2022 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）／協調型自動運転のユースケースを実現する 5.9GHz 帯 V2X システムの通信プロトコルの検討」

2023 年 3 月

沖電気工業株式会社
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 調査検討の進め方、インプット・アウトプット 2
2. エグゼクティブサマリー 4
2.1 事業項目 a. 国際動向調査 4
2.2 事業項目 b. 通信プロトコルの案出に向けた検討 4
2.3 事業項目 c. 通信プロトコル案の設計 5
2.3.1 通信プロトコル案の設計 5
2.3.2 メッセージセット案の検討 5
2.3.3 シミュレーションによる通信性能評価 5
2.4 事業項目 d. 無線機仕様の案出 7
2.4.1 無線機の仕様の検討 7
2.4.2 テストコース等での実証実験 7
2.4.3 導入に向けての課題とその解消方針 7
3. 国際動向調査 9
3.1 通信仕様の概略整理 9
3.1.1 通信仕様に関わる標準類 9
3.1.2 アプリケーション・ファシリティレイヤ関連標準 11
3.1.3 トランスポート・ネットワーク 13
3.1.4 アクセスレイヤ関連標準 14
3.1.5 輻輳制御等関連標準 15
3.2 各国及び各地域における制度化・規格化の動向調査分析 17
3.2.1 各通信仕様の取り込み状況 17
3.2.2 米国 19
3.2.3 欧州 33
3.2.4 中国 46
3.2.5 その他の取り組み状況 53
3.2.6 日米欧のユースケースとメッセージの比較 58
3.3 運用方式の整理 64
3.3.1 運用（輻輳制御・干渉回避・セキュリティ）に係る主な標準 64
3.3.2 輻輳制御に関わる標準 66
3.3.3 干渉回避に関わる標準 75
3.3.4 セキュリティに関わる標準 78
3.4 継続調査が必要な事項の整理 85
3.4.1 新たなサービスへの対応 85
3.4.2 通信や制御に関わる標準化への対応 85
4. 通信プロトコルの案出に向けた検討 86
4.1 通信チャネル割り当て 86
4.1.1 割り当て案に関する検討方針 86
4.1.2 通信チャネルの割り当て案の検討 87
4.1.3 各割り当て案に対する考察 91
4.1.4 ケーススタディに則した通信量の試算 92
4.1.5 各割り当て案の検討課題 99
4.2 上位層における通信制御方式 112
4.2.1 通信制御方式例 112
4.2.2 通信制御方式の考え方 119
4.2.3 上位層における通信制御仕様の検討 119
4.2.4 通信制御方式案に対する検討課題整理 142
4.3 シミュレーションによる通信要件の検証 155
4.3.1 シミュレーションで対象とする協調型自動運転ユースケースの選定 155

4.3.2 車両挙動に関する既往文献調査 158
4.3.3 交通シミュレーションでの車両挙動モデリング 169
4.3.4 シミュレーションによる評価 180
4.3.5 検証結果に対する考察と課題 217
4.3.6 参考資料 218
5. 通信プロトコル案の設計 251
5.1 通信プロトコル案の検討 251
5.1.1 検討の進め方 251
5.1.2 参考規格の整理 253
5.1.3 通信制御フロー、プロトコルスタックの検討 281
5.1.4 各レイヤの機能・動作・インタフェースの検討 296
5.1.5 700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法検討 318
5.1.6 SIP UC の通信シナリオ例に基づく通信シーケンスの詳細化・検討案の妥当性確認 319
5.1.7 通信プロトコル案の検討課題 356
5.2 通信メッセージセット案の検討 357
5.2.1 検討の進め方 357
5.2.2 情報要素、利用ユースケース、サイズ等の検討 359
5.2.3 通信メッセージセット案の検討課題 376
5.3 通信シミュレーションによる通信性能評価 377
5.3.1 評価の進め方 377
5.3.2 単路における評価 377
5.3.3 合流部、交差点における評価 392
5.4 参考文献 424
6. 無線機仕様の案出 427
6.1 無線機の仕様の検討 427
6.1.1 検討の進め方 427
6.1.2 無線機仕様の項目一覧の検討 427
6.1.3 無線機仕様の項目一覧に対する適用仕様、パラメータの検討 433
6.1.4 無線機仕様案の検討課題 449
6.2 テストコース等での実証実験 450
6.2.1 実験の進め方 450
6.2.2 実験条件・方法 450
6.2.3 屋内実験 453
6.2.4 屋外実験 455
6.2.5 実験結果に対する考察・課題 458
6.3 導入に向けての課題とその解消方針の整理 459
6.4 参考文献 460
7. 関係各所との意見交換 462
7.1 会議体 462
7.2 関係者会議 462
7.2.1 開催実績 462
7.2.2 報告内容、コメント・ご指摘事項、対応状況 462
7.3 ITS フォーラム 468
7.3.1 開催実績 468
7.3.2 報告内容、コメント・ご指摘事項、対応状況 469
8. まとめ 484

1. 概要

1.1 事業目的

総合科学技術・イノベーション会議（以下「CSTI」という。）は、「イノベーションに最も適した国」を創り上げていくための司令塔機能を強化する観点から、府省・分野の枠を超え、産学官の連携を強化し、基礎研究から出口までの迅速化していくための予算として、2014 年度から、「科学技術イノベーション創造推進費」（以下「推進費」という。）を調整費として新たに創設し、内閣府に計上してきている。

国家的に重要な課題の解決を通じて、我が国産業にとって将来的に有望な市場を創造し、日本経済の再生を果たしていくことが求められているなか、「戦略的イノベーション創造プログラム」（以下「SIP」という。）は、各府省の取組を俯瞰しつつ、更にその枠を超えたイノベーションを創造するべく、CSTI が、戦略的に鍵となる技術の開発等の重要課題の解決のための取組に対して、推進費を原資として、府省の枠にとらわれず自ら重点的に予算を配分するプログラムである。SIP 第２期は、当初計画を前倒しして、2017 年度補正予算により 2018 年度から開始し、府省・産学官連携、出口戦略の明確、厳格なマネジメント等の優れた特徴を維持しつつ、国際標準化、ベンチャー支援等の制度改革の取組を更に強化したものである。

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ている。

2019 年度に SIP 第２期として実施した調査「自動運転システムのための通信技術に関する調査」では、自動運転システムにおける既存又は新たな無線通信システムの活用に関し、①ユースケースについての詳細な調査・分析を行うとともに、②5GHz 帯 V2X に着目して企業や団体の期待、各国における導入についての議論について調査・分析を行い、SIP 第２期において自動運転に関する通信についての議論を行うための基礎資料を作成した。また、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。）では、自動運転において通信の活用が期待される高速道路、一般道路のユースケースについて、先読情報の提供、合流・車線変更支援などの分類で整理し、3 分類 25 ユースケース（以下「協調型自動運転ユースケース」という。）にまとめた。

また、2020 年度、2021 年度に SIP 第２期として「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」を実施し、協調型自動運転通信方式検討 TF にて作成された 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を検証し、また、今後進化すると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（以下「ロードマップ」という。）として策定している。

5.9GHz 帯の電波を用いる V2X システムについては、ロードマップに示されていることに加え、国際的な動向として主流になりつつある。しかしながら我が国においては、機器開発に必須となる通信プロトコル等は決まっていない状況である。

本事業では、協調型自動運転の実現に向け、5.9GHz 帯の電波を用いる V2X システムの導入に係る課題解決及び検討を加速化するため、その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様の案出を目的とする。

1.2 事業概要・目標

本事業は、沖電気工業株式会社及び日本電気株式会社の二社による共同実施とし、協調型自動運転の実現に向け、5.9GHz 帯の電波を用いる V2X システムの導入に係る課題解決及び検討を加速化するため、その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出することを目的として実施した。実施にあたっては、SIP 第１期「実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（平成 30 年度）等、SIP 等関連する事業における検討の進展を踏まえた。なお、上記「協調型自動運転ユースケース」について、本件と並行して ITS 情報通信システム推進会議（以下「ITS フォーラム」という。）において検討されている自動運転車の普及に応じた通信に要求される要件（データ量、通信エリア、許容遅延時間、通信速度、パケット到達率等。以下「ITS フォーラム通信要件」という。）及びメッ

セージセットのうち、狭域通信（路車間通信及び車車間通信。以下同じ。）に係るものを基に、検討するものとし、ITS フォーラムと密に連携の上で実施した。

以上の中長期的な視野を踏まえ、図 1.2-1 に示す調査検討項目を実施した。具体的な成果については、2 章以降に述べる。

(1) 事業項目 a. 国際動向調査

米国、欧州及び中国等の国及び地域における 5.9GHz 帯 V2X システムの通信プロトコル、メッセージセット及び関係する通信仕様に関し、制度化・規格化動向を調査・分析した。

(2) 事業項目 b. 通信プロトコルの案出に向けた検討

ITS フォーラムにて検討されている通信要件及びメッセージセット、ロードマップの検討結果等を踏まえ、通信プロトコルの技術的検討に必要な 5.9GHz 帯 V2X システムの通信要件を検討した。

(3) 事業項目 c. 通信プロトコル案の設計

通信シミュレーションによる評価結果を踏まえ、5.9GHz 帯 V2X システムの通信プロトコルの設計を行い、通信手順、プロトコルスタック等の通信プロトコル案及びメッセージセット案としてまとめた。

(4) 事業項目 d. 無線機仕様の案出

実運用に向けて必要となる機能や、既存無線システムとの連携等を考慮し、5.9GHz 帯 V2X システムの車載機及び路側機の仕様を案出し、導入に向けての課題とその解消方針と併せて整理した。

図 1.2-1　調査検討項目

1.3　調査検討の進め方、インプット・アウトプット

本事業の調査検討は、図 1.3-1 に示す関係者会議にて、検討結果、課題に対する確認、議論を随時実施し、それら結果を適切に反映することに努めた。

図 1.3-1　関係者会議体制

また、図 1.3-2 に示すように、協調型自動運転ユースケースの内、路車間通信及び車車間通信によるユースケースのシステム要件に基づき、ITS フォーラムで検討した通信要件をインプットとして調査検討を進めた。調査検討成果である通信プロトコル案、無線機仕様案等は、上記ユースケースを想定した通信規格（ガイドライン）の作成に必要な項目 ITS フォーラム、及びシステム性能評価の一助となる通信条件としてシステム要求団体へインプットしていく。

図 1.3-2　本事業のインプット・アウトプット

2. エグゼクティブサマリー

本研究開発は、2020 年度、2021 年度に SIP 第 2 期として実施された研究開発「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」にて得られた、「協調型自動運転ユースケース[1]」（以下「SIPユースケース」という）に対する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証結果、並びに今後進化すると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策定したロードマップ（以下「ロードマップ[2]」という。）に基づき、協調型自動運転の実現に向け、5.9GHz 帯の電波を用いる V2X システムの導入に係る課題解決及び検討を加速化するため、その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した。

本事業の実施内容を以下に示す。

2.1 事業項目 a. 国際動向調査

SIP 第 1 期「実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（平成 30 年度）並びにロードマップの検討結果を踏まえ、米国、欧州及び中国を含む世界の国及び地域における交通環境等に応じた 5.9GHz 帯 V2X システムの通信プロトコル（通信手順やスタック等）、メッセージセット及び関係する通信仕様に関し、制度化・規格化動向を最新かつ網羅的に調査・分析し、事業項目 b～d の検討に必要な調査結果を提供した。

具体的には、V2X システムの通信プロトコル、無線機等の標準仕様検討に関わる米国、欧州及び中国の標準化動向の調査として、それぞれの標準化組織（米国の SAE International（Society of Automotive Engineers）、欧州の ETSI（European Telecommunications Standards Institute）、中国の CCSA（China Communications Standards Association））における関連文書を調査・分析した。米国、欧州で考えられている協調型自動運転に関するユースケース及びメッセージは、SIP ユースケースと大きな違いはなく、米国、欧州における通信仕様を事業項目 b～d の検討に資するものと判断した。

2.2 事業項目 b. 通信プロトコルの案出に向けた検討

事業項目 a で得られた結果や、SIP ユースケースについて ITS フォーラム[3]において検討された自動運転車の普及に応じた通信に要求される ITS フォーラム通信要件及びメッセージセット（RC-017[4]）のうち、狭域通信に係るものと、ロードマップの検討結果等を踏まえ、700MHz 帯安全運転支援システムとの連携を考慮し、事業項目 c,d における通信プロトコルの技術的検討に必要な 5.9GHz 帯 V2X システムの通信要件の検討資料を提供した。

具体的には、5.9GHz 帯 V2X システムにおける通信チャネルの割り当て、上位層における通信制御方式を案出した。また、5.9GHz 帯 V2X システムの効果を、ケーススタディにおける交通シミュレーションを通じ評価し、車両挙動（減速度、加加速度）に対する効果を確認した。

上記の検討に際しては、ITS フォーラム、自動車工業会との議論を通じ、指摘事項等を反映した。

---

[1] SIP 協調型自動運転ユースケース，2019 年度協調自動運転通信方式検討 TF 活動報告，2019

[2] SIP 第 2 期で実施された研究開発発で協調型自動運転ユースケースに対する無線通信技術への具体的な要求仕様を策定したロードマップ

[3] ITS 情報通信システム推進会議

[4] https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf
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

2.3　事業項目 c.　通信プロトコル案の設計

2.3.1　通信プロトコル案の設計

- SIP 協調型自動運転ユースケースを 5.9GHz 帯で実現するための通信プロトコル案について、ITS フォーラムによる通信シナリオ案（ITS FORUM RC-017）をベースに設計を実施し、プロトコルスタック、通信制御フロー、通信諸元（機能、動作、インタフェース）を概要案としてまとめた。
- 欧米の通信プロトコル仕様をベースに SIP ユースケースの実現可能性を検討し、管制/合意のユースケースについて新たな機能（宛先の特定、要求/応答処理）を追加した。なお、類似のユースケースは海外でも標準化作業中のため、今後の動向を確認していく必要がある。
- 欧米仕様と同様（電子署名方式）のセキュリティを備えることを前提に、インタフェース及びレイヤ間の処理手順の検討を実施し、まとめた。セキュリティの詳細仕様については、今後の検討が必要である。
- 検討した通信プロトコル案の机上検討を実施した。通信シーケンスを詳細化し、アプリケーション、各プロトコルスタック、情報提供元の関係を整理することで、通信シナリオ案と矛盾のないことが確認できた。
- 700MHz 帯との連携方法について、既存のプロトコルスタックを変更しない形での検討案を整理した。開発ロードマップや普及状況を踏まえ、各ユースケースについて 700MHz 帯及び 5.9GHz 帯を含めたチャネル割り当て方法の検討が今後必要である。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
  - 通信シナリオ案の改版、海外動向を反映した見直し検討
  - 通信機能以外（制御系など）とのインタフェース仕様の検討
  - 状態遷移、例外処理など含めた詳細手順の検討

2.3.2　メッセージセット案の検討

- SIP 協調型自動運転ユースケースのメッセージ構成について、ITS フォーラムにおける検討結果（ITS FORUM RC-017）を踏まえ、ユースケース間での共通化を考慮した情報要素と利用ユースケース、サイズを整理した。
- 上記の整理結果を 2.3.1 節及び 2.3.3 節の前提条件として検討を実施することで、チャネル割り当て案及び通信プロトコル案との整合性を確認できた。
- 通信プロトコル案の検討結果を踏まえ、情報要素の多重について検討を実施した。宛先又はユースケースの異なる複数の情報要素を 1 つのパケットにまとめ、セキュリティによるオーバヘッドを減らすことで通信量の削減が見込めることを確認した。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
  - 今後のメッセージセット見直しを反映した検討
  - 情報要素の多重について詳細手順の検討、評価

