

地域社会 DX 推進パッケージ事業(自動運転レベル 4 検証タイプ)

北海道千歳市

寒冷・豪雪地帯に対応した自動運転車両制御を目的とした

大容量データを伝送する WiGig・光通信技術などの

高度通信技術の検証

実績報告書

2026年1月30日

NTTドコモビジネス株式会社

千歳市における自動運転の社会実証機関

目次

0.	エグゼクティブサマリ.....	1
0.1	実証概要.....	1
0.2	KPI/KGI の内容と達成状況.....	1
0.3	考察.....	3
0.4	成果.....	3
0.5	課題.....	4
1.	実証の背景・目的.....	5
1.1	実証の背景.....	5
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.....	5
1.3	実証の目的.....	7
1.4	最終目標・構想イメージ.....	8
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.....	11
2.	業務実施体制.....	13
2.1	実証機関.....	13
2.2	実施体制図.....	14
3.	自動運転の運行結果.....	15
3.1	運行場所.....	15
3.2	運行期間.....	15
3.3	運行時間帯・頻度・運行方式.....	16
3.4	運行者.....	16
3.5	運行体制.....	16
3.6	自動運転車両の特徴.....	20
3.7	自動運転に関する手続き.....	22
4.	実証の手法.....	24
4.1	①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保.....	24
4.2	②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保.....	24
4.3	③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用	

	する技術の頑健性検証	24
4.4	④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装	24
4.4.1	豪雪地域での積雪・除雪・排雪の複雑な走行路面状態変化情報の路側設備を活用したデータ連携と状態把握、安全な自動運転車両の走行車線の制御	24
	1) 目的	24
	2) 実証内容の詳細	24
	3) 利用技術	25
	4) 必要性・緊急性・新規性	26
	5) 検証条件	27
	6) 開発・評価項目	27
	7) KPI/KGI	29
4.5	⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証	32
4.6	レベル4の社会実装に向けた検討	32
4.6.1	運用検証	32
	1) システムの操作性やユーザインターフェイスに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)	32
	2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直しなど、地域交通の持続性への寄与度	37
	3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策	38
	4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守	38
4.6.2	効果検証	39
	1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化	39
	2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度	40
	3) 通信システム等による支援によるルート設定の柔軟化・時間短縮・交通利便性の向上効果	40
	4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策	41
5.	通信システムに関する構築	42
5.1	通信システムの全体像	42
5.2	システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等	45
6.	実証結果・考察	47
6.1	①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保	47
6.2	②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保	47
6.3	③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用	

	する技術の頑健性検証	47
6.4	④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装	47
6.4.1	豪雪地域での積雪・除雪・排雪の複雑な走行路面状態変化情報の路側設備を活用したデータ連携と状態把握、安全な自動運転車両の走行車線の制御 47	
	1) 実証スケジュール	47
	2) 開発・評価項目の結果	48
	3) KPI/KGI との比較結果	76
	4) 成果・課題	81
6.5	⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証	84
6.6	レベル4の社会実装に向けた検討の結果	84
6.6.1	運用検証	84
	1) システムの操作性やユーザインターフェイスに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)	84
	2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直しなど、地域交通の持続性への寄与度	86
	3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策	87
	4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守	88
6.6.2	効果検証	90
	1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化	90
	2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度	91
	3) 通信システム等による支援によるルート設定の柔軟化・時間短縮・交通利便性の向上効果	93
	4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策	94
6.7	レベル4社会実装に向けた考察	101
7.	本実証の総括	103
7.1	本実証の成果・課題	103
7.2	社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性	104

0. エグゼクティブサマリ

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

0.1 実証概要

現在、全国でバス運転者の不足が深刻化し、2023 年で 1 万人、2030 年には 3 万 6,000 人の不足が見込まれている。千歳市のバス運転者は高齢化が進み約 65%が今後 10 年以内に退職するといわれている。さらに 2024 年からの拘束時間制限も課題となっている。これらの背景から、千歳市では自衛隊退官予定者への説明会や運転体験会、自動運転バスや AI デマンド交通の実証実験など、人員の確保と効率的なバス運営を実現する施策を進めている。

当該地域において社会実装を進めていく上では、豪雪・寒冷地である千歳市の厳しい冬季環境に対応することが課題となる。降雪や路面凍結、狭い道路での除雪による道路状況の急変に対して、迅速かつ的確な走行制御と最適なルート計画が必要である。また、降雪などによるセンサ精度低下を防ぐシステム構築も不可欠であることに加え、空港や大型工場稼働に伴い今後増加が見込まれる周辺の交通需要に対応しつつ、運転者の高齢化と深刻な人手不足を踏まえ、自動運転化による減便リスク回避と新路線の確保を早期に進める必要がある。

本実証事業では、豪雪・寒冷地における自動運転バスの安定走行を実現するため、積雪・路面凍結・除排雪作業による道路環境の変化に適応した高度な走行制御技術の検証を行う。具体的には、スマート道路灯などの道路上の固定インフラからの路車協調データ(映像、点群データ、積雪検知情報)と、車両データ(映像、点群データ)を収集し、閉域 NW 内の MEC(Multi-access Edge Computing)において路車協調データと車両データを合成することで 3D マップを生成・可視化・更新し、路面状況の変化に応じた経路選択・切替えを可能にすることを目指していく。

これを支える通信基盤には IOWN や高度 WiGig、5G/LTE の低遅延・高安定通信を活用し、大容量データを遅延なく処理できる環境を構築することで、豪雪・寒冷地において変化する道路環境を正確に捉え、自動運転バスの安定走行を実現するシステムを検証していく。

0.2 KPI/KGI の内容と達成状況

道路情報を基に道路環境の変化に適応した走行経路を走行する安定的な自動運転バス運行の実現、及びその活用意義を明らかにすることを目的に KPI/KGI を設定している。5 つの KPI/KGI とその達成状況について以下に示す。

表 1 KGI/KPI の内容と達成状況

番号	主な評価項目	達成状況	検証内容	考察
1	LiDAR、カメラデータを分析した結果から更新された走行車線パターン内の雪道での自動運転率80%以上	達成 約81%	<ul style="list-style-type: none"> 実証対象区間は往路復路ともに、東大通の朝日町3交差点の停止線から本実証用に設置しているマチ川周辺のバス停までとした。 計測条件については、自動運転車両のODD（運行設計領域）を満たした状態で、実証対象区間の走行回数のうち手動介入なしで走行した距離の割合で評価した。 	<ul style="list-style-type: none"> 今回の計測結果から、路車協調システムを用いることで、本来路肩・第一車線上の積雪により手動運転が求められる場面においても、自動で車線変更することで、安定した自動運転率を実現することができると明らかになった。
2	連続して15分間のスループット試験を実施し、道路灯からMEC基盤までの上りスループットの実測値が要求スループット（180Mbps 道路灯2台分）を上回る時間が99%以上	達成 約100%	<ul style="list-style-type: none"> スマート道路灯からMECまでの通信区間で、分析に必要なスループットを15分間連続測定し、MEC側で5分ごと・計3回分の積雪分析に必要なデータが確実に送れるか評価する。 測定ツールとしてはiPerfを活用し、スマート道路灯で用いているjetson（組み込みPC）からMECサーバまでiPerfによる通信試験を実施した。 	<ul style="list-style-type: none"> 上り最大スループットは平均926Mbpsであり、最大通信速度に近い結果を得られている。 降雪の影響が大きくなり、また、灯具と基地局がそれぞれ固定であったことからフェージング影響による通信乱れの影響も軽微であったことが考えられる。
3	WiGig通信エリア内においてスループット試験を実施し、走行している車両1台からMEC基盤までの上りスループットの実測値が要求スループット（430Mbps）を上回る時間が70%以上	達成 往路 92% 復路 93%	<ul style="list-style-type: none"> 千歳市市街地の一部をWiGigエリアとし、バス屋根のWiGigアンテナ経由で走行中に車両データをMECへ送信し、その際の必要スループットが維持できるかを測定・評価する。 測定ツールとしてはiPerfを活用し、WiGig通信区間において、バス車内に設置したPCからMECサーバへiPerfによる通信試験を実施した。 	<ul style="list-style-type: none"> 交差点の右左折時に一時的に要求スループットを下回っているものの、WiGigエリア全体を通して良好な結果が得られている。 基地局間移動時のアンテナ切替も円滑に行われていることが見られ、ハンドオーバー時のスループットは高い値で維持されている。これはWiGig基地局・移動端末のアンテナ角やWiGigパラメータの調整が本エリアに対して適切に設定されているためと考えられる。
4	システムが検出した積雪状態のデータと実走行時の映像を比較し、走行可能車線の判断に使用可能との意見を複数人から得る（4段階評価の平均がポジティブ寄り）	達成 平均値3 点台(ポ ジティブ 寄り)	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視室において遠隔監視者へ、遠隔監視システムの稼働状況を確認、また、積雪検知精度を推しはかるためのサンプル画像を用意し比較を実施した。遠隔監視者からの意見は、4件法によるアンケートで回答を集計した。 	<ul style="list-style-type: none"> 実環境と大きな乖離は見られず、特に白線が視認困難な降雪時において、データと映像の組み合わせが走行判断を補完する有効な手段となることが示唆された。
5	走行可能車線の検出・伝達結果と実際の車線運行路面状態の差異ならびにその回避が自然に行われたとの意見を運転士から得る（4段階評価の平均がポジティブ寄り）	達成 平均値3 点台(ポ ジティブ 寄り)	<ul style="list-style-type: none"> バス会社のドライバーに自動運転バスを運転、路車協調システムによる自動運転動作について意見収集した。意見は4件法によるアンケートで回答を集計した。 	<ul style="list-style-type: none"> 人の運転と大きく乖離しない回避行動が実現できており、運転士が受け入れ可能な運行支援として機能する可能性が示された。

定量的な指標は、実証対象区間において走行車線パターン内の自動運転率80%以上、道路灯からMEC基盤までの上りスループット実測値で180Mbpsを上回る時間割合が99%以上、走行するバスからMEC基盤までの上りスループット実測値で430Mbpsを上回る時間割合が70%以上の3点とした。定性的な指標は、システムが検出した積雪データが走行可能車線の判断に利用可能か、実際の路面状態と検出結果の差異並びに自動運転で車線回避が自然に行われたかの2点をアンケート又はヒアリングで調査し、4段階評価の平均がポジティブ寄りであることを目標とした。

自動運転率は想定通りのルート情報の生成ができていることから、サンプル数12回の運行で81.16%と目標を上回った。道路灯からMECまでのスループット180Mbps以上の時間割合は、通信性能に余裕を持ったインフラ設計であったため100%となっている。走行しているバスからMECまでのスループットが430Mbps以上の時間割合は、往路92%、復路93%の結果となった。本実証では見通しが確保できる環境であったため、走行するバスにおいても、WiGig通信の性能は想定通りの性能を達成することができた。一方、交差点など見通しの悪い環境では、通信性能が落ちることも明らかになっている。

システムが検出した積雪データが走行可能車線の判断に利用可能かの評価では、降雪環境下でも走行可能車線の判断に有用であると示され、映像で不足する判断情報をデータで補完する点が評価された。実際の路面状態と検出結果の差異並びに自動運転で車線回避が自然に行われたかの評価では、降雪環境下でも運転手の感覚と大きく乖離しておらず、手動運転と比較しても許容できる挙動と評価された。一方、交差点内や雪山形状が変化する場面で、人の判断と差を感じるケースもあり、引き続き改善が必要である。

0.3 考察

本実証は、降雪・寒冷地という環境でレベル 4 自動運転の社会実装を目指し、高速大容量通信 (APN・高度 WiGig) を活用し、車両単体では把握困難な路面・周囲情報を MEC や遠隔監視室と共有する路車協調システムを導入した点に特徴がある。

技術面では、道路灯等のデータによる 3D マップや路面情報、車両データを用い、降雪環境下での自動運転の可能性が示された。遠隔監視員はマップと実環境の差異が小さく、走行状況を俯瞰できると評価しており、遠隔での状況認識や管理に通信連携が有効と確認された。

一方で、運転手からはルートや車線情報と実道路に違和感があると指摘があった。特に白線が見えにくい雪道やアイスバーン、交差点内の雪により、手動介入が必要な場面が生じた。これは単なる車線判断に留まらず、立体的かつ動的な環境理解の高度化が必要であることを示す。

また、挙動の自然さや次の動作の予測容易性に課題があり、自動運転の意図や判断過程が運転者に伝わりにくいと受け入れられにくいことも明らかになった。今後は、人の運転感覚に沿った制御や情報提示の工夫が求められる。

さらに、通信を使った運行支援構成は、車両に機能を集中させず、インフラや遠隔監視と役割分担する方が有効と示された。降雪地域では路面状況が変動しやすく、車両だけの地図・センサに頼る限界があるため、リアルタイム情報共有が運行支援に効果的である。この方式は遠隔監視と親和性が高く、持続可能な自動運転の方向性を示す。車両・インフラ・遠隔監視の連携は冗長性や柔軟性を高め、障害時にも補完が可能となる。運転手不足や高齢化が進む中で、少人数運行や役割分担の見直しを促し、地域公共交通の持続にも貢献すると期待される。

今後は、通信を活用した環境情報の精緻化、局所的な雪情報の充実、挙動の分かりやすさや運行判断の納得感を高める改善を進めることで、遠隔監視を前提としたレベル 4 自動運転の社会実装に近づくと考える。

0.4 成果

本実証は、降雪・寒冷地域の厳しい環境下で、協調型インフラと先進通信技術を活用し、自動運転バスの運行成立性と支援効果を多面的に検証した点に大きな意義がある。路車協調では、道路灯や信号機、LiDAR などの路側設備から得たセンシングデータを活用し、積雪状況や道路環境を把握する仕組みを構築した。生成した 3D マップは遠隔監視員の評価で、実際の環境と概ね整合しており、視認性の低下した降雪環境でも走行状況把握の有効な基盤となることが確認された。またリアルタイムセンシングによって車両側が走行可能・走行すべき車線の情報を事前取得することで、自動運転走行における手動介入の削減に寄与することが確認された。

通信分野では、IOWN APN、高度 WiGig、Mobile-QoS など高速・大容量かつ低遅延の通信技術を組み合わせ、大容量の映像や 3D マップ、車両状態データを安定的に伝送できる環境を実現した。これにより、遠隔監視を前提とした運行管理の成立性が示され、通信技術が自動運転の基盤であることを具体的に確認した。

運転手へのアンケートでは、生成されたルート情報や走行可能な車線検出が実道路と大きく乖離せず、

雪だまり回避や車線変更も自然な挙動と受け入れられ、降雪環境下での自動運転挙動の受容性が一定程度認められた。また、遠隔監視員の評価からは、カメラや LiDAR による道路把握や 3D マップの精度について肯定的な意見が多く、これが運行中の状況把握や判断材料の共有を可能にし、運転手と遠隔監視員双方の業務支援に機能することが示唆された。

さらに、通信を中心とした路車協調・遠隔監視の導入により、事前に判断材料を把握し、遠隔から支援することで、運用負担の増加を防ぐか軽減する可能性が明らかになった。これは運転手不足や高齢化が進むなかで、地域交通を持続的に維持するための現実的な選択肢として重要な成果といえる。

0.5 課題

本実証を通じて、路車協調による積雪検知や道路状況把握には一定の有効性が認められたが、雪山の形状変化や除雪状況のばらつき、アイスバーン化など、時間的に大きく変動する路面状態への対応は十分でなかった。特に交差点内や停留所周辺のように車両挙動に影響する局所領域では、検知精度と更新頻度の向上が必要である。

生成された 3D マップは全体的に実環境と整合しているが、局所的な積雪量や路肩形状の変化をリアルタイムに反映する点に課題が残る。今後はセンシングデータの即時反映や時間変化を考慮した更新手法の検討が求められる。通信面では、高速大容量通信の成立は確認されたが、将来的に複数車両・複数路線の同時遠隔監視を想定すると、通信品質の冗長化や障害時切替手順、異常時の優先制御などの更なる検討が必要となる。

アンケート調査では、ルート情報は合理的とされる一方、人間の運転感覚とは異なる挙動も指摘された。安全性だけでなく、運転手が挙動を理解し監視できることが社会実装に重要であり、挙動設計や情報提示の工夫が求められる。また、雪山やアイスバーン、交差点付近の積雪といった局所的な条件では手動介入が必要となるケースがあり、事前情報提供や遠隔支援の運用設計・役割分担が必要である。

遠隔監視環境では、複数システムの併用による情報分散や表示の分かりにくさが課題となり、情報の一貫性や注意表示の視認性にばらつきが見られた。これは技術上の成立性とは別に、実運用時の負担増やヒューマンエラーのリスクにつながる重要課題である。さらに、異常時対応や責任分担、業務フローの整理といった運用面の検討も不可欠であり、遠隔監視の役割設計は将来の社会実装に向け重要な論点となる。

1. 実証の背景・目的

1.1 実証の背景

バス運転者はバス事業を営む上での根幹となるものであるが、近年、バス運転者の不足により減便や路線廃止の動きが相次いでいる。

表 2 バス運転手不足とそれによるバス事業への影響

➤ バス運転者不足とそれによるバス事業への影響
✓ 2023 年、バス運転者は全国で 1 万人不足。2030 年には 3 万 6,000 人に達する見込み ¹
✓ 札幌市厚別区や南区などでは、2025 年 3 月 31 日に 9 つの路線、8 つの系統を廃止 ²

また、バス運転者の拘束時間が制限される「2024 年問題」もあり、各自治体では喫緊の対応を迫られている。千歳市向陽台地域と市街地を結ぶ公共交通はバス事業者 1 社にて路線バスを担っているが、この会社におけるバス運転手の平均年齢が 55 歳を上回る 59 歳であるなど、高齢化が進行しており、今後、10 年間で約 65%が退職を迎える年齢構成となっている。今後も同地域におけるバスの運転者不足は加速することが推測されており、向陽台地域と市街地を結ぶ路線の維持・確保が急務となっている。

上記課題の解決策として千歳市では、自衛隊退官予定者への説明会及び運転体験会によるバス運転手不足を補うための施策³や、バス運行の効率化を図るため自動運転バス走行実証⁴、AI オンデマンド交通実証⁵に取り組んできており、少ない人材で効率的にバス事業を運営するための施策導入が急務な状況である。

出典 1：国土交通省「国土幹線道路部会ヒアリング資料」『国土交通省ホームページ』
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001634143.pdf> (閲覧日:2025年3月14日)

出典 2：北海道中央バス「路線及び系統廃止に関するお知らせ」『北海道中央バスホームページ』
https://www.chuo-bus.co.jp/路線及び系統廃止のお知らせ/main_info/2189 (閲覧日:2025年3月14日)

出典 3：国土交通省北海道運輸局「自衛官向けバス・トラック・タクシー運転体験会&合同就職説明会」『国土交通省北海道運輸局ホームページ』
https://www.tb.mlit.go.jp/hokkaido/jinnzai-kakuho_20240517.html (閲覧日:2025年3月14日)

出典 4：千歳市「自動運転バス実証実験」『千歳市ホームページ』
<https://www.city.chitose.lg.jp/docs/35581.html> (閲覧日:2025年3月14日)

出典 5：千歳市「令和 7 年度 AI オンデマンド交通実証実験の実施について」『千歳市ホームページ』
<https://www.city.chitose.lg.jp/docs/35515.html> (閲覧日:2025年3月14日)

1.2 レベル 4 自動運転を社会実装する上での実証地域における課題

本実証事業は、北海道千歳市(以下 千歳市)の「千歳駅～千歳市役所～新千歳空港～美々地区

ルート(往復 25 km)」において実施する。

なお、千歳市においても全国的な傾向と同様に、バス事業者の運転手の確保に向けた対応が迫られており、過去にも自動運転バスの導入に向けて積極的に取り組み⁶を実施している。

千歳市は豪雪・寒冷地帯であり、自動運転車両を安定して走行させるためには、将来的には冬季の降雪・積雪、路面凍結による道路環境の変化に迅速に対応する必要がある。積雪が多い地域では、路面状況が短時間で変化し、車両の走行に影響を及ぼす。また、比較的道幅の狭い道路では除雪作業によって道路幅が変化することもあり、自動運転車両の安定した走行を実現するための最適なルート計画や、状況に応じた走行制御が求められる。天候状況や積雪により、車両のセンサ検知精度の低下も課題となるため、運行する道路状況を迅速に自動運転車両へ反映するシステムの構築が不可欠である。さらに、千歳市における現在の交通需要に加え、将来的な交通需要の増加についても考慮する必要がある。

新千歳空港は、日本初の 24 時間運用と地理的優位性を活かした国際空港ネットワークの拠点空港として、北海道経済の振興と発展に欠かせない空の表玄関として重要な役割を担っている。その新千歳空港全体では約 7,700 人の方が従事しており、千歳市内や近郊からバスで通勤されている方に加え、旅行者やビジネス客も多く、直近の乗降調査(2025 年 12 月実施)によると路線バスの新千歳空港までの利用者が 1,000 人以上/日という結果も出ている。また、千歳市内から公立千歳科学技術大学までの大型バスによる送迎が 30 便/日運行しており、新千歳空港・公立千歳科学技術大学の大型施設へのバス需要は千歳市全体から見ても多いエリアとなる。

それに加え、千歳市では、千歳市美々地区に巨大工場(Rapidus)が立地予定であり、半導体産業集積による千歳市周辺地域の労働人口と居住人口増加から、交通需要についても増加が予測することができる。2030 年には 3,865 人、2040 年には 7,770 人の増加が見込まれる。⁷それに関連し、居住者による通勤・通学におけるバス利用者の増加も見込まれる。更には、北海道内や日本国内、国外から JR 千歳駅、新千歳空港(国内線・国際線)を経由して、美々地区の巨大工場(Rapidus)に対するビジネス需要による人流増加も見込まれ、バス乗客増加傾向であると考えられる。

一方で、バス事業者の運転手の高齢化が進んでおり、今後、10 年間で運転手の約 65%が退職を迎え、深刻なバスの運転手の不足の問題が生じる見込みである。

昨今の世の中の動きもあり、空港路線は人手不足によるやむを得ない減便となることも想定できるため、減便となる前に自動運転化の準備を行うことを目的としている。美々地区ルートについては、空港路線のような需要のあるルートでも減便になる可能性もある状況の中、新しいルートが必要となった際に、運転手が集まらない可能性も高いため、新しい路線が始まることを見据えて自動運転化の準備を早期に進めていく。

本実証により豪雪地帯に指定されている 960 市町村(全 1,741 自治体の約 55%)の自動運転車両・バスの社会実装に寄与する。

出典6:千歳市「自動運転バス実証実験」『千歳市ホームページ』<https://www.city.chitose.lg.jp/docs/35581.html> (閲覧日:2026年1月15日)

出典7:千歳市「最先端の半導体を千歳市から世界へ」『千歳市企画部次世代半導体拠点推進室総務課ホームページ』<https://chitose-semiconductor.jp/> (閲覧日:2026年1月15日)

1.3 実証の目的

本実証事業では、豪雪・寒冷地帯における自動運転バスの安定走行を実現するため、積雪・路面凍結・除排雪作業による道路環境の変化に適応した高度な走行制御技術の検証を行う。

具体的には、スマート道路灯などの道路上の固定インフラ(以下、インフラ)からの路車協調データ(映像、点群データ、積雪検知情報)と、車両データ(映像、点群データ)を収集し、閉域 NW 内の MEC(Multi-access Edge Computing)^{※1}において路車協調データと車両データを合成することで 3D マップを生成・可視化・更新し、路面状況の変化に応じた経路選択・切替えを可能にすることを旨とする。

さらに、これらの高精度な環境認識と走行制御を支えるため、インフラ及び車両においてそれぞれ取得する大容量データ(インフラ:約 90Mbps 車両:約 400Mbps)を MEC へ同時伝送可能とする通信基盤として、IOWN APN(Innovative Optical and Wireless Network・All-Photonics Network)^{※2} や高度 WiGig(Wireless Gigabit)^{※3}、キャリア 5G/LTE におけるモバイルネットワーク・Mobile-QoS(Quality of Service)^{※4} を活用し、低遅延かつ安定したデータ通信環境を構築する。これにより、点群データや高精細映像データを遅延なく MEC 上にアップロードすることが可能となり、それらデータを基にして豪雪・寒冷地帯における複雑で動的に変化する道路環境をデジタルデータとして把握し最適経路の導出を行うことで、豪雪・寒冷地帯においても自動運転バスが安定して走行できるシステムの確立を目指す。

※1 MEC は、端末の近くに配置されたサーバでデータを処理・分析するエッジコンピューティングのうち、モバイル機器からのアクセスに特化した技術又は基盤。

※2 IOWN(構想)は、これまでのインフラの限界を超え、あらゆる情報を基に個と全体との最適化を図り、多様性を受容できる豊かな社会を創るため、革新的技術を活用した高速大容量通信、膨大な計算リソース等を提供可能な、端末を含むネットワーク・情報処理基盤の構想。同構想は、情報処理基盤のポテンシャルの大幅な向上が可能なオールフォトニクス・ネットワーク(APN)、実世界とデジタル世界の掛け合わせによる未来予測等を実現するデジタルツインコンピューティング(DCT)、すべての ICT リソースの最適な調和を可能とするコグニティブ・ファウンデーション(CF)から成る。このうち、APN は、ネットワークから端末まで、すべてにフォトニクス(光)ベースの技術を導入することで、圧倒的な低消費電力、高品質・大容量、低遅延の通信が可能なネットワークである。

※3 WiGig は、60 GHz 帯(ミリ波帯)を使用する無線 LAN の一種であり、高速・大容量の無線データ通信が可能である。また、WiGig は、ビームフォーミング機能により、移動する端末をリアルタイムに追従することが可能であるが、本実証では、さらに、複数の WiGig 基地局と一つの WiGig 端末との間の通信電波の伝搬経路のうち、極力途中で障害物がない経路をダイナミックに選択可能な機能を合わせ持つ WiGig システム(本提案書では、高度 WiGig システムと呼称)を採用する。なお、WiGig は、いわゆるアンライセンスバンドを使用しており、無線局免許の取得が不要である。

※4 Mobile-QoS(Quality of Service)は、優先制御・帯域制御・キューイングやスケジューリングの機能を用いてネットワーク上で通信品質を確保するための技術。

1.4 最終目標・構想イメージ

豪雪・寒冷地帯において、2027 年度における自動運転レベル 4 の実装によるバス事業の省力化と経営合理化を最終的なゴールと設定した上で、冬季でも安定した雪道走行を実現するため、本実証事業では 3D マップ(閉域 NW 内)による最適な経路制御に必要な、高速大容量通信の実現に取り組む。これにはインフラからの路車協調データ(映像、点群)、車両からのデータ(映像、点群)をサーバへアップロード、及び 3D マップによって算出した最適経路情報の車両側へのダウンロードするためが含まれる。

上記における最終目標・構想としては以下を想定している。

●2027 年度目標

【自動運転】

2027 年度までに約 100 カ所での自動運転サービスの実装

【高速大容量通信の実現】

将来的に、積雪・降雪、路面凍結などの環境変化によらず安定的な走行を実現するには、車両のルート制御を最適に行う必要があるため、走行エリアにおいて複数あるインフラや車両からの点群及び映像の大容量データ送受信を車両の走行中も含めて実現する。また、送受信されたデータを MEC 上の 3 次元マップへ反映させ、3 次元マップ上で最適な走行ルートを判断した後車両側へ反映し、環境に応じた車両のルート制御を実現する。

上記の実現には、大容量データを安定して送受信するための通信基盤、NW が必要となるが、一般利用者の利用状況に応じて安定性が変化するモバイル公衆網からの LTE や 5G 電波のみでは帯域不足に陥り安定した通信が難しい。そのため、モバイル電波が安定しないルートやインフラが存在するルートでは、高速大容量通信が可能な IOWN APN, WiGig を用いた通信環境を構築し、モバイル電波を利用して通信する走行ルートについては優先帯域制御(Mobile-QoS)、スライシングを活用し一般ユーザの使用状況に寄らない高速大容量通信を実現する。

【一般ユーザの通信と車両制御通信のリソース分割】

WiGig, IOWN APN, FIC(Flexible InterConnect、ネットワーク網からバックボーン直結で各種クラウドサービス・データセンターに閉域網でセキュアに接続できる機能)、MEC を用いた閉域 NW を活用することで、自動運転制御・遠隔監視専用の NW とし外部ユーザの利用に寄らない安定した通信の実現が可能である。

モバイル無線については、Mobile-QoS、スライシング技術を活用することで、一般ユーザの利用と自動運転制御・遠隔監視に分けたリソース分割を実施する。

【路車協調データ取得】

豪雪地帯特有の積雪・除雪・排雪等の道路周辺環境状況を路側の信号機や道路灯などの設備に取り付けた各種センサ情報(路側機器情報)、レベル 4 自動運転される路線バスのセンサから取得できる情報、行政管轄で設置・収集している既設カメラや環境・気象センサ情報から、各種利活用できる

情報の取得・収集を実現する。

上記情報を MEC 上で集約して、総合分析・可視化、ルート・車線情報を更新し、自動運転車両(路線バス)の適切なルートと走行できる車線の効率化と車両制御に活用して、効率的なレベル 4 自動運転車両の社会実装を実現する。

●より将来に向けた目標

【通信を活用したセンシング】

○無線センシング

モバイルによる無線センシングを実現し、モバイル無線基地局にて道路状況(路駐車両・走行車両等の検知)データを取得し、閉域 NW 内にある 3D マップデータへ状況を反映。運行経路全体における状況を無線センシングにて可視化することで、車両の死角となりうる状況把握については従来の方法と比較して、機器設置のコストなどを大幅に削減できることが見込まれる。

○光ファイバセンシング

将来的には車両走行制御、遠隔監視に必要な NW を構築するにあたり、敷設する光ファイバケーブルを用いたセンシングによる道路状況把握を実現する。動物や自然環境の変化(降雨・降雪、暴風等)、車両渋滞等による道路環境変化等によるケーブルへの刺激によって電波の揺らぎが発生した際に、道路状況変化として検知したデータを、3D マップへ反映することでリアルタイムに道路状況を反映した 3D マップの作成、運行経路の最適化が実現できる。

【路車協調データ取得】

将来的には積雪・除雪・排雪情報に加えて、その他の道路工事・渋滞などの多様な道路周辺環境状況について、路側の信号機・道路灯など設備の各種センサや、民間の自動運転化されたビジネスカー(路線バス、タクシー、運送業トラックなど)、行政管轄で運行する車両に取付映像・センサ(民間委託しているコミュニティバス、ゴミ収集車両など)、行政管轄の既設カメラや環境・気象センサなど、多種・多様なセンサから情報を取得する。また、オーナーカーが自動運転車両となる将来では、オーナーカーから取得できる各種センサ情報(運行情報、路面情報、環境情報)の収集を実現する。

路車協調すると共に、外部データ基盤(自治体の都市 OS など)とも連携し、新規の通信インフラ設備の敷設に頼らず、幅広いエリア・媒体からの情報収集を実現したい。上述で得られた情報を MEC 上で集約・総合分析・可視化・マップ情報を高度化し、将来の膨大な数の自動運転車両(ビジネスカー、オーナーカー)のルート・車線の適切な行動設計や走行効率化、車両制御への活用を実現する。

また、自動運転車両走行のロケーションや各自動運転車両の管制システムにとらわれない複数種類の遠隔監視・制御と、その機能冗長化を実現したい。更には、都市 OS などの外部データ基盤に対する情報フィードバックにも活用し、通信利用観点から頑健かつ効率的なレベル 4~5 自動運転車両の社会実装と共に、都市 OS など地域情報利用の促進を実現する。

●本年度スコープ(2025 年度)

【自動運転】

2025 年度までに全国約 50 カ所での自動運転サービスの実装

【高速大容量通信の実現】

実証エリアにおける将来的なバス路線(本実証における走行路線)に、一部の走行エリアにおいて IOWN APN および WiGig を用いた通信基盤、NW を構築する。これにより、インフラから取得した大容量データを MEC へ伝送し、MEC 上で 3D マップへ反映することで、最適ルートを判断し、その判断結果を車両側へ提供する。

車両からの映像に関しては、Mobile-QoS を活用し遠隔管制室へ送信する。

【一般ユーザの通信と車両制御通信のリソース分割】

WiGig, IOWN APN, FIC, MEC を用いた閉域 NW を活用することで、自動運転制御・遠隔監視専用の NW とし外部ユーザの利用によらない安定した通信の実現が可能である。

●2025 年度以降更なる検証が必要な部分

【高速大容量通信の実現】

将来的なバス路線に対して、特にインフラの設置が必要な箇所(積雪・降雪、路面凍結による影響が大きな箇所)へインフラの設置を行い、各所にて送信した大容量データを 3D マップへ反映することで、走行エリア全体にてルート制御を最適に実現していく必要がある。上記においても各所にて安定した大容量データ送受信を行う必要があるため、それらに対する IOWN APN, WiGig を用いた通信基盤、NW 環境を構築した走行実証の必要がある。

また、インフラのみならず、車両からの大容量データの送受信を行う必要があるため、上記に対する安定したモバイル電波通信(Mobile-QoS、スライシング)IOWN APN, WiGig 通信の検証が必要となる。

【一般ユーザの通信と車両制御通信のリソース分割】

車両からも大容量データの送信が必要となってくることを考慮した時に、モバイル電波においてもより高速大容量な通信を安定的に行うことが必要となる。その際に、スライシング技術を活用することで、本目的に即した大容量通信をモバイル通信においても実現していくための検証を行う必要がある。

【通信を活用したセンシング】

通信を用いたセンシングについては未だ技術研究段階のため、検証スケジュールの目途を立てることができないが、将来的には本技術をインフラと組み合わせて活用することでインフラ設置のコストを抑えながら、走行ルートにおける状況把握を行うことができる。

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

【高速大容量通信の実現、リソース分割】

1.4で記載をした通り、車両情報や路車協調データ等、時々刻々と変化する膨大な道路環境情報の伝送を必要とするため、大容量データ通信や低遅延等の機能を活用した通信環境の構築が必要となる。例えば道路環境に合わせた経路選択を最適に行うためには、道路環境を反映した 3D マップを遠隔管制側に用意し、マップ情報若しくは運行経路情報を次発車両へ伝達する必要がある。これを達成するためには、遠隔管制側への大容量となりうる道路側データ(点群、映像)の送信、またバス側への 3D マップデータの送信、この双方において大容量通信及び低遅延性が求められる。

