

令和4年度 自動運転ランプバス実証実験結果

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

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

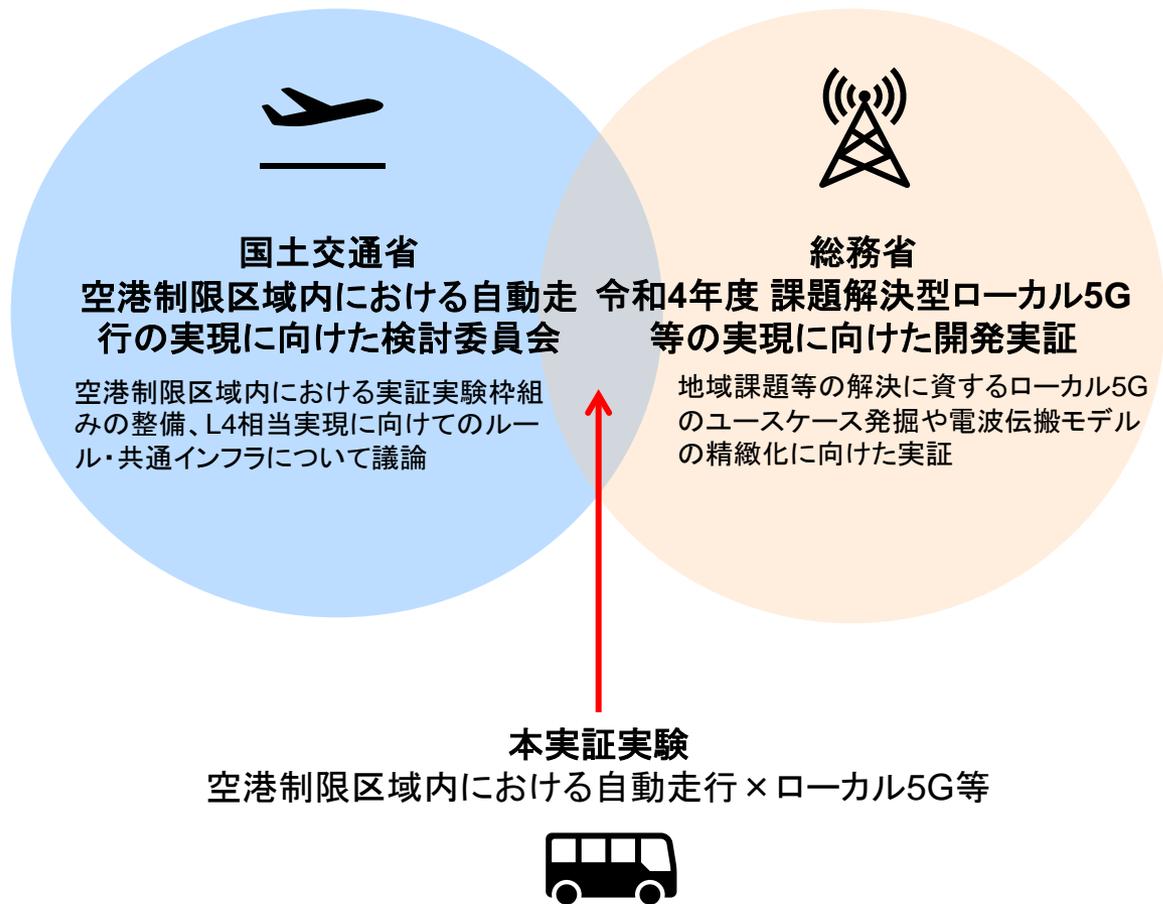
株式会社ティアフォー
成田国際空港株式会社
東日本電信電話株式会社
KDDI株式会社

