



2021 年度

「戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第 2 期／
自動運転（システムとサービスの拡張）／
協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討

2022 年 4 月

日本電気株式会社

本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が管理法人を務め、内閣府が実施した「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期／自動運転 (システムとサービスの拡張)」(NEDO 管理番号：JPNP18012)の成果をまとめたものです。

目次

1. 概要	1
1.1 事業目的	1
1.2 事業概要・目標	1
1.3 研究開発の進め方	2
2. 通信要件を満たすための V2X 通信技術の課題整理及び既存の無線通信システムによる対応可否の検証	3
2.1 広域通信での対応可否評価	12
2.1.1 ユースケースの理解	13
2.1.2 対象とするユースケースの対応可否の整理	27
2.2 狭域通信での対応可否評価	29
2.2.1 ユースケースの理解	29
2.2.2 対象とするユースケースの対応可否の整理	53
3. 課題解決の対応策立案及び実証実験による評価を通じた妥当性の検証	57
3.1 広域通信の課題・対応策の検討	58
3.1.1 想定するシステム全体像	59
3.1.2 課題への検討事項	60
3.1.3 対策案の検討	63
3.1.4 遠隔操作に関するケーススタディ（参考）	75
3.2 狭域通信の課題・対応策の検討	81
3.2.1 想定するシステム全体像	81
3.2.2 課題への検討事項	81
3.3 対応策の妥当性に関する評価	86
3.3.1 妥当性評価の概要	86
3.3.2 検証① 頻繁な双方向の通信の発生による通信輻輳	92
3.3.3 検証② 複数のユースケースの同時発生による通信輻輳	110
3.3.4 検証結果のまとめ	122
3.4 評価結果の妥当性検証	123
3.4.1 妥当性検証の概要	123
3.4.2 事前計測	132
3.4.3 実証① 実環境におけるシャドウイングの影響	136
3.4.4 実証② 通信量による通信輻輳の影響	139
3.5 検証・実証結果のまとめ	141
4. 自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップ策定	145
4.1 ロードマップ策定の概要	145
4.1.1 検討手順	145
4.1.2 実施概要	145
4.2 ロードマップ策定に必要な動向調査	146
4.2.1 ユースケースに適用する通信方式の検討	152
4.2.2 安全運転支援に有益なユースケース	158
4.2.3 自動運転支援に有益なユースケース	171
4.2.4 海外動向調査	180
4.2.5 ユースケース展開計画	203
4.3 協調型自動運転に関する通信要件のロードマップ案の策定	207
4.3.1 ユースケース実現に必要な通信性能の積み上げ	207
4.3.2 通信要件実現の課題	222
4.3.3 通信要件のロードマップ（案）検討	224
5. まとめ	232

6. 検討 TF 及び ITS フォーラムでの活動実績	233
6.1 検討 TF への報告	233
6.1.1 参加実績	233
6.1.2 報告内容、コメント・ご指摘事項、対応状況	233
6.2 ITS フォーラムへの報告	236
6.2.1 参加実績	236
6.2.2 報告内容、ご指摘事項、反映状況	236

1. 概要

1.1 事業目的

現在、国内外の研究機関、自動車関係企業、ITS 関係企業等により、自動車の自動運転に関する研究開発、実証、実装が進められている。国内では各研究機関、各企業での検討に加え、協調領域に関する研究開発として、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）のテーマの一つとして自動運転が取り上げられている。SIP 第 2 期では、自動運転を実用化するための多岐に亘る技術的課題を克服するため、協調領域として自動運転車両が走行可能な環境の整備及び安全性確保に必要な基盤技術開発に重点を置き開発を進め、走行環境の整備等の検討の中で、自動運転に必要な道路交通情報のフォーマットや通信要件を決め、それらの標準化を目指し取り組まれている。走行環境の整備等の検討としては、これまで研究開発が進められている主に自立型（自車単独）による自動運転に加え、V2X 通信（自車と外部（車、路側インフラ、センター）の通信）の活用による協調型の自動運転の検討がより重要になってくるものと考えている。協調型の自動運転の実現に向け、V2X 通信に関する技術的な実現性を検証し、また、今後進化する予想される通信技術を想定した上で、無線通信技術への具体的な要求仕様をロードマップとして策定し共有した上で、各研究機関、各企業での検討に取り組んでいくことが必要になっている。

平成 31 年度に SIP 第 2 期として実施された調査「自動運転システムのための通信技術に関する調査」で V2X の活用が期待される協調型自動運転ユースケースが検討され、協調型自動運転通信方式検討タスクフォース（以下、「検討 TF」という。）において、「SIP 協調型自動運転ユースケース」（令和 2 年 9 月）として 25 種類のユースケースを策定している。協調型自動運転ユースケースに対し、具体的な通信に対する要求仕様等に基づき、本研究開発テーマとは別に実施される既存の ITS 通信技術（700MHz 帯 ITS）での課題の検討結果を踏まえ、新たな周波数帯（5.9GHz 帯）の活用を含め、セルラー V2X 方式（主に 5G による Uu 通信、PC5 通信）による対応策を検討し、技術的な実現性を検証する。この検討結果と、本研究開発テーマとは別に実施される既存の ITS 通信技術（700MHz 帯 ITS）に関する協調型自動運転ユースケースでの対応可否及び対応策の検討、技術的な実現性の検証結果を併せ、今後進化する予想される通信技術を想定した上で各々のユースケースとそれぞれの無線通信技術への具体的な要求仕様をロードマップとして策定する。

1.2 事業概要・目標

本事業は、検討 TF にて策定された V2X の活用が期待される協調型自動運転ユースケースについて、無線通信技術への具体的な要求仕様等、通信に関する技術的な実現性の検討、検証及び実証を踏まえ、自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップすることを目的として実施した。

具体的には、以下のとおりであり、具体的な成果については、2 章以降に述べる。

- ① 通信要件を満たすための V2X 通信技術の課題整理及び既存の無線通信システム（セルラー V2X 方式）による対応可否の検証
 - ・ 広域通信での対応可否評価
 - ・ 狭域通信での対応可否評価
- ② 課題解決の対応策立案及び実証実験による評価を通じた妥当性の検証
 - ・ 広域通信の課題・対応策の検討
 - ・ 狭域通信の課題・対応策の検討
 - ・ 対応策の妥当性に関する評価
 - ・ 評価結果の妥当性検証
- ③ 自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップ策定
 - ・ ロードマップ策定に必要な動向調査
 - ・ 協調型自動運転に関する通信要件のロードマップ案の策定

1.3 研究開発の進め方

本事業の研究開発は、以下のフローに従って実施した。

図中に示す中央、及び左側のフローが弊社の担当範囲である。右側のフローは別委託研究テーマ「協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討のうち、700MHz帯 ITSに係る評価」であり、その受託者である京セラ株式会社殿の担当範囲である。研究開発は両社の間で緊密な連携を取りつつ遂行した。

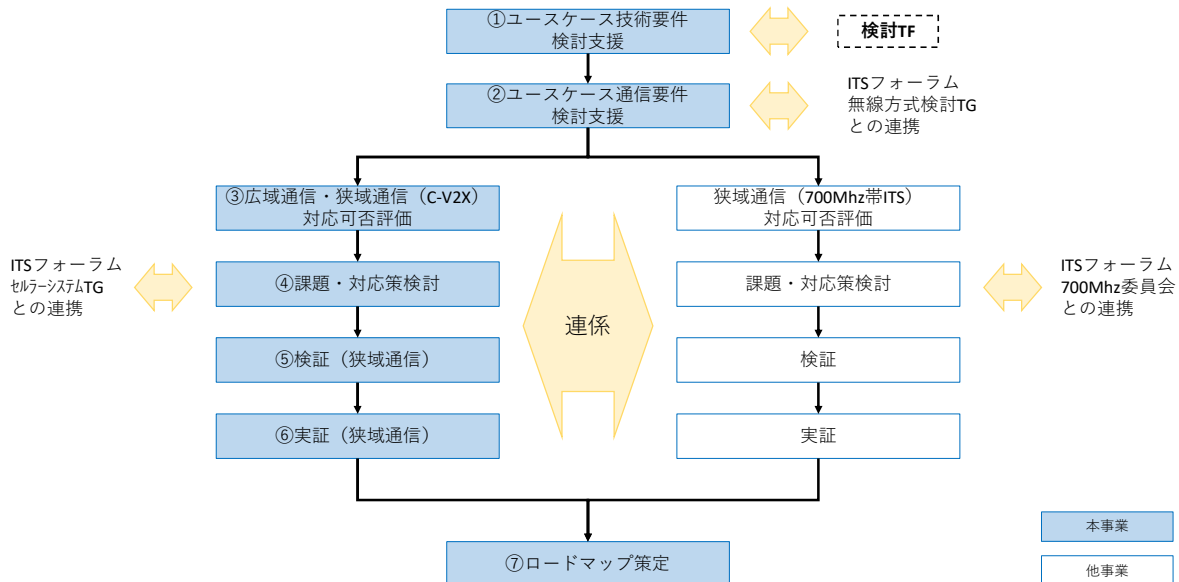


図 1.3-1 研究開発の進め方

なお、研究開発を進めるにあたり、検討 TF 及び ITS 情報通信システム推進会議（以下、「ITS フォーラム」という。）の会合に参加し、検討状況を報告すると共に参加メンバーとの議論を行ったが、その際、会合の事務局として以下の作業も併せて行った。

- 会合の検討資料の作成支援

会合への参加状況については「6. 検討 TF 及び ITS フォーラムでの活動実績」に掲載する。

2. 通信要件を満たすための V2X 通信技術の課題整理及び既存の無線通信システムによる対応可否の検証

本研究では車と他との通信、V2X（Vehicle-to-Everything）のうち、以下の 2 つの通信形態について検討を行った。

- 広域通信
通信事業者の通信網を介して広いエリアの車両に情報を提供し、車両からの情報を収集する通信（V2N：Vehicle to Network）
- 狭域通信
通信事業者を介さず直接通信で車両と車両の間（V2V：Vehicle to Vehicle）、車両と路側機等のインフラ設備との間（V2I：Vehicle to Infrastructure）で行う通信

検討する無線通信のイメージを図 2-1 に示す。

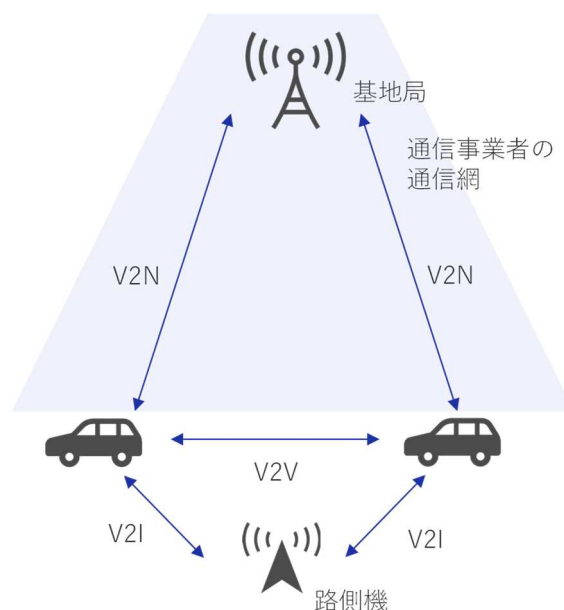


図 2-1 検討する無線通信のイメージ

「協調型自動運転システム」は、検討 TF の定義によれば、「自律型自動運転システムをベースに、通信を用いて入手した交通環境情報等を活用することでより高度な自動運転が行えるシステム」を意味する。検討 TF では、「協調型自動運転システム」を定義する際に、高度な自動運転を実現するために通信を用いて得る情報を「車載センサ検知外情報」「自車が保有する情報」「車車間及び路車間の意思疎通」の 3 つに分類し、この分類に基づき協調型自動運転ユースケースを以下の 3 つの機能分類に整理した。

- ①車載センサ検知外情報の入手が必要なユースケース
- ②自車が保有する情報の提供が必要なユースケース
- ③車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース

検討 TF が策定した 25 種類の協調型自動運転ユースケース¹を上記①～③の機能分類毎に整理したものを表 2-1、表 2-2、表 2-3 に示す。

表 2-1 ユースケースの概要：①車載センサ検知外情報の入手が必要なユースケース (1/2)

機能分類	ユースケース名	概要	通信形態
a. 合流・車線変更支援	a-1-1. 予備加減速合流支援	本線上の計測地点での本線走行車両の速度や合流部到達予測時刻等の情報を、インフラから合流車両に提供し、予備加減速の支援を行う。	V2I
	a-1-2. 本線隙間狙い合流支援	本線走行車両の位置や速度等を連続的に計測した情報を、インフラから合流車両に連続的に提供し、本線走行車の隙間を狙った合流の支援を行う。	V2I
b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I)	交差点の信号機の現在の信号灯火色及び信号サイクル情報（次の信号灯火色及び切り替わりまでの時間）等を、路側インフラから交差点進入車両に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。	V2I
	b-1-2. 信号情報による走行支援 (V2N)	交差点の信号機の信号サイクル情報（次の信号灯火色及び切り替わりまでの時間）等を、ネットワーク経由で交差点進入車両に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。	V2N
c. 先読み情報：衝突回避	c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	急ブレーキ情報及び位置や速度の情報を、急減速した車両から後続車両に提供し、あらかじめ停止や減速を促すことで玉突き事故を防止する。	V2V
	c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V)	交差点に接近する車両の位置や速度の情報を、接近車両から交差点に接近または交差点を通過する車両に提供し、死角の多い交差点の通過や右折の支援を行う。	V2V
	c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I)	路側センサまたは車両から入手した交差点に接近する車両の位置や速度の情報を、インフラから交差点に接近または交差点を通過する車両に提供し、死角の多い交差点の通過や右折の支援を行う。	V2I
	c-3. ハザード情報による衝突回避支援	自動運転車が緊急減速や緊急車線変更を行った場合に後続車へ緊急ハザード情報を伝送することで、後続車の円滑な回避制御を支援する。	V2V

¹ 出典：SIP 協調型自動運転ユースケース -2019 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告-

表 2-1 ユースケースの概要：①車載センサ検知外情報の入手が必要なユースケース (2/2)

機能分類	ユースケース名	概要	通信形態
d. 先読み情報：走行計画変更	d-1. 異常車両の通知による走行支援	道路上に停止している異常車両の事象情報（故障車、事故車、等）と位置情報（存在区間、レーン）を、インフラから周辺車両に提供または異常車両から周辺車両に提供し、早めの車線変更、走行計画変更の支援を行う。	V2I V2N
	d-2. 逆走車の通知による走行支援	逆走車の位置や速度及び逆走車の存在情報を、インフラから周辺車両に提供し、あらかじめ車線変更等を促して衝突回避の支援を行う。	V2I V2N
	d-3. 渋滞の情報による走行支援	渋滞中の車両から得た渋滞状況の情報を、インフラから周辺車両に提供し、走行支援を行う。	V2I V2N
	d-4. 分岐・出口渋滞支援	路肩渋滞の情報（位置や速度）を、インフラから本線車両に提供し、分岐部進入の支援を行う。	V2I V2N
	d-5. ハザード情報による走行支援	障害物・工事・渋滞等の情報を、インフラから周辺車両に提供し、走行支援を行う。	V2I V2N
e. 先読み情報：緊急車両回避	e-1. 緊急車両の情報による走行支援	緊急車両の移動方向や速度、走行予定経路（走行予定車線）の情報を、緊急車両から周辺車両に提供し、周辺車両の徐行や停車等を促して緊急車両の円滑な通過を支援する。	V2I V2V V2N

表 2-2 ユースケースの概要：②自車が保有する情報の提供が必要なユースケース

機能分類	ユースケース名	概要	通信形態
f. インフラによる情報収集・配信	f-1. 救援要請(e-Call)	救援情報を、事故車等の異常車両からインフラに送信し、救援を要請する。	V2N
	f-2. 交通流の最適化のための情報収集	走行車両の位置や速度の情報を、インフラ経由で、交通量の分析や最適化を行うために収集する。	V2I V2N
	f-3. 地図更新・自動生成	車両で収集した情報を、インフラで収集し、地図データの更新・自動生成を行う。	V2N
	f-4. ダイナミックマップ情報配信	ダイナミックマップ情報を、インフラから車両に提供する。	V2N

表 2-3 ユースケースの概要：③車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース

機能分類	ユースケース名	概要	通信形態
a. 合流・車線変更支援	a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援	本線走行車両の位置や速度等、面的に計測した情報を、インフラから合流車両に提供すると共に、インフラから本線車両側に車間調整等を指示し、合流の支援を行う。	V2I
	a-1-4. 車同士のネゴシエーションによる合流支援	混雑した本線への合流の際、位置や速度の情報や車間調整の要求等を、本線車両と合流車両が通信し、車同士のネゴシエーションによる合流支援を行う。	V2V
	a-2. 混雑時の車線変更の支援	混雑した車線への車線変更の際、位置や速度の情報及び車線変更意思等を車両間で通信し、車線変更の支援を行う。	V2V
	a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	信号のない交差点において、位置や速度の情報及び進入意思を、交差点付近の車両間で通信し、非優先道路から優先道路上へ進入するための走行支援を行う。	V2V
g. 隊列・追従走行	g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	隊列車両の操作情報等を、隊列を形成するトラック間で通信し、隊列走行（電子牽引）の支援を行う。	V2V
	g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行	位置や速度や前方車両の運転操作情報等を、前後の車両間で通信し、追従走行の支援を行う。	V2V
h. 遠隔操作	h-1. 移動サービスカーの操作・管理	自律型自動運転システムでは回避困難な交通環境の場合、移動サービスカーからの映像情報等と運行管理者からの遠隔操作指示を、運行管理者と移動サービスカー間で通信し、遠隔地からの車両操作・管理を行う。	V2N

また協調型自動運転ユースケースに対する通信シナリオ及び通信要件を ITS フォーラムの無線方式検討タスクグループ（以下、「TG」という。）と協働し検討するにあたり、ご協力頂いた関係団体を表 2-4 に示す。関係団体の方々との議論を踏まえ、通信要件、通信シナリオを策定した。

表 2-4 ユースケースとご協力頂いた関係団体

機能分類	ユースケース名	関係団体
a. 合流・車線変更支援	a-1-1. 予備加減速合流支援	国土技術政策総合研究所
	a-1-2. 本線隙間狙い合流支援	国土技術政策総合研究所
b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I）	一般社団法人 UTMS 協会
	b-1-2. 信号情報による走行支援（V2N）	一般社団法人 UTMS 協会
c. 先読み情報：衝突回避	c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	
	c-2-1. 交差点の情報による走行支援（V2V）	ITS Connect 推進協議会
	c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I）	一般社団法人 UTMS 協会
	c-3. ハザード情報による衝突回避支援	一般社団法人 日本自動車工業会
d. 先読み情報：走行計画変更	d-1. 異常車両の通知による走行支援	国土技術政策総合研究所
	d-2. 逆走車の通知による走行支援	
	d-3. 渋滞の情報による走行支援	国土技術政策総合研究所
	d-4. 分岐・出口渋滞支援	国土技術政策総合研究所
	d-5. ハザード情報による走行支援	国土技術政策総合研究所
e. 先読み情報：緊急車両回避	e-1. 緊急車両の情報による走行支援	ITS Connect 推進協議会
f. インフラによる情報収集・配信	f-1. 救援要請（e-Call）	株式会社日本緊急通報サービス
	f-2. 交通流の最適化のための情報収集	SIP プローブ情報活用受託者
	f-3. 地図更新・自動生成	SIP 地図更新受託者
	f-4. ダイナミックマップ情報配信	株式会社ゼンリン
a. 合流・車線変更支援	a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援	一般社団法人 日本自動車工業会
	a-1-4. 車同士のネゴシエーションによる合流支援	一般社団法人 日本自動車工業会
	a-2. 混雑時の車線変更の支援	一般社団法人 日本自動車工業会
	a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	一般社団法人 日本自動車工業会
g. 隊列・追従走行	g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	隊列走行実証実験受託者
	g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行	隊列走行実証実験受託者
h. 遠隔操作	h-1. 移動サービスカーの操作・管理	国立研究開発法人産業技術総合研究所

これら検討 TF が策定した 25 種類の協調型自動運転ユースケースに対して、協調型自動運転を実現するために想定される技術要件、通信シナリオ及び通信要件を TG が検討するに際し、前提条件を以下のとおり定めている²。

1) 基本条件

SIP 協調型自動運転ユースケースで定義された協調型自動運転システム「自律型自動運転システムをベースに、車載センサ検知外の情報や自車が保有する情報の提供及び車車／路車間の意思疎通を通信で行うことで、より安全でスムーズな自動運転制御を可能とするシステム」を自車と想定する。

周辺の他車両としては、協調型自動運転システムで自動走行している車両を“協調走行車”、協調型自動運転システムを搭載していない、ドライバが運転する車両（協調型自動運転システムを使用せずにドライバが運転する車両を含む）や、自律型自動運転システムで自動走行している車両を“V2X 非対応車”と想定する。

2) 高精度 3 次元地図情報の活用

協調型自動運転システムを支援する路側インフラ及び協調型自動運転システムを搭載するすべての車両は、動的データと紐付け可能な静的情報となる高精度 3 次元地図情報を持つものとする。

高精度 3 次元地図情報と動的データ（准静的情報、准動的情報、動的情報）を、定められた紐付けルールに則り整合したダイナミックマップ（図 2-2 参照）を活用するため、SIP 協調型自動運転ユースケースの複数の通信シナリオが連携し、かつ、同時に実行できるように無線方式を設計する必要がある。それぞれの検討対象のユースケースにおいては、他の通信シナリオを用いての動的データが得られないケースを考慮に入れる必要がある。

2020 年度「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 2 期/自動運転（システムとサービスの拡張）/高精度 3 次元地図における位置参照点（CRP）のあり方における調査検討」を本検討の考慮に入れる（CRP：Common Reference Point、以下 CRP と略す）。

AP（Anchorage Point）と CRP の対応関係としては、ルールに基づく方法とテーブルに基づく設置方法があるが、この関係は事前に車両が得ている、もしくは事前に V2N や V2I により入手しているものとし、ユースケース毎に V2N や V2I での通知は想定しない。

² 出典：SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料（RC-017）

高精度 3 次元地図情報と、様々な主体が所有し時間とともに変化する位置特定可能な動的データ（動的情報、準動的情報、準静的情報）とを紐付けルールを定めることにより整合的に活用する、という概念

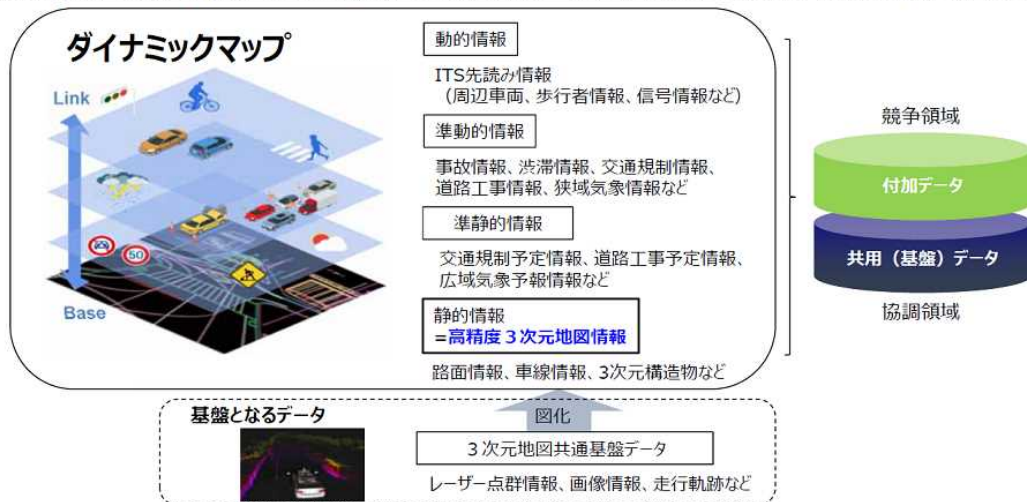


図 2-2 ダイナミックマップの構築イメージ³

3) 遅延の定義

本項で扱う遅延の定義として、システム各部における遅延の関係を図 2-3 に、無線通信区間許容遅延の定義を表 2-5 に記す。

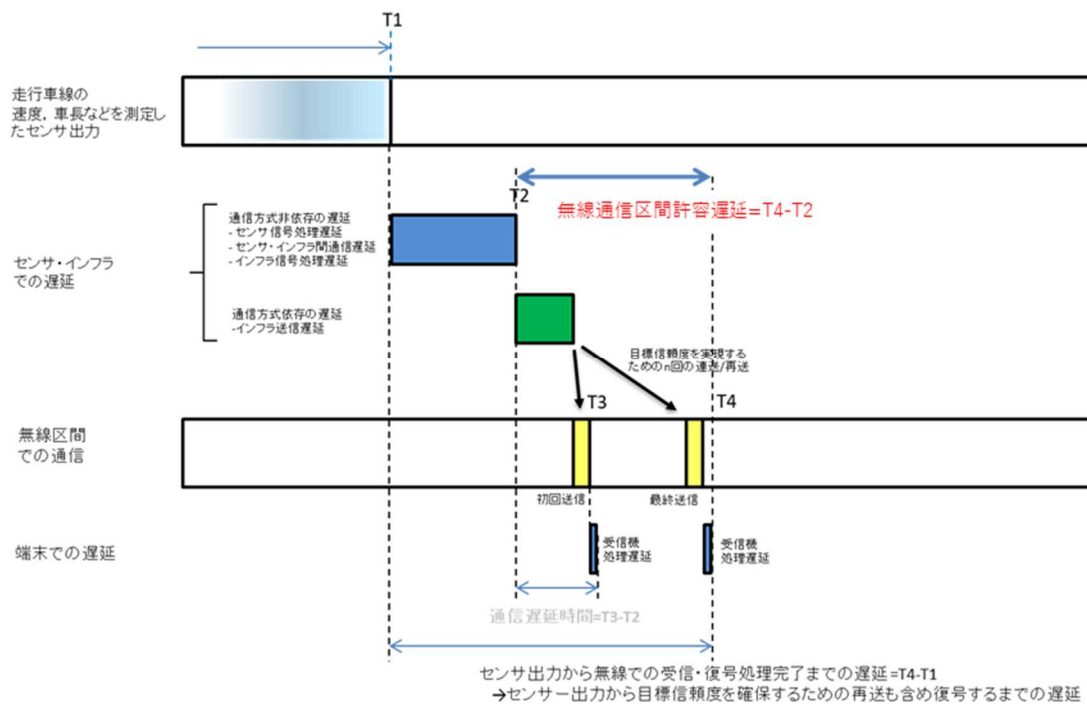


図 2-3 システム各部における遅延の関係

³ 出典：2020 年度 SIP 成果報告書【高精度 3 次元地図における位置参照点（CRP）のあり方に関する調査検討】.pdf

表 2-5 無線通信区間許容遅延

遅延区間	図中区間	説明
無線通信区間許容遅延	T4-T2	無線アクセスレイヤが、所要信頼度を実現するためにシステムが許容する最大遅延時間（無線アクセスレイヤにおける送信待ち時間や連送／再送時間等を含む）とする。 無線アクセス方式の比較等に用いる。

無線アクセスレイヤでは、上位レイヤからの各メッセージに対して所要信頼度（誤り率及び伝搬距離）を実現するために、図 2-3 のように再送／連送が必要に応じて実施される。

無線アクセスレイヤは、ITS FORUM RC-015 自動運転（自専道）通信活用ユースケース向け通信システムの実験用ガイドラインに記載の内容を示し、連送／再送処理は、例えば ITS FORUM RC-005 参照方式ではレイヤ 7 で行われ、LTE-V2X では MAC サブレイヤを含むレイヤ 2 で行われる。

無線通信区間許容遅延を超えたメッセージは、復号結果に関わらず未到達と見なす。

なお、システムの所要通信エリア・距離等の検討には、センサ出力から無線での受信・復号処理完了までの遅延（T4-T1）を用いる必要がある。

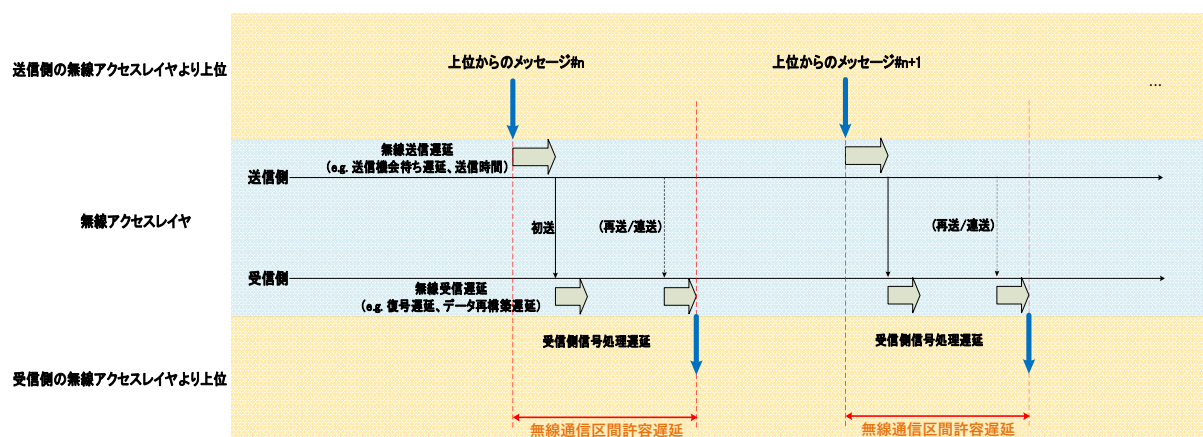


図 2-4 レイヤ間における遅延の関係

4) 通信品質の規定について

本項で扱う通信品質の定義は、「3)遅延の定義」に示した無線通信区間許容遅延における1メッセージ当たりのパケット到達率（Packet Arrival Rate : PAR）として規定する。

5) 情報要素の多重について

本項では、情報要素はユースケースや情報要素のタイプ毎にメッセージが生成され、無線アクセスレイヤでは、少なくともそれぞれのメッセージが独立に送受信できる想定で記載している。

以下のようなケースでは、いずれかのレイヤで情報要素／メッセージの多重を行うことが考えられる。

ア) 同一ユースケースで送信側に異なるタイプの情報要素／メッセージが複数発生する場合

例として、合流支援のユースケース a-1-3.で、路側インフラにおいて位置情報メッセージのように周期的に送信される情報と、管制／合意の通信シーケンスのように特定のイベント／シーケンスで送信される情報が発生している状況が考えられる。

イ) 同一ユースケースで送信側に宛先の異なる情報要素／メッセージが複数発生する場合

例として、合流支援のユースケース a-1-3.で、路側インフラが複数車両に対して管制制御手順を並行に実施し、複数の管制情報が発生している状況が考えられる。

- ウ) 送信側に、異なるユースケース向けの情報要素／メッセージが複数発生する場合
例として、路側インフラにおいて、合流支援のユースケース a-1-3.の位置情報メッセージと、ユースケース d-4.の分岐・出口渋滞支援に必要となるメッセージが同時に発生している状況が考えられる。

上記のようにタイプ、宛先、ユースケースの異なる複数の情報要素が同時に発生しているケースの扱いについては、以下の方法が考えられる。無線アクセスレイヤの能力により適用できる方式が異なる可能性があるため、無線アクセスレイヤの能力を考慮した方式の検討が必要である。

- 方式1：本項記載のレイヤで複数の情報要素／メッセージを多重する。
 - 方式1a：1つのメッセージで異なるタイプや異なる宛先向けの情報要素を複数含むことのできるメッセージフォーマットとする。
 - 方式1b：1つのメッセージでは1つのタイプや宛先向けの情報要素を含むが、それら複数のメッセージを多重するサブレイヤを本項記載のレイヤに設ける。
- 方式2：無線アクセスレイヤで、無線通信路に送信前に複数の情報要素／メッセージを多重する。
- 方式3：無線アクセスレイヤで、送信前には情報要素／メッセージの多重を行わないが、異なった時間や周波数等を用いて無線通信路のマルチプルアクセスにより多重する。
- 方式4：優先度の低い情報要素／メッセージや、待機時間に余裕のある情報要素／メッセージは廃棄する、もしくは遅延させて送信する。

方式1は、本項の範囲でメッセージの構成を検討する必要がある。

方式1aは、情報要素間で共通化できる部分（例えば、共通情報等）は、いずれか1度の通信が成立すればよいと、他方式に比べて無線で送信する情報量を低減できるメリットはあるが、それぞれの情報要素毎の検討が必要になることと、メッセージ構造が複雑になり、応答のメッセージが必要な場合は応答でどの部分に対する応答であるか（例えば、要求毎に割り振られる識別子等によって）を通知する必要がある。

方式1と方式2では、無線アクセスレイヤにおいて、方式3に比べて大きなパケットサイズを扱える能力が必要となる。

方式3では、他方式に比べて無線通信路へのアクセス回数が多くなる。また、方式3では誤り訂正の程度や送信パワーを変えることによりメッセージ毎の信頼度、到達距離を変更することもできる。

方式4では、情報要素／メッセージが無線通信区間許容遅延時間の要求を満たすことができなくなる可能性がある。

2.1 広域通信での対応可否評価

広域通信を用いた協調型自動運転ユースケースの対応可否を検討するにあたって、本節では、ユースケースの理解として、広域通信を活用するユースケースを実現するために必要な技術要件と、通信シナリオ及び通信要件について述べる。また、検討の対象とするユースケースの整理について述べる。

広域通信では通信事業者の通信網（接続 MNO 網）を用いて 1 対 1 の通信であるユニキャストで実現することを想定するが、将来的には基地局のエリアにいるすべての車両に一齐に情報を配信できるブロードキャスト（MBMS：Multimedia Broadcast Multicast Service 等）が実現することも考慮し検討する。

また以下のような役割を担う管理サーバが設けられること、並びにこれらの管理サーバは負荷分散のためエリア毎等に配置されることを想定する。

- 車両から定期的に送信される情報を管理
- 車両から得た情報を基に分析、事象を判断
- 判断した事象から車両に配信が必要な情報を判断し、配信すべきエリアを特定

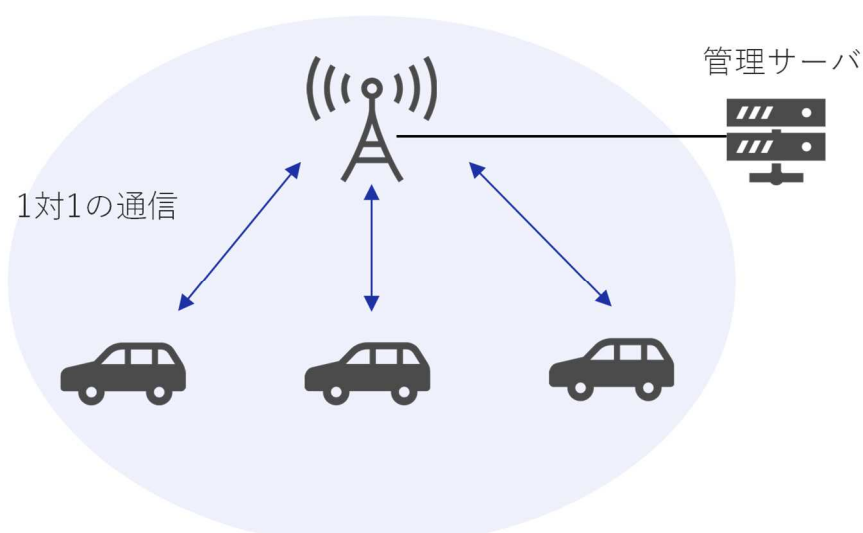


図 2.1-1 ユニキャスト

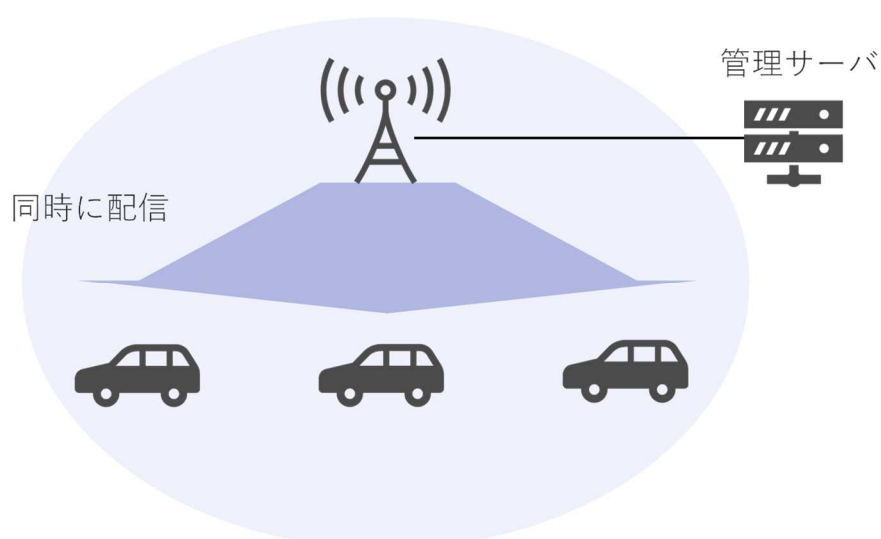


図 2.1-2 ブロードキャスト

2.1.1 ユースケースの理解

表 2-1～表 2-3 に示す 25 種類の協調型自動運転ユースケースのうち、「広域通信を用いて実現する」と分類されたものを以下に示す。

- 1) b.信号情報
 - b-1-2.信号情報による走行支援 (V2N)
- 2) d.先読み情報：走行計画変更信号情報
 - d-1.異常車両の通知による走行支援
 - d-2.逆走車の通知による走行支援
 - d-3.渋滞の情報による走行支援
 - d-4.分岐・出口渋滞支援
 - d-5.ハザード情報による走行支援
- 3) e.先読み情報：緊急車両回避
 - e-1.緊急車両の情報による走行支援
- 4) f.インフラによる情報収集・配信
 - f-1.救援要請(e-Call)
 - f-2.交通流の最適化のための情報収集
 - f-3.地図更新・生成
 - f-4.ダイナミックマップ情報配信
- 5) h.遠隔操作
 - h-1.移動サービスカーの操作・管理

これらのユースケースに関して、検討 TF が記した留意事項（通信要件等）を表 2.1.1-1 に記す。

表 2.1.1-1 広域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（1／4）

機能分類		b. 信号情報	d. 先読み情報：走行計画変更	
ユースケース		b-1-2. 信号情報による走行支援（V2N）	d-1. 異常車両の通知による走行支援	d-2. 逆走車の通知による走行支援
通信		V2N	V2I、V2N	V2I、V2N
接続形態		1 対多	1 対多	1 対多
制御用途		速度調整、停止	車線変更、走行計画変更	車線変更、走行計画変更、路肩待避
即応性		要	不要	不要
データ区分/情報内容	メッセージ	信号サイクル情報	異常車両の事象情報	逆走車の存在
	センサデータ	—	位置	逆走車の位置、速度、車線区分
	リッチコンテンツ	—	—	—
データ量		小	小	小

表 2.1.1-1 広域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（2／4）

機能分類		d. 先読み情報：走行計画変更		
ユースケース		d-3. 渋滞の情報による走行支援	d-4. 分岐・出口渋滞支援	d-5. ハザード情報による走行支援
通信		V2N	V2I、V2N	V2I、V2N
接続形態		1 対多	1 対多	1 対多
制御用途		走行計画変更、速度調整、停止	速度調整、走行計画変更	走行計画変更、車線変更、自動運転 制御支援レベル変更
即応性		不要	不要	不要
データ区分/情報内容	メッセージ	渋滞状況	路肩渋滞状況（分岐方面）	障害物情報
	センサデータ	—	速度、位置	位置
	リッチコンテンツ	—	—	—
データ量		小	小	小

表 2.1.1-1 広域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（3／4）

機能分類		e. 先読み情報：緊急車両回避	f. インフラによる情報収集・配信	
ユースケース		e-1. 緊急車両の情報による走行支援	f-1. 救援要請 (e-Call)	f-2. 交通流の最適化のための情報収集
通信		V2I、V2N、V2N	V2N	V2I、V2N
接続形態		1 対多	1 対 1	1 対 1
制御用途		速度調整、車線変更、停止（路肩）	通報	—
即応性		不要	—	—
データ区分/情報内容	メッセージ	緊急車両接近情報	救援要請	—
	センサデータ	位置、速度	位置	位置、速度
	リッチコンテンツ	—	—	—
データ量		小	小	小

表 2.1.1-1 広域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（4／4）

機能分類		f. インフラによる情報収集・配信		h. 遠隔操作
ユースケース		f-3. 地図更新・生成	f-4. ダイナミックマップ情報配信	h-1. 移動サービスカーの操作・管理
通信		V2N	V2N	V2N
接続形態		1 対 1	1 対多	1 対 1
制御用途		—	走行計画変更	遠隔操作
即応性		—	—	要
データ区分/情報内容	メッセージ	—	—	遠隔操作指示
	センサデータ	位置	—	位置、速度
	リッチコンテンツ	車載カメラ映像	道路データ、地物位置等	車載カメラ映像
データ量		大	大	大

また、各ユースケースの実現イメージを記す。

1) b.信号情報

- b-1-2.信号情報による走行支援 (V2N)

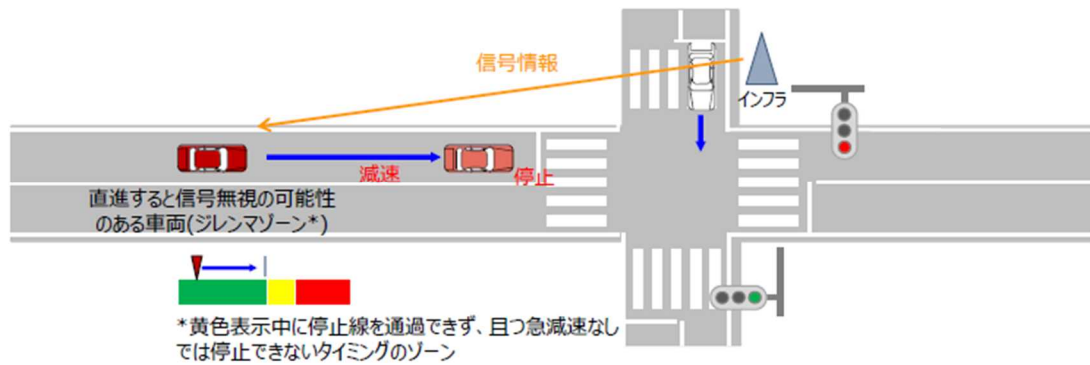


図 2.1.1-1 b-1-2.信号情報による走行支援 (V2N)

2) d.先読み情報：走行計画変更信号情報

- d-1.異常車両の通知による走行支援

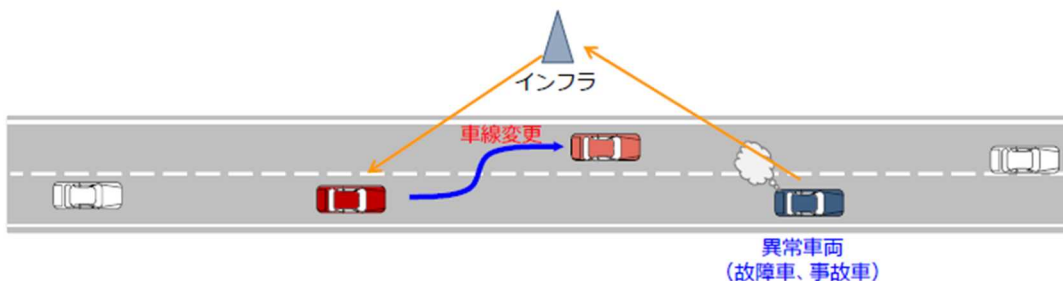


図 2.1.1-2 d-1.異常車両の通知による走行支援

- d-2.逆走車の通知による走行支援

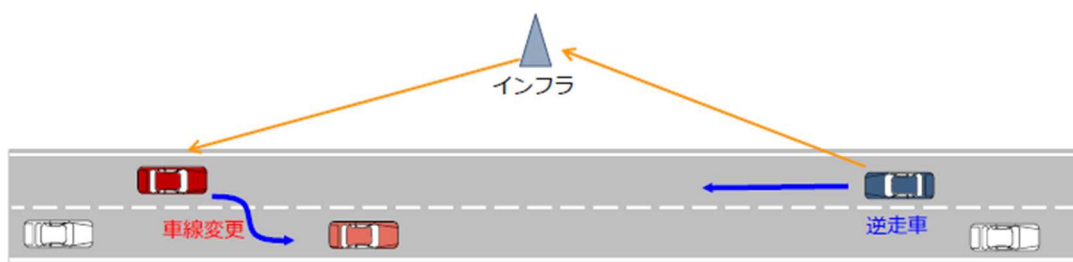


図 2.1.1-3 d-2.逆走車の通知による走行支援

- d-3.渋滞の情報による走行支援

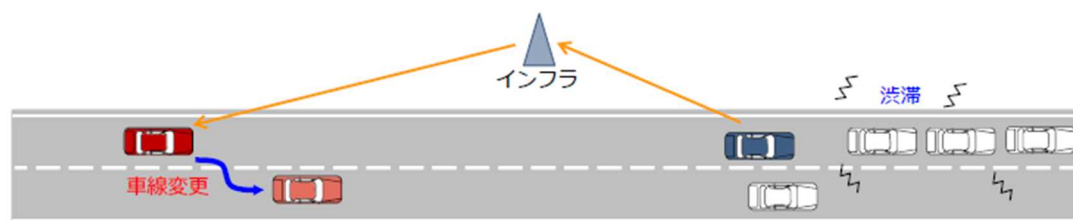
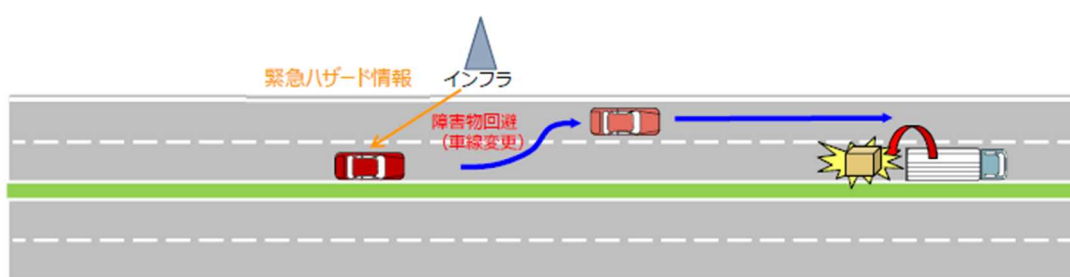


図 2.1.1-4 d-3.渋滞の情報による走行支援

-

- d-5.ハザード情報による走行支援



3) e.先読み情報：緊急車両回避

-

4) f.インフラによる情報収集・配信

-
- インフラ
- 事故車両
- This diagram illustrates an accident scene on a road. A red car is involved in a collision, indicated by a cloud-like impact mark. A fire truck is positioned at the scene, with an orange arrow pointing to the text 'インフラ' (Infrastructure). Another orange arrow points from the fire truck towards a building with a cross symbol, likely a hospital. The road has a dashed white line, and there are other vehicles (blue and white cars) in the background.

17

- f-2.交通流の最適化のための情報収集

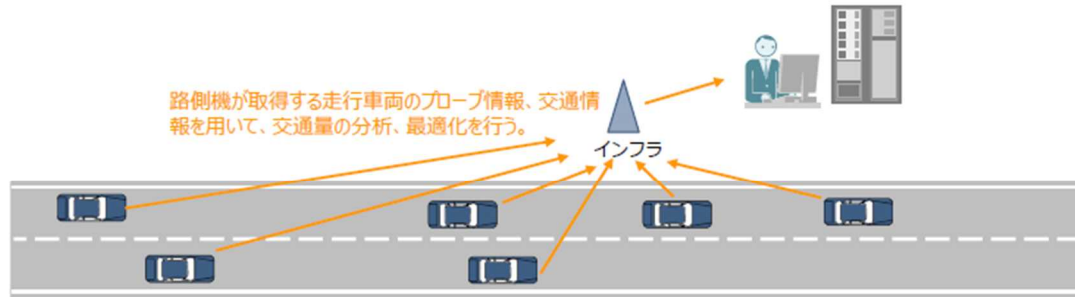


図 2.1.1-9 f-2.交通流の最適化のための情報収集

- f-3.地図更新・生成

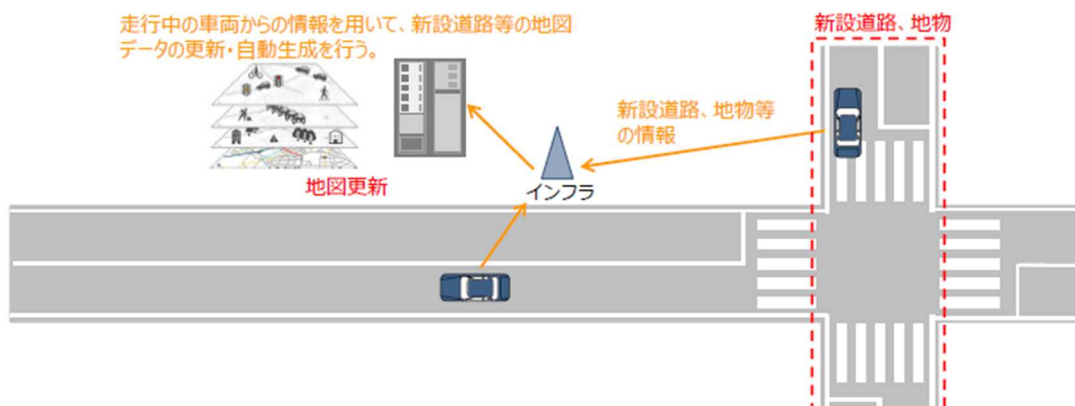


図 2.1.1-10 f-2.交通流の最適化のための情報収集

- f-4.ダイナミックマップ情報配信

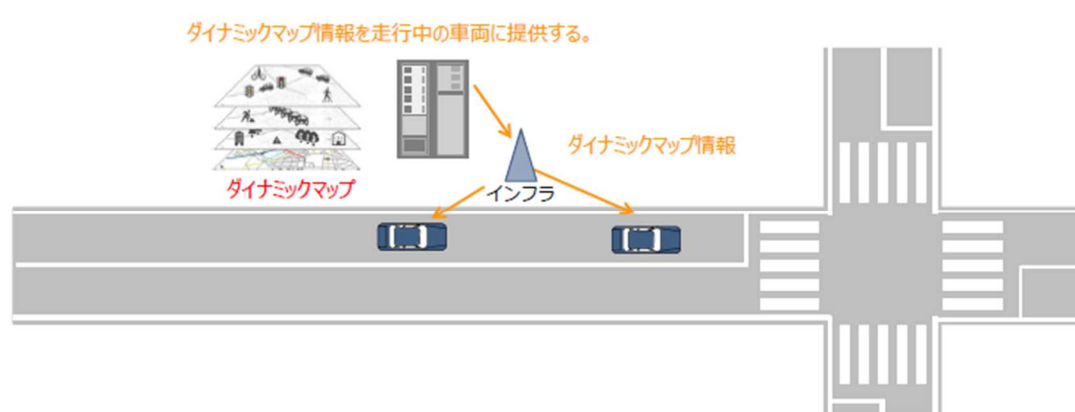


図 2.1.1-11 f-4.ダイナミックマップ情報配信

5) h.遠隔操作

- h-1.移動サービスカーの操作・管理

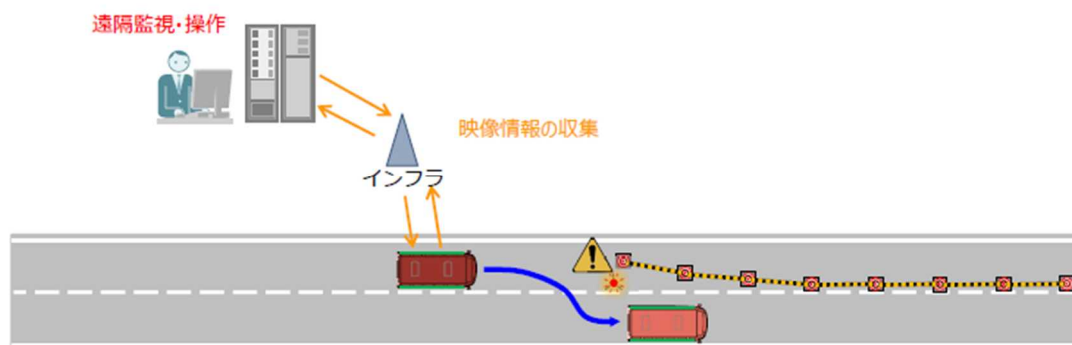


図 2.1.1-12 h-1.移動サービスカーの操作・管理

(1) 技術要件

検討 TF の策定したユースケースにおいて、広域通信を用いたユースケースを実現するための技術要件を表 2.1.1-2 に記す。

表 2.1.1-2 広域通信を用いたユースケースの技術要件 (1/2)

ユースケース	技術要件
b-1-2. 信号情報による走行支援 (V2N)	協調走行車の位置情報を、車両から管理サーバ（信号情報センター、配信センター等）へ送信する。管理サーバは交差点の信号機の信号サイクル情報（次の信号灯色及び切り替わりまでの時間）等を、交差点進入車両に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。
d-1. 異常車両の通知による走行支援	道路上に停止している異常車両の事象情報（故障車、事故車、等）と位置情報（存在区間、レーン）を、異常車両から管理サーバへ送信する。管理サーバは異常車両の情報を周辺車両に提供し、早めの車線変更、走行計画変更の支援を行う。
d-2. 逆走車の通知による走行支援	逆走車の位置や速度及び逆走車の存在情報を、逆走車から管理サーバへ送信する。管理サーバは逆走車の情報を周辺車両に提供し、あらかじめ車線変更等を促して衝突回避の支援を行う。
d-3. 渋滞の情報による走行支援	渋滞状況の情報を、渋滞中の車両から管理サーバへ送信する。管理サーバは渋滞状況の情報を周辺車両に提供し、走行支援を行う。
d-4. 分岐・出口渋滞支援	路肩渋滞の情報（位置や速度）を、渋滞中の車両から管理サーバへ送信する。管理サーバは渋滞状況の情報を周辺車両に提供し、分岐部進入の支援を行う。
d-5. ハザード情報による走行支援	障害物・工事・渋滞等の情報を、管理サーバから周辺車両に提供し、走行支援を行う。

表 2.1.1-2 広域通信を用いたユースケースの技術要件 (2/2)

ユースケース	技術要件
e-1. 緊急車両の情報による走行支援	緊急車両の移動方向や速度、走行予定経路（走行予定車線）の情報を、緊急車両から管理サーバへ送信する。管理サーバは緊急車両の情報を周辺車両に提供し、周辺車両の徐行や停車等を促して緊急車両の円滑な通過を支援する。
f-1. 救援要請（e-Call）	事故車等の異常車両から自動、もしくは車両搭乗者の手動で管理サーバ（救援サービス事業者等）に事象や位置情報等を設定した救援要請を送信し、救援を要請する。異常車両と救援サービス事業者間でメッセージ通信完了後、音声通話により更なる詳細な情報を収集し救援に活用する。
f-2. 交通流の最適化のための情報収集	自動運転車から管理サーバ（自動車メーカー、交通情報提供事業者等）に走行車両の位置や速度のデータを付加したメッセージを公衆通信網で送信し、交通量の分析や最適化を行うために収集する。
f-3. 地図更新・生成	車両で走行時、収集した検出対象情報と保持する地図情報に変化点が検出された場合、地図情報（変化点の情報）を、車両から管理サーバ（自動車メーカー、地図情報提供事業者等）へ送信する。
f-4. ダイナミックマップ情報配信	地物の変化等による静的地図の差分更新を対象とする。自動運転車が走行中、管理サーバ（情報配信センターサーバ等）へ地図情報を送信する。管理サーバは更新のある地図タイルデータを車両に送信し、走行対象ルート上の静的地図の差分更新を行う。
h-1. 移動サービスカーの操作・管理	自律型自動運転システムでは回避困難な交通環境の場合、移動サービスカーからの映像情報等を管理サーバ（運行管理者）へ送信する。管理サーバから遠隔操作指示を移動サービスカー間へ送信し、遠隔地からの車両操作・管理を行う。

(2) 通信要件

通信シナリオに基づく通信要件を表 2.1.1-3 に示す。

表 2.1.1-3 広域通信を用いたユースケースの通信要件 (1/4)

機能分類	b. 信号情報	d. 先読み情報：走行計画変更	
ユースケース	信号情報による走行支援 (V2N)	異常車両の通知による走行支援	逆走車の通知による走行支援
No.	b-1-2.	d-1.	d-2.
メッセージ名	—	—	—
通信形態	V2N	V2N	V2N
通信相手	非特定車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両
対象エリア (最小範囲)	サービスエリアはセルラーの提供範囲	事象発生時点から 1km まで (仮)	事象発生時点から 2km まで (仮)
エリア当たり送信台数	路側機設置モデル (https://www.soumu.go.jp/main_content/000455914.pdf 4.2 章) 参照	Uplink：異常車両台数 (通常 1 台) Downlink：285 (ユニキャスト想定)	Uplink：異常車両台数 (通常 1 台) Downlink：567 (ユニキャスト想定)
必要通信距離	乗用車：約 138.5m(仮) 大型車：約 206.3m(仮) (黄色 4 秒。60km/h) なお、700MHz 帯システムの要求値は 240m	事象発生時点から上流 255m から 1km まで (仮) サービス提供範囲として	事象発生時点から上流 510m から 2km まで (仮) サービス提供範囲として
最大相対速度	70km/h	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h
最大データサイズ ※1	700MHz 帯システムでの値程度	715byte (465+250)	715byte (465+250)
周期型 もしくは 非周期型	検討中	周期型	周期型
送信周期 ※2	検討中	最小 7.65 秒	最小 7.65 秒
1 パケット 当たり PAR ※3	検討中	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)
無線通信 区間許容 遅延	システム全体の遅延を通して 検討が必要	規定しない	規定しない

表 2.1.1-3 広域通信を用いたユースケースの通信要件 (2/4)

機能分類	d. 先読み情報：走行計画変更		
ユースケース	渋滞の情報による走行支援	分岐・出口渋滞支援	ハザード情報による走行支援
No.	d-3.	d-4.	d-5.
メッセージ名	—	—	—
通信形態	V2N	V2N	V2N
通信相手	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両
対象エリア（最小範囲）	事象発生時点から 1km まで（仮）	事象発生時点から 1km まで（仮）及び、上流の 1 つ前の分岐・出口から 1km 上流	事象発生時点から 1km まで（仮）
エリア当たり送信台数	Uplink：異常車両台数（通常 1 台） Downlink：285（ユニキャスト想定）	Uplink：異常車両台数（通常 1 台） Downlink：570（ユニキャスト想定）	Downlink：285（ユニキャスト想定）
必要通信距離	事象発生時点から上流 255m から 1km まで（仮） サービス提供範囲として	事象発生時点から上流 255m から 1km まで（仮） サービス提供範囲として	事象発生時点から上流 255m から 1km まで（仮） サービス提供範囲として
最大相対速度	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h
最大データサイズ※1	715byte (465+250)	715byte (465+250)	715byte (465+250)
周期型 もしくは 非周期型	周期型	周期型	周期型
送信周期※2	最小 7.65 秒	最小 7.65 秒	最小 7.65 秒
1 パケット 当たり PAR ※3	PAR≥99%（仮）	PAR≥99%（仮）	PAR≥99%（仮）
無線通信 区間許容 遅延	規定しない	規定しない	規定しない

表 2.1.1-3 広域通信を用いたユースケースの通信要件 (3/4)

機能分類	e. 先読み情報：緊急車両回避	f. インフラによる情報収集・配信	
ユースケース	緊急車両の情報による走行支援	救援要請(e-Call)	交通流の最適化のための情報収集
No.	e-1.	f-1.	f-2.
メッセージ名	—	—	—
通信形態	V2N	V2N	V2N
通信相手	緊急車両情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	非特定車両	非特定車両
対象エリア（最小範囲）	一般道：半径 700m の半円 高速道路：半径 1000m の半円	通信事業者における公衆網の通信エリア	通信事業者における公衆網の通信エリア
エリア当たり送信台数	Uplink：緊急車両台数（通常 1 台） Downlink：285（仮、ユニキャスト想定）	規定しない	規定しない
必要通信距離	一般道：半径 700m の半円 高速道路：半径 1000m の半円	—	—
最大相対速度	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h
最大データサイズ※1	1035byte（785+250）	Uplink：675byte(425+250) Downlink：規定しない ※通信中は上記以外に Uplink /Downlink 共に音声を常時通信	Uplink：279byte(29+250) Downlink：規定しない
周期型 もしくは 非周期型	周期型	非周期型	周期型
送信周期※2	最小 7.65 秒	—	最小 1 分
1 パケット 当たり PAR ※3	PAR≥99%(仮)	—	—
無線通信 区間許容 遅延	規定しない	規定しない	規定しない

表 2.1.1-3 広域通信を用いたユースケースの通信要件 (4/4)

機能分類	f. インフラによる情報収集・配信		h. 遠隔操作	
ユースケース	地図更新・自動生成	ダイナミックマップ情報配信	移動サービスカーの操作・管理 (ODD の条件外における遠隔操縦の指示)	移動サービスカーの操作・管理 (ODD の条件下における走行経路の指示)
No.	f-3.	f-4.	h-1a.	h-1b.
メッセージ名	—	—	—	—
通信形態	V2N	V2N	V2N	V2N
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両	非特定車両
対象エリア (最小範囲)	通信事業者における公衆網の通信エリア	通信事業者における公衆網の通信エリア	通信事業者における公衆網の通信エリア	通信事業者における公衆網の通信エリア
エリア当たり送信台数	規定しない	規定しない	規定しない	規定しない
必要通信距離	—	—	—	—
最大相対速度	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h	T. B. D.	T. B. D.
最大データサイズ※1	Uplink : 20.5Mbyte (画像データ (最大 5 枚) 含) Downlink : 規定しない	Uplink : 規定しない Downlink : 67 Mbps (最大ケース)	Uplink : 車両周辺映像情報、遠隔操作要求 Downlink : 遠隔操縦データ (遠隔操縦実施時)	Uplink : 車両周辺映像情報、経路指示要求 Downlink : 走行経路 (走行経路指示実施時)
周期型 もしくは 非周期型	非周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期※2	—	—	—	—
1 パケット当たり PAR ※3	—	—	T. B. D.	T. B. D.
無線通信 区間許容 遅延	規定しない	規定しない	T. B. D.	T. B. D.

