サーバに送付される音データ

ii) Skype サーバから前工大スマートフォンに送付される音データ

(3) (2)で記録した時刻の差（skype サーバ処理時間を含む伝送遅延時間）を算出する

(4) (3)で算出した時間からネットワーク区間の時間（区間 Ⓐ と 区間Ⓒ）を減算する

また、クラウドサービスである skype サーバで音データを伝送するとサーバ経由のため伝送遅延時間が長くなると仮定。別案として電気通信事業者が提供する音声通話サービス経由の場合の伝送遅延時間も計測する。計測手順は以下の通り。

(1) 以下の環境を準備する。

・スマートフォン２台（録音中、音量レベルを可視化できる機種）
・２台のスマートフォンの画面を録画する機器
・動画編集ソフトが利用できる PC

(2) 通話を開始する。
一方通行の伝送とするため、片方のスマートフォンはミュート状態とする。

(3) 通話の録音を開始する。
２台とも録音を開始する。

(4) ２台のスマートフォンの画面の録画を開始する。

(5) 音データを伝送する。
発声するときとミュートの時を区別して音データを伝送する。
後工程、音の立ち上がり位置を明瞭にするためメリハリを持たせる。

(6) 音データの伝送・録音・録画を終了する

(7) 録画内容からスマートフォンの画面上、音データ受信による音量レベルが立ち上がるタイミングの時刻を送信側・受信側ともに記録。記録した時刻の差を伝送遅延時間とする。

区間③と④は有線での接続回線のため、端末間の遅延時間を計測した。
計測時の構成は下図のとおりである。

図 4-11 端末間通信計測構成

(3) 利用技術

1) 手法１：位置情報端末設置

a. RaspberryPi

クレジットカードほどのサイズの小型コンピュータ。OS は Linux。

コンピュータとしての性能は低いが、GNSS とジャイロから位置情報を取得してクラウドサーバに送信する、といった単一の用途で使用するには十分であること、小型であるため装置そのものを小さくすることができること、消費電力が少なくバッテリー駆動となったとしても長時間の動作が期待できること、といったメリットがある。

当該ユースケースの技術的検証においては、段階的に机上での機能検証を実施した後に、試験路などの模擬的な環境において検証を行い必要十分な品質が得られていることを確認して、対象路線で自動運転バスに適用し検証を行う。自動運転の走行制御に影響を及ぼすシステムであるので、関係者による運用のフールプルーフやフェールセーフなどの安全設計についても検討を行い、

第三者機関に技術的妥当性の客観評価を行ってもらう体制としている。また、路側設置あるいは車載するという観点から、試験コンサルティング会社との連携の下に信頼性試験を実施することで、その実用性に関する検証を行う。電波環境の検証については、本システムの技術的検証において本質的な検証には当たらないことから、検証を行わないこととしている。上記によりユースケースで重要となる上流から下流までの技術的検証は網羅していると考える。

音検知では、まずは模擬環境にて音の指向性、外部環境による反響の影響をしっかり確認し、その後公道での検証。正しく検出できるかどうかは外部環境の音の反響をどの程度正確に把握し、適切に処理できるかに係っており、その検出率を KPI として本実証にて技術検証を行う。

2） 手法２：音検知

a. スマートフォン

当該ユースケースの技術的検証においては、段階的に机上での機能検証を実施した後に、試験路などの模擬的な環境において検証を行い必要十分な品質が得られていることを確認して、対象路線で自動運転バスに適用し検証を行う。下記に示すマイクロフォンアレイからの音声はスマートフォンを用いて伝送を行う。上記によりユースケースで重要となる上流から下流までの技術的検証は網羅していると考える。

音検知では、まずは模擬環境にて音の指向性、外部環境による反響の影響をしっかり確認し、その後公道での検証。正しく検出できるかどうかは外部環境の音の反響をどの程度正確に把握し、適切に処理できるかに係っており、その検出率を KPI として本実証にて技術検証を行う。

b. マイクロフォンアレイ

マイクロフォンアレイとは複数個所に設置されたマイクロフォンからの音声データを、伝送装置を介して同時に取得する技術である。今回は音声の到来方向が 360° であることから、指向性マイクを 8 方向の放射状にセットしたマイクロフォンアレイを 3 セット準備して実験に臨んだ。伝送には一マイクロフォンに対し送受信で 2 台のスマートフォンが必要となるため、8 マイクロフォン*3 セット*2 台＝48 台のスマートフォンを用いて実現する。大学の研究室では、受信した 24 チャンネル分の音声データを、ミキサーを介して計算サーバに取り込むシステムとなっている。

c. 音源分離技術

音源の位置推定を行う技術は、まず前処理として、3 地点以上のマイクロフォンアレイからの音声データの音波伝搬による位相差から大まかに位置推定を行い、その後、後処理として、1 セット内の隣接する 2 本のマイクロフォンからの音声データに対し、音声の重なり具合を音源分離することによって詳細な位置補正を行う手法を採用する。

（4） 必要性・緊急性・新規性

このシステムが実現されないと、手動バスとの差異によるサービス品質の低下は避けられず、レベル４自動運転バスの社会実装における社会受容性が確保できない。鉄道との連携は多くのバス系統で必須であるし、踏切を安全に通過するためには鉄道や踏切との連携は欠かせない。緊急車両対応についてもこれまでその対応策を検討する一歩を踏み出すことができない状況があり、決定的な自動運転実装の壁であった。そこで正に本事業の切り口が当該問題の突破口として機能することが極めて大きな意味を持つと考える。

（5） 検証条件

1） 手法１：位置情報端末設置

a. 地理的条件

前橋駅ー中央前橋駅運行ルート（往復約 2km)

b. 時間的条件

7 時～20 時

c. 天候条件

降水量 3mm 以上あるいは降雪時、路面凍結時は手動走行

2） （手法２）音検知

a. 地理的条件

朔太郎通り（都市型混在交通・前橋市消防局中央消防署千代田分署付近）

b. 時間的条件

9 時～18 時(結露防止)

c. 天候条件

降水量 3mm 以下

（6） 開発・評価項目

1） （手法１）位置情報端末設置

表 4-10 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	機能①ー③を満たす緊急車両搭載用に端末を開発する。
2	自動運転システムの改修
3	試験路（閉鎖空間）での検証
4	緊急車両運用データ収集
5	地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

a. 機能①ー③を満たす緊急車両搭載用に端末を開発する

緊急車両に搭載する端末は、日本モビリティ社製自動運転システム(H/W、S/W 共に 80 箇所以上での運用実績)をベースとし、①救急車両の走行方向・速度・位置(経度緯度)・車線を推定する機能、②緊急走行中を判定する機能、③端末の故障等の異常を判定する機能を有する専用端末を開発。

＜計測項目・評価手法＞

- 群馬大学試験路等の模擬的な環境において、端末を搭載した一般車両と自動運転車両を用い、テストケースを用意、晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む合計 100 回テスト実施
  - 位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100%か確認する。
  - 緊急走行検知 100%か確認する
  - 異常判定 100%達成か確認する。自動運転車両の対応制御実施率 100%か確認する
- 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、自動運転車両を用いて自動走行を実施、各機能動作を含む 12 時間連続稼働を 5 日間行う。
  - 当該端末の停止および当該端末を要因とする自動走行の中止が 0 回かを確認する。

b. 自動運転システム側の改修

自動運転システム側においては、携帯電話回線網を経由して専用クラウドサーバを介して、同情報を受け取り、当該データと自動運転車両の走行計画データを比較し、自動的に停車指示をするアルゴリズムを自動運転側に実装する。

c. 試験路（閉鎖空間）での検証

- 群馬大学試験路等の模擬的な環境において、端末を搭載した一般車両と自動運転車両を用い、テストケースを用意、晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む合計 100 回テスト実施
  - 位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100%か確認する。

・　緊急走行検知 100%か確認する。
・　異常判定 100%達成か確認する。自動運転車両の対応制御実施率 100%か確認する

d. 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、自動運転車両を用いて自動走行を実施、各機能動作を含む 12 時間連続稼働を 5 日間行う。

・　当該端末の停止および当該端末を要因とする自動走行の中止が 0 回かを確認する。

e. 緊急車両運用データ収集

前橋市消防局の全面協力の下、救急車 1 台、消防車 1 台に専用端末を搭載し、運用する。
＜計測項目・評価手法＞

- 5 日分以上の緊急出動時の運用データを 100%回収。
  - ・　位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100%かを確認する。
  - ・　緊急走行検知 100%かを確認する。
  - ・　異常判定 100%かを確認する。

f. 地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

地方基幹路線(前橋駅―中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)を実施。成り行きで当該緊急車両の接近した場合は、その機能動作の検証を行う。

＜計測項目・評価手法＞

- 7 時から 19 時まで計 26 回（定常運行便数）自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得する。
  - ・　自動運転車両の対応制御実施率 100%達成を確認する。

2）　（手法 2）音検知

表 4-11 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
6	アルゴリズム及びアルゴリズムを実行するためのシステム構築
7	試験路検証
8	公道検証
9	通信計測
10	システム評価

a. アルゴリズム及びアルゴリズムを実行するためのシステム構築

従来から音声検知のアルゴリズムとしては大別して、遠接する 3 地点以上に設置されたマイクロフォンアレイから得られる音声データから位相差を利用して遠方の位置を大まかに算出する手法と、近接する 2 本以上のマイクからなるマイクロフォンアレイから得られる音声データを分離することによって近隣の音声を精度よく検知する手法がある。本実証実験では、両手法を組み合わせ、遠方にある緊急車両を前者の方法で大まかに推定し、後者の方法を用いて、推定精度の向上を図るアルゴリズムを提案する。このアルゴリズムを実現するために、音声の到来報告が予測できない状況であることを想定し、8 本の指向性マイクを放射状に配置したものを 1 セットとし、これを遠接する 3 地点に設置することとした。また、近接するマイクへの対応として 8 本の放射状に配置した 1 セット内のマイクロフォンアレイの隣り合う 2 本のマイクロフォンを用いて処理することとした。また、各マイクロフォンからの音声はスマートフォンを送受信に 2 台を 1 対として、大学の研究室へ伝送し、24 チャンネルの音声データに対し、ミキサーを介して計算機サーバへ送り、計算機サーバでアルゴリズム処理を行うシステムとした。

b. 試験路検証

前橋工科大学内に試験路を準備し、上記システムを用いて検証を行う。音源とマイクロフォンアレイの距離を遠近の 2 パターン設定し、システムが正常稼働することを確認する。

c. 公道検証

公道検証では、前橋市の消防署付近に 2 か所、自動運転車両を想定した自動車の天板上に 1 セットマイクロフォンアレイを設置して実証を行う。

d. 通信計測

装置間の時間の累積結果を伝送遅延時間として扱うため、下図の 4 区間に分割する。

① 街灯柱～音検知サーバ
② 移動体～音検知サーバ
③ 音検知サーバ～遠隔管制サーバ
④ 遠隔管制サーバ～モニタ用 PC

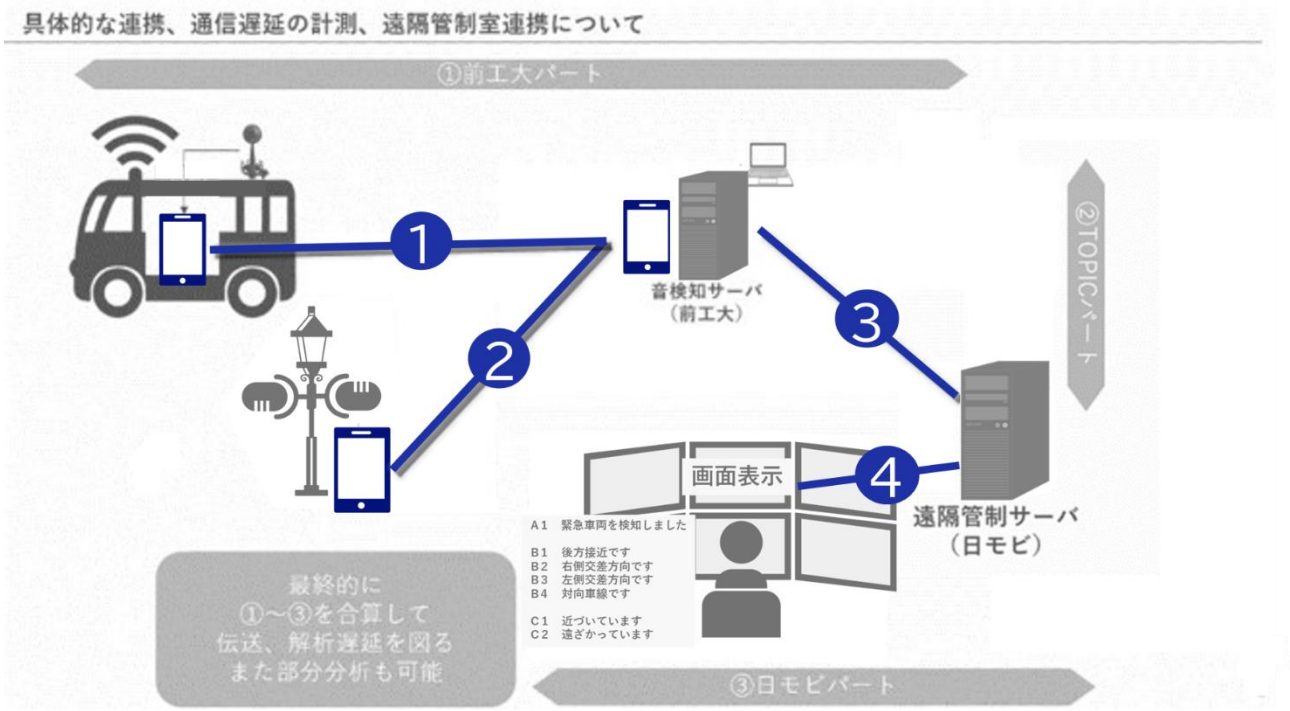


図 4-12 システム通信区画分割

計測当初、区間①と②は 4.5.1 の （2）中、（手法２）音検知 の記載の通り音データの伝搬に skype を利用しているため経路を 2 分割（街灯柱/移動体～skype サーバ、skype サーバ～前橋工科大学）する手法を想定していた。他方で、音声伝搬のプロトコルを確認したところ音データはピアツーピア通信によって実現していることが判明した。従って、計測環境の構成を下図のように変更・構築することとした。

図 4-13 端末間通信計測構成

e. システム評価

今回のシステムについて、群馬県前橋市の、JR 前橋駅―中央前橋駅間ルートでの遠隔管制実績を持つ、日本中央バスのドライバーに対し、システムの説明と実際のシステム画面を元にヒアリングを実施する。ヒアリング対象者は 2 名とし、広く意見交換を行う。

（7） KGI/KPI

1） 手法１：位置情報端末設置

表 4-12 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・（一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施し、各機能についての達成指標は以下の通り。 ①位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100% ②緊急走行検知 100% ③異常判定 100%、自動運転車両の対応制御実施率 100%
	4	・15 日分以上の緊急出動時の運用データを机上コンピュータにて 100%回収。
	5	・前橋市消防局、群馬県警、群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学、などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施
	6	・7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得

a. (一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

自動運転システムの安全設計についての第三者レビューは、対外的にそのシステムの安全性を証明するためには不可欠と考える。レビューを委託する日本自動車研究所は自動車や道路交通に関連する研究、試験を行う団体であり、以前は経済産業省所管の財団法人であった準公的な組織である。また、同研究所は自動車の第三者評価を行う国内最大の機関であることから、自動運転レベル４の第三者評価について、過去の豊富な知見から的確なレビューとフィードバックを実施できる国内唯一の機関である。

b. 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

自動運転バスの乗客には高度の自動運転技術がわかる人はほとんどいないと想定されるので、自動運転バス社会受容性に焦点を当てて調査する。

c. 群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施し、各機能についての達成指標は以下の通り。

① 位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100%
② 緊急走行検知 100%
③ 異常判定 100%、自動運転車両の対応制御実施率 100%

信頼性評価については、設置環境から想定し、試験コンサルティング会社と協議して求めた目標値を設定した。

d. 15 日分以上の緊急出動時の運用データを机上コンピュータにて 100%回収。

本事業の具体的な実施内容を直接体験することにより、その意義や必要性について地域関係者に十分ご理解いただき、実施のご協力を得るとともに、先駆的な取り組みに対する社会的な受容性が今後どのように変化していくかを本事業関係者に実感していただくことを目的とした。

e. 前橋市消防局、群馬県警、群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学、などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

検証の実施回数や実施時間は、本事業の公募要領等から得られる実施に関わる拘束条件と確保できる人員、車両、その他設備や施設とそれらを活用した過去の実績を総合的に勘案し、実施できる最大数を設定している。

f. 7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得

検証の実施回数や実施時間は、本事業の公募要領等から得られる実施に関わる拘束条件と確保できる人員、車両、その他設備や施設とそれらを活用した過去の実績を総合的に勘案し、実施できる最大数を設定している。

2） 手法２：音検知

表 4-13 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	7	監視員に対して、音検知による緊急車両アラートがどの程度安全性に寄与するか、1：n 運行を想定した場合の遠隔管制に効果的かを確認する。
定量評価	8	性能評価レベル 1 模擬環境における緊急車両の接近と音検知の検出率 95%以上
	9	性能評価レベル 2 公道環境における緊急車両の接近と音検知の検出率 90%以上
	10	伝送遅延 300ms 以下

a. 監視員に対して、音検知による緊急車両アラートがどの程度安全性に寄与するか、1 : n 運行を想定した場合の遠隔管制に効果的かを確認する。

① 位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100%

② 緊急走行検知 100%

③ 異常判定 100%、自動運転車両の対応制御実施率 100%

天候条件に関し自動運転バスの運用で想定されるシーンを網羅するために設定した。位置・速度・向きについては、自動運転ベンダー側が判断に必要な最低限の品質を設定している。車線正答率は異常判定、対応制御実施率は試行回数からするといずれも 100%であることが求められる。

b. 性能評価レベル 1 模擬環境における緊急車両の接近と音検知の検出率 95%以上

試験路での理想環境の試験であるため、接近に対する音検知の検出率は高く設定した。

c. 性能評価レベル 2 公道環境における緊急車両の接近と音検知の検出率 90%以上

公道、実環境での試験であるため、接近に対する音検知の検出率は試験路での試験よりも低い物を設定した。

d. 伝送遅延　300ms 以下

自動運転との連携を考え、音の検知から通知までの許容可能な伝送遅延を 300ms 以下と設定した。

4.5.2 鉄道との接続を考慮した柔軟性のある自動運転バス運行を実現する、鉄道車両・最寄踏切からの鉄道接近検知の実現

（1） 目的

L2 での自動運転バスの実現と鉄道との関係に生じる課題は大きく二つ。「バスー鉄道の相互乗換接続性」「踏切箇所の通過」の大きく 2 つある。これらを同時に解決するソリューションとして、想定される二つ（鉄道車両に装着するか、踏切に装着するか）の可能性を探求し、メリット・デメリットを比較したうえで、将来の方向性への指針としたい。

現状では、バスの発車時刻は鉄道車両が到着した後に設定してあり、鉄道車両を降りたお客様がバスで移動できるようになっている。鉄道車両が多少遅れても、バスはそれに合わせて発車するようにドライバーが調整を行っている。

レベル 4 自動運転ではドライバーが車両に不在となるため、そのままでは鉄道車両との連携が困難となる。そのため、鉄道車両側から位置情報を自動運転車両に送信する、もしくは中央前橋駅に最寄りの踏切に走行する鉄道車両を検知して自動運転車両に送信することで、ドライバー不在であっても自動運転車両が鉄道車両との連携を行えるようにする。

(2) 実施内容の詳細

鉄道車両の位置情報を送信する端末として、GNSS 受信機、ジャイロセンサ、モバイルルータを組み合わせた装置を開発する。装置では鉄道車両の位置情報を携帯電話網経由でクラウドサーバに送信する。自動運転車両はクラウドサーバから鉄道車両の位置情報を取得する。鉄道車両として、上毛電鉄の 2 両に上記端末を設置させていただいている。

踏切から通過する鉄道車両を検知して送信する端末として、光センサ、超音波センサ、モバイルルータを組み合わせた装置を開発する。装置では光センサによって踏切のランプの点灯状態を検知、超音波センサによって鉄道車両の進行方向を検知し、中央前橋駅に走行している場合のみクラウドサーバに送信する。自動運転車両はクラウドサーバから踏切通過の情報を取得する。

実際に鉄道車両が駅に近づいた際の動作については、今年度は以下の通り。

- ポップアップを表示し、ドライバーに鉄道車両が駅に到着する旨の通知を行う。
- ポップアップのボタンを押すとポップアップが消える。

(3) 利用技術

1) RaspberryPi

クレジットカードほどのサイズの小型コンピュータ。OS は Linux。

コンピュータとしての性能は低いが、GNSS とジャイロから位置情報を取得してクラウドサーバに送信する、といった単一の用途で使用するには十分であること、小型であるため装置そのものを小さくすることができること、消費電力が少なくバッテリー駆動となったとしても長時間の動作が期待できること、といったメリットがある。

(4) 必要性・緊急性・新規性

このシステムが実現されないと、手動バスとの差異によるサービス品質の低下は避けられず、レベル 4 自動運転バスの社会実装における社会受容性が確保できない。鉄道との連携は多くのバス系統で必須であるし、踏切を安全に通過するためには鉄道や踏切との連携は欠かせない。

(5) 検証条件

1) 地理的条件

前橋駅―中央前橋駅運行ルート（往復約 2km）

2) 時間的条件

7 時～20 時

3) 天候条件

降水量 3mm 以上あるいは降雪時、路面凍結時は手動走行

4） 装置設置数

鉄道車両２機

（6） 開発・評価項目

表 4-14 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	鉄道車両に搭載する専用端末の開発（手法１）
2	踏切に設置する専用端末の開発（手法２）
3	自動運転システム側の改修
4	試験路（閉鎖空間）での検証
5	上毛電鉄で運用しデータ収集
6	地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

1） 鉄道車両に搭載する専用端末の開発（手法１）

鉄道車両に搭載する端末は、日本モビリティ社製自動運転システム(H/W、S/W 共に 80 箇所以上での運用実績)をベースとし、専用の装置を開発。

2） 踏切に設置する専用端末の開発（手法２）

踏切に設置する協調型踏切開閉検知装置は、日本モビリティ社製協調型信号化装置(信号灯火器に後付けで信号灯色の検知・推定を行う装置。現在複数地域に設置運用中)をベースに、専用の装置を開発。

3） 自動運転システム側の改修

自動運転システム側においては、携帯電話回線網を経由して専用クラウドサーバを介して上記情報を受信し、自動運転バス発進タイミング情報として表示するアルゴリズムを自動運転側に実装する。

4） 試験路（閉鎖空間）での検証

鉄道搭載端末、踏切設置端末を群馬大学試験路等（閉鎖空間）で機能の検証を実施する。

＜計測項目・評価手法＞

(1) 鉄道搭載端末

- 群馬大学試験路等で模擬的な環境を構築し、テストケースを用意、晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む各 100 回のテストを実施
  - 情報伝送成功と、発進タイミング正答が 100%かを確認する
  - 位置誤差±5m 以内、速度・向き誤差±15%以内、伝送頻度 1Hz 以内かを確認する。
- 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、自動運転車両を用いて自動走行を実施、12 時間連続稼働を手法毎に 5 日間行う
  - 当該端末・装置の停止および当該端末・装置を要因とする自動走行の中止が 0 回を確認。

(2) 踏切設置端末

- 群馬大学試験路等で模擬的な環境を構築し、テストケースを用意、晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む各 100 回のテストを実施
  - 情報伝送成功と、発進タイミング正答が 100%かを確認する
  - 到着予想時刻精度 1min 以内、踏切開閉検知遅れ 500ms 以内、伝送頻度 1Hz 以内かを確認する
- 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、自動運転車両を用いて自動走行を実施、12 時間連続稼働を手法毎に 5 日間行う
  - 当該端末・装置の停止および当該端末・装置を要因とする自動走行の中止が 0 回を確認。

5) 上毛電鉄で運用しデータ収集

上毛電気鉄道(株)の鉄道車両 1 台、踏切 1 基にそれぞれの装置を搭載して運用、机上に設置したコンピュータにデータを伝送してデータを収集する。

＜計測項目・評価手法＞

- 始発から終電まで 15 日分以上のデータを取得する
  - 情報伝送成功と、発進タイミング正答が 100%かを確認する。

6) 地方基幹路線（前橋駅－中央前橋駅ルート）における効果測定

地方基幹路線(前橋駅－中央前橋駅ルート)における定常運行(搭乗型 L2 を想定)に合わせて、自動運転コンピュータによってデータを収集する。

＜計測項目・評価手法＞

- 7 時から 19 時まで計 26 回（定常運行便数）自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得する。
  - 情報伝送成功と、発進タイミング正答が 100%かを確認する。

（7） KGI/KPI

表 4-15 KGI/KPI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・ （一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・ 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・ 群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む各 100 回のテストを実施し、各機能についての達成指標は以下の通り。 (手法 1 および 2)100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答 (手法 1)位置誤差±5m 以内、速度・向き誤差±15%以内、伝送頻度 1Hz 以内 (手法 2)到着予想時刻精度 1min 以内、踏切開閉検知遅れ 500ms 以内、伝送頻度 1Hz 以内
	4	・ 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、自動運転車両を用いて自動走行を実施、12 時間連続稼働を手法ごとに 5 日間行い、当該端末・装置の停止および当該端末・装置を要因とする自動走行の中止 0 回を達成。
	5	・ 15 日分以上の運用データを机上コンピュータにて 100%回収。100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答を達成
	6	・ 群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、上毛電気鉄道(株)を含む鉄道会社 2 社、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施
	7	・ 7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得、100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答を達成

1） （一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

自動運転システムの安全設計についての第三者レビューは、対外的にそのシステムの安全性を証明するためには不可欠と考える。レビューを委託する日本自動車研究所は自動車や道路交通に関連する研究、試験を行う団体であり、以前は経済産業省所管の財団法人であった準公的な組織である。また、同研究所は自動車の第三者評価を行う国内最大の機関であることから、自動運転レベル４の第三者評価について、過去の豊富な知見から的確なレビューとフィードバックを実施できる国内唯一の機関である。

2） 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

自動運転バスの乗客には高度の自動運転技術がわかる人はほとんどいないと想定されるので、自動運転バス社会受容性に焦点を当てて調査する。

3)　群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む各 100 回のテストを実施し、各機能についての達成指標は以下の通り。

a. 手法 1 および 2

100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答

b. 手法 1

位置誤差±5m 以内、速度・向き誤差±15%以内、伝送頻度 1Hz 以内

c. 手法 2

到着予想時刻精度 1min 以内、踏切開閉検知遅れ 500ms 以内、伝送頻度 1Hz 以内

天候条件に関し自動運転バスの運用で想定されるシーンを網羅するために設定した。位置・速度・向き、予想精度、検知遅れ、伝送精度については、自動運転ベンダー側が判断に必要な最低限の品質を設定している。正答率は試行回数からするといずれも 100%であることが求められる。

4)　群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、自動運転車両を用いて自動走行を実施、12 時間連続稼働を手法ごとに 5 日間行い、当該端末・装置の停止および当該端末・装置を要因とする自動走行の中止 0 回を達成。

信頼性評価については、設置環境から想定し、試験コンサルティング会社と協議して求めた目標値を設定した。

5)　15 日分以上の運用データを机上コンピュータにて 100%回収。100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答を達成

信頼性評価については、設置環境から想定し、試験コンサルティング会社と協議して求めた目標値を設定した。

6)　群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、上毛電気鉄道(株)を含む鉄道会社 2 社、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

本事業の具体的な実施内容を直接体験することにより、その意義や必要性について地域関係者に十分ご理解いただき、実施のご協力を得るとともに、先駆的な取り組みに対する社会的な受容性が今後どのように変化していくかを本事業関係者に実感していただくことを目的とした。

7)　7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得、100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答を達成

検証の実施回数や実施時間は、本事業の公募要領等から得られる実施に関わる拘束条件と確保できる人員、車両、その他設備や施設とそれらを活用した過去の実績を総合的に勘案し、実施できる最大数を設定している。

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

4.6.1 バス停を中心とした、自動運転バスの支援と、情報ハブとしての利活用との共用による費用低廉化・普及促進

（1） 目的

自動運転車両の視点では、バス停付近は、バス利用者や他の車両との交錯が予想される高リスク箇所であると同時に、バスの乗客認識、正着、障がい者対応など、自動運転バスならではの技術的な課題が集中する箇所であると言える。バス停に視点を移すと、何らかの移動に関する行動をしている者が集まる場所でもあるため、情報ハブとして、案内窓口、広告宣伝やMaaSとの連携への活用で、別の収益を得るビジネスモデルの展開が期待できる。バス停の情報ハブ化というインフラ共用により、費用の低廉化やその普及促進につながる。

（2） 実施内容の詳細

「①L4 を想定した自動運転バス車両への乗車要求」「②L4 を想定した要介助者の支援要求」「③乗降客等歩行者の車道飛出検知・警報と自動運転車両への情報共有」「④バス停付近駐停車車両検知と自動運転車両接近警報」「⑤広告表示」「⑥遠隔対応窓口」機能を搭載した「情報 Hub バス停」を開発し、携帯電話網を経由して当該端末の位置情報をクラウドサーバと接続し、上記のサービス機能を確認する。

（3） 利用技術

1） クラウドサーバ

AWSを使用し、①自動運転バス車両への乗車要求、②要介護者の支援要請、⑦遠隔窓口対応の状態を共有するためのサーバを構築する。

バス停と車両／遠隔対応拠点間で直接通信するのではなくサーバを介することで、車両のネットワーク環境（通信キャリア）に依存せずに使用することができ、また、連携車両や拠点の増減にもフレキシブルに対応することが可能となる。

2） 大型タッチパネルディスプレイ

情報Hubバス停には大型タッチパネルディスプレイを設置する。様々な情報を表示すると同時に、ユーザーが直感的に必要な機能にアクセスできるようにするため。

（4） 必要性・緊急性・新規性

情報 Hub バス停が実現されないと、レベル 4 自動運転バスを多くの場所で実装することができない。現在当該路線で手動介入が生じる最も大きな要因がバス停周辺であり、それは他地域においても同様である。これまでの実証で抽出、整理した課題に対して対応するこの情報 Hub バス停の実現により、確実なブレークスルーを迎えることができる。

（5） 検証条件

a. 地理的条件

前橋駅―中央前橋駅運行ルート（往復約 2km）

b. 時間的条件

7 時～20 時

c. 天候条件

降水量 3mm 以上あるいは降雪時、路面凍結時は手動走行

d. 装置設置数

鉄道車両 2 機

（6） 開発・評価項目

表 4-16 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	６個の機能を備えた情報 Hub バス停を開発
2	自動運転システム側の改修
3	試験路（閉鎖空間）での検証
4	現地運用検証

1） ６個の機能を備えた情報 Hub バス停を開発

情報 Hub バス停は、日本モビリティ社製連携型バス停をベースに、専用のバス停装置を開発。主な構成として「ア　ディスプレイ」「イ　入力装置(ボタン、タッチパネル)」「ウ　歩道側・車道側センサ(LiDAR、カメラ等)」「エ　歩道側・車道側警報器」「オデジタルコンテンツ用入力装置(NFC、QR コード)」から成る。ア~オの構成から成る情報 Hub バス停および連携アプリを開

発し、クラウドサーバを介して情報をやり取りすることで、下記①～⑥の機能を実現する。

① L4 を想定した自動運転バス車両への乗車要求
② L4 を想定した要介助者の支援要求
③ 乗降客等歩行者の車道飛出検知・警報と自動運転車への情報共有
④ バス停付近駐停車車両検知と自動運転車両接近警報
⑤ 広告表示
⑥ 遠隔対応窓口(遠隔会議)

上記機能を搭載した「情報 Hub バス停」を開発し、携帯電話網を経由して当該端末の位置情報をクラウドサーバと接続し、上記のサービス機能を提供する。

2) 自動運転システム側の改修

自動運転システム側においては、携帯電話回線網を経由して専用クラウドサーバを介して、上記装置と情報を共有し、各機能に応じた動作を自動運転側に実装する。

3) 試験路（閉鎖空間）での検証

情報 Hub バス停を群馬大学試験路等（閉鎖空間）で機能の検証を実施する。

＜計測項目・評価手法＞

- 群馬大学試験路等で模擬的な環境を構築し、テストケースを用意、①～⑥の機能を晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む各 100 回のテスト実施する・
  - 情報伝送成功 100%を確認する。
  - 自動運転車両への乗車要求成功を確認する。
  - 監視員への要介助者の支援要求成功を確認する。
  - 無支援の自動運転に比べて平均の横方向位置を縁石に近づけ、縦方向位置のばらつきが小さくなることを確認する。
  - 直線縁石に並行にバス停起点として±15m 以内の身長 100cm 程度のマネキンにて検知・警報成功を確認する。
  - バス停起点として車道側半径 15m 以内の原付スクーターサイズ（L:1720，W:650，H:1020 程度）の検知成功
  - 複数の時間入れ替わり広告表示（群馬県、前橋市公報等を想定）の連続稼働成功を確認する。
  - 遠隔地に 1 名のスタッフを常駐させ、行先案内サービスを実施。サービス提供要求への応答成功を確認する。
  - スマートフォンの連携アプリと情報 Hub バス停のデジタルコンテンツ用入力装置を用いて公共交通利用促進サービスの認証成功を確認する。
- 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施、①～⑥の各機能動作を含む 12 時間連続稼働を 5 日間行う。

・ 情報 Hub バス停の停止および情報 Hub バス停を要因とする自動走行の中止 0 回を確認。

4） 現地運用検証

中央前橋駅のバス停留所に当該バス停を仮設して運用、技術検証用に自動運転車両を走行(搭乗型 L2 を想定)させてデータを収集する。

＜計測項目・評価手法＞

- 7 時から 19 時まで計 26 回（定常運行便数）自動運転車両の自動走行を実施、15 日分のデータを取得する。
  - ・ 100%の情報伝送成功と、３．と同様の条件達成を確認する。

（7） KGI/KPI

表 4-17 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・ （一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・ 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・ 各機能については、晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含むテストを行い、その達成指標は以下の通り。 ①試験路にて 100 回以上のテストで自動運転車両への乗車要求 100%成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ②試験路にて 100 回以上のテストで監視員への要介助者の支援要求成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ③試験路にて 100 回以上のテストで直線縁石に並行にバス停起点として±15m 以内の身長 100cm 程度のマネキンにて検知・警報成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ④試験路にて 100 回以上のテストでバス停起点として車道側半径 15m 以内の原付スクーターサイズ(L:1720, W:650, H:1020 程度)の検知成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ⑤試験路にて複数の時間入れ替わり広告表示(群馬県、前橋市公報等を想定)の連続稼働を成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ⑥試験路にて遠隔地に 1 名のスタッフを常駐させ、行先案内サービスを実施。サービス提供要求への応答を成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
	4	・ 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施、1~6 の各機能動作を含む 12 時間連続稼働を 5 日間行い、情報 Hub バス停の停止および情報 Hub バス停を要因とする自動走行の中止 0 回を達成。

	5	・ 前橋市、日本中央バス(株)を含む前橋市路線バス事業者 6 社、上毛電気鉄道(株)を含む鉄道会社 2 社、(大)群馬大学、(大)前橋工科大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

1) (一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

自動運転システムの安全設計についての第三者レビューは、対外的にそのシステムの安全性を証明するためには不可欠と考える。レビューを委託する日本自動車研究所は自動車や道路交通に関連する研究、試験を行う団体であり、以前は経済産業省所管の財団法人であった準公的な組織である。また、同研究所は自動車の第三者評価を行う国内最大の機関であることから、自動運転レベル 4 の第三者評価について、過去の豊富な知見から的確なレビューとフィードバックを実施できる国内唯一の機関である。

2) 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

自動運転バスの乗客には高度の自動運転技術がわかる人はほとんどいないと想定されるので、自動運転バス社会受容性に焦点を当てて調査する。

3) 各機能については、晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含むテストを行い、その達成指標は以下の通り。

- 試験路にて 100 回以上のテストで自動運転車両への乗車要求 100%成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
- 試験路にて 100 回以上のテストで監視員への要介助者の支援要求成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
- 試験路にて 100 回以上のテストで直線縁石に並行にバス停起点として±15m 以内の身長 100cm 程度のマネキンにて検知・警報成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
- 試験路にて 100 回以上のテストでバス停起点として車道側半径 15m 以内の原付スクーターサイズ(L:1720, W:650, H:1020 程度)の検知成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
- 試験路にて複数の時間入れ替わり広告表示(群馬県、前橋市公報等を想定)の連続稼働を成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
- 試験路にて遠隔地に 1 名のスタッフを常駐させ、行先案内サービスを実施。サービス提供要求への応答を成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。

天候条件に関し自動運転バスの運用で想定されるシーンを網羅するために設定した。各機能に正答率は試行回数からするといずれも 100%であることが求められる。機能④⑤の検出範囲は、

リスクが想定される範囲や人物モデル（幼児）から最低限の品質を設定している。

4） 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施、1~6 の各機能動作を含む 12 時間連続稼働を 5 日間行い、情報 Hub バス停の停止および情報 Hub バス停を要因とする自動走行の中止 0 回を達成。

信頼性評価については、設置環境から想定し、試験コンサルティング会社と協議して求めた目標値を設定した。

5） 前橋市、日本中央バス（株）を含む前橋市路線バス事業者 6 社、上毛電気鉄道（株）を含む鉄道会社 2 社、（大）群馬大学、（大）前橋工科大学などの地域関係者、ならびに総務省、（株）三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施。

本事業の具体的な実施内容を直接体験することにより、その意義や必要性について地域関係者に十分ご理解いただき、実施のご協力を得るとともに、先駆的な取り組みに対する社会的な受容性が今後どのように変化していくかを本事業関係者に実感していただくことを目的とした。

4.7 レベル 4 の社会実装に向けた検討

4.7.1 運用検証

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

本事業で取り扱うユースケースのうち、①、②、③、⑤の緊急車両手法 1 および鉄道協調については、本運用検証では、自動運転システムに直接情報を伝達できるように自動運転システムを改修して、自律判断を行うことになり、人間による操作は必要としないため、該当しない。

1） ユースケース④

遠隔監視員に対して、以下の通りにアンケート調査により評価する。

a. **実施時期：**

群馬県前橋市(15 日間以上)、群馬県中之条町ルート A(15 日間以上)およびルート B(15 日間以上)の一般運行時

b. **対象者：**

レベル 2 搭乗型の自動運転運行を実施したことのあり、遠隔監視の講習を受けた者（7 名以上）

c. **サンプル数：**

群馬県前橋市(10 便/日以上)、群馬県中之条町ルート A(7 便/日以上)およびルート B(7 便/日以上)

d. **質問項目の案：**

「走行中の映像途絶の区間、時間、想定される要因」「走行中の映像カクツキの区間、時間、想定される要因」「映像の見やすさに関する課題への気づき（自由記述)」「画面構成に関する課題への気づき（自由記述)」「自動運転監視の視点での運用上の課題への気づき（自由記述)」「技術的に向上してもらいたいポイント（自由記述)」

e. **達成目標：**

映像のカクツキ 0 回、1 秒以上の映像途絶 0 回

2） **ユースケース⑤の緊急車両手法２**

a. 対象者

監視員

b. サンプル数

2～3 名

c. 方法

対面でのヒアリング

d. 質問項目の案

「音検知による情報を遠隔管制画面で確認することの有用性」「U1 に関する評価」「1：n 管制を想定した場合の有用性に関する評価」「改善すべきポイント（自由記述)」

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

5.1.1　ユースケース①、④：

自動運転普及に向けては、通信環境が劣悪なトンネルなどにおける携帯通信網外環境の存在により遠隔監視が不能になることが、横展開地域の拡大を妨げる障害となっている。過去にも携帯通信網のほかに、ローカル 5G での遠隔監視継続や路車連携の可能性を評価してきたが、より多くの自営通信網等の導入という選択肢を持ち、メリット・デメリットに応じて使い分けることのできる技術や知見を蓄積することで、特定の通信環境に依存しない条件構築が自動運転の普及拡大には不可欠である。

そこで本事業では、複数の自営通信網による通信手段の構築を行い、それぞれの技術面、運用面、経済面でのメリット・デメリットを明らかにする。対象とする通信劣悪環境として、トンネルと、湖周遊路線の携帯通信網外環境を対象とした。

トンネル環境については、検証する通信手段の選定にあたり、「他車両などの外乱に強い特性を持つもの」「自動運転の遠隔監視に必要な最低限以上の品質を持つもの」に着目し選定を行った。具体的には、メイン系統の通信手段として、Cisco CURWB 技術を用いるものと、LCX(漏洩同軸ケーブル)を用いたもの、バックアップ系統の通信手段として、IEEE802.11ah(Wi-Fi HaLow™)を用いたもの 3 種類である。Cisco CURWB 技術は Make Before Break 機能により、移動する物体でも高速通信を実現でき、かつ極小のハンドオフタイムを実現できることが特徴で、本ユースケースに適している。LCX は、同軸ケーブル上に電波を均一に放射することができ、これをトンネル内の前後方向に設置することで、電波の死角がなく安定した通信を実現できることが特徴で本ユースケースに適している。IEEE802.11ah(Wi-Fi HaLow™)は、1GHz 以下の 920MHz 帯の周波数帯域を用いるため、長距離通信が可能となり壁や障害などがある場合に電波が後ろへ回り込むことができるため、通信可能な範囲が拡大されるという特徴で、本ユースケースに適している。ただし、通信速度は通常の遠隔監視の用途からすると不十分であるため、バックアップ回線としての価値を検証する。

湖周遊路線の携帯通信網外環境は山間観光地におけるモデルケースとして、自動運転の導入を実現するための通信環境を模索する。路線は広範囲にわたるため、トンネル内の通信手段を用いると、コスト面で現実性がない。そのため、検証する通信手段の選定にあたり、「広範囲にわたって通信が可能なもの」「最低限車両がどういうステータスにあるかの情報だけでも継続して通信可能なもの」「緊急停止時には通常の遠隔監視に必要な最低限以上の品質を持つもの」に着目して選定を行った。具体的には、LEO 衛星ブロードバンド技術を用いるものと、429MHz 特定小電力モデムを用いるものの組み合わせとした。LEO 衛星ブロードバンドは、近年注目をされている衛星通信手段であり、屋外で衛星と通信ができる環境であればどこでも比較的拘束で低遅延の通信ができる特徴で、本ユースケースに適している。ただし、固定基地局型の通信に比べ、衛星通信である点で根本的に移動体の通信継続性を確保することが難しい特性がある。そこで、衛星通信

側の移動通信継続性の技術開発と並行して、自動運転側としては、停車状態など主要な用途に焦点を当てたソリューション構築を進めておくことが重要である。429MHz 特定小電力モデムは古くからある無線通信技術の一つで、長距離通信が可能となり壁や障害などがある場合に電波が後ろへ回り込むことができるため、通信可能な範囲が拡大されるという特徴で、本ユースケースに適している。ただし、通信速度は限定的となるため、LEO 衛星ブロードバンドとの組み合わせの価値を検証する。

以下では、ユースケース①の検証で用いる、携帯通信網、Cisco CURWB、LCX、IEEE802.11ah、LEO 衛星ブロードバンド、429MHz 特定小電力モデムについて、それぞれのネットワーク構成と設置位置について説明する。なお、ユースケース④はユースケース①の通信環境の切り替え、適応するためのソフトウェアソリューションであり、ユースケース１のネットワーク構成を用いる。

(1) 携帯通信網を用いた通信

基本となる携帯通信網を使った通信手段は、既設のものを用いる。群馬県中之条町ルート A、ルート B のいずれも携帯通信網が使える場所については、これを優先して用いることとする。

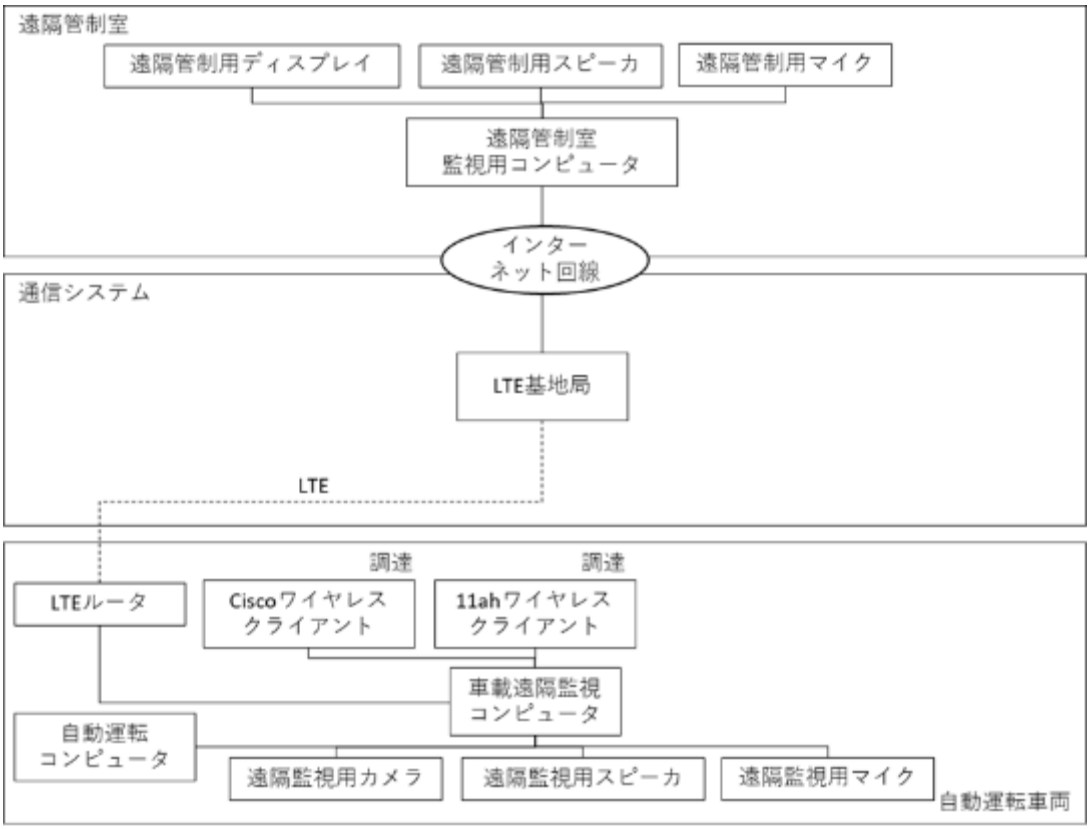


図 5-1 携帯通信網ネットワーク構成図

図 5-2 ネットワーク利用エリア

（2） Cisco CURWB 技術を用いた通信

Cisco CURWB 技術を用いた通信については、群馬県中之条町ルート A 日向見トンネル内に敷設する。携帯通信網からトンネルに進入したときに切り替えるネットワークとなる。同様に日向見トンネル内に設置する IEEE802.11ah を用いた通信については後述する。

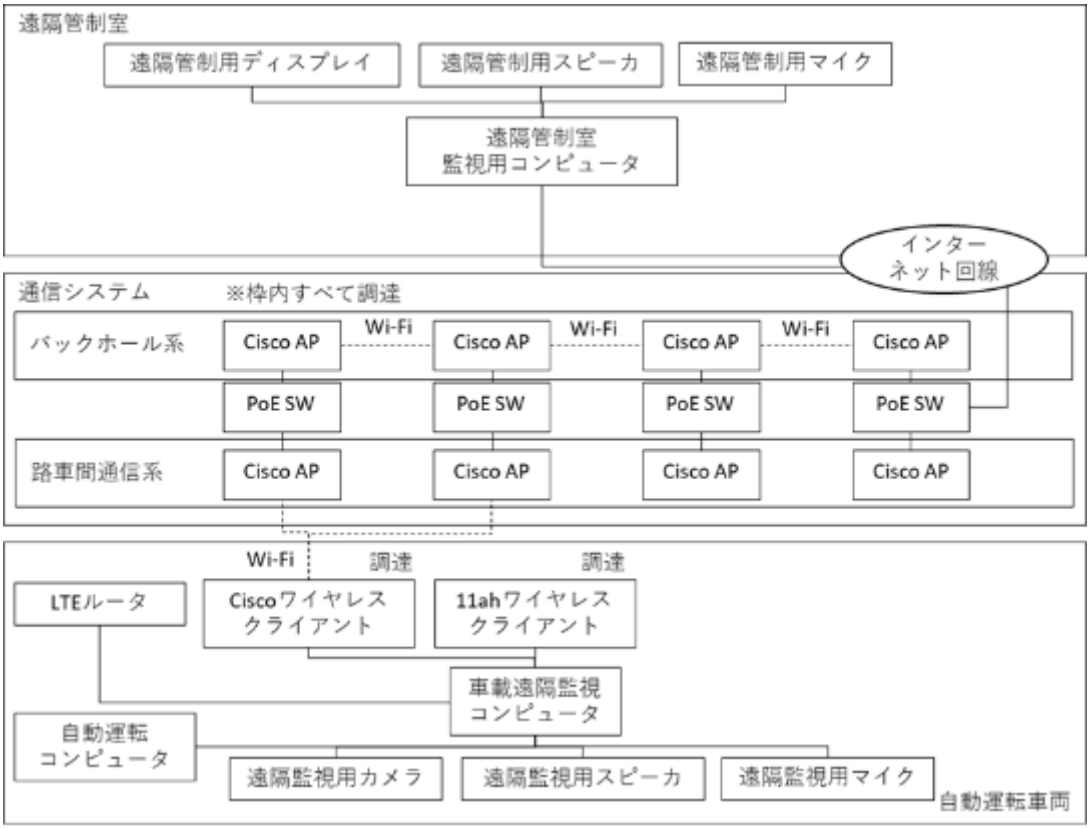


図 5-3 Cisco CURWB ネットワーク構成図

図 5-4 ネットワーク利用エリア

（3） LCX（漏洩同軸ケーブル）を用いた通信

LCX を用いた通信については、群馬県中之条町ルート A 奥四万トンネル内に敷設する。携帯通信網からトンネルに進入したときに切り替えるネットワークとなる。同様に奥四万トンネル内に設置する IEEE802.11ah を用いた通信については後述する。

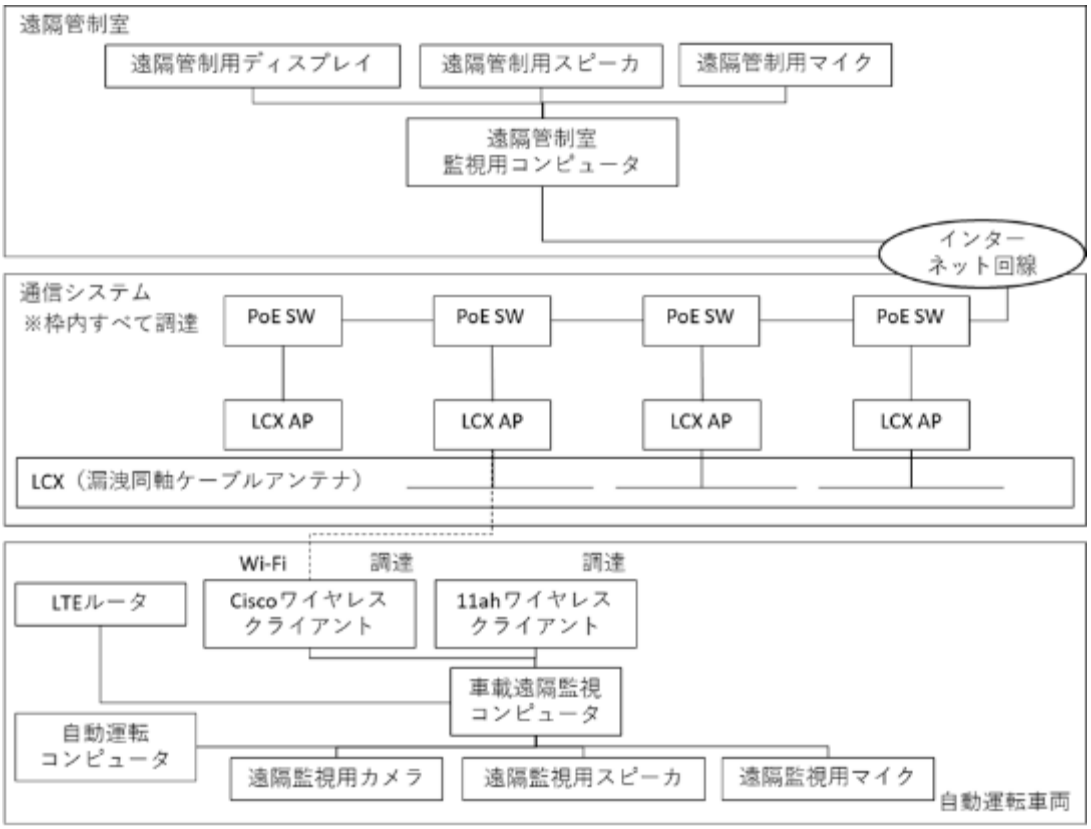


図 5-5 LCX ネットワーク構成図

図 5-6 利用可能エリア

（4） IEEE802.11ah を用いた通信

IEEE802.11ah を用いた通信については、群馬県中之条町ルート A 日向見トンネル、奥四万トンネル内に敷設する。日向見トンネルについては、Cisco CURWB 技術を用いた通信のバックアップ、奥四万トンネルについては、LCX を用いた通信のバックアップとして機能する。

