

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)

高知県高知市

緊急自動車検知システムと緊急自動車検知時の

自動運転車両制御の実証

実績報告書

2026 年 1 月 30 日

NTT西日本株式会社

高知市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	1
0.3	考察	6
0.4	成果	6
0.5	課題	7
1.	実証の背景・目的	8
1.1	実証の背景	8
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	8
1.3	実証の目的	9
1.4	最終目標・構想イメージ	10
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	10
2.	業務実施体制	11
2.1	実証機関	11
2.2	実施体制図	12
3.	自動運転の運行結果	13
3.1	運行場所	13
3.2	運行期間	15
3.3	運行時間帯・頻度・運行方式	15
3.4	運行者	15
3.5	運行体制	15
3.6	自動運転車両の特徴	17
3.7	自動運転に関する手続き	22
4.	実証の手法	24
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	24
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	24
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	25

4.3.1	レベル4自動運転の実現に向けた緊急自動車検知システムの検証.....	25
1)	目的.....	25
2)	実証内容の詳細.....	26
3)	利用技術.....	26
4)	必要性・緊急性・新規性.....	27
5)	検証条件.....	28
6)	開発・評価項目.....	28
7)	KPI/KGI.....	30
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.....	34
4.4.1	レベル4自動運転の実現に向けた緊急自動車検知時の自動運転車両制御の検証.....	34
1)	目的.....	34
2)	利用技術.....	35
3)	必要性・緊急性・新規性.....	36
4)	検証条件.....	36
5)	開発・評価項目.....	37
6)	KPI/KGI.....	42
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.....	55
4.6	レベル4の社会実装に向けた検討.....	55
4.6.1	運用検証.....	55
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).....	55
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.....	55
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.....	56
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.....	58
4.6.2	効果検証.....	59
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.....	59
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.....	60
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.....	60
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.....	61
5.	通信システムに関する構築.....	62
5.1	通信システムの全体像.....	62
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.....	64
6.	実証結果・考察.....	66

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.....	66
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.....	66
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.....	67
6.3.1	レベル4自動運転の実現に向けた緊急自動車検知システムの検証.....	67
1)	実証スケジュール.....	67
2)	開発・評価項目の結果.....	67
3)	KPI/KGI との比較結果.....	68
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.....	73
6.4.1	レベル4自動運転の実現に向けた緊急自動車検知時の自動運転車両制御の検証.....	73
1)	実証スケジュール.....	73
2)	開発・評価項目の結果.....	73
3)	KPI/KGI との比較結果.....	79
4)	成果・課題.....	102
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.....	104
6.6	レベル4の社会実装に向けた検討の結果.....	104
6.6.1	運用検証.....	104
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).....	104
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.....	104
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.....	105
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... ..	106
6.6.2	効果検証.....	107
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.....	107
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.....	108
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.....	109
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.....	110
6.7	レベル4 社会実装に向けた考察.....	112
6.8	レベル4 社会実装に向けた成果.....	112
7.	本実証の総括.....	114
7.1	本実証の成果・課題.....	114
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

0.1 実証概要

本実証は、高知県高知市における公共交通の維持課題、特に運転手不足によるサービス低下への対応策として、自動運転技術の社会実装を目指して実施されたものである。既存交通網では、移動需要が十分に満たされていない走行ルート上に病院や消防署が配置されており、緊急自動車と共存可能な自動運転サービス導入が喫緊の課題となっていた。そこで、本実証ではレベル 4(高度運転自動化)の実現に向け、緊急自動車接近時に自律的かつ円滑に一時停止・進路譲渡が可能なシステムの開発を目的とした。

技術的には、緊急自動車の位置情報や車線情報をリアルタイムで取得・把握する位置把握システムを構築。消防署や病院の協力のもと、緊急自動車の ITS 車載器から発信された位置情報を収集することで、より精度の高い検知を目指した。さらに、自動運転システムと連携することで、緊急自動車接近時に自動運転車両を制御し、自動的に一時停止・再発進できる機能を実装した。

従来のサイレン音検知では精度面で課題が残っていたが、本実証では通信システムによる位置情報活用とデータ取得・評価を重視し、より信頼性の高い緊急自動車対応を目指した。これにより、交通インフラの効率的な運用や公共交通の持続可能性向上に寄与するのみならず、地域の安全・利便性の向上、さらには自動運転技術の社会実装に向けた重要な知見を得ることができた。

なお、レベル 4(高度運転自動化)は、「一定の条件(走行ルート、時間帯、天候、場所、速度等の走行環境条件)の下で、運転者の介入を前提とせず、自動運転システムが運転タスクおよび作動継続が困難となった場合の対応を担うもの」を指すが、本実証はこれを前提として行われたものではなく、あくまで将来的なレベル 4 への移行に資する各種検証をレベル2(部分的運転自動化)相当の環境において行ったものである。本稿ではレベル 4 への移行を見据えて行った各種検証を便宜上[レベル 4 相当]と記載する。

0.2 KPI/KGI の内容と達成状況

実証実験の KGI は、緊急自動車の接近時に、自動運転システムが検知して、自動で一時停止・再発進することである。システムから提供された緊急自動車の位置情報を用いて、自動運転車両が自律的に一時停止・再発進を行えることを目指した。

各ユースケースの KPI の内容と達成状況を以下に示す。

【ユースケース③】

- 緊急自動車の位置情報を遠隔監視側に遅延 400 ミリ秒未満で配信すること
遠隔監視システムまでの遅延時間が大きいと、緊急自動車の通過前に自動運転車両を一時停止させることが間に合わないおそれがあるため、本 KPI を設定した。
実証実験による結果では、Mobile GNSS が 78 ミリ秒、ITS Connect が 283 ミリ秒となり、目標を達成した。

- システムの信頼性 99.9%
緊急自動車との遭遇タイミングは予測不可であり、今回構築するシステムは運行時間中常に稼働していることが求められるため、本指標を設定した。
実証実験の運行時間中、一度もシステムは故障せず要求された機能を遂行し続けた。
- 緊急自動車の車両位置許容誤差:3m 以内
緊急自動車の位置情報の誤差が大きいと、自動運転車両の制御に影響を与えてしまう。ITS Connect の位置情報の精度が Mobile GNSS より低いと予想されたため設定した。
差分は平均 3.086m となり、KPI である 3m をわずかに上回った。しかし、実証時における自動運転車両の一時停止および再発進の挙動はいずれも良好であったことから、位置情報の精度差分による自動運転車両の挙動に影響はないものと考えられる。
- 新たに設置した機器が走行の振動に耐えること
機器の不良により緊急自動車の接近検知ができなくなることは許容されないため設定した。
振動による不具合は発生せず、本目標を達成した。

表 1 ユースケース③ KPI/KGI

番号	目標値/条件	得られた実験結果と考察												
定量評価	4	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 目標値:緊急自動車の位置情報をブローカーサーバーに遅延 400 ミリ秒未満で配信すること ➢ 条件:安定したネットワーク環境であること <table border="1"> <thead> <tr> <th>位置情報取得手段</th> <th>平均値(ミリ秒)</th> <th>中央値(ミリ秒)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mobile GNSS</td> <td>78</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>ITS Connect</td> <td>283</td> <td>231</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> ➢ ITS Connect の遅延時間は Mobile GNSS と比べ大きいですが、これは ITS Connect の方が経由するエッジが多い影響と推測される 	位置情報取得手段	平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)	Mobile GNSS	78	75	ITS Connect	283	231			
	位置情報取得手段	平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)											
	Mobile GNSS	78	75											
ITS Connect	283	231												
5	<ul style="list-style-type: none"> ➢ システムの信頼性 99.9% ➢ 条件:自動運転車両の運行時間内の計測とする 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 本実証実験の運行期間中、システムは停止することなく正常な状態を維持していた ➢ シンプルな構成であったためだと予想される 												
6	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 緊急自動車の車両位置許容誤差 3m ➢ 条件:Mobile GNSS を正として取り扱うこと 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ITS Connect と Mobile GNSS を同じ車両に設置し、実証ルート付近を 3 回走行し計測した ➢ 双方の位置情報の差分は以下の通りであり、おおむね KPI を満たす結果となった <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>平均(m)</th> <th>中央値(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 回目</td> <td>3.390</td> <td>2.803</td> </tr> <tr> <td>2 回目</td> <td>3.453</td> <td>2.461</td> </tr> <tr> <td>3 回目</td> <td>2.140</td> <td>2.119</td> </tr> </tbody> </table>		平均(m)	中央値(m)	1 回目	3.390	2.803	2 回目	3.453	2.461	3 回目	2.140	2.119
	平均(m)	中央値(m)												
1 回目	3.390	2.803												
2 回目	3.453	2.461												
3 回目	2.140	2.119												

		全体	3.086	2.502
		▶ 一部 KPI を満たさなかったものの、緊急自動車接近時の自動運転車両の挙動には問題なかったことから、ITS Connect の位置情報の精度は、緊急自動車検知においては十分満たす精度と考えられる		

【ユースケース④】

- 一時停止、再発進のタイミングは適切であったか、安全であったかの評価
緊急自動車接近時の自動運転車両の挙動が、車内だけでなく、周囲の交通参加者の邪魔になっていないかを乗客や救急隊員へのアンケートにて調査。
乗客アンケートでも一時停止タイミングについて適切との評価が得られた。救急隊員へのアンケート調査でも、緊急走行への影響はなかったとの回答が得られた。
- 緊急自動車内に設置した端末が、車内の他設備や業務に影響を与えていないか
ITS Connect を設置することにより救急隊員の活動を阻害することがあってはならないため設定した。
救急隊員へのアンケートにより、救急活動に影響がなかったことが確認された。
- 運転業務および監視業務での安全性の向上
運転業務および監視業務が自動運転車両運行時の「安全性の向上」に与える影響について考察を行うため設定した。
次の理由から安全性の向上に寄与できたと考える。緊急自動車の位置情報を活用した一時停止・再発進機能の導入により、自動運転車両では運転手の判断負担が軽減され、対応品質の均一化やヒューマンエラーの防止、安全性向上が期待できる。また、乗客への通知によって車内安全性も向上する。監視業務では、ITS Connect や Mobile GNSS が提供する情報の可視化により、緊急自動車との遭遇状況やその予測が可能となる。よって、必要により手動介入の可能性を運転手へ事前に情報共有することができるため、さらなる安全性向上が図られる。

表 2 ユースケース④ KPI/KGI 定性評価

番号	目標値／条件	得られた実験結果と考察
定性評価 1	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 目標値：一時停止、再発進のタイミングは適切であったか、安全であったかの評価(肯定的意見 7 割以上) ▶ 条件：乗客、保安員、オペレーター、救急隊員へのアンケートにより取得 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 乗客の 86% がバスが一時停車したタイミングが適切と回答し、76% が再発進したタイミングが適切と回答した ▶ 緊急走行中に自動運転車両と遭遇した救急隊員から、自動運転車両の挙動が緊急走行に影響なかったと回答した ▶ 一時停止と再発進のタイミングで適切と回答した割合に差が出たことは、試験車による検証において、自動運転車両通過後に信号による停車が原因で接近検知しつづけて再発進に時間を要したことが原因と考えられる

2	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 目標値:緊急自動車内に設置した端末が、車内の他設備や業務に影響を与えていないか(否定的意見が3割以下) ➢ 条件:救急隊員へのアンケートにより取得 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 救急隊員によるアンケートの結果、ITS 車載器は緊急走行や救急活動に影響を及ぼしていないことがわかった ➢ ITS Connect はサイレンのオンオフスイッチと連動しており、追加作業なしに自動運転車両に位置情報を配信できるため、影響がなかったものと考えられる
3	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 目標値:運転業務および監視業務での安全性の向上(何らかの安全性の向上が図られること) ➢ 条件:オペレーター、遠隔監視員へのアンケートにより取得 	<p><運転業務></p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 緊急自動車の位置情報を活用した一時停止・再発進機能の導入により、自動運転車両では運転手の判断負担が軽減され、対応品質の均一化やヒューマンエラーの防止、安全性向上が期待できる ➢ 乗客への通知によって車内安全性も向上する <p><監視業務></p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ ITS Connect や Mobile GNSS が提供する情報の可視化により、緊急自動車との遭遇状況やその予測が可能となる ➢ 必要によって手動介入の可能性を運転手へ事前に情報共有することができる

- 緊急自動車の位置情報を自動運転車両に遅延 1 秒未満で配信すること
自動運転システムまでの遅延時間が大きいと、緊急自動車の通過前に自動運転車両が一時停止させることが間に合わないおそれがあるため、本 KPI を設定した。
実証実験による結果では、Mobile GNSS が 99 ミリ秒、ITS Connect が 303 ミリ秒となり、目標を達成した。
- 緊急自動車が自動運転車両を通過する前に、自動的にハザードおよびブレーキ制御を行い、安全に一時停止をすること(100%)
緊急自動車の接近時には 100%の成功率で一時停止をし、緊急自動車の走行を妨害してはいけないため設定した。
結果として成功率は 95.4%にとどまったものの、高い成功率を示した。緊急自動車の相対速度が速く、緊急自動車通過前に一時停止できなかった状況、また交差点等一時停止を行ってはいけない箇所で減速開始したため、手動介入を行った状況においては、本項目を達成できなかった。
- 緊急自動車が自動運転車両を通過後、一定以上の距離が離れた場合に自動運転車両が自動的に再発進できること(100%)
緊急自動車通過後に、自動的に再発進を行わなければ後続の一般車両を妨害してしまうおそれがあるため、100%の成功率を設定した。
本実証実験では 100%の確率で達成できた。
- 緊急自動車が接近していない際に、自動運転車両が接近を過検知する割合が 5%以下であること

過検知とは、緊急自動車が接近していない際に、自動運転車両が接近したと検知し、一時停止することを指す。フェイルセーフの考え方により、緊急自動車が接近しているにも関わらず検知しない誤検知よりも、過検知の方が許容できるため、一定の発生は許容することとした。

ただし今回の実証期間中では過検知が発生せず、KPIを達成した。

表 3 ユースケース④ KPI/KGI 定量評価

番号	目標値/条件	得られた実験結果と考察																								
4	<ul style="list-style-type: none"> 目標値:緊急自動車の位置情報を自動運転車両に遅延1秒未満で配信すること 条件:安定したネットワーク環境であること 	<ul style="list-style-type: none"> 遅延時間の平均値および中央値は以下の通り。いずれも目標を満たしている <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">自動運転車両</th> <th colspan="2">Mobile GNSS</th> <th colspan="2">ITS Connect</th> </tr> <tr> <th>平均値(ミリ秒)</th> <th>中央値(ミリ秒)</th> <th>平均値(ミリ秒)</th> <th>中央値(ミリ秒)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EVO</td> <td>98</td> <td>94</td> <td>268</td> <td>237</td> </tr> <tr> <td>Minibus</td> <td>100</td> <td>96</td> <td>318</td> <td>251</td> </tr> <tr> <td>全体</td> <td>99</td> <td>95</td> <td>303</td> <td>247</td> </tr> </tbody> </table>	自動運転車両	Mobile GNSS		ITS Connect		平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)	平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)	EVO	98	94	268	237	Minibus	100	96	318	251	全体	99	95	303	247
		自動運転車両		Mobile GNSS		ITS Connect																				
			平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)	平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)																				
		EVO	98	94	268	237																				
Minibus	100	96	318	251																						
全体	99	95	303	247																						
<ul style="list-style-type: none"> ITS Connectの遅延時間はMobile GNSSと比べ大きい、これはITS Connectの方が経由するエッジが多い影響と推測されるが、自動運転車両の制御には影響がない 																										
5	<ul style="list-style-type: none"> 目標値:緊急自動車が自動運転車両を通過する前に、自動的にハザードおよびブレーキ制御を行い、安全に一時停止すること(100%) 条件:渋滞が発生していないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急自動車接近検知の成功率は目標の100%を達成(303/303回) 緊急自動車接近時に自動的に一時停止をする挙動の成功率は95.4%(289/303回) 失敗理由として、対向車線からすれ違う緊急自動車に対して通過前に一時停止が間に合わなかったり、自動運転車両が交差点内で一時停止する可能性のために手動介入したり、検知場所が狭く緊急自動車の進入を妨げる可能性があったりというケースがあった 緊急自動車や自動運転車両の方位角を用いた制御や一時停止場所の自動選定等より、高度な判断ロジックの検討が望まれる 																								
		<ul style="list-style-type: none"> 緊急自動車と規程距離離れた後、検知が外れる挙動の成功率は100%、自動的に再発進をする挙動の成功率も100%で目標達成(296/296回) 自動的に一時停止した後の挙動にならない=一時停止の際に手動介入している場合は、自動的に再発進は発生しないため、一時停止の試験試行回数と異なる 再発進においては目立った課題はないと考える 																								
6	<ul style="list-style-type: none"> 目標値:緊急自動車が自動運転車両を通過後、一定以上の離れた場合に自動運転車両が自動的に再発進できること(100%) 条件:自動的に一時停止した後の挙動であること 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急自動車と規程距離離れた後、検知が外れる挙動の成功率は100%、自動的に再発進をする挙動の成功率も100%で目標達成(296/296回) 自動的に一時停止した後の挙動にならない=一時停止の際に手動介入している場合は、自動的に再発進は発生しないため、一時停止の試験試行回数と異なる 再発進においては目立った課題はないと考える 																								
7	<ul style="list-style-type: none"> 目標値:緊急自動車が接近していない際に、自動運転車両が接近を過検知する割合が5%以下であること 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急自動車が接近していない状況で、緊急自動車を検知する事例は見られなかった 緊急自動車の検知の精度は高く、本手法は有用であると考えられる 																								

		<p>➤ 条件:過検知する割合 =過検知で一時停止した回数/(緊急自動車もしくは試験車が接近して一時停止した回数+過検知で一時停止した回数)</p>	
--	--	--	--

0.3 考察

レベル 4(高度運転自動化)の社会実装に向けては、現状の技術的成熟度や運用環境、社会的受容性等多面的な観点から整理が必要である。まず、実証実験を通じて明らかとなったのは、緊急自動車の位置情報を活用した自動運転車両の自動的な一時停止・再発進機能が、Mobile GNSS や ITS Connect の導入によって高い精度と安全性をもって実現できることである。これにより、周囲の交通流への影響を最小限に抑えつつ、緊急自動車への確実な対応が可能となった。しかしながら、今回の実証実験では運行ルートの特性上路肩への退避動作を実装していないため、今後は運行ルートや交通状況の多様化に応じて、より柔軟な退避機能の開発が求められる。また、停止位置の選定についても、交差点内での一時等従来 of MRM(Minimum Risk Maneuver)¹に準じた挙動にとどまっておらず、より安全かつ適切な場所での停止制御技術の高度化が不可欠である。加えて、レベル 4 自動運転車両では運転手が不在となるため、停止禁止場所の的確な認識や安全な退避場所の選定を自動で行う機能の実装が急務である。

さらに、今後の普及を見据えると、ITS Connect が標準搭載される救急車の増加は期待できるものの、非搭載車も一定数存在し続けることが想定される。このため、自動運転車両の運行ルート上を通行する救急車すべてに ITS Connect を後付けすることは現実的に困難であり、非搭載車両に対しても適切に対応できる仕組みや、ODD(Operational Design Domain:運行設計領域)²内外での運用ルールの明確化が必要である。特に大規模病院付近では遠方からの救急搬送が多く、すべての緊急自動車を網羅することは難しいため、今後は複数の検知手段や運用方法の検討が求められる。また、社会実装を進める上では、実証地域以外での環境変化や交通参加者の多様性等、より広範な条件下での検証も不可欠であり、こうした課題解決に向けた技術開発や制度整備、社会的合意形成が今後の重要なテーマとなる。

0.4 成果

本実証では、緊急自動車の位置情報を活用することで、緊急自動車の接近時に自動運転車両が自動的に一時停止および再発進を行うことが可能であることを確認した。特に ITS Connect を利用する

¹ MRM(最小リスク動作):異常や想定外の状況が発生した際に、自動運転車両が安全を最優先して行う停止や減速等の動作。周囲の交通参加者への影響を抑えつつ、危険を最小限にすることを目的とする。

² ODD(運行設計領域):自動運転車両が安全に走行できると想定される運行条件の範囲。道路種別、交通状況、天候、時間帯、周辺インフラの有無等の条件を組み合わせで定義される。

場合、緊急自動車の位置情報のみならず走行状態の情報も取得でき、緊急走行時のみ一時停止を実施する等、真に一時停止が必要な状況に限定して自動運転車両を一時停止させることができた。この仕組みにより、周囲の交通流への影響を最小限に抑えることが可能となった。

さらに、ITS Connect は今後救急車への標準搭載が見込まれており、自動運転車両の安全運行に有効なシステムであることを本実証で示すことができた。また、ITS Connect の導入により、救急隊員が追加の操作を必要とせず、リアルタイムで自動運転車両に位置情報を送信できることも明らかとなった。救急隊員へのアンケート調査でも、緊急走行への影響はなかったとの回答が得られており、今回の運用が緊急走行の妨げとはならなかったことが確認された。乗客アンケートでも一時停止タイミングについて適切との評価が得られた。これらの成果から、レベル 4 相当自動運転車両と外部システム (ITS Connect 等) との連携が、今後の社会実装に向けて運用面で有効であることが確認できた。

0.5 課題

今回の実証では運行ルートの特徴から路肩への退避動作を実装しなかったが、今後は運行ルートや交通状況に応じて路肩への退避機能の実装が必須となる。また、路肩への退避動作がない点や、緊急自動車検知後の停止位置に関する挙動については、今回使用した車両に具備されている機能に準じた挙動にとどまっており、より安全かつ適切な停止位置の選定と制御が求められる。さらに、レベル 4 自動運転車両では運転手が不在となるため、停止禁止場所を的確に認識し、安全な場所で退避を行う機能の高度化が必要である。

加えて、今後発売されるトヨタ社製の救急車には ITS Connect が標準搭載される予定であり、ITS Connect を搭載した緊急自動車は今後普及していくと予想されるが、非搭載車も一定数存在し続けると考えられる。自動運転車両の運行ルートを通る可能性が高い救急車には、ITS Connect を後付けすることが考えられるが、大規模病院付近では遠方より救急車で急患が運ばれてくるケースもあり、すべての救急車を網羅することは困難である。

社会実装を見据えると、実証地域以外での環境変化や交通参加者の多様性を考慮したさらなる検証が、今後の重要な課題となる。

1. 実証の背景・目的

1.1 実証の背景

高知市は、面積約 300 平方キロメートル、人口約 31.3 万人の高知県の県庁所在地である。しかし、人口は 2005 年から減少に転じ、2045 年には 27 万人まで減少すると予想されている。このような人口減少に伴い、公共交通の維持が課題となっている。

現在、高知市内には公共交通機関として、鉄道、路面電車、路線バス、乗合タクシーが存在する。これらの交通手段が機能分担・役割分担できるように、交通結節ポイントの機能強化を図り、スムーズに乗り換えできるようにすることを計画している。しかし、地域公共交通を担うときでん交通株式会社は、路線バスを中心とした運転手不足が深刻であり、バス運転手は、令和 5 年の 178 人から令和 20 年の 32 人まで減少する見込み^[1]である。このままでは、公共交通の維持が困難となり、市民の移動手段が制限されるおそれがあり、経済活動にも影響が出る可能性がある。

高知市地域公共交通計画^[2]や高知県地域公共交通計画^[3]では、多様な交通手段が相互に連携し、地域の実情に応じた持続可能な公共交通システムの確立を目指しており、その一つとして自動運転技術等の新たな移動手段の検討が計画されており、高知市長も自動運転車両の積極的な導入を公約^[4]として掲げている。自動運転技術は、運転手不足の解消だけでなく、安全性の向上や運行コストの削減にも寄与することが期待されている。

出典[1]:高知市 地域公共交通り・デザイン分科会(第 3 回)

<https://www.city.kochi.kochi.jp/uploaded/attachment/156983.pdf>

出典[2]:高知市地域公共交通計画

<https://www.city.kochi.kochi.jp/uploaded/attachment/116909.pdf>

出典[3]:高知県地域公共交通計画

https://www.pref.kochi.lg.jp/doc/2023033000302/file_contents/file_20233304202123_1.pdf

出典[4]:桑名りゅうご政策集

https://drive.google.com/file/d/12_UgfBV6s0SG9sB6j8iW6smzI2EU1JLC/view

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

【地域公共交通機関の維持における課題】

地域公共交通の主体であるときでん交通株式会社において、路線バス運転手の減少に伴い、直近では 2024 年 10 月に路線を 71 系統から 64 系統に削減^[5]している。

バス運転手不足による路線バスの便数減少において、乗合タクシーだけで公共交通を維持することが難しいため、自動運転車両への転換による路線バスの便数確保が必要である。利用者が見込める高知市中心地での自動運転が社会実装できれば、自動運転車両の導入が困難である他の路線へ運転手を振り分けることにより、持続可能な公共交通の維持にもつながる。

出典[5]:ときでん交通 10 月から路線バス 7 系統削減へ(NHK ニュース 2024 年 7 月 5 日)

<https://www3.nhk.or.jp/lnews/kochi/20240705/8010020929.html>

【高知市中心地での自動運転車両運行における技術課題(緊急自動車接近時の円滑な一時停止、再発進)】

自動運転車両への転換が見込まれる区間として、JR 高知駅と「高知日赤」「イオンモール高知」バス停を結ぶ区間が存在する。

「高知日赤」「イオンモール高知」バス停は、JR 高知駅から北に 1km に位置し、地域基幹病院である高知赤十字病院(1 日平均外来患者数 447.6 人(2022 年度実績))と大型商業施設であるイオンモール高知(年間来館者数 1,020 万人(2023 年度実績))の最寄りバス停であり、2 系統の路線バスが乗り入れている。この付近では、高知赤十字病院へ救急車により年間約 6,300 件(令和 3 年)搬送され、隣接する北消防署からは多岐にわたる 1 日消防車 3 件、救急車 10 件出動し、一帯は緊急自動車の通行が非常に多い。

本バス停を経由する 2 系統のバス路線を自動運転車両に転換する場合、自動運転車両が緊急自動車の通行の妨げにならないように、一時停止・再発進を実施する可能性が他の系統に比べて格段に高い。現状、自動運転車両に緊急自動車の接近を通知することは可能であるが、運転制御と連携する技術は実用化されていない。特に、レベル 4 の完全無人化が実現した場合、緊急自動車の接近に対応できないという課題がある。このため、緊急自動車の接近を検知し、迅速かつ安全に進路を譲る技術の開発が急務である。

1.3 実証の目的

緊急自動車接近時の自動運転車両の挙動については、世界的な懸念事項である。自動運転車両が、一刻を争いながら走行している緊急自動車の妨げとなることは決して許されない。レベル 4 自動運転社会実装時には、複数車種での運行も想定されることから、今回の実証においても複数車種での緊急自動車接近時の挙動を検証する。今回のように消防署や大規模病院を通るルートの場合、自動運転車両の走行が緊急自動車にとってリスクと捉えられ、路線バスからの置き換えが難しくなるおそれがある。今回の実証により、自動運転車両が緊急自動車の妨げとならず、自動運転車両が他の交通参加者同様に安全に一時停止、再発進できることを示すことで、自動運転車両と緊急自動車が共存できる交通網を目指す。なお、道路交通法では「緊急自動車が接近した場合、交差点又はその付近では交差点を避けて左側に寄って一時停止し、それ以外の場所では左側に寄って進路を譲らなければならない」と規定されているが、本実証においてはレベル 4(高度運転自動化)を見据えた検討として重要度の高い「一時停止」と「再発進」を対象を絞り、各種検証を行った。

【解決策① 緊急自動車の位置把握システム構築】

緊急自動車の位置情報、車線情報等を把握する位置把握システムを構築する。消防署や病院の協力を得て、緊急自動車に発信機を設置することで、緊急自動車の位置情報等を取得する。また、本システムは各社のフリートマネジメントシステム³(以下遠隔監視システムと表記)と連携を行い、緊急自動車接近時の自動運転車両の制御に資するシステムとする。

³ フリートマネジメントシステム(FMS):車両の位置や運行状況を遠隔から一元的に管理・監視するためのシステム。

【解決策② 緊急自動車の位置情報を活用した一時停止・再発進】

位置把握システムで取得した緊急自動車の位置情報を活用し、自動運転車両が安全な場所で一時停止、再発進できるように、各社遠隔監視システムおよび車載システムの改修を行う。

1.4 最終目標・構想イメージ

市街地において自動運転車両を導入した定時定路線型の移動サービスを提供することを最終目標とする。自動運転技術の安全性・優位性・可能性を確認し、今後実装可能な距離に応じて市内各地域での路線バスの置き換えを目指す。

また、JR や路面電車を主とした幹線輸送と、自動運転車両の支線輸送が連携・補完し合うことで、相互の利用促進につなげ、高知市地域公共交通計画で掲げられた、「市民とともに、支え・はぐくみ、次世代へつなぐ公共交通」の実現に寄与する。

将来的な無人自動運転実現に向けては、車両間の通信や路車協調システム⁴により、信号待ちや渋滞時間を減らしスムーズな交通の流れを確保する。さらに、リアルタイム交通データ解析により需要予測や適切な車両配置を実施し、運行の最適化を図る。

加えて、自動運転車両と人が運転する車両が混在する環境下においてより安全を担保するために、本実証で検証する緊急自動車接近時の安全な一時停止・再発進の仕組みを確立させるだけでなく、自動運転車両と路車協調システム等の周辺インフラ情報を的確に連携させ、事故リスクを最小限に抑える取り組みを進める。

一方で、今後超高齢化社会の到来が予測されることから、運転免許証を返納した市民等の交通手段の選択肢の幅を広げ、交通利便性を向上させることはもちろんのこと、すべての市民にとってより自由な移動が可能となる、持続可能な次世代公共交通の実現を目指す。

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

市内を運行するときでん交通では、運転手不足により直近では 2024 年 10 月に路線を 71 系統から 64 系統に削減^[5]しており、令和 13 年度には 4 割が減少する見込みと試算している。自動運転車両走行時に緊急自動車が接近する事象は、本実証ルートだけでなく、すべての路線で起こり得る。本実証ルートにおいて、緊急自動車接近時の自動運転車両の安全な挙動を確立することで、他路線での自動運転車両導入検討のハードルを下げる。また、路線の需要に合わせた車両選択が必要となってくることから、定員の異なる 2 車種での実証を行うことで、緊急自動車接近時の安全確保の課題に対して、本実証で構築するシステムが自動運転メーカーによらず解決できることを目指す。

また、高知市では自動運転車両の走行が初めてとなることから、今回の実証を通して地元住民や他の交通参加者からの社会受容性を検証する。

⁴ 路車協調システム：信号機や道路設備等のインフラと車両が通信し、信号情報や注意喚起情報等を共有する仕組み。自動運転車両の安全性や円滑な走行を支援するために用いられる。

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 高知支店
	代表者氏名	村井 孝至
	所在地	高知県高知市帯屋町二丁目 5 番 11 号
	業務の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証計画策定・進捗管理 ・ 緊急自動車に設置した通信機器から取得した情報を自動運転車両へ共有するためのシステム仕様設計および信頼性評価 ・ 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
	代表者氏名	宮崎 一
	所在地	大阪府大阪市北区大深町 3 番 1 号
	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 泰之
	所在地	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 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