※1 アプリケーションレイヤにおけるデータサイズを示す。

※2 アプリケーションレイヤにおける送信周期を示す。

※3 無線レイヤにおける PAR を示す。

表 2.1.1-2 で述べた技術要件と、表 2.1.1-3 で述べた通信要件から、広域通信を用いたユースケースを実現する上での通信に関わる留意事項を抽出したものを表 2.1.1-4 に示す。また、留意事項を各ユースケースに当てはめて整理したものを表 2.1.1-5 に示す。

表 2.1.1-4 広域通信を用いたユースケースを実現する上での留意事項

番号	項目	主な留意事項
1	通信量	見通し外の先読み情報等の場合に用いる場合、通信量は小 ただし、ダイナミックマップ情報収取・配信、遠隔操作では判断、操作に必要な品質の映像の通信が必要になるため通信量は大と想定
2	通信エリア	通信事業者の通信網のエリアを想定
3	通信遅延	先読み情報提供、情報収集配信では即応性は要求されないと想定 遠隔操作では要求される機能・性能に応じ即応性が必要
4	通信台数	1 基地局のエリア内の車両に対し、要求される通信頻度（定周期）、イベント発生時に応じた通信台数が必要 （ユニキャスト、ブロードキャストによる考慮要）
5	通信頻度	1 基地局のエリア内の車両に対し、要求される通信頻度（定周期）、イベント発生時に応じた通信頻度が必要 （ユニキャスト、ブロードキャストによる考慮要）

表 2.1.1-5 各ユースケースの通信要件における留意事項

機能分類	ユースケース名	個別事項	共通事項
b. 信号情報	b-1-2. 信号情報による走行支援（V2N）	• 特になし	• 通信遅延 各ユースケースとして通信遅延に対する要求事項に応じた対応方策の判断 • 通信品質 各ユースケースとして通信品質に対する要求事項に応じた対応方策の判断 • 送信方式 ブロードキャスト、マルチキャスト、ユニキャストの選定
d. 先読み情報：走行計画変更信号情報	d-1. 異常車両の通知による走行支援	• 送信方式に応じた情報送信車両判定のための車両～センター間車両位置情報通信頻度	
	d-2. 逆走車の通知による走行支援		
	d-2. 逆走車の通知による走行支援		
	d-3. 渋滞の情報による走行支援		
	d-4. 分岐・出口渋滞支援		
	d-5. ハザード情報による走行支援		
e. 先読み情報：緊急車両回避	e-1. 緊急車両の情報による走行支援		
f. インフラによる情報収集・配信	f-1. 救援要請(e-Call)	• 特になし	
	f-2. 交通流の最適化のための情報収集	• 特になし	
	f-3. 地図更新・生成	• 特になし	
	f-4. ダイナミックマップ情報配信	• 特になし	
h. 遠隔操作	h-1. 移動サービスカーの操作・管理	• 遠隔操作時の車両～センター間通信量（映像等） • 遠隔操作（操縦）時の車両～センター間通信遅延	

2.1.2 対象とするユースケースの対応可否の整理

広域通信の課題・対応策の検討に際し、検討対象とする広域通信を用いたユースケースの選定評価観点と、検討対象とするユースケースの選定結果について以下に示す。

(1) ユースケースの選定評価観点

2.1.1 項を踏まえ、広域通信を用いた協調型自動運転ユースケースでは、以下の評価観点が重要である。

- 通信量

遠隔操作（操縦）（h-1.）では車両から運行管理者に送る重要な情報として車両周辺の画像情報があり大容量通信が想定される。またダイナミックマップの配信（f-4.）にも大容量通信が必要となる。

- 通信遅延

遠隔操作（操縦）（h-1.）では車両から得られる情報を基に、運行管理者から車両へ安全な操作に必要な即時性が必要となる。また、必要な情報を提供すべき車両の位置情報等を認識しておく必要がある。

- 通信台数・通信頻度

車両から一定間隔で管理サーバへ位置情報と車両情報の送信が必要になるが、この間隔が長いと車両位置の誤差が大きくなり、短いと精度は高くなるがネットワークの負荷増が考えられる。ユースケースに求められる情報配信エリアにどの程度の車両が存在するかの検討が必要となる。

上記を踏まえ、「通信量」「通信遅延」「通信台数・通信頻度」の観点から、課題・対応策について机上評価を行った。机上評価の結果については、3.1 節を参照。

(2) ユースケースの選定

広域通信を用いた協調型自動運転ユースケースを実現するための通信要件として「通信量」「通信遅延」「通信台数・通信頻度」は表 2.1.1-3 に示した。また表 2.1.1-4 に示した留意事項に対し、「通信量」「通信遅延」「通信台数・通信頻度」について以下のとおり補足する。

- 通信量

遠隔操作（操縦）（h-1.）では車両から運行管理者に車両周辺の遠隔操作に必要な画像情報等の情報を送る必要がある。また、車両から基地局方向（Uplink）で大容量の通信が行われる必要がある。

またダイナミックマップの配信（f-4.）では基地局から車両（Downlink）に大容量の地図情報を連続的に配信することになる。

- 通信遅延

遠隔操作（操縦）（h-1.）では車両から得られる情報を基に、運行管理者から車両へ安全な操作に必要な即時性が必要となるが、広域網に存在する各装置での処理遅延、それぞれを繋ぐ通信路での通信遅延、それぞれが加算されることになる。既往性が求められる遠隔操作では低遅延を実現することが求められる。

- 通信台数・通信頻度

例えば先読み情報の場合、車両がアラート発生個所に到着するどの程度前にその情報が必要か（アラートが発生している現場に到着する何秒前に情報があれば安全に走行計画を変更できるか）等を検討し配信エリアを選定し、さらにそのエリアに何台車両が存在する可能性があるか等を検討し対象台数を導いた。またどの程度の車両位置の精度が必要かを検討し通信頻度を導いた。

これらより、広域通信を用いて遠隔操作を実現するためには **Uplink** で大容量の通信を操作に支障がない通信遅延で実現しなければならないという課題がある。なお、地図情報の配信は大容量になると想定されるが、現状では通信量が未定であり多少の通信遅延は許容されるため、検討は優先度を下げて行った。

また広域通信を行うにあたり、管理する車両の位置情報のユースケースを実現するために必要な精度が要求される。車両から位置情報を上げる間隔を短くすると精度が上がるが、これに加え車両の台数が増えると通信量が多くなり、通信網の負荷を上げることになり、通信輻輳の懸念も生じる。このようなことが生じないためにも通信エリア、対象台数を考慮した適切な通信頻度を設けることが課題である。

2.1.1 項及び本項の結果に基づき、課題・対応策の机上検討の対象とするユースケースを以下のとおり選定した。

1) h.遠隔操作

遠隔操作（操縦）時の車両～センター間の通信遅延がシステム性能に大きく影響するユースケース。

- h-1.移動サービスカーの操作・管理

2) d.先読み情報：走行計画変更信号情報

車両からの通知に基づく該当する車両への先読み情報提供として代表的なユースケース。

- d-1.異常車両の通知による走行支援

選定したユースケースに対する検討結果については、3.1 節に示す。

2.2 狭域通信での対応可否評価

狭域通信を用いた協調型自動運転ユースケースの対応可否を検討するにあたって、本節ではユースケースの理解として、狭域通信を活用するユースケースを実現するために必要な技術要件と、通信シナリオ及び通信要件について述べる。なお、狭域通信には車と車との通信（V2V）と車と路側機（V2I）との通信があり、双方とも整理・検討を行った。

2.2.1 ユースケースの理解

表 2-1～表 2-3 に示す 25 種類の協調型自動運転ユースケースのうち、「狭域通信を用いて実現する」と分類したものを以下に示す。

- 1) a.合流・車線変更支援
 - a-1-1.予備加減速合流支援
 - a-1-2.本線隙間狙い合流支援
 - a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援
 - a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援
 - a-2.混雑時の車線変更の支援
 - a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援
- 2) b.信号情報
 - b-1-1.信号情報による走行支援（V2I）
- 3) c.先読み情報：衝突回避
 - c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援
 - c-2-1.交差点の情報による走行支援（V2V）
 - c-2-2.交差点の情報による走行支援（V2I）
 - c-3.ハザード情報による衝突回避支援
- 4) d.先読み情報：走行計画変更信号情報
 - d-1.異常車両の通知による走行支援
 - d-2.逆走車の通知による走行支援
 - d-3.渋滞の情報による走行支援
 - d-4.分岐・出口渋滞支援
 - d-5.ハザード情報による走行支援
- 5) e.先読み情報：緊急車両回避
 - e-1.緊急車両の情報による走行支援
- 6) f.インフラによる情報収集・配信
 - f-2.交通流の最適化のための情報収集
- 7) g.隊列・追従走行
 - g-1.電子牽引による後続車無人隊列走行
 - g-2.追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行

これらのユースケースに関して、検討 TF が記した留意事項（通信要件等）を表 2.2.1-1 に記す。

表 2.2.1-1 狭域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（1／6）

機能分類		a. 合流・車線変更支援		
ユースケース		a-1-1. 予備加減速合流支援	a-1-2. 本線隙間狙い合流支援	a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援
通信		V2I	V2I	V2I
接続形態		1 対多	1 対多	1 対多
制御用途		予備加減速	速度調整	速度調整、車間調整
即応性		要	要	要
データ区分/情報内容	メッセージ	合流部到達予測時刻（本線車）	合流部到達予測時刻（本線車）	合流部到達時刻（本線車）、車間調整要求
	センサデータ	速度（本線車スポット計測）、車長	速度、位置（本線車スポット計測）、車長	速度、位置
	リッチコンテンツ	—	—	—
データ量		小	小	小

表 2.2.1-1 狭域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（2／6）

機能分類		a. 合流・車線変更支援		
ユースケース		a-1-4. 車同士のネゴシエーションによる合流支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援
通信		V2V	V2V	V2V
接続形態		1 対多→1 対 1	1 対多→1 対 1	1 対多→1 対 1
制御用途		速度調整、車間調整	車間調整、車線変更	右左折、車間調整
即応性		要	要	要
データ区分/情報内容	メッセージ	車間調整要求、受入許可	車間調整要求、受入許可	進入要求、受入許可
	センサデータ	速度、位置	速度、位置	速度、位置
	リッチコンテンツ	—	—	—
データ量		小	小	小

表 2.2.1-1 狭域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（3／6）

機能分類		b. 信号情報	c. 先読み情報：衝突回避	
ユースケース		b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I）	c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	c-2-1. 交差点の情報による走行支援（V2V）
通信		V2I	V2V	V2V
接続形態		1 対多	1 対多	1 対多
制御用途		速度調整、停止	速度調整、停止	発信可否判断、速度調整、停止
即応性		要	要	要
データ区分/情報内容	メッセージ	現在信号灯色、信号サイクル情報	急ブレーキ情報	—
	センサデータ	—	位置、速度	位置、速度
	リッチコンテンツ	—	—	—
データ量		小	小	小

表 2.2.1-1 狭域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（4／6）

機能分類		c. 先読み情報：衝突回避	d. 先読み情報：走行計画変更	
ユースケース		c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I）	c-3. ハザード情報による衝突回避支援	d-1. ～d-5.
通信		V2I	V2V	表 2.1.1-1 参照
接続形態		1 対多	1 対多	
制御用途		発信可否判断、速度調整、停止	走行計画変更、車線変更、自動運転制御支援レベル変更	
即応性		要	要	
データ区分/情報内容	メッセージ	—	障害物情報、緊急制御、操舵	
	センサデータ	位置、速度	位置	
	リッチコンテンツ	—	—	
データ量		小	小	

表 2.2.1-1 狭域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（5／6）

機能分類		e. 先読み情報：緊急車両回避	f. インフラによる情報収集・配信
ユースケース		e-1. 緊急車両の情報による走行支援	f-2. 交通流の最適化のための情報収集
通信		表 2.1.1-1 参照	表 2.1.1-1 参照
接続形態			
制御用途			
即応性			
データ区分/情報内容	メッセージ		
	センサデータ		
	リッチコンテンツ		
データ量			

表 2.2.1-1 狭域通信を用いたユースケースの留意事項（通信要件等）（6／6）

機能分類		g. 隊列・追従走行	
ユースケース		g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行
通信		V2V	V2V
接続形態		1 対多	1 対 1、または 1 対多
制御用途		車間調整、隊列維持	車間維持
即応性		要	要
データ区分/情報内容	メッセージ	アクセル、ブレーキ、操舵操作、後続車車両情報	アクセル、ブレーキ操作
	センサデータ	位置、速度、車間距離、加減速度	位置、速度、車間距離、加減速度
	リッチコンテンツ	電子ミラーによる 2 号車から先頭車への映像伝送	—
データ量		大	小

また、各ユースケースの実現イメージを記す。

- 1) a.合流・車線変更支援
 - a-1-1.予備加減速合流支援

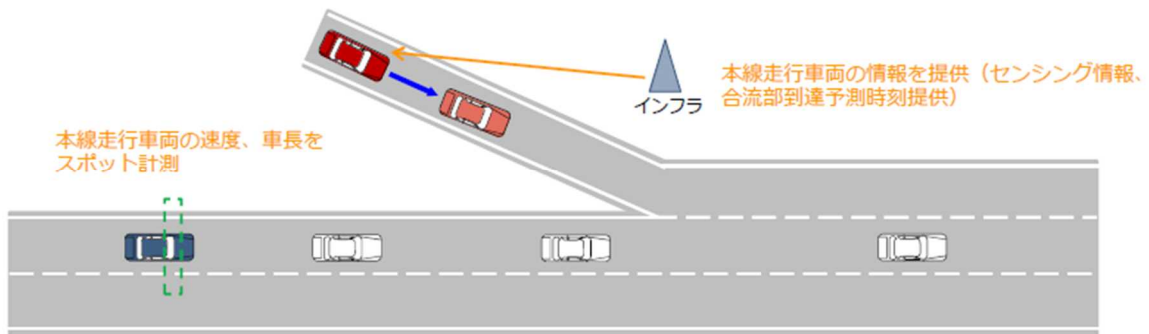


図 2.2.1-1 a-1-1.予備加減速合流支援

- a-1-2.本線隙間狙い合流支援

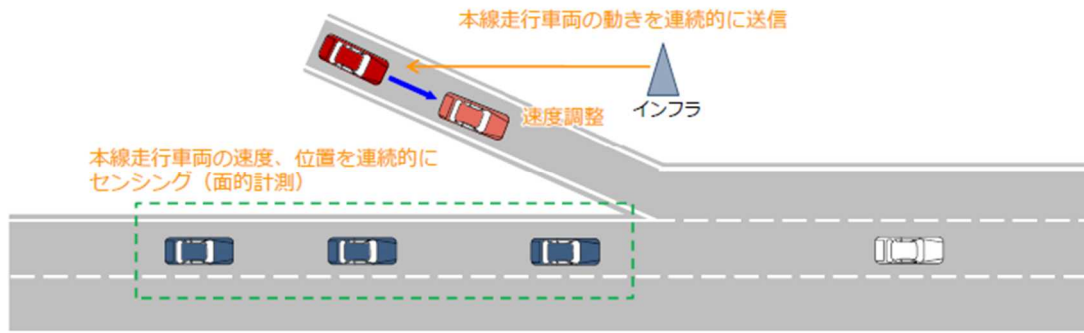


図 2.2.1-2 a-1-2.本線隙間狙い合流支援

- a-1-3.路側管制による本線車両協都合流支援

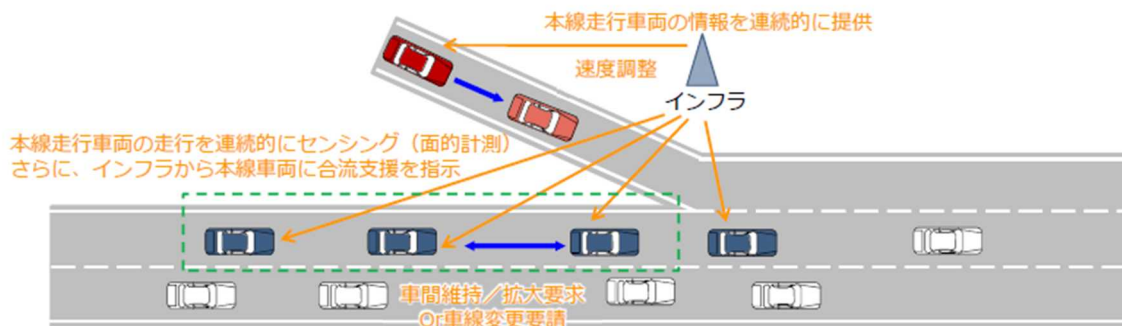


図 2.2.1-3 a-1-3.路側管制による本線車両協都合流支援

- a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援

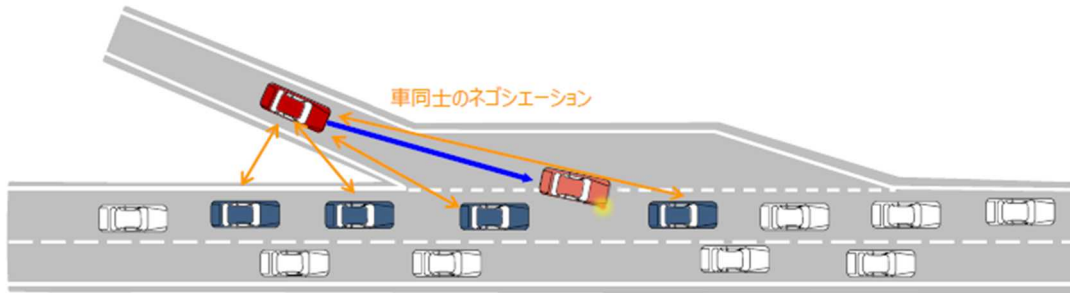


図 2.2.1-4 a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援

- a-2.混雑時の車線変更の支援

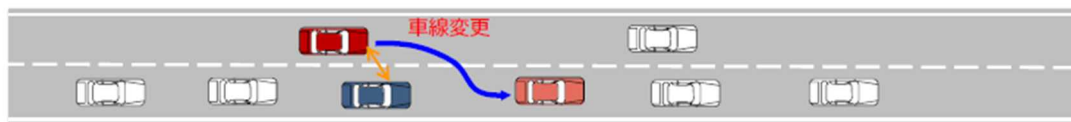


図 2.2.1-5 a-2.混雑時の車線変更の支援

- a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援



図 2.2.1-6 a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援

2) b.信号情報

- b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)



図 2.2.1-7 b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)

- 3) c.先読み情報：衝突回避
- c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援

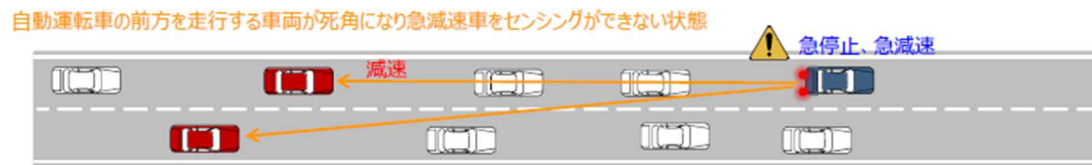


図 2.2.1-8 c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援

- c-2-1.交差点の情報による走行支援 (V2V)

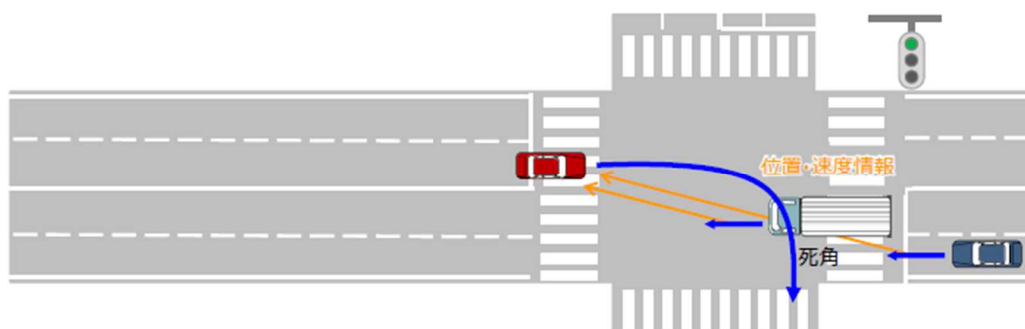


図 2.2.1-9 c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V)

- c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)

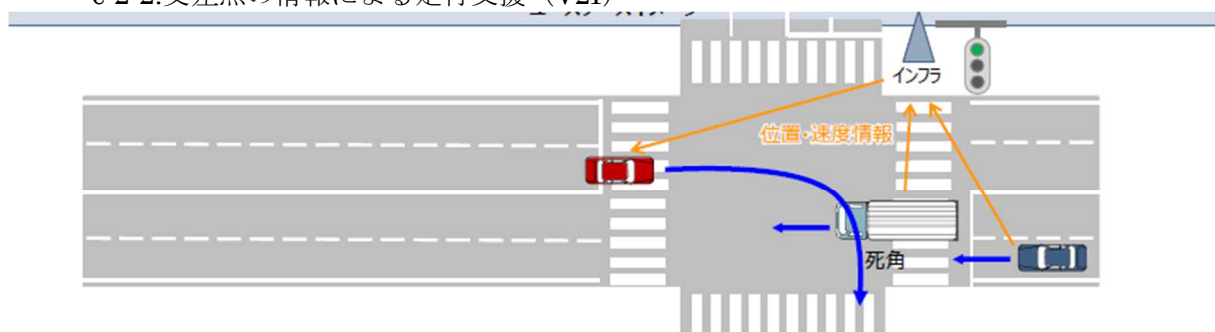


図 2.2.1-10 c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I)

- c-3.ハザード情報による衝突回避支援

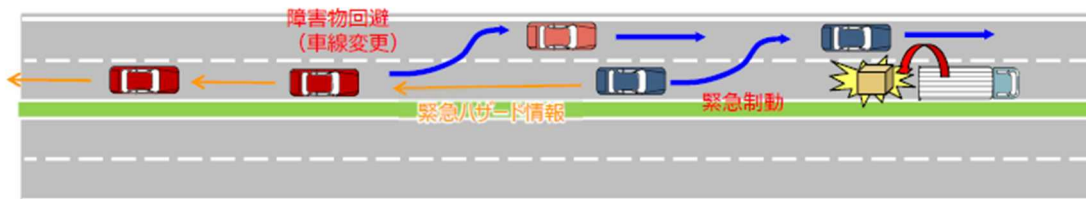


図 2.2.1-11 c-3.ハザード情報による衝突回避支援

- 4) d.先読み情報：走行計画変更信号情報
 - d-1.異常車両の通知による走行支援
 - d-2.逆走車の通知による走行支援
 - d-3.渋滞の情報による走行支援
 - d-4.分岐・出口渋滞支援
 - d-5.ハザード情報による走行支援
 2.1.1 項参照
- 5) e.先読み情報：緊急車両回避
 - e-1.緊急車両の情報による走行支援
 2.1.1 項参照
- 6) f.インフラによる情報収集・配信
 - f-2.交通流の最適化のための情報収集
 2.1.1 項参照
- 7) g.隊列・追従走行
 - g-1.電子牽引による後続車無人隊列走行

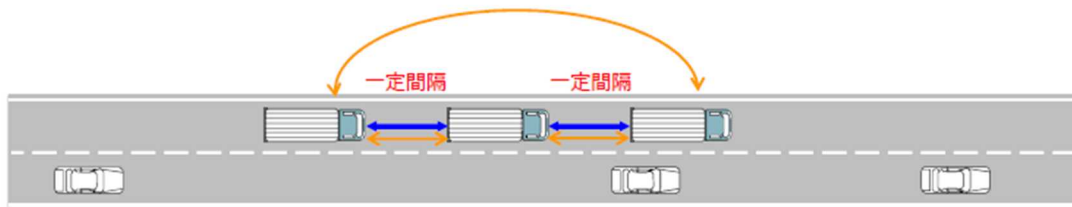


図 2.2.1-12 g-1.電子牽引による後続車無人隊列走行

- g-2.追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行

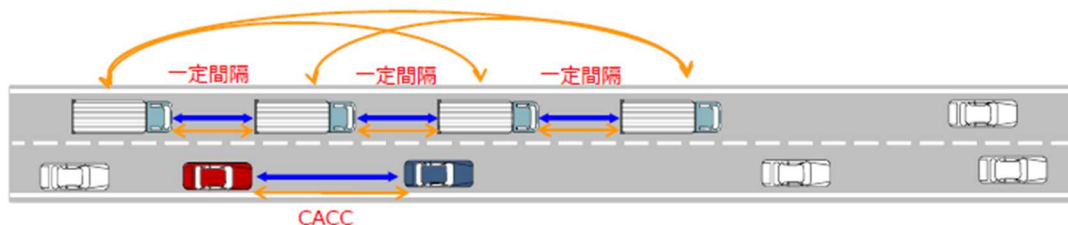


図 2.2.1-13 g-2.追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行

(1) 技術要件

検討 TF の策定した協調型自動運転ユースケースにおいて、狭域通信のユースケースを実現するために必要な技術要件を表 2.2.1-2 に記す。

表 2.2.1-2 狭域通信を用いたユースケースの技術要件 (1/4)

ユースケース	技術要件
a-1-1. 予備加減速合流支援	本線走行車両の速度や合流部到達予測時刻等の情報を計測し路側インフラから合流車両に提供し、予備加減速の支援を行う。
a-1-2. 本線隙間狙い合流支援	本線走行車両の位置や速度等を連続的に計測した情報を、路側インフラから合流車両に連続的に提供し、本線走行車の隙間を狙った合流の支援を行う。
a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援	本線走行車両の位置や速度等、面的に計測した情報を、インフラから合流車両に提供すると共に、路側インフラより本線及び連絡路を走行する協調走行車に対して管制要求を行う。
a-1-4. 車同士のネゴシエーションによる合流支援	混雑した本線への合流の際、合流を要求する車両から受入/応答車へ調停要求をして、受入/応答車は調停応答を返す。応答された情報や自車情報から、必要に応じて更新要求と更新応答のネゴシエーションを行い合流支援を行う。
a-2. 混雑時の車線変更の支援	混雑した車線への車線変更の際、車線変更を要求する車両から受入/応答車へ調停要求をして、受入/応答車は調停応答を返す。応答された情報や自車情報から、必要に応じて更新要求と更新応答のネゴシエーションを行い車線変更の支援を行う。
a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	信号のない交差点において、進入を要求する車両から受入/応答車へ調停要求をして、受入/応答車は調停応答を返す。応答された情報や自車情報から、必要に応じて更新要求と更新応答のネゴシエーションを行い、非優先道路から優先道路上へ進入するための走行支援を行う。

表 2.2.1-2 狭域通信を用いたユースケースの技術要件 (2/4)

ユースケース	技術要件
b-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I)	交差点の信号機の現在の信号灯火色及び信号サイクル情報（次の信号灯火色及び切り替わりまでの時間）等を、路側インフラから交差点進入車両に周期的に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。
c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	急ブレーキ情報及び位置や速度の情報を、急減速した車両から後続車両に提供し、あらかじめ停止や減速を促すことで玉突き事故を防止する。
c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V)	交差点に接近する車両の位置や速度の情報を、接近車両から交差点に接近または交差点を通過する車両に提供し、死角の多い交差点の通過や右折の支援を行う。
c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I)	路側センサまたは車両から入手した交差点に接近する車両の位置や速度の情報を、路側インフラから交差点に接近または通過する車両に提供し、死角の多い交差点の通過や右折の支援を行う。
c-3. ハザード情報による衝突回避支援	前方を走行している車両による急減速や緊急車線変更の際、緊急ハザード情報を後続車両へ提供し円滑な回避制御を支援する。

表 2.2.1-2 狭域通信を用いたユースケースの技術要件 (3/4)

ユースケース	技術要件
d-1. 異常車両の通知による走行支援	道路上に停止している異常車両の事象情報（故障車、事故車、等）と位置情報（存在区間、レーン）を、異常車両から路側インフラ経由で管理サーバへ送信する。管理サーバは異常車両の情報を路側インフラ経由で周辺車両に提供し、早めの車線変更、走行計画変更の支援を行う。
d-2. 逆走車の通知による走行支援	逆走車の位置や速度及び逆走車の存在情報を、逆走車から路側インフラ経由で管理サーバへ送信する。管理サーバは逆走車の情報を路側インフラ経由で周辺車両に提供し、あらかじめ車線変更等を促して衝突回避の支援を行う。
d-3. 渋滞の情報による走行支援	渋滞状況の情報を、渋滞中の車両から路側インフラ経由で管理サーバへ送信する。管理サーバは渋滞状況の情報を路側インフラ経由で周辺車両に提供し、走行支援を行う。
d-4. 分岐・出口渋滞支援	路肩渋滞の情報（位置や速度）を、渋滞中の車両から路側インフラ経由で管理サーバへ送信する。管理サーバは渋滞状況の情報を路側インフラ経由で周辺車両に提供し、分岐部進入の支援を行う。
d-5. ハザード情報による走行支援	障害物・工事・渋滞等の情報を、管理サーバから路側インフラ経由で周辺車両に提供し、走行支援を行う。

表 2.2.1-2 狭域通信を用いたユースケースの技術要件 (4/4)

ユースケース	技術要件
e-1. 緊急車両の情報による走行支援	緊急車両の移動方向や速度、走行予定経路（走行予定車線）の情報を、緊急車両から周辺車両へ周期的に提供し、周辺車両の徐行や停車等を促して緊急車両の円滑な通過を支援する。
f-2. 交通流の最適化のための情報収集	走行車両の位置や速度の情報を、路側インフラ経由で、交通量の分析や最適化を行うために収集する。
g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	隊列車両の操作情報等を、隊列を形成するトラック間で周期的に情報を提供し、隊列走行の支援を行う。
g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行	位置や速度や前方車両の運転操作情報等を、前後の車両へ周期的に提供し、追従走行の支援を行う。

(2) 通信要件

通信シナリオに基づく通信要件を表 2.2.1-3 に示す。

表 2.2.1-3 狭域通信を用いたユースケースの通信要件 (1/7)

機能分類	a. 合流・車線変更支援					
ユースケース	予備加減速合流支援	本線隙間狙い合流支援	路側管制による本線車両協調合流支援			
No.	a-1-1	a-1-2	a-1-3			
メッセージ名	位置情報	位置情報	位置情報	管制要求	調停要求更新要求	調停応答更新応答
通信形態	V2I (I → V)	V2I (I → V)	V2I (I → V)	V2I (V → I)	V2I (I → V)	V2I (V → I)
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両	路側インフラ	特定車両	特定車両
対象エリア (最小範囲)	合流起点6秒前から合流起点6秒前と合流起点の中央まで	合流起点6秒前から合流起点まで	合流起点 6 秒前から合流起点まで	管制要求範囲内	管制要求範囲内	管制要求範囲内
エリア当たり送信台数	1 台	1 台	1 台	1 台	1 台 (×管制数)	48 台 ※ ⁵ (管制数、混雑時)
必要通信距離 ※ ¹	33.9～59.3m (国総研仕様書：95m)	67.8～118.6m	連絡路：67.8～118.6m 本線：112.5～270m	67.8～118.6m	連絡路： 67.8～118.6m 本線：112.5～270.0m	連絡路： 67.8～118.6m 本線：112.5～270.0m
最大相対速度	連絡路：20～70km/h	連絡路：20～70km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h
最大データサイズ	1510 byte (1260+250) 想定台数：46 台	2752 byte (2502+250) 想定台数：92 台 ※ ²	5236 byte (4986+250) 想定台数：184 台 ※ ³	287 byte (37+250)	369 byte (119+250) ※ ⁴	287 byte (37+250)
周期型もしくは非周期型	周期型	周期型	周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	100ms	100ms	100ms	不定		
1 パケット当たり PAR	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)
無線通信区間許容遅延	規定しない	規定しない	規定しない	無線通信区間許容遅延として100msを想定	無線通信区間許容遅延として100msを想定	無線通信区間許容遅延として100msを想定

※1 路側インフラを合流起点に設置し、高低差を無視した値となる。合流起点からある程度離れた場所へ路側インフラのアンテナが設置される

ことも予想されるが考慮していない。実際には、路側インフラアンテナ設置場所及び高低差も含めた必要通信距離の計算を要する。

- ※2 本線：2車線の情報提供を行った場合となる。本線：3車線（想定台数：138台）では $3744+250=3994$ byte。
本線：6車線（想定台数：276台）では $7470+250=7720$ byte となる。
- ※3 本線：3車線、連絡路：1車線の情報提供を行った場合となる。連絡路：2車線と本線：6車線（想定台数：368台）では $9954+250=10204$ byte となる。
- ※4 管制応答メッセージでは、行動開始予定時間の情報要素：2 byte を追加した $121+250=371$ byte となる。
- ※5 本線：3車線、連絡路：1車線で車両密度を 12 台/車線で試算した場合となる。本線：6車線、連絡路：2車線では、送信台数が 96 台となる。

表 2.2.1-3 狭域通信を用いたユースケースの通信要件 (2/7)

機能分類	a. 合流・車線変更支援					
ユースケース	車同士のネゴシエーションによる合流支援		混雑時の車線変更の支援		渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	
No.	a-1-4		a-2		a-3	
メッセージ名	調停要求 更新要求	調停応答 更新応答	調停要求 更新要求	調停応答 更新応答	調停要求 更新要求	調停応答 更新応答
通信形態	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V
通信相手	非特定車両(調停要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)	非特定車両(調停要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)	非特定車両(調停要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)
対象エリア (最小範囲)	調停要求範囲内	調停要求範囲内	車線変更要求範囲内	車線変更要求範囲内	交差点要求範囲内	交差点要求範囲内
エリア当たり送信台数	一時停止時:1台 ※6 合流開始時:1台 ※6	一時停止時:27台 ※6 合流開始時:36台 ※6	73台	48台	2台	68台
必要通信距離	255m	255m	調停要求:255m 更新要求:38.9m	調停応答:255m 更新応答:38.9m	111.1m	111.1m
最大相対速度	20～70 km/h	20～70 km/h	調停要求:0～120km/h 更新要求:0～20km/h	調停応答:0～120km/h 更新応答:0～20km/h	0～60km/h	0～60km/h
最大データサイズ	291 byte (41+250)	287 byte (37+250)	291 byte (41+250)	287 byte (37+250)	291 byte (41+250) ※7	287 byte (37+250)
周期型もしくは非周期型	非周期型	非周期型	非周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	不定		不定		不定	
1 パケット当たり PAR	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)
無線通信区間許容遅延	無線通信区間許容遅延 として 100ms を想定	無線通信区間許容遅延 として 100ms を想定	無線通信区間許容遅延 として 100ms を想定	無線通信区間許容遅延 として 100ms を想定	無線通信区間許容遅延 として 100ms を想定	無線通信区間許容遅延 として 100ms を想定

※6 一時停止のシナリオは合流車線長:190m@70km/h、合流開始時のシナリオは合流車線長:255m@100km/hを想定した台数となる。

※7 交差点情報がダイナミックマップより得られない場合、10 byteを追加する必要がある。

表 2.2.1-3 狭域通信を用いたユースケースの通信要件 (3/7)

機能分類	b. 信号情報	c. 先読み情報：衝突回避	
ユースケース	信号情報による走行支援 (V2I)	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	交差点の情報による走行支援
No.	b-1-1.	c-1.	c-2-1.
メッセージ名	—	c-3. にマージ	—
通信形態	V2I	c-3. にマージ	V2V
通信相手	非特定車両	c-3. にマージ	非特定車両
対 象 エ リ ア (最小範囲)	乗用車：約 138.5m(仮) 大型車：約 206.3m(仮) (黄色 4 秒。60km/h)	c-3. にマージ	(右折車両が配信情報を必要とする通信エリア) - 上流側：右折車両のウインカ ON 位置 (停止線から 30m 上流地点) より上流 - 下流側：右折先終点地点 (右折車両が情報を必要とする対向車両の範囲) ※対象車線は全直進車線 - 上流側：交差点中心または右折待ちポイントを基点とし、交差点内の右折待ちポイントで右折待ちしている状況において、交差点内の右折待ちポイントから安全な加速度で右折を開始し、対向車線を横断し終えることができる位置の対向車。なお、右折待ちポイントが交差点中心を超える場合は、右折待ちポイントを基点とし、その際、右折待ちポイントが複数ある場合は、より対向車線に近いポイントとすること)。 - 下流側：右折車から対向直進車両を見たときの見通し外 (死角) となる位置。当該位置が対向直進車両が走行する車線の停止線より上流側にくる場合には、停止線位置とする
エリア当たり 送信台数	路側機設置モデル (https://www.soumu.go.jp/main_content/000455914.pdf 4.2 章) 参照	c-3. にマージ	(片側車線数：6、対向車両速度：70km/h) 348 台 (片側車線数：3、対向車両速度：70km/h) 125 台
必要通信距離	乗用車：約 138.5m(仮) 大型車：約 206.3m(仮) (黄色 4 秒。60km/h) なお、700MHz 帯システムの要求値は 240m	c-3. にマージ	(片側車線数：6、対向車両速度：70km/h) 190m (片側車線数：3、対向車両速度：70km/h) 135m

最大相対速度	70km/h	c-3. にマージ	～70km/h
最大データサイズ	1Kbyte/交差点程度	c-3. にマージ	282 byte
周期型もしくは非周期型	周期型	c-3. にマージ	周期型
送信周期	100ms	c-3. にマージ	100ms
1パケット当たり PAR	5m 評価区間で 99%以上※8 (700MHz 帯システムと同様)	c-3. にマージ	PAR≥99%
無線通信区間許容遅延	遅延は規定せず。ゆらぎは、±300ms 以内 (https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/205.pdf) 参照	c-3. にマージ	無線通信区間許容遅延として 100[ms]を想定する

※8 70km/h は秒速約 20m。5m 評価区間の走行には 250ms 要する。250ms 内に 100ms 周期の送信は 2 回発生。
累積パケット到達率 99%は、 $1 - (0.1 * 0.1) = 0.99$ から 1 パケット当たり 90%以上のパケット到達を満たせばよい。そのため、無線通信区間許容遅延 100ms で 90%のパケット到達率。

表 2.2.1-3 狭域通信を用いたユースケースの通信要件 (4/7)

機能分類	c. 先読み情報：衝突回避		
ユースケース	交差点の情報による走行支援		ハザード情報による衝突回避支援/前方での急停止、急減速時の衝突回避支援
No.	c-2-2.		c-3.
メッセージ名	検討対象としない	—	—
通信形態	V2I (V⇒I)	V2I (I ⇒ V)	V2V
通信相手	検討対象としない	非特定車両	非特定車両
対象エリア (最小範囲)	検討対象としない	(右折車両が配信情報を必要とする通信エリア) c-2-1. と同じ	- 車車間直接通信：事象発生地点から上流 250m - リレーの場合：事象発生地点から上流 1km
エリア当たり送信台数	検討対象としない	N/A	(車両速度:120km/h, 車間距離: 2s) 79 台 (車両速度:60km/h, 車間距離: 1s) 277 台 (緊急行動実施地点から 1km 区間における 6 車線の総台数)
必要通信距離	検討対象としない	路側インフラのアンテナ位置に依存する。路側インフラのアンテナを交差点脇に設置、アンテナ高を 6m とすると以下： (片側車線数：6) 75. 2m (片側車線数：3) 52. 4m	- 車車間直接通信：事象発生地点から上流 250m - リレーの場合：事象発生地点から上流 1km
最大相対速度	検討対象としない	～70km/h	～120km/h
最大データサイズ	検討対象としない	(片 側 車 線 数 : 6) 15341400 byte (片側車線数：3) 1150896 byte ^{※9}	312 byte
周期型もしくは非周期型	検討対象としない	周期型	周期型
送信周期	検討対象としない	100ms	100ms
1 パケット当たり PAR	検討対象としない	PAR≥99%	車車間の直接通信における PAR≥99%

無線通信区間許容 遅延	検討対象としない	無線通信区間許容遅延として 100[ms]を想定する	• 緊急回避行動発生場所から上流 255m まで：100[ms]以内 • 上記より上流地点：上流 1km までは距離に応じて 30s まで緩和
----------------	----------	----------------------------	--

※9 信号情報、交差点識別情報、車両検知情報をまとめて一つのメッセージで送信する場合のメッセージサイズ。
各情報を個別のメッセージで送信する場合には、セキュリティオーバーヘッドは各情報に対して加味される。

表 2.2.1-3 狭域通信を用いたユースケースの通信要件 (5/7)

機能分類	d. 先読み情報：走行計画変更				
ユースケース	異常車両の通知による走行支援	逆走車の通知による走行支援	渋滞の情報による走行支援	分岐・出口渋滞支援	ハザード情報による走行支援
No.	d-1	d-2	d-3	d-4	d-5
メッセージ名	—	—	—	—	—
通信形態	V2I	V2I	V2I	V2I	V2I
通信相手	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両
対象エリア（最小範囲）	最小 66. 6m～	最小 66. 6m～	最小 66. 6m～	最小 66. 6m～	最小 66. 6m～
エリア当たり送信台数	Uplink：異常車両台数（通常 1 台） Downlink:ブロードキャスト	Uplink：異常車両台数（通常 1 台） Downlink:ブロードキャスト	Uplink：異常車両台数（通常 1 台） Downlink:ブロードキャスト	Uplink：異常車両台数（通常 1 台） Downlink:ブロードキャスト	Downlink:ブロードキャスト
必要通信距離	最小 66. 6m～	最小 66. 6m～	最小 66. 6m～	最小 66. 6m～	最小 66. 6m～
最大相対速度	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h
最大データサイズ	715byte (465+250)	715byte (465+250)	715byte (465+250)	715byte (465+250)	715byte (465+250)
周期型もしくは非周期型	周期型	周期型	周期型	周期型	周期型
送信周期	最小 1 秒	最小 1 秒	最小 1 秒	最小 1 秒	最小 1 秒
1 パケット当たり PAR	PAR $\geq$ 99%（仮）	PAR $\geq$ 99%（仮）	PAR $\geq$ 99%（仮）	PAR $\geq$ 99%（仮）	PAR $\geq$ 99%（仮）
無線通信区間許容遅延	規定しない	規定しない	規定しない	規定しない	規定しない

表 2.2.1-3 狭域通信を用いたユースケースの通信要件 (6/7)

機能分類	e. 先読み情報：緊急車両回避	f. インフラによる情報収集・配信
ユースケース	緊急車両の情報による走行支援	交通流の最適化のための情報収集)
No.	e-1	f-2
メッセージ名	—	—
通信形態	V2V	V2I
通信相手	緊急車両情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	非特定車両
対象エリア（最小範囲）	150m の半円	半径 171.8m の円※10
エリア当たり送信台数	Downlink：ブロードキャスト	389 台（最大ケース）※10
必要通信距離	最小 150m	最小 33.3m ※時速 120km で走行時の 1 秒間での移動距離
最大相対速度	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h
最大データサイズ	302byte (52+250)	Uplink：279byte (29+250) Downlink：規定しない
周期型もしくは非周期型	周期型	周期型
送信周期	100ms	最小 1 秒
1 パケット当たり PAR	PAR≥99%（仮）	PAR≥99%（仮）
無線通信区間許容遅延	V2V：100ms 以下	規定しない

※10 通信エリア:171.8m (360°)、片方向最大 3 車線、2 差路交差点、車両速度 20km/h、車両間隔 1s、平均車長 5m を想定。

エリア当たり送信台数： $171.8 \times 3 \times 2 \times 4 \div (5.6 \times 1 + 5) = 389$ 台)

表 2.2.1-3 狭域通信を用いたユースケースの通信要件 (7/7)

機能分類	g. 隊列・追従走行		
ユースケース	電子牽引による後続車無人隊列走行 (非リッチコンテンツ)	電子牽引による後続車無人隊列走行 (リッチコンテンツ)	追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊 列走行
No.	g-1.	g-1.	g-2.
メッセージ名	—	—	—
通信形態	V2V	V2V	V2V
通信相手	特定車両 (1 対 N を用いて 1 対 1 を実現)	特定車両 (1 対 N を用いて 1 対 1 を実現)	非特定車両
対象エリア (最小 範囲)	相対距離 60m 程度	相対距離 60m 程度	141m
エリア当たり送信 台数	3 台	3 台	4 台での計算
必要通信距離	相対距離 60m 程度	相対距離 60m 程度	141m
最大相対速度	大型 80km/h	大型 80km/h	乗用車 100km/h 大型 80km/h
最大データサイズ	700MHz 帯システムと同様まで	※11	700MHz 帯システムと同様まで
周期型もしくは非 周期型	周期型	※11	周期型
送信周期	100ms、緊急時 20ms	※11	100ms
1 パケット当たり PAR	通常時 100ms 当たり 98%、緊急時 100ms 当たり 99.99%	※11	10m 走行でのパケット累積率 95% (700MHz 帯シス テムと同様)
無線通信区間許容 遅延	100ms (車間距離 10m 速度 80km/h)	※11	100ms 以下

※11 フルハイビジョンのリアルタイム通信を必要とし、カメラ～ディスプレイ区間での遅延や通信品質としては、国連欧州委員会 Regulation 46 電子ミラー規定が参考になり得るが、どの画像符号化方式を用いるかに応じて、画像の符号化・復号化の遅延が異なり、その結果、無線区間に要求される伝送帯域幅と通信遅延が異なる。カメラやディスプレイでの遅延も実装を考慮して無線区間の通信遅延を規定する必要がある。これらから、具体的な内容やサイズについては、本資料では規定できていない。

表 2.2.1-2 で述べた技術要件と、表 2.2.1-3 で述べた通信要件から、狭域通信を用いたユースケースを実現する上での通信に関わる留意事項を抽出したものを表 2.2.1-4 に示す。また、留意事項を各ユースケースに当てはめて整理したものを表 2.2.1-5 に示す。

表 2.2.1-4 狭域通信を用いたユースケースを実現する上での留意事項

番号	項目	主な留意事項
1	通信量	以下のユースケースを除き、通信量は小と想定 g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行 における画像転送
2	通信エリア	各ユースケースを実現するために要求される通信エリア
3	通信遅延	特に衝突回避（ユースケース c-x.）等は即時性が要求される
4	通信台数	想定されるユースケースの通信エリア内の車両に対し、要求される通信頻度（定周期）、イベント発生時に応じた通信台数が必要 （通信エリア内における閑散時、定常時、混雑時等、交通量による違いの考慮要）
5	通信頻度	通信エリア内の車両に対し、要求される通信頻度（定周期）、イベント発生時に応じた通信頻度が必要

表 2.2.1-5 各ユースケースの通信要件における留意事項

機能分類	ユースケース名	個別事項	共通事項
a. 合流・車線変更支援	a-1-1. 予備加減速合流支援	特になし	通信遅延 各ユースケースとして通信遅延に対する要求事項に応じた対応方策の判断
	a-1-2. 本線隙間狙い合流支援	特になし	
	a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援	- 複数車両、双方向での通信による通信負荷 - 合流部周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
	a-1-4. 車同士のネゴシエーションによる合流支援	- 複数車両、双方向での通信による通信負荷 - 合流部周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
	a-2. 混雑時の車線変更の支援	- 複数車両、双方向での通信による通信負荷 - 合流部周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
	a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	- 複数車両、双方向での通信による通信負荷 - 合流部周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	

機能分類	ユースケース名	個別事項	共通事項
b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I)	・ 交差点周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	通信品質 各ユースケースとして通信品質に対する要求事項に応じた対応方策の判断
c. 先読み情報：衝突回避	c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	・ 交差点周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
	c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V)	・ 交差点周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
	c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I)	・ 交差点周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
	c-3. ハザード情報による衝突回避支援	・ 交差点周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
d. 先読み情報：走行計画変更信号情報	d-1. 異常車両の通知による走行支援	・ 特になし	
	d-2. 逆走車の通知による走行支援	・ 特になし	
	d-2. 逆走車の通知による走行支援	・ 特になし	
	d-3. 渋滞の情報による走行支援	・ 特になし	
	d-4. 分岐・出口渋滞支援	・ 特になし	
	d-5. ハザード情報による走行支援	・ 特になし	
e. 先読み情報：緊急車両回避	e-1. 緊急車両の情報による走行支援	・ 交差点周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
f. インフラによる情報収集・配信	f-2. 交通流の最適化のための情報収集	・ 交差点周辺におけるユースケースの同時実施による通信負荷	
g. 隊列・追従走行	g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	・ 特になし	
	g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行	・ 特になし	

2.2.2 対象とするユースケースの対応可否の整理

狭域通信の課題・対応策の検討に際し、検討対象とする狭域通信を用いたユースケースの選定評価観点と、検討対象とするユースケースの選定結果について以下に示す。

(1) ユースケースの選定評価観点

2.2.1 項を踏まえ、狭域通信を用いた協調型自動運転ユースケースでは、以下の評価観点が重要である。

- 通信量
b-1-1.信号情報による走行支援（V2I）、c.先読み情報：衝突回避、e.先読み情報：緊急車両回避では、交差点周辺においてユースケースの同時発生が予想されるため、大容量の通信帯域の確保が必要となる。
- 通信遅延
a.合流・車線変更支援、b-1-1.信号情報による走行支援（V2I）、c.先読み情報：衝突回避、g.隊列・追従走行では、周辺車両からの情報収集を基に即時の運転操作を行うため、低遅延であることが求められる。
- 通信台数・通信頻度
a.合流・車線変更支援において運転支援を行うにあたり、複数車両及び双方の通信が行われるため、あらかじめ通信台数・通信頻度について検討しておく必要がある。

上記を踏まえ、「通信量」「通信遅延」「通信台数・通信頻度」の観点から、検討対象とするユースケースを選定し、狭域通信の通信性能をシミュレーションで検証評価を行った。また、実証評価を行い、実環境での通信性能を確認した。評価結果については、3.3 節及び 3.4 節を参照。

(2) ユースケースの選定

「通信量」「通信遅延」「通信台数・通信頻度」に大きな影響を及ぼす、複数の通信端末間で頻繁な双方向通信が生じ、通信の輻輳が想定される主なユースケースを表 2.2.2-1 に示す。

表 2.2.2-1 頻繁な双方向通信が想定されるユースケース

通信要件 項目	a-1-3. (合流支援：V2I)	a-1-4. (合流支援：V2V)	a-2. (車線変更：V2V)	a-3. (進入支援：V2V)
通信端末 数	- 路側機：1 台 - 合流車：1 台 - 本線車：最大 6 台	- 合流車：1 台 - 本線車：最大 36 台 ※同時台数は 合流車周辺数台	- 変更車：73 台 - 受入車：最大 48 台 ※同時台数は 変更車周辺数台	- 進入車：2 台 - 受入車：最大 68 台 ※同時台数は 進入車周辺数台
通信パス	- 路側機→合流車 (位置情報) - 路側機→合流車 (要求/応答) - 路側機→本線車 - 合流車→路側機 本線車→路側機	- 合流車→本線車 - 本線車→合流車	- 変更車→受入車 - 受入車→変更車	- 進入車→受入車 - 受入車→進入車
最大デー タサイズ	5,236 byte (位置情 報) 369 byte (要求/応 答)	291 byte (要求/応 答)	291 byte (要求/応 答)	291 byte (要求/応 答)
通信頻度	事象発生時 100ms 周期	事象発生時 100ms 周期	事象発生時 100ms 周期	事象発生時 100ms 周期
無線通信 区間許容 遅延	100ms	100ms	100ms	100ms

また、複数のユースケースが同じ通信エリア内で同時に発生し、その結果として複数の通信端末間での様々な通信の輻輳が想定される主なユースケースを表 2.2.2-2 に示す。

表 2.2.2-2 同時発生ユースケースによる通信輻輳が想定されるユースケース (1/2)

出現場所	a-1-3. (合流支援：V2I)	a-1-4. (合流支援：V2V)	a-2. (車線変更：V2V)	b-1-1. (信号情報：V2I)
合流部周辺	○	△	○	—
交差点周辺	—	—	○	○
通信パス	- 路側機→合流車 (位置情報) - 路側機→合流車 (要求/応答) - 路側機→本線車 - 合流車→路側機 - 本線車→路側機	- 合流車→本線車 - 本線車→合流車	- 変更車→受入車 - 受入車→変更車	路側機→周辺車

凡例 ○：出現頻度高、△：出現頻度中、—：依存しない

表 2.2.2-2 同時発生ユースケースによる通信輻輳が想定されるユースケース (2/2)

出現場所	c-1. (衝突回避： V2V)	c-2-1. (交差点情 報：V2V)	c-2-2. (交差点情 報：V2I)	c-3. (ハザード情 報：V2V)	e-1. (緊急車両： V2I、V2V)	f-2. (情報収集・ 配信：V2I)
合流部周 辺	○	—	—	○	—	—
交差点周 辺	○	△	○	○	○	△
通信パス	検出車→周 辺車	対向車→右 折車	- 対向車→路 側機 - 路側機→右 折車	検出車→周 辺車	- 緊急車→周 辺車 - 緊急車→路 側機路側機 →周辺車	周辺車→路 側機

凡例 ○：出現頻度高、△：出現頻度中、—：依存しない

表 2.2.2-1 より、路側機を介し合流車、本線車両にて合流調停が行われるため「a.合流・車線変更支援 a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援」において双方向通信が頻繁に発生する。また、通信で用いるデータサイズも最大であることから、通信量の観点からも通信条件として最も厳しい条件であることがわかる。

また、表 2.2.2-2 より、交差点周辺で多くのユースケースが同時に発生する可能性があることがわかる。

2.2.1 項及び本項の結果に基づき、課題・対応策の検討の対象とするユースケースを以下のとおり選定した。

- 1) 頻繁な双方向通信による通信の輻輳
車両と路側機間との通信を使用し、複数車両が路側機と双方向通信を行うため通信の輻輳が生じることが想定されるユースケース
 - ・ a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援
- 2) 複数ユースケースの競合による通信の輻輳

交差点周辺で複数ユースケースの同時発生が想定されるケース

- b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)
- c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援
- c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)

選定したユースケースに対する検討結果については、3.2 節に示す。

3. 課題解決の対応策立案及び実証実験による評価を通じた妥当性の検証

本章では、広域通信について課題を整理し、対応策を机上にて検討した結果を述べる。また、狭域通信について課題を整理し、シミュレータを用いた検証と、テストコースでの実証実験による評価を行って考察した結果を述べる。

3.1 広域通信の課題・対応策の検討

協調型自動運転ユースケース⁴に示される 25 種類の協調型自動運転ユースケースに基づき、広域通信を用いたユースケースを表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 広域通信を用いたユースケース

機能分類	ユースケース名	概要
b. 信号情報	• b-1-2. 信号情報による走行支援 (V2N)	交差点の信号機の信号サイクル情報（次の信号灯火色及び切り替わりまでの時間）等を、ネットワーク経由で交差点進入車両に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。
d. 先読み情報：走行計画変更	• d-1. 異常車両の通知による走行支援	道路上に停止している異常車両の事象情報（故障車、事故車、等）と位置情報（存在区間、レーン）を、インフラから周辺車両に提供または異常車両から周辺車両に提供し、早めの車線変更、走行計画変更の支援を行う。
	• d-2. 逆走車の通知による走行支援	逆走車の位置や速度及び逆走車の存在情報を、インフラから周辺車両に提供し、あらかじめ車線変更等を促して衝突回避の支援を行う。
	• d-3. 渋滞の情報による走行支援	渋滞中の車両から得た渋滞状況の情報を、インフラから周辺車両に提供し、走行支援を行う。
	• d-4. 分岐・出口渋滞支援	路肩渋滞の情報（位置や速度）を、インフラから本線車両に提供し、分岐部進入の支援を行う。
	• d-5. ハザード情報による走行支援	障害物・工事・渋滞等の情報を、インフラから周辺車両に提供し、走行支援を行う。
e. 先読み情報：緊急車両回避	• e-1. 緊急車両の情報による走行支援	緊急車両の移動方向や速度、走行予定経路（走行予定車線）の情報を、緊急車両から周辺車両に提供し、周辺車両の徐行や停車等を促して緊急車両の円滑な通過を支援する。
f. インフラによる情報収集・配信	• f-1. 救援要請 (e-Call)	救援情報を、事故車等の異常車両からインフラに送信し、救援を要請する。
	• f-2. 交通流の最適化のための情報収集	走行車両の位置や速度の情報を、インフラ経由で、交通量の分析や最適化を行うために収集する。
	• f-3. 地図更新・自動生成	車両で収集した情報を、インフラで収集し、地図データの更新・自動生成を行う。
	• f-4. ダイナミックマップ情報配信	ダイナミックマップ情報を、インフラから車両に提供する。
h. 遠隔操作	• h-1. 移動サービスカーの操作・管理	自律型自動運転システムでは回避困難な交通環境の場合、移動サービスカーからの映像情報等と運行管理者からの遠隔操作指示を、運行管理者と移動サービスカー間で通信し、遠隔地からの車両操作・管理を行う。

本節では、表 3.1-1 に示すユースケースについて、2.1.1 項に示した通信要件を検討した中で抽出した留意事項に基づく課題の整理及び課題に対する対応策を述べる。

⁴ 出典：SIP 協調型自動運転ユースケース -2019 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告-

3.1.1 想定するシステム全体像

広域通信を用いたユースケースを実現する上で想定したシステム全体像を図 3.1.1-1 に示す。

広域通信においては、接続 MNO 網を活用することを前提とする。また、以下のような役割を担う管理サーバがネットワーク上（基地局、または基地局に有線接続されたネットワーク上を想定）に設けられること、並びにこれらの管理サーバは負荷分散のためエリア毎等に配置されることを想定する。

- 車両から定期的に送信される情報を管理
- 車両から得た情報を基に分析、事象を判断
- 判断した事象から車両に配信が必要な情報を判断し、配信すべきエリアを特定
（情報を配信するためのエリア情報、車両の位置情報の管理を含む）

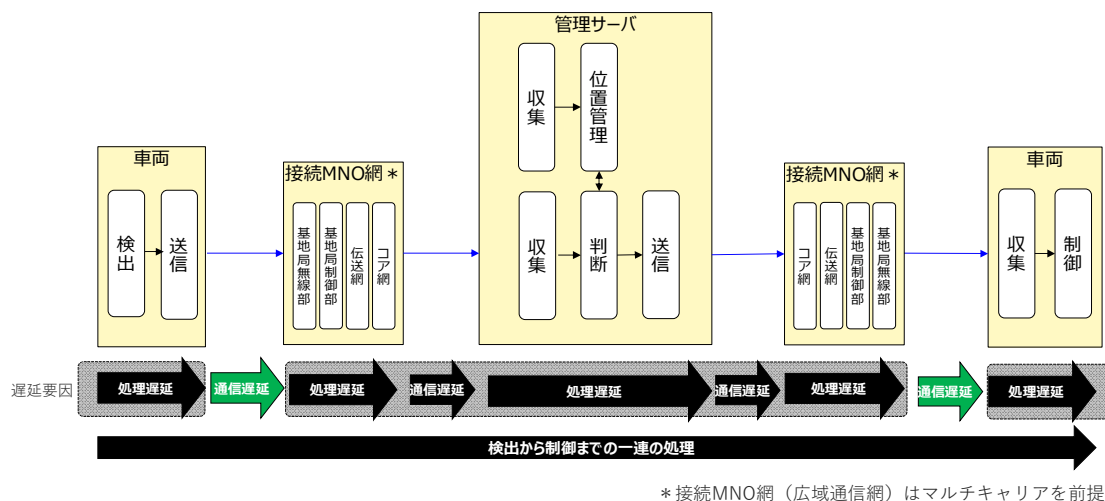


図 3.1.1-1 システム全体像（想定）

車両や管理サーバ等の装置やネットワークを経由して情報を配信する上での懸念事項として、情報伝達の遅延の発生が挙げられる。しかし本研究では、各ユースケースにおけるシステム要件が未確定のため、車両や管理サーバ等の装置（アプリケーション処理を含む）の処理遅延については検討の対象外とし、無線ネットワーク上の通信遅延についての課題を整理する。

3.1.2 課題への検討事項

2.1 節に基づき、各ユースケースにおける無線ネットワーク上の通信に関するものとして、通信量、通信エリア、通信遅延、通信台数、通信頻度の観点での通信要件の検討を行った。

- 通信量

車両～管理サーバ間で大容量のデータを扱うことが想定されるユースケースは、f-4 と h-1 が挙げられる。f-4 におけるダイナミックマップ情報の配信では、Downlink（以下、「DL」という。）において地図データを連続的に配信することを想定している。h-1 における遠隔操作時の映像情報等の配信では、Uplink（以下、「UL」という。）により車両周辺映像情報を扱うことを想定しており、データサイズの仕様は未確定であるが、f-4 で扱うデータサイズよりも大容量となる。その他のユースケースにおいては、車両から管理サーバへ事象情報や位置情報を伝える、あるいは管理サーバから車両へ事象情報を伝えるといったような大容量のデータを扱わないユースケースであり、いずれもデータサイズは 1KB 以下である。

- 通信エリア

広域通信を行う場合には通信事業者における公衆網の通信エリアを使用することを前提とする。なお、ユースケースにより密な通信が求められるエリアでは V2I を併用することを想定している。

- 通信遅延

情報伝達の即時性が高いユースケースは h-1 が挙げられる。h-1 における遠隔操作では、円滑な操縦を行うために低遅延の環境が求められる。その他のユースケースにおいては、先読み情報等の情報伝達の即時性が低いユースケースである。

- 通信台数、通信頻度

各ユースケースにおいて想定する車両速度と情報送信を必要とする対象エリアから概算した結果、通信台数は最大で約 600 台、通信頻度は最小で 1 秒周期を想定している。

通信要件に対する検討課題の一覧を表 3.1.2-1 に示す。

表 3.1.2-1 検討課題

項目	通信要件（まとめ）	検討課題
通信量	- 最大約 1KB（下記以外） - f-4：ダイナミックマップ情報配信時の車両～センター間通信量 - h-1：遠隔操作時の車両～センター間通信量（映像等）	- f-4 は、要求機能・性能の実現に応じた要求される通信量の実現 - h-1 は、要求機能・性能の実現に応じた要求される通信量の実現
通信エリア	- 公衆網における通信エリアを前提 - 密な通信が想定されるエリアは V2I の併用が考えられる - d-1,5：（想定なし） - d-2：出入口周辺 - d-3：渋滞多発エリア（サグ部等） - d-4：分岐、出口周辺 - e-1,f-1,f-2：交差点周辺	なし
通信遅延	- 規定なし（下記以外） - h-1：遠隔操作（操縦）時の車両～センター間通信遅延	h-1 は、要求機能・性能の実現に応じた要求される通信遅延の実現
通信台数	最大約 600 台	- ユースケースに応じた送信方式の実現性 - 送信方式に応じた収容台数、通信頻度の実現性（ただし、送信方式については公衆網による実装制約等の考慮が必要）
通信頻度	最小 1 秒	

通信量の観点では、遠隔監視・操作時には映像等のデータを扱うため、f-4 より大容量のデータを扱うと想定される h-1 を代表例として、検討する。

通信遅延の観点では、他のユースケース（先読み情報等の緊急性が低く遅延の影響が少ない）に比べて、遠隔操作（操縦）時に低遅延の通信が求められる h-1 を代表例として、検討する。

通信台数・通信頻度の観点では、各ユースケースにおいて車両の位置情報を管理サーバで管理する必要があるため、情報送信車両判定のための位置情報の通信頻度を課題として検討する。また、管理サーバから車両へ情報を配信する場合においては、通信台数と通信頻度によって通信量に影響することから、ユースケースに応じた送信方式の実現性、及び送信方式に応じた収容台数、通信頻度の実現性を課題として検討する。

上記を踏まえ、図 3.1.2-1 のとおり、システム全体像に課題①～④としてマッピングする。

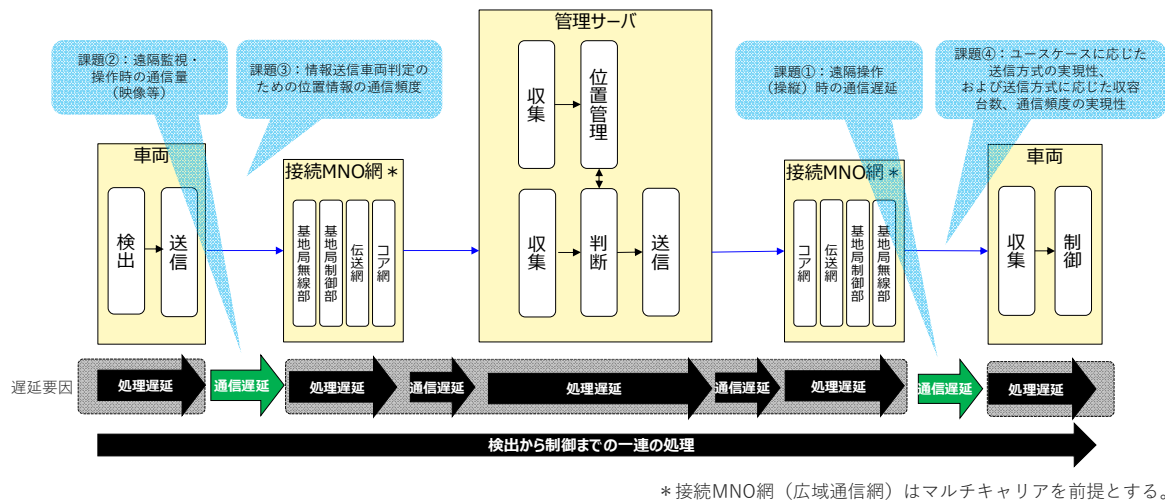


図 3.1.2-1 課題の整理

課題①～④に対し、対応策に向けた検討事項は以下のとおりである。

(1) 遠隔操作（操縦）時の通信遅延【課題①】

遠隔操作（操縦）時は、車両～管理サーバ間で遠隔操作（操縦）のための制御情報を送受信することを想定している。円滑に遠隔操作をするためには、制御情報をなるべく遅延なく送信することが必要であるため、車両～管理サーバ間、管理サーバ～車両間のそれぞれの方向で通信遅延を低減することが検討事項として挙げられる。

(2) 遠隔監視・操作時の通信量（映像等）【課題②】

遠隔監視・操作時は、車両～管理サーバ間で映像データ等の大容量の通信を想定している。円滑に遠隔操作をするためには、映像データをなるべく遅延なく送信することが必要であるため、車両～管理サーバ間の通信遅延の低減が検討事項として挙げられる。また、通信量そのものを減らすことによって通信遅延を抑止する効果が見込まれるため、車両～管理サーバ間の通信量を低減することが検討事項として挙げられる。

(3) 情報送信車両判定のための位置情報の通信頻度【課題③】

広域通信を活用するユースケースでは、管理サーバを経由して周辺車両へ情報を配信するため、周辺車両が管理サーバへ自車の情報を送信することで、管理サーバが周辺車両の位置情報を管理することを想定している。車両は移動するため、車両から管理サーバへ位置情報の送信を定期的に行って管理サーバの管理する位置情報データを更新する。しかし、多数の周辺車両が頻繁に位置情報を送信すると通信の輻輳を招くことが懸念されるため、車両～管理サーバ間の通信頻度を低減することが検討事項として挙げられる。

(4) ユースケースに応じた送信方式の実現性、及び送信方式に応じた収容台数、通信頻度の実現性【課題④】

広域通信を活用するユースケースでは、管理サーバを経由して周辺車両へ情報を配信する。管理サーバから多数の車両へ情報を配信することを想定しているため、情報を配信するエリアに該当する車両の収容台数と通信頻度によって通信の輻輳を招くことが懸念される。周辺車両が管理サーバからの情報を必要とする頻度はユースケースによって異なるため、ユースケースに応じて適切な送信方式を選択する等、管理サーバから車両間の通信量を低減することが検討事項として挙げられる。

3.1.3 対策案の検討

3.1.2 項に示した課題①～④の検討事項に基づき、対策案について検討を行った。対策案は以下のとおりであり、詳細は 3.1.3(1)項に示す。

- 無線通信の優先制御
- 専用周波数帯域の確保
- End-to-End での専用帯域の確保
- エッジ処理の適切配置（参考）
- アップリンク（V→N）通信容量の確保
- 通信量の最適化（参考）
- 送信方式毎の実現性検討

課題①、②は、他のユースケース（先読み情報等の緊急性が低く遅延の影響が少ない）に比べて遠隔操作時に低遅延の通信が求められる h-1 を代表例として対応策を検討する。

また、課題③、④は、対象とするユースケースを定めず、送信方式毎の特徴を整理し、各送信方式を各ユースケースに適用する場合の考察事項を述べる。

また、検討した対策案は、必ずしも課題①～④と 1 対 1 に対応するものではなく、複数の課題の対応策になり得るものも存在する。このため、3.1.3(1)項において検討した対策案を示したのち、3.1.3(2)項において対策案と課題①～④との対応関係を示す。

(1) 対策案

(a) 無線通信の優先制御

ネットワーク内におけるサービス品質を確保するための技術に QoS (Quality of Service) がある。QoS は、データの通信速度や応答速度がどの程度保証されるかに関係している。LTE ネットワークにおいては、ユーザーの送受信するデータが流れるルートの中にある P-GW に、ネットワークポリシーや課金に関する装置である PCRF (Policy and Charging Rules Function) という装置が接続されている。PCRF からの命令によって P-GW、S-GW、基地局は、LTE 通信で送受信されるユーザーパケットデータに対して、パケット単位での制御を行っている。このとき、どのデータがどの程度の優先順位を持っているかを示す識別子が QCI (QoS Class Identifier) である。QCI は、3GPP 文書 TS 23.203 で規定されている。

5G においても QoS 制御の識別子として 5QI (5G QoS Identifier) が設定されている。5QI は、3GPP 文書 TS23.501 で規定されている。

表 3.1.3-1 3GPP (TS 23.203 V17.2.0(2021-12)) における QCI 規定 (抜粋)

QCI	Resource Type	Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Example Services
1	GBR	2	100ms	10^{-2}	Conversational Voice
2		4	150ms	10^{-3}	Conversational Video (Live Streaming)
3		3	50ms	10^{-3}	Real Time Gaming, V2X messages
4		5	300ms	10^{-6}	Electricity distribution - medium voltage (e.g. clause 7.2.2 of TS22.261 [51])
65		0.7	75ms	10^{-2}	Process automation - monitoring (e.g. clause 7.2.2 of TS22.261 [51])
66		2	100ms	10^{-2}	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)
67		1.5	100ms	10^{-3}	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g., MCPTT)
75		2.5	50ms	10^{-2}	Non-Mission-Critical user plane Push To Talk voice
71		5.6	150ms	10^{-6}	Mission Critical Video user plane
72		5.6	300ms	10^{-4}	V2X messages
73		5.6	300ms	10^{-8}	"Live" Uplink Streaming (e.g. TS26.238 [53])

表 3.1.3-2 3GPP (TS 23.501 V17.3.0(2021-12)) における 5QI 規定 (抜粋)

5QI Value	Resource Type	Default Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Default Maximum Data Burst Volume	Default Averaging Window	Example Services
1	GBR	20	100ms	10^{-2}	N/A	2000ms	Conversational Voice
2		40	150ms	10^{-3}	N/A	2000ms	Conversational Video (Live Streaming)
3		30	50ms	10^{-3}	N/A	2000ms	Real Time Gaming, V2X messages (see TS 23.287 [121]). Electricity distribution - medium voltage, Process automation monitoring
4		50	300ms	10^{-6}	N/A	2000ms	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)
65		7	75ms	10^{-2}	N/A	2000ms	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g. MCPTT)
66		20	100ms	10^{-2}	N/A	2000ms	Non-Mission-Critical user plane Push To Talk voice
67		15	100ms	10^{-3}	N/A	2000ms	Mission Critical Video user plane
71		56	150ms	10^{-6}	N/A	2000ms	"Live" Uplink Streaming (e.g. TS 26.238 [76])
72		56	300ms	10^{-4}	N/A	2000ms	"Live" Uplink Streaming (e.g. TS 26.238 [76])

ユースケース h-1 (遠隔操作) においては、QoS 制御によって、制御情報通信 (DL)、映像情報等の通信 (UL) の優先順位 (Priority Level)、許容遅延時間 (Packet Delay Budget)、許容データ損失率 (Packet Error Rate) 等を適切な設定にすることで、遅延要因の軽減が期待できる。

実装に向けた課題としては、どのサービスを優先制御するかは各事業者が提供する他サービスにも影響するため、各サービス事業者の提供サービスの優先度に応じた優先制御が行えるような公衆網における機能実装内容の考慮が必要である。

(b) 専用周波数帯域の確保

制御情報等、自動運転に必要な情報の送受信が他の通信による影響を受けないようにするためには、ローカル 5G⁵や、ソフトバンク社におけるプライベート 5G サービスの活用により、当該ユースケースにおける広域通信に際し、専用周波数帯域を確保するという方策が考えられる。

ローカル 5G は、公共で利用されるパブリック 5G と異なり、独立した専用のネットワークとなるため、安定した通信環境を構築することができる。ただし、ローカル 5G を構築するためには事業者の免許取得が必要になることやネットワークの構築・運用に手間やコストがかかるというデメリットがある。プライベート 5G は、ソフトバンク社が提供を予定しているパブリック 5G とローカル 5G の中間に位置するサービスである。企業や自治体の敷地内に、必要な帯域、必要な容量の 5G ネットワークを提供するサービスとして、2022 年度に開始を予定している。

ユースケース h-1（遠隔操作）においては、例として自動運転レベル 4 の限定エリアでのローカル 5G、及びプライベート 5G サービスを活用することで、制御情報通信（DL）、映像情報等の通信（UL）の遅延要因の軽減が期待できる。

実装に向けた課題としては、前述のとおりローカル 5G には事業者の免許取得や基地局の配備等、構築するシステムによっては大規模な工事が必要となるため、自動運転レベル 4 として限定エリアでのサービスとすることや、プライベート 5G のような通信事業者と連携したサービス提供の可能性について検討する必要がある。

(c) End-to-End での専用帯域の確保

5G では、端末の接続数や用途が多様多様となることが想定されており、様々なサービスを提供するために、サービスの特徴に合わせたネットワークが必要となる。それぞれのサービスがお互いに邪魔をしないように、特徴を最大限に活かせるように考えられた方式が「ネットワークスライシング」である。

3GPP においてネットワークスライシングの仕様が以下のように定義されている。

- 様々なサービスがお互いに邪魔をしないよう特徴を最大限に活かせるように考えられた、通信サービスの特性毎に構成やリソースを論理的に分割する技術
- S-NSSAI（Single-Network Slice Selection Assistance Information）識別子によりスライスを形成（1 端末で最大 8 Slice）
- S-NSSAI を端末・RAN・コア NW で持ち回ることが可能（End-to-End ネットワークスライシング）

ネットワークスライシングは、サービス毎にネットワークを分割してグループ化する技術であり、他のサービスを End-to-End で分離することが可能となる。サービス要件（高速、多数接続、低遅延等）の異なる複数のサービスを運用する場合、サービス毎にネットワークを分割することで、各サービスがお互いに邪魔をしないよう特徴を最大限に活かせることが期待される。

⁵ 企業や自治体が限られた範囲で利用するために構築する自営の 5G ネットワーク

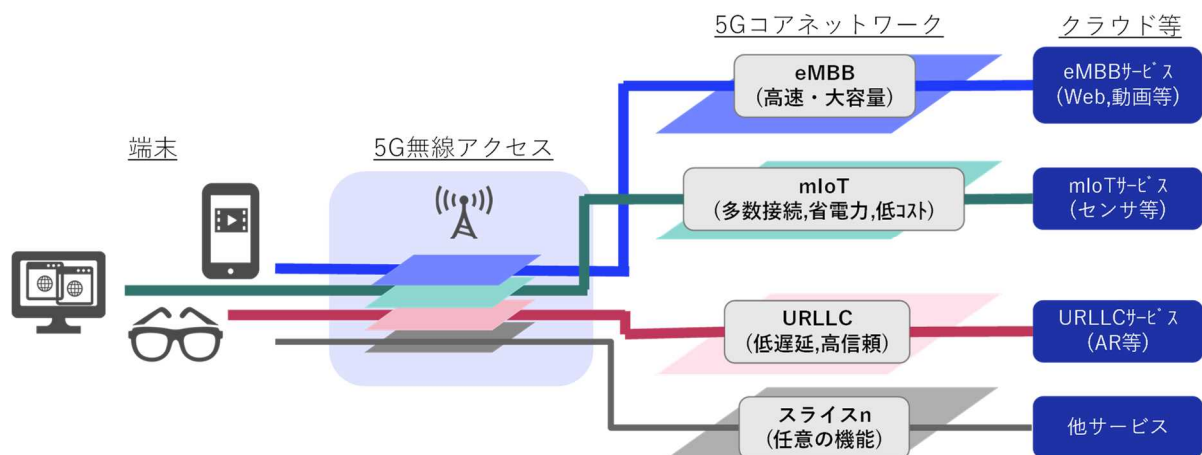


図 3.1.3-1 ネットワークスライシングイメージ

ユースケース h-1. (遠隔操作) においては、低遅延通信 (制御情報)、高速通信 (映像情報) のサービス要件に最適化した論理的なネットワーク (ネットワークスライシング) を構成し、制御情報通信 (DL)、映像情報等の通信 (UL) の遅延要因の軽減が期待できる。

実装に向けた課題としては、公衆網における機能実装内容の考慮が必要である。また、無線アクセス部分のスライシングに関しては 3GPP Release17 で仕様策定中の状況であり、その実装可能時機を踏まえた検討が必要である。

(d) エッジ処理の適切配置（参考）

MEC（Multi-access Edge Computing）は、今後の 5G 時代での活躍が期待されているネットワーク技術である。MEC は、端末の近くにサーバ（エッジ）を配置し、データ処理をなるべくエッジサーバで実施することで、インターネットの先にあるサーバでの処理量の低減を実現できる。また、MEC の構成を利用したネットワーク上にシステムを構築することで、通信区間の物理的な距離が短くなれば、伝送遅延の低減や、ネットワーク負荷の削減が期待される。

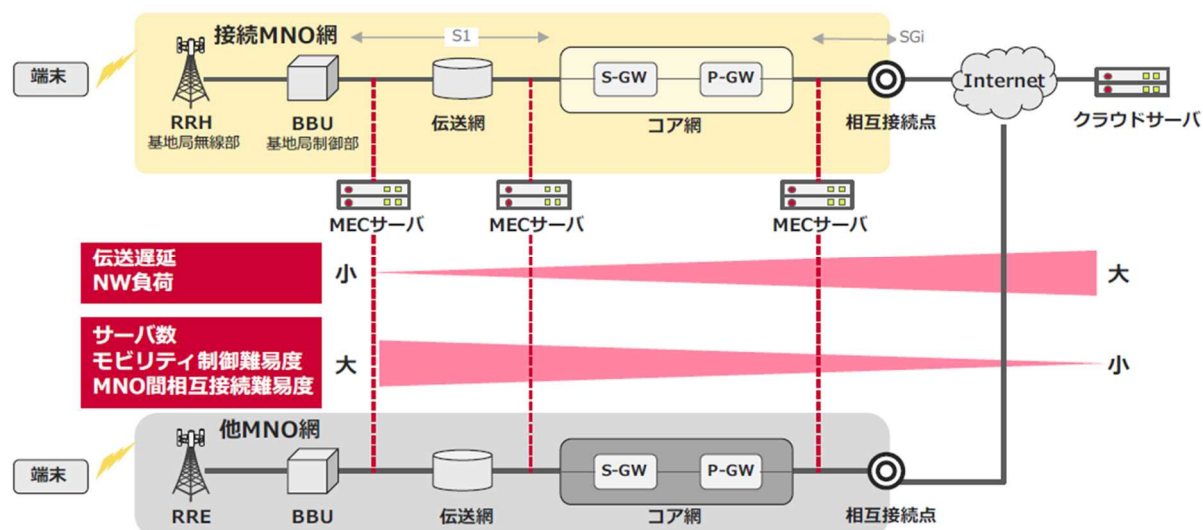


図 3.1.3-2 エッジ処理配置の考え方⁶

ユースケース d（先読み情報提供）においては、送信すべき対象車両の特定処理（宛先管理）を上位サーバ側で行うのではなく、エッジ側で行うことで通信の最適化（通信遅延低減、通信量削減）が期待できる。

