

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)

島根県美郷町

通信環境整備が不十分な中山間地域における
自動運転車両運行に必要な通信要求仕様に関する検証

実績報告書

2026年1月30日

NTT 西日本株式会社

島根県美郷町自動運転実証事業推進コンソーシアム

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.....	7
0.4	成果.....	9
0.5	課題.....	10
1.	実証の背景・目的.....	12
1.1	実証の背景.....	12
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.....	16
2.	業務実施体制.....	18
2.1	実証機関.....	18
2.2	実施体制図.....	19
3.	自動運転の運行結果.....	20
3.1	運行場所.....	20
3.2	運行期間.....	24
3.3	運行時間帯・頻度・運行方式.....	25
3.4	運行者.....	25
3.5	運行体制.....	26
3.6	自動運転車両の特徴.....	28
3.7	自動運転に関する手続き.....	31
4.	実証の手法.....	32
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.....	32
4.1.1	通信環境整備が不十分な中山間地域でのモバイル通信と Wi-Fi 通信の併用による通信帯域確保の有用性と遠隔監視要求仕様に関する検証.....	32

1)	目的	32
2)	実証内容の詳細	32
3)	利用技術	33
4)	必要性・緊急性・新規性	34
5)	検証条件	35
6)	開発・評価項目	36
7)	KPI/KGI	40
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	47
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	47
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	47
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	47
4.6	レベル4の社会実装に向けた検討	48
4.6.1	運用検証	48
1)	システムの操作性やユーザー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)	48
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	49
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	53
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	54
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	55
5.	通信システムに関する構築	58
5.1	通信システムの全体像	58
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	59
6.	実証結果・考察	61
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	61
6.1.1	通信環境整備が不十分な中山間地域でのモバイル通信とWi-Fi通信の併用 による通信帯域確保の有用性と遠隔監視要求仕様に関する検証	61
1)	実証スケジュール	61

2)	開発・評価項目の結果.....	61
3)	KPI/KGI との比較結果	75
4)	成果・課題	77
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.....	80
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	80
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	80
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	80
6.6	レベル4の社会実装に向けた検討の結果.....	81
6.6.1	運用検証	81
1)	システムの操作性やユーザー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)	81
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.....	81
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	82
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.....	83
6.6.2	効果検証	84
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	84
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 .	85
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.....	85
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.....	86
6.7	レベル4社会実装に向けた考察.....	89
7.	本実証の総括	90
7.1	本実証の成果・課題.....	90
7.2	社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性.....	90

0. エグゼクティブサマリ

0.1 実証概要

【本実証の背景】

美郷町は島根県中央の山間部に位置している。可住地面積は町面積全体のうち 31.3 km²(総面積の約 11%)となっており、山間部が占める割合が大きい典型的な中山間地域である。そのため、自動運転導入に必要な通信環境が整備されていない場所が多い。

また、24年度に実施した実証実験結果を技術観点で要因分析を行ったところ、社会実装における通信技術の活用により解決できる見込みのある課題が明らかになった。

【社会実装における課題】

2024 年度に粕淵ルート(美郷町役場～そら豆)においてレベル 2 自動運転の実証実験を行った。その際に発生した問題と、通信技術の活用により解決できる見込みのある課題を以下に示す。

- 車載カメラ映像・音声や車両情報等の遠隔監視情報が途切れる事象が頻繁に発生した。レベル 4自動運転の実装に向け、遠隔監視や遠隔制御に求められる通信・システム品質を確保することが求められる。
- 通信環境が不安定なため、自動走行に必要な位置情報(GNSS¹補正データ)を受信できず自動走行が不可能になるケースがあった。安全性を担保しレベル4自動運転走行を継続するためには自己位置推定の安定化が必要となる。
- 美郷町役場から南下した山間部では携帯電話の不感地帯²が多数存在するため、山間部を通るルートを想定した場合は自動運転走行ができない。想定エリアにおける電波環境を把握し、経済合理性が高い通信環境構築等の対策を行う必要がある。
- 時間帯・曜日などにより乗車人数にばらつきがあった。持続可能な地域交通として自動運転を社会実装するためには、定常運行とデマンド型を使い分け、エリア・時間帯・曜日等により効率的にリソースの配置を行い、採算性を確保する必要がある。

【目的】

本実証では社会実証における課題に対して、粕淵ルート(ユースケース①-1)と比之宮ルート(ユースケース①-2)の 2 つの異なる環境にて下記の検証を行う。

- 経済的かつ簡易的な通信環境を構築する。
- 中山間地域における既存のモバイル通信環境はそのままに、協調型インフラ基盤システムを活用し通信品質を確保する。

¹ 全球測位衛星システム。人工衛星からの信号を用い、地球上の位置を測位するために、世界各国が整備・運用するシステム。人工衛星及び必要な地上設備等を含む。

² 携帯電話回線(移動体通信網)において、基地局が整備されていない等が原因で、回線接続できない地域。

- 不感地帯³における長距離に適した Wi-Fi⁴規格商品や低軌道衛星ブロードバンド通信⁵を用いた通信環境を構築する。
- デマンド交通システム・アプリを試験導入する。

【検証内容】

本実証では経済的かつ簡易的な通信環境構築を前提とした下記の検証を行う。

- 協調型インフラ基盤を用いて中山間地域の既存のモバイル通信環境を活用し安定した遠隔監視環境構築とレベル4自動運転を実現するための通信システム構築と通信要件を明らかにする。
- 不感地帯における長距離 Wi-Fi や低軌道衛星ブロードバンド回線⁶を活用した通信環境を構築し、その有用性を検証する。
- デマンド型レベル4自動運転サービスを実現するために必要な通信システム要件の及び運用課題を明らかにする。

【活用技術】

本実証では下記の技術を活用して、中山間地域における通信品質の確保手法を検証する。

- 協調型インフラ基盤システムの活用により、複数のモバイル通信回線をアグリゲーション⁷することで既存のネットワークリソースを最大活用する。
- 不感地帯に対して、伝送距離が500m以上の長距離通信 Wi-Fi(Wi-Fi HaLow⁸/DX Wi-Fi)を活用し、これらを排他的に利用するためそれぞれ個別に環境を構築する。
- 長距離通信 Wi-Fi のバック回線⁹は光回線¹⁰と低軌道衛星ブロードバンド通信を利用する。

0.2 KPI/KGI の内容と達成状況

【設定した KGI/KPI と KPI の根拠】

以下の通り本実証実験における KGI を定めた。

- 遠隔監視の映像受信、車両情報が1秒以上途切れることなく受信できること
- 実証予定のルートにて常に GNSS の補正情報データが受信できること
- 不感地帯における Wi-Fi 長距離無線通信の有効性を検証できること

³ 比之宮ルートは約600mの不感地帯を有する。

⁴ IEEE 802.11 規格に基づく無線通信技術の一つ。2.4GHz 帯、5GHz 帯、及び 6GHz 帯の免許不要帯域を利用し、家庭、オフィス、商業施設、公共エリア等の幅広い場所で、比較的短距離(～数十 m)な通信に利用される。

⁵ 低軌道(LEO)衛星を用いた高速・大容量通信。

⁶ 本実証では Starlink を利用

⁷ 携帯電話通信において、複数のキャリア(周波数帯域)を組み合わせ、帯域幅を拡張し、通信速度を向上させる仕組み。

⁸ IEEE 802.11ah 規格に準拠する無線通信技術。免許不要の 920MHz 帯を利用し、低消費電力かつ長距離通信(～数 km)が可能。LPWA 規格の一つ。

⁹ 通信事業者の回線網において、末端のアクセス回線と中心部の基幹通信網をつなぐ中継回線のこと。携帯電話回線(移動体通信網)の場合、基地局設備と最寄りの拠点設備をつなぐ固定回線網をバックホール(モバイルバックホール)と呼ぶ。

¹⁰ 光ファイバを用いた高速伝送可能なデータ通信。

上記 KGI を判断するための KPI を表 1 のように設定した。粕淵ルート(ユースケース①-1)と比之宮ルート(ユースケース①-2)は通信環境や構築環境、実証実験の前例有無が異なるため一部の KPI を個別に設定している。

表 1:設定した KPI と設定根拠

設定した KPI	根拠
通信回線切替えによるパケットロス率が 0 (ゼロ)	シームレスな回線選択を目標に掲げているため、切替えによるパケットロスを 0(ゼロ)を目標とした。
レイテンシが 300ms 以下	非常停止時の応答性が要求される交通事故シナリオ(路駐車両からの子ども飛び出し等)に対応するために許容される、通信遅れの最大値を算出し目標とした。
ユースケース①-1:粕淵ルートのみ 通信品質に起因する自動運転走行の中断(手動介入)が 0 回	前年度の国交省事業で通信品質に起因する自動運転走行の中断が 6 回発生したが、本実証では通信品質を向上させることにより同要因に起因する中断 0 回を目標とした。
ユースケース①-2:比之宮ルートのみ 不感地帯における走行ルート上の通信カバーエリアに 15m 以上の不感地帯がないこと	約 3 秒間の通信不通により自動運転モードによる走行が中断されると想定し、車両走行速度(15km/h)に合わせた 15m を目標とした。
住民試乗体験者へのアンケート調査を行い、受容性に関する設問において好意的な意見 ¹¹ が 80%以上	前年度の国交省事業の試乗体験者に対するアンケートで得られた好意的な意見の割合と同等の目標を設定した。
遠隔監視者(2 名×7 日間)のアンケート調査を行い、映像品質に関する設問において好意的な意見 ¹¹ が 80%以上	住民試乗体験者のアンケート調査の KPI に合わせて目標を設定した。

【達成状況と考察】

表 2 に粕淵ルート(ユースケース①-1)の KPI 達成状況を示す。

表 2:粕淵ルートの KPI 達成状況と考察

KPI	達成状況と考察
通信回線切替えによるパケットロス率が 0 (ゼロ)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況: 達成 ◆ 実績: 0.3% ◆ 考察: 運行期間中の運行区間における平均パケットロス率(車

¹¹ 5 段階評価(非常に満足、満足、普通、不満、非常に不満)における「非常に満足」、「満足」が対象

	<p>載 PC と MEC¹²の間の回線切替え以外のパケットロスも含む)は 0.3%であり、回線切替え制御ではなくアグリゲーション制御を採用した効果を確認できた。</p> <p>また、0.3%のパケットロスが発生しているが、運行区間を走行している時間の 99.8%はパケットロス率が 0%となっており、遠隔監視員のアンケート調査結果から遠隔監視映像において 1 秒以上の途絶はないことが明らかになり、期待通りの結果を得た。</p>
<p>レイテンシが 300ms 以下</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：達成 ◆ 実績：100.9ms ◆ 考察： <p>運行期間中の運行区間における通信応答性の平均値は 100.9ms であり、複数回線のうち最も応答性が高く通信帯域に余裕のある回線を活用するシステムの効果を確認できた。</p> <p>遠隔監視員のアンケート調査結果から遠隔監視映像において 1 秒以上の途絶はないことが明らかになり、期待通りの結果を得た。</p>
<p>通信品質に起因する自動運転走行の中断(手動介入)が 0 回</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：達成 ◆ 実績：手動介入 0 回 ◆ 考察： <p>運行期間中に発生した通信品質に起因する手動介入は 0回であり、24 年度の実証(本実証の運行距離の約半分)で発生した 6 回の手動介入を無くすことができ、本システムの通信安定性を確認できた。</p>
<p>住民試乗体験者へのアンケート調査を行い、受容性に関する設問において好意的な意見¹³が 80%以上</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：達成 ◆ 実績：受容性における好意的な回答 84% ◆ 考察： <p>「自動運転車両が美郷町で実装されたらまた利用したいと思う」という設問に対し84%の好意的な回答が得られ、その理由として「安全性を感じる」とする方が最多であった理由として挙がり、住民の受容性高いことが分かった。</p>

¹² Multi-access Edge Computing の略。通信を行うモバイル端末や IoT 機器などの近くにサーバを分散配置することによって、データ処理のレスポンスを早め、通信の最適化や高速化をすることができる技術。

¹³ 5 段階評価(非常に満足、満足、普通、不満、非常に不満)における「非常に満足」、「満足」が対象

<p>遠隔監視者(1名7日間)のアンケート調査を行い、映像品質に関する設問において好意的な意見¹³が80%以上</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：達成 ◆ 実績：映像品質における好意的な意見 100% ◆ 考察： <ul style="list-style-type: none"> 監視員へのアンケート調査より、「自動運転車両内外の状況を把握するために十分な映像品質であった」との回答が100%であった。 また、コメントより「映像は非常に滑らかであり、バスの位置情報も正確であった」との回答を得たため、本実証の各実測値は遠隔監視において十分な品質であったことが分かった。
--	---

表 3 に比之宮ルート(ユースケース①-2)の KPI 達成状況を示す。

達成状況と実績は、バック回線 2 種類と Wi-Fi 規格 2 種類の組合せの 4 パターン毎に記載する。

表 3:比之宮ルートの KPI 達成状況と考察

KPI	達成状況と考察	
<p>通信回線切替えによる パケットロス率が 0(ゼロ)</p>	<p>光回線 ×Wi-Fi HaLow</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：未達成 ◆ 実績：46.3%
	<p>低軌道衛星 ブロードバンド回線 ×Wi-Fi HaLow</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：未達成 ◆ 実績：13.5%
	<p>光回線 ×DX Wi-Fi</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：未達成 ◆ 実績：48.3%
	<p>低軌道衛星 ブロードバンド回線 ×DX Wi-Fi</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：未達成 ◆ 実績：32.7%
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 考察： <ul style="list-style-type: none"> 高いレイテンシの発生によりパケットが遅延した場合、タイムアウトや再送制御の影響により、パケットロス発生として扱われた可能性があることが分かった。 本実証では、モバイル回線とインターネット回線を複合的に利用した場合のパラメータ調整に時間を要し、降雪や路面凍結による運休の影響も合わさったことで、最適化を行うまでに至らなかった。 	

	<p>しかし、DX Wi-Fi を車両とアンテナ間の通信に用い、光回線又は低軌道衛星ブロードバンド回線をバック回線に用いたネットワーク構成で不感地帯での自動運転運行と改善の余地はあるが、遠隔監視映像やその他車両情報の伝送を実現できる可能性を見出した。</p>	
レイテンシが 300ms 以下	光回線 ×Wi-Fi HaLow	<p>◆ 達成状況：未達成</p> <p>◆ 実績：1389.4 ms</p>
	低軌道衛星 ブロードバンド回線 ×Wi-Fi HaLow	<p>◆ 達成状況：未達成</p> <p>◆ 実績：653.9 ms</p>
	光回線 ×DX Wi-Fi	<p>◆ 達成状況：未達成</p> <p>◆ 実績：755.7 ms</p>
	低軌道衛星 ブロードバンド回線 ×DX Wi-Fi	<p>◆ 達成状況：未達成</p> <p>◆ 実績：496.9 ms</p>
	<p>◆ 考察：</p> <p>DX Wi-Fi に直接接続したルーター～インターネットのスピードテストではパケットは正常に流れている。</p> <p>一方で、実運用トラフィック¹⁴では MTU 整合(パケットサイズ)や経路上の輻輳／無線区間の再送等の影響により、レイテンシが増大した可能性がある。また、モバイル回線と Wi-Fi 回線を併用するマルチパス環境では、回線ごとの特性差を踏まえたパラメータ調整が重要であり、今回の検証では最適化を行うまでに至らなかった。</p> <p>しかし、パケットロス率の考察への記載と同様に不感地帯での自動運転運行と改善の余地はあるが、遠隔監視映像やその他車両情報の伝送を実現できる可能性を見出した。</p>	
不感地帯における走行ルート上の通信カバーエリアに 15m 以上の不感地帯がないこと	<p>◆ 達成状況：達成</p> <p>◆ 実績：不感地帯での手動介入は 0 回であり、また運行ルート Wi-Fi 通信でカバーできた。</p> <p>◆ 考察：</p>	

¹⁴ ネットワーク上を移動する音声や文書、画像等のデジタルデータの情報量のこと。通信回線の利用状況を調査する目安となる。

	<p>車載 Wi-Fi ルーターを経由した強度計測を行い、不感地帯を全てカバーするよう Wi-Fi アンテナを配置し、不感地帯が無いこと確認した。走行する車両に対しては、15m(3秒以上)の不感地帯なく通信を提供できた。</p> <p>通信状況に起因する手動介入なく自動運転走行を行うことができた。</p>
<p>遠隔監視者(1名×7日間)のアンケート調査を行い、映像品質に関する設問において好意的な意見¹⁵が80%以上</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 達成状況：未達成 ◆ 実績： <ul style="list-style-type: none"> 上記のレイテンシ、パケットロスの発生により、遠隔監視映像の停止やコマ落ち、車両位置情報の途絶が発生する場合があった。 ◆ 考察： <ul style="list-style-type: none"> 前述の通り不感地帯での自動運転運行・遠隔監視映像の伝送を実現することができたが、マルチパス転送ゲートウェイ¹⁶のパラメータ調整に時間を要し、かつ降雪や路面凍結による運休の影響も相まって、粕淵エリアと同等の遠隔監視映像品質を確保することができなかった。 次世代のマルチパス転送ゲートウェイでは、機能改善・追加がなされる予定である。最新版の導入を実施し、最適なチューニングを施すことで、より安定的な通信環境を確保できるよう検討する。

0.3 考察

【総括】

粕淵ルートは、単一キャリア¹⁷では安定した通信品質を確保することが難しい環境であったが、協調型インフラ基盤システムを活用し複数回線をアグリゲーションすることで、通信品質に起因するトラブルなく自動運転車両を運行できた。また遠隔監視映像・音声の品質を向上できることが分かった。本実証における自動運転運行・遠隔監視のシステム構成に必要な通信要件として、アップストリーム¹⁸が約3Mbps、レイテンシが100ms、パケットロス率が0.3%という基準を設定できた。

比之宮ルートでは不感地帯に対して、Wi-Fi 通信網を構築することで不感地帯への対応を行った。Wi-Fi HaLowの通信速度は仕様上最大で約1Mbps程度となっており、本実証地での実測値の平均スループット¹⁹(アップストリーム)は0.5Mbpsであった。そのため、粕淵ルートの実証結果より設定した自動運転運行・遠隔監視に必要な通信帯域を確保することができず、自動運転走行を継続することはできなかったが、遠隔監視員による状況把握は困難であった。

¹⁵ 5段階評価(非常に満足、満足、普通、不満、非常に不満)における「非常に満足」、「満足」が対象

¹⁶ ゲートウェイ:異なる通信規約を持つネットワーク間を接続するための通信機器。

¹⁷ 自ら電気通信回線設備を保有し、電気通信サービスを提供している電気通信事業者。通信キャリアとも言う。

¹⁸ 端末で基地局へ送信する場合の通信。

¹⁹ throughput。単位時間当たりの処理能力やデータ転送量のこと。伝送速度。

一方で DX Wi-Fi は平均で約 4.5Mbps のスループット(アップストリーム)の実測値を確保することができ、自動運転運行・遠隔監視に必要な通信帯域を確保できた。

低軌道衛星ブロードバンド通信の通信帯域や遅延は、自動運転運行・遠隔監視を行うためのバック回線として問題ない性能であり、計測タイミングにより変動が大きい光回線と同等の通信速度を確保可能であることを確認できた。

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイ機能を活用し、既存の複数キャリアの通信回線をアグリゲーションすることで、単一のキャリア回線では通信品質が安定しない中山間地域においても安定した通信品質を確保できた。

協調型インフラ基盤システムは自動運転車両にモバイル Sim²⁰ルーター3台と車載 PC1台を組み込むことで実現しており、基地局を立てて通信品質を向上させる必要なく簡易的かつ経済的に自動運転車両を運行できた。

本実証地では 2 キャリア以上のモバイル通信を活用し、簡易的かつ経済的に通信品質を安定化できたため、同条件の地域においては同様の効果が期待できる。一方で 1 キャリアのみでモバイル通信をカバーしている地域に関しては同様の効果は期待できないため、代替手段の検討が必要である。

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

不感地帯に対して、長距離 Wi-Fi を用いて運行区間をカバーすることで自動運転車両運行のための通信品質を確保できた。ただし、不感地帯の状況を判断した上で Wi-Fi 電波を照射するための建柱レイアウトや、アンテナの指向性を考慮したレイアウトには十分な検討が必要である。

モバイル回線エリアと Wi-Fi 通信網の照射エリアを部分的に重複させることで、協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイ機能により、モバイル回線から長距離 Wi-Fi への切替えをスムーズに行えた。

長距離 Wi-Fi に関して、Wi-Fi HaLow と DX Wi-Fi を比較検討した結果、Wi-Fi HaLow は仕様上通信速度が最大で約 1Mbps 程度となっており、自動運転車両運行のためのデータ通信と、遠隔監視映像を伝送するための十分な通信帯域を確保できなかった。

一方で DX Wi-Fi は平均スループット(アップストリーム)が約 4.5 Mbps と自動運転運行・遠隔監視に十分な伝送帯域を確保でき、その有効性を証明できた。

バック回線に関して、光回線と低軌道衛星ブロードバンド通信を検証した結果、自動運転車両を運行し、遠隔監視を行うために十分な通信速度を確保できたため、中山間地域における簡易的かつ経済的な通信環境構築手段として活用可能である。

²⁰ Subscriber Identity Module の略。携帯電話等の加入者を特定するための情報が記録されたもの。

0.4 成果

【実証全体を通じた成果】

ユースケース①-1:粕淵ルート

安定したモバイル通信品質を確保するための手段として、複数キャリアによるモバイル通信回線を協調型インフラ基盤システムによりアグリゲーションした結果、自動運転車両を運行させ、遠隔監視を行うために十分な通信品質を既存モバイル通信回線の活用により確保できた。また、本実証結果から通信要件の具体化ができた。

本実証では24年度実証の際に粕淵ルートで発生した2つの問題、[遠隔監視映像の途絶]と[自動運転モード中の手動介入]を解決できた。遠隔監視映像の途絶に関しては、24年度実証時に防災公園前バス停付近で映像品質が安定せず、映像が途絶していたが、本実証では遠隔監視映像・音声の途絶なく安定した映像・音声品質を確保した。

また、自動運転モード中の手動介入に関して、24年度実証実験時はモバイル通信経由で受信するGNSS補正データを安定して受け取ることができず、自動運転モードを維持できなくなり手動介入に切り替えるケースが6回あったが、本実証では同理由による手動介入を、往復28便を通して0回にできた。

ユースケース①-2:比之宮ルート

モバイル通信網が整備されていない不感地帯において、長距離Wi-Fiを活用し運行経路に対して通信網を構築することで、基地局を建設するよりも遥かに経済的に自動運転車両運行範囲を広げられた。

不感地帯での低軌道衛星ブロードバンド通信活用について、自動運転車両の運行と遠隔監視のために十分な伝送帯域やレイテンシを確保できることを確認した。

【社会実装に資する要素技術】

本実証では協調型インフラ基盤システム2.0のマルチパス転送ゲートウェイ機能を活用し通信リソースの有効活用による通信品質の安定化を実現した。

マルチパス転送ゲートウェイはデバイス・クラウド間のユーザパケット及び制御パケットの転送を行い、任意のTCP(Transmission Control Protocol)、UDP(User Datagram Protocol)、その他の通信を、標準化中の最新技術であるMPQUIC(Multipath extension for QUIC)のStream及びDatagram frameを用いて透過的に転送(ゲートウェイ機能)する。

マルチパス転送ゲートウェイは、現在標準化が進められているMP-QUICをベースとしたゲートウェイであり、複数の回線をアグリゲーションし、パケット単位で利用する回線を選択するマルチパス通信を提供する。図1に示すように、遅延の最小化を目的として、リアルタイムに変動する回線品質を監視しながら、低遅延な回線を中心に送信先を選択する制御を実施(回線輻輳等、品質悪化を検知した場合、利用を回避)し、品質の悪い回線へのパケット送信を回避することで、ネットワーク側での滞留等による遅延増大を抑制することができる。