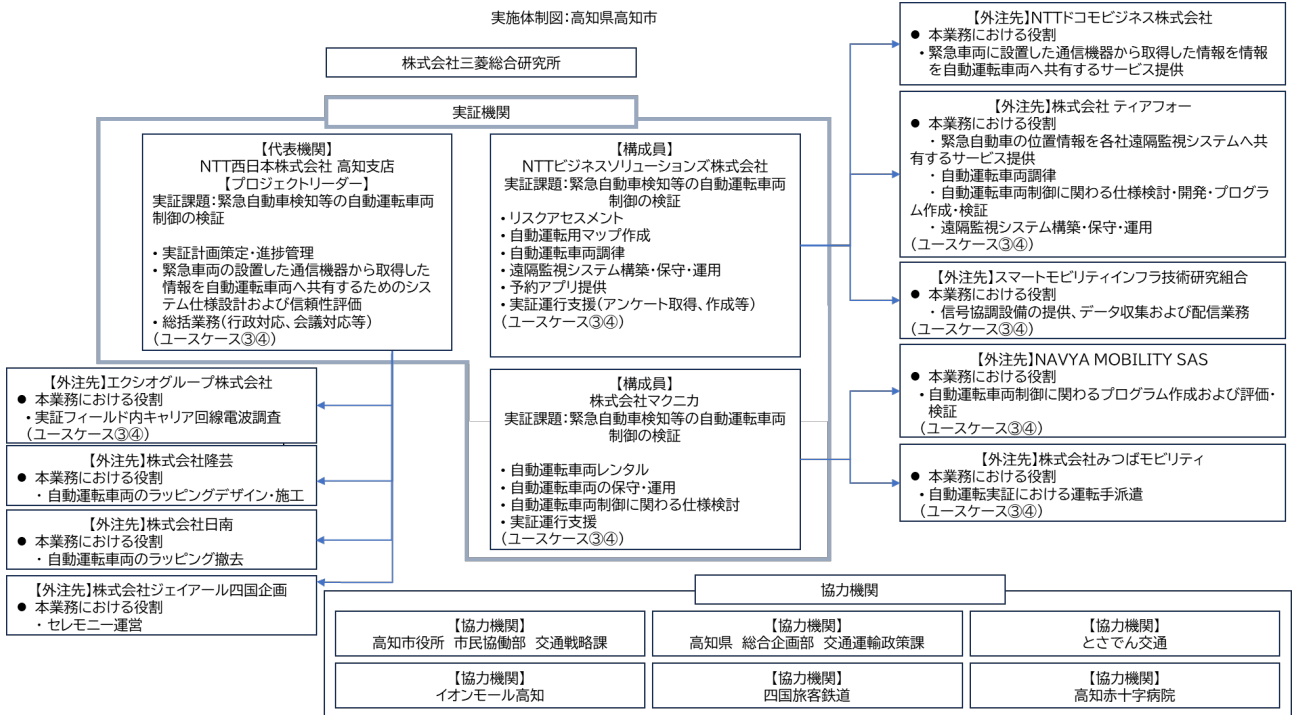


図 1 実施体制図

3. 自動運転の運行結果

3.1 運行場所

本実証ルートは JR 高知駅の北口の高知駅前ロータリーから、片側 2 車線の市道江ノ口 4 号線を北上し、イオンモール高知の敷地内にあるイオンモール高知バス停に停車後、高知赤十字病院の敷地内を走行し、高知赤十字病院前のバス停を経由、高知駅前ロータリーに戻る約 2.6km のルートである。なお、ルート上には、信号機のある交差点が 7 ヶ所存在する。

高知北消防署から出動する緊急自動車や高知赤十字病院へ向かう緊急自動車は、市道江ノ口 4 号線を使用するため、緊急自動車と遭遇する可能性が他の道路より高い。休日はイオンモール高知へと向かう家用車が増えるため、北行の交通量が増えるが、平日は夕方の時間帯を除き渋滞することは少ない。

また、高知駅からイオンモール高知、高知赤十字病院を結ぶ路線バスは 2 系統存在し、そのうち 1 系統が本実証ルートと同様に市道江ノ口 4 号線を通るルートであり、平日 8 本、土休日 6 本(いずれも往復)、もう 1 系統は平日、土休日ともに 24 本運行されている(往復)。

実証ルート上は、原則レベル 2(部分的運転自動化)で走行する。路上駐車が極めて少ないルートではあるが、路上駐車や事故等で走行車線が塞がっている場合は手動操作にて回避する。また、信号機の灯火情報を車両側に通知する信号連携装置をルート上の①で表す交差点に設置する。

緊急自動車の位置情報を把握するために、携帯キャリア回線を用いるが、本実証ルートは高知駅から約 1km 以内の高知市中心部にあたり、各通信キャリアのサービスエリア内である。

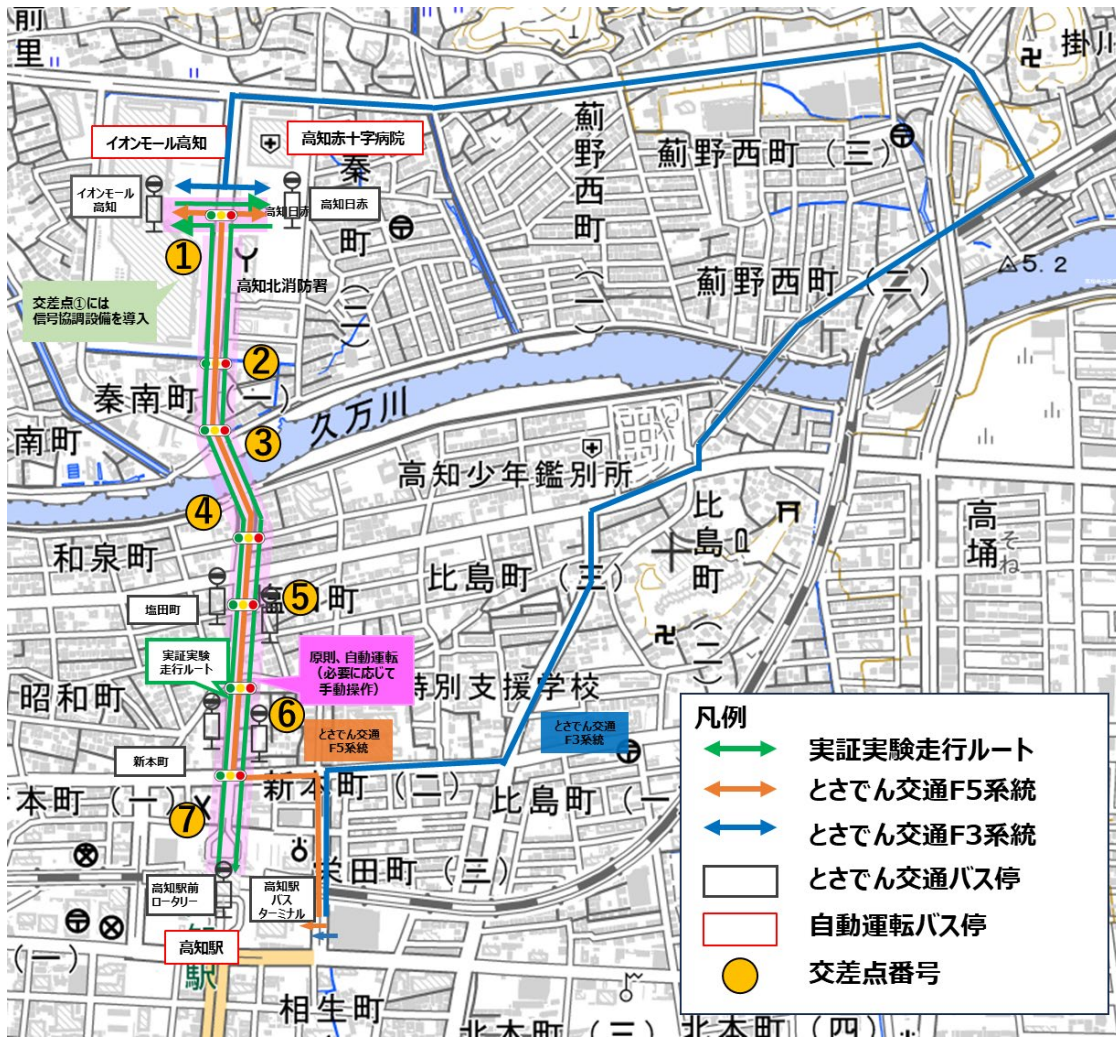


図 2 運行場所(出典:国土地理院地図を加工して作成)

3.2 運行期間

表 5 運行期間

運行内容	運行期間・運行日数
準備運行	Navya 社 EVO:11月7日～11月30日 計23日間 ティアフォー社 Minibus:11月27日～12月10日計13日間
関係者試乗運行	Navya 社 EVO:12月11日、12日 計2日間 ティアフォー社 Minibus:12月11、12日計2日間
一般運行等	Navya 社 EVO:12月20日～12月26日 計7日間 ティアフォー社 Minibus:12月13日～12月19日 計7日間
その他運行	なし(車両調律は準備運行に含む)

3.3 運行時間帯・頻度・運行方式

本実証実験では、運行方式を定時定路線型の定常運行とする。運行時間帯は 9 時～18 時、1 時間に 1 本運行し、一日 6 便、一便の往復所要時間は 45 分である。

通常の路線バスでは、高知駅前からイオンモール高知、高知赤十字病院までの片道所要時間は 9 分であるが、本実証実験においては緊急自動車接近時の自動運転車両の挙動確認試験を実施することから、通常路線バスの倍となる片道約 18 分での運行とした。また、各バス停にて乗客へのアンケート配布・回収も行ったことから、通常の路線バスよりも所要時間が長くなっている。

また、ルート上の法定速度は 40km/h であるが、自動運転車両は低速(EVO:最高速度 18km/h、Minibus:最高速度 35km/h)のため、低速走行である旨を自動運転車両の車体に掲示し、周囲の交通参加者からの追突を防ぐ。

3.4 運行者

株式会社マクニカ

3.5 運行体制

表 6 運行体制

項目	内容
運行管理者の選任・人員体制	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) 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 1～2 名選任実施
遠隔監視設備	種類・特徴
	【種類】

		株式会社マクニカ everfleet 【主な特徴】 ・ 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	・ 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	NTT 西日本 高知支店 〒780-0841 高知県高知市帯屋町二丁目 5 番 11 号
遠隔監視員	事業者	株式会社マクニカ NTT 西日本株式会社 高知支店 NTT ビジネスソリューションズ株式会社 株式会社みつばモビリティ
	人員体制	遠隔監視員の人数: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	・ 運行状況の常時確認 ・ 事故発生時のオペレーションに従った乗客との対応(車内カメラ・マイク・スピーカー) ・ 事故発生時の通報等関係各所との連携 ・ 車内監視 ・ 遠隔での乗客対応
	遠隔監視体制	遠隔監視体制は 1:1
	業務従事者教育	業務従事予定者に対し、サイトごとに作成する「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。
	テストドライバー(以下「オペレーター」とする。)	事業者
	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 ※事業者でシフト体制を組んで対応
	オペレーション	自動運転システムの動作状況の確認および緊急時の手動介入を通じて安全な運行を行う。
	オペレーターの確保およびこれらに対する業務従事者教育・訓練の計画	【EVO】 事業者に参加するオペレーターは、原則自動運転システムおよび車両構成に関する技術研修および実験施設内での研修を受講している。 さらに、本実証におけるオペレーターは、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、運転技術が優れたものを選定する。

		<p>なお、オペレーターは、株式会社マクニカよる関係法令や安全管理に関する研修を毎年受講しており、関係法令、安全管理・緊急時対応および自動運転技術に関する最新の知識を有している。</p> <p>【Minibus】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 相当の運転経験を有し、かつ、運転技術が優れていること ・ 実験車両の自動走行システムの仕組みや特性を十分に理解していること ・ 公道実証実験の実施前に、実験施設等において、自ら実験車両の自動走行システムを用いて運転し、緊急時の操作に習熟していること <p>上記に関するティアフォー社内の教育受講済み</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	株式会社マクニカ NTT 西日本株式会社 高知支店 NTT ビジネスソリューションズ株式会社 株式会社ティアフォー 株式会社みつばモビリティ
	人員体制	遠隔監視員の人数:1人 自動運転車両 1台当たりの配置人数:1人 ※事業者でシフト体制を組んで対応
	オペレーション	自動運転システムの安全確認および運行支援を行う。
	業務従事者教育	保安員は、株式会社マクニカおよび株式会社ティアフォーによる関係法令や安全管理に関する研修を受講しており、関係法令、安全管理・緊急時対応および自動運転技術に関する最新の知識を保有している。

3.6 自動運転車両の特徴

表 7 自動運転車両の特徴(EVO)

項目		内容
台数		1
所有者		株式会社マクニカ
車両 スペック	車両名	Navya Mobility 社「EVO」
	自動運転レベル	レベル2(部分的運転自動化)
	車両定員	12人
	試乗枠の定員	9人
	最高速度	車両機能上限:25km/h (ただし保安基準適合上の関係で「19km/h」にて登録申請)

		実証実験時上限:18km/h
	センシングデバイス	2D LiDAR:6 個、3D LiDAR ⁵ :4 個、カメラ 2 個
	車両性能 (チェックを入れること)	☑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
		☑レベル2(部分的運転自動化)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レベル4(高度運転自動化)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
	運行管理システム (チェックを入れること)	☑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ー等により収集した車両状態情報を含む各種データ、センサー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"> ・ IMU⁶:2 個 ・ RTK-GNSS⁷:2 個 ・ オドメトリ⁸
走行可能環境	天候	晴～曇り 霧:100m 先が見通せる状態まで 雨:霧雨(Drizzle)1mm/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

⁵ LiDAR(2D/3D):レーザー光を用いて周囲の物体や距離を検知するセンサー。2D は平面的な検知、3D は高さを含めた立体的な検知が可能であり、障害物認識等に利用される。

⁶ IMU(Inertial Measurement Unit):車両の動き(加速・減速・傾き・回転)を検知するためのセンサー装置。

⁷ RTK-GNSS(高精度衛星測位):通常の GPS 測位に補正情報を加えることで、位置をセンチメートル単位で把握できる測位技術。

⁸ オドメトリ:車輪の回転量等から、車両がどれだけ進んだかを推定する仕組み。

	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	自車操作	左折	可	
		右折	可	
		車線変更	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	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		V2X(Vehicle-to-Everything) ⁹ を活用した信号認識可能。 カメラによる信号認識可能。	
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		TD-001 ¹⁰ フォーマットで緊急自動車接近の信号を受信した際、車両制御を行う。		
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(1回の充電で約9時間(約100km)の自動走行が可能) ・ 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有 ・ EVO はレベル4(高度運転自動化)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)の同乗なしでの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 		

⁹ V2X(Vehicle-to-Everything):車両と周囲のさまざまな対象との通信を指す総称。

¹⁰ TD-001:緊急自動車の位置や走行状態(通常走行/緊急走行等)をまとめて扱うためのデータ形式。

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 車室内に大型ディスプレイを搭載しており、広告配信等に活用可能
--	---

表 8 自動運転車両の特徴(Minibus)

項目		内容
台数		1台
所有者		株式会社ティアフォー
車両 ス パック	車両名	ティアフォー社「Minibus」
	自動運転 レベル	レベル4相当
	車両定員	23
	試乗枠の定員	12 着座指定
	最高速度	車両機能上限:70km/h
		実証実験時上限:35km/h
	センシング デバイス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3D LiDAR :8 台(長:4台・短:4台) ・ ミリ波レーダ¹¹ :1 台(長:1台・短:4台) ・ カメラ(信号認識用):1台 ・ カメラ(物体認識用):7台 ・ カメラ(遠隔監視用):8台 ・ GNSS :1台 ・ IMU :1台
車両性能 (チェックを入れる こと)	<p>☑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</p> <p>☑レベル2(部分的運転自動化)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レベル4(高度運転自動化)での走行が可能であること</p>	

¹¹ ミリ波レーダ:電波を用いて周囲の物体の距離や速度を検知するセンサー。

		☒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)	☒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ー等により収集した車両状態情報を含む各種データ、センサー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	電気自動車		
走行可能環境	天候	晴れ、曇り、雨に対応(15mm 以下)		
	照度	1~10000lux 街灯がある環境においては夜間~昼間まで対応 (本ルートにおいては夜間も走行可能)		
保有機能	自転車 操作	左折	走行可 否	可
		右折	走行可 否	可
		車線 変更	走行可 否	可
		障害物 回避	対応可 否	可
	対象認識		20cm 立方体以上	
	白線認識		行わない	
	標識認識		行わない	
	信号認識		可(カメラおよび信号連携(V2I ¹²)) ※ただし本実証実験では信号連携による信号認識は行わない	

¹² V2I:車両と道路インフラ(信号機等)との通信。

	MRM	有り
本実証のために実施する自動運転システム改修の内容		TD-001 フォーマットで緊急自動車の信号を受信した際、車両の安全を確保する制御を行う
その他特徴等		<ul style="list-style-type: none"> ・ インフラセンサー情報の受信および表示性能を確認するために、試験用の受信機器と表示機器を搭載する ・ BYD 社より購入した車両を日本国内で改造している ・ 業務委託契約の別添 1 の 6 条 1(1)で記載のある、基準緩和認定について、本実証で使用する車両は今回の走行においては「特別装置型自動運転車」に該当しないため、基準緩和認定は不要

3.7 自動運転に関する手続き

実施にあたって、下記の報告および許可申請を実施した。

表 9 手続き一覧

申請先・調整先	申請内容・調整内容
高知県警	道路使用許可申請・リスクアセスメント報告書の提出。事故発生時の対応フローを事前準備し、運行計画等に反映することで合意 ※看板設置に係る道路占用許可申請については、道路使用許可申請にて内容確認 ※バス停留所における駐停車合意の公示については、高知市道路管理課・イオンモール高知・高知赤十字病院から許可を得られたため、不要と確認
関東運輸局	基準緩和認定申請、実証実験運行計画書の提出
高知市道路管理課	歩道上9ヶ所への周知看板設置について許可申請。バス停留所前、道路3ヶ所の駐停車についての合意。高知駅北口の利用について、市道一時使用届出書の提出
とさでん交通株式会社	イオンモール高知、高知赤十字病院ではとさでん交通のバス停留所を利用するため、既存の定期路線運行に支障が生じないように、運行ダイヤを調整
高知赤十字病院	高知赤十字病院のバス停留所の使用承認の申請
イオンモール高知	バス停留所利用の許可申請
高知市消防局	自動運転車両走行の旨を事前説明。高知市消防局所有の救急車に対する ITS Connect 機器の追加搭載を依頼、承諾をいただき施工

南四国個人タクシー協同組合 高知個人タクシー協同組合	自動運転車両運行に伴う高知駅北口のロータリー駐車場の利用について、FAX 送信と電話にて事前確認
-------------------------------	--

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

4.3.1 レベル4自動運転の実現に向けた緊急自動車検知システムの検証

1) 目的

レベル4自動運転の実現に向けては、緊急自動車が接近した際の自動運転車両の安全確保が課題の一つとなっている。現在は、緊急自動車が発する音を検知する等して、自動で一時停止するような技術開発が進められているが、環境条件等により安全性を確保して一時停止できない可能性もあり実用化には至っていない。こうした状況の解決に向け、本実証では緊急自動車の運転状況を把握するために、緊急自動車の接近を各社遠隔監視システムに通知するシステムを構築し、緊急自動車接近時における安全な自動運転走行の実現に必要な通信・システム要件について検証する。

2024年度に実施した、「GNSSを活用したレベル4自動運転バスの緊急自動車(救急車)対応システムの実現(群馬県前橋市・中之条町)」^[6]では、緊急自動車に設置した Mobile GNSS 受信機や緊急自動車のサイレン音により、緊急自動車の位置情報を自動運転車両に通知していた。一方緊急自動車に Mobile GNSS 端末を設置することは、消防機関等の調整が必要であり、既存の緊急自動車に設置することはハードルが高い。また、サイレン音による検知方法は、既存の緊急自動車に特段の改造工事は必要としないが、検知率が約 3 割にとどまっており実用的ではない。そこで、本実証実験では緊急自動車に設置が進みつつある ITS Connect を用いた緊急自動車の位置情報の取得を検証する。シェア 8 割を超えるトヨタ自動車製の救急車には、2024 年販売分から標準搭載されており、トヨタ自動車以外の救急車にも設置が進んでいる。本ユースケースでは、ITS Connect による緊急自動車の位置情報の正確性や遅延時間を Mobile GNSS 端末によるものと比較を行う。

出典[6] レベル4自動運転移動サービスの社会実装促進に向けた通信システムの信頼性確保等に関するモデル集 第1版

https://www.soumu.go.jp/main_content/001001867.pdf

2) 実証内容の詳細

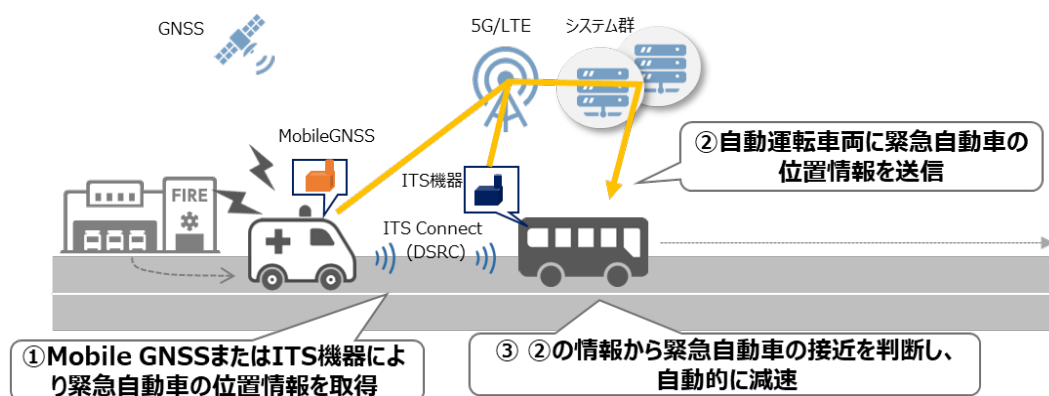


図 3 実証イメージ

本実証では、緊急自動車の位置情報を ITS Connect または Mobile GNSS のいずれかの手段で収集する。収集した位置情報は、遠隔監視画面上にリアルタイムで視覚的に表示され、遠隔監視者が緊急自動車の動きを一目で把握できるようにする。また、この位置情報は自動運転車両へ配信され、自動運転車両が緊急自動車の接近状況に応じて安全かつ適切な制御を行えるよう活用される。

具体的には、ITS Connect を活用する場合、緊急自動車に設置された ITS Connect により、位置や速度、走行状態(緊急走行か否か)等の情報を取得し、これを自動運転車両の遠隔監視システムに送信する。一方、Mobile GNSS を利用する場合、RTK 補正により高精度な位置情報を緊急自動車から取得し、同様に遠隔監視画面上に表示するとともに、自動運転車両側にも配信する。

これらの情報は、自動運転車両が緊急自動車の接近時に進路を譲る等の制御判断を行う際の重要な判断材料となる。また、実証実験では、ITS Connect による情報取得と Mobile GNSS 端末による情報取得の正確性や遅延時間を比較し、それぞれの技術が自動運転車両の安全な走行制御にどの程度有効であるかを評価する。

3) 利用技術

緊急自動車の位置把握のために以下の 2 つの手段をそれぞれ用いる。

- ITS Connect

車両や信号と通信し、交差点や死角での安全運転を支援する V2X (Vehicle-to-Everything)システムを緊急自動車に設置することで、車車間通信機能を利用して緊急自動車の位置、速度、進行方向、走行状態(緊急走行か否か)等を周囲の自動車に知らせることができる(図 4)。

- Mobile GNSS

携帯端末で高精度測位を実現する技術で、RTK 補正でセンチメートル級の精度で測位が可能。緊急自動車に設置し、緊急自動車の位置情報を取得する(図 5)。



図 4 ITS Connect 車載器とアンテナ



図 5 Mobile GNSS

4) 必要性・緊急性・新規性

【必要性】

- 今回自動運転車両を走行させることを予定しているルートは、緊急自動車の発着点となる消防署や病院、あるいは人が多く集まる駅や商業施設を通るため、緊急自動車と遭遇する確率が高く、今後レベル4での通常運行を実現する上では、緊急自動車接近時に緊急自動車の進路を確保することが必要不可欠である。
- 緊急自動車接近時の道路状況(一般の交通参加者が存在する)をテスト環境で再現することは難しいため、緊急自動車接近時の道路状況を再現できる可能性が高いエリアにて本実証を行う必要がある。
- ITS Connect のような車車間通信システムから得た情報から自動運転車両(Navya 社製およびティアフォー社製)が直接車両を制御することはできないため、周辺環境情報を用いて車両制御を行う場合、ネットワークを経由して制御する仕組みを構築する必要がある。

【緊急性】

- 緊急自動車の接近は頻度の多少はあるものの、日本全国どこにおいても起こり得る事象であり、公道におけるレベル4での通常運行の拡大を目指す上では早期に解決すべき課題である。
- としでん交通では運転手不足が深刻であり、自動運転車両への転換が期待されている。高知駅より南のエリアでは、路面電車が走っており自動運転車両への転換が難しく、そのため、高知駅より北のエリアでの自動運転車両の転換が求められているが、緊急自動車の通行の多さが課題の一つである。

【新規性】

- 自動運転システムが緊急自動車の位置情報を検知・通知し、それを用いて自動で一時停止および再発進した事例は存在しない。

5) 検証条件

- 交通密度:渋滞が発生していないこと
- 車両速度:18km/h (EVO)、25km/h(Minibus)
- 通信区間:約 1.1km(ルート全線)
- 必要伝送量:ビットレート 5Mbps

本実証実験では、緊急自動車接近時に自動運転車両を安全に一時停止させることを目的としている。そのため、渋滞時には自動運転車両がすでに停止しており、緊急自動車が接近した際の自動運転車両の挙動が変わらないため、渋滞発生時は検証条件から外すこととする。

本実証実験のルートでは、全線において各通信キャリアのサービス提供エリア内であり、簡易的な測定では常時 10Mbps 以上の速度を測定している。本実証実験内で、詳細な電波測定調査を実施し、通信品質・速度に問題がないことを確認する。

緊急自動車の位置情報や接近情報を検知し、各社の遠隔監視システムに伝送し自動運転の制御に資する情報を提供できるかを検証する。また、自動運転車両および緊急自動車に端末を設置することから、実運用に耐えられる仕組みであるかを検証する。

なお本検証はユースケース④と同時に行う。

6) 開発・評価項目

表 10 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	ITS Connect 位置情報を中継するシステムの開発(図 6 参照)
(2)	遠隔監視システムの開発(図 6 図 7 参照)

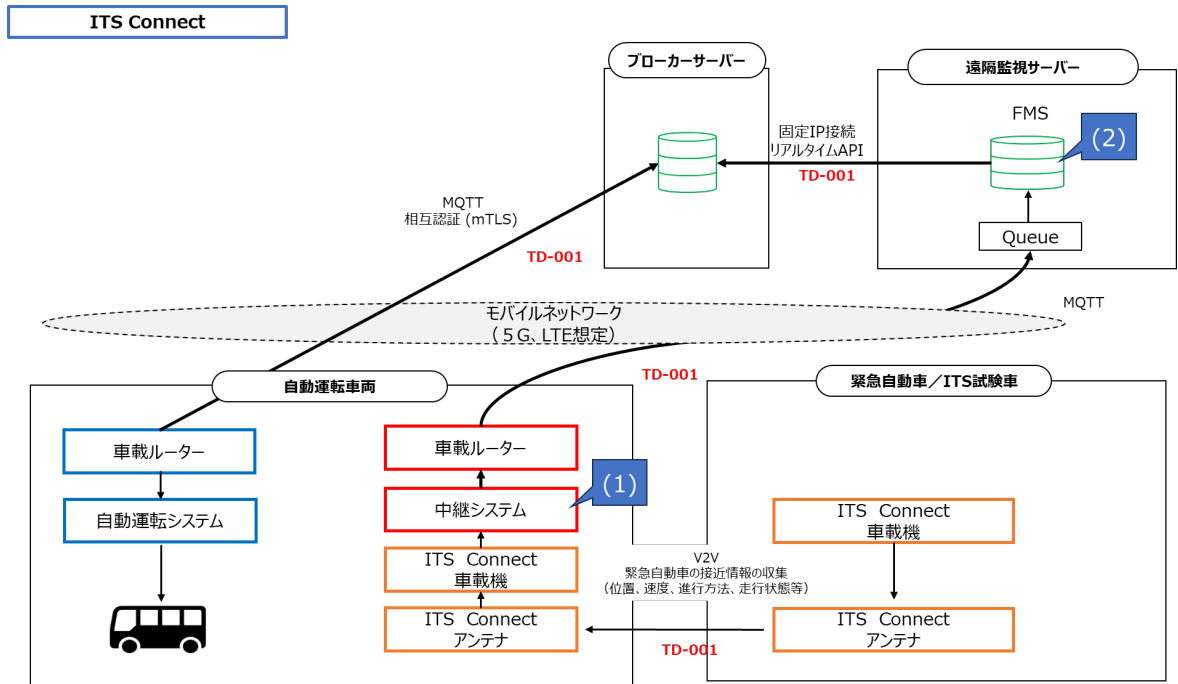


図 6 ITS Connect システム構成図

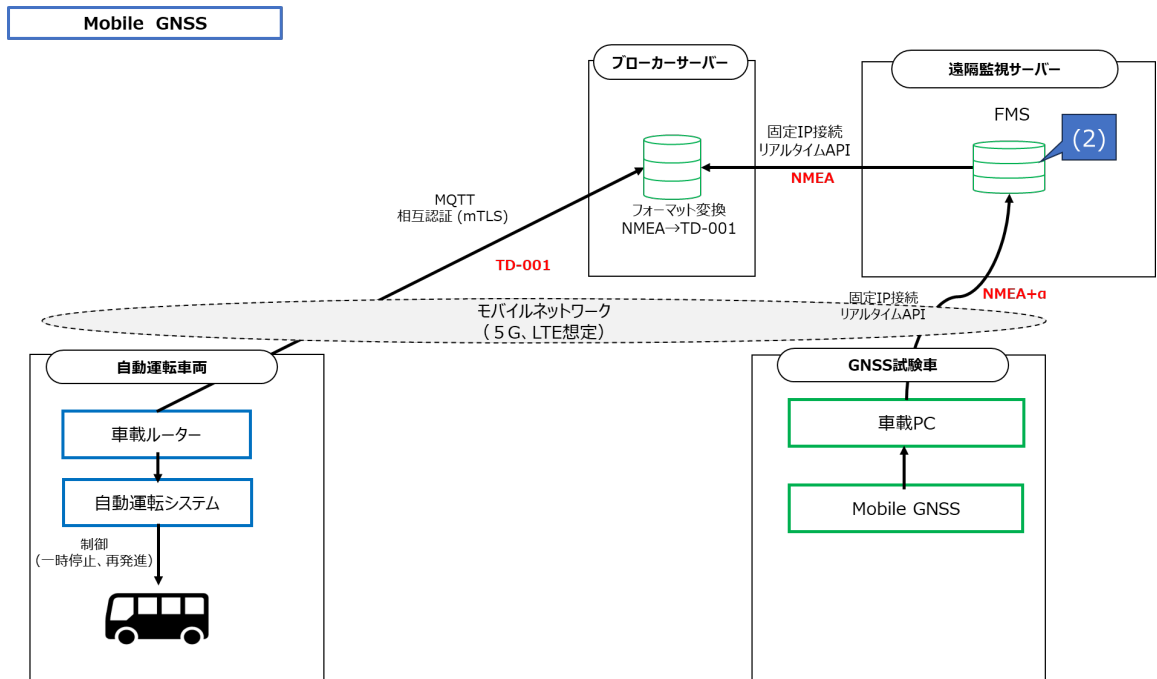


図 7 Mobile GNSS システム構成図

(1) ITS Connect 位置情報を中継するシステムの開発

本実証実験では、緊急自動車の位置把握を目的として、ITS Connect および Mobile GNSS を使用する。

各機器で取得した位置情報を、インターネット上に構築した遠隔監視サーバーへ送信する仕組みが必要となる。しかし、ITS Connect は車車間等近接距離通信を行うシステムであるため、インターネットに直接接続することはできず、取得した位置情報を遠隔監視サーバーに送信するためには別途仕組みが必要となる。そこで、緊急自動車の ITS 車載器で受信した位置情報を中継し、遠隔監視サーバーへ送信するシステムを開発する。

本書では、このシステムを「中継システム」と呼称する。中継システムは、ITS 車載器とともに自動運転車両へ搭載する必要がある。そのため、ラズベリーパイ(Raspberry Pi)上に構築し、費用を抑えられるようにする。

(2) 遠隔監視システムの開発

緊急自動車の位置を地図上に表示し、遠隔監視を行うためのフリートマネジメントシステム(FMS)を開発する。緊急自動車の位置情報は、ITS Connect および Mobile GNSS から送信されたデータが格納されているが、ITS Connect の位置情報は TD-001 形式、Mobile GNSS の位置情報は NMEA¹³形式であるため、データ送信元に応じて処理を分ける必要がある。

本書では、このシステムを「遠隔監視システム」と呼称する。

7) KPI/KGI

表 11 KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	-	設定なし
定量評価	(1)	緊急自動車の位置情報をブローカーサーバーに遅延 400 ミリ秒未満で配信すること
	(2)	システムの信頼性 99.9%
	(3)	緊急自動車の車両位置許容誤差 3m
	(4)	自動運転車両に設置した機器が走行の振動に耐えうること

(1) 緊急自動車の位置情報をブローカーサーバーに遅延 400 ミリ秒未満で配信すること【定量評価】

緊急自動車が通過する前に自動運転車両が一時停止できなかった場合、その要因が通信遅延であるかを確認するため設定した。車載端末が位置情報を受信した時刻からブローカーサーバー¹⁴に到達するまでの遅延時間を各システムのログより算出し、計測する。

¹³ NMEA:衛星測位(GNSS)で取得した位置情報等を表現するためのデータ形式。主に緯度・経度・時刻等の測位情報を扱う。

¹⁴ ブローカーサーバー:データを送信する側と受信する側の間に立ち、情報の中継や配信を行うサーバー。

遅延時間の計測にあたり、各機器、システム間で時刻同期の方法を合わせる事が理想だが、機器やネットワーク環境の制約により方式の統一が困難なため、ITS Connect および Mobile GNSS は GNSS 時刻同期を使用し、遠隔監視サーバーおよびブローカーサーバーは Amazon Time Sync Service を使用することとした。

