

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

空港制限区域内におけるターミナル間連絡
バスの複数台遠隔型自動運転（レベル4相当）
に向けた実証

成果報告書概要版

令和5年3月

東日本電信電話株式会社

実証概要

実施体制 <small>(下線：代表機関)</small>	東日本電信電話(株)、成田国際空港(株)、KDDI(株)、(株)ティアフォー	実施地域	千葉県成田市 (成田国際空港)
実証概要	少子高齢化を背景として、移動・物流サービスにおける将来的なドライバ人材不足が予想され、国際空港では航空機の発着枠に応じた柔軟な受け入れ態勢（例：ターミナル間連絡バスのドライバ）の確保が将来困難になるという課題が存在。 ➢ 空港制限区域内にローカル5G環境を構築し、3つの旅客ターミナル間の自動運転、複数台の遠隔監視映像配信、代替ルートを想定したキャリア通信・ローカル5G切替動作等、遠隔型自動運転（レベル4*相当）に向けた実証を実施。 ➢ 自動運転技術の導入を通じ、将来の空港における地上支援業務等の効率化、省人化、車両事故低減を実現。 * 車両開発事業者、運行事業者、空港管理者等の関係者間で合意した限定領域（ODD）を前提として、運転者が介在せずに対応可能なシステム。		
主な成果	➢ 3つの旅客ターミナル間の自動運転、複数台（3台）の同時運行に向けた遠隔監視・映像配信の実証において、 映像配信（車載カメラ7台、画質HD or VGA、フレームレート9fps以上、映像遅延400msec以下）に関するKPIを達成。 ➢ 代替ルートを実行する際の通信（ローカル5G、キャリア通信間）の切替ポイントにおいて、 スムーズな映像の切替を実現。		
技術実証	➢ 空港という特殊な環境における、航空機、ボーディングブリッジ等の影響を考慮した電波伝搬モデルの精緻化を実施。 ➢ 周波数：4.8-4.9GHz帯（100MHz） 構成：SA方式 利用環境：屋外		
主な成果	➢ 空港環境において、4.8GHzの 補正值S = 34.0dB の結果が得られた。エリア特性の異なる補正值Sとして 開空間36.8dB、閉空間21.6dB、建物を介したエリア18.1dB という結果であり、エリア特性や遮蔽物面積率を考慮したS値の適用が望ましい。 ➢ 空港環境においてマルチパス波の影響を確認。類似環境下では マルチパス波による受信電力5.9dB程度の増加を見込んで設計 することが望ましい。		
今後の展開	本実証成果の実装に向けては、導入コストの低減、ソリューションの追加開発、共通インフラの整備等が必要。令和5～6年度は実運用に向けて、段階的に実証を拡充し、 令和7年度以降は空港制限区域内における実装モデルを狙い 、他空港・空港以外の大規模施設（公園、テーマパーク等）への展開も検討。		

1) 3つの旅客ターミナル間の自動運転の検証

成田国際空港 第1～第3ターミナル間にてレベル4相当の自動運転の実証を実施。見通しの悪いカーブを含む総延長約5kmで遠隔型自動走行を完了。

ローカル5Gエリア ● ローカル5G基地局



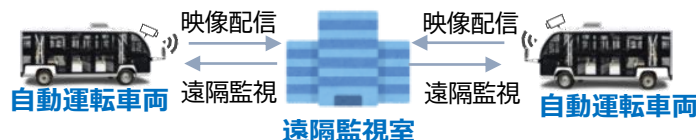
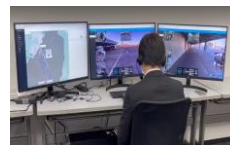
空港制限区域内通路のカーブ付近を自動走行する様子



成田国際空港

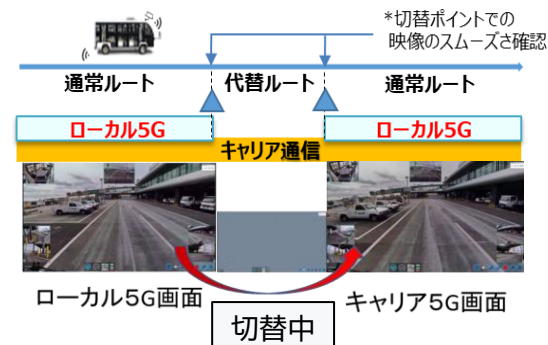
2) 複数台の同時運行に向けた遠隔監視・映像配信の検証

成田国際空港 第2～第3ターミナル間にて、複数車両の同時運行に向けた遠隔監視・映像配信実証実施。運用課題実証（駆けつけシーン）で可用性を確認。



3) 代替ルートを想定したキャリア通信・ローカル5G切替動作の検証

代替ルートを実行する際でも遠隔型自動運転を維持。400ミリ秒以下での切替動作を5G間で確認。

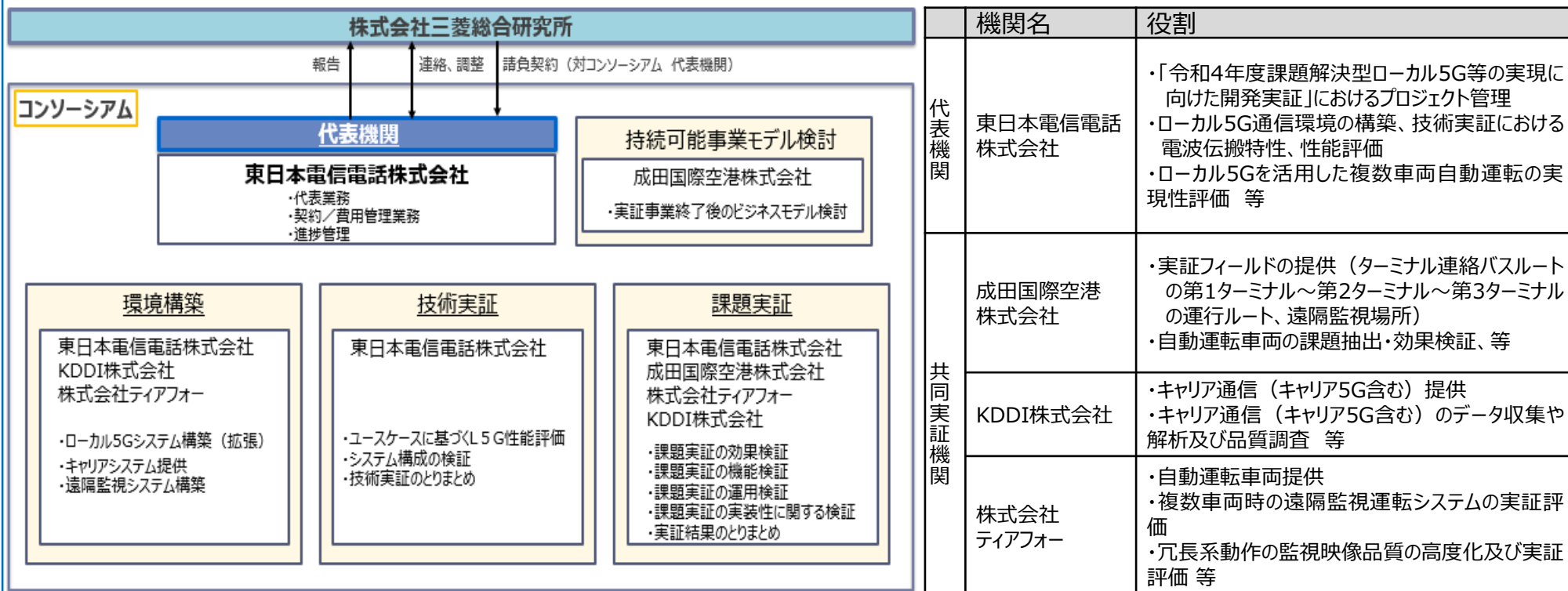


実施体制・役割

実施体制・役割

● コンソーシアム体制の全体像、役割

実証環境を確実に構築し円滑に技術検証、課題検証を遂行するために、**代表機関として東日本電信電話株式会社が務め、成田国際空港株式会社、KDDI株式会社、株式会社ティアフォーの4社でコンソーシアムを組成する。**コンソーシアム体制（全体像・役割）は以下のとおりである。