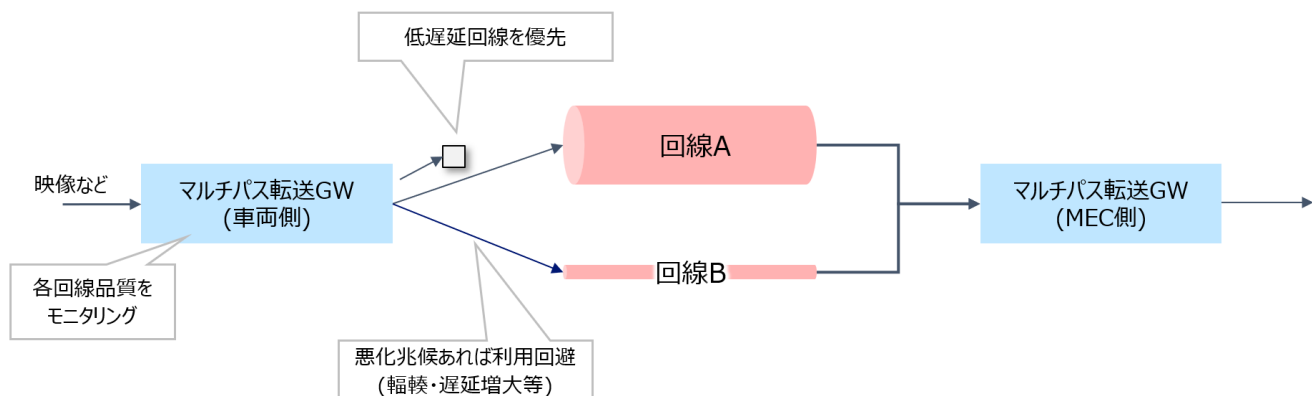


図 1:送信制御の概要

【ユースケースの有効性】

本実地の環境は日本各地の地方自治体と重複する特徴の多い一般的な中山間地域である。そのため、本実証地で得られた実証結果は、他の中山間地域に該当する通信環境が整備されていない地域での適用可能である。

ユースケース①-1: 粕淵ルート

粕淵ルートの実証にて、モバイル通信品質の安定化を目的とした実証では既に設置されている基地局からのモバイル電波を利用し、既存のネットワーク環境には手を加えずに通信リソースを有効活用できた。そのため、複数キャリアのモバイル通信が受信可能な地域であれば同様の効果を期待できる。

ユースケース①-2: 比之宮ルート

比之宮ルートの実証にて、不感地帯に対する打ち手として活用した長距離 Wi-Fi と低軌道衛星ブロードバンド通信の有効性を確認できた。そのため、Wi-Fi 設備が設置可能であり、上空が開けている多くの中山間地域の環境で本技術の転用が可能であると考えられる。

今後、低軌道衛星ブロードバンド回線を搭載することが可能となれば、長距離 Wi-Fi 環境の構築すら不要となるため、実証実験を継続し社会課題解決に繋げる。

0.5 課題

【実証全体を通じた課題】

ユースケース①-1: 粕淵ルート

本実証実験は粕淵ルートのように複数のモバイル通信回線が提供されている場合に最も経済的な解決策を提供できる。1つのモバイル通信回線しか提供されていない地域に対しては、比之宮ルートのように長距離 Wi-Fi の活用を始めとした追加の対応が必要である。

協調型インフラ基盤システムを活用した場合と、単一キャリアのみを利用した場合の自動運転車両運行における差異は定量的に評価できなかった。同一キャリアであっても時間や天候により通信品質は大きく変わるため、システム導入による差異を定量化することが難しく、差分を定量的に評価するためには

2 台の自動運転車両を同時に走行させ、同条件での通信環境を計測する必要がある。

ユースケース①-2:比之宮ルート

Wi-Fi を路側に設置する際は、降雨や降雪等の影響により通信速度が著しく低下する場合があるため、実施時期に合わせて予め Worst 条件での要件検討を行う必要がある。また、自動運転車両の走行ルートに漏れなく Wi-Fi 電波を照射するための調整や、アクセスポイント間の接続切替えタイミングの調整に専門的な知識と時間を要する。

上記に加えて、本実証では Wi-Fi 通信網の運用にポータブルバッテリーを電源として利用したが、恒久的に運用する場合は電源工事が必要である。また、バック回線として利用した光ケーブルも倒木や動物等の影響による断線のリスクもあり、電源確保・管理と合わせた保守運用の追加検討が必要である。

本実証のチャレンジングな要素は[協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイ機能を用いたモバイル回線と、インターネット回線(Wi-Fi 経由)の異種回線をアグリゲーションする]点にあり、本実証でも内部パラメータの調整にかなりの時間を要した。

光回線、低軌道衛星ブロードバンド回線を含め、ネットワークとしてフラグメント等の遅延要因が発生しない条件の調査、及び無線区間部分での特有事象の有無の確認を実施する必要がある。また、次世代のマルチパス転送ゲートウェイでは、機能改善・追加がなされる予定であり、最新版を導入して最適なチューニングを施すことで、より安定的な通信環境を確保できるよう検討する。

【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】

協調型インフラ基盤システム自体が商用化されておらず実証段階のシステムであるため、今後も改善を継続し品質を高めていく必要がある。特に様々な遠隔監視システムや通信や自動運転車両の通信システムを接続する際に内部パラメータの調整では、専門知識が必要となる。そのため他システムとの親和性を向上させ、様々な遠隔支援システム等への適応を検証する必要がある。

また、本実証で中山間地域における低軌道衛星ブロードバンド通信の有効性を確認した。今後より経済的かつ簡易的な対応を実現するために、建柱工程や電源の確保、光ケーブルの保守、複雑な Wi-Fi 電波照射レイアウト検討、アクセスポイント間の接続切替え手段といった様々な検討項目を要する不感地帯対策を省略できる低軌道衛星ブロードバンド通信を自動運転車両に搭載し自走衛星通信環境を構築した上での有効性検証を進める。

1. 実証の背景・目的

1.1 実証の背景

本実証地である島根県美郷町には下記に示す 4 つの地域課題が存在し、交通課題の解決が急務となっている。

- 高齢者の免許返納及びその後の交通手段確保
2020 年の国勢調査時点で、本町の高齢化率(65 歳以上の人口割合)は 47.9%と非常に高くなっており、独居高齢者世帯や高齢者のみの世帯が約半数を占める状況である。
一方で島根県全域としては、高齢者が関係する交通事故は増加傾向にあり県内の交通事故死者のうち 75%が高齢者であることから、免許返納を促しながらも、返納者の生活に不自由を与えない地域交通網を維持する必要がある。
- JR 三江線廃線後に伴う代替交通バスの運転手確保
JR 三江線(町内では竹駅～石見都賀駅 間)が廃線となり、代替交通として路線バスの運行を始めるなど、現在の町内の公共交通については路線バス(デマンドバス含む)に依存している。
一方で運転手の高齢化が進み、就労者の雇用も芳しくない状況となっており、利用者が一定数いる状況で路線廃止の危機に直面している。
- 小中学生の通学交通網の確立
少子化による小中学校の統廃合によって、自宅から遠い学校(児童・生徒によっては通学距離が 15km/日)への通学を強いられている児童の移動手段の確立が急務である。
- 公共交通遺児に対する財政負担の軽減
公共交通の利用者減少は年々減少しており、バス事業者・タクシー事業者の赤字は本町が補填している(6,000 万円/年)。

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

2024 年度に粕淵ルート(美郷町役場～そら豆)においてレベル2自動運転の実証実験を行った。実証結果と地域特性から以下が課題となっている。

- 遠隔監視システムの品質向上
2024 年度自動運転社会実装推進事業では車載カメラの映像、車内の音声、車両情報(位置、速度、車両状態など)の情報をリアルタイムで取得し遠隔監視を行っていた。その際に山間部の通過時や天候状況により映像や音声途切れる事象が頻繁に発生している。
また、本町は中山間地域であるため同様の事象が他の場所でも発生する可能性がある。

- 車両の自己位置推定の安定化

自動運転走行の際、車両はモバイル通信回線経由で GNSS²¹補正データを受信し、LiDAR²²のセンサ情報との組み合わせで誤差数センチでの自己位置推定を行う。粕淵ルートは 5G のサービス提供圏内となっているが、2024 年度自動運転社会実装推進事業ではセンサ情報の指標となる参照物が少ない場所において補正データの受信が不安定になり、自己位置推定が不可能となる事象が数回発生した。

突発的に事象が発生した場合、自動運転走行が不可能となり急ブレーキにより車両が停止し、車内事故や追突事故が発生するリスクが存在する。また、手動介入が必要となるため、安全性を担保しレベル4自動運転走行を実装するためには自己位置推定の安定化が必要となる。

- 携帯電話不感地帯²³における通信確保

本町内におけるモバイル回線の 5G 提供エリアは美郷町役場を中心とした粕淵エリアのみとなっており、山間部では携帯電話の不感地域が多数存在する。

将来的に大和エリア周辺や山間部を通るルートへの拡大を想定した場合、緊急時の連絡が遅れる等のリスクがあるため、走行する可能性があるエリアにおける電波環境を把握し、懸念がある場合は経済合理性が高い通信環境構築等の対策が必要である。

- 定常運行とデマンド型自動運転の使い分け最適化

町内の既存路線バス運行エリアには、公共交通利用者の需要予測が立てづらい中心地から離れた地域が存在する。また、2024 年度自動運転社会実装推進事業においては実証期間が短い傾向は掴めていないが、時間帯・曜日などにより乗車人数にばらつきがあった。

持続可能な地域交通として自動運転を社会実装するには定常運行とデマンド型を使い分け、エリア、時間帯、曜日等により効率的にリソースの配置を行い、採算性を確保する必要がある。

1.3 実証の目的

本実証では財政面・人員リソース面のハードルを下げ、かつ安全性を担保した上で、レベル 4 自動運転の社会実装に向けた課題解決を行うことを目的とする。

また、本町だけではなく同様の課題を抱えた中山間地域の自治体におけるレベル 4 自動運転の社会実装を加速させる。特に島根県では不感地帯を含む中山間地域も多いため、島根県地域振興部地域政策課デジタル戦略室と連携することで、県内の自動運転におけるスタンダードモデルの一つとして横展開を図ることを検討している。

²¹ 全球測位衛星システム。人工衛星からの信号を用い、地球上の位置を測位するために、世界各国が整備・運用するシステム。人工衛星及び必要な地上設備等を含む。

²² Light Detection And Ranging の略。レーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測する技術。

²³ 携帯電話回線(移動体通信網)において、基地局が整備されていない等が原因で、回線接続できない地域。

- 経済的かつ簡易的な通信環境構築
ローカル5G²⁴等の専用通信環境の導入には膨大なコストがかかるため、小規模自治体でも自動運転の社会実装ができるよう経済面・人員リソース面での負担を減らす。
- 中山間地域における協調型インフラ基盤を用いた通信・システム品質確保
協調型インフラ基盤を用いて複数キャリア²⁵のモバイル通信をアグリゲーション²⁶制御することにより、中山間地域におけるレベル4自動運転の社会実装に必要な通信品質を確保する。
- 不感地帯における中・長距離に適したWi-Fi²⁷規格・商品を用いた通信環境構築
モバイル回線やローカル5Gの環境整備が難しいエリアにおいて、緊急時の連絡(IP電話等)及び自動運転に必要な通信として比較的安価で構築可能な、中・長距離に適したWi-Fiサービス・規格の有効性を確認する。
- デマンド交通システム・アプリの試験導入
中山間地域におけるデマンド型レベル4自動運転を実現するために必要な通信システム要件、及びデマンド型自動運転の有効性を検証する。

1.4 最終目標・構想イメージ

本実証における最終目標及び構想は美郷町地域公共交通計画(令和6年3月制定)に準ずる。レベル4自動運転の社会実装に関連する内容を以下に示す。

- 地域公共交通計画のビジョン
邑智・大和の中心部である粕淵エリア・大和エリアをエリア内移動交通・広域移動交通の結節点とし、路線維持及び他路線との接続を図る。
課題先行地域・山間部過疎自治体における持続可能な自動運転事業モデルを早期に確立し、中四国・島根県内の自動運転普及をリードする取り組みを行う。
- 持続可能な自治体への転換
本町における自動運転実装の最終目標は、「公共交通機関の維持」を実現するだけでなく、町の持続的発展のため自動運転と他の施策との間で連携・シナジーを発揮させ、「持続可能な自治体」への転換を図ることにある。
最終目標における「持続可能な自治体への転換」に向けては、自動運転を単なる「公共交通機

²⁴ 地域や産業の個別のニーズに応じて、地域の企業や自治体等の様々な主体が、自らの建物内や敷地内でスポット的に柔軟に構築できる5Gシステム。

²⁵ 自ら電気通信回線設備を保有し、電気通信サービスを提供している電気通信事業者。通信キャリアとも言う。

²⁶ 携帯電話通信において、複数のキャリア(周波数帯域)を組み合わせ、帯域幅を拡張し、通信速度を向上させる仕組み。

²⁷ IEEE 802.11規格に基づく無線通信技術の一つ。2.4GHz帯、5GHz帯、及び6GHz帯の免許不要帯域を利用し、家庭、オフィス、商業施設、公共エリア等の幅広い場所で、比較的短距離(～数十m)な通信に利用される。

関の維持」の手段に留まらない、本町の目指す他政策とのシナジー創出や、シビックプライド醸成を仕掛けていきたい。

- 社会実装に向けたロードマップ

- ✓ 2024 年度の取り組み実績： 確実なレベル 4 申請に向けた課題抽出
 - 補助金を活用したレベル 2 走行の実証実験にて、技術的課題を抽出
 - 地域イベントでのお披露目により、住民及び地域の交通事業者への認知拡大・理解促進
- ✓ 中期目標(2025 年～2026 年)： 通年運行に向けた経営改善施策・技術向上の試行、周辺サービス連携に向けた技術的検証
 - レベル 4 申請における課題の解消及び申請
 - 自動運転バス実装に向けた関係者協議・計画策定
 - 複数収入源確保に向けた取り組み実施
 - 中山間地域における通信環境、及びトンネルや積雪環境での実証実験を実施
- ✓ 長期目標(2027 年以降)： 持続可能・自給自足可能な公共交通モデルへの転換
 - レベル 4 での通年運行を実現し、地域の公共交通網の維持を行う
 - 通年運行においては町予算での自動運転バス運営を実現
 - 定住・就労支援施策と連携し、需要に応じた交通事業者数の確保を実現
 - 町内事業者で自動運転バスを運営することによる新規就労者の獲得
 - 中山間地域・過疎地域の自動運転活用モデルの広域展開・連携

- 取り組みの発展性

以下に現在検討中の他政策とのシナジー創出・シビックプライド醸成試作を踏まえた施策を記載する。施策案は随時検討し更新される。

施策案1 子育て支援施策：

子どもの自動運転バスの料金を無償にすることで、子どもとその家族の利用を促進。

施策案2 定住者と新規就労者の獲得施策：

人手不足の深刻な町内交通事業者に代わって、将来的に自動運転バスを運行・管理する事業者を募集し新規就労者を確保。

施策案3 美郷町デジアナ構想施策（施策名称：でじとと。）：

より安心安全で利用者へ高度な知識を強くない公共サービス実現に向け、マイナンバーカードを活用した予約・顔認証・決済システムを導入し、地域ポイントを付与することにより、マイナンバーカードの常時携帯の土台を作り、アナログと ICT の融合による地域住民が安心して暮らしやすくなる町づくりをめざす取り組み。

施策案4 持続可能な地域コミュニティ・運営の仕組みづくり(小さな拠点づくり)

- 施策案5 地域共生社会の実現に向けて住民の意識啓発：
講演会やセミナーを通して住民の意識啓発を促す。
- 施策案6 バリ島の自治体や関連機関との交流：
技能実習生の公共交通分野での受け入れや、意見交換を行う。
- 施策案7 認知度向上：
小中学生への技術体験授業、広報誌・告知端末での周知、イベント等を利用して認知度向上をはかる
- 施策案8 自治体間交流：
他自治体からの視察・相談受け入れ・意見交換を行い自動運転推進活動の相乗効果を生む。

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

公共交通のビジョン実現に向けた自動運転の社会実装方針として、採算路線を中心に順次自動運転化していくことで、路線数に比例して運転手が必要であった従来型の運営から、自動運転技術及び遠隔監視技術を活用して路線運営の省人化を図る。

また、採算路線の自動化により確保したドライバーリソースを需要予測が立てづらい中心地から離れた地域へアサインすることにより、町全体に行き渡る公共交通を実現する。

- 本実証の位置づけ

最終構想の実現までは5つのステップで推進する計画であり、本実証はStep 2に該当する。

Step 1. 対象エリアの選定及びL2走行による課題の洗い出し

既存バスの採算路線として町内の中心地である粕淵エリアの路線を選定し、2024年度自動運転社会実装推進事業にて実施済み。

Step 2. 課題解決案の実装及び実証

2025年度以降、複数年かけて実証実験を行い、レベル4自動運転の社会実装の実現に向けた課題解決のため検証を行うとともに、ノウハウ蓄積やレベル4運行に向けた許認可取得への準備を進める。2025年～2026年での取り組みを想定している。

Step 3. L4申請、社会実装

町内にて最初の定常路線レベル4自動運転化を行う。

Step 4. 他エリアの定常路線自動運転化、デマンド型運行の検討及び実装

もう一つの中心地である大和エリアを候補として定常路線の自動運転化を行うとともに、粕淵エリアを結節点としたデマンド交通の実証を行い、町内の路線維持のため最適なデマ

ンド交通の実装エリアを決定する。

Step 5. 県内他自治体での展開

島根県と連携し、県内の自動運転導入におけるモデルケースとして県内の他自治体へ横展開を実施している。遠隔監視システムを 1 拠点集約することで県全体の共用化によるコストカットの実現を想定している。

● 本実証の目標

本実証では、実証地域における課題解決としてモバイル通信の帯域確保が難しい区間に、中・長距離に適した Wi-Fi 規格・商品を活用した経済的かつ簡易的に構築可能な通信を整備し、協調型インフラ基盤を用いて中山間地域におけるデマンド型レベル4自動運転を実現するために必要な通信システム要件、及びデマンド型自動運転の有効性を検証する。

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に対して、以下の目標を設定する。

- ① 遠隔監視システムの映像受信、車両情報が 1 秒以上途切れることなく受信できること
- ② 実証予定のルートにて常に GNSS の補正情報データが受信できること
- ③ 不感地帯における中・長距離に適した Wi-Fi 規格・商品の有効性を確認すること
- ④ Wi-Fi 規格・商品のバック回線²⁸として、光回線²⁹と低軌道衛星ブロードバンド通信³⁰を利用できること
- ⑤ 経済的に活用可能な通信・システムとデマンド交通システム・アプリとの連携仕様を確立し構築すること

²⁸ 通信事業者の回線網において、末端のアクセス回線と中心部の基幹通信網をつなぐ中継回線のこと。携帯電話回線(移動体通信網)の場合、基地局設備と最寄りの拠点設備をつなぐ固定回線網をバックホール(モバイルバックホール)と呼ぶ。

²⁹ 光ファイバを用いた高速伝送可能なデータ通信。

³⁰ 低軌道(LEO)衛星を用いた高速・大容量通信。

2. 業務実施体制

2.1 実証機関

表 4 実証機関

代表機関	法人名	NTT 西日本株式会社 島根支店
	代表者氏名	福島 悦子
	所在地	〒690-8520 島根県松江市東朝日町 102
	業務の概要	<ul style="list-style-type: none"> 計画策定、進捗管理 協調型インフラ基盤システムの信頼性評価 総括業務(行政対応、会議対応等)
構成員	法人名	NTT ビジネスソリューションズ株式会社 島根ビジネス営業部
	代表者氏名	錦織 勇人
	所在地	〒690-8520 島根県松江市東朝日町 102
	業務の概要	<ul style="list-style-type: none"> リスクアセスメント 自動運転用マップ作成 自動運転車両調律 遠隔監視システム構築、保守、運用 予約アプリ提供 実証運行支援(アンケート取得・作成、説明員対応等)
	構成員とする理由	公道での自動運転実証事業の実績を多数有しており、同社が有する自動運転に関するエンジニアリングスキルやオペレーションスキルが本実証に不可欠であるため。
構成員	法人名	株式会社マクニカ
	代表者氏名	福田 奏之
	所在地	〒222-8561 神奈川県横浜市港北区新横浜一丁目 6 番地 3
	業務の概要	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転車両レンタル 自動運転車両の保守・運用 自動運転車両制御に関わる仕様検討 実証運行支援
	構成員とする理由	自動運転の公道での自動運転実証事業の実績を多数有していること、また本実証で用いる自動運転車両 EVO 同を開発する NAVYA MOBILITY SAS の主要株主であることから、同社が有する自動運転車両制御に関する知見が本実証に不可欠であるため。

2.2 実施体制図

下記の図 2 に本実証の実施体制を示す。

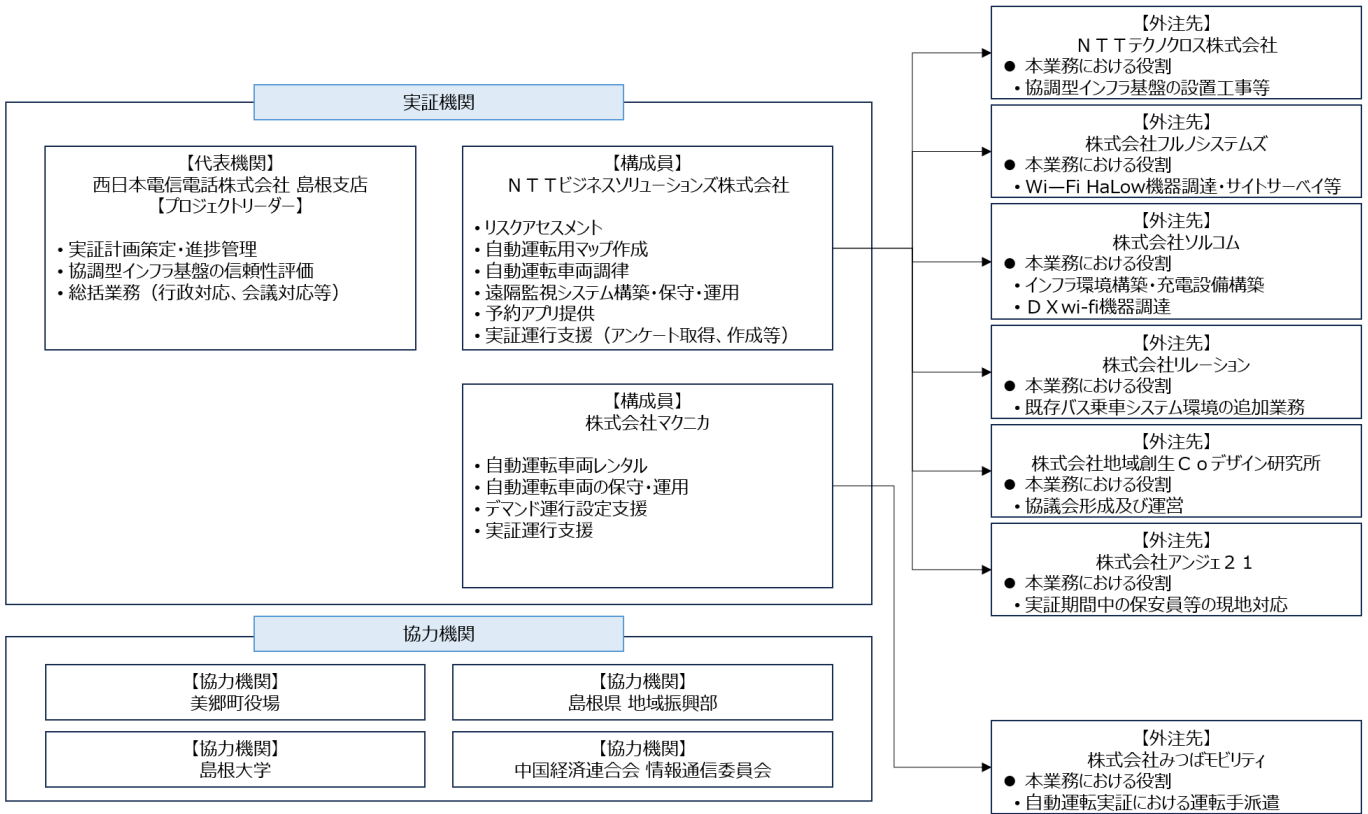


図 2: 島根県美郷町実証の実施体制図

3. 自動運転の運行結果

3.1 運行場所

ユースケース①-1: 粕淵ルート

2024 年度自動運転社会実装推進事業のルートを拡張したもので美郷町役場のある粕淵エリアと住宅地域の浜原エリアを結ぶルートとなっている。こちらのルートでは 2024 年度の実証実験にて顕在化した課題解決を主目的とする。