2つの時刻同期方式について主な違いは以下の表 12 の通りである。

表 12 時刻同期方式

項目	GNSS 時刻(GPS 等)	Amazon Time Sync Service
本実証での利用機器	ITS Connect Mobile GNSS	遠隔監視サーバー ブローカーサーバー
精度(理想的条件)	数ナノ秒~数十ナノ秒	数マイクロ秒(PHC 使用時)
受信環境の影響	屋外アンテナ必須、環境依存	AWS インフラ内で安定供給
利用対象	PRTC/基地局/電力ネットワーク等	EC2・クラウドアプリケーション
時刻源	衛星原子時計	GPS-Disciplined Clock + AWS 内部基準

遅延時間測定に大きく影響する要因は位置情報の精度差であると考えられる。しかし、基準として用いる位置情報データは TD-001 形式であり、TD-001 の時刻情報はミリ秒単位で記録されている。そのため、本実証実験で要求される精度を十分に満たしており、精度の差による遅延時間への影響はないものとして実証を進める。

ユースケース③での遅延時間測定範囲は緊急自動車の位置情報が設定された時刻から、ブローカーサーバーで位置情報を受信した時刻までとする。機器ごとの測定範囲は以下の通りとする。

- ITS Connect
緊急自動車の ITS Connect 車載器からブローカーサーバーまで(図 8 参照)
- Mobile GNSS
緊急自動車の Mobile GNSS からブローカーサーバーまで(図 9 参照)

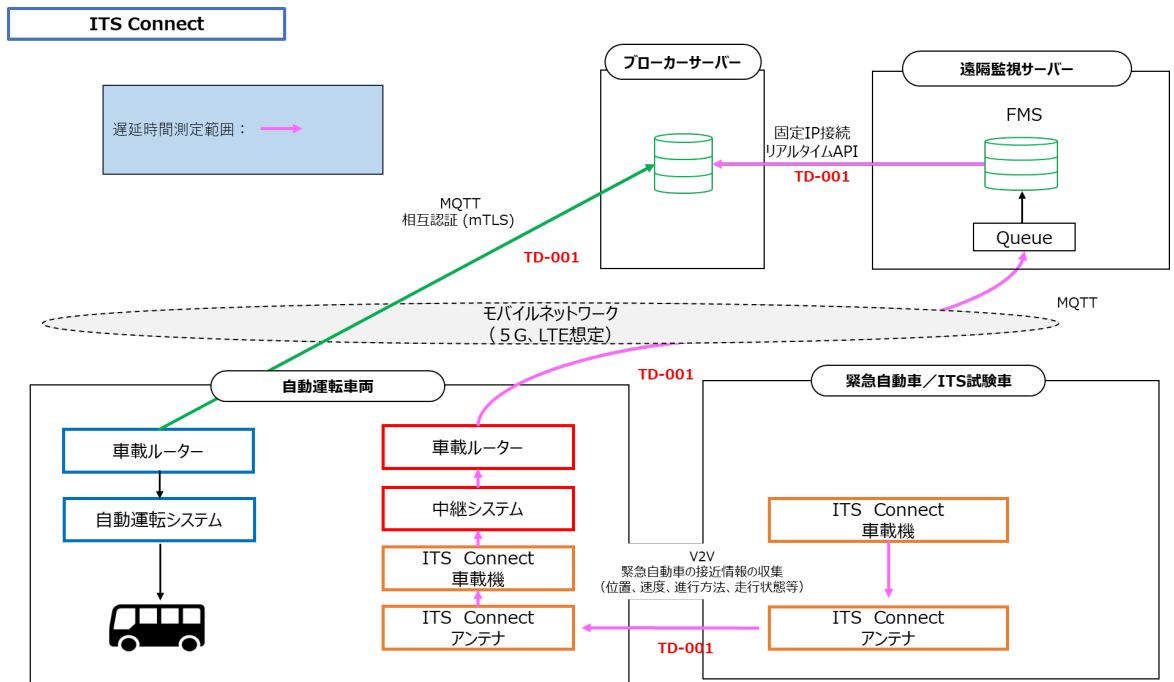


図 8 ITS Connect システム構成図

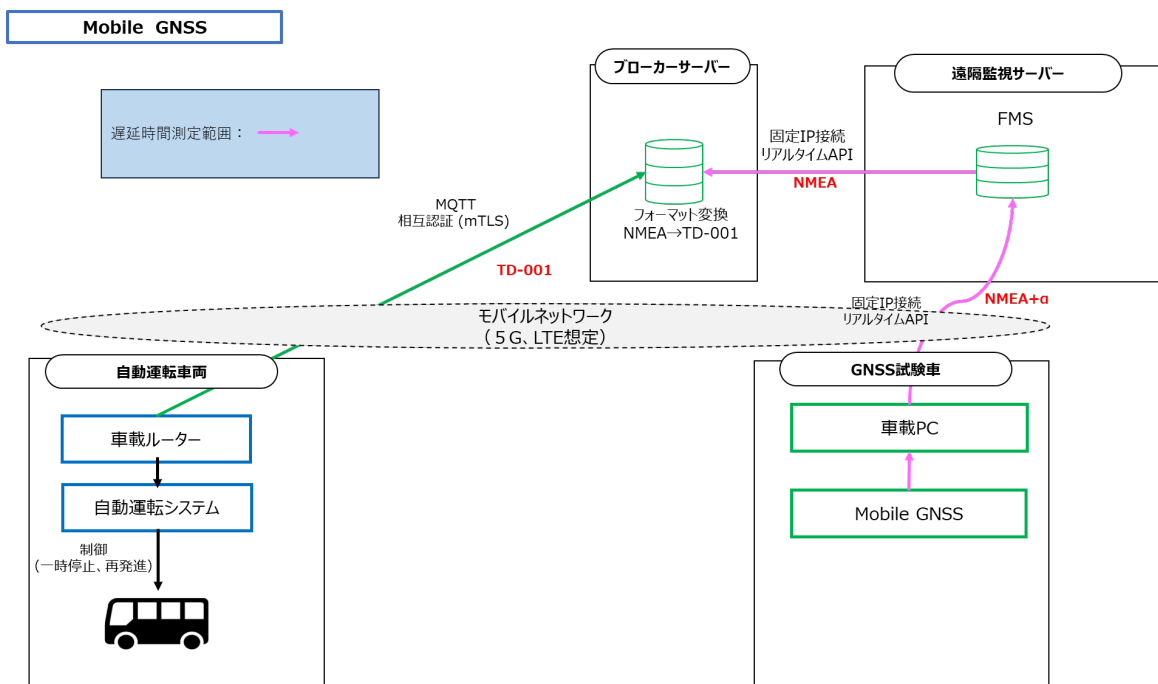


図 9 Mobile GNSS システム構成図

(2) システムの信頼性 99.9%【定量評価】

運行時間中は常に稼働し続けることが求められており、実運用に耐えられるか検証する必要があるため設定した。稼働状況をモニタリングし、測定を行う。

(3) 緊急自動車の車両位置許容誤差 3m【定量評価】

ITS Connect の位置情報が、緊急自動車接近時に一時停止・再発進に有用かを評価する。ITS Connect と Mobile GNSS を同じ車両に搭載、両機器での計測結果を比較し、誤差を算出する。

(4) 自動運転車両に設置した機器が走行の振動に耐えうること【定量評価】

自動運転車両に設置した端末が、走行中の振動により誤作動が発生することが許されないため設定した。機器の稼働状況をモニタリングし、算出を行う。

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

4.4.1 レベル4自動運転の実現に向けた緊急自動車検知時の自動運転車両制御の検証

1) 目的

レベル4自動運転の実現に向けては、緊急自動車が接近した際の自動運転車両の安全確保が課題の一つとなっている。緊急自動車の位置情報を検知する実証はすでになされているが、位置情報を活用して車両を制御する検証は行われていない。レベル4に向けては、緊急自動車接近時に自動運転車両が自動で一時停止および再発進を行うことで、緊急自動車が円滑に通行できるための挙動を取ることは必須事項である。

2024年度に実施した、「GNSSを活用したレベル4自動運転車両の緊急自動車(救急車)対応システムの実現(群馬県前橋市・中之条町)」^[7]では、緊急自動車の接近情報を自動運転車両内の端末に表示し、その情報に応じて手動介入を行った。本実証実験では、緊急自動車の接近情報を自動運転制御システムに伝えることで、自動的に一時停止・再発進を行うものである。実証時はレベル2(部分的運転自動化)で実施するが、レベル4(高度運転自動化)を見据えた検証を行う。

出典[7] レベル4自動運転移動サービスの社会実装促進に向けた通信システムの信頼性確保等に関するモデル集 第1版

https://www.soumu.go.jp/main_content/001001867.pdf

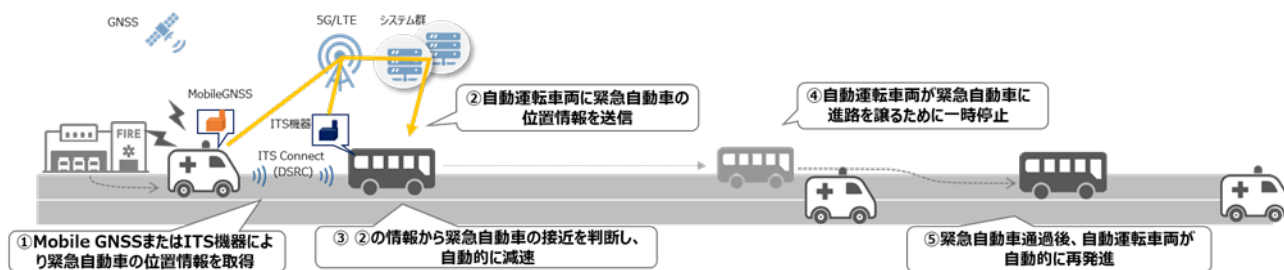


図 10 実証イメージ

Mobile GNSS や ITS Connect によって取得した緊急自動車の位置情報をもとに、緊急自動車の通過に合わせて自動運転車両が自動的に一時停止および再発進できるかどうかを検証するものである。Mobile GNSS を用いた位置情報取得では、取得できるのは位置情報のみであり、緊急走行状態の把握はできない。そのため、実際の緊急自動車に Mobile GNSS を取り付けることはせず、通常の乗用車(以下 GNSS 試験車)に設置し、挙動の確認を行った。

一方、ITS Connect を搭載した救急車では、緊急走行状態の把握も可能であるため、緊急走行中の救急車が接近した場合のみ自動運転車両が一時停止および再発進を行う仕様である。救急車の緊急走行タイミングは予測することが困難であり、実証実験中に実際の緊急走行に遭遇しない可能性も考慮し、緊急走行状態の再現が可能な ITS 試験車も併用して実証を行った。なお、ITS 試験車から発信される緊急走行状態にはダミーフラグを付与しており、周囲を走行する他の ITS Connect 搭載車両がその状態を検知することはできない。

さらに、GNSS 試験車や ITS 試験車が自動運転車両に接近した際には自動運転車両が一時停止するが、両試験車とも通常の乗用車であるため、自動運転車両の後続車両はなぜ自動運転車両が停止するのか判別できず、追突の危険性が生じる。そのため、自動運転車両の後続には追尾車両を配置し、安全性の確保を図った。

2) 利用技術

本ユースケースでは、ユースケース③で取得した緊急自動車の位置情報を、自動運転車両内の自動運転システムへ送信する。伝送時の遅延を低減するため、Mobile GNSS もしくは ITS Connect により取得した位置情報を送信する機器と、自動運転システムを中継するサーバーは MQTT¹⁵を用いる。

MQTT は Publish/Subscribe 方式でのデータの送受信をブローカーサーバーが仲介する。

本ユースケースでは、緊急自動車、ITS 試験車、GNSS 試験車が Publisher となり、自動運転車両が Subscriber となる。(図 11 参照)

緊急自動車および ITS 試験車のデータ形式は TD-001、GNSS 試験車のデータ形式は NMEA でありデータ形式が異なっているが、ブローカーサーバーにて統一し、同一のトピックとして配信している。これは、自動運転車両側の処理の簡便化と今後の拡張性を目的としている。

データ形式に TD-001 形式を採択した理由は、NMEA 形式には存在しない緊急自動車の状態情報(通常状態、緊急移動中等)といった重要項目を有しているためである。

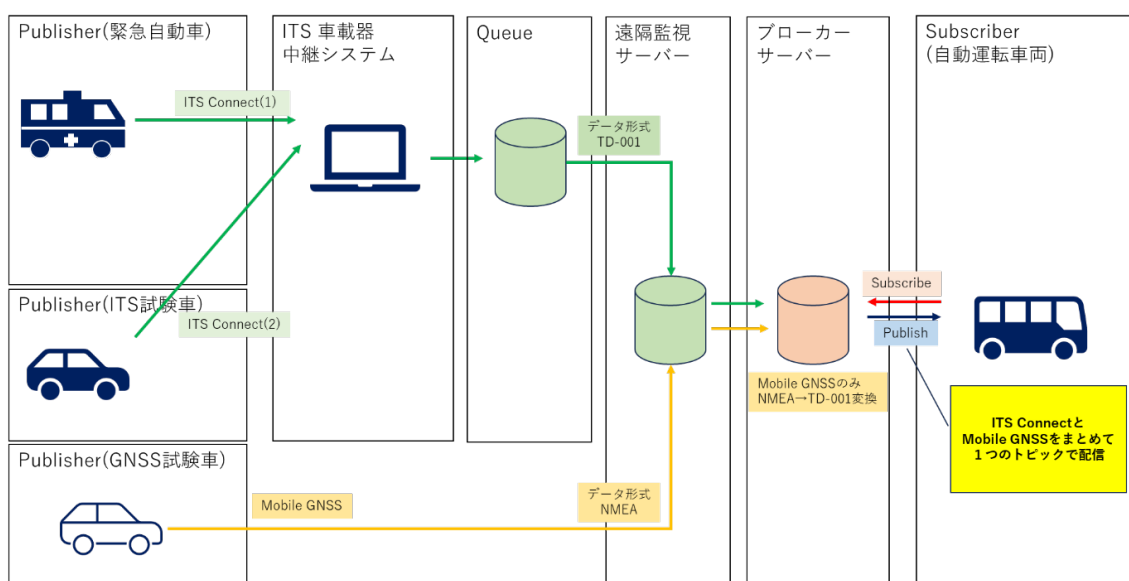


図 11 緊急自動車や試験車から自動運転車両までのデータフロー

¹⁵ MQTT:機器間でデータを効率的に送受信するための通信方式。通信量が少なく、リアルタイム性が求められる情報の伝送に適している。

3) 必要性・緊急性・新規性

【必要性】

- 今回自動運転車両を走行させることを予定しているルートは緊急自動車の発着点となる消防署や病院、あるいは人が多く集まる駅や商業施設を通るため、緊急自動車と遭遇する確率が高く、今後レベル4での通常運行を実現する上では、緊急自動車接近時に緊急自動車の進路を確保することが必要不可欠である
- 緊急自動車接近時の道路状況(一般の交通参加者が存在する)をテスト環境で再現することは難しいため、緊急自動車接近時の道路状況を再現できる可能性が高いエリアにて本実証を行う必要がある
- ITS Connectのような車車間通信システムから得た情報から自動運転車両(Navya 社製およびティアフォー社製)が直接車両を制御することはできないため、周辺環境情報を用いて車両制御を行う場合、ネットワークを経由して制御する仕組みを構築する必要がある

【緊急性】

- 緊急自動車の接近は頻度の多少はあるものの、日本全国どこにおいても起こり得る事象であり、公道におけるレベル4での通常運行の拡大を目指す上では早期に解決すべき課題である
- とさでん交通では運転手不足が深刻であり、自動運転車両への転換が期待されている。高知駅より南のエリアでは、路面電車が走っており自動運転車両への転換が難しい。そのため、高知駅より北のエリアでの自動運転車両の転換が求められているが、緊急自動車の通行の多さが課題の一つである

【新規性】

- 緊急自動車の接近情報あるいは出勤情報を車両上の自動運転システムにて検知し、システムによる操作にて停止できた事例は過去にない
- 緊急自動車の位置情報を運行に係るシステムに通知している事例は過去にない
- 緊急自動車の接近を検知し、自動で一時停止・再発進した事例はない

4) 検証条件

- 交通密度:渋滞が発生していないこと
- 実証期間中に走行ルート上で、緊急自動車の接近が一定数見込めること
- ITS Connect を搭載した緊急自動車があること
- ITS 車載器あるいは Mobile GNSS 機器を設置した、緊急自動車を想定した試験用普通自動車を用意できること

本実証実験では、緊急自動車接近時に自動運転車両を安全に一時停止させることを目的としている。そのため、渋滞時には自動運転車両がすでに停止しており、緊急自動車接近時の自動運転車両の挙動が変わらないため、渋滞発生時は検証条件から外すこととする。

なお本検証はユースケース③と同時に行う。

5) 開発・評価項目

表 13 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	<p>緊急自動車の位置情報を自動運転システムに配信するシステムの開発</p> <p>ITS Connect</p> <p>プロローカサーバ</p> <p>遠隔監視サーバ</p> <p>FMS</p> <p>Queue</p> <p>MQTT 相互認証 (mTLS)</p> <p>固定IP接続 リアルタイムAPI</p> <p>TD-001</p> <p>モバイルネットワーク (5G, LTE想定)</p> <p>MQTT</p> <p>自動運転車両</p> <p>緊急自動車/ITS試験車</p> <p>車載ルーター</p> <p>自動運転システム</p> <p>ITS Connect 車載機</p> <p>ITS Connect アンテナ</p> <p>車載ルーター</p> <p>中継システム</p> <p>ITS Connect 車載機</p> <p>ITS Connect アンテナ</p> <p>V2V 緊急自動車の接近情報の収集 (位置、速度、進行方法、走行状態等)</p> <p>TD-001</p> <p>ITS Connect</p> <p>プロローカサーバ</p> <p>遠隔監視サーバ</p> <p>FMS</p> <p>Queue</p> <p>MQTT 相互認証 (mTLS)</p> <p>固定IP接続 リアルタイムAPI</p> <p>TD-001</p> <p>モバイルネットワーク (5G, LTE想定)</p> <p>MQTT</p> <p>自動運転車両</p> <p>緊急自動車/ITS試験車</p> <p>車載ルーター</p> <p>自動運転システム</p> <p>ITS Connect 車載機</p> <p>ITS Connect アンテナ</p> <p>車載ルーター</p> <p>中継システム</p> <p>ITS Connect 車載機</p> <p>ITS Connect アンテナ</p> <p>V2V 緊急自動車の接近情報の収集 (位置、速度、進行方法、走行状態等)</p> <p>TD-001</p> <p>(</p> <p>図 12、図 13 参照)</p>
(2)	<p>緊急自動車の位置情報に基づいて、車両を制御できるよう自動運転システムの改修</p>

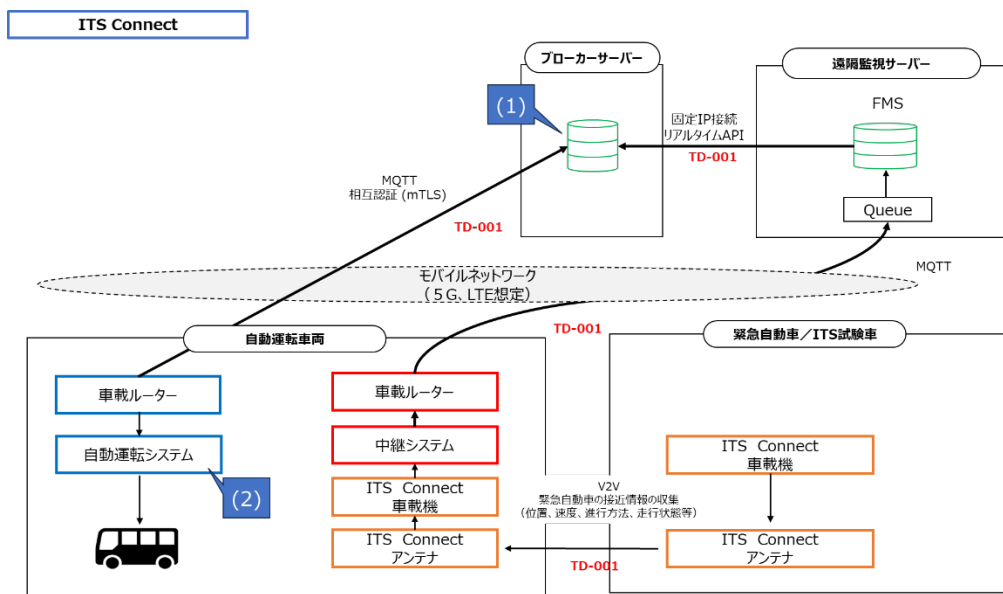


図 12 ITS Connect システム構成図

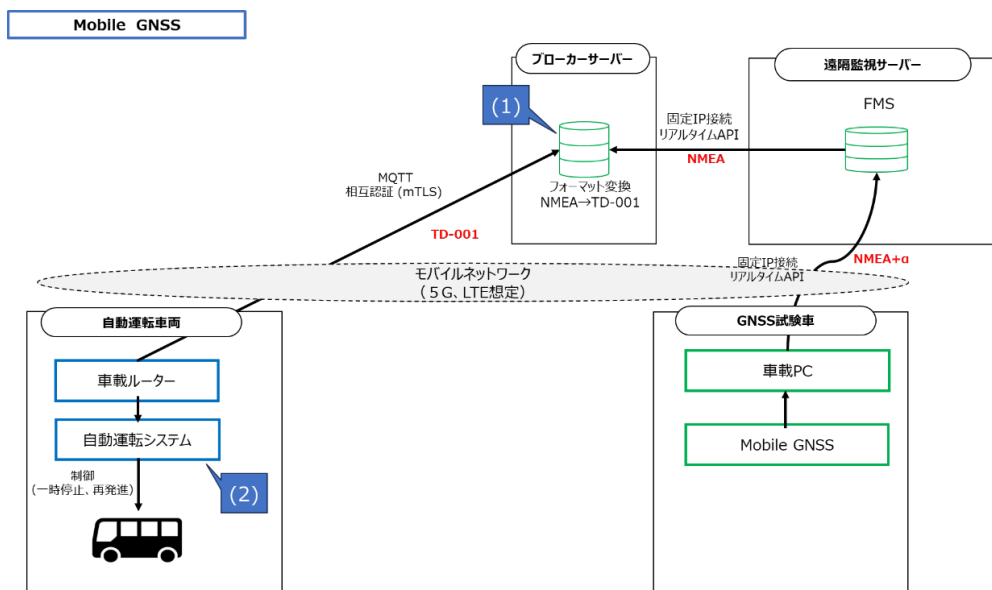


図 13 Mobile GNSS システム構成図

(1) 緊急自動車の位置情報を自動運転システムに配信するシステムの開発

緊急自動車の位置情報の送信には MQTT を使用する。

遠隔監視サーバーに格納されている位置情報を自動運転車両へ配信するため、ブローカーサーバーを開発する。遠隔監視サーバーに格納されている位置情報には TD-001(ITS Connect)、NMEA (Mobile GNSS)の2種類のデータが存在している。TD-001 形式は NMEA 形式には存在しない緊急自動車の状態情報(通常状態、緊急移動中等)といった重要項目を有している。また、自動運転車両側の処理を簡便化する必要もあるため、ブローカーサーバーにてデータ形式を TD-001 に統一する。

(2) 緊急自動車の位置情報に基づいて、車両を制御できるよう自動運転システムの改修

緊急自動車の接近を検知し、自動運転車両が自動で一時停止および再発進を行うよう自動運転システムを改修する。(図 14 参照)

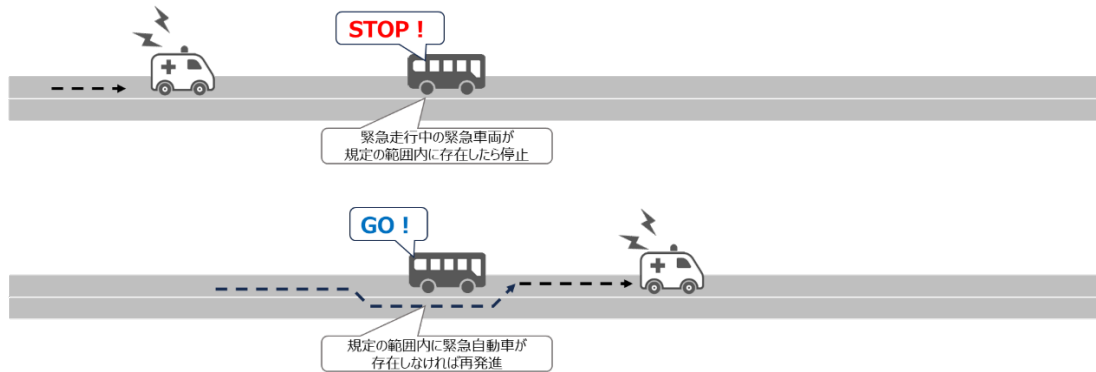


図 14 緊急自動車接近時の自動運転車両の動作イメージ

接近検知は、前後だけでなく左右からの接近にも対応できるように、自動運転車両を中心とした円形範囲で判定する(図 15)。

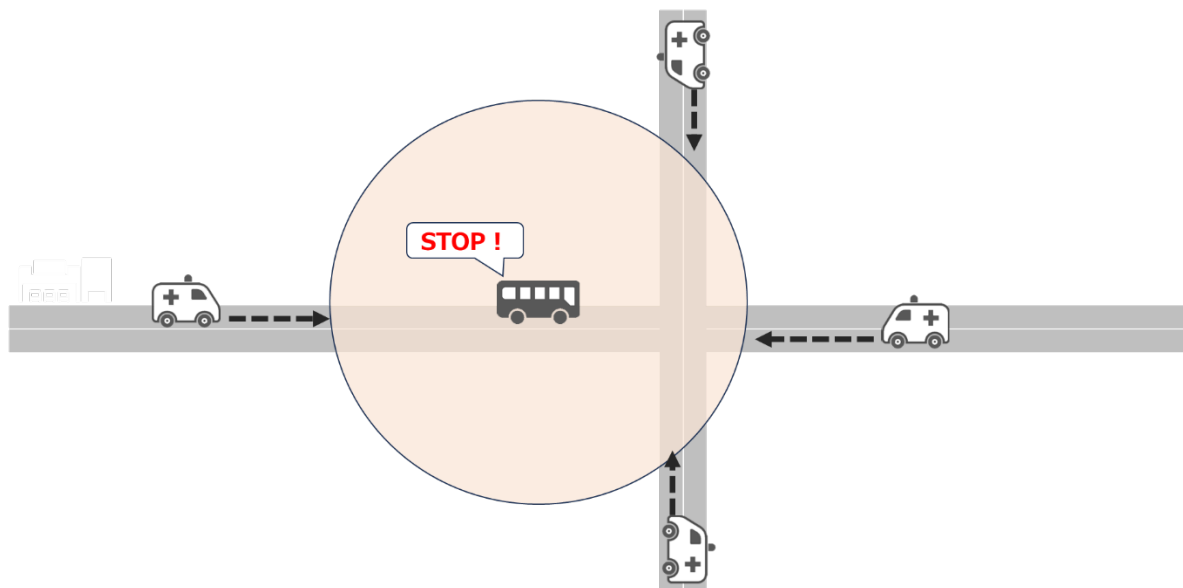


図 15 接近検知範囲イメージ

上記を踏まえ、一時停止および再発進の判定は以下の通りとする。

- 一時停止
緊急走行中の緊急自動車が規定範囲内に存在する場合、自動でハザードランプを点灯しながら減速・一時停止する。
- 再発進
緊急走行中の緊急自動車が規定範囲内に存在しない場合、自動で再発進する。

一時停止および再発進の判定に関する例外事項については、以下の方針で実施する。

緊急自動車の接近検知により一時停止判定が行われた場合、自動運転車両は原則としてその場で減速を開始する。ただし、一時停止位置が交差点や横断歩道等の停止禁止場所に該当する場合は、手動介入により適切な位置へ移動させ、安全を確保するものとする。

また、再発進判定を行う際に、自動運転車両周辺に歩行者や物体等の障害物が存在する場合には、安全確保を優先し、再発進せず停止状態を維持する。

なお、判定に用いる規定範囲は、下の表 14 接近検知・再発進の規定範囲の通りとする。接近検知距離は走行速度の違いを考慮し、車種ごとに設定している。下記の接近検知距離範囲内に緊急自動車が入った場合、自動運転車両は接近を検知し、減速を開始、一時停止を行う。また、緊急自動車が通過し、緊急自動車と自動運転車両の距離が下記の再発進判定距離となった場合に、再発進の処理を行う。

表 14 接近検知・再発進の規定範囲

車種	接近検知距離	再発進判定距離
Minibus	100m	80m
EVO	80m	80m

ITS Connect は車車間通信等の近接距離通信を行うシステムであるため、自動運転車両との通信可能範囲が、一時停止および再発進の判定に必要な規定範囲を十分にカバーしていることが求められる。事前に ITS Connect の通信可能範囲を検証し、一時停止および再発進の判定に影響を及ぼさないことを確認する。

6) KPI/KGI

表 15 KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	一時停車、再発進のタイミングは適切であったか、安全であったかの評価(乗客、保安員、オペレーター、救急隊員へのアンケート)
	(2)	緊急自動車内に設置した端末が、車内の他設備や業務に影響を与えていないか(消防車、救急車の運転手等へのヒアリング) ・救命活動等の人命に関わる事象への悪影響がない
	(3)	運転業務および監視業務での安全性の向上 (オペレーターおよび遠隔監視員へのアンケート)
定量評価	(4)	緊急自動車の位置情報を自動運転車両に遅延 1 秒未満で配信すること
	(5)	緊急自動車が自動運転車両を通過する前に、自動的にハザードおよびブレーキ制御を行い、安全に一時停止すること(100%)
	(6)	緊急自動車が自動運転車両を通過後、一定以上の距離が離れた場合に自動運転車両が自動的に再発進できること(100%)
	(7)	緊急自動車が接近していない際に、自動運転車両が接近を過検知する割合*が 5%以下であること *過検知する割合 = 過検知で一時停止した回数 / (緊急自動車もしくは試験車が接近して一時停止した回数 + 過検知で一時停止した回数)

(1) 一時停止、再発進のタイミングは適切であったか、安全であったかの評価【定性評価】

緊急自動車の進路を確保するために行う自動運転車両の一時停止・再発進が安全であったかの判断は、交通状況・車両速度等のあらゆる条件によって異なり、個人の主観も多く含まれる。

挙動時の乗客・保安員・オペレーターのアンケートにより肯定的意見が 7 割以上であれば、自動運転車両の一時停止・再発進は安全であったと判断する。

(2) 緊急自動車内に設置した端末が、車内の他設備や業務に影響を与えていないか【定性評価】

本実証実験のために追加した ITS 車載器により、救急隊員による緊急作業に影響があってはならない。そのため、救命活動への支障がないことをヒアリングにて確認する。

否定的意見が 3 割以下であり、かつ救命活動等人命に関わる事象への悪影響がないことを確認する。

(3) 運転業務および監視業務での安全性の向上【定性評価】

今回の実証では、運転業務および監視業務が自動運転車両運行時の「安全性の向上」に与える影響について、本目標値を用いて考察を行う。「運転業務」とは、自動運転車両の運行期間中において、自動運転および手動運転の別を問わず当該車両に乗り、運行を円滑かつ安全に実施することを目的として従事した作業を指すものと定義する。また「監視業務」とは、自動運転車両の運行期間中に、遠隔監視室から当該車両の運行状況を監視する作業であり、監視業務従事者による遠隔監視業務を指すものとする。また、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。

さらに、本稿における「安全性の向上」とは、自動運転車両の運行に際し、ITS Connect および Mobile GNSS から取得される情報を基に、一時停止および再発進挙動が自動化された状態での運行を実現し、視覚情報を通じた緊急自動車の位置確認および遭遇状況の想定が可能となった環境下において、緊急自動車に対する優先的な進路譲渡により事故を防止可能か否かを指すものと定義する。

(4) 緊急自動車の位置情報を自動運転車両に遅延 1 秒未満で配信すること【定量評価】

緊急自動車が通過する前に自動運転車両が一時停止する必要があるが、遅延 1 秒未満であれば一時停止までの安全性が担保されると考え設定した。システム全体での遅延時間・システムログ等により確認する。

遅延時間の計測にあたり、各機器、システム間で時刻同期の方法を合わせることが理想だが、機器やネットワーク環境の制約により方式の統一が困難なため ITS Connect、Mobile GNSS および自動運転車両では GNSS 時刻同期を使用し、遠隔監視サーバーおよびブローカーサーバーでは Amazon Time Sync Service を使用することとした。