実施計画概要

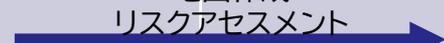
実施目的	ターミナル間連絡バス運転手の人手不足、ヒューマンエラーなどの課題への将来的な解決策の一つとして、5G通信を活用した遠隔監視による無人自動運転に向けた実証実験を実施 (昨年度からの継続)
スケジュール	2022年12月5日～2月17日:制限区域内における実証実験 (本番=関係者試乗期間:2月6日～2月17日)
使用車両	タジマモーターコーポレーション社製バス “GSM8”を改造 ※ベース車両:タジマモーターコーポレーション、自動運転システム:ティアフォー
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第1ターミナル～第2ターミナル～第3ターミナル 車両通行帯
実験内容	・レベル4相当に向けた実証実験 ・ローカル5G・キャリア通信の冗長化構成での遠隔監視等 (オペレーションテストと通信関連テストを実施)
実施者	・成田国際空港株式会社(実証フィールドの提供、課題抽出等) ・東日本電信電話株式会社(ローカル5Gの課題検証等) ・KDDI株式会社(キャリア通信の提供等) ・株式会社ティアフォー(自動運転車両・遠隔監視システムの提供等)

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横展開がしやすい
- ✓ 加えて、L5G/キャリア通信の双方が活用可能であり、これら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、2025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度より実証



スケジュール

	22年10月	11月	12月	1月	2月	3月
システム開発・ 各種準備等	ローカル5G/キャリア通信準備 システム開発 等 					
	地図作成 リスクアセスメント 					
模擬フィールド			実施なし ※昨年度実施済 ※運転者不在は現状想定せず			
実証実験 (昨年度同ルート)			走行実証実験(複数台) 			
実証実験 (拡張ルート)			技術実証実験 (通信関係) 			
			走行実証実験(1台) 			
検討委員会			進捗報告 		結果報告 	

※本実証実験は、総務省の令和4年度予算事業「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証（代表機関 東日本電信電話（株））」と連動して実施するものである。