2.3.3　シミュレーションによる通信性能評価

- 高速道路の合流部及び一般道の交差点において、SIP 協調型自動運転ユースケースが混在（かつ干渉源が存在）する環境下で、30MHz 帯域内で複数のチャネルを割り当て、複数ユースケースのメッセージ（情報要素）を多重した場合の CV2X（LTE V2X）による通信性能評価を実施した。
- 複数チャネル割り当てを比較した結果、V2V 通信のユースケースを 20MHz 帯域内で 2 チャネルに割り当てた場合よりも、1 チャネルに割り当てた場合の方が、通信品質が概ねよい結果となった。同一チャネル内で情報要素を多重して 1 つのパケットにまとめる場合、チャネル数が少ない方が、帯域あたりのパケット数も少なくなるため、送信頻度及びセキュリティによるオーバヘッド（通信量）を削減可能であり、チャネル内及びチャネル間の干渉低減に有効であると考えられる。
- 単一チャネルの場合（最大で 20MHz 帯域幅）と比較した結果、必ずしも通信品質は改善しない結果となった。複数チャネルの割り当てにより車両の送信が複数チャネルに分散するケースでは、異なるチャネル間での情報要素の多重ができず、帯域あたりのパケット数が増加することで、チャネル内及びチャネル間の干渉が増えるためと考えられる。

- 通信制御方式の効果検証として、車両の送信周期を広げた場合の通信性能評価を実施した。通信が輻輳し、PAR の要求値を達成できない状況下においては、通信品質の改善が見込めることが確認できた。
- 評価結果を踏まえ、複数のユースケースが同時に発生し、通信量が大きい状況下で通信品質を改善するには、少ないチャネル数で情報要素をまとめて 1 つのパケット（帯域あたりのパケット数を減らすことで少ない通信量、低い送信頻度）で送信し、輻輳状況に応じて送信周期や連送回数の制御を行う（混雑時には送信頻度を下げる）ことが有効と考えられる。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
  - 同一帯域幅における単一/複数チャネルの性能比較
    （例：NR V2X の場合、30MHz の帯域幅で 1 チャネルがよいか、
    2 チャネル以上に分けるのがよいか）
  - ユースケース単位以外でのチャネル割り当て方法による効果検証
    （例：情報要素の多重を行う場合、ユースケース単位ではなく
    送信元単位でチャネルを分けた方が、チャネル利用効率が
    改善する可能性あり。路側インフラの送信（V2I 通信の I→V 方向）
    と車両の送信（V2I 通信の V→I 方向＋V2V 通信）で分ける等）
  - 送信周期の時間変化、優先度等を考慮した通信制御方式の詳細評価

2.4　事業項目 d.　無線機仕様の案出

2.4.1　無線機の仕様の検討

- システム構成、機器構成、機能/特性/インタフェースについて、本事業でまとめた通信プロトコルの概要案等に対応した仕様案を整理することで、5.9GHz 帯 V2X 無線機仕様案としてまとめた。
- 仕様案の項目抽出にあたっては、無線機として必要な項目を網羅するため、既存システムの無線機仕様を参考とした。
- 通信方式のロードマップを踏まえ、5.9GHz 帯無線機の導入、導入後のそれぞれの時期に分けて既存 ITS 無線機との連携方法を考慮して機器構成案を整理した。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
  - 性能要件、コスト、実装条件等の定量評価によるマルチチャネル対応方法の決定
  - 検討の優先度を下げた項目の仕様検討
    （例：インタフェースの HW 仕様、通信以外の機能（故障検出、電源等））
  - 車両とのインタフェース要件の詳細検討

2.4.2　テストコース等での実証実験

- ユースケースが複数混在する時等を想定した実証実験をテストコース等で行い、単一チャネル（10MHz 又は 20MHz）や複数チャネル（10MHz×3 チャネル又は 10MHz＋20MHz の 2 チャネルの場合）利用時の通信性能評価結果を分析することで、通信チャネルの割り当ての効果について確認した。
- 具体的には、シミュレーションで想定した高速道路の合流部及び一般道の交差点における各チャネルの通信トラフィック量を模擬した環境下で通信性能の測定を行い、シミュレーション結果との比較を行った。単一チャネルと複数チャネルの結果の比較においてはシミュレーションと同様に以下の傾向が得られた。
  - チャネル割り当てについて、 V2V 通信のユースケースを 10MHz 帯域幅の 2 チャネルに割り当てた場合よりも、 20MHz 帯域幅の 1 チャネルに割り当てた場合の方が、V2V 通信、 V2I 通信ともに通信品質がよい結果となった。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
  - マルチチャネルの送信・受信を一つの無線機で実現した場合の劣化要因についての実機検証

2.4.3　導入に向けての課題とその解消方針

無線機の仕様の検討結果や検討時の前提条件等を踏まえ、700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法を踏まえた無線機仕様の更新、通信上位層の標準化促進などを導入に向けての課題として挙げた。併せて、各課題についてそれぞれ解消方針を整理した。

本事業の概要を図 2-1 に示す。

図 2-1　本事業の概要

3. 国際動向調査

2021 年度の通信要件ロードマップの検討結果を踏まえ、主に米国、欧州及び中国における交通環境等に応じた 5.9GHz 帯 V2X システムの通信プロトコル（通信手順やスタック等）、メッセージセット及び関係する通信仕様に関し、制度化・規格化動向を最新かつ網羅的に調査・分析し、通信プロトコルの案出に向けた検討、通信プロトコル案の設計及び無線機仕様の案出に必要な調査結果を提供することを目標として国際動向調査を実施した。主に文献調査を実施し、国際標準化機関等における文献や技術情報等も併せて広く収集・分析した。

3.1 通信仕様の概略整理

標準化団体において策定された通信仕様について、その概要や仕様間の関係等を整理した。

対象とした標準化団体は、国際的な影響力が強いと想定される米国の SAE International（Society of Automotive Engineers、以下 SAE）、欧州の European Telecommunications Standards Institute（ETSI：欧州電気通信標準化機構、以下 ETSI）とし、加えて中国の団体である China Communications Standards Association（CCSA：中国通信標準化協会、以下 CCSA）を加えた。

3.1.1 通信仕様に関わる標準類

SAE、ETSI においては、V2X システム向けの通信仕様として、DSRC（WAVE、ITS-G5）、C-V2X（LTE-V2X）を用いる通信を標準化している。CCSA においては、LTE（PC5、Uu）のみを対象として標準化している。

これらの通信仕様の全体構成に関わる標準類を表 3.1.1-1 に示す。

表 3.1.1-1　通信の全体構成に関わる標準類

組織	標準類	概要
SAE	SAE J2945 DSRC Systems Engineering Process Guidance for SAE J2945/X Documents and Common Design Concepts	• SAE の DSRC に関する横断的な規格 • 他の J2945 シリーズのガイダンスとして、エンジニアリングにおける推奨事項や要求事項を含む
	SAE J3161 Vehicle-to-Everything (LTE-V2X) Deployment Profiles and Radio Parameters for Single Radio Channel Multi-Service Coexistence	• LTE-V2X（Release14）通信を利用する車載システムのニーズに対応した参照システムアーキテクチャを提供 • ITS アプリケーションで使用できる LTE-V2X PC5 サイドリンク（mode4）の横断的機能についても記載
ETSI	ETSI EN 302 665 ITS; Communications Architecture	• ITS における ITS-G5 等（ITS-G5 以外も想定）の通信の基本構成を示すアーキテクチャを規定
	ETSI TS 103 723 ITS; Profile for LTE-V2X	• LTE-V2X PC5 mode4 を介する ITS ステーション間の直接通信の実装に必要な共通規格の特定と設定パラメータ値及びリファレンスを規定
CCSA	YD/T 3400 General Technical Requirements of LTE-Based Vehicular Communication	• LTE を用いる車両用通信システムのために、LTE による車両通信のサービス要件、システム構成、基本的な機能要件について規定

これらの標準類をアンブレラスタンダードとする関連標準類の全体像を図 3.1.1-1 にまとめた。

		SAE		ETSI		CCSA （中国通信標準化協会）
全体		[DSRC] SAE J2945; *Guidance*	[C-V2X] SAE J3161; *Profiles*	[DSRC] ETSI TS302 665; *Communi-cation architecture*	[C-V2X] ETSI TS103 723; *LTE-V2X Profile*	[C-V2X] YD/T 3400; *General Requirements*
プロファイル	アプリケーション・ファシリティ	[BSM他] SAE J2735; *Message Set Dictionary* *※BSM, ICA, MAP, PSM, SPaT 等含む。CPM等検討中*		[CAM/DENM] ETSI EN302 637; *Basic Set of Applications* *※SPAT, MAP, VAM等別途。CPM等検討中*		[BSM/他] YD/T 3709; *Message Layer* *※BSM, MAP, PSM, RSM等を含む*
	トランスポート・ネットワーク	[WSMP] IEEE 1609.3; *WAVE Networking services（WAVE short message protocol)*		[GeoNetwork] ETSI EN302 636-5; *GeoNetworking; Basic transport protocol*		[DSMP] YD/T 3707; *Network layer (Dedicated short message, Adaptation Layer)*
				[DSRC] ETSI EN302 636-4-1; *Addressing/ forwarding*	[C-V2X] ETSI TS102 636-4-3; *Addressing/ forwarding*	
	アクセス	[DSRC] IEEE 1609.4; *Multi-channel operation* IEEE 802.11p	[C-V2X] 3GPP TS23.285; *(LTE V2X PC5)* (cf. 3GPP TR 21.914)	[DSRC] EN302 663; *ITS-G5 Access layer* IEEE 802.11p	[C-V2X] EN303 613; *LTE-V2X Access layer*	[C-V2X] YD/T 3340; *Air interface of LTE-based vehicular communication*
運用方式	輻輳制御	[DSRC] SAE J2945/1; *On-Board System*	[C-V2X] SAE J3161/1; *On-Board System*	[DSRC] TS102 687; *Decentralized Congestion Control*	[C-V2X] TS103 574; *Congestion Control Mechanisms*	[C-V2X] *(3GPP C-V2Xを参照；ETSI TS 103 574と同様と想定)*
	セキュリティ	[Security] IEEE 1609.2; *WAVE Security Services* IEEE 1609.2.1; *Certificate Management* SAE SS V2X 001; *Security Specification* SAE J2945/5; *Service Specific permissions*		[Security] *ITS communications; security* TS102 940; *architecture* TS102 941; *trust/privacy* TS102 942; *access control,* TS102 943; *confidentiality* TS102 731: *Security Services and Architecture* TS103 097; *Security header/certificate format*		[Security] YD/T 3594: *General technical requirements of security for vehicular communication based on LTE*

※　2022 年 6 月時点で、団体において策定・発行されている通信標準について整理

図 3.1.1-1　通信標準類の全体構成

3.1.2 アプリケーション・ファシリティレイヤ関連標準

米国、欧州、中国の各地域では、それぞれ SAE、ETSI、CCSA において、V2X システムに用いるメッセージについての標準化が行われている。サービスに直結するアプリケーション・ファシリティレイヤにおいては、当初 DSRC 向けとして開発が始められていたが、その後 C-V2X 向けの標準も開発されてきている。

基本的なメッセージは、BSM（米・中）、CAM/DENM（欧）が標準化されている。

- BSM（Basic safety message）：SAE、CCSA
- CAM/DENM（Cooperative awareness message/ Decentralized environmental notification message）：ETSI

その他の特定のサービスで利用されるメッセージも、SPaT、MAP（米・欧・中）等として一部は標準化が行われている。

- SPaT（Signal phase and timing）：SAE、ETSI、CCSA
- MAP（Map information）：SAE、ETSI、CCSA
- VAM/PSM（Vulnerable road user (VRU) awareness message/Personal safety message）：SAE、ETSI
- -等

ただし、これらは名称が同じ（類似）であっても、サービスの内容やメッセージ等の内容が同一とは限らない。

また、近年では他車等の検知情報を利用する協調認識サービス（CPS）に関するメッセージ等も検討中である。

- CPS（Collective Perception Service）：ETSI
- CPS（Cooperative Perception System）：SAE

各団体におけるアプリケーション・ファシリティレイヤ関連の標準を表 3.1.2-1 に示す。

表 3.1.2-1　アプリケーション・ファシリティレイヤ関連標準

組織	標準類	概要
SAE	SAE J2735 V2X Communications Message Set Dictionary	• 米国の V2X サービスのメッセージセット（DSRC（WAVE）/C-V2X において参照）を規定し、基本となる BSM とともに ICA、MAP、PSM、SPaT 等を含む
	SAE J2945/1 On-Board System Requirements for V2V Safety Communications SAE J3161/1 On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications	• V2V 通信に関する広範なリクワイアメントを規定 J2945/1 は DSRC（WAVE）、J3161/1 は C-V2X に適用 • SAE J2945 シリーズにおいてシステムの要件等を規定（J2945/2 Safety Awareness、J2945/3 Road weather、J2945/9 Vulnerable Road User、J2945/C Probe Data） • SAE J2945/8 Cooperative Perception System として協調認識についても検討中
ETSI	ETSI EN 302 637 ITS; Vehicular Communications; Basic Set of Applications Part2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service Part3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service	• DSRC（ITS-G5）/C-V2X において利用 • 欧州の V2X サービスのメッセージセットを規定 • 車両の基本的なメッセージである CAM（Cooperative awareness message：Part2）、環境情報等のメッセージである DENM（Decentralized environmental notification message：Part3）で構成（Part1 は Functional Requirements として基本事項を規定）
	ETSI TS 103 300 ITS; Vulnerable Road Users (VRU) awareness ETSI TS 103 324（検討中） ITS; Cooperative Perception Services	• VRU の認識（DENM 若しくは CPM を利用） • Cooperative Perception Services として協調認識について検討中
CCSA	YD/T 3709 Technical requirements of message layer of LTE-based vehicular communication	• C-V2X におけるサービスのメッセージセットを規定し、基本となる BSM の他、MAP、SPaT、RSM 等を規定

3.1.3 トランスポート・ネットワーク

通信プロトコルにおけるトランスポート・ネットワークレイヤでは、DSRC 用として開発された標準類を基本的には C-V2X においても活用している。また、CCSA ではアダプテーション機能を標準化している。

各団体におけるトランスポート・ネットワークレイヤ関連の標準を表 3.1.3-1 に示す。

表 3.1.3-1　トランスポート・ネットワークレイヤ関連標準

組織	標準類	概要
SAE	• IEEE 1609.3 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Networking Services	• DSRC (WAVE) /C-V2X において利用 (SAE 規格から参照) • WAVE におけるネットワーキングサービス、メッセージングサービス (WAVE short message protocol) 等を規定
ETSI	• ETSI EN 302 636 Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking • Part 5: Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol • Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; • Sub-part1: Media-Independent Functionality • (TS)Sub-part3: Media-Independent Functionality for LTE-V2X	• DSRC (ITS-G5) /C-V2X において利用 • 欧州の V2X サービスにおける位置情報利用型のルーティングプロトコルを規定 • GeoNetworking は、Part 1: Requirements、Part 2:Scenarios、Part 3: Network architecture、Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications、Part 5: Transport Protocols 等から構成 • ETSI TS 103 248 において BTP で利用するポートナンバーを規定
CCSA	• YD/T 3707 Technical requirements of network layer of LTE-based vehicular communication	• C-V2X におけるメッセージフレーム (Dedicated short message) 、下位層との融合のための Adaptation Layer 等を規定