上記を踏まえ、本実証においては IOWN APN と WiGig 及び Mobile-QoS を活用した高速大容量、低遅延な通信基盤の有効性について検証を行う。

表 3 通信環境に関する現状と展望

(通信環境に関する現状と展望)
○ 過年度実証/実装済機能(LTE や 5G 等を単体で活用)
➤ 遠隔監視の検証で LTE、キャリア 5G を活用し、公衆網における活用性を検証
● 本実証(大容量、低遅延通信の実現)
➤ 路車協調データ、車両データのアップロード、3D マップ情報若しくは経路選択情報のダウンロードにおけるリアルタイム性の確認
➤ WiGig モジュールに対して複数アクセス(車両+インフラ等)があった場合のデータ送受信にかかるリアルタイム性の確認
○ 将来
➤ 本実証の結果をもって特殊環境(豪雪・寒冷地帯)における一部の自動運転実装は実現できるため、実装しながら課題解決を図る
➤ 継続して効率化や更なる高度化を目指す必要はあるものの、(5)で記載したように今後、ネットワークスライシングを活用した自動運転車両占有のコアリソース分割実現や、広域センシング(無線センシング、光ファイバセンシング)の交通インフラへの実装をすることも将来構想として設定

【路車協調データ取得】

1.4最終目標・構想イメージに記載のとおり、路車協調データを活用し、将来的には膨大な数の複数自動運転車両のルート・車線走行効率化や車両制御、外部データ基盤への情報フィードバックについて、通信観点から頑健かつ効率的に実現したい。

本年度実証においては、自動運転車両が走行する際に課題となる豪雪地帯特有の「走行ルートや路面の積雪状況と、除雪後の路側帯と車道へはみ出る雪壁や雪塊」に対して、「自動運転車両の走行ルートと車線状況」を把握・判断するため、路側の街路灯の灯具部分に LiDAR とカメラを付加できるように設計・設置し、WiGig にて路面状況の情報を伝送・取得する。また、路側のポール等にカメラを設置し、積雪有無、一般車両のセンターラインはみ出し有無を、キャリア 5G を使用して伝送する。また自

動運転車両に設置した LiDAR、カメラ等から取得する情報を走行時に WiGig を活用し伝送・取得する。

上述した各種センサの情報(走行ルート・車線の雪状況)を MEC 上で集約・解析・可視化を行い、遠隔監視室の運行監視者と自動運転バスへ積雪・除雪状況による走行可能車線の伝達を実証する。この路車協調データ取得と活用において、路面・車線の各センサでの情報取得の周期と伝送量を変動させ、MEC 上で集約・解析・可視化する際に「路側センサからの LiDAR、4K カメラなどの情報を、WiGig を活用して問題なく MEC 上に送信できるか、路側センサ情報の取得周期と伝送量を変動させた場合の解析状況(情報が過不足なく解析でき適したデータ通信量か)、同データを用いた際の自動運転バスの手動介入率」という定量的な観点で検証を行う。また、前述の結果のデータを用いて「実際に自動運転バス走行した際の路面・車線状態での運転手の比較評価、システムが検出した雪状態結果を遠隔監視室の監視者の比較評価」という定性的な観点で検証を行う。これにより、適切な情報通信にも資する課題解決を目指す。

2. 業務実施体制

2.1 実証機関

表 4 実証機関

代表機関	法人名	NTT ドコモビジネス株式会社
	代表者氏名	小島 克重
	所在地	〒100-8019 東京都千代田区大手町 2-3-1 大手町プレイスウエストタワー
	業務の概要	実証事業の全体統括
構成員	法人名	A-Drive 株式会社
	代表者氏名	岡部 定勝
	所在地	神奈川県横浜市港北区新横浜 3-2-3 EPIC TOWER SHIN YOKOHAMA 2階 A
	業務の概要	自動運転バス走行実証の実施
	構成員とする理由	自動運転車両・バスの走行技術、走行実証に多岐にわたる実績を有するため。
構成員	法人名	ドコモ・テクノロジー株式会社
	代表者氏名	中村 寛
	所在地	東京都千代田区永田町二丁目 11 番 1 号 山王パークタワー16 階
	業務の概要	通信技術実証の実施
	構成員とする理由	5G 技術を用いる端末の開発と応用について多岐にわたる実績を有するため。
構成員	法人名	スタンレー電気株式会社
	代表者氏名	貝住 泰昭
	所在地	東京都目黒区中目黒 2-9-13
	業務の概要	スマート道路灯の設計・調整
	構成員とする理由	過年度の自動運転実証実績を有し、円滑に実証事業の遂行に向けて寄与できると考えるため。

2.2 実施体制図

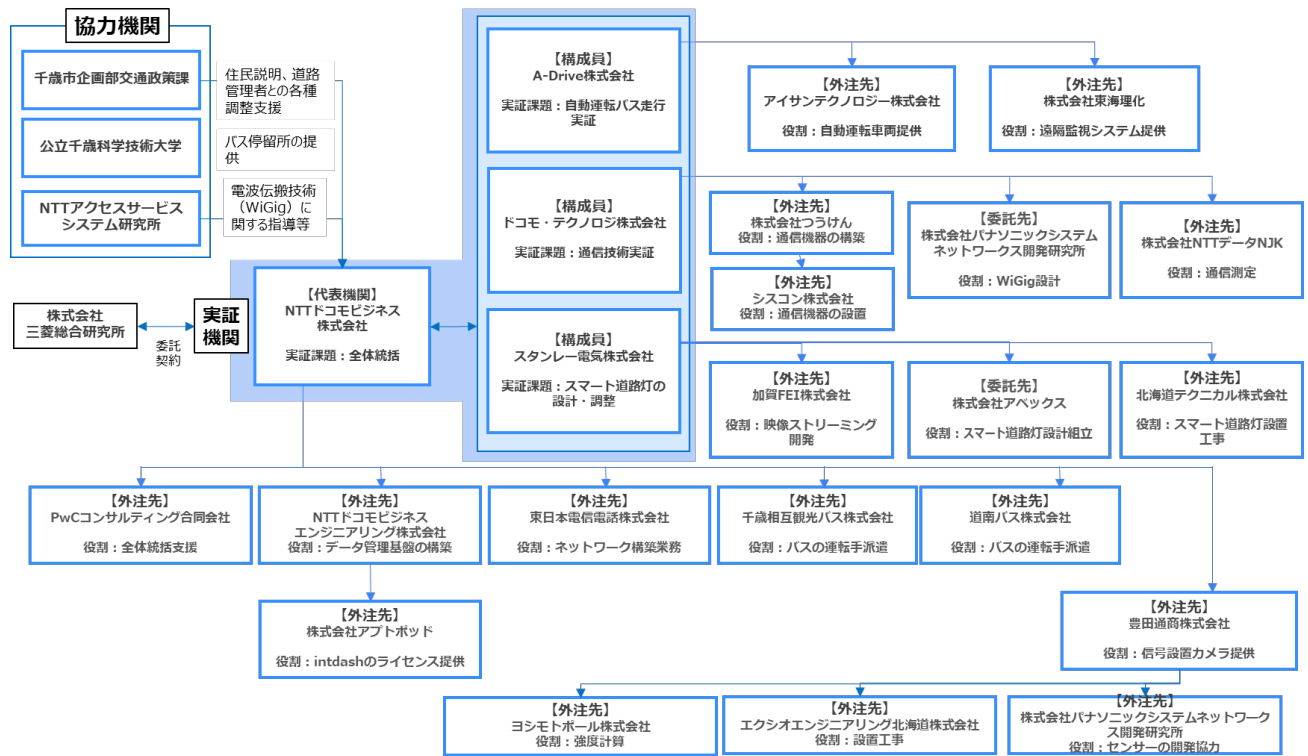


図 1 実施体制図

3. 自動運転の運行結果

3.1 運行場所

自動運転バスの走行ルートは千歳駅から千歳市役所、新千歳空港を経由して、公立科学技術大学を含む美々地区へ向かう片道約 12.5km の区間である。本ルートを自動運転レベル 2 で往復運行した。

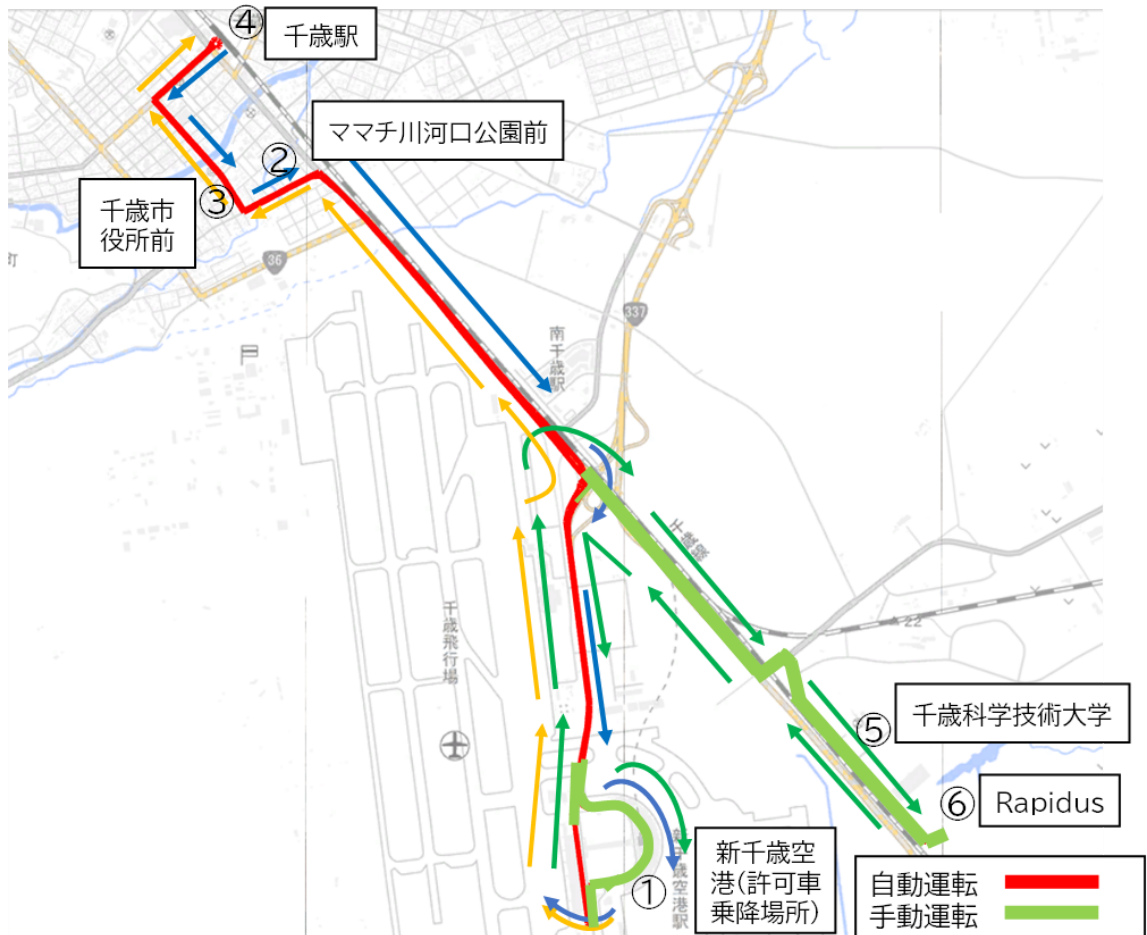


図 2 自動運転バス走行ルート（出典：国土地理院地図）

3.2 運行期間

表 5 運行期間

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	11月24日～11月28日、12月1日～12月5日、 12月8日～12月13日 土曜日・日曜日運休
関係者試乗運行	1月14日～1月24日 日曜日運休
その他運行	検証走行：1月14日～1月17日、1月19日～1月24日 日曜日運休

3.3 運行時間帯・頻度・運行方式

運行時間帯:9時～18時

頻度:1本/90分(片道20分、往復40～50分)

運行方式:路線バス方式

3.4 運行者

千歳相互観光バス株式会社、道南バス株式会社が運行を行い、ドライバーの人員不足に対する補填として、一部の運行のみアイサンテクノロジー株式会社が派遣したドライバーが運行を実施した。

3.5 運行体制

表 6 運行体制

項目		内容
運行管理者の選任・人員体制		千歳相互観光バス株式会社、道南バス株式会社
遠隔監視設備	種類・特徴	<p>【指示できる操作内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視員と車内関係者間で通話機能を用いて意思伝達が可能 (シーン例) ・車室内での乗客の不安全状態の検出結果を 遠隔地で確認し、車室内の乗客へ注意喚起を促す ・車外カメラのエアウォッシャーシステムを遠隔で駆動する <p>【車両から受信するデータ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・複数カメラの画像を統合処理した 360 度の車外映像表示 ・車室内カメラ映像表示 ・車速やハンドル舵角などの車両制御情報 ・音声通話 ・車外マイク ・エアウォッシャー駆動情報
	機能	<p>自動運転車両の遠隔監視および運行管理を行うため、自動運転車両の運行管理機能・遠隔地への車内外映像・音声出力機能を保有。</p> <p>【指示できる操作内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視員と車内関係者間で通話機能を用いて意思伝達が可能 (シーン例) ・車室内での乗客の不安全状態の検出結果を遠隔地で確認し、車室内の乗客へ注意喚起を促す ・車外カメラのエアウォッシャーシステムを遠隔で駆動する

		<p>【車両から受信するデータ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・複数カメラの画像を統合処理した 360 度の車外映像表示 ・車室内カメラ映像表示 ・車速やハンドル舵角などの車両制御情報 ・音声通話 ・車外マイク ・エアウォッシャー駆動情報
	設置場所	北海道中央バス営業所、道南バス営業所、十勝バス営業所
遠隔監視員	事業者	道南バス株式会社
	人員体制	遠隔監視員の人数:1 人 自動運転車両 1 台当たりの配置人数:1 人
	オペレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・自動運転車両の車内外に取り付けた遠隔監視カメラから状況を確認し、注意事項があれば都度ドライバー・オペレーターへ共有 ・遠隔監視システムから自動運転車両の停止を行うことも可能であるが、本実証では車内に自動運転ドライバーが乗車しているため、遠隔監視室からの対応は行わない ・遠隔監視システムから定時に自動配信される自動運転車両への出発指示を確認
	遠隔監視体制	1:1
	業務従事者教育	<p>(1)事前学習</p> <p>以下の事前学習資料を提供し、事前に自動運転に関する理解の醸成を図る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動運転バスの基礎知識(車両構造、センサの役割、システム概要) ・遠隔監視業務の役割と責務 ・ODD(Operational Design Domain)の理解 ・関係法令(道路交通法、自動運転に関するガイドライン) ・緊急時対応手順(通信障害、システム異常、乗客対応) <p>(2)実地研修</p> <p>自動運転バスの安全な運行に必要な知識と技術を習得する。具体的には、遠隔監視画面からの情報を通じて車内外の状況をリアルタイムで把握。</p> <p>また車内の異常や通常の状態判断、さらには車外の状態や歩行者、自転車、バイク等の動きの確認、監視対象の状態を監視し、異常が発生した場合にはすぐに適切な対策を講じられるようにするとともに、併せて定められた連絡先に連絡を取るなどの対応を行った。</p>

		<ul style="list-style-type: none"> ・監視システムの操作研修(画面構成の理解、操作方法の習得) ・検知すべき異常の種類(車両・環境・通信など) ・異常発生時の対応訓練(通信障害発生時の対応、車両異常発生時の判断基準と対応手順) ・乗客対応訓練(車内トラブル・体調不良者発生といった乗客からの問い合わせ対応、その他緊急対応) ・記録作成(異常発生時の判断と記録作成訓練)
テスト ドライバー	事業者	千歳相互観光バス株式会社、道南バス株式会社、アイサンテクノロジー株式会社
	人員体制	運転手の人数:1人 自動運転車両1台当たりの配置人数:1人
	オペレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・朝夕の自動運転車点検作業を行う ・運転席横の備え付け自動運転介入制御ボタンにより手動・自動の運転モード切替えを行う ・走行中に何らかの危険を感じた際はフットブレーキを踏んでオーバーライドし、手動モードに切り替える <p>これを繰り返すことにより、運行ルートを自動走行させる</p>
	テストドライバーの確保及びこれらに対する業務従事者教育・訓練の計画	<p>1. テストドライバーの確保</p> <p>自動運転バスの運行にあたり、安全かつ適切な運行管理を行うため、以下の条件を満たす交通事業者のドライバーを確保した</p> <p>対象者: 大型バスの運転経験を有し、日常的に業務で運転している者</p> <p>【選定基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型自動車第二種運転免許を有していること ・過去5年間に重大な交通違反・事故歴がないこと ・安全運転に対する意識が高く、業務従事者としての適性があること <p>2. 教育・訓練</p> <p>テストドライバーに対して、自動運転バスに関する知識と実技を習得するための教育・訓練を実施した</p> <p>(1) 事前学習およびテスト</p> <p>【目的】</p> <p>自動運転バスの基本知識を習得し、業務遂行に必要な理解度を確認した</p> <p>【内容】</p>

		<p>事前検証資料の提供：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動運転バスの操作方法(自動走行方法やオーバーライド方法など) ・ODD(Operational Design Domain:運行設計領域)の理解 ・自動運転ガイドライン及び関係法令(道路交通法、運行管理規則など) ・緊急時対応手順(システム異常、事故発生時の対応) <p>確認テストの実施：</p> <p>事前学習後に理解度確認テストを実施し、合格した者のみ次の研修へ進む</p> <p>(2) 閉鎖空間における実車研修(2日間)</p> <p>【目的】実際の自動運転バスを用いて、安全な環境で基本操作を習得した</p> <p>【内容】</p> <p>1日目：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・車両の構造および機能説明(LiDAR、カメラ、センサの役割) ・操作体験(発進・停止、手動操作⇔自動運転の切り替え) ・システム異常時の対応訓練 <p>2日目：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シナリオ別訓練(緊急ブレーキ、障害物回避) ・実車を用いた異常発生時の模擬対応訓練 ・研修終了後の評価およびフィードバック <p>(3) 実際の運行ルートにおけるOJT(2日以上)</p> <p>【目的】</p> <p>実際の運行環境下で、自動運転バスの操作を実践</p> <p>【内容】</p> <p>初日：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ルートごとのリスクポイントの把握 ・オペレーターとの連携方法の把握 ・インストラクター同乗の下、通常運行ルートを確認(手動走行) ・インストラクター指導の下での公道自動運転操作訓練 <p>2日目以降：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・インストラクター指導の下での公道操作の習熟 ・各走行後の評価およびフィードバック <p>一定の評価基準を満たした場合、正式な業務従事者として認定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アイサンテクノロジー株式会社から派遣したテストドライバーが上記事項を実施した
<p>保安員 (※上記以外で)</p>	<p>事業者</p>	<p>アイサンテクノロジー株式会社</p>
	<p>人員体制</p>	<p>保安員の人数:1人</p>

運行の安全のために配置する人員)		自動運転車両 1 台当たりの配置人数:1 人
	オペレーション	Autoware(自動運転車載システム)を起動・操作することにより、自動走行中の自己位置推定や障害物認識の確認等を行い、運行の妨げになる事象を事前に防ぐ役割を担う。ODD 設定外時におけるオーバーライドの記録も実施する
	業務従事者教育	Autoware の基本機能、エルガ特有の機能の説明 名鉄バス津島営業所での事前研修 現場での実地訓練

3.6 自動運転車両の特徴

表 7 自動運転車両の特徴

項目		内容
台数		1 台
所有者		アイサンテクノロジー株式会社
車両 スペック	車両名	エルガ(改造自動運転バス)
	自動運転レベル	レベル 2
	車両定員	76 人(客席 25 席、ドライバー席除く)
	試乗枠の定員	27 名(運転席 1 名+座席 26 名)
	最高速度	車両機能上限:100km/h
		実証実験時上限:60km/h
	センシングデバイス	LiDAR(8 個)/カメラ(19 個)
	車両性能 (チェックを入れること)	☑走行中に自動運転と手動運転を切り替えることが可能な遠隔型自動運転システムを備えた自動車として生産された車両である
☑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		
運行管理システム	☑車両に搭載したカメラによる車両内外の遠隔監視	

	(チェックを入れること)	☑緊急時における車内との通話		
		☑速度や位置等の車両走行状態のリアルタイムでの取得		
		☑実験車両に車両周辺の状況や車両状態情報の記録を行うドライブレコーダーやイベントデータレコーダー等を搭載すること		
		☑公道実証実験中の実験車両に係るセンサ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	GNSS、IMU		
走行可能環境	天候	晴れ、曇り、雨 15mm 以下(路面:乾燥・湿潤のみ、凍結は除く)		
	照度	1~10,000lux		
保有機能	自転車操作	左折	走行可否	可
		右折	走行可否	可
		車線変更	走行可否	可
		障害物回避	対応可否	否
	対象認識	①車両(普通車両、大型車両) ②歩行者 ③自転車 ④オートバイ その他(上記未該当のもの)		
	白線認識	未実施		
	標識認識	未実施		
	信号認識	カメラ及び信号連携(本実証での信号連携は未実施)		
MRM	有			

<p>本実証のために実施する自動運転システム改修の内容</p>	<p>WiGig からの走行経路変更要求の受け取りを行うシステムの開発、WiGig への走行経路変更完了の通知や死角監視、走行時に取得した点群情報等のセンサデータや走行データをアップロードする機能の開発を行った。</p> <p>また、受け取った走行経路変更要求をもとに、自動運転で走行する経路を選択してバス停までの経路計画を再計画し、同時に自動走行可能なルートであることのチェックも行うことができるよう、自動運転システムの改修を実施。</p>
<p>その他特徴等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・世界 20 か所以上で活用実績のあるオープンソース自動運転ソフトウェアである Autoware を搭載 ・自己位置推定は高精度 3 次元 MAP の活用(Scan Matching)、GNSS のマージ、若しくは単独利用した走行が可能 ・3DLiDAR による物体検出が可能 ・横断歩道では横断者を検知し、自動で停止する機能を有する ・走行しながら自動運転と手動運転の切り替えが可能

3.7 自動運転に関する手続き

実施に当たって、下記の報告及び許可申請を実施した。

表 8 自動運転に関する手続き

申請先・調整先	申請内容・調整内容
<p>北海道警察</p>	<p>駐停車合意の公示(道路交通法(昭和 35 年法律第 105 号)第 44 条)</p> <p>・本事業の自動運転車両の走行は千歳相互観光バス株式会社および道南バス株式会社が実施するが、駐停車については、千歳相互観光バス、道南バス内がすでに許可を得た区域において行うため、新たな合意を取り付ける必要はない、他方、Rapidus 株式会社、科学技術大学の敷地内での駐停車は両社へ事前相談し合意を得ているため、調整・協議は不要</p>
<p>千歳警察署</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートモビリティインフラの建柱・装柱作業に係る道路使用許可 「様式自 01_05_別添_道路使用許可書(千歳警察署)_スマートモビリティインフラ」を取得(令和7年9月4日、千歳警察署長) ・スマート道路灯の更新工事に係る道路使用許可 「様式自 01_05_別添_道路使用許可書(千歳警察署)_スマート道路灯」を取得(令和7年10月27日、千歳警察署長) ・APN 終端局設置工事に係る道路使用許可 「様式自 01_05_別添_道路使用許可申請書(千歳警察署)_APN 終端装置」を取得(令和7年11月7日、千歳警察署長)

千歳市	<p>道路占用許可(道路法(昭和27年法律第180号)第32条)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・仲の橋通の路車協调用路側機の新設柱への機器類設置については、千歳市へ許可申請を実施 「様式自 01_05_別添_道路占用許可回答書_千歳市許可道路管理 A-106」を取得(令和7年9月19日、千歳市長 横田 隆一) ・東大通のスマート道路灯/WiGig 設置工事については、千歳市へ許可申請を実施 「様式自 01_05_別添_道路占用許可回答書_千歳市許可道路管理 A-116」を取得(令和7年11月5日、千歳市長 横田 隆一) ・東大通、仲の橋通の機器配備・架空配線については、千歳市へ許可申請を実施 「様式自 01_05_別添_道路占用許可回答書_千歳市許可道路管理第 A-117」を取得(令和7年11月14日、千歳市長 横田 隆一)
北海道エアポート株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・相手方所属・役職:新千歳空港事業所 管理部 次長 松下 智樹様 ・日時 令和7年10月16日 ・協議又は調整の内容:自動運転走行に係る事前説明、リスクアセスメント結果報告、ターミナル内の自動運転バスの走行経路、手動・自動運転区間、一時待機場所、及び停留所の利用に関する協議を実施 ・結果等:空港ターミナル内は手動運転とすること、一時待機場所として空港駐車場の借用、バス乗り場①の一時停車可、許可車乗降所を停留所として利用する事の合意を得た
公立千歳科学技術大学	<ul style="list-style-type: none"> ・相手方所属・役職:理工学部 学部長 教授 工学博士 吉本 直人様 ・日時:令和7年10月28日 ・協議又は調整の内容:自動運転走行に係る事前説明、同校敷地内にある「本部棟停留所前空きスペース路肩」を停留所としての利用に関する協議を実施 ・結果等:停留所として利用する事の合意を得た
Rapidus 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・相手方所属・役職:オペレーション管理部長 ディレクター 谷猪 秀和様 リードアソシエイト 本宮 昌宣様 エンジニアリングセンター 解析ラボ管理部長 シニアディレクター 石丸 靖様 ・日時:令和7年10月29日 ・協議又は調整の内容:自動運転走行に係る事前説明、バスの停留所候補について協議を実施 ・結果等:六番乗り場を利用することで合意を得た

4. 実証の手法

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

当該ユースケースは実施していない

4.2 ②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保

当該ユースケースは実施していない

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

当該ユースケースは実施していない

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

4.4.1 豪雪地域での積雪・除雪・排雪の複雑な走行路面状態変化情報の路側設備を活用したデータ連携と状態把握、安全な自動運転車両の走行車線の制御

1) 目的

本実証では、レベル4自動運転が困難な豪雪・寒冷地帯において、安全な自動運転を実現するシステムの確立を目指す。その実現のため、路車協調システムで取得した映像・点群データから3Dマップを生成し、生成されたマップを活用した自動運転バスに伝達する自動運転管理システム基盤の構築を目指す。

最終的に描く将来像は、全国の豪雪地帯をはじめ、車両単体では自動運転が困難な多様な環境に対応できる「自動運転管理プラットフォーム」の構築を目標とする。

2) 実証内容の詳細

豪雪・寒冷地帯である千歳市では、冬季の降雪によって路面状況が悪化し、自動運転バスの安定走行が困難になるという課題がある。本実証を通じて、このような複雑な道路環境でも自動運転バスが安定して走行できるシステムの確立を目指す。

路車協調・車両データをMulti-access Edge Computing(MEC)環境で分析を行い、自動運転システム側へ走行車線パターン指示を出すことでの降雪等の環境変化に対応した走行や、3Dマップによる路面状況可視化を実現する。

また、上記を実現するために、IOWN APNや高度WiGig、キャリア5G/LTE(Mobile-QoS)を用いて、大容量データをMECへ高速かつ安定して伝送する環境を構築する。

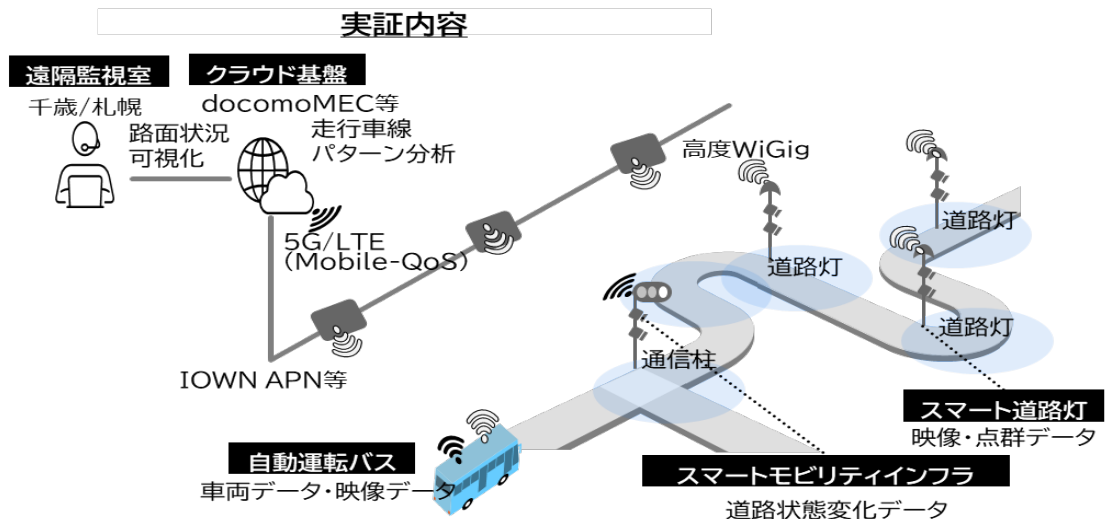


図 3 実証内容

3) 利用技術

豪雪地域での積雪・除雪・排雪による複雑な道路状況変化の把握および自動運転システムへのフィードバックのため、本実証では以下の4つの技術を活用する。

- 1 高度 WiGig システム
- 2 Mobile-QoS
- 3 MEC
- 4 路車協調システム

それぞれの通信技術を選択した理由を述べる。

1 高度 WiGig システム

WiGig は、60 GHz 帯(ミリ波帯)を使用する無線 LAN の一種であり、高速・大容量の無線データ通信が可能である。また、WiGig は、ビームフォーミング機能により、移動する端末をリアルタイムに追従することが可能であるが、本実証では、さらに複数の WiGig 基地局と一つの WiGig 端末との間の通信電波の伝搬経路のうち、極力途中に障害物がない経路をダイナミックに選択可能な機能を合わせ持つ WiGig システム(本提案書では、高度 WiGig システムと呼称)を採用した。

占有して利用可能な高速・大容量の無線データ通信手段としては、ローカル 5G も考えられるが、本実証における用途においては、固定端末、移動端末の同時通信を行う際の合計の所要通信速度を考慮する必要があり、特に端末から基地局へ向かう上り回線において、十分な通信速度を確保するためには、ローカル 5G(準同期モードを採用する場合を含む)の 2~5 倍程度の最大速度を実現可能な高度 WiGig システムが有利である。

2 Mobile-QoS

想定するシステムにおいて、一般ユーザと電波リソースを共有するキャリア 5G においても自動運転車

両の運行中に映像乱れや停止のない滑らかな映像伝送が求められる。

そのため自動運転制御に用いる通信など一般的に優先されるべき通信については、一定の混雑状況下においても優先的に無線リソースを割当て、安定性など通信品質を維持することが肝要と考えられる。

上記より本実証において、キャリア 5G における映像伝送をより安定的かつ一定の品質で実現するために Mobile-QoS を採用した。

3 MEC

自動運転制御において、通信の安定性とセキュリティ脅威の排除による信頼性を求められるため、通信キャリア網内という完全閉域で外部脅威を受けず、更に公共ネットワークの揺らぎや冗長な物理的通信経路の影響を受けないことから、MEC が適していると考えられる。

本実証では積雪検知などの一部システムのサーバを MEC 上に構築するが、将来的には MEC 上に自動運転制御に必要な関連システムのサーバを構築することで、広範囲で稼働する路車協調型自動運転環境を SaaS の様に一元的に提供していくことを見据える。

上記のことから、本実証において、MEC を採用した。

4 路車協調システム

自動運転車両の一般道における走行実証、さらには将来的な社会実装を目指していく上で、豪雪地帯などにおいては冬季の積雪・除雪・排雪による複雑な道路状況変化の把握を行うことが大きな課題となる。このような課題に対し、安全な自動運転車両の走行を目指すために路側設備等に設置する機器（カメラ、LiDAR など）からの情報を基に、自動運転車両や遠隔監視室に対して道路情報を提供し、円滑な交通環境を実現することが必要であると考えられる。

本実証では、既存道路灯を用いて灯具部分を LiDAR、カメラも併せて設計・交換すること、あるいは既存の信号機等に同様のセンサ機器を装着することで道路情報を連続的に取得し、MEC 上においてそれら情報を用いて三次元地図を作成することにより、複雑な道路状況変化の把握及び道路状況変化に合わせた最適な走行経路を選定し、それを自動運転車両へフィードバックする「路車協調」方式を採用することで、安全かつ効率的な走行実証を目指した。

4) 必要性・緊急性・新規性

1 必要性:

北海道千歳市では、冬季の降雪・積雪により交通環境が複雑に変化することが大きな課題となっている。積雪・除雪による道路環境変化など、複雑に変動する冬季の交通環境を自動運転バスに搭載したセンサのみで十分に把握することは現時点の技術では難しい。この豪雪地帯における地域特性に対応するためには、安定かつ円滑に路側センサも活用した道路周辺環境情報を単一の自動運転車両だけではなく、該当地域を走行する自動運転車両に対して伝送することが不可欠である。

2 緊急性

地域に必要不可欠な公共交通の持続可能性の確保として、日本政府は 2027 年度までに全国 100 箇所レベル 4 自動運転による移動サービスの提供を目指しており、これは冬季の降雪・積雪が発生す

る地域も同様な課題を抱えている。路側設備も活用した周辺環境情報の伝達が行われないと、交通事故リスクや運行計画への影響により輸送機能が低下し、社会的損失が発生する懸念がある。特に除雪前後の路側帯と車線での道路形状の変化により、事前に作成された地図情報との整合性が失われ、従来の自動運転車両のセンサ機材(LiDAR、カメラ)による認識技術では自車位置の把握が難しくなる。

通信の観点においても 2027 年度における実装を目指し、路側設備等のシステムに対応した通信基盤を早急に準備する必要があるため、無線免許取得不要で設置にかかるリードタイムを短縮できる WiGig システムを活用する。

3 新規性

本事業において、スマート道路インフラからの路側積雪・除雪等の情報も活用して、複雑な道路変化情報の三次元地図情報更新の実現性を目指したい。

従来スマート道路灯インフラからの情報をアップロードする場合、モバイル通信若しくはローカル 5G を用いていたが、本実証では高速大容量通信を実現しつつ設置コストを安価に抑えることができる WiGig を使用した。

5) 検証条件

- ・ 積雪する環境であり、除雪されていること
- ・ 除雪により路側帯に雪壁が発生していること
- ・ 排雪による雪壁変化が発生していること
- ・ 積雪等により走行車線の変更できる路線であること
- ・ 路側インフラ、柱において安定的な電源が使えること

6) 開発・評価項目

表 9 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	路車協調システムの開発
(2)	高度 WiGig/IOWN APN による通信環境の整備
(3)	MEC 基盤の整備
(4)	実証対象区間における自動運転率の計測
(5)	道路灯から MEC 基盤までの通信性能の計測

(6)	バスから MEC 基盤までの通信性能の計測
(7)	生成された 3D マップの精度に係る遠隔監視員へのアンケート・ヒアリング調査
(8)	生成されたルート情報と挙動に係るバス運転手へのアンケート・ヒアリング調査

(1) 路車協調システムの開発

豪雪地帯における安全な自動運転車両の走行を目指し、路側設備等に設置する機器(カメラ・LiDAR)からの情報を基に自動運転車両や遠隔監視室に対して道路情報を提供し、円滑な自動運転バスの運行を実現する路車協調システムを開発する。具体的には、路側システムにてセンシングした路面の積雪情報から最適な走行車線パターンを導出し、自動運転車両にフィードバックすることで、積雪条件下での自動運転走行の継続を実現する。

