

レベル4自動運転移動サービスの 社会実装促進に向けた 通信システムの信頼性確保等に関する モデル集

第 1 版

令和7年3月31日

目 次

はじめに	6
【レベル4自動運転の課題や解決策を把握する】	7
レベル4自動運転の社会実装に向けた課題と通信システムの役割	8
モデル集の読み手、目的・利用方法、構成	9
レベル4自動運転の導入に活用可能な通信方式	11
・モバイル通信(4G/5G)	
・ローカル5G	
・Wi-Fiなど(IEEE 802.11規格準拠の免許不要の無線規格)	
・低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信	
レベル4自動運転の導入に活用可能な通信技術	16
・キャリアアグリゲーション、マルチSIM	
・Mobile QoS	
・電波吹き込み(電波吹き込み基地局)	
・LCX(漏えい同軸ケーブル)	
レベル4自動運転の導入に活用可能な最適化技術	18
・AV-QoS(Application-specific QoS)	
・通信量の将来予測と映像中重要領域のAIを活用した画質最適化による動的通信量制御	
・MEC(Multi-access Edge Computing)	
レベル4自動運転実現のための解決策	20
【課題解決の具体的事例を把握する】	21

目 次

【レベル4自動運転の導入方法等を把握する】	82
レベル4自動運転導入における通信方式の利用方法	83
レベル4自動運転導入のための手続き等	84
【参考資料】	85
関係機関連絡先	86
用語集	87

目次

【課題解決の具体的事例を把握する】

ユースケース			主な実証内容	ページ数
自動運転システムの通信接続の常時確保	ユースケース① セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証	トンネルにおけるエリア設計・遠隔監視装置への映像伝送	電波吹き込みを用いたトンネル内不感エリア対策	23-24
			携帯通信網圏外におけるエリアにおけるLCX(漏えい同軸ケーブル)を利用した常時接続の確立	25-26
			携帯通信網圏外におけるエリアにおける高信頼性・低遅延の無線バックホール技術を利用した常時接続の確立	27-28
		携帯電話圏外における交通事故等の検知	携帯通信網圏外におけるエリアにおける低軌道(LEO)衛星ブロードバンドを利用した常時接続の確立	29-30
		郊外部におけるネットワーク接続・帯域確保	キャリアアグリゲーションを活用した複数周波数帯の同時利用による通信品質改善	31-32
			キャリアアグリゲーションとマルチSIMを併用した複数事業者回線の並列接続による通信品質改善	33-34
		都市部におけるネットワーク接続・帯域確保	ネットワーク側のパケット優先制御による通信帯域の確保	39-40
			通信帯域の確保に応じた映像レート制御	41-42
		ローカル5Gの利用による安定的な通信量の確保	公道におけるローカル5Gの活用に関する実証	48-49
			WiGigを活用したローカル5Gエリア拡張に関する実証	35-36
大規模交差点等の複雑な交通環境の認知支援	ユースケース② 高度化無線通信、映像AIによる大規模交差点における走行の実現	死角等における歩行者等の検知	ローカル5Gとキャリア網のハンドオーバーに関する実証	37-38
			MECを活用したセキュアなネットワークの構成	43-44
			停車場における通信環境の高度化	45-47
			路側カメラによる歩行者検知支援	51-52
			ローカル5G活用による走行車両の検知	53-55
		歩行者等への注意喚起	ローカル5G活用による走行車両検知情報の広域配信	56-58
			ローカル5Gスマートポールを活用した見通し外の横断歩道における車両認知機能の補助機能の検証	59-60
			AIを活用した路車協調システムの実証	61-62
			路側HMIによる歩行者への車両状態の通知	63-64
			ローカル5Gスマートポールを活用した見通し外の交差点・ロータリーにおける車両認知機能の補助機能の検証	66-67
監視映像の安定化・高品質化	ユースケース④ 軽量映像伝送システムの試設計・実証	映像圧縮技術	通信速度の将来予測に応じた動的映像圧縮制御	69-70
			映像分析によるアラート通知	71-72
			安定した遠隔監視を実現するための、通信状況に応じた映像品質の調整	73-74
運行安全性・信頼性の確保	ユースケース⑤ 鉄道や緊急自動車(救急車)接近時の自動停止実証	緊急自動車(救急車)の走行検知	GNSSを活用したレベル4自動運転バスの緊急自動車(救急車)対応システムの実現	76-77

はじめに

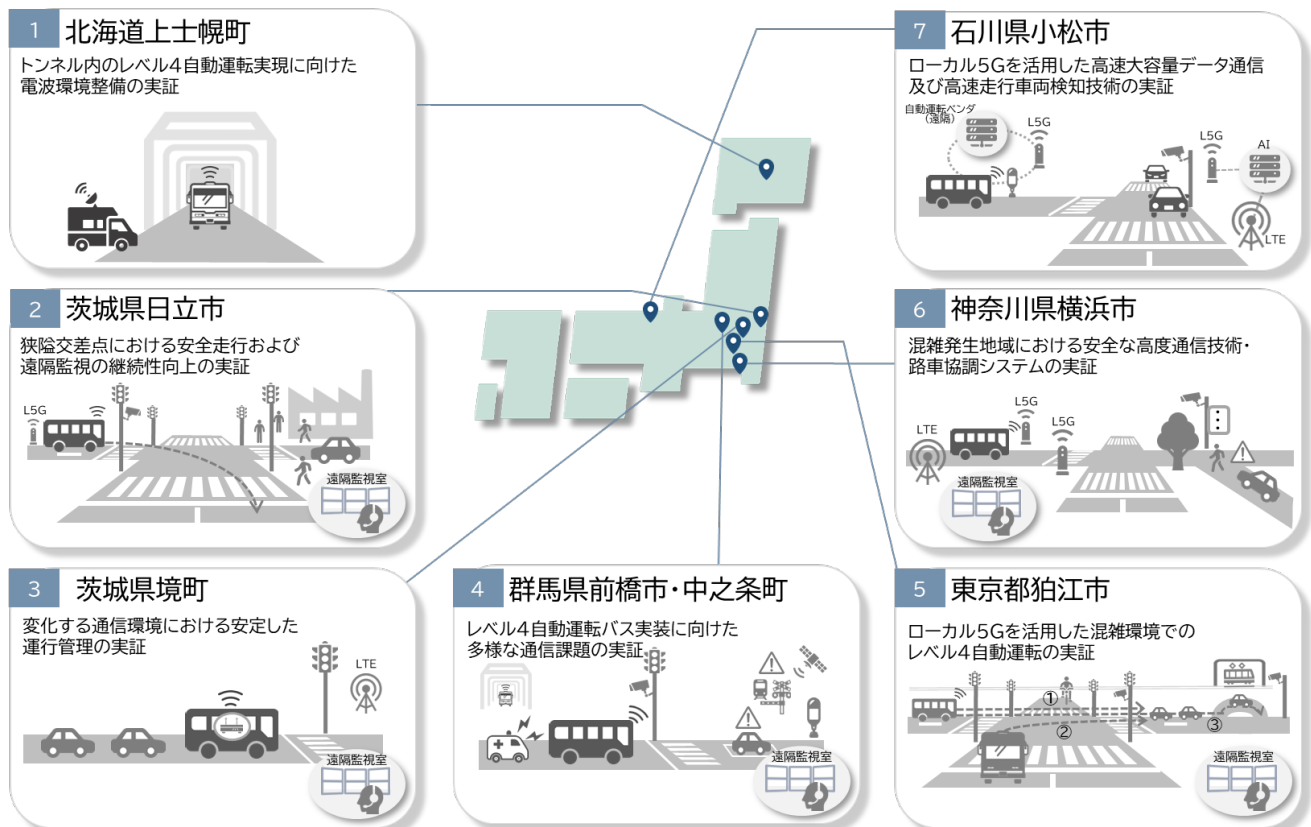
将来にわたって、地域にとって欠かせない公共交通を持続可能なものとするために、自動運転技術への期待が高まっています。政府は、2025年度までに全国50か所、2027年度までに全国100か所で、レベル4自動運転移動サービス※の社会実装を目指しています。

しかし、安全な自動運転を実現するために必要な遠隔監視システムや通信システムの信頼性については、まだ検証が進んでいる段階です。また、他の地域にも展開できるように確立された優れたモデルも、まだ十分に整っていません。

そのため、安全かつ効率的な自動運転を実現するために必要な通信システムの要件を、社会実証を通じて検証し、新たな課題解決のモデルを作り、それを広めていくことが重要です。

こうした考えのもと、総務省は令和5年度補正予算を活用し、「地域デジタル基盤活用推進事業」における新たな施策として、安全かつ効率的な自動運転に資する通信システムの検証を行いました。

総務省地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ) 実証概要



※本稿において、「デジタル田園都市国家構想総合戦略」等を踏まえ、特定自動運行主任者を当該特定自動運行用自動車に乗車させることなく実施する場合があります。

レベル4自動運転の課題や解決策を 把握する

レベル4自動運転の社会実装に向けた課題と通信システムの役割

レベル4自動運転サービスの社会実装において、通信システムは補完的な役割を担います。レベル4自動運転車両はLiDARやカメラなどのセンサを活用し、周囲の環境を認識しながら自律的に走行します。しかし、通信システムは自動運転の安全性や運用効率を向上させるとともに、自動運転車両だけでは対応が困難な状態となり、人による対応が必要な場合において重要な役割を果たします。

レベル4自動運転車による移動サービスを実施するに当たっては、自動運転システムでは対応できない、警察官からの指示への対応や交通事故発生時の措置等が特定自動運行主任者に義務付けられており、当該特定自動運行主任者は遠隔監視装置の映像や音声等により、警察官からの指示への対応や交通事故発生時における消防機関・警察への通報、現場措置業務実施者の派遣などの様々な措置を円滑かつ確実に実施する必要があります。そのため、当該義務を確実に履行できる程度の映像、音声、位置情報を常時かつ即座に受信することができる性能を有している遠隔監視装置の設置(特定自動運行用自動車内に特定自動運行主任者を配置する場合は除く)が必要になります。

自動運転車両に搭載したセンサに加えて、通信を通じた外部支援を行うことにより、より安全かつ円滑な走行が実現できます。例えば、無信号交差点などでは、通信を介した周辺環境情報を提供することで自動運転車両の右折を支援したり、高精度マップと実際の道路状況に乖離が生じる工事現場などでは、遠隔オペレーターが通信を介して、車両の走行に対して新しい経路を提案するといった場面が想定されます。このように、通信システムは緊急対応、遠隔支援(助言等)といった多面的な役割を担い、レベル4自動運転の安全で円滑な社会実装に貢献します。

レベル4自動運転の社会実装に向けた通信システムの役割

通信システムの役割	説明
遠隔監視装置	特定自動運行用自動車の周囲の道路及び交通の状況並びに当該特定自動運行用自動車の状況を映像及び音声により確認することができる装置
安定かつ円滑な周辺環境情報や映像、音声等の伝送	信頼性のある通信を確保することで、安全な走行に必要な情報や事故時の対応等を安定かつ円滑に伝送
経済性確保	信頼性のある通信を確保することで、安定的な自動検知システムにより1:Nによる自動運転サービスを可能とするなど、実際の省人化・省力化につながる工夫を通じて費用対効果を向上

モデル集の読み手、目的・利用方法、構成

■ 対象となる読み手

レベル4自動運転サービスの導入をこれから検討・予定している方、または、既に導入を検討している方で課題を抱えている方

具体的には、以下の方を想定しています

- 地方公共団体
 - ✓ 交通政策担当部局のご担当の方
 - ✓ デジタル推進担当部局のご担当の方
- 地方公営企業
- 運送事業者(バス事業者)
- 自動運転サービス提供事業者
- 通信事業者・通信ベンダ

■ モデル集の目的・利用方法

本モデル集は、総務省令和5年度補正予算「地域デジタル基盤活用推進事業」における新たな施策として、安全な自動運転を支える通信システムの検証結果をわかりやすくまとめるとともに広く周知することで、通信システムの活用によるレベル4自動運転サービスの社会実装を促進することを目的として作成したものです。

既往の通信システムや自動運転システムでは対応が難しいと思われる課題に対し、「技術の導入により解決・実現できること」を中心に、前提条件、計測結果など社会実装の参考となるような情報を簡潔にまとめています。

なお、これらの技術を導入しようとする際には、通信環境、走行環境といった地域に応じた前提条件の違いを考慮した上で、導入技術の組み合わせなどを検討する必要がありますので、十分注意してください。

また、本モデル集の事例はあくまでも技術カタログとしての参考に留めるものとしてください。例えば、法令解釈や許認可が必要な事項については、それぞれ主務官庁等にお問い合わせ・協議頂くことが必要です。技術導入等に伴い必要とされる安全確保のための措置等に係る判断は、必ず責任主体が行うこととしてください。

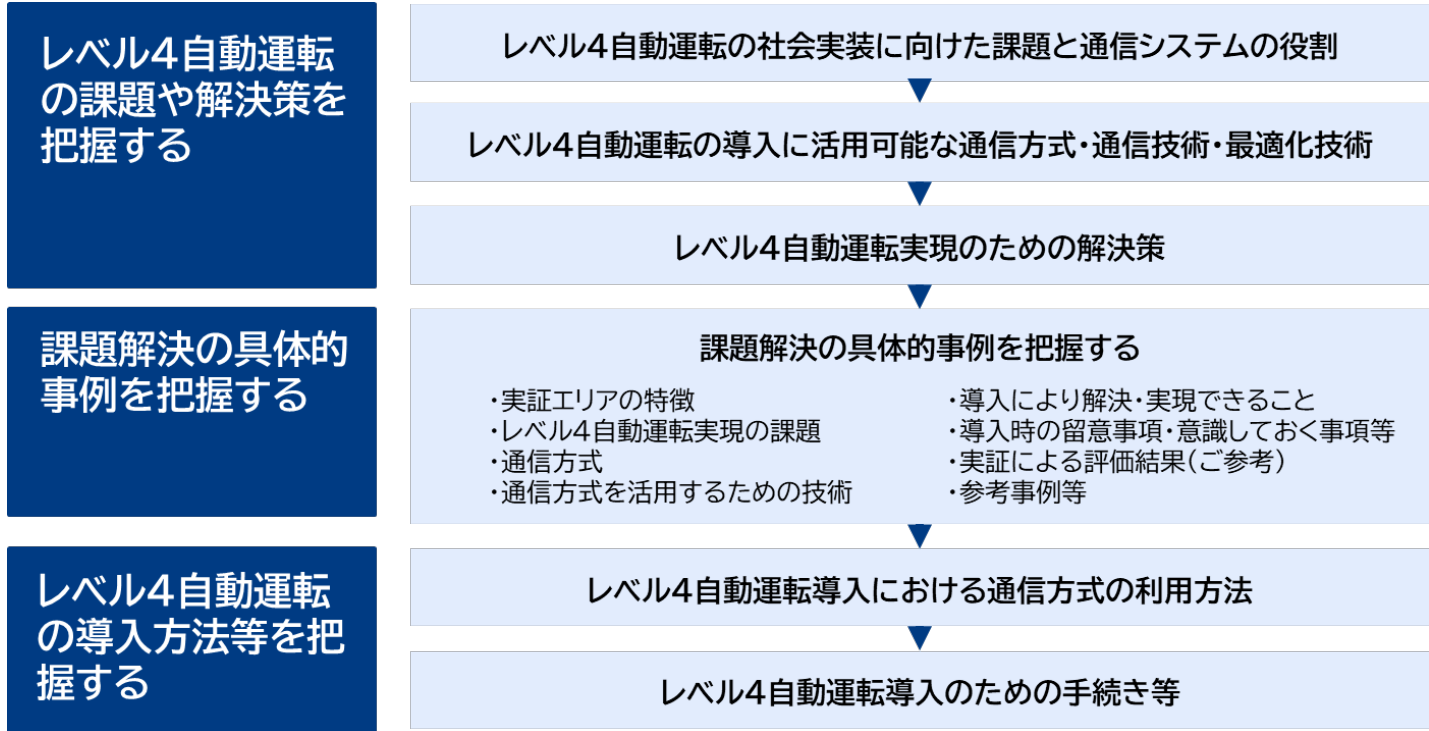
■ モデル集の構成

本モデル集は、「レベル4自動運転の課題や解決策を把握する」、「課題解決策の具体例を把握する」及び「レベル4自動運転の導入方法等を把握する」の3部構成となっています。

「レベル4自動運転の課題や解決策を把握する」のパートでは、既存の通信環境や自動運転システムの課題について説明するとともに、その解決に活用できると思われる通信方式、通信技術及び最適化技術について、簡潔な解説を付けています。

「課題解決策の具体例を把握する」は、令和5年度補正予算による総務省地域デジタル基盤活用推進事業（自動運転レベル4検証タイプ）の実証結果をまとめたものです。「技術の導入により解決・実現できること」を中心に、前提条件、計測結果など社会実装に参考となるような情報を簡潔にまとめています。技術を導入しようとする際には、通信環境、走行環境といった地域に応じた前提条件の違いを十分考慮した上で、導入技術の組み合わせなどを別途検討する必要があります。

「レベル4自動運転の導入方法等を把握する」は、関係省庁等の許認可手続や連絡先といった参考となる情報を付けています。



レベル4自動運転の導入に活用可能な通信方式

本実証にてモバイル通信以外で活用される通信方式として、「モバイル通信」、「ローカル5G」、「Wi-Fi」、「低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信」の概要や特徴を整理する。

■ モバイル通信(4G/5G)

【概要】

- 携帯通信事業者が環境整備・運用する4G(LTE)や5Gの通信ネットワーク。
- 700MHz帯から4.5GHz帯までの携帯電話向けの周波数帯やミリ波帯の28GHz帯を利用。
- 通信事業者との契約で利用できるキャリア回線として、携帯電話・タブレット・IoTデバイス等の幅広い通信端末で利用される。

【特徴】

- ✓ 携帯電話回線を契約することで、通信事業者が全国で環境整備・運用する通信網を活用できる。
- ✓ 導入に係り、通信事業者や通信機器ベンダ等のサポートを受けることができるため、導入の障壁は低い。
- ✓ 一般のユーザ端末と同じ無線通信リソースを分け合って活用するため、イベントで混雑する等、狭いエリアで通信の需要が増大した場合は、端末(携帯電話・自動運転車両等)と基地局の間の無線通信に輻輳が生じ、安定的な通信が困難になる場合がある。
- ✓ 都市部等の人口密集地域や人の居住のある地域を中心に、通信事業者の助力のもと、広く携帯電話通信環境は整備されているが、山間地などの人の居住や立ち入りが少なく、通信の需要が小さい地域では、通信環境が整備されておらず、通信接続が困難または不可能な場合がある。

【実証での活用例】

- 最も一般的かつ汎用的な通信環境として、本実証の多くのユースケースで活用。
- 多くのユースケースにおいて、通信品質のベースラインとして取り扱われた。

■ ローカル5G

【概要】

- 特定のエリア内で利用するために企業や自治体が独自に環境構築・運用する5G通信ネットワーク。
- 4.5GHz帯、4.7GHz帯及びミリ波帯(28GHz)を利用。
- 製造業や農業、医療等の様々な産業分野において、他キャリア通信に影響を受けない高品質な通信環境整備の手段として活用されている。

【特徴】

- ✓ 一般の携帯電話回線とは異なる周波数帯を利用しており、一般ユーザ端末(携帯電話等)からの干渉を受けず、高品質で安定的に通信できる。
- ✓ 用途に応じて低遅延性、大容量性、多数接続性の5G通信の特性を調整しながら確保できる。
- ✓ ネットワークを独自に構築・運用できるため、高いセキュリティ性を確保できる。
- ✓ 複数の通信方式(モバイル通信等)を組み合わせ、通信状況に応じて事前に最適なハンドオーバーを実行することで、途切れのない通信を実現できる。
- ✓ 基地局の設置や運用設備に関する初期投資が発生。
- ✓ 基地局当たりのカバーエリアが狭く、広域展開には複数基地局の設置が必要となる。
- ✓ 利用にあたっては、総務省より免許の取得が必要である。

【実証での活用例】

- 見通し外など複雑な交通環境下における物標情報のリアルタイム映像分析等、大容量性や低遅延性が求められる通信での利用。
- 光ファイバの敷設が困難なエリアにおけるローカル5Gのネットワーク構築において、ローカル5G基地局間の接続(バックホール回線)におけるWiGig(802.11ad/ay)の利用。

■ Wi-Fiなど(IEEE 802.11規格準拠の免許不要の無線規格)

【概要】

- IEEE 802.11規格に基づく無線通信技術で、Wi-Fi (4/5/6/6E/7 ※世代を示す)、Wi-Fi HaLow、WiGigという名称で商用化されている。
- Wi-Fiは、2.4GHz帯、5GHz帯、及び6GHz帯の免許不要帯域を利用し、家庭、オフィス、商業施設、公共エリア等の幅広い場所で、比較的短距離(～数十m)な通信に利用される。※世代と利用周波数帯の詳細は次項にて説明。
- Wi-Fi HaLow(802.11ah規格準拠、920MHz帯で免許不要)は、低消費電力かつ長距離通信(～数km)を可能にする規格で、主にはIoT分野で活用されている。ただし通信速度はWi-Fi 5以降のWi-Fi規格よりも小さく、大容量データの伝送には不向きである。
- WiGig(802.11ad規格準拠)は、免許不要の60GHz帯ミリ波を用い、広い周波数帯を活用して大容量通信を可能にする規格。光ファイバが敷設できない地点で、バックホール回線として活用できる。ただし、直進性の高いミリ波を用いるため、送受信機間に遮へい物があると、通信品質が悪化する。

【特徴】

- ✓ 免許不要帯域を用いる無線通信で、市販のアクセスポイントやルータを設置するだけで通信環境を構築可能であり、導入が容易である。
- ✓ Wi-Fi、Wi-Fi HaLowは、アクセスポイントやルータが比較的安価でありモバイル通信とは異なり通信キャリアとの契約が不要であるため、導入における初期コスト、運用コストが小さい。
- ✓ WiGigは、モバイル通信とは異なり通信キャリアとの契約が不要であるが、運用コストは小さいものの、導入に係る一定の費用を要する。
- ✓ Wi-Fiにおいて、屋外利用可能な周波数帯である2.4GHz帯、5.6GHz帯では、他の電波利用の影響を受け、性能を十分に発揮できない場合がある。
○ 2.4GHz帯：Bluetooth等の他通信にも用いられ、それらと干渉する。
○ 5.6GHz帯：各種レーダー(船舶、航空)による利用が優先され、通信機器がレーダー波を検知したら、通信を停止して、干渉しない周波数を探す。
- ✓ Wi-Fi、WiGigを活用する場合、電波の到達距離が数十mオーダーのため、機器当たりの通信エリアが限定的となり、広域展開が難しい。
- ✓ Wi-Fi HaLowは、電波の到達距離が最大で数kmとなるため、機器当たりの通信エリアが広く、広域展開に活用できる。
- ✓ いずれの規格も、高速で移動する端末間の通信を想定していない。

【本実証での活用例】

- 不感エリアのトンネル部における自動運転車両の遠隔監視用通信として利用。
- 見通し外など複雑な交通環境下における物標情報のリアルタイム映像分析等、大容量性や低遅延性が求められる通信での利用。
- ローカル5G基地局のバックホール回線として利用。

■（参考）2009年以降に公開されたWi-Fiの世代の一覧

2009年以降に公開されたWi-Fiの世代は下表の通り。マルチアンテナ技術やビームフォーミング、周波数リソースを束ねて活用する技術、その他高度な通信技術（変調方式など）により通信速度を増大させている。

2009年以降に公開されたWi-Fi一覧

Wi-Fiの世代 (対応するIEEE規格)	リリース年	最大通信速度 (理論値※1)	周波数帯	特徴的な技術(電波の活用に関する主なもの)
Wi-Fi 4 (802.11n)	2009年	600Mbps	2.4GHz帯 5GHz帯	・マルチアンテナ技術(MIMO技術) ・最大40MHz幅のチャンネルボンディング※3
Wi-Fi 5 (802.11ac)	2013年	6.9Gbps	5GHz帯※2	・マルチアンテナ技術(MIMO技術) ・ビームフォーミング ・最大160MHz幅のチャンネルボンディング
Wi-Fi 6 (802.11ax)	2019年	9.6Gbps	2.4GHz帯 5GHz帯	
Wi-Fi 6E (802.11ax)	2022年	9.6Gbps	2.4GHz帯 5GHz帯 6GHz帯	
Wi-Fi 7 (802.11be)	2024年	46Gbps	2.4GHz帯 5GHz帯 6GHz帯	・マルチアンテナ技術(MIMO技術) ・ビームフォーミング ・最大320MHz幅のチャンネルボンディング

※1: Wi-Fiには、機器が準拠しなければならない必須条件と、準拠が必須ではない最高規定が定められている。本表では、最高規定における最大通信速度の理論値を示している。

※2: Wi-Fi 5に準拠した通信機器が2.4MHz帯で通信する場合、Wi-Fi 4やそれ以前の世代のWi-Fiの従う。

※3: Wi-Fiによる通信では、20MHz帯幅の無線リソースを1つの単位(チャンネル)として利用する。チャンネルボンディングとは、周波数が連続したチャンネルを複数束ねて利用することで、多くの無線リソースを一度に利用して通信する技術。本表では、最高規定におけるチャンネルボンディングの周波数帯幅を示している。

【世代の異なるWi-Fiが混在する通信環境での留意点】

- ✓ 新しい世代のWi-Fiに準拠した機器は後方互換性(過去の規格に対応している)を持つため、古い世代のWi-Fiに準拠した機器との間で通信できるが、古い世代のWi-Fiを用いた通信となるため、通信速度が低下する場合がある。
- ✓ チャンネルボンディングは周波数リソースを一度に多く利用でき、速度が向上するが、利用する周波数帯(チャンネルボンディング後の広い周波数帯域)の一部分に干渉が生じると、通信品質が大きく損なわれる。
- ✓ 新しい世代のWi-Fi(特に、Wi-Fi 5以降)に準拠した機器を導入する場合、機器構成全体でのWi-Fiの世代の対応状況の確認や、チャンネルボンディングの有効な活用のためチャンネル使用状況の確認・調整が必要である。

■ 低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信

【概要】

- 低軌道(LEO)衛星を活用し、携帯電話通信インフラが整備されていない海上・山間部等を含めた広範囲のエリアカバーを実現する無線通信システム。
- 12-18GHzや26.5-40GHz等を利用。
- 携帯電話通信インフラが未整備の海上・山間部等におけるインターネット接続、防災システム等に活用。

【特徴】

- ✓ 基地局等の携帯電話通信インフラの整備が不要であり、既存のモバイル通信に依存しない通信環境整備が可能である。
- ✓ 海上・山間部等の通信インフラ未整備地域を含む広大なエリアをカバーするため、航空機や船舶等がネットワークに接続するために活用できる。
- ✓ 用いる電波が大気の影響(雨、雪等)や障害物(山、建物等)により大きく減衰・遮へいされ、通信品質が大きく悪化することがある。
- ✓ 専用の通信機器が必要であり、モバイル通信と比較すると機器コストが高い。

【実証での活用例】

- モバイル通信圏外の山間部における自動運転車両の遠隔監視用通信として利用。

■ (参考) 各通信方式の比較

項目	LTE(4G)	ローカル5G	Wi-Fi		低軌道(LEO)衛星 ブロードバンド通信
			Wi-Fi 6 (802.11ax)	Wi-Fi HaLow (802.11ah)	
通信速度 (理論値)	最大1Gbps	最大20Gbps	最大9.6Gbps	～数Mbps	数十Mbps～ 数百Mbps
通信距離 (理論値)	数km (基地局間距離による)	数百m ※ミリ波帯は数十m	数十m～数百m	最大1km以上 (条件による)	地球全域 (衛星カバー範囲内)
遅延 (目安)	数十ms	1ms以下	10ms～50ms	数十ms～数百ms	100ms～500ms

レベル4自動運転の導入に活用可能な通信技術

携帯電話回線や本実証で用いた通信方式を利活用するための通信技術として、既存の携帯電話網を用いて広帯域な通信を確保する技術と携帯電話網が整備されていない地域に新たにエリア設計する技術をそれぞれ説明する。