3.1.4 アクセスレイヤ関連標準

通信アクセス機能は、DSRC と C-V2X で異なる標準類が開発されている。

DSRC に関する標準は、SAE、ETSI とも DSRC（WAVE、ITS-G5）のアクセスレイヤの標準として IEEE802.11p を参照している。IEEE802.11p は 2010 年に IEEE において制定された標準である。（ただし、2022 年時点では“superseded standard”として旧規格の位置づけとなっている。）

また、現段階の各標準において参照はされていないが、802.11p に替わる標準として IEEE において 802.11bd（802.11p に n、ac、ax の技術を適用して高度化した通信仕様で、5.9GHz 帯の他、ミリ波帯の利用も想定）が検討されている。

C-V2X のアクセスレイヤの標準では、SAE、ETSI、CCSA とも、3GPP Release 14 の仕様を参照している。対象とするインタフェースとしては、SAE、ETSI が PC5 インタフェースを対象としているのに対し、CCSA では PC5 インタフェース及び Uu インタフェースについて同一標準内で記述している。

また、現段階の各標準において参照はされていないが、3GPP では 5G を利用する NR-V2X について標準化を行っている（3GPP Release16 以降）。

各団体におけるアクセスレイヤ関連の標準を表 3.1.4-1 に示す。

表 3.1.4-1　アクセスレイヤ関連標準

組織	標準類	概要
SAE	• IEEE 1609.4 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Multi-channel Operation	• DSRC（WAVE）において利用（SAE 規格から参照） • WAVE における複数チャネルの利用（制御チャネル（CCH）とサービスチャネル（SCH）、優先アクセス用パラメータ、チャネル切り替え等）について規定
	• IEEE 802.11p Wireless LAN MAC and PHY Specifications, Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments	• DSRC（WAVE）において利用（SAE 規格から参照） • MAC レイヤ、物理レイヤを規定 • 後続規格として IEEE 802.11bd を別途検討中
	• 3GPP TS 23.285 Release 14/ ETSI TS 1 23 285（他） LTE; Architecture enhancements for V2X services	• SAE 規格から C-V2X として、3GPP の LTE（Rel.14）規格を参照（記載では参照規格として ETSI の文書を参照） • なお、National ITS reference architecture（US DOT）上では 3GPP TR 21.914（Release 14 Description）を提示
ETSI	• ETSI EN 302 663 ITS; ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band	• DSRC（ITS-G5）のアクセスレイヤ運用を規定 • IEEE 802.11p を参照 • IEEE 802.11bd 利用も別途検討中（EN303 797）
	• ETSI EN 303 613 ITS; LTE-V2X Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band	• C-V2X（LTE-V2X）のアクセスレイヤ運用を規定 • 3GPP の LTE（Rel.14）規格を参照（記載では参照規格として ETSI の文書を参照） • NR-V2X 利用も別途検討中（EN303 798）
CCSA	• YD/T 3340 Technical requirements of air interface of LTE-based vehicular communication	• LTE ベースの車両通信のエアインタフェース要件を規定 • 3GPP の LTE（Rel.14）規格（PC5 及び Uu）を参照

3.1.5 輻輳制御等関連標準

V2X システムにおける通信の輻輳を制御するための標準やセキュリティに関する標準も、米国、欧州で検討されている。運用上の課題である通信アクセスにも関連する輻輳制御の機能等については、DSRC と C-V2X で異なる標準類が開発されている。

各団体における輻輳制御等に関連する標準を表 3.1.5-1 に示す。

表 3.1.5-1　輻輳制御等関連標準

組織	標準類	概要
SAE	• SAE J2945/1 On-Board System Requirements for V2V Safety Communications	• DSRC（WAVE）において利用 • V2V 通信のリクワイアメントの中で、BSM の送信スケジュールのコントロール、出力制御による輻輳制御（無線リソースの占有率やパケットエラー等に基づく間隔制御等）を規定
	• SAE J3161/1 On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications	• C-V2X において利用 • V2V 通信のリクワイアメントの中で、アプリレイヤにおける送信周期、混雑度合い等による輻輳制御について規定
ETSI	• ETSI TS 102 687 Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part	• DSRC（ITS-G5）において利用 • ITS-G5 の Congestion Control として、DCC（自律分散的輻輳制御手法）の位置づけ、パケット毎の送信電力制御（TPC）、送信レート制御（TRC）、送信データレート制御（TDC）を含むアクセス層（DCC access）のメカニズム等を規定
	• ETSI TS 103 574 Intelligent Transport Systems (ITS); Congestion Control Mechanisms for the C-V2X PC5 interface; Access layer part	• C-V2X において利用 • LTE-V2X の Congestion Control として、アクセス層での輻輳制御について、無線リソースの占有率に基づく配分、優先制御等の制御エンティティへのインタフェース等を規定

サービス運用と関連性の強いセキュリティ機能については、各組織とも当初 DSRC 向けに開発された IEEE1609.2 を参照しながら標準化されている。

各団体におけるセキュリティに関連する標準を表 3.1.5-2 に示す。

表 3.1.5-2　セキュリティ関連標準

組織	標準類	概要
SAE	• IEEE 1609.2 Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages • IEEE 1609.2.1 Certificate Management Interfaces for End Entities	• DSRC（WAVE）/C-V2X において SAE 規格から参照 • 仮名証明書によるメッセージになりすましやメッセージの改ざんを防止する方法、仮名証明書を一定周期で更新する仕組み等を規定
	• SAE SS V2X 001 Security Specification through the Systems Engineering Process for SAE V2X Standards	• V2X アプリケーションのセキュリティ仕様の開発に関する手順や分析について記述
	• SAE J2945/5 Service Specific Permissions and Security Guidelines for Connected Vehicle Applications	• V2X アプリケーションに特有のパーミッションの管理等の検討に関する手順や分析について記述
ETSI	• ETSI TS 102 940 ITS; Security; ITS communications security architecture and security management • ETSI TS102 941; Trust and Privacy • ETSI TS102 942; Access Control • ETSI TS102 943; Confidentiality services • ETSI TS103 601; Security management messages communication requirements and distribution protocols • ETSI TS102 731: Security Services and Architecture • ETSI TS103 097; Security header and certificate formats	• DSRC（ITS-G5）/C-V2X において利用 • 欧州の V2X サービスのセキュリティアーキテクチャ・管理に関し、セキュリティサービスに必要な機能エンティティ及び各エンティティと ITS リファレンスアーキテクチャの各要素との関係、セキュリティ識別子と証明書の管理、PKI のプロセスとインタフェース、基本ポリシーとガイドラインを含む一連のセキュリティサービスの役割と位置づけ等を規定 • TS103 601 は TS102 941 に対応するための要件を規定 • TS102 731/TS103 097 は TS102 940 等の参照文書
CCSA	• YD/T 3594 General Security requirements for LTE vehicular communication	• LTE を用いた車両通信のセキュリティに関する技術要件、インタフェース、セキュリティ要件、セキュリティ手順を規定

3.2　各国及び各地域における制度化・規格化の動向調査分析

3.2.1　各通信仕様の取り込み状況

米国、欧州、中国の各地域では V2X 通信に対し、それぞれ SAE、ETSI、CCSA において開発された標準類をセットで利用することが想定されている。

各団体で検討されている V2X システム向け通信標準類（参照する標準も含む）を表 3.2.1-1 に示す。各々の標準類の概要は次節以降に示す（該当項目を参照欄に記載）。

表 3.2.1-1　各地域の団体の V2X システム向けの通信標準類

組織	適用	標準類	参照
SAE	メッセージ	• SAE J2735 V2X Communications Message Set Dictionary	3.2.2(2)
	ネットワーク※1	• IEEE 1609.3 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Networking Services	3.2.2(3)
	アクセス※1	• IEEE 1609.4 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Multi-channel Operation	3.2.2(4)
	アクセス※2	• 3GPP TS 23.285 Release 14/ ETSI TS 123 285 (他) LTE：Architecture enhancements for V2X services	3.2.2(5)
ETSI	メッセージ	• ETSI EN 302 637 ITS：Vehicular Communications; Basic Set of Applications	3.2.3(2)
	ネットワーク	• ETSI EN 302 636 Intelligent Transport Systems(ITS)：Vehicular Communications：GeoNetworking	3.2.3(3)
	アクセス (ITS-G5)	• ETSI EN 302 663 ITS;ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band	3.2.3(4)
	アクセス (LTE-V2X)	• ETSI EN 303 613 ITS;LTE-V2X Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band	3.2.3(5)
CCSA	メッセージ	• YD/T 3709 Technical requirements of message layer of LTE-based vehicular communication	3.2.4(2)
	ネットワーク	• YD/T 3707 Technical requirements of network layer of LTE-based vehicular communication	3.2.4(3)
	アクセス	• YD/T 3340 Technical requirements of air interface of LTE-based vehicular communication	3.2.4(4)

※1 IEEE 標準を参照する
※2 3GPP 標準を参照する

これらの標準を用いた米国（SEA）、欧州（ETSI）におけるメッセージ通信の概念を図 3.2.1-1 に示す。

図 3.2.1-1　ETSI 及び SAE が標準化したメッセージ通信の概念

3.2.2 米国

(1) メッセージ構造

米国において SAE が標準化した V2X 通信における通信パケットの構造は、図 3.2.2-1 の様に整理できる。

図 3.2.2-1　SAE 標準の V2X 通信パケットの構造（LTE-V2X PC5、DSRC）

(2) メッセージ標準

米国において SAE が標準化した V2X 通信のメッセージに関する標準の概要は以下のとおりである。

(a) SAE J2735

(ア) 名称

- SAE J2735：Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary
- 参照文書：SAE J2735, JUL2020

(イ) 標準化団体

- SAE

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：2006 年 12 月、最新版：2020 年 7 月

(エ) 標準の位置づけ

- SAE 規格
- 本規格はメッセージセットであり、アクセス層（IEEE 1609.4 又は 3GPP TR21.914）とトランスポート層・ネットワーク層（IEEE 1609.3）の上位層で使用される

(オ) スコープ・標準内容

- 5.9GHz DSRC（WAVE）を利用するアプリケーションに特化したメッセージセット、データフレーム、データ要素を規定
- メッセージセット等は他の無線通信技術との併用ができるように設計されており、C-V2X にも利用される

(カ) 関連標準類

- SAE J2540 Messages for Handling Strings and Look-Up Tables in ATIS Standards（ATIS 標準における文字列とルックアップテーブルを扱うためのメッセージ）
- SAE J2540-2 ITIS Phrase Lists（International Traveler Information Systems）（国際旅行者情報システムフレーズリスト）
- IEEE Std 1609.2™-2016、IEEE Std 1609.3™-2016、IEEE Std 1609.4™-2016（WAVE 関連標準：セキュリティサービス、ネットワークサービス、マルチチャネルオペレーション）
- RTCM 10402.3、RTCM Standard 10403.1（GNSS サービス推奨規格）
- NMEA 183 Interface Standard v3.01（位置情報伝送プロトコル関連標準）

(キ) 内容

SAE J2735 の目次構成を表 3.2.2-1 に示す。

表 3.2.2-1　SAE J2735 の目次構成

No.	目次[5]	備考
1.	SCOPE	－
2.	REFERENCES	－
3.	TERMS AND DEFINITIONS	－
4.	THE USE OF DSRC MESSAGES IN APPLICATIONS	• この版の紹介及び本規格の理論的根拠とユーザニーズに関する背景情報を解説
5.	MESSAFE SET (Basic Safety Message、Common Safety Request 、Emergency Vehicle Alert、Intersection Collision Avoidance 、Map Data 、NMEA corrections 、Personal Safety Message、Probe Data Management、Probe Vehicle Data、Road Side Alert、RTCM corrections、Signal Phase And Timing Message 、Signal Request Message 、Signal Status Message 、Traveler Information Message、Test Messages)	• BSM を含むメッセージセットについて、それぞれの一般的な概要、使用方法、ASN.1（精度や有効な値の範囲等、データコンセプトの構造的な詳細）を規定
6.	DATA FRAMES	• 156 のデータフレームについて、それぞれの一般的な概要とその使用方法、ASN.1（精度や有効な値の範囲等、データコンセプトの構造的な詳細）を規定
7.	DATA ELEMENTS	• 231 のデータ要素について、それぞれの一般的な概要とその使用方法、ASN.1（精度や有効な値の範囲等、データコンセプトの構造的な詳細）を規定
8.	EXTERNAL DATA ENTRIES	• DSRC に使用される、他の標準化団体及び/又は他の標準において検討された 58 のデータコンセプト（データフレーム又はデータ要素）について、それぞれの一般的な概要とその使用方法、ASN.1（精度や有効な値の範囲等、データコンセプトの構造的な詳細）を規定
9.	REGIONAL DATA CONCEPTS	• 地域拡張を行うためのデータフレームセット、メッセージセット、テストメッセージセットについて、一般的な概要とその使用方法、ASN.1（精度や有効な値の範囲等、データコンセプトの構造的な詳細）を規定
10.	CONFORMANCE	• 適合性に関するリクワイアメントを規定
11.	FUNDAMENTAL CONCEPTS USED IN DSRC MESSAGES	• この規格で使用されている一般的な設計アプローチと、その使用に関する情報及び規範的な情報を提供するトピックの選択
12.	COMMENTS ON 2016 REVISION OF SAE J2735 [INFORMATIVE]	－
13.	NOTES	－

[5] 出典：目次欄は、SAE、J2735® JUL2020, V2X Communications Message Set Dictionary

(3) ネットワーク標準

米国において SAE 標準から参照される V2X 通信のネットワークに関する IEEE 標準の概要は以下のとおりである。

(a) IEEE 1609.3

(ア) 名称

- IEEE 1609.3：IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Networking Services
- 参照文書：IEEE Std 1609.3-2020

(イ) 標準化団体

- IEEE Vehicular Technology Society

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：2007 年 12 月、最新版：2020 年 3 月

(エ) 標準の位置づけ

- IEEE 規格
- 本規格はネットワーク層及びトランスポート層の規格であり、アクセス層（IEEE 1609.4 又は 3GPP TR21.914）の上位層で動作、メッセージセットには SAE J2735 を使用する

(オ) スコープ・標準内容

- 車両、路側機、ITS 機器間の無線接続におけるネットワーク層及びトランスポート層で動作するサービスを定義
- （WAVE のネットワーキングサービス、メッセージングサービス（WAVE short message protocol）等）
- DSRC（WAVE）/C-V2X において利用