時刻同期の方式についてはユースケース③に記載の通りである。(表 12 参照)

ユースケース④での遅延時間測定範囲は緊急自動車の位置情報が設定された時刻から、ブローカーサーバーで位置情報を受信した時刻までとする。機器ごとの測定範囲は以下の通りとする。

- ITS Connect
緊急自動車の ITS Connect 車載器から自動運転車両まで(図 16 参照)
- Mobile GNSS
緊急自動車の Mobile GNSS から自動運転車両まで(図 17 参照)

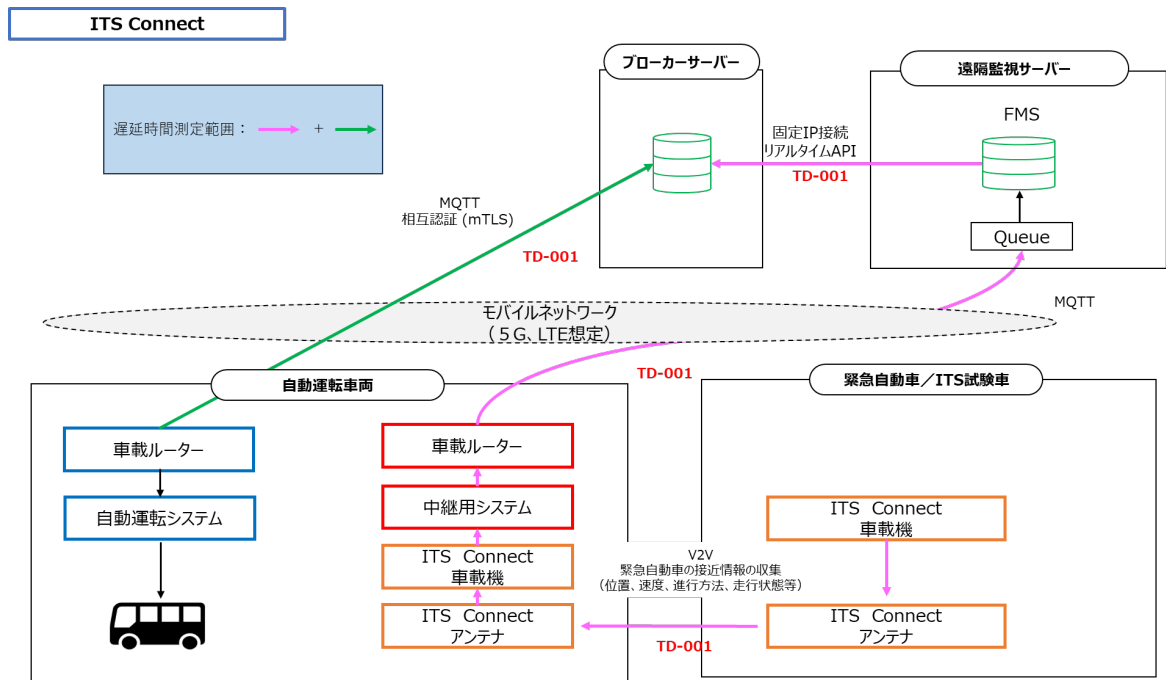


図 16 ITS Connect システム構成図

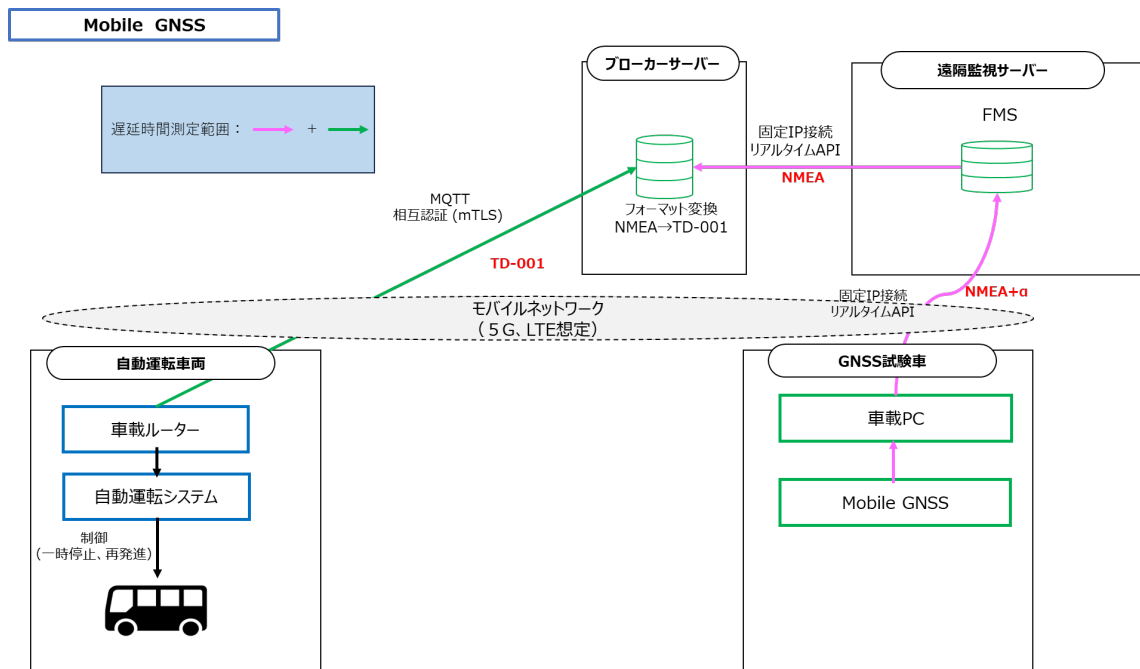


図 17 Mobile GNSS システム構成図

(5) 緊急自動車が自動運転車両を通過する前に、自動的にハザードおよびブレーキ制御を行い、安全に一時停止すること(100%)【定量評価】

緊急自動車接近時に自動運転車両が一時停止することは必要不可欠な機能である。緊急自動車の走行に影響を与えることによって人命にかかわる事態が想定され100%の成功が必須と考えている。緊急自動車もしくは試験車が、自動運転車両を通過する前に自動的に一時停止できたかを、追尾車や自動運転車両の車内外からのカメラ映像にて確認する。

【実証ルートにおける緊急自動車接近時の路肩への幅寄せについて】

今回実装した自動運転車両の挙動として、自動運転車両は緊急自動車の接近を検知した後、減速を開始する。なお、今回の実証ルートは次の写真(図 18)が示す通り路肩の幅はほぼすべての区間において 50cmとなっている。この道路状況で幅寄せを行うと縁石にぶつかるため、幅寄せはできない。また、高知県内で路面バスを運行し、走行路線に実証ルートが含まれる、とさでん交通株式会社のバスにおいても、同じ理由から実証ルートでは幅寄せを行っていない。なおかつ、実証ルート上で幅寄せを行わず、その場で減速、一時停止を行う挙動について、高知県警に対して道路交通法上の問題がないことを確認した。このことから、今回の実証では幅寄せの機能を実装しない。






図 18 実証ルートにおける路肩幅

【接近検知の対象とする緊急自動車について】

本実証実験では以下の表 16 に示す通り、ITS Connect 搭載救急車、ITS Connect 試験車、Mobile GNSS 試験車の3車種で実験を行った(以降、ITS 搭載救急車、ITS 試験車、GNSS 試験車と記載する)。ITS 搭載の救急車は高知市消防局の 14 台のうち、8 台に機器を搭載したものである。また、運行期間中に緊急自動車と遭遇しない可能性もあるため、緊急自動車に見立てた ITS 試験車と GNSS 試験車でも実験を実施した。

表 16 試験対象とする緊急自動車

車種	ITS 搭載 救急車	ITS 試験車	GNSS 試験車
接近タイミング	事前予測不可	予測可	予測可
一般道路での 取り扱い	緊急自動車	一般車両	一般車両
仕組み	・ ITS Connect を搭載し、通常走行や路上活動中、緊急走行の走行状態をデータ配信	・ 救急車が緊急走行状態で発する ITS Connect と類似のデータを配信 ・ ダミーフラグを付与することで、一般の ITS Connect 搭載車両は反応しない(自動運転車両のみ反応)	・ Mobile GNSS を設置した普通乗用車 ・ 救急車とみだてて走行
台数	8(高知市消防局所有は 14)	1	1
イメージ			

【ITS 試験車や Mobile GNSS 試験車で試験を実施する際に手動介入が想定される状況】

緊急自動車が自動運転車両の検知範囲内へ接近した場合に、減速を開始、一時停止する。その後、緊急自動車が自動運転車両付近を通過後、接近検知範囲外へ出た場合に自動運転車両は再発進する。しかし、ITS 試験車や Mobile GNSS 試験車は一般車両であるため、道路交通法の遵守や他の交通参加者への影響を鑑み、次に記載する状況(図 19 参照)が想定される。図示したように、試験車が自動運転車両を通り過ぎた後、赤信号で停止した場合には、試験車の接近検知は外れず、自動運転車両は一時停止の処理を継続する。この場合には、試験車が青信号にて発進後、検知範囲外に出た際に一時停止処理は解除され、再発進となるが、他の交通参加者の交通の妨げになる可能性がある状況においては、手動介入により発進し、一時停止処理を解除する運用も想定する。

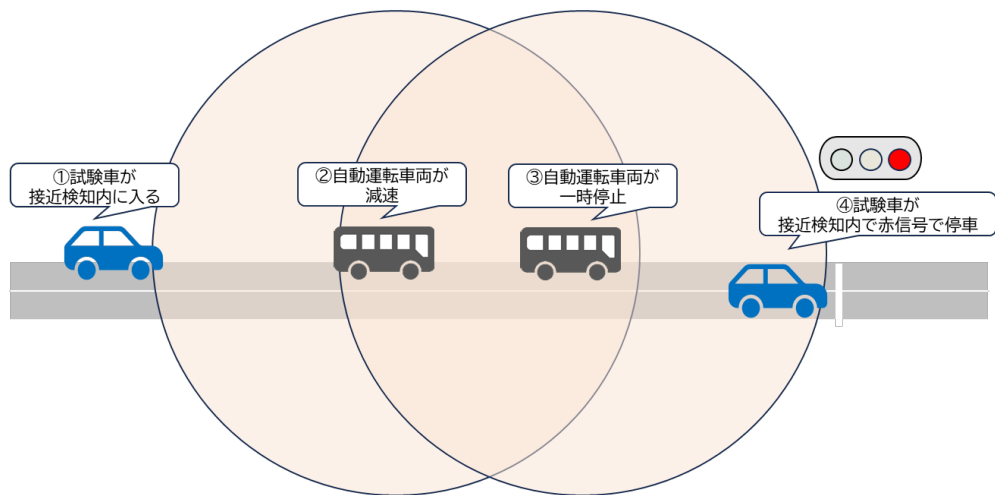


図 19 試験車が赤信号で停止時のイメージ

【緊急自動車の接近方法について】

緊急自動車がどの方向から接近するのかは予測不明のため、前述の図 15 が示すように全方位から接近する可能性がある。接近するパターンを精査したところ、以下 5 パターンに大きく分けられることがわかった。

緊急自動車と自動運転車両の相対距離が 0m 近くになり、追い越したり、すれ違ったりするパターン

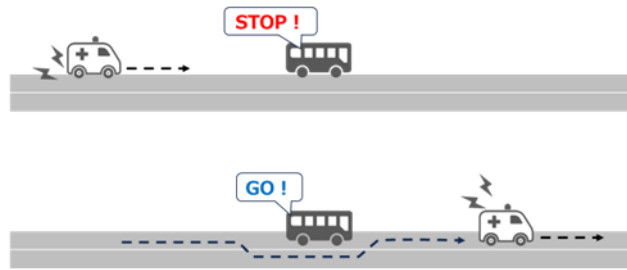
- ・ 緊急自動車が後方から接近し、自動運転車両を追い越す(図 20)
- ・ 緊急自動車が自動運転車両の走行する対向車線を通過(図 21)

接近検知範囲内に入るものの、相対距離が 0m を近くなる前に緊急自動車が離れていくパターン

- ・ 自動運転車両の進行方向の前方交差点の右(左)から接近(図 22)
- ・ 自動運転車両の進行方向前方より対向しながら接近し、途中の交差点で右左折(図 23)
- ・ 自動運転車両の進行方向後方より対向しながら接近し、途中の交差点で左折(図 24)

以上の 5 パターンで正しく一時停止、再発進できるかを確認した。なお、ITS 搭載の救急車の接近は事前予測できないため自然体で実験を行うこととし、ITS 試験車と Mobile GNSS 試験車で試験を補完した。

<緊急自動車の走行ルート>

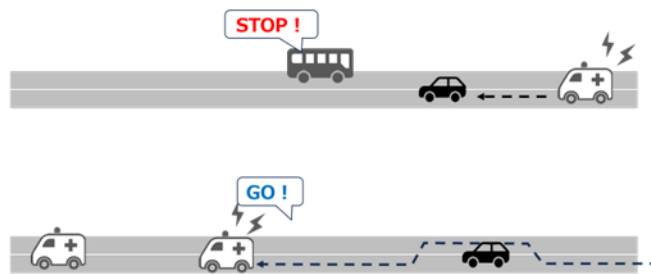


<緊急自動車の挙動>

後方から自動運転車両に接近して追い越し

図 20 接近パターン A

<緊急自動車の走行ルート>

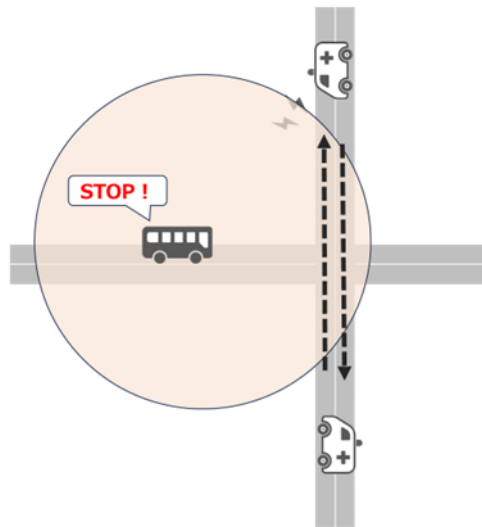


<緊急自動車の挙動>

自動運転車両が走行する車線の対向車線を通過

図 21 接近パターン B

<緊急自動車の走行ルート>

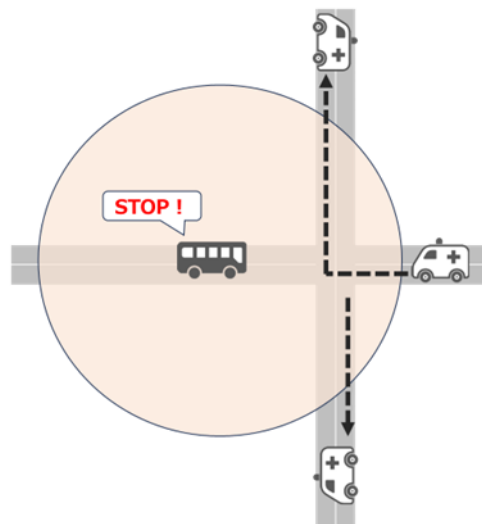


<緊急自動車の挙動>

交差点で自動運転車両から見て左(右)方向から接近

図 22 接近パターン C

<緊急自動車の走行ルート>

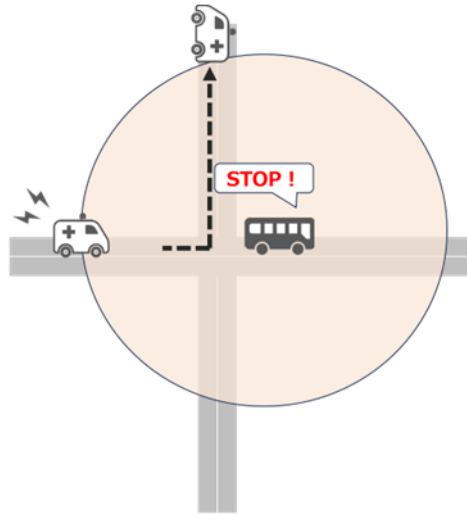


<緊急自動車の挙動>

対向車線から接近し、交差点で右折 or 左折

図 23 接近パターン D

<緊急自動車の走行ルート>



<緊急自動車の挙動>

後方から接近するが、自動運転車両の手前の交差点で左折する

図 24 接近パターン E

【一時停止の成否判定について】

また、緊急自動車接近時に自動運転システムが接近を検知して、自動で一時停止する挙動における成否を下表(表 17)の通り定義した。

<成功>

- 自動運転車両が走行中に緊急自動車を検知し、減速を開始、緊急自動車の通過時には一時停止した状態(成功パターン A)
- 自動運転車両が信号や前方車両のため停止中に、緊急自動車を検知し、停止を維持する(成功パターン B)

<失敗>

- 自動運転車両の走行状態に関わらず、緊急自動車の接近を検知しない(失敗パターン C)
- 自動運転車両が信号や前方車両のため停止中に、緊急自動車を検知するが、検知中に信号や前方車両の状態が変化したこと追従して再発進する(失敗パターン D)
- 自動運転車両の走行中に緊急自動車を検知したが、減速をしない(失敗パターン E)
- 自動運転車両が走行中に緊急自動車を検知し、減速を開始したが、一時停止が緊急自動車通過に間に合わない(失敗パターン F)
- 自動運転車両が走行中に緊急自動車を検知し、減速を開始したが、手動介入(失敗パターン X)

表 17 一時停止までの成否判定

成否	パターン	自動運転車両の挙動	接近 検知	緊急自動 車検知時 の自車の 状態	緊急自動 車検知後 の自車の 挙動	緊急自動 車通過時 の自車の 挙動
成功	A	自動運転車両が走行中に緊急自動車を検知し、減速を開始、緊急自動車の通過時には一時停止した状態	OK	走行中	減速	停止
	B	自動運転車両が信号や前方車両のため停止中に、緊急自動車を検知し、停車を維持する	OK	停止中	停止	停止
失敗	C	自動運転車両の走行状態に関わらず、緊急自動車を検知しない	NG	-	-	-
	D	自動運転車両が信号や前方車両のため停止中に、緊急自動車を検知するが、検知中に信号や前方車両の状態が変化したことに追従して再発進する	OK	停止中	再発進	走行中
	E	自動運転車両の走行中に緊急自動車を検知したが、減速をしない	OK	走行中	速度維持	走行中
	F	自動運転車両が走行中に緊急自動車を検知し、減速を開始したが、一時停止が緊急自動車通過に間に合わない	OK	走行中	減速	走行中
	X	自動運転車両が走行中に緊急自動車を検知し、減速を開始したが、手動介入	OK	走行中	減速	手動介入

【信号協調設備との連携について】

また、今回の緊急自動車の接近検知・一時停止の機能は、信号協調設備より優先して制御される必要がある。(例：信号の灯火情報が青であっても、緊急自動車接近時には一時停止を行う)。その検証として、下図(図 25)で示す1ヶ所の交差点に信号協調設備を導入する。信号協調設備の導入により、自動運転車両は灯火情報(赤信号に切り替わるまでの残秒数等)を直接信号機から受け取ることができ、信号のある交差点における確実な車両制御が可能となる。選定した交差点は、他の交差点と比較し実

証ルートにおける通行頻度が高く、高知赤十字病院や高知市消防局北消防署に近接しているため、緊急自動車との遭遇頻度も多く、導入場所として最も適切と判断した。

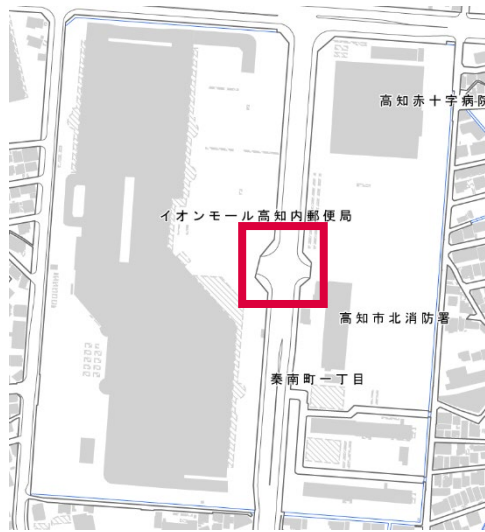


図 25 信号協調設備導入の交差点(出典:国土地理院地図を加工して作成)

(6) 緊急自動車が自動運転車両を通過後、一定以上の距離が離れた場合に自動運転車両が自動的に再発進できること(100%)【定量評価】

緊急自動車が自動運転車両付近を通過後に再発進ができなければ、後続車両を含めた渋滞の原因となり、100%の成功が必須となるため設定した。緊急自動車もしくは試験車が、自動運転車両を通過した後に自動的に再発進できたかを、追尾車や自動運転車両の車内外からのカメラ映像にて確認する。

下記からは、KPIを確認するために行う、試験方法について記載する。試験対象とする車両や緊急自動車の接近パターンは(5)と同様のため、記載を割愛する。

【試験回数から除外する状況】

再発進における試験件数は、緊急自動車が一定以上の距離が離れるまで一時停止状態を維持できたことを前提とするため、下記の場合を除外するものとする。

- 一時停止時に手動介入をした場合
自動運転車両が緊急自動車を検知した位置が交差点内であり、そのまま減速を続けると交差点内で停止する可能性があったため、走行安全確保の観点から手動介入を行い、一時停止した。この場合、減速し一時停止する過程で手動介入しているため、自動での再発進は発生しない。
- 一時停止を確認したが、試験車が自動運転車両付近を通過後、検知範囲内の信号で停止した状況で、他の交通参加者の走行を妨げないよう手動介入をした場合
一般車両である試験車は道路交通法を遵守する必要があるため、接近検知範囲内に入った後、進行方向の信号が赤であった場合、青信号に変わるまで試験は停止せざるを得ない。これに伴い、自動での再発進を待つ場合は自動運転車両も停止処理が継続するが、交通状況を鑑みて手動介入で再発進を行っているため、自動での再発進は発生しない。

【再発進の成否判定】

緊急自動車が通過後、自動運転システムが接近検知を外し、自動で再発進する挙動における成否を下表(表 18)の通り定義した。

<成功>

- 緊急自動車と一定の距離が離れた後、接近検知が外れ、自動運転車両が再発進(成功パターン G)
- 緊急自動車と一定の距離が離れた後、接近検知は外れたが、自動運転車両の前方に障害物がある、もしくは前方赤信号のため、一時停止が継続。障害物がなくなる、もしくは青信号に変わり、自動的に再発進(成功パターン H)

<失敗>

- 緊急自動車と一定の距離が離れた後、接近検知が外れない(失敗パターン I)
- 緊急自動車と一定の距離が離れていないにも関わらず、接近検知が外れて、再発進(失敗パターン J)
- 緊急自動車と一定の距離が離れた後、接近検知が外れたが、再発進せず、一時停止を継続。自動運転車両の前方に障害物はなく、前方青信号の状況(失敗パターン K)
- 緊急自動車と一定の距離が離れていない状況で、手動介入(失敗パターン Y)

表 18 再発進までの成否判定

成否	パターン	自動運転車両の挙動	接近検知が外れたか	緊急自動車検知が外れた後の自車の状態	障害物や信号が赤か	その後再発進したか
成功	G	緊急自動車と一定の距離が離れた後、接近検知が外れ、自動運転車両が再発進	OK	再発進	-	-
	H	緊急自動車と一定の距離が離れた後、接近検知は外れたが、自動運転車両の前方に障害物がある、もしくは前方赤信号のため、一時停止が継続。障害物がなくなる、もしくは青信号に変わり、自動的に再発進	OK	停止	Yes	Yes
失敗	I	緊急自動車と一定の距離が離れた後、接近検知が外れない	NG	-	-	-

J	緊急自動車と一定の距離が離れていないにもかかわらず、接近検知が外れて、再発進	不正	再発進	-	-
K	緊急自動車と一定の距離が離れた後、接近検知が外れたが、再発進せず、一時停止を継続。自動運転車両の前方に障害物はなく、前方青信号の状況。	OK	停止	No	-
Y	緊急自動車と一定の距離が離れていない状況で、手動介入	-	-	-	-

(7) 緊急自動車が接近していない際に、自動運転車両が接近を過検知する割合が 5%以下であること* $\text{過検知する割合} = \frac{\text{過検知で一時停止した回数}}{(\text{緊急自動車もしくは試験車が接近して一時停止した回数} + \text{過検知で一時停止した回数})}$

緊急自動車が接近していないのにもかかわらず、自動運転車両が一時停止することは周りの交通参加者へ迷惑をかけるため設定した。

また、緊急自動車接近時の検知を必須とするため、過検知はフェイルセーフではあるが、周りの交通参加者を考慮し5%以下とする。緊急自動車が接近していないのにもかかわらず、自動運転車両が一時停止した回数を計測する。

※ $\text{過検知する割合} = \frac{\text{過検知で一時停止した回数}}{(\text{緊急自動車もしくは試験車両が接近して一時停止した回数} + \text{過検知で一時停止した回数})}$

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

当該ユースケースは実施しない。

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)

今回予定している実証実験において、起点(検知)から終点(制御)までのすべての行程を自動により行う(自動運転車両は緊急自動車の接近を検知すると自動で一時停止し、その後、緊急自動車の通過を検知すると自動で再発進する)ため、システムの操作性およびユーザーインターフェースに関する評価は対象外であると考える。

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

【運用性向上を評価する定量値】

- 緊急自動車通過時に自動で停止する 100%
(自動運転車両が自動で停止した回数/緊急自動車が自動運転車両横を通過した回数=100%)
- 緊急自動車通過後に自動で再発進する 100%
(自動運転車両が自動で再発進した回数/緊急自動車が自動運転車両横を通過した回数=100%)

※いずれの場合も、緊急自動車は実車両に加えて試験車も含む

(定量値設定の根拠)

運用性向上を図るためには人の手を完全に必要としないことが求められるため、緊急自動車接近時には必ず自動で安全な挙動を取る必要があり、一度でも対応できなければ、運用性向上にはつながらないため設定した。

【検証方法】

- 緊急自動車接近時に自動で安全な挙動を取れたかどうか計測する

【地域交通の持続性への寄与度】

- 本実証で検証する通信システムを導入し、緊急自動車接近時の安全な挙動を確立することで、今回の走行ルートと同区間を走行する2系統のバス路線を自動運転車両に置換することができる。

- 年間約 11,440 本(現状:平日 32 本、土休日 30 本)を無人運行することができ、他の路線へ運転手を再配置することができるため、運転手不足による運行本数の減少を防ぎ、地域住民の移動手段の確保につなげることができる。
- 高知市内でも特に緊急自動車の通行頻度が高い本実証ルートにおいて緊急自動車接近時の自動運転車両の安全な挙動を確立することで、他路線での自動運転車両導入検討のハードルを下げることができるため、他の路線における無人運行の実現にも寄与するといえる。

上記は高知市以外の地域にも共通していえることであり、日本全国の多種多様なエリアにおける自動運転車両の普及および運用性向上に貢献できる。

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。

【本システムにて取り扱う情報】

<車両情報(自動運転車両)>

- ・ 車内外の撮影映像／画像
- ・ 車速
- ・ 舵角
- ・ 位置
- ・ 自動運転モード
- ・ ドアの開閉状態
- ・ バッテリー残量
- ・ バッテリー充電状態

<車両情報(緊急自動車)>

- ・ 車内外の撮影映像／画像
- ・ 車速
- ・ 舵角
- ・ 位置
- ・ その他 ITS Connect により送信される情報(個人情報含まない)

【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 AWS 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

【システム全般のセキュリティ】

システム間の通信は mTLS (Mutual TLS)¹⁶を用いて実施しており、通信経路の暗号化と相互認証を組み合わせることで、第三者による不正アクセスや緊急自動車を装った端末の侵入を防止している。また、Mobile GNSS に関しては市販製品を利用しているが、サーバー側との通信も mTLS による暗号化および相互認証を行うことで、外部からの誤検知を防ぐ体制を確保している。これらの対策により、システムのセキュリティを十分に担保する。

【運用面のセキュリティ】

取り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、遠隔監視システムを閲覧する端末（以下、遠隔監視用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

<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、下記、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参考とし、決定した。

(参考)

1. インターネットの安全・安心ハンドブック(中小組織向け)

[https://security-](https://security-portal.nisc.go.jp/guidance/pdf/handbook/NISC_handbook_small_organization_20240531.pdf)

[portal.nisc.go.jp/guidance/pdf/handbook/NISC_handbook_small_organization_20240531.pdf](https://security-portal.nisc.go.jp/guidance/pdf/handbook/NISC_handbook_small_organization_20240531.pdf)

¹⁶ mTLS (Mutual TLS): 通信を行う双方が互いに正当な相手であることを確認した上で通信を行う仕組み。

2. 遠隔監視要件チェックリスト

<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001728252.pdf>

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

緊急自動車の位置情報、接近情報を各社遠隔監視システムに配信するシステム(センター設備)の可用性 99.99%を目標とする。

実証期間中のシステムが正常に稼働している時間の割合を計測することで測定する。

ブローカーサーバーは、①緊急自動車の位置情報を取得、②その情報を変換、③各社の自動運転システムへ配信する、以上の 3 つの機能のみを持つ。本実証実験中は冗長構成を取らないが、実運用時を考えた場合でもロールバックやデータ移行が必要ないため、安価に冗長構成を構築できる。また、送られてくる位置情報のデータ量は、緊急自動車の数に比例するため、最大値を予想しやすく、システムが想定外の高負荷になる可能性は低いと考えられる。

緊急自動車の位置情報取得には ITS Connect、Mobile GNSS の2つの手段を使用する。

緊急自動車には ITS Connect を搭載した車両が存在し、今回の実証に向けて追加搭載も行っていることから、原則として緊急自動車を用いて実証を行うことが望ましい。

しかし、救急業務への影響を避ける必要があるため、実証期間中に実際の緊急自動車と遭遇した場合に限り確認対象とし、基本的な検証については ITS Connect 搭載試験車(ITS 試験車)を用いて実施する。なお、ITS 試験車から取得される情報が、実際の緊急自動車に搭載された ITS Connect と同等であることは事前に確認済みである。

Mobile GNSS についても本来は緊急自動車への搭載が望ましいが、以下の理由から搭載を見送り、Mobile GNSS を搭載した試験車(GNSS 試験車)のみで実証を行うこととした。

- ・ 電波を発する機器であるため、緊急自動車の車載機器に影響を与える可能性があること
- ・ 別途電源が必要であり、車内スペースの確保が困難であること

緊急自動車に搭載された ITS Connect は車両電源から給電され、エンジンの起動・停止と連動して作動する。また、車両の状態(緊急走行の有無)は赤色灯およびサイレンの動作と連動して反映される。

一方、ITS 試験車に搭載する ITS Connect も車両電源で作動するが、緊急走行状態はスイッチ操作により切り替える方式とする。

GNSS 試験車に搭載する Mobile GNSS はポータブル電源から給電し、乗員が手動で電源操作を行う。Mobile GNSS から取得される情報には車両状態(緊急走行の有無)を判別する項目が存在しないため、ブローカーサーバーでデータ変換を行う際に固定値を付与して処理する。

緊急自動車、ITS 試験車、GNSS 試験車の設備および運用方法の違いについては、下表にまとめて整理する。

表 19 緊急自動車、ITS 試験車、GNSS 試験車の設備、運用方法

車両	緊急自動車	ITS 試験車	GNSS 試験車
機器	ITS Connect	ITS Connect	Mobile GNSS
給電方法	車両電源	車両電源	ポータブル電源

電源操作	エンジンと連動するため不要	エンジンと連動するため不要	乗員による操作
緊急走行の切り替え	車両状態(赤色灯、サイレン等)と連動	スイッチ操作による切り替え	機能なし ブローカーサーバーにてデータ変換時に固定値を付与

自動運転車両には、ITS 車載器および中継システムを搭載する。

これらの機器はポータブル電源から給電し、乗員が手動で電源操作を行う。また、機器は座席下等、運行業務の妨げとならない位置に設置する。

表 20 自動運転車両の設備、運用方法

車両	自動運転車両
機器	ITS 車載器、中継システム
給電方法	ポータブル電源
電源操作	乗員による操作

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

【手動介入の定義】

通信システムの運用有無による効果を検証するにあたり、本補足における「手動介入」については、緊急自動車接近時の対応における手動介入のみに限定し、緊急自動車接近時以外のタイミングにおける手動介入(例えば、路上駐車車両の回避等)は対象外とする。

【通信システムの運用有無による手動介入回数の変化の予想】

本実証にて検証する通信システム「運用なし」の場合、緊急自動車接近時の対応についてはすべてオペレーターによる手動介入にて行われる。また、通信システム「運用あり」の場合、本実証では起点(検知)から終点(制御)までのすべての行程を自動で行うため、原則手動介入は発生しない。ただし、交差点の中で停止するおそれがある場合や、緊急自動車が想定を超えるスピードで接近した場合は、安全のため手動介入が発生する場合がある。

