

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)

京都府精華町

1 人複数台の遠隔監視における通信要件検証を踏まえた

経済性確保モデルの実現

実績報告書

2026 年 1 月 30 日

アイサンテクノロジー株式会社

京都府けいはんな自動運転実証コンソーシアム

目次

0.	エグゼクティブサマリ.....	1
0.1	実証概要.....	1
0.2	KPI/KGIの内容と達成状況.....	2
0.3	考察.....	4
0.4	成果.....	6
0.5	課題.....	9
1.	実証の背景・目的.....	11
1.1	実証の背景.....	11
1.2	レベル4自動運転を社会実装する上での実証地域における課題.....	12
1.3	実証の目的.....	13
1.4	最終目標・構想イメージ.....	14
1.5	「最終目標・構想イメージ」における本実証の位置づけ・目標.....	15
2.	業務実施体制.....	16
2.1	実証機関.....	16
2.2	実施体制図.....	17
3.	自動運転の運行結果.....	18
3.1	運行場所.....	18
3.2	運行期間.....	18
3.3	運行時間帯・頻度・運行方式.....	18
3.4	運行者.....	21
3.5	運行体制.....	21
3.6	自動運転車両の特徴.....	24
3.7	自動運転に関する手続き.....	26
4.	実証の手法.....	27
4.1	①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保.....	27
4.2	②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保.....	27
4.3	③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用	

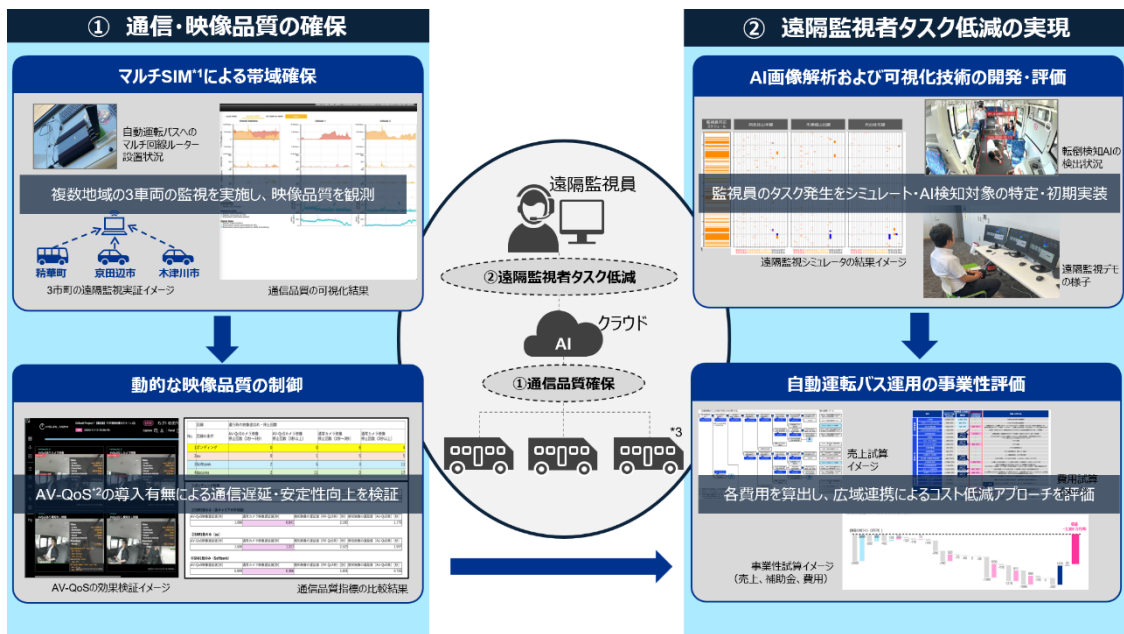
	する技術の頑健性検証	27
4.4	④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装	27
4.5	⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証	28
4.5.1	交通事業者のオペレーション性を考慮した上でのAI画像解析、タスク優先度設定を踏まえた遠隔監視員の業務所要時間低減/複数地域・複数台前提での安定通信要件の検証	28
	1) 目的	28
	2) 実証内容の詳細	28
	3) 利用技術	30
	4) 必要性・緊急性・新規性	31
	5) 検証条件	32
	6) 開発・評価項目	33
	7) KPI/KGI	49
4.6	レベル4の社会実装に向けた検討	50
4.6.1	運用検証	50
	1) システムの操作性やユーザインターフェースに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)	50
	2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直しなど、地域交通の持続性への寄与度	50
	3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策	50
	4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守	51
4.6.2	効果検証	52
	1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化	52
	2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度	52
	3) 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	52
	4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策	52
5.	通信システムに関する構築	53
5.1	通信システムの全体像	53
5.2	システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等	54
6.	実証結果・考察	56
6.1	①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保	56
6.2	②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保	56
6.3	③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用	

	する技術の頑健性検証	56
6.4	④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装	56
6.5	⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証	57
6.5.1	交通事業者のオペレーション性を考慮した上でのAI画像解析、タスク優先度設定を踏まえた遠隔監視員の業務所要時間低減/複数地域・複数台前提での安定通信要件の検証	57
	1) 実証スケジュール	57
	2) 開発・評価項目の結果	57
	3) KPI/KGI との比較結果	80
	4) 課題・成果	82
6.6	レベル4の社会実装に向けた検討の結果	84
6.6.1	運用検証	84
	1) システムの操作性やユーザインターフェースに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)	84
	2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直しなど、地域交通の持続性への寄与度	86
	3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策	88
	4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守	88
6.6.2	効果検証	89
	1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化	89
	2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度	90
	3) 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	94
	4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策	94
6.7	レベル4社会実装に向けた考察	97
7.	本実証の総括	98
7.1	本実証の成果・課題	98
7.2	社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性	114

0. エグゼクティブサマリ

※ 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する。

0.1 実証概要



*1：複数キャリア回線を用いて、通信帯域拡張・通信安定化を実現する技術のこと
*2：ネットワークの品質に応じて画質などを調整可能な映像伝送の技術のこと
*3：本実証ではバス車両は1台とし、残り2台はレンタカーを利用

図 0.1 実証内容の概要

[本実証の背景]

本地域(けいはんなエリア)では、今後商業都市・学研都市としての地域の役割が更に高まり人口の増加も見込まれる中、バスドライバー不足が深刻化しており、地域の公共交通事業者自動運転バスの導入に向けた検討・議論を行ってきた。その中で、本地域における自動運転バスの社会実装に向けては、実用性や事業性の観点での課題が存在することが明らかとなった。

[当該地域における社会実装における課題]

実用化面では、遠隔監視における通信の断絶が発生するため運転者が必要となる点や、安全性確保の観点で立席活用が難しく、移動需要を満足する輸送サービスの提供ができない点等の課題があげられる。事業性面では、自動運転バスの運賃収入のみで黒字化は難しいという課題がある。これらの解決に向け、売上向上施策として地域の移動需要の代替による新たな収益源を確保すること、費用低減施策として複数自治体での広域連携によるコストシェアを図ること等、様々な事業性向上施策を検討している段階である。

[本実証の目的]

本実証では、費用低減施策の1つである 1:N 遠隔監視の実現 に向け、複数地域・複数車両前提での遠隔監視に必要な「①通信・映像品質の確保」および AI 画像解析・タスク優先度設定による「②遠隔監視員タスク低減の実現」を検証することを目的とする。

[実証において検証する内容や使用する技術]

本実証では、以下に示す計4つの具体的な開発・評価項目を設定した(図 0.1 参照)。

① 通信・映像品質の確保

(1) マルチ SIM による帯域確保

マルチ SIM(複数キャリア回線を束ねて、通信帯域拡張・通信安定化を実現)技術の開発

(2) 動的な映像品質の制御

動的な NW 帯域変化に応じた映像品質の制御技術の開発

② 遠隔監視員タスク低減の実現

(3) AI 画像解析および可視化技術の開発

1:N 遠隔監視を前提として実施した「遠隔監視員の工数低減シミュレーション」の結果を踏まえた上で、AI 画像解析および可視化技術を開発し、そのオペレーション性を評価する

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

1:N 遠隔監視を前提とした、自動運転バス運用の事業性およびコスト低減効果を評価する

0.2 KPI/KGI の内容と達成状況

本実証では、実証ユースケース「経済性確保:1 人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証」を行う。本ユースケース検証にあたり 5 つの KPI/KGI を設定し、実証実験においてすべて達成した。5 つの KPI/KGI とその達成状況、得られた実験結果について以下に示す。

表 0.1 KPI/KGI の内容と達成状況

項番	KPI/KGI		達成状況	達成できた理由 (実証結果)	
	内容	設定根拠・妥当性			
定性評価	1	協調運行NWにて、遠隔監視員が複数運行拠点の監視をスムーズに実施できること	音声や映像等の断絶の発生回避により円滑な自動運転車運行を達成するため	達成	遠隔地において異なる3市町を走る実走行車両の車室内外の映像を遠隔監視室に配信するシステムを構築 マルチSIM・AV-QoSの技術を用いることで、より低遅延で断絶の少ない映像伝送が可能であることを確認。 マルチSIM利用時、AV-QoSの利用により遅延値274ms減、1秒以上の映像途絶回数60%減を確認。
	2	車両異常：車両にて発生した異常な数値を検知できること	車両にて発生した異常の計測により、問題発生を未然に防止するため	達成	車両に搭載されたカメラ映像をクラウド上の協調運行ネットワークへ伝送し、クラウドでAI解析を実施したうえで、遠隔監視UIにアラートを発報するシステムを構築。本システムにより、イベント発生からアラート発報までが適切に行われることを確認
	3	車内異常：AI検知により、車内の異常を検知できること	AI画像解析等を踏まえた遠隔監視者の業務所要時間低減を達成するため	達成	車両に取り付けられたカメラ映像をAIで解析することにより、車内における乗客の転倒や扉付近干渉、非着席者等の検出が、非混雑等の特定条件下で可能であることを確認 また、混雑環境等を再現したリアルなバス車内におけるAI検知デモでは、検出率は38.2%であることを確認。
定量評価	4	適当な指示出しにより3か所の運行拠点における問題発生を未然に防止できること	自動運転バスの事業性の改善には、広域連携および1：N遠隔監視が必須。事業性における費用の半減等の有意な事業性改善効果を得るためには3拠点以上が必要であるため	達成	乗客の転倒や扉付近干渉を自動検知し、同時対応するためのUI・HMIを構築。3台の自動運転バスにおいて、各車両において連続的に発生するトラブル（転倒等）に模擬的に対処する遠隔監視デモを実施し、滞りなく実施可能であることを確認。また、これら広域連携の取組により、自動運転バス1台当たり約47%の費用低減につながることを確認。
	5	事象発生～遠隔監視員が異常を認識するまでを3秒で完了し、運行監視者が後続処理を開始できること	交通事業者が定めた要件、米Cruiseにおいても3秒以内の認識を要件とする	達成	マルチSIMを用いた通信の帯域確保を行うことにより、車内の異常発生から、平均3秒以内にアラート発報がなされることを確認。また、遠隔監視シミュレータにより5年分の走行をシミュレートし、安全性と定時性を満たすために工数低減が必要な遠隔監視タスク上位を特定。

4つの開発・評価項目に対応するKPI/KGIの内容と、達成したと言える根拠・成果について、以下に記す。

(1) マルチSIMによる帯域確保

- ・ 事象発生～遠隔監視員が異常を認識するまでを3秒で完了し、運行監視者が後続処理を開始できること
 - マルチSIMを用いた帯域確保により、車内異常発生から監視室のアラート発報までが3秒以内に行われることを確認した。また、遠隔監視シミュレータを構築し、イベントが同時多発的に発生する様子を5年間分シミュレートし、特に自動化等により解決すべきイベントを特定した。

(2) 動的な映像品質の制御

- ・ 協調運行NWにて、遠隔監視員が複数運行拠点の監視をスムーズに実施できること
 - 異なる3市町(精華町・京田辺市・木津川市)で走る実走行車両の車室内外の映像を遠隔監視室に伝送するシステムを構築した。また、マルチSIM・AV-QoSを用いることで、遅延・映像途絶回数の減少を確認した。

(3) AI画像解析および可視化技術の開発・評価

- ・ 車両異常：車両にて発生した異常数値を検知できること
 - 車載の遠隔監視カメラの映像をクラウドへ伝送・AI解析し、遠隔監視UIへアラートを

発報させることができる一連のシステムを構築した。

- ・ 車内異常:AI 検知により、車内の異常を検知できること
 - 非混雑環境等の特定の条件下において、車内における乗客の転倒や扉付近の干渉等の問題が AI 検知システムにより適切に検知されることを確認した。
- ・ 適当な指示出しにより 3 か所の運行拠点における問題発生を未然に防止できること
 - 「3 台のバス車内において連続的に発生する転倒」等のイベントに対応する遠隔監視デモを実施し、AI 検知により適切な指示出しが可能であることを確認。

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

- ・ 対応する KPI/KGI はなし(別途、本報告書 6.5.1 2)(4)において検証)

0.3 考察

L4 自動運転社会実装の社会実装に向けた考察について、図 0.2 に示す。

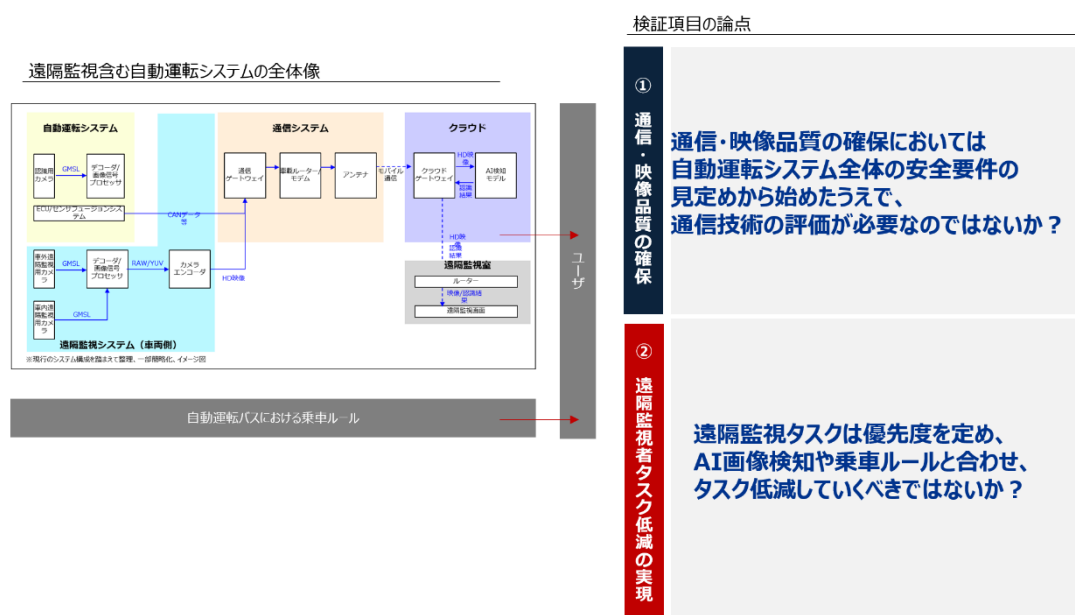


図 0.2 レベル 4 自動運転の社会実装に向けた考察

通信・映像品質については安全要件の定義を踏まえたシステム全体の評価が必要である。また、遠隔監視員のタスク低減に向けては自動化とルール化を合わせた遠隔監視員の工数低減や、自動運転システムの技術の高度化が必要である。

① 通信・映像品質の確保

実証では、マルチ SIM 技術や AV-QoS 等を適用することにより、通信遅延や映像途絶の発生頻度を低減できる可能性を示した。しかしながら、これら通信および映像品質に関する指標をどの程度向上させれば「安全」と評価できるのかについては、国内の法規やガイドラインにおいて定量的な基準が示されていないのが現状である。

したがって、遠隔監視に求められる要件を定義するためには、自動運転システム全体の安全要件から体系的に落とし込む必要がある。まずはシステム全体の安全要件を定量化し、その上で遠隔監視が担うべきユースケースを選定することが不可欠である。さらに、選定したユースケースに基づき、遠隔監視に必要な映像要件を明確化し、カメラの性能や台数を考慮した上で、適切な通信技術を選定するプロセスが今後求められる。

② 遠隔監視員タスクの低減

本実証では、遠隔監視シミュレータを用いて、1名の遠隔監視員が3台の車両を同時に監視する状況を再現し、監視員のタスクが重複する様子を再現した。さらに、シミュレータを通じて、特に監視員の工数を多く要する上位業務を特定し、AIによる検知や乗車ルールの適用等によって工数を低減することで、1:3の監視体制が安全性および定時性を担保しつつ成立することを示した。

一方で、さらなる同時監視車両数の増加等を見据えると、今回特定した上位の車内業務以外の工数低減も必要となる。その際、すべてをAI検知に依存するのではなく、機械的検知、乗車ルール、省庁ガイドラインといった複数のレイヤーを組み合わせ、取り組むべきタスクの優先度を監視員の工数により設定しながら負荷を低減していく必要がある。

0.4 成果

本実証における 4 つの開発・評価項目に対する成果を表 0.2 に示す。

表 0.2 本年度の実証の成果と L4 社会実装に向けた課題

		本実証の成果	本実証の課題
自動運転バス	マルチSIMによる帯域確保	3キャリアの通信回線を束ねるマルチSIM技術により、映像品質を向上し、車内異常発生から3秒以内の監視室アラート発報を達成し、移動車両でのデータ伝送安定化を実現	車内監視では安全要件の定義を踏まえた、カメラの数や、画角・配置の見直しが必要。加えて車外監視も含めた、通信要件と通信帯域確保技術の確立が必要
	通信・映像品質の確保	通信遅延を低下させる回線予測の技術AV-QoSを用いることで、従来通信よりマルチSIM利用時の平均遅延値0.274秒低減、1秒以上の映像途絶回数60%減を確認。ボンディングやAV-QoSを用いた場合の通信品質や通信コストの違いを特定	AV-QoS等を活用した遅延低下技術のコストバランスを踏まえ、カメラのエンコード処理から、安全要件を踏まえた遠隔監視までのパイプラインの遅延低下技術導入が必要
	動的な映像品質の制御	1台の自動運転バス車両の内部において、車内監視タスクの優先度を実業務とシミュレーターに基づいて定め、発生工数上位のタスクの一部を、AIで検出する仕組みを構築。定量評価により再現率は38.2%であることを確認した	AI画像解析においては、車内監視タスクのAI画像解析ルールを含む解決方法の特定が必要。車内・車外の複数事象を統合的に検知できる、且つ時系列で動きを予測しリアルタイムで稼働するモデルの開発や、混雑環境・死角に対応可能なカメラ配置の見直しが必要
	遠隔監視者タスクの低減の実現	自動運転バスの事業性を評価すると、現行の3台の自動運転バスを運行すると、有人バスの想定収支年間-200万円に比較して、一人で1台の場合年間収支は-5,730万円であるのに対して、一人で3台の遠隔監視自動運転バスの場合、年間収支は-2,420万円であることを特定	自動運転バスの事業性向上に向けては、遠隔監視の1:3以上の確立に加え、車両本体費やハードウェア保守費、販管費などのボトルネック費用解消に向けた取り組みが必要

[本年度の実証の成果・今後の社会実装に資する要素技術やユースケースの有効性]

(1) マルチ SIM による帯域確保

自動運転車両やレンタカーによる実証走行において、遠隔地において異なる 3 市町を走る実走行車両の車室内外の映像を配信する遠隔監視デモを行うことにより、マルチ SIM により単一回線よりもスムーズな映像伝送が可能であることを確認した。また、車内の異常の発生から、平均で 3 秒以内にアラート発報がなされることを確認した。

(2) 動的な映像品質の制御

AV-QoS を用いた場合、従来通信と比較してマルチ SIM 利用時の平均遅延値を 0.247 秒低減、また 1 秒以上の映像途絶回数 60% 低減を確認した。また、マルチ SIM や AV-QoS を用いた場合の通信品質やカメラ台数による通信コストの違いを特定した。

表 0.3 通信品質とコストのシミュレーション結果
(導入初年度に係る物品・ライセンス費用)

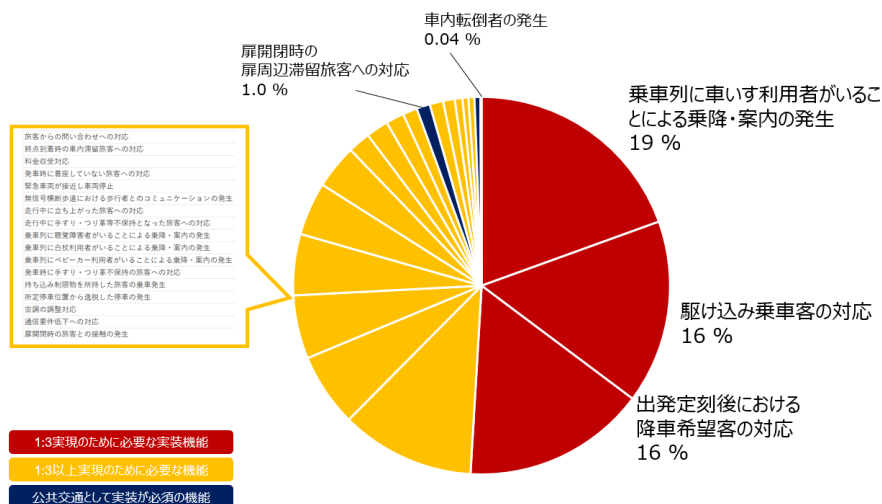
カメラ台数	AVQoS導入	マルチSIM有無	必要帯域[Mbps]	映像遅延[s]	映像途切れ[回]*1	AI検知率[%]	年間費用 (映像伝送のコストに限定)
1	有り	有り	1.2	0.606	0	86.1	¥10,444,000
2	有り	有り	2.4	-	-	-	¥10,544,000
5	有り	有り	6	-	-	-	¥10,844,000
1	有り	無し	1	1.088	21	76.5	¥5,620,000
2	有り	無し	2	-	-	-	¥5,720,000
5	有り	無し	5	-	-	-	¥6,020,000
1	無し	有り	1.2	0.88	10	65.2	¥5,284,000
2	無し	有り	2.4	-	-	-	¥5,384,000
5	無し	有り	6	-	-	-	¥5,684,000
1	無し	無し	1	0.841	42	65.6	¥460,000
2	無し	無し	2	-	-	-	¥560,000
5	無し	無し	5	-	-	-	¥860,000

*1: マルチSIM無しの場合は、各キャリアにおける測定結果における途切れ回数を合算して算出

(3) AI 画像解析・可視化技術の開発

本年度の実証の対象とした 22 項目の車内ユースケースのうち、特に安全性と定時性に影響のあるユースケースを、遠隔監視シミュレータを通じて特定した(図 0.3 参照)。全 22 ユースケースのうち 3 つのユースケースを優先的に対応することで、発生工数の半分以上を解決可能である。さらにこれらの自動化等による遠隔監視員の工数低減により、1:3 遠隔監視が成立することを遠隔監視シミュレータにて確認した。また AI 検知技術を用い、実際のバス車内の異常をリアルタイムで検知し遠隔監視画面でアラートを発報する仕組みを確立した。また、混雑時等、リアルなバス車内環境における AI の再現率(ある事象が発生した際、それを正しく検知できた割合)は平均で約 38.2 % (表 0.4 参照)であり、AI モデルの改善やカメラ配置をより詳細に検討する必要があることが分かった。

全22件のユースケースの発生工数*1の割合



*1: 各ユースケースの想定発生頻度と、発生した場合の工数[秒]を掛け合わせて導出した。各ユースケースが単位時間当たりに発生しうる工数の期待値

図 0.3 1:3 遠隔監視実現に向けて対策が必要なイベントの考え方

表 0.4 リアルな車内環境における、AI 精度の測定結果

		検知ユースケース			
		駆け込み乗車客の対応*1	出発時刻後における降車希望客の対応*1	扉付近干渉の検知	車内転倒者の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]	623	626	625	654
	乗車・降車による検知 [秒]	20	24	14	14
	TP (正検知) [秒]	4	2	17	38
	TN (非検知) [秒]	586	584	555	588
	FP (誤検知) [秒]	0	4	0	21
	FN (未検知) [秒]	13	12	39	7
%計算にて 導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]	23.5 %	14.3 %	30.4 %	84.4 %
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]	100 %	33.3 %	100 %	64.4 %
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]	0 %	0.68 %	0 %	3.44 %

再現率の平均値：
約38.2%

※ ユースケース「乗車時に車いす利用者がいることによる乗降・案内の発生」に関しては、検知ではなく省庁ガイドラインの制定等に対応するべき項目と判断し、除外

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

1:3 遠隔監視を含む 3 市町での広域連携が達成された場合、人件費や、システム・オペレーションの共通化等により、自動運転バス 1 台当たりの費用は約 7,160 万円/年から約 3,350 万円/年の低減、すなわち約 47%低減可能であると試算した(図 0.4 参照)。それにより収益は-5,730 万円/年から-2,420 万円/年へ改善可能である。

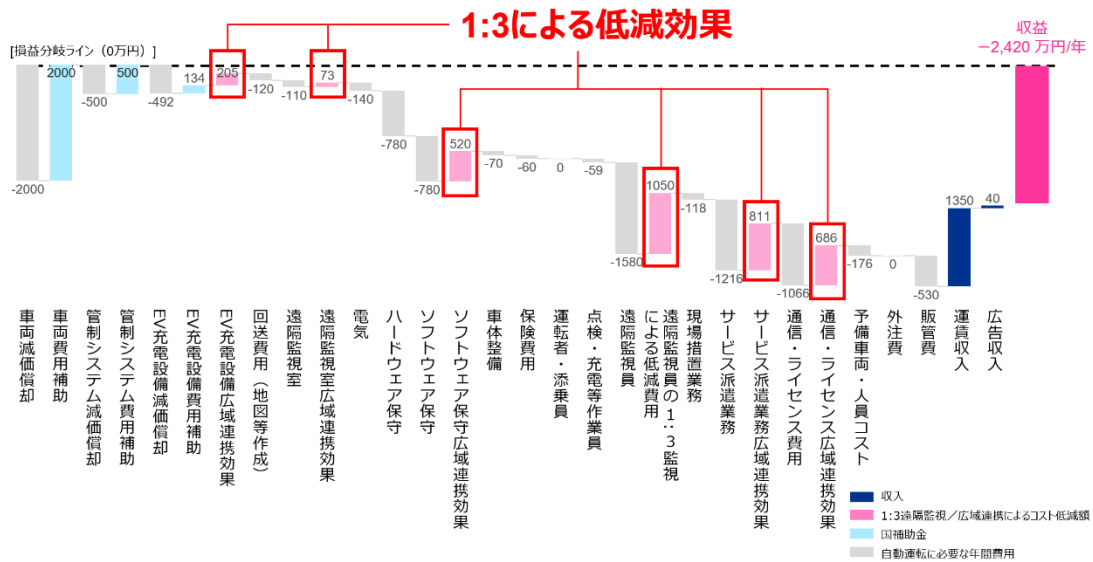


図 0.4 光台住宅線(想定社会実装ルート)における事業性試算結果

0.5 課題

[実証全体を通じた課題・今後の社会実装に向けて検証が必要な要素技術やユースケース]

実証全体を通じた課題と、今後の社会実装に向けて検証が必要な要素技術・ユースケースについて、本実証において定めた4つの開発・評価項目に対して整理し以下に示す。

表 0.2 本年度の実証の成果と L4 社会実装に向けた課題(再掲)

		本実証の成果	本実証の課題
自動運転バス	マルチSIMによる帯域確保	3キャリアの通信回線を束ねるマルチSIM技術により、映像品質を向上し、車内異常発生から3秒以内の監視室アラート発報を達成し、移動車両でのデータ伝送安定化を実現	車内監視では安全要件の定義を踏まえた、カメラの数や、画角・配置の見直しが必要。加えて車外監視も含めた、通信要件と通信帯域確保技術の確立が必要
	通信・映像品質の確保	通信遅延を低下させる回線予測の技術AV-QoSを用いることで、従来通信よりマルチSIM利用時の平均遅延値0.274秒低減、1秒以上の映像途絶回数60%減を確認。ボンディングやAV-QoSを用いた場合の通信品質や通信コストの違いを特定	AV-QoS等を活用した遅延低下技術のコストバランスを踏まえ、カメラのエンコーダ処理から、安全要件を踏まえた遠隔監視までのパイプラインの遅延低下技術導入が必要
	動的な映像品質の制御	1台の自動運転バス車両の内部において、車内監視タスクの優先度を実業務とシミュレーターに基づいて定め、発生工数上位のタスクの一部を、AIで検出する仕組みを構築。定量評価により再現率は38.2%であることを確認した	AI画像解析においては、車内監視タスクのAI画像解析やルールを含む解決方法の特定が必要。車内・車外の複数事象を統合的に検知できる、且つ時系列で動きを予測しリアルタイムで稼働するモデルの開発や、混雑環境・死角に対応可能なカメラ配置の見直しが必要
	可視化技術の開発	自動運転バスの事業性を評価すると、現行の3台の自動運転バスを運行すると、有人バスの想定収支年間-200万円に比較して、一人で1台の場合年間収支は-5,730万円であるのに対して、一人で3台の遠隔監視自動運転バスの場合、年間収支は-2,420万円であることを特定	自動運転バスの事業性向上に向けては、遠隔監視の1:3以上の確立に加え、車両本体費やハードウェア保守費、販管費などのポータルネットワーク費用解消に向けた取り組みが必要

(1) マルチ SIM による帯域確保

車内監視では自動運転システムの安全要件の定義を踏まえた、カメラの数や、画角・配置の見直しが必要。加えて車外監視も含めた、通信要件と通信帯域確保技術の確立が今後の課題である。

(2) 動的な映像品質の制御

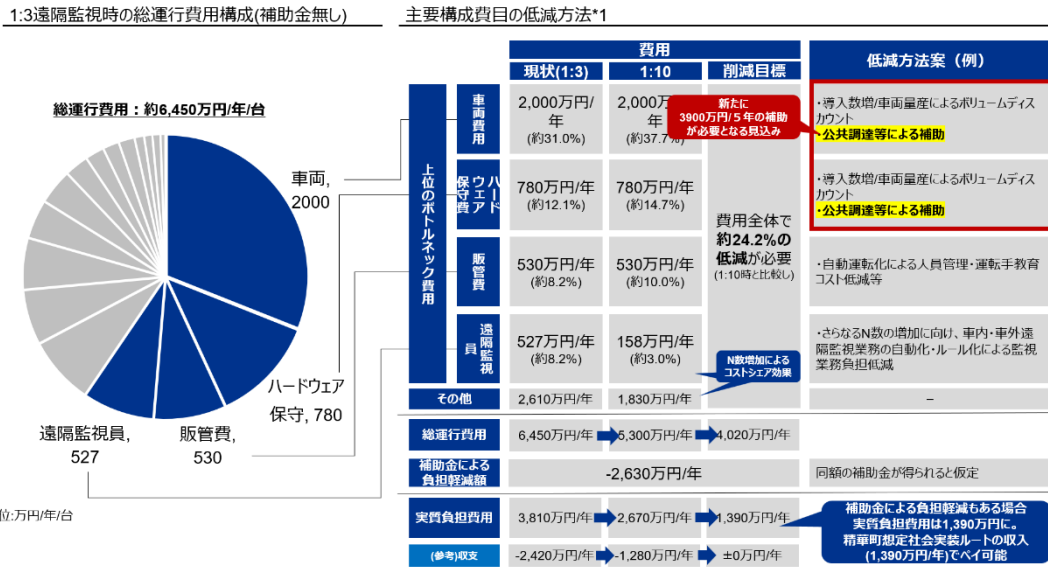
AV-QoS 等を活用した遅延低下技術のコストバランスを踏まえ、カメラのエンコーダ処理から、安全要件を踏まえた遠隔監視までのパイプライン(遠隔監視システム(車両側)～通信システム～クラウド～遠隔監視室)の遅延低下技術導入が今後の課題である。

(3) AI 画像解析・可視化技術の開発

AI 画像解析においては、車内監視タスクの AI 画像解析やルールを含む解決方法の特定が必要。車内・車外の複数事象を統合的に検知できる、且つ時系列で動きを予測しリアルタイムで稼働するモデルの開発が今後の課題である。

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

1:3 遠隔監視を含む 3 市町での広域連携が達成された場合、人件費や、システム・オペレーションの共通化等により、自動運転バス 1 台当たりの費用は約 7,160 万円/年から約 3,810 万円/年へ低減、すなわち約 47%低減可能であるものの、さらなる自動運転バスの事業性向上に向けては、遠隔監視の 1:3 以上の確立に加え、車両本体費やハードウェア保守費、販管費などのボトルネック費用解消に向けた取り組みが今後の課題である。



*1: 数値は四捨五入しているため、合計値が一致しない場合あり

図 0.5 本実証における課題:自動運転バス運用の事業性評価

1. 実証の背景・目的

1.1 実証の背景

- 京都府では、市町村単位を超えた連携に着目したプロジェクトの一つとして、「グレーターけいはんな広域連携プロジェクト」を掲げ、関西文化学術研究都市における高次研究機関の集積を生かし、地域の人々が幸福を感じる「サステナブルスマートシティ」の実現を目指した新たなイノベーションの創出に取り組んでいる。
- 特に、2025 年度 大阪・関西万博／けいはんな万博開催、2026 年度 自動運転隊列走行を視野に入れた IC 直結の次世代物流拠点の竣工、2028 年度 新名神高速道路開通、京都・城陽アウトレット開業等、商業都市・学研都市としての地域の役割が更に高まることが見込まれている。
- 一方、地域公共交通に関しては、公共バスドライバー不足が地域全体として顕在化しており、足元の収益拡大につながる需要取り込みも十分にできていない状況である。今後、エリア全体の関係人口増加が見込まれる中、京都府南部各地の取組みの進展を妨げることが懸念される。
- これらを背景に、関西文化学術研究都市におけるモビリティを起点とした地域 DX モデル構築を目指し、現在までに、「将来の収益路線化が見込めるエリア」(京田辺市同志社山手エリア)、「現状赤字路線であり維持・存続が求められるエリア」(木津川市城山台エリア)、「現状収益路線であるエリア」(精華町大通りエリア)の 3 つの観点で捉え、広域連携により収支を成立させる取組みを推進してきている。

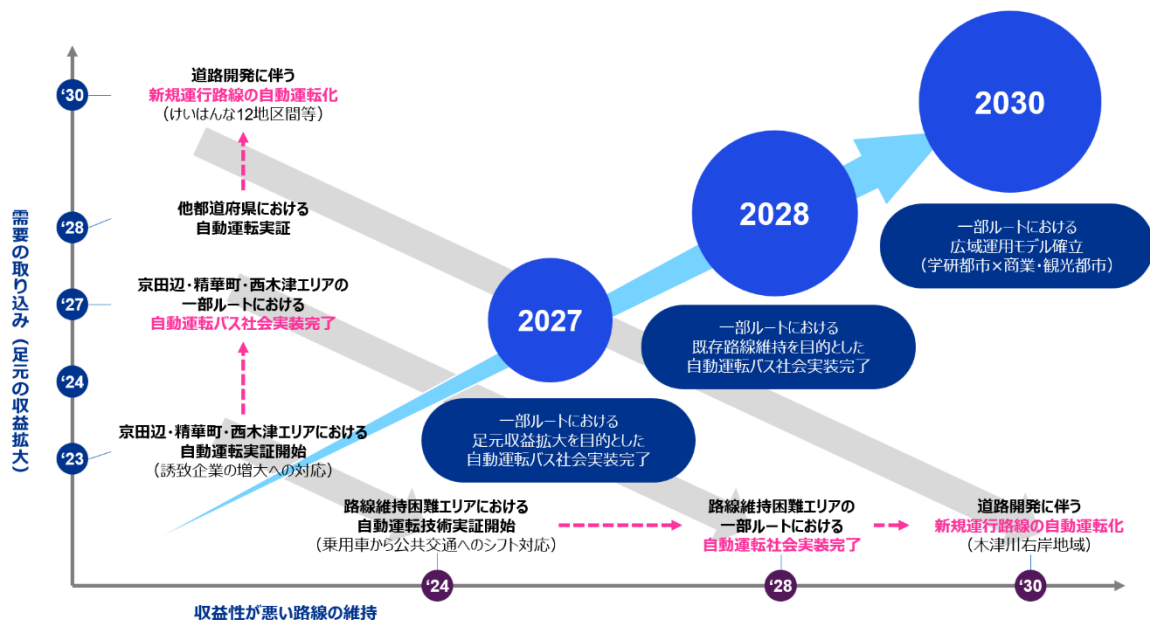


図 1.1 けいはんなエリアにおける取組の推進方針

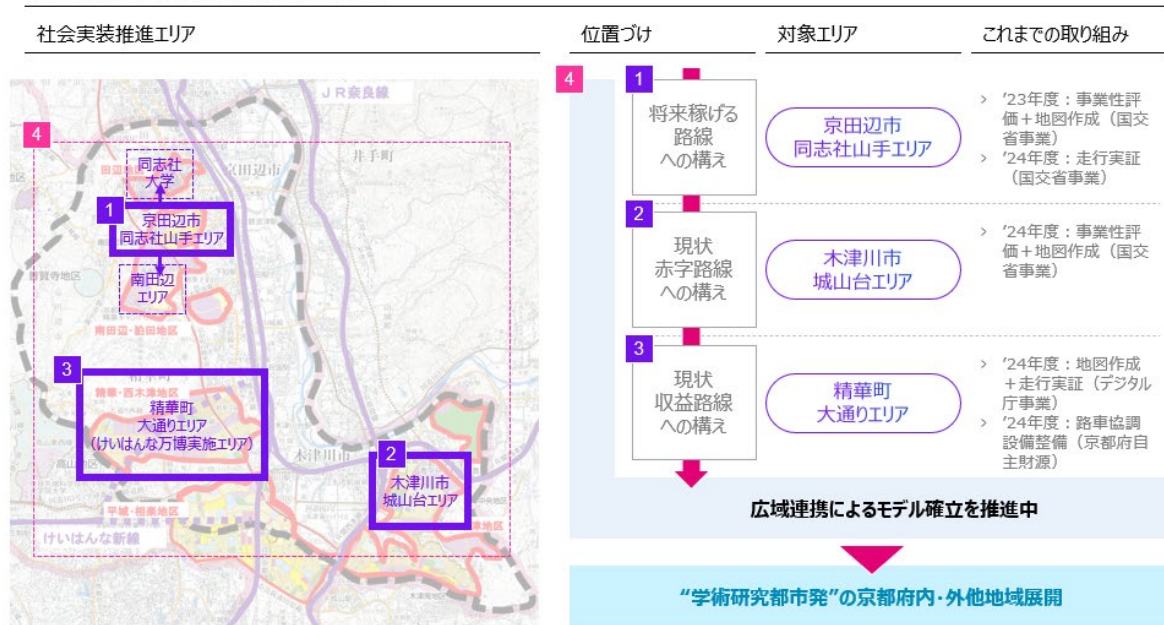


図 1.2 京都府における自動運転バス社会実装方針

1.2 レベル4 自動運転を社会実装する上での実証地域における課題

地域における自動運転社会実装に向けた課題は、「実用性」と「事業性」の2点に大別される。

[実用性面]