(カ) 関連標準類

- ATIS.3GPP.24.301V14100-2019;3GPP TS 24.301 version 14.10.0 Release 14（UMTS・LTE・5G における EPS（Evolved Packet System）のための非アクセス層プロトコル標準仕様）
- ATIS.3GPP.24.386V1440-2019; 3GPP TS 24.386 version 14.4.0 Release 14（LTE ユーザデバイスから V2X 制御機能におけるプロトコル標準仕様）
- ATIS.3GPP.36.211V14120-2019; 3GPP TS 36.211 version 14.12.0 Release 14、ATIS.3GPP.36.212V14100-2019; 3GPP TS 36.212 version 14.10.0 Release 14、ATIS.3GPP.36.213V14120-2019; 3GPP TS 36.213 version 14.12.0 Release 14、ATIS.3GPP.36.300V14110-2019; 3GPP TS 36.300 version 14.11.0 Release 14、ATIS.3GPP.36.214V1440-2018; 3GPP TS 36.214 version 14.4.0 Release14、ATIS.3GPP.36.321V14110-2019; 3GPP TS 36.321 version 14.11.0 Release 14、ATIS.3GPP.36.322V1410-2017; 3GPP TS 36.322 version 14.1.0 Release 14、ATIS.3GPP.36.323V1450-2018; 3GPP TS 36.323 version 14.5.0 Release 14、ATIS.3GPP.36.331V14120-2019; 3GPP TS 36.331 version 14.12.0 Release 14、ATIS.3GPP.36.101V14150-2020; 3GPP TS 36.101 version 14.15.0 Release 14（E-UTRA 関連標準仕様：多重化チャネルコーディング、物理チャネルと変調、物理層処理・測定、E-UTRA と E-UTRAN の全体定義（MAC プロトコル仕様、無線リンク制御プロトコル仕様、パケットデータコンバージェンスプロトコル（PDCP）仕様、無線リソース制御（RRC）プロトコル仕様、ユーザデバイス無線送受信仕様）
- IEEE Std 802®, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture.（ローカル及び都市部のネットワークのための仕様：概要・アーキテクチャ）

- IEEE Std 802.11™, IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.（システム間の無線 LAN の MAC 及び PHY の仕様）
- IEEE Std 1609.0™、IEEE Std 1609.2™、IEEE Std 1609.2a™-2017、IEEE Std 1609.4™、IEEE Std 1609.12™（WAVE 関連標準：アーキテクチャ、セキュリティサービス、マルチチャネルオペレーション、識別子割り当て）
- IETF RFC 4291、IETF RFC 4861、IETF RFC 4862、IETF RFC 8200（IPv6 関連仕様：IPv6 定義、IPv6 プロトコルのアドレッシングアーキテクチャ定義、Neighbor Discovery プロトコル仕様、インタフェース自動設定手順）
- ISO/IEC 8802-2:1998, Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 2: Logical link control（ローカル及び都市部のネットワークにおける通信とシステム間のロジカルリンク制御仕様）
- SAE J2735（BSM 等のメッセージセットを定義）

(キ) 内容

IEEE 1609.3 の目次構成を表 3.2.2-2 に示す。

表 3.2.2-2　IEEE 1609.3 の目次構成

No.	目次[6]	備考
1.	Overview	－
2.	Normative references	－
3.	Definitions, acronyms, and abbreviations	－
4.	General description	• 本規格の適用範囲（図 3.2.2-2）、セクション 5 以降で規定されるデータサービスとマネジメントプレーンの構成要素を説明
5.	Data plane	• 車両向けアプリケーションをサポートするためのネットワーキングサービスデータプレーンの構成要素を規定 • 具体的には、5.1 以降で IEEE802.11 デバイスのためのロジカルリンク制御、IPv6 への対応、IETF（Internet Engineering Task Force）プロトコル、WAVE Short Message Protocol（WSMP）の仕様を規定
6.	Management plane	－

[6] 出典：目次欄は、IEEE、IEEE Std 1609.3™-2020 (Revision of IEEE Std 1609.3-2016), IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)— Networking Services、2021 年 3 月 9 日

No.	目次[6]	備考
7.	Service primitives	• WAVE Networking Services におけるエンティティ間の通信をサポートするための SAP (service access point) を規定 • 具体的には 7.1 以降で、チャネル識別、WSM (WAVE Short Message) SAP、WME (WAVE Management Entity) SAP、WAVE LSAP (link service access point) 、MLMEX (MLME and MLME extension) SAP、Sec SAP の仕様を規定
8.	WAVE information formats	• ネットワークサービス内で送信される情報の形式を規定 • 具体的には 8.1 以降で、WAVE サービスアドバタイズメントフォーマット、WAVE ショートメッセージフォーマットを規定
9.	Annex A (informative) Bibliography	—
10.	Annex B (informative) Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Management Entity (WME) management information base (MIB) table	—
11.	Annex C (normative) ASN.1 encoding of the Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Management Entity (WME) management information base (MIB)	—
12.	Annex D (normative) Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) proforma	—
13.	Annex E (informative) Service usage examples	—
14.	Annex F (normative) Allocated Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Information Element IDs	—
15.	Annex G (informative) Packet format examples	—
16.	Annex H (normative) IEEE Std 1609.2 security specification for WAVE Service Advertisement (WSA) 155	—
17.	Annex I (informative) General Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Service Advertisement (WSA) security	—
18.	Annex J (normative) ASN.1 specification for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) extension elements	—
19.	Annex K (normative) ASN.1 specification for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Short Message (WSM)	—

No.	目次[6]	備考
20.	Annex L (normative) ASN.1 specification for WAVE Service Advertisement (WSA)	―
21.	Annex M (normative) WAVE Networking Services over Long Term Evolution-based vehicle-to everything (LTE-V2X)	―
22.	Annex N (normative) Protocol Type values	―

図 3.2.2-2　IEEE 1609.3 の適用範囲[7]

(4) DSRC アクセス標準

米国において SAE 標準から参照される V2X 通信の DSEC 向けアクセスレイヤに関する IEEE 標準の概要は以下のとおりである。

(a) IEEE 1609.4

(ア) 名称

- IEEE 1609.4：IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) --Multi-Channel Operation
- 参照文書：IEEE Std 1609.4™-2016

(イ) 標準化団体

- IEEE Vehicular Technology Society

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：2006 年 11 月、最新版：2016 年 3 月

(エ) 標準の位置づけ

- IEEE 規格

---

[7] 出典：IEEE、IEEE Std 1609.3™-2020 (Revision of IEEE Std 1609.3-2016), IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)– Networking Services、P20、2021 年 3 月 9 日

- 本規格はアクセス層の規格であり、上位層の規格としてはトランスポート層・ネットワーク層（IEEE 1609.3)、アプリケーション層（SAE J2735）が対応

(オ) スコープ・標準内容

- WAVE 機器間のマルチチャネル無線接続をサポートする MAC 副層機能（制御チャネル（CCH）とサービスチャネル（SCH)、優先アクセス用パラメータ、チャネル切り替え等）及びサービスの仕様を規定
- DSRC（WAVE）において利用

(カ) 関連標準類

- IEEE Std 802.11™, IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 11:Wireless LAN Medium Access Control（MAC）and Physical Layer（PHY）Specifications.（システム間の無線 LAN の MAC 及び PHY の仕様）
- IEEE Std 1609.0™、IEEE Std 1609.2™、IEEE Std 1609.3™、IEEE Std 1609.12™（WAVE 関連標準：アーキテクチャ、セキュリティサービス、ネットワーキングサービス、識別子割り当て）

(キ) 内容

IEEE 1609.4 の目次構成を表 3.2.2-3 に示す。

表 3.2.2-3　IEEE 1609.4 の目次構成

No.	目次[8]	備考
1.	Overview	－
2.	Normative references	－
3.	Definitions, acronyms, and abbreviations	－
4.	General description	• 本規格の適用範囲（図 3.2.2-3）、セクション 5 以降で規定される MAC 副層のデータサービスと MLME（MAC sublayer management entity）サービスの構成要素を説明
5.	Data plane services	• マルチチャネル MAC 内部アーキテクチャの概念図と、チャネルコーディネーション、チャネルルーティング、データ送信のための優先アクセスの仕様を規定
6.	Management services	• MAC 副層マネジメントエンティティ（MLME：MAC sub layer management entity）の拡張仕様を規定 • 具体的には 6.2 以降で、マルチチャネルの時刻同期、チャネルアクセス機能、他の IEEE 802.11 サービスへのチャネル固有のアクセス機能、MIB（Management Information Base）維持、再アドレッシングの仕様を規定

[8] 出典：目次欄は、IEEE、IEEE Std 1609.4™-2016, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)—Multi-Channel Operation、2016 年 3 月 21 日

No.	目次[8]	備考
7.	Service primitives	• 管理モデルの概要としてデータプレーンエンティティとマネジメントエンティティの関係を説明 • その他、本規格で呼び出されるプリミティブ一覧、チャネル識別と WAVE MLME 拡張 SAP、WAVE MAC SAP の仕様を規定
8.	Annex A (informative) Bibliography	—
9.	Annex B (informative) Channel congestion phenomenon following a channel switch	—
10.	Annex C (informative) Avoiding transmission at scheduled guard intervals	—
11.	Annex D (informative) MIB table	—
12.	Annex E (informative) Precise timing sources and timing quality estimation	—
13.	Annex F (normative) ASN.1 encoding of the IEEE 1609.4 MIB	—
14.	Annex G (normative) Protocol implementation conformance statement (PICS) proforma	—
15.	Annex H (normative) System characteristic values	—

Figure 2—Scope of this standard

図 3.2.2-3　IEEE 1609.4 の適用範囲[9]

(5) LTE-V2X アクセス標準

米国において SAE 標準から参照される C-V2X 向けアクセスレイヤに関する 3GPP 標準の概要は以下のとおりである。

[9] 出典：IEEE、IEEE Std 1609.4™-2016, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)—Multi-Channel Operation、P15、2016 年 3 月 21 日

(a) Summary of Rel-14 Work Items

(ア) 名称

- 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 14 Description; Summary of Rel-14 Work Items（Release 14）
- 参照文書：3GPP TR 21.914 V14.0.0 (2018-05)

(イ) 標準化団体

- 3rd Generation Partnership Project

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：2017-03, 21.914 V0.1.0、改定：2018-05, 21.914 V14.0.0（ステージ 3）

(エ) 標準の位置づけ

- Technical report（TR）
- 本書自体は標準ではないが、規定内容の概要などを紹介している文書となっているためここで提示

(オ) スコープ・標準内容

- ミッションクリティカルの改善
- V2X 用通信システム要件・アーキテクチャ
- 2G・3G・4G を用いた機器間通信のサポートによる協調 IoT の改善
- 無線インタフェースの改善
- Voice over LTE・IP Multimedia Subsystem・Location reporting 等の改善

(カ) 関連標準類

- ETSI TR 102 638 V1.1.1 ITS; Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions
  （V2X 専用周波数帯における V2V/V2I/I2V 通信を中心にアプリケーションの基本セットを定義）
- ETSI TS 102 637-1 V1.1.1 ITS; Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 1: Functional Requirements
  （トランスポート・ネットワークレイヤの標準である ETSI EN 302 636 の仕様修正を規定）

(キ) 内容

Summary of Rel-14 Work Items の目次構成を表 3.2.2-4 に示す。

表 3.2.2-4　Summary of Rel-14 Work Items の目次構成

No.	目次[10]	備考
1.	Scope	－
2.	Reference	－
3.	Definitions, symbols and abbreviations	－
4.	Process to get further information	－
5.	Rel-14 Executive Summary	－
6.	Mission Critical related items	－

[10] 出典：目次欄は、3GPP、3GPP TR 21.914 V14.0.0 (2018-05), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 14 Description; Summary of Rel-14 Work Items (Release 14)、2018 年 5 月

No.	目次[10]	備考
7.	Vehicle-to-Everything (V2X) related items 7.1 LTE support for V2X services 7.2 Support for V2V services based on LTE sidelink	• V2X 通信のインタフェース方式として、PC5（直接通信）、Uu（無線基地局経由）を規定 • ユーザ端末から V2X 通信アプリケーションサーバまでの V2X システムアーキテクチャを規定 • V2X 通信システムのアプリケーションに対する要件として、伝送レイテンシ、伝送容量、サポートするメッセージ伝送数/秒、等を規定
8.	Cellular Internet of Things (CIoT) related items	－
9.	Voice and Multimedia related items	－
10.	Location and positioning related items	－
11.	Radio improvements	－
12.	System improvements	－
13.	Rel-14 Work Items not subject to summaries	－
14.	Annex A: Change history	－

(b) Rel14：TS 36.300

(ア) 名称

- 3GPP TS 36.300
  3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network;Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 14)
- 参照文書：3GPP TS 36.300 V14.2.0 (2017-03)

(イ) 標準化団体

- 3rd Generation Partnership Project

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：2016-09, V14.0.0、改定：2017-03, V14.2.0（ETSI TS 136 300 の対応バージョン）

(エ) 標準の位置づけ

- Technical Specification（TS）
- LTE（Rel14）の全体アーキテクチャ

(オ) スコープ・標準内容

- LTE（Rel14）の全体アーキテクチャを規定
- この中で、Sidelink communication（PC5）、PC5 及び Uu を利用する V2X サービス等のアーキテクチャについても記載

(カ) 関連標準類

- 3GPP の LTE 文書を参照
- なお、ETSI においても 3GPP の標準に対応する同等の内容の標準文書が発行されており、LTE-V2X 関係の標準では ETSI の文書が参照される場合も多い

(キ) 内容

TS 36.300 の目次構成を表 3.2.2-5 に示す。

表 3.2.2-5　Rel14：TS 36.300 の目次構成

No.	目次[11]	備考
1.	Scope	－
2.	Reference	－
3.	Definitions, symbols and abbreviations	－
4.	Overall architecture	－
5.	Physical Layer for E-UTRA	－
6.	Layer 2	－
7.	RRC	－
8.	E-UTRAN identities	－
9.	ARQ and HARQ	－
10.	Mobility	－
11.	Scheduling and Rate Control	－
12.	DRX in RRC_CONNECTED	－
13.	QoS	－
14.	Security	－
15.	MBMS	－
16.	Radio Resource Management aspects	－
17.	Void	－
18.	UE capabilities	－
19.	S1 Interface	－
20.	X2 Interface	－
21.	Void	－
22.	Support for self-configuration and self-optimization	－
22A.	LTE-WLAN Aggregation and RAN Controlled LTE-WLAN Interworking	－
22B.	Xw Interface	－
23.	Others 23.10 Support for sidelink communication 23.14 Support for V2X services	• 23.10 で Sidelink communication を規定 • 23.14 で V2X（PC5 及び Uu インタフェースを含む）について規定

[11] 出典：目次欄は、3GPP、3GPP TS 36.300 V14.2.0 (2017-03) Technical Specification, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 14)、2017 年 3 月

(c) Rel14：TS 23.285

(ア) 名称

- 3GPP TS 23.285
  3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Architecture enhancements for V2X services (Release 14)
- 参照文書：3GPP TS 23.285 V14.9.0 (2019-12)

(イ) 標準化団体

- 3rd Generation Partnership Project

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：2016-09, V14.0.0、改定：2019-12, V14.9.0（ETSI TS 123 285 の対応バージョン）

(エ) 標準の位置づけ

- Technical Specification（TS）
- LTE（Rel14）のアーキテクチャの V2X 用の拡張

(オ) スコープ・標準内容

- LTE（Rel14）のアーキテクチャについて、車車間（V2V）、歩車間（V2P）、路車間（V2I）、車とネットワーク間（V2N）を含む車とモノ間（V2X）サービスの車両間通信を容易にするためのアーキテクチャ拡張を規定

(カ) 関連標準類

- 3GPP の LTE 文書を参照
- なお、ETSI においては 3GPP 文書と同一の内容の標準を発行（ETSI では 3GPP 文書そのものではなく ETSI 文書を参照）