終点の「サステナブルハウス前」周辺は 2023 年度から本町へのファミリー移住者向け賃貸住宅地が整備されており、粕淵方面への生活路線として住民の利用を見込んでいる。本町の中心部となっており、一定の利用者数が見込めるルートである。

【走行ルートと停留所】

本実証では美郷町役場を出発し粕淵から浜原を走行してサステナブルハウス前に到着後、美郷町役場に折り返すルートを設定した(図 3)。

実施計画書を作成した時点では、既存の停留所と同じ 12 ヶ所の停留所を設定する計画を検討していたが、運行時間短縮を目的に一部停留所を削減した。なお、ネットワーク品質検証に影響が出ない事を予め確認するとともに、実証準備における調律走行においても予備的にデータを取得する取り組みとした。



図 3: 粕淵ルートと通信環境悪化地帯

【走行距離】

片道約 3.2km

【周辺環境】

発着地点の美郷町役場周辺は市街地、浜原地域は住宅地となっている。
 中間の防災公園周辺は山間の道が続いている。

【ルート周辺の通信環境】

2024 年度自動運転社会実装推進事業 を行った区間に準ずる箇所(美郷町役場～防災公園前)は複数キャリアのサービス提供エリアになっており、音声通話・インターネット接続の動作も問題ない品質

である。

一方でモバイル回線を使った自動運転車両の通信環境はルーターからインターネット方向への PIN G³¹値に遅延やタイムアウトが確認されており、車両の位置情報補正データの受信に支障をきたす事象が数回発生している。

また、浜原地区周辺(ふれあい広場～サステナブルハウス前)も複数通信キャリアのサービス提供エリアとなっており、車両に関しては上述のエリアと同等の通信品質となることを想定している。防災公園前～ふれあい広場間の山間部では一部通信キャリアが圏外となる事象が確認されている。

【交通量】

ルート全体を通して交通量は少ない。

平日 9:00 までの通勤・通学時間帯は通常より少し交通量が増える。

【道路特徴】

■ 共通

市街地周辺は歩道があるが、その他は歩道がない箇所が多数ある。

路肩は 50cm 以下の箇所が多くを占め、全体的に狭くなっている。

山間部を中心に 5%程度の勾配がある。

■ 美郷町役場～防災公園周辺

片側 1 車線ですれ違いが可能な道路であるが、車線の幅が 3m 以下の箇所がほとんどを占めている。路肩は 50cm 以下の箇所が多くを占め、全体的に狭くなっている。

■ 防災公園周辺～浜原地域周辺

防災公園周辺から少し浜原地域へ進んだ辺りから中央線のない道路となり、道幅が狭くなる。すれ違いは可能だが、譲り合いが必要となる箇所も存在する。また路上駐車も散見される。

【信号や標識の配置】

信号 : 1 基

横断歩道 : 14 カ所

【想定される障害物】

道幅が狭い箇所における路上駐車、対向車両

ユースケース①-2:比之宮ルート

比之宮～大和事務所については、2026 年度路線バスの廃線が決まっており、将来的に自動運転でのカバーを想定している。大和は買い物・金融・診療所・役場(行政手続き)の 4 点が揃っている地域であるが、比之宮地域は高齢者(103 世帯の内 6 割)が多く、かつこれらの拠点が存在しないため、大和

³¹ Packet Internet Groper の略。インターネット等で、ネットワークの診断をするプログラム。

への移動手手段確保が必須となる。

【走行ルートと停留所】

将来的に導入を目指す比之宮交流センター～大和事務所までのルートのうち、通信確保が難しい約600mの不感地帯を含むルートを設定した(図4)。

実施計画書に記載の不感地帯について、採択後改めて通信環境実態を調査したところ範囲と位置に差異があったため修正を行った。



図4:比之宮ルートと不感地帯

【走行距離】

片道約3.6km(内、不感地帯600m)

【周辺環境】

比之宮交流センター周辺は103世帯ほどある集落となっており、その後新田農園に向かう道は周りを山や畑に囲まれた道路である。

【ルート周辺の通信環境】

ルート中盤の山林の中を通る際はモバイル回線の電波が県外となる箇所もある。全体的に山間部が

多くを占めるルートであるため、電波が届く箇所においても、走行しながらの通信については通信が不安定となる可能性がある。

【交通量】

ルート全体を通して交通量は少ない。

【道路特徴】

■ 共通

基本的に歩道はない。

片側1車線のすれ違いが可能な道路となっており、道幅・路肩幅ともに十分なものとなっている。

山間部の一部を除いて直線や緩やかなカーブが多く、見通しが良い。

■ ルート中盤の山間部エリア

勾配が10%程度ある道路となっており、上りから下りに差し掛かる際は見通しが悪くなっている。

【信号や標識の配置】

信号 : なし

横断歩道 : 3カ所

【想定される障害物】

樹木、野生動物、積雪や路面凍結(冬期のみ)

3.2 運行期間

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	2025年12月1日(月)~2025年12月12日(金) 計10日間
関係者試乗運行	2025年12月16日(火) 計1日間
一般運行等	2025年12月16日(火) ³² ~2025年12月22日(月) 計7日間
その他運行	なし

³² 12月15日は当初公開セミナー実施のために予定を確保していたが、非開催となったため日程を開放した。

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	2026年1月8日(木)～2026年1月21日(水) 計9日間
関係者試乗運行	2026年1月26日(月) 計1日間
一般運行等	2026年1月22日(木)～2026年1月28日(水) ³³ 計6日間
その他運行	なし

3.3 運行時間帯・頻度・運行方式

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

- 運行時間帯 : 9:00～16:00
- 便数 : 4便/日³⁴
- 運行方式 : 定時低路線方式(5日間)及びデマンド方式(2日間)

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

- 運行時間帯 : 9:00～15:00
- 便数 : 5便/日
- 運行方式 : 定時定路線方式

3.4 運行者

株式会社みつばモビリティ³⁵

【選定理由】

株式会社みつばモビリティは、自動運転車両の実証実験 オペレーター・遠隔監視業務を推進する運行事業者として、2024年度に実施された自動運転車両やグリーンスローモビリティを活用した実証実験に参画し、地域交通の課題解決に向けた取り組んだ実績があるため。

³³ 降雪や路面凍結の場合は運休する。また、1月28日は実証データ不足の場合の予備日として計画しているため、データ取得状況によっては日程を開放する。

³⁴ 走行距離が長く、また後続車両の追越しを考慮し停留所数を多く設置したため、1便当たりの時間が想定よりも長くなった。そのため、実施計画に対して減便で対応した。

³⁵ 株式会社マクニカのパートナー会社

3.5 運行体制

項目		内容
運行管理者の選任・人員体制		<p>【運行管理事業者】 株式会社マクニカ スマートモビリティ事業推進部 部長 福田泰之（運行管理者資格保有）</p> <p>【人員体制】 株式会社マクニカ/株式会社みつばモビリティ社にてサイト毎に1～2名選任実施</p>
遠隔監視設備	種類・特徴	<p>【種類】 株式会社マクニカ everfleet</p> <p>【主な特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> 柔軟性： 環境に応じて表示項目のカスタマイズが可能 (充電残量、運転モード、ドア開閉状況、ステアリング、速度、位置情報等) 拡張性： あらゆるモビリティの一元管理、データ連携(都市 OS、EMS等)も可能 データ活用： 車両のリアルタイム情報、過去データの蓄積
	機能	<ul style="list-style-type: none"> リアルタイムで車載システムから遠隔監視システムへ情報共有 車両前後左右のカメラ、4G/LTE 通信、GNSS、車両状況のリアルタイム共有
	設置場所	<p>粕淵ルート、比之宮ルート共通で下記の場所に設置する。</p> <p>〒699-4621 島根県邑智郡美郷町粕淵 355-1 美郷町サテライトオフィス「みさと。ネスト」</p>
遠隔監視員	事業者	NTTビジネスソリューションズ株式会社
	人員体制	2名
	オペレーション	遠隔監視センターからの車内監視と運行記録を行う。 必要に応じて、自動運転車両への人員配置を判断し現場サポート

		を指示する。
	遠隔監視体制	1:1
	業務従事者教育	業務従事予定者に対し、サイト毎に作成する「遠隔監視マニュアル」に基づき、日々のルーティーンタスク(機材準備やチェック)や監視中における注意事項、トラブル時対応方法等の教育を実施する。
テスト ドライバー	事業者	みつばモビリティ株式会社
	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	車両調律の際に同乗し、手動運転による操作を実施する。
	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>事業者に参加するテストドライバーは、原則自動運転システム、車両構成に関する技術研修及び実験施設内での研修を受講している。</p> <p>さらに、本実証におけるテストドライバーは、過去の自動運転実証にて施設内審査、路上審査、公道審査を合格し、自動運転実証にて相当数の運転経験を有し、運転技術が優れた者を選定する。</p> <p>なおテストドライバーは、株式会社マクニカより関係法令や安全管理に関する研修を毎年実施受講しており、関係法令・安全管理・緊急時対応及び自動運転技術に関する最新の知識を有している。</p>
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	株式会社アンジェ21
	人員体制	3名(自動運転車両内1名、停留所2名)
	オペレーション	自動運転車両内、停留所での安全確認及び運行支援を行う。
	業務従事者教育	事業者に参加する保安員は、美郷町や自動運転車両に関する一定の知識を有するものを選定する。なお、保安員に対しては、関係法令、安全管理・緊急時対応の知識を有している。

3.6 自動運転車両の特徴

項目		内容
台数		1台
所有者		株式会社マクニカ
車両 スペック	車両名	Navya Mobility 「EVO」
	自動運転レベル	レベル2
	車両定員	10名
	試乗枠の定員	9名
	最高速度	車両機能上限：25 km/h
		実証実験時上限：18 km/h
	センシングデバイス	<ul style="list-style-type: none"> • 2D LiDAR :6個 • 3D LiDAR :4個 • 単眼カメラ :2個
	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等により自動運転レベル4での走行が可能であること
		<input checked="" type="checkbox"/> 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
運行管理システム (チェックを入れること)	<input checked="" type="checkbox"/> 車両に搭載したカメラによる車両内外の遠隔監視	
	<input checked="" type="checkbox"/> 緊急時における車内との通話	
	<input checked="" type="checkbox"/> 速度や位置等の車両走行状態のリアルタイムでの取得	
	<input checked="" type="checkbox"/> 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	
	<input checked="" type="checkbox"/> 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	<ul style="list-style-type: none"> IMU :2 個 RTK-GNSS³⁶ :2 個 オドメトリ 		
走行可能環境	天候	<ul style="list-style-type: none"> 晴～曇り 霧 :100m 先が見通せる状態まで 雨 :霧雨(Drizzle)10 mm/h 未満 ただし走行環境次第で条件変更可能性有 雪 :降雪無きこと(積雪状態は走行可) その他 :路面凍結時や物標が隠れる積雪は除く 		
	照度	条件無し(ただし Level2 運行の場合には灯火を点灯して走行)		
保有機能	自転車操作	左折	走行可	—
		右折	走行可	—
		車線変更	走行可	あらかじめルート設定をした特定の場所で車線変更実施することは可。
		障害物回避	対応可	—
	対象認識	有		
	白線認識	無		
	標識認識	地図内に前もって情報(標識に合わせたルール)をインプットすることで対応可(横断歩道、号機、一時停止等)		
	信号認識	<ul style="list-style-type: none"> V2X を活用した信号認識 :可 搭載カメラを利用した認識 :不可³⁷ 		
MRM	自動運転に支障をきたす異常を検知した場合に、その場で停止する機能を有する。			
本実証のために実施する自動運転システム改修の内容		【車両側】 <ul style="list-style-type: none"> マルチパス転送ゲートウェイ³⁸の設置 NAVYA 社の自動運転車両 EVO に協調型インフラ導入のため		

³⁶ Real Time Kinematic-Global Navigation Satellite System の略。基準点と観測点という 2 つのポイントを同時に観測する測位方法。

³⁷ 現時点では EU でのみ対応可だが、本実証では日本向け信号機認識学習を行い利用可となる見込み。

³⁸ ゲートウェイ:異なる通信規約を持つネットワーク間を接続するための通信機器。

	<p>めの車載 PC を導入して、マルチパス転送ゲートウェイを作動させる。</p> <p>マルチパス転送ゲートウェイは上述のシステム側と同じ機能を有しており、改修前の車両に具備されているエッジ PC とインターネット向けのルーター間に設置する。</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wi-Fi クライアントの設置 路側の Wi-Fi アクセスポイントとの通信のため車両側のルーターに Wi-Fi クライアントを設置する。 <p>【システム側】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 協調側インフラ基盤の構築 無線技術の品質安定化のため、クラウド上に協調型インフラ基盤を構築する。マルチパスネットワーク制御機能、協調制御機能、映像制御機能を有しており、車両側に設置したマルチパス転送ゲートウェイと連携する。 各機能の概要は以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> ○ マルチパスネットワーク制御機能： アグリゲーション制御による可用帯域拡大及び品質劣化の未然回避による品質の安定化 ○ 協調制御機能： 位置ごとの実トラヒック³⁹データをもとにした位置情報に基づく品質予測及び遠隔監視システムへのリアルタイムな品質情報提供の実現 ○ 映像制御機能： 可用帯域に応じた映像制御による遠隔監視映像途絶回避 <p>【路側】</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wi-Fi 通信網の設置： 不感地帯における通信確保のため、路側に新設した電柱に Wi-Fi アクセスポイントを設置する。
その他特徴等	<ul style="list-style-type: none"> • ハンドル、アクセル、ブレーキが無い特別装置自動車 • EV 車両であり、1 回の充電で約 9 時間(約 100km)の自動走行が可能

³⁹ ネットワーク上を移動する音声や文書、画像等のデジタルデータの情報量のこと。通信回線の利用状況を調査する目安となる。

	<ul style="list-style-type: none"> ノンステップバス 車内には運行情報を表示するダッシュボードあり EVO は自動運転レベル 4 に対応し、国外の限定エリアにおいては運転手(オペレーター)の同乗なしで自動運転を実現している。 今後、交通弱者の救済や運転手不足の解消等、社会課題の解決に効果を発揮するとともに、利便性や収益性を高めることで集客やコストの改善に貢献することが見込まれる。 外装や内装を観光やエンターテインメント等向けに柔軟にカスタマイズすることが可能であり、実現を目指す MaaS 連携に適している。またモビリティデータをスマートシティ向けの都市 OS 等のデータ利活用や連携にも柔軟に対応可能。
--	---

3.7 自動運転に関する手続き

本実証の推進に際して、表 5 の報告及び許可申請を実施した。

表 5:各種手続きの申請・調整先と内容

申請先・調整先	申請内容・調整内容
島根県警	路上審査、公道審査
島根県 川本警察署	道路使用許可申請
美郷町 未来技術戦略課	行政(普通)財産使用許可申請
島根県央県土 整備事務所	道路占有許可申請
関東運輸局	車両基準緩和申請

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

4.1.1 通信環境整備が不十分な中山間地域でのモバイル通信と Wi-Fi 通信の併用による通信帯域確保の有用性と遠隔監視要求仕様に関する検証

1) 目的

本地域は通信環境整備が不十分な中山間地域であり、レベル4自動運転に向けて通信品質の確保が課題となっている。実際に 2024 年度の実証実験にて、中山間地域でモバイル通信の帯域確保が難しい区間や不感地帯があり、その結果、自動運転走行の中断や遠隔監視映像の途絶などの問題が顕在化した。これらの問題を解決するために経済的かつ簡易的な対応が求められている。

本実証では、主に以下の 2 点を検証する。

- 中山間地域において、既存の複数のモバイル通信網に加え、Wi-Fi 等の網通信を整備しレベル 4 自動運転の実現方法を検証する。
- 協調型インフラ基盤システムの活用により、複数の通信回線をアグリゲーションし、モバイル回線または Wi-Fi 回線に流すパケット量を動的に制御することでネットワークリソースを最大活用が可能かを検証する。

2) 実証内容の詳細

本実証では、ユースケース①-1 の粕淵ルート(図 5 の①)とユースケース①-2 の比之宮ルート(図 5 の②)で異なる目的の実証実験を行う。

- ① 粕淵ルート: 通信環境整備が不十分な中山間地域での通信品質の確保
 - 協調型インフラ基盤システムの活用により、複数のモバイル通信回線をアグリゲーションしネットワークリソースを最大活用する
 - 遠隔監視に必要な通信品質を確保する
 - 通信品質の悪化に起因する自動運転走行への手動介入を無くす
 - デマンド運行想定時の通信品質要件と課題を洗い出す
- ② 比之宮ルート: 不感地帯での長距離通信 Wi-Fi を活用した通信環境の構築
 - 伝送距離が 500m 以上の長距離通信 Wi-Fi(Wi-Fi HaLow⁴⁰/DX Wi-Fi)をそれぞれ環境構築し、不感地帯での遠隔監視環境を構築、その有用性を確認する
 - Wi-Fi のバック回線は光回線と低軌道衛星ブロードバンド通信を利用する

⁴⁰ IEEE 802.11ah 規格に準拠する無線通信技術。免許不要の 920MHz 帯を利用し、低消費電力かつ長距離通信(~数 km)が可能。LPWA 規格の一つ。

- 走行中の1秒以上の映像途絶を回避できていることを確認する

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

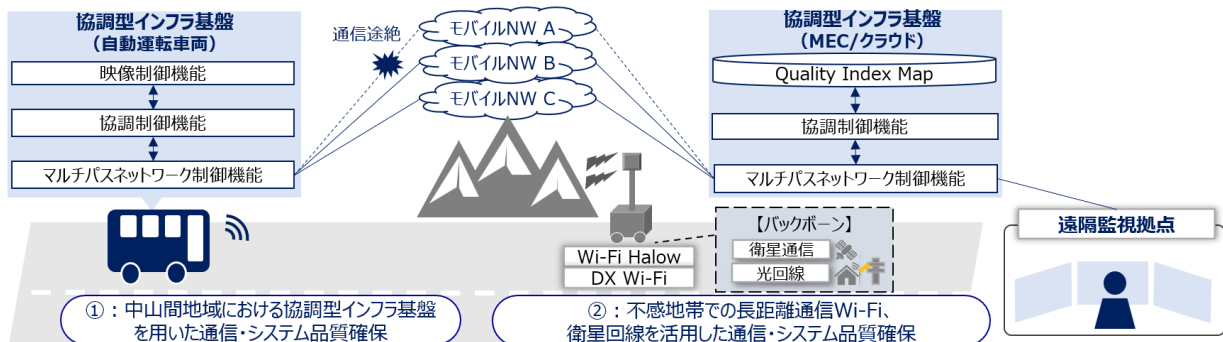


図 5: 美郷町実証の概要図

3) 利用技術

本実証では協調型インフラ基盤システムを軸としたシステム構築を行い、中山間地域における安定した自動運転車両運行と遠隔監視が実施できる環境を構築し、レベル4自動運転を実現するために必要な通信システム要件を明確化する。

- 本ユースケースにおける主軸技術の選定理由
 - 本検証で活用する協調型インフラ基盤システムの選定理由を以下に示す。
 - 車両に協調型インフラ基盤システムを導入することで、より安価かつ簡単に構築が可能であり、横展開も容易であること
 - 自動運転車両運行と遠隔監視に必要な通信帯域確保のため、動的に通信経路をアグリゲーションすることで、最適な通信経路を選択しレイテンシやパケットロスを最小限に留めることができること
 - モバイル通信回線だけでなく、長距離 Wi-Fi 規格・商品である Wi-Fi HaLow、DX Wi-Fi 等の Wi-Fi 回線や今回バック回線として利用した光回線、低軌道衛星ブロードバンド回線などの固定回線を含めた複数種類の回線を同時に利用できること
- 評価観点と比較結果
 - 評価観点 1 回線アグリゲーション機能
 - 比較結果 : 回線アグリゲーション機能の他、多くの技術で対応可能であり差異なし。
 - 評価観点 2 パケット転送遅延
 - 比較結果 : 利点あり
 - 理由 : 最適な回線を選択する他システムは1秒以上の遅延が発生するが、本技術は複数の通信回線を輻輳制御によりアグリゲーションするため理論上パケットロスを無くすことが可能である。

- 評価観点 3 異種・複数フローの収容
比較結果 : 利点あり
理由 : 本技術は複数の映像フローや異種トラフィックフローを収容可能であるが、他技術は音声と映像それぞれのフローのみとなる。
 - 評価観点 4 外部システムとの連携
比較結果 : 利点あり
理由 : 本技術は柔軟に様々なシステム連携が可能であるが、他技術は他のシステムとの連携は限定的である場合が多い。
- 技術選定理由のまとめ
以下の 3 点により、本実証で採用する協調型インフラ基盤システムの有用性を判断した。
 1. 自動運転運行・遠隔監視に求められるパケット転送遅延が少ない。
 2. カメラ映像や車両データなどの異種・複数フローが収容できる。
 3. 実証の成果を横展開する際の要点である様々な外部システムやネットワーク回線との連携が可能である。

4) 必要性・緊急性・新規性

【必要性】

① 中山間地域の通信品質改善

自動運転レベル 4 運行に際しオペレーターによる遠隔監視が義務付けられている。安定した遠隔監視を遂行するためには安定した通信品質を確保する必要があり、自動運転サービスの社会実装に向けて通信品質確保が必須となる。

2024 年度の実証実験にて、中山間地域でモバイル通信の帯域確保が難しい区間や不感地帯があることが顕在化した。加えて、降雪時などの悪天候時の通信品質の低下の懸念もあるため、中山間地域での通信品質の改善が必要である。

② 過疎地域へのデマンド交通サービスの導入

本実証地域では、町営バスとデマンド型乗合タクシーが町内の輸送を担っているほか、交通空白地における有償運送を、地域組織が主体となって実施している。

デマンド交通の需要は高いが、今後のドライバー数の減少や高齢者の免許返納などに起因するデマンド型交通の需要増を背景に、デマンド型の自動運転サービスの導入の需要が高まることが想定される。

【緊急性】

- ① 中山間地域の通信品質改善について、国土交通省の指標として提示されている 2027 年度の社会実装に向け、中山間地域や不感地帯に対しても実証実験や将来的なサービス提供を可能とし、日本の自動運転技術・運用レベルを向上させるために具体的な対策検討が急務である。
- ② デマンド交通サービスの導入について、デマンド型の自動運転サービスを展開する際の知見が不足している状況であり、将来的にサービスを導入に向けて少しでも多くの知見を蓄積する必要がある。

【新規性】

- ① 複数キャリアのモバイル通信網同士、もしくはモバイル通信回線と Wi-Fi とのアグリゲーションが可能な協調型インフラ基盤システムを導入し、通信のロバスト性確保の可能性を検証する。
- ② 不感地帯に対して、Wi-Fi 長距離無線通信(Wi-Fi HaLow、DX Wi-Fi)を用いて自動運転車両運行や遠隔監視に利用可能な伝送帯域を確保する手法を検討する。
- ③ 光回線との比較により、低軌道衛星通信ブロードバンド回線を用いた自動運転車両運行の有効性を検討する。

