

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2版

令和8年3月31日

目次

はじめに	8
レベル4自動運転の課題や解決策を把握する	10
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	11
モデル集の読み手、目的・利用方法、構成	12
レベル4自動運転の導入に活用可能な通信方式	13
・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	19
・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	22
・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)	
本モデル集における適用技術の位置づけ	24
レベル4自動運転実現のための解決策	24
課題解決の具体的事例を把握する	28

目次

レベル4自動運転の導入方法等を把握する	134
レベル4自動運転導入における通信方式の利用方法	135
レベル4自動運転導入のための手続き等	137
参考資料	140
関係機関連絡先	141
用語集	144

実証事例の掲載ページ

エリア共通

ユースケース	課題解決のために活用可能な技術	実証事例	実証エリア	実証年度	記載ページ
遠隔者による1:N監視の実現	• 映像のAI分析	映像分析によるアラート報知	日立市	R6	30
	• 映像のAI分析 • マルチSIM • AV-QoS	交通事業者のオペレーション性を考慮したAI画像解析・安定通信要件の検証	精華町	R7	32
LTE回線が利用できなくなった場合の代替通信手段の確保	• 光無線通信	光無線通信による通信の冗長性確保	松江市	R7	35
緊急自動車(救急車)接近時の自動運転車両による検知	• GNSS	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	前橋市	R6	37
	• GNSS • ITS Connect	ITS ConnectまたはGNSSを活用した緊急自動車(救急車)の接近検知と自動運転車両の一時停止および再発進	高知市	R7	39
DoS攻撃等の外部攻撃を防ぐ高いセキュリティ性の確保	• ローカル5G(Sub6) • MEC	MECを活用したセキュアなネットワーク構成	横浜市	R6	41

実証事例の掲載ページ

都市部・交通密集地エリア

ユースケース	課題解決のために活用可能な技術	実証事例	実証エリア	実証年度	記載ページ
混雑した環境下における通信の安定性向上	<ul style="list-style-type: none"> • Mobile QoS (パケット優先制御) • スライシング 	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	横浜市	R6	44
		キャリア5G網によるスライシングとMobile-QoSを活用した混雑環境における自動運転に対応した頑健な通信環境の構築	横浜市	R7	46
	<ul style="list-style-type: none"> • Av-QoS 	通信帯域の確保に応じた映像レート制御	横浜市	R6	48
		通信速度の将来予測に応じた動的映像圧縮制御	日田市	R6	50
		携帯電話基地局情報による遠隔監視映像の伝送制御による輻輳時の遠隔監視継続の安定化	佐賀市	R7	52
		通信品質予測技術・通信量制御技術を活用した混雑環境における自動運転に対応した頑健な通信環境の構築	横浜市	R7	54
	<ul style="list-style-type: none"> • ローカル5G(Sub6) • WiGig 	公道におけるローカル5Gの活用に関する実証	横浜市	R6	59
		WiGigを活用したローカル5Gエリア拡張に関する実証	横浜市	R6	61
		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	横浜市	R6	63
	交差点等における車載センサ死角の歩行者や車両の認知	<ul style="list-style-type: none"> • ローカル5G(Sub6) • 路側センサ 	路側カメラによる歩行者検知支援	日田市	R6
ローカル5G活用による走行車両の検知および広域配信			小松市	R6	67
AIを活用した路車協調システムの実証			横浜市	R6	73
路側HMIによる歩行者への車両状態の通知			日田市	R6	75
ローカル5Gスマートポールを活用した見通し外の車両認知機能の補助機能および車両制御への活用の検証			狛江市	R6/R7	77
ローカル5Gを用いた路側インフラと自動運転車両の連携による混雑発生地域における入庫待ち車列渋滞の回避行動の実現			横浜市	R7	86
<ul style="list-style-type: none"> • キャリア通信 • 路側センサ 		複数台センサを活用した高架等に起因する車載センサの検知外の人・車の検知による右折支援	佐賀市	R7	89
		キャリア5Gを用いた路側インフラと自動運転車両の連携による、狭隘道路における離合制御の実現	横浜市	R7	91
		見通しの悪い道路での走行支援情報伝送	松江市	R7	93

実証事例の掲載ページ

郊外・中山間地エリア

ユースケース	課題解決のために活用可能な技術	実証事例	実証エリア	実証年度	記載ページ
携帯電話圏外のエリアにおける常時接続の確保	・低軌道(LEO)衛星ブロードバンド	モバイル通信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	中之条町	R6	96
		低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信を用いた自動運転向け通信バックホール回線の構築	美郷町	R7	98
	・長距離伝送アンテナ技術 ・LPWA	長距離伝送アンテナ技術やLPWAを用いた無線LANによる不感エリア対策	美郷町	R7	100
	・ローカル5G ・マルチSIM	複数キャリアネットワークとローカル5G等自営網の効率的活用による安定した通信の確立	仙台市	R7	102
地形や建物の影響による、局所的な通信品質が劣化	・キャリアアグリゲーション ・マルチSIM	キャリアアグリゲーションとマルチSIMの利用による通信品質改善	境町	R6	106
		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	境町	R6	108
		複数キャリア回線の併用利用による中山間地における遠隔監視向けの通信品質改善	美郷町	R7	110
	・Av-QoS	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	中之条町	R6	112

特殊環境・限定空間エリア

ユースケース	課題解決のために活用可能な技術	実証事例	実証エリア	実証年度	記載ページ
トンネル内における常時接続の確保	・電波吹き込み用基地局 ・移動衛星基地局	電波吹き込みを用いたトンネル内不感エリア対策	上士幌町	R6	115
	・LCX(漏えい同軸ケーブル)	モバイル通信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	中之条町	R6	117
	・高信頼性・低遅延の無線バックホール技術	モバイル通信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	中之条町	R6	119
	・LTEレピーター	携帯電話中継装置を用いた中山間地のトンネル内電波環境整備	佐賀市	R7	121
積雪等に伴う環境情報の動的変化	・WiGig ・Mobile QoS	大容量データを伝送するWiGig・光通信技術等の高度通信技術の検証	千歳市	R7	123
	・都市OS	都市OSと連携した環境情報提供による効率的な自動運転制御	仙台市	R7	125
自動運転システムのセキュリティ更新	・ローカル5G(Sub6)	停車場における通信環境の高度化	小松市	R6	131

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、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、まだ検証が行われている段階です。また、他の地域にも展開できるような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。さらに、令和6年度補正予算においても、「地域社会DX推進パッケージ事業」が実施されており、自動運転を支える通信システムを含む先進的技術の社会実証に向けた取組を進め、その成果をモデル集として取りまとめています。

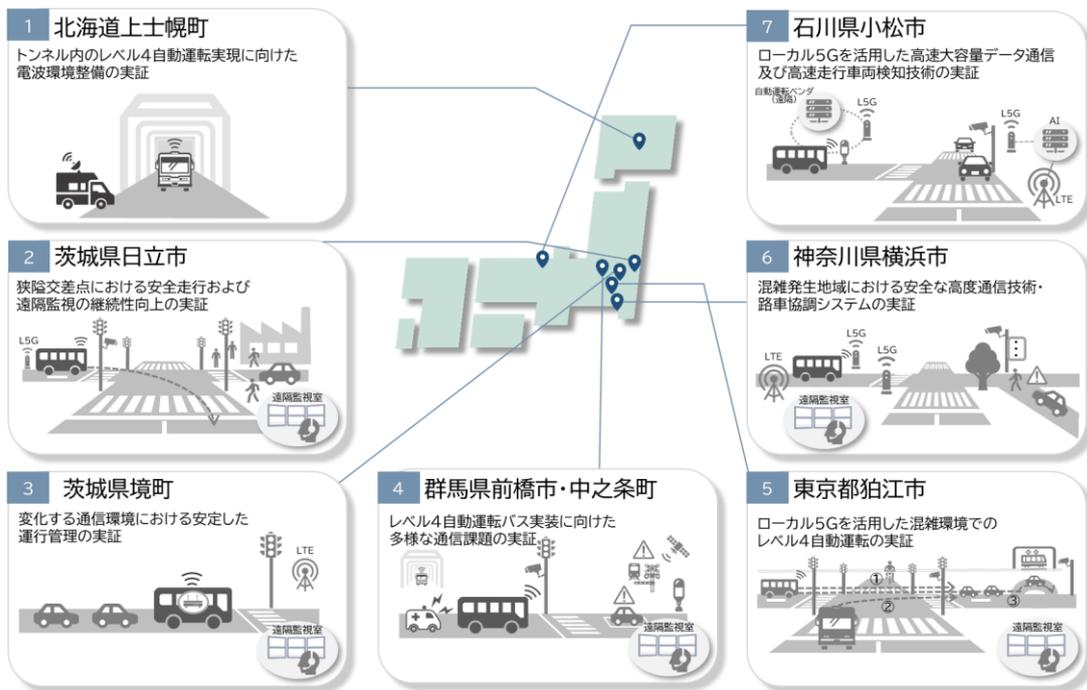
なお、本モデル集の事例はあくまでも技術カタログとしての参考に留めるものとしてください。例えば、法令解釈や許認可が必要な事項については、それぞれ主務官庁等にお問い合わせ・協議頂くことが必要です。技術導入等に伴い必要とされる安全確保のための措置等に係る判断は、必ず責任主体が行うこととしてください。

※本稿においては、「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特定自動運行中の特定自動運行自動車に乗車させる措置ではなく、遠隔監視装置を備え付けた遠隔監視場所に配置する措置を講じた場合の特定自動運行をいいます。

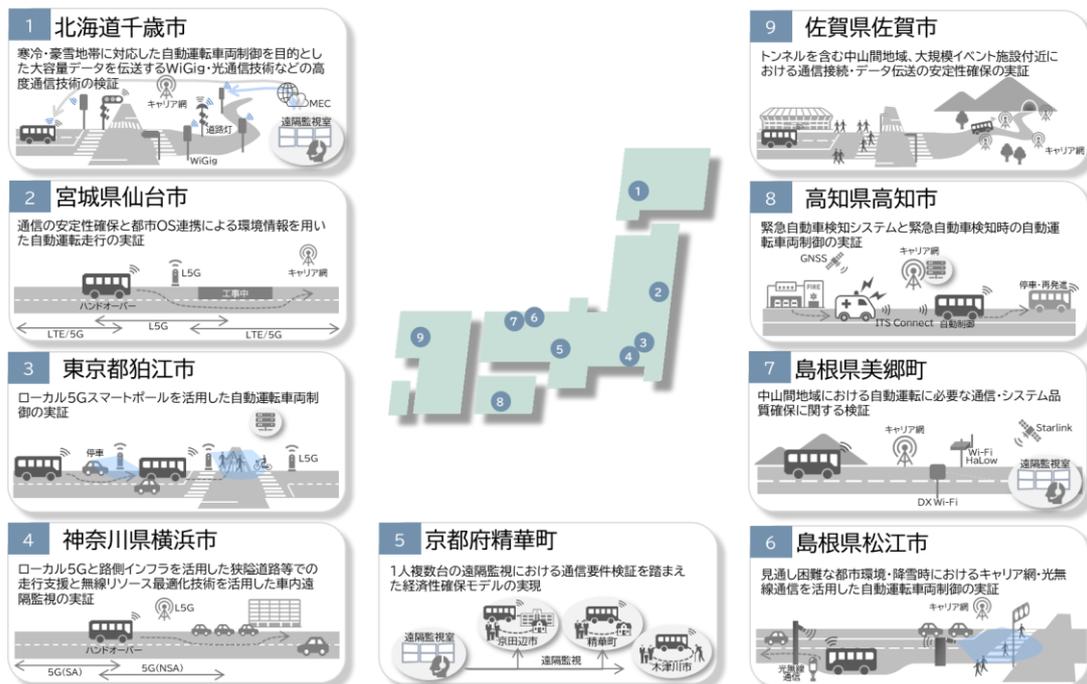
はじめに

令和6年度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)および令和7年度総務省地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)に実施された各地域の実証概要を一覧的に示します。

■ 令和6年度実施事業



■ 令和7年度実施事業



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ができない、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、遠隔監視装置は、特定自動運行主任者が実施しなければならない措置を適切に行うことができる程度の鮮明な映像、明瞭な音声、位置情報を常時かつ即時に受信することができる性能を有していなければなりません。また、特定自動運行保安員が事務所その他の適切な業務場所に配置される場合には、遠隔監視装置その他の装置を用いて、遠隔から運行の安全の確保に関する業務を実施する必要があります。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します。

レベル4自動運転移動サービスの社会実装においては、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するレベル4自動運転車に対し、通信を介して情報を提供することで、同車の自律的な走行を支援することが想定されます。例えば、見通しの悪い交差点等において、自動運転車のセンサの死角を補う路側センサが検知した周辺環境情報を通信を介して自動運転車に提供することのほか、高精度マップ等を用いる場合には、道路工事等により自車が参照する地図情報と実際の道路状況に乖離が生じ、自動運行システムが直ちに対応できない状況に直面している場合に、人が通信を介して遠隔から情報又は助言を提供することによって、自動運転車の自律的な走行を支援することが想定されます。

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	特定自動運行中の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自動運転サービス移動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」および令和6年度補正予算「地域社会DX推進パッケージ事業」における施策として、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自動運転移動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、本モデル集に記載する内容は、本実証事業において検証した事項に限られるものであり、掲載事例はすべてを網羅するものではなく、あくまで一例です。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。

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。

項目	モバイル通信 (4G/5G)	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)	WiGig (802.11ad)	
通信速度 (理論値)	最大1Gbps	最大20Gbps	最大9.6Gbps	～数Mbps	数Gbps級	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)	数m～数十m (見通し環境)	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	(低遅延とされる)	100ms～ 500ms

※各通信方式の性能や数値は公開資料に基づく一般的な参考値

モバイル通信(4G/5G)

- 携帯電話事業者が整備・運用する4G(LTE)/5G通信であり、携帯電話回線を契約することにより、全国的な通信網を活用できる。
- 本実証では、多くのユースケースで利用された。

ローカル5G

- 特定エリアで独自に免許を取得・運用する5G通信であり、携帯電話回線を用いず、比較的自由的な構成が可能です。一方で、専用局舎および基地局の設置が必要。
- 本実証では、見通し外を含む遠隔監視環境において、物標情報のリアルタイム映像伝送および分析等に利用された。

Wi-Fi 6(802.11ax)

- 免許不要帯域を用いる無線通信であり、市販のアクセスポイントにより比較的容易に通信環境を構築できますが、アクセスポイント等の設置が必要。
- 本実証では、トンネル等における遠隔監視用通信に利用された。

Wi-Fi HaLow(802.11ah)

- 低消費電力かつ長距離通信が可能な免許不要帯域の無線通信であり、中継設備の設置が必要。
- 本実証では、不感エリアでのリアルタイム映像伝送等や、ローカル5G基地局間の接続(バックホール)に利用された。

WiGig(802.11ad)

- 広い周波数帯を活用した超高速・大容量通信が可能で、対応機器の設置が必要。
- 本実証では、路側機と自動運転車両間で大容量データを伝送する通信手段として利用された。

低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信

- 低軌道衛星を活用し、携帯電話通信インフラが整備されていない山間等を含めた広域通信が可能で、専用の通信設備が必要。
- 本実証では、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に利用された。

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、送受信機間に遮蔽物があると、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、導入に係る一定のコストを要する。
- 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

- 中山間地やトンネル等の不感エリア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	
Wi-Fi 6 (802.11ax)	2019年	9.6Gbps	2.4GHz帯 5GHz帯	・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 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・遮蔽され、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いて、停車時における自動運転車両の遠隔監視用通信として利用。
- モバイル通信圏外の山間部において、自動運転車両の遠隔監視用通信のバックホール回線として利用。

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より有効に利用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より有効に利用する技術

「キャリアアグリゲーション」、「マルチSIM」、「Mobile QoS」、「ネットワークスライシング」、「レピーター」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。

■ ネットワークスライシング

概要

- 5G SAにおいて、通信事業者のネットワーク上に用途ごとに論理的に分割された仮想的な通信路であるスライスを複数提供し、サービスごとに異なる通信要件に合わせて、スライスごとに適したサービスを割り当てて運用できるようにする技術。
- スライスごとに、必要な通信特性に合わせた制御やリソース配分を行うことで、一般利用のトラフィック変動の影響を受けにくい通信を実現。
- なお、スライシング自体が回線容量を増やすものではなく、提供される通信特性はネットワーク側の設定や環境に依存する。

本実証での活用例

- 都市部やイベント時等の一般利用のトラフィック変動が大きいエリアにおいて、遠隔監視等の特定用途向けにスライスを割り当てて運用することに利用。

■ 携帯電話中継装置(レピーター)

概要

- 携帯電話基地局の電波を受信し、増幅して再放射することで、トンネル内部等の電波が届きにくい場所へ携帯電話回線カバーエリアを延伸し、不感エリアの通信を補う装置。
- 既存の基地局電波を延伸する方式のため、装置の受信側で元となる電波を確保できない場合は利用できない。

本実証での活用例

- トンネル等、遮蔽の影響で局所的に不感エリアが生じる区間において、基地局電波を受信できる地点から不感エリアへ携帯電話回線カバーエリアを延伸し、遠隔監視に必要な通信環境を確保することに利用。

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蔽される構造物・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、「通信品質の予測技術」、「QoS制御(AV-QoS)」、「MEC」の概要や本実証における活用例を整理する。

■ 通信品質の将来予測

概要

- 走行位置や時刻変化等に伴うスループット変動を予測し、通信品質が劣化する前に対策(例:ネットワーク切替)を行いやすくする技術。
- キャリア網は場所や時間帯等によりスループットが変動しうるため、予測に基づく事前対応が有効となる場面がある。

本実証での活用例

- 複数ネットワークの通信品質の変化を予測し、品質劣化を未然に回避できる切替点を導出して、劣化前に切替を行うことに利用。

■ 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

- トラフィ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室に伝送する。
- トラフィ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、遠隔監視映像を動的に圧縮・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)

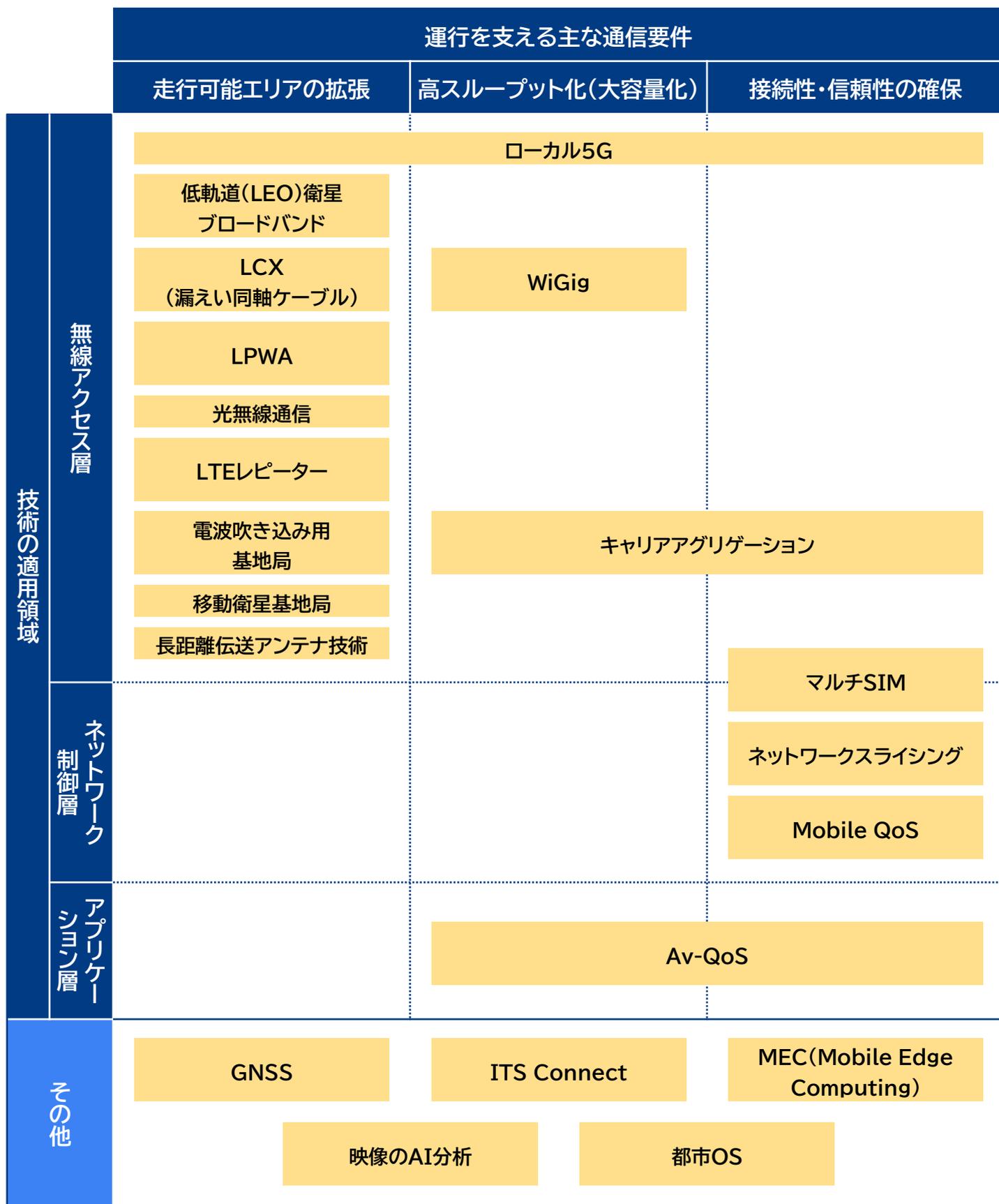
概要

- 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、バックホールトラフィックの削減、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。

本モデル集における適用技術の位置づけ



適用技術の掲載ページ

技術名	実証エリア	実証年度	ページ数	主な技術提供企業	代表機関
ローカル5G	横浜市	R6	41, 59, 61, 63, 73	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)
		R7	86		
	日立市	R6	65	日本電気(株)	日本電気(株)
		R6	75		
	狛江市	R6	77	NTT東日本(株)	NTT東日本(株)
	仙台市	R7	102	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)
小松市	R6	67, 131	日本電気(株)	日本電気(株)	
低軌道(LEO)衛星ブロードバンド	中之条町	R6	96	米SpaceX社	(一社)ICTまちづくり共通プラットフォーム推進機構
	美郷町	R7	98	米SpaceX社	NTT西日本(株)
LCX(漏えい同軸ケーブル)	中之条町	R6	117	日本モビリティ(株)	(一社)ICTまちづくり共通プラットフォーム推進機構
WiGig	横浜市	R6	59, 61, 63	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)
	千歳市	R7	123	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)
LPWA	美郷町	R7	100	NTT西日本(株)	NTT西日本(株)
光無線通信	松江市	R7	35	ソフトバンク(株)	ソフトバンク(株)
LTEレピーター	佐賀市	R7	121	楽天モバイル(株)	楽天モバイル(株)
電波吹き込み用基地局	上士幌町	R6	115	ソフトバンク(株)	BOLDLY(株)
キャリアアグリゲーション	境町	R6	106	BOLDLY(株)	BOLDLY(株)
	美郷町	R7	108	NTT西日本(株)	NTT西日本(株)
移動衛星基地局	上士幌町	R6	115	ソフトバンク(株)	BOLDLY(株)
長距離伝送アンテナ技術	美郷町	R7	100	NTT西日本(株)	NTT西日本(株)

※適用技術に関するお問い合わせは、p.141~142をご参照の上、まずは代表機関までご連絡ください。

適用技術の掲載ページ

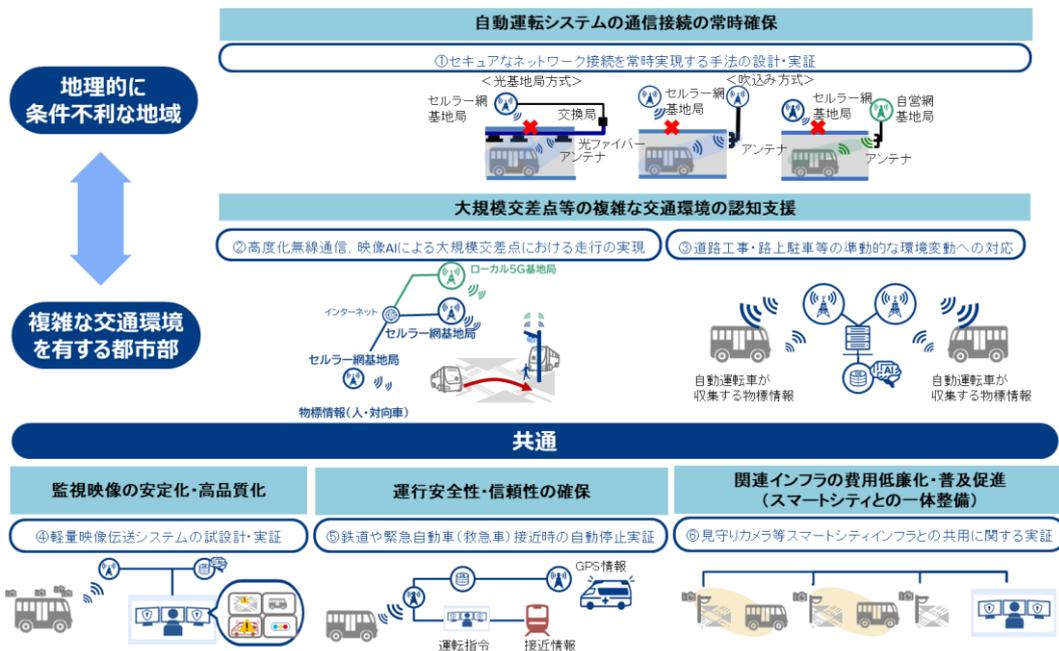
技術名	実証エリア	実証年度	ページ数	主な技術提供企業	代表機関
マルチSIM	境町	R6	106	BOLDLY(株)	BOLDLY(株)
	仙台市	R7	102	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)
	美郷町	R7	108	NTT西日本(株)	NTT西日本(株)
スライシング	横浜市	R6	44	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)
		R7	46		
Mobile QoS	横浜市	R6	44	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)
		R7	46		
Av-QoS	横浜市	R6	48	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)
		R7	54		
	日立市	R6	50	日本電気(株)	日本電気(株)
	佐賀市	R7	52	楽天モバイル(株)	楽天モバイル(株)
	境町	R6	110	BOLDLY(株)	BOLDLY(株)
GNSS	前橋市	R6	37	日本モビリティ(株)	(一社)ICTまちづくり共通プラットフォーム推進機構
	高知市	R7	39	NTT西日本(株)	NTT西日本(株)
ITS Connect	高知市	R7	39	京セラ(株)	NTT西日本(株)
MEC	横浜市	R6	41	(株)NTTドコモ	NTTドコモビジネス(株)
映像のAI分析	日立市	R6	30	日本電気(株)	日本電気(株)
	精華町	R7	32	NTTドコモビジネス(株)	アイサンテクノロジー(株)
都市OS	仙台市	R7	125	NTTドコモビジネス(株)	NTTドコモビジネス(株)

※適用技術に関するお問い合わせは、p.141～142をご参照の上、まずは代表機関までご連絡ください。

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令和6年度および令和7年度で実施した各実証について、地理的な特徴を考慮して、各ユースケースを「エリア共通」、「都市部・交通密集地エリア」、「郊外・中山間地エリア」、「特殊環境・限定空間エリア」の4つに分類をして整理する。

■ 令和6年度実証におけるユースケース



■ 令和7年度実証におけるユースケース



課題解決の具体的事例を把握する

▶▶ エリア共通

映像分析によるアラート報知(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、遠隔監視員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	遠隔監視員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、遠隔監視員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

自動運転バスの遠隔監視映像を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、遠隔監視員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。

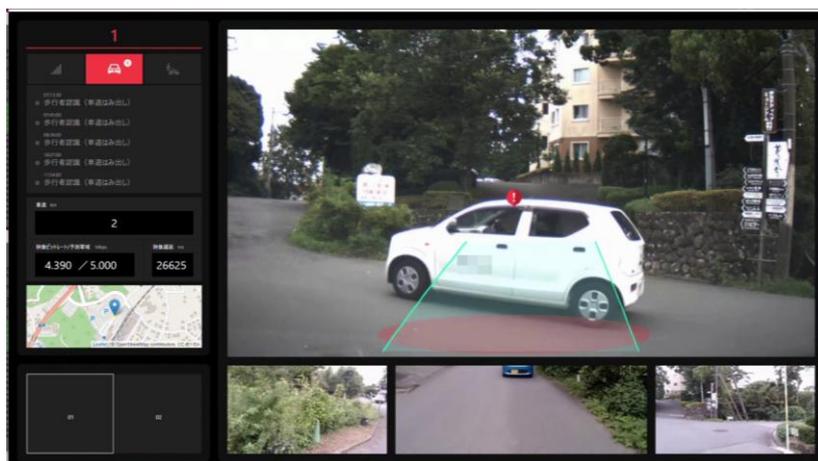


事例 茨城県日立市での事例

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、遠隔監視員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や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ー表示できた。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(マーカー付与)

(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名の遠隔監視員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報知等※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
マーカー、アラートの機能仕様はいかがでしたか	2.14点
マーカー、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)

交通事業者のオペレーション性を考慮したAI画像解析・安定通信要件の検証 (京都府精華町)

実証エリアの特徴	公共バスのドライバー不足が顕在化しており、今後さらに深刻化する可能性がある。
レベル4自動運転実現の課題	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転バスの導入と経済性確保の両立のため、複数台の遠隔監視が必要 自動運転バスの複数台遠隔監視を行うための遠隔監視員のさらなる省力化が必要 遠隔監視に必要となる低コストかつ安定した通信の確保が必要
通信方式	モバイル通信(4G・5G)
通信方式を活用するための技術	マルチSIM、AV-QoS ^{*1} による安定的な通信の確保

*1:通信状況に応じて通信量を管理・最適化する仕組み

導入により解決・実現できること

自動運転バスの車内・車外に設置した監視カメラの映像を、AIによって画像解析しタスクの自動化^{*2}を行うことで、遠隔監視員による車掌業務の省力化を図り、複数台の自動運転バスの同時監視実現に向け有効であることを確認した。また、通信回線についてマルチSIMにより3回線を併用する構成や、通信状況に応じて通信量を最適化するAV-QoSの仕組みにより安定的な通信品質を確保し、遠隔監視映像を継続的に遠隔監視室に送信できることを確認した。

*2:AIによる画像認識で車掌業務上の対応事象を自動検知し、車内システムによる一次対応と発報起点の監視により、遠隔監視業務を省力化して一人で複数台の監視を可能とする

システム構成の概念図



事例 AI画像解析技術の活用による自動運転バスの遠隔監視

自動運転バスで遠隔監視員の実施が必要な車掌業務のうち、監視業務を特に圧迫する業務を特定。AI検知とタスク自動化により遠隔監視員の負担低減を行い、複数台監視を実現。

■:本事業にて実装

車掌業務
発生工数の割合



- 車椅子利用者の対応(別途検討が必要)
- 駆け込み乗車客の対応
- 出発定刻後の降車希望客の対応
- + (車内転倒者の対応
扉周辺滞留旅客への対応) (交通事業者として必須機能)

本実証で検討した遠隔監視員業務ユースケースリスト
(工数上位項目 + 実装項目/全22項目)

1	車いす利用者の乗降・案内の発生
2	駆け込み乗車客の対応
3	出発定刻後における降車希望客の対応
4	旅客からの問い合わせへの対応
5	終点到着時の車内滞留旅客への対応
6	料金収受対応
7	発車時に着座していない旅客への対応
⋮	⋮
16	扉周辺滞留旅客への対応
⋮	⋮
22	車内転倒者の対応

導入時の留意事項・意識しておく事項等

事業面

人員削減に向けた、適切な人員配置方法の策定

複数台同時運用によるコスト低減額の算定

通信品質と運用性を踏まえたコストのスイートスポットの特定

技術面

混雑度等の条件に影響されないAI精度向上・複数台カメラ配置

監視室側のネットワーク通信要件・PC性能の検討

車内・車外を含めた事象検知・車両制御への反映

実証による評価結果(ご参考)

● 3市町における自動運転バス導入・1:N遠隔監視／広域連携時の事業性の試算

1人複数台(1:N)遠隔監視による人件費削減や、インフラやメンテナンスコスト等のコストシェアの効果を試算。

3市町広域連携・1:3遠隔監視を行うことにより、コストを**-47%低減可能**。



広域連携効果の試算結果



複数市町広域連携のイメージ

● 安定的な通信品質の確保とAI検知による複数台の同時監視

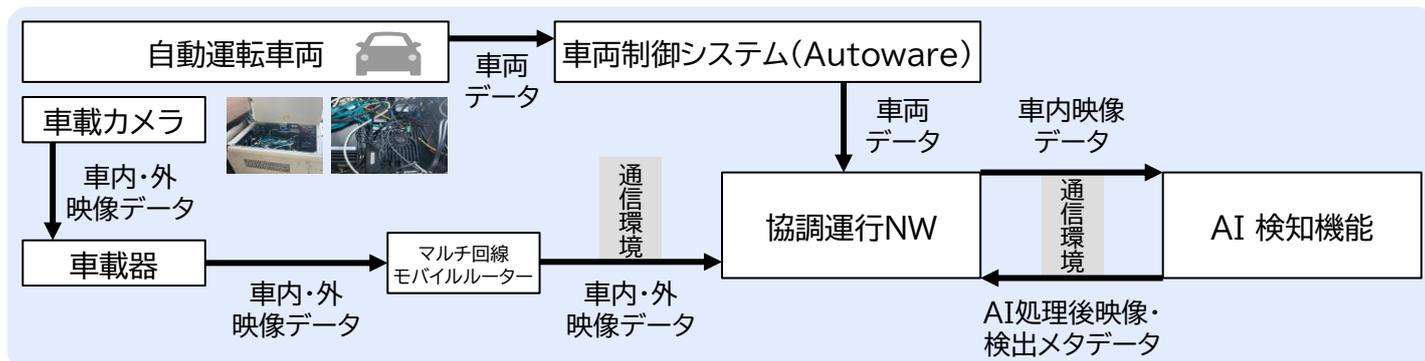
マルチSIMやAV-QoS等の通信施策の実装により監視室への安定した映像伝送が可能であることを確認。

また、車内での転倒や扉付近の侵入、駆け込み乗車や降車希望客等のAI検知により、遠隔監視員による車掌業務の負荷低減を確認。アラートの視覚・聴覚的強調や、遠隔監視員の視線移動の最小化等、HMIに必要な要件を整理。



複数台遠隔監視の様子

システムアーキテクチャ



事例

1人の遠隔オペレーターが複数台の自動運転車両に対応する運用に関する、
学術分野での研究動向

自動運転技術の社会実装に向けて、遠隔オペレーターによる自動運転車両の監視・支援・操作に関する検討が進められている。特に、1人の遠隔オペレーターが複数台の自動運転車両に対応するための手法等については、学術分野においても研究が進展している。本ページでは参考として、以下の論文を紹介する。

■参考論文①

タイトル	Human-centered design and evaluation of a workplace for the remote assistance of highly automated vehicles
著者	Andreas Schrank, Fabian Walocha, Stefan Brandenburg & Michael Oehl
公開元 / 公開年	Cogn Tech Work 26, 183-206 / 2024年
URL	https://doi.org/10.1007/s10111-024-00753-x
概要	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔から自動運転車両を走行の支援を行うことで、運行を継続性の向上が期待できる。 本研究では遠隔から自動運転車両の走行支援を行う主体を「遠隔アシスタント」と位置づけ、遠隔支援のためのHMIと作業環境を人間中心設計で開発し、シミュレーション環境で評価した。 「遠隔アシスタント」に、遠隔支援と同時に数字の記憶・判定課題を課して作業負荷を高めた条件でも、参加者は状況認識を維持して迅速に対処でき、HMIの使いやすさと受け入れやすさに関して、良好な結果が得られた。

■参考論文②

タイトル	Concept of a Control Center for an Automated Vehicle Fleet
著者	Johannes Feiler, Simon Hoffmann and Dr. Frank Diermeyer
公開元 / 公開年	2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) / 2020年
URL	https://doi.org/10.1109/ITSC45102.2020.9294411
概要	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転の商用利用が進むと、複数台の車両の運用を支える仕組みが必要になり、航空・公共交通業界等における「運行管理センター」に類する枠組みが有効と考えられる。 本研究は文献調査に加え、専門家インタビューと現場視察を通じて運行管理センターのタスクを整理し、提供サービスを①緊急対応、②車両管理、③遠隔操作の3つに整理した。 本整理により、運行管理センターは需要に応じて規模を拡大し柔軟に運用できる可能性が示された一方、遠隔操作サービスは技術面・運用面での検討が十分とは言えず、必要な人員・機能等の概算に向けて追加研究が必要である。

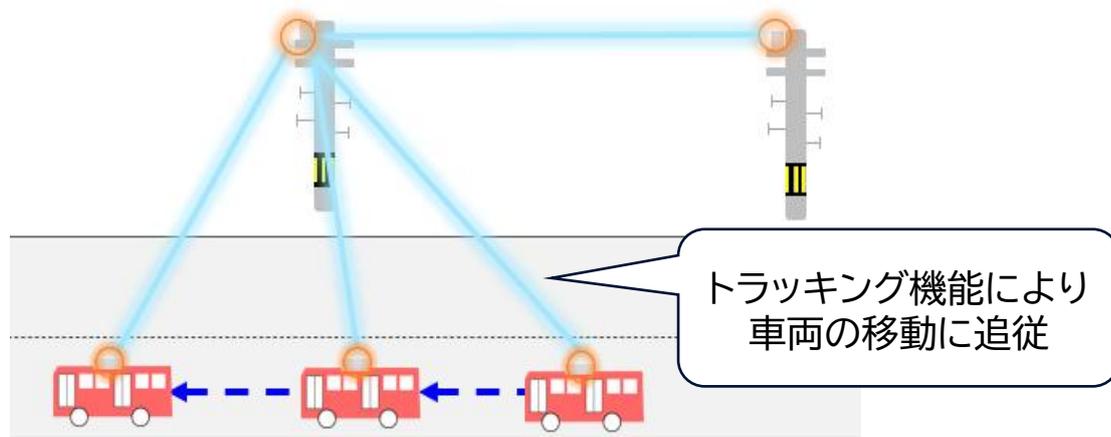
光無線通信による通信の冗長性確保（島根県松江市）

実証エリアの特徴	LTE回線が利用できなくなった場合に、代替の通信手段が確保されていない。
レベル4自動運転実現の課題	LTE回線の通信が何らかの要因で利用できなくなった場合、自動運転の安全確保を支援する情報（路側機・センサーから収集した情報等）を自動運転車に伝達できなくなる。
通信方式	光無線通信
通信方式を活用するための技術	通信の冗長性確保のための光無線通信技術