(2) 高度 WiGig/IOWN APN による通信環境の整備

路車協調システムにおける高精度な環境認識と走行制御を支えるため、インフラ及び車両においてそれぞれ取得する大容量データを MEC へ同時伝送可能とする通信基盤として、IOWN APN や高度 WiGig を活用し、低遅延かつ安定したデータ通信環境を構築する。これにより、点群データや高精細映像データを遅延なく MEC 上にアップロードすることが可能となる。

(3) MEC 基盤の整備

将来的には地域住民が利用する自動運転走行バスの制御においては、通信の安定性とセキュリティ脅威の排除による信頼性を求められる。本実証では、各種データのアップロード先として MEC 環境を用いており、通信キャリア網内という完全閉域で外部脅威を受けず、更に公共ネットワークの揺らぎや冗長な物理的通信経路の影響を受けないため、通信の安定性とセキュリティ排除を実現できる。MEC 環境内には、遠隔監視システムのフロントエンド機能及びデータのロードバランシング機能を有するアプリケーションサーバ、データを時系列データベースに永続化するデータベースサーバ、スマート道路灯の取得情報(LiDAR、カメラ映像)から積雪検知及び走行車線パターンの出力を行うルート判定サーバを構築する。

(4) 実証対象区間における自動運転率の計測

道路状況のリアルタイムセンシングによって車両側が走行すべきルートを事前取得することで、自動運転走行における手動介入が削減できるかどうかを明らかにするため、実証対象区間における走行距離のうち、自動運転で走行した距離の割合から自動運転率を計測する。また、手動介入が発生した場合は介入要因を記録して分析する。

(5) 道路灯から MEC 基盤までの通信性能の計測

走行可能車線の分析に用いる、スマート道路灯の取得情報(LiDAR、カメラ映像)の伝送に必要なスループットを維持できるかを測定し評価する。MEC 基盤上では5分毎に積雪状態の分析を実施するため、5分×3回分(任意の時点およびその前後)のデータを取得するために試験時間は連続する15分間とした。測定対象区間としてはスマート道路灯のシステムからデータの送り先であるMECまでの区間にて評価を実施し、途中経路にはWiGig、IOWN APNを経由する。

(6) バスから MEC 基盤までの通信性能の計測

本実証では、千歳市市街地においてスマート道路灯が設置されている東大通、路線バスの既存バス停が設置されている仲の橋通それぞれの連続した一部区間を WiGig 通信エリア化する。また、バス車両ルーフトップに WiGig アンテナを設置し車内のシステムと接続することで、この WiGig 通信エリア化された範囲内において走行中のバス車両が WiGig 通信可能となり、バス車両から MEC まで車両からの取得情報を伝送する。その伝送に必要なスループットを維持できるかを測定し評価する。

(7) 生成された 3D マップの精度に係る遠隔監視員へのアンケート・ヒアリング調査

本実証では、東大通から取得する取得情報(LiDAR、カメラ映像)、及び自動運転バスの車載機の取得情報を用いた 3D マップを MEC 上に生成している。

自動運転車両の走行ルートおよび車線状況について MEC から協調型インフラ基盤を通じ自動運転車両と遠隔監視室へ路面状況を配信し、車両での走行制御を検証した結果から、遠隔監視員と自動運転バス運転手に対して、以下の定性評価・確認を実施する。

MEC 上から車線状況などを情報配信した際の通信劣化状況も踏まえた観点での有用性評価(映像の乱れ、映像フレームのドロップ、視認の容易性も含む)を行う。

(8) 生成されたルート情報と挙動に係るバス運転手へのアンケート・ヒアリング調査

本実証にて路車協調システムを使用して MEC 上から車線状況などの情報の配信を行い、情報を受信した自動運転バスは車線変更切替え、自動手動切替え制御を実施する。

バス運転手は通常の路線バス営業運行において道路状況、天候を基に判断し行う切替操作と、路車協調システムを用いた自動運転を比較し、その挙動に対して運転手の視点から有用性評価を行う。

7) KPI/KGI

表 10 KPI/KGI 項目

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	(1)	LiDAR、カメラデータを分析した結果から更新された走行車線パターン内での雪道での自動運転率 80%以上

	(2)	連続して 15 分間のスループット試験を実施し、道路灯から MEC 基盤までの上りスループットの実測値が要求スループット(180Mbps 道路灯 2 台分)を上回る時間が 99%以上
	(3)	WiGig 通信エリア内においてスループット試験を実施し、走行している車両 1 台から MEC 基盤上までの上りスループットの実測値が要求スループット(430Mbps)を上回る時間が 70%以上
定性評価	(4)	システムが検出した積雪状態のデータと実走行時の映像を比較し、走行可能車線の判断に使用可能との意見を複数人から得る(4 段階評価の平均がポジティブ寄り)
	(5)	走行可能車線の検出・伝達結果と実際の車線運行路面状態の差異ならびにその回避が自然に行われたとの意見を運転手から得る(4 段階評価の平均がポジティブ寄り)

(1) LiDAR、カメラデータを分析した結果から更新された走行車線パターン内での雪道での自動運転率 80%以上【定量評価】

スマート道路灯にて取得した LiDAR、カメラデータから導出した走行車線パターンを利用することで雪道でのドライバーによる手動介入を削減し、安全な自動運転走行を継続できることを評価するために、自動運転率を「定量評価項目」として設定する。目標値としては、80%以上を設定しているが、これは走行車線パターンを導出するための入力データとなるセンサ単体の積雪検知精度が 90%以上であること、及び路側システムからフィードバックされた走行車線パターンの通りに自動運転車両が車線変更できる成功率を 90%以上として定め、それらの合算値から 80%以上として導出したものである。

(2) 連続して 15 分間のスループット試験を実施し、道路灯から MEC 基盤までの上りスループットの実測値が要求スループット(180Mbps | 道路灯 2 台分)を上回る時間が 99%以上【定量評価】

WiGig 等の活用により、道路状況を把握するために必要となるスマート道路灯にて取得したデータを遅延なくアップロードするためには点群データ約 60Mbps、映像データ約 30Mbps、合計約 90Mbps のスループットがスマート道路灯 1 機あたり必要であると見込まれており、今回スマート道路灯を 2 機設置するため 180Mbps を KPI/KGI「定量評価項目」として設定した。また WiGig 固定基地局同士の通信であるため、通常の通信揺らぎのみの発生を考慮して時間割合として 99%を KPI/KGI「定量評価項目」として設定した。また、データを伝送した先の MEC 基盤上では 5 分毎に積雪状態の分析を実施するため、5 分×3 回分(任意の時点およびその前後)のデータを取得するために試験時間は連続する 15 分間とした。

(3) WiGig 通信エリア内においてスループット試験を実施し、走行している車両 1 台から MEC 基盤上までの上りスループットの実測値が要求スループット(430Mbps)を上回る時間が 70%以上【定量評価】

WiGig 等の活用により、道路状況を把握するために必要となる車両側で取得したデータを遅延なくアップロードするためには点群データについて約 400Mbps、映像データについて約 30Mbps、合計約 430Mbps のスループットが必要であると見込まれるため、これを KPI/KGI「定量評価項目」として設定した。なお、固定されている路側機器と異なり、自動運転車両の様に移動している端末との通信については、複数の WiGig 基地局との通信電波の伝搬経路のうち、途中に障害物がない経路をダイナミックに選択(基地局切替)しながら通信する必要があるが、これについてはレーシングコースにおいて実証(※)を実施したことがあるものの、公道という他の車両や道路上の街路樹や道路灯・街路灯、標識などの障害物が存在し、降雪・降雨などの天候の変化による影響も考えられる複雑な環境下においては実施した実績がないため、要求スループットを上回る時間については概略の想定値として 70%を KPI/KGI「定量評価項目」として設定した。

※参照:高度 WiGig の基本技術に関する参考文献:「60GHz 帯ミリ波大容量無線伝送の高速移動体適用技術の研究開発」電波産業会, ARIB 機関誌 no.121, pp.39-44, 2023 年 7 月。

(4) システムが検出した積雪状態のデータと実走行時の映像を比較し、走行可能車線の判断に使用可能との意見を複数人から得る(4 段階評価の平均がポジティブ寄り)【定性評価】

本検証では、路側機に設置した LiDAR 及び映像センサにより検出した積雪状態データと、自動運転バスの実走行時に取得した映像を比較し、走行可能車線の判断に当該データが使用可能であるかを定量的に評価した。具体的には、第一車線に雪だまりや道路にせり出す雪が確認されるような、積雪の影響により走行判断が難しく、遅延が発生しやすい区間を評価対象とし、当該区間において「安全かつ円滑な走行が可能な車線を適切に選択できているか」を評価指標とした。

評価方法として、システムが提示した走行可能車線の判断結果と、実走行映像を基にした人による判断結果を比較する手順を用いた。具体的には、複数の評価者がシーンごとにシステムの判断妥当性を 4 段階評価で採点し、その評価値の平均を算出した。4 段階評価では、実運行での判断支援に必要な最低限の信頼性を確認できるかどうかを評価の観点とし、その基準に基づいてシステム出力と人手判断との一致度を定性的に評価した。目標値の設定についても、実運行での判断支援に必要な最低限の信頼性を確保することを主眼として行った。

- (5) 走行可能車線の検出・伝達結果と実際の車線運行路面状態の差異ならびにその回避が自然に行われたとの意見を運転手から得る(4段階評価の平均がポジティブ寄り)【定性評価】

本検証では、システムにより検出・伝達された走行可能車線の情報と、実際の走行時に確認された車線の路面状態との差異について評価を行うとともに、その差異に対する回避行動が運行上自然に行われたかを定性的に検証した。積雪の影響により車線状態が不均一となりやすい区間を対象とし、「システムが提示する走行可能車線情報が、実際の路面状況と大きな乖離なく運行判断に活用できか」を評価指標とした。

評価方法として、走行可能車線の検出・伝達結果と実走行時の路面状態を比較し、その差異の有無および差異が生じた場合の回避行動の円滑性について、運転手による4段階評価を実施した。具体的には、車線変更や速度調整が違和感なく行えたか、運行の妨げとならなかったかを評価項目とし、場面ごとに運転手がシステムから提供される情報の妥当性および操作負荷を評価した。4段階評価では、運転手の介入学、安全性、運行の円滑性を総合的に勘案し、実運行での判断支援として許容できる水準かどうかを判定指標とした。目標値の設定については、運転手の介入を最小限に抑えつつ安全性と円滑性を両立させるために必要な信頼性水準を満たすかどうかを確認することを目的として行った。

4.5 ⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証

当該ユースケースは実施していない

4.6 レベル4の社会実装に向けた検討

4.6.1 運用検証

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

本実証において、運用に関する検証を行った。

検証の実施内容及び方法については以下に記す通りである。

■自動運転走行ルートの中で千歳市街地にある東大通、仲の橋通における自動走行の運用負担の軽減効果測定

測定条件:自動運転車両の走行ルートと車線状況を MEC から協調型インフラ基盤を通じ自動運転車両と遠隔監視室へ路面状況を配信し、車両での走行制御を検証した。その際、遠隔監視員と自動運転バス運転手に対して、以下の定性評価確認を実施した。

- インタビュー/アンケートによる運用軽減に資する主観的評価及び質問紙による評価
- 検証期間:本番実証期間
- 対象者:バス運行会社(自動運転バス(L2)運転手、遠隔監視室で監視する運転手)

インタビュー/アンケートは以下の通りである。

質問の選択肢は、中立的な回答を除外し回答者の意見を明確にする目的から 4 件法を用いた質問紙を採用した。

本アンケートでは、各設問に対する評価の傾向を把握するため、平均値に加えて標準偏差 (SD: Standard Deviation) を用いた分析を行った。

標準偏差とは、各回答が平均値からどの程度ばらついているかを示す指標であり、評価結果の「安定性」や「一貫性」を把握するために有効な統計量である。

本調査の対象である自動運転バスおよび遠隔監視システムの評価は、単に評価が高いか低いかだけでなく、評価が特定の個人の印象に依存していないか、あるいは運用条件や経験差によって評価が分かれていないかを確認することが重要である。そのため、平均値のみでなく、標準偏差を併用することで、評価のばらつきを定量的に把握する設計とした。

具体的には、4 件法 (1~4 点) で得られた各設問の回答値について平均値を算出し、同時に標準偏差を求めた。

平均値は「全体として肯定的か否定的か」という評価の方向性を示す一方、標準偏差は「評価がどの程度均一であるか」、すなわち評価の安定度を示す。

標準偏差が小さい場合、回答が平均値付近に集中していることを意味し、評価が多くの回答者に共通していると解釈できる。一方、標準偏差が大きい場合は、評価が回答者間で分かれており、運用環境や立場、経験の違いによる影響が存在する可能性が示唆される。

さらに本調査では、単一の設問のみで判断するのではなく、同一の評価観点に属する複数の設問をまとめて「評価領域」とし、領域単位で平均値および標準偏差を算出した。これにより、個別設問の偶発的なばらつきの影響を抑え、評価領域としての総合的な傾向と安定性を把握することが可能となっている。

以上の方法により、本アンケート結果は、評価の高さと同時に評価の信頼性・再現性を確認できる構成となっており、協調型インフラを活用した自動運転バス運用の有効性を多角的に検証することを目的としている。

(自動運転バスの走行に関するアンケート)

質問

Q1. 自動運転バスが取得したルート・車線情報は、実際の道路状況や一般的な車両通行と比べて、乖離や違和感がないと感じましたか。

- 1: 強い違和感がある
- 2: やや違和感がある
- 3: 大きな違和感はない
- 4: 違和感はない

Q2. 道路にせり出す雪だまりなどの回避時に自動運転バスの車線変更は、普段の手動運転と比べて自然だと感じましたか。

- 1:とても不自然である
- 2:やや不自然である
- 3:概ね自然である
- 4:とても自然である

Q3.交差点右折・左折に向けた車線変更のタイミングは、適切だと感じましたか。

- 1:とても不自然である
- 2:やや不自然である
- 3:概ね自然である
- 4:とても自然である

Q4.バス停へ進入する際の車線変更や走行挙動は、安心して見守れるものでしたか。

- 1:とても不安に思う
- 2:やや不安に思う
- 3:概ね安心できる
- 4:とても安心できる

Q5.ルート・車線情報を取得する区間において、自動運転の運用負担が増加したと感じることはありませんでしたか。

- 1:負担が大きく増えた
- 2:やや負担を感じた
- 3:特に負担は感じない
- 4:むしろ負担が軽減された

Q6.自動運転システムが行うルート・車線情報を活用することで、判断に迷う場面は減ったと感じましたか。

- 1:全く感じない
- 2:やや感じない
- 3:概ねそう感じる
- 4:とても感じる

Q7.雪道走行時の加減速や車間距離の取り方は、全体として一貫性を感じますか。

- 1:全く感じない
- 2:やや感じない
- 3:概ねそう感じる
- 4:とても感じる

Q8.自動運転バスの次の動きは、予測しやすいと感じましたか。

- 1:全く感じない
- 2:やや感じない
- 3:概ねそう感じる
- 4:違和感はほとんどない

Q9.協調型インフラを活用した今回の自動運転は、従来と比べて運転手の負担軽減につながっていると感じましたか。

(従来とはバスに搭載するカメラ映像のみです)

- 1:全く感じない
- 2:やや感じない
- 3:概ねそう感じる
- 4:とても感じる

Q10.ルート情報に基づいて走行する東大通の自動運転では、従来と比較して負担が増えたと感じますか。

- 1:全く感じない
- 2:やや感じない
- 3:概ねそう感じる
- 4:とても感じる

自動運転バスの挙動やルート情報について、良かった点・改善が望まれる点があれば記入してください。

(自由記述)

(遠隔監視に関するアンケート)

Q1.カメラ(道路灯、信号機)、LiDAR(3D 点群データ)から、道路状況を正確に把握できる情報を取得できていましたか。

- 1:全く取得できていない
- 2:十分とは言えない
- 3:概ね取得できている
- 4:十分に取得できている

Q2.車外映像(東海理化システム)の画質は、降雪・積雪環境下においても、バス周囲の状況を判断するうえで十分でしたか。

- 1:全く判断できない
- 2:判断できない
- 3:概ね判断できる
- 4:十分判断できる

Q3.道路灯センサによる積雪検知結果(手動 or 自動)について、実際の積雪状況と比較した際の適切さ(精度の高さ)をお答えください。(※別資料参照)

- 1:低い
- 2:やや低い
- 3:やや高い
- 4:高い

Q4.信号機センサによる積雪検知結果(手動 or 自動)について、実際の積雪状況と比較した際の適切さ(精度の高さ)をお答えください。(※別資料参照)

- 1:低い
- 2:やや低い
- 3:やや高い
- 4:高い

Q5.取得データより生成される 3D マップは、実際の道路環境や積雪状況と乖離がないと感じましたか。

- 1:大きな乖離がある
- 2:やや乖離がある
- 3:大きな乖離は感じない
- 4:乖離はほとんどない

Q6.3D マップとバス位置情報の重なり表示は、走行状況を直感的に把握しやすいものでしたか。

- 1:大きな乖離がある
- 2:やや乖離がある
- 3:大きな乖離はない
- 4:乖離はほとんどない

Q7.遠隔監視室において、情報取得は問題なく行えましたか。

- 1:問題が多かった
- 2:やや支障があった
- 3:概ね問題なかった
- 4:問題なく行えた

Q8.複数の監視システム(3D マップ/映像/CAN データ)を用いた監視業務は、負担に感じませんでしたか。

- 1:負担に感じた
- 2:やや負担に感じた

3:概ね負担は感じなかった

4:負担は感じない

Q9.複数システムの情報は、一貫した内容として理解でき、状況把握や判断の迷いを生じさせないものでしたか。

1:大いに迷う

2:やや迷う

3:概ね迷わない

4:全く迷わない

Q10.遠隔監視中、注意すべき情報(警告・異常など)は見落としにくい表示でしたか。

1:全くそう思う

2:ややそう思う

3:概ね思わない

4:全く思わない

Q11.協調型インフラを活用した今回の遠隔監視は、従来の監視方法※と比べて、運用上の負担軽減につながっていると感じましたか。

(従来とはバスに搭載するカメラ映像のみです)

1:全くそう思わない

2:そう思わない

3:概ねそう思う

4:全くそう思う

※バスに搭載したカメラ映像のみによる監視

Q12.遠隔監視を行う中で、良かった点、改善すべき点、または追加すると有効だと感じた情報があれば記入してください。

(自由記述)

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

地域公共交通の持続性を確保するには、通信インフラをはじめ、車両に搭載されたカメラやセンサにより、道路環境や車両周辺環境、バス車内の様子などの情報を収集し、運行管理者がリアルタイムで状況を把握できる体制を整備することが求められる。遠隔監視システムにおける機能のうち、音声通話により、車内の保安員と運行管理者が密に連携し、異常時には迅速な情報共有を行い、安全性の向上を図る。また、雪道など特定の状況においては、運行管理者が遠隔地から判断を行い、

適切な指示を保安員や車両に送る仕組みを構築する必要がある。

人員体制を大幅に見直すことが現実的でない場合においても、遠隔監視機能を効果的に活用することで、運行効率の向上を目指すことができる。これらの取り組みにより、自動運転バスの持続可能な運用を支援し、地域公共交通の発展、及び維持に寄与する体制を実現することが期待される。

3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策

運行の安全性や効率性を向上していく上で、運行管理者と保安員が相互に運行状況における円滑なコミュニケーションを確保できたかを評価することが重要となる。この評価には、異常時の対応状況、運行における指示内容の適切性、及びその実効性などが含まれる。こうした評価結果を基に運行管理体制を継続的に改善し、さらなる安全性の向上と効率化を目指すことが求められる。

■ 対策

MEC の MEC ダイレクトや FIC の利用により、インターネット等他網からのアクセスの防止と電話番号認証による接続制限を実施。※ただし遠隔監視映像については公衆網のモバイルネットワークを活用しインターネット接続とした。

また、無線通信部分に高度 WiGig を採用し、予めペアリングされた WiGig 通信モジュール間でのみ無線伝送を行えるようにすることで、無線通信区間の不正アクセスを防止。

■ 指標及び測定・検証方法

- ・ 指標:不審なログの発生有無、不正アクセス発生兆候の有無
- ・ 測定・検証方法:
 - ログ確認:実証終了時に本実証ネットワーク内の通信ログを確認。
なお、不審ログ/不正アクセス兆候の存在が確認された場合は、翌日以降の実証開始に向けて適切な対策を行うこととした。
- ・ 指標:運行実施回数
- ・ 測定・検証方法:
 - ネットワーク異常の有無を通信ログで確認しながら、バス運行が予定通り実施できたかを確認した。

4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守

【スマートモビリティインフラ インフラ連携システムにおける維持管理の取り組み】

インフラ連携システムは、道路脇に設置される路側機と、それを束ねる管理システム(クラウドサーバ)とで構成される。路側機はセンサ、カメラ、ネットワーク通信機、全体制御機、ネットワーク電源を内蔵し、それぞれの死活状態や稼働レベルを全体制御機が監視した。維持管理においては、機器の状態に応じた即時的、効率的な対応を可能とすべく、以下に示す4つの<対策>を具備。こ

これらの<対策>により運用中の多くの問題は自動、又は遠隔で対処可能となり、サービス時間率、平均復旧時間などの各種<KPI>が改善すると見込んだ。

<対策>

死活・稼働レベル検知機能

- ・全体制御機により路側機内の各装置の死活・稼働レベルを検知。
- ・管理システムにより全体制御機からの通信状況を監視し死活状態を検知するようにした。

②異常状態通知機能

- ・全体制御機は死活/稼働状態検知機能により異常を検知した際に、管理システムに状態を通知。
- ・管理システムは全体制御機から異常状態通知を受信した場合、または自身の死活検知機能により異常を検知した際に、その情報をロギングするとともに、システム管理者(SMICIP 担当者)へのメール送信によりシステムの異常状態を通知するようにした。

③自動復旧機能

- ・全体制御機は死活・稼働レベル検知機能により異常を検知した際に、自動で当該機能ブロック/サービスの復旧を行うようにした。

④遠隔監視・操作機能

- ・システム管理者が通信ネットワークを介して遠隔から、センサ、カメラ、全体制御部およびネットワーク電源にアクセスし、機器やサービスの再起動、ソフトウェアアップデート等の処置ができるようにした。なお、遠隔では対処困難な状況に対しては現地へ赴き Wi-Fi またはイーサネットケーブルで機器に直接アクセスして対処するようにした。

<KPI>

- ・サービス時間率
- ・故障率
- ・平均復旧時間
- ・平均故障間隔

<評価方法>

管理システムのログを用いて KPI を測定し、前述の対策が具備されていなかった場合の予測値との比較によりその効果を評価するようにした。

【WiGig 維持管理・保守性の向上に係る対策】

高度 WiGig システムの、各 WiGig 基地局に対する遠隔監視機能を活用して、システム全体で WiGig 通信が継続できているかを効率的に確認し、通信システムを含む路車協調システムの総合的な維持管理方法を検証・確立した。

4.6.2 効果検証

1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化

スマート道路インフラを活用して情報を取得することにより、積雪・除雪状況などに応じて MEC 上で

変化する三次元マップを実現し、次発車両の走行車線情報に活用することを目指す。具体的には、道路灯や信号機などに設置したカメラ映像や LiDAR データを用いて道路上の変化点情報を取得し、これを自動運転車両の制御への反映することを目指す。検証は MEC 上の分析結果を参照する前後での手動介入回数を比較することで行う。

2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度

レベル4自動運転走行の実現に向け、北海道千歳市のような豪雪・寒冷地帯において自動運転バスの安定走行を実現することは重要性が非常に高いと考える。千歳市のように冬季の積雪が多い地域では、路面状況が短時間で変化し、車両の走行に影響を及ぼす。また、比較的道幅の狭い道路では除雪作業によって道路幅が変化することもあり、自動運転車両の安定した走行を実現するための最適なルート計画の策定や、状況に応じた走行制御が求められる。更に天候状況や積雪により、車両のセンサ検知精度の低下も課題となる。このような環境下に対して、スマート道路灯やスマートモビリティインフラなどの路側インフラによって走行ルート上の点群データを MEC 上へ伝送し、3D マップの生成・可視化・更新を行うことで、路面状況に応じた経路選択・切替えの実現を目指し、冬季の豪雪・寒冷地帯においても安全で円滑な自動運転走行を目指す。

●上記課題を達成するための検証方法

- 当該課題の解決に向けて、路側インフラからのデータを基にした生成した 3D マップを活用し適切なルート選択を行うことで、雪道でも安定かつ円滑な自動走行が実現可能か設定した KPI/KGI に基づき検証する

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

レベル4自動運転バスが従来の路線バスに代わる社会の実現を見据え、積雪地域においても安定的かつ効率的なバス運行を可能とすることを目指すものである。特に、高速大容量通信を活用した路車協調システム及び MEC を用いることで、運行判断の高度化とルート設定の柔軟化を行い、走行時間の短縮及び交通利便性の向上を図る。

実施内容として、路側機に設置した LiDAR 及び映像センサにより、道路にせり出す雪や雪だまり、第一車線にはみ出す積雪状況をリアルタイムに把握し、その情報を高速大容量通信を通じて MEC へ伝送する。MEC 上では、当該積雪情報に加え、交通状況や道路構造等の情報を統合的に処理し、安全性及び通行可能性を考慮した最適な走行ルートの算出を行い、自動運転バスに通知する。

これにより、自動運転バスは積雪状況に応じた車線変更や部分的な迂回の必要性を事前に判断することが可能となり、急減速や停止、現地での判断待ちを抑制することで、走行時間の短縮を図る。また、従来は減便や運休の要因となっていた積雪条件下においても、運行継続性と定時性を確保し、通勤・通学や空港アクセス等、地域公共交通としての利便性向上を目指す。

本事業で構築するシステム上記の向上効果に寄与するものか、通信システムを使用した自動運転バスと、現在通常運行している路線バスについて、自動運転バスと路線バス双方の運転業務に就く運転手に対して、質問紙を用い KPI/KGI に基づいた検証を行う。

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

●路車協調システム

路車協調システムについては、過年度実証利用のスマート道路灯の筐体など一部ハードを再活用してコスト低減を図る。実装機能も夜間は実証対象外であるため、「実証での夜間視認性を高める各種機能」を具備しないことにより更なるコスト低減を見込む。

また、スマート道路灯による路車協調基盤とスマートモビリティインフラでの検知結果連携基盤を同一構成とすることで、初期コスト・ランニングコストの低減を図る。本実証を通じてコスト低減が可能な内容であるか、定性的確認・検討を行う。

●高度 WiGig システム

高度 WiGig システムについては、ローカル 5G と比べると無線設備及び付帯設備が低価格であり、また、無線周波数帯としてアンライセンスバンドを使用し無線局免許が不要なため、初期導入コストを低く抑えることができる。

また WiGig は、消費電力がアンテナ一体型の無線装置 1 台当たり 10W 以下と非常に低電力であるため商用電源として安価な定額契約が可能であり、また、ローカル 5G で必要となる電波利用料が不要であることから、ランニングコストを低く抑えられる。

WiGig の無線装置 1 台当たりのサイズ・重量は 1 辺 10cm 程度・500g 以下であり、既設電柱に共架することが十分可能であり、新規電柱を建柱して設置する場合や、ビル等に設置する場合（設置方法が多岐にわたるものと想定）よりも初期コストを抑えられる。一方、WiGig 無線装置の継続設置に係る使用料（場所代相当）について、公道設置の電柱の場合は、既設電柱共架時の電柱使用料（無線装置に係る道路占用料を含む）と、新規電柱設置時の土地使用料（電柱と無線装置の両者に係る道路占用料）とで大きな差はなく、ランニングコストは同程度と想定される。これに対して、新規電柱の建柱場所として、公道設置が許可されず民間の土地を使用する場合は、使用料が一般に高くなりランニングコストが増大する可能性があるため、既設電柱利用が有利となる。

WiGig 基地局を屋外に新たに設置し、同基地局へ接続する端末とネットワーク側に配置される対向機器との間で回線接続する際は、通常、光回線接続が必要となるが、本実証では、高度 WiGig システムの導入において、基地局への光回線接続部分にも WiGig による無線中継を導入し、複数の基地局から無線中継されて来た回線を束ねた上で光回線接続することで、基地局エントランスに必要な初期構築コストとランニングコストを低減し、かつ基地局設置位置の自由度を高められる。これにより本実証における自動運転バス、及びスマート道路灯からの大容量データを伝送するための通信エリアの最適化が可能となっている。

5. 通信システムに関する構築

5.1 通信システムの全体像

本実証で用いる通信システムの設置場所とネットワーク構成図は以下の通り。



図 4 システム設置場所 1 (出典:電子地形図 25000(国土地理院)を加工して作成)



図 5 システム設置場所 2 (出典:電子地形図 25000(国土地理院)を加工して作成)

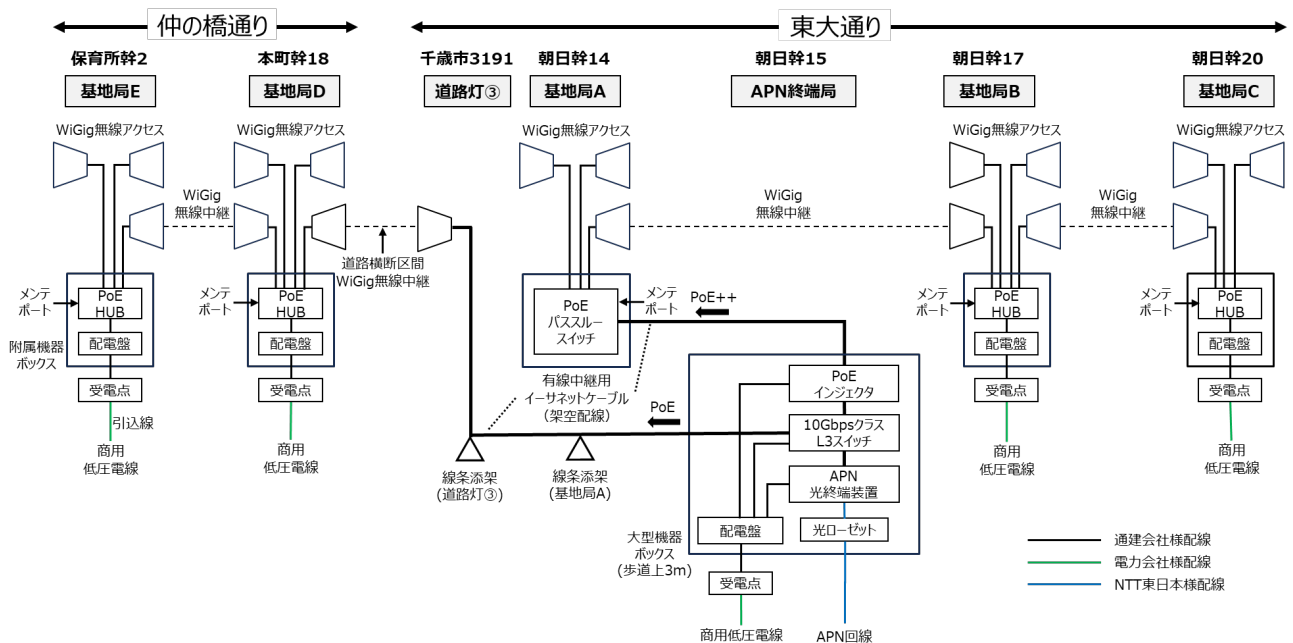
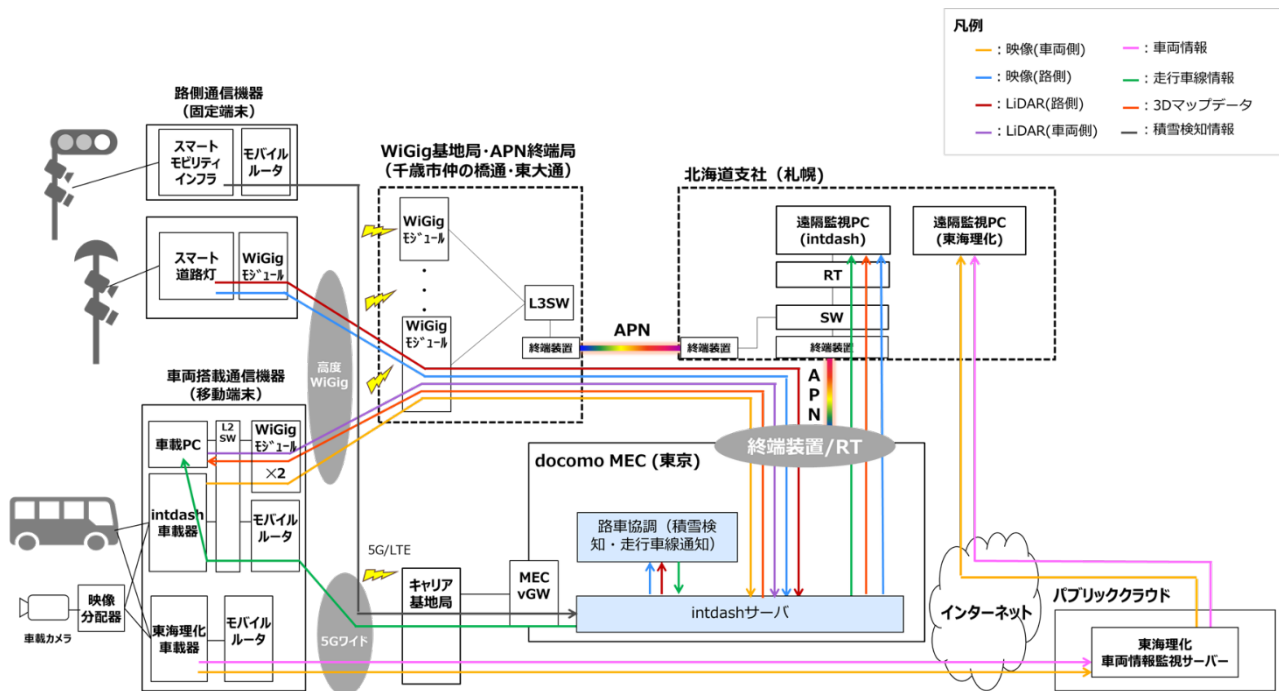


図 6 WiGig 構成



本実証で用いるシステムの設置場所を 5.1 図4, 図5に示す。自動運転バスの走行コースのうち、千歳市役所周辺の公道において、約 500m の区間を WiGig 通信可能とした。同区間では、自動運転バス車両に設置した WiGig 端末(移動端末)、及び 2 つのスマート道路灯に設置した WiGig 端末(固定端末)が、道路脇の電柱に設置した WiGig 基地局との間で無線接続して高速データ通信を行った。

また、WiGig で通信を行うスマート道路灯については、WiGig エリアを構築する範囲内において、現地調査の結果スマート道路灯への適合性が高いと思われた既設道路灯のうちから東大通を連続的にカバーできる 2 灯を設置場所とした。モバイル通信を活用した路側機器については、地元自治体において冬季の道路交通に課題がある交差点を設置場所として選定した。

【ネットワーク構成図における各システムの役割】

高度 WiGig システム:

固定インフラ(スマート道路灯)と移動車両(自動運転バス)に設置される WiGig 端末装置、及び道路(自動運転バス走行ルート)に沿って設置される WiGig 基地局装置との間で高速無線データ伝送を行う。

キャリア 5G/LTE 及び Mobile-QoS:

自動運転バス走行コース上をカバーするキャリア 5G/LTE 通信に、Mobile-QoS を適用して、バス車両に設置されたカメラ映像を遠隔監視拠点へリアルタイムかつ安定してデータ伝送する。

MEC:

積雪検知アプリなどの一部システムのサーバを MEC 上に構築する。

IOWN APN:

千歳市と市外・道外に位置する MEC 基盤や遠隔監視拠点までの間の主要な通信経路に活用することで、

高度 WiGig とも連携し、従来の通信回線を利用したものと比べて低遅延かつ安定したデータ通信環境を構築する。

5.2 システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等

〈既設柱への機器設置、添架(共架)申請〉

本実証では、社会実装でのネットワーク構築を目標とする。WiGig アンテナを設置するために道路近傍へ新たに柱を建てる場合、建設工事に伴う初期費用・維持費が増大するとともに、関係者との複雑な調整や工期の長期化が想定される。そのため社会実装の観点から、新規柱の建柱は困難であると判断し、WiGig アンテナは既存の通信柱への取り付けを検討することとした。

1. 既設柱への機器設置

既存柱への機器取付けには既存の設置物との兼ね合い、及び強度計算が必要になる。そのため、新規柱より設置までのリードタイムが発生する。本実証では通信柱保有者と密に連携をとることでネットワーク構築に必要な時間を最小化した。

2. 通信柱に設置する際の NTT との調整

地域毎に相談窓口、通信柱を保有する地域会社があるため、適切な窓口への相談が必要である。また、カメラについては取付け不可になるケースがあるため、窓口に対し取付け機器の説明を早期に実施することで影響を少なくした。

道路法(建築限界)及び電柱の所有者(本実証においては NTT 東日本)の技術基準・設置条件に適合した WiGig 機器設置仕様を検討する必要がある。

添架申請後、添架可否の判断(電柱の強度計算等を含む)のため電柱所有者側で通常 1 ヶ月程度(長い場合には 3 ヶ月)の調査期間が必要となる。添架不可となった場合に備え代替添架柱の候補やバックアッププラン(WiGig エリアの調整や WiGig 機器構成の見直し)の検討を推奨する。

3. 自治体所有の街路灯等への設置に際する調整

通信柱と同様に街路灯においても、機器取付けにあたり強度計算が必要になる。自治体と連携をとり、街路灯の設置事業者と調整、強度計算を進める必要がある。

また、自治体が街路灯を整備する際に受けた交付金や補助金に関する契約内容によって、灯体交換を禁止されているケースが存在する。事前に対象街路灯に関する契約を自治体へ確認する必要がある。

〈WiGig 設計〉

1. 直進性が強い周波数の電波を使用しているため、対向する WiGig 装置間の直線上に障害物がないこと(見通しが得られること)が基本条件であり、固定ポイントから固定ポイントへ通信する形式(無線中継等)においては、双方の装置の設置場所(位置、高さ)について設計上、十分に留意する必要がある。

2. 上記条件を考慮して、今回の実証では一方の WiGig 装置(移動端末相当)が他方の WiGig 装置(基地局相当)と接続する形式(無線アクセス)において、隣接する複数の固定基地局との間で動的に切り替える機能を追加することで、バスで移動しながらの WiGig 通信において障害物

(他の車両等)の影響を避けられるよう工夫しているが、この機能を適用している場合も、道路上の基地局の設置場所や、移動端末・基地局双方の WiGig 装置の水平・垂直角度を、通信性能を最大化できるよう適切に調整する必要がある。

3. 道路上を移動しながらの WiGig 通信を行う場合、特に交差点においては、WiGig 装置(基地局相当)を交差する両道路の見通しが直線的に取れる場所に設置することを推奨する。直線的な見通しが取れない場合、通信のデッドスポットが生じる可能性がある。

〈商用電源の受電申請〉

1. 受電にあたっては必要な電力量を見積りし、電力会社(本実証においては北海道電力)に事前申請する必要がある。その際、期間や用途に応じて従量課金制や定額制の選択肢がある。なお、本実証では臨時電源として受電しているが、この場合、電源引込み工事の一部が申請者(利用者)側の負担となる場合があるため、注意が必要である。

〈道路使用許可申請〉

1. 電柱の 3m 程度以上の高さ(本実証では約 5m)に設置された WiGig 装置の設置及び調整作業を実施する際に、高所作業車の利用他により作業範囲が公道(道路、歩道)に及ぶ場合は、事前に管轄警察署(本実証においては千歳警察)に事前申請し、許可を得る必要があるとともに、許可が下りるまでの手続き期間として 3 日から 1 週間程度要することに留意が必要である。

〈土地の占有(使用)許可申請〉

1. 本実証では千歳市へ道路占有許可を申請した。当初、千歳市では本実証のような前例がなく、許可を得るために事前の説明を行い担当者の理解を深めることで申請から許可まで数日で完了させた。
2. 同申請にあたって、電柱設置の場合は、電柱所有者からの共架(添架)の許可(または内諾)を得ていることを証明する書面を添付する必要があるので注意すること。

6. 実証結果・考察

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

当該ユースケースは実施していない

6.2 ②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保

当該ユースケースは実施していない

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

当該ユースケースは実施していない

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

6.4.1 豪雪地域での積雪・除雪・排雪の複雑な走行路面状態変化情報の路側設備を活用したデータ連携と状態把握、安全な自動運転車両の走行車線の制御

1) 実証スケジュール

ユースケース	フェーズ	2025年									2026年		
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月		
④	実証準備 (事前計測、物品調達等)	詳細設計		機器調達			環境構築						
	実証							事前検証			現地実証 (データ取得)		
	実証評価							中間報告	調律走行	OJT	統合試験	最終報告	
										報告書作成	視察会 (1/21)		

図 8 実証スケジュール

2) 開発・評価項目の結果

表 8 開発・評価項目(再掲)

番号	開発・評価項目
(1)	路車協調システムの開発
(2)	高度 WiGig/IOWN APN による通信環境の整備
(3)	MEC 基盤の整備
(4)	実証対象区間における自動運転率の計測
(5)	道路灯から MEC 基盤までの通信性能の計測
(6)	バスから MEC 基盤までの通信性能の計測
(7)	生成された 3D マップの精度に係る遠隔監視員へのアンケート・ヒアリング調査
(8)	生成されたルート情報と挙動に係るバス運転手へのアンケート・ヒアリング調査

(1) 路車協調システムの開発

豪雪地帯における安全な自動運転車両の走行を目指し、路側設備等に設置する機器(カメラ・LiDAR)からの情報を基に自動運転車両や遠隔監視室に対して道路情報を提供し、円滑な自動運転バスの運行を実現する路車協調システムを開発した。

システムの全体像は以下の通り。

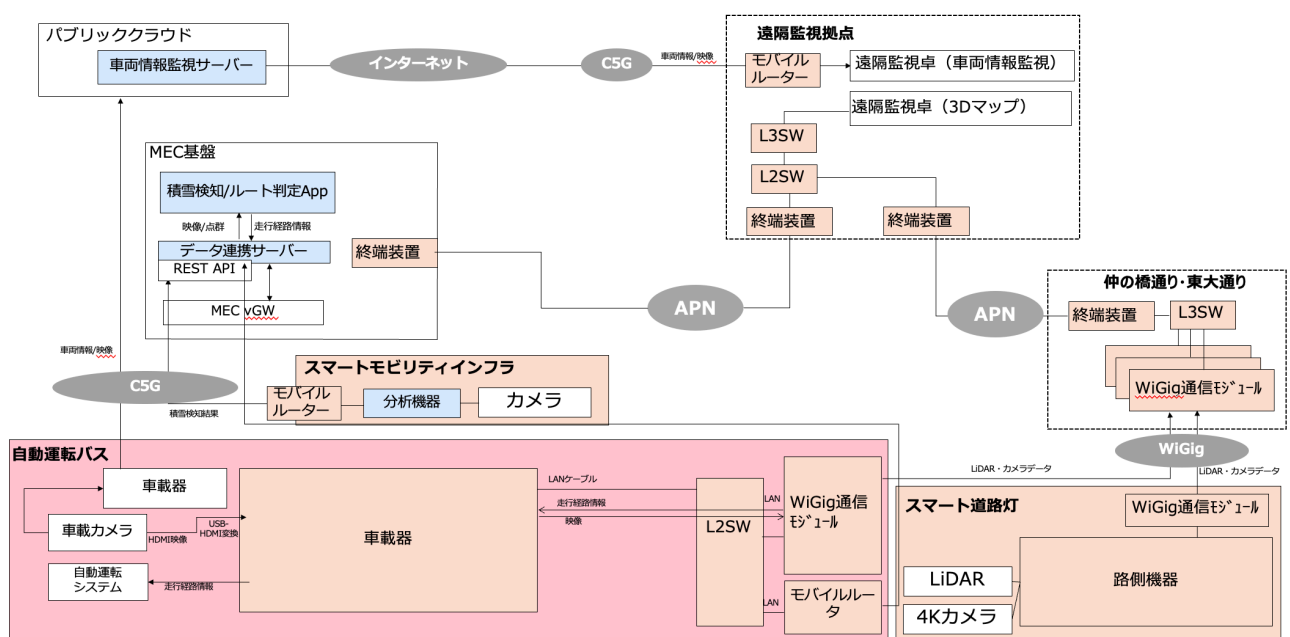


図 9 路車協調システム全体像

路車協調システムの構成要素としては、大きく①スマート道路灯、②スマートモビリティインフラ、③MEC 基盤、④車載器の 4 つであり、それぞれ詳細を以下に記載する。

①スマート道路灯

スマート道路灯は、既存の道路照明の照明本体部分を交換して実装するもので、路車協調に必要なセンシングおよびデータ送信機能を付加したインフラ設備である。道路照明に AI カメラおよび LiDAR を搭載することで、道路上の交通状況、周辺環境を高精度に把握することが可能となる。

スマート道路灯は、車両側の自動運転システムと同等レベルの認識機能をインフラ側に実装することで、インフラ起点での周辺環境認識を可能とし、路車協調システムの基礎となる情報を生成する役割を担う。

②スマートモビリティインフラ

スマートモビリティインフラは、一般乗用車を含めて交通安全を支援する路車協調のインフラ側の役割を担う設備である。今回のケースにおいては、自動運転車両の ODD 範囲内外を判断するために必要な積雪状況を検知する機能を有しており、LiDAR 及び AI カメラをセンシングに活用している。LiDAR では、検知可能な領域を複数のグリッドに分割することで、道路上のどこに積雪があるのかを把握することができる。また、AI カメラにおいては、積雪以外の道路上の交通情報を検知することが可能となる。これらセンサの掛け合わせにより、車載センサでは捉えきれない情報を検知することで、自動運転の安全な運行を支援する役割を担う。また、将来的には自動運転の支援に加えて交通安全他多くのユースケースを取り込むことで事業継続性のあるインフラ設備としての社会実装を目指す。

③MEC 基盤

MEC 基盤では、データ連携サーバ及び積雪検知/ルート判定 App を構築している。

データ連携サーバについては、スマート道路灯の 4K カメラ映像及び LiDAR データをリアルタイムに収集し、時系列データとしての保存を行う。実際の遠隔監視画面での可視化の様子は以下の通り。

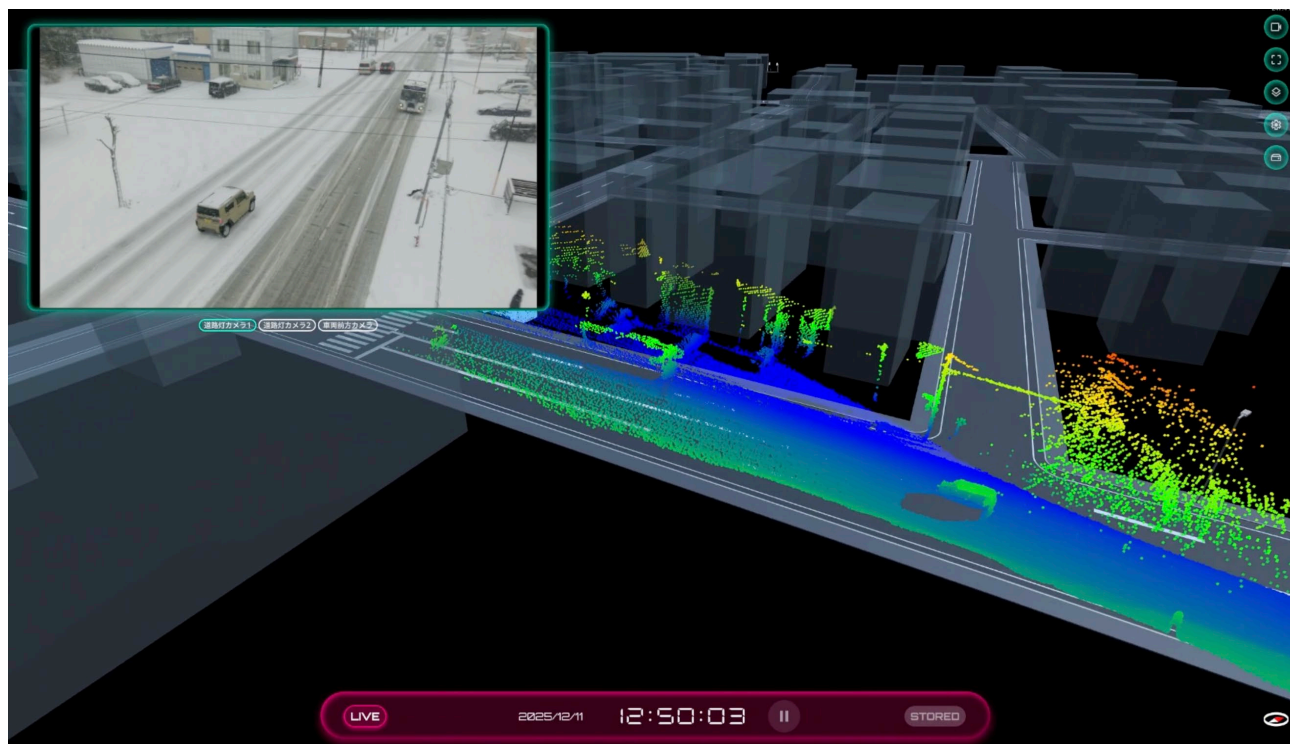


図 10 スマート道路灯の遠隔監視画面

またスマートモビリティインフラについては、スマートモビリティインフラの可視光カメラ及び LiDAR から検出された物標情報を定期的に収集し、同様に時系列データとしての保存を行う。

積雪検知/ルート判定 App については、データ連携サーバで収集した路側のデータを用いて積雪検知を行い、自動運転車両が取るべき最適な走行車線パターン等を導出するとともに、自動運転車両にフィードバックする。

スマート道路灯が設置されている東大通については、スマート道路灯の 4K カメラ映像を 1 分半に 1 回の周期で最新のデータを取得し、画像解析にて路面の積雪を検出し、路肩・第一車線・第二車線それぞれの積雪有無を判断し、最適な走行車線パターンを導出している。実際の積雪検知の画面については以下の通り。

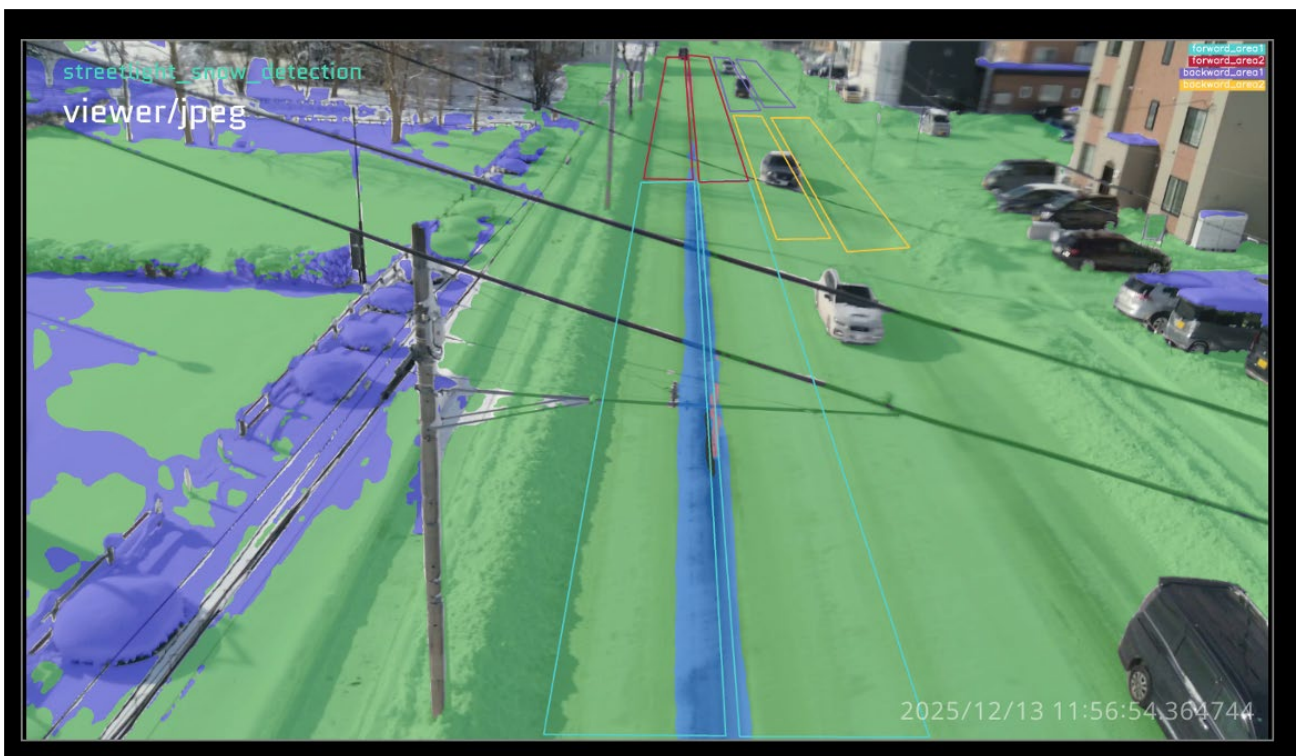
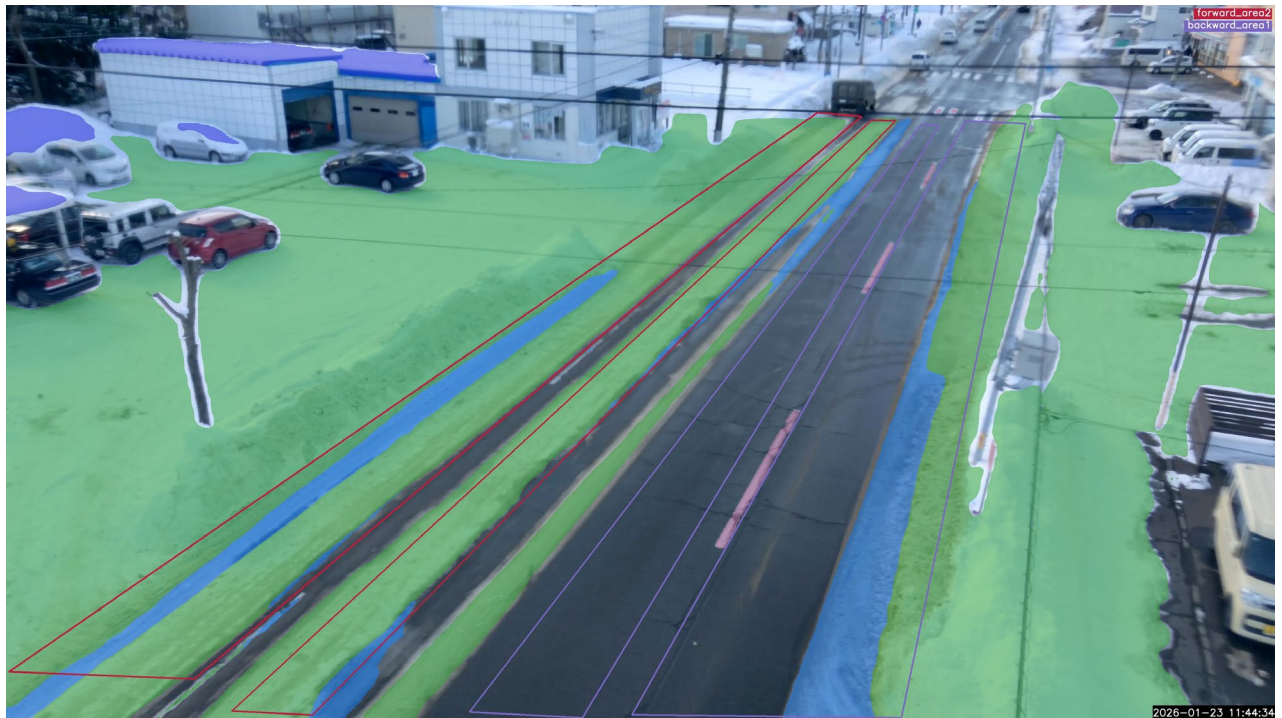


図 11 積雪検知結果のカメラ映像への重畳

積雪検知結果の重畳画像の色の意味合いは、水色が「路面が見える程度の薄い雪」、緑色が「路面が見えない程度の雪」、紫色が「路面以外の雪」である。車道上の矩形が東大通における往路復路それぞれの積雪検知対象エリアであり、エリア上の積雪量をもとに自動運転車両の走行車線を決定している。

スマートモビリティインフラが設置されている仲の橋通については、スマートモビリティインフラより受信

した物標情報のうち、LiDAR で捕捉された積雪情報がある場合は自動運転車両が対象区間にて手動介入が必要であると判断する。対象区間は、仲の橋通の一つ目の交差点までの区画であり、実際の積雪の様子は以下の通り。



図 12 仲の橋通での積雪の様子

④車載器

自動運転車両には路車協调用の車載器が具備されており、スマート道路灯及びスマートモビリティインフラからの走行車線情報をデータ連携サーバを経由して受信し、自動運転システムに連携することで積雪条件下での自動運転走行の継続を実現する。東大通及び仲の橋通での連携イメージは以下の通り。

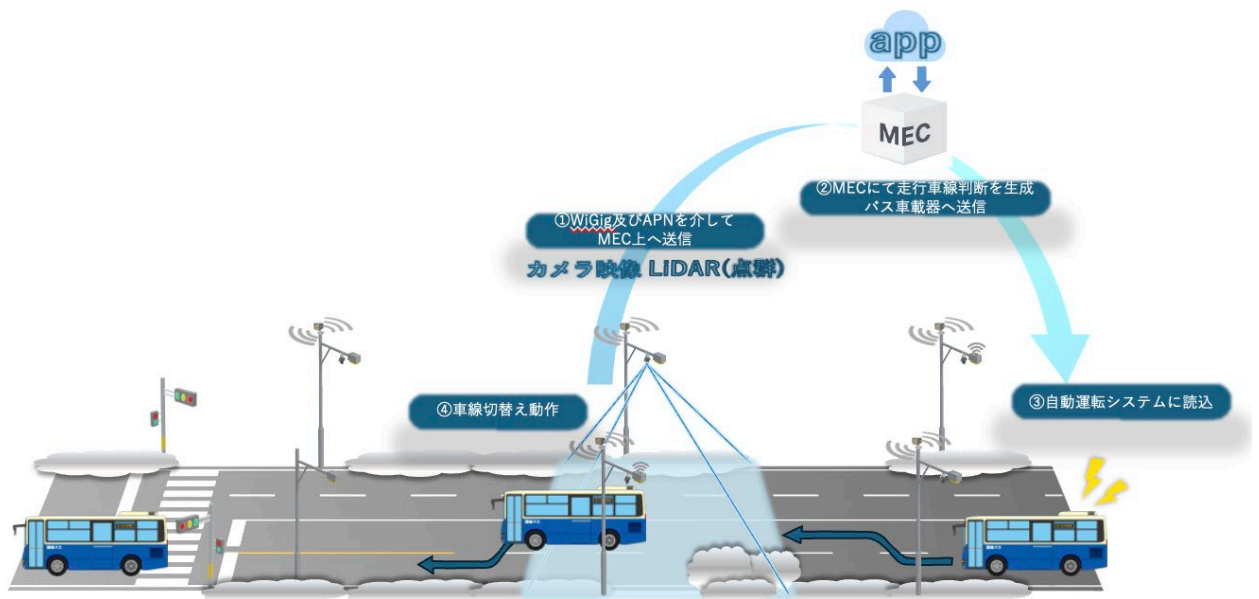


図 13 東大通での路車協調の様子(スマート道路灯)

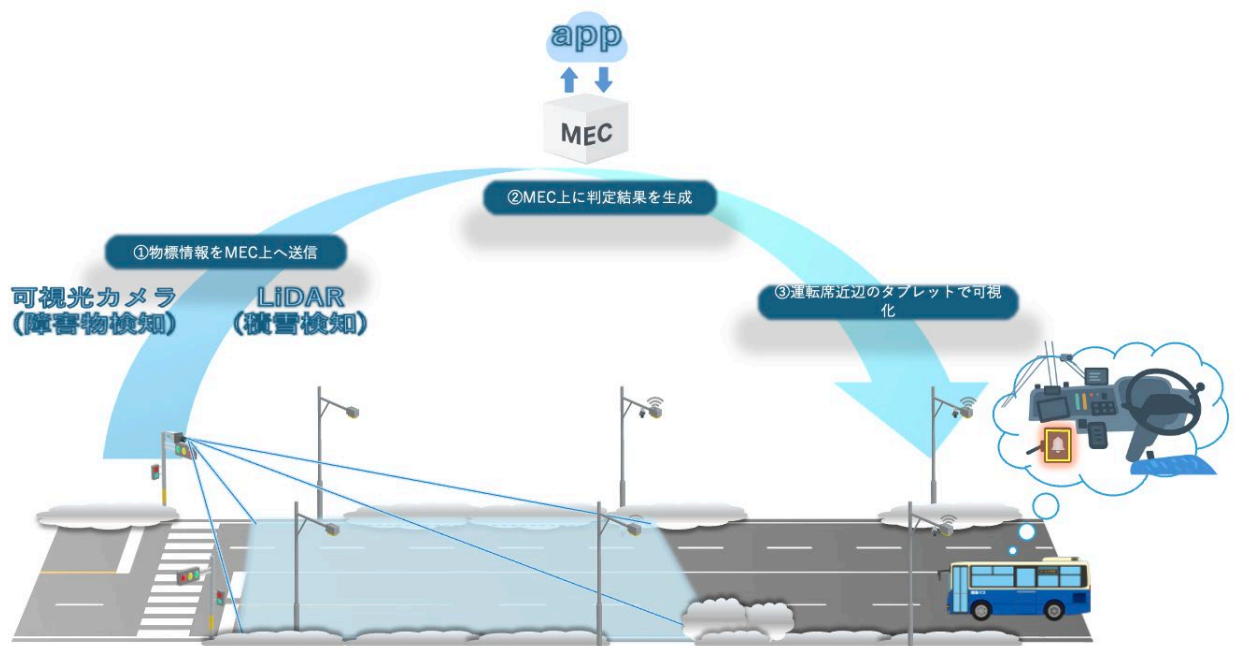


図 14 仲の橋通での路車協調の様子(スマートモビリティインフラ)

(2) 高度 WiGig/IOWN APN による通信環境の整備

○高度 WiGig の整備

WiGig 基地局はアンテナの仰角俯角、偏波角、方位角を調整可能な金具を用いて既設通信柱に設置した。東大通の対向車線走行時移動端末が接続対象の WiGig 基地局は対向車線方向へ 6° 、各 WiGig

中継局はそれぞれの対向局に対して正対するようアンテナ角を調整した。WiGigは 60GHz 帯のミリ波であり、直進性・反射性の高い無線特性を有しているため、WiGig 設置可能柱が限定されている中で、それぞれの WiGig 局が良好な希望波を受信するよう、送信局に対して受信局が可能な限り正対する環境を構築した。



図 15 WiGig 基地局の設置写真

東大通および仲の橋通の末端に設置した WiGig 基地局をエリア境界として、下図の通り WiGig 通信エリアを定義する。



図 16 WiGig 通信エリア（出典：国土地理院地図）

WiGigの通信性能を評価するにあたり、5.1にて述べたNW構成から、車両搭載通信機器内L2SWに測定用PCを接続し、MEC基盤上に構築したサーバとの通信により評価を実施した。

移動端末動作安定性向上を見込み、自動運転バスのループに設置したWiGig移動端末のアンテナは後方に向けて設置し、またWiGig移動端末に対しても本実証環境を踏まえたWiGigパラメータ(RSSI offset、start MCS)の調整を実施した。これは接続中の基地局からのRSSIを減衰させてのちにRSSIの強い基地局へ移るよう設計することで、反射波や周辺環境による雑音・干渉による影響を低減させ、基地局間移動時の最適条件に寄せるためである。start MCSは良環境の別基地局に移動した直後から高速通信を促す調整を行った。



図 17 移動端末電波放射イメージ (出典:電子地形図 25000(国土地理院)を加工して作成)

○IOWN APNの整備

- ・既存電柱への添架条件(許容される電柱強度等)を満足するよう、当初一括設置する想定であったWiGig基地局とAPN終端局を分割して隣接した異なる柱へ設置するよう設計を変更し、両局間は屋外仕様のギガビットイーサケーブルを架空配線して接続した。

- ・本来屋内向けの機器であるL3-SWやAPN終端装置を、劣悪な屋外環境(寒冷地)においても所要の動作温度・湿度を維持できるよう専用の空調(冷暖房)を機器収容ボックスに搭載した。



図 18 APN 終端局の設置写真

○Mobile-QoS の整備

車両からの映像送信に使用するキャリア通信に対して Mobile-QoS オプションを付与し、優先帯域制御を実施した。

今回の走行ルート(新千歳空港からの車両走行開始から終了まで)において、安定した映像伝送に必要なスループットの5Mbps が出ている割合を時間割合で算出した。測定には iPerf を用いた。6 走行分の測定を実施し、【2GHz】固定、【800MHz】固定、【1.5GHz】固定、【700MHz】固定、【4G 通信】固定、【5G 通信】固定(一部環境要因によって測定時に走行不可の区間があったため参考値となる)にてデータを取得。それぞれで、目標とする5Mbps以上の通信時間割合75%に対して以下の結果となった。

- 【2GHz】固定 通常時:45% Mobile-QoS 付与時:72%
- 【800MHz】固定 通常時:10% Mobile-QoS 付与時:53%
- 【1.5GHz】固定 通常時:63% Mobile-QoS 付与時:85%
- 【700MHz】固定 通常時:27% Mobile-QoS 付与時:78%
- 【4G 通信】固定 通常時:53% Mobile-QoS 付与時:78%
- 5G 通信・4G 通信 通常時:79% Mobile-QoS 付与時:81%※一部区間データ未取得

Mobile-QoS オプションを付与した通信(5G ワイド)にて、どのパターンにおいてもオプション未付与時(通常時)での 5Mbps スループット時間割合を上回っていることが確認できた。また、5G 通信・4G 通信については、特にモバイル基地局による電波カバー範囲の関係上、電波品質が下がることが予測されるエリアへの走行を路面積雪・凍結の影響で回避したことによって、通常時の 5Mbps スループット時間割合が他のデータと比べて向上している。通常時と比較して数値が向上していることを考えると、自動運転の遠隔制御のためのモバイル通信回線として、Mobile-QoS を付与した有線帯域制御の有効性が確認できた。また、周波数帯によって、一部 Mobile-QoS 付与時でのスループット 5Mbps 達成率を下回っているものが見られるが、本データを参考値として自動運転の遠隔監視にて使用する通信の周波数帯も検討していく。