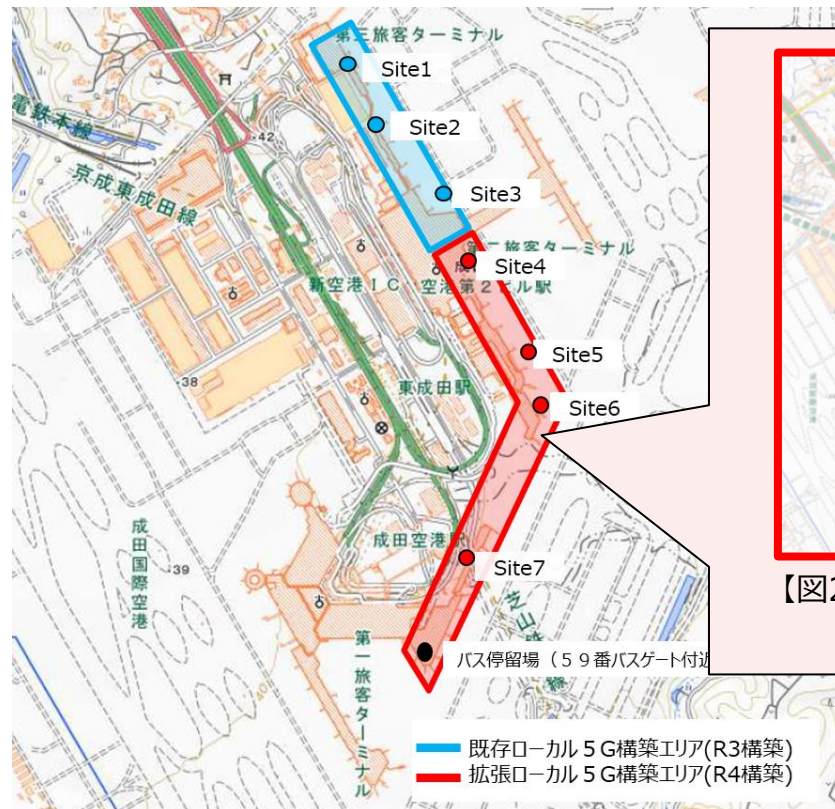


実証環境

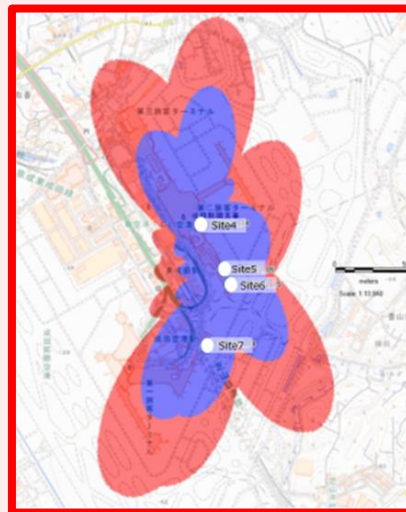
対象周波数、実証環境

- 成田国際空港（千葉県成田市）の第1ターミナルから第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・2-2】
- 4.8～4.9GHz（Sub6）の100MHz幅、準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、「複数台の自動運転車両（レベル4相当）」「遠隔監視システム」を準備した。【図2-3・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



国土地理院地図を加工して作成しています

【図2-3】自動運転車両



【図2-4】遠隔監視システム



基地局の構築

- 本実証では、成田国際空港の第1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。
- 本年度はエプロンエリアにローカル5Gの基地局を4基（既設3基と合わせ合計7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。



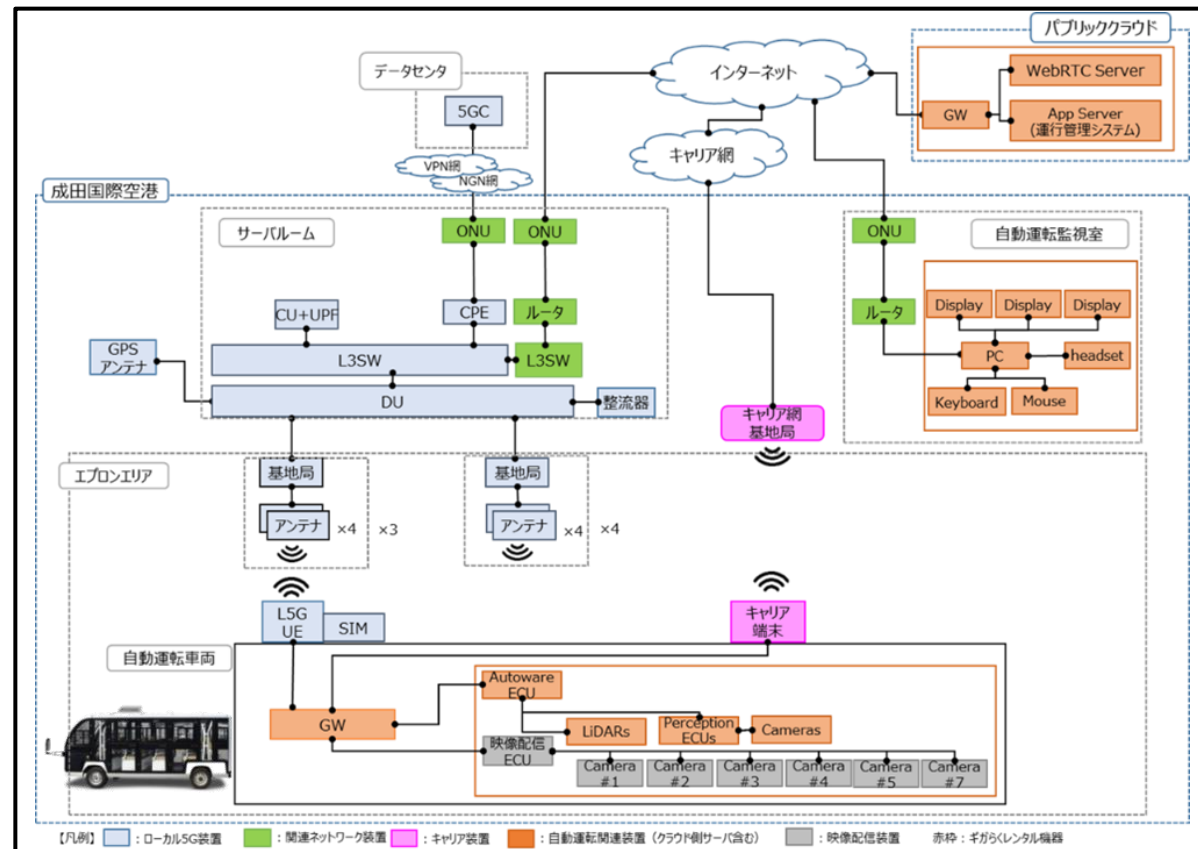
ネットワーク・システム構成

- ローカル5Gシステム内の性能は、ULスループット:35Mbps以上、遅延時間:50ms以内のKPIを達成した。
※自動運転バス1車両あたり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）
- コア装置にはマネージドサービスのローカル5Gシステムである「ギガらく5G」を利用した。
- 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。

【図2-5】ローカル5G基地局および端末



【図2-6】システム全体概念図



- 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①	移動局相当装置②
製造ベンダ	Samsung社	京セラ社	ハイテクインター社
無線基地局数	7	-	-
設置場所	屋外	車内	車内
同期／準同期	準同期(TDD1)	準同期	準同期
UL:DL比率	1:1	1:1	1:1
周波数帯	4.8-4.9GHz (帯域幅：100MHz)	4.8-4.9GHz (帯域幅：100MHz)	4.8-4.9GHz (帯域幅：100MHz)
通信方式	SA	SA	SA
空中線	4T4R	2T4R	-
占有帯域幅	100MHz	100MHz	100MHz
中心周波数	4849.98MHz	4849.98MHz	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	オムニ(標準) ※外部アンテナを選択した場合は その性能による
アンテナ利得	17dBi(X25-3545FTD)	-	-