地域の関係人口増加が見込まれる中、ドライバー不足の深刻化に手を打つべく地域の公共交通事業者とともに自動運転バスの導入に向けた検討・議論を行っている中で、交通事業者からは、「遠隔監視における通信の断絶等が発生するため、安全確保のため手動切替走行を想定し補助ドライバーを置かざるを得ない状況であり、実運用には耐えられない」という声や、安全性確保が難しい中で自動運転バスにおける立席活用は当面難しい一方で「立席活用ができなければ地域の移動需要を満たす輸送サービスの提供が難しい」といった、運行上の現実的な課題が明らかになっている状況である。

[事業性面]

現状では自治体・交通事業者として自動運転車の運賃収入のみでペイする収支構造にはなっておらず、下記に示す施策を通じた改善を検討しているものの、損益分岐ラインを超える水準にはまだ至らない見通しである。したがって自動運転車両・システムにおける技術面での進化を通じた、更なるイニシャル・ランニングコスト低減が求められている状況である。

(売上向上施策)

・地域の送迎需要（商業施設送迎、病院・福祉施設送迎、保育園・幼稚園送迎、学校送迎等）を公共交通で代替し、施設等事業者が自前運行する際のコストを交通事業者に戻元する新たな仕組みによる、運賃以外の収益源の確保

・外出増加を通じた健康寿命増進・自治体福祉費の低減効果を可視化し、自治体医療・福祉予算を交通予算へ付け替えることによる運行原資の確保

(コスト低減施策)

- ・人件費が高止まりする IT 人材や、確保が難しいオペレータ・保安員等人材の代わりに地域人材などを活用することによる運行コストの最適化
- ・複数自治体(連携)による運行コストの最適化/地域でのヒト・モノ共同利用化を通じたコストシェアによる事業者あたりのコスト低減効果の取り込み

1.3 実証の目的

自動運転の事業性を成り立たせるためには「1:N 遠隔監視」(N は車両数に該当)による人件費低下や、立席運用による売上向上機会の拡大等が求められる。ただ、現状では音声や映像などの断絶の発生やタスクの重複等が予想され、円滑で安全な自動運転車両の運用にハードルが存在する。なお、1:N 遠隔監視とは、図 1.3 に示すように、1 人の遠隔監視員が複数台の車両を同時に監視する仕組みのことである。複数市町において自動運転バスの遠隔監視や運行管理システム等の仕組みを共有しコストシェアリングすることにより、事業性の改善を見込むことができる。

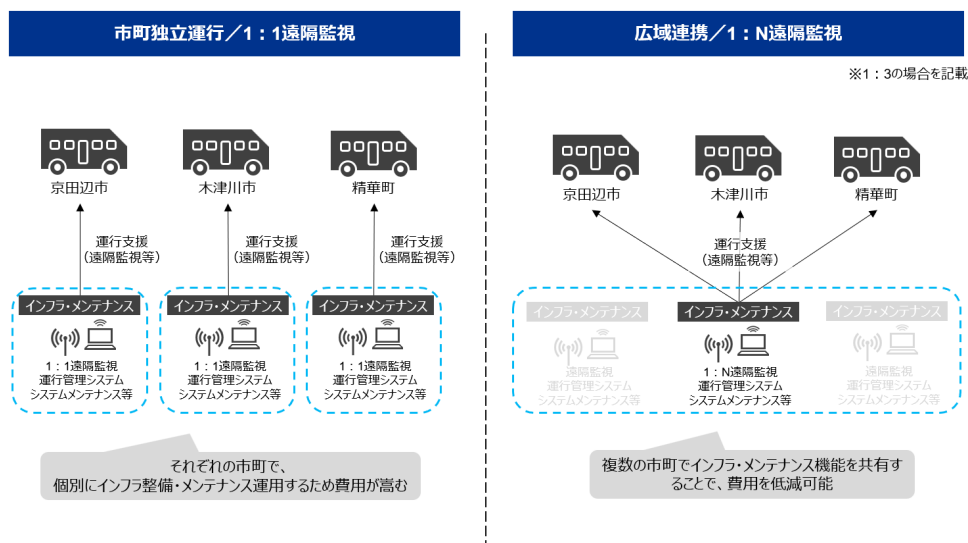


図 1.3 1:N 遠隔監視/広域連携による経済性確保のイメージ

また、自動運転バスの運用において、現状は立席の活用がされておらず、立席活用による売上向上機会の拡大のためにも安全性を担保する必要がある。つまり、レベル 4 自動運転バスの社会実装に向けては、“事業性確保”と“運用性確保”の両立が求められる。

本事業では、複数地域・複数車両前提での遠隔監視に必要な「①通信・映像品質の確保」および AI 画像解析・タスク優先度設定による「②遠隔監視員タスク低減の実現」を実証を通じて検証し、複数地域での 1:N 遠隔監視を前提とした複数自動運転車両の社会実装方法を検証することを目的とする。

1.4 最終目標・構想イメージ

京都府としては、けいはんなエリアにおける自動運転EVバスの社会実装を起点に、観光等の複数領域を含めた広域・業界横断型官民連携モデルを京都府南部で構築する取り組みを進める。具体的には、都市開発が進む学研都市において、今後移動需要増加が見込めるものの、公共バスのドライバー不足により運行ルートが増やせないエリアから自動運転EVバスの社会実装を進めるとともに、広域連携により、事業性が悪い路線維持を目的としたエリアへの自動運転EVバス社会実装につなげていく。

さらに、検証したモデルや検討ステップを活用し、京都府内の他自治体やエリアにおいて、自動運転公共交通の社会実装を横展開していき、2027年に100か所以上での自動運転移動サービス実現に貢献していく。

すなわち、けいはんなエリアでの自動運転事業モデル確立が京都府内での拡大につながることから、今回実証を通じてそのモデルを確立することを最終的な目的としている。

また、共同利用型の仕組みによるコスト低減の仕組み確立や、担い手を含めた運用モデルを構築(自動運転だけではなく、ロボット等他モビリティも含む)も検討している。

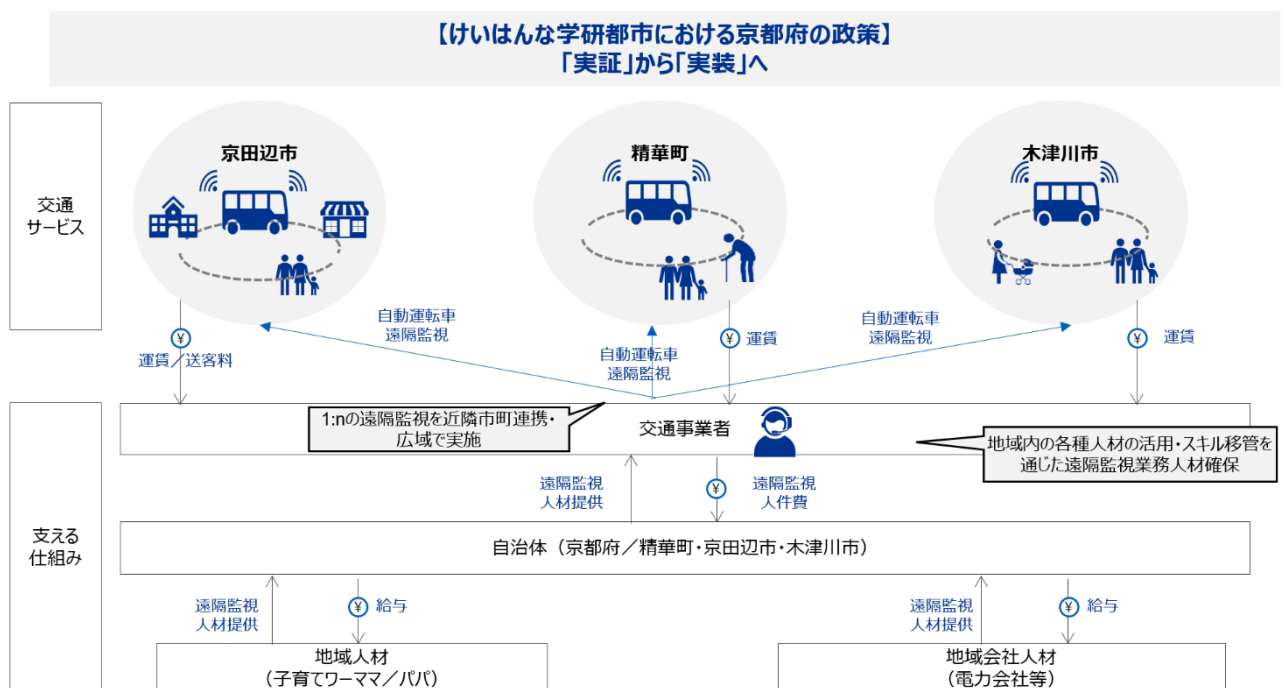


図 1.4 けいはんなエリアにおける最終目標・構想イメージ

2. 業務実施体制

2.1 実証機関

表 2.1 実証機関

代表機関	法人名	アイサンテクノロジー株式会社
	代表者氏名	加藤 淳
	所在地	愛知県名古屋市中区錦三丁目7番14号 ATビル
	業務の概要	1.土木建設業向け CAD システムの設計・開発・販売及びサポート業務 2.計測機器・自動運転システムの販売 3.三次元地図データベース整備のためのソフトウェア研究開発業務 4.三次元データ計測業務及び高精度三次元地図データベース作成の請負業務 5.自動運転に係るコンサルティング事業
	構成員	法人名
構成員	代表者氏名	小島 克重
	所在地	東京都千代田区大手町 2-3-1 大手町プレイスウエストタワー
	業務の概要	国内電気通信事業における県間通話サービス、国際通信事業、ソリューション事業、及びそれに関する事業等
	構成員とする理由	複数モバイル回線を用いるマルチ SIM による帯域確保等の通信技術・複数遠隔監視画像の AI 解析等の環境構築・実証に不可欠であるため
	構成員	法人名
代表者氏名		田中耕造
所在地		奈良市大宮町 1 丁目 1 番 25 号
業務の概要		自動車運送事業等
構成員とする理由		手動介入回数低減、複数監視環境でのタスク低減等の遠隔監視員の運用性、コスト低減効果検証を踏まえ、交通事業者としての事業成立性を見極めるために必要

2.2 実施体制図

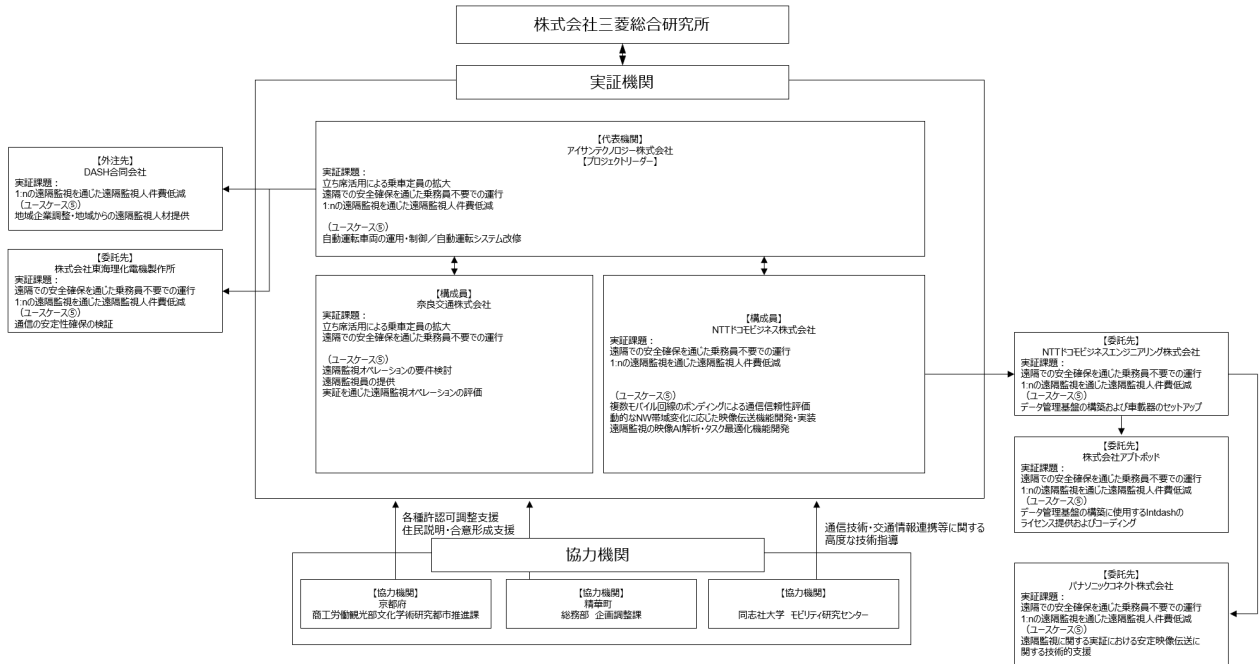


図 2.1 実施体制図

3. 自動運転の運行結果

3.1 運行場所

本実証では、けいはんなオープンイノベーションセンター⇄けいはんなプラザ間を、自動運転レベル 2 で往復走行した。本ルートは、想定社会実装ルート(奈良交通:路線バスルート系統 36:光台住宅線)の一部区間約 1.5 km(往復約 3 km)である。



図 3.1 本実証における自動運転車両の運行ルート

3.2 運行期間

表 3.1 運行期間

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	8月4日(月)～8月8日(金), 8月18日(月)～8月21日(木):計9日間
関係者試乗運行	8月26日(火)～8月27日(水)午前:計2日間
一般運行等	8月29日(金)～9月2日(火):計5日間
その他運行	8月27日(水)午後に実証視察会を実施

3.3 運行時間帯・頻度・運行方式

- (関係者試乗運行・一般運行)
- ・運行時間帯:10:00～17:00
 - ・頻度:1時間に1往復

・運行方式:ツアー形式で実施。事前予約制。

※ツアー形式:試乗予約者はけいはんなプラザに集合し自動運転バスに乗車。けいはんなオープンイノベーションセンターへ移動し、遠隔監視室を見学。見学後、再度自動運転バスに乗車し、けいはんなプラザへ戻り解散(図 3.2 参照)。



図 3.2 ツアー形式の概要

また、各運行におけるツアーの様子を以下の図 3.3～図 3.6 に示す。



図 3.3 実証視察会における説明会の様子
(けいはんなプラザ)



図 3.4 一般試乗(住民向け試乗会)における説明会の様子
(けいはんなプラザ)



図 3.5 試乗者が自動運転バスに乗り込む様子
(けいはんなプラザ・一部画像加工済み)



図 3.6 遠隔監視室見学の様子
(けいはんなオープンイノベーションセンター・一部画像加工済み)

3.4 運行者

アイサンテクノロジー株式会社

3.5 運行体制

表 3.2 運行体制

項目		内容
運行管理者の選任・人員体制		アイサンテクノロジー株式会社
遠隔監視設備	種類・特徴	<p>【指示できる操作内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視員と車内関係者間で通話機能を用いて意思伝達が可能。 <p>(シーン例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・車室内での乗客の不安全状態の検出結果を 遠隔地で確認し、車室内の乗客へ注意喚起を促す。 ・車外カメラのエアウォッシャーシステムを遠隔で駆動する。 <p>【車両から受信するデータ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・複数カメラの画像を統合処理した 360 度の車外映像表示 ・車室内カメラ映像表示 ・車速やハンドル舵角などの車両制御情報 ・音声通話

		<ul style="list-style-type: none"> ・車外マイク ・エアウォッシャー駆動情報
	機能	自動運転車両の遠隔監視および運行管理を行うため、自動運転車両の配車・運行管理機能・遠隔地への車内外映像・音声出力機能を保有
	設置場所	〒619-0238 京都府精華町精華台7丁目5-1 けいはんなオープンイノベーションセンター
遠隔監視員	事業者	奈良交通株式会社 DASH 合同会社
	人員体制	遠隔監視員の人数:計2-3名(交通事業者1名・地域人材1-2名) ※1 運行当たり1名で実施予定 自動運転車両1台当たりの配置人数:0.33人
	オペレーション	自動運転車両に取り付けられたカメラや音声等の情報を遠隔監視室に備えた遠隔監視システムを通じて遠隔監視員がモニタリング
	遠隔監視体制	1:3の遠隔監視を想定した環境を構築の上実施
	業務従事者教育	<p>(1)事前学習 以下の事前学習資料を提供し、事前に自動運転に関する理解の醸成を図る。 ①自動運転バスの基礎知識(車両構造、センサーの役割、システム概要) ②遠隔監視業務の役割と責務 ③ODD(Operational Design Domain)の理解 ④関係法令(道路交通法、自動運転に関するガイドライン) ⑤緊急時対応手順(通信障害、システム異常、乗客対応)</p> <p>(2)実地研修 自動運転バスの安全な運行に必要な知識と技術を習得する。具体的には、遠隔監視画面からの情報を通じて車内外の状況をリアルタイムで把握できるようにする。また車内の異常や通常の状態判断、さらには車外の状態や歩行者、自転車、バイク等の動きの確認、監視対象の状態を監視し、異常が発生した場合にはすぐに適切な対策を講じられるように、また定められた連絡先に連絡を取るなどの対応を行う。 ①監視システムの操作研修(画面構成の理解、操作方法の習得) ②検知すべき異常の種類(車両・環境・通信など) ③異常発生時の対応訓練(通信障害発生時の対応、車両異常発生時の判断基準と対応手順) ④乗客対応訓練(車内トラブル・体調不良者発生といった乗客からの問い合わせ対応、その他緊急対応) 記録作成(異常発生時の判断と記録作成訓練)</p>
テスト ドライバー	事業者	アイサンテクノロジー株式会社
	人員体制	運転手の人数:1人 自動運転車両1台当たりの配置人数:1人
	オペレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・朝夕の自動運転車点検作業を行う。 ・運転席横の備え付け自動運転介入制御ボタンにより手動・自動の運転モード切替えを行う。 ・走行中に何らかの危険を感じた際はフットブレーキを踏んでオーバーライド(強制介入)し、手動モードに切り替える。

	<p>テストドライバーの確保及びこれらに対する業務従事者教育・訓練の計画</p>	<p>これを繰り返すことにより、運行ルートを自動走行させる。</p> <p>1. テストドライバーの確保 自動運転バスの運行にあたり、安全かつ適切な運行管理を行うため、以下の条件を満たす交通事業者のドライバーを確保する。</p> <p>対象者： 大型バスの運転経験を有し、日常的に業務で運転している者 【選定基準】 (ア)大型自動車第二種運転免許を有していること (イ)過去5年間に重大な交通違反・事故歴がないこと (ウ)安全運転に対する意識が高く、業務従事者としての適性があること</p> <p>2. 教育・訓練計画 テストドライバーに対して、自動運転バスに関する知識と実技を習得するための教育・訓練を実施する。</p> <p>(1) 事前学習およびテスト 【目的】 自動運転バスの基本知識を習得し、業務遂行に必要な理解度を確認する。 【内容】 事前検証資料の提供： ①自動運転バスの操作方法(自動走行方法やオーバーライド方法など) ②ODD(Operational Design Domain:運行設計領域)の理解 ③自動運転ガイドライン及び関係法令(道路交通法、運行管理規則など) ④緊急時対応手順(システム異常、事故発生時の対応) 確認テストの実施： 事前学習後に理解度確認テストを実施し、合格した者のみ次の研修へ進む</p> <p>(2) 閉鎖空間における実車研修(2日間) 【目的】実際の自動運転バスを用いて、安全な環境で基本操作を習得する。 【内容】 1日目： ①車両の構造および機能説明(LiDAR、カメラ、センサーの役割) ②操作体験(発進・停止、手動操作⇔自動運転の切り替え) ③システム異常時の対応訓練 2日目： ①シナリオ別訓練(緊急ブレーキ、障害物回避) ②実車を用いた異常発生時の模擬対応訓練 ③研修終了後の評価およびフィードバック (3) 実際の運行ルートにおける OJT(2日以上) 【目的】 実際の運行環境下で、自動運転バスの操作を実践する。 【内容】 初日： ①ルートごとのリスクポイントの把握 ②オペレータとの連携方法の把握 ③インストラクター同乗のもと、通常運行ルートを確認(手動走行) ④インストラクター指導の下の公道自動運転操作訓練 2日目以降： ①インストラクター指導の下の公道操作の習熟 ②各走行後の評価およびフィードバック</p>
--	--	--

		一定の評価基準を満たした場合、正式な業務従事者として認定【実施状況】 ・アイサンテクノロジーから派遣予定のテストドライバーに関しては、上記事項実施済。
保安員 (※上記以外で 運行の安全の ために配置す る人員)	事業者	アイサンテクノロジー株式会社
	人員体制	保安員の人数:2人 自動運転車両 1台当たりの配置人数:1人
	オペレーション	自動運転車載システムの起動・操作により、自動運転システムの状態や周囲環境を監視し、異常・トラブル発生時や緊急時に停止指示や手動介入等を行い車両の保安を担う役割を担う。。また、ODD 設定外時におけるオーバーライドの記録を実施。
	業務従事者 教育	Autoware の基本機能、エルガ(改造自動運転バス)特有の機能の説明 アイサンテクノロジー指定のフィールドにて事前研修 現場での実地訓練

3.6 自動運転車両の特徴

表 3.3 自動運転車両の特徴

項目		内容
台数		1台
所有者		アイサンテクノロジー株式会社
車両 スペック	車両名	エルガ(改造自動運転バス)
	自動運転レベル	レベル2
	車両定員	76名
	試乗枠の定員	27(運転手1名+座席26名)
	最高速度	車両機能上限:100 km/h
		実証実験時上限:60 km/h
	センシングデバイス	LiDAR:8個、Mobileye(物体検知用システム)1台、信号認識カメラ2台、遠隔監視用カメラ(車室外カメラ12台、車室内カメラ5台)
車両性能 (チェックを入れること)	<input checked="" type="checkbox"/> 走行中に自動運転と手動運転を切り替えることが可能な遠隔型自動運転システムを備えた自動車として生産された車両である <input checked="" type="checkbox"/> 自動運転レベル2以上での走行が可能であり、かつ将来的に車両調整	

	運行管理システム (チェックを入れること)	等により自動運転レベル4での走行が可能であること		
		☑乗車定員は、実証地域で将来的に実装することを想定した適当な規模であること		
		☑車両に搭載したカメラによる車両内外の遠隔監視		
		☑緊急時における車内との通話		
		☑速度や位置等の車両走行状態のリアルタイムでの取得		
		☑実験車両に車両周辺の状況や車両状態情報の記録を行うドライブレコーダーやイベントデータレコーダー等を搭載すること		
		☑公道実証実験中の実験車両に係るセンサ等により収集した車両状態情報を含む各種データ、センサの作動状況等について、交通事故又は交通違反が発生した場合の事後検証に利用することが可能な方法により、適切に記録・保存すること		
	その他装備	GNSS、IMU		
走行可能環境	天候	晴れ、曇り、雨量 15mm 以下		
	照度	制限なし		
保有機能	自転車操作	左折	走行可否	走行可
		右折	走行可否	走行可
		車線変更	走行可否	走行可
		障害物回避	対応可否	対応可
	対象認識	①車両 L 普通車両、大型車両 ②歩行者 ③自転車 ④オートバイ その他(上記未該当のもの)		
白線認識	行わない			

	標識認識	行わない
	信号認識	カメラ及び信号連携
	MRM(※)	あり
本実証のために実施する自動運転システム改修の内容		走行データアップロード機能の開発 自動運転バス位置情報の配信 API 開発 路駐/洪水浸水情報取得時、走行経路の切り替え機能開発
その他特徴等		<ul style="list-style-type: none"> ・世界 20 か所以上で活用実績のあるオープンソース自動運転ソフトウェアである Autoware を搭載 ・自己位置推定は高精度 3 次元 MAP を活用(Scan Matching) ・その他に、GNSS、GMPS(磁気マーカ)のデータをマージもしくは単独利用した走行が可能。 ・3DLiDAR による物体検出が可能。横断歩道では横断者を検知し、自動で停止する機能を有する。 ・走行中の自動運転/手動運転切り替えが可能。

(※)MRM(ミニマルリスクマヌーバ、Minimal Risk Maneuver):

安全に走行できない事象が発生した場合の対処として、事故リスクが十分低い状況での停止状態に至るように行う車両制御

3.7 自動運転に関する手続き

実施に当たって、下記の報告及び許可申請を実施した。

表 3.4 自動運転に関する手続き

申請先・調整先	申請内容・調整内容
京都府警	実証概要・走行計画について事前に報告。特段申請事項は無し。
木津警察署	実証概要・走行計画について事前に報告。特段申請事項は無し。
田辺警察署	実証概要・走行計画について事前に報告。特段申請事項は無し。
精華町企画調整課	実証概要・走行計画について事前に報告。特段申請事項は無し。

4. 実証の手法

- 4.1 ①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保

当該ユースケースは実施していない

- 4.2 ②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保

当該ユースケースは実施していない

- 4.3 ③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用する技術の頑健性検証

当該ユースケースは実施していない

- 4.4 ④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装

当該ユースケースは実施していない

4.5 ⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証

4.5.1 交通事業者のオペレーション性を考慮した上での AI 画像解析、タスク優先度設定を踏まえた遠隔監視員の業務所要時間低減/複数地域・複数台前提での安定通信要件の検証

1) 目的

公共バスドライバー不足が顕在化している中で、一定条件下での完全自動運転が可能で運転手が不要となるレベル4自動運転移動サービスへの期待が高まっている。一方で現行のレベル4自動運転の技術は途上であり、現状では無人の運行が難しいため、その補助として乗務員の乗車や遠隔監視等の手法が検討されている。これらの手法においては、乗務員・遠隔監視員の人件費が発生することで、本来自動運転移動サービスが解決すべき人手不足の解消に至っていない。本実証ではこの課題を解決するため、自動運転移動サービスの遠隔監視において一人の遠隔監視員が複数車両を監視する[1:N遠隔監視]による、技術・事業の両面における人件費低減効果を検証する。

1:N遠隔監視の実施においては、以下に示すような課題が存在する。

(通信面の課題): 遠隔監視等に必要な通信の途絶が発生するため、通信の品質の維持向上が必要である。

(事業性の課題): 遠隔監視員の人件費等が主なコスト支配項目となっており、事業性成立のハードルとなっており、一人の遠隔監視員が複数台を監視することによる各種リソース共有化によるコスト低減効果が必要である。

(運用性の課題): 異常検知を通じた遠隔監視員の負荷低減

これらを踏まえ、本実証の目的を「①通信・映像品質の確保」および「②遠隔監視員タスク低減の実現」が実現可能かどうか検証し、複数地域での1:N遠隔監視を前提とした複数自動運転車両の社会実装方法を模索することとした。

また、複数地域・複数台での1:N遠隔監視に向け、国内外では1:3を最小単位とする遠隔監視が事業化の最低ラインとする事例が存在^{1,2}することと、経済性の確保という観点も併せて、本実証における同時遠隔監視のバス台数(N)を3台として、1:3の通信システム等の検証を実施した。なお3台の内訳は自動運転バス1台・レンタカー2台である。

2) 実証内容の詳細

遠隔監視対象は[車内の事象]と[車外の事象]に大別されるが、車外の事象に関しては現在自動運転開発事業者による開発スコープに入っており、遠隔監視事業者においても個別に車外の事象に対応する開発を進める場合、将来的にバッティングが想定される。そのため、本事業においては、車内の事象(停留中・走行中等)における車両の安全管理等のユースケースを実証のスコープとする。具体的な

¹ 東日本電信電話株式会社, https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20221215_01.html

² SOMPO インスティテュート・プラス, https://www.sompo-ri.co.jp/topics_plus/20250120-15708/

ユースケースの選定方法については、4.5.1 6)(3)にて詳細を記載する。

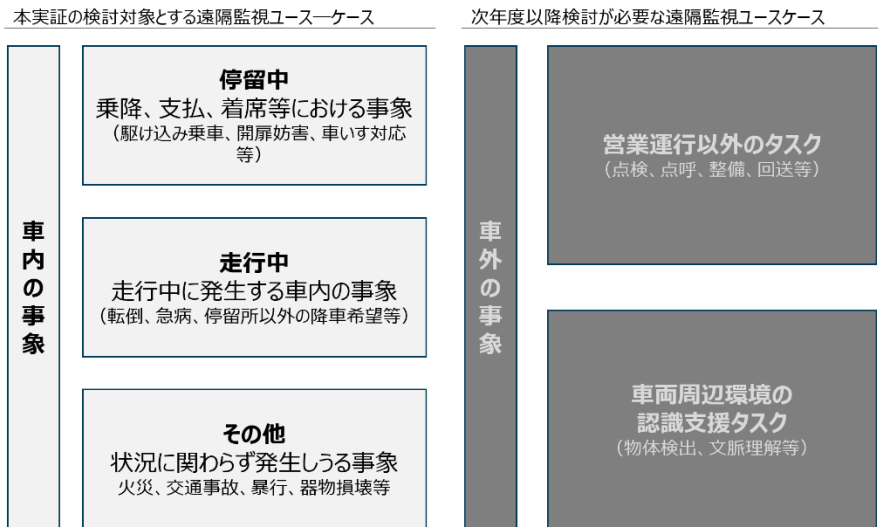
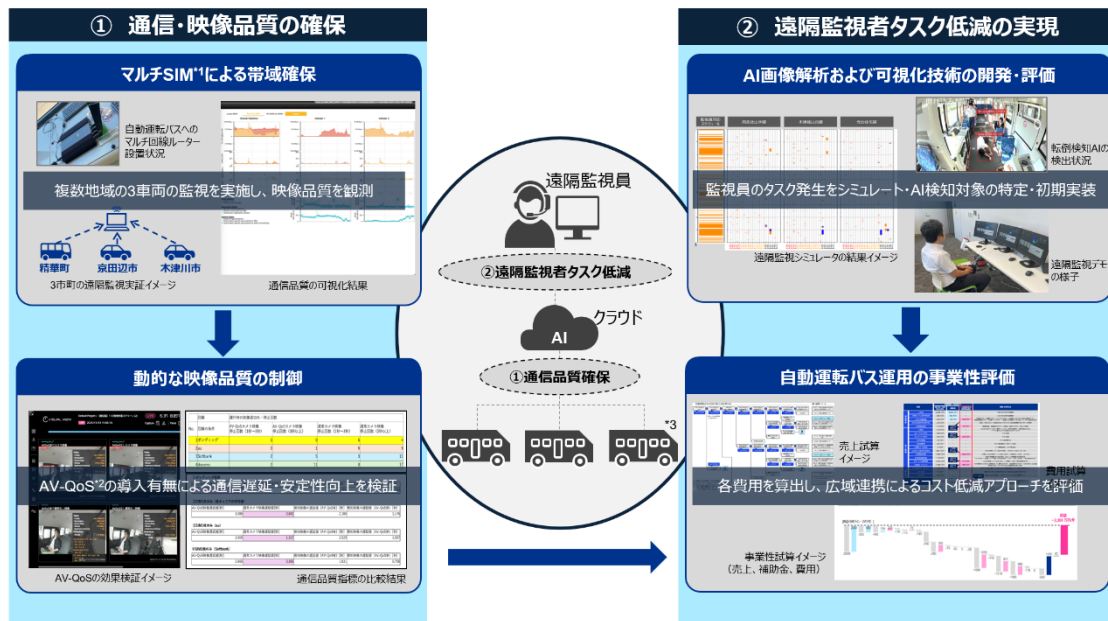


図 4.1 本実証の遠隔監視タスクに関するスコープの考え方



*1：複数キャリア回線を束ねて、通信帯域拡張・通信安定化を実現する技術のこと
*2：ネットワークの品質に応じて画質などを調整可能な映像伝送の技術のこと
*3：本実証ではバス車両は1台とし、残り2台はレンタカーを利用

図 4.2 実証内容の概要

車内ユースケースを踏まえた1人複数車両の遠隔監視を成立させるため、本実証では「①通信・映像品質の確保」および「②遠隔監視員タスク低減の実現」を検証する。それぞれの項目において、さらに2つの項目を割り当て、以下に示す合計4点の開発・評価項目を設定した。

[通信・映像品質の確保]

- マルチ SIM による帯域確保

- 動的な映像品質の制御

[遠隔監視員タスク低減の実現]

- AI 画像解析および可視化技術の開発
- 自動運転バス運用の事業性評価

なお、本実証で用いた遠隔監視を含む自動運転システムの全体像は図 4.3 に示すように、大きく 5 つのシステムに分類される。自動運転システム、遠隔監視システム、通信システム、クラウド、遠隔監視室である。

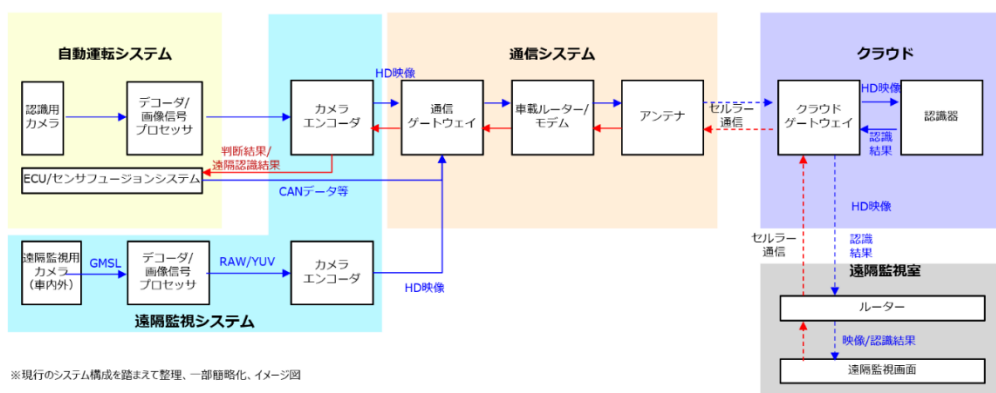


図 4.3 遠隔監視を含む自動運転システムの全体像

3) 利用技術

次の4つの開発・評価項目において、次の技術を利用した。

[通信・映像品質の確保]

- マルチ SIM による帯域確保

本技術は、監視員や遠隔監視システムを共同利用するために必要な通信の品質維持・向上を実現するものである。本実証では、複数キャリア回線を束ねて、通信帯域拡張・通信安定化を実現する技術であるマルチ SIM を用いてこの仕組みを実現する。これにより、複数遠隔地において異なる 3 市町を走る実走行車両の映像をスムーズに、低遅延・リアルタイムで送信するとともに、安全監視に向けた課題を導出する。

- 動的な映像品質の制御技術

本技術(AV-QoS)は、ネットワークの品質に応じて画質などを調整可能な映像伝送の手法である。本実証において、バス走行の実施中に通信環境が変化した際も、最適な通信を実現する必要がある。本技術を活用することで動的な NW 環境にて帯域変化が発生する状況の中でも、安定した品質の映像を送り続けることが可能となる。

[遠隔監視員タスクの低減]

- AI 画像解析および可視化技術の開発

- 1:N 遠隔監視シミュレータ

本シミュレータは、遠隔監視員のタスクの重複を定量的評価するものである。以前であれば、遠隔監視員の工数に関して安全性や定時性の担保を目的に定性的に評価されていたが、本実証では、車掌業務をすべて定量化し、それらのタスクの重複をシミュレートすることで、複数台同時遠隔監視の実現可能性および課題を定量的に把握可能である。

- AI 画像解析および可視化技術を用いた、実車環境における 1:N 同時監視タスクの自動化・オペレーションの検証

本技術は、自動運転バスの事業化に向けて、複数地域をまたいだ複数台の自動運転バスで起こるイベントを適切に検知し、監視員が認識可能な形で可視化を行うものである。検知には AI 画像検知システムを活用し、可視化画面は各車両の詳細ステータスを映す画面に加えて、全車両の異常発生有無等の概要が分かる画面を具備させている。これにより、本実証の狙いである、監視員や遠隔監視システムの共有化を実現し、コスト低減に資する仕組みの構築が可能となる。

- 自動運転バス運用の事業性評価

(机上評価となるため該当技術はなし)

4) 必要性・緊急性・新規性

自動運転の事業性を成り立たせていくためには、コスト面において「1:N の遠隔監視型」実現による 1 自治体／路線あたりの人件費削減、売上面において「安全性担保を前提とした立席運用」による売上向上機会拡大、の両立が不可欠となる。1:N 遠隔監視型でのオペレーション性を担保するためには「手動介入回数の低減」が必須であり、タスク優先度設計等による低減余地の検証が必要となる。

1:N 遠隔監視を想定した環境において、有人同等の安全を確保可能なオペレーションの成立性と、これを支える通信要件を検証することで、交通事業者として実運用に耐え得る運用を検証していく点に新規性があると考えている。