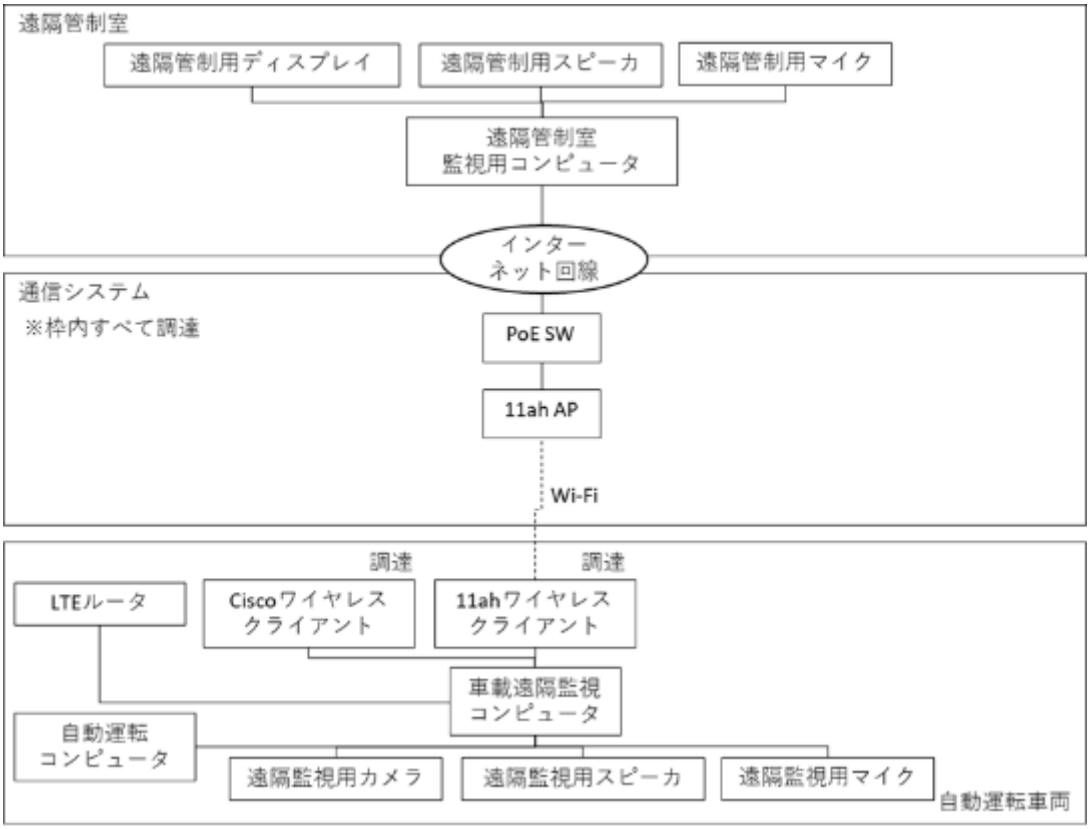


図 5-7 IEEE802.11ah ネットワーク構成図

図 5-8 利用可能エリア

(5) LEO 衛星ブロードバンドを用いた通信

LEO 衛星ブロードバンドを用いた通信については、群馬県中之条町ルート B 上の携帯通信網圏外エリアで用いる。緊急停止をした際に通信を有効にする。

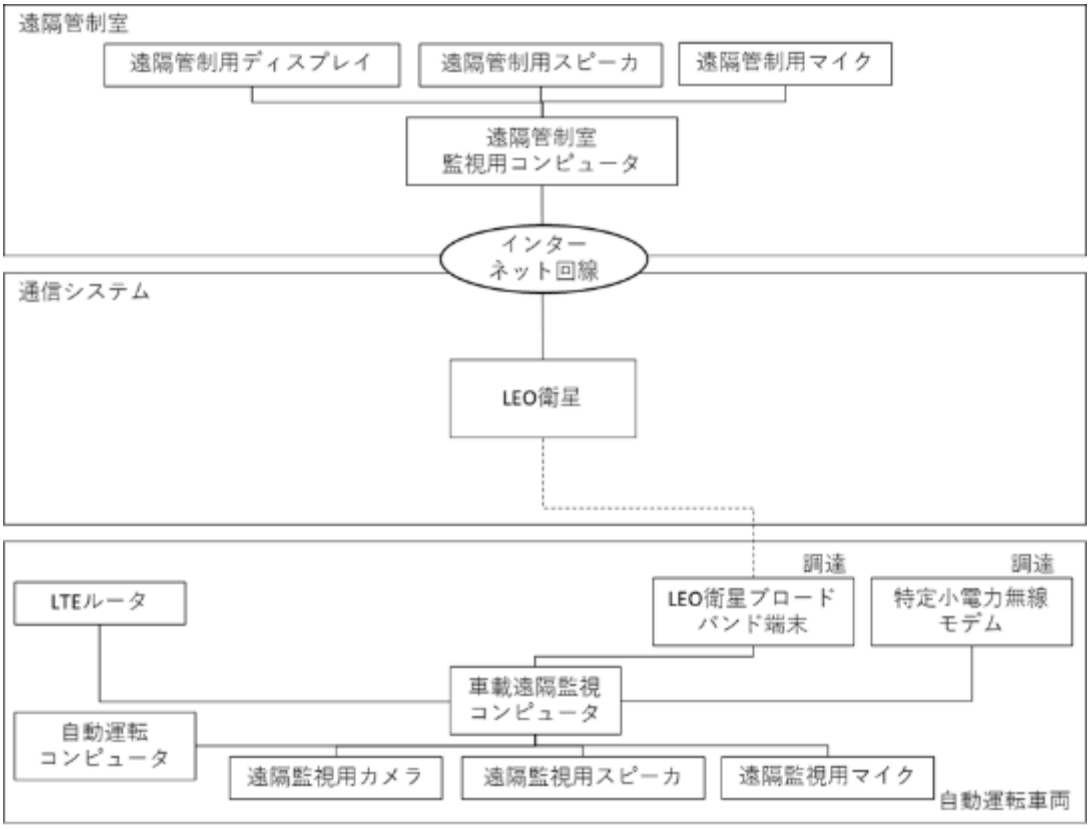


図 5-9 LEO 通信ネットワーク構成図

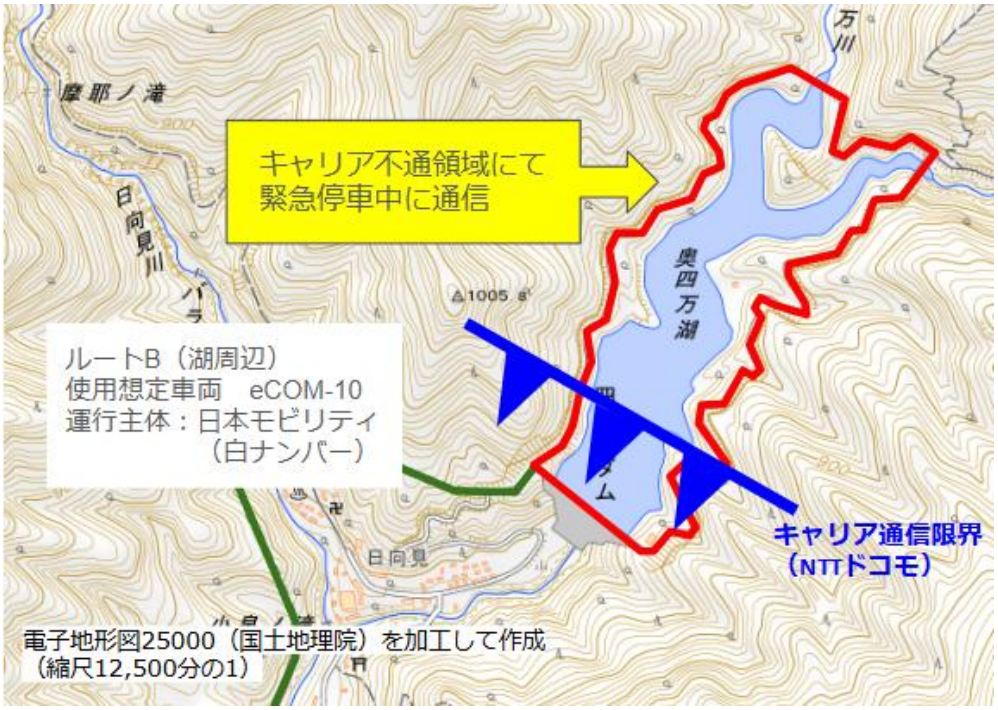


図 5-10 利用可能エリア

（6） 429MHz 特定小電力モデムを用いた通信

429MHz 特定小電力モデムを用いた通信については、群馬県中之条町ルート B 上の携帯通信網圏外エリアに、モデムを 10 か所設置して用いる。常時最低限車両がどういうステータスにあるかの情報を継続して通信することを目的としたものである。

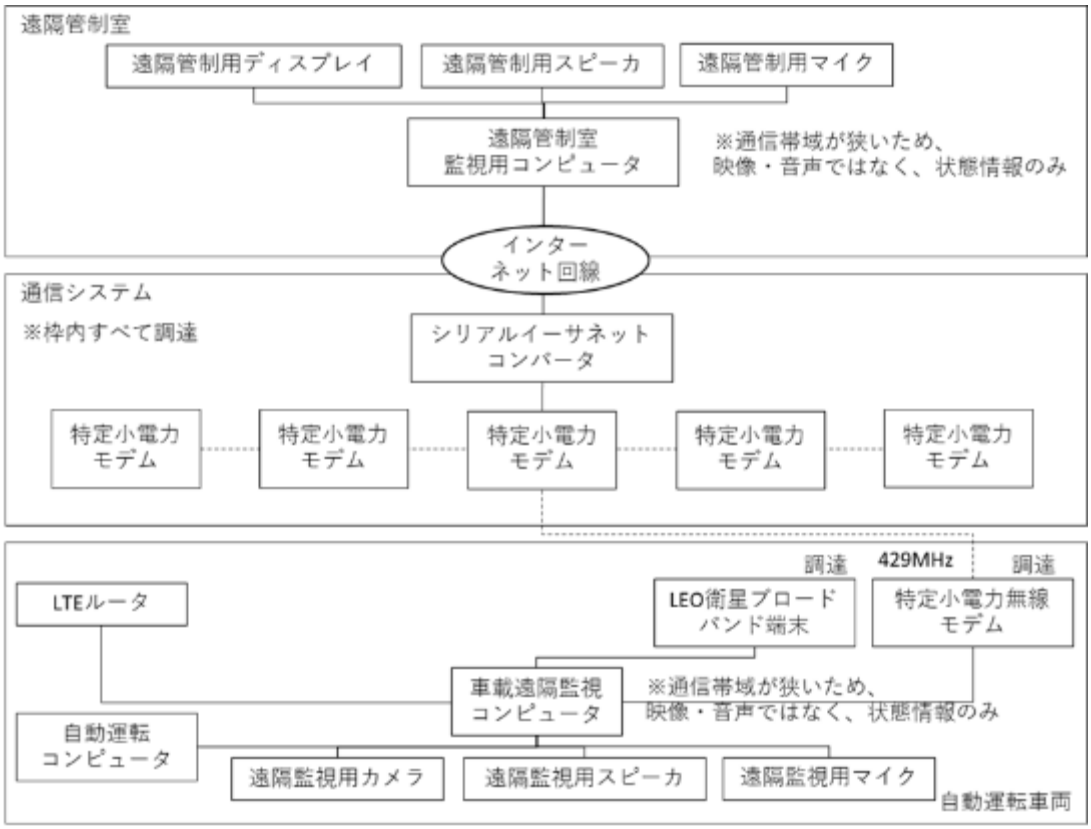


図 5-11 特定小電力モデムネットワーク構成図

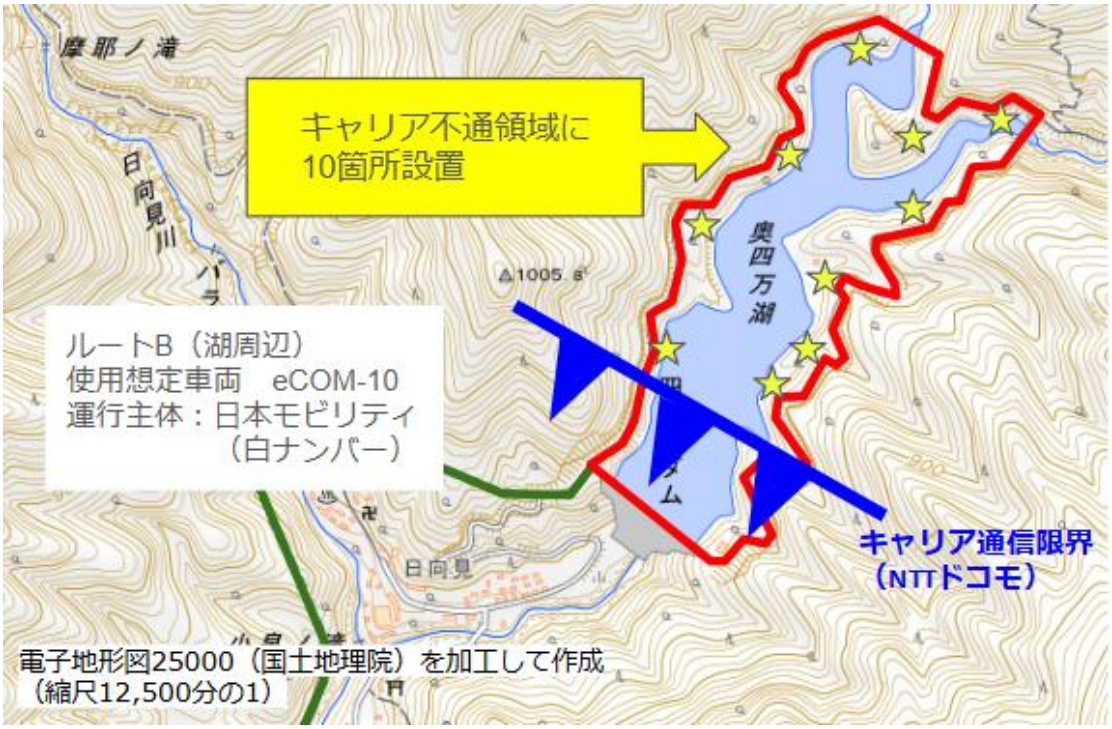


図 5-12 利用可能エリア

5.1.2 ユースケース②、③、⑤、および⑥の情報 Hub バス停：

上記ユースケースについては、既存の通信システムを用いて、その利活用によるレベル４自動運転システムの諸課題の解決をソリューションの実現を目指すこととしている。そのため、通信についてはいずれも携帯通信網を利用するし、また過年の自動運転車両および路側協調デバイスを含めた周辺技術の実証実験によって、自動運転あるいは遠隔監視をするための必要な品質の通信は確保できることを確認している。

ユースケース②については、過年の実証事業で既設の遠隔監視デバイスを用いる。具体的には自動運転車両からの死角等の先読みを実現する LiDAR を用いた路側センサと、信号先読みを実現する協調型信号化装置である。路側センサについては、過年の実証実験から得られた死角等の先読みの優先度の高い５箇所に設置している。また、協調型信号化装置は、当該路線を自動運転車両が走行する上で影響するすべての信号あり交差点の信号機に設置している。

ユースケース③については、車車間の協調に関するソリューションであり、その機能の実現において、路側に特別な機器を設置する必要はない。

ユースケース⑤の緊急車両対応の手法１については、緊急車両と自動運転車両間の通信による協調に関するソリューションであり、その機能の実現において、路側に特別な機器を設置する必要はない。鉄道対応の手法１については、鉄道と自動運転車両間と自動運転車両間の通信による協調に関するソリューションであり、その機能の実現において、路側に特別な機器を設置する必要はない。手法２については、中央前橋駅の最近傍の踏切であるため、選択している。

ユースケース⑥の情報 Hub バス停については、中央前橋駅のバスターミナルであり、過年の実証で用いているバス停であり、当該ユースケースで検証したい項目を満たせる環境であるために選択している。また、上毛電気鉄道(株)の協力により、ユースケース⑤のソリューションで鉄道との連携の幅も今後広げていく可能性もある。

以下では、ネットワーク構成の類似性から、「ユースケース②と、⑤の鉄道連携手法２の通信」「ユースケース③の通信」「ユースケース⑤の緊急車両対応手法１、鉄道連携手法１の通信」「ユースケース⑥の通信」に分け、そのネットワーク構成と設置位置、通信エリアについて示す。

(1) ユースケース②と、⑤の鉄道連携手法２の通信

ユースケース②と、⑤の鉄道連携手法２は、いずれも路側協調デバイスを用いる。産業用コンピュータの先に各用途に合わせたセンサが取り付けられ、機能を実現している。路側協調デバイスから得られた情報は一旦クラウドサーバを中継し、認証された自動運転車両のみが、その情報にアクセスできるようにしている。自動運転車両はクラウドサーバから得られた情報を制御に適用する。

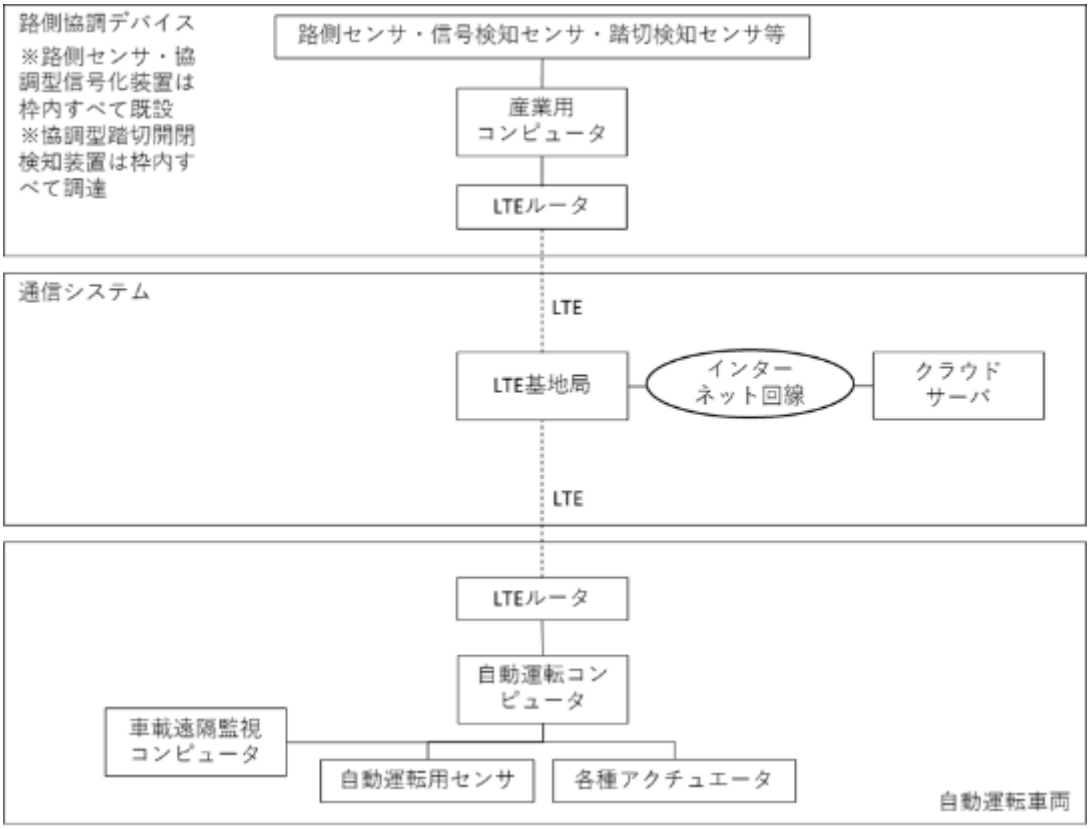


図 5-13 LTE ネットワーク構成図

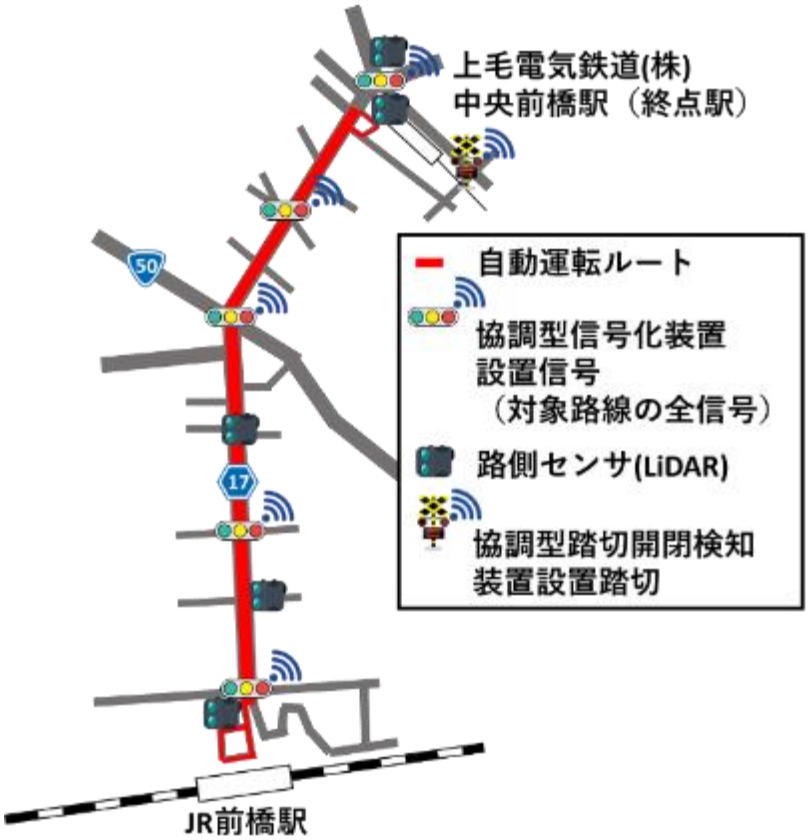


図 5-14 協調装置･センサ設置箇所

(2) ユースケース③の通信

ユースケース③は、車車協調のソリューションとなる。車車協調は古くから様々なソリューションが研究レベルでは提案されている。その中で、例えば隊列走行のような即時性の高い情報を扱うためには、高価な機器を使用する必要があり、また現状の普及黎明期の自動運転の実装ステージにおいて、即時性を求めても、用途が極めて限定化されてしまう。そのため、即時性の高くない、例えば駐車車両や工事箇所の共有といった用途から進めることが妥当である。また、こうした即時性の高くない情報をやり取りするのであれば、汎用的な通信手段、自動運転の多用途でも多く用いられる携帯通信網を活用することが合理的と言える。ユースケース③では、各自動運転車両の情報は一旦クラウドサーバに集約され、認証された必要な車両に必要な情報だけを配信する構造とする。

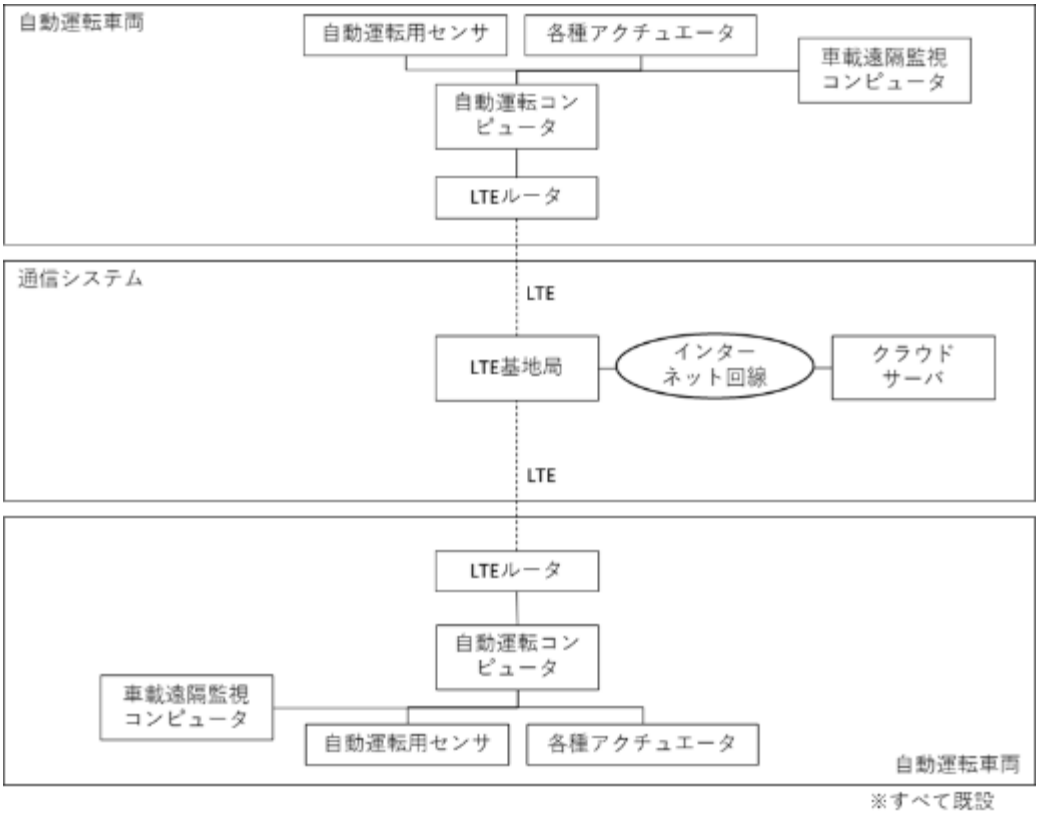


図 5-15 車車間ネットワーク構成図

図 5-16 通信エリア

(3) ユースケース⑤の緊急車両対応手法１、鉄道連携手法１の通信

ユースケース⑤の緊急車両対応手法１、鉄道連携手法１についても車車協調のソリューションのひとつと言える。緊急車両対応の際には一見通信に即時性を求められるように見えるが、実際には遠方にいて自動運転の車両から特定ができない段階から緊急車両の状態がある程度把握できればよく、接近した際には通信で場所を特定して車載のセンサでの状態観測に切り替えればよい。鉄道連携についても、即時性は求められない。そのため、即時性の高くない、汎用的な通信手段、自動運転の多用途でも多く用いられる携帯通信網を活用することが合理的と言える。ユースケース⑤の緊急車両対応手法１、鉄道連携手法１では、各自動運転車両の情報は一旦クラウドサーバに集約され、認証された必要な車両に必要な情報だけを配信する構造とする。

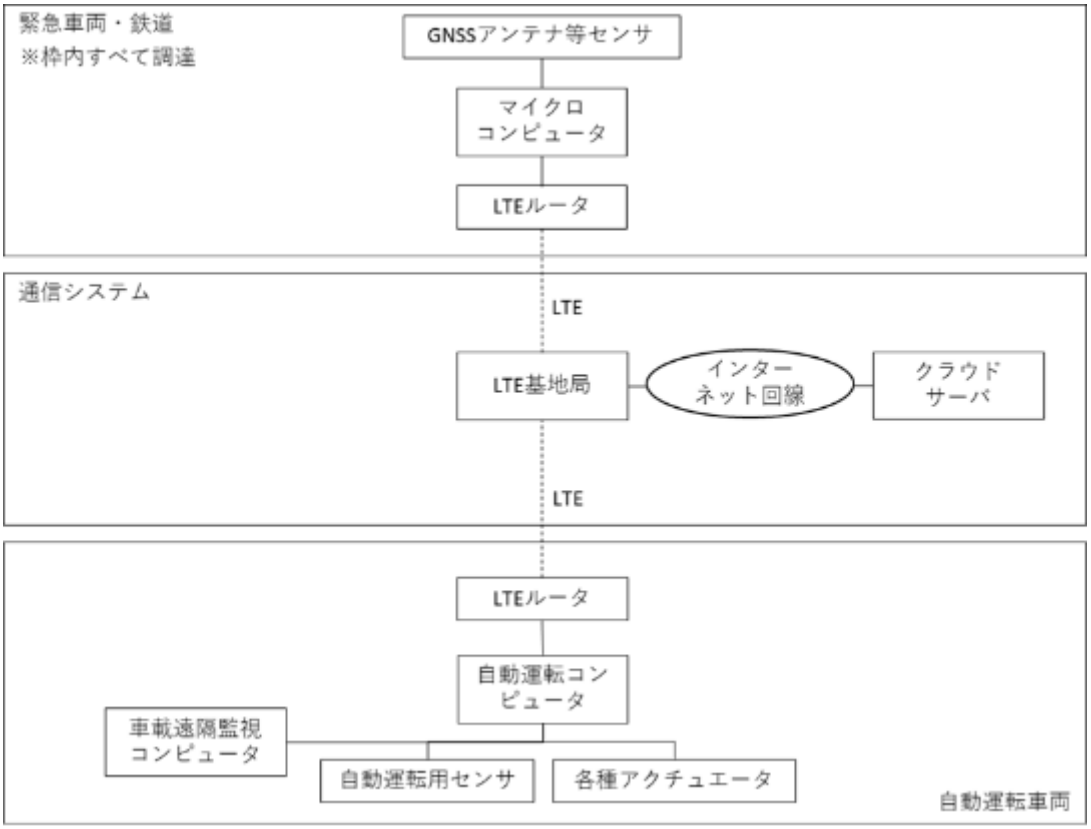


図 5-17 GNSS 利用ネットワーク構成図

図 5-18 通信エリア

ユースケース 5-1　手法２

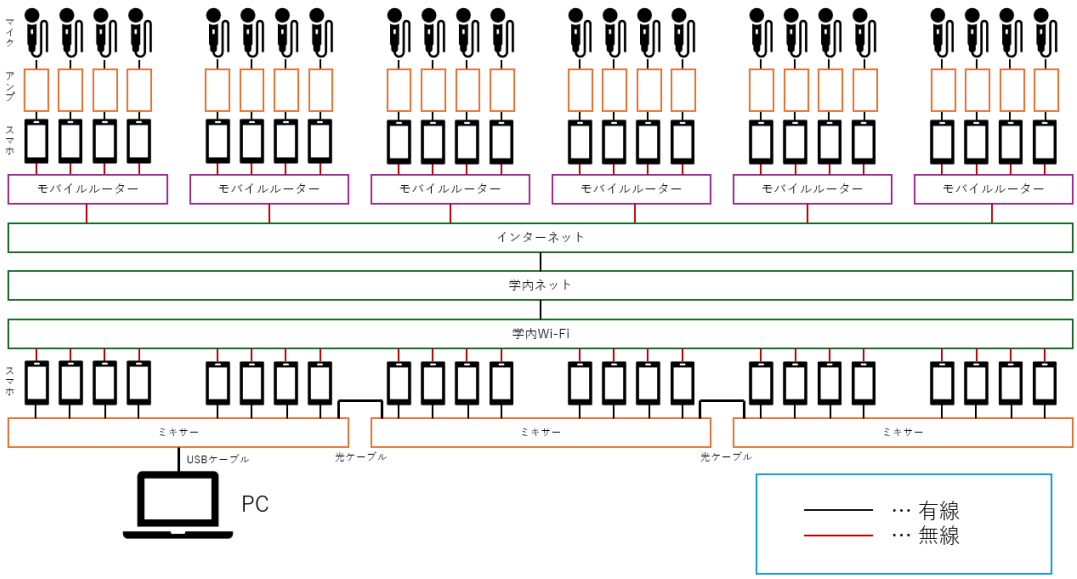


図 5-19 マイクロフォンアレイネットワーク構成図

音データ伝搬区間（LTE 網経由）と音検知サーバの処理結果（有線）の伝搬部、それぞれの遅延時間を計測するネットワーク構成を以下に示す。

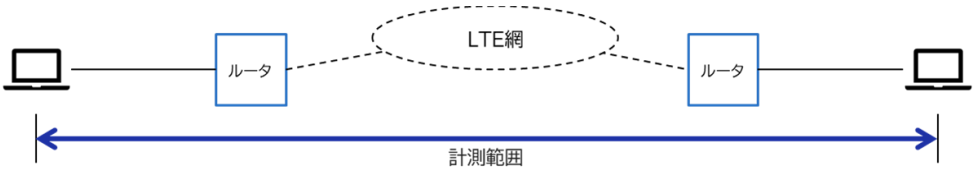


図 5-20 マイクロフォンアレイネットワーク構成図（LTE 網部）

図 5-21 マイクロフォンアレイネットワーク構成図（有線部）

（4） ユースケース⑥の情報 Hub バス停の通信

ユースケース⑥の情報 Hub バス停については、多くの機能は即時性を求めないものの、自動運転車両の正着制御や飛び出し検知などの場合には、即時性を求める。しかしながら、それにより即時性の高い情報を扱うために高価な機器を使用するほどの経済性は見込めないことから、即時性の高くない、汎用的な通信手段、自動運転の多用途でも多く用いられる携帯通信網を活用したい。そのため、即時性を求める機能に対しては、通信ではなく、自動運転車両のセンサに対して働きかけをすることで即時性の高い支援をする仕組みを併用することで機能を実現する。情報 Hub バス停から通信で得られた情報は一旦クラウドサーバを中継し、認証された自動運転車両のみが、その情報にアクセスできるようにしている。自動運転車両はクラウドサーバから得られた情報を制御等に適用する。

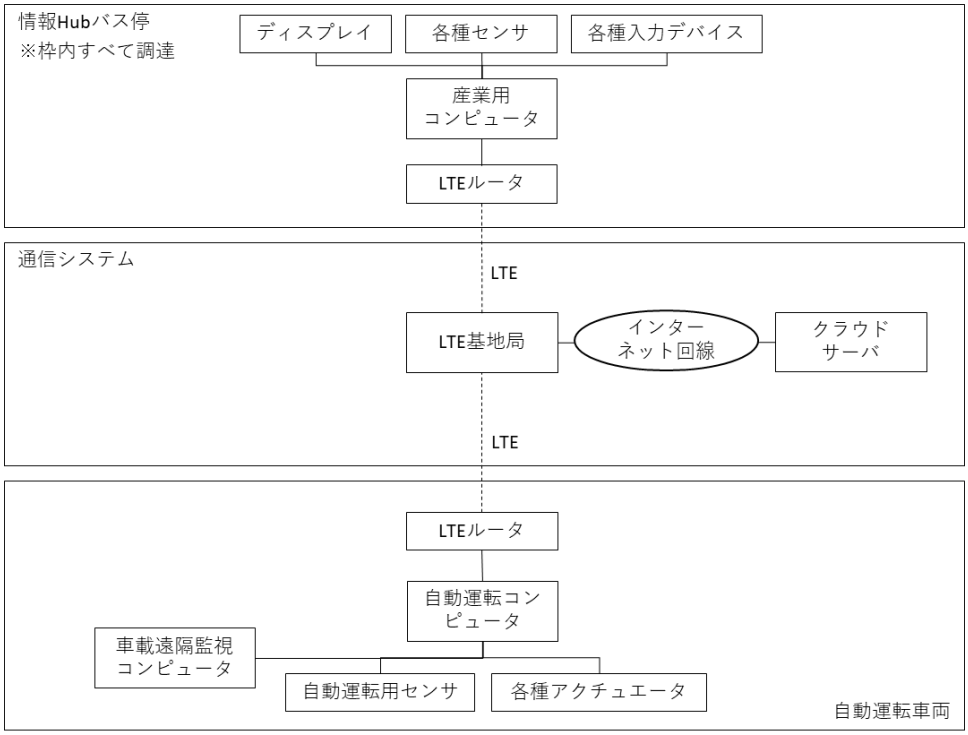


図 5-22 情報 Hub バス停ネットワーク構成図

図 5-23 情報 Hub バス停設置箇所

ユースケース⑥-2 経済性・実装性向上のためのカメラシステムの標準化・量産化・共通化の

- ➢ 自動運転バスの支援に必要なカメラシステムおよび経済合理性の検討と通信技術を活用した実証におけるシステム構成
  - ✧ 模擬環境

図 5-24 路側インフラ模擬環境システム構成

✧　現場環境

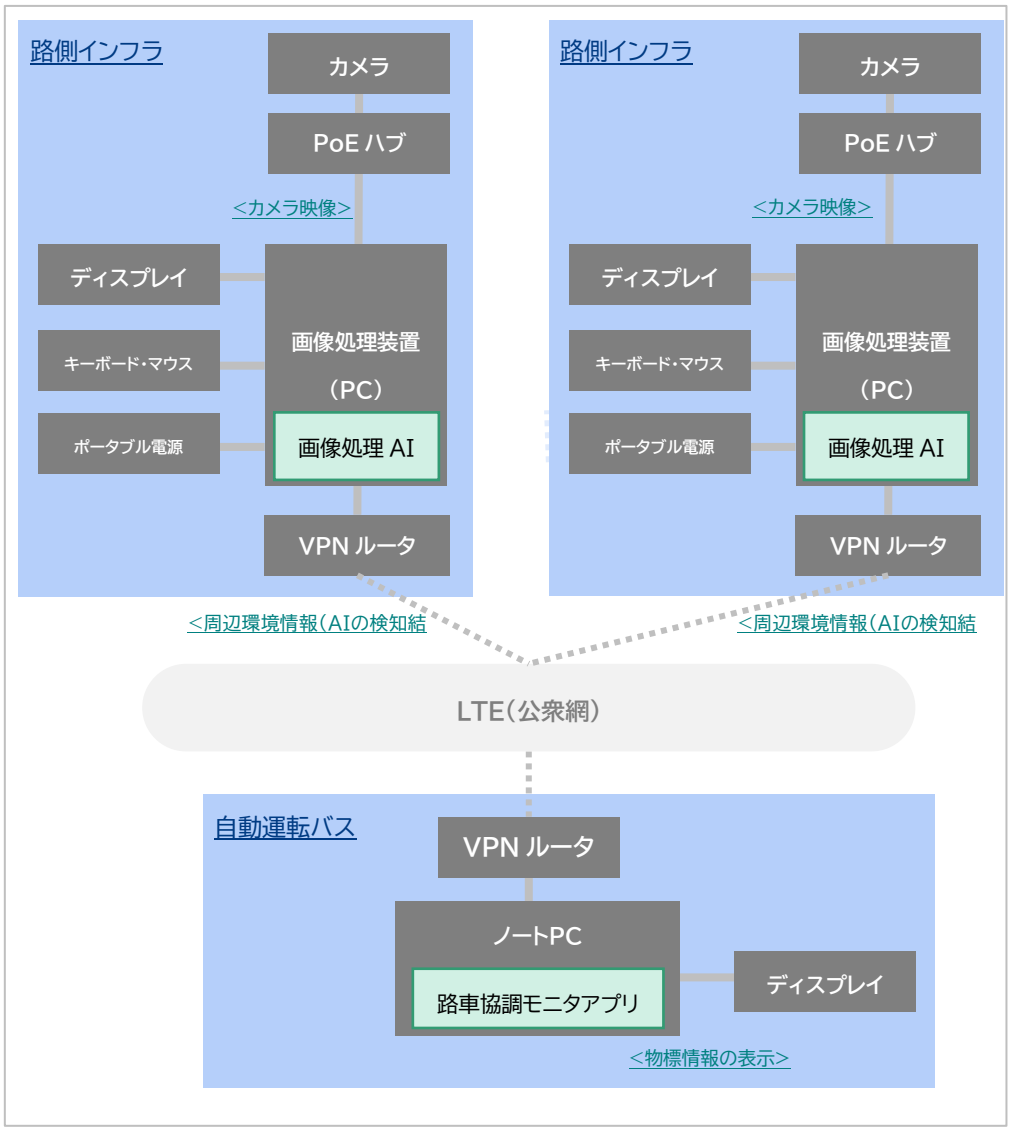


図 5-25 路側インフラ現場環境システム構成

➢ 自動運転バスの支援に必要なカメラシステムおよび経済合理性の検討と通信技術を活用した実証におけるネットワーク構成

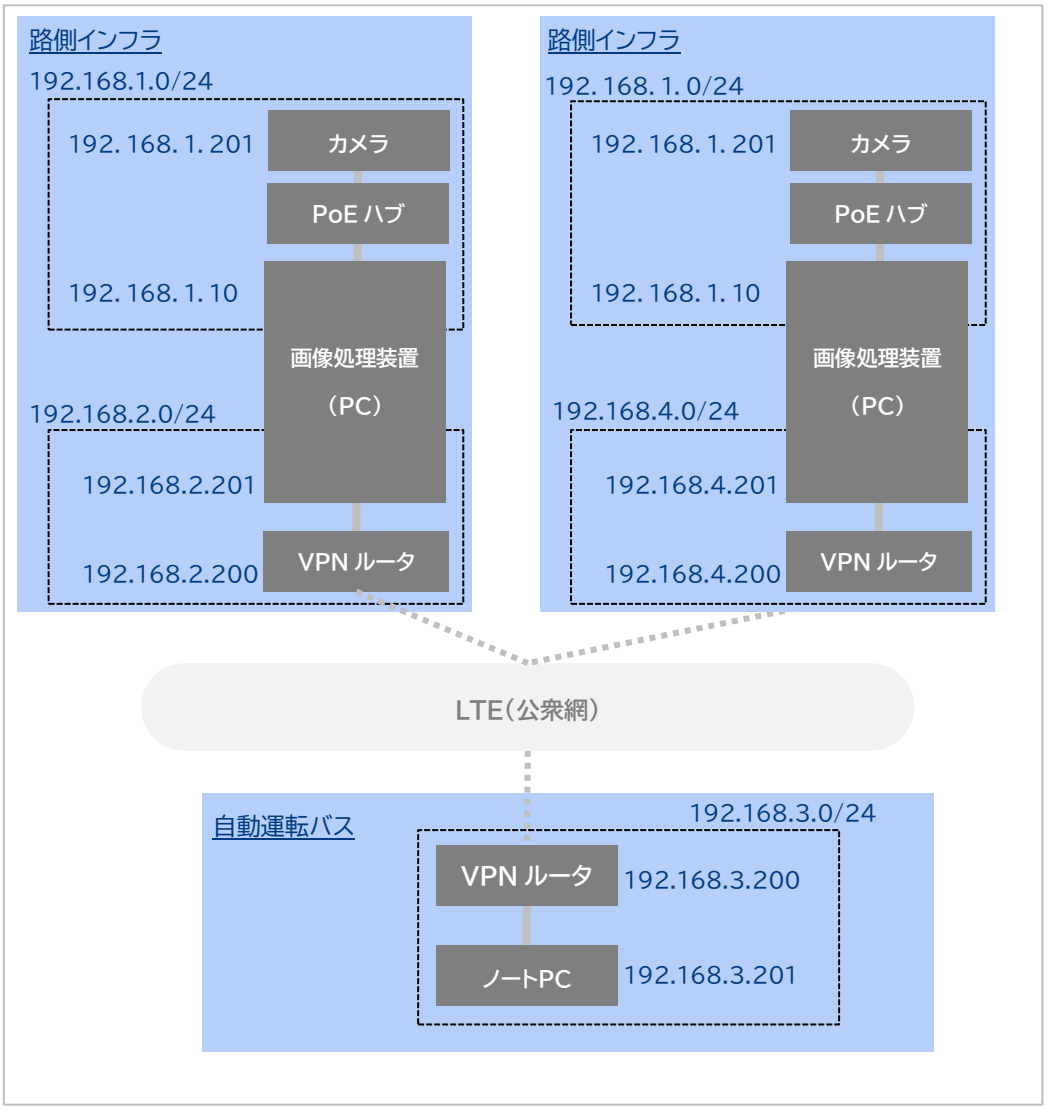


図 5-26 実証ネットワーク構成図

5.2 使用機器・ソフトウェア一覧

無線通信システム（トンネル内における基地局のエリアカバレッジ）に対して、

・日向見トンネルについては、移動体での高速ローミングを構築

（ゲートウェイ）

役割：基地局及び移動体無線機を統括し、構成・通信経路・ローミングを管理

周波数/帯域：基地局の上位に有線接続（1000BASE-T）

サイズ：W292mm×D267mm×71mm

（トンネル上部固定の基地局及び基地局間無線機）

役割：移動局との無線接続、基地局間の無線接続を確立

サイズ：W183mm×D91mm×H71mm
周波数：5.6GHz（5500MHz～5620MHz）
帯域：20MHz 幅

（移動局無線機）
役割：基地局との無線接続を確立
サイズ：W152mm×D124mm×H43mm
周波数：5.6GHz（5700MHz）
帯域：20MHz 幅
最大通信速度：50Mbps　※設定制限値

・奥四万トンネルについては、漏洩同軸ケーブルを利用した Wi-Fi を構築
（無線アクセスポイント）
役割：Wi-Fi アクセスポイント外部アンテナ利用モデル
サイズ：W211mm×D211mm×H70mm
周波数：2.4GHz
帯域：20MHz 幅
最大通信速度：理論値 130Mbps、典型値 65Mbps

（漏洩同軸ケーブル）
役割：Wi-Fi 外部アンテナの代わりとして利用、トンネル全長に敷設
サイズ：外形 11mm、質量 100g/m
周波数：2.4GHz
帯域：20MHz 幅

・両トンネルのバックアップ経路として、IEEE802.11ah によりエリアカバレッジ
サイズ：W100mm×D186mm×H29mm
周波数：920MHz
帯域：2MHz 幅
最大通信速度：理論値 1Mbps、典型値 0.5Mbps

UC2 マイクロフォンアレイ
（指向性マイク）BETA 57A-J　SHURE 社
役割：収音
台数：24 台

（アンプリファイア）AT-UMX3　㈱オーディオテクニカ
役割：音響増幅
台数：8 台

（スマートフォン）iPhone SE　MMYC3J/A　Apple 社
役割：音声のピアツーピア通信
台数：48 台

（モバイルバッテリー）HD3-MBPD20W20TABK　HIDISC 社
役割：長時間のスマートフォン駆動のため
台数：48 台

（リチャージ式 WiFi）T8　株式会社カウスメディア
役割：インターネット通信接続用
台数：6 台

（ミキサー）828　MOTU 社
役割：音データの取り込みのため
台数：1 台

（音声ソフトウェア）CUBASE PRO 229480　Steinberg 社
役割：音データ処理のため
台数：1 ライセンス

表 5-1 UC6-2 使用機器

役割	分類	機器（メーカー）/ ソフトウェア名	詳細
データ取得	機器	WV-S7130UX (Panasonic)	現場環境で使用したカメラ。 ・台数：2 台（往路用・復路用） ・解像度：1920×1080 ピクセル ・フレームレート：10fps ・プロトコル：RTP ・コーデック：H264
	機器	AXIS Q3538-LVE (AXIS)	模擬環境での検証に使用したカメラ。解像度、フレームレートおよびプロトコルは試験条件に応じて変更して使用した。 ・台数：1 台 ・解像度：3840×2160 ピクセル、1920×1080 ピクセル ・フレームレート：30fps, 10fps ・プロトコル：RTP, RTSP ・コーデック：H264

役割	分類	機器(メーカー)/ ソフトウェア名	詳細
データ通信	機器	EHB-UG2D05-PL (ELECOM)	カメラへの電力供給および画像処理 PC にカメラ映像を伝送するために使用 ・サイズ： 215.5mm(W)x133.0mm(D)x42.0mm(H) ・伝送速度：最大 1000Mbps(1000BASE-T) ・最大パケット転送能力：7.44Mpps ・最大実行伝送速度:5.0Gbps ・ポート数：5 ・PoE 規格：IEEE 802.3af/at(PoE+)準拠
	機器	UNIVERGE WA2611E-AP-ML02 (NEC)	公共 LTE 網での VPN 通信による路側インフラから車載用 PC への周辺環境情報送信に使用 ・サイズ： 210.0mm(W)x175.0mm(D)x40.0mm(H) ・帯域幅：下り最大 300Mbps、上り最大 50Mbps（LTE 使用時） ・ポート数：5
データ処理	機器	PF0-200－00096U1 (NEC プラットフォームズ)	路側インフラ用 PC として、画像処理 AI による周辺環境情報生成のために使用 ・OS：Ubuntu20.04 ・CPU: Intel Core i7-8700T ・メモリ：32GB ・ストレージ:SSD480GB(内臓 SSD)＋8TB（外付け HDD） ・AI チップ：Hailo-8 AI プロセッサ×1 枚（※最大 26TOPS）
	ソフトウェア	画像処理 AI （NEC）	カメラ映像から物体を検知する AI 処理アプリケーション カメラ画角に依存するが、およそ 100m 先の物体まで検知可能。
データ利用	機器	VKV47/G-G (NEC)	自動運転バスに搭載し、周辺環境情報(AI の処理結果）を表示するために使用。アプリケーションは、ゲスト OS 上で動作。 ・ホスト OS：windows11 ・ゲスト OS：Ubuntu20.04 ・CPU: Intel Core i7-1255U ・メモリ：16GB ・ストレージ：128GB
	ソフトウェア	路車協調モニタアプリ （NEC）	周辺環境情報の表示用アプリケーション。検知した物標の種別・位置・速度・方向を可視化する。

5.3 システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等

5.3.1 路側インフラシステム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等

（1） 移動体高速ローミング無線通信システム

- ネットワークのトポロジーとしてはスター型とし、中央のゲートウェイやバックホール系無線機、移動体向け基地局及び車載に搭載する移動体無線機が接続される
- 主要なネットワークデバイス

  ゲートウェイ：基地局及び移動体を統括、構成・通信経路・ローミングを管理し、移動体無線～基地局無線機間の頻繁なローミングをシームレスに実現する。

  バックホール系無線機：基地局無線機間のデータ転送を管理、指向性アンテナを利用する。

  基地局無線機：移動体無線機からのデータ転送を管理、無指向性アンテナを利用

  移動体無線機：車載内にてシステムデバイスを有線接続し、データ転送を管理、設置環境ストレスを考慮し、鉄道に関する標準規格（EN50155）を満たすデバイスを選定、無指向性アンテナを利用

- 物理配置設計

  バックホール系無線機間の距離は、指向性アンテナの距離特性・トンネルの曲がり形状を考慮する必要がある。また、基地局無線機から移動体無線機への電波到達状況も合わせて考慮する必要がある。

  トンネル上部への無線機配置は、車両通行のための有効高を配慮しながらも、バックホール無線機間の電波受信状況及び基地局無線機と移動体無線機の電波受信状況の最適解を検証しながら設置調整を進める。

  無線機は LAN ケーブルによる PoE 給電とし、トンネル内の歩道に防水盤を設置し PoE 機材を収納する。

- ネットワーク設定

  IP アドレス：無線機及びシステムデバイスは静的 IP アドレスとする

  セキュリティ：無線機間はパスワード認証とする※メーカー独自のセキュリティでありデバイス認識も含まれるため、他機器の接続は不可である。

- 無線設定

  周波数：バックホール系無線機間は各対向で揃え、また干渉防止のため、全ての対向で異なる周波数を利用する。移動体無線機は 1 台であることから、基地局無線機～移動体無線機は同一の周波数とする。トンネル内では DFS 影響の可能性が低いと想定し、5.6GHz 帯とする。※試験期間 1 か月程度の観測で影響無し

1） 漏洩同軸ケーブルを利用した Wi-Fi

- ネットワークのトポロジーとしてはスター型とし、インターネットルーターから無線アクセスポイントまで有線ケーブルで接続される。
- 主要なネットワークデバイス

2） 車載内の Wi-Fi デバイスからのデータ転送を管理

- 物理配置設計

  無線アクセスポイントの外部アンテナとして漏洩同軸ケーブルを取付け、トンネル長手方向全長に対して敷設し、トンネルの上部にメッセンジャーワイヤを張り、これに取り付ける。無線アクセスポイントは LAN ケーブルによる PoE 給電とし、トンネル内の歩道に防水盤を設置し PoE 機材を収納される。

- ネットワーク設定

  IP アドレス：無線機及びシステムデバイスは静的 IP アドレスとする
  セキュリティ：パスワード認証とする（WPA2-PSK）

- 無線設定

  周波数：2.4GHz を利用し、限られた周波数でトンネル全体をカバーすることになるため、チャンネルのボンディングは行わない。

3） IEEE802.11ah を利用した無線

- ネットワークのトポロジーとしてはスター型とし、インターネットルーターから IEEE802.11ah 基地局無線機まで有線ケーブルで接続される。
- 主要なネットワークデバイス