上記対応により、品質変動の激しい中山間地域のモバイル通信環境下において、協調型インフラ基盤システムを用いることで品質変動に耐性のある異種・複数トラフィックの安定伝送を実現し、ロバスト性の高いデータ伝送を可能とする。

また、通信環境は経済性を考慮し、既存のモバイル通信網を活用しながら、不感地帯においては長距離 Wi-Fi の設置と低軌道衛星ブロードバンド通信を活用することで、基地局等を設置するよりも経済的に自動運転運行・遠隔監視に必要な通信環境を構築する。

5) 検証条件

【地理的条件】

- ・ 中山間地域でありモバイル通信環境が悪い、もしくは不感地帯があること
- ・ 複数キャリアの通信回線があること、もしくは Wi-Fi 通信網を構築可能な環境であること

【時間的条件】

特になし

【天候的条件】

特になし

6) 開発・評価項目

本実証運行中に表 6 に示す(1)協調型インフラ基盤システムの導入に際する各種ネットワークシステムの調整を行い、(2)と(3)に記載のネットワーク品質の実測値を計測する。

表 6:本実証推進のための開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	<p>【協調型インフラ基盤システムの導入】</p> <p>本実証で使用する自動運転車両は、下記 2 系統のネットワークシステムが備わっている。</p> <p>① GNSS 補正情報の受信や車両情報の送受信を行うためのネットワークシステム ② 遠隔監視システム(everfleet)用のネットワークシステム</p> <p>本実証では、この①と②の2系統のネットワークシステムを協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイで担うように構成と各システムの設定の変更を行った。</p>
(2)	<p>【協調型インフラ基盤システムを活用したネットワーク品質の計測】</p> <p>協調型インフラ基盤システムを通して全ての通信を行っているため、本システム内で通信状態を監視し、状態をログ出力することで通信性能を計測する。</p>
(3)	<p>【通信回線単体のネットワーク品質の計測】</p> <p>本実証では全て協調型インフラ基盤システム経由で通信を行うが、その効果を把握するため、便宜的に定位置(各停留所)や不感地域内で通信回線単体のネットワーク品質を計測した。</p>

(1) 協調型インフラ基盤システムの導入

本実証に用いたネットワークシステムの簡易構成を図 6 に示す。自動運転車両・システムに既存にそなわっていた構成(青ボックス)に対して、本実証で導入する協調型インフラ基盤システムとその周辺装置(オレンジボックス)を組み込んだ。

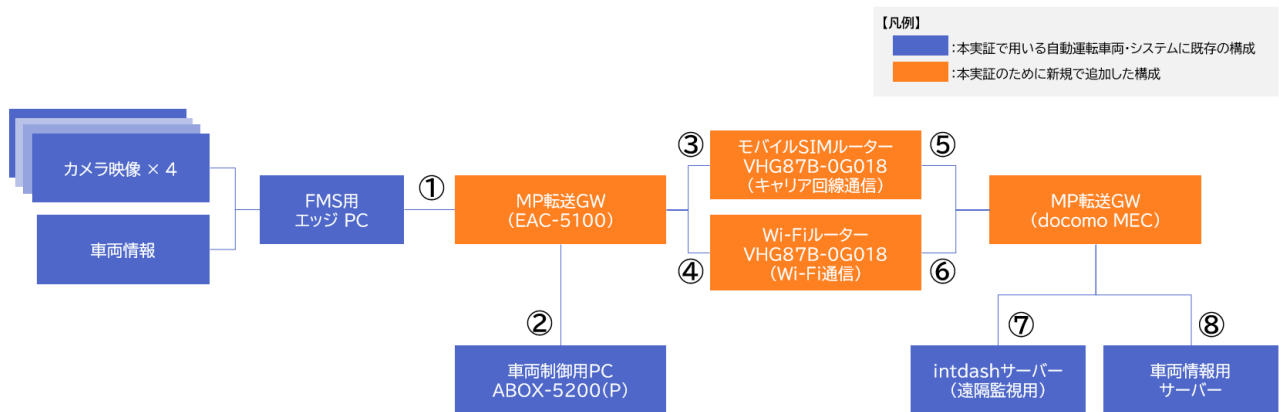


図 6: 本実証の簡易ネットワークシステム構成

協調型インフラ基盤システムを自動運転車両のネットワークシステムに組み込み、車両制御用と遠隔監視用の2系統のネットワークを担うにあたり、①～⑧の疎通を行うため表 7 の対応を行い、疎通確認を行った。

表 7: 疎通確認のための対応内容と方法

#	対応内容	対応方法と接続確認方法
①	車載 PC と FMS 用エッジ PC の疎通	【対応】 <ul style="list-style-type: none"> ネットワーク構成に合わせて装置類の IP アドレスを固定する。 マルチパス転送ゲートウェイに適応するパケット長を把握し、FMS 用エッジ PC と車両制御用 PC のパケット長を調整する。
②	車載 PC と 車両制御用 PC の疎通	
③	車載 PC と モバイル SIM ⁴¹ 用ルーターの接続	【対応】 ネットワーク構成に合わせて装置類の IP アドレスを固定する。 【接続確認】 上記の対応を行った上で、車載 PC 側で FMS 用エッジ PC からのパケット出力を確認する。
④	車載 PC と Wi-Fi 用ルーターの接続	

⁴¹ Subscriber Identity Module の略。携帯電話等の加入者を特定するための情報が記録されたもの。

⑤	モバイル通信経由での MEC へのアクセス	【対応】 MEC 上にもマルチパス転送ゲートウェイを設置し、車載 PC のマルチパス転送ゲートウェイとの通信を構築する。
⑥	Wi-Fi 通信経由での MEC へのアクセス	【接続確認】 MEC 側で車載 PC からのパケット出力を確認する。
⑦	MEC から 遠隔監視用サーバーへの接続	【対応】 <ul style="list-style-type: none"> ● 本実証で利用する intdash サーバーはドメインアクセスで運用しているため IP アドレス固定は行わない。 ● マルチパス転送ゲートウェイに適應するパケット長を把握し、intdash サーバー側のパケット長を調整する。 【接続確認】 MEC からのアクセスを確認する。 遠隔監視映像を確認する。
⑧	MEC から Navya サーバーへの接続	【対応】 <ul style="list-style-type: none"> ● ネットワーク構成に合わせて装置類の IP アドレスを固定する。 ● マルチパス転送ゲートウェイに適應するパケット長を把握し、intdash サーバー側のパケット長を調整する。 【接続確認】 車両内モニターで通信状態を確認する。 インターネットから自動運転バスにアクセスする。

(2) 協調型インフラ基盤システムを活用したネットワーク品質の計測

協調型インフラ基盤システムを通して全ての通信を行っているため、本システム内で通信状態を監視し、状態をログ出力することで通信性能を計測する。計測項目を以下に示す。

- スループット⁴²(アップストリーム⁴³) (実測値、平均、分散、最大値、最小値)
- レイテンシ (実測値、平均、分散、最大値、最小値)
- パケットロス率 (実測値、平均、分散、最大値、最小値)

⁴² throughput。単位時間当たりの処理能力やデータ転送量のこと。伝送速度。

⁴³ 端末で基地局へ送信する場合の通信。

(3) 通信回線単体のネットワーク品質の計測

本実証では全て協調型インフラ基盤システム経由で通信を行うが、その効果を把握するためリファレンスデータとして定位置で通信回線単体のネットワーク品質を計測した。

以下の通信回線を対象にインターネット回線性能計測サービス(Open Internet Measurement)を利用し計測を行った⁴⁴。

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

- 計測場所
 - 設定した 8 カ所の停留所

- 計測対象
 - Softbank 回線
 - KDDI 回線

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

- 計測場所
 - 不感地帯の始まりと終わり、2 本の建柱位置とその中間点の計 5 カ所

- 計測対象
 - 光回線単体
 - 低軌道衛星ブロードバンド回線単体
 - Wi-Fi HaLow × 光回線
 - Wi-Fi HaLow × 低軌道衛星ブロードバンド回線
 - DX Wi-Fi × 光回線
 - DX Wi-Fi × 低軌道衛星ブロードバンド回線

上記計測場所にて計測対象の下記項目を計測した。

- ダウンストリーム
- アップストリーム
- レイテンシ

⁴⁴ 1 キャリアは MEC ダイレクト Sim を利用したためインターネット回線性能計測サービスの利用はできないため計測対象外とした。

7) KPI/KGI

表 8 に本実証で設定した KPI を示す。表 8(5) は自動運転走行の継続性を評価するための指標だが、粕淵ルートと比之宮ルートで表現の異なる指標を設定している。

表 8: 本実証の定性評価/定量評価基準

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	住民試乗体験者へのアンケート調査を行い、受容性に関する設問において好意的な意見 ⁴⁵ が 80%以上を満たすこと。
	(2)	遠隔監視者のアンケート調査を行い、映像品質に関する設問において好意的な意見 ⁴⁵ が 80%以上を満たすこと。
定量評価	(3)	通信回線切替えによるパケットロスが 0(ゼロ)
	(4)	レイテンシが 300ms 以下
	(5)	ユースケース①-1: 粕淵ルートのみ 通信品質に起因する自動運転走行の中断(手動介入)が 0 回
ユースケース①-2: 比之宮ルートのみ 不感地帯における走行ルート上の通信カバーエリアに 15m 以上の不感地帯がないこと。		

(1) 住民試乗体験者へのアンケート調査を行い、受容性に関する設問において好意的な意見⁴⁵が 80%以上を満たすこと【定性評価】

【計測内容】

粕淵ルートの実証期間中に試乗した一般乗員へのアンケート調査を実施する。アンケート内容は、「乗車中に危険を感じたか」、「自動運転バスを再度利用したいか」などの受容性や今後の改善に関するものである。また本結果を美郷町地域公共交通協議会に付議することで、地域のステークホルダー間で合意形成を促すとともに、将来的な社会実装に向けたエビデンスとして利用することも検討している。

【目標値】

受容性に関する設問において好意的な意見⁴⁵が 80%以上

⁴⁵ 5 段階評価(非常に満足、満足、普通、不満、非常に不満)における「非常に満足」、「満足」が対象

【設定根拠】

評価の客観性・公平性を担保した一般的な手法であるためアンケート評価を用いる。目標値の設定根拠は、前年度の国交省事業の試乗体験者に対するアンケートで得られた好意的な意見の割合と同等の目標を設定した。

【アンケート内容】

以下に住民試乗体験者に実施したアンケート内容を示す。

美郷町自動運転実証事業に関するアンケート

この度は、美郷町自動運転試乗にご参加いただき、誠にありがとうございました。本取り組みは総務省地域社会 DX 推進パッケージ事業（自動運転レベル4 検証タイプ）の事業として実施しております。次年度以降の事業実施に向けた参考にさせていただきますので、是非アンケートにご協力いただきますようお願い致します。

1. あなたの年齢を教えてください。

10代未満 ・ 10代 ・ 20代 ・ 30代 ・ 40代 ・ 50代 ・ 60代 ・ 70代以上

2. あなたの性別を教えてください。

男性 ・ 女性 ・ その他 ・ 無回答

3. あなたの属性を教えてください。

美郷町民 ・ 他地域からの来訪者

4. 自動運転車両が美郷町で実装されたらまた利用したいと思いますか。（将来も含む）

希望する ・ どちらかという并希望する →5へお進みください。

どちらかという并希望しない ・ 希望しない→7へお進みください。

5. 4. で再度の利用を「希望する」場合：理由を教えてください。（複数回答可）

安全性を感じる ・ 料金が安い/無料 ・ 乗り方が簡単（予約等）

希望する停留所がある ・ 他の交通手段より便利/早い ・ 運行時間帯が適切

その他 _____

6. 4. で再度の利用を「希望する」場合：想定利用頻度を教えてください。

週5回以上 ・ 週3～4回 ・ 週1～2回 ・ 月に1～3回 ・ 年に数回以下

7. 4. で再度の利用を「希望しない」場合：理由を教えてください。（複数回答可）
安全性を感じない ・ 料金が安い ・ 乗り方が難しい（予約等）
希望する停留所がない ・ 他の交通手段の方が便利/早い ・ 運行時間帯が不適切
その他_____

8. 1回の利用について、運賃はいくらまでであれば支払うことができますか。
100円以下 ・ 150円 ・ 200円 ・ 250円 ・ 300円 ・ 350円 ・ 400円以上

9. 普通の車両と比較して、乗車中に危険を感じる場面はありましたか。
危険を感じた ・ 危険を感じなかった

10. 9. で「危険を感じた」場合：その場면을教えてください。（複数回答可）
乗車時 ・ 発進時 ・ 停止時 ・ 緊急停止時 ・ 車線変更時 ・ 交差点通過時
交差点右左折時 ・ 歩行者と接近時 ・ 他社とすれ違ったとき ・ 車速が遅いとき

(2) 遠隔監視者のアンケート調査を行い、映像品質に関する設問において好意的な意見⁴⁶が80%以上を満たすこと【定性評価】

【計測内容】

粕淵ルート、比之宮ルートの遠隔監視員へのアンケート調査を実施する。アンケート内容は、「映像の途絶はなかったか」、「映像の品質は車内外の様子を判断するために十分なものであったか」や遠隔監視システムのユーザビリティに関する内容である。

本結果は美郷町地域公共交通協議会に付議し、地域のステークホルダーへの公開情報として活用する予定である。今後交通事業者を含み地場事業者が運転手や遠隔監視を行うことも視野に入れたヒアリング内容を検討する。

【目標値】

映像品質に関する設問において好意的な意見⁴⁷が80%以上

【設定根拠】

評価の客観性・公平性を担保した一般的な手法であるためアンケート調査を用いる。

目標値の設定根拠は、(1)の設定根拠に則して80%とした。

⁴⁶ 5段階評価(非常に満足、満足、普通、不満、非常に不満)における「非常に満足」、「満足」が対象

⁴⁷ 5段階評価(非常に満足、満足、普通、不満、非常に不満)における「非常に満足」、「満足」が対象

【アンケート内容】

以下に遠隔監視員に実施したアンケート内容を示す。

美郷町自動運転実証事業に関するアンケート（遠隔監視員向け）

本アンケートは、美郷町自動運転実証事業において遠隔監視業務をご担当いただいた方を対象に、システムおよび運営体制の改善、次年度以降の事業検討の参考とすることを目的としています。ご多忙のところ恐縮ですが、率直なご意見をお聞かせくださいますようお願いいたします。

1. あなたの監視業務経験について教えてください。
初めて・1～5回程度・6～10回程度・10回以上
2. 今回の監視業務における担当内容を教えてください。（複数回答可）
走行映像の常時監視・車両状態の確認・緊急時対応・乗客対応・その他（ ）
3. 車両から送信される映像品質について、どのように感じましたか。
非常に良い・良い・普通・やや悪い・悪い
4. 映像の解像度・明瞭さは、監視業務に十分だと感じましたか。
十分である・ある程度十分・どちらともいえない・やや不十分・不十分
5. 監視中に、映像や通信が途切れる・遅延する場面はありましたか。
頻繁にあった・時々あった・まれにあった・ほとんどなかった・全くなかった
6. 5で「途切れ・遅延があった」と回答した方：業務への影響はどの程度ありましたか。
非常に支障があった・やや支障があった・大きな支障はなかった・影響はなかった
7. 遠隔監視用UI（画面構成・操作性）は分かりやすいと感じましたか。
非常に分かりやすい・分かりやすい・普通・やや分かりにくい・分かりにくい
8. UIは監視業務をスムーズに行う上で適切だと感じましたか。
非常に適している・適している・どちらともいえない・適していない
9. 車両の挙動や周囲状況を把握するうえで、監視はしやすかったですか。
非常にしやすい・しやすい・普通・ややしにくい・しにくい
10. 監視業務中に、不安や負担を感じる場面はありましたか。（複数回答可）
判断が難しい・通信遅延・UI操作・緊急時対応・特になし・その他（ ）

1 1. 遠隔監視という業務形態について、全体としてどのように感じましたか。

非常に良い・良い・普通・あまり良くない・良くない

1 2. 今後も遠隔監視業務を担当したいと思えますか。

積極的に担当したい・機会があれば・どちらともいえない・あまり担当したくない・担当したくない

1 3. 遠隔監視システムやUIについて、改善点があればご記入ください。

(自由記述)

1 4. そのほか、遠隔監視体制全体に関するご意見・ご要望があればご記入ください。

(自由記述)

(3) 通信回線切替えによるパケットロスが 0(ゼロ)【定量評価】

【計測内容】

車載 PC～MEC 間に生じるパケットロスを協調型インフラ基盤システムの計測結果より把握する。

【目標値】

パケットロスを発生させないこと。

【設定根拠】

協調型インフラ基盤システムは複数回線を輻輳制御しアグリゲーションを行うため、通信回線切替えによるパケットロスは理論上発生しないが、実環境で実施した際の実態把握を行い、自動運転車両にシステムを組み込んだ際に期待通りの性能が発揮できていることを確認する。

(4) レイテンシが 300ms 以下【定量評価】

【計測内容】

車載 PC～MEC 間に生じるレイテンシを協調型インフラ基盤システムの計測結果により把握する。

【目標値】

300ms を越えないこと。

【設定根拠】

交通死亡事故を発生させないという観点で、自動車監視に求められるレイテンシから設定した。設定根拠を以下に示す。

条件 1. 自動運転車両の走行速度は車両機能上限の 25.0km/h(6.9m/s)とする。
実証実験を行う上での最大車速は 18km/h だがワーストケースを想定して 25.0km/h とした。

条件 2. 自動運転車両の減速度は 0.5G とする。
ブレーキ性能としては 1.0G の減速を出すことも可能だと考えられるが、車重や様々な路面状況を加味し、中央値を採用した。

条件 3. 横断歩行者の検知距離は 10.0m とする。
自動車が関連する交通事故において、事故統計から導き出された最も車両制御の応答性を要する事故シナリオとして、Euro NCAP の CPNC シナリオ⁴⁸がある。
このシナリオにおける車両と横断歩行者の衝突までの時間は単純計算で 1.4 秒となり、これは最低でも 10.0m 手前で横断歩行者を検知しなければならないことを意味する。

条件 1 と条件 2 より自動運転車両が減速を開始し、停止するまでの時間は 1.4sec であり、その時の制動距離は 4.9m となる。

また、条件 3 より自動運転車両に許される空走距離は検知距離と制動距離の差である 5.1m となり、これを自動運転車両の速度での移動時間に換算すると約 0.7sec となる。

現状、遠隔操作は本実証の対象外だが、将来的な可能性を加味して回線切替え時間と映像受信レイテンシ、遠隔制御レイテンシを加味した合計を 0.7sec と設定した。本実証において、検証する回線切替え時間と映像受信レイテンシは往路分と仮定し、その半分の 0.3sec(=300ms)と設定する。

(5) 通信品質に起因する自動運転走行の中断(手動介入)が 0 回 【定量評価】

【計測内容】

走行中に自動運転モードから手動操作に切替えた際、その原因を自動運転車両のログから把握し、要因を分析する。

【目標値】

ネットワーク品質に起因する手動介入を 0 回にする。

⁴⁸ TEST PROTOCOL – AEB VRU systems, <https://cdn.euroncap.com/media/26997/euro-ncap-aeb-vru-test-protocol-v20.pdf>

【設定根拠】

24 年度の実証事件にて、通信品質の低下により自動運転車両の自己位置推定ができず、一時的に車両が停止しオペレーターが手動介入する事例が 6 件あった。本実証では通信品質を改善することにより、意図しない緊急停止とオペレーターの手動介入回数を 0 回とする。

また、不感地帯では 15m 以上電波を受信できない区間がないことを確認する。最高速度 18km/h (5m/s) で走行する自動運転車両に対して、3 秒以上(実績値)の通信を受信しない状態が継続すると自動運転運行を停止することから 15m と設定した。

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

本検証は実施していない。

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

本検証は実施していない。

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

本検証は実施していない。

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

本検証は実施していない。

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ー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)

システムの操作性やユーザーインターフェースに関する評価について、遠隔監視に係る監視上の課題、システムのユーザビリティ、監視員の負担に関するアンケート調査を行う。

【実施期間】

粕淵ルート : 2025年12月16日～2025年12月22日(計7日間)

比之宮ルート : 2026年1月22日～2026年1月28日(計7日間)

【対象者】

遠隔監視者のべ4名(各ルート2名体制)

【サンプル数】

遠隔監視者 2名(各ルート1名)×実施期間7日分

【質問項目】

各質問は、「非常に満足、満足、普通、不満、非常に不満」の5段階評価に加えて自由記述欄を設ける。

- 監視上の課題
 - 遠隔監視中の車内外の映像の乱れや遮断、車両上等の途絶等の問題はなかったか
 - 遠隔監視システムの映像品質は車内外の様子を判断するために十分なものであったか
- 遠隔監視員の負担
 - 接続が途切れて監視できない事象はあったか
 - 接続が途切れて復旧作業を必要とする事象はあったか
 - オペレーターと連絡が取れない事象はあったか
- 監視システムのユーザビリティ
 - システムの操作性
 - インターフェースの配置、文字サイズ
- その他
 - その他要望

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

運用性向上を評価する定量値、その定量値の定義と検証方法を示す。

人員配置の効率化や自動運転率の向上により、運用コスト(費用、工数を含む)を低減することができ、地域交通サービス持続性に寄与できる。

1. 継続した自動運転作動によるオペレーターの手動介入率の低減

A) 定義:

手動介入率 = 1 - 自動運転率 (①)

①・・・自動運転による総走行距離(②)÷実証中の総走行距離(③)

②・・・遠隔監視システムのログ、ドライビングレコーダー、日報から算出

③・・・実証実験ルートの距離×1日の便数×実証日数

B) 検証方法:

遠隔監視システムのログ、ドライビングレコーダー、日報と実証中の総走行距離の情報を基に自動運転率を算出する。算出した自動運転率から手動介入率を算出する。

2. 監視拠点の集約による人員数

A) 定義:

自動運転サービスを安全に運行する上で必要となる人員数

B) 検証方法:

25年度実証(通信品質改善による人員削減案と実証)実績と24年度国交省実証の実績を比較する。

○ デマンド交通を取り入れた際の人員配置数の差を比較する

○ 通信品質が改善することによる人員配置数の差を比較する

3. イレギュラー対応(手動切替え等)時のリードタイム(オペレーターと遠隔監視室の連携)

A) 定義:

トラブル/緊急事態に対する遠隔監視者の初動対応可否、対応時間

B) 検証方法:

24年度実証を経験した担当者に本年度の実証にも参加して、前年度との差をヒアリングする。

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

情報セキュリティのため、遠隔監視システム面と運用面における対応を示す。以下の内容は、本実証実験に関わる関係者全員に明示し、周知する。

【取扱う情報】

- 個人情報(機微な個人情報は含まない)
 - 車内外の撮影映像／画像
 - 車内音声
- 車両情報
 - 車速
 - 舵角
 - 自動運転車両の位置
 - 自動運転モード(オート or マニュアル)
 - ドアの開閉状態
 - バッテリー残量
 - バッテリー充電状態

【遠隔監視システム(公開システム)面のセキュリティ】

- 遠隔監視システム(everfleet)をintdashサーバー上で動作させている。
- 前述の【取り扱う情報】に記載の情報を取り扱うにあたり、社内の情報セキュリティ規則(ICT編)に準拠した手順でシステム開発を行っている。
- 社内の公開システムに対するリスクマネジメントプロセスに則り、CSOC(Cyber Security Operational Center)のガーディアンによる第三者組織のセキュリティ診断を受け、必要に応じて情報セキュリティリスク対応を実施している。
- IntdashサーバーにアクセスできるIPアドレスを固定しており、固定IPを契約の上限られた場所からのみのアクセスを許容している。