【緊急自動車接近時の手動介入回数の計測手法】

実証実験中のすべての手動介入時の日時・場所・距離の情報は自動運転車両のログ計測にて常時記録する。そのうち、本補足で定義する緊急自動車接近時の手動介入については、自動運転車両に搭載するカメラ(車外フロント・車外リア、車室内フロント・車室内リア)にて撮影する映像による判断、および遠隔監視室スタッフとオペレーターとの間で手動介入の要因が緊急自動車接近によるものであったかの確認を取ることで計測を行う。

【手動介入の評価方法】

前提として、緊急自動車接近時に手動介入が発生することは許容できないため、回数ではなく、手動介入が発生した要因を評価・分析する。車内外のカメラおよび保安員の報告から、手動介入の要因をシステムに起因するもの、緊急回避によるもの、その他イレギュラー等に分類し、それぞれの要因を評価・分析する。システムに起因するものに関しては、発生そのものを減らせるように事前検証を重ねることとする。緊急回避によるものも、事前に想定シチュエーションを作成することで想定されていない緊急回避を減らすことを目指す。

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

【安全性・円滑性における現状の課題】

現状、自動運転車両はサイレン音により緊急自動車の接近を検知する。しかし、周辺騒音やビル群の反響等による雑音が入ることに起因し、精度は100%には満たない。そのため、緊急自動車の検知ができない可能性が存在し、道路法規によって定められている緊急自動車へ進路を譲る等の対応をとることができず、緊急自動車の通行を妨げてしまう危険性がある。また、緊急自動車の接近に伴って周囲の交通参加者も通常とは異なる動きを見せるため、通常どおりの動きを取ろうとする自動運転車両と周囲の交通参加者との間でギャップが生じ、事故や渋滞の可能性が高まる。

【課題解決効果の検証方法】

安全に一時停止できたか、他の交通参加者を妨害しなかったか等の道路交通全体の安全性・円滑性向上の評価は、その時々々の道路状況や緊急自動車の接近具合によって異なるため、定量的に行うことは難しい。そのため、緊急自動車の接近時の周囲の状況や自動運転車両の挙動と、その時に車内にいた乗客、オペレーター、保安員へのアンケート結果を分析して評価する。

【課題解決効果】

緊急自動車接近時に自動運転車両が安全に一時停止することにより、緊急自動車が円滑に通行できる。また、緊急自動車接近時に自動運転車両が周囲の状況に合わせて安全な挙動を取ることで、周囲の交通参加者との間での事故や渋滞の発生を抑制することができる。

緊急自動車接近時に自動運転車両が安全な挙動を取ることで、住民の方々にも自動運転の安全性について理解してもらうことができ、社会受容性の向上にも寄与する。

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

【ルート設定における現状の課題】

現状、緊急自動車接近時の対応を自動で(システムによって)行うことは難しいため、消防署や大規模病院が周辺にあり、緊急自動車が頻繁に通行する環境を自動運転ルートとして設定することは難しい。

また、上記の環境を除いても、日本全国ほぼすべての道路において緊急自動車が通行する可能性はあり得るため、緊急自動車接近時の自動での対応はルート設定における大きな課題である。

【課題解決効果の検証方法】

緊急自動車接近時の対応をすべて自動で行うことができたかどうかを計測する。

【課題解決効果】

現状は「緊急自動車が接近する可能性が高いため」という理由でやむを得ず消防署や大規模病院を避けたルートを取る必要があるが、本システムを運用することで、希望する最短ルートを取ることができる(ルート設定の柔軟化、時間短縮、利便性の向上)。

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

【Mobile GNSS 受信機を緊急自動車に設置する場合】

Mobile GNSS 受信機は自動運転車両の運行のみに利用するため、初期コストおよびランニングコストは自動運転車両の運行事業者が負担すると想定される。本実証中に、他サービスとの相乗り等、コスト低減化方策を検討する。

【ITS Connect を緊急自動車に設置する場合】

緊急自動車の新車を購入する際、ITS Connect が標準搭載されていることが多く、この場合の初期コストは自治体(緊急自動車保有者)の負担となる(ただし車両代金に包含される)。

既存の緊急自動車に設置する場合は、端末費用および設置費用の負担元について、展開時にどのようにすべきか、本実証期間内に議論を行い検証する。

また、Mobile GNSS と ITS Connect の初期コストおよびランニングコストを比較し、経済面からどちらが優れているのかを検証する。

【緊急自動車の位置情報、接近情報を通知するシステム】

本システムは各社遠隔監視システムの外側にあるシステムであるため、初期コストおよびランニングコストは運行事業者が負担するものと想定される。ただし、運行事業者ごと、運行地域ごとにスクラッチ開発する必要がなく、全体的なシェアリングが図れると考える。

【各社遠隔監視システムの改修費、自動運転システムの改修費】

各自動運転メーカーが負担するものとする。ただし、一度機能を具備すれば、他エリアでも展開できる機能であり、本改修により遠隔監視システム利用料金が高額になることはない想定する。

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

本実証実験は、緊急自動車接近時に自動運転車両が一時停止、通過後再発進するために、以下のシステムを構築、連携させる。

<車載端末>

- Mobile GNSS

GNSS 受信アンテナ・バッテリー・LTE モジュールをすべて内蔵した端末を、緊急自動車を想定した普通自動車に設置し、緊急自動車の位置情報を取得する。ここで取得した位置情報は後述するセンター設備のクラウドサーバーに送信する。Mobile GNSS は NTT ドコモビジネスからすでに提供されているサービスであり、位置情報をサーバーに送信するまでのプロセスはサービス仕様に従う。

- ITS Connect

ITS Connect とは車車間通信の一つで、緊急自動車に設置することで緊急自動車の位置、速度、進行方法、走行状態(緊急走行か否か)等を周囲の自動車に知らせることができる。本実証実験では、自動運転車両に ITS Connect の受信機およびルーターを設置し、緊急自動車の接近情報をセンター設備のクラウドサーバーに送信する。

<サーバー>

- ブローカーサーバー

各システムとのインターフェースおよび総合基盤的な位置づけで、緊急自動車の位置情報および接近情報の収集および自動運転車両内の制御サーバーからの返答を他サーバーへ送信する役割を行う。また、NMEA 形式で送信された位置情報を TD-001 形式に変換する機能を具備する。

- 遠隔監視用サーバー

Fleet Management System とも呼ばれる、自動運転車両を遠隔から監視するためのシステムを構成するサーバーである。本実証実験では、遠隔監視用サーバーを構築し、自動運転車両の状態だけでなく緊急自動車の位置を表示できるようにする。

<インフラ設備>

- 信号機路車協調設備

信号機の灯火情報を自動運転車両に通知する、信号機路車協調設備を図 2 に示す交差点①の信号機に設置する。交差点①は高知赤十字病院および北消防署へのアクセスルートであり、自動運転車両が緊急自動車と遭遇する可能性が高い。緊急自動車接近時は、自動運転車両の進行方向の信号が青であっても、一時停止等通常とは異なる挙動を行うことが必要である。自動運転システム側で、信号機路車協調から得た情報と緊急自動車の接近情報を比較し判断を行うことになるが、実証実験で実際の挙動を検証するために信号機路車協調設備を設置する。

- ネットワーク等通信環境

本実証実験では、映像や音声等ファイルサイズが大きな情報を扱わないことから、移動通信事業者の公衆網を利用することとし、特別な通信網は構築しない。また、実証運行前に、高知駅～イオンモール高知までの約 1.1km における主要 4 キャリアの電波状況を確認する。

【測定内容】

- ・ 約 1.1km 区間を 10 ヶ所、1 日 3 回(朝・昼・夕)、平日 2 日と休日 1 日にて実施
- ・ 測定項目(RSRP・RSRQ・SINR・スループット・レイテンシー)

【ネットワーク構成図】 図 26、図 27 を参照

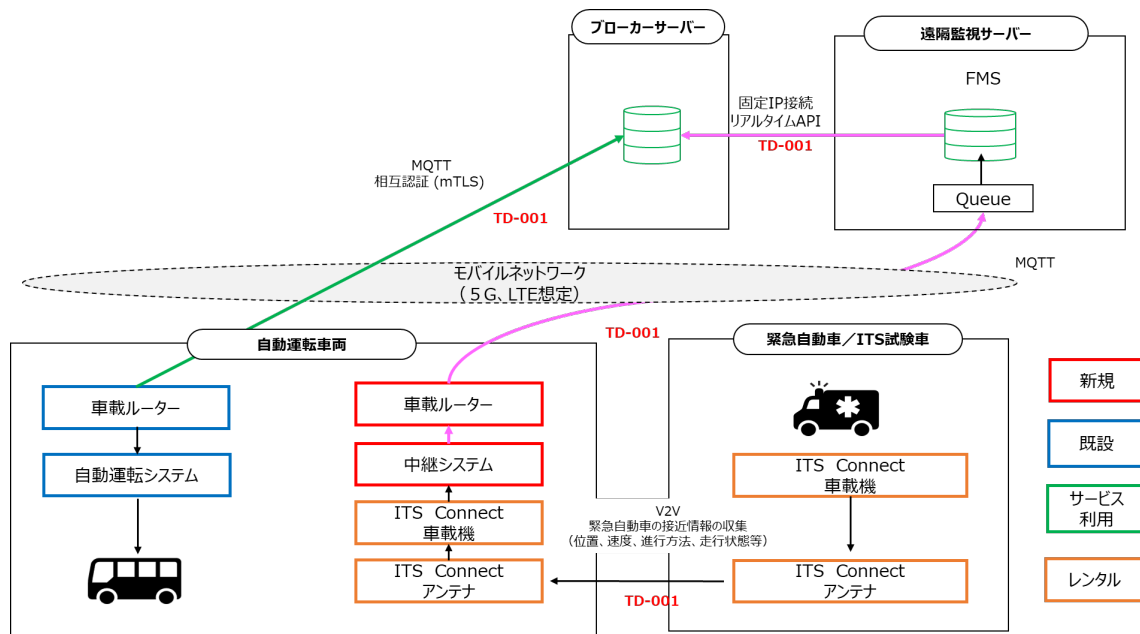


図 26 ITS Connect システム構成図

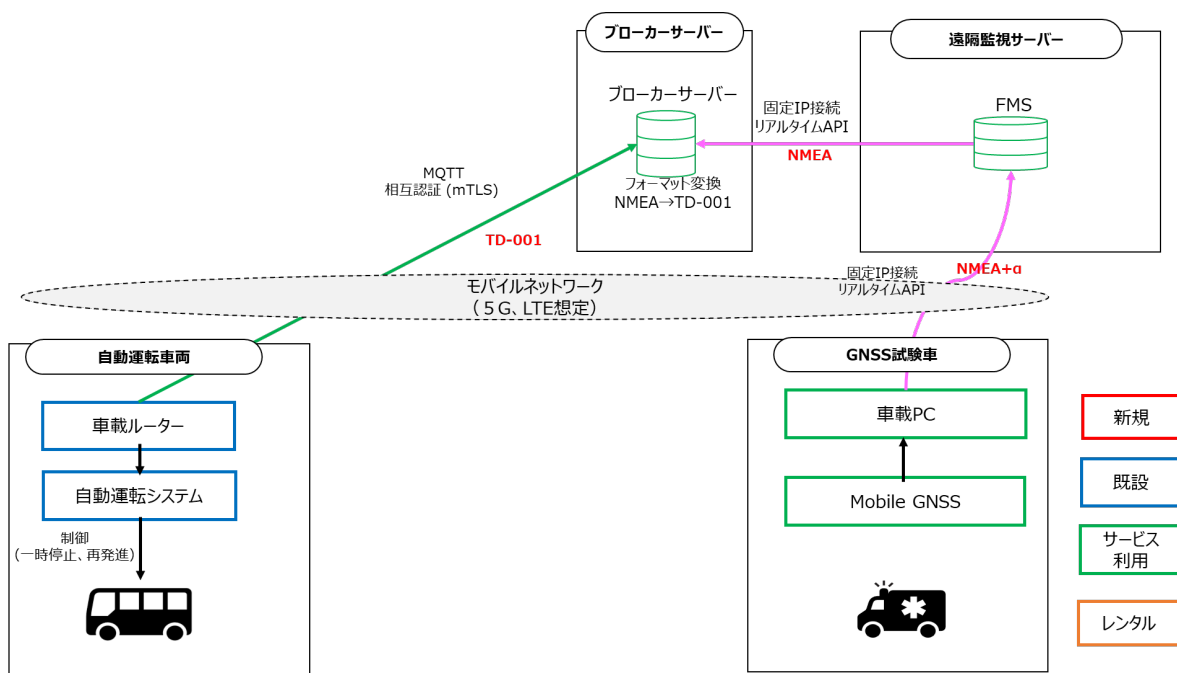


図 27 Mobile GNSS システム構成図

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

【自動運転車両での処理を簡便化するため、ブローカーサーバーから配信する緊急自動車の位置情報のデータ形式を統一】

本実証では緊急自動車の位置情報として ITS Connect と Mobile GNSS を使用しているが、ITS Connect は TD-001 形式、Mobile GNSS は NMEA 形式となっている。

TD-001 形式は NMEA 形式には存在しない緊急自動車の状態情報(通常状態、緊急移動中等)といった本実証での重要項目を有しているため TD-001 に統一した。(表 21 参照)

データ形式を統一することで、将来新たな機器が追加になった場合でも自動運転車両の改修は不要で実現可能となる。

表 21 データ形式

	TD-001	NMEA
データ内容	緯度・経度・高度、速度・方位、車両用途種別、GNSS 状態等幅広い	緯度・経度・時刻等測位関連中心
拡張性	データフレーム構造によりオプション項目追加可能 ※ITS Connect では「緊急自動車用拡張情報」に緊急自動車の状態情報を格納している	標準定義センテンスに基づき、必要に応じて PGN や文言追加可能だが基本は固定フォーマット

【時刻同期方式の最適化】

本実証では、システム全体の時刻同期方式をできる限り統一することを目指した。自動運転車両は設計上インターネットに接続できないため、外部 NTP サーバーやクラウドサービスを利用することができず、GNSS(Global Navigation Satellite System)による時刻同期を採用している。GNSS は衛星から高精度な時刻情報を取得できるため、自動運転車両にとって最も信頼性の高い方法である。

この条件を踏まえると、システム全体で GNSS 時刻同期を統一することが望ましい。しかし、本実証環境では遠隔監視サーバーおよびブローカーサーバーに GNSS 受信機を接続することができなかったため、代替手段として AWS が提供する Amazon Time Sync Service を採用した。このサービスはクラウド環境で高精度な時刻同期を提供し、サーバー側の安定性と精度を確保することが可能である。

結果として、本実証では以下の構成とした。

表 22 時刻同期方式

項目	GNSS 時刻(GPS 等)	Amazon Time Sync Service
本実証での利用機器	<ul style="list-style-type: none"> ・ ITS Connect ・ Mobile GNSS ・ 自動運転車両 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 遠隔監視サーバー ・ ブローカーサーバー

以上により、可能な範囲で時刻同期方式の統一を図りつつ、各機器の制約に応じて最適な方法を選択した。

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

6.3.1 レベル4自動運転の実現に向けた緊急自動車検知システムの検証

1) 実証スケジュール

表 23 実証スケジュール

コース ケース	フェーズ	2025年										中間報告	2026年		最終報告	
		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		環境構築						事前運行						
	実証							事前 検証	現地実証 (データ取得)							
	実証評価								視察会 ▲	報告書作成						
③	実証準備 (事前計測、物品調達等)	機器調達		環境構築						事前運行						
	実証								現地実証 (データ取得)							
	実証評価								視察会 ▲	報告書作成						

2) 開発・評価項目の結果

表 24 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	ITS Connect 位置情報を中継するシステムの開発(図 6 参照)
(2)	遠隔監視システムの開発(図 6 図 7 参照)

(1) ITS Connect 位置情報を中継するシステムの開発

ITS Connect 車載器により受信した緊急自動車の位置情報を中継し、遠隔監視サーバーへ正常に送信できることを確認した。

シミュレータを用いて複数台の緊急自動車位置情報を同時に受信する状況について検証し、遠隔監視サーバーへすべての緊急自動車の位置情報を送信できることを確認した。

また、実車試験に先立ち、ITS 試験車を使用した事前確認を実施し、ITS Connect による位置情報の受信範囲が自動運転車両の一時停止、再発進判定範囲をカバーできることを確認した。

(2) 遠隔監視システムの開発

遠隔監視サーバーに格納された ITS Connect および Mobile GNSS による緊急自動車の位置情報を、地図上に正しく表示できることを確認した。

緊急自動車の移動に応じて地図上のアイコン位置が適切に変化すること、ITS Connect および Mobile GNSS の両方式で緊急自動車が表示されること、さらに複数台の緊急自動車が同時に表示可能であることを確認した。遠隔監視システムでの表示例を図 28 に示す。

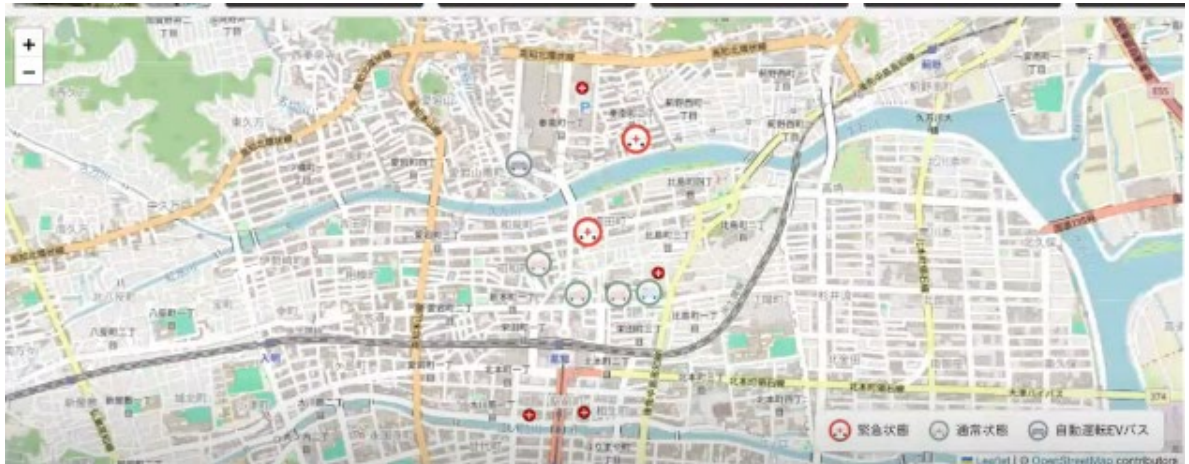


図 28 遠隔監視システムでの表示例

3) KPI/KGI との比較結果

表 25 KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	-	設定なし
定量評価	(1)	緊急自動車の位置情報を遠隔監視側に遅延 400 ミリ秒未満で配信すること
	(2)	システムの信頼性 99.9%
	(3)	緊急自動車の車両位置許容誤差 3m
	(4)	自動運転車両に設置した機器が走行の振動に耐え得ること

(1) 緊急自動車の位置情報を遠隔監視側に遅延 400 ミリ秒未満で配信すること

緊急自動車の位置情報配信の遅延時間を表 26 の条件で測定した。Mobile GNSS、ITS Connect それぞれの遅延時間の測定結果を表 27 に示す。算出した結果、Mobile GNSS で平均 78 ミリ秒、ITS Connect で平均 283 ミリ秒であり、いずれも KPI である 400 ミリ秒未満を満たしていることが確認できた。

表 26 測定条件(ユースケース③)

項目	内容
対象期間	2025年12月11日(木)~2025年12月26日(金) 上記日程の自動運転車両走行中の配信データを対象とする。
対象の緊急自動車	<ul style="list-style-type: none"> Mobile GNSS 試験車 ITS Connect 試験車 ITS Connect 搭載の緊急自動車
遅延時間算出式	[ブローカーサーバーでのデータ受信時刻] - [緊急自動車の位置情報に設定された時刻情報]
集計除外データ	試験車の電源オン直後のデータは位置情報が正確に取得できないため除外する。

表 27 測定結果(ユースケース③)

緊急自動車	平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)
Mobile GNSS	78	75
ITS Connect	283	231

ITS Connect の遅延時間は Mobile GNSS と比べ大きいですが、これは ITS Connect の方が経由するエッジ(中継システムやルーター)が多い影響と推測される。

(2) システムの信頼性 99.9%

通信システムの信頼性を確認するため、本システムが正常に稼働している時間を表 28 の条件で確認した。その結果、システムは停止することなく正常な状態を維持していた。

システムの信頼性は 100%であり KPI である 99.9%を満たしていることを確認できた。

表 28 測定条件(ユースケース③)

項目	内容
対象期間	2025年12月11日(木)~2025年12月26日(金) 9:00~17:30(自動運転車両走行時間前後の準備時間も含む)
正常稼働の条件	<ul style="list-style-type: none"> 緊急自動車の位置情報を自動運転車両向けに配信すること 遠隔監視システムに緊急自動車の位置情報を表示すること

(3) 緊急自動車の車両位置許容誤差 3m 以内

Mobile GNSS と ITS Connect の車両位置の差分を確認するため、各車両の位置情報を表 29 の条件で測定した。測定結果を表 30 に示す。緊急自動車の車両位置の差分は平均 3.086m となり、KPI である 3m をわずかに上回ったが概ね達成した。

実証時における自動運転車両の一時停止および再発進の挙動はいずれも良好であったことから、位置情報の精度差分による自動運転車両の挙動に影響はないものと考えられる。このことより、ITS Connect の位置情報は緊急自動車接近時の一時停止・再発進に有用であることが確認できた。

表 29 測定条件(ユースケース③)

項目	内容
測定方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ ITS 試験車を緊急自動車と見立てる ・ 同車に Mobile GNSS を搭載し、両者の位置情報を比較する ・ Mobile GNSS の位置情報を正とし、ITS Connect の位置情報との差分を測定する ・ 同車内の ITS Connect のアンテナの設置場所(車両の屋根)と Mobile GNSS の設置場所(車両前方、ダッシュボード上)が異なるため、位置情報の補正を行う
測定場所	実証ルート付近で緊急自動車が走行する可能性が高い、自動運転車両の走行ルートおよび走行ルートを東西に横切る道路を選定。高知駅北口ロータリーを始点、終点とする。
測定回数	3 回

表 30 測定結果(ユースケース③)

	平均(m)	中央値(m)
1 回目	3.390	2.803
2 回目	3.453	2.461
3 回目	2.140	2.119
全体	3.086	2.502

位置情報の差分をマッピングし、差分が大きくなる地理的条件が存在するかを確認した。マッピング結果の一例として、図 29 に測定 3 回目の結果を示す。3 回の試行に共通して高知駅付近で差分が大きくなる傾向が確認された。高知駅および付近の線路は高架構造であるため、駅舎により電波状況が悪化し、位置情報の取得に影響を及ぼした可能性があると考えられる。

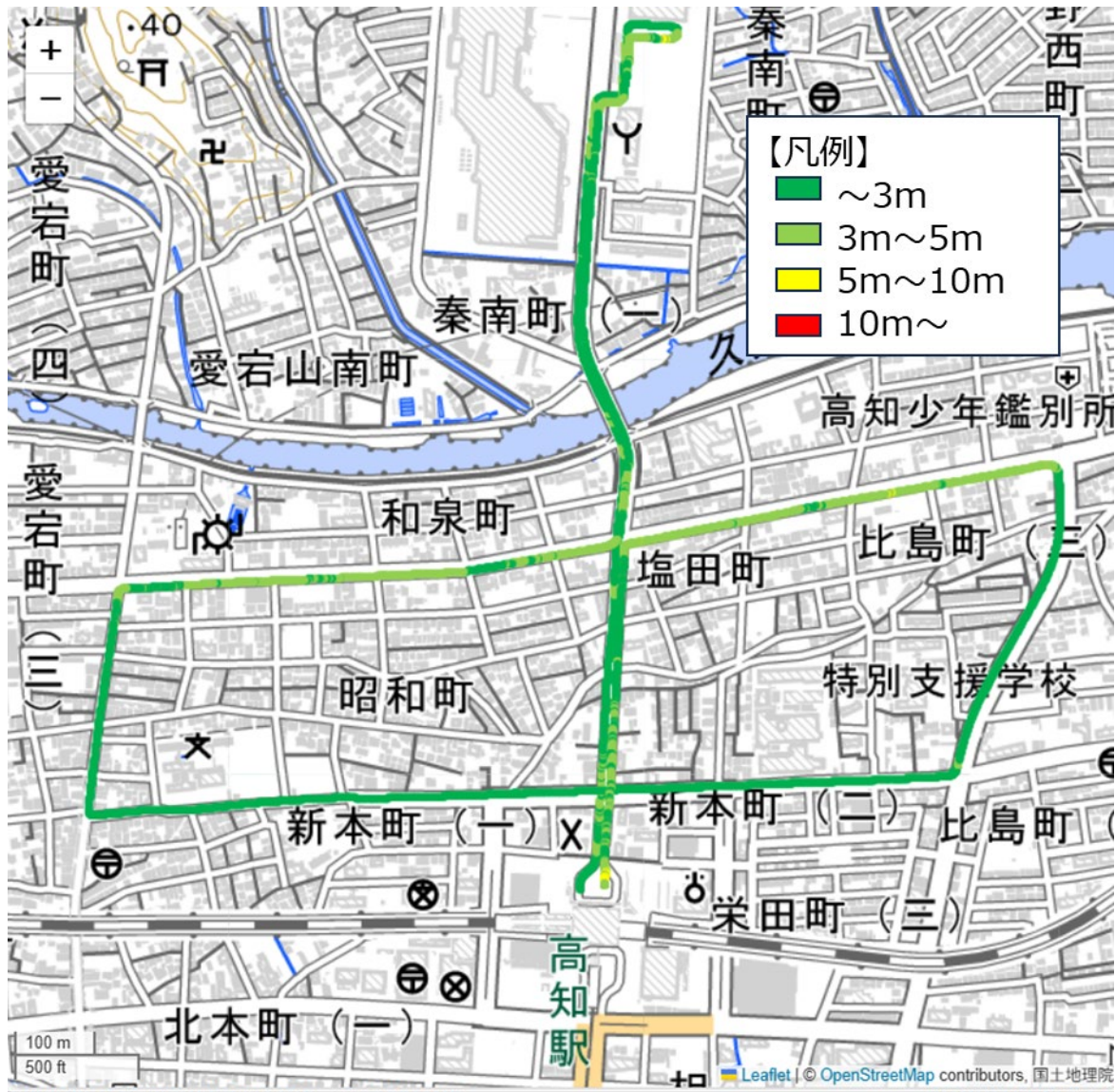


図 29 ITS Connect と GNSS の位置情報の精度差(出典:国土地理院地図を加工して作成)

(4) 自動運転車両に設置した機器が走行の振動に耐えうること

自動運転車両に搭載した機器(ITS Connect および中継システム)について、実証期間中の稼働状況を確認するため表 31 の条件で測定した。その結果、走行時の振動によって機器が停止することはなく、全期間を通して正常な状態を維持できていた。以上により、走行振動に対する耐性が確保されており、KPI を満たしていることを確認した。

表 31 測定条件(ユースケース③)

項目	内容
対象期間	2025年12月11日(木)~2025年12月26日(金) 9:00~17:30(自動運転車両走行時間前後の準備時間も含む)
正常稼働の条件	緊急自動車の位置情報を遠隔監視サーバー向けに配信すること

4) 成果・課題

【成果】

本ユースケースでは、中継システムおよび遠隔監視システムの開発と動作確認を行った。

まず、中継システムについては、ITS Connect 車載器で受信した緊急自動車の位置情報を正確に中継し、遠隔監視サーバーへ正常に送信できることを確認した。また、ITS Connect の受信範囲が自動運転車両の一時停止および再発進の判定に必要な範囲を十分にカバーしており、有用な機器であることも確認した。

さらに、遠隔監視システムについては、遠隔監視サーバーに蓄積された ITS Connect および Mobile GNSS の緊急自動車位置情報を、地図上に正しく表示できることを確認した。

緊急自動車の位置情報配信については、Mobile GNSS で平均 78 ミリ秒、ITS Connect で平均 283 ミリ秒の遅延時間となり、いずれも KPI である 400 ミリ秒未満の要件を満たした。

また、システムの信頼性については、実証期間中にシステムが停止する事象は発生せず、全期間を通じて正常に稼働し続けたことから、信頼性は 100% であり、KPI である 99.9% を上回る結果となった。

さらに、Mobile GNSS と ITS Connect の車両位置の差分は平均 3.086m であり、KPI である 3m をわずかに上回った。しかし、実証時における自動運転車両の一時停止および再発進の挙動は両方式とも良好であり、本差分は許容範囲内と評価できることから、ITS Connect による位置情報が緊急自動車接近時の一時停止・再発進に有用であることが確認された。

設置機器の耐振動性については、走行時の振動により機器が停止する事象はみられず、実証期間を通じて安定稼働を続けたことから、走行振動に十分耐えうる性能を有していることが確認された。

以上のことから、緊急自動車の位置情報を安定かつ円滑に遠隔監視サーバーへ伝送するシステムを構築できたと考える。

【課題】

本ユースケースでは十分な成果が得られており、現時点で特筆すべき課題は認められない。

本実証では、大規模な事故や災害が発生していない平常時の運行において、システムが支障なく動作することを確認した。一方で、大規模事故や災害により多数の緊急自動車が同時に走行する状況では、通信量の増大に伴う高負荷により、システムが停止する可能性が想定される。しかし、このような状況下では一般車両を含む通常運行の継続自体が困難となるため自動運転車両についても手動介入による現場対応が現実的である。また、通信システムについては、遠隔監視室において復旧作業を行うことが適切な運用であると考えられる。

以上の理由から、大規模事故・災害時に関する事項は、本実証における課題としては取り扱わない。

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

6.4.1 レベル4自動運転の実現に向けた緊急自動車検知時の自動運転車両制御の検証

1) 実証スケジュール

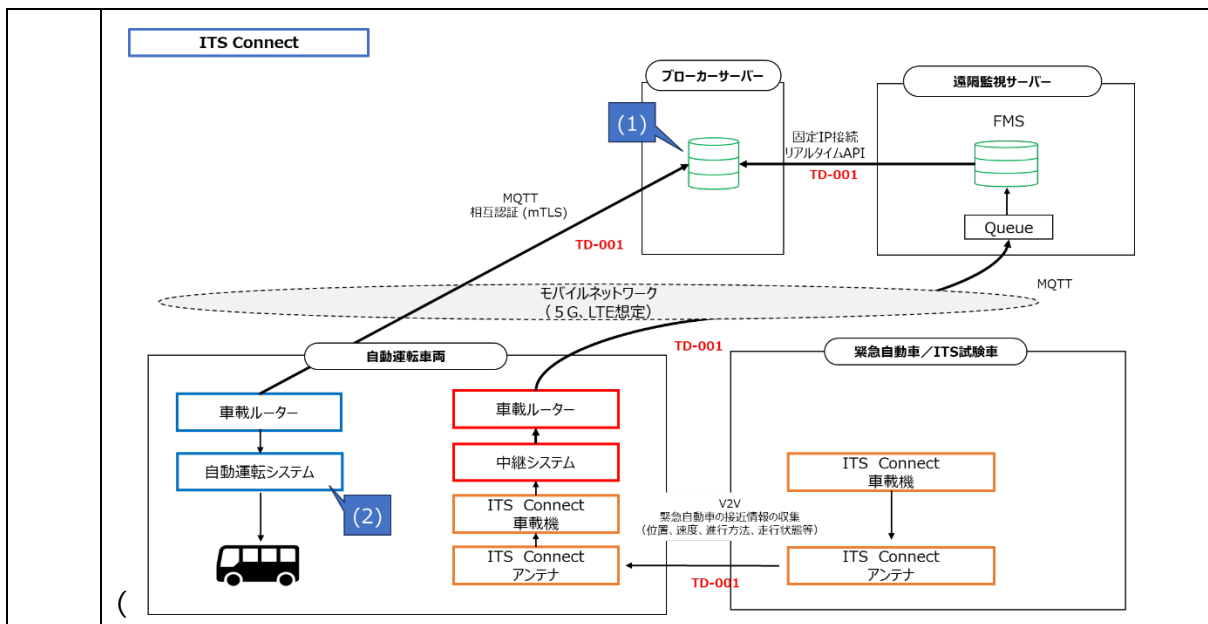
表 32 実証スケジュール

コース ケース	フェーズ	2025年										中間報告	2026年		最終報告	
		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		環境構築						事前運行						
	実証							事前 検証	現地実証 (データ取得)							
	実証評価								視察会 ▲	報告書作成						
③	実証準備 (事前計測、物品調達等)	機器調達		環境構築						事前運行						
	実証								現地実証 (データ取得)							
	実証評価								視察会 ▲	報告書作成						