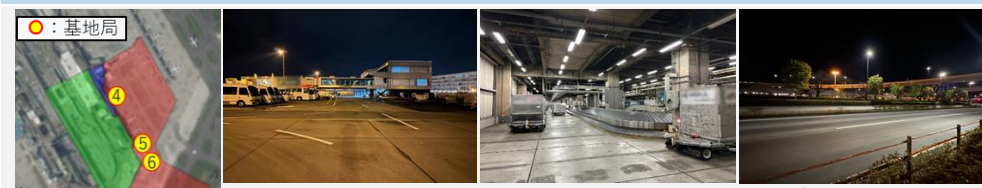
ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

技術実証テーマ I _ 電波伝搬モデルの精緻化 (1/2)

精緻化の対象：補正值S (4.6 - 4.9 GHz帯)

技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> 空港環境は駐機場所や空港ビルなど様々な遮蔽物が存在し、一概に「郊外地」「開放地」のように一括りにできない複数環境が存在する 昨年度実証では一部エリアにおいて自由空間伝搬より電波が強い事象を確認し、空港内反射物によるマルチパス影響の可能性を考察した
実証目的	<ul style="list-style-type: none"> 補正值Sの精緻化およびマルチパスの影響を検証することで、空港環境や類似環境における電波伝搬モデルの精緻化を図る
実証目標	<ul style="list-style-type: none"> 空港環境での4.8GHz帯における補正值Sの精緻化を行うとともに、空港環境をエリア特性により分類しそれぞれの補正值Sについて分析を行う 昨年度の課題となったマルチパスの影響とその発生要因について、それぞれのエリア特性に応じた評価および分析を行う

実証環境



▲開空間写真 ▲閉空間写真 ▲建物を通じたエリア写真

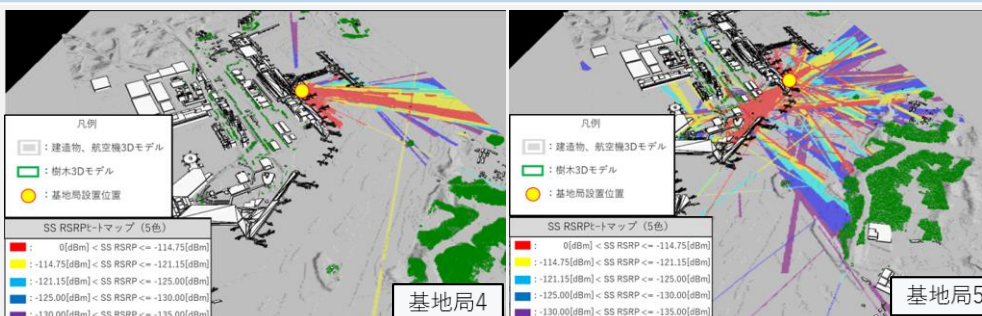
環境分類図

- 開空間 (赤)
- 閉空間 (青)
- 建物を通じたエリア (緑)

実証環境を、特性に応じて3つの異なるエリアに分類

- 開空間 (バス走行路、航空機駐機エリア)
- 閉空間 (ビル1階半屋外、遮蔽物の多いエリア)
- 建物を通じたエリア (建物を通じた公道、建物裏のエリア)

実証仮説



- RANPLAN社のRanplan Professionalを利用しレイトレースシミュレーションを実施
- シミュレーション結果から仮説S値を導出 **空港環境：S=12.2**

実証方法 (評価指標、評価・検証方法)

Sの精緻化

- 算出法エリア図、仮説エリア図上のカバーエリア端・調整対象区域端で測定を実施
- サンプル数を多く取得するため走行測定を実施しヒートマップを作成
- カバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイントで測定を実施
- 基地局からの距離に対する伝搬損失の特性カーブから精緻化S値を算出
- 精緻化後Sを用いたエリア図と実測結果を比較し、その差異について遮蔽物面積率も含め検証・考察



空港環境におけるマルチパスの検証

- 特性の異なるエリアにおいて、遮蔽物や反射物等の電波伝搬環境が異なる複数の測定点を選定
- 指向性アンテナを用いて、みなし直接波及び直接波以外のマルチパス波の受信電力を測定
- マルチパス波の影響と発生要因について分析し考察



技術実証テーマ I 電波伝搬モデルの精緻化 (2/2)

■ 測定結果

・算出法エリア図(S=32.5)とカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測された地点の差異をプロットし乖離を確認(右図)

■ 精緻化結果

・定点・走行測定結果から精緻化後のS値34.0を導出

環境	規定値S	仮説のS	精緻化後のS	実測値との平均差分	遮蔽物面積率
空港環境	32.5	12.2	34.0	13.8dB	20%

⇒エリア特性によって伝搬損失の差が大きいために、下表3つの分類にて精緻化後のS値を再度導出

エリア特性	精緻化後のS	実測値との平均差分	遮蔽物面積率
開空間	36.8	12.9dB	3%
閉空間	21.6	13.4dB	※半屋外環境のため遮蔽率が計算困難
建物を介したエリア	18.1	11.7dB	55%

⇒エリア特性の異なる環境ごとに補正值Sを精緻化したことで、各環境における適切な補正值Sを導出

■ 仮説Sとの比較

・精緻化後のSと仮説Sの差分を確認(精緻化後S-仮説S)

空港環境：-21.8dB

⇒精緻化後のSと仮説Sの差分について乖離が大きい結果となったため右図のとおり再レイトレースシミュレーションを実施



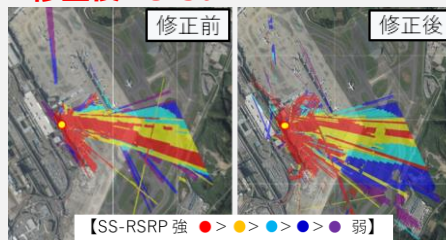
▲基地局4閾値の実測ポイントと基地局からの距離※

■ レイトレースシミュレーションの有用性評価

・実測値とレイトレースシミュレーション平均差分修正前：15.3dB

・環境パラメータ(コンクリート、アルミニウムなどの遮蔽損失)を修正し再シミュレーション

修正後：9.5dB



▲基地局4レイトレースシミュレーション修正前後※

■ 空港環境におけるマルチパスの検証結果

・空港環境における、様々な材質の反射物によるマルチパス波の受信電力を確認

⇒みなし直接波と比較して**平均5.9dB(最大11.5dB)**

強いマルチパス波の影響を確認

・自由空間伝搬より電波が強くなる要因はマルチパス波が影響していると考察

⇒自由空間伝搬を上回る実測値との平均差分は6.5dBであり、上記平均5.9dBと近似することを確認

■ マルチパス方向の反射物

・マルチパスの発生方向にはコンクリート製の建物、陸橋、鉄製の航空機やボーディングブリッジ等が存在しており、それらがマルチパスの発生要因であると分析

・**マルチパス波の強度に関しては、反射物の面積が広いほど強い**という結果が得られた。空港環境ではターミナルビル等の広い面積の反射物が多く存在するため、強いマルチパス影響が生じていると考察



▲マルチパス波方向の反射物 航空機 (反射面積狭い)

▲マルチパス波方向の反射物 ターミナルビル (反射面積広い)

■ 得られた知見

・**空港環境：S=34.0**、エリア特性の異なるSとして**開空間：S=36.8**、**閉空間：S=21.6**、**建物を介したエリア：S=18.1**を導出