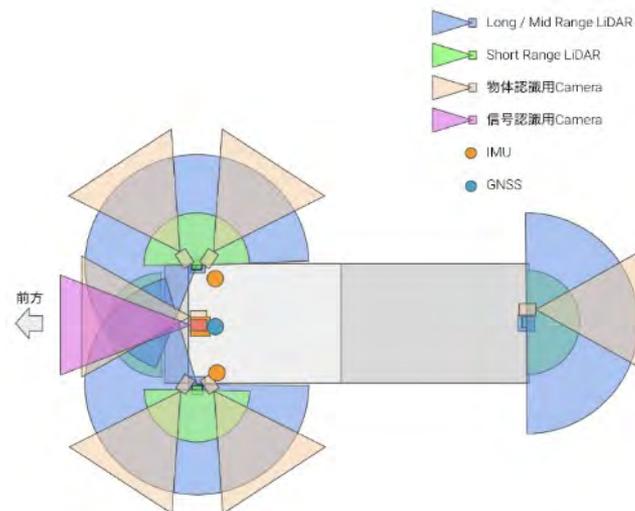
車両概要

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

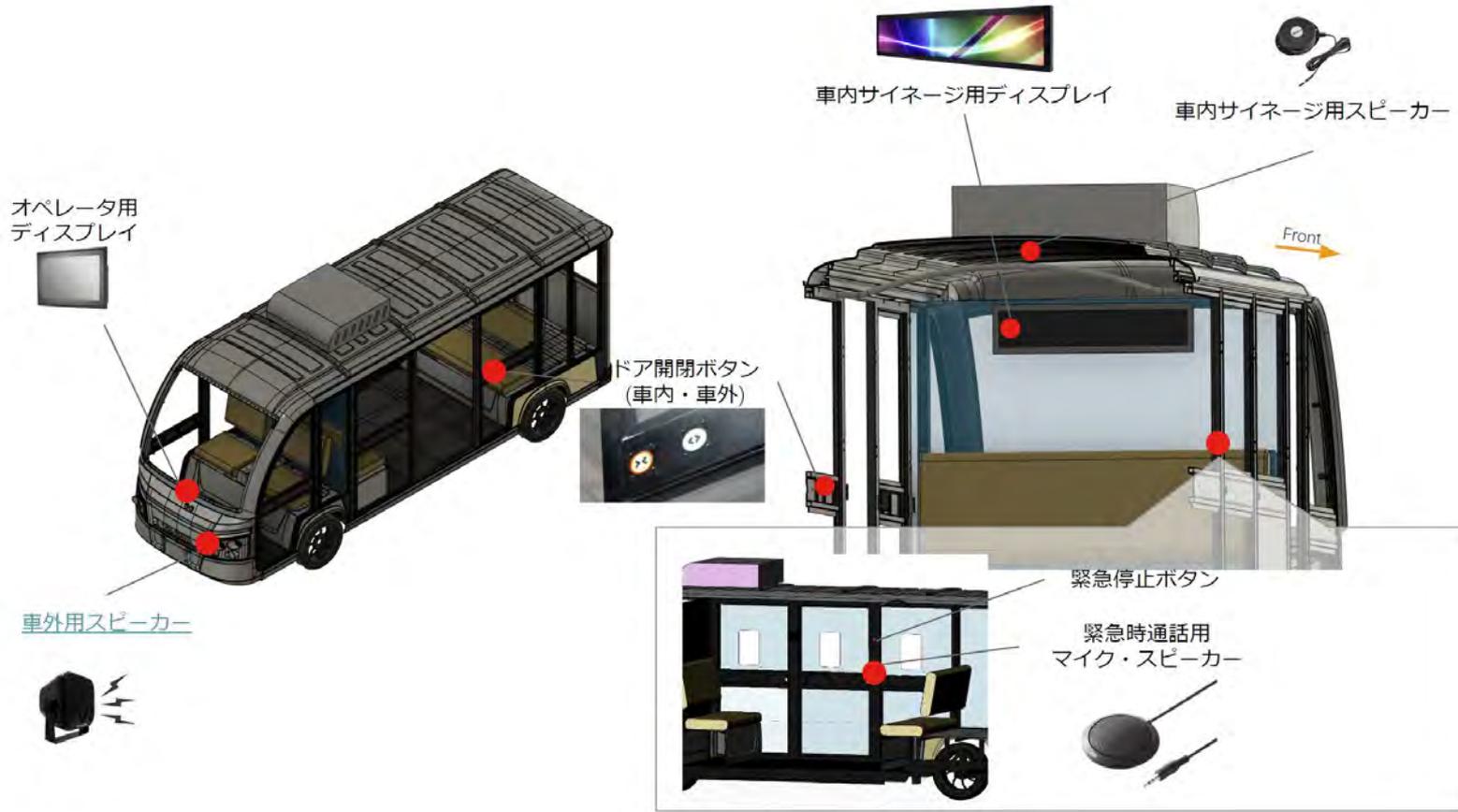
- ・車両自律型
- ・車両制御には、ティアフォーが開発を主導するオープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」を使用
- ・高精度三次元地図とLiDARを用いたスキャンマッチングにより自己位置を推定
- ・LiDAR・カメラにより障害物等の認知を行うとともに、高精度三次元地図上に引かれたレーンや停止線等に従って走行