(キ) 内容

TS 23.285 の目次構成を表 3.2.2-6 に示す。

表 3.2.2-6　Rel14：TS 23.285 の目次構成

No.	目次[12]	備考
1.	Scope	－
2.	Reference	－
3.	Definitions, symbols and abbreviations	－

[12] 出典：目次欄は、3GPP、3GPP TS 23.285 V14.9.0 (2019-12) Technical Specification, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Architecture enhancements for V2X services (Release 14)、2019 年 12 月

No.	目次[12]	備考
4.	Architecture model and concepts 4.1 General concept 4.2 Architectural reference model 4.3 Functional entities 4.4 High level function 4.4.1 Authorization and Provisioning for V2X communications 4.4.2 V2X message transmission/reception over PC5 reference point 4.4.3 V2X message transmission/reception over LTE-Uu reference point 4.4.4 V2X Application Server discovery 4.4.5 QoS handling for V2X communication 4.4.6 Subscription to V2X services 4.4.7 MBMS bearer announcement for V2X use 4.4.8 Support for V2X communication for UEs in limited service state 4.4.9 Charging support for V2X communication 4.4.10 Security and privacy protection support for V2X communication 4.5 Identifiers	• 4.4.2（送受信）でPC5によるV2X通信を規定
5.	Functional description and information flows 5.1 Control and user plane stacks 5.2 Service authorization and update for V2X communications 5.3 Procedure for V2X communication over PC5 reference point 5.4 Procedure for V2X communication over LTE-Uu reference point 5.5 V2X impacts to EPC procedures	• 5.3（手順）でPC5によるV2X通信を規定

3.2.3 欧州

(1) メッセージ構造

欧州において ETSI が標準化した V2X 通信における通信パケットの構造は、図 3.2.3-1 の様に整理できる。

図 3.2.3-1　ETSI 標準の V2X 通信パケットの構造（LTE-V2X PC5、ITS-G5）

(2) メッセージ標準

欧州において ETSI が標準化した V2X 通信のメッセージに関する標準の概要は以下のとおりである。

(a) EN 302 637 CAM・DENM

(ア) 名称

- EN 302 637-2（CAM）Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service(CAM)
- EN 302 637-3（DENM）Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service (DENM)
- 参照文書：ETSI EN 302 637-2 V1.4.1、ETSI EN 302 637-3 V1.3.1、TC ITS WG4（Media and Medium Related）

(イ) 標準化団体

- ETSI

(ウ) 標準化ステータス

- ETSI EN 302 637 part 2：初版 2014.11.28、改訂 2019.4.2
- ETSI EN 302 637 part 3：初版 2014.11.28、改訂 2019.4.2

(エ) 標準の位置づけ

- EN 規格
- DSRC（ITS-G5）/C-V2X における欧州の V2X サービスのメッセージセット（Basic Set of Applications）を規定

(オ) スコープ・標準内容

- Part2：交通安全アプリケーションをサポートする Cooperative Awareness 基本サービスの仕様を規定（これには、CAM のシンタックスとセマンティクスの定義、メッセージ処理の詳細仕様を含む）
- Part3：RHW アプリケーションをサポートする分散型環境通知（DEN）基本サービスの仕様を提供（「分散型環境通知メッセージ」（DENM）のシンタックスとセマンティクス、及び DENM プロトコルの取り扱いについて規定し、DEN 基本サービスは、車両 ITS station、路側 ITS station、個人 ITS station、中央 ITS station に実装可能）

(カ) 関連標準類

- CAM、DENM の内容及びデータ要素の品質に関する要件は、ETSI TS 102 638（Basic Set of Applications; Definitions）に定義される基本的なアプリケーション、ETSI TS 101 539（V2X Applications; application requirements specification）に定義される道路安全アプリケーションによる

(キ) 内容

1） EN 302 637-2

- 欧州において標準化された車両の位置や速度等を送信する協調型認識メッセージの Cooperative Awareness Message（CAM：Part2）及びイベントが発生した際の通知メッセージである Decentralized Environmental Notification Message（DENM：Part3）について記載
- なお Part1 は Functional Requirements を規定

EN 302 637-2 の目次構成を表 3.2.3-1 に示す。

表 3.2.3-1　EN 302 637-2 の目次構成

No.	目次[13]	備考
1.	Scope	－
2.	References	－
3.	Definition of terms, symbols and abbreviations	－
4.	CA basic service introduction	• 基本的な概念を提示 • 車車間位置、走行状況等の車両の情報を共有する役割、共有される情報は道路安全や、交通の効率化のアプリケーションで利用
5.	CA basic service functional description	
6.	CAM dissemination	• CAM を規定 • 刻一刻と変化する車両の走行車両情報を発信するためリアルタイム性が求められるため、CAM は 1Hz から 10Hz の頻度でシングルホップブロードキャストされることになっている等
7.	CAM Format Specification	－
8.	Annex A (normative): ASN.1 specification of CAM	－
9.	Annex B (normative): Description for data elements and data frames	－
10.	Annex C (informative): Protocol operation of the CA basic service	－
11.	Annex D (informative): Flow chart for CAM generation frequency management	－
12.	Annex E (informative): Extended CAM generation	－

2)　EN 302 637-3

- イベントが発生した際の通知メッセージである Decentralized Environmental Notification Message（DENM：Part3）について記載

EN 302 637-3 の目次構成を表 3.2.3-2 に示す。

表 3.2.3-2　EN 302 637-3 の目次構成

No.	目次[14]	備考
1.	Scope	－
2.	References	－
3.	Definitions, symbols and abbreviations	－
4.	DEN basic service introduction	• 基本的な概念を提示

[13] 出典：目次欄は、ETSI、ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 (2019-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service、2019 年 4 月

[14] 出典：目次欄は、ETSI、ETSI EN 302 637-3 V1.3.1 (2019-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service、2019 年 4 月

No.	目次[14]	備考
5.	DEN basic service functional description	• DENM は道路交通におけるイベントを検出した際に発信されるイベント駆動型のメッセージで、イベントとしては一方通行違反の検知や交通渋滞の検知等、様々なものが定められている
6.	DENM dissemination	• DENM を規定 • 各イベントに対して DENM の送信を終了する条件とそのイベントを通知する必要のある範囲を設定、各車両はイベントの検知から終了条件を満たすまで一定の周波数でメッセージを送信等
7.	DENM format specification	－
8.	Protocol operation of the DEN basic service	－
9.	Annex A (normative): ASN.1 specification of DENM	－
10.	Annex B (normative): Description for data elements and data frames	－
11.	Annex C (informative): Bibliography	－

(3) ネットワーク標準

欧州において ETSI が標準化した V2X 通信のネットワークレイヤに関する標準の概要は以下のとおりである。

(a) EN 302 636 GeoNet/BTP

(ア) 名称

- ETSI EN 302 636　Geo Networking　Basic transport protocol
- 参照文書：ETSI EN 302 636-5 V2.2.1、ETSI EN 302 636-3 V1.2.1、ETSI TC ITS WG4（Media and Medium Related）

(イ) 標準化団体

- ETSI

(ウ) 標準化ステータス

- ETSI EN 302 636　part 1：初版 2014.4.29
- ETSI EN 302 636　part 2：初版 2013.11.7
- ETSI EN 302 636　part 3：初版 2014.12.11
- ETSI EN 302 636　part 4-1 初版 2014.7.25、改訂 2020.1.23
- ETSI EN 302 636　part 5-1 初版 2014.8.1、改訂 2019.5.22
- ETSI EN 302 636　part 6：初版 2014.5.28

(エ) 標準の位置づけ

- EN 規格
- DSRC（ITS-G5）/C-V2X における欧州の V2X サービスのメッセージセット（Basic Set of Applications）を規定

(オ) スコープ・標準内容

- Part1: Requirements
- Part2: Scenarios

- Part3: Network Architecture
- Part4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality（ポイント・ツー・ポイント及びポイント・ツー・マルチポイントの地理的アドレッシングとフォワーディング　サブパート 1．メディア独立機能）
- Part5:Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol（トランスポートプロトコル；サブパート 1：基本トランスポートプロトコル）
- Part6:Internet Integration; Sub-part 1: Transmission of IPv6 Packets over Geo Networking Protocols（インターネット統合；サブパート 1：ジオネットワークプロトコル上での IPv6 パケット伝送）

以下に Part3、Part5 の内容を記載する。

<Part3>

- ITS 通信のネットワークアーキテクチャを規定
- 車両通信に焦点を当てたものであるが、交通安全、交通効率、インフォテインメント、ビジネス等、幅広い ITS アプリケーションを実現
- ITS ステーション間のデータ交換を実現するネットワーク及びデータ転送プロトコルのフレームワークを定義
- 特に、地理的な位置を利用した近距離無線技術によるアドホック通信やマルチホップ通信を実現する Geo Networking プロトコルを規定

<Part5>

- ITS 局間のパケット伝送を行うための基本伝送プロトコル（BTP）を規定
- BTP は ETSI EN 302 636-4-1 で規定される Geo Networking プロトコルの上位に位置し、ITS-S facilities layer の下位に位置する

(カ) 関連標準類

Normative reference

<Part3>

- ETSI EN 302 665: "Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture".
- ISO/IEC 7498-1: "Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference
- Model: The Basic Model".
- ETSI TS 102 637: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications.
- ETSI EN 302 663: "Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent
- Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band".
- ETSI EN 302 636: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications;
- Geo Networking; Part 1: Requirements".
- ETSI TS 102 723 (all parts): "Intelligent Transport Systems (ITS); OSI cross-layer topics".
- ETSI TS 102 731: "Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Security Services and Architecture".
- ETSI TS 102 940: "Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management".
- ISO/IEC 8802-2: "Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements; Part 2: Logical Link Control".

<Part5>

- ETSI EN 302 665: "Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture".
- ETSI EN 302 636-1: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 1: Requirements".

- ETSI EN 302 636-2: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 2: Scenarios".
- ETSI EN 302 636-3: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 3: Network architecture".
- ETSI EN 302 636-4-1: "Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality".
- ETSI TS 103 248: "Intelligent Transport Systems (ITS); GeoNetworking; Port Numbers for the Basic Transport Protocol (BTP)".

(キ) 内容

EN 302 636 GeoNet/BTP（Part3）の目次構成を表 3.2.3-3 に示す。

表 3.2.3-3　EN 302 636 GeoNet/BTP（Part3）の目次構成

No.	目次[15]	備考
1.	Scope	－
2.	References	－
3.	Definitions and abbreviations	－
4.	Network architecture for ITS stations	－
5.	Deployment scenarios of the generic network architecture	－
6.	Components of the network architecture	－
7.	ITS station protocol architecture 7.3 Assembly of networking and transport protocols in the ITS station protocol stack	• アーキテクチャを規定 • GeoNetworking プロトコルスタックは、図 3.2.3-2 に示すように、ETSI TS 102 636-5-1 で想定されている ITS 固有のトランスポートプロトコルを頂点に組み立てることができる
8.	Interfaces and service access points	－
9.	Framework for networking and transport protocols	－
10.	Annex A (informative): Bibliography	－

[15] 出典：目次欄については ETSI、ETSI EN 302 636-3 V1.2.1 (2014-12), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 3: Network Architecture、2014 年 12 月

Figure 14: GeoNetworking protocol stack in an ITS station

図 3.2.3-2　ITS station におけるジオネットワーキングプトロコル[16]

EN 302 636 GeoNet/BTP（Part5）の目次構成を表 3.2.3-4 に示す。

表 3.2.3-4　EN 302 636 GeoNet/BTP（Part5）の目次構成

No.	目次	備考
1.	Scope	－
2.	References	－
3.	Definition of terms, symbols and abbreviations	－
4.	Services provided by the Basic Transport Protocol	－
5.	Format convention	－
6.	BTP packet structure	• ベーシックトランスポートプロトコルのパケット構造、ヘッダ構造やオペレーションを規定
7.	BTP header	
8.	Protocol operations	
9.	Annex A (informative): BTP data services	－
10.	Annex B (informative): Bibliography	－

(4) DSRC アクセス標準

欧州において ETSI が標準化した V2X 通信の DSRC 向けアクセスレイヤに関する標準の概要は以下のとおりである。

(a) EN 302 663

(ア) 名称

- ETSI EN 302 663　ITS-G5 Access layer
  ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band
- 参照文書：ETSI EN 302 663 V1.3.1、TC ITS WG4（Media and Medium Related）

[16] 出典：ETSI、ETSI EN 302 636-3 V1.2.1 (2014-12), ETSI EN 302 636-3 V1.2.1 (2014-12), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 3: Network Architecture、P17、2014 年 12 月

(イ) 標準化団体

- ETSI

(ウ) 標準化ステータス

- 初版 2013.7.5、改訂 2020.1.7

(エ) 標準の位置づけ

- EN 規格
- 物理層とデータリンク層の最下層の 2 層をアクセス層（ITS station reference architecture ETSI EN 302 665）に分類して定義

(オ) スコープ・標準内容

- ES 202 663 の EN へのアップグレードであり、802.11p の最終変更と 802.11 への移行を考慮
- TS 102 792 との関連を明確化、その他 G5 関連プロジェクトからの新しい情報に基づく変更

(カ) 関連標準類

Normative reference

- IEEE 802.11TM-2016:IEEE 情報技術規格 - システム間の電気通信及び情報交換、ローカル及びメトロポリタンエリアネットワーク-特定の要件-パート 11：無線 LAN の媒体アクセス制御（MAC）と物理層（PHY）仕様
- IEEE/ISO/IEC 8802-2-1998:情報技術-電気通信とシステム間の情報交換--ローカル及びメトロポリタンエリアネットワーク--特定の要件-第 2 部：論理リンク制御との関連
- ETSI TS 102 687 (V1.2.1):高度道路交通システム（ITS）、5GHz 帯で動作する高度道路交通システムのための分散型輻輳制御メカニズム；アクセス層部分
- IEEE 802TM-2014:ローカル&メトロポリタンエリアネットワークの IEEE 規格（概要とアーキテクチャ）
- ETSI EN 302 571 (V2.1.1):ITS; 5 855 MHz から 5 925 MHz の周波数帯で動作する無線通信機器；指令 2014/53/EU の第 3.2 条の必須要件に対応
- ETSI TS 102 792 (V1.2.1):ITS; 5GHz 帯で動作する欧州 CEN DSRC 機器と高度道路交通システム（ITS）との干渉回避のための緩和技術

(キ) 内容

- EN 302 663 では、EN 302 665 に基づいて最下層の 2 層をアクセス層と呼び、アクセス層に規定される技術を総称して ITS-G5 と呼称（ITS-G5 のアクセス層技術は、通信に既に存在する標準を利用）

EN 302 663 の目次構成を表 3.2.3-5 に示す。

表 3.2.3-5　EN 302 663 の目次構成

No.	目次[17]	備考
1.	Scope	－
2.	References	－
3.	Definition of terms, symbols and abbreviations	－

[17] 出典：目次欄は、ETSI EN 302 663 V1.3.1 (2020-01), Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band、2020 年 1 月