・空港環境においては、上記の異なる3つのエリア特性を参照あるいは遮蔽物面積率を考慮しS値を選択することが望ましい

・環境パラメータを調整することでレイトレースシミュレーションと実測値の平均差分は9.5dBまで改善、類似環境では遮蔽物を再現しモデリングすることが重要

・空港環境において実際の電波伝搬はマルチパスの影響が想定されるため、類似の環境下では**受信電力5.9dB程度の増加を見込んで設計**することが望ましい
特に**反射物の面積が広いほどマルチパス波が強い**傾向にあるため、ターミナルビル等の大きな反射物の近傍等ではより強いマルチパス影響について考慮が必要

■ さらなる課題の提案

・レイトレースシミュレーションの有用性を評価できた一方で普及にはコスト・取り扱い技術面の課題がある。専門組織によるシミュレーション代行やツール提供、それに準じた干渉影響の判断手法の明示化等、普及に向けた支援体制の充足が望まれる

・遮蔽物面積率とS値の相関性を示すため、様々な実証環境で遮蔽物の種類、面積率を割り出し実測結果と比較することで補正值の精度向上を図る必要がある

・空港ターミナル等の屋内での利用も想定されるため、建物侵入損Rの精緻化を行うことで空港環境における網羅的な電波伝搬特性を明らかにする

ローカル5G活用モデルに関する検討（課題実証）

実証概要

実証の目的・狙い

- 実証目標：連絡バスの自動走行レベル4相当の走行の実現に向けて、実際の運用を想定した運行経路で、複数台運行した際の課題を洗い出し、要素技術であるローカル5Gの空港内実装と遠隔監視の有効性を検証する。
- ソリューションの導入効果：本ソリューションを活用することで、人材不足が懸念されているバス業界及びグランドハンドリング業界の人手不足解消に寄与する。
- ローカル5Gの必然性・必要性
以下課題を解決するため、フィールド所有者が専用で業務利用可能なローカル5Gが必要と考える。
 - ①複数台の遠隔型自動運転車両が同一基地局内に存在した場合にネットワーク帯域が不足し、一部の映像配信が困難である。
 - ②人が多くいるエリアではユーザのネットワークの利用状況によりネットワーク帯域が不足し、遠隔型自動運転車両の映像配信が困難である。
- 実装・横展開の可能性
 - 国土交通省航空局が策定した「グランドハンドリングアクションプラン（令和2年1月）」に基づき、空港共通課題として、ランプバスは2025年実装を狙う。成田国際空港を含め複数ターミナルを有する7空港や乗降客数が多い3空港は建物形状や走行環境が似ており、直接本技術を適用可能な空港と想定している。
 - 提案内容の新規性・妥当性
複数台自動運転及び見通し悪いカーブ、ローカル5Gエリア内外を跨いだ切り替えを冗長系と同時実装し、ローカル5G適用課題を解決する。

実証概要

実証環境、実証内容

● ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証

- 1.自動運転車（レベル4相当）を規定ルート走行（第1～3ターミナル間約5km）
- 2.3台の遠隔型自動運転車両が走行した場合にも遠隔監視機能が動作すること
- 3.常用のローカル5Gエリアを超え、代替・延長ルート等でキャリア通信のみエリアを運行する際も、境界付近で地図等により予め映像品質調整し切り替えることで、遠隔監視の映像等が途切れたりカクツキなく、継続動作。既存バスルートを活用。（第1～3ターミナル間で、キャリア通信により約2km運行ルート延長を行う。）

※主な遠隔監視映像KPI(1台あたり、5G前提)

6カメラ/VGA画質/9fps + 1カメラ/HD画質/9fps

● ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証

- 1.経済性・市場性) 車両導入台数、他用途活用、保守運用、費用シミュレーション
- 2.運用・ビジネスモデル) 操作性、保守体制、稼働時間等を実証通じ精緻化
- 3.実装性を高める検討) 国土省航空局主催検討会*活動への実証結果通じた訴求

● ローカル5G活用モデルの課題の抽出および解決策の検討

空港制限区域内における通信インフラ及び運用ルールを国土省航空局主催検討会への活動参加を通じ策定へ提言することより実装課題解決を促進する。特にドライバレス走行を想定した際の乗客対応について、現行ドライバ有のサービスレベル維持するための実証を通じた課題抽出と解決策検討を着手する。

ローカル5G・キャリア通信冗長系によるターミナル連絡間バス遠隔型自動運転（レベル4相当）



ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証

ソリューション名	評価・検証項目		目標	検証結果	目標達成状況	考察及び対応策
ターミナル間連絡バスの複数台遠隔型自動運転	機能	5Gエリアでの ・カメラ数 ・画質 ・フレームレート ・映像遅延を、 3種走行パターン試験（前頁参照、拡張・3台同時・代替パターン）で実施	5G用目標値を満たす ・7カメラ ・1カメラ分HD、6カメラ分VGA ・9fps以上 ・400ミリ秒以下 代替ルート： 現状計測を行い、可否を確認	2種パターンは以下結果。 ・7カメラ ・1カメラ分HD、6カメラ分VGA達成 ・10fps達成 ・350ミリ秒以下 1種パターン（代替）はLTE領域のため、5G目標値未達。実験時キャリア通信・ローカル5Gとも映像伝送不安定を観測	達成	<ul style="list-style-type: none"> ・環境：①拡張：第1～第3ターミナル間所定ルート1台(5G化)と、②3台同時：第2～第3ターミナル間3台、③代替：第1～第3ターミナル間1台。 ・カーブ走行および複数台(追従/すれ違い走行)でKPI達成を確認。①ルートは試乗会等活用。 ・③の代替ルートについて：工事やイベント等短期で代替ルート走行を想定。一部区間でキャリア通信回線およびローカル5G回線でKPI未達となるエリアが存在。実運用時は遠隔監視者が緊急停止させるケースあり。代替ルート運用時は監視者の同乗もしくは、エリア設計・構築の短期化が要することが分かった。
	運用	<ol style="list-style-type: none"> 1. 様々な環境下における自動運転車両走行テスト 2. 遠隔監視・制御テスト 3. 想定される他用途でのローカル5Gを通じた通信テスト 4. 実際の運用を想定した運行ダイヤ走行 5. ODD外における代替手段の検討や想定されるトラブルを模擬した運用テスト 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 3種走行ルートで自動走行 2. 3台同時監視の試験実施 3. ユースケース例の設定と通信量の見積 4. 2台自動走行にて、ダイヤ運行通りの運行可能か。 5. 異常停止を模して、遠隔監視者の異常検知と駆けつけ試験の実施 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完了 2. 完了、映像途絶無し 3. 2ユースケース想定し、約20Mbps超 4. 完了。3分以内遅延に収まり影響は軽微。 5. 完了。第1ターミナルと第2ターミナルの2種で駆けつけ試験実施完了。 	達成	<p>想定したシーンの試験実施完了し、ターミナル間連絡バスの商用運行において、以下課題を抽出。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・常時監視を前提とすると、台数が増えるごとに予備監視員を含めた遠隔監視の体制や通信環境等を厚くするため、常時監視を不要とする必要あり。その前提として、何かしらのトラブルが発生した場合には、システムからアラートが確実にあがるように担保する必要あり。 ・第1～第3ターミナル間連絡バスとして走行する場合、トラブル発生地点によっては遠隔監視室からの距離が遠く、駆けつけに時間を要する可能性がある。今回は第2～第3ターミナル間への駆付で3分以上を要し、第1ターミナルまではプラス15分以上かかる見込み。 ・駆付要員から車両の状況（負傷者がいるか等）が不明だったため、遠隔監視室との連携が必要。また、現場では一定の言語・運転といったスキルは必要。
	効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遠隔監視・操作について実装を見据えた運用 2. 乗客の立場で安心して乗車可能 	試乗を通じたヒアリング調査実施	実施完了（8団体） ・中央省庁：3 ・エアライン：2 ・バス運行事業者：2 ・メディア：1	達成	<p>主な評価：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 自動走行して安心して乗車していただける。 2. 監視映像がきれいで、異常対応を含め対応できそう。 <p>主な課題：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 雨天での試乗）強雨の影響で自動走行が継続できなかった（遠隔映像は継続）。このようなODD外になった時の対応必要。 2. ドライバが運転操作以外の車掌業務をしており代替が必要。

ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証

- ・第3ターミナルから第1ターミナル所定区間（ローカル5Gとキャリア5G）で映像伝送KPIをすべて達成。
- ・途中でローカル5Gとキャリア5Gの切り替えポイントを設け、切り替えロジックを適用。
- ・キャリア通信&ローカル5Gともに、5G化された区間では遅延時間の目標達成(400msec以下)。

2022年度実証ルート



第3～第1ターミナル間往復5km

航空写真は国土地理院地図を加工して作成しています

spot	映像配信設定	映像表示 できること	通信切断され ないこと	映像遅延 [msec]	画質(フロントHD, その 他VGA以上)	フレームレ ート([fps])	判定
59spot/バス停(第1ターミナル南側)	キャリアLTE設定	○	○	-	○	-	判定外
54spot	キャリアLTE設定	○	○	-	○	-	判定外
55spot	キャリアLTE設定	○	○	-	○	-	判定外
56spot	キャリアLTE設定	○	○	-	○	-	判定外
57Aspot	キャリアLTE設定	○	○	-	○	-	判定外
57Bspot	キャリア5G設定	○	○	①221	○	16○	LTE→キャリア5G
58Aspot	キャリア5G設定	○	○	217	○	14○	
58Bspot	キャリア5G設定	○	○	213	○	16○	
412spot	ローカル5G設定	○	○	②204	○	18○	キャリア5G→ローカル5G
411spot	ローカル5G設定	○	○	215	○	15○	
68spot	ローカル5G設定	○	○	213	○	15○	
67spot	ローカル5G設定	○	○	216	○	16○	
66spot	ローカル5G設定	○	○	206	○	15○	
65spot	ローカル5G設定	○	○	192	○	14○	
64spot	ローカル5G設定	○	○	242	○	15○	
63spot	ローカル5G設定	○	○	264	○	15○	
62spot	ローカル5G設定	○	○	224	○	14○	
61spot	ローカル5G設定	○	○	188	○	16○	
61spot横交差点	ローカル5G設定	○	○	208	○	2NG*	
70spot/バス停(第2ターミナル/バス停)	ローカル5G設定	○	○	209	○	18○	
71spot横交差点	ローカル5G設定	○	○	207	○	16○	
71spot	ローカル5G設定	○	○	221	○	16○	
72spot	ローカル5G設定	○	○	217	○	16○	
73spot	ローカル5G設定	○	○	261	○	14○	
74spot	ローカル5G設定	○	○	215	○	15○	
75spot	ローカル5G設定	○	○	213	○	16○	
155spot	ローカル5G設定	○	○	213	○	10○	
154spot	ローカル5G設定	○	○	217	○	18○	
153spot	ローカル5G設定	○	○	217	○	18○	
152spot	ローカル5G設定	○	○	213	○	15○	
第3ターミナルバス停	ローカル5G設定	○	○	213	○	15○	

※NG*理由：本事象は直後にすぐに復旧し、かつ再現性し難かった。遠隔型自動運転を行った場合に緊急停止に至る可能性は低いと想定。
 車載機またはクラウド側遠隔監視試験システムのコンピュータリソースが一時的に不足した等によるもので、来期以降商用運行までで長期安定性向上を予定。

実装性に関する検証

成果

経済性・市場性の検証

実装を見据えた際の、自動運転車両の導入必要台数検討として、複数台の自動運転導入の3台同時走行で遠隔映像監視がローカル5Gで適用可能性あることを確認。手動運転と自動運転2種を織り交ぜ、運用検討する。

運用スキーム・ビジネスモデルの検討 (’23/3時点想定)

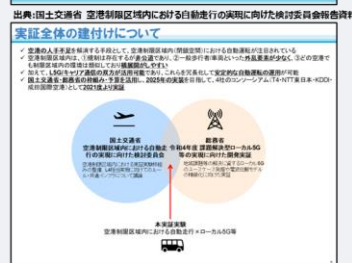
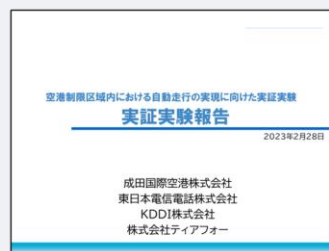
ターミナル間連絡バスの運営を含む空港運営：成田国際空港株式会社
ローカル5Gサービス提供：東日本電信電話株式会社
キャリア通信サービス提供：KDDI株式会社
自動運転車両・サービス提供：株式会社ティアフォー

ローカル5G活用モデルの構築 (’23/3時点想定)

本コンソーシアムを継続し、制限区域内におけるターミナル間連絡バスを運用予定の成田国際空港株式会社に対し、ローカル5Gサービス提供を東日本電信電話株式会社が行う。また、冗長系構成を含む遠隔型自動運転バスの関連サービスを株式会社ティアフォーと、キャリア通信サービスをKDDI株式会社が提供する。

実装性を高める手法の検討及び実行

成田国際空港における実証結果のインプットを通じ、運用ルールおよび共通インフラガイドラインの検討へ貢献



出典：国土交通省 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報告資料



出典：国土交通省 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報告資料

【a.運用ルール】
本実証結果報告を実施

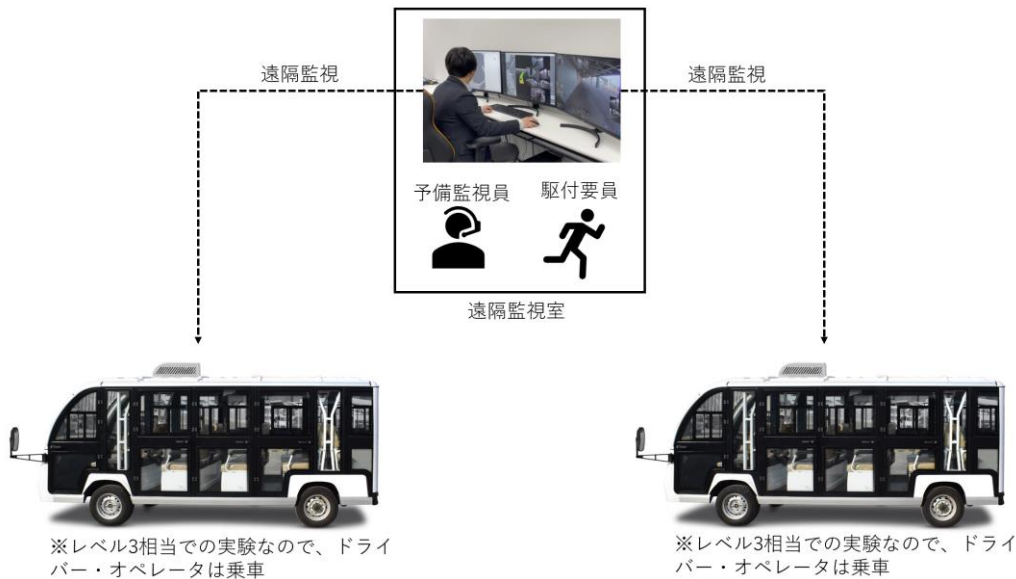
【b.共通インフラ
ガイドライン】
遠隔監視～車両間の
通信方式（冗長系）
の実証例報告

ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証 運用検証：5G遠隔監視映像を活用した異常対応 ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証

- ・複数台の遠隔監視映像利用シーンのうち、自動運転車両の故障等のトラブルを模擬し、試験を実施。

(シナリオ)