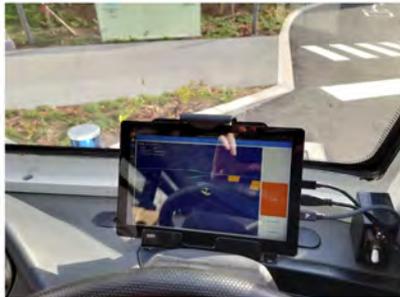
センサ等の概要

- ・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

車両概要



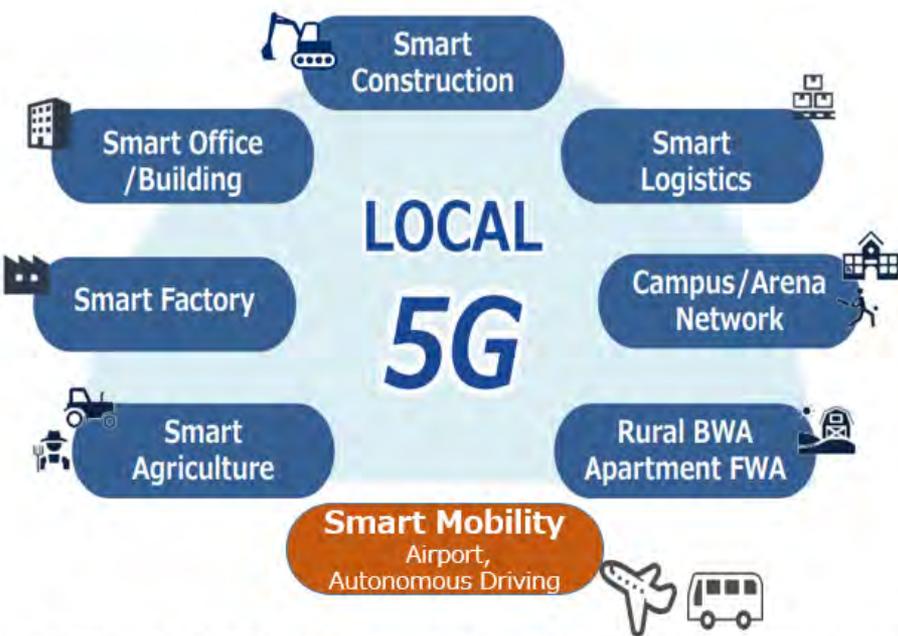
運転席



HMI用ディスプレイ

(参考)ローカル5G概要

- 地域企業や自治体等が、「**自社の敷地**」・「**自らの設備計画**」・「**自社専用**」で運用できる**自営5Gシステム**
- 他の利用者影響や干渉がなく、**遠隔監視/操作用映像のアップロード**などを「**安定的に**」利用できる。
→カメラを備えた車や機械が、安定した5Gによる遠隔見守り・支援を受け、現場でより安心・安全に稼働。



様々な敷地で自営無線による高品質・安定したネットワークを用い、DXを実現

5G：遠隔でロボットを見守る映像通信

遠隔指導

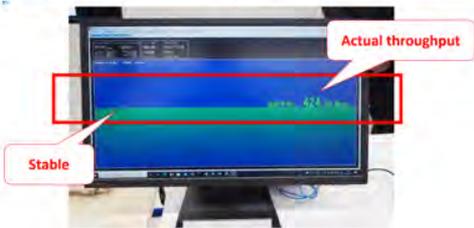
維持管理技能者の省力化

遠隔監視・操作

多数カメラの高品質な映像伝送
(遠隔型自動運転への活用)

自動運転システムの遠隔見守り例

自営網：混雑などに影響うけない



マネージド型ローカル5Gサービス (NTT東日本：ギガらく5G®)

- SG Core
 - CU/DU Backhaul^{※1}
 - Operation outsourcing
 - Indoor RU
 - Accessories
 - Construction cost
- 事前手続き～運用まですべておまかせトータルITO
- キャリアグレード
 - 免許取得あり
 - サブスクリプション可
 - 5年約2200万～(年間440万～) 最小構成
- 手頃なローカル5G

走行ルート①2021年度ルート・複数台走行

実施予定日時	2022年12月5日～19日、2023年2月2日-3日
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第2ターミナル～第3ターミナル(全長約1.6km)

実施内容

- ・最大3台走行
GSM8×2台(各カメラ7台)
手動運転車両×1台(カメラ6台)
※通信の安定性検証のため
- ・ローカル5G/キャリア通信



出典：国土地理院ウェブサイト (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685108> <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685109>) をもとに
東日本電信電話(株)で作成

走行ルート②拡張ルート・1台走行

実施予定日時	2023年1月23日～2月1日、6日-17日
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第1ターミナル～第3ターミナル(全長約4.8km)

実施内容

- ・1台走行
- ・GSM8×1台
- ・ローカル5G/キャリア通信
- ・全ターミナルをカバー



走行ルート②' 代替ルート・1台走行

実施予定日時	2023年1月23日～2月17日
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第1ターミナル～第3ターミナル(全長約6km)