自動運転バス事業の収益構造イメージ

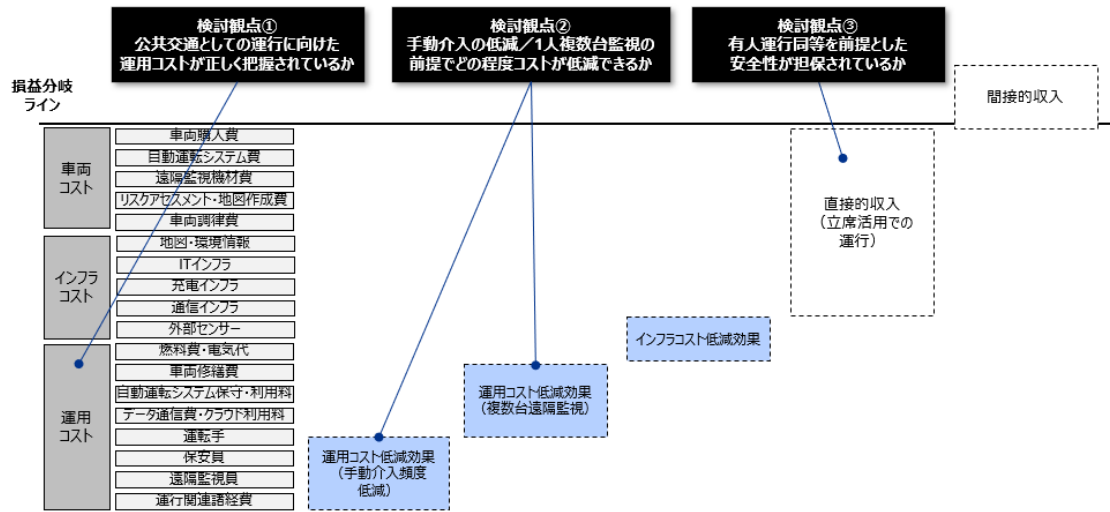


図 4.4 自動運転バス事業の収益構造イメージ

5) 検証条件

- ・ 複数のモバイル回線(ドコモ、SoftBank、au)のマルチ SIM を用いた帯域確保により、遠隔監視に必要な情報を伝送し可視化する。遠隔から検証項目における車載器側の設定項目(伝送映像のビットレート・解像度等)を変更する。遠隔監視に必要な通信要件を確保できているか検証を実施する。
- ・ 動的な NW 帯域変化に応じた映像品質で遠隔監視に必要な映像を伝送し、可視化する。
- ・ 複数車両の遠隔監視の映像を AI 解析し、異常発生時に監視者に通知する。
- ・ 異常発生を見込む車両は1車両までとする。
- ・ 遠隔監視システム関連の HMI について、交通事業者の運用性観点を踏まえ要件を整理する。
- ・ 要モニタリングタスク同時発生時のオペレーション、運用面での許容水準についても交通事業者等を交え机上検討・検証する。

6) 開発・評価項目

表 4.1 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	マルチ SIM による帯域確保
(2)	動的な映像品質の制御
(3)	AI 画像解析および可視化技術の開発
(4)	自動運転バス運用の事業性評価

(1) マルチ SIM による帯域確保

【目的】

自動運転の監視を行うためには、車両データや車内外映像等を低遅延かつ高い安定性を保って監視室側で確認できる必要がある。現状は、単一 SIM でのデータ伝送量の上限や、通信可能区域の制限、基地局切り替わり時の通信不安定等の課題があり、高品質な車両データを伝送できないケースがある。今回はマルチ SIM の技術を用いて、特に車載カメラの映像品質に違いが出るかを検証にて明らかにした。

【概要】

本検証では(a)マルチ SIM 適用有無での映像品質の比較、(b)マルチ SIM 適用時の異常イベントアラート発報の遅延時間測定を実施した。

(a)マルチ SIM 適用有無での映像品質の比較では、同一システムを載せた自動運転バスにて、けいはんなプラザ～けいはんなオープンイノベーションセンター間を走行した。このときの通信条件を 3 キャリアでのマルチ SIM 有りの場合と各 SIM を単一で利用する場合で分け、それぞれの伝送映像を比較する。カメラは 1Mbps のビットレートで 5 台分のデータを伝送した。

(b)マルチ SIM 適用時の異常イベントアラート発報の遅延時間測定では、マルチ SIM 利用環境下で異常イベント発生から遠隔監視画面でのアラート通知までの処理時間を計測した。当初の KPI であるイベント発生からアラート通知まで 3 秒以内を満たすことを検証した。

(a)マルチ SIM 適用有無での映像品質の比較

【測定手法】

・マルチ SIM 適用時の車載システムとマルチ SIM 適用無しで、以下の観点にて映像品質を比較した。

1. 映像品質の定性的な比較(映像に途切れや乱れがないか)
2. 映像遅延の定性的な比較(映像の遅延時間の確認)

(b)マルチ SIM 適用時の異常イベント発生から監視画面上でのアラート発報までの遅延時間測定

【測定手法】

・マルチ SIM 適用時の車載システムを用いて、以下の手法で異常イベント発生からアラート発報までの遅延時間を測定した。

■基本情報

- ・測定場所:エルガ車内
- ・測定者:2 名(結果確認者:1 名、演者 1 名)
- ・発生させる異常イベント:扉付近侵入、車内転倒

■実施手順

1. 演者が異常イベントを発生させたタイミングで、結果確認者はストップウォッチで計測開始する
2. 結果確認者は、手元の PC から監視画面を確認し、アラートが発報されるまでの時間を確認する
3. アラート発報時に手元のストップウォッチにて計測を停止し、結果を記録する
4. 異常アラートに対して、10 回ずつ繰り返す

(2) 動的な映像品質の制御

【目的】

自動運転の遠隔監視において、車内外のカメラ映像を低遅延かつ高い安定性を保って伝送することが必要である。しかし、伝送する映像データサイズと映像品質はトレードオフの関係にあり、高い映像品質を送り続けようとする、帯域逼迫により映像が途切れてしまう恐れがある。

そこで、リアルタイムの通信品質に合わせて映像データのエンコードを切り替えることが可能な AV-QoS 技術を導入することで、バスのような移動体で課題である「不安定な通信状況下での伝送映像安定化」への有効性を検証した。

【概要】

本検証では、AV-QoS を利用する場合と、そうでない場合でのカメラ映像の品質にどれほどの違いがあるかを確認した。特に、映像の途切れ・乱れがあるか、映像遅延が発生しているか、AI 連携時の検知結果を比較することで、AV-QoS 導入による優位性を検証した。

【検証項目】

以下の検証を実施した。

AV-QoS 導入時と非導入時での以下の比較検証

- ①映像品質(途切れ、停止回数)の比較
- ②遅延値比較
- ③AI 検知率による映像品質の比較

【測定方法】

■基本情報

- ・測定場所:レンタカー車内
- ・測定者:2 名(結果確認者:1 名、演者 1 名)
- ・走行ルート:けいはんなプラザ～けいはんなオープンイノベーションセンター(図 3.1 を参照)
- ・AV-QoS 非導入カメラの設定:
 - ・解像度:HD
 - ・フレームレート:30fps
 - ・ビットレート:5Mbps

■実施手順

1. レンタカーの後部座席に向けて同じ画角で AV-QoS 導入カメラと非導入カメラを設置する。
このとき、映像に被撮影者 2 名が写る画角で設置する。
2. 被撮影者は、手元の PC で映像データを確認し、画面録画を実施する。
3. 走行ルートを一周する。
4. 実施項目に合わせて、通信品質やカメラ設定を変更し、全項目での検証を実施する。

■詳細情報

①映像品質(途切れ、停止回数)の比較

けいはんなオープンイノベーションセンター～けいはんなプラザ間の往路における AV-QoS 導入映像と非導入映像について、検証時の遠隔監視画面のキャプチャー映像を利用して、映像が 1～3 秒停止していた回数と、3 秒以上停止していた回数をそれぞれ算出・比較した。

②遅延値比較

けいはんなオープンイノベーションセンター～けいはんなプラザ間の往復の走行ルートの中で撮影した走行序盤・中盤・終盤の映像について、カメラで撮影された[現在時刻を表示した PC 画面]を比較することで、AV-QoS 導入映像と非導入映像でどれくらいの時刻差分(遅延)があるか確認した。

③AI 検知率による映像品質の比較

けいはんなオープンイノベーションセンター～けいはんなプラザまでの往復の走行ルートにおいて、車載カメラの映像から AI で乗客 2 名を継続的に検知できていたデータ数が、全体のデータ数のうちどれくらいの割合であったかを算出し、AV-QoS 導入時と非導入時で比較した。

なお AI 検知は人数カウントモジュールを利用しており、本検証で取得した映像は画像センシングボックスに入力することで AI による検知結果を取得できるようにした。

(3) AI 画像解析および可視化技術の開発

本項目では、大きく分けて2つの検証を実施する。1つ目は1:N遠隔監視検証シミュレータを用いた、1:N遠隔監視の成立性と実現に向けた必要な技術・運用の検証、2つ目は実際にAI画像解析および可視化技術を用いた、実車環境における1:N同時監視タスクの自動化・オペレーションの検証である。

(A) 1:N遠隔監視シミュレータを用いた1:N遠隔監視の成立性と実現に向けた必要な技術・運用の検証

【背景と現状の課題】

無人の自動運転バスでは、有人運行バスにおいて運転者が行っていた業務を遠隔監視員が代替して実施する必要がある。

複数台を同時監視する場合は遠隔監視員のタスク重複が発生し、ダイヤの乱れ・安全性の低下につながる。そのため、タスクの自動化やルール化による業務の乗客への転嫁等のタスク低減施策により遠隔監視員の工数を低減させることが必要であるが、すべてのユースケースに対してタスク低減施策を講じることが費用面・運用面で難しい。また、こういったユースケースを解決することでダイヤ通りの運行・安全確保されるか、定量的な検証は未だされておらず、その評価手法を構築する必要がある。定量的な評価手法確立のため、まずは検討対象とするユースケースを定める必要がある。まず、交通事業者へのヒアリングや業務マニュアルを参考に、遠隔監視員が行うべきユースケースを63項目特定した。

【ユースケースの分類の段階について】

本実証では63項目のユースケースを2段階のステップで分類する。これは、「車内ユースケースへの絞り込み」「解決方針の特定」に分けるためである。

1段階目では、63項目の車内ユースケースへの絞り込みを行う。本年度の実装対象ユースケース特定のため、図4.1記載の範囲に応じて本年度の検討対象である車内ユースケースに絞り込み、解決策を講じる優先度付けを行った。

2段階目では、車内ユースケースの解決方針の特定を行う。次年度以降の無人の自動運転バスの社会実装に向けた方針策定のため、すべての車内ユースケースにおいて、どのように解決策を講じるべきかを分類した。

なお本章では、1段階目に相当する、本年度の検討対象とする車内ユースケースへの絞り込みを行い、その優先度付けの手法を示す。2段階目である各ユースケースの解決方針の特定については、7.1章において検討結果を記載する。

【車内ユースケースへの絞り込み】

今年度の実証で検討対象とするユースケースは、営業走行中の業務に該当すること、車両の操作以外の業務であること、他者によるトラブル発生等の対応以外であること、既存のシステムで対応できる業務でないこと、年1回以上の発生が確認できることをすべて満たすものを対象とし、22項目に絞られた(選定方法は図4.5参照)。

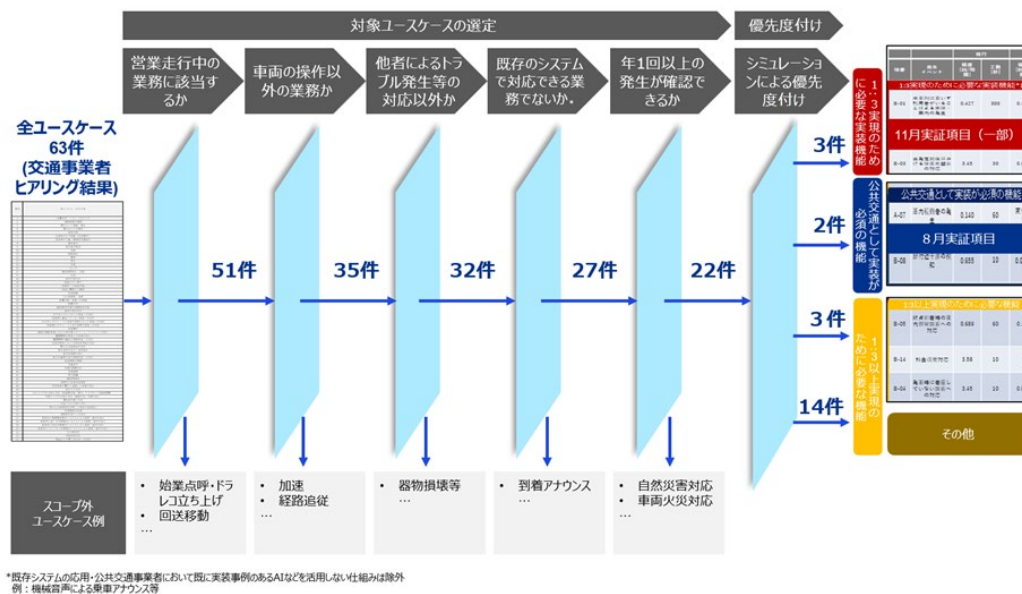


図 4.5 車内ユースケースへの絞り込みとシミュレータによる優先度付けのイメージ

22 項目のうち、特に遠隔監視員の工数が大きく、安全性と定時性に影響があることを基準に優先付けを行った。

優先付けにより、22 項目の車内ユースケースを「1:3 実現のために必要な実装機能」「公共交通として実装が必須の機能」、「1:3 以上実現のために必要な機能」の 3 つに分類を行った。

「1:3 実現のために必要な実装機能」は、本シミュレーションにより特定する。「公共交通として実装が必須の機能」は、交通事業者へのヒアリングを通じ、必ずしも工数が大きいわけではないが実装が必要な項目として特定した。その他の項目を「1:3 以上実現のために必要な機能」と分類した。

【シミュレータの目的】

本シミュレータでは、「1:3 実現のために必要な実装機能」を特定することを目的とする。

そのため、複数のバス運行により発生するタスクと、遠隔監視員がそれらを処理する様子をコンピュータ上で疑似的に再現することで、1:3 遠隔監視の「運用性の担保」、すなわち「定時性」と「安全性」を両立するのに負担低減が必要であるユースケースを特定した。

具体的には、自動化等による遠隔監視員の負担低減施策を全く行わない場合、1:3 遠隔監視が運行として成立するかどうかをシミュレータにより確認した。その後、1:3 遠隔監視が運行として成立するために自動化等により負担低減をするべきユースケースを特定し、それらにより 1:3 遠隔監視が運行として成立するかをシミュレータにより確認した。

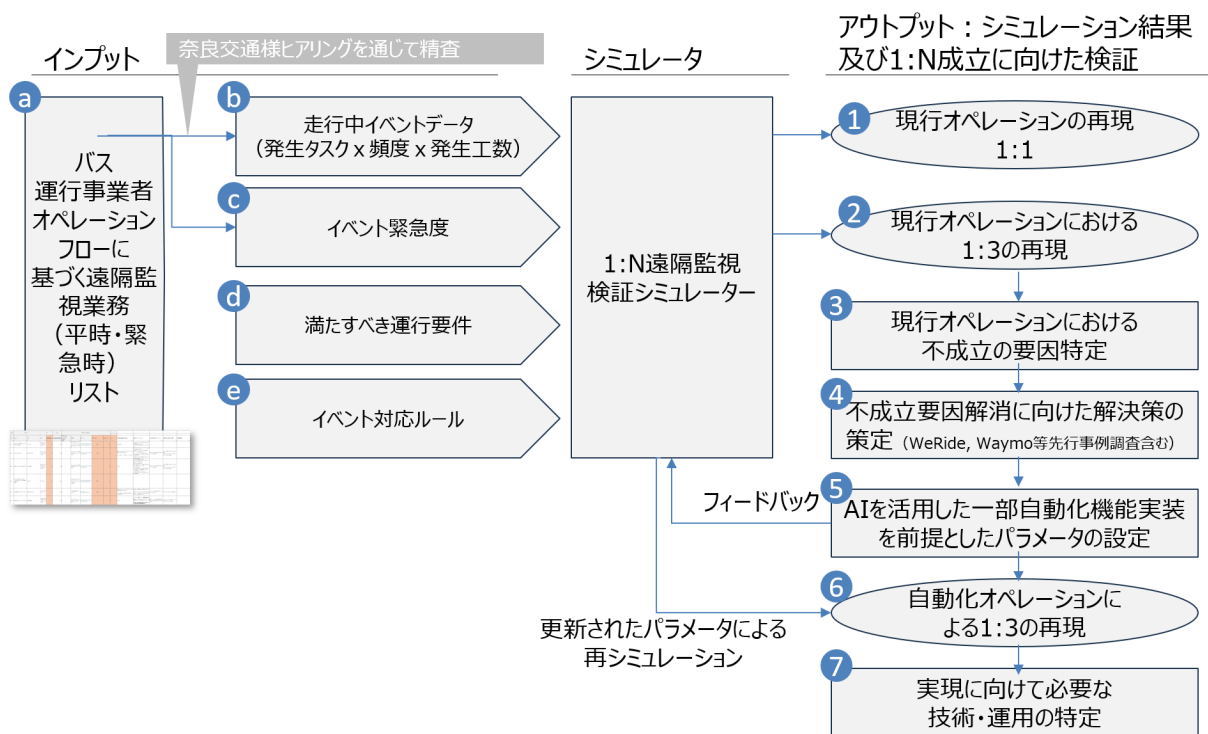
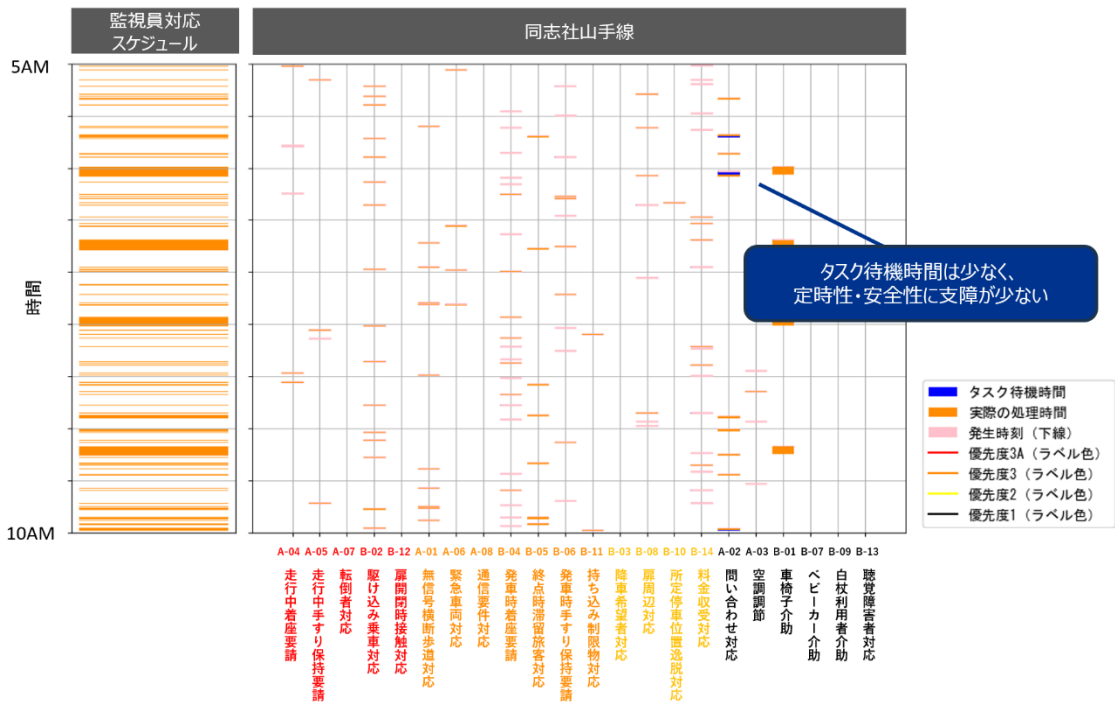


図 4.6 遠隔監視シミュレータへのインプットとアウトプットのイメージ

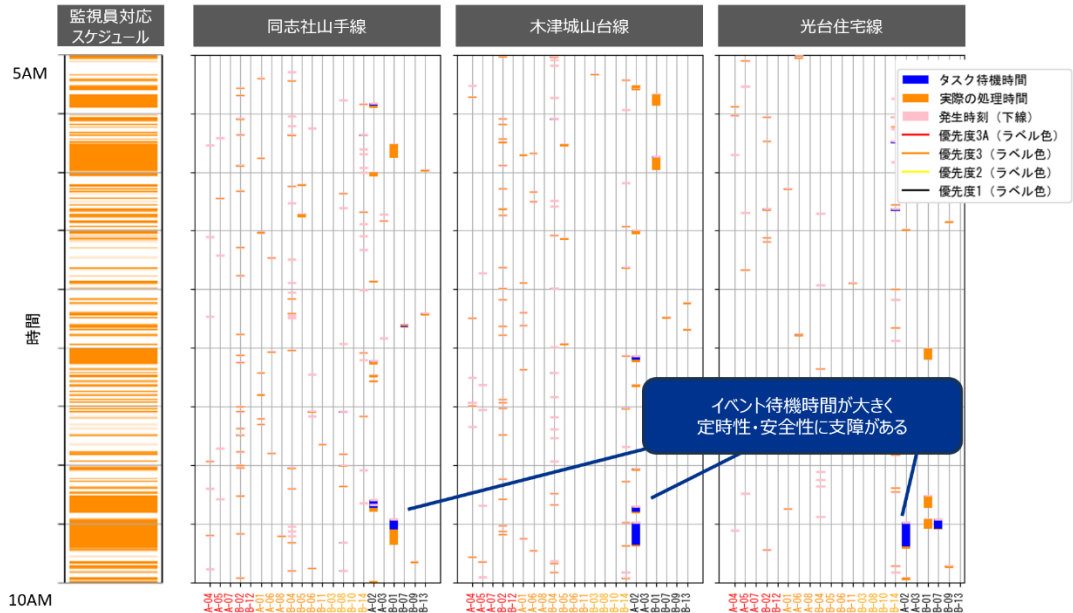
1:1 遠隔監視の場合は基本的には有人運行バスにおける運転手と同等のタスク量と考えられるため、図 4.7 に示すように、監視員の対応スケジュールにも空白が目立ち、さらに各イベントの待機時間(イベントが発生してから監視員が対応するまでの時間、青色でプロット)が少ないため、「安全性」と「定時性」が確保されていると言える。一方 1:3 の場合は図 4.8 のように監視員の対応スケジュールは空白が少なくなり、また各イベントの待機時間が大きくなり、「安全性」と「定時性」が確保されているとは言えない。どのような条件で「安全性」と「定時性」が確保され、運行として成立するかという詳細な判断基準については第 6 章にて記すが、おおむね既存の公共交通機関と同等の「安全性」・「定時性」が担保されることをベースとする。

現行オペレーションにおける 1:3 遠隔監視は運行として成立しないため、不成立の要因となるユースケースを特定し、当該不成立要因の解消に向けた解決策を策定した。この解決策の策定は自動化やルール化等の方向性が考えられ、WeRide や Waymo 等の先事例調査等により行った。次に、これらの解決策を講じた場合に想定されるイベントのパラメータ(発生頻度/発生した場合の工数)を再度設定し、あらたなインプットデータとしてシミュレータへ入力した。これらを通じて 1:3 遠隔監視における運行を成立させるために必要な技術・運用を検証した。



*運行時間の一部を抜粋し、朝時間帯(5AM~10AM)に限定して表示

図 4.7 1:1 の場合のシミュレータアウトプットイメージ



*運行時間の一部を抜粋し、朝時間帯(5AM~10AM)に限定して表示

図 4.8 1:3 の場合のシミュレータアウトプットイメージ

以下では、「インプット」・「シミュレータ」の 2 項目について詳細に解説する。

[インプット]

(a) バス運行事業者オペレーションフローに基づく遠隔監視業務リスト

バス運行事業者へのヒアリングや公開情報の調査を通じて作成した遠隔監視業務のユースケースリストである。全ユースケース数は63項目あるが、今年度の実証で対象とするユースケースは、営業走行中の業務であることや車両の操作以外の業務であること等を基準に、22項目を選定した。また、対象ユースケース22項目のうち、バスが停留所に停車している間に発生しうるイベントを「停留中イベント」、走行中に発生しうるイベントを「走行中イベント」と定義し、2種類のいずれかに割り振った。

(b) 走行中イベントデータ

(a)で作成した22項目のユースケースリストに含まれる各イベントに対して、交通事業者へのヒアリングや公開情報を用いた定量分析に基づき、イベントの発生頻度と、発生した場合の工数のデータを当てはめた。シミュレータでは、本データを用いてランダムに各イベントを発生させることとなる。各ユースケースにおける発生頻度と発生した場合の工数のデータは参考資料編に記載する。

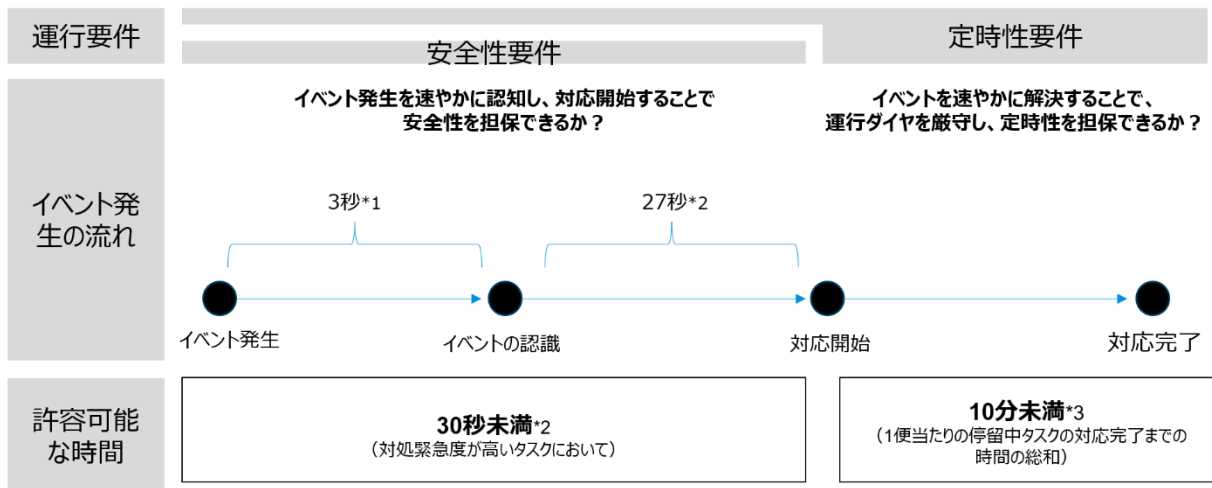
(c) イベント緊急度

(a)で作成した22項目のユースケースリストに含まれる各イベントに対して、交通事業者へのヒアリングを参考に緊急度を4段階で設定した。緊急度は、「対処が放置された場合に想定しうる問題の深刻度」と定義し、遠隔監視シミュレータにおいては、複数のイベントが同時発生した場合等に、遠隔監視員がどちらを優先して行うかという判断に関わる。

(d) 満たすべき運行要件

(a)～(c)で定義したイベント発生ルールに基づいて遠隔監視業務が行われたとき、ある1日の運行が「ダイヤ通りの運行」であったか、また「安全確保」がなされていたかを判断する。これらの要件を本実証では「安全性要件」と「定時性要件」と呼ぶ。安全性要件の指標は、対処緊急度が高いイベントの発生から遠隔監視員が実際にイベントへの対応を開始するまでの時間とした。また定時性要件の指標については、1便あたりの停留中タスクの対応完了までの時間の総和とした。

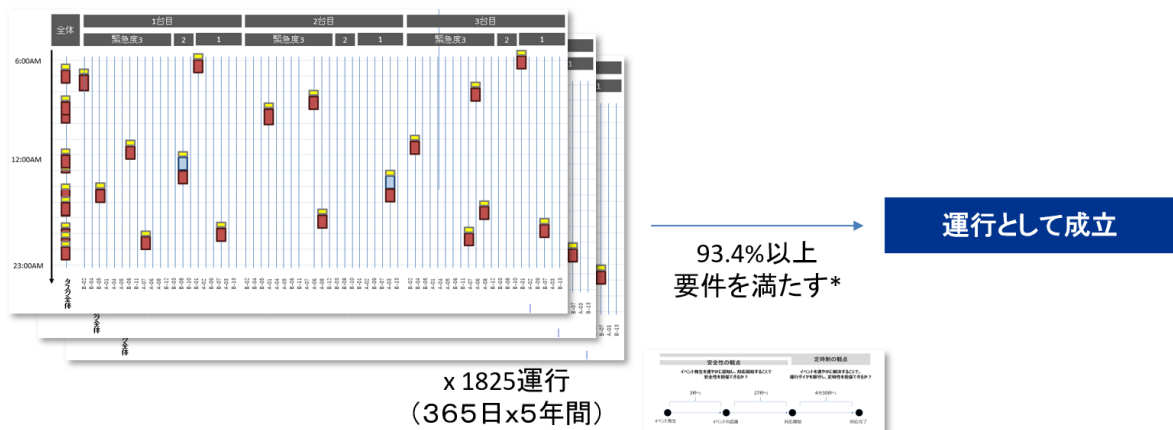
本指標の要件の設定は図4.9に示すように、他自動運転移動サービス事業者や公開情報等に基づき、安全性要件は30秒未満、定時性要件は10分未満とした。



*1:提案書及び交通事業者が定めた要件、米Cruiseにおいても3秒以内の認識を要件とする
 出展: Forbes <https://www.forbes.com/sites/bradtempleton/2023/11/07/cruise-reports-lots-of-human-oversight-of-robotaxis-is-that-bad/>
 *2:対処緊急度の高いイベントの発生から30秒までを対応開始に必要な要件とする。鉄道等の公共交通においてもホーム上で鉄道車掌が安全確認に与えられる時間は30秒とされるため
 出展: 組織行動分科会 https://shippai.org/shippai/html/nenkan2017_01_SubwayStroller.pdf
 *3:イベント発生から対応完了までの時間が、1便当たりの総和が10分までとする。10分以上の運行の遅れは一般利用者には許容されずクレームにつながるため。印西市は、計画的に整備された研究・IT集積地であり、近年はデータセンター立地が進む等、精華町と都市構造や公共交通利用形態が類似するため参照
 出展: 印西市 2019年度路線バス利用者アンケート <https://www.city.inzai.lg.jp/cmsfiles/contents/0000010/10238/5rosenbasuriyousyacyousa.pdf>

図 4.9 安全性要件と定時性要件

乗合自動車の減価償却期間が5年間³であることから、本シミュレーションにおいても5年間(1825日間)の運行を再現することとする。このとき、安全性要件と定時性要件の双方を充足した日の割合を「安全性要件と定時性要件の充足率」とする。図 4.10 に示すように、公開情報に基づき算出した一般的な公共事業者が安全性要件と定時性要件をクリアする割合を参考に、5年間の運行において「安全性要件と定時性要件の充足率」が93.4%以上であることを「満たすべき運行要件」とし、この運行要件を満たす場合、運行として成立したと判定することとした



*5年間で、「成功」となった日数が何%以上であればよいか→93.4%以上
 ①【安全性指標】待ち時間が30秒以上だとクレーム発生と仮定→都バスのクレーム発生確率は1車両当たり1日平均2.36/365
 出展: 東京都交通局 <https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/enq/customer/customer-r06.html>
 ②【定時性指標】東京圏の主要鉄道において、10分以上の遅延が発生する平均日数は1年あたり21.8日→1日当たり発生確率は21.8/365
 一般的な交通事業者が、安全性指標も、定時性指標もクリアする確率: $(1 - 2.36/365 \times 1 - 21.8/365) = 93.4\%$
 出展: 国土交通省 <https://www.mlit.go.jp/common/001117517.pdf>

図 4.10 満たすべき運行要件

³ 国税庁, https://www.nta.go.jp/taxes/shiraberu/taxanswer/shotoku/pdf/2100_01.pdf

(e) イベント対応ルール

図 4.11 のように、遠隔監視員が発生したタスクに対してどの順番でイベントに対応していくかを設定する。遠隔監視員は最大 1 つのイベント対応をすることが可能である。そのため、あるイベントを対応中に他のイベントが発生した場合は、基本的には先着順(発生した時刻が早い順)で対応を行い、後に発生したイベントは、前のイベントの対応が完了した時点から対応開始する。

一方、同時/後に発生したイベントが前に発生したイベントより緊急度が高い場合、先着順ではなく、緊急度が高い方を優先して対応する。これは、例えば料金収受対応等の緊急度が低いイベントと車内転倒者の発生等緊急度が高いイベントが発生した場合、緊急度の高いイベントを優先して対応することで事態の悪化を最小限にとどめるためである。

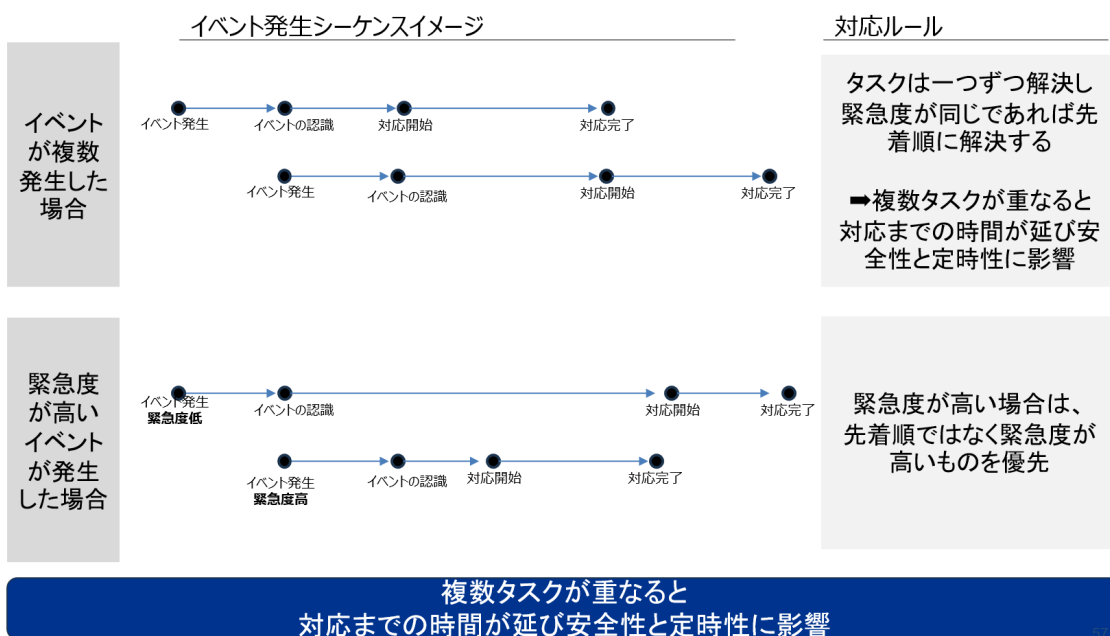


図 4.11 イベント対応ルール

【シミュレータ】

イベントデータ・イベント緊急度・満たすべき運行要件・イベント対応ルールをシミュレータに入力として与えると、シミュレータは5年間(1825日間)の運行をシミュレートし、各日で「満たすべき運行要件」を達成していたかを出力する。

具体的には、各車両は図 4.12 のように、10 秒ごとにイベントの発生の有無を計算する。また、各車両は車両ごとに定められた時間間隔で停留所に停車、すなわち「停留中」の状態となる。その他の時刻では「走行中」の状態となる。ある車両が「停留中」の状態では、[インプット](a)で設定した停留中イベントのみが、「走行中」の状態では「走行中イベント」のみが発生する。各時刻における各イベントの発生有無は、発生頻度に基づき、一様分布の乱数を用いて計算し決定する。

これらのイベント発生ルール等に基づき、インプットデータから、その運行が成立したか(=「満たすべき運行要件」を達成したか)を結果として出力する。

走行中 イベント	走行中の時刻において、10秒おきに乱数に基づきランダム発生させる 停留中の発生は無し
停留中 イベント	各車両は、一定の時間間隔で停留中となる 停留中の時刻において、乱数に基づきランダム発生させる 走行中の発生は無し

走行中／停留中のイベント発生イメージ

時刻[s]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	...
車両①	走	停	走	走	走	走	走	走	停	走	走	走	走	走	走	停
車両②	走	走	停	走	走	走	走	走	走	走	停	走	走	走	走	走
車両③	走	走	走	走	停	走	走	走	走	走	走	走	走	走	停	走

走

走行中：
各走行中タスクの発生有無を
乱数に基づいて計算

停

停留中：
各停留中タスクの発生有無を
乱数に基づいて計算

図 4.12 シミュレータの考え方(N=3 の場合)

以上のシミュレータを用いることで、1:3 遠隔監視における運行を成立させるために必要な技術・運用を検証した。

(B) AI 画像解析および可視化技術を用いた、実車環境における 1:N 同時監視タスクの自動化・オペレーションの検証

【背景と現状の課題】

本実証では、遠隔監視員のタスク低減のために、映像検知 AI を用いてカメラ映像から車内の異常検知を実施している。実運行時のバス車内では、複数人での乗車や、バス停にて停車時の乗車・降車が発生するのが自然である。そういった環境では、カメラに乗客がはっきりと写らない場合があり、検知率が下がる可能性がある。更に乗客の服装も色や形状が様々であり、こちらも検知率に影響がある可能性がある。

こうした実際の運行環境の中で、AI 検知がどれほどの精度を発揮するのかを実運行を模擬したシナリオ試験にて検証した。

【概要】

本検証では、実際のバス運行を模擬して、6 名の演者があらかじめ設定されたシナリオに沿ってバス内で待機・乗車・降車を行う。演者は AI 検知の対象となるイベントを発生させる役と、特にイベントを発生させない乗客役に分かれており、服装は暗い色と明るい色の演者をそれぞれ用意した。

撮影したデータやリアルタイムでの検知情報は時系列データとして共通運行 NW/可視化ツールに保存されるため、撮影データを基に以下 4 種類の車内イベント発生を模擬したシナリオそれぞれの AI 検知率を測定した。

【検証項目】

- ・ドア付近撮影カメラでの、駆け込み乗車客の検知
- ・ドア付近撮影カメラでの、降車希望客の検知
- ・ドア付近撮影カメラでの、ドア付近干渉の検知
- ・車内全体カメラでの、車内転倒者の検知

なお、検知対象とした 4 種類のイベントは、前項で述べたシミュレーション結果から得られる「1:3 実現のために必要な実装機能」に加え、「公共交通として実装が必須の機能」に該当する「ドア付近干渉の検知」と「車内転倒者の検知」を選定した。