□ 既存の携帯電話網を用いて広帯域を確保する技術

「キャリアアグリゲーション」、「マルチSIM」、「Mobile QoS」の概要や本実証での活用例を説明する。

■ キャリアアグリゲーション、マルチSIM

【概要】

- キャリアアグリゲーションとは、携帯電話通信において、複数のキャリア（周波数帯域）を組み合わせ、帯域幅を拡張し、通信速度を向上させる仕組み。
- マルチSIMとは、複数通信事業者のSIMカードを備えた通信機器を用い、複数事業者の通信回線を同時並行または選択的に利用する仕組み。
- キャリアアグリゲーションとマルチSIMを併用することで、複数通信事業者の回線（異なる周波数帯）を組み合わせ、通信に利用できる。

【本実証での活用例】

- 基地局配置と建物の影響で局所的に通信品質が悪化する地点が生じる地域で本技術を活用し、複数通信事業者の設置位置の異なる基地局にそれぞれ接続することに利用。

■ Mobile QoS

【概要】

- 特定のSIMカードを具備した通信端末に対して、無線リソースを優先的に割当て、通信品質を向上させる仕組み。
- Mobile QoSを実施する携帯電話通信回線の品質が良好であるほど効果を発揮する一方で、通信品質が悪いエリアにおいては、明確な効果が表れない。

【本実証での活用例】

- キャリア基地局のカバーエリアのうち、電波強度が強く、通信品質が良好と期待される地域で本技術を活用し、キャリア通信網の通信リソースを遠隔監視映像の伝送に優先的に利用。

□ 携帯電話網が整備されていない地域に新たにエリア設計する技術

「電波吹き込み基地局」、「LCX(漏えい同軸ケーブル)」の概要や本実証の活用例を説明する。

■ 電波吹き込み(電波吹き込み基地局)

【概要】

- トンネル内部の通信環境整備手法の一つ。
- 通信基地局(主に、携帯電話通信基地局)をトンネル出入口に設置し、トンネル内部に通信用の電波を直接吹き込むことで、トンネル内の通信接続を実現する。

【本実証での活用例】

- 約1kmの直線的なトンネル区間に対して、携帯電話通信基地局による電波吹き込みを行い、トンネル内通信環境整備に利用。
- 約500mの直線的なトンネル区間に対して、Wi-Fi HaLowに準拠したアクセスポイントによる電波吹き込みを行い、トンネル内通信環境整備に利用。

■ LCX(漏えい同軸ケーブル)

【概要】

- オフィス、病院等の電波伝搬の難しい大型の施設やトンネル地下鉄などの外部からの電波が遮へいされる構造物・空間等において、通信環境整備のために活用されるアンテナ技術。
- 一定間隔で隙間または穴を設けた同軸ケーブル(LCX)は、信号電波をケーブル中に伝えつつ隙間・穴から放出することができるアンテナで、ケーブルを配線した付近に通信環境を整備できる。
- LCXを配線させることで、壁等の障害物の影響を受けずに電波の通り道を確保できる。

【本実証での活用例】

- 約300m、直線的なトンネル区間の天井部にLCXを接続したWi-Fiアクセスポイントを設置し、トンネル内通信環境整備に利用。

レベル4自動運転の導入に活用可能な最適化技術

本実証にて通信の情報量削減で活用される技術として、「QoS制御(AV-QoS)」、「通信量の将来予測と映像中重要領域のAIを活用した画質最適化による動的通信量制御」、「MEC」の概要や本実証における活用例を整理する。

■ AV-QoS(Application-specific QoS)

【概要】

- アプリケーション側で、通信状況に応じて通信量を管理・最適化する仕組み。
- スループット等の通信状況をモニタリングし、映像の解像度や圧縮率等を動的に調整することで、映像や音声通信の安定性を確保する。
- 例えば、ビデオ会議アプリケーションでは、ネットワーク帯域が十分な場合には高解像度で安定した映像を提供し、帯域が不足する場合には、解像度やフレームレートを調整することで、音声と映像の同期を保ちながら、スムーズな会話を可能とする。

【本実証での活用例】

- トラヒック渋滞が生じやすいエリアにおいて本技術を活用し、動的に映像の解像度や圧縮率を調整することで、自動運転車両の遠隔監視映像を安定的に遠隔監視拠点に伝送する。

■ 通信量の将来予測と映像中重要領域のAIを活用した画質最適化による動的通信量制御

【概要】

- 過去の通信成否の実績を踏まえた通信量の将来予測と、映像画角中の重要領域をAI認識し、重要領域は高画質を保ちながら、重要ではない領域の画質を最適化(圧縮)することによる通信量削減を組み合わせることで、動的に映像伝送に係る通信量を制御する仕組み。
- 例えば、施設内の監視カメラシステムでは、重要領域(顔や人物等が通る領域)を高解像度で保持し、監視エリアの広い範囲を低解像度に圧縮することで、監視領域が広い場合でも通信量を低減し、施設の通信量を踏まえつつ、帯域を効率的に利用する。

【本実証での活用例】

- トラヒックの混雑が生じやすいエリアにおいて、本技術を活用し、映像伝送に用いることができる帯域を予測しながら、AIが自動運転車両の遠隔監視映像内の重要領域（前方車両など）を特定する。これにより、監視カメラ映像を動的に圧縮・最適化し、遠隔監視の可用性を維持しつつ、映像の乱れや停止を抑制する。

■ MEC(Multi-access Edge Computing)

【概要】

- データ処理をネットワークのエッジ(端末側)で行い、通信の低遅延化、バックホールトラヒックの削減、処理効率化、セキュリティ向上等を実現するエッジコンピューティング技術。
- ETSI ISG MEC 及び3GPP にて関連仕様が標準化されている。
- 例えば、製造ラインでの機械の動作データをMECでリアルタイムに処理して、故障予測や品質管理を即時に行い、ダウンタイムを減少させる。

【本実証での活用例】

- 路側カメラで取得した映像・センサ情報をMECで物標情報に変換して自動運転車両に提供することで、信号あり交差点での右折時における歩行者等の検知を支援する。

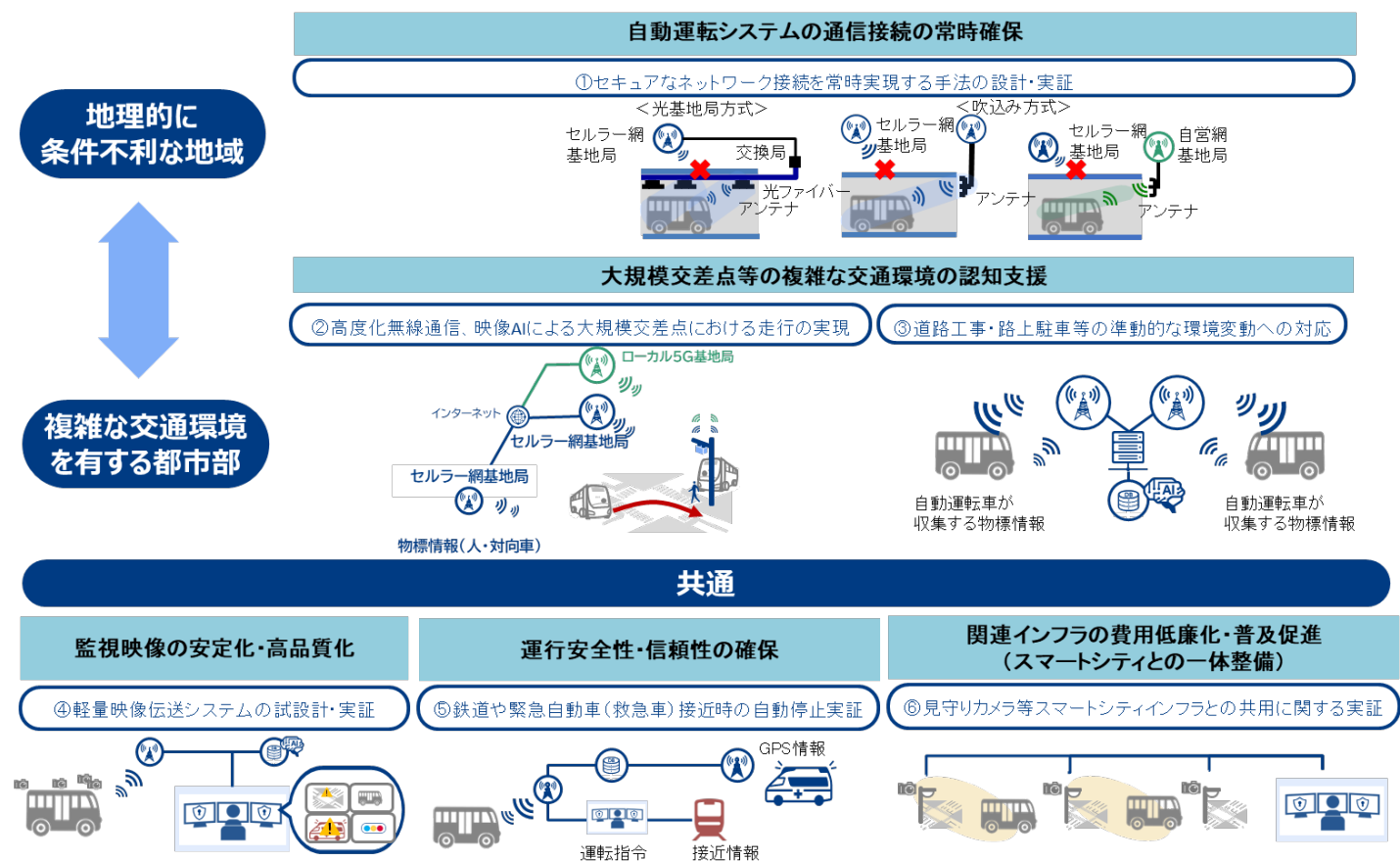
レベル4自動運転実現のための解決策

レベル4自動運転の実現に向けては、下記の技術要素の開発が重要である。

- モバイル通信の圏外エリアで自動運転車両の遠隔監視を継続する技術
- 車両センサの補完として、周辺環境情報を共有する技術
- 都市部等におけるモバイル通信による輻輳等の通信課題を自営網により補完する技術

地理的な特徴を考慮し、上記の技術要素の検証に資するユースケースを6つに類型化して実証を行った。

本実証における6つのユースケース



※ユースケース⑥は、本モデル集に含まない。

課題解決の具体的事例を把握する

ユースケース①

**セキュアなネットワーク接続を
常時実現する手法の設計・実証**

ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

電波吹き込みを用いたトンネル内不感エリア対策(北海道上士幌町)

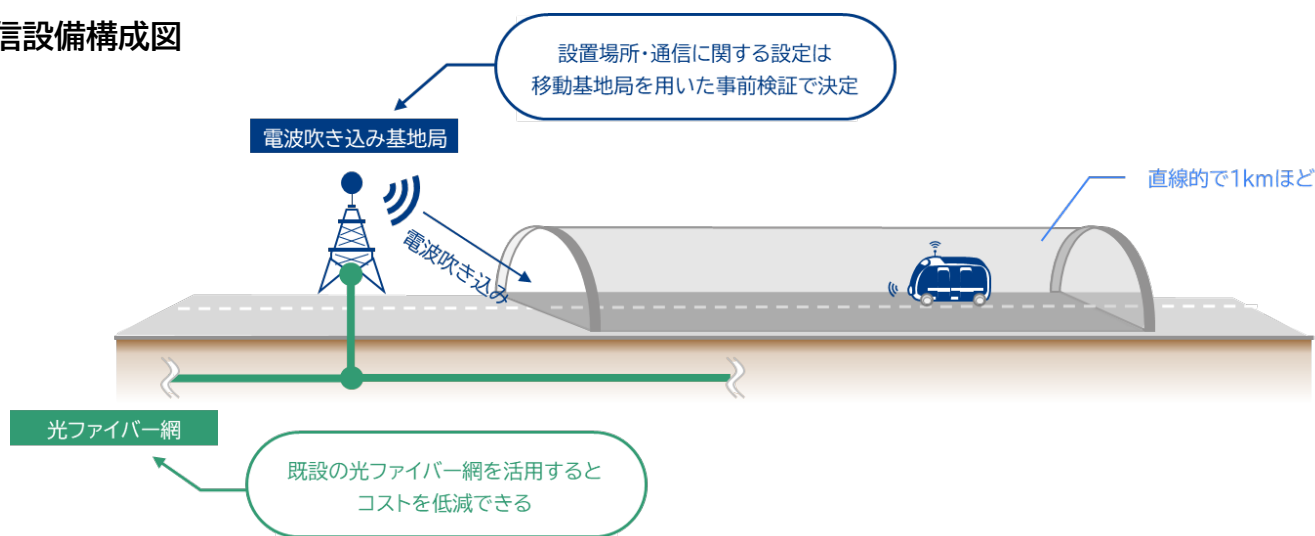
実証エリアの特徴	携帯電話通信の圏外エリアとなっている山間部が広がり、その中に約1kmの直線的なトンネル区間がある。
レベル4自動運転実現の課題	トンネル内部に通信に必要な電波が届かないため、車両への操作指示や自動運転車両からの監視映像の伝送が実施できない。
通信方式	LTE(4G)、衛星通信
通信方式を活用するための技術	トンネル内部電波吹き込み用基地局、移動衛星基地局



導入により解決・実現できること

電波吹き込みによりトンネル区間(約1km、直線的)で安定的な通信接続が可能な通信環境を整備し、自動運転車両外の映像を遠隔監視室に伝送できることを確認した。

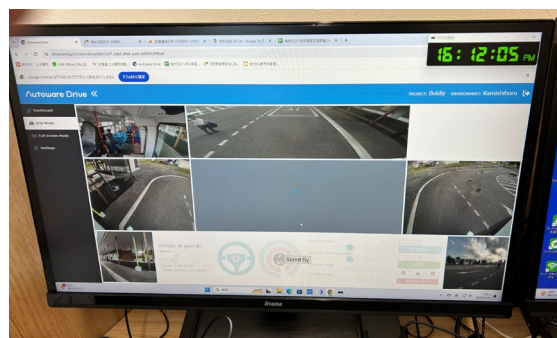
通信設備構成図



事例 トンネル区間に整備した通信環境を用いた遠隔監視

遠隔監視の一例として、7台の監視カメラ(車両前方、後方、側方、車内等を監視)から映像伝送を実施した。トンネル内部を含め、監視カメラ映像を遠隔監視室でリアルタイムで確認できた。

※映像の品質(解像度、遅延等)の詳細は「令和5年度補正予算 地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



自動運転車両 遠隔監視室の監視モニタ



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 1.5kmを超える長大なトンネルや、カーブ等両端で見通しの悪いトンネル、直線ではあるものの傾斜のあるトンネルでは、本手法が効果的ではない場合がある。
- したがって、基地局設置に係る事前の調査が重要であり、移動衛星基地局による検証が有効である。
- また、固定基地局の設置には移動衛星基地局での事前検証も含め10か月～1年ほどの期間を要する。

電波吹き込み基地局設置に要する期間(北海道上士幌町における例)

計画・企画	- 電波調査 ※本実証での、移動衛星基地局を用いた取り組みを含む - 道路局、地方公共団体等との協議 - 無線局設置に係る各種提出書の作成	3か月
許認可取得	- 総合通信局への無線局免許申請書等の提出 - 走行ルートを所管する道路局への道路占有許可を申請 - 自然公園法・その他特別方に基づく許可申請(環境影響評価等)※国立公園内の場合	3～6か月
設計・工事準備	電波塔設計、施工業者選定、資材調達	2～4か月
基地局建設工事	基地局設置工事、通信設備配置工事	3～6か月
試験運用・検査	- 主に電波法に定めるところの法定検査の実施 - 技術基準適合性確認 - アンテナ設置状況確認・周辺電波調査 - 安全性確認(災害対策、環境保全など)	1～2か月

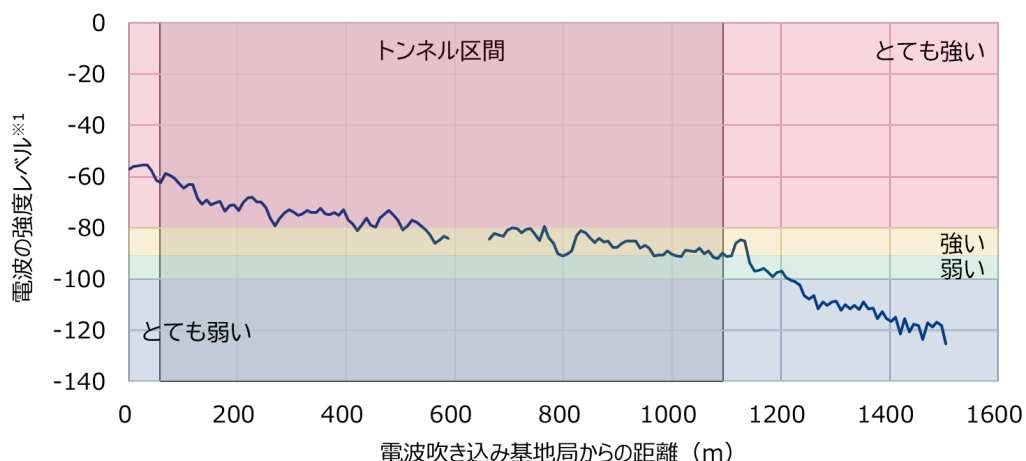


実証による評価結果(ご参考)

● 実証におけるトンネル内の通信環境の評価結果

吹き込んだ電波は、通常の屋外環境と比較しても遜色なくトンネル内を伝搬した。トンネル内の電波の強度レベル※¹は良好な通信速度が期待される「とても強い」「強い」の水準を維持することを確認した※²。

トンネル吹き込み電波の強度の推移



※1：電波強度の指標としてRSRP(基準信号受信電力、単位[dB])を用いた。

※2：RSRPは携帯通信サービスにおける通信速度を含めた通信品質の評価指標。「強い」以上の水準は、映像伝送を含めたデータ伝送に適した通信環境であることを示している。

ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

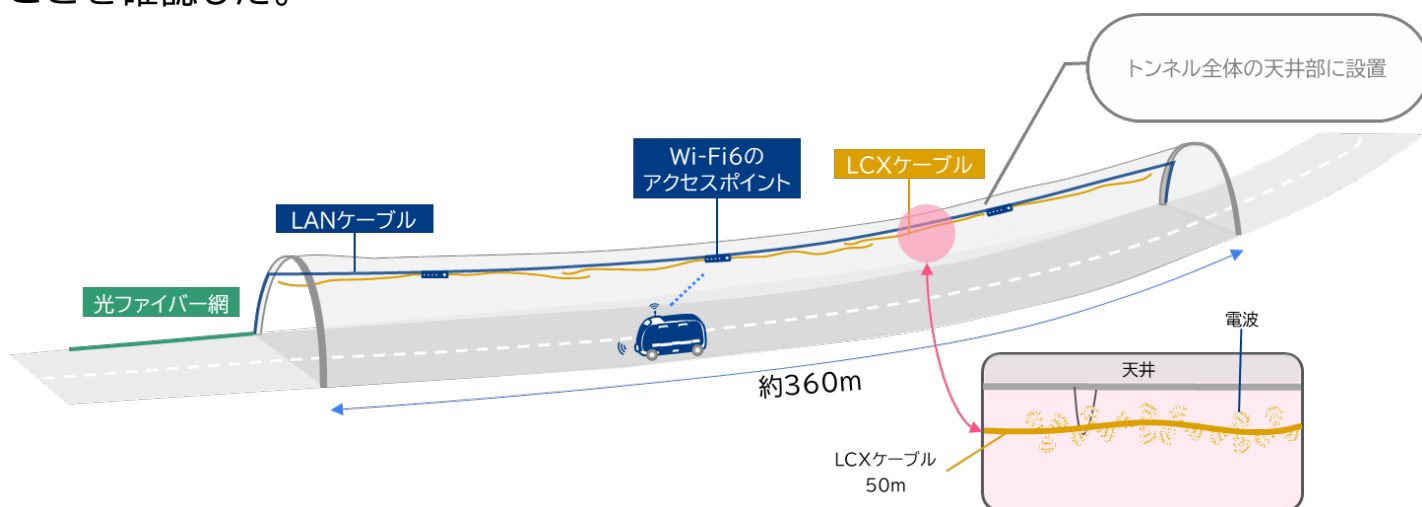
携帯通信網圏外におけるエリアにおけるLCX(漏えい同軸ケーブル)を利用した常時接続の確立(群馬県前橋市・中之条町)

実証エリアの特徴	携帯電話通信の圏外エリアとなっている山間部が広がり、その中に約360mのトンネル区間(ほぼ直線)がある。
レベル4自動運転実現の課題	トンネル内部に通信に必要な電波が届かないため、車両への操作指示や自動運転車両からの監視映像の伝送が実施できない。
通信方式	Wi-Fi 6(IEEE 802.11ax)
通信方式を活用するための技術	LCX(漏えい同軸ケーブル)



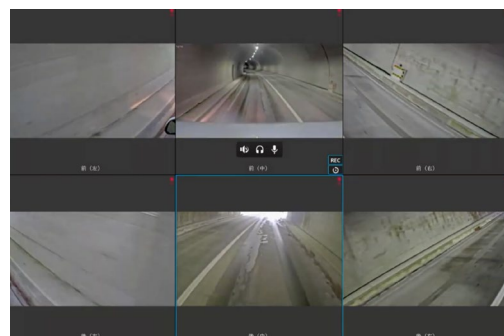
導入により解決・実現できること

携帯電話通信が届かないトンネル区間(ほぼ直線の約360m)にアンテナとしてLCX(漏えい同軸ケーブル)を設置し、Wi-Fi 6の電波を放射して無線通信環境を構築した。これにより、自動運転車両の外部映像を遠隔監視拠点へ伝送可能であることを確認した。



事例 トンネル区間に整備した通信環境を用いた遠隔監視

遠隔監視の一例として、7台の監視カメラ(車両前方、後方、側方、車内等を監視)から映像伝送を実施した。トンネル内部を含め、監視カメラ映像を遠隔監視室でリアルタイムで確認できた。



自動運転車両 遠隔監視室の監視モニタ

※詳細は「令和5年度補正予算 地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- アクセスポイント間の移動時のハンドオーバに伴い、一時的な遅延や通信断が発生する可能性がある。
- トンネル内へのLCXの設置にあたっては、安全に配慮した設置方法をトンネル管理者及び工事施工者と十分に協議する必要がある。またケーブルの設置に物理的に手間がかかるため、トンネルの構造に合わせた精密な設計が必要となる。
- トンネル内は湿気や振動が多い環境であるため、ケーブルの劣化や物理的な損傷に注意が必要であり、定期的なメンテナンスが必要となる。
- 本実証では同時に通信接続を行う車両が1台のみであったが、複数台の車両の場合には、帯域不足や干渉によりスループットが低下する可能性がある。
- 他車両内において、ポケットWi-FiやBluetooth等の機器を利用している場合、干渉が発生する可能性がある。

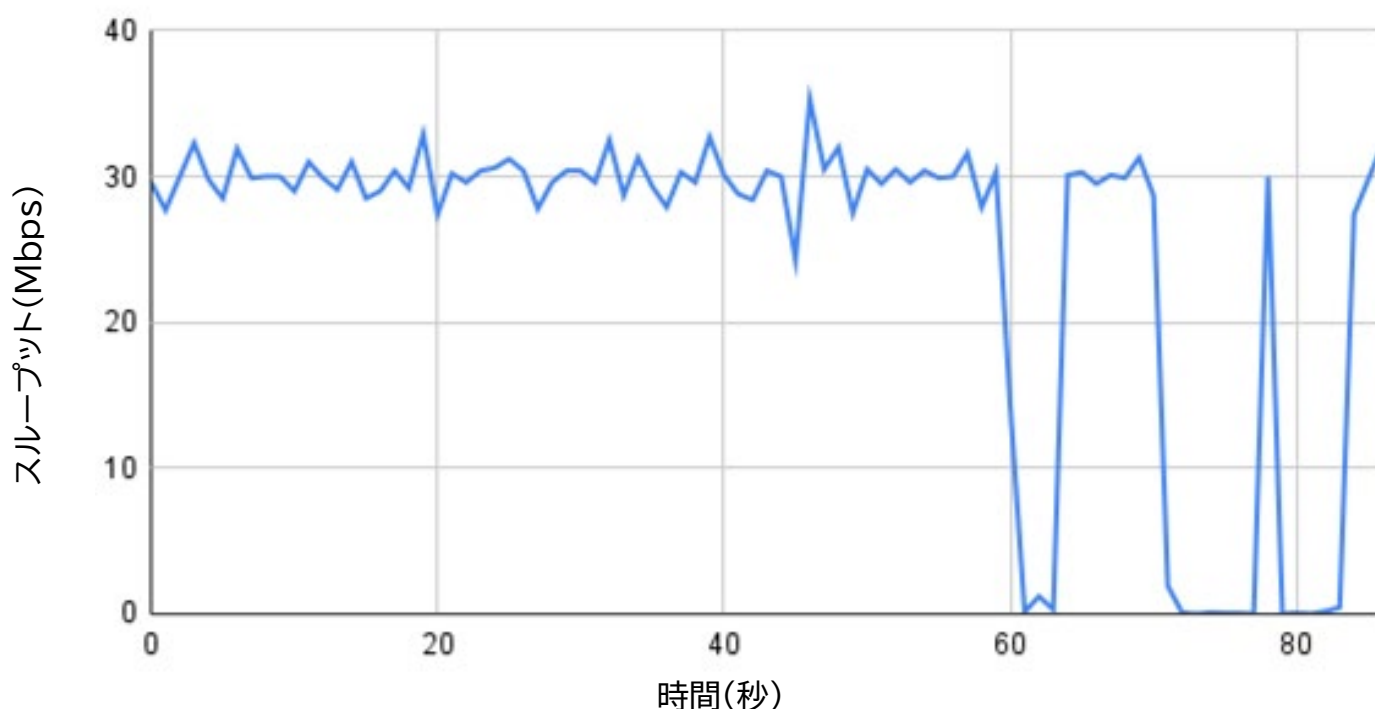


実証による評価結果(ご参考)

● 実証におけるトンネル内の通信環境の評価結果

トンネル内で映像伝送に必要なスループットを確保できることを確認した。ただし、アクセスポイント間の移動時のハンドオーバに伴い、一時的な遅延や通信断が発生する可能性がある。(下図60秒以降の通信断はハンドオーバを示す)

LCX(漏えい同軸ケーブル)によるトンネル内のスループット



※スループットは iperf により計測した

※本実証で用いた契約回線の制約により、最大のスループットは約30Mbpsである

ユースケース①

自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証

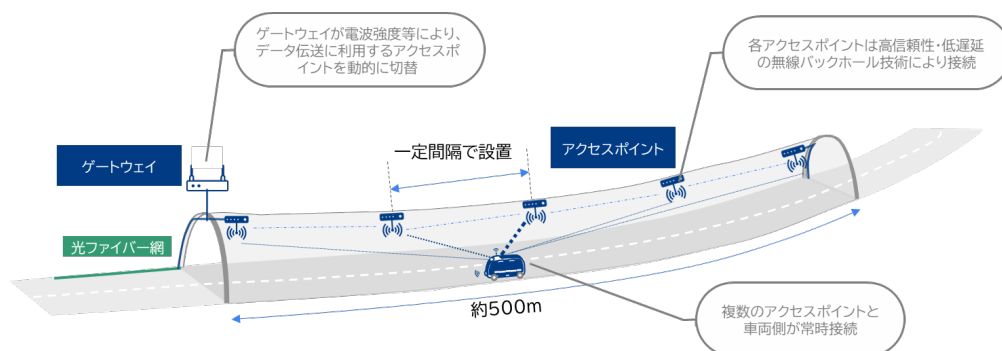
携帯通信網圏外におけるエリアにおける高信頼性・低遅延の無線バックホール技術を利用した常時接続の確立(群馬県前橋市・中之条町)

実証エリアの特徴	携帯電話通信の圏外エリアとなっている山間部が広がり、その中に約500mのトンネル区間(ほぼ直線)がある。 ※前頁とは異なるトンネルである
レベル4自動運転実現の課題	トンネル内部に通信に必要な電波が届かないため、車両への操作指示や自動運転車両からの監視映像の伝送が実施できない。
通信方式	Wi-Fi6 ※通信方式はWi-Fi6に準拠しながら、アクセスポイントの切替制御は独自に拡張(Cisco Ultra-Reliable Wireless Backhaul (CURWB)を利用)
通信方式を活用するための技術	—