実施内容

- ・1台走行
GSM8×1台
- ・ローカル5G/キャリア通信
- ・全ターミナルをカバーした代替ルート

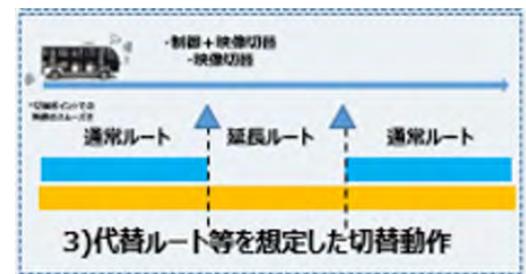


出典：国土地理院ウェブサイト (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685108> <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685109>) もとに東日本電信電話(株)で作成

実験結果

主な実験内容(ローカル5G等活用遠隔監視型自動運転)

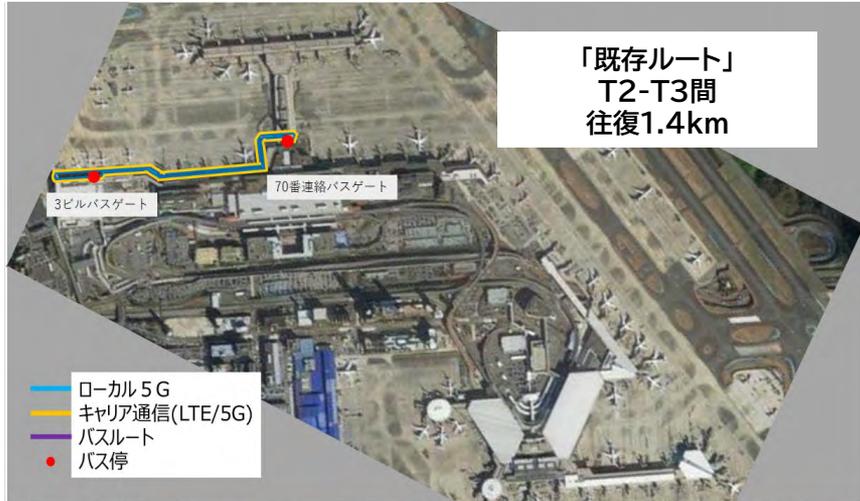
実証項目	実施内容	詳細
1) ターミナル間連絡バスの遠隔型自動運転	第1～3ターミナルの空港制限区域内通路約4.8km区間をローカル5Gとキャリア通信でカバーし、遠隔型自動運転する。	第1～3ターミナルにおいてカーブを含むエリアにおいて線状設計し、4.0km区間をローカル5Gとキャリア通信冗長系、延長シナリオ用に0.8km区間をキャリア通信で遠隔型自動運転車で走行実証する。公道走行実績と空港向け審査通過済車両と技術ベースに、ローカル5G及び冗長系追加機能を実装する。
2) 複数台自動運転車の同時運行	1つの基地局内に走行する3台の自動運転車両が遠隔監視映像をアップロードする環境を模擬し、空港制限区域内にて実走行試験する。	準同期TDD1を適用し、走行中アップリンク性能を拡張させた状態で試験する。うち本実証期間中に用意可能な2台は自動走行を用い、運行中に交差点やバス停集中させ試験する。
3) 冗長系通信による遠隔型自動運転の実現とルート柔軟性	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 延長運行する際も、キャリア通信とローカル5Gの境界付近で地図等により予め映像品質調整し切替えることで、遠隔監視の映像等が途切れたりカクツキなく、継続動作 できる。(冗長系高度化)。	昨年度実証のアンケートにて実運用にて代替ルートや交通手段の用意について懸念する声があった。本実証においてローカル5G遠隔型自動運転で通常時サポートするが、工事や天候、イベント等で代替ルートを利用したい場合、ローカル5Gの追加工事等要することなく運用可能なバリエーション可能性も追加機能実装とともに実証する。全通信系統切替と、映像系のみ切替の二種実機実証する。



ターミナル間連絡バスの遠隔型自動運転

- 昨年度はT2-T3間のみでの走行だったが、今年はT1を含め、走行ルートを経張
- 陸橋や見通しの悪いカーブがあるなど、前回とは違う環境も存在

2021年度実証実験時のルート



出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685108> <https://maps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685109>) をもとに東日本電信電話(株)で作成

2022年度実証実験時のルート



出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685108> <https://maps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685109>) をもとに東日本電信電話(株)で作成