2) 開発・評価項目の結果

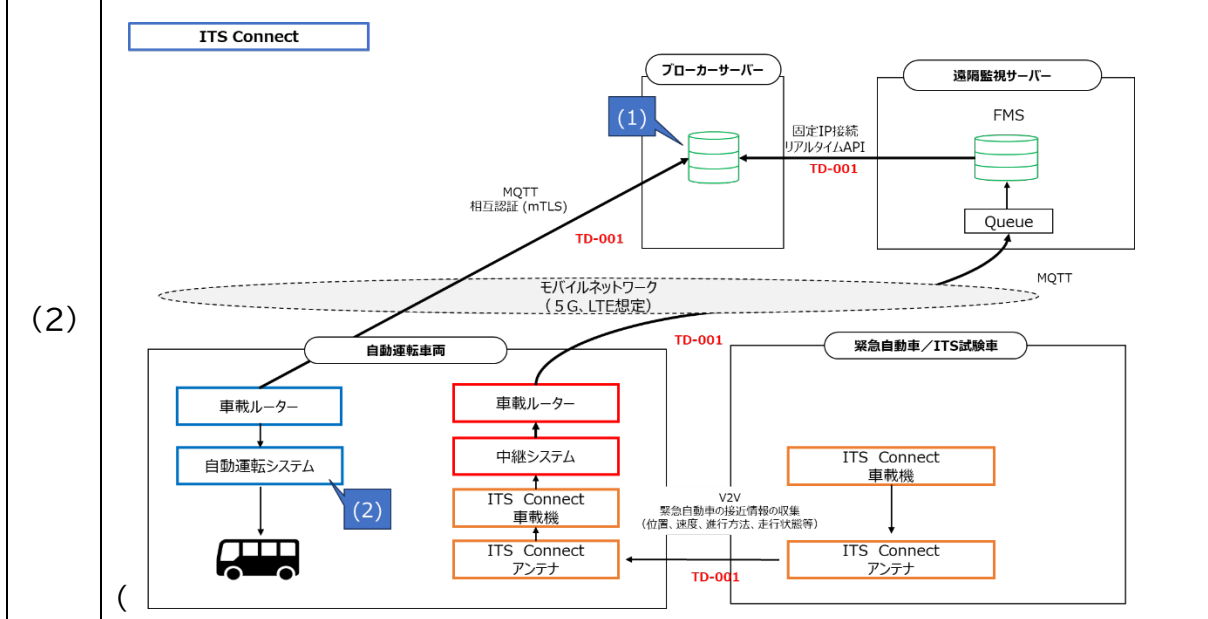
表 33 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
(1)	緊急自動車の位置情報を自動運転システムに配信するシステムの開発



(図 12、図 13 参照)

緊急自動車の位置情報に基づいて、車両を制御できるよう自動運転システムの改修



(図 12、図 13 参照)

上記開発項目、ユースケース③の開発項目(6.3.1)とあわせ机上および私道での機能試験を実施し、想定通りの挙動ができていることを確認した。

各試験の目的や実施環境については以下の表 34 の通りとする。

表 34 試験目的と実施環境

		机上試験	私道での機能試験
目的		今回の改修部分の動作が、想定通りであることを確認	今回の改修により、自動運転車両の安全な走行を妨げることなく、適切な優先順位で判定していることの確認
機器	ITS Connect	シミュレータ	ITS 試験車
	Mobile GNSS	GNSS 試験車	GNSS 試験車
	遠隔監視サーバー	実環境(クラウド)	実環境(クラウド)
	ブローカーサーバー	実環境(クラウド)	実環境(クラウド)
	自動運転車両 (EVO)	シミュレータ	実際に使用する車両
	自動運転車両 (Minibus)	シミュレータ	実際に使用する車両

各試験のシナリオパターンについては、想定される緊急自動車の挙動を複数名で検討し、抽出したパターンが十分であることを確認しており、当該シナリオパターンに対する自動運転車両の挙動がいずれも想定どおりであったことから、本試験の結果は良好で目的を達成していると判断した。

【机上試験】

実施したシナリオパターンは下の表 35 の通りである。本試験では、ITS Connect はシミュレータ、Mobile GNSS は試験車を用いて実施した。なお、シナリオ内の数値は緊急自動車のステータスを示す。

Mobile GNSS を搭載した試験車は、実際の道路を走行して試験を行ったため、危険を伴うシナリオは実施していない。ただし、自動運転車両側の処理は機種に依存しないため ITS Connect シミュレータで同様の挙動が確認できていれば十分であると判断した。

表 35 自動運転車両シミュレータによる動作確認結果

No.	シナリオ(緊急自動車の挙動)	自動運転車両(シミュレータ)の挙動	ITS Connect	Mobile GNSS
1	後ろから同一車線で緊急自動車が接近して追い越していく	規定の範囲まで近づいたらブレーキ開始。既定の範囲から離れたら、再発進。	○	○
2	後ろから同一車線で緊急自動車 A と緊急自動車 B が 30m 離れて接近して追い越していく	緊急自動車 A が規定の範囲まで近づいたらブレーキ開始。緊急自動車 B が規定の範囲から離れたら、再発進	○	-(※1)

No.	シナリオ(緊急自動車の挙動)	自動運転車両(シミュレータ)の挙動	ITS Connect	Mobile GNSS
3	前方でUターンしている(戻ってくる)	No1.と同じ挙動	○	-(※1)
4	後ろから接近して後方で停止(15:緊急停止中)	既定の範囲まで近づいたらブレーキ開始。停止したまま	○	-(※2)
5	後ろから接近して後方で停止(2:路上活動中)	既定の範囲まで近づいたらブレーキ開始。路上活動中になったら、再発進	○	-(※2)
6	対向車線を緊急自動車が通過	No1.と同じ挙動	○	○
7	急に後方(規定の範囲内)でサイレンを鳴らし出した(1:緊急走行中)	緊急自動車が緊急状態になったら停止、規定の範囲から離れたら発進	○	-(※2)
8	交差点で左(右)から接近してきている	No1.と同じ挙動	○	○
9	対向車線から来て交差点で右左折した	No1.と同じ挙動	○	○
10	後方から近付いてきたが信号で右左折して離れて行った	No1.と同じ挙動	○	-(※1)

Mobile GNSS 試験不可理由:

- ※ 1 実車両では実現が困難または危険を伴う
- ※ 2 仕様上実現不可能(Mobile GNSS はステータスが「1:緊急走行中」固定)

【私道での機能試験】

実施したシナリオパターンは表 36 の通りである。

表 36 シナリオパターンと確認結果

No	シナリオ	事象発生前	事象発生後	接近検知	停止の場合の要因	EVO	Minibus
1	自動運転車両は停止中 緊急自動車は緊急走行状態で接近	停止	停止	する	緊急自動車	○	○
2	自動運転車両は走行中	走行中	走行中	しない	-	○	○

No	シナリオ	事象発生前	事象発生後	接近検知	停止の場合の要因	EVO	Minibus
	緊急自動車は判定の閾値外の道路を緊急走行状態で走行						
3	自動運転車両は走行中 緊急自動車は判定の閾値内で接近	走行中	減速後停止	する	緊急自動車	○	○
4	自動運転車両は走行中 緊急自動車は判定の閾値内で緊急走行ではない状態で接近	走行中	走行中	する	-	○	○
5	自動運転車両は障害物で停止中 緊急自動車は判定の閾値内で接近 その後障害物がなくなる (緊急自動車は判定の閾値内に存在)	停止	停止	する	障害物⇒緊急自動車	○	○
6	自動運転車両は一時停止標識で停止中 緊急自動車は判定の閾値内で緊急走行状態 その後緊急自動車が判定の閾値外へ離れる	停止	停止	する	一時停止	○	○
7	自動運転車両は障害物で停止中 緊急自動車は判定の閾値内で緊急走行状態 緊急自動車が非緊急走行状態になる	停止	停止	する	障害物	○	○
8	自動運転車両は緊急自動車が判定の閾値内で緊急走行状態のため停止中 手動運転に切り替え後、自動運転に復帰	停止	停止	する	緊急自動車	○	○
9	自動運転車両は緊急自動車が判定の閾値内で緊急走行状態のため停止中 緊急自動車が閾値を離れる	停止	加速	しない	-	○	○

本試験の事前確認として 700MHz 帯 ITS 無線機を使用して ITS Connect の通信可能範囲を検証した。自動運転車両の代替として受信用 ITS 無線機を搭載した車両を実証ルート上に停止させ、緊急自動車の代替として送信用 ITS 無線機を搭載した車両を実証ルートおよび周辺道路で走行させて計

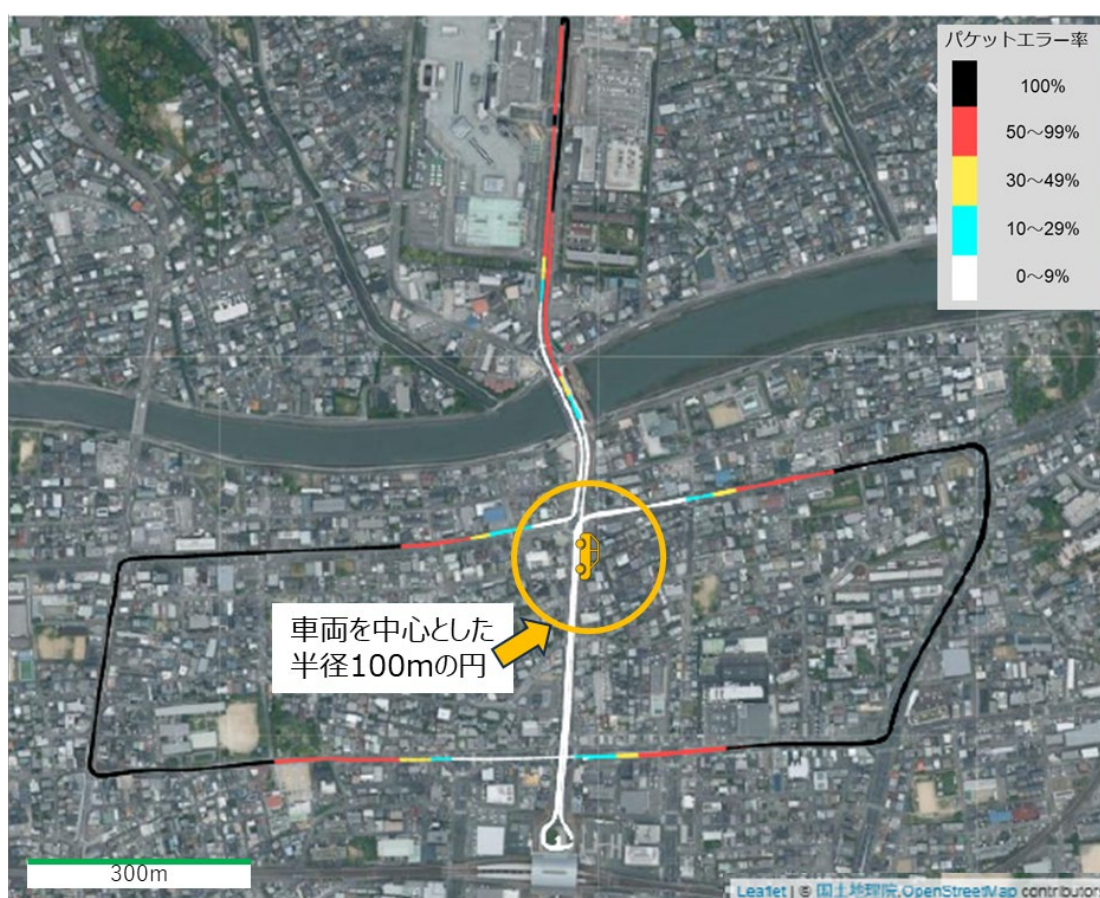
測を実施した。受信用 ITS 無線機は車両内前方のダッシュボード上、アンテナ上部にフロントガラス以外の障害物がない状態で設置している。送信用 ITS 無線機は車両の屋根上に設置している。

情報のパケットエラー率が 30%未満である場合を「緊急自動車の検知に使用可能」として判定した結果、以下の範囲で通信が可能であることを確認できた。

- ・ 前方:約 350m
- ・ 後方:約 220m
- ・ 左右:約 150m

特に左右方向については、自動運転車両と交差点との距離や遮蔽物の有無により通信品質が変動するものの、本実証で一時停止、再発進の判定に使用する規定値(80m、100m)を超えていることから緊急自動車の接近車両検知に有用であると判断した。

参考として確認結果を図にしたものを図 30 に示す。



※通信エリアの測定結果はアンテナを車室内に設置したことによる性能低下の影響を反映しています
出典：地理院地図に無線測定結果を追記して掲載

図 30 ITS Connect 通信可能範囲確認の例(出典:国土地理院地図を加工して作成)

3) KPI/KGI との比較結果

表 37 KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	(1)	一時停止、再発進のタイミングは適切であったか、安全であったかの評価(オペレーター、保安員、乗客向けへのアンケート)
	(2)	緊急自動車内に設置した端末が、車内の他設備や業務に影響を与えていないか(消防車、救急車の運転手等へのヒアリング) ・救命活動等の人命に関わる事象への悪影響がない
	(3)	運転業務および監視業務での安全性の向上 (オペレーターおよび遠隔監視員へのアンケート)
定量評価	(4)	緊急自動車の位置情報を自動運転車両に遅延 1 秒未満で配信すること
	(5)	緊急自動車が自動運転車両を通過する前に、自動的にハザードおよびブレーキ制御を行い、安全に一時停止すること(100%)
	(6)	緊急自動車が自動運転車両を通過後、一定以上の距離が離れた場合に自動運転車両が自動的に再発進できること(100%)
	(7)	緊急自動車が接近していない際に、自動運転車両が接近を過検知する割合が 5%以下であること *過検知する割合 = 過検知で一時停止した回数 / (緊急自動車もしくは試験車が接近して一時停止した回数 + 過検知で一時停止した回数)

(1) 一時停止、再発進のタイミングは適切であったか、安全であったかの評価(オペレーター、保安員、乗客向けへのアンケート)

自動運転車両に試乗した乗客を対象にアンケートを実施した。本アンケートは、緊急自動車接近時の自動運転車両の挙動に対する乗客の評価および、自動運転車両(以降、アンケートでは「バス」と記載する)の挙動が周囲の交通参加者に与える影響について調査する目的で実施した。

まず、緊急自動車が近づいた際のバスの停止タイミングに関する設問に対し、「適切である」と回答した割合は86%、「早い」は11%、「遅い」は3%であった(図 31 参照)。大多数の乗客が「適切であった」と評価しており、KPIである「肯定的意見が7割以上」を達成した。

次に、救急車通過後のバスの再発進タイミングについては、「適切である」と回答した割合が76%、「遅い」が23%、「早い」が1%であった(図 32 参照)。この結果もKPIを満たしているものの、再発進タイミングについて「遅い」と感じる乗客が一定数存在することが明らかとなった。

再発進が「遅い」と感じた理由について考察すると、169件中72件(※遅いと回答した人のうち42.6%)は、信号の多い地点で試験車が自動運転車両を通過後、信号待ち等で検知範囲内に長時間

留まり、30 秒以上停止していたケースであった(図 33 参照)。これは試験車が一般車両であるため生じた状況であり、実際の緊急自動車が走行する際は、信号の状態に関係なく自動運転車両から速やかに離れていくため、本事象は発生しない。該当 72 件を除外した場合、再発進のタイミングを「遅いと感じた」と回答した件数は全体の 13%(97 件/745 件)となった(図 34 参照)。

残る 97 件(※遅いと回答した人のうち 13%)については、交通状況や車両速度、周辺車両との位置関係等多様な要因に依存し、乗客の主観的評価に影響されていると考えられる。しかしながら、肯定的評価が 7 割以上を維持していることから、本実証の停止・再発進制御は乗客視点からも安全性が確保された運行であったと評価できる。

加えて、オペレーター3 名および保安員 2 名へのヒアリング調査においても、一時停止および再発進のタイミングは全体として妥当であるとの評価が得られた。

また、バスが減速を開始してから一時停止するまでの乗り心地については、回答者の 73%が「違和感はなかった」と答えた一方、「急ブレーキを感じた」との回答も約 3 割(200 名/747 名)存在した(図 35 参照)。車両別では Minibus が 128 名、EVO が 72 名と、Minibus の方が急ブレーキを感じた割合が高かった(図 36 参照)。これは車両特性や減速度設定の違いが乗客の体感に影響していると考えられ、今後ブレーキ制御設計の最適化が必要である。

以上のアンケートおよび関係者ヒアリングの結果から、本実証における一時停止・再発進制御は KPI を満たしており、乗客の主観的評価においても概ね受容可能であることが確認できた。

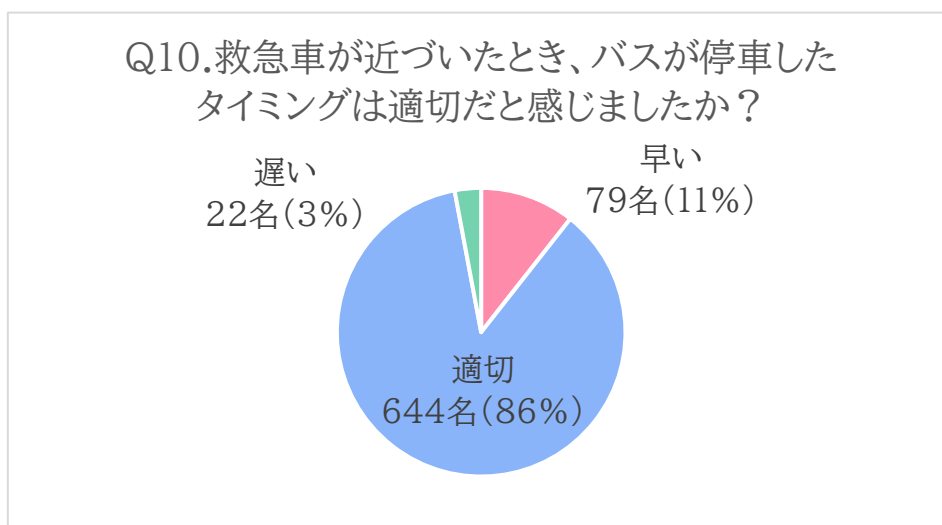


図 31 一時停止のタイミングに関するアンケート結果

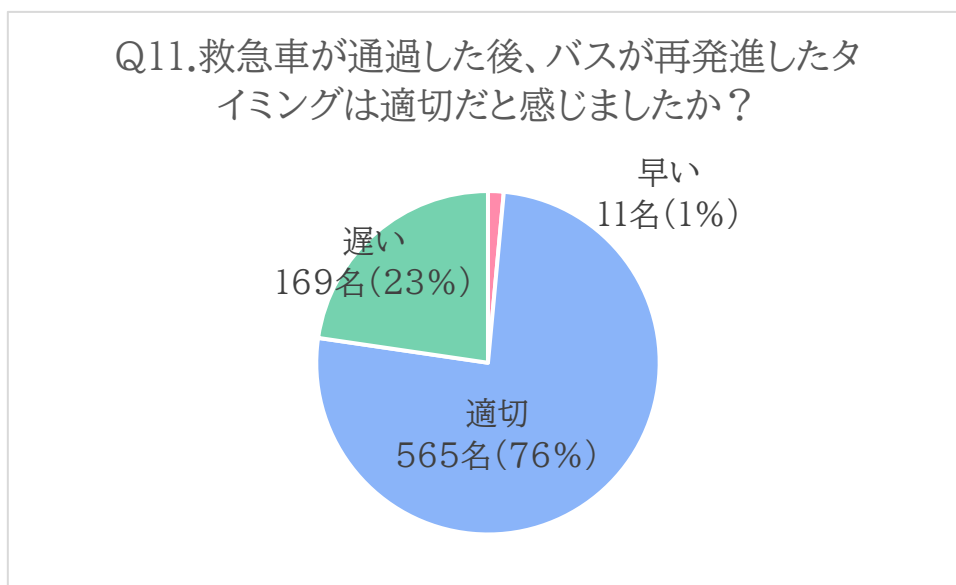


図 32 再発進のタイミングに関するアンケート結果

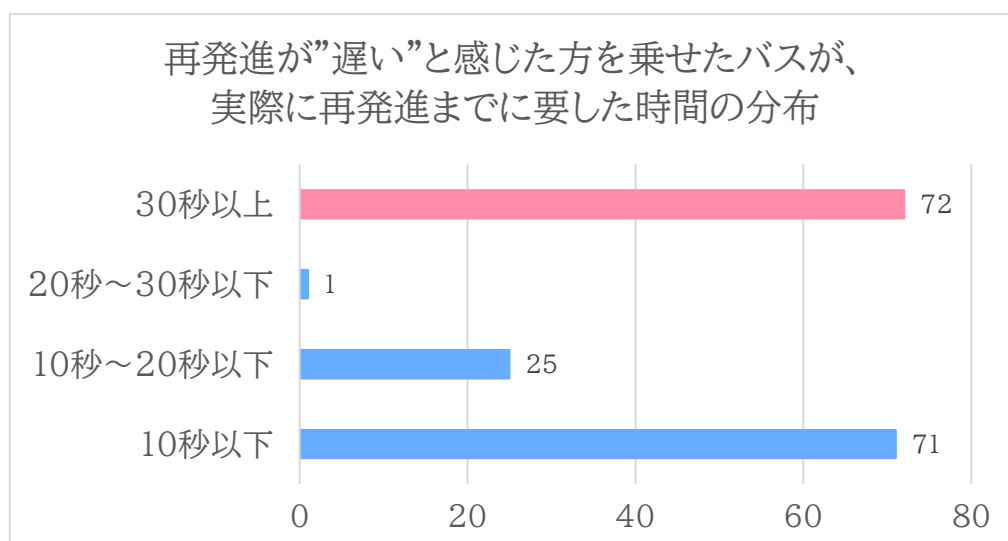


図 33 再発進が遅いと感じた方が乗車したバスが、再発進までに要した時間の分布グラフ

Q11.救急車が通過した後、バスが再発進した
タイミングは適切だと感じましたか？
(再発進まで30秒以上かかった件数を除外)

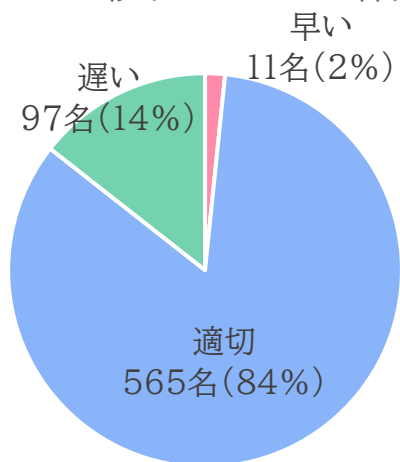


図 34 再発進まで 30 秒以上かかった件数を除外した再発進のタイミングの結果

Q9.救急車が近づいたとき、バスが減速を始めてから停
車するまでの乗り心地はいかがでしたか？

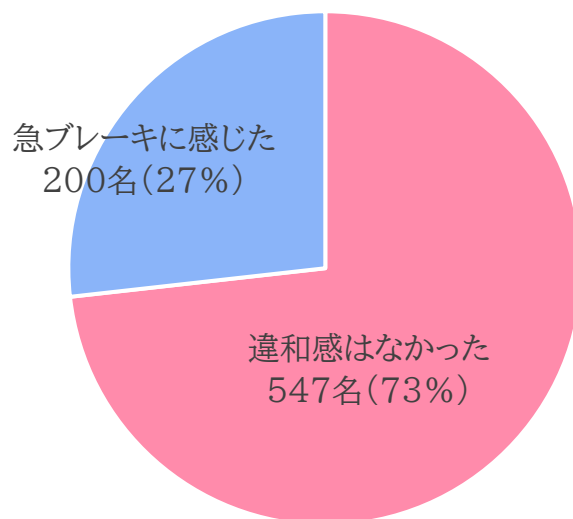


図 35 減速から一時停止までの乗り心地に関するアンケート結果

【内訳】急ブレーキに感じた方(200名)が乗車していたバス種類の割合

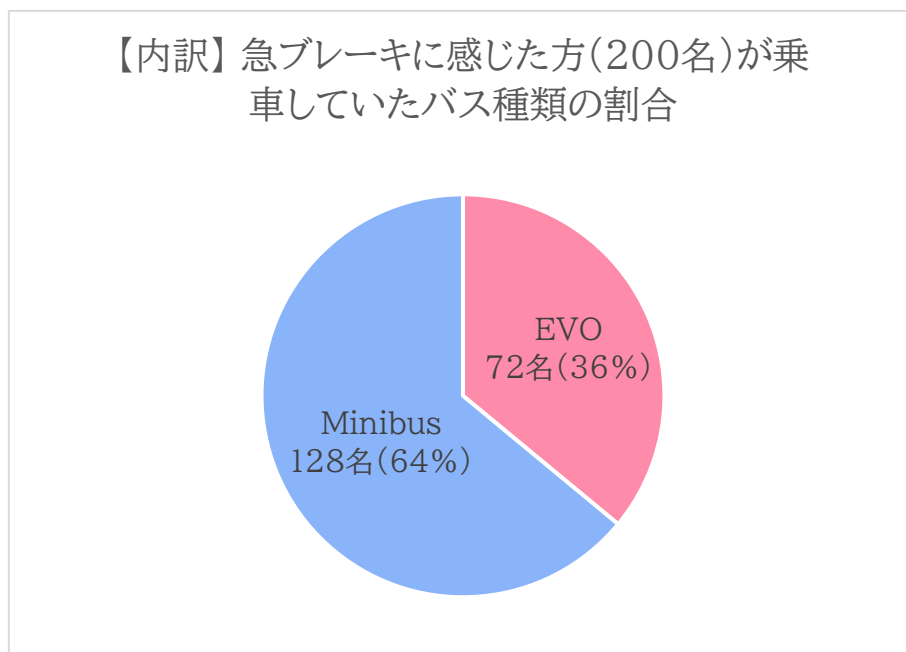


図 36 急ブレーキに感じたバスの種類の内訳グラフ

(2) 緊急自動車内に設置した端末が、車内の他設備や業務に影響を与えていないか(消防車、救急車の運転手等へのヒアリング)・救命活動等の人命に関わる事象への悪影響がない

本実証は、緊急走行中の救急車が自動運転車両の付近を走行した際の、自動運転車両の一時停止および再発進挙動の確認を目的としている。実証エリアを管轄する高知市消防局は、8ヶ所の管轄消防署を有し、計14台の救急車を運用しており、そのうち8台がITS Connect 機器を搭載している。

本実証においては、実証エリア内を管轄する高知市消防局に対してアンケート調査への協力を依頼し、KPI および KGI として設定した評価項目、すなわち「緊急自動車内に設置した端末が、車内の既存設備や業務に影響を与えていないか」および「救命活動等の人命に関わる事象に対して悪影響がないか」について確認を行った。否定的意見が3割以下であり、かつ救命活動等人命に関わる事象への悪影響がないことを確認する。

高知市消防局に対して行ったアンケート調査概要と回答は以下の通りである。

【アンケート調査概要】

- ・ 調査対象期間 :2025年12月10日(水)~2025年12月26日(金)
- ・ アンケート対象者 :高知市消防局の救急隊員

【アンケート回答結果】 表 38 の通り

表 38 消防局向けアンケート回答結果

No.	分類	設問	回答
1	自動運転車両の影響について	緊急走行中に自動運転車両に遭遇したことがありますか？	<ul style="list-style-type: none"> ・ ある 3名 ・ ない 5名
2		「ある」を選んだ方は、自動運転車両が救急車接近時に停止する実験を行いました。自動運転車両の停止タイミングは適切でしたか？	<ul style="list-style-type: none"> ・ もう少し早く停止してほしい 0名 ・ 適切だと思う 3名
3		「ある」を選んだ方は、自動運転車両の動きによって、緊急走行にその他の影響がありましたか？「影響があった」と思う方は、具体的な内容を教えてください	影響なし (反対車線の走行時も含み)
4	将来の自動運転時代における緊急自動車走行について	将来、自動運転車両が普及した際、自動運転車両も緊急走行中の救急車の存在を認識する必要があります。そのために、救急車にも ITS Connect が必要だと思いますか？	<ul style="list-style-type: none"> ・ 是非必要 2名 ・ まあ必要 5名 ・ あまり必要でない 1名
5	ITS Connect 設置の効果について (救命活動への影響)	ITS Connect 機器の導入によって、運転や現場対応に変化はありましたか？	<ul style="list-style-type: none"> ・ 変化なし 7名 ・ 少し変化あり 0名 ・ 大きな変化あり 0名 ・ 無回答 1名
6		ITS Connect 機器の導入は、救急車の走行に役に立つと思いますか？	<ul style="list-style-type: none"> ・ 思う 3名 ・ 思わない 4名 ・ 無回答 1名
7	上記 No6 にて「思わない」の理由を教えてください。	救急車が来たことを知らせても、うまく停車してくれるかわからない。交差点付近でとまり、避けられなくなるかもしれない。 自動運転車両が緊急自動車を察知しても必ず避けてくれるか不安。 一般車両も、止まる意識が薄れているような気がする。	

アンケート設問「ITS Connect 機器の導入によって運転や現場対応に変化があったか」に対しては、「変化なし」が7名、「無回答」が1名であった(表 38 設問 No.5 抜粋)。

否定的意見が3割以下であったことから、KPI/KGIにおいて設定した「緊急自動車内に設置した端末が他の車載設備や業務に影響を与えないこと」「救命活動等人命に関わる事象へ悪影響を及ぼさないこと」の両点について、KPIを達成できたと判断した。

以上より、ITS 車載器を緊急自動車へ搭載することによる、既存設備や救命活動への悪影響はないと評価できる。これは、ITS 車載器の設置位置や使用電力等の条件が、他の車載機器に影響を与えない設計となっているためである。加えて、運用面においても、救急車の緊急走行状態への切り替えは、

サイレン・赤色灯と ITS Connect が連動して動作するため、救急隊員が別途操作を行う必要がなく、操作負担も増加しないことが確認された。

次に、今回の実証において、自動運転車両が運行している道路環境が救急車に与える影響について確認した。設問「緊急走行中に自動運転車両と遭遇したか」に対しては、3 名が「遭遇した」と回答した。その 3 名全員が、自動運転車両の一時停止タイミングについて「適切であった」と回答している(表 38 設問 No.1~3 抜粋)。この結果から、緊急走行中の救急車の視点においても、自動運転車両の一時停止タイミングは適切であり、KPI/KGI で定めた「救命活動への悪影響がない」ことが確認できた。また、高知市消防局の救急隊員に対し、「今後、自動運転車両が普及した際に、救急車にも ITS Connect が必要だと思うか」という問いに対しては、「是非必要」2 名、「まあ必要」5 名、「あまり必要でない」1 名となり、8 割以上が必要性を認識している(表 38 設問 No.4 抜粋)。一方で、「今回の実証において ITS Connect 機器の導入が走行に役立つと思うか」という問いに対しては、「思う」3 名、「思わない」4 名、「無回答」1 名であった(表 38 設問 No.6 抜粋)。「思わない」および「無回答」とした回答者からは、「救急車接近後の回避方法や回避場所に対する不安」「自動運転車両が必ず救急車を回避するかという不安」「一般車両の停止意識が低下しているのではないかという懸念」といった意見が寄せられた(表 38 設問 No.7 抜粋)。これらの意見は、今回の実証において、救急車への ITS Connect 搭載車両と非搭載車両が混在しており、運転者が両者を区別せず従来どおりの運転行動を取っていたことが要因と推測される。高知市消防局の救急車は今後、順次 ITS Connect 搭載車両へ更新される予定であることから、これらの不安は将来的に解消されると考えられる。また、「自動運転車両が必ず回避するか不安」という意見に対しては、自動運転車両が緊急自動車を検知した際、ハザードランプの点灯に加え、緊急自動車を検知し一時停止する旨を外部表示することで、周囲の一般車両にも一時停止行動を促す効果が期待できる。

以上のアンケート結果および考察から、緊急自動車内に設置した ITS Connect 端末は、車内の他設備や業務運用に影響を与えることはなく、救命活動等人命に関わる事象への悪影響もないことが確認できた。

(3) 運転業務および監視業務での安全性の向上

緊急自動車の位置情報を用いた一時停止および再発進機能の導入により、運転業務においては、緊急自動車対応に関する判断が自動化され、サイレンの方向把握や接近状況の判断を運転手が即座に行う必要がなくなる点が挙げられる。これにより、一時停止および再発進のタイミングに対する判断の迷いが解消され、運転手の経験差に起因する対応品質のばらつきを抑制することが可能となる。また、緊急自動車に対する進路譲与が確実に実行されるため、ヒューマンエラーの発生を防止し、安全性の向上に寄与すると考えられる。さらに、緊急自動車接近時には車内において通知が行われることから、乗客が状況および一時停止した理由を把握することができ、不安の軽減や一時停止に備えた行動を促すことが可能となり、車内安全性の向上にも寄与しているといえる。