No.	目次[17]	備考
4.	Access layer requirements	• 概念を提示 • アクセス層はデータリンク層と物理層を束ねたもので、ITS プロトコルスタックの最下層に位置 • アクセス層技術は、IEEE 802.11-2016、IEEE/ISO/IEC 8802-2-1998、IEEE 802-2014 及び ETSI TS 102 687 で構成 • 物理層とデータリンク層のうちメディアアクセス制御層は IEEE 802.11-2016 でカバー
5.	ITS-G5 radio tests	―
6.	Annex A (normative): Channel models for testing dynamic sensitivity values	―
7.	Annex B (Informative): Data and management service	―
8.	Annex C (informative): Introduction to IEEE 802.11-2016	―
9.	Annex D (informative): Change History	―

Figure 1: ITS station reference architecture

図 3.2.3-3　ITS station におけるアクセスレイヤプロトコル[18]

Figure 2: Protocols comprising the access layer

図 3.2.3-4　アクセスレイヤのプロトコル構成[19]

---

[18] 出典：ETSI EN 302 663 V1.3.1 (2020-01), Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band、P9、2020 年 1 月

[19] 出典：ETSI EN 302 663 V1.3.1 (2020-01), Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band、P10、2020 年 1 月

(5) LTE-V2X アクセス標準

欧州において ETSI が標準化した V2X 通信の LTE-V2X 向けアクセスレイヤに関する標準の概要は以下のとおりである。

(a) EN 303 613

(ア) 名称

- Intelligent Transport Systems (ITS); LTE-V2X Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band
- 参照文書：ETSI EN 303 613 V1.1.1 (2020-01)

(イ) 標準化団体

- ETSI

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：v1.1.1 (Active)

(エ) 標準の位置づけ

- EN 規格
- トランスポート・ネットワーク層（ETSI EN 302 636 GeoNetworking Basic transport protocol）の下位で使用するアクセス層を規定
- DSRC（ETSI EN 302 663）もアクセス層で並んで規定

(オ) スコープ・標準内容

- ITS Station リファレンスアーキテクチャのアクセス層に係る技術を規定
- 本標準におけるアクセス層の技術は、5.9GHz 帯におけるサイドリンク/PC5 が対象

(カ) 関連標準類

Normative references

- ETSI TS 136 331 (V14.6.2): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 36.331 version 14.6.2 Release 14)”.（無線リソース制御関連）
- ETSI TS 136 300 (V14.7.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (3GPP TS 36.300 version 14.7.0 Release 14)”.（E-UTRA・E-UTRAN の概要）
- ETSI TS 136 321 (V14.7.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification (3GPP TS 36.321 version 14.7.0 Release 14)”.（MAC プロトコル仕様関連）
- ETSI TS 136 322 (V14.1.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Link Control (RLC) protocol specification (3GPP TS 36.322 version 14.1.0 Release 14)”.（無線リンク制御関連）
- ETSI TS 136 323 (V14.5.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification (3GPP TS 36.323 version 14.5.0 Release 14)”.（パケットデータコンバージェンスプロトコル仕様関連）
- ETSI TS 136 211 (V14.7.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (3GPP TS 36.211 version 14.7.0 Release 14)”.（物理チャネル・変調方式関連）
- ETSI TS 136 212 (V14.6.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding (3GPP TS 36.212 version 14.6.0 Release 14)”.（多重化・チャネルコーディング関連）
- ETSI TS 136 213 (V14.6.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (3GPP TS 36.213 version 14.6.0 Release 14)”.（物理層処理関連）

- ETSI TS 136 214 (V14.4.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements (3GPP TS 36.214 version 14.4.0 Release 14)”.（物理層に係る計測関連）
- ETSI TS 123 285 (V14.7.0): “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Architecture enhancements for V2X services (3GPP TS 23.285 version 14.7.0 Release 14)”.（V2X サービス向けのアーキテクチャ強化関連）
- ETSI TS 124 385 (V14.4.0): “LTE; V2X services Management Object (MO) (3GPP TS 24.385 version 14.4.0 Release 14)”.（V2X サービスのマネジメントオブジェクト関連）
- ETSI TS 124 386 (V14.3.0): “LTE; User Equipment (UE) to V2X control function; protocol aspects; Stage 3 (3GPP TS 24.386 version 14.3.0 Release 14)”.（ユーザ端末から V2X 制御機能へのプロトコル関連）
- ETSI TS 136 101 (V14.7.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 14.7.0 Release 14)”.（ユーザ端末の無線送受信関連）
- ETSI TS 136 133 (V14.8.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management (3GPP TS 36.133 version 14.8.0 Release 14)”.（無線リソース管理のサポート要件関連）
- ETSI TS 124 301 (V14.9.0): “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3 (3GPP TS 24.301 version 14.9.0 Release 14)”.（EPS 用の NAS プロトコル関連）
- ETSI TS 136 413 (V14.7.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP) (3GPP TS 36.413 version 14.7.0 Release 14)”.（EPC と eNB をつなぐインタフェース（S1 インタフェース）に係るアプリケーションプロトコル関連）
- ETSI TS 136 414 (V14.1.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 data transport (3GPP TS 36.414 version 14.1.0 Release 14)”.（S1 インタフェースに係るデータ転送関連）
- ETSI TS 102 792 (V1.2.1): “Intelligent Transport Systems (ITS); Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) equipment and Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range”.（DSRC 機器と 5GHz 帯で運用される ITS との干渉回避技術関連）
- ETSI TS 103 574 (V1.1.1): “Intelligent Transport Systems (ITS); Congestion Control Mechanisms for C-V2X PC5 interface; Access layer part”.（アクセスレイヤでの C-V2X PC5 インタフェースの輻輳制御の仕組み関連）

ETSI EN 303 613 において参照される主な 3GPP 標準の対応は、図 3.2.3-5 の様に整理できる。

図 3.2.3-5　ETSI の LTE-V2X PC5 アクセスレイヤにおける参照仕様

(キ) 内容

EN 303 613 の目次構成を表 3.2.3-6 に示す。

表 3.2.3-6　EN 303 613 の目次構成

No.	目次[20]	備考
1.	Scope	―
2.	Reference	―
3.	Definition of terms, symbols and abbreviations	―

[20] 出典：目次欄は、ETSI、ETSI EN 303 613 V1.1.1 (2020-01), Intelligent Transport Systems (ITS); LTE-V2X Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band、2020 年 1 月

No.	目次[20]	備考
4.	General requirements 4.1 Architecture 4.2 Operating Frequencies 4.3 Transmit and receive requirement	• 4.1：ITS Station のアーキテクチャと LTE-V2X のアクセス層プロトコルスタックを説明 • 4.2：LTE-V2X の運用周波数帯を規定 • 4.3：LTE-V2X を使用する ITS Station が満たすべき通信要件を規定
5.	LTE-V2X access layers 5.1 Physical layer 5.2 MAC layer 5.3 RLC layer 5.4 PDCP layer 5.5 RRC layer 5.6 NAS layer 5.7 Additional LTE-V2X access layer functionality for PC5 interface	• 5.1～5.6：物理層、MAC 層、無線リンク制御（RLC）層、パケットデータコンバージェンスプロトコル（PDCP）層、無線リソース制御(RRC)層、ネットワーク接続型ストレージ（NAS）層の主な役割を規定 • 5.7：PC5 による V2X 通信で、LTE-V2X のアクセス層に求められる機能と、機能が準拠する標準類を規定
6.	Annex A (informative): Introduction of LTE-V2X	－
7.	Annex B (normative): LTE-V2X information elements	－
8.	Annex C (normative): List of MCS-RB problematic cases	－
9.	Annex D (informative): Interface to higher layers of ITS station	－

3.2.4 中国

(1) メッセージ構造

中国において CCSA が標準化した V2X 通信における通信パケットの構造は図 3.2.4-1 の様に整理できる。

図 3.2.4-1　CCSA 標準の V2X 通信パケットの構造（LTE Uu、PC5）

(2) メッセージ標準

中国において CCSA が標準化した V2X 通信のメッセージに関する標準の概要は以下のとおりである。

(a) YD/T 3709

(ア) 名称

- YD/T 3709-2020 Technical requirements of message layer of LTE-based vehicular communication
- 参照文書：YD/T 3709-2020

(イ) 標準化団体

- China Communication Standards Association
  （Drafting；China Academy of Information and Communications Technology）

(ウ) 標準化ステータス

- 2020 年設定

(エ) 標準の位置づけ

- 工業情報化部の標準として発行

(オ) スコープ・標準内容

- LTE を用いた車両通信技術のメッセージ層に関する技術的要件を規定（メッセージ層におけるデータセット構造、データ定義、符号化方式）

(カ) 関連標準類

- YD/T 3340-2018 Technical requirements of air interface of LTE-based vehicular communication
- YD/T 3400-2018 General technical requirements of LTE-based vehicular communication
- GB 2312-1980 Code of Chinese graphic character set for information interchange - Primary set
- GB 5768.2-2009 Road traffic signs and markings - Part 2: Road traffic signs
- GB 14886 Specifications for road traffic signal setting and installation
- GB/T 27967-2011 Format of weather forecast on highway traffic
- GB/T 29100-2012 Road traffic information service - Traffic event classification and coding

(キ) 内容

- V2X 用のメッセージ（BSM：Basic safety message、MAP：Map information、RSI：Road side information、RSM：Road side message、SPaT：Signal phase and timing message）とメッセージを構成する DF（Data frame）を規定

YD/T 3709 の目次構成を表 3.2.4-1 に示す。

表 3.2.4-1　YD/T 3709 の目次構成

No.	目次[21]	備考
1.	Scope	－
2.	Normative references	－
3.	Terms, definitions, abbreviations	－
4.	Message layer of LTE-based vehicular communication technology 4.1 System introduction 4.2 Architecture of message layer	• アーキテクチャを提示
5.	Technical requirements for the message layer 5.1 Basic introduction and requirements of the message layer 5.2 Definition of data set of message layer	• メッセージのリクワイアメントを規定
6.	Appendix A (Informative) Type and value of DE_EventType (traffic event index)	－

[21] 出典：目次欄は、COMMUNICATION INDUSTRY STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、YD/T 3709-2020: Technical requirements of message layer of LTE-based vehicular communication、2020 年 4 月 16 日

図 3.2.4-2　V2V 及び V2I 通信の構造[22]

図 3.2.4-3　メッセージレイヤの構造[23]

(3) ネットワーク標準

中国において CCSA が標準化した V2X 通信のネットワークレイヤに関する標準の概要は以下のとおりである。

(a) YD/T 3707

(ア) 名称

- YD/T 3707-2020 Technical requirements of network layer of LTE-based vehicular communication
- 参照文書：YD/T 3707-2020

---

[22] 出典：COMMUNICATION INDUSTRY STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、YD/T 3709-2020 Technical requirements of message layer of LTE-based vehicular communication、P6 及び P7、2020 年 4 月 16 日

[23] 出典：COMMUNICATION INDUSTRY STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、YD/T 3709-2020 Technical requirements of message layer of LTE-based vehicular communication、P7、2020 年 4 月 16 日

(イ) 標準化団体

- China Communication Standards Association
  （Drafting；China Academy of Information and Communications Technology）

(ウ) 標準化ステータス

- 2020 年設定

(エ) 標準の位置づけ

- 工業情報化部の標準として発行

(オ) スコープ・標準内容

- LTE を用いた車両通信技術のネットワーク層（short message protocol、application registration、 service management、service advertisement を含む）に関する技術的要件を規定（ネットワーク層のフレームワーク、データ副層、マネジメント副層、アクセスポイント、プリミティブ）

(カ) 関連標準類

- YD/T 3340-2018 Technical requirements of air interface of LTE-based vehicular communication
- YD/T 3400-2018 General technical requirements of LTE-based vehicular communication

(キ) 内容

- V2X 用のメッセージを通信するための DSMP（Dedicated short message protocol）、Adaptation Layer と管理のための DME（Dedicated management entity）を規定

YD/T 3707 の目次構成を表 3.2.4-2 に示す。

表 3.2.4-2　YD/T 3707 の目次構成

No.	目次[24]	備考
1.	Scope	－
2.	Normative references	－
3.	Abbreviations	－
4.	Technical Requirements of Network Layer 4.1 System Introduction 4.2 Network Layer Framework 4.3 Technical Requirements for Data Sublayer 4.4 Technical Requirements for Management Sublayer 4.5 Access Point and Service Primitive	• ネットワークレイヤのリクワイアメントを規定
5.	Appendix A (normative) Type and Value of Protocol Type	－
6.	Appendix B (normative) Frame Structure of Extension	－
7.	Appendix C (normative) MIB Messages	－
8.	Appendix D (normative) Mapping Relations between Priority and PPPP	－

[24] 出典：目次欄は、COMMUNICATION INDUSTRY STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、YD/T 3707-2020: Technical Requirements of Network Layer of LTE-based Vehicular Communication、2020 年 4 月 16 日

No.	目次[24]	備考
9.	Appendix E (informative) Example of Source Address / Destination Address Design of Adaptation Layer	―

図 3.2.4-4　ネットワークレイヤの構造[25]

(4) LTE-V2X アクセス標準

中国において CCSA が標準化した V2X 通信の LTE-V2X のアクセスレイヤに関する標準の概要は以下のとおりである。

(a) YD/T 3340

(ア) 名称

- YD/T 3340-2018 Technical requirements of air interface of LTE-based vehicular communication
- 参照文書：YD/T 3340-2018

(イ) 標準化団体

- China Communication Standards Association
  （Drafting；China Academy of Information and Communications Technology）

(ウ) 標準化ステータス

- 2018 年設定

(エ) 標準の位置づけ

- 工業情報化部の標準として発行

(オ) スコープ・標準内容

- LTE を用いた車両通信技術のエアインタフェースとして、端末間のサイドリンク通信モードのための PC5 インタフェース、端末と基地局間のアップリンク/ダウンリンク通

[25] 出典：COMMUNICATION INDUSTRY STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、YD/T 3707-2020: Technical Requirements of Network Layer of LTE-based Vehicular Communication、P6、2020 年 4 月 16 日

信モードのための Uu インタフェースの技術的要件を規定（物理層、MAC 層、RLC 層、PDCP 層、RRC 層、及びこれらの層でのアイドルモード時の UE 処理）

(カ) 関連標準類

- YD/T 3400-2018 General technical requirements of LTE-based vehicular communication
- LTE standards;
- 3GPP TS 23.285 (Release 14) Technical Specification Group Services and System Aspects; Architecture enhancements for V2X services
- 3GPP TS 24.334 (Release 14) Proximity-services (ProSe) User Equipment (UE) to ProSe function protocol aspects; Stage 3
- 3GPP TS 24.386 (Release 14) User Equipment (UE) to V2X control function; protocol aspects; Stage 3
- 3GPP TS 36.101 (Release 14) E-UTRA; User Equipment (UE) radio transmission and reception
- 3GPP TS 36.133 (Release 14) E-UTRA; Requirements for support of radio management
- 3GPP TS 36.211 (Release 14) E-UTRA; Physical channels and modulation
- 3GPP TS 36.212 (Release 14) E-UTRA; Multiplexing and channel coding
- 3GPP TS 36.213 (Release 14) E-UTRA; Physical layer procedures
- 3GPP TS 36.214 (Release 14) E-UTRA; Physical layer - Measurements
- 3GPP TS 36.304 (Release 14) E-UTRA; User Equipment (UE) procedures in idle mode
- 3GPP TS 36.321 (Release 14) E-UTRA; Medium Access Control (MAC) protocol specification
- 3GPP TS 36.322 (Release 14) E-UTRA; Radio Link Control (RLC) protocol specification
- 3GPP TS 36.323 (Release 14) E-UTRA; Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification
- 3GPP TS 36.331 (Release 14) E-UTRA;Radio Resource Control (RRC) Protocol specification