- ✓ 遠隔監視室：T2内
- ✓ トラブル発生地点：T3（遠隔監視室からの距離400m程度）
- ✓ 通常時は、1人の遠隔監視視者が自動運転車両2台を監視（今回は常時監視）
- ✓ 遠隔監視室には、主たる遠隔監視者のほか、予備監視員と駆付要員を配置
- ✓ 予備監視員・駆付要員は、通常時は別の日常業務を実施
- ✓ いずれかの車両がODD外となる等の場合には、**遠隔監視視者が当該車両のトラブル等に対応するが、その際、もう1台の監視が疎かになるため、予備監視員が監視を引き継ぎ**
- ✓ さらに、**駆付要員が現場に急行し、車両を手動で次のゲートまで運転**

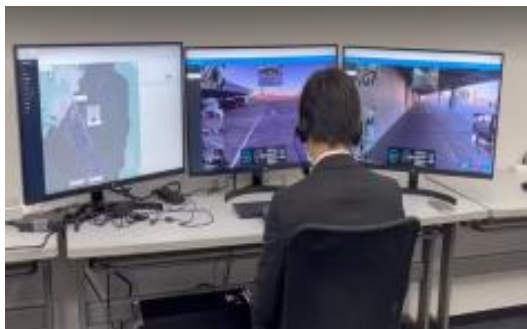


運用検証：5G遠隔監視映像を活用した異常対応

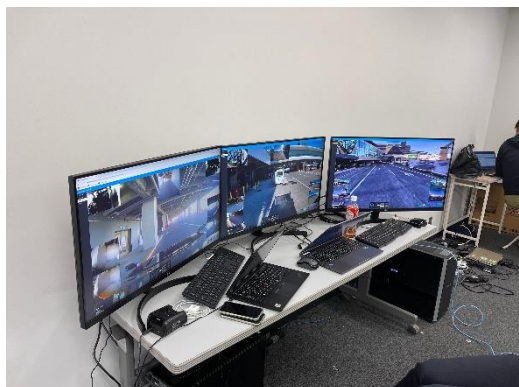
ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証

成果：

- 本シーンでは、予備監視員1名と駆けつけ要員1名を設けることで、システム異常を駆けつけ要員により復旧可能。
- 通常ドライバが行う乗客対応も、駆けつけまでの間で車室内カメラと音声通話を用いることで、お知らせできた。



(左から見た場合)



(3台*同時に表示した場合)



駆けつけ時の予備監視員・監視員による試験の様子

ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証

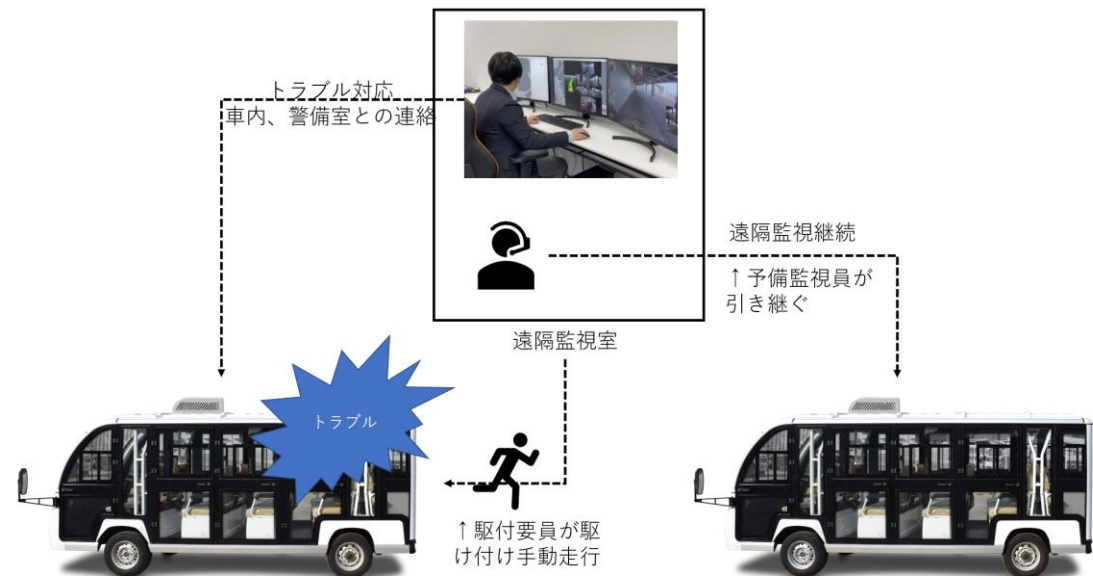
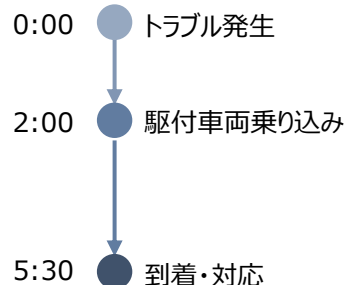
本実証で得られたこと・課題

- ▶ 常時監視を前提とすると、台数が増えるごとに予備監視員を含めた遠隔監視の体制を厚くする必要があるため、常時監視を不要とする必要あり。その前提として、何かしらのトラブルが発生した場合には、システムからアラートが確実にあがるように担保する必要あり。
- ▶ 第1～第3ターミナル間連絡バスとして走行する場合、トラブル発生地点によっては遠隔監視室からの距離が遠く、駆けつけに時間を要する可能性がある。今回は第2～第3ターミナル間への駆付で3分以上を要し、第1ターミナルまではプラス15分以上かかる見込み。
- ▶ 駆付要員から車両の状況（負傷者がいるか等）が不明だったため、遠隔監視室との連携が必要。また、現場では一定の言語・運転といったスキルは必要。

	トラブル発生	到着	所要
1回目	15:37	15:43	05:30
2回目	16:09	16:13	03:30

(2回目は駆付用車両をより遠隔監視室に近い場所に配置)

所要時間のイメージ



効果検証：試乗デモの実施

- 今年度は、以下の属性の方々に試乗頂いた。

- 中央官庁（3省＋2関係機関）
- エアライン（2社）
- バス運行事業者（2社）
- メディア（1社）

- 試乗後ヒアリング調査結果、主なコメント

【ご感想】

- ◆ 乗り心地はよく、自動で十分走れており、実装に期待が持てる。
- ◆ オープンスポットでの活用も将来的には期待したい。
- ◆ 映像品質がよく、自動運転での場面管理等にも活用できるのではないか。

【今後の実装課題・論点】

- ◆ **通信**→ローカル5Gがないとダメなのか？

⇒ローカル5Gがあることによって、自動運転等の特定目的の専用周波数が免許され、通信の冗長化が可能となるなど、安定して高品質な通信を提供することにつながる。

- ◆ **故障対応**→仮に車両が故障した場合にはすぐに代替車両を用意することが困難であることから、常に予備の手動車両とドライバーを準備しておく必要があるのではないか。

- ◆ **乗客サービス**→現状、運転のみならず人が対応しているところが多い。ドライバレスになった場合のオペレーションでは、そこを何らかの方法でカバーする必要があり、容易でない。

- ◆ **異常時駆けつけ**→駆付までに時間がかかる場合、車両の外に出してしまう乗客も出てくる。こうした事態に対して、遠隔からの呼びかけだけで十分かは要検討。いずれにせよ、様々な国籍の旅客がいる空港においては、遠隔監視者等に一定の語学力も必要になるのではないか。

- ◆ **耐天候**→雨の影響で十分に自動運転を体験できず残念だった。

ローカル5G活用モデルの実装・普及展開

国土交通省航空局「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」へのコンソ参加

成田国際空港における実証結果のインプットを通じ、運用ルールおよび共通インフラガイドラインの検討へ貢献

**空港制限区域内における自動走行の実現に向けた実証実験
実証実験報告**

2023年2月28日

成田国際空港株式会社
東日本電信電話株式会社
KDDI株式会社
株式会社ティアフォー

出典：国土交通省 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報告資料

実証全体の建付けについて

- ✓ 空港の人手不足を解消する手段として、空港制限区域内(閉鎖空間)における自動運転が注目されている
- ✓ 空港制限区域内は、①規制は存在するが非公道であり、②一般歩行者/車両といった外乱要素が少なく、③どの空港でも制限区域内の環境は類似しており機展図がしやすい
- ✓ 加えて、L5G/キャリア通信の双方が活用可能であり、これを冗長化して安定的な自動運転の運用が可能
- ✓ 国土交通省・総務省の枠組み・予算を活用し、2023年の実装を目指して、4社のコンソーシアム(T4・NTT東日本・KDDI・成田国際空港)として2021年度より実証

