

令和3年度

課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

空港における遠隔監視型自動運転に向けた
通信冗長化設計による映像監視技術の実現

成果報告書概要版

令和4年3月25日

東日本電信電話株式会社

実証概要

実証概要

■背景・課題・目的

現在の日本の交通インフラにおける社会的課題として少子高齢化の急速な進行による労働人口減少がある。また、労働人口減少に伴い、様々な移動・物流サービスの担い手が不足することが危惧されており、空港運用においても同様の課題を抱えている。その解決策の一つとして自動運転技術が注目されているところであり、成田国際空港において自動運転レベル4相当の導入に向けた実証実験を行い、人手不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減を目的とした自動運転技術の導入を目指す。

■実証概要

本事業では、成田国際空港の第2ターミナルと第3ターミナル間のエプロンエリアを連絡バスルート(約700m)区間で、ローカル5Gの通信安定性の特徴を活かして遠隔監視でのオペレーションに必要な通信部分の技術要件を検証し、遠隔監視要件の通信システムをローカル5Gとキャリア5G/4Gの冗長による映像監視タスクの簡素化を実施し、ローカル5Gを活用した、遠隔監視型自動運転の実証を実施した。

■普及展開に向けて

国土交通省の企図する2025年レベル4相当自動運転の導入に向けては、「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」において必要に応じて本実証の成果報告を行い、制限エリア内における自動走行のルール策定に貢献し、成田国際空港へのレベル4相当自動運転の実装や他空港への普及展開につなげることを目指す。



遠隔監視室
制御/映像監視



ローカル5G



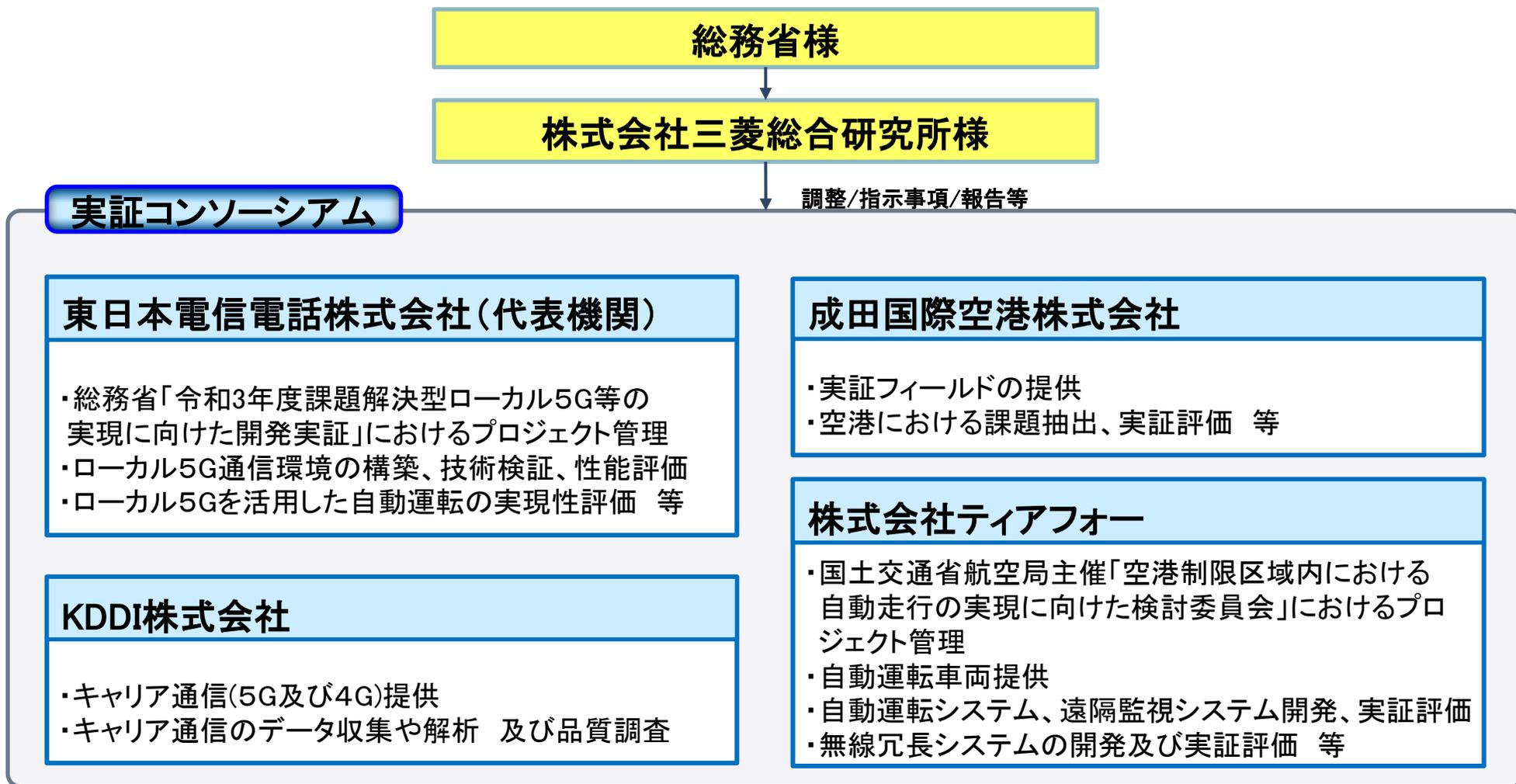
キャリア4G/5G



監視カメラ7台の映像を伝送

実施体制

■ 本実証事業は、総務省様・三菱総合研究所株式会社様より、東日本電信電話株式会社が代表機関として請負い成田空港株式会社・KDDI株式会社・株式会社ティアフォーとのコンソーシアムにて実証を実施した。



実証環境の構築

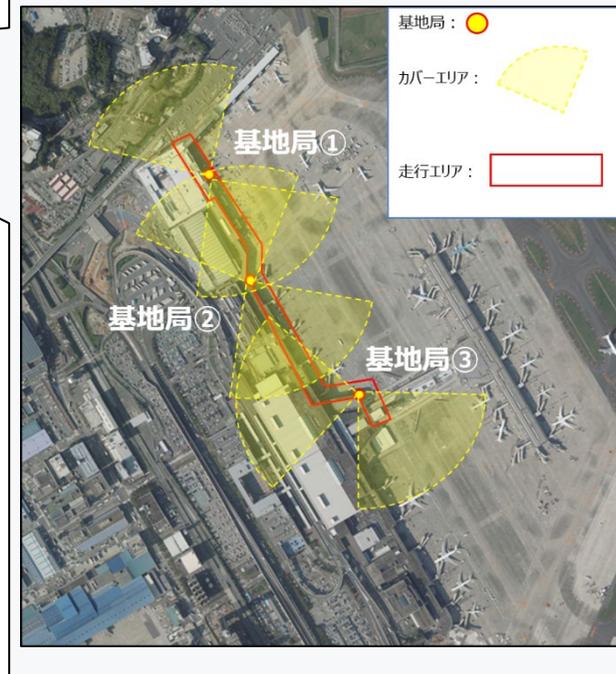
実証環境

- 成田国際空港(千葉県成田市)の第2・第3ターミナル間エプロンエリアを実証エリアとした。【図2-1~2-3】
- 4.8~4.9GHz(Sub6)の100MHz幅、同期運用のローカル5Gシステム(SA方式)を構築した。
- ローカル5G活用モデルを創出するシステムとして、「自動運転車両(レベル2相当)」「遠隔監視システム」を準備した。【図2-4】