導入により解決・実現できること

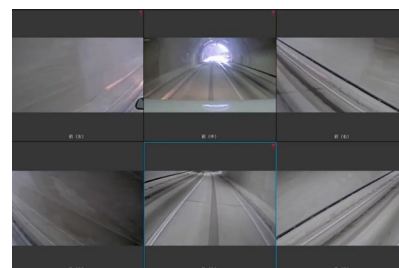
携帯電話通信が届かないトンネル区間(ほぼ直線の約500m)に、Wi-Fi 6に準拠した複数台のアクセスポイントと、車両と各アクセスポイント間の通信状況を比較し、最適なアクセスポイントを選択する機能を有するゲートウェイを設置した。ゲートウェイでは、各アクセスポイントが取得する車両との通信品質の情報(電波強度等)を集約し、車両がデータ転送に用いる有利なアクセスポイントを選択できる。この無線通信環境により、安定して自動運転車両の外部映像を遠隔監視室へリアルタイムで伝送できることを確認した。



事例 トンネル区間に整備した通信環境を用いた遠隔監視

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

※詳細は「令和5年度地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



自動運転車両 遠隔監視室の監視モニタ



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 本実証では同時に通信接続を行う車両が1台のみであったが、複数台の車両の場合における本手法の適用可能性は確認できていない。
- 数kmを超える長大なトンネルや、カーブ等により見通しの悪いトンネルにおける本手法の適用可能性は確認できていない。
- トンネル内におけるアクセスポイント等の機器設置にあたっては、安全に配慮した設置方法をトンネル管理者及び工事施工者と十分に協議する必要がある。
- トンネル内での通信性能を最大化するには、見通しの良い環境を確保するため、トンネルの構造やカーブを考慮しつつ、アクセスポイントを適切に配置し、指向性アンテナの照射範囲を精密に設計する必要がある。
- トンネル内は湿気や振動が多い環境であるため、アクセスポイント等の機器の劣化や物理的な損傷に注意が必要であり、定期的なメンテナンスが必要となる。

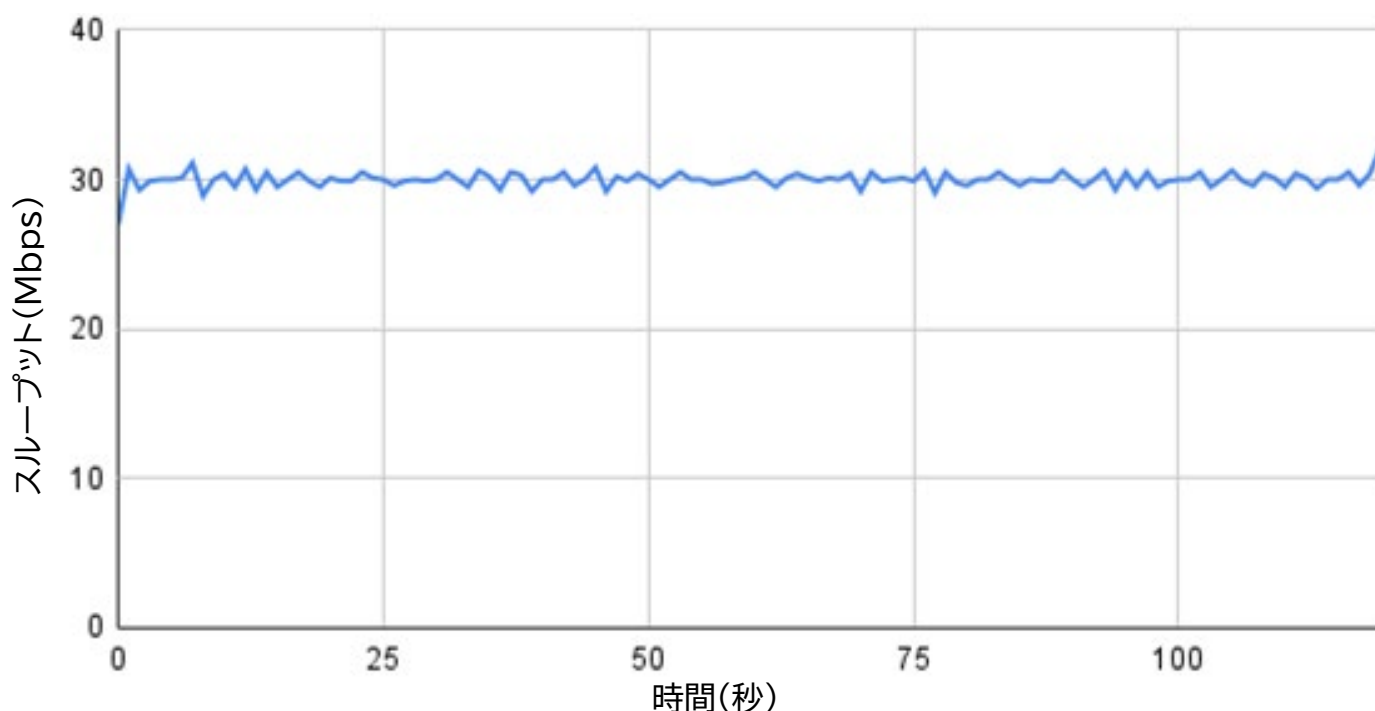


実証による評価結果(ご参考)

● 実証におけるトンネル内の通信環境の評価結果

トンネル内で各アクセスポイント間を高信頼性・低遅延を特徴とする無線バックホール技術で接続することにより、映像伝送に必要なスループットを確保できることを安定的に確保できることを確認した。

高信頼性・低遅延を特徴とする無線バックホール技術によるトンネル内のスループット



※スループットは iperf により計測した

※本実証で用いた契約回線の制約により、最大のスループットは約30Mbpsである

ユースケース①

自動運転システムのセキュアな常時接続を実現する通信システムの実証

携帯通信網圏外におけるエリアにおける低軌道(LEO)衛星
ブロードバンドを利用した常時接続の確立(群馬県前橋市・中之条町)

実証エリアの特徴	山地や湖等の複雑な地形を有し、携帯通信の圏外エリア
レベル4自動運転実現の課題	携帯通信の圏外において、自動運転車両が緊急停止時に車両操作指示や自動運転車両からの監視映像の伝送が実施できない。
通信方式	低軌道(LEO)衛星ブロードバンド ※本実証ではStarlinkを利用
通信方式を活用するための技術	—

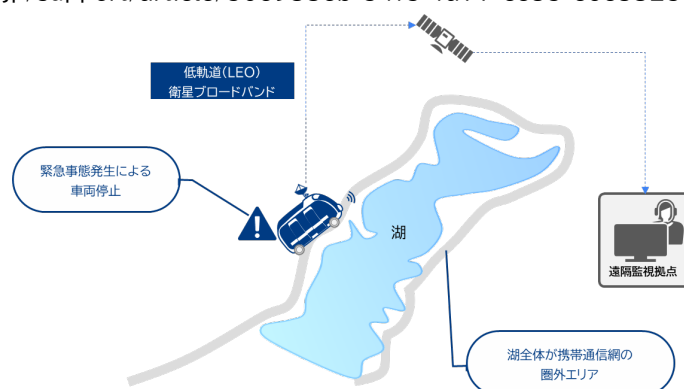


導入により解決・実現できること

携帯通信網の圏外エリアにおいて、車両停止時に低軌道(LEO)衛星ブロードバンドを利用し、自動運転車両の外部映像を遠隔監視室へ伝送できることを確認した。衛星と車両間の接続を安定的に維持できる場合、交通事故が発生した際、直ちに現場の最寄りの消防機関への通報や対応要員を現場に向かわせることが適切にできる程度の、鮮明な映像及び明瞭な音声は常時かつ即時に受信することが、一定程度可能であることを確認した。

※Starlinkにおいて「日本とメキシコのお客様は、現地の規制により、陸地でのStarlinkの移動中の使用は禁止されています。」とされているところ、本実証では車両停車時のみ通信性能を評価した。

出所) <https://www.starlink.com/jp/support/article/50e933eb-54f5-1a77-cc85-c6c8325564cf> (2025年2月25日閲覧)

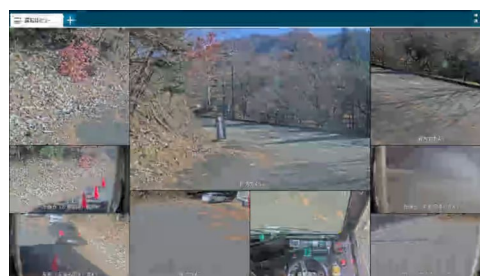


事例

電波不感地域に整備した通信環境を用いた遠隔監視

遠隔監視の一例として、車両が停止時に10台の監視カメラ(車両前方、後方、側方を監視)から映像伝送を実施した。監視カメラ映像を遠隔監視室でリアルタイムに確認できた。

※詳細は「令和5年度補正予算 地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照



自動運転車両 遠隔監視室の監視モニタ



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 本ソリューションは、車両が停止している場合にのみ通信が可能であり、走行中の映像伝送は確認できていない。低軌道(LEO)衛星ブロードバンド技術の進展により、将来的に車両走行中の映像伝送が可能になる可能性がある。
- 自然豊かなエリアにおいては、木々の葉等により衛星とアンテナとの間に遮へいが生じる場合、車両が停止している場合であっても通信ができない場合がある。また雨や雪等の気象条件により、通信が一時的に不安定になる可能性がある。
- 一般的な低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信では、ユーザが利用可能な帯域幅は、プロバイダの契約プランやネットワークの混雑状況に依存し、アップリンクとダウンリンクの速度や安定性に差が生じる場合がある。

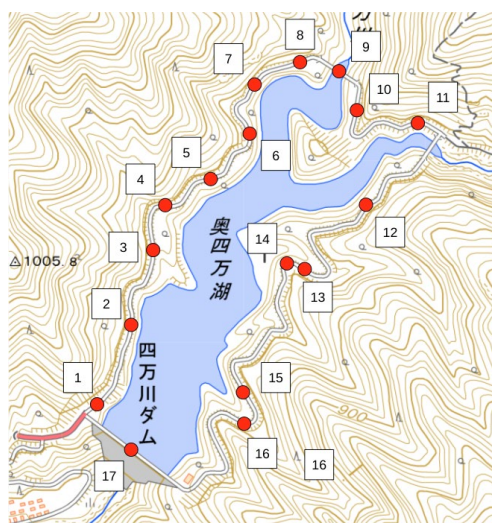


実証による評価結果(ご参考)

● 実証における携帯通信網の圏外エリア(湖周辺)の通信環境評価

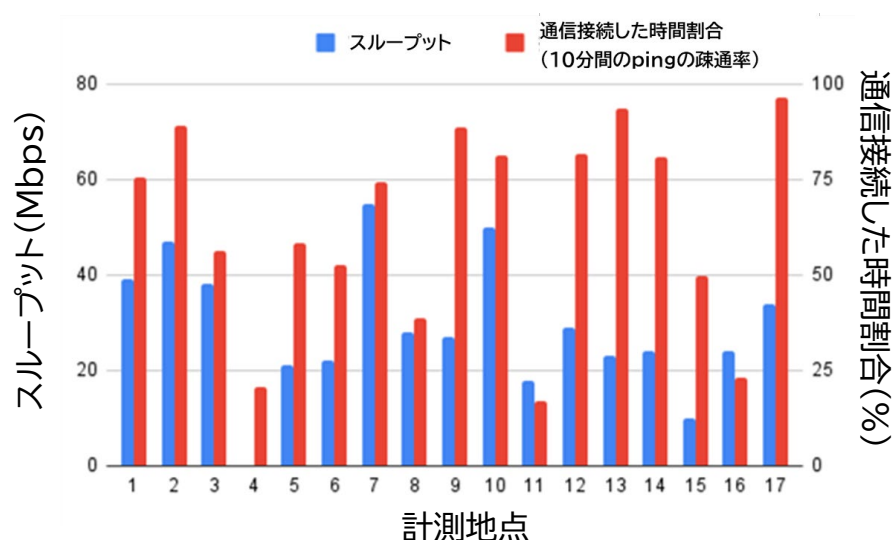
携帯通信網の圏外エリアである湖周辺の17地点において、10分間のアップリンクにおけるスループットと「通信接続した時間割合(10分間のpingの疎通率)」を計測した。「通信接続した時間割合」が大きい場合、映像伝送に必要なスループットを確保できることを確認したが、通信成功率は地点ごとに大きなばらつきが見られた。この要因として、衛星の位置によってアンテナと木々等の間に遮へいが生じることが影響していると考えられる。

湖周辺における計測地点



地理院タイルに測定点を追記して作成

低軌道(LEO)衛星ブロードバンドによる湖周辺のスループット



※「スループット」、「通信接続した時間割合」はすべて同日に計測。

※「スループット」はfast.comにより計測し、「通信接続した時間割合」はpingコマンドにより遠隔監視拠点との接続を一定時間おきに確認し、その結果から評価。

出所)NETFLIX | fast.com、<https://fast.com/ja/>

ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

キャリアアグリゲーションを活用した複数周波数帯の同時利用による通信品質改善(茨城県境町)

実証エリアの特徴	郊外に位置し、少数の高さのあるアンテナや基地局を使用して広い範囲をカバーする通信インフラが整備された環境。
レベル4自動運転実現の課題	電波の周波数帯によっては、地形や建物の影響を大きく受け、局所的に通信品質が悪くなる。ODD上で通信品質が悪くなる地点が生じると、遠隔監視が困難になる。
通信方式	LTE(4G) / 5G
通信方式を活用するための技術	キャリアアグリゲーション



導入により解決・実現できること

キャリアアグリゲーションを用い、特性の異なる電波※を同時並行で利用することで、周辺環境に柔軟に対応し、通信品質を向上できる。特に、基地局数の少ない地域において、1通信事業者が提供する通信環境を最大限利活用することができる。

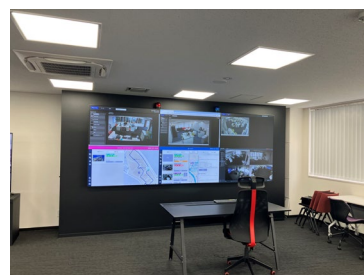
概念図



※実証では900MHz帯(プラチナバンド)と1.8GHz帯の周波数帯の電波をキャリアアグリゲーションにより同時並行で利用した。一般的にプラチナバンドの電波は伝搬特性が良い(遠くまで飛ぶ)といわれる。また、1.8GHz帯は広い周波数帯幅を利用できるため、通信速度が大きいとされる。

事例 キャリアアグリゲーションにより通信品質を改善

キャリアアグリゲーションを活用して自動運転車両の遠隔監視を実施した。複数の周波数帯の通信回線を組み合わせて利用することで、市街地でHD画質相当の通信速度(4Mbps)を安定的に維持できるエリアを広げることができた。



自動運転車両 遠隔監視室の監視モニタ

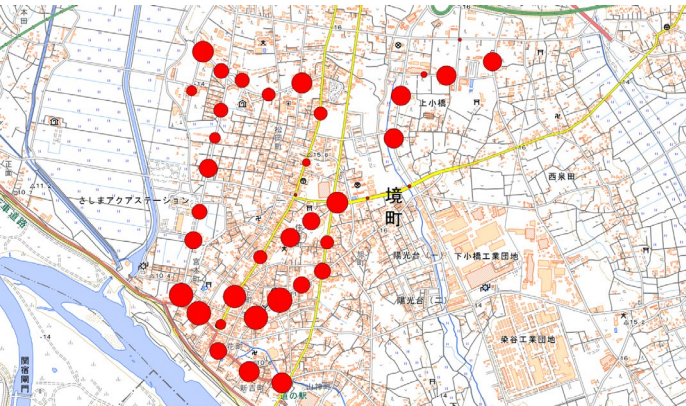
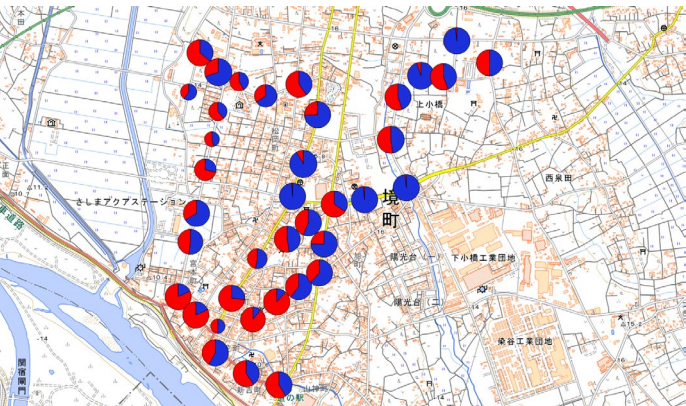
💡 導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 基地局が用いる電波の周波数帯は、基地局設備の能力や通信事業者の運用判断に依存するため、伝搬特性の優れた電波と、通信速度が優れた電波が同時に利用できず、異なる周波数帯の同時並行利用が効果的に働かない場合がある。
- キャリアアグリゲーションのために、複数口の回線契約が必要になるため、通信費が大きくなる可能性がある。自動運転車両の運行頻度など実際の通信の利用状況に応じて通信料金プランを検討する必要がある。

💡 実証による評価結果(ご参考)

● 実証における境町市街の通信品質の評価結果

キャリアアグリゲーションを用い、ODD上で異なる通信品質を持つ複数の周波数帯の電波を組み合わせ活用できた。1つの周波数帯の利用・接続では、最適な周波数の切り替え(基地局切り替えを伴う)ができず、通信速度が1Mbpsを下回り監視映像の伝送が困難となる地点においても、複数周波数帯の通信回線の組み合わせ利用が補完的に働き、当該地点の一部で上り通信速度がHD画質30fps相当の4Mbpsを超えることを確認した。



900MHz帯の通信回線の通信品質

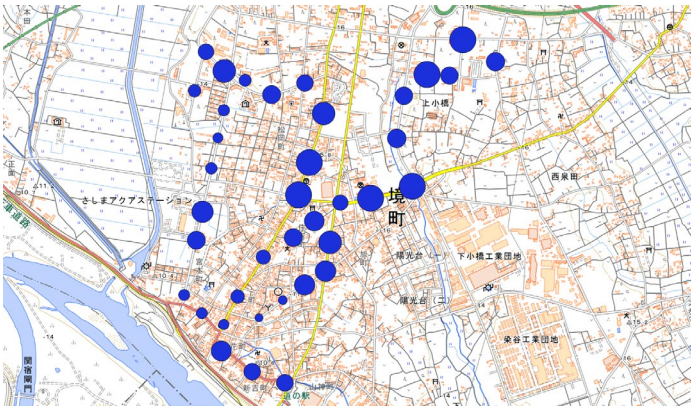
キャリアアグリゲーションによる通信品質の改善

キャリアアグリゲーションを用い、複数の周波数帯の通信回線が組み合わせることにより、単一の周波数帯で通信品質が悪く映像伝送が困難な地点の一部で、通信品質を改善した。

出所) 地理院タイルに測定データを追記して作成

キャリアアグリゲーションを用い900MHz帯と1.8GHz帯の通信回線を組み合わせて利用した場合のODD上の通信速度

凡例
 円のサイズ:通信速度
 赤:900MHz帯
 青:1.8GHz帯



1.8GHz帯の通信回線の通信品質

ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

キャリアアグリゲーションとマルチSIMを併用した複数事業者回線の並列接続による通信品質改善(茨城県境町)

実証エリアの特徴	郊外に位置し、少数の高さのあるアンテナや基地局を使用して広い範囲をカバーする通信インフラが整備された環境。
レベル4自動運転実現の課題	地形や建物の影響により、局所的に特定の場所で通信品質が悪くなる。ODD上で通信品質が悪くなる地点が生じると、遠隔監視が困難になる。
通信方式	LTE(4G) / 5G
通信方式を活用するための技術	キャリアアグリゲーション、マルチSIM



導入により解決・実現できること

キャリアアグリゲーションにマルチSIMを併用することで、複数の通信事業者の通信リソースを合わせて利用する。異なる位置の基地局に同時に接続することで、建物の影響で生じる通信環境の悪化を低減できる※。

概念図

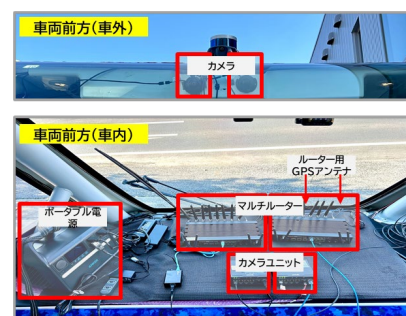


※日本では、通信事業者が独自に基地局を設置・運用する通信環境整備が一般的である。そのため、異なる通信事業者の回線を併用することで、異なる位置の基地局に接続することになる。これにより、建物によって基地局との見通しが妨げられる地点で生じる通信品質の悪化の影響を他基地局との接続により低減できる。

事例 キャリアアグリゲーション・マルチSIMを併用して通信品質を改善

キャリアアグリゲーション・マルチSIMを併用して、自動運転車両の遠隔監視を実施。既存の通信環境ながらHD画質程度の高画質映像を遠隔監視室で確認できた。

キャリアアグリゲーション・マルチSIM併用のための機器構成



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- マルチSIMで複数事業者の回線を同時並行で利用すると、通信費が大きくなる可能性がある。自動運転車両の運行頻度など実際の通信の利用状況に応じて通信料金プランを検討する必要がある。
- また、既存の通信環境に合わせて、マルチSIM等の複数の通信設定を適切に調整することが求められる。
- そのためには、通信についての専門的な知識が必要になるが、「令和5年度補正予算 地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参考にすることができる。

「自動運転サービス提供事業者が独自に導入可能な通信環境の改善手法(仮)」※一部抜粋

9. 付録：自動運転サービス提供事業者が独自に導入可能な通信環境の改善手法

茨城県猿島郡境町における実証の取組から、既存の通信環境に対応しながら、自動運転サービス事業者が独自に通信品質を改善する手法を整理する。なお、本手法は特定の機器を用いた1事例であることに留意すること。

9.1 通信品質改善のための通信技術・設定

既存 NW 機器で無線最適化を図るための実装プロセスとして、以下の①～⑤を考えた。

① 自動運転車に搭載する通信機器の選定

自動運転車両に既に通信モジュールが搭載済、車両購入者で準備する等、通信機器(通信モジュール)は使用する車両側の条件に左右される可能性があるため、車両側の仕様条件に加え、経済性、機器性能・品質およびメーカーサポート体制も考慮した上で選定する。



図 9-1 マルチ回線ルーター MAX-HD4-MBX-LTE

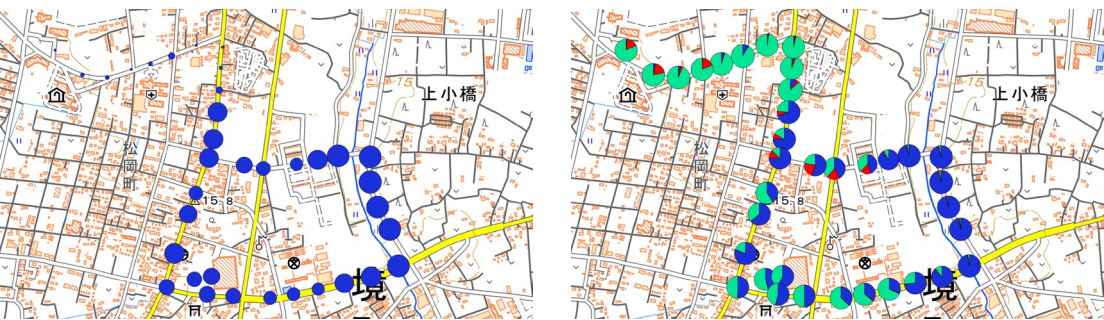
(2) カメラユニット (AXIS)

製品型番	AXIS F44 Dual Audio Input Main Unit
製造会社	Axis Communication
ビデオ圧縮	H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC), Baseline, Main, High Profile/Motion JPEG
解像度	1920 × 1080 (1080p) ~ 480 × 270 1280 × 720 ~ 480 × 270

実証による評価結果(ご参考)

● 実証における境町市街の通信品質の評価結果

マルチSIM、キャリアアグリゲーションを併用することで、境町市街のODD上に点在する通信が困難になる地点※¹を解消できた。また、この通信環境では、上りの通信速度は4Mbps以上※²を維持できることを確認した。



※円のサイズは通信速度を示し、通信事業者別に色を分けている。

境町市街のODD上の通信速度(左:既存の通信環境、右:各種設定を併用した状態)

地図上にある青・赤・緑の棒グラフは、3つの通信会社それぞれの通信速度を表している。既存の通信環境では、一部の場所で通信速度が遅くなることが確認された。3つの事業者の通信回線を併用することで、この現象を解決できることがわかった。また、場所によって、通信速度が大きくなる事業者が異なることから、複数通信事業者の回線を併用することが有効だといえる。

出所)地理院タイルに測定データを追記して作成

※1:1つの通信キャリアの回線のみを用いた場合に、局所的に通信品質が低下する地点を指す。

※2:HD画質、30fpsの監視カメラ映像伝送できる通信速度に相当する。また、実証で用いた自動運転運行プラットフォーム「Dispatcher」の動作推奨通信速度は3.5Mbpsである。

ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

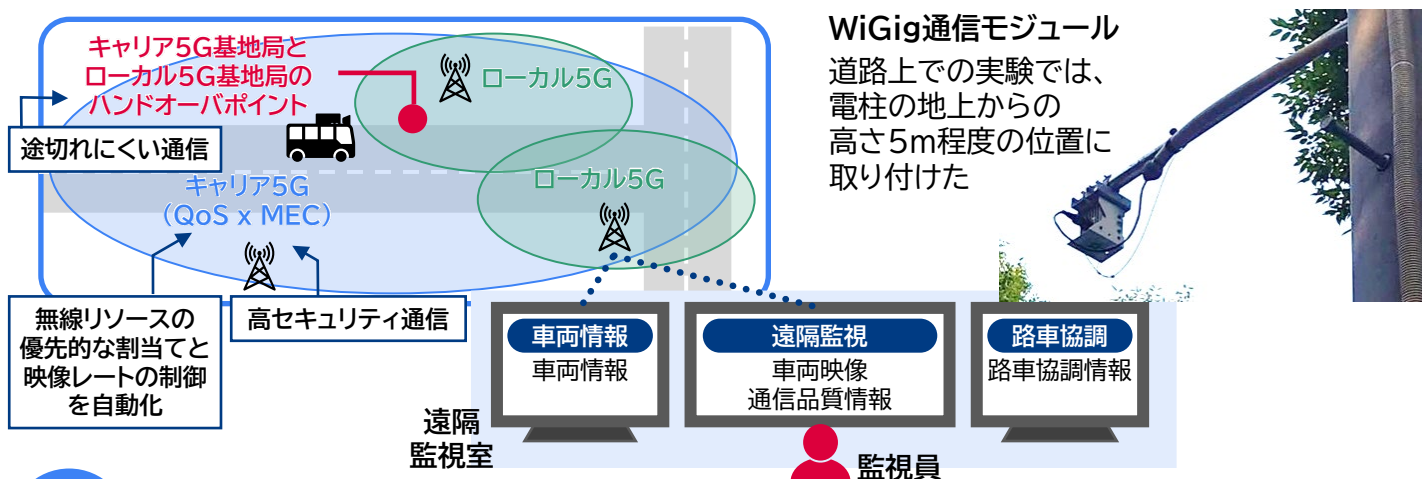
WiGigを活用したローカル5Gエリア拡張に関する実証(神奈川県横浜市)

実証エリアの特徴	アミューズメント施設(動物園)入口付近の混雑した環境
レベル4自動運転実現の課題	キャリア網のみで通信帯域の確保と、通信状況に左右されない最低限度の映像品質が難しい場合、ローカル5Gの活用が有効。一方で、光回線の敷設によるローカル5Gエリアの構築が難しい地域において、無線通信を活用した基地局設置が必要。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、WiGig(ローカル5G基地局間の接続に使用)、キャリア網(5G/LTE)の優先制御
通信方式を活用するための技術	路側システム(外部アンテナ・基地局)、車載端末(ローカル5G対応端末)、WiGig通信モジュール、優先制御対応SIM