本実証実験
空港制限区域内における自動走行×ローカル5G等

出典：国土交通省 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報告資料

遠隔監視/駆けつけの様子

(左から見た場合)

(3台*同時に表示した場合)

2台試験(走行中映像+FMS画面)での監視/駆けつけ実験様子(ローカル5G通信利用)
※ずれ違い走行

(*自動運転バス2台+手動運転車両1台)

出典：国土交通省 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報告資料

通信試験データ

- ・第3ターミナルから第1ターミナル所定区間(ローカル5Gとキャリア5G)で映像伝送KPIはすべて達成
- ・途中でローカル5Gとキャリア5Gの切り替えポイントを設け、切り替えロジック適用。
- ・キャリア通信&ローカル5Gともに、5G化された区間では遅延時間の目標達成400msec以下。

2022年度実証ルート(「拡張ルート」)

Spot	映像伝送方式	映像伝送方式	映像伝送方式	映像伝送方式	映像伝送方式	映像伝送方式	映像伝送方式	映像伝送方式	映像伝送方式	映像伝送方式
	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot1 (0.5km区間)	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot2	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot3	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot4	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot5	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot6	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot7	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot8	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot9	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot10	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot11	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot12	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot13	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot14	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot15	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot16	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot17	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot18	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot19	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G
Spot20	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G	ローカル5G

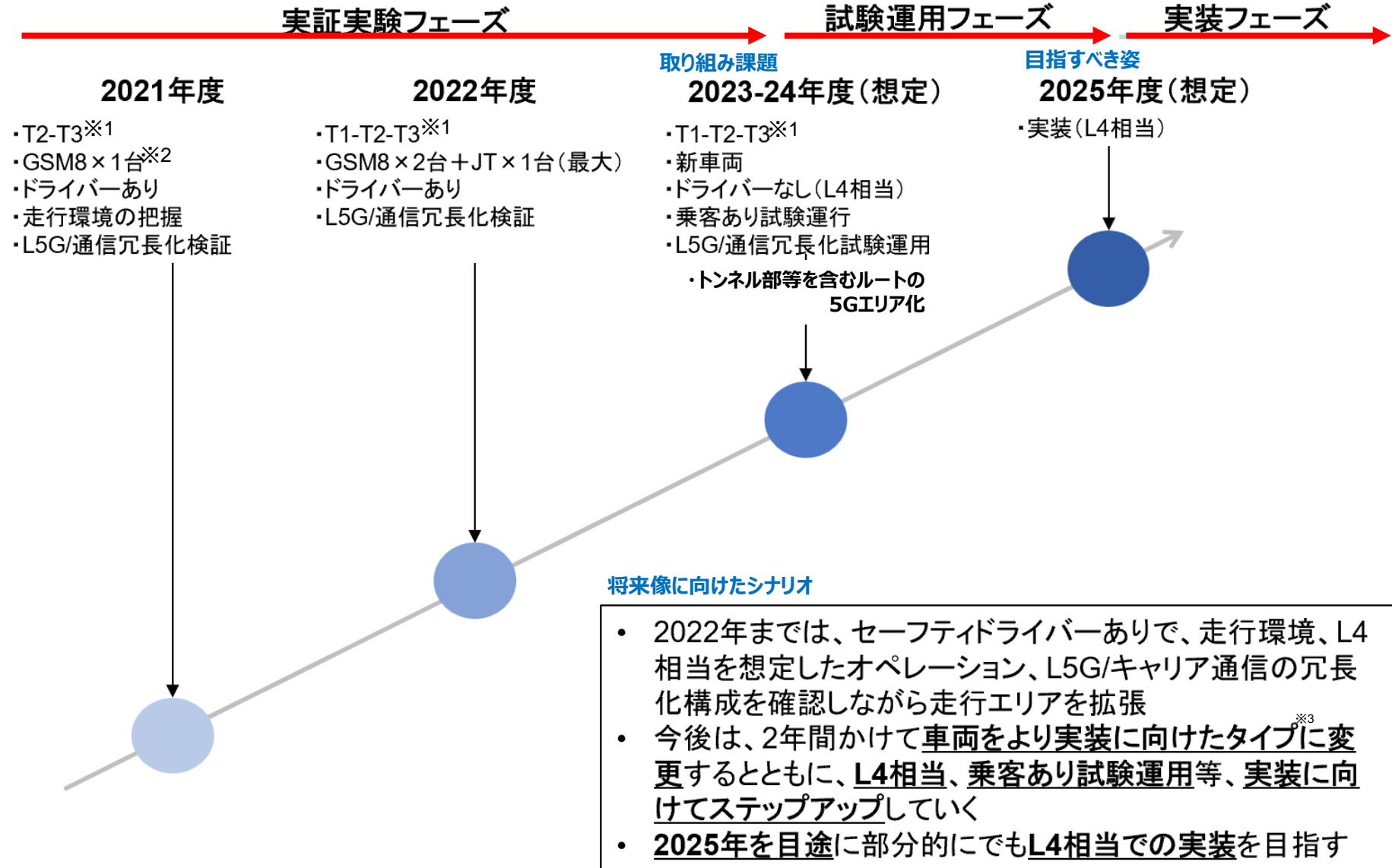
※KPI項目：本実証実験に際しては、かつ両側同時接続かつ、遠隔監視/駆けつけ時の場合、映像伝送方式による遅延時間は低いと想定。
※数値は1秒未満は切り捨て、1秒未満は1秒として表示。また、数値は1秒未満は切り捨て、1秒未満は1秒として表示。