【運用面のセキュリティ】

取扱う情報のセキュリティを担保するため、車両、遠隔監視室、遠隔監視装置⁴⁹(PC)のセキュリティ対策として以下を講ずる。

- 自動運転車両の運用
 - 使用しない場合、もしくは監視人員、オペレーターが不在の場合は車両の施錠を行う

⁴⁹ 特定自動運行用自動車の周囲の道路及び交通の状況並びに当該特定自動運行用自動車の状況を、映像及び音声により確認することができる装置。

- 遠隔監視室の運用
 - 使用しない場合、もしくは遠隔監視員が不在の場合は、監視室の施錠を行う
 - 使用しない場合、もしくは遠隔監視員が不在の場合は、遠隔監視用 PC のスクリーンロックを有効にする

- 遠隔監視用 PC の設定
 - OS やソフトウェア(ブラウザ等)は常に最新の状態にしておく
 - ウイルス対策ソフトウェアをインストールする
 - ログインパスワードは長く複雑にし、他と使いまわさないようにする
 - (可能であれば)Windows Hello 等の多要素認証を利用する
 - スクリーンロックを設定する
 - ファイアーウォールを有効にし、不要なポートは閉じる
(映像や車両情報を受信する際に使用するプロトコルは解放可能)
 - 遠隔監視用 PC で不要な作業(関係のない Web サイト閲覧やメールサービスへの使用等)を行わない

記載のセキュリティ対策は、弊社内セキュリティ基準をベースに、NISC インターネットの安全・安心ハンドブック(中小組織向け)と国交省の遠隔監視要件チェックリストの内容を基に決定した。

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

本実証において、新たに追加する機器はマルチパス転送ゲートウェイと IaaS 環境、追加の Wi-Fi ルーターのみである。そのため、機器や設備単体での維持管理・保守は必要とせず、通信システム全体の通信品質で維持管理・保守のためのモニタリングや対応を行う計画である。

インフラ面、自動運転面、通信品質面の維持管理・保守を合わせて以下の指標を用いて評価し、管理する。

指標①: 車両トラブル・システムエラーによる手動介入回数

通信品質に起因する車両トラブル・システムエラーによりオペレーターが手動操作に切替える回数とその際の理由を管理する。

指標②: 車両トラブル・システムエラーによる運休回数

通信品質に起因する車両トラブル・システムエラーにより運行に支障をきたした際の回数とその理由を管理する。

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

通信システムの導入有無による①手動介入回数、②運行停止時間の変化について、24 年度の実証実験で行った上記①と②の計測手法を用いて結果を比較することで、それらの変化を把握する。

以下に 24 年度に実施した評価方法とその結果、本実証実験による目標値を示す。

【評価方法】

① 手動介入件数

- オペレーターによる運行記録内容を把握する。
- 遠隔監視システムのログ解析による手動介入時間を把握する。
- 走行録画アーカイブの見直し等も実施する。
- システムログで判断できない事象については、必要に応じてオペレーターへの詳細状況や手動対応時間のヒアリングを行う。

② 運停時間

- オペレーターによる運行記録内容を把握する。
- 遠隔監視システムのログ解析によりシステムエラーによる停止を判断する。
- システムエラーにより予め決定しておいた運行計画に対する遅れ時間を累積する。
- システムログで判断できない事象については、必要に応じてオペレーターへの詳細状況や手動対応時間のヒアリングを行う。

【24 年度に実施した実証実験の結果】

① 手動介入件数： 44 件

内訳

- 想定内の原因(信号通過、路駐車両回避など) : 38 件
- 想定外の要因(通信品質の低下) : 6 件

② 運行停止 : 2 件

内訳

- 想定外の原因(通信品質の低下による自己位置取得失敗) : 1 件
- 想定外の原因(センサ接続異常) : 1 件

太字斜体:本実証での解決対象

【目標値】

① 手動介入件数

24 年度の実証実験で 6 件あった手動介入件数を、本実証では 0 件にする。

② 運行停止時間

24 年度の実証実験で 11 件あった運休(停止時間 1 時間)を、本実証では 0 時間にする。

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

表 9 に安全性・円滑性向上に関する取り組みを「車両」、「運行サービス」、「遠隔監視体制」×「乗客」、「周辺歩行者」、「他車両」の 9 つの観点で設定した。以下の対応により、自動運転サービスの運行を安全かつ円滑に遂行する。

表 9:安全性・円滑性向上に対する取り組み

項目	安全性担保に資する特徴		
	乗客に対して	周辺歩行者に対して	他車両に対して
車両	<p>シートベルトによる安全確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 最大速度 18km での走行ではあるが、乗客は着座シートベルト必須で運行する。 <p>特別な配慮が必要な乗客への対応</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ベビーカーでの乗車は NG としており、抱っこひもでの乗車を必須としている。 ● 車椅子のお客様は車椅子のタイヤロックと補助者 1 名同乗を必須としている。 	<p>センサによる安全確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 車両に 10 個の LiDAR を具備しており、360 度死角がないようセンサにて検知可能である。 <p>車両からの注意喚起による対応(歩行者向け)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 車両外装に自動運転走行の注意喚起用の目立つステッカーを貼付する。 ● 自動運転走行前から十分に周知し、自動運転走行することを理解いただく。 ● 車両接近装置を具備する。 ● 必要に応じて、ホーンを鳴らし自動運転走行していることを知らせる。 	<p>センサによる安全確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 車両に 10 個の LiDAR を具備しており、360 度死角がないようセンサにて検知可能である。 <p>車両からの注意喚起による対応(他車両向け)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 車両外装に自動運転走行の注意喚起用の目立つステッカーを貼付。 ● 自動運転走行前から十分に周知し、自動運転走行することを理解いただく。 ● 車両接近装置を具備する。 ● 必要に応じて、ホーンまたはクラクションを鳴らし自動運転走行していることを知らせる。
運行サー	<p>乗車時のオペレーションによる安全確保</p>	<p>オペレーターによる安全確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ● セーフティドライバーを運行 	<p>運行要員による安全確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ● セーフティドライバーを運行

<p>ビス</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 乗車後、運行開始前に注意事項を十分に説明する。 <p>運行要員による安全確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ● セーフティドライバーを運行中は常時設置しており、臨機応変に必要な応じて運転や各種対応が可能である。 ● 必要に応じて安全のため保安要員を設置することもあり。 	<p>中は常時設置しており、臨機応変に必要な応じて運転や各種対応が可能である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 必要に応じて安全のため保安要員を設置することもあり。 <p>走行ルート上での事前の安全確保(歩行者向け)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 必要に応じて、走行ルートに注意喚起看板、路面標示を実施する。 	<p>中は常時設置しており、臨機応変に必要な応じて運転や各種対応が可能である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 必要に応じて安全のため保安要員を設置することもあり。 <p>走行ルート上での事前の安全確保(他車両向け)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 必要に応じて、走行ルートに注意喚起看板、路面標示を実施する。
<p>遠隔監視体制</p>	<p>車両内の遠隔監視・サポートによる安全確保</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 車両内にカメラとマイクを設置し、運行中は常時車両内を監視する。 ● 監視しているデータは全てクラウドに保管する。 ● 必要に応じて駆けつけられる体制を構築する。 	<p>車両内の遠隔監視・サポートによる安全確保(歩行者監視)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 車両外にカメラを設置しており、運行中は常時車両外を監視する。 ● 監視しているデータは全てクラウドに保管する。 ● 必要に応じて駆けつけられる体制を構築する。 	<p>車両内の遠隔監視・サポートによる安全確保(他車両・路面監視)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 車両外にカメラを設置しており、運行中は常時車両外を監視する。 ● 監視しているデータは全てクラウドに保管する。 ● 必要に応じて駆けつけられる体制を構築する。 ● 危険個所については、路面側にもカメラ設置を検討し、遠隔監視者にて確認する。

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

【向上効果】

中山間地域における通信品質の向上、不感地帯での通信環境の構築による向上効果を以下に示す。時間短縮と交通利便性の向上は効果が重複する。

- 柔軟化
通信品質の向上によりルート選定の制約を緩和する
- 時間短縮
デマンド走行を取り入れることで利用者の要望に応じ不要な停留所をスキップする

- 交通利便性の向上
 - 通信品質の安定化によりデマンド交通を実現する
 - デマンド走行を取り入れることで利用者の要望に応じ不要な停留所をスキップする

【向上効果の評価方法】

- 柔軟化
 - 通信品質確保エリアカバー率(通信品質確保できている距離÷総距離)
 - 品質改善率(伝送帯域変化、レスポンス)
- 時間短縮
 - 運行停止時間
 - 費用対効果(稼働時間と運搬人数、運搬量)
- 交通利便性向上
 - 1 便の総走行距離、総走行時間(平均時速の向上)
 - 利用者アンケート結果

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

【収入拡大策】

本町では既存のバス路線運行業者の赤字負担として、6,000 万円/年を投じている。上記から本町内での自動運行バス事業は既存の乗り合いバスとしてのビジネスモデルを再現しても収益性が低い状況である。こうした背景から本町では自動運転の収入確保に向けて以下の項目を見込んでいく。

- 企業協賛
2027 年以降 2,000,000 円~/年
産・学・民からの協賛金を募る。
- 貨客混載
2026 年以降 240,000 円~(2 万円/月)
飲食店の出前や、商店の配達などへの活用を募り、協賛金として月額費用を徴収する。
- 視察収入
2026 年以降 600,000~2,400,000 円(5 万円×1~4 組程度/月)
 - 島根県初の EVO の実証実験のため、県下を中心に多くの視察が見込める。
 - 本町は害獣であるイノシシを捕獲・加工販売するビジネスモデルを確立しており、ジビエ関

連に興味のある自治体からの視察が多く、中山間地域自治体は交通についても本町同様の課題を持つことから、視察メニューへ自動運転バスを組み込むなどの対応を実施し視察収入拡大を図る。

- 広告収入
2026 年以降 400,000 円/年～（広告内容に応じて 1～5 万円/週×出稿数 0～10 程度）
車内ディスプレイを設置し、広告出稿料金による収入確保を行う。
- 降雪期(毎年約 3 か月)のリソース活用(今後、除雪時のコスト対効果を検証)
2027 年以降 27,000,000 円/年
 - 車両レンタル料：150 万円/月×台
 - 車両オペレーター・遠隔監視員派遣料：120 万円/月×人

【支出削減策】

本町では地域公共交通機関の維持として自動運転技術の活用を目指しているが、現時点では乗客の安全・安心を考慮し、事業開始から実装までの期間についてはオペレーターや保安員配置によるサポートを手厚く行う。

- 輸送費用
車検・故障の対応を町内事業者で行うことによる輸送コスト削減を実施する。
- 燃料費
電気を動力源とする車両を選定することによりガソリン代と比較して燃料費を削減する。
- 人件費(車両側)
将来的にレベル 4 運行が定着した際のオペレーター・保安要員の削減を実施する。
- 人件費(監視側)
将来的にレベル 4 で複数台運行を行った際の遠隔監視員の削減を実施する。

【事業費確保案】

- ふるさと納税
2026 年度～ 自動運転関連への分配 300 万円/年
- 単費、既存バス事業への補助の転用
2026 年度～必要に応じて 3,500 万円/年を想定している。本町では年間約 6,000 万円をバス事業者の赤字補填に投じている。自動運転車の実装レベル(距離・頻度)に応じて、赤字補填のための補助金を自動運転バスの維持管理費充当を検討する。

- 補助金
 - 国土交通省 地域公共交通確保維持改善事業費補助金(自動運転社会実装推進事業)
 - 国土交通省 道路局:路車協調システムに関する実証実験補助金

その他活用可能な補助金については随時活用する予定である。

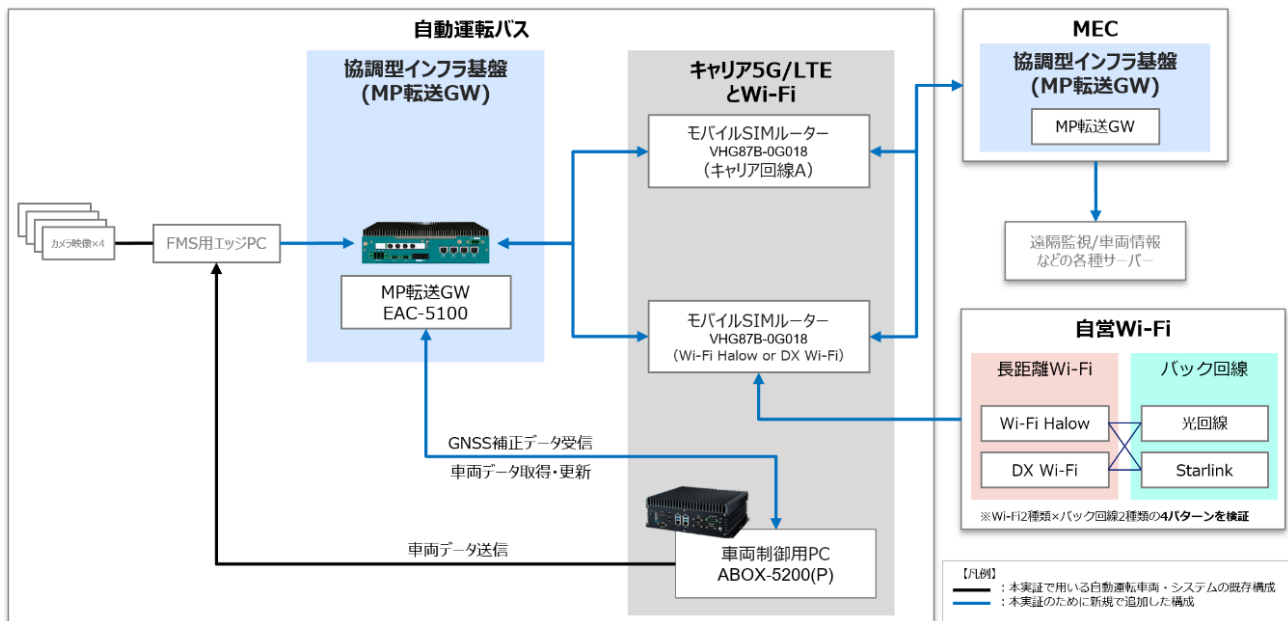


図 8:比之宮ルートでのシステム構成

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

協調型インフラ基盤システム(Ver.2.0)のマルチパス転送ゲートウェイは、異種・複数フローの収容や外部との連携を特徴とするシステムである。

一方で、連携するシステムの MTU(パケット長)の調整に専門的な知識を必要とする場合がある。マルチパス転送ゲートウェイは車両-MEC 間で Multipath QUIC によりトンネルを確立し、車両側で受信した IP パケットを QUIC の DATAGRAM フレームに格納して転送する。受信側では、DATAGRAM フレームから取り出しを行い、宛先アプリケーションへ転送する。

パケット長が DATAGRAM に格納できるサイズを上回ると破棄されるため、経路上の最小 MTU や、トンネル化に伴うオーバーヘッドを踏まえた MTU の調整が必要となる。MTU 値は使用する通信回線や連携システムにより異なるため、事前準備と専門知識を必要とする⁵¹。表 10 に本実証で設定した各システムのパケット長のパラメータを示す。

⁵¹ 次期の MP 転送 GW(MP 転送 GW 3.0)では、通信経路上の最小 MTU を算出するためのツールが提供される予定であり、当該ツールで算出された値を所定の設定箇所に投入することで、設定作業の簡素化・属人性の低減が図られる計画である。

表 10:本実証で設定したパケット長(MTU)パラメーター一覧⁵²

連携システム	本実証で設定したパケット長(MTU)
マルチパス転送ゲートウェイ	1335 byte
FMS 用ルーター	1500 byte
自動運転車両用ルーター	1350 byte
Intdash サーバー	1300 byte

⁵² 本実証環境における設定例であり、回線構成や経路上の最小 MTU 等により適切な値は変動する。

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

6.1.1 通信環境整備が不十分な中山間地域でのモバイル通信と Wi-Fi 通信の併用による通信帯域確保の有用性と遠隔監視要求仕様に関する検証

1) 実証スケジュール

本実証は、図 9 に示すスケジュールで推進した。8月～11月にかけて自動運転車両と遠隔監視システム、そして今回導入する協調型インフラ基盤システムの接続疎通確認を行うための事前検証・環境構築を行った。

また、前述の通り 2 つの目的の異なる実証実験を実施するため、12月にユースケース①-1の粕淵ルート、1月にユースケース①-2に示す比之宮ルートの実証実験を計画した。

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			
①	実証準備 (事前計測、 物品調達等)		機器調達			環境調査		環境構築						
	事前検証/ 車内環境構築				事前検証/ 車内環境構築		事前検証/ 車内環境構築							
	粕淵ルート 現地実証 (12/16～22)													
	比之宮ルート 現地実証 (1/22～28)													
	中間報告 (11/13)													
	視察会 (1/26)													
	最終報告 (2/16)													
	データ解析													
	報告書作成													

図 9: 実証スケジュール概要

2) 開発・評価項目の結果

表 11 に本実証における開発・評価項目を示す。本実証では協調型インフラ基盤システムを自動運転車両と遠隔監視システムに組み込むためのネットワーク構成変更と、変更に伴う通信設定変更が主な対

応となる。

評価項目については、協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイを通して行われた通信の品質を計測するため、本システムに備わるログ・監視機能を活用する。また、実証地既存のモバイルネットワークや Wi-Fi 通信網、固定回線の素性を把握するため、参考情報として通信ネットワーク単体での計測を実施した。

表 11:本実証における開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	<p>【協調型インフラ基盤システムの導入】</p> <p>本実証で使用する自動運転車両は、下記 2 系統のネットワークシステムが備わっている。</p> <p>① GNSS 補正情報の受信や車両情報の送受信を行うためのネットワークシステム ② 遠隔監視システム(everfleet)用のネットワークシステム</p> <p>本実証では、この①と②の2系統のネットワークシステムを協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイで担うように構成と各システムの設定の変更を行った。</p>
(2)	<p>【協調型インフラ基盤システムを活用したネットワーク品質の計測】</p> <p>協調型インフラ基盤システムを通して全ての通信を行っているため、本システム内で通信状態を監視し、状態をログ出力することで通信性能を計測した。</p> <p>評価項目は、レイテンシとパケットロス率に加えて参考情報としてスループット(アップストリーム)を計測する。</p>
(3)	<p>【通信回線単体のネットワーク品質の計測(参考)】</p> <p>本実証では全て協調型インフラ基盤システム経由で通信を行うが、その効果を把握するため、便宜的に定位置(各停留所)や不感地域内で通信回線単体のネットワーク品質を計測した。</p> <p>評価項目はダウンストリーム、アップストリームとレイテンシである。</p>

(1) 協調型インフラ基盤システムの導入結果

図 10 の①～⑧の接点において、IP アドレス、デフォルトゲートウェイの設定や各システムのパケット長の調整などを行い、下記の点の確認ができたため本構成／設定で実証実験本番に臨んだ。実証地の通信環境に応じた協調型インフラ基盤システムのパラメータ調整は現地環境で実施する必要があるため、下記以外の調整は現地での自動運転車両等のセットアップが完了し次第実施する予定である。

- ①～⑧の全接点での疎通確認
- 遠隔監視映像の確認
- インターネットからの自動運転バスへのアクセス

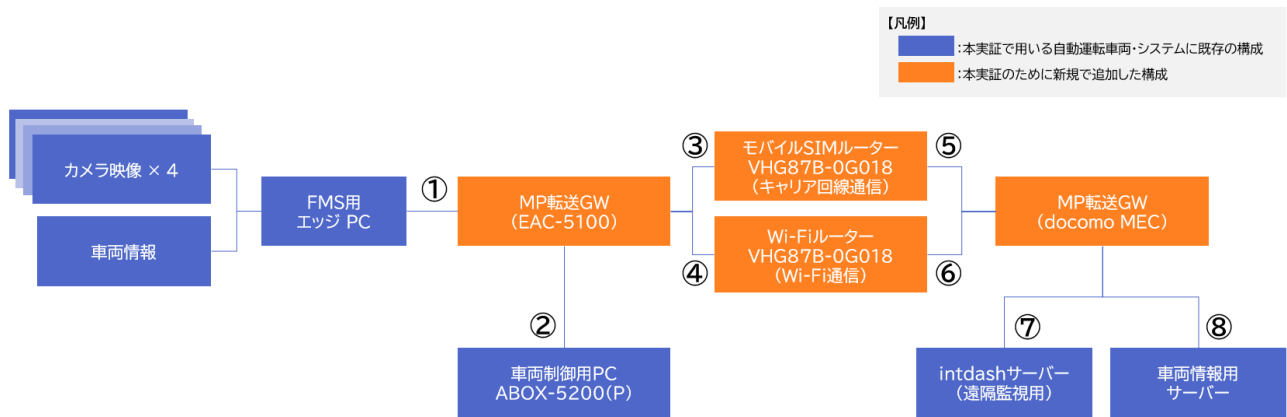


図 10: 本実証の簡易ネットワークシステム構成

以下に①～⑧の疎通確認の結果を表 12 に示す。

表 12: 事前検証における疎通確認の対応内容と結果

#	対応内容	対応結果	
①	車載 PC と FMS 用エッジ PC の疎通	OK	FMS 用エッジ PC からのパケット受信を確認できた。
②	車載 PC と 車両制御用 PC の疎通	OK	車両制御用 PC からのパケット受信を確認できた。
③	車載 PC と モバイル SIM 用ルーターの接続	OK	ルーターからの PING 応答を確認できた。
④	車載 PC と Wi-Fi 用ルーターの接続	OK	ルーターからの PING 応答を確認できた。
⑤	モバイル通信経由での MEC へのアクセス	OK	MEC 側で車載 PC からのパケット受信を確認できた。
⑥	Wi-Fi 通信経由での MEC へのアクセス	OK	MEC 側で車載 PC からのパケット受信を確認できた。
⑦	MEC から 遠隔監視用サーバーへの接続	OK	1. サーバーのログを確認し、MEC のグローバル IP からのアクセスを確認できた。 2. 遠隔監視システムでの遠隔監視映像を目視確認できた。
⑧	MEC から Navya サーバーへの接続	OK	1. 車両内モニターで通信状態であることを確認できた。

			2. インターネットから自動運転バスにアクセスし車両状態を確認できた。
--	--	--	-------------------------------------

(2) 協調型インフラ基盤システムを活用したネットワーク品質の計測結果

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

自動運転車両の運行ルート上に設置した停留所毎にスループット(アップストリーム)、レイテンシとパケットロス率を計測した。システムログ⁵³を用いて算出した結果を表 13 に示す。

表 13: 停留所位置毎の平均実測値

計測場所(停留所)	スループット [Mbps]	レイテンシ [ms]	パケットロス率 [%]
美郷町役場	3.25	99.14	0.35
しんきん前(往)	3.25	99.54	0.35
粕淵駅前(往)	3.25	100.50	0.35
防災公園前(往)	3.25	101.74	0.36
浜原下市(往)	3.25	102.09	0.36
浜原中町(往)	3.25	101.84	0.36
浜原駅前(往)	3.25	101.84	0.36
サステナブルハウス前	3.24	101.81	0.37
浜原駅前(復)	3.24	101.45	0.36
浜原中町(復)	3.24	101.11	0.36
浜原下市(復)	3.24	100.84	0.36
防災公園前(復)	3.24	100.79	0.36
粕淵駅前(復)	3.24	100.62	0.36
しんきん前(復)	3.24	100.30	0.36

⁵³ 100ms 毎に記録

- スループット(アップストリーム)の実測値

図 11 に運行ルートを自動走行した際に計測したスループット(アップストリーム)の実測値を示す。4 便(往復)／日で 7 日間運行したため各停留所には 56 回停留(N=56)した結果である。