👍 導入により解決・実現できること

LTE回線の通信が何らかの理由で利用できなくなった場合に、バックアップ用回線として車両に設置した光無線通信機での通信が可能となる。車両へと向けられる光無線通信の送受信機は道路の沿線上に設置されており、トラッキング機能により車両方向に向けて追従することで、通信経路を確保することが可能である。

通信設備構成図



事例 車両に向けて追従する光無線バックアップ回線の構築

バックアップ用の光無線通信の構築例として、バス路線の一部区間の電柱に送受信機を設置。トラッキング機能を用いて当該送受信機の送受光部が自動的にバスに設置された光無線通信機に向けて追従することで、通信経路を確保。LTE回線が利用できなくなった際のバックアップ回線を構築できることを確認できた。



設置されたトラッキング光無線装置
左) 路側 右) バス天井部

 導入時の留意事項・意識しておく事項等

実証で検証した範囲

- 通信確立状態におけるパケットロスの計測
- 遅延時間の計測
- 通信確立状態におけるトラッキング光無線装置の受光レベル (RSSI) の計測
- 自動運転バスの走行速度におけるトラッキングの評価

設置時に考慮すべき制約条件/設置に不向きな環境、留意が必要な観点

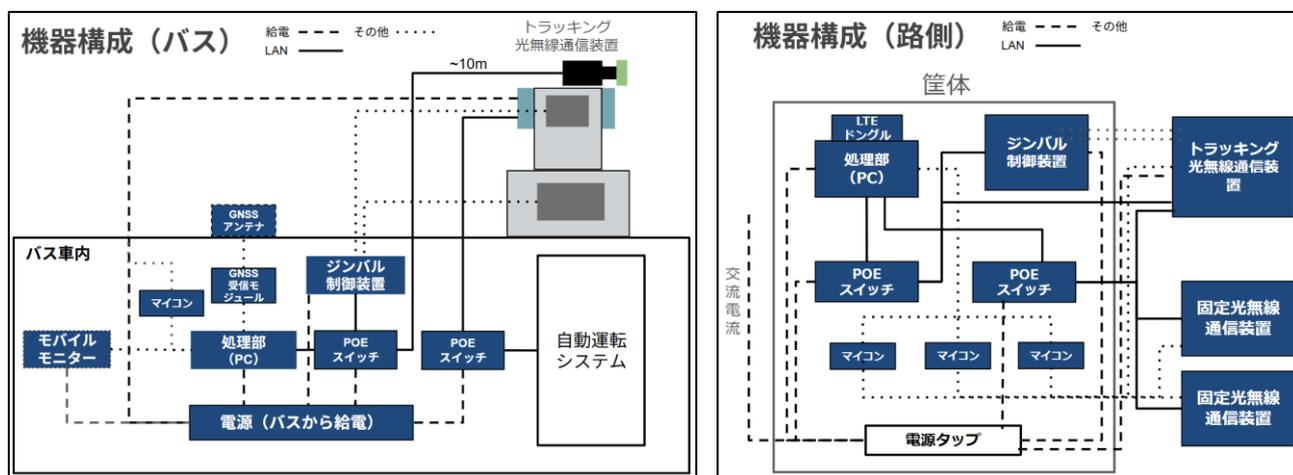
- トラッキング光無線装置同士の見通しの確保 (通信機間に遮蔽物が無いこと)
- 路側は電柱への設置にあたり高さ制限がある。勾配が強い道においては高さ制限と見通し確保の両立に注意が必要。
- バス側のトラッキング光無線装置は、走行中に路側のトラッキング光無線装置へ順次切り替えながら走行する。その際、装置の向きを切り替える瞬間は通信が行えない。
- 電波干渉は考慮の必要が無い。

 実証による評価結果(ご参考)

- 通信確立状態での通信遅延時間は平均1.4msであった。
- トラッキングできたバス走行速度は約20km/h程度であった。
- 太陽光の逆光時における画像認識精度の低下によるトラッキング失敗が課題である。

事例 **トラッキング光無線の構成**

自動運転バスと路側 (電柱) にトラッキング光無線装置を設置した。



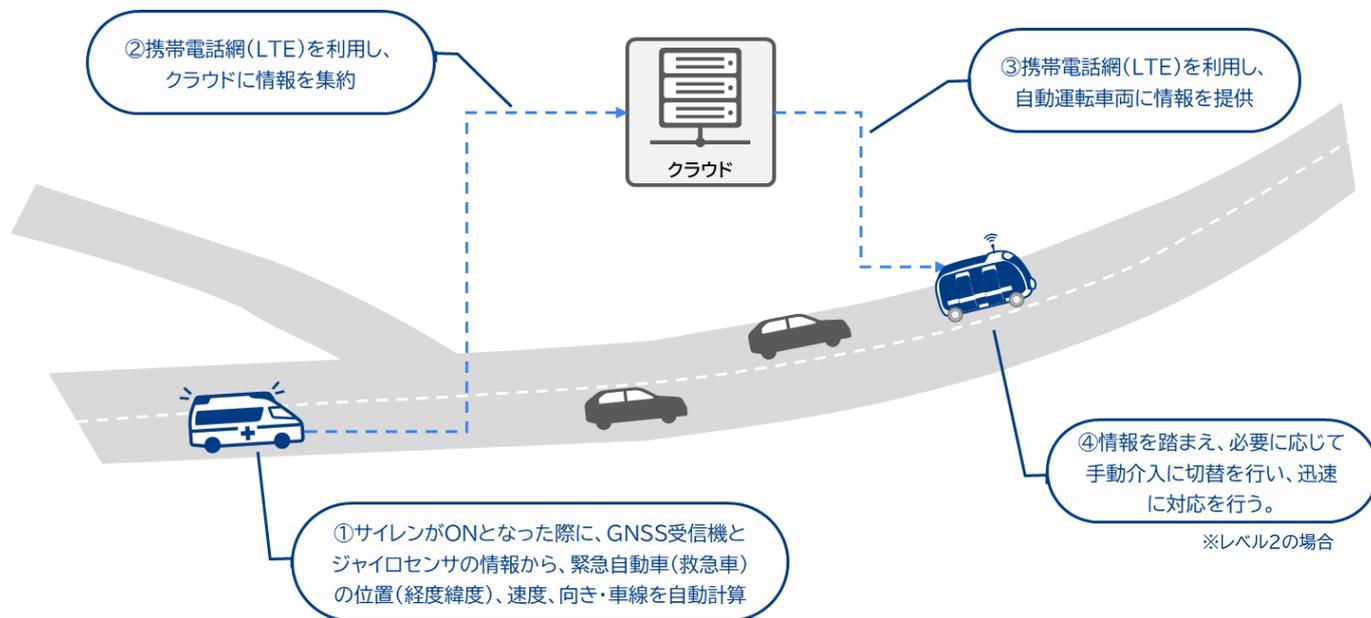
GNSSを活用したレベル4自動運転バスの緊急自動車(救急車)対応システムの実現(群馬県前橋市・中之条町)

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蔽が生じ、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)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)

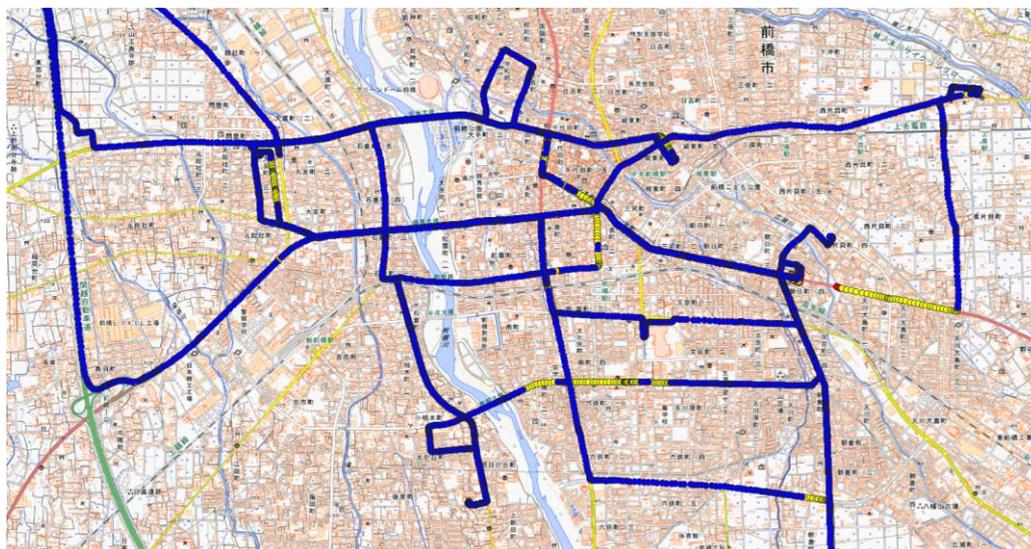
● 本実証における緊急自動車(救急車)の位置情報の正確性評価

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

緊急自動車(救急車)接近時の自動運転車両の制御 (高知県高知市)

実証エリアの特徴	自動運転による走行を想定している大型商業施設と駅を結ぶバス路線の経路上に、消防署と大規模病院が隣接しており、バスの運行が緊急自動車(救急車)の走行の影響を受けやすい。
レベル4自動運転実現の課題	サイレン音等による緊急自動車(救急車)の検知方法も存在するが、検知率および接近方向・距離の精度において、より信頼性の高い検知および車両制御技術が必要。
通信方式	モバイル通信(4G・5G)、ITS Connect
通信方式を活用するための技術	遠隔監視システムを介した位置情報の配信技術

👍 導入により解決・実現できること

Mobile GNSSやITS Connectを用いて緊急自動車(救急車)の位置情報を遠隔監視システム経由で自動運転車両へ配信。ITS Connectでは位置情報に加えて、緊急自動車(救急車)の走行状態(緊急走行か否か)の情報も配信する。その情報を用いて自動運転車両が緊急自動車(救急車)の接近時に安全に一時停止を行うことが可能になる。

通信設備構成図



事例 緊急自動車(救急車)の接近検知及び安全な停止

緊急自動車(救急車)の接近時の自動運転車両の動作として、緊急自動車(救急車)が前方、横方向又は後方から接近した際に、自動運転車両が自動的に一時停止可能であることを確認できた。



緊急自動車(救急車)が接近した際に自動運転車両が自動的に一時停止する様子

導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 地域によっては、ITS Connectがすでに搭載されている緊急自動車(救急車)も存在し、その場合は、緊急自動車(救急車)側に工事や設定変更の必要なく、自動運転車両は緊急自動車(救急車)の位置情報や走行状態を把握することが可能。一方、ITS Connect未搭載車両や、Mobile GNSSを利用する場合は、緊急自動車(救急車)に新規に機器設置の必要があり、車内のスペースや電源等を考慮する必要がある。また、Mobile GNSSを利用する場合は起動時に救急隊員による機器の電源のオンオフが必要。
- ITS Connectは緊急自動車(救急車)の走行状態(緊急走行か回送走行か)も取得できるため、円滑な自動走行の実現の観点では、設置機器としてはより適当である。
- 本技術では、広域から機器未搭載の緊急自動車(救急車)がやってくる場合、自動運転車両は緊急自動車(救急車)を認識・停止することができないため、機器未搭載の緊急自動車(救急車)でも検知可能な他の検知方法との併用を検討することが必要。
- 実証実験では、片側2車線区間において、自動運転車両は常に左側のレーンを走行し、緊急自動車(救急車)が接近した場合は、当該レーンにて停止する形とした。また、交差点で停止しそうな場合は手動介入を行った。片側1車線区間における停止位置や交差点など停止してはいけない場所を避けた停止方法については引き続き要検証となっている。

実証による評価結果(ご参考)

- ITS Connectを搭載した緊急自動車(救急車)(試験車両を含む)接近時の評価では、緊急自動車(救急車)の位置情報が自動運転車両へ平均283ミリ秒で伝送され、自動運転車両は接近を100%の精度で検知した。さらに、90%の割合で一時停止動作を、100%の割合で再発進動作を実施することを確認した。
- Mobile GNSSを搭載した試験車両による評価においても、位置情報が平均78ミリ秒で伝送され、接近を100%の精度で検知した。加えて、97.7%の割合で一時停止動作を、100%の割合で再発進動作を実施した。
- 両方式の結果に有意な差異は認められず、どちらも緊急自動車(救急車)の位置情報検知手段として有用であることが確認された。

ITSとMobile GNSSの位置精度比較



Mobile GNSSの位置情報をプロットし

ITS Connectの位置情報の差分により色分け

～3m:緑、～5m:黄緑

～10m:黄、10m～:赤

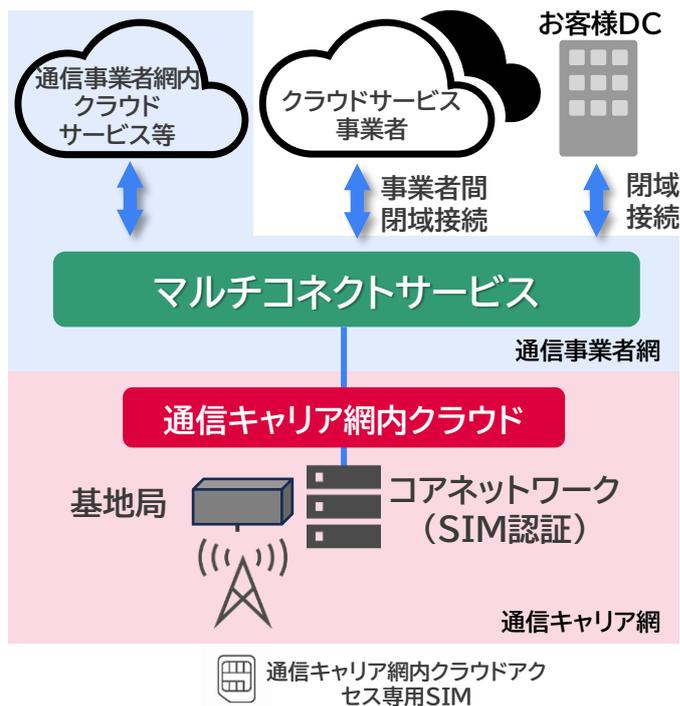
MECを活用したセキュアなネットワーク構成(神奈川県横浜市)

<p>実証エリアの特徴</p>	<p>光固定通信による閉域接続のみで完結することが難しく、モバイル通信を活用しながらセキュアな通信環境を確保する必要がある環境</p>
<p>レベル4自動運転実現の課題</p>	<p>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。</p>
<p>通信方式</p>	<p>ローカル5G、WiGig、キャリア網の優先制御を活用し、MEC及びマルチコネクトサービスを通じたセキュアな通信を実現</p>
<p>通信方式を活用するための技術</p>	<p>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</p>

導入により解決・実現できること

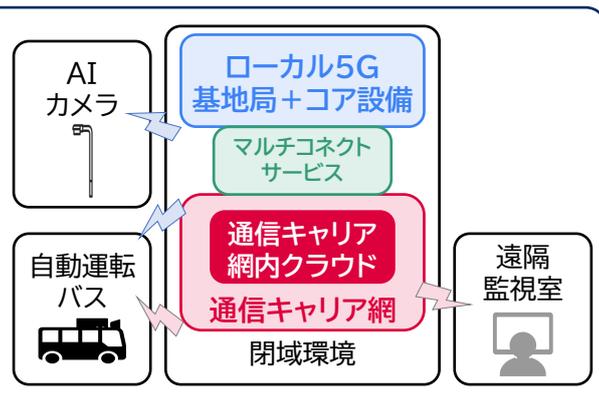
自動運転の遠隔監視システム構築に必要なネットワーク基盤にあたっては、通信キャリア網内クラウド基盤を利用することで、システムのセキュリティ性の向上を図ることが可能となる。

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、マルチコネクト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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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) 	<ul style="list-style-type: none"> 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。	統合的な遠隔監視室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。

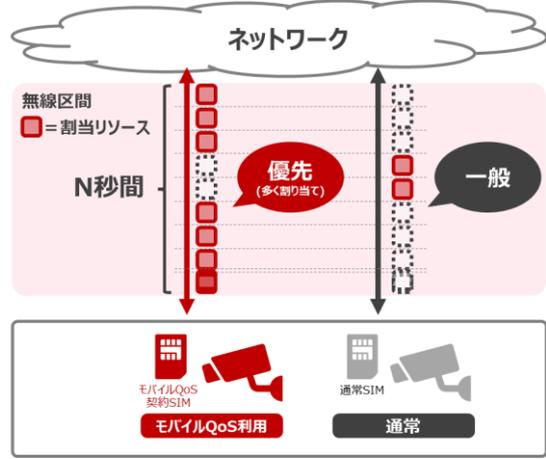
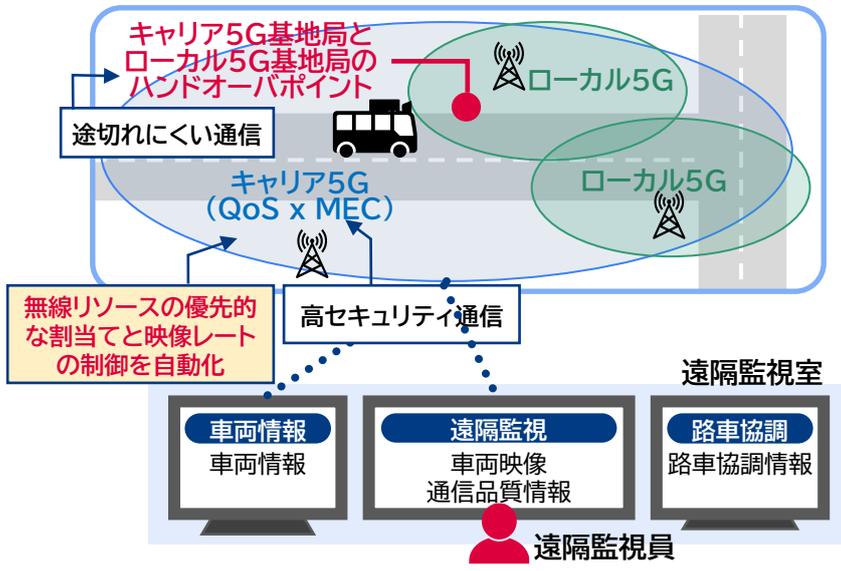
➤ 都市部・交通密集地エリア

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	Mobile QoS

👍 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、トラフィ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エリア以外では通信帯域の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

導入時の留意事項・意識しておく事項等

- レベル4自動運転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回線のコスト。(拠点間の光回線利用料等は除く)
(万円)

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
		WiGig中継/1セット	約60
		コア、管理サーバ、その他ネットワーク機器/1式	約5,000
	設置工事費(WiGig含む)		約350
優先制御 (イニシャルコスト)	Mobile QoS導入費 (事務手数料)		約0.4
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
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

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。

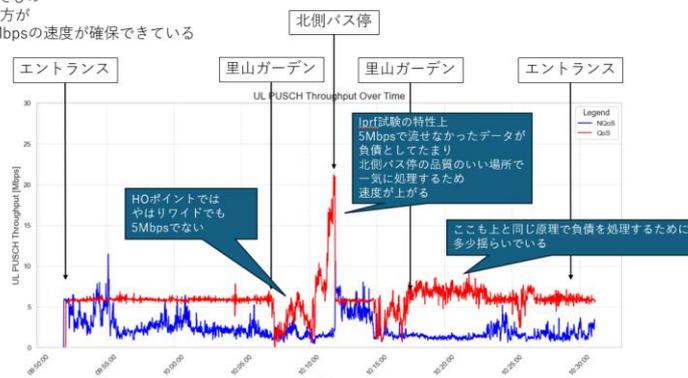


Mobile QoSあり／無しのスループット比較

※通信速度が5倍以上になる時点がある理由

北側バス停付近でハンドオーバーが発生するが、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無の通信は遅れてハンドオーバーして待機パケットが流れ始めている。そのため、Mobile QoS有だけハンドオーバー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



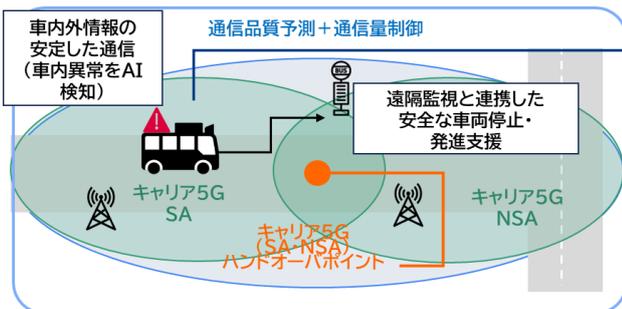
キャリア5G網によるスライシングとMobile QoSを活用した混雑環境における自動運転に対応した頑健な通信環境の構築 (神奈川県横浜市)

実証エリアの特徴	駅前のバスターミナルを起終点とし、住宅街や商店街を通る片側1車線の狭隘な生活道路を経由して、アミューズメント施設(動物園)の入口・駐車場付近の混雑した環境に至るルート。(往復)
レベル4自動運転実現の課題	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転バスの遠隔監視において、走行中のバスで乗客が立ってしまうことや転倒などの乗客のトラブルを監視することが困難。 キャリア網(4G/LTE)では車内外の映像伝送が安定しない。
通信方式	キャリア網(5G SA方式)、キャリア網(5G NSA方式/LTE)の優先制御
通信方式を活用するための技術	Mobile QoS、スライシング

導入により解決・実現できること

キャリア5G SAおよび、5G NSA環境下におけるMobile-QoS(パケット優先制御)^{*}を適用して通信帯域を確保し、AI解析に必要な車内カメラ(2台)の映像伝送に必要なスループット(4Mbps)を満たす時間率95%以上となることを確認した。また、キャリア5G SA環境下においては、ダウンリンクの通信にスライシングを活用し、AI解析の結果を遅延なく車両に伝達した。クラウド上に映像をアップロードし、AI処理(センター処理)を導入することで、エッジ側処理に対して遠隔処理(ネットワーク経由)での乗客の姿勢検知(座位/立位/転倒)成功率比90%以上になることを確認した。また、伝送後の映像について、車両制御支援及び遠隔監視員による監視業務に支障のない安定・高品質な映像となっていることも確認できた。

^{*} Mobile-QoSの詳細はR6モデル集●ページを参照



キャリア5GSA/NSAを併用し映像伝送クラウド側で車内映像の姿勢検知を実施



事例 横浜市旭区(生活道路および動物園付近)での事例

横浜市での実証では、キャリア5GのスライシングやMobile-QoSで確保した通信帯域を利用し、AI処理機構に伝送した映像を分析し不安全状態を正しく判定し、その結果を車両に伝送できることを確認した。AIが正しく判定できる程度の映像伝送が可能であること、AIが不安全状態を判定可能であることが明らかとなった。

^{*}詳細は「令和7年度地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



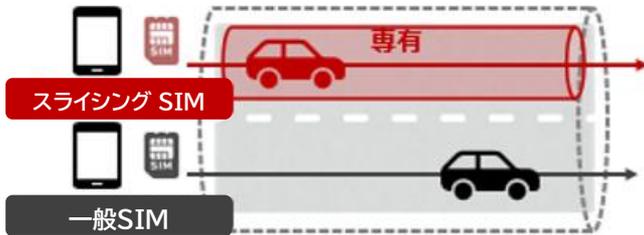
姿勢検知の様子

使用する技術についての説明

専用道を作る
イメージ

5G スライシング

無線リソースを部分的に占有し、
混雑時においても通常よりも安定した通信を実現



利用に適した場面

- ✓ 5G SA前提の高度なネットワーク環境
- ✓ ミッションクリティカル用途(遠隔制御等)

利点

- ✓ 帯域、遅延、信頼性などを用途別に最適化可能
- ✓ 独立したネットワークのため、通信混雑の影響が限定的

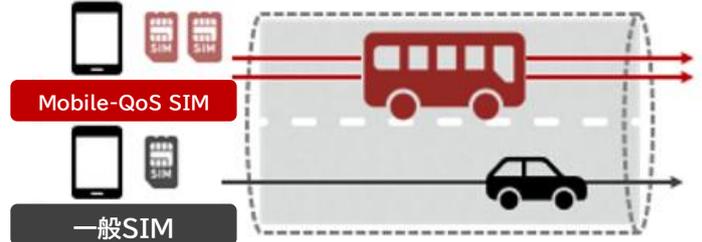
留意点

- ✓ ネットワーク構成が複雑で導入・運用コストが高い
- ✓ 現在導入されているエリアは都市部等に限られる

優先レーンを
用意するイメージ

Mobile QoS

パケットの制御機能を他の端末と比較して、
優先的に割り当てることで一定の安定性を実現



利用に適した場面

- ✓ 既存のLTE/4Gネットワークを活用したい環境
- ✓ 限定的なQoS制御で十分な機能(多少の遅延は発生)

利点

- ✓ 専用SIMのみで利用可能で導入が容易
- ✓ 既存の公衆網との親和性が高くエリアの拡張性が高い

留意点

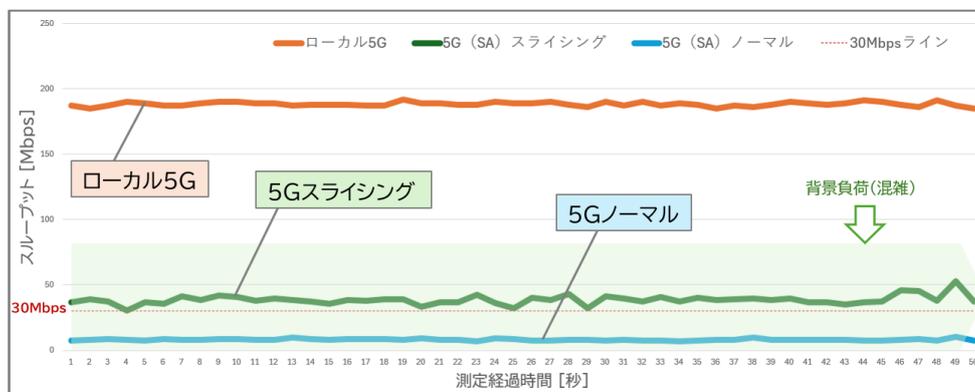
- ✓ 既存のキャリア網の帯域の範囲内での制御になるため帯域保証できない。(混雑時の品質保証に限界がある)

導入時の留意事項・意識しておく事項等

- Mobile-QoSは既存のキャリアネットワークの帯域の範囲内での制御になるため帯域保証とはならない。そのため必要帯域を安定して確保するためにはスライシングが有用となる。
- 一方で、スライシングが利用できるエリアは限定的であることから、自動運転走行エリアを面的にカバーするためには、Mobile-QoSの活用が有用な場面があり、環境に応じた技術選択が重要。
- 両者の併用により、帯域確保とパケット優先割当の両面から、より通信速度の安定化することが可能。

実証による評価結果(ご参考)

ネットワーク混雑下におけるスループット



- 遠隔監視室向けの映像ダウンリンク伝送を想定したスループット性能を、キャリア5Gが混雑している状況(※都市部の駅ラッシュアワー時に相当)を再現し、5Gスライシング・5Gノーマル・ローカル5Gで比較した。
- 5Gスライシングは混雑時でも30Mbps以上を維持し、ノーマル5Gが大幅に低下する中でも安定した帯域確保が確認できた。スライシング技術を活用して、臨時設営の遠隔監視室でも高品質な遠隔監視映像伝送を安定して行うことが可能であり、今後の自動運転の高スループット需要にも有効であることが分かった。

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)

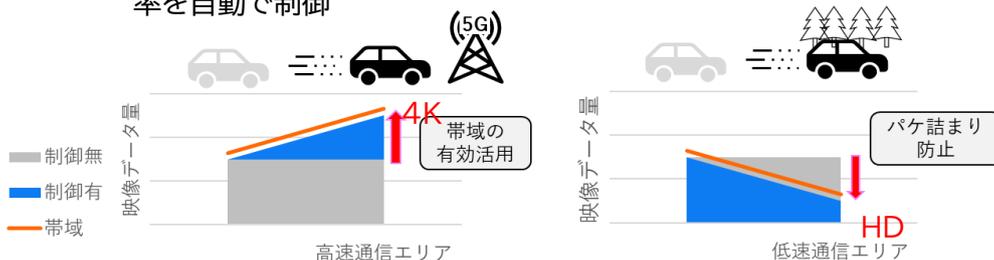
実証エリアの特徴	アミューズメント施設(動物園)入口付近の混雑した環境
レベル4自動運転実現の課題	当該エリアはキャリア5Gが活用できないエリアが含まれており、休日を中心に混雑が発生する場所である。通信帯域の確保が難しい状況でも最低限度の映像品質を確保することが課題。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、WiGig(ローカル5G基地局間の接続に使用)、キャリア網(5G/LTE)の優先制御
通信方式を活用するための技術	路側システム(外部アンテナ・基地局)、車載端末(ローカル5G対応端末)、WiGig通信モジュール、Mobile QoS、Av-QoS

👍 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、途切れなく映像を伝送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

映像伝送しながらネットワーク帯域を常に推定し、推定帯域に合わせた解像度・圧縮率を自動で制御



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、トラフィ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。

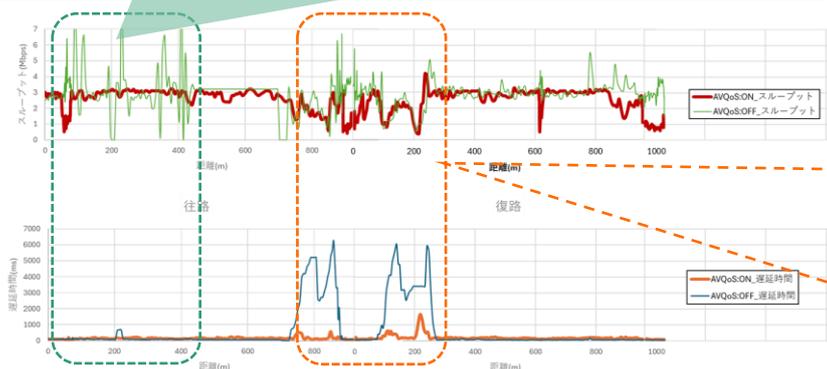
実証による評価結果(ご参考)

● 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。

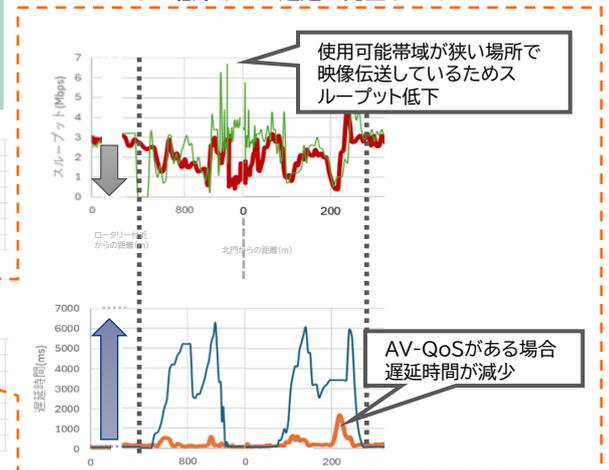
①AV-QoSの有無によるスループットへの影響

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、遠隔監視員からは、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。遠隔監視員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: どちらかという確認しづらい
- 4: どちらかという確認しやすい
- 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)

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、自動運転車両が遠隔監視映像を送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、Av-QoS

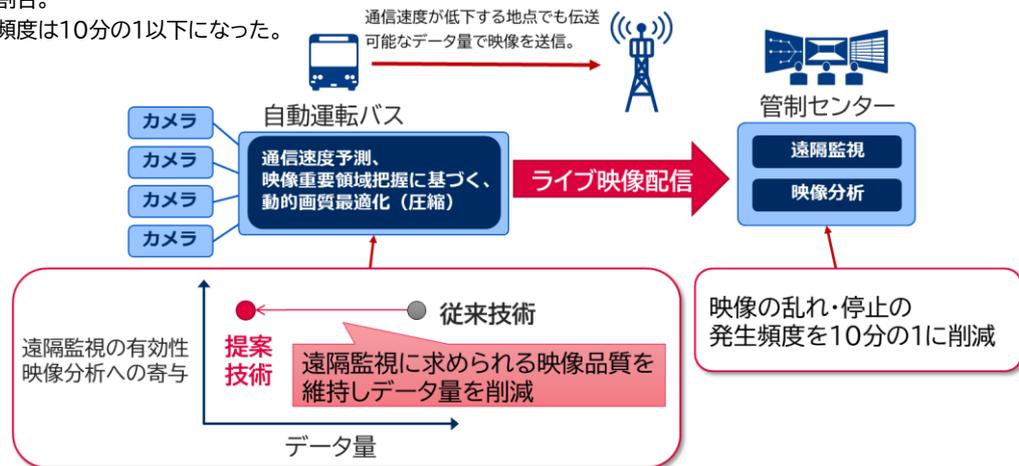
👍 導入により解決・実現できること

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送送する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。

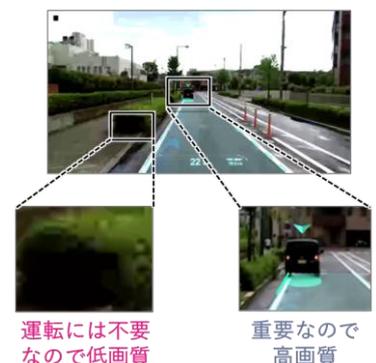
※3:映像の乱れ・停止の発生頻度は10分の1以下になった。



事例 茨城県日立市での事例

自動運転車両の遠隔監視映像のうち、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

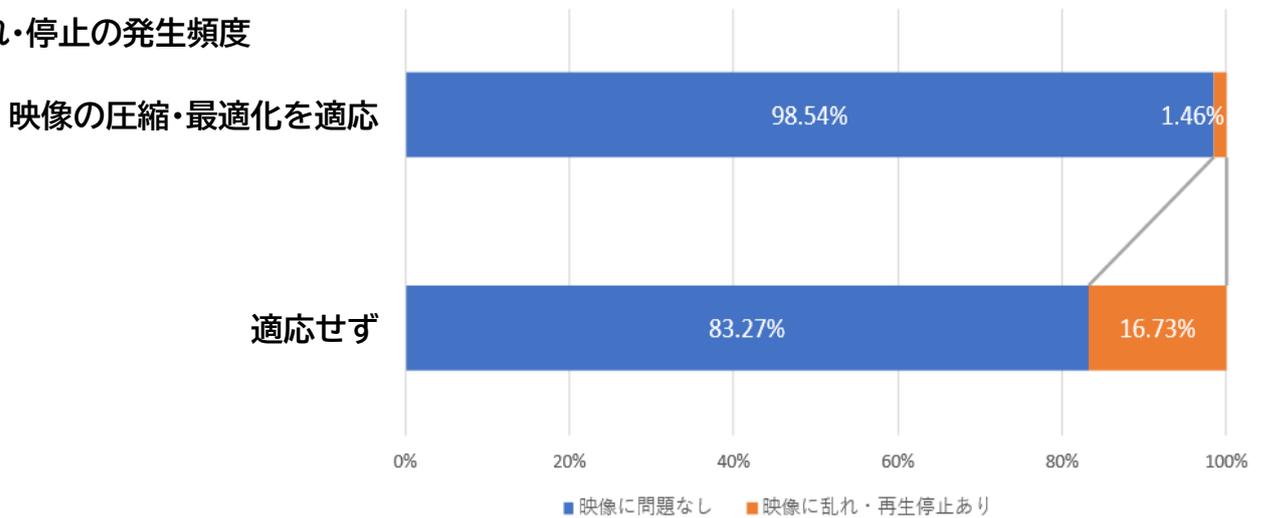
- 接続している通信の品質悪化(電波強度が小さくなるなど)に起因する遠隔監視映像の乱れ・停止に対して本手法は有効であるが、不感エリアによる通信回線の切断に起因する遠隔監視映像の乱れ・停止には本手法は適応できない。

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

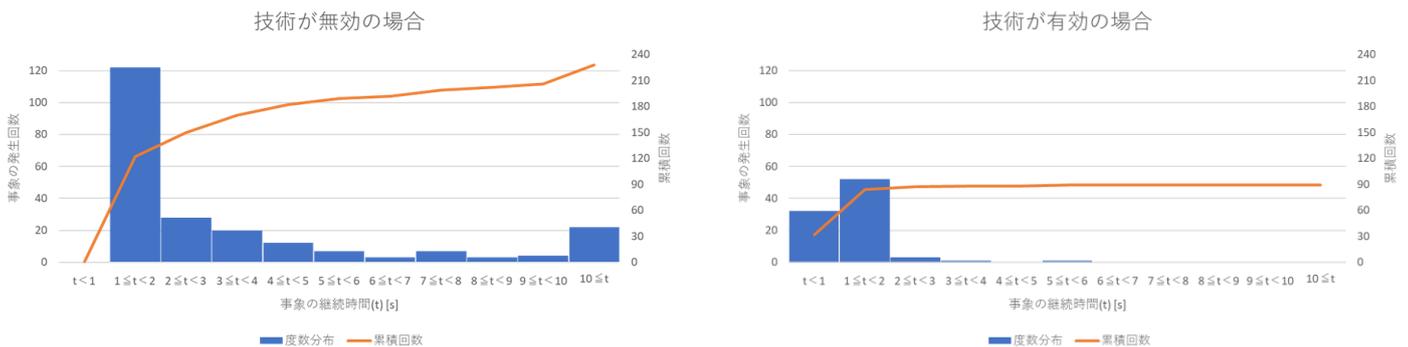


映像の乱れ・停止の各現象に注目すると、映像の圧縮・最適化を適応することで、2秒以上の映像の停止・乱れの発生回数を大幅に低減することが確認できた。

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。遠隔監視員のヒアリング調査において、遠隔監視映像の品質が、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



携帯電話基地局情報による遠隔監視映像の伝送制御による輻輳時の遠隔監視継続の安定化(佐賀県佐賀市)

実証エリアの特徴	走行ルート中に大規模イベント施設と同じ基地局セルの区間があり、多数の来客を伴うイベント時等で、無線通信の輻輳が生じる。
レベル4自動運転実現の課題	大規模イベント等に起因する無線通信区間の輻輳により遠隔監視等の自動運転車両の通信が困難になる。
通信方式	4G/LTE
通信方式を活用するための技術	基地局が持つ通信品質に係る情報を踏まえた輻輳の程度の推測に基づき遠隔監視映像の品質を制御

👍 導入により解決・実現できること

自動運転車両から取得できる通信品質情報と、基地局が取得できる接続端末数等の情報を組み合わせ、車両と基地局間の無線通信区間における輻輳の度合いを評価した。これに基づき、遠隔監視映像の品質を制御することで、大規模イベント等の人流の集中に起因する通信の混雑状況下においても遠隔監視を継続できた。