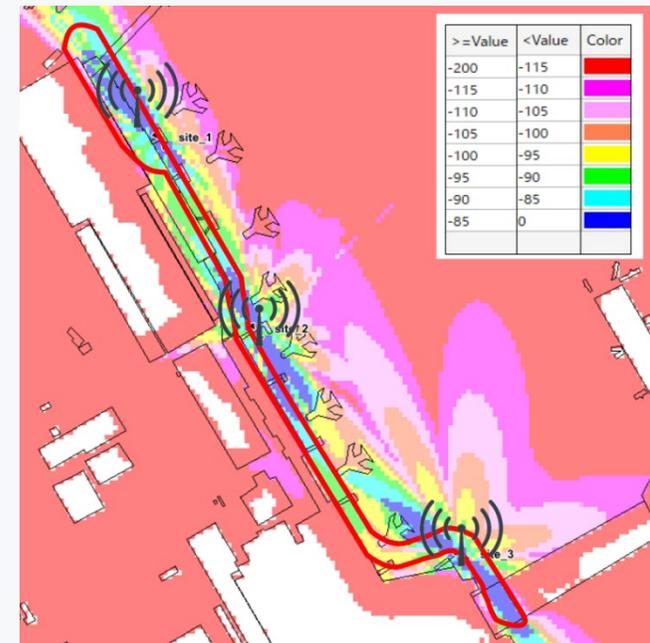
【図2-1】成田空港内 実証エリア位置



【図2-2】実証環境 ローカル5Gカバーエリアイメージ



【図2-3】実証環境 ローカル5G受信電力イメージ

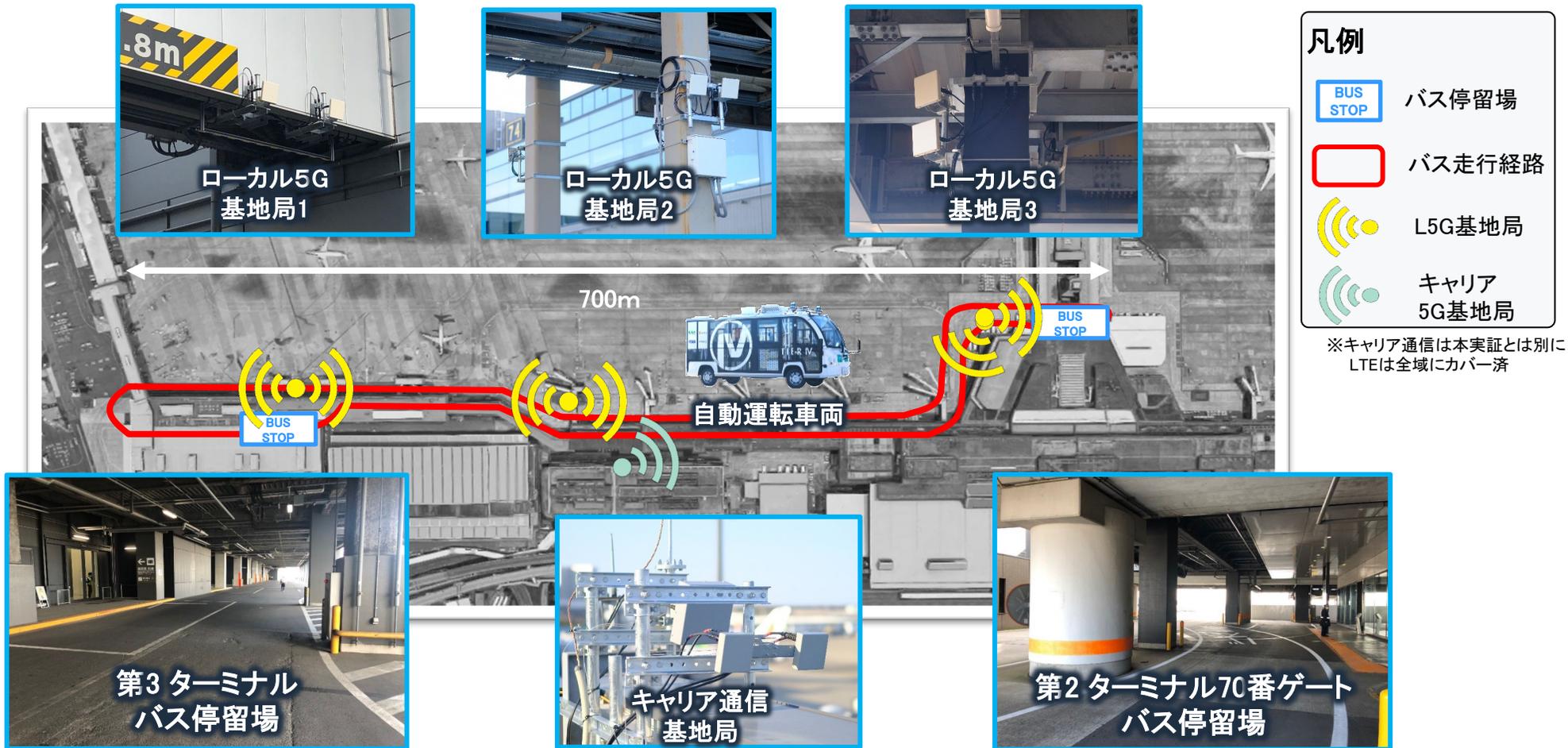


【図2-4】自動運転車両



基地局の構築

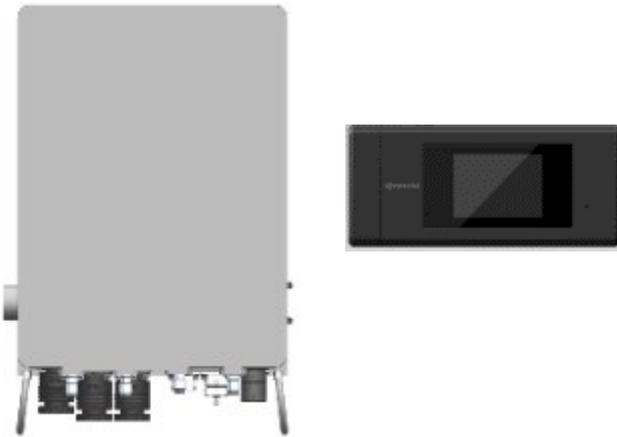
- 本実証では、成田国際空港の第2ターミナルと第3ターミナル間のエプロンエリアにて自動運転バスを走行させ、ローカル5G及びキャリア通信(5G、LTE)を活用した遠隔監視型自動運転の実証を実施した。
- エプロンエリアにローカル5Gの基地局を3基、実証期間中においてキャリア通信(KDDI)5Gの基地局を1基構築した。



ネットワーク・システム構成

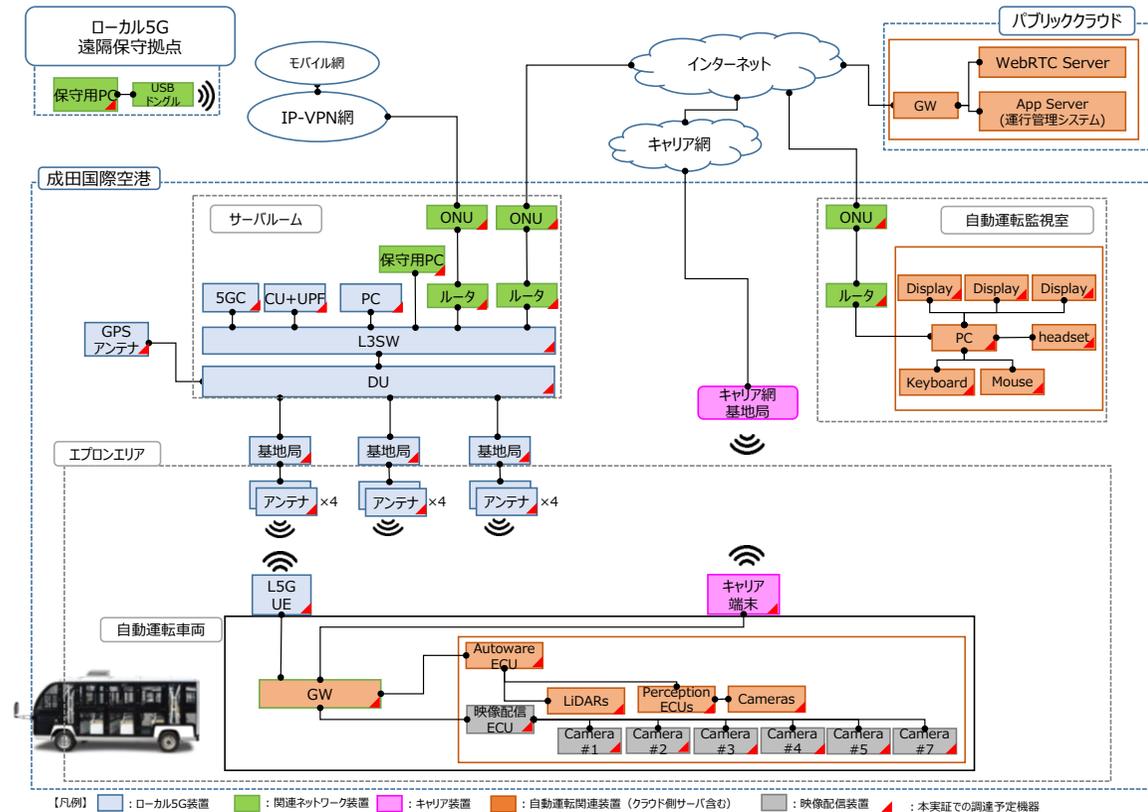
- ローカル5Gシステム内の所要性能は、ULスループット: 35Mbps以上、遅延時間: 50ms以内とした。
※自動運転バスに設置の遠隔監視用カメラ台数: 7台(1台あたりULスループットが5Mbps必要)
- 基地局とコアNW間の接続には、空港内既設光ファイバー網を活用し、コスト低減及び工期短縮を図った。
- 本実証の代表機関である、東日本電信電話株式会社を免許人とする実験試験局免許を申請・取得した。

【図2-5】ローカル5G基地局および端末



- 3GPP準拠のものを選定し、将来への拡張性を考慮したシステム設計とした
- サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じた