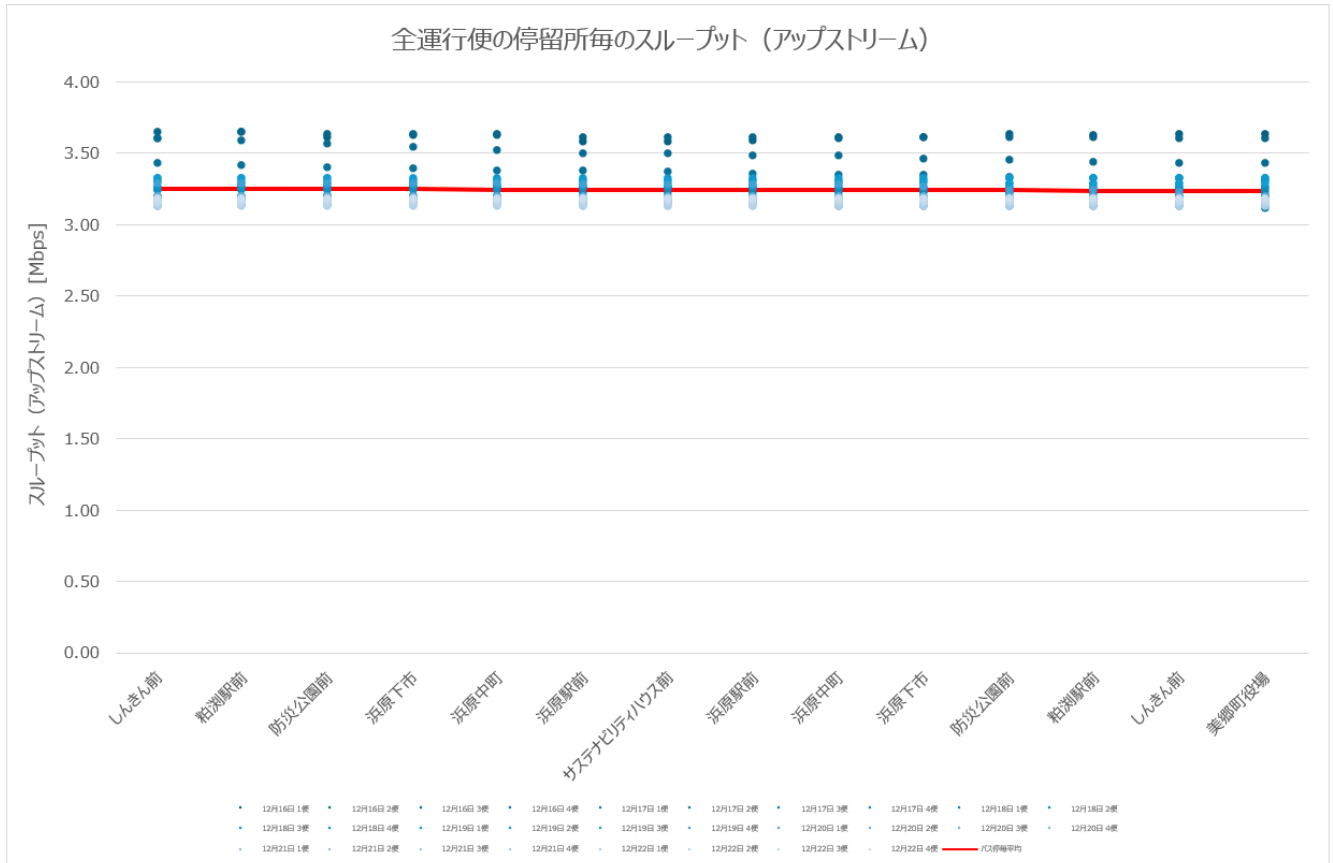


図 11:全運行便の停留所毎のスループット(アップストリーム)の実測値

- 全運行ルート上の実測値が安定して約3Mbps のスループット(アップストリーム)を確保することができた。(KPI 指定なし)
- ここで示しているスループット(アップストリーム)は3キャリア回線のスループット(アップストリーム)をアグリゲーション(合計)した結果であり、実際に通信で利用された実測値である。
- スループット(アップストリーム)が安定して 3Mbps 付近で遷移している理由は、今回の構成における自動運転車両システムと遠隔監視映像が必要とする帯域が約 3Mbps であることを意味するため、比之宮ルートの KPI 達成判断基準として活用する。
- 24 年度の実証実験で発生した、GNSS 補正データの受信が不安定になり自動運転モードが解除される事象は一度も発生しなかった。
- 24 年度の実証実験で発生した、遠隔監視映像が1秒以上途絶する事象は一度も発生しなかった。

- レイテンシの実測値

図 12 に運行ルートを自動走行した際に計測したレイテンシの実測値を示す。スループット(アップストリーム)と同様に 4 便(往復)／日で 7 日間運行したため各停留所には 56 回停留(N=56)した結果である。

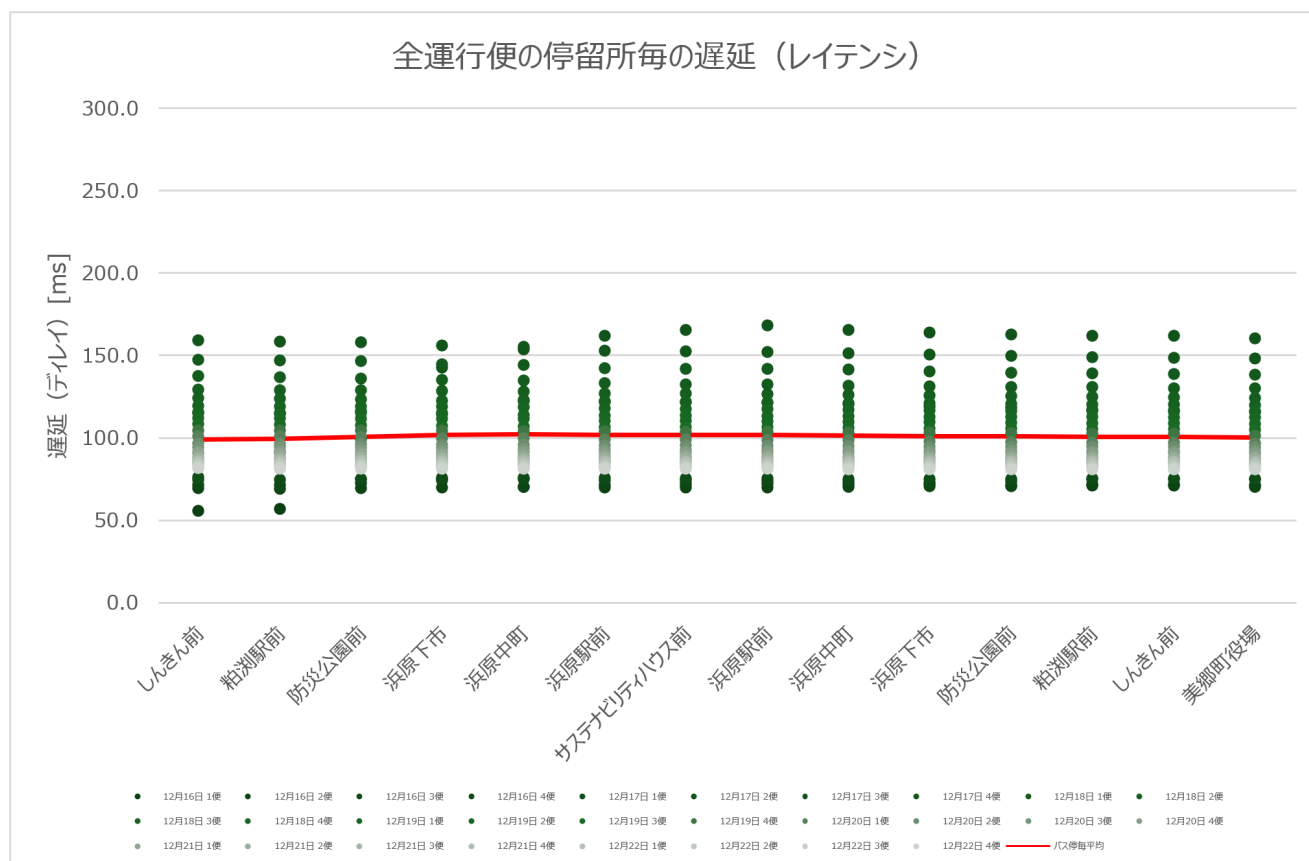


図 12:全運行便の停留所毎の遅延(レイテンシ)の実測値

- 全運行ルート上で安定して約 100ms のレイテンシに抑えることができた。(KPI 指定あり:300ms を越えないこと)
- ここで示しているレイテンシは各キャリア回線のレイテンシのワースト値を提示しており、協調型インフラ基盤システムは遅延の大きな回線にはパケットを流さない特徴があるため、実行実績としては 100ms 未満のレイテンシで作動している。
- 実証期間中に計測した最大のレイテンシは約 167ms であり、この場合でも KPI 要件を達成している。
- 自動運転車両の運行及び遠隔監視で1秒以上の遅れが生じることはなかった。
- 自動運転運行において、平均 100ms(瞬間最大 167ms)のレイテンシは許容可能だと分かった。

● パケットロス率の実測値

図 13 に運行ルートを自動走行した際に計測したパケットロス率の実測値を示す。スループット(アップストリーム)、レイテンシと同様に 4 便(往復)／日で 7 日間運行したため各停留所には 56 回停留 (N=56)した結果である。

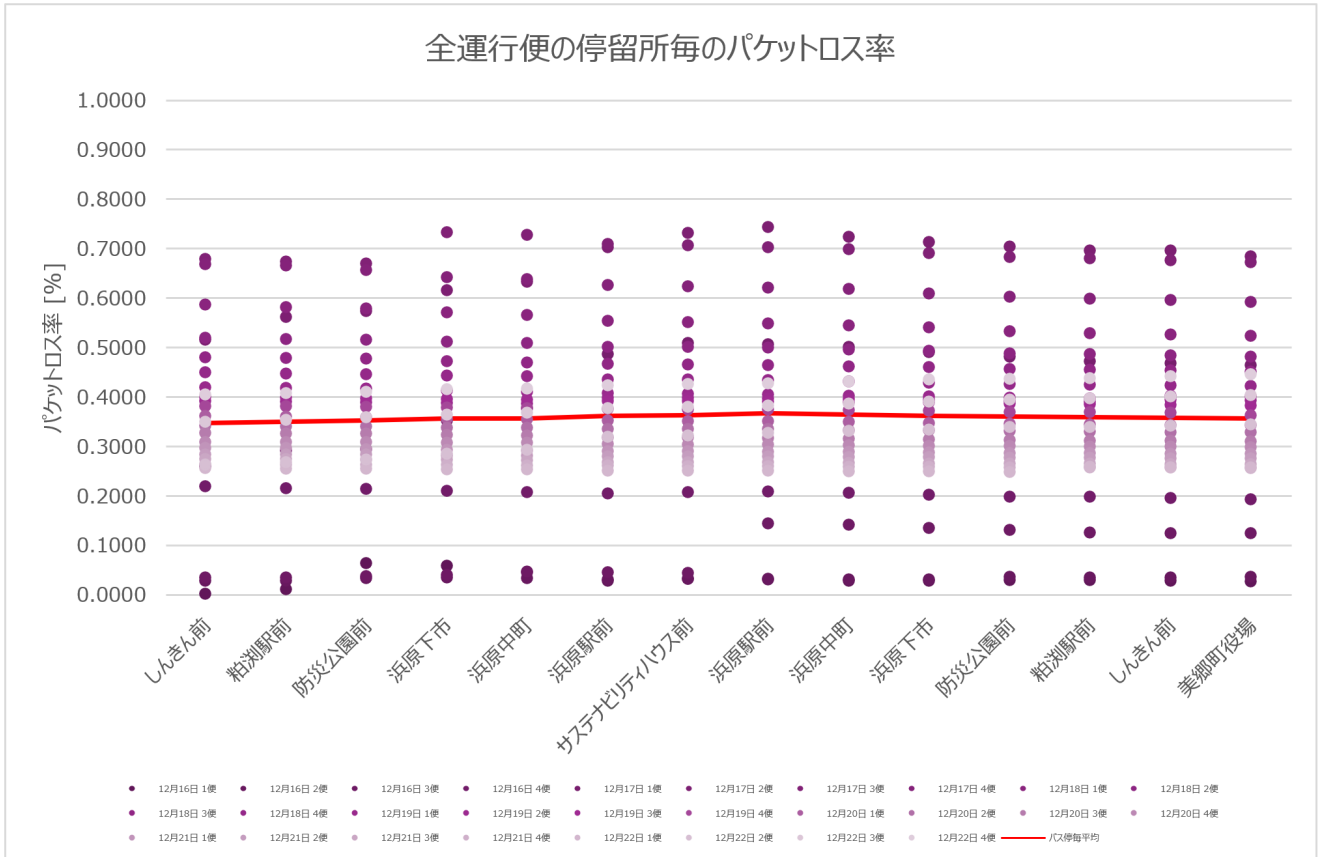


図 13:全運行便の停留所毎のパケットロス率の実測値

- 全運行ルート上で安定して約 0.35%のパケットロス率に抑えることができた。(KPI 指定あり: 回線切替えに伴うパケットロス 0%)
- ここで示しているパケットロス率は各キャリア回線で発生したパケットロス率から算出したシステム全体のパケットロス率である。
- 協調型インフラ基盤システムは複数回線を切り替えるのではなく、アグリゲーション制御をおこなうため理論上回線切り替えに伴うパケットロスは生じないが、車載 PC と MEC の間で発生したパケットロスを加味しても約 0.35%となっており、自動運転車両の運行・遠隔監視に影響のない値だと考えられる。
- 自動運転車両の運行及び遠隔監視で1秒以上の遅れは発生しなかった。
- 自動運転運行において、平均 0.35%(瞬間最大 0.75%)のパケットロスは許容可能だと分かった。

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

自動運転車両で不感地帯を走行中し、スループット(アップストリーム)、レイテンシとパケットロス率を計測した。システムログ⁵⁴から取得した不感地帯を走行中の各計測値の平均と標準偏差を表 14 に示す。

表 14:バック回線と Wi-Fi 規格の組合せ毎の平均実測値

バック回線	Wi-Fi 規格	スループット [Mbps]	レイテンシ [ms]	パケットロス率 [%]
低軌道衛星 ブロードバンド 回線	Wi-Fi HaLow	4.54	755.71	48.37
光回線	Wi-Fi HaLow	0.30	1389.42	46.34
低軌道衛星 ブロードバンド 回線	DX Wi-Fi	2.54	496.93	32.70
光回線	DX Wi-Fi	0.57	653.90	13.51

データ計測に関して、車両調律や実証運行中に発生した降雪や路面凍結のため作業中止や運休した影響により 20 便(5便/日×4 日間)のデータ取得を計画していたが 12 便分の定期運行しかお越えなかった。そのため、データ取得を目的として追加で走行した 7 便を合わせて合計 19 便(N=38)の結果を示す。

本実証ではバック回線と Wi-Fi 規格の 4 パターンの組合せの検証が必要なため、各条件のデータ数を表 15 に示す割合で取得した。Wi-Fi HaLow は実証開始時に粕淵ルートで設定したスループットを確保することができず、実際遠隔監視映像の伝送が不可能であったため、データ取得を切上げ、DX Wi-Fi のデータ取りに注力した。そのため、Wi-Fi HaLow と DX Wi-Fi で取得したデータ数に差が生じる結果となっている。

表 15:バック回線と Wi-Fi 規格毎のデータ取得数

バック回線	Wi-Fi 規格	データ数
低軌道衛星ブロードバンド回線	Wi-Fi HaLow	6
光回線	Wi-Fi HaLow	6
低軌道衛星ブロードバンド回線	DX Wi-Fi	14
光回線	DX Wi-Fi	12
合計		38

⁵⁴ 100ms 毎に記録

- スループット(アップストリーム)の実測値

図 14 に不感地帯を通過した際に計測したスループット(アップストリーム)の実測値を示す。評価に使用したデータ数は、表 15 で示した通りである。

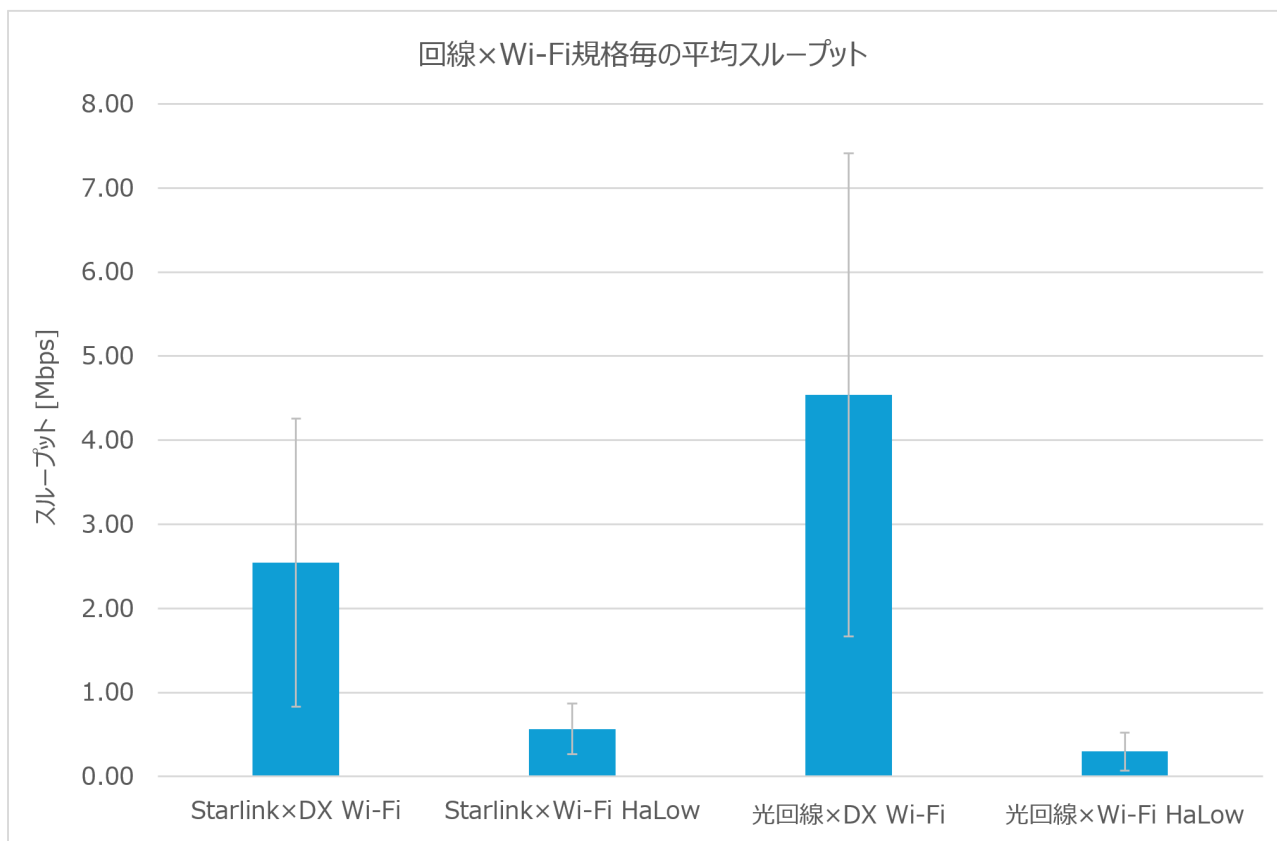


図 14:回線×Wi-Fi 規格毎の平均スループット(アップストリーム)

- DX Wi-Fi は、約 2.5Mbps～4.5Mbps のスループット(アップストリーム)の帯域を確保することができ、粕淵ルートの実証結果から設定した約 3Mbps 以上の要件を満たしているため、自動運転運行・遠隔監視に必要な通信帯域を確保できることが分かった。
- Wi-Fi HaLow は約500Kbps～700Kbps のスループット(アップストリーム)しか帯域を確保することができず、自動運転運行・遠隔監視に必要な通信帯域を確保できなかった。
- Wi-Fi HaLow が利用している 920MHz 通信は Duty 比 10%の制約が電波法で定められており、また電波を確実に遠くまで送信することを目的とした IoT⁵⁵向けの製品であるため、リアルタイムに複数の映像伝送する用途に適さなかった可能性がある。

⁵⁵ Internet of Things の略。コンピュータなどの情報・通信機器だけでなく、世の中に存在する様々な物体(モノ)に通信機能を持たせ、インターネットに接続したり相互に通信することにより、自動認識や自動制御、遠隔計測などを行うこと。

- 低軌道衛星ブロードバンド回線と光回線の差異について、低軌道衛星通信単体調査の結果でも光回線と同等の性能であったことから、図 14 の結果も計測バラつきに吸収される程度の差であり、自動運転運行・遠隔監視に十分な通信性能を確保できることを再確認した。

- レイテンシの実測値

図 15 に不感地帯を通過した際に計測したレイテンシの実測値を示す。スループット(アップストリーム)と同様に評価に使用したデータ数は、表 15 で示した通りである。

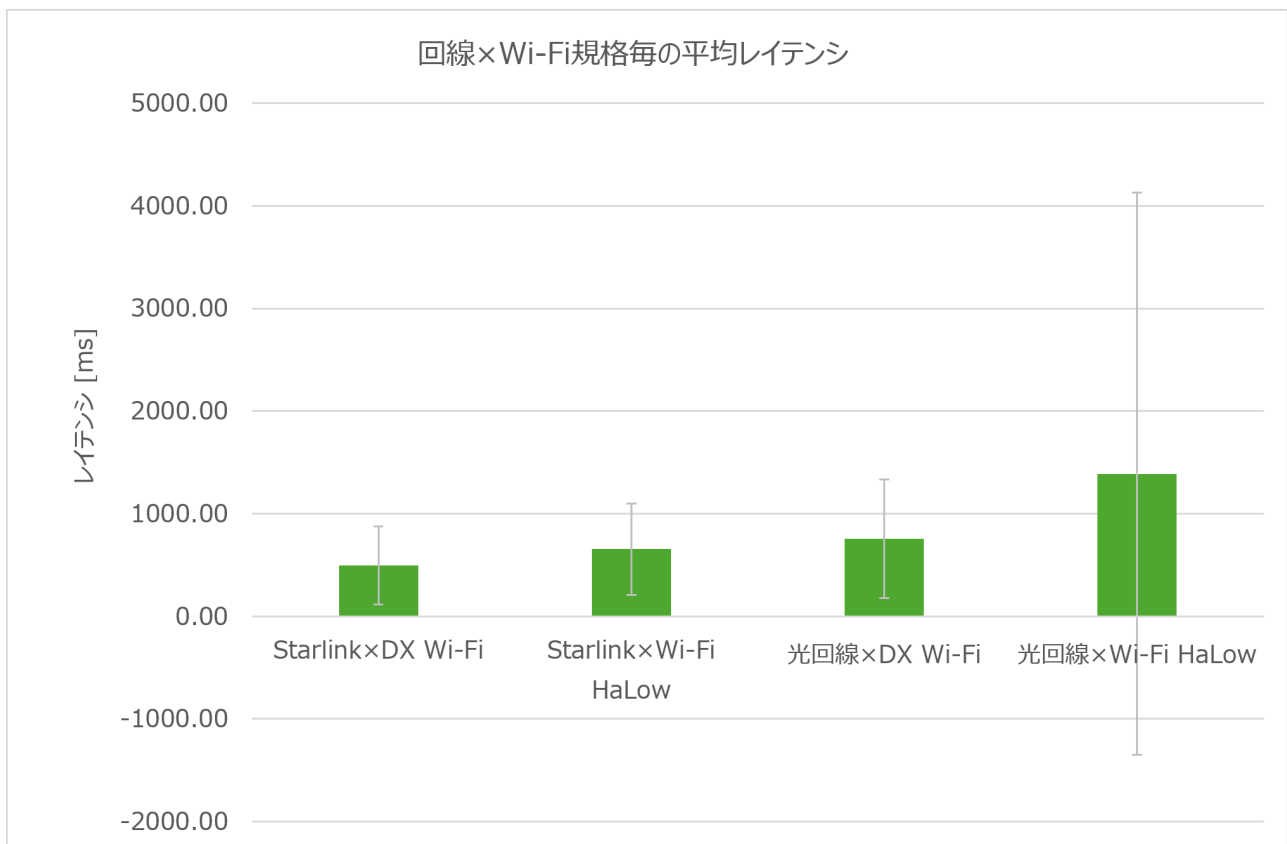


図 15:回線×Wi-Fi 規格毎の平均レイテンシ

- DX Wi-Fi は約 496ms～755msのレイテンシが、Wi-Fi HaLow では 653ms～1389ms のレイテンシが発生する結果となった。
- DX Wi-Fi ではスループット(アップストリーム)を確保できていることから、不感地帯からの遠隔監視映像の伝送を実現することができたが、1 秒以上の映像の停止やコマ落ちが発生する結果となり、レイテンシの遅さやパケットロスの大きさに起因したものと考えられる。
- DX Wi-Fi や Wi-Fi HaLow に直接インターネットに接続した際のルーター～インターネットの回線性能計測では、後述する表 17 に示す通りパケットは正常に流れている。