2台走行時のダイヤ走行(代替ルート)

- ✓ 2台の自動運転車両を最も難易度の高い「代替ルート」でダイヤ走行
- ✓ 概ねダイヤ通りに走行。誤検知による一時停止等により一部ダイヤが乱れることもあったが、L3相当ということもあり、**最大3分以内と大きな乱れには繋がっていない**。(車両の速度に合ったダイヤ設定の見直しも要検討)

2/3 2台ダイヤ走行		T3	T2:80	T1:28	T1:54	T2:70	T3
車両①	ダイヤ (実際)	15:30 (15:30)	15:36 (15:36)	15:45 (15:48)	15:53 (15:53)	16:00 (16:01)	16:04 (16:06)
車両②	ダイヤ (実際)	15:40 (15:40)	15:46 (15:47)	15:55 (15:57)	16:03 (16:02)	16:10 (16:09)	16:14 (16:13)



1分を超える遅延



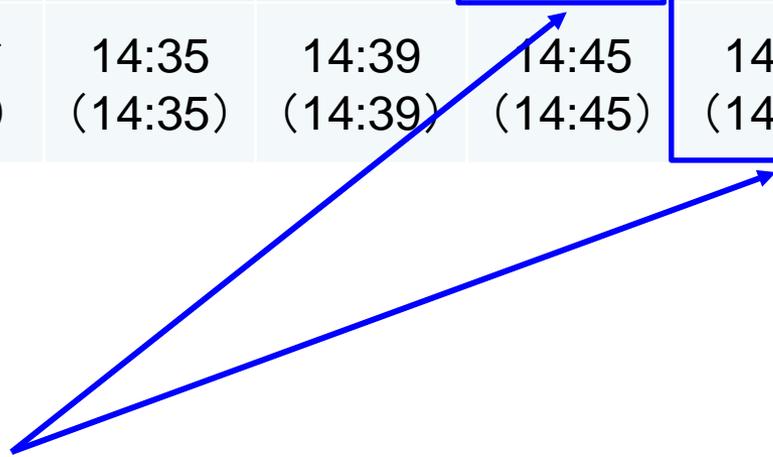
2台の自動運転バス

出典：国土地理院ウェブサイト (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685108> <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do?specificationId=1685109>) もとに東日本電信電話(株)で作成

(参考)1台走行時のダイヤ走行(拡張ルート)

2/8		T2:70	T3	T1:80	T1:28	T1:59	T2:70	T3
1周目	ダイヤ (実際)	13:35 (13:36)	13:39 (13:40)	13:45 (13:47)	13:54 (13:57)	14:02 (14:02)	14:10 (14:11)	14:14 (14:15)
2周目	ダイヤ (実際)	14:35 (14:35)	14:39 (14:39)	14:45 (14:45)	14:54 (14:56)	15:02 (15:01)	15:10 (15:09)	15:14 (15:13)

1分を超える遅延



2台走行時のODD外時等の駆け付け(既存ルート)

(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、もう一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
- ✓ 更に、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

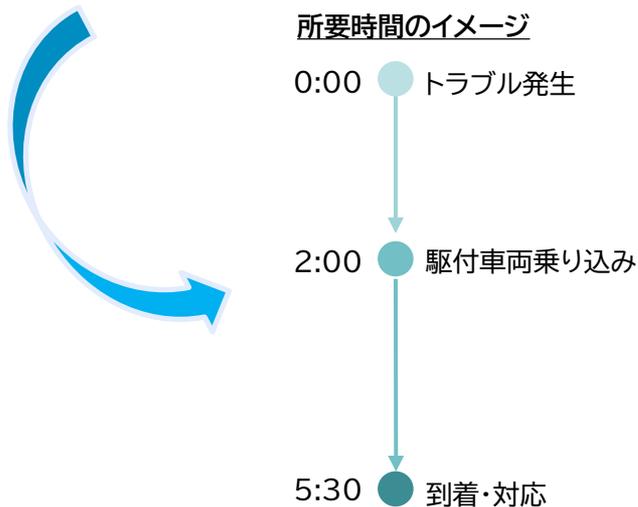


2台走行時のODD外時等の駆け付け

(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ので、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設計する必要あり。
- ▶ また、T1-T2-T3をカバーして走行する場合、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、駆け付けに時間を要する可能性がある。なお、下の表にあるように、1回目は遠隔監視室から出発し、2回目は車両に乗り込んだ状態から出発し、2分の差があった。遠隔監視室から車両場所までの距離が遠ければ遠いほどこの時間も更にかかることになる。
- ▶ 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