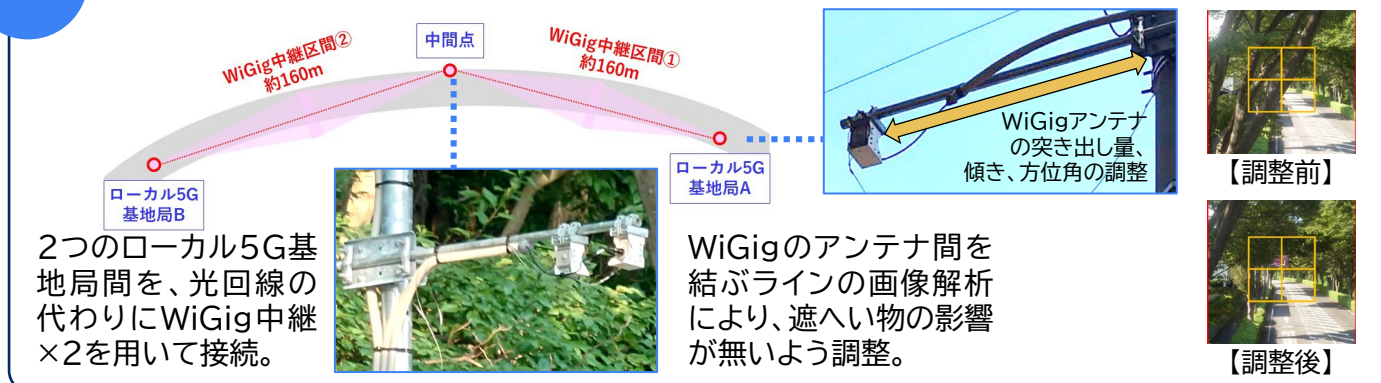
導入により解決・実現できること

自動運転バス路線へのローカル5Gエリア展開のために基地局を新規に設置する際、コア装置との接続、基地局間の接続に光回線を用いるのが一般的だが、光回線が利用できない、もしくは、利用が困難なエリアでは、WiGig中継(1中継当たり概ね200~500m)を光回線の代わりに用いることで、ローカル5Gエリアの拡張を実現し、基地局設置場所の柔軟性を増すことが可能である。



事例

よこはま動物園ズーラシアにでの事例





導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 自動運転バス走行ルートにおいてWiGig中継を導入する場合は、WiGig電波の見通しライン上の障害物により電波を遮ることがないように設計・設置する必要がある。走行ルートを通る可能性のある最大車両(大型観光バス等)、道路上の案内板、街路樹(天候や季節による変動も考慮)などについての事前調査が重要である。
- 本実証では、WiGig通信モジュールの設置直後及び試用期間において、一部中継区間の通信速度低下が確認され、調査の結果、WiGig電波の見通しライン上で街路樹の枝葉の影響が残存していることが判明し、通信モジュールの道路上突き出し量の調整を実施した。



WiGigの活用が有効な場所の例

- 市街地における活用
 - 再開発などにより比較的最近整備が行われた市街地もしくはその中心部においては、光ファイバの敷設が地中化され、基地局の設置場所によっては、分岐接続が容易ではないケースが想定される。また、新しく建設された高層ビルなどでは、ビル内に立ち上がっている光ファイバを、ビル外に設置されるローカル5G基地局へ接続する際の設置ルートの確保が困難である場合も想定される。
 - このような光ファイバ使用に制限があるケースに対しては、光ファイバの分岐または立ち上げポイントから、基地局までの区間にWiGig中継を導入し、光回線と無線回線の組み合わせによりコア装置間、局間を接続する方式が有効である。
- 市街地における活用
 - 郊外地の中でも、住宅街、商業施設、オフィスビルなどが周囲に近接していないエリア(例:山間部、工場地帯等)を通るバス路線においては、光ファイバの設置が進んでいない区間が存在するケースがある。
 - このような光ファイバの設置が進んでいない地域では、ローカル5Gの基地局を設置する際は、光ファイバ設置箇所からWiGig中継を活用して光回線と無線回線の組み合わせによりコア装置間、局間を接続する方式が有効である。
- 光ファイバが設置できない特殊環境における活用
 - 特殊な例として、空港内で運行している車両(駐機している飛行機へ搭乗客を運ぶ大型バスなど)の走行ルートにおいて、ローカル5Gの基地局を設置する際も、既存の空港施設に対する設置上の制約により、光ファイバの設置が困難なケースがあり、WiGig中継の活用が有効である。



ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

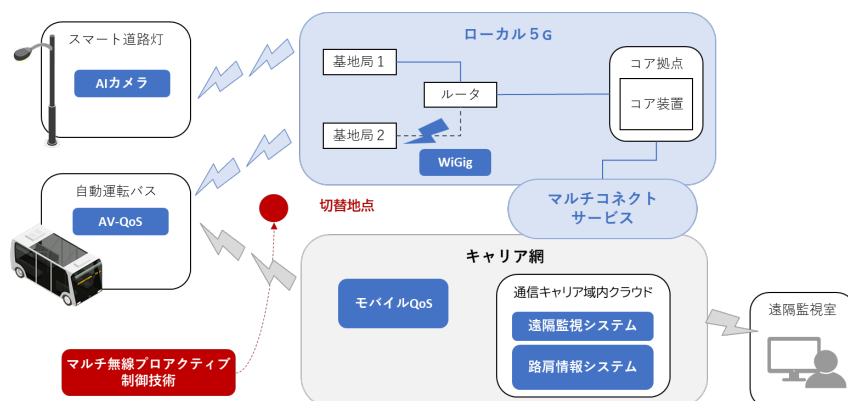
ローカル5Gとキャリア網のハンドオーバに関する実証(神奈川県横浜市)

実証エリアの特徴	アミューズメント施設(動物園)入口付近の混雑した環境
レベル4自動運転実現の課題	自動運転の社会実装を促進するには、自営網だけではなく、キャリア網を併用することが重要となる。しかし、自営網からキャリア網の切り替えは、ハンドオーバポイントが適切ではない場合、一時的にスループットが低下することが課題となる。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、WiGig(ローカル5G基地局間の接続に使用)、キャリア網(5G/LTE)の優先制御
通信方式を活用するための技術	マルチ無線プロアクティブ制御技術、路側システム(外部アンテナ・基地局)、車載端末(ローカル5G対応端末)、WiGig通信モジュール、優先制御対応SIM



導入により解決・実現できること

マルチ無線プロアクティブ制御技術を活用した、車載端末において把握された、運用中の複数ネットワークのスループットデータの測定結果をもとに、自営網とキャリア網のスループットが映像伝送に必要な品質を満たす最適な切り替えポイントを事前に導出し、ハンドオーバが起因となるスループットの低下を回避できた。

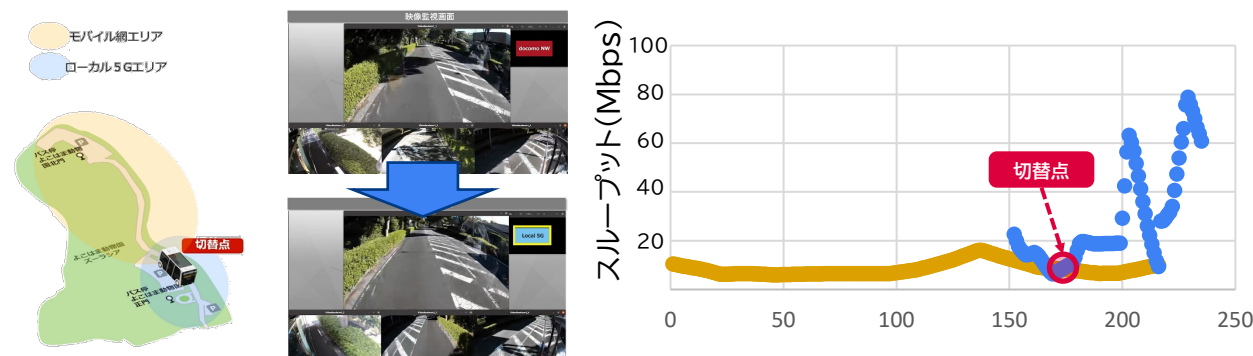


現在の技術では、事前に測定したスループットデータの平均から最適な切替点を導出するため、動的に切替点を決定することは難しい。

したがって、ローカル5Gエリアでは、ローカル5Gとキャリア網の2回線を併用し、ローカル5Gのスループットが高い地点では、ローカル5Gでの接続を活用する形とした。

事例 よこはま動物園ズーラシアでの事例

通信品質の変動に対して、品質劣化未然にローカル5Gとキャリア5Gを切り替えることで、フルHD映像が安定的に伝送できるスループット以下に低下する時間率が5%程度となった。

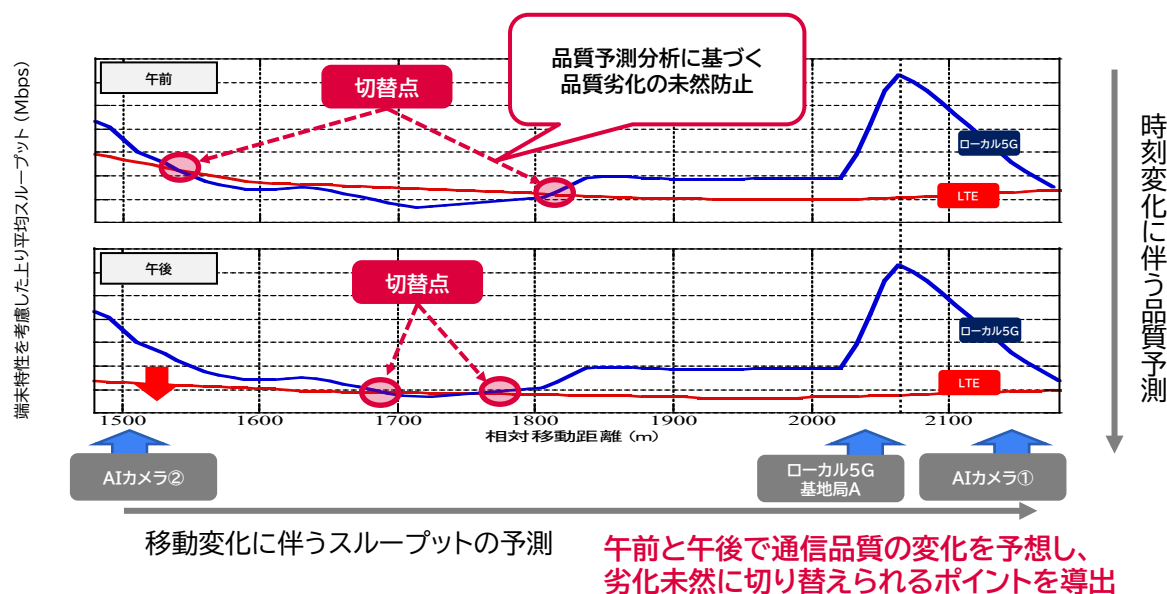




ハンドオーバポイント導出方法の比較

	従来 劣化観測後に切替	今後 劣化未然に切替
方式	複数ネットワークの通信品質の劣化を観測した後に切り替える。	複数ネットワークの通信品質の変化を予測し、劣化未然に切り替える。
スループット	一次的に低下	安定
要件	- 複数ネットワークに接続可能な端末 - ネットワーク切替機能	- 複数ネットワークに接続可能な端末 - ネットワーク切替機能 - 品質予測機能

【活用例】



ハンドオーバに関する注意点・課題

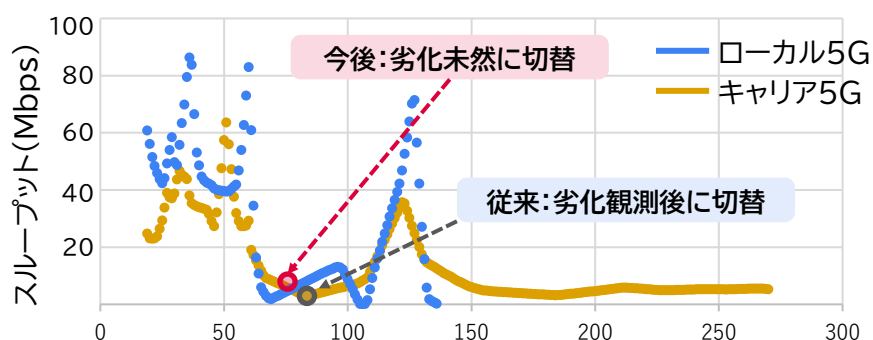
- 本実証では、スループットの品質予測をもとに切替点を設定した。実際の通信環境では、自動運転バス走行ルート上の通信環境や利用者状況の変化によってスループットは変化するため、最適なハンドオーバポイントを定期的に再計算して、その計算結果をシステムへ動的・準動的に更新設定する必要がある。



実証による評価結果(ご参考)

● 評価結果

キャリア網はスループットが利用者状況によって変動する。そこで、午前・午後の利用者状況に応じて平均的な品質を予測することで、品質劣化未然にローカル5Gとキャリア5Gを切り替え、フルHD映像が安定的に伝送できた。



ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

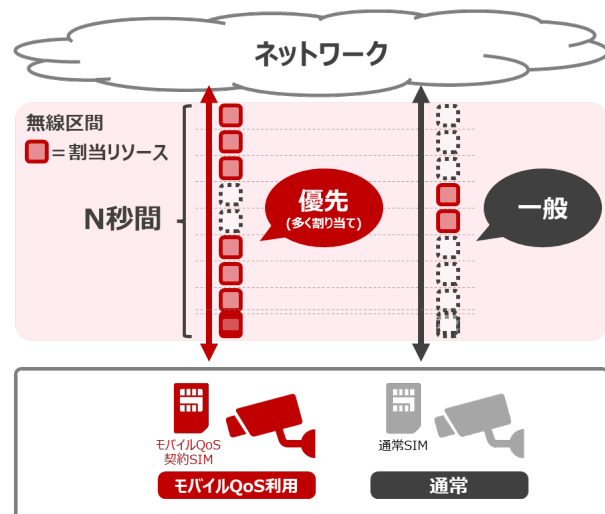
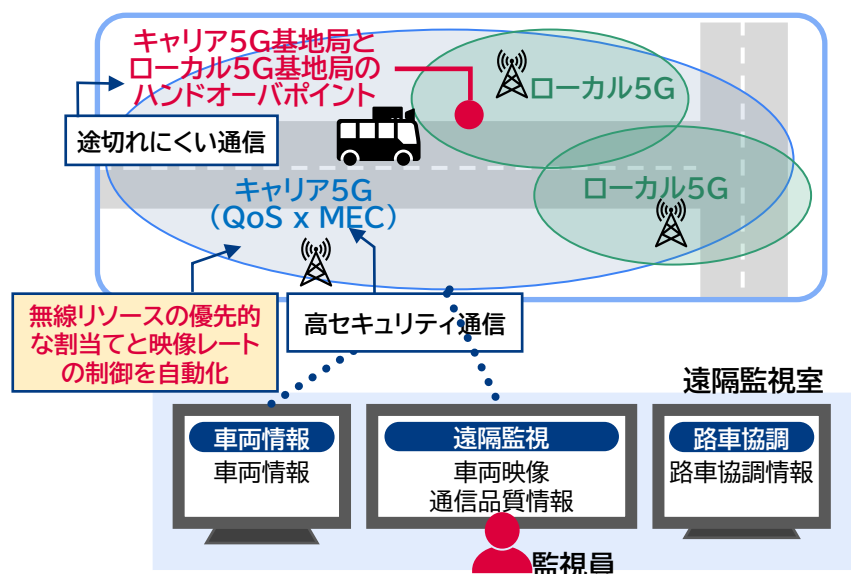
ネットワーク側のパケット優先制御による通信帯域の確保
(神奈川県横浜市)

実証エリアの特徴	アミューズメント施設(動物園)付近の混雑した環境
レベル4自動運転実現の課題	当該エリアはキャリア5Gが活用できないエリアが含まれており、かつ休日を中心に混雑が発生する場所である。自動運転バスの走行エリアを拡張するためには、ローカル5Gの活用に加え、キャリア網による安定した通信帯域の確保が課題となる。
通信方式	キャリア網(5G/LTE)の優先制御
通信方式を活用するための技術	優先制御対応SIM



導入により解決・実現できること

複数エリアを一元的に監視するシステム構築に必要なネットワーク基盤において、キャリア網を利用する場合、優先的に無線リソースを割り当てる「Mobile-QoS(パケット優先制御)」を活用することで、キャリア網の電波強度が確保できる箇所では、通常のSIMと比較して最大5倍の無線通信速度を確保することができ、安定した通信を実現できる。



Mobile-QoSの使用イメージ

通常のSIMよりも優先的にパケットを割り当

事例

よこはま動物園ズーラシアでの事例

該当地域では、休日や大型イベント開催時に多くの来場者が訪問し、トラヒック渋滞が生じるため、映像による遠隔監視が途切れるという課題が予想された。

そこで、ローカル5Gエリア以外では無線帯域の優先制御技術(Mobile-QoS)に対応したSIMを活用することで、通常のSIMと比較して最大5倍の速度を確保でき、映像品質の維持が可能であることを確認した。



自動運転車両 遠隔監視室の監視モニター



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 自動運転(レベル4)の実施に当たっては、適切な遠隔監視を実施することのできる通信手段の確保が求められる。
- 遠隔監視にキャリア網(5G等)を活用する場合、モバイル QoS(優先制御)を適用することは有用であるが、とりわけ混雑発生地域や、より鮮明な映像伝送が求められる箇所(交差点やロータリー、横断歩道付近等)ではローカル5Gを使用するなど、ネットワーク性能とシステム側の要求性能を比較し、コスト対性能のバランスを考慮したネットワーク設計が重要。

実装・運用コスト(神奈川県横浜市の場合)

※ローカル5G基地局1局、WiGig中継1セット、Mobile-QoS1回線の費用。(拠点間の光回線利用料等は除く)

ローカル5G基地局・WiGig中継設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	基地局/1局	約400万円
		WiGig中継/1セット	約60万円
		コア、管理サーバ、その他ネットワーク機器/1式	約5,000万円
	設置工事費(WiGig含む)		約350万円
優先制御 (イニシャルコスト)	Mobile-QoS導入費(事務手数料)		約0.35万円
ローカル5G・WiGig運用(ランニングコスト)	運用保守費 コア/基地局/ネットワークSW監視/WiGig監視、SIMカード利用料含む(年間)		約600万円
優先制御運用(ランニングコスト)	運用費 回線、Mobile-QoS利用料(年間)		約36万円

Mobile-QoS(優先制御)の導入に関するコストは、通常のSIM契約にオプションを付ける形であるため、他の通信手法と比較して安価に抑えられる点がメリット。



実証による評価結果(ご参考)

● 評価結果

キャリア網における優先制御を用いた実験では、安定してアップリンクで5Mbpsの速度を維持できている。ただし、走行区間北側の一部区間では、キャリア網(5G/LTE)の電波強度が弱く、スループットが低い箇所がある。スループットが低い箇所では、適応映像制御技術(AV-QoS)を活用し映像の品質低下を抑止している。

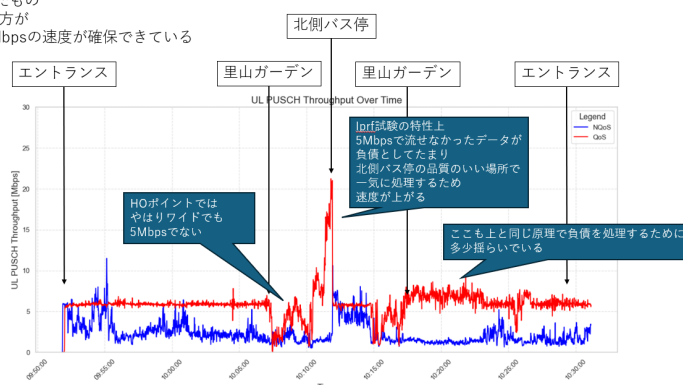


Mobile-QoSあり／無しのスループット比較

※通信速度が5倍以上になる時点がある理由

北側バス停付近で基地局遷移が発生するが、Mobile-QoS有の通信が先に遷移し、直前まで送信待機していたパケットが流れている。一方でMobile-QoS無の通信は遅れて基地局遷移して待機パケットが流れ始めている。そのため、Mobile-QoS有だけ基地局遷移先で先に通信環境が良い状態で通信しているため、同時刻で5倍以上の通信速度が出ている。

時系列にしたもの
5Gワイドの方が
安定して5Mbpsの速度が確保できている



ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

通信帯域の確保に応じた映像レート制御(神奈川県横浜市)

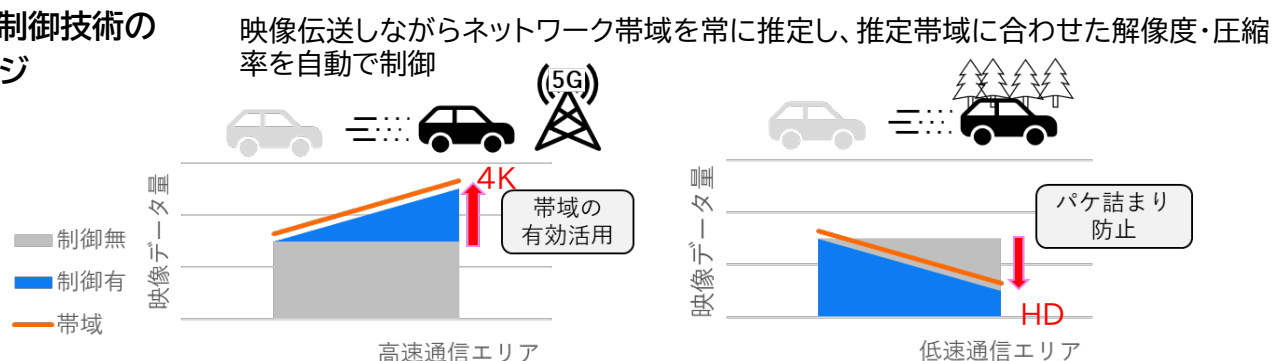
実証エリアの特徴	アミューズメント施設(動物園)入口付近の混雑した環境
レベル4自動運転実現の課題	当該エリアはキャリア5Gが活用できないエリアが含まれており、休日を中心に混雑が発生する場所である。通信帯域の確保が難しい状況でも最低限度の映像品質を確保することが課題。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、WiGig(ローカル5G基地局間の接続に使用)、キャリア網(5G/LTE)の優先制御
通信方式を活用するための技術	路側システム(外部アンテナ・基地局)、車載端末(ローカル5G対応端末)、WiGig通信モジュール、優先制御対応SIM



導入により解決・実現できること

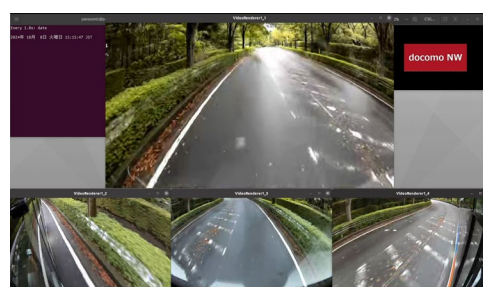
キャリア網・自営網により構築されたネットワークを用いた場合にも、様々な要因によりスループットが低下するケースがある。自動運転の安全性を確保するためには、通信環境の変化に応じて解像度・圧縮率を調整し、途切れなく映像を送信する技術が重要である。特に、遠隔監視側で1人の要員が複数の自動運転車両に対応する場合、交通事故や事故につながるヒヤリハット等の把握のため、AIによる支援が求められ、その実装のためには、高解像度の映像の伝送が望ましいとされている。なお、神奈川県横浜市における実証では、フルHD以上の明瞭な映像の伝送を行う際に、本技術を活用することで平均して64%程遅延時間を減らせることが確認された。

映像レート制御技術の使用イメージ



事例 よこはま動物園ズーラシアでの事例

該当地域では、休日や大型イベント開催時に多くの来場者が訪問し、トラヒック渋滞が生じやすい区間であることが予想された。通信側での工夫は行った上で、ネットワーク帯域が難しい一部区間や時間帯においては、映像レート制御技術を活用することで、途切れが無く映像伝送できることを実現した。



自動運転車両 遠隔監視室の監視モニタ



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- AV-QoSはアプリケーションレイヤでの制御技術であり、通信自体がつながっていることが前提となる。したがって、安定した通信を維持するために、ローカル5Gの活用や、Mobile-QoSによる通信帯域の確保を試みた上で、置局設計等も含めた通信環境設計と合わせてAV-QoSを併用することが必要である。具体的には、通信環境において最低スループットを事前にシミュレーション・現地測定等で把握する、通信スループットの急変ポイントが発生しないように置局設計を行うなどが考えられる。
- AV-QoSは映像を途切れさせないことを主眼とし、映像パラメータを動的に変化させることで実現している。そのため伝送後の用途によって変化させるパラメータを選別する必要がある。具体的には、伝送後映像の用途としてAI画像解析を行う場合においては、解像度を主たる変化パラメータとすると通信環境によっては映像が荒くなり解析の精度が悪くなる可能性があるため、解像度・圧縮率・フレームレートなどを調和して運用する必要があると考える。



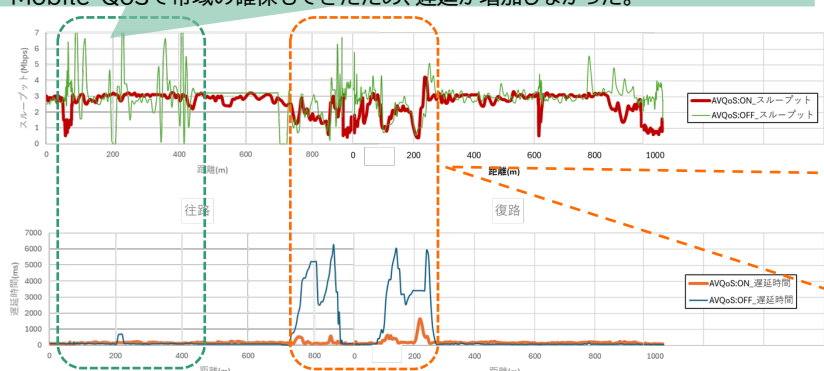
実証による評価結果(ご参考)

● 評価結果

Mobile-QoS で帯域を確保しつつ、AV-QoS制御により、変動する通信帯域に合わせた映像データ量を送出し映像データの滞留が抑制されたことで、結果として、映像伝送遅延を低く抑え安定した映像伝送が可能であることが実証結果からも確認できた。

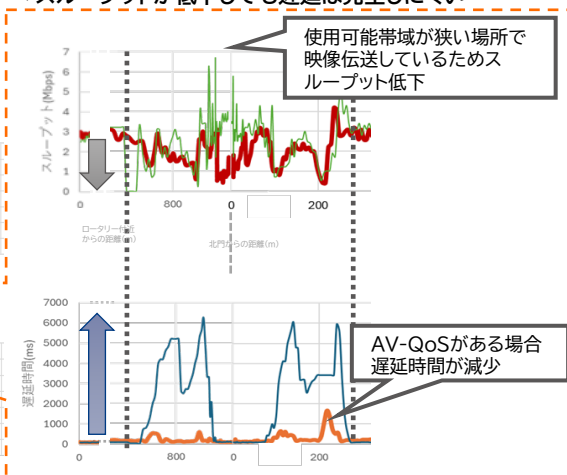
①AV-QoSの有無によるスループットへの影響

稀に通信環境が悪くなる場所があり、AV-QoSなしの方は映像データが送り切れずスループットの乱高下が発生したが、直ぐに通信環境が回復し使用可能帯域が広くMobile-QoSで帯域の確保もできたため、遅延が増加しなかった。



②電波が弱いエリアでのAV-QoSの効果

⇒スループットが低下しても遅延は発生しにくい



AV-QoSとMobile-QoSを活用した映像に対し、遠隔監視者からは、自動運転バスが停止した状況や原因を把握する「状況確認の監視」に十分に活用できると評価された。遠隔監視者へのインタビューでは、「(映像が)止まっていることが少なかったため、信用しやすい」といった、コメントがあげられた。

	自動運転バスの状態	停止時	走行時
a.	遮断物がない場所での状況確認	4.5	4.5
b.	静止物(50cm位)の存在確認	4.5	4.5
c.	他の車両の通行状況の確認	4.5	4.5
d.	人物の存在確認	4.5	4.5
e.	人物の振る舞いの確認	4	4

評価点数

- 1: とても確認しづらい
- 2: 確認しづらい
- 3: どちらかというと確認しづらい
- 4: どちらかというと確認しやすい
- 5: 確認しやすい
- 6: とても確認しやすい
- : 評価できない(評価に含めず)

ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

MECを活用したセキュアなネットワーク構成(神奈川県横浜市)