シミュレーション結果から得られる「1:3 実現のために必要な実装機能」の選定方法についての詳細は 6.5.1 2)(3)にて記載する。シミュレーション結果から得られた「1:3 実現のために必要な実装機能」の対象となるユースケースは 3 件あり、「①乗車列に車いす利用者がいることによる乗降・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」である。このうち、「①乗車列に車いす利用者がいることによる乗降・案内の発生」については、AI による検知ではなく省庁ガイドライン等の改正により対応していく必要であると考え、AI 検知対象外とした。省庁ガイドライン等の改正による対応についての詳細は 7.1 にて記載する。

【測定方法】

- ・乗客役はシナリオに応じて車内でイベントを発生させる
- ・システム稼働中は AI 検知も起動しているため、検知結果は共通運行 NW/可視化ツールの可視化画面(VM2M)でリアルタイムでの確認と、後から計測後過去データ再生を実施する。
- ・検知率の確認は、データ全体の秒数に対して以下の検知状態をそれぞれ確認する。
 - TP(正検知):異常イベントが発生していることを正しく検知している状態
 - TN(非検知):異常イベントが発生していないときに、検知が上がっていない状態
 - FP(誤検知):異常イベントが発生していないのに、検知している状態
 - FN(未検知):異常イベントが発生したのに、検知できていない状態
- ・上記の結果から、以下も導出する。
 - 再現率:TP/(TP + FN)
 - 適合率:TP/(TP + FP)
 - 偽陽性率:FP/(FP + TN)

		検知ユースケース			
		駆け込み乗車客の対応*1	出発時刻後における降車希望客の対応*1	扉付近干渉の検知	車内転倒者の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]				
	TP (正検知) [秒]				
	TN (非検知) [秒]				
	FP (誤検知) [秒]				
	FN (未検知) [秒]				
計算にて導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]				
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]				
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]				

1:3実現のために必要な実装機能
公共交通として実装が必須の機能

図 4.13 検知結果の整理方法

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

【背景と現状の課題】

現状で、自動運転バスの社会実装にあたり、運賃収入のみでペイする収支構造になっていない。

事業性確保のため、地域の送迎需要等の顕在需要の取り込みや、外出増加による健康寿命増進・自治体福祉費の低減効果を可視化し、自治体医療・福祉予算の交通予算への付け替えによる運行原資の確保等の収入向上施策を検討している。また、地域人材等多様な人材の活用による運行コスト最適化や、複数市町の連携による運行コスト最適化等の費用低減施策も引き続き検討している。

本実証では、このうち複数市町の連携(広域連携)によるコスト低減施策に着目し、特に 1:3 遠隔監視を行う上での技術・運用について検証・課題抽出を行った。そこで、本項目では、1:3 遠隔監視を含む複数市町広域連携によるコスト低減効果を精緻に算出し、本施策を行った場合の自動運転バスの正確な事業性を評価することを目的とする。

【概要】

本事業性評価においては、コンソーシアム構成員である自動運転車両管理事業者や交通事業者、通信インフラ事業者等からのヒアリングや情報提供、地域住民へのアンケート結果をもとに、自動運転バスをけいはんなエリアに導入した際の 1 台あたりの年間想定収入と年間想定費用を算出した。主な収入・費用の構成は以下のようなものを想定し、更に細分化したうえで精緻化を行った。

<自動運転バス 1 台あたりの想定収入・費用の主な項目(さらに細分化予定)>

- 収入を構成する主な項目
 - 運賃収入
 - 広告収入(車内吊り下げ広告、車体ラッピング広告等)
 - 補助金(地域公共交通確保維持改善事業補助金、EV 設備関連の環境省補助金等)
- 費用を構成する主な項目
 - 減価償却費(車両本体、管制システム、EV 充電設備等)
 - 売上原価(人件費、保守費用、通信費用等、)
 - 販管費(1 車両あたりの本社管理部門の費用等)

また、費用の項目のうち、3 市町でコストシェアリングが可能なものを特定した。コストシェアリング可能なものは、EV 充電設備や通信設備等のインフラや、遠隔監視員等の人件費等を想定する。具体的なコストシェアリング項目は、6 章にて記載する。

【評価方法】

まず市町独立運行／1:1 遠隔監視を行った場合の自動運転バスの事業性を算出する。次に、広域連携／1:N 遠隔監視を行った場合のコストシェアリングによる費用低減を踏まえた自動運転バスの事業性を算出し、市町独立運行／1:1 遠隔監視時と比較したときの費用の低減効果の評価する。またその結果を有人運行バスの事業性と比較した。

事業性試算の前提として、図 4.14 に示すように、京田辺市・木津川市・精華町の 3 市町において、それぞれ既存の路線(同志社山手線・木津城山台線・光台住宅線)にレベル4 自動運転バスが1台ずつ走行した場合の単年収支計算を実施する。なお試算は立席運用・完全無人が可能との前提で行った。

		京田辺市	木津川市	精華町
自動運転バス投入路線		同志社山手線	木津城山台線	光台住宅線
投入台数 (台)		1	1	1
車種		Minibus (ティアフォー)	Minibus (ティアフォー)	ERGA EV (いすゞ自動車)
運行形態	車両	<ul style="list-style-type: none"> ・立席利用可能 ・レベル4自動運転により、回送も含めて車内は完全無人前提 (運転手・添乗員無し) 		
	遠隔監視	<ul style="list-style-type: none"> ・1:3遠隔監視が可能 ・サービス派遣要員を3車両に対し1人追加雇用 		
1日あたり運行時間		17.5時間 (5:47~23:09) *2	10.0時間 (6:16~10:22,15:58~22:02) *2	16.5時間 (7:00~23:37) *2

*1: 無人運行バスの運用ルール・オペレーション自動化手法等が確立されたと仮定
*2: 奈良交通提供データ

図 4.14 事業性試算における運行の前提条件

7) KPI/KGI

表 4.2 KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	協調運行 NW にて、監視者が複数運行拠点の監視をスムーズに実施できること。(開発・評価項目(2)に対応)
	2	車両異常:車両にて発生した異常の数値を検知できること (開発・評価項目(3)に対応)
	3	車内異常:AI 検知により、車内の異常を検知できること (開発・評価項目(3)に対応)
定量評価	4	協調運行 NW にて、監視者が 3 拠点の監視をし、適当な指示出しにより運行拠点における問題発生を未然に防止できること (開発・評価項目(3)に対応)
	5	事象発生～監視者が異常を認識するまでを 3 秒で完了し、運行監視者が後続処理を開始できること (開発・評価項目(1)に対応)

4 つの開発・計測項目に対して、それぞれ単数または複数の定量評価および定性評価の KPI/KGI を設定したため、評価指標の総数は 5 項目となる。なお、開発・計測項目(4)「1:N 遠隔監視を前提とした自動運転バス運用の事業性および費用低減効果の評価」については、特定の KPI/KGI を設定せず、現行の技術水準および想定される運用条件を前提に、事業性を算出する。

(1) 協調運行:NW にて、監視者が複数運行拠点の監視をスムーズに実施できること 【定性評価】
音声や映像等の断絶の発生回避により円滑な自動運転車運行を達成するため。

(2) 車両異常:車両にて発生した異常な数値を検知できること 【定性評価】
車両にて発生した異常の計測により、問題発生を未然に防止する必要があるため。

(3) 車内異常:AI 検知により、車内の異常を検知できること 【定性評価】
AI 画像解析等を踏まえた遠隔監視員の業務所要時間低減を達成するため。

(4) 協調運行 NW にて、監視者が 3 拠点の監視をし、適当な指示出しにより運行拠点における問題発生を未然に防止できること 【定量評価】

自動運転バスの事業性の改善には、広域連携および 1:N 遠隔監視が必須。事業性における費用の半減等の有意な事業性改善効果を得るためには 3 拠点以上が必要であるため。

- (5) 事象発生～監視者が異常を認識するまでを 3 秒で完了し、運行監視者が後続処理を開始できること【定量評価】

交通事業者が定めた要件、米 Cruise においても3秒以内の認識を要件⁴とする。

4.6 レベル 4 の社会実装に向けた検討

4.6.1 運用検証

1) システムの操作性やユーザインターフェースに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)

実証終了後に遠隔監視員に対して以下の観点でアンケート・ヒアリングを実施し、社会実装に向けた受容性向上に資するインプットを獲得するとともに、運用性の検証も行った

- (ア) システムの全体的な使いやすさ
- (イ) 操作性(簡単な操作、難しい操作)
- (ウ) 動作の安定性(平常時と問題発生時の状況と解決方法)
- (エ) 操作方法や機能の理解性
- (オ) 業務への貢献度
- (カ) 改善の必要性/追加機能の要望
- (キ) サポートの評価

2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直しなど、地域交通の持続性への寄与度

交通事業者のオペレーションを鑑みると、現状では実運用を想定した際の遠隔監視員タスクが膨大となり、1:1 前提でも円滑な運行管理に支障が出かねない状況である。通信システム/AI 画像解析を踏まえたタスク優先度設計を通じて、「通常時は遠隔監視員のタスクがない」状態を実現することで、1:N 遠隔監視が現実的に実用化されることにより、地域の公共交通維持・利便性の高い運行の実現に寄与する。

具体的には、通信システム/AI 画像解析等による遠隔監視タスクの低減や、複数市町での広域連携の実施等により、遠隔監視員やサービス要員等の人員配置の見直しを行うことで人件費等のコストを低減し、持続可能な地域交通が維持可能かを検証した。

3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策

公募資料上に記載されている「情報セキュリティの侵害またはそのおそれ」として定義される事象の回避、防御を前提として、データの処理・管理に係る運用におけるセキュリティ対策として以下を想定する。

・データ暗号化

万が一データが盗まれた場合や不正アクセスされた場合でも情報が漏洩しないよう、保存されるデー

⁴ Forbes, <https://www.forbes.com/sites/bradtempleton/2023/11/07/cruise-reports-lots-of-human-oversight-of-robotaxis-is-that-bad/>

タや通信されるデータは暗号化することを前提とした。

- ・アクセス制御

データに対するアクセスは厳密に制御し、必要な人だけが適切な権限でアクセスできることとする。ユーザ認証(ID やパスワードなど)や権限管理(読み取り専用、書き込み可能など)などを想定する

- ・ファイアウォールやふるまい検知システムの導入

外部からの不正アクセス対策として、ファイアウォールを活用したネットワーク保護や、ふるまい検知システムを採用した。

- ・セキュリティポリシーと教育の実施

セキュリティポリシーを明確にし、システムを操作するスタッフがそれを理解し遵守できる状態とする

- ・個人情報保護等パーソナルデータ及び画像データの適切な管理

本実証実験で取得する車外画像データ等には、道路を行き交う人や車両のナンバーなどが映り込む可能性があることから、以下の方針にて管理することとする。

- 画像データ等パーソナルデータ管理ポリシー策定と関連情報の適時適切な公表

- 画像データ等の閲覧可能メンバの制限およびアクセスログの管理

- 画像データに映り込む人や車両ナンバーを個別に検索できない形式での保管

- 画像データに映り込んだ人や車両の個別追跡ならびにその行動特性や移動傾向の分析禁止

- 関係法令や各社社内規定に則った安全管理措置に基づく管理徹底

4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守

以下の方針にて維持管理・保守を実施することを前提とする。

- ・定期的なメンテナンス

ソフトウェアのアップデートやパッチ適用、ハードウェアの清掃や点検などを定期的実施した

- ・監視とトラブルシューティング

システムの動作状況を監視し、動作上の問題が発生した際には迅速に対応する。また、異常動作を検出した場合はシステムログを分析し、異常な状況を早期に復旧するものとする。加えて、不正アクセス又はその恐れが確認された場合には、速やかに報告し、発生した日時、場所、発生した事由、関係する実証機関の作業者等を特定した。

- ・バックアップとリカバリ

データの紛失やシステムダウンを防ぐために、定期的にデータのバックアップを取り、必要に応じてシステムを復旧できる状態を整備した。

- ・セキュリティ対策

システムやデータの安全性を保つために、最新のセキュリティ対策を講じるためのセキュリティソフトウェア更新、不正アクセス対策、セキュリティポリシー見直しなどを実施した。

4.6.2 効果検証

1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化

通信システム/AI 画像解析を踏まえたタスク優先度設計・実証において、乗降等のオペレーションを常時遠隔監視する場合と優先度設定に基づき対応する場合の運行停止・遅延時間等の比較を行うことで、社会実装時の運行停止時間の削減効果を評価する。具体的には、バスの運行シミュレータを通じて、タスクを自動化した場合としない場合において、運行停止時間や手動介入回数の低減効果を検証した。

2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度

将来の自動運転バスの無人化とダイヤを維持した円滑な運行の両立のためには、コスト面も踏まえると、AI 検知等のシステム導入だけではなく乗客に対する乗車ルール等の設定が必要となる可能性がある。本項目では、無人化の場合の乗車ルールの周知方法等について、アンケートを通じて精華町住民の意見を収集した。

3) 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

複数車両監視時のタスク重複の削減効果を算出する。タスク重複時、1 つずつ対応することによる運行ダイヤ遅延への影響をバスの運行シミュレータを通じて定量的に算出し、時間短縮、交通利便性向上効果を検証した。

4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策

1:N 遠隔監視の他、複数市町で運行管理システムのコストシェア・メンテナンス費用の効率化等を通じて、3 市町合計でみたときの事業性を成立させていく計画である。交通事業者や通信ソリューション事業者等へのヒアリングを通じて事業性を検証し、1:N 遠隔監視等のインフラシェアリングを行うことによるコスト低減効果を定量的に算出した。

5. 通信システムに関する構築

5.1 通信システムの全体像

通信品質確保の手段として、ローカル/パブリック 5G 活用検討が進むものの、免許取得・通信環境構築のハードル／常時接続等自動運転車の求める要件への対応には課題があり、新たな手法の導入が必要となる。

このような状況を踏まえ、デュアル SIM を活用した自動運転車通信環境構築は、エリア整備拡大の観点のみならずコストの観点からも有用なスキームであると想定され、かつ本実証を通じて、交通事業者のオペレーションと一体となって必要な通信要件を見極めることは、地域に応じた自動運転車導入を目指す日本全体の取組において大きな役割を果たしうるものと捉えている。

レベル4自動運転車両の普及において遠隔監視システムは必須となるが、自動運転車両の増大に伴い帯域が圧迫されることが予測されるため、遠隔監視システムが安定して動作しなくなる可能性も考えられる。複数車両の同時監視環境下での帯域圧迫状況を把握するとともに、オペレーション上求められる映像伝送品質について、交通事業者の監視員・地域住民の監視員の複数の目線から検証し、必要な映像要件とこれを確保する通信帯域確保を、複数回線を用いたマルチ SIM による帯域拡張を通じて実現可能か、検証していく。

■構成図

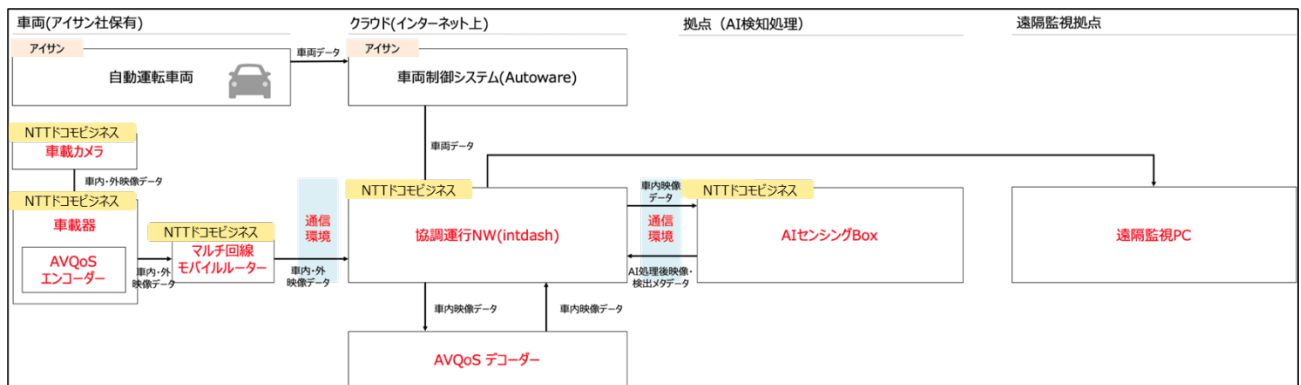


図 5.1 構成図

■関連する写真・イメージ



図 5.2 8 月実証時の遠隔監視画面

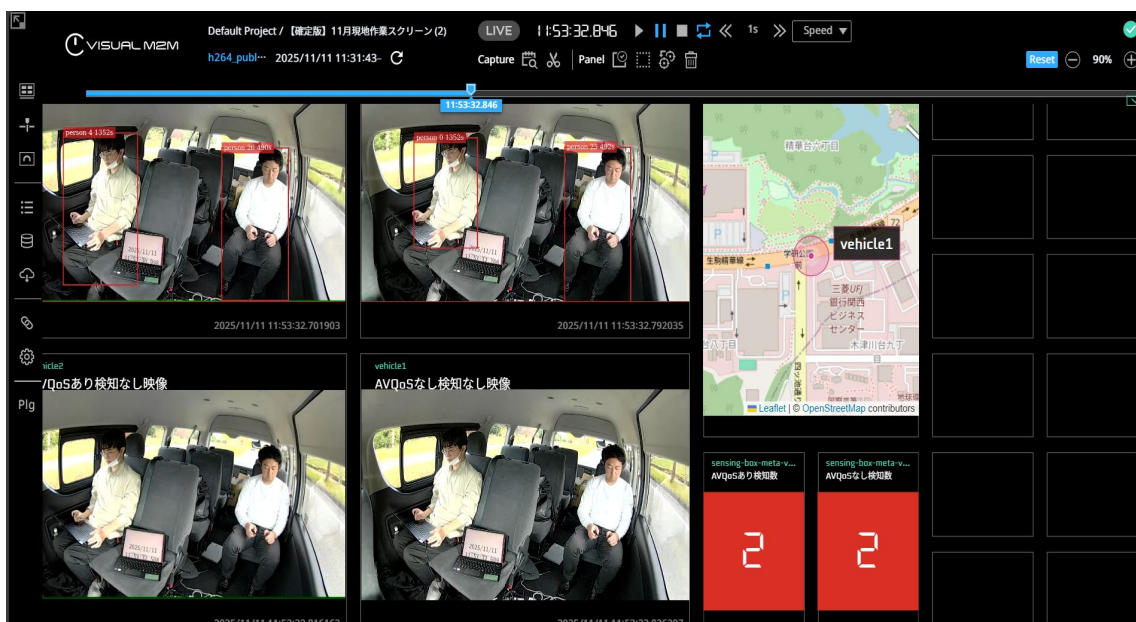


図 5.3 11 月実証時の遠隔監視画面

5.2 システム構築・ネットワーク構築にあたっての留意事項等

映像を用いた遠隔監視の実現に向けては、通信品質の担保と運行に際して生じるタスクの低減のそれぞれについて、施策を実施した。

①通信施策

- ・車内/外の複数映像のアップロードの為、マルチ回線モバイルルーターを導入

②タスク低減施策

- ・車内のカメラ映像を AI に連携し、AI によるバス運行タスクの自動検知を実現
- ・バス運行タスクの実行に合わせて、協調運行 NW の画面実装を実施

6. 実証結果・考察

- 6.1 ①遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:条件不利地域(トンネル、中山間地)の通信の安定性確保
当該ユースケースは実施していない
- 6.2 ②遠隔監視:自動運転システムの常時通信接続確保:通信の安定性確保
当該ユースケースは実施していない
- 6.3 ③安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報を自動運転車両の制御に活用する技術の頑健性検証
当該ユースケースは実施していない
- 6.4 ④安定かつ円滑な周辺環境情報の伝送:周辺環境情報等のデータ連携や車両側の危険回避行動の連携・実装
当該ユースケースは実施していない

6.5 ⑤経済性確保:1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証

6.5.1 交通事業者のオペレーション性を考慮した上での AI 画像解析、タスク優先度設定を踏まえた遠隔監視員の業務所要時間低減/複数地域・複数台前提での安定通信要件の検証

1) 実証スケジュール

ユースケース	フェーズ	2025年								2026年			
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月		
⑤	実証準備 (事前計測、物品調達等)		道路使用許可				バス使用 日程調整						
			駐車場所 使用許可				停車場所・ 作業内容調整						
			冗長通信環境構築				課題整理	通信コスト整理 (マルチSIM有無、 マルチバス技術との 比較)		通信コスト整理 (マルチSIM有無、 マルチバス技術との 比較)			
		協調運行NW環境構築							マルチSIM技術の 改善 検証				
		画像解析・タスク最適化AI機能構築					第2回に向けたユース ケース整理	AI検知システム実装・検証		模擬データ取得 効果検証			
		自動運転車両 環境構築					AI/ ルール 様み分 け整理						
		複数台遠隔監視環境構築					複数台監視課題整理、第2回に向 けた反映項目整理			UI検証テスト			
	実証				本番走行				本番走行				
	実証 評価				視察会 (08/26)	アンケート結果 整理	アンケートに基 づく 収益性整理	一般住民向け アンケート	収益性整理・ 課題特定	報告書作成			

図 6.1 実証スケジュールの実績

2) 開発・評価項目の結果

表 6.1 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	マルチ SIM による帯域確保
(2)	動的な映像品質の制御
(3)	AI 画像解析および可視化技術の開発
(4)	自動運転バス運用の事業性評価

(1) マルチ SIM による帯域確保

[結果概要]

本項では、動的にネットワーク帯域が変化する運行状況下において、(a)マルチ SIM 適用有無での映像品質の比較、(b)マルチ SIM 適用時の異常イベントアラート発報の遅延時間測定の実証結果を示す。

まず、(a)については、実証前に定めた KPI を満たしたうえで、複数キャリアの SIM を組み合わせて情報伝送と可視化を実現し、単一キャリアの SIM で同様の情報伝送・可視化を実施したパターンとの間において、映像品質の差分を観測した。前者では、車内に設置した計5台分のカメラ映像が安定して伝送できたのに対し、後者ではカメラ映像のスタッタリング(映像のかくつき)が見られた。

また、(b)については、実証前に定めた KPI を満たしたうえで、1 人の遠隔監視員が 3 車両の遠隔監視を実施し、AI により遠隔監視員のタスクが滞りなく実施出来ていることを観測した。事前に交通事業者へのヒアリングを通して得られた車両内で起こりうる事象について、AI が発生を検知して遠隔監視員がスムーズに異常発生を把握し、あらかじめ定められた手順にて対応することができた。以下に、各検証結果の詳細を示す。

[(a)マルチ SIM 適用有無での映像品質の比較結果]

マルチ SIM 有り・無しの構成で映像品質に差分が見られた。マルチ SIM 無しの場合は映像にスタッタリングが見られ、また「Waiting」表示、すなわち映像の途絶が多く見られた。一方マルチ SIM 有りの場合、これらの発生頻度が低下することを確認した。



図 6.2(A) マルチ SIM 有りの映像キャプチャ



(B) マルチ SIM 無しの映像キャプチャ

[(b)マルチ SIM 適用時の異常イベントアラート発報の遅延時間測定結果]

今回、カメラ映像から異常イベントを検知する AI モジュールを活用することにより、車両における乗客の転倒と、ドア開閉時の干渉防止を目的としたドア付近への侵入を検知することができた。



図 6.3 AI による転倒検知・侵入検知の様子

また、遠隔監視室に設置した2種類の画面(概要画面・詳細画面)にてAIで検知した異常を可視化することで、監視員が運用デモを滞りなく実施できることを確認した。異常発生～アラート発報までにかかった時間の計測結果を図6.4に示す。倒れこみ検知と侵入検知において、それぞれ10回ずつ計測を実施し、最大値・最小値・平均値を求めた。なお、最大値は各検知対象において、最も異常発生～アラート発報までの時間が長かった際の値を、最小値は最も短かった際の値を、平均値は各検知対象の平均値を示す。

倒れ込み検知の異常発生～アラート発報までにかかった時間について、10回の計測の平均値は1.275秒であった(なお、10回の計測のうち最大値は1.49秒、最小値が0.91秒である)。また、侵入検知の異常発生～アラート発報までにかかった時間について、10回の計測の平均値は2.604秒であった(なお、10回の計測のうち最大値は4.58秒、最小値は1.71秒である)。

いずれの検知ユースケースの異常発生～アラート発報までの平均値も、目標とする3秒を下回る結果が得られ、社会実装として実用に耐えうるシステムを構築できたことを確認した。

また、複数地域における同時異常発生時の運用所要時間は3拠点で3分20秒以内であった。

回数	倒れ込み検知[秒]	侵入検知 [秒]
1回目	0.91	2.64
2回目	1.24	1.71
3回目	1.33	3.11
4回目	1.45	4.58
5回目	1.08	2.7
6回目	1.41	2.89
7回目	1.35	1.46
8回目	1.28	2.49
9回目	1.21	2.5
10回目	1.49	1.96
平均値	1.275	2.604

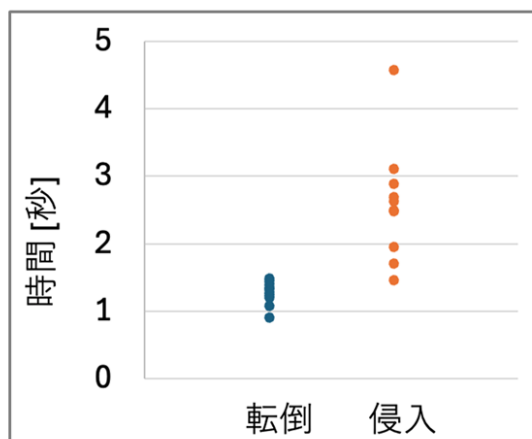


図 6.4 異常発生～アラート発報までの時間の計測結果



図 6.5 遠隔監視画面の様子

[考察]

本検証では、複数回線を用いた通信による安定した通信の実現、AI による異常検知と可視化画面を用いることによって 1:3 遠隔監視が成立することを確認した。

今回は、車両の安全運行実現のため、車両-遠隔監視室間における通信品質の高度化を優先して取り組んだが、さらなる異常発生～遠隔監視員の異常認識のリードタイム削減のためには、遠隔監視室におけるルータ等の通信設備の増強や、遠隔監視員が異常により早く気付くことができる UI/UX 設計等についても今後検討を行う必要があると考える。

特に本実証にて実現した 1:3 のオペレーション体制において、複数イベントが同時発生した際に遠隔監視員にて処理すべきタスクがスタックしてしまう可能性があることを考慮したうえで、今後 N:M 監視(2:10 監視等)を実現する際の遠隔監視員人数を決定していく必要があると考える。

(2) 動的な映像品質の制御

[結果概要]

検証結果は、AV-QoS 有無での①映像品質(途切れ、停止回数)の比較、②遅延値比較、③AI 検知率による映像品質の比較の観点で評価した。

①映像品質(映像の途切れ、停止)の比較

本検証で確認する映像品質とは、映像がどれくらい途切れにくいかを指標とし、1～3 秒の映像停止(軽度の途切れ)と 3 秒以上の重度の途切れの回数を比較した。結果を以下に示す。比較対象の AV-QoS 無しの通常カメラは 30fps、5Mbps(カメラ映像 5 台分を想定した映像データ量)である。

検証結果を図 6.6 に示す。4 回検証を実施し、AV-QoS 有りでの途切れ回数は最小で 0 件、最大で 11 件、平均値は AV-QoS 有りで 3.8 件であり、AV-QoS 無しの場合、最小で 0 件、最大で 17 件、平均値は 7.8 件という結果となった。また、図 6.6 に示すように 1 秒以上の映像途切れ回数は、AV-QoS 無しの場合 52 件であり、AV-QoS 有りの場合は 21 件である。すなわち、AV-QoS の導入により $100\% - \frac{21}{52} = 60\%$ の映像途絶回数の低減効果が得られることが分かった。

また、マルチ SIM の利用有無にかかわらず、AV-QoS 利用時の方が映像の途切れ・停止回数が少ないことも併せて確認できた。一方で、AV-QoS 利用時も映像の途切れは発生するため、AV-QoS 側のチューニングを実施して、遠隔監視に適した品質にする必要があることが分かった。

また、30fps、1Mbps の通常カメラと比較した際は、AV-QoS 導入時と非導入時で映像の途切れ・停止回数に大きな違いは見られなかった。

No.	回線の条件	運行時の映像途切れ・停止回数			
		AV-QoSカメラ映像 停止回数(1秒～3秒)	AV-QoSカメラ映像 停止回数(3秒以上)	通常カメラ映像 停止回数(1秒～3秒)	通常カメラ映像 停止回数(3秒以上)
1	マルチSIM	0	0	6	4
2	au	0	1	6	5
3	Softbank	2	5	3	11
4	docomo	2	11	0	17

図 6.6 映像途切れ・停止回数比較の結果

②AV-QoS 有無での遅延値比較

比較表を図 6.7 に示す。全 7 件の検証を実施し、AV-QoS 有りでの遅延値の最小値は 0.31 秒、最大値 1.91 秒、平均値は 0.81 秒であり、AV-QoS 無しの場合の遅延値最小値は 0.23 秒、最大値は、1.75 秒、平均値は 0.86 秒であった。

マルチ SIM 有りの場合、AV-QoS 有りの方が遅延が少ない(平均を取ると 275ms 差)のに対して、マルチ SIM 無しの場合、AV-QoS 無しのほうが遅延が少ない(差分の大きいドコモ回線を除いて平均を取ると 246ms 差)ことから、AV-QoS の有無による遅延値の差分は、通信品質によって遅延具合が異なることが原因と分かった。

①マルチSIM利用

AV-QoS映像遅延値[秒]	通常カメラ映像遅延値[秒]	検知映像の遅延値 (AV-QoS有) [秒]	検知映像の遅延値 (AV-QoS無) [秒]
0.606	0.880	2.165	1.398

②SIM1枚のみ (各キャリアの平均値)

AV-QoS映像遅延値[秒]	通常カメラ映像遅延値[秒]	検知映像の遅延値 (AV-QoS有) [秒]	検知映像の遅延値 (AV-QoS無) [秒]
1.088	0.841	2.180	1.176

③SIM1枚のみ (au)

AV-QoS映像遅延値[秒]	通常カメラ映像遅延値[秒]	検知映像の遅延値 (AV-QoS有) [秒]	検知映像の遅延値 (AV-QoS無) [秒]
1.506	1.317	2.529	1.597

④SIM1枚のみ (Softbank)

AV-QoS映像遅延値[秒]	通常カメラ映像遅延値[秒]	検知映像の遅延値 (AV-QoS有) [秒]	検知映像の遅延値 (AV-QoS無) [秒]
0.669	0.366	1.831	0.756

図 6.7 平均遅延値比較の結果

③AI 検知率による映像品質の比較

比較表を図 6.8 に示す。全 9 回の検証を実施し、AV-QoS 有りでの 1 走行中の検知率は最大で 97.5%、最小で 59.0%、平均値は 79.7%であり、AV-QoS 無しでの検知率最大値は 92.2%、最小値は 27.1%、平均値は 65.5%という結果となった。

この結果から、AV-QoS 有りの方が通常カメラに比べて人数カウントを正確に検知できていたデータの割合が高いことが確認できた。マルチ SIM の有無にかかわらず、ほとんどの通信条件で AV-QoS 有りの方が検知率は高かった。更に、データ全体の 90%を超える結果もあるため、遮蔽物がない場合の検知精度は高いと考えられる。また、定性的評価ではあるが、AV-QoS 有り/無しの映像を見比べた際に、AV-QoS 映像の方がより繊細な映像であることが確認できた。

①マルチSIM時

検知率 (AV-QoS有) [%]	検知率 (AV-QoS無) [%]
86.11	65.22

②SIM1枚のみ (各キャリアの平均値)

検知率 (AV-QoS有) [%]	検知率 (AV-QoS無) [%]
76.46	65.62

図 6.8 AI 検知率の平均値比較の結果

[考察]

上記①～③の検証結果を踏まえた考察を示す。

今回の検証では、AV-QoS を適用することで ①映像品質(途切れにくさ)と③AI による異常検知率の向上に効果があることが確認できた。一方で、②遅延値の改善については、明確な効果を示す結果は得られなかった。

AV-QoS は、利用可能な通信帯域に合わせて映像品質を自動的に調整する仕組みを持っており、その結果として映像の乱れが軽減された点は、機能の性質から見ても自然で妥当と考えられる。

また、今後の遠隔監視ではAIによる自動検知の活用が重要になっていくと想定される。その際、入力映像の品質は AI の検知率に大きく影響するため、今回の検証で AV-QoS が検知率向上に寄与した点は大きな意味があるといえる。従って、AV-QoS の導入は、遠隔監視システム全体の性能向上に向

けて、今後も前向きに検討すべきといえる。

遅延値については、本実証で行ったようなパイプライン全体での遅延値計測に加え、パイプラインを構成する遠隔監視システム(車両側)、通信システム、クラウド、遠隔監視室といった、構成要素ごとの個別評価を行い、どの要素がボトルネックとなっているのかという点を把握していくことが重要である。



図 6.9 AV-QoS 検証時の画面キャプチャ

また、マルチ SIM・AV-QoS 技術の利用有無、必要なカメラ台数に応じた映像品質、導入初年度にかかる物品・ライセンス費用についてシミュレーションを行った。来年度以降、求められる映像遅延やその他の指標と、コストのバランスをみながら必要技術やスペックの見極めを行っていく必要がある。

カメラ台数	AVQoS導入	マルチSIM有無	必要帯域[Mbps]	映像遅延[s]	映像途切れ[回]*1	AI検知率[%]	年間費用 (映像伝送のコストに限定)
1	有り	有り	1.2	0.606	0	86.1	¥10,444,000
2	有り	有り	2.4	-	-	-	¥10,544,000
5	有り	有り	6	-	-	-	¥10,844,000
1	有り	無し	1	1.088	21	76.5	¥5,620,000
2	有り	無し	2	-	-	-	¥5,720,000
5	有り	無し	5	-	-	-	¥6,020,000
1	無し	有り	1.2	0.88	10	65.2	¥5,284,000
2	無し	有り	2.4	-	-	-	¥5,384,000
5	無し	有り	6	-	-	-	¥5,684,000
1	無し	無し	1	0.841	42	65.6	¥460,000
2	無し	無し	2	-	-	-	¥560,000
5	無し	無し	5	-	-	-	¥860,000

*1: マルチSIM無しの場合は、各キャリアにおける測定結果における途切れ回数を合算して算出

図 6.10 通信品質とコストのシミュレーション結果
(導入初年度に係る物品・ライセンス費用)

(3) AI 画像解析および可視化技術の開発

(A) 1:N 遠隔監視シミュレータを用いた 1:N 遠隔監視の成立性と実現に向けた必要な技術・運用の検証

[結果概要]

本項では、交通事業者へのヒアリングを通じて得られた全 22 項目の車内ユースケースのうち、自動化等による工数低減を行うべき項目を特定し、それにより 1:3 遠隔監視が成立するか机上検証した結果を記す。

まず、自動化等を一切行わず、現状の頻度・工数でのタスクが発生する場合、1:1 遠隔監視は成立するが、1:3 遠隔監視は不成立となることが示された。次に、1:3 遠隔監視を成立させるために自動化等により頻度・工数を低減させるべき 3 つのタスクを特定し、頻度・工数の見直しを行った。最後に、頻度・工数の見直しを行った場合、1:3 遠隔監視が成立することが示された。最後に、各タスクにおいて頻度・工数の低減を行うために必要な技術要件・ルールについての検討、および 1:3 以上の遠隔監視の成立性を検討した。以下に、各検証結果の詳細を記す。

[自動化無しの場合の、1:1 遠隔監視と 1:3 遠隔監視との比較結果]

交通事業者へのヒアリングを通じて導出した 22 項目のユースケースについて、自動化等による遠隔監視員の対応の発生頻度や発生時の工数の低減施策を行わなかった場合の運行成立有無を、1:1 の場合と 1:3 の場合に分けシミュレーションにより検証した。その結果を

表 6.2 に示す。また、どのようなタスクがいつ発生したのかを表すタイムライン図を図 6.11 に示す。

**表 6.2 タスクの自動化をしない場合の遠隔監視シミュレーション結果
(乗合バス償却期間 5 年間=1825 日間の運行結果)**

	安全性要件と定時性要件の充足率	両要件到達運行日数	両要件未達運行日数	運行成立 (93.4%以上で成立)
1:1 自動化なし	98.4 %	1796	29	成立
1:3 自動化なし	50.4 %	920	905	不成立

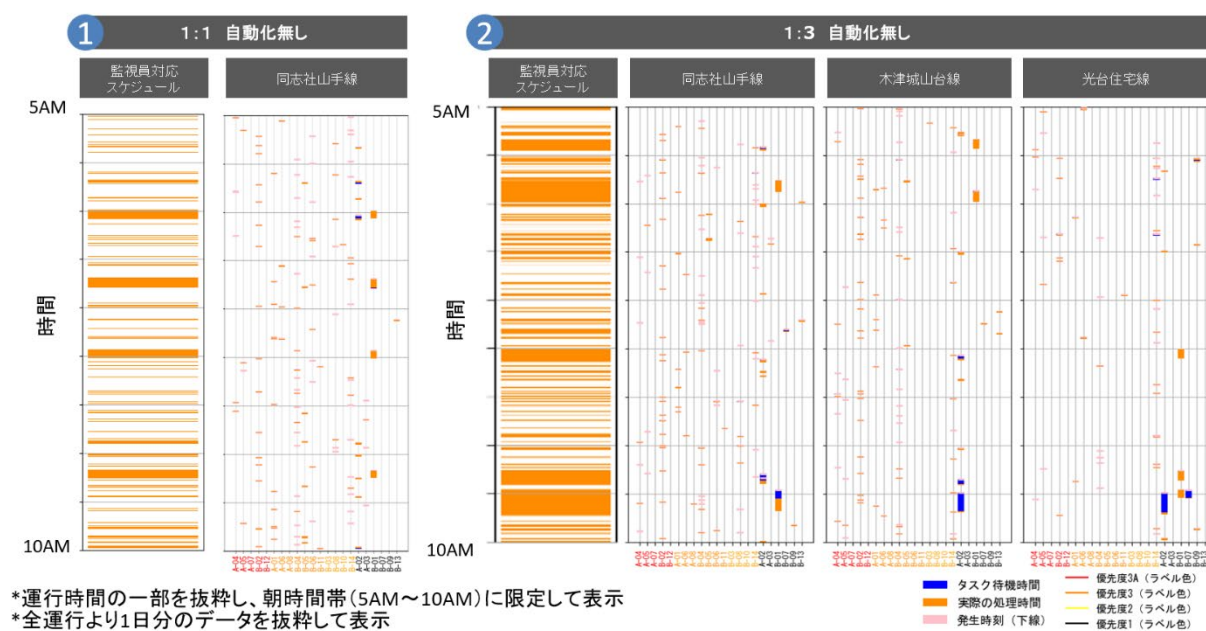


図 6.11 タスクの自動化をしない場合の遠隔監視シミュレーションのタイムライン図

表 6.2 より、タスクの自動化をせず 1:1 遠隔監視(1 人の遠隔監視員が 1 台のバスを同時監視)を行う場合、1825 日間の運行のうち 1796 日間(全運行日数の 98.4 %)で安全性要件と定時性要件の双方が満たされたことが分かる。これは運行成立基準である 93.4 %以上となるため、運行として成立したと言える。一方、タスクの自動化をせず 1:3 遠隔監視(1 人の遠隔監視員が 3 台のバスを同時監視)を行う場合、1825 日間の運行のうち、安全性要件と定時性要件を充足した日数は 920 日間(全運行日数の 50.4 %)であった。これは運行成立基準である 93.4 %を下回っており、運行として不成立であると言える。