【図2-6】システム全体概念図



【凡例】 □ : ローカル5G装置 □ : 関連ネットワーク装置 □ : キャリア装置 □ : 自動運転関連装置 (クラウド側サーバ含む) □ : 映像配信装置 ▲ : 本実証での調達予定機器

システム機能・性能・要件

- 本実証で用いたローカル5Gシステムの諸元を以下に示す。【表2-1】

【表2-1】ローカル5Gシステム諸元

項目	基地局相当装置	移動局相当装置
製造ベンダ	Samsung社	京セラ社
無線基地局数	3	-
設置場所	屋外	-
同期／準同期	同期	-
UL:DL比率	同期1:4	-
周波数帯	4.8-4.9GHz(帯域幅:100MHz)	-
通信方式	SA	-
空中線	4T4R	1T4R
占有帯域幅	100MHz	100MHz
中心周波数	4849.98MHz	4550.01~4849.98MHz
変調方式	DL:OFDMA(256QAM) UL:OFDMA(256QAM)	OFDM(QPSK,16QAM,64QAM, 256QAM)
アンテナ指向性	水平方向20度 垂直方向20度 (X25-3545FTD)	オムニ
アンテナ利得	17dBi(X25-3545FTD)	TX0/RX0アンテナ:+0.4dBi RX1アンテナ:-0.1dBi RX2アンテナ:+1.0dBi RX3アンテナ:0.0dBi

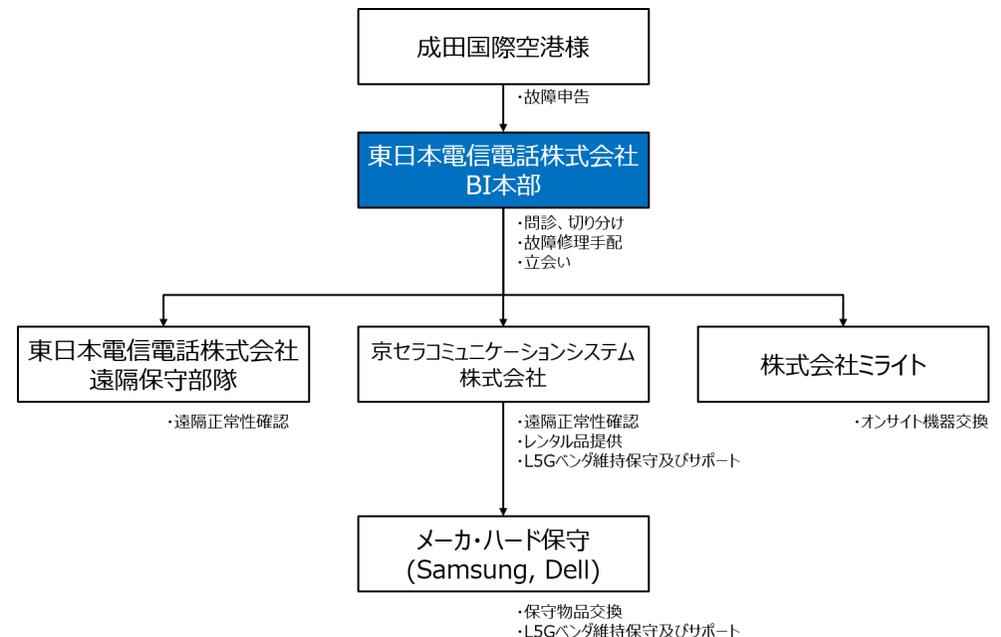
免許及び各種許認可、その他要件、実証環境の運用

- 東日本電信電話株式会社を免許人とし、期間を令和3年12月1日から令和4年5月31日までとする実験試験局免許を取得した。【図2-7】
- 自動運転システムサーバはクラウドサービス上に構築されており、車載システムとはローカル5G及びキャリア網と、インターネットを経由して通信することから、各機能群において暗号化や権限管理を行った。
- 実証参加者等に対してシステム利用に関する説明会を実施する等、実証環境・内容について説明した。また、実証期間中の問合せ対応や機器故障時のオンサイト対応を実施できるよう、東日本電信電話株式会社内にローカル5Gシステムに関する保守受付体制を構築した。【図2-8】

【図2-8】実証期間中の保守体制

【図2-7】ローカル5G無線局免許取得スケジュール

項目	2021年				2022年				
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
総通局事前相談	➡								
干渉調整		➡							
本申請			➡						
免許交付				★12/1					
交付期間				2021/12/1 ~ 2022/5/31					
航空局審査				★12/3	実証(2022/2/14~2022/2/28)				



ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討 (技術実証)

実証目標(技術的課題、仮説含む)

◆ a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

・ 実証目標

ローカル5Gの電波伝搬特性等を測定し、エリア算出法と比較すると共に、ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能を満たすか評価する。

◆ b-I. 電波伝搬モデルの精緻化

・ 技術的課題

空港は郊外地の特性を持ちながらも、遮蔽物が多岐に渡る特有の環境であることから、既存の電波伝搬モデルの適用が困難である。

・ 実証目標

空港特有の環境を考慮した上で、エリア算出法の伝搬損失式における郊外地Sの精緻化を実施する。

・ 仮説

郊外地Sに対して、空港特有の建物・閉空間スペースを考慮した「追加補正值」が導き出されると予想した。

◆ b-IV. その他のテーマ(他の無線システムからの被干渉)

・ 技術的課題

空港内には様々な無線システムが存在し、電波高度計(4.2~4.4GHz)がローカル5G(4.8~4.9GHz)の周波数帯に近接する。

・ 実証目標

空港内の実証エリアにて、電波高度計からの被干渉影響を受けずに、ローカル5Gシステムが利用できることを確認する。

・ 仮説

一定の周波数離調が確保されているため、ローカル5Gへの影響は無いと予想した。

◆ b-IV. その他のテーマ(複数基地局間でのハンドオーバ)

・ 技術的課題

広域をカバーエリアとするためには、複数基地局間を跨ぐ必要があり、その際に一時的な通信断が発生する。

・ 実証目標

端末を設置した車両が自動運転バスと同じ15km/h以下で走行する際の、受信信号及び伝送性能の推移を確認するとともに、基地局間を跨いでも通信が継続可能であることを確認する。

・ 仮説

電波品質が一定の閾値を下回ると別基地局へ接続し直すフローの実装により、基地局間を跨いでも通信が継続可能と予想した。

a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

■ 計測指標

- ① エリア算出法と実測値の比較: 受信電力
- ② ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較: 受信電力/伝送性能(スループット、遅延)
 - ※(所要性能)ULスループット: 35Mbps、遅延時間: 50ms

■ 評価・検証方法

- ① エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域のエリア端で24箇所を測定し、閾値と実測値を比較した。
- ② 走行エリア内バス走行レーン上の20箇所を測定し、所要性能と実測値を比較した。

■ 検証結果・考察

- ① 見通し内と見通し外の2パターンで検討。(それぞれのパターン内で、さらに基地局からの距離で場合分け)【図3-1～図3-3】

【見通し内】100m近傍: データにバラツキ(ボーディングブリッジ等遮蔽物による反射・散乱が影響と想定)
 150m以遠: 自由空間よりも伝搬損失が小さく安定収束(直接・反射波の経路差が低減と想定)

【見通し外】100m近傍(建物遮蔽): データにバラツキ(直接・反射波の経路差が増大と想定)
 100～150m(半屋外・建物遮蔽): 自由空間損失に近似(建物の占有度が中程度以下で影響小と想定)
 200m以遠(建物遮蔽): 自由空間損失に近似と予想(距離が離れるほど、整地エリアの割合が増すと想定)

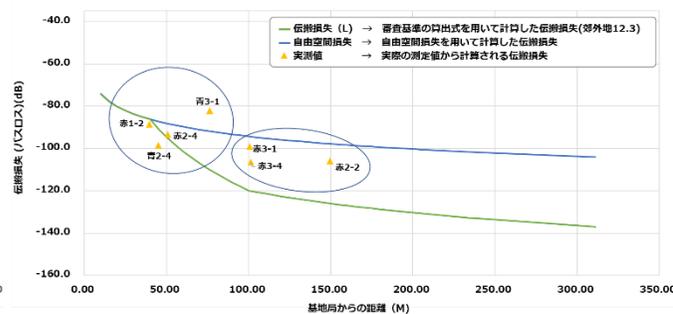
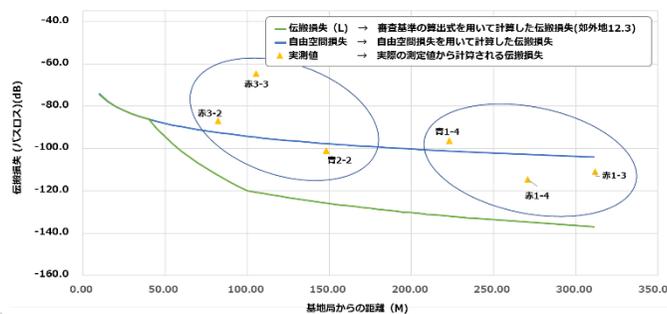
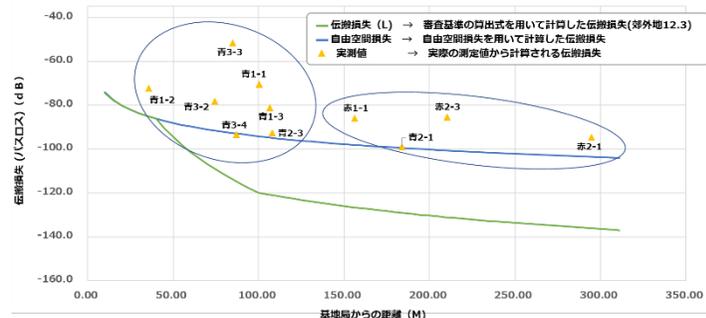
- ② 全ての測定点(20箇所)で、所要性能を満たしていることが分かった。測定結果は以下の通り。