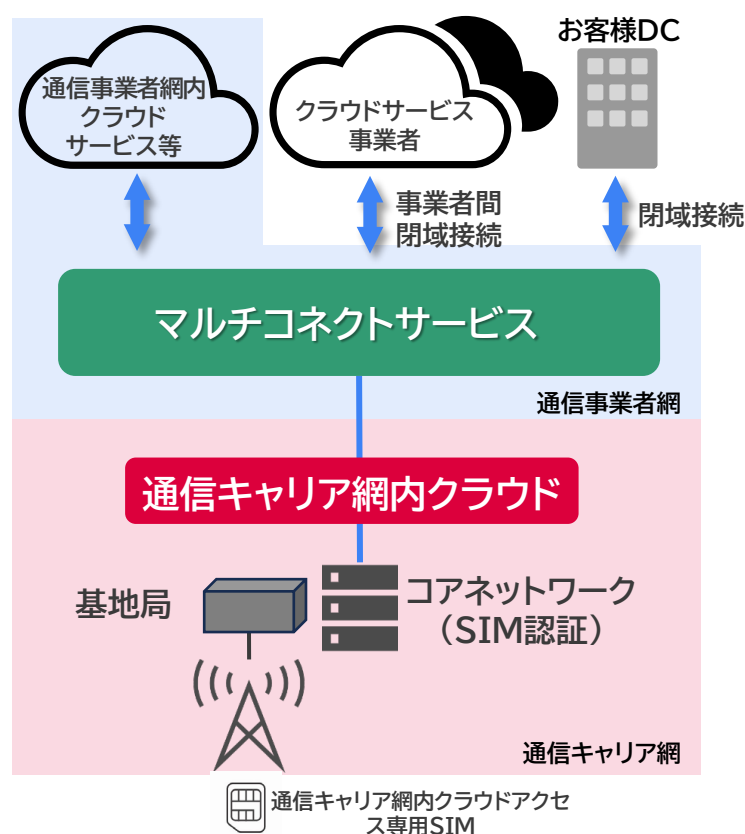
実証エリアの特徴	アミューズメント施設(動物園)入口付近の混雑した環境
レベル4自動運転実現の課題	ミッションクリティカルな機能が多く含まれる自動運転システムにおいて通信を活用する場合、DoS攻撃等の外部攻撃を防ぐ高いセキュリティ性が求められる。一方で、自動運転システム導入に係るコスト低減や運用性向上の観点からSaaSで提供されるシステムの活用を模索することも必要となる。
通信方式	ローカル5G、WiGig、キャリア網の優先制御を活用し、MEC及びマルチコネクタサービスを通じたセキュアな通信を実現
通信方式を活用するための技術	路側システム(外部アンテナ・基地局)、車載端末(ローカル5G対応端末)、WiGig通信モジュール、優先制御対応SIM



導入により解決・実現できること

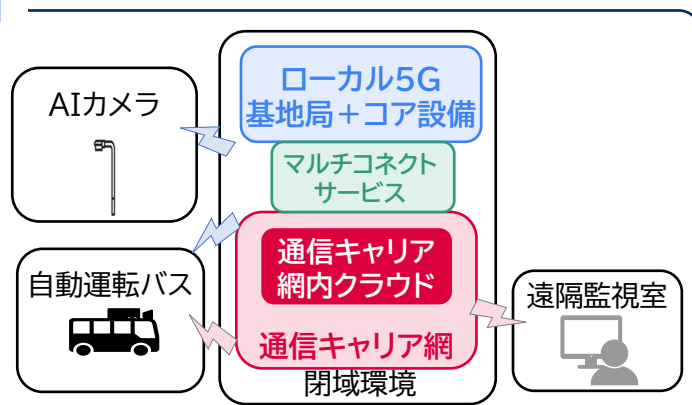
自動運転の遠隔監視システム構築に必要なネットワーク基盤にあたっては、通信キャリア網内クラウド基盤を利用することで、システムのセキュリティ性の向上を図ることが可能となる。

またコネクティビティの観点では、通信キャリアのクラウド基盤へのモバイルアクセスはSIM認証を用いたセキュアな接続と、マルチコネクタサービスによる様々なクラウドサービス(IaaS、PaaS、SaaS)・DC・ISPとの閉域相互接続を実現できる。



事例 よこはま動物園ズーラシアでの事例

よこはま動物園ズーラシアにおける実証実験では、遠隔監視室と自動運転バスの接続において、本ネットワーク環境下に遠隔管制システム・路肩情報システムを設置する構成とした。その結果、インターネットに接続することなく、閉域網のみでシステムが完結した。





活用した技術方式の違い

導入する目的に応じて、モバイル通信による閉域接続と光固定通信による閉域接続の併用・を使い分けることが望ましい。

方式	モバイル通信による閉域接続	光固定通信による閉域接続
イメージ		
概要	ローカル5G及びモバイル通信キャリアの閉域接続を活用することにより、第三者が侵入できない独自のモバイルアクセスを実現する。	光固定通信事業者の通信回線を用いて、特定の拠点との閉域網を構築する。
メリット	- 通信キャリアエリア内においては無線による移動体通信が可能で、低コストで広範囲の環境構築を実現できる。 - また、無線の優先制御を用いることで、無線通信性能の向上を図ることができる。 - 通信事業者網内の閉域環境にSIM認証で直接接続するため第三者の接続、盗聴等を防ぐことができる。	- 通信事業者網を利用する場合、輻輳の影響を受けづらい。また、帯域確保が可能で、安定した通信性能を維持しやすい。 - 閉域網のため第三者のアクセス、盗聴等を防ぐことが可能である。 - インターネットVPNの場合、通信経路は不特定多数が共有する経路を使うが、専用線を用意しないため安価に閉域接続を実現可能。
使うシーン	- 多数の場所や拠点に接続先があるとき - 移動体との通信が必要になるとき(例:自動運転車両との通信等)	- 特定拠点と閉域接続を構築したいとき - 他のユーザの利用状況に影響を受けず安定した通信性能を担保したいとき(例:固定設置された遠隔監視室拠点、ローカル5Gの基地局ーコア設備同士の接続等)
自動運転への適性	車両などの移動体との通信を実現するには必須要素となる。また、無線の優先制御技術に加え、通信キャリアのネットワークスライシング技術も活用することで、高速かつセキュアな通信が実現できる。	統合的な遠隔監視拠点において多数エリアの自動運転車両のデータを集約するにあたり、大容量かつ安定的なネットワークを提供できる点で適正がある。



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- ✓ モバイルや固定閉域網はマルチコネクトサービスを用いることで相互接続することが可能である。また、マルチコネクトサービスは通信事業者間のネットワークだけでなく、他社クラウド環境やそこに構築されたSaaSとの相互接続も可能である。そのためスライシング等のネットワークサービスが利用可能な通信キャリア網内クラウド環境と、既存クラウド環境を連携させたシステムを検討することも可能であり、既存環境の流用による構築コスト低減、構築期間短縮を図ることができる。
- ✓ 光専用線は当該エリアの光回線提供状況に応じ構築期間が変動するため、光回線提供事業者に事前に確認しておくことが望ましい。
- ✓ キャリア網閉域環境と固定網閉域環境の相互接続は各通信事業者が提供するネットワークサービスにより構成検討が必要となる。特に、モバイル通信を用いる場合、無線区間は一般ユーザと共用しており通信性能に影響を受ける場合がある。

ユースケース①

自動運転システムのセキュアな常時接続の実現

停車場における通信環境の高度化(石川県小松市)

実証エリアの特徴	自動運転車両の停車場
レベル4自動運転実現の課題	自動運転システムのセキュリティ更新等を短時間で遂行する必要がある。
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	路側システム(基地局)、収容局(ONU)、車載(端末)

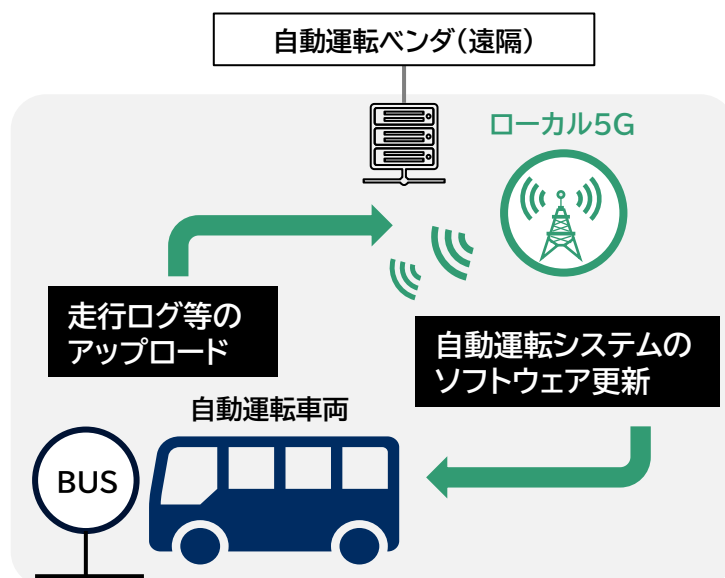


導入により解決・実現できること

自動運転サービス事業者ヒアリングによると、自動運転車両の運用に影響を及ぼす自動運転システムのセキュリティ更新等を行うために、自動運転車両に20G程度のソフトウェアをダウンロードする必要がある。また、自動運転車両側でシステム障害や事故発生等の不測の事態が起きた際に、都度自動運転車両にエンジニアを派遣して原因究明を行う必要があるが、エンジニアを実装地域ごとに常駐させることは、経済性の観点から困難であるとされている。

そこで、本実証では、自動運転システムのセキュリティ更新のダウンロード、自動運転車両の不具合を遠隔からデバックするための総合ログ※のアップロードを、拠点となるバス停留所に停車する時間(30分)を目処に、20GBのデータをアップロードする技術の検証を行い、自動運転サービス提供事業者が必要とする速度・品質を満たせることを確認した。

※センサ情報などのローデータは1日分で数Tの情報量。トラブル対応として10分程度のデータを想定



事例 石川県小松市の事例

ロータリー周辺の3か所で実証を行った。なお、駐車場で実装する場合、以下の視点で設置場所を検討することが望ましい。

- OTAが完了するまでの時間、自動運転車が停車できる場所
- 機器やアンテナを設置可能な構造物(電源・通信線)の存在する場所
- アンテナから発射される電波強度が十分な場所(下図)

※予めシミュレーションを行った上で決定することが望ましい

ロータリー周辺の実証箇所と電波強度





導入時の留意事項・意識しておく事項等

【通信回線】

- 既にキャリア網・固定回線を用いたOTAは実装されているが、キャリア網は相対的に低速であること、固定回線は敷設拠点に限定される課題がある。そこで、専用網を用いた実証を行う。
- なお、LPWA(LoRaWAN、Sigfox、Wi-SUN、Wi-Fi HaLow等)は一般的にIoT向けの通信規格であり、低スループットのため対象外とした。
- 通信の安定性・セキュリティにローカル5Gは優れている。ロータリー周辺の路車協調への拡張も考慮して、ローカル5Gの実証を実施した。

方式	(キャリア5G)【ベンチマーク】	Wi-Fi6/6E/7	ローカル5G
通信の速度	最大スループット: 10~20Gbps	最大スループット: 9.6Gbps~46Gbps	最大スループット: 10~20Gbps
通信の安定性	電波干渉:ライセンスバンドであるため、干渉は発生しづらい 混雑:基地局の混雑時はスループットが低下する可能性	電波干渉:ライセンスバンドであるため、干渉は発生する可能性 混雑:不特定多数の接続は発生しないため混雑のリスクは低い	電波干渉:ライセンスバンドであるため、干渉は発生しづらい 混雑:通信相手は限定されるため、混雑のリスクは低い
セキュリティ	通信キャリアが管理するSIMを挿入した機器のみを接続可能	SSID/パスワードによる認証によって接続端末を制限 キャリア5G/ローカル5Gと比較して不正アクセスのリスクは高い	ローカル5G基地局の管理者が管理するSIMを挿入した機器のみを接続可能
通信の距離	通信キャリアのサービスエリア内で利用可能	ロータリー入口での利用は困難となるおそれ(60m以下)	ロータリー入口の交差点でも利用可能(100m以上) →ロータリー出入りの路車協調への活用も可能



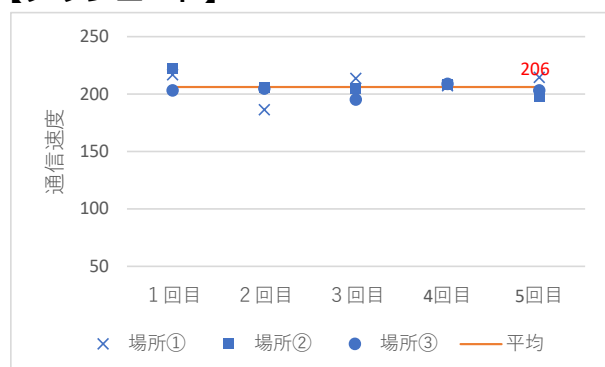
実証による評価結果(ご参考)

● 実証における自動車の検知精度の評価結果

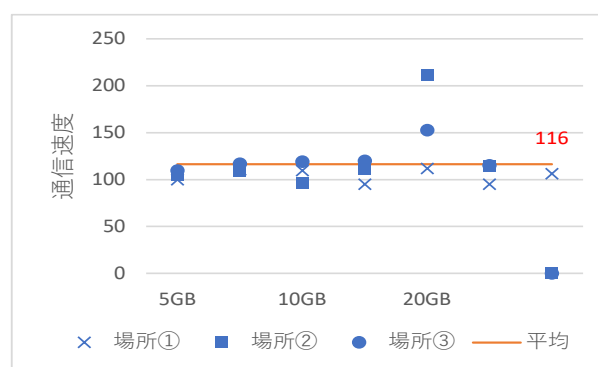
ローカル5Gの活用により、大容量データの通信を停車中に効率よく行うことが可能であることを確認した。

ダウンロード:通信速度200Mbps／アップロード:通信速度100Mbps

【ダウンロード】



【アップロード】



※アップロード20GB計測時は、周囲のバスの動き等によりノイズが小さくなったと想定される

ユースケース①

セキュアなネットワーク接続を常時実現する手法の設計・実証

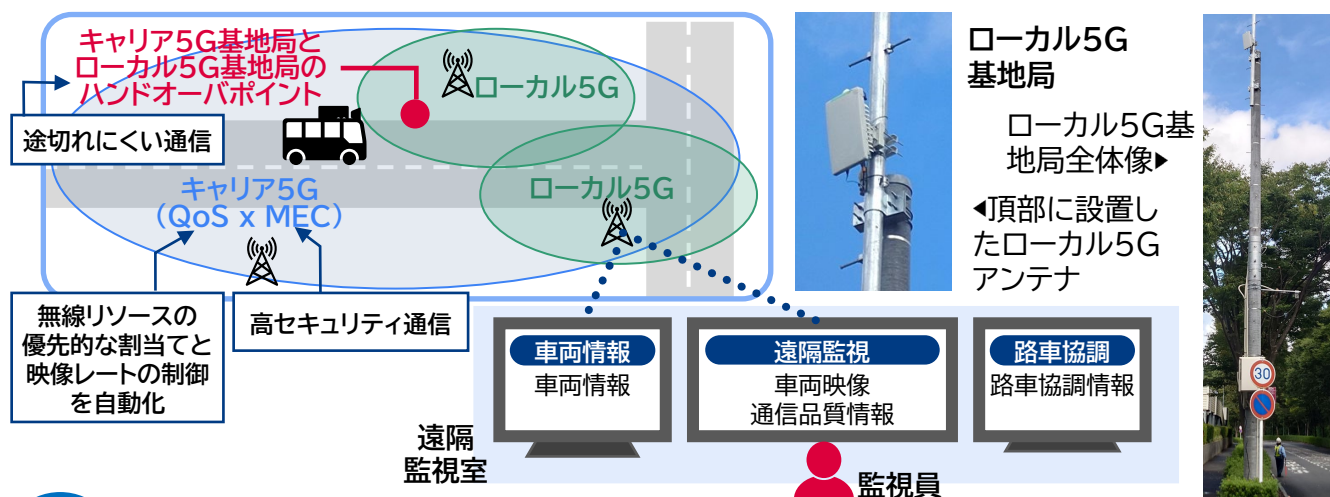
公道におけるローカル5Gの活用に関する実証(神奈川県横浜市)

実証エリアの特徴	アミューズメント施設(動物園)入口付近の混雑した環境
レベル4自動運転実現の課題	当該エリアはキャリア5Gが活用できないエリアが含まれており、かつ休日を中心に混雑が発生する場所である。通信帯域の確保と、通信状況に左右されない最低限度の映像品質が求められる。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、WiGig(ローカル5G基地局間の接続に使用)、キャリア網(5G/LTE)の優先制御
通信方式を活用するための技術	路側システム(外部アンテナ・基地局)、車載端末(ローカル5G対応端末)、WiGig通信モジュール、優先制御対応SIM



導入により解決・実現できること

自動運転システムを導入するにあたり、キャリア網が弱いエリアや携帯電話等の端末の利用者で混雑するエリアにおいても、通信手段を維持することが重要となる。そこで、とりわけ混雑発生地域においては、より鮮明な映像伝送が求められる箇所(交差点やロータリー、横断歩道付近等)では公道にローカル5G基地局を設置し、ローカル5Gエリアを構築することで、周りの通信に影響されない安定した通信を確保し、映像伝送に必要な通信速度を十分に上回る速度(実測値:上り50Mbps ※実環境による)を確保できる。



事例

よこはま動物園ズーラシアでの事例

ローカル5Gエリアの構築に向けて、基地局の設置、疎通確認、受信電界強度測定を行った。



ローカル5G基地局用の建柱作業を行い、頂部にアンテナを設置。



ローカル5G基地局疎通確認



ローカル5G電波の受信電界強度測定



導入時の留意事項・意識しておく事項等

■ 実装・運用コスト

- ローカル5Gを実装・運用するに当たり、必要となる機器の構成と、構成に応じて必要となる機器費及び設置工事費は、実際の整備場所の環境によって異なる。
- 一例として、ローカル5G基地局1局を整備、運用するに当たり必要となる費用は右表の通り(基地局中継はWiGigを使用)。

実装・運用コスト(神奈川県横浜市の場合)

ローカル5G基地局設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	基地局/1局	約400万円
		WiGig中継/1セット	約60万円
		コア、管理サーバ、その他ネットワーク機器/1式	約5,000万円
		設置工事費(WiGig含む)	約350万円
運用 (ランニングコスト)	運用保守費 コア/基地局/ネットワークSW監視/WiGig監視、SIMカード利用料含む		約600万円

■ ローカル5Gとキャリア網の併用によるコスト低減

- 要求事項の観点では、例えば、今後さらにデータ量が増えるであろう複雑な交差点やバスロータリー等では、大容量のデータ通信が実現できる必要がある。
- また、制限事項の観点では、周囲への通信影響、周囲からの通信影響により通信が影響を受ける可能性が高い混雑エリアでは、キャリア網とは異なるネットワークが必要である。
- キャリア網の利用で要件に必要な通信性能を確保できる場合は、実装及び運用コストの観点でキャリア網に優位性がある。一方で、先述の要求事項や制限事項をキャリア網だけで実現できない場合の手段として、スポットエリア的にローカル5Gを活用する形が望ましい。ローカル5Gコアは共用設備のため、基地局が増えるほど1エリア構築あたりにかかるコストは按分される。また、将来的に既存設備の転用や共用化が進めば、さらなる実装・運用コスト低減を見込むことができる。



実証による評価結果(ご参考)

- ローカル5Gとキャリア網の切り替えを行った700m地点以降のスループットについて比較すると、キャリア網(最大20Mbps)と比較して、ローカル5G(最大84Mbps)の方が高く安定していることが分かる。
- キャリア網でも一定のスループットは見込まれるが、交差点やロータリー出入口など安定した映像が確実に求められるエリアでは、キャリア網の利用者数に応じて自動運転車両が利用できる帯域が制限されるためローカル5Gエリアを構築することが望ましい。ローカル5Gで対応すべきエリアと、キャリア網で対応すべきエリアを見極めることが重要になる。



スループット予測値(北門から正門) ※通信環境により、通信のスループットは変動する。



ユースケース②

**高度化無線通信、映像AIによる
大規模交差点における走行の実現**

ユースケース②

高度化無線通信、映像AIによる大規模交差点における走行の実現

路側カメラによる歩行者検知支援(茨城県日立市)

実証エリアの特徴	通勤時等に多くの人が行き交う信号のある交差点で、右折時に自動運転バスと歩行者・対向車の接触リスクが高い。
レベル4自動運転実現の課題	交差点右折時に、搭載されたセンサでは検知できない死角にいる歩行者や遠方の対向車を検知できない。
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	ローカル5G基地局、MEC

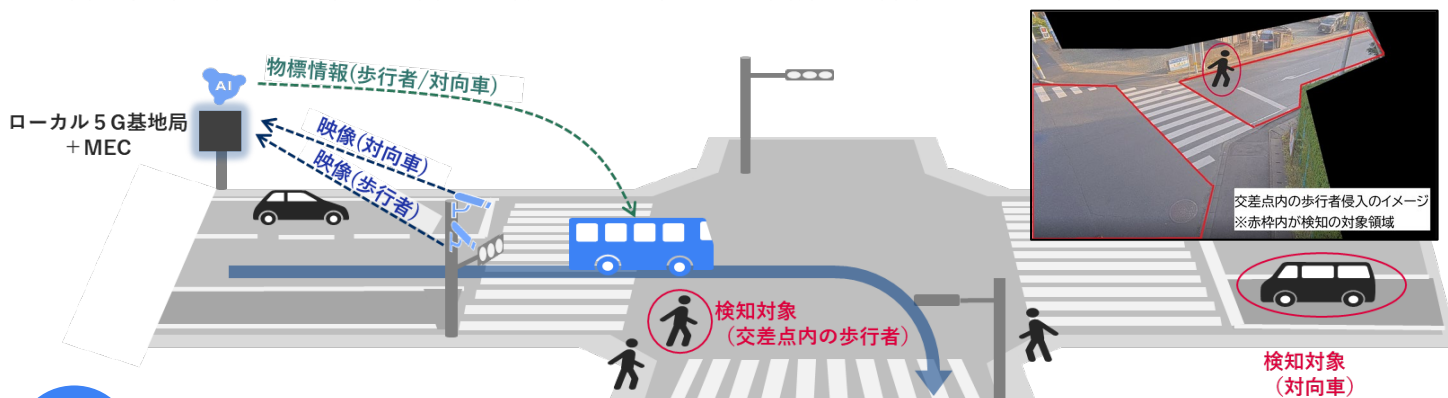


導入により解決・実現できること

路側カメラとMECを活用したAIシステムにより、交差点内に進入した歩行者(横断歩道除く)や対向車を検知し、物標情報として配信した。検知漏れ2.7%の精度で歩行者の交差点内への立ち入り検知し、ローカル5G通信上でシステムを運用することで、歩行者が交差点内に立ち入り後1m移動する間^{※1}に車載モニタシステムに伝達できた^{※2}。

※1: 歩行者の物標情報を700ms以内で自動運転車両に伝達した(95パーセンタイルで585.5ms)。これは時速5km(秒速1.4m)の歩行者が約1m移動する時間である。

※2: 令和5年度補正予算による実証では、車載センサ情報との比較検討を目的に物標情報を車両内のモニタシステムに伝達した。



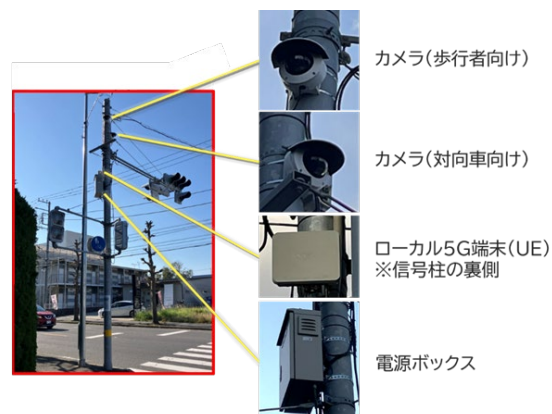
事例

茨城県日立市での事例

日立市の実証では、交差点わきに路側カメラを設置し、対向車やセンサから死角の位置の歩行者や遠方の対向車を検知した。

歩行者・対向車の物標情報はローカル5G回線で迅速に伝達され、車内の物標情報モニタで確認できた。

信号柱に設置した路側インフラ





導入時の留意事項・意識しておく事項等

- カメラ映像による歩行者検知は、晴天時の日中を想定しているため、雨天時や夜間には適応できない。また、カメラに汚れ・遮るもの等があり、映像に意図しない乱れなどが生じると精度が大幅に低下、歩行者の検知漏れが生じる可能性がある。

施工・システム環境構築に関する留意点

	留意点
路側カメラ	- 遮るものや検知範囲を考慮して画角を調整すること - 検知精度を低下させないように光源を確保すること
ローカル5G基地局など通信機器	設置後に無線通信を想定するエリアの電波強度測定を面的に実施し、事前シミュレーションとの比較検証を行うこと



実証による評価結果(ご参考)

● 交差点への歩行者進入の検知結果

路側カメラによる歩行者検知により、全650サンプル中608サンプルを正しく検知した。他方で、指定した領域への立ち入り(交差点進入)の判定では、実際の歩行者の進入が無いときに進入ありの判定を出す割合が大きかった。

監視カメラ映像中の歩行者検知

(650サンプル)		実際の歩行者の有無	
		歩行者あり	歩行者なし
AI 検知	歩行者あり	608	3
	歩行者なし	39	※検証対象外

歩行者の交差点進入の判定精度

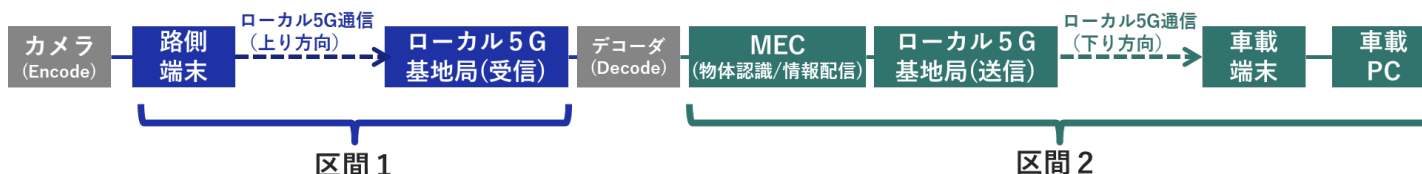
(650サンプル)		実際の進入の有無	
		進入あり	進入なし
AI 検知	進入あり	536	90
	進入なし	24	※検証対象外

● 歩行者・対向車物標情報のモニタリングシステムへの伝達時間

路側カメラからの映像伝送とAI分析による歩行者・対向車の物標情報の発出、車載モニタPCでの取得までの合計時間は585.5ms(95パーセンタイル)であり、歩行者の移動する時間内に歩行者の検知、交差点進入の判定を実施・伝達することができた。

歩行者・対向車物標情報のモニタリングへの伝達時間(検証環境のイメージ)

路側カメラの監視映像は、ローカル5G基地局に備わるMECに伝送され、MECが物標情報を生成し、基地局を介して、モニタリングシステム(車載PC)に伝送される。実証では、通信環境や映像処理により要する時間が変動すると考えられる区間1、区間2の情報処理・伝達の時間を測定した。



ユースケース②

高度化無線通信、映像AIによる大規模交差点における走行の実現

ローカル5G活用による走行車両の検知(石川県小松市)

実証エリアの特徴	交差側の車両速度が速い無信号丁字路がある。 車載センサの見通し外から高速で接近する車両が右折判断に影響を与える可能性がある。
レベル4自動運転実現の課題	流れが速い走行車両の検知
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	AI、MEC



導入により解決・実現できること

無信号丁字路は右折箇所となっており、交差側の車両の速度も速いことから、車両単体の認知では、自動運転バスの右折に必要な時間前に交差側車両を検知できず、対向車が急ブレーキ等を起こすなど、安全な交通の確保に対する支障が生じるおそれがある。

本実証では、交差点から最大300m程度の遠方車両をAIカメラにより検知することで、車両速度が速い無信号丁字路においても、対象自動車を事前に検知できることを検証した。