また図 6.11 から、1:1 遠隔監視と 1:3 遠隔監視の「監視員対応スケジュール」を比較すると、1:3 遠隔監視の方がよりオレンジ色(タスクを処理している時間)が占める割合が多く、監視員の業務負担が大きいことが分かる。さらに、車両別のタスクの発生・処理状況のタイムラインを見ると、1:1 遠隔監視の場合は青色(タスクが処理されず待機している時間)はあまり見られないが、1:3 遠隔監視の場合はこれが多く見られ、タスクの重複による処理開始の遅れや優先度の高いタスクの発生による中断が多く発生していることが分かる。

1:1 遠隔監視は、有人運行バスと同様に 1 人の運転手が 1 台を担当する体制であり、運行として成立するのは予想通りの結果である。一方、1:3 遠隔監視は、タスクの自動化等による負担低減施策を行わない場合、運行として不成立となる結果となった。したがって、1:3 遠隔監視の運行を成立させるためには、22 項目のうち特に安全性と定時性に影響のあるユースケースを特定したうえで、それらの負担低減施策を検討し、タスクの発生頻度・発生時の工数を低下させることで、再度 1:3 遠隔監視が可能かどうかをシミュレーションにより検証した。

【安全性と定時性に影響のあるタスクの特定と負担軽減策の検討結果】

22 項目の車内ユースケースリストのうち、特に安全性と定時性に影響があるタスクを特定した。安全性および定時性への影響度合いは、各タスクの発生頻度と発生時の工数を掛け合わせて得られる、監視員拘束時間の期待値を指標として影響を評価した。全 22 項目の車内ユースケースのうち、監視員拘束時間の期待値が上位 10 項目のものを図 6.12 に示す。

【全タスクランキング 拘束時間期待値上位10項目】

項番	発生イベント	タスク種別	発生頻度		工数 監視員 拘束秒数 【秒】*3	期待値 1日当たり監視員 拘束時間期待値 【秒】*4
			【停留中タスク】 1停留所あたり発生 確率*1	【走行中タスク】 1時間当たり発生回 数*2		
B-01	乗車列に車いす利用者がいることによる乗降・案内の発生	停留	0.97%	—	300	1154
B-02	駆け込み乗車客の対応	停留	7.86%	—	30	931
B-03	出発定刻後における降車希望客の対応	停留	7.86%	—	30	931
A-02	旅客からの問い合わせへの対応	走行	—	1.26	60	681
B-05	終点到着時の車内滞留旅客への対応	停留	1.57%	—	60	372
B-14	料金収受対応	停留	8.16%	—	10	322
B-04	発車時に着座していない旅客への対応	停留	7.86%	—	10	310
A-06	緊急車両が接近し車両停止	走行	—	1	30	270
A-01	無信号横断歩道における歩行者とのコミュニケーションの発生	走行	—	0.83	30	224
A-04	走行中に立ち上がった旅客への対応	走行	—	1.26	10	113

- *1: バスが1つの停留所に停車した際にあるタスクが発生する確率
- *2: バスが1時間走行した際にあるタスクが発生する平均回数
- *3: あるタスクが発生した場合に対処に監視員が要する時間
- *4: ある車両が9時間営業走行をしたと仮定

交通事業者への定量的なヒアリングに基づき整理

図 6.12 監視員拘束時間の期待値の上位 10 項目

特に、上位 3 項目である「乗車列に車いす利用者がいることによる乗降・案内の発生」、「駆け込み乗車客の対応」、「出発定刻後における降車希望客の対応」が、全ユースケースの発生工数の 50%以上を占めていることが分かった。そのため、本 3 項目を「1:3 実現のために必要な実装機能」と位置づけ、監視員負担の軽減策の検討、および頻度と工数の見直しを行った。

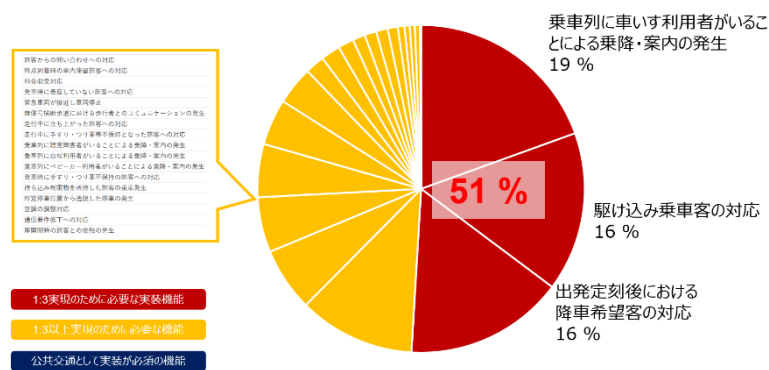


図 6.13 監視員拘束時間の期待値の上位 3 項目が占める割合

検討結果を

表 6.3 に示す。なお、オペレーションフローおよび頻度と工数の見直しは、WeRide 等自動運転バスの社会実装先行事例等を参考に行った。

表 6.3 監視員拘束時間の期待値上位 3 項目の負担低減策の検討結果

項番	発生イベント	現行		見直し後	
		頻度 [回/時間]	工数 [秒]	頻度 [回/時間]	工数 [秒]
B-01	乗車列に車いす利用者があることによる乗降・案内の発生	0.427	300	0.235	変化なし
B-02	駆け込み乗車客の対応	3.45	30	変化なし	10
B-03	出発定刻後における降車希望客の対応	3.45	30	0.193	変化なし

以下に、本 3 項目の頻度・工数の見直しに関する参考事例、オペレーションの具体例、および頻度・工数の算出方法を示す。なお、提示するオペレーションはあくまで具体例であり、これを推奨するものではない点に留意されたい。本項目は、当該オペレーションを仮定した場合に想定される頻度・工数の低減効果を示すものである。

<頻度・工数見直しの根拠>

(1) 乗車列に車いす利用者があることによる乗降・案内の発生

[オペレーション見直しの参考事例(1)]

EasyMile では、旅客は自身で乗降時にボタンを押すことで、自動でスロープの展開・車高の低下を行うことが可能⁵である。また、JR 北海道では、無人駅における車いす利用者に対して事前連絡を要請しており⁶、バスにおいても同様の運用とすることが考えられる

[見直し後頻度・工数算出方法(1)]

頻度:45%低減

出所:英国の鉄道に関する調査で、障がい者の 45%が”Passenger Assist”(予約制の障がい者介助サービス)を”Never heard of it(初めて知った)”と回答⁷。45 %が介助員の補助を利用せず、付添人がいると想定。

(2) 駆け込み乗車客の対応

[オペレーション見直しの参考事例(2)]

WeRide 広州では、開扉後 20 秒程度で自動閉扉している。旅客は事前予約など必要なく、自由に

⁵ EasyMile, https://easymile.com/sites/default/files/easymile_safety_report_2023_1.pdf

⁶ JR 北海道, <https://www.jrhokkaido.co.jp/network/barrier/>

⁷ Office of Rail and Road(英国), <https://www.orr.gov.uk/sites/default/files/2021-03/research-into-passenger-awareness-of-assisted-travel-services-april-2017.pdf>

乗降可能。EasyMile では扉にセンサ付きゴムを装備し、自動開閉機能を備えている。

[見直し後頻度・工数算出方法(2)]

工数:66.7%低減

出所:駆け込み乗車の待機は無くなり、駆け込み乗車後の安全確認対応のみとなり、監視員の工数は30秒→10秒に短縮と仮定。

(3) 出発定刻後における降車希望客の対応

[オペレーション見直しの参考事例(3)]

WeRide 広州では、開扉後 20 秒程度で自動閉扉している。EasyMile では扉にセンサ付きゴムを装備し、自動開閉機能を備えている。

[見直し後頻度・工数算出方法(3)]

工数:94.4%低減

出所:情報処理学会誌より、旅客 1 人当たりの乗降所要時間は 3 秒、車内旅客数が 15 人以上の場合は 5 秒⁸。WeRide の開扉時間が 20 秒であることを鑑みると、本実証で用いた大型路線バスを用いた場合開扉時間は 60 秒程度と想定。この前提で乗降全体に 60 秒かかるのは、奈良交通提供データより光台住宅線の最混雑便でも 5.56%。60 秒で正常に閉扉されなかった場合、遠隔監視員が介入と仮定。

[1:3 遠隔監視の、自動化なしの場合と自動化ありの場合との比較結果]

22 項目の車内ユースケースのうち、監視員拘束時間の期待値の上位 3 項目の頻度・工数の自動化等による見直しを行う場合と行わない場合に分け、再度シミュレーションを行った。

その結果を表 6.4 に示す。また、どのようなタスクがいつ発生したのかを表すタイムライン図を図 6.14 に示す。

シミュレーションを通じて安全性と定時性に影響のあるイベントを自動化対応等により解決することで、1:3 が実現することを確認した。

表 6.4 タスクの自動化をする場合/しない場合の 1:3 遠隔監視シミュレーション結果

	安全性要件と定時性要件の充足率	両要件到達 運行日数	両要件 未達運行日数	運行成立 (93.4%以上で成立)
1:3 自動化なし	50.4 %	920	905	不成立
1:3 自動化あり	97.4 %	1778	47	成立

⁸ 情報処理学会, <https://www.ipsj.or.jp/award/9faeag0000004ej9-att/2V-3.pdf>

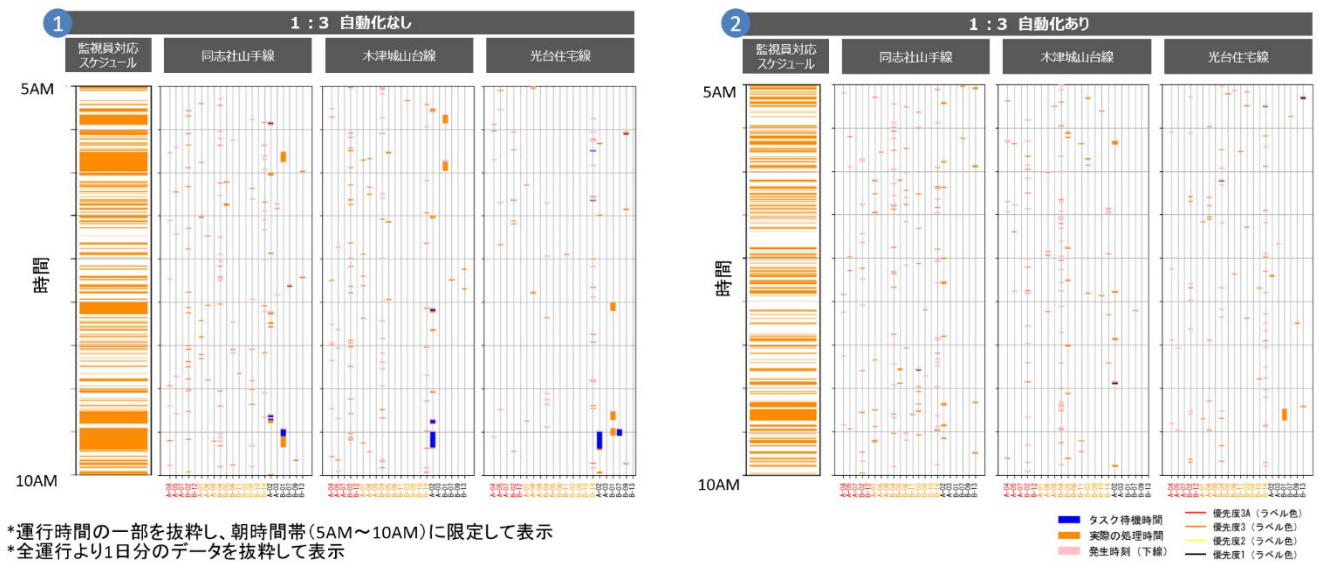


図 6.14 タスクの自動化をする場合/しない場合の1:3 遠隔監視シミュレーションのタイムライン図

表 6.4 より、タスクの自動化等により監視員の工数の見直しを行わなかった場合、1:3 遠隔監視の運行は成立しない(表 6.2 参照)。一方、上位 3 項目の自動化等により監視員の工数低減を行った場合、1825 日間の運行のうち 1778 日間(全運行日数の 97.4 %)で安全性要件と定時性要件の双方を満たした。これは運行成立基準である 93.4 %以上となるため、運行として成立したと言える。

[考察]

本シミュレーションでは、22 項目の車内ユースケースのうち、特に安全性と定時性に影響が大きいことが見込まれる 3 項目について、自動化等による頻度・工数の低減を検討し、それらにより 1:3 遠隔監視が成立することを確認した。

今回は、優先して取り組むべき 3 つのユースケースの特定・シミュレーションへの反映を行ったが、さらなる遠隔監視員の負担軽減や定時性・安全性の向上、1:3 以上遠隔監視体制の構築を進めるためには、今回検討を行わなかった 19 項目についても今後検討を行う必要があると考える。

遠隔監視員の業務負担低減の検討の際には、すべての事象を AI で検知をすることは、技術面・経済面で非効率的である。そのため、技術による解決だけではなく、乗客が守るべき自動運転バス利用方法のルール策定や、遠隔監視員の業務の一部セルフサービス化、事前予約制の採用等により複合的に解決策の検討・分類をしていく必要がある。

(B) AI 画像解析および可視化技術を用いた、実車環境における 1:N 同時監視タスクの自動化・オペレーションの検証

[結果概要]

AI 解析結果を以下の図に示す。表の数値は AI 検知シナリオごとの検知秒数を記録しており、検知時間が 1 秒未満の場合は 1 秒に繰り上げて算出している。また、図中の斜線は、AI 検知対象のイベントを発生させていない場合や、乗車・降車を行っていないことを示す。

検知結果から、全イベントの発生時間のうち検知アラートが上がっていた時間は平均で 38.2%であり、かつほとんどの乗客で未検知(FN)の時間が発生していたことが分かる。

乗客A (明るい服)		検知ユースケース			
		駆け込み乗車等の対応	出発定刻後における降車希望客の対応	扉付近干渉の検知	車内転倒等の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]	623	626	625	654
	乗車・降車による検知 [秒]	1	4	5	
	TP (正検知) [秒]	1	1	5	4
	TN (非検知) [秒]	616	613	609	640
	FP (誤検知) [秒]	0	4	0	3
	FN (未検知) [秒]	5	4	6	7
計算にて導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]	16.7	20.0	45.5	36.4
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]	100	20.0	100	57.1
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]	0	0.65	0	0.46

乗客B (暗い服)		検知ユースケース			
		駆け込み乗車等の対応	出発定刻後における降車希望客の対応	扉付近干渉の検知	車内転倒等の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]	623	626	625	654
	乗車・降車による検知 [秒]	2	4	1	
	TP (正検知) [秒]	1	1	3	5
	TN (非検知) [秒]	616	617	613	645
	FP (誤検知) [秒]	0	0	0	4
	FN (未検知) [秒]	4	4	8	0
計算にて導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]	20.0	20.0	27.3	100
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]	100	100	100	55.6
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]	0	0	0	0.61

乗客C (暗い服)		検知ユースケース			
		駆け込み乗車等の対応	出発定刻後における降車希望客の対応	扉付近干渉の検知	車内転倒等の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]	623	626	625	654
	乗車・降車による検知 [秒]	5	4	3	
	TP (正検知) [秒]	2	0		8
	TN (非検知) [秒]	616	618	622	640
	FP (誤検知) [秒]	0	0		6
	FN (未検知) [秒]	4	4		0
計算にて導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]	33.3	0		100
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]	100	0		57.1
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]	0	0		0.92

乗客D (暗い服)		検知ユースケース			
		駆け込み乗車等の対応	出発定刻後における降車希望客の対応	扉付近干渉の検知	車内転倒等の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]	623	626	625	654
	乗車・降車による検知 [秒]	4	5	3	
	TP (正検知) [秒]			8	13
	TN (非検知) [秒]	619	621	597	637
	FP (誤検知) [秒]			0	4
	FN (未検知) [秒]			1	0
計算にて導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]			88.9	100
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]			100	76.5
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]			0	0.62

乗客E (暗い色の服)		検知ユースケース			
		駆け込み乗車等の対応	出発定刻後における降車希望客の対応	扉付近干渉の検知	車内転倒等の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]	623	626	625	654
	乗車・降車による検知 [秒]	4	4	3	
	TP (正検知) [秒]			1	8
	TN (非検知) [秒]	619	621	597	637
	FP (誤検知) [秒]			0	4
	FN (未検知) [秒]			24	0
計算にて導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]			4.0	100
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]			100	66.7
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]			0	0.62

乗客F (明るい色の服)		検知ユースケース			
		駆け込み乗車等の対応	出発定刻後における降車希望客の対応	扉付近干渉の検知	車内転倒等の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]	623	626	625	654
	乗車・降車による検知 [秒]	4	3	3	
	TP (正検知) [秒]				
	TN (非検知) [秒]	619	623	622	654
	FP (誤検知) [秒]				
	FN (未検知) [秒]				
計算にて導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]				
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]				
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]				

図 6.15 乗客ごとの AI 検知結果

また、図 6.15 に記載した乗客ごとの AI 検知結果を合算した結果を図 6.16 に示す。各ユースケースにおける再現率の平均値は、以下の様に計算できた。なお、再現率とは実際に事象が発生した場合に AI が正しく検出した割合のことであり、特に見逃し件数を少なくすべき場面で用いられる指標である。再現率が高いほど、見逃し件数が少ないと言える。

$$\frac{23.5+14.3+30.4+84.4}{4} = 38.2\%$$

		検知ユースケース			
		駆け込み乗車客の対応	出発定刻後における降車希望客の対応	扉付近干渉の検知	車内転倒者の発生
入力欄	データ全体長さ [秒]	623	626	625	654
	乗車・降車による検知 [秒]	20	24	14	
	TP (正検知) [秒]	4	2	17	38
	TN (非検知) [秒]	586	584	555	588
	FP (誤検知) [秒]	0	4	0	21
	FN (未検知) [秒]	13	12	39	7
%計算にて導出	再現率 = TP/(TP+FN) [%]	23.5 %	14.3 %	30.4 %	84.4 %
	適合率 = TP/(TP+FP) [%]	100 %	33.3 %	100 %	64.4 %
	偽陽性率 = FP/(FP+TN) [%]	0 %	0.68 %	0 %	3.44 %

再現率の平均値：
約38.2 %

図 6.16 全乗客の AI 検知の統合結果

[考察]

イベントの検知率を上げるには、イベントが発生し始めてから検知アラートを出すまでの時間を短縮すること、画角や車内環境に合わせた検知 AI をチューニングすること、等の検討が必要であると考えられる。

誤検知に焦点を当てると、バス走行時におけるドア付近での誤検知や、立席での乗客を車内転倒者として誤って検知してしまう事象が発生している。こちらは、AI 検知だけでなく、走行ステータスやドア開閉ステータスなどバスから取得可能な情報をもとに、アラート発報の条件を設定することにより誤発報を抑える対応や、カメラを複数台設置して、アラート発報の条件を厳しく設定するといった対策の検討が必要である。

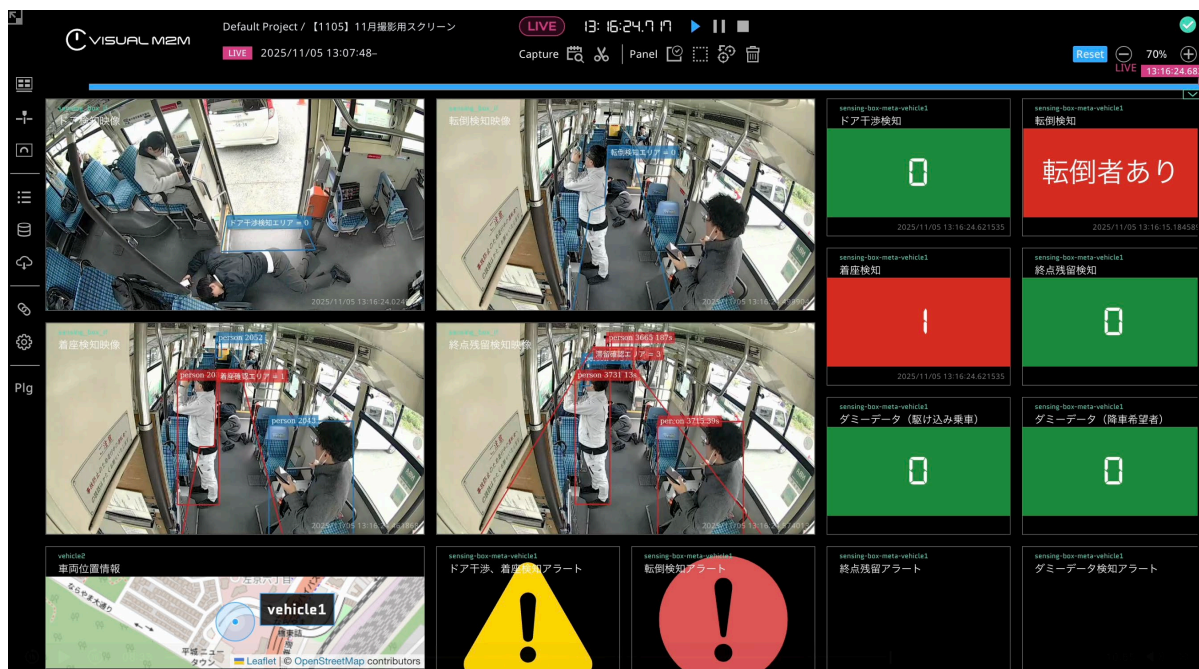


図 6.17 AI 検知率検証時の画面キャプチャ

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

[結果概要]

自動運転車両管理事業者や交通事業者、通信インフラ事業者等からのヒアリングや情報提供、地域住民へのアンケート結果をもとに事業性試算を行い、けいはんなエリアにおける3市町での広域連携/1:3遠隔監視を行った場合を、市町独立運行/1:1遠隔監視を行った場合と比較して、自動運転バス1台あたりの費用は約47%低減可能との試算結果が示された。

一方、費用を47%低減したとしても、なお有人運行バスと同等水準の事業性確保には遠く、1:NのN数をさらに増加させた場合はさらなる費用の低減が可能であることが示されたものの、収益分岐ライン超えには届かなかった。したがってさらなる売上向上施策(一例として交通商社等)や費用低減効果(一例として自動運転車両の量産効果によるコスト低減等)が求められる。

地域	項目 [万円]	A	B	C
		有人運行	自動運転 市町独立運行/ 1:1遠隔監視 *5	自動運転 広域連携/ 1:3遠隔監視 *5
京田辺市	収入	820	740	740
	費用	1,740	7,160	3,810
	収益	-920	-6,380	-3,070
木津川市	収入	730	660	660
	費用	1,740	7,160	3,810
	収益	-1,010	-6,460	-3,150
精華町	収入	1,540	1,390	1,390
	費用	1,740	7,160	3,810
	収益	-200	-5,730	-2,420
3市町 合計	収入	3,090	2,790	2,790
	費用	5,220	21,480	11,430
	収益	-2,130	-18,690	-8,640

47%の費用低減

自動運転バスの運行を有人運行と同等水準にするためには、追加の施策が必要(量産効果によるコスト低減や自動運転人材雇用における補助金、売上向上施策等)

(A)： 奈良交通乗合事業の売上高(R6)：88.6億円/年、路線バス台数：620台→1台あたり売上高：88.6億円÷620台=1,429万円/台/年

奈良交通乗合事業輸送人員(R6)：4,711万人→1台あたり平均輸送人員：4,711万人÷620台=7.6万人/台/年=208人/台/日

*1： 同志社山手線の収入(R6)：2,411万円/年 ÷ 3.08台 = 783万円 + 広告収入40万円 = 823万円/台/年

*2： 木津城山台線の平均利用者数(R6)：110人/日 ÷ 1.1台 = 100人/台/日 → 奈良交通の1台あたり平均輸送人員に対する割合：100÷208 = 0.48倍

→木津城山台線の1台あたり推定収入：(A)より、1,429万円/年 × 0.48 = 686万円/台/年 + 広告収入40万円 = 726万円/台/年

*3： 光台住宅線の年間輸送人員：19.8万人/年→542人/日÷2.47台=219人/台/日→奈良交通の1台あたり平均輸送人員に対する割合：219÷208=1.05倍

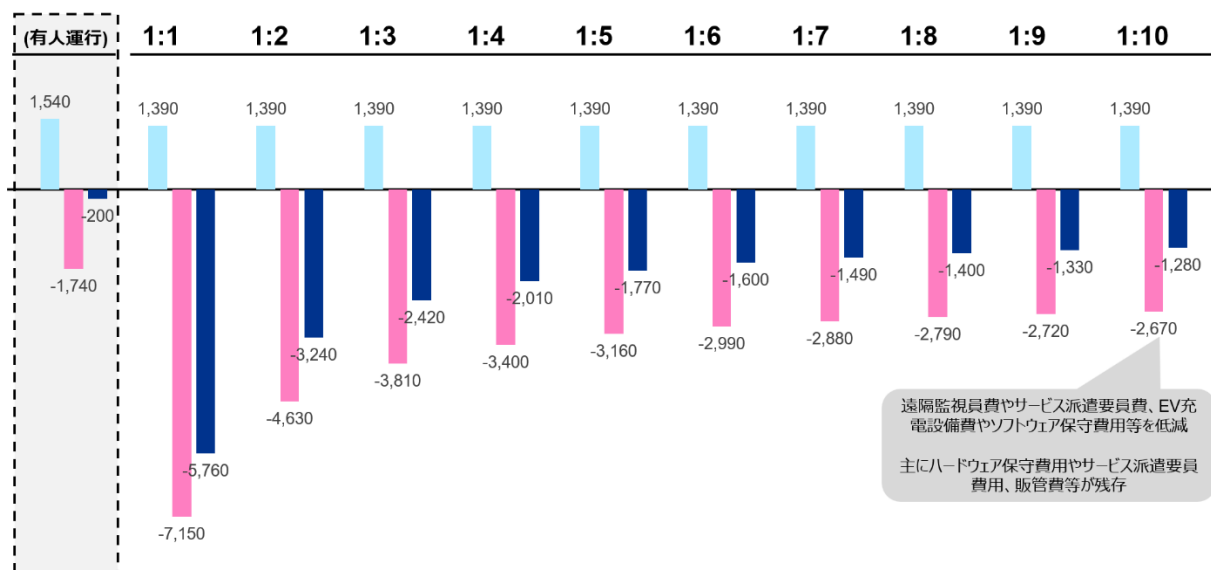
→光台住宅線の1台あたり推定収入：(A)より、1,429万円/台/年×1.05=1,500万円/台/年 + 広告収入40万円 = 1,540万円/台/年

*4： 乗合バス総費用(R6)：108億円、奈良交通保有路線バス台数：620台(奈良交通提供データ) →奈良交通乗合バス1台あたり平均費用：108億円÷620台=1,740万円/台/年

*5： 自動運転(B, C)の収入は、自動運転バス受容率(89.9%：住民アンケート結果)より算出。費用は、3市町で同等と仮定

図 6.18 精華町を含む京都府3市町における自動運転バス導入時及び広域連携/1:3遠隔監視時の事業性試算結果

また、1:NのN数をさらに増加させた場合の事業性試算結果を図6.19に示す。1:10にした場合、費用は1:1の時と比べて約37%まで低減可能である。一方、有人運行並みの事業性には届かず、さらなる施策が必要であることが明らかとなった。

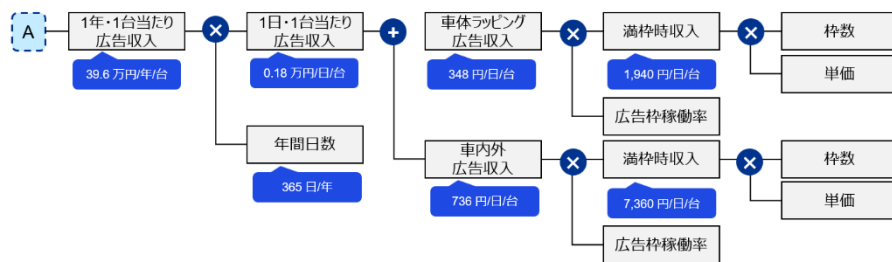


*1: 1:N遠隔監視/広域連携により費用が低減される費目
 → EV充電設備・ソフトウェア保守・遠隔監視員・サービス要員・通信
 1:N遠隔監視/広域連携により費用が低減される費目
 → 車両減価償却・管制システム・電気・ハードウェア保守・車体整備・保険費用・回送・現場措置業務実施・予備車両人員・外注・その他費用

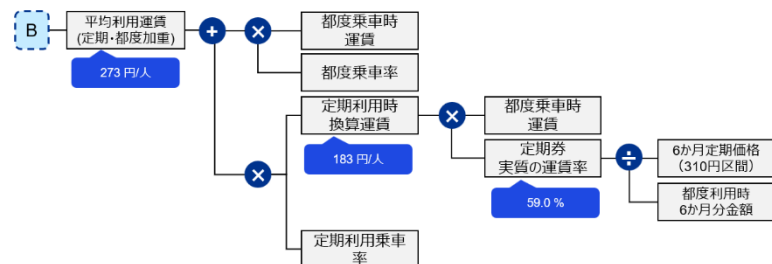
遠隔監視員費やサービス派遣要員費、EV充電設備費やソフトウェア保守費用等を低減
 主にハードウェア保守費用やサービス派遣要員費用、販管費等が残存

単位：万円

図 6.19 1:NのN数を増やした場合の事業性試算結果
 (精華町:光台住宅線における自動運転バス1台当たりの試算)



奈交サービス株式会社HP（奈良交通の交通広告を管理）より*1 平城営業所におけるサービス料金表に基づく
18%（奈良交通へのヒアリングから推定）
奈交サービス株式会社HP（奈良交通の交通広告を管理）より*1 平城営業所におけるサービス料金表に基づく
10%（奈良交通へのヒアリングから推定）



310円（平均利用区間の運賃をYahoo路線にて検索）
71%（奈良交通提供データ）
310円（平均利用区間の運賃をYahoo路線にて検索）
66,040円（運賃310円区間の6か月通勤・通学定期の平均、奈良交通HP*2）
111,600円（310円×180日）
29%（奈良交通提供データ）

(B) 精華町における収入試算結果②

● 住民アンケートの反映方法

本試算においては、精華町住民に対して実施したアンケート結果を一部反映させている。反映させた観点は大きく2点あり、①自動運転バスの受容率、②自動運転バス運賃に対する許容度である。

① 自動運転バスの受容率

「自動運転」の安全性に対する不安等の理由で、バスの利用を取りやめる乗客が一定数存在すると考えられる。そこで、有人運行バスの利用客に対し、自動運転バスがどれだけ受容されるかについてアンケート形式で評価した。

<アンケート設問・選択肢>

Q6.（社会実装予定ルートを画像で提示した上で）このルートが自動運転バスとなった場合、利用したいと思いますか(単一選択)

- ・利用する
- ・利用しない

Q7.（Q6で「利用しない」と回答した人に対し）自動運転バスを利用しないと回答した理由を教えてください(複数選択)

1. 自家用車を持っているから
2. 自転車で移動するため
3. 徒歩で移動するため
4. 該当のバス停を利用しないため
5. そもそもこのエリアに居住していないから
6. 技術的に不安であるため
7. 事故やトラブル時の対応が心配だから
8. 価格が高くなるとおもうから

<自動運転バスの受容率の計算方法・結果>

Q6で「利用しない」と答えた人のうち、Q7で選択肢1~5を選択した28人は、そもそも有人運行バスにおいても本ルートを利用していないと推察される。そのため本ルートを現在も利用している人数は、精華町在住の回答総数117人のうち、 $117 - 28 = 89$ 人と推定される。この89人のうち、自動運転起因での不利用理由を選択した人数は9人であるから、現在本ルートの有人運行バスを利用している人のうち自動運転バスも利用する割合(すなわち、自動運転バスの受容率)は、

$100\% - (9 \text{人} / 89 \text{人}) = 89.9\%$ であると計算した。

本値を図6.20(A)のように現状の一日あたり利用者数に掛け合わせ、自動運転バス導入時の想定利用者数を推定した。

②自動運転バス運賃に対する許容度

利用者が有人運行バスに対して許容していた運賃が、自動運転バスの場合にごう変化するかを評価した。

<アンケート設問・選択肢>

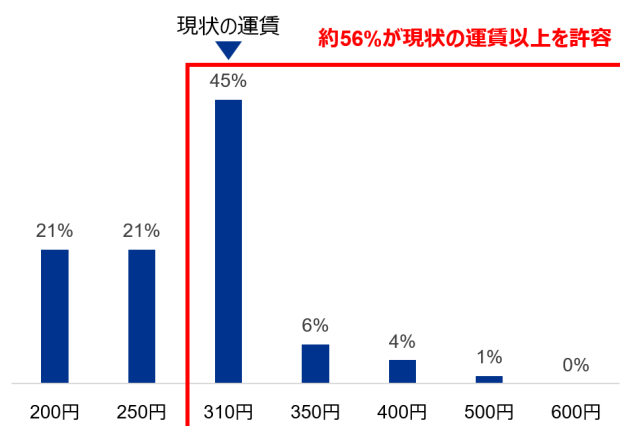
Q8. 今後、自動運転バスを利用する際に、運賃はいくらまで支払うことができますか(単一選択)

※現在の運賃が310円のルートの場合

- | | | | |
|---------|---------|----------------|---------|
| 1. 200円 | 2. 250円 | 3. 310円(現在と同等) | 4. 350円 |
| 5. 400円 | 6. 500円 | 7. 600円 | 8. その他 |

<評価結果>

図6.21に示すように、自動運転バスになった場合も、現在と同等以上の運賃を許容している人の割合が約56%であることが確認された。一方で、回答者のうち約44%が現在よりも安い運賃を希望していることも鑑み運賃の増額は難しいと考え、本事業性試算では有人運行と同等の運賃を収受する前提として試算を行った。



(n=80, 複数回答可, 精華町在住者のうち当該路線を利用すると回答した者のみ抽出)

図 6.21 自動運転バスの運賃に対する許容度の回答結果

[精華町(光台住宅線)費用試算結果]

● 概要

自動運転車両管理事業者や交通事業者、通信インフラ事業者等からのヒアリングや情報提供をもとに算出した、3市町における社会実装予定路線における自動運転バス1車両あたりの年間想定費用は、国補助金の活用や広域連携/1:3遠隔監視を行うことで、3,810万円/年/台になると試算された。広域連携をせず、市町独立運行を行った場合の年間費用は7,160万円/年/台であると試算されたため、広域連携/1:3遠隔監視による費用低減効果は、100% - 3,810万円/7,160万円 = 47%である。

項目	年間費用 (1台あたり)			根拠・計算方法	
	成り行き/市町独立の場合	補助金	1:3遠隔監視/広域連携低減額		
減価償却	①車両	-2,000万円	2,000万円	-	1億円/台を5年間で減価償却
	②管制システム(車内外監視)	-500万円	500万円	-	2,500万を5年間で減価償却
	③EV充電設備	-492万円	134万円	205万円	充電器260万 + 工事費1,200万 + キュービクル1,000万 ÷ 5年償却 = 492万円 (奈良交通提供データ) 環境省補助金670万 ÷ 5年償却 = 134万円 → 工事費は3台同時導入で30%低減、キュービクル3機併用と仮定
	④回送(地図等追加作成)	-120万円	-	-	回送ルート部分において、地図追加作成・アクセスメント追加実施費用 600万円 ÷ 5年償却
売上原価	⑤遠隔監視室	-110万円	-	73万円	遠隔監視室：設置費用500万円 ÷ 5年償却 + 監視PC18万円 × 3基 ÷ 5年償却
	⑥電気	-140万円	-	-	1日128km走行*1×365日×電費0.8km/kWh(奈良交通実績) × 電気単価20円/kWh + デマンド値引き上げ・EMS費用 2万円/月×12か月
	⑦ハードウェア保守	-780万円	-	-	アイサン試算
	⑧ソフトウェア保守	-780万円	-	520万円	アイサン試算
	⑨車体整備	-70万円	-	-	アイサン提供資料より
	⑩保険費用	-60万円	-	-	アイサン提供資料より(緑ナンバー想定)
	⑪運転手・添乗員	-0万円	-	-	L4(遠隔監視型)により不要と想定
	⑫点検・充電等作業要員	-58.7万円	-	-	2000円/時間 × 1.2(社保・手当等) × 40分/日 × 365日 = 58.7万円
	⑬遠隔監視員	-1,580万円	-	1,050万円	人件費：2,000円/時間 × 1.2(社保・手当等) × 18時間/日 × 365日 = 1,577万円
	⑭現場措置業務	-118万円	-	-	既存の予備運転手を活用と想定→20台に1人予備運転手を配置と仮定 612万円/年 × 18時間 ÷ 9.17時間(平均所定拘束) × 1/20 × 1.362(公休率) + 駆付用車両36万円
	⑮サービス派遣業務	-1,216万円	-	811万円	1,500円/時間 × 1.2(社保・手当) × 18時間 × 365日 + 駆付用車両36万円
	⑯通信・ライセンス	-1,066万円	-	686万円	クラウド費用15.9万円/月 + 遠隔監視システム費用35万円/月 + AI機能費用35万円/月 = 1030万円/年(は広域連携可能と仮定し、SIM 3万円/月は広域連携効果は無しと仮定)
	⑰予備車両・人員コスト	-176万円	-	-	乗合バス1台あたり費用：1,740万円*3 × 予備率10.1% (奈良交通提供データ)
販管費	⑱外注費	-0万円	-	-	事業3年目以降は外注費は不要と仮定(必要な場合も国補助金を獲得予定)
	⑲その他	-530万円	-	-	乗合バス1台あたり費用：1,740万*3 × 30.4% (奈良交通提供データ)
合計	-9,790万円	-7,160万円	3,350万円	-3,810万円	47%低減