事例 佐賀インターナショナルバルーンフェスタでの検証

2025年10月30日から11月3日までの佐賀インターナショナルバルーンフェスタにおいて、実際に生じた混雑環境下での遠隔監視を検証した。

※詳細は「令和6年度補正予算 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)実績報告書」を参照。



検証の様子

💡 導入時の留意事項・意識しておく事項等

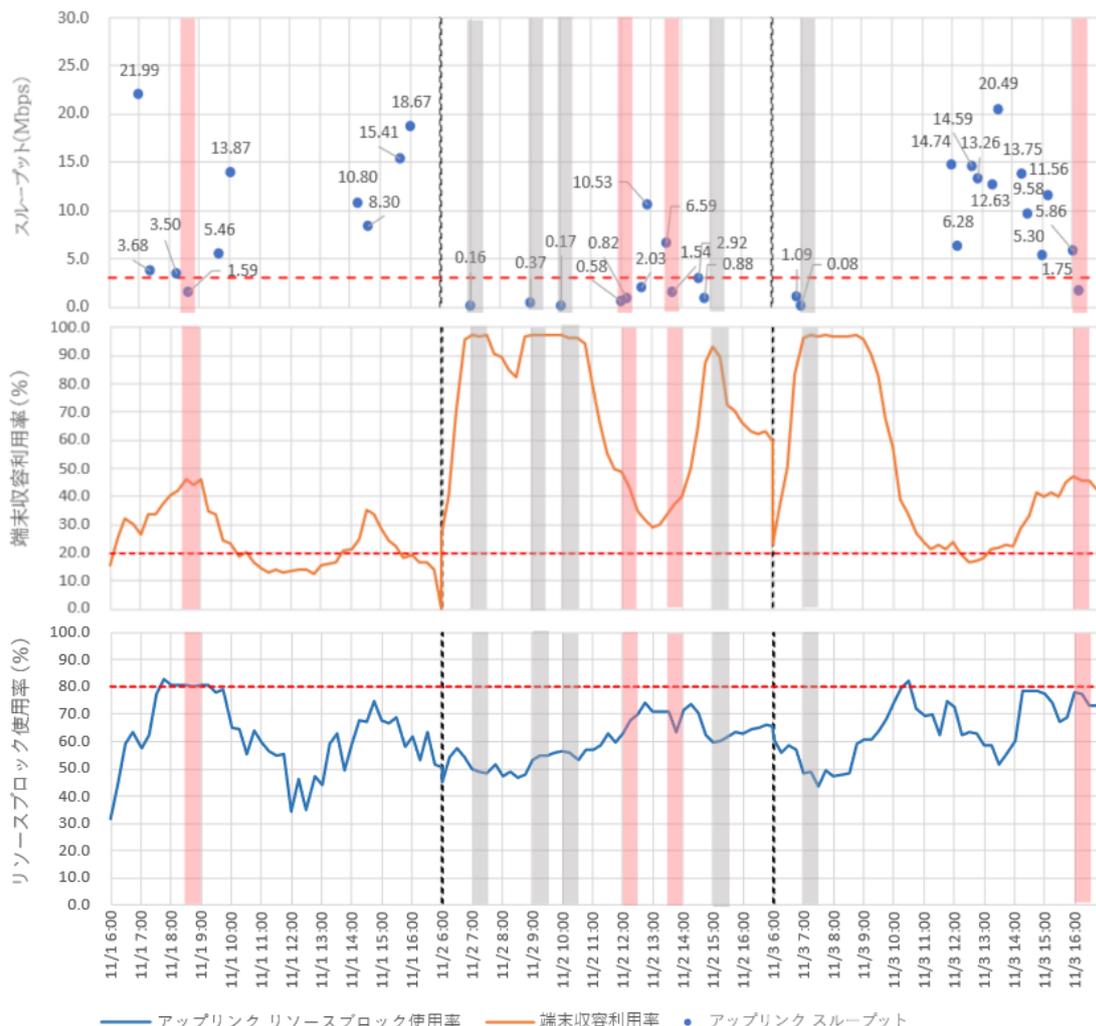
- アプリリンクのデータ伝送が困難になるほど過度な輻輳が生じた場合、画質を低下させる手法では通信を継続できない場合があることに留意。
- 基地局の収容端末数など、通信輻輳度指標として用いた情報は一般的に取得できず通信事業者との協力が必要。特に、得られた情報に基づいて映像伝送等の自動運転車両の通信を制御するシステムを開発する場合に、通信事業者とシステム開発事業者が連携できることが望ましい。

💡 実証による評価結果(ご参考)

● アプリリンクスループットと通信輻輳度

基地局の端末収容利用率とアプリリンク通信のリソースブロック使用率を通信輻輳度を表す指標として検証を実施。端末収容利用率が20%を超える場合かつリソースブロック使用率が80%を超える場合を通信輻輳の発生と仮定して検証した。

端末収容利用率が90%を超えると、通信接続を確保できず検証が実施できない通信環境となった(灰色帯)。一方で、端末収容用利用率が30~40%の場合は、映像伝送ができることを確認した。その状況で映像圧縮すると遅延値が小さくなることを確認した。



通信品質予測技術・通信量制御技術を活用した混雑環境における自動運転に対応した頑健な通信環境の構築 (神奈川県横浜市)

実証エリアの特徴	駅前のバスターミナルを起終点とし、住宅街や商店街を通る片側1車線の狭隘な生活道路を経由して、アミューズメント施設(動物園)の入口・駐車場付近の混雑した環境に至るルート。(往復)
レベル4自動運転実現の課題	動物園周辺は休日を中心に混雑し、事故・渋滞が発生しやすい。また、通信利用者が多く、基地局への多数同時接続が発生する。
通信方式	ローカル5G(Sub6)、キャリア網(5G SA方式)、キャリア網(5G NSA方式/LTE)の優先制御
通信方式を活用するための技術	通信品質予測技術、Av-QoS、無線リソースの優先割当に対応したSIM

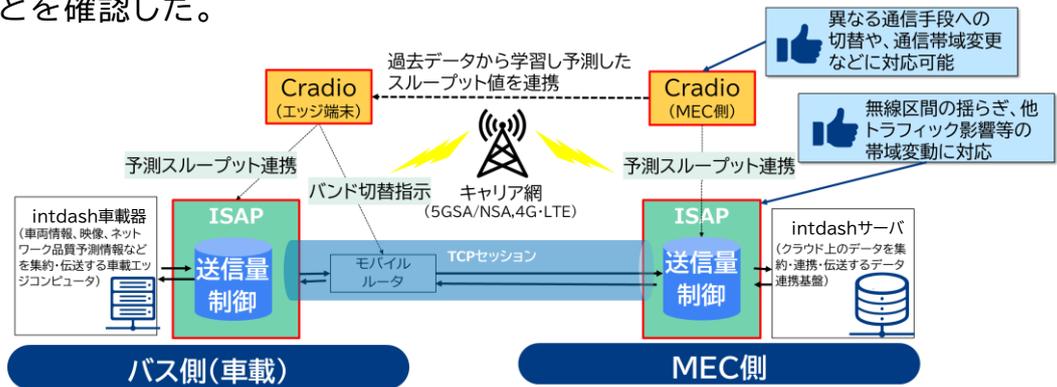
導入により解決・実現できること

通信品質予測技術に基づき、最適なハンドオーバー制御と複数周波数帯の動的なリソース割り当てを行うことで、車内カメラ(2台)の映像伝送に必要なスループット(4Mbps)を満たす時間率95%以上(無線区間)(※劣化する時間率が5%未満)となることを確認した。

また、通信品質予測の結果を踏まえて、アプリケーション側で流れるデータ量を調整・制御する技術と組み合わせることで、走行ルート全体で帯域使用できる時間率90%以上(※劣化する時間率が10%未満)となることを確認した。

通信設備構成図

- ✓ Cradio:通信品質予測技術の名称
- ✓ ISAP:通信とサービスを協調した制御技術の名称
- ✓ intdash:遠隔監視システムの名称



事例 横浜市旭区(生活道路および動物園付近)での事例

横浜市の生活道路・動物園付近での実証における走行ルート(往復)のスループット測定データを比較すると、全体的に技術ありのスループット特性の方が、技術無しのスループット特性と比較して、約74%の測定点で勝る結果となり、走行ルート上の無線通信品質安定化に貢献することが分かった。

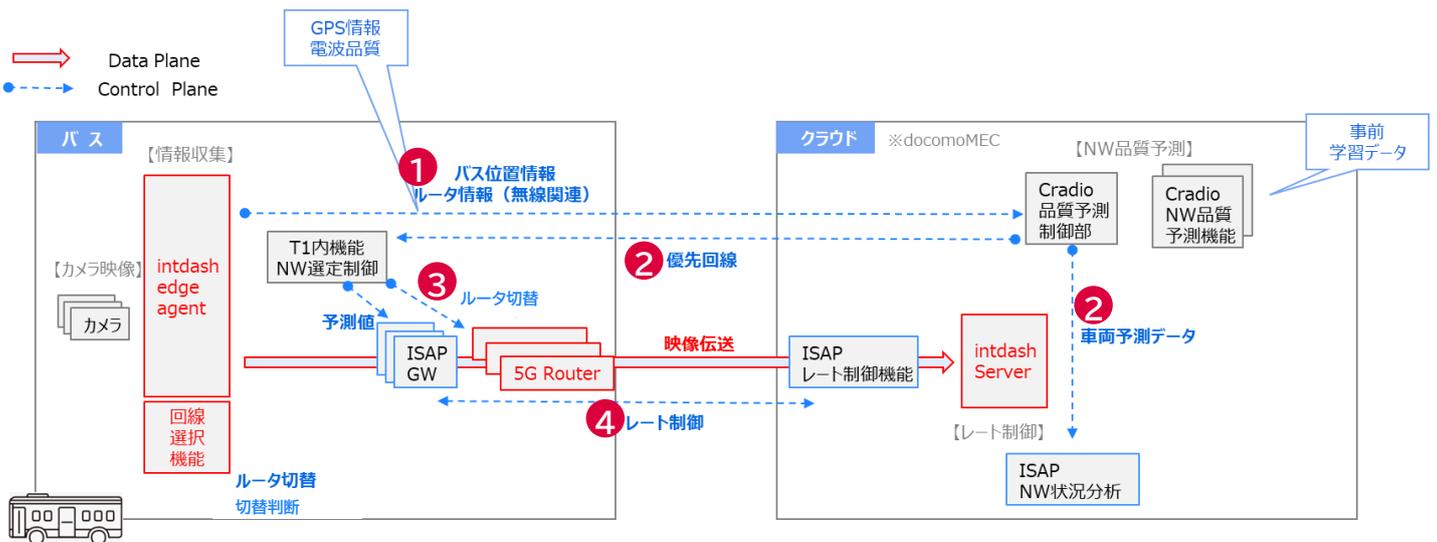
※詳細は「令和7年度地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



技術利用有無による映像品質の違い

使用する技術についての説明

通信品質予測技術と通信品質に基づく通信量制御技術を組み合わせた制御の例



① バスの走行位置と無線品質情報を取得

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

② バスの数秒後の位置を予測し、最適な通信帯域を判定

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

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

③ 通信品質予測情報に基づき、通信ルータ切替を実施

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

④ 無線品質状況に応じて、遠隔監視システムに関する通信レート制御を自動で行う

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

導入時の留意事項・意識しておく事項等

- レート制御は通信のエンドポイント間の経路上にレート制御装置を配置して行うが、本実証の構成のように複数ルータによる複数経路となる場合には、それぞれの経路にレート制御用のゲートウェイを配置する必要があり、機器構成に工夫が必要となる。
- 環境測定を行いハンドオーバーの仮説を立てるため、走行ルートエリア状況や電波品質・通信品質の調査を事前に行う必要がある。(本実証では所要:2~3日程度)
- 品質の予測器を生成するために、事前の学習走行を行う必要がある。(本実証では所要:1週間程度)
- 本実証では同一のキャリアの5G(SA)、5G(NSA)、LTEの複数の回線方式間の切替を品質予測結果に基づき制御したが、異なるキャリア間のNWの切替を制御することも可能である。

事例 車両映像を用いた姿勢検知システム

自動運転バス車内の映像をビデオカメラで撮影し、遠隔監視装置に設置のAI処理機構にリアルタイム映像伝送を行うことで、バス車内の乗客の姿勢(転倒・立ち・座り)を検知するシステム。

システム概要と通信技術の活用

- ✓ 自動運転バス車内に設置したカメラの映像を、車載器端末からMEC(intdashサーバ)を経由して、遠隔監視装置側のAI姿勢検知アプリが機能するroscube(ROS組み込みコンピュータ)へリアルタイム映像伝送する。(遠隔処理方式)
- ✓ AI姿勢検知アプリが車内の乗客の姿勢判断の結果は、遠隔監視サーバを介して、遠隔監視画面に表示される。その際、1:n監視も見据えた警告音も発せられる。

今回の方式

遠隔処理とエッジ処理の違い

	データ	乗客役	取得元	NW	送り先	NW	分析・検知	NW	送り先	NW	表出化
データの流れ	AI検知情報(遠隔処理)	姿勢変化	バス車載カメラ	キャリアNW(SA,NSA)	intdashサーバ(MEC)	キャリアNW 5Gワイド	車内映像分析機能(遠隔監視装置)	キャリアNW 5Gワイド	東海理化遠隔監視サーバ(AWS)	キャリアNW 5Gワイド	遠隔監視GUI(遠隔監視装置)
	AI検知情報(エッジ処理)	姿勢変化	バス車載カメラ	-	-	-	車内映像分析機能(東海理化車載器)	キャリアNW 5Gワイド	東海理化遠隔監視サーバ(AWS)	キャリアNW 5Gワイド	遠隔監視GUI(遠隔監視装置)



「エッジ処理方式」と比較して、遠隔の処理装置・サーバ上に映像を伝送する必要がある「遠隔処理方式」では、通信を介した映像伝送に伴う遅延が課題となるが、通信品質予測技術と通信量制御技術を活用することで利用場面によっては遜色がない遅延時間を実現可能。

実際の利用場面

- ✓ 遠隔監視画面上に、車内の乗客の状況(全員着座・立ち有り・転倒あり)の3分類が表示され、転倒が発生した場合には遠隔監視員に警告を行う。

	条件		表示	
	安全状態	乗客転倒フラグ	走行中	停車中
全員着座	なし	なし	バス内: 安全(x) 遠隔先: 安全(x)	バス内: 安全(x) 遠隔先: 安全(x)
立ち有り	有り	なし	バス内: 立ち(x) 遠隔先: 立ち(x)	バス内: 立ち(x) 遠隔先: 立ち(x)
転倒有り	なし/有り	有り	バス内: 転倒(x) 遠隔先: 転倒(x)	バス内: 転倒(x) 遠隔先: 転倒(x)
データ無し	・データが5s以上来ない。 ・範囲外データが1つ以上。 ・乗客監視システムエラーコード: 0以外。		バス内: NoData 遠隔先: NoData	バス内: NoData 遠隔先: NoData

※詳細は「令和7年度地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。

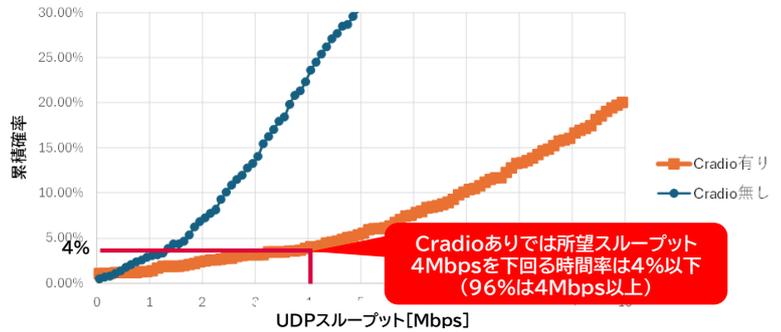
実証による評価結果(ご参考)

実証環境におけるスループットの結果・考察

■通信品質予測技術(Cradio) 有無のUDPスループット比較結果

- ✓ 所望スループット4Mbpsの特性に注目すると、技術無しは4Mbps以下の時間率が約24%であるのに対し、技術ありでは約4%となっており、**所望スループットの帯域で約20%の改善効果がある。**
- ✓ また、技術ありの所望スループット以下になる特性が約4%であるため、**所望スループットを超える時間率は約96%**となる。

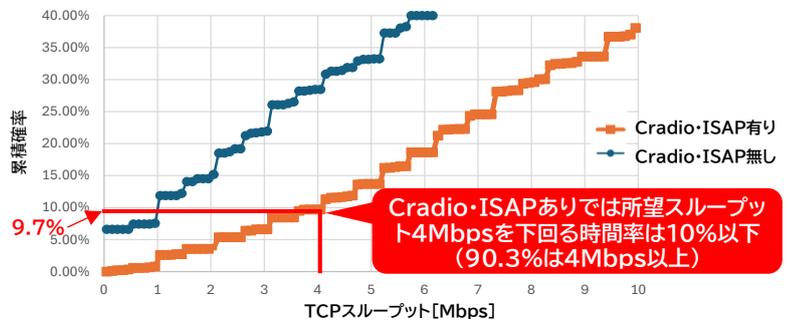
走行ルートにおけるスループットの累積分布関数(10Mbps以下抜粋)



■通信品質予測技術(Cradio)および通信量制御技術(ISAP)有無のTCPスループット比較結果

- ✓ 所望スループット4Mbpsの特性に注目すると、技術無しは4Mbps以下の時間率が約28%であるのに対し、技術ありでは約9.7%となっており、**所望スループットの帯域で約18.3%の改善効果がある。**
- ✓ また、技術ありの所望スループット以下になる特性が約9.7%であるため、**所望スループットを超える時間率は約90.3%**となる。

走行ルートにおけるスループットの累積分布関数(10Mbps以下抜粋)



※本実証では、遠隔監視のビデオトラフィックを流すため、4Mbpsを所望スループットとしている。

技術有無の効果比較(車内映像伝送を用いた姿勢検知システムの評価)

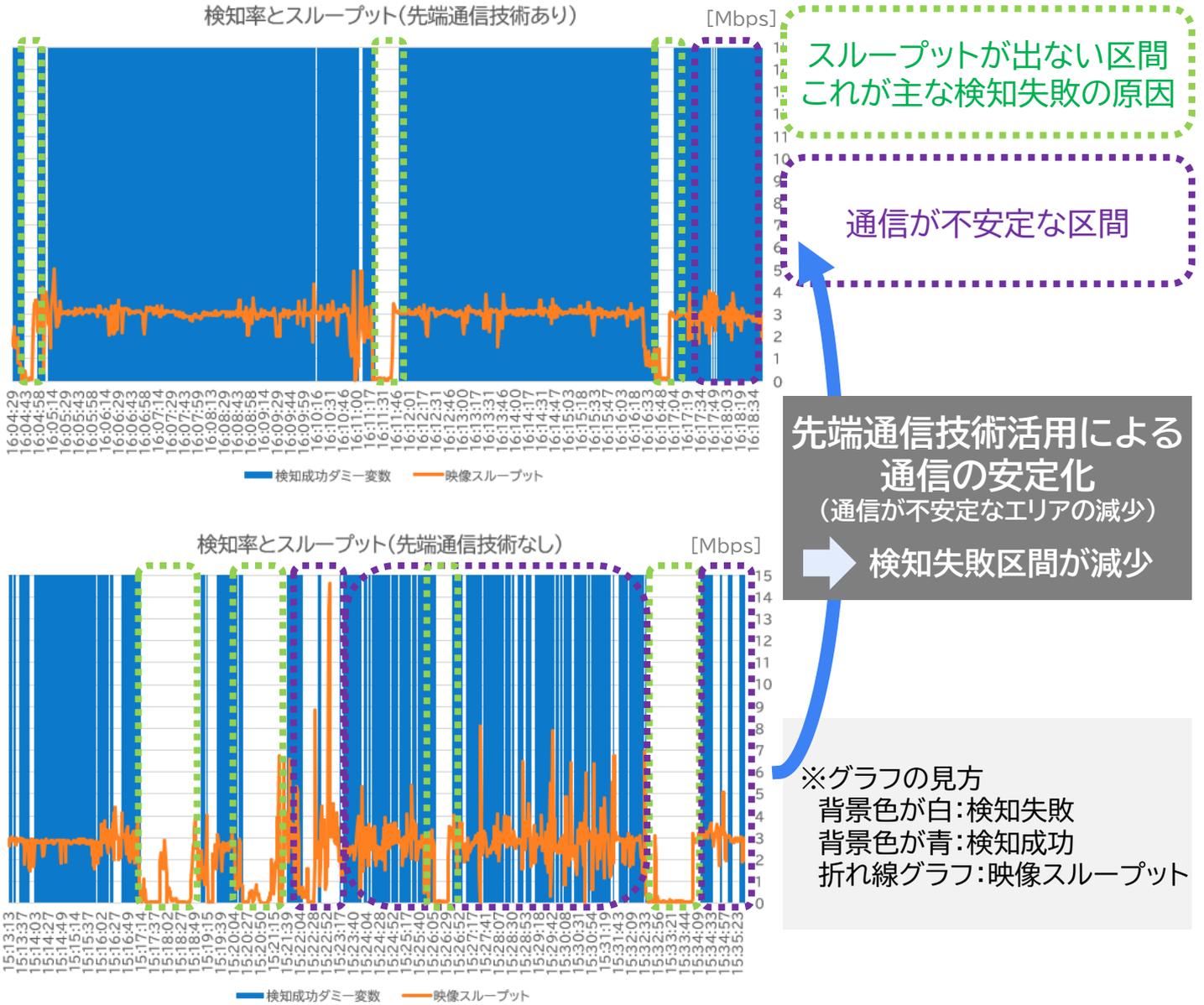
- ✓ 遠隔処理とエッジ処理の場合について、同じ映像の生データに対してそれぞれの処理の場合の検知結果をアウトプットするシステム設計を行い、それが正常に機能していることを確認した。また、遠隔監視画面上のUIとしてもそれぞれの処理結果が表示されることを確認した。
- ✓ エッジ側での処理の方が、検知率は上がり、遅延時間は短縮されるが、通信品質予測技術・通信量制御技術を用いた場合は、**エッジ処理と遠隔処理で検知率の差は、10%未満、遅延も0.36秒差である**ことから、利用場面・目的によっては遜色なく活用できることが分かった。

測定数値	通信技術パターン	処理場所	結果	処理場所による違い
検知率	Cradio・ISAP活用	遠隔	90.4%	91.1%
		エッジ	99.2%	
	Cradio・ISAP非活用	遠隔	51.8%	52.8%
		エッジ	98.1%	
遅延時間	Cradio・ISAP活用	遠隔	4.96秒	0.36秒
		エッジ	4.60秒	
	Cradio・ISAP非活用	遠隔	10.48秒	5.94秒
		エッジ	4.54秒	

通信品質予測技術(Cradio)および通信量制御技術(ISAP)を活用した場合はエッジと遠隔でおおむね変わらない

技術有無の効果比較(車内映像伝送を用いた姿勢検知システムとスループットの比較)

- ✓ 通信品質予測技術(Cradio)および通信量制御技術(ISAP)を活用することにより、通信が不安定なエリアが減少し、高精細な映像を遅延なく伝送できる状態となった。
- ✓ 高精細な映像を基に処理を行うことで、車内乗客姿勢の検知率が向上した。



参考: 車両映像AI検知による乗客監視の処理画面(イメージ)

- ✓ 先端通信技術活用により高精細な映像を遅延なく伝送することで、遠隔処理でも車内乗客姿勢の検知が概ね問題なくできる状態となった。

乗客姿勢検知時の映像例

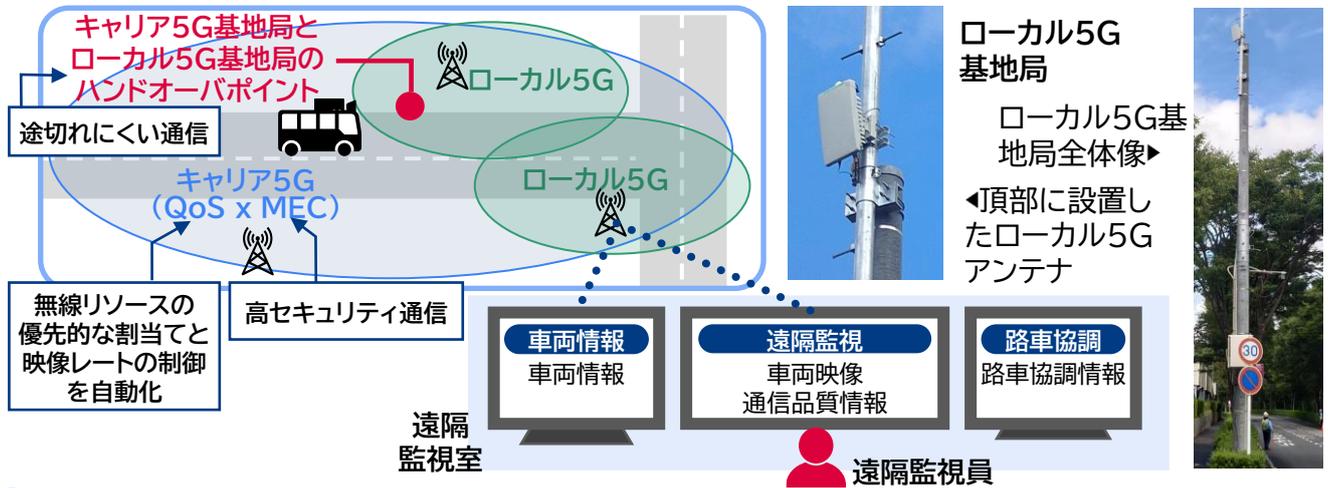


公道におけるローカル5Gの活用に関する実証(神奈川県横浜市)

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が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コストは右表の通り(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)

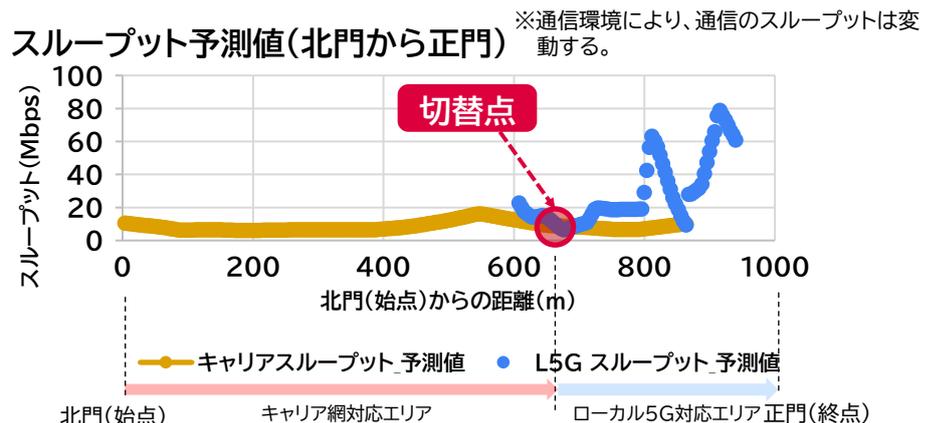
ローカル5G基地局設置 (イニシャルコスト)	設備機器費	基地局/1局	約400万円
		WiGig中継/1セット	約60万円
		コア、管理サーバ、その他ネットワーク機器/1式	約5,000万円
		設置工事費(WiGig含む)	約350万円
運用 (ランニングコスト)	運用保守費 コア/基地局/ネットワークSW監視/WiGig監視、SIMカード利用料含む		約600万円

■ 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コアは共用設備なため、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。

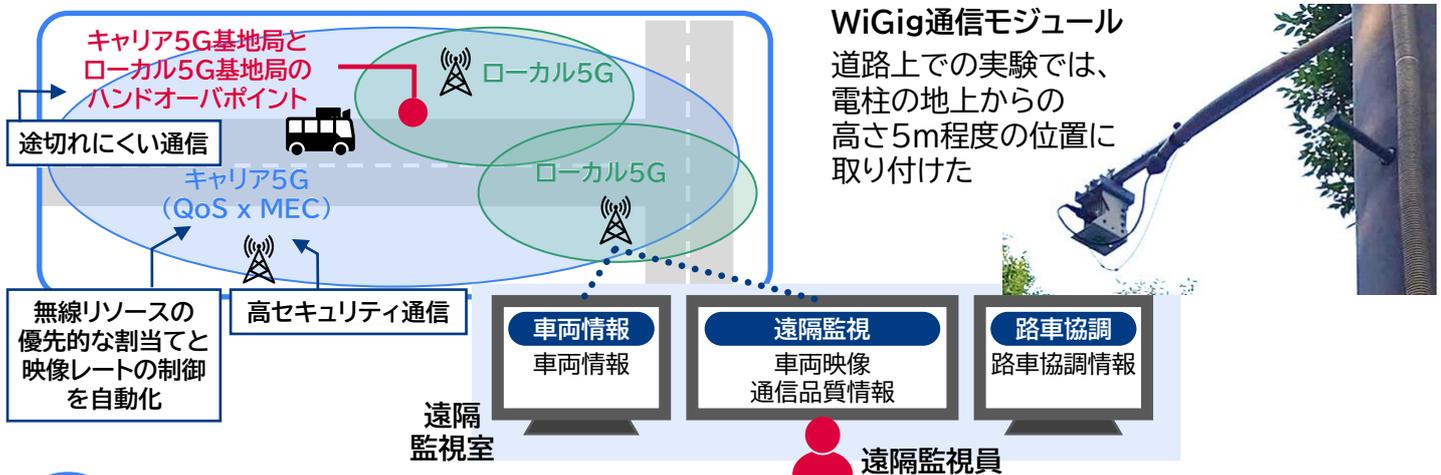


WiGigを活用したローカル5Gエリア拡張に関する実証(神奈川県横浜市)

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の事例

2つのローカル5G基地局間を、光回線の代わりにWiGig中継×2を用いて接続。

The diagram shows the antenna installation at Yokohama Zoo Safari Park. It details the 'WiGig中継区間① 約160m' and 'WiGig中継区間② 約160m' between 'ローカル5G基地局A' and 'ローカル5G基地局B' via an '中間点'. A close-up shows the 'WiGigアンテナの突き出し量、傾き、方位角の調整' (Adjustment of antenna protrusion, tilt, and azimuth angle). Two photos show the '調整前' (Before adjustment) and '調整後' (After adjustment) states, where the antenna's field of view is cleared of obstructions.

WiGigのアンテナ間を結ぶラインの画像解析により、遮蔽物の影響が無いよう調整。

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・設置する必要があり、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。

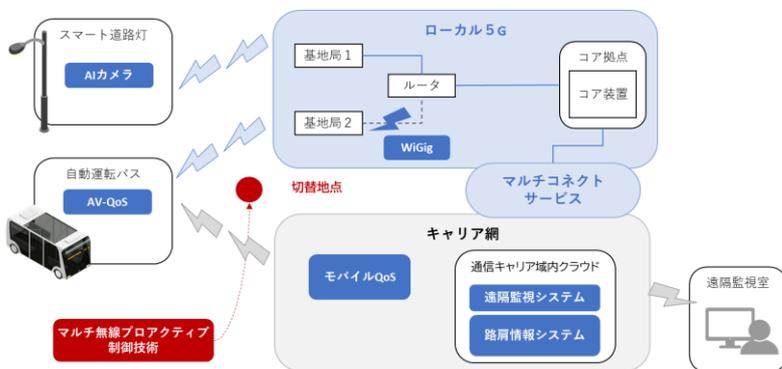


ローカル5Gとキャリア網のハンドオーバーに関する実証(神奈川県横浜市)

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、ハンドオーバー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、ハンドオーバーが起因となるスループットの低下を回避できた。

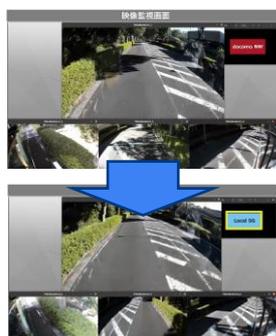


現在の技術では、事前に測定したスループットデータの平均から最適な切替点を導出するため、動的に切替点を決定することは難しい。

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

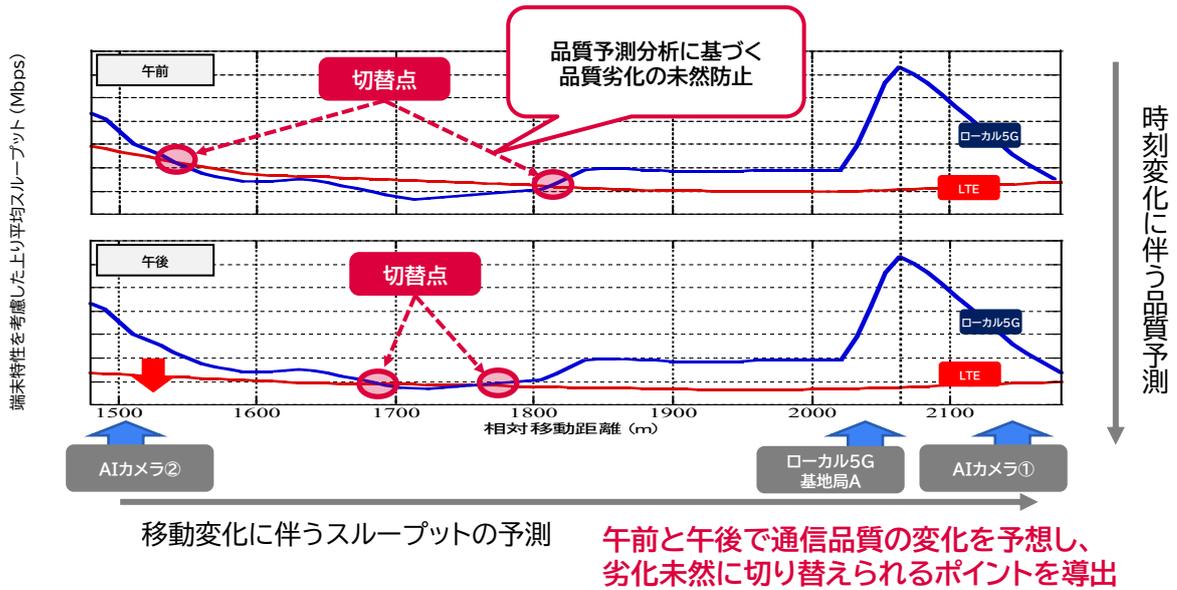
通信品質の変動に対して、品質劣化未然にローカル5Gとキャリア5Gを切り替えることで、フルHD映像が安定的に伝送できるスループット以下に低下する時間率が5%程度となった。



💡 ハンドオーバー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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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】



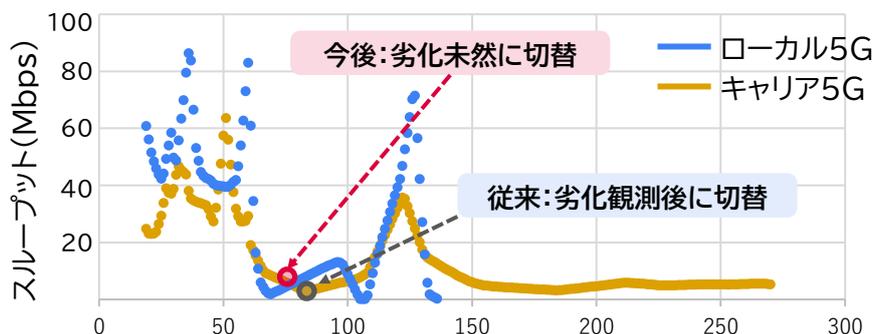
💡 ハンドオーバに関する注意点・課題

- 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ー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。



路側カメラによる歩行者検知支援(茨城県日立市)

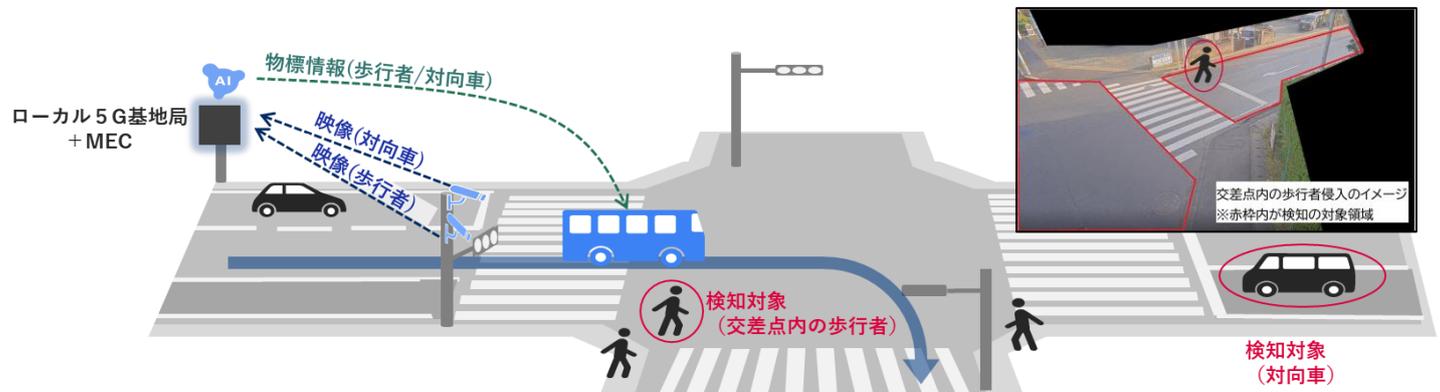
実証エリアの特徴	通勤時等に多くの人が行き交う信号のある交差点で、右折時に自動運転バスと歩行者・対向車の接触リスクが高い。
レベル4自動運転実現の課題	交差点右折時に、車両に搭載されたセンサでは検知できない死角にいる歩行者や遠方の対向車を検知できない。
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	ローカル5G基地局、MEC

👍 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を検知し、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。

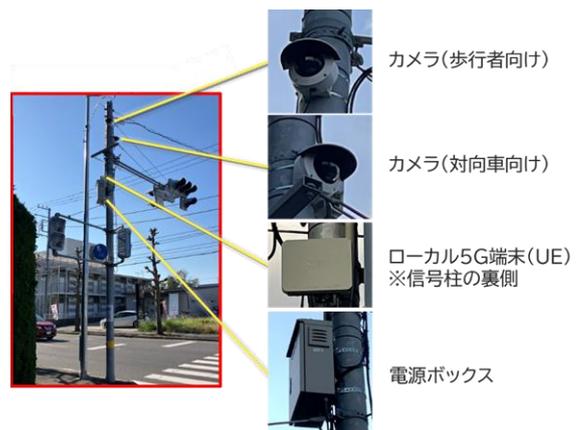


事例 茨城県日立市での事例

日立市の実証では、交差点わきに路側カメラを設置し、自動運転車両のセンサから死角となる場所の歩行者や、遠方から接近する対向車を検知した。

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。

路側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パーセントイル)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。



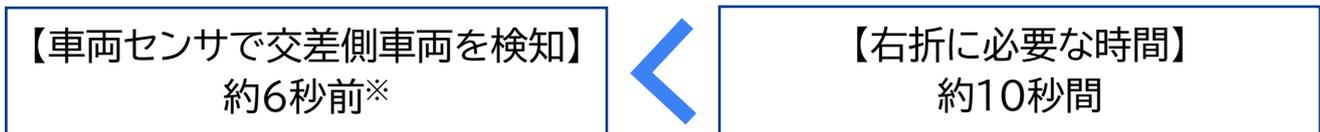
ローカル5G活用による走行車両の検知(石川県小松市)