ULスループット: 66～113Mbps、遅延時間: 11.7～16.7ms

【図3-1】見通し内の電波伝搬損失

【図3-2】見通し外(半屋外遮蔽)の電波伝搬損失

【図3-3】見通し外(建物遮蔽)の電波伝搬損失



b- I . 電波伝搬モデルの精緻化

■ 計測指標

- 受信電力(ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定で計測した値を使用)

■ 評価・検証方法

- 24箇所の測定点ごとに10λの範囲内で測定器を移動させながら、合計1,000サンプルずつ測定を実施した。
- 測定値を元に、空港特有の環境(建物、ボーディングブリッジ等)を考慮した郊外地Sの追加補正值を導出した。

■ 検証結果・考察

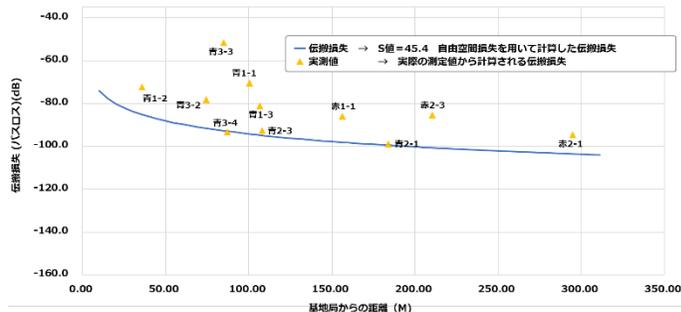
- 審査基準のエリア算出式における、100m以遠の拡張秦式において、郊外地S(12.3)を想定していた。
- 実測から、基地局100m近傍では自由空間損失(もしくは補間式)ではあるものの、見通し内、見通し外共にデータにバラツキが出ることが分かった。(ボーディングブリッジ等の遮蔽物による反射・散乱の影響と想定)
- 実測から、100m以遠での見通し内/見通し外のSは、二乗平均平方根誤差(RMSE)が最小となるSを算出することにより、次のようになることが分かった。【図3-4~3-6】

見通し内: 45.4(=自由空間損失)、見通し外(半屋外): 40(130m以遠)、見通し外(建物遮蔽): 35

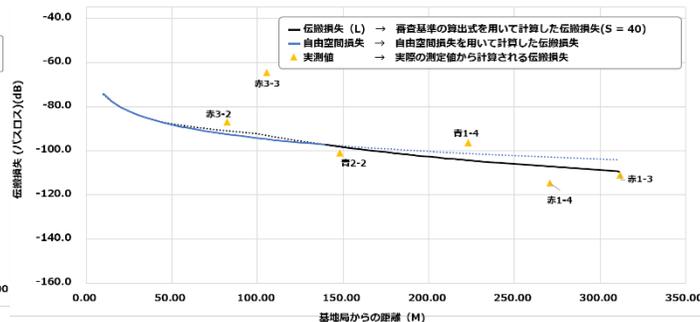
※それぞれの場合のSの追加補正值は、33.1, 27.7, 22.7であった。

- 見通し内では、伝搬損失にさらに17.2の補正值を加えることで、RMSEをさらに圧縮できることも分かった。

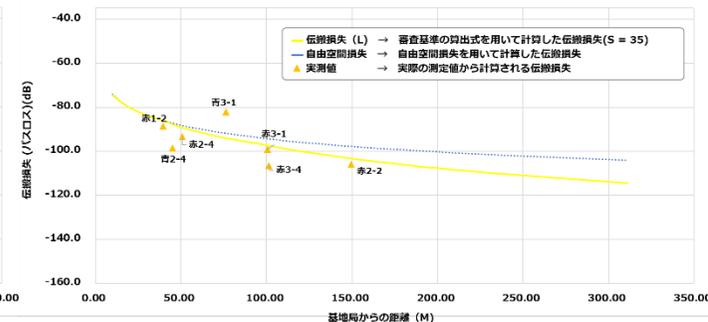
【図3-4】補正S値を適用した場合の伝搬損失と実測値の分布(見通し内)



【図3-5】補正S値を適用した場合の伝搬損失と実測値の分布(見通し外:半屋外)



【図3-6】補正S値を適用した場合の伝搬損失と実測値の分布(見通し外:建物遮蔽)



b-IV. その他のテーマ(他の無線システムからの被干渉)

■ 計測指標

- 周波数／受信レベル

■ 評価・検証方法

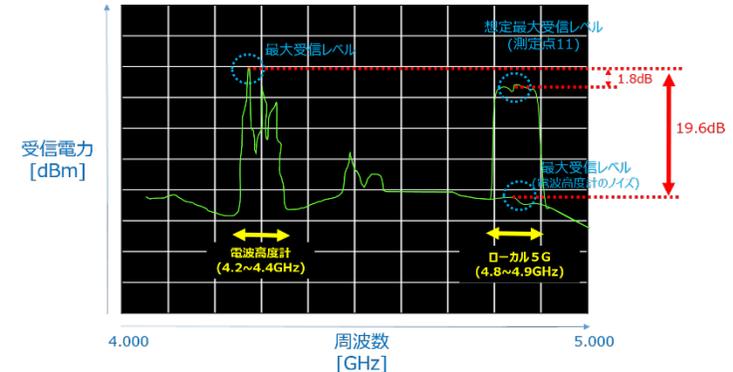
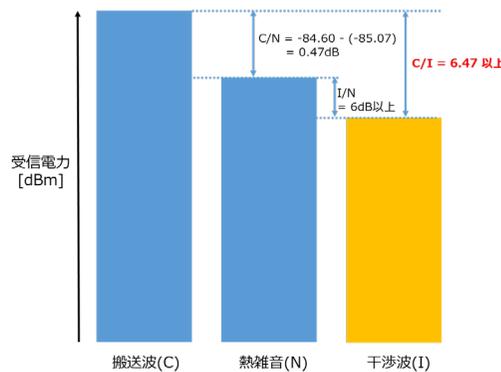
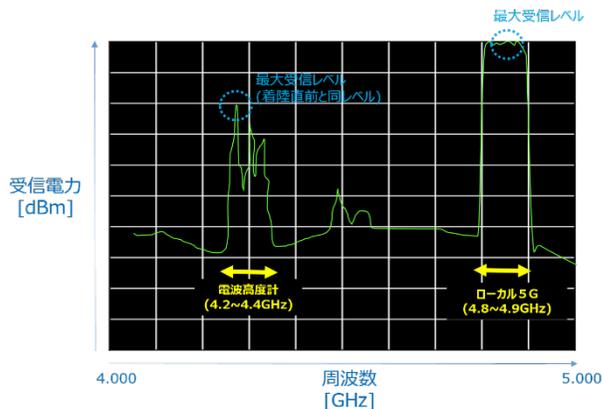
- 着陸直前(高度:約500ft)の航空機直下及びエプロンエリアにて、電波高度計の電波有無及び、電波高度計とローカル5Gそれぞれの受信レベルを測定し、エプロンエリアにおけるローカル5Gへの干渉影響を評価した。

■ 検証結果・考察

- エプロンエリアでは、エンジン稼働中の航空機について、電波高度計が着陸直前と同レベルであった。【図3-7】
- カバーエリアの閾値-84.6dBm及び、ITU-R勧告(ITU-R M.2292-0)の保護基準等を元にするると、 $C/I = 6.47$ 以上が、ローカル5Gが電波高度計からローカル5Gへの干渉影響を受けないための条件となる。【図3-8】
- 閾値-84.6dBmを取るポイントが無かったため、ローカル5Gの想定最大受信レベルが最小となるポイントについて考慮した。同ポイントでのローカル5G受信レベルと、電波高度計から4.8GHz~4.9GHz帯に染み出すノイズの受信レベルとの差分を算出すると、 C/I の条件を満たしていた。 $(C/I = 17.8 > 6.47)$ 【図3-9】
- 以上の考察より、ローカル5Gが干渉影響を受けないことが分かった。