  基地局無線機：車載無線機との接続を管理し、車載からのデータ転送を管理
  車載無線機：車載内の有線システムからの基地局無線機へのデータ転送を管理

- 物理配置設計

  基地局無線機は防水盤内に設置し、無線機の無指向性外部アンテナをトンネルの歩道上部に取付け、また、無線機は LAN ケーブルによる PoE 給電とする。

- ネットワーク設定

  IP アドレス：無線機及びシステムデバイスは静的 IP アドレスとする
  セキュリティ：パスワード認証とする（WPA3-PSK）

- 無線設定

  周波数：920MHz を利用し、帯域幅は 2MHz とする。※帯域幅を 1MHz とすると隣接トンネルからの同様 920MHz 周波数の影響を受けやすくなるため、2MHz 幅が推奨である。

4） ユースケース⑥-2 自動運転バスの支援に必要なカメラシステムおよび経済合理性の検討と通信技術を活用した実証でのシステム構築における Tips

- 路車間通後信において、VPN ルータを使用することで、セキュアな通信になるように注意した。

・　可搬型カメラおよび三脚を使用することで、カメラの取り付け工事を不要とすることで、費用を抑えつつ実証を行うことができた。

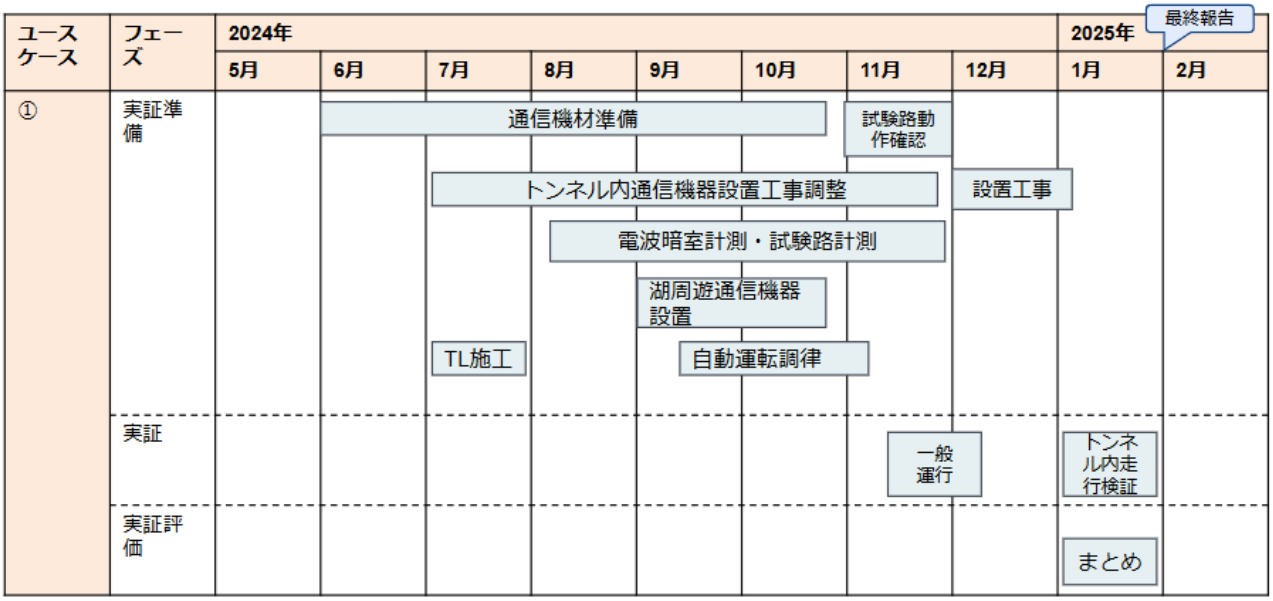
6.　実証結果・考察

6.1　自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証

6.1.1　携帯通信網圏外における複数手段による自動運転車両の通信継続、監視継続手法の実証と比較検証

（1）実証スケジュール

表 6-1 実証スケジュール



（2）開発・評価項目の結果

表 6-2 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	自動運転車両を電測車とする後付け電測システムの開発
2	携帯通信網圏内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能の開発
3	トンネル環境及び携帯通信網圏外環境における電波強度等の電波環境の実地評価

1）自動運転車両を電測車とする後付け電測システムの開発

電測システムを架装した自動運転車両を電波暗室に持ち込み、走行中に車両から発出される電波を計測してスペクトラム評価の実施結果をまとめ、車両本体から発出する電波が、手法　の評価に影響がないことを定量的に確認した。

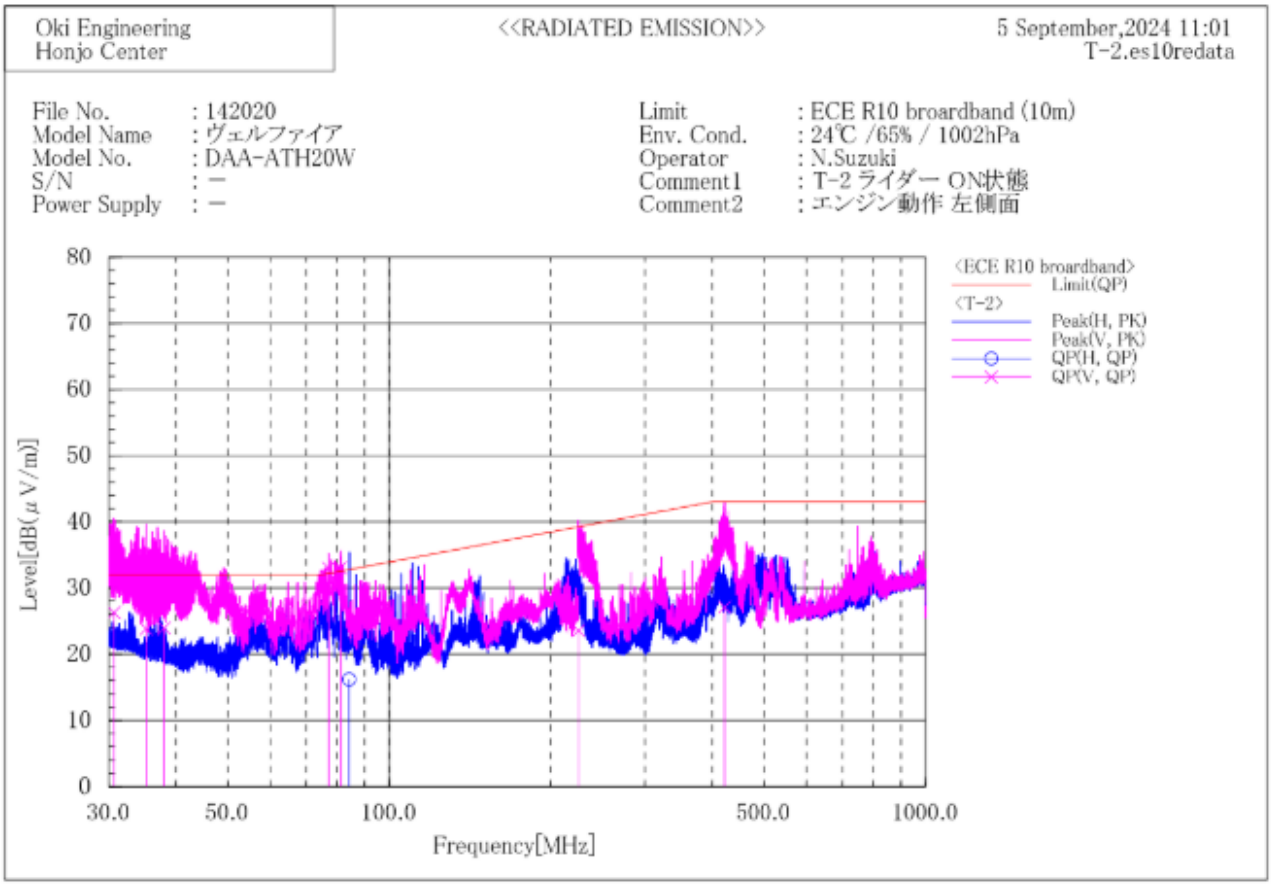
図 6-1 測定風景

沖エンジニアリング（本庄センター）に車両を持ち込み、電波暗室にて測定した。

試験仕様

No	試験名称	規格番号	許容値(規格)
1	電磁放射 エミッション	ECE R10 6.2.2.1、附則 4 7.2.2.1、附則 4 6.3.2.1、附則 5	■許容値(測定距離 10m) アンテナの距離はユニットからの距離とする。 広帯域 QP(準尖頭値): 30～75MHz:32dB(μV/m) 75～400MHz:32～43dB(μV/m) 400～1,000MHz:43dB(μV/m) 狭帯域 ※動作条件が正規状態ではない為、参考測定とする。 AV(平均値): 30～75MHz:22dB(μV/m) 75～400MHz:22～33dB(μV/m) 400～1,000MHz:33dB(μV/m) GHz 帯域 限度値なし

図 6-2 試験仕様



Final Result

--- Horizontal Polarization (QP) ---

No.	Frequency [MHz]	Reading [dB(μV)]	c.f [dB(1/m)]	Result [dB(μV/m)]	Limit [dB(μV/m)]	Margin [dB]	Height [cm]	Angle [deg]
1	84.225	33.7	-17.5	16.2	32.8	16.6	300.0	0.0

--- Vertical Polarization (QP) ---

No.	Frequency [MHz]	Reading [dB(μV)]	c.f [dB(1/m)]	Result [dB(μV/m)]	Limit [dB(μV/m)]	Margin [dB]	Height [cm]	Angle [deg]
1	30.692	33.9	-7.6	26.3	32.0	5.7	300.0	0.0
2	35.227	33.1	-9.3	23.8	32.0	8.2	300.0	0.0
3	38.107	34.2	-10.3	23.9	32.0	8.1	300.0	0.0
4	77.203	51.5	-18.5	33.0	32.2	-0.8	300.0	0.0
5	81.191	51.2	-18.2	33.0	32.5	-0.5	300.0	0.0
6	225.518	28.2	-4.7	23.5	39.2	15.7	300.0	0.0
7	422.058	32.7	-5.6	27.1	43.0	15.9	300.0	0.0

図 6-3 測定結果

測定結果として、「77.203MHz」「81.191MHz」の周波数帯で不適合という結果になったが、群馬大学 本島邦行教授より、どちらの周波数も評価を予定している周波数（920M, 2.4G, 5.6G）とは大きく異なるため、特に対応は不要であることを確認した。

自動運転車両を電測車とする後付け電測システムを、群馬大学 本島邦行教授監修の下で構築した。

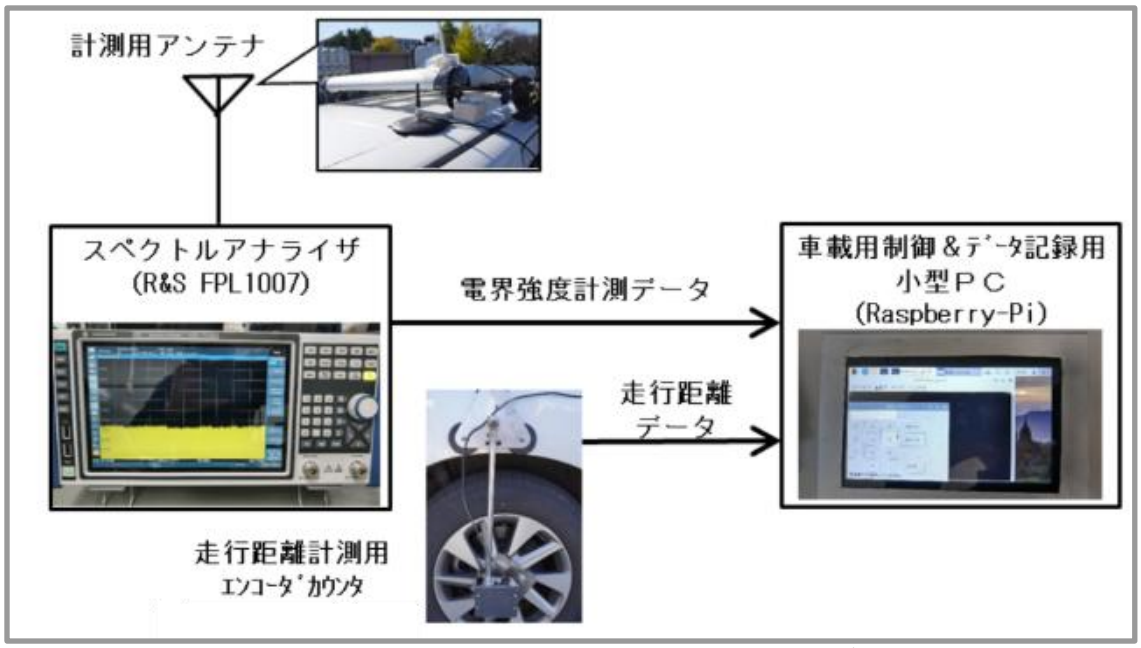


図 6-4 後付け電測システム(ロータリーエンコーダ)

図 6-5 自動運転車両(ヴェルファイア)に架装した状態

2） 携帯通信網圏内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能の開発

a. 開発の概要

自動運転システムの測位機能を改修して携帯通信網圏内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能を開発した。

図 6-6 トンネル内設置に設置した CURWB システムと LCX

設置工事は業者に依頼。事前に現地確認と調査をしていたが、古いトンネルの為、着手後に発生した課題が多く、工事が遅れ、以降の検証スケジュールが大幅に後ろ倒しとなった。

群馬大学試験路等で模擬的な電測環境を構築し、GNSS の定点計測で得た位置の真値と電測システム単独での電測結果（スペクトラム評価）を走行路上で 100 点計測を行った。その後電測システムを架装した自動運転車両を 10 回走行させ、自動運転車両で得た測位情報と、車載の電測システムの電測結果を取得した。これらの結果をまとめ、車載の電測システムの電測結果の傾向について検証した。

b. 検証目的

① 群馬大学荒牧キャンパス試験路周辺の電界強度の測定
→ 計測装置が機能するかのテスト

② ロータリーエンコーダのカウント値の係数の算出
→ エンコーダを使用して計測した距離が正しいかテスト

10 回分の測定結果

測定順番	距離(GPS)[m]	距離(ロータリーエンコーダ)[m]	偏差[m]	誤差[%]
1	231.1495517	233.2498221	2.100270425	0.90862
2	230.2766406	232.3789744	2.10233381	0.91296
3	230.3561638	232.4452266	2.089062794	0.906884
4	230.2067836	231.9910313	1.784247712	0.775063
5	229.9061527	231.9556968	2.049544113	0.89147
6	229.6308843	231.6981968	2.067312499	0.900276
7	229.9148888	231.9652666	2.050377823	0.891799
8	232.1575072	234.2197536	2.062246385	0.888296
9	225.9582649	227.9776233	2.01935833	0.893686
10	232.0962715	234.1822107	2.085939269	0.898739
合計	2301.653109	2322.063802	20.41069316	0.886784

図 6-7 10 回分の測定結果

c. 検証結果

自動運転車の移動距離とエンコーダを使用して計測した移動距離の差が 1%未満となり、誤差なしという結論に至った。

図 6-8 荒牧キャンパスでの検証の様子

3） トンネル環境及び携帯通信網圏外環境における電波強度等の電波環境の実地評価

外乱影響の調査として、以下のパターンで走行を行いながら電測を行った。

位置関係 ： 対向車／前走車／後続車／前走車＋後続車
車間距離 ： 対向車の場合なし、対向車以外の場合 10m／20m
速度 ： 対向車の場合 60km/h／40km/h、対向車以外の場合 20km/h
車両タイプ ： 乗用車／2 トントラック

図 6-9 外乱影響電測評価の様子

全パターンでの電測を行ったが、電測において最も条件が厳しい（障害物が大きい＋近い）と思われる結果パターンは以下の通り。

a. 日向見トンネル（CURWB）

対向車（トラック）、速度 40km/h の場合の結果を下表に示す。

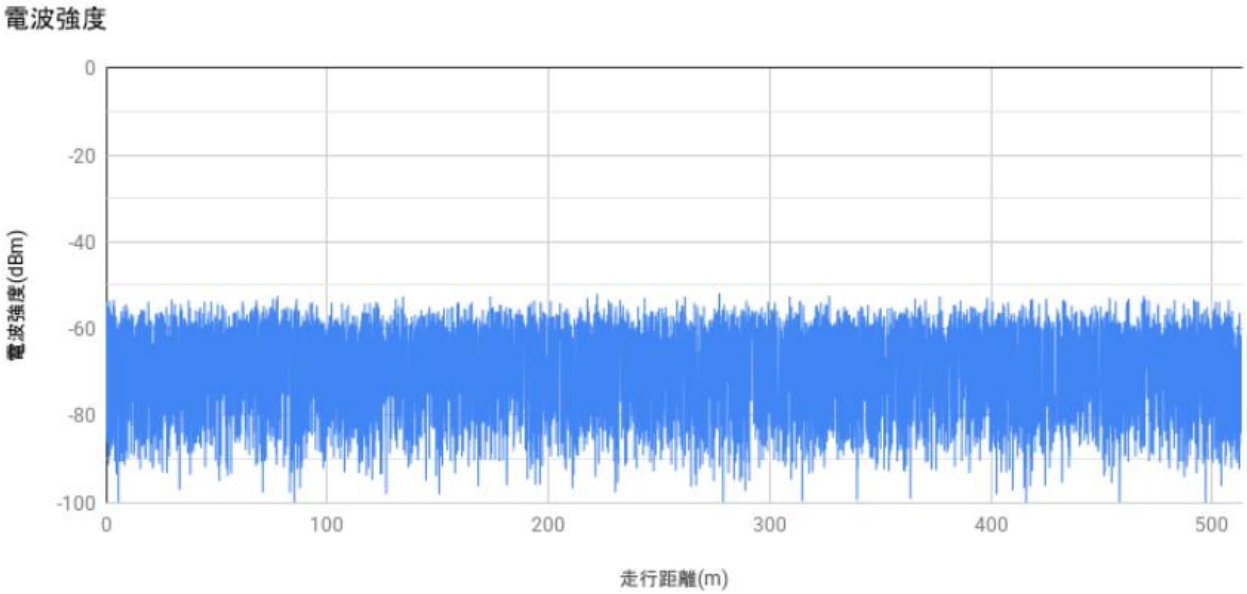


図 6-10 日向見トンネル電波強度 トラック対向

前走車（トラック）＋後続車（乗用車）、車間距離 10m、速度 20km/h の場合の結果を下表に示す。

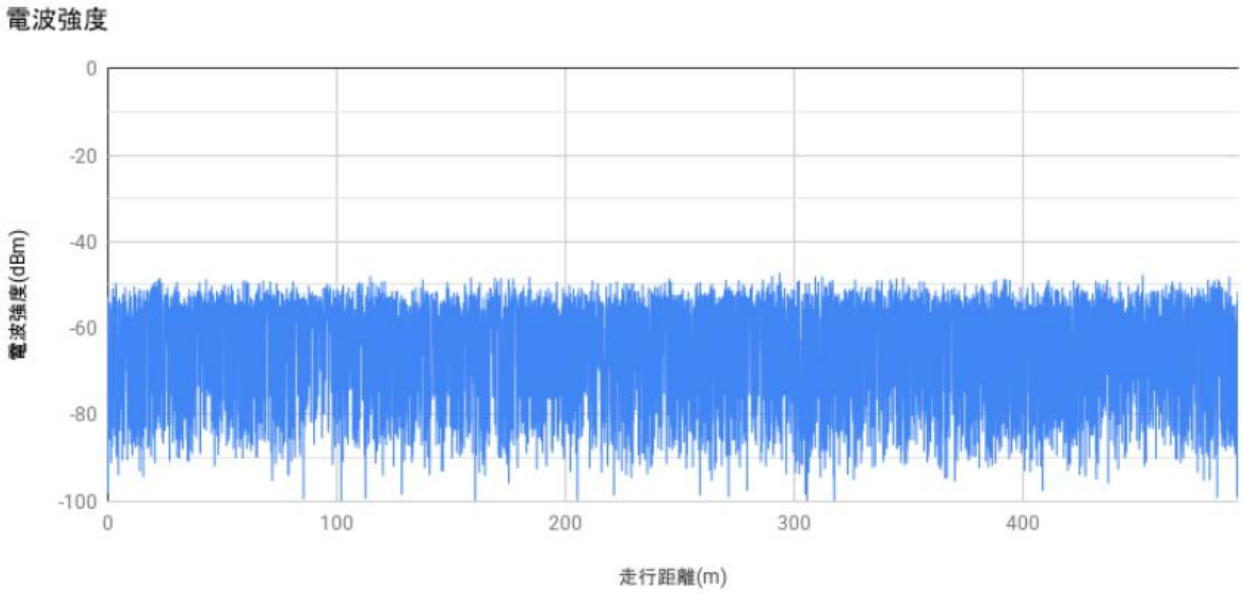


図 6-11 日向見トンネル電波強度 トラック前走

日向見トンネル（CURWB）においては最も厳しい環境であっても、全く問題のない結果となった。通信アンテナがトンネルの天井中央、電測車両の天井に取り付けられており、他車両による遮蔽が発生しないためだと考えられる。

また遠隔監視の一例として、5 台の監視カメラ（車両前方、後方、側方を監視）から映像伝送を実施した。トンネル内部を含め、監視カメラ映像を遠隔監視室で確認できた。

図 6-12 自動運転車両 遠隔監視室の監視モニター

b. 奥四万トンネル（LCX）

対向車（トラック）、速度 40km/h 場合の結果を下表に示す。

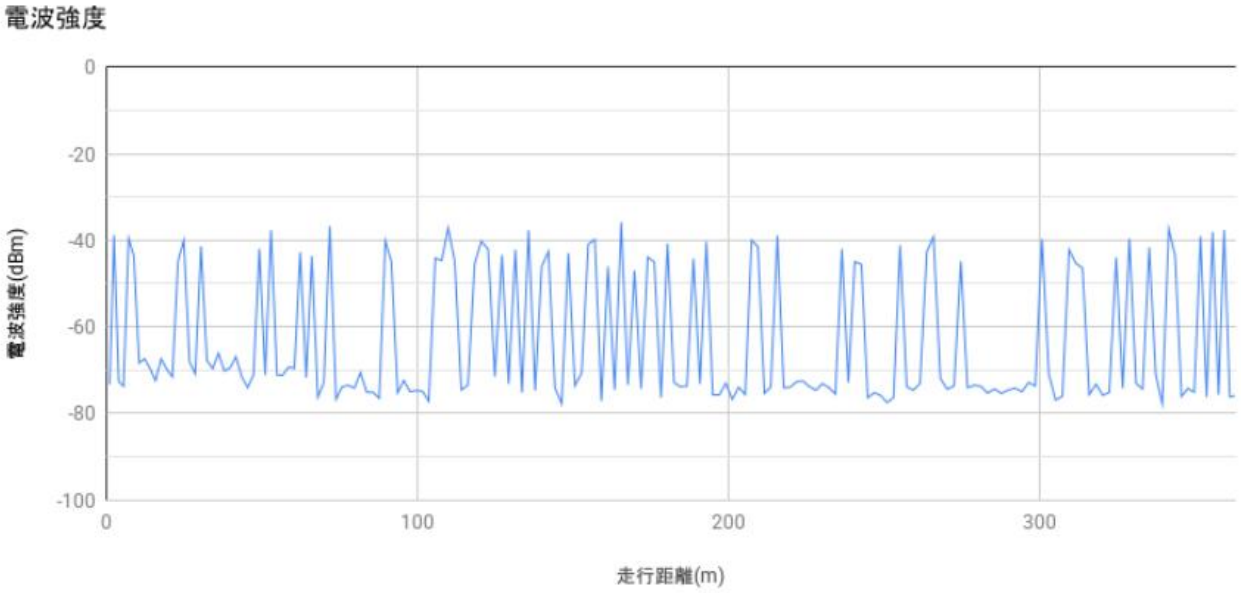


図 6-13 奥四万トンネル電波強度 トラック対向

前走車（トラック）＋後続車（乗用車）、車間距離 20m、速度 20km/h 場合の結果を下表に示す。

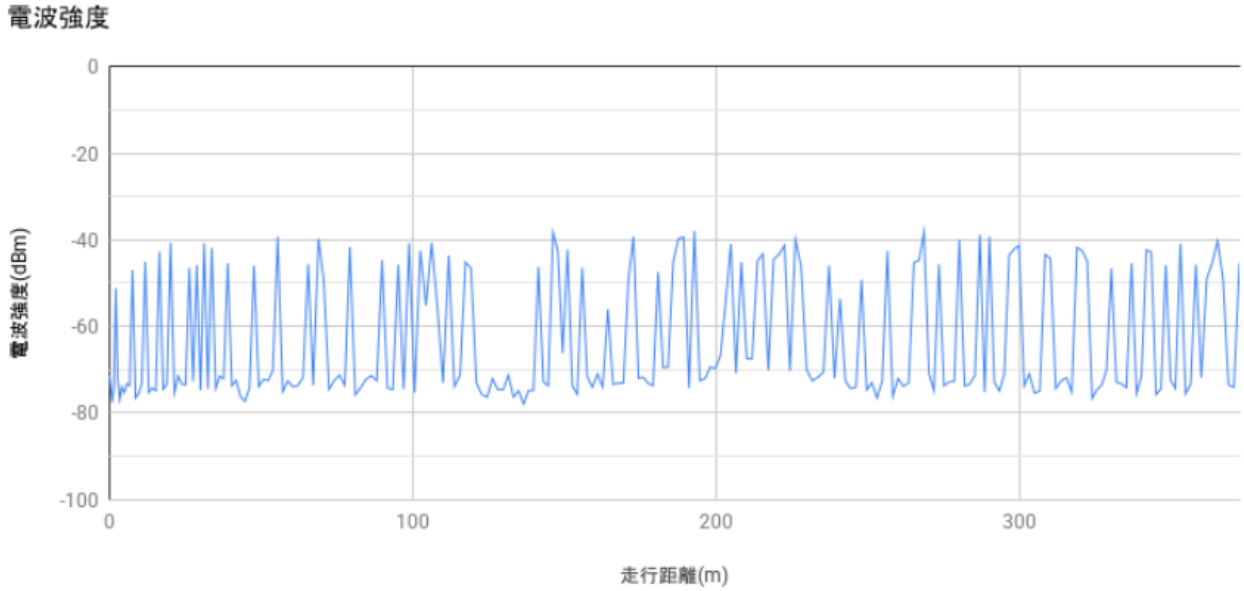


図 6-14 奥四万トンネル トラック前走

グラフの見た目が異なっているが、日向見トンネル（CURWB）では電測を行うチャンネルが 1 つであるのに対し、奥四万トンネル（LCX）では 8 つあり、電測機器の問題でサンプリングレートが異なる状態となっているためである。

奥四万トンネル（LCX）においても問題のない結果になった。2、3 秒程度電波が取れていないデータがあるが、対向車とすれ違った地点（180～190m 付近）では特に影響が見られないこと、前走車＋後続車の場合も全体を通しての影響が見られないことから、LCX のチャンネル切り替えによるハンドオーバーによる切断だと考えられる。こちらも通信アンテナがトンネルの天井中央、電測車両の天井に取り付けられており、他車両による遮蔽が発生しないためだと考えられる。

また遠隔監視の一例として、5 台の監視カメラ（車両前方、後方、側方を監視）から映像伝送を実施した。トンネル内部を含め、監視カメラ映像を遠隔監視室で確認できた。

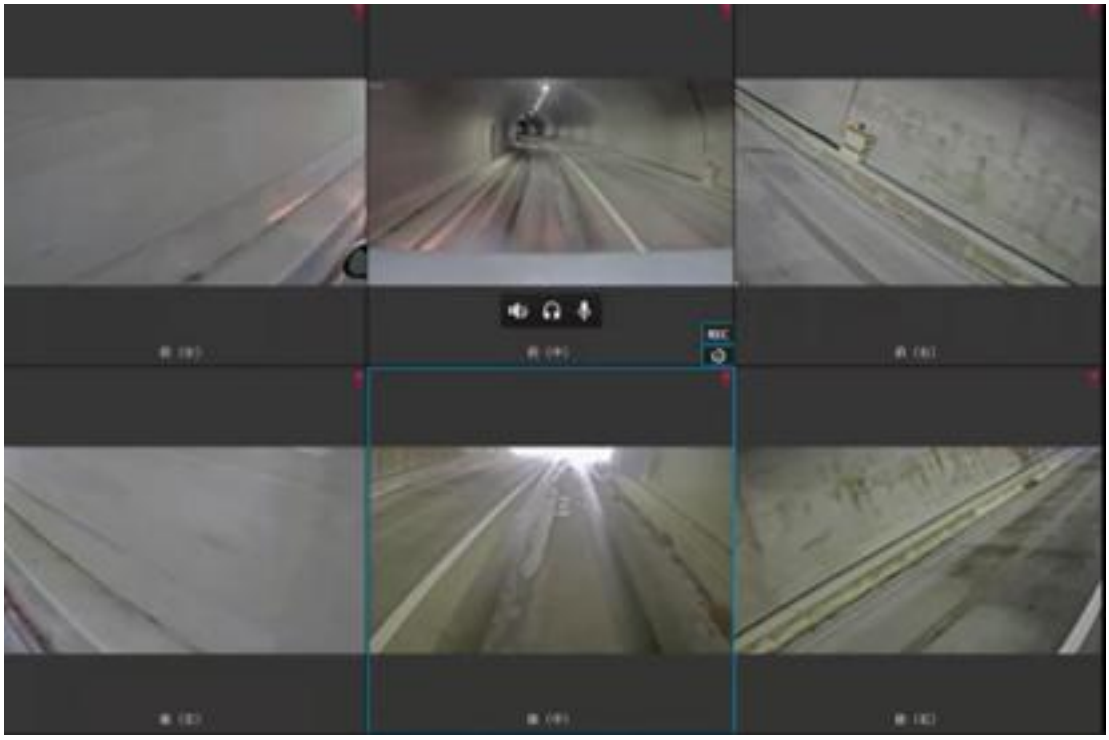


図 6-15 自動運転車両 遠隔監視室の監視モニター

（3） KGI/KPI との比較結果

表 6-3 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・ 電測システムを架装した自動運転車両を電波暗室に持ち込み、走行中に車両から発出される電波を計測してスペクトラム評価の実施結果をまとめる。車両本体から発出する電波が、当該手法の評価に影響がないことを定量的に証明する。
	2	・ 自動運転車両にて当該路線を走行し、通信がない状態でも走行性能（車両横位置、車両速度、加減速度、障害物検知）に影響がないことを証明する。
	3	・ （一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

定性評価/定量評価	番号	目標値
	4	・ 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	5	・ 自動運転システムの測位機能を改修してトンネル内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能については、NSS の定点計測で得た位置の真値と電測システム単独での電測結果 100 点と、電測システムを架装した自動運転車両を 10 回走行させた記録の比較。
	6	・ 手法 1,2,4 については、回線の End-to-End でスループット 10Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下。1080p,30fps,SDR 以上の映像をトンネル区間でカクツキの無く伝送可能。
	7	・ 手法 3 については、回線の End-to-End でスループット 1Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下。720p,3fps,SDR 以上の映像品質が得られること。
	8	・ 手法 1+3,2+3,4+5 については、携帯通信網圏外で接続が完全に途切れることなく維持されること。
	9	・ 群馬県、中之条町、四万温泉観光協会、関越交通(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施
	10	・ 自動運転車両による一般公開運行 7 便/日以上を 20 日間以上実施

1) 電測システムを架装した自動運転車両を電波暗室に持ち込み、走行中に車両から発出される電波を計測してスペクトラム評価の実施結果をまとめる。車両本体から発出する電波が、当該手法の評価に影響がないことを定量的に証明する。

評価に影響がないことを確認した。

2) 自動運転車両にて当該路線を走行し、通信がない状態でも走行性能(車両横位置、車両速度、加減速度、障害物検知)に影響がないことを証明する。

GNSS、マップマッチングの不良区間の対策として日本ペイント社製ターゲットラインペイント（TLP）を、トンネル内を含む温泉街―奥四万湖ルート（往復総延長 4200m）と奥四万湖周回ルート（総延長 2500m）に施工した。TLP は、黒色の近赤外光強反射性塗料であり、GPS 等での測位が困難なトンネル環境での自動走行継続に寄与するものである。

施工した結果、一般試乗を実施した無線機器設置前のトンネル内において走行性能に影響を出すことなく L2 自動運転での走行を達成した。

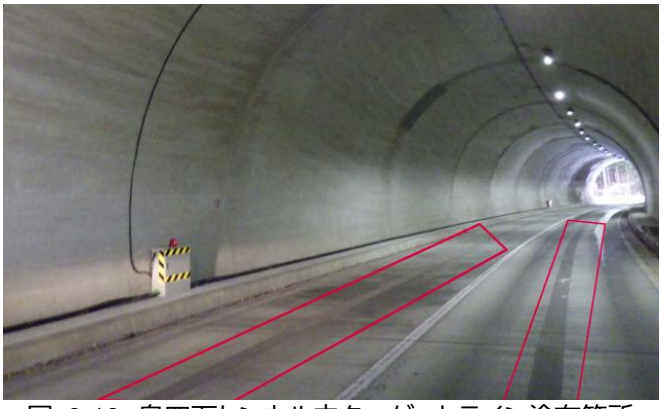


図 6-16 奥四万トンネル内ターゲットライン塗布箇所

3) （一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

日本モビリティ株式会社が各ユースケースに関する安全設計資料（以下「本安全設計資料」という。）の案を作成し、（一財）日本自動車研究所に対し、そのレビューを依頼したところ、同研究所が保有する知見を基に、本安全設計資料の改善に必要な情報の提供と助言が行われた。

なお、日本モビリティ株式会社と（一財）日本自動車研究所の間では、当該資料とレビュー結果を含む秘密情報を両者の秘密として保持するものとした。

本安全設計資料は、「2024 年度群馬県総務省事業のユースケースに関する安全設計思想」という表題する本報告書提出時点全 41 頁の資料となったが、具体的な内容については技術的な機密情報を含むため、ここでは目次と、レビューコメント原文の抜粋を示すこととする。

ユースケース①（通信システム） 5
ユースケースの背景 5
通信システムの概要 6
自動運転車両の自動走行との関係性 7
安全設計思想 8
基本方針 8
想定されるフェールケースと対応策 8
機器の故障 9
停　電 9
電波環境の急激な悪化 9
サイバー攻撃 9
ユースケース②（路車協調デバイスの情報適応制御） 10
ユースケースの背景 10
対象とする路車協調デバイスと通信適応制御の概要 10
路側LiDAR 10
協調型信号化装置 12
通信適応制御 14
自動運転車両の自動走行との関係性 14
安全設計思想 15
基本方針 15
想定されるフェールケースと対応策 15
通信途絶 15
機器の故障 16
停　電 16
電波環境の急激な悪化 16
機器の誤検知・未検知 17
適応制御のエラー 17
サイバー攻撃 17
ユースケース③（車車間通信システム） 17
ユースケースの背景 17
対象とする車車間通信システムの概要 18
自動運転車両の自動走行との関係性 19
安全設計思想 19
基本方針 19
想定されるフェールケースと対応策 19
通信途絶 20
機器の故障 20
電波環境の急激な悪化 20
挙動の障害物情報の誤検知・未検知 20
サイバー攻撃 20
ユースケース④（映像伝送システム） 21
ユースケースの背景 21
対象とする映像伝送システムの概要 21
自動運転車両の自動走行との関係性 22
安全設計思想 22
基本方針 22
想定されるフェールケースと対応策 23
機器の故障 23
電波環境の急激な悪化 23
サイバー攻撃 23
ユースケース⑤ー１（緊急車両対応システム） 23
ユースケースの背景 24
対象とする緊急車両対応システムの概要 24
自動運転車両の自動走行との関係性 25
安全設計思想 26
基本方針 26
想定されるフェールケースと対応策 26
機器の故障 26
電波環境の急激な悪化 26
道譲り指令の誤報・未報エラー 27
サイバー攻撃 27
ユースケース⑤ー２（鉄道接近型鉄道連携システム） 27
ユースケースの背景 27
対象とする鉄道接近型鉄道連携システムの概要 28
自動運転車両の自動走行との関係性 28
安全設計思想 29
基本方針 29
想定されるフェールケースと対応策 29
機器の故障 29
電波環境の急激な悪化 30
鉄道連携指令の誤報・未報エラー 30
サイバー攻撃 30
ユースケース⑤ー２（踏切設置型鉄道連携システム） 30
ユースケースの背景 31
対象とする踏切設置型鉄道連携システムの概要 31
自動運転車両の自動走行との関係性 32
安全設計思想 33
基本方針 33
想定されるフェールケースと対応策 33
機器の故障 33
電波環境の急激な悪化 33
鉄道連携指令の誤報・未報エラー 34
サイバー攻撃 34
ユースケース⑥（情報Hubバス停） 34
ユースケースの背景 34
対象とする情報Hubバス停の概要 35
自動運転車両の自動走行との関係性 37
安全設計思想 40
基本方針 40
想定されるフェールケースと対応策 40
機器の故障・停電 40
電波環境の急激な悪化 40
各種指令の誤報・未報エラー 41
サイバー攻撃 41

図 6-17『2024 年度群馬県総務省事業のユースケースに関する安全設計思想』目次

（一財）日本自動車研究所に第三者レビュー（以下コメント原文から抜粋）

今回、日本モビリティ株式会社から、総務省事業ユースケース①～⑥に係る安全設計構想書の

提示を受け、一般財団法人日本自動車研究所（以下 JARI）新モビリティ研究部が第三者視点からレビューを実施した。なお、JARI のレビュー担当者は、RTL4 事業テーマ 2,4 の担当者、安全走行戦略 WG 座長、機能安全やサイバーセキュリティ等に係るトレーニング・コンサルティング事業の担当者など。自動車メーカー、サプライヤ、半導体や電気メーカーなどでの実務経歴を有し、車載電子制御技術全般の知識や、自動運転技術ならびに関連法規等に関しても知見を有する。

今回のレビュー対象である通信技術やインフラ側の装置に関しては JARI の専門外であり知識が十分とは言えないが、インフラからの情報を活用して自動運転車両が安全に走行する観点から、狙う効果や想定されるリスク、リスクを許容可能なレベルに低減するための方策の妥当性などに着目してレビューを実施した。

先端的な開発やリソーセスに余裕のないプロジェクトでは、ともすると構想が曖昧なまま実装に走り、手戻りや重大な問題を見落とす失敗に陥ることが懸念される。基本的に「安全は設計で作りこむ」ものであり、構想段階での第三者レビューは、事業全般を通じて安全性と開発効率の両面で大きな効果に寄与できるものと考える。

今回レビューした構想設計書では、以下のユースケース①～⑥について「背景と概要、自動運転との関係、安全設計思想、基本方針、想定されるフェールケースと対応策」が解説されており、網羅的・構造的に必要事項が整理され、必要事項が漏れなく細部まで記述されている印象を受けた。

- ユースケース①（通信システム）
- ユースケース②（路車協調デバイスの情報適応制御）
- ユースケース③（車車間通信システム）
- ユースケース④（映像伝送システム）
- ユースケース⑤－１（緊急車両対応システム）
- ユースケース⑤－２（鉄道搭載型鉄道連携システム）
- ユースケース⑤－３（踏切設置型鉄道連携システム）

ユースケース⑥（情報 Hub バス停）

また、通信を介して得られる情報を活用するシステムにおいては通信途絶や遅延等のハザードを想定した設計が必然となるが、加えて、昨今避けて通れないなりすましやデータ改ざんなどサイバー攻撃ついても対策の考え方や方向性について記述されている点も有用性を高めている。

自動運転車両の走行安全に寄与することは、効果が大きい反面、非常に高い信頼性が要求され技術やコストの課題を伴う。将来に向けた技術開発は脈々と進めることが重要であるが、社会実装に取り組む中では、目的（期待効果）に対して先端技術に限ることなく、既存技術の活用や、社会啓蒙によるルールや習慣の見直しなどにも果敢に調整し、自動運転移動サービスの社会実装を推進されることを大いに期待する。

最後に、この構想書は当該事業を成功に導くのみならず、後に続く他の事業にとっても大変貴重な参考材料となるため、JARI としても積極的かつ継続的に貢献したい。

（レビュー原文　ここまで）

今後は、今回の(一財)日本自動車研究所によるレビュー結果を基に、前橋市で実現する自動運転 L4 でのバス運行達成に向けて、各ユースケースにおいて開発・評価されたシステムを ODD 手続きのプロセスにおいて有効に活用することを検討し、引き続き(一財)日本自動車研究所などの支援を受けながら同手続きを円滑かつ着実に進めていく予定である。

4) 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

問題なし

（参照）8.1　自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果

5) 自動運転システムの測位機能を改修してトンネル内外での一貫した測位情報を電測システムに伝送して記録する機能については、GNSS の定点計測で得た位置の真値と電測システム単独での電測結果 100 点と、電測システムを架装した自動運転車両を 10 回走行させた記録の比較。

前段で記載のように、自動運転車の移動距離とエンコーダを使用して計測した移動距離の差が1%未満となり、誤差がないことを確認した。

6) 手法 1,2,4 については、回線の End-to-End でスループット 10Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下。1080p,30fps,SDR 以上の映像をトンネル区間でカクツキの無く伝送可能。

a. 試験路検証（群馬大学荒牧キャンパス内）

※現地検証に向けた簡易的な参考測定を実施した。

ア）実施手順

・　各設備を設置し、テストコースを自動運転と同程度の速度で周回走行した。

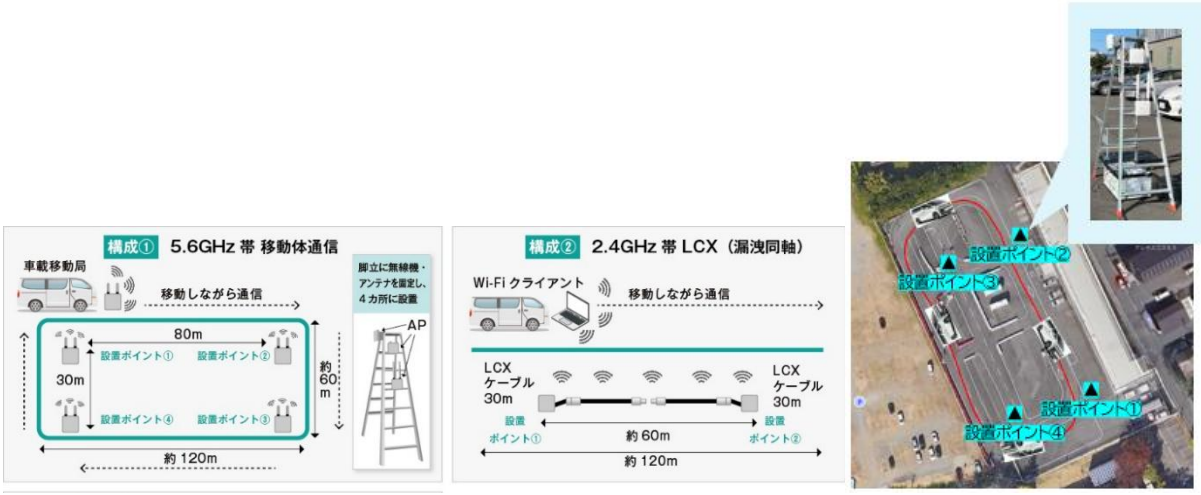


図 6-18 実施手順説明

イ）計測日、走行回数

- 2024 年 10 月 23 日・1 日間
- 10 周回　1 日（1 周回 2 分　11：00～12：00）

ウ）評価基準

- 手法 1 と 2 については、自動運転車両の最低必要通信性能をもとに、回線の End-to-End でスループット 10Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下を目標とした。

エ）評価結果

- 走行中はヴェルファイアの車両内 PC から設置ポイント①に Iperf でスループットを計測した。
  - 手法 1 はスループット 50Mbps 程度で安定(結果を出力)、レイテンシ 10ms 以下
  - 手法 2 はスループット 5～30Mbps 程度(結果を出力)、レイテンシ 50m 以下

- レイテンシの計測及びローミング特性計測(参考)
  走行中はヴェルファイアの車両遠隔 PC から設置ポイント①に ping(200ms 間隔)を飛ばし続けた。
  - 手法 1 はレイテンシ 10ms 以下、ローミングロス無し
  - 手法 2 はレイテンシ 50ms 以下、ローミング時に 8 秒間の通信断発生

表 6-4 スループット結果

周波数帯	スループット	レイテンシー	ローミング(参考)
①5.6GHz 帯 移動体通信	◎(50Mbps)	◎	◎
②2.4GHz 帯 LCX(漏洩同軸)	○(5～30Mbps 程度)	○	△

```
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[  4]   0.00-1.00   sec  10.4 MBytes  86.8 Mbits/sec
[  4]   1.00-2.00   sec  7.50 MBytes  63.0 Mbits/sec
[  4]   2.00-3.00   sec  5.88 MBytes  49.3 Mbits/sec
[  4]   3.00-4.01   sec  5.88 MBytes  48.9 Mbits/sec
[  4]   4.01-5.01   sec  5.75 MBytes  48.0 Mbits/sec
[  4]   5.01-6.00   sec  5.88 MBytes  49.7 Mbits/sec
[  4]   6.00-7.01   sec  5.88 MBytes  49.0 Mbits/sec
[  4]   7.01-8.01   sec  5.75 MBytes  48.1 Mbits/sec
[  4]   8.01-9.01   sec  5.88 MBytes  49.7 Mbits/sec
[  4]   9.01-10.01  sec  5.75 MBytes  48.2 Mbits/sec
```

```
[  4] 384.03-385.01 sec  1.12 MBytes  9.63 Mbits/sec
[  4] 385.01-386.01 sec  1.25 MBytes  10.5 Mbits/sec
[  4] 386.01-387.01 sec  1.75 MBytes  14.6 Mbits/sec
[  4] 387.01-388.01 sec  3.50 MBytes  29.5 Mbits/sec
[  4] 388.01-389.01 sec  2.12 MBytes  17.8 Mbits/sec
[  4] 389.01-390.01 sec  2.38 MBytes  19.9 Mbits/sec
[  4] 390.01-391.01 sec  3.75 MBytes  31.4 Mbits/sec
[  4] 391.01-392.01 sec  2.38 MBytes  19.9 Mbits/sec
[  4] 392.01-393.01 sec  2.12 MBytes  17.9 Mbits/sec
[  4] 393.01-394.01 sec  3.12 MBytes  26.0 Mbits/sec
[  4] 394.01-395.01 sec  2.00 MBytes  16.8 Mbits/sec
[  4] 395.01-396.00 sec   640 KBytes  5.31 Mbits/sec
```

図 6-19 スループット計測結果(左:手法1、右:手法2)

b. 現地検証

スループットはインターネットプロバイダとの契約による制限により、上限が約 30Mbps の条件下で測定した。10Mbps 以上という目標値を満たすことを確認した。

ア）計測日、走行回数

- 2025 年 1 月 22 日～23 日・2 日間
- 50 往復　2 日（1 往復 15 分　9：30～16：00）

イ）評価基準

- 手法 1 と 2 については、自動運転車両の最低必要通信性能としている、
  回線の End-to-End でスループット 10Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下
  →実施手順：手法 3（IEEE802.11ah）を無効状態にし、トンネルの入口付近から出口付近まで走行を行った。

ウ）評価結果

- スループットの計測
  走行中はヴェルファイアの車両遠隔 PC から管制室に Iperf でスループットを計測した。
  手法 1、2 については、目標値を満たすことを確認した。

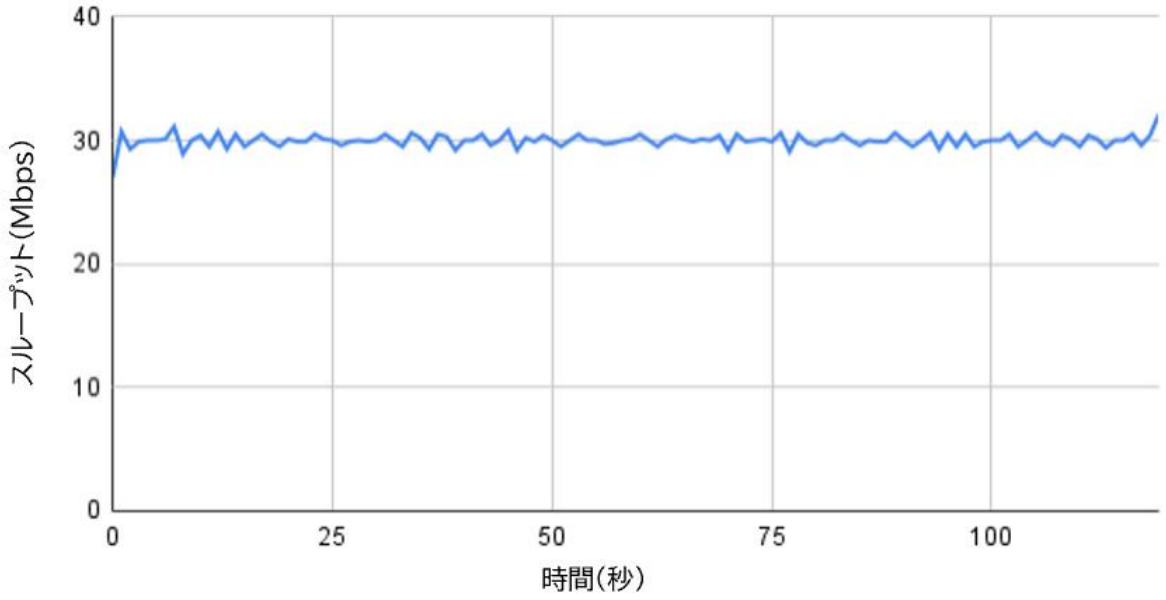


図 6-20 日向見トンネル(CURWB)におけるスループットの計測例

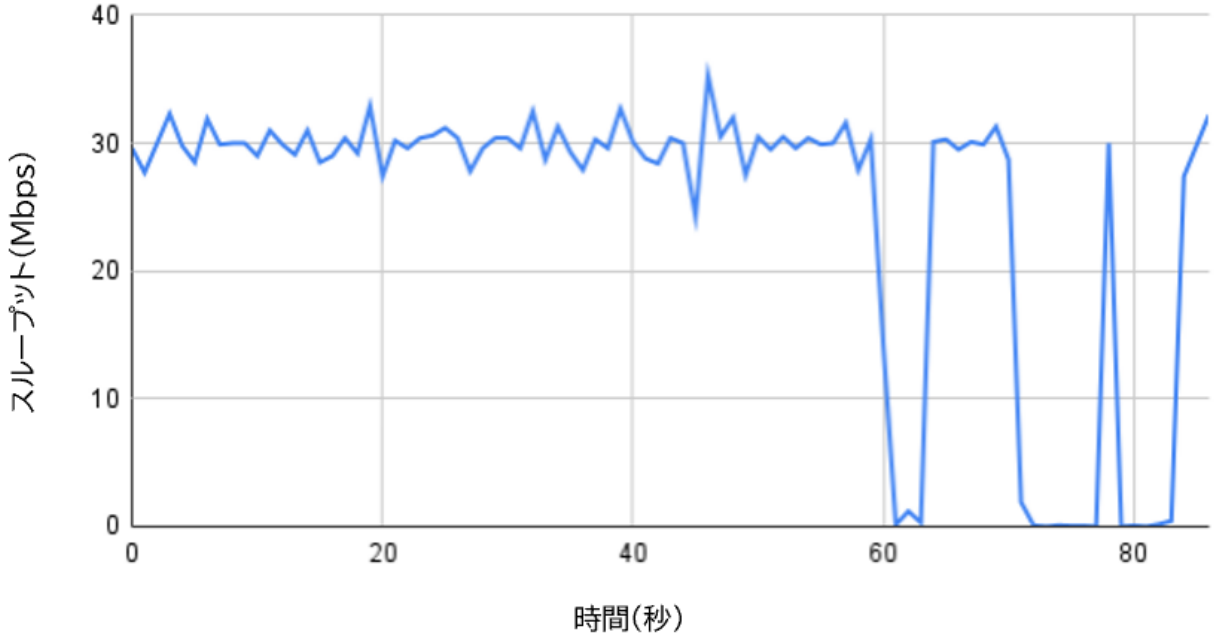


図 6-21 奥四万トンネル(LCX)におけるスループットの計測例

・ レイテンシの計測

走行中はヴェルファイアの車両遠隔 PC から管制室に ping を飛ばし続けた。

→取得データ：Iperf の結果と ping の結果をテキストファイルで出力

※スループット（Iperf）とレイテンシ（ping）を同時に測定するとレイテンシが悪化したため。

レイテンシは「単独回線 ping 結果」を参照

→レイテンシが 50ms 以下については達成できなかった。

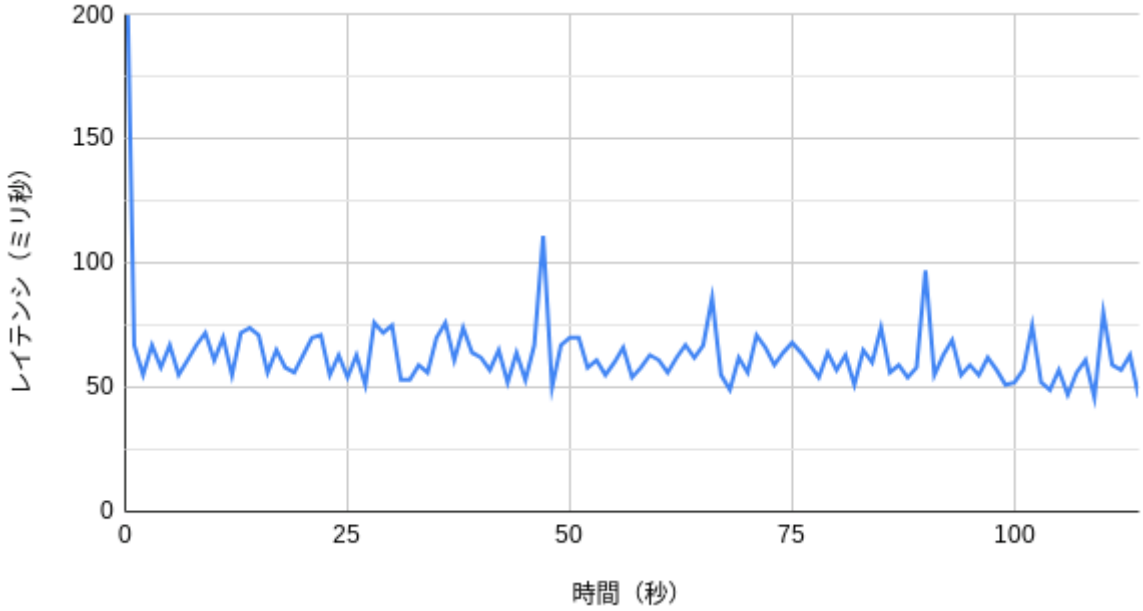


図 6-22 日向見トンネル(CURWB)におけるレイテンシの計測例

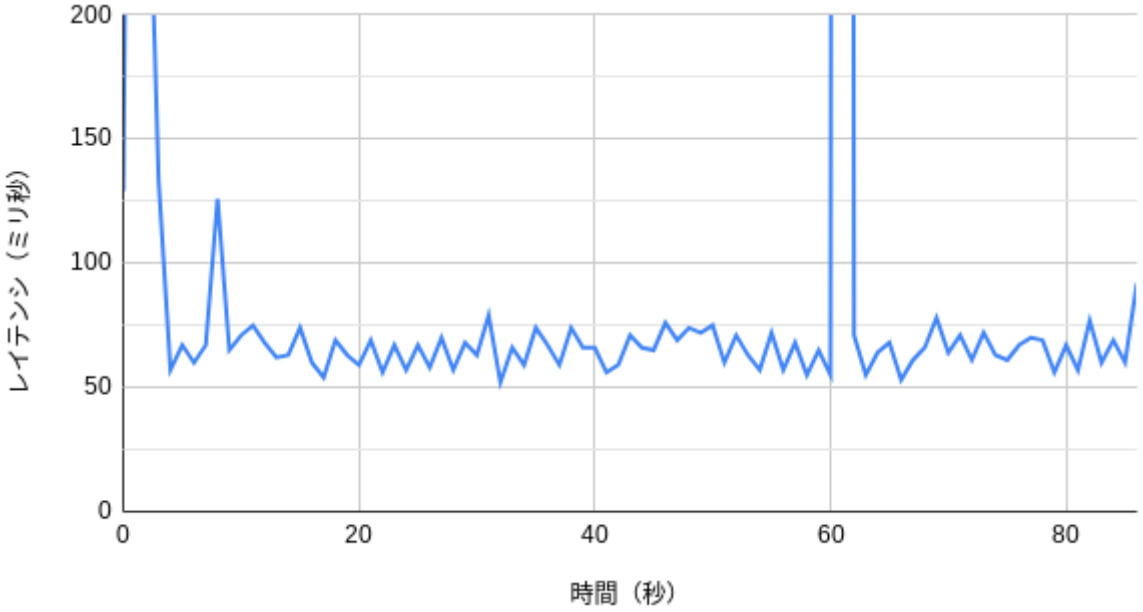


図 6-23 奥四万トンネル(LCX)におけるスループットの計測例

なお詳細な計測結果については、以下に記載をする。

左側の「単独回線 iperf3 結果」が Iperf3 によるスループットの計測結果、右側の「単独回線 ping 結果」が ping によるレイテンシの計測結果となっている。結果の値は 1 回の走行中の平均値としている。