一方、監視業務においては、自動運転車両の走行状況に加え、走行中に ITS Connect および Mobile GNSS から提供される情報を視覚的に把握できるようになったことで、自動運転車両と緊急自動車との遭遇状況や、その発生可能性を事前に予測することが可能となった(図 37)。これにより、交差点内での緊急自動車との遭遇や、停止位置が狭隘で緊急自動車の進路を妨げるおそれがある状況

において、手動介入の要否を判断するための一つの判断材料として活用できる。さらに、監視業務従事者から運転手に対して、緊急自動車との接近可能性を事前に共有することが可能となる。今回の実証では手動介入を要する事例は確認されなかったものの、必要に応じて早期に手動介入の可能性を伝達することで、より一層の安全性向上に寄与すると考えられる。

以上より、KPI/KGI として設定した「運転業務および監視業務における安全性の向上」は、本実証において達成されたと評価できる。



図 37 遠隔監視画面

(4) 緊急自動車の位置情報を自動運転車両に遅延 1 秒未満で配信すること

【通信環境の事前確認について】

この KPI 評価において、遅延時間を計測する前提となる実証ルートの通信環境を確認した。本実証実験においては、映像や音声等ファイルサイズが大きな情報を扱わないこと、ならびに当該ルートが主要通信キャリアのサービス提供エリア内に位置していることから、移動通信事業者が提供する公衆網を利用し、特別な通信網の構築は実施しない。そのため、実証ルート上の通信環境の把握を目的として、実証運行前に、主要 4 キャリア通信について下表(表 39)の内容で各種データを測定した。実証ルート上にある試験対象車両から自動運転車両まで位置情報を送信する間に、下図、図 38 図 39)の通り、AWS 上にある遠隔監視サーバーとブローカーサーバーを経由する。通信環境の状況に影響を受ける区間は、下図に示す、自動運転車両や GNSS 試験車に設置した各機器から遠隔監視サーバーまでプロトコル MQTT で通信を実施する区間である。そのため、測定区間もこの区間で設定し、通信の測定元は下の表 39 に示すスマートフォンとし、スループットとレイテンシーの試験先には遠隔監視サーバーと同じ AWS リージョン内に試験用に構築した AWS EC2 サーバーを指定する。

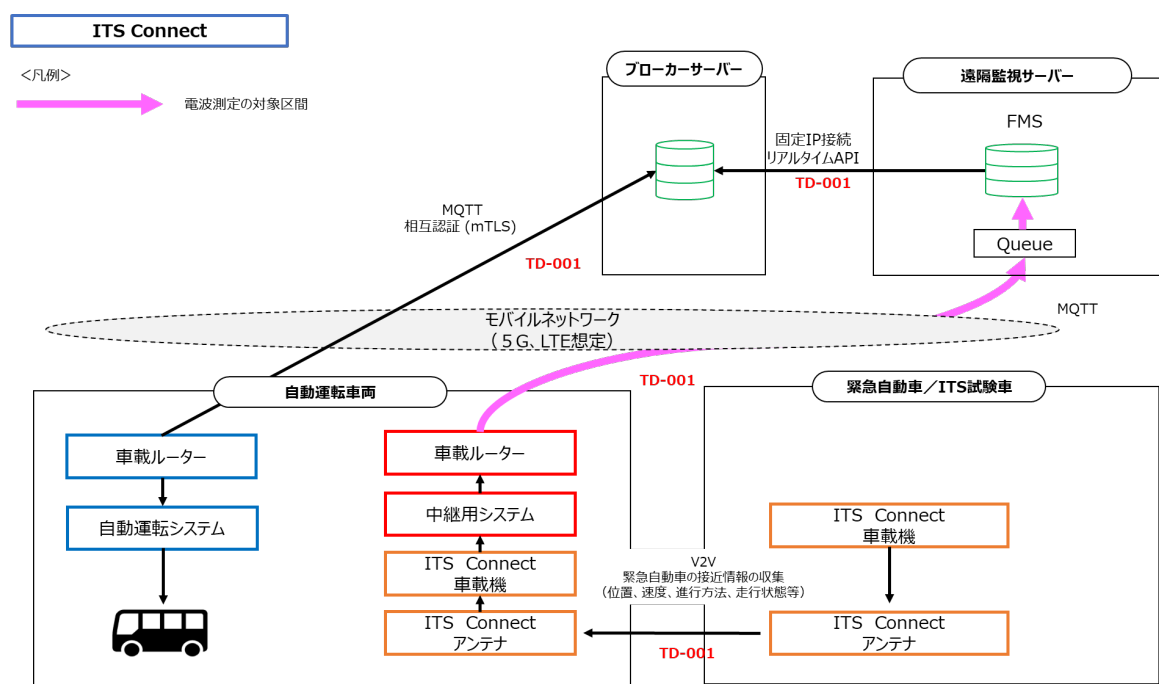


図 38 NW 品質測定区間(ITS Connect)

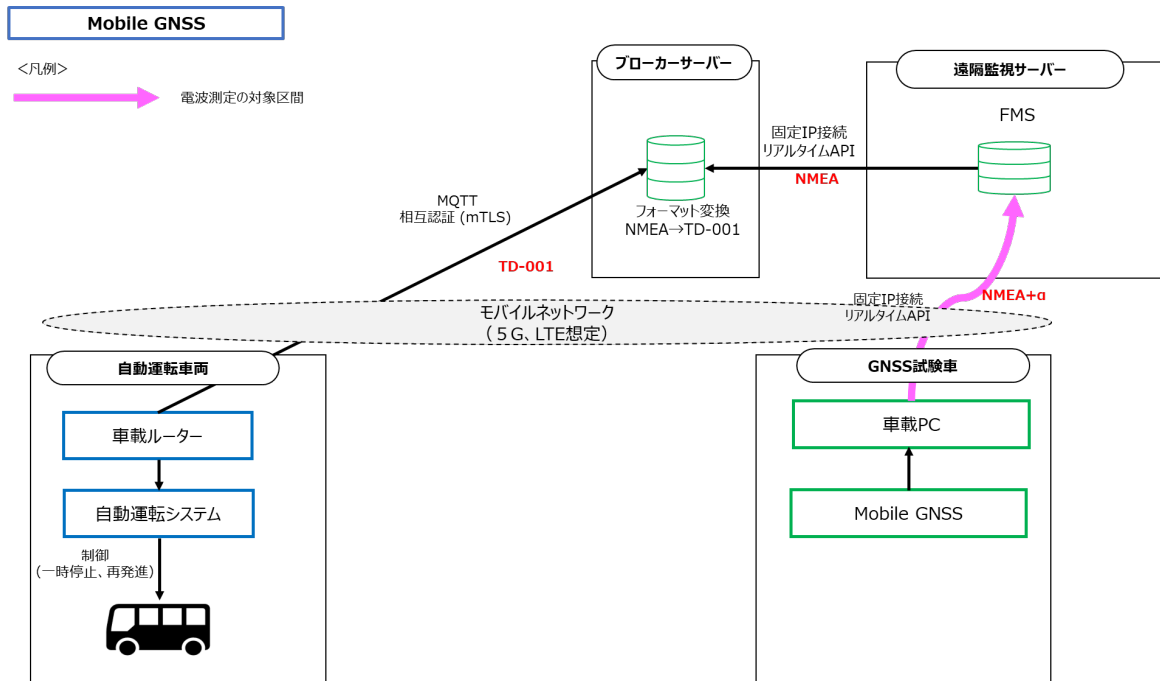


図 39 NW 品質測定区間(Mobile GNSS)

表 39 測定概要

項目	内容
測定日時	2025年10月26日(日)~28日(火) 9:00~10:30、12:00~13:00、16:00~17:30 (歩行者量の増減による通信状況の変化を鑑みて、休日・平日の朝・昼・夕の時間帯で測定)
測定場所	<p>実証ルート付近の歩道上の以下に示す10ヶ所</p> <p>(出所)測定地点(出図を加工して作成)</p> <p>典:国土地理院地</p>
測定対象のキャリア	NTTドコモ、KDDI(au)、SoftBank、楽天モバイル

通信規格	4G/5G (NTTドコモ、KDDI(au)、SoftBankは概ね5Gで測定、 楽天モバイルは概ね4Gで計測された)		
測定環境	測定端末	機種	OPPOReno7A
		モデル番号	CPH2353
		OS	Android13
	ソフトウェア	CELLULAR-Z	7.1.7
		iperf3 App	0.13
		Ping	1.17.13
測定項目と測定方法	RSRP:基準信号受信電力	<ul style="list-style-type: none"> CELLULAR-Z Appにより測定 3回測定し、その平均値を評価値として採用 	
	RSRQ:基準信号受信品質		
	SINR:信号対干渉波雑音比		
	スループット	<ul style="list-style-type: none"> iperf3 Appにより測定 上り、下り各々10回測定し、その中央値を評価値として採用 試験先として、遠隔監視サーバーと同じリージョン内に構築したAWS EC2を指定 	
	レイテンシー	<ul style="list-style-type: none"> ping Appにより測定 5回測定し、その中央値を評価値として採用 試験先として、遠隔監視サーバーと同じリージョン内に構築したAWS EC2を指定 	

また、前述の通り、自動運転車両もしくはGNSS試験車の位置情報の送信にはMQTTを使用する。測定値の評価にあたり、MQTTを使用し4G/5G回線経由でデータ送信を行う際、5つの測定項目がどのような影響を与えるか下記の通り検討内容を示す。

- RSRP:基準信号受信電力
-100dBm以下の電波強度が低い通信ではパケットロスが増え、QoS 1/2で再送が頻発し、レイテンシーの増加(+数百ms)にも影響する。そのため、-100dBm以上であることを評価基準とした。
- RSRQ:基準信号受信品質
-19.5dB以下の干渉が多い環境では、TCPセッションの再送が増え、MQTTのKeep Aliveが切れる可能性があり、スループットの低下にも影響する。そのため、-19.5dB以上であることを評価基準とした。
- SINR:信号対干渉波雑音比

0dB 以下の干渉が多い環境では、スループットの低下を招き、通信品質が悪くなる。一方で、今回の MQTT はデータが小さく、再送制御があり、リンク適応があるという特性により、レイテンシーやスループットの数値が優先される。そのため、0dB 以上であることを評価基準とした。

- スループット

上りにおける 1Mbps 以下の低帯域の環境では、データが小さい MQTT でも、大量メッセージ送信時に数秒の遅延や再送が発生する。そのため、スループット(上り)は 1Mbps 以上であることを評価基準とした。

また、今回の実証実験のデータフローとして、自動運転車両もしくは GNSS 試験車は位置情報の送信のみを行い、サーバー側からデータ受信は発生しないため、スループット(下り)は参考値となる。下りにおける評価基準は、10Mbps 以下の場合、遅延や再送が発生しやすい環境となるため、10Mbps 以上であることを評価基準とした。

- レイテンシー

100ms 以上の遅延のある環境では、MQTT のリアルタイム性が損なわれる。そのため、100ms 以下であることを評価基準とした。

上記の検討内容より、レイテンシーとスループットは他の測定項目にも影響を与え、位置情報の配信における遅延時間を左右することから最重要項目とし、RSRP と RSRQ は次点の重要度、SINR は影響が限定的であることから参考項目とした。

実証ルート全体での評価結果を下表(表 40)に示す。レイテンシーとスループットについては、外れ値の影響を排除し実用的な品質を評価するため、中央値を採用し、RSRP と RSRQ、SINR は、ネットワーク環境の平均的品質を把握するため平均値を採用した。下表は各値を全データより算出し、評価基準を達成しているかを確認した結果である。この場合は全通信キャリアが評価基準をクリアし、差異は見られなかった。

表 40 ネットワーク品質評価結果(全データの中央値、平均値に対する評価)

測定項目	評点基準	NTT ドコモ	KDDI(au)	SoftBank	楽天モバイル
レイテンシー	○ <100ms	○	○	○	○
	× >100ms				
スループット(上り)	○ >1Mbps	○	○	○	○
	× <1Mbps				
スループット(下り)	○ >10Mbps	○	○	○	○
	× <10Mbps				
RSRP	○ >-100dBm	○	○	○	○
	× <-100dBm				
RSRQ	○ >-19.5dB	○	○	○	○
	× <-19.5dB				
SINR	○ >0dB	○	○	○	○
	× <0dB				

一方で、地点別の中央値もしくは平均値の最も低い値で評価したところ、通信キャリアに差異が見られた。下表(表 41)にて、各評価基準を達成している場合は 1、達成していない場合は 0 と採点して記載し、前述の重要度が高いものから、最重要のレイテンシーとスループット(上り)の評点には 3、次点の RSRP と RSRQ には 2、参考として取り扱う SINR とスループット(下り)には 1 を、採点に乘算した結果を評点として[]内に記載した。

表 41 評価結果(全データの地点別最低値に対する評価)

測定項目	評点基準		重要度別 乗算値	NTT ドコモ	KDDI (au)	SoftBank	楽天 モバイル
レイテン シー	1	<100ms	3	1[3]	1[3]	0[0]	0[0]
	0	>100ms					
スルー プット (上り)	1	>1Mbps	3	1[3]	1[3]	1[3]	1[3]
	0	<1Mbps					
RSRP	1	>-100dBm	2	1[2]	0[0]	1[2]	0[0]
	0	<-100dBm					
RSRQ	1	>-19.5dB	2	1[2]	1[2]	1[2]	1[2]
	0	<-19.5dB					
スルー プット (下り)	1	>10Mbps	1	1[1]	0[0]	1[1]	0[0]
	0	<10Mbps					
SINR	1	>0dB	1	0[0]	1[1]	1[1]	0[0]
	0	<0dB					
合計評点: []内を合算				[11]	[9]	[9]	[5]

上記の表 41 の結果より本実証実験では、緊急自動車/ITS 試験車/Mobile GNSS 試験車の位置情報データの送信に利用する通信キャリアとして、最高点(評点 11 点)を獲得した NTT ドコモを採用することとした。下記に続く、遅延時間の計測については、NTT ドコモの 4G/5G 回線を用いた環境で、位置情報データの送信を行った結果となる。

【配信遅延時間について】

配信の遅延時間を算出するため、表 42 の条件で測定を実施した。測定結果を表 43、表 44 に示す。遅延時間は Mobile GNSS で平均 99 ミリ秒、ITS Connect で平均 303 ミリ秒であり、いずれも KPI である 1 秒未満を満たしていることが確認できた。

ITS Connect の遅延時間は Mobile GNSS と比べ大きいですが、これは ITS Connect の方が経由するエッジ(中継システムやルーター)が多い影響と推測される。

ただし、ITS Connect も Mobile GNSS 同様 KPI を十分に達成しており、両システムとも実運用において十分に優れた遅延時間を実現している。

表 42 測定条件(ユースケース④)

項目	内容
対象期間	EVO:2025年12月11日(木)~2025年12月13日(土) 2025年12月19日(金)~2025年12月26日(土) Minibus:2025年12月11日(木)~2025年12月19日(金) 上記日程の自動運転車両走行中の受信データを対象とする。
対象の緊急自動車	ITS 試験車 GNSS 試験車 ITS Connect 搭載の緊急自動車
対象の自動運転車両	EVO Minibus
遅延時間算出式	[自動運転車両でのデータ受信時刻] - [位置情報に設定された時刻情報]
集計除外データ	試験車の電源オン直後のデータは位置情報が正確に取得できないため除外する

表 43 測定結果(Mobile GNSS)

自動運転車両	平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)
EVO	98	94
Minibus	100	96
全体	99	95

表 44 測定結果(ITS Connect)

自動運転車両	平均値(ミリ秒)	中央値(ミリ秒)
EVO	268	237
Minibus	318	251
全体	303	247

一例として図 40 に自動運転車両での位置情報受信ログの解析結果を示す。オレンジ枠の受信時刻から 10 時 53 分 1.460 秒までは 100 ミリ秒間隔でデータ受信できている(①)が、次のデータ受信時には 898 ミリ秒の遅延発生が確認された(②)。赤枠内は遅延発生後の受信状況を示しているが、ほぼ

同時刻に複数のデータを受信し(③)、遅延発生から約1秒後の10時53分2.457秒には回復し(④)、受信間隔が100ミリ秒に復帰している。

大きな通信遅延が発生した場合は過去のデータが受信され、実際の緊急自動車の位置と大きく乖離した情報となるため、誤検知に繋がる可能性がある。このようなことを防ぐために、自動運転車両側では自動運転車両の現在時刻からの差分が大きいデータは判定対象外とし、通信遅延による誤検知(過去の位置情報での判定)を防ぐ対策をした。

緊急自動車から 位置情報が送信された時間 (時、分、ミリ秒)			自動運転車両で 位置情報を受信した時間 (時、分、ミリ秒)			遅延時間	
matt_D	matt_D	matt_D	receptic	receptic	receptic	データ区	diff
10	53	992	10	53	1257	TS	265
10	53	1100	10	53	1355	TS	255
10	53	1198	10	53	1460	TS	262
10	53	1398	10	53	2296	S	898
10	53	1587	10	53	2297	S	710
10	53	1294	10	53	2298	S	1004
10	53	1893	10	53	2298	S	405
10	53	1695	10	53	2299	S	604
10	53	1797	10	53	2299	S	502
10	53	1494	10	53	2300	S	806
10	53	1995	10	53	2300	S	305
10	53	2091	10	53	2455	TS	364
10	53	2187	10	53	2457	TS	270
10	53	2295	10	53	2555	TS	260
10	53	2395	10	53	2655	TS	260
10	53	2491	10	53	2755	TS	264
10	53	2696	10	53	2955	TS	259

図 40 受信ログの解析例

(5) 緊急自動車が自動運転車両を通過する前に、自動的にハザードおよびブレーキ制御を行い、安全に一時停止すること(100%)

レベル 4(高度運転自動化)での自動運転車両の運行を見据えた場合、緊急自動車接近時に自動運転車両が一時停止することは必要不可欠な機能である。本実証では、運行期間中に試験を行い、緊急自動車もしくは試験車が、自動運転車両を通過する前に自動的に一時停止できたかを、追尾車や自動運転車両の車内外からのカメラ映像にて確認した。

4.4.1 7) (5)の試験設計に基づき、実施した試験の概要を下の表 45 に示す。

表 45 一時停止試験の概要

試験実施期間	EVO	2025年12月10日(水)~2025年12月13日(土) 2025年12月19日(金)~2025年12月26日(金)																				
	Minibus	2025年12月10日(水)~2025年12月19日(金)																				
試験車走行期間	ITS 試験車	2025年12月10日(水)~2025年12月12日(金)																				
	Mobile GNSS 試験車	2025年12月12日(金)~2025年12月26日(金)																				
試験回数	303 回	<ul style="list-style-type: none"> ・回送中に実施した試験を含む ・運行便数は119 便 ・自動運転車両や緊急自動車・試験車による回数内訳は次の通り <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>EVO</th> <th>Minibus</th> <th>全車種</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ITS 試験車</td> <td>35</td> <td>39</td> <td>74</td> </tr> <tr> <td>Mobile GNSS 試験車</td> <td>115</td> <td>98</td> <td>213</td> </tr> <tr> <td>ITS 搭載 救急車</td> <td>10</td> <td>6</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>全試験車</td> <td>160</td> <td>143</td> <td>303</td> </tr> </tbody> </table>		EVO	Minibus	全車種	ITS 試験車	35	39	74	Mobile GNSS 試験車	115	98	213	ITS 搭載 救急車	10	6	16	全試験車	160	143	303
	EVO	Minibus	全車種																			
ITS 試験車	35	39	74																			
Mobile GNSS 試験車	115	98	213																			
ITS 搭載 救急車	10	6	16																			
全試験車	160	143	303																			

試験の結果として、緊急自動車接近時の検知率は303件の全試験で100%となり、KPIを達成した(表46参照)。緊急自動車が自動運転車両に接近した際、自動運転車両内では検知状態がディスプレイに表示され、ハザードが自動的に点灯した(図41図42参照)。



図 41 検知時の車内ディスプレイ(左:Minibus、右:EVO)



図 42 救急車を検知して停止、ハザード点灯する様子

今回の実証ルートでは幅寄せを行わず、その場で減速を開始し、一時停止する動きに道路交通法上の問題がないことを、あらかじめ高知県警に確認していた。実証中においても、自動運転車両が幅寄せしていないことについて高知県警に問題がないことを確認した(図 43、図 44 参照)。



図 43 実証ルートを走行する EVO の様子



図 44 実証ルートを走行する Minibus の様子

また、信号協調設備を導入した交差点においても、信号設備から受信した灯火情報よりも緊急自動車の検知情報が優先され、赤信号で停止中でも、接近検知した場合にはハザードランプが点灯し、検知が外れるまで一時停止状態を継続した(図 45 参照)。



図 45 信号協調設備のある交差点付近で一時停止する様子

一方で、自動的に減速し一時停止をする挙動の全試験の成功率は、KPI で目標とした 100%をわずかに下回り、95.4%にとどまった(表 47 参照)。成功した 289 回の試験では、緊急自動車の接近を検知し、減速を開始、一時停止を行う挙動(成功パターン A)、そして、前方車両や信号で停止中に緊急自動車の接近を検知し、緊急自動車と一定の距離が離れるまで一時停止状態を維持する挙動(成功パターン B)を確認した。自動運転車両別では、EVO の一時停止成功率は 96.9%、Minibus は 93.7% であり、両車種間で有意な差は見られなかった。

失敗件数は全 303 回の試験の内 14 回となった。この 14 回の失敗について、運行日報の記録を基に分析した(表 48 参照)。すべての失敗事象は、X:緊急自動車の接近を検知し、減速を開始したが、手動介入したものと、F: 緊急自動車の接近を検知して減速したが、一時停止が緊急自動車の通過に間に合わないものの 2 つに分類された。さらに、失敗の要因は3つに分類できた。以下で、失敗の要因ごとに分析を行う。

表 46 検知試験結果(自動運転車両・試験車別)

	EVO		Minibus		合計	
	成功	失敗	成功	失敗	成功	失敗
ITS 試験車	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	35	0	39	0	74	0
Mobile GNSS 試験車	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	115	0	98	0	213	0
ITS 搭載 救急車	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	10	0	6	0	16	0
合計	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	160	0	143	0	303	0

表 47 一時停止試験結果(自動運転車両・試験車別)

	EVO		Minibus		合計	
	成功	失敗	成功	失敗	成功	失敗
ITS 試験車	94.3%	5.7%	89.7%	10.3%	91.9%	8.1%
	33	2	35	4	68	6
Mobile GNSS 試験車	98.3%	1.7%	96.9%	3.1%	97.7%	2.3%
	113	2	95	3	208	5
ITS 搭載 救急車	90.0%	10.0%	66.7%	33.3%	81.3%	18.8%
	9	1	4	2	13	3
合計	96.9%	3.1%	93.7%	6.3%	95.4%	4.6%
	155	5	134	9	289	14

表 48 失敗パターンと要因

失敗パターン	要因	件数	EVO	Minibus
X: 緊急自動車の接近を検知し、減速を開始したが、手動介入	① 交差点内で一時停止する可能性があったため	5	2	3
	② 一時停止位置が狭隘であり、かつ緊急自動車の進路と想定され、緊急自動車の走行を妨げるおそれがあったため	1	0	1
F: 緊急自動車の接近を検知して減速したが、緊急自動車の通過に間に合わない	③ 対向方向から接近する緊急自動車との相対速度が速く、通過前に一時停止に至らなかった	8	3	5

【要因① 交差点内で一時停止する可能性があったため、手動介入】

要因①は、交差点手前で緊急自動車の接近を検知し、減速を開始したものの、交差点内で一時停止してしまう可能性があったため、手動介入したものである。

以下で、真因が自動運転車両、試験車、接近パターンのどれに起因するのか分析した。

【自動運転車両の観点】

まず、2 車種間で発生頻度が異なるか分析した。表 49 の通り、EVO では 1.3%、Minibus では 2.1%の確率で本事象が発生した。多少の発生頻度の差はあるものの、車種による有意差はないと考える。また、今回した自動運転システムの動作仕様として、検知場所に関わらず、緊急自動車の接近を検知すると減速を開始し、一時停止を行う。前述の通り位置情報による接近検知により、減速、一時停止することを本実証実験における主眼としたためである。しかし、交差点内で停止する可能性がある状況が 5 件確認されたことから、実運用においても本事象の発生頻度は低くないことが想定される。そのた

め、交差点内で一時停止しないようにする機能の実装は不可欠であり、自動運転システム側の制御で今後改善することが求められる。より高度な判断が必要となるため、自動運転システムによる改修だけでなく、自動運転システムの判断を補完するための情報通信システムも必要であるとする。

【接近パターンの観点】

接近パターン別の失敗件数を表 50 に示す。多少のばらつきがあるものの、有意差は見られない。これは、本事象が緊急自動車の接近タイミングによるものであり、どのパターンでも発生する可能性があるからであるとする。

【試験車の観点】

試験車別の失敗件数を表 49 に示す。結果として、本事象が発生した際はすべて Mobile GNSS 試験車によるものであった。ただし、前述の通り本事象は、緊急自動車の接近タイミングによるものであり、ITS 試験車や ITS 搭載救急車であっても、自動運転車両が交差点付近で接近検知すれば、同様の事象が発生すると思われる。

表 49 要因①における試験車ごとの失敗率(上段)と失敗数(下段)

	EVO	Minibus	合計
ITS 試験車	0%	0%	0%
	0	0	0
Mobile GNSS 試験車	1.7%	3.1%	2.3%
	2	3	5
ITS 搭載 救急車	0%	0%	0%
	0	0	0
合計	1.3%	2.1%	1.7%
	2	3	5

表 50 要因①における接近パターンごとの失敗率(上段)と失敗数(下段)

接近パターン	EVO	Minibus
A	0%	4.3%
	0	2
B	0%	0%
	0	0
C	4.0%	0%
	1	0
D	2.9%	3.6%
	1	1
E	0%	0%

	0	0
全パターン	1.3%	2.1%
合計	2	3

【要因② 一時停止位置が狭隘であり、かつ緊急自動車の進路と想定され、緊急自動車の走行を妨げるおそれがあったため、手動介入】

要因②は、ITS 搭載の救急車に遭遇した際に発生した 1 件である。自動運転車両が曲がり角を低速で左折していた場面で、後方から接近していた救急車を検知し、一時停止した。図 46 は、該当の場면을追尾車のカメラ映像により確認したものである。一時停止した場所が曲がり角で狭隘であったため、救急車に進路を譲るべく、この後、手動介入にて曲がり角を曲がり切り、進路へ発進した。

以下で、真因が自動運転車両、試験車、接近パターンのどれに起因するのか分析した。

【自動運転車両の観点】

本1件は Minibus の走行に発生した。Minibus の車体は通常の路線バスと同じで大きく、下図の場所では救急車の進路を妨害するおそれがあったため、手動介入した。一方で車体サイズによらず、EVO の場合でも、検知した場所の道路状況においては本事象が発生する可能性がある。このケースにおける実装上の課題としても、要因①と同じく一時停止および退避場所の適切な選定が必要となる他、選定材料として救急車の進路に関する情報の取得も求められる。

【接近パターンの観点】

本1件は緊急自動車が自動運転車両の後方より接近し、追い越し接近パターンでのみ発生した。一方で、この事象は緊急自動車の接近検知場所に起因する事象であり、どの接近パターンでも発生する可能性があると考ええる。

【試験車の観点】

本1件は ITS 搭載の救急車で発生し、他の試験車では起きなかった。ただし、前述の通り、本事象は緊急自動車の接近検知場所によるものであり、ITS 試験車や Mobile GNSS 試験車であっても、接近した場所が狭隘であれば、同様の事象が発生すると考える。



図 46 ITS 搭載の救急車を検知し、曲がり角で一時停止する様子

【要因③ 対向方向から接近する緊急自動車との相対速度が速く、通過前に一時停止に至らなかった】

要因③は、緊急自動車の接近を検知し減速を開始したものの、低速で走行中の自動運転車両に対して緊急自動車の相対速度が速く、一時停止が緊急自動車の通過に間に合わなかったケースである。対向車線から接近してくる緊急自動車への対応は道路状況により異なり、中央分離帯がある場合は、自動運転車両の走行車線へ緊急自動車が入る可能性はないため、減速や一時停止は実施しない。ただ、今回の実証ルートは一部区間を除き中央分離帯がなく、緊急自動車の走行車線が渋滞等で走行できない場合は、自動運転車両の走行車線に進入する可能性がある。そのため、対向車線から接近する本ケースにおいても、緊急自動車との距離が 0 になった時に一時停止できていない場合は失敗と判定した。

以下で、真因が自動運転車両、試験車、接近パターンのどれに起因するのか分析した。

【自動運転車両の観点】

まず、2車種間で発生頻度が異なるか分析した。表 51 の通り、EVO での全試験中 1.9%、Minibus での全試験中は 3.5% の確率で本事象が発生した。本事象は対向車線から接近する試験車の走行が速く、自動運転車両に対して相対速度が高くなることに要因がある。最高速度が EVO は 18km/h に対し Minibus は 35km/h と速いため、Minibus の方が発生確率は高くなった。実装に向けては、緊急自動車や自動運転車両の車両方位角を用いることで、本課題の改善が期待される。

【試験車の観点】

試験車別の失敗率と失敗件数を表 51 に示す。結果として、Mobile GNSS 試験車は失敗率が 0%、ITS 試験車は 8.1%、ITS 搭載の救急車は 12.5% であった。ただし、前述の通り、本事象は試験車を含む緊急自動車の走行速度に起因する事象であり、同様の事象は Mobile GNSS 試験車でも起こり。そのため本事象は Mobile GNSS 試験車特有の要因により発生したものではなく、緊急自動車や自動運転車両の車両方位角を用いる自動運転側の制御で対応すべき事柄と考えられる。

【接近パターンの観点】

接近パターン別の失敗率と失敗件数を表 52 に示す。結果として、本事象は全件において、自動運転車両の走行する車線の対向車線を緊急自動車通過するケースであった(パターン B)。自動運転車両と緊急自動車の距離が 0 になる接近パターンは、この他に後方から緊急自動車接近し追い越すパターン(パターン A)であり、今回は失敗率が 0% であったものの、一時停止が間に合わないケースが発生しうる。それ以外の接近パターンでは、自動運転車両と緊急自動車の距離が 0 になる前に、緊急自動車が離れていくため、一時停止が間に合わないという事象は発生しない。

表 51 要因③における試験車ごとの失敗率(上段)と失敗数(下段)

	EVO	Minibus	合計
ITS 試験車	5.7%	10.3%	8.1%
	2	4	6
Mobile GNSS 試験車	0%	0%	0%
	0	0	0
ITS 搭載 救急 車	10.0%	16.7%	12.5%
	1	1	2
合計	1.9%	3.5%	2.6%
	3	5	8

表 52 要因③における接近パターンごとの失敗率(上段)と失敗数(下段)

接近パターン	EVO	Minibus
A	0%	0%
	0	0
B	8.1%	20.0%
	3	5
C	0%	0%
	0	0
D	0%	0%
	0	0
E	0%	0%
	0	0
全パターン 合計	1.9%	3.5%
	3	5

(6) 緊急自動車が自動運転車両を通過後、一定以上の距離が離れた場合に自動運転車両が自動的に再発進できること(100%)

レベル 4(高度運転自動化)での自動運転車両の運行を見据えた場合、緊急自動車が自動運転車両を通過後、再発進ができなければ後続車両を含めた渋滞の原因となるため、緊急自動車と自動運転車両間で一定以上の距離が離れた場合に自動的に再発進を行う機能は必須である。本実証では、(5)で確認した一時停止の後、緊急自動車が通過した後に接近検知が外れ、自動運転車両が自動的に再発進できたかを、追尾車や自動運転車両の車内外からのカメラ映像にて確認した。試験設計については、4.4.1 7) (6)に記載の通りである。

試験回数は、EVO で 158 件、Minibus で 138 件の合計 296 件であった。すべての試験で再発進の挙動を確認し、成功率 100%で KPI を達成した(表 53 参照)。緊急自動車と一定の距離が離れた後、自動運転車両内では検知が外れたことがディスプレイで確認でき、ハザードが自動的に消灯し、再

発進を行った。(5)で確認した緊急自動車の接近検知と同じく、緊急自動車と一定距離が離れて接近検知が外れる仕組みについても、ITS ConnectとMobile GNSSの位置情報送信方法によらず、機能実装が可能だといえる。(5)で確認した通り、一時停止には課題が残るものの、再発進に関しては目立った課題はないと考えられる。

表 53 再発進試験結果(自動運転車両・試験車別)

	EVO		Minibus		合計	
	成功	失敗	成功	失敗	成功	失敗
ITS 試験車	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	35	0	39	0	74	0
Mobile GNSS 試験車	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	113	0	94	0	207	0
ITS 搭載 救急車	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	10	0	5	0	15	0
合計	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	158	0	138	0	296	0