出典：国土交通省 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報告資料

【a.運用ルール】
本実証結果報告を実施

【b.共通インフラ
ガイドライン】
遠隔監視～車両間の
通信方式(冗長系)の実証例報告

実装・普及展開シナリオ、実装計画（案）



※1 T1,T2,T3:第1、第2、第3旅客ターミナル

※2 GSM8.JT：本実験で用いた試験車両

※3 乗客定員の増加等想定

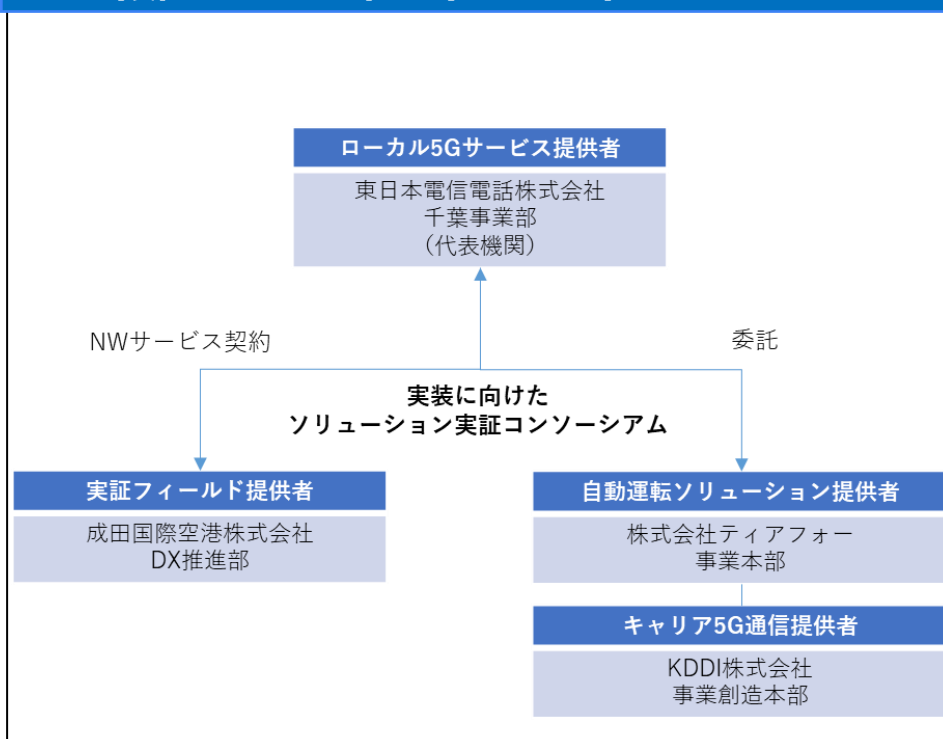
※4 L4: 自動運転レベル4

実装計画の実施にあたっての実施体制（案）

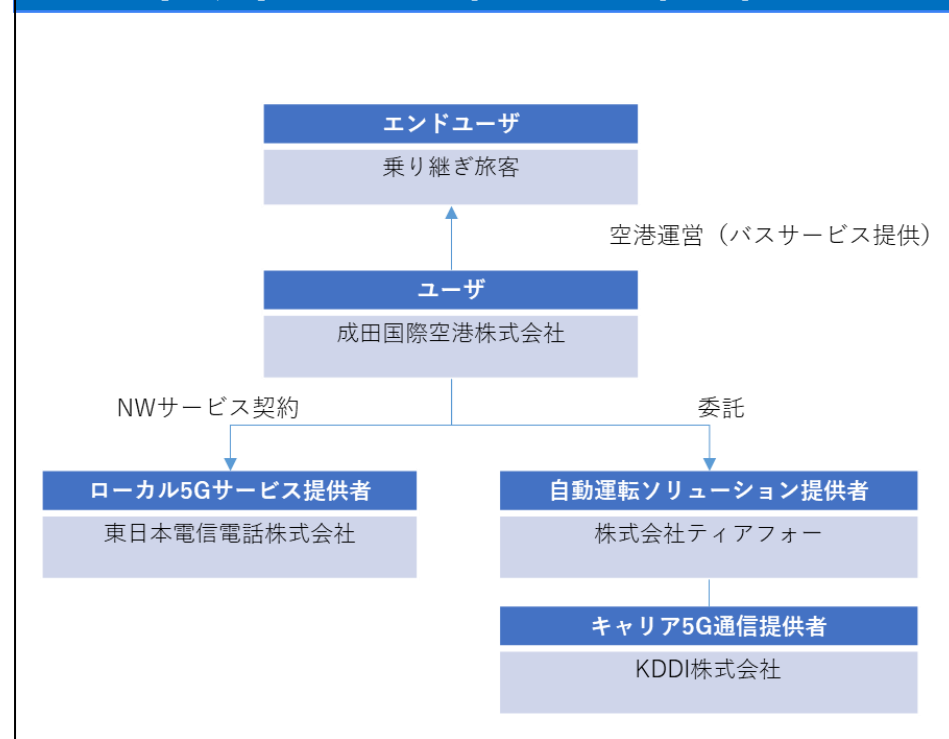
次年度以降の体制（案）

実証段階、実装（商用）段階にて体制の変化を想定しています。令和6年度（2024年）までは、4社コンソーシアムによる体制を継続し、実装に向けた検証・検討を継続実施。令和7年度（2025年）での実装（商用移行）においては、コンソーシアム形態からサービス・ソリューション提供者ごとにサービス・ソリューションを提供し、ユーザである成田国際空港（株）により実装・利用開始を想定。

実証段階想定 令和5年度～6年度



実装（商用）時の想定体制 令和7年度～



ローカル5G活用モデルの実装・普及展開

収支計画案

実装に向けたは以下を想定しています。

- ・令和6年度（2024年度）までを開発期間
- ・令和7年度（2025年度）以降を商用運行

		令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)
実装計画	ターミナル間連絡バス	課題対応	コンソ内実装	商用移行 順次自社内への横展開		
	ローカル5Gシステム		コンソ内実装	実装		
収支計画 (千円)	(1)ユーザから得る対価	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
	(2)補助金・交付金	0	0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
	(4)ネットワーク設置費	0	0	0	0	0
	ローカル5G提供者	0	0	0	0	0
	ソリューション提供者	0	0	0	0	0
	(5)ネットワーク運用費	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
	ローカル5G提供者	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
	ソリューション提供者	0	0	0	0	0
	(6)ソリューション購入費	0	0	0	0	0
	ローカル5G提供者	0	0	0	0	0
	ソリューション提供者	0	0	0	0	0
	(7)ソリューション開発費	0	0	0	0	0
	ローカル5G提供者	0	0	0	0	0
	ソリューション提供者	0	0	0	0	0
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
	(9)収支((3)-(8))	0	0	0	0	0

まとめ

まとめ

■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）

テーマⅠ 検証成果：

- ・ 空港環境：S=34.0、エリア特性の異なるSとして開空間：S=36.8、閉空間：S=21.6、建物を介したエリア：S=18.1を導出。
- ・ 空港環境において実際の電波伝搬はマルチパスの影響が想定されるため、類似の環境下では受信電力5.9dB程度の増加を見込んで設計することが望ましい。特に反射物の面積が広いほどマルチパス波が強い傾向にあるため、ターミナルビル等の大きな反射物の近傍等ではより強いマルチパス影響について考慮が必要。
※導出した精緻化S値には上記のマルチパス影響が含まれています

テーマⅠ 今後の課題：

- ・ 遮蔽物面積率とS値の相関性を示すため、様々な実証環境で遮蔽物の種類、面積率を割り出し実測結果と比較することで補正値の精度向上が課題。
- ・ 空港ターミナル等の屋内での利用も想定されるため、建物侵入損Rの精緻化を行うことで空港環境における網羅的な電波伝搬特性を明らかにすることが課題。

■ローカル5G活用モデルに関する検討（課題実証）

検証成果：

- ・ 見通しの悪いカーブにおける遠隔型自動運転の実証（第1～第3ターミナル間）：自動走行を実現し、ローカル5G・キャリア通信冗長化区間でカーブを含め遠隔監視KPIを達成できることを確認。
- ・ 複数台の同時運行に向けた遠隔監視・映像配信の検証：3台の遠隔監視映像を実システムを含め実験実施し、遠隔監視KPIの達成を確認。実運用を想定した車両故障時などトラブル対処の基本的なフローに対応でき、商用運行までの課題整理を実施。
- ・ 代替ルートを想定したキャリア通信・ローカル5G切り替え動作の検証：ローカル5Gとキャリア通信（5Gおよび4G）の切り替え動作は5G遠隔監視KPI（400ミリ秒以下）を達成。

今後の課題：

- ・ 走行エリアの拡張：実運用エリアでの拡張を行い、特にローカル5Gエリア内のトンネル等での拡張時の課題を整理し、ネットワーク構築と商用の運用化を検討。
- ・ 乗客向けサービス（車掌）の無人化、遠隔化対応：運転操作の自動化・無人化に加え、サービスに資する追加要素を検討。
（例）多言語による自動音声アナウンス、音声コミュニケーション、サインージ表示等
- ・ ローカル5Gの車載端末実装 & 異常系を含む保守対応：他用途のユースケース（例：搭乗橋、空港音声MCA）における端末実装、異常系を含む保守対応の検討。

■実装・普及展開

実装計画のサマリ：

- 2025年の自動運転レベル4相当の実装に向けて、以下の対応を実施。
- 2023年度、2024年度は、走行ルートの拡大、乗客向けサービスの無人化、ターミナル間連絡バス以外のユースケースを検討。合わせて、国土交通省航空局の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も出席し、共通インフラガイドライン、運用ルールの検討に寄与し、実装に向けた取り組みを推進。
- 2025年度以降、空港制限区域内における実装モデルを確立し、他空港、空港以外の大規模施設（公園、テーマパーク等）への展開を検討。