表 6-5 計測値

単独回線　iperf3結果

日向見・奥四万の往復1回のうちにスループット10Mbps未満、
レイテンシ60msを越えた場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	往復	スループット	レイテンシ	結果
1	R70109	奥四万	往路	25.60Mbps		OK
2		日向見	復路	28.60Mbps		OK
3		日向見	往路	30.00Mbps		OK
4		日向見	復路	30.00Mbps		OK
5		奥四万	往路	19.90Mbps		OK
6		奥四万	往路	30.00Mbps		OK
7		日向見	往路	30.00Mbps		OK
8		日向見	復路	30.00Mbps		OK
9	R70113 1-10	日向見	往路	30.00Mbps		OK
10		日向見	復路	30.00Mbps		OK
11		日向見	往路	30.00Mbps		OK
12		日向見	復路	30.00Mbps		OK
13		日向見	往路	30.00Mbps		OK
14		日向見	復路	30.00Mbps		OK
15		日向見	往路	30.00Mbps		OK
16		日向見	復路	30.00Mbps		OK
17		日向見	往路	30.00Mbps		OK
18	データなし	日向見	復路			NG
19		日向見	往路	30.00Mbps		OK
20		日向見	復路	30.00Mbps		OK
21		日向見	往路	30.00Mbps		OK
22		日向見	復路	30.00Mbps		OK
23		日向見	往路	30.00Mbps		OK
24		日向見	復路	30.00Mbps		OK
25		日向見	往路	30.00Mbps		OK
26		日向見	復路	30.00Mbps		OK
27		日向見	往路	30.00Mbps		OK
28		日向見	復路	30.00Mbps		OK
29		日向見	往路			NG
30		日向見	復路			NG
31	R70113 1-10	奥四万	往路	25.70Mbps		OK
32		奥四万	復路	30.00Mbps		OK
33		奥四万	往路	27.60Mbps		OK
34		奥四万	復路	26.00Mbps		OK
35		奥四万	往路	30.00Mbps		OK
36		奥四万	復路	24.70Mbps		OK
37		奥四万	往路	30.00Mbps		OK
38		奥四万	復路	30.00Mbps		OK
39		奥四万	往路	26.20Mbps		OK
40		奥四万	復路	26.20Mbps		OK
41		奥四万	往路	22.30Mbps		OK
42		奥四万	復路	24.90Mbps		OK
43		奥四万	往路	30.00Mbps		OK
44		奥四万	復路	30.00Mbps		OK
45		奥四万	往路	25.50Mbps		OK
46		奥四万	復路	30.00Mbps		OK
47		奥四万	往路	16.20Mbps		OK
48		奥四万	復路	30.00Mbps		OK
49		奥四万	往路	27.90Mbps		OK
50		奥四万	復路	30.00Mbps		OK

単独回線　ping結果

日向見・奥四万の往復1回のうちに損失やタイムアウトがある場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	往復	平均値	送信数	損失率	TO回数	結果
1	R70110 1-21	日向見	往路	75ms	137	2.00%	0回	NG
2		日向見	復路	111ms	104	7.00%	8回	NG
3		日向見	往路	71ms	151	6.00%	0回	NG
4		日向見	復路	70ms	131	0.00%	0回	OK
5		日向見	往路	73ms	143	4.00%	0回	NG
6		日向見	復路	73ms	127	0.00%	0回	OK
7		日向見	往路	73ms	145	0.00%	0回	OK
8		日向見	復路	71ms	136	0.00%	0回	OK
9		日向見	往路	72ms	151	1.00%	1回	NG
10		日向見	復路	71ms	87	0.00%	0回	OK
11		日向見	往路	73ms	154	5.00%	0回	NG
12		日向見	復路	73ms	125	0.00%	0回	OK
13		日向見	往路	74ms	148	0.00%	0回	OK
14		日向見	復路	73ms	138	0.00%	0回	OK
15		日向見	往路	74ms	151	6.00%	1回	NG
16		日向見	復路	72ms	129	0.00%	0回	OK
17		日向見	往路	72ms	162	11.00%	2回	NG
18		日向見	復路	74ms	137	0.00%	0回	OK
19		日向見	往路	75ms	157	4.00%	0回	NG
20		日向見	復路	74ms	137	0.00%	0回	OK
21		日向見	往路	74ms	150	2.00%	0回	NG
22		日向見	復路	74ms	139	2.00%	4回	NG
23		日向見	往路	75ms	146	2.00%	0回	NG
24		日向見	復路	81ms	126	0.00%	0回	OK
25		日向見	往路	74ms	138	2.00%	0回	NG
26		日向見	復路	74ms	130	0.00%	0回	OK
27		日向見	往路	75ms	152	1.00%	0回	NG
28		日向見	復路	72ms	152	0.00%	1回	NG
29		日向見	往路	72ms	141	4.00%	1回	NG
30		日向見	復路	74ms	138	0.00%	0回	OK
31		日向見	往路	75ms	166	6.00%	0回	NG
32		日向見	復路	72ms	133	0.00%	0回	OK
33		日向見	往路	86ms	151	4.00%	0回	NG
34		日向見	復路	71ms	136	0.00%	0回	OK
35		日向見	往路	74ms	133	0.00%	0回	OK
36		日向見	復路	83ms	122	0.00%	0回	OK
37		日向見	往路	73ms	151	7.00%	0回	NG
38		日向見	復路	75ms	131	0.00%	0回	OK
39		日向見	往路	83ms	147	1.00%	0回	NG
40		日向見	復路	80ms	127	0.00%	0回	OK
41		日向見	往路	73ms	155	8.00%	0回	NG
42		日向見	復路	73ms	120	1.00%	2回	NG
43		日向見						OK
44	R07109	日向見	往路	75ms	161	12.00%	1回	NG
45		日向見	復路	74ms	136	0.00%	0回	OK
46		奥四万	往路	85ms	98	1.00%	1回	NG
47		奥四万	復路	156ms	90	8.00%	7回	NG
48		日向見	往路	86ms	132	0.00%	0回	OK
49		日向見	復路	76ms	134	0.00%	0回	OK
50	R070110 1-21	奥四万	往路	171ms	90	3.00%	3回	NG

表 6-6 計測値

単独回線　iperf3結果

日向見・奥四万の往復1回のうちにスループット10Mbps未満、
レイテンシ60msを越えた場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	往復	スループット	レイテンシ	結果
51	R70114 1-20	日向見	往路	30.00Mbps		OK
52		日向見	復路	30.00Mbps		OK
53		日向見	往路	30.00Mbps		OK
54		日向見	復路	30.00Mbps		OK
55		日向見	往路	30.00Mbps		OK
56		日向見	復路	30.00Mbps		OK
57		日向見	往路	30.00Mbps		OK
58		日向見	復路	30.00Mbps		OK
59		日向見	往路	30.00Mbps		OK
60		日向見	復路	30.00Mbps		OK
61		日向見	往路	30.00Mbps		OK
62		日向見	復路	30.00Mbps		OK
63		日向見	往路	30.00Mbps		OK
64		日向見	復路	30.00Mbps		OK
65		日向見	往路	30.00Mbps		OK
66		日向見	復路	30.00Mbps		OK
67		日向見	往路	30.00Mbps		OK
68		日向見	復路	30.00Mbps		OK
69		日向見	往路	30.00Mbps		OK
70		日向見	復路	30.00Mbps		OK
71		日向見	往路	30.00Mbps		OK
72		日向見	復路	30.00Mbps		OK
73		日向見	往路	30.00Mbps		OK
74		日向見	復路	30.00Mbps		OK
75		日向見	往路	30.00Mbps		OK
76		日向見	復路	30.00Mbps		OK
77		日向見	往路	30.00Mbps		OK
78		日向見	復路	30.00Mbps		OK
79		日向見	往路	30.00Mbps		OK
80		日向見	復路	30.00Mbps		OK
81		日向見	往路	30.00Mbps		OK
82		日向見	復路	30.00Mbps		OK
83		日向見	往路	30.00Mbps		OK
84		日向見	復路	30.00Mbps		OK
85		日向見	往路	30.00Mbps		OK
86		日向見	復路	30.00Mbps		OK
87		日向見	往路	30.00Mbps		OK
88		日向見	復路	30.00Mbps		OK
89		日向見	往路	30.00Mbps		OK
90		日向見	復路	30.00Mbps		OK
91		奥四万	往路	20.70Mbps		OK
92	R70114-1　データなし	奥四万	復路			NG
93		奥四万	往路	30.00Mbps		OK
94		奥四万	復路	25.80Mbps		OK
95		奥四万	往路	23.30Mbps		OK
96		奥四万	復路	30.00Mbps		OK
97		奥四万	往路	24.50Mbps		OK
98		奥四万	復路	30.00Mbps		OK
99		奥四万	往路	20.70Mbps		OK
100		奥四万	復路	30.00Mbps		OK

単独回線　ping結果

日向見・奥四万の往復1回のうちに損失やタイムアウトがある場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	往復	平均値	送信数	損失率	TO回数	結果
51		奥四万	復路	137ms	101	2.00%	3回	NG
52		奥四万	往路	94ms	92	3.00%	3回	NG
53		奥四万	復路	105ms	100	9.00%	4回	NG
54		奥四万	往路	103ms	88	4.00%	4回	NG
55		奥四万	復路	74ms	112	5.00%	5回	NG
56		奥四万	往路	99ms	100	3.00%	3回	NG
57		奥四万	復路	75ms	114	3.00%	3回	NG
58		奥四万	往路	87ms	94	5.00%	5回	NG
59		奥四万	復路	107ms	90	5.00%	3回	NG
60		奥四万	往路	88ms	102	3.00%	4回	NG
61		奥四万	復路	69ms	107	6.00%	7回	NG
62		奥四万	往路	103ms	89	4.00%	4回	NG
63		奥四万	復路	79ms	97	14.00%	4回	NG
64		奥四万	往路	96ms	98	1.00%	1回	NG
65		奥四万	復路	123ms	93	3.00%	3回	NG
66		奥四万	往路	115ms	105	15.00%	1回	NG
67		奥四万	復路	78ms	113	2.00%	1回	NG
68		奥四万	往路	105ms	92	3.00%	3回	NG
69		奥四万	復路	121ms	88	9.00%	5回	NG
70		奥四万	往路	90ms	100	1.00%	1回	NG
71		奥四万	復路	91ms	83	10.00%	6回	NG
72		奥四万	往路	89ms	101	17.00%	0回	NG
73		奥四万	復路	76ms	100	4.00%	4回	NG
74		奥四万	往路	83ms	78	5.00%	3回	NG
75		奥四万	復路	100ms	100	13.00%	3回	NG
76		奥四万	往路	115ms	87	2.00%	2回	NG
77		奥四万	復路	84ms	89	3.00%	3回	NG
78		奥四万	往路	82ms	78	3.00%	3回	NG
79		奥四万	復路	114ms	95	3.00%	3回	NG
80		奥四万	往路	109ms	101	2.00%	3回	NG
81		奥四万	復路	77ms	116	10.00%	8回	NG
82		奥四万	往路	93ms	95	4.00%	3回	NG
83		奥四万	復路	81ms	100	10.00%	5回	NG
84		奥四万	往路	89ms	100	8.00%	6回	NG
85		奥四万	復路	73ms	97	7.00%	3回	NG
86		奥四万	往路	11ms	99	3.00%	3回	NG
87		奥四万	復路	77ms	108	11.00%	8回	NG
88		奥四万	往路	117ms	121	37.00%	1回	NG
89		奥四万	復路	102ms	108	8.00%	4回	NG
90		奥四万	往路	97ms	93	4.00%	4回	NG
91		奥四万	復路	89ms	118	5.00%	3回	NG
92	R70113 1-8	日向見		トンネル内機器不具により測定不可				OK
93	R70114 1-5	日向見	往路	79ms	139	1.00%	0回	NG
94		日向見	復路	73ms	135	0.00%	0回	OK
95		日向見	往路	88ms	124	20.00%	2回	NG
96		日向見	復路	76ms	112	0.00%	0回	OK
97		日向見	往路	76ms	128	0.00%	0回	OK
98		日向見	復路	78ms	132	0.00%	1回	NG
99		日向見	往路	77ms	119	0.00%	0回	OK
100		日向見	復路	74ms	118	0.00%	0回	OK

表 6-7 計測値

単独回線　iperf3結果

日向見・南四万の往復1回のうちにスループット10Mbps未満、
レイテンシ60msを超えた場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	往復	スループット	レイテンシ	結果
101		南四万	往路	26.00Mbps		OK
102		南四万	復路	23.20Mbps		OK
103		南四万	往路	29.40Mbps		OK
104		南四万	復路	30.00Mbps		OK
105		南四万	復路	30.00Mbps		OK
106		南四万	往路	27.90Mbps		OK
107		南四万	復路	26.00Mbps		OK
108		南四万	往路	29.10Mbps		OK
109		南四万	復路	30.00Mbps		OK
110		南四万	往路	30.00Mbps		OK
111		南四万	復路	30.00Mbps		OK
112		南四万	往路	20.80Mbps		OK
113		南四万	復路	27.60Mbps		OK
114		南四万	往路	28.80Mbps		OK
115		南四万	復路	24.80Mbps		OK
116		南四万	往路	29.50Mbps		OK
117		南四万	復路	30.00Mbps		OK
118		南四万	往路	30.00Mbps		OK
119		南四万	復路	30.00Mbps		OK
120		南四万	往路	18.80Mbps		OK
121		南四万	復路	30.00Mbps		OK
122		南四万	往路	29.30Mbps		OK
123		南四万	復路	26.80Mbps		OK
124		南四万	往路	30.00Mbps		OK
125	R70114-18　データな	南四万	復路			NG
126		南四万	往路	27.30Mbps		OK
127		南四万	復路	30.00Mbps		OK
128		南四万	往路	19.90Mbps		OK
129		南四万	復路	30.00Mbps		OK
130	R70120 1-5	日向見	往路	30.00Mbps		OK
131		日向見	復路	30.00Mbps		OK
132		日向見	往路	30.00Mbps		OK
133		日向見	復路	30.00Mbps		OK
134		日向見	往路	30.00Mbps		OK
135		日向見	復路	30.00Mbps		OK
136		日向見	往路	30.00Mbps		OK
137		日向見	復路	30.00Mbps		OK
138		日向見	往路	30.00Mbps		OK
139		日向見	復路	30.00Mbps		OK
140	R70120 1-5	南四万	往路	13.10Mbps		OK
141		南四万	復路	30.00Mbps		OK
142		南四万	往路	30.00Mbps		OK
143		南四万	復路	23.10Mbps		OK
144		南四万	往路	22.80Mbps		OK
145	3　データなし	南四万	復路			NG
146	4　データなし	南四万	往路			NG
147		南四万	復路	20.80Mbps		OK
148		南四万	往路	13.70Mbps		OK
149		南四万	復路	13.90Mbps		OK
150						NG
151						NG

単独回線　ping結果

日向見・南四万の往復1回のうちに損失やタイムアウトがある場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	往復	平均値	送信数	損失率	TO回数	結果
101		日向見	往路	76ms	127	0.00%	0回	OK
102		日向見	復路	78ms	110	0.00%	1回	NG
103	R70116 1-3	日向見	往路	74ms	114	0.00%	0回	OK
104		日向見	復路	75ms	112	0.00%	0回	OK
105		日向見	復路	77ms	112	0.00%	1回	NG
106		日向見	往路	76ms	122	1.00%	2回	NG
107		日向見	復路	79ms	115	5.00%	6回	NG
108	R70117 1-18	日向見	往路	60ms	110	2.00%	1回	NG
109		日向見	復路	64ms	112	0.00%	0回	OK
110		日向見	往路	71ms	118	1.00%	2回	NG
111		日向見	復路	63ms	112	0.00%	0回	OK
112		日向見	往路	69ms	138	1.00%	1回	NG
113		日向見	復路	63ms	115	0.00%	0回	OK
114		日向見	往路	62ms	134	5.00%	0回	NG
115		日向見	復路	68ms	109	0.00%	1回	NG
116		日向見	往路	62ms	141	0.00%	0回	OK
117		日向見	復路	69ms	98	1.00%	1回	NG
118		日向見	往路	60ms	131	3.00%	0回	NG
119		日向見	復路	64ms	104	0.00%	1回	NG
120		日向見	往路	60ms	119	2.00%	1回	NG
121		日向見	復路	71ms	105	0.00%	1回	NG
122		日向見	往路	70ms	116	0.00%	1回	NG
123		日向見	復路	59ms	129	0.00%	0回	OK
124		日向見	往路	70ms	128	3.00%	0回	NG
125		日向見	復路	62ms	113	0.00%	0回	OK
126		日向見	往路	60ms	112	0.00%	0回	OK
127		日向見	復路	68ms	107	0.00%	0回	OK
128		日向見	往路	62ms	117	2.00%	3回	NG
129		日向見	復路	70ms	106	1.00%	2回	NG
130		日向見	往路	61ms	127	10.00%	1回	NG
131		日向見	復路	73ms	106	1.00%	2回	NG
132		日向見	往路	62ms	123	0.00%	0回	OK
133		日向見	復路	68ms	112	0.00%	0回	OK
134		日向見	往路	61ms	119	0.00%	0回	OK
135		日向見	復路	67ms	105	0.00%	1回	NG
136		日向見	往路	62ms	117	0.00%	0回	OK
137		日向見	復路	62ms	113	0.00%	0回	OK
138		日向見	往路	72ms	117	3.00%	2回	NG
139		日向見	復路	68ms	114	0.00%	0回	OK
140		日向見	往路	61ms	113	3.00%	1回	NG
141		日向見	復路	74ms	107	0.00%	1回	NG
142		日向見	往路	62ms	111	0.00%	1回	NG
143		日向見	復路	63ms	118	1.00%	2回	NG
144	R70110-2	南四万	往路	96ms	92	16.00%	3回	NG
145		南四万	復路	157ms	91	2.00%	2回	NG
146	R70113 1-8	南四万	往路	102ms	158	41.00%	1回	NG
147		南四万	復路	92ms	100	4.00%	4回	NG
148		南四万	往路	93ms	88	6.00%	6回	NG
149		南四万	復路	110ms	118	5.00%	5回	NG
150		南四万	往路	73ms	171	23.00%	4回	NG
151		南四万	復路	74ms	96	6.00%	6回	NG

表 6-8 計測値

単独回線　iperf3結果

日向見・奥四万の往復1回のうちにスループット10Mbps未満、
レイテンシ50msを超えた場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	往復	スループット	レイテンシ	結果
合計		奥四万		26.45Mbps		OK
合計		日向見		30.00Mbps		OK

単独回線　ping結果

日向見・奥四万の往復1回のうちに損失やタイムアウトがある場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	往復	平均値	送信数	損失率	TO回数	結果
152		奥四万	往路	106ms	117	2.00%	3回	NG
153		奥四万	復路	72ms	108	3.00%	4回	NG
154		奥四万	往路	108ms	91	4.00%	4回	NG
155		奥四万	復路	90ms	119	20.00%	5回	NG
156		奥四万	往路	94ms	108	25.00%	3回	NG
157		奥四万	復路	92ms	125	24.00%	5回	NG
158		奥四万	往路	69ms	86	2.00%	2回	NG
159		奥四万	復路	90ms	106	27.00%	4回	NG
160		奥四万	往路	119ms	96	4.00%	4回	NG
161		奥四万	復路	95ms	83	4.00%	4回	NG
162	R70117 1-18	奥四万	往路	74ms	118	44.00%	0回	NG
163		奥四万	復路	144ms	78	6.00%	4回	NG
164		奥四万	往路	79ms	104	0.00%	1回	NG
165		奥四万	復路	66ms	94	10.00%	5回	NG
166		奥四万	往路	145ms	97	5.00%	5回	NG
167		奥四万	復路	63ms	109	6.00%	4回	NG
168		奥四万	往路	70ms	99	5.00%	5回	NG
169		奥四万	復路	67ms	90	13.00%	4回	NG
170		奥四万	往路	67ms	88	3.00%	3回	NG
171		奥四万	復路	79ms	81	20.00%	5回	NG
172		奥四万	往路	54ms	73	8.00%	6回	NG
173		奥四万	復路	70ms	82	10.00%	5回	NG
174		奥四万	往路	99ms	80	5.00%	4回	NG
175		奥四万	復路	56ms	84	7.00%	4回	NG
176		奥四万	往路	94ms	82	2.00%	2回	NG
177		奥四万	復路	63ms	76	13.00%	5回	NG
178		奥四万	往路	53ms	70	5.00%	4回	NG
179		奥四万	復路	68ms	79	13.00%	6回	NG
180		奥四万	往路	55ms	81	9.00%	1回	NG
181		奥四万	復路	54ms	81	3.00%	3回	NG
182		奥四万	往路	76ms	65	9.00%	6回	NG
183		奥四万	復路	66ms	89	13.00%	5回	NG
184		奥四万	往路	87ms	90	4.00%	4回	NG
185		奥四万	復路	111ms	88	11.00%	4回	NG
186		奥四万	往路	85ms	87	2.00%	2回	NG
187		奥四万	復路	51ms	85	17.00%	4回	NG
188		奥四万	復路	174ms	67	2.00%	2回	NG
189		奥四万	往路	126ms	79	20.00%	7回	NG
190		奥四万	復路	77ms	78	3.00%	3回	NG
191		奥四万	往路	68ms	82	12.00%	4回	NG
192		奥四万	復路	88ms	75	9.00%	5回	NG
193		奥四万	復路	65ms	89	11.00%	3回	NG
194		奥四万	往路	54ms	67	4.00%	3回	NG
195		奥四万	復路	66ms	57	20.00%	6回	NG
196		奥四万	往路	107ms	78	2.00%	2回	NG
197		奥四万	復路	78ms	81	11.00%	4回	NG
198		奥四万	往路					OK
199								OK
200								OK
合計		奥四万		90ms	8840	4.13%	365回	NG
合計		日向見		72ms	6967	0.86%	60回	NG

7）　**手法 3 については、回線の End-to-End でスループット 1Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下。720p, 3fps, SDR 以上の映像品質が得られること。**

a. 試験路検証（群馬大学荒牧キャンパス内）

※現地検証に向けた簡易的な参考測定を実施した。

ア）実施手順

・　各設備を設置し、テストコースを自動運転と同程度の速度で周回走行した。

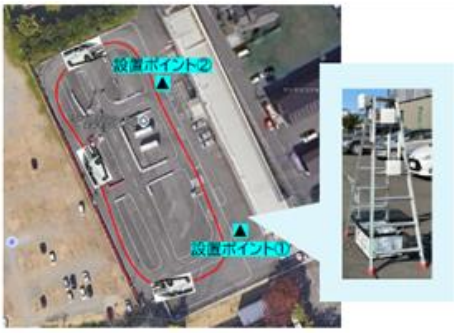


図 6-24 実施手順説明

イ）計測日、走行回数

- 2024 年 10 月 23 日・1 日間
- 10 周回　1 日（1 周回 2 分　11：00～12：00）

ウ）評価基準

- 手法 3 についてはバックアップ回線の位置付けである。
  品質要件は以下を目安とした。
  回線の End-to-End でスループット 1Mbps 以上、レイテンシ 50ms 以下

エ）評価結果

- 走行中はヴェルファイアの車両内 PC から設置ポイント①に Iperf でスループットを計測した。
  - 手法 3（IEEE802.11ah）は 1 周回参考計測、スループット 0.5Mbps 程度、要件を達成できなかった。
- レイテンシの計測及びローミング特性計測(参考)
  走行中はヴェルファイアの車両遠隔 PC から設置ポイント①に ping(200ms 間隔)を飛ばし続けた。
  - 手法 3 はレイテンシ 50ms 以下、ローミング時に 11 秒間の通信断が発生

表 6-9 スループット結果

周波数帯	スループット	レイテンシー	ローミング(参考)
①5.6GHz 帯 移動体通信	◎(50Mbps)	◎	◎
②2.4GHz 帯 LCX(漏洩同軸)	○(5～30Mbps 程度)	○	△
③920MHz 帯 IEEE802.11ah	△(500kbps)	○	△

図 6-25 スループット計測結果(左:手法1、右:手法2)

b. 現地検証

現地での検証を実施したものの、通信が安定せず、得られたのは以下の例のようなデータとなった。このため KPI・KGI の評価に値するデータが得られなかった。

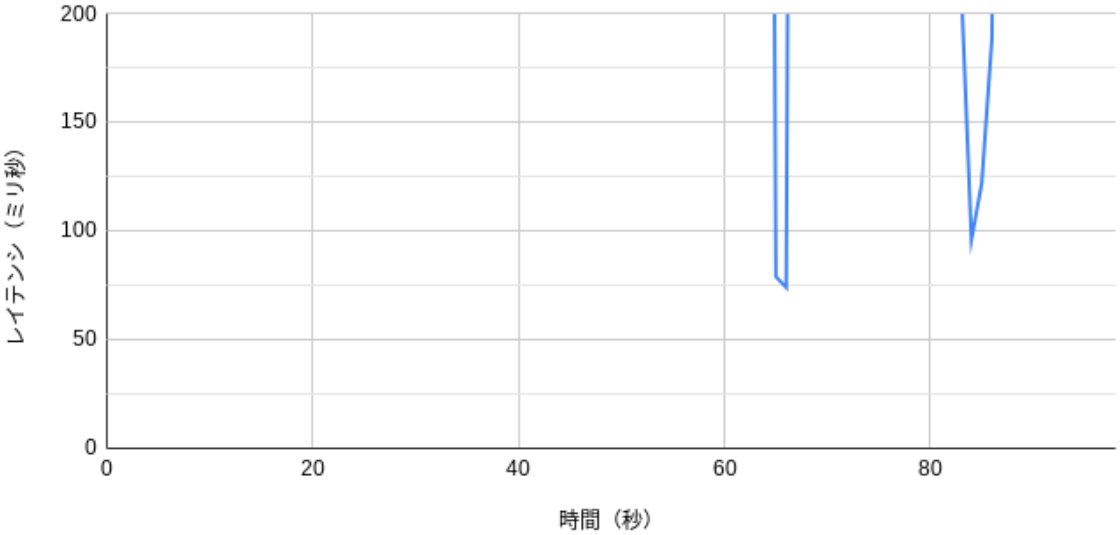


図 6-26 奥四万トンネル(IEEE802.11ah)におけるレイテンシの計測例

原因としては、実証で用いた IEEE802.11ah 対応機器のアクセスポイントスキャン間隔が実測で 1 分以上かかっていたことから、この間の車両の移動によるハンドオーバーの失敗等が考えられるが、本機器のスキャン間隔や移動体での利用に対する公証データが存在しないため断定できていない。

8) 手法 1+3, 2+3, 4+5 については、携帯通信網圏外で接続が完全に途切れることなく維持されること。

a. 手法 1+3,2+3

ア）実施手順

・　自動運転と同程度の速度で往復走行

イ）走行回数

・　2025 年 1 月 22 日～24 日, 27 日・4 日間
・　105 往復　　4 日（1 往復 15 分　9：30～16：00）

ウ）評価基準

・　手法 1＋3、2＋3 については、接続が途切れることなく維持されることを確認する
→実施手順：2 つのトンネルそれぞれで、入口付近から出口付近まで走行
走行中は、ヴェルファイアの車両遠隔 PC から管制室へ ping を飛ばし続け、損失やタイムアウトがなく走行を終われることを確認
→取得データ：ping の結果をテキストファイルに出力

エ）検証注意点

・　確認する手法以外は無効状態とする。
・　トンネル外携帯通信網との切り替わり区間 150m も考慮した全区間で通信が維持できるかを確認するため、確認するトンネル手前 150m からトンネル出口後 150m まで走行を行う。

オ）検証結果

前項で判明した通り、走行中は手法 3 が接続しづらかったため、手法 1、2 が途切れた際の手法 3 への切り替わりに際して通信が途切れることが多かった。奥四万トンネル（手法 2＋3）は接続が完全に途切れることなく維持されることは 1 度もなかった。日向見トンネル（手法 1＋3）は接続を維持できることもあったが成功数は少ない結果となった。

奥四万では TO583 回のうち、平均で 109ms、損失率 6.73%となり、

日向見では TO218 回のうち、平均で 78ms、損失率 1.65%であった。

これらの結果から、レイテンシやタイムアウト率などの観点で評価した場合、手法 1 が他の手法に比べて明らかな優位性を有していることが確認できた。

表 6-10 計測値

手法1+3・手法2+3の複数回線　ping結果

日向見(1+3)・奥四万(2+3)の往復1回のうちに損失やタイムアウトがある場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	平均値	損失率	TO回数	結果
1	196	奥四万	74ms	3.57%	7回	NG
2	263	日向見	116ms	6.46%	17回	NG
3	170	奥四万	74ms	5.88%	10回	NG
4	188	日向見	60ms	4.26%	8回	NG
5	176	奥四万	79ms	6.25%	11回	NG
6	263	日向見	63ms	2.66%	7回	NG
7	178	奥四万	88ms	8.43%	15回	NG
8	249	日向見	58ms	2.01%	5回	NG
9	189	奥四万	70ms	7.94%	15回	NG
10	264	日向見	60ms	1.14%	3回	NG
11	192	奥四万	114ms	6.77%	13回	NG
12	272	日向見	60ms	0.00%	0回	OK
13	184	奥四万	116ms	7.61%	14回	NG
14	261	日向見	58ms	0.00%	0回	OK
15	178	奥四万	124ms	9.55%	17回	NG
16	258	日向見	58ms	0.78%	2回	NG
17	182	奥四万	121ms	8.24%	15回	NG
18	262	日向見	71ms	0.00%	0回	OK
19	172	奥四万	138ms	6.40%	11回	NG
20	281	日向見	66ms	2.49%	7回	NG
21	177	奥四万	80ms	6.21%	11回	NG
22	340	日向見		2.35%	8回	NG
23	192	奥四万	101ms	5.21%	10回	NG
24	340	日向見	61ms	2.35%	8回	NG
25	174	奥四万	108ms	6.90%	12回	NG
26	267	日向見	65ms	1.87%	5回	NG
27	164	奥四万	96ms	7.32%	12回	NG
28	270	日向見	64ms	0.74%	2回	NG
29	182	奥四万	97ms	6.04%	11回	NG
30	264	日向見	73ms	1.14%	3回	NG
31	163	奥四万	119ms	9.20%	15回	NG
32	285	日向見	64ms	0.00%	0回	OK
33	164	奥四万	64ms	7.93%	13回	NG
34	265	日向見	67ms	0.75%	2回	NG
35	168	奥四万	103ms	5.36%	9回	NG
36	270	日向見	61ms	0.37%	1回	NG
37	155	奥四万	100ms	9.68%	15回	NG
38	274	日向見	65ms	1.09%	3回	NG
39	164	奥四万	93ms	6.10%	10回	NG
40	264	日向見	61ms	0.38%	1回	NG
41	174	奥四万	85ms	5.75%	10回	NG
42	245	日向見	67ms	2.04%	5回	NG
43	152	奥四万	87ms	7.89%	12回	NG
44	249	日向見	65ms	2.01%	5回	NG
45	155	奥四万	147ms	9.03%	14回	NG
46	233	日向見	108ms	6.01%	14回	NG
47	183	奥四万	113ms	5.46%	10回	NG
48	254	日向見	65ms	1.57%	4回	NG
49	154	奥四万	100ms	11.04%	17回	NG
50	251	日向見	83ms	0.00%	0回	OK

手法1+3・手法2+3の複数回線　ping結果

日向見(1+3)・奥四万(2+3)の往復1回のうちに損失やタイムアウトがある場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	平均値	損失率	TO回数	結果
51	158	奥四万	149ms	6.33%	10回	NG
52	256	日向見	111ms	1.56%	4回	NG
53	151	奥四万	242ms	7.95%	12回	NG
54	251	日向見	113ms	1.59%	4回	NG
55	158	奥四万	148ms	8.86%	14回	NG
56	265	日向見	107ms	1.89%	5回	NG
57	163	奥四万	157ms	10.43%	17回	NG
58	254	日向見	68ms	1.57%	4回	NG
59	160	奥四万	142ms	5.63%	9回	NG
60	273	日向見	115ms	1.10%	3回	NG
61	162	奥四万	145ms	5.56%	9回	NG
62	264	日向見	97ms	0.38%	1回	NG
63	162	奥四万	145ms	5.56%	9回	NG
64	258	日向見	76ms	0.78%	2回	NG
65	159	奥四万	91ms	7.55%	12回	NG
66	264	日向見	80ms	1.14%	3回	NG
67	162	奥四万	91ms	6.17%	10回	NG
68	256	日向見	80ms	0.78%	2回	NG
69	155	奥四万	112ms	8.39%	13回	NG
70	286	日向見	76ms	1.40%	4回	NG
71	172	奥四万	101ms	5.81%	10回	NG
72	255	日向見	81ms	1.96%	5回	NG
73	172	奥四万	126ms	4.07%	7回	NG
74	242	日向見	88ms	2.07%	5回	NG
75	163	奥四万	116ms	4.91%	8回	NG
76	135	日向見	86ms	5.93%	8回	NG
77	156	奥四万	105ms	4.49%	7回	NG
78	240	日向見	87ms	1.67%	4回	NG
79	144	奥四万	96ms	10.42%	15回	NG
80	255	日向見	90ms	1.57%	4回	NG
81	180	奥四万	103ms	5.56%	10回	NG
82	143	日向見	86ms	5.59%	8回	NG
83	154	奥四万	110ms	5.19%	8回	NG
84	261	日向見	83ms	2.68%	7回	NG
85	159	奥四万	148ms	5.66%	9回	NG
86	250	日向見	78ms	3.60%	9回	NG
87	151	奥四万	86ms	5.30%	8回	NG
88	261	日向見	85ms	2.30%	6回	NG
89	184	奥四万	122ms	3.80%	7回	NG
90	252	日向見	83ms	1.59%	4回	NG
91	235	日向見	78ms	0.85%	2回	NG
92	241	日向見	85ms	0.41%	1回	NG
93	239	日向見	81ms	1.26%	3回	NG
94	231	日向見	87ms	0.87%	2回	NG
95	204	日向見	80ms	1.47%	3回	NG

表 6-11 計測値

手法1+3・手法2+3の複数回線　ping結果

日向見(1+3)・奥四万(2+3)の往復1回のうちに損失やタイムアウトがある場合は「NG」とする

往復回数	備考	場所	平均値	損失率	TO回数	結果
96	212	日向見	85ms	0.47%	1回	NG
97	196	日向見	83ms	1.02%	2回	NG
98	158	奥四万	84ms	6.96%	11回	NG
99	175	奥四万	123ms	5.14%	9回	NG
100	148	奥四万	73ms	7.43%	11回	NG
101	157	奥四万	111ms	7.64%	12回	NG
102	150	奥四万	78ms	6.67%	10回	NG
103	150	奥四万	82ms	6.00%	9回	NG
104	157	奥四万	109ms	5.10%	8回	NG
合計(平均)	8658	奥四万	109ms	6.73%	583回	NG
合計(平均)	13111	日向見	78ms	1.65%	216回	NG
最良	144	奥四万	64ms	4.86%	7回	
最良	135	日向見	58ms	0.00%	0回	
最悪	196	奥四万	242ms	8.67%	17回	
最悪	340	日向見	116ms	5.00%	17回	

b欄の数値は？

→b欄は送信回数

b. **手法 4+5**

手法 5（429MHz 特定小電力モデム）のスループットは 1kbps にも満たないため、送受信するデータを絞る必要があり、データの送信が 4 秒に 1 回程度となっていた。そのため、受信側は受信するべきデータが存在しないのか、通信の問題で受信ができなかったのかの判断が難しく、受信できた場所を判断し記録する形となった。

3 日分（11/11、12、17）の受信座標をまとめてプロットしたものが以下の画像である。

受信できた場所という観点ではルート上のほぼ全域が埋まっており、最も間隔が大きいところでも 5m 程度となっており、目標は達成できたといえる。

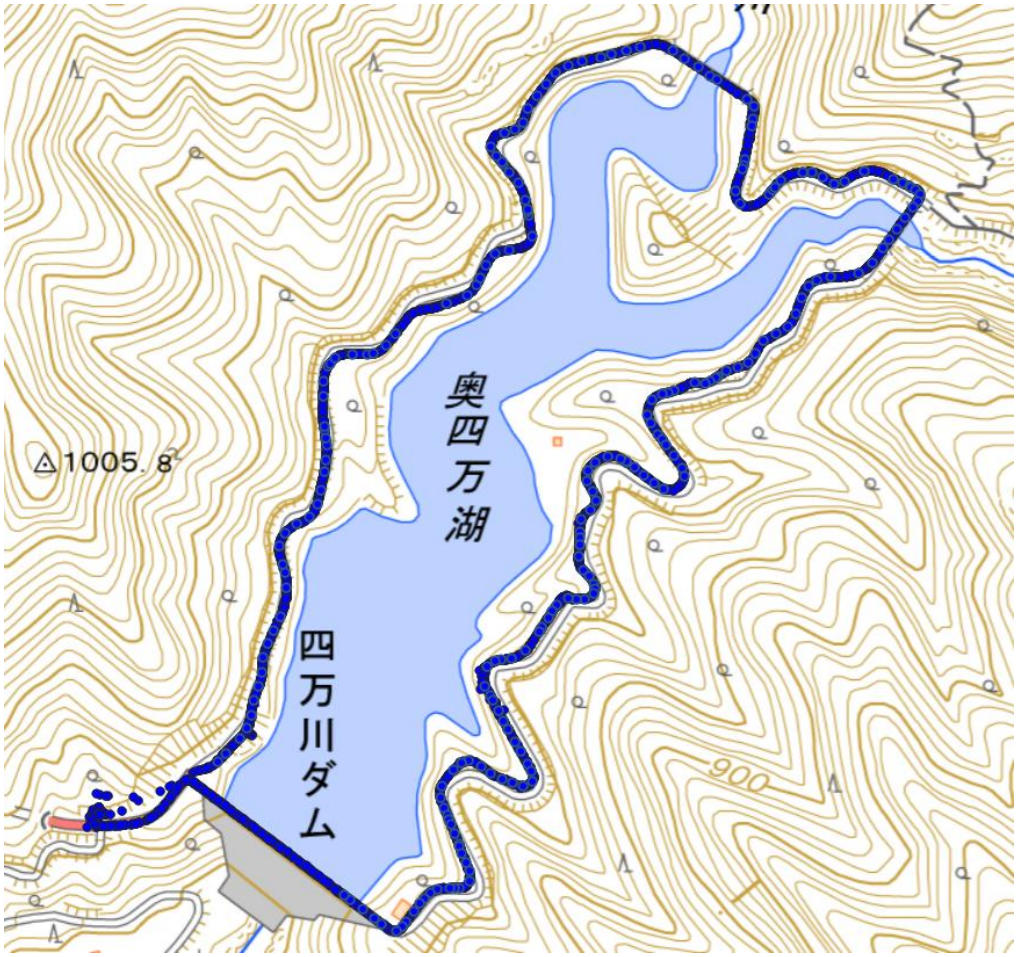


図 6-27 省電力モデム 受信座標図示
※「標準地図(国土地理院)」を加工して作成

c. **手法 4**

なお参考として手法 4（低軌道(LEO)衛星ブロードバンド）を利用して、自動運転車両の遠隔監視への適正についても評価を行った。遠隔監視の一例として、車両が停止時に 10 台の監視カメラ（車両前方、後方、側方を監視）から映像伝送を実施した。監視カメラ映像を遠隔監視室でリアルタイムで確認できた。

図 6-28 自動運転車両 遠隔監視室の監視モニター

また携帯通信網の圏外エリアである湖周辺の 17 地点において、アップリンクにおける「スループット」と「通信接続した時間割合（10 分間の ping の疎通率）」を計測した。「通信接続した時間割合」が大きい場合、映像伝送に必要なスループットを確保できることを確認したが、「通信接続した時間割合」は地点ごとに大きなばらつきが見られた。この要因として、衛星の位置によってアンテナと木々等の間に遮蔽が生じることが影響していると考えられる。

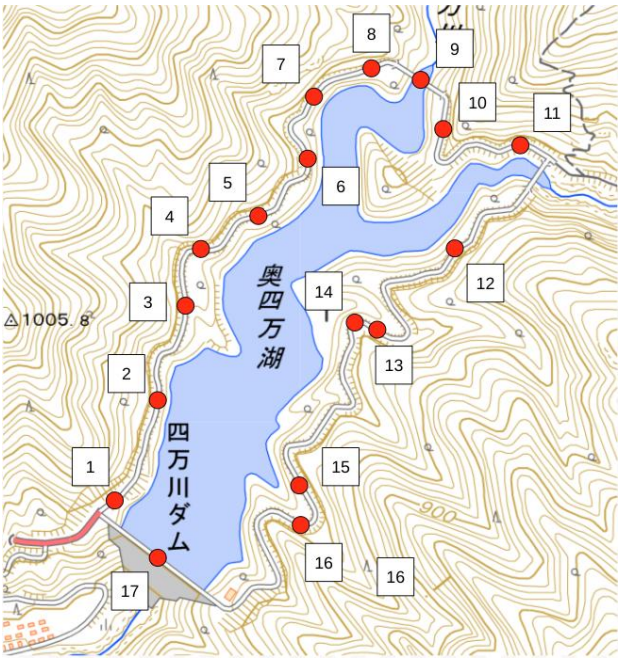


図 6-29 湖周辺における計測地点

※「標準地図（国土地理院）」を加工して作成

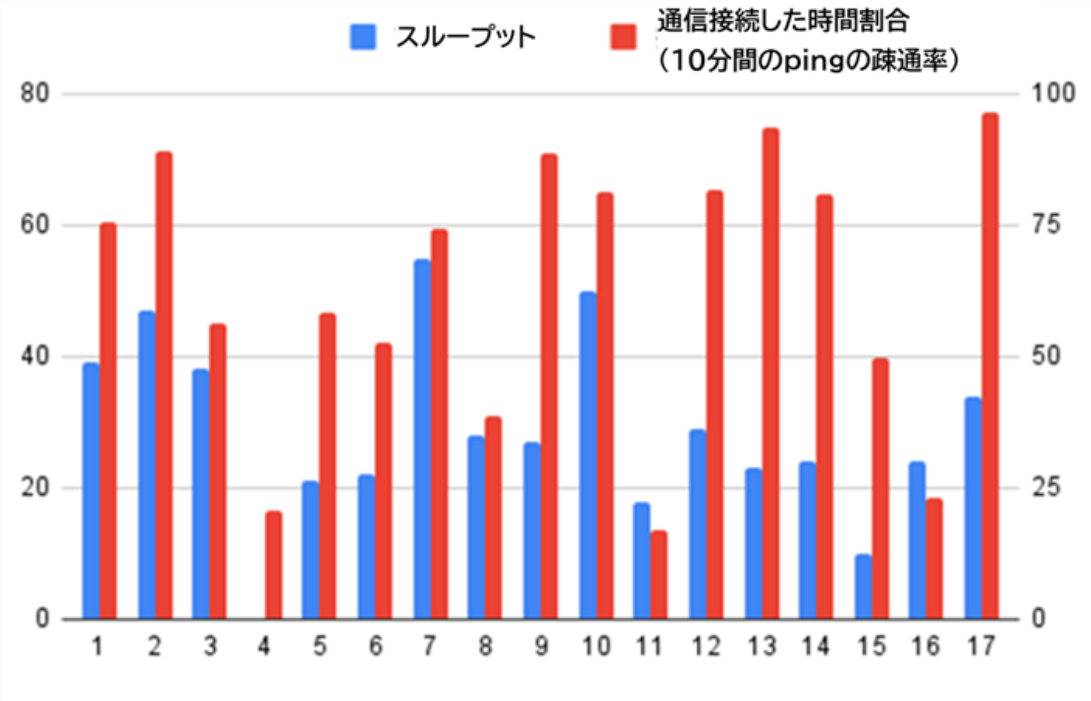


図 6-30 低軌道(LEO)衛星ブロードバンドによる湖周辺のスループット

9） 群馬県、中之条町、四万温泉観光協会、関越交通(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

2024/12/5 見学会（視察会）実施

10） 自動運転車両による一般公開運行 7 便/日以上を 20 日間以上実施

中之条町ルート A

2024 年 11 月 11 日～12 月 3 日・20 日間
1 日 12 往復（約 30 分間隔）・試験運行
合計乗客数 174 人

中之条町ルート B

2024 年 11 月 11 日～12 月 3 日・20 日間
試走含む 1 日 7 便（約 60 分間隔）・試験運行
合計乗客数 202 人

日本モビリティ

中之条町(四万温泉)にて自動運転実証実験を行います！

地域交通の持続性確保・移動サービスの向上を目的に中之条町にて自動運転サービスの実証実験を行います。本実証実験は、総務省地域デジタル基盤活用推進事業（自動運転レベル4検証タイプ）の一貫で、実証実験を行うなかで遠隔監視システムで用いる通信環境の調査・分析を行います。

実験期間 2024 / 11 / 11 (月) ～12 / 3(火)※水曜運休

運行ルート Aルート：くれない専用駐車場～四万川ダム大型駐車場（往路・復路）
Bルート：奥四万湖周回

車両 Aルート：ヴェルファイア Bルート：eCOM-10

ヴェルファイア 定員４名

eCOM-10 定員９名

（バス所有者 国立大学法人群馬大学）

本実証実験では搭乗型自動運転レベル2での運行です。

お問い合わせ先 日本モビリティ株式会社 TEL 050-3131-1060(平日9時～18時)

運行ダイヤ 2024 / 11 / 11 (月) ～12 / 3(火)※水曜運休

	Aルート(往路)	Bルート	Aルート(復路)
	くれない駐車場→四万川ダム大型駐車場	湖周回	四万川ダム大型駐車場→くれない駐車場
9時	45分		
10時	15分 45分	00分	00分 30分
11時	15分 45分	00分	00分 30分
12時	-	-	-
13時	15分 45分	00分	00分 30分
14時	15分 45分	00分	00分 30分
15時	15分 45分	00分	00分 30分
16時	15分	00分	00分 30分

乗車方法 事前予約制
2024年10月28日(月)10時から受付開始

・予約受付期間中に下部の予約フォームまたは QRコードからご予約ください。
・予約は乗車希望日の2日前まで受付し予約枠が埋まりしだい受付は終了します。（当日試乗をご希望の場合は、空席がある場合のみご試乗いただけます。受付スタッフまでご相談ください。）

予約フォーム：https://x.gd/zj1wH

予約フォーム

※カレンダー内の乗車希望日を選択してください。予約手順詳細は日本モビリティホームページをご確認ください。（https://www.nipponmobi.com/）

乗降場所

※走行中の途中下車はできません。

注意事項
・乗車の際は、参加同意書の提出が必要です。あわせて試乗アンケートへのご協力をお願いしております。
・天候や道路状況により手動運行となる可能性があります。予めご了承ください。
・12歳未満の方は保護者の同乗、18歳未満の方は保護者の同意書が必要です。
・チャイルドシートはご自身にてご用意をお願いします。
・乗車は無料です。ただし、実施場所までの移動にかかる費用や予約にかかる通信費用はお客様の負担となります。
・乗降場所に駐車場はございません。お車は付近の駐車場にお停めいただいてからお越しください

図 6-31 実証実験周知チラシ

図 6-32 中之条町実証実験の様子

(4) 考察

本ユースケースおいては、通信劣悪環境としてトンネル内、携帯通信不通スポット山間部の湖周辺を対象とし、複数の自営網通信網による通信手段の構築を行い、それぞれメリット・デメリットを明らかにすることを主たる目的としており、携帯通信圏外である奥四万湖周回ルートと温泉街～奥四万湖往復ルートで検証を行った。