【車両センサで交差側車両を検知】
約6秒前※

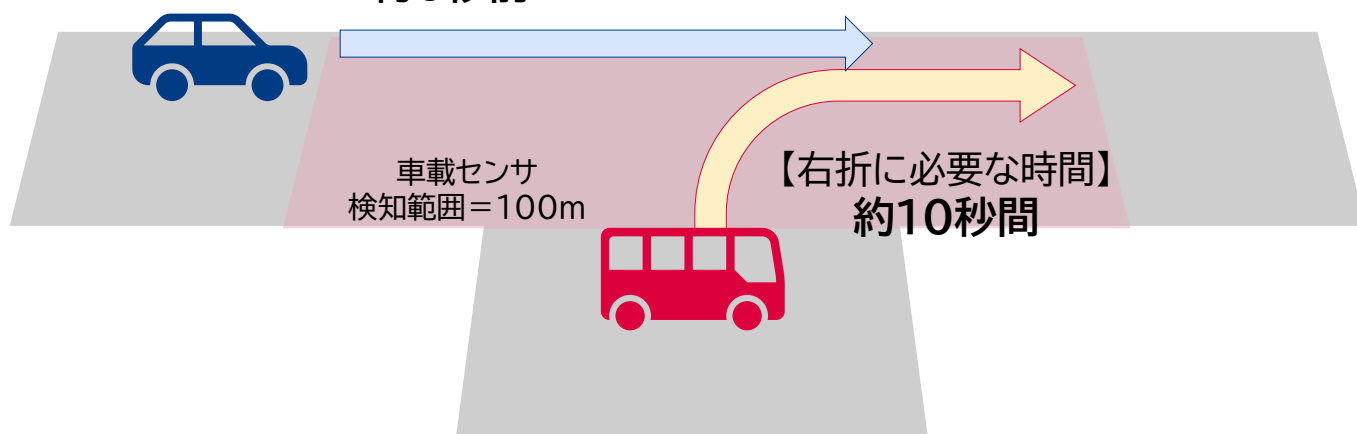


【右折に必要な時間】
約10秒間

※以下の前提での試算

- ・車載センサの検知範囲は概ね100m程度
- ・交差側の車両を時速60kmと想定

【車載センサのみで車両を検知する場合】
約6秒前



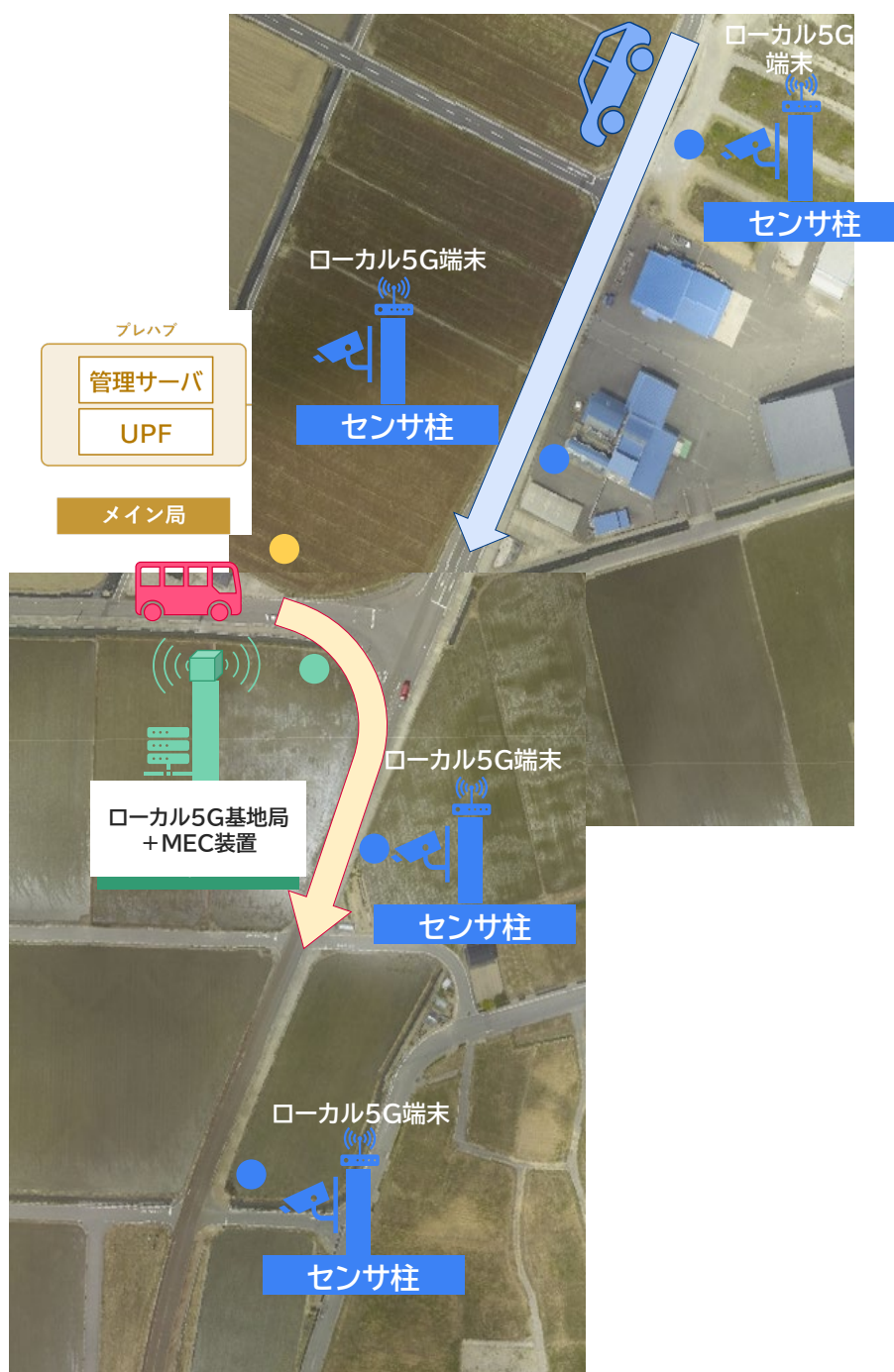
事例 石川県小松市の事例

路側システムとして以下を設置

- 南北に2台ずつセンサ柱(カメラ)
- 丁字路に基地局/MEC柱
- 丁字路のプレハブにメイン局(ルータ)

なお、カメラの設置場所は以下の視点で検討する。

- カメラ・送信用端末が設置可能な構造物(電源・通信線)が存在する場所
- 捉えたい対象物を十分な解像度で撮影できる場所(本実証では交差点から300mに対し、90m地点、190m地点に設置)





導入時の留意事項・意識しておく事項等

【路側システムの構成】

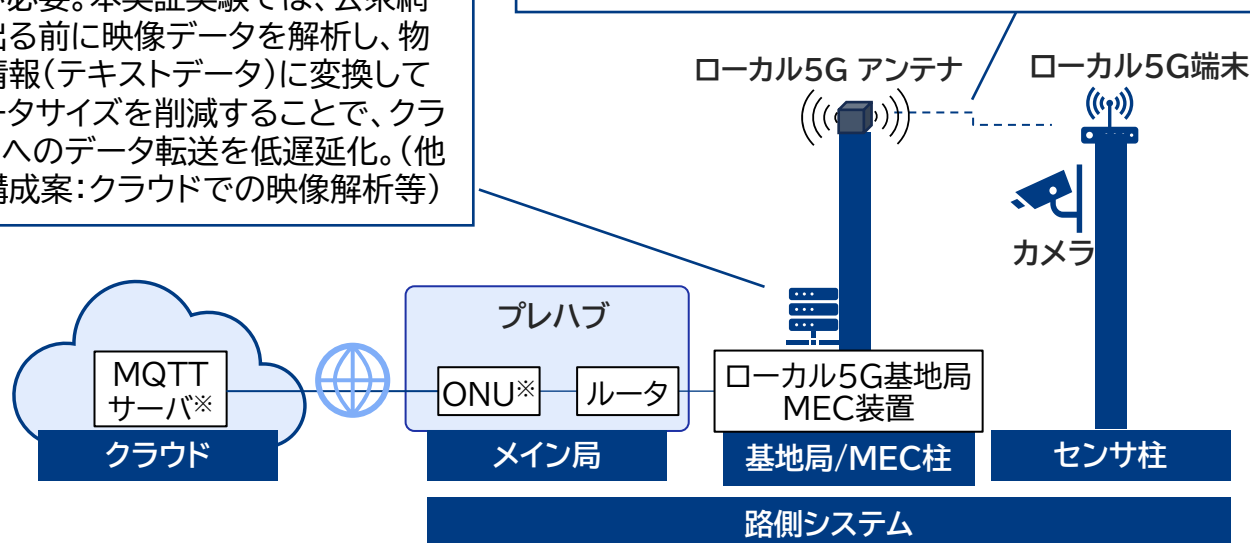
今回：以下の観点で路側システムを設計。

データ解析におけるエッジコンピューティング(MEC)の活用：

センサデータの解析には計算リソースが必要。本実証実験では、公衆網に出る前に映像データを解析し、物標情報(テキストデータ)に変換してデータサイズを削減することで、クラウドへのデータ転送を低遅延化。(他の構成案：クラウドでの映像解析等)

センサ-MEC間の映像伝送におけるローカル5Gの活用：
以下のメリットから、本実証実験ではローカル5Gを活用してカメラからMECへの映像伝送を実施。(他の構成案：自営網(有線)、Wi-Fi等)

- 複数のセンサと計算リソースであるMEC間を十分な帯域を持ち、低遅延で通信可能な通信手段で接続することが可能
- 有線で接続する場合と比較し、道路を横断する架空等の調整が不要であり、短期間で構築することが可能



※MQTTサーバ：次々頁の事例を参照

※ONU：光回線終端装置(Optical Network Unit)光信号とデジタル信号とを変換する通信装置



実証による評価結果(ご参考)

● 実証における自動車の検知精度の評価結果

カメラの設置位置から100m程度離れた位置での自動車の検知精度を検証した。日中は天気に関わらずほぼ100%検知できており、誤検知も非常に少ない。しかし、日没直前や夜間については検知精度が低い傾向であった。

時間帯	天候	再現率※1	適合率※2	
日中	晴天	99.0%	99.0%	本実証の 対象
	曇天	99.0%	96.1%	
	雨天	99.0%	99.0%	
日没1時間前 ～日没	晴天	99.1%	87.9%	【参考値】 日中との 比較対象
	曇天	96.3%	89.0%	
	雨天	77.0%	88.5%	
日没後	晴天	54.5%	84.6%	
	曇天	62.1%	88.5%	
	雨天	40.2%	84.1%	

※1再現率：正解データのうち、AIが正例だと予測をしたものの割合を表す。「評価指標AIが正しく検出した数 / 対象となる総数」

※2適合率：AIが正例だと予測をしたもののうち、正解した割合を表す。「評価指標AIが正しく検出した数 / (AIが正しく検出した数 + 間違えて検出した数)」

ユースケース②

高度化無線通信、映像AIによる大規模交差点における走行の実現

ローカル5G活用による走行車両検知情報の広域配信(石川県小松市)

実証エリアの特徴	交差側の車両速度が速い無信号丁字路がある。 自車センサの見通し外から高速で接近する車両が右折判断に影響を与える可能性がある。
レベル4自動運転実現の課題	物標情報の蓄積・配信
通信方式	公衆網(LTE)
通信方式を活用するための技術	クラウドコンピューティング、MQTT



導入により解決・実現できること

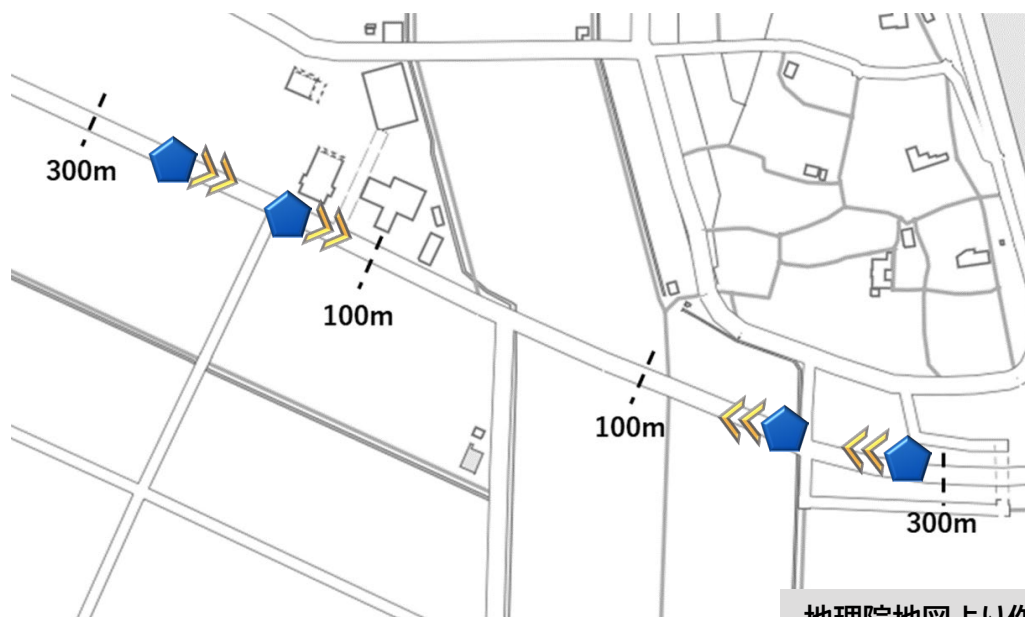
自動運転バスが丁字路に接近した際に、走行車両の検知が必要となる。そこで、クラウド上にて物標情報を蓄積しながら、必要に応じてデータの配信を行うために、MQTTサーバ※を用いる。

※MQTTサーバの詳細は次頁の事例を参照

また、自動運転車両に対して専用網を使用してデータの配信を行う場合、自動運転車両の動きを考慮して専用網の電波エリアを設計し、実際の動作を確認しながらの調整が必須である。LTEで配信を実施することで遅延は増加することになるが、上記の調整コストを低減することができる。



事例 石川県小松市の事例

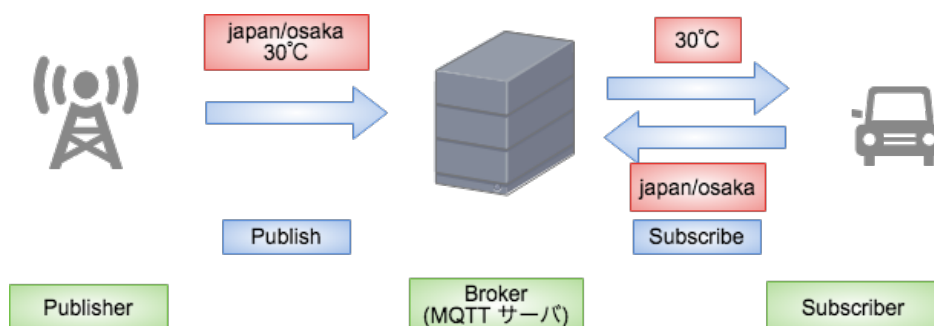
対向車()を自動運転車側で把握

地理院地図より作成

事例 MQTT

データ提供システムとして、以下の特徴を持つMQTTを選択

項目	従来システム	MQTTの特徴	自動運転への活用
構造	メッセージが送信されたら、同時に受信する。(受信者を確認できないと送信できない)	メッセージの送信者(Publisher)と受信者(Subscriber)の間にBrokerを介することで独立に送受信する。	Brokerをパブリック・クラウドとすることで広域配信や、路側センサと車両を多対多で接続することが可能となる。
データ	メッセージを単層構造で構築している。(受信側で必要な情報の分析が必要)	メッセージを階層構造で構築しており、受信者は受信したい階層を指定して受信する。 例:japan/osaka	走行場所によって必要な情報の粒度が異なる自動車支援に対応できる。 またヘッダサイズが小さいため、通信回線の帯域が高水準で安定していなくても、安定してデータの送受信ができる。



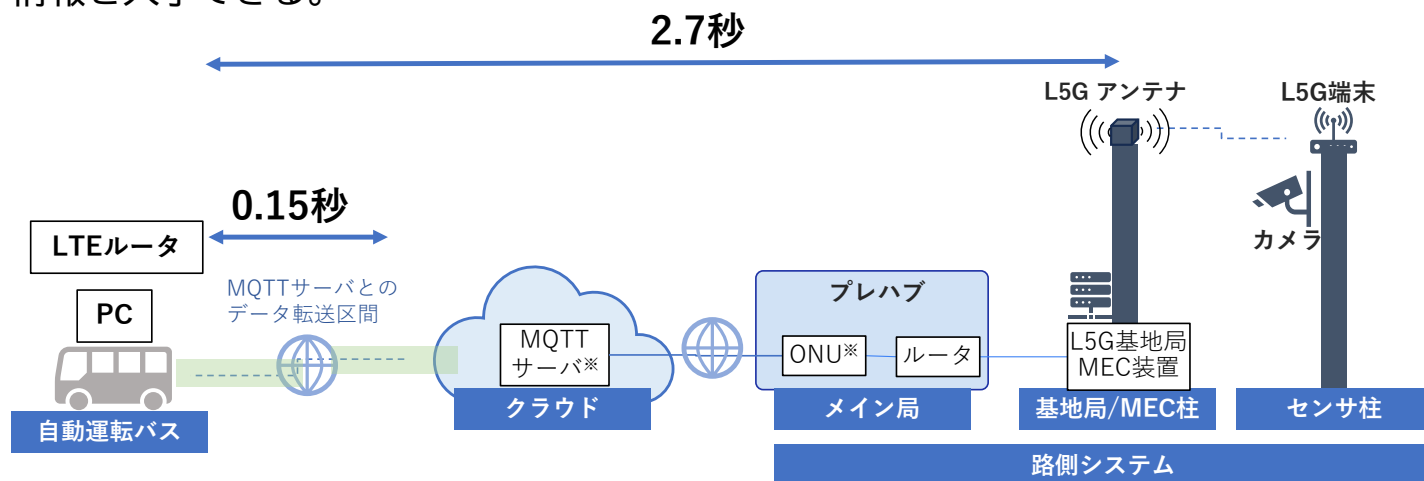


実証による評価結果(ご参考)

● 実証における遅延時間の評価結果

カメラによる検知から自動運転バスへの配信にかかる時間は3秒弱かかる。

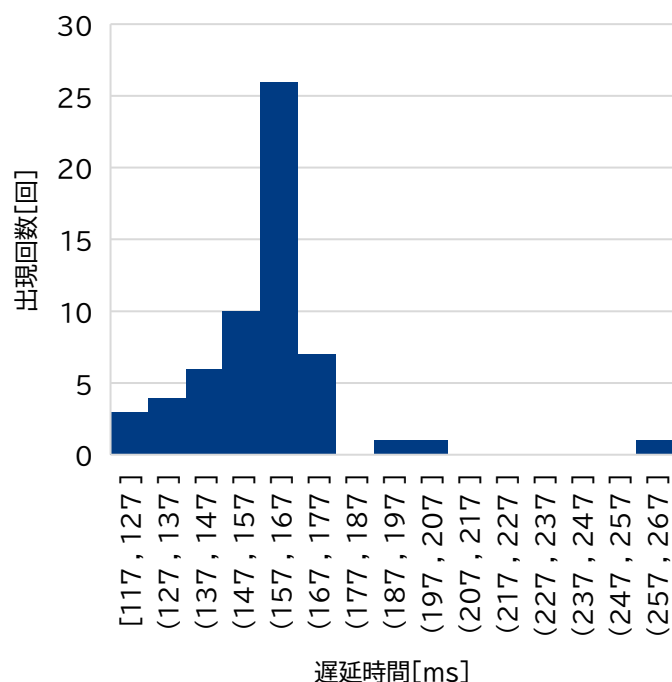
仮に対象の車両が時速60kmと想定した場合、3秒間に走行する距離は50mである。そのため、対象の車両を300m先で検知すれば、250m先に存在する時点で当該車両の情報を入手できる。



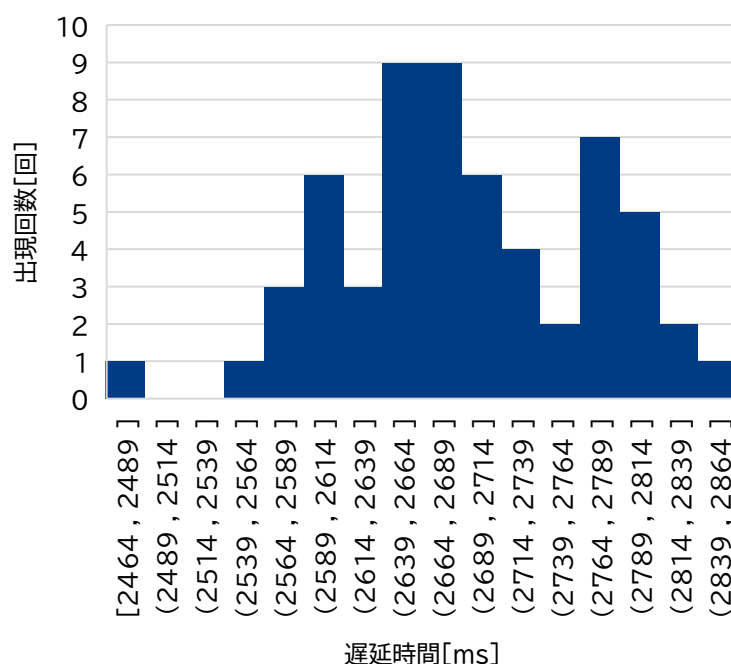
自動運転バス～クラウドの遅延時間(左図)について、変動幅は 117～265msであり、全体の約 95%の測定値は 177ms以下となった。

自動運転バス～基地局遅延時間(右図)について、2,539～2,864msの区間に万遍なく分布している要因として、クラウド内の遅延の影響が考えられる。

【自動運転バス～クラウド】



【自動運転バス～基地局】



ユースケース②

高度化無線通信、映像AIによる大規模交差点における走行の実現

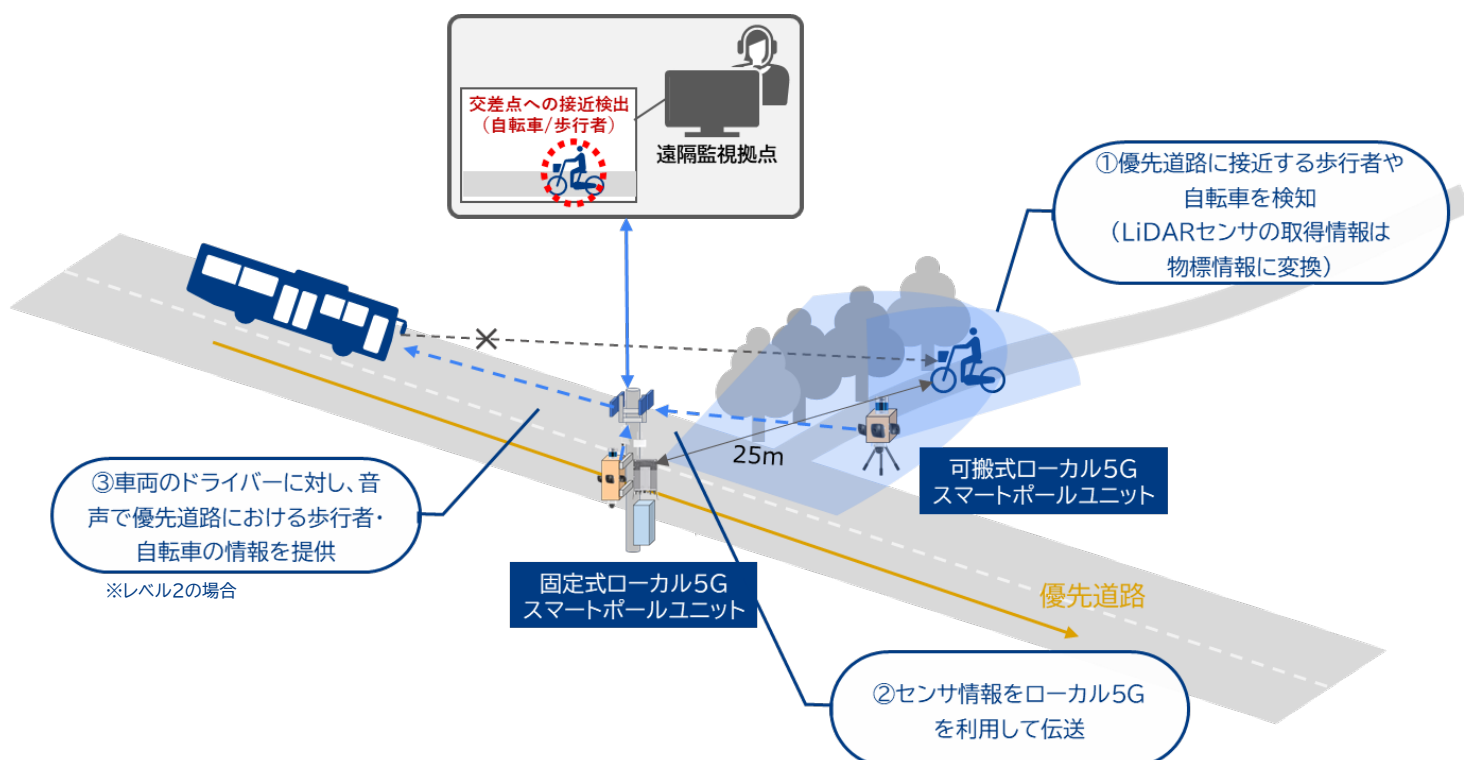
ローカル5Gスマートポールを活用した見通し外の横断歩道における車両認知機能の補助機能の検証(東京都狛江市)

実証エリアの特徴	バスが走行する優先道路と自転車や歩行者が多く走行する生活道路が交わる信号無なしの交差点。
レベル4自動運転実現の課題	自動運転車両が優先道路を走行中、街路樹等の障害物によって生活道路や歩道の視界が遮られ、車載センサが歩行者や自転車の認識が遅れ、横断歩道の直前で「運送事業者が許容できないほどの」急ブレーキをかける必要が生じる場合がある。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、(Wi-Fi 4との比較も実施)
通信方式を活用するための技術	ローカル5Gスマートポール (ローカル5G基地局、通信ユニット、センサ等通信に必要なものを具備)



導入により解決・実現できること

信号なし交差点約25m範囲を対象に、車両センサの死角となる生活道路から優先道路へ進入するおそれのある自転車・歩行者を路側センサ(LiDAR)で検知し、MECにて物標情報に変換して、その情報を遠隔監視拠点に伝送することで、自転車・歩行者の有無、移動方向を高い精度で認識できることを確認した。



事例 ローカル5Gを活用した生活道路における歩行者・自転車の把握

路側に設置したローカル5G及びLiDARにより、遠隔監視室において生活道路上の自転車・歩行者の有無、移動方向を判断できることを確認した。



遠隔監視室におけるカメラ画像



遠隔監視室におけるLiDARセンサの可視化画像

※映像(解像度、遅延等)の詳細は「令和5年度補正予算 地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- カメラ映像による歩行者・自転車の検知は、晴天時の日中を想定しているため、雨天時や夜間への適応は確認できていない。また路側センサに汚れ等が付着した場合等、検知精度の大幅な低下に繋がるおそれがある。



実証による評価結果(ご参考)

● 実証におけるローカル5GとWi-Fi 4※¹の遅延時間の比較

路側センサ(LiDAR、カメラ)によるセンシングデータ※²は、ローカル5GとWi-Fi 4を経由して遠隔監視拠点に伝送した。本ユースケースでは、両方式とも通信速度は十分であったが、遅延時間※³に関してはWi-Fi 4では不十分であり、ローカル5Gを使用することで低遅延な伝送が可能であることを確認した。

(遅延時間が300ms以下であれば、本ユースケースへの活用可能)