【図3-7】エプロンエリア内の電波高度計受信レベル 【図3-8】ローカル5Gが干渉影響を受けない条件

【図3-9】実測値と想定値からのC/Iの算出



b-IV. その他のテーマ(複数基地局間でのハンドオーバー)

■ 計測指標

- 受信信号(SS-RSRP, SS-RSRQ, SS-SNR, MCS, BLER) / 伝送性能(スループット、遅延)

■ 評価・検証方法

- 車両にローカル5G端末及び測定器を設置し、走行エリアを走行しながら測定値の推移を取得した。測定は、基地局①⇒基地局②及び基地局②⇒基地局①について、それぞれ2回ずつ行った。
- 測定結果から受信信号及び伝送性能の推移を評価すると共に、自動運転遠隔監視映像の推移も確認した。

■ 検証結果・考察

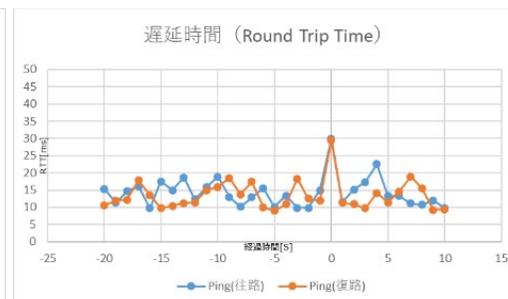
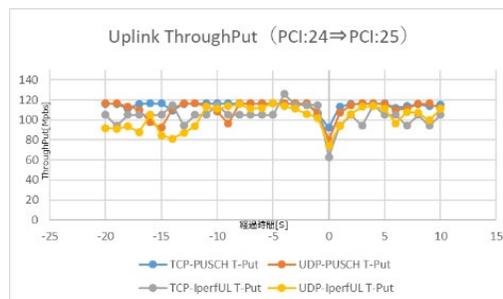
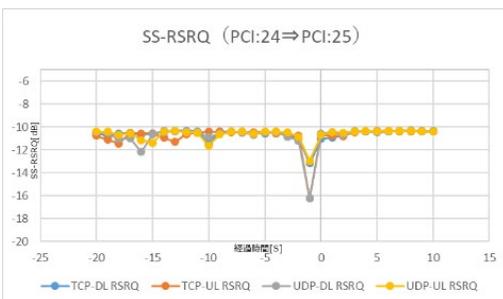
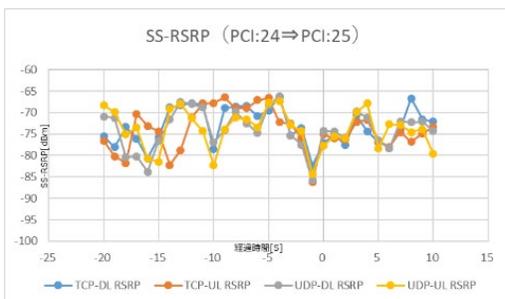
- SS-RSRPはアンテナからの距離に応じて減少または増加していた。ハンドオーバー前に受信電力が低下し、SS-RSRPが $-85 \sim -90$ [dBm]付近を下回ると、数秒後にハンドオーバーされていることが分かった。【図3-10】
- SS-RSRQはハンドオーバーのトリガとして設定されており、ハンドオーバー直前に捕捉局の電波品質が低下すると共にハンドオーバー(接続先局)を実施して品質が正常値に戻り、安定した通信品質が保たれていた。【図3-11】
- ULスループットは、ハンドオーバー時に一時的に低下したが、その後90Mbpsを上回る増加をしていた。ハンドオーバー時でも所要性能(35Mbps以上)を満たしていた。(ハンドオーバー時:60Mbps以上)【図3-12】
- 遅延時間は、ハンドオーバー時に増加しているものの、最大遅延で30ms以下、平均値で見ても13msとなり、所要性能を満たす低遅延化を実現できていた。(ハンドオーバー時:30ms以下)【図3-13】

【図3-10】RSRPの推移

【図3-11】RSRQの推移

【図3-12】ULスループットの推移

【図3-13】遅延時間の推移

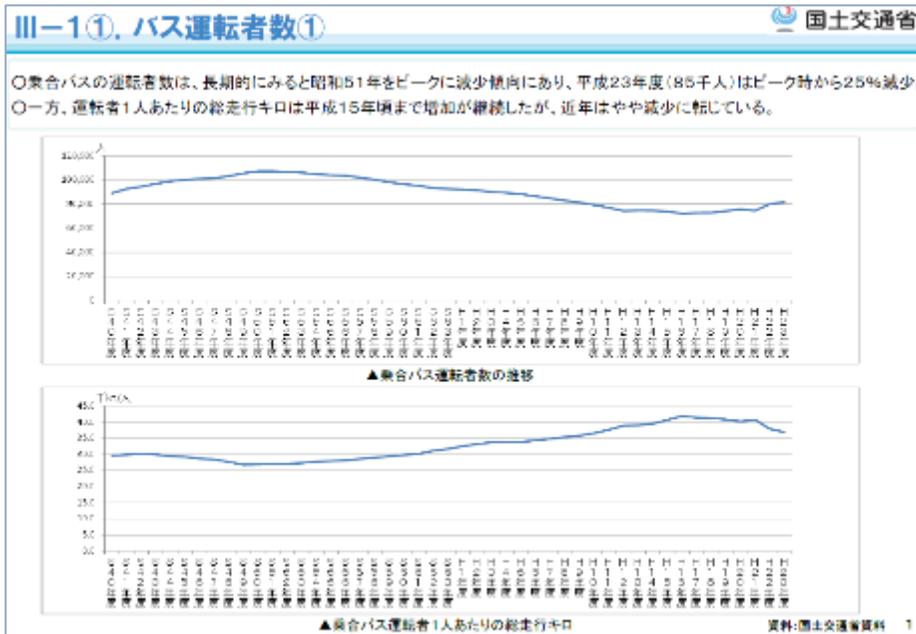


ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討 (課題実証)

空港における輸送サービスとドライバ課題

- 日本の交通インフラにおける社会的課題である労働人口減少に伴い、例えば厳しい労務環境や労務単価の上昇等の可能性あり、将来的に想定される様々な移動・物流サービスの担い手不足に対する懸念がある。
- 空港運用(グランドハンドリング)においても同様の課題を抱えており、人手不足への対応や、ドライバのヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減が求められている。

労働人口減少に伴う将来的な移動・物流サービスの担い手不足への懸念



バス運転者を巡る現状について(国土交通省平成26年4月25日)
<https://www.mlit.go.jp/common/001038072.pdf>

空港運営(特にグランドハンドリング)においても人手不足への対応が求められる。



第1回国土交通省航空局「空港制限区域内の自動走行に係る実証実験検討委員会」
 (平成30年6月22日)<https://www.mlit.go.jp/common/001240284.pdf>

実証概要・目標

実証内容	目的・実装シナリオ	実証目標・結果
<p>空港制限区域内における自動走行の実現</p>	<p>空港業務専用の自営無線を用い、乗客のスマホ利用等状況によらず、安定した通信のもと、遠隔型自動運転を運行継続する。</p>	<p>遠隔型自動運転に要する以下KPIを700m走行区間で実現。</p> <p>遠隔監視映像アップロード：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・画像サイズ：HD 1カメラ+VGA 6カメラ ・9fps
<p>ローカル5G及びキャリア通信冗長系による遠隔型自動運転</p>	<p>無線を用いる為に、万が一無線通信が途絶しても、2種の通信を用意することで、遠隔型自動運転を運行継続する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・電波強度の低下を検知し、最適な回線に自動的に切り替える ・通信途絶時に、キャリア通信へ切り替える。

実証環境：自動運転車両

Tier IV

- 2015年12月に設立。「自動運転の民主化」を掲げ、オープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」の開発を主導している。
- 株主：KDDI、損保ジャパン、アイサンテクノロジー 等
- Autowareの普及団体「Autoware Foundation」には、intelやarmといった海外企業も含め、国内外60社超が参画し、Autowareの開発を推進している。

【実証実験例】



小型バス

- ・長野県塩尻市 (21.11)
- ・GLP 相模原 (21.11～)



e-Palette

- ・オリパラ選手村 (オリパラ期間中)
- ・お台場 (22.2～)



タクシー

- ・西新宿 (22.1～2) **5G活用**
- ・長野県塩尻市 (21.11)



小型配送ロボ

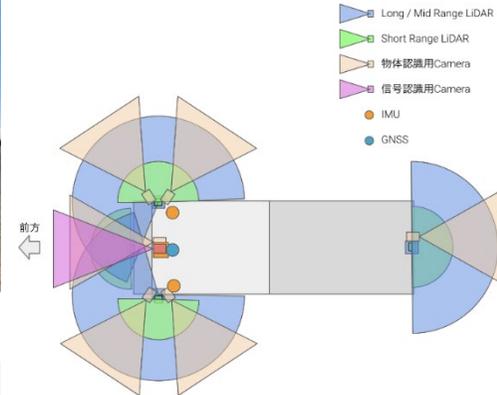
- ・錦糸町
- ・西新宿 **5G活用**

本実証における使用車両：GSM8

使用車両	タジマモーターコーポレーション社製・GSM8 (改造)
乗車定員	原則着席10名まで (オペレーター・ドライバーを除くと最大8名)
全長/全幅/全高 (m)	4.84/1.51/2.125
車両重量 (kg)	1,350
ハンドル有無	有