奥四万湖周回ルートにおいては、手法４+５（スターリンク＋429 省電力モデム）で RTK は全域で受信可能だったため、高精度な RTK-GNSS を使用した自動運転の走行は可能であった。一方、手法５（429MHz 特定小電力モデム）のスループットは 1kbps にも満たず、レベル４で求められている遠隔監視が不可能であった。今後は、手法４（スターリンク）＋他の手法の組合せ、あるいは新たな組合せを検討するなどして、映像を送受信できる方法の開発が必要である。携帯通信網外でのレベル４での走行を実現するため、次年度以降この課題に取り組んでいきたい。

温泉街～奥四万湖ルートのトンネル内においては、日向見トンネル・手法１（CURWB）＋手法３（IEEE802.11ah）と奥四万トンネル・手法２（LCX）＋手法３（IEEE802.11ah）で実験をした結果、手法３（IEEE802.11ah）の接続が悪かったために、実質的に手法１と手法２の単独実験となってしまった。この２つの手法の比較として、手法１が優れていることがわかった。レベル４での走行を実現するにはトンネル内も通信の冗長化が不可欠であるため、手法３以外のバックアップの手法の検討を進めていきたい。また、今回はトンネル工事に手間取ったことで実験期間を十分に確保できなかったが、トンネルへの敷設ノウハウを得たため、次年度以降の取り組みに活かしていきたい。

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

6.2.1　無線通信を用いた路側センサ(LiDAR)と協調型信号化装置の通信品質に応じた情報適用制御

（1） 実証スケジュール

表 6-12 実証スケジュール

ユースケース	フェーズ	2024年								2025年	
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
②	実証準備							・情報の適応制御設計、S/W改修、机上動作確認			
	実証									・試験路検証 ・公道検証	
	実証評価									・第三者レビュー ・まとめ	

最終報告

（2） 開発・評価項目の結果

表 6-13 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	通信品質による情報の優先付けを行い伝送する情報を適用制御する機能の開発
2	自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修
3	試験路（閉鎖空間）での検証
4	地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

1）　通信品質による情報の優先付けを行い伝送する情報を適用制御する機能の開発

情報適応制御を実施する上での背景となる考え方について整理した「路車協調デバイス通信設計ガイドライン」を作成した。

本論となるドキュメントファイルと、その一部妥当性評価のエクセルファイルから成る。

- 2024 年度群馬県総務省ユースケース 2 ガイドライン案.docx

【目次】

・ はじめに

・ 走行影響物視点での路車協調デバイスの分類

・ 情報処理と分類

・ 動的障害物のリスク体系からの妥当性分析⇒実際には別添資料を参照
・ (別添)動的障害物のリスクに対して必要とするセンサ情報.xlsx

『路車協調デバイス通信設計ガイドライン』に基づき、前橋駅―中央前橋駅ルートの既設置の路側センサ(LiDAR)と協調型信号化装置を対象とし、情報適用制御を行うためのソフトウェアの改修を行った。

2) 自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修

自動運転システム側においては、携帯電話回線網を経由して専用クラウドサーバを介して上記情報を受信し、情報適用制御により、変化する情報に合わせた判断を可能とするアルゴリズムを自動運転側に実装した。(今回はスケルトンプログラムにて実装)

本機能は、下図に示す各デバイス間の通信情報を制御するものとした。各デバイス間の通信遅延を元に制御レベルを変更し、これに従い対応した内容の情報を自動運転側のデバイスへ送信する。この制御レベルに対応する送信データの区別を便宜的に通信レベルと定める。

通信の流れ

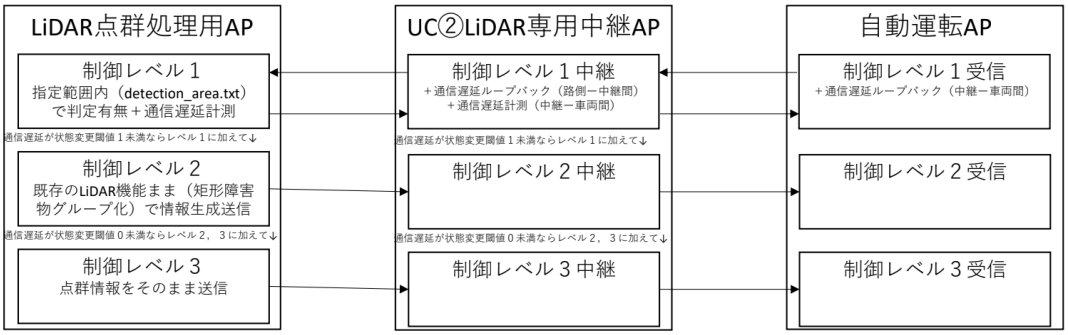


図 6-33 被制御対象のレベルの概要図

3) 試験路（閉鎖空間）での検証

図に示す定量試験用の実験環境を机上で作成し、運用環境で実装するアプリケーションを導入した。また、路側 LiDAR 用 PC と車両用 PC に、通信遅延を発生させることのできるアプリケーションを導入してレイテンシ操作(意図的なレイテンシの上げ下げ)を行えるようにすることで、疑似的な通信遅延を作り出し制御レベルを変更する制御ができるようにした。

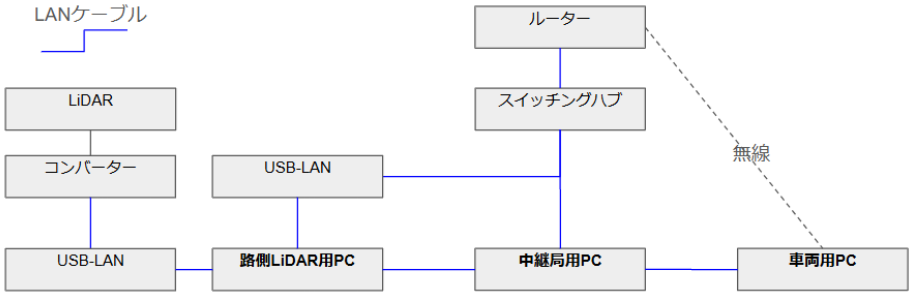


図 6-34 定量試験環境略図

上記環境を使用し、次の（2）3）a.（2）3）b.、の検証作業を実施した。

a. 「通信品質を疑似的にステップ的に変化させ、通信の状態モード選択正答率 100%、切替時間 10 秒以内の達成を確認」の検証

次の操作対象 PC・各レベルの条件毎に、10 回レイテンシの遅延操作と戻す操作を行った。合計 6 条件となる。レイテンシ無操作の場合は通信レベル 3 になるようにした。

- 操作対象環境：車両用 PC or 路側 LiDAR 用 PC
- 通信レベル条件：3 から 2 or 3 から 1 or 2 から 1

レイテンシ操作の時分秒を、操作側の PC 画面上に時間を映しながら動画キャプチャにより記録した。

時間記録を元に、路側 LiDAR 用 PC のログと車両用 PC のログ内容の、現在の通信レベルを示す情報比較と、レイテンシ操作を行ってから車両用 PC 上でのレベル変化までの所要時間の確認を行った。

b. 「情報適用制御により変化する情報に合わせた自動運転車両の判断正答率 100%の達成を確認」の検証

次の 5 条件において、障害物検知フラグが変化するシチュエーションを 10 回以上経由したログを取得し、路側 LiDAR 用 PC のログと車両用 PC のログの障害物検知フラグを比較した。また路側 LiDAR 用 PC のフラグ変化から車両用 PC のフラグ変化まで、10 秒以内に変化が一致するか検証した。

- 通信レベル 3
- 車両用 PC 上でのレイテンシ操作による通信レベル 2
- 路側 LiDAR 用 PC 上でのレイテンシ操作による通信レベル 2
- 車両用 PC 上でのレイテンシ操作による通信レベル 1
- 路側 LiDAR 用 PC 上でのレイテンシ操作による通信レベル 1

4） 地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

図に示す環境にアプリケーションを導入した。また、路側 LiDAR 用 PC と車両用 PC に、通信遅延を模したレイテンシ操作を発生させることのできるアプリケーションを導入し、レイテンシ操作を行えるようにした。

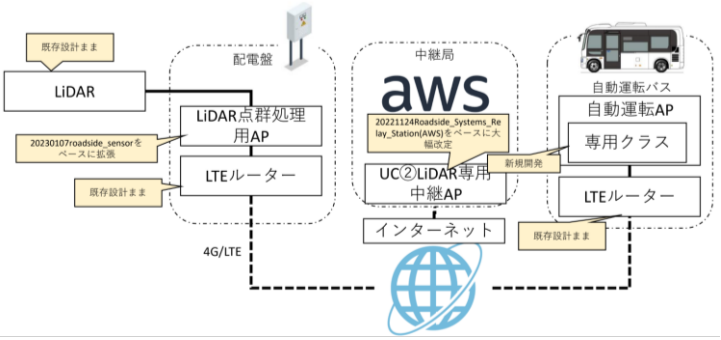


図 6-35 定量試験環境略図

当該機能を実装したスケルトンプログラムが動作する車両用 PC を車両内に設置し、自動運転車両を用いて自動走行を実施し、接続対象の路側 LiDAR 設置区間側（前橋-中央前橋駅ルート）を片道 12 便走行した。

走行は次の 3 条件において、自動運転走行しつつ区間に進入し、安全確認を行ったタイミングを試験の対象タイムスタンプとして用いた。

なお、試験実施区間外で自動・手動の有無は問わないとした。

- 通信レベル 2
- 車両用 PC 上でのレイテンシ操作による通信レベル 1
- 路側 LiDAR 用 PC 上でのレイテンシ操作による通信レベル 1

自動運転アプリのログ上で安全確認を実施したタイムスタンプを参照し、スケルトンプログラムが動作する車両用 PC のログと、路側 LiDAR 用 PC のログの中で、タイムスタンプで最も近い行数を特定し、路側 LIDAR 用 PC のログと車両用 PC のログの上で、障害物検知フラグが両者で一致していることを確認した。

（3） KGI/KPI との比較結果

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修を行う。通信品質(一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に用意、合計 100 回のテストを実施する。通信品質を疑似的にステップ的に変化させ、通信の状態モード選択正答率 100%、切替時間 10 秒以内の達成を確認する。
	4	・群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に意、合計 100 回のテストを実施する。情報適用制御により変化する情報に合わせた自動運転車両の判断正答率 100%の達成を確認する。

	5	・地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 Ｌ２ を想定)を実施する。7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施し、15 日分以上のデータを取得する。
	6	・群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学、などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

1) 自動運転システム、路側センサおよび協調型信号化装置の改修を行う。通信品質(一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

(一財)日本自動車研究所による第三者レビューを実施したところであり、今後は各ユースケースにおいて開発・評価されたシステムを、ODD 手続きのプロセスにおいて有効に活用することとし、引き続き(一財)日本自動車研究所などの支援を受けながら同手続きを円滑かつ着実に進めていく予定である（詳細は 6.1.1-(3)KPI/KGI の比較結果の 3）参照)。

2) 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

問題なし

（参照）8.1　自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果

3) 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に用意、合計 100 回のテストを実施する。通信品質を疑似的にステップ的に変化させ、通信の状態モード選択正答率 100%、切替時間 10 秒以内の達成を確認する。

試験全体での条件達成率は 84.17%であった。

その内、全ての通信レベル上昇方向への変化パターンで条件達成率 100%を確認した。

路側 LiDAR 用 PC 上でレイテンシ操作を行ったパターンの内、通信レベルが 3→1、2→1 となるパターンにおいて、切り替え時間 10 秒以内の通信モード選択の一致を満たすことができなかった。

結果について、路側 LiDAR 用 PC 環境下の一部の条件を除き、遅延側のレベル変化において条件通りに動作しなかった。路側 LiDAR 用 PC のレイテンシ操作を行う場合、車両用 PC と中継局用 PC 間の通信レベルは変化しないため、路側 LiDAR 用 PC と中継局用 PC 間の処理に問題がある可能性がある。

本問題の原因については、レベル変化の条件について、3→2 の遅延の変化では問題なかったため、それよりも大きなレイテンシ操作、レベル変化の幅が通信レベル切り替え時の動作に影響している可能性が考えられる。

表 6-14 レイテンシ条件達成状況表

条件		結果		
レイテンシ操作 PC	通信レベル変化パターン	条件達成回数	実施回数	条件達成率[%]
車両用	3→2	10	10	100
	2→3	10	10	100
路側用	3→2	10	10	100
	2→3	10	10	100
車両用	3→1	10	10	100
	1→3	10	10	100
路側用	3→1	0	10	0
	1→3	10	10	100
車両用	2→1	10	10	100
	1→2	10	10	100
路側用	2→1	1	10	10
	1→2	10	10	100
		101	120	84.17

4) 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、適用制御の変化点を網羅するテストケースを通信の状態モード毎に意、合計 100 回のテストを実施する。情報適用制御により変化する情報に合わせた自動運転車両の判断正答率 100%の達成を確認する。

群馬大学内のオフィスにて、当該機能を実装した定量試験環境を用いて、適用制御の通信の状態モードを網羅するテストケースを用意、合計 50 回以上のテストを実施した。情報適用制御により変化する情報に合わせた機能の判断正答率 100%の達成を目指し計測したところ、試験全体での条件達成率は 85.06%であった。特に路側 LiDAR 用 PC にてレイテンシ操作を行い、通信レベル 1 の条件にて実施したパターンで条件達成率が 50%となった。

条件達成しなかった条件について、路側 LiDAR 用 PC のログを詳細に確認すると、検知結果が一致しないときの物体検知が行われていた継続時間が、0.5 秒以下程度の短時間であるパターンが存在することが分かった。物体検知のタイミングとデータ送信のタイミングが 1 対 1 ではない仕様により、物体検知が行われたが、データとして送信されなかった可能性が考えられる。こ

のような短い時間のみ検知が行われたデータについては、LiDAR による検知におけるノイズや、継続して検知されるべき対象が一瞬検知から外れたことによるものとも考えられるため、路側 LiDAR 側の仕様として改善が行われる必要があると考えられる。

またこれを原因とした場合、この現象は通信レベルに依存する現象ではないと考えられるため、条件達成したレベル 3 の条件でも試行回数によっては同様に発生する可能性が考えられる。

また、路側 LiDAR 用 PC でレイテンシ操作を行った試験結果の一部に、物体検知が行われていた期間が 1 秒以上の場合でも検知結果が一致しないパターンも存在した。路側 LiDAR 側からのデータ送信は仕様上 1 秒未満の周期で実行されるため、路側 LiDAR 側で 1 秒以上物体検知が行われたにも関わらず、車両用 PC の結果と一致しなかった結果については、路側 LiDAR 用 PC と中継局用 PC 間の処理に問題がある可能性が考えられる。

表 6-15 試験結果

条件		結果		
レイテンシ操作 PC	通信レベル	条件達成回数	実施回数	条件達成率[%]
-	レベル 3	15	15	100
車両用	レベル 2	15	17	88.24
	レベル 1	17	18	94.44
路側用	レベル 2	17	17	100
	レベル 1	10	20	50
		74	87	85.06

5) 地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)を実施する。7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施し、15 日分以上のデータを取得する。

地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における自動運転車両の自動走行(搭乗型 L2 を想定)を計 10 回実施し、データを取得した。

計 12 回の確認タイミング全てで、路側 LiDAR 用 PC と車両用 PC の障害物検知フラグは、全てのタイミングで障害物検知を行っていないことを示すフラグで一致していた。

今回通信帯域の問題でレベル 3 のデータ送受信を実施できなかった。送受信するデータを帯域内に収めるためのネットワーク構成の再検討、今回開発した機能の改修、通信関係の仕様整理、使用するデータの調整が必要であると考えられる。

また本試験の結果では障害物検知を行っていることを示すフラグが全て未検知で一致していたため、追加検証として、車両用 PC と路側 LiDAR 用 PC のログデータ全期間を対象にし、障害

物検知を行っているタイムスタンプを抽出し、比較を行った。

検知していない状態から検知開始したタイミングを計数したところ、路側 LiDAR 側で 709 回、車両側で 651 回であった。よって車両用 PC が路側 LiDAR 用 PC から受信した検知フラグが 58 回漏れていた。

この検知漏れについて 3)の結果から考察を行った、通信レベル切り替え時の動作不安定が含まれている可能性を考慮し、通信レベル切り替え動作のためのレイテンシ操作を行っていないタイミングを抜き出し、再度比較を行った。

検知していない状態から検知開始したタイミングを計数したところ、路側 LiDAR 用 PC118 回、車両用 PC109 回であった。車両用 PC で路側 LiDAR 用 PC から受信した検知フラグが 9 回漏れていた。

この 9 回について、路側 LiDAR 用 PC 上ログで検知継続時間を確認したところ、車両用 PC で受信できていないデータはいずれも、路側 LiDAR 用 PC 上での継続検知時間が 2 秒未満のデータとなっていた。

以上から定量試験において予想した、路側 LiDAR 用 PC での検知時間が短い場合の通信欠けの現象であることが想定される。実際に運用試験において、定量試験環境で確認された機能的不具合による問題が同様に確認されたため、今後の実装のために、機能のブラッシュアップが必要である。

表 6-16 試験結果

回	レベル	路側 LiDAR 検知フラグ	車両側検知フラグ	一致判定
1	Ｌ２	0	0	OK
2	路側 L1	0	0	OK
3	車両 L1	0	0	OK
4	Ｌ２	0	0	OK
5	車両 L1	0	0	OK
6	路側 L1	0	0	OK
7	Ｌ２	0	0	OK
8	路側 L1	0	0	OK
9	車両 L1	0	0	OK
10	Ｌ２	0	0	OK
11	路側 L1	0	0	OK
12	車両 L1	0	0	OK

6)　群馬県、前橋市、日本中央バス（株）、（大）群馬大学、などの地域関係者、ならびに総務省、（株）三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

2024 年 12 月 5 日見学会（視察会）実施

（4） 考察

自動運転におけるデータの送受信は、制御に関わる情報ほど、情報量とリアルタイム性が求められると考えられる。通信遅延の大きい環境において、ネットワークの問題は遅延のみに限らず、帯域幅や、データの損失等が複合している可能性が考えられる。そのため、通信遅延によって、帯域を圧迫し、データを損失する可能性を考慮し、データのレベルを取捨選択する機能は、特にデータ量が多く通信不安定な地域を走行する可能性がある自動運転車両にとっては不可欠な機能であると考えられる。

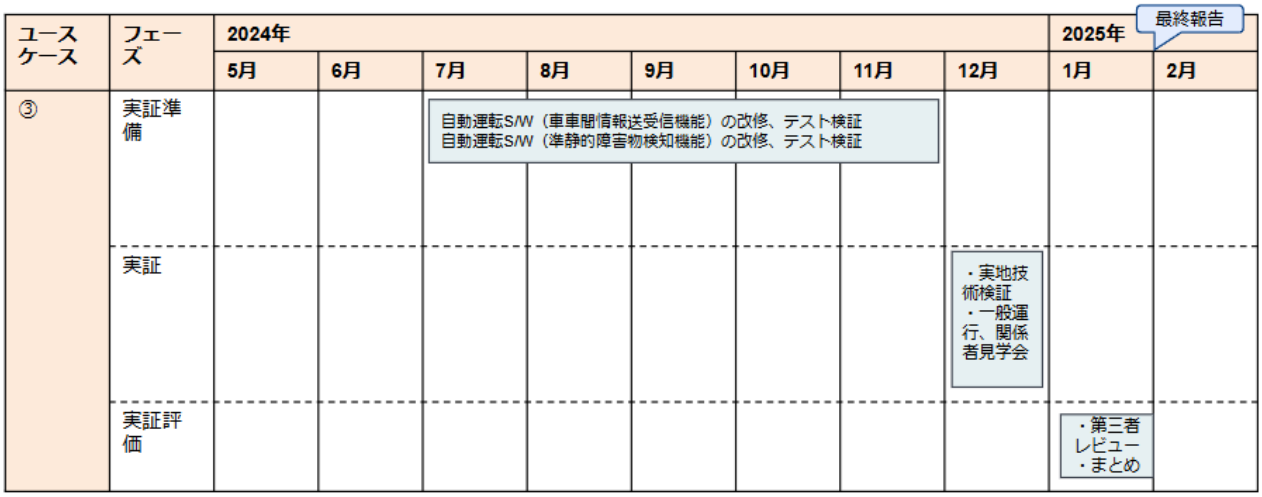
また、データのレベルを決定する条件として、ここに帯域幅やデータの損失等も盛り込むことができれば、有用性が増すと考えられる。

特に事前確認で判明した、運用環境でレベル 3 のデータを送受信しようとした際に、帯域が不足するといった現象を未然に防ぐことが可能になると考えられる。

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

6.3.1　工事・路上駐車等の環境変動に対する自動走行の柔軟化

（1） 実証スケジュール



開発･評価項目の結果

（2） 開発・評価項目の結果

表 6-17 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	他の自動運転車両へ準動態情報をリアルタイム配信する機能の開発
2	試験路（閉鎖空間）での検証
3	地方基幹路線における減速シーンの減少、手動介入の減少等の効果測定

1） 他の自動運転車両へ準動態情報をリアルタイム配信する機能の開発

今回、検証手順効率化の為、各車両の役割を明確にして機能開発を行った。各役割は以下の通り。

a. 先行車両

自動運転車両に搭載した LiDAR により、準静的障害物情報（今回は路上駐車車両）を観測し、信号待ち車両ではないことを判断、観測時刻や位置や範囲の情報として変換し、携帯電話通信網を経由してクラウドを介し、中継局（AWS）に当該情報をリアルタイム配信する機能を実装した。準静的障害物情報観測用の LiDAR 架装と設定、前方に検知した障害物が路上駐車車両か信号待

ち車両かを判断するプログラム開発、及び観測情報を中継局に送信するプログラムを開発した。

b. 後続車両

走行中に、携帯電話通信網を経由してクラウドを介し、中継局に配信されている先行車両が配信した準静的障害物情報（路上駐車車両）を受信し、自動運転車両の判断機能へ入力、走行軌道の選択を変更する機能を実装した。

中継局に送信された観測情報を受信するプログラムと、自動運転車両の判断機能へその情報を入力するプログラムを開発した。

c. 中継局

先行車両が配信した情報を蓄積するクラウドサーバ。

図 6-36 システム構成図

2） 試験路（閉鎖空間）での検証

群馬大学試験路等の模擬的な環境において、2 台の自動運転バスを自動走行させ、駐車車両を疑似的に設置して、所望の機能が得られるかを検証した。

なお、駐車車両の判定は、30 秒以上停車→駐車車両、30 秒以内に移動→信号待ち車両とした。

＜計測項目・評価手法＞

① 群馬大学試験路路で模擬的な環境を構築し、テストケースを用意、晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計 100 回テストした。

・検知率、情報伝送、走行軌道の選択の正答率 100％の確認する

→先行車両の機材トラブルにより、テストは 10 回に留まった。

また、各天候・日時の検証は日中晴天のみのテストで 10 回の検証、検知率、情報伝送、走行軌道の選択の正答率 100％を確認した。

3） 地方基幹路線における減速シーンの減少、手動介入の減少等の効果測定

＜計測項目・評価手法＞

① 中央前橋駅・前橋駅の巡回バスルートにて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施した。

→運行中の巡回バスルートでの検証だった為、道路状況に合わせて配置車両の撤去や自動運転を解除しなければならず、84 回のテストにとどまった。

うち、成功は 61 回。また失敗の中でも安全の為の自動運転解除や、他路駐車両回避の手動運転切替、操作ミスなど、テストケースとは別の原因によるものが 5 回、判定不能が 10 件あった為、実際は 61/69≒88.4%の正答率であった。

（3） KGI/KPI との比較結果

表 6-18 KGI/KPI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・(一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施する。100%の検知率、情報伝送、走行軌道の選択の正答率を達成する。
	4	・群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施する。準動的情報範囲誤差、進行方向+1m, -0m、横方向+0.5m, -0m※範囲を小さく誤検知しない。
	5	・群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施する。各機能動作を含む 12 時間連続稼働を手法毎 5 日間行い、当該機能を要因とする自動走行の中止 0 回を達成する。
	6	・群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。
	7	・地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)において二台の自動運転バス車両を自動走行で運行し、駐車車両を配置するなどして機能の検証を行う。7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、100%の走行軌道の選択の正答達成を確認する。

1)　(一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

(一財)日本自動車研究所による第三者レビューが実施されたところであり、今後は各ユースケースにおいて開発・評価されたシステムを、ODD 手続きのプロセスにおいて有効に活用することを検討し、引き続き(一財)日本自動車研究所などの支援を受けながら同手続きを円滑かつ着実に進めていく予定である（詳細は 6.1.1-(3)KPI/KGI の比較結果の 3）参照)。

2)　自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

問題なし

（参照）8.1　自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果

3)　群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施する。100%の検知率、情報伝送、走行軌道の選択の正答率を達成する。

先行車の機材トラブルにより、100 回のテストは未達成となった。

各天候・日時の検証は日中晴天のみのテストとなり、

実施した 10 回の検証では、検知率・情報伝送・走行軌道の選択の正答率 100%の確認を行った。

4)　群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施する。準動的情報範囲誤差、進行方向+1m, -0m、横方向+0.5m, -0m※範囲を小さく誤検知しない。

先行車の機材トラブルにより、試験路で 3）4）5）合同で動作検証を行った。

5)　群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施する。各機能動作を含む 12 時間連続稼働を手法毎 5 日間行い、当該機能を要因とする自動走行の中止 0 回を達成する。

先行車の機材トラブルにより、試験路で 3）4）5）合同で動作検証を行った。

6)　群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

12/5 見学会（視察会）実施

7)　地方基幹路線(前橋駅一中央前橋駅ルート)において二台の自動運転バス車両を自動走行で運行し、駐車車両を配置するなどして機能の検証を行う。7 時から 19 時まで計 26 回

（定常運行便数）自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、100%の走行軌道の選択の正答達成を確認する。

運行中の巡回バスルートでの検証だった為、道路状況に合わせて配置車両の撤去や自動運転を解除しなければならず、84 回のテストにとどまった。

うち、成功は 61 回。また失敗の中でも安全の為の自動運転解除や、他路駐車両回避の手動運転切替、操作ミスなど、テストケースとは別の原因によるものが 5 回、判定不能が 10 件あった為、実際は 61/69≒88.4%の正答率であった。

実際の検証結果は以下の通り

表 6-19 実証実験結果

日付	出発時刻	駐車車両有無	成否	備考	日付	出発時刻	駐車車両有無	成否	備考
2024/12/16	13:10	有	OK		2024/12/26	10:40	有		手動解除
2024/12/16	14:40	無	OK		2024/12/26	11:10	無	OK	
2024/12/16	15:10	有	OK		2024/12/26	11:40	無	OK	
2024/12/16	15:40	無	NG	リセット操作NG	2024/12/26	12:10	無	OK	
2024/12/16	16:10	無	NG		2024/12/26	12:40	無	OK	
2024/12/16	16:40	無	OK		2024/12/26	13:10	有	OK	
2024/12/16	17:10	有	OK		2024/12/26	13:40	有	OK	
2024/12/16	17:40	無	NG		2024/12/26	14:10	無	NG	
2024/12/16	18:10	無	NG		2024/12/26	14:40	有	NG	
2024/12/16	18:40	無	NG		2024/12/26	15:10	無	OK	
2024/12/16	19:10	無	NG		2024/12/26	15:40	無	OK	
2024/12/17	10:10	無	OK		2024/12/26	16:10	無	OK	
2024/12/17	10:40	無	OK		2024/12/26	16:40	無	OK	
2024/12/17	11:40	無	OK		2024/12/26	17:10	無	OK	
2024/12/17	12:10	有	OK		2024/12/26	17:40	無	OK	
2024/12/17	12:40	無	NG		2024/12/26	18:10	有	NG	コースアウト
2024/12/17	13:10	無	OK		2024/12/26	18:40	無	OK	
2024/12/17	13:40	無			2024/12/26	19:10	無	OK	
2024/12/17	14:10	有	OK		2024/12/27	9:40	無	OK	
2024/12/17	14:40	無		日中エラー	2024/12/27	10:10	無	OK	
2024/12/17	16:10	無	OK		2024/12/27	10:40	無	OK	
2024/12/17	16:40	有	OK		2024/12/27	11:10	無	OK	
2024/12/17	17:40	無	OK		2024/12/27	11:40	無	OK	
2024/12/17	18:10	有	OK		2024/12/27	12:10	無	OK	
2024/12/17	18:40	無	OK		2024/12/27	12:40	無	OK	
2024/12/17	19:10	無	OK		2024/12/27	13:10	有	OK	
2024/12/24	14:10	有	OK		2024/12/27	13:40	無	OK	
2024/12/24	14:40	無	NG	PG選択エラー	2024/12/27	14:10	無	OK	
2024/12/24	15:10	無	OK		2024/12/27	14:40	無	OK	
2024/12/24	15:40	無	OK		2024/12/27	15:10	無	OK	
2024/12/24	16:10	無	OK		2024/12/27	15:40	無	OK	
2024/12/24	16:40	無	OK		2024/12/27	16:10	無	OK	
2024/12/24	17:10	無	OK		2024/12/27	16:40	無	OK	
2024/12/24	17:40	無	OK		2024/12/27	17:10	無	OK	
2024/12/24	18:10	無	OK		2024/12/27	17:40	無	OK	
2024/12/24	18:40	有	OK		2024/12/27	18:10	無	OK	
2024/12/24	19:10	無	OK		2024/12/27	18:40	無	OK	
					2024/12/27	19:10	無	OK	
					2024/12/28	10:40	無		
					2024/12/28	11:40	無		
					2024/12/28	12:40	無		
					2024/12/28	13:40	無		
					2024/12/28	14:40	無		
					2024/12/28	15:40	無		
					2024/12/28	16:40	無		
					2024/12/28	17:40	無		
					2024/12/28	18:40	無		

（4） 考察

現行の自動運転車両は、障害物検知をした場合は停車し、かつ、今回のように信号待ち車両かどうかを判断する為に、停車時間 30 秒を計測している。

単純計算で、今までの各車両 1 回分の（障害物検知から駐車車両判定）時間が、2 台で 1 回となる。

その為、前方車両の検知情報を後続車両が共有し、初動で回避走行を行う流れは、減速シーンの減少、手動介入の減少の効果があったといえる。

機材トラブルにより、充分な再現性検証・天候別の環境検証が行えなかったが、役割分担した車両は、それぞれ期待する動作を確認できた。

今回実施できなかった再現性検証と天候や日時の環境検証は、次年度の課題としたい。

また、単純機能、かつ、一方通行の通信検証だった為、次回は双方向での通信と、複合的な検知・判断、そしてその情報入力した車両の複合的判断と動作処理を検討し、より統合的なシステムとして進めていきたい。

6.4 自動運転用軽量映像伝送システムの実証

6.4.1 軽量映像伝送システムの試設計・実証

（1） 実証スケジュール

表 6-20 実証スケジュール

ユースケース	フェーズ	2024年								2025年	
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
④	実証準備		軽量映像伝送S/Wの開発					不具合改修			
	実証									トンネル内走行検証	
	実証評価									・第三者レビュー ・まとめ	

最終報告

(2) 開発・評価項目の結果

表 6-21 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	４個の機能を満たす軽量映像伝送システムを開発
2	奥四万ルートにおける効果測定

1) ４個の機能を満たす軽量映像伝送システムを開発

通信遅延などの品質と、安定性・継続性を両立させるために、①ー④の機能をもった軽量伝送システムを開発した。

① 遅延等の通信の品質をリアルタイムで評価する機能を実装し､映像の品質（フレームレート、解像度等）を制御する機能

② 複数の通信回線（複数系統の携帯通信網、自営網等）での映像を同時取得し、通信状態によって最適な映像に自動で切り替える機能

③ 通信の遅延を最小化するために､P2P 接続方式と中継サーバ経由接続方式の切替が可能な機能

④ 1 台の車両に対して複数拠点での同時モニタリング（1:N 接続)、複数台の車両に対して一箇所の拠点での監視（N:1 接続）に対応する機能

動作確認や現地検証を進めていくなかで､P2P 接続ができない環境下でも､TURN サーバ経由することで映像伝送が可能となったことがあった。また、中継サーバ方式に比べ伝送速度が早い P2P 接続に切替られる点が従来のシステムよりも優れている。P2P 接続方式と中継サーバ方式を切り替えが可能なことは、レベル 4 の実装を進めていくのに有効である。

参考として、①の機能について、スループットの変動を模擬し、遠隔監視の最適化機能の動作を検証した。500kbps・1Mbps の 2 種類のビットレートに応じて、映像のフレームレートや画質が適切に調整されることを、遠隔監視室の監視モニターで確認した。

ビットレート	遠隔監視室の監視モニターの様子	
	車両前方	車両後方
500kbps		
1Mbps		

図 6-37 映像品質の最適化機能の動作検証

2) 奥四万ルートにおける効果測定

奥四万ルートにおいて、効果検証を実施したものの、6.1 の通り LTE 回線自体が不安定、また自営網の不調が発生し、運行の測定結果が少数得られた。

(3) KGI/KPI との比較結果

表 6-22 KGI/KPI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・(一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、①～④の機能検証を網羅する 12 通り以上のテストケースを用意、各 100 回以上のテスト施行で、 ①切り替え失敗 0 回の達成。切り替え時以外の映像のカクツキ発生 0 回を達成。 ②切り替え失敗 0 回の達成。切り替え時以外の映像のカクツキ発生 0 回を達成。 ③切り替え失敗 0 回の達成。P2P 接続方式については、従来使用してきた中継サーバー経由映像伝送システムよりも遅延が少ないことを達成。 ④同時監視の達成。映像のカクツキ発生 0 回を達成。

定性評価/定量評価	番号	目標値
	4	・通信帯域を厳しく制約される環境下(奥四万ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、7 便/日以上の自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、以下の結果を達成する。 ①通信品質の高い複数携帯通信網への自動切り替えによる 1 秒以上の映像途絶 0 回 ②その他軽量映像伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶 0 回
	5	・通信帯域を厳しく制約される環境下(奥四万ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、群馬県、中之条町、関越交通(株)、四万温泉協会、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施
	6	・地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、10 便/日以上(通信混雑時間に集中して実施)の自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、以下の結果を達成する。 ①通信品質の高い複数携帯通信網への自動切り替えによる 1 秒以上の映像途絶 0 回 ②その他軽量映像伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶 0 回
	7	・地方基幹路線(前橋駅ー中央前橋駅ルート)における走行(搭乗型 L2 を想定)について、群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

1) (一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

(一財)日本自動車研究所による第三者レビューが実施されたところであり、今後は各ユースケースにおいて開発・評価されたシステムを、ODD 手続きのプロセスにおいて有効に活用することを検討し、引き続き(一財)日本自動車研究所などの支援を受けながら同手続きを円滑かつ着実に進めていく予定である（詳細は 6.1.1-(3)KPI/KGI の比較結果の３）参照)。

2) 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

問題なし

参照）8.1　自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果

3) 群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて、①～④の機能検証を網羅する 12 通り以上のテストケースを用意、各 100 回以上のテスト施行で、①切り替え失敗 0 回の達成。切り替え時以外の映像のカクツキ発生 0 回を達成。②切り替え失敗 0 回の達成。切り替え時以外の映像のカクツキ発生 0 回を達成。③切り替え失敗 0 回の達成。P2P 接続方式については、従来使用してきた中継サーバー経由映像伝送システムよりも遅延が少ないことを達成。④同時監視の達成。映像のカクツキ発生 0 回を達成。

試験路での検証を経ずに公道での検証を十分実施できると判断し、試験路検証は実施せずに奥四万ルートの検証に直接使用した。

4)　通信帯域を厳しく制約される環境下（奥四万ルート）における走行（搭乗型　L2　を想定）について、7 便/日以上の自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、以下の結果を達成する。

①　通信品質の高い複数携帯通信網への自動切り替えによる 1 秒以上の映像途絶 0 回
→山間部などでの LTE 回線が不安定で、携帯網への接続ができずに当初、実験は実施できなかった。日を改め確認を行ったところ、日向見トンネル南側でのみ LTE 接続が可能な状態であったため、改めて LTE＋トンネルメイン回線での切り替え検証を実施し、8 回分の検証結果を得ることができた。（現地が山間部のため通信回線が安定せず、LTE 回線に全く繋がらないという状況も発生してしまうため、こうした検証実施回数が確保できないことがある。なお、日向見トンネル南側は比較的条件はよく、奥四万湖へ近づくほど LTE の電波状態は悪くなる傾向がある）

検証結果は以下の通り

表 6-23 検証結果

日付	回数	結果
2025/1/21	1回目	NG
2025/1/21	2回目	NG
2025/1/21	3回目	NG
2025/1/21	4回目	NG
2025/1/21	5回目	OK
2025/1/21	6回目	OK
2025/1/21	7回目	OK
2025/1/21	8回目	OK

②　その他軽量映像伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶 0 回
上記の通り実験回数は少ないが、軽量映像伝送システムを原因とした映像途絶はなかった。

図 6-38 日向見トンネル遠隔監視映像

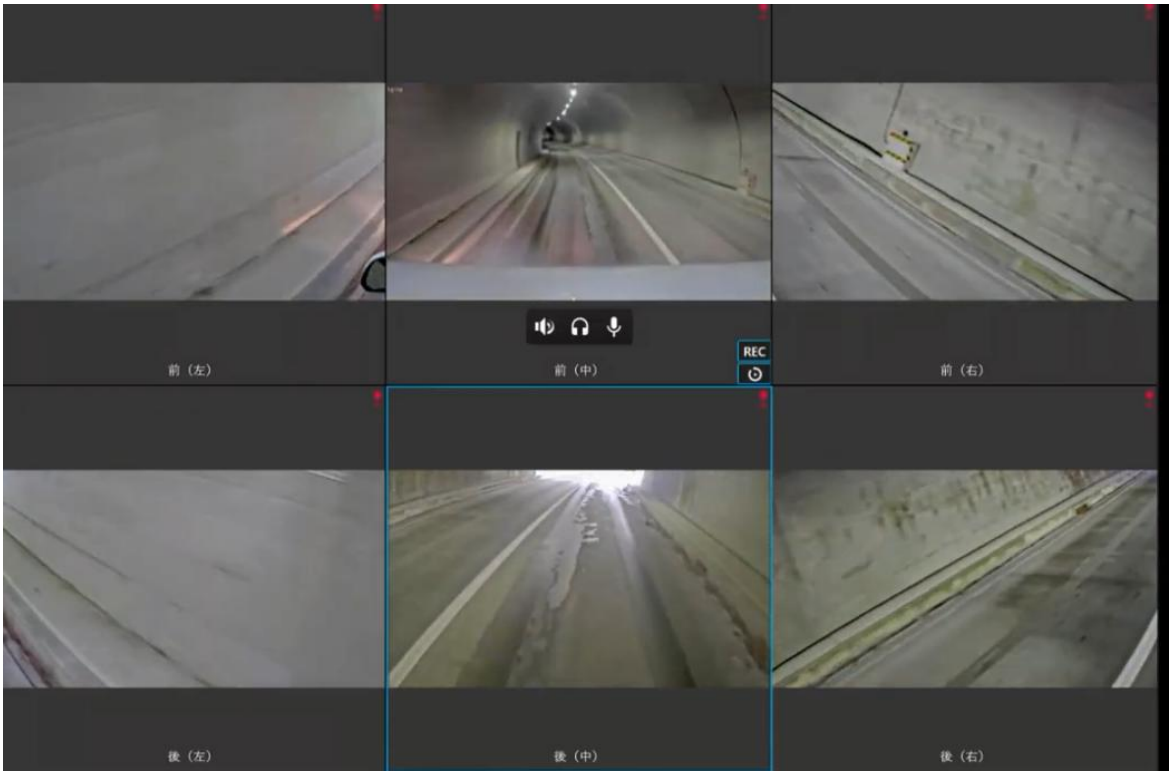


図 6-39 奥四万トンネル遠隔監視映像

5)　通信帯域を厳しく制約される環境下（奥四万ルート）における走行（搭乗型 L2 を想定）について、群馬県、中之条町、関越交通（株）、四万温泉協会、（大）群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、（株）三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

2024 年 12 月 5 日見学会（視察会）実施

6)　地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における走行（搭乗型 L2 を想定）について、10 便/日以上（通信混雑時間に集中して実施）の自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを取得、以下の結果を達成する。

①　通信品質の高い複数携帯通信網への自動切り替えによる 1 秒以上の映像途絶 0 回

②　その他軽量映像伝送システムを原因とした 1 秒以上の映像途絶 0 回

上記理由により、KPI/KGI は達成できていない。また、検証結果の確認方法に問題があった為、次回以降で、検証結果確認手順について効率化を図る。

7)　地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における走行（搭乗型 L2 を想定）について、群馬県、前橋市、日本中央バス（株）、（大）群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、（株）三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施する。

2024 年 12 月 5 日見学会（視察会）実施

（4） 考察

本ユースケースにおいては、自動運転 L4 実証に必須となる遠隔監視の機能と価格の両面のバランスをとるため、移動体通信でありながら映像・音声伝送の安定性・継続性をなるべく高めつつ、映像品質を最大化するという自動運転に適した遠隔監視を目指すことに取り組んだ。

現状の自動運転監視システムは、ひとつの通信手段が途絶すると、そのまま監視システムが終了してしまう為に、監視が継続できない点が課題となった。

また、部分的に市販パッケージを利用していることで、必要以上のスループットが発生し、遅延の原因になっている。

複数の通信経路を切り替える本機能が実現すれば、安全性能が向上する事が期待できるが、想定していたことが出来なかったこと、今回で新たに分かったことを加味して、機能実現を目指したい。なお、電波状態が悪い環境におけるネットワーク手段と特徴を確認できており、今後の環境構築のための知見とした。

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

6.5.1　レベル 4 自動運転バスの緊急車両対応システムの実現

（1） 実証スケジュール

（手法１）位置情報端末設置

表 6-24 実証スケジュール

ユースケース	フェーズ	2024年								2025年	
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
⑤	実証準備		・緊急車両装置の部材調達・開発・製造、テスト検証 ・自動運転S/Wの改修、テスト検証					・救急車開発装置設置 ・消防車不具合究明			
	実証							・試験路での動作検証 ・試験路での定量評価	・実地技術検証 ・一般運行、関係者見学会		
	実証評価									・第三者レビュー ・まとめ	

最終報告

（手法２）音検知

表 6-25 手法②スケジュール表

ユースケース	フェーズ	2024年								2025年	
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
⑤ 手法２	実証準備		・関係者ヒアリング,安全設計資料作成（作成中） ・緊急車両対応、鉄道連携の部材調達・開発・製造、検証 ・自動運転S/Wの改修、動作検証					・試験路での動作検証 ・試験路での定量評価 ・現地の自動運転調律			
	実証								・実地での技術検証 ・一般運行、関係者見学会		
	実証評価								・安全設計資料第三者レビュー ・データ分析、評価、まとめ		

（2） 開発・評価項目の結果

表 6-26 開発･評価項目

（手法１）位置情報端末設置

番号	開発・評価項目
1	機能①ー③を満たす緊急車両搭載用に端末を開発する。
2	自動運転システムの改修

番号	開発・評価項目
3	試験路（閉鎖空間）での検証
4	緊急車両運用データ収集
5	地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

（手法２）音検知

番号	開発・評価項目
6	アルゴリズム及びアルゴリズムを実行するためのシステム構築
7	試験路検証
8	公道検証
9	通信計測
10	システム評価

（手法１）位置情報端末設置

1） 機能①ー③を満たす緊急車両搭載用に端末を開発する

緊急車両に設置する専用端末の開発を行った。装置は、GNSS アンテナ、処理装置本体、バッテリーに分かれている。実装時には車両の電源を引き込む想定としているが今回は実験のためバッテリーにて駆動させる形式とした。処理装置本体に内蔵された GNSS 受信機とジャイロセンサから、自己位置の推定を行い、携帯通信網を介して専用の情報集約サーバに位置情報のデータを伝送し、自動運転車両が位置情報を受信する仕組みである。また、サイレンの on/off のスイッチと連動して緊急走行状態か通常走行状態かを判別できる仕組みとなっている。

図 6-40 緊急車両設置装置

本体

- サイズ　　：幅 20cm×奥行 15cm×高さ 5cm
- 重量　　：約 1.5kg（電源アダプタ、GNSS アンテナ除く）
- 主要材質　：アルミ

GNSS アンテナ

- サイズ　　：幅 6.3cm×奥行 6.3cm×高さ 2.5cm
- 重量　　：約 0.22kg
- ケーブル長：5m

図 6-41　緊急車両への設置写真

2）　自動運転システムの改修

自動運転システム側においては、携帯電話回線網を経由して専用クラウドサーバを介して位置情報データを受信し、自動運転バス発進タイミング情報として表示するアルゴリズムを自動運転システム側に実装した。

3）　試験路（閉鎖空間）での検証

日本モビリティの試験路に模擬的な環境を構築し定量試験を行った。

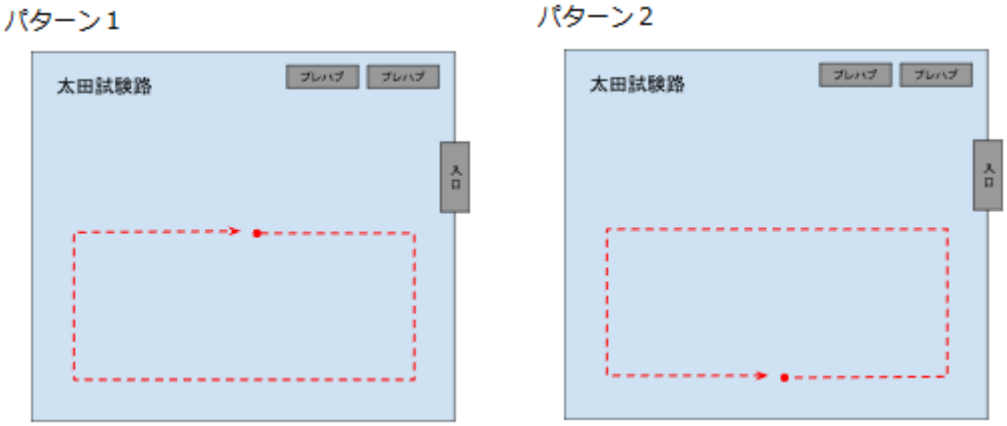


図 6-42　テストパターン図

4)　緊急車両運用データ収集

前橋市消防局の全面協力の下、救急車 1 台に専用端末を搭載してデータ収集を行った。

5)　地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得

（手法２）音検知

6)　アルゴリズム及びアルゴリズムを実行するためのシステム構築

マイクロフォンアレイについて

マイクロフォンアレイとは、複数のマイクロフォンを空間的に配置し、それぞれで観測される音の時間差や位相差を処理、解析することで音源の位置の推定や特定の音の抽出ができる装置のことである。

軍事技術から資源探査まで非常に幅広い分野で応用されているが、身近なところでは、スマートスピーカーや Web 会議用のマイク等にも同種の技術が使われている。

マイクロフォンアレイの配置には 2 種類ある。1. では空間的配置、2. では微小な間隔での配置について記載する。

1.　空間的配置

図 6-43 に空間的配置を示す。

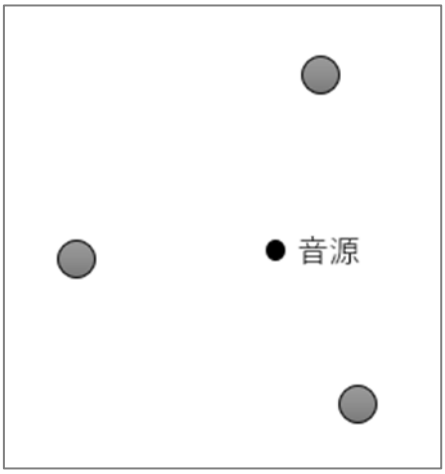


図 6-43 空間的配置

空間的配置では広範囲の音源の位置を推定することが可能だが、精度があまり高くないことが欠点としてあげられる。

図 6-44 に空間的配置の音源位置推定を示す。

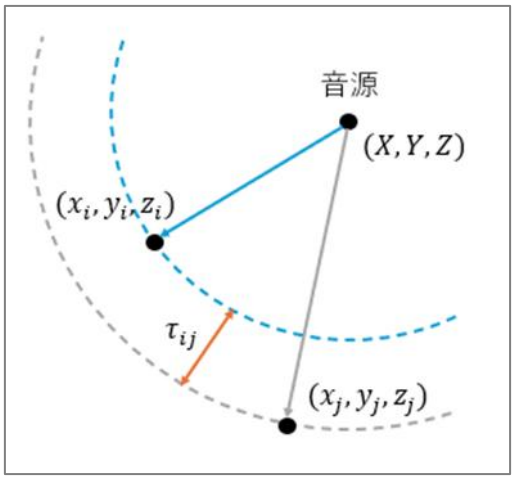


図 6-44 空間的配置の音源位置推定

図 6-44 より、到達時間差は、

$$\tau_{ij}(X,Y,Z)=\frac{1}{c}\sqrt{(x_i-X)^2+(y_i-Y)^2+(z_i-Z)^2}-\frac{1}{c}\sqrt{\left(x_j-X\right)^2+\left(y_j-Y\right)^2+\left(z_j-Z\right)^2} \quad (1)$$

となる。式(1)で求めた到達時間差と実際の到達時間差で方程式を立てると、

$$\tau_{ij}=\tau_{ij}(X,Y,Z) \quad (2)$$

となり、音源の位置を推定することができる。

2. 微小な間隔での配置

図 6-45 に微小な間隔での配置を示す。

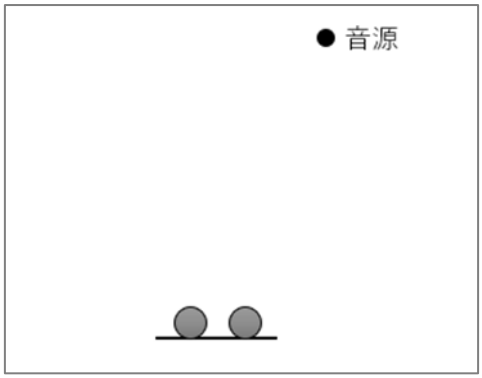


図 6-45 微小な間隔での配置

微小な間隔での配置では近くの音源の位置を精度よく推定することができるが、狭い範囲でしか位置の推定ができないことが欠点としてあげられる。

3.　CSP 法について

2. の微小な間隔での配置の音源位置推定には CSP 法というものを使う。CSP 法とは、まず、2 つのマイクロフォンの入力波形を離散フーリエ変換し、相互相関関数（CSP 係数）を求める。そして、CSP 係数が最大となる値、到達時間差（DOA）を求め、DOA の値を利用して音源の方向を推定する方法である。

図 6-46 に CSP 法による音源方向推定を示す。

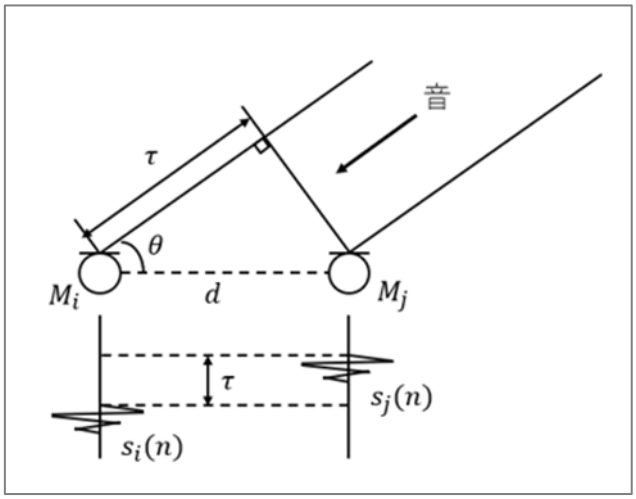


図 6-46　CSP 法による音源方向推定

図 6-46 より、CSP 係数は、

$$CSP_{i,j}(k) = DFT^{-1}\left[\frac{DFT[s_i(n)]DFT[s_j(n)]^*}{|DFT[s_i(n)]||DFT[s_j(n)]|}\right] \quad (3)$$

となる。式(3)で求めた CSP 係数の最大値から到達時間差は、

$$\tau = argmax\left(CSP_{i,j}(k)\right) \quad (4)$$

となる。

式(4)から音源の方向は、

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{c \cdot \tau / F_s}{d}\right) \quad (5)$$

となる。

図 6-46 の 2 つのマイクロフォンを 1 つのマイクロフォンペアとする。1 つのマイクロフォンペアで方向を推定することができるため、もう 1 つマイクロフォンペアを用いることで、互いの交点から音源の位置を精度よく推定することができる。