遅延時間についての比較結果

	ローカル5G	Wi-Fi 4
最大	217ms	4,750ms
最小	34ms	55ms
平均	114ms	971ms

※1:屋外利用において、長距離伝送が可能な2.4GHz帯を活用するため、Wi-Fiには IEEE 802.11n(Wi-Fi 4)を採用。

※2:スマートポール1局あたりのセンシングデータは、最大120Mbpsであり、通信状況に応じフレームレート、画質等が自動で調整される。

※3:本実証では路側センサが物体を検知してから遠隔監視拠点のモニタに表示させるまでの時間を遅延時間として定義している。

ユースケース②

高度化無線通信、映像AIによる大規模交差点における走行の実現

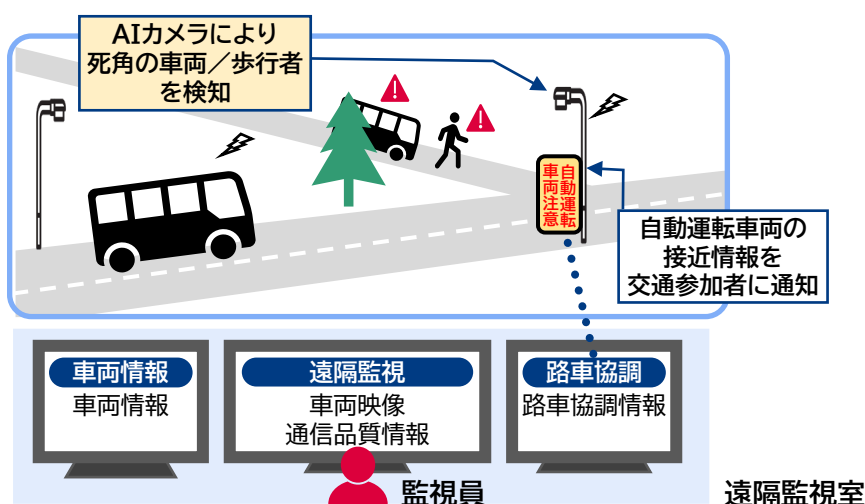
AIを活用した路車協調システムの実証(神奈川県横浜市)

実証エリアの特徴	アミューズメント施設(動物園)入口付近の混雑した環境で、駐車場出入口やロータリー出入口等に死角がある。
レベル4自動運転実現の課題	自動運転車に搭載されたセンサでは検知できない死角にいる車両や歩行者を把握できない。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、WiGig(ローカル5G基地局間接続用)
通信方式を活用するための技術	路側システム(外部アンテナ・基地局)、車載端末(ローカル5G対応端末)、WiGig通信モジュール



導入により解決・実現できること

自動運転車両の死角エリア付近にAIカメラを設置し、直線距離50mの範囲内に存在する走行車両や歩行者の有無を90%以上の正確さで検知する。



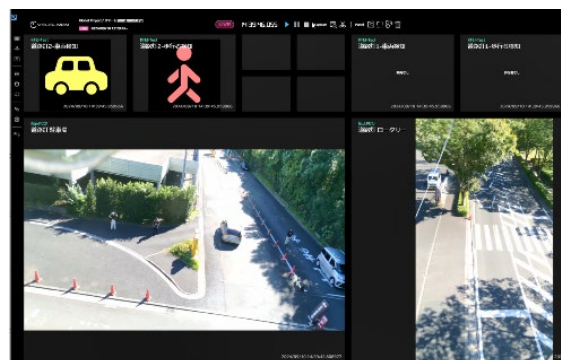
事例 よこはま動物園ズーラシアでの事例

歩行者の飛び出しや混雑が多く死角があるロータリー・駐車場出口に設置し、AIカメラで取得した歩行者・車両の情報を監視員に音とアイコンで通知する構成とした。バス運行時に死角からの飛び出しを検知して減速制御することが重要であり、急ブレーキによる危険性を避けるために路車協調システムの有効性が示唆された。

本技術を活用した監視員からのコメント

- ・ システム検知精度と、自分が映像内で対象を認識した感覚には大きな乖離はない
- ・ バスの始動指示操作に伴う、バス車両の動き出しは、死角の先を含め慎重に確認をしたい
- ・ (車載カメラも見ているため、路車協調システムから) 音で知らせてくれるのでそのときだけ見ることができた

遠隔監視室での通知画面・映像の様子





AIによる映像処理における活用した技術方式の違い

導入するエリアや目的に応じて、エッジ処理・クラウド処理を使い分けることが望ましい。

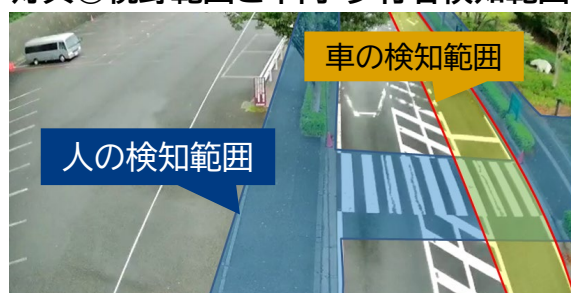
方式	エッジでのAI処理	クラウドでAI処理
イメージ		
AI処理する場所	エッジデバイス上でAI処理を行い、クラウドを通じ必要な情報のみ送信。	映像をクラウドに送信した後に、クラウド上でAI処理をする。
メリット	低遅延・通信コスト削減 プライバシー保護が容易	高い計算能力により高検知率を実現 データ統合(他の場所や種類のデータも合わせて処理)、スケーラビリティ
デメリット	計算リソースが限られる デバイスのコストが高い(ただし、汎用品の活用によりコスト低減は期待できる。)	通信に起因した遅延が発生しやすい、通信コストが高い、プライバシーリスク
コスト	初期導入コストが高いが、運用コストは低く、長期的には安価傾向	初期導入コストは低い、大容量通信を実現するコスト等の運用コストが高い
自動運転への適性	合流支援や、交差点支援のような、リアルタイム性が求められる場面に適している	交差点等の部分的な導入に限らず、交通管理や予知保全のような大規模なデータ分析や統合が必要な場面に適している



実証による評価結果(エッジ処理)

● 評価結果

灯具①視野範囲と車両・歩行者検知範囲



灯具②視野範囲と車両・歩行者検知範囲



AIカメラの画角内に対象物が写りこんで画角から消えるまでに検知できた割合

条件	検知対象	再現率	適合率
日中	車両	99.9%	99.9%
	歩行者	91.7%	93.2%
夕方	車両	98.4%	99.7%
	歩行者	89.2%	88.6%
晴	車両	99.6%	99.8%
	歩行者	90.8%	90.1%
雨	車両	98.5%	100%
	歩行者	91.6%	98.5%
平均	車両	99.5%	99.9%
	歩行者	91.0%	91.9%

ユースケース②

高度化無線通信、映像AIによる大規模交差点における走行の実現

路側HMIによる歩行者への車両状態の通知(茨城県日立市)

実証エリアの特徴	通勤時等に多くの人が行き交う信号のある交差点で、右折時に自動運転バスと歩行者の接触リスクが高い。
レベル4自動運転実現の課題	自動運転車両の接近や動作状況を周囲に報知できない。
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	ローカル5G基地局、MEC、路側HMI



導入により解決・実現できること

交差点右折時に、自動運転バスの動作状況を路側HMI※(スピーカー)に伝達し、それに基づいて交差点付近の歩行者に音声アナウンスで注意喚起した。ローカル5G通信により、車両・路側HMIの情報伝送を高速化することで、車両動作に違和感なく連動した音声アナウンスができた。

※HMI: Human Machine Interface。人・機器間の情報伝達を行う機器・プログラム等のインターフェースの総称。

音声アナウンスフロー

自動運転バスの交差点右折時の走行パターンや、交差点周辺に想定される歩行者の挙動を踏まえ、通信事業者、運送事業者等が参画するコンソーシアムが協力して検討・策定した。

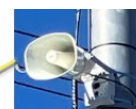


※自動運転バスが横断歩道で停止しない場合は、音声アナウンス①のみ

事例

茨城県日立市での事例

交差点わきに路側HMI(スピーカー)を設置し、車両の動作状況に基づき音声アナウンスした。



スピーカー



ローカル5G端末(UE)



電源ボックス



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- ローカル5Gによる通信環境整備では、事前シミュレーションによる通信エリアの検討が重要であることに加え、環境整備後に計画通りの通信品質を提供する環境が構築できたか、実測にて検証する必要がある。



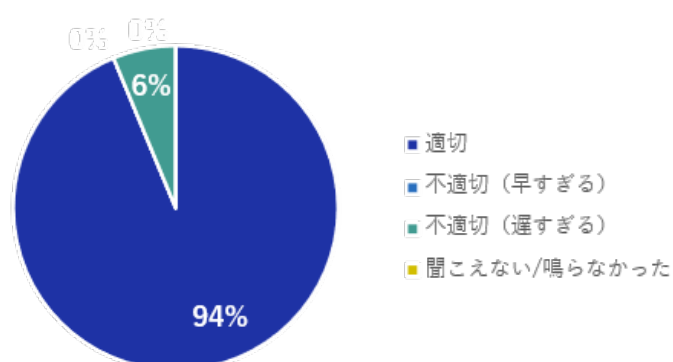
実証による評価結果(ご参考)

● 音声アナウンスの実施

実運行するバス26便で検証したところ、そのすべてで音声アナウンスを動作させることができた。そのうち、94%の便で自動運転バスの動作状況にあったアナウンスを実施できた。

アナウンスが実施できなかった理由は、音声アナウンスが遅れたであるが、メッセージの簡潔化によりほぼ100%の適時のアナウンスが可能になる。

音声アナウンスの発音タイミング



ユースケース③

道路工事・路上駐車等の準動的な 環境変動への対応

ユースケース③
道路工事・路上駐車等の準動的な環境変動への対応

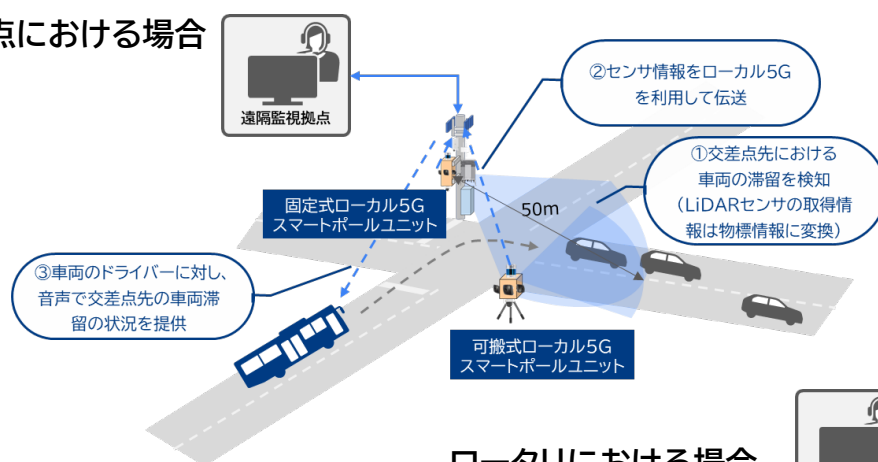
ローカル5Gスマートポールを活用した見通し外の交差点・ロータリーにおける車両認知機能の補助機能の検証(東京都狛江市)

実証エリアの特徴	通信・交通混雑が想定される信号のある交差点での右折及び駅前ロータリー。
レベル4自動運転実現の課題	自動運転車両が交差点で右折する状況で、かつ、右折先の見通しが悪く進行可能なスペースを事前に把握できない環境では、右折後に進めず交差点内で停止し、他車両の通行の妨げとなる。また左折してロータリーに進入する状況で、かつ、ロータリーの中を見通せない環境では、ロータリー内に自動運転車両が入るスペースの有無を検知できず、ロータリーへの進入の判断ができない、または、左折しきれず横断歩道上で立ち往生してしまう。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、(Wi-Fi 4との比較も実施)
通信方式を活用するための技術	ローカル5Gスマートポール (ローカル5G基地局、通信ユニット、センサ等通信に必要なものを具備)

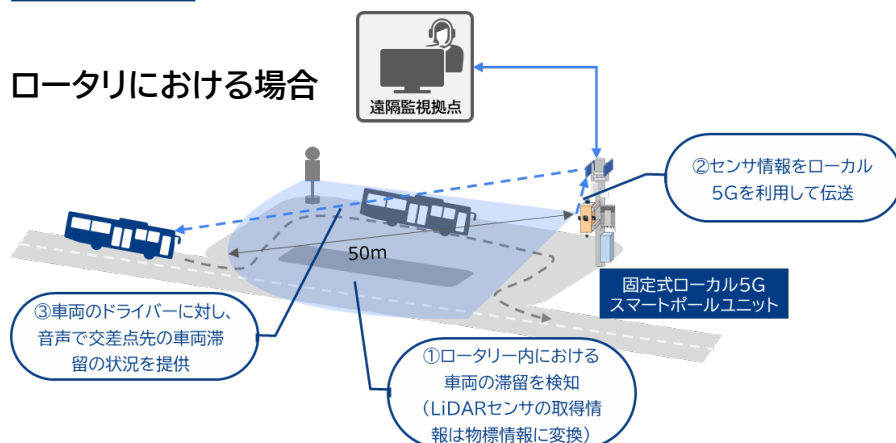
導入により解決・実現できること

交差点、ロータリの見通し約50m範囲を対象に、車両センサの死角の車両滞留状況を路側センサ(LiDAR)で検知し、MECにて物標情報に変換して、その情報を遠隔監視拠点に伝送することで、車両滞留状況を高い精度で判別できることを確認した。

交差点における場合



ロータリーにおける場合



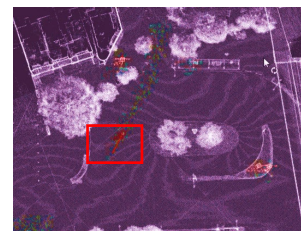
事例 ローカル5Gを活用したロータリ内における車両滞留状況の把握

路側に設置したローカル5G及びLiDARにより、遠隔監視室において見通し外の車両滞留状況を判別できることを確認した。

※映像(解像度、遅延等)の詳細は「令和5年度補正予算 地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照



遠隔監視室におけるカメラ画像



遠隔監視室におけるLiDARセンサの可視化画像



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 直径50mを超えるロータリーや、ロータリ内に遮へい物が存在する場合等の本ユースケースの適用は別途検証が必要である。
- カメラ映像による歩行者・自転車の検知は、晴天時の日中を想定しているため、雨天時や夜間への適応は確認できていない。また路側センサに汚れ等が付着した場合等、検知精度の大幅な低下に繋がるおそれがある。



実証による評価結果(ご参考)

● 実証におけるローカル5GとWi-Fi 4※¹の遅延時間の比較

路側センサ(LiDAR、カメラ)によるセンシングデータ※²は、ローカル5GとWi-Fi 4を経由して遠隔監視拠点に伝送した。本ユースケースでは、両方式とも通信速度は十分であったが、遅延時間※³に関してはWi-Fi 4では不十分であり、ローカル5Gを使用することで低遅延な伝送が可能であることを確認した。

(遅延時間が300ms以下であれば、本ユースケースへの活用可能)

遅延時間についての比較結果

	ローカル5G	Wi-Fi 4
最大	234ms	3,500ms
最小	24ms	84ms
平均	95ms	537ms

※1: 屋外利用において、長距離伝送が可能な2.4GHz帯を活用するため、Wi-Fiには IEEE 802.11n(Wi-Fi 4)を採用。

※2: スマートポール1局当たりのセンシングデータは、最大120Mbpsであり、通信状況に応じフレームレート、画質等が自動で調整される。

※3: 本実証では路側センサが物体を検知してから遠隔監視拠点のモニタに表示させるまでの時間を遅延時間として定義している。

ユースケース④

軽量映像伝送システムの試設計・実証

ユースケース④ 軽量映像伝送システムの試設計・実証

通信速度の将来予測に応じた動的映像圧縮制御(茨城県日立市)

実証エリアの特徴	近隣に就労者数の多い大規模な工場があり、通勤時には工場への多くの通勤者(歩行者)が存在する。
レベル4自動運転実現の課題	通勤時間帯の多数の歩行者や周辺環境により、自動運転車両が監視映像を伝送するための通信速度が一時的・局所的に低下することで、遠隔監視映像の乱れ、停止が生じ、安定的に継続できない。
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	ローカル5G基地局、MEC

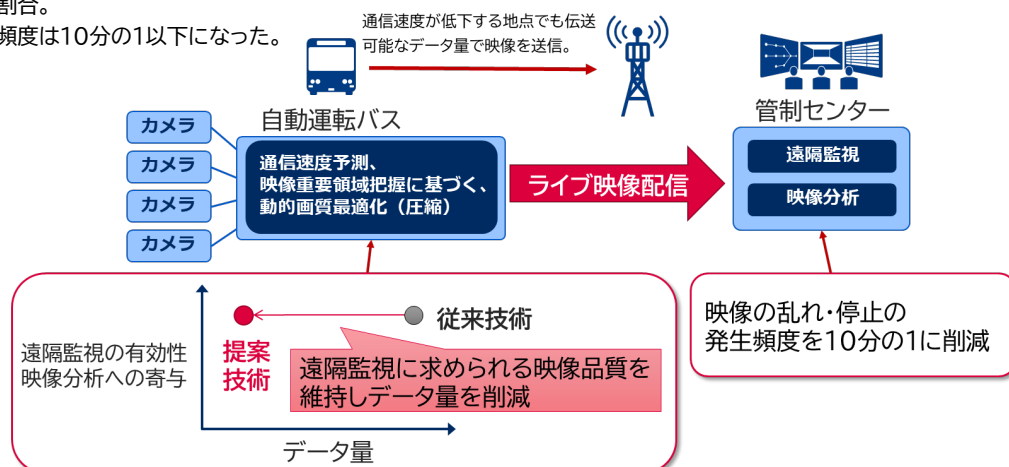
導入により解決・実現できること

周辺環境から通信速度を予測し、さらに、映像の重点領域^{※1}を切り出して、その領域だけ高精細映像を伝送するAIにより、通信量を9割削減。これにより、携帯電話網が混雑する時間帯においても、映像の乱れ・停止の発生頻度^{※2}を大きく減らし^{※3}、安定的な映像伝送を可能にした。

※1: 前方車両等の監視対象で、映像分析に必要な事物が映る領域。

※2: 映像の乱れ・停止の時間割合。

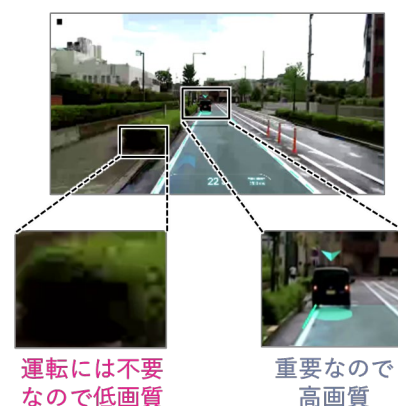
※3: 映像の乱れ・停止の発生頻度は10分の1以下になった。



事例 茨城県日立市での事例

自動運転車両の監視カメラ映像のうち、映像分析に必要な重要領域を高画質に、それ以外の領域を低画質にする画質最適化をした。

これにより、伝送するデータ量を削減し、遠隔監視の可用性を維持した上で、映像の乱れ・停止を抑制した。





導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 電波強度が小さくなるなどの接続している通信の品質が悪化すること起因する監視映像の乱れ・停止に対して本手法は有効であるが、不感エリアによる通信回線の切断に起因する監視映像の乱れ・停止には本手法は適応できない。

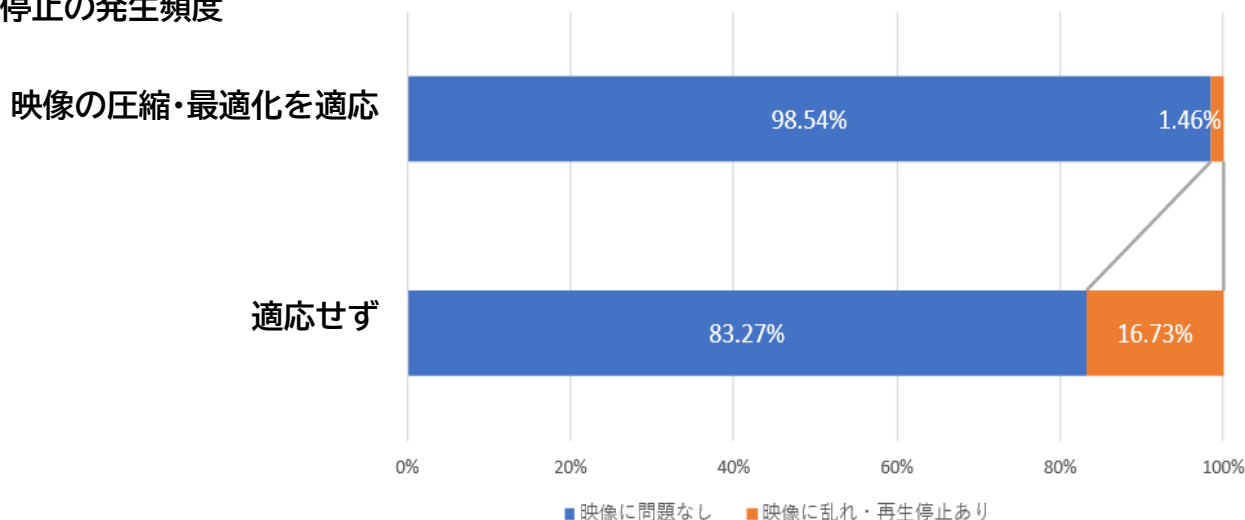


実証による評価結果(ご参考)

● 遠隔監視映像の乱れ・停止の頻度(映像の乱れ・停止の時間割合)の低減効果

通信速度の将来予測と遠隔監視映像中の重要領域の認識に基づく映像の圧縮・最適化により、遠隔監視の98.54%(時間割合)で映像に乱れ・停止が生じないことを確認した。映像の圧縮・最適化をしていない従来方式と比較し、映像の乱れ・停止の発生頻度は10分の1以下となった。

映像の乱れ・停止の発生頻度

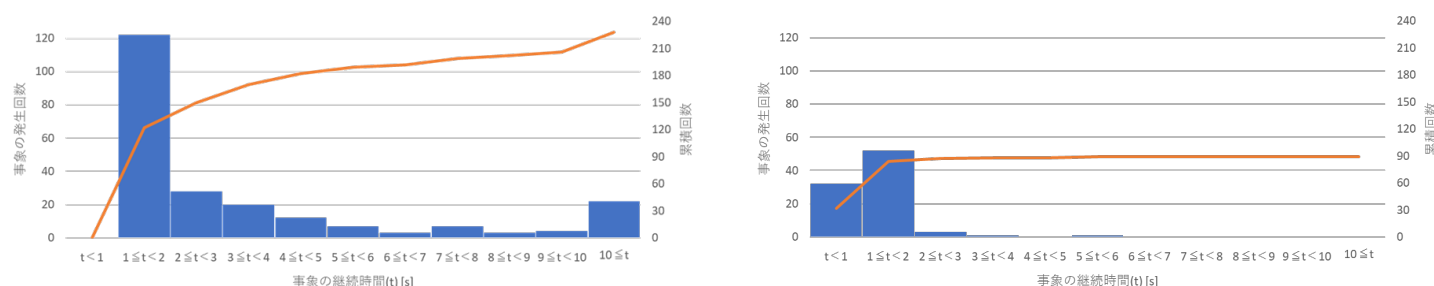


映像の乱れ・停止の各現象に注目すると、映像を圧縮・最適化を適応することで、2秒以上画像の停止の発生回数を大幅に低減することが確認できた。

また、適応後の映像の乱れ・停止の95%は2秒未満の継続時間であった。遠隔監視者のヒアリング調査において、監視映像の品質が、遠隔監視に十分との結果を得た。

映像の乱れ・停止の時間長と発生回数

左:映像圧縮・最適化適応せず、右、映像圧縮・最適化適応後



ユースケース④
軽量映像伝送システムの試設計・実証

映像分析によるアラート通知(茨城県日立市)

実証エリアの特徴	自動運転バスの導入拡大に伴い、遠隔監視者1名が同時に対応する車両数が増加する。 (2026年度:3台、2027年度:5台 見込み)
レベル4自動運転実現の課題	遠隔監視者1名が同時に監視する車両が増え、負荷が増大することで、監視の効率が悪くなる。さらに、監視者の対応が遅れると運行効率はさらに悪化する。
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	ローカル5G基地局、MEC

💡 導入により解決・実現できること

車両監視カメラ映像をAI分析することで、カメラ映像中の車両・自転車・人を検知した。検知結果に基づき、遠隔監視者の注意が必要と判断される場面をアラートで報知した上で、監視画面上に拡大表示させた。

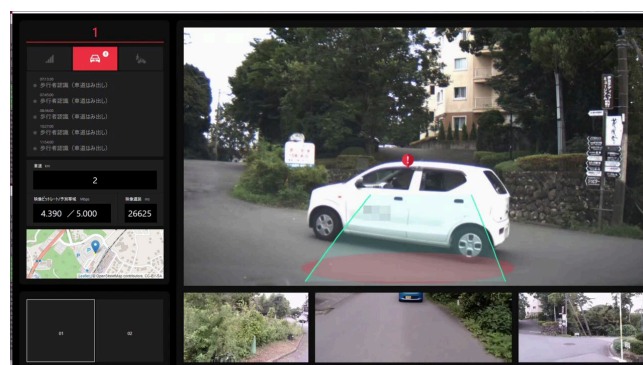


事例 茨城県日立市での事例

遠隔監視映像をリアルタイムで分析し、車両接近等の注意が必要な場面を検出、遠隔監視者にアラート報知した。

アラート報知のためのしきい値を調整した結果、報知漏れは0.5%であった。

検出された車両接近のシーン(遠隔監視システム画面)





導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 遠隔監視映像中の車両・自転車・人を高い精度で検知できた場合でも、アラート報知の条件・しきい値を適切に検証・設定できていない場合は、アラート報知漏れ(アラートすべき事象の見過ごし)が多く発生する。



実証による評価結果(ご参考)

● 遠隔監視カメラによる車・自転車・人の検知精度/アラート報知の精度

遠隔監視映像を用い、車・自転車・人を検知漏れ3.4%の精度で検知し、遠隔監視システム上でマーカ表示できた。また、検知結果に基づくアラート報知では、報知漏れ0.5%の高い精度で報知でき、遠隔監視のサポートができた。

車・自転車・人の検知精度(マーカ付与)

(558サンプル)		実際の検知対象の有無	
		対象あり	対象なし
AI 検知	対象あり	489	52
	対象なし	17	※検証対象外

アラート報知の精度

(229サンプル※)		実際のアラートの必要性	
		必要あり	必要なし
AI 検知	必要あり	218	10
	必要なし	1	※検証対象外

● 遠隔監視システムのインターフェースに関する評価

レベル4自動運転の社会実装実現の観点から、実証に参加した7名の遠隔監視者にインタビュー調査を実施し、遠隔監視をサポートするアラート通知等※の機能の有効性を評価した。

※「通信速度の将来予測に応じた動的映像圧縮制御」の機能についての評価も合わせてインタビュー調査している。

遠隔監視システムのインターフェースに関するインタビュー調査結果(一部抜粋)

レベル4自動運転の社会実装を実現の観点から4段階の評価指標で評価した。

アンケート設問	評価スコア平均
マーカ、アラートの機能仕様はいかがでしたか	2.14点
マーカ、アラートの機能は複数台監視に有効でしょうか	2.14点
バス運行の安全確認に必要な対象はアラートされていましたか	2.00点
今回のシステムで遠隔監視業務が実施できそうと感じましたか	1.71点

評価スコア	
3点	社会実装に必要な機能を満たしている
2点	遠隔監視として最低限必要な性能は満たしている
1点	遠隔監視として最低限必要な性能に達していない
0点	遠隔監視として特に必要としない性能である。(方向性が誤っている)