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

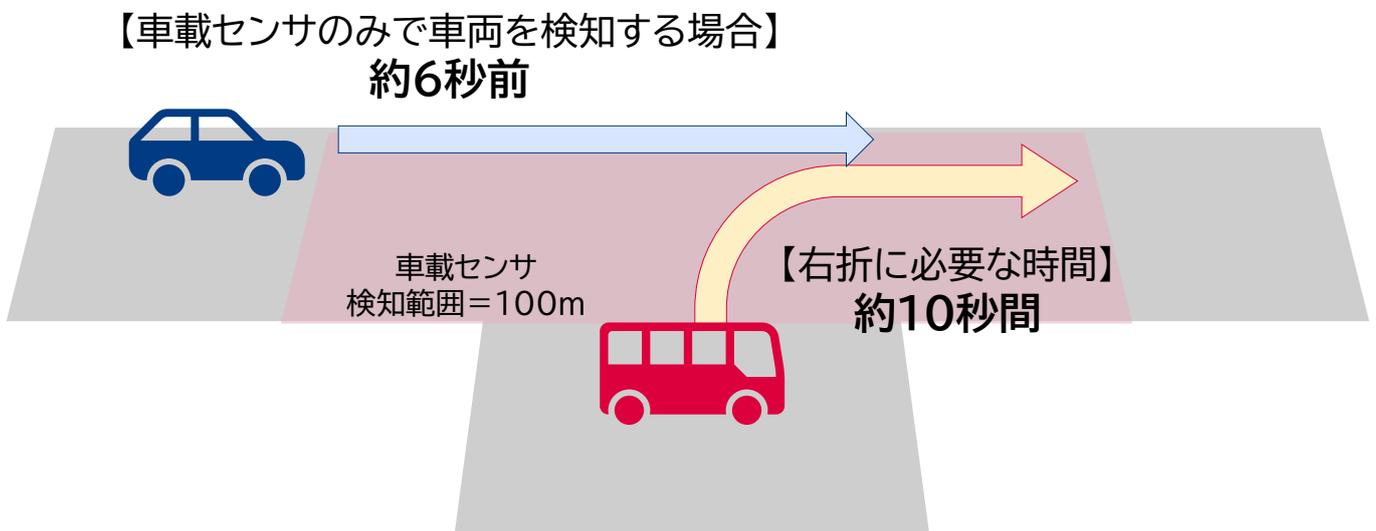
👍 導入により解決・実現できること

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。



※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



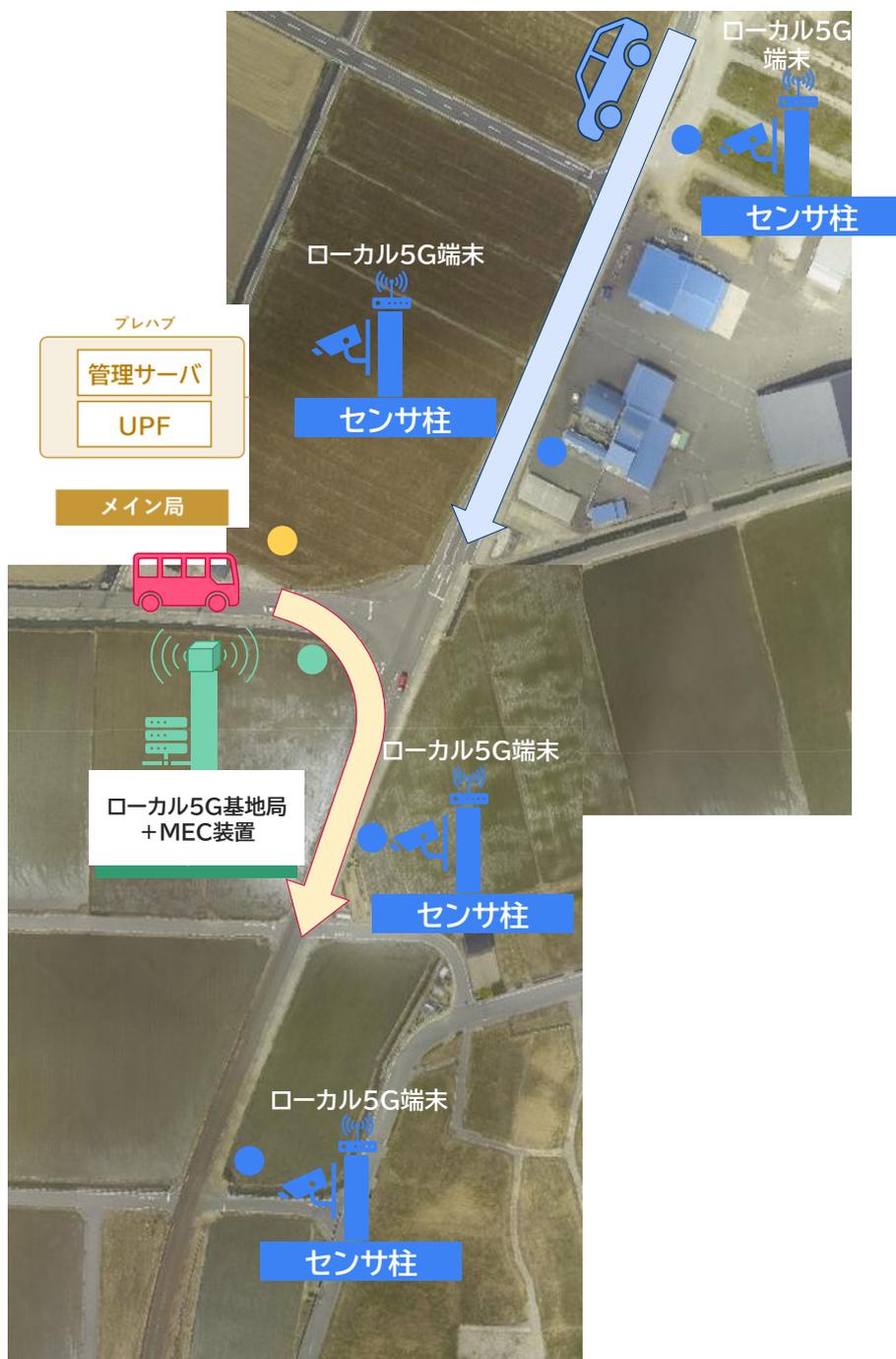
事例 石川県小松市の事例

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

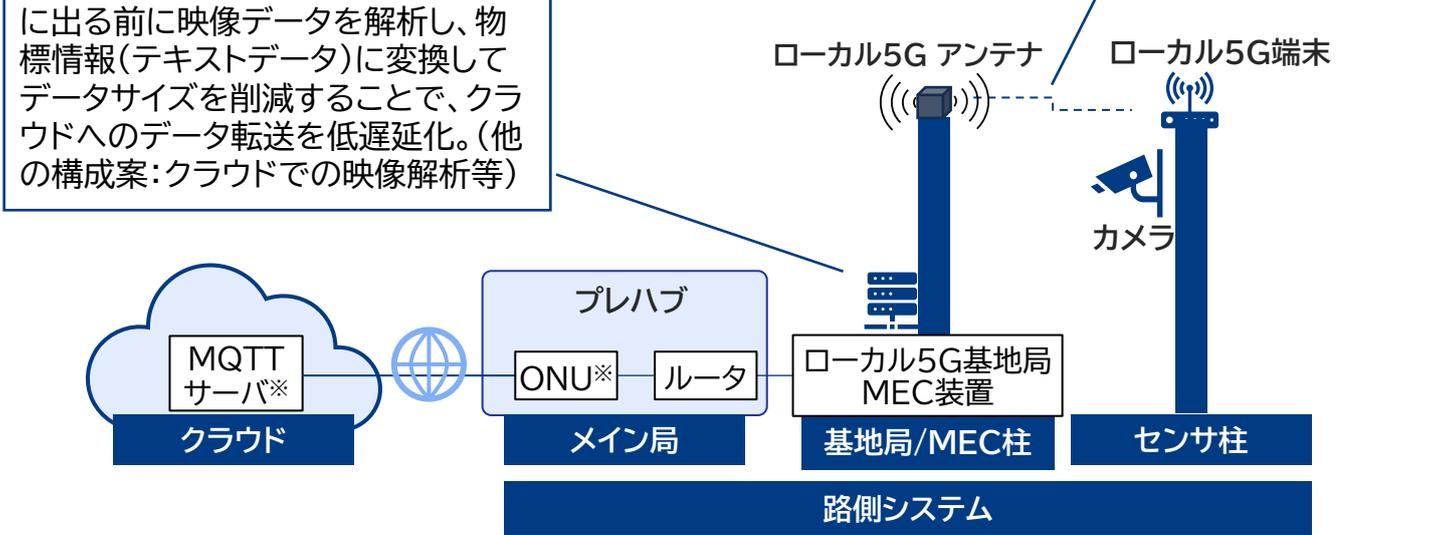
【路側システムの構成】

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

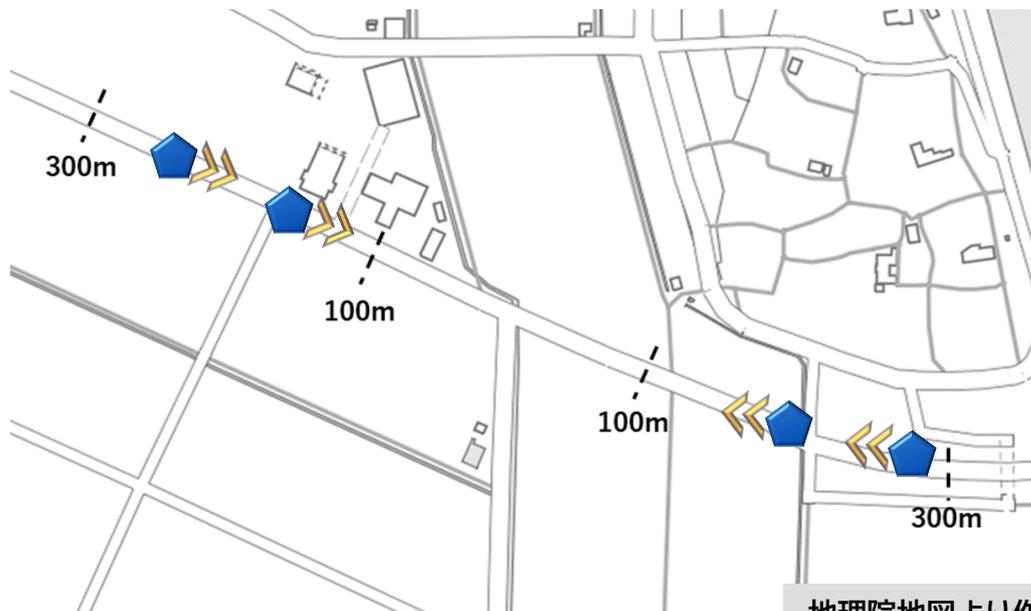
カメラの設置位置から100m程度離れた位置での自動車の検知精度を検証した。日中は天気に関わらずほぼ100%検知できており、誤検知も非常に少ない。しかし、日没直前や夜間については検知精度が低い傾向であった。

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)」

事例 石川県小松市の事例

対向車()を自動運転車側で把握

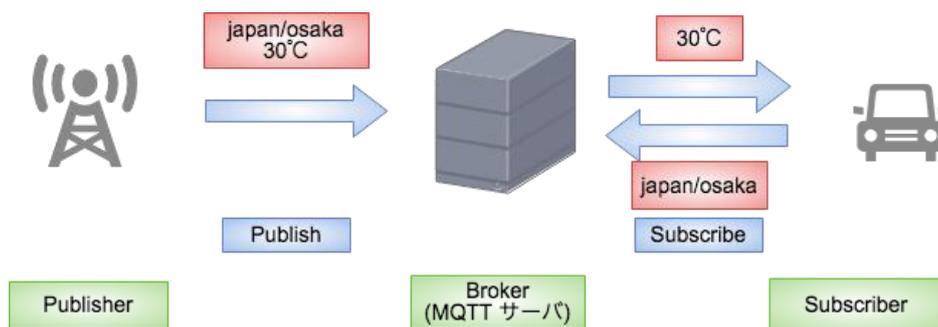


地理院地図より作成

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。



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。

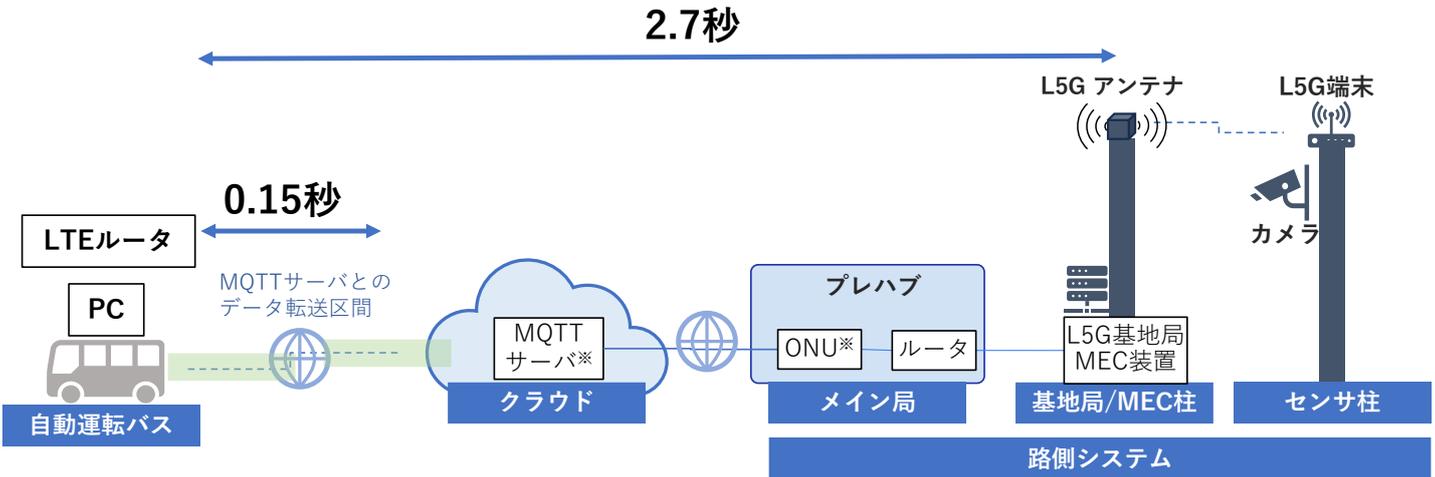


実証による評価結果(ご参考)

● 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。

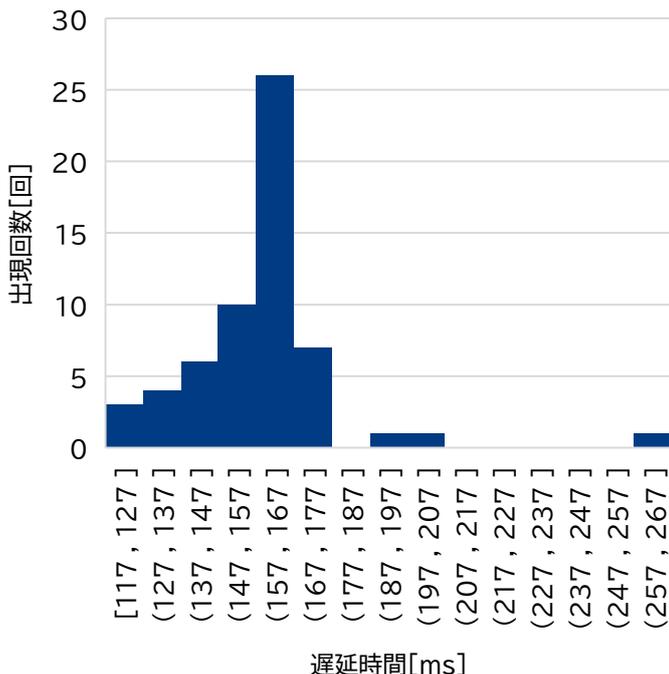
仮に対象の車両が時速60kmと想定した場合、3秒間に走行する距離は50mである。そのため、対象の車両を300m先で検知すれば、250m先に存在する時点で当該車両の情報を入手できる。



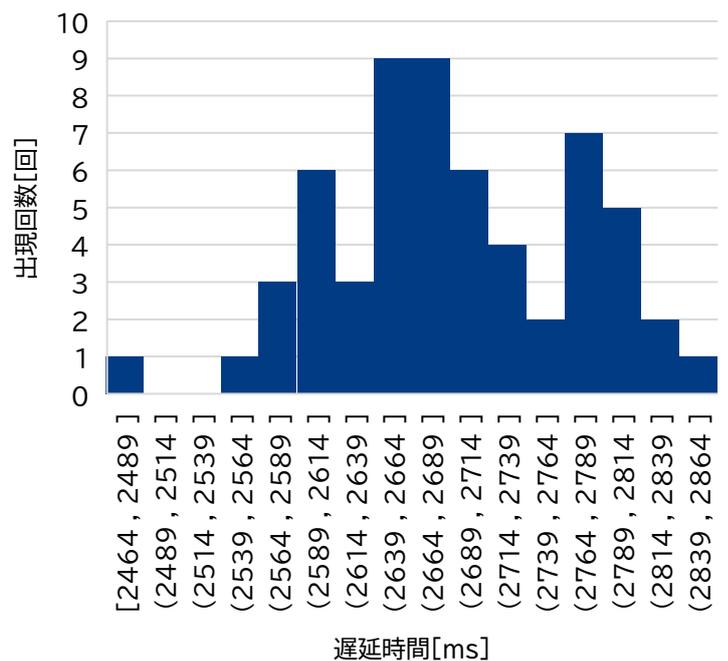
自動運転バス～クラウドの遅延時間(左図)について、変動幅は 117～265msであり、全体の約 95%の測定値は 177ms以下となった。

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】



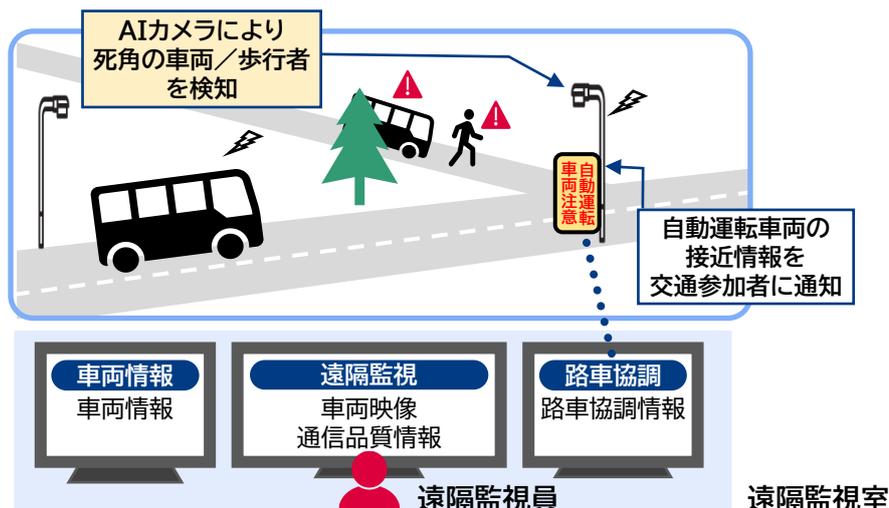
AIを活用した路車協調システムの実証(神奈川県横浜市)

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。

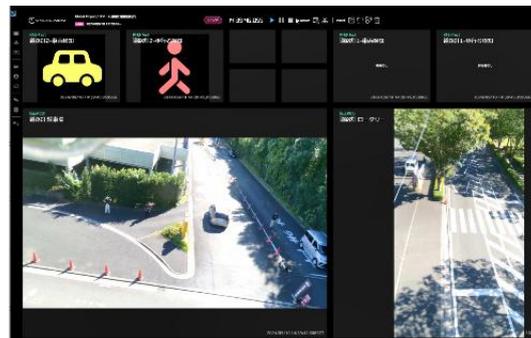


事例

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・車両の情報を遠隔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。

遠隔監視室での通知画面・映像の様子

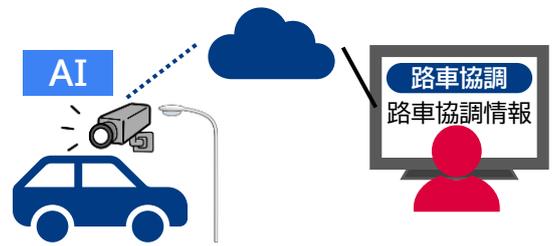
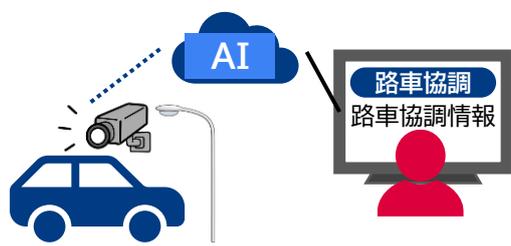


本技術を活用した遠隔監視員からのコメント

- ・ 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

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が、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%

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

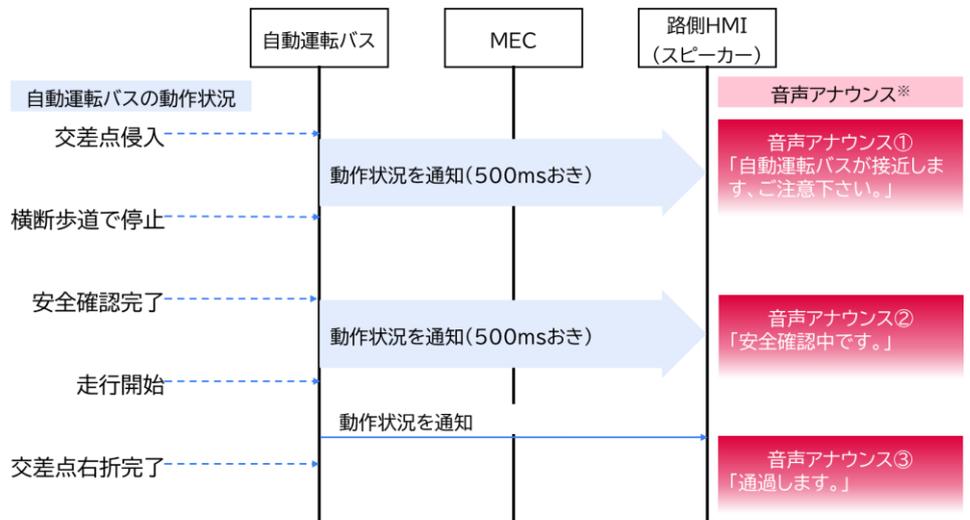
導入により解決・実現できること

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

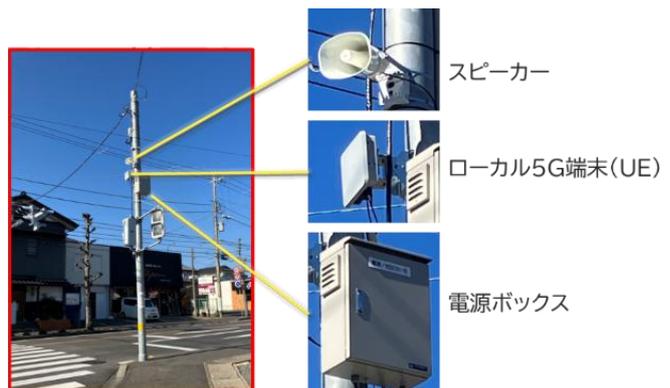
自動運転バスの交差点右折時の走行パターンや、交差点周辺に想定される歩行者の挙動を踏まえ、通信事業者、運送事業者等が参画するコンソーシアムが協力して検討・策定した。



※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。



💡 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。

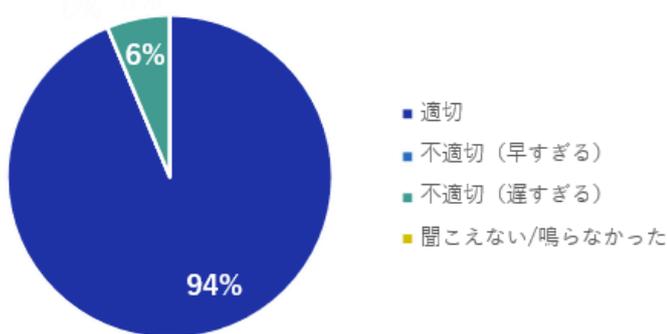
💡 実証による評価結果(ご参考)

● 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

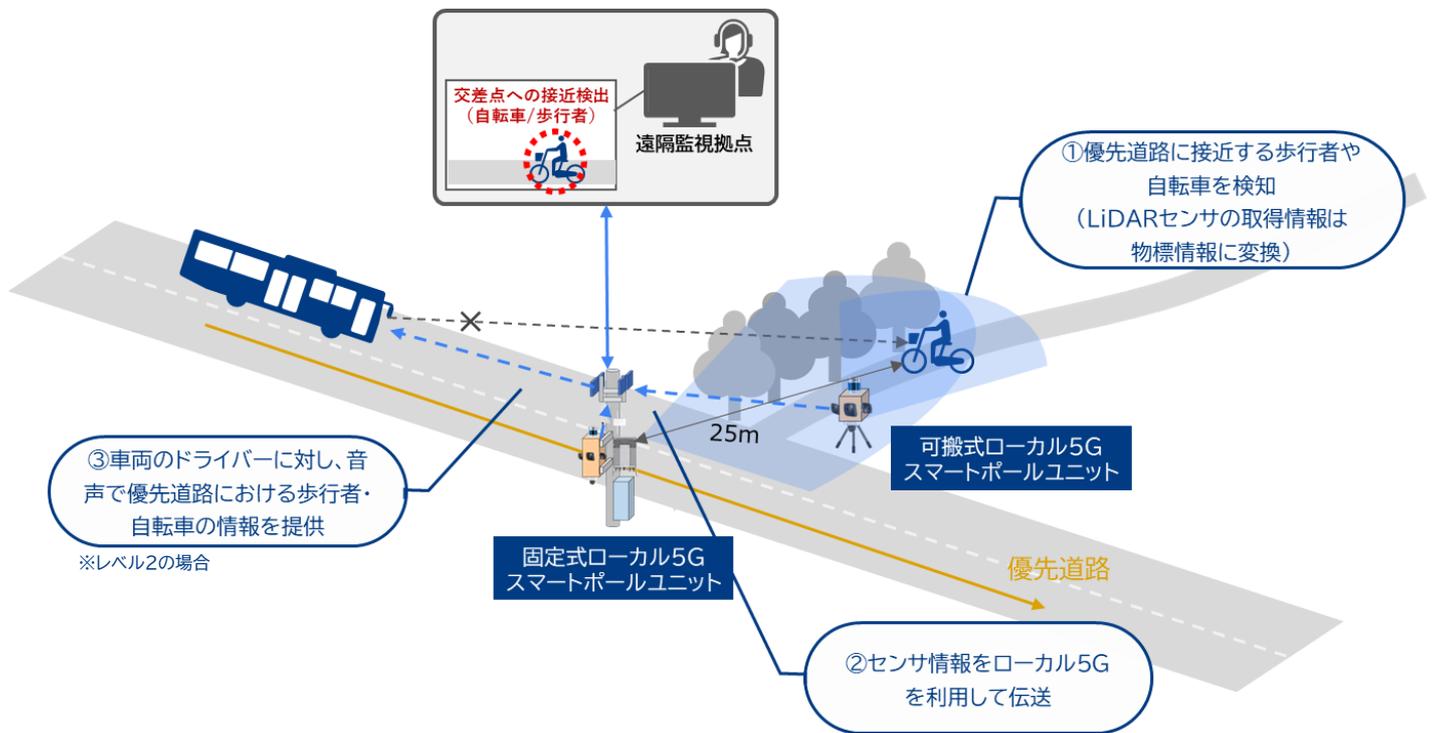


ローカル5Gスマートポールを活用した見通し外の横断歩道における車両認知機能の補助機能の検証(東京都狛江市)

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無信号交差点。
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

無信号交差点約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室に伝送することで、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、移動方向を判別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室に伝送した。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室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。

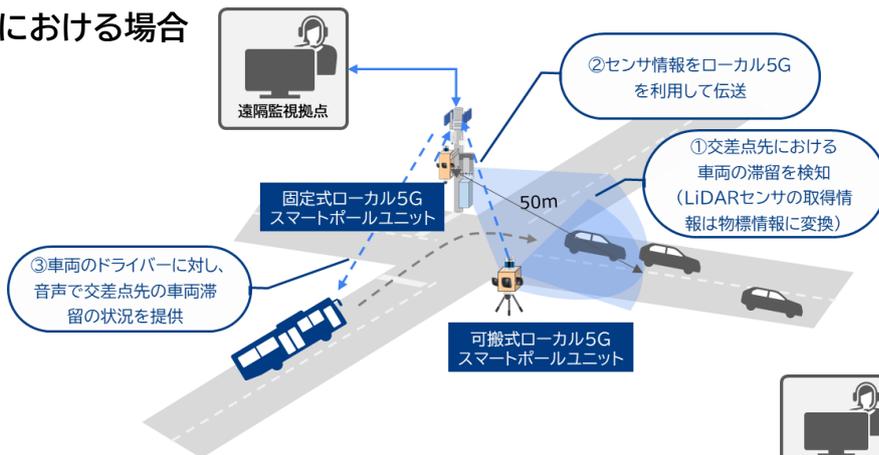
ローカル5Gスマートポールを活用した見通し外の交差点・ロータリーにおける車両認知機能の補助機能の検証(東京都狛江市)

<p>実証エリアの特徴</p>	<p>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。</p>
<p>レベル4自動運転実現の課題</p>	<p>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。</p>
<p>通信方式</p>	<p>ローカル5G(Sub6)、(Wi-Fi 4との比較も実施)</p>
<p>通信方式を活用するための技術</p>	<p>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)</p>

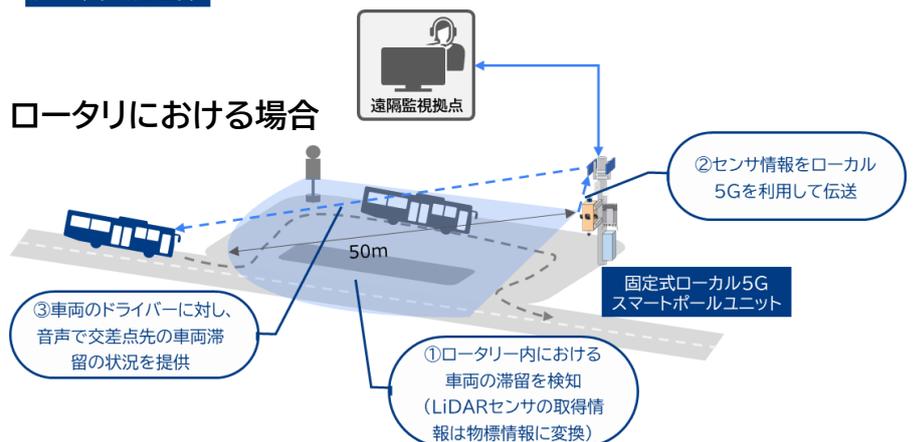
👍 導入により解決・実現できること

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室に伝送することで、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、ロータリ内に遮蔽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室に伝送した。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

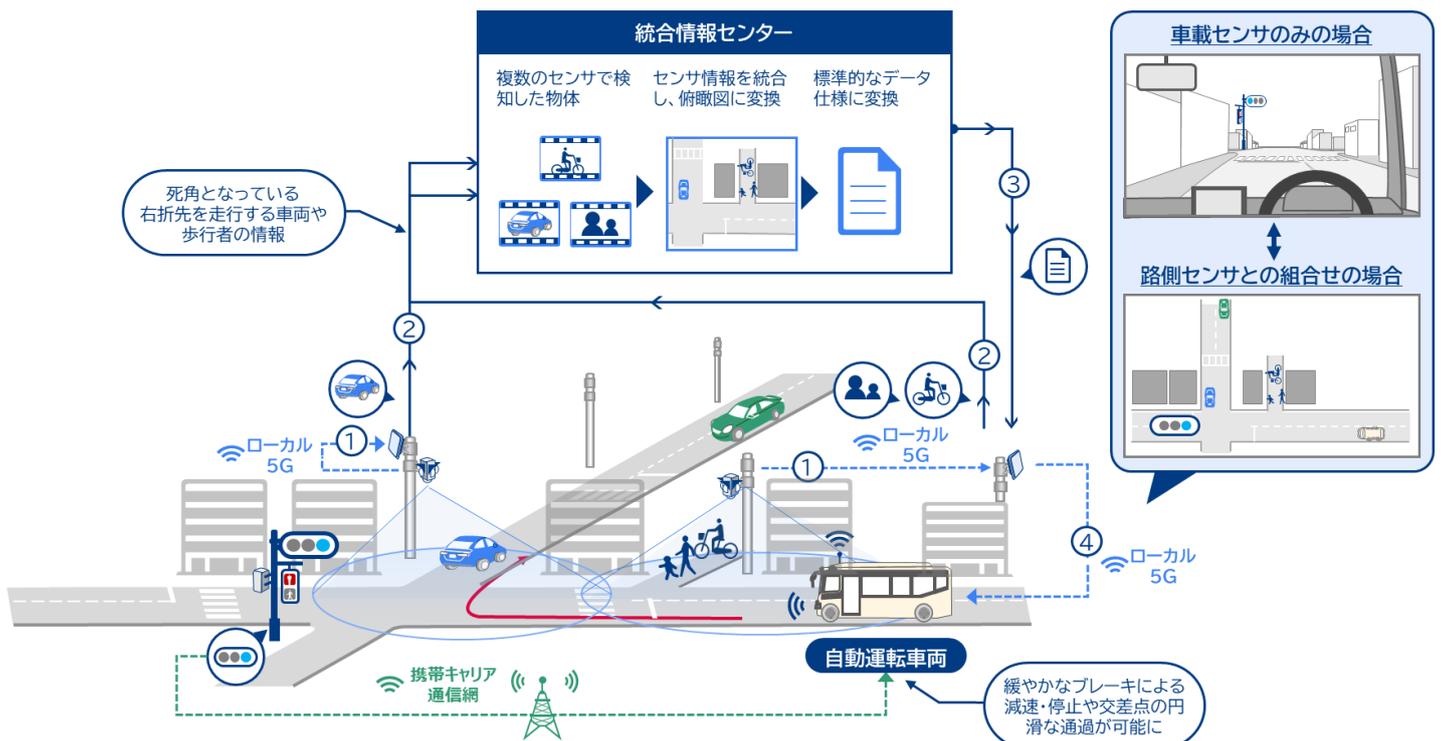
※1: 屋外利用において、長距離伝送が可能な2.4GHz帯を活用するため、Wi-Fiには IEEE 802.11n(Wi-Fi 4)を採用。
 ※2: スマートポール1局当たりのセンシングデータは、最大120Mbpsであり、通信状況に応じフレームレート、画質等が自動で調整される。
 ※3: 本実証では路側センサが物体を検知してから遠隔監視室のモニタに表示させるまでの時間を遅延時間として定義している。

“交差点走行”における自動運転車両制御の検証(東京都狛江市)

<p>実証エリアの特徴</p>	<p>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無信号交差点の横断歩道通過</p>
<p>レベル4自動運転実現の課題</p>	<p>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、見通しの悪い交差点において、歩行者等の通行を直前で認識した場合は、強めのブレーキで停止し、乗客の快適性を損なう。</p>
<p>通信方式</p>	<p>ローカル5G(Sub6)</p>
<p>通信方式を活用するための技術</p>	<p>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) 情報統合センタ(複数の路側センサーの物標情報を低遅延でリアルタイムに車両へ配信)</p>

👍 導入により解決・実現できること

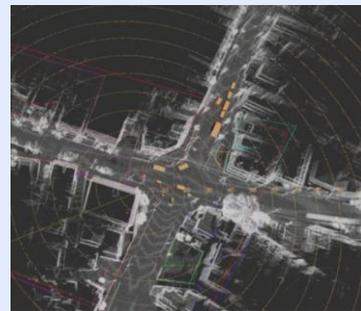
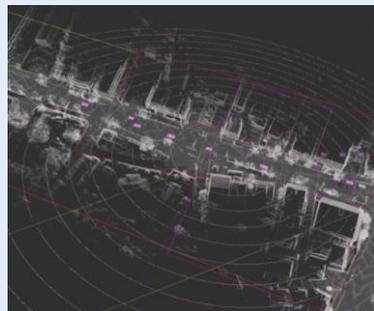
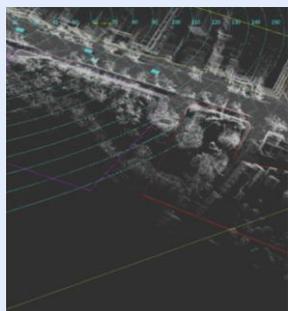
自車の車両センサでは、見通し外となる交差点内や横断歩道周辺の歩行者・自転車・車両を複数の路側センサ(LiDAR)で検知し、各センサの情報を統合して3D地図に表し、信号のサイクル情報と併せて自動運転車両に配信、制御に活用した。その結果、見通しの悪い交差点や信号付き交差点において、緩やかなブレーキによる減速・停止や交差点の円滑な通過が可能であることを確認した。