走行制御技術の概要

- ・車両自律型
- ・車両制御には、ティアフォーが開発を主導するオープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」を使用
- ・高精度三次元地図とLiDARを用いたスキャンマッチングにより自己位置を推定
- ・LiDAR・カメラにより障害物等の認知を行うとともに、高精度三次元地図上に引かれたレーンや停止線等に従って走行



センサ等の概要

- ・カメラ 物体検知用6基、信号認識カメラ1基、遠隔監視カメラ7基
- ・LiDAR 8基
- ・GNSS (全球測位衛星システム) 1基
- ・IMU (慣性計測装置) 1基

実証環境：自動運転車両

Autaware Drive / FMS

- Autaware Driveはティアフォーが開発する遠隔監視システムであり、遠隔から操作も機能上は可能である。Fleet Management System(FMS)は運行管理を行うためのツールであり、**車両位置・状態(エラーやバッテリー残量等)の把握、運行スケジュールの登録、発車・停止指示等**を行うことができる。
- Autaware DriveとFMSを活用して、**車両を遠隔地から監視・管理**することが可能となり、将来のレベル4相当での実装を目指す。



映像KPIの説明

各計測地点で下記項目を評価する。

- 映像遅延
- 画質 (解像度、量子化率)
- フレームレート (FPS)

要求仕様は下表のとおりです。

映像遅延	400 ms以内
画質 (解像度)	フロント画面 HD 画質, その他 VGA 以上
フレームレート (FPS)	9 FPS以上



計測地点

実証環境：実証風景

自動運転の様子



交差点での一時停止の様子



遠隔監視の様子



有効性：走行実験結果

- 第2ターミナルと第3ターミナル間700mで遠隔監視型自動運転の走行を実現した(約83km走行)。
- 遠隔監視者によるドア開閉、発車指示、緊急停止において、ローカル5Gを起因とする問題は生じなかった。

【走行ルート前提】

- 第2ターミナルと第3ターミナルを結ぶ車両通行帯の片道700mのルート。
- 地上支援業務用の特殊車両を含む他車両の走行や空港スタッフの横断、コンテナや他車両による死角、右左折、交差点、合流、路駐車等がある。
- 不特定多数の一般人や車両が走路に存在することは想定されず、空港スタッフのみが存在するため、例えば子供の飛び出し・他車両によるカットインなどの危険性はほぼ考えられないため、一般公道に比べて安全性が確保しやすい。
- また、合流等において視界を遮る建物等がほとんどないため、遠隔監視時にも前後左右が確認しやすい。

2021年度 実証実験における走行ルート



【走行実験結果】

2月14日、16日、24日、25日走行(オペレーションテスト)

- 自動走行距離: 約83km
- オーバーライド: 7回
 - ・ 道路上の停止車両の回避、カットイン等
- 砂埃等の検知による急停止等: 6回
- 遠隔監視者によるドア開閉、発車指示、緊急停止については問題なく実施



有効性: KPI充足確認結果

■映像KPI (映像遅延 400ms以内、画質(解像度) フロント画面 HD 画質、フレームレート9 FPS以上) を達成した。

地点番号	計測地点名	映像遅延 [sec]	画質 (解像度)	FPS [frame/sec]
15	T2バス停	0.369	HD	22
13	T2建物下	0.331	HD	25
12	一時停止線脇	0.346	HD	26
11	71番ゲート	0.349	HD	21
10	72番ゲート	0.338	HD	25
9	73番ゲート	0.321	HD	25
8	74番ゲート	0.310	HD	21
7	75番ゲート	0.317	HD	22
6	一時停止線(155ゲート手前)	0.237	HD	22
5	154番ゲート	0.261	HD	25
4	153番ゲート	0.278	HD	23
16	T3建物下(152番ゲート手前)	0.286	HD	22
1	T3バス停	0.336	HD	26

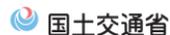
地点番号	計測地点名	映像遅延 [sec]	画質 (解像度)	FPS [frame/sec]
1	T3バス停	0.389	HD	24
17	第3ビルUターン	0.389	HD	24
2	151番ゲート(春秋航空飛行機前)	0.276	HD	23
3	152番ゲート	0.321	HD	26
4	153番ゲート	0.276	HD	21
5	154番ゲート	0.316	HD	23
6	一時停止線(155ゲート前)	0.333	HD	23
7	75番ゲート	0.275	HD	19
8	74番ゲート	0.282	HD	21
9	73番ゲート	0.349	HD	24
10	72番ゲート	0.332	HD	25
11	71番ゲート	0.343	HD	24
12	一時停止線	0.248	HD	21
13	T2建物下	0.317	HD	24
14	61交差点	0.350	HD	25
15	T2バス停	0.326	HD	24

実装性：空港制限区域内における自動走行実装・ローカル5Gインフラ

通信インフラについての議論：空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会

- 国土交通省航空局の検討委員会においては、**空港内で必要となる共通インフラ及びその整備方針を整理中。**
- 事業者等（ティアフォーを含む）を対象としたニーズのアンケート調査を実施した結果、共通インフラとしての**通信インフラは必要性が高いことが明らかとなった。**
- 今後、**本実証の結果報告等を通じて、空港内における通信等の共通インフラ化やルール策定に貢献していく。**

必要と考える共通インフラ



- 例示した共通インフラの必要性について、実証実験参加者からの回答は以下のとおり。
※設問：空港内での自動運転レベル4の実現に向けて、必要と考えるインフラに「○」を記入ください。

必要と考える共通インフラ	実証実験参加者 (自動走行開発事業者)
	必要
高精度3次元地図(3Dマップ)	4/5
磁気マーカー	2/5
通信インフラ	3/5
充電インフラ	4/5

※今回のアンケートで磁気マーカーに「○」を付けていない事業者についても、走行ルートに電波状況が悪いエリア等を含める場合には磁気マーカーが必要になる可能性がある

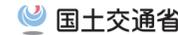
- 上記以外に必要と考える共通インフラとして、挙げられた意見は以下のとおり。
※設問：空港内での自動運転レベル4の実現に向けて、その他に必要と考えるインフラがあれば記入ください。

- ・ 空港共通のフリートマネジメントシステム(FMS)
- ・ 航空機の位置・状態検知システム
- ・ 監視カメラ・センサ
- ・ 信号機/仮想信号機
- ・ 双方向通信機(自動・手動車両ともに)
- ・ 天候情報の監視・通知システム
- ・ 事故・災害情報の監視・通知システム
- ・ 基準点
- ・ 地図(2D)
- ・ 縮退走行時に安全に停止できる場所
- ・ 自動運転車両の駐車場所

※下線は複数の事業者から提案のあった意見

第10回空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会資料
(2021.12.16)

各インフラに関する検討の進め方(案)



インフラ	検討状況(21年度時点)			今後の検討事項
	ニーズ整理	実証・検討	ガイダンス	
3Dマップ	➡			<ul style="list-style-type: none"> 20年度に羽田空港において試作および自動運転開発事業者へのヒアリングを実施。また、一部事業者においては当該データを用いて自動走行実証実験を実施。 今後、各社における検証も踏まえ仕様の共通化をはかるとともに、整備・運用方法についての検討を進める。
磁気マーカー	➡			<ul style="list-style-type: none"> 20年度に羽田空港において敷設し、一部事業者においてはこれを活用した自動走行実証実験を実施。 今後、空港内におけるGSE車両走行軌跡調査等の結果を踏まえ、性能要件や設置方法等に関する検討を進める。
通信インフラ	➡			<ul style="list-style-type: none"> 19年度のWGにおいて自動走行に向けた課題の対応策として整理。 今後、実証実験の結果等を踏まえ整備方法等の検討を進める。
充電インフラ	➡			<ul style="list-style-type: none"> 19年度のWGにおいて自動走行に向けた課題の対応策として整理。 航空局において別途検討されている内容を踏まえ、今後の対応方針を整理する。
空港共通FMS	➡			<ul style="list-style-type: none"> 21年度のWGにおいて一部事業者より必要性が提起。 今後ニーズを精査するとともに、求められる機能や必要時期(段階的な高度化も含む)を検討し、整備にあたっての考え方を整理する。
監視カメラ・センサ	➡			<ul style="list-style-type: none"> 21年度のWGにおいて一部事業者より必要性が提起。 今後ニーズを精査するとともに、設置場所・設置方法やデータの提供・共有方法等を検討し、整備にあたっての考え方を整理する。 ※空港内の各種規制にしたがって設置場所・方法を検討する必要
信号機/仮想信号機	➡			<ul style="list-style-type: none"> 21年度のWGにおいて一部事業者より必要性が提起。 今後ニーズを精査するとともに、空港内の環境に適した技術方式や設置方法等を検討し、整備にあたっての考え方を整理する。 ※空港内の各種規制にしたがって設置場所・方法を検討する必要