ユースケース④

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

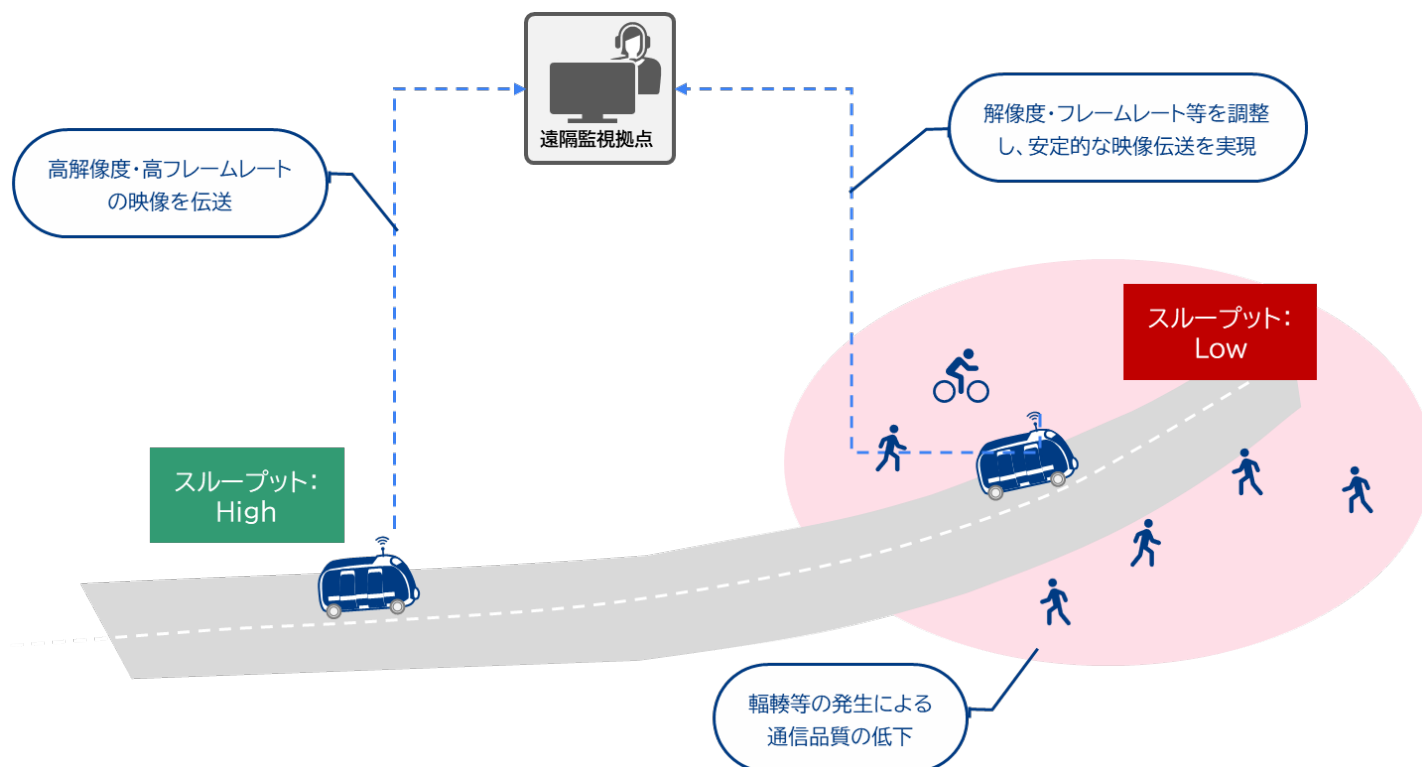
安定した遠隔監視を実現するための、通信状況に応じた映像品質の調整
(群馬県前橋市・中之条町)

実証エリアの特徴	通信帯域が制約され携帯通信網が不安定な山間地域、また通勤時間帯等に通信輻輳が発生しやすい地方都市
レベル4自動運転実現の課題	通信帯域が制約される山間地域や輻輳が発生しやすい都市部では、通信品質の低下により遠隔監視の継続性が確保できない可能性がある。
通信方式	ー(多様な通信方式への適用を想定)
通信方式を活用するための技術	ネットワークパフォーマンスモニタリング



導入により解決・実現できること

スループットをもとに通信品質を評価し、それに応じて車両カメラで取得した映像のフレームレートや解像度等を動的に最適化する機能を構築した。本機能により、通信品質が低下した場合は解像度やフレームレート等を調整しデータ量を抑制することで、安定した遠隔監視の実現に寄与することが期待される。





導入時の留意事項・意識しておく事項等

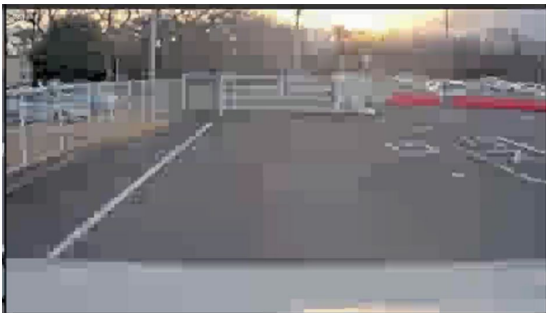
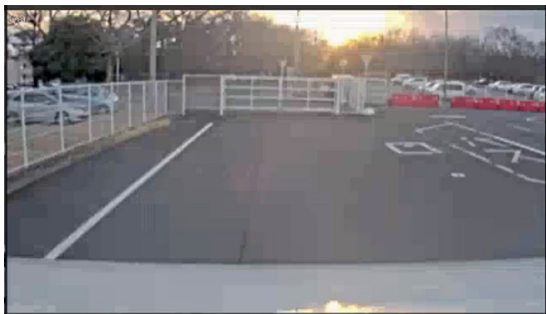
- 本実証では、開発した機能による遠隔監視の安定性向上の効果について、映像の途絶低減を含めた十分な検証は実施できていない。
- スループットに応じてフレームレートや解像度を動的に調整する際、頻繁に切替が発生すると映像の安定性を損なうリスクがある。最適な調整頻度やしきい値設定を環境ごとに検討する必要がある。
- スループットが急激に変動した場合、映像品質の切り替えによるちらつきや画質の急変化が遠隔監視者の状況把握を妨げる可能性がある。そのため映像の受信側についても、遠隔監視者が安定して状況把握できるようなアプリケーション設計が必要である。
- スループットの計測結果が一時的な通信異常やノイズに影響される場合、通信の実態にそぐわない映像品質の調整が行われる可能性がある。そのため、計測結果を平均化やノイズ排除等のアルゴリズムの検討が必要である。



実証による評価結果(ご参考)

● 実証における映像品質の最適化機能の動作検証

本実証では、ソフトウェア側でビットレートを変更することで、スループットの変動を模擬し、遠隔監視の最適化機能の動作を検証した。500kbps・1Mbpsの2種類のビットレートに応じて、映像のフレームレートや画質が適切に調整されることを、遠隔監視室の監視モニターで確認した。

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

ユースケース⑤

鉄道や緊急自動車(救急車)接近時の 自動停止実証

ユースケース⑤

鉄道や緊急自動車(救急車)接近時の自動停止実証

GNSSを活用したレベル4自動運転バスの
緊急自動車(救急車)対応システムの実現(群馬県前橋市・中之条町)

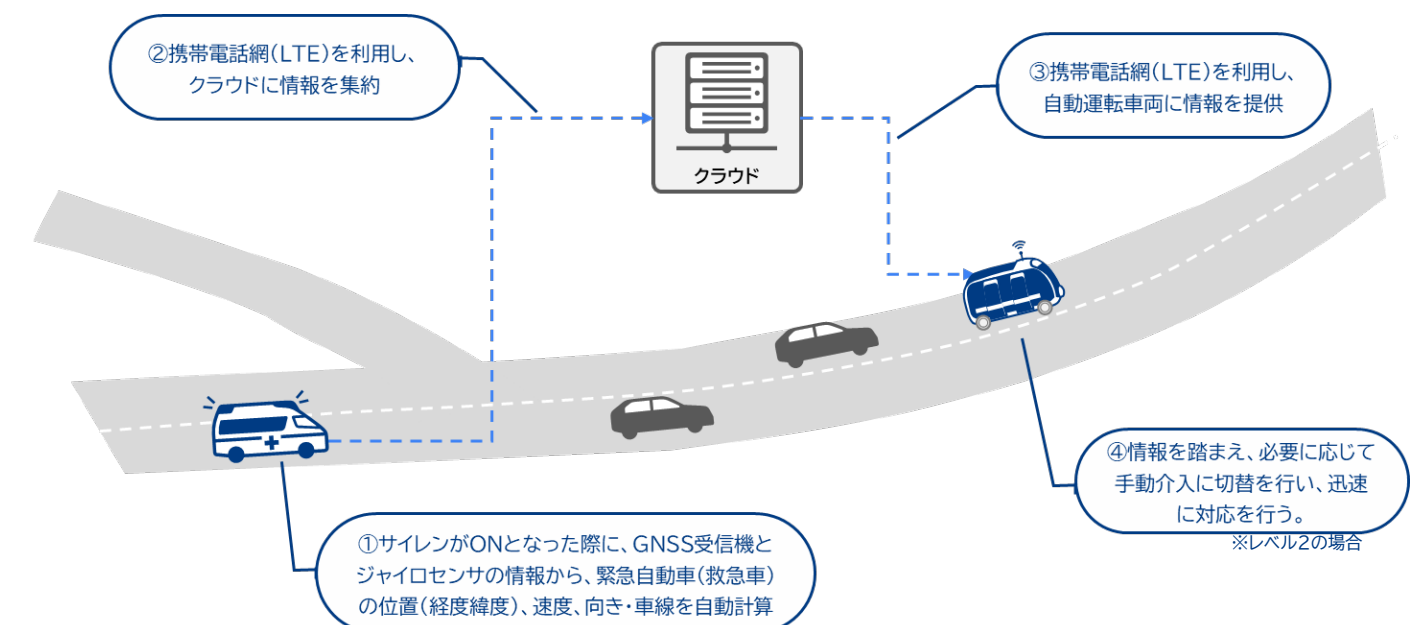
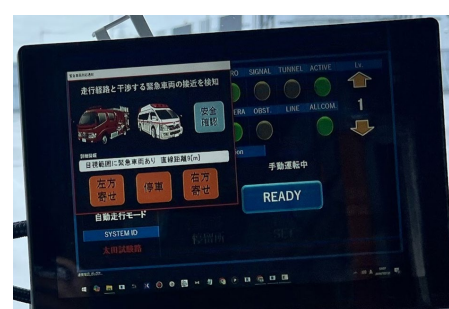
実証エリアの特徴	複数車線を有する駅周辺の幹線道路で、多数の車両が常時走行をしている。
レベル4自動運転実現の課題	緊急自動車(救急車)が接近した際に、自動運転車両が緊急自動車(救急車)の存在を検知できないと緊急自動車(救急車)の通行を妨げるおそれがある。
通信方式	LTE
通信方式を活用するための技術	RTK GNSS、ジャイロセンサ



導入により解決・実現できること

緊急自動車(救急車)に設置したRTK GNSS受信機とジャイロセンサを用いて、緊急走行時のみ位置情報を取得し、クラウドに集約して自動運転車両に提供する仕組みを構築した。本ソリューションにより、自動運転車両が緊急自動車(救急車)の接近を検知できることを確認した※。

※本実証は自動運転レベル2で実施。自動運転車両が緊急自動車(救急車)の接近を検知すると、ドライバーにポップアップ画面を表示。ドライバーは画面上で「減速」「停止」「進路変更」等の対応を選択する。

◀緊急自動車(救急車)の
設置した機器類▶緊急自動車(救急車)の
接近時における
自動運転車両側の
ポップアップ画面



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 緊急自動車(救急車)が高架下等に位置した場合、衛星とアンテナの間に遮へいが生じ、GNSS信号の受信が困難となり、位置精度が低下する可能性がある。
- 緊急自動車(救急車)で取得した位置情報等をクラウドへ集約する頻度により、緊急自動車(救急車)の急な進路変更等を把握ができない可能性がある。
- 緊急自動車(救急車)へのGNSS受信機等の設置にあたっては、消防機関等との調整が必要となる。
- 本実証では、音声による緊急自動車(救急車)車両の検知も検証したが、公道では周囲の建物による音の反響や雑音の影響で、検知率は約3割にとどまった。



実証による評価結果(ご参考)

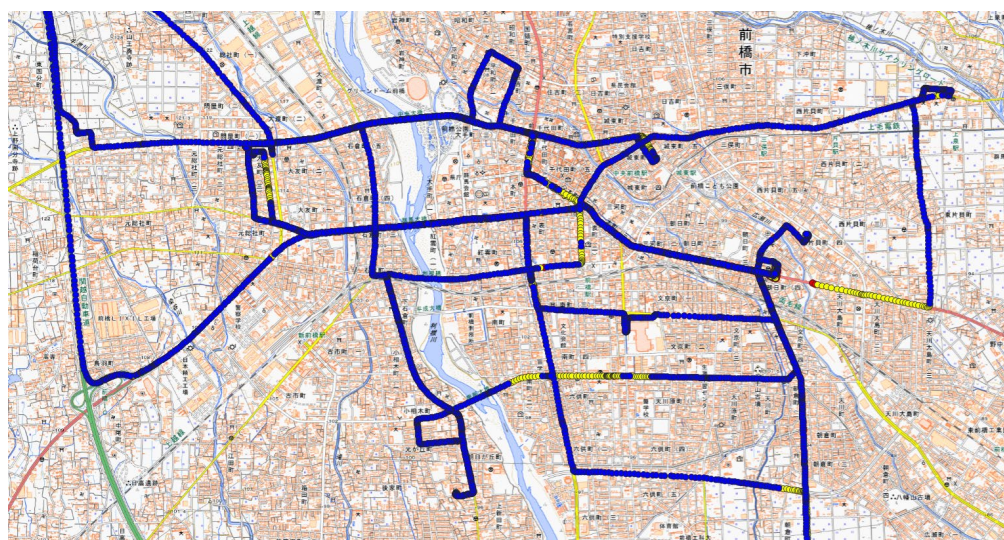
● 本実証における緊急自動車(救急車)の位置情報の正確性評価

本実証では前橋市内において、緊急走行時のRTK GNSSの測位状態※の割合を計測し、位置精度の評価を行った。その結果、8割以上の地点で誤差が数センチメートル程度に収まり、高精度な測位が維持されることを確認した。一方、高架下や密集市街地では、一時的に精度が低下する傾向が見られた。

※RTK GNSSの測位状態

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

前橋市内における緊急自動車(救急車)の位置情報の正確性評価



青：高精度
黄：中精度
赤：低精度

地理院タイルに測定データを追記して作成

レベル4自動運転の導入方法等を 把握する

レベル4自動運転導入における 通信方式の利用方法

本実証で用いた通信方式を利用するにあたっての参考となる資料について、関係する省庁などが公開する資料を紹介する。

タイトル	総務省 電波利用ポータル
公開元 / 公開年	総務省 / 公開中
URL	https://www.tele.soumu.go.jp/
概要	無線局の設置や導入を検討している方に向けて無線局免許の取得手続きや制度、無線機器に関する制度等の情報を提供する。特に、無線局免許の手続きに関しては、必要書類の様式や、手続きの手順の詳細を説明し、電子申請の窓口となっている。

タイトル	ローカル5G導入に関するガイドライン
公開元 / 公開年	総務省 / 2023年(最終改定)
URL	https://www.soumu.go.jp/main_content/000897566.pdf
概要	ローカル5G及び自営等BWAの無線局免許の申請手続きや、電気通信事業として導入する場合の考え方について、電波法(昭和25年法律第131号)及び電気通信事業法(昭和59年法律第86号)の適用関係について明確化し、ローカル5G及び自営等BWAに関係する制度の枠組みの透明化を図ることを目的としている。

レベル4自動運転導入のための手続き等

レベル4自動運転の導入にあたっての手続き等について、関係省庁が公開する手引き・ガイドラインを紹介する。

タイトル	自動運転移動サービス社会実装・事業化の手引き 第1版
公開元 / 公開年	国土交通省、経済産業省、警察庁 / 2024年
URL	https://www.road-to-the-l4.go.jp/activity/guideline/pdf/introduction_Ver1.pdf
概要	地方公共団体向けに、レベル4自動運転移動サービスの導入・事業化の手順を示した手引き。導入計画の策定、実証実験、安全確保、許認可取得、事業化の推進を解説し、関連制度も整理。全国の実証事例をもとに、導入課題と解決策を提示。

タイトル	自動運転
公開元 / 公開年	警察庁 / 公開中
URL	https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/index.html
概要	自動運転レベル4の導入に関する道路交通法の改正内容や、特定自動運行許可の申請手続きを説明。申請時の書類要件や手続きの流れが明示されており、導入に向けた準備に役立つ。加えて、公道実証実験についての情報や、関連する会議体の資料等を公開。

タイトル	自動運転に関する取り組み
公開元 / 公開年	経済産業省 / 公開中
URL	https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/automated-driving.html
概要	レベル4自動運転の社会実装に向けた施策や関連情報を提供。経済産業省と国土交通省が連携するRoAD to the L4プロジェクトについてや、自動運転サービスの広い社会普及に向けた取り組み(イベント、会議体、調査報告等)が確認できるウェブサイト。自動運転サービスの展開に向けた有益な情報が得られる。

タイトル	公道での自動運転の申請に関する手引き
公開元 / 公開年	国土交通省 / 2024年
URL	https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001749833.pdf
概要	本手引きは、公道での自動運転の実証実験や自動運転移動サービスの導入を行う際に必要となる各種審査手続きの流れについて、概要説明している。

参考資料

関係機関連絡先

本モデル集に関する問い合わせ

総務省(本省)情報流通行政局 地域通信振興課

E-mail: shinki-jigyoku@ml.soumu.go.jp

通信・エリアの電波状況、電波の改善等についてのご相談

株式会社NTTドコモ

問い合わせ先: Webサイト「電波の改善等について相談したい」

URL: <https://www.docomo.ne.jp/area/feedback/>

※法人営業の担当がいるお客様は、当該法人営業へ直接ご相談を
お願いします

ソフトバンク株式会社

問い合わせ先: プロセスマネジメント本部 OE統括部

ワイヤレスソリューション推進部 プロジェクト推進課

E-Mail: GRP-wls-project_promotion@g.softbank.co.jp

E-Mail(CC): SBMGRP-WLS-solution@g.softbank.co.jp

※法人営業担当者がいるお客様は、営業担当者をCcに含めて
ご連絡ください

楽天モバイル株式会社

問い合わせ先: 専用メール窓口

E-Mail: prj-rmi-autonomous-driving@mail.rakuten.com

用語集

用語	用語解説
3GPP	3rd Generation Partnership Projectの略。第3世代(3G)移動体通信システムの標準化プロジェクト、または同プロジェクトによる移動体通信システムの標準規格。
4G/LTE	4th Generation Long Term Evolutionの略。LTE方式による第4世代(4G)携帯電話・移動体データ通信サービス。
5G	第5世代携帯電話・移動体データ通信サービス。
AI	Artificial Intelligence(人工知能)の略。
AV-QoS	アプリケーション側で、通信状況に応じて通信量を管理・最適化する仕組み。スループット等の通信状況をモニタリングし、映像の解像度や圧縮率等を動的に調整することで、映像や音声通信の安定性を確保する。
Bluetooth	携帯電話、ノートパソコン、PDA等におけるデータ通信用の通信規格。2.4GHz帯の電波を利用し、1～2Mbpsの速度で通信を行うことが可能であり、通信範囲は10m程度。
bps	Bits Per Secondの略。通信速度の単位で、1秒間に何ビットのデータが送れるかを表す。
BWA	Broadband Wireless Accessの略。2.5GHz帯の周波数を使用する広帯域移動無線アクセスシステム。
DC	Data Center(データセンター)の略。
DoS	Denial of Service(サービス不能攻撃)の略。標的となるコンピュータやルータ等に大量のデータを送出し、当該宛先システムを動作不能とする攻撃。
ETSI ISG MEC	ETSIとは、European Telecommunications Standards Institute(欧州電気通信標準化協会)の略。欧州圏の電気通信における標準仕様を策定するため設立された標準化団体。ETSI ISG MECとは、ETSI Industry Specification Group on Multi-access Edge Computingの略。ETSIにおいて、MECを用いたエッジコンピューティングの標準化を取り進めるグループ。

用語	用語解説
fps	frames per secondの略。動画のなめらかさを表す単位の一つで、画像や画面を1秒間に何回書き換えているかを表したものの。
GNSS	全球測位衛星システム。人工衛星からの信号を用い、地球上の位置を測位するために、世界各国が整備・運用するシステム。人工衛星及び必要な地上設備等を含む。
HD	映像の画素数の水準を表す用語の一つ。画素数が1280×720ピクセルの映像を指す。
HMI	Human Machine Interfaceの略。人間と機械の間で情報をやり取りするための、機器や技術、コンピュータプログラム、表示等のインタフェースの総称。
IaaS	Infrastructure as a Serviceの略。情報システムの稼働に必要なコンピュータや通信回線等のインフラを、インターネットを通じて遠隔から利用者に提供する方式。利用者は、Web ブラウザなどの汎用クライアントソフトを用いて、事業者が整備したサーバ等の機器にアクセスして利用する。
IEEE 802.11	IEEEとは、Institute of Electrical and Electronics Engineers(米国電気電子学会)の略で、電気電子工学の研究を促進するために 1963 年に設立された。IEEE 802.11とは、IEEEに設置されたIEEE 802.11委員会において策定された無線LAN技術に関する標準規格。
IoT	Internet of Thingsの略。コンピュータなどの情報・通信機器だけでなく、世の中に存在する様々な物体(モノ)に通信機能を持たせ、インターネットに接続したり相互に通信することにより、自動認識や自動制御、遠隔計測などを行うこと。
iperf	ネットワークの帯域幅を測定するためのツール。
ISP	Internet Service Providerの略。光ファイバ回線などを通じて、通信端末をインターネットに接続するサービスを提供する事業者。
LAN	Local Area Networkの略。

用語	用語解説
LCX	Leaky Coaxial Cable(漏えい同軸ケーブル)の略。漏えい同軸ケーブルの外部導体に一定間隔でスリットや孔を設け、電波を漏えいさせることができる構造のケーブル。
LEO	Low Earth Orbitの略。高度2,000km までの軌道。約90～120分で地球を1周する。地球表面の一部しか見ることができない反面、高い空間解像度で観測することができる。
LiDAR	Light Detection And Rangingの略。レーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測する技術。
LoRaWAN	LoRa Allianceが策定した無線通信規格。LPWA規格の一つ。
LPWA	Low Power Wide Areaの略。低消費電力で長距離通信を実現する無線通信方式。数kmから数十kmの距離で通信が可能。
MEC	Multi-access Edge Computingの略。通信を行うモバイル端末やIoT機器などの近くにサーバを分散配置することによって、データ処理のレスポンスを早め、通信の最適化や高速化をすることができる技術。
MIMO	Multiple Input Multiple Outputの略。無線通信の分野では、複数のアンテナを使用し、データの送信/受信を行う技術を表し、周波数の利用効率を高めることが出来る。
Mobile-QoS	特定のSIMカードを具備した通信端末に対して、無線リソースを優先的に割り当て、通信品質を向上させる仕組み。
MQTT	Message Queuing Telemetry Transportの略。多数の通信機器の間で短いメッセージを頻繁に送受信する用途に適した通信規約。
ODD	運行設計領域。
ONU	Optical Network Unit(光終端装置)の略。光回線を用いてインターネットに接続する際に必要な回線終端装置。
OTA	Over the Airの略。無線通信を用いたソフトウェアのアップデート。

用語	用語解説
PaaS	Platform as a Serviceの略。ソフトウェアの実行環境をインターネットを通じて遠隔から利用者に提供する方式。利用者は、Webブラウザなどの汎用クライアントソフトを用いて、事業者がソフトウェアの実行環境を整備したサーバにアクセスし、ソフトウェアを利用する。
ping	Packet Internet Groperの略。インターネット等で、ネットワークの診断をするプログラム。
QoS	Quality of Serviceの略。通信回線において、通信内容に応じて適した品質を確保すること。またそのための技術。
RSRP	Reference Signal Received Power(基準信号受信電力)の略。基地局から送信される基準信号の受信電力強度。
RTK GNSS	Real Time Kinematic-Global Navigation Satellite Systemの略。基準点と観測点という2つのポイントを同時に観測する測位方法。
SaaS	Software as a Serviceの略。ソフトウェアをインターネットを通じて遠隔から利用者に提供する方式。利用者はWebブラウザなどの汎用クライアントソフトを用いて事業者の運用するサーバへアクセスし、ソフトウェアを操作・使用する。
Sigfox	仏Sigfox社が提供するIoT向け無線通信規格。LPWA規格の一つ。
SIM	Subscriber Identity Moduleの略。携帯電話等の加入者を特定するための情報が記録されたもの。
SSID	Service Set Identifierの略。IEEE 802.11規格に準拠する無線LANアクセスポイントの識別子。
Sub6	6GHz未満の周波数帯。
SW	Switch(スイッチ)。データ転送先の選択機能を持つネットワーク集線装置。
UE	User Equipmentの略。端末。

用語	用語解説
VPN	Virtual Private Networkの略。通信事業者の公衆回線を経由して構築された仮想的な組織内ネットワーク。また、そのようなネットワークを構築できる通信サービス。企業内ネットワークの拠点間接続などに使われ、あたかも自社ネットワーク内部の通信のように遠隔地の拠点との通信が行える。
Wi-Fi	IEEE 802.11規格に基づく無線通信技術の一つ。2.4GHz帯、5GHz帯、及び6GHz帯の免許不要帯域を利用し、家庭、オフィス、商業施設、公共エリア等の幅広い場所で、比較的短距離(～数十m)な通信に利用される。
Wi-Fi HaLow	IEEE 802.11ah規格に準拠する無線通信技術。免許不要の920MHz帯を利用し、低消費電力かつ長距離通信(～数km)が可能。LPWA規格の一つ。
WiGig	IEEE 802.11ad規格に準拠する無線通信技術。免許不要の60GHz帯を利用し、大容量通信が可能。
Wi-SUN	IEEE 802.15.4g規格に準拠する無線通信技術。免許不要の920MHz帯を利用し、低消費電力かつ長距離通信(～数km)が可能。LPWA規格の一つ。
アップリンク	端末で基地局へ送信する場合の通信。
遠隔監視装置	特定自動運行用自動車の周囲の道路及び交通の状況並びに当該特定自動運行用自動車の状況を、映像及び音声により確認することができる装置。
解像度	映像における品質の尺度の一つで、総画素数のこと。
キャリア	自ら電気通信回線設備を保有し、電気通信サービスを提供している電気通信事業者。通信キャリアとも言う。
キャリアアグリゲーション	携帯電話通信において、複数のキャリア(周波数帯域)を組み合わせ、帯域幅を拡張し、通信速度を向上させる仕組み。
ゲートウェイ	異なる通信規約を持つネットワーク間を接続するための通信機器。
スループット	throughput。単位時間当たりの処理能力やデータ転送量のこと。伝送速度。
ダウンリンク	端末で基地局から受信する場合の通信。

用語	用語解説
チャンネル	チャンネル(channel)ともいう。電気通信(有線通信、無線通信)で信号・情報を通すための経路。
チャンネルボンディング	周波数が連続したチャンネルを複数束ねて利用することで、多くの無線リソースを一度に利用して通信する技術。
低軌道(LEO)衛星 ブロードバンド通信	低軌道(LEO)衛星を用いた高速・大容量通信。
デバック	コンピュータプログラムが意図した動作をしない場合に、プログラム中の誤りを修正すること。
トラヒック	ネットワーク上を移動する音声や文書、画像等のデジタルデータの情報量のこと。通信回線の利用状況を調査する目安となる。
ネットワークスライシング	多様な要望や通信サービスの特性毎に、ネットワークの構成やリソースを論理的に分割する技術。
バックホール	通信事業者の回線網において、末端のアクセス回線と中心部の基幹通信網をつなぐ中継回線のこと。携帯電話回線(移動体通信網)の場合、基地局設備と最寄りの拠点設備をつなぐ固定回線網をバックホール(モバイルバックホール)と呼ぶ。
ハンドオーバ	携帯電話等の移動体通信において、無線端末が交信する基地局を切り替える動作。
ビームフォーミング	アンテナから特定方向の電波を強めたり弱めたりすることで、通信距離を伸ばしたり感度を向上させる技術。
光固定通信	光ファイバを用いた高速伝送可能なデータ通信。
ビットレート	通信速度を表す単位の一つで、1秒間に伝送されるビット数を表す。
不感エリア	携帯電話回線(移動体通信網)において、基地局が整備されていない等が原因で、回線接続できない地域。
プラチナバンド	携帯電話回線(移動体通信網)において、高層建築物の奥にも届きやすく広いエリアカバーに適する特性を有する700MHz帯から900MHz帯の周波数帯。
フルHD	映像の画素数の水準を表す用語の一つ。画素数が1920×1080ピクセルの映像を指す。

用語	用語解説
閉域網	インターネットや他の閉域網と分離された限定的な通信ネットワークのこと。特定の組織や利用者のみが接続でき、高いセキュリティと安定した通信を提供する。
マルチSIM	複数通信事業者のSIMカードを備えた通信機器を用い、複数事業者の通信回線を同時並行または選択的に利用する仕組み。
ローカル5G	地域や産業の個別のニーズに応じて、地域の企業や自治体等の様々な主体が、自らの建物内や敷地内でスポット的に柔軟に構築できる5Gシステム。

令和5年度補正 総務省地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4検証タイプ)

「レベル4自動運転移動サービス社会実装促進に向けた
通信システムの信頼性確保等に関するモデル集」

第1版 令和7年3月31日

発行者 総務省情報流通行政局 地域通信振興課
〒100-8926 東京都千代田区霞が関2-1-2

請負者 株式会社三菱総合研究所
〒100-8141 東京都千代田区永田町2-10-3