(キ) 内容

- 3GPP の Release 14 仕様を参照して V2X における PC5、Uu インタフェースを規定

YD/T 3340 の目次構成を表 3.2.4-3 に示す。

表 3.2.4-3　YD/T 3340 の目次構成

No.	目次[26]	備考
1.	Scope	－
2.	Normative references	－
3.	Abbreviations	－
4.	Overview	－
5.	PC5 interface technical requirements 5.1 Physical layer 5.2 MAC layer 5.3 RLC layer	• PC5 インタフェースのリクワイアメントを規定

[26] 出典：目次欄は、COMMUNICATION INDUSTRY STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、YD/T 3340-2018: Technical requirements of air interface of LTE-based vehicular communication、2018 年 12 月 21 日

No.	目次[26]	備考
	5.4 PDCP layer 5.5 RRC layer 5.6 UE process in idle mode	
6.	Uu interface's technical requirements 6.1 Physical layer 6.2 MAC layer 6.3 RLC layer 6.4 PDCP layer 6.5 RRC layer 6.6 UE process in idle mode	• Uu インタフェースのリクワイアメントを規定

3.2.5 その他の取り組み状況

(1) SAE における V2X アプリケーション関係の標準化

米国 SAE では、既に標準化されている文書の他、検討中の文書も数多くある。SAE における V2X アプリケーション関係の標準類の状況は表 3.2.5-1 のとおりである。

Cooperative Perception System（J2945/8）、Maneuver Sharing and Coordinating（J3186）、Sensor-Sharing（J3224）といった自車両以外の外部からの情報を利用するようなサービスに関する標準類も検討されている。

表 3.2.5-1　SAE V2X アプリケーション関係標準の発行状況[27]

区分	発行	標準類
J2945 シリーズ	発行済	• J2945　DSRC Systems Engineering Process Guidance for SAE J2945/X Documents and Common Design Concepts（ガイダンス） • J2945/1　On-Board System Requirements for V2V Safety Communications（車載システム） • J2945/1A　Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communications（テスト方法） • J2945/2　DSRC Performance Requirements for V2V Safety Awareness（パフォーマンス） • J2945/3　Requirements for Road Weather Applications（天候アプリケーション） • J2945/5　Service Specific Permissions and Security Guidelines for Connected Vehicle Applications（サービス別セキュリティ） • J2945/9　Vulnerable Road User Safety Message Minimum Performance Requirements（交通弱者サービス） • J2945/C　Requirements for Probe Data Collection Applications（プローブデータ収集アプリケーション） • J2945/X　Documents and Common Design Concepts（文書構成とコンセプト）
	検討中	• J2945/1B　On-Board V2V Safety Systems Requirements for Non Light Duty Vehicles（車載システム） • J2945/4　Road Safety Applications（安全アプリケーション） • J2945/6　Performance Requirements for Cooperative Adaptive Cruise Control and Platooning（CACC、隊列走行） • J2945/7　Positioning Enhancements for V2X systems（ポジショニング） • J2945/8　Cooperative Perception System（協調認識） • J2945/A　Standard for Lane-Level and Road Furniture Mapping for Infrastructure-based V2X Applications（インフラストラクチャアプリケーション） • J2945/B　Recommended Practices for Signalized Intersection Applications（信号交差点アプリケーション） • J2945/D　Road user-to-Road User Courteous Communication（ユーザ間通信）

[27] 出典：SAE、https://www.sae.org/standards/ より V2X アプリケーションに関係すると思われる標準を抽出（2022 年 6 月 30 日閲覧）

区分	発行	標準類
J3161 シリーズ	発行済	• J3161/1 On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications（車載システム） • J3161/1A Vehicle Level Validation Test Procedures for V2V Safety Communications（テスト方法）
	検討中	• J3161/2 LTE Vehicle-to-Everything（LTE-V2X）Deployment Profiles and Radio Parameters for 10 MHz Channel（10MHz チャンネル運用）
その他	発行済	• J3217 V2X-Based Fee Collection（料金収受アプリケーション） • SS V2X 001 Security Specification through the Systems Engineering Process for SAE V2X Standards（セキュリティエンジニアリング）
	検討中	• J3186 Application Protocol and Requirements for Maneuver Sharing and Coordinating Service（挙動共有・調停） • J3224 V2X Sensor-Sharing for Cooperative & Automated Driving（センサシェアリング） • J3251 Cooperative perception CDA feature: Jaywalking pedestrian collision avoidance（CDA 協調認識） • J3256 Infrastructure-based prescriptive cooperative merge（合流） • J3287 V2X Misbehavior Reporting（不正レポート）

(2) ETSI における V2X アプリケーション関係の標準化

欧州 ETSI においても、検討中の文書は数多くある。ETSI における V2X アプリケーション関係の標準類の状況は表 3.2.5-2 のとおりである。

SAE と同様に、Cooperative Perception Services（TS103 324）、Maneuver Coordination（TS103 561）といった自車両以外の外部からの情報を利用するようなサービスに関する標準類も検討されている。

表 3.2.5-2　ETSI V2X アプリケーション関係標準の発行状況[28]

区分	発行	標準類
アプリケーション関係	発行済	• EN302 637　Vehicular Communications; Basic Set of Applications; （基本アプリケーション） -1: Functional Requirements -2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service -3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service TS103 900　Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Specification of Cooperative Awareness Basic Service; Release 2（協調アプリケーション） • TS103 301　Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services; Release 2（インフラストラクチャアプリケーション） • EN302 895　Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map（LDM）（ローカルダイナミックマップ） • TS103 152　V2X Communications; Multimedia Content Dissemination（MCD）Basic Service specification; Release 2（マルチメディアコンテンツ） • TS101 539　V2X Applications; -1: Road Hazard Signalling（RHS）（ハザード通知） -2: Intersection Collision Risk Warning（ICRW）（交差点衝突リスク警報） -3: Longitudinal Collision Risk Warning（LCRW）（前方衝突リスク警報） TS103 300　Vulnerable Road Users（VRU）awareness（交通弱者サービス） -1: Use Cases definition; Release 2 -2: Functional Architecture and Requirements definition; Release 2 -3: Specification of VRU awareness basic service; Release 2 • TS102 894　Users and applications requirements;（アプリケーション要件） -1: Facility layer structure, functional requirements and specifications -2: Applications and facilities layer common data dictionary

[28] 出典：ETSI、https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/より V2X アプリケーションに関係すると思われる標準を抽出（2022 年 6 月 30 日閲覧）

区分	発行	標準類
	検討中	• TS103 324 Cooperative Perception Services（協調認識） • TS103 882 Automated Valet Parking Service; Release 2（バレーパーキング） • TS103 561 Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Maneuver Coordination Service（挙動調整） • TS103 693 Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Diagnosis, Logging and Status Service（診断、ロギング） • TS103 831 Vehicular Communications; Basic Set of Applications; -3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service; Release 2（協調アプリケーション）
ファシリティ関係	発行済	• EN302 890 Facilities layer function;（ファシリティレイヤ） -1: Services Announcement (SA) specification -2: Position and Time management (PoTi); Release 2 • TS103 724 Facilities layer function; Interference Management Zone Message (IMZM); Release 2（干渉回避）
	検討中	• TS103 141 Facilities layer function; Multi-Channel Operation (MCO) for Cooperative ITS (C-ITS); Release 2（マルチチャンネル）

(3) 協調認識（CPS）

前述の様に、米国SAE、欧州ETSIにおいて検討中のV2Xサービスとして、CPS（Collective Perception Service、Cooperative Perception System）が挙げられる。これは、例えば他車が検知した情報を車車間通信でやり取りすることで、自車両では直接検知できない情報を検知するサービス/システムである

図 3.2.5-1　Collective Perception の概念[29]

[29] 出典：Niels Peter Skov Andersen、C-ITS in Europe、P14、2021 年 11 月 10 日、https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2021/file/cv/CV_4E_Andersen.pdf（2022 年 6 月 17 日閲覧）

(a) SAE における検討

SAE においては、J2945/8（Cooperative Perception System）として標準の発行に向けた検討が進められている。

(ア) SAE J2945/8（検討中）：2022 年内に投票予定[30]

Cooperative Perception System は、車両、インフラ、携帯機器等の V2X 対応機器が付近の道路利用者や物体の認知情報を通知し、協調的な認知により他の V2X 対応機器/システムの認知性能を向上させるシステムである。J2945/8 では、ユースケースと、メッセージのブロードキャストに関するパフォーマンスやセキュリティに関する要件（待ち時間、データ要素、精度等）を定義する。

(b) ETSI における検討

ETSI においても、TS 103 324（Cooperative Perception Services）として標準の発行に向けた検討が進められている。なお、TS 103 324 の開発に向けたレポート（TR 103 562）や類似の考え方を歩行者向け等のサービスで利用する標準類等も発行されている。

(ア) ETSI TS 103 324（検討中）：2022 年内に発行予定[31]

Intelligent Transport Systems (ITS); Cooperative Perception Services

- Cooperative Perception Service（CPS）を規定する技術仕様
  協調的な環境認識のためのデータ・メッセージの定義、CPS をサポートするファシリティレイヤプロトコルを含む予定
- 2015 年に検討開始、2022 年 12 月に最終ドラフト作成（TC ITS/WG1 Application）

(イ) ETSI TR 103 562 V2.1.1 (2019-12)：発行済

Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2

- ITS-S 間のセンサ情報交換に関する概念に関する技術報告
  ETSI TS 103 324 における CPS の仕様の基礎となる
- 2017 年に検討開始、2019 年 12 月発行（TC ITS/WG1 Application）

(ウ) [関連]ETSI TS 103 300： 発行済み

Intelligent Transport Systems (ITS);Vulnerable Road Users (VRU) awareness -1 Use case (2019/9), -2 Architecture (2021/4), -3 Service (2021/4)

- VRU の認識の中で DENM 若しくは CPM を利用することを想定

(c) 3GPP、5GAA における検討

3GPP（3rd Generation Partnership Project）や 5GAA（5G Automotive Association）といった SAE、ETSI 以外の団体でも検討されている。

(ア) 3GPP TR 22.886（2018 年）

Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (Release 16)

- 3GPP では、Release 15 より、“Collective perception of environment”として協調認識によるサービスを 5G V2X の想定サービスとして設定

[30] 2023 年 1 月 10 日時点では未発行

[31] 2023 年 1 月 10 日時点では未発行

図 3.2.5-2　Collective Perception の概念 [32]

（イ）5GAA White paper “C-V2X Use Cases Methodology, Examples and Service Level Requirements”（2019 年 6 月）

- 5GAA では、ユースケースの一つである“High Definition Sensor Sharing（Autonomous Driving）”において協調認識を想定
- 自車両のセンサ（HD カメラ、ライダー等）と他車両のセンサ情報を用いて、周囲の環境を認識（例：3D モデル作成）し、自動運転による車線変更を安全に実施

図 3.2.5-3　Sensor Sharing の概念 [33]

3.2.6　日米欧のユースケースとメッセージの比較

米国、欧州の通信仕様の調査結果を踏まえ、日米欧のユースケース及びメッセージを比較した。

具体的には協調型自動運転ユースケースや ITS フォーラム通信要件及びメッセージセット（RC-017）について、欧米での通信仕様に示された内容と比較し一覧表の形でまとめた。なお、欧米の通信仕様では一部、検討中の部分もあり、受託者において類推した部分を含む。

---

[32] 出典：3GPP、 3GPP TR 22.886 V16.2.0 (2018-12) Technical Report, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (Release 16)、P21、2018 年 12 月

[33] 出典：5GAA、White paper, C-V2X Use Cases Methodology, Examples and Service Level Requirements（Version 1.0）、P70、2019 年 6 月 13 日

(1) 日米欧のユースケースとメッセージの比較結果

日本（協調型自動運転ユースケース、RC-017）、米国、欧州で検討されているユースケースとメッセージの比較結果を表 3.2.6-1 に示す。

協調型自動運転ユースケースに対し、ユースケースの区分、メッセージの種別については、通信形態（V2I/V2V）、通信相手（特定車両/非特定車両）、周期型又は非周期型の観点で比較すると、現段階では欧米での仕様内容と大きな違いはないと考える。

ただし、路車間での調停、車車間でのネゴシエーション等に関するユースケース、メッセージは、現在、欧米で検討中であり、仕様調査を踏まえ、今後の通信仕様策定を進めていく必要がある。

表 3.2.6-1　日米欧のユースケースとメッセージの比較結果（1／5）

日本		米国		欧州	
ユースケース	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ
a-1-1	位置情報メッセージ ・I→V ・同報定周期（100ms）	（SAE（J3224）において検討中）	(CPM)	Cooperative Merging on Highways ［C2-CCC］ 合流支援［5GCAR］	CPM (MCM) ・V⇔V、I⇔V ・イベント
a-1-2	位置情報メッセージ ・I→V ・同報定周期（100ms）	（SAE（J3224）において検討中）	(CPM)	Cooperative Merging on Highways ［C2-CCC］ 合流支援［5GCAR］	CPM (MCM) ・V⇔V、I⇔V ・イベント
b-1-1（V2I）	信号情報メッセージ ・I→V ・同報定周期（100ms）	Single phase and timing ［Ford Qualcomm Panasonic］	MAP SPAT ・I→V ・イベント	Green Light Optimal Speed Advisory ［C-Road, CONCORDA］ Traffic light warning ［MWC2017 デモ］	MAPEM SPATEM ・I→V ・イベント

表 3.2.6-1　日米欧のユースケースとメッセージの比較結果（2／5）

日本		米国		欧州	
ユースケース	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ
c-1	ユースケース c-1 でのメッセージ ・V→V ・同報定周期（100ms）	緊急ブレーキライト警報 ［ITS Strategic Plan（タンパ/NY）］ Electronic emergency brake light［Ford Qualcomm Panasonic］	BSM ・V⇔V ・同報定周期（100～600ms）	危険状態時の警告発信［C2-CCC］ 緊急ブレーキライト［C-Road］ 緊急ブレーキ警告［SCOOP F］ 緊急電子ブレーキランプ［CITE project］ Warning of sudden braking［ConVeX］ Emergency brake［MWC2017 デモ］	DENM ・V⇔V ・イベント
c-2-1（V2V）	ユースケース c-2-1 でのメッセージ ・V→V ・同報定周期（100ms）	交差点通過支援 ［ITS Strategic Plan（NY）］ Intersection movement assist ［Ford Qualcomm Panasonic］	ICA ・I⇔V ・イベント	Across traffic turn collision risk warnings［ConVeX］ Intersection collision warning［ConVeX］ 右折時アシスト ［ドイツテレコム LTE ネットワークと Mobile Edge Computing を使った実験］	DENM CPM ・V⇔V、I⇔V ・イベント