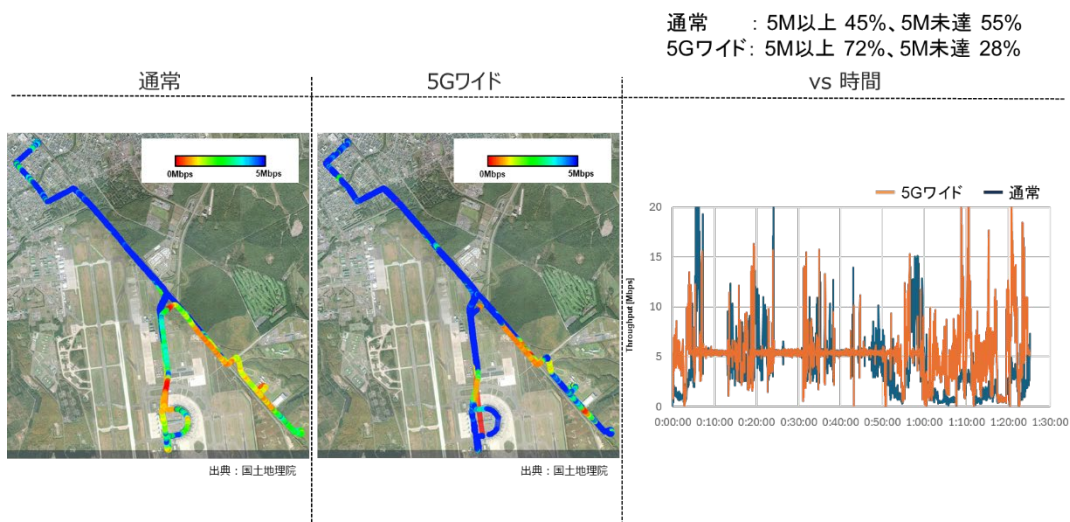


図 19 【2GHz】固定 Mobile-QoS 測定グラフ

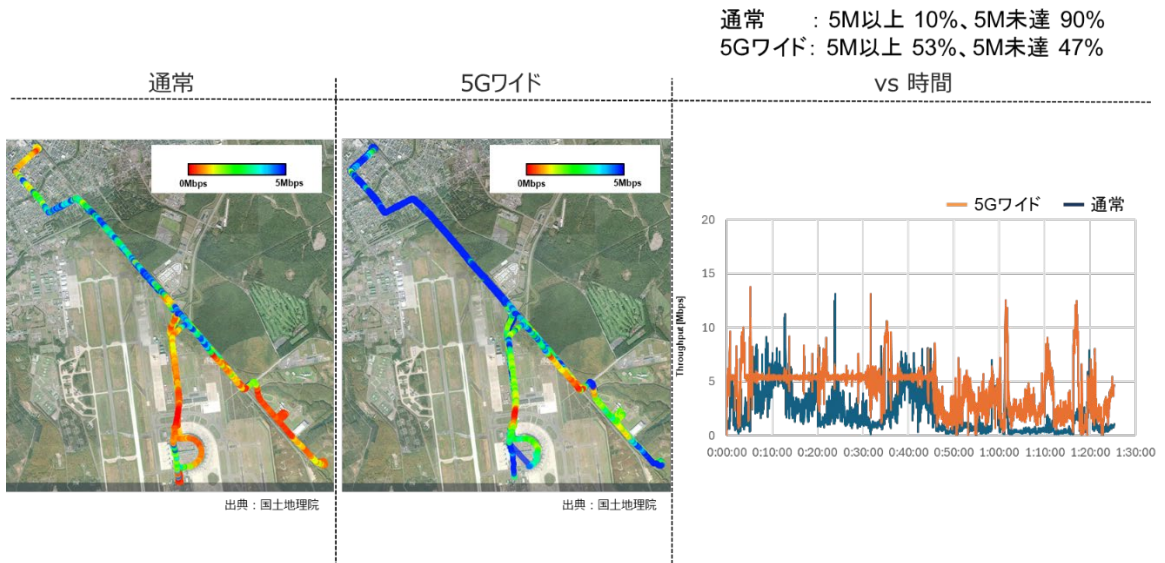


図 20 【800MHz】固定 Mobile-QoS 測定グラフ

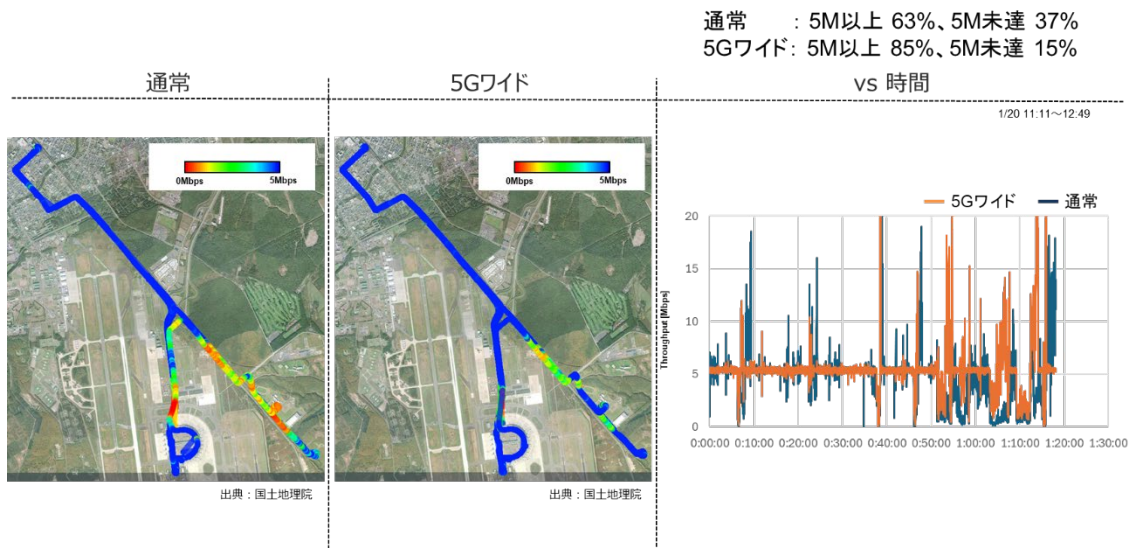


図 21 【1.5GHz】固定 Mobile-QoS 測定グラフ

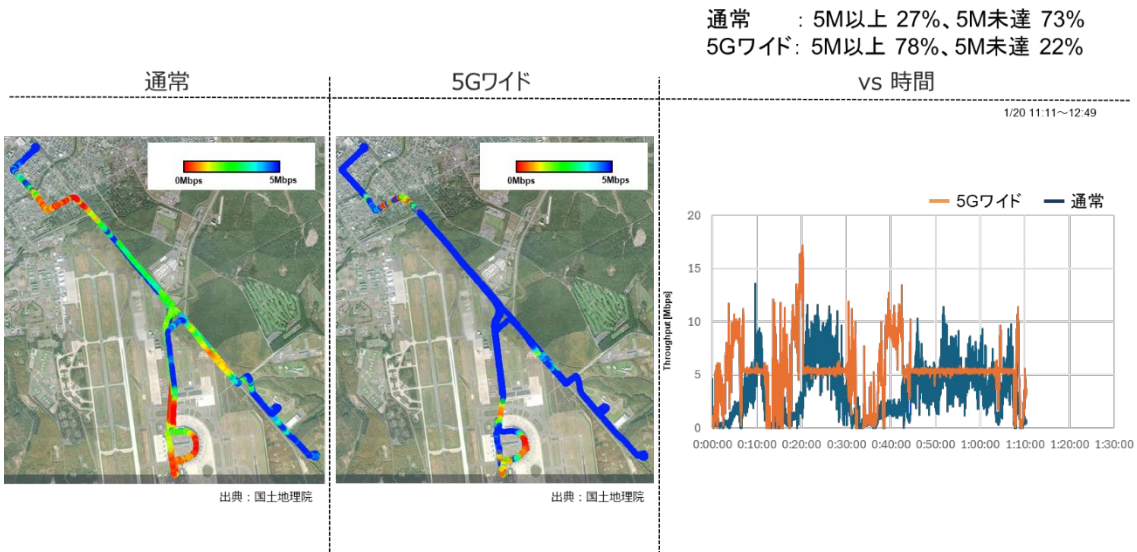


図 22 【700MHz】固定 Mobile-QoS 測定グラフ

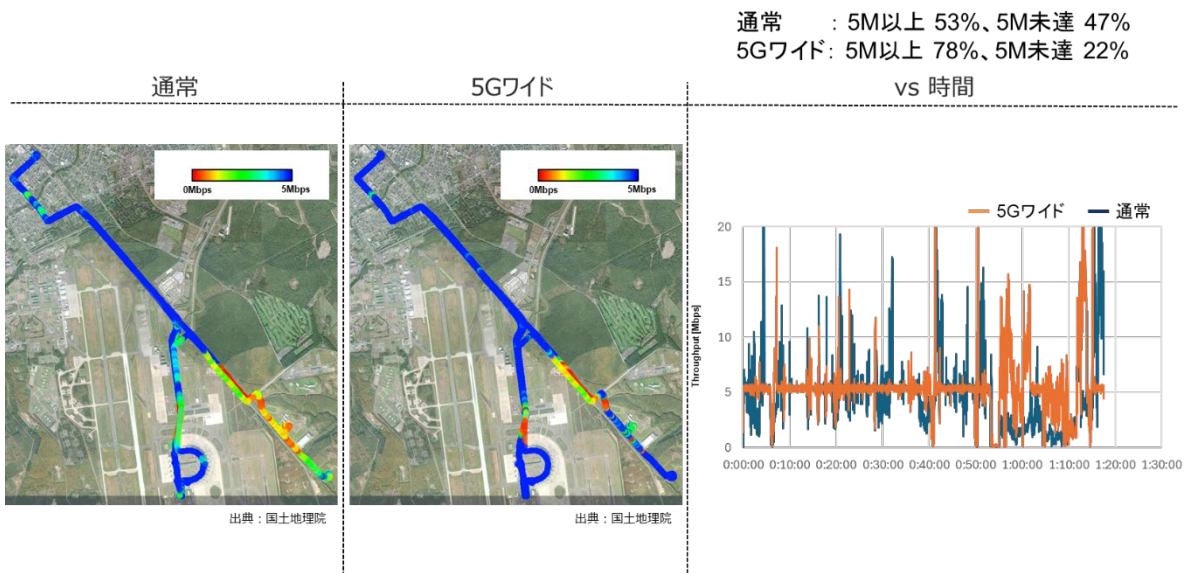


図 23 【4G通信】固定 Mobile-QoS 測定グラフ

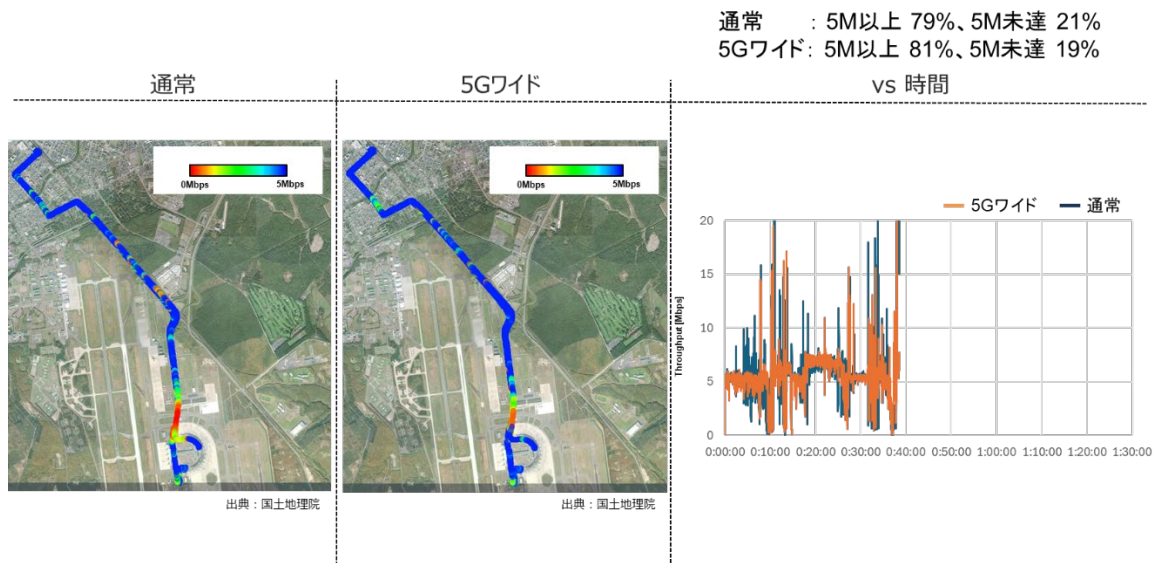


図 24 5G・4G通信 Mobile-QoS 測定グラフ

(3) MEC 基盤の整備

本実証では、自動運転走行バスの制御に関する通信の安定性とセキュリティ脅威の排除を目的に、各種データのアップロード先として MEC 環境を利用した。通信キャリア網内という完全閉域で外部脅威を受けず、更に公共ネットワークの揺らぎや冗長な物理的通信経路の影響を受けないため、通信の安定性とセキュリティ排除を実現した。

MEC 環境内には、路車協調システムを構成する各種サーバ群を構築しており、大きくデータ連携サーバと積雪検知/ルート判定 App の 2 つに分けられる。

①データ連携サーバ

データ連携サーバは、車載器やスマート道路灯・スマートモビリティインフラ等からの各種データ収集・保存、及び積雪検知/ルート判定 App にて導出された走行車線情報の車載器への連携を行う。本実証においては、スマート道路灯の 4K カメラ/LiDAR など大容量データを取り扱うため、ストレージサイズは 12000GB とした。

②積雪検知/ルート判定 App

積雪検知/ルート判定 App は、スマート道路灯の 4K カメラ映像/LiDAR 点群及びスマートモビリティインフラの物標情報をもとに路面の積雪状態を把握し、自動運転車両が選択すべき最適なルート情報を判定・自動運転車両にフィードバックする。

スマート道路灯が設置されている東大通においては、主として 4K カメラ映像を用いた画像解析による積雪検知を実装した。

既存の AI モデルには本実証の目的に合致するような積雪領域を検出するモデルが存在しないため、積雪を検出するための独自データセットを収集するとともに、セグメンテーションモデルの学習およびファ

インチューニングを行い、積雪領域の検出を実現した。

学習に使用するデータセットにおいては、道路灯の高さ(7~10m)から撮影され、積雪領域がアノテーション(画像中の対象物を識別・分類するために付与された教師ラベル)されたデータは市中に存在しなかった。このため、積雪期に車両上部にカメラを設置して市街地を撮影した画像 10,000 枚をデータセットとして構築した。本データセットには、路面が見える程度の浅い積雪、路面が見えない程度の深い積雪、路面以外の積雪、積雪に類似した白色の道路標示(白線、ゼブラゾーン、横断歩道 等)の 4 クラス のアノテーションを付与した。

学習には、高精度な領域抽出が可能なセグメンテーションモデルである Mask2Former を採用した。アノテーション済みデータセット 10,000 枚を入力として学習を実施したのち、実際の道路灯 2 機から撮影された、路面が濡れて反射しているシーン、浅い雪と深い雪が混在するシーン、路面が全面的に積雪で覆われているシーンの計 54 枚にアノテーションを行い、これらのアノテーション済み画像を追加学習し、実環境での積雪検出精度を改善した。

推論結果は、画像の各ピクセルが 4 クラスのいずれか、またはクラスなしとして出力される。各道路灯においてあらかじめ画像上で設定した積雪判定エリア内で、積雪と判定されるクラスのピクセルが所定の閾値以上含まれる場合に積雪ありと判定する。これらのエリアごとの積雪判定結果をもとに、ルート判定ロジックを適用し、自動運転車両が走行可能なルートを導出する。

ルート判定ロジックは、事前に定めた自動運転バスのルート決定条件に基づいて設計し、道路灯に映る車線の積雪検知対象エリアの各車線の積雪判定結果から往路、復路それぞれに対して設定した。往路、復路におけるルート判定ロジックは図 26 往路のルート判定ロジック、図 27 復路のルート判定ロジックに示すとおりに定めた。



図 25 元画像と積雪検知結果の比較
(水色:路面が見える程度の薄い雪、緑色:路面が見えない程度の雪、紫色:路面以外の雪)

往路		ルート番号																
道路灯	判定車線	判定領域	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1	3	0	2	0
道路灯2	第1走行車線/路肩	往路1	積雪あり		積雪あり	積雪あり	積雪あり				積雪あり	積雪あり	積雪あり				積雪あり	
道路灯2	第2走行車線	往路1	積雪あり	積雪あり		積雪あり	積雪あり		積雪あり	積雪あり			積雪あり			積雪あり		
道路灯1/道路灯2	第1走行車線/路肩	往路2	積雪あり	積雪あり	積雪あり		積雪あり	積雪あり		積雪あり		積雪あり			積雪あり			
道路灯1/道路灯2	第2走行車線	往路2	積雪あり	積雪あり	積雪あり	積雪あり		積雪あり	積雪あり		積雪あり			積雪あり				
		ロジックID	A	A	A	A	B	A	A	D	A	C	B	A	D	E	C	E

ロジックID	
A	往路エリア2の第2車線に雪がある場合は手動運転とする
B	往路エリア1第1車線に雪がありかつ、往路エリア1の第2車線に雪がある場合は手動運転とする
C	往路エリア1の第1車線に雪がある場合はルートAを走行する
D	往路エリア2の第1車線に雪がある場合はルートBを走行する
E	上記以外の場合は基本ルートを走行する

ルート番号	ルート
0	基本ルート（車線変更可能な任意のタイミングで第2車線に車線変更する）
1	手動運転に切り替える
2	ルートA（区間前半で第1走行車線から第2車線に車線変更する）
3	ルートB（区間後半で第1走行車線から第2車線に車線変更する）

図 26 往路のルート判定ロジック

復路		ルート番号																
道路灯	判定車線	判定領域	1	1	1	1	1	1	0	1	2	3	1	0	3	0	2	0
道路灯1	第1走行車線/路肩	復路1	積雪あり		積雪あり	積雪あり	積雪あり				積雪あり	積雪あり	積雪あり				積雪あり	
道路灯1	第2走行車線	復路1	積雪あり	積雪あり		積雪あり	積雪あり		積雪あり	積雪あり			積雪あり			積雪あり		
道路灯2	第1走行車線/路肩	復路2	積雪あり	積雪あり	積雪あり		積雪あり	積雪あり		積雪あり		積雪あり			積雪あり			
道路灯2	第2走行車線	復路2	積雪あり	積雪あり	積雪あり	積雪あり		積雪あり	積雪あり		積雪あり			積雪あり				
		ロジックID	A	B	B	A	A	B	F	C	E	D	A	F	D	F	E	F

ロジックID	
A	復路1の第1車線に雪がありかつ、復路1の第2車線に雪がある場合は手動運転とする
B	復路2の第1車線に雪がありかつ、復路2の第2車線に雪がある場合は手動運転とする
C	復路1の第2車線に雪がありかつ、復路2の第1車線に雪がある場合は手動運転とする
D	復路2の第1車線に雪がある場合はルートBを走行する
E	復路1の第1車線に雪がある場合はルートAを走行する
F	上記以外の場合は基本ルートを走行する

ルート番号	ルート
0	基本ルート（車線変更可能な任意のタイミングで第1車線に車線変更する）
1	手動運転に切り替える
2	ルートA（区間前半で第2走行車線から第1車線に車線変更する）
3	ルートB（区間後半で第2走行車線から第1車線に車線変更する）

図 27 復路のルート判定ロジック

また、4K カメラ映像からの画像に加えて LiDAR 点群の併用効果を確認した。

4K カメラ映像による画像解析は高さ方向の情報を持たないため、学習データに含まれないシーンでは、積雪検知結果が不良となる場合がある。図 28 画像による積雪判定結果が不良のシーン(2026年1月22日・道路灯1)

赤色矩形：往路各車線の走行判定エリア、紫色矩形：復路各車線の走行判定エリアの積雪判定結果では、往路の路面全体に積雪が見られるが積雪を検知されていない領域が存在する。また、復路の第1走行車線には堆雪が走行車線にはみ出しているにもかかわらずほぼ検出されていない。



図 28 画像による積雪判定結果が不良のシーン(2026 年 1 月 22 日・道路灯 1)
赤色矩形:往路各車線の走行判定エリア、紫色矩形:復路各車線の走行判定エリア

上記の課題に対し、補助手段として 3 次元の高さ情報を取得可能な LiDAR 点群の活用可能性を検証した。点群取得には HESAI 社製 AT128P の LiDAR を使用した。積雪判定の方法としては、積雪のない時刻に取得した点群と積雪判定対象の時刻の点群を比較する。両者を回転・並進によりレジストレーション(異なる座標系で取得された複数の点群を、共通の座標系上で一致させる位置合わせ処理)し、路面が XY 平面に水平となるように整合させた上で、近傍点同士の高さ差分を算出し、所定エリア内で高さ差分が閾値(2.5 cm 以上)を超える点の割合が一定値(15%以上)となる場合に積雪ありと判定する。なお、点群には取得時の座標誤差が含まれるため、一連の時系列で取得した複数の点群ファイルを平均化した基準点群を用いて比較した。

積雪なし条件の点群として 2025 年 11 月 20 日に取得した点群 40 ファイル、積雪判定時刻の点群として 2026 年 1 月 22 日に取得した点群 120 ファイルを使用した。

図 29 積雪有無点群間の各点における高さヒートマップ(2026 年 1 月 22 日・道路灯 1)

グレー点群:差分 2.5cm 以下、赤点群:差分 30cm 以上

赤矩形:往路 積雪判定エリア、紫矩形:復路 積雪判定エリアに高さ差分のヒートマップ可視化例を示す。実際の路面状況と照合した結果、1 cm 単位の厳密な差分推定には至らないものの、2~3 cm 以上の積雪に相当する高さ変化は概ね把握できていることが確認できた。

各走行車線エリアにおける積雪判定結果は以下のとおりであり、図 28 画像による積雪判定結果が不良のシーン(2026 年 1 月 22 日・道路灯 1)

赤色矩形:往路各車線の走行判定エリア、紫色矩形:復路各車線の走行判定エリアに示す実路面の状態と整合する結果が得られた。

- 往路第 1 走行車線エリア:積雪あり
- 往路第 2 走行車線エリア:積雪あり
- 復路第 1 走行車線エリア:積雪なし
- 復路第 2 走行車線エリア:積雪あり

これらの結果から、サンプル数は限定的であるものの、特に積雪深が比較的大きい場合において、LiDAR 点群が積雪判定精度を補完する手段として一定の有効性を持つ可能性が示唆された。

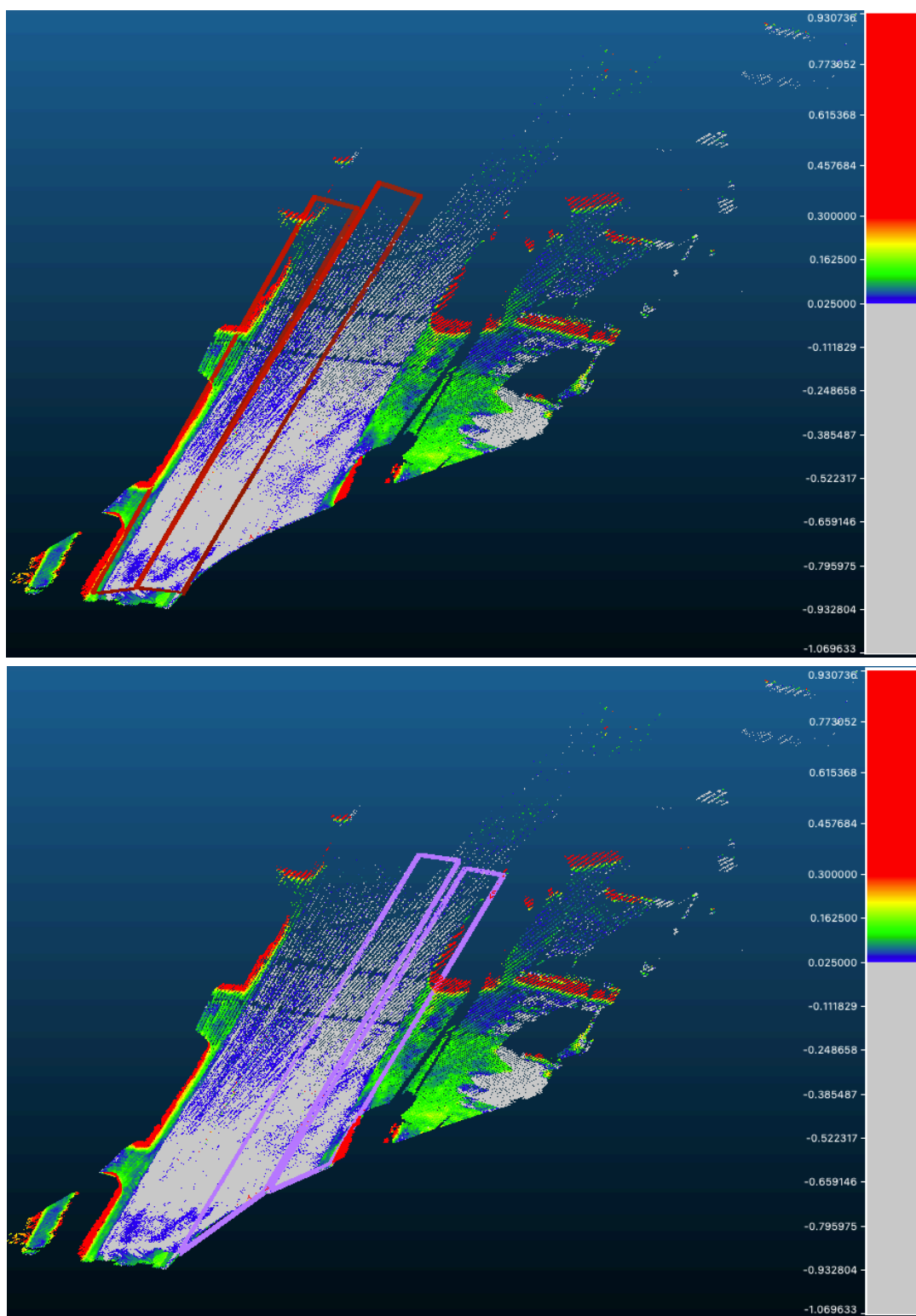


図 29 積雪有無点群間の各点における高さヒートマップ(2026年1月22日・道路灯1)
グレー点群:差分 2.5cm 以下、赤点群:差分 30cm 以上
赤矩形:往路 積雪判定エリア、紫矩形:復路 積雪判定エリア

(4) 実証対象区間における自動運転率の計測

スマート道路灯による道路状況のリアルタイムセンシングによって車両側が走行可能な車線・走行すべき車線の情報を事前取得することで、自動運転走行における手動介入の削減に寄与できるかどうかを明らかにする。そのため、道路が片側 2 車線であり、スマート道路灯が設置、路面の積雪・除雪状態を AI による推論結果より、走行可能な車線を自動運転車両へ伝達、車線変更が実現できる実証対象区間における自動運転率を計測した。

実証対象区間は往路・復路ともに、東大通の朝日町 3 交差点の停止線から本実証用に設けているマチ川周辺のバス停までとした。



図 30 実証対象区間(出典:電子地形図 25000(国土地理院)を加工して作成)

計測条件については、自動運転車両の ODD(運行設計領域)を満たした状態で、実証対象区間の走行回数のうち手動介入なしで走行した回数の割合で評価した。ODD については、3.6.「自動運転車両の特徴」の「走行可能環境」を参照。

計測期間については、自動運転バスの調律走行・バス事業者向けである OJT 期間(2025/12/8～2025/12/13)及び本番走行期間(2026/1/14～2026/1/24)とした。特に 1 月の本番走行期間においては、大規模な降雪・積雪が想定されており、降雪・積雪時は現時点での、自動運転車両が雪道を走行する際の ODD を満たさない条件となる可能性がある。その場合、自動運転率に関するデータ取得を行うことができないため、12 月の調律走行・OJT 期間において、降雪・積雪がない状態でも積雪検知/ルート判定 App 上でダミーの積雪情報を生成し、自動運転車両の自動運転挙動について記録した。また大規模な降雪・積雪となり、自動運転車両の走行 ODD に影響する可能性がある 1 月の一部本番走行期間についても、ODD を満たすという条件の場合のみ、上述のとおり自動運転率の走行回数を計測

の対象とした。それぞれの計測期間における、データ取得範囲については図 31 走行可能車線の判定・車両連携の処理フローを参照。

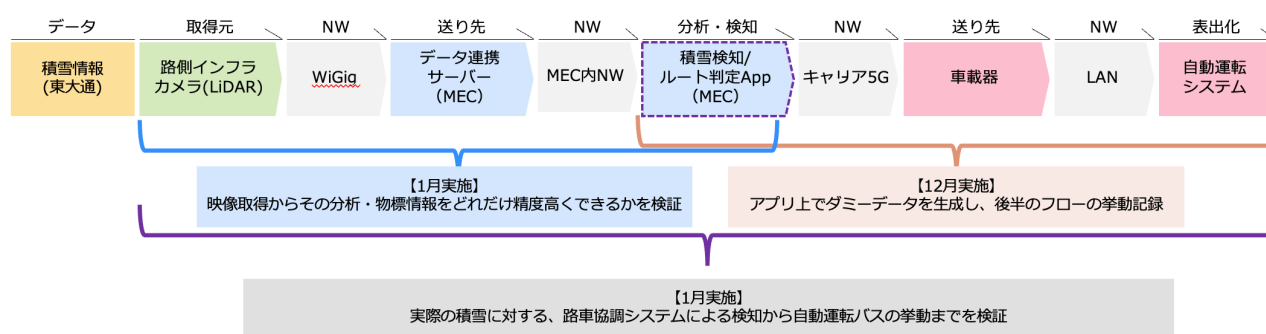


図 31 走行可能車線の判定・車両連携の処理フロー

実証対象区間における自動運転率について、まずは、実施計画書において KPI として設定した自動運転率について以下で再掲、比較としたい。※4.4.1.7)「KPI/KGI」より引用。

定性評価 /定量評価	番号	目標値(KPI)
定量評価	(1)	LiDAR、カメラデータを分析した結果から更新された走行車線パターン内での雪道での自動運転率 80%以上

また、前提条件として、自動運転率は往路と復路に分けて整理するものとし、それぞれの対象区間を以下のとおりとする。

- ・往路:新千歳空港～東大通(ママチ川 バス停付近)～千歳市役所～千歳駅)
- ・復路:千歳駅～千歳市役所～東大通(ママチ川 バス停付近)～新千歳空港～科技大～美々地区)

このうち、[スマート道路灯での路面・車線の積雪・除雪状態から走行可能車線の AI 推論]、[自動運転車両への伝達]、[本項目における自動運転率の算出]は“東大通(ママチ川 バス停付近)”を対象とする。

まず最初に、自動運転バスの調律走行・バス事業者向けである OJT 期間(2025/12/8～2025/12/13)での、積雪検知/ルート判定 App 上でダミーの積雪情報を生成、自動運転車両へ走行車線を伝達・走行した際の自動運転率を確認した。このうち、往路の自動運転率が 90.91%、復路の自動運転率が 90%となり、往路・復路を含む走行全体での自動運転率は 90.48%であった。上述に記載した自動運転率の走行回数などの算出元データは以下となる。

◆ 自動運転バス 調律時・OJT 時の車線変更 走行回数

- ✓ 往路が 11 回走行(うち、自動運転での車線変更:10 回、手動介入あり:1 回)
- ✓ 復路が 10 回走行(うち、自動運転での車線変更:9 回、手動介入あり:1 回)

手動介入の発生要因は、車線変更先である第二車線に他車両が後方より侵入してきたためであり、この場合、自動運転システムは他車両を障害物として検知をし、停止挙動を取るが、今回の実証については公道にて実施しているものであり、安全及び周囲の交通の妨げとならないように手動介入したもので

ある。これは、車線変更の伝達と実行のみ抜粋すると、全ての試行に対して正しく実現できていることを意味する。

次に本番走行期間(2026/1/14~2026/1/24)での、スマート道路灯での路面・車線の積雪・除雪状態から走行可能車線の AI 推論、自動運転車両への伝達・走行した際の自動運転率を確認した。このうち、往路の自動運転率が100%、復路の自動運転率が71.56%となり、往路・復路を含む走行全体での自動運転率は81.16%であった。上述に記載した自動運転率の走行回数などの算出元データは以下となる。

◆ 自動運転バス 本番時の車線変更 走行回数

- ✓ 往路が4回走行(うち、自動運転での車線変更:4回、手動介入あり:0回)
- ✓ 復路が8回走行(うち、自動運転での車線変更:2回、手動介入あり:6回)

手動介入は全て復路走行にて発生しており、その発生要因は、復路走行においては第一車線から第二車線に車線変更後、バス停に停車するために再度第一車線に車線変更する必要があり、第一車線への車線変更後、路肩の雪だまりに衝突する可能性があったため、安全を考慮し、手動介入したものである。バス停に停車する直前の区間については、路肩の雪だまりに面する第一車線を走行する必要があるため、雪だまりの回避が難しく、妥当な手動介入であると捉えることができる。



図 32 復路の車線変更時の走行経路(出典:国土地理院地図)

(5) 道路灯から MEC 基盤までの通信性能の計測

スループットの計測条件について、各灯具 - MEC 基盤上 iperf サーバ間にて実施。iperf を用いて UDP トラフィックを 1000 Mbps、900 秒間印加した。また、通信経路における技術規格上の最大通信速度は 1 Gbps である。

上り最大スループットは平均 926 Mbps であり、最大通信速度に近い結果を得られている。

パケットロス率は 0.29 % であり、屋外無線環境を通信経路として含んだ測定値として正常であり、実証に支障のない結果が得られた。灯具 2 にて 1 秒間のみパケットロス率が増大したことが確認できるが、

15 分のうち1秒間のみであり周期的な発生ではないため、通信経路のうち無線区間にて周辺環境が要因の packet loss が発生していると考えるのが妥当である。無線区間は屋外であるため野生鳥獣や天候等の外的な環境変動要素が存在することを考慮しつつも、固定端末であることが概ね良好な結果を得られた要因であると考えられる。

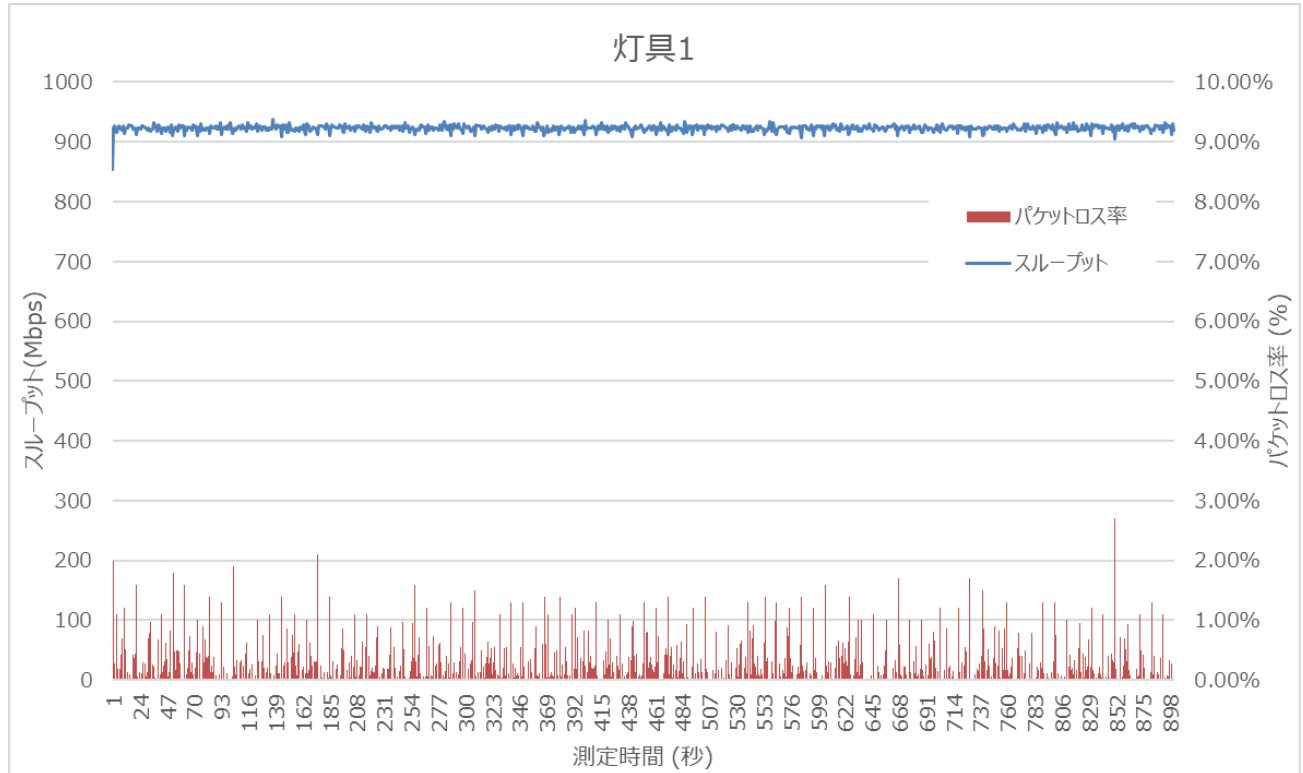


図 33 灯具 1 スループット及びパケットロス率

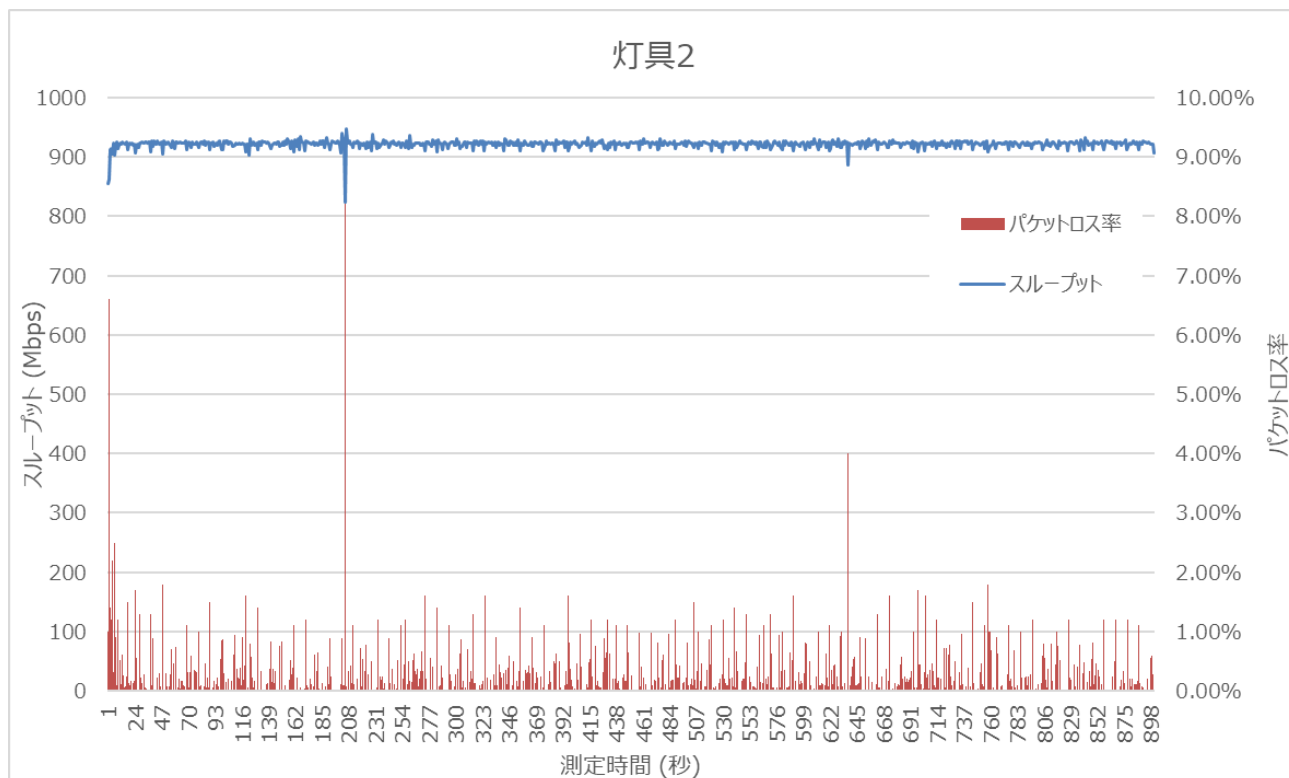


図 34 灯具 2 スループット及びパケットロス率

参考値として ping 及びジッタも測定した。上りジッタを前述のスループットと同時に測定したところ、平均 0.012~0.014 ms であり、良好な結果が得られている。ping は1秒おきに 5 分間の測定を行ったところ、平均 18.0 ms、最小 16.9 ms、最大 19.3 ms であり、灯具 1、2 の平均値を比較すると±1 ms の範囲で安定した結果を得られている。通信経路の有線部分は APN の光回線であり処理遅延が少なく、無線部分の WiGig 機器も安定動作していることが要因と想定される。