*1：当該路線1便あたり走行距離：11km、平日の1車両あたり運用便数：11便、平城営業所⇄始発祝園駅間距離：6km → 11km/便×11便+6km×2(往復) = 128km
 *2：2030年までの自動運転車市場予測CAGR：19.9% (<https://www.marketreport.jp/autonomous-vehicle-market>) → 5年後には現在の約2.48倍に成長し、量産効果により少なくとも費用は1/2になると想定
 *3：乗合バス総費用(R6)：108億円、奈良交通保有路線バス台数：620台(奈良交通提供データ) → 奈良交通乗合バス1台あたり平均費用：108億円÷620台 = 1,740万円/台/年

図 6.22 自動運転バスの1台あたりの必要費用概算結果(3市町共通)

● 広域連携/1:3遠隔監視により費用低減が可能な費用項目

費用項目のうち、広域連携/1:3遠隔監視により費用低減が可能な項目は、大きく2種類に分けられる。(1)人件費と、(2)システム運用・メンテナンス費用である。図 6.22 に記載の費用項目のうち、特に費用低減が可能な項目について、低減額算出方法の案を以下に示す。

(1) 人件費

人件費として低減可能なものは、図 6.22 に記載した費用項目のうち、⑬遠隔監視員、⑮サービス派遣業務の2項目である。

・ 遠隔監視員

本費用項目は、遠隔監視員の人件費が含まれており、市町独立運行の場合は1市町(バス1台)に対して1人の遠隔監視員を配置する体制とし、自動運転バス1台当たりの費用として約1,580万円/年/台を想定。一方広域連携時は3市町(バス3台)に対して1人のサービス派遣要員を配置する体制

とし、自動運転バス 1 台当たりの費用は約 66.7%の低減割合、すなわち約 1,050 万円/年/台の低減額となると試算している。

・ サービス派遣業務

サービス派遣要員は、車内が完全に無人になった場合に、障がい者等交通制約者への対応や、車内急病人等の対応等のために配置する要員のことで、必要に応じて自動運転車両へ派遣される体制をとることを想定している。本費用項目は、サービス派遣要員の人件費に加え、派遣時に用いる車両費用も想定している。

市町独立運行の場合は 1 市町(バス 1 台)に対して 1 人のサービス派遣要員を配置する体制とし、自動運転バス 1 台当たりの費用として約 1,216 万円/年/台を想定。一方広域連携時は 3 市町(バス 3 台)に対して 1 人のサービス派遣要員を配置する体制とし、自動運転バス 1 台当たりの費用は約 66.7%の低減割合、すなわち約 811 万円/年/台の低減額となると試算している。

(2) システム運用・メンテナンス費用

・ EV 充電設備

本費用項目は、充電器本体価格・工事費用・キュービクル(高圧受電設備)等を想定。費用全額を 5 年償却として 1 年あたりの費用に変換する。

市町独立運行の場合は、1 市町(バス 1 台)に対して充電器 1 台・工事費用・キュービクル 1 台が必要であり、補助金による費用低減を行った場合、自動運転バス 1 台あたり 358 万円/年/台の費用が必要と試算した。一方広域連携時は、3 市町(バス 3 台)に対して充電器 3 台、工事費用・キュービクル 1 台(充電器 3 台に対しキュービクル 1 台共有を想定)が必要と想定した場合、自動運転バス 1 台当たりの費用は約 57.3 %の低減割合、すなわち約 205 万円/年/台の低減額となると試算している。

・ 遠隔監視室

本費用項目は、遠隔監視室設置費用、監視用 PC 購入費用等を想定。費用全額を 5 年償却として 1 年あたりの費用に変更する。

市町独立運行の場合は、1 市町(バス 1 台)に対して 1 室の遠隔監視室を配置すると想定し、自動運転バス 1 台あたり 110 万円/年/台の費用が必要と試算した。一方広域連携時は、3 市町(バス 3 台)に対して 1 室の遠隔監視室を配置すると想定し、自動運転バス 1 台当たりの費用は約 66.7%の低減割合、すなわち約 73 万円/年/台の低減額となると試算している。

・ ソフトウェア保守

本費用項目は、自動運転システムのソフトウェアの保守・更新費用等を想定。

市町独立運行の場合は、1 市町(バス 1 台)に対して 1 組のソフトウェア保守・更新費用が掛かると想定し、自動運転バス 1 台あたり約 780 万円/年/台の費用が必要と試算した。一方広域連携時は、3 市町(バス 3 台)に対して、1 組のソフトウェア保守・更新費用等が掛かると想定し、自動運転バス 1 台当たりの費用は約 66.7%の低減割合、すなわち約 520 万円/年/台の低減額となると試算している。

・ 通信・ライセンス

本費用項目は、サーバーレンタル・協調運行 NW・AI 検知機能のライセンス費用や、遠隔監視画像伝送手段としてモバイル回線を利用する場合の通信費用(SIM カード)を想定。

市町独立運行の場合は、1 市町(バス 1 台)に対して 1 組のサーバーレンタル・協調運行 NW・AI 検知機能のライセンス費用と、1 組の通信費用(SIM カード)を想定し、自動運転バス 1 台当たり約 1,066 万円/年/台の費用が必要と試算した。一方広域連携時は、3 市町(バス 3 台)に対して、1 組のサーバーレンタル・協調運行 NW・AI 検知機能のライセンス費用と、3 組の通信費用(SIM カード)を想定し、自動運転バス 1 台当たりの費用は 64.3%の低減割合、すなわち約 686 万円/年/台の低減額となると試算している。

[事業性試算結果・考察]

3 市町における広域連携/1:3 遠隔監視を行うと、市町独立運行/1:1 遠隔監視をする場合と比べ、1 台あたりの費用を約 47%低減することが可能であることを確認した。

一方、自動運転バスの収入・費用を合算すると、精華町における社会実装予定ルートにおける収益は、広域連携/1:3 遠隔監視を行った場合でも、約-2,300 万円となる見込みである(図 6.23 参照)。また、図 6.18 に示すように、京田辺市・木津川市においても、広域連携/1:3 遠隔監視を行った場合でも、それぞれ収益は約-3,060 万円、-3,140 万円となる見込みであり、3 市町合計での収益は約-8,500 万円である。

また、図 6.19 に示したように、N 数の増加による収益改善の効果は見込めるものの、有人運行並みの事業性の担保には届かない見通しである。すなわち、複数市町での広域連携に加え、さらなる売上向上施策や費用低減施策の検討を今後進めていく必要がある。

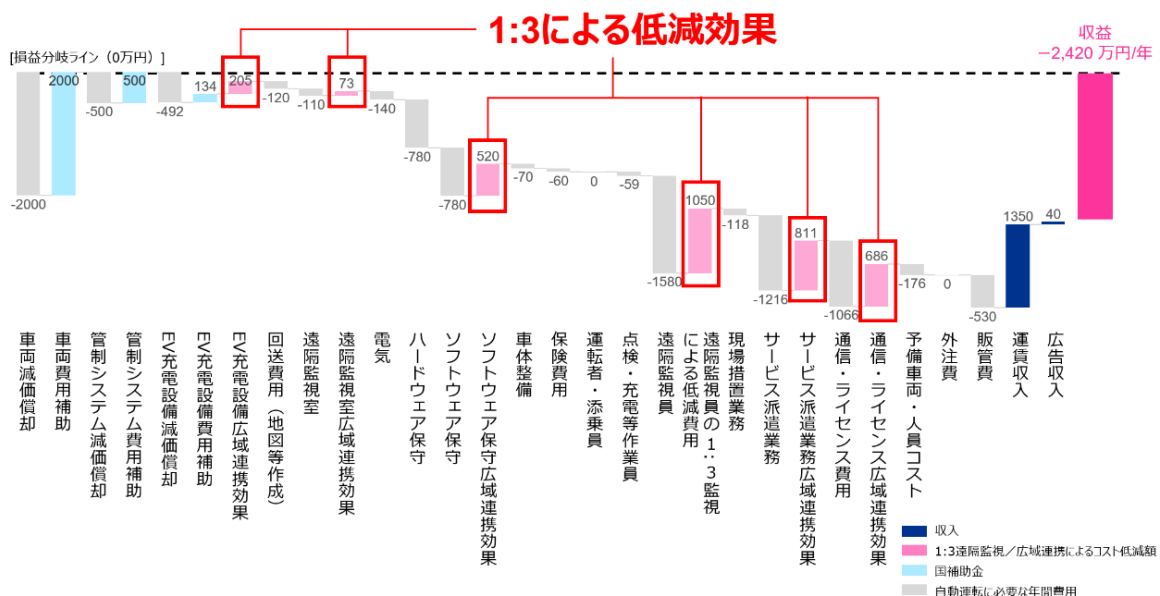


図 6.23 光台住宅線(想定社会実装ルート)における事業性試算結果

3) KPI/KGI との比較結果

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	協調運行 NW にて、監視者が複数運行拠点の監視をスムーズに実施できること。(開発・評価項目(2)に対応):達成
	(2)	車両異常:車両にて発生した異常の数値を検知できること (開発・評価項目(3)に対応):達成
	(3)	車内異常:AI 検知により、車内の異常を検知できること (開発・評価項目(3)に対応):達成
定量評価	(4)	協調運行:NW にて、監視者が 3 拠点の監視をし、適当な指示出しにより運行拠点における問題発生を未然に防止できること (開発・評価項目(3)に対応):達成
	(5)	事象発生～監視者が異常を認識するまでを 3 秒で完了し、運行監視者が後続処理を開始できること (開発・評価項目(1)に対応):達成

(1) 協調運行 NW にて、監視者が複数運行拠点の監視をスムーズに実施できること

異なる 3 市町を走る実走行車両の車室内外の映像を遠隔監視室に配信するシステムを構築し、マルチ SIM・AV-QoS の技術を用いることで、より低遅延で断絶の少ない映像伝送が可能であることを確認した。マルチ SIM 利用時、AV-QoS の利用により遅延値 274ms 減、1 秒以上の映像途絶回数 60%減を確認(図 6.6、図 6.7 参照)し、スムーズな監視が可能となったため、本 KPI を達成した。

(2) 車両異常:車両にて発生した異常の数値を検知できること

車両に搭載されたカメラ映像をクラウド上の協調運行ネットワークへ伝送し、クラウドで AI 解析を実施したうえで、遠隔監視 UI にアラートを発報するシステムを構築した。本システムにより、車内の乗客の異常発生から、アラート発報・該当人数の表示が適切に行われることを確認できたため、本 KPI を達成した。検知時の遠隔監視画面は、「(B)AI 画像解析および可視化技術を用いた、実車環境における 1:N 同時監視タスクの自動化・オペレーションの検証」の図 6.17 を参照。

(3) 車内異常:AI 検知により、車内の異常を検知できること

車両に取り付けられたカメラ映像を AI で解析することにより、車内における乗客の転倒や扉付近干渉、非着席者等の検出が、非混雑等の特定条件下で可能であることを確認できたため、本 KPI は達成した。また、混雑環境等を再現したリアルなバス車内における AI 検知デモでは、検出率が 38.2%であることを確認した(図 6.16 参照)。

検出精度の向上のため、時系列で動きを予測しリアルタイムで稼働するモデルや、死角に対応したカメラ配置・台数の検討が必要であると考えられる。

(4) 協調運行:NW にて、監視者が 3 拠点の監視をし、適当な指示出しにより運行拠点における問題発生を未然に防止できること

乗客の転倒や扉付近干渉を自動検知し、同時対応するための UI・HMI を構築。3 台の自動運転バスにおいて連続的に発生するトラブルに対して対処を行う遠隔監視デモが滞りなく実施可能であることを確認(遠隔監視画面は図 6.5 や、別紙 8.4 章の「遠隔監視画面のレイアウト」を参照)したため、本 KPI を達成した。

検証の中で明らかになった課題については図 6.24 に記載した。また、これら広域連携の取組により、自動運転バス 1 台当たり約 47%の費用低減につながることを確認した(図 6.22 参照)。

(5) 事象発生～監視者が異常を認識するまでを 3 秒で完了し、運行監視者が後続処理を開始できること

2 種類の異常検知の処理時間を測定し、車内の異常発生から平均 3 秒以内にアラート発報がなされることを確認できた(図 6.4 参照)ため、本 KPI を達成した。

倒れ込み検知より侵入検知の方がアラート発報までの時間が長いのは、異常検知とみなす検知しきい値や検知ステータス送信タイミングが AI モジュールで異なることが原因である。AI が検知できてからのアラート発報までの時間は変わらないため、AI 検知率を上げるためのチューニングや、複雑状況・死角に対応するロバスト化・機能の追加等が今後の課題となる。

4) 課題・成果

[本実証の成果]

本実証では、自動運転バスの運用における事業性確保に向け、費用低減策の1つとして1:N 遠隔監視(本実証ではN=3とおいた)を成立させるための技術・運用について検証し、通信・オペレーションの面から1:3 遠隔監視実現の目途付けを完了した。

さらに、1:3 遠隔監視/3 市町で広域連携した自動運転バスの運用における、事業性改善効果の検証を行い、これらの施策により自動運転バス1台当たりの年間費用が約47%低減できることを示した。一方、これらの施策を講じたうえでも自動運転バスが有人運行バス並みの事業性の確保をするには至らず、さらなる売上向上施策や費用低減施策が必要であることを示した。

以下に、各開発・評価項目ごとに本実証で得られた成果を記載する。

(1) マルチ SIM による帯域確保

自動運転車両やレンタカーによる実証走行において、異なる3市町を走る実走行車両の車室内外の映像を配信する遠隔監視デモを行うことにより、マルチ SIM により単一回線よりもスムーズな映像伝送が可能であることを確認した。また、車内の異常の発生から、平均で3秒以内にアラート発報がなされることを確認した。

(2) 動的な映像品質の制御

通信遅延を低下させる回線予測の技術 AV-QoS を用いることで、従来通信よりマルチ SIM 利用時の平均遅延値 0.274 秒低減、1 秒以上の映像途絶回数 60% 減を確認。マルチ SIM や AV-QoS を用いた場合の通信品質や通信コストの違いを特定した。

(3) AI 画像解析・可視化技術の開発

1台の自動運転バス車両の内部において、車内監視タスクの優先度を実業務とシミュレータに基づいて定め、発生工数上位3タスクを検出する仕組みを構築。定量評価により検出率が 38.2%であることを確認した。

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

自動運転バスの事業性を評価すると、現行の3台の自動運転バスを運行すると、有人バスの想定収支年間-200万円であるが、1:1 遠隔監視の場合の年間収支は-5,730万円であるのに対して、1:3 遠隔監視の場合の年間収支は-2,420万円となり、収支が改善することを特定。

[今後の課題]

(1) マルチ SIM による帯域確保(図 7.3 参照)

車内監視では自動運転モビリティの安全要件の定義を踏まえた、カメラの数や、画角・配置の見直しが必要。加えて車外監視も含めた、通信要件と通信帯域確保技術の確立が必要。詳細については、図 7.3 参照。

(2) 動的な映像品質の制御(図 7.4 参照)

AV-QoS 等を活用した遅延低下技術のコストバランスを踏まえ、カメラのエンコード処理から、安全要件を踏まえた遠隔監視までのパイプラインの遅延低下技術導入が必要である。詳細については、図 7.4 参照。

(3) AI 画像解析・可視化技術の開発(図 7.5 参照)

AI 画像解析においては、車内監視タスクの AI 画像解析やルールを含む解決方法の特定が必要。車内・車外の複数事象を統合的に検知でき、かつ時系列で動きを予測しリアルタイムで稼働するモデルの開発が必要。詳細については、図 7.5 参照。

(4) 自動運転バス運用の事業性評価(図 7.16 参照)

自動運転バスの事業性向上に向けては、遠隔監視の 1:3 以上の確立に加え、車両本体費やハードウェア保守費、販管費などのボトルネック費用解消に向けた取り組みが必要。詳細については、図 7.16 参照。

6.6 レベル4の社会実装に向けた検討の結果

6.6.1 運用検証

1) システムの操作性やユーザインターフェースに関する評価(特に遠隔監視員の軽減負担等)

(1) 実施結果

[アンケート結果]

本アンケートは、計4名の交通事業者および地域人材が、3車両を対象とした遠隔監視デモを実施した後、意見・感想を整理したものである。アンケートは11月の実証時に集計したが、8月実証での意見を踏まえ、監視画面における異常アラートパネルの強調表示や、異常発生時の音声通知機能を追加している。これらの改善については「監視しやすくなった」という肯定的な声があった一方で、新たな課題や改善要望も挙げられた。

今回構築した遠隔監視システムに対して寄せられた課題点や改善点について、主な意見を以下の表にまとめる。

①遠隔監視システムに関する課題点

順位	項目	票数
1	視線の移動が大変	2
1	誤検知が多い	2
1	アラートの対処優先順位が分かりづらい	2
2	アラート発生が分かりづらい	1
2	その他(アラーム音は現状のままで良いと思うが、関係のない音は全く鳴らさない方が良い)	
2	その他(駆け込み・降車希望の検出結果が見づらい)	

③AI検知を用いることで、監視業務は楽になると思うか?

順位	項目	票数
1	思う	4

④レクチャーを通じて、遠隔監視業務について理解が深まったか?

順位	項目	票数
1	深まった	4

②遠隔監視システムの改善してほしい点

順位	項目	票数
1	アラートの重要度により目立たせ方を変えてほしい	4
2	アラート発生時に視覚的にもっと目立ってほしい	3
3	対処すべきアラートの順番を提示してほしい	2
4	対処マニュアルを整備してほしい	1
4	カメラ映像を大きくしてほしい	1
4	アラート発生時に音声でもっと目立ってほしい	1
4	その他(アラートは点滅させてほしい)	
4	その他(運用デモ研修を実施してほしい)	
4	その他(運転再開ボタン・扉開閉ボタン・マイクは画面上ではなく机上に設置してほしい)	
4	その他(アラートの色分けをしてほしい(倒れ込みが赤、その他が黄等))	
4	その他(基本はアラート→自動音声で対処、扉開閉や事故対応等人による対応が必要な場合のみ監視員が介入する運用が良い)	
4	その他(発信・扉開閉等安全に繋がるボタンの誤押し対策は必要)	

⑤レクチャーは遠隔監視業務を行うにあたり役に立ったか?

順位	項目	票数
1	役に立った	2
2	かなり役に立った	1
2	普通	1

⑥車室内の監視映像についての問題点

順位	項目	票数
1	特に問題はない	2
2	画角が狭すぎる	1
2	角度が不十分	1

図 6.24 遠隔監視システムの課題・改善点

(2) 考察

アンケートで出た課題に対して、今回の実証で対応した改善対応と今後更に改善していくべき項目を以下の表に示す。

11月実証ではAI検知項目が2種類から6種類に増えたため、全車両監視画面のパネルは(車両3台分が全て表示されるため)6パネルから18パネルまで増加した。そのため、「複数アラートが発生した場合の優先順位を更に分かりやすく表示してほしい」との意見が出た。今後更にシステム側で検知する異常イベントを増やした場合、それに伴ってパネル数も増えてしまうため、1パネル上で複数の異常イベント発生を確認できるような仕様も検討する必要がある。

また、「異常発生後の視線移動が大変である、アラート発生が分かりづらい」という意見については、全車両監視画面を設置することで対応したものの、アラート対応しているタイミングで別車両からのアラートが発生した場合は複数画面を確認する必要があるため、対応が難しいとのことだった。最終的に一つの画面上で全ての運用タスクに対応できるようなシステム検討が必要である。

表 6.5 遠隔監視システムの課題と改善案

遠隔監視システムの課題点	8月、11月実証時の改善対応	改善案（改善要望）
アラートの対処優先順位が分かりにくい	・監視画面の異常検知パネルの並びを、画面上部から優先度順に並べた。	・対処すべきアラートの順番を提示する ・アラートの優先度別で色分けする
視線の移動が大変	・全車両サマリ画面と車両詳細画面のディスプレイ配置順を揃えて設置した。	・遠隔監視者が1画面で対処できるようなUIを検討
アラート発生が分かりづらい	・検知結果のみを表示するサマリ画面を用意し、常時監視を1画面でできるようにした。 ・パネルの色を、通常時に緑背景、異常発生時に赤背景にすることで、異常時に目立ちやすくした。 ・異常発生時に、音によるアラートを追加した。	・アラート発生時に視覚的にもっと目立たせる ・アラート発生時に音声で気づきやすいアナウンスをする ・異常対応時の画面上でも、別車両で異常が起きたことが分かるようにする

また、「アラートが発生しても、まずは自動アナウンスなどシステム側で可能な対処を行い、それでも運行に支障が出る場合のみ遠隔監視員が対応する運用としなければ、遠隔監視の実現は難しい」といった意見も寄せられた。実際、遠隔監視デモでは複数車両で同時にアラートが発生し、対応に時間を要する場面があった。

小規模なアラートまで全て遠隔監視員が処理すると負担が増大するため、基本的には乗客への注意喚起や簡易対応はシステム側で自動処理し、それでも改善が見られず運行ダイヤに影響が及ぶ可能性がある場合に、遠隔監視員が介入する、といった運用設計を目指すことも重要であると考えられる。

2) 通信システム等の導入による業務フローや運行経路、人員配置等の見直しなど、地域交通の持続性への寄与度

(1) 実施結果

本実証では、3 市町(精華町・京田辺市・木津川市)における広域連携の実現に向け、遠隔監視シミュレータを用いて 1:3 遠隔監視の成立性と実現に向けた必要な技術・運用の検証を行った。また、事業性試算では、遠隔監視員だけではなく、サービス派遣要員等の配置見直し等による広域連携によるコスト低減効果の検証を行った。

AI 検知システム等の技術により遠隔監視業務を自動化し、複数台遠隔監視／複数市町広域連携を実現することで、人員削減が可能であると試算した。また、これにより自動運転バス 1 台あたり年間約 1,860 万円の人件費を低減することができ、地域交通の持続性に大きく寄与する可能性が示された。

[遠隔監視員]

本実証では、遠隔監視員が車内の事象に対して行うべき遠隔監視タスクを 22 項目導出した。さらに遠隔監視シミュレータを用いて、1 人が複数台の遠隔監視を実施する場合、自動化等によるタスクの低減がない場合は安全性／定時性の要件を満たさず、運行が不成立となることを示した。また、22 項目のユースケースのうち、「乗車列に車いす利用者があることによる乗降・案内の発生」、「駆け込み乗車客の対応」、「出発定刻後における降車希望客の対応」の 3 項目に対して、自動化等による監視員の負担低減を行うことで、1:3 遠隔監視が安全性／定時性の要件を満たし運行として成立することが、シミュレーション上で示された。

更に 1:3 遠隔監視を実現した場合、従来の 1:1 遠隔監視と比較すると、自動運転車両 1 台当たりの費用を約 66.7%(約 1,050 万円/年/台)削減できることが示された。

[サービス派遣要員]

サービス派遣要員は、車内が完全に無人になった場合に、障がい者等交通制約者への対応や、車内急病人等の対応等のために配置する要員のことで、必要に応じて現場へ派遣される要員である。道路交通法、道路運送法上はサービス派遣要員の配置は義務付けられていないもの⁹、有人運行同等のサービス維持や、バリアフリー法遵守のためには配置が必要であると考えられる。

道路交通法で指定が義務付けられている「現場措置業務実施者」は、交通事故時の措置のために配置される要員であり、サービス派遣要員とは異なる。サービス派遣要員が必要となるユースケースの洗い出しや派遣が発生する頻度の推定、運用方法等について今後検討する必要がある。

3 市町の広域連携により、3 台の自動運転バスに対して 1 人のサービス派遣要員を常時配置する場合、1 台の自動運転バスに対して 1 人を常時配置する場合と比較すると、自動運転バス 1 台あたり年間約 66.7%(811 万円)の費用を削減可能であることが示され、遠隔監視員の人件費の低減と合わせて地域交通の持続性への寄与につながることを確認した。

(2) 考察

⁹ 産業技術総合研究所, https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/announce/au2025/0129/au20250129_2.pdf

3 地域での広域連携／1:3 遠隔監視による人員配置の見直しにより、人件費低減につながり、地域交通の持続性への寄与があることが分かった。一方、N=3 の費用低減効果のみでは有人運行並みの事業性となることは難しいこともわかっており、さらなる遠隔監視員の負担低減や 1:4 以上の遠隔監視の実現に向けても検討を進める必要がある。

シミュレータによる検証においても、[乗車列に車いす利用者がいることによる乗降・案内の発生]、[駆け込み乗車客の対応]、[出発定刻後における降車希望客の対応]の、「1:3 実現のために必要な実装機能」3 項目のみを自動化した場合は、表 6.6 に示すように 1:4 遠隔監視は成立しない。

表 6.6 タスクの自動化(1:3 実現のために必要な実装機能 3 項目)をした場合の遠隔監視シミュレーション結果
(乗合バス償却期間 5 年間=1825 日間の運行結果)

	安全性要件と定時性要件の充足率	両要件到達運行日数	両要件未達運行日数	運行成立 (93.4%以上で成立)
1:3 自動化あり	97.4 %	1778	47	成立
1:4 自動化あり	93.3 %	1702	123	不成立

図 6.25 に示すように、上位 3 タスクの自動化のみでは、1:4 の場合は車両数の増加によりタスクの発生数が増大し、タスク待機時間(青色表示)が増加していることが分かる。このタスク待機時間の増大により安全性要件と定時性要件が未達となる場合が多く発生し、不成立となると考えられる。

すなわち、1:4 以上の遠隔監視実現による事業性の改善のためには、「1:3 実現のために必要な実装機能」3 項目のみだけではなく、車内の事象に対して行うべき 22 項目のうち残りの 19 項目に関しても、負担低減のための施策を検討する必要がある。

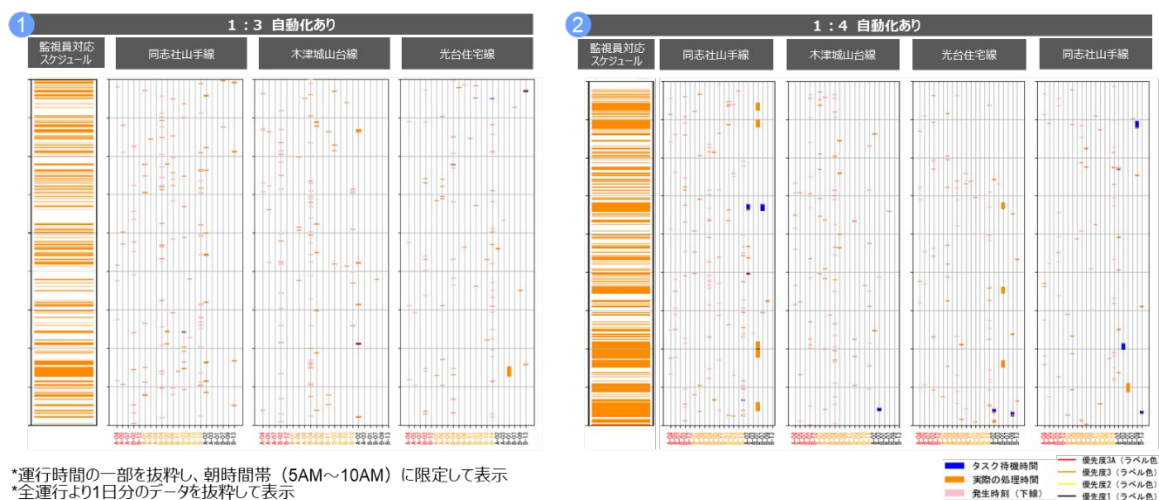


図 6.25 上位 3 タスクの自動化のみする場合の、1:3/1:4 遠隔監視シミュレーションのタイムライン図

3) データの処理・管理に係る運用などのセキュリティ対策

公募資料上に記載されている「情報セキュリティの侵害またはそのおそれ」として定義される事象の回避、防御を前提として、データの処理・管理に係る運用におけるセキュリティ対策として以下を実施した。結果として、本実証期間中に不正アクセスやデータ漏洩等のトラブルは発生しなかった。

・データ暗号化

万が一データが盗まれた場合や不正アクセスされた場合でも情報が漏洩しないよう、保存されるデータや通信されるデータは暗号化を実施した

・アクセス制御

データに対するアクセスは厳密に制御し、必要な人だけが適切な権限でアクセスできることとし、ユーザ認証(ID やパスワードなど)や権限管理(読み取り専用、書き込み可能など)などを実施した

・ファイアウォールやふるまい検知システムの導入

外部からの不正アクセス対策として、ファイアウォールを活用したネットワーク保護や、ふるまい検知システムを採用した

・セキュリティポリシーと教育の実施

セキュリティポリシーを明確にし、システムを操作するスタッフがそれを理解し遵守できる状態とした

・個人情報保護等パーソナルデータ及び画像データの適切な管理

本実証実験で取得する車外画像データ等には、道路を行き交う人や車両のナンバーなどが映り込む可能性があることから、以下の方針にて管理を実施することとした

-画像データ等パーソナルデータ管理ポリシー策定と関連情報の適時適切な公表

-画像データ等の閲覧可能メンバの制限およびアクセスログの管理

-画像データに映り込む人や車両ナンバーを個別に検索できない形式での保管

-画像データに映り込んだ人や車両の個別追跡ならびにその行動特性や移動傾向の分析禁止

-関係法令や各社社内規定に則った安全管理措置に基づく管理徹底

4) 通信システム(路車協調システムや端末を含む。)の維持管理・保守

以下の方針にて維持管理・保守を実施した。結果、本実証期間中にプロジェクトの進行が滞るような事象は発生しなかった。

・定期的なメンテナンス

ソフトウェアのアップデートやパッチ適用、ハードウェアの清掃や点検などを定期的実施した

・監視とトラブルシューティング

システムの動作状況を監視し、動作上の問題が発生した際には迅速に対応した。また、異常動作を検出した場合はシステムログを分析し、異常な状況を早期に復旧するものとした。加えて、不正アクセス又はその恐れが確認された場合には、速やかに報告し、発生した日時、場所、発生した事由、関係する実証機関の作業員等を特定することとした

・バックアップとリカバリ

データの紛失やシステムダウンを防ぐために、定期的にデータのバックアップを取り、必要に応じてシステムを復旧できる状態を整備した

・セキュリティ対策

システムやデータの安全性を保つために、最新のセキュリティ対策を講じるためのセキュリティソフトウェア更新、不正アクセス対策、セキュリティポリシー見直しなどを想定した

6.6.2 効果検証

1) 通信システム等の運用の有無による手動介入回数・運行停止時間等の変化

(1) 実施結果

本実証では、遠隔監視シミュレータにより、ランダムに発生する遠隔監視業務に対する手動介入を再現し、手動介入タスクの重複により発生する対処遅れ時間(タスクの発生から監視員が対処開始するまでの時間)を計測することで、安全性・定時性要件による評価を行った。

また、特に安全性と定時性に影響が大きいことが見込まれる3項目を「1:3 実現のために必要な実装機能」と位置づけ、これらの自動化等による遠隔監視員の工数低減策の検討を行った。自動化等を行わない場合と行う場合で、図 6.26 の「監視員対応スケジュール」に示される監視員の手動介入の回数は低減していることが分かる。また、6.5.1(2)(3)で述べたように、手動介入回数の低減により、安全性要件と定時性要件を充足した運行が可能となることが分かった。

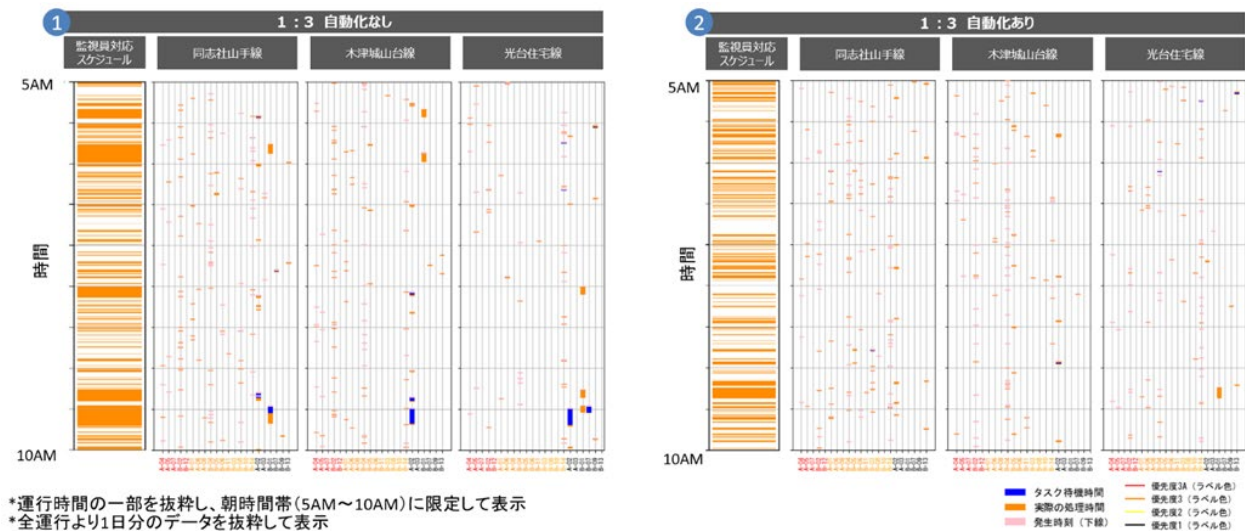


図 6.26 タスクの自動化をする場合／しない場合の 1:3 遠隔監視シミュレーションのタイムライン図

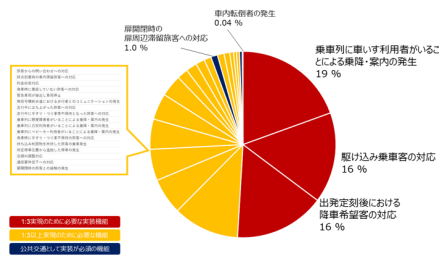
(2) 考察

さらなる連携地域数の拡大(N 数の増大)のためには、6.5.1 2)(3)で対応策の検討を行った 3 項目の「1:3 実現のために必要な実装機能」以外の業務に関しても、解決策を講じていく必要がある。

遠隔監視業務の解決策の方向性の区分としては、以下の図 6.27 に示すものが例として挙げられる(本実証を通じ、WeRide や Waymo 等先行事例の調査結果をもとに分類)。1:4 以上の遠隔監視の実現や、車外のタスクも含めた遠隔監視オペレーションの成立のためには、1:3 実現のために必要な実

装機能 3 項目以外の、車内／車外を含めたユースケースについてもリスト化・解決方法の策定を進めていく必要がある。

車内ユースケースの整理



車内ユースケースにおける今後の方向性

車内ユースケースは、省庁ガイドライン、乗車ルール、機械的検知、AI検知モデルの4つの区分で区分けし整理する

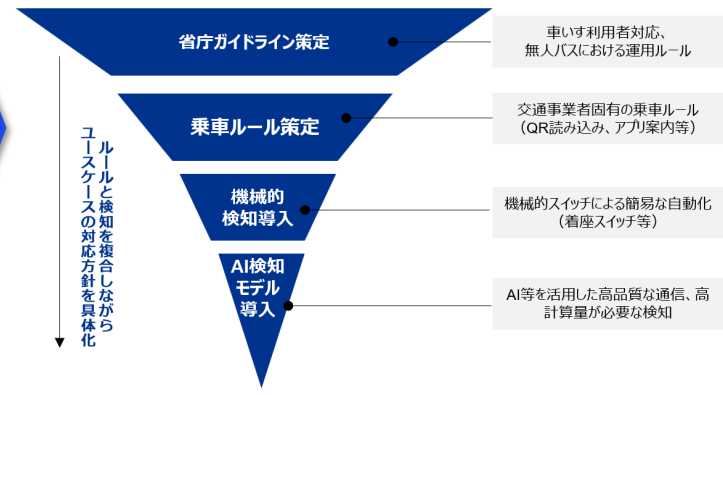


図 6.27 車内ユースケースを充足する制度・ルール・AI 検知モデルについて

2) 自動運転走行車を含む道路交通全体の安全性・円滑性向上の寄与度

(1) 実施結果

本実証では、AI 検知システムを含む自動化等による遠隔監視業務の負担軽減により、車両の運行停止時間が削減されることが遠隔監視シミュレータにより示された。運行停止時間の削減に伴い、道路交通全体の安全性・円滑性向上も見込まれる。

事業性と運用性の担保のためには、AI 検知システムを含む自動化以外にも、半自動化やルール化、事前予約対応等も解決策として検討する必要がある。一方このような解決策は、バス利用者が現状の有人運行バスと同等のサービスレベルを受けられるとは言えず、自動化やルール化、セルフサービス化等の新たな運用方法に対する利用者からの理解や、ルール・予約方法等の丁寧な説明・周知が必要であると考えられる。

事業性の担保と道路交通全体の安全性・円滑性向上を両立するため、有人運行バスとは異なる運用を行うことに対する本実証地域(精華町)住民の許容度について、住民アンケートを通じて検証した。

<アンケート設問・選択肢>

地域の交通をより便利にするために、無人の自動運転バスの導入を検討しております。無人になることで、次のような変化が想定されますので、ご意見を教えてください。

Q9. 運転手の代わりに呼び出しボタンが追加されます(単一選択)

- ・許容できる
- ・許容できない

Q10.バスの乗降時に、扉の開閉は乗客が行う(スマホや備え付けのボタン等)(単一選択)

- ・許容できる
- ・許容できない

Q11. 上記のような自動運転バスの利用方法・ルールについての説明は、どのような形式を希望しますか(複数選択)