第11回空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会資料
(2022.3.10)

実装性: アンケート

- 課題実証「4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証」「4. 関係者の理解」の確認のため、空港関係者(成田国際空港株式会社職員及び制限区域内ターミナル間連絡バス運営委託会社)へのアンケートを実施した。
- **乗り心地等は前向きな回答を受領した一方で、顧客サービスや安全面、保守・運用等に対する懸念が挙げられた。**

■ アンケート概要

アンケート対象者	アンケート概要	アンケート期間
成田国際空港株式会社(NAA)職員 (n=29)	制限区域内での自動運転試験に同乗した職員に対して、 旅客目線及び空港運営での評価や課題の確認した。 ①旅客目線での自動運転車両への乗り心地、安心感、不安な点等の確認 ②空港運営の観点での懸念事項や課題の洗い出し	2/10~2/28
制限区域内ターミナル間連絡バス 運営委託会社 (成田空港交通社)	オンライン説明会を受けて、今後の実装に向けて以下の項目の評価や課題の抽出を実施した。 ③自動運転の印象やお客様や運行に対する懸念点 ④遠隔監視者の立場で業務を遂行する場合の課題 ⑤保安員(ドライバー)の立場で業務を遂行する場合の課題	

■ NAA職員アンケート結果まとめ

<よかった点>

- ・ 回答者の70%以上が**乗り心地がよかった**と回答
- ・ 回答者の約83%が**5Gを用いた遠隔監視があることで自動運転車両における安心感が高まる**と回答
- ・ 約60%の回答者が**お客様に乗車するのは問題ない**との回答
※ただし、軽微な課題は残る

<課題・懸念事項>

- ・ **急停車等に起因する乗り心地の改善**
- ・ **有人走行時と同等のサービスレベル**を無人走行時でも確保(問い合わせ・UD対応等)
- ・ 乗客やGSE車両ドライバー等に対する**自動運転の理解促進**
- ・ 緊急時・保守時の**駆け付け体制**や**代替輸送サービス**の確保(悪天候時含む)、遠隔監視者の要件の整理、対応者への**スキル委譲** 等

■ 成田空港交通社アンケート結果まとめ

自動運転の導入自体は全般的に有意義である旨回答を受領したうえで、推進にあたっての課題・懸念事項として主に以下の点の指摘があった。

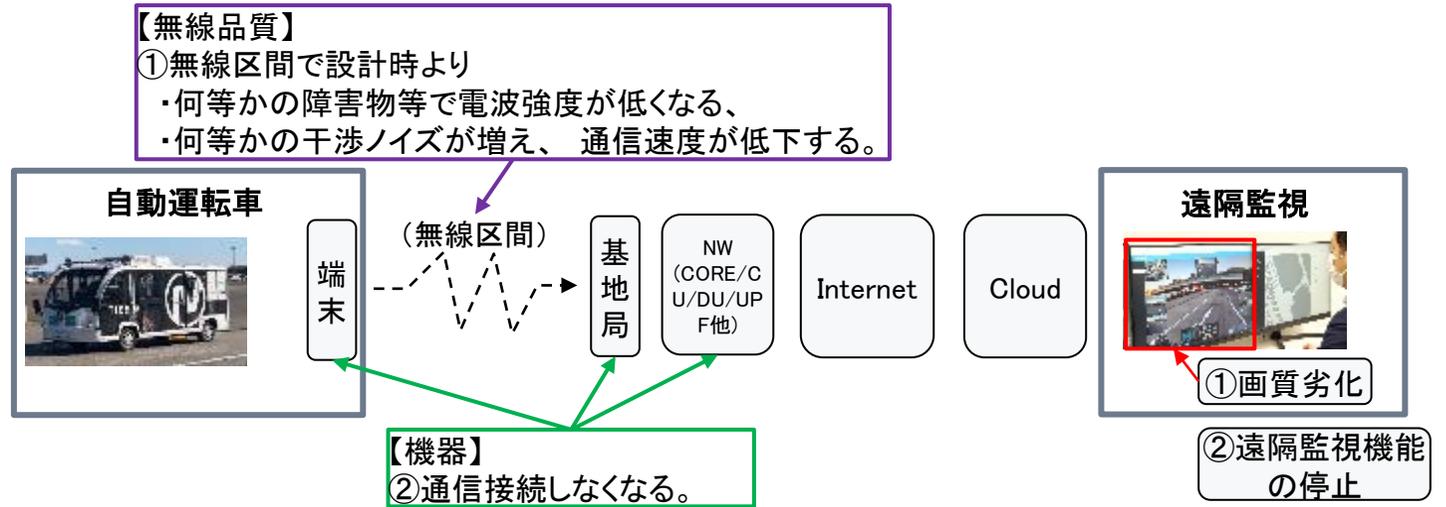
<課題・懸念事項>

- ・ **有人ならではの臨機応変な対応**
コック操作、駆け込み乗車、汚損、空調・急な天候の変化
- ・ **顧客サービス**
乗車誘導、問合せ対応
- ・ **保守・バックアップ**
部品確保(故障時)、責任分解、緊急時の電力確保、緊急時の駆け付け対応者の確保(遠隔監視者以外)
- ・ **保安員・遠隔監視者要件**
バックアップ車両の運転資格(大型2種)
- ・ **自動運転に適したインフラ整備**
通信インフラ 等

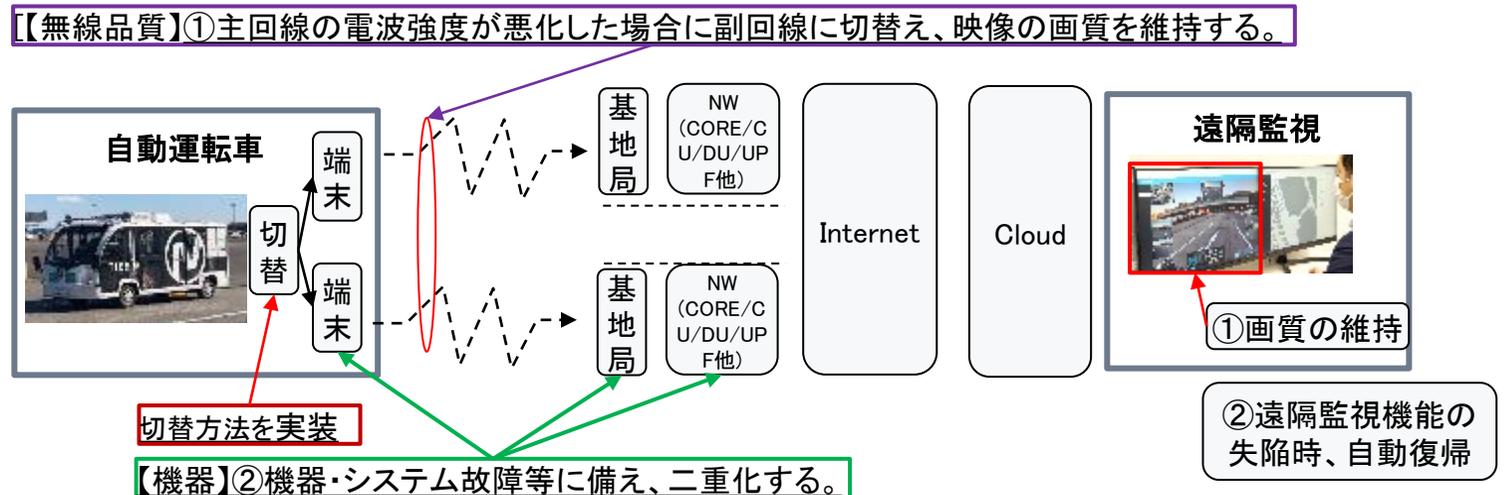
追加提案) 通信冗長系による自動走行緊急停止の抑制

- 通信失陥した場合、遠隔監視の「①画質低下・②遠隔監視機能停止」で、安全確保のため緊急停止する必要がある。
→「①無線伝搬路・②機器類」の冗長化を行い、かつ、遠隔監視を維持する為の**切替手法実装**し、緊急停止の予防を狙う。

従来遠隔型自動運転の
通信システムと、
想定される失陥現象



本実証を行う
遠隔型自動運転の
通信システム



追加提案) 無線品質劣化による映像品質低下の抑制

■ 以下KPIを達成し、映像監視切替手法の冗長系適用可能性あることがわかった。

- 1) 回線切替時間 2 sec以内
- 2) 映像遅延 400 ms以内
- 3) 画質(解像度) HD 画質
- 4) フレームレート9 FPS以上



計測地点	切替時間 [sec]	映像遅延 [sec]	画質	フレームレート [frame/sec]
			解像度	
KPI充足	OK	OK*	OK	OK
2ビルバス停出発(北行き)				
地点9 [73スポット]	0.378	0.386	HD	24
地点6 [75スポット]	0.468	0.370	HD	25
3ビルバス停到着/出発(南行き)				
地点6 [75スポット]	0.633	0.253	HD	21
地点10 [72スポット]	0.368	0.347	HD	22