本結果より、道路灯の通信距離は適正範囲に設置されており、かつ各通信経路上も良好な環境であると言える。野生鳥獣などの外的要因による無線区間劣化の発生は対策を講じても完全な回避は非常に困難である。本実証の背景は前述の通り「運転手減少に伴う自動運転バス運用」であるため、WiGig システム構成における可用性の向上は費用面や簡易性・運用システムを考慮しつつ今後の検討材料である。

(6) バスから MEC 基盤までの通信性能の計測

上り最大スループットは往路(空港→千歳駅)走行時に平均 840.5Mbps、復路(千歳駅→空港)走行時に平均 855.0Mbps と良好な結果が得られている。

WiGig 通信エリアに入る際、WiGig 基地局を通過してから一定距離を走行後に通信が開始されているが、これは WiGig が直進性の高い電波特性を持つため、WiGig 基地局の真下付近はデッドスポットとなるためと考えられる。なお、各 WiGig 基地局のエリアカバー範囲が重なるように配置することでデッドスポットは減らすことが可能であり、直線経路上においては最初に通過する WiGig 基地局以外ではデッドスポットは発生していない。

直線経路において、WiGig 基地局を通過後に一時的なスループットの低下が確認された。WiGig 移動端末は好条件の WiGig 基地局を見つけるとそちらに接続を切り替える動作をするため、接続先が切り替わる際に一時的にスループットが低下したものと考えられる。

交差点の右左折時や、右左折直後に一時的なスループットの低下が確認された。WiGig は直進性が強い周波数であるため、建物の遮蔽やアンテナの向きがその通信品質に大きく影響する。交差点で曲がる際にはWiGig移動端末とWiGig基地局のアンテナの向きが直線上に向かい合わなくなり、また、曲がった後に直前に接続していたWiGig基地局が建物の陰に隠れる形となり、交差点付近でスループットの低下が発生したと考えられる。

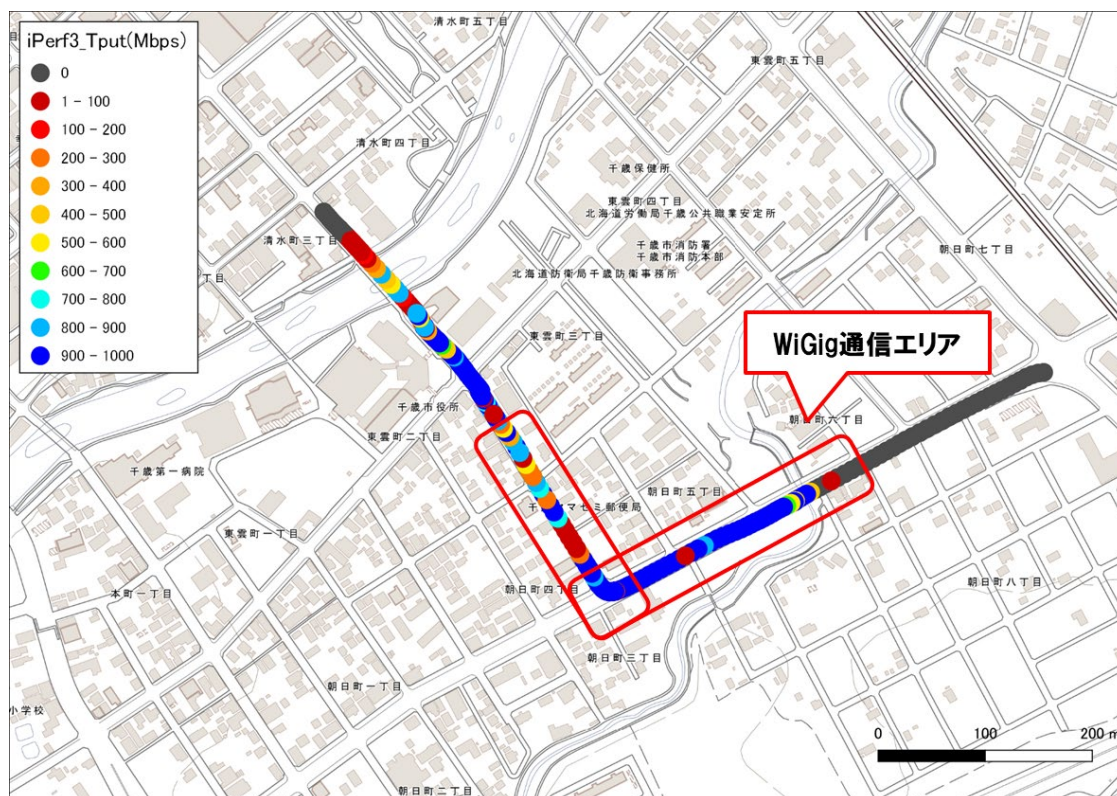


図 35 往路(空港→千歳駅)走行時のスループット
(出典:電子地形図 25000(国土地理院)を加工して作成)

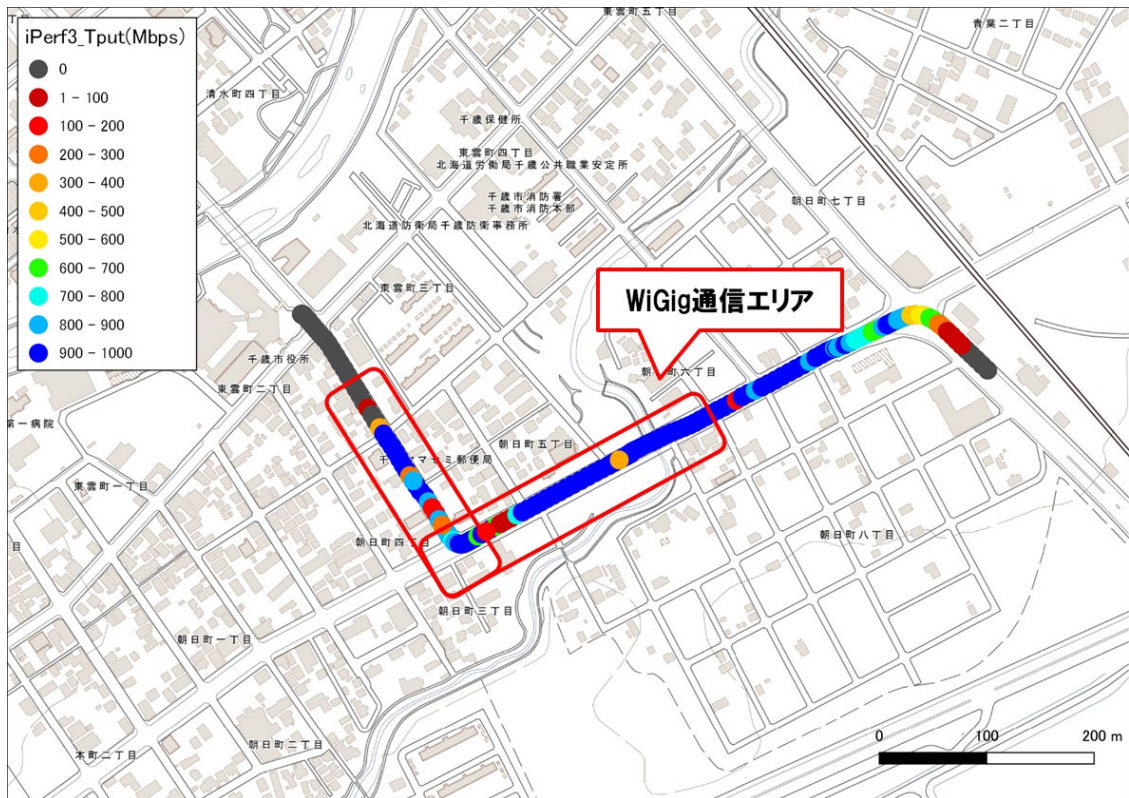


図 36 復路(千歳駅→空港)走行時のスループット
(出典:電子地形図 25000(国土地理院)を加工して作成)

また iperf での計測以外に、1 走行の中で必要となる自動運転車両の点群データを MEC 基盤に送信し、実際に送信できたデータ量及び実効スループットについても計測した。

点群データの送信に当たっては、今回 3D マップ化している東大通周辺のエリアを対象区間とし、対象区間を包含する 1 走行での自動運転車両の rosbag ファイルから、自動運転車両の点群データとしてトピック名「/sensing/lidar/top/pandar_packets」、メッセージ型「/sensing/lidar/top/pandar_packets」のデータを MEC 基盤上のデータ連携サーバに送信した。

実際に送信できたデータ量は、往路が約 2.45GB、復路が約 1.49GB であり、全体平均では 2.09GB であった。実効スループットは、往路が約 84.2Mbps、復路が約 96.4Mbps であり、全体平均では約 88.8Mbps であった。また、1 走行の中で必要となる点群データの回収率については、往路が約 99.6%、復路が約 63.3% であり、全体平均では約 86% であった。サンプル数は、往路が 5 回、復路が 3 回である。

iperf での計測値が約 800Mbps 前後であるため、実効スループットとしては 1/10 程度の結果となっているが、これは送信クライアント端末の性能・データ連携サーバの性能・送信アプリケーションでのアプリケーションレイヤでの処理詰まり等が原因として考えられる。

点群データの回収率としても 100% を下回る計測結果であり、これは 1 走行に必要な点群データが 1 回の WiGig 通信エリアの走行で送信が完了しないことを意味するが、前述の WiGig 通信エリアのデッドスポットを減らすような対策が必要と考えられる。

(7) 生成された 3D マップの精度に係る遠隔監視員へのアンケート・ヒアリング調査

本実証において実施した遠隔監視員向けアンケート結果(表 10 遠隔監視員アンケート結果)を俯瞰すると、取得データを基に生成された 3D マップは、降雪・積雪環境下においても、概ね実際の道路環境を反映したものと受け止められていることが確認された。遠隔監視員は、3D マップと車両位置情報を重ね合わせた表示を通じて、バスの走行位置や周辺環境を把握することが可能であり、監視業務における基礎的な状況認識は成立していると評価している。

表 11 遠隔監視員アンケート結果

設問	平均	標準偏差 (SD)	ポジティブ 率(%)
Q1.カメラ(道路灯、信号機)、LiDAR(3D 点群データ)から、道路状況を正確に把握できる情報を取得できていましたか。	3	0	100
Q2.車外映像(東海理化システム)の画質は、降雪・積雪環境下においても、バス周囲の状況を判断するうえで十分でしたか。	3.5	0.58	100
Q3.道路灯センサによる積雪検知結果(手動 or 自動)について、実際の積雪状況と比較した際の適切さ(精度の高さ)をお答えください。	2.75	0.5	75%
Q4.信号機センサによる積雪検知結果(手動 or 自動)について、実際の積雪状況と比較した際の適切さ(精度の高さ)をお答えください。	2	0.82	25%
Q5.取得データより生成される 3D マップは、実際の道路環境や積雪状況と乖離がないと感じましたか。	3.25	0.5	100%
Q6.3D マップとバス位置情報の重なり表示は、走行状況を直感的に把握しやすいものでしたか。	2.5	0.58	50%
Q7.遠隔監視室において、情報取得は問題なく行えましたか。	3	0.82	75%
Q8.複数の監視システム(3D マップ/映像/CAN データ)を用いた監視業務は、負担に感じませんでしたか。	2.5	0.58	50%
Q9.複数システムの情報は、一貫した内容として理解でき、状況把握や判断の迷いを生じさせないものでしたか。	2.25	0.5	25%
Q10.遠隔監視中、注意すべき情報(警告・異常など)は見落としにくい表示でしたか。	2.75	0.96	50%
Q11.協調型インフラを活用した今回の遠隔監視は、従来の監視方法※と比べて、運用上の負担軽減につながっていると感じましたか。	2.5	0.58	50%

※バスに搭載したカメラ映像のみによる監視

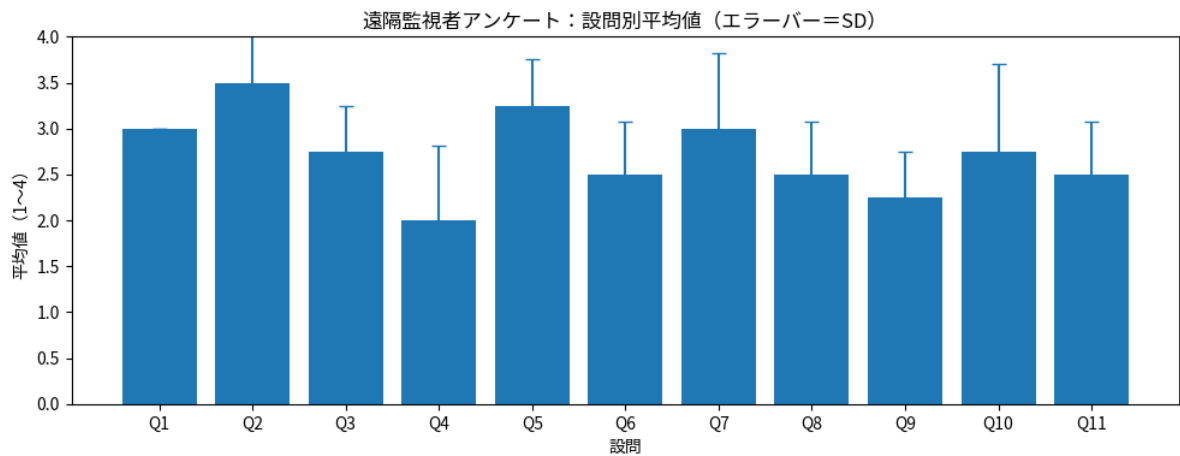


図 37 遠隔監視員アンケート 設問別平均値

特に、カメラや LiDAR 等から取得したデータを統合して生成される 3D マップについては、積雪状況や道路形状との大きな乖離は感じにくく、走行可能領域の判断や車両挙動の理解に一定程度寄与していることが示唆された。このことは、従来の映像中心の監視と比較して、空間的な把握が容易になり、遠隔からでも走行状況を俯瞰的に捉えられる点が評価されていることを意味している。

一方で、3D マップの精度に対する評価にはばらつきも見られ、降雪量や雪質、路面状態の変化といった時間的・空間的な要因によって、実環境との一致度に差が生じる場面があった可能性が示唆される。これは、3D マップが「絶対的な正解」として認識されているわけではなく、映像情報や他のセンサ情報と組み合わせて初めて、より確実な判断材料となることを、遠隔監視員が暗黙的に理解していることの表れとも解釈できる。

また、生成された 3D マップが持つ情報量や更新頻度については、監視業務の成立性という観点では一定の水準に達しているものの、積雪環境特有の微細な変化や一時的な障害物まで完全に把握するには、さらなる改善の余地があると考えられる。遠隔監視員にとっては、3D マップの精度そのものに加え、「どの程度信頼してよい情報なのか」が直感的に理解できることも重要であり、今後は精度向上と併せて、情報の確からしさを伝える表現や補助情報の充実が求められる。

以上より、生成された 3D マップは、遠隔監視における状況把握の基盤として一定の有効性を有している一方、降雪環境という厳しい条件下では、他情報との統合や運用面での補完を前提とした活用が現実的であることが、本アンケート結果から示された。

(8) 生成されたルート情報と挙動に係るバス運転手へのアンケート・ヒアリング調査

本実証において実施した運転手向けアンケートの結果(表 12: 自動運転バス運転手アンケート結果)から、生成されたルート・車線情報およびそれに基づく自動運転バスの走行挙動について、運転手は複合的な評価を示していることが明らかとなった。

表 12 自動運転バス運転手アンケート結果

設問	平均	標準偏差(SD)	ポジティブ率(%)
Q1.自動運転バスが取得したルート・車線情報は、実際の道路状況や一般的な車両通行と比べて、乖離や違和感がないと感じましたか。	2.39	0.50	39%
Q2.道路にせり出す雪だまりなどの回避時に自動運転バスの車線変更は、普段の手動運転と比べて自然だと感じましたか。	2.00	0.00	0%
Q3.交差点右折・左折に向けた車線変更のタイミングは、適切だと感じましたか。	2.06	0.24	6%
Q4.バス停へ進入する際の車線変更や走行挙動は、安心して見守れるものでしたか。	2.00	0.34	6%
Q5.ルート・車線情報を取得する区間において、自動運転の運用負担が増加したと感じることはありませんでしたか。	2.67	0.59	72%
Q6.自動運転システムが行うルート・車線情報を活用することで、判断に迷う場面は減ったと感じましたか。	2.11	0.47	17%
Q7.雪道走行時の加減速や車間距離の取り方は、全体として一貫性を感じますか。	2.06	0.24	6%
Q8.自動運転バスの次の動きは、予測しやすいと感じましたか。	1.94	0.24	0%
Q9.協調型インフラを活用した今回の自動運転は、従来と比べて運転手の負担軽減につながっていると感じましたか。	2.56	0.62	61%
Q10.ルート情報に基づいて走行する東大通の自動運転では、従来と比較して負担が増えたと感じますか。	2.28	0.57	22%

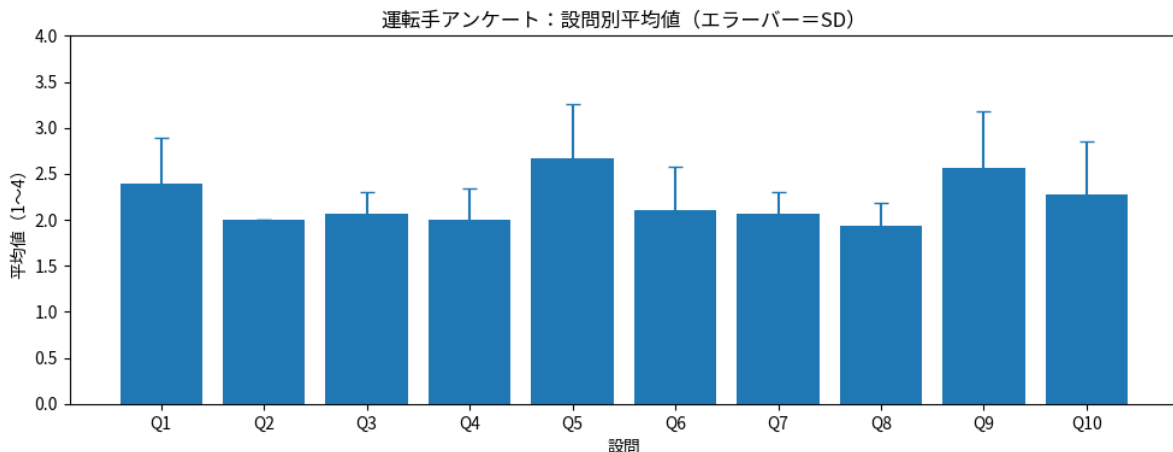


図 38 運転手アンケート 設問別平均値

全体として、運転手は自動運転が提供する情報や支援機能について一定の有効性を認識している一方で、走行挙動の自然さや意図の分かりやすさといった点では、なお改善の余地があると感じている状況がうかがえる。

特に、生成されたルート情報については、実環境との間に大きな乖離があるとは感じていないものの、雪道特有の運転作法や現場で培われた経験則と比較した際に、違和感を覚える場面が一定程度存在することが示唆された。これは、システムが合理性やルール遵守を優先して導出したルートや挙動が、人の運転における「段取り」や「予兆を伴う操作」と必ずしも一致していないためと考えられる。

一方で、運用負担に関する評価では、生成されたルート・車線情報の活用により、判断に必要な情報が整理され、運転手の認知的な負担が軽減されたと感じる回答が比較的多く見られた。すなわち、挙動そのものに違和感が残る場合であっても、情報提供や判断支援の観点では、自動運転システムが運転手の業務を補助している側面が確認された。

これらの結果から、生成されたルート情報と自動運転の挙動は、「運転を完全に代替する存在」としてではなく、「運転手の判断を支援する存在」として一定の価値を発揮している段階にあると整理できる。一方で、挙動の自然さや次の動きの予測可能性といった点が十分に担保されなければ、安心して見守るという観点での受容性は限定的となる可能性がある。

以上より、本アンケート結果は、生成ルート情報の有効性と課題を同時に示すものであり、今後の改善においては、合理性だけでなく、運転手の経験や感覚に即した挙動設計、ならびに意図が伝わる運転表現の実装が重要な検討事項となることを示唆している。

3) KPI/KGI との比較結果

表 13 KPI/KGI との比較結果

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定量評価	(1)	LiDAR、カメラデータを分析した結果から更新された走行車線パターン内での雪道での自動運転率 80%以上
	(2)	連続して 15 分間のスループット試験を実施し、道路灯から MEC 基盤までの上りスループットの実測値が要求スループット(180Mbps 道路灯 2 台分)を上回る時間が 99%以上
	(3)	WiGig 通信エリア内においてスループット試験を実施し、走行している車両 1 台から MEC 基盤上までの上りスループットの実測値が要求スループット(430Mbps)を上回る時間が 70%以上
定性評価	(4)	システムが検出した積雪状態のデータと実走行時の映像を比較し、走行可能車線の判断に使用可能との意見を複数人から得る(4 段階評価の平均がポジティブ寄り)
	(5)	走行可能車線の検出・伝達結果と実際の車線運行路面状態の差異ならびにその回避が自然に行われたとの意見を運転手から得る(4 段階評価の平均がポジティブ寄り)

(1) LiDAR、カメラデータを分析した結果から更新された走行車線パターン内での雪道での自動運転率 80%以上

LiDAR、カメラデータを分析した結果から更新された走行車線パターン内での雪道での自動運転率は、自動運転バスの調律走行・バス事業者向けであるOJT期間(2025/12/8~2025/12/13)のデータで約 90.48%、本番走行期間(2026/1/14~2026/1/24)のデータで約 81.16%であった。詳細な結果は 6.4.1.2).(1)「路車協調システムの開発」、6.4.1.2).(3)「MEC 基盤の整備」及び 6.4.1.2).(4)「実証対象区間における自動運転率の計測」を参照。

今回の計測結果から、路車協調システムを用いることで、本来路肩・第一車線上の積雪により手動運転が求められる場面においても、自動で車線変更することで、安定した自動運転率を実現することができると明らかになった。

また今年度については、路車協調システムを用いてスマート道路灯での路面・車線の積雪・除雪状態から走行可能車線の AI 推論、自動運転車両への伝達を行った箇所は東大通のみであったが、今年度の結果も踏まえて、来年度以降はその他の交差点、バス停、駅、空港付近などの重点箇所において、路車協調の導入箇所を増やしていくことが、豪雪地帯特有の路面の積雪による走行への影響や、自動運転車両と手動運転車両が混在する空間の死角などの課題に対し、より安全な自動運転車両の走行の実現に繋がっていくものと考えられる。

(2) 連続して 15 分間のスループット試験を実施し、道路灯から MEC 基盤までの上りスループットの実測値が要求スループット(180Mbps | 道路灯 2 台分)を上回る時間が 99%以上

各灯具ともに要求スループットを上回る時間が 100%であった。無線区間である道路灯～WiGig 基地局間には直接通信路を遮る車両含めた物理的な干渉材料がなく良環境、WiGig 基地局～MEC 間は有線であるため、結果を踏まえ良好な通信環境が構築されたと言える。

無線区間での本実証環境における通信品質劣化の主要因として想定されるフェージングと呼ばれる反射や干渉で電波強度が時間的・空間的に変動する現象について、灯具・基地局ともに位置固定であること、道路幅が広いこと、建築物・車両と離隔されていることにより影響が軽微であったと推察される。

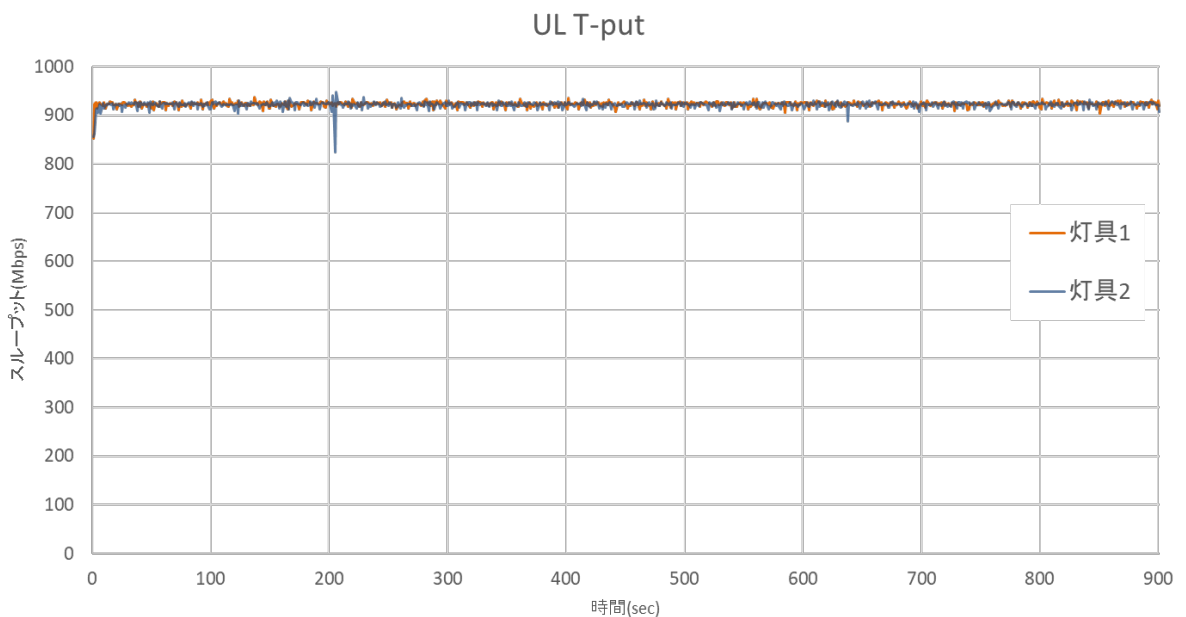


図 39 道路灯のスループット(UDP)

(3) WiGig 通信エリア内においてスループット試験を実施し、走行している車両 1 台から MEC 基盤上までの上りスループットの実測値が要求スループット(430Mbps)を上回る時間が 70%以上

要求スループットを上回る時間が往路(新千歳空港→JR 千歳駅)走行時 92%、復路(JR 千歳駅→新千歳空港)走行時 93%であった。交差点の右左折時に一時的に要求スループットを下回っているものの、WiGig エリア全体を通して良好な結果が得られている。

また、下図より基地局間移動時のアンテナ切替も円滑に行われていることが見られ、ハンドオーバー時のスループットは高い値で維持されている。これは WiGig 基地局・移動端末のアンテナ角や WiGig パラメータの調整が本エリアに対して適切に設定されているためと考えられる。

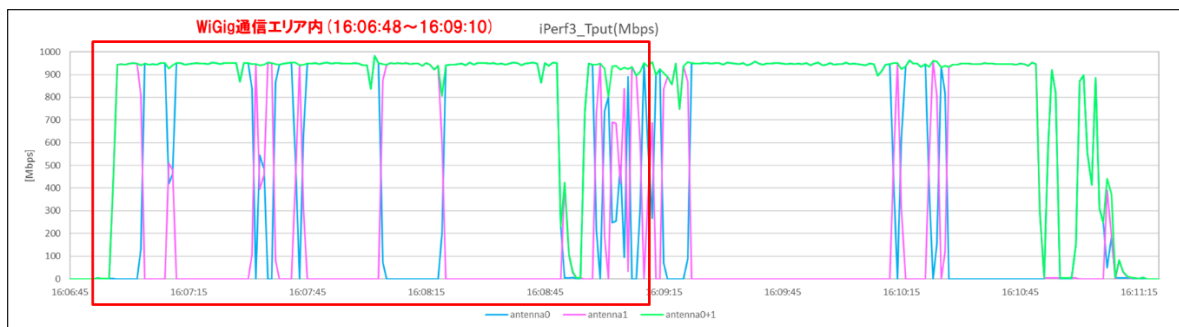


図 40 往路(空港→千歳駅)走行時のスループット

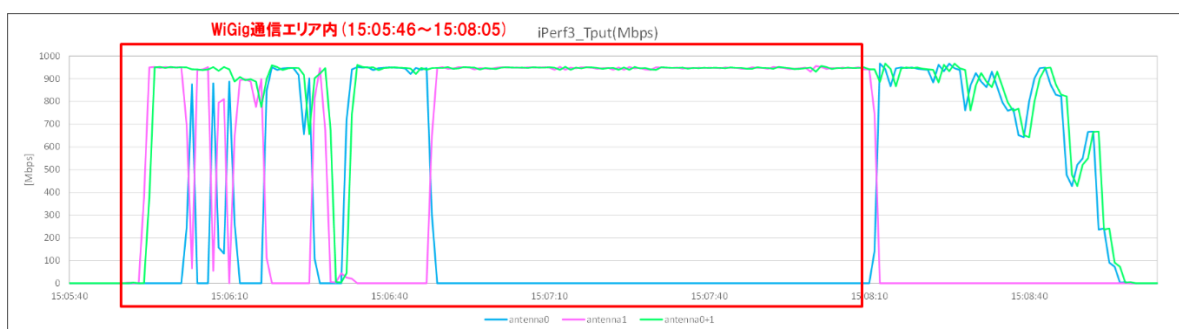


図 41 復路(千歳駅→空港)走行時のスループット

- (4) システムが検出した積雪状態のデータと実走行時の映像を比較し、走行可能車線の判断に使用可能との意見を複数人から得る(4段階評価の平均がポジティブ寄り)

本実証では、スマート道路灯およびスマートモビリティインフラによって検出された積雪状態のデータについて、実際に走行時に取得された映像を比較したうえで、その妥当性および運用上の有効性について評価を行った。アンケート結果においては、設問間で評価水準に差が見られたものの、全体として平均値はポジティブ寄りの水準を示しており、複数の遠隔監視員から「走行可能車線の判断に活用し得る」との認識が得られた。

特に、スマート道路灯による積雪検知結果(図 42 遠隔監視員アンケート Q7)については、実環境との比較において一定の精度が認められ、映像情報と合わせて確認することで、路面状態や除雪状況の把握に寄与しているとの評価が多く見られた。このことから、単独センサ情報としてではなく、実走行時の映像と組み合わせて活用することで、走行可能な車線の判断を補助する情報として実用性を有していることが示唆される。

一方、スマートモビリティインフラによる積雪検知(図 43 遠隔監視員アンケート Q8)については、評価のばらつきが確認されており、センサ設置位置や検知条件による影響が運用時の判断に影響を与えている可能性が示された。しかしながら、評価が一様に否定的であったわけではなく、実際の画像と突き合わせて確認することで、状況把握の補助情報として一定の役割を果たしているとの意見も得られている。

これらの結果から、システムが検出した積雪状態のデータは、単独で走行判断を行うための決定情報として用いるのではなく、実走行時の画像・映像と合わせて参照することで、遠隔監視員による走行可能車線の判断を支援する情報として有効であると考えられる。特に降雪環境下においては複数の情報源を