(7)緊急自動車が接近していない際に、自動運転車両が接近を過検知する割合が 5%以下であること

本実証においては、遠隔監視員へのヒアリングや、自動運転車両内の検知アラートの有無について保安員・オペレーターへのヒアリングを行い、過検知の回数を確認した。

信号や前方車両以外の要因で、自動運転車両が一時停止および再発進した場面は、いずれも緊急自動車の接近状況と整合したタイミングおよび場所であった。また、保安員・オペレーターへのヒアリングから、緊急自動車が接近していないにも関わらず、車内ディスプレイに検知が表示された事例は報告されなかった。

これらの結果から、本実証期間中において過検知は発生せず、本システムによる一時停止制御は、意図された目的に沿って適切に動作していたと評価できる。

過検知が発生しなかったという結果は、単なる誤検知の抑制に留まらず、業務車両や公共交通としての運用において重要な意味を持つ。過検知による一時停止は、定時性の低下や乗客の不安、運転者のシステム不信を招く要因となり得るが、本実証ではそれらの問題が生じなかった。このことから、本実証実験で検証した機能は、安全性の確保と運行品質の維持を両立しうる実用段階の技術であることが示されたといえる。

4) 成果・課題

【成果】

本実証では、レベル 4(高度運転自動化)の社会実装に向け、多くの重要な成果を得た。まず、ITS Connect を用いることで緊急自動車の位置や走行状態をリアルタイムで取得でき、自動運転車両が緊

急自動車接近時に自動で一時停止と再発進を行う高度な制御を実現した。これにより、従来と比較して精度の高い一時停止対応が可能となり、交通流への影響を抑えつつ迅速な優先通行を確保できた点は大きな成果である。さらに、ITS Connect は救急隊員による追加操作を必要とせず、標準搭載車両から自動で情報が送信されることが確認され、現場負担の増加を避けられる点も評価できる。アンケート調査でも、緊急走行の妨げにならず一時停止タイミングも適切との評価が得られ、社会受容性の観点からも有効性が示された。加えて、外部システムとの連携により自動運転車両の安全運行が実証され、今後の運用面での有効性も確認された。今後は、非搭載車両への対応や停止位置の最適化、路肩退避機能等残された課題に取り組みつつ、技術開発と制度整備を進め、より多様な地域や環境への展開を目指す必要がある。本実証は、レベル 4 自動運転の実用化に向けた大きな一歩となった。

【課題】

本ユースケースでは、自動運転車両の制御面で複数の課題が明らかとなっている。まず、現状の技術では、緊急自動車の位置情報を活用した車両の自動一時停止・再発進機能は一定の精度で実現できているものの、ルートや交通状況の多様化に対応した柔軟な退避機能の実装が今後の課題である。特に、現時点では路肩への退避動作が実装されておらず、今後はより安全かつ適切な停止位置の選定や、交差点内外での高度な制御技術が求められる。また、運転手が不在となるレベル 4 自動運転車両では、停止禁止場所の認識や安全な退避場所の自動選定等、より高度な認識・判断機能の実装が急務である。

さらに、ITS Connect の標準搭載車両の普及が進む一方で、非搭載車両が依然一定数存在することも課題である。実証地域や運行ルート付近を通行するすべての緊急自動車に ITS Connect を後付けすることは現実的でないため、非搭載車両への対応策や ODD(運行設計領域)内外での運用ルールの明確化が必要となる。特に大規模病院付近等では遠方からの救急搬送も多く、すべての緊急自動車を網羅することは難しい。

加えて、社会実装を進める上では、実証地域以外の異なる交通環境や多様な交通参加者への対応、環境変化への柔軟な運用等、広範な条件下での追加検証が求められる。これらの課題解決に向けては、技術開発の継続とともに、制度整備や社会的合意形成が重要なテーマであり、今後の展開には多面的な取り組みが必要である。

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

当該ユースケースは実施しない。

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)

今回予定している実証実験において、起点(検知)から終点(制御)までのすべての行程を自動により行う(自動運転車両は緊急自動車の接近を検知すると自動で一時停止し、その後、緊急自動車の通過を検知すると自動で再発進する)ため、システムの操作性およびユーザーインターフェースに関する評価は対象外であると考える。

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、Mobile GNSS や ITS Connect を活用した緊急自動車検知システムを導入した。その結果、緊急自動車の接近を100%の確率で正確に検知することができた。検知後の自動運転車両の一時停止動作は9割以上の成功率を記録し、再発進についても全事例で正常に実行された。乗客アンケートでは、緊急自動車接近時の一時停止および再発進のタイミングについて、8割以上が「適切」と評価しており、運行に支障が生じることはなかった。また、ITS搭載の緊急自動車接近時に自動運転車両の運転手が危険を感じて手動介入を行う事例はなかった。さらに、遠隔監視員は遠隔監視システム上で緊急自動車と自動運転車両の位置関係や、緊急走行中の緊急自動車の接近を視覚的に把握できるようになり、従来の音声・画像情報に依存した監視体制に比べ、事前に正確な情報を取得できるようになった。これにより不必要な一時停止を避けつつ、的確な運行指示が可能となった。

(2) 考察

今回の実証実験で使用した2車種とも、他地域で実施されたこれまでの運行で緊急自動車接近時にサイレン音検知によるMRMで一時停止した例はない。これは運転手がいるレベル2の実証では、運転手がMRMの発動を待つよりも手動介入が安全と判断したからであると考えられる。一方で、レベル4(高度運転自動化)の無人運転においては自動運転車両のシステムによる一時停止が必須となるため、さらなる自律性の確保が求められる。今回の実証実験の性質上、運転手は極力手動介入しない前提であったものの、法律上の責任は運転手にあり、真に危険な場面では手動介入が想定されたが、本実証実験では危険を伴う場面において、MRMが発動せず手動介入を行うケースはなかった。ただし、緊急自動車の接近時に接近検知位置が交差点手前や狭隘である状況では、他の交通参加者や緊急自動車

の進路の妨げとなる可能性があったため手動介入を行った。完全に人が判断し操作を行うレベル1の場合は、救急車の接近方向と距離を鑑みて、緊急自動車の進路予測を行い、退避場所の選定とともに退避や一時停止をするといった動きを行う。そのため、6.4.1 3)の(5)の考察で記載した通り、レベル4(高度運転自動化)の無人運転に向けては、最適な一時停止位置の自動選定や緊急自動車の「方位角」を活用した制御の実装が求められる。

さらに、今回の成果は運転手の無人化に向けた人員配置の実現や、緊急自動車が多く通行するルートにも自動運転車両を導入できる可能性を示しており、地域交通の持続性向上に大きく寄与するものである。特に大規模病院付近等、高齢者等免許を保持していない人々にとって重要な移動手段となる路線においても、自動運転により路線維持が可能となれば、持続可能な地域交通の確立に貢献するといえる。

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

(1) 実施結果

本緊急自動車検知システムにおいては、個人情報や機微な情報は一切取り扱っていない。各システム間の通信は mTLS(Mutual TLS)を用いて実施しており、通信経路の暗号化と相互認証を組み合わせることで、第三者による不正アクセスや緊急自動車を装った端末の侵入を防止している。また、Mobile GNSS に関しては市販製品を利用しているが、サーバー側との通信も mTLS による暗号化および相互認証を行うことで、外部からの誤検知を防ぐ体制を確保している。これらの対策により、システムのセキュリティは十分に担保されていると判断する。

(2) 考察

本システムで扱う救急車の位置情報は、車両がサイレン音やパトライトを用いて自らの位置を周囲に知らせているため、個人情報や機微な情報には該当しない。一方で、緊急自動車の位置情報を利用した検知においては、悪意ある第三者が本物の緊急自動車を装い、ダミー情報を流すことで自動運転車両の運行を妨害するリスクが懸念される。しかし、緊急自動車に搭載される ITS 送信機は、メーカーによる厳格な管理がなされており、端末自体の不正入手は極めて困難である。仮に模倣端末を作成した場合でも、車車間通信には非公開の暗号鍵が必要となるため、なりすましの発生可能性は極めて低い。実際に、これまで緊急自動車 ITS 機器のなりすまし事例は確認されていない。さらに、ITS 受信機以降の通信経路についても mTLS による暗号化と相互認証を徹底しており、偽物がシステムに侵入する余地はない。Mobile GNSS についても、mTLS によるセキュリティ対策を講じているため、第三者の情報による誤検知は発生しない。

今後さらに運用規模が拡大しシステムが普及する中で、セキュリティ対策の継続的な見直しや、障害発生時の迅速な対応体制の強化が求められるが、現時点では十分な安全性と信頼性が確保されていると評価できる。

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

実証期間中、通信システムは安定して稼働し、停止することなく運用できたことから、可用性は100%であった。位置情報は1件あたりのデータサイズが小さく、システムに高負荷を与える要因が少ないことから、負荷による影響もなく運用できたと推察される。

試験車および自動運転車両に搭載した機器のうち、ポータブル電源による給電が必要な機器については、毎日夜間にポータブル電源の充電および入れ替えを実施した。また、手動での電源操作が必要な機器については、乗員が毎日実証開始時に電源オン、終了時に電源オフを行った。

これらの運用管理により、実証期間を通じて各機器は安定して稼働し、停止することなく運用できた。

(2) 考察

本実証で採用したシステム構成は有用であり、通年運行においても支障なく運用可能であると判断する。

システム可用性に関しては、大規模な事故や災害により多数の緊急自動車が同時に走行する場合、通信量の増大により高負荷が発生し、システム停止に至る可能性がある。しかし、このような状況下では一般車両を含む通常運行の継続が困難となり、自動運転車両については手動介入により状況に応じた対応を実施することが現実的である。また、通信システムについては遠隔監視室において復旧作業を行うことが適切であると考えられる。

本実証では試験車を用いて検証を行ったが、レベル4(高度運転自動化)社会実装時には緊急自動車の位置情報や走行状態(通常走行/緊急走行等)を発信する機器の搭載が想定される。

ITS Connectについてはすでに搭載済みの車両が存在し、今後も搭載車両が増加することが見込まれる。車両電源を使用でき、電源操作もエンジンと連動することから、乗員(救急隊員)による特別な操作を必要としない。一方、Mobile GNSSを緊急自動車へ搭載する場合、電源のオン・オフ操作が救急隊員の担当となり、操作漏れや業務負担増加が懸念される。また、給電設備を別途用意する必要があり、車内スペースの確保およびバッテリー切れ対策も課題となる。

以上により、緊急自動車への導入については、ITS Connectの方が実装性に優れていると判断される。

本実証では、自動運転車両に搭載するITS車載器および中継システムを自動運転システムとは独立して設置したため、ポータブル電源による給電および乗員による電源操作が発生した。レベル4(高度運転自動化)社会実装時には乗務員が不在となるため、これらの機器を自動運転システム側に統合し、車両電源による自動制御を行えるようにする等、運用面・技術面の検討を継続する必要がある。

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

今回の実証走行期間は 14 日、緊急自動車が対象車両の走行経路周辺を通過した回数は合計 16 回であり、平均すると 1 日 1 回以上の頻度で緊急自動車への対応が必要となる運行環境であった。

通信システムを用いない場合、これらの事象では、オペレーターが緊急自動車の接近を感知した上で、手動により車両を一時停止させ、その後、安全確認を行い再発進させる必要が生じる。そのため、本実証エリアのように緊急自動車の通行頻度が一定以上存在する環境では、日常的に手動介入を伴う運行となり得た。一方、本実証では、ITS Connect を含む通信システムの運用により、緊急自動車の接近から回避、通過後の再発進までの一連の動作が自動で実行され、実証期間中においてオペレーターによる手動介入は一部を除き不要であった。

一部手動介入を行った場面は一時停止試験回数全 303 回中、6 回存在し「交差点内にて一時停止する可能性があったため手動介入」をした場合が 5 回、「狭隘かつ救急車の進路と想定され救急車の走行を妨げるため手動介入」をした場合が 1 回であった。

- ・ 交差点内にて一時停止する可能性があったため手動介入【6.4.1 3)の(5)に記載】
- ・ 狭隘かつ救急車の進路と想定され救急車の走行を妨げるため手動介入【6.4.1 3)の(5)に記載】

以上の結果から交差点や狭隘かつ救急車の進路と想定される箇所等、一時停止の場所選定に関する課題解決が求められることがわかる。しかし、緊急自動車対応に対する本実証の通信システムは、手動介入回数・運行停止時間を限りなく 0 に近づけることができたため、運行継続性および自律性の観点から、レベル 4 自動運転の社会実装において必須の機能であることが確認された。

(2) 考察

通信システム等の運用がない場合、車両は緊急自動車の接近状況を事前に把握することができず、オペレーターがサイレン音や周囲の交通状況から緊急自動車の存在を感知した後に、手動で車両を一時停止させる必要がある。その後、緊急自動車の通過を目視等で確認した上で、再度手動により発進操作を行う運用となる。

このような運行形態では、緊急自動車の走行頻度が高いエリアにおいて、オペレーターの常時配置および即応が不可欠となり、レベル 4 自動運転が目指す「原則として人的介入を必要としない運行形態」と整合しない。

また、通信システムを用いず、音検知によってサイレン音から緊急自動車の接近を検知する方式も考えられるが、この場合、検知精度の設定が運行に大きな影響を与える。ビル群の間の走行による音の反響や、周囲騒音等の外的要因を含み、検知精度が不十分な場合、緊急自動車の接近を見逃す可能性があり、結果として緊急自動車の走行を妨げるリスクがある。このため、運行の最終判断をオペレーターに委ねる必要が生じ、結果として人的介入を前提とした運行形態から脱却できない。

これに対し、通信システム等を活用した本実証では、緊急自動車の存在および接近を事前に把握した

上で、車両制御が自動で実行されており、不要な停止を抑制しつつ、必要な場面において確実に回避動作がなされていた。

実証期間中に緊急走行中の緊急自動車と 16 回接近し、一時停止が求められる場面が見られた。そのうち 1 回は、ITS 搭載の救急車に遭遇した際に、停止位置が狭隘であり、緊急自動車の進路と想定され、緊急自動車の走行を妨げるおそれがあったため手動介入を実施した。それ以外の場面では、手動介入を要せずに運行が継続できたことは、通信システムを活用した緊急自動車対応が実運用環境において十分な実効性を有することを示している。本結果は、緊急自動車の走行頻度が一定程度存在する都市部や幹線道路沿線においても、原則として人的介入を伴わないレベル 4 相当の自動運転運行が成立し得ることを示唆するものであり、社会実装に向けた重要な知見といえる。

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

本実証においては、Mobile GNSS や ITS Connect を活用した緊急自動車検知システムの導入により、緊急自動車の接近を 100%の確率で正確に検知することができた。これに加え、検知後の自動運転車両の一時停止動作は 9 割以上の成功率を記録し、再発進については全事例で正常に実行された。乗客に実施したアンケート調査では、緊急自動車接近時の一時停止および再発進のタイミングについて、7 割以上が「適切」と評価しており、利用者の安心感向上に寄与したと考えられる。

さらに、実証期間中に緊急走行中の自動運転車両と遭遇した救急隊員に対するアンケートでも、全員が「緊急自動車の走行に影響がなかった」と回答し、一時停止のタイミングも適切であったとの評価を得た。これにより、自動運転車両が緊急自動車の運行を妨げないことが確認された。

一方で、交差点内での一時停止事例も一部確認され、一時停止場所の選定については今後の課題が浮き彫りとなった。特に、交差点や消防署出入口付近等、一時停止が逆に交通の安全性や円滑性を損なう可能性のある場所での動作については、システムの更なる改良が必要である。

加えて、今回の実証では、自動運転車両が緊急自動車との距離をトリガーに一時停止や再発進を行う設計となっていたが、中央分離帯のある道路等、対向車線を走行する緊急自動車との相互関係においては、必ずしも一時停止が必要でないケースも存在した。このような状況に対応するためには、道路構造や交通状況を加味したより高度な判断ロジックの導入が望まれる。

(2) 考察

本実施結果から、自動運転車両は緊急自動車接近時において、適切なタイミングで一時停止および再発進の制御が可能であり、これらの挙動が救急隊員や乗客等の実利用者から高く評価されていることが確認された。これにより、自動運転車両の導入が道路交通の安全性および円滑性向上に資する可能性が示唆される。

乗客アンケートでは、自動運転車両のブレーキ開始タイミングならびに一時停止判断について、人間による運転との比較で遜色ないと評価が得られた他、周辺一般車両に対する安全性も十分に維持されていると評価された。特に、緊急自動車通過時の交通流の円滑化は、迅速な救急活動や道路混雑緩和への寄与が期待される。

一方、交差点内部や消防署出入口周辺等、一時停止が望ましくない地点での停止事例は、今後のシステム改良に向けた重要な知見を提供する。現状のサイレン音検知による MRM (Minimum Risk Maneuver) でも同様の課題が存在するが、緊急自動車遭遇頻度の高い領域では MRM 検知をもって ODD (Operational Design Domain) 外とせず、円滑な対応策の確立が求められる。これらの課題については、道路インフラ情報連携や AI 技術による状況判断高度化等の技術的解決手段が必要である。

本実証ルートは路肩が狭いため左側への退避は行わず、一時停止制御のみ実装した。路線全体が 2 車線構成であるため、緊急自動車は右側車線を利用し追越可能であり、実際の緊急走行の阻害事例は認められなかった。高知県警は今回の停止位置が交通違反となる可能性が低い旨の見解を示している。ただし、路肩の余裕がある区間や片側一車線道路については道路左側への退避が必要な場合もあり、そのような環境下での有効性を示すには、今後退避機能の追加が不可欠である。

さらに、本実証結果から、自動運転システムが緊急自動車との相互作用において柔軟かつ正確な対応を達成するためには、単純な距離トリガーだけでなく、車両方位角、道路状況、交通規制、周辺インフラ情報等を総合的に考慮したアルゴリズム開発が不可欠と考えられる。

今後は、より多様な道路環境・交通状況における実証試験の継続を通じて、自動運転車両による道路交通の安全性・円滑性向上への貢献をさらに高めることが望まれる。

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

本実証では、Mobile GNSS や ITS Connect を活用した緊急自動車検知システムを導入することにより、緊急自動車の接近を 100% の確率で正確に検知することが可能となった。これにより、自動運転車両は緊急自動車の接近時に人手を介することなく自動で一時停止および再発進の動作を実行し、緊急自動車が自動運転車両の近傍から離れた後は速やかに通常運行へと復帰できた。これらのシステム的な対応により、従来の手動介入を要する場合と比較して、運行の中断時間が短縮されるとともに、乗客の安全性と安心感の向上にも寄与した。さらに、緊急走行中の自動運転車両と遭遇した救急隊員へのアンケート結果からも、緊急自動車の走行に影響を及ぼすことなく、適切なタイミングで一時停止が行われていることが確認された。

(2) 考察

今回の緊急自動車検知システムの導入により、緊急自動車との遭遇頻度が高い大規模病院や消防署付近を通過するルートについても、自動運転車両による運行が十分に可能となることが示唆された。また、レベル 4 相当の自動運転の運用時においても、緊急自動車接近をイレギュラーな事象として扱うことなく、システムが自律的に一時停止および再発進を実施することで、従来の手動介入と比較して運行の時間短縮が期待できる。特に、大規模病院を経由するルートは、通院や見舞い等を目的とした乗客の利用が見込まれるため、交通利便性の向上に寄与するものと考えられる。加えて、緊急自動車の通過を妨げることなく円滑に交通が流れることで、救急活動の迅速化や道路全体の混雑緩和にも資する効果が期待される。今後は、交差点や消防署出入口付近等、一時停止の場所選定に関する課題や、道路

構造・交通状況を総合的に考慮した高度な判断ロジックの導入が求められるが、本実証の成果は、自動運転車両によるルート設定の柔軟化・時間短縮・交通利便性が向上したと考えられる。

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】

初期コスト		10,273 万円
システムに係る費用		9,703 万円
ITS Connect 設置工事費/5 台(救急車)		239 万円
実証ルート付近の電波調査		34 万円
路側情報を自動運転車両へ伝送するための基盤構築(ブローカーサーバー)		999 万円
信号協調設備提供・データ連携		731 万円
自動運転車両制御に関わるプログラム作成および評価・検証	EVO	4,073 万円
	Minibus ※現地確認・調整に運行対応含む	3,627 万円
運行に係る費用		570 万円
自動運転車両メンテナンス		40 万円
車両輸送費		400 万円
遠隔監視用 NW 環境 初期費用(回線・ISP)		4 万円
車両ラッピング/2 台		97 万円
看板費用/13 ヶ所(注意看板 10 ヶ所、バス停 3 ヶ所)		29 万円
ランニングコスト		3,342 万円
システムに係る費用		500 万円
Mobile GNSS [借料]×4.5 ヶ月(自動運転車両、試験車)		234 万円
ITS Connect [借料]×5 ヶ月(自動運転車両、試験車)		247 万円
自動運転車両車載ルーター [借料](3 ヶ月)		19 万円
運行に係る費用		2,842 万円
自動運転車両 [借料]	EVO/8 週間	1,200 万円
	Minibus/4 週間	950 万円
試験用車両 [借料](3 台×2 ヶ月) ※実運行時は不要		90 万円
遠隔監視システムライセンス [借料]		100 万円
遠隔監視用 NW 環境 利用料(回線・ISP)		6 万円
自動運転実証における運転手派遣		496 万円
合計		13,615 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

※運行期間が試験を含め2車種で8週間の場合の費用、通年運行の場合は別途期間に応じて積算が必要

※遠隔監視システムは自社開発であり、人件費として計上するためこの表には記載していない

【コスト負担の在り方・コスト低減策に関する検討】

今回の実証実験では車体の大きさや最高速度の違いによる相違点を検証するために、2車種の車両を用いて実証を行った。実証に要した費用を初期コストとランニングコストに分けて記載する。

<初期コスト>

初期コストは大きく分けて、システム構築に係る費用と、運行に係る費用の2つに分けられる。

システム構築に係る費用のうち最も大きな割合を占めるのは、「自動運転車両制御に関わるプログラム作成および評価・検証」である。これは本実証のために実施した開発であるが、高知市における本実証実験に特化した仕様ではなく、同一仕様であれば他の路線や自治体にも展開可能である。そのため、導入のたびに継続して発生する費用ではなく、今後の導入コスト軽減も期待できる。

「路側情報を自動運転車両へ伝送するための基盤構築(ブローカーサーバー)」については、位置情報配信に特化したサーバーであり、高知市における本実証実験に特化した仕様ではない。多少の追加開発は必要となるが複数路線や複数自治体で共有して運用することも可能である。このため、導入のたびに同額の費用が必要となるものではない。セキュリティ面も含めて検討が必要であるが、今後の導入にあたりコスト低減も可能である。

「ITS Connect 設置工事費」および「実証ルート付近の電波調査」については本実証の実施に必要な項目であったが、他の路線や自治体でのシステム構築に必ずしも必要となるものではない。

また、運行に係る費用については、本実証実験特有の追加費用はない。そのため、従来通り運行に係る事業者が負担すべき項目である。

<ランニングコスト>

ランニングコストも大きく分けて、システムに係る費用と、運行に係る費用の2つに分けられる。

システムに係る費用は、使用する機器の種類や運用期間によって変動する。本実証では、Mobile GNSSとITS Connectの比較を目的として両機器を使用した。導入に際しては機器を特定の方式に限定することや、機器の借用期間を調整したりすることで、コストを低減することが可能である。

運行に係る費用は、試験車を除き自動運転車両の通常運行に必要な費用である。

ランニングコストは、自動運転車両を走行させるルートや運行期間に依存するものである。他の路線や自治体で導入する場合には、実施内容や運用条件に応じて費用が変動する可能性があるため、個別に検討する必要がある。

(2) 考察

本実証は高知市における本実証実験に特化した仕様ではなく、同一仕様であれば他の路線や自治体に展開可能な構成となっている。

初期コストは高額ではあるが、システム構成の工夫によりコストを低減することも可能である。また、事業者が緊急自動車検知システムとしてサービス提供することで、導入自治体はサービスとして利用できる仕組みを構築できる。さらに、緊急自動車が多く通るルートに自動運転車両を運行する自治体で共同利用(シェア)することにより、自治体あたりの負担を軽減することも見込まれる。

プログラム作成をはじめとする開発費用は初期投資として大きな割合を占めるものの、サービスとして運用する段階ではサービス費用の中で回収可能な性質の費用である。

一方、運行費用については導入地域の環境や運用条件により大きく変動するため、別途個別に検討する必要がある。

6.7 レベル 4 社会実装に向けた考察

レベル 4(高度運転自動化)の社会実装に向けては、現状の技術的成熟度や運用環境、社会的受容性等多面的な観点から整理が必要である。まず、実証実験を通じて明らかとなったのは、緊急自動車の位置情報を活用した自動運転車両の自動一時停止・再発進機能が、Mobile GNSS や ITS Connect の導入によって高い精度と安全性をもって実現できることである。これにより、周囲の交通流への影響を最小限に抑えつつ、緊急自動車への確実な対応が可能となった。しかしながら、現時点ではルート特性から路肩への退避動作を実装していないため、今後はルートや交通状況の多様化に応じて、より柔軟な退避機能の開発が求められる。また、一時停止位置の選定についても、交差点内での一時停止等の挙動にとどまっておらず、より安全かつ適切な場所での一時停止制御技術の高度化が不可欠である。加えて、レベル 4 自動運転車両では運転手が不在となるため、停止禁止場所の的確な認識や安全な退避場所の選定を自動で行う機能の実装が急務である。

さらに、今後の普及を見据えると、ITS Connect が標準搭載される救急車の増加は期待できるものの、非搭載車も一定数存在し続けることが想定される。このため、自動運転車両の運行ルート上を通行する救急車すべてに ITS Connect を後付けすることは現実的に困難であり、非搭載車両に対しても適切に対応できる仕組みや、ODD(運行設計領域)内外での運用ルールの明確化が必要である。特に大規模病院付近では遠方からの救急搬送が多く、すべての緊急自動車を網羅することは難しいため、今後は複数の検知手段や運用方法の検討が求められる。また、社会実装を進める上では、実証地域以外での環境変化や交通参加者の多様性等、より広範な条件下での検証も不可欠であり、こうした課題解決に向けた技術開発や制度整備、社会的合意形成が今後の重要なテーマとなる。

6.8 レベル 4 社会実装に向けた成果

本実証により、レベル 4(高度運転自動化)社会実装に向けた重要な成果を複数得ることができた。まず、ITS Connect を活用することで、緊急自動車の位置情報と走行状態のリアルタイム取得が可能となり、自動運転車両が緊急自動車接近時に自動的に一時停止および再発進を行う制御が実現した。これにより、従来のシステムよりも高精度かつ限定的な一時停止対応が可能となり、交通流への影響を最小限に抑えつつ、緊急自動車への迅速な対応を実現したことは大きな成果である。さらに、ITS Connect に関しては、救急隊員による追加操作を必要とせず、標準搭載車両から自動的に情報が送信されることが明らかとなり、現場業務への負担増加を回避できた点も評価できる。救急隊員および乗

客へのアンケート調査でも、運用が緊急走行の妨げとならず、停止タイミングも適切であるとの評価を得ており、社会受容性の観点からも有効性が示された。

また、外部システムとの連携による自動運転車両の安全な運行が実証され、今後の社会実装に向けた運用面での有効性が確認されたことも重要な成果である。今後発売されるトヨタ社製の救急車には ITS Connect が標準搭載される予定であり、普及が進むことで運用の安定性や効率性がさらに向上すると期待される。一方で、非搭載車両への対応や停止位置選定、路肩退避機能の実装等、今後解決すべき課題も明確となった。これらの成果を踏まえ、今後は技術開発の継続とともに、制度面や運用面でのルール整備を進め、実証地域以外への展開や多様な交通環境への対応を目指す必要がある。本実証の成果は、レベル 4 自動運転の社会実装に向けた実用化への大きな一歩となった。

7. 本実証の総括

7.1 本実証の成果・課題

本実証においては、緊急自動車の位置情報を活用することで、緊急自動車接近時に自動運転車両が自動的に一時停止および再発進を行うことが可能であることを確認した。特に ITS Connect の利用においては、緊急自動車の位置情報のみならず走行状態の情報も取得でき、緊急走行時のみ一時停止を実施する等、真に停止が必要な状況に限定して自動運転車両を一時停止させることができた。この仕組みにより、周囲の交通流への影響を最小限に抑えることが可能となった。

また、ITS Connect は今後救急車への標準搭載が見込まれており、自動運転車両の安全運行に有効なシステムであることを本実証にて示した。ITS Connect 導入により、救急隊員は追加操作を必要とせず、リアルタイムで自動運転車両に位置情報を送信できることが明らかとなった。救急隊員へのアンケート調査でも、緊急走行への影響はなかったとの回答を得ており、今回の運用が緊急走行の妨げとならなかったことを確認した。乗客アンケートでも停止タイミングについて適切との評価を得た。これらの成果より、レベル 4 相当の自動運転車両と外部システム(ITS Connect 等)との連携は、今後の社会実装に向けて運用面で有効であることを確認した。

一方、今回の実証ではルートの特性から路肩への退避動作を実装しなかったが、今後はルートや交通状況に応じて路肩への退避機能の実装が必須となる。また、緊急自動車検知後の停止位置については、交差点内での一時停止等の挙動にとどまっており、より安全かつ適切な停止位置の選定と制御が求められる。さらに、レベル 4 自動運転車両では運転手が不在となるため、停止禁止場所を的確に認識し、安全な場所で退避を行う機能の高度化が必要である。

加えて、今後発売されるトヨタ社製の救急車には ITS Connect が標準搭載される予定であり、ITS Connect を搭載した緊急自動車は今後普及していくと予想されるが、非搭載車も一定数存在し続けると考えられる。自動運転車両の運行ルートを通る可能性が高い救急車には、ITS Connect を後付けすることが考えられるが、大規模病院付近では遠方より救急車で急病の患者が運ばれてくるケースもあり、すべての救急車を網羅することは困難である。ITS Connect 搭載救急車のみを ODD の範囲内とし、それ以外の救急車は MRM で一時停止する、もしくは別方法で検知を行うかについて議論が必要である。

社会実装を見据えると、実証地域以外での環境変化や交通参加者の多様性を考慮した更なる検証が求められる。

7.2 社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

本取り組みは高知市へ自動運転技術を導入し、持続可能な公共交通を構築することを目指している。6.8 章で記載した課題を解決しながら、自動運転実現のため、短期(令和 8 年)、中長期(令和 9 年、10 年)の 2 つのステップを指向する。

【ステップ1(短期:令和8年)】

令和7年の実証において、緊急自動車の位置情報から自動運転車両の制御が可能であることを証明した。一方で一時停止時の挙動(幅寄せ機能の具備)や停止禁止箇所への一時停止等の諸課題があることから、緊急自動車検知後の挙動については改善の余地があり、さまざまな解決案を検討・立案しながらさらなる実証を行う。特に幅寄せ機能の実装に向けては、社会的需要と緊急自動車接近確率を勘案しながら、今年度のルート以外での運行も検討していく。

一方、高知市では自動運転車両の運行が初めてであったものの、市民の注目度・関心度は高く、乗客人数は922名と多くの市民が自動運転に期待していることが明らかになった。また、周囲の交通参加者に比べて自動運転車両は低速であるが、このことに起因する渋滞や苦情は発生しなかった。社会的受容性が高い地域であると想定されるが、さらなる社会受容性向上に向け、地域住民からの理解促進に加え、地域交通事業者や関係企業等との連携した実証体制を整備することにより、継続的な連携が可能な体制を構築する。

【ステップ2(中長期:令和9年、10年)】

市街地における自動運転車両を活用した定時定路線型の移動サービスを構築し、移動サービスの充実と活性化を目指す。移動制約者対策として大型商業施設や病院等の地域の核となる拠点施設を繋ぐことにより利用者が普段使いできる環境を提供し、周遊性の向上を図る。

本取り組みで目指す持続可能な公共交通を構築するには、協力事業者との事業継続を行うための体制整理・構築が重要となる。ステップ1における自動運転技術実証の実績を活かし、車両走行データと遠隔監視システム連携することにより、1人の遠隔監視オペレーターにて複数車両の管理が実現できるようにする等、担い手不足解消を目指す。

加えて、地域交通事業者と連携し自動運転サービスを日常的に提供するための運用体制(遠隔監視室の整備、遠隔監視、車両運用・整備、安全監視員配置等)の整理と構築を実施する。

また有償運送の検討を開始し、コスト受容性を確認する。MaaS導入による運賃や利用方法等を一体的な体系で実施することを目指し、住民の利便性向上ならびに将来的な行政情報システムとの連携を志向することにより、交通を軸とした他領域との連携を目指す。

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:高知県高知市)

実績報告書

緊急自動車検知システムと緊急自動車検知時の自動運転車両制御の実証

2026 年 1 月

NTT西日本株式会社／高知市自動運転実証コンソーシアム