実装に向けた課題としては、ユースケースに応じた車両／MEC／上位サーバ間での機能分担をどのようにするか、また MEC 活用における通信事業者間連携方策（通信事業者間連携に関する検討動向⁷）について検討する必要がある。

⁶ 出典：ITS フォーラム「セルラー通信技術を用いた ITS・自動運転の高度化に向けた課題調査報告書」

⁷ EU 5G CARMEN プロジェクト（ITS 領域を含む）等において、MEC Platform、MEC Orchestration について検証中

(e) アップリンク (V→N) 通信容量の確保

遠隔監視等、映像情報をサーバへ送信し続けるようなケースでは、UL 側の通信量が多くなるため、UL 側を重視して通信容量を確保するという方策が考えられる。

公衆網における UL/DL の帯域割り当ては、国内においては、3GPP (5G/NR) で合意されている TDD Config⁸を基に、データトラフィック量や今後の 5G サービス予測を鑑みて図 3.1.3-3 に示すように DL 重視となっている。

表 2 技術的特徴

	Sub6帯	mmW帯
Massive MIMOの活用方法	MIMO多重に活用	Beamformingによるカバレッジ拡張
カバレッジの考え方	LTE 3.5 GHz帯と同様のカバレッジ	広帯域を活用した高スループットを提供 スポット的な展開
ピークレート (3GPP規格値, LTE含む)	下り3.4 Gbit/s/上り182 Mbit/s	下り4.1 Gbit/s/上り480 Mbit/s
MIMO数	下り 4 × 4 / 上り SISO	下り・上り 2 × 2 MIMO
変調方式	下り256QAM/上り64QAM	下り・上り64QAM

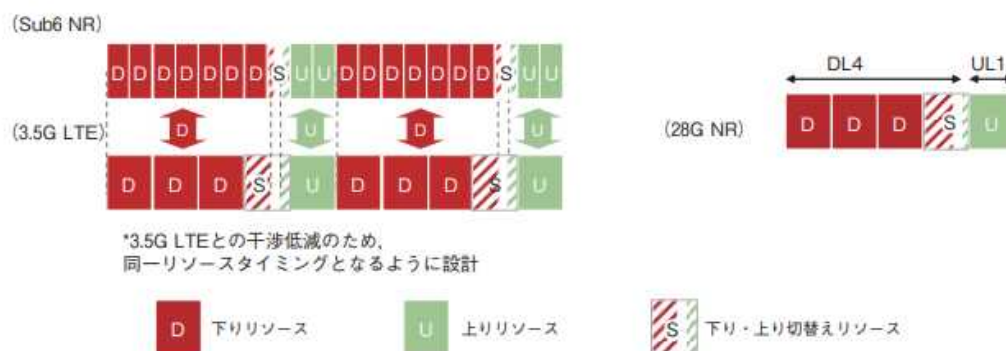


図 2 国内周波数で利用される TDD Config

図 3.1.3-3 国内周波数で利用される TDD Config⁹

なお、多様なアプリケーションの要求条件に応じるため、ローカル 5G の UL 及び DL の運用比率を可変とする場合の TDD のパターンを総務省殿にて検討中である。

ユースケース h-1 (遠隔操作) においては、レベル 4 として限定エリアでのローカル 5G を活用し、UL データ量を考慮した TDD パターンを使用することで映像情報等の通信 (UL) の遅延要因の軽減が期待できる。

実装に向けた課題としては、TDD の追加パターン (ローカル 5G) の検討の状況を踏まえ、レベル 4 の限定エリアでのローカル 5G の活用の可能性の検討が必要である。

⁸ TDD (Time Division Duplex) の上下スロットをどのように配分するかを決定するパラメータ

⁹ 出典：NTT 技術ジャーナル 2020 vol.32 No.9

(f) 通信量の最適化（参考）

通信方式とは直接関係しないが、通信量を減らすことにより、ネットワークの負荷を低減し、通信遅延の低減に繋がることが期待できる。

遠隔監視・操作時において大容量のデータとなる車両周辺映像の送信に際し、AI（人工知能）を用いて、注目領域に絞って画質を高くし、非注目領域の画質を低くすることにより通信量を最適化することが考えられる。

図 3.1.3-4 及び図 3.1.3-5 に示すように、NEC が開発している学習型メディア送信制御技術を用いることにより、実証例（車両周辺映像監視）においては通信量を最大 10 分の 1 に削減できることが確認されている（5Mbps を 0.5Mbps に削減）。

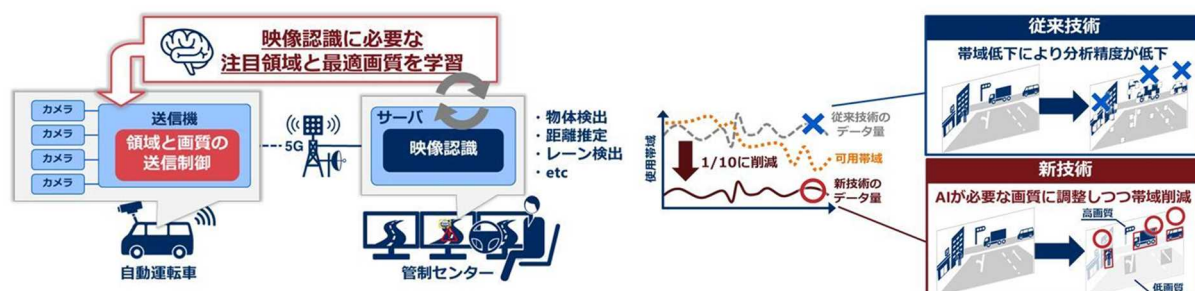


図 3.1.3-4 学習型メディア送信制御技術イメージ



図 3.1.3-5 学習型メディア送信制御技術の実証例

ユースケース h-1（遠隔操作）においては、周辺映像監視での注目領域を限定し、車両側で通信量を最適化することにより、映像情報等の通信（UL）の遅延要因の軽減が期待できる。

実装に向けた課題としては、車両への映像処理機能の実装化検討（処理軽量性、リアルタイム処理性等）が必要である。

(g) 送信方式毎の実現性検討

広域通信で活用を想定している送信方式として、2.1 節に述べたユニキャスト方式、ブロードキャスト方式がある。また本項ではマルチキャスト方式についても述べて、送信方式毎の特徴を比較する。

マルチキャスト方式に分類される規格として、3GPP Release9 で標準化されている eMBMS (evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) を用いた「LTE-Broadcast」がある。一般的なデータ通信方式として使われているユニキャスト方式では、サーバから端末にデータを送るために、端末 1 台당 1 つの帯域を割り当てるため、同じデータを送信する場合でも、1 端末につき帯域 1 つ分の負荷が生じる。一方、LTE-Broadcast は、エリア内の受信を希望する全端末に向けて、大容量データを同じ帯域を使って一度に送信できることが特徴である。

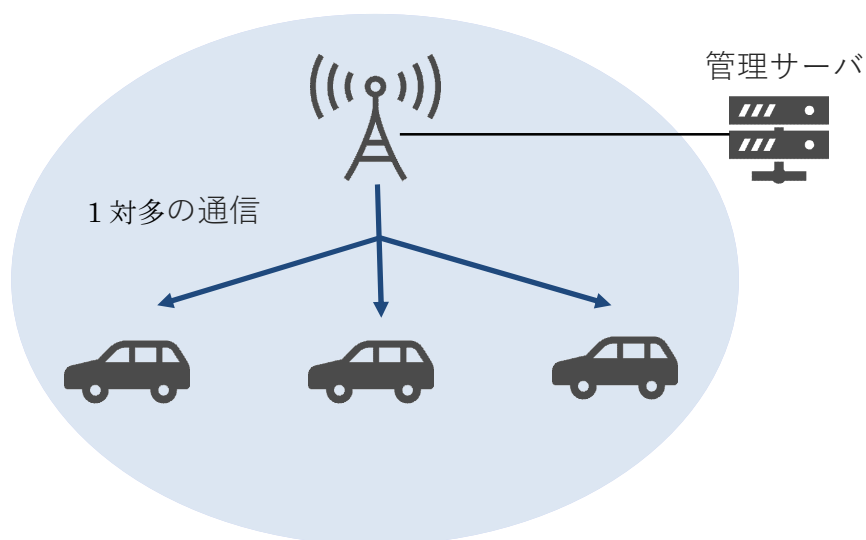


図 3.1.3-6 マルチキャスト

送信方式毎の特徴を整理した結果を、表 3.1.3-3 に示す。

表 3.1.3-3 送信方式比較

	ユニキャスト	マルチキャスト	ブロードキャスト
送信すべき対象車両の特定 (対象車両の位置情報把握)	必要 (個車判定)	必要 (個車判定)	不要
通信量	[メッセージ+応答]×車両数	メッセージ	メッセージ
通信としての信頼性	高	低	低
メリット	- 非対象車両は受信しない - 通信レベルでの到達確認が可能	- 非対象車両は受信しない - 通信ネットワーク負荷小	- 通信ネットワーク負荷小 - サーバでの対象車両の判定が不要
デメリット	- 通信ネットワーク負荷大 (特にセッション管理方法について要検討) - サーバでの対象車両の判定が必要	- サーバでの対象車両の判定が必要 - 必要に応じ、車両アプリから受信応答が必要	- 車両アプリでの情報の取捨選択が必要 - 必要に応じ、車両アプリから受信応答が必要

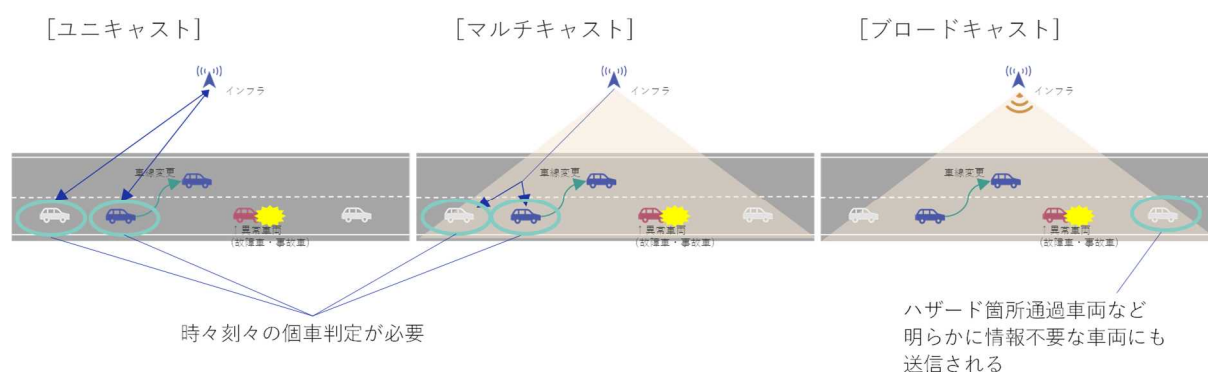


図 3.1.3-7 送信方式比較

ユースケースに応じて、どのような送信方式が適するか実用性を考慮することで、送信台数／通信頻度の軽減が期待できる。各ユースケースへ適用した場合に考慮すべき事項について、表 3.1.3-4 に示す。

表 3.1.3-4 送信方式の各ユースケースへの適用

	ユニキャスト	マルチキャスト	ブロードキャスト
b-1-2. 信号情報による走行支援	• より適切な情報提供には個車の経路情報が必要（プッシュ方式の場合）	• より適切な情報提供には個車の経路情報が必要（プッシュ方式の場合）	• ブロードキャスト範囲に応じ、通信量、通信頻度が増大（車両アプリの負荷増大）
d-1. 異常車両の通知による走行支援	-	-	
d-2. 逆走車の通知による走行支援	• より適切な情報提供には逆走車両位置に応じ、リアルタイムでの個車判定が必要	• より適切な情報提供には逆走車両位置に応じ、リアルタイムでのエリア判定が必要	
d-3. 渋滞の情報による走行支援	• より適切な情報提供には渋滞末尾位置に応じ、リアルタイムでの個車判定が必要	• より適切な情報提供には渋滞末尾位置に応じ、リアルタイムでのエリア判定が必要	
d-4. 分岐・出口渋滞支援			
d-5. ハザード情報による走行支援	-	-	
e-1. 緊急車両の情報による走行支援	• より適切な情報提供には緊急車両位置に応じ、リアルタイムでの個車判定が必要	• より適切な情報提供には緊急車両位置に応じ、リアルタイムでのエリア判定が必要	

実装に向けた課題としては、ユースケースの特性に応じた最適な送信方式の選定、システム全体像における各構成要素間での送信すべき対象車両の特定処理（宛先管理）に関する機能分担、公衆網における関連機能の実装内容の考慮等が必要である。

(2) 課題と対策案の対応

3.1.2 項で述べた課題と 3.1.3(1)項に示した対策案との対応を表 3.1.3-5 に示す。

表 3.1.3-5 課題と対策案の対応

課題	検討事項	方策案
課題① 遠隔操作（操縦）時の通信遅延	通信遅延低減に対する方策（$V \leftrightarrow N$）	(a) 無線通信の優先度制御 (b) 専用周波数帯域の確保 (c) End-to-End での専用帯域の確保 (d) エッジ処理の適切配置
課題② 遠隔監視・操作時の通信量（映像等）	通信遅延低減に対する方策（$V \rightarrow N$）	(a) 無線通信の優先度制御 (e) アップリンク（ $V \rightarrow N$ ）通信容量の確保 (b) 専用周波数帯域の確保 (c) End-to-End での専用帯域の確保 (d) エッジ処理の適切配置
	通信量低減に対する方策（$V \rightarrow N$）	(f) 通信量の最適化
課題③ 情報送信車両判定のための位置情報の通信頻度	通信頻度低減に対する方策（$V \rightarrow N$）	(g) 送信方式毎の実現性検討 (d) エッジ処理の適切配置
課題④ ユースケースに応じた送信方式の実現性、及び送信方式に応じた収容台数、通信頻度の実現性	通信量低減に対する方策（$N \rightarrow V$）	(g) 送信方式毎の実現性検討 (d) エッジ処理の適切配置

3.1.4 遠隔操作に関するケーススタディ（参考）

3.1.3 項で通信遅延の観点における代表例としてユースケース h-1. を挙げて、遠隔操作に関するいくつかの対策案を述べた。本項では、遠隔操作に関するケーススタディとして、近年に実施されているシステム実証例を紹介する。また、現状におけるシステム要件の考え方を述べる。

(1) 想定するシステム全体像（遠隔操作）

図 3.1.1-1 にて、広域通信を用いたユースケースを実現する上で想定したシステム全体像示したが、遠隔操作として具体化したシステム全体像を図 3.1.4-1 に示す。遠隔監視においては、ネットワーク上（基地局、または基地局に有線接続されたネットワーク上を想定）の管理サーバを経由して、遠隔の操作員が車両から送信された映像情報等を監視、及び車両への制御指示を行うことを想定している。システム全体の遅延要因としては、通信遅延のほか、処理遅延や操作員による認識・判断・操作も遅延要因となり得る。

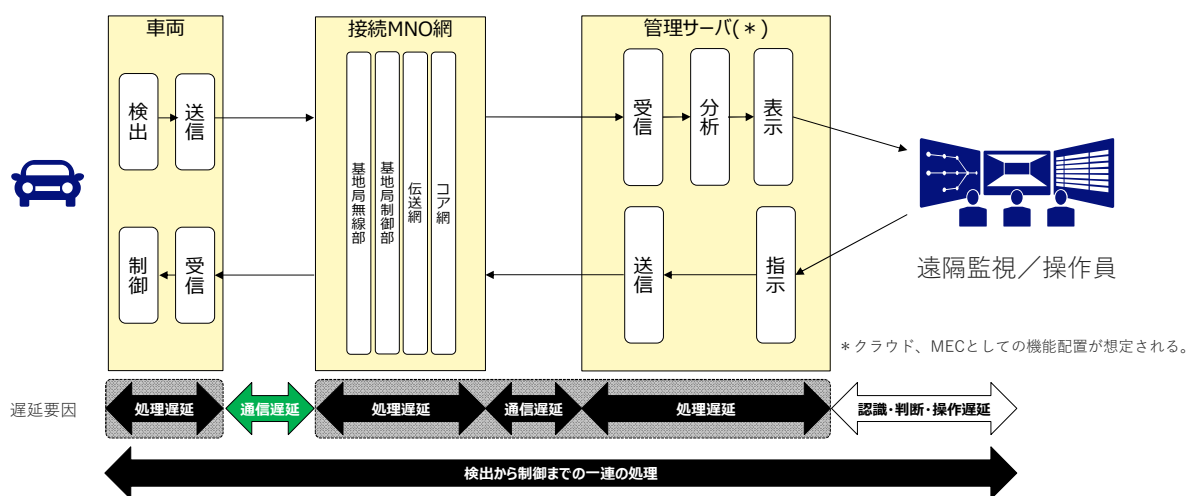


図 3.1.4-1 遠隔操作におけるシステム全体像（想定）

(2) システム実証例

遠隔操作に関する国内外における主なシステム実証例を表 3.1.4-1 に示す。

表 3.1.4-1 システム実証例¹⁰ (1/3)

No	名称	企画の主導 運行主体	システムの 主な提供元	場所	道路 タイプ	期間	最高 速度	遠隔監視／ 遠隔操作	主な実証内容
1	平成30年度自動運転実証推進事業 ¹¹	愛知県	アイサンテクノロジー、アックス、岡谷鋼機、KDDI、スリード、損保ジャパン、ティアフォー、エンブフォー、名古屋大学	愛知県 豊橋市、常滑市、一宮市	一般道	豊橋：21年11月21～24日 一宮：19年2月9～10日 常滑：21年3月3～9日	豊橋市：20km/h 一宮市：60km/h 常滑市：40km/h	遠隔監視／遠隔操作（停止指示）	5Gを活用した複数台（2台）による遠隔型自動運転実証実験
2	遠隔型自動運転システムにおける遠隔操作時の映像遅延が操舵の操舵に与える影響の評価 ¹²	慶應義塾大学	慶應義塾大学	（シミュレータ）	閉鎖空間	19年	10km/h	遠隔操作（操縦）	シミュレータ上の映像を遅延させることによる操舵のずれがどのくらい起こるかを検証
3	高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業 ¹³	経産省、産業技術総合研究所	ZEN コネクト、ヤマハ発動機、日立製作所、慶應義塾大学、豊田通商	福井県 永平寺町	自転車 歩行者 専用道路	21年3月25日以降の週末	12km/h	遠隔監視／遠隔操作（停止、発進、操舵）	運転手や保安員は乗車せず、遠隔管制（1人で3台まで）での運行

¹⁰ 受託者調査による（2021年9月時点）

¹¹ 参考資料： <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/299708.pdf>

¹² 参考資料： https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/50/3/50_20194372/_pdf

¹³ 参考資料： https://www.aist.go.jp/aist_j/news/au20210323.html

表 3.1.4-1 システム実証例 (2/3)

No	名称	企画の主導 運行主体	システムの 主な提供元	場所	道路 タイプ	期間	最高 速度	遠隔監視／ 遠隔操作	主な実証内容
4	ローカル 5G 実証 ¹⁴	総務省、前橋市	群馬大学、日本モ ビリティ、NEC、 NTT ドコモ	群馬県 前橋市	一般道 大学構内	21 年 2 月	30km/h	遠隔監視／ 遠隔操作 (停止指示)	L5G を活用した自動運転 車両（バス）の安全確保 を支援する仕組み（遠隔 管制室における他車両挙 動識別、見通し外情報の 把握、路車間協調による 衝突検知）の実証
5	5G 実証（建機） ¹⁵	総務省、KDDI、 大林組、NEC	KDDI、大林組、 NEC	大阪府 茨木市 安威川ダム	閉鎖空間	18 年 12 月 3～ 14 日	—	遠隔監視／ 遠 隔 操 作 （ 操 縦）	5G の特長を活用し、2 台 の異なる建機（バックホ ーとクローラードンプ） を遠隔操作により連携さ せ土砂を運搬
6	中国上海での実証 ¹⁶	China Mobile、 SAIC、Huawei	China Mobile、 SAIC、Huawei	中国上海	(不明)	(不明)	(不明)	遠隔操作	5G ネットワークによる遠 隔操作の実証実験を実施
7	5G, IOWN 関連技術 実証 ¹⁷	北海道大学、岩 見 沢 市、NTT、 NTT 東日本、NTT ドコモ	北海道大学、岩見 沢市、NTT、NTT 東 日本、NTT ドコモ	岩見沢市	閉鎖空間	(不明)	(不明)	遠隔監視／ 遠 隔 操 作 （ 操 縦）	ロボット農機や 5G、IOWN 関連技術による農機の圃 場間自動走行と遠隔監視 制御実証

¹⁴ 参考資料： <https://www.gunma-u.ac.jp/information/84393>¹⁵ 参考資料： https://jpn.nec.com/press/201812/20181214_02.html¹⁶ 参考資料： <https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/213.pdf>¹⁷ 参考資料： <https://group.ntt.jp/newsrelease/2020/11/16/201116b.html>

表 3.1.4-1 システム実証例 (3/3)

No	名称	企画の主導 運行主体	システムの 主な提供元	場所	道路 タイプ	期間	最高 速度	遠隔監視／ 遠隔操作	主な実証内容
8	自動運転車のユースケースに関する実証 ¹⁸	ソフトバンク、SUBARU	ソフトバンク、SUBARU	スバル研究実験センター美深試験場（北海道中川郡美深町）	閉鎖空間	20 年 8 月	(不明)	遠隔監視／ 遠隔操作 (減速指示)	5G 及び C-V2X を活用した合流時車両支援の実地実証

¹⁸ 参考資料 : https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2020/20201124_01/

(3) システム要件例

関係各所で検討されている遠隔操作に関するシステム要件例（抜粋）を以下に示す。

- 「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準」（警察庁）
遠隔監視・操作者が全ての実験車両及び走行する方向の状況を把握するための映像及び音を同時に監視できること
- 「遠隔型自動運転システムを搭載した自動車の基準緩和認定制度（実証）」（国土交通省）
遠隔監視・操作者が全ての実験車両及び走行する方向の状況を把握するための映像及び音を同時に監視できること
 - 1) 運転操作に必要な情報の伝達時に発生するタイムラグ
車両が停止するまでに要する距離（空走距離+制動距離）が、周囲の交通環境等に照らし安全なものであること。
 - 2) 操縦装置に関する要件
遠隔運転者席において、乗車時の運転席と同様の操作ができること。
遠隔運転者席において、ディスプレイに表示される等基準適合車両内の運転者席と同様にテレテールが確認できること。
 - 3) 視界に関する要件
遠隔運転者席において、基準適合車両内の運転者席の直接視界及び間接視界と同様の視界をディスプレイ上に映像として表示すること、または基準適合車両内の運転者席と同様の視界のうち、遠隔運転者席においてディスプレイ上に映像として表示されていない視界部分に障害物が存在する状況とならない措置をとり、かつ、それ以外の視界をディスプレイ上に映像として表示すること。
- 3GPP(TS22.186)における遠隔操作に関するケーススタディ
3GPP(TS22.186)では遠隔走行における性能要件が表 3.1.4-2 のように規定されている。

表 3.1.4-2 遠隔走行における性能要件(TS22.186)

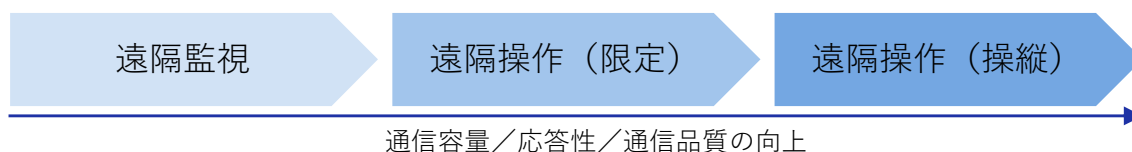
Communication scenario description ¹⁾	Req # ²⁾	Max end-to-end latency (ms) ³⁾	Reliability (%) ⁴⁾	Data rate (Mbps) ⁵⁾
Information exchange between a UE supporting V2X application and a V2X Application Server ⁶⁾	[R.5.5-002] ⁷⁾	5 ⁸⁾	99.999 ⁹⁾	UL: 25 ¹⁰⁾ DL: 1 ¹¹⁾

(4) システム要件の考え方

現状、実証等で運用されている V2N を利用した遠隔監視／遠隔操作に関しては、実装が可能である通信環境・通信性能に応じて、運用车速や、遠隔監視／遠隔操作内容を制限付けして運用を実施している。

通信性能から見た遠隔操作では、遠隔監視のもとで遠隔操作を実施する観点から、通信容量や通信品質の向上が求められる。一方、自動運転性能から見た遠隔操作では、自律走行する車両を遠隔で監視するという観点から、自動運転性能（自律運転、インフラ協調）の向上が求められる。今後、遠隔操作に関するシステム要件を考えていく上では、図 3.1.4-2 に示すとおり、通信性能、自動運転性能双方の進化を鑑み、さらにサービスを実施する場所（高速道路、一般道）等の考慮も含めた、広域通信（V2N）だけでなくシステム全体最適を考えた要件定義が必要と想定される。

・通信性能からみた遠隔操作の考え



・自動運転性能からみた遠隔操作の考え

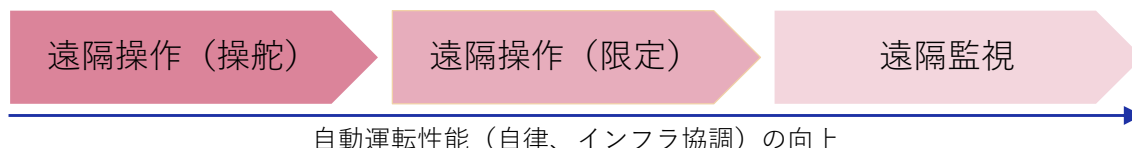


図 3.1.4-2 遠隔操作におけるシステム要件の考え方

3.2 狭域通信の課題・対応策の検討

本節では、2.2.1 項に示した通信要件を検討した中で抽出した留意事項に基づく課題の整理及び課題に対する対応策を述べる。

3.2.1 想定するシステム全体像

狭域通信を用いたユースケースを実現する上で想定したシステム全体像を図 3.2.1-1 に示す。

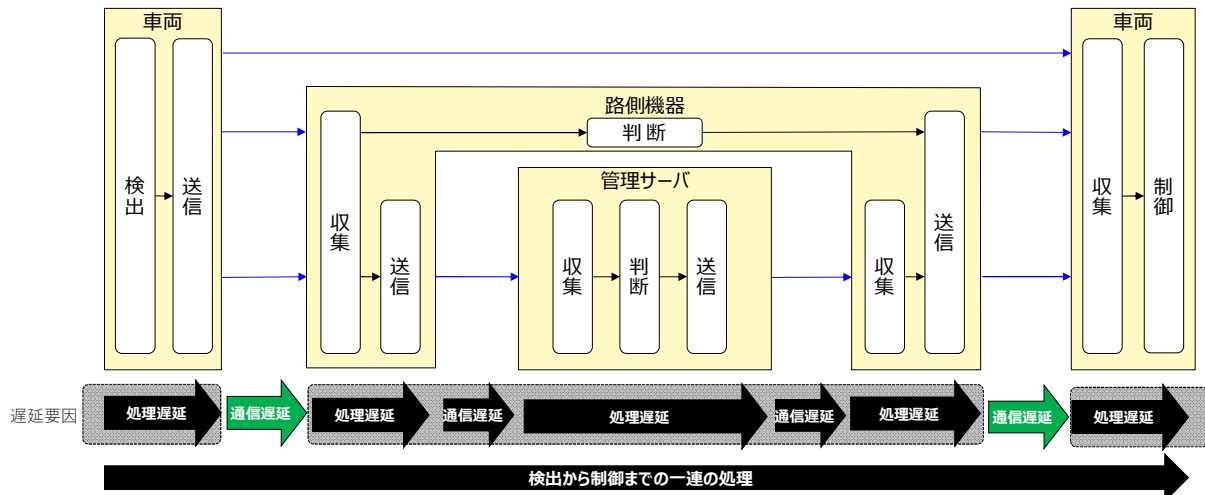


図 3.2.1-1 狭域通信のシステム全体像

自車の想定は、協調型自動運転ユースケースで定義された協調型自動運転システム「自律型自動運転システムをベースに、車載センサ検知外の情報や自車が保有する情報の提供及び車車／路車間の意思疎通を通信で行うことで、より安全でスムーズな自動運転制御を可能とするシステム」とする。

周辺他車両の想定については、協調型自動運転システムで自動走行している車両を“協調走行車”とし、協調型自動運転システムを搭載していない、ドライバーが運転する車両（協調型自動運転システムを使用せずにドライバーが運転する車両を含む）や自律型自動運転システムで自動走行している車両を“V2X 非対応車”とする。

3.2.2 課題への検討事項

2.2 節において、狭域通信の課題・対応策の検討に際し、検討対象とする狭域通信を用いたユースケースの選定評価観点と、検討対象とするユースケースの選定結果を行った。

- ユースケースの選定評価観点
 - 通信量
 - b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)、c.先読み情報：衝突回避、e.先読み情報：緊急車両回避では、交差点周辺においてユースケースの同時発生が予想されるため、大容量の通信帯域の確保が必要となる。
 - 通信遅延
 - a.合流・車線変更支援、b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)、c.先読み情報：衝突回避、g.隊列・追従走行では、周辺車両からの情報収集を基に即時の運転操作を行うため、低遅延であることが求められる。
 - 通信台数・通信頻度
 - a.合流・車線変更支援において運転支援を行うにあたり、複数車両及び双方の通信が行われるため、あらかじめ通信台数・通信頻度について検討しておく必要がある。

- ・ ユースケースの選定

- 1) 頻繁な双方向通信による通信の輻輳

車両と路側機間との通信を使用し、複数車両が路側機と双方向通信を行うため通信の輻輳が生じることが想定されるユースケース

- ・ a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援

- 2) 複数ユースケースの競合による通信の輻輳

交差点周辺で複数ユースケースの同時発生が想定されるケース

- ・ b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)
- ・ c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援
- ・ c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)

本項では、選定したユースケースに対し、課題への検討事項を整理した。

- (1) 頻繁な双方区通信による通信の輻輳

前述の 2.2 節に述べた狭域通信を用いたユースケースのうち、選定したユースケースである a-1-3.の通信要件を抜粋し、表 3.2.2-1 にまとめると共に、それぞれの項目について検討事項を整理した。

表 3.2.2-1 ユースケース a-1-3.における通信要件 (2.2 節より抜粋)

項目	メッセージ名			
	位置情報	管制要求	調停要求 更新要求	調停応答 更新応答
通信形態	V2I (I → V)	V2I (V → I)	V2I (I → V)	V2I (V → I)
通信相手	非特定車両	路側機	特定車両	特定車両
対象エリア (最小範囲)	合流起点 6 秒前から合流起点まで	管制要求範囲内	管制要求範囲内	管制要求範囲内
エリア当たり送信台数	1 台	1 台	1 台 (×管制数)	48 台 ※ ² (管制数、混雑時)
必要通信距離	連絡路 : 67.8~118.6m 本線 : 112.5~270m	67.8~118.6m	連絡路 : 67.8~118.6m 本線 : 112.5~270.0m	連絡路 : 67.8~118.6m 本線 : 112.5~270.0m
最大相対速度 (検討事項①)	連絡路 : 20~70km/h 本線 : 20~120 km/h	連絡路 : 20~70km/h 本線 : 20~120 km/h	連絡路 : 20~70km/h 本線 : 20~120 km/h	連絡路 : 20~70km/h 本線 : 20~120 km/h
最大データサイズ	5236 byte (4986+250) 想定台数 : 184 台	287 byte (37+250)	369 byte (119+250) ※ ¹	287 byte (37+250)
周期型もしくは非周期型	周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期 (検討事項②)	100ms	不定		
1 パケット当たり PAR	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)
無線通信区間許容遅延	規定しない	無線通信区間許容遅延として 100ms	無線通信区間許容遅延として 100ms	無線通信区間許容遅延として 100ms

		を想定	を想定	を想定
--	--	-----	-----	-----

- ※1 管制応答メッセージでは、行動開始予定時間の情報要素：2 byteを追加した
121+250=371 byteとなる。
- ※2 本線：3車線、連絡路：1車線で車両密度を12台/車線で試算した場合となる。
本線：6車線、連絡路：2車線では、送信台数が96台となる。

• 通信要件に基づく検討事項①

車両の相対速度（走行速度）が低下するのに伴い、必要通信距離内に存在する車両（通信端末）数の増加による通信輻輳が懸念される。

• 通信要件に基づく検討事項②

100ms周期での送信、及び合流位置の5.9秒前に達したことを契機に合流車両から路側機へ送信される管制要求メッセージを契機に、合流車両⇄路側機⇄本線車両間で行われる調停処理による頻繁なメッセージの送受信による通信輻輳が懸念される。

• 通信要件に基づく検討事項③

対象場所として想定される高速道路、一般道路における本線と連絡路に関する道路形状例を図3.2.2-1に示す。合流車両が存在する連絡路の形状は、合流地点との距離が遠い場合は本線と垂直に近い形であり、合流地点に近づくにつれ徐々にカーブし、最終的には本線と並行に近い形となる。このため、合流地点に路側機を配置すると、距離が遠くなることで「非見通し（NLoS）環境」となることが想定され、同環境における通信への影響が懸念される。

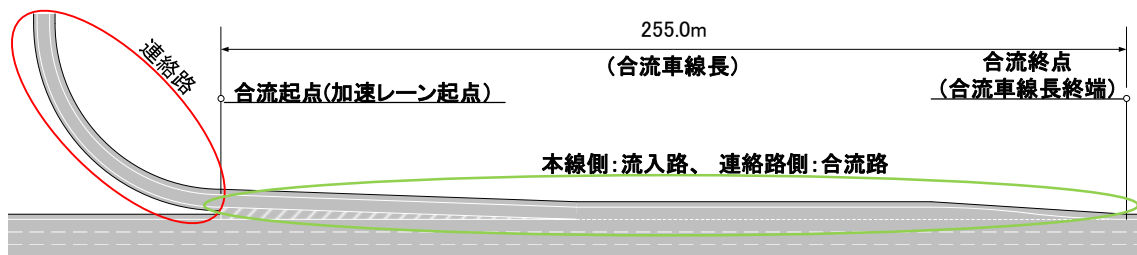


図 3.2.2-1 都市間高速の合流で想定する道路例¹⁹

(2) 複数ユースケースの競合による通信の輻輳

前述の2.2節に述べた狭域通信を用いたユースケースのうち、選定したユースケースであるb-1-1、c-1.及びc-2-2.の通信要件を抜粋し、表3.2.2-1にまとめると共に、それぞれの項目について検討事項を整理した。

¹⁹ SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料（RC-017）

表 3.2.2-2 ユースケース b-1-1.,c-1.,c-2-2.における通信要件 (2.2 節より抜粋)

項目	ユースケース名		
	b-1-1. 信号情報による 走行支援 (V2I)	c-1. 前方での急停止、急減速 時の衝突回避支援	c-2-2. 交差点の情報による走行 支援 (V2I)
メッセージ名	—	—	—
通信形態 (検 討 事 項 ④)	V2I (I → V)	V2V (V → V)	V2I (I → V)
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両
対象エリア (最小範囲)	乗用車：約 138.5m(仮) 大型車：約 206.3m(仮) (黄色 4 秒。60km/h)	- 車車間直接通信：事象発生地点から上流 250m - リレーの場合：事象発生地点から上流 1km	- 上流側：右折車両のウインカ ON 位置（停止線から 30m 上流地点）より上流 - 下流側：右折先終点地点（右折車両が情報を必要とする対向車両の範囲）※対象車線は全直進車線
エリア当たり 送信台数	路側機設置モデル参照	(車両速度：120km/h, 車間距離：2s) 79 台 (車両速度：60km/h, 車間距離：1s) 277 台 (緊急行動実施地点から 1km 区間における 6 車線の総台数)	N/A
必要通信距離	乗用車：約 138.5m(仮) 大型車：約 206.3m(仮) (黄色 4 秒。60km/h) なお、700MHz 帯システムの要求値は 240m	- 車車間直接通信：事象発生地点から上流 250m - リレーの場合：事象発生地点から上流 1km	路側インフラのアンテナ位置に依存する。路側インフラのアンテナを交差点脇に設置、アンテナ高を 6m とすると以下： (片側車線数：6) 75.2m (片側車線数：3) 52.4m
最大相対速度 (検 討 事 項 ⑤)	70km/h	～120km/h	～70 km/h
最大データサイズ	1Kbyte/交差点程度	312byte	(片側車線数：6) 1534 byte (片側車線数：3) 1150 byte ※2
周期型もしくは非周期型	周期型	周期型	周期型
送信周期 (検 討 事 項 ④)	100ms	100ms	100ms
1 パケット当たり PAR	5m 評価区間で 99%以上 ※1 (700MHz 帯システムと同様)	車車間の直接通信における PAR ≥99%	PAR ≥99%
無線通信区間許容遅延	遅延は規定せず。ゆらぎは、±300ms 以内	緊急回避行動発生場所から上流 255m まで：100ms 以内	無線通信区間許容遅延として 100ms を想定

		上記より上流地点：上流 1km までは距離に応じて 30s まで緩和	
--	--	--	--

※1 70km/h は秒速約 20m。5m 評価区間の走行には 250ms 要する。250ms 内に 100ms 周期の送信は 2 回発生。累積 PAR99%は、 $1-(0.1*0.1)=0.99$ から 1 パケット当たり 90%以上のパケット到達を満たせばよい。そのため、無線通信区間許容遅延 100ms で 90%の PAR。

※2 信号情報、交差点識別情報、車両検知情報をまとめて一つのメッセージで送信する場合のメッセージサイズ。各情報を個別のメッセージで送信する場合には、セキュリティオーバーヘッドは各情報に対して加味される。

- 通信要件に基づく検討事項④

通信形態が V2I（路側機→車両）、V2V（車両→車両）と混在するケースにおいて、100ms 周期でのメッセージ送受信が行われることから、メッセージ送受信のタイミングによる通信品質への影響が懸念される。

- 通信要件に基づく検討事項⑤（前述の(1)項における検討事項①と同内容）

車両の相対速度（走行速度）が低下するのに伴い、必要通信距離内に存在する車両数が増加する。車両数の増加による通信輻輳に加え、電波遮蔽車両の存在（特に車車間（V2V）通信）等、通信品質への影響が懸念される。

(3) 検討事項のまとめ

選定したユースケースである、頻繁な双方向通信による通信の輻輳、及び複数ユースケースの競合による通信の輻輳に関し、整理した検討事項に対し、通信への影響が懸念される事項を以下に示す。

- 車両（通信端末）台数の増加による通信の輻輳
- 様々なメッセージ送受信による通信の輻輳
- 電波見通し外（NLoS）環境、シャドウイング（電波遮蔽車両）の影響

3.3 対応策の妥当性に関する評価

本節では、3.2 節で整理された検討事項に関し、選定したユースケースに則した通信シミュレーションによる検証評価内容及びその結果について述べる。

3.3.1 妥当性評価の概要

(1) 検証の目的

検討事項である、「車両（通信端末）台数の増加による通信の輻輳」、「様々なメッセージ送受信による通信の輻輳」、「電波見通し外（NLoS）環境、シャドウイング（電波遮蔽車両）の影響」について、選定したユースケースを則した通信シミュレーションを行う。得られた結果から、通信上の問題点の特定、原因・改善策の検討、及び追加検証による改善案の効果の評価を目的とする。

(2) 実施概要

- 選定されたユースケースの通信シナリオを通信シミュレーション環境に適用し、その理論上の現象再現、評価を行う。
- シミュレーションでは車両（車載機）と車両（車載機）、及び車両（車載機）と路側機の間は、3GPP で規定された LTE V2X（PC5）通信方式により通信を行う。
- 通信に用いるメッセージやシーケンスは、通信シナリオに基づき、シミュレータに則する形で検証用のメッセージ、シーケンスを作成し、これに基づいてシミュレーションを行う。
- シミュレーションにおける評価パラメータは以下のとおり。
 - パケット到達率（PAR）
 - 受信信号強度（RSSI）
 - 通信遅延量
- PAR は、メッセージ送信間の送信パケット数、及び受信パケット数から算出を行う。
- シミュレーションにおける道路環境は、検証用の環境を定義し、道路上に通信に使用する車両を配置する。車両は配置した位置（固定）において通信を実施する。
- 無線通信に関する諸元として、ITS フォーラムが策定したガイドライン²⁰推奨値との比較を表 3.3.1-1 に、ガイドラインのパラメータ設定例との比較を表 3.3.1-2 に示す。
- シミュレータは、Scenargie 2.2（Space-Time Engineering 社製）を使用する。シミュレータの動作環境について表 3.3.1-3 に示す。

表 3.3.1-1 シミュレーションで使用する無線通信諸元

項目	検証使用値		ガイドライン推奨値	
	路側機	車載機	路側機	車載機
周波数	5. 90GHz		6GHz	
帯域	10MHz		10MHz	
送信電力	20dBm		—	
変調方式	QPSK/16QAM/64QAM		QPSK/16QAM	
アンテナ高	6m	1. 5m	6m	1. 5m
アンテナ利得	0dB	0dB	—	0dB
ダイバーシティ	対象外	非適用	対象	—
連送回数	1 回（連送なし）	1 回（連送なし）	1 回（連送なし） ～5 回	1 回（連送なし）～ 5 回
給電損失	0dB	4dB	—	—

²⁰ ITS 情報通信システム推進会議 ITS FORUM RC-015 1.0 版 表 A4-1、及び表 A4-5 より抜粋。
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p64/ITS_FORUM_RC-015_v10.pdf

伝搬損失モデル	ITU-R P. 1411	ITU-R P. 1411	ITU-R P. 1411	ITU-R P. 1411
フェージング	レイリー (NLoS) 、 仲上 (LoS)			

検証使用値とガイドライン推奨値の差分のある項目について以下に理由を示す。

- ダイバーシティ
検証で用いるシミュレータにて、物理的にアンテナを複数設定する機能を具備していないため
- 連送回数
検証で用いるシミュレータにて、連送機能をサポートしていないため

表 3.3.1-2 検証で使用する無線通信パラメータのガイドラインとの比較

パラメータ名		検証使用値	RC-015 Example setting ^{※1}
SL-V2X-PreconfigFreqInfo-R14			
※2	syncPriority-r14	設定なし	Gnss
SL-PreconfigGeneral-r12			
—	carrierFreq-r12	5.9GHz	To be set experimental frequency
—	maxTxPower-r12	RSU : 23dBm 車両 : 19dBm (給電損失 4dB)	23dBm
—	sl-bandwidth-r12	n50 (10MHz) , n100 (20MHz)	n50 (10MHz) , n100 (20MHz)
SL-V2x-PreconfigCommPool-r14			
※3	sizeSubchannel-r14	1Resource Block 当たり 1Subchannel として機能	n10
※3	numSubchannel-r14	1Resource Block 当たり 1Subchannel として機能	n5
—	threshS-RSSi-CBR-r14	9 (-94dBm)	9 (-94dBm)
SL-CommTxPoolSensingConfig-r14			
—	probResourceKeep-r14	v0dot8	v0dot8
SL-PSSCH-TxParameters-r14 for parametersBelowThres-r14			
※4	minMCS-PSSCH-r14	QPSK (Coding Rate 0.44) / 16QAM (Coding Rate 0.48) / 64QAM (Coding Rate 0.45)	5 (QPSK (Coding Rate 0.57))
※4	maxMCS-PSSCH-r14	QPSK (Coding Rate 0.44) / 16QAM (Coding Rate 0.48) / 64QAM (Coding Rate 0.45)	11 (16QAM (Coding Rate 0.57)

※1 ITS 情報通信システム推進会議 ITS FORUM RC-015 1.0 版 表 3.2-1 RRC Layer (TS 36.331)パラメータ設定例より抜粋

https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p64/ITS_FORUM_RC-015_v10.pdf

※2 検証では完全に同期していることが前提であることから、シミュレータに設定機能なし。

※3 モデル上、Resource Block 単位での SINR を算出やリソースの割り当てを実施する。

※4 使用する変調方式に合わせてどちらかを使用する。

表 3.3.1-3 シミュレータの推奨動作環境と実際の動作環境との比較

項目	推奨動作環境	実際の動作環境
OS	Windowd10 64bit	Windows10 64bit
クロック	1.8GHz 以上	3GHz
実装メモリ	1G byte 以上	32G byte
HDD 容量	50G byte 以上	1T byte

記載のとおりシミュレータの動作に必要な環境を構築し、シミュレーションを実施した。

(3) 検証内容

検証においては、以下の指標に基づき、評価を実施した。

- PAR
- RSSI
- 通信遅延量

(4) 基礎データの計測

検証に先立ち基礎データとして、頻繁な双方向の通信の発生による通信の輻輳に関するユースケースに対し、周辺車両等の影響を排除した通信環境における PAR の計測を実施し、当該の検証結果との比較を行う。以下に基礎データの計測条件及び計測結果を示す。

表 3.3.1-4 に示すとおり本線、及び連絡路への通信距離に応じた PAR の計測を実施した。

表 3.3.1-4 基礎データとしての検証内容

検証項目	検証内容
通信距離	路側機と測定車両の間や周辺に他の車両を配置せず、通信距離による通信への影響のみを検証

1) 検証条件

- 道路条件
図 3.3.1-1、図 3.3.1-2 及び表 3.3.1-5 に示す。
- 無線通信諸元、パラメータ
前述の表 3.3.1-1 及び表 3.3.1-2 を参照のこと。なお、帯域は 10MHz を、変調方式は QPSK 及び 16QAM を使用した。
- メッセージ
路側機から測定車両へ調停要求/合意要求 (273bytes) を送信する。
- メッセージ送信周期
100ms
- 計測方法
本線、連結路共に、測定車両は 1 台のみとする。
本線は路側機からの通信距離がおよそ 100m 毎、連結路は路側機からおよそ 10 数 m 毎となる地点に測定車両を配置し、PAR を計測する。
表 3.3.1-6 に検証に用いるシナリオを示す。

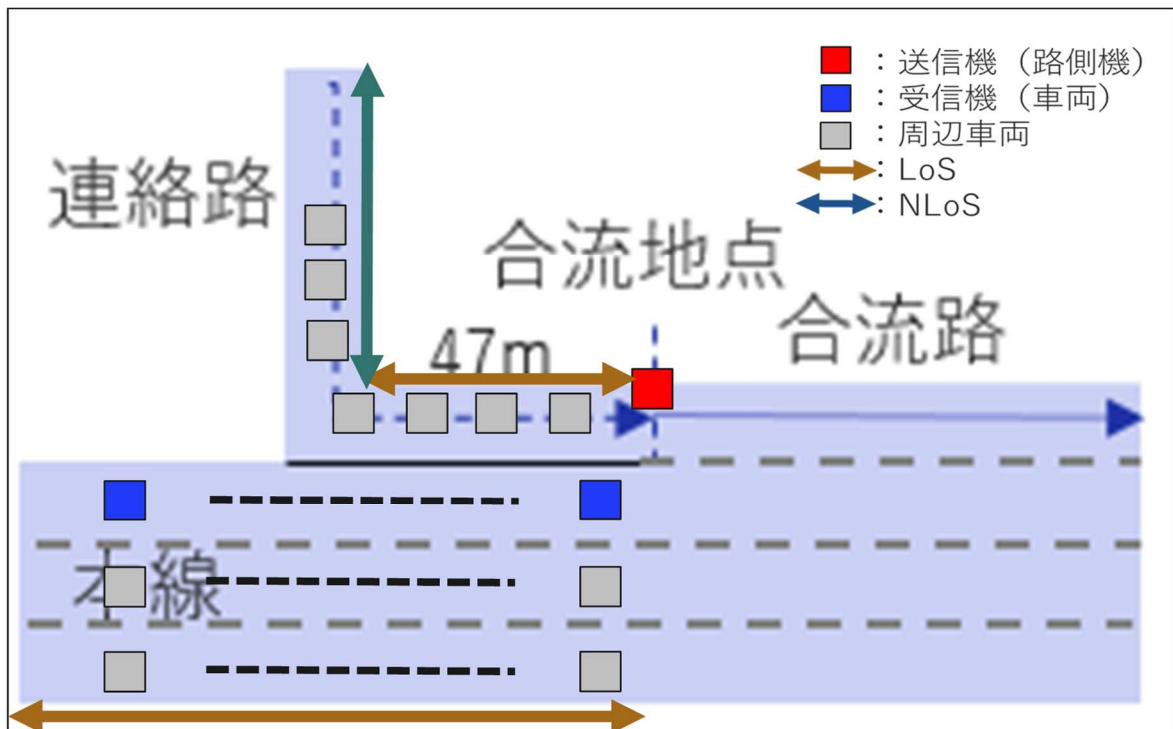


図 3.3.1-1 通信距離に応じた PAR 検証イメージ (本線側)

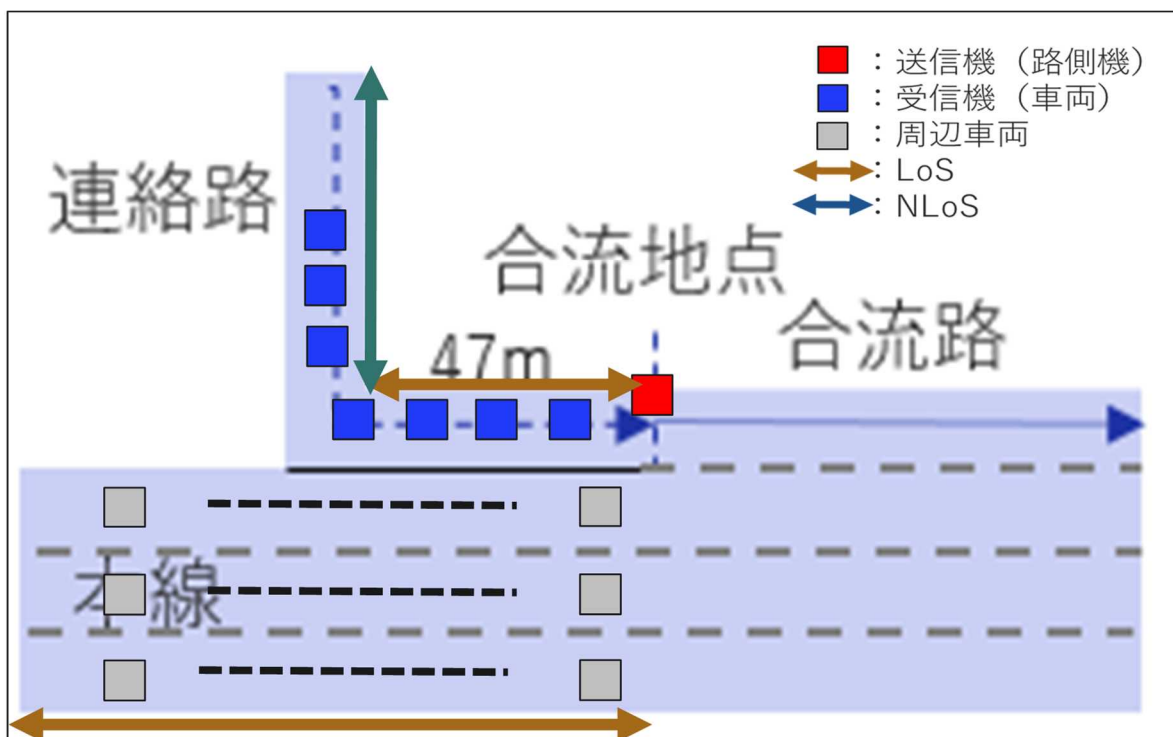


図 3.3.1-2 通信距離に応じた PAR 検証イメージ (連絡路側)

表 3.3.1-5 基礎データとしての検証条件（道路環境、車両）

項目	内容	条件値
連絡路	- 合流地点から本線と並行する区間は見通し（Line of Sight : LoS） - 合流地点から本線と並行しない区間は非見通し（Non Line of Sight : NLoS）	—
連絡路長	4,000m	—
連絡路幅	4.75m	車線幅 3.5m×1 車線＋路肩 1.25m
本線	合流地点から上流側は見通し（LoS）	—
本線長	350m	—
本線幅	11.75m	車線幅 3.5m×3 車線＋路肩 1.25m
路側機設置位置	合流地点	—
防音壁	- 連絡路の外側（本線の反対側）は設定 - 連絡路と本線の並行区間は未設定 - 連絡路と本線が並行しない部分の連絡路側に設定	—
車両長	5m	普通車を想定

表 3.3.1-6 基礎データとしての検証シナリオ

シミュレーションシナリオ	
シミュレーション開始からの時間	アクション
開始直後	特になし
開始 10 秒後	前述の 1) 検証条件に示すメッセージ、送信間隔で路側機から車両へ送信を実施
開始 20 秒後	メッセージ送信を停止
開始 30 秒後	シミュレーションを終了

2) 検証結果

図 3.3.1-3、及び図 3.3.1-4 に PAR の計測結果のグラフを示す。

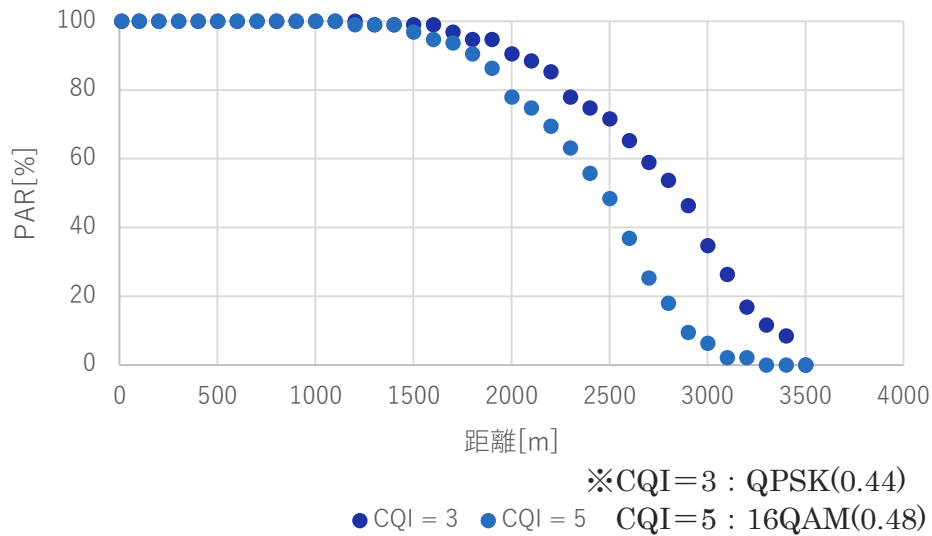


図 3.3.1-3 通信距離に応じた PAR (本線側)

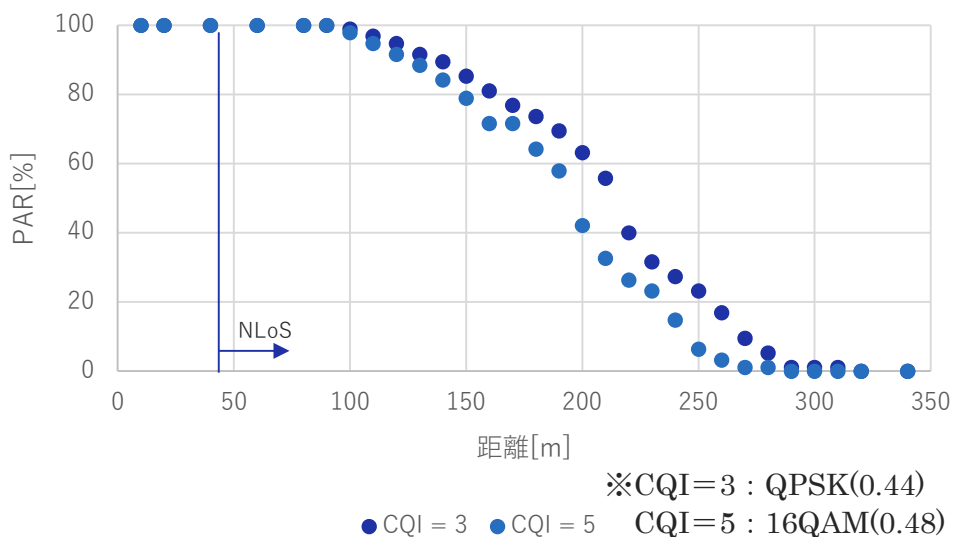


図 3.3.1-4 通信距離に応じた PAR (連絡路側)

3) 検証結果まとめ

検証結果を以下に示す。

- 本線側はすべてが LoS 環境で、1,100m までの通信距離で PAR は 100%
- 連絡路側は NLoS 環境（47m 以遠）で、100m 以上の通信距離で PAR が低下
得られた結果は、3.3.2 項の頻繁な双方向の通信の発生による通信の輻輳の検証に
際し参照する。

3.3.2 検証① 頻繁な双方向の通信の発生による通信輻輳

頻繁な双方向の通信の発生による通信の輻輳の検証について、以下に示す。

(1) 対象ユースケース

対象とするユースケースは「a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援」とする。
以下にユースケースの概要を示す。

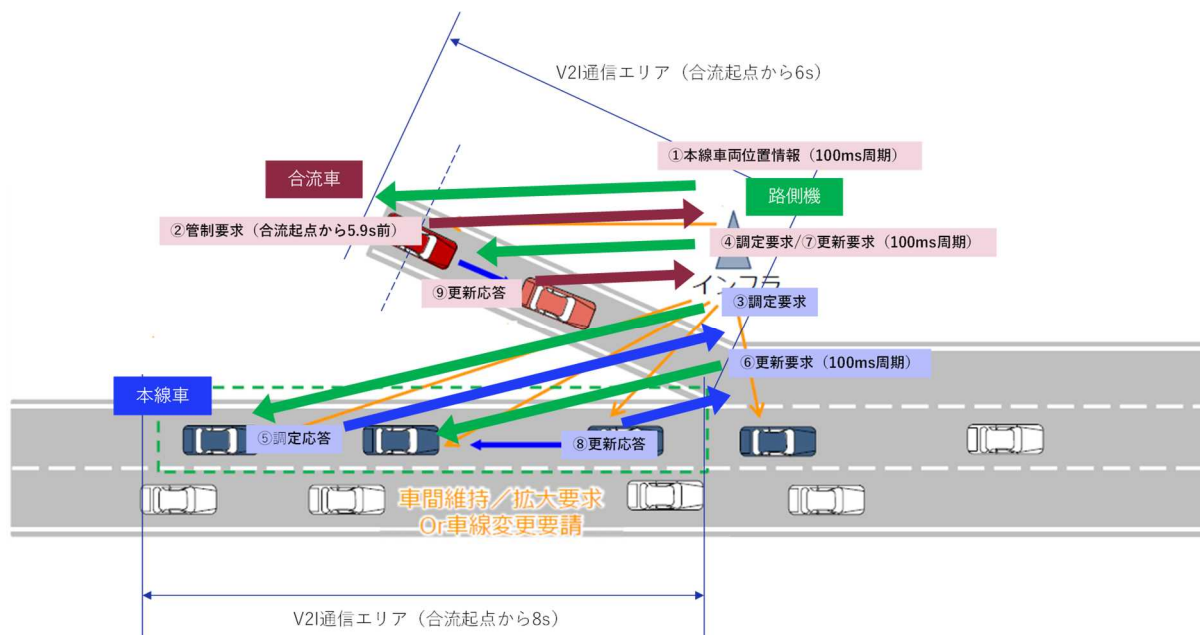


図 3.3.2-1 検証①頻繁な双方向の通信の発生による通信輻輳に関する評価概要²¹

(2) 検証内容

ユースケース a-1-3.の通信要件、通信メッセージ・シーケンスに基づき、通信頻度、通信量を試算し通信メッセージを模擬し、シミュレーション評価を行う。具体的には通信メッセージ毎に、以下の指標についての評価を行った。

- PAR
- RSSI
- 通信遅延量

(3) 検証条件

シミュレーションの検証条件における考慮事項は以下のとおり。

- より厳しい条件として、異なる車両～路側機間のシーケンスが想定する通信頻度 100ms 内に多重することを想定
- 通信輻輳の最悪条件として、複数台の合流車ないし本線車のアプリケーションソフトウェアレベルでの同時送信発生を想定
(実際には各車両がアプリケーションソフトウェアレベルで個別にやり取りするものであるが、最悪条件としてすべての車両が同時タイミングになり得ることを想定)
- 通信シナリオの通信シーケンスに則し、メッセージとして集約できる部分は集約を実施
(通信シナリオに則して試算した通信容量に対し、無線リソース占有見込み約 50%)

²¹ 出典：SIP 協調型自動運転ユースケース-2019 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告-を基に作成

また、その他の条件である道路環境、車両について前述の図 3.3.1-1、図 3.3.1-2 及び表 3.3.2-1 に示す。

表 3.3.2-1 検証条件（道路環境、車両）

項目	内容	条件値
連絡路	合流地点から本線と並行する区間は見通し (Line of Sight : LoS) 合流地点から本線と並行しない区間は非見通し (Non Line of Sight : NLoS)	
連絡路長 ^{※1}	116.7m	470km/h×6s
連絡路幅	4.75m	車線幅 3.5m×1 車線+路肩 1.25m
本線	合流地点から上流側は見通し (LoS)	
本線長 ^{※1}	266.7m	120km/h×8s
本線幅	11.75m	車線幅 3.5m×3 車線+路肩 1.25m
路側機設置位置	合流起点	
車両長	5m	普通車を想定
防音壁	- 連絡路の外側（本線の反対側）は設定 - 連絡路と本線の並行区間は未設定 - 連絡路と本線が並行しない部分の連絡路側に設定	—
車両長	5m	普通車を想定

※1 TG の 2021 年 10 月の検討結果を使用した。

無線通信諸元は前述の表 3.3.1-1 を参照のこと。ただし、変調方式は QPSK を使用する。また、シミュレーションのパラメータについては前述の表 3.3.1-2 を参照のこと。

また、図 3.3.2-2 に検証に際し想定した通信容量（試算）を示し、表 3.3.2-2 にメッセージサイズ、リソースブロック数と送信時間（すべて試算）を示す。

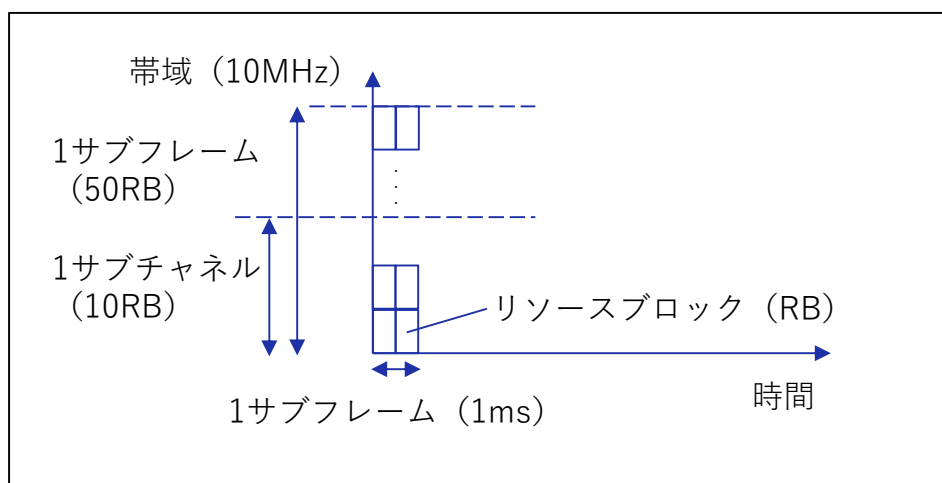


図 3.3.2-2 通信容量の想定

- 帯域 10MHz / 変調方式 QPSK、符号化率 0.44 / 連送なし
- 1 サブチャネル（10RB） ≡ データサイズ 44 [byte]
- 1 サブフレーム（1 サブチャネル×5×2slot） ≡ データサイズ 440 [byte]

表 3.3.2-2 各メッセージのメッセージサイズとリソースブロック数、送信時間

#	通信方向	送信回数	byte	RB	送信時間目安 [ms]
1	I→V(合流車)	1	943	22	3
2	V(合流車)→I	11	287	7×11	8
3	I→V(本線車)	25	273	7×25	18
4	I→V(合流車)	11	273	7×11	8
5	V(本線車)→I	25	287	7×25	18
					計 55 ms

(4) 検証データ

検証で使用する道路モデルと車両配置のイメージを図 3.3.2-3 に、通信シーケンス、メッセージを図 3.3.2-4、及び表 3.3.2-3 に、本線・連絡路に配置する車両数について表 3.3.2-4 に示す。

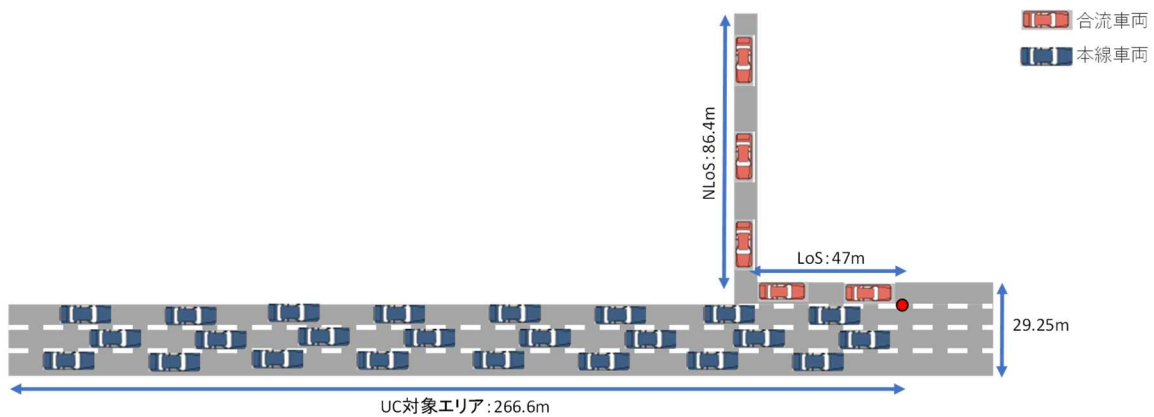


図 3.3.2-3 道路モデルと車両配置イメージ

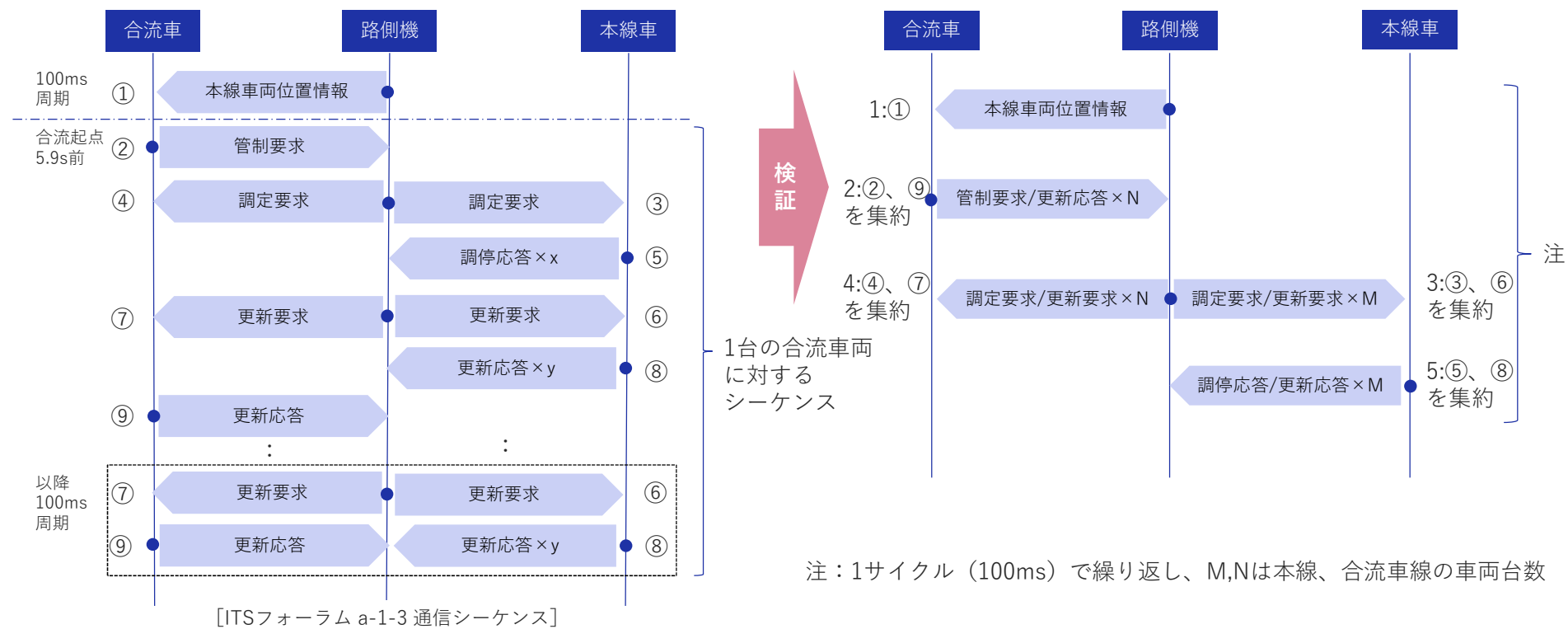


図 3.3.2-4 通信シーケンス

TG にて検討された 2021 年 10 月時点のメッセージ・シーケンスに基づき、検証で使用する通信シーケンスを作成した。

検証においては、以下のとおり各指標のデータを計測した。

- PAR の検証においては、本シーケンス（100ms 間隔で 1 セット）をシミュレーションで 7 秒動作させ、動作してから 1.1 秒後から 7 秒後までの 6 秒間のデータを周期的に収集する。
- RSSI の検証においては、本シーケンス（100ms 間隔で 1 セット）をシミュレーションで 60 秒動作させ、動作してから 10 秒後から 60 秒後までのデータを周期的に収集する。
- 通信遅延量の検証においては、本シーケンス（100ms 間隔で 1 セット）をシミュレーションで 60 秒間動作させ、動作してから 10 秒から 60 秒までの任意の車両 1 台のデータを周期的に収集する。