相互に確認する運用が現実的であり、本実証で得られた評価はその運用可能性を示す重要な知見である。

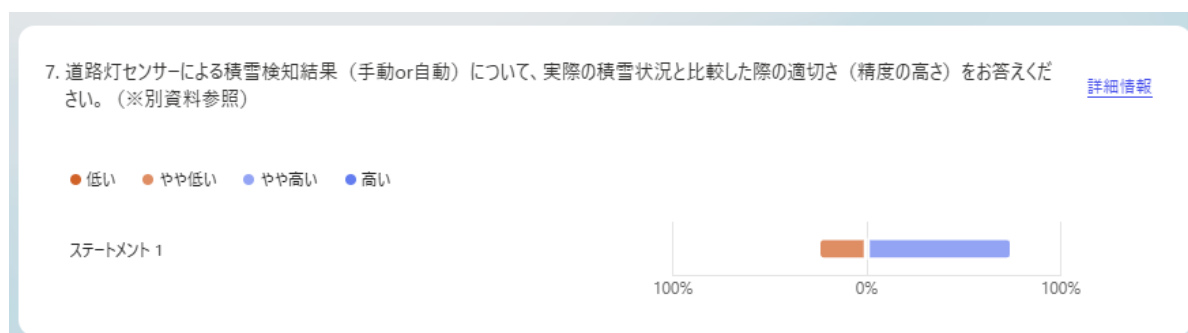


図 42 遠隔監視員アンケート Q7

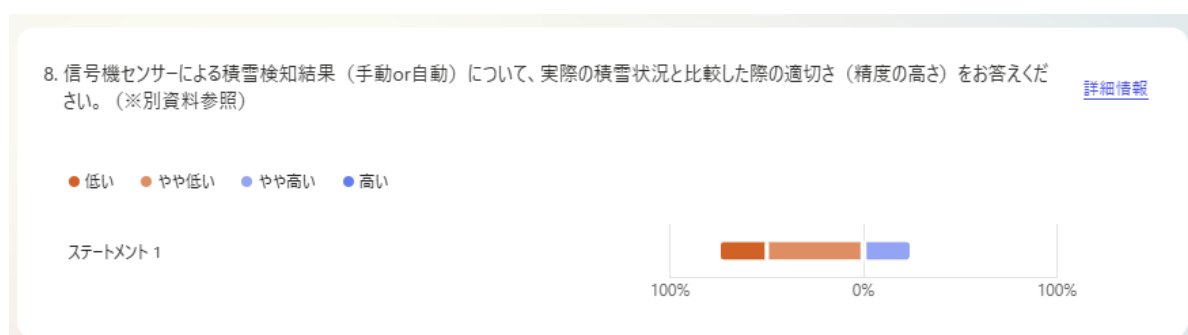


図 43 遠隔監視員アンケート Q8

(5) 走行可能車線の検出・伝達結果と実際の車線運行路面状態の差異ならびにその回避が自然に行われたとの意見を運転手から得る(4段階評価の平均がポジティブ寄り)

運転手向けアンケートのQ1(生成されたルート・車線情報と実際の道路状況との乖離・違和感)の結果(図 44:運転手アンケート Q1)から、走行可能車線の検出およびその伝達については、雪道環境下においても概ねシステムが示すルートどおりに走行できているとの認識が一定程度得られた。一方で、他質問で確認した車線変更の自然さや予測可能性、安心感に関する評価では、運転手が違和感や不安を感じる場面が複数示唆されている。

自由記述では、「雪道で白線が見えなくても、ほぼデータ通り走行していた」との意見がある一方、「正確に走るが、対向車や周囲の車両が寄ってきて危険を感じた」「車線に忠実すぎて接触しそうに感じる」といった指摘も見られた。これらの意見から、走行可能車線の検出精度そのものは一定水準にあるものの、実際の交通流や周囲車両の挙動を踏まえた“人の運転感覚に基づく余白”が十分に考慮されていない場面があったと考えられる。

また、雪山やアイスバーンといった路面状況の変化により、「第一車線を走行できなかった」「ルート上に雪山があり自動運転を継続できない」「天候が悪く手動介入が多かった」といった意見も複数確認された。これらはQ1 単独の評価というよりも、Q2(図 45:運転手アンケート Q2)以降で確認した回避挙動の自然さやQ6(図 46:運転手アンケート Q6)・Q8(図 47:運転手アンケート Q8)で示された判断の迷いや予測のしづらさと密接に関連しており、検出結果が実環境の時間変化を十分に反映しきれていな

い可能性を示唆している。

さらに、交差点内の雪やバス停周辺の除雪状況については、「交差点内の雪情報がないと大型バスのオーバーハングで接触の恐れがある」「仮設バス停ではかえって負担が増える」との指摘があり、走行可能車線の検出結果が“線的なルート情報”にとどまり、交差点内や停留所周辺といった局所的・立体的な運行判断には十分活用できていない場面があったと考えられる。

以上より、Q1 で評価した走行可能車線の検出・伝達結果は、運転手にとって全体として理解可能であり、一定の有効性を有している一方、補助質問および自由記述からは、雪道特有の路面変化や交通状況を踏まえた回避の自然さ、挙動の意図の分かりやすさに課題が残ることが示された。今後は、検出精度の向上に加え、交差点内や停留所周辺の詳細情報、時間変化を考慮した路面状態の提供などを通じて、より実運行に即した自然な回避行動につなげていくことが重要である。

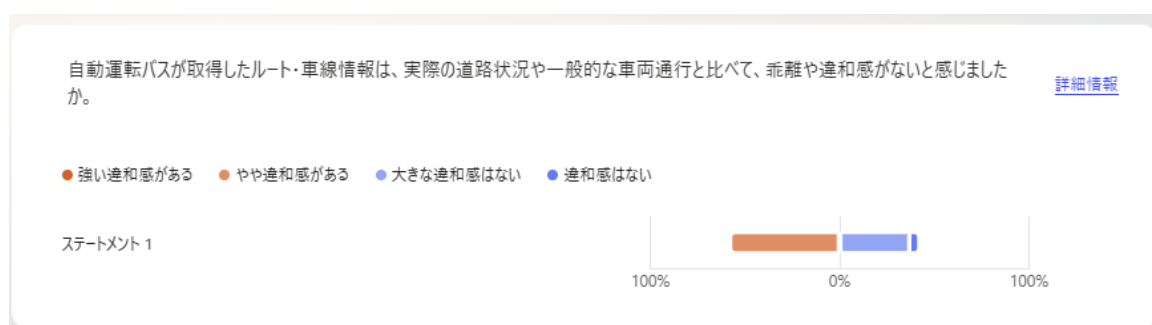


図 44 運転手アンケート Q1

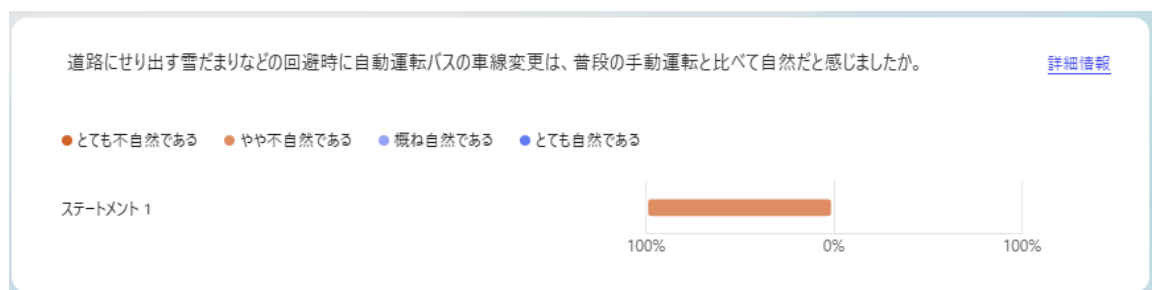


図 45 運転手アンケート Q2

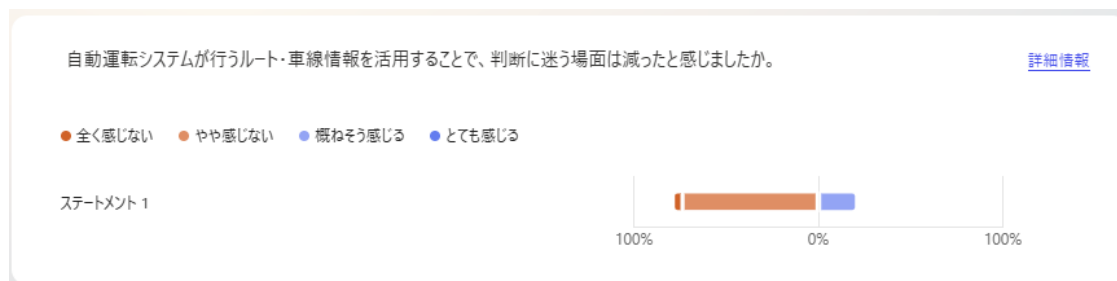


図 46 運転手アンケート Q6

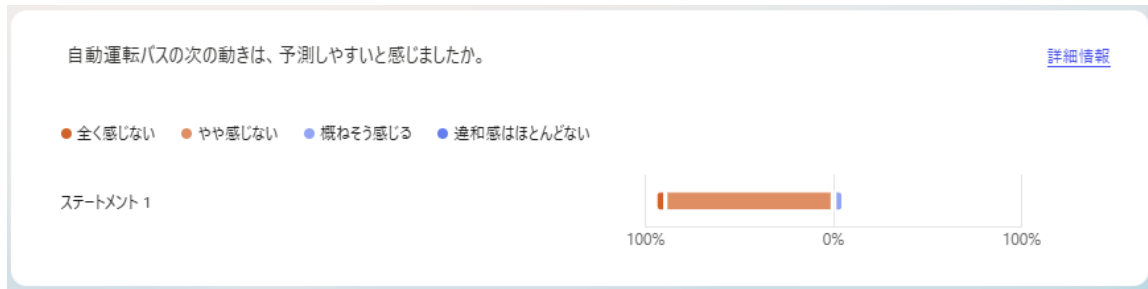


図 47 運転手アンケート Q8

4) 成果・課題

観点①: 路車協調システムによる車線指示有無での自動運転率の向上・安定運行

・6.4.1.3). (1) 「LiDAR、カメラデータを分析した結果から更新された走行車線パターン内での雪道での自動運転率 80%以上」に記載の通り、路車協調システムによる最適な走行車線パターンの連携がある場合に、本来路肩・第一車線上の積雪により、自動運転システムが積雪を障害物と検知して、道路上に立ち往生し、自動運転が求められる場面においても、あらかじめ車線変更指示情報を連携することで、自動で積雪のある車線から積雪のない車線へ変更することが可能となり、安定した自動運転率を実現することができると明らかになった。

一方で、今年度については、積雪を定量的な条件(例:路面上に積雪がある・ない、路面上の積雪の高さが10cm以上である等)にて検出・判定し、走行車線パターンの導出に利用したが、実際に積雪路面を自動運行した際に、同程度の積雪量であっても凍結しているかどうか・圧雪で踏み固められた雪であるかどうかなど雪質により、自動運行可能であるかどうかに影響してくることが分かったため、次年度以降は積雪を量的な観点及び質的な観点でシステム上にて検出する必要があると考えられる。

また、センサ毎の課題としては、カメラデータについては降雪時や日が暮れた際に映像の照度が落ちることで検出精度が悪くなることが確認されており、LiDAR については同じく降雪時にセンサ付近の降雪により路面の点群量が減ることが確認されているため、積雪検知精度の向上に向けて対策が必要な状況である。

観点②: 路車協調システムの通信インフラとしてみた IOWN APN、WiGig、MEC

・本実証において豪雪寒冷地帯における安全な自動運転システムの実現を目指し、路車協調システムを導入することで路側もしくは車両から映像・点群データなど大容量データのアップロードが必要となる。上記に際し、大容量データアップロードに耐えうる通信システムとして IOWN APN、高度 WiGig などの通信技術を活用した KPI の取得結果としては 6.4.1(3)にて記載の通り、「連続して 15 分間のスループット試験を実施し、道路灯から MEC 基盤までの上りスループットの実測値が要求スループット(180Mbps | 道路灯 2 台分)を上回る時間が 99%以上」そして、「WiGig 通信エリア内においてスループット試験を実施し、走行している車両 1 台から MEC 基盤上までの上りスループットの実測値が要求スループット(430Mbps)を上回る時間が 70%以上」のどちらも達成した。これにより本実証で目指す路車協調システムの実現に向けた通信基盤として、IOWN APN、高度 WiGig などの通信技術を活用した通信環境の有効性を確認できた。

一方でエリア拡充もしくは他エリアへの横展開をしていく際には注意すべきポイントも実証の中で確認された。1つは、WiGig 基地局の真下のスポットにおける通信品質の維持である。WiGig が直進性の高い電波特性のため WiGig 基地局から真下に対しては電波が届きづらく、デッドスポットとなることが分かった。そのため各 WiGig 基地局のエリアカバー範囲が重なるように配置することでデッドスポットを減らすことができ、WiGig 電波の届きにくい箇所でも通信品質が維持できると考えられる。また、交差点の右左折時や右左折直後に通信品質が落ちてしまうことが確認できたが、こちらも先述と同様、WiGig の電波特性上直進性の高い電波となるため、建物の遮蔽やアンテナの向きがその通信品質に大きく影響する。交差点で曲がる際にはWiGig移動端末とWiGig基地局のアンテナの向きが直線上に向かい合わなくなり、また、曲がった後に直前に接続していたWiGig基地局が建物の陰に隠れる形となり、交差点付近でスループットの低下が発生したと考えられる。こちらも WiGig 基地局の設置箇所増加や設置設計の工夫によって見通しの取れる設計にすることで改善することが考えられる。

観点③: 運転手や遠隔監視員視点で実運用からみた路車協調システム

本実証では、降雪・寒冷環境下における自動運転バス運行を対象として、路車協調システムを活用した実運用の成立性について、運転手および遠隔監視員の双方を対象としたアンケート調査を実施した。これにより、技術的な性能評価にとどまらず、実際の運用現場における受容性や負担感、判断支援としての有効性について、多面的な評価を得ることができた。

アンケート結果からは、積雪状態を検知したデータと実走行時の映像を組み合わせることで、走行可能車線の判断に活用可能であるとの評価が、遠隔監視員から複数得られている。特に、道路標示の白線や路面状況の視認性が低下する降雪環境下において、映像情報のみでは不足する判断を、データによって補完できる点が評価されており、路車協調システムが遠隔からの状況把握を支援する有効な手段であることが示唆された。また、生成された 3D マップについても、実際の道路環境や積雪状況と大きく乖離していないとの受け止めが得られており、遠隔監視における基盤情報として一定の有効性が確認された。

一方、運転手の視点からは、生成されたルート情報や走行可能車線の検出・伝達結果に基づく自動運転の挙動について、概ね自然であり、大きな違和感はないとの評価が得られている。雪だまり回避や車線変更といった判断を要する場面においても、人の運転と大きく乖離しない挙動として受け止められており、路車協調システムが自動運転の運用を支援する要素として機能していることが確認された。これらの結果は、路車協調システムが単なる技術検証にとどまらず、実運用の中で受け入れられ得る段階にあることを示している。

その一方で、アンケート結果や自由記述からは、今後の課題も明らかとなっている。雪山の形状や位置、路面の凍結状態といった局所的かつ時間変動の大きい要素については、事前に生成された情報と実環境との差異が生じる場合があり、運転手による手動介入が必要となる場面が確認された。また、遠隔監視環境においては、複数の監視システムを併用することによる情報の分散や、表示内容の分かりにくさが、判断のしやすさや体感的な負担に影響を与える可能性が指摘されている。

これらを踏まえると、レベル 4 の社会実装に向けては、路車協調システムの技術的高度化に加え、運転手や遠隔監視員が挙動や判断意図を理解しやすい形で情報を提示し、納得して運用できる環境を整備することが重要である。本実証で得られた知見は、路車協調システムが実運用において果たす役割と、

その改善の方向性を具体的に示すものであり、今後のレベル 4 社会実装に向けた検討において重要な基礎資料となる。

6.5 ⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証

当該ユースケースは実施していない

6.6 レベル4の社会実装に向けた検討の結果

6.6.1 運用検証

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

(1) 実施結果

前述した4.6.1の通り、東大通と仲の橋通における自動走行の運用負担の軽減効果測定について、遠隔監視員へ4件法および自由記述の質問紙を使用し、運用負担軽減に資する評価を取得した。

本実証では、降雪環境下における自動運転バス運行を想定し、協調型インフラ基盤を活用した遠隔監視の有効性および運用上の課題を把握することを目的として、遠隔監視員を対象としたアンケート調査を実施した。アンケートは、実際の運行データおよび監視システムを用いた運用を踏まえ、センシング、3Dマップ、映像表示、情報統合、操作性といった複数の観点から構成されている。

アンケートの回答者は、実証運行において遠隔監視業務を担当した運転手・監視者であり、評価方法は4件法を用いた定性評価とした。各設問については、単純な良否判断ではなく、運用成立性や体感的な負担、判断のしやすさといった観点から回答を得ている。

集計結果(図48:遠隔監視員アンケート集計結果)を見ると、カメラやLiDARによる道路状況把握や、取得データから生成される3Dマップの実環境整合性といった技術的基盤に関する項目については、全体として肯定的な評価が得られた。特に、3Dマップと実際の道路環境・積雪状況との乖離に関する設問では、平均値が高く、評価が大きく分かれることなく受け止められていることが確認された。

一方で、複数の監視システムを併用した際の情報の一貫性や、注意情報・警告表示の視認性といった、ユーザインターフェイスや情報提示方法に関する設問では、評価にばらつきが見られた。これらの項目では、肯定的な回答が一定数存在する一方で、改善の余地を指摘する回答も含まれており、運用時の体感や判断のしやすさに差が生じていることが示された。

また、自由記述欄においては、技術的な成立性を評価する意見とともに、表示方法や情報整理の工夫によって、遠隔監視員の負担をさらに軽減できる可能性があるとの意見が複数見られた。これらの記述は、定量評価では捉えきれない運用上の感覚的な課題を補足するものとして、有用な知見を提供している。

以上のアンケート結果から、協調型インフラを活用した遠隔監視は、技術的には一定の成立性を有している一方で、運用負担の軽減や判断支援の観点では、今後の改善に向けた具体的な検討課題が明確になったといえる。

表 14 遠隔監視員アンケート集計結果

設問	平均	標準偏差	ポジティブ率
Q1	3	0	100%
Q2	3.5	0.58	100%
Q3	2.8	0.5	75%
Q4	2	0.82	25%
Q5	3.3	0.5	100%
Q6	2.5	0.58	50%
Q7	3	0.82	75%
Q8	2.5	0.58	50%
Q9	2.3	0.5	25%
Q10	2.8	0.96	50%
Q11	2.5	0.58	50%

(2) 考察

自動運転レベル 4 の社会実装においては、車両単体の自動走行性能のみならず、遠隔監視や運行管理を含めた全体システムとしての運用成立性が重要な検討事項となる。特に、遠隔監視員が担う役割は、異常時対応や状況判断の最終確認などに集約されることが想定されており、その際の操作性やユーザインターフェイスの設計は、運用負担や安全性に直結する要素である。

本アンケート結果からは、センシングや 3D マップによる環境把握といった技術的基盤については、遠隔監視員から概ね肯定的な評価が得られており、レベル 4 を見据えた基礎的な情報取得環境は一定程度整備されていることが示唆された。一方で、複数の監視システムを併用する運用形態においては、情報の分散や表示の一貫性、注意情報の視認性といった点で評価のばらつきが見られ、遠隔監視員の認知的負担が完全には解消されていないことが明らかとなった。

これは、現時点のシステムが「情報を取得できる段階」から、「必要な情報を適切な形で提示し、判断を支援する段階」への移行期にあることを示す結果と捉えられる。レベル 4 運用では、平常時における遠隔監視員の関与を最小限に抑えつつ、必要な場面で迅速かつ確実に介入できる設計が求められる。そのためには、単に情報量を増やすのではなく、重要度や優先度に応じて情報を整理・統合し、直感的に理解できるユーザインターフェイスの構築が不可欠である。

本実証で得られた評価結果は、技術的な自動運転機能の成熟と並行して、遠隔監視システムの操作性や表示設計が、レベル 4 社会実装に向けた次の主要な検討課題であることを示している。今後は、遠隔監視員の負担軽減を明確な設計目標として位置づけ、UI 改善や運用ルールの洗練を通じて、持続可能な自動運転運行体制の構築を図ることが重要である。

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

(1) 実施結果

本実証においては、協調型インフラ基盤および超高速通信を活用し、車両側で取得した走行・環境データを遠隔監視室へリアルタイムに共有する運行形態を構築したうえで、遠隔監視員を対象にアンケート評価を実施した。アンケート結果からは、センシングデータや 3D マップを通じた道路環境の把握、ならびに遠隔監視室における情報取得について、概ね肯定的な評価が得られている。

特に、従来の「車両搭載カメラ映像のみ」による監視方法と比較した場合、協調型インフラを活用した今回の監視方式については、運行状況の把握性が向上し、監視業務の成立性が高まっているとの評価が確認された。また、複数の監視システムを併用することによる負担感については意見の分かれが見られたものの、全体としては、情報取得自体が業務の支障となる状況は限定的であることが示された。

これらの結果から、通信システムを含む新たな監視基盤の導入により、従来の運行・監視体制を前提とした業務フローに対して、見直しの余地が生じていることが確認された。

(2) 考察

地域交通の持続性を確保するうえでは、運行そのものの安全性や確実性に加え、慢性的な人材不足や業務負担の増大といった構造的課題への対応が不可欠である。本実証で導入した通信システムおよび遠隔監視基盤は、こうした課題に対し、業務フローや人員配置の在り方を再設計するための技術的前提を提供するものと位置づけられる。

アンケート結果から、遠隔監視員は現行の仕組みによって走行状況を把握できていると認識しており、これまで車両に常時配置されていた人的リソースの役割を、段階的に遠隔側へ移行させる可能性が示唆された。これは、運転手や監視者を「常時対応」から「必要時対応」へと再定義することにつながり、結果として人員配置の柔軟化や業務効率化を促すと考えられる。

また、協調型インフラから配信される道路環境情報を活用することで、降雪時の運行経路判断や車線運用に関する属人的な判断を補助・代替できる可能性が見えてきた点も重要である。これにより、運行ルートの事前設計や運行中の判断負担が軽減され、安定したダイヤ維持や安全運行の継続に寄与することが期待される。

一方で、情報表示やシステム操作性に関する評価のばらつきは、現時点では運用設計や UI 改善の余地が残されていることを示している。これは、技術導入そのものが地域交通の持続性に直結するのではなく、「どのような業務フローとして実装するか」が成否を左右する段階に入っていることを示す結果である。

以上より、本実証で得られた結果は、通信システム等の導入が、運行経路設計、監視体制、人員配置の見直しを通じて、地域交通の持続性向上に寄与し得ることを示している。今後は、技術と運用を一体で設計し、現場負担の軽減と運行の安定化を両立させる仕組みづくりが重要な検討課題となる。

3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策

(1) 実施結果

通信のセキュリティ性の向上を図る技術(MEC)を適用し、通信経路の正当性を評価すべく、MEC 内のファイアウォールの通信ログを確認し、インターネットとの通信が行われていないこと、及び遠隔監視が問題なく動作していることを確認した。以下のとおり、ファイアウォールより各宛先 IP へ通信ログを抽出したところ、外部への通信は全て遮断されており、検証期間において、インターネットへの通信は行われていないことを確認した。

表 15 MEC 内ファイアウォールにおける通信ログとアクション

action	宛先IPアドレス	数
deny	8.8.8.8	10489
deny	172.30.0.10	1481
deny	172.32.0.10	1469
deny	192.35.51.30	1027
deny	180.12.8.105	726
deny	192.41.162.30	682
deny	192.5.6.30	668
deny	192.52.178.30	596
deny	192.43.172.30	584
deny	180.12.8.104	556
deny	192.12.94.30	520
deny	192.42.93.30	517
deny	192.33.14.30	503
deny	192.41.162.30	494
deny	192.31.80.30	492
deny	192.54.112.30	416
deny	17.253.207.1	374
deny	204.26.57.1	369

また、アプリケーションレイヤについても、データ連携サーバのアクセスログを確認し、すべて MEC 内部の IP アドレスからのアクセスであること、また MEC 外からのアクセスログが 0 件であることを確認した。

表 16 データ連携サーバへのアクセスに利用された IP アドレス一覧

IP アドレス一覧
127.0.0.1
172.16.0.49

172.16.4.62
172.16.5.109
172.16.6.138
172.16.6.198
172.20.0.4
192.168.1.2
192.168.1.3
192.168.1.5
192.168.32.40
192.168.91.10

上記により、実証中の遠隔監視システムに対するセキュリティ脅威は確認されず、また、機能不具合も発生しておらず、閉域 NW 設計の妥当性が確認できた。

(2) 考察

本実証の NW において、不審ログや不正アクセス発生の兆候については確認されず、閉域 NW 設計の正当性とセキュリティ脅威排除を確認できた。

また本通信システムに通信ログを具備することでリアルタイムにシステムを監視し、全体の信頼性やメンテナンス性を向上させることを確認できた。

4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守

実施結果

4.6.1.(4)にて示したスマートモビリティインフラの維持管理保守方針にて実証期間中に対策を行い、以下の結果となった。

<KPI>

- ・サービス時間率:100%
- ・故障率:0%
- ・平均復旧時間:故障無し
- ・平均故障間隔:故障無し
- ・10 月初旬のスマートモビリティインフラの設置以降、稼働を継続。一部ソフトウェアアップデート等により、遠隔でのシステム ON/OFF は実施した結果通信途絶が発生するも、ハード及びソフトに起因する不具合等での故障は認められなかった。

また、同じく 4.6.1.(4)にて方針を示した WiGig に関する維持管理保守については、以下の結果となった。

- ・12/1~1/16 の期間において、常時 WiGig にて接続される WiGig 中継回線の継続性を遠隔監

視により確認したが、当該確認の範囲で 10 秒以上の明らかな通信途絶に至った事象の発生は稼働時間 1110 時間のうち44時間のみであり、他の期間における通信途絶は認められなかった(一部、スマート道路灯からのデータ伝送の継続性についても確認しているが、全期間で伝送異常の報告は無かった)。これより、観測範囲内での通信継続率は(1110-44)日/1110 時間は 95%を上回る。

・上記通信途絶(通信エリア構成に起因する通信速度低下は除く)の原因を特定するために、WiGig 装置の動作ログの確認・解析も実施し、同事象が WiGig 装置の故障・不具合によるものではなく、天候悪化(強い吹雪によって WiGig 基地局のアンテナ面を覆う形の積雪層が形成)によるものと最終的に判断した。実際に気象庁の過去の気象データと比較すると、通信途絶が発生した日は降雪量が多い日であることが確認された。これより、実証期間中の装置故障率は 0%となる。

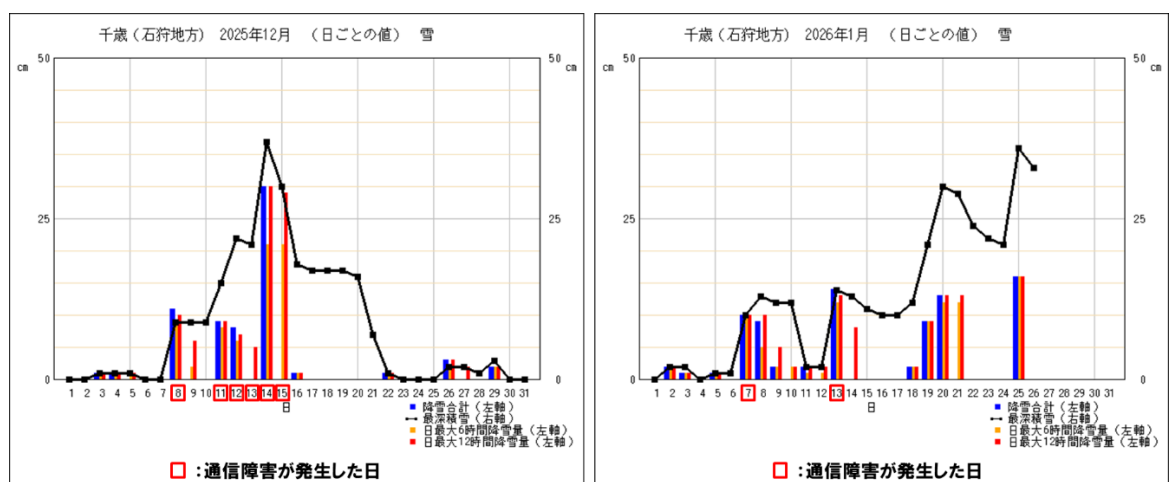


図 48 WiGig 通信の途絶日と降雪の関係性(出典:気象庁過去の気象データ)

(1) 考察

・スマートモビリティインフラについて、今回の結果を受け、「仮に故障等が発生した際の東京-北海道間での遠隔対応における課題」について、関係者で議論を実施した。本案件における対策を実施することで、路側の情報が届いていない状況下において一定の復旧対応は可能なものの、社会実装に向けては、不具合発生時の詳細な現状把握や対応も含めた運用体制、マニュアル類の整備他運用面における課題は残る為、本実証のような機会を活用し、ケーススタディを通じた対策検討を進めたい。

・上述した WiGig の維持管理保守の方法とその検証結果において、WiGig 装置自体の正常性は遠隔監視機能により継続確認が可能となっているが、今後の社会実装に向けては、天候影響の発生と通信状態との関係を速やかに確認・判断する必要がある。特に寒冷地においては、WiGig 装置監視機能と降積雪監視機能を組合せたシステムの導入が有効と考えられる。

6.6.2 効果検証

1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化

(1) 実施結果

スマート道路インフラを活用して情報を取得することにより、積雪・除雪状況等に応じて MEC 上で変化する三次元マップを実現し、次発車両の走行車線情報に活用することを目指した。具体的には、道路灯や信号機などに設置したカメラ映像や LiDAR データを用いて道路上の変化点情報を取得することで、自動運転車両の制御への反映を目指し、検証方法として MEC 上の分析結果の参照前後での手動介入の割合の比較を実施した。

MEC 上の分析結果を参照しない場合においては、手動介入の割合は 100%となる。これは、実証対象区間(東大通)の第一車線にはみ出している雪だまりがある場合、自動運転車両は LiDAR センサにて前方に何かしらの物体があることは検出するものの、人・車・バイクなどの事前に学習された物体種別ではないため、回避行動を取らず、そのまま雪だまりに衝突・手動介入となるためである。

一方で、スマート道路インフラに設置したカメラ映像や LiDAR データを用いて道路上の積雪を検知し、自動運転車両に最適な走行車線パターンを連携した場合は、手動介入の割合は 100%から約 18.8%に減少した(※本番走行期間(2026/1/14~2026/1/24)のデータ)。これは MEC 上の分析結果を参照したことで、自動運転車両が第一車線の雪だまりに衝突する前に第二車線への車線変更を行い、雪だまりを回避することができたためである。

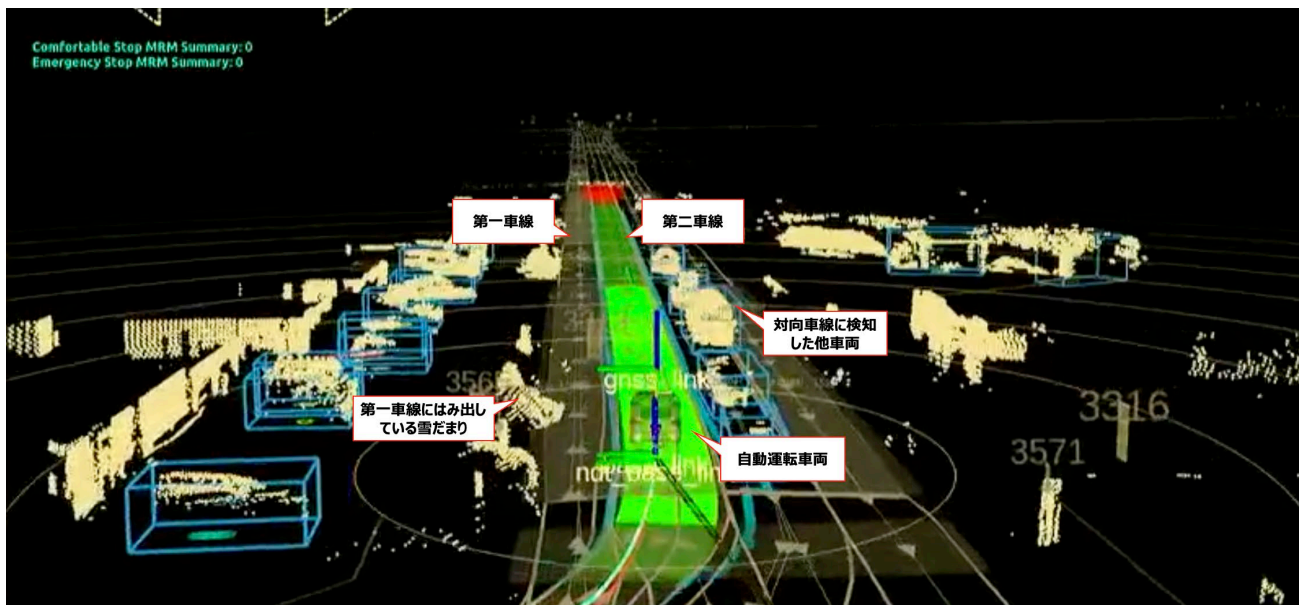


図 49 自動運転車両での LiDAR センサでの物体検出の様子

(2) 考察

上記の結果より、雪道でのレベル 4 の自動運転を実現するために、路側の積雪状態のセンシング及びそれを基にした最適な走行車線パターンの導出・自動運転車両への連携が有効であることが示された。

本実証では、路車協調システムを用いてスマート道路灯での路面・車線の積雪・除雪状態から走行可能車線の AI 推論、自動運転車両への伝達を行った箇所は東大通のみであったが、その他の手動介入が発生すると考えられる地点においても路車協調の導入箇所を増やしていくことで、雪道での自動運転率が向上するものと考えられる。

2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度

(1) 実施結果

路車協調システムにより検知した道路環境変化を遅滞なく自動運転車運転手へ連携可能かを設定した KPI/KGI に基づき検証した。設定した具体的な KPI/KGI およびその結果は、6.4.1 3)に記載した通りである。

スマート道路灯からセンサ情報を受け取ることで自動走行できた状況：

- バス停から発車する際にスマート道路灯が路肩の堆雪を検知し、早めに第二車線に入るよう車線変更の指示があった場合
- バス停にアプローチする際にスマート道路灯が路肩の堆雪を検知し、バス停の直前で車線変更の指示があった場合

スマート道路灯からセンサ情報を受け取っても手動介入が必要だった状況：

- バス停アプローチ時に他車両が跳ね上げて路肩に堆雪したシャーベット状の積雪があった場合（図 50:①路肩付近に堆雪している様子）

手動介入しなかった場合に想定し得る車両挙動：

- タイヤが雪にとられ、路肩の堆雪へ突っ込むことで車両の損傷が発生する可能性がある。
対向車両が路面の区画線を視認できないために自動運転経路への進入してきた場合（図 51:②対向車が雪に隠れた区画線を視認できず、自動運転車両に接近する様子）
- 自動運転車両のセンサが車両に近い対向車を検知することで急停車し、車内事故や後続車の追突、対向車との接触する可能性がある。



図 50 ①路肩付近に堆雪している様子



図 51: ②対向車が雪に隠れた区画線を視認できず、自動運転車両に接近する様子

(2) 考察

路車協調システムに関する実施結果の考察は、6.4.1 4)に記載した通りである。



図 52 ③交差点付近路肩の経路上に堆雪している様子

交差点付近やバス停付近等には毎時変化する堆雪があり、それぞれ「交差点右左折時の最適な曲がり方ができる経路パターン(写真③)」、「バス停への最適なアプローチができる経路パターン」での検証が今回実施できず、やむなく手動介入が必要な状況があったため、これらのエリア付近へ新たにスマート道路灯を導入することで走行可能なケースは拡充すると考えられる。