追加提案) 機器等故障時の無線接続断による駆け付けの低減

5回試行し、駆け付けする時間よりも**十分早い速度で復帰することを確認した。**

- 通信切断時に、自動運転車が直ちに安全に停車すること
- 映像が大きく途切れずに配信され続けること
- 制御系通信が復帰するまでの時間が駆け付け時間より十分短いこと

制御系通信復帰時間

試行回数	通信途絶時の安全停車	映像配信の再開	復帰時間 [sec]
1回目	OK	OK	84.6
2回目	OK	OK	75.1
3回目	OK	OK	75.0
4回目	OK	OK	75.7
5回目	OK	OK	75.0

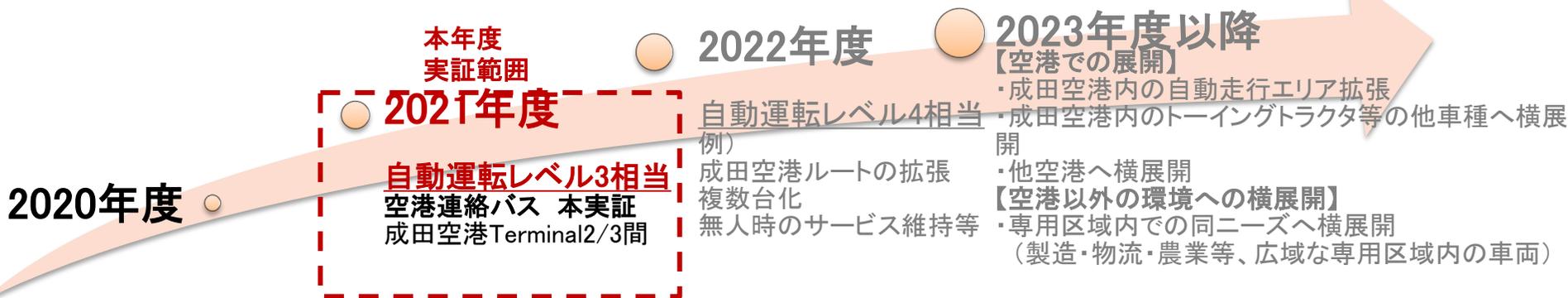
※ターミナル3バス停付近で、ローカル5Gの試験停波を行い、故障を模擬して実施。

課題・解決策(案)

課題	解決策
①安定した遠隔監視用の通信	<p>本実証を通じて、ローカル5Gの安定性やキャリア網との冗長性の検証を通じて検証できたものと考えています。</p> <p>実際に複数台を導入した際にも問題なく遠隔監視が可能となるかは今後の課題となります。</p>
②有事のシームレスなオペレーション	<p>本実証では、遠隔監視室が制限区域の実証ルートと距離があったため、有事の際の駆け付けは困難でした。</p> <p>今後は、例えば遠隔監視室と制限区域内の警備との連携等も含めて、即座に対応できる運用を検討していく必要があります。</p>
③コロナ後の航空需要をさばけるオペレーション	<p>コロナ後には航空需要が戻り、成田国際空港では非常に多くの航空便が行き交うこととなり、旅客も増えます。その際、ターミナル間の連絡バスの定時性の確保は重要となるため、遠隔監視型の自動運転バスにおいても、スムーズなオペレーションを確保することが課題となります。</p> <p>本実証においても、乗降時の遠隔からのドアの開閉・発進・緊急停止、ダイヤ走行等を実施し、概ね問題ないことを確認しました。</p> <p>将来的には、実際の旅客や旅客数への対応を検討し、利用者利便を向上させながら導入を目指したいと考えています。</p>
④アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題	<p>アンケート調査より主に以下の4点について課題抽出されており、今後の実証に向けて解決していく必要があります。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・急停車等に起因する乗り心地の改善 ・有人走行時と同等のサービスレベルを無人走行時でも確保(問い合わせ・UD 対応等) ・乗客やグランドハンドリング (GSE 車両ドライバー等) に対する自動運転の理解促進 ・緊急時・保守時の駆け付け体制や代替輸送サービスの確保(悪天候時含む)、遠隔監視者の要件の整理、対応者へのスキル委譲

普及・展開方策

- 本実証ではローカル5Gを活用し、空港内自動走行レベル4相当に必要な要素技術実証を自動走行レベル3相当実験車を用いて実施。また、空港内での自動走行に係るガイドライン、成田空港内自動走行ルール策定に資する実証成果の導出を狙います。
- 本実証結果を通じ、成田空港内での自動走行エリア拡張、空港内の他車種への展開を目指します。
- また、他空港への展開を目指すとともに、専用区域内での同ニーズ(製造現場における工場や物流倉庫等)への展開を目指します。



開発スケジュール		21年度(本実証)	22年度計画構想(現時点案)
自動走行レベル (国交省航空局基準・官民ITSRMIに準ずる)		レベル3相当(※同乗ドライバによる常時監視)	レベル4相当(※ドライバ不要 遠隔監視のみ想定、国交省航空局により今後定義される想定)
自動運転 バス車両開発		車両準備 → データ収集 → 制御実験@空港 事前テスト(ローカル5G)	遠隔監視シナリオ実験 → 制御実験@空港
要素技術開発	自動運転・遠隔監視	ローカル5G/キャリア5G・LTE冗長系による遠隔監視用映像の伝送 ・自動運転レベル3相当 Safetyドライバあり ・冗長系無線システム構築 ・遠隔監視実装、走行評価	自動運転レベル4相当 監視タスク最適化 ・自動運転レベル4相当の車両実装 ・冗長系無線システム最適化 ・遠隔監視タスク最適化、評価 等
	ローカル5G通信	空港におけるレベル4相当走行に必要なローカル5G構築手法確立 ・移動物による遮蔽(航空機・他車両など) ・電波被干渉影響 ・走行中ハンドオーバー	自動運転レベル4相当 走行評価 ○レベル4相当対応 ・移動物による遮蔽シーン ・電波被干渉シーン ・走行中ハンドオーバー ○横展開向け実証 等

まとめ

まとめ

■ 地域課題

1. 少子高齢化の急速な進行による労働人口減少があり、労働人口減少に伴い、移動・物流サービスの担い手が不足
2. ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減

【本実証のねらい】

ローカル5Gを活用した空港内Lv4相当の遠隔監視型自動運転の実現に向けて検証した。

1 ローカル5Gを使用する際の技術検証

- ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定 ⇒見通し内外ともに、100m近傍ではバラツキ、100mもしくは150m以遠では自由空間損失に近似する。
- 電波伝搬モデルの精緻化 ⇒郊外地Sに追加補正值を加えていくと、開放地Sを上回って自由空間損失になると、実測値との誤差が最小と確認した。
- 他の無線システムからの被干渉 ⇒エプロンエリアでも電波高度計を受信したが、ローカル5Gへの干渉影響が無いことを確認した。
- 複数基地局間でのハンドオーバ ⇒ハンドオーバ後に品質が正常値に戻ることに、及びハンドオーバ時でも所要性能を満たしていることを確認した。

2 ローカル5Gを使用する際の課題検証

①ローカル5Gによる遠隔型自動運転

- ターミナル2～3通路にて、HD画質・9fps・7カメラの遠隔映像監視KPI達成した。
- 420km走行し、ローカル5G起因による緊急停止は発生しなかった。

②ローカル5G・キャリア通信による通信冗長系機能

- 自営網とキャリア通信の2種通信のアプリ切替を実装した。映像品質劣化する失陥、模擬環境を再現し、走行中に0.7秒以内で映像/キャリア切替を実測で確認した。これより、遠隔監視機能停止せず、緊急停止を不要とする実験結果を得た。
- ローカル5Gが走行中に故障する失陥模擬試験を行った。正しく緊急停止した後、90秒以内に切替完了を実測、駆け付け不要とする結果を得た。

今後の遠隔型自動運転の実装に向けて

国土交通省空港制限区域における自動走行ロードマップと共通インフラ及び運用ルール見直し等の取り組みと当コンソ貢献を前提に2025年の自動運転レベル4相当導入の実現を狙う。

- 2022年度以降は運用ルール策定・見直し等の貢献に向け、拡張ユースケースによる実証・データ収集を目指す。
- 旅客乗降誘導や実運用ルート走行、複数台の遠隔監視、オペレーションの適正な設計等のユースケースでローカル5Gの通信同時成立性と冗長系機能確認等を行い、ローカル5Gの役割・制約を整理し遠隔型自動運転の実装を目指す。