表 3.3.2-3 通信シーケンスに使用する送信メッセージ・周期

時刻 (s)	メッセージ					通信方向
	Mp	名前	サイズ	サイズ TG 検討結果※1	TG 検討結果との差分 有無／理由	
0.000	1	本線車両位置情報 (25 台分)	943 byte	5236 byte	差分あり／位置情報を 設定する車両数 (TG 検討結果は 184 台) の違い	路側機→合流車両
0.025	2	管制要求、更新応答×11 台	287 byte	287 byte	差分なし	合流車両→路側機
0.050	3	調停要求、更新要求×25 台	273 byte	369 byte	差分あり	路側機→本線車両
0.050	4	調停要求、更新要求×11 台	273 byte	369 byte	差分あり	路側機→合流車両
0.075	5	調停応答、更新応答×25 台	287 byte	287 byte	差分なし	本線車両→路側機

※1 2.2 節に示す TG の 2022 年 3 月時点での検討結果。メッセージ 3、及びメッセージ 4 の差分が生じている。2022 年 3 月では検討が進んだことから、シミュレーションに適用した 2021 年 10 月時点の検討結果から差分が生じたものである。

表 3.3.2-4 車両台数の考え方

条件	合流車両台数：N (連絡路通信エリア 116.7m) ※1	本線車両台数：M (本線通信エリア 266.7m) ※1
高速走行	70km/h、2s 車間×1 車線 計：2 台	120km/h、2s 車間×3 車線 計：9 台
低速走行	40km/h、2s 車間×1 車線 計：4 台	50km/h、2s 車間×3 車線 計：24 台
渋滞	20km/h、1s 車間×1 車線 計：11 台	20km/h、1s 車間×3 車線 計：75 台
最大	20km/h、1s 車間×2 車線 計：22 台	20km/h、1s 車間×6 車線 計：150 台
検証条件	20km/h、1s 車間×1 車線 計：11 台	20km/h、1s 車間×1 車線 (第 1 車線のみ) 計：25 台

※1 2.2 節に示す TG の 2022 年 3 月時点での検討結果。通信エリアの差分が生じている。シミュレーションに適用した条件値は 2021 年 10 月時点の検討結果であり、2022 年 3 月では TG での検討が進んだことから差分が生じたものである。なお、通信エリアには上述のような差異が生じるが、わずかな差異であるため、連絡路上の合流車両数、本線上の車両数への影響は発生しない。

(5) 検証結果

(a) PAR

3.3.2(3)項、及び 3.3.2(4)項に示した条件で、連絡路・本線に配置された車両に対するシーケンスに使用するメッセージ毎の PAR (それぞれの周期の平均値) を、図 3.3.2-5、図 3.3.2-6、図 3.3.2-7、図 3.3.2-8、及び図 3.3.2-9 に示す。

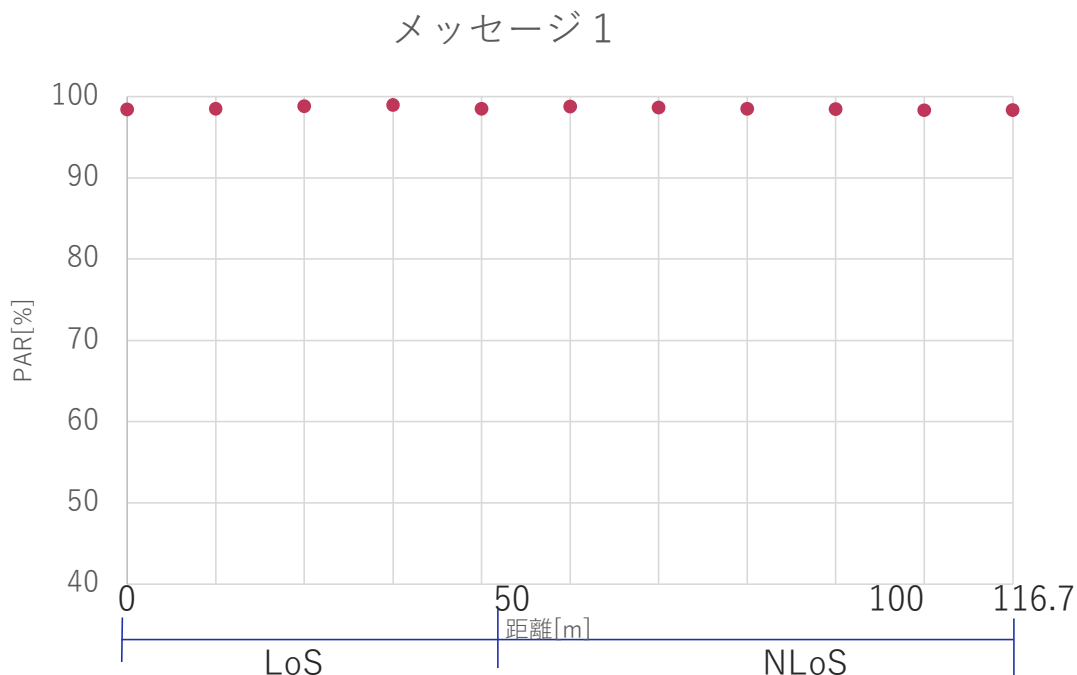


図 3.3.2-5 検証①PAR 計測結果 (メッセージ 1)

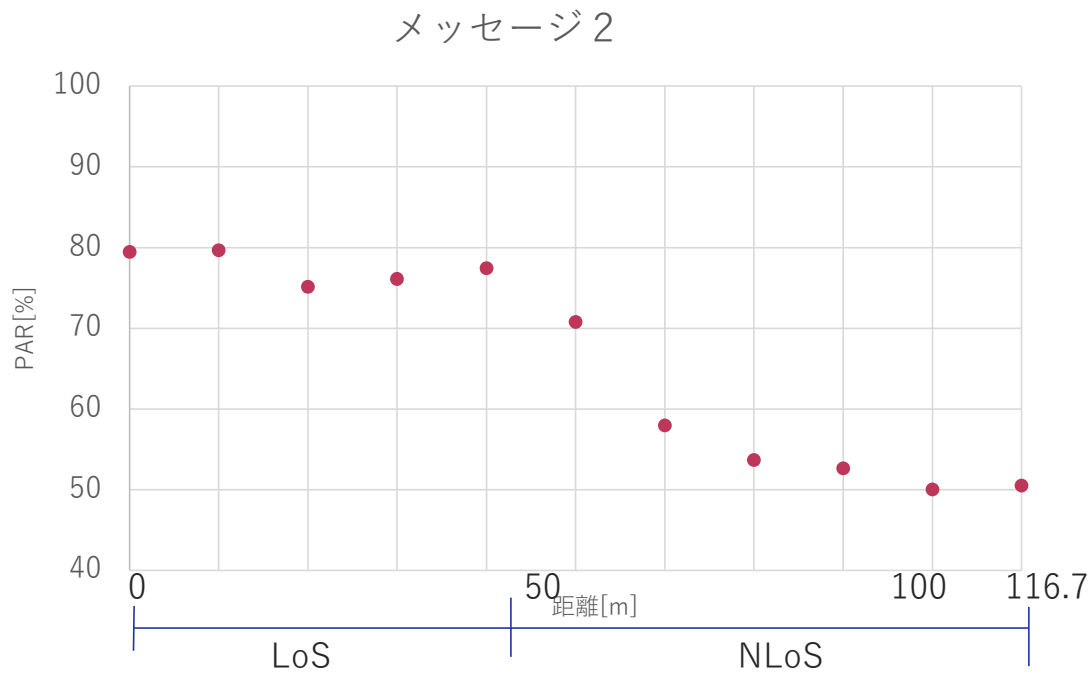


図 3.3.2-6 検証①PAR 計測結果 (メッセージ 2)

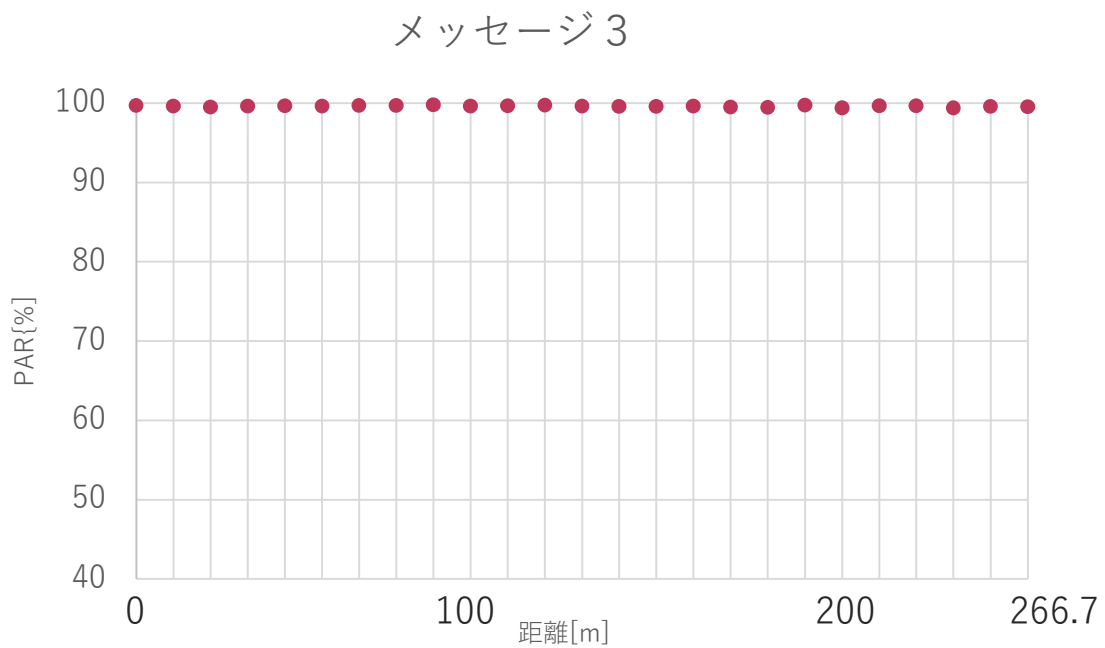


図 3.3.2-7 検証①PAR 計測結果 (メッセージ 3)

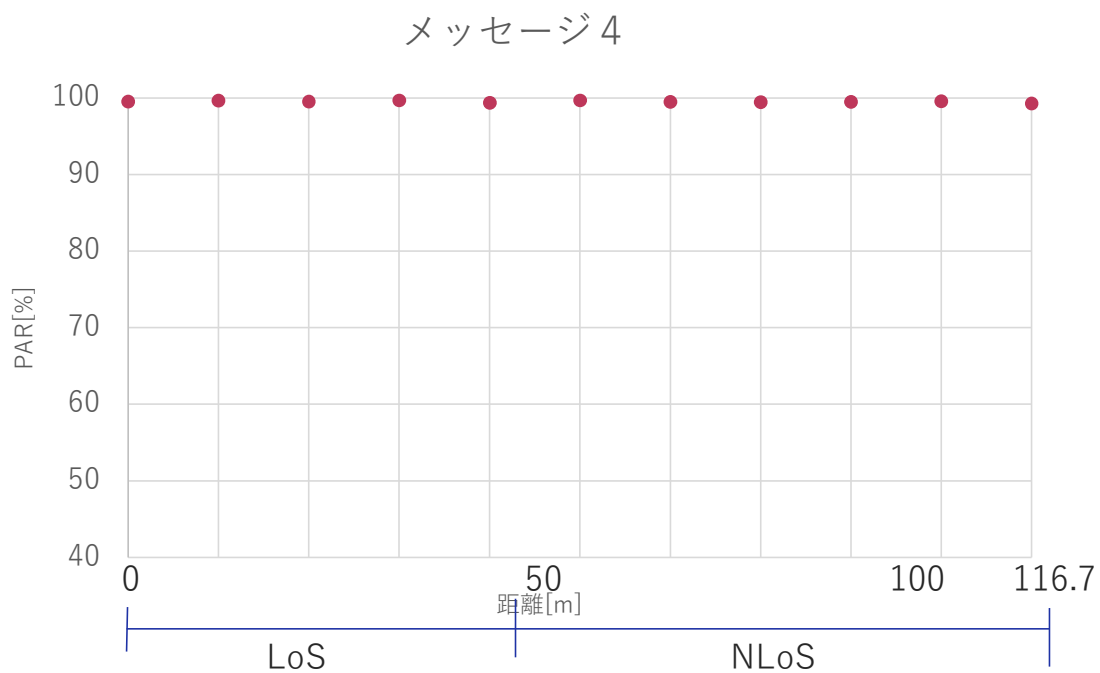


図 3.3.2-8 検証①PAR 計測結果 (メッセージ 4)

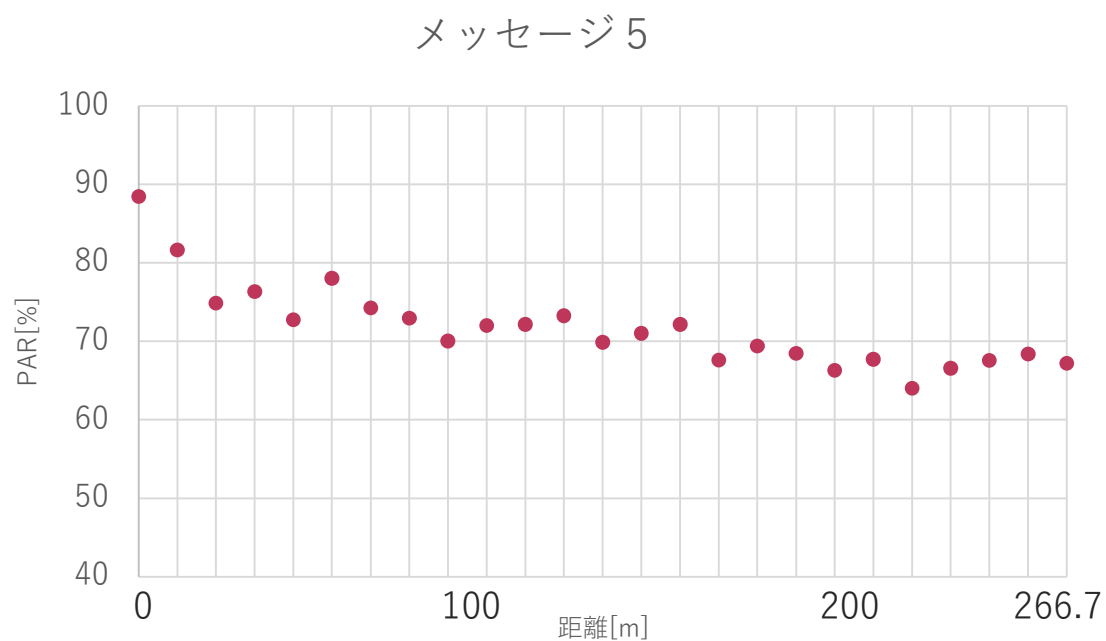


図 3.3.2-9 検証①PAR 計測結果 (メッセージ 5)

(b) RSSI

3.3.2(3)項、及び 3.3.2(4)項に示した条件で、路側機と、連絡路・本線に配置された車両に対するシーケンスに使用するメッセージの RSSI（それぞれの周期の平均値）を図 3.3.2-10、図 3.3.2-11、図 3.3.2-12、及び図 3.3.2-13 に示す。

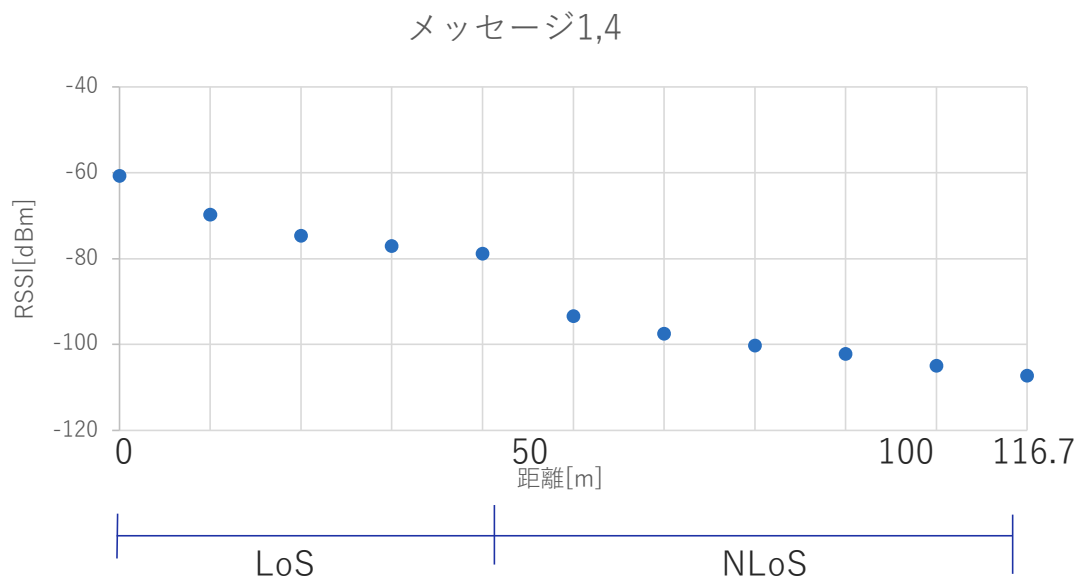


図 3.3.2-10 検証① RSSI 計測結果（メッセージ 1、メッセージ 4）

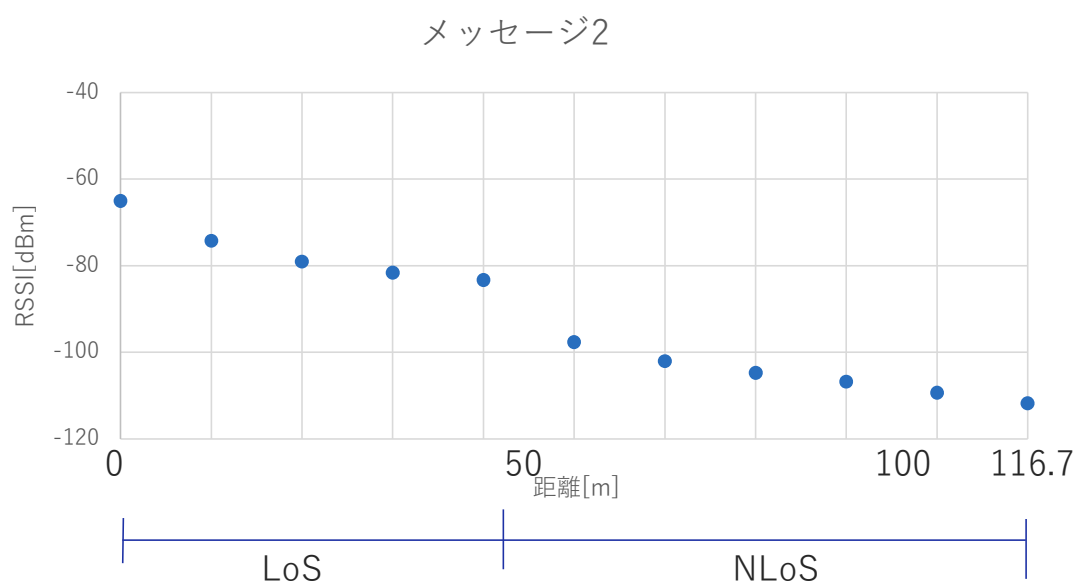


図 3.3.2-11 検証① RSSI 計測結果（メッセージ 2）

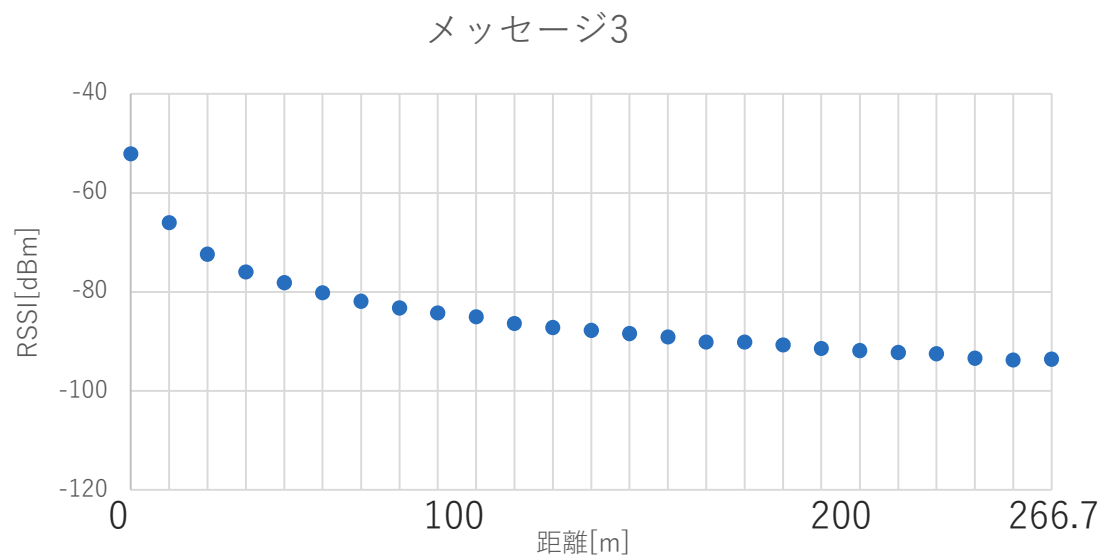


図 3.3.2-12 検証① RSSI 計測結果 (メッセージ 3)

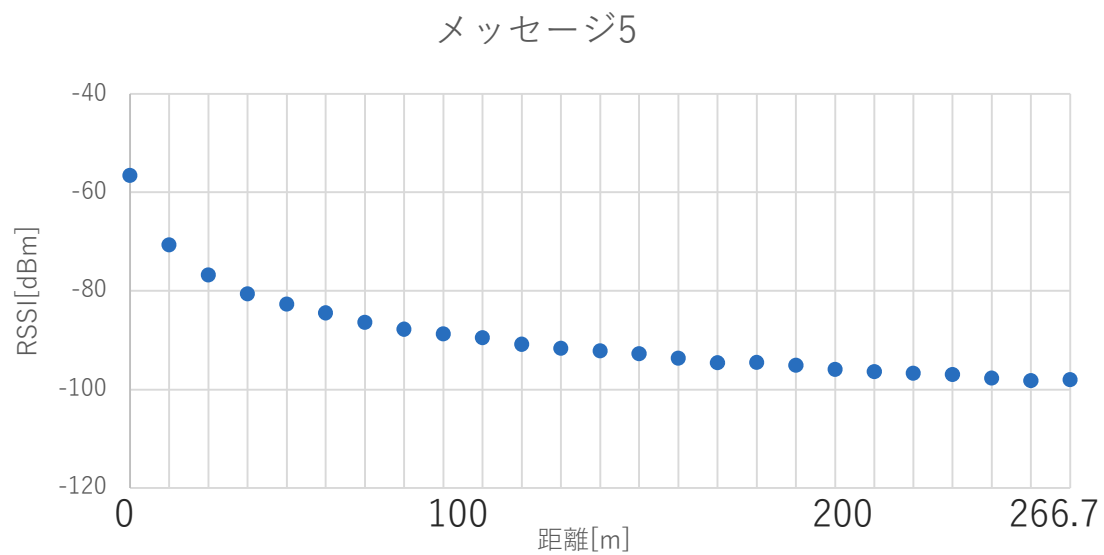


図 3.3.2-13 検証① RSSI 計測結果 (メッセージ 5)

(c) 通信遅延量

3.3.2(3)項、及び 3.3.2(4)項に示した条件で、連絡路・本線に配置された車両に対するシーケンスに使用するメッセージの通信遅延を、図 3.3.2-14、図 3.3.2-15、図 3.3.2-16、図 3.3.2-17 及び図 3.3.2-18 に示す。なお、遅延時間は 0.1ms 毎にシミュレータの具備する機能により収集を実施し、1 秒単位での平均値として図示した。

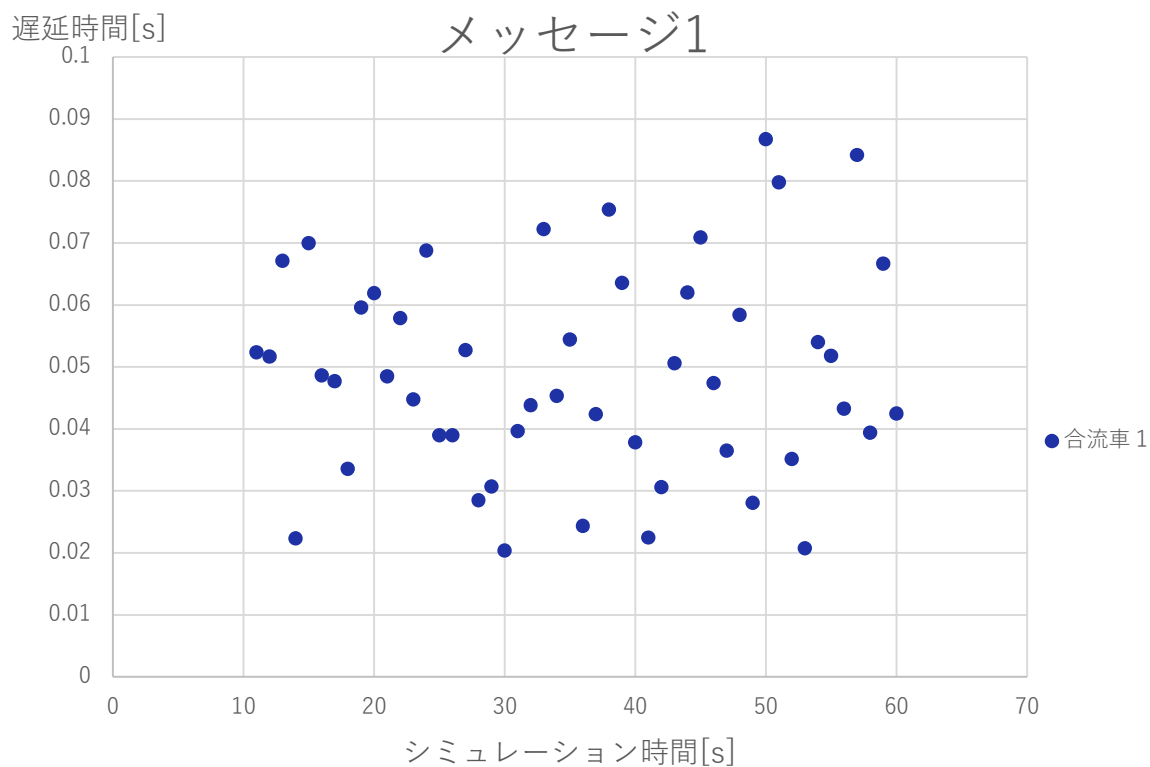


図 3.3.2-14 検証①通信遅延量計測結果（メッセージ 1）

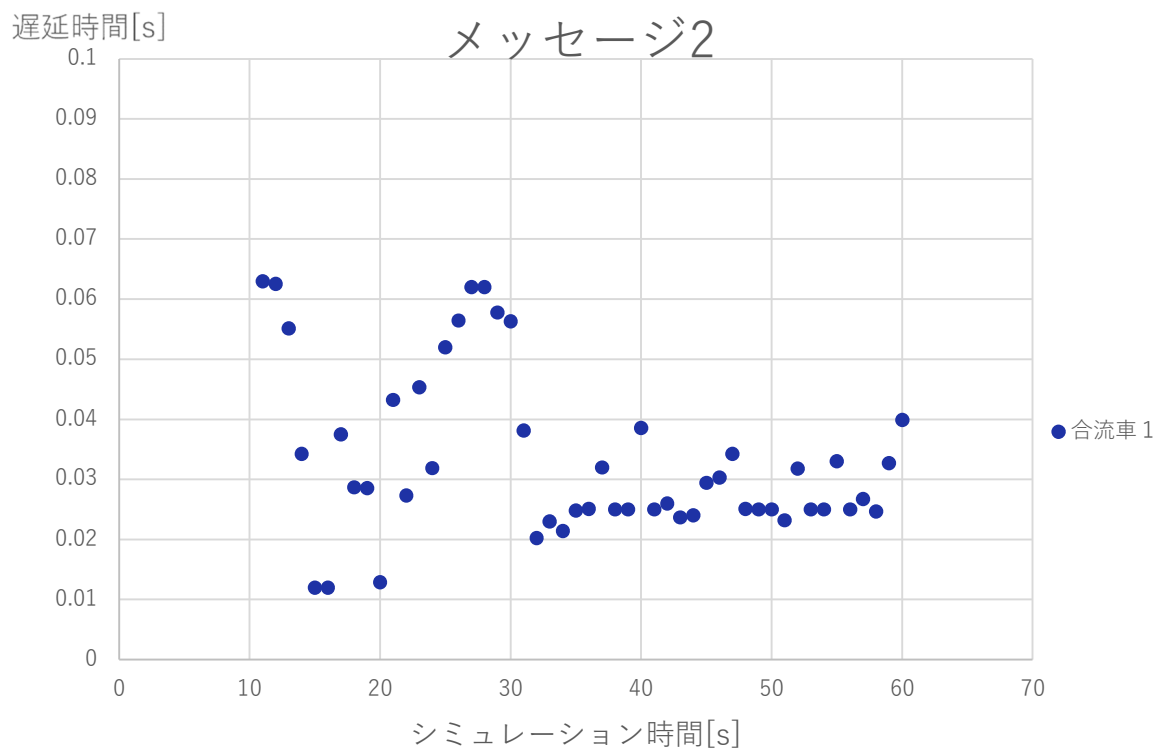


図 3.3.2-15 検証①通信遅延量計測結果（メッセージ2）

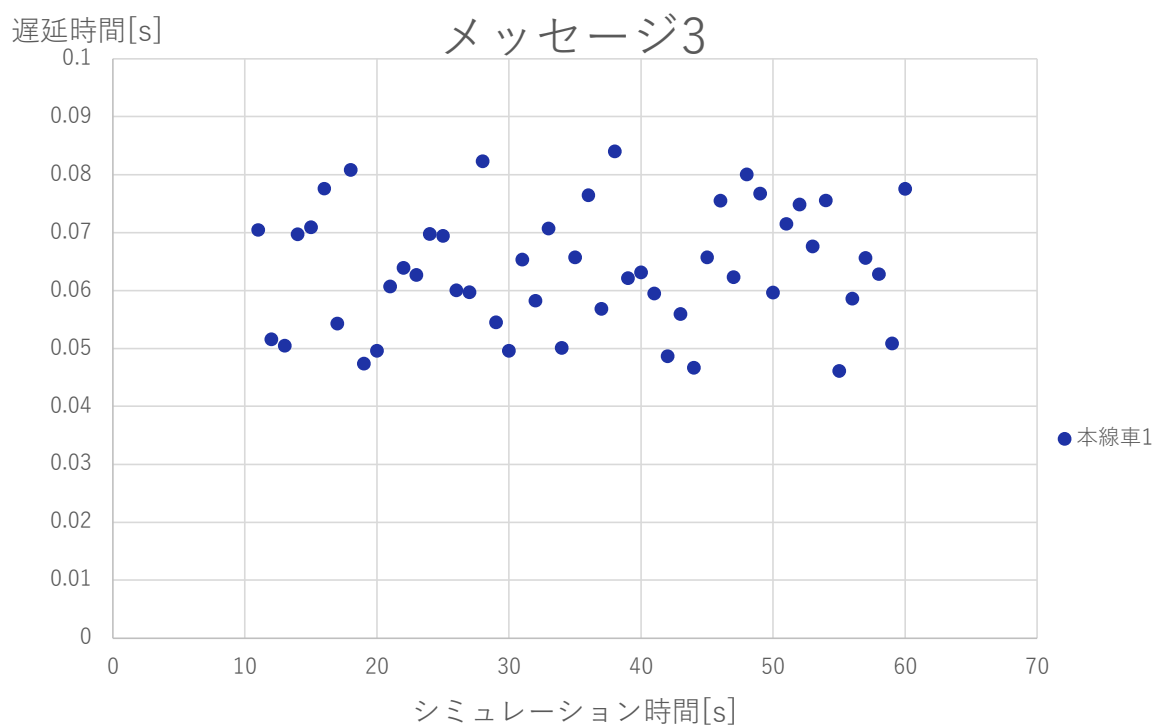


図 3.3.2-16 検証①通信遅延量計測結果（メッセージ3）

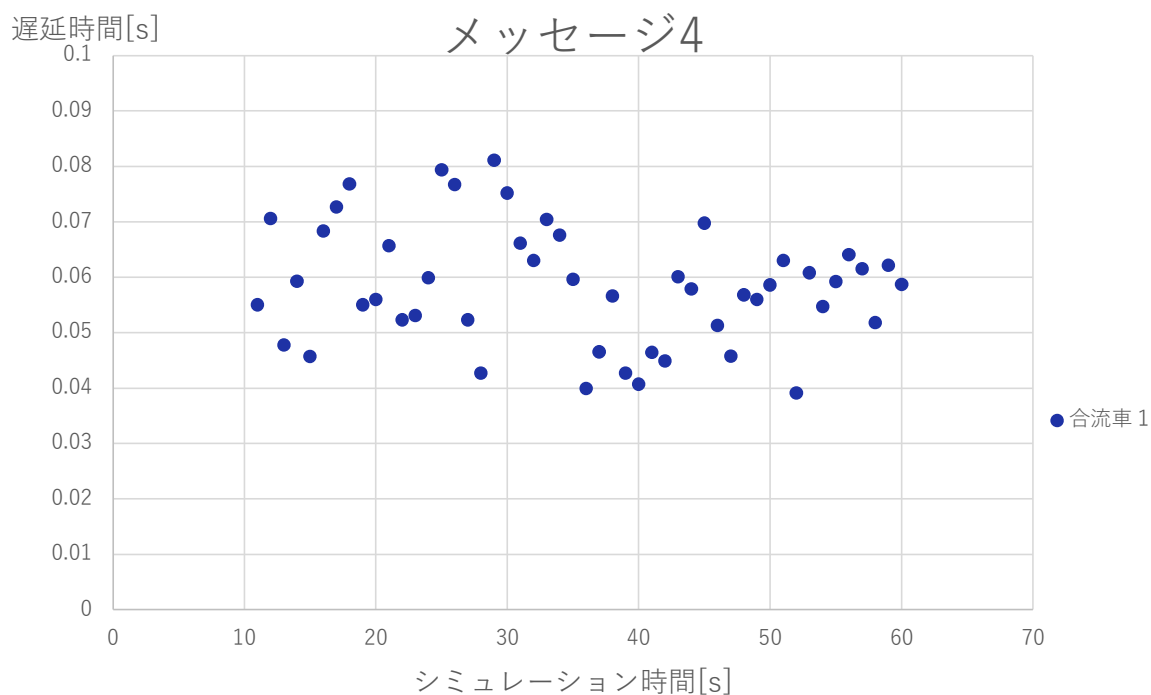


図 3.3.2-17 検証①通信遅延量計測結果（メッセージ4）

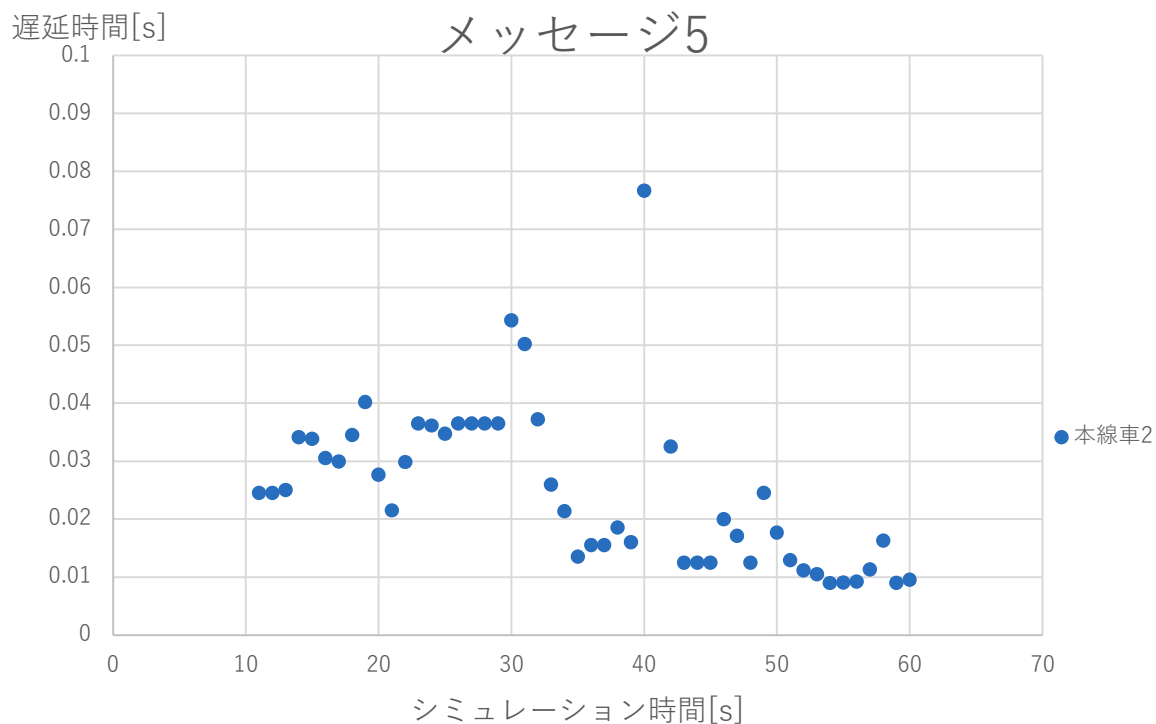


図 3.3.2-18 検証①通信遅延量計測結果（メッセージ5）

(6) 評価・分析

• PAR

路側機→車両通信において使用するメッセージ 1、メッセージ 3、及びメッセージ 4 については、通信エリア全域において 100%に近い PAR が確保され、3.3.1 項の結果と同様の結果が得られた。

一方、車両→路側機通信において使用するメッセージ 2、及びメッセージ 5 については、通信距離が短い時点で PAR の低下が発生し、通信距離が延びるにつれ PAR も低下している。

• RSSI

合流車両と路側機の通信においては、路側機→合流車両方向（メッセージ 1、メッセージ 4）と合流車両→路側機方向（メッセージ 2）共に LoS 環境内、NLoS 環境内においては車両毎に RSSI は約-5dBm の落ち込みが検出され、さらに通信距離を延ばすと RSSI は同じように弱くなることが想定される。また LoS 環境から NLoS 環境への変化点においては約-15dBm と大きな落ち込み幅が検出された。メッセージの方向の観点で比較すると、合流車両→路側機方向の RSSI は、路側機→合流車両方向と比較し全車両で受信強度が-5dBm 程度弱い。

本線車両と路側機の通信においては、すべて LoS 環境内であり、路側機→本線車両方向（メッセージ 3）と本線車両→路側機方向（メッセージ 5）共に、車両毎の RSSI の落ち込み幅は徐々に小さくなっていることが確認された。メッセージの方向の観点で比較すると、本線車両→路側機方向の RSSI は、路側機→本線車両方向と比較し全車両で受信強度が-5dBm 程度弱い。

• 通信遅延量

多少のばらつきはあるが、シミュレーションの実施時間の長短に関わらず、通信遅延量は一定の水準であり、シミュレーションの実施時間の経過に伴う累積的な遅延量の増大傾向は見られない。このことから、シミュレーションの長時間の実施により、徐々にメッセージの送受信処理が蓄積され、時間経過による遅延が発生していない。

以上の結果より、本シミュレーションにおける問題点としては、車両→路側機に送信されるメッセージの PAR の低下、が挙げられる。PAR の低下の原因について以下のとおり分析を行った。

路側機との間に通信を妨げる車両が存在しない本線の先頭車両、及び連絡路の先頭車両の双方で PAR が 100%に到達していないことから、頻繁な通信を行うことで PAR が低下したと考えられる。また、通信距離が長くなるにつれ PAR が低下する点については、路側機と当該車両の間に他の車両が存在することで、通信への影響が生じているものと考えられる。従って、原因は以下の 2 点にあると推定する。

- 頻繁な通信による路側機での送受信タイミングの競合
- 車両における通信輻輳制御のための車両間の PC5 信号有無のセンシングに際し、車両遮蔽損失（条件値：-5dB/台）によるレベル低下よりセンシングができず、他の車両が送信中に同時送信し、パケット衝突が発生（隠れ端末現象）

これらの推定の妥当性を確認するため、以下の追加検証を実施した。

(a) 追加検証

以下に、追加検証の内容について述べる。

- 追加検証 A（路側機での送受信タイミングの競合）

路側機において、自身の送受信タイミングの競合により、メッセージ受信ができない可能性が想定される。これを確認するため、路側機から本線車両、及び合流車両に送信するメッセージ（メッセージ 3、メッセージ 4）の回数を減らすことで、合流車線から路側機へ送信するメッセージ 2、及び本線車両から路側機へ送信するメッセージ 5 の PAR を計測した。追加検証 A で使用するメッセージ 3、及びメッセージ 4 の設定を表 3.3.2-5 に示す。

表 3.3.2-5 追加検証 A で路側機から車両へ送信するメッセージ 3、メッセージ 4 の設定

	メッセージ送信数		メッセージサイズ (byte)	
	検証①	追加検証 A	検証①	追加検証 A
メッセージ 3	25	1	273	777
メッセージ 4	11	1	273	483

- 追加検証 B (パケット衝突)

車両間の PC5 信号のセンシングに際し、車両遮蔽損失によるレベル低下よりセンシングができず、パケット衝突が発生し、PAR が低下した可能性が想定される（隠れ端末現象）。これを確認するため、車両 1 台当たりの遮蔽損を-5dB/台から 0dB/台に変更し、検証を実施した。

(b) 追加検証結果

- 追加検証 A (路側機におけるメッセージ送受信タイミングの競合)

図 3.3.2-19、及び図 3.3.2-20 にメッセージ 2、及びメッセージ 5 の計測結果を示す。

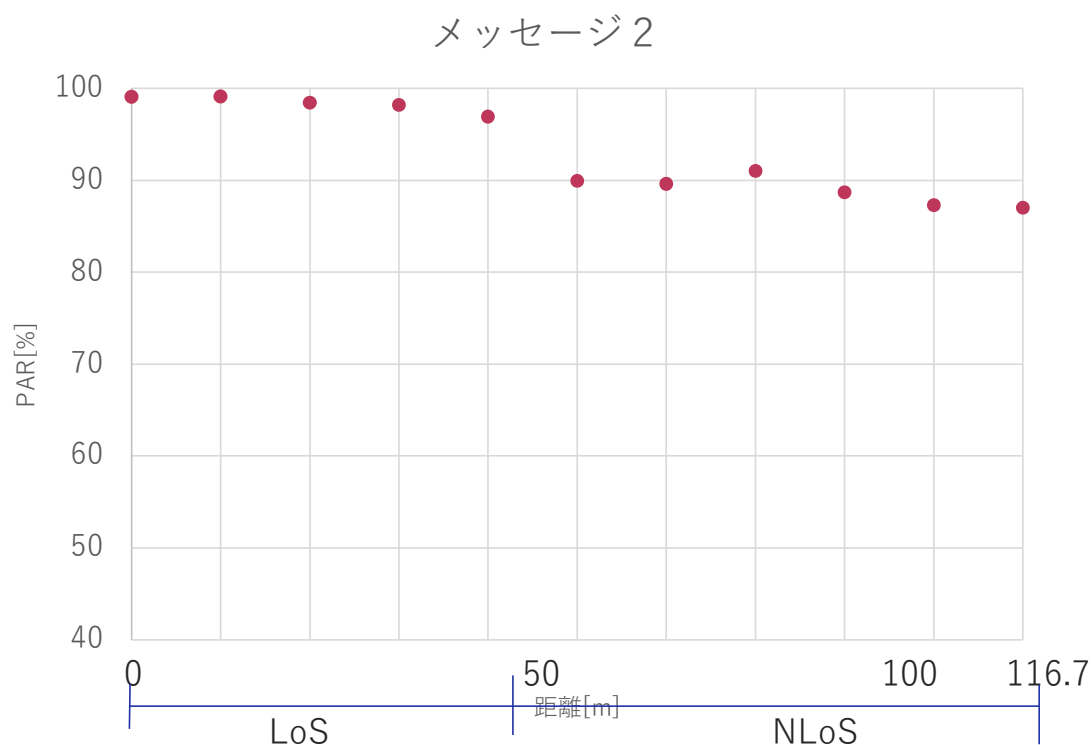


図 3.3.2-19 追加検証 A PAR 計測結果 (メッセージ 2)

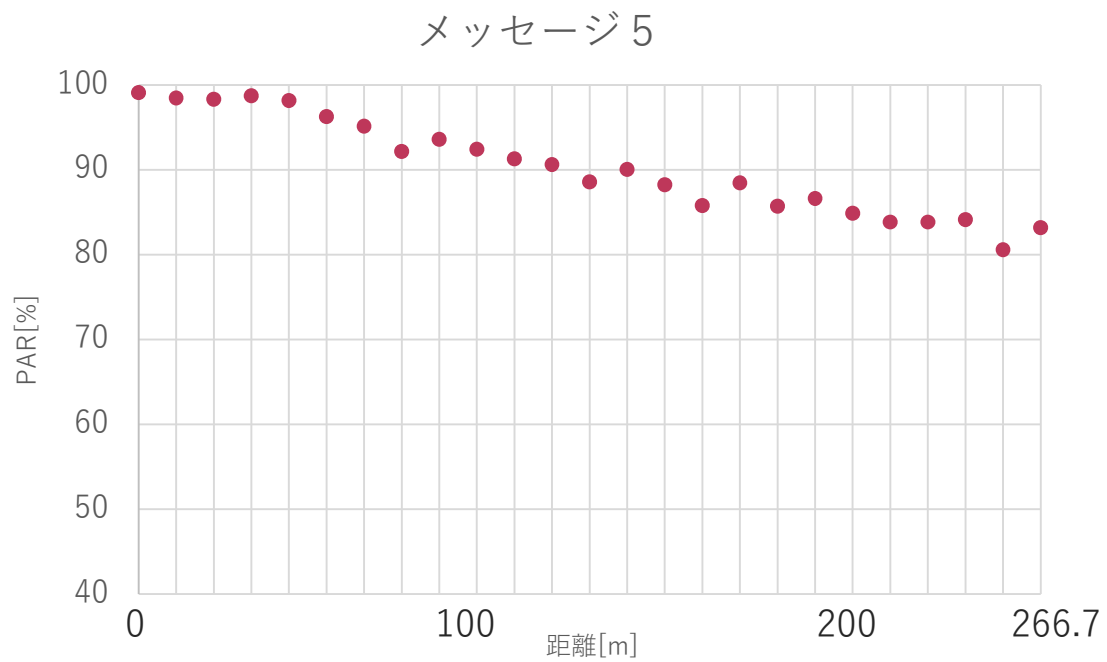


図 3.3.2-20 追加検証 A PAR 計測結果 (メッセージ 5)

- 追加検証 B (パケット衝突)
図 3.3.2-21、及び図 3.3.2-22 にメッセージ 2、及びメッセージ 5 の計測結果を示す。

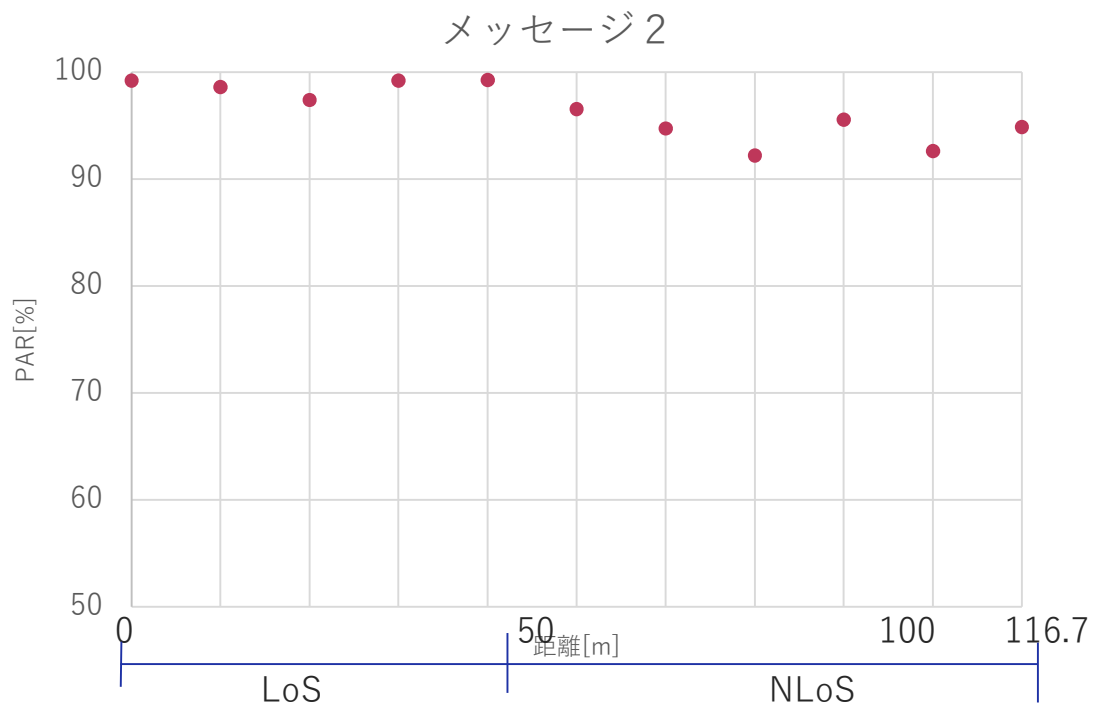


図 3.3.2-21 追加検証 B PAR 計測結果 (メッセージ 2)

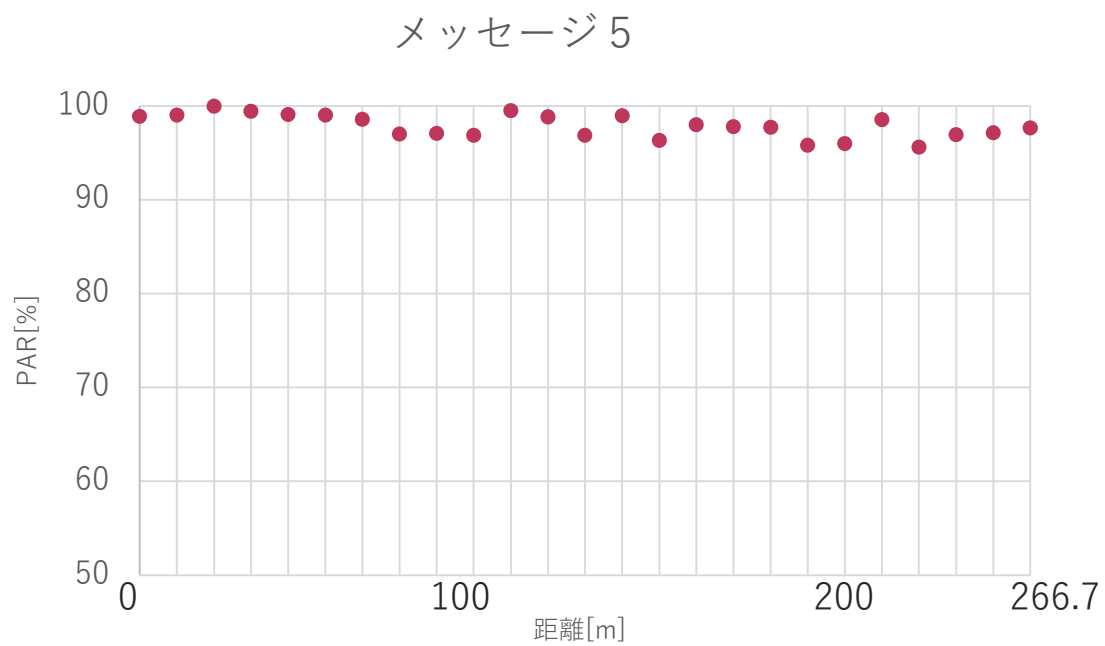


図 3.3.2-22 追加検証 B PAR 計測結果 (メッセージ 5)

(c) 追加検証評価・分析

- 追加検証 A（路側機における送受信タイミングの競合）

図 3.3.2-19 のメッセージ 2 の計測結果より、LoS では PAR は 100～95%、NLoS でも 90%弱で推移している。図 3.3.2-6 に示した検証①におけるメッセージ 2 の計測結果では、LoS では 80%弱、NLoS では通信距離が長くなると 50%程度であったことと比べ、PAR が大きく向上した。

図 3.3.2-20 のメッセージ 5 の計測結果より、PAR は概ね通信距離に比例し、100%から 80%強までなだらかに低下している。図 3.3.2-9 に示した検証①におけるメッセージ 5 の計測結果では、合流拠点近くでは 90～75%程度、通信距離が長くなると、70%弱程度まで PAR が低下していたことと比べ、PAR が大きく向上した。

追加検証 A の結果より、路側機における送受信タイミングの競合により、PAR が低下したものと判断する。

- 追加検証 B（パケット衝突）

図 3.3.2-21 のメッセージ 2 の計測結果より、PAR は LoS では概ね 100%に近く、NLoS でも 90%強から 95%程度で推移している。図 3.3.2-6 に示した検証①におけるメッセージ 2 の計測結果では、LoS では 80%弱、NLoS では通信距離が長くなると 50%程度であったことと比べ、PAR が大きく向上した結果が得られた。

図 3.3.2-22 のメッセージ 5 の計測結果より、PAR は概ね 100%に近い。図 3.3.2-9 に示した検証①におけるメッセージ 5 の計測結果では、合流拠点近くでは 90～75%程度、通信距離が長くなると、70%弱程度まで PAR が低下していたことと比べ、PAR が大きく向上した結果が得られた。

3.3.3 検証② 複数のユースケースの同時発生による通信輻輳

複数のユースケースの同時発生による通信輻輳の検証について、以下に示す。

(1) 対象ユースケース

対象ユースケースは、「c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)」、「b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)」、及び「c-3.ハザード情報による衝突回避支援」とする。

以下にユースケースの概要を示す。

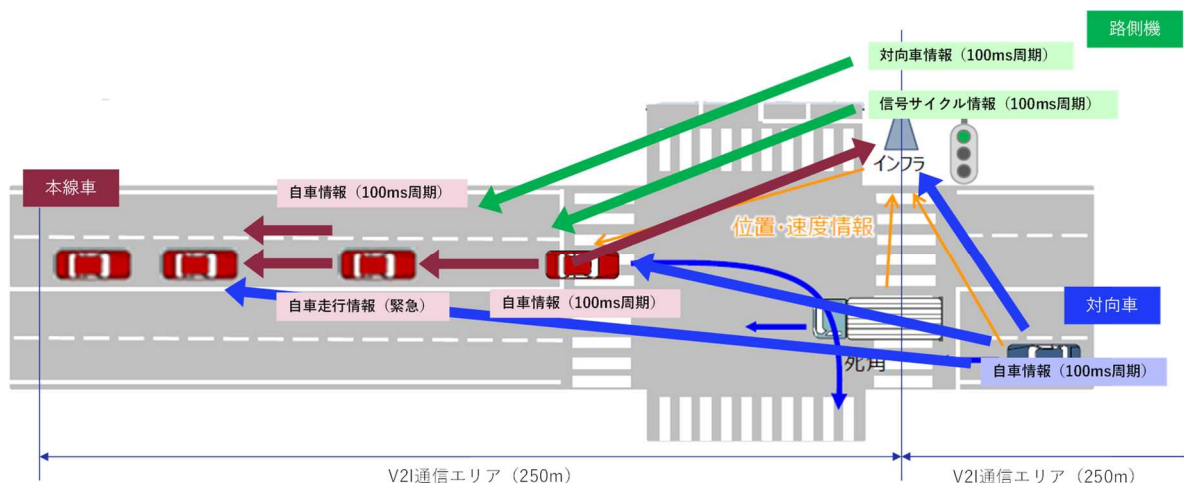


図 3.3.3-1 複数のユースケースの同時発生による通信輻輳の概要²²

(2) 検証内容

交差点での定常的なサービス c-2-2.、b-1-1.に加え、優先度が高い c-1.の輻輳を想定し、それぞれの通信要件、通信メッセージから通信頻度、通信量を試算し、これらを組み合わせた通信シーケンスを作成し、シミュレーション評価を行う。具体的には通信メッセージ毎に、以下の指標について評価を行った。

- PAR
- RSSI
- 通信遅延量

²² 出典：SIP 協調型自動運転ユースケース-2019 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告-を基に作成

(3) 検証条件

シミュレーションの検証条件における考慮事項は以下のとおり。

- より厳しい条件として、異なる車両～路側機間のシーケンスが想定する通信頻度 100ms 内に多重することを想定
- 通信輻輳の最悪条件として、複数台の合流車ないし本線車のアプリケーションソフトウェアレベルでの同時送信発生を想定
(実際には各車両がアプリケーションソフトウェアレベルで個別にやり取りするものであるが、最悪条件としてすべての車両が同時タイミングになり得ることを想定)
- 通信シナリオの通信シーケンスに則し、メッセージとして集約できる部分は集約を実施
(通信シナリオに則して試算した通信容量に対し、無線リソース占有見込み約 90%)

表 3.3.3-1 検証条件 (道路環境)

項目	内容	補足
形状	方路数 4 の交差点	
本線：長さ	250m	
本線：幅	30.25m	車線幅 3.5m×3 車線×2 方向+中央分離帯 1.25m+歩道 4m
交差路：長さ	250m	
交差路：幅	30.25m	
路側機設置位置	交差点の 4 隅	
周辺環境 (建物高)	19m	本線周囲の歩道の外側

また、無線通信諸元は前述の表 3.3.1-1 を参照のこと。ただし、変調方式は QPSK を使用する。また、シミュレーションの無線通信パラメータについては前述の表 3.3.1-2 を参照のこと。

図 3.3.3-2 に検証実施時の道路環境イメージを示す。

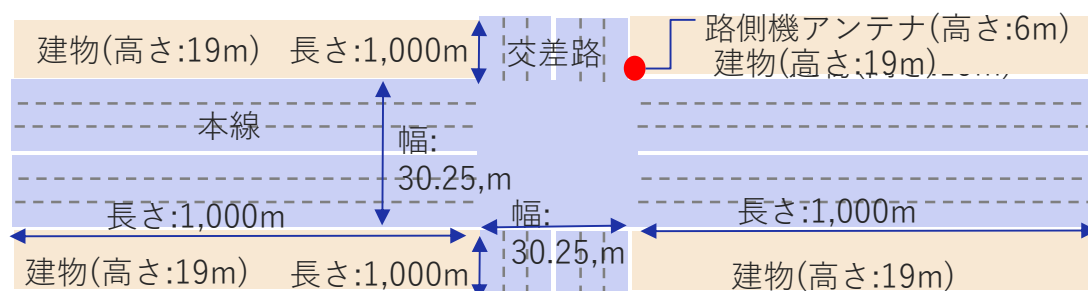


図 3.3.3-2 検証条件 (道路環境)

図 3.3.3-3 に検証に際し想定した通信容量 (試算) を示し、表 3.3.3-2 にメッセージサイズ、リソースブロック数と送信時間 (すべて試算) を示す。

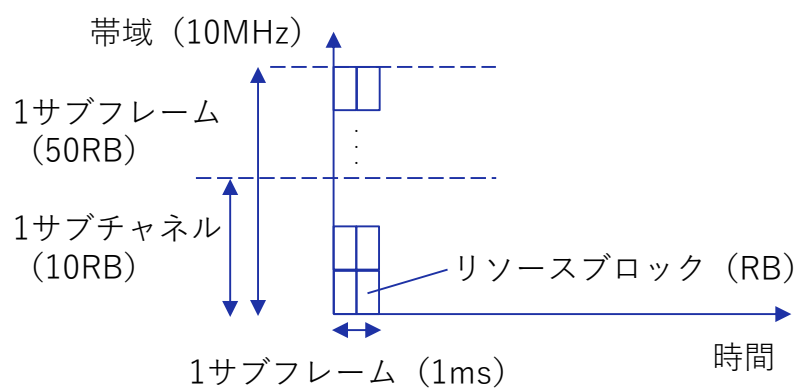


図 3.3.3-3 通信容量の想定

- 帯域 10MHz / 変調方式 QPSK、符号化率 0.44 / 連送なし
- 1 サブチャネル (10RB) $\simeq$ データサイズ 44 [byte]
- 1 サブフレーム (1 サブチャネル $\times$ 5 $\times$ 2slot) $\simeq$ データサイズ 440 [byte]

表 3.3.3-2 各メッセージのメッセージサイズとリソースブロック数、送信時間

#	通信方向	送信回数	byte	RB	送信時間目安 [ms]
1	I $\rightarrow$ V(合流車)	1	943	22	3
2	V(合流車) $\rightarrow$ I	11	287	7 $\times$ 11	8
3	I $\rightarrow$ V(本線車)	25	273	7 $\times$ 25	18
4	I $\rightarrow$ V(合流車)	11	273	7 $\times$ 11	8
5	V(本線車) $\rightarrow$ I	25	287	7 $\times$ 25	18
					計 55 ms

(4) 検証データ

検証で使用する道路モデルと車両の配置について図 3.3.3-4 に、通信シーケンス、メッセージについて図 3.3.3-5 に、配置する車両台数について表 3.3.3-4 に示す。

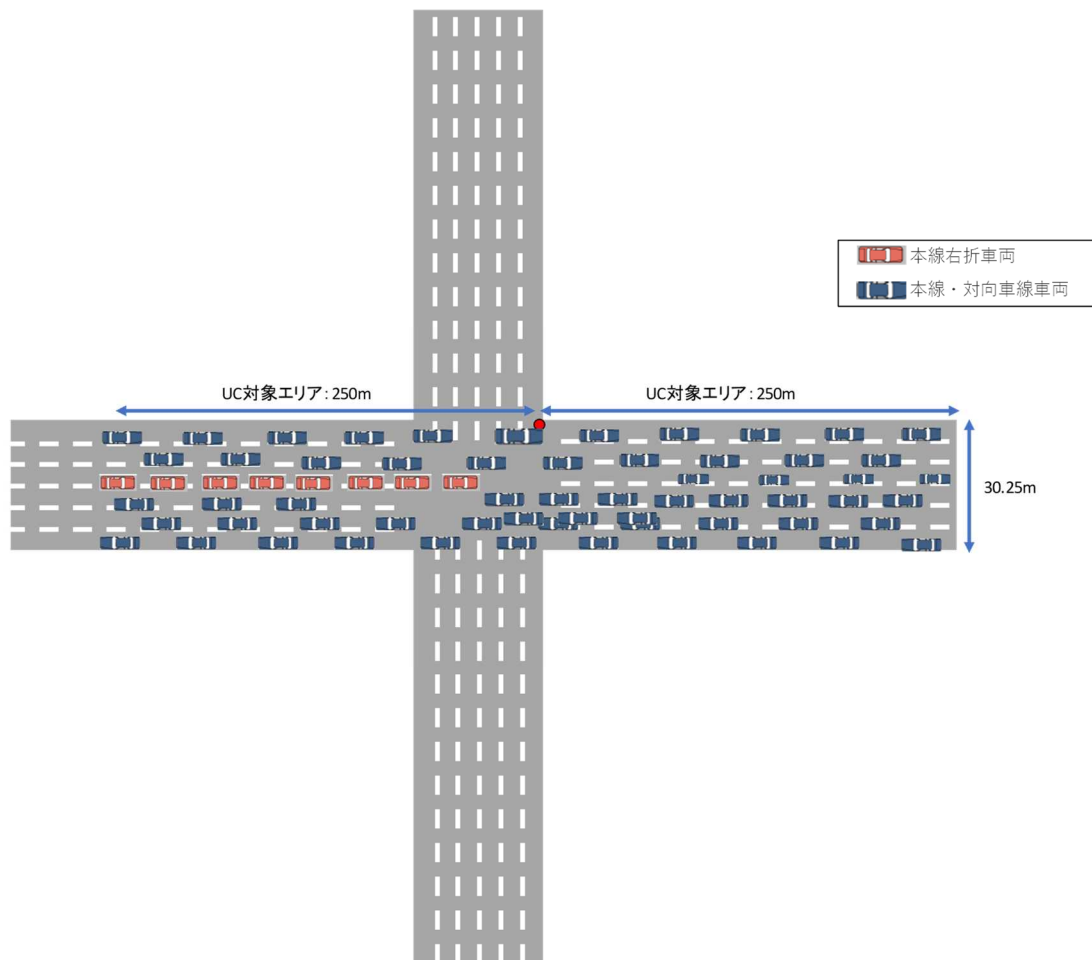


図 3.3.3-4 道路環境と車両配置

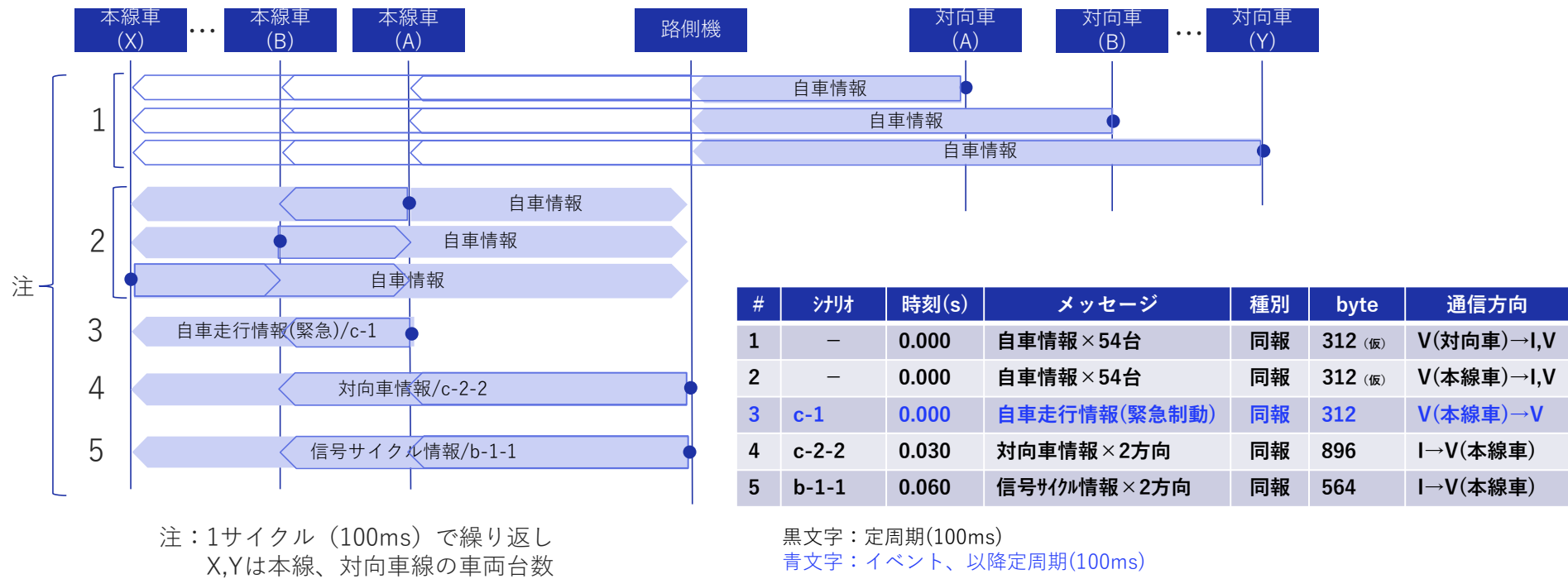


図 3.3.3-5 通信シーケンス、メッセージ

TGにて検討された2021年10月時点のメッセージ・シーケンスに基づき、検証で使用する通信シーケンスを作成した。

検証においては、以下のとおり各指標のデータを計測した。

- PARの検証においては、本シーケンス（100ms間隔で1セット）をシミュレーションで7秒動作させ、動作してから1.1秒後から7秒後までの6秒間のデータを周期的に収集する。なお、通信方式に車車間通信（V2V）を用いるメッセージ3については、メッセージを受信しない先頭車両は計測対象から除外する。
- RSSIの検証においては、本シーケンス（100ms間隔で1セット）をシミュレーションで60秒動作させ、動作してから10秒後から60秒後までのデータを周期的に収集する。なお、通信方式に車車間通信（V2V）を用いるメッセージ3については、メッセージを受信しない先頭車両は計測対象から除外する。
- 通信遅延量の検証においては、本シーケンス（100ms間隔で1セット）をシミュレーションで60秒間動作させ、動作してから10秒から60秒までの任意の車両1台のデータを周期的に収集する。

表3.3.3-3に通信シーケンスに使用するメッセージとそのサイズを、表3.3.3-4に配置する車両台数を記載する。

表 3.3.3-3 通信シーケンスに使用する送信メッセージ・周期

時刻 (s)	メッセージ						通信方向
	Mp	シナリオ	メッセージ名	サイズ ※1	サイズ TG 検討結果 ※2	TG 検討結果との差 分有無／理由	
0.000	1	—	自車情報×54 台分	312 byte	—	検討対象外	対向車両→路側機
0.000	2	—	自車情報×54 台分	312byte	—	検討対象外	本線車両→路側機
0.000	3	c-1.	自社走行情報（緊急制動）	312byte	312byte	差分なし	本線車両→本線車両
0.030	4	c-2-2.	調停要求、更新要求×11 台	896byte	1,150byte	差分あり	路側機→本線車両
0.060	5	b-1-1.	調停応答、更新応答×25 台	564byte	1Kbyte	差分あり	路側機→本線車両

※1 TGの2021年10月時点での検討結果を適用。

※2 TGの2022年1月時点での検討結果。メッセージ4、及びメッセージ5の差分が生じている。2022年3月ではTGでの検討が進んだことから、シミュレーションに適用した2021年10月時点の検討結果から差分が生じたものである。

表 3.3.3-4 車両台数の考え方

条件※ ¹	本線車両台数：X (通信エリア 250m) ※ ²	対向車線車両台数：Y (通信エリア 250m) ※ ²
高速走行	70km/h、2s 車間×3 車線×2 方向 計：30 台	70km/h、2s 車間×3 車線×2 方向 計：30 台
低速走行	40km/h、2s 車間×3 車線×2 方向 計：54 台	40km/h、2s 車間×3 車線×2 方向 計：54 台
渋滞	20km/h、1s 車間×3 車線×2 方向 計：138 台	20km/h、1s 車間×3 車線×2 方向 計：138 台
最大	20km/h、1s 車間×2 車線 計：22 台	20km/h、1s 車間×2 車線 計：22 台
検証条件	40km/h、2s 車間×3 車線×2 方向 計：54 台	40km/h、2s 車間×3 車線×2 方向 計：54 台