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

(1) 実施結果

本実証では、高速大容量通信(APN、高度 WiGig)を活用した路車協調システムを導入し、車両側で取得した走行・環境情報を MEC および遠隔監視室と共有する運行形態を構築した。これにより、降雪・積雪環境下においても、道路状況や車両挙動を多角的に把握できる運行支援環境を整備した。

遠隔監視員向けアンケート結果からは、生成された 3D マップや映像、車両情報を通じて、走行状況や周辺環境を把握できているとの評価が得られた。特に、従来の車載カメラ映像のみを用いた監視と比較して、路面状況や車両位置を俯瞰的に確認できることにより、運行状況の理解がより深まったことが示唆された。このことは、運行中の状況変化に対して、遠隔側から柔軟な判断や助言を行える可能性を示す結果である。

一方、運転者向けアンケートでは、生成されたルート・車線情報について、実環境との間に一定の違和感が残るとの評価が見られたものの、判断材料の提示や確認作業の軽減により、運用負担が増加していない、あるいは軽減されたと感じる回答が相対的に多く確認された。自由記述においても、白線が視認できない状況でもデータに基づく走行が可能であった点や、事前にルート情報を把握できることが判断の助けになったとの意見が見られた。

これらの結果から、通信システムを介して取得・共有される情報が、固定的な運行に代わり、状況に応じたルート判断や走行判断を支援する基盤として機能し始めていることが確認された。

(2) 考察

近年、バス運転手の全国的な減少や高齢化、免許返納の進行により、地域公共交通は人材確保の面で厳しい状況に直面している。特に降雪地域では、積雪や雪だまり、アイスバーンといった要因により、運行判断の難易度が高く、運転者の負担が増大しやすい。このような背景のもと、本実証で導入した先進的通信技術を活用した路車協調は、運行の在り方を質的に転換する可能性を有している。

遠隔監視員・運転者双方のアンケート結果から、通信を介した情報共有により、道路状況や車両挙動を事前・俯瞰的に把握できることが、判断の前倒しや心理的余裕の確保につながっていることが示唆された。これは、突発的な判断や場当たりの回避操作を減らし、結果として減速・停止・回避に要する時間の短縮や、不要な迂回の抑制に寄与する可能性がある。

また、生成されたルート情報や 3D マップを活用することで、降雪状況に応じた走行可能車線の選択や停留所進入判断を柔軟に行える基盤が整いつつある。これにより、従来は運転者の経験に依存していた判断を、情報に基づいて補助できるようになり、個人差の低減や運行の安定化が期待される。結果として、ダイヤ乱れの抑制や欠便回避につながり、利用者にとっての交通利便性向上に資する可能性がある。

さらに、遠隔監視を前提とした運行支援が確立されれば、将来的には人員配置の柔軟化や、運転者の役割の再定義につながる。これは、限られた人材で地域交通を維持するうえで重要な要素であり、持続可能な公共交通の実現に向けた基盤形成と位置付けられる。

一方で、アンケート結果からは、挙動の自然さや局所的な路面情報の不足、情報表示の一貫性といった課題も明らかとなった。今後は、通信で取得した情報を単に共有するだけでなく、運行判断に直結する形で統合・提示する設計が求められる。これらを改善することで、通信システム等による支援は、ルート

設定の柔軟化、時間短縮、交通利便性の向上という効果を、より実感できる形で発揮すると考えられる。

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

(1) 実施結果

【初期コスト・ランニングコストの現時点での概算】

表 17 ユースケース④「安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送」を構築するための必要経費

通信設備の設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	高度 WiGig システム 1 式	2,080 万円
	設置工事費		900 万円
路車協調システムの製 作・設置(イニシャルコ スト)	環境構築費	スマート道路灯	1,280 万円
	運用・保守費	運用・保守/1 年	5 万円
	環境構築費	スマートモビリティインフラ	1,390 万円
	運用・保守費	運用・保守/1 年	30 万円
自動運転バスの導入 (イニシャルコスト)	設備・機器費	自動運転バス導入計画策 定	83 万円
		調律走行および運行調整	6,350 万円
遠隔監視システムの導 入	環境構築費	システム1式	750 万円
	運用・保守費	運用・保守/1 年	250 万円
intdash・3D マップ可 視化ツールの導入	環境構築費	ライセンス料/年	2,457 万円
	運用・保守費	運用・保守/1 年	345 万円
システムの運用	クラウド利用料	docomo MEC クラウド/1 年	476 万円
合計			16,396 万円

※記載の金額は実証中における参考価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

※設計・設置・運用に係る人件費等は別途必要。

【コスト負担の在り方・コスト低減策に関する検討】

- 路車協調システム
- 路車協調システム:コスト低減策・効果の検討

本年度事業での路車協調システムのコスト低減策・効果の基本的な方針は下記のとおりとした。

- 過年度実証利用(令和 6 年度 総務省事業・横浜)のスマート道路灯の筐体設計などを再活用し、機器費用を削減する
- 令和 7 年度の本事業における実装機能に関しては、夜間が実証対象外であるため、「実証での夜間視認性を高める各種機能」を具備しないことにより、開発費用を削減する
- スマート道路灯による路車協調基盤とスマートモビリティインフラでの検知結果連携基盤を同一構成とし、初期コスト・ランニングコストを低減する

■ 路車協調システム(スマート道路灯) にかかる初期費用について

自動運転の社会実装に向けた路車協調システムの活用にあたり、システムに不可欠な要素を経済的に構築可能であるかが重要であると考えます。本事業においては、検知機器の設置先について既設道路灯を対象とすることで、道路灯などの支柱を新設する場合よりもコストを低減できるとした。スマート道路灯を構築する際の要素となる「費用、工数、性質」を概算算出し、各要素に評価・比較を記載する。

各観点からの比較を通して、既設道路灯を活用することによって、コスト低減効果が認められることが分かった。 ※仕様や工事業者、施工環境、地域による偏差によって、費用、工数などは変化することには留意されたい。

➤ 要素区分:費用

スマート道路灯単体が機能するまでの費用は、大きく、(1)機器資材費、(2)工事等の施工費、(3)公的な手続き等の申請費の3つに分類される。本事業で着目する灯体部分の新設/既設による費用差は、3つの項目すべてに影響が及ぶ。具体的には下記であると考えます。

・ 機器・資材費

新設する道路灯の柱自体の費用、それを建柱するために必要なコンクリート等の資材に差分が発生する。

・ 工事費等の施工費

新たに建柱するための工事・施工費に差分が発生する。また、新設道路灯への電源引込が必ず必要になる点も費用に影響する。

・ 公的な手続き等の申請費

道路灯を土地に建柱することに様々なりスク(地下に埋設されているものを含む)がないか調べる事前調査等が必要になり、それに伴い確認項目が増えて費用に影響する

現状の、一般的な道路灯の建設フローを踏まえると、合計費用におよそ 80 万円程度の差分が発生

する。道路灯を新設する際の費用と、既設の道路灯を活用する費用について比較した場合、既設の道路灯活用については費用を約 5 分の 1 に抑えることができると試算した。

表 18 コスト比較表

No.	項目	新設した場合 概算費用(円)	既設を利用した場合 概算費用(円)	備考
1	機器・資材費	320,000	5,000	既存の道路灯を活用できると、ポールやコンクリートなどの購買が不要になると思料
2	工事費等の施工費	520,000	130,000	既存の道路灯を活用できると、基礎/建柱工事、道路灯への電源引き込み工事が不要になると思料
3	公的な手続き等の申請費	180,000	60,000	既存の道路灯を活用できると、事前調査・確認などが低減できると思料
合計	—	1,020,000	195,000	既存の道路灯を活用することによって、道路灯を新設する場合と比較して、約1/5のコスト低減効果があると思料

➤ 要素区分:工数

スマート道路灯の工数としては、公的な申請や手続きに関する内容と、現場作業に関する内容に分類される。

・ 公的な申請や手続きに関する内容

公的な申請や手続きについて、道路灯の新設の場合は、調査や確認項目の増加、土地・物件所有者調整として自治体で既設された添付・申請が必要になるなど、工数増加が見込まれる。

・ 現場工事に関する内容

道路灯を新設する際には、基礎工事(掘削、コンクリート打設など)が必要になり、工数増加が見込まれる。

表 19 工数比較表(公的申請や手続きに要する内容)

No.	項目	新設した場合	既設を利用・交換した場合	備考
1	道路占有許可	10～30日	1～3日	道路灯の新設は、新規図面審査、現地調査などが発生し、既設の道路灯利用と比較すると調査・確認項目が増加する傾向
2	道路使用許可	7～14日	3～7日	新設・既設ともに工事に際して交通規制や工程の審査が必要となる。ただ、新設の方が工期がながいことから交通規制範囲・期間が長くなる傾向があり、また審査にも時間が多く必要となる。
3	電力会社(受電、契約)	14～30日	3～7日	道路灯の新設は、変圧器容量の検討、配電線の引き込み設計などが必要である。既設の道路灯を利用・交換については必要な電力契約量の内容変更で完了する場合もある。
3	自治体調整(土地・物件所有者との折衝)	14～30日	14～30日	申請時期、審査の厳格性、議決要否により、自治体で必要な日数に変動がある。「議決書の添付」が必要な場合は議会日程に要する期間として45日以上の日数を見込む事も考慮したい。
合計	—	約 1.5～3カ月	約 2週間～1.5カ月	上記の各手続きは平行可能でもあるが、道路灯の新設で国・広域自治体などの補助金申請を見込むと、工期として3カ月以上必要となるケースもある。

表 20 工数比較表(現場作業に要する内容)

No.	項目	新設した場合	既設を利用・交換した場合	備考
1	基礎・建柱	1.5日	0日	道路灯の新設は、掘削やコンクリート打設、建柱が必要となる。※左記にはコンクリート流し込み後の養生期間は含めていないので注意
2	幹線工事	0.5日	0.5日	必要となる電柱や地中埋設など現場工事と状況により、左記が長くなることが考えられる。
3	灯体設置	0.5日	0.5日	灯体(灯具)の取付・結線・動作確認の作業工数。この工数は新設・既設利用でも変動なく同一で見積もっている。
合計	—	約 2.5日	約 1日	道路灯の新設、既設利用での区間の差分は、基礎工事の工数が主体である事が分かる。

➤ 要素区分:性質

定量的な項目として、スマート道路灯(新設・既設を活用)に必要なコスト、工数を上述した。

次に、定性的な事項として特性・性質面を、道路灯を新設、既設を活用した際の比較を実施する。項目としては、以下の4点で比較とする。

1. 設置後の維持・管理に必要なコスト
2. 各法規制に対する手続きの難易度
3. 社会受容性の観点
4. 技術拡張性の観点

下図に記したとおり、「1. 設置後の維持管理コスト」、「2. 各法規制に対する手続きの難易度」、「3. 社会受容性の観点」については、既設の道路灯の活用にメリットがあることが分かる。

ただ、「4. 技術拡張性の観点」については、路側機器での路車協調を活用する場所、目的に応じて仕様設計できることから、スマート道路灯を新設する方がよりメリットがあると考えられる。

表 21 道路灯(路車協調の設備) 新設・既設活用時の手段・性質の比較表

メリット・優位性のある箇所			
No.	項目	新設した場合	既設を利用・交換した場合
1	維持・管理の必要コスト	路車協調機能追加+新設設備により管理の維持管理コストが増加する。また、保守契約・点検体制の新規検討が必要となる	路車協調機能の追加により、管理コスト増加する。ただし、道路灯の維持・管理については既存体制を一部活用可能と考える
2	法規制に対する手続き難易度	道路占用・電源引込・構造安全性確認など手続きが複雑、折衝難易度は高くなる	道路占用許可や路車協調機器の設置許可が簡略化される可能性がある
3	社会受容性の観点	設置する路車協調の機器によっては、住民や自治体への景観に関する合意形成に時間がかかる事も考えられる	景観変化が少なく、住民の受容性が高くなると考える
4	技術拡張性の観点	強度・信頼性設計を保証し、通信・センシング機器の最適配置が可能である	既設の道路灯を活用することから、路車協調機器の設置位置や構造に制約・制限が発生する

● インフラ基盤システム：コスト低減策・効果の検討

「インフラ基盤システム」のコスト低減について、車両データ(一部、車両内データ)の収集に加え、東大通に設置した 2 箇所の路車協調機器について、データの収集から活用に至るプロセスを同一のインフラ基盤システムを用いて構築した。このインフラ基盤としてデータパイプラインが重要な役割を担っている。以下にコスト低減策・効果の検討を記す。

■ 初期コスト(開発コスト)の観点

ゼロベースでのシステム開発と比較し、主に以下の要因によって開発工数の大幅な削減が実現できたと考える。

・ データの収集、連携機能の「設定ベース」での実装

映像およびセンシングデータの収集において、独自のコード記述を行わず、パラメータ設定のみで構築を完了した。特にシステム間連携では、既存のコネクタ機能を活用することで、以下の複雑なデータフローをノンプログラミング(または最小限の工数)で実現した。スマート道路灯データの連携として、映像および LiDAR データの収集において、独自のコード記述を行わず、パラメータ設定のみで構築を完了した。特にシステム間連携では、既存のコネクタ機能を活用することで、複雑なデータフローを最小の工数で実現することができ、工数削減(コスト削減)に繋がったと考える。

また、スマート道路灯からの映像データを基に路面の積雪・除雪状況を AI 解析・推論した結果を、自動運転車両に搭載した車載機へ連携した。

■ ランニングコスト(運用コスト)の観点

運用実施する観点からも、以下 3 点において工数低減に寄与できると考える。

- ・ データ一元管理による管理・分析工数の圧縮
データ収集・活用が一元管理されたことで、ストレージ量の最適管理が容易となり、また過去データの抽出・分析にかかる準備工数を最小化した。
- ・ リモートメンテナンスによる現地対応工数の削減
車載器へのセキュアリモート接続機能により、遠隔地からのトラブルシューティングやログ確認を可能とした。これにより、技術者の現地派遣に伴う移動時間・旅費交通費を削減するとともに、障害発生時の初動対応時間を大幅に短縮した。
- ・ 設定変更への即時対応
本事業での実証実験の進捗に伴うデータ収集条件(伝送ビットレート、データ収集の周期等)の変更に対し、開発ベンダーへの改修依頼を行うことなく、運用担当者がリモート設定画面から即座に対応可能な体制を構築した。これにより、仕様変更に伴う追加コストを抑制した。

■ 拡張コスト(将来性)の観点

データ構成の一元管理は、将来の事業拡大における迅速な検討を可能できると考える。遠隔管制の対象である自動運転車両台数の増加、路車協調などの路側センサの増加、対象エリアの拡大、さらには都市 OS データとの連携といった機能拡張や変化が生じた際も、基盤を柔軟かつスムーズに拡張の検討が容易である。また、新たなデータの組み合わせや相互活用を行う際にも、追加コストを最小限に抑える効果が見込めると考える。

●高度 WiGig システム

高度 WiGig システムについては、以下においてコスト削減効果を確認した。

- ・ 本実証では、5 局の WiGig 基地局を道路沿いに設置したが、下表(市場での概算調達価格の例)に示す通り、ローカル 5G 基地局(各道路と交差点に 1 局ずつ計 3 局設置を仮定)と比較して低価格な無線設備及び付帯設備により初期導入コストを低減

表 22 コスト算定表

No.	項目	単価(概算)	総額(概算)
1	WiGig 基地局	<無線アクセス用 WiGi 装置> 70 万円/1 台	<無線アクセス用 WiGi(2 台×5 局)> 700 万円
		<無線中継用 WiGig 装置>	<無線中継用 WiGi(2 台×4 区間)>

		90万円/1台	720万円 合計:1千4百万円 ※他に付帯設備の価格2百万円
2	ローカル5G基地局 (無線装置、コア装置)	2千万~1億円/1式	<3局設置> 6千万~3億円

- ・ 消費電力がWiGigのアンテナ一体型無線装置1台当たり10W以下と非常に低電力であるため、必要量を定額で受電契約することでランニングコストを削減
- ・ 既設の通信柱に共架することで、新規電柱を建柱する場合や、ビル等に設置する場合よりも初期導入コストを低減
- ・ 複数のWiGig基地局をWiGigによる無線中継により束ねて光回線接続することで、光回線接続のポイント数を抑えて初期導入コストおよびランニングコストを低減

(2) 考察

●考察:路車協調システム:コスト低減策・効果

自動運転システムの社会実装を推進するにあたっては、地域特性や必要箇所に合わせた安心安全な路車協調システムの導入も併せて検討する必要がある。その際に大きなコスト負担となる項目は、特に①スマート道路灯などの路車協調機器自体の費用、②路車協調機器の通信基盤となるインフラ費用の2つであると考えられる。

①考察:スマート道路灯などの路車協調機器:

スマート道路灯等の路車協調機器の費用については、支柱等の新設に伴う工事費や部材費がコスト増大の要因となり得る。この点については、既存の道路インフラ(照明柱や標識柱等)を最大限に有効活用し、センサ機器のみを後付けで「増設」する手法を採用することで、土木工事費等の初期投資を大幅に圧縮可能であると判断される。また、機器選定においても、過剰なスペックを回避し、実用上十分な機能を有する安価なセンサ機器を選定するなど、費用対効果を重視した調達戦略が有効な施策である。

②考察:路車協調機器の通信基盤:

路車協調機器の通信基盤費用については、システムの標準化がコスト適正化の鍵となると推察する。複数拠点へ展開する際、拠点ごとに個別最適化するのではなく、基盤システムを同一の構成(アーキテクチャ)で統一運用することで、設計・開発および保守コストの効率化が図れるものと考えられる。また、クラウド等のリソース費用に直結するストレージ容量については、データの無制限な蓄積を避ける必要がある。保存が必要なデータ項目、データ量、および保存期間を厳密に定義・整理して、ストレージ容量の最適化(スリム化)を図ることが、ランニングコストを低減させる上で有効な施策である。

●高度 WiGig システム

自動運転システムを導入するにあたり、自動運転車両が走行する道路において、周りの通信に影響されない安定した通信を確保する必要がある。この条件に合致するものとして、ローカル 5G と WiGig が挙げられる。ローカル 5G は面的にエリアを構築することが可能である一方、初期導入コストが高く、電波利用料などのランニングコストも必要となってくる。対して WiGig は初期導入コストやランニングコストを抑えて直線的なエリアを構築することが可能である。

WiGig は直進性が強い周波数の電波を使用するため、通信したいポイント毎に基地局を設置する必要性が出てくるが、自動運転車両のように走行ルートが決まっているケースにおいては、走行する道路に沿って WiGig 基地局を設置することで線状に通信エリアを構築することができ、面的なエリアカバーを得意とするセルラー方式よりも、WiGig の方がコストを抑えて効率的にエリア化することが可能である。

6.7 レベル 4 社会実装に向けた考察

本実証は、降雪・寒冷地という自動運転にとって厳しい条件下において、レベル 4 社会実装を見据えた技術的成立性および運用成立性を多面的に検証することを目的として実施したものである。特に、本実証では高速大容量通信(APN、高度 WiGig)を活用した路車協調システムを導入し、車両単体では把握が困難な路面状況や周辺環境情報を、MEC および遠隔監視室と連携させる構成を採用した点に特徴がある。

技術的観点では、協調型インフラを通じて取得・生成された 3D マップや路面情報、車両状態データを用いることで、降雪・積雪環境下においても自動運転走行が成立する可能性が確認された。遠隔監視員アンケートにおいては、生成された 3D マップと実環境との間に大きな乖離は感じられず、走行状況を俯瞰的に把握できるとの評価が得られている。このことは、レベル 4 において不可欠となる遠隔からの状況認識や運行管理の基盤として、通信を活用した情報統合が有効であることを示唆している。

一方で、運転手向けアンケートでは、生成されたルート・車線情報と実際の道路状況との間に一定の違和感が残るとの意見が確認された。自由記述では、白線が見えない雪道においてもデータに基づき正確に走行できていた点を評価する声がある一方、雪山やアイスバーン、交差点内の雪といった局所的かつ時間変動の大きい要素により、自動運転の継続が難しい場面や、手動介入が必要となる場面が指摘されている。これは、レベル 4 社会実装に向けて、走行可能・不可能の判断を車線単位で行うだけでなく、交差点内や停留所周辺を含めた立体的・動的な環境理解が求められることを示している。

また、アンケート結果からは、挙動の自然さや次の動きの予測可能性といった、人の感覚に基づく評価項目に課題が残ることが明らかとなった。レベル 4 においては、利用者や周囲交通との協調、遠隔監視員による見守りを前提とするため、自動運転の判断や挙動が運転手や関係者にとって「理解しやすい」「意図が把握しやすい」ものであることが重要となる。本実証の結果は、合理性やルールに基づいた走行であっても、その判断過程や動作の意味が十分に伝わらなければ、人にとって自然な運行として受け止められにくい場合があることを示している。今後は、人が日常的に行っている運転作法や判断の流れを踏まえ、自動運転の挙動や運行判断の意図が直感的に理解できるような制御や情報提示の高度化が求

められる。

本実証で採用した通信基盤を活用した運行支援の構成は、将来的なレベル4自動運転の社会実装において、車両単体に高度な判断機能や環境認識機能を過度に集約するのではなく、インフラ側および遠隔監視側と役割を分担するアーキテクチャが有効であることを示唆している。特に降雪地域では、路面状態や除雪状況が時間帯や気象条件によって大きく変動するため、車両が保有する事前地図やセンサ情報のみで全てを完結させることには限界がある。

本実証では、高速大容量通信を通じて、路側インフラや MEC で生成・更新される環境情報を車両および遠隔監視室と共有する構成を採用したことで、変化の大きい環境下でも運行判断を支援する可能性が確認された。これは、レベル4において想定される遠隔からの見守りや運行管理を前提とした運用形態と親和性が高く、車両側の機能高度化だけに依存しない、持続可能な自動運転システムの方向性を示すものである。

さらに、車両・インフラ・遠隔監視がそれぞれの強みを活かして役割分担することで、システム全体の冗長性や柔軟性を確保できる点も重要である。これは、単一の機能や主体に障害が生じた場合であっても、他の構成要素による補完を可能とし、運行の継続性や安全性を高める観点からも有効である。全国的に進行するバス運転手の減少や高齢化を踏まえれば、このような運行支援型の自動運転は、少人数での運行や役割分担の見直しを可能とし、地域公共交通の持続性確保に資するものと考えられる。

以上を総合すると、本実証は、レベル4社会実装に向けた技術的・運用的な可能性を示すと同時に、降雪地域特有の課題を明確化したものと位置付けられる。今後は、通信を活用した環境情報の精緻化、局所的な雪情報の充実、挙動の分かりやすさや運行判断の納得感を高める改善を進めることで、遠隔監視を前提としたレベル4自動運転の社会実装に着実に近づくものと考えられる。

7. 本実証の総括

7.1 本実証の成果・課題

(1) 本実証の成果

本実証は、降雪・寒冷地域という自動運転にとって極めて厳しい条件下において、協調型インフラおよび先進的な通信技術を活用することで、自動運転バス運行の成立性と運行支援の有効性を多面的に検証した点に大きな意義がある。

路車協調分野においては、道路灯や信号機等の路側設備、LiDAR 等から取得したセンシングデータを活用し、積雪状態や道路環境を把握する仕組みを構築した。これらのデータを基に生成された 3D マップについては、遠隔監視員アンケートにおいて、実際の道路環境や積雪状況と概ね整合しているとの評価が得られており、降雪により白線や路面状況の視認性が低下する環境下においても、走行状況を把握するための有効な情報基盤として機能することが確認された。またリアルタイムセンシングによって車両側が走行可能・走行すべき車線の情報を事前取得することで、自動運転走行における手動介入の削減に寄与することが確認された。

通信分野では、IOWN APN、高度 WiGig、Mobile-QoS といった高速大容量・低遅延通信技術を組み合わせることで、映像、3D マップ、車両状態などの大容量データを安定的に伝送できる環境を構築した。これにより、遠隔監視を前提とした運行管理が実証的に成立し得ることが示され、通信が自動運転を支える基盤技術であることを具体的に確認することができた。

運転手を対象としたアンケートでは、生成されたルート情報や走行可能車線の検出・伝達結果について、4 段階評価の平均がポジティブ寄りとなり、実際の道路状況と大きく乖離していないとの評価が得られた。雪だまり回避や車線変更といった場面においても、概ね自然な挙動として受け止められており、降雪環境下における自動運転挙動の受容性を一定程度確認することができた。

また、遠隔監視員アンケートからは、カメラや LiDAR による道路状況把握、生成された 3D マップの精度といった技術的基盤について肯定的な評価が得られている。これにより、運行中の状況把握や判断材料の共有が可能となり、運転手・遠隔監視員双方の業務を支援する仕組みとして機能することが示唆された。

さらに、通信を中核とした路車協調・遠隔監視の導入により、判断材料の事前把握や遠隔からの支援が可能となり、運用負担を増加させない、あるいは軽減する可能性が示された。これは、運転手不足や高齢化が進む中で、地域交通を持続的に維持していくための現実的な選択肢を示す重要な成果である。

(2) 本実証を通じて明らかとなった課題

一方で、本実証を通じて、技術面・運用面の双方において、レベル 4 社会実装に向けて解決すべき課題が明確となった。

まず、路車協調による積雪検知や道路状況把握については、一定の有効性が確認された一方で、雪山の形状変化や除雪状況のばらつき、アイスバーン化といった時間変動の大きい路面状態への対応が

十分とは言えない場面が確認された。特に、交差点内や停留所周辺など、車両挙動への影響が大きい局所領域については、検知精度や更新頻度のさらなる向上が求められる。

また、生成された 3D マップについても、全体としては実環境と整合しているものの、局所的な積雪量の変化や路肩形状の変化をリアルタイムに反映するには課題が残る。今後は、センシングデータの即時反映や、時間変化を考慮した更新手法の検討が必要である。

通信分野においては、高速大容量通信によるデータ伝送の成立性は確認されたものの、将来的に複数車両・複数路線を同時に遠隔監視する運用を想定した場合、通信品質の冗長化や障害時の切替手順、異常時の優先制御といった点について、より詳細な検討が必要であることが明らかとなった。

運転手アンケートおよび自由記述からは、生成されたルート情報が合理的である一方で、人の運転感覚とは異なる挙動に対する違和感や、次の動きが分かりにくい場面があるとの指摘が見られた。安全性や正確性に加え、運転手が挙動を理解し、納得して見守れることは、社会実装において重要な要素であり、挙動設計や情報提示のさらなる工夫が求められる。

また、雪山やアイスバーン、交差点付近の積雪といった局所的な環境条件では、自動運転の継続が困難となり、手動介入が必要となるケースが確認された。これらの場面では、事前の情報提供や遠隔からの補助判断が重要となるが、そのための運用設計や役割分担については、今後整理が必要である。

遠隔監視環境においては、複数の監視システムを併用することによる情報の分散や、表示方法の分かりにくさが課題として挙げられた。遠隔監視員アンケートでは、情報の一貫性や注意情報・警告表示の視認性について評価にばらつきが見られ、判断のしやすさに影響を与えていることが示された。これは技術的な成立性とは別に、実運用時の負担感やヒューマンエラーのリスクに関わる重要な論点である。

さらに、遠隔監視を前提とした運行管理の高度化に向けては、異常時対応や責任分担、業務フローの整理といった運用面での検討も不可欠である。特に、将来的にレベル 4 運行を見据えた場合、遠隔監視・遠隔管制の役割や介入範囲をどのように設計するかは、今後の社会実装に向けた重要な検討課題である。

以上のように、本実証では多くの成果が得られると同時に、技術・運用の両面において具体的な課題が明確となった。これらの課題は、社会実装に向けた次の段階に進むための重要な検討材料であり、今後の発展的な取り組みにおいて段階的に解決していく必要がある。

7.2 社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

本実証で実施した「雪道走行における安定した自動運転バスの走行のための路車協調データ活用」と同ソリューションを実現するための「通信システム」、そしてそれを「自動運転バスの運行」という形で社会実装することを念頭に、各分野の今後のロードマップ(2025年～2027年)を以下に整理した。

表 23 社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

2025年 (本実証)	ソリューション分野	・ 豪雪・寒冷地域における、路上積雪検知、映像伝送における路車協調システムの有効性・頑健性検証
	通信分野	・ IOWN APN, WiGig を活用した高速大容量、低遅延通信による大容量データの伝送リアルタイム性の検証

		<ul style="list-style-type: none"> Mobile-QoS を活用した遠隔監視映像の安定化、高品質化の検証
	自動運転分野	<ul style="list-style-type: none"> 豪雪・寒冷地域における一部エリアでのレベル 4 を見据えた実証
2026 年	ソリューション分野	<ul style="list-style-type: none"> 実証ルートにとらわれない複数の自動運転システムの一括遠隔監視
	通信分野	<ul style="list-style-type: none"> IOWN APNによる複数路線の遠隔監視による効率化の効果検証 ユーザデータと交通データの NW リソース分割(モバイル電波におけるスライシング等)による安定した自動運転制御・遠隔監視の効果検証
	自動運転分野	<ul style="list-style-type: none"> 積雪路面における手動運転時制御の数値化および自動運転システムへの反映による、積雪路面走行時の自動運転化率向上 分散 DC を活用した AI 機能分散を目指して、異なる路線での重複エリアにおける 3D マップ共用によるシステム運用効率化の効果検証
2027 年	ソリューション分野	<ul style="list-style-type: none"> N(拠点)対 N(エリア)の遠隔監視による、遠隔監視の冗長化
	通信分野	<ul style="list-style-type: none"> IOWN APN のコントローラ機能による複数拠点×複数路線の遠隔監視による通信安定性の効果検証 無線センシング、光ファイバセンシングの交通インフラへの実装の有効性検証
	自動運転分野	<ul style="list-style-type: none"> 降雪時における自動運転化率の向上 輸送量向上を目指して、分散 DC を活用した画像解析、3D マップ作成等の AI 機能分散による自動運転システムのクラウド化の効果検証

本実証で得られた成果および明らかとなった課題を踏まえ、2026 年度以降は、レベル 4 自動運転バスの社会実装に向けて、ソリューション分野、通信分野、自動運転分野の三つの観点から段階的に取り組みを発展させていく必要がある。本節では、実施計画書第 1 章(8)に記載したロードマップを基礎としつつ、本実証で得られた知見を反映した中長期的な方向性を示す。

(1) 2026 年に向けた取り組みの方向性

ソリューション分野:2026 年に向けては、本実証で検証した路車協調システムや遠隔監視の仕組みを、特定の実証ルートに限定することなく、複数ルート・複数車両へと展開していく段階に移行することが求められる。本実証では、生成された 3D マップや路面情報、映像を用いた遠隔からの状況把握が有効であることが確認された一方、情報の統合や優先度付けに改善余地があることも明らかとなった。

これを踏まえ、2026 年には、複数路線の自動運転システムを一括して遠隔監視できる運行支援環境

の整備を進めるとともに、監視者が必要な情報を効率的に把握できるよう、情報表示や運行支援機能の高度化を図る。これにより、少人数での運行管理や、将来的な遠隔管制への発展を見据えた基盤整備を進める。

通信分野：本実証で有効性が確認された IOWN APN や高度 WiGig、Mobile-QoS を活用し、複数拠点・複数路線を同時に遠隔監視する運用形態の効率化効果を検証する。特に、映像やセンサデータといった大容量データを安定的かつ低遅延で伝送できることは、遠隔監視・運行支援の前提条件であり、レベル 4 社会実装に不可欠である。

また、ユーザデータと交通データを分離するネットワークリソース分割(モバイル通信におけるスライシング等)の活用により、通信負荷の変動があっても自動運転制御や遠隔監視に必要な通信品質を確保できるかを検証する。これにより、公共交通として求められる安定性と信頼性を備えた通信基盤の確立を目指す。

自動運転分野：本実証で通信を介した環境情報の活用が有効であることが示されたことから、こうした仕組みを前提とした運行設計を行い、運転手の負担軽減や運行の安定化を図っていく。ただ、除雪に対しては一部対応できたが、積雪路面における走行については課題が多かったため、積雪路面における手動運転時制御の数値化および自動運転システムへの反映による、積雪路面走行時の自動運転化率向上や、分散 DC を活用した AI 機能分散を目指して、異なる路線での重複エリアにおける 3D マップ共用によるシステム運用効率化の効果検証を行い、自動運転導入エリアの拡大を目指す。

(2) 2027 年に向けた取り組みの方向性

ソリューション分野：2027 年に向けては、本実証を通じて、自動運転の社会実装において、車両ごとの個別最適ではなく、運行全体を俯瞰した管理が重要であることが明らかとなった。レベル 4 に必要となる遠隔監視が途切れないようにすることを通信観点だけではなく、N(拠点)対 N(エリア)の遠隔監視による遠隔監視機能の冗長化や、障害発生時にも運行を継続できる体制の整備を進め、レベル 4 運行に求められる安全性・継続性を高める。これは、将来的に運行規模を拡大する際にも不可欠な要素である。

通信分野：IOWN APN のコントローラ機能を活用した複数拠点・複数路線の遠隔監視を行い、その効率化効果を検証する。また、無線センシングや光ファイバセンシングといった新たな技術を交通インフラへ適用し、路面状況や交通状況をより高精度に把握できるかを検証する。

これらの技術を通信基盤と組み合わせることで、車両単体では把握が困難な環境変化をインフラ側で補完し、自動運転や遠隔運行管理をより高度に支援する仕組みの確立を目指す。

自動運転分野：降雪時における自動運転化率の向上、分散 DC を活用した画像解析、3D マップ作成等の AI 機能分散による自動運転システムのクラウド化の効果検証を行い、実装エリアの拡大や運行効率の向上、輸送量の向上を目指してサービス品質の安定化を図る。

これにより、レベル 4 自動運転バスを単なる実証段階から、地域交通を支える実用的な移動手段として定着させることを目指す。

以上のロードマップは、本実証で得られた成果と課題を踏まえ、自動運転バスの社会実装を段階的かつ現実的に進めるための方向性を示すものである。特に、高速大容量通信を中核とした路車協調および遠隔監視・遠隔管制の考え方は、降雪地域におけるレベル 4 自動運転を成立させるうえで重要な基盤と

なる。

　　今後は、技術の高度化と運用設計を一体的に進めることで、運転手や監視者の負担軽減、運行の効率化、交通利便性の向上を実現し、地域公共交通の持続可能性に貢献するレベル 4 自動運転バスの社会実装へと着実につなげていく。

地域社会 DX 推進パッケージ事業(自動運転レベル 4 検証タイプ)

安全な自動運転に資する通信システム等の検証に関する調査研究(実証地域:北海道千歳市)

実績報告書

寒冷・豪雪地帯に対応した自動運転車両制御を目的とした大容量データを伝送する WiGig・光通信技術
などの高度通信技術の検証

2026 年 1 月

NTT ドコモビジネス株式会社・千歳市における自動運転の社会実証機関