事例 情報統合センタにおける処理について

情報統合センタでは、複数のスマートポールのセンサの情報を統合。またITSフォーラムで規定されている標準仕様や拡張メッセージへの変換を行っている。

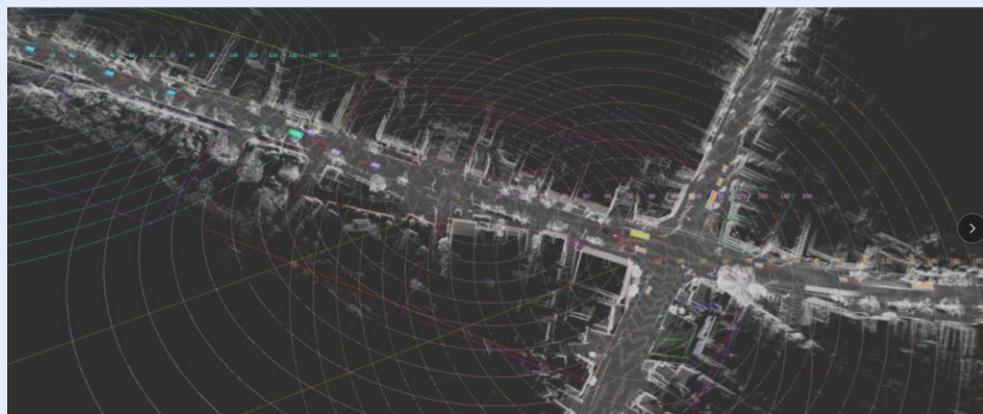
3か所の
路側センサ
での検知



六郷さくら通り設置

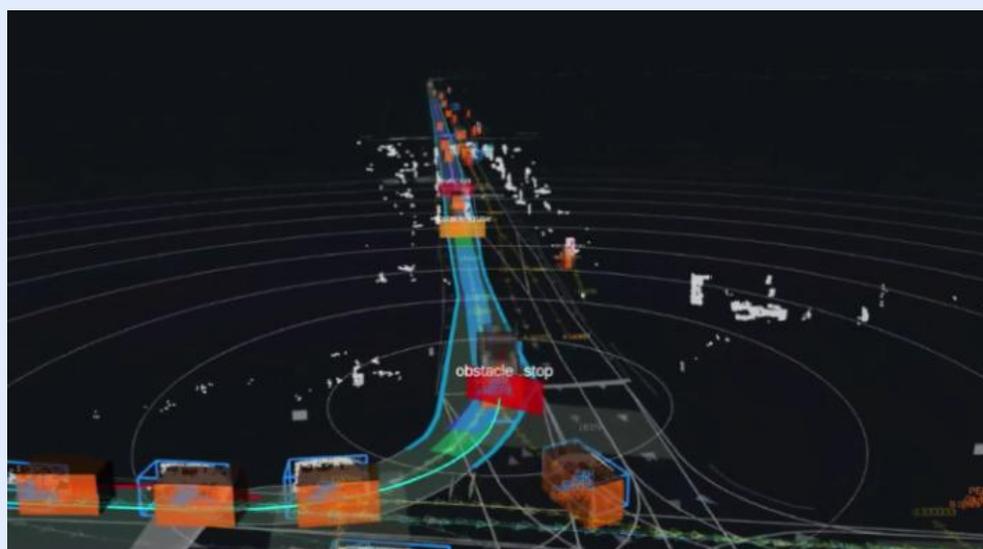
田中橋交差点設置

情報統合
センタに
おける
統合処理



※緑物標：統合された物標

車両へ情報
配信後の
車両での
表示画面



※オレンジ物標：路側センサで検知した物標、青物標：車両センサで検知した物標

※詳細は「令和6年度補正予算 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)実績報告書」を参照。

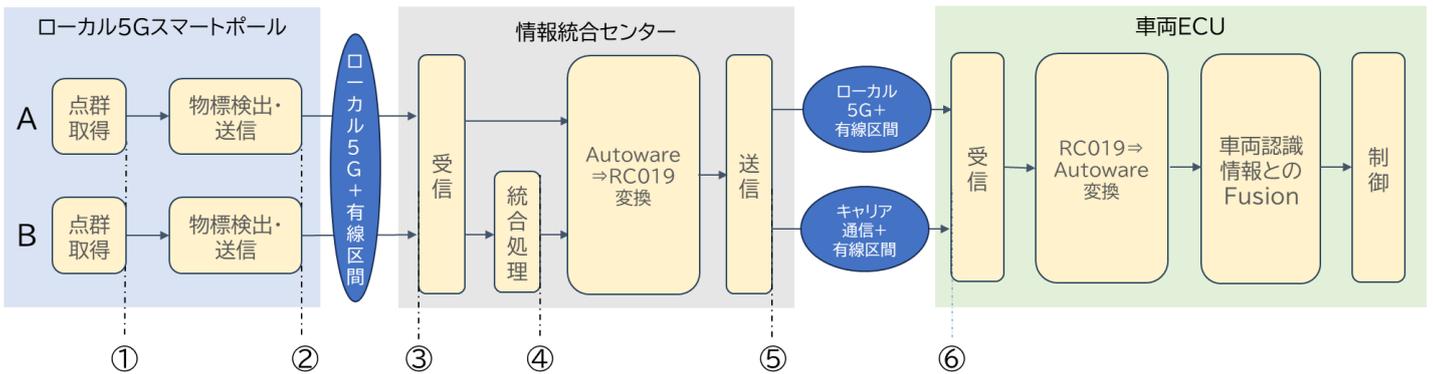


実証による評価結果(ご参考)

● スマートポールに設置したセンサーから自動運転車両までの情報伝送遅延

ローカル5Gスマートポールに設置したセンサで取得したデータを情報統合センタへ伝送し、同センタでの処理後に自動運転車両へ送信した結果、車両が受信するまでに要した時間が600ms^{*}以内であることを確認した

計測地点	①～⑥に要した時間(ms) ※システム全体の遅延時間			⑤～⑥に要した時間(ms) ※無線区間の遅延時間		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小
多摩川住宅	87	206	26	24	184	11
和泉多摩川駅	195	383	102	25	121	12
田中橋交差点 ～六郷さくら通り	111	214	52	25	124	12



- 文献*によれば、一般ドライバーの認知・判断・操作に要する時間は約750msとされており、これを基準に、車両側での処理(認知・判断・操作)に要する時間として約150msを見込んだうえで、通信遅延の目標値を600ms以内と設定
- 本設定により、人間の運転行動と同等以上の反応速度を確保し、旅客の快適性を図ることが可能

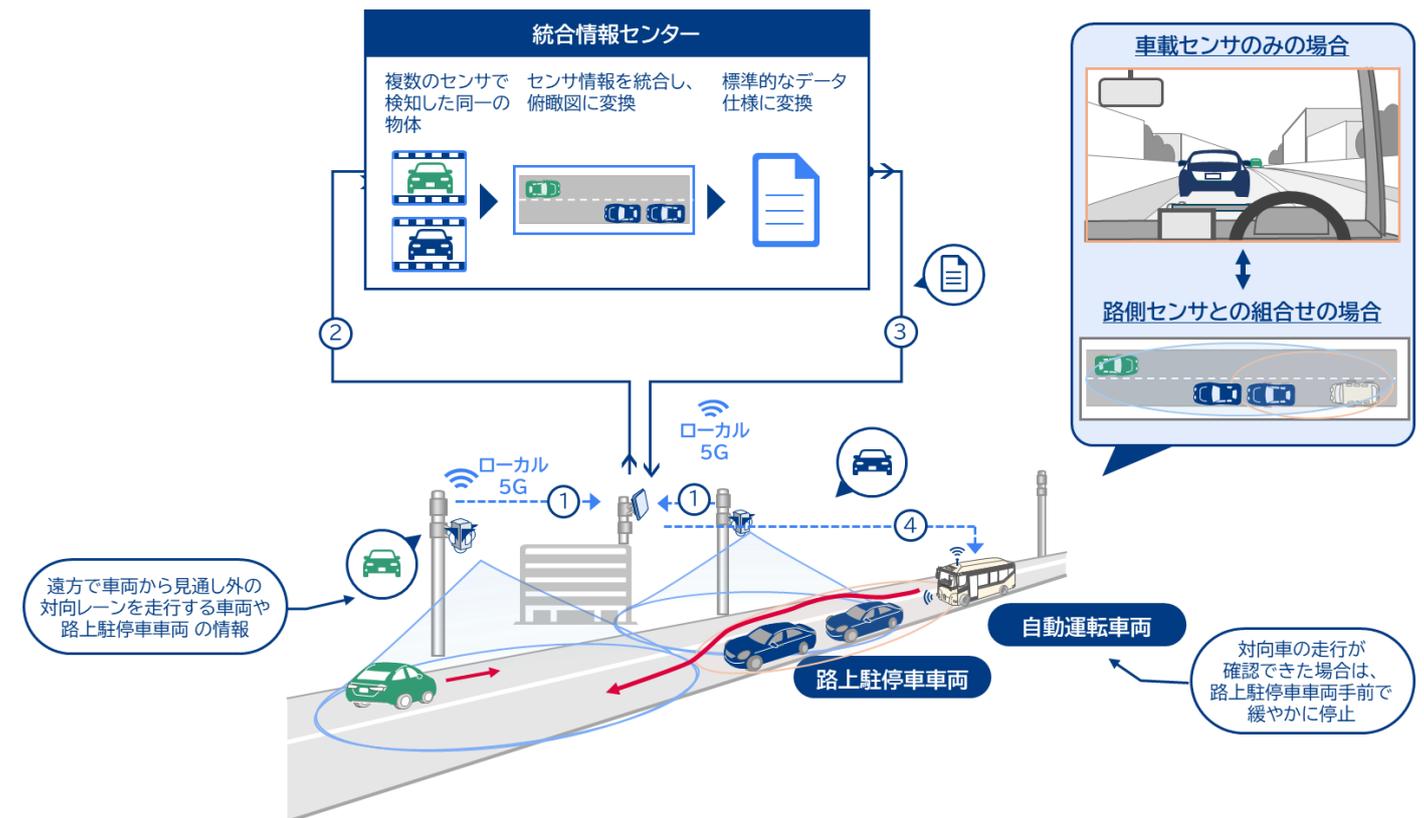
* 参考文献: 中川 正夫他「人間ドライバーの実交通環境における認知反応時間に関する研究」
https://www.nts.go.jp/Portals/0/resources/kouenkai/r4/06_kouen_220609.pdf

“路上駐停車車両回避”における自動運転車両制御の検証 (東京都狛江市)

実証エリアの特徴	片側一車線道路における駐停車車両の回避
レベル4自動運転実現の課題	片側一車線道路で路肩等に車両が駐停車している場合、見通し外となる対向車線の状況は事前に把握できない場合がある。そのため、当該車両を追い越す際に対向車両を検知し、対向車線にはみ出した状態のまま停止してしまう可能性がある。
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	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) 情報統合センタ(複数の路側センサーの物標情報を低遅延でリアルタイムに車両へ配信)

👍 導入により解決・実現できること

見通し距離約300mの区間を対象に、自車センサでは見通し外となる対向車線走行車両を複数の路側センサ(LiDAR)で検知し、各センサの情報を統合して3D地図に表し、自動運転車両へ配信、制御に活用した。その結果、対向車の有無に基づく事前の通過可否判断が可能となり、路上駐車車両の追い越し時における追い越し中の一時停止の防止に寄与できることを確認した。



💡 導入時の留意事項・意識しておく事項等

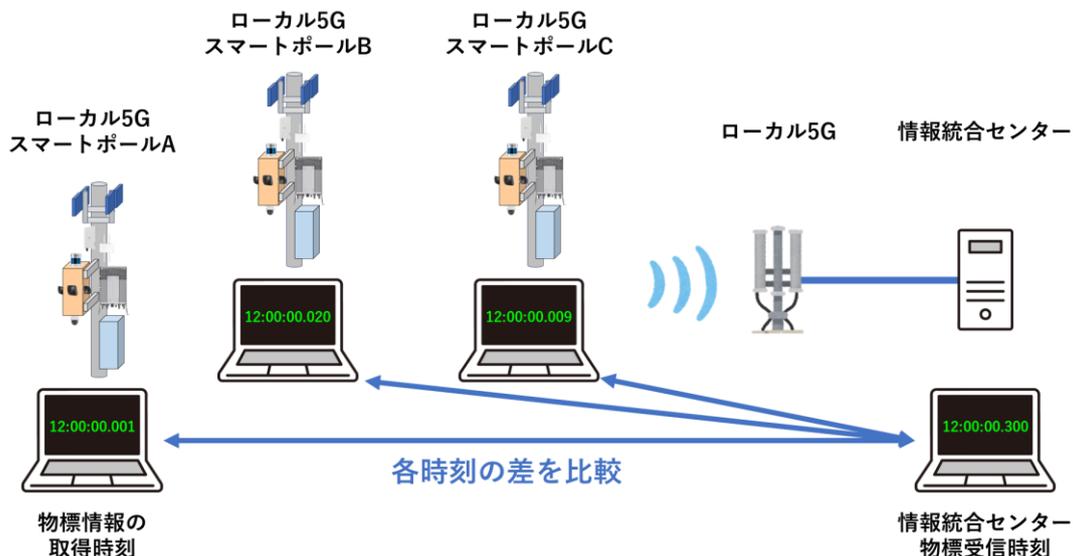
- 複数のスマートポールセンサで取得した情報を統合処理する際、各路側インフラと情報統合センタ間の通信混雑や再送処理等が重なり、通信遅延のばらつきが生じる恐れがある。100ミリ秒間隔等の周期を要するが、これらばらつきにより、統合した後の情報配信が遅延し、活用できなくなる可能性がある
- 大型車等の道路上物体に対する遮蔽を防ぎ、遠方を見通すため、高所・路側に複数台センサ・路側通信端末を設置する必要がある。無電柱化など、道路・交通環境に即して設計・配置し、継続的な利用に向けて適切に保守を行うことに留意する必要がある。

💡 実証による評価結果(ご参考)

- センサーの検知範囲が重複している路側インフラ間(2基のスマートポールから送信された同一の物標情報)における通信遅延の揺らぎ

センサーの検知範囲が重複する2基のローカル5Gスマートポールから送信された同一の物標情報について、通信遅延の揺らぎを評価した結果、平均遅延時間が200ms以内であることを確認した。これにより、同一の物標情報を複数の物標として誤認することなく処理できることを確認した

計測地点	センサーの検知範囲が重複している路側インフラ間における通信遅延の揺らぎ(msec)		
	平均	最大	最小
田中橋交差点及び六郷さくら通りに設置の2基	41	164	0.01
六郷さくら通りに設置の2基	36	156	0.01



ローカル5Gを用いた路側インフラと自動運転車両の連携による混雑発生地域における入庫待ち車列渋滞の回避行動の実現(神奈川県横浜市)

<p>実証エリアの特徴</p>	<p>アミューズメント施設(動物園)駐車場の入庫待ち渋滞が頻発する混雑した環境。駐車場出入口から約30m先に見通しの悪い緩い右カーブがあり、若干の上り勾配がある。</p>
<p>レベル4自動運転実現の課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・駐車場への入庫待ち車列や路駐車が原因となり、自動運転バスが一時的に停止してしまう、自動運転の作動を継続することが困難な状態となる等、円滑な走行に影響が大きい。 ・駐車場から出庫してくる車両や対向車線から接近してくる車両、また入庫と駐停車の車列の影に存在している横断などを試みる歩行者については、自動運転バス搭載のセンサ機材による認識技術だけでは、安全性を確保して中央線直近・中央線を越えて対向車線を走行可否の判断・制御が難しい場面もある。
<p>通信方式</p>	<p>ローカル5G(Sub6)</p>
<p>通信方式を活用するための技術</p>	<p>路側インフラ(カメラ、LiDAR)</p>

👍 導入により解決・実現できること

ローカル5Gを活用し、車両制御に必要な解像度レベルであるLiDARの要求スループット(56Mbps)およびカメラの要求スループット(10Mbps)を継続的に確保できる環境を構築。LiDAR点群情報およびカメラ映像をMECに伝送し、入出庫車両の状況等を物標情報に変換した上で自動運転バスに伝送することで、自動運転バスが車両側センサの情報と合わせて入庫待ち車列回避判断・制御を実施し、当該ポイントにおける自動走行達成率100%になることを確認した。

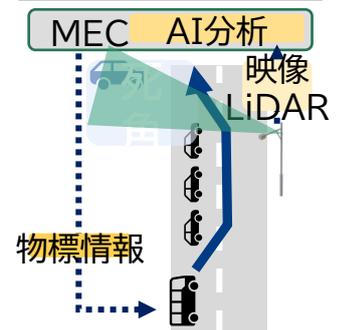
自動運転バス視点画像



LiDAR+カメラによる先端センシングの例



データ連携のイメージ図



事例 横浜市旭区(動物園付近)での事例

横浜市での実証では、路側インフラを用いた路車協調により、入庫待ち車列が10mほどある場合においても、その車列の自動回避が可能となることを確認した。より具体的には、道路灯の、カメラ映像データ・LiDAR点群情報をインプットにしたAI分析により死角における出庫車を検知し、それを車両に連携することが可能であることを確認した。

※詳細は「令和6年度補正予算 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)実績報告書」を参照。

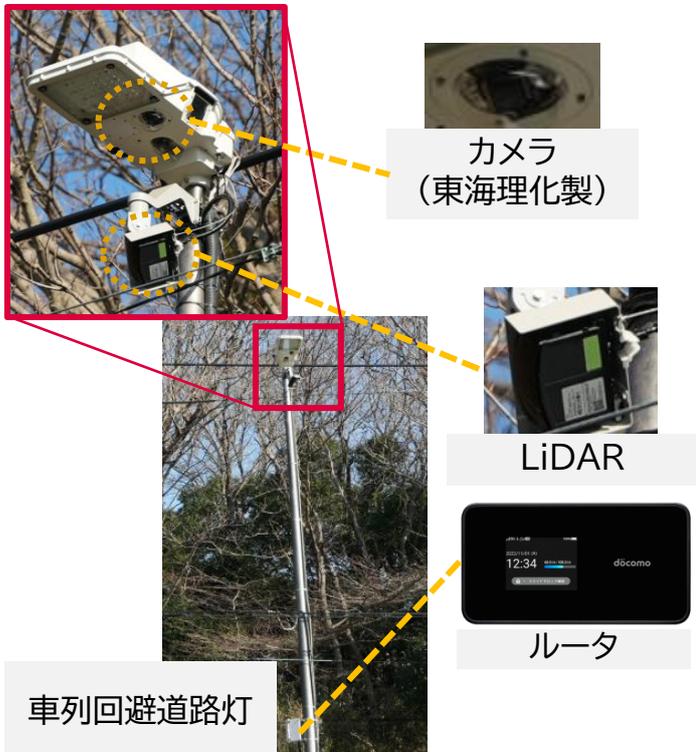


車列回避の様子

使用する技術についての説明

既設の道路灯の灯具部分を、照明機能に加え、筐体組込み型カメラやLiDAR等を搭載した次世代の道路照明灯に取り換えることにより、死角の映像等を取得可能。

路側機器構成



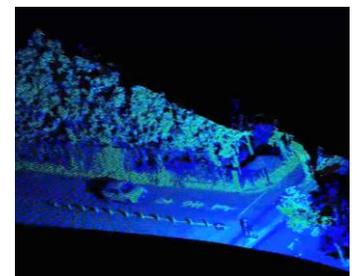
取得データ

カメラ	映像解像度	1920×1080
	フレームレート	15 fps
	送信ビットレート	約10Mbps
LiDAR	角度分解能	0.1° x 0.2°
	フレームレート	10 fps
	送信ビットレート	約56Mbps

カメラ映像

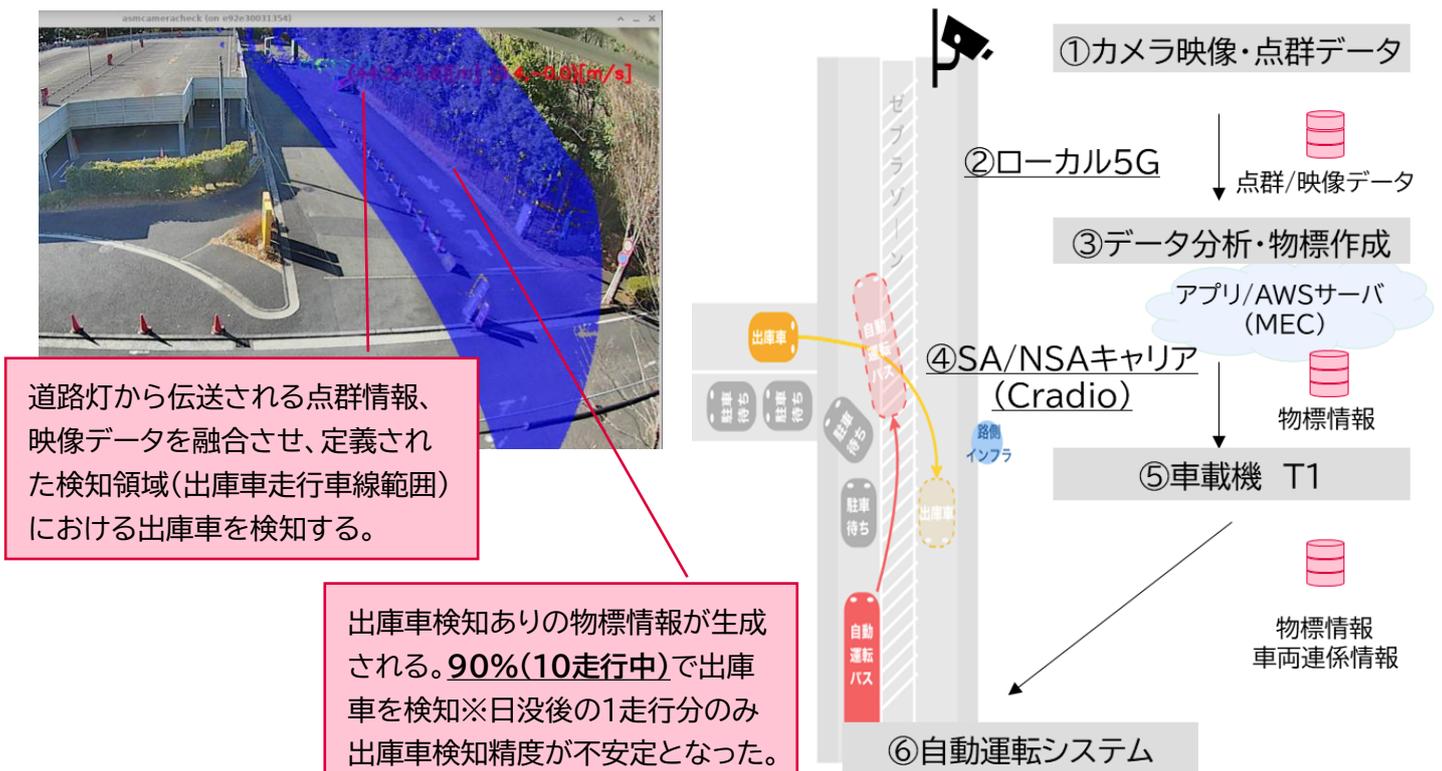


LiDARによる3D地形データ



道路灯に設置したカメラ・LiDARで取得した情報を基にした自動運転制御の方法

死角にいる車両の検知は、道路灯に設置したカメラ映像(フルHD)と点群情報をローカル5Gを介してMEC上に伝送し、物標情報にした上で、キャリア網で自動運転車両に伝送する方法を採用。



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- **横展開可能性**: 本検証エリアが想定する、駐車場への入庫待ち車列回避発生場所での活用が可能である。特に、バスの通行が優先され、かつ、出庫車も存在するような大型イベント会場、商業施設、アミューズメント施設等において有用である。
- **コスト**: インitialコストについて、スマート道路灯は1360万円、ローカル5Gは1160万円程度となった。また、1年間でのランニングコストについて、スマート道路灯130万円、ローカル5Gは2860万円程度となった。

スマート道路灯	現地調査・手続申請費用・工事費用	インシヤルコスト	1台	215万円	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 今年度実施した調査を含めた設置～撤去に関連する工事(調査、事前工事、設置、撤去) ✓ 手続申請、出張費用、図面・資料作成費用などの一式
	道路灯設備構築費用(カメラ1台・LiDAR1台構成)	インシヤルコスト	1台	1143万円	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 灯体本体費用(試作費用実績ベース) ※ポールや工事関連費用は含まない
	スマート道路灯運用保守費用	ランニングコスト	1台 1年	129万円	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ハードウェア・ソフトウェアの保守費
ローカル5G	免許申請等手続き費用	インシヤルコスト	1式	143万円	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 通信設備設置に必要な許可申請等
	基地局構築費用(建柱含む)	インシヤルコスト	1式	1015万円	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TypeDのドコモ工事の費用は、利用料に含まれる(※環境工事費用については令和6年度横浜の環境工事条件と同じとして算出)
	利用料(装置・構築・保守・回線利用料等含む)/年	ランニングコスト	1式 1年	2858万円	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 基地局措置RU1台・構築費用・運用保守費、SIM利用料、データ利用料15TB/月、UNO/FIC利用料含む(UNO帯域保証100Mbps)

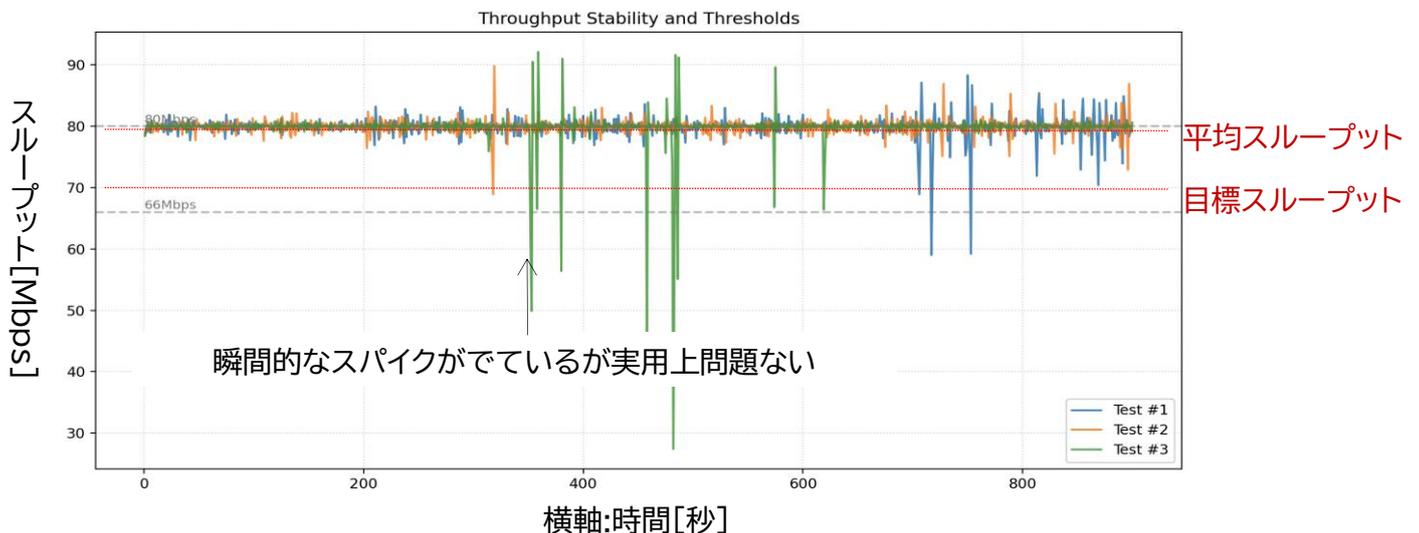
実証による評価結果(ご参考)

● 自動走行達成率:100%

商業施設駐車場の出入口において、入庫待ち車列渋滞が発生した場合を想定した検証を行った。①前提として車列の有無に対応した判断・走行が可能であるか、②出庫車の有無の検知情報に応じた判断・走行ができるかを確認した。①②ともに、動的な判断と、それに基づく走行が可能であることを確認した。

● ローカル5G

LiDARとカメラの要求スループット合計値である66Mbpsを超える時間率は、99%以上であった。商業施設のような混雑環境であっても、大容量通信を安定的に確保できることが分かった。

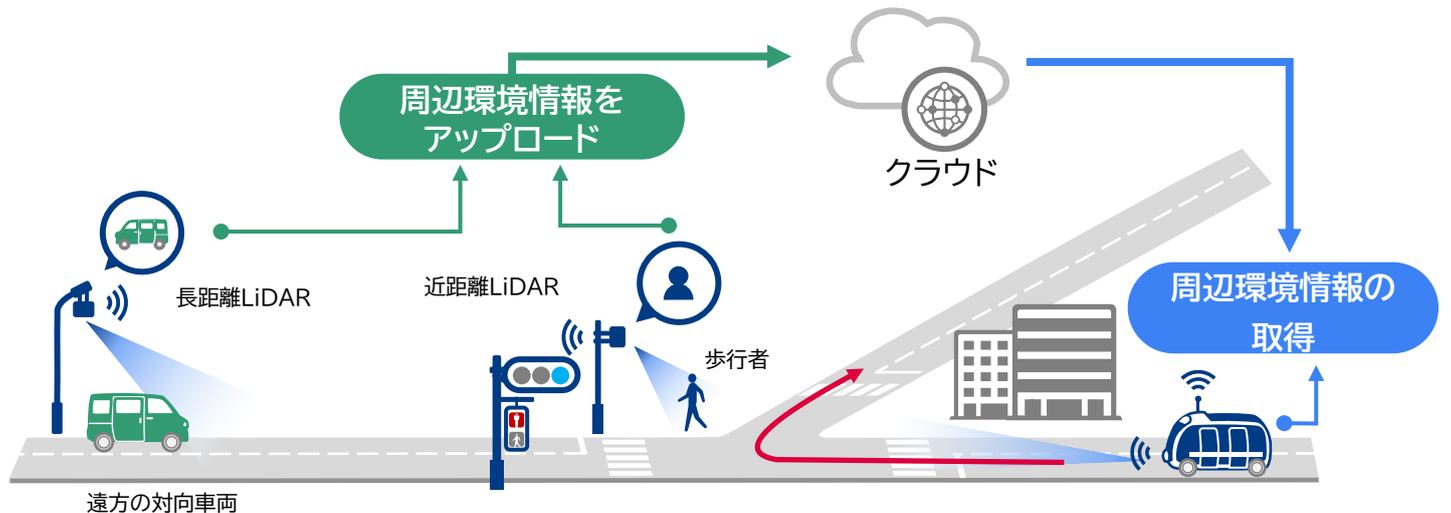


複数台センサを活用した高架等に起因する車載センサの検知外の人・車の検知による右折支援(佐賀県佐賀市)

実証エリアの特徴	鉄道高架及びその柱等により車載センサの死角領域が多く、歩行者や車両の多い鉄道駅バスターミナル付近の右折ルート。
レベル4自動運転実現の課題	円滑な右折のためには、車載センサのみでは十分な周辺環境情報の取得が難しい。
通信方式	4G/LTE
通信方式を活用するための技術	路車協調システム、LiDARセンシング

👍 導入により解決・実現できること

高架の道路を走行するバスなどにより車載センサーが死角となる領域を補う路側センサーと、遠方の直進車両を検知する路側センサーの二種類を組み合わせて周辺環境情報を取得した。その結果、レベル4自動運転実現に向けた円滑かつ安全な右折に向け、ブレーキに関する一部車両制御の改善を確認した。



事例 佐賀駅バスセンターでの右折車両制御

佐賀駅バスセンターに進入する走行ルートとして、対向2車線の道路を横断する右折制御を実施した。右折時には、周辺の歩行者と遠方の直進車両をそれぞれ異なるLiDARで検知し、車両制御に活用する検証を実施。



車両右折のために設置した
2台の路側センサー

※詳細は「令和6年度補正予算 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)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

- 本実証では、路側センサー設置箇所での自動運転バスの停止時間が長くなる傾向があった。停止時間が長くなることで、当該箇所において自動運転車両に起因する滞留が生じる可能性があり、円滑性の向上に繋がる施策や自動運転車両と路側センサー間の調整の必要性があることに留意。
- 路側センサの設置場所の検討においては、車両センサで検知できない範囲のカバーだけでなく、自動運転車両の安全運行に向けて検知すべき人・車両等のリスクシナリオを整理した上で、それらの検知に適する配置を検討することが望ましい。
- 路側センサの設置には当該地点の管理者又は権利者との調整を要し、必ずしも事前検討した地点及びセンサ範囲での導入ができない場合があることに留意。

💡 実証による評価結果(ご参考)

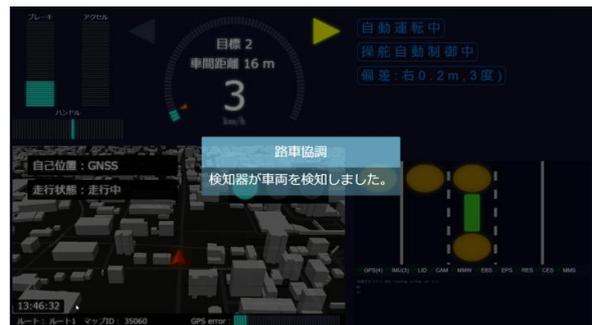
● 通信システム等の運用の有無による右折通過

当該箇所到着の24秒前に路側センサー情報を受信できた。そのため、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が期待できる。

路側センサー情報を用いた自動運転バスの右折支援では、手動走行を想定した場合のドライバーの意図と路側センサー情報を用いた制御が一致している場合、走行に要する時間に大きな差は見られなかった。ただし、右折前の一時停止の後の再発進において、手動走行と比べて長い停止時間となる傾向が確認され、これに伴い、右折の通過に要する時間は手動走行と比べて長時間化した。

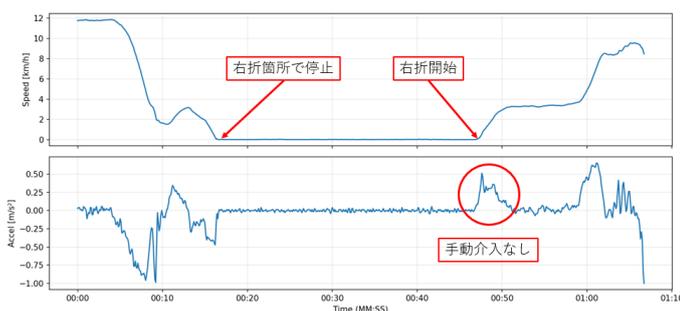


路側センサー情報受信開始 (13:46:08)

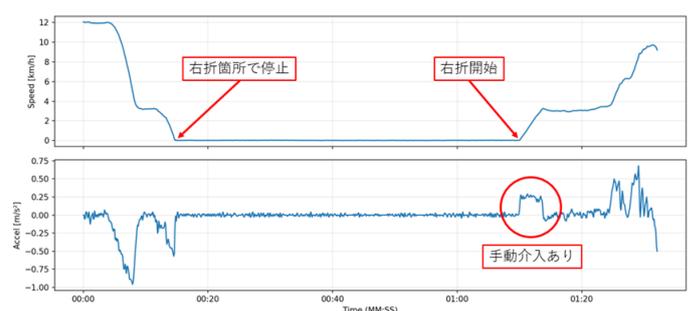


路側センサー使用箇所到着 (13:46:32)

路側センサー情報受信時間確認結果



路側センサー情報活用の際の車両挙動データ
(ドライバー意図と一致する場合)



路側センサー情報活用の際の車両挙動データ
(ドライバー意図と一致しない場合)

キャリア5Gを用いた路側インフラと自動運転車両の連携による狭隘道路における離合制御の実現(神奈川県横浜市)

実証エリアの特徴	一部歩車分離がなされていない片側1車線、かつ左カーブが存在する、見通しの悪い区間のあるルート。
レベル4自動運転実現の課題	見通しの悪いカーブを含む離合発生箇所があるため、対向車有無をミラー越しに確認しながら判断して走行する必要がある。加えて、対向車線へはみ出した状態での走行が必要になる。しかし、当該ポイントを自動運転バス搭載のセンサ機材による認識技術だけでは、安全性を確保した走行が難しい場面がある。
通信方式	キャリア網(5G NSA方式)
通信方式を活用するための技術	路側インフラ(カメラ)

👍 導入により解決・実現できること

路側インフラに設置したカメラの映像(1Mbps程度・フルHD)を遅れや乱れなくMEC側に伝送できる環境を構築した。対向車の情報をMEC上にて分析し、検知結果を自動運転システムに伝送し、車両搭載の各センサの情報と合わせて待機・発進の制御を実施することで、当該ポイントにおける自動走行達成率90%以上になることを確認した。

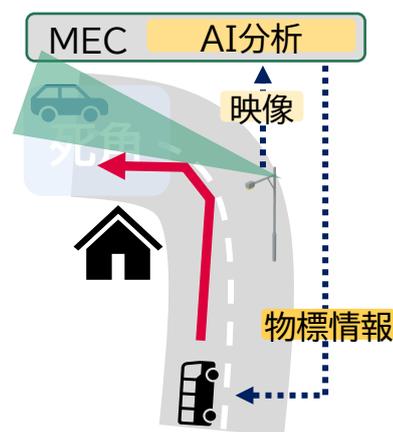
自動運転バスからの視点



道路灯から取得できる映像の例



データ連携のイメージ図



事例 横浜市旭区(生活道路)での事例

横浜市旭区の白根街道での実証では、路側インフラを用いた路車協調により、見通しの悪いカーブ形状の道においても90%以上自動走行モードで走り切れることを確認した。

対向車有無をカメラ映像で検知し、その物標情報を自動運転車両へ連携することで、車両側から死角に存在する対向車の有無を確認できた。

※詳細は「令和7年度地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



対向車検知の様子

使用する技術についての説明

既設の道路灯の灯具部分を、照明機能に加え、筐体組込み型カメラやセンサー等を搭載した次世代の道路照明灯に取り換えることにより、死角の映像等を取得可能。

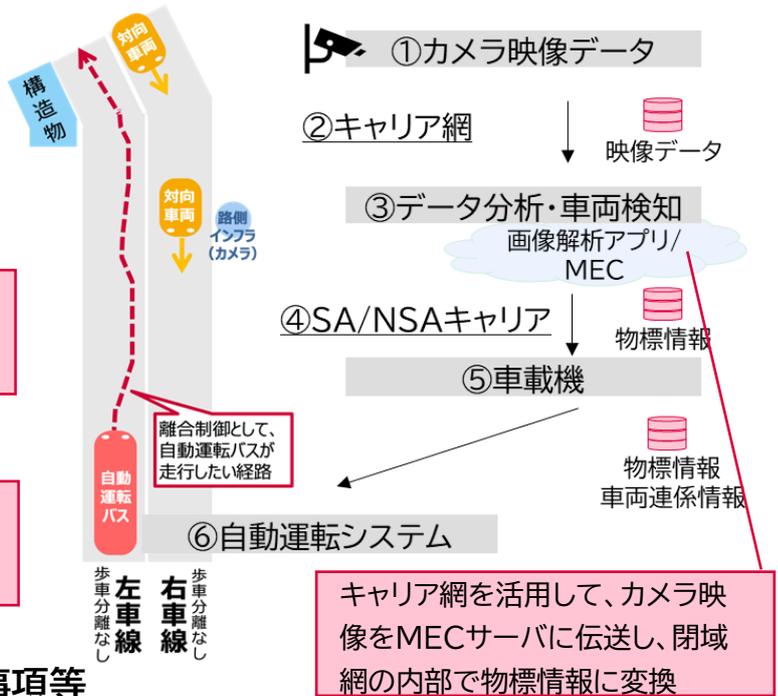


画面		
	製品名	Tiny2(カメラ)
仕様詳細	水平画角 (HFOV)	72.9°
	映像解像度	1920×1080
	フレームレート	15 fps
	送信ビットレート	1Mbps
	実用識別距離	70m



道路灯から伝送される映像より、検知領域(対向車走行車線範囲)を定義し、対向車を検知する。

対向車検知ありの物標情報が生成される。全シーン(130シーン)中で対向車を検知 ※85%以上のシーンにおいて1フレーム目で検出。



導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 横展開可能性:** 本検証エリアの片側1車線の道路のような、死角範囲のある要離合制御道路や、要離合制御区間の長い道路で本技術の活用が可能であると考えられる。具体的には、曲線構造、建物や電柱などで死角が発生する道路、車両一台分のみ通過可能な区間が長い場合、早めに対向車を検知する必要のある道路などが想定される。
- 環境:** 電波環境、通信環境が良好な場所である場所で活用する必要がある。

実証による評価結果(ご参考)

- 離合制御エリアにおける自動走行達成率を計測した結果、90%以上を満した。
- 対向車有無の検知精度は100%となった。(※)