4. 推定の手順について

1. 空間的配置を用いて遠方の緊急車両の位置をおおまかに推定する
2. 緊急車両が近づいてきたら、微小な間隔での配置を用いて精度の高い推定を行う

5. 実際のマイクロフォンの配置

図 6-47 に実際のマイクロフォンの配置を示す。

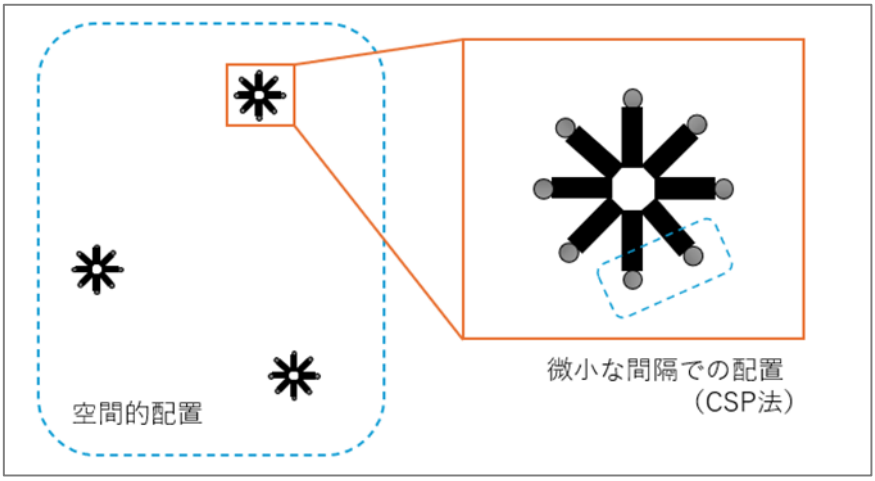


図 6-47 実際のマイクロフォンの配置

実際に実験をおこなう際、図 6-47 のようにマイクロフォンを配置した。図 6-47 の左側に示すように、8 方向に配置したマイクロフォンを 1 つのまとまりとして考え、空間的配置を作った。また、図 6-47 の右側に示すように、まとまりの中の隣り合う 2 つのマイクロフォンで微小な間隔での配置を作った。

このように配置することにより、空間的配置で遠くの音源の位置を推定し、微小な間隔での配置で近くの音源の位置を高い精度で推定するという 2 つのことが可能であると考えた。

7) 試験路検証

前橋工科大学内に試験路を準備し、上記システムを用いて検証を行った。

結果、600m 程度の遠方に緊急車両があることを想定した検証では、検知位置のずれが 2m から 6m 程度の誤差で 100%、検知できることが確認できた。

600m に対して位置の推定誤差 6m であれば、十分な検知制度であると考えられる。

a. マイクロフォンアレイ座標 Mic1(-58.67, 0)、Mic2(-92.88, -92.88)、Mic3(357.86, 119.29) での検証

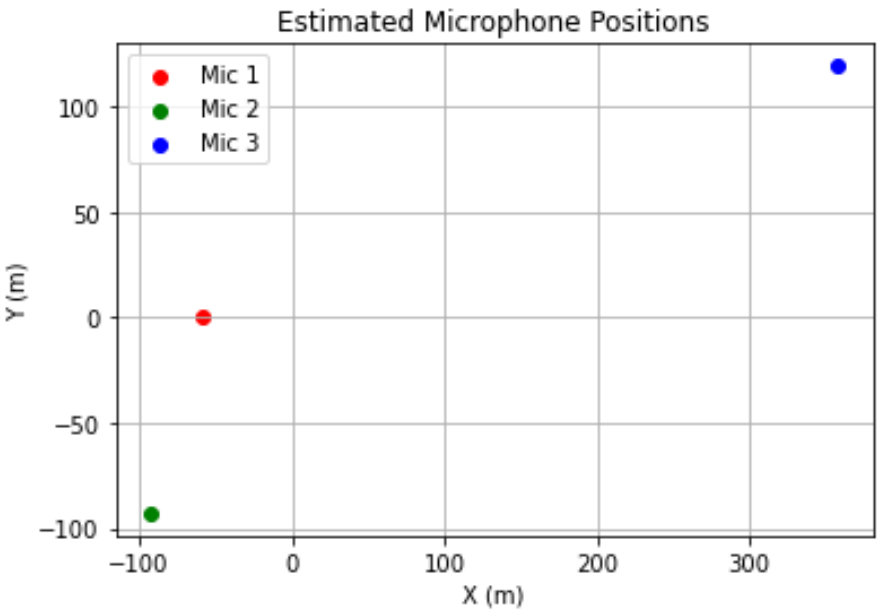


図 6-48 マイクロフォンアレイ設置位置(近距離)

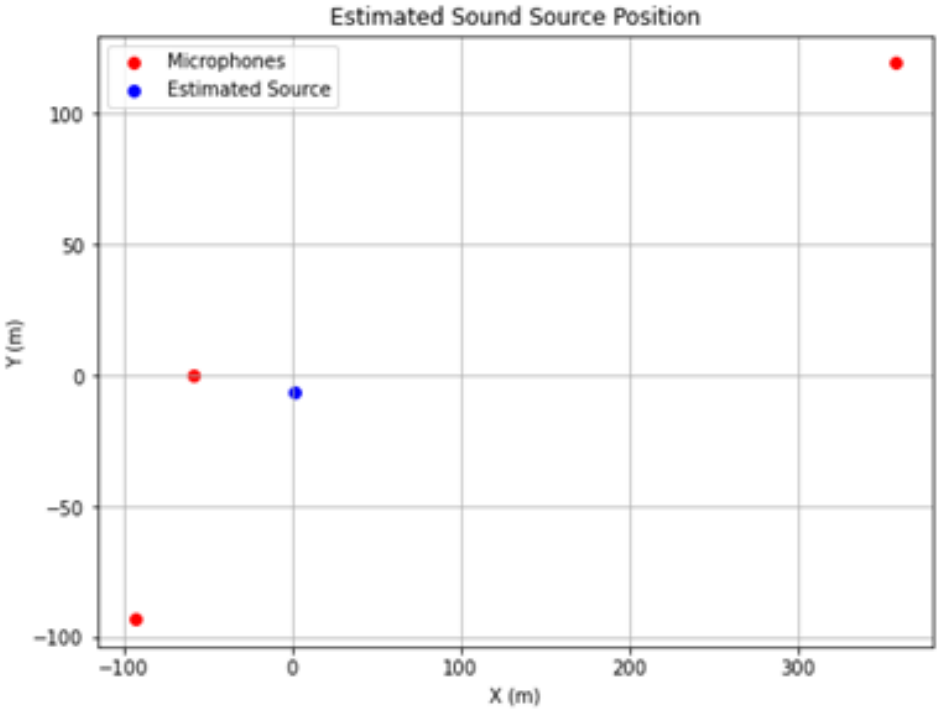


図 6-49 音源位置推定(近距離)

上図はマイクロフォンからの距離が 400m 内の近接範囲での音源位置推定の結果である。音源の推定位置と原点との距離は 6.44m であった。

b. マイクロフォンアレイ座標 Mic1(-41.22, 0)、Mic2(292.29, 292.29)、Mic3(797.85, 265.95) での検証

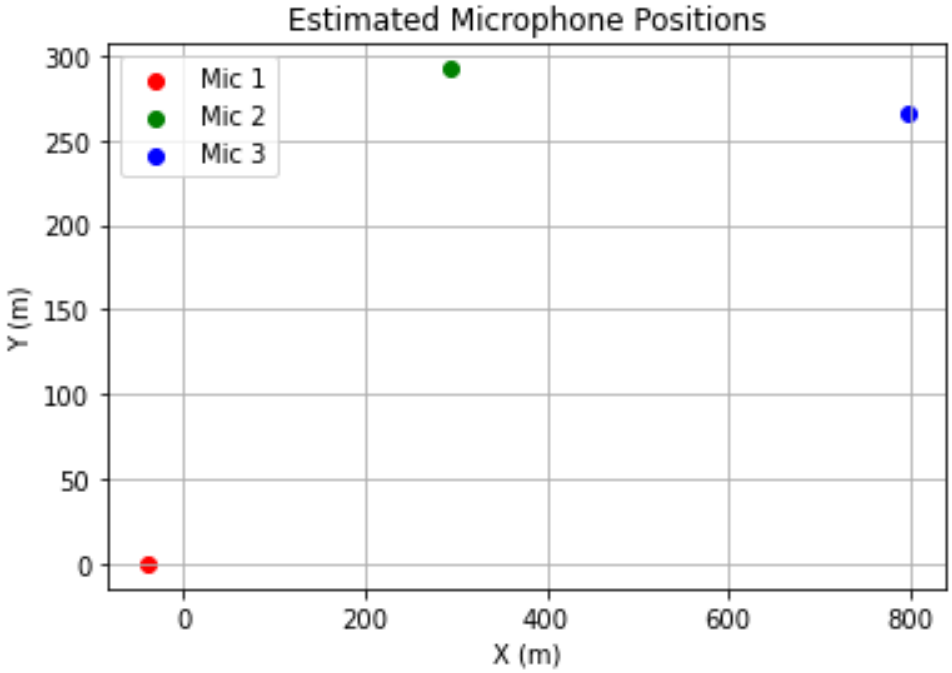


図 6-50 マイクロフォンアレイ設置位置(遠距離)

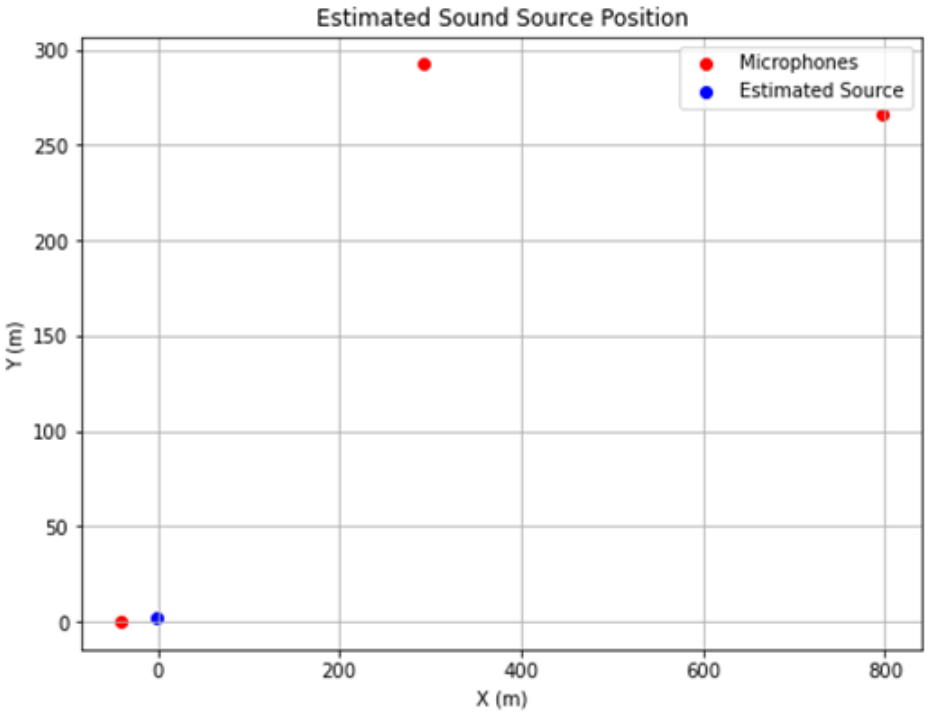


図 6-51 音源位置推定(遠距離)

上図はマイクロフォンアレイ間が 800m の遠隔範囲での音源位置推定の結果である。音源の推定位置と原点との距離は 2.38m であった。

図 6-52 システム検証用の音収集時記録

8） 公道検証

公道上３カ所にマイクロフォンアレイを設置し、音の収集を行った。設置箇所は下図の通り。

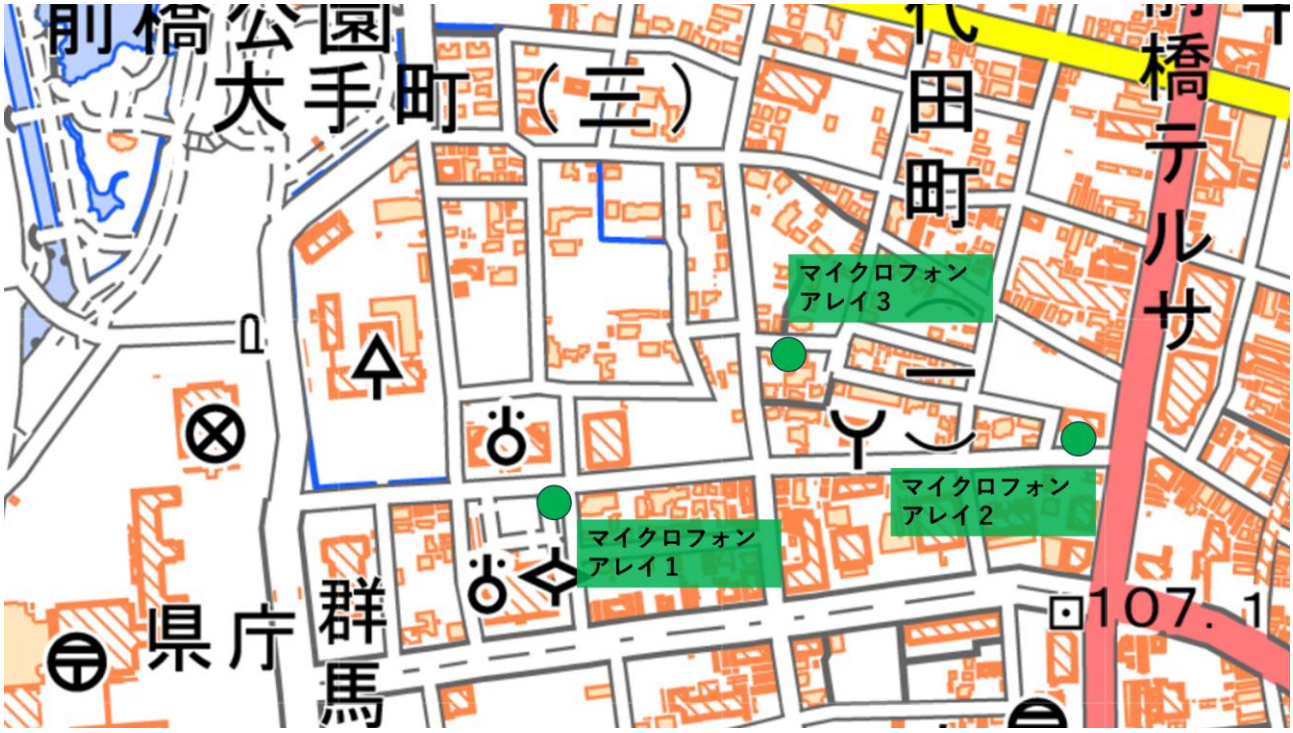


図 6-53 公道マイク設置箇所（地理院タイルにマイクロフォンアレイ設置位置を追記して掲載）
※「標準地図（国土地理院）」を加工して作成

図 6-54 公道設置時写真

公道で収集した音データをもとに位置推定を行ったところ、推定に成功したものは３割にとどまった。

失敗した７割のうちほとんどについては、３カ所のマイクロフォンアレイに対し、緊急車両の音データが入っていないケースとなっていた。

下図は３カ所のマイクロフォンアレイそれぞれの回線を、同時間軸で並べたものである。マイ

クロフォンアレイ 2 については緊急車両の音波形が記録されたが、1 と 3 のマイクロフォンアレイに音波形が記録されていないことがわかる。

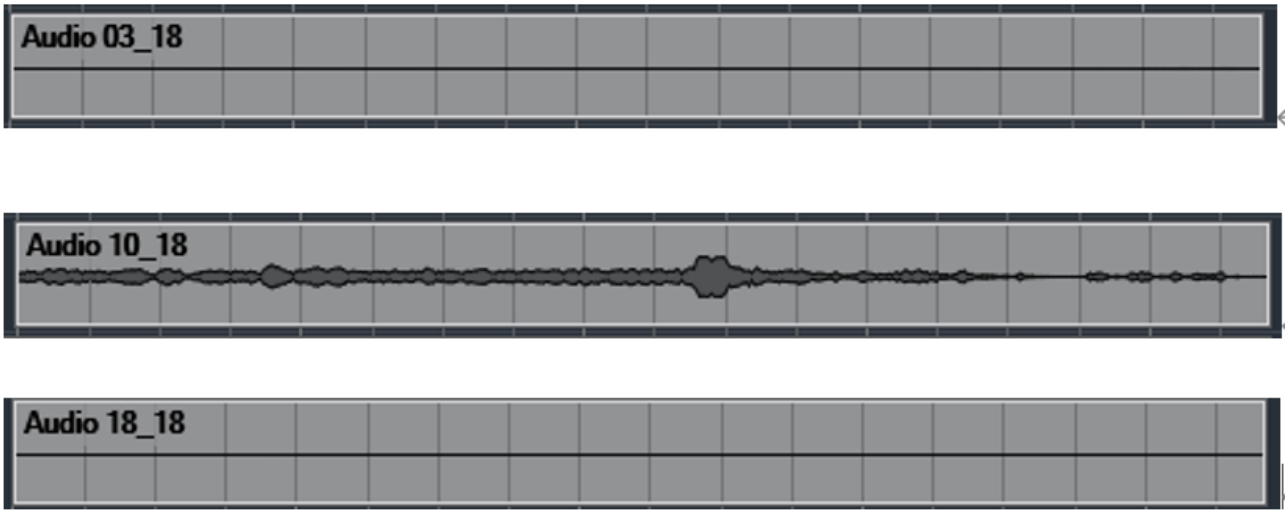


図 6-55 同一タイミングの緊急車両音 検知状況(上から mic1、mic2、mic3)

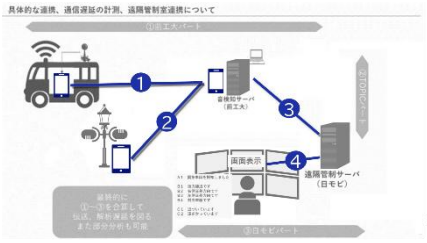
9） 通信計測

今回の実証において、2 端末間のプロトコルを確認したところ通話サービス（音データの送受信）は P2P 通信で実現されていることが判明した。従って本実証における伝送遅延時間は、端末間の通信環境を計測すればよいことになる。

計測結果の算出ロジックと結果を以下に示す。

＜＜結果の算出ロジック＞＞

以下のステップで結果を算出した。



(1) 下図の 3 区間、それぞれの遅延時間を計測した

① 移動体～音検知サーバ

② 街灯柱～音検知サーバ

③ 音検知サーバ～遠隔管制サーバ

④ 遠隔管制サーバ～モニタ用 PC

(2) マイクロフォンアレイの位置ごと、伝送遅延時間(平均値)を結果とするため以下の式で時間を算定した

A) 移動体の場合

区間① ＋ 区間③ ＋ 区間④

B) 街灯柱の場合

区間② ＋ 区間③ ＋ 区間④

＜KPI 指標となる遅延時間＞

	遅延時間	区間①or②	区間③	区間④
マイク１～モニタ PC	68.86	59.85	5.29	3.72
マイク２～モニタ PC	74.48	65.47	5.29	3.72
移動体(車両)～モニタ用 PC	69.20	60.19	5.29	3.72

表 6-27 KPI 指標となる遅延時間

＜区間ごと計測結果＞

	平均値	中央値	標準偏差	パケロス率
区間①移動体	60.19	60.00	3.31	なし
区間②街灯柱：マイク１	59.85	59.50	2.89	なし
区間②街灯柱：マイク２	65.47	65.25	6.85	なし
区間③	5.29	4.50	2.27	なし
区間④	3.72	3.75	0.30	なし

表 6-28 区間ごとの計測結果

＜LTE 回線：マイク１～前橋工科大学＞

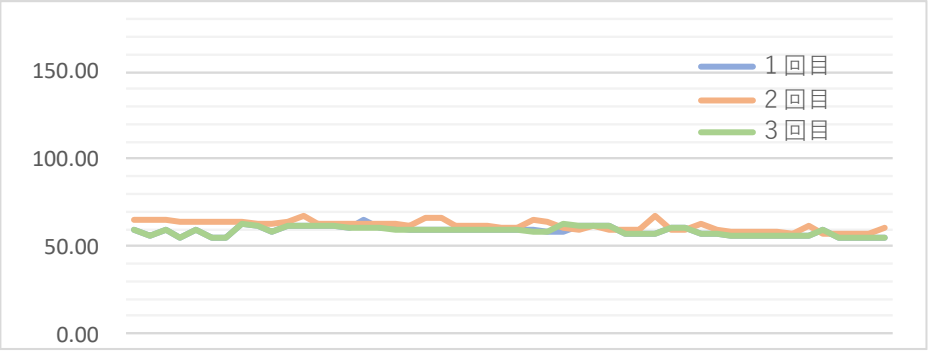


図 6-56 LTE 回線 マイク1～前橋工科大学

＜LTE 回線：マイク２～前橋工科大学＞

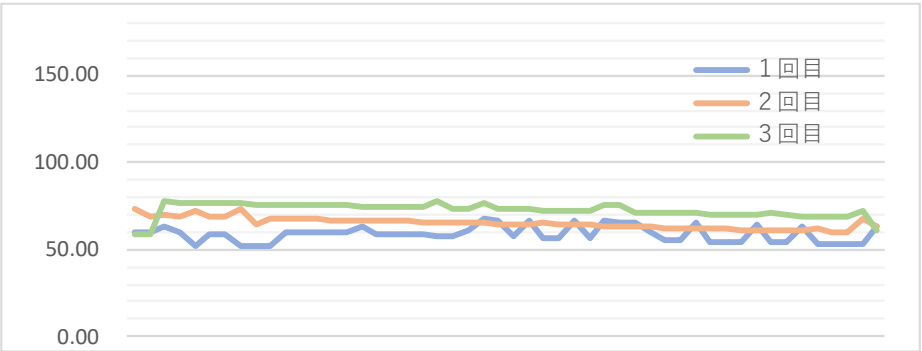


図 6-57 LTE 回線 マイク２～前橋工科大学

＜LTE 回線：移動体(車両)～前橋工科大学＞

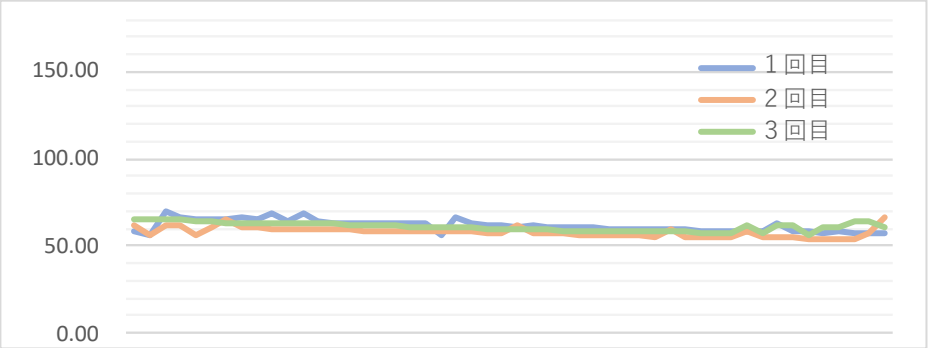


図 6-58 LTE 回線 移動体車両～前橋工科大学

＜有線：前橋工科大学～遠隔管制サーバ＞

遅延時間が軽微かつ、ブレが少ないことから計測を 1 回とした

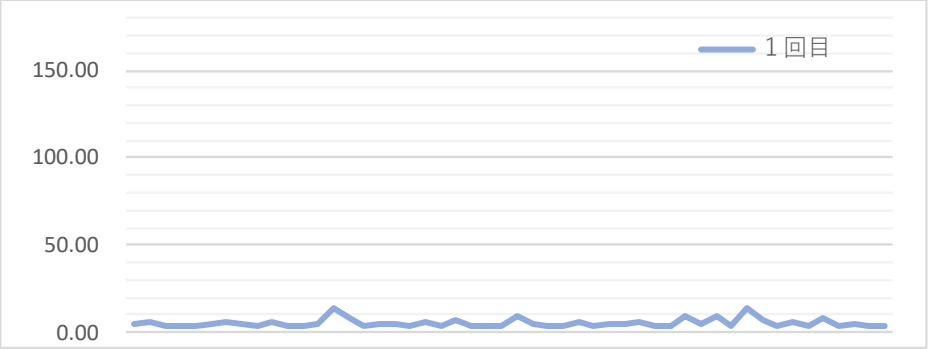


図 6-59 有線回線 前橋工科大学～遠隔管制サーバ

＜有線：遠隔管制サーバ～モニタ用 PC＞

低遅延かつ、ブレが少ないことから計測を 1 回とした

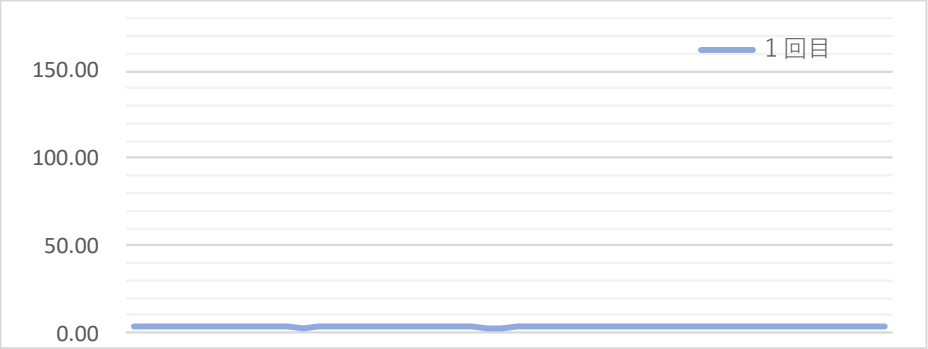


図 6-60 有線回線 遠隔管制サーバ～モニタ用 PC

10） システム評価

開発したシステム画面をもとに、群馬県前橋市、前橋駅～中央前橋駅間における遠隔管制経験を持つ、日本中央バス株式会社の関係者へヒアリングを実施した。

今回のシステムについての説明の後、下図 6-61 のイメージをもとに説明を行い、ヒアリング・意見交換を行った。

図 6-61 遠隔監視装置表示画面

以下は得られた内容を観点毎に整理したものである。

「音検知による情報を遠隔管制画面で確認することの有用性」

- モニタ監視の際に、自動運転車両を検知したことが知らされれば、監視者が注意深く確認できるため、遠隔管制への負担軽減につながり、有用である。
- 常に複数車両、複数路線を監視する中で緊急車両を感知することは負担であるため、こうしたサポート機能は有用である。

「U1 に関する評価」

- 検知・方向・接近を示す文言が赤などの警戒色で強調されたほうがよい。
- 検知した緊急車両の種別（救急車/消防車/パトカー等）に対応したイラストが表示されるとありがたい。

「1：n 管制を想定した場合の有用性に関する評価」

- モニタ監視の際に、自動運転車両を検知したことが知らされれば、対象となった自動運転車両に対して監視者が注意深く確認できるため、遠隔管制への負担軽減につながり、有用である。

「改善すべきポイント（自由記述）」

- 緊急車両の回避にあたっては、検知した後に周囲の交通環境を把握しての対応が必要になるため、より見やすいカメラ配置や、センサの状態監視が必要でないか。
- 音による検知が発展した際に、事故発生の衝突音や、周囲のクラクション、横をすり抜けるバイクの音、自車両の異変を知らせる音等が分かると嬉しい。
- 方向に加えて、ナビのように緊急車両との距離もわかるとありがたい。
- 現状では完全な L4 での実績が無いため、今後の経験も踏まえて連携出来れば。

上記の内容から、本システムが、遠隔管制の負担軽減として有効であることを確認できた。

さらに管制者としての観点から、UI・機能についての希望事項や、音データの緊急車両以外への活用の期待を受けた。この内容については今後の機能改善・技術追求・機能発展の方向性として検討を続けていく。

（3） KGI/KPI との比較結果

（手法１）位置情報端末設置

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・（一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施し、各機能についての達成指標は以下の通り。 ①位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100% ②緊急走行検知 100% ③異常判定 100%、自動運転車両の対応制御実施率 100%
	4	・15 日分以上の緊急出動時の運用データを机上コンピュータにて 100%回収。
	5	・前橋市消防局、群馬県警、群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学、などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施
	6	・7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得

（手法２）音検知

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	7	・監視員に対して、音検知による緊急車両アラートがどの程度安全性に寄与するか、1：n 運行を想定した場合の遠隔管制に効果的かを確認する。
定量評価	8	・性能評価レベル１　模擬環境における緊急車両の接近と音検知の検出率 95%以上
	9	・性能評価レベル２　公道環境における緊急車両の接近と音検知の検出率 90%以上
	10	・伝送遅延　300ms 以下

（手法１）位置情報端末設置

1）　（一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システム

を用いることができることを確認する。

（一財）日本自動車研究所による第三者レビューが実施されたところであり、今後は各ユースケースにおいて開発・評価されたシステムを、ODD 手続きのプロセスにおいて有効に活用することを検討し、引き続き（一財）日本自動車研究所などの支援を受けながら同手続きを円滑かつ着実に進めていく予定である（詳細は 6.1.1-(3)KPI/KGI の比較結果の 3）参照）。

2） 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

問題なし

（参照）8.1　自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果

3） 群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む合計 100 回のテストを実施し、各機能についての達成指標は以下の通り。

① 位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100%

② 緊急走行検知 100%

③ 異常判定 100%、自動運転車両の対応制御実施率 100%

試験路検証では基本的な動作は問題ないと確認できた。

① の位置誤差については、アンテナ／RTK システムが異なっているため多少のズレはあるものの、停止状態であれば 1cm 以内、移動していると最大で 30cm ほどの誤差となった。目標としていた 15cm 以内の達成はできなかったが、実用上では問題のないレベルであると考える。速度・向きに関してはどちらの誤差も最大で 10%以下、平均では 1,2%程度とで目標を達成。車線正答率に関しては、車線を判断するための材料がないため試験対象外とした。

② 緊急走行検知 100%は概ね成功した。

③ のテストでは以下の NG 項目があった。

パターン 10：

すれ違ったあとでも通知ポップアップが消えない。

パターン 11：

緊急走行状態を解除していても、緊急車両として通知ポップアップが表示される。

上記以外のパターンにおいては想定通りの状況で通知ポップアップが表示され、緊急車両の接近判定自体は正しく行うことができた。

問題点はあったものの、パターン 10 についてはポップアップ制御だけの問題であり、内部処理的には接近判定はなくなっていたこと、パターン 11 については常に緊急状態にしているという単純な判定漏れであったことが判明したため、試験路検証後に修正／確認を行い正常に動作するこ

とを確認した。

試験路試験の内容は以下の通り

① 位置誤差±15cm 以内、速度・向き誤差±15%以内、車線正答率 100%のテスト

② 緊急走行検知 100%のテスト

晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間に以下の 2 パターンで 3 回ずつ計 24 回のテストを実施した。

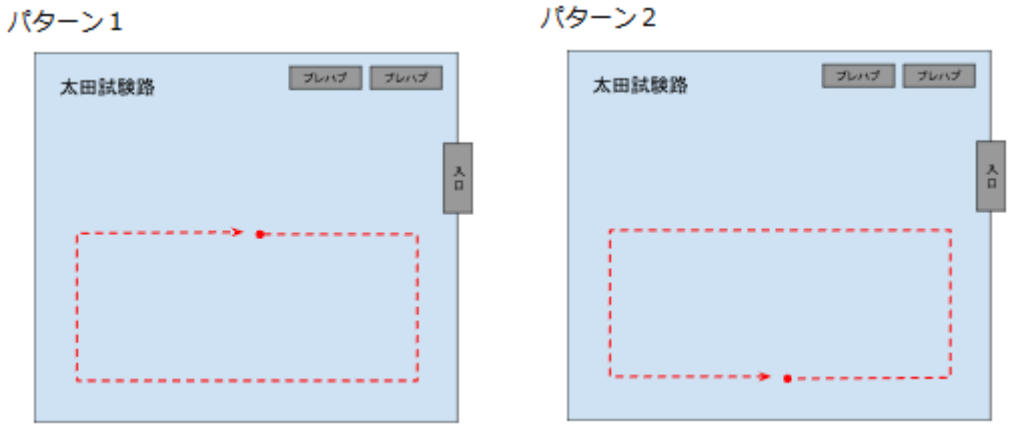


図 6-62 テストパターン図

③ 異常判定 100%のテスト

晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間に以下の 11 パターンで 3 回ずつ計 132 回のテストを実施した。

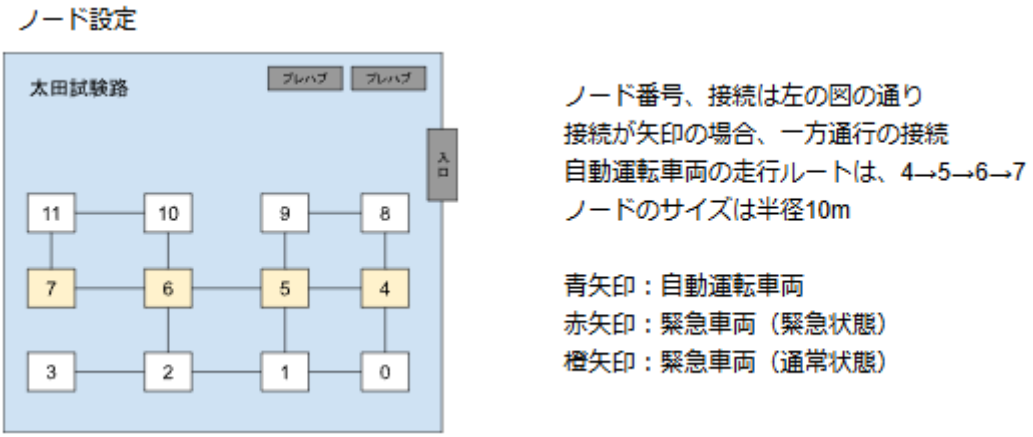


図 6-63 テストパターン図

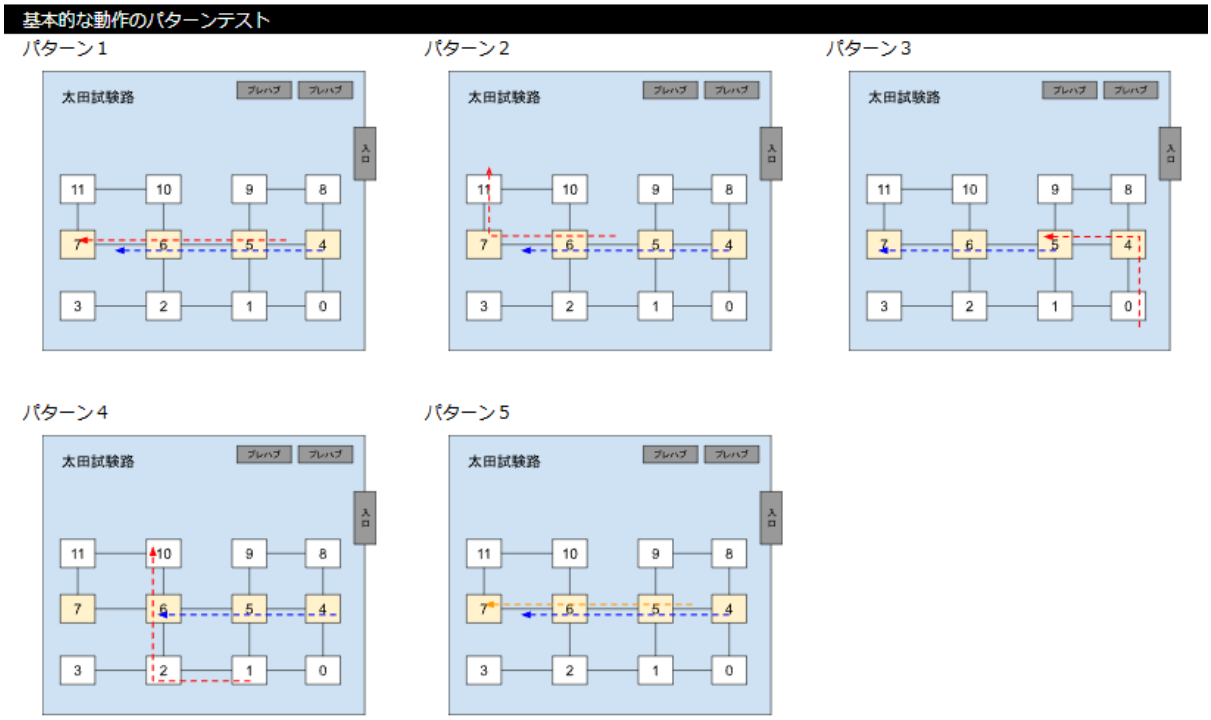


図 6-64 テストパターン図

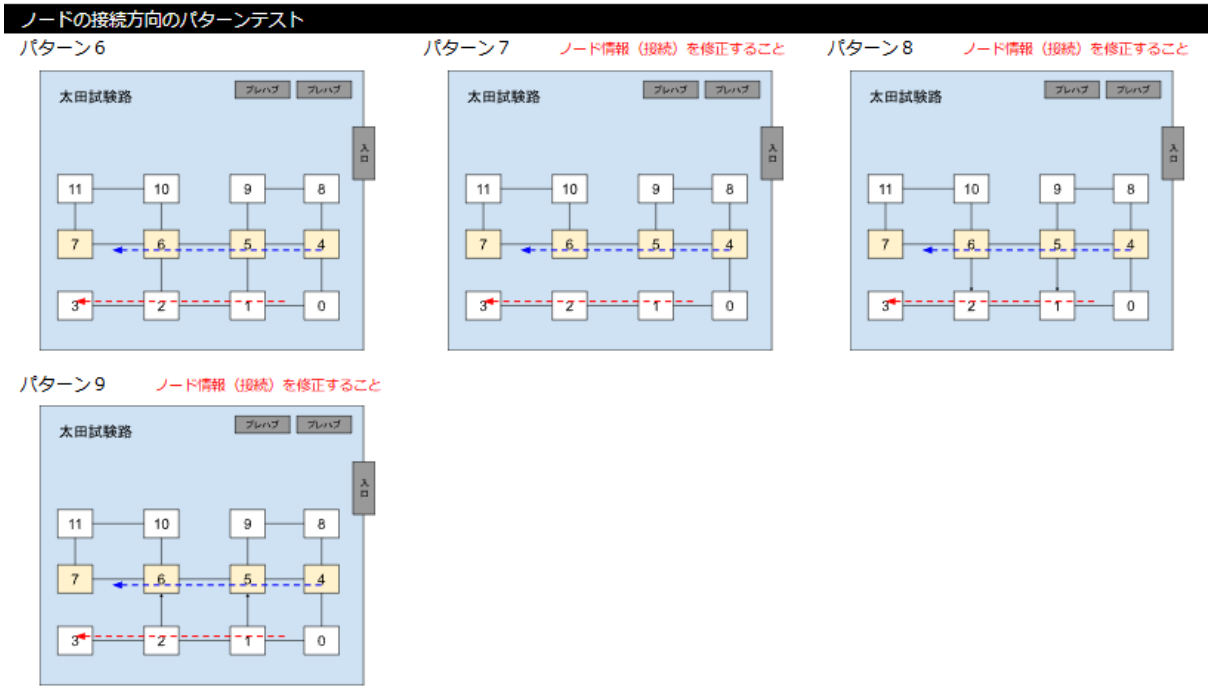


図 6-65 テストパターン図

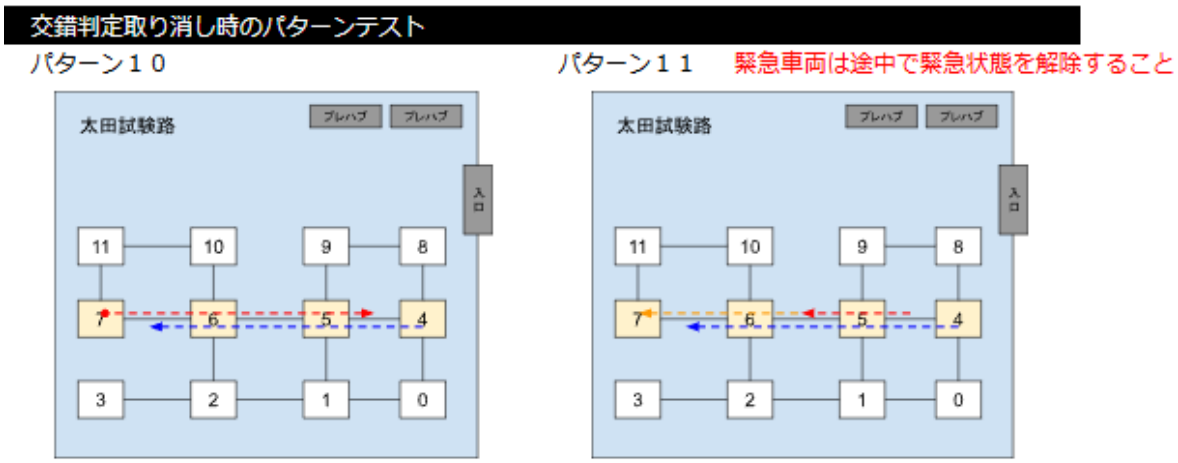


図 6-66 テストパターン図

4） 15 日分以上の緊急出動時の運用データを机上コンピュータにて 100%回収

15 日分の走行データを取得して、位置情報の分析した結果は以下の通りとなった。

全体で測位状態が高（29.7%）、中（16.4%）、低（53.9%）となった。なお測位状態の指標は下表に記載する。

表 6-29 位置精度の指標

測位状態	精度の目安	状態
高精度 （RTK-Fix）	2～5cm 程度	RTK補正情報を適用し、誤差がほぼ解消された状態。最も信頼性の高い測位結果が得られる。
中精度 （RTK-Float）	20cm～ 1m程度	RTK補正情報を受信しているが、誤差補正が完全でないため精度が低下している状態。環境によって測位精度が変動する。
低精度 （Single）	5m～30m 以上	衛星信号のみで測位を行う単独測位の状態。RTK補正が適用されず、誤差が大きい。

測位状態の精度が低い場所が多くなったため、低い場所を地図にプロットして確認したところ消防署、病院、高架下、歩道橋下など一般的にも GNSS の感度が悪いとされる場所となった。

緊急走行時は、測位状態の高（82.5%）、中（11.7%）、低（5.8%）となっており、本装置の使用が想定される状況では問題ない。

また、通常走行時で低の箇所が多いのは、消防署内や病院などでの待機などが含まれているためだと思われる。

表 6-30 分析結果

日付	緊急走行時精度						通常走行時精度						全体精度					
	高		中		低		高		中		低		高		中		低	
	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)	箇所数	割合(%)
2024/11/29	26箇所	54.17%	19箇所	39.58%	3箇所	6.25%	168箇所	2.92%	945箇所	16.40%	4649箇所	80.68%	194箇所	3.34%	964箇所	16.59%	4652箇所	80.07%
11/30	3117箇所	92.93%	204箇所	6.08%	33箇所	0.98%	3639箇所	15.41%	3547箇所	15.03%	16421箇所	69.56%	6756箇所	25.06%	3751箇所	13.91%	16454箇所	61.03%
12/1	2404箇所	83.68%	437箇所	15.21%	32箇所	1.11%	3491箇所	15.07%	3710箇所	16.02%	15957箇所	68.90%	5895箇所	22.65%	4147箇所	15.93%	15989箇所	61.42%
12/2	7182箇所	81.61%	1465箇所	16.65%	153箇所	1.74%	3539箇所	7.97%	8439箇所	19.00%	32434箇所	73.03%	10721箇所	20.15%	9904箇所	18.61%	32587箇所	61.24%
12/3	3089箇所	80.30%	721箇所	18.74%	37箇所	0.96%	5790箇所	28.51%	3106箇所	15.29%	11415箇所	56.20%	8879箇所	36.75%	3827箇所	15.84%	11452箇所	47.40%
12/4	368箇所	39.70%	74箇所	7.98%	485箇所	52.32%	588箇所	2.67%	1818箇所	8.25%	19641箇所	89.09%	956箇所	4.16%	1892箇所	8.24%	20126箇所	87.60%
12/5	3490箇所	94.81%	141箇所	3.83%	50箇所	1.36%	3777箇所	20.14%	3791箇所	20.22%	11183箇所	59.64%	7267箇所	32.40%	3932箇所	17.53%	11233箇所	50.08%
12/6	6591箇所	91.61%	544箇所	7.56%	60箇所	0.83%	6861箇所	27.78%	4253箇所	17.22%	13583箇所	55.00%	13452箇所	42.18%	4797箇所	15.04%	13643箇所	42.78%
12/7	6184箇所	87.47%	790箇所	11.17%	96箇所	1.36%	5616箇所	22.35%	4997箇所	19.89%	14509箇所	57.75%	11800箇所	36.66%	5787箇所	17.98%	14605箇所	45.37%
12/8	4363箇所	81.67%	908箇所	17.00%	71箇所	1.33%	5063箇所	22.91%	4044箇所	18.30%	12997箇所	58.80%	9426箇所	34.34%	4952箇所	18.04%	13068箇所	47.61%
12/9	2928箇所	86.63%	403箇所	11.92%	49箇所	1.45%	3131箇所	53.18%	2673箇所	45.41%	83箇所	1.41%	6059箇所	65.38%	3076箇所	33.19%	132箇所	1.42%
12/10	449箇所	98.68%	6箇所	1.32%	0箇所	0.00%	14箇所	10.22%	123箇所	89.78%	0箇所	0.00%	463箇所	78.21%	129箇所	21.79%	0箇所	0.00%
12/11	2776箇所	83.34%	508箇所	15.25%	47箇所	1.41%	2535箇所	56.94%	1818箇所	40.84%	99箇所	2.22%	5311箇所	68.24%	2326箇所	29.89%	146箇所	1.88%
12/12		0.00%		0.00%	2083箇所	100.00%		0.00%		0.00%	9285箇所	100.00%	0箇所	0.00%	0箇所	0.00%	11368箇所	100.00%
12/13	2469箇所	91.17%	214箇所	7.90%	25箇所	0.92%	1634箇所	63.93%	785箇所	30.71%	137箇所	5.36%	4103箇所	77.94%	999箇所	18.98%	162箇所	3.08%
12/14								0.00%		0.00%	87箇所	100.00%	0箇所	0.00%	0箇所	0.00%	87箇所	100.00%
12/15								0.00%		0.00%	87箇所	100.00%	0箇所	0.00%	0箇所	0.00%	87箇所	100.00%
12/16								0.00%		0.00%	87箇所	100.00%	0箇所	0.00%	0箇所	0.00%	87箇所	100.00%
12/17								0.00%		0.00%	88箇所	100.00%	0箇所	0.00%	0箇所	0.00%	88箇所	100.00%
12/18								0.00%		0.00%	134箇所	100.00%	0箇所	0.00%	0箇所	0.00%	134箇所	100.00%
合計	45436箇所	82.47%	6434箇所	11.68%	3224箇所	5.85%	45846箇所	18.14%	44049箇所	17.43%	162876箇所	64.44%	91282箇所	29.65%	50483箇所	16.40%	166100箇所	53.95%

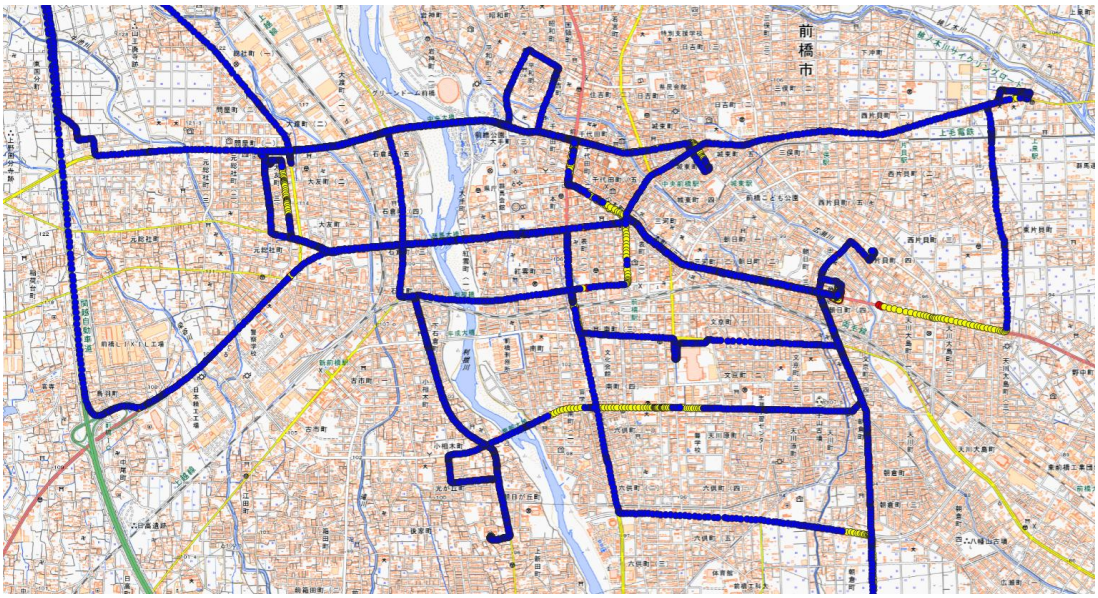


図 6-67 前橋市内における緊急自動車(救急車)の位置情報の正確性評価

※「標準地図（国土地理院）」を加工して作成

なお上図の青色は高精度、黄色は中精度、赤色は低精度を表している。緊急走行時の RTK GNSS の測位状態※の割合を計測し、位置精度の評価を行った。その結果、8 割以上の地点で測位状態が高精度（誤差が 2～5cm 程度）に収まり、高精度な測位が維持されることを確認した。一方、高架下や密集市街地では、一時的に精度が低下する傾向が見られた。

5） 前橋市消防局、群馬県警、群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、(大)群馬大学、などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

2024 年 12 月 5 日見学会（視察会）実施

6） 7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以

上のデータを自動運転コンピュータにて取得

自動運転車両のドライバーから、ポップアップが出現したとの報告はなく、また、同乗しているエンジニアからも緊急車両が接近したとの報告もなかった。

実際に緊急車両の位置情報データを確認したところ、検証期間中に自動運転バスが運行している時間帯に装置を搭載した緊急車両が自動運転ルートを走行することが 1 度もなかったことが確認された。

（手法２）音検知

7） 監視員に対して、音検知による緊急車両アラートがどの程度安全性に寄与するか、1：n 運行を想定した場合の遠隔管制に効果的かを確認する。

監視員に対しての聞き取りを実施し、複数台数を運転する際の意識確認として有効だとの回答を得られた。

（手法 2）音検知

8） 性能評価レベル 1　模擬環境における緊急車両の接近と音検知の検出率 95%以上

目標とした KPI は検出率 95%以上であったが 100%を実現した。

9） 性能評価レベル 2　公道環境における緊急車両の接近と音検知の検出率 90%以上

目標とした KPI は 90%であったのに対し、目標とは大きく乖離した 30%であった。その原因は考察に示す。

10） 伝送遅延　300ms 以下

以下の通り 2 環境とも指標達成した。

skype 利用：60ms 程度

電気通信事業者が提供する音声通話サービス：40ms 程度

（4） 考察

（手法１）位置情報端末設置

本ユースケースにおいては、ドライバー不在となるレベル 4 自動運転でも緊急車両への対応を自動判断で行うため、緊急車両側から位置情報を自動運転車両に送信することにより、自動運転車両が緊急車両への対応を行えるよう、想定される二つの可能性を探求し、メリット・デメリットを比較することを目的とした検証を行った。

手法 1 による公道での運用試験では、検知のポップアップが出現しなかった。ドライバーやエンジニアも緊急車両を確認していないので、自動運転バスと緊急車両は接近していないと思われ

る。
試験路での単体テストや、実際の緊急車両位置情報を机上コンピュータで受信するテストでは一定の検知を確認できているため、概ね装置は正常に稼働していると思われる。
今後、自動運転車のログを分析し、装置に問題があれば改善していきたい。

（手法２）音検知
試験路は、大学内の見通しの良い静かな状態であり、緊急車両を想定した音源の移動速度もゆっくりであった。
一方、①公道では、緊急車両がそれなりの速度で移動すること起因するドップラーエコー、②公道付近に林立する建物による救急車両音声の反射、③街の雑踏による雑音によって
どの程度検知率が下がるかについての検証を目的とした。
もし、検知率がある程度下がるようであれば、今後①②③に対応する手法を、アルゴリズムに付加して再検証を行う必要があると考えていた。
しかしながら、実証を行った結果、今回の公道の条件下では大幅に検知率が下がり、30%の検知率となったことが確認された。
実験で得た音声データを確認したところ、①　②　③の問題の前に、建物等によって緊急車両の音源が遮断されてしまい３地点からの音声データのうち２地点分の音声データしか確保できないケースが 65%程度あった。
以上のことより、5%が①　②　③に起因する問題、65%が音声遮断によるものと考えられる。
原理的に３地点以上音声データが無ければ、本アルゴリズムでは、検知できないため、音声遮断への問題への対応がまず第１に必要であることが分かった。