※¹ 方向は対象車線、反対車線を示す。交差点の交差道路については考慮しない。

※² 対象ユースケースの c-1.,c-2-2.,b-1-1,の中から、最長の通信エリアである c-1.を適用する。

条件の高速走行、低速走行、渋滞、最大の中から、最も発生する確率が高いと考えられる低速走行を採用する。

(5) 検証結果

(a) PAR

3.3.2(3)項、及び 3.3.2(4)項に示した条件で、本線の先頭車両と後続車両間、及び路側機と本線車両、に対するシーケンスに使用するメッセージの PAR を図 3.3.3-6、図 3.3.3-7 及び図 3.3.3-8 に示す。

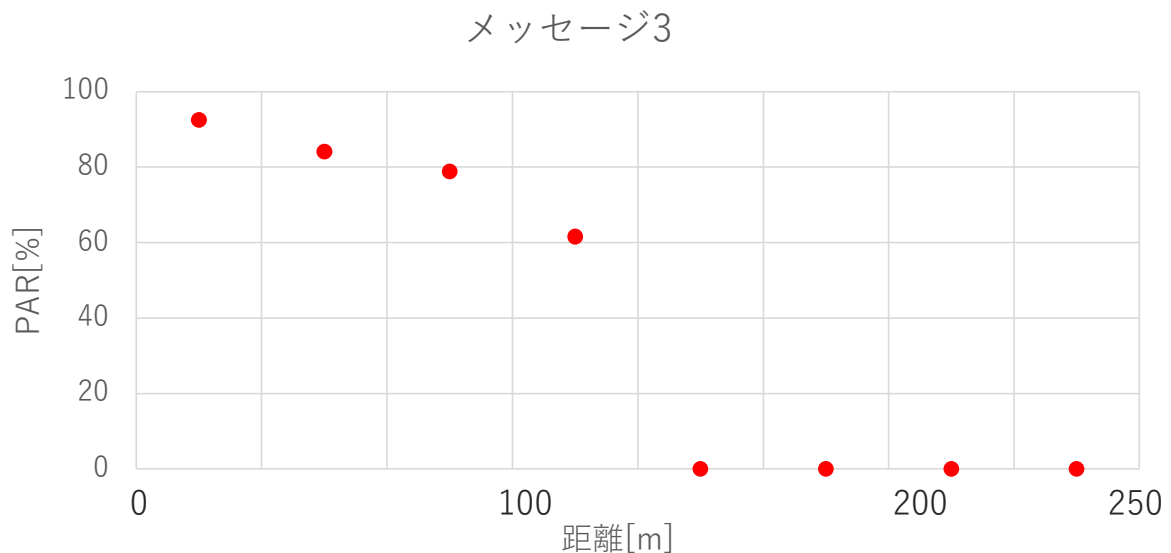


図 3.3.3-6 検証②PAR 計測結果 (メッセージ 3)

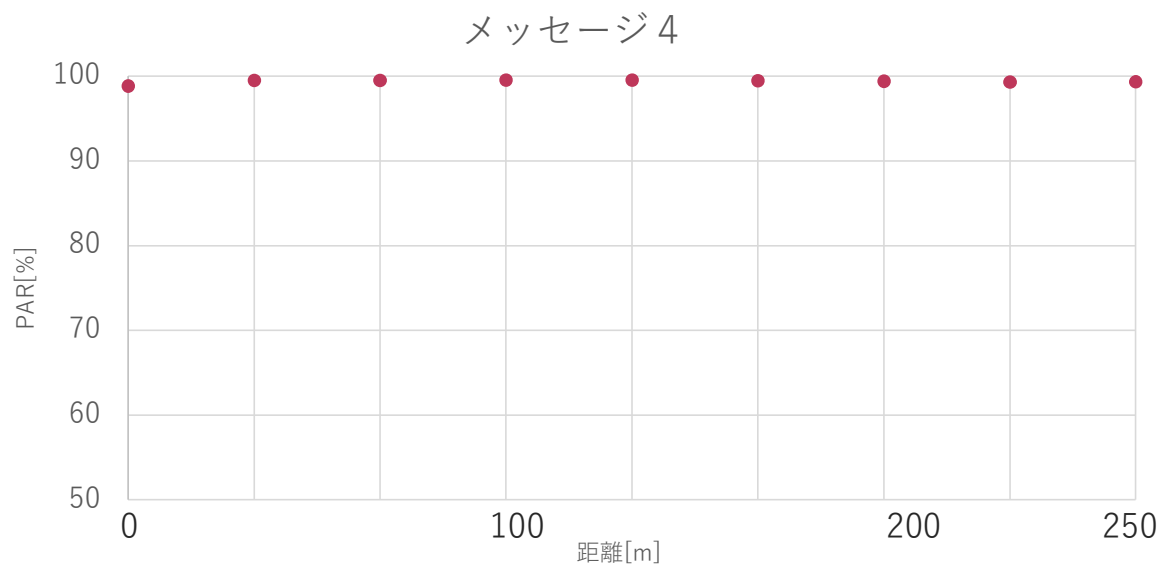


図 3.3.3-7 検証②PAR 計測結果 (メッセージ4)

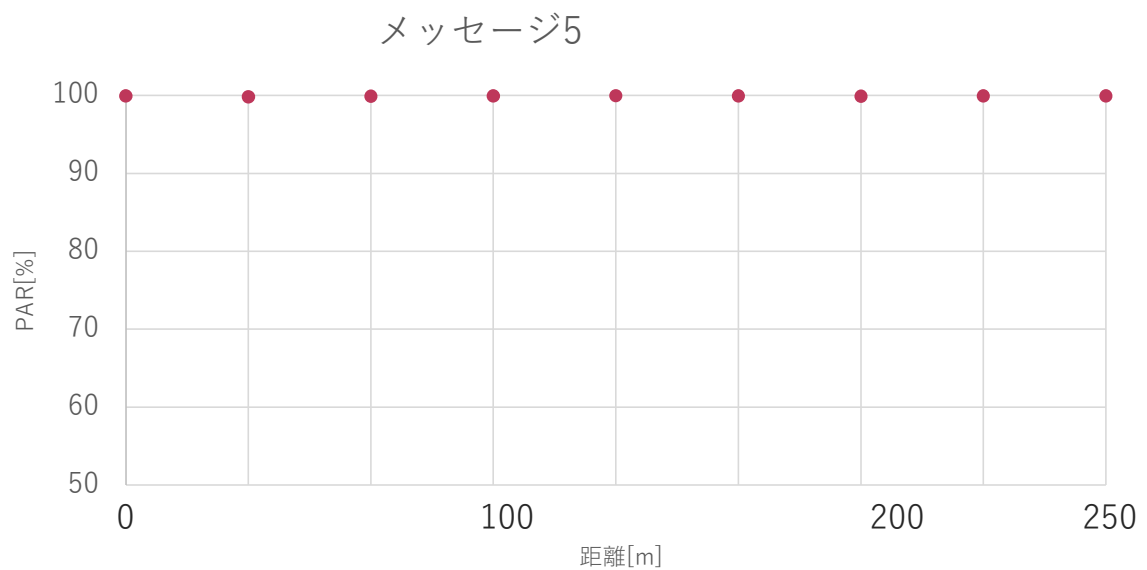


図 3.3.3-8 検証②PAR 計測結果 (メッセージ5)

(b) RSSI

3.3.2(3)項、及び 3.3.2(4)項に示した条件で、本線の先頭車両と後続車両間、及び路側機と本線車両、に対するシーケンスに使用するメッセージの RSSI（それぞれの周期の平均値）を、図 3.3.3-9 及び図 3.3.3-10 に示す。

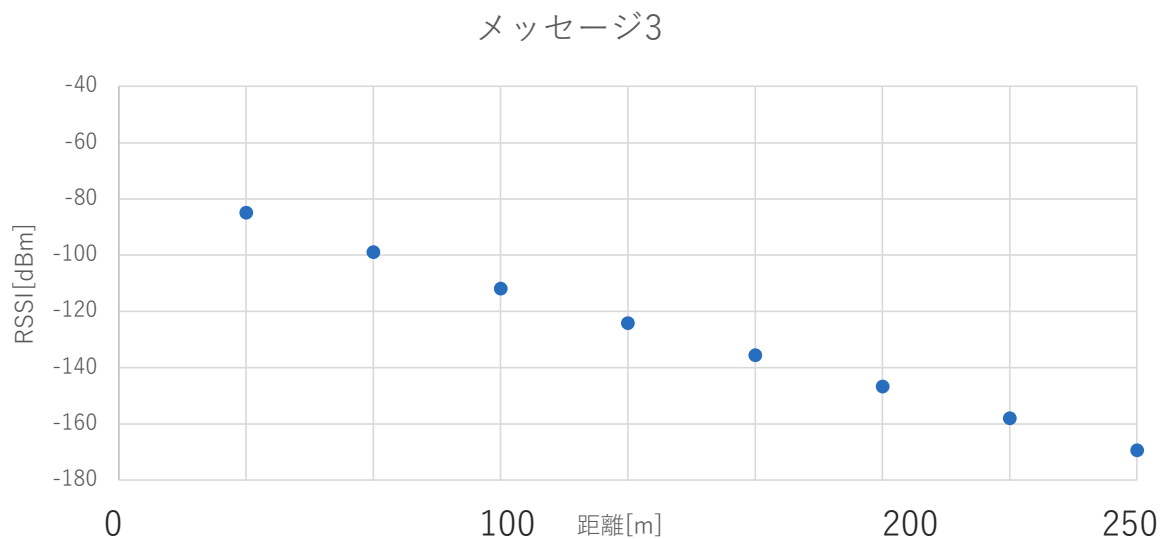


図 3.3.3-9 検証② RSSI 計測結果（メッセージ 3）

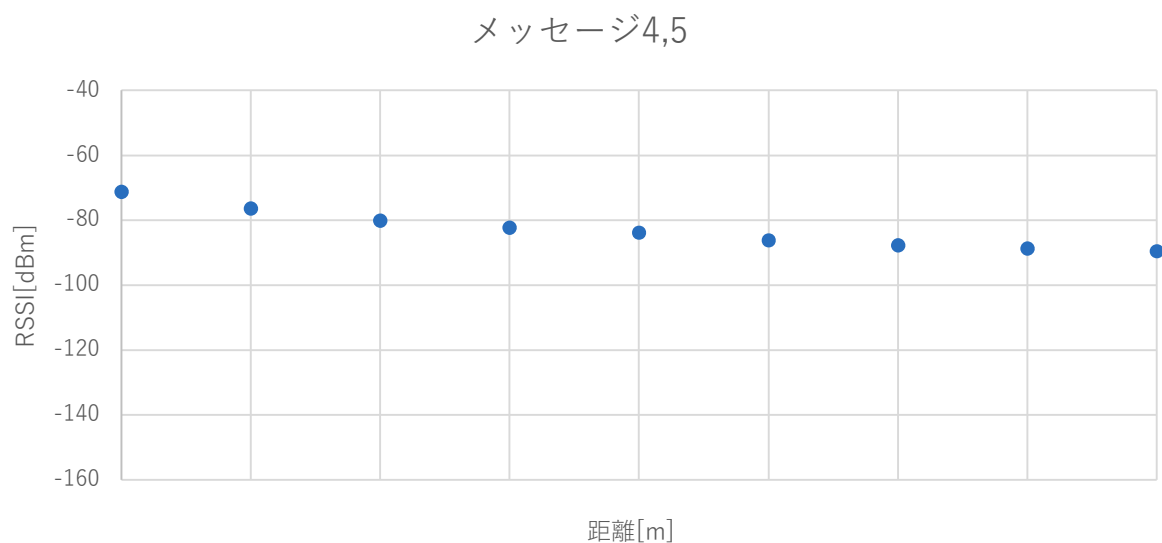


図 3.3.3-10 検証② RSSI 計測結果（メッセージ 4,5）

(c) 通信遅延量

3.3.2(3)項、及び 3.3.2(4)項に示した条件で、連絡路・本線に配置された車両に対するシーケンスに使用するメッセージの通信遅延を図 3.3.3-11、図 3.3.3-12 及び図 3.3.3-13 に示す。なお、遅延時間は 0.1ms 毎にシミュレータの具備する機能により収集を実施し、1 秒単位での平均値として図示した。

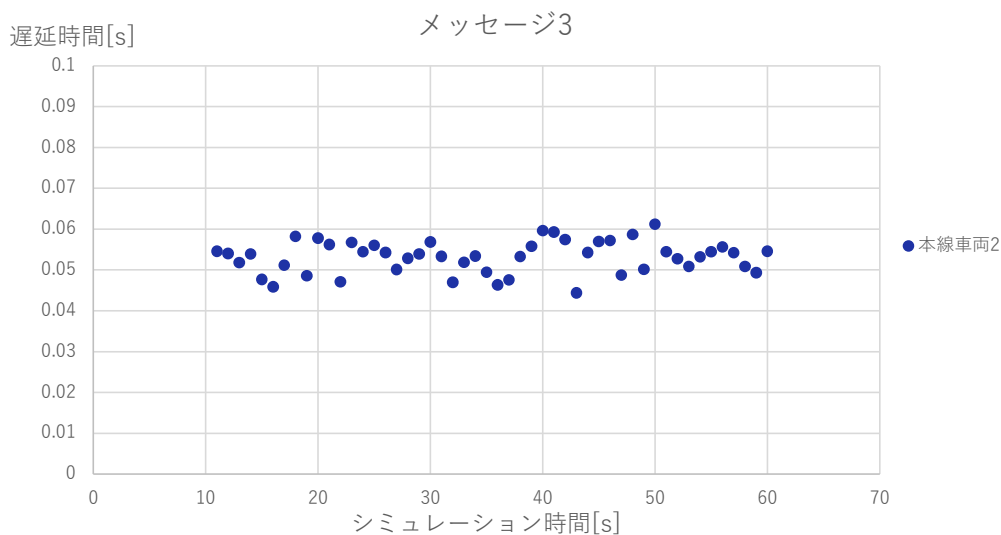


図 3.3.3-11 検証②通信遅延量計測結果（メッセージ 3）

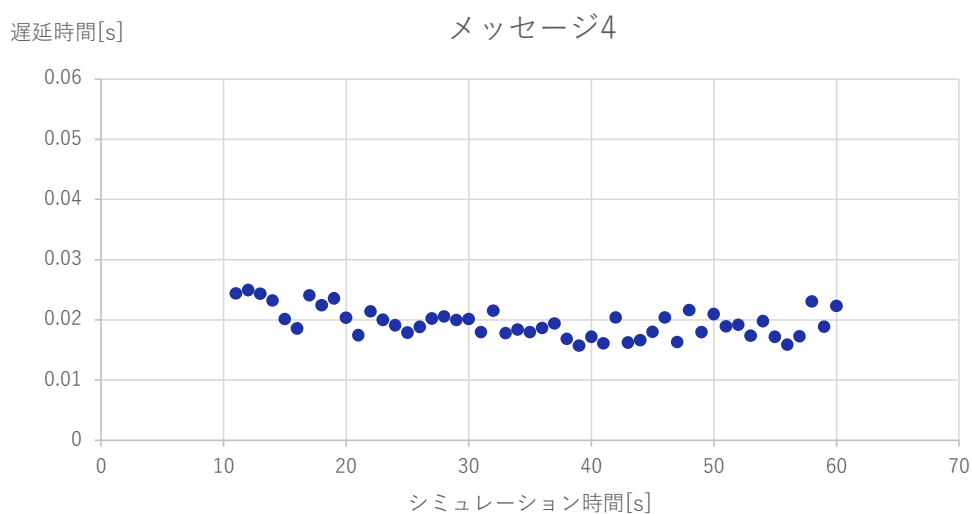


図 3.3.3-12 検証②通信遅延量計測結果（メッセージ 4）

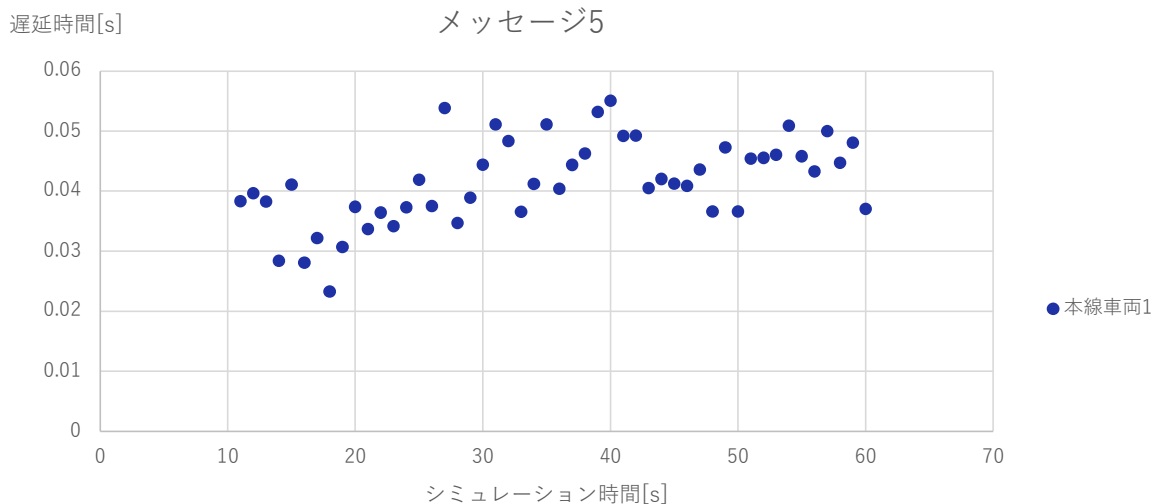


図 3.3.3-13 検証②通信遅延量計測結果（メッセージ5）

(6) 評価・分析

• PAR

路側機→車両通信において使用するメッセージ4、及びメッセージ5については、通信エリア全域において100%に近いPARが確保され、3.3.1項の結果と同様の結果が得られた。

一方、車両→車両通信において使用するメッセージ3は、通信距離が長くなるにつれPARが下がり、通信距離が100mを超過すると急激に低下した。

• RSSI

車両と車両の通信（メッセージ3）においては、送信元の車両と送信先の車両数が多くなるほど、RSSIはおおよそ-15dBm～-10dBmの範囲で弱くなっていることが確認された。路側機から車両への通信（メッセージ4、メッセージ5）については、車両毎のRSSIの落ち込み幅は徐々に小さくなっていることが確認された。

• 通信遅延量

多少のばらつきはあるが、シミュレーションの実施時間の長短に関わらず、通信遅延量は一定の水準であり、シミュレーションの実施時間の経過に伴う累積的な遅延量の増大傾向は見られない。このことから、シミュレーションの長時間の実施により、徐々にメッセージの送受信処理が蓄積され、時間経過による遅延が発生していない。

以上の結果より、複数のユースケースの同時発生による通信輻輳における問題点としては、車両→車両に送信されるメッセージ3のPARの低下、が挙げられる。PARの低下の原因について以下のとおり分析を行った。

通信距離が長くなるにつれPARが低下する点については、メッセージ送信車両とメッセージ受信車両の間に複数の車両が存在することで、通信への影響が生じているものと考えられる。従って、原因は以下の2点にあると推定する。

- 車両における通信輻輳制御のための車両間のPC5信号有無のセンシングに際し、車両遮蔽損失（条件値：-5dB/台）によるレベル低下よりセンシングができず、他の車両が送信中に同時送信し、パケット衝突が発生（隠れ端末現象）

これらの推定の妥当性を確認するため、以下の追加検証を実施した。

(a) 追加検証

以下に、追加検証の内容について述べる。

- 追加検証C（パケット衝突）

車両送信におけるパケット衝突について、車両 1 台当たりの遮蔽損を-5dB/台から 0dB/台に変更し、検証を実施した。

(b) 追加検証結果

図 3.3.3-14 にメッセージ 3 の計測結果を示す。

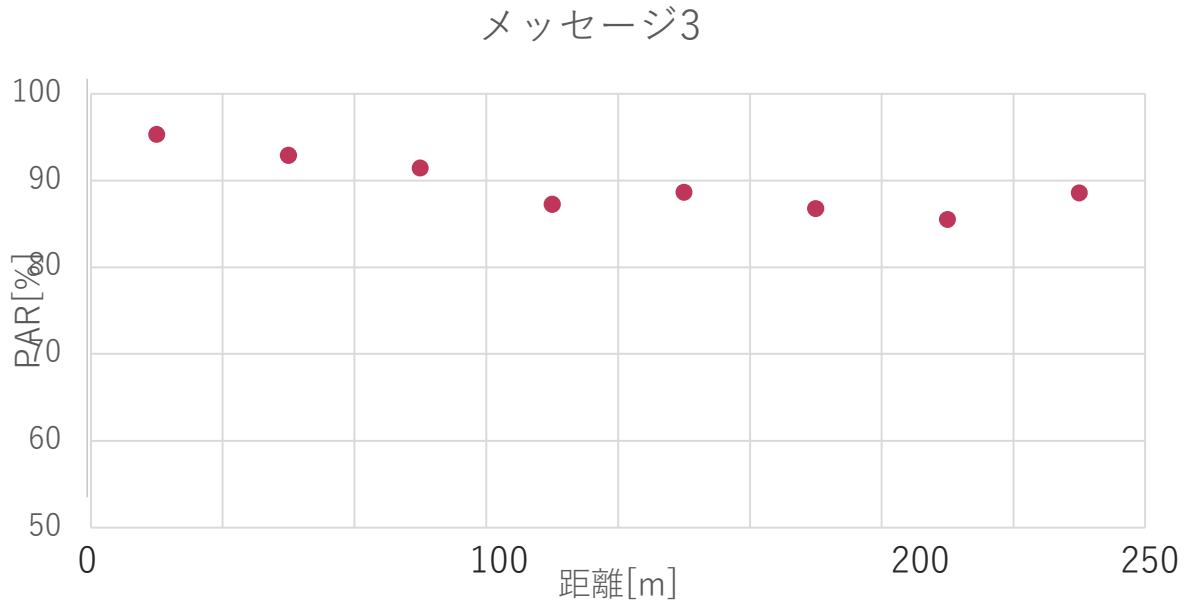


図 3.3.3-14 追加検証 C PAR 計測結果 (メッセージ 3)

(c) 追加検証評価・分析

図 3.3.3-6 に示した検証②におけるメッセージ 3 の計測結果と比較し、PAR が大きく向上した結果が得られた。

先に述べた結果と評価・分析から、検証②において車両遮蔽損失 (-5dB/台) によるレベル低下よりセンシングができず、パケット衝突が発生し、PAR が距離に応じて低下した原因と判断する。

3.3.4 検証結果のまとめ

今回の検証では、通信の輻輳が想定されるユースケースの通信シナリオに則し、実運用で想定される走行車両環境下（台数、車間等）における検証を実施し、C-V2X/PC5 仕様による通信性能を確認した。以下に、検証結果を示す。

- 車路間（V2I）通信において、ユースケースを実現するためのメッセージの通信頻度が高まることにより、PAR の低下が発生した。
（同一通信端末における送受信タイミングの競合の影響）
- 車車間（V2V）通信において、車両による遮蔽損の条件により、PAR に変化が生じた。
（遮蔽損による RSSI の低下）
- 車車間（V2V）通信において、近距離の通信においても PAR が 100%に到達しない結果が得られた。複数の車両や路側機が通信を行う環境において、他の機器の通信と、車両や路側機の通信タイミングが重なった場合に PAR が低下したものと考えられる。
（隠れ端末現象）

検証結果については、シャドウイングによる遮蔽損の変化、及び通信の輻輳による通信品質の低下に関し、テストコースでの実証により、さらなる調査・検討を行った。この結果については、3.4 節に示す。

3.4 評価結果の妥当性検証

3.3 節において検証した結果から、複数車両が通信を行う環境下では、隠れ端末の存在により通信の輻輳が生じることに起因する、PAR の低下が確認された。また、車両による遮蔽損の条件を変化させることによって PAR に違いが生じることから、送受信している空間の間に車両等の障害物があることによるシャドウイングが大きな影響を与えていることがわかった。

本節では、検証した結果に基づき実環境で狭域通信を用いた実証評価について述べる。

3.4.1 妥当性検証の概要

(1) 実証の目的

検証での評価結果に対して、実環境で狭域通信を用いた実証評価を通じ、その妥当性を確認する。また、検証と実証の結果から、実運用に向けた課題の抽出及びまとめを行う。

(2) 実施概要

本実証においては、以下の 2 つの観点について評価を行った。

- 実環境におけるシャドウイングの影響：実証①

車車間通信（V2V）の通信をしている 2 台の車両の間に電波を遮蔽するよう遮蔽車を配置して通信性能を計測し、シャドウイングの影響を確認する。

- 通信量による通信輻輳の影響：実証②

車車間通信（V2V）の通信をしている 2 台の車両の周辺にある、別の車両及び路側機器（RSU）から干渉波を送信して通信性能を計測し、通信輻輳の影響を確認する。

本実証は後述する交差点を有するテストコースで実施し、交差点周辺のユースケースであり、なおかつ複数のユースケースの間で輻輳が生じることで通信の輻輳が想定されるユースケース c-1（前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）、c-2-2（交差点の情報による走行支援（V2I））を想定し、実施した。

通信性能の計測にあたり、計測項目として PAR、RSSI についてデータの収集を行った。

- パケット到達率（PAR）

送信側でデータを送った送信回数に対し、受信側でデータを正常に受信できた割合のこと。本実証では、送信側のアプリケーション層で送信回数をカウントし、同様に受信側のアプリケーション層で受信回数をカウントすることで、その 2 つのデータの割合から算出する。

- 受信信号強度（RSSI）

無線通信機器が受信した電波の強度のこと。RSSI の取得については、アプリケーションでの取得ではなく専用ツールを使用し、PAR の計測と同時に計測を行った。

(3) 実証環境

本実証の環境について以下に述べる。

(a) 実施場所

本実証の実験場所は、静岡県御殿場市に位置する NEC Mobility Test Center（以下、「NMTC」という。）を使用した。テストコースには約 130m の直線コースがあり、片側 1 車線の道路になっている。テストコース内には交差点が 2 か所あり、その周辺には信号柱が複数設置されている。そのうち 2 つの信号柱（A,B）に C-V2X 端末が設置されている。また、車両 3 台（軽バン、小型バス、小型トラック）がテストコース内にあり、各車両にも C-V2X 端末が設置されている。テストコースの概要図を図 3.4.1-1 に示す。

また、実際に使用した各車両の写真を図 3.4.1-2、図 3.4.1-3、図 3.4.1-4 に、信号柱の写真を図 3.4.1-5、図 3.4.1-6 に示す。

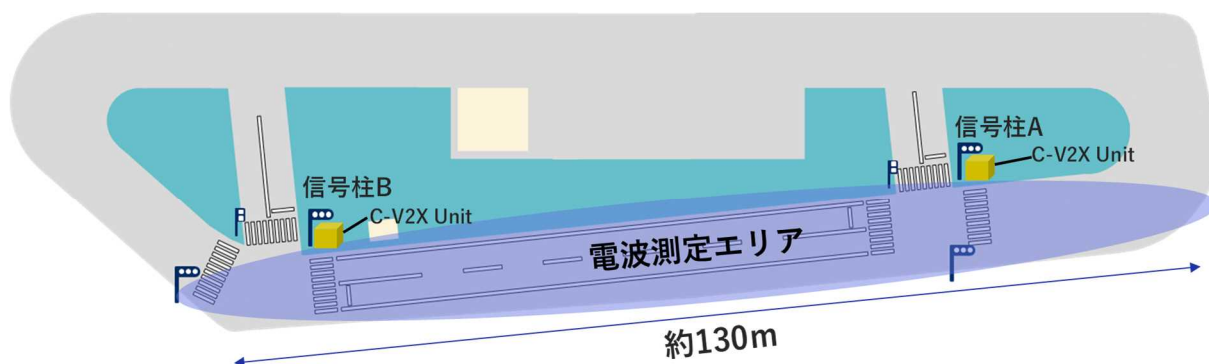


図 3.4.1-1 NMTC のテストコース概要図



図 3.4.1-2 車載機を搭載した小型トラック（赤丸に無線機アンテナを示す）



図 3.4.1-3 車載機を搭載した軽バン（赤丸に無線機アンテナを示す）



図 3.4.1-4 車載機を搭載した小型バス（赤丸に無線機アンテナを示す）



図 3.4.1-5 信号柱 A (赤丸に無線機アンテナを示す)



図 3.4.1-6 信号柱 B (赤丸に無線機アンテナを示す)

(b) 使用機材

本実証で使用した機材を表 3.4.1-1 及び図 3.4.1-7 に示す。また、無線機が使用する電波は NMTC で実験局免許取得した機材を使用して実証を行った。無線機諸元の詳細について表 3.4.1-2 に示す。

本実証で使用した車両を表 3.4.1-4 に示す。

表 3.4.1-1 使用機材

番号	機材名	備考
1	C-V2X Unit (Wistron NeWeb Corporation (WNC) 社製)	Chipset : Qualcomm 社製 MDM9150 図 3.4.1-8 による
2	C-V2X Unit 制御用 PC	

表 3.4.1-2 無線機諸元

項目	仕様・値
装置名	C-V2X Unit (WNC 社製)
送信周波数	5780MHz
帯域幅	10MHz
送信出力	10dBm (10mW)
変調方式	OFDM (SC-FDM)
電波型式	X7W
アンテナ構成	ダイポールアンテナ
アンテナ利得	5.2dBi
受信電力	-93dBm
アンテナの高さ	路側機 : 信号柱 A 約 3.5m、 信号柱 B 約 3.1m 車載機 : 軽バン 約 1.9m、 小型トラック 約 3.0m、 小型バス 約 2.7m
RRC Layer の パラメータ設定	ITS フォーラムガイドライン (RC-015) に準じて設定 詳細は、表 3.4.1-3 を参照

表 3.4.1-3 ITS フォーラムガイドラインとの設定比較表²³ (1/3)

項目	推奨値	実証設定値
SL-V2X-Preconfiguration-r14		
v2x-PreconfigFreqList-r14	One entry of SL-V2X-PreconfigFreqInfo-r14	SL-V2X-PreconfigFreqInfo-r14 参照
anchorCarrierFreqList-r14	Not configured	Not configured
Cbr-PreconfigList-r14	Two entries of {65, 100}	Two entries of {65, 100}
SL-V2X-PreconfigFreqInfo-r14		
v2x-CommPreconfigGeneral-r14	SL-PreconfigGeneral-r12	SL-PreconfigGeneral-r12 参照
v2x-CommPreconfigSync-r14	Not configured	Not configured
v2x-CommRxpoolList-r14	One entry of SL-V2X-PreconfigCommPool-r14	SL-V2X-PreconfigCommPool-r14 参照
v2x-CommTxpoolList-r14	One entry of SL-V2X-PreconfigCommPool-r14	SL-V2X-PreconfigCommPool-r14 参照
p2x-CommTxpoolList-r14	Not configured	Not configured
v2x-ResourceSelectionConfig-r14	SL-CommTxPoolSensingConfig-r14	SL-CommTxPoolSensingConfig-r14 参照
zoneConfig-r14	Not configured	Not configured
syncPriority-r14	Gnss	Gnss
thresSL-TxPrioritization-r14	Not configured	Not configured
offsetDFM-r14	Not configured	Not configured
SL-PreconfigGeneral-r12		
profile0x0001-r12	FALSE	FALSE
profile0x0002-r12	FALSE	FALSE
profile0x0004-r12	FALSE	FALSE
profile0x0006-r12	FALSE	FALSE
profile0x0101-r12	FALSE	FALSE
profile0x0102-r12	FALSE	FALSE
profile0x0104-r12	FALSE	FALSE
carrierFreq-r12	To be set experimental Frequency	53090 (5780MHz)
maxTxPower-r12	23dBm	10dBm
additionalSpectrumEmission-r12	Ignored	Ignored
sl-bandwidth-r12	n50 (10MHz) or n100 (20MHz)	n50 (10MHz)
tdd-ConfigSL-r12	None	None
reserved-r12	All 0s	All 0s

²³ ITS FORUM RC-015 の RRC Layer (TS36.331) パラメータ設定例より、一部抜粋して比較表を作成。

表 3.4.1-3 ITS フォーラムガイドラインとの設定比較表 (2/3)

項目	推奨値	実証設定値
SL-V2X-PreconfigCommPool-r14		
sl-OffsetIndicator-r14	Not configured	Not configured
sl-Subframe-r14	All 1s	All 1s
adjacencyPSCCH-PSSCH-r14	TRUE	TRUE
sizeSubchannel-r14	n10	n10
numSubchannel-r14	n5 (10MHz) or n10(20MHz)	n5 (10MHz)
startRB-Subchannel-r14	0	0
startRB-PSCCH-Pool-r14	Not configured	Not configured
dataTxParameters-r14	23dBm	10dBm
zoneID-r14	Not configured	Not configured
thresS-RSSI-CBR-r14	9	9
cbr-pssch-TxConfigList-r14	Two entries of SL-PPPP-TxPreconfigIndex-r14	SL-PPPP-TxPreconfigIndex-r14 参照
resourceSelectionConfigP2X-r14	Not configured	Not configured
syncAllowed-r14	gnss	Gnss
restricResourceReservaationPeriod-r14	Not configured	Not configured
SL-CommTxPoolSensingConfig-r14		
pssch-TxConfigList-r14	One entry of SL-PSSCH-TxConfig-r14	SL-PSSCH-TxConfig-r14 参照
thresPSSCH-RSRP-List-r14	{2, 11, 2, 11}	{2, 11, 2, 11}
restrictResourceReservationPeriod-r14	v1	v1
probResourceKeep-r14	v0dot8	v0dot8
p2x-SensingConfig-r14	Not configured	Not configured
sl-ReselectAfter-r14	n5	n5
SL-PPPP-TxPreconfigIndex-r14		
priorityThreshold-r14	2	2
defaultTxConfigIndex-r14	1	1
cbr-ConfigIndex-r14	0	0
tx-ConfigIndexList-r14	{0, 1}	{0, 1}
SL-PSSCH-TxConfig-r14		
typeTxSync-r14	Not configured	GNSS
thresUE-Speed-r14	kmph120	kmph120
parametersAbobeThres-r14	SL-PSSCH-TxParameters-r14	SL-PSSCH-TxParameters-r14 参照
parametersBelowThres-r14	SL-PSSCH-TxParameters-r14	SL-PSSCH-TxParameters-r14 参照

表 3.4.1-3 ITS フォーラムガイドラインとの設定比較表 (3/3)

項目	推奨値	実証設定値
SL-PSSCH-TxParameters-r14 for parametersBelowThres-r14		
minMCS-PSSCH-r14	5	5
maxMCS-PSSCH-r14	11 (MCS8, 9, 10 will be excluded)	7
minSubchannel-NumberPSSCH-r14	1	1
maxSubchannel-NumberPSSCH-r14	2	2
allowedRetxNumberPSSCH-r14	n1	n0 (再送なし)
maxTxPower-r14	Not configured	10
SL-PSSCH-TxParameters-r14 for parametersAbobeThres-r14		
minMCS-PSSCH-r14	0	0
maxMCS-PSSCH-r14	7	7
minSubchannel-NumberPSSCH-r14	1	1
maxSubchannel-NumberPSSCH-r14	5	5
allowedRetxNumberPSSCH-r14	n1	n0 (再送なし)
maxTxPower-r14	Not configured	10

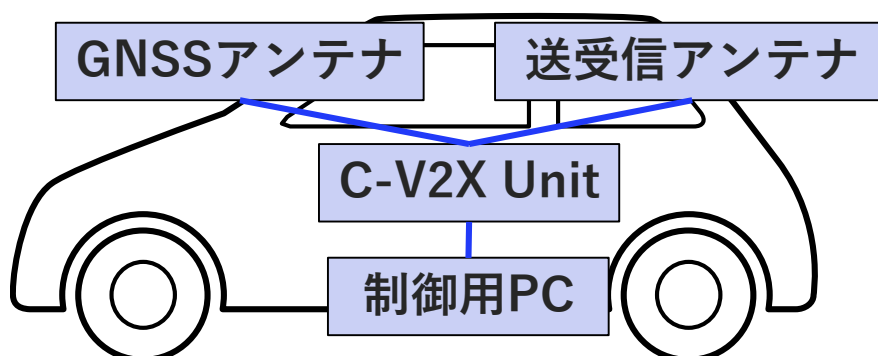


図 3.4.1-7 車両内の機器概要

表 3.4.1-4 各車両のサイズ

車両種別	車両サイズ
軽バン	長さ：339cm、幅：147cm、高さ：194cm
小型トラック	長さ：498cm、幅：188cm、高さ：305cm
小型バス	長さ：669cm、幅：208cm、高さ：282cm



図 3.4.1-8 C-V2X Unit (WNC 社製)

(4) 前提条件及び制約事項

本実証での前提条件について表 3.4.1-5 に示す。

表 3.4.1-5 前提条件

項目	内容
車両を停車した計測	本実証では、電波伝搬データの取得を目的とするため、車両を停車した状態で通信性能を計測する。
周波数及び帯域	実証で使用する周波数及び帯域については、実験局免許で取得している値とする。
計測時間	PAR の算出ではデータ計測時間を 80 秒とし、通信開始直後と終了直前の各 10 秒を切り落とした 60 秒間のデータを収集データとする。
通信量	実証②で行う通信負荷は、実証環境で実現できる最大通信量で計測する。
再送制御	検証と同様に再送なしでの通信性能を計測する。

3.4.2 事前計測

本実証を行うにあたり、1 対 1 の V2V の通信性能を確認するため事前計測として測定車（軽バン）と車両 A（小型バス）の距離に応じた通信性能の計測を実施した。

(1) 実証項目

測定車と車両 A をテストコースの両端に配置し、測定車を 5m ずつ車両 A に近づけていき、各距離における PAR 及び、RSSI の計測を実施した。

事前計測の概要図を図 3.4.2-1 に、評価条件を表 3.4.2-1 に示す。なお、測定車及び、車両 A の送受信は、c-2-1 の自転車情報を模擬し送信するものとする。



図 3.4.2-1 事前計測の概要図

表 3.4.2-1 事前計測の評価条件

条件	測定車（軽バン）	車両 A（小型バス）
送信パケット長[byte]	283	283
送信周期[ms]	100	100
測定車との距離[m]	-	5m 毎に距離を変更 (132.5、130、125、…、10、5)

(2) 実証結果

実証結果を図 3.4.2-2 に示す。縦軸は「RSSI[dBm]、PAR[%]」を示し、横軸は「車両 A と測定車との距離」を示している。

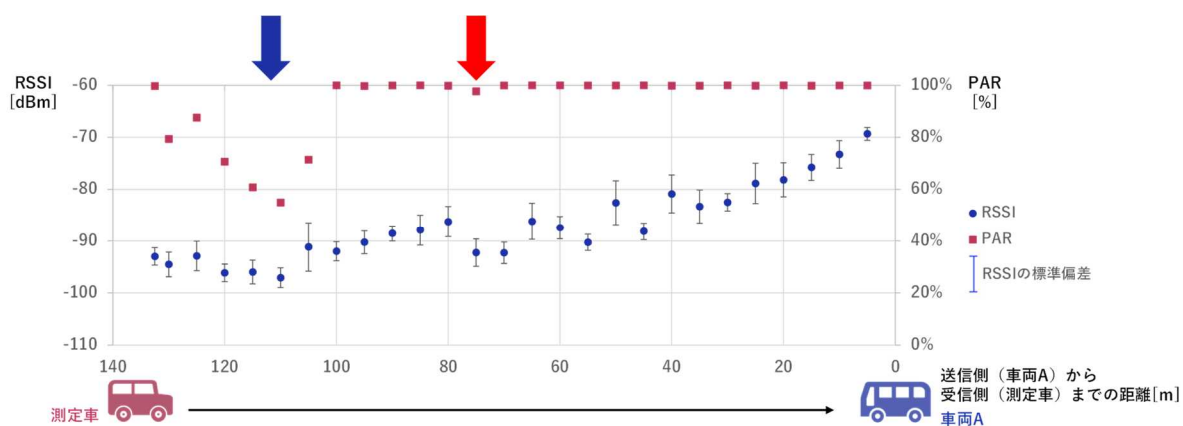


図 3.4.2-2 事前計測結果

また、テストコース最長 132.5m 地点の RSSI の時間変動を図 3.4.2-3 に示す。また RSSI 計測値の平均値及び標準偏差を表 3.4.2-2 に示す。

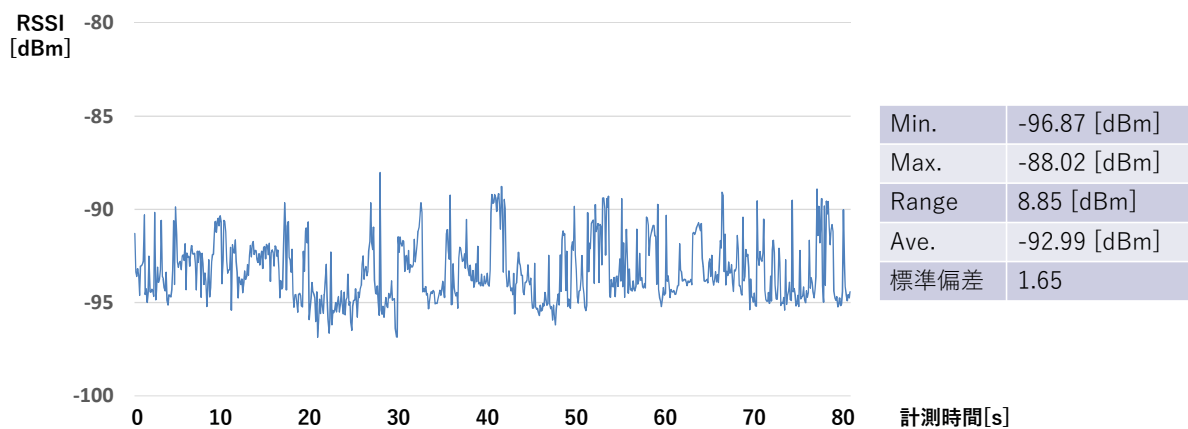


図 3.4.2-3 132.5m 時点の RSSI

表 3.4.2-2 事前計測の RSSI 計測値

距離	平均値 [dBm]	標準偏差
5m	-69.31	1.23
10m	-73.27	2.65
15m	-75.75	2.49
20m	-78.15	3.27
25m	-78.84	3.86
30m	-82.50	1.68
35m	-83.30	3.22
40m	-80.89	3.67
45m	-88.15	1.61
50m	-82.60	4.24
55m	-90.28	1.56
60m	-87.42	2.19
65m	-86.17	3.53
70m	-92.30	2.06
75m	-92.27	2.63
80m	-86.24	2.92
85m	-87.90	2.93
90m	-88.55	1.45
95m	-90.27	2.21
100m	-92.01	1.83
105m	-91.16	4.67
110m	-97.09	1.92
115m	-96.00	2.28
120m	-96.16	1.69
125m	-92.92	2.83
130m	-94.53	2.38
132.5m	-92.99	1.65

(3) 評価・分析

- PAR

車両間の距離が 100m 以上になると PAR の低下が見られた。しかしコース最長の 132.5m での PAR は 100%であった

- RSSI

車両間の距離が離れる毎に RSSI が低下した

事前計測の結果、PAR が低下した箇所について RSSI も同様に低下していることがわかる。

図 3.4.2-4 に本実証環境を想定した 2 波干渉モデル（直接波、路面反射波）の机上計算結果のグラフを示す（縦軸：RSSI、横軸：距離）。この 2 波干渉モデルの 70~80m、100~130m の 2 つの区間で RSSI が急激に低下している。事前計測結果と比較すると、同様に 75m、105~130m の地点で PAR が低下している。よって事前計測結果の PAR が低下した原因は、路面での反射等の影響により RSSI が低下し、パケットロスが発生したと考察できる。

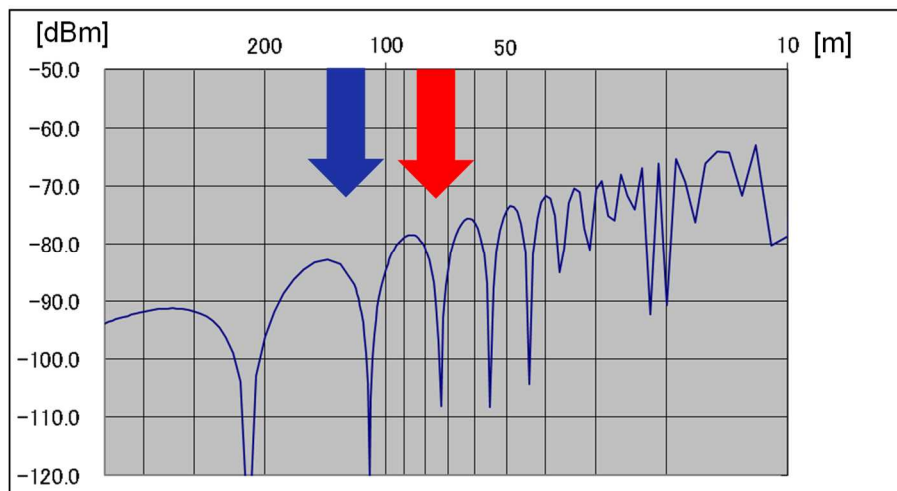


図 3.4.2-4 （参考）2 波干渉モデル（青矢印、赤矢印は図 3.4.2-2 と同じ矢印位置を示す）

3.4.3 実証① 実環境におけるシャドウイングの影響

実証①では、実環境でのシャドウイングの影響の計測を実施した。2 台の車両（軽バン、小型バス）の間に小型トラックを配置し、通信性能の計測を行った。

(1) 実証項目

本実証では、コースの両端にそれぞれ車両 A（小型バス）と測定車（軽バン）を配置する。その 2 台の車両の間で車両 B（小型トラック）の位置を 5m 毎に変えていき、PAR、RSSI を計測する。また、車両 B の位置関係については、車両 A と測定車の一直線になる位置に配置し、車両 A と測定車がお互いに見えない状態で通信を行った。

評価の概要図を図 3.4.3-1 に、評価条件を表 3.4.3-1 に示す。なお、測定車及び、車両 A の送受信は、c-2-1 の自車情報を模擬し送信するものとする。

車両位置については、3.4.2 項の事前計測結果を基に、測定車と車両 A との距離を PAR100%となる 132.5m とし、車両の配置を行った。



図 3.4.3-1 実証①の概要図

表 3.4.3-1 実証①の評価条件

条件	測定車（軽バン）	車両 A（小型バス）
送信パケット長[byte]	283	283
送信周期[ms]	100	100
測定車との距離[m]	-	132.5

(2) 実証結果

実証結果を図 3.4.3-2 に示す。縦軸は「RSSI[dBm]、PAR[%]」を示し、横軸は「車両 A と車両 B との距離」を示している。また、RSSI の計測値を表 3.4.3-2 に示す。

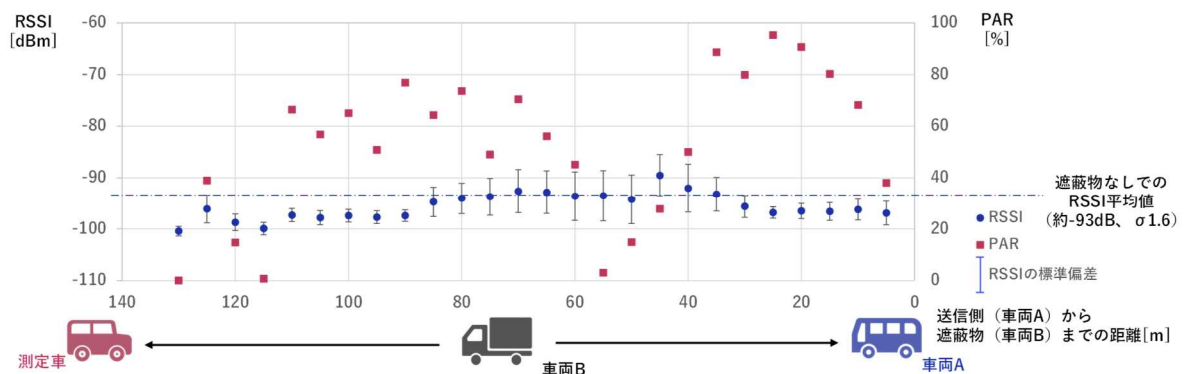


図 3.4.3-2 実証①の計測結果

表 3.4.3-2 実証①の RSSI 計測値

距離	平均値 [dBm]	標準偏差
5m	-96.90	2.31
10m	-96.20	2.03
15m	-96.60	1.73
20m	-96.50	1.47
25m	-96.80	1.11
30m	-95.60	2.13
35m	-93.20	3.28
40m	-92.00	4.68
45m	-89.50	4.01
50m	-94.20	4.75
55m	-93.50	4.90
60m	-93.60	4.74
65m	-92.80	4.17
70m	-92.60	4.21
75m	-93.70	3.61
80m	-94.00	2.98
85m	-94.70	2.89
90m	-97.40	1.12
95m	-97.70	1.25
100m	-97.40	1.23
105m	-97.80	1.37
110m	-97.30	1.29
115m	-99.90	1.20
120m	-98.70	1.62
125m	-96.10	2.71
130m	-100.40	0.92

(3) 評価・分析

• RSSI

遮蔽物が送信側、あるいは受信側近傍では RSSI が低下した遮蔽物が中間距離の場合、RSSI の低下は小さいが変動幅が増加した

• PAR

実証①を実施するにあたり、トラックの位置を車両 A と測定車の直線上から左右に 1m ずらした場合との PAR の比較を行った。評価イメージ図を図 3.4.3-3 に、75m 付近での参考計測の結果を表 3.4.3-3 に示す。



図 3.4.3-3 評価イメージ図

表 3.4.3-3 75m 付近での参考計測

車両 B の位置	左側へ 1m	中央	右側へ 1m
Max PAR[%]	100.0	66.0	84.8
Min PAR[%]	99.8	28.2	73.2

表 3.4.3-3 の結果から、中央の PAR に比較して左右に 1m ずらしたときの PAR が改善していることがわかる。このことから、車両 A から送信された電波が、車両 B にぶつかることで起因するマルチパスの影響があると推測される。

実証①で車両 A と車両 B との距離が 40～60m 付近において PAR が急激に低下している結果についても、車両 B を配置しない状況では PAR が 100%であるのに対して、車両 B を配置したことで PAR が急激に低下したことから、車両 B によるマルチパスの影響を受けたと考察する。

実運用を考えたときには、都市部等の車両が混雑し、かつ道路周辺の構造物が大きく変化するエリアでは、シャドウイング及びマルチパスの影響がさらに複雑化すると予想される。そのため、下位層による無線通信リソース制御に加えて、その場の通信環境、走行車両環境等を踏まえた上位レベルでの無線通信の輻輳制御が必要である。

3.4.4 実証② 通信量による通信輻輳の影響

実証②では、通信量に応じた通信輻輳の影響を実環境で実施した。3 台の車両及び 2 台の信号柱を設置し、通信性能の計測を行った。

(1) 実証項目

本実証では、交差点付近に車両 3 台を配置する。3 台の車両と 2 台の信号柱がそれぞれ送受信を行い、軽バンと小型バス間の PAR、RSSI を計測する。

軽バンと小型バスを除く通信端末の通信量を変化させたときの通信性能について確認する。

評価の概要図を図 3.4.4-1 に、評価条件を表 3.4.4-1 に示す。なお、信号柱 A は c-2-2 の対向車情報を模擬し、その他の端末は c-2-1 の自転車情報を模擬し送信するものとする。また、信号柱 B も同様に測定車の後続車両と見なし、自転車情報を模擬して送信を行った。

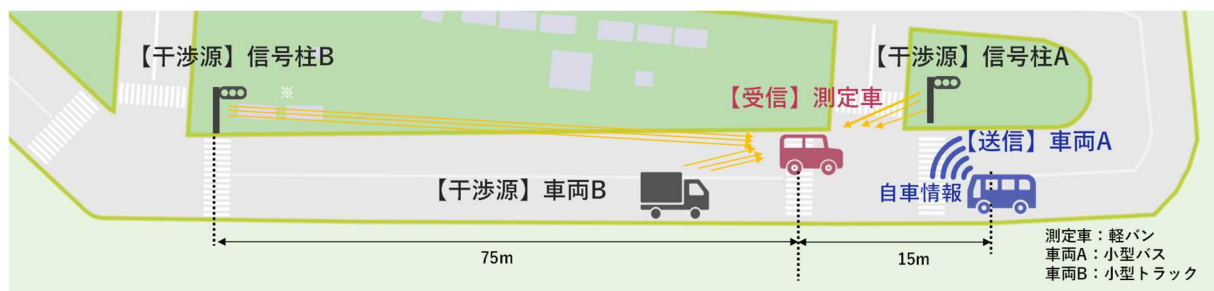


図 3.4.4-1 実証②の概要図

表 3.4.4-1 実証②の評価条件

条件	測定車 (軽バン)	車両 A (小型バス)	車両 B (小型トラック)	信号柱 A	信号柱 B
送信パケット長[byte]	283	283	283	896	283
送信周期[ms]	100	100	100	100	100
測定車との距離[m]	-	15	15	10	75

リソース占有率の机上計算（試算）は、以下の手順によって算出を行った。

- 1SubCH 当りにユーザーデータを送信できるサイズを計算
- 各端末が送信するパケットサイズから、必要な SubCH 数を計算
- すべての端末で必要な Subframe 数を計算
- 100ms（100Subframe）と上段で導いた Subframe 数の割合からリソース占有率を計算

(2) 実証結果

実証結果を図 3.4.4-2 に示す。縦軸は「RSSI[dBm]、PAR[%]」を示し、横軸は「リソース占有率」を示す。また、RSSI の計測値を表 3.4.4-2 に示す。

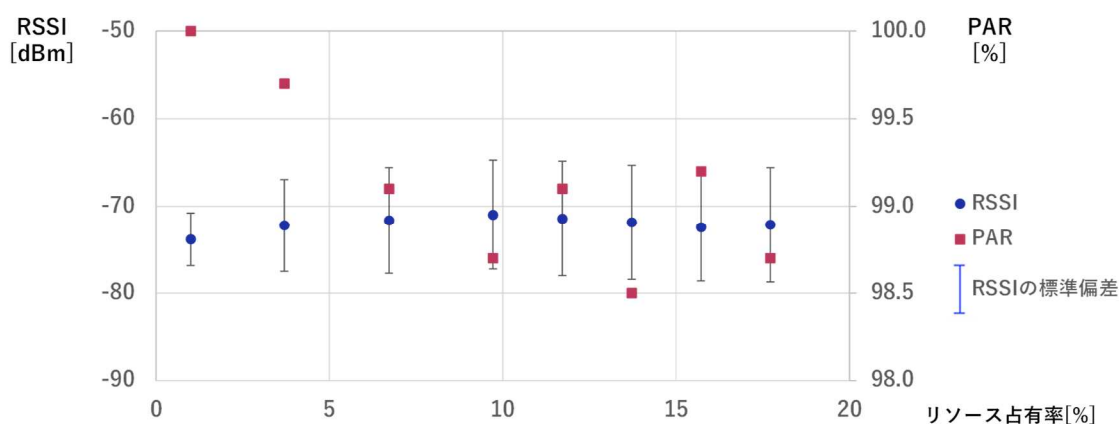


図 3.4.4-2 実証②の計測結果

表 3.4.4-2 実証②の RSSI 計測値

リソース占有率	平均値 [dBm]	標準偏差
1.0%	-72.14	6.57
3.7%	-72.44	6.17
6.7%	-71.87	6.55
9.7%	-71.42	6.58
11.7%	-70.98	6.25
13.7%	-71.64	6.07
15.7%	-72.21	5.28
17.7%	-73.82	3.03

(3) 評価・分析

実証②の計測を実施した結果、以下のことが得られた。

- **RSSI**
リソース占有率の増加に伴い、RSSI の変動率が増加した
- **PAR**
リソース占有率の増加に伴い、わずかながら PAR が低下した

RSSI の値は、中央値だけで見ると -70dBm～-80dBm の値の範囲にあり、事前計測時と同様の結果が得られているが、実証②では、リソース占有率が上がるにつれて、パケットロスが発生している。この現象については、周辺車両や信号柱からの送信頻度が多くなることで、所望のパケットを送信する際にパケットの衝突が発生していると考えられる。

実運用を考えたときには、都市部等の車両が混雑するエリアでは、さらに通信が混雑すると予想される。そのため、下位層による無線通信リソース制御に加えて、その場の通信環境、走行車両環境等を踏まえた上位レベルでの無線通信の輻輳制御が必要である。

3.5 検証・実証結果のまとめ

今回の検証では、通信輻輳が想定されるユースケースの通信シナリオに則し、実運用で想定される走行車両環境下（台数、車間）におけるシミュレーションを実施し、C-V2X/PC5仕様による通信性能を確認した。また、実証では検証において不確定要素であった無線通信環境の実測として、シャドウイングの影響及び通信量による通信輻輳の影響を計測した。

実運用においては、無線通信環境（シャドウイング、マルチパス等）、走行車両環境が一意に特定、あるいは制限できるものではなく、想定と異なる環境下において通信が生じた場合、通信が輻輳し、結果として通信遅延、通信未達が生じる可能性がある。

上記に対し、以下に示す2つの方策案について述べる。

(1) 上位レベルでの通信輻輳制御

図 3.5-1 に示すとおり、通信レイヤでの通信輻輳制御に加えた、無線通信環境、走行車両環境に応じた上位レベルでの通信輻輳制御を行うことで、通信輻輳の影響の低減が期待できる。

上位レベルの通信輻輳制御については、米国や欧州では先行して検討されており、SAE (Society of Automotive Engineers)、5GAA (5G Automotive Association)、及び ETSI (European Telecommunications Standards Institute) で検討されている通信輻輳制御の例を表 3.5-1 に示す。

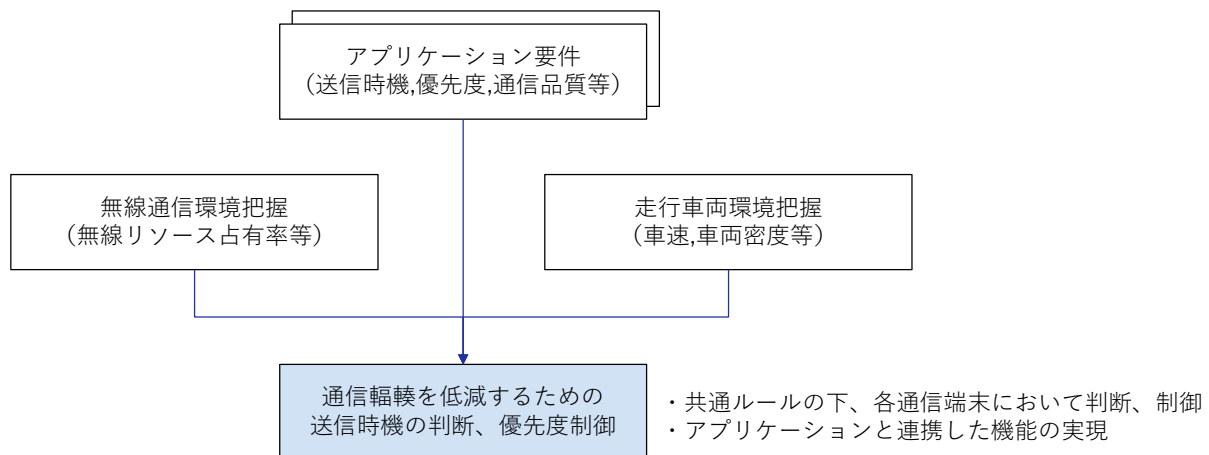


図 3.5-1 上位レベルでの通信輻輳制御

表 3.5-1 各検討団体の通信輻輳制御例

検討団体	関連ドキュメント名	概要
SAE	J2945/1 (16 年 3 月) On-Board System Requirements for V2V Safety Communications 6.3.8 BSM Scheduling and Congestion Control (BSMCONGCTRL)	- BSM に対する通信輻輳制御の規定 - 無線リソース占有率 (CBR)、パケットエラーレート (PER) 等に基づき、BSM の送信間隔 (基本 100ms 周期) を可変 (クリティカルイベント発生時は割り込み)
5GAA	P-180092 (18 年 10 月) V2X Functional and Performance Test	LTE-V2X において、上記の通信輻輳制御の有効性を検証
ETSI	EN302 637-2 v1.4.1 (19 年 4 月) Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service	- CAM の送信間隔の規定: 100ms~1s の範囲 - デフォルトの送信間隔に対し、前回送信時からの位置変化 (4m)、速度変化 ($\pm 0.5\text{m/s}$) 等による送信間隔の可変 - 上位レベルでの通信輻輳制御を適用 (TS103 574 等)
ETSI	TS 103 574 (18 年 11 月) Congestion Control Mechanisms for the C-V2X PC5 interface; Access layer part	- LTE-V2X に関する通信輻輳制御の規定 (ITS-G5 は、別規定) - 無線リソース占有率 (CBR) に応じたリソース使用制限 - リソース仕様制限においてはメッセージ優先度の考慮あり

(2) 通信チャネルの割り当て

通信エリア (車線、道路の上下線等)、もしくは通信内容に応じた通信チャネルの割り当てを行うことで、通信輻輳の影響の低減が期待できる。

(a) 通信エリアによる割り当ての例

車線・車道毎に走行車両環境 (車速、車両密度) が異なることが考えられる。そのため、通信輻輳の影響を周辺道路に与えないように車線・道路毎に通信エリアを区切って通信チャネルの割り当てを行う。通信エリアによる割り当ての例を図 3.5-2 及び図 3.5-3 に示す。

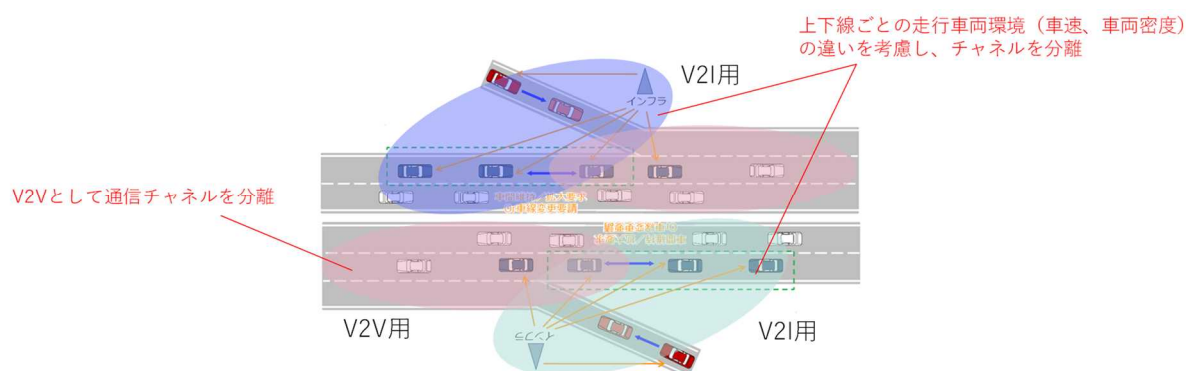


図 3.5-2 エリアによる割り当ての例①

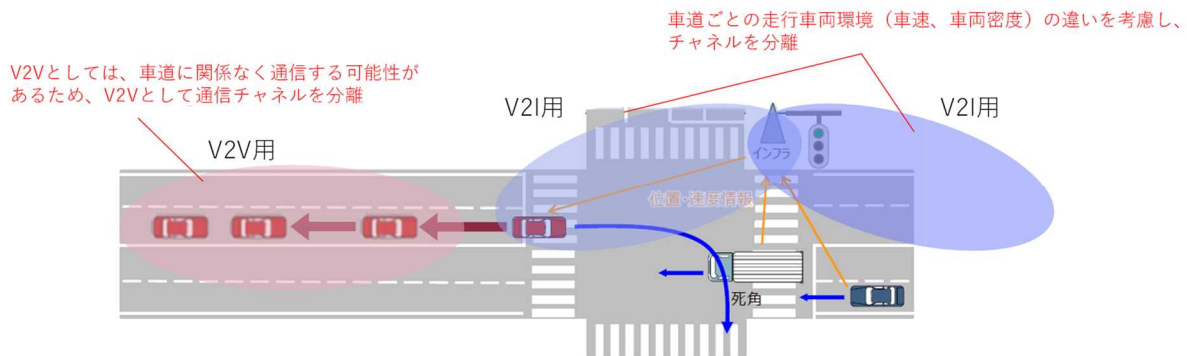


図 3.5-3 エリアによる割り当ての例②

(b) 通信内容による割り当ての例

ユースケースでの通信内容毎に通信要件（通信遅延、通信品質等）が異なるため、通信輻輳の影響を他通信に与えないように通信内容毎に通信チャネルの割り当てを行う。

表 3.5-2 に通信内容による割り当ての例を示す。

表 3.5-2 通信内容による割り当ての例

区分	内容	該当するメッセージ例
定周期での 同報通信	- 一定条件下での定周期の同報通信 - アプリケーションによっては、定周期データの欠落遅延が許容される	- a-1-1, 2, 3 : 本線車両位置情報 (I→V) - b-1-1 : 信号サイクル情報 (I→V) - c-1, 2, 3 : 自車走行情報 (V→V) - c-2-1 : 対向車情報 (V→V) - c-2-2 : 対向車情報 (I→V) - g-1, 2 : 追従関連情報 (V→V)
イベントトリガーでの 同報通信	- イベント発生を契機に、一定期間の定周期の同報通信 - イベント発生から送信までの時間制約がある - アプリケーションによっては、定周期データの欠落が許容される	- c-1, 2, 3 : 自車走行情報 (緊急) (V→V) - e-1 : 緊急車両接近情報 (V→V)
管制・制御 での双方向 通信	- イベント発生等を契機に、一定期間の通信 - 要求に対する応答を必要とする - 要求側での応答時間に制約がある	- a-1-3 : 調停要求/調停応答 (V⇌I) - a-1-4, a-2, 3 : 調停要求/調停応答 (V⇌V)

参考として、欧州における C2C-CC (CAR 2 CAR Communication Consortium) において先行して検討されている通信内容による割り当ての例について図 3.5-4 に示す。

Table 2: European V2X spectrum needs for safety in 5.9 GHz

Safety spectrum needs for a single short-range V2X communication technology in MHz bandwidth, in 5.9 GHz safety band

message type	environment			min number of 10 MHz Channels
	urban	suburban	Rural (Highway)	
CAM cooperative awareness message	9	10	10	0,9
DENM decentralized environmental notification message	4	2	1	0,1
SPATEM signal phase and timing, MAPEM road/lane topology and traffic maneuver, IVI in-vehicle-information and other I2V messages	1	1	1	0,5
VAM VRU awareness message	4	0,2	2	0,5
PCM platooning control message	3	6	10	1,0
CPM collective perception message	23	26	24	2,0
MCM maneuver coordination message	23	26	24	2,0
Minimum basic spectrum needs in MHz total number of 10 MHz channels required	67	72	72	7

CAM : Cooperative Awareness Message
DENM : Decentralized Environmental Notification Message
SPATEM : Signal, Phase, and Timing Message
MAPEM : road/lane topology and traffic maneuver Message
IVI : in-vehicleinformation and other I2V Message
VAM : Vulnerable Road User (VRU) Awareness Message
PCM : Platooning Control Message
CPM : Collective Perception Message
MCM : Manoeuvre Coordination Message

図 3.5-4 C2C-CC における割り当ての例²⁴

²⁴ 出典 : C2CCC TR2050 Version 2.0 02-26-2020

4. 自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップ策定

4.1 ロードマップ策定の概要

4.1.1 検討手順

本章の検討は次の図 4.1.1-1 に示すフローに沿って実施した。

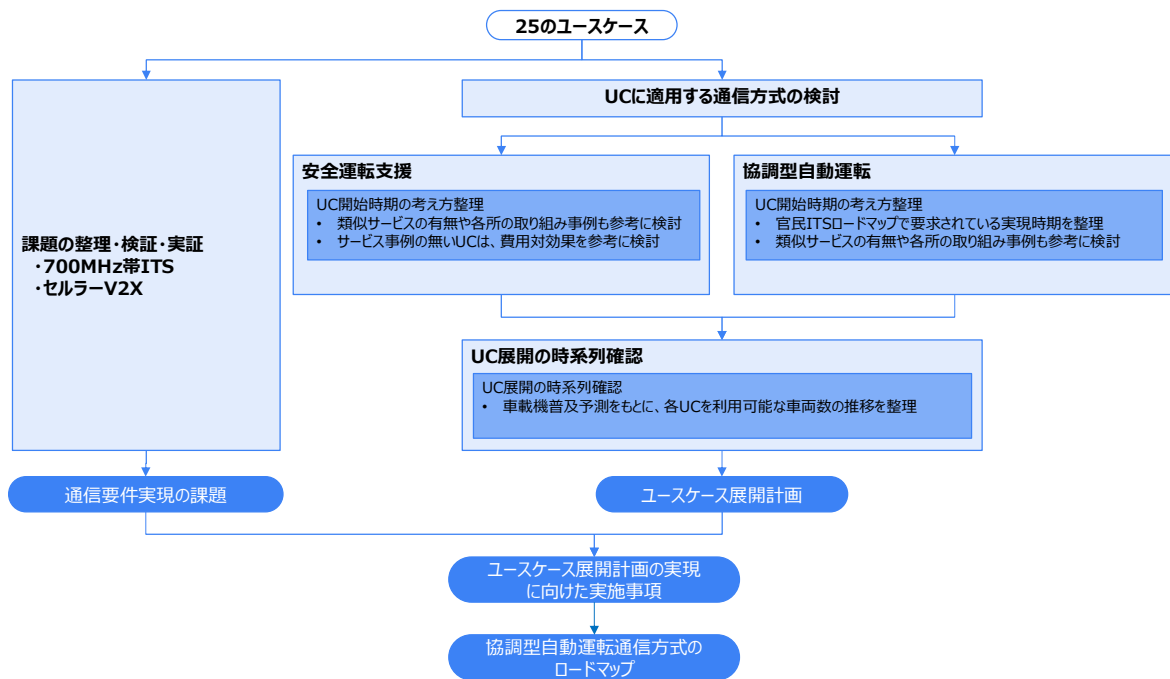


図 4.1.1-1 検討手順

4.1.2 実施概要

2020年3月、SIP第2期の協調型自動運転通信方式検討タスクフォース（以下、「検討TF」という。）より「SIP協調型自動運転ユースケース」が発行された。同書では協調型自動運転の25のユースケースを定義している。これらユースケースを実現するためには、現在日本において実用化している通信方式のみならず新たな通信方式も必要になると考えられる。