- 一方で、実運用トラフィックでは MTU 整合(パケットサイズ)や経路上の輻輳/無線区間の再送等の影響により、レイテンシが増大した可能性がある。また、モバイル回線と Wi-Fi 回線を併用するマルチパス環境では、回線ごとの特性差を踏まえたパラメータ調整が重要であり、今回の検証では最適化を行うまでに至らなかった。

- パケットロス率の実測値

図 16 に不感地帯を通過した際に計測したパケットロス率の実測値を示す。スループット(アップストリーム)やレイテンシと同様に評価に使用したデータ数は、表 15 で示した通りである。

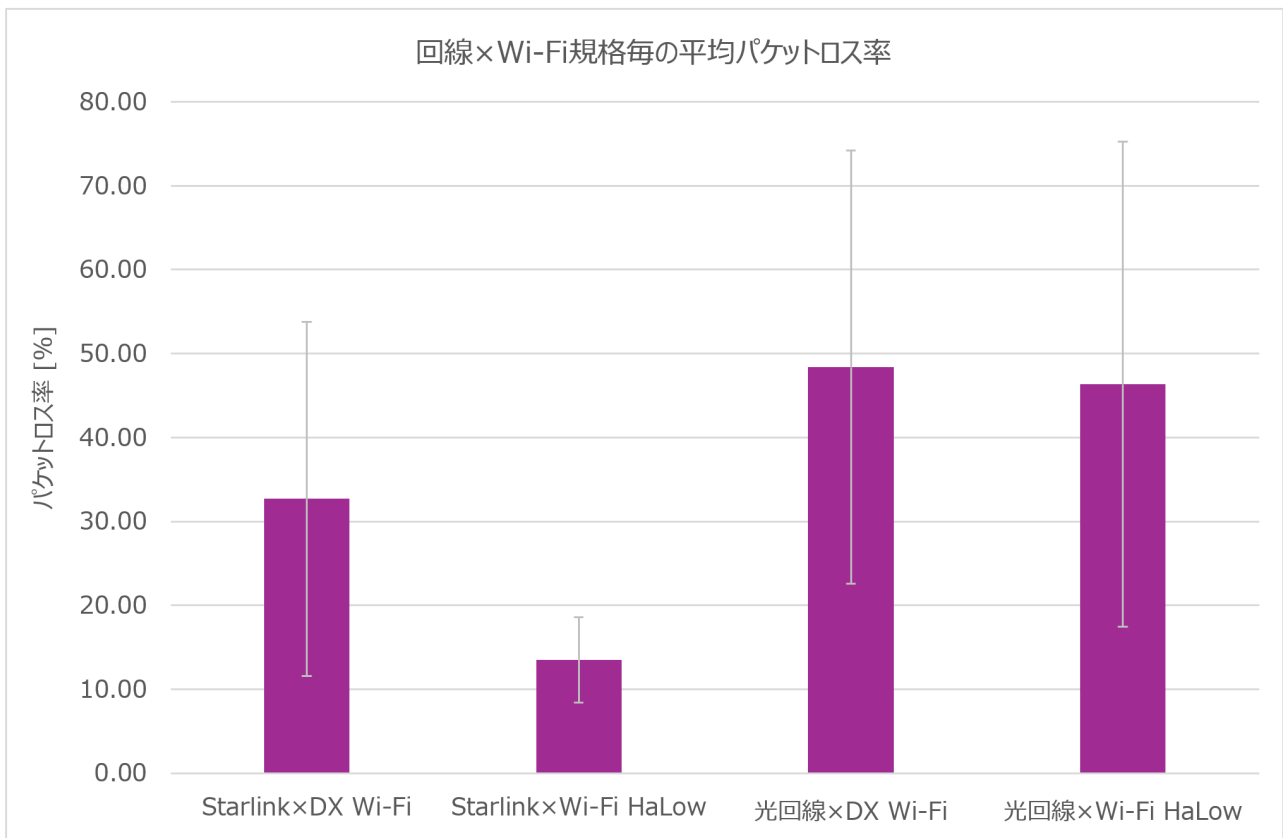


図 16:回線×Wi-Fi 規格毎の平均パケットロス率

- DX Wi-Fiは約32%~48%のパケットロスが、Wi-Fi HaLowでは15%~46%のパケットロスが発生する結果となった。
- レイテンシの考察と同様に DX Wi-Fi ではスループット(アップストリーム)を確保できていることから、不感地帯からの遠隔監視映像の伝送を実現することができたが、1秒以上の映像の停止やコマ落ちが発生する結果となり、レイテンシの遅さやパケットロスの大きさに起因したものと考えられる。
- 高いレイテンシの発生によりパケットが遅延した場合、タイムアウトや再送制御の影響により、パケットロス発生として扱われた可能性がある。
- レイテンシ対応と同様に、モバイル回線と Wi-Fi 回線を併用するマルチパス環境では、回線

ごとの特性差を踏まえたパラメータ調整が重要であり、かつ降雪や路面凍結の影響で検証時間を十分に確保することができなかつたことも合わせり、今回の検証では最適化を行うまでに至らなかつた。

(3) 通信回線単体でのネットワーク品質の計測結果

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

本実証ルートのモバイル回線単体でのネットワーク品質を計測した。モバイル回線は3キャリアを利用したが、1回線はMECダイレクトSimを利用したため現地での通信速度計測を行えず、残りの2キャリアでの通信品質の計測を行った。

本計測は参考情報として活用するため、実証ルート上の停留所に停車時した際にインターネット回線性能計測サービスを利用して計測したものである。前述した協調型インフラ基盤システムで計測した結果とは前提条件や計測項目が異なるため単純比較ができないことに留意する必要がある。

表16に停留所毎(停車時)における2キャリアの平均計測値を示す。

表 16:停留所毎の2キャリアの平均実測値(参考)

計測場所(停留所)	平均アップロード速度 [Mbps]	平均レイテンシ [ms]
美郷町役場	8.93	45.0
しんきん前(往)	9.78	43.1
粕淵駅前(往)	4.87	43.0
防災公園前(往)	4.24	43.5
浜原下市(往)	5.82	45.7
浜原中町(往)	7.35	44.9
浜原駅前(往)	8.94	38.7
サステナブルハウス前	4.98	45.1
浜原駅前(復)	4.60	42.1
浜原中町(復)	5.75	45.6
浜原下市(復)	9.09	44.7
防災公園前(復)	3.62	43.6
粕淵駅前(復)	4.02	44.9
しんきん前(復)	8.02	37.9

図 17 と図 18 に計測したアップロードスピード[Mbps]とレイテンシ[ms]を示す。

● アップロードスピードの実測結果

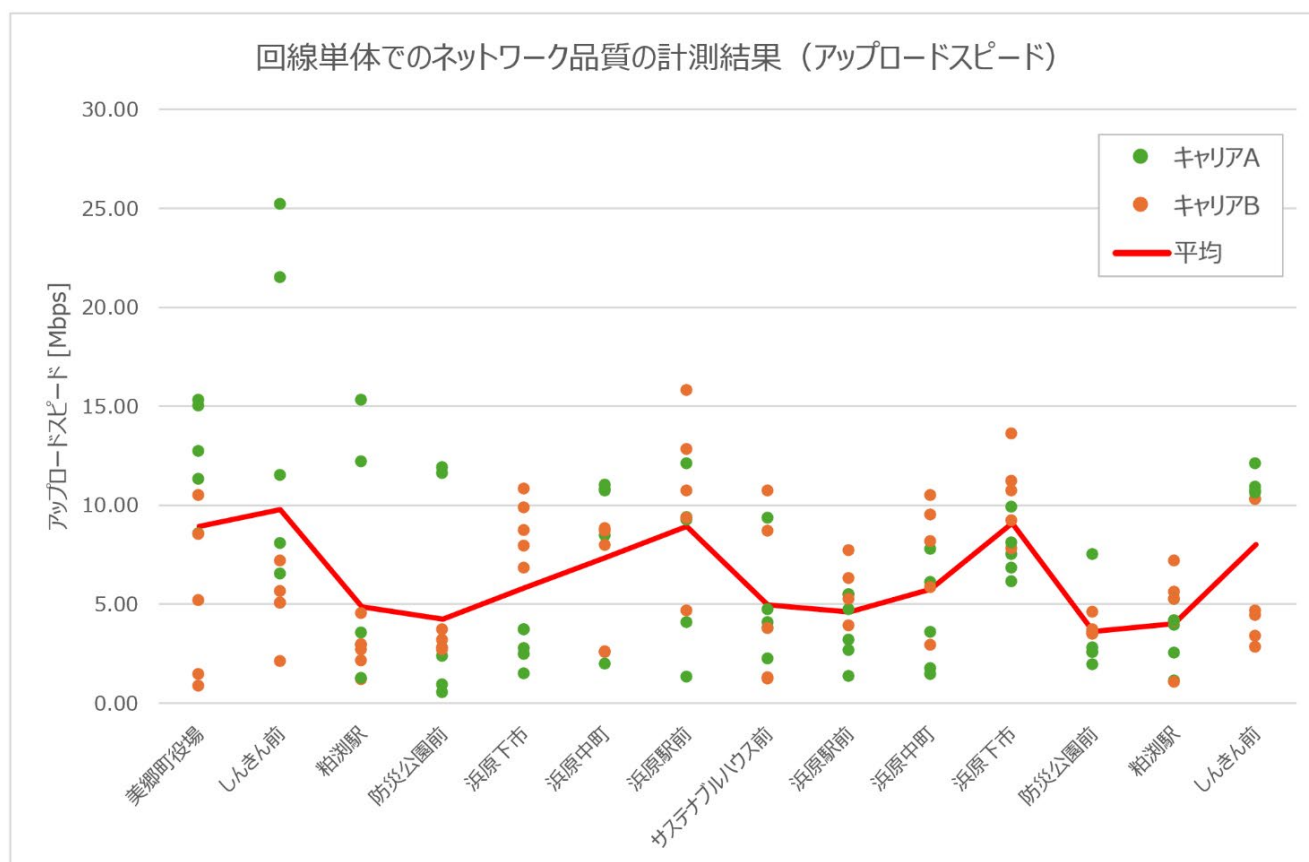


図 17:回線単体でのアップロードスピードの実測値

- 停車時で約 0.5Mbps～約25Mbps のアップロード速度を計測し、平均速度は約 6.4Mbps であった
- 区間全体に速度のバラつきは大きく、停車時で 1Mbps を下回る場合もあった。
- 協調型インフラ基盤システムのスループット(アップストリーム)から自動運転車両の運行には 3Mbps 程度の帯域が必要だと考えられ、1キャリア単体の回線では運行ルート全域を通じて自動運転運行・遠隔監視に必要な通信帯域を確保できないため、本実証の有効性が明らかになった。

- レイテンシの実測結果

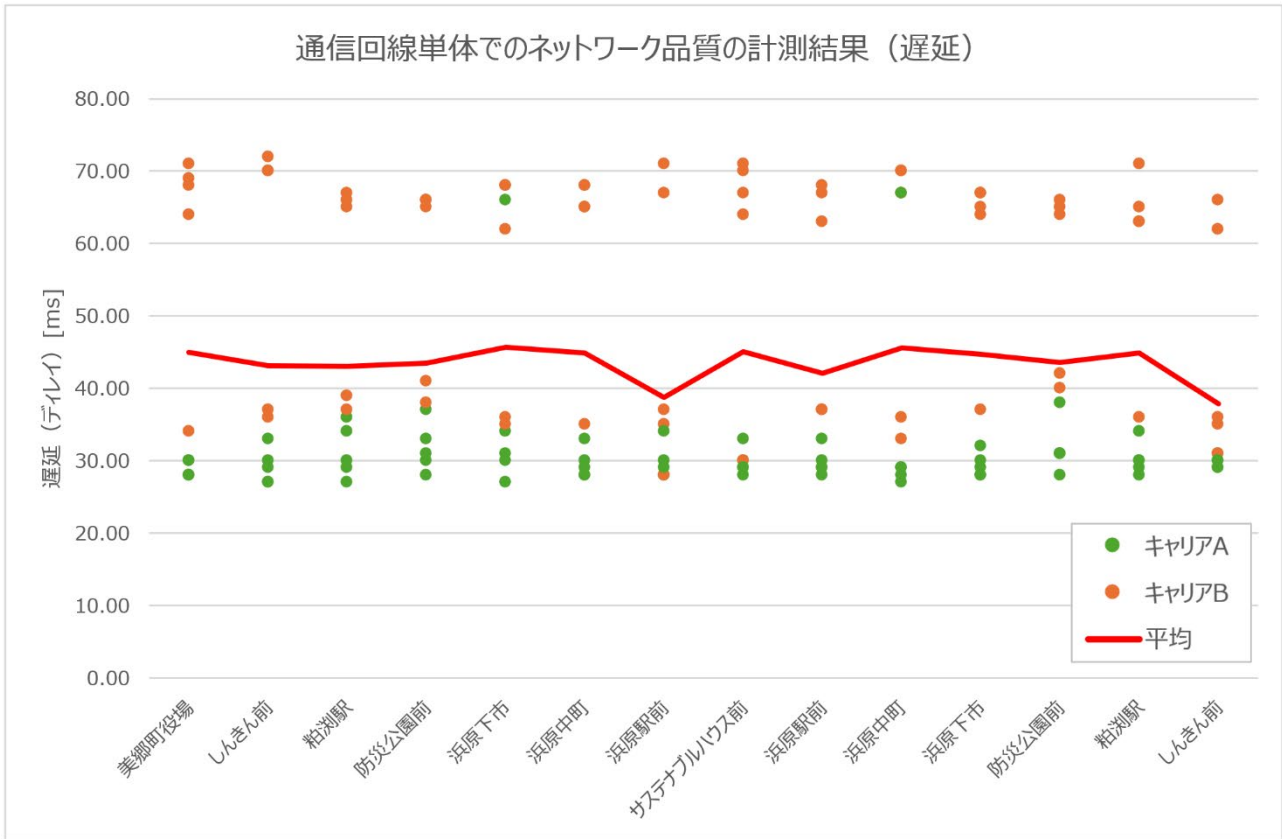


図 18: 回線単体でのレイテンシの実測値

- 停車時で 30ms~70ms のレイテンシが発生しており、平均は 43ms であった。
- 運行ルート上において、レイテンシのバラつきは大きくなくキャリアによる差異が顕著であった。
- レイテンシに関しては、自動運転車両の運行及び遠隔監視において 1 キャリア単体の回線でも運用可能だということが分かった。

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

本実証ルートの不感地帯におけるバック回線単体と Wi-Fi 通信網のネットワーク品質を計測した。

本計測は参考情報として活用するため実証ルート上の不感地帯通過前、2 本の建柱位置とその中間点、不感地帯通過後の合計 5 点に停車しインターネット回線性能計測サービスを利用して計測したものである。

前述した協調型インフラ基盤システムで計測した結果とは前提条件や計測項目が異なるため単純比較ができないことに留意する必要がある。また、本実証地では光回線、低軌道衛星ブロードバンド回線共に天候や時間帯により計測結果が大きく異なる結果となった。そのため、本結果が各回線や Wi-Fi 規格の実力を正確に示すものではない。

低軌道衛星ブロードバンド回線と光はほぼ同時刻に計測しており比較可能だが、低軌道衛星ブロードバンド回線は光回線と比較して同程度の計測結果であり自動運転運行・遠隔監視に必要な通信要件

を満たしていることから、自動運転運行に活用可能であることを確認できた。

表 17 に各停車位置(停車時)における各回線の平均計測値を示す。

表 17:回線単体、Wi-Fi ルーター経由での回線性能把握結果(参考)

評価項目		評価結果(平均値 N=5)	
		アップロード [Mbps] ⁵⁶	レイテンシ [ms]
光回線	単体	33	35
	Wi-Fi HaLow	0.74	38
	DX Wi-Fi	27	36
低軌道衛星 ブロード バンド回線	単体	87	28
	Wi-Fi HaLow	0.58	41
	DX Wi-Fi	79	18

3) KPI/KGI との比較結果

表 18:定性評価/定量評価とその目標値(再掲)

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	住民試乗体験者へのアンケート調査を行い、受容性に関する設問において好意的な意見 ⁵⁷ が80%以上を満たすこと。
	(2)	遠隔監視者のアンケート調査を行い、映像品質に関する設問において好意的な意見 ⁵⁷ が80%以上を満たすこと。
定量評価	(3)	通信回線切替えによるパケットロスが0(ゼロ)
	(4)	レイテンシが300ms以下
	(5)	ユースケース①-1:粕淵ルートのみ 通信品質に起因する自動運転走行の中断(手動介入)が0回
ユースケース①-2:比之宮ルートのみ 不感地帯における走行ルート上の通信カバーエリアに15m以上の不感地帯がないこと。		

⁵⁶ Wi-Fi HaLow の実測値のみ 1Mbps に満たなかったため有効桁数二桁で表示

⁵⁷ 5段階評価(非常に満足、満足、普通、不満、非常に不満)における「非常に満足」、「満足」が対象

(1) 住民試乗体験者へのアンケート調査を行い、受容性に関する設問において好意的な意見⁵⁷が80%以上を満たすこと

住民試乗者へのアンケート調査において、「自動運転車両が美郷町で実装されたらまた利用したいと思いますか。(将来も含む)」という質問に対して住民試乗者の84%が「希望する」、「どちらかという希望する」と回答し、表18の定性評価(1)に示すKPIを達成した。

また、「普通の車両と比較して、乗車中に危険を感じる場面はありましたか」という問いに対して、住民試乗者の93%が「危険を感じなかった」と回答しており、住民への安全性への理解と受容性を確認できた。その他の意見として「安全性を感じる」や「料金が安い/無料」、「乗り方が簡単(予約等)」があげられた。

一方で自動運転車両運行に対し、危険を感じることは少ないが、車両のすれ違い時等に「少し不安が残る」との意見もあがり、今後すれ違い時の自動運転車両挙動(スピードや走行ライン)やルート選定に反映させていく。

(2) 遠隔監視者のアンケート調査を行い、映像品質に関する設問において好意的な意見⁵⁷が80%以上を満たすこと

遠隔監視員へのアンケート調査において、「映像の品質(乱れや途絶がないこと)は問題ないか」という質問に対して、「問題ない」という回答が100%であった。またバスの位置情報も正確であり、映像も滑らかだったとの回答を得ることができた。遠隔監視において映像は十分であることが確認できた。そのため、表18の定量評価(2)に示すKPIを達成した。

(3) 通信回線切替えによるパケットロスが0(ゼロ)

通信回線切替えによるパケットロス0(ゼロ)というKPIに対して、計測したパケットロス率は0.35%であった(表13、図13参照)。

協調型インフラ基盤システムは複数回線を切り替えるのではなく、アグリゲーション制御をおこなうため理論上回線切り替えに伴うパケットロスは生じないが、各キャリア通信で発生したパケットロスを加味しても約0.35%となっており、自動運転車両の運行・遠隔監視に影響のない値である。

(4) レイテンシが300ms以下

レイテンシが300ms以下というKPIに対して、計測したレイテンシは、約100msであった(表13、図12参照)。

実証期間中に計測した最大のレイテンシは約167msであり、この場合でもKPI要件を達成できていることが分かった。また、自動運転車両の運行及び遠隔監視で1秒以上の遅れは発生しなかった。

自動運転運行において、平均100ms(瞬間最大167ms)のレイテンシは許容可能だと分かった。

(5) 【ユースケース①-1:粕淵ルート】

通信品質に起因する自動運転走行の中断(手動介入)が 0 回

通信品質に起因する自動運転走行の中断(手動介入)が 0 回という KPI に対して、実証期間中⁵⁸に通信品質に起因する自動運転走行の中断(手動介入)は 0 回だった(表 19)。

24 年度の実証実験の際は、本実証の約 1/3 の走行距離にも関わらず本 KPI 起因による手動介入が 6 回発生しており、本実証の検証内容の有効性を確認できた。

表 19:自動運転作動中の手動介入理由と回数

手動介入理由	回数
通信品質に起因する自動運転走行の中断	0
路上駐車回避	10
円滑化に走行するための手動介入(交差点通過、対向車回避など)	11
自動運転装置の作動不良時の安全確保	3
合計	24

(5) 【ユースケース①-2:比之宮ルート】

不感地帯における走行ルート上の通信カバーエリアに 15m 以上の不感地帯がないこと

車載した Wi-Fi ルーターを用いて不感地帯を走行しながら Wi-Fi の受信強度を計測した結果、不感地帯を全てカバー可能な Wi-Fi アンテナのレイアウトを決定することができ、不感地帯が無いことを定量評価できた。

また、通信状況に起因する手動介入なく自動運転走行を行うことができたため、15m(3秒以上)の不感地帯なく通信エリアをカバーできていることを確認した。

4) 成果・課題

【レベル 4 の社会実装における成果】

【総括】

● ユースケース①-1:粕淵ルート

単一キャリアでは安定した通信品質を確保することが難しい中山間地域において、協調型インフラ基盤システムを活用し既存のモバイル通信回線をアグリゲーションすることで、通信品質に起因するトラブルなく自動運転車両を運行でき、また遠隔監視映像の品質を向上できることが分かった。

⁵⁸ 4 便/日×7 日間の往復 28 便、総走行時間 28 時間 16 分

- ユースケース①-2:比之宮ルート

Wi-Fi HaLow は製品仕様上最大で 1Mbps しか通信帯域を確保できず、自動運転運行・遠隔監視に必要な通信帯域を確保することができなかった。一方で DX Wi-Fi のスループット(アップストリーム)は実測値で約 4.5Mbps の帯域を確保することができ、自動運転車両運行及び遠隔監視に必要な通信帯域を確保できた。

低軌道衛星ブロードバンド通信の通信帯域や遅延は、光回線との差は計測バラつきで吸収できる程度しかなく、自動運転運行・遠隔監視を行うためのバック回線として十分な性能であり、本実証における要求を満たすことが分かった。

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイ機能を活用し既存の複数キャリアの通信回線をアグリゲーションすることで、単一のキャリア回線では通信品質が安定しない中山間地域においても安定した通信品質を確保できた。

協調型インフラ基盤システムは自動運転車両にモバイル Sim ルーター3台と車載 PC1台を組み込むことで実現しており、基地局を立てて通信品質を向上させる必要なく経済的に自動運転車両を運行できた。

本実証地では 2 キャリア以上のモバイル通信を活用し、経済的に通信品質を安定化することができたため、同条件の地域においては同様の効果が期待できる一方で、1 キャリアのみでモバイル通信をカバーしている地域に対しては同様の効果は期待できないため、代替手段の検討が必要だと考えられる。

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

不感地帯に対して、長距離 Wi-Fi を用いて運行区間をカバーすることで、自動運転車両を運行可能な水準の通信品質を確保することが分かった。ただし不感地帯の状況を判断した上で、Wi-Fi 電波を照射するための建柱レイアウトやアンテナの指向性を考慮したレイアウトには十分な検討が必要である。