対向車有無の検知精度	
検知精度の結果	100%
サンプル数	130シーン
検出所要フレーム数平均	2.33
1フレーム目未検出サンプル割合	14.5%

※検知精度の定義: 対向車が画角内に入ってから出るまでを1シーンとし、その1シーン の間に対向車検知をしていけば正解、していなければ不正解とする。そして、総サンプル数の内の正解の割合を算出する。

見通しの悪い道路での走行支援情報伝送（島根県松江市）

実証エリアの特徴	バス路線となっている道路は起伏やカーブが多く、交差点やバス停留所の周辺において見通しの悪い箇所が存在している。
レベル4自動運転実現の課題	自動運転車が右折や停留所から発進を行う際、付近に見通しの悪い箇所（カーブ・坂道・交差点）が多く、対向車等の接近車両の発見が直前となりやすい傾向があり、走行時の安全確保が困難。
通信方式	LTE回線（4G）
通信方式を活用するための技術	自動運転車の死角を補う路側センサ情報の配信技術

👍 導入により解決・実現できること

地形（カーブ・坂道・交差点等）の影響で死角となる箇所に路側機・センサーを設置し、当該箇所の交通状況や信号の灯火情報を伝えることで、自動運転車の走行の支援（右折・停留所からの発進等の支援）を行うことが可能。

通信設備構成図



事例 見通しの悪い交差点・停留所における情報提供

情報の提供の一例として、見通しの悪い箇所（カーブ・坂道・交差点）に路側センサー（LiDAR、ミリ波レーダーにより構成）を設置し周辺の交通状況を自動運転車に提供。

また信号の灯火情報を提供することで、右折および停留所のバスベイからの発進を支援することができた。

LiDAR ミリ波レーダー



路側センサーによる情報取得の様子



導入時の留意事項・意識しておく事項等

技術面(事前確認が必要な事項)

- 機器設置に関して以下の制約事項
 - 電柱設置の場合、共架箇所は1事業者あたり1か所のみ
 - 道路側に設置する場合、5.5m以上から既存ケーブルの間
 - 歩道側に設置する場合、4.5m以上
 - 道路形状によってはセンサからの死角が発生する場合があるため設置箇所に注意が必要
- 機器の電源の取得経路の事前確認
- 強度計算に要する期間を考慮した計画(電力会社の場合、通常1~1.5か月程度)
- 信号情報連携にあたって事前調査・検証が必要な項目
 - 警察の協力をいただくために、実証実験概要(情報提供)が必要
 - 各交差点ごとに交通信号制御機の制御方法が異なるので、現場にて視察/確認が必要

運用面(関係各所への手続き等)

- 既設柱の管理者に対する申請(強度計算の依頼および共架申請)
- 所轄警察署に対する申請および届け出(交通安全施設使用許可申請、道路使用許可申請、物品設置完了届の提出)
- 道路管理者に対する申請および届け出(通行規制の調整、道路占用許可申請、機器設置に伴う点検計画書の作成)
- 電力会社に対する電源引込線工事に伴う申請(引込工事、電気料金申請)
- 信号情報連携に関する各種申請(強度計算、共架申請、電力申請、実験申請等)の手続きに時間を要する



実証による評価結果(ご参考)

- 路側センサーや信号の情報を自動運転バスへ連携させることで手動介入数を低減できることを確認した(例:バス停発車時の1走行回あたりの手動介入発生回数0.56回→0.29回)。
- 晴れ、西日、降雨(2mm/h)の天候条件の場合、路側センサーの車両の検知率は99.8%以上であった。

▶▶ 郊外・中山間地エリア

モバイル通信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)

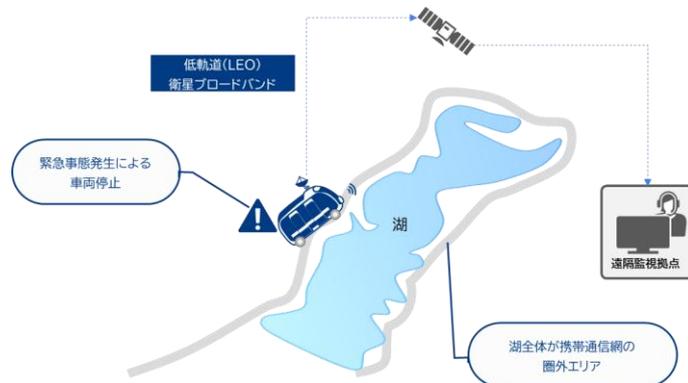
実証エリアの特徴	山地や湖等の複雑な地形を有し、モバイル通信の圏外エリア
レベル4自動運転実現の課題	モバイル通信圏外において、自動運転車両が緊急停止時に自動運転車両からの遠隔監視映像の伝送が実施できない。
通信方式	低軌道(LEO)衛星ブロードバンド ※本実証ではStarlinkを利用
通信方式を活用するための技術	—



導入により解決・実現できること

モバイル通信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で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。

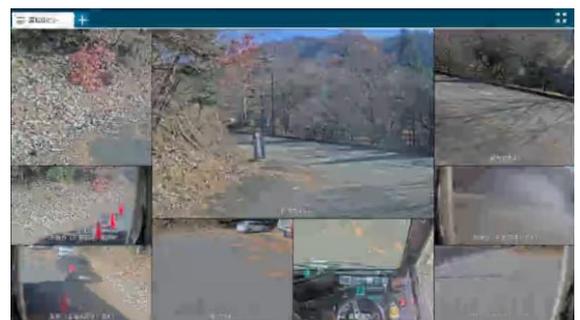
※Starlinkにおいて「日本とメキシコのお客様は、現地の規制により、陸地でのStarlinkの移動中の使用は禁止されています。」とされているところ、本実証では車両停車時のみ通信性能を評価した。
出所) <https://www.starlink.com/jp/support/article/50e933eb-54f5-1a77-cc85-c6c8325564cf> (2025年2月25日閲覧)



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。遠隔監視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

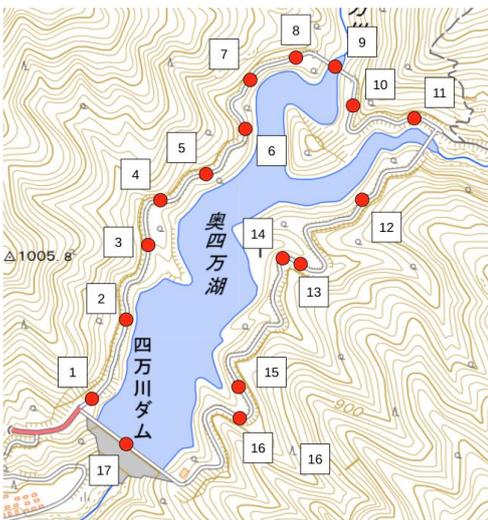
- 本ソリューションは、車両が停止している場合にのみ通信が可能であり、走行中の映像伝送は確認できていない。低軌道(LEO)衛星ブロードバンド技術の進展により、将来的に車両走行中の映像伝送が可能になる可能性がある。
- 自然豊かなエリアにおいては、木々の葉等により衛星とアンテナとの間に遮蔽が生じる場合、車両が停止している場合であっても通信ができない場合がある。また雨や雪等の気象条件により、通信が一時的に不安定になる可能性がある。
- 一般的な低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信では、ユーザが利用可能な帯域幅は、プロバイダの契約プランやネットワークの混雑状況に依存し、アップリンクとダウンリンクの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

● 実証におけるモバイル通信の圏外エリア(湖周辺)の通信環境評価

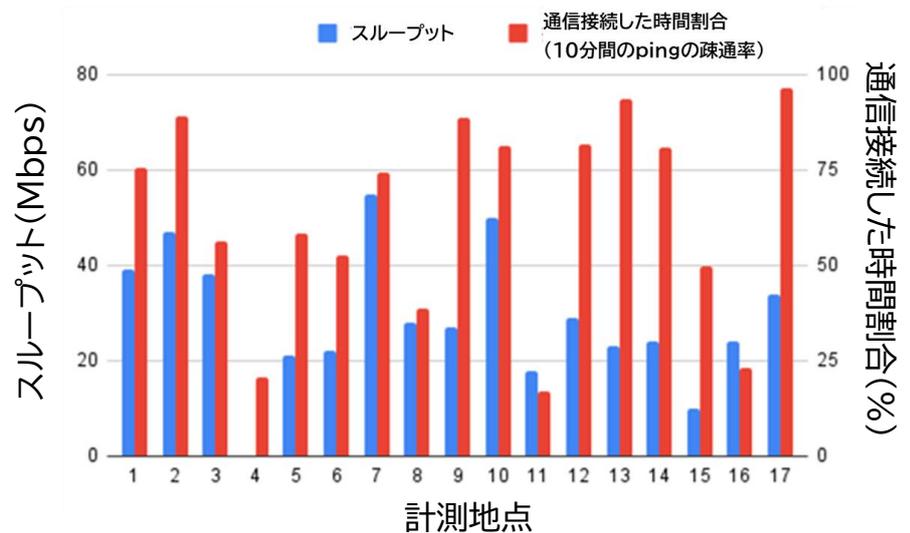
モバイル通信網の圏外エリアである湖周辺の17地点において、10分間のアップリンクにおけるスループットと「通信接続した時間割合(10分間のpingの疎通率)」を計測した。「通信接続した時間割合」が大きい場合、映像伝送に必要なスループットを確保できることを確認したが、通信成功率は地点ごとに大きなばらつきが見られた。この要因として、衛星の位置によってアンテナと木々等の間に遮蔽が生じることが影響していると考えられる。

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室との接続を一定時間おきに確認し、その結果から評価。

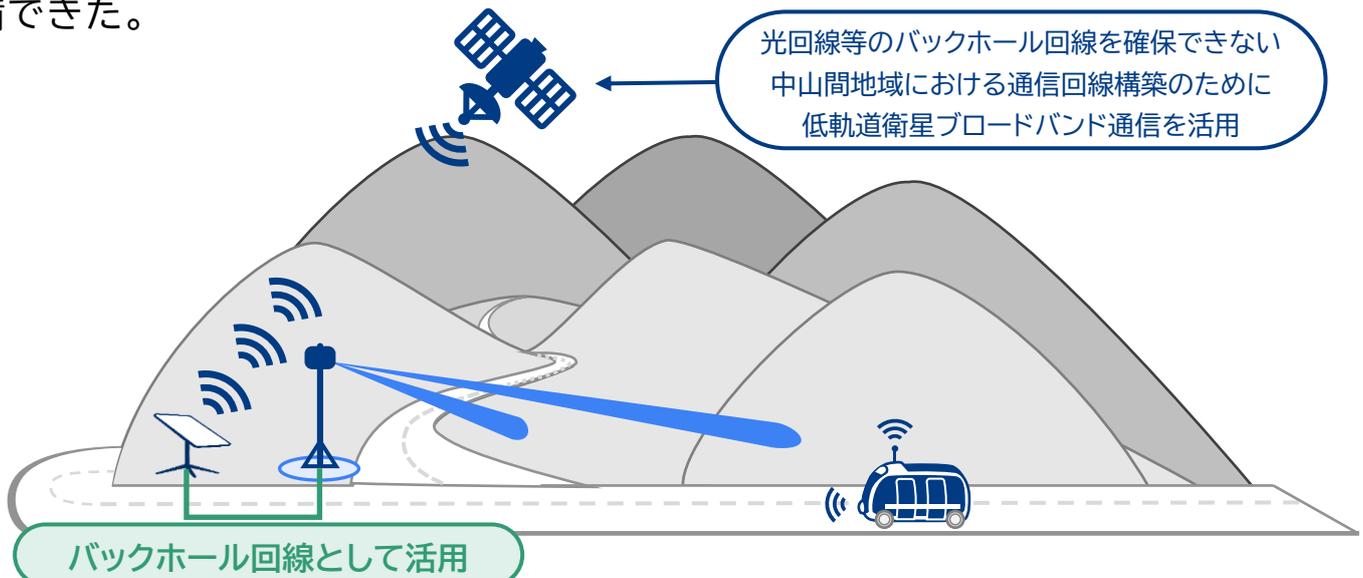
出所)NETFLIX | fast.com、<https://fast.com/ja/>

低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信を用いた自動運转向け通信バックホール回線の構築(島根県美郷町)

実証エリアの特徴	集落間等の不感地帯であり、なおかつ光回線の敷設がない。
レベル4自動運転実現の課題	電波環境整備におけるバックホール回線が確保できず、当該エリアを走行ルートにできない。
通信方式	低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信
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

低軌道(LEO)衛星ブロードバンド通信をバックホール回線として活用し、車両に対しては無線LANを用いて通信環境を整備することで、光回線等が整備されていない中山間地の場合でも車両におけるスループットが2.5Mbps程度の通信環境を整備できた。



事例 Starlinkを用いた中山間地域通信環境整備

バックホール回線にStarlink(低軌道衛星ブロードバンド通信)活用した通信環境整備を実施。

Starlinkにおいても遠隔監視映像の伝送ができることを確認。

※詳細は「令和6年度補正予算 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)実績報告書」を参照。



検証のために整備したバックホール回線
左:Starlink、右:光回線

導入時の留意事項・意識しておく事項等

- ・ 設置場所上空およびStarlinkのアンテナ上に遮蔽物がないか、設置場所周辺の状況を定期的に確認する必要がある。気候や季節による自然環境の変化が通信状況に影響を及ぼす可能性があることに留意(設置場所周辺の樹木の繁茂、落葉、積雪・落雪・強風等)。
- ・ 安定性のある場所にStarlinkを設置し、設置時や点検時等は安全に注意して2人以上で対応することを推奨。
- ・ Starlinkや車両までの無線通信する無線機器のための電源確保が必須。

実証による評価結果(ご参考)

Starlinkのバックホール回線として用いた場合の性能評価

Starlinkをバックホール回線とし、長距離アンテナを備えたWi-Fi(DX Wi-Fi)を用いて通信環境整備した。Wi-Fiを介した場合でも80Mbps程度のアップロードスループットを実現した。また、走行中の車両においても2.5Mbpsのスループットとなり、映像伝送ができることを確認した。

回線品質の評価結果(参考値)

5回測定の平均値	アップロード	レイテンシ
Starlink単体	87 Mbps	28 ms
DX Wi-Fiを接続※	79 Mbps	18 ms

走行中の車両における評価(参考値)

走行中の平均値	アップロード	レイテンシ
DX Wi-Fiを接続	2.54 Mbps	497 ms※

※DX Wi-Fiを接続した場合の評価では、5回の測定で車両位置を変更しながら検証した。

※検証向け構成での参考値であることに留意。実運用向けのシステム整備により短縮が可能。

参考:Starlinkをバックホール回線として活用するWi-Fi通信環境整備の機器構成



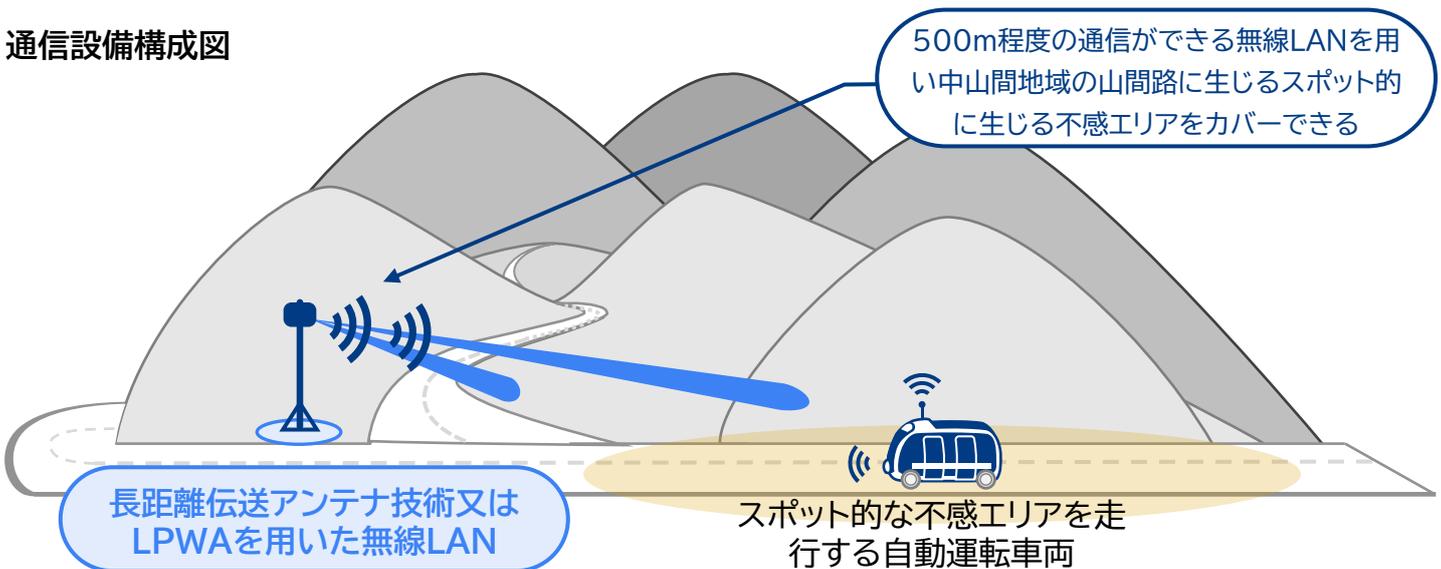
長距離伝送アンテナ技術やLPWAを用いた無線LANによる 不感エリア対策(島根県美郷町)

実証エリアの特徴	中山間地域において2つの集落を結ぶ山間路において、約600mの区間で携帯電話通信が不通となる不感エリアがある。
レベル4自動運転実現の課題	携帯電話通信の電波が届かないため、自動運転車両からの遠隔監視映像の伝送が実施できない。
通信方式	Wi-Fi(IEEE 802.11ax)
通信方式を活用するための技術	長距離伝送アンテナ技術 ※比較対象としてLPWA(Wi-Fi HaLow)を利用

👍 導入により解決・実現できること

長距離伝送アンテナ技術を活用してWi-Fiの電波を500mほど伝搬させることで、中山間地域の山間路の携帯電話不感エリアにおいて、安定的な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 不感エリアを伴う山間路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、4台の監視カメラ(車両前後、社内前後を監視)から映像伝送を実施した。リアルタイムで伝送される映像を遠隔監視室で確認できた。

長距離伝送アンテナを用いたWi-Fi環境(赤枠)



※詳細は「令和6年度補正予算 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)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

- 長距離伝送アンテナには指向性(電波が強く飛ぶ方向の特性)があるため、カーブ等によりアンテナと見通しがいい地点では通信できない場合がある。
- したがって、アンテナ設置においては電波強度や通信品質等についてシミュレーションや実地調査等を通し最適な場所を検討する必要があり、アンテナ設置後においても測定評価による検証が必要である。
- 乗客が持つモバイルルータ等の様々な干渉源が想定されるため、周辺の干渉源の調査や乗車ルール整備など、免許不要帯域の通信システムを安定的に活用するための配慮が必要である。

屋外におけるWi-Fi活用で想定される干渉源

干渉源	概要
モバイルルータ	モバイルルータと長距離伝送アンテナを用いたWi-Fiシステムが同じチャンネルを用いる場合に干渉源となる。
気象レーダ、航空レーダ	5GHz帯のWi-FiのW53(5.3GHz帯)、W56(5.6GHz帯)においては、気象レーダや航空レーダの電波を検知すると、通信を停止し、他チャンネルに切り替えるDFS(Dynamic Frequency Selection)機能が義務付けられている。

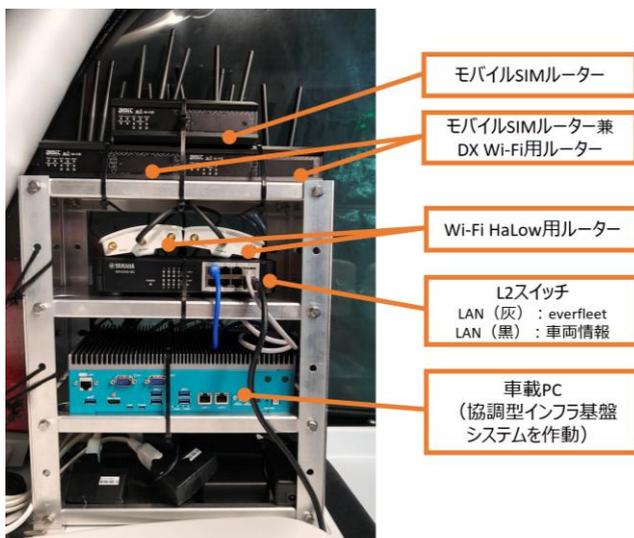
💡 実証による評価結果(ご参考)

● 長距離伝送アンテナを用いたWi-Fiによる通信品質の評価結果

長距離伝送アンテナを用いた場合、直線的な道路において無線LANとの安定的な接続環境を構築できた。長距離伝送アンテナのWi-Fiに接続している場合、アップリンクで4.5Mbps程度のアップリンク通信速度を実現した。

なお、Wi-Fi HaLowは最大で1Mbps程度の通信速度となったものの、920MHz帯の運用におけるDuty比10%の制約もあり、映像伝送への活用は難しいことが分かった。

携帯電話回線とWi-Fiの両回線を活用するための車載機器



- 携帯電話回線とWi-Fiの2つの無線通信方式を活用する場合は、それぞれに対応した無線機を車載させる必要がある。
- さらに、異なる無線方式間の使い分けに関する制御には専用の機材・システムを要することに留意しなければならない。

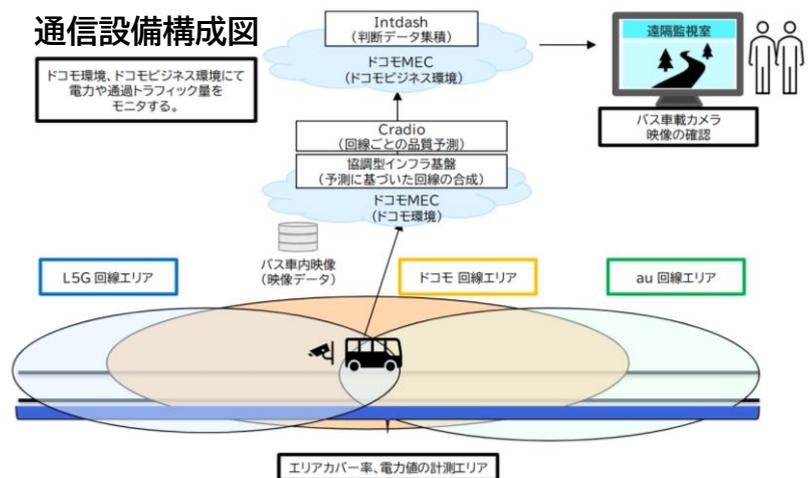
複数キャリアネットワークとローカル5G等自営網の効率的活用による安定した通信の確立(宮城県仙台市)

実証エリアの特徴	宮城県仙台市の秋保・里センター～秋保大滝に至るルートで、山間部でキャリアネットワークの不感エリアが存在する通信環境。
レベル4自動運転実現の課題	<ul style="list-style-type: none"> 中山間地における無線環境において単一キャリアネットワークによるバス走行ルート全域をカバーするのは難しく、車両との通信不可によりモニタリング不能、車両制御不能となることが考えられる。 通信不感地に対して通信環境整備を行い、自動運転バスが運行可能なエリアを拡充する必要がある。
通信方式	ローカル5G、マルチSIM、複数キャリアネットワークの優先制御
通信方式を活用するための技術	通信品質予測技術、通信品質に基づく複数回線へのパケット振り分けにより複数キャリアネットワーク・ローカル5G網を併用した環境においても安定した通信を実現

導入により解決・実現できること

通信品質予測技術に基づき、複数回線へのパケット振り分けを動的に行う運用により、複数キャリアネットワークとL5Gを統合した安定した通信接続を実現することで、エリアカバー率が92%になることを確認した。

また、複数キャリアネットワーク及びローカル5Gカバレッジ内でのアップリンクスループットが平均6Mbps以上得られることを確認した。



事例 仙台市(秋保ルート)での事例

仙台市秋保エリアでは、複数キャリアネットワークとローカル5Gを併用した通信多重化により、通信品質が低下する区間でも遠隔監視に必要な上り6Mbps以上を安定的に確保できた。事前の通信品質調査とパケット振り分け制御を組み合わせることで、単一回線では不安定となる地点でも映像途切れを抑制し、継続的な遠隔監視が可能であることを確認。これにより、山間部を含む地域でのレベル4自動運転の実装可能性が高まることを示した。

※詳細は「令和7年度地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



公衆網と複数回線を組み合わせた際の
エリアカバレッジ ヒートマップ



使用する技術についての説明

本実証では、自動運転車両の映像・状態データを安定的に遠隔監視するため、

1. 協調型インフラ基盤によるローカル5G・複数キャリア統合
2. Cradioによる通信品質予測

の2つの技術を組み合わせて運用している。

■ 1. 協調型インフラ基盤(ローカル5G・複数キャリア統合)

本実証の通信基盤は、複数回線を束ねて冗長接続し、仮想的な回線として利用可能にするものである。実証では複数キャリア回線、ローカル5Gを冗長接続する。単に複数回線を併用するだけでなく、通信品質予測(Cradio:後述)を利用することで動的な各回線へのパケット振り分けにより回線の「パケ詰まり」を抑止する。

複数ネットワークの状態を常時取得し、複数回線を最適な比率で併用することで、特定回線の品質が低下した場合でも遠隔監視に必要な上り通信(6Mbps以上)を継続確保し、映像伝送の途切れを抑制する。

■ 2. Cradio(通信品質予測)

本実証では協調型インフラ基盤に通信品質予測を提供するために使用している技術。

ローカル5G・複数キャリア回線の品質を過去データ・基地局情報・走行ログ等から学習。

リアルタイムに通信品質を予測(先読み)することで走行中に通信品質が低下する可能性がある区間をプロアクティブに検知することができる。



導入時の留意事項・意識しておく事項等

■ 1. 技術が効果を発揮しやすい環境

協調型インフラ基盤やCradioは、以下のように通信が不安定になりやすい地域で効果を発揮する。

- ・区間ごとに電波状況が変わりやすい路線(山間部、郊外、市街地境界 など)
- ・単一キャリア回線だけでは、遠隔監視に必要な通信品質(映像伝送など)が安定しにくい場合
- ・複数の通信回線を併用し、遠隔監視の信頼性を高めたい場合

■ 2. 導入前に整理しておくべき事項

- ・ルート特性の把握
市街地／山間部／公共施設など、通信が変動しやすいポイントの共有
- ・運行方式と通信要件の整理
遠隔監視が必要な場合、映像伝送の安定性など、求める要件の認識合わせを行う。
- ・既存回線の利用方針
複数キャリア回線をどの程度併用するか、事前に方向性を決めておく。
- ・障害時の対応フロー
通信断などが発生した際の 車両の挙動(停止・退避)や連絡フロー を運行事業者と共有しておく。

■ 3. システム構築に必要なコストの目安

複数キャリア回線の通信費(SIM費用)

- ・遠隔監視・通信制御システム(Cradio など)の導入・運用費
数百万円規模(構成に依存)

実証による評価結果(ご参考)

ユースケース①では、中山間地のキャリアネットワークの不感エリア対策として、KPI/KGIを設定のうえ協調型インフラ基盤×Cradioを組み合わせたシステムの開発を行った。

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	ローカル5Gエリアおよびキャリアネットワークの重畳エリアにおける自動運転バスの運行について、常時映像監視が可能であること。
	(2)	ローカル5Gおよびキャリアネットワークが重畳した路面凍結路において、路面状況判断システムのアシスト内容による車両制御が可能であること。
定量評価	(3)	複数キャリアNWとローカル5Gを統合し、エリアカバー率が92%になること。

それぞれのKPI/KGIについて、以下の結果が得られた。定性評価については、交通事業者の遠隔監視員1名を対象にアンケート調査を実施し、遠隔監視システムの映像品質、通信遅延、車両状態把握および車両制御の妥当性等について定性的な評価を収集した。

【定性評価】(1) ローカル5Gエリアおよびキャリアネットワークの重畳エリアにおける自動運転バスの運行について、常時映像監視が可能であること。

遠隔監視における映像品質については、ローカル5Gエリアおよびキャリアネットワーク重畳エリアにおいて、一部の区間で短時間の映像フリーズが確認されたものの、監視業務に支障を来すほどのものではなく、全体としては安定した監視が可能であったとの評価が得られた。

また、遠隔監視に必要な映像品質および解像度についても、運行判断に影響を与える場面は確認されなかったと回答されている。

【定性評価】(2) ローカル5Gおよびキャリアネットワークが重畳した路面凍結路において、路面状況判断システムのアシスト内容による車両制御が可能であること。

車両制御に関しては、路面状況判断システムによる凍結情報の認識精度について、実際の路面状況と概ね一致しており、凍結やシャーベット状態が色別に連続して可視化されている点が、運転判断において有効であるとの評価が示された。

また、路面状況に応じた減速制御についても、登坂・降坂や斜度に応じて減速タイミングおよび設定速度がきめ細かく制御されており、乗車中も安心感が得られたとの意見が得られている。

【定性評価】(3) 複数キャリアNWとローカル5Gを統合し、エリアカバー率が92%になること。

本実証におけるエリアカバー率については、車載用機材の調達のみで目標の92%を達成した。

追加解析として各公衆網の10%ile値を閾値にした場合におけるエリアカバー率を算出したが、複数キャリアNWとローカル5Gを統合した場合は単回線利用時に対して+8.1%以上の改善効果がみられ、エリアカバー率92%は達成されている。



秋保大滝から馬場市民センターに向かう区間の弱電界エリア ヒートマップ



秋秋保大滝から馬場市民センターに向かう区間の弱電界エリア



実証による評価結果(ご参考)

ユースケース②では、通信の常時通信接続確保において、KPI/KGIを設定のうえ協調型インフラ基盤×Cradioを組み合わせたシステムの開発を行った。

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	複数キャリアNWカバレッジ内で自動運転バス運行の高精細な常時映像監視、車両制御が可能であること。
定量評価	(2)	公衆網およびローカル5Gカバレッジ内でのアップリンクスループットが平均6Mbps以上得られること。

それぞれのKPI/KGIについて、以下の結果が得られた。定性評価については、交通事業者の遠隔監視員1名を対象にアンケート調査を実施し、遠隔監視業務として成立しているかについて定性的な評価を収集した。

【定性評価】(1)

複数キャリアNWカバレッジ内で自動運転バス運行の高精細な常時映像監視、車両制御が可能であること。

遠隔監視画面に表示される映像および各種情報により、走行中の車両状態や周辺状況を把握することが可能であった。実証中の監視業務において、映像品質や情報表示が判断の妨げとなる場面は確認されなかった。これらの回答から、KPI/KGIで設定した「常時映像監視による運行状況把握の成立性」については、定性的な観点から達成されていると整理できる。

一方、情報表示の整理、視認性や強調表示方法については改善の余地が意見として示されており、KPI/KGI達成の前提条件は満たしているものの、運用性向上に向けた調整余地が存在することが確認された。

【定量評価】(2)

公衆網およびローカル5Gカバレッジ内でのアップリンクスループットが平均6Mbps以上得られること。

協調型インフラ基盤およびCradioを利用した3回線統合時による送受のスループット改善が確認できた。一方で、3回線統合時においても平均送信・受信アップリンクスループットはそれぞれ6.3 Mbps, 5.2 Mbpsであり、受信アップリンクスループットはKPI未達となる。ただし送信データにはFECによる冗長パケットと再送パケットが含まれるため、1.1 Mbps分の未達が直ちに映像途絶などの業務影響につながるとは言い切れない(再送やFECによりアプリケーション上は問題がない可能性がある)。

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

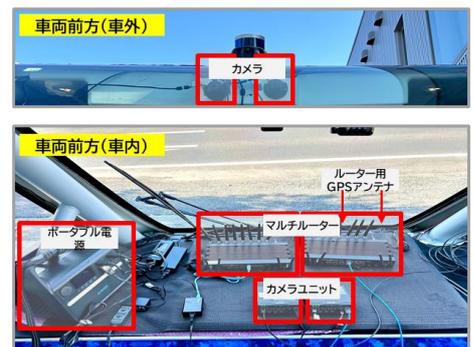


※日本では、通信事業者が独自に基地局を設置・運用する通信環境整備が一般的である。そのため、異なる通信事業者の回線を併用することで、異なる位置の基地局に接続することになる。これにより、建物によって基地局との見通しが妨げられる地点で生じる通信品質の悪化の影響を他基地局との接続により低減できる。

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

茨城県京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。



製品外観図



製品前面パネル(上)と背面パネル

図 9-1 マルチ回線ルーター MAX-HD4-MBX-LTE

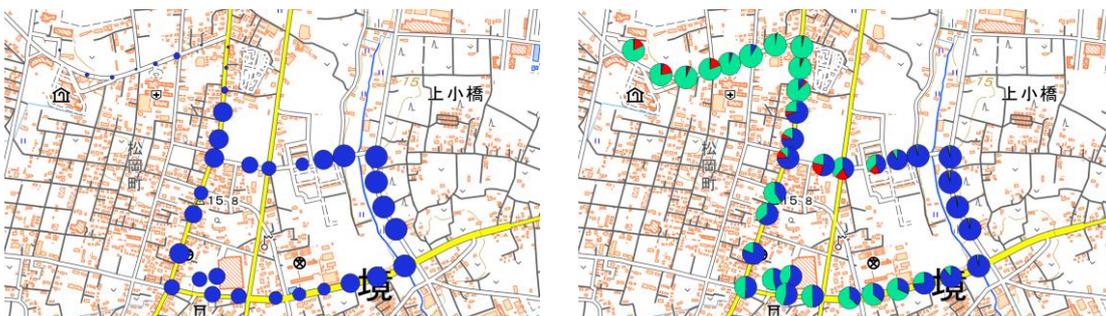
(2) カメラユニット (AXIS)

製品名	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の遠隔監視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。

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

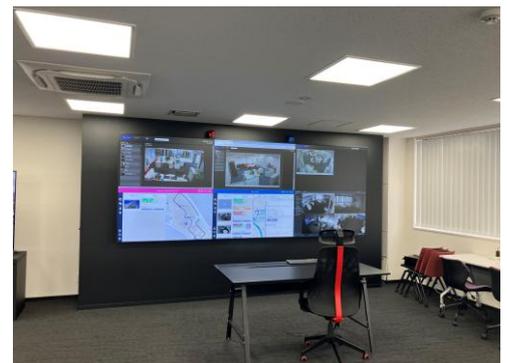


[※]実証では900MHz帯(プラチナバンド)と1.8GHz帯の周波数帯の電波をキャリアアグリゲーションにより同時並行で利用した。一般的にプラチナバンドの電波は伝搬特性が良い(遠くまで飛ぶ)といわれる。また、1.8GHz帯は広い周波数帯幅を利用できるため、通信速度が大きいとされる。

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



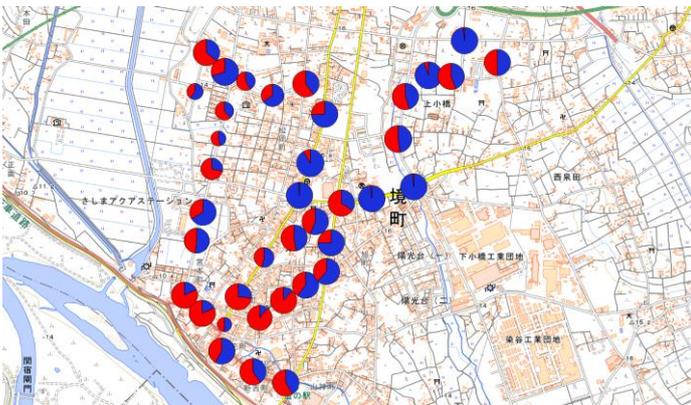
💡 導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 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)

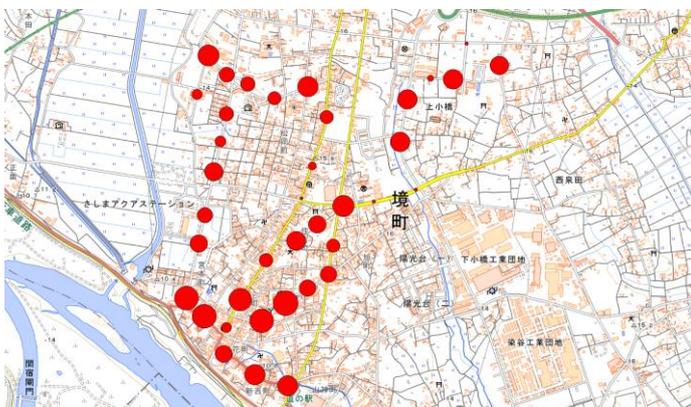
● 実証における境町市街の通信品質の評価結果

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を下回り遠隔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。

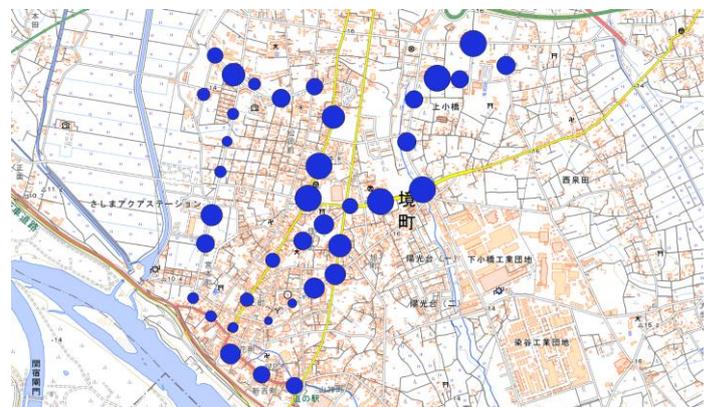


キャリアアグリゲーションを用い900MHz帯と1.8GHz帯の通信回線を組み合わせて利用した場合のODD上の通信速度

凡例
円のサイズ:通信速度
赤:900MHz帯
青:1.8GHz帯



900MHz帯の通信回線の通信品質



1.8GHz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

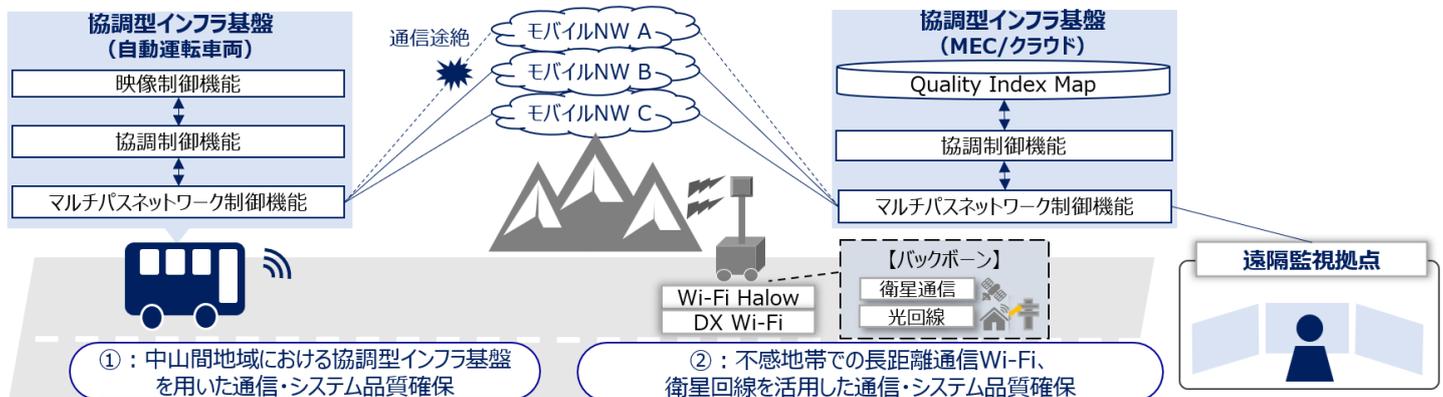
複数キャリア回線の併用利用による中山間地における遠隔監視向けの通信品質改善(島根県美郷町)