そこで、本検討では次の3つのステップによって、協調型自動運転通信方式ロードマップの検討を行った。

- 1) 既に策定されている計画や各所の取り組み事例等を基に、各ユースケースの実現時期を設定し、実現時期を時系列に列挙した「ユースケース展開計画」を整理する。
- 2) ユースケースの通信要件実現上の課題を考慮しつつ、展開計画の実現に必要な事項を整理する。
- 3) 新たな通信を実現し、ユースケースを実用化するためには車両メーカーや交通管理者、道路管理者、通信事業者等、複数のステークホルダーによる連携が不可欠であることから、実用化に向けた実施事項を「協調型自動運転通信方式ロードマップ」として取りまとめる。

4.2 ロードマップ策定に必要な動向調査

SIP では、2018 年度に実施された調査研究「自動運転システムにおける V2X 技術等を含む新たな通信技術の活用に関する調査」(1)において、欧、米、アジア（日本含む）の協調型自動運転、及び安全運転支援のプロジェクトで用いられたユースケースが調査・収集された。また、日本においては日本自動車工業会（以下、「自工会」という。）により高速道路のユースケース及び一般道のユースケースが検討されており、本ユースケースを考える上での参考とされた。

これを受け、検討 TF では将来の通信方式や通信資源の提案を行うことを目標とし、収集したユースケースの中から将来実用化の可能性があるユースケースの取捨選択を行った。その選定基準は以下の 1)、2) のとおりである。

1) 協調型自動運転システムを考える上での前提条件を考慮する

協調型自動運転システムを考える上での前提条件を以下のように置き、その前提条件に合致したものを SIP ユースケースとして選定する。

ア) すべての交通参加者は基本的に法規を遵守するものとする

理由：周囲の交通参加者の故意による交通法規違反に起因する事故を回避するための機能の実現は協調型自動運転システムに過度な性能・コストの負担を要求することになるため。

イ) 自律型自動運転システムで実現できるユースケースは含めない

理由：自律型自動運転システムをベースにして協調型自動運転システムは実現されるため、自律型自動運転システムで実現できる機能については冗長機能となり協調型自動運転システムとしての実用化可能性は低いと考えるため。

1) 協調型自動運転システム定義に合致する

検討 TF で設定した協調型自動運転システム定義を基に SIP ユースケース選定要件として以下の 3 項目を設定した。

- ①車載センサ検知外の情報の入手が必要
- ②自車が保有する情報の提供が必要
- ③車車間及び路車間の意思疎通が必要

こうして収集されたユースケースは、選定要件の 3 項目毎に選別され、全体として俯瞰しやすいように a~h の 8 機能（a.合流・車線変更支援、b.信号情報、c.先読み情報：衝突回避、d.先読み情報：走行計画変更、e.先読み情報：緊急車両回避、f.インフラによる情報収集・配信、g.隊列・追従走行、h.遠隔操作）に分類を行った。分類されたユースケースを表 4.2-1、表 4.2-2、及び表 4.2-3 に示す。

表 4.2-1 SIP ユースケース① センサ検知外情報の入手が必要なユースケース (1/2)

機能分類	ユースケース名	概要
a. 合流・車線変更支援	a-1-1. 予備加減速合流支援	本線上の計測地点での本線走行車両の速度や合流部到達予測時刻等の情報を、インフラから合流車両に提供し、予備加減速の支援を行う。
	a-1-2. 本線隙間狙い合流支援	本線走行車両の位置や速度等を連続的に計測した情報を、インフラから合流車両に連続的に提供し、本線走行車の隙間を狙った合流の支援を行う。
b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I)	交差点の信号機の現在の信号灯火色及び信号サイクル情報（次の信号灯火色及び切り替わりまでの時間）等を、路側インフラから交差点進入車両に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。
	b-1-2. 信号情報による走行支援 (V2N)	交差点の信号機の信号サイクル情報（次の信号灯火色及び切り替わりまでの時間）等を、ネットワーク経由で交差点進入車両に提供し、車両の減速、停止の支援によりジレンマ回避を行う。
c. 先読み情報：衝突回避	c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	急ブレーキ情報及び位置や速度の情報を、急減速した車両から後続車両に提供し、あらかじめ停止や減速を促すことで玉突き事故を防止する。
	c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V)	交差点に接近する車両の位置や速度の情報を、接近車両から交差点に接近または交差点を通過する車両に提供し、死角の多い交差点の通過や右折の支援を行う。
	c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I)	路側センサまたは車両から入手した交差点に接近する車両の位置や速度の情報を、インフラから交差点に接近または交差点を通過する車両に提供し、死角の多い交差点の通過や右折の支援を行う。
	c-3. ハザード情報による衝突回避支援	自動運転車が緊急減速や緊急車線変更を行った場合に後続車へ緊急ハザード情報を伝送することで、後続車の円滑な回避制御を支援する。

表 4.2-1 SIP ユースケース① センサ検知外情報の入手が必要なユースケース (2/2)

機能分類	ユースケース名	概要
d. 先読み情報： 走行計画変更	d-1. 異常車両の通知による走行支援	道路上に停止している異常車両の事象情報（故障車、事故車、等）と位置情報（存在区間、レーン）を、インフラから周辺車両に提供または異常車両から周辺車両に提供し、早めの車線変更、走行計画変更の支援を行う。
	d-2. 逆走車の通知による走行支援	逆走車の位置や速度及び逆走車の存在情報を、インフラから周辺車両に提供し、あらかじめ車線変更等を促して衝突回避の支援を行う。
	d-3. 渋滞の情報による走行支援	渋滞中の車両から得た渋滞状況の情報を、インフラから周辺車両に提供し、走行支援を行う。
	d-4. 分岐・出口渋滞支援	路肩渋滞の情報（位置や速度）を、インフラから本線車両に提供し、分岐部進入の支援を行う。
	d-5. ハザード情報による走行支援	障害物・工事・渋滞等の情報を、インフラから周辺車両に提供し、走行支援を行う。
e. 先読み情報： 緊急車両回避	e-1. 緊急車両の情報による走行支援	緊急車両の移動方向や速度、走行予定経路（走行予定車線）の情報を、緊急車両から周辺車両に提供し、周辺車両の徐行や停車等を促して緊急車両の円滑な通過を支援する。

表 4.2-2 SIP ユースケース② 自車が保有する情報の提供が必要なユースケース

機能分類	ユースケース名	概要
f. インフラによる 情報収集・配信	f-1. 救援要請(e-Call)	救援情報を、事故車等の異常車両からインフラに送信し、救援を要請する。
	f-2. 交通流の最適化のための情報収集	走行車両の位置や速度の情報を、インフラ経由で、交通量の分析や最適化を行うために収集する。
	f-3. 地図更新・自動生成	車両で収集した情報を、インフラで収集し、地図データの更新・自動生成を行う。
	f-4. ダイナミックマップ情報配信	ダイナミックマップ情報を、インフラから車両に提供する。

表 4.2-3 SIP ユースケース③ 車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース

機能分類	ユースケース名	概要
a. 合流・車線変更支援	a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援	本線走行車両の位置や速度等、面的に計測した情報を、インフラから合流車両に提供すると共に、インフラから本線車両側に車間調整等を指示し、合流の支援を行う。
	a-1-4. 車同士のネゴシエーションによる合流支援	混雑した本線への合流の際、位置や速度の情報や車間調整の要求等を、本線車両と合流車両が通信し、車同士のネゴシエーションによる合流支援を行う。
	a-2. 混雑時の車線変更の支援	混雑した車線への車線変更の際、位置や速度の情報及び車線変更意思等を車両間で通信し、車線変更の支援を行う。
	a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	信号のない交差点において、位置や速度の情報及び進入意思を、交差点付近の車両間で通信し、非優先道路から優先道路上へ進入するための走行支援を行う。
g. 隊列・追従走行	g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	隊列車両の操作情報等を、隊列を形成するトラック間で通信し、隊列走行（電子牽引）の支援を行う。
	g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行	位置や速度や前方車両の運転操作情報等を、前後の車両間で通信し、追従走行の支援を行う。
h. 遠隔操作	h-1. 移動サービスカーの操作・管理	自律型自動運転システムでは回避困難な交通環境の場合、移動サービスカーからの映像情報等と運行管理者からの遠隔操作指示を、運行管理者と移動サービスカー間で通信し、遠隔地からの車両操作・管理を行う。

協調型自動運転においては、複数の参加主体、及びその主体が所有、操作する機器の間での通信が行われる。また、協調運転の自動化には、安全性、効率性、信頼性の向上に資する情報共有が必要であり、その実現には公共、民間の垣根を超えた多様なステークホルダーによる協調が重要となる。各ステークホルダーが想定するユースケースは、時空間、空間軸において異なっており、こうした環境において協調自動運転の自動化を実現するためには、戦略的な規格化・標準化、及び意識の統一が不可欠である。

例えば、米国の SAE では J3216 において協調運転を可能とする M2M 通信の分類や定義を行っている。この中では、協調型自動運転（Cooperative Driving Automation : CDA）を「M2M 通信により複数の主体による協調が可能となり、高い安全性と効率性による移動を目的とした、協調運転の自動化」と定義している。

また、J3216 では CDA の分類を CDA Class として 4 つ定義している。CDA Class の定義を表 4.2-4 に、及び参考として Class C の例を図 4.2-1 に示す。

表 4.2-4 CDA Class の定義²⁵

Class	Class A	Class B	Class C	Class D
名称	Status-sharing cooperation (状況共有の協調)	Intent-sharing cooperation (意思共有の協調)	Agreement-seeking cooperation (合意形成の協調)	Prescriptive cooperation (指示による協調)
概要	自車の場所及び知覚情報を他車が活用するために提供する	将来行う予定の行為について他の主体に提供して、その主体の運転等へ活用させる	特定のCDA機器間でのメッセージ交換を通じて、特定の運転動作の計画に影響を及ぼす	緊急の運転タスクを行うため、あるいは道路管理者による特定の作業を行うために、特定の交通参加者へ指示・命令を送信する
フレーズ	Here I am, and here is what I see	That is what I plan to do	Let's do this together	I will do as directed
例	- 自車および直前車両の速度を後方の車両に伝え、交通流の最適化、安全な走行を行う - 路側機からの歩行者接近情報を受信し、自車の交差点通行を支援する	- 自車の車線変更（または合流）の意思を発信し、その情報を受信した周辺車両が車線変更（合流）させやすい環境を作る。 - 路側機が信号情報を送信し、走行中の車両が安全に交差点を通行できる状況を作る	車両①が車線変更の意図を②③へ伝達し、②③はその希望を返して車線変更できる状況を作る、あるいはその希望を拒否する（下図参照）。	- 事故情報を受けて通行止め情報、速度制限情報が送信され、周辺車両がその情報に応じた運転を行う。 - 緊急車両が周辺車両へ接近情報を送信し、通過しやすい状況を作る、あるいは信号制御を行う。

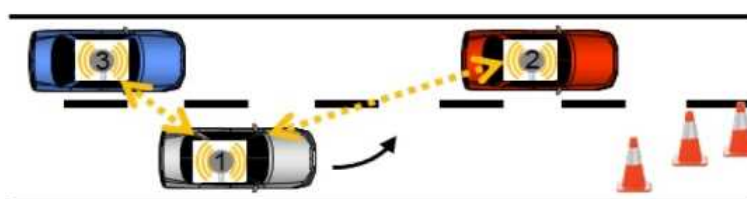


図 4.2-1 CDA Class C の例（車両 1 が 2、3 に意図を伝えて車線変更の合意を形成する例）²⁶

J3216 では、協調運転の自動化機能（CDA Feature）についても整理を行っている。交通参加者（traffic participant）間での協調を促進する機能として、CDA デバイス間の M2M 協調により協調運転に向けたサポートを受ける（supported）、または協調運転を可能とする（enabled）、あるいは特別なデザイン固有の機能（design-specific functionality）を定義している。多くの主体による調整が必要な supported、及び enabled の 2 つの概要を表 4.2-5 に示す。

²⁵ 出典：SAE “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicle” P.6
https://www.sae.org/standards/content/j3216_202005/

²⁶ 出典：SAE “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicle” P.6
https://www.sae.org/standards/content/j3216_202005/

表 4.2-5 Supporting CDA Feature と Enabling CDA Feature の概要²⁷

名称	Supporting CDA Feature (協調運転を「支援」するCDA機能)	Enabling CDA Feature (協調運転を「可能」にするCDA機能)
概要	道路利用者や道路管理者が行う操作・業務を <u>augment (増補)</u> することを目的とする	- 道路利用者や道路管理者が操作・業務を行うことができるように <u>facilitate (手助け)</u> することを目的とする 「この機能がなかったら、自動車や道路管理者ができなかったであろう動作を行うことができるようにする」
例	- 交差点へ先に到達した車両が、横断歩道を渡ろうとする歩行者の存在を検知し、交差点に接近中の別の車両 (<u>横断歩道に何らかの「物体」があることは検知しているが、歩行者かどうかはわからない</u>) に対してその情報を提供することで、安全な通行を促す。 - 自動運転車が交差点の路側機と通信を行い、SpaT情報を受信することで、最適な速度で交差点を通過する。	- 交差点へ先に到達した車両が、横断歩道を渡ろうとする歩行者の存在を検知し、交差点に接近中の別の車両 (<u>死角が存在するため、横断歩道の状況を見通せない</u>) に対してその情報を提供することで、安全な通行を促す。 - 隊列走行において、速度や走行間隔等の情報のやり取りを行う。 - 高速道路の入り口における合流を行うため、M2M通信により本線車両と合流車両との通信を行うことで、本線上の交通流に影響を及ぼさないようにする。

こうした海外の検討動向も踏まえ、本検討では SIP、及び検討 TF で整理されたユースケースについて、以下の 2 点の検討を踏まえた分類を行った。

- ユースケースに適用される通信方式の検討
- 機能によるユースケースの検討（協調型自動運転と安全運転支援）

²⁷ 出典：SAE “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicle” P.8 より作成
https://www.sae.org/standards/content/j3216_202005/

4.2.1 ユースケースに適用する通信方式の検討

ユースケースに適用する通信方式の検討にあたり、まずユースケースをグループ化するべく、次の3つのユースケース像を想定した。

- 特定の場所を対象とし、自動運転制御、管制制御等の即時性、信頼性が求められるユースケース
- 衝突回避等の即時性、信頼性が求められるユースケース
- 注意喚起、情報提供等時間遅れが許容されるユースケース

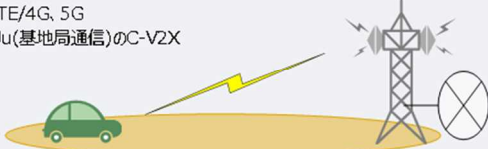
各ユースケース像で想定される、25種類のSIPユースケースを図4.2.1-1に示すとおり整理した。

ユースケース像	想定されるSIPのユースケース	
特定の場所を対象とし、自動運転制御、管制制御など即時性、信頼性が求められるユースケース	a-1-1.予備加減速合流支援 a-1-2.本線隙間狙い合流支援 a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援 b-1-1.信号情報による走行支援（V2I） c-2-2.交差点の情報による走行支援（V2I）	
衝突回避など即時性、信頼性が求められるユースケース	a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援 a-2.混雑時の車線変更の支援 a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援 c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 c-2-1.交差点の情報による走行支援（V2V） c-3.ハザード情報による衝突回避支援 e-1.緊急車両の情報による走行支援 g-1.電子牽引による後続車無人隊列走行 g-2.追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行	
注意喚起、情報提供等時間遅れが許容されるユースケース	b-1-2.信号情報による走行支援（V2N） d-1.異常車両の通知による走行支援 d-2.逆走車の通知による走行支援 d-3.渋滞の情報による走行支援 d-4.分岐・出口渋滞支援 d-5.ハザード情報による走行支援 e-1.緊急車両の情報による走行支援 f-1.救援要請(e-Call) f-2.交通流の最適化のための情報収集 f-3.地図更新・自動生成 f-4.ダイナミックマップ情報配信 h-1.移動サービスカーの操作・管理	

図 4.2.1-1 想定されるユースケース像と SIP ユースケースの対応整理

SIP の前提となる通信方式は大別すると、①路車間通信（V2I）、②車車間通信（V2V）、及び③広域ネットワーク通信（V2N）の 3 つがあり、それぞれに特徴がある。通信方式の特徴を整理し、各通信方式の適用が考えられるユースケース像を整理したものを表 4.2.1-1 に示す。

表 4.2.1-1 通信方式の特徴と適用が考えられるユースケース像

通信方式	特徴		適用が考えられる ユースケース像
	Pros	Cons	
V2I サービス提供者が運用するインフラによる通信 ARIB STD T109 ARIB STD T75 IEEE802.11p (WAVE) PC5(直接通信)のC-V2X 	• 実用化済み。信号情報提供等実証済 • 設置箇所で確実にサービス展開が可能 • 通信遅延の把握が可能	• インフラ設置箇所のみでのサービスに限定 • 大容量通信に向かない	• 特定の場所を対象とし、自動運転制御、管制制御など即時性、信頼性が求められるユースケース
V2V 車両同士による直接通信 ARIB STD T109 IEEE802.11p (WAVE) PC5(直接通信)のC-V2X 	• 実用化済み • 通信遅延の把握が可能	• 車載機の普及が進まなければサービス機会が得られない • 大容量通信に向かない	• 衝突回避など即時性、信頼性が求められるユースケース
V2N キャリアが提供する通信サービスによる通信 LTE/4G, 5G Uu(基地局通信)のC-V2X  ※複数の基地局によりカバレッジを確保する場合も含む	• DCMの普及が見込まれる • 1対1および1対多の通信が可能 • 路側、車両のセンサ情報に加え、ネットワーク上のサーバが保有するデータなどで新たな付加価値情報の提供が可能 • 大容量通信が可能	• 通信網内での折り返し通信（MEC）やデータの優先制御（QoS）なども検討されているが、常時発呼性、帯域・遅延の保証は担保されていない • 通信事業者毎に通信性能が異なる • 網側の輻輳や通信障害によってサービスが提供できない可能性も存在する • 複数の通信事業者で同一のサービスを提供（通信リソース浪費）	• 注意喚起、情報提供等時間遅れが許容されるユースケース

SIP の各ユースケースについては、その想定シナリオやシステム要件、通信技術の進展によって上記の想定と異なる通信方式、あるいは複数の通信方式を連携させて実現されるものもあると考えられる。一方、ユースケース展開計画を導出するためにはユースケースに適用される通信方式を想定することが求められる。そこで本検討では、検討 TF に確認を頂いた上で、本想定に基づき検討を進めた。

また、参考までに ISO の ITS 技術標準化委員会の走行制御分科会（ISO/TC204/WG14）における運転支援システムと、上記の通信方式の関係を整理したものを図 4.2.1-2 に示す。

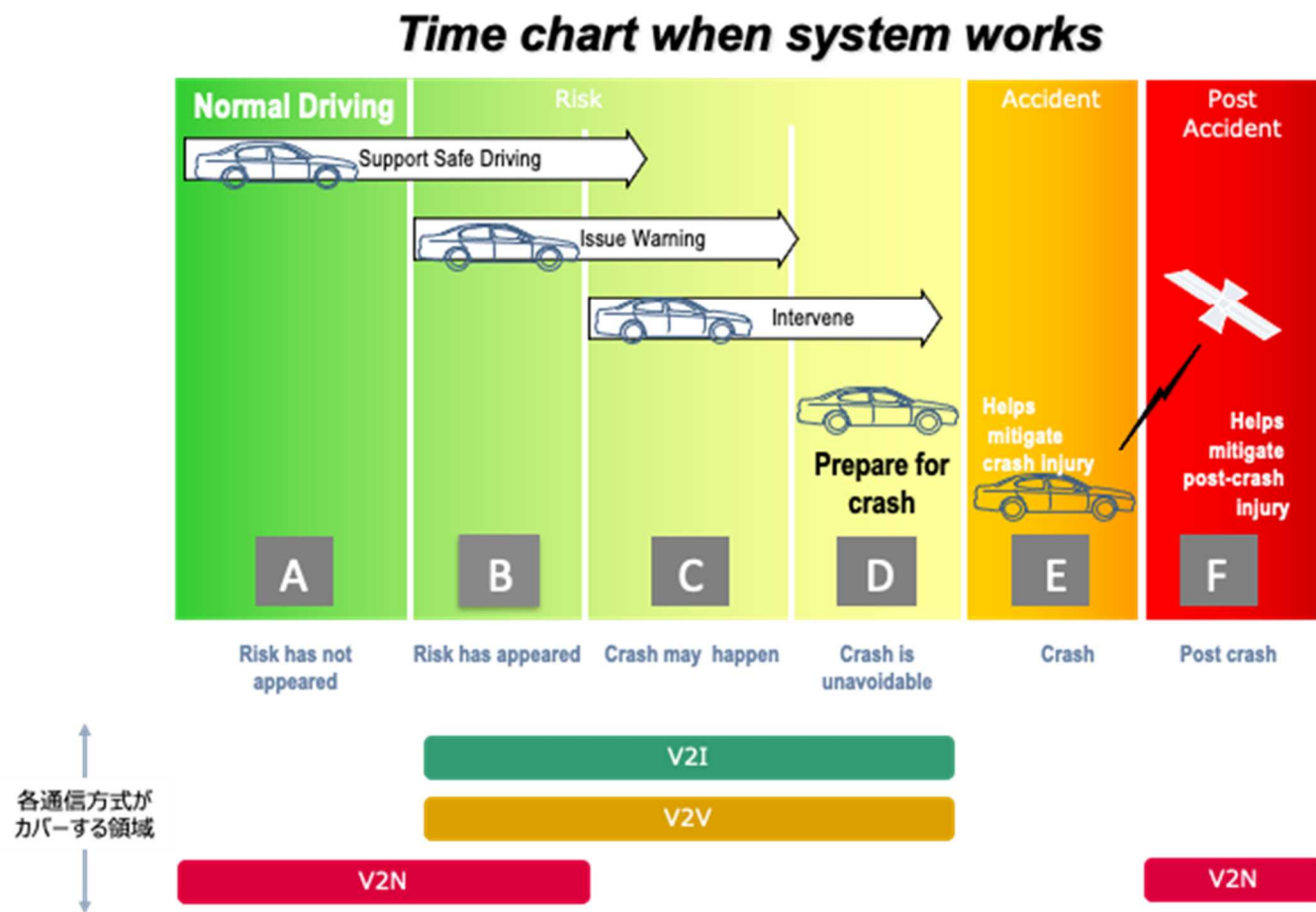


図 4.2.1-2 (参考) ISO/TC204/WG14 における運転支援と通信方式の適用が考えられる領域

4.2.2 安全運転支援に有益なユースケース

(1) 安全運転に資するユースケースの選定

前述の想定に基づき選定した安全運転支援に関するユースケースは以下のとおりである。

- 1) 通信方式を V2I と想定するユースケースについて
 - 信号機情報による走行支援 (b-1-1)
 - 交差点の情報による走行支援 (c-2-2)
- 2) 通信方式を V2V と想定するユースケースについて
 - 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 (c-1)
 - 交差点の情報による走行支援 (c-2-1)
 - ハザード情報による衝突支援回避 (c-3)
 - 緊急車両の情報による走行支援 (e-1)
- 3) 通信方式を V2N と想定するユースケースについて
 - 信号機情報による走行支援 (b-1-2)
 - 先読み情報：走行計画変更 (d-1, d-2, d-3, d-4, d-5)
 - 緊急車両の情報による走行支援 (e-1)
 - 救援要請(e-call) (f-1)
 - 交通流の最適化のための情報収集 (f-2)
 - 地図更新・自動生成 (f-3)
 - 交通流の最適化のための情報収集 (f-4)

(2) 車載機普及予測

本検討では DCM（Data Communication Module）や ITS Connect といった現行の車載機の普及台数の実績値を参考として、直近 2025～2040 年における V2X 対応車載機の普及予測を行った。

普及予測の実施にあたって参照した資料と、予測検討における前提条件を図 4.2.2-1 に示す。V2N サービスの利用に関わる DCM 搭載車の販売台数は 2021 年に富士経済が実施したテレマティクス普及予測を参考に検討し、V2I/V2V 車載機搭載車の販売台数は 2020 年における ITS Connect の販売実績値に基づいて検討した。

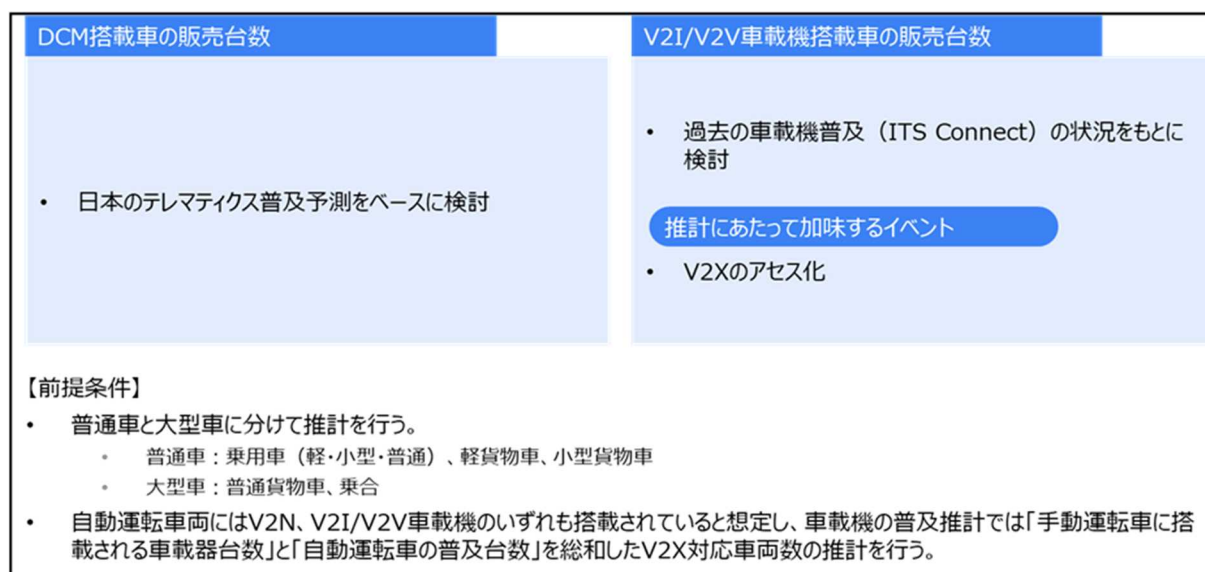


図 4.2.2-1 車載機普及予測の実施にあたって考慮した事項及び仮定した前提条件

なお、本項で述べる普及予測は車載機搭載車を普通車と大型車に分けてそれぞれ推計を行っており、特に大型車は主に商用のトラック等の貨物車とバス等の乗合の移動サービスカーを想定している。

(a) DCM 搭載車の単年販売台数予測

V2N サービスの利用に関わる DCM 搭載車の普及展開の予測にあたって、富士経済発行の『コネクテッドカー・V2X・自動運転関連市場の将来展望 2021』を参考にした。

すなわち、当該資料に記載の「新車乗用車・商用車に占めるコネクテッドカー単年販売台数」と「全コネクテッドカーにおける車載セルラーの搭載率」を掛け合わせることで、本検討では DCM 搭載車（自動運転車除く）の販売台数を仮定した。図 4.2.2-1 の前提条件で述べたとおり、当該資料における乗用車を本検討における普通車、商用車を大型車と見なすことで普通車・大型車毎の DCM 搭載車の単年販売台数を予測した。

その結果得られた DCM 搭載車の単年販売台数と、同じく 4.2.3(2)項で述べる自動運転車の単年販売台数の予測値を足し合わせることで、V2N 対応車の単年販売台数予測を図 4.2.2-2 と図 4.2.2-3 に示すとおりに得た。

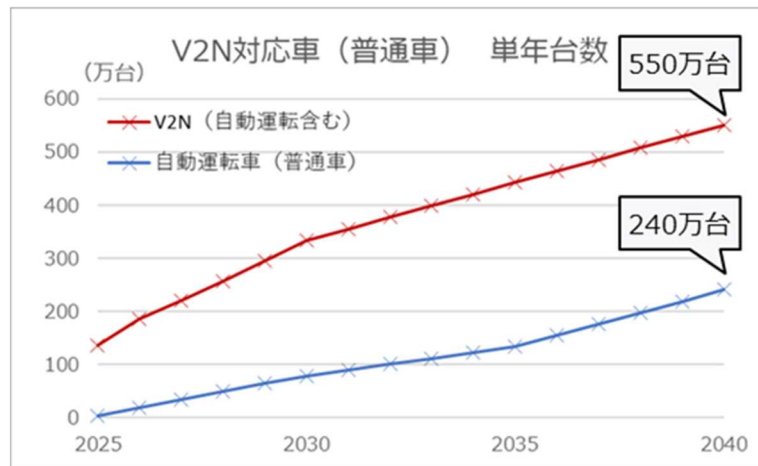


図 4.2.2-2 V2N 対応普通車（DCM 搭載車及び自動運転車）の単年販売台数の推移予測

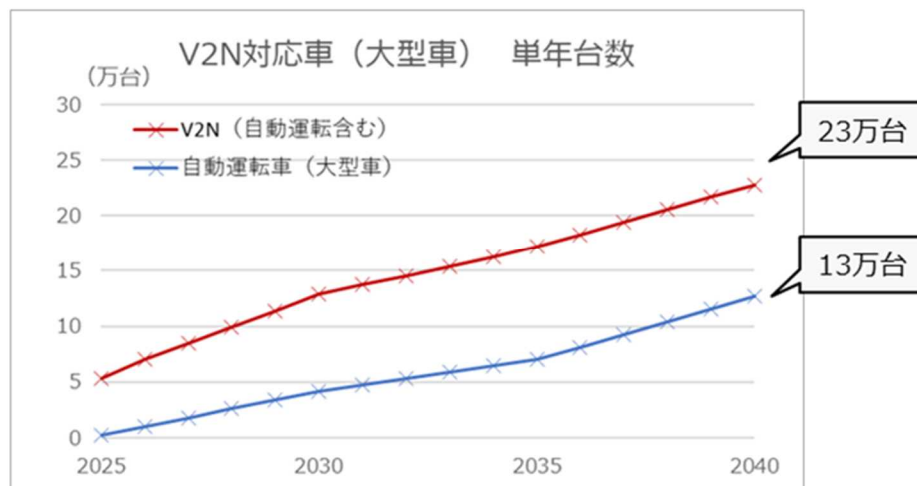


図 4.2.2-3 V2N 対応大型車（DCM 搭載車及び自動運転車）の単年販売台数の推移予測

(b) V2I/V2V 対応車載機の単年販売台数予測

本検討において V2I/V2V 対応車載機は ITS Connect と同じ台数規模で普及していくものと仮定した。総務省の『デジタル変革時代の電波政策懇談会（第4回）』では 2015 年に販売開始された ITS Connect の普及台数が 2020 年時点で 21 万台と報告されていることを踏まえ、ITS connect の単年販売台数は図 4.2.2-4 に示す直線形で毎年増加傾向にあるものと仮定した。

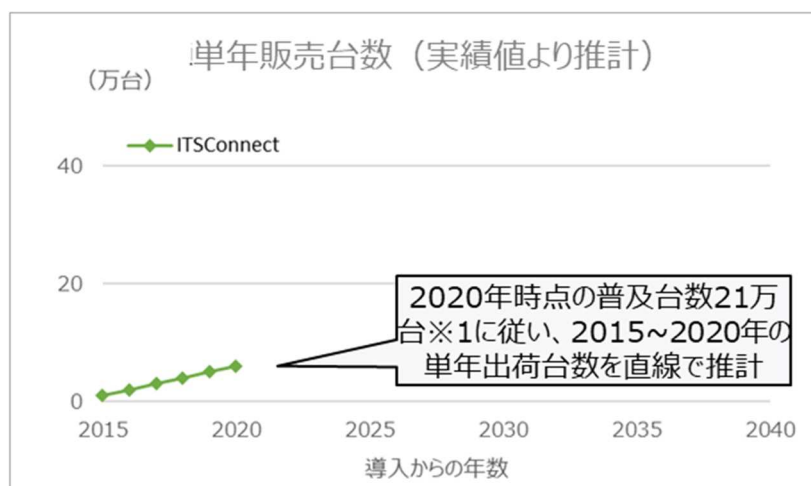


図 4.2.2-4 ITS Connect2015～2020 年の単年販売台数推移（2020 年実績値より仮定）²⁸

上記 2 つの仮定を踏まえて、V2I/V2V 対応車載機も図 4.2.2-4 に示した単年販売台数に従って 2040 年までそのまま直線的に単年販売台数を増加させていくものと考え、V2I/V2V 対応車載機を搭載した普通車・大型車は図 4.2.2-5 と図 4.2.2-6 に示す推移で台数を増加させていくことが予測される。ここで、図 4.2.2-6 では V2I/V2V 車載機を搭載した車のうち 95%が普通車、5%が大型車であるものと仮定し、グラフ縦軸の値は V2I/V2V 車載機全体の販売台数に対してそれぞれの割合を掛けた値となっている。

²⁸ 図中※1 の出典：総務省 デジタル変革時代の電波政策懇談会（第4回）「ITS 無線の必要性について」（ITS Japan 作成）

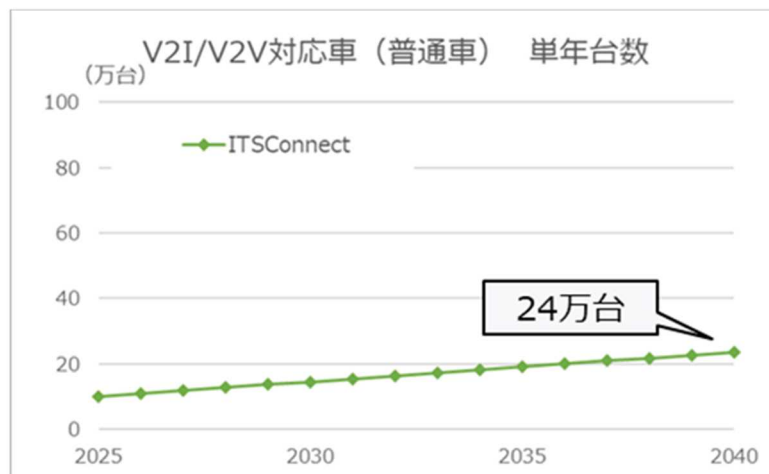


図 4.2.2-5 V2I/V2V 車載機搭載普通車の単年当たり増加台数の推移予測

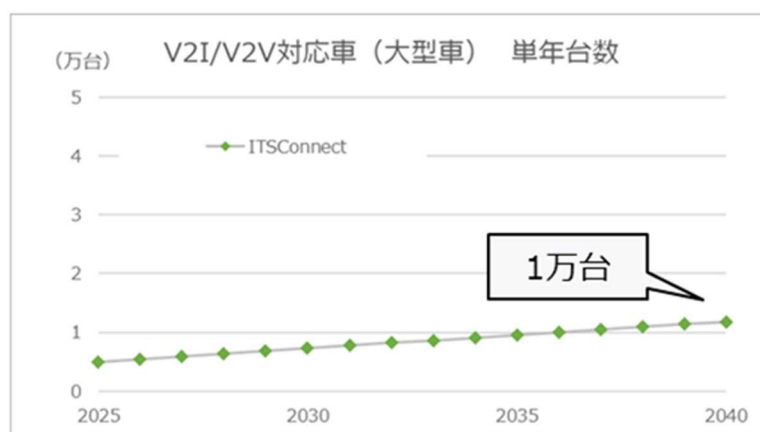


図 4.2.2-6 V2I/V2V 車載機搭載大型車の単年当たり増加台数の推移予測

図 4.2.2-5 と図 4.2.2-6 に示した V2I/V2V 車載機搭載車の増加台数予測は 2020 年現在の ITS Connect の普及台数のみに基づいてモデル化したものである。しかし、実際には今後 V2X 技術の安全評価基準が定められた際には V2V/V2I 車載機の普及がさらに加速するものと考えられる。よって本検討では V2X アセス化の時期を 2030 年と仮定し、それ以降は車載機の普及速度が上昇することを想定した。

この想定を行うにあたり、安全評価基準の策定によって普及が加速した安全運転技術の実例として衝突被害軽減ブレーキの新車乗用車搭載台数の推移を図 4.2.2-7 に示す。この例では 2014 年に車両、2016 年に昼間歩行者に対するブレーキ性能が安全評価項目に追加されており、その影響から 2014～2016 年の前後で搭載台数の増加率（推移曲線の傾き）が約 5 倍に増加している。

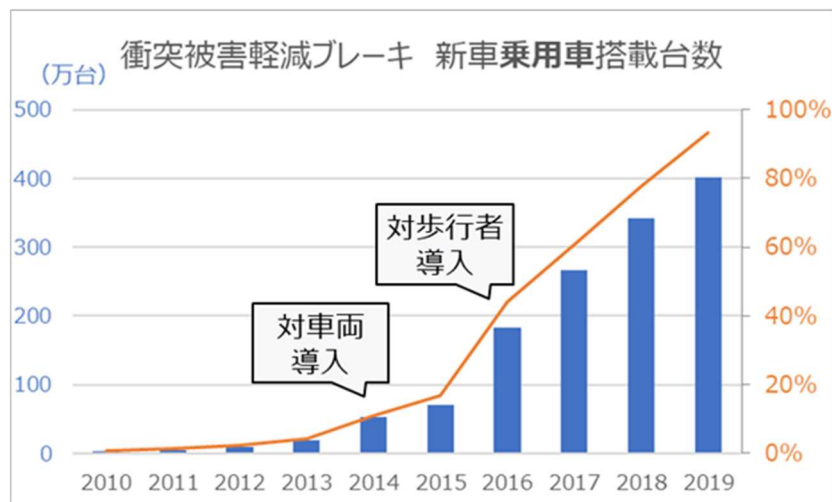


図 4.2.2-7 衝突被害軽減ブレーキ 新車乗用車搭載台数の推移²⁹

上記の例を参考に V2X が 2030 年にアセス化した以降は V2I/V2V 車載機の単年出荷台数の増加率が 5 倍に増えるものと仮定すると、図 4.2.2-5 と図 4.2.2-6 で示した V2I/V2V 車載機搭載車の増加速度は図 4.2.2-8 と図 4.2.2-9 に示すグラフへ修正される。

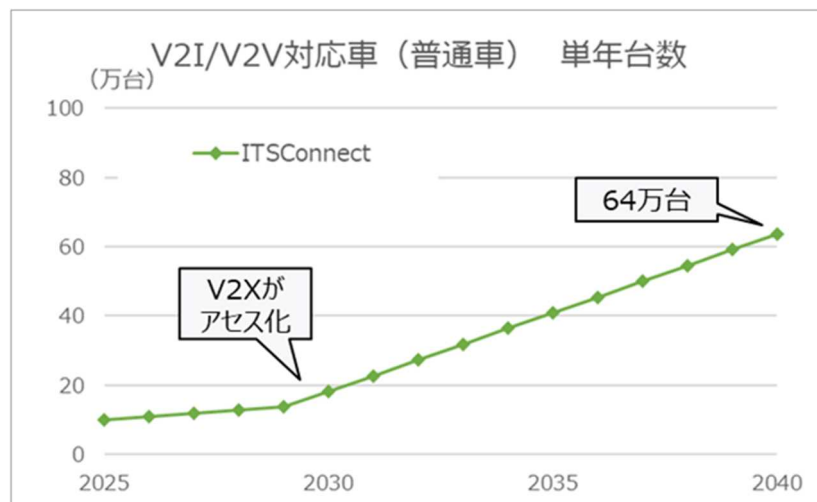


図 4.2.2-8 V2I/V2V 車載機搭載普通車の単年当たり増加台数の推移予測
(V2X アセス化の影響を考慮)

²⁹ 出典：国土交通省『先進安全自動車（ASV）技術普及状況調査 2010-2020 年』

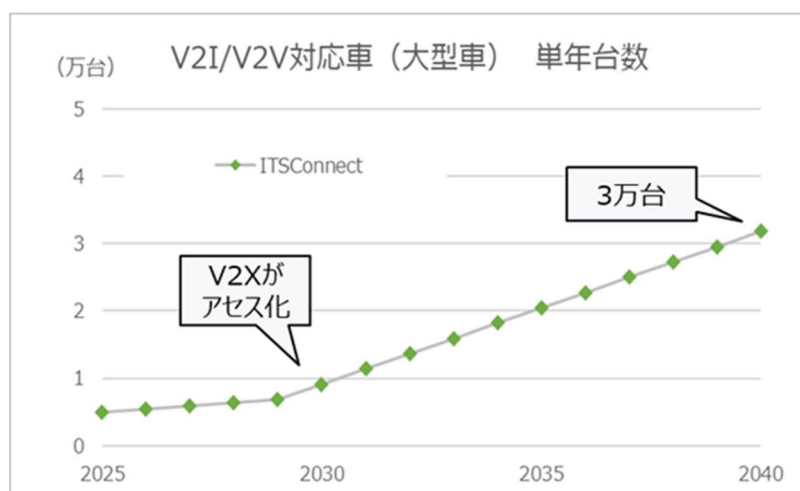


図 4.2.2-9 V2I/V2V 車載機搭載大型車の単年当たり増加台数の推移予測
(V2X アセス化の影響を考慮)

以降で述べる V2I/V2V 対応車の普及台数は図 4.2.2-8 と図 4.2.2-9 に示す単年当たり増加台数の推移予測に基づいて試算している。

(c) 車載機普及台数及び普及率の予測

前項では V2N サービスの利用に関わる DCM 搭載車と V2I/V2V 車載機搭載車の単年販売台数を試算した。これらの結果と 4.2.3(2)項で述べる自動運転車の単年販売台数を共に積算することで V2N 及び V2I/V2V 対応車が日本国内に流通している数、すなわち普及台数を図 4.2.2-10 と図 4.2.2-11 に示すとおりに試算した。

普及台数を計算するにあたり、本検討では車載機及び自動運転車の新品購入から買い替えまでに掛かる年数を 12 年と仮定した。を図 4.2.2-10 と図 4.2.2-11 に示す普及台数は図 4.2.2-2、図 4.2.2-3、そして図 4.2.2-8 と図 4.2.2-9 に示した単年販売台数のグラフに対して過去 12 年分の単年販売台数を積算した値である。

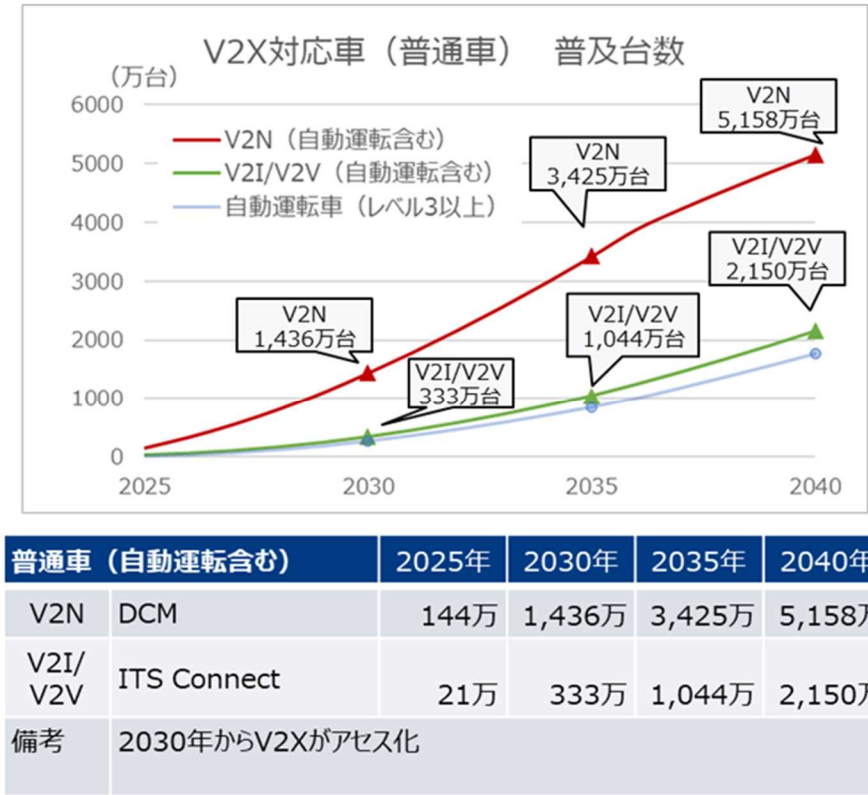


図 4.2.2-10 V2X 対応普通車の普及台数予測（過去 12 年分の単年販売台数を積算）

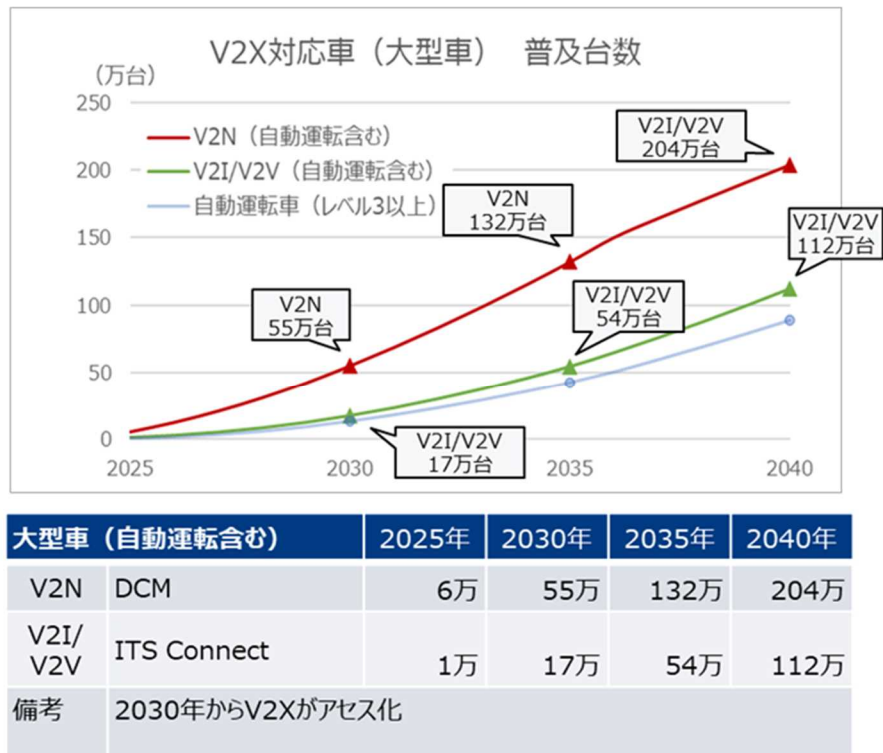


図 4.2.2-11 V2X 対応大型車の普及台数予測（過去 12 年分の単年販売台数を積算）

V2X 対応車（車載機搭載車及び自動運転車）の普及台数予測は図 4.2.2-10 と図 4.2.2-11 のとおりであるが、本検討では加えて安全運転支援の実現に関わるドライバ通知システムと車両制御システムの普及予測を行った。

安全運転支援に関わる V2X システムのうち、V2I/V2V のユースケースでは事故防止を目的として車両を直接制御するシステムの運用が考えられる。しかし、そういった車両制御システムはドライバに受信情報を通知するシステムと比較して技術的に実装が難しいため、普及展開がある程度遅れるものと予想される。

そのため、本検討では図 4.2.2-12 に示すように V2I/V2V 対応車に実装されているシステムをドライバ通知システムと車両制御システムの 2 種類に分け、2025～2030 年の間はドライバ通知システムと車両制御システムの存在比が 10:1～3:1 まで段階的に推移していくものと仮定した。なおこの仮定においては類似の実例として、車線逸脱警報（LDW）とレーンキープアシスト（LKA）の出荷割合の推移を参考としている。

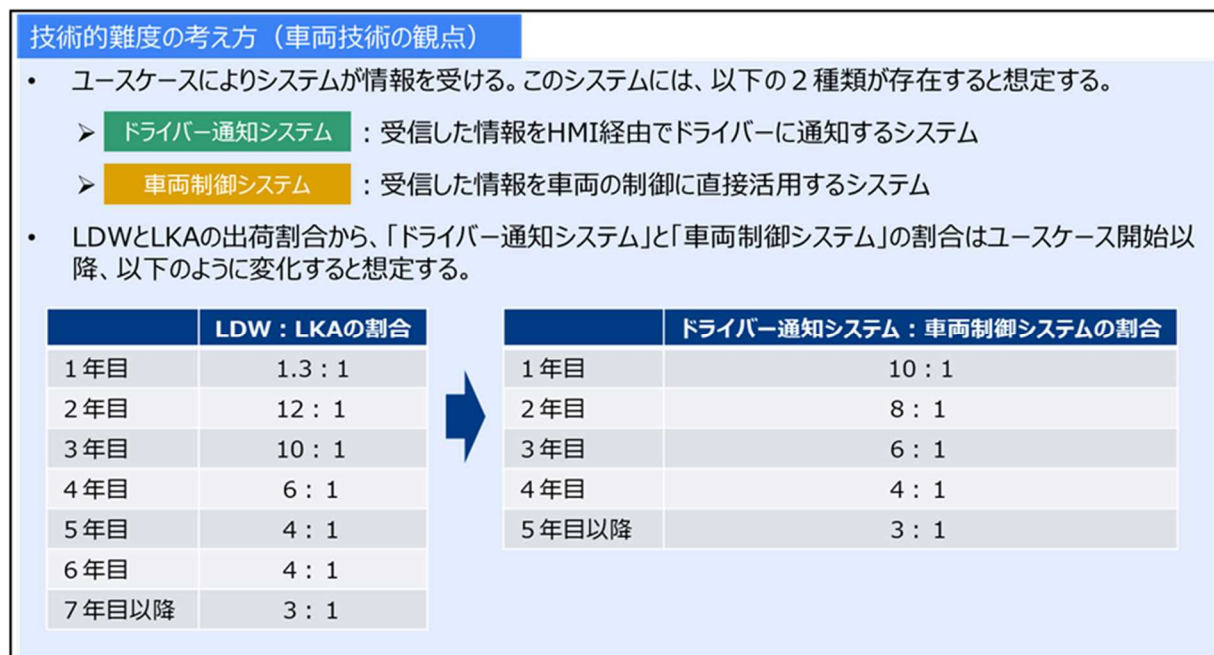


図 4.2.2-12 V2X 技術のうちドライバ通知システム・車両制御システムの普及に関わる想定³⁰

図 4.2.2-10 と図 4.2.2-11 で示した普及台数予測に対して図 4.2.2-12 の仮定を適用することで V2I/V2V 対応車におけるドライバ通知システムと車両制御システムの普及台数が算出できる。

また、これら普及台数に対して日本国内における自動車保有台数（2019 年水準の普通車 5,999 万台、大型車 230 万台で一定と仮定）を分母として割ることで得られた普及率の予測を図 4.2.2-13 に示す。この普及率予測に従えば、2040 年時点における国内の約 4 割の普通車・大型車は V2N 及び V2I/V2V に対応していることとなる。そのうち、車両制御システムを搭載した V2I/V2V 対応車は約 1 割を占めるものと思われる。

³⁰ 出典：LDA と LKA の出荷割合は、国土交通省『先進安全自動車（ASV）技術普及状況調査 2010-2020 年』より算出

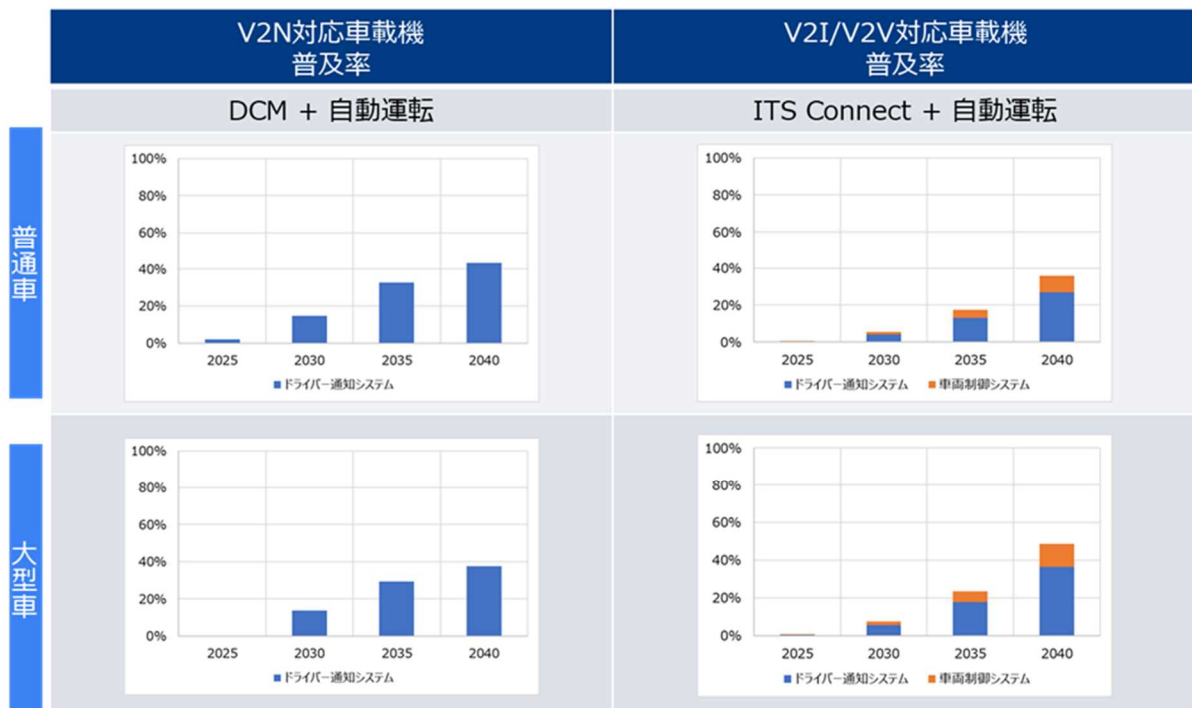


図 4.2.2-13 V2N 及び V2I/V2V 対応車の普及率予測（システム別）

(3) ユースケース開始時期の考え方

(a) ユースケースの開始時期の考え方

ユースケースの開始時期を以下のように想定した。

(ア) 通信方式を V2I と想定するユースケースについて

- 信号機情報による走行支援 (b-1-1)

ユースケースの一部は ITS connect によりサービス提供が開始済み（赤信号注意喚起・信号待ち発進準備案内）であり、既存サービスの提供状況から早期の実現が予想される。

- 交差点の情報による走行支援 (c-2-2)

ユースケースの一部は ITS connect によりサービス提供が開始済み（右折時注意喚起）であり、既存サービスの提供状況から早期の実現が予想される。

(イ) 通信方式を V2V と想定するユースケースについて

- 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 (c-1)

海外等では一部サービス提供が行われているものの、縦方向の回避支援技術に関する技術的な検証や、事故発生時の責任分界点、保険の取り扱い等の制度面での検討が必要であると考えられる。

- 交差点の情報による走行支援 (c-2-1)

ユースケースの一部は ITS connect によりサービス提供が開始済みであり、実証実験等の進捗等からも既存サービスの提供状況から早期の実現が予想される。

- ハザード情報による衝突支援回避 (c-3)

c-1 に加えて車線変更の支援も想定しているため、車線変更による横方向の回避支援技術の検証等が必要であり、c-1 の後で実現すると考えられる。

- 緊急車両の情報による走行支援 (e-1)

ユースケースの一部は ITS connect によりサービス提供が開始済みであり、実証実験等の進捗等からも早期の実現が予想される。

(ウ) 通信方式を V2N と想定するユースケースについて

- 信号機情報による走行支援 (b-1-2)

SIP の研究開発の動向等から早期の実現が予想される。

- 先読み情報：走行計画変更 (d-1, d-2, d-3, d-4, d-5)

速やかに広範囲への展開が見込め、早期から開始することで効果が期待できることから 2025 年からサービスが開始されると想定される。

- 緊急車両の情報による走行支援 (e-1)

ユースケースの一部は ITS connect によりサービス提供が開始済みであり、SIP での研究開発の動向等からも既存サービスの提供状況から早期の実現が予想される。

- 救援要請(e-call) (f-1)

ユースケースの一部はヘルプネットによりサービス提供が開始済みであり、実証実験等の進捗等からも早期の実現が予想される。

- 交通流の最適化のための情報収集 (f-2)

OEM により一部類似サービスが開始済みであり、実証実験等の進捗等からも早期の実現が予想される。

- 地図更新・自動生成 (f-3)

実現に向けた技術検証が必要であるため、他の f のユースケースの後で実現すると予想される。

- 交通流の最適化のための情報収集 (f-4)

OEM により一部類似サービスが開始済みであり、実証実験等の進捗等からも早期の実現が予想される。

4.2.3 自動運転支援に有益なユースケース

(1) 自動運転に資するユースケース選定

前述の想定に基づき選定した協調型自動運転に関するユースケースは以下のとおりである。

(a) 通信方式を V2I と想定するユースケースについて

- 本線合流支援 (a-1-1, a-1-2)
- 路側管制による本線車両協調合流支援 (a-1-3)
- 信号機情報による走行支援 (b-1-1)
- 交差点の情報による走行支援 (c-2-2)

(b) 通信方式を V2V と想定するユースケースについて

- 調停による車線変更・合流支援 (a-1-4, a-2, a-3)
- 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 (c-1)
- 交差点の情報による走行支援 (c-2-1)
- ハザード情報による衝突支援回避 (c-3)
- 緊急車両の情報による走行支援 (e-1)
- 隊列走行 (g-1, g-2)

(c) 通信方式を V2N と想定するユースケースについて

- 信号機情報による走行支援 (b-1-2)
- 先読み情報：走行計画変更 (d-1, d-2, d-3, d-4, d-5)
- 緊急車両の情報による走行支援 (e-1)
- 救援要請(e-call) (f-1)
- 交通流の最適化のための情報収集 (f-2)
- 地図更新・自動生成 (f-3)
- 交通流の最適化のための情報収集 (f-4)
- 移動サービスカーの操作・管理 (h-1)

(2) 自動運転普及予測

4.2.2(2)(c)項で述べた車載機の普及予測と同様に、本検討では直近 2025～2040 年における自動運転車の普及予測を実施した。以下では普及予測に関わる検討の仮定と得られた結果を述べる。

(a) 自動運転車の単年販売台数予測

自動運転車の普及予測にあたっては富士キメラ総研発行の『2020 自動運転・AI カー市場の将来展望』を参考にした。

当該資料では 2020～2045 年における自動運転車（レベル 3 以上）の単年販売台数の推移予測が掲載されているため、本検討にあたっては図 4.2.3-1 に示すようにその推移を 1 年毎の推移グラフへと線形補間して用いることとした。

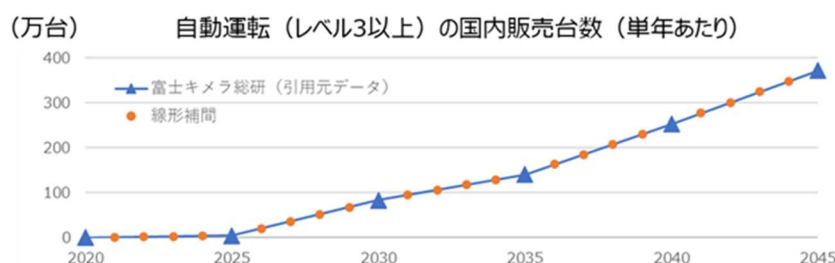


図 4.2.3-1 自動運転車（レベル 3 以上）の単年販売台数の推移予測³¹

(b) 自動運転車普及台数及び普及率の予測

図 4.2.3-1 に示した単年販売台数のうち 95%が普通車、残りの 5%が大型車であるものと仮定して算出した 2025～2040 年における普通車・大型車の国内普及台数を図 4.2.3-2 に示す。

4.2.2(2)(c)項でも述べたとおり、ここでも自動運転車は新車購入から買い替えまでに掛かる年数を 12 年と仮定し、普及台数の数値は過去 12 年分の単年販売台数を積算した値として計算している。

³¹ 出典：富士キメラ総研『2020 自動運転・AI カー市場の将来展望』

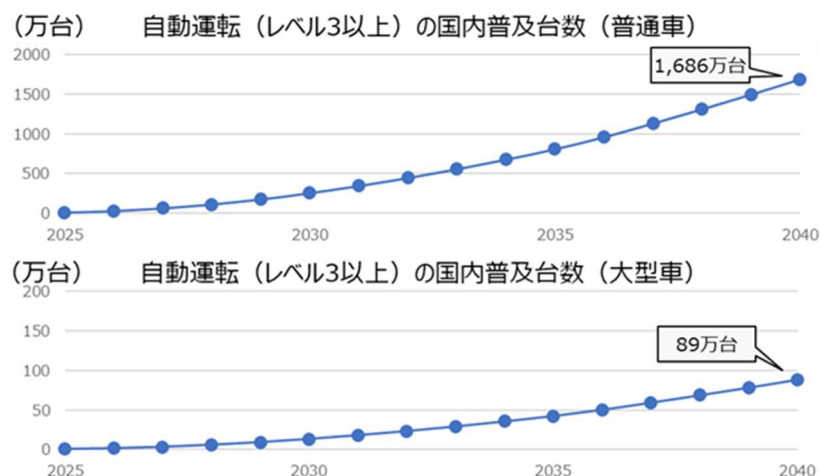


図 4.2.3-2 自動運転車（レベル 3 以上）の普及台数予測

図 4.2.3-2 の自動運転車普及台数と 4.2.2(2)(c)項で述べた車載機普及台数を合わせた V2X 対応車の普及台数予測を図 4.2.3-3 に示す。また、2025～2040 年の日本国内にある普通車・大型車全体に占める V2X 対応車の普及率を図 4.2.3-4 に示す。

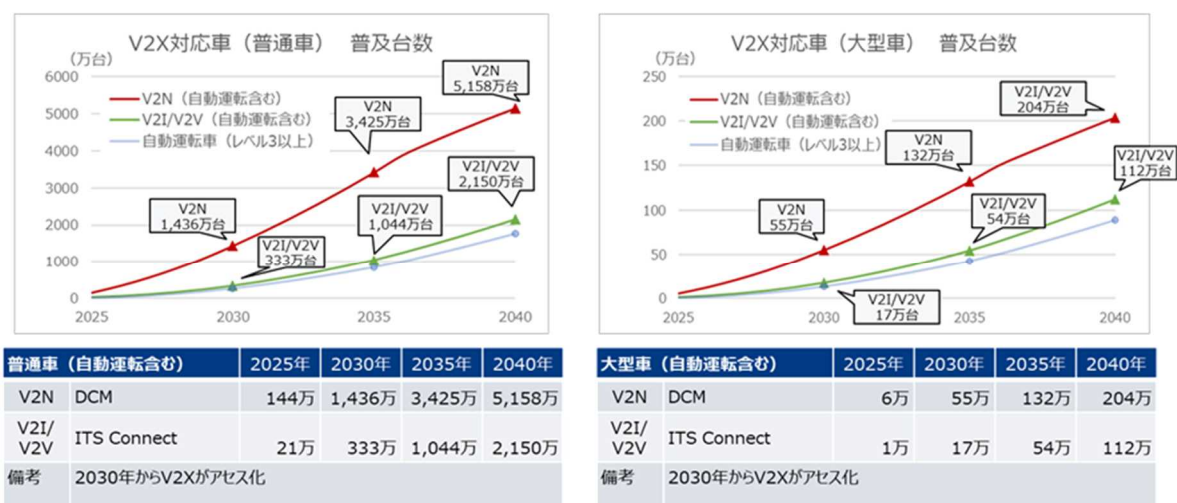


図 4.2.3-3 V2X 対応車の普及台数予測（図 4.2.2-10 の再掲）

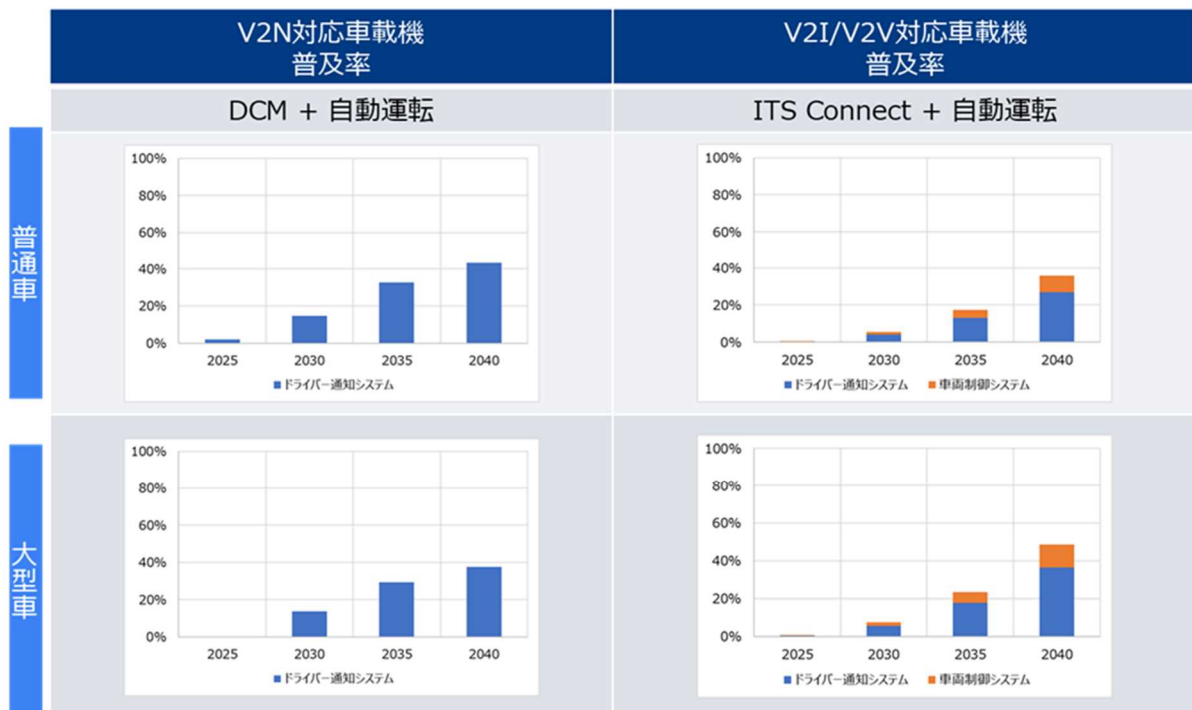


図 4.2.3-4 V2N 及び V2I/V2V 対応車の普及率予測（図 4.2.2-13 の再掲）

(3) ユースケース開始時期の考え方

SIP で検討されているユースケースは自動運転の社会実装のためのユースケースであるが、そのすべてが実現されなければ自動運転が実用化されないというものではない。また、ユースケースの一部はレベル 3 以上の自動運転車両でなくても、事故削減効果が期待できるものも存在する。

協調型自動運転に必要なユースケースの選定については、まず「官民 ITS 構想・ロードマップ（2021）」の記載から、自動運転の実用化に最低限必要と考えられるユースケースを抽出した。「官民 ITS 構想・ロードマップ（2021）」の該当する記載箇所と対応するユースケースの関係を図 4.2.3-5 に示す。

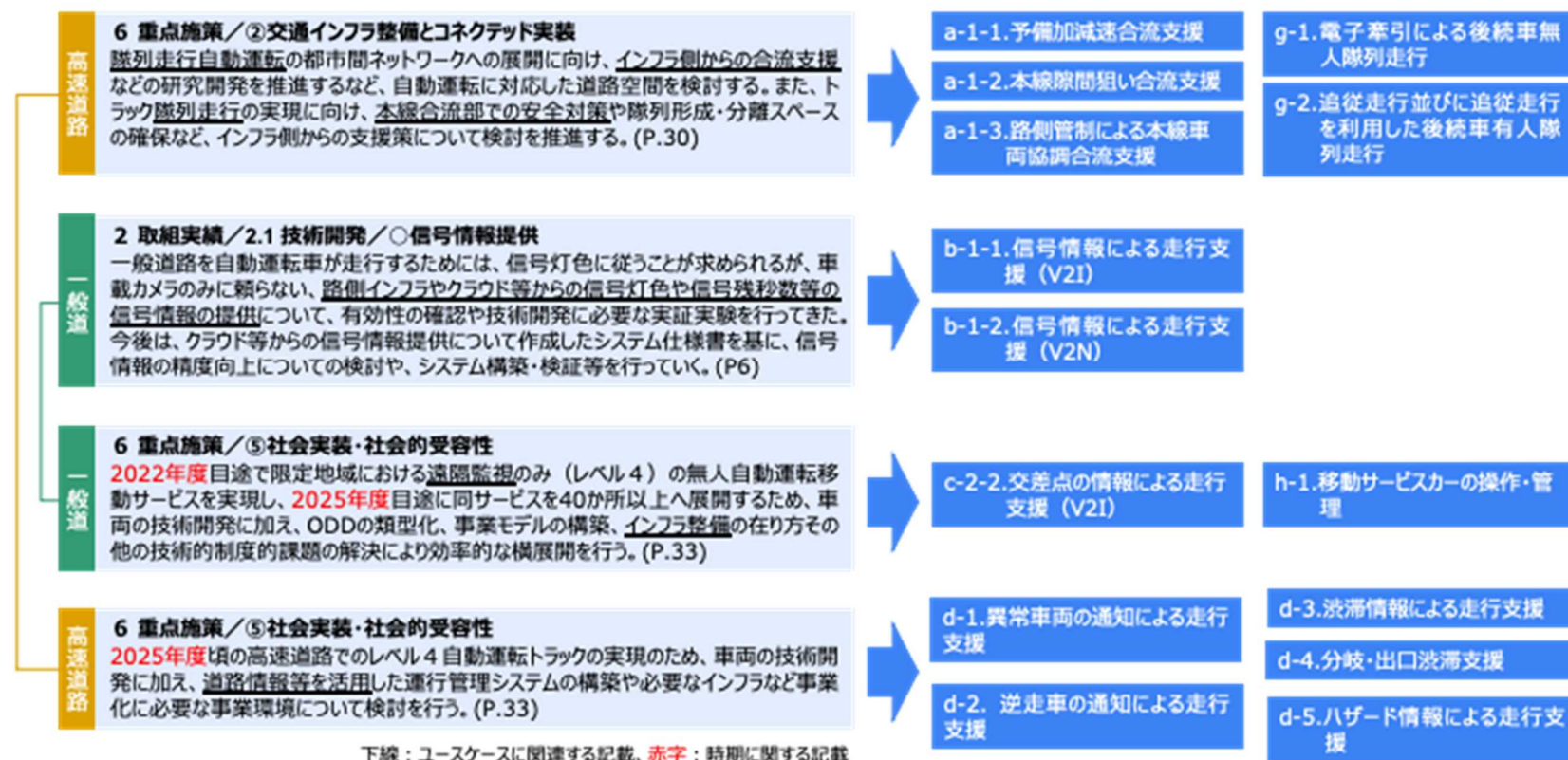


図 4.2.3-5 官民 ITS 構想・ロードマップ（2021）からのユースケース抽出

加えて、「官民 ITS 構想・ロードマップ（2021）」に記載はないが、合流支援については官民 ITS 構想・ロードマップ（2021）の対象期間である 2030 年以降も進化し、インフラに依存しないユースケースも実現するとして抽出を行った。同時に、緊急車両の接近を検知することは自動運転に必要と考えられるが、自律センサでは困難と考えられることから、図 4.2.3-6 に示すユースケースも実現すると想定した。