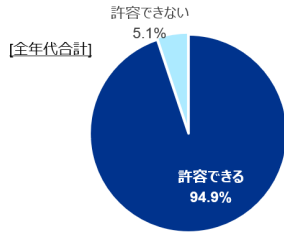
- ・二次元コードからのアクセス
- ・URLからのアクセス
- ・ポスターに説明を記載
- ・車内音声による案内

Q12. スマホアプリを用いた自動運転バスの利用をしたいと思いますか(単一選択)

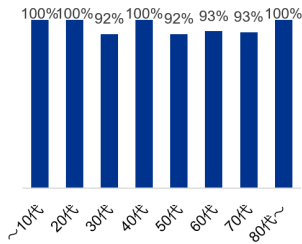
- ・利用したい
- ・利用したくない

<アンケート結果>

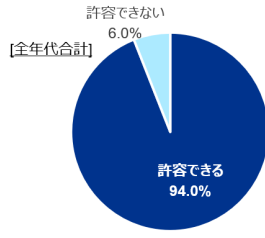
運転手の代わりに
呼び出しボタンが追加されます



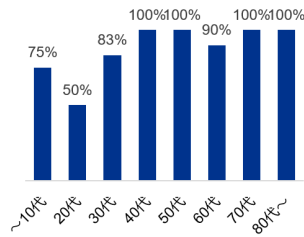
[年代別：「許容できる」の割合]



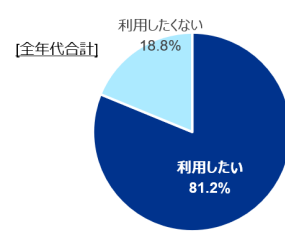
バスの乗降時に、扉の開閉は乗客が
行う(スマホや備え付けのボタン等)



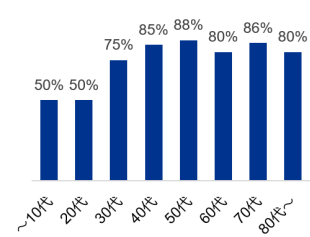
[年代別：「許容できる」の割合]



スマホアプリを用いた自動運転バス
の利用をしたいと思いますか

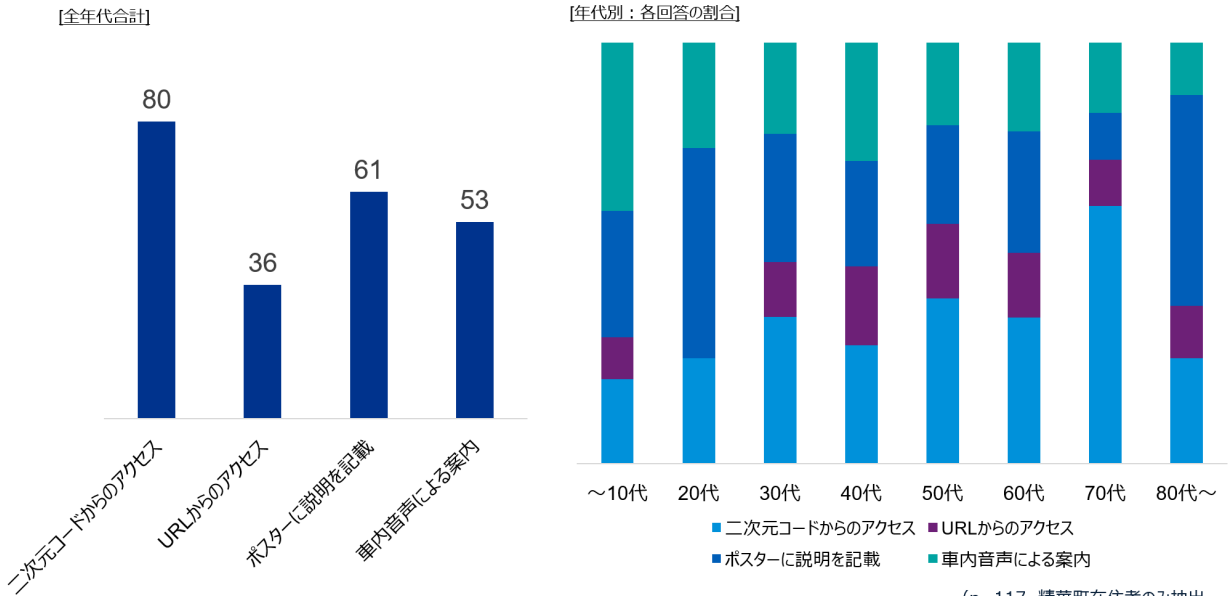


[年代別：「利用したい」の割合]



(n=117, 精華町在住者のみ抽出) 71

図 6.28 運用方法に関する住民アンケート結果



(n=117, 精華町在住者のみ抽出
複数回答可の為合計は人数と不一致) 72

図 6.29 乗車ルールの主知方法に関する許容度に関する住民アンケート結果
(上記のような自動運転バスの利用方法・ルールについての説明はどのような形式を希望しますか)

(2) 考察

完全無人運行では運転手のみならず添乗員も車内に存在しない。このため、従来は運転手に直接問い合わせ可能であった運行に関する質問や要望は、呼び出しボタン等を介して遠隔監視員や待機要員が対応することとなる。図 6.28 に示すとおり、この運用形態に対する利用者の許容度は全年代で 94.9%と高く、年代別に見ても各年代で 90%以上を示した。

次に、完全無人運行時の扉開閉方法については、乗客自身がスマートフォンや車体に設置されたボタンを用いて操作する方式も含めて検討されている。この方式に対する許容度は全年代で 94.0%であり、年代別では 10 代以下および 20 代でやや低い傾向を示すものの、40 代以上では 90%以上の高い許容度が確認された。

さらに、スマートフォンアプリを用いた自動運転バスの利用意向については、全年代で 81.2%が「利用したい」と回答した。年代別では 10 代以下および 20 代で約 50%と低い一方、40 代以上では 80%以上と高い利用意向が示された。

最後に、乗車ルールの周知方法に関する回答では、オンライン形式(QR コードや URL によるアクセス)が 116 件、オフライン形式(ポスター掲示や車内音声案内)が 114 件と、両者がほぼ同程度であった。この結果から、オンラインとオフラインを併用したハイブリッド型の情報提供が、円滑な乗車ルールの告知に有効であることが示唆された。

3) 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

(1) 実施結果

通信システム等による支援を受けてのルート設定の柔軟化については、本実証において車外(走行環境)はカメラを用いた検知を行っていないため検証していない。車外事象に対するユースケースについては、6.6.1 1)で示したように、業務の洗い出しや負担低減策の策定等を今後行っていく必要がある。

一方、AI 検知システムを含む自動化等による遠隔監視業務の負担軽減を行った場合、自動運転バスが定時性を担保可能であることを、遠隔監視シミュレータにより定量的に示した(6.5.1 2)(3)参照)。車内の事象に関する遠隔監視業務の工数低減が、タスクの重複による対応遅れを低減し、バスの利用者目線では移動の時間短縮・交通利便性の向上につながることを示された。

(2) 考察

本実証では、主に車内ユースケースに着目し、1:N 遠隔監視の成立性と実現に向けた必要な技術・運用の検証を行った。一方、本年度では対象とはしなかった車外ユースケースについては今後解決策の検討を進めていく必要があり、車内ユースケースと同様、発生した場合の発生頻度や、発生した場合の工数、およびタスク低減の解決策の方針策定が求められる。

4) 初期コスト・ランニングコスト負担の在り方、自動運転システムと他サービスの連携、インフラシェアリング等によるコスト低減化方策

(1) 実施結果

【初期コスト・ランニングコストの現時点での概算】

本実証に要した費用について、遠隔監視システムの製作・設置／車両・搭載機器の設置／監視拠点の設置／遠隔監視システムの運用 の4分類に分けて、以下表 6.7 に示す。

表 6.7 ユースケース⑤経済性確保「1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証」のための必要経費

大項目	項目	詳細	金額
遠隔監視システムの製作・設置	クラウド利用料・ライセンス料(構築期間5ヶ月分)	クラウド費用	270万円
	ネットワーク利用料	AV-QoS(1車両)	380万円
	AI機能利用料	画像センシングボックス(3車両、計6カメラ)	600万円
車両・搭載機器の設置	車両導入費	減価償却(5年計画)/1か月	167万円

	機器費（車載器、ルーター等）	intdash 用車載機器（3 車両）	20 万円
	機器費（車載器、ルーター等）	ルーター、通信費用（3 車両）	200 万円
監視拠点の設置	管制システム(車内外監視)導入費	減価償却(5 年計画)/1 か月	42 万円
	設備・機器費（intdash）	遠隔監視室機材（PC、通信機器）	-
遠隔監視システムの運用	運用・保守費（intdash）	運用・保守	-
	ハードウェア保守費	保守/1 か月	65 万円
	ソフトウェア保守費	保守/1 か月	65 万円
合計			1,810 万円

本試算における試算条件や留意事項を以下に示す。

- ・ 本金額はあくまで本実証における実績値である。そのため、社会実装時の金額は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。
- ・ 設計、開発、設置、運用に係る人件費等は別途必要である。
- ・ 算出金額は 3 車両での合計金額であるが、1 車両のみの構築費用が 1/3 になるとは限らない。
- ・ intdash 関連の遠隔監視室機材は既存備品を利用、運用・保守費は人件費に該当するため、該当金額は非表記とする。

【コスト負担の在り方・コスト低減策に関する検討】

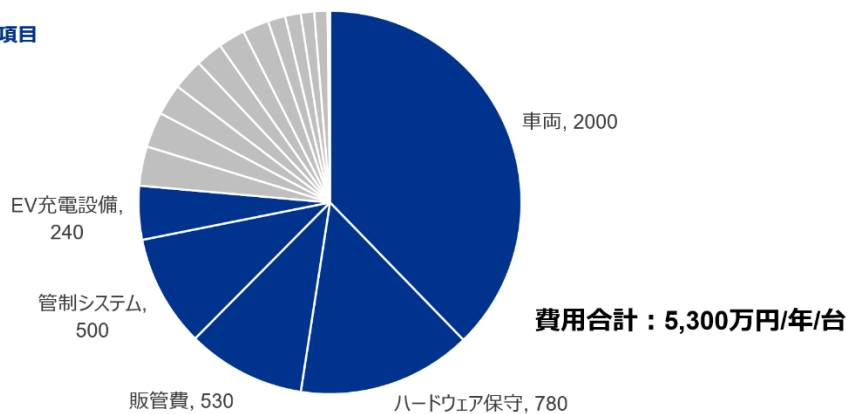
6.5.1(4)で示したように、3 市町での広域連携／1:3 遠隔監視を行うことで、自動運転バス 1 台当たりの年間費用を約 47%低減可能であることが明らかとなった。一方、3 市町での広域連携／1:3 遠隔監視による費用低減を行うのみでは、有人運行並みの事業性の確保は難しく、さらに N 数を増やした場合でも有人運行並みの事業性と同等となるのは難しい見込みである(図 6.19 参照)。

(2) 考察

1:10 遠隔監視／10 台の広域連携によるコストシェアリングを行った場合でも、1 台当たりの年間費用は、2,670 万円/年/台であり、車両本体価格等に充てていた国補助金を使わない前提では 5,300 万円/年/台である。内訳として図 6.30 に示すように、車両本体価格やハードウェア保守費用、管制システムや EV 充電設備等のハード関連費用や、一般販管費(バス 1 台当たりの負担額に変換)等が他の費目と比較すると相対的に大きく残っている。6.5.1 2)(4)で述べたようにさらなる売上向上施策や費用低減方法の検討を今後進めていく必要がある。

単位：万円

■：費用上位5項目

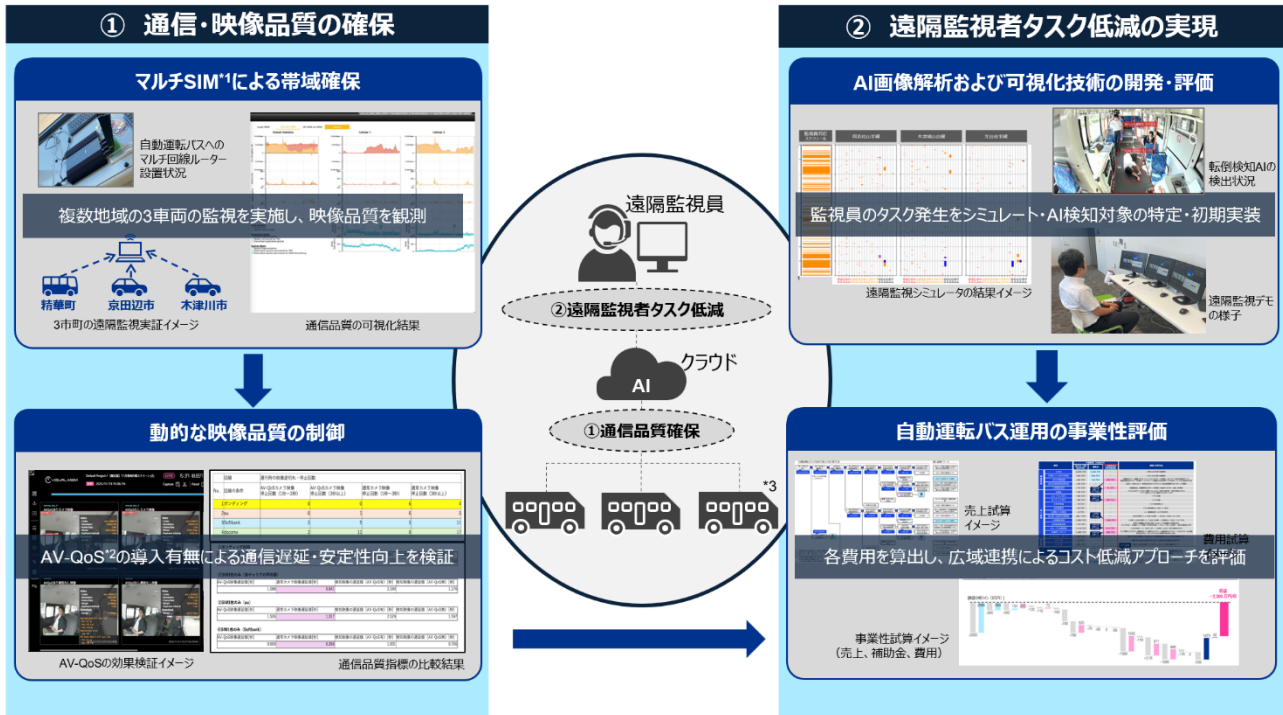


*1：1：N遠隔監視／広域連携により費用が低減される費目
→ EV充電設備・ソフトウェア保守・遠隔監視員・リース委員・通信
1：N遠隔監視／広域連携により費用が低減される費目
→ 車両減価償却・管制システム・電気・ハードウェア保守・車体整備・保険費用・回送・現場設置業務実施・予備車両人員・外注・その他費用

図 6.30 1:10 遠隔監視／10 台の連携によるコストシェアリングを行った場合の 1 台あたり年間費用 (国補助金は非活用前提)

7. 本実証の総括

7.1 本実証の成果・課題



- *1：複数キャリア回線を束ねて、通信帯域拡張・通信安定化を実現する技術のこと
- *2：ネットワークの品質に応じて画質などを調整可能な映像伝送の技術のこと
- *3：本実証ではバス車両は1台とし、残り2台はレンタカーを利用

図 7.1 本実証の概要

本実証では、図 7.1 に示すように、①通信・映像品質の確保 と ②遠隔監視員タスク低減の実現 という目標に対して、マルチ SIM による帯域確保／動的な映像品質の制御／AI 画像解析及び可視化技術の開発・評価／自動運転バス運用の事業性評価 の合計 4 つの開発・検証項目を設定した。

これら 4 つの開発・検証項目に対して、本実証の成果と今後の課題を整理して以下に示す。

表 0.2 本年度の実証の成果と L4 社会実装に向けた課題(再掲)

		本実証の成果	本実証の課題
自動運転バス	通信・映像品質の確保	マルチSIMによる帯域確保 3キャリアの通信回線を束ねるマルチSIM技術により、映像品質を向上し、車内異常発生から3秒以内の監視室アラート発報を達成し、移動車両でのデータ伝送安定化を実現	車内監視では安全要件の定義を踏まえた、カメラの数や、画角・配置の見直しが必要。加えて車外監視も含めた、通信要件と通信帯域確保技術の確立が必要
	動的な映像品質の制御	通信遅延を低下させる回線予測の技術AV-QoSを用いることで、従来通信よりマルチSIM利用時の平均遅延値0.274秒低減、1秒以上の映像途絶回数60%減を確認。ボンディングやAV-QoSを用いた場合の通信品質や通信コストの違いを特定	AV-QoS等を活用した遅延低下技術のコストバランスを踏まえ、カメラのエンコード処理から、安全要件を踏まえた遠隔監視までのパイプラインの遅延低下技術導入が必要
	遠隔監視者タスク低減の実現	AI画像解析・可視化技術の開発 1台の自動運転バス車両の内部において、車内監視タスクの優先度を実業務とシミュレーターに基づいて定め、発生工数上位のタスクの一部を、AIで検出する仕組みを構築。定量評価により再現率は38.2%であることを確認した	AI画像解析においては、車内監視タスクのAI画像解析やルールを含む解決方法の特定が必要。車内・車外の複数事象を統合的に検知できる、目撃時系列で動きを予測しリアルタイムで稼働するモデルの開発や、混雑環境・死角に対応可能なカメラ配置の見直しが必要
	自動運転バス運用の事業性評価	自動運転バスの事業性を評価すると、現行の3台の自動運転バスを運行すると、有人バスの想定収支年間-200万円に比較して、一人で1台の場合年間収支は-5,730万円であるのに対して、一人で3台の遠隔監視自動運転バスの場合、年間収支は-2,420万円であることを特定	自動運転バスの事業性向上に向けては、遠隔監視の1:3以上の確立に加え、車両本体費やハードウェア保守費、販管費などのボトルネック費用解消に向けた取り組みが必要

[本実証全体を通じた成果]

(1) マルチ SIM による帯域確保

自動運転車両やレンタカーによる実証走行において、異なる 3 市町を走る実走行車両の車室内外の映像を配信する遠隔監視デモを行うことにより、マルチ SIM を使用することで単一回線よりもスムーズな映像伝送が可能であることを確認した。また、車内の異常の発生から、平均で 3 秒以内にアラート発報がなされることを確認した。

(2) 動的な映像品質の制御

5Mbps の AV-QoS 無しでの映像伝送時と比較した結果、AV-QoS の適用により、1 秒以上の映像途絶回数を 60%低減できた。また、マルチ SIM 利用時は平均遅延値が 0.247 秒低減することが確認できた。

(3) AI 画像解析・可視化技術の開発

車内ユースケースのうち、特に安全性と定時性に影響のある項目を特定して、自動化等の工夫をすることで遠隔監視員の工数を低減すれば、1:3 遠隔監視が成立可能であることを、遠隔監視シミュレーターにて確認した。遠隔監視員の工数低減手段の一つである AI 検知技術を用い、実際のバス車内の異常をリアルタイムで検知し遠隔監視画面でアラートを発報できる仕組みを構築した。また、混雑時等、リアルなバス車内環境における AI 検知率は 38.2 % であり、AI モデルの改善やカメラ配置をより詳細に検討する必要があることが分かった。

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

これらの技術・運用の改善により、1:3 遠隔監視を含む 3 市町での広域連携が達成された場合、人件費や、システム・オペレーションの共通化等により、自動運転バス 1 台当たりの費用を 47%(約 7,160

万円/年から約 3,810 万円/年)低減可能であると試算した(図 7.2 参照)。

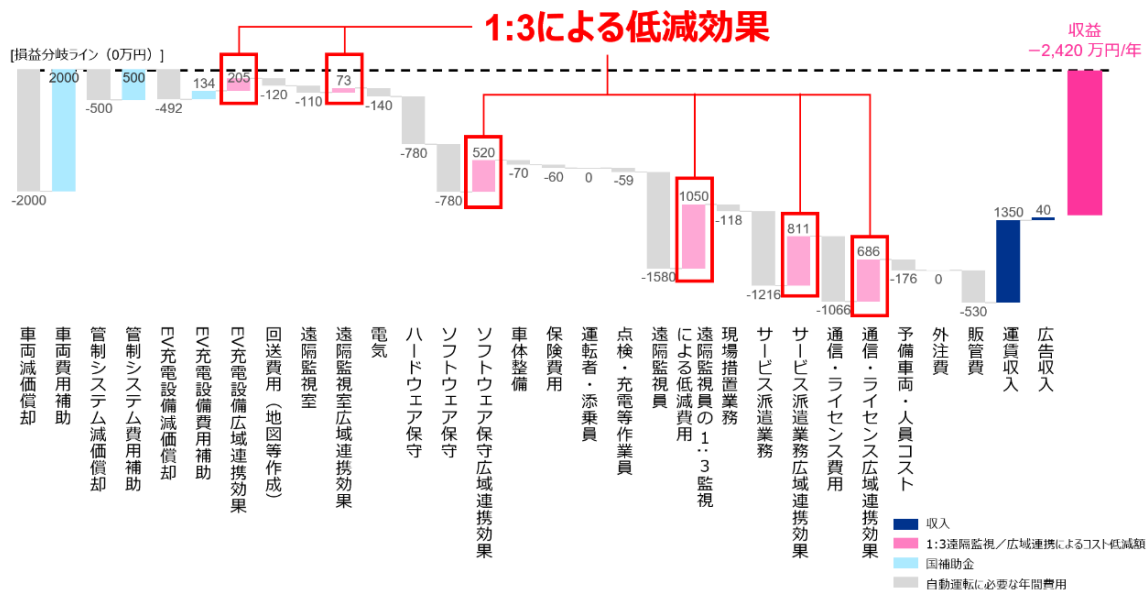


図 7.2 光台住宅線(想定社会実装ルート)における事業性試算結果

[今後の課題]

① 通信・映像品質の確保

通信・映像品質に関しては、以下の2点を今後の課題として挙げている。1点目は、自動運転システム全体の安全要件の定義を踏まえたうえで、具体的な通信要件を定義していく必要があるという点。2点目は、遠隔監視映像伝送のパイプラインを構成する要素ごとの遅延時間や通信途絶の発生原因を見極め、通信要件を満たすためのボトルネックを特定する必要がある という点である。

(1) マルチ SIM による帯域確保

本実証では、通信システムについて、マルチ SIM や AV-QoS を用いることで、遅延や断絶の発生頻度を計測し、これらの技術が通信・映像品質の向上に寄与することを定量的に示した。一方、通信・映像品質の要件については、自動運転システム全体の安全要件から決めていく必要があるが、国内では自動運転システムや遠隔監視システムに関する定量的な指標は定められていない。

[自動運転モビリティの安全要件定義についての検討の必要性]

つまり、通信要件を定義するためには、自動運転システム全体の安全要件の定義を踏まえ、カメラ数や画角・配置を見直すとともに、マルチ SIM による帯域確保も含めた、通信要件と通信帯域確保技術の確立が必要である。通信要件の定義方法について、図 7.3 に示す。

まず図 7.3(A)に記載の通り、自動運転システム自体の安全要件を定める必要がある。海外の自動運転先事業者の安全性評価方法^{10,11}を参考にすると、「走行距離あたりの事故/介入回数が有人車両の走行距離当たりの事故回数以下であること」を目標値として定める方法が考えられる。次に(B)に

¹⁰ Waymo, <https://waymo.com/safety/impact>

¹¹ Tesla, https://www.tesla.com/ja_jp/blog/bigger-picture-autopilot-safety

記載の通り、現時点での自動運転システムの安全要件指標に対する結果(手動介入回数)を求める。これは、走行距離あたりの手動介入件数を計測する等のやり方が考えられる。またその後、各介入ユースケースにおいて、レベル4実装時には車両側で対応すべきものか、遠隔監視システムで対応すべきものを割り振り、(C)において遠隔監視システム側での対応に必要な遠隔監視システムの要件定義を行う必要があると考えられる。その後、遠隔監視システムの要件定義が定まったうえで、センサ構成の見定め(D)や通信技術の見定め(E)を行っていく必要がある。本実証では、1人複数車両の同時運行を成立させる通信要件の検証として、(E)のみについて実施したが、今後は(A)~(E)のフローで定めていく必要があり、このような取り組みを進めていく必要がある。

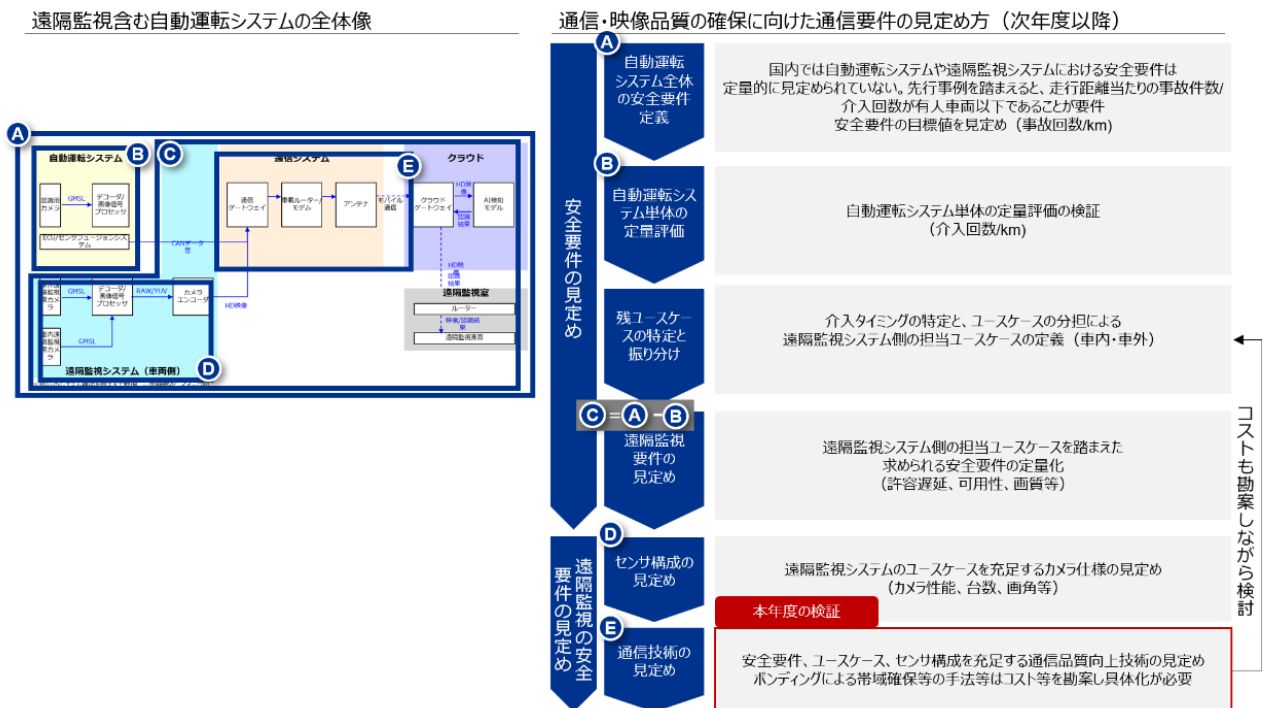


図 7.3 本実証における課題:通信・映像品質の確保におけるマルチ SIM による帯域確保

(2) 動的な映像品質の制御

本実証では、自動運転バスに搭載された車内カメラから遠隔監視室の表示画面に至るまでの通信パイプライン全体(遠隔監視システム(車両側)~通信システム~クラウド~遠隔監視室)における遅延時間および通信途絶の発生回数を測定した。一方で、通信および映像品質に関する評価指標はこれらに限定されるものではなく、自動運転システムの安全要件定義に基づき、指標の種類はより多様になる可能性がある。

さらに、こうした安全要件に基づく指標は、本実証で行ったようなパイプライン全体での評価に加え、図 7.4 に示すように、遠隔監視システム(車両側)、通信システム、クラウド、遠隔監視室といった構成要素ごとに個別評価を行うことが求められる。すなわち、AV-QoS 等を活用した遅延低下技術のコストバランスを踏まえ、エンコーダ処理から、遠隔監視まで全体の遅延低下・可用性技術導入が必要である。

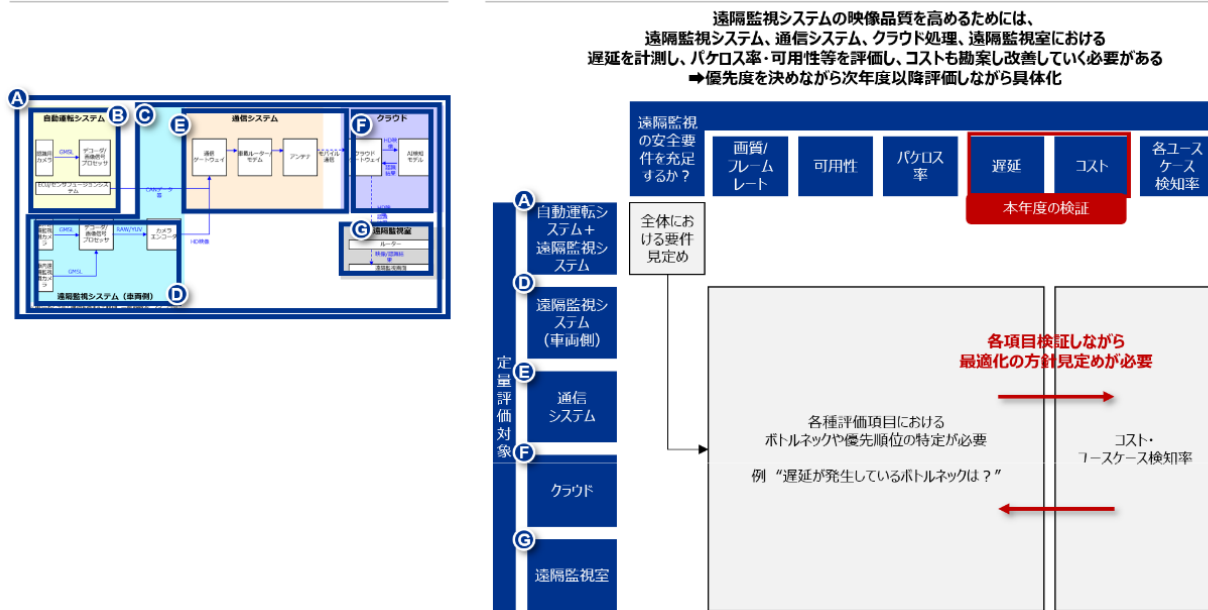


図 7.4 本実証における課題:動的な映像品質の制御

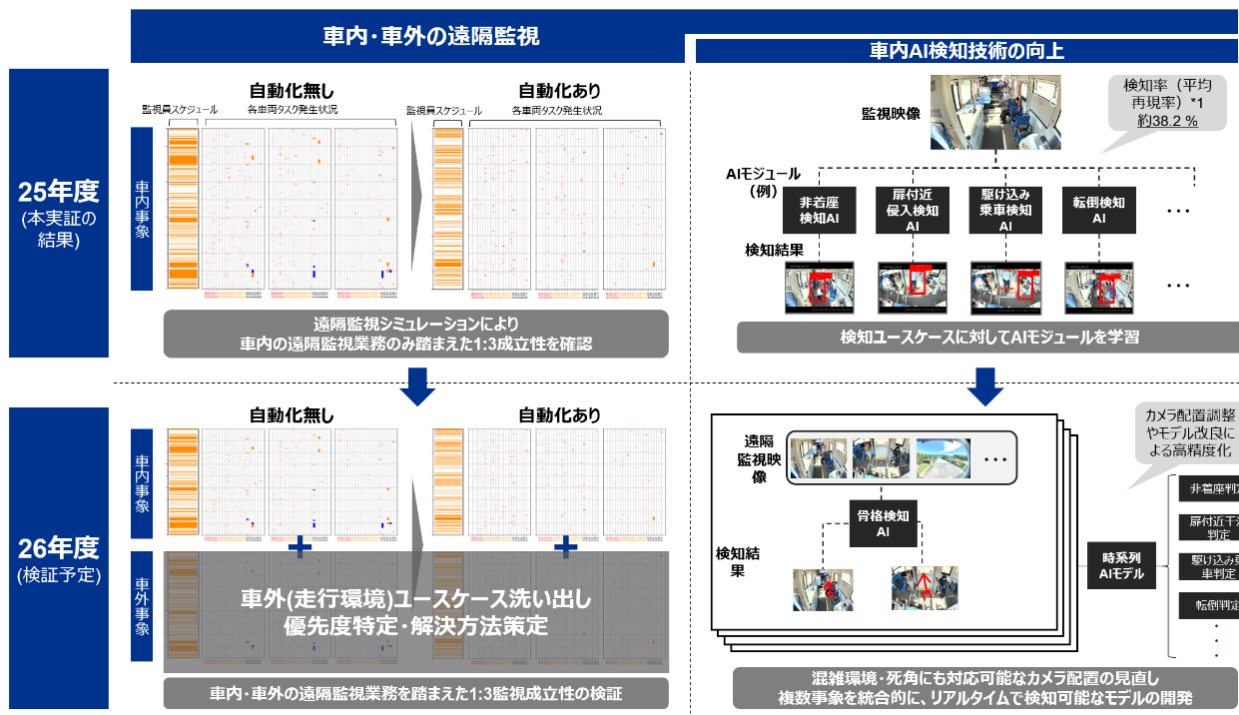
② 遠隔監視員タスク低減の実現

遠隔監視員のタスクの低減に関しては、以下の 2 点を今後の課題として挙げている。1 点目は、車内外を含めた遠隔監視員のタスクは、自動化だけではなくルール化等も含めて解決方法を模索する必要があり、更に AI 検知に関してはカメラ配置の見直しに加え、AI 自体もより高精度で汎用的なモデルを開発する必要がある点。2 点目は、事業性向上には遠隔監視員のタスク低減による 1:3 以上の実現に加え、車両本体費用やハードウェア保守費等、ボトルネック費用の解決が必須である点である。

(3) AI 画像解析及び可視化技術の開発・評価

本実証では、特に工数が上位のユースケース自動化等のタスク低減策を講じた場合、1:3 遠隔監視が安全性と定時性の面から成立することをシミュレータにて示した。一方、車外ユースケースに関しては本シミュレータには組み入れておらず、次年度以降は車内ユースケースのうち上位のもの以外への対応方針の検討に加え、車外に関するユースケースの洗い出し・工数上位の特定・自動化等の解決策策定を行っていく必要がある。

また、本実証で用いた AI 検知システムは、各検知対象ユースケースに対して個別の AI モジュールを構築し、それぞれ学習を行った上で、画像 1 枚ごとに静止画として判定を実施した。その結果、混雑等を含む実際の車内環境を模した条件下での再現率は 38.2%に留まった。今後、精度向上に加え、検知対象ユースケースの増加を踏まえると、骨格検知結果を活用した複数事象の同時検出モデルや、静止画単位ではなく時間的連続性を考慮した行動予測モデルの導入が必要である。また、カメラ配置の見直しによる死角の解消など、ハードウェア面での改善も次年度以降の重要な検討課題となる。



*1: 検知するべき秒数と実際に検知された秒数に基づいた計算結果。検知対象のイベント件数ベースでの計算では、約93.3%の検知率である (14件/15件検知成功)

図 7.5 本実証における課題: AI 画像解析および可視化技術

[車内ユースケースの解決方針の特定]

22 項目の車内ユースケースを、どのように解決していくべきか、その方針の分類分けを行った。本項目では、その分類方法・分類結果について示す。

本実証において、交通事業者へのヒアリングや業務マニュアルを参考に、遠隔監視員が行うべきユースケースを63項目特定した。1段階目の分類として、今年度の検討対象とするユースケースは、図 7.6 に示すように営業走行中の業務であることや車両の操作以外の業務であること等を基準に、22 項目の車内ユースケースを選定した。2 段階目の分類として、22 項目のユースケースを、どのように解決していくか、その分類の検討結果を以下に示す。

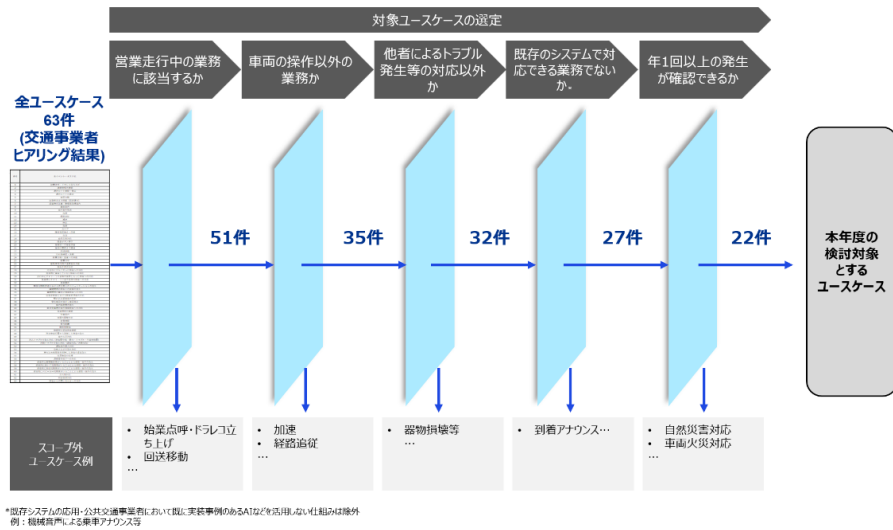
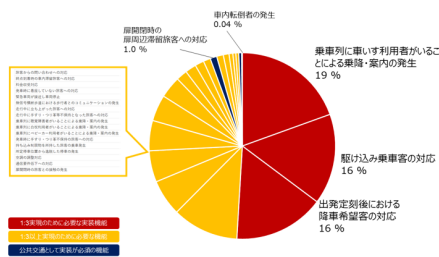


図 7.6 本年度の検討対象とするユースケースの選定方法(1段階目)

今後の遠隔監視業務においては車外ユースケースも遠隔監視員のタスクとして加わるため、1:N 監視を成立させるためには、今回解決策を検討した「1:3 実現のために必要な実装機能」の3項目に該当しなかった19項目の車内ユースケースも含めて解決策を策定していく必要がある。

車内22ユースケースは図7.7に示すように、AI検知モデルの導入だけでなく、機械的検知や乗車ルールの策定、省庁ガイドライン策定の4つのレイヤーで解決していく必要がある。