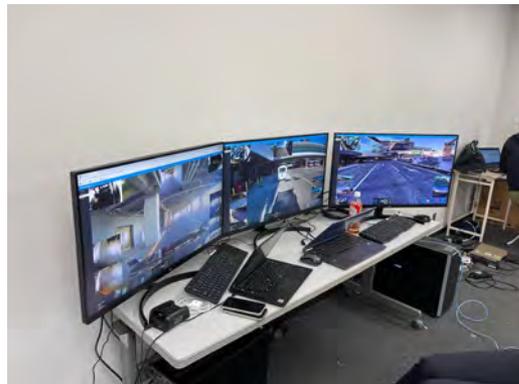
	トラブル発生時刻	到着時刻	所要時間
1回目 (遠隔監視室出発)	15:37	15:43	5:30
2回目 (車両乗り込んだ状態から出発)	16:09	16:13	3:30



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)
※すれ違い走行

(*自動運転バス2台 + 手動運転車両1台)

乗客のケア

- ドライバーや保安要員がいれば乗客へのきめ細やかな対応が可能であるが、ドライバーレスかつ保安要員がない場合には、こうした乗客のケアをどのように実施するかは大きな課題。
- 例えば、乗車時に正しい車両に乗っているかの確認や、車内の忘れ物対応など様々なケースが考えられる。
- 忘れ物については、5G等による高品質な車内遠隔監視映像により、スマートフォン程度以上の大きさのものであれば、何が忘れ物かを概ね特定することが可能であることを本実証で検証。これにより、遠隔監視者が降車しようとする乗客に呼びかけることも可能。
- 乗車確認は、ゲートでの有人対応や、外部の認証システムを搭載することなども検討できる。



車内に忘れものをして降車しようとする乗客
(左から、スマートフォン、パソコン、バッグ)

走行データ

2/6-2/17のデータ

総走行距離(うち自動運転)	217km(136km)
誤検知等による急停止回数	6回 ・雨粒等による誤検知、LiDARの地面照射点の除去失敗による誤検知
自己位置推定の精度	すべてのエリアでスコア3.0以上を測定 ※ティアフォーのシステムでは、スコア3.0以上あれば自己位置推定は破綻しない



自己位置推定スコアは安定
(地図:Google maps)



雨の日(2/10)には3回の誤検知による急停止が発生
※雨の日は、程度によるもののODD外とすることを想定

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定、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)。
- ・ローカル5G/キャリア5G/冗長化など、環境に応じた適切な通信を活用できるようにすることが重要。

2022年度実証ルート(「拡張ルート」)



第3～第1ターミナル間往復5km

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	○
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	○
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	○	2	NG*
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。

試乗者アンケート・コメント等

- 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)
 - 成田国際空港株式会社
- 多くのご意見を頂き、その内容は、大要以下のとおり。
 - ◆ 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。
 - ◆ 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。
 - ◆ 現状、運転のみならず人が対応しているところが多い。ドライバー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、容易ではない。
 - ◆ 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充分かは要検討。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。
 - ◆ 通信は、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。
 - ◆ 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。
 - ◆ 雨の影響で十分に自動運転を体験できず残念だった。

導入に至るまでの展開

導入に至るまでのロードマップ(イメージ)