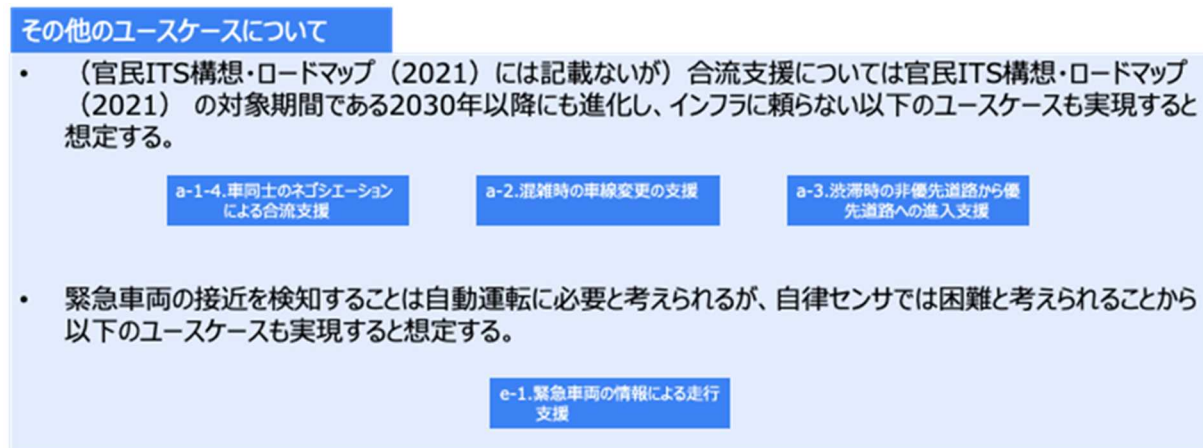


図 4.2.3-6 自動運転に必要なその他のユースケースの抽出

上記に該当しないユースケースについては、自動運転システムだけに限らず、ドライバが主体的に運転を行う自動車の安全運転支援機能として実装されて将来は自動運転に繋がっていくものとして想定することとした。

これらを踏まえて検討した協調型自動運転に関するユースケースの開始時期の考え方は、以下のとおりである。

(a) 通信方式を V2I と想定するユースケースについて

- 本線合流支援（a-1-1, a-1-2）

官民 ITS 構想・ロードマップ「2025 年度頃的高速道路でのレベル 4 自動運転トラックの実現」の記載があり、ロードマップの目標実現に向けて本線合流支援のサービス実現のためには早期の実現が予想される。

- 路側管制による本線車両協調合流支援（a-1-3）

路車間での合意形成が必要なユースケースであり、サービス実現には一定の普及率が必要である。自工会において合流支援 Day3 システムと位置付けられており、自動運転普及率が 30%程度に到達した時点での実現が予想される。

- 信号機情報による走行支援 (b-1-1)

官民 ITS 構想・ロードマップ「限定地域における無人自動運転移動サービスを 2025 年度目途に 40 か所以上へ展開」の記載があり、限定地域における無人自動運転移動サービス実現のためには早期の実現が予想される。

- 交差点の情報による走行支援 (c-2-2)

官民 ITS 構想・ロードマップ「限定地域における無人自動運転移動サービスを 2025 年度目途に 40 か所以上へ展開」の記載があり、限定地域における無人自動運転移動サービス実現のためには早期の実現が予想される。

(b) 通信方式を V2V と想定するユースケースについて

- 調停による車線変更・合流支援 (a-1-4, a-2, a-3)

車車間での調停・合意形成が必要なユースケースであり、サービス実現には一定の普及率が必要である。自工会において合流支援 Day4 システムと位置付けられており、自動運転普及率が 50%程度に到達した時点での実現が予想される。

- 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 (c-1)

官民 ITS 構想・ロードマップ「2030 年の目標：国民の豊かな暮らしを支える安全で利便性の高いデジタル交通社会を世界に先駆け実現する」の記載があり、安全運転支援としてのサービス実現と同時期の実現が予想される。

- 交差点の情報による走行支援 (c-2-1)

ユースケースの一部は ITS connect によりサービス提供が開始済みであり、実証実験等の進捗等からも既存サービスの提供状況から早期の実現が予想される。

- ハザード情報による衝突支援回避 (c-3)

c-1 に加えて車線変更の支援も想定しているため、車線変更による横方向の回避支援技術の検証等が必要であり、c-1 の後で実現すると考えられる。

- 緊急車両の情報による走行支援 (e-1)

ユースケースの一部は ITS connect によりサービス提供が開始済みであり、実証実験等の進捗等からも早期の実現が予想される。

- 隊列走行 (g-1, g-2)

官民ロードマップ「2025 年度頃の高速度道路でのレベル 4 自動運転トラックの実現」の記載があり、類似サービスが SIP 等にて実証実験を実施している。隊列走行の商用化のためには必要であるため、ロードマップの目標実現に向けて早期の実現が予想される。

(c) 通信方式を V2N と想定するユースケースについて

- 信号機情報による走行支援 (b-1-2)

SIP の研究開発の動向等から早期の実現が予想される。

- 先読み情報：走行計画変更 (d-1, d-2, d-3, d-4, d-5)

速やかに広範囲への展開が見込め、早期から開始することで効果が期待できることから 2025 年からサービスが開始されると想定される。

- 緊急車両の情報による走行支援 (e-1)

ユースケースの一部は ITS connect によりサービス提供が開始済みであり、SIP での研究開発の動向等からも既存サービスの提供状況から早期の実現が予想される。

- 救援要請(e-call) (f-1)

ユースケースの一部はヘルプネットによりサービス提供が開始済みであり、実証実験等の進捗等からも早期の実現が予想される。

- 交通流の最適化のための情報収集 (f-2)

OEM により一部類似サービスが開始済みであり、実証実験等の進捗等からも早期の実現が予想される。

- 地図更新・自動生成 (f-3)

実現に向けた技術検証が必要であるため、他の f のユースケースの後で実現すると予想される。

- 交通流の最適化のための情報収集 (f-4)

OEM により一部類似サービスが開始済みであり、実証実験等の進捗等からも早期の実現が予想される。

- 移動サービスカーの操作・管理 (h-1)

類似サービスが SIP 等にて実証実験を実施している。経済産業省の「RoAD to the L4」にて想定されている遠隔監視を用いた移動サービスカーの実用化のためには必要であるため、早期の実現が予想される。

4.2.4 海外動向調査

本項ではロードマップの検討にあたり参考とした協調型自動運転に関連する海外動向を説明する。

調査した海外事例のうち V2X の実用化に関わる通信方式の検討動向は表 4.2.4-1、V2X の開発検討や実証を行っているプロジェクトは表 4.2.4-2 と表 4.2.4-3 に示すとおりであり、以降ではこれらの検討事例についてそれぞれ概要を説明する。

なお、表 4.2.4-3 の研究プロジェクトは参加メンバや検討の方向性に偏りがある等の理由からロードマップ検討の参考にはしていない。しかし V2X の各ユースケースに関して導入・普及時期のロードマップを公開しているため、ここでは参考情報として検討内容を記載することとした。

表 4.2.4-1 V2X の実用化に関わる通信方式の検討動向

国・地域	実施機関	動向	完了予定時期
国際	3GPP	3GPP Release 18 の策定	2023 年内
国際	IEEE	IEEE 802.11bd の策定	2022 年内
アメリカ	連邦通信委員会 (FCC)	5.9GHz 帯の DSRC から C-V2X への移行	2024 年内
欧州	Euro NCAP	V2X のアセス化	2024 年内
欧州	C2C CC	ITS-G5 の高度化検討	不明※1

※1 IEEE 802.11bd 策定後に実施される可能性があるまでの情報であり、実際の開始・終了時期は不明。

表 4.2.4-2 海外各国の V2X 研究プロジェクト

国・地域	実施機関	プロジェクト名	備考
アメリカ	運輸省高速道路局 (FHWA)	CARMA	V2X ユースケースの実現に関わる通信プロトコルの開発
欧州	欧州委員会 (EC)	ERTRAC および DG MOVE による検討	V2X ユースケースの普及計画とロードマップを検討
欧州	欧州委員会 (EC) 欧州企業コンソーシアム	C-Roads	V2X ユースケースの実証と通信インフラ整備を推進
中国	中国政府	スマート自動車 イノベーション発展戦略	中国国内での V2X 開発・普及を推進
中国	中国自動車エンジニア学会 (China-SAE)	省エネルギーおよび 新エネルギー自動車 技術ロードマップ 2.0	純電動車主導型発展戦略を堅持するとの方向性を示し、2035 年に向けた「6 大総体技術目標」が掲げられている。

表 4.2.4-3 海外各国の V2X 研究プロジェクト（本検討から除外した例）

国・地域	実施機関	プロジェクト名	除外理由
国際	5GAA	5GAA による検討	C-V2X の利用を前提とした検討であるため
欧州	欧州道路協会 (CEDR)	MANTRA	自動車・車載機メーカー不在の検討であるため

(1) 海外における通信方式の検討動向

表 4.2.4-1 に示した通信方式の検討事例について、以下ではその概要と各種情報の出典を述べる。

(a) 国際：3GPP

C-V2X の根幹を担う通信プロトコルである 3GPP 規格について、最新（2022 年 2 月現在）の検討スケジュールを図 4.2.4-1 に示す。直近においては 2024 年内に 3GPP Release 18 が策定される見込みである。

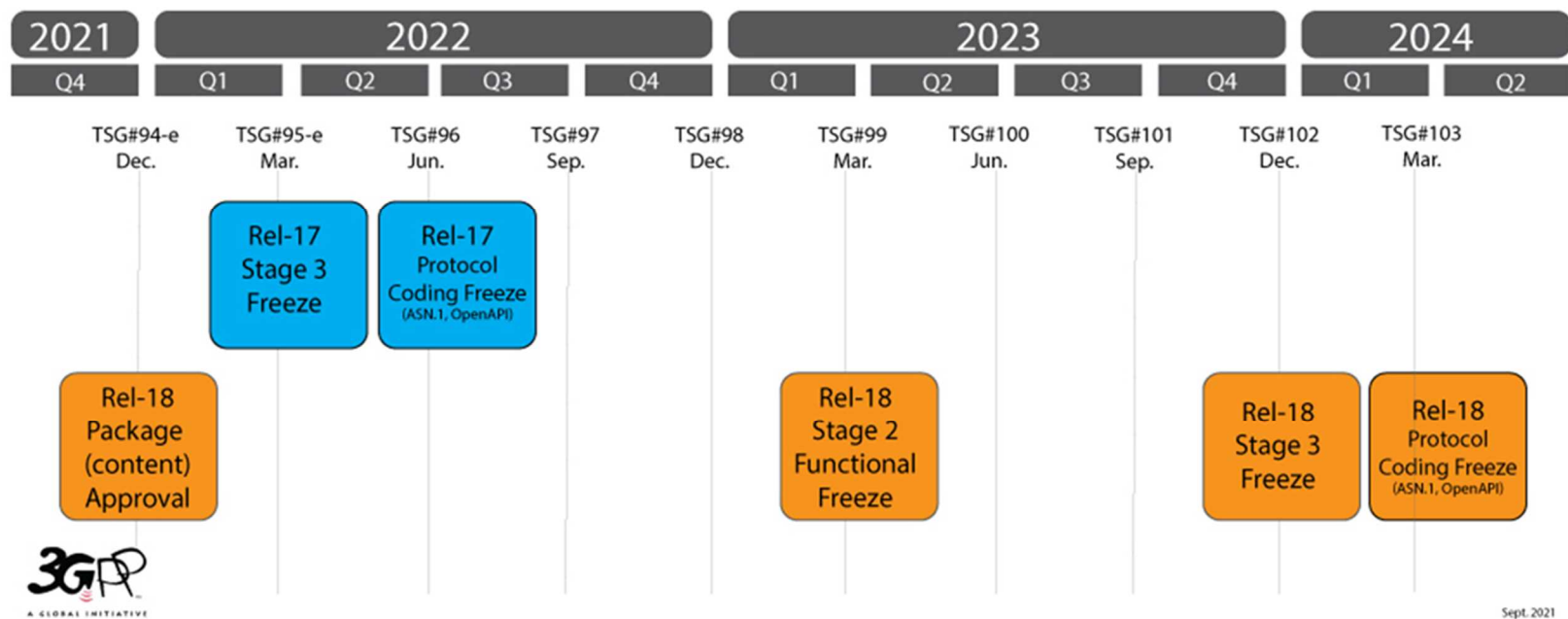


図 4.2.4-1 3GPP Release18 策定のスケジュール³²

³² 出典 : 3GPP “Release 18” <https://www.3gpp.org/release18> (2022 年 3 月 23 日取得)

(b) 国際 : IEEE

現在、DSRC の通信プロトコルである IEEE 802.11p に対して互換性を持つ 802.11bd の標準規格化が進められている。具体的な実施スケジュールは表 4.2.4-4 に示すとおりであり、規格策定に関わる最終承認は 2022 年 12 月に実施予定とされている。

表 4.2.4-4 IEEE 802.11bd の策定スケジュール³³

MILESTONE	TIME
PAR approved	Dec 2018
First TG meeting	Jan 2019
D0.1 spec draft	Nov 2019
D1.0 WG Letter Ballot	Oct 2020
D2.0 WG recirculation LB	Jul 2021
Form Sponsor Ballot Pool	Nov 2021
D3.0 LB recirculation	Dec 2021
D4.0 LB recirculation	Mar 2022
D4.0 LB unchanged recirculation	Mar 2022
Initial Sponsor Ballot (D4.0)	Mar 2022
Final 802.11 WG approval	Sep 2022
802 EC approval	Oct 2022
RevCom and SASB approval	Dec 2022

³³ 出典 : IEEE 802.11 Task Group Status of Project IEEE P802.11bd”
https://www.ieee802.org/11/Reports/tgbd_update.htm (2022 年 3 月 23 日取得)

(c) アメリカ：FCC

FCC は、1999 年 10 月に 5.9GHz 帯 75MHz 分（5850MHz-5925MHz）を ITS 用として DSRC に割り当てを行った。しかしながら、その割り当てから約 20 年が経過した後にも、DSRC を活用したサービスの進化は遅く、特定の交通関連事業に以外には、市場に広く展開できていないことを理由として、FCC は 2019 年 12 月、同周波数の再割り当て案を発表した。

この再割り当て案では、下位 45MHz（5850MHz-5895MHz）を Wi-Fi に、上位 30MHz（5895MHz-5925MHz）を ITS 用として DSRC に 10MHz（5895MHz-5905MHz）と C-V2X に 20MHz（5905MHz-5925MHz）、またはそのすべてを C-V2X に割り当てることが示されており、2020 年 2 月、パブリックコメントの募集が開始された。

2020 年 11 月 18 日、FCC は 5.9GHz 帯の再割り当て案を全会一致で承認した。この承認案では、前半 45MHz 分を Wi-Fi 等の免許及び登録を要しない無線局に、後半 30MHz 分をすべて ITS 用としてすべて C-V2X にそれぞれ割り当てることが定められている（図 4.2.4-2 の赤枠部分）。



図 4.2.4-2 FCC による周波数再編案と決定案³⁴

この承認案は、2021 年 5 月 3 日の連邦官報において正式に公布がなされ³⁵、その後の流れはこの公布日を基準として行われることになる。承認案で規定する今後の流れは以下のとおりとなる。

- ① 下位 45MHz で運用中の DSRC を上位 30MHz へ移す（2022 年 7 月 5 日まで）

³⁴ 出典：連邦官報“85 FR 6841” <https://www.federalregister.gov/d/2020-02086> 及び、FCC 発表（2020.11.18）<https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-20-164A1.pdf> より作成（2022 年 3 月 18 日取得）

³⁵ Federal Register /Vol. 86, No. 83 /Monday, May 3, 2021 <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2021-05-03/pdf/2021-08802.pdf>（2022 年 3 月 18 日取得）

②DSRC から C-V2X への切り替えに伴う技術的な問題や、下位 45MHz 分の電波干渉に関する問題等に関する公告後 1 年以内に、DSRC から C-V2X へ移行させる（2022～23 年）

③C-V2X を使用する事業者は①と②にあたる 24 か月間の適用猶予期間中は、DSRC との干渉を起こしてはならない

④DSRC のオペレーションが完全終了し、ITS 利用は C-V2X のみとなる（2024 年以降）

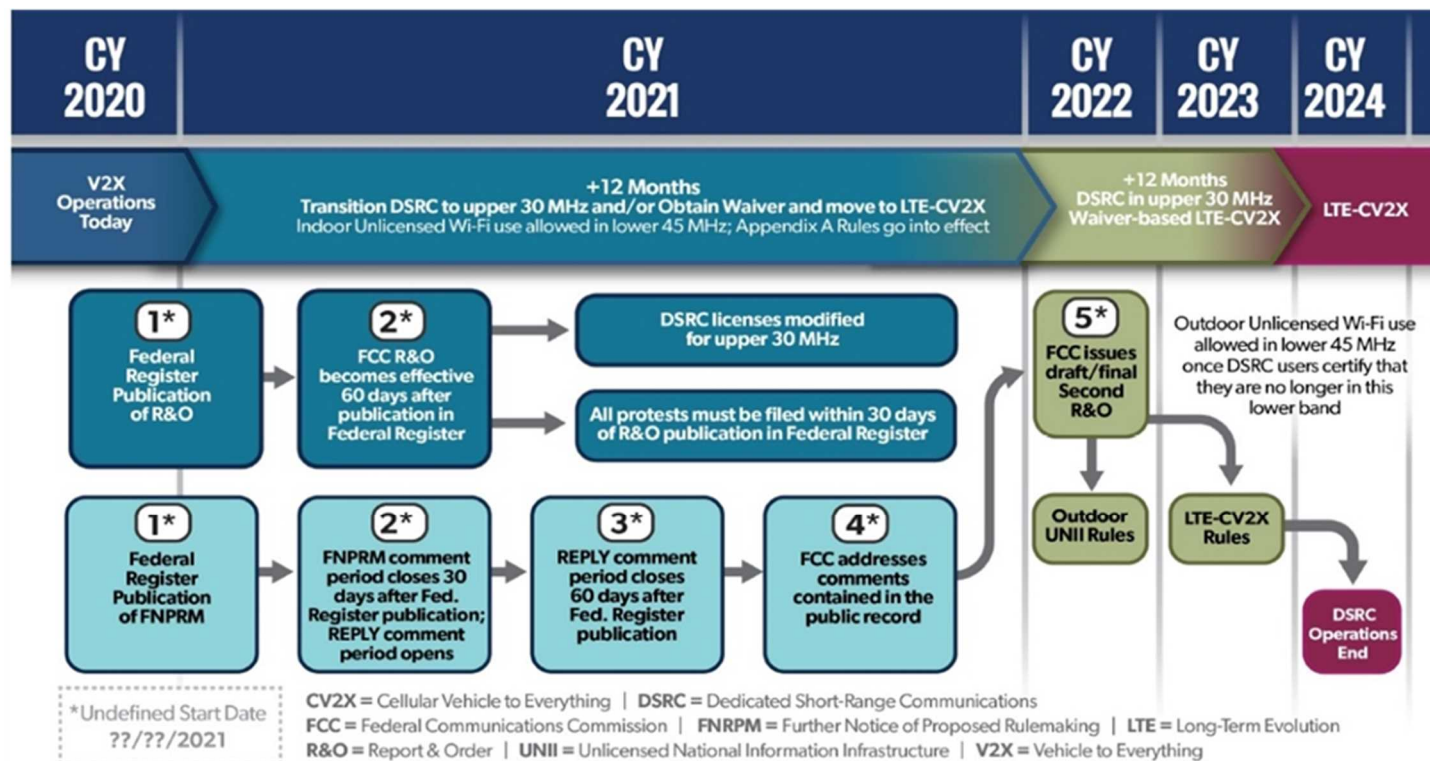


図 4.2.4-3 今後の移行の流れ³⁶

³⁶ 出典：米国運輸省 “5.9GHz Safety Band Stakeholder Forum” (2020.12.16) 配布資料 <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2020-12/USDOT%205.9GHz%20Safety%20Band%20Stakeholder%20Meeting%20Slides%2018DEC2020%20v12.pdf>

(d) 欧州：Euro NCAP

欧州の新車安全性評価基準である Euro NCAP の公開情報によると、図 4.2.4-4 に示す項目が新しい評価対象として 2025 年までに追加される予定である。図中に記載のとおり、V2X 関連技術の安全基準は 2024 年までに定められる見込みである。

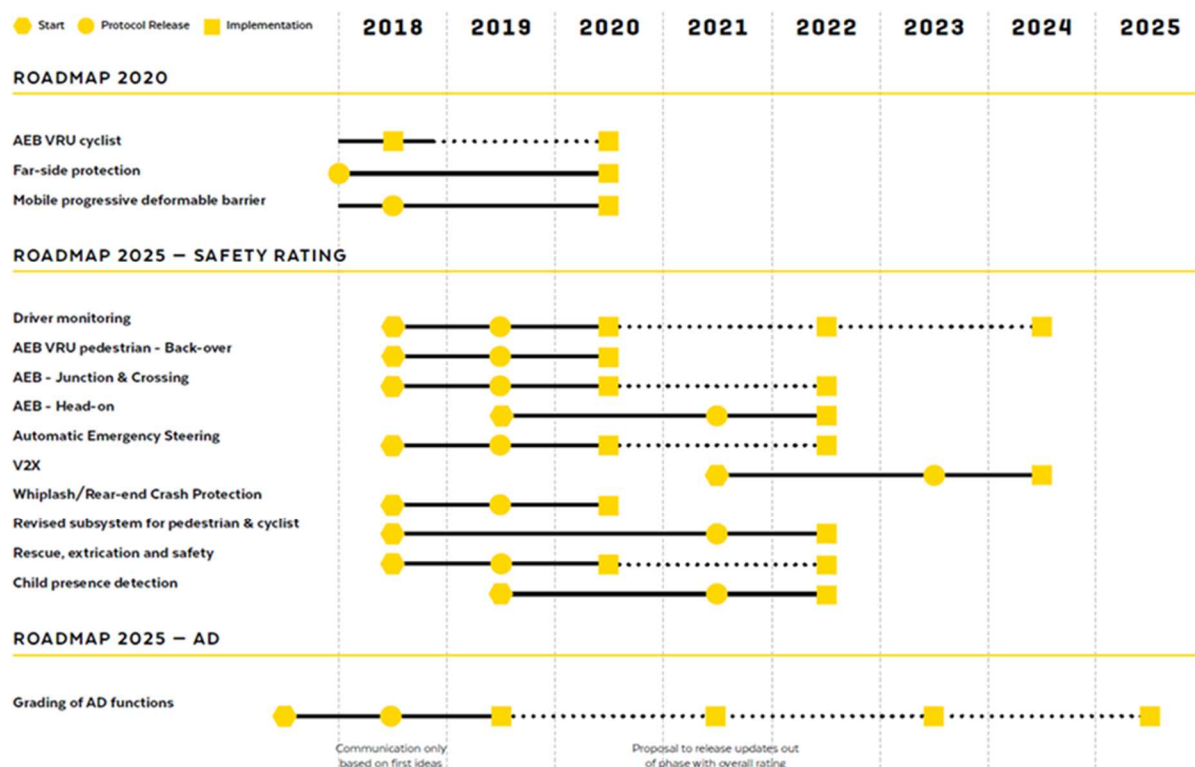


図 4.2.4-4 Euro NCAP にて追加予定の安全評価基準³⁷

(e) 欧州：C2C-CC

欧州の自動車メーカーによって結成されたコンソーシアムである C2C-CC にて、ITS-G5 と LTE-V2X の将来的な共存を検討したレポート³⁸が 2021 年に公開されている。

この検討では IEEE 802.11p に対して互換性を持つ 802.11bd の策定後に ITS-G5 の高度化が検討課題となる旨の記載があり、C2C-CC がその検討に関与することが示唆されている。

³⁷ 出典：Euro NCAP “Euro NCAP 2025 Roadmap”

<https://cdn.euroncap.com/media/30700/euroncap-roadmap-2025-v4.pdf> (2022 年 3 月 23 日取得)

³⁸ C2C CC “White paper on ITS-G5 and Sidelink LTE-V2X Co-Channel Coexistence Mitigation Methods”

https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/C2CCC_WP_2091_Co-ChannelCoexistence_MitigationMethods_V1.0.pdf (2022 年 3 月 23 日取得)

(2) 海外における研究プロジェクト

表 4.2.4-2 と表 4.2.4-3 に示した研究プロジェクトの事例について、以下ではその概要を各種情報の出典を述べる。

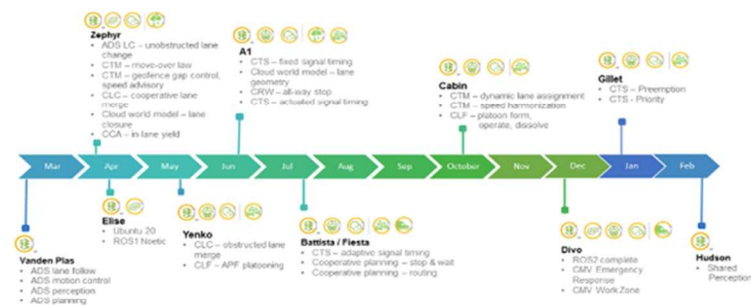
(a) アメリカ：CARMA

CARMA (Cooperative Automation Research Mobility Applications) はアメリカ運輸省高速道路局 (Federal Highway Administration : FHWA) が主導するプロジェクトであり、広く自動運転車に搭載すべき車体制御システムの研究開発を行っている。検討メンバには運輸省の他、民間の車載機メーカー等が参加している。

2021 年内の開発計画 (図 4.2.4-5 の※1) では車線変更・合流支援に関わる通信制御プログラムの開発も予定されており、今後の開発していく見込みの通信ユースケースに対する性能要件等の検討内容も公開されている。(図 4.2.4-5 の※2 と※3)

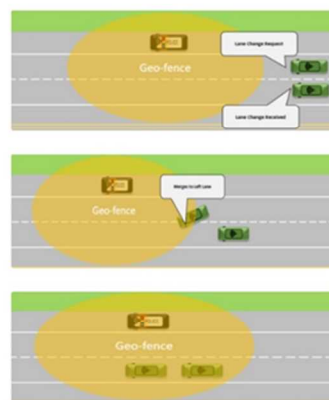
2021 Release Plan

Last Updated February 25, 2021

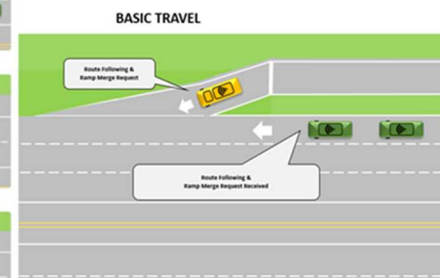


Acronyms: Automated Driving System (ADS), AI Predecessor Following (APF), Cooperative Collision Avoidance (CCA), Cooperative Lane Coordination (CLC), Cooperative Lane Follow (CLF), Cooperative Right of Way (CRW), Cooperative Traffic Management (CTM), Cooperative Traffic Signal (CTS), Lane Control (LC), Robot Operating System (ROS)

2021年3月～2022年2月における
自動運転システム開発計画 ※1



UC検討例として
事故車両回避時の協調 ※2



UC検討例として
合流時の協調 ※3

図 4.2.4-5 2021 年計画及び検討ユースケース例 (CARMA) ³⁹

³⁹ 図内※1 の出典：CARMA “CARMA Ecosystem Roadmap”

<https://usdot-carma.atlassian.net/wiki/spaces/CRMECO/pages/1093435397/CARMA+Ecosystem+Roadmap> (2022 年 3 月 23 日取得)

図内※2 の出典：CARMA “Traffic incident Management”

<https://usdot-carma.atlassian.net/wiki/spaces/CRMPLT/pages/1324286032/Traffic+Incident+Management> (2022 年 3 月 23 日取得)

図内※3 の出典：CARMA “Cooperative Basic Travel”

<https://usdot-carma.atlassian.net/wiki/spaces/CRMPLT/pages/1327104033/Cooperative+Basic+Travel> (2022 年 3 月 23 日取得)

(b) 欧州：ERTRAC 及び DG MOVE による検討

ERTRAC（the European Road Transport Research Advisory Council）は欧州委員会と欧州の自動車・車載機メーカーが参加する調査検討会である。ERTRAC は一般乗用車・貨物輸送車・移動サービス車に関わる自動運転技術のロードマップをそれぞれ検討している。2019 年公開のロードマップを図 4.2.4-6～図 4.2.4-8 にそれぞれ示す。

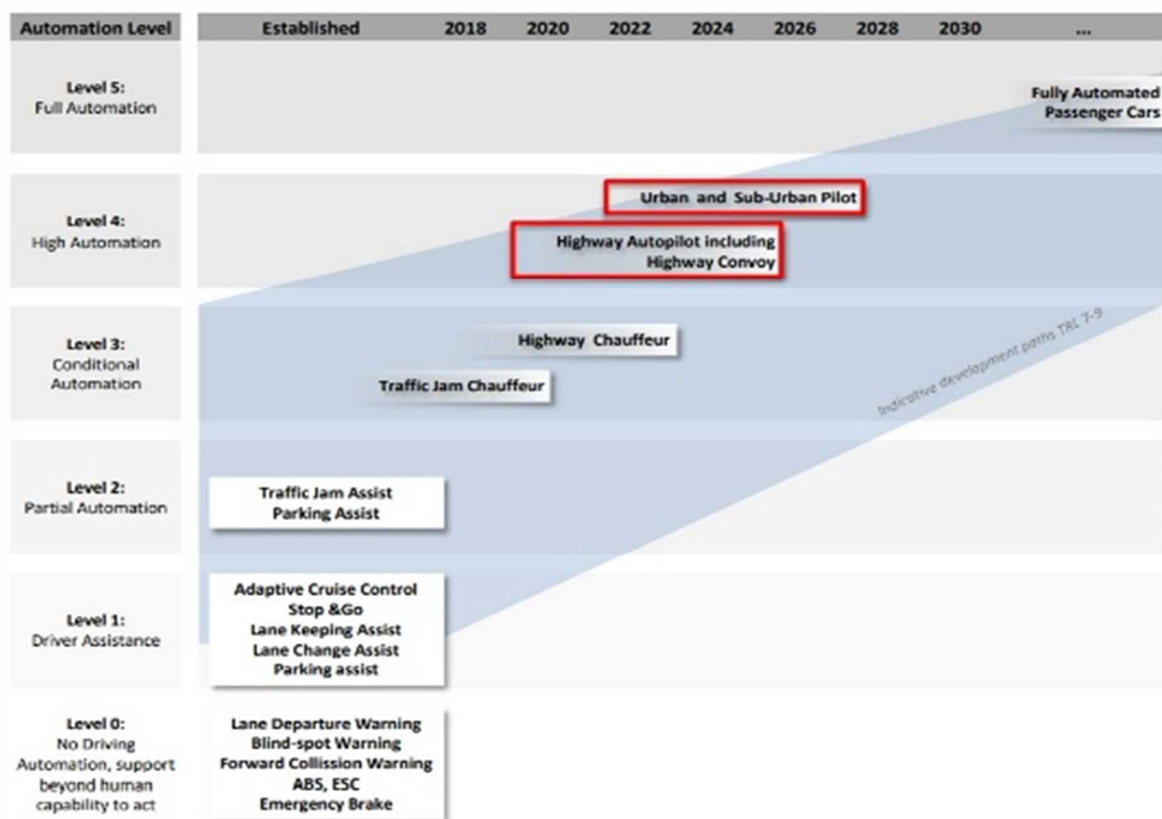


図 4.2.4-6 一般乗用車に関わる自動運転ユースケースの導入ロードマップ（ERTRAC）⁴⁰

⁴⁰ 出典：ERTRAC “Cooperative Basic Travel”

<https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id57/ERTRAC-CAD-Roadmap-2019.pdf>（2022 年 3 月 23 日取得）

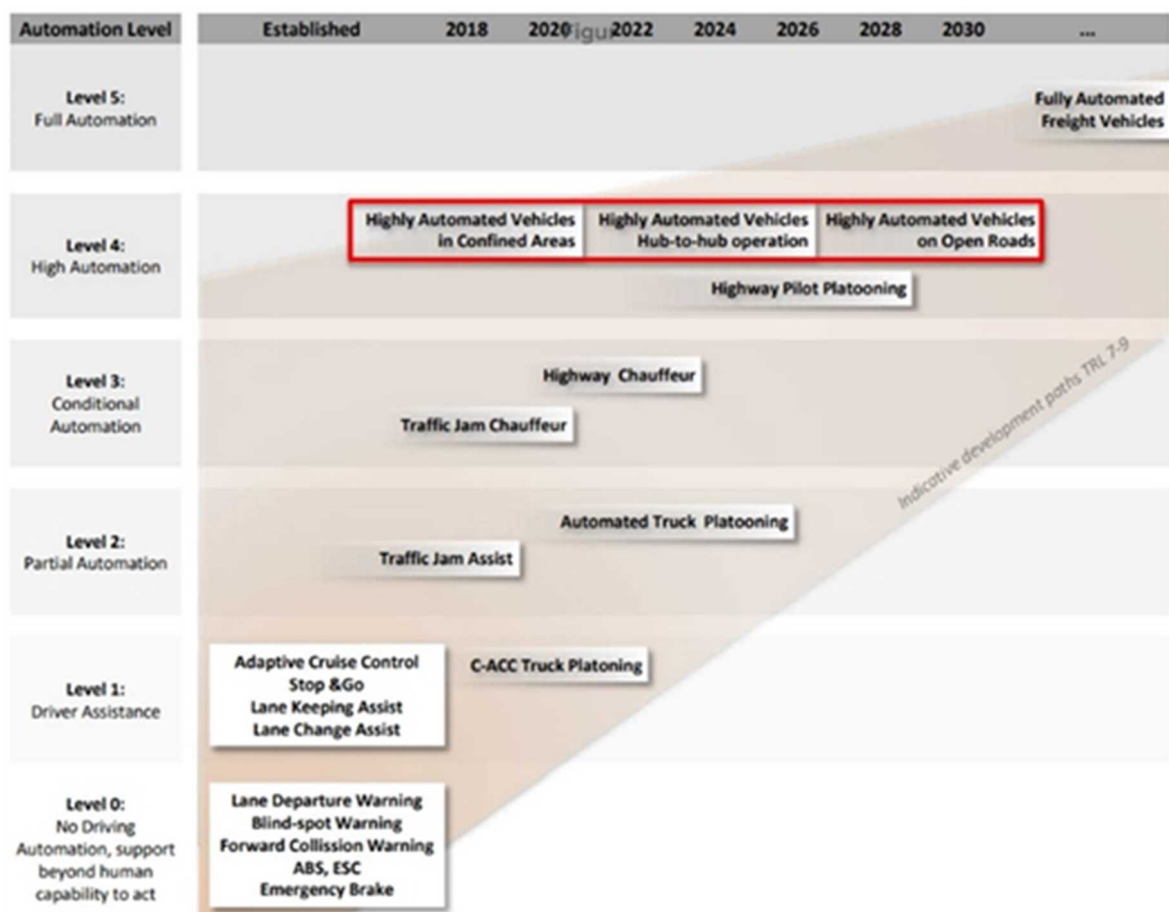


図 4.2.4-7 貨物輸送車に関わる自動運転ユースケースの導入ロードマップ（ERTRAC）⁴¹

⁴¹ 出典：ERTRAC “Cooperative Basic Travel”

<https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id57/ERTRAC-CAD-Roadmap-2019.pdf>（2022 年 3 月 23 日取得）

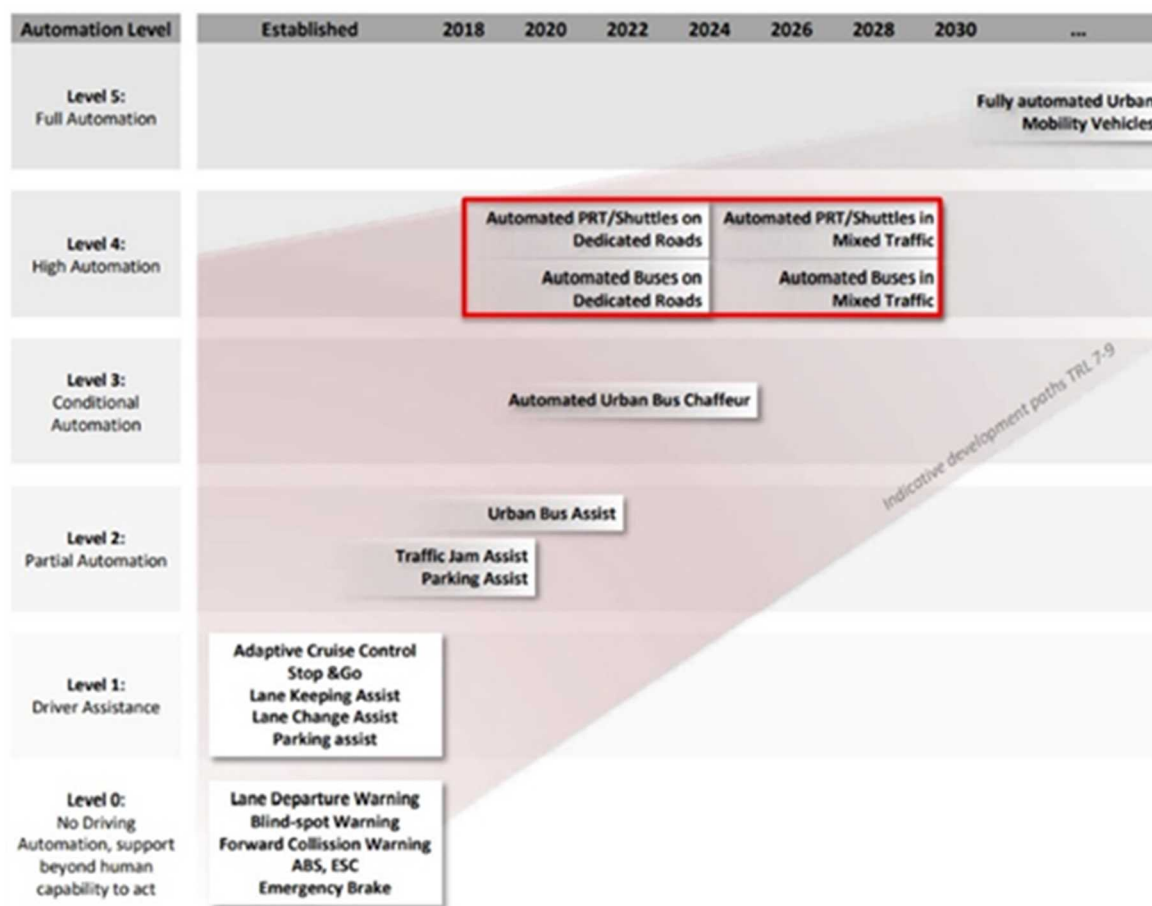


図 4.2.4-8 移動サービス車に関わる自動運転ユースケースの導入ロードマップ（ERTRAC）⁴²

また、以下では ERTRAC の取り組みとは別に DG MOVE が実施している検討の状況を述べる。

初めに、DG MOVE が 2018 年に発表した C-ITS サービスの展望を図 4.2.4-9 に示す。この図における Day2～Day3 前半（2020～2030 年）の展開は主にレベル 4 の自動運転の実現に向けて示されているものであり、ERTRAC が上述のロードマップにて示した展開計画と整合する内容である。

⁴² 出典：ERTRAC “Cooperative Basic Travel”

<https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id57/ERTRAC-CAD-Roadmap-2019.pdf>（2022 年 3 月 23 日取得）

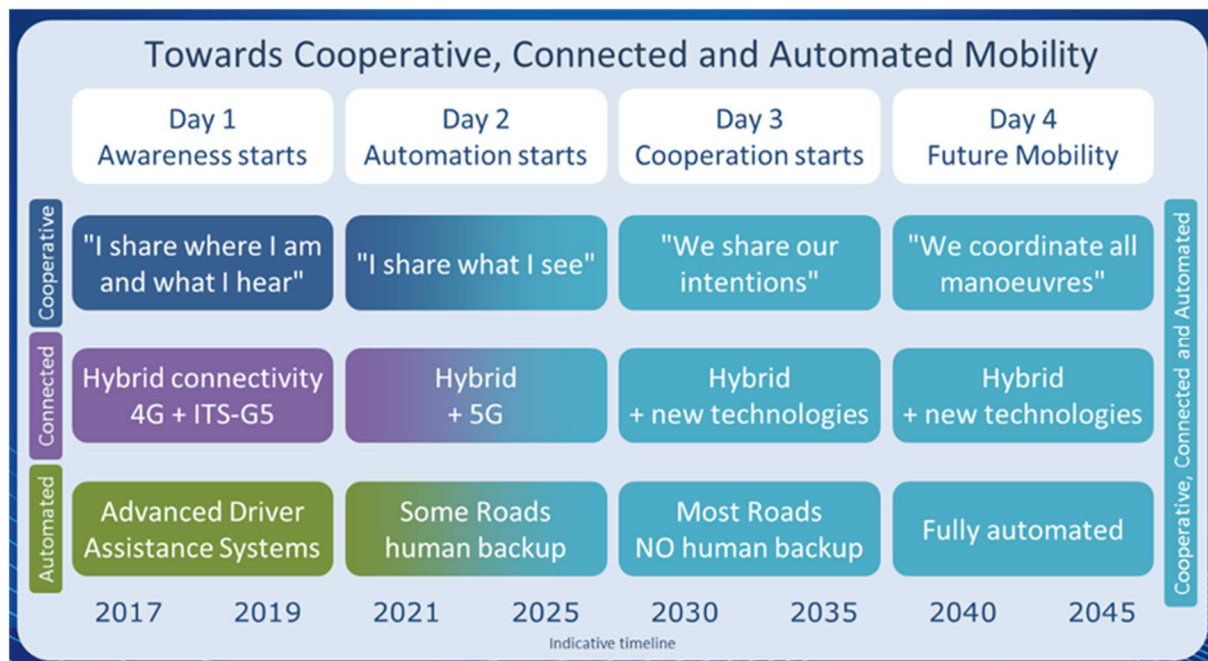


図 4.2.4-9 C-ITS サービス発展の展望 (DG MOVE) ⁴³

この図において既に終了している Day1（2016～2020 年）での検討ユースケースを表 4.2.4-5 に、また、直近において検討されているユースケースを表 4.2.4-6 に示す。

⁴³ 出典：DG MOVE “EU developments in Intelligent Transport Systems”
https://www.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1521040514.pdf
 (2022 年 3 月 23 日取得)

表 4.2.4-5 Day1（2016～2020 年）に検討された協調型自動運転ユースケース（DG MOVE）⁴⁴

検討UC名	UC定義	日本のUCとの対応
低速走行/停止時の情報共有	低速走行または停止している車両が、自身の情報を周囲の車両に通知する。	d-1
道路工事の警告	道路工事に関する情報をV2I通信によりドライバーに通知する。	d-5
気象状況の警告	運転に支障をきたす危険な気象状況であることをドライバーに通知する。	—
緊急車両接近の通知	緊急車両の接近をドライバーに通知する。	e-1
その他の危険通知	道路管理者が把握する警告情報をV2I通信によりドライバーに通知する。	d-5
車内サイネージ	道路標識に関する情報をV2I通信によりドライバーに通知する。 道路に設置されたユニットは、速度制限や前方ジャンクションの情報を提供する。	—
速度制限の通知	道路管理者が把握する速度制限情報をV2I通信によりドライバーに通知する。	—
優先信号リクエスト	緊急車両等が通過する際に、その車両へ優先信号を発信させるよう要求する。	—
前方渋滞警告	進路上で渋滞が発生しているとき、その情報をドライバーに通知する。	d-3
信号の通知	信号表示の切り替えに関わる残り時間などの情報をドライバーに通知する。	b-1-1
プローブ情報	周囲車両の位置や動作の情報を収集する。	—

表 4.2.4-6 Day1.5～2（2018～2030 年）に検討予定の協調型自動運転ユースケース（DG MOVE）⁴⁵

検討UC名	UC定義	日本のUCとの対応
混雑を回避するルート通知	道路の混雑状況に基づき、適切な経路をドライバーに通知する。	f-2
パークアンドライド情報	パークアンドライド（自家用車と公共交通機関の乗り継ぎサービス）に関わる情報をドライバーに通知する。	—
交通弱者の保護	交通弱者の位置情報を検知し、衝突回避の支援となる情報を提供する。	—

(c) 欧州：C-Roads

C-Roads は欧州委員会を中心として欧州各国の政府及び自動車メーカー等が参加するプロジェクトであり、2016～2020 年における活動実績としては表 4.2.4-7 に示す実証試験が実施されている。また、これら実証試験の評価結果を踏まえて、2022 年中に自動運転の実用化に向けたロードマップ検討が行われる予定である。

特徴的な活動実績として、欧州の広い範囲で RSU を活用した高速道路や交差点での交通状況把握・衝突回避支援の検証試験が行われている他、フランスで実施された「SCOOP@F」では協調型自動運転の各ユースケースに対応する車載機の性能要件・技術要件が検討されている。

⁴⁴ 出典：欧州委員会資料（https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/com20160766_en.pdf）及び関連する C-Roads 資料（<https://www.c-roads.eu/pilots/implemented-services.html>）より作成

⁴⁵ 出典：欧州委員会資料（https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/com20160766_en.pdf）及び関連する C-Roads 資料（<https://www.c-roads.eu/pilots/implemented-services.html>）より作成

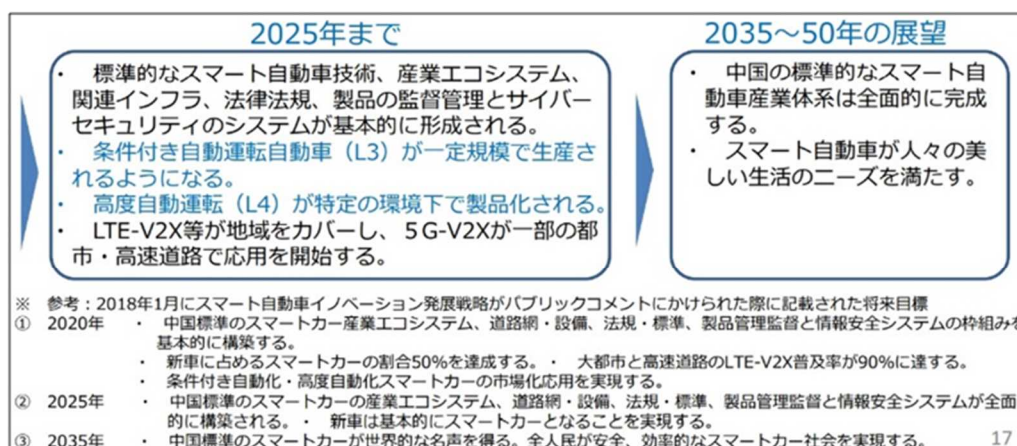
表 4.2.4-7 C-Roads にて欧州各国が実施している実証試験⁴⁶

国	実証実験・ユースケース	ステータスおよび今後の予定
フランス	- 市街地での車線変更支援 - 交通渋滞の把握・配信	実証試験に際して設置したRSUの管理を2021年末までに外部委託する予定
ベルギー	- 低速・静止車両&前方車両警報(交通渋滞) - 気象条件、視界低下、一時的な滑りやすい道路の通知 - 危険場所通知(事故区域、滑りやすい道路など)	- 実証試験はフランダースの地元交通局とITS Belgium、その他企業によって運営 2021年夏までに試験結果の評価を実施する予定
フィンランド	- 低速・静止車両&前方車両警報(交通渋滞) - 道路工事警告 - 気象条件、視界低下、一時的な滑りやすい道路の通知 - 危険場所通知(事故区域、接近中の緊急車両、道路上の動物または人、道路上の障害物など)	- フィンランドのパイロットはNordicWay2プロジェクトの一部 - NordicWay 2プロジェクトは、2017年2月7日に開始され、2020年12月31日に終了(COVID19による進捗遅れ) - NordicWay 3プロジェクトの後続検討中
ドイツ	低速・静止車両&前方車両警報(交通渋滞)	- ドイツの企業18社からなるコンソーシアムによって運営 2023年までをDay1.5とし、市街地でのUCの実証試験を行う予定
イタリア	- 高速道路での加減速・合流支援 - 隊列走行 - 信号情報による走行支援 - 交差点での走行支援	- Day 1としてこれまでは主に高速道理上での輸送車の実証試験を実施 - 今後はDay 2として信号情報に基づくV2Iサービスの実証を行う予定
英国	- 高速道路での事故状況把握 - 低速・静止車両&前方車両警報(交通渋滞)	- イギリス運輸省と高速道路局を中心に実施 2020年内にサービス継続の可否を判断する予定(結果は未発表)
チェコ	- 高速道路での加減速・合流支援・衝突回避 - 交差点での走行支援 - バス・路面電車など移動サービスの交通管制	2020年時点で実証試験は終了済みであり現在は評価段階 2016年にV2Xに関わるセキュリティ要件の定義を行っており、実証試験ではそのセキュリティ要件に沿った通信方式を用いている

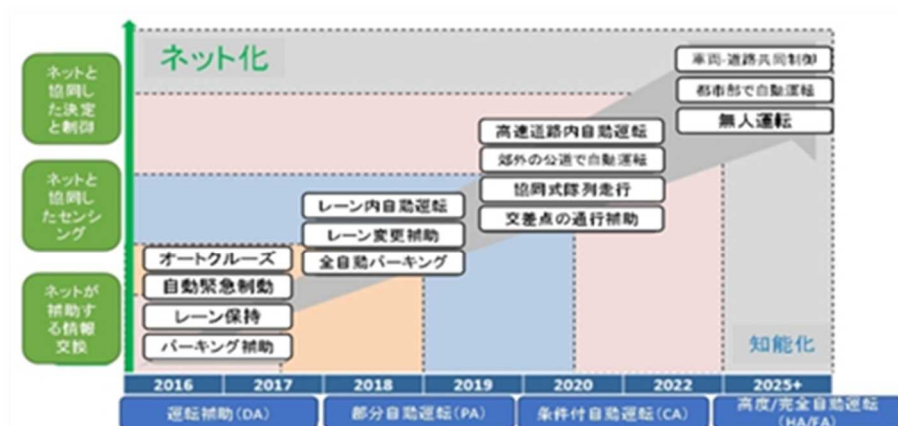
⁴⁶ 出典：C-Roads 公開資料 (https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/Dokumente/C-Roads_Brochure_2021_final.pdf) より作成

(d) 中国：スマート自動車イノベーション発展戦略

スマート自動車イノベーション発展戦略は中国政府が2020年2月に発表した研究計画であり、同じく中国政府が2015年に発表した研究計画「中国製造2025」の後続となるプロジェクトである。詳細な検討状況は不明であるが、2025年までにレベル4自動運転車の製品化とV2X利用可能地域の整備を予定している。



スマート自動車イノベーション発展戦略における将来展望



※参考：中国製造2025（2015年発表）のロードマップ

図 4.2.4-10 中国における協調型自動運転の導入・普及ロードマップ⁴⁷

⁴⁷ 出典：NEDO『中国の自動運転・コネクテッドカーの関連政策について(2020年7月)』及び『中国の自動運転・コネクテッドカーの関連政策』

<https://www.nedo.go.jp/content/100922174.pdf> (2022年3月23日取得)

https://www.nedo.go.jp/library/ZZAT09_100017.html (2022年3月23日取得)

(e) 中国：省エネルギー及び新エネルギー自動車技術ロードマップ 2.0

2020年10月27日、上海で開催された中国自動車エンジニア学会（China-SAE）の年次総会及び展覧会で、「省エネルギーおよび新エネルギー自動車技術ロードマップ 2.0」（节能与新能源汽车技术路线图 2.0）が発表された⁴⁸。このロードマップは、中央政府の工業情報化部から指導を受けた同学会が中心となり作成されているため、政府の意向が一定程度反映されていると考えられている。

このロードマップでは、純電動車主導型発展戦略を堅持するとの方向性を示し、2035年に向けた「6大総体技術目標」が掲げられている。そのうち、インテリジェント・コネクテッド自動車（ICV）に関しては、「中国方式のICVの技術体系を基本的に確立し、製品を大規模に実用化する」との目標が提示されている⁴⁹。その上で、2025年及び2030年におけるICVの普及達成率についての数値目標が以下のとおり提示されている。

なお、表 4.2.4-8 において、「PA」は「一部自動運転」（SAE レベル 2 相当）、「CA」は「条件付き自動運転」（SAE レベル 3 相当）、「HA」は「高度自動運転」（SAE レベル 4 相当）をそれぞれ指す。

表 4.2.4-8 「省エネルギーおよび新エネルギー自動車技術ロードマップ 2.0」にある
ICV の普及目標⁵⁰

	2025 年	2030 年
ICV の販売比率	- PA/CA レベル：自動車全体の販売台数で占める割合 50%以上。 - HA レベル自動車の市場投入開始	- PA/CA レベル：自動車全体の販売台数で占める割合 70%以上 - HA レベル：自動車全体の販売台数で占める割合 20%超
C-V2X 端末の搭載	C-V2X 端末の新車搭載率:50%	C-V2X 端末搭載車の基本的な普及達成

(f) 【参考】国際：5GAA による検討

世界各国の通信事業者と自動車メーカーによって構成される 5GAA は、図 4.2.4-11 に示すとおりに C-V2X のユースケース展開計画を公開している。なお、本検討においては C-V2X の普及展開を前提としている 5GAA の公開情報はロードマップ策定にあたって参考としない。

⁴⁸ 中国汽车工程学会「《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》正式发布」（2020.10.27）<http://www.sae-china.org/news/society/202010/3957.html>（2022 年 3 月 18 日取得）

⁴⁹ ジェトロビジネス短信「2035 年までの自動車技術ロードマップを発表、販売台数に占める新エネルギー車の割合を 50%以上に」（2020.11.5）<https://www.jetro.go.jp/biznews/2020/11/429bf4411a60db56.html>（2022 年 3 月 18 日取得）

⁵⁰ 出典：世界×自動車×環境規制.jp「中国自動車工程学会、「省エネ車・新エネ車技術ロードマップ 2」を発表——2035 年に新車 NEV50%、HV50%を目指す」（2020.12.1）<https://ecocar-policy.jp/article/20201204/>より作成（2022 年 3 月 18 日取得）

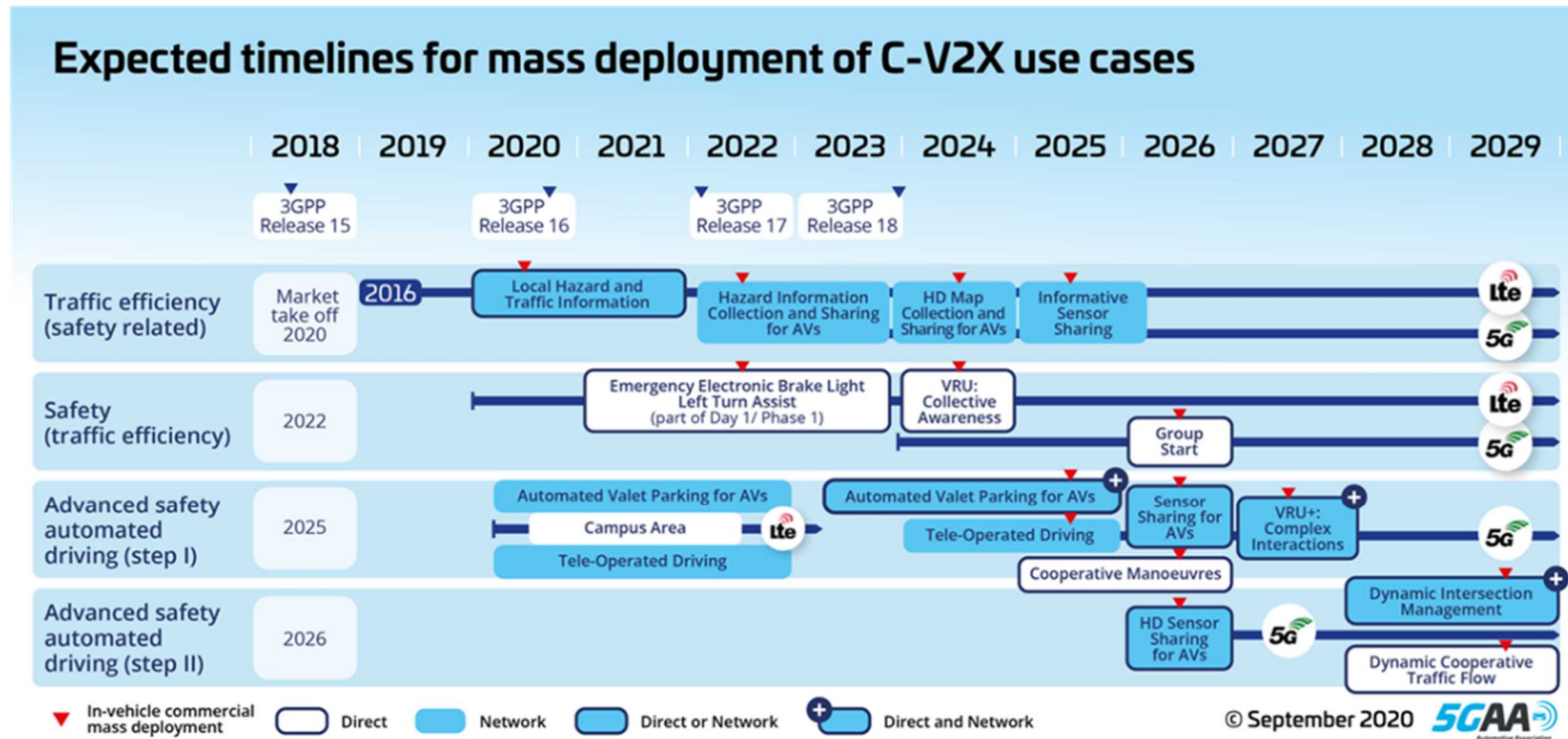


図 4.2.4-11 5GAA 公開の C-V2X ユースケース展開ロードマップ⁵¹

⁵¹ 出典：5GAA “White Papers” <https://5gaa.org/news/the-new-c-v2x-roadmap-for-automotive-connectivity>（2022 年 3 月 23 日取得）

(g) 【参考】 欧州：MANTRA

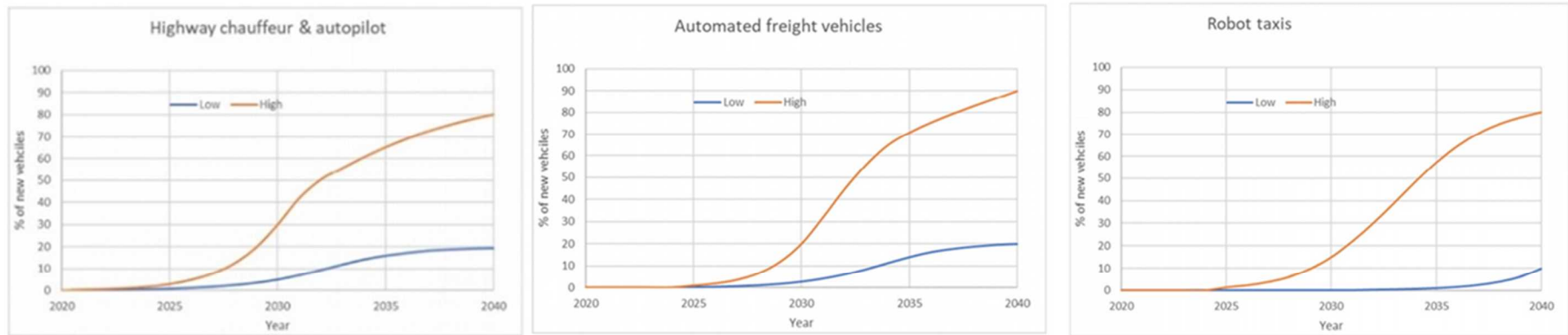
MANTRA (Making full use of Automation for National Transport and Road Authorities) は欧州道路協会 (CEDR) による研究プロジェクトであり、その活動の一部として自動運転技術の導入・普及展開を予測している。

MANTRA では表 4.2.4-9 に示す自動運転ユースケースの普及開始時期の予測や、図 4.2.4-12 に示す自動運転車の普及率推移の予測等が公開されている。しかし、これらの検討成果は CEDR が独自に試算したものであり、欧州の自動車または車載機メーカーのプロジェクト参加によって妥当性を担保されているものではない。そのため、本検討において MANTRA はグローバルベンチマークから除外することとした。

表 4.2.4-9 自動運転ユースケース普及開始時期の予測 (MANTRA) ⁵²

MANTRA Use case	High	Low
Highway chauffeur and autopilot	2021 2023	2021 2023
Automated freight vehicles	2025	2025
Robot taxis	2025	2032
Automated winter maintenance vehicles	2025	2030
Automated roadworks safety trailers	2023	2023

⁵² 出典：MANTRA “Vehicle fleet penetrations and ODD coverage of NRArelevant automation functions up to 2040” https://www.mantra-research.eu/wp-content/uploads/2020/03/MANTRA_Deliverable_D2.1_1.0.pdf (2022 年 3 月 23 日取得)



高速道路上での自動走行車の普及率

自動走行する貨物輸送車の普及率

無人移動サービス車の普及率

図 4.2.4-12 自動運転車の普及率推移の予測 (MANTRA) ⁵³

⁵³ 出典 : MANTRA “Vehicle fleet penetrations and ODD coverage of NRArelevant automation functions up to 2040” https://www.mantra-research.eu/wp-content/uploads/2020/03/MANTRA_Deliverable_D2.1_1.0.pdf (2022 年 3 月 23 日取得)

(3) 海外におけるロードマップ検討事例のまとめ

以上に挙げた検討事例では欧州 ERTRAC、欧州 MANTRA 及び 5GAA の 3 例が協調型自動運転における各種ユースケースの導入開始時期を予測し、ロードマップを公開している。図 4.2.4-13 にその概要を示す。

なお、前述したとおり、本検討においてグローバルベンチマークとして参考になっている事例は欧州 ERTRAC のみであり、欧州 MANTRA 及び 5GAA のロードマップはあくまで参考情報として記載しているものである。

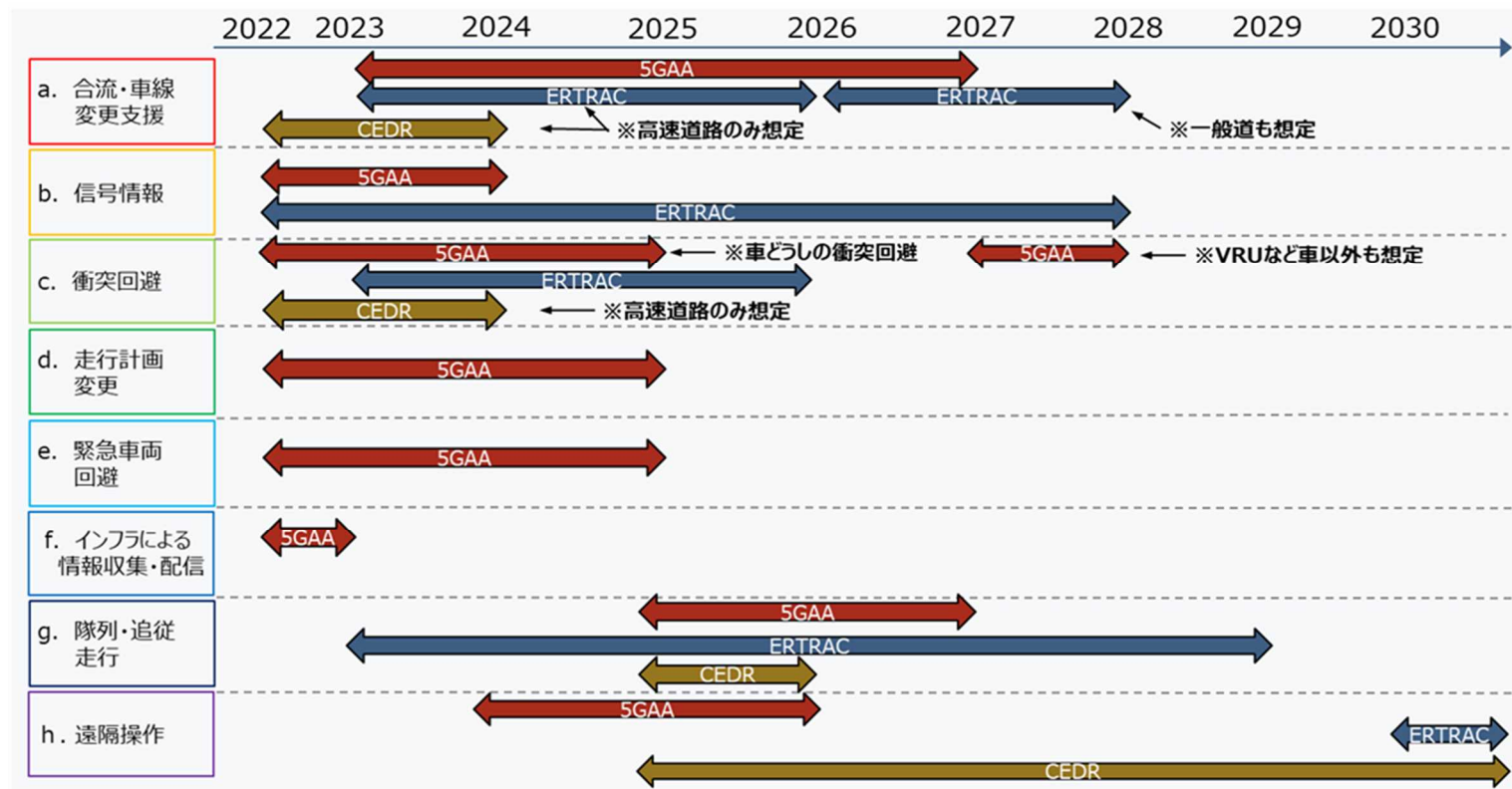


図 4.2.4-13 ERTRAC・MANTRA・5GAA が示す V2X ユースケースの導入時期

4.2.5 ユースケース展開計画

前項までの検討を基に、2.2 節の車載機普及予測を踏まえたユースケースの展開の時系列の検討を行った。

本検討では、自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップを作成することを最終的な目的としている。ロードマップの作成においては各時点でどの程度の通信技術が必要かの想定が必要となるため、ユースケースがいつ頃から展開するか開始時期について整理する必要がある。

展開計画の検討に際しては、本検討の想定と関連するインフラ等の整備計画、及び関係省庁のロードマップ等の記載から開始時期を想定することが求められる。そこで本検討では、官民 ITS 構想・ロードマップの目標や類似サービスの有無、各所の取り組み事例等を参照しつつ、検討 TF において、学識経験者、関係府省庁、業界団体（自動車、電機）等のメンバで議論を重ね、ユースケース展開計画として取りまとめた。

また、展開計画の検討にあたっては、通信技術は急速に進歩し続けるものの、新しい通信技術の展開は車両のライフサイクルに制約されるという条件や、以下に挙げるような検討の目標等も最大で 2050 年頃を見据えていることから、長期的な視野（概ね 2050 年頃まで）でロードマップを作成することを想定した。

- 国内外の動向
 - 政府
 - 「第 11 次交通安全基本計画」：2025 年までに交通事故死者 2,000 人以下を目指す
 - 国連／SDG's
 - 2030 年までに道路交通事故死傷者数を半減
 - EU
 - 「ビジョン・ゼロ」：2050 年までに交通事故死者、重傷者ゼロを目指す
 - US DOT
 - 「国家道路安全戦略」：道路における重傷者、死亡者を大幅に削減するための包括的な行動を規定

ユースケースの展開計画の作成にあたっては、官民 ITS 構想・ロードマップの目標や類似サービスの有無、各所の取り組み事例等を基に、ユースケースの実現時期を独自に設定した。また、開始時期の想定根拠を各ユースケースに付記することとした。

- ユースケース開始時期に関する想定（▼で始まる文言）と、インフラ等の想定（●で始まる文言）を付記
- 関係府省庁のロードマップ等の公表資料の記載から想定した場合は太字に、受託者の想定による場合は細字で表現
- 終了時期については想定根拠がないため、本検討ではユースケースの終了は想定していない

ユースケースは基本的に「協調型自動運転」欄に記載しているが、うち安全運転支援に資するものは「安全運転支援」欄にも併記している。

- ・「協調型自動運転」欄の UC は、レベル 3 以上の自動運転車を対象とする
- ・「安全運転支援」欄とは、レベル 2 以下の自動運転車、あるいは自動運転機能がない手動運転車を対象とする

(1) ユースケース展開計画：V2I

V2I を通信方式と想定するユースケースについて、展開される予想シナリオを時系列に並べた様子を図 4.2.5-1 に示す。

		2025-	2030-	2035-	2040-
安全運転支援・協調型自動運転	安全運転支援	▼：ユースケース開始時期に関する想定 ●：関連するインフラ等の整備計画想定 (太字=関係省庁ロードマップ等の記載から想定 細字=受託者想定)			
	協調型自動運転	▼既存サービスの提供状況から想定（受託者想定） b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I） ユースケースの一部はITS connectによりサービス提供開始済み（赤信号注意喚起・信号待ち発進準備案内） ▼既存サービスの提供状況から想定（受託者想定） c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I） ユースケースの一部はITS connectによりサービス提供開始済み（右折時注意喚起）			
		▼官民ITS構想・ロードマップ「限定地域における無人自動運転移動サービスを2025年度目標に40ヶ所以上へ展開」 ▼限定地域における無人自動運転移動サービス実現のためには b-1-1・c-2-2が必要と想定し、2025年度に開始と想定（受託者想定） b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I） c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I） ●モビリティサービスの展開箇所 40箇所（官民ITS構想・ロードマップ） ▼官民ITS構想・ロードマップ「2025年度頃の高速道路でのレベル4自動運転トラックの実現」 ▼官民ITS構想・ロードマップの目標実現に向けて、本線合流支援のサービス実現を目指す想定（受託者想定） 本線合流支援(V2I) ※1 a-1-1, a-1-2	●モビリティサービスの展開箇所 100箇所（受託者想定）	●モビリティサービスの展開箇所がさらに拡大（受託者想定）	▼合流支援Day3システム 自動運転普及率30%～（自工会資料より） a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援（V2I） ●自動運転車(L3以上)の普及率30%程度に到達（受託者想定）