車内ユースケースの整理



車内ユースケースにおける今後の方向性

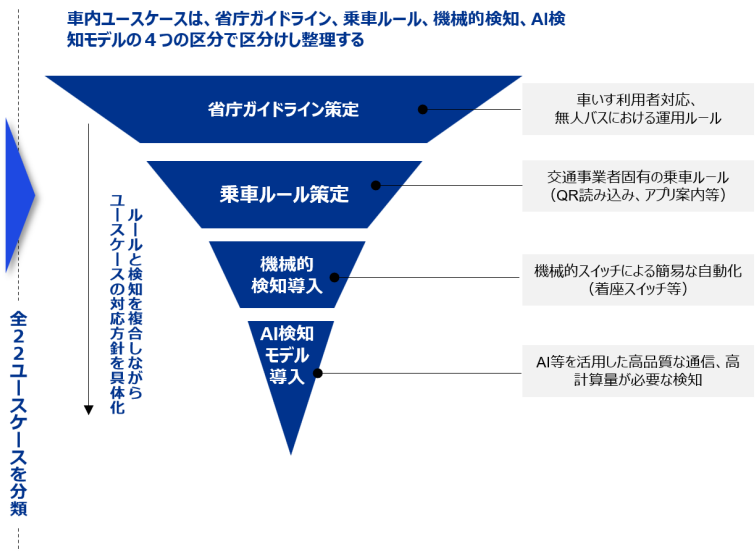


図 7.7 車内ユースケースを充足する制度・ルール・AI検知モデルの実装・導入

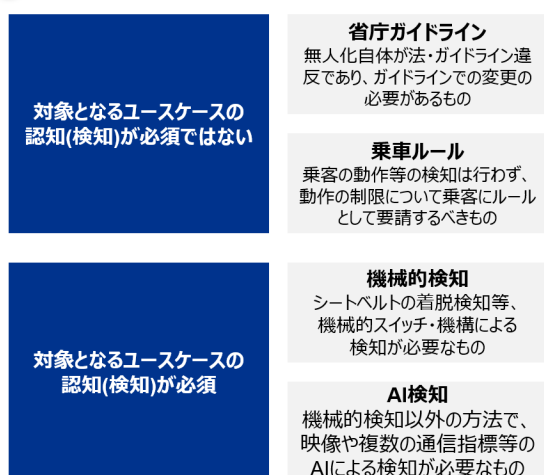
無人バスにおける車内ユースケースの解決方法の検討においては、有人バスにおける運転手の動作を参考に、①認知(検知)方法と②判断・行動(対応)方法の、2つの観点で検討を行う必要がある。本年度は図7.8に示すように、まずは①認知(検知)について検討を行うこととした。

①認知(検知)については、そもそもユースケースの発生を検知する必要があるものと必要がないものに分類される。検知の必要があるものに関しては、検知方法(AI 検知か機械的検知)を分類する。また、検知の必要がないものに関しては、省庁ガイドラインまたは乗車ルールにより、検知せずに解決する方法を分類する。

有人バスにおける車内ユースケースの実施フロー



1 無人バスにおけるユースケースの認知(検知)方法の分類



2 無人バスにおけるユースケースに対する判断・行動(対応)方針の分類



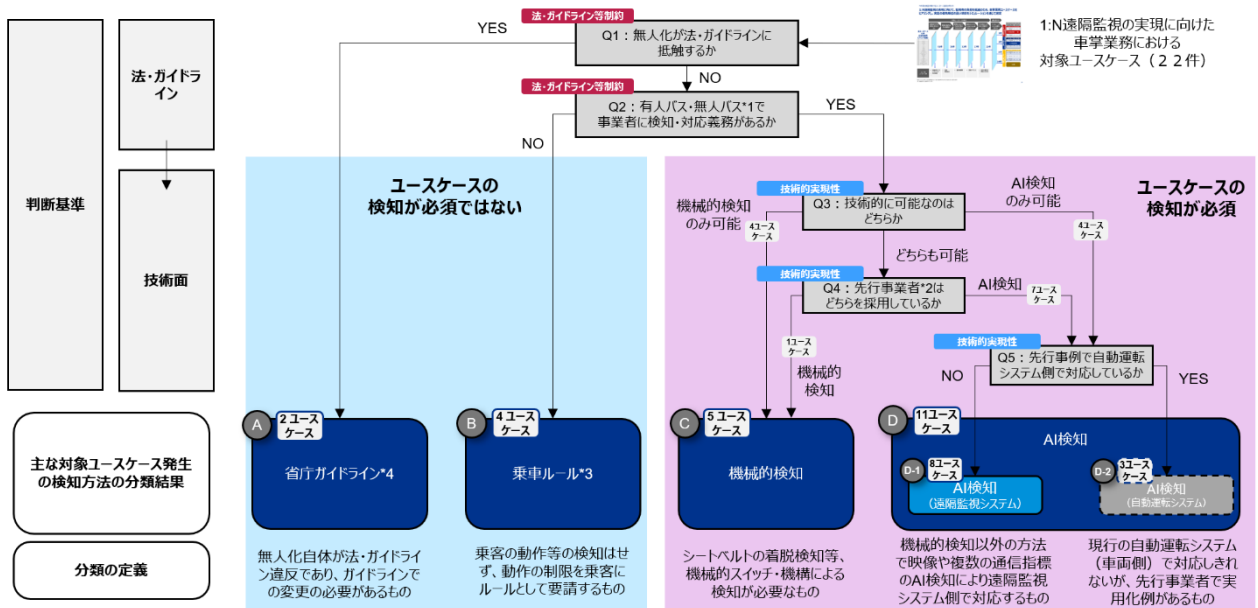
図 7.8 ユースケースの解決策の分類における前提条件

図 7.9 では、車内ユースケースの検知における分類方法を記載している。22 項目のユースケースにおいて、既存の無人(もしくは無人に近い)モビリティである鉄道やエレベーターを参考に、法・ガイドライン等制約と技術的実現性の大きく 2 つの観点で判定を行うこととした。

法・ガイドライン等制約の観点では、Q1:「無人化が法・ガイドラインに抵触するか」、Q2:「有人バス・無人バスで事業者を検知・対応義務があるか」の 2 つの判定を行う。技術的実現性の観点では、Q3:「技術的に可能なのはどちらか」、Q4:「先行事業者はどちらを採用しているか」の 2 つの判定を行う。これら Q1~Q4 の計 4 つの判定を行うことにより、省庁ガイドライン・乗車ルール・機械的検知・AI 検知の 4 つに分類を行った。また、AI 検知については、さらに Q5:「先行事業者が自動運転システム側で対応しているか」の判定により、遠隔監視システム側で対応するべきものと自動運転システム側で対応するべきものに分類をした。

これらの判定方法による分類の結果、省庁ガイドラインが車いす・白杖利用者の 2 項目、乗車ルールが駆け込み乗車対応等の 4 項目、機械的検知が扉開閉時の旅客との接触の発生等の 5 項目、AI 検知が走行中に立ち上がった旅客への対応等の 11 項目となった。また、AI 検知と分類された 11 項目のうち、AI 検知(遠隔監視システム)に該当するものは 8 項目、AI 検知(自動運転システム)に該当するも

のは3項目となった。



*1: 無人バスでは有人バスと同等の安全性・利便性が必要であるため (<https://www.mlit.go.jp/common/001295527.pdf>) 事業者の認知(検知)や対応の義務については、道路運送法や道路交通法、道路運送車両法や、それらに基づく省令やガイドラインに明記されていることを基準とする
 *2: WeRide/Zoox等の自動運転バス、Waymo/Pony等の自動運転タクシー、有人運行バス、その他公共交通事業者、その他の実用化例の順で実装事例を調査
 *3: 鉄道・エレベーターでは、事業者の確認義務がない場合、アナウンスやポスター等による乗車ルールの周知を実施している
 *4: 鉄道では、無人駅に関するガイドラインを国土省が制定 (<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001491831.pdf>)

図 7.9 1:N 遠隔監視の実現に向けた車掌業務における対象ユースケース検知の分類方法

具体的な各ユースケースの分類結果について図 7.10 に示す。これらの分類結果に基づき、来年度以降対応方針を検討する必要がある。

省庁ガイドラインに該当するものに関しては、無人バスにおいては現行の規制には対応することが困難である点が課題となる。乗車ルールについては、利用規約や依頼事項の掲載による周知が必要である。機械的検知については、機械的スイッチ・機構による検知手段の確立が必要である。AI 検知(遠隔監視システム)で対応すべきものについては、映像・センサデータ・通信指標等の AI による各種分析を通じた検知手段の確立が、AI 検知(自動運転システム)で対応すべきものに関しては、ソフトウェア、センサなどの技術開発等による自動運転システム自体の性能向上の必要がある。

1:N遠隔監視の実現に向けた、
主な検知方法の分類区分

対象となるユースケースの発生を検知しない	A 省庁ガイドライン	B-1：乗車列に車いす利用者がいることによる乗降・案内の発生 B-9：乗車列に白杖利用者がいることによる乗降・案内の発生	区分別の検知方針
	B 乗車ルール	B-2：駆け込み乗車客の対応 B-7：乗車列にベビーカー利用者がいることによる乗降・案内の発生 B-11：持ち込み制限物を所持した旅客の乗車発生 B-14：料金収受対応	車いす利用者・白杖利用者等の移動制約者に対する無人自動運転バスにおける制約の緩和（障害者差別解消法：事業者向け対応指針における特例の制定等） 利用規約における禁止事項の記載や、乗客への依頼事項の掲載による周知（駆け込み乗車の禁止等）
	C 機械的検知	A-2：旅客からの問い合わせへの対応 A-3：空調の調整対応 B-3：出発定刻後における降車希望客の対応 B-12：扉開閉時の旅客との接触の発生 B-13：乗車列に聴覚障害者がいることによる乗降・案内の発生	押しボタン等の機械的スイッチ・機構による検知手段の確立
対象となるユースケースの発生を検知する	D AI検知	A-4：走行中に立ち上がった旅客への対応 A-5：走行中に手すり・つり革等不保持となった旅客への対応 A-7：車内転倒者の発生 A-8：通信要件低下への対応 B-4：発車時に着座していない旅客への対応 B-5：終点到着時の車内滞留旅客への対応 B-6：発車時に手すり・つり革不保持の旅客への対応 B-8：扉開閉時の扉周辺滞留旅客への対応	映像・センサーデータ・通信指標等のAIによる各種分析を通じた検知手段の確立
		E 自動運転システム	ソフトウェア、センサーなどの技術開発等による自動運転システム自体の性能向上
		F 自動運転システム*	ソフトウェア、センサーなどの技術開発等による自動運転システム自体の性能向上

※現状の車掌業務における対象ユースケースにおいて現行の自動運転システム（車両側）で対応しきれないが、先行事業者で実用化例があるもの

図 7.10 1:N 遠隔監視の実現に向けた車掌業務における対象ユースケースの
認知(検知)方法の分類結果

以下では、このうち省庁ガイドラインに分類されたものに関して、現行の規制への対応が困難な点を整理し、無人バスの実現に向けて必要となる可能性のある対応特例の具体案について記載する。

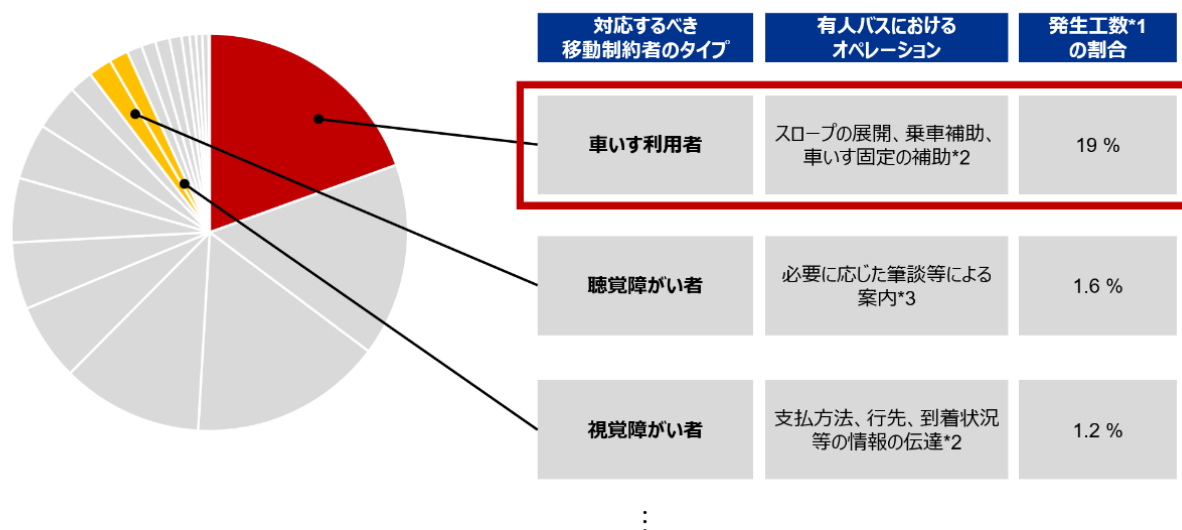
〔無人バスにおける移動制約者への対応特例についての検討の必要性〕

1:3 遠隔監視を実現するためには、「乗車列に車いす利用者がいることによる乗降・案内の発生」、「駆け込み乗車客の対応」、「出発定刻後における降車希望客の対応」に対して、自動化やルール化、予約制等による遠隔監視員の工数低減が必要であることがシミュレーション結果により示された。

このうち「乗車列に車いす利用者がいる場合に発生する乗降・案内」への対応方針の策定については、バスの無人化を実現するため、バリアフリー法等の関連法規との整合性を確保する必要がある。そのため、本実証においてより詳細な検討を行い、無人バスにおいては、車いす利用客をはじめとする移動制約者は、事前予約のみで受け付け可能とする等の対応特例が必要となる可能性があるとの結論に至った。

以下に、詳細な検討の経緯を示す。

図 7.11 は、本実証で示した全 22 項目のユースケースのうち、特に乗降等に際して対応が必要な移動制約者への対応業務を示している。車いす利用者の他、聴覚障がい者や視覚障がい者等に対しても、バスの無人化にあたり対応方法を検討する必要がある。本実証では、まずは特に発生した場合の工数が大きいと想定されている車いす利用者への対応方針について検討することとした。



*1: 各ユースケースの想定発生頻度と、発生した場合の工数[秒]を掛け合わせて導出した、各ユースケースが単位時間当たり発生しうる工数の期待値

*2: 自動車運送事業者が事業用自動車の運転者に対して行う一般的な指導及び監督の実施マニュアル: https://www.mlit.go.jp/jidosha/anken/03safety/resource/data/bus_honpen.pdf

*3: バス事業者へのヒアリングに基づく

図 7.11 公共交通として受容すべき移動制約者の整理

次に、無人の自動運転バスにおいて、現状の有人運行バスと同等の車いす対応サービスを提供する際のハードルを、法的適合性／事業性／社会受容性／技術的実現性の観点から整理し、図 7.12 に示す。このうち、特に考慮が必要な観点が「法的適合性」と「事業性」であり、現行のバリアフリー法への適合の為に、自動運転バスにおいて有人バスと同等のサービスを提供する場合、人件費や設備費等で、追加で自動運転バス 1 台当たり約 323 万円/年の費用負担が発生すると試算された。

なお、ここで言う「バリアフリー法への適合」とは、バリアフリー法に基づく施設・設備等の具体的基準である「移動等円滑化基準」に記載されている、「役務の提供」に関する義務を満たすことと解釈している。本基準では、乗降口のスロープの設置・車いすスペースや固定装置の設置等ハード面の基準に加え、車いす利用者の円滑な乗降や、車いす固定の補助等の役務の提供といったソフト面での基準が記載されている。ハード面については、現状バスの新造車両においては基準を満たしておりバスの無人化にあたり特段のハードルはないが、役務の提供を行うためには追加で人員を配置する必要があり、人件費が高むことによる事業性への影響が大きいことが想定される。

		求められる要件	自動運転バスにおいて、有人バスと同等の車いす対応サービスを提供するためのハードル	
			サービス提供者目線	利用者目線
法的適合性	車両	乗降口のスロープ設置・車いすスペース/固定装置の設置等 (バリアフリー法：移動等円滑化基準第三節)	— (バス新造車両においては、バリアフリー法準拠済みのため、ハードル無し)	—
	運用	車いす使用者が円滑に乗降するために必要となる役務の提供 車いすを固定するために必要となる役務の提供 (バリアフリー法：移動円滑化基準第九十条・九十一条より)	役務提供者の配置が必要	—
事業性		有人運行と同等の事業性の確保 (本事業で設定)	添乗員・遠隔監視員等の 人件費や、車両設備に対する費用 が323万円/年発生	—
社会的受容性		交通制約者が自動運転バスを安心して利用できること*3	—	自動運転走行に対する不安
技術的実現性		手動・人力によるスロープ展開や車いすの固定が可能で、 傾斜角度等の安全性基準*4を満たしていること	自動運転バスの、スロープ板を展開可能な位置への正着制御	—

*1： 高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律 第8条： <https://hourei.net/law/418AC0000000091>
 *2： 国土交通省、移動円滑化基準適用除外自動車の認定要領： https://www.wtb.mlit.go.jp/kanto/s_chiba/date/1_nintei.pdf
 *3： SIP第2期自動運転最終成果報告書： <https://www.sip-adus.go.jp/rdr/ddata/rd05/305s.pdf>
 *4： 移動等円滑化のために必要なバス車両の構造及び設備に関する細目を定める告示： https://www.wtb.mlit.go.jp/chubu/gian/hoan/barihuri_hokuji.pdf

図 7.12 車いす利用者の自動運転バス利用に向けた要件とハードルの整理

このように、無人化の実現にあたっては、法的適合性と事業性の両面で大きな課題が顕在化している。しかし、将来的に完全無人の自動運転バスが運行される場合の車いす利用者への対応方針については、各関係省庁を含め今後議論が必要な事項と推察される(図 7.13 参照)。すなわち、現行制度では有人運行バスと同等のサービス提供が原則求められており、これは自動運転バスの事業性に大きな影響を及ぼすことが示唆される。

	検討の枠組み	車いす利用対応に関する議論状況	
		ステータス	詳細
国土交通省	自動運転ワーキンググループ	未検討	車いす利用者に関する議論はなし*1
	自動運転等先進技術に係る制度整備小委員会	未検討	車いす利用者に関する議論はなし*2
警察庁	自動運転の拡大に向けた調査検討委員会	未検討	車いす利用者に関する議論はなし*3
内閣府	戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）	未検討	戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）において、レベル3自動運転バスにおいて、車いす利用者を含む交通制約者が自動運転バスを利用するためのバスのデザインレイアウト案を提案*4。利用対応に関する議論はなし
デジタル庁	モビリティワーキンググループ	未検討	車いす利用者に関する議論はなし*5
	AI時代における自動運転車の社会的ルールの在り方検討サブワーキンググループ	未検討	車いす利用者に関する議論はなし*6

各省庁・運輸局においても、無人の自動運転バスにおける役務提供義務の有り方に関しては未検討。無人バスでも**有人バスと同等のサービス提供が原則求められる**

- *1 自動運転ワーキンググループ： https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s201_jidouunntenn01.html
 *2 自動運転等先進技術に係る制度整備小委員会 https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s304_jidouunten01.html
 *3 自動運転の拡大に向けた調査検討委員会： <https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/council/index.html>
 *4 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）： https://www.jstage.jst.go.jp/article/sipadusreport/2022/1/2022_188/_pdf/-char/ja
 *5 モビリティワーキンググループ <https://www.digital.go.jp/councils/mobility-working-group>
 *6 AI時代における自動運転車の社会的ルールの在り方検討サブワーキンググループ <https://www.digital.go.jp/councils/mobility-subworking-group>

図 7.13 レベル 4 自動運転バス無人運行における車いす利用対応に関する現状の議論状況整理

現行の有人運行バスにおいては、ドライバーが役務の提供義務を担っていたため、車内に必要な人員はドライバーのみであった。一方、無人の自動運転バスの運用においても役務の提供義務を遵守する場合、遠隔監視員に加え添乗員を常時車内に配置する必要があり、経済性確保が困難である（図 7.14 参照）。こういった状況を鑑み、無人の自動運転バスにおける車いす利用者等の移動制約者に関しては、事前予約のみで受付可能とする等の対応特例が必要となる可能性がある。

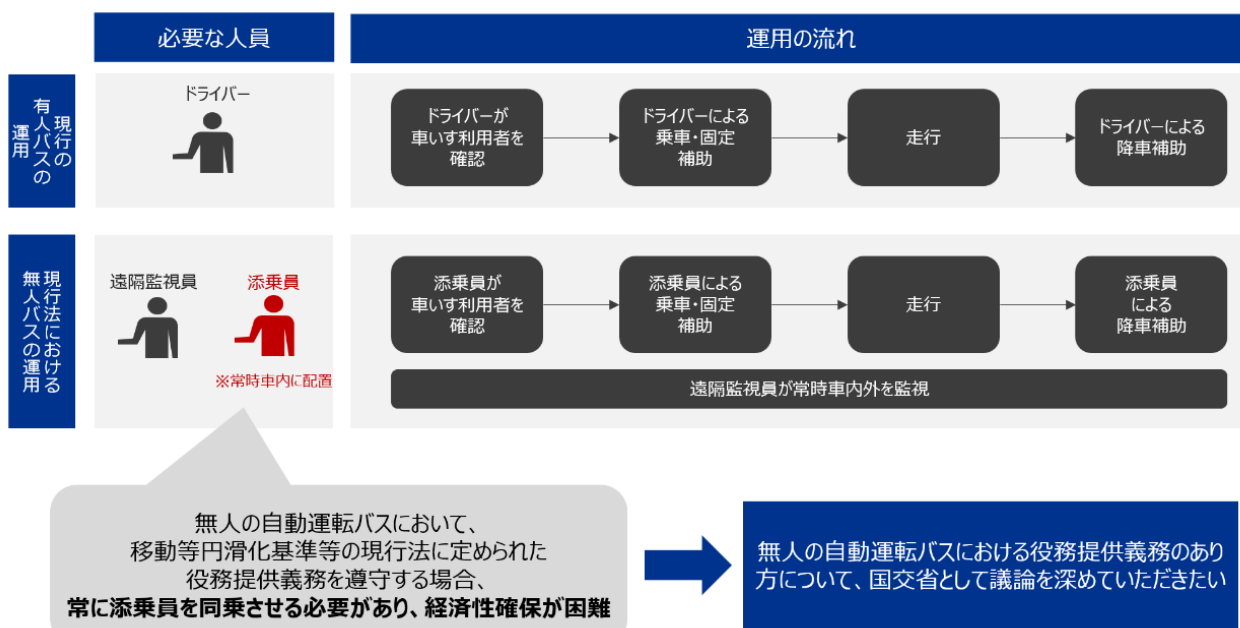
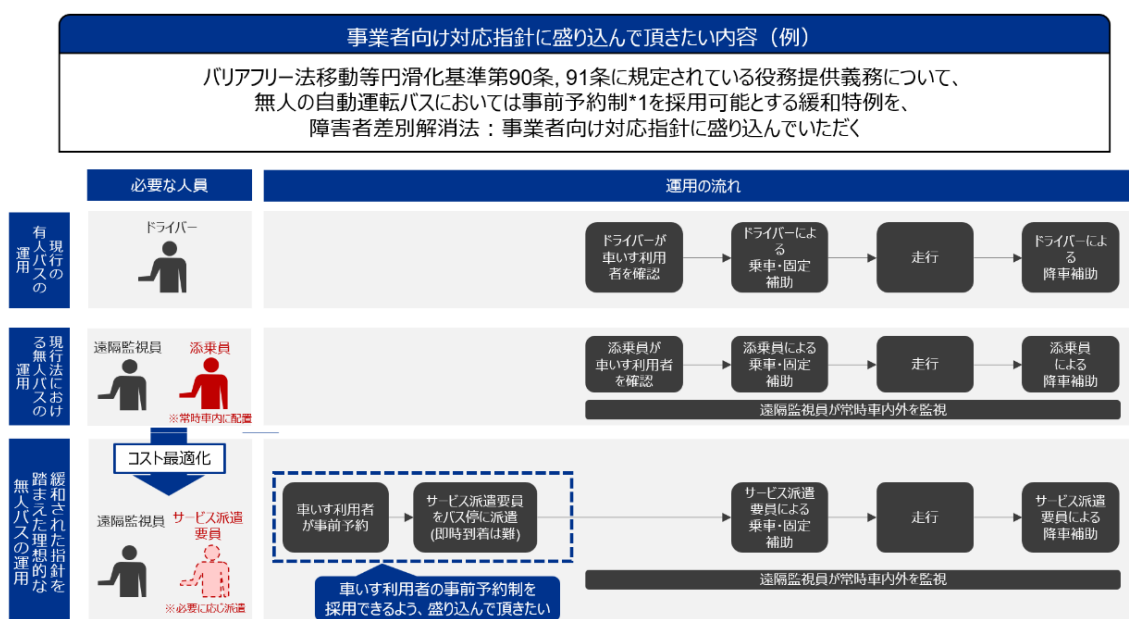


図 7.14 自動運転バスレベル 4 における無人化に向けたバリアフリー法に係る今後議論頂きたいポイント

役務提供義務の有り方の具体案の一例を図 7.15 に示す。障害者差別解消法における「事業者向け対応指針」にて、無人の自動運転バスにおいて事前予約制を採用可能とする緩和特例を盛り込んでいただく、等が考えられる。本緩和特例が成立した場合、添乗員を常時車内に配置しておく必要があったが、サービス派遣要員を必要に応じて派遣する運用方法をとることが可能となり、コストの最適化や完全な車内の無人化が達成できると見込まれる。対応方針の具体案の一例として、参考に頂きたい。



*1： 緩和特例の一例

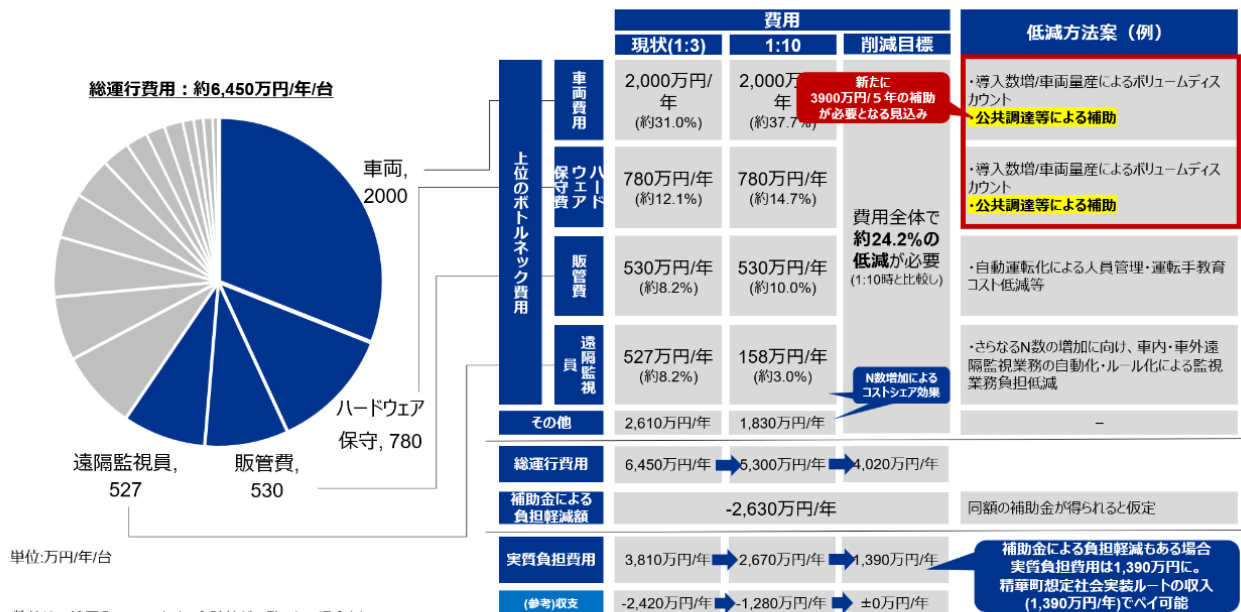
図 7.15 自動運転バスレベル4における無人化に向けた法制度緩和に向けた具体案(一例)

(4) 自動運転バス運用の事業性評価

本実証では、1:3 遠隔監視／3 市町広域連携を実施することで、自動運転バス 1 車両あたりの年間費用を約 47%低減可能であることを示した。しかし、図 7.16 に示すように、年間費用を 47%削減した場合でも、本エリアにおいては約 2,420 万円の赤字が発生することが明らかとなった。さらに、黒字化を目指すために 1 対 3 以上の同時遠隔監視体制を構築することは有効であるものの、仮に 1:10 遠隔監視体制を実現した場合でも、約 1,280 万円の赤字が残る。有人バスと同等の事業性に近づけるためには、自動運転バス車両とハードウェア保守費用がボトルネックとなっていることが明らかとなった。

1:3遠隔監視時の総運行費用構成(補助金無し)

主要構成費目の低減方法*1



*1: 数値は四捨五入しているため、合計値が一致しない場合あり

*2: デジタル庁; https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/df57d4f2-a125-4764-a6d3-8180aaae2a63/b6ad7ff8/20250327_meeting_mobility-working-group_outline_02.pdf

*3: 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第3期; <https://sip3.nedo.go.jp/smartmobility/upload/docs/9e7596b09353968184c7af4b948a56105d0d7aef.pdf>

*4: Ainvest; <https://www.ainvest.com/news/pony-ai-gen-7-robotaxi-strategic-bel-future-autonomous-mobility-2508/>

図 7.16 本実証における課題:自動運転バス運用の事業性評価




[ハードウェア保守費を含めた補助金の導入についての検討の必要性]

本事業では、1:3 遠隔監視／広域連携を行うことにより自動運転車両 1 台あたりの年間費用を 47%低減可能であることを示した一方、それだけでは黒字化は難しいことも判明した。また、仮に N 数を 10 まで増やした場合も、赤字額は小さくなるものの、依然として約 1,280 万円の赤字であり、さらなるコスト低減が必要である。ここで、1:N 監視をした場合、費用の上位に残存するのは車両本体費用やハードウェア保守費等であり、1:N によるコストシェアリングで低減ができない項目である。

そこで、自動運転バスの中でも高価かつ品質保証が途上であるハードウェア保守費用も含めた補助金や、公共調達における、車両本体+ハードウェア含む購入補助・リース等のスキームが導入された場合、これらの活用によりボトルネック費用の低減による事業性の向上が見込まれる。

以上に記載した、各開発・評価項目における課題を踏まえ、今後関連省庁も含めた議論によって、課題解決に向けた方針として検討されるべきと考えられる事項を以下の表にまとめて記載する。

表 7.1 課題解決に向けた方針として検討が必要な事項

	自動運転モビリティの社会実装に向けた指針に盛り込んでいただきたいこと	現状のボトルネック	課題解決に向けた方針
技術面	<p>1</p> <p>自動運転サービスの安全性は地域別の有人車両の走行距離当たりの事故/介入回数以下となることを目標値とする</p> 	<p>自動運転モビリティサービスの走行安全性を踏まえた安全要件定量的に評価する仕組みが存在しないため、関連事業者において車両や、遠隔支援システムの要件を定められていない。 レベル4 認証の仕組みは存在するも地域別ルート別の安全性を保障するものではない。</p>	<p>国外において無人商用運行を進める先行事業者は、現地における自動運転モビリティの走行距離当たりの事故/介入回数は、有人車両の走行距離当たりの事故回数以下であることを安全要件にしている。目標値を定め、定量評価を進めながら改善していく取り組みが必要となる。</p>
	<p>2</p> <p>旅客事業者向け対応指針に無人バスにおける車いす利用客等の、移動制約者*1への対応に関する特例の制定</p> 	<p>現行法においては、事前予約の必要なく、車いす利用客への添乗員による役務提供義務が定められており、障害者差別解消法；事業者向け対応指針では無人の自動運転バスは想定されておらず有人対応が前提となっている。その他の移動制約者も有人対応が前提となっている場合がある。</p>	<p>障害者差別解消法；事業者向け対応指針において、無人バスにおいては、車いす利用客をはじめとする移動制約者は、事前予約のみで受け付け可能とする等の対応特例を制定頂きたい。</p>
	<p>3</p> <p>自動運転バス車両のみならずハードウェア*2保守費用の公共調達による補助</p> <p>*2自動運転システム向けカメラ、LIDAR等</p> 	<p>1:N遠隔監視が実現することで、自動運転バスの事業コストは47%低減することが確認できたものの、有人バスと同等の収益性を実現するためには、自動運転バス車両とハードウェア保守費用がボトルネックとなっている。現時点では台数が出ず量産効果によるコスト低減が見込めない。</p>	<p>自動運転バスの中でも高価かつ品質保証が途上であるハードウェア保守費用も含めた補助金の導入（単年度分だけではなく、5年間分の約3,900万円も補助対象として頂きたい）や、公共調達における車両本体+ハードウェア含む購入補助・リース等のスキームによる事業性向上が必要である。</p>

*1：国土省の移動等円滑化整備ガイドラインの定義に基づき、高齢者、障害者等を含む、交通行動上の制約を受ける人々を指す

7.2 社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

本実証を通じて、通信・映像品質の確保の観点と、遠隔監視員のタスク低減の観点で今後の課題を導出した。

映像品質の確保の観点では、自動運転バスの安全要件定義から通信要件の設定・通信技術の見定めが必要である点、遠隔監視パイプラインの構成要素ごとにボトルネックの特定・改善が必要である点を挙げた。

また、遠隔監視員のタスク低減の実現の観点では、本年度は車内遠隔監視工数の半分に対応した実証を行った。次年度以降は車内外を含めた遠隔監視員のタスクの解決方法を自動化だけではなくルール化等も含めて検討し、乗客を乗せて検証を行い社会実装として前進させる予定である。AI 検知に関してはカメラ配置の見直しに加え高精度で汎用的なモデルが必要である点や、事業性向上には遠隔監視員のタスク低減による 1:3 以上の実現に加え、車両本体費用やハードウェア保守費等、ボトルネック費用の解決が必須である。

これらの課題の解決を、2026 年度以降は図 7.17 に示すような推進ステップで進めていき、けいはんなエリア 3 市町における自動運転バスの持続可能な形での社会実装の実現を目指す。また本事業で検証したモデルや検討ステップは、京都ビッグデータ活用プラットフォーム運営協議会の傘下に組成する各 WG を通じて連携を行い、京都府他地域への横展開を図る。

具体的には、「コミュニティ WG」において地域のニーズ把握・検証を踏まえ、検証したニーズの支え方検討・事業化検討の枠組みとして「実証・事業化 WG」において具体モビリティサービス立案・実証を推進する。事業性が目途付けられた事業については、協議会傘下の「個別プロジェクト」として座組構築する予定である。各種モビリティサービスの必要機能・リソース提供体制を事前に構築しておくことで、京都府内全域でのスムーズな機能具備・迅速な事業化を図る。

2026 年度は通信・映像品質に関しては、自動運転バス 3 台の遠隔監視に必要な要件を定めた上で、コストとのバランスを含めた通信技術の見定め・実装を行う。また、遠隔監視員のタスク低減の実現に関しては、本実証で AI 検知機能を実装した、特に監視員の工数が大きい車内ユースケースに加え、その他のタスク低減を進めるための機能の追加等や乗車ルールの策定等を進めていく。車外に関する遠隔監視業務の具体化をはじめ、一部ユースケースの実装も行う予定である。2027 年度には、車内外の遠隔監視業務の低減を進める機能・乗車ルール等の精緻化・実装を進めていき、一部区間でのレベル 4 商業運行開始を目指す。

～2025 年：けいはんな万博での走行による地域の受容性向上／精華町・京田辺市・木津川市における自動運転バス事業への通信技術検証結果・運用スキーム等の横展開

～2030 年：京都府域全体での横展開、WG を通じたニーズ・事業性検証・事業化

2030 年～：日本全域への推進モデル横展開

		'25年度	'26年度	'27年度	'28年度～		
自動運転バス	取組の発展性	“広域連携+他地域展開モデル = 京都府モデル構築”	商業運行体制確立 + L4許認可取得	1:N監視を踏まえた一部区間L4商業運行	一部区間L4走行 + 他地域展開		
	技術面	通信	マルチSIM・AV-QoSの有用性検証	自動運転バス3台の遠隔監視に必要な通信帯域確保	1:N商用運行に向けた広域・多拠点対応の技術検証	地域間・モビリティ間連携を実現する通信手法の確保	
		遠隔監視システム	車内	車内タスクの優先度整理、一部ユースケース初期実装	主要ユースケース初期実装完了	優先度高ユースケースの商用レベル実装	全ユースケース商用レベル実装完了
			車外		要遠隔支援のタスク具体化、優先度策定 一部ユースケース実装	主要ユースケース初期実装完了	主要ユースケース実装完了
	車両	自動運転レベル2車両走行	自動運転レベル4車両の導入レベル2走行を通じた課題出し	無人走行に向けた区間特定、技術確立	無人走行区間の拡大		
	事業性面	通信	複数地域連携におけるコスト低減の可能性検証	1:N監視を踏まえた映像品質とコストのスイートスポット特定	1:N商用運行に向けたコスト低減方法の具体化	地域間・モビリティ間連携によるさらなるコスト低減を実現	
		遠隔監視システム	1:N遠隔監視におけるコスト低減モデルの定義	1:N遠隔監視コストの具体化	1:N商用運行に向けたコスト低減手法の具体化	地域間・モビリティ間連携による売上げの最大化検証	
		車両	車両コスト低減の可能性検証	売上げ向上施策の検証	1:N商用運行に向けたコスト低減手法の具体化	地域間・モビリティ間連携による売上げの最大化検証	
	運用面	自動運転バス1台+レンタカー2台を通じた1:N遠隔監視体制の検証	自動運転バス3台の乗客運行を通じた運用体制の検証	有償運行における運用体制確立	地域間連携における運用体制確立		

地域の取組として社会実装において先行するマイルストーンで推進予定

複数省庁での取り組みを通じて実現していく予定

図 7.17 本エリアにおける自動運転バス社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

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)

安全な自動運転に資する通信システム等の検証に関する調査研究(実証地域:京都府精華町)

実績報告書

1人複数台の遠隔監視における通信要件検証を踏まえた経済性確保モデルの実現

2026年1月

アイサンテクノロジー株式会社・京都府けいはんな自動運転実証コンソーシアム