実証実験フェーズ

試験運用フェーズ

実装フェーズ

2021年度

- ・T2-T3
- ・GSM8 × 1台
- ・ドライバーあり
- ・走行環境の把握
- ・L5G/通信冗長化検証

2022年度

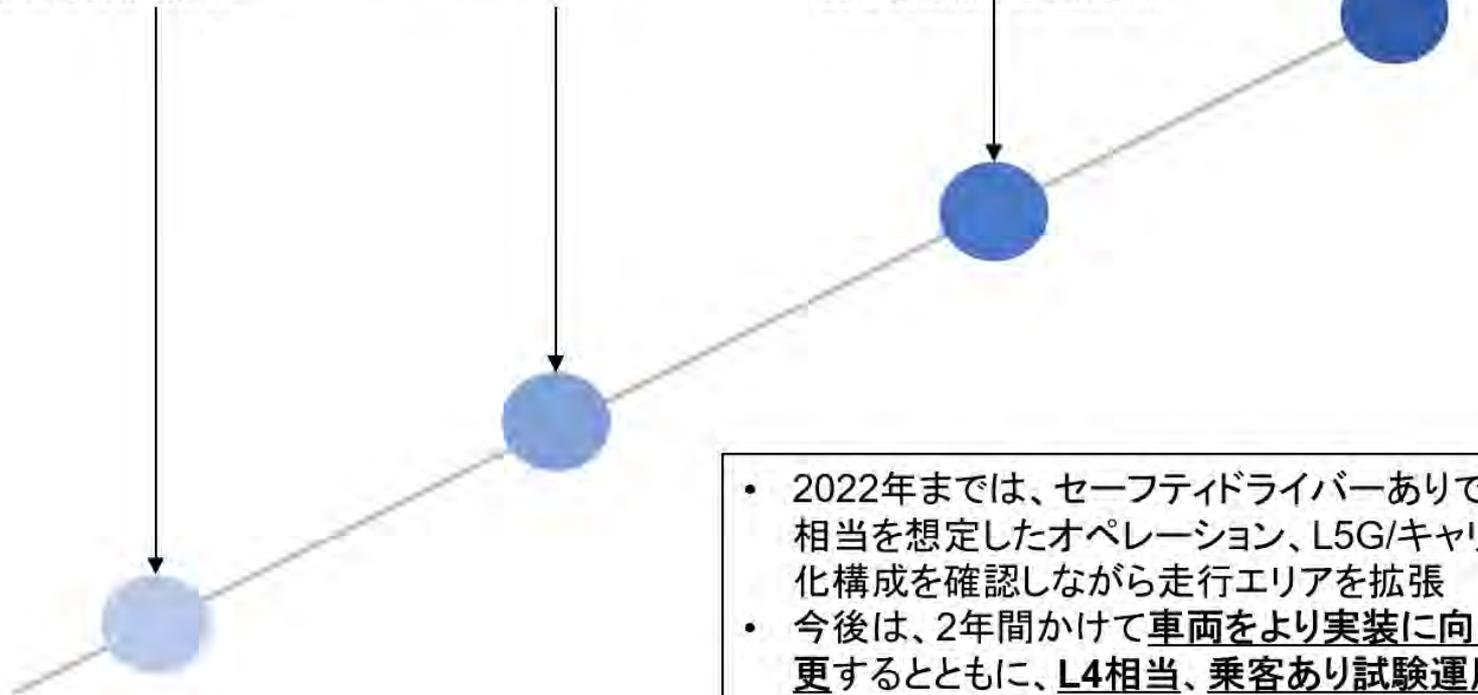
- ・T1-T2-T3
- ・GSM8 × 2台 + JT × 1台(最大)
- ・ドライバーあり
- ・L5G/通信冗長化検証

2023-24年度(想定)

- ・T1-T2-T3
- ・新車両
- ・ドライバーなし(L4相当)
- ・乗客あり試験運行
- ・L5G/通信冗長化試験運用

2025年度(想定)

- ・実装(L4相当)



- ・ 2022年までは、セーフティドライバーありで、走行環境、L4相当を想定したオペレーション、L5G/キャリア通信の冗長化構成を確認しながら走行エリアを拡張
- ・ 今後は、2年間かけて車両をより実装に向けたタイプに変更するとともに、L4相当、乗客あり試験運用等、実装に向けてステップアップしていく
- ・ 2025年を目途に部分的にでもL4相当での実装を目指す