※1 a-1-1：予備加減速合流支援
a-1-2：本線車間追いつ合流支援

図 4.2.5-1 ユースケースの展開シナリオ（V2I）

(2) ユースケース展開計画：V2V

V2Vを通信方式と想定するユースケースについて、展開される予想シナリオを時系列に並べた様子を図 4.2.5-2 に示す。

	2025-	2030-	2035-	2040-
安全運転支援・協調型自動運転	安全運転支援	▼：ユースケース開始時期に関する想定 ●：関連するインフラ等の整備計画想定 (太字=関係省庁ロードマップ等の記載から想定 細字=受託者想定)		
		▼既存サービスの提供状況から想定（受託者想定）		
		c-2-1. 交差点の情報による走行支援（V2V）		
		ユースケースの一部はITS connectによりサービス提供開始済み（右折時注意喚起）		
		▼既存サービスの提供状況から想定（受託者想定）		
		e-1（1）. 緊急車両の情報による走行支援（V2V） ※1		
		ユースケースの一部はITS connectによりサービス提供開始済み（緊急車両存在通知）		
		c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援（V2V）		
		c-3. ハザード情報による衝突回避支援（V2V）		
	協調型自動運転	▼安全運転のための既存サービスの提供状況から想定（受託者想定）		
		c-2-1. 交差点の情報による走行支援（V2V）		
		e-1（1）. 緊急車両の情報による走行支援（V2V） ※1		
		▼官民ITS構想・ロードマップ「2030年の目標：国民の豊かな暮らしを支える安全で利便性の高いデジタル交通社会を世界に先駆け実現する」		
		▼官民ITSロードマップの目標実現に向けて、c-1のサービス実現を目指す想定（受託者想定）		
		c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援（V2V）		
		▼車線変更の支援も想定するため、c-1よりも遅れて実現すると想定（受託者想定）		
		c-3. ハザード情報による衝突支援回避（V2V）		
		▼合流支援Day4システム 自動運転普及率50%～ （自工会資料より） ネゴシエーションによる 車線変更・合流支援 （V2V） ※2 a-1-4, a-2, a-3 ●自動運転車（L3以上）の 普及率50%程度に到達 （受託者想定）		
		▼隊列走行の商用化（経産省「RoAD to the L4」にて想定）		
		▼官民ロードマップ「2025年度頃の高速道路でのレベル4自動運転トラックの実現」		
		▼類似サービスが実証実験を実施済。実証結果の展開、あるいは実証を前倒した早期の実用化を想定（受託者想定）		
		隊列走行（V2V） ※3 ※4 g-1, g-2		
		●大阪-東京の幹線高速道の 一部に優先レーン整備 （受託者想定）	●大阪-東京の幹線高速道に 優先レーン整備 （受託者想定）	●本州の幹線高速道に 優先レーン拡大 （受託者想定）

※1 緊急車両情報の発効は「緊急走行時」に限る想定

※2 a-1-4. 車列士のネゴによる合流支援（V2V）
a-2. 渋滞時の車線変更の支援（V2V）
a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援（V2V）

※3 g-1. 電子牽引による後続車間隊列走行（V2V）
g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車間隊列走行（V2V）

※4 限定車両が対象（自動運転トラック等）

図 4.2.5-2 ユースケースの展開シナリオ（V2V）

V2N を通信方式と想定するユースケースについて、展開される予想シナリオを時系列に並べた様子を図 4.2.5-3 に示す。

※1 d-1. 異常車両の通知による走行支援 (V2N)、d-2. 逆走車の通知による走行支援 (V2N)、d-3. 渋滞の情報による走行支援 (V2N)、
d-4. 分岐・出口渋滞支援 (V2N)、d-5. ハザード情報による走行支援 (V2N)
※2 緊急車両情報の発信は「緊急走行時」に限る想定
※3 通信要件検討の際の関係団体とアライン結果より
※4 指定車両が対象 (デマンドバス等)

206

4.3 協調型自動運転に関する通信要件のロードマップ案の策定

協調型自動運転に関する通信要件、及び自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装のためのロードマップを策定するにあたり、実施する項目は以下の2点である。

- 1) 自動運転の実現時期、普及率、国際的な通信技術等、ロードマップの策定に必要な動向調査を実施する
- 2) 1) や3章の検証結果及び「協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検討のうち、700MHz帯ITSに係る評価」の実施で得られた知見から、日本における協調型自動運転に関する無線通信技術への自動運転の普及率に応じた具体的な通信要件のロードマップ案を作成する

この2つの項目を実施するために、基本的には以下のような考え方で検討を行うこととした。

- ITSフォーラムで検討した各ユースケースを類型化すると共に、国内外の動向等から導入時期を検討し、時間軸（2025年から5年毎に2040年まで）において、類型化したユースケースが多重的に利用される状況を整理する
- 自動運転車両の普及状況や協調型自動運転に関する無線通信機の展開状況等を基に、時間軸毎にユースケースが多重的に利用される状況を考慮し、サービスが実用に資するための通信要件を取りまとめる

この通信要件の考え方にに基づき、協調型自動運転に関する通信要件の整理及びユースケースの展開計画の導出を行う。

4.3.1 ユースケース実現に必要な通信性能の積み上げ

前項で検討したユースケース展開の時系列に沿って、検討TFが取りまとめた通信要件及び通信性能を列挙した。また、想定される通信方式についても併せて整理した。

検討TFにおける、a.合流・車線変更支援に関する通信要件の検討案を表4.3.1-1に示す。

表 4.3.1-1 合流・車線変更支援の通信要件検討⁵⁴ (1/2)

機能分類	a.合流・車線変更支援					
ユースケース	予備加減速合流支援	本線隙間狙い合流支援	路側管制による本線車両協調合流支援			
No.	a-1-1	a-1-2	a-1-3			
メッセージ名	位置情報	位置情報	位置情報	管制要求	調定要求 更新要求	調定応答 更新応答
通信形態	V2I (I → V)	V2I (I → V)	V2I (I → V)	V2I (V → I)	V2I (I → V)	V2I (V → I)
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両	路側インフラ	特定車両	特定車両
対象エリア(最小範囲)	合流起点 6 秒前から 合流起点 6 秒前と合流 起点の中央まで	合流起点 6 秒前から 合流起点まで	合流起点 6 秒前から 合流起点まで	管制要求範囲内	管制要求範囲内	管制要求範囲内
エリアあたり送信台数	1 台	1 台	1 台	1 台	1 台 (×管制数)	48 台(※5) (管制数、混雑時)
必要通信距離 (※1)	33.9～59.3m (国総研仕様書：95m)	67.8～118.6m	連絡路：67.8～118.6m 本線：112.5～270m	67.8～118.6m	連絡路：67.8～ 118.6m 本線：112.5～ 270.0m	連絡路：67.8～ 118.6m 本線：112.5～ 270.0m
最大相対速度	連絡路：20～70km/h	連絡路：20～70km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h	連絡路：20～70km/h 本線：20～120km/h
最大データサイズ	1510 byte (1260+250) 想定台数：46 台	2752 byte (2502+250) 想定台数：92 台 (※2)	5236 byte (4986+250) 想定台数：184 台 (※3)	287 byte (37+250)	369 byte (119+250) (※4)	287 byte (37+250)
周期型もしくは 非周期型	周期型	周期型	周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	100ms	100ms	100ms	不定 (※6)		
1 パケット当たり PAR	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)
無線区間許容遅延	規定しない	規定しない	規定しない	無線区間許容遅延と して 100ms を想定	無線区間許容遅延と して 100ms を想定	無線区間許容遅延と して 100ms を想定

※1 路側インフラを合流起点に設置し、高低差を無視した値となる。合流起点からある程度離れた場所へ路側インフラのアンテナが設置されることも予想されるが考慮していない。実際には、路側インフラアンテナ設置場所および高低差も含めた必要通信距離の計算を要する。

※2 本線：2 車線の情報提供を行った場合となる。本線：3 車線（想定台数：138 台）では 3744+250=3994 byte。本線：6 車線（想定台数：276 台）では 7470+250=7720 byte となる。

※3 本線：3 車線、連絡路：1 車線の情報提供を行った場合となる。連絡路：2 車線と本線：6 車線（想定台数：368 台）では 9954+250=10204 byte となる。

※4 管制応答メッセージでは、行動開始予定時間の情報要素：2 byte を追加した 121+250=371 byte となる。

※5 本線：3 車線、連絡路：1 車線で車両密度を 12 台/車線で試算した場合となる。本線：6 車線、連絡路：2 車線では、送信台数が 96 台となる。

※6 ユースケース a-1-3.の送信周期については出典資料 2.5.1.4 節や 2.5.1.6 節の説明を参照のこと。

⁵⁴ 出典：ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ、SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料 (RC-017)

表 4.3.1-1 合流・車線変更支援の通信要件検討 (2/2)

機能分類	a.合流・車線変更支援					
ユースケース	車同士のネゴシエーションによる合流支援		混雑時の車線変更の支援		渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	
No.	a-1-4		a-2		a-3	
メッセージ名	調定要求 更新要求	調定応答 更新応答	調定要求 更新要求	調定応答 更新応答	調定要求 更新要求	調定応答 更新応答
通信形態	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V
通信相手	非特定車両(調定要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)	非特定車両(調定要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)	非特定車両(調定要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)
対象エリア(最小 範囲)	調定要求範囲内	調定要求範囲内	車線変更要求範囲内	車線変更要求範囲内	交差点要求範囲内	交差点要求範囲内
エリアあたり送 信台数	一時停止時:1 台 (※7) 合流開始時:1 台 (※7)	一時停止時:27 台 (※7) 合流開始時:36 台 (※7)	73 台	48 台	2 台	68 台
必要通信距離	255m	255m	調定要求 : 255m 更新要求 : 38.9m	調定応答 : 255m 更新応答 : 38.9m	111.1m	111.1m
最大相対速度	20～70 km/h	20～70 km/h	調定要求 : 0～120km/h 更新要求 : 0～ 20km/h	調定応答 : 0～120km/h 更新応答 : 0～20km/h	0～60km/h	0～60km/h
最大データサイ ズ	291 byte (41+250)	287 byte (37+250)	291 byte (41+250)	287 byte (37+250)	291 byte (41+250) (※9)	287 byte (37+250)
周期型もしくは 非周期型	非周期型	非周期型	非周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	不定 (※8)		不定 (※8)		不定 (※8)	
1 パケット当た り PAR	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)
無線区間許容遅 延	無線区間許容遅延とし て 100ms を想定	無線区間許容遅延とし て 100ms を想定	無線区間許容遅延とし て 100ms を想定	無線区間許容遅延とし て 100ms を想定	無線区間許容遅延とし て 100ms を想定	無線区間許容遅延とし て 100ms を想定

※7 一時停止のシナリオは合流車線長:190m@70km/h、合流開始時のシナリオは合流車線長 : 255m@100km/h を想定した台数となる。

※8 ユースケース a-1-4. a-2. a-3.の送信周期については、出典資料 2.5.1.4 節や 2.5.2.5 節の説明を参照のこと。

※9 交差点情報がダイナミックマップより得られない場合、10 byte を追加する必要がある。

検討 TF における、b.信号情報に関する通信要件の検討案を表 4.3.1-2 に示す。

表 4.3.1-2 信号情報の通信要件検討⁵⁵

機能分類	b.信号情報	
ユースケース	信号情報による走行支援 (V2I)	信号情報による走行支援 (V2N)
No.	b-1-1	b-1-2
メッセージ名		
通信形態	V2I	V2N
通信相手	非特定車両	左と同じ
対象エリア(最小範囲)	乗用車：約 138.5m(仮) 大型車：約 206.3m(仮) (黄色 4 秒。60km/h)	交差点あたりは左と同じ。サービスエリアはセルラーの提供範囲
エリアあたり送信台数	路側機設置モデル (https://www.soumu.go.jp/main_content/000455914.pdf 4.2 章)参照	左と同じ
必要通信距離	乗用車：約 138.5m (仮) 大型車：約 206.3m(仮) (黄色 4 秒。60km/h) なお、700MHz 帯システムの要求値は 240m	左と同じ
最大相対速度	70 km/h	左と同じ
最大データサイズ	1Kbyte/交差点程度	700MHz 帯システムでの値程度
周期型もしくは非周期型	周期型	検討中
送信周期	100 ms	
1 パケット当たり PAR	5m 評価区間で 99%以上(※ 1)(700MHz 帯システムと同様)	検討中
無線区間許容遅延	遅延は規定せず。ゆらぎは、±300ms 以内(https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/205.pdf)	システム全体の遅延を通して検討が必要

※1: 70km/h は、秒速約 20m。5m 評価区間の走行には 250ms 要する。250ms 内に、100ms 周期の送信は、2 回発生。累積パケット到達率 99%は、 $1-(0.1*0.1)=0.99$ から 1 パケットあたり 90%以上のパケット到達を満たせばよい。そのため、無線区間許容遅延 100ms で 90%のパケット到達率

検討 TF における、c.先読み情報：衝突回避に関する通信要件の検討案を表 4.3.1-3 に、また d.先読み情報：走行計画変更に関する通信要件の検討案を表 4.3.1-4 に示す。

⁵⁵ 出典：ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ、SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料 (RC-017)

表 4.3.1-3 先読み情報：衝突回避の通信要件検討⁵⁶

機能分類	c. 先読み情報：衝突回避				
ユースケース	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	交差点の情報による走行支援	交差点の情報による走行支援	ハザード情報による衝突回避支援/前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	
No.	c-1	c-2-1	c-2-2		c-3
メッセージ名	c-3 にマージ	-	検討対象としない	-	-
通信形態	c-3 にマージ	V2V	V2I (V=>I)	V2I (I=>V)	V2V
通信相手	c-3 にマージ	非特定車両	検討対象としない	非特定車両	非特定車両
対象エリア(最小範囲)	c-3 にマージ	(右折車両が配信情報を必要とする通信エリア) ・上流側：右折車両のウィンカ ON 位置（停止線から 30m 上流地点）より上流 ・下流側：右折先終点地点 (右折車両が情報を必要とする対向車両の範囲)※対象車線は全直進車線 ・上流側：交差点中心又は右折待ちポイントを基点とし、交差点内の右折待ちポイントで右折待ちしている状況において、交差点内の右折待ちポイントから安全な加速度で右折を開始し、対向車線を横断し終える時集える ことができる位置の対向車。尚、右折待ちポイントが交差点中心を超える場合は、右折待ちポイントを基点とし、その際、右折待ちポイントが複数ある場合は、より対向車線に近いポイントとすること。 ・下流側：右折車から対向直進車両を見たときの見通し外（死角）となる位置。当該位置に対向直進車両が走行する車線の停止線より上流側にくる場合には、停止線位置とする	検討対象としない	(右折車両が配信情報を必要とする通信エリア) c-2-1 と同じ	・車車間直接通信：事象発生地点から上流 250m ・リレーの場合：事象発生地点から上流 1km

⁵⁶ 出典：ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ、SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料（RC-017）

機能分類	c. 先読み情報：衝突回避				
ユースケース	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	交差点の情報による走行支援	交差点の情報による走行支援		ハザード情報による衝突回避支援/前方での急停止、急減速時の衝突回避支援
No.	c-1	c-2-1	c-2-2		c-3
エリアあたり送信台数	c-3 にマージ	(片側車線数：6、対向車両速度：70km/h) 348 台 (片側車線数：3、対向車両速度：70km/h) 125 台	検討対象としない	N/A	(車両速度:120km/h, 車間距離: 2s) 79 台 (車両速度:60km/h, 車間距離: 1s) 277 台 (緊急行動実施地点から 1km 区間における 6 車線の総台数)
必要通信距離	c-3 にマージ	(片側車線数：6、対向車両速度：70km/h) 190m (片側車線数：3、対向車両速度：70km/h) 135m	検討対象としない	路側インフラのアンテナ位置に依存する。路側インフラのアンテナを交差点脇に設置、アンテナ高を 6m とすると以下： (片側車線数：6) 75.2m (片側車線数：3) 52.4m	・車車間直接通信：事象発生地点から上流 250m ・リレーの場合：事象発生地点から上流 1km
最大相対速度	c-3 にマージ	~70km/h	検討対象としない	~70km/h	~120km/h
最大データサイズ	c-3 にマージ	282 byte	検討対象としない	(片側車線数：6) 1534 byte (片側車線数：3) 1150 byte (※1)	312 byte
周期型もしくは非周期型	c-3 にマージ	周期型	検討対象としない	周期型	周期型
送信周期	c-3 にマージ	100ms	検討対象としない	100ms	100ms
1 パケット当たり PAR	c-3 にマージ	PAR $\geq$ 99% (WG2 内の暫定的な値。必要に応じて値は精査)	検討対象としない	PAR $\geq$ 99% (WG2 内の暫定的な値。必要に応じて値は精査)	車車間の直接通信における PAR $\geq$ 99% (WG2 内の暫定的な値。必要に応じて値は精査)

機能分類	c. 先読み情報：衝突回避				
ユースケース	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	交差点の情報による走行支援	交差点の情報による走行支援		ハザード情報による衝突回避支援/前方での急停止、急減速時の衝突回避支援
No.	c-1	c-2-1	c-2-2		c-3
無線区間許容遅延	c-3 にマージ	無線区間許容遅延として[100]ms を想定する (WG2 内の暫定的な値。必要に応じて値は精査)	検討対象としない	無線区間許容遅延として[100]ms を想定する (WG2 内の暫定的な値。必要に応じて値は精査)	・緊急回避行動発生場所から上流 255m まで：[100]ms 以内 ・上記より上流地点：上流 1km までは距離に応じて 30s まで緩和 (WG2 内の暫定的な値。必要に応じて値は精査)

※1: 信号情報、交差点識別情報、車両検知情報をまとめて一つのメッセージで送信する場合のメッセージサイズ。各情報を個別のメッセージで送信する場合には、セキュリティオーバーヘッドは各情報に対して加味される。

表 4.3.1-4 先読み情報：走行計画変更の通信要件検討⁵⁷

機能分類	d. 先読み情報：走行計画変更			
ユースケース	分岐・出口渋滞支援		ハザード情報による走行支援	
No.	d-4		d-5	
メッセージ名				
通信形態	V2I	V2N	V2I	V2N
通信相手	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両
対象エリア(最小範囲)	最小 66.6m～	事象発生時点から 1km まで(仮) および、上流の 1 つ前の分岐・出口から 1km 上流	最小 66.6m～	事象発生時点から 1km まで(仮)
エリアあたり送信台数	Uplink：異常車両台数 (通常 1 台) Downlink: ブロードキャスト	Uplink：異常車両台数 (通常 1 台) Downlink：570 (ユニキャスト想定)	Downlink: ブロードキャスト	Downlink：285 (ユニキャスト想定)
必要通信距離	最小 66.6m～	事象発生時点から上流 255m から 1km まで(仮) サービス提供範囲として	最小 66.6m～	事象発生時点から上流 255m から 1km まで(仮) サービス提供範囲として
最大相対速度	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h	20km/h～120km/h
最大データサイズ	715Byte (465+250)	715Byte (465+250)	715Byte (465+250)	715Byte (465+250)
周期型もしくは非周期型	周期的	周期的	周期的	周期的
送信周期	最小 1 秒	最小 7.65 秒	最小 1 秒	最小 7.65 秒
1 パケット当たり PAR	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)	PAR≥99% (仮)
無線区間許容遅延	規定しない	規定しない	規定しない	規定しない

⁵⁷ 出典：ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ、SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料 (RC-017)

検討 TF における、e.先読み情報：緊急車両回避に関する通信要件の検討案を表 4.3.1-5 に、また f.インフラによる情報収集・配信に関する通信要件の検討案を表 4.3.1-6 に示す。

表 4.3.1-5 先読み情報：緊急車両回避の通信要件検討⁵⁸

機能分類	e.先読み情報：緊急車両回避	
ユースケース	緊急車両の情報による走行支援	
No.	e-1	
メッセージ名		
通信形態	V2V	V2N
通信相手	緊急車両情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	緊急車両情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両
対象エリア(最小範囲)	150m の半円	一般道：半径 700m の半円 高速道路：半径 1000m の半円
エリアあたり送信台数	Downlink：ブロードキャスト	Uplink:緊急車両台数（通常 1 台） Downlink：285（仮、ユニキャスト想定）
必要通信距離	最小 150m	一般道：半径 700m の半円 高速道路：半径 1000m の半円
最大相対速度	20km/h~120km/h	20km/h~120km/h
最大データサイズ	302Byte(52+250)	1035Byte（785+250）
周期型もしくは非周期型	周期的	周期的
送信周期	100 ミリ秒	最小 7.65 秒
1 パケット当たり PAR	PAR $\geq$ 99%（仮）	PAR $\geq$ 99%（仮）
無線区間許容遅延	V2V：100 ミリ秒以下	規定しない

⁵⁸ 出典：ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ、SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料（RC-017）

表 4.3.1-6 インフラによる情報収集・配信の通信要件検討⁵⁹

機能分類	f.インフラによる情報収集・配信			
ユースケース	救援要請(e-Call)	交通流の最適化のための情報収集	地図更新・自動生成	ダイナミックマップ情報配信
No.	f-1	f-2	f-3	f-4
メッセージ名				
通信形態	V2N	V2I/V2N	V2N	V2N
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両	非特定車両
対象エリア(最小範囲)	通信事業者における公衆網の通信エリア	V2I：半径 171.8m の円(※1) V2N：通信事業者における公衆網の通信エリア	通信事業者における公衆網の通信エリア	通信事業者における公衆網の通信エリア
エリアあたり送信台数	規定しない	V2I：389 台(最大ケース) (※1) V2N：規定しない	規定しない	規定しない
必要通信距離	—	V2I：最小 33.3m *時速 120km で走行時の 1 秒間での移動距離	—	—
最大相対速度	20km/h~120km/h	20km/h~120km/h	20km/h~120km/h	20km/h~120km/h
最大データサイズ(※2)	Uplink：675Byte (425+250) Downlink：規定しない *通信中は上記以外に Uplink/Downlink 共に 音声を常時通信	Uplink：279Byte(29+250) Downlink：規定しない	Uplink：20.5MByte(画像データ (最大 5 枚)含) Downlink：規定しない	Uplink：規定しない Downlink：67 Mbps (最大ケース)
周期型もしくは非周期型	非周期型	周期型	非周期型	非周期型
送信周期(※3)	—	V2I：最小 1 秒 V2N：最小 1 分	—	—
1 パケット当たり PAR (※4)	—	V2I：PAR≥99% (仮)	—	—
無線区間許容遅延	規定しない	規定しない	規定しない	規定しない

※1: 通信エリア:171.8m (360°)、片方向最大 3 車線、2 差路交差点、車両速度 20km/h、車両間隔 1s、平均車長 5m を想定。エリアあたり送信台数：171.8×3×2×4÷(5.6×1+5)=389 台)

※2: アプリケーションレイヤにおけるデータサイズを示す

※3：アプリケーションレイヤにおける送信周期を示す

※4：無線レイヤにおける PAR を示す

⁵⁹ 出典：ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ、SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料 (RC-017)

検討 TF における、g. 隊列・追従走行に関する通信要件の検討案を表 4.3.1-7 に、また h. 遠隔操作に関する通信要件の検討案を表 4.3.1-8 に示す。

表 4.3.1-7 隊列・追従走行の通信要件検討⁶⁰

機能分類	g. 隊列・追従走行		
ユースケース	電子牽引による後続車無人隊列走行 (非リッチコンテンツ)	電子牽引による後続車無人隊列走行 (リッチコンテンツ)	追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行
No.	g-1	g-1	g-2
メッセージ名			
通信形態	V2V	V2V	V2V
通信相手	特定車両(1 対 N を用いて 1 対 1 を実現)	特定車両(1 対 N を用いて 1 対 1 を実現)	非特定車両
対象エリア(最小範囲)	相対距離 60m 程度	相対距離 60m 程度	141m
エリアあたり送信台数	3 台	3 台	4 台での計算
必要通信距離	相対距離 60m 程度	相対距離 60m 程度	141m
最大相対速度	大型 80km/h	大型 80km/h	乗用車 100km/h 大型 80km/h
最大データサイズ	700MHz 帯システムと同様まで	(※1)	700MHz 帯システムと同様まで
周期型もしくは非周期型	周期型	(※1)	周期型
送信周期	100ms、緊急時 20ms	(※1)	100ms
1 パケット当たり PAR	通常時 100ms あたり 98%、緊急時 100ms あたり 99.99%	(※1)	10m 走行でのパケット累積率 95%(700MHz 帯システムと同様)
無線区間許容遅延	100ms(車間距離 10m 速度 80km/h)	(※1)	100ms 以下

※1: フルハイビジョンのリアルタイム通信を必要とし、カメラ～ディスプレイ 区間での遅延や通信品質としては、国連欧州委員会 Regulation 46 電子ミラー規定が参考になりうるが、どの画像符号化方式を用いるかに応じて、画像の符号化・復号化の遅延が異なり、その結果、無線区間に要求される伝送帯域幅と通信遅延が異なる。カメラやディスプレイでの遅延も実装を考慮して無線区間の通信遅延を規定する必要がある。これらから、具体的な内容やサイズについては、本資料では規定できていない。

⁶⁰ 出典：ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ、SIP 協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料 (RC-017)

表 4.3.1-8 遠隔操作の通信要件検討⁶¹

機能分類	h.遠隔操作	
ユースケース	移動サービスカーの操作・管理 (ODD の条件外における遠隔 操縦の指示)	移動サービスカーの操作・管理 (ODD の条件下における走行 経路の指示)
No.	h-1a	h-1b
メッセージ名		
通信形態	V2N	V2N
通信相手	非特定車両	非特定車両
対象エリア(最小範囲)	通信事業者における 公衆網の通信エリア	通信事業者における 公衆網の通信エリア
エリアあたり送信台数	規定しない	規定しない
必要通信距離	—	—
最大相対速度	T.B.D.	T.B.D.
最大データサイズ(※1)	Uplink：車両周辺映像情報、遠 隔操作要求 Downlink：遠隔操縦データ (遠隔操縦実施時)	Uplink：車両周辺映像情報、経 路指示要求 Downlink：走行経路(走行経 路指示実施時)
周期型もしくは非周期型	非周期型	非周期型
送信周期(※2)	—	—
1 パケット当たり PAR(※3)	T.B.D.	T.B.D.
無線区間許容遅延	T.B.D.	T.B.D.

※1: アプリケーションレイヤにおけるデータサイズを示す

※2: アプリケーションレイヤにおける送信周期を示す

※3: 無線レイヤにおける PAR を示す

⁶¹ 出典：ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討タスクグループ、SIP 協調型
自動運転ユースケースに関する通信シナリオ／通信要件の検討資料 (RC-017)

(1) ユースケース展開に求められる通信特性・要件：V2I

V2I を通信方式と想定するユースケースについて、展開に求められる通信特性、及び要件を図 4.3.1-1 に示す。

		2025-	2030-	2035-	2040-																													
求められる通信特性・要件	ユースケース展開に求められる要件	路→車での同報通信 ・エリア 交差点周辺 合流部周辺 ・通信頻度 定周期	路→車での同報通信 ・エリア（対象エリア増） 交差点周辺 合流部周辺 ・通信頻度 定周期	路→車での同報通信 ・エリア（対象エリア増） 交差点周辺 合流部周辺 ・通信頻度 定周期	路→車での同報通信 ・エリア（対象エリア増） 交差点周辺 合流部周辺 ・通信頻度 定周期 路⇄車での双方向通信（調停） ・エリア 合流部周辺 ・通信頻度 イベント起点、定周期 ・応答性 100ms																													
	（参考）ITSフォーラムでの通信要件検討結果	<table><tr><td></td><td>b-1</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>206.3m(大型)</td></tr><tr><td>データ量</td><td>1Kbyte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台</td></tr></table>		b-1	通信距離	206.3m(大型)	データ量	1Kbyte	通信頻度	100ms周期	送信台数	1台																						
			b-1																															
通信距離	206.3m(大型)																																	
データ量	1Kbyte																																	
通信頻度	100ms周期																																	
送信台数	1台																																	
	<table><tr><td></td><td>C-2-2</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>75.2m</td></tr><tr><td>データ量</td><td>1,534byte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台</td></tr></table> <table><tr><td></td><td>a-1-2 (a-1-1)</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>67.8～118.6m</td></tr><tr><td>データ量</td><td>1,758byte (62台)</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台</td></tr></table>		C-2-2	通信距離	75.2m	データ量	1,534byte	通信頻度	100ms周期	送信台数	1台		a-1-2 (a-1-1)	通信距離	67.8～118.6m	データ量	1,758byte (62台)	通信頻度	100ms周期	送信台数	1台			<table><tr><td></td><td>a-1-3</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>連絡路： 67.8～118.6m 本線： 112.5～270m</td></tr><tr><td>データ量</td><td>管制要求： 283byte 調停要求： 263byte 調停応答： 283byte (100台)</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台 (X管制数)</td></tr></table>		a-1-3	通信距離	連絡路： 67.8～118.6m 本線： 112.5～270m	データ量	管制要求： 283byte 調停要求： 263byte 調停応答： 283byte (100台)	通信頻度	100ms周期	送信台数	1台 (X管制数)
	C-2-2																																	
通信距離	75.2m																																	
データ量	1,534byte																																	
通信頻度	100ms周期																																	
送信台数	1台																																	
	a-1-2 (a-1-1)																																	
通信距離	67.8～118.6m																																	
データ量	1,758byte (62台)																																	
通信頻度	100ms周期																																	
送信台数	1台																																	
	a-1-3																																	
通信距離	連絡路： 67.8～118.6m 本線： 112.5～270m																																	
データ量	管制要求： 283byte 調停要求： 263byte 調停応答： 283byte (100台)																																	
通信頻度	100ms周期																																	
送信台数	1台 (X管制数)																																	
想定される通信方式					▼ 2040年 自動運転 ▼ 2050年 調停・ネゴ普及 調停・ネゴ開始 事故ゼロ																													
	700MHz帯ITS																																	
			新たな通信方式（5.9GHz）																															

図 4.3.1-1 ユースケース展開に求める通信特性・要件（V2I）

(2) ユースケース展開に求められる通信特性・要件：V2V

V2Vを通信方式と想定するユースケースについて、展開に求められる通信特性、及び要件を図4.3.1-2に示す。

		2025-	2030-	2035-	2040-																																																		
求められる通信特性・要件	ユースケース展開に求められる要件	車→車での同報通信 ・エリア 交差点周辺 不特定 (e-1) ・通信頻度 イベント起点、定周期 (g-1,2は除く)	車→車での同報通信 ・エリア (車両台数増) 交差点周辺 不特定 (e-1) ・通信頻度 イベント起点、定周期 車→車での同報通信 ・エリア 不特定 (c-1) ・通信頻度 イベント起点、定周期 ・応答性 100ms	車→車での同報通信 ・エリア (車両台数増) 交差点周辺 不特定 (e-1) ・通信頻度 イベント起点、定周期 車→車での同報通信 ・エリア (車両台数増) 不特定 (c-1,3) ・通信頻度 イベント起点、定周期 ・応答性 100ms	車→車での同報通信 ・エリア (車両台数増) 交差点周辺 不特定 (e-1) ・通信頻度 イベント起点、定周期 車→車での同報通信 ・エリア (車両台数増) 不特定 (c-1,3) ・通信頻度 イベント起点、定周期 ・応答性 100ms 車⇄車での双方向通信 (ネゴシエーション) ・エリア 合流部周辺 ・通信頻度 イベント起点、定周期 ・応答性 100ms																																																		
	(参考) ITSフォーラムでの通信要件検討結果	<table><tr><td></td><td>C-2-1</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>190m(6車線)</td></tr><tr><td>データ量</td><td>282byte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>348台(6車線)</td></tr></table> <table><tr><td></td><td>e-1</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>150m</td></tr><tr><td>データ量</td><td>302byte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台</td></tr></table> <table><tr><td></td><td>g-1,g-2</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>141m(g-2)</td></tr><tr><td>データ量</td><td>700MHzシステムと同様まで</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>20ms周期(緊急時)</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>3台/4台</td></tr></table>		C-2-1	通信距離	190m(6車線)	データ量	282byte	通信頻度	100ms周期	送信台数	348台(6車線)		e-1	通信距離	150m	データ量	302byte	通信頻度	100ms周期	送信台数	1台		g-1,g-2	通信距離	141m(g-2)	データ量	700MHzシステムと同様まで	通信頻度	20ms周期(緊急時)	送信台数	3台/4台	<table><tr><td></td><td>C-1/c-3</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>250m</td></tr><tr><td>データ量</td><td>312byte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>277台</td></tr></table>		C-1/c-3	通信距離	250m	データ量	312byte	通信頻度	100ms周期	送信台数	277台		<table><tr><td></td><td>a-2(a-1-4,a-3)</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>要求仕様による</td></tr><tr><td>データ量</td><td>ネゴシエーション要求: 291byte ネゴシエーション応答: 287byte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>73台/48台</td></tr></table>		a-2(a-1-4,a-3)	通信距離	要求仕様による	データ量	ネゴシエーション要求: 291byte ネゴシエーション応答: 287byte	通信頻度	100ms周期	送信台数	73台/48台
		C-2-1																																																					
通信距離	190m(6車線)																																																						
データ量	282byte																																																						
通信頻度	100ms周期																																																						
送信台数	348台(6車線)																																																						
	e-1																																																						
通信距離	150m																																																						
データ量	302byte																																																						
通信頻度	100ms周期																																																						
送信台数	1台																																																						
	g-1,g-2																																																						
通信距離	141m(g-2)																																																						
データ量	700MHzシステムと同様まで																																																						
通信頻度	20ms周期(緊急時)																																																						
送信台数	3台/4台																																																						
	C-1/c-3																																																						
通信距離	250m																																																						
データ量	312byte																																																						
通信頻度	100ms周期																																																						
送信台数	277台																																																						
	a-2(a-1-4,a-3)																																																						
通信距離	要求仕様による																																																						
データ量	ネゴシエーション要求: 291byte ネゴシエーション応答: 287byte																																																						
通信頻度	100ms周期																																																						
送信台数	73台/48台																																																						
想定される通信方式					▼ 2040年 自動運転 調停・ネゴ開始																																																		
	700MHz帯ITS				▼ 2050年 調停・ネゴ普及 事故ゼロ																																																		
				新たな通信方式 (5.9GHz)																																																			

図 4.3.1-2 ユースケース展開に求める通信特性・要件 (V2V)

(3) ユースケース展開に求められる通信特性・要件：V2N

V2N を通信方式と想定するユースケースについて、展開に求められる通信特性、及び要件を図 4.3.1-3 に示す。

		2025-	2030-	2035-	2040-																																																											
ユースケース展開に求められる要件		センター→車での同報通信 ・エリア 不特定、エリア指定 (b-1-2, d-1,2,3,5, e-1, f-3,4) ・通信頻度 イベント起点、定周期	(同左) センター→車での同報通信 ・エリア 高速道路出口手前 (d-4) ・通信頻度 イベント起点、定周期	(同左) 車→センターでのアップリンク ・エリア 不特定 (f-1,2) ・通信頻度 イベント起点、定周期	(同左) 車両台数は年々増 (h-1は除く)																																																											
	求められる通信特性・要件 (参考) ITSフォーラムでの通信要件検討結果	<table><tr><td></td><td>b-1-2</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>206.3m(大型)</td></tr><tr><td>データ量</td><td>1Kbyte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>100ms周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台</td></tr></table> <table><tr><td></td><td>d-1,2,3, 5</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>66.6m～</td></tr><tr><td>データ量</td><td>715byte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>1s周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台 (DL282台)</td></tr></table> <table><tr><td></td><td>e-1</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>一般道：半径700mの半円 高速道路：半径1000mの半円</td></tr><tr><td>データ量</td><td>1035Byte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>1s周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台 (DL282台)</td></tr></table> <table><tr><td></td><td>f-3, 4</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>－</td></tr><tr><td>データ量</td><td>UL:20.5Mbyte (f-3) DL:67Mbps(f-4)</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>－</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>－</td></tr></table>		b-1-2	通信距離	206.3m(大型)	データ量	1Kbyte	通信頻度	100ms周期	送信台数	1台		d-1,2,3, 5	通信距離	66.6m～	データ量	715byte	通信頻度	1s周期	送信台数	1台 (DL282台)		e-1	通信距離	一般道：半径700mの半円 高速道路：半径1000mの半円	データ量	1035Byte	通信頻度	1s周期	送信台数	1台 (DL282台)		f-3, 4	通信距離	－	データ量	UL:20.5Mbyte (f-3) DL:67Mbps(f-4)	通信頻度	－	送信台数	－	<table><tr><td></td><td>d-4</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>66.6m～</td></tr><tr><td>データ量</td><td>715byte</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>1s周期</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>1台 (DL570台)</td></tr></table>		d-4	通信距離	66.6m～	データ量	715byte	通信頻度	1s周期	送信台数	1台 (DL570台)	<table><tr><td></td><td>f-1, 2</td></tr><tr><td>通信距離</td><td>－</td></tr><tr><td>データ量</td><td>UL： 675byte(f-1) 279byte(f-2) DL：－</td></tr><tr><td>通信頻度</td><td>60s周期(f-2)</td></tr><tr><td>送信台数</td><td>－</td></tr></table>		f-1, 2	通信距離	－	データ量	UL： 675byte(f-1) 279byte(f-2) DL：－	通信頻度	60s周期(f-2)	送信台数	－
	b-1-2																																																															
通信距離	206.3m(大型)																																																															
データ量	1Kbyte																																																															
通信頻度	100ms周期																																																															
送信台数	1台																																																															
	d-1,2,3, 5																																																															
通信距離	66.6m～																																																															
データ量	715byte																																																															
通信頻度	1s周期																																																															
送信台数	1台 (DL282台)																																																															
	e-1																																																															
通信距離	一般道：半径700mの半円 高速道路：半径1000mの半円																																																															
データ量	1035Byte																																																															
通信頻度	1s周期																																																															
送信台数	1台 (DL282台)																																																															
	f-3, 4																																																															
通信距離	－																																																															
データ量	UL:20.5Mbyte (f-3) DL:67Mbps(f-4)																																																															
通信頻度	－																																																															
送信台数	－																																																															
	d-4																																																															
通信距離	66.6m～																																																															
データ量	715byte																																																															
通信頻度	1s周期																																																															
送信台数	1台 (DL570台)																																																															
	f-1, 2																																																															
通信距離	－																																																															
データ量	UL： 675byte(f-1) 279byte(f-2) DL：－																																																															
通信頻度	60s周期(f-2)																																																															
送信台数	－																																																															
想定される通信方式					▼ 2040年 自動運転 調停・ネゴ開始	▼ 2050年 調停・ネゴ普及 事故ゼロ																																																										
	[移動通信システム技術想定（受託者想定）]																																																															
	4G/LTE																																																															
5G(NSA) > 5G (SA)																																																																
Beyond 5G																																																																

図 4.3.1-3 ユースケース展開に求める通信特性・要件（V2N）

4.3.2 通信要件実現の課題

25 の SIP 協調型自動運転ユースケースについて、4.3.1 エラー! 参照元が見つかりません。に示した通り ITS フォーラムにて通信要件が検討された。

本事業においては、25 のうち V2V/I のユースケースについては、ITS フォーラムで検討した通信要件を参照し、700MHz 帯 ITS、5.9GHz 帯 C-V2X (V2V/I) のそれぞれについて、ユースケースの通信要件への対応可否を検証し、評価を行った。この検証結果に基づき、通信要件の実現に向けた課題を整理した。

(1) 700MHz 帯 ITS についての評価

無線方式検討 TG から提示された通信要件に基づくシミュレーション結果より、以下のことが確かめられた。

- 路車通信の全ての UC(a-1-1, a-1-2, b-1-1, c-2-2, d-5)は通信要件(遅延:100ms 以内, PAR:99%以下)を達成。
- 車路通信、車車通信のうち、
 - d-1~d-4, f-2 は、通信要件(遅延:1sec 以内, PAR:99%以下)を達成。
 - その他 UC は干渉の影響により、通信要件(遅延:100ms 以内, PAR:99%以下)を未達。ただし、BM (ベシックメッセージ) の送受信のみの UC については条件見直しで通信要件を達成可能。
- ネゴシエーション系 UC(a-1-4, a-2, a-3)におけるネゴシエーション部分、調停 UC(a-1-3)の調定部分は、通信要件を未達。
⇒新たな通信方式導入の考え方が必要
- 既存サービスへの影響については、通信要件を満たすことを確認。
- g-1 は緊急時の許容通信遅延(20ms 以内)が未達のため対応不可 (机上検討より)。

また、サービスを実現するために最低限必要な通信要件(品質、距離、遅延時間)について協議が必要であることも確認した。

上記の結果から、700MHz 帯 ITS の課題として、下記が導出された。

- 路車通信は、700MHz 帯 ITS で実現可能
- 車路通信、車車通信は、一部条件見直しにより 700MHz 帯 ITS で実現可能
(通信要件の詳細化を踏まえ、700MHz 帯 ITS での実現可能範囲を継続検討要)
- ネゴシエーションや調停は、700MHz 帯 ITS では通信要件を未達

(2) 狭域通信（5.9GHz 帯 C-V2X（V2I/V））についての評価

10MHz 通信帯域幅におけるシミュレーション結果より、以下のことが確かめられた。

- 単独ユースケースを実現するため、様々な要件の通信が混在し相互影響が生じる（a-1-3 に関する検証結果より）。
- 同じ場所で複数ユースケースを実現するため、様々な要件の通信が混在し相互影響が生じる（c-1、c-2-2 等が生じる交差点周辺での検討より）。

また実運用においては、無線通信環境（シャドウイング、マルチパス等）、走行車両環境（台数、車間）が一義に特定、あるいは制限できるものではなく、想定と異なる環境下において通信が生じた場合、通信が輻輳する可能性がある。結果として、通信遅延や通信未達が生じ得ると考えられる。

上記の結果から、狭域通信（5.9GHz 帯 C-V2X（V2I/V））の課題として、下記が導出された。

- 通信量に応じた通信帯域幅の確保、及び通信内容に応じた通信チャネルの区分
- その場の無線通信環境、走行車両環境に応じた上位レベルでの通信輻輳制御

4.3.3 通信要件のロードマップ（案）検討

ここまでの検討内容を踏まえて、通信方式ロードマップ（案）の策定を行う。SIP では自動運転を実用化し普及拡大していくことにより、交通事故の低減、交通渋滞の削減、交通制約者のモビリティの確保、物流・移動サービスのドライバ不足の改善・コスト低減等の社会的課題の解決に貢献し、すべての人が質の高い生活を送ることができる社会の実現を目指している。SIP が掲げている25種類のユースケースは協調型自動運転の実現のためのものだが、安全運転に資するユースケースについては、自動運転だけでなく、手動運転に対する安全運転支援機能としても活用していくことがSIPの趣旨にも適うと考えられる。

そこで、安全運転支援に資するユースケースは「安全運転支援」と「協調型自動運転」の双方に組み入れる形での整理とした。

SIP の25種類のユースケースの安全運転支援・協調型自動運転に対する選定状況を表4.3.3-1に示す。

表 4.3.3-1 安全運転支援・協調型自動運転ユースケース選定状況

機能分類	ユースケース名	安全運転支援	協調型自動運転
a. 合流・車線変更支援	a-1-1. 予備加減速合流支援 (V2I)		✓
	a-1-2. 本線車間狙い合流支援 (V2I)		✓
	a-1-3. 路側管制による本線車両協調合流支援 (V2I)		✓
	a-1-4. 車同士のネゴシエーションによる合流支援 (V2V)		✓
	a-2. 混雑時の車線変更の支援 (V2V)		✓
	a-3. 渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援 (V2V)		✓
b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援 (V2I)	✓	✓
	b-1-2. 信号情報による走行支援 (V2N)	✓	✓
c. 先読み情報：衝突回避	c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援 (V2V)	✓	✓
	c-2-1. 交差点の情報による走行支援 (V2V)	✓	✓
	c-2-2. 交差点の情報による走行支援 (V2I)	✓	✓
	c-3. ハザード情報による衝突支援回避 (V2V)	✓	✓
d. 先読み情報：走行計画変更	d-1. 異常車両の通知による走行支援 (V2N)	✓	✓
	d-2. 逆走車の通知による走行支援 (V2N)	✓	✓
	d-3. 渋滞の情報による走行支援 (V2N)	✓	✓
	d-4. 分岐・出口渋滞支援 (V2N)	✓	✓
	d-5. ハザード情報による走行支援 (V2N)	✓	✓
e. 先読み情報：緊急車両回避	e-1 (1). 緊急車両の情報による走行支援 (V2V)	✓	✓
	e-1 (2). 緊急車両の情報による走行支援 (V2N)	✓	✓
f. インフラによる情報収集・配信	f-1. 救援要請 (e-call) (V2N)	✓	✓
	f-2. 交通流の最適化のための情報収集 (V2N)	✓	✓
	f-3. 地図更新・生成 (V2N)	✓	✓
	f-4. ダイナミックマップ情報配信 (V2N)	✓	✓
g. 隊列・追従走行	g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行 (V2V)		✓
	g-2. 追従走行並びに追従走行を利用した後続車有人隊列走行 (V2V)		✓
h. 遠隔操作	h-1. 移動サービスカーの操作・管理 (V2N)		✓

SIP 協調型自動運転の 25 種類のユースケースをすべて実現するためには、新たな通信メディアが必要となる。新たな通信メディアの割り当てがないと実現しないユースケースの開始時期は、これまでの検討から 2040 年頃と想定されるが、そこから逆算して 2040 年に 30%の協調型自動運転車に装着されるためには、2030 年頃（自動運転が普及し始める時期）から新たな通信方式の整備が必要となると想定される。

新たな通信メディアが整備されるまでは、既存 ITS 無線（700MHz 帯）等を活用しながら安全運転支援機能等による車載機の普及を待つと共に、新たな通信メディアの実用化開始までに解決すべき課題の解決を図っていく必要がある。

ユースケース展開計画の実現に際し、大きく以下の 2 つの事項を実施することが必要と考えられる。

1) ユースケースの実用化に向けた取り組み

- V2I/V/N のユースケース実用化にあたり、ITS フォーラムや検討 TF において様々な課題（論点）が指摘されている
- こうした関係者が様々に渡る課題（論点）について関係者間での検討・議論により方向性を明確化することが必要

2) 新たな通信方式の実用化に向けた取り組み

- 自動運転車両の普及が本格化する 2040 年以降、調停型・ネゴシエーション型ユースケースが開始すると考えられる
- 現行の 10MHz 通信帯域幅では調停型・ネゴシエーション型ユースケースを実現することは困難
- 一方、国際的には 5.9GHz 帯が主流であるため、新たな通信方式の実用化が必要

上記の 1)については、関係者間での検討・議論により方向性を明確化すべき課題としてセキュリティ・プライバシー対策の策定、車載機共用に関する方針の策定、通信方式の世代交代に関する方針の策定、ビジネスモデルの確立、通信品質の確保、責任分担の明確化といったことが挙げられる。また 2)については、新たな通信方式の実用化に向けて、周波数利用検討、規格化・仕様化、機器開発・実用化が必要と考えられる。

ユースケース展開計画の実現に向けた実施事項の考え方をまとめたものを図 4.3.3-1 に示す。

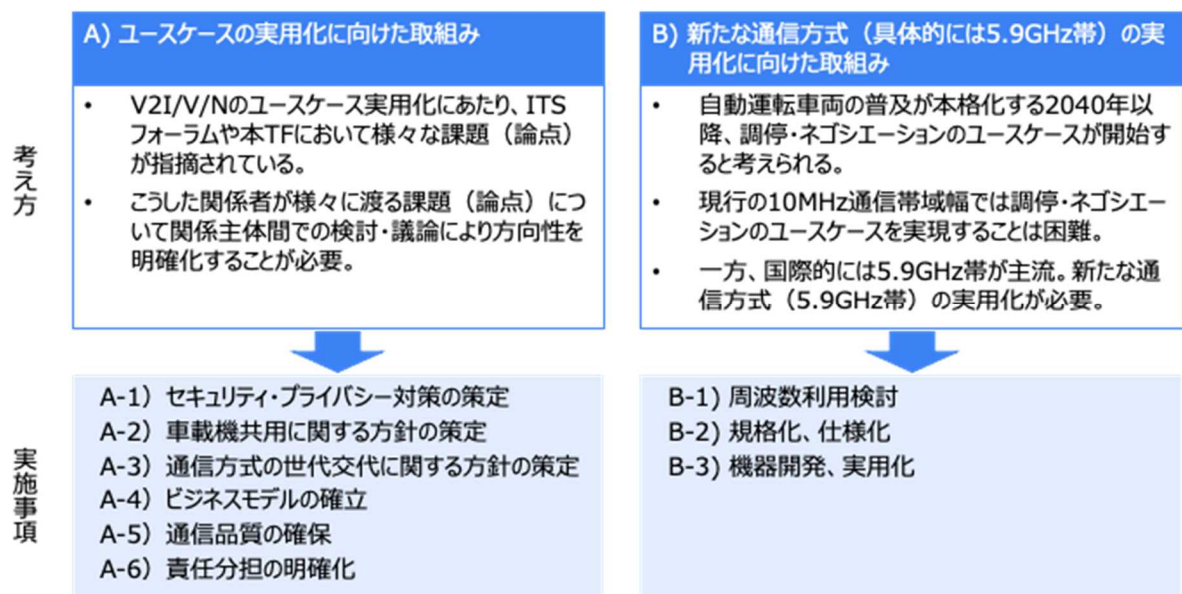


図 4.3.3-1 ユースケース展開計画の実現に向けた実施事項の考え方

(1) ユースケースの実用化に向けた取り組みについて

ITS フォーラム及び検討 TF にて挙げられた課題のうち、ユースケース全般で実施すべき事項を表 4.3.3-2 に示す。

表 4.3.3-2 すべてのユースケースの実用化に向けて実施すべき項目⁶²

実施事項	対応する課題と対応、留意すべき事柄
A-1) セキュリティ・プライバシー対策の策定	- 情報の真正性の確認、認証、改竄への対策、あるいは車両の位置情報を悪用されないようにする等、サービス全体を通して必要なセキュリティ措置を適切におこなうことが必要 - 関連法制度とも整合しつつ、情報収集、ならびに配信制御のための車両位置などによるプライバシー問題などにも対応が必要
A-2) 車載機共用に関する方針の策定	- V2VやV2I、V2Nで複数のユースケースが車載機で動作する場合(共用)、ユースケース毎のサービス導入やサービス開始に関するルール作りが必要 - また、周辺環境や状況を鑑み、どのような情報を利用者に提示するかに関するユーザインタフェース、あるいはどのような通信を優先して発信するかに関する優先順位などについても検討し、必要な方針を定めることが必要
A-3) 通信方式の世代交代に関する方針の策定	- 通信方式のライフサイクルと車両のライフサイクルが噛み合わず、通信方式の世代交代の際にはサービスの継続性を確保するための方策が必要 - 車両製造後から新たに始まるサービスに備え、車両には予め将来のサービスに対応した機能を搭載しておくか、OTAや車両メンテナンスなどにより新たなサービスに後発的に対応できるようにしておくことが必要
A-4) ビジネスモデルの確立	- 車両とインフラの間の通信コストをどのような観点で誰が負担するかの整理が必要 - ステークホルダーが複数存在する場合、通信コストの他に情報取得・収集・配信サーバなどの構築・維持コストなどを踏まえたビジネスモデルの構築が必要。特に情報発信者と受益者が一致しない場合の受容性、収益モデルが課題
A-5) 通信品質の確保	特にV2Nの場合、サービスが要求するリアルタイム性や信頼性の確保するための仕組み、エリアカバレッジの差異が存在することへの方策が必要
A-6) 責任分担の明確化	- V2VやV2I、V2Nで情報を得る場合には、それぞれの役割分野や責任に関する考え方を明らかにすることが必要 - 情報が車両に伝達するまでの間に複数の主体を経由する場合、機器の故障やネットワーク障害等の異常が発生した場合に備え、それぞれの責任分担や責任分界点に関する考え方を明らかにする必要

出所) セルラー通信技術を用いたITS・自動運転の高度化に向けた課題調査報告書 (ITS情報通信システム推進会議
セルラーシステムTG, ITS Info-communications Forum, 2021年1月) を参考に受託者で加筆

⁶² 参考文献：セルラー通信技術を用いた ITS・自動運転の高度化に向けた課題調査報告書
補足資料 SIP 協調型自動運転ユースケースに対する課題調査報告 (ITS フォーラム 2022 年 4 月)

(2) 新たな通信方式の実用化に向けた取り組みについて

自動運転車両の普及が本格化する 2040 年以降、V2V、V2I のいずれにおいてもネゴシエーションや調停を行うユースケースを現行の 10MHz 通信帯域幅で実現することは困難であり、新たな通信方式の実用化が求められる。国際的には 5.9GHz 帯の活用が主流であり、国内でも新たな通信方式として 5.9GHz 帯の実用化が必要と考えられる。

想定されるユースケース、国際動向、及び無線システムの実用化にあたってのプロセスを踏まえ、新たな通信方式の実用化に際して実施すべき事項を表 4.3.3-3 に示す。

表 4.3.3-3 新たな通信方式の実用化に向けた取り組み

実施事項	実施事項の概要
B-1) 周波数利用検討	- 自動運転車両の普及が本格化する2040年以降に想定される調停やネゴシエーションをおこなうユースケースを実現するための必要な通信方式の検討 - 通信内容、通信量に応じた周波数チャネル割り当て、上位レベルでの通信輻輳制御などの検討、検証
B-2) 規格化、仕様化	- 各ユースケースの実証結果に基づく通信プロトコルおよびメッセージフォーマット規格検討と策定、および車載機、路側機などアプリケーション横断の共通的な仕様検討と策定、車載機の接続性確認スキームの構築 - 上記の通信プロトコルおよびメッセージフォーマット、アプリケーション個別の仕様（サービス詳細、サービスレベル、システム構成、等）検討と策定 - 策定された規格、仕様の発行と必要な主体への公開
B-3) 機器開発、実用化	- 規格、仕様に基づく基地局、無線局等の開発 - 試行による動作検証、および実サービス運用へ向けた試験運転による知見の獲得、および必要に応じた改修 - 実展開へ向けた製品の販売、基地局などの整備 - 試験運用による確認を経たサービスの本格運用

ロードマップの基本的な考え方としては、ここまでの検討に基づき、協調型自動運転の 25 ユースケースをすべて実現するためには、V2I/V2V について 2040 年頃に新たな通信方式が必要という前提を想定した。

2040 年に 30%の協調型自動運転車に装着されるためには、2030 年頃（自動運転が普及し始める時期）から新たな通信方式の整備が必要である。また、早期に開始するユースケースについては、既存 ITS 無線（700MHz 帯）を活用すると考えられる。さらに、セキュリティやプライバシー対策、車載機共用に関する方針、機器の世代交代に関する方針、ビジネスモデル、通信品質の確保、責任分担といった課題について議論し、方向性について明確化することが必要となる。

このような考え方に基づき、ユースケース展開計画実現のための実施事項を詳細化し、協調型自動運転通信方式のロードマップを作成した。通信方式のロードマップを図 4.3.3-2 に示す。

5. まとめ

本事業は、SIP 第2期の協調型自動運転通信方式検討タスクフォースにて策定されたV2Xの活用が期待される協調型自動運転ユースケースについて、無線通信技術への具体的な要求仕様等、通信に関する技術的な実現性の検討、検証及び実証を踏まえ、自動運転社会の実現に必要な通信技術の社会実装時期のロードマップとして策定した。

本ロードマップは、検討TFの中で、学識経験者、関係省庁、業界団体（自動車業界、電機業界）等のメンバとの間で議論を重ね、通信に関する2021年10月～2022年3月現在の技術開発動向、実用化動向を踏まえて取りまとめたものである。今後、協調型自動運転の実現を目指して、各ユースケースがロードマップに沿って順次展開されていくものと想定している。

2022年3月現在、通信方式として700MHz帯ITSが実用化しているが、検証の結果、一部のユースケースについては通信要件の詳細化を踏まえた継続検討が必要であるものの、少なくとも調停やネゴシエーションについては、現状の通信方式ではすべての通信要件を満たすことが難しい状況であり、協調型自動運転を実現していくためには新たな通信方式（5.9GHz）の活用が必要であると考えられる。

図4.3.3-2に示したように、調停やネゴシエーションを必要とするユースケースの実用化時期である2040年頃に向けて、それまでに世の中に一定程度の車載機の普及させておくためにも、新たな通信方式の実用化時期を2030年頃と想定した周波数利用検討、規格化・仕様化、機器開発・実用化の取り組みが必要になると考える。

また、ユースケースを実用化していくためには、通信方式や提供サービスに関するセキュリティやプライバシー対策、車載機の共用に関する方針、機器の世代交代に関する方針、ビジネスモデル、通信品質の確保、責任分担といった、関連する多様な課題についても関係者で議論し、方向性を明確化していくことが必要である。

今後、本ロードマップやユースケースを起点とし、通信のみならず車両やインフラも含めた関係各所においてそれぞれ役割を分担して検討を行い、また業界横断で議論・連携を深めることで、協調型自動運転の実現に向けた取組みが推進されることを期待する。

また、本ロードマップは、将来の社会動向や技術の進展、ロードマップの各実施事項の進捗状況等を踏まえつつ、関係主体で継続的に見直していくことが望まれる。

6. 検討 TF 及び ITS フォーラムでの活動実績

本委託研究を進めるにあたり、検討 TF 及び ITS フォーラムに出席し、検討内容について報告を行うと共に、検討 TF や ITS フォーラムのメンバからのご意見を頂き、委託研究への反映を行った。

6.1 検討 TF への報告

検討 TF への参加実績及び報告内容について以下に記す。

6.1.1 参加実績

期間中開催され、参加した会合を以下に示す。

表 6.1.1-1 検討 TF への参加実績

番号	開催日時	会合名
1	2021 年 4 月 8 日	第 13 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
2	2021 年 5 月 13 日	第 14 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
3	2021 年 6 月 3 日	第 15 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
4	2021 年 7 月 1 日	第 16 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
5	2021 年 8 月 5 日	第 17 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
6	2021 年 9 月 2 日	第 18 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
7	2021 年 10 月 7 日	第 19 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
8	2021 年 11 月 4 日	第 20 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
9	2021 年 12 月 2 日	第 21 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
10	2022 年 1 月 6 日	第 22 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
11	2022 年 2 月 3 日	第 23 回 協調型自動運転通信方式検討 TF
12	2022 年 3 月 3 日	第 24 回 協調型自動運転通信方式検討 TF

6.1.2 報告内容、コメント・ご指摘事項、対応状況

参加した各回の主な報告内容、コメント・ご指摘内容、対応状況について以下に示す。

表 6.1.2-1 報告内容、コメント・ご指摘事項 (1/3)

参加回	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
13	進捗状況について説明	- 管理サーバとの通信制御はどのようにおこなうのか。 - ブロードキャストは可能なのか。 - V2N と V2I の役割分担はどのように考えるのか。	- サービスごとに管理サーバを定める想定。 - 現行キャリアでできていないことは認識しているが、将来的な可能性を見越して検討に含めている。 - ユースケースを深掘りした上で、通信頻度やレスポンスを踏まえて検討していくことになる。
14	ユースケースについて説明	- 遅延分を含めた手前のところで信号情報が確定できるかどうかというのが、一つ大きなポイント。 - 車両 ID は 32bit で足りるのか。世界中の車メーカーへの振り分けができるという想定か。	- 通信要件も含め、検討を進めている。 - 車両情報の収集経路、やりとりの全体データを整理した上で、車両 ID をどう定義すべきか議論する。
15	ユースケース h-1 について説明	「自動運転」とまとめるのではなく、機能単位で検討を進めたり、議論すべきがどこなのかを明確にして議論を進めたりする方がよいのでは。	結果だけ記して前提条件が異なるという結末にならないよう、今後の検討 TF の場において、順次、検討条件を示しつつ、確認事項を明確にお示しした上で、議論を進めていけるよう留意する。
16	通信要件の検討状況、ロードマップの検討方針について説明	- 町中では無線リソースの再割当てが頻発することが想定されるので、その影響について検証が必要。 - ロードマップについても、ユースケースと同様、自動運転と運転支援の両方を対象とすべき。コストや信頼性の観点も含めた時系列にするのが望ましい。	- 検証条件の検討の際、考慮する。 - ご意見を参考に、検討する。
17	通信要件の検討状況について説明	狭域の専用周波数帯を広域にも使うことができるのか、あるいは別の周波数帯を確保しておく必要があるのか。	狭域と広域で分けられている。広域については既存公衆網を使用する想定だが、通信遅延の低減量に限界がある場合には、専用周波数帯を含めた机上考察を行う想定である。

表 6.1.2-1 報告内容、コメント・ご指摘事項 (2/3)

参加回	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
18	通信方式の検討状況、ロードマップの検討状況について説明	セルラーの世代交代のスパン比べ車の利用年数は長い、V2N はある程度長い期間サービス提供を保証するようにする（停波案内後 10 年など）必要がある。	非常に重要な論点であり、今後検討する。
19	通信方式の検討状況について説明	a-1-3 のシーケンスについて検証条件が十分でないように思う。	検証におけるシーケンスの考え方について再整理する。
20	通信方式の検討状況、ロードマップの検討状況について説明	ロードマップの検討に当たり、ライフサイクルが異なってもサービスを継続できる仕組みや、ネットワーク障害、プライバシー対策などの考慮が必要。	ロードマップを整理する中で、条件や課題について整理していく。
21	通信方式の検討状況、ロードマップの検討状況について説明	- 遮蔽による減衰への対応はどのように考えるのか。 - ロードマップには前提となる留意事項（標準化、ネットワークの信頼性、世代交代など）について明示すべき。	- 実証結果を見た上で、必要に応じて追加検証を行う。 - 今後の検討において、サービスを実現するために必要となる留意事項として検討する。
22	通信方式の検討状況、ロードマップの検討状況について説明	固定的な輻輳制御ではなく、車の状況を踏まえた優先制御と組み合わせた輻輳制御について検討する必要がある。	無線環境や車両走行環境、車のシチュエーション等を踏まえて判断する必要があると認識しており、今後の重要な検討テーマになると考えている。
23	通信方式の検討状況、ロードマップの検討状況について説明	周辺の車両や構造物からの反射により複雑な電波環境が生じる点についてどのようにまとめていくのか。	シチュエーションごとの電波環境を把握し、それに応じた輻輳制御を行うという方向で検討する。
24	通信方式、ロードマップの検討成果について説明	ロードマップを見た人が誤解することのないよう、事実を中立的に伝えられるよう留意すべき。	誤解を与えることのないよう表現を工夫する。

6.2 ITS フォーラムへの報告

ITS フォーラムへの参加実績及び報告内容について以下に記す。

6.2.1 参加実績

期間中開催され、参加した会合を以下に示す。

表 6.2.1-1 セルラーシステム TG への参加実績

番号	開催日時	会合名
1	2021 年 8 月 27 日	第 28 回 セルラーシステム TG
2	2021 年 9 月 29 日	第 29 回 セルラーシステム TG
3	2021 年 10 月 28 日	第 30 回 セルラーシステム TG
4	2021 年 11 月 26 日	第 31 回 セルラーシステム TG
5	2021 年 12 月 24 日	第 32 回 セルラーシステム TG
6	2022 年 1 月 26 日	第 33 回 セルラーシステム TG
7	2022 年 2 月 10 日	第 34 回 セルラーシステム TG
8	2022 年 2 月 21 日	第 35 回 セルラーシステム TG

表 6.2.1-2 無線方式検討 TG への参加実績

番号	開催日時	会合名
1	2021 年 4 月 15 日	第 147 回 無線方式検討 TG
2	2021 年 5 月 20 日	第 148 回 無線方式検討 TG
3	2021 年 6 月 21 日	第 149 回 無線方式検討 TG
4	2021 年 7 月 21 日	第 150 回 無線方式検討 TG
5	2021 年 8 月 19 日	第 151 回 無線方式検討 TG
6	2021 年 9 月 21 日	第 152 回 無線方式検討 TG
7	2021 年 10 月 19 日	第 153 回 無線方式検討 TG
8	2021 年 11 月 16 日	第 154 回 無線方式検討 TG
9	2021 年 12 月 21 日	第 155 回 無線方式検討 TG
10	2022 年 1 月 18 日	第 156 回 無線方式検討 TG
11	2022 年 2 月 15 日	第 157 回 無線方式検討 TG

6.2.2 報告内容、ご指摘事項、反映状況

参加した各回の主な報告内容、コメント・ご指摘内容、対応状況について以下に示す。

表 6.2.2-1 報告内容、コメント・ご指摘事項（セルラーシステム TG）（1/2）

参加回	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
28	協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式について、広域通信方式と狭域通信方式について説明	（広域通信）マルチオペレータとするかシングルオペレータとするかの調査を行うべき。 （狭域通信）V2V/V2I において、LTE-V2X を用いた検討を行っているか。	- 検討する。 - LTE モデルとする。
29	協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式について、広域通信方式と狭域通信方式実証実験について説明	（広域通信）遠隔は時間軸として将来の課題。近い将来の課題はどうか。 （狭域通信）再送は遅延への影響が大きいので、明確にするべき。 （実証実験）干渉の定義を確認したい。干渉する車両の位置と高さが重要。	- V2N を用いる UC を整理した結果、より通信性能が問われる UC として遠隔操作が残ったため。 - シミュレーション条件の確認を行う。 - 複数車両を模擬し、疑似的な干渉源を作ることを検討する。
30	協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式について説明	課題を V2N に絞るのか。V2V や V2I については別途検討するのか。	資料上は V2N に限定しているが、ロードマップを検討する上では、V2V、V2I を含めて整理する。
31	協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の実験結果について説明	評価結果の切り分ける（シミュレータの制約か、PC5 のデザインか）必要がある。	誤解がないようまとめていく。
32	協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の検証結果、ロードマップについて説明	本来実装すべき内容（HARQ や受信ダイバーシティなど）、通常適用するであろう改善技術が適用されていない。まとめか考察において、改善機能をいれると改善すると想定される、などの文言を加えることを検討すべき。	報告書においては考察・条件を明記し、誤解を招かないようにしていく。
33	協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の実験結果について説明	C-V2X と 700M は扱うユースケースと前提条件がかなり異なる点について記述して欲しい。	C-V2X と 700M にはそれぞれの考えがあり、横並びにはなっていない部分があるが、その内容や経緯を報告書に盛り込む。

表 6.2.2-1 報告内容、コメント・ご指摘事項（セルラーシステム TG）（2／2）

参加回	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
34	協調型自動運転のユースケースを実現する通信方式の課題について説明	今日ご紹介いただいた課題の表現は、TF での報告用と認識している。報告書にする場合はどのように記載される想定か。	報告書をまとめる段階で課題をどこまで掘り下げて書くかを検討する。
35	なし	課題解決をリードする主体がどこなのかは大きな課題。サービスをするための投資が必要になるので、その決断をする組織での議論が必要になる。	どこが主体になって決めていくかという点は、課題だと認識している。

表 6.2.2-2 報告内容、コメント・ご指摘事項（無線方式検討 TG）（1／3）

参加回	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
147	ユースケースの通信シナリオ案について説明	資料中に（通信要件の検討を）完了とあるが、何をもって完了としているのか。	無線方式検討 TG 内の検討で第 1 版が完了したことを意味する。最終的な要件ではなく、100%完了という意味ではない。
148	TF への報告内容およびご指摘事項について説明	- 通信遅延の考え方への指摘については、システム全体の遅延について検討や仮定を行っていくイメージでよいか。 700Mhz の事業者が決定した。どのようにアウトプットを統合していくか。	- 仮定を含め、検討している部分を明示していく必要がある。 - 通信要件の決定後、700M 委員会の方に共有し、連携する予定。
149	TF への報告内容について説明	複数のケースを合わせた場合の容量についての検討ができていない。今後どのように進める想定か。	まずは個々のユースケースの検討結果を TG メンバに展開し、その後複数ケースにおける通信性能について検討を進める。
150	検討状況についての説明	- 狭域通信の評価において、パケット到達率や通信距離は周波数帯に関連するが、想定する周波数帯は。 - V2N の場合は、周波数帯やカバレッジは今回の研究開発ではなく、今後検討していくものとして残るのか。それとも周波数やカバレッジは検討対象から外すということか。	5. 9Ghz 帯。700Mhz 帯も検討する。 - V2N については、課題の整理あるいは今後の対策案の整理まで。将来的には V2N が狭域通信のサービスを置き換えていく可能性もあり、それによってカバレッジ等の課題が出てくる。それについては別の土俵で議論される認識。

表 6.2.2-2 報告内容、コメント・ご指摘事項（無線方式検討 TG）（2／3）

参加回	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
151	広域通信・狭域通信（CV2X）対応可否評価／課題・対応策検討状況と狭域通信の検討状況について説明	なし	なし
152	広域通信（V2N）対応可否評価／課題・対応策検討状況と狭域通信（V2I/V2V）の検討状況について説明	シミュレーションにおいて、LoS と NLoS はどういうモデルを用いているのか。	伝搬モデルだけで変えている。PC5 については、LTE をベースに NR も考慮している。
153	検証の中間報告と実証について説明	検証では、すべての車両が同じ時刻にデータ送信する設定か。現実には考えにくい。	最悪条件を想定してそのようにしているが、再度検討する。
154	検証の中間報告と実証について説明	予測は検討 TF がおこなったものか。	自動運転車の普及率は、一般的な資料から引用。車載機は従来の動向を考慮した。検討 TF での議論はこれから。
155	検証、及び実証・ロードマップの中間報告について説明	- 通信量・帯域の観点での評価は行うのか。 - 実証はダイバーシティを有効にし、検証は無効での評価であったのならば、そのことを明記すること。	- これまでの検証結果を踏まえ、机上での通信容量の検討を行う予定。 - 確認の上、明記する。
156	実証実験の結果と最終的なまとめ方案について説明	通信チャネルの割り当てについて、通信内容に応じた通信チャネルの割り当てと記載があるが、これは周波数を用意してくださいという意味か。	通信チャネルを分けるべきで、どう分けるかを考える必要があるという提案。総務省様が想定している 5.9GHz 帯を含め、既存の 700MHz 帯とどう使い分けていくかについて考慮が必要。

表 6.2.2-2 報告内容、コメント・ご指摘事項（無線方式検討 TG）（3／3）

参加回	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
157	ロードマップの策定状況について説明	• 新たな通信が整備されるまでは既存 ITS 無線を活用と記載がある。a-1-2 を既存無線で実施してしまうと、その発展形の a-1-3 も既存無線を使うことになってしまうか。 • 路車間、車路間、ネゴシエーションとあるが、ユースケースによってはアップリンク/ダウンリンクを使うものがある。それらはネゴシエーションに含まれていると考えればよいか。	• 既存の 700M-ITS をどこまで使って、5.9GHz 帯等の新しい通信をどう使っていくか、どう役割分担するかは議論が必要。現時点ではまだ決まっておらず、今後の検討課題。 • 再整理が必要と考えている。ネゴシエーションや調停という言葉をしっかり定義する必要がある。路車や車路等の通信内容の整理も必要と考えている。