実証エリアの特徴	中山間地域で、基地局不足や遮蔽の影響により、単一事業者回線では不感エリアが点在する。
レベル4自動運転実現の課題	単一の通信事業者の回線だけで自動運転走行する場合、中山間地に点在する不感エリアが走行ルートにも存在し、当該地点を走行するときに通信できず、遠隔監視ができなくなる。
通信方式	4G/LTE
通信方式を活用するための技術	マルチSIM、キャリアアグリゲーション、輻輳制御

導入により解決・実現できること

複数の通信事業者回線へ同時に接続し、車両と遠隔監視システム間のデータを回線ごとに分割して送信し、受信側で集約するアグリゲーション方式を導入した。各回線の通信負荷を確認し、途絶した回線分のデータを他の回線へ振り替えて再送することで、中山間地域でも安定したデータ送受信を確保できた。

回線切り替え時にパケットロスなし。通信品質の悪化に起因する自動運転走行への手動介入なし。



事例 複数キャリア回線のボンディングを活用した中山間地域における遠隔監視

3通信事業者のキャリア回線を併用することで、走行ルート全域で3Mbpsを超えるスループットの通信環境を整備でき、結果途切れのない遠隔監視を実現した。

※詳細は「令和6年度補正予算 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)実績報告書」を参照。



遠隔監視の様子

導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 複数の通信キャリアとの通信契約をする必要があり、その分通信費が増大することに留意が必要。
- 複数通信キャリアの回線全てで通信が途絶するような不感エリアの場合、キャリア回線を併用する本手法は適応できない。
- 経済性等も含めて、当該地域に適した通信キャリアの組み合わせに関しては、電波環境の測定等を通じて検証する必要がある。

実証による評価結果(ご参考)

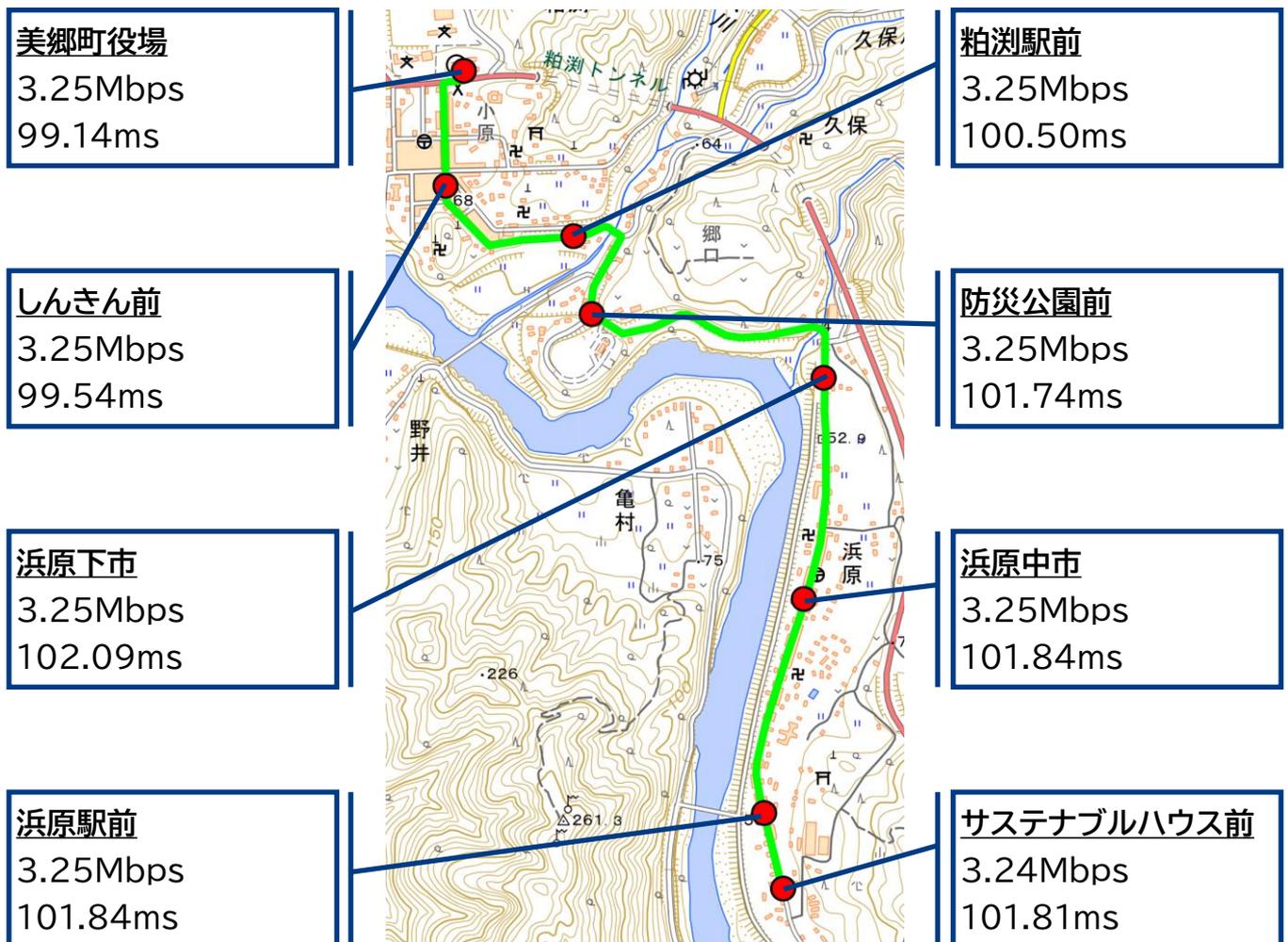
● 協調型インフラ基盤システムを利用したネットワーク品質の計測結果

4便(往復)／日で7日間運行し、各停留所には56回停留(N=56)した結果は、全運行ルート上の実測値が安定して約3Mbpsのスループット(アップストリーム)を確保でき、安定して約100msのレイテンシに抑えられることができた。

また、全運行ルート上で安定して約0.35%のケットロス率に抑えることができた。自動運転車両の運行、および遠隔監視で1秒以上の遅れが生じることはなかった。

停留所位置毎のアップロードのスループットと遅延値

美郷町役場→サステナブルハウスの経路で取得した測定データを平均して整理

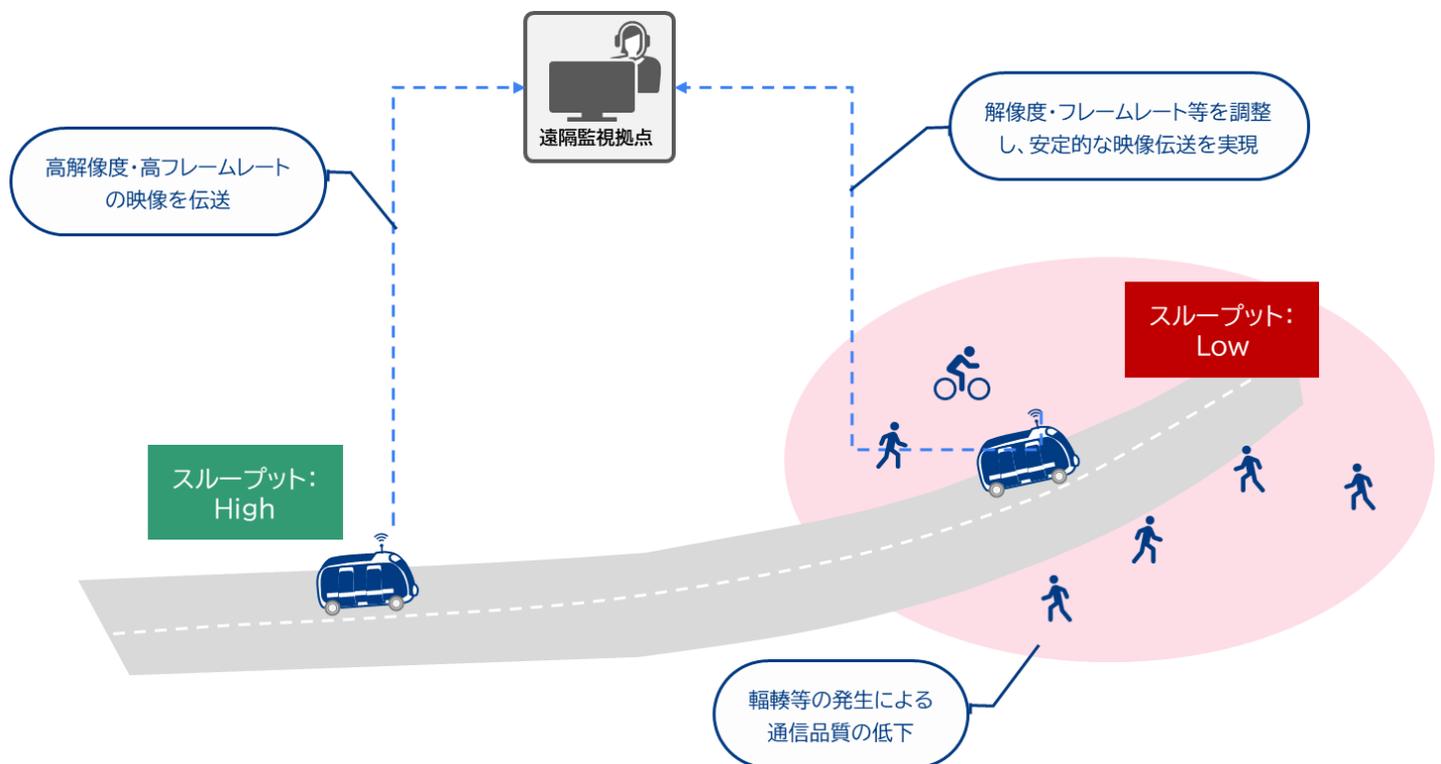


安定した遠隔監視を実現するための、通信状況に応じた映像品質の調整 (群馬県前橋市・中之条町)

実証エリアの特徴	通信帯域が制約されモバイル通信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	—(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

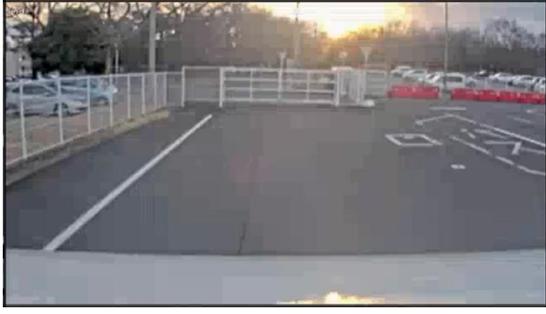
- 本実証では、開発した機能による遠隔監視の安定性向上の効果について、映像の途絶低減を含めた十分な検証は実施できていない。
- スループットに応じてフレームレートや解像度を動的に調整する際、頻繁に切替が発生すると映像の安定性を損なうリスクがある。最適な調整頻度やしきい値設定を環境ごとに検討する必要がある。
- スループットが急激に変動した場合、映像品質の切り替えによるちらつきや画質の急変化が遠隔監視員の状況把握を妨げる可能性がある。そのため映像の受信側についても、遠隔監視員が安定して状況把握できるようなアプリケーション設計が必要である。
- スループットの計測結果が一時的な通信異常やノイズに影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

遠隔監視室の監視モニタの様子

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		

➤ 特殊環境・限定空間エリア

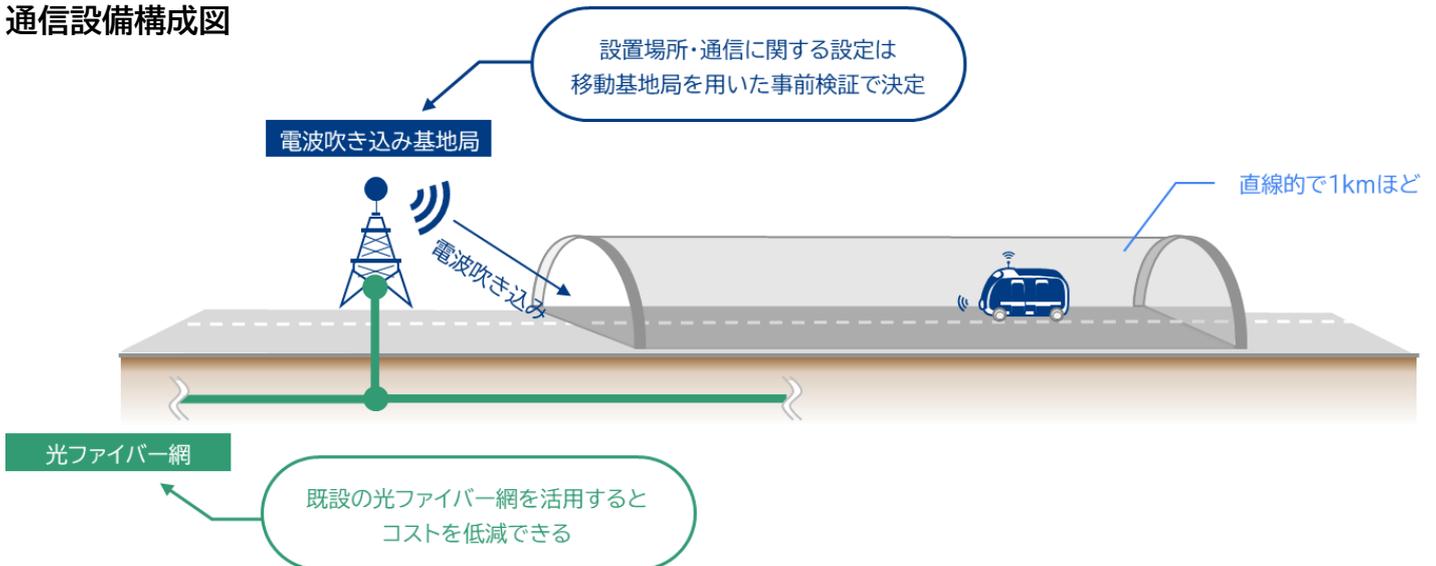
電波吹き込みを用いたトンネル内不感エリア対策(北海道上士幌町)

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、自動運転車両からの遠隔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、遠隔監視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)

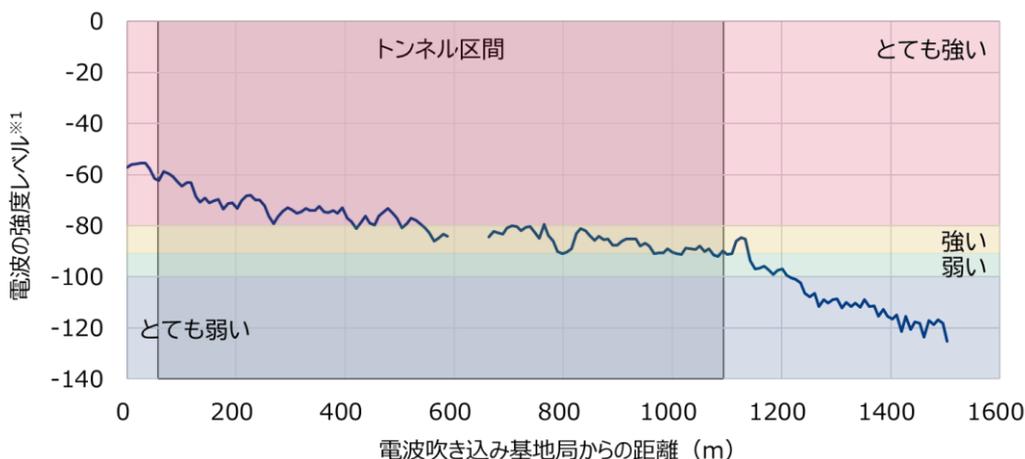
計画・企画	<ul style="list-style-type: none"> • 電波調査 ※本実証での、移動衛星基地局を用いた取り組みを含む • 道路局、地方公共団体等との協議 • 無線局設置に係る各種提出書の作成 	3か月
許認可取得	<ul style="list-style-type: none"> • 総合通信局への無線局免許申請書等の提出 • 走行ルートを所管する道路局への道路占有許可を申請 • 自然公園法・その他特別方に基づく許可申請(環境影響評価等)※国立公園内の場合 	3～6か月
設計・工事準備	<ul style="list-style-type: none"> • 電波塔設計、施工業者選定、資材調達 	2～4か月
基地局建設工事	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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。

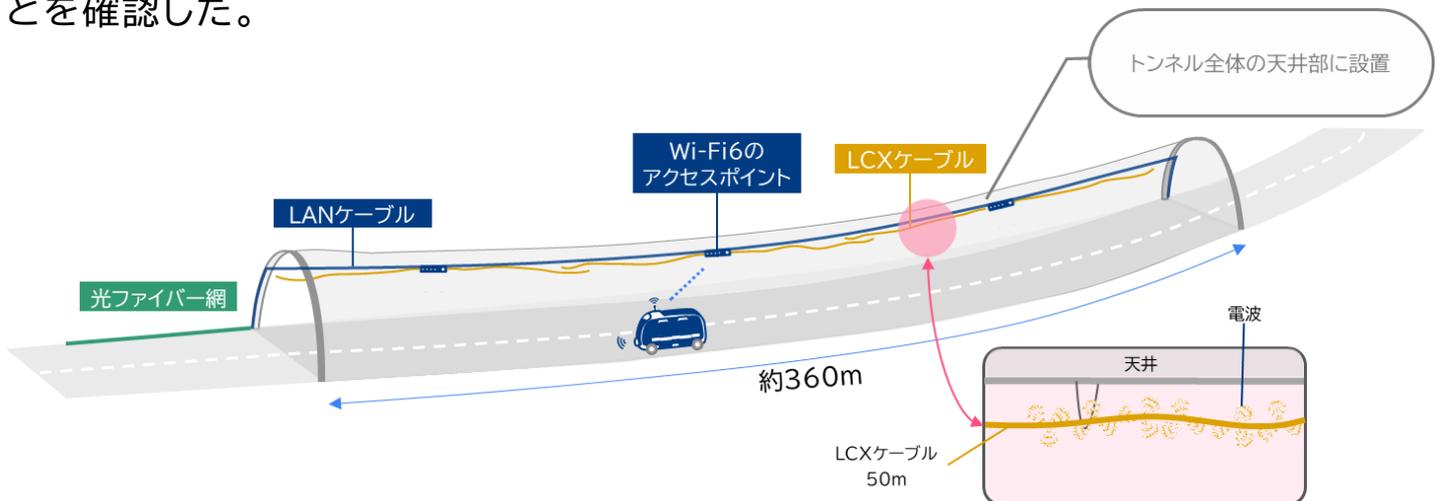
※2：RSRPはモバイル通信サービスにおける通信速度を含めた通信品質の評価指標。「強い」以上の水準は、映像伝送を含めたデータ伝送に適した通信環境であることを示している。

モバイル通信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、自動運転車両からの遠隔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室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、遠隔監視映像を遠隔監視室でリアルタイムで確認できた。

※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

- 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。

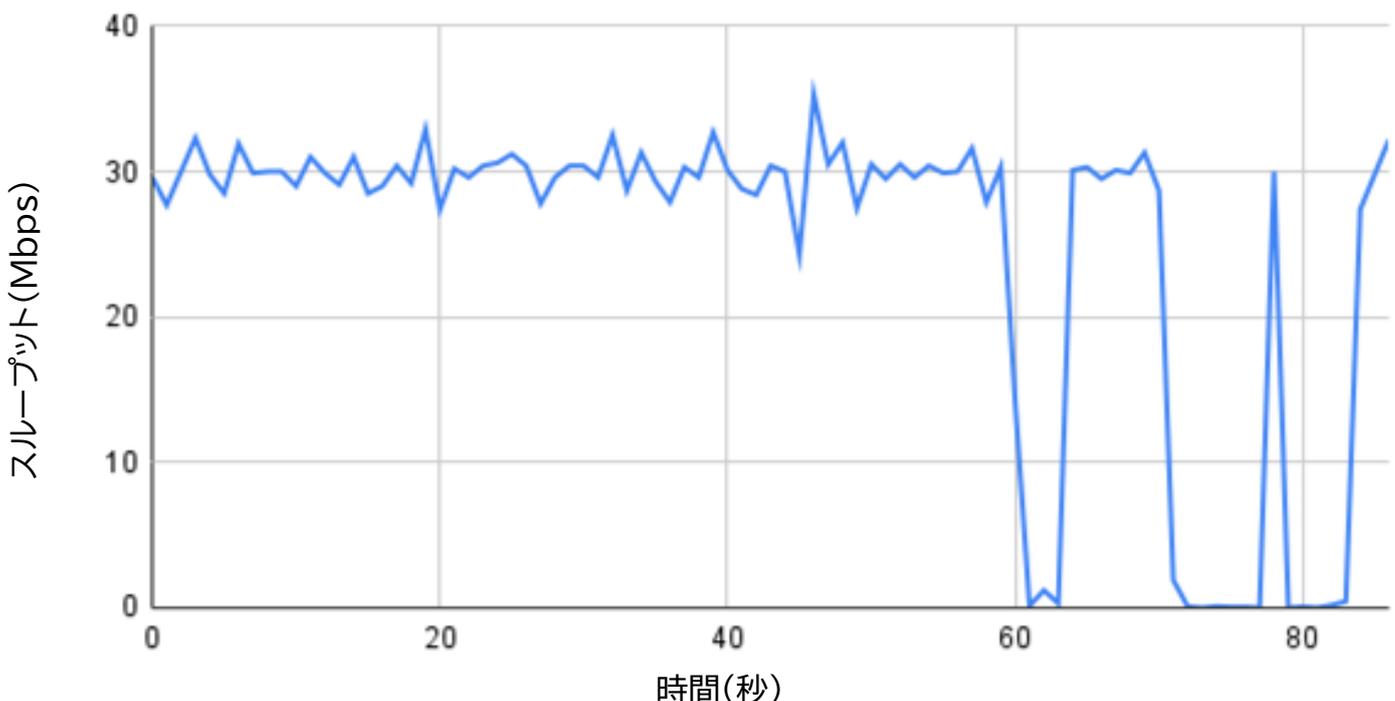


実証による評価結果(ご参考)

● 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

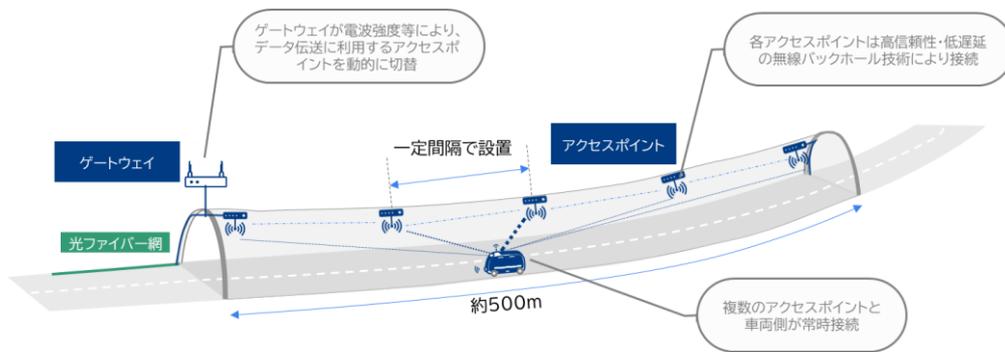
※本実証で用いた契約回線の制約により、最大のスループットは約30Mbpsである

モバイル通信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、自動運転車両からの遠隔監視映像の伝送が実施できない。
通信方式	Wi-Fi 6 ※通信方式はWi-Fi 6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。

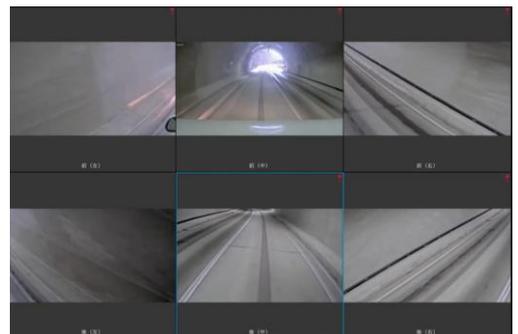


事例

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、遠隔監視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。

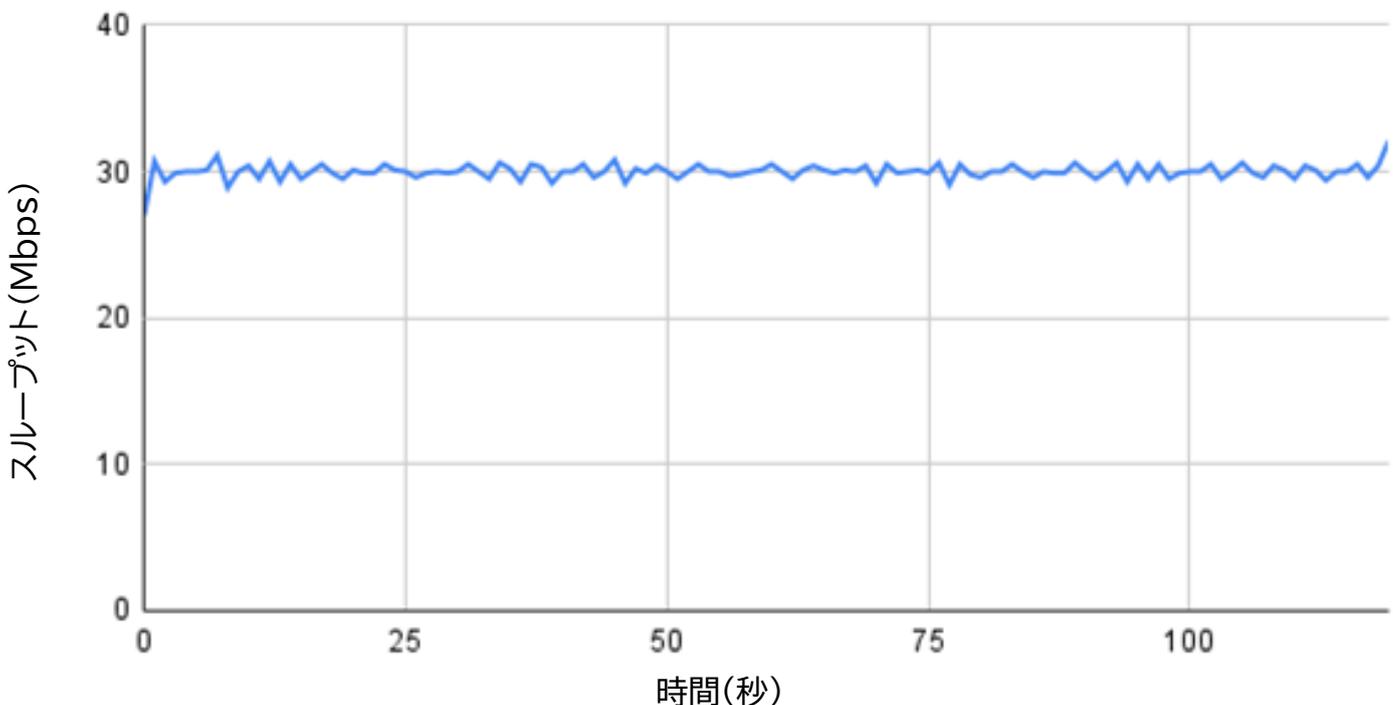


実証による評価結果(ご参考)

● 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

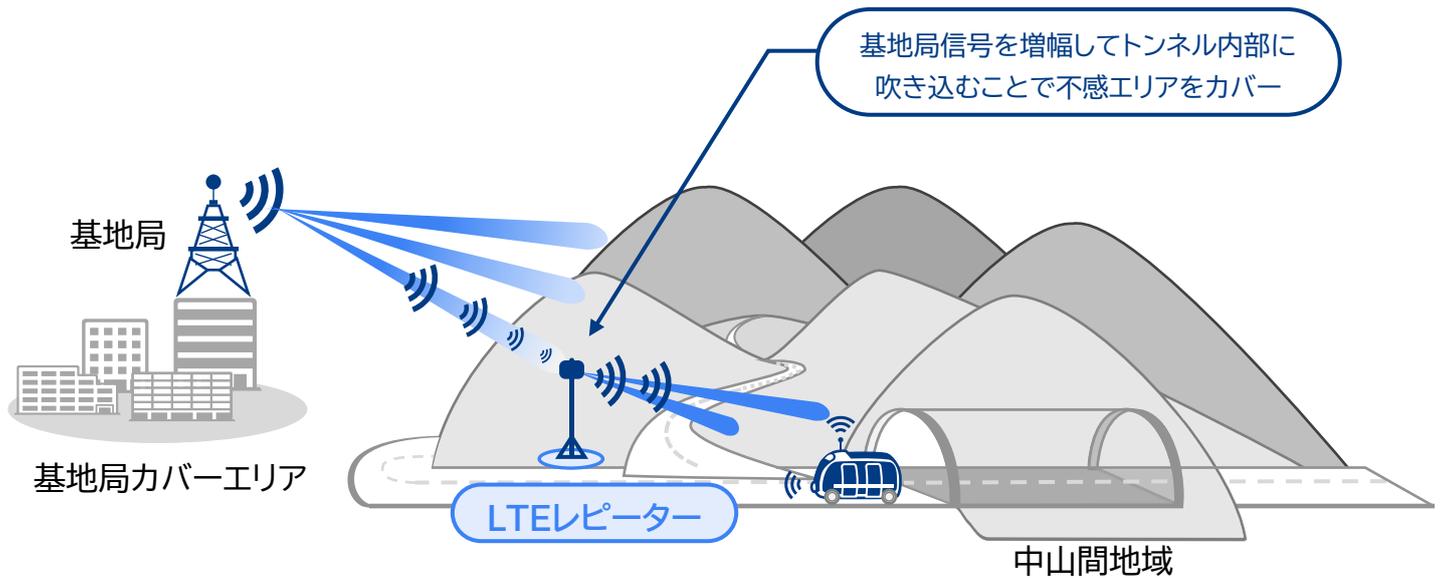
※本実証で用いた契約回線の制約により、最大のスループットは約30Mbpsである

携帯電話中継装置を用いた中山間地のトンネル内電波環境整備 (佐賀県佐賀市)

実証エリアの特徴	付近の携帯電話通信回線の電波強度が弱い中山間地において、トンネル区間では電波が吹き込まず不感エリアとなる。
レベル4自動運転実現の課題	トンネル内の不感エリアにおいて遠隔監視が継続できない。
通信方式	4G / LTE
通信方式を活用するための技術	携帯電話中継装置(レピーター)

👍 導入により解決・実現できること

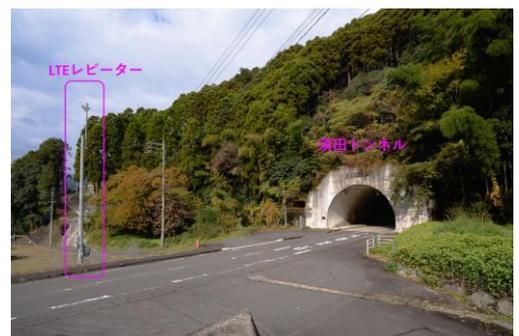
LTEレピーターを用い、既存の携帯電話基地局の電波をトンネル内部に向けて増幅・放射することで、従来は電波の回り込みや吹き込みが生じず不感エリアとなっていたトンネル区間において、映像伝送が可能な通信環境を構築できた。



事例 LTEレピーターを用いた携帯電話通信カバーエリアの延伸

佐賀市北部にある不感エリアを伴う須田トンネルにて、LTEレピーターを用いた電波吹き込みを行った。トンネル周辺の通信環境をトンネル内部に延伸する形で、カバーエリアを拡大し、遠隔監視の映像伝送を実現した。

※詳細は「令和6年度補正予算 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)実績報告書」を参照。



設置したLTEレピーター)

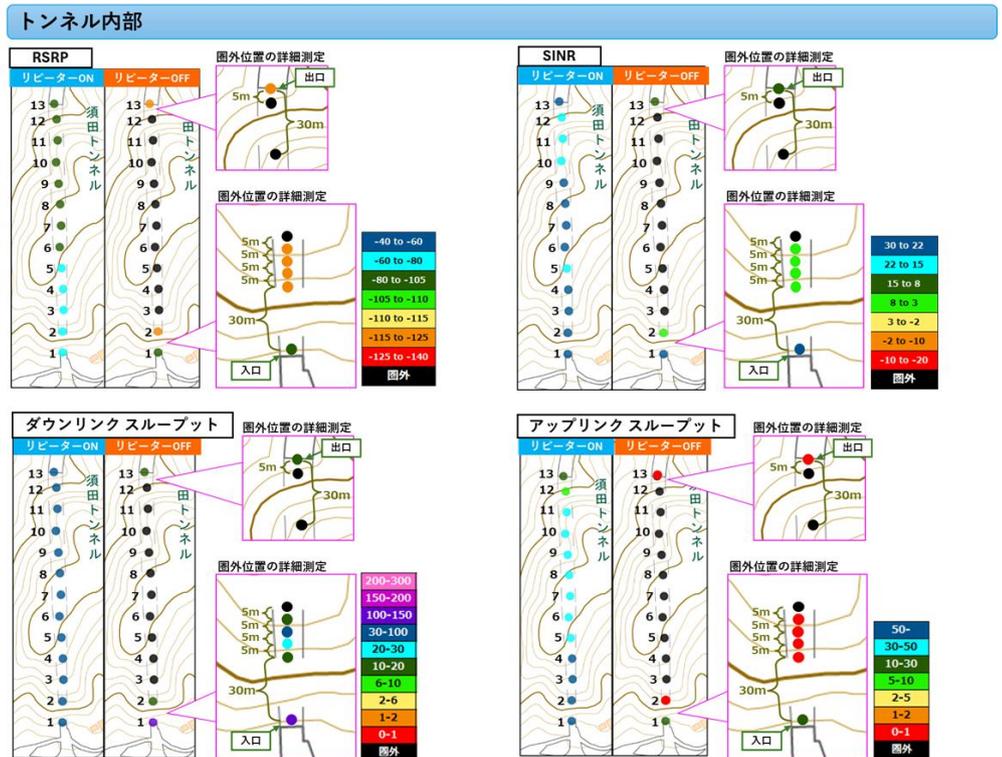
導入時の留意事項・意識しておく事項等

- LTEレピーターは既存のモバイル通信の電波を増幅する装置であるため、モバイル通信の電波が全く届かない地域では利用できない。
- LTEレピーターの屋外利用においては指向性アンテナが一般的である。指向性アンテナを用いる場合は、アンテナの設置場所や向きを事前に検討し、機器設置後に電波環境調査を実施して調整する必要がある。

実証による評価結果(ご参考)

● トンネル内部の電波環境

トンネル内部の電波環境を30mおきに測定。LTEレピーターOFF時にはほぼ全域で圏外またはRSRPが-120dBm程度の極めて微弱な電波強度であり、通信が不可能な状態であったが、LTEレピーターON時にはトンネル内部全域でRSRPが平均-80dBm台まで改善された。



● トンネル内部の電波環境

LTEレピーターONの状態ですトンネル内部走行した場合の映像送信時のビットレート実測値の平均は車外映像ストリーム0.82Mbps、車内映像ストリーム0.85Mbpsであった。



左:車外映像ビットレート測定値、右:車内映像ビットレート測定値

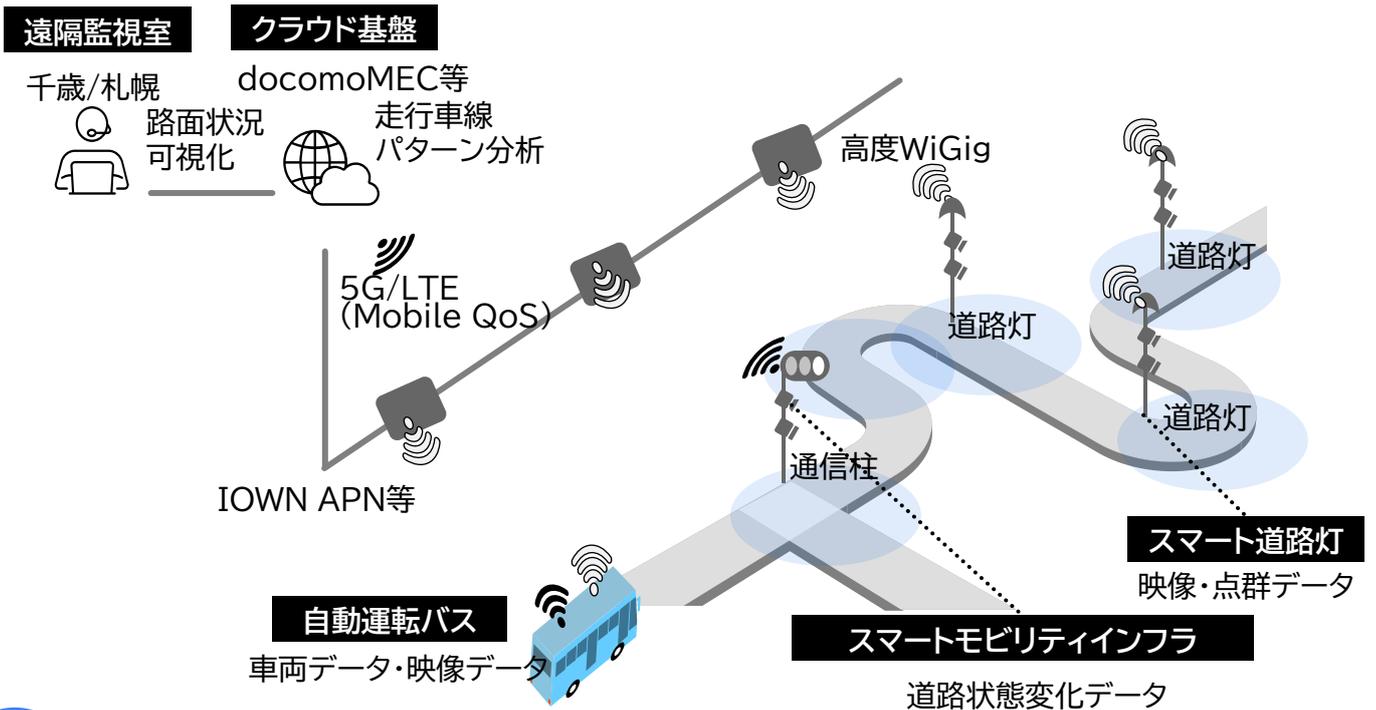
※ターゲットビットレート:1Mbps

大容量データを伝送するWiGig・光通信技術等の高度通信技術の検証 (北海道千歳市)