音声遮断を起こさないためには、大量のマイクロフォンアレイを路側に設置することが考えられるが、コストの面で検討が必要である。
その他の方法としては、公道において３地点以上のマイクロフォンからの救急車両音源が確保できない場合でも、緊急車両は遠方（600m～1km 位離れている）にあれば、自動運転車両に設置されたマイクロフォンアレイまたは路側のマイクロフォンアレイのいずれかの１地点で緊急車両の音源が確保できれば、位置の特定はできないものの、緊急車両の存在の検知は可能である。
この検知時点では位置の特定を行うことはできないが、緊急車両が音源を拾えている１地点のマイクロフォンに近づいた段階（100m～200m）であれば、遠方の緊急車両の位置検出の精度向上を目的として用いた１地点のマイクロフォンアレイのうちの２本のマイクロフォンからの音源で緊急車両を検出することで、２段構えのアルゴリズムに変更する方法も考えられる。
上記の２段構えのアルゴリズムに変更した場合には、研究室でのシミュレーション確認を行った上で試験路・公道における実用性を実証するための実験が必要である。

また、5%の中のさらにレアケースであるが、２地点からの音声データのレベルが大きく、１地点からの音声レベルが低いものの中に、本アルゴリズムで緊急車両の位置を大きく誤って推定するケースがあった。これは、おそらく音声レベルの低い音声データが、空気中のみならず建物の

中を通過してきたのではないかと考えられる。

空気中では音波は約 343m/秒で伝搬するが、建物を音波が通過する場合、空気中の伝搬速度と大きく異なることが考えられ、この問題の解決は、理論レベルの解析からスタートする必要があるため、複数年の研究時間を要するものと考えられる。ただし、レアケースのため、当面は実用化に関してはイレギュラーとし、無視するという形も想定されうる。

実地で計測した通信遅延については、当初想定の 300ms よりはるかに小さな遅延となり、システム上許容可能な遅延とみなすことができた。

これにより最低限のデータ通信でシステムの構築が可能であることが示唆される。

本システムではインターネット回線を通じて音声データを送受しており、ピアツーピア通信にソフトウェア等が必要であり、またこのソフトウェアへの不正アクセス等の可能性を否定できない。現段階ではシステムとの直結機構が無いため安全を確保できるが、本システムの連携構築に際して検討が必要と目される。これについては電気通信事業者などの音声通信を介することで対策となることが示唆された。

本年度構築したシステムでは常時通信を必要とすることにより、伝送システムのバッテリーや、通信時の費用が想定以上に膨らむことが想定されるため、こちらについては今後の実装上の課題としたい。

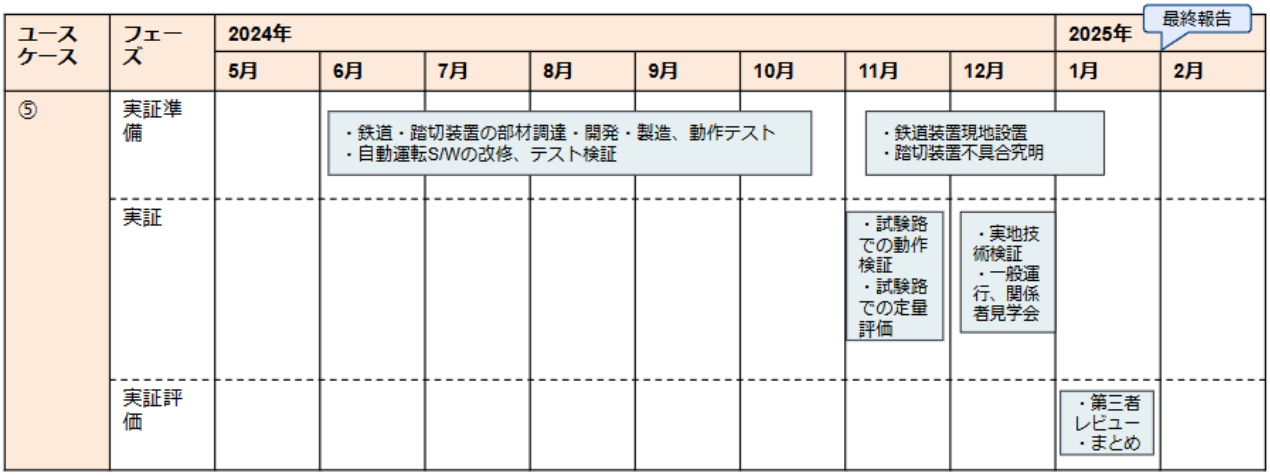
今後の実装を想定する日本中央バスの業務従事者からヒアリングの結果、

1:n を含む遠隔監視時の有用性の確認と、事業者としてのシステムへの機能開発の希望を受けることができた。これらの機能については実現可能性も含めて今後の仕様検討としたい。

6.5.2 鉄道との接続を考慮した柔軟性のある自動運転バス運行を実現する、鉄道車両・最寄踏切からの鉄道接近検知の実現

(1) 実証スケジュール

表 6-31 実証スケジュール



(2) 開発・評価項目の結果

表 6-32 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	鉄道車両に搭載する専用端末の開発（手法１）
2	踏切に設置する専用端末の開発（手法２）
3	自動運転システム側の改修
4	試験路（閉鎖空間）での検証
5	上毛電鉄で運用しデータ収集
6	地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

1) 鉄道車両に搭載する専用端末の開発（手法１）

鉄道車両に設置する専用端末の開発を行った。装置は、GNSS アンテナ、処理装置本体、バッテリーに分かれている。実装時には車両の電源を引き込む想定としているが今回は実験のためバッテリーにて駆動させる形式とした。処理装置本体に内蔵された GNSS 受信機とジャイロセンサから、自己位置の推定を行い、携帯通信網を介して専用の情報集約サーバに位置情報のデータを伝送し、自動運転車両が位置情報を受信した。

図 6-68 鉄道設置装置

本体

- サイズ　　：幅 20cm×奥行 15cm×高さ 5cm
- 重量　　：約 1.5kg（電源アダプタ、GNSS アンテナ除く）
- 主要材質　　：アルミ

GNSS アンテナ

- サイズ　　：幅 6.3cm×奥行 6.3cm×高さ 2.5cm
- 重量　　：約 0.22kg
- ケーブル長：5m

2)　踏切に設置する専用端末の開発（手法２）

踏切に設置する専用端末の開発を行った。装置は、踏切の警告灯等に設置する受光センサ、鉄道の通過方向を見極めるソナー、処理装置本体、バッテリー。また、センサと接続する処理装置本体とバッテリーに分かれている。バッテリーは商用電源の代替であり、実装時には商用電源を引き込む想定である。処理装置本体はセンサ入力情報から踏切開閉時刻と鉄道通過方向を得る。処理装置本体は、携帯通信網を介して専用の情報集約サーバにデータを伝送する。この時の通信データは踏切の開閉状態、時刻、鉄道の通過方向である。携帯電話網を経由して当該端末から上記情報をクラウドサーバから発信し、自動運転車両が当該情報を取得する仕組みである。

図 6-69 協調型踏切化装置

本体

- サイズ　：幅 24cm×奥行 16cm×高さ 12cm
- 重量　　：約 2.5kg（電源アダプタ、ケーブル等除く本体のみ）
- 主要材質：スチール

鉄道通過方向検知ソナー

- サイズ　：幅 12cm×奥行 12cm×高さ 8cm（センサフード込 13cm）
- 重量　　：約 0.5kg

3） 自動運転システム側の改修

自動運転システム側においては、携帯電話回線網を経由して専用クラウドサーバを介して位置情報データを受信し、自動運転バス発進タイミング情報として表示するアルゴリズムを自動運転システム側に実装した。

4） 試験路（閉鎖空間）での検証

日本モビリティの試験路に模擬的な環境を構築し定量試験を行った。

図 6-70 協調型踏切化装置の試験路試験の様子

5） 上毛電鉄で運用しデータ収集

鉄道装置、踏切装置を実働している鉄道車両、踏切（中央前橋駅近傍）に設置し、データ収集を行った。

図 6-71 鉄道内 GNSS 設置

6） 地方基幹路線（前橋駅ー中央前橋駅ルート）における効果測定

7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得した。

（3） KGI/KPI との比較結果

表 6-33 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・（一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む各 100 回のテストを実施し、各機能についての達成指標は以下の通り。 （手法 1 および 2)100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答 （手法 1)位置誤差±5m 以内、速度・向き誤差±15%以内、伝送頻度 1Hz 以内 （手法 2)到着予想時刻精度 1min 以内、踏切開閉検知遅れ 500ms 以内、伝送頻度 1Hz 以内
	4	・15 日分以上の運用データを机上コンピュータにて 100%回収。100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答を達成
	5	・群馬県、前橋市、日本中央バス(株)、上毛電気鉄道(株)を含む鉄道会社 2 社、(大)群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施
	6	・7 時から 19 時まで計 26 回(定常運行便数)自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得、100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答を達成

1） （一財)日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

（一財)日本自動車研究所による第三者レビューが実施されたところであり、今後は各ユースケースにおいて開発・評価されたシステムを、ODD 手続きのプロセスにおいて有効に活用することを検討し、引き続き(一財)日本自動車研究所などの支援を受けながら同手続きを円滑かつ着実に進めていく予定である（詳細は 6.1.1-(3)KPI/KGI の比較結果の 3）参照)。

2） 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

問題なし

（参照）8.1　自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果。

3） 群馬大学試験路等の模擬的な環境において晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含む各 100 回のテストを実施し、各機能についての達成指標は以下の通り。

(手法 1 および 2)100％の情報伝送成功と、発進タイミング正答

実施方法：普通車を鉄道車両と想定し、普通車に鉄道装置を搭載し試験路内を走行、その際の自動運転車両側の情報伝送の結果を確認。

検証パターン

- パターン１　駅から鉄道車両が発進する際にポップアップが表示されない
  →晴天、曇天、雨天、夜間含む 12 回中 12 回成功
- パターン２　鉄道車両が駅へ到着する際に到着時刻予想のポップアップが表示される
  →晴天、曇天、雨天、夜間含む 36 回中 36 回成功
- パターン３　鉄道車両が駅から離れた場所で走行中にポップアップが表示されない
  →晴天、曇天、雨天、夜間含む 12 回実施中 12 回成功

結果：60 回中 60 回成功で正当率 100％を達成

(手法 1)位置誤差±5m 以内、速度・向き誤差±15％以内、伝送頻度 1Hz 以内

実施方法：自動運転車両に鉄道連携機器を取り付けて、自動運転の走行ログの GNSS 座標と鉄道装置の座標ログを比較し結果を確認した

結果：位置誤差については、アンテナ／RTK システムが異なっているため多少のズレはあるものの、停止状態であれば 1cm 以内、移動していると最大で 30cm ほどの誤差となった。目標としていた 15cm 以内の達成はできなかったが、実用上としては問題なく運行ができていた。

速度・向きに関してはどちらの誤差も最大で 10％以下、平均では 1.2％程度とで目標を達成。

伝送頻度に関しては平均して 16.9Hz となっており、目標を達成。

(手法 2)到着予想時刻精度 1min 以内、踏切開閉検知遅れ 500ms 以内、伝送頻度 1Hz 以内

実施方法：踏切装置を設置し、普通車を鉄道とみたて踏切装置前を通過し、走行中に表示されたポップアップの表示を確認する

検証パターン

- パターン１　踏切前を到着駅方向に進んだ際に到着予想時刻のポップアップが表示される
  →晴天日中 3 回中 3 回成功
- パターン２　踏切から離れた位置を到着駅方面に進んだ際にポップアップが表示されない
  →晴天日中 3 回中 3 回成功
- パターン３　踏切前を逆方向に進んだ際にポップアップが表示されない
  →晴天日中 3 回中 3 回成功
- パターン４　踏切が動作していない状態（ランプが点灯していない状態）で踏切前を到着駅方向に進んだ際にポップアップが表示されない
  →晴天日中 3 回中 3 回成功
- パターン５　到着予想時間を変更するとポップアップに反映される
  →晴天日中 3 回中 3 回成功

結果：到着予想時刻精度は、実際の電車との比較が必要になるため本試験では判断できないが、到着予想時間を調整することで実情に合わせることが可能であることは確認できた。

踏切開閉検知遅れは、元々予定していたバーを下げることの検知ではなく、ランプの点灯検知に変更されたため、そもそもの検知タイミングが変わってしまった。ただし、ランプの点灯後にバーが下がるという性質上、開閉よりも検知は早くできているため目標は達成。

伝送頻度に関しては平均して 16.8Hz となっており、目標を達成。

4) 15 日分以上の運用データを机上コンピュータにて 100%回収。100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答を達成

鉄道連携装置によって得られた駅への到着予想時刻と電車の時刻表との照らし合わせでは大きなズレはなく、電車の到着を計測するという基本的な機能においては特に問題はなく動作していると言える。

ただし、到着予想時刻と駅のホームでの録画映像との照らし合わせでは、おおよそ 1 分半ほど早めの予想となっていた。特定の地点を通過してから駅につくまでの所要時間を内部的に持っており、それが到着予想時刻に反映される仕組みとなっていたが、実際の所要時間とにズレがあったため発生したものだと考えている。

今回の目標であった誤差 1 分以内という目標には及ばなかったが、基本的な動作に問題はなかったため、所要時間の修正により、目標の達成が可能になると考えている。

（測定データ一例）

日付	到着判定時間	到着予想時間	最近傍到着時間	時刻表到着時間	誤差	判定（誤差1分以内）
12/4	15:38:30	15:39:24	15:41	15:38	0:01:36	NG
12/4	18:08:54	18:09:48	18:11	18:08	0:01:12	NG
12/4	20:38:29	20:39:23	20:41	20:38	0:01:37	NG
12/5	8:53:00	8:53:54	8:55	8:52	0:01:06	NG
12/6	8:11:02	8:11:56	データなし	8:11	0:00:56	OK
12/6	11:07:14	11:08:08	データなし	11:08	0:00:08	OK
12/6	16:07:32	16:08:26	データなし	16:08	0:00:26	OK
12/11	8:52:08	8:53:02	データなし	8:52	0:01:02	OK
12/12	8:11:41	8:12:35	データなし	8:11	0:01:35	OK
12/12	13:37:39	13:38:33	データなし	13:38	0:00:33	OK
12/12	16:07:45	16:08:39	データなし	16:06	0:02:39	NG
12/12	18:37:33	18:38:27	データなし	18:38	0:00:27	OK
12/13	14:36:58	14:37:52	データなし	14:38	0:00:08	OK
12/13	17:07:29	17:08:23	データなし	17:08	0:00:23	OK
12/14	7:07:03	7:07:57	データなし	7:07	0:00:57	OK
12/14	9:07:53	9:08:47	データなし	9:08	0:00:47	OK
12/14	11:37:18	11:38:12	データなし	11:38	0:00:12	OK
12/14	14:07:31	14:08:25	データなし	14:08	0:00:25	OK
12/14	16:37:31	16:38:25	データなし	16:38	0:00:25	OK
12/14	19:07:16	19:08:10	データなし	19:08	0:00:10	OK
12/15	7:53:26	7:54:20	データなし	7:54	0:00:20	OK
12/15	10:08:28	10:09:22	データなし	10:08	0:01:22	NG

図 6-72 データ収集結果

5) 群馬県、前橋市、日本中央バス（株）、上毛電気鉄道（株）を含む鉄道会社 2 社、（大）群馬大学などの地域関係者、ならびに総務省、（株）三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

2024 年 12 月 5 日見学会（視察会）実施

6） 7 時から 19 時まで計 26 回（定常運行便数）自動運転車両の自動走行を実施、15 日分以上のデータを自動運転コンピュータにて取得、100%の情報伝送成功と、発進タイミング正答を達成

自動運転モニタにポップアップが表示されること、また表示した時刻に鉄道が到着し、駅からバスへ向かう人を確認できた。

しかし電車が既に到着済みでポップアップ表示が確認できないことや装置を設置していない鉄道車両もあるため自動運転バスの全便で確認することはできていない。

（4） 考察

本ユースケースにおいては、ドライバーが不在となるレベル４自動運転では鉄道車両側から位置情報（駅到着時刻）を自動運転車両に送信する、もしくは最寄りの踏切に走行する鉄道車両を検知して駅到着時刻を自動運転車両に送信することで、自動運転車両が鉄道車両との連携を行えるようにすることを目指した。

踏切ソナーについては、試験路での検証では検知できたものの、実際接近してくる電車に対してはほぼ検知ができなかった。

これは、接近速度とソナー発信周期のタイミングが合わなかった為と考えられる。

また、駅付近に近づいた電車の速度調整が、机上では想定できていなかった。

実際の電車の速度帯などもサンプリングしておく必要がある。

一方で、電車設置の端末装置については、概ね正常に情報をキャッチしていた。

時刻表と電車到着予測計算で若干のズレがあったが、これは推定所要時間の見込み違いによるもので、パラメータ調整で、より正確な計算ができるようになると思われる。

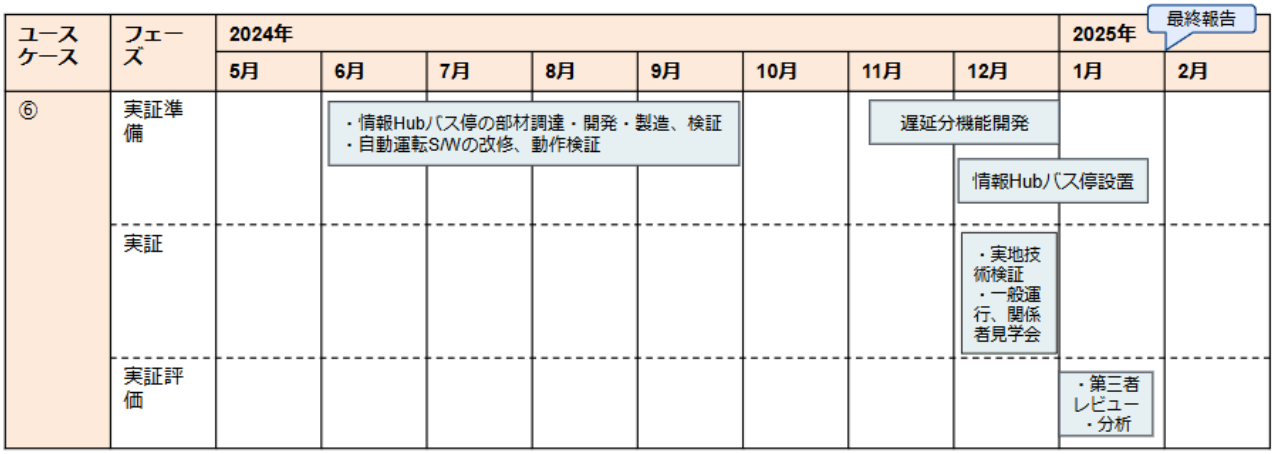
電車とバスの乗り継ぎ可否は、利用者の利便性にとっては大きな要素であるため、技術の精度を上げていきたい。

6.6　経済性・実装性向上のためのカメラシステムの標準化・量産化・共通化の実証

6.6.1　バス停を中心とした、自動運転バスの支援と、情報ハブとしての利活用との共用による費用低廉化・普及促進

（1） 実証スケジュール

表 6-34 実証スケジュール



（2） 開発・評価項目の結果

表 6-35 開発･評価項目

番号	開発・評価項目
1	6 個の機能を備えた情報 Hub バス停を開発
2	自動運転システム側の改修
3	試験路（閉鎖空間）での検証
4	現地運用検証

1）　6 個の機能を備えた情報 Hub バス停を開発

以下の 6 個の機能を持った情報 Hub バス停の開発を目指した。

① L4 を想定した自動運転バス車両への乗車要求

② L4 を想定した要介助者の支援要求

③ 乗降客等歩行者の車道飛出検知・警報と自動運転車への情報共有

④ バス停付近駐停車車両検知と自動運転車両接近警報

⑤ 広告表示

⑥ 遠隔対応窓口(遠隔会議)

情報 Hub バス停は、日本モビリティ社製連携型バス停をベースに、専用のバス停装置の開発を目指した。主な構成として「ディスプレイ」「入力装置(ボタン、タッチパネル)」「歩道側・車道側センサ(LiDAR、カメラ等)」「歩道側・車道側警報器」「デジタルコンテンツ用入力装置(NFC、QR コード)」から成る。

<設置写真：正面>　<設置写真：側面>　<設置写真：背面>

図 6-73 情報 Hub バス停

2) 自動運転システム側の改修

上記の構成から成る情報 Hub バス停および連携アプリを開発し、クラウドサーバを介して情報をやり取りすることで、上記①～⑥の機能を実現する。

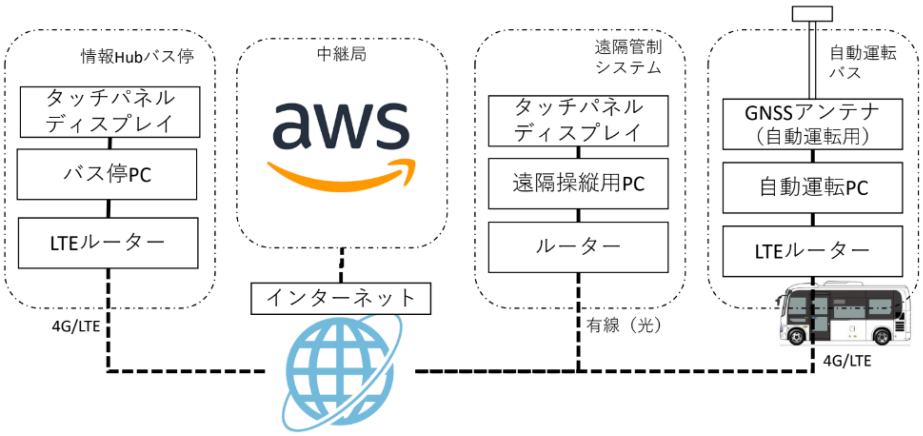


図 6-74 情報 Hub バス停連携システム構成

3) 試験路（閉鎖空間）での検証

情報 Hub バス停の機能のうち、車両に関連しない①②④⑤⑥について検証した。

① L4 を想定した自動運転バス車両への乗車要求

→自動運転車両への乗車要求を確認

結果：成功

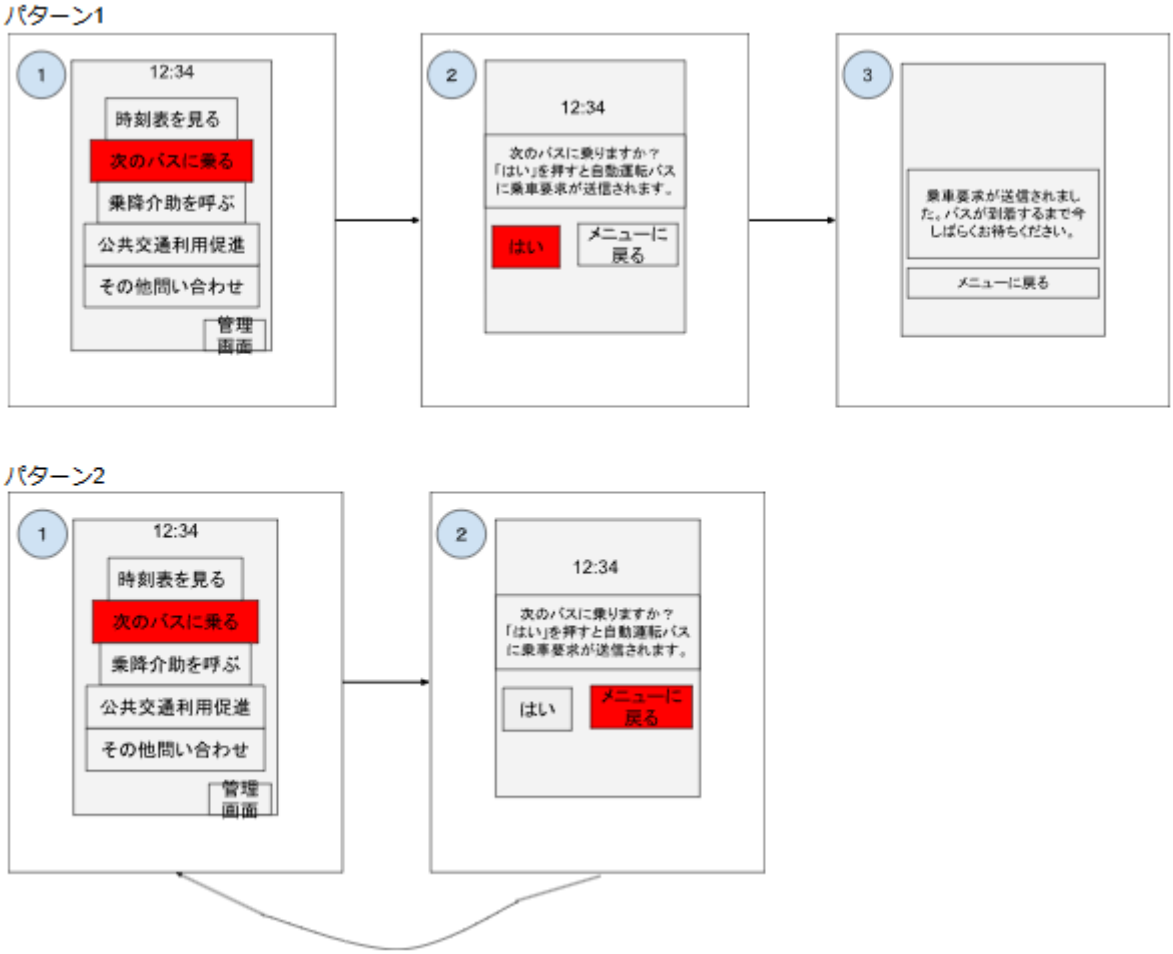


図 6-75 情報 Hub バス停 乗車要求フロー

② L4 を想定した要介助者の支援要求

→監視員への要介護者の支援要求を確認

結果：成功

③ 乗降客等歩行者の車道飛出検知・警報と自動運転車への情報共有

→直線縁石に並行になるようバス停を起点とした±15m 以内のエリアで仮想人物の検知・警報を確認

［仮想人物］身長 100cm 程度（子供想定）のマネキン

結果：概ね成功。

現場での検証で静止している人物の検知は問題なかったが、マネキンでは飛び出した人間を再現することができず、より厳密な検証として、静止状態から急発進（移動）をする対象物［仮想人物］を準備して検証する必要がある。

現状を考えると、実際の人物での対応が最も効果的であるが、検証前には安全を十分考慮して

臨む必要がある。

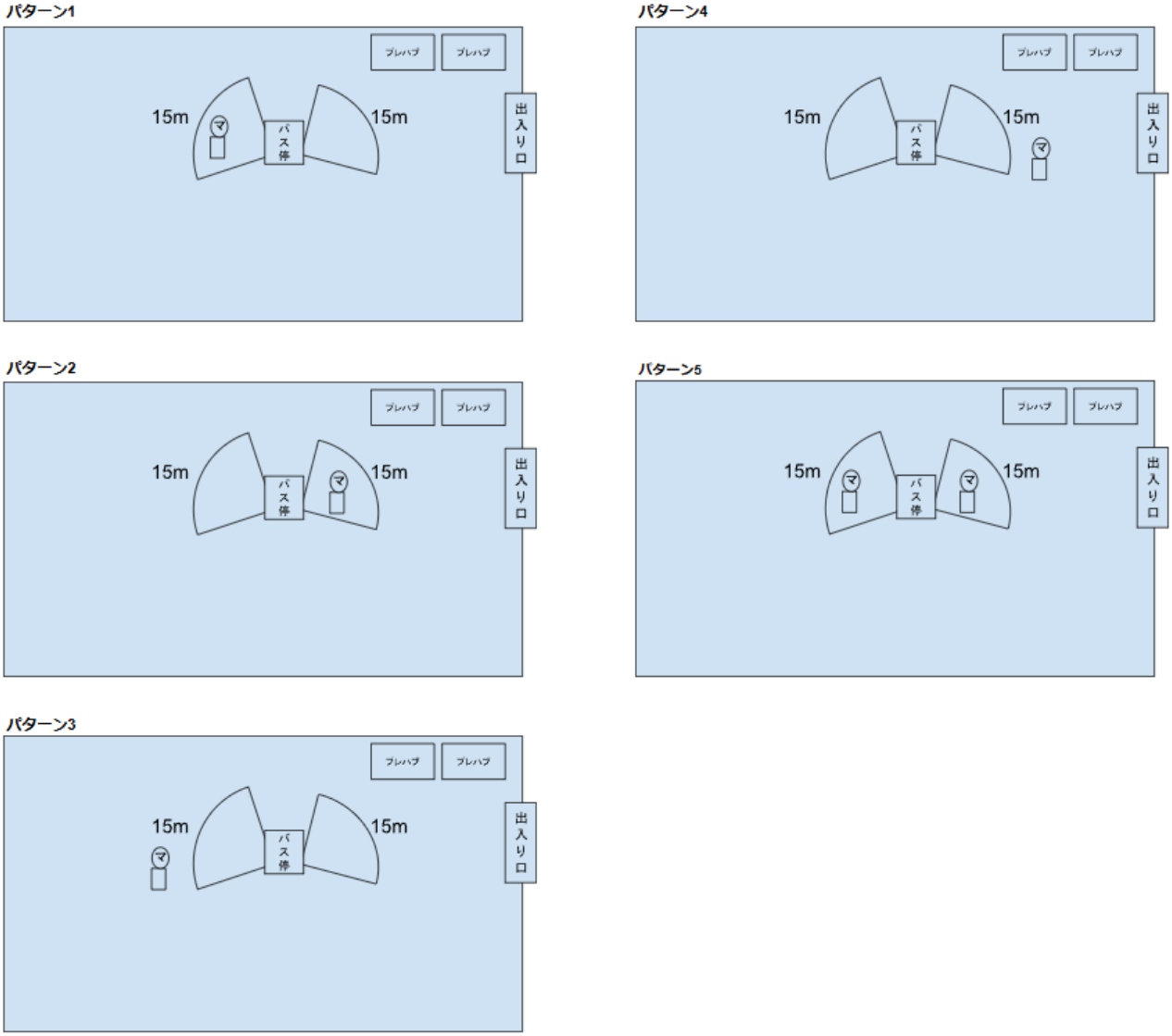


図 6-76 乗降客検知パターン

④ バス停付近駐停車車両検知と自動運転車両接近警報

→バス停起点として車道側半径 15m 以内の対象物検知を確認

［対象物］原付スクーターサイズ(L:1720, W:650, H:1020 程度)

結果：概ね成功

現場で確認したところ、歩道側の物体も検知してしまうことが判明した。より厳密な範囲として、歩道にはみ出ない範囲での検証が必要である。

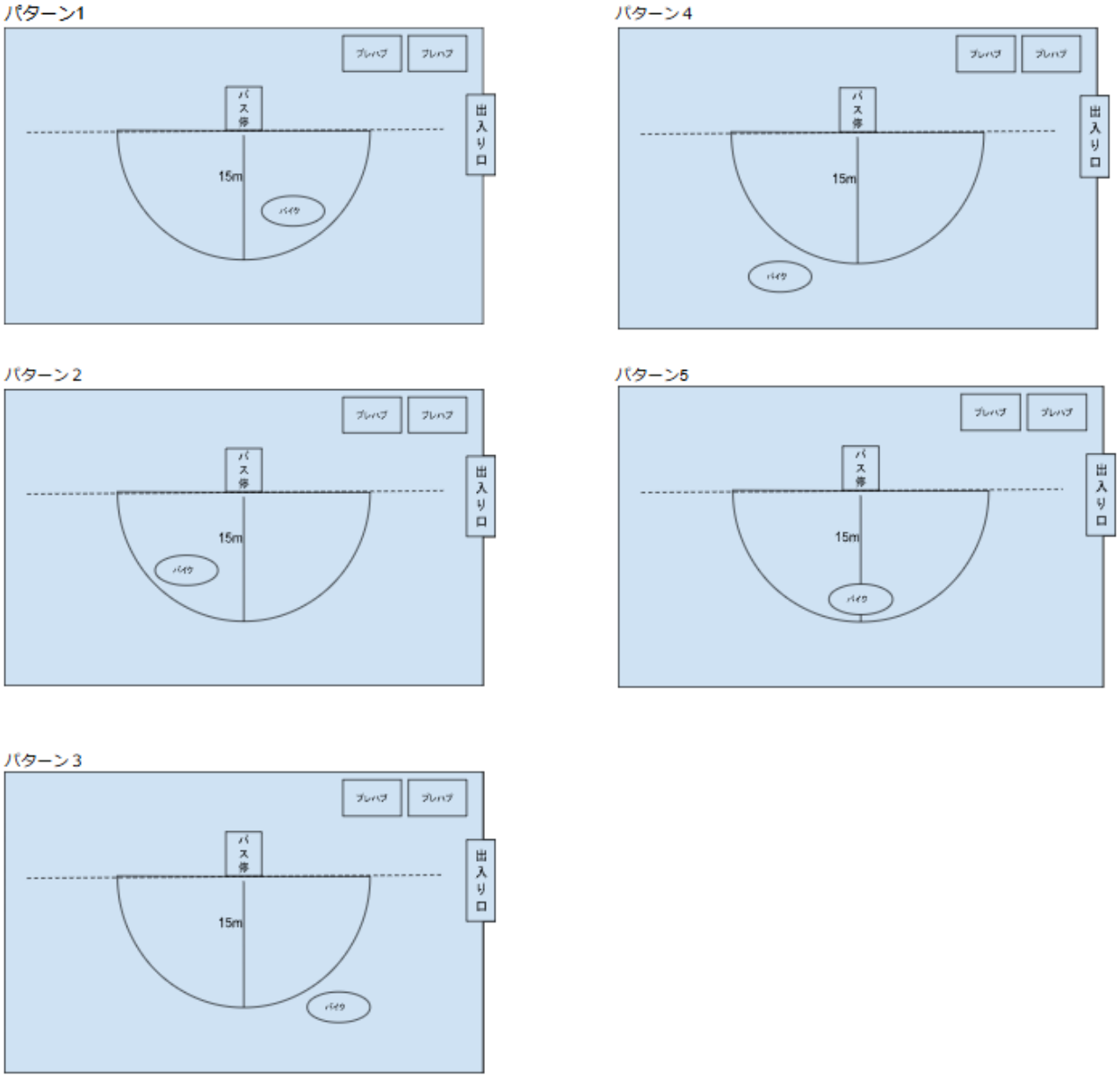


図 6-77 停車車両検知パターン

⑤ 広告表示

→複数の時間入れ替わり広告表示の連続稼働を確認

結果：成功

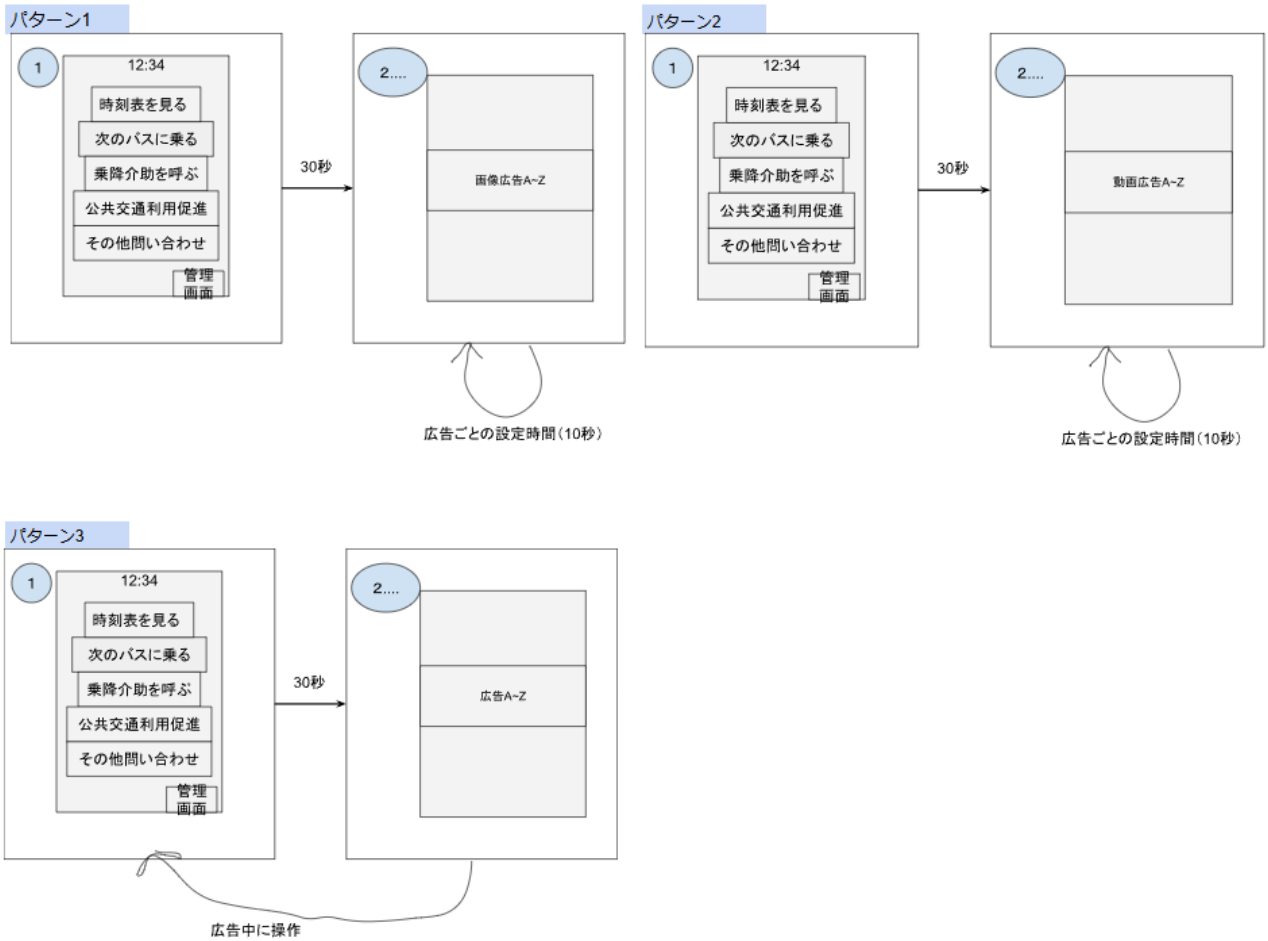


図 6-78 広告切り替わりパターン

⑥　遠隔対応窓口(遠隔会議)

→遠隔地にスタッフを常駐させ、行先案内のサービス提供要求への応答を確認

結果：成功

※①～⑥バス停等のログを取得した。

4)　現地運用検証

中央前橋駅ロータリーに設置し、以下の機能をテストし、概ね成功した。

②　L4 を想定した要介助者の支援要求

⑤　広告表示

⑥　遠隔対応窓口(遠隔会議)

（3） KGI/KPI との比較結果

表 6-36 KPI/KGI

定性評価/定量評価	番号	目標値
定性評価	1	・（一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。
	2	・自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。
定量評価	3	・各機能については、晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含むテストを行い、その達成指標は以下の通り。 ①試験路にて 100 回以上のテストで自動運転車両への乗車要求 100%成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ②試験路にて 100 回以上のテストで監視員への要介助者の支援要求成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ③試験路にて 100 回以上のテストで直線縁石に並行にバス停起点として±15m 以内の身長 100cm 程度のマネキンにて検知・警報成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ④試験路にて 100 回以上のテストでバス停起点として車道側半径 15m 以内の原付スクーターサイズ(L:1720, W:650, H:1020 程度)の検知成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ⑤試験路にて複数の時間入れ替わり広告表示(群馬県、前橋市公報等を想定)の連続稼働を成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。 ⑥試験路にて遠隔地に 1 名のスタッフを常駐させ、行先案内サービスを実施。サービス提供要求への応答を成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
	4	・群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施、1～6 の各機能動作を含む 12 時間連続稼働を 5 日間行い、情報 Hub バス停の停止および情報 Hub バス停を要因とする自動走行の中止 0 回を達成。
	5	・前橋市、日本中央バス(株)を含む前橋市路線バス事業者 6 社、上毛電気鉄道(株)を含む鉄道会社 2 社、(大)群馬大学、(大)前橋工科大学などの地域関係者、ならびに総務省、(株)三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施

1） （一財）日本自動車研究所に第三者レビューを委託し、ODD 手続きに向けて当該システムを用いることができることを確認する。

（一財）日本自動車研究所による第三者レビューが実施されたところであり、今後は各ユースケースにおいて開発・評価されたシステムを、ODD 手続きのプロセスにおいて有効に活用することを検討し、引き続き（一財）日本自動車研究所などの支援を受けながら同手続きを円滑かつ着実に進めていく予定である（詳細は 6.1.1-(3)KPI/KGI の比較結果の 3）参照）。

2） 自動運転車両による乗客からのアンケートを収集し、自動運転バス導入と当該システム導入に対しての致命的な反対意見がない事を確認する。

問題なし

（参照）8.1　自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果

3）　各機能については、晴天日中、曇天日中、雨天日中、夜間を含むテストを行い、その達成指標は以下の通り。

①　試験路にて 100 回以上のテストで自動運転車両への乗車要求 100%成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
→成功

②　試験路にて 100 回以上のテストで監視員への要介助者の支援要求成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
→成功

③　試験路にて 100 回以上のテストで直線縁石に並行にバス停起点として±15m 以内の身長 100cm 程度のマネキンにて検知・警報成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
→概ね成功

④　試験路にて 100 回以上のテストでバス停起点として車道側半径 15m 以内の原付スクーターサイズ(L:1720, W:650, H:1020 程度)の検知成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
→概ね成功

⑤　試験路にて複数の時間入れ替わり広告表示(群馬県、前橋市公報等を想定)の連続稼働を成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。
→成功

⑥　試験路にて遠隔地に 1 名のスタッフを常駐させ、行先案内サービスを実施。サービス提供要求への応答を成功。現地にて 15 日分の始便から終便までの稼働にて左記同様指標達成。

4）　群馬大学試験路等の閉鎖空間にて、当該機能を実装した自動運転車両を用いて自動走行を実施、1~8 の各機能動作を含む 12 時間連続稼働を 5 日間行い、情報 Hub バス停の停止および情報 Hub バス停を要因とする自動走行の中止 0 回を達成。

情報 Hub バス停の各機能検証結果は、以下の通り

①　L4 を想定した自動運転バス車両への乗車要求
→成功

②　L4 を想定した要介助者の支援要求
→成功

③　乗降客等歩行者の車道飛出検知・警報と自動運転車への情報共有
→概ね成功

④　バス停付近駐停車車両検知と自動運転車両接近警報
→概ね成功

⑤　広告表示
　　→成功
⑥　遠隔対応窓口（遠隔会議）
　　→成功

5）　前橋市、日本中央バス（株）を含む前橋市路線バス事業者 6 社、上毛電気鉄道（株）を含む鉄道会社 2 社、（大）群馬大学、（大）前橋工科大学などの地域関係者、ならびに総務省、（株）三菱総合研究所等の本事業関係者に向けた見学会を 1 日以上実施。

2024 年 12 月 5 日見学会（視察会）実施

（4）　考察

本ユースケースにおいては、自動運転の視点から活用の余地の大きいバス停を情報ハブとして多様な役割を担わせインフラ共有することにより、費用の低廉化やビジネスモデルの普及促進につなげることに取り組んだ。

しかしながら、実際に巡行バスが運行しているバス停付近での検証で、純粋な検証条件が整うまで待機が必要であった。

また検証中にも、イレギュラーな通行人で検証やり直しが発生し、想定していたテスト回数を満たすことができなかった。

一方、実際の（運行中）現場検証で、必要条件の気づきもあり、机上と現実（人の流れ等）のシチュエーション比較に役立った。

未検証の部分もあるが、各機能は、概ね想定通りの動作を確認でき、それぞれの課題も明確になった。

バス停で情報（インフォメーション）の Hub 化を図るという、基本的な方向性は有効であるということが分かったので、今後の取り組みに役立てたい。

6.7　レベル 4 の社会実装に向けた検討

6.7.1　運用検証

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

1）　実施結果

＜遠隔監視員へのヒアリング＞

遠隔監視実施場所：群馬県中之条町ルートＡ

対象者：レベル２搭乗型の自動運転運行を実施したことのあり、遠隔監視の講習を受けた者（1名）

ヒアリング結果：

「走行中の映像途絶の区間、時間、想定される要因」

→途絶回数が多いのは奥四万トンネルで、特に出入り口付近で途絶が発生しやすかった。

CURWB はトンネル出入り口の 150m ほど手前でも接続されるほど広域な接続可能範囲を備えていて、「接続しやすく、切断されにくい」という状態だった。

LCX はトンネルの出入り口にかなり接近しないと、接続が確立されないような状態で、「接続しにくく、切断しやすい」状況になりやすい印象だった。

「走行中の映像カクツキの区間、時間、想定される要因」

→Q1 と同様の理由で、LCX のトンネル出入り口付近で発生していた。

時間によって特に影響があるような印象はなかった。

「映像の見やすさに関する課題への気づき（自由記述)」
→映像は鮮明に映り、遅延も少ないため遠隔監視として用いるには十分な性能があると感じた。映像の見え方については、課題となるようなものは特に感じられなかった。

「画面構成に関する課題への気づき（自由記述)」
→映像伝送の画面構成については特に課題となるようなものは感じられなかった。

「自動運転監視の視点での運用上の課題への気づき（自由記述)」
→初回作業時限定のみではあるが、立ち上げるアプリが複数あり準備に手間がかかる点が気になった。

「技術的に向上してもらいたいポイント（自由記述)」
→上記同様。立ち上げを簡易的にできるようになってほしい。

2） 考察

ヒアリング結果から、遠隔監視の映像品質自体には大きな課題がないものの、通信の安定性や運用の効率化が重要な改善ポイントであることが示された。特に運用面では監視システムのセットアップ手順を簡素化し、作業負担を軽減することが求められる。今後の改善により、遠隔監視の信頼性向上と、より円滑な自動運転支援が期待できる。

7.　本実証の総括

7.1　本実証の成果・課題

人口減少且つ超高齢社会である日本社会において「交通」という血液循環のような機能を安全に、且つ持続可能な形で存続させていくためには、通信、ネットワーク技術を含むICT技術の活用やDX的視点は必要不可欠なものである。その中でも「公共交通」という分野は、その担う役割は膨張しつつあるのも関わらず、継続させるための費用負担、費用対効果という点において大変厳しい環境にある。ここ群馬県においても公共交通を維持するための補助金が数億の規模になったり、自治体からの委託路線によってバス路線を維持していたり、と非常に苦しい環境が続いている。加えて、ドライバー不足もいよいよ深刻化し、公共交通を、経済性を伴いながら維持存続させていくには多くの課題が山積している。

群馬県における自動運転バス事業の取り組みはそうした背景に対し、直近ではドライバー不足への対応、中長期的には複数路線導入による経済効果も発揮しながら、自動化ならではの増便や電子化連携によるフリーパス化、キャッシュレス化、MaaS連携等によって利用者の利便性増進も図り、公共交通全体としてその利用者を増加させようと、街づくりとの連携も視野に、複数個所で推進されているものである。

本実証事業では、遠隔管制型 L4 自動運転バスの社会実装に向け、課題となる複数のテーマについてユースケースを設定し、その実証を行った。

以下に、当初の大きな目的であったレベル4自動運転バスを社会実装する上での重要な3つの課題ポイントに対して整理する。

7.1.1　自動運転を導入するとサービス品質が低下するとの課題

この課題については、機能の開発や連携成果により運転手乗車時に求められるサービス品質の一部について維持する方法を確認できた。

ユースケース⑥-1における情報Hubバス停によって、バス停付近からの歩行者の飛び出し、駐車車両などへの対応の他、車いす対応のための正着制御、乗客判定など様々な課題を一挙に解決し、レベル4自動運転バスの実現可能性を高めること、同時に広告表示やMaaS連携などバス停導入コストの削減効果を明らかにすることを目指して検証を行った。

また、ユースケース⑤-2において、鉄道会社協力のもと鉄道の遅延等の運行ダイヤの揺らぎを考慮した柔軟なバス運行を実現し、レベル4自動運転バス導入の中でサービス品質を維持する効果を明らかにすることを本事業の目的としていた。

情報Hubバス停については、機能開発後、試験路での検証と中央前橋駅ロータリーでの実地検証を実施し効果を技術的に確認できた。今後は実際のユーザーに情報Hubバス停を使用してもらい、意見を収集して改修を検討したい。

また、鉄道連携については、各機器をもとに電車の到着時刻を予測し自動運転バスへ通知する

検証を実施した。結果、到着予想時刻は概ね正確であり、さらに精度を高められれば、レベル 4 自動運転による無人化後も、鉄道とバスの乗り継ぎ連携に対するサービス低下は避けられることが確認できた。

7.1.2 通信に関連する問題により導入候補地域が限定されるという課題

この課題については、ユースケース①により一定の成果が得られたものの、同時に今後も取り組まなければならない新たな課題が明確になった。

携帯通信網外での通信手法として、Cisco CUREWB 技術および LCX（漏洩同軸ケーブル）による通信環境単体として、トンネル内でも最低限の映像が管制室で確認できることが確認され、これまで厳しいとされたエリアへの自動運転の導入可能性を見出す事ができた。一方で通信の不安定さから、映像の不安定さが残っており、今後の課題となっている。

一方で上記技術のバックアップ通信手段として期待されていた IEEE802.11ah を組み合わせた環境構成については、IEEE802.11ah の接続が不安定であったため、通信手段としての冗長性を確保した通信の継続を達成できなかった。これは IEEE8022.11ah が移動体での通信で成果が得られなかったことや、アクセスポイントのスキャンタイミングが遅い事などの手法的課題に起因しており、今後の通信構築のための知見となった。

さらに自動運転車両で通常使用する携帯通信網について単独機能として動作させた際、繋がると想定された場所において強度が弱く、トンネルと携帯通信網への切替時に映像伝送が継続できない現象が発生した。また IEEE802.11ah についても上記理由により切替時の映像伝送継続ができないことが確認された。

自動運転車両の遠隔管制のためには移動中の映像伝送切り替えが必須となるため、この前提条件が具体化できたことで、検証すべき追加ポイント、通信課題、をより明確なものとできている。

7.1.3 通信に関するコストパフォーマンスのバランス点という問題

この課題については、ユースケース⑥-1 において自動運転の視点から活用の余地の大きいバス停を情報ハブとして多様な役割を担わせインフラ共有することにより、費用の低廉化やビジネスモデルの普及促進を検討し、バス停を情報の Hub として乗客・バス停・自動運転車両の情報接続を行うという、基本的な方向性は有効であるということを明らかにできた。

また、ユースケース⑥-2 において路側デバイスの情報を自動運転以外の交通や全く別の用途に提供するモデルによって、維持費の分担・回収を行う仮説を実証し、自治体ヒアリング等から路側デバイスから得られるデータ利活用サービスの有効性や今後の課題が抽出できた。また、設置・運用費用・経済価値試算を行った結果、路側インフラの設置・運用費用とユースケースの実現による経済価値は同等以上となった。これにより、自動運転導入における経済性が成り立つ可能性があると結論づけられる。

また、ユースケース②においては、通信品質に応じてより重要な情報を取捨選択して送信する情報制御を体系的なモデルにまとめ、モデルに応じた通信制御機能を確認した。本機能の開発を進めることで、携帯通信網などの公共通信を利用することによる路側デバイスの導入・維持コス

ト削減の検討を進めていく。

また、本年度実証をレベル 4 自動運転バスの社会実装という大目標を踏まえた場合、車両間の情報共有という、より統合的なシステム検証を行ったことが特徴である。これは、ドライバー同士の情報共有（無線通信など）よりも、高速道路の管制システムに近いものである。今回の検証事業では、役割分担した車両の一方通行での情報共有となったが、将来的には双方向の共有機能の実装により、全体で 1 つとなるシステムの構築を検討したい。

また、これらの発展的な自動運転に関する技術発展の支柱として、高速かつ低遅延の通信インフラは欠かすことができない。現在の LTE 通信は一定の性能を提供しているが、自動運転車がリアルタイムにデータを必要とする場面では、その限界が明らかである。

このため、将来的には、ローカル 5G やその他次世代通信技術の導入により、車両とインフラ間での巨大なデータの迅速なやり取りが可能となるため、計算や通信による遅延を最小限に抑え、多様かつリアルタイムなデータ処理が実現できる。