加えて、協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイ機能を活用することで、モバイル回線から長距離 Wi-Fi への切替えをスムーズに行えることが分かった。

長距離 Wi-Fi に関して、Wi-Fi HaLow と DX Wi-Fi を比較検討した結果、Wi-Fi HaLow は製品仕様上、最大で約 1Mbps の通信帯域しか確保できず、ユースケース①-1 で定めた通信帯域要件を満たすことができなかった。その理由として Wi-Fi HaLow が利用している 920MHz 帯は電波法で Duty 比 10%に定められており、常時高速通信を行う用途ではなく確実に遠くまで届かせることを目的とした通信規格のためだと考えられる。

一方で、DX Wi-Fi のスループット(アップストリーム)は実測値で約 4.5Mbps と十分な通信速度を確保することができ、自動運転運行・遠隔監視に有効であった。

バック回線に関して、光回線と低軌道衛星ブロードバンド通信を検証した結果、光回線と低軌道衛星ブロードバンド通信ともに自動運転車両を運行、遠隔監視するために十分な通信速度を確保することができ、中山間地域における経済的な通信環境構築手段として活用可能であることを確認できた。

【今後の課題】

ユースケース①-2:比之宮ルートの実証において Wi-Fi 通信網を路側に設置するにあたり、下記の問題が明らかになった。

1. 自動運転車両の走行ルート全体をカバーするよう Wi-Fi 電波を照射するためのアンテナ角度の調整や、アクセスポイント間の接続切替えタイミングの調整に専門的な知識と検証の時間を要する。
2. 本実証実験では Wi-Fi 通信網の稼働用にポータブルバッテリーを電源として利用したが、恒久的に運用する場合は電源工事が必要である。
3. バック回線として利用した光ケーブルについても、倒木や動物等の影響による断線のリスクがあり、電源確保・管理と合わせた保守運用の追加検討が必要である。

これらの手間とコストを踏まえると、本実証実験で有効性を証明できた低軌道衛星ブロードバンド回線を自動運転車両に搭載することで、より簡易的かつ経済的な打ち手となる可能性がある。今後、低軌道衛星ブロードバンド通信装置を自動運転車両に搭載して実証実験を行い、その際の課題を明らかにしたい。

一方で、本実証のチャレンジングな要素は[協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイ機能を用いたモバイル回線と、インターネット回線(Wi-Fi 経由)の異種回線をアグリゲーションする]点にあり、本実証でも内部パラメータの調整にかなりの時間を要した。

光回線、低軌道衛星ブロードバンド回線を含め、ネットワークとしてフラグメント等の遅延要因が発生しない条件の調査、及び無線区間部分での特有事象の有無の確認を実施する必要がある。また、次世代のマルチパス転送ゲートウェイでは、機能改善・追加がなされる予定であり、最新版の導入を実施し、最適なチューニングを施すことにより、より安定的な通信環境を確保できるよう検討する。

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

本検証は実施していない。

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

本検証は実施していない。

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

本実証は実施していない。

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

本実証は実施していない。

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ー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

遠隔監視員へのアンケートにより、遠隔監視システムの立上げはブラウザを介したインターネットサービスとして提供されているため、遠隔監視の準備が容易であり負担が少ないとの回答があった。また、ユーザーインターフェースは直感的であり、遠隔監視員にとって必要な情報(車速、ステアリングアングル、自動運転モード、バッテリー残量等)が整列されて一覧化されており運行状況把握が容易であった。

更に、車両の位置情報や車内外の映像が遅延なく正確に反映されていることもアンケートにより明らかになった。状況確認において、オペレーターとのコミュニケーションを要する機会を低減することができ、監視員の負担軽減に繋げることができた。

(2) 考察

遠隔監視システムのユーザビリティの高さは既の実証済みの内容だが、本実証における通信品質の向上によって、車両位置情報や車内外の映像を途切れることなく監視できたことが、遠隔監視員の負担軽減に大きく貢献した。

24年度に実施した実証では遠隔監視映像が途切れる事象が発生しており、遠隔監視員とオペレーターのコミュニケーションを余儀なくされたが、本年度の実証ではそれがなかった。また、通信品質に起因する自動運転モードの解除による手動介入を、運行した往復28便を通して0回にすることができ、運行後のオペレーターのヒアリング回数が大幅に減ることによる負担軽減にも貢献できた。

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

1. 継続した自動運転作動によるオペレーターの手動介入の低減

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

粕淵ルートの運行期間における自動運転率は96.9%であり、手動介入率は3.1%となった。

自動運転率は遠隔監視員が作成した運行管理シートを参照し、総走行距離約200km(往復7.2km×4便×7日間)に対する手動運転距離6.14kmより算出した。

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

比之宮ルートの運行期間における自動運転率は、91.7%であり、手動介入率は 8.3%となった。

自動運転率は遠隔監視員が作成した運行管理シート及びインターネット地図サービスの位置情報から手動走行距離を算出し、総走行距離約 87km(往復 7.6km×12 便)に対する手動運転距離 7.2km より算出した。

2. 監視拠点の集約による人員数や移転工数の削減

粕淵ルートの運行期間の最終 2 日間はデマンド運行を実施したが、通信品質の改善やデマンド走行自体による人員数の変化はなかった。

本実証では 2 ルートを走行するが、遠隔監視室は 1 カ所に集約した。その結果、遠隔監視室の移転(設備運搬や固定 IP 光回線の導通など)の工数とコストを削減した。

3. イレギュラー対応(手動切替え等)時のリードタイム(オペレーターと遠隔監視室の連携)

トラブル/緊急事態は発生しなかったが、遠隔監視映像の途絶や大きな遅延(1 秒未満)がなく遠隔監視員とオペレーターのリアルタイムなやり取りを実現できた。その結果、自動運転モードから手動介入した際のオペレーターへのヒアリングをリアルタイムで行うことができ運行終了後の確認工数削減に寄与した。

(2) 考察

今回の実証実験の主目的として掲げた【通信品質の向上】を達成したことにより、オペレーターの手動介入回数が減り、遠隔監視員の監視精度も向上した。

また、通信品質実証ルートが 2 ルートであるのに対し遠隔監視室を 1 カ所に集中したことによる工数とコストの削減を行えた。遠隔監視室の設置、移転にかかる工数に加え、特に並行で 2 ルート以上を運行する場合により大きな効果を期待できるため本実証の知見を今後活かす。

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

(1) 実施結果

NTT 西日本株式会社内のセキュリティ基準をベースに NISC インターネットの安全・安心ハンドブック(中小組織向け)と国交省の遠隔監視要件チェックリストをベースにセキュリティ対策を検討した。

検討した内容を本実証に関わるメンバーと共有し、情報セキュリティインシデントを起こすことなく実証を終えた。

(2) 考察

情報セキュリティに関しては事前の計画と関係者周知、徹底が重要であり本実証ではそのどちらも事前に対応できた。

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

(1) 実施結果

本実証において、新たに追加する機器はマルチパス転送ゲートウェイと IaaS 環境、追加の Wi-Fi ルーターのみである。

そのため、機器や設備単体での維持管理・保守は必要とせず、通信システム全体の通信品質で維持管理・保守のためのモニタリングや対応を行い、大きなトラブルなく 2 週間の実証実験を終えた。インフラ面、自動運転面、通信品質面の維持管理・保守を合わせて以下の指標を用いて評価し、管理した。

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

遠隔監視員により記録された運行日誌を基に手動介入を行った理由と回数を表 20 に整理した。

- 通信に起因するシステムトラブルによる手動介入なし。
- 上記トラブルがないため運休回数なし（実証期間中を通して運休なし）。

表 20:粕淵ルート(全 28 便)の手動介入理由とその回数

手動介入理由	回数
通信品質に起因する自動運転走行の中断	0
路上駐車回避	10
円滑化に走行するための手動介入(交差点通過、対向車回避など)	11
自動運転装置の作動不良時の安全確保	3
合計	24

【ユースケース①-2:比之宮エリア】

遠隔監視員により記録された運行日誌を基に手動介入を行った理由と回数を表 21 に整理した。

- 降雪や路面凍結に対する運行は本実証のスコープ外のため、運休は集計から除外した。
- 今回設定したルート上に GNSS 受信状況が低下し、かつ周辺に目立った物体がないため LiDAR による自己位置推定能力も低下する区間が存在し、安全性を第一に考え該当区間はオペレーターによる手動操作で運行した。
- 上記の様に中山間地域では場所によってはサテライトや基地局から位置情報を取りづらいついた事象が発生する可能性があるが、今後のソフトウェア仕様の見直しによって改善を図っていく予定である。
- 不感地帯に関しては、Wi-Fi 通信網の設営により、不感地帯の自動運転運行が可能となった。

表 21:比之宮ルート(全 12 便)の手動介入理由とその回数

手動介入理由	回数
通信品質に起因する自動運転走行の中断	0
路上駐車回避	0
円滑化に走行するための手動介入(交差点通過、対向車回避など)	0
自動運転装置の作動不良時の安全確保	24
合計	24

(2) 考察

通信品質に起因する自動運転走行の中断なく、協調型インフラ基盤システムの稼働を維持・保守運用できた。定期的に車載 PC やモバイル Sim ルーターのインジケータ、もしくは SSH 接続により内部情報を確認することで状態を把握することができ、仮に不具合が生じた場合であってもシステムログを確認の上、サービスの再起動等の適切な対処を実施することで復帰できた。

ただし、リアルタイム監視を行う機能が実装されておらず、復帰に時間を要する場面もあったため今後の改善点として課題提起していく。

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

以下に 24 年度実証と本実証の粕淵ルートを比較した結果を表 22 に示す。協調型インフラ基盤システム導入に伴う通信品質の安定化により、通信品質の低下による手動介入・運行停止を 0 件にできた。

表 22:手動介入理由における 24 年度実証と本実証実験の比較

手動介入理由	24 年度	25 年度 本実証	結果
手動介入件数	44 件	24 件	—
想定内の原因(路上駐車回避、交差点通過など)	38 件	24 件	—
想定外の要因(通信品質低下)	6 件	0 件	達成
運行停止	2 件	0 件	—
想定外の原因(通信品質の低下による自己位置取得失敗)	1 件	0 件	達成
想定外の原因(センサ接続異常)	1 件	0 件	—

(2) 考察

4 章でも述べた通り、協調型インフラ基盤システムの導入により通信品質低下に伴う自動運転走行のキャンセルは 0 件にできている。そのため、本結果も同様の結果である。

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

安全性担保に資する要件として設定した乗客、周辺歩行者、他車両に対する声掛けや誘導等の対応を実施し、周辺住民の事前周知や理解を得ながらトラブルが起きることなく粕淵ルート、比之宮ルートの実証を終えた。

(2) 考察

周辺住民への事前周知や美郷町役場の協力により車両調律期間から円滑に作業や実証を推進することができた。本取り組みは弊社がこれまでに実施してきた実証実験で得た知見を活用しており、本実証でも有用であった。次年度以降の実証実験を実施する際も引き続き同対応を進める。

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

● 柔軟化

【ユースケース①-1:粕淵ルート】

本実証で検証した協調型インフラ基盤システムの導入により、既存のモバイル通信回線リソースを有効活用ができ、これまで遠隔監視映像が途絶していた防災公園前バス停付近から先の浜原エリアにまでルートを延伸できた。

【ユースケース①-2:比之宮ルート】

不感地帯に長距離 Wi-Fi と光通信、または低軌道衛星ブロードバンド通信を活用することで、これまで自動運転運行が不可能であったエリアに対しても簡易的かつ経済的な方法で自動運転運行・遠隔監視を実現した。

● 時間短縮

粕淵ルートにおいて、利用者の要望に応じ不要な停留所をスキップし運行を行うデマンド走行も本実証中に取り入れた。本来、片道 45 分(往復 90 分)を要するルートだが、デマンド走行を取り入れることで片道 30 分(往復 60 分)に短縮できた。

また、デマンド走行により停留所をスキップすることについて、停留所に各駅停車しないことにより平均車速は上昇するが、ネットワーク品質の観点での問題はなく、定期運行時と同様に通信品質の低下による自動運転運行の停止や遠隔監視映像の途絶は発生しなかった。

- 交通利便性の向上

上記の時間短縮と重複するが、通信品質の向上によりモバイルキャリア通信状況が悪化する地域にまで停留所を設定できた。結果として運行時間が長くなったが、デマンド走行を取り入れることより片道 45 分を 30 分に時間短縮することができ問題点を解消できる見通しを立てた。

(2) 考察

通信品質の安定化により、モバイルキャリア通信状況が悪化する地域や不感地帯でも自動運転走行ルートを設定でき、本町の要望であった浜原エリアへの停留所設定を可能にした。

また、デマンド走行を取り入れることで片道の運行時間が長くなってしまいう問題を解消し、デマンド走行を実施し自動運転車両の平均時速が上昇した場合でも、安定した通信品質を確保できた。

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) 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】

本実証で用いた通信システム及び自動運転システムの構築・運用に要した費用を表 23 に示す。

表 23: ユースケース①「粕淵ルート/比之宮ルートの通信システムを構築するための必要経費

協調型インフラ 基盤システムの設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	GW / 1 台	136 万円
		RT / 3 台	161.4 万円
通信システムの設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	Starlink / 1 台	40.4 万円
		Wi-Fi HaLow / 4 台	51.2 万円
		DX-Wi-Fi / 4 台	400 万円
		電柱、部材 / 1 式	359 万円
	設置工事費		308 万円
システムの運用	サービス利用料	Starlink / 5 ヶ月	37.5 万円
		通信利用料 SIM / 11 ヶ月 (3 キャリアの合算)	8.3 万円
	クラウド利用料	MEC クラウド / 6 ヶ月	103 万円
合計			1,604.8 万円

※記載の金額は実証中における参考価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

※設計・設置・運用に係る人件費等は別途必要。

【コスト負担の在り方・コスト低減策に関する検討】

【収入拡大策】

本町では既存のバス路線運行業者の赤字負担として、6,000 万円/年を投じている。上記から本町内での自動運行バス事業は既存の乗り合いバスとしてのビジネスモデルを再現しても収益性が低い状況である。

こうした背景から本町では自動運転の収入確保に向けて以下の項目を見込んでいる。

- 企業協賛
2027 年以降 2,000,000 円~/年
産・学・民からの協賛金を募る。
- 貨客混載
2026 年以降 240,000 円～(2 万円/月)
飲食店の出前や、商店の配達などへの活用を募り、協賛金として月額費用を徴収する。
- 視察収入
2026 年以降 600,000～2,400,000 円(5 万円×1～4 組程度/月)
 - 島根県初の EVO の実証実験のため、県下を中心に多くの視察が見込める。
 - 本町は害獣であるイノシシを捕獲・加工販売するビジネスモデルを確立しており、ジビエ関連に興味のある自治体からの施策が多く、中山間地域自治体は交通についても本町同様の課題を持つことから、視察メニューへ自動運転バスを組み込むなどの対応を実施し視察収入拡大を図る。
- 広告収入
2026 年以降 400,000 円/年～（広告内容に応じて 1～5 万円/週×出稿数 0～10 程度）
車内ディスプレイを設置し、広告出稿料金による収入確保を行う。
- 降雪期(毎年約 3 か月)のリソース活用(今後、除雪時のコスト対効果を検証)
2027 年以降 27,000,000 円/年
 - 車両レンタル料: 150 万円/月・台
 - 車両オペレーター・遠隔監視員派遣料: 120 万円/月・人

【支出削減策】

本町では地域公共交通機関の維持として自動運転技術の活用を目指しているが、現時点では乗客の安全・安心を考慮し事業開始から実装までの期間についてはオペレーターや保安員配置によるサポートを手厚く行う。

- 輸送費用
車検・故障の対応を町内事業者で行うことによる輸送コスト削減を実施する。
- 燃料費
電気を動力源とする車両を選定することによりガソリン代と比較して燃料費を削減する。
- 人件費(車両側)
将来的にレベル4 運行が定着した際の運転手・保安員の削減を実施する。
- 人件費(監視側)
将来的にレベル4 で複数台運行を行った際の遠隔監視員の削減を実施する。

【事業費確保案】

- ふるさと納税
2026 年度～ 自動運転関連への分配 300 万円/年
- 単費、既存バス事業への補助の転用
2026 年度～必要に応じて 3,500 万円/年を想定している。
本町では年間約 6,000 万円をバス事業者の赤字補填に投じている。自動運転車の実装レベル(距離・頻度)に応じて赤字補填のための補助金を自動運転バスの維持管理費充当を検討する。
- 補助金
 - 国土交通省:地域公共交通確保維持改善事業費補助金(自動運転社会実装推進事業)
 - 国土交通省 道路局:路車協調システムに関する実証実験補助金
 - 総務省:地域デジタル基盤活用推進事業(自動運転レベル4 検証タイプ)

(2) 考察

本町では収入拡大、支出削減、事業費確保の観点で自動運転車両の定期運行の実現可能性を検討している。

特に支出削減においては、通年運行実装後の定着段階において遠隔監視拠点・台数の集約や保安員などの削減による人件費の支出削減を図る。また、本事業で利用する車体は電気を動力源としており、ガソリンエンジン車両と比較して使用部品が少ないことからメンテナンス負担の軽減を実現することができ、燃料にかかる費用についても大幅な削減を見込んでいる。

6.7 レベル 4 社会実装に向けた考察

本実証における成果と課題を踏まえ、レベル 4 自動運転の社会実装に向けた考察を行う。

粕淵ルート(ユースケース①-1)においては、複数キャリアのモバイル通信回線を協調型インフラ基盤システムによりアグリゲーションすることで、安定した通信品質を確保し、自動運転車両の運行及び遠隔監視を実現した。特に、24 年度実証で発生した遠隔監視映像の途絶や自動運転モード中の手動介入の問題を解決した点は大きな成果である。

一方で、単一キャリアのみを利用した場合の自動運転車両運行における差異を定量的に評価できなかった点や、1 つのモバイル通信回線しか提供されていない地域に対する追加の対応が必要である点が課題として挙げられる。

比之宮ルート(ユースケース①-2)では、長距離 Wi-Fi を活用し、基地局を建設するよりも経済的に自動運転車両運行範囲を広げることができた。さらに、低軌道衛星ブロードバンド通信を活用し、自動運転車両の運行と遠隔監視のために十分な伝送帯域やレイテンシを確保した。

しかし、Wi-Fi を路側に設置する際、降雨や降雪等の影響により通信速度が著しく低下する場合があるため、実施時期に合わせて予め Worst 条件での要件検討が必要である。また、Wi-Fi 通信網の運用にポータブルバッテリーを電源として利用したが、恒久的に運用する場合は電源工事が必要となる。

これらの成果と課題を踏まえ、レベル 4 自動運転の社会実装に向けた取り組みとして、以下の点が重要であると考えられる。

1. 通信品質の確保:複数キャリアのモバイル通信回線をアグリゲーションすることで、安定した通信品質を確保することが重要である。特に、通信環境が不安定な地域においては、協調型インフラ基盤システムの導入が有効である。
2. 経済的な通信環境の構築:長距離 Wi-Fi や低軌道衛星ブロードバンド通信を活用することで、基地局を建設するよりも経済的に通信環境を構築することができる。特に、不感地帯においては、これらの技術を活用することで通信品質を確保することが可能である。
3. 恒久的な運用体制の整備:Wi-Fi 通信網の運用においては、ポータブルバッテリーではなく、恒久的な電源工事を行うことで、安定した運用を実現することが重要である。
4. Worst 条件での要件検討:Wi-Fi を路側に設置する際には、降雨や降雪等の影響を考慮し、実施時期に合わせて予め Worst 条件での要件検討を行うことが必要である。

これらの取り組みを通じて、レベル 4 自動運転の社会実装を実現し、持続可能な地域交通の確立に寄与することが期待される。

7. 本実証の総括

7.1 本実証の成果・課題

ユースケース①-1:粕淵ルート

本実証では、複数キャリアによるモバイル通信回線を協調型インフラ基盤システムによりアグリゲーションし、自動運転車両を運行させ、遠隔監視を行うために十分な通信品質を確保した。特に、24年度実証の際に発生した遠隔監視映像の途絶と、自動運転モード中に手動介入が必要となる問題を解決した。

しかし、複数のモバイル通信回線が提供されている場合に最も経済的な解決策を提供できる一方で、1つのモバイル通信回線しか提供されていない地域に対しては追加の対応が必要である。また、単一キャリアのみを利用した場合の自動運転車両運行における差異を定量的に評価できなかった点も課題として挙げられる。

ユースケース①-2:比之宮ルート

このルートでは、長距離 Wi-Fi を活用し、基地局を建設するよりも経済的に自動運転車両運行範囲を広げることができた。さらに、低軌道衛星ブロードバンド通信を活用し、自動運転車両の運行と遠隔監視のために十分な伝送帯域やレイテンシであることが確認できた。

しかし、Wi-Fi を路側に設置する際、降雨や降雪等の影響により通信速度が著しく低下する場合があるため、実施時期に合わせて予めワースト条件での要件検討が必要である。また、Wi-Fi 通信網の運用にポータブルバッテリーを電源として利用したが、恒久的に運用する場合は電源工事が必要となる。

また、本実証のチャレンジングな要素は[協調型インフラ基盤システムのマルチパス転送ゲートウェイ機能を用いたモバイル回線と、インターネット回線(Wi-Fi 経由)の異種回線をアグリゲーションする]点にあり、本実証でも内部パラメータの調整にかなりの時間を要した。

光回線、低軌道衛星ブロードバンド回線を含め、ネットワークとしてフラグメント等の遅延要因が発生しない条件の調査及び無線区間部分での特有事象の有無の確認を実施する必要がある。また、次世代のマルチパス転送ゲートウェイでは、機能改善・追加がなされる予定であり、最新版の導入を実施し、最適なチューニングを施すことにより、より安定的な通信環境を確保できるよう検討する。

7.2 社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

本実証における成果と 1.4 最終目標・構想イメージに記載した内容を踏まえて社会実装に向けたロードマップと取り組みの発展性について検討する。まず、2024年度の取り組み実績として、レベル4申請に向けた課題抽出が行われた。補助金を活用したレベル2走行の実証実験により、技術的課題が明確化され、地域イベントでのお披露目を通じて住民及び地域の交通事業者への認知拡大と理解促進が図られた。

中期目標(2025年～2026年)としては、通年運行に向けた経営改善施策や技術向上の試行、周辺

サービス連携に向けた技術的検証が行われる。具体的には、レベル 4 申請における課題の解消及び申請、自動運転バス実装に向けた関係者協議・計画策定、複数収入源確保に向けた取り組みが実施される。また、中山間地域における通信環境及びトンネルや積雪環境での実証実験も行われる予定である

長期目標(2027 年以降)としては、持続可能・自給自足可能な公共交通モデルへの転換が掲げられている。レベル 4 での通年運行を実現し、地域の公共交通網の維持を行うとともに、町予算での自動運転バス運営を実現する。さらに、定住・就労支援施策と連携し、需要に応じた交通事業従事者数の確保を図る。町内事業者で自動運転バスを運営することによる新規就労者の獲得も目指す。中山間地域・過疎地域の自動運転活用モデルの広域展開・連携も視野に入れている。

取り組みの発展性としては、他政策とのシナジー創出やシビックプライド醸成を図る施策が検討されている。具体的には、子育て支援施策として子どもの自動運転バスの料金を無償にすることで、子どもとその家族の利用を促進する。また、人手不足の深刻な町内交通事業者に代わって、将来的に自動運転バスを運行・管理する事業者を募集し、新規就労者を確保する。さらに、美郷町デジアナ構想施策・でじとと。として、マイナンバーカードや AI スピーカーを活用した予約・顔認証・決済システムを導入し、より安心安全で利用者へ高度な知識を強くない公共サービスを実現する。

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:島根県美郷町)

実績報告書

通信環境整備が不十分な中山間地域における自動運転車両運行に必要な通信要求仕様に関する検証

2026 年 1 月

NTT 西日本株式会社・島根県美郷町自動運転事業推進コンソーシアム