実証エリアの特徴	豪雪・寒冷地帯であり、冬季に降雪により路面状況が悪化する
レベル4自動運転実現の課題	複雑に変動する交通環境を車両に搭載したセンサのみで十分に把握できない
通信方式	WiGig、5G/LTE
通信方式を活用するための技術	高度WiGig、キャリア5G/LTE(Mobile QoS)、IOWN APN

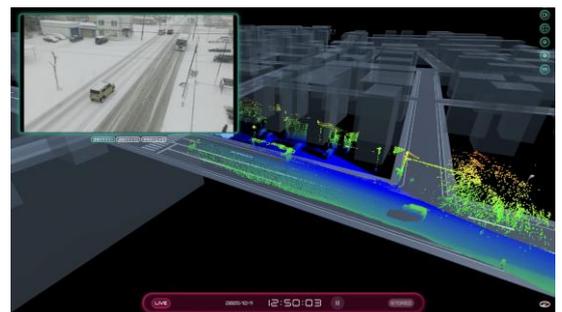
👍 導入により解決・実現できること

複雑な道路環境においても自動運転バスが安定走行するために必要な路面状況等の情報を高速かつ安定して伝送できることを確認した。



事例 道路状況の把握・可視化

路側設備に設置したLiDARやカメラから路面状況（積雪・除雪状況等）を高度WiGig/IOWN APNを用いてMECへ送信し、同データをもとに3Dマップでの可視化を実施できた。



3Dマップで可視化された様子

導入時の留意事項・意識しておく事項等

- 雪山や路面状態の変化といった地域特有の環境条件を踏まえ、他地域に展開する際は現地条件に応じたセンシング・運用設計の調整が必要となる。
- 路側設備や通信機器の設置・維持管理については、地域ごとのコスト・運用体制を考慮した実装モデルの整理が求められる。
- 横展開を進めるにあたり、技術面だけでなく、地域交通の実情や合意形成を踏まえた段階的な導入が重要となる。

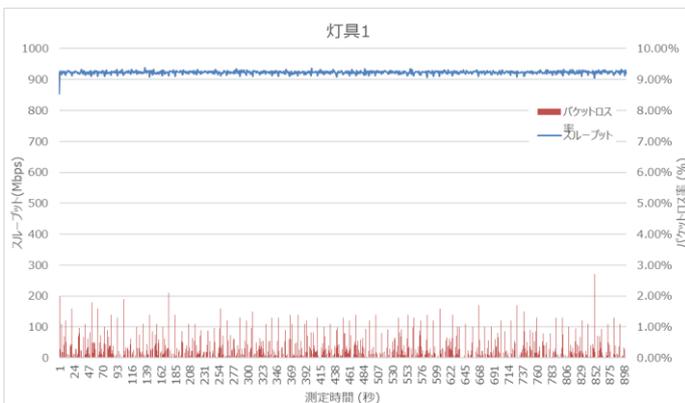
実証による評価結果(ご参考)

● WiGig等による通信品質の評価結果

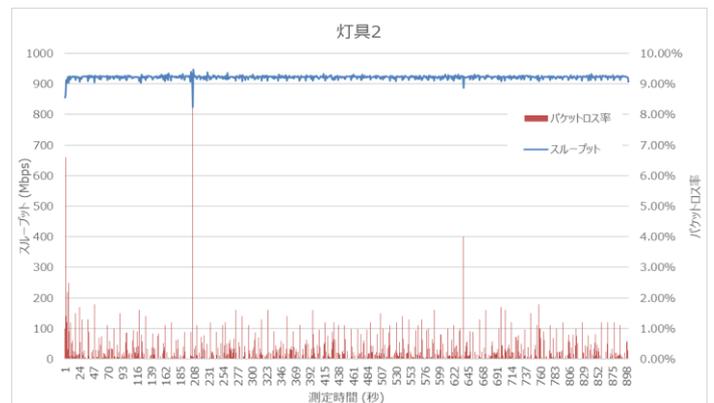
WiGig等の活用により、道路状況を把握するために必要となる路側設備からの大容量データ送受信(高速通信)や車両からの大容量データ送受信が可能かを確認した。

- 道路灯からの通信としてMEC基盤までの上りスループットを確認し、要求スループットを上回ることを確認した。
- 車両からの通信として走行している車両1台からMEC基盤上までの上りスループットを確認し、上り最大スループットは平均926Mbpsで要求スループットを上回ることを確認した。

スループット確認結果



灯具1のスループット, パケットロス率



灯具2のスループット, パケットロス率

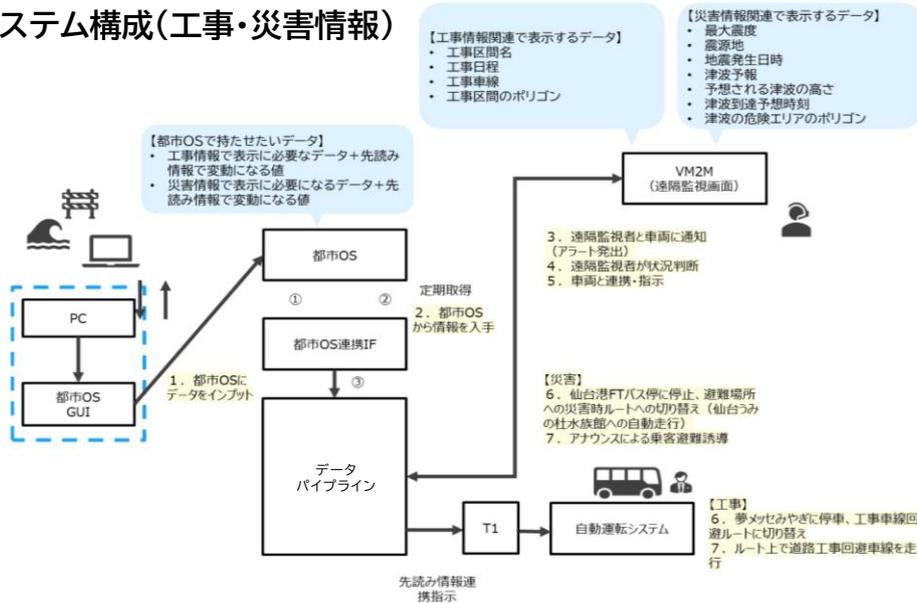
都市OSと連携した環境情報提供による効率的な自動運転制御 (宮城県仙台市)

実証エリアの特徴	東部北ルート近辺は、宮城県沖地震の影響を受けやすいエリアであり、社会実装の際には外部データ(都市OS)の車両制御への活用が必要。
レベル4自動運転実現の課題	自動運転車両のセンサーだけでは把握が難しい情報(例:工事による通行規制、災害時の迂回情報など)が存在する。こうした 外部情報を取り込み事前のルート設定・走行計画に反映可能となる。
通信方式	キャリア網(5G SA方式)
通信方式を活用するための技術	通信品質予測技術

導入により解決・実現できること

都市OSなどの外部データを活用することで、クルマ単体のセンシング能力では把握しきれない情報を運行管理側で補完し、事前のルート設定・走行計画に反映可能となる。

都市OS連携のシステム構成(工事・災害情報)



事例 仙台市での事例

仙台市東部北ルートでは、都市OSに蓄積された外部データ(工事・災害対応情報など)を運行管理システムへ連携し、自動運転車両の走行計画に反映できる仕組みを構築した。車両側のセンサだけでは把握しにくい外部環境の変化を、都市OSのデータ活用によって補完することで、安全性を考慮したルート設定・走行計画の高度化につなげている。

※詳細は「令和7年度地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



遠隔監視システムの様子



使用する技術についての説明

■ 都市OSからの外部情報取得

都市OSに蓄積された工事・災害等の外部データは、APIを通じて遠隔監視員の画面に表示される構成とする。外部環境に変化があった際は、遠隔監視員が都市OS情報を確認し、走行継続・停止・迂回などの対応を判断する。

本実証では安全確保のため、遠隔監視員が判断した内容を車内の技術者へ伝達し、ルート切替を実施する運用とした。

■ データパイプラインでの情報提供

車両の走行データ(位置・速度・状態)をリアルタイムで遠隔監視員へ提供する機能としてデータパイプラインを活用する。

都市OSの外部情報と組み合わせることで、遠隔監視員は車両位置と周辺状況を把握し、安全に必要な対応を行う判断材料を得られる。

現時点では自動制御は行わず、遠隔監視員の判断にもとづく運用としたが、将来的には遠隔側からの運行判断(ルート変更等)を反映可能な構成となっている。



導入時の留意事項・意識しておく事項等

■ 本技術が活用できる前提条件

- ・ 凍結情報・工事災害情報の集約及び、API 等で外部システムに提供可能な、都市OS等のデータ連携基盤を使用すること。
- ・ 現時点では集約したデータを車両へ自動反映は実施しないため、運行判断を車両に反映するための体制を用意することが望ましい。

■ 都市OS等のシステム構築に必要なコスト

2200万円規模(構成に依存)

実証による評価結果(ご参考)

ユースケース④(災害・工事)では、通信の常時通信接続確保においてKP/KGIを設定し、実証を行った。下記に抜粋した内容を示す。

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	都市OSから受信した災害情報に基づく車両制御(ルート変更)が適切に行われ、避難時における乗客の安全性に関する評価をアンケートにて確認する
	(2)	工事区間に対して、自動運転バスが安全かつ適切な挙動(車線変更)をとることで、走行における安全性の向上に寄与するか確認する
定量評価	(3)	複数キャリアNWとローカル5Gを統合し、エリアカバー率が92%になること。
	(4)	工事情報データに基づく車両の停止、ルート/車線変更通知が自動運転車両で99%受信できること

【定性評価】(1) 都市OSから受信した災害情報に基づく車両制御(ルート変更)が適切に行われ、避難時における乗客の安全性に関する評価をアンケートにて確認する

災害情報を受信した場合について、一般試乗者を対象としたアンケート調査(有効回答者数 n=44)を実施し、災害情報を受信した際の車両の挙動(減速・停車・ルート変更等)および走行中の安全性に関する評価を行った。その結果、「良好」:39名(約89%)、「要改善」:5名(約11%)、「不適」:0名となり、大多数の試乗者が、災害情報に基づく車両制御について安全性を体感できたと回答した。
また、自由記述においては、「安心して乗車できた」、「急な挙動は感じなかった」といった肯定的な意見が多く見られた一方で、「実際の災害時を想定すると、事前説明があると安心できる」といった改善意見も確認された。

【定性評価】(2) 工事区間に対して、自動運転バスが安全かつ適切な挙動(車線変更)をとることで、走行における安全性の向上に寄与するか確認する

工事情報を受信した場合についても、同様に一般試乗者を対象としたアンケート調査(有効回答者数 n=64)を実施し、工事情報を受信した際の車両の挙動および工事区間通過時の安全性に関する評価を行った。その結果、「良好」:60名(約94%)、「要改善」:3名(約5%)、「不適」:1名(約2%)となり、多くの試乗者が工事区間における走行について安全性に問題はないと評価した。「不適」と回答した試乗者からは、工事区間において第二走行車線に走行車両が存在したため、手動介入により車線変更が中止されたことに対する指摘が挙げられており、自由記述からも当該状況に対する不安が読み取れた。

【定性評価】(3) 災害情報通知に基づく車両の停止、ルート変更通知が自動運転車両で99%受信できること

災害情報通知の受信率はいずれの測定でもKPIである99%以上の受信率を満たす結果となった。本結果から、実証構成ネットワークを用いた情報伝送は、災害情報のような即時性が求められる有事情報に対しても、高い信頼性を有していると考えられる。一方で、本検証は限定されたエリアおよび条件下での評価であるため、今後は通信環境の変化や走行条件の違いを考慮した検証を行い、より実運用に近い環境での安定性を確認する必要がある。

【定量評価】(4) 工事情報データに基づく車両の停止、ルート/車線変更通知が自動運転車両で99%受信できること

工事情報通知の受信率においてはいずれの測定も100%であり、KPIである99%以上の受信率を満たす結果となった。

本結果から、実証構成ネットワークを用いた情報伝送は、工事情報のような道路状況に合わせた連携が求められる情報に対しても、高い信頼性を有していると考えられる。一方で、本検証は限定されたエリアおよび条件下での評価であるため、今後は通信環境の変化や走行条件の違いを考慮した検証を行い、より実運用に近い環境での安定性を確認する必要がある。

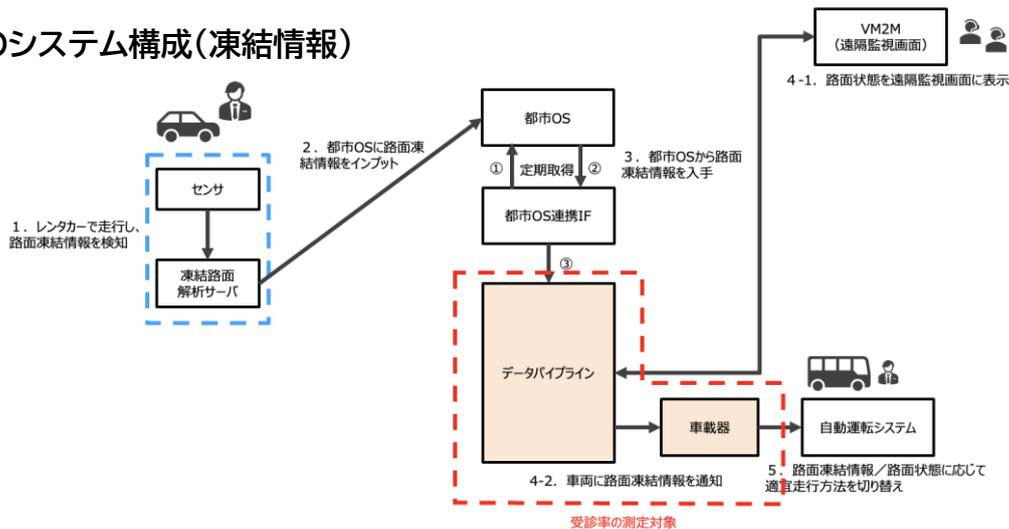
都市OSと連携した環境情報提供による効率的な自動運転制御 (宮城県仙台市)

実証エリアの特徴	秋保ルートは秋保大滝周辺は山間部の通信不感地帯を走行する。また、冬季凍結の可能性が高いエリアであり、社会実装の際には外部データ(路面関連データ)の車両制御への活用が必要。
レベル4自動運転実現の課題	既存の自動運転車両のセンサーだけでは把握が難しい情報(例:路面情報など)が存在する。こうした外部情報を取り込み、走行モードの変更(減速)など安全走行を実現する仕組みが求められている。
通信方式	ローカル5G、複数キャリアネットワークの優先制御
通信方式を活用するための技術	通信品質予測技術

導入により解決・実現できること

車両に搭載したセンサーで取得した路面関連データを都市OSへ取り込み、外部データとして活用することで、クルマ単体のセンシングでは把握しきれない情報を補完し、凍結リスクのある区間において自動的に低速走行へ切り替えるなど、安全性を考慮した走行制御に反映可能となる。

都市OS連携のシステム構成(凍結情報)



事例 仙台市での事例

仙台市秋保ルートでは、車両に搭載したセンサーにより取得した路面関連データを都市OSへアップロードし、運行管理システムと自動運転車両を連携させることで、走行中の車両の走行モードを変更できる仕組みを構築した。車両単体のセンシングでは把握しにくい冬季の路面状況を補完することで、凍結リスクが高い区間において走行スピードを減速させるなど、安全性を考慮した走行制御の高度化につなげている。

※詳細は「令和7年度地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)実績報告書」を参照。



実証期間の秋保の路面の様子

 使用する技術についての説明

■ 車両搭載センサーによる凍結関連データ取得

本実証では、岩手県立大学柴田研究室の研究成果に基づく高精度な環境センシング技術利用し、外気温・路面温度・湿度に加えて、路面状態指標(凍結可能性)などのデータをリアルタイムで取得する構成としている。これらのセンシング技術は、単なる物理値測定に留まらず、複数の物理量の統合による路面状態推定を可能とし、車両単体では把握が困難な冬季の路面環境変化を補完する基盤となると考える。

■ 都市OSへの凍結関連データ提供

取得した凍結関連データを都市OSへアップロードし、遠隔監視員が確認できる外部情報として活用する。遠隔監視員は都市OS上のデータを参照し、安全性を考慮した走行モードの変更(減速など)を判断する。本実証では安全確保のため、遠隔監視員が判断した内容を車内の技術者へ伝達し、走行モード切替を実施する運用とした。

■ データパイプラインでの情報提供

車両が取得した凍結関連データを、データパイプラインを中心とし都市OS・遠隔監視システム・車両間のデータ伝送をする構成とした。蓄積されたデータは走行中の判断支援や翌日の運行計画に利用され、将来的な自動制御の高度化につながる。

※詳細は岩手県立大学柴田研究室ホームページを参照

[研究内容 - 岩手県立大学 柴田研究室](#)

 導入時の留意事項・意識しておく事項等

■ 本技術が活用できる前提条件

- ・ 凍結情報・工事災害情報の集約及び、API 等で外部システムに提供可能な、都市OS等のデータ連携基盤を使用すること。
- ・ 現時点では集約したデータを車両へ自動反映は実施しないため、運行判断を車両に反映するための体制を用意することが望ましい。

■ システム構築に必要なコスト

2200万円規模(構成に依存)

実証による評価結果(ご参考)

ユースケース④(凍結)では、通信の常時通信接続確保においてKP/KGIを設定し、実証を行った。下記に内容を示す。

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	遠隔監視員による運航状況の判断や対応の正確性・効率性を高めるため、都市OSから受信した凍結情報が遠隔監視装置のダッシュボードに確実に反映されることを確認するとともに、システムの操作性やユーザインターフェースに問題がないかを検証する。
定量評価	(2)	凍結路面をリアルタイムに検知することで、車両制御(モード切替・減速)の即時性を高め、自動運転バスの安全性向上に寄与するよう、凍結センシングのサンプリングが1.0sec以内となるか確認する。
	(3)	凍結路面を正確に検知することで、車両制御(モード切替・減速)の妥当性を高め、自動運転バスの安全性向上に寄与するよう、6種類の路面状態判定精度が95%得られることを確認する。
	(4)	車両制御(モード切替・減速)の即時性・妥当性を高め、自動運転バスの安全性向上に寄与するよう、凍結情報データをエリアカバー率と同等に92%受信できるか確認する。(自動運転車両側の受信率)

【定性評価】(1)

遠隔監視員による運航状況の判断や対応の正確性・効率性を高めるため、都市OSから受信した凍結情報が遠隔監視装置のダッシュボードに確実に反映されることを確認するとともに、システムの操作性やユーザインターフェースに問題がないかを検証する。

都市OSから受信した凍結情報が遠隔監視装置のダッシュボードに確実に反映されること、また遠隔監視員が運航状況を正確かつ効率的に判断できるよう、UI(ユーザインターフェース)および操作性に問題がないかを評価した。関係者アンケート(2名中2名[100%]回答)の結果、凍結情報の反映状況について、回答者 2名中2名(100%)が「凍結情報がダッシュボードに確実に表示されていた」と回答した。特に、路面状態(凍結の有無)が色分けで明確に可視化されていた点が評価され、遠隔監視員が現地状況を即時に把握する上で有効であったとの意見が得られた。UIおよび操作性についても、回答者 2名中2名(100%)が「概ね良好」と評価した。ダッシュボード上の情報配置や操作体系が直感的であり、必要な情報に素早くアクセスできたことが確認された。

【定量評価】(2)

凍結路面をリアルタイムに検知することで、車両制御(モード切替・減速)の即時性を高め、自動運転バスの安全性向上に寄与するよう、凍結センシングのサンプリングが1.0sec以内となるか確認する。

凍結をリアルタイムに検知するために、GPSからの基準時刻をベースとし、各センサからのサンプリングレートを1.0以内に設定し、センササーバ内で路面状態を判定すると共に、判定結果をセンササーバからローカル表示させそのタイミングを計測した。その結果、表示結果は、地図上に同期的に1.0sec間隔で表示出来ていることを確認できた。

【定性評価】(3)

凍結路面を正確に検知することで、車両制御(モード切替・減速)の妥当性を高め、自動運転バスの安全性向上に寄与するよう、6種類の路面状態判定精度が95%得られることを確認する。

路面状態の判定精度を確認するため、路面測定車に各種センサを設置してセンシングし、センササーバからの判定結果とカメラ映像をローカル表示にさせ、これらを同乗した道路運行バス運転士が、実際の道路状態とを、1.0secごとに連続的に比較評価を行ったところ、バス走行路全体において、センサからの判定結果が、97~99%以上で一致していることを確認できた。わずかに1~3%でWet(湿路)とMoist(湿潤)との判断のずれが見られる場合があったが、それ例外の結果は正しく判定されており、十分な精度を達成していることを確認できた。

【定量評価】(4)

車両制御(モード切替・減速)の即時性・妥当性を高め、自動運転バスの安全性向上に寄与するよう、凍結情報データをエリアカバー率と同等に92%受信できるか確認する。(自動運転車両側の受信率)

凍結情報通知の受信率はいずれの測定でもKPIである92%以上の受信率を満たす結果となった(表 10)。本結果から、都市OSから取得した凍結情報を自動運転車両へ伝達するにあたり、協調型インフラ基盤を活用した構成(マルチキャリア+ローカル5G)は平均受信率「97.82%」と高い信頼性を有していると考えられる。

停車場における通信環境の高度化(石川県小松市)

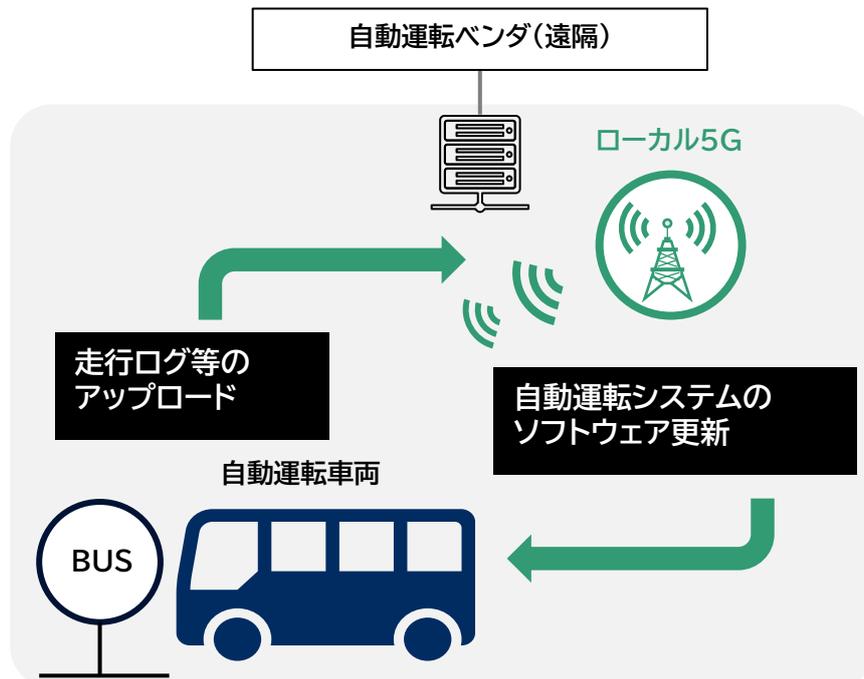
実証エリアの特徴	自動運転車両の停車場
レベル4自動運転実現の課題	自動運転システムのセキュリティ更新等を短時間で遂行する必要がある。
通信方式	ローカル5G(Sub6)
通信方式を活用するための技術	路側システム(基地局)、收容局(ONU)、車載(端末)

👍 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-Fi 6/6E/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

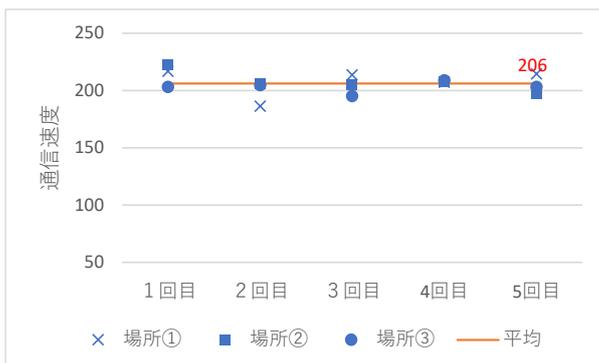
 実証による評価結果(ご参考)

● 実証における自動車の検知精度の評価結果

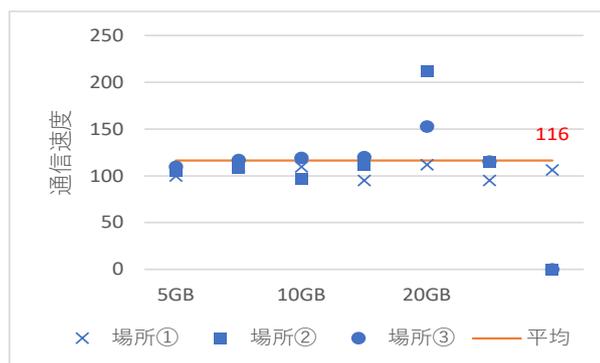
ローカル5Gの活用により、大容量データの通信を停車中に効率よく行うことが可能であることを確認した。

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

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。

基本情報	
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。
詳細情報	
免許関係	ポイント 無線局開局や免許の取得に関する手続・申請方法を理解する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">無線局免許の申請、検査、免許付与の流れ免許申請に必要な書類様式および電子申請の方法
電波利用料	ポイント 無線局の開設・運用に伴う電波利用料を確認する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">電波利用料の制度概要および無線局の種別ごとの利用料と納付方法
電波環境	ポイント 各種の電波環境に関する制度を理解・留意する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">電波の安全性に関する制度および電波伝搬障害防止に関する取組電波環境に関する制度概要
電波監視	ポイント 良好な電波利用環境の実現を確保するための監視体制を認識する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">電波監視の業務内容、不法無線局への対応および混信・妨害への対処に関する情報
周波数割り当て	ポイント 電波の使用状況や周波数管理に関する制度を理解する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">周波数割当の考え方および周波数帯ごとの使用状況周波数管理に関する関連情報
基準認証制度	ポイント 無線設備が電波法の技術基準に適合していることを証明する基準認証制度を確認する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">技術基準適合証明の制度概要および工事設計認証に関する情報認証対象となる無線設備の情報

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。

基本情報

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 / 2025年8月(最終改定)
URL	https://www.soumu.go.jp/main_content/001023992.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。

詳細情報

(1) ガイドラインの 目的	ポイント ローカル5Gの制度整備の歩みと、本ガイドラインの目的を理解する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">ローカル5Gの概要と特徴、ならびに周波数帯と制度拡充の推移の解説電波法・電気通信事業法の適用関係や免許申請手続きを明確化する目的の確認
(2) ローカル5G導入 に係る電波法の 適用関係	ポイント ローカル5G無線局に対する電波法の適用関係を理解する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">無線局の免許及び無線局開設に必要な手続技術基準適合証明等及び無線従事者の資格要件包括免許、電波利用料、免許人の範囲、提供範囲及び共同利用免許申請に係る調整等の考え方並びに全国MNOとの共用周波数使用の考え方(4.7GHz帯、28GHz帯)並びに上空利用端末及び高出力端末セキュリティの確保並びに無線局の免許が交付された後の手続、変更及び再免許
(3) ローカル5G導入 に係る電気通信 事業法の 適用関係	ポイント ローカル5G無線局に対する電気通信事業法の適用関係と必要な手続を理解する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">事業開始に必要な手続及びIMSI取得に関する考え方電気通信事業の登録又は届出後の手続
(4) ローカル5Gの免 許人による全国 MNO等との 連携	ポイント 全国MNO等との連携に関する基本的な考え方を理解する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">連携に関する基本的な考え方及び連携によるサービスの補完との関係公正競争の確保との関係
(5) ガイドラインの 見直し	ポイント ガイドライン見直しの考え方を理解する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">制度改正や技術動向を踏まえ、必要に応じてガイドラインを見直す

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。

基本情報

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2版
公開元 / 公開年	国土交通省、経済産業省、警察庁 / 2025年
URL	https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001901763.pdf
概要	自動運転移動サービス社会実装・事業化について、地域団体(地方自治体・交通事業者等)、自動運転開発事業者、L4認可に係る団体等、関係する方々に広く参考となるよう作成された手引き。

詳細情報

第1部 自動運転移動サービスの基礎的理解	ポイント 初期的な自動運転移動サービス導入検討を始めた地方自治体等、交通行政に携わる地域団体を想定し、自動運転移動サービスの基礎的理解について整理。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">自動運転移動サービスの基礎的理解自動運転移動サービス社会実装までの流れ
第2部 導入編	ポイント レベル4自動運転移動サービスの社会実装に向けて、レベル2実証実験までの実施の流れについて記載。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">事業目的の整理サービス計画立案サービス準備実証実験
第3部 実装編	ポイント 2025年度レベル4自動運転移動サービスの社会実装のために必要な許認可取得等の取組について記載。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">安全性の確保に向けた設計許認可の申請事業計画の精緻化

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。

基本情報

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。

詳細情報

自動運転の実現に向けた警察の取組	ポイント 自動運転の実用化を支援する警察の各種取組を把握する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">・ 道路交通法の改正や公道実証実験のためのガイドライン・道路使用許可基準の全体像
道路交通法（自動運転関係）	ポイント 自動運転に関する道路交通法改正の概要を把握する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">・ 自動運転関係の道路交通法改正に関連する資料
特定自動運行許可に係る申請書等の記載要領・申請書記載例	ポイント 特定自動運行許可の申請に必要な記載事項や提出書類を確認する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">・ 特定自動運行許可申請に必要な記載事項、申請書および添付書類の記載例
警察庁からの注意喚起	ポイント 自動運転の安全に関する注意事項を認識する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">・ 運転支援機能と自動運転の性能や限界、使用条件および留意事項
協調型自動運転システムへの情報提供等の在り方に関する検討会	ポイント 協調型自動運転に係るインフラ構築の考え方や検討内容を把握する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">・ 交通規制や信号制御との連携、無線装置や路側機の接続等に関する検討会資料
公道実証実験 >自動運転の公道実証実験について	ポイント 公道実証実験を行う際に必要な手続きや留意事項を確認する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">・ 公道実証実験に必要な道路使用許可、安全確保措置、各種基準および相談窓口
信号制御機等に接続する無線装置の開発のための実験に関する申請要領	ポイント 無線設備の実験に関する申請手続きや必要書類を確認する。 主な記載内容 <ul style="list-style-type: none">・ 信号制御機等接続無線装置の実験実施に関する申請要領と届出書類

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。

基本情報

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と、地方自治体や事業者からの相談窓口をまとめている。

詳細情報

(1) 公道での自動運転の申請に向けた各手続き	<p>ポイント 公道での自動運転実証等の実施にあたり、自動運転のレベルによって必要な手続きが異なる。</p> <p>主な記載内容</p> <ol style="list-style-type: none">① 走行環境条件付与② 自動車運送事業等に係る許可等③ 試作車・組立車の届出④ 並行輸入自動車の届出⑤ 基準緩和申請⑥ 道路使用許可申請⑦ 特定自動運行許可申請⑧ 自動車検査・登録申請
(2) 申請方法等に関する問い合わせ先	<p>ポイント 申請方法等に関するお問い合わせは、使用の本拠の位置を管轄する地方運輸局又は沖縄総合事務局まで。</p> <p>主な記載内容</p> <ul style="list-style-type: none">・ 都道府県別の地方運輸局等と担当部署、その住所と電話番号の一覧表

參考資料

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-jigyuu@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

KDDI株式会社

問い合わせ先: オープンイノベーション推進本部 OIビジネス開発部

E-Mail: autodrive-biz@kddi.com

関係機関連絡先

令和6年度実証事業

(注) 下線は各実証における代表機関を示す

実証のエリア	実証機関名	代表機関の連絡先
北海道上士幌町	<u>BOLDLY(株)</u> 、ソフトバンク(株)、上士幌町	—
茨城県日立市	<u>日本電気(株)</u> 、(株)みちのりホールディングス、(株)ティアフォー、日立市	インフラDX事業部門 スマートシティ統括部 担当: 小川 貴也 takaya-ogawa@nec.com
茨城県猿島郡境町	<u>BOLDLY(株)</u> 、境町	—
群馬県前橋市・中之条町	(一社)ICTまちづくり共通プラットフォーム推進機構、日本モビリティ(株)、日本電気(株)、国立大学法人群馬大学、公立大学法人前橋工科大学、群馬県、前橋市、中之条町、前橋消防局、上毛電気鉄道(株)、(一社)四万温泉協会	政策推進担当 小田川 odagawa@topic.or.jp
東京都狛江市	<u>NTT東日本(株)</u> 、(株)ティアフォー、(株)マップフォー、(一財)計量計画研究所、(株)unerry、狛江市	狛江市自動運転実証事務局 komae_local5G-ml@east.ntt.co.jp
神奈川県横浜市	<u>NTTドコモビジネス(株)</u> 、NTTテクノクロス(株)、(株)NTTデータ経営研究所、スタンレー電気(株)、(株)東海理化電機製作所、パナソニックコネク(株)、ドコモ・テクノロジー(株)、相鉄バス(株)、先進モビリティ(株)、横浜市、NTTアクセスサービスシステム研究所	SM本部 ソリューションコンサルティング部 地域協創推進部門 nttdb_transdx@ntt.com
石川県小松市	<u>日本電気(株)</u> 、BOLDLY(株)、(株)ティアフォー、小松市	茨城県日立市と同一

- 各事業の詳細については、以下リンクからご覧になれます

各コンソーシアムの実証事業の概要および成果報告書

URL:https://pubpjt.mri.co.jp/pjt_related/rcsad-info/index.html#anchor-summary-r6

関係機関連絡先

令和7年度実証事業

(注) 下線は各実証における代表機関を示す

実証のエリア	実証機関名	代表機関の連絡先
北海道千歳市	NTTドコモビジネス(株)、A-Drive(株)、ドコモ・テクノロジー(株)、スタンレー電気(株)、NTTアクセスサービスシステム研究所、公立千歳科学技術大学、千歳市	SM本部 ソリューションコンサルティング部 地域協創推進部門 nttdb_transdx@ntt.co.jp
宮城県仙台市	NTTドコモビジネス(株)、NTTアドバンステクノロジー(株)、(株)NTTデータ経営研究所、パナソニックコネクト(株)、ドコモ・テクノロジー(株)、(株)タケヤ交通、先進モビリティ(株)、(株)NTTドコモ、国立大学法人東北大学、NTTアクセスサービスシステム研究所、NTTネットワークサービスシステム研究所、仙台市	北海道千歳市と同一
東京都狛江市	NTT東日本(株)、(株)ティアフォー、(株)マップフォー、(一財)計量計画研究所、小田急バス(株)、狛江市	狛江市自動運転実証事務局 komae_local5G_ml@east.ntt.co.jp
神奈川県横浜市	NTTドコモビジネス(株)、NTTアドバンステクノロジー(株)、(株)NTTデータ経営研究所、スタンレー電気(株)、(株)東海理化、ドコモ・テクノロジー(株)、相鉄バス(株)、先進モビリティ(株)、NTTアクセスサービスシステム研究所、NTTネットワークサービスシステム研究所、横浜市	北海道千歳市と同一
京都府精華町	アイサンテクノロジー(株)、NTTドコモビジネス(株)、奈良交通(株)、同志社大学モビリティ研究センター、精華町、京都府	DX事業本部 都市空間DX推進部 室山 s.muroyama@aisantec.co.jp
島根県松江市	ソフトバンク(株)、先進モビリティ(株)、沖電気工業(株)、日本信号(株)、松江市交通局、一畑バス(株)、松江市	鉄道事業推進本部 事業企画統括部 BRT推進部 GRP-matsue-lv4@g.softbank.co.jp
島根県美郷町	NTT西日本(株)、NTTビジネスソリューションズ(株)、(株)マクニカ、島根大学、中国経済連合会情報通信委員会、美郷町、島根県	島根支店ビジネス営業部 smn-evbus@west.ntt.co.jp
高知県高知市	NTT西日本(株)、NTTビジネスソリューションズ(株)、(株)マクニカ、とさでん交通(株)、高知赤十字病院、イオンモール高知、四国旅客鉄道(株)、高知市、高知県	高知支店ビジネス営業部 kochi2025_evbus@west.ntt.co.jp
佐賀県佐賀市	楽天モバイル(株)、佐賀市交通局、(株)建設技術研究所、先進モビリティ(株)、沖電気工業(株)、(株)東海理化、国立大学法人東京科学大学、佐賀市	先端技術開発統括部 イノベーションプログラム開発事業部 先端技術イノベーション課 prj-rmi-autonomous-driving@mail.rakuten.com

- 各事業の詳細については、以下リンクからご覧になれます

各コンソーシアムの実証事業の概要および成果報告書

URL:https://pubpjt.mri.co.jp/pjt_related/rcsad-info/index.html#anchor-summary-r6

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。
5G NSA	4G(LTE)系のコア網等をアンカーとして利用しながら、5Gの無線アクセス(NR)を併用する方式。
5G SA	5Gの無線アクセス(NR)と5Gコア(5GC)で構成される方式。
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。
DFS	Dynamic Frequency Selectionの略。主に無線LANで用いられる機能で、気象レーダ等の既存無線システムとの干渉を避けるため、レーダ波の検知時にチャンネルを自動的に変更する仕組み。

用語	用語解説
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。
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。

用語	用語解説
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。
ITS Connect	日本における協調型ITSの運転支援システムであり、ITS専用周波数を活用した車車間・路車間通信を前提としている。
LAN	Local Area Networkの略。
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。

用語	用語解説
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 GNSS	移動体(車両等)で利用されるGNSS測位の総称。
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。
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。

用語	用語解説
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。
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。

用語	用語解説
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。
携帯電話中継装置(レピーター)	携帯電話基地局からの電波を増幅して再放射することにより、電波が届きにくい場所(トンネル等)におけるカバーエリアを補完する装置
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。
指向性アンテナ	特定方向に電波の放射・受信を集中させる特性を持つアンテナであり、狙った方向の利得を高め、他方向からの干渉を抑えたり、到達距離を伸ばしたりする目的で用いられる。
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。
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。
トラフィック	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。
パケット再送制御	無線区間等で電波状況などによりパケットが正しく受信できない場合に、受信確認や再送要求によりパケットの再送を行う方式

用語	用語解説
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。
光無線通信	電波ではなく、光(可視光・赤外光等)を用いて空間中で情報を伝送する無線通信方式。高い帯域が得られる一方、見通し条件の影響を受けやすい。
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。
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)
令和6年度補正 総務省地域社会DX推進パッケージ事業(自動運転レベル4検証タイプ)

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2版 令和8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