以上のような実証の結果、それぞれのユースケースにおいてはその有用性が認められるケースやまだまだ課題の残るケースが見受けられたが、本実証の成果が自動運転モビリティの社会実装に向け多くの地域で活用されること、地域課題の解決に資すること、またそれによって日本全体の安心で安全な誰もがそのメリットを享受できる自動運転技術の進化につながることを期待し、考察とする。

8.　参考資料

8.1　自動運転車両による乗客からのアンケート収集結果

11/11（月）～12/3（火）にかけて、中之条　奥四万ルートＡ・ルートＢの搭乗者へ、自動運転車両についてのアンケートを実施した。

（1）アンケート内容

※Q1 は搭乗者の個人情報に繋がる為、割愛

表 8-1 アンケート内容

Q2. 今回試乗した車両の安全性に対する印象をお応えください	
①普通の車両と比較して、乗車中に危険を感じる場面はありましたか	危険を感じた
	危険を感じなかった
②危険を感じた方のみ、理由をお選びください（複数回答）	乗り心地（揺れやふらつき等）
	急停止
	急発進
	急ハンドル
	その他
③危険を感じた方のみ、その場面をお選びください	乗車時
	発進時
	停止時
	緊急停止時
	車線変更時
	交差点通過時
	交差点右左折時
	歩行者と接近時（横断歩道等）
	他車とすれ違ったとき
	車速が遅いとき
	その他
Q3. 速度・ハンドル操作への印象についてお答えください。	
①速度に対する印象	遅い
	やや遅い
	普通

	やや速い
	速い
②急ブレーキ回数に対する印象	多い
	やや多い
	普通
	やや少ない
	少ない
③急ハンドル回数に対する印象	多い
	やや多い
	普通
	やや少ない
	少ない
Q4. 試乗体験会前後の自動運転の印象についてお答えください。	
①試乗体験前の印象	安心
	やや安心
	やや不安
	不安
②試乗体験後の印象	安心
	やや安心
	やや不安
	不安
Q5. 今回の試乗体験会により、自動運転への理解が深まったと思いますか（1 つに◯）	
	深まった
	やや深まった
	どちらでもない
	あまり深まらなかった
	深まらなかった
Q6. 将来的な自動運転サービスの利用以降についてお答えください。	
このルートで自動運転サービスが運行された場合、利用したいと思いますか	有料でも利用する
	無料なら利用する
	どちらかというと利用しない

	利用しない
Q7. 【問 6】で利用希望を選択されて方のみお答えください。	
①利用を希望する理由 （複数回答可）	安全性を感じるため
	他の交通手段より便利/早い
	運行時間帯が適切
	運行間隔が適切
	その他
②1 回の利用で、運賃はいくらまでなら支払うことができますか	○○円であれば利用する
	有料なら利用しない
Q8. 【問 6】で利用希望なしを選択された方のみお答えください。	
利用を希望しない理由 （複数回答可）	安全性を感じないため
	他の交通手段の方が便利/早い
	運行時間が不適切 （○○時から○○時の運行を希望）
	運行間隔が不適切 （○○分間隔の運行を希望）
	その他
今回の試乗体験会全体を通しての感想や、将来の自動運転技術の実装に対するご意見があれば、ご自由にご記入ください（自由記述）	

（2） 回答結果（377 名）

Q2. 今回試乗した車両の安全性に対する印象をお応えください

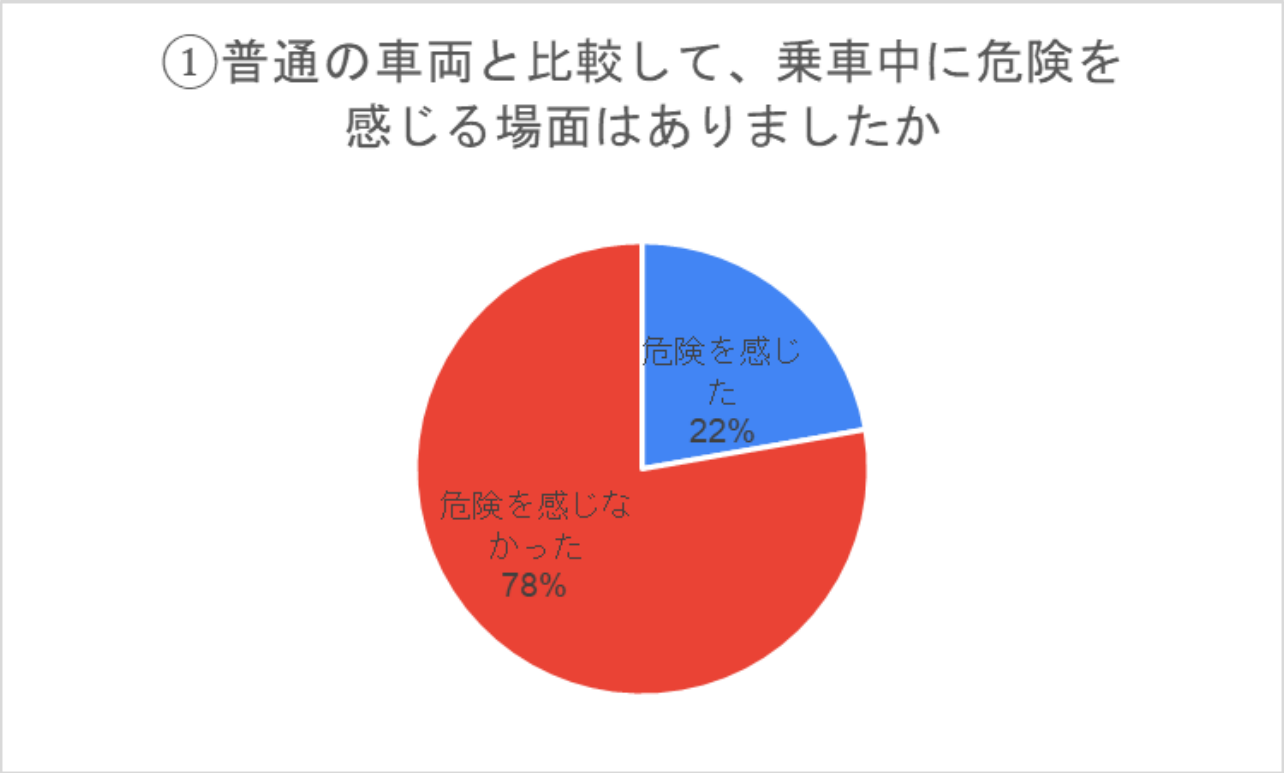


図 8-1 アンケート結果

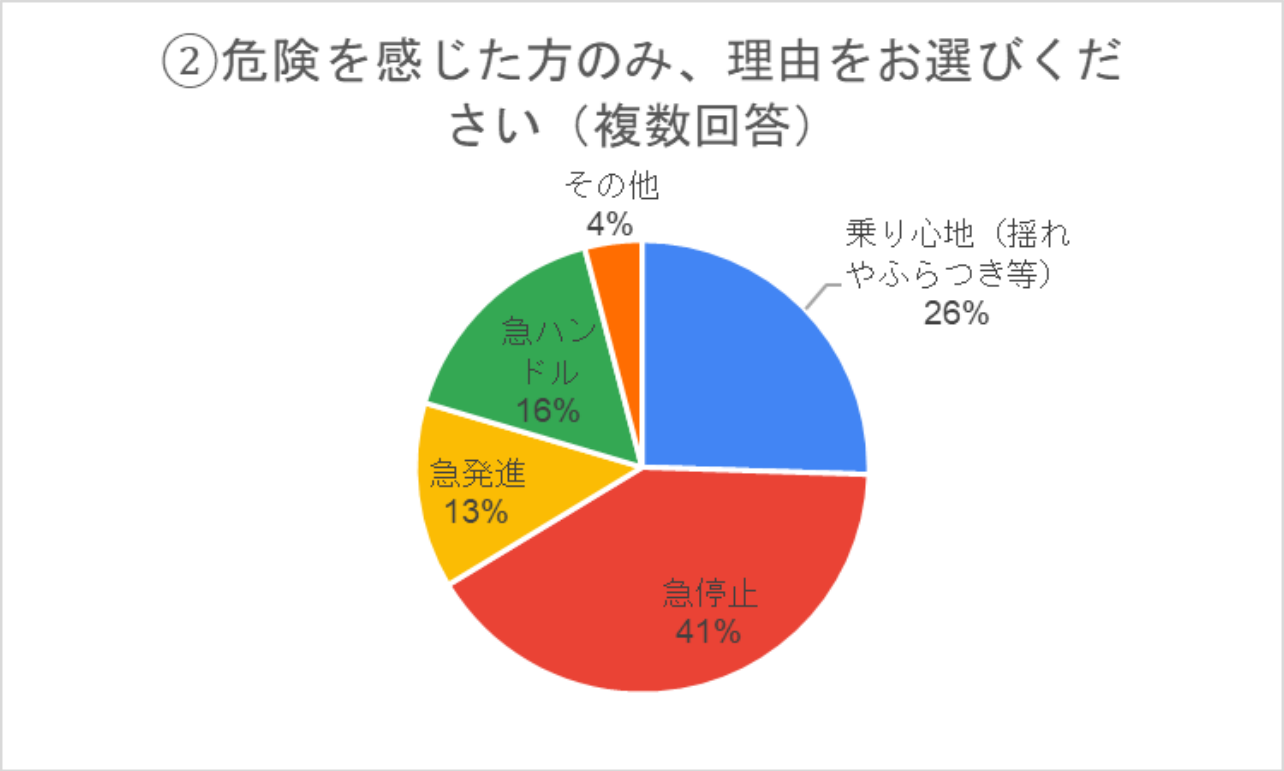


図 8-2 アンケート結果

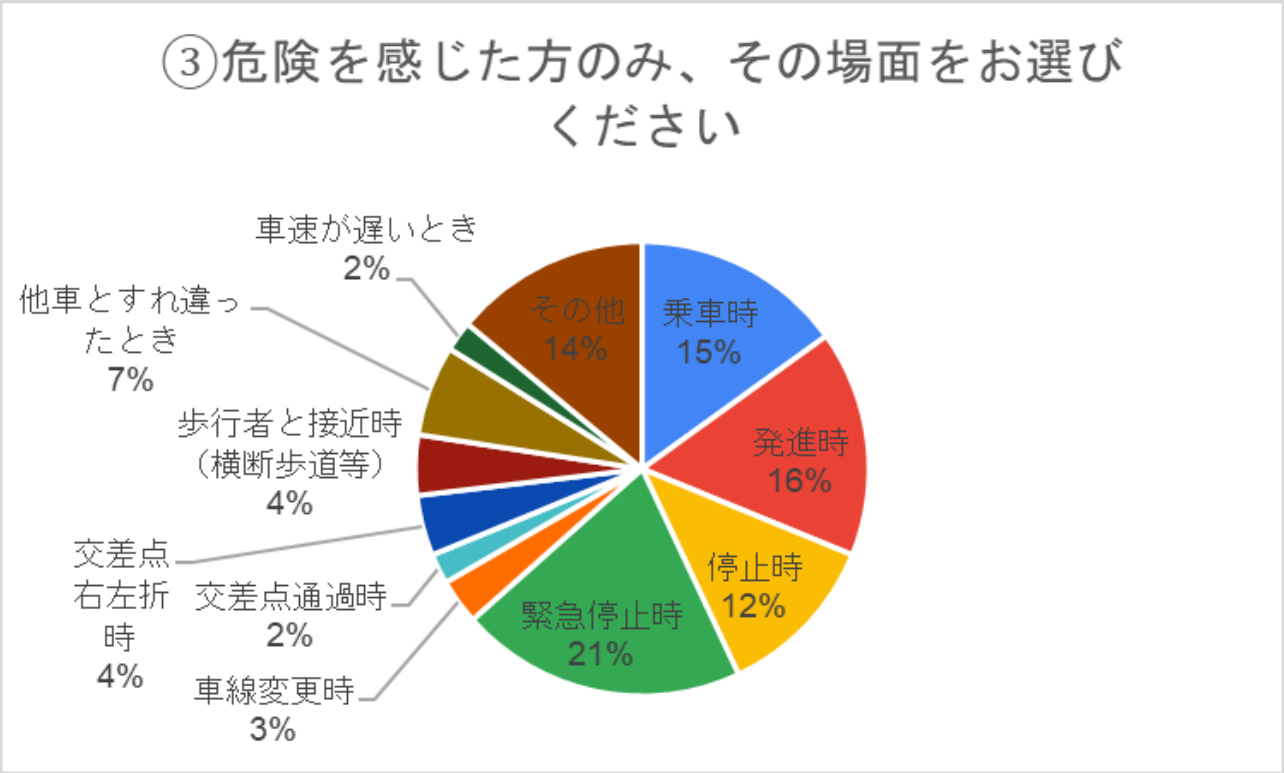


図 8-3 アンケート結果

Q3. 速度・ハンドル操作への印象についてお答えください。

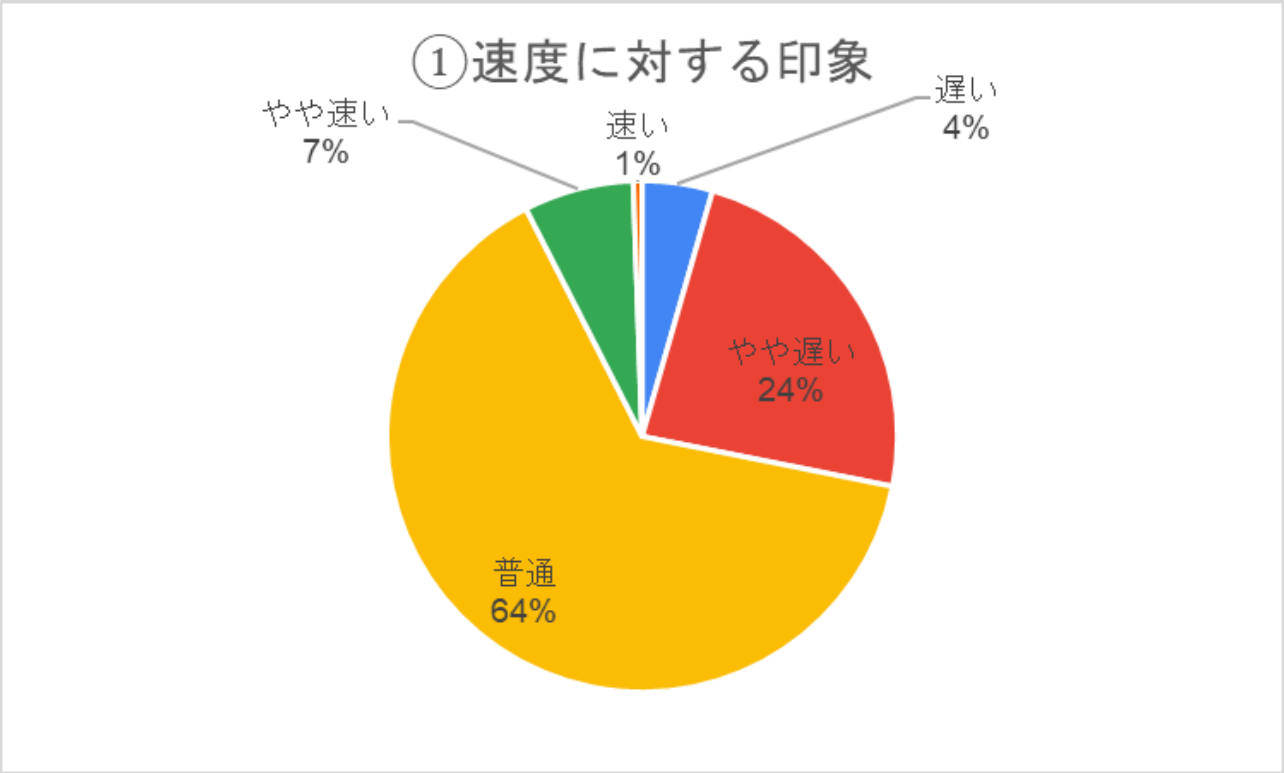


図 8-4 アンケート結果

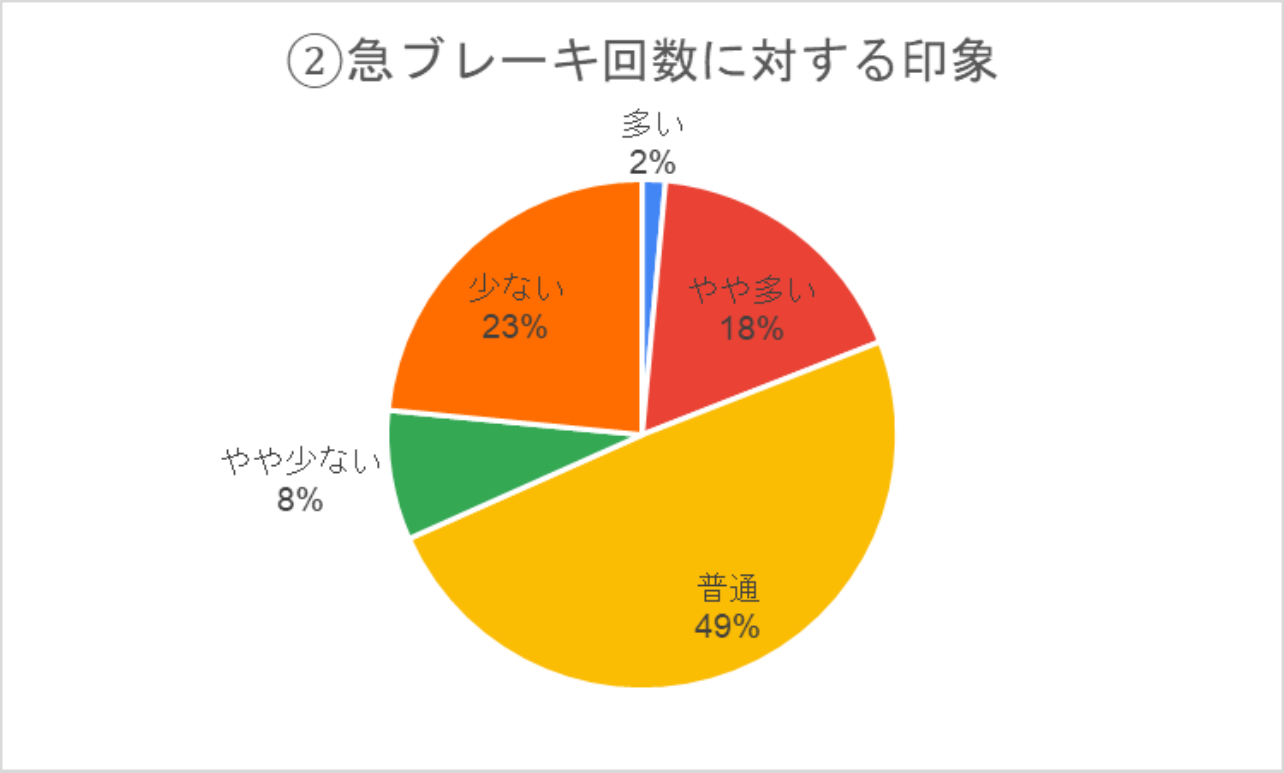


図 8-5 アンケート結果

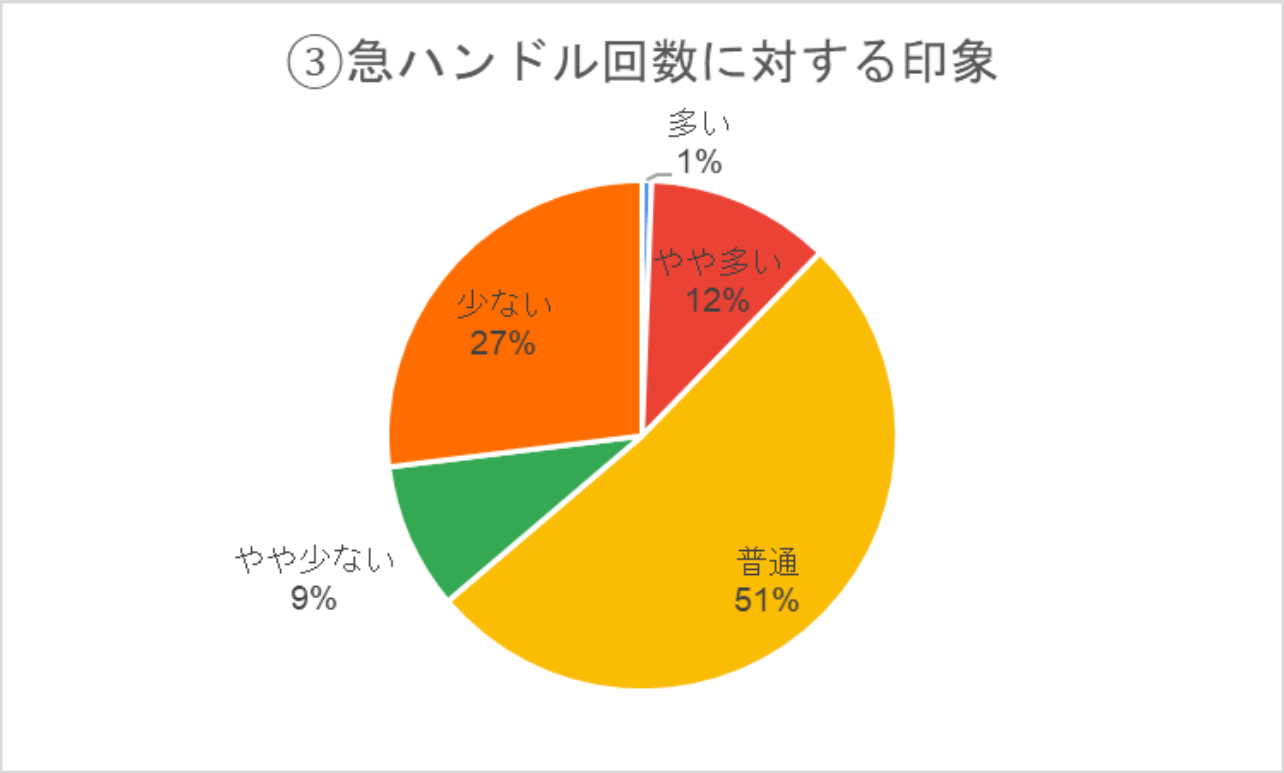


図 8-6 アンケート結果

Q4.　試乗体験会前後の自動運転の印象についてお答えください。

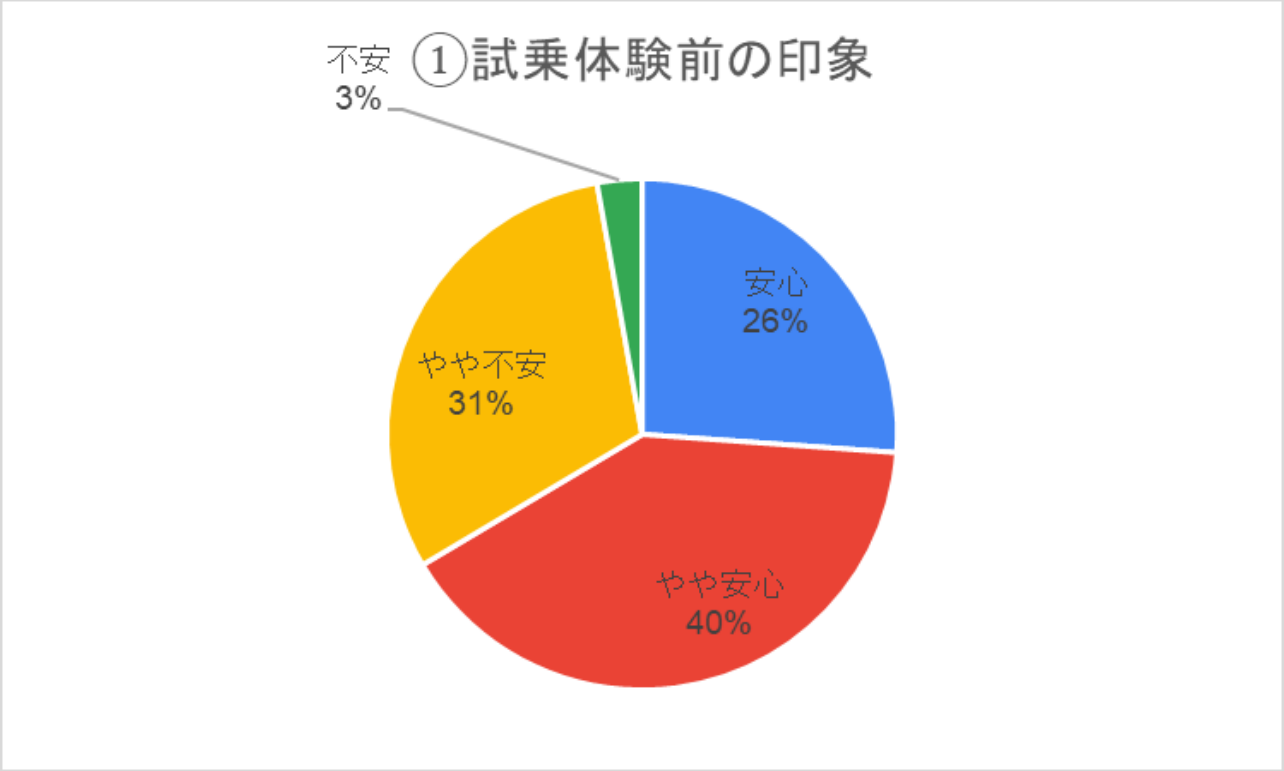


図 8-7 アンケート結果

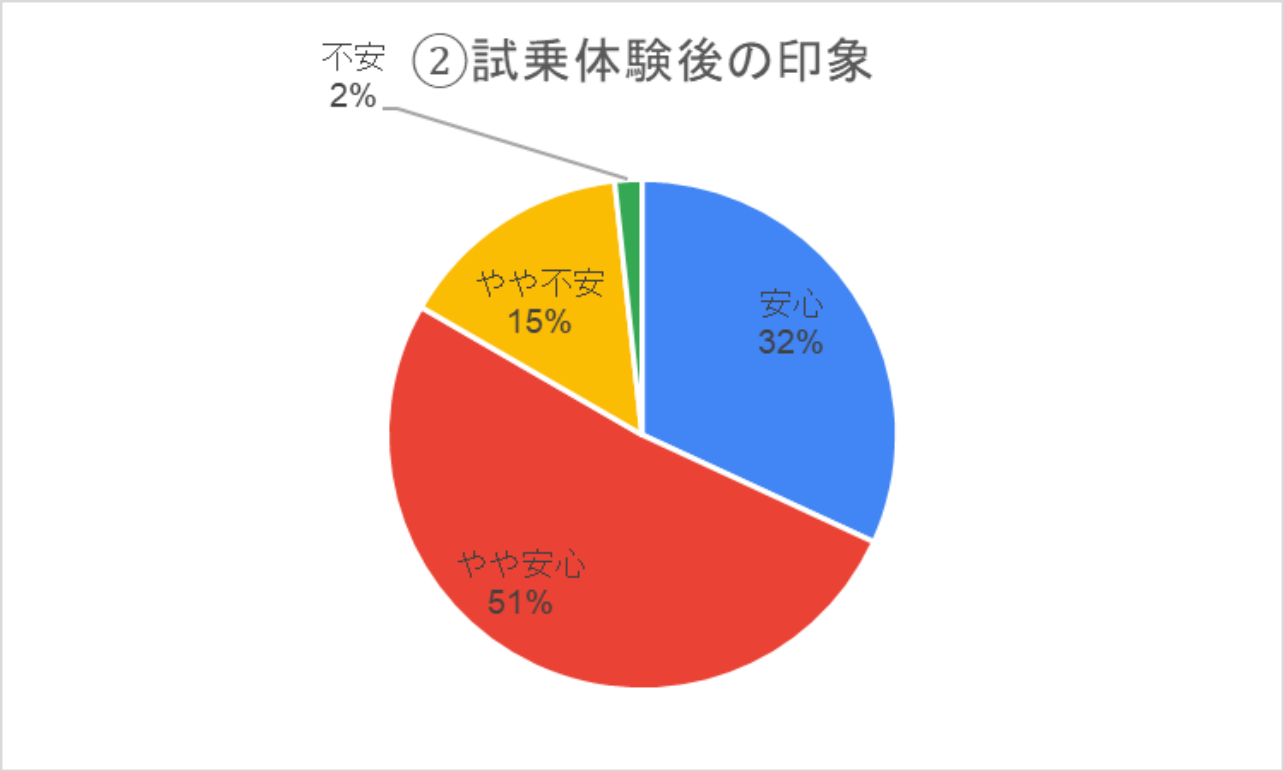


図 8-8 アンケート結果

Q5.　今回の試乗体験会により、自動運転への理解が深まったと思いますか（1 つに◯）

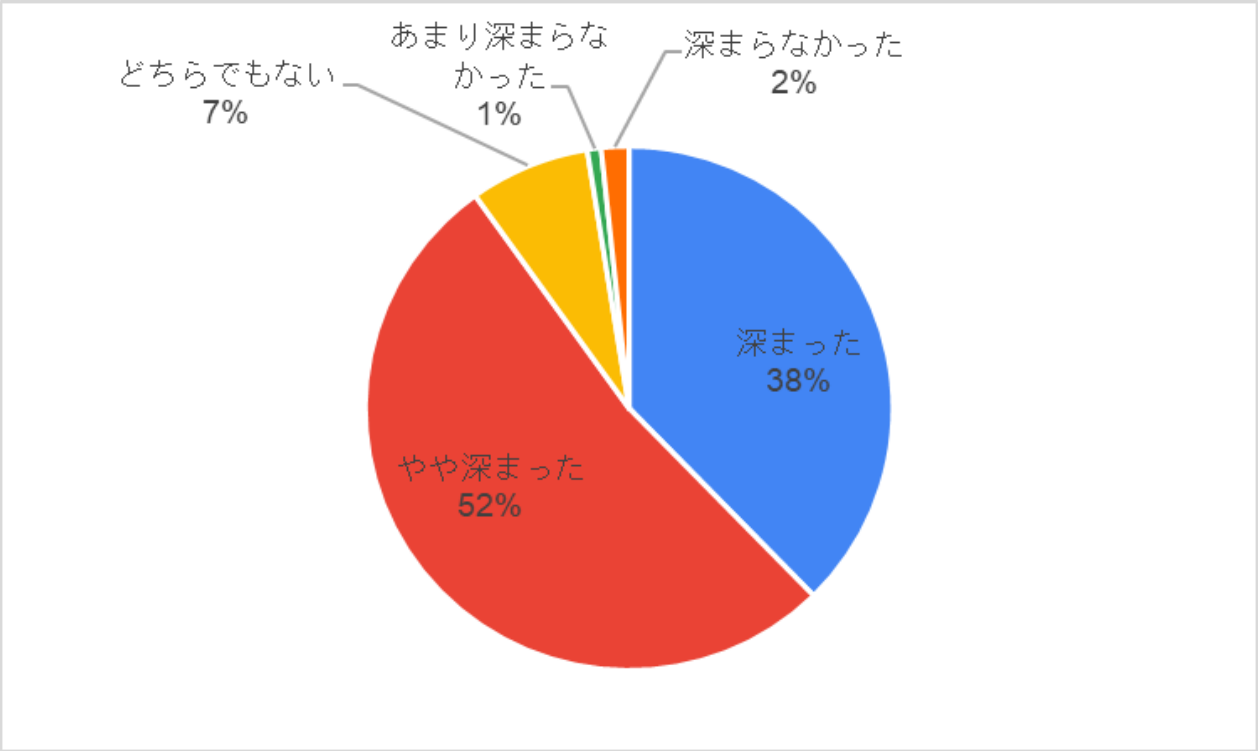


図 8-9 アンケート結果

Q6.　将来的な自動運転サービスの利用以降についてお答えください。

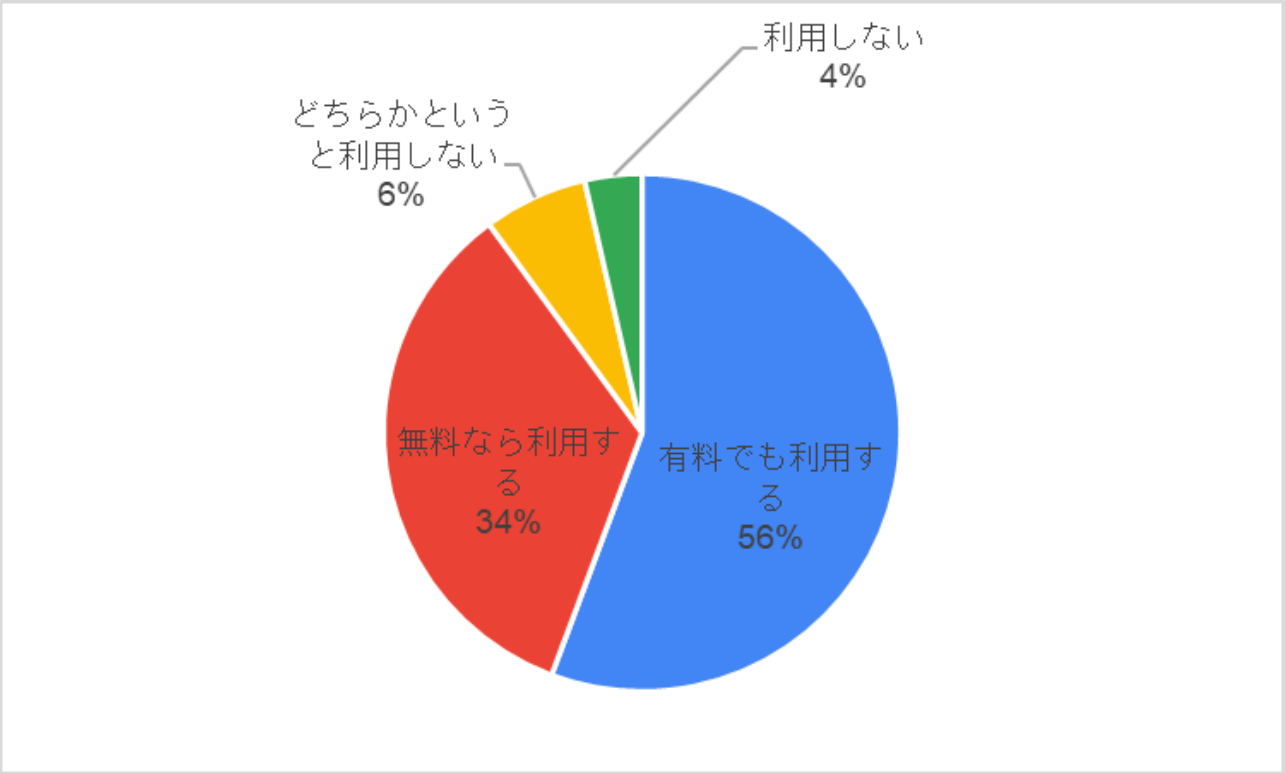


図 8-10 アンケート結果

Q7.　【問 6】で利用希望を選択されて方のみお答えください。

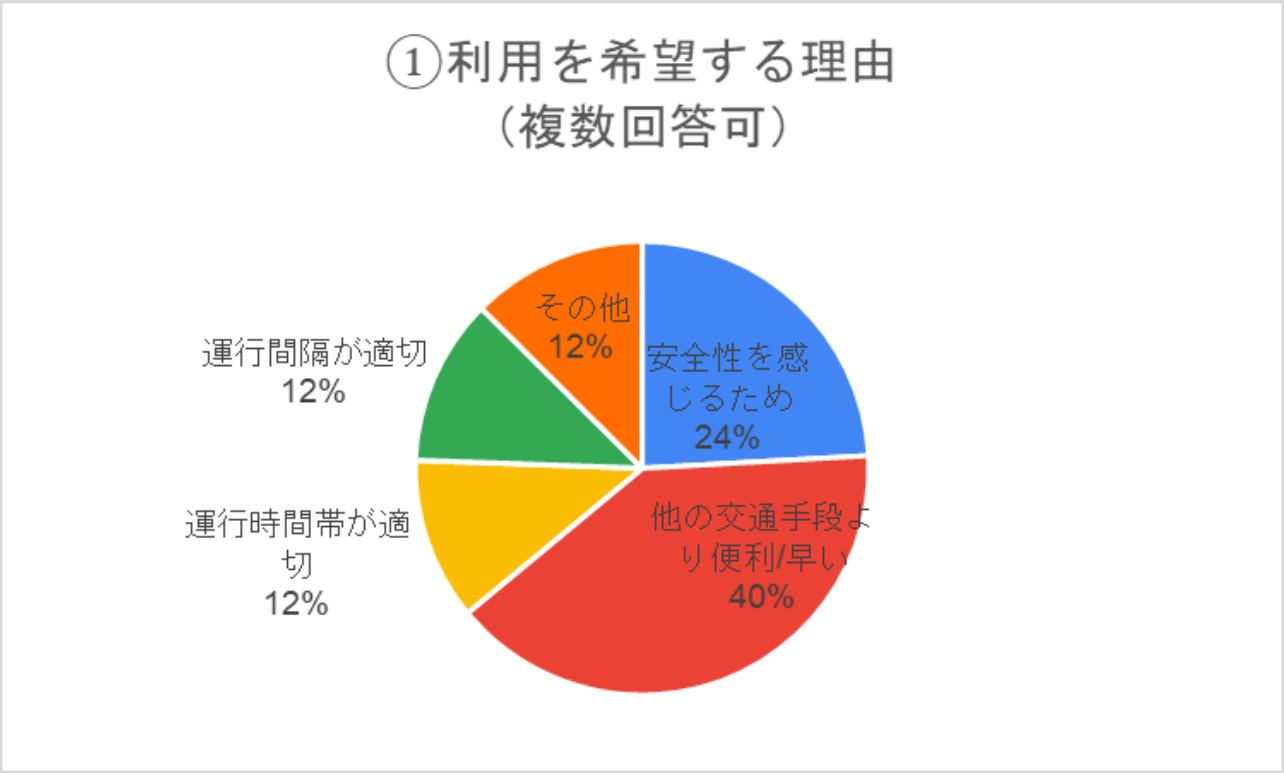


図 8-11 アンケート結果

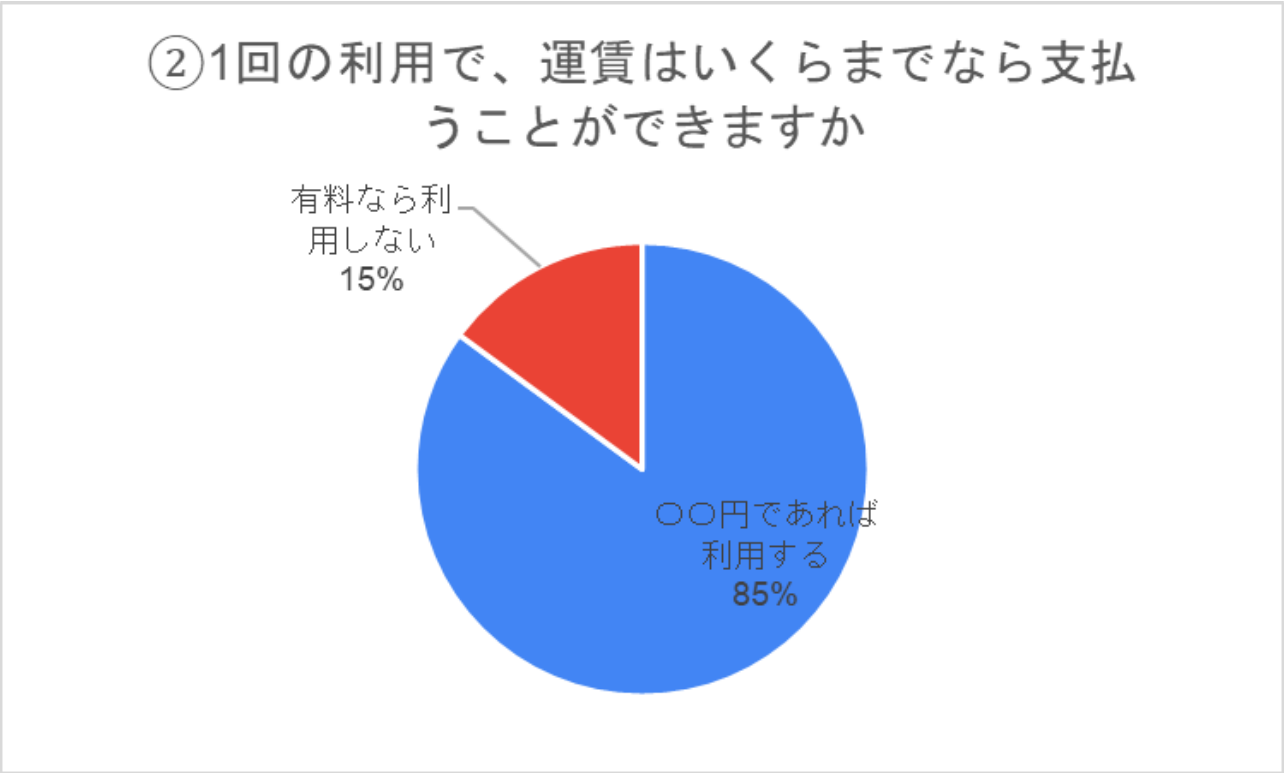


図 8-12 アンケート結果

Q8.　【問 6】で利用希望なしを選択された方のみお答えください。

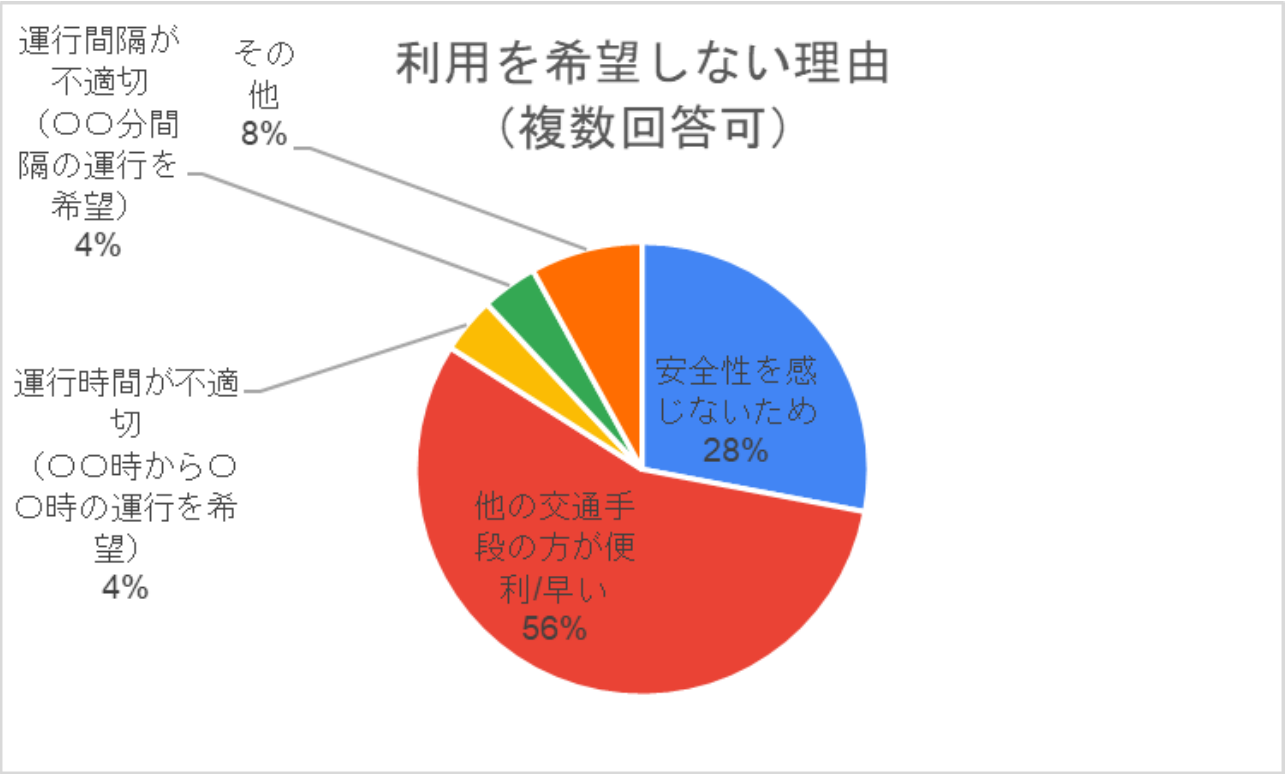


図 8-13 アンケート結果

※「〇〇時から〇〇時の運行」「〇〇分間隔」の回答は、チェックのみだった為、値不明

今回の試乗体験会全体を通しての感想や、将来の自動運転技術の実装に対するご意見があれば、ご自由にご記入ください（自由記述）

※意見内容からポジティブ、ネガティブで分類

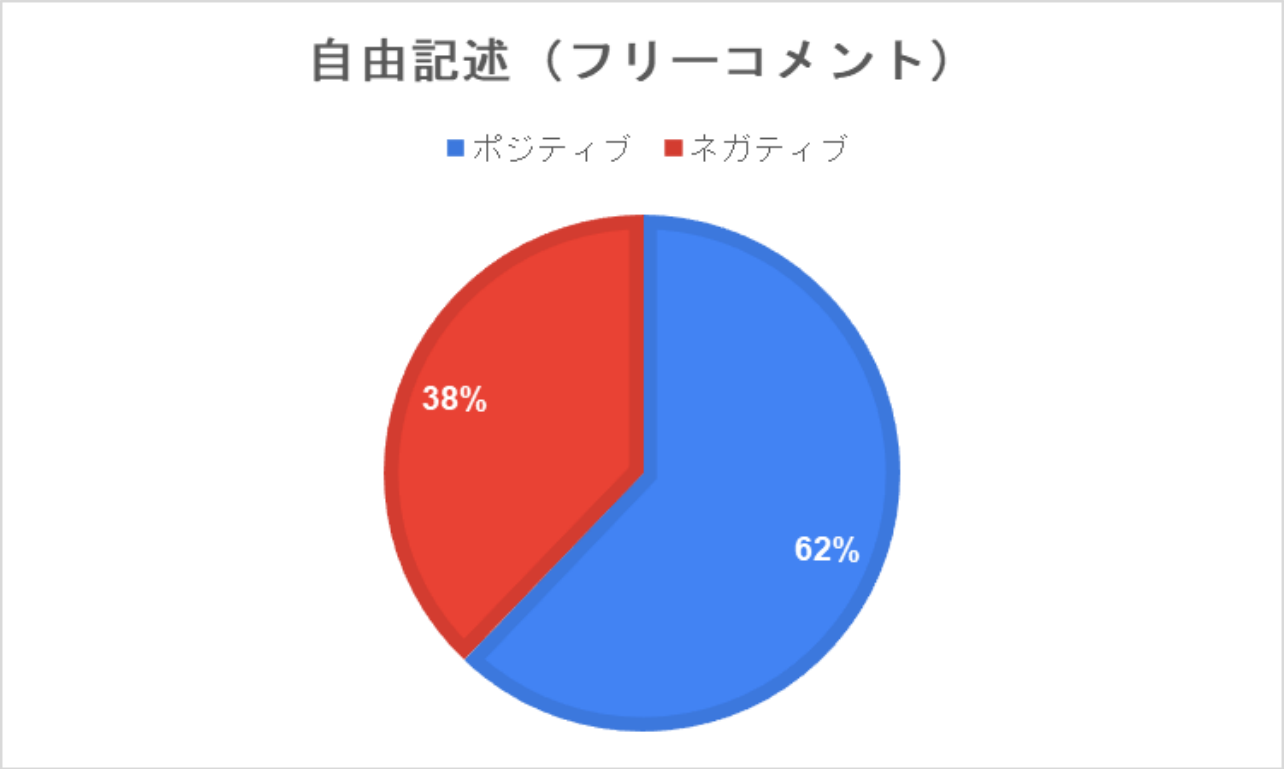


図 8-14 アンケート結果

意見の概要は以下の通り

【ポジティブ意見】

・期待、今後が楽しみ **26**

-とても便利だったので今後もサービスを継続していってほしい。

-自動運転への期待が大きくなった。

・観光コースについて **14**

-景勝地で一時下車して欲しかった。

-場所によっては止まってほしい

・よかった、楽しかった **12**

-自家用車でない人にとって便利だと思った。

・もっと告知、広告をしてほしい **8**

-自動運転中の案内とかが車内アナウンスがあれば良いと思います。

-小さい子どもが乗車しているので EV,自動運転の必要性などの説明があれば良い

・安心して乗ることができた **5**

-安全で快適な走行でした。

・思っていたより安全、スムーズ **5**

-思ったより自動運転の技術が向上していた

【ネガティブ意見】

・安全面で不安があった **13**

-シームレス感がほしい。安全性をより高めてほしい。

-急な他車の割り込みや飛び出しに対応できるか不安。

-シートベルトの着用について、検討が必要ではないか？

・自動運転が短かった（手動が多い） **11**

-自動運転区間が短く残念

・スピードが遅い **3**

-減速しすぎて後続車に突っ込まれないか少し不安でした。

・段取りが悪かった **2**

-乗車人数の間違えがあり仲間が乗れなかった

-アンケートの裏面に気づかなかった

・急ハンドルが気になった **5**

-ハンドルがいつ切られるかわからなくて怖い。

・ブレーキが気になった **5**

-ブレーキの ON/OFF が少しばかり急な感じでした。

・難しい技術だと感じた **5**

-実用に向けてはまだ開発改良の余地がありそうでした。

・（過疎地の）移動手段問題に期待	5
-便利な移動手段になると思いました。	
-高齢者などに良いと思う。	
・紅葉がきれいだった	3
・また乗りたい	3
・快適だった	2
・技術に感心した	2
・スタッフの対応がよかった	2
-素朴かつ初歩的な質問にもきちんと答えてくださったので理解が深まりました。	
・運転席が気になった	3
-運転席に人がいないと不安を感じる	
・音が気になった	2
・カーブが急だった	2
・アクセル（加速）が気になった	2
-発進時の勢いがやや危険と感じた。	

図 8-15 アンケート結果

（3） アンケート総評

選択式回答では、車両の安全性、速度、ブレーキ、ハンドリングについてポジティブな回答をいただいた。また、「安心」「やや安心」の印象は乗車前・後でいずれも増加しており、自動運転の理解度は「深まった」「やや深まった」で 9 割に達している。

実際の試乗によって、自動運転がどんなものなのかのご理解に貢献できたといえる。

将来的な運用サービスを想定した質問に対しては、利用に積極的なご意見が半数を占め、「無料なら利用したい」を含めると、これも 9 割に達している。

利用したい理由は様々であったが、一回の運賃希望額は、意外にも 600 円が最も多く、これはタクシー初乗り運賃相当である。これは自由回答にあった、過疎地での移動手段問題が大きく影響しているものと思われる。

急ブレーキ、急カーブ、急ハンドルなど、まだ粗削りな挙動であることへのご指摘もあったが、「危険を感じた」回答のうちの更に２割であり、全体では 1%に満たない。

自由回答では各設問回答を裏付けるような形になっている。自動運転車両の印象から運転時の挙動、サービス、将来的運用の期待など、様々なご意見をいただいた。

回答傾向から、ポジティブ/ネガティブで分類してみた結果、半数以上がポジティブな回答であった。また、ネガティブ意見も、内容としては安全面やサービス面の感想であり、否定的な感想は０である。

よって、自動運転車両による乗客からのアンケートから、定性評価の「致命的な反対意見」は選択式設問、自由回答いずれからも確認されなかったといえる。

新しい技術としても期待する声が多く、昨今のバス運転手不足と、過疎地ほど交通手段確保が難しい地域社会問題の深刻化に対する不安の裏付けにも感じた。急操作の他、低速すぎる、その他、自動運転車両・サービスに関することは、順次フィードバックしていきたい。

8.2 参考文献

・ 岡村　敬介、任意配置された複数マイクによる単一話者位置推定、電子情報通信学会論文誌、1997、Vol. J80-A、No.11、pp.2054-2058

・ 西浦　敬信、マイクロホンアレーを用いた CSP 法に基づく複数音源位置推定、電子情報通信学会論文誌、2000、Vol. J83-D-Ⅱ、No.8、pp.1714-1715
・ 小林　和則、位置が未知である複数のマイクロホンを用いたブラインド音源位置推定、電子情報通信学会論文誌、2003、Vol. J86-A、No.6、pp.620-623
・ 水町　光徳、マイクロホン対を用いたスペクトルサブトラクションによる雑音除去法、電子情報通信学会論文誌、1999、Vol. J82-A、No.4、pp.503-512

地域デジタル基盤活用推進事業（自動運転レベル４検証タイプ）

実績報告書

群馬県前橋市、群馬県中之条町

2025 年 1 月

一般社団法人 ICT まちづくり共通プラットフォーム推進機構・Ｌ４自動運転群馬モデルコンソーシアム