表 3.2.6-1　日米欧のユースケースとメッセージの比較結果（3／5）

日本		米国		欧州	
ユースケース	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ
c-2-2	ユースケース c-2-2 でのメッセージ ・I→V ・同報定周期（100ms）	Intersection movement assist ［Ford Qualcomm Panasonic］ （SAE（J3224）において検討中）	ICA (CPM) ・I⇔V ・イベント	Collision warning ［Field trial of the vehicle-to-vehicle communication by means of LTE-V technology］ Intersection collision warning ［Nokia Mobile Edge Computing (MEC) Project］	DENM CPM ・V⇔V、I⇔V ・イベント
c-3	ユースケース c-3 でのメッセージ ・V→V ・同報定周期（100ms）	衝突警告 ［ITS Strategic Plan（ワイオミング）］ 前方衝突警報 ［ITS Strategic Plan（タンパ/NY）］	BSM ・V⇔V ・同報定周期(100～600ms)	障害物警告［SCOOP F］	DENM ・V⇔V ・イベント
e-1	ユースケース e-1 でのメッセージ ・V→V ・同報定周期（100ms）	－	BSM ・V⇔V ・同報定周期（100～600ms）	緊急車両接近警報［C-Road］ 緊急車両警告システム［CITE project］ Emergency vehicle approaching［Nokia Mobile Edge Computing (MEC) Project］ Emergency vehicle approaching［Towards 5G initiative］	CAM ・V⇔V ・同報定周期（100～1000ms） or 車両位置、速度、ヨー角変化 DENM ・V⇔V ・イベント

表 3.2.6-1　日米欧のユースケースとメッセージの比較結果（4／5）

日本		米国		欧州	
ユースケース	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ
a-1-3	位置情報メッセージ ・I→V ・同報定周期（100ms） 管制要求メッセージ 管制応答メッセージ 調停要求メッセージ 調停応答メッセージ 更新要求メッセージ 更新応答メッセージ ・I⇔V ・イベント、後定周期	（SAE（J3186）において検討中）	－	Cooperative Merging on Highways［C2-CCC］ 合流支援［5GCAR］	(MCM) ・V⇔V、I⇔V ・イベント
a-1-4	調停要求メッセージ 調停応答メッセージ 更新要求メッセージ 更新応答メッセージ ・V⇔V ・イベント、後定周期	（SAE（J3186）において検討中）	－	Cooperative Merging on Highways［C2-CCC］ 合流支援［5GCAR］	(MCM) ・V⇔V、I⇔V ・イベント

表 3.2.6-1　日米欧のユースケースとメッセージの比較結果（5／5）

日本		米国		欧州	
ユースケース	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ	ユースケース[関係団体]	メッセージ
a-2	調停要求メッセージ 調停応答メッセージ 更新要求メッセージ 更新応答メッセージ ・V⇔V ・イベント、後定周期	車線変更警報 [ITS Strategic Plan（NY）] （SAE（J3186）において検討中）	－	Overtaking assistant ［Nokia の Mobile Edge Computing（MEC）プロジェクト］	(MCM) ・V⇔V、I⇔V ・イベント
a-3	調停要求メッセージ 調停応答メッセージ 更新要求メッセージ 更新応答メッセージ ・V⇔V ・イベント、後定周期	（SAE（J3186）において検討中）	－	Cooperative Turning at Junctions ［C2-CCC］	(MCM) ・V⇔V、I⇔V ・イベント

3.3　運用方式の整理

3.3.1　運用（輻輳制御・干渉回避・セキュリティ）に係る主な標準

米国、欧州、中国の各地域では V2X 通信に関して、輻輳制御・干渉回避・セキュリティ等の運用に係る標準が SAE、ETSI、CCSA において開発されている。

各団体で検討されている輻輳制御に関する標準類を表 3.3.1-1 に示す。

表 3.3.1-1　運用（輻輳制御）に係る主な標準

組織	適用	標準類	参照
SAE	DSRC	SAE J2945/1 On-Board System Requirements for V2V Safety Communications	3.3.2(1)
	LTE-V2X	SAE J3161/1 On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications	3.3.2(2)
ETSI	ITS-G5	ETSI TS 102 687 Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part	3.3.2(1)
	LTE-V2X	ETSI TS 103 574 Intelligent Transport Systems (ITS); Congestion Control Mechanisms for the C-V2X PC5 interface; Access layer part	3.3.2(2)

SAE では、DSRC、C-V2X それぞれの“On-Board System Requirements”（J2945、J3161）の中で輻輳制御についても規定している。

DSRC（WAVE）向けでは、BSM の送信スケジュールのコントロール、出力制御による制御を規定（無線リソースの占有率やパケットエラー等に基づく間隔制御等）する。

C-V2X 向けでは、DSRC 向けと同様にアプリレイヤにおける送信周期、混雑度合い等による制御を行っており、アクセスレイヤでは差がある。

ETSI では、“Congestion control”に関して TS（ITS-G5；TS 102 687、C-V2X；TS 103 574）を規定している。

ITS-G5 向けでは、DCC（自律分散的輻輳制御手法）の位置づけ、パケット毎の送信電力制御（TPC）、送信レート制御（TRC）、送信データレート制御（TDC）を含むアクセス層（DCC access）のメカニズムを規定する。

C-V2X 向けでは、3GPP Release14 のアクセス層での輻輳制御技術について、輻輳制御を行うエンティティへのインタフェースを含んで規定（無線リソースの占有率に基づく配分、優先制御等）する。

干渉回避については、ETSI において表 3.3.1-2 に示す標準類が開発されている。

表 3.3.1-2　運用（干渉回避）に係る主な標準

組織	適用	標準類	参照
ETSI	ITS-G5/LTE-V2X	ETSI TS 103 724 Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Interference Management Zone Message (IMZM)	3.3.3(a)

各団体で検討されているセキュリティに関する標準類を表 3.3.1-3 に示す。

表 3.3.1-3　運用（セキュリティ）に係る主な標準

組織	適用	標準類	参照
SAE	DSRC/LTE-V2X	IEEE 1609.2 Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages （関連標準として、SS V2X 001: Security Specification through the Systems Engineering Process for SAE V2X Standards）	3.3.4(a)
ETSI	ITS-G5/LTE-V2X	ETSI TS 102 940 ITS; Security; ITS communications security architecture and security management （シリーズとして、ETSI TS 102 941: trust/privacy、ETSI TS 102 942: access control、ETSI TS 102 943: confidentiality、ETSI TS 103 097: security header and certificate formats）	3.3.4(b)
CCSA	LTE-V2X	YD/T 3594 General Security requirements for LTE vehicular communication	3.3.4(c)

ETSI においては、TS 102 940～943（ITS Security; architecture, trust/privacy, access control, confidentiality）としてセキュリティの位置づけ、ノードの登録・認証、アクセス制御、機密性サービスについてそれぞれドキュメントを分けて規定している。

TS 102 940～943 では、セキュリティサービスに必要な機能エンティティ及び各エンティティと ITS リファレンスアーキテクチャの各要素との関係、セキュリティ識別子と証明書の管理、PKI のプロセスとインタフェース、基本ポリシーとガイドラインを含む一連のセキュリティサービスの役割と位置づけを規定する。

併せて Security header/certificate format（TS 103 097）、TVRA（TR 102 893）等も文書化している。

SAE においては、DSRC を利用する J2945（/0、/1、/2、/5）、LTE-V2X を利用する J3161（/0、/1）より IEEE1609 シリーズのパート 2 のセキュリティサービス（IEEE1609.2、1609.2.1）を参照し、また関連する標準として SS V2X 001（Security Specification through the Systems Engineering Process for SAE V2X Standards）を規定している。

IEEE1609.2 では、仮名証明書によるメッセージになりすましやメッセージの改ざんを防止する方法、仮名証明書を一定周期で更新する仕組み等を規定している。

CCSA においては、YD/T 3594（General Security requirements for LTE vehicular communication）として LTE を用いた車両通信のセキュリティを規定する。IEEE 1609.2 を参照標準に含め、総合的な技術要件、インタフェース、セキュリティ要件、セキュリティ手順を規定する。

それぞれセキュリティについては IEEE1609.2 を参照しながら標準化している。

3.3.2 輻輳制御に関わる標準

(1) DSRC

DSRC 向けの輻輳制御に関係する標準は、米国では SAE J2945/1、欧州では ETSI TS 102 687 として標準化されている。それぞれの概要は以下のとおりである。

(a) SAE J2945/1

(ア) 名称

- J2945/1：On-Board System Requirements for V2V Safety Communications
- 参照文書：J2945/1 APR2020

(イ) 標準化団体

- SAE

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：2016 年 3 月、最新版：2020 年 4 月

(エ) 標準の位置づけ

- SAE 規格
- DSRC（WAVE）によるサービスを行うためのシステムのリクワイアメント

(オ) スコープ・標準内容

- V2V 安全通信システムのための規格プロファイル、機能要件、性能要件を規定
- DSRC（WAVE）における BSM の送受信に利用

(カ) 関連標準類

- SAE J2735（BSM 等のメッセージセットを定義）
- IEEE Std 802.11™, Standard for LAN/MAN - Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. （システム間の無線 LAN の MAC 及び PHY の仕様）
- IEEE Std 1609.2™、IEEE Std 1609.3™、IEEE Std 1609.4™、IEEE Std 1609.12™（WAVE 関連標準：セキュリティサービス、ネットワーキングサービス、マルチチャネルオペレーション、識別子割り当て）

(キ) 内容

SAE J2945/1 の目次構成を表 3.3.2-1 に示す。

表 3.3.2-1　SAE J2945/1 の目次構成

No.	目次[34]	備考
1.	SCOPE	－
2.	REFERENCES	－
3.	TERMS AND DEFINITIONS	－

[34] 出典：目次欄は、SAE、J2945® APR2020, On-Board System Requirements for V2V Safety Communications、2020 年 4 月

No.	目次[34]	備考
4.	V2V SAFETY SYSTEMS CONCEPT OF OPERATIONS AND SYSTEM DESCRIPTION	• V2V セーフティの運用とシステム記述のコンセプトを説明 • 具体的には、4.1 で V2X システムの概要（図 3.3.2-1）、4.2 で V2V 安全機能に関するシステム記述（V2V 安全機能で対応可能な重要な衝突シナリオ一覧、各衝突シナリオと緊急ブレーキライト等の 6 つの安全アプリケーションとの対応付け、6 つの安全アプリケーションのそれぞれの定義・ユースケース・機能のシステム定義・オペレーション）を規定
5.	INTERFACE DESCRIPTION	• V2V の無線データ定義（BSM 送受信、ポジショニング、セキュリティ・プライバシー、開始/停止、マッピング）、システムインタフェース（V2V 通信インタフェース、SCMS（Security Credential Management System）通信インタフェース、ポジショニングサブシステムインタフェース）を規定
6.	MINIMUM REQUIREMENTS	• 適合規格プロファイル、POSTIM(Positioning and Timing Requirements)、vChannelNumber チャネルにおける BSM 伝送、無線周波数パフォーマンス、セキュリティ・プライバシー、セキュリティマネジメントに関する最低要件を規定
7.	PARAMETER SETTINGS	• セクション 6 の最低要件におけるパラメータに割り当てる値を規定
8.	NOTES	－
9.	APPENDIX A A.1 IMPLEMENTATION CONFORMANCE STATEMENT (NORMATIVE) A.2 COORDINATE TRANSFORMATION (NORMATIVE) A.3 2D POSITION EXTRAPOLATION (NORMATIVE) A.4 CALCULATIONS INTO VEHICLE’S POSITION REFERENCE POINT A.5 PATH HISTORY REFERENCE DESIGN (INFORMATIVE) A.6 PATH PREDICTION REFERENCE DESIGN (INFORMATIVE) A.7 OPEN SKY TEST CONDITIONS (NORMATIVE) A.8 ADDITIONAL CONGESTION CONTROL ALGORITHM DETAILS (NORMATIVE)	－

Figure 1 - On-board V2V system

図 3.3.2-1　V2V システムの構成要素とそのインタフェース（4.1 節）[35]

(b) ETSI TS 102 687

(ア) 名称

- ETSI TS 102 687 Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part
- 参照文書：ETSI TS 102 687 V1.2.1

(イ) 標準化団体

- ETSI

(ウ) 標準化ステータス

- 初版 2011.7.1、改訂 2018.4.27

(エ) 標準の位置づけ

- ETSI TS
- DSRC において、ITS-G5 の輻輳制御（Congestion Control）に関する仕様 を規定

(オ) スコープ・標準内容

- 周波数チャネルに投入されるデータトラフィックをアクセス層の視点から制御する手段について記載（ITS-G5 にのみ適用可）

(カ) 関連標準類

Normative reference

- ETSI EN 302 571 (V2.1.1): “Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band 5（855MHz から 5925MHz の周波数帯で動作する無線通信機器（欧州指令 2014/53/EU の第 3.2 条の必須要件を網羅する整合規格））
- ETSI TS 103 175 (V1.1.1): “Intelligent Transport Systems (ITS); Cross layer DCC management entity for operation in the ITS G5A and ITS G5B medium（ITS G5A 及び ITS G5B 媒体で運用するためのクロスレイヤ DCC 管理エンティティ）

---

[35] 出典：SAE、J2945®/1 APR2020, On-Board System Requirements for V2V Safety Communications、P13、2020 年 4 月

Informative references

- ETSI TS 102 636-4-2、ETSI TR 101 612、ETSI EN 302 663 (V1.2.1)

(キ) 内容

DSRC（ITS-G5）においての利用を想定し、ITS-G5 の輻輳制御（Congestion Control）を規定する。

- 周波数チャネルに注入されるデータトラフィックをアクセス層の視点から制御する手段について説明
- DCC（自律分散的輻輳制御手法）のどのコンポーネントが ITS 通信局アーキテクチャのどの層に位置するかを定義し、更にパケット毎の送信電力の制御（TPC）、送信レート制御（TRC）、送信データレート制御（TDC）を含むアクセス層（DCC access）のメカニズムを規定
- アクセス層以外の他の層におけるメカニズムや管理面については含まない

ETSI TS 102 687 の目次構成を表 3.3.2-2 に示す。

表 3.3.2-2　ETSI TS 102 687 の目次構成

No.	目次[36]	備考
1.	Scope	－
2.	References	－
3.	Definitions, symbols and abbreviations	－
4.	Overview	－
5.	Algorithms	• 輻輳制御方法を規定
6.	Annex A (informative): Parameter setting of reactive approach	－
7.	Annex B (informative): Packet handling to meet channel occupancy limit δ	－
8.	Annex C (informative): Bibliography	－
9.	Annex D (informative): Change	－

(2) LTE-V2X

LTE-V2X 向けの輻輳制御に関係する標準は、米国では SAE J3161/1、欧州では ETSI TS 103 574 として標準化されている。それぞれの概要は以下のとおりである。

(a) SAE J3161/1

(ア) 名称

- J3161/1：On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications
- 参照文書：J3161/1 MAR2022

(イ) 標準化団体

- SAE

[36] 出典：目次欄は、ETSI、ETSI TS 102 687 V1.2.1 (2018-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part、2018 年 4 月

(ウ) 標準化ステータス

- 初版：2022 年 3 月

(エ) 標準の位置づけ

- SAE 規格
- C-V2X PC5 によるサービスを行うためのシステムのリクワイアメント

(オ) スコープ・標準内容

- V2V 安全通信システムのための規格プロファイル、機能要件、性能要件を規定
- C-V2X PC5（Release14）mode4 において BSM の送受信に利用

(カ) 関連標準類

- SAE J2735 V2X Communications Message Set Dictionary（V2X 通信メッセージセットディクショナリ）
- SAE J2945/1 On-Board System Requirements for V2V Safety Communications（V2V 安全通信システムのための規格プロファイル、機能要件、性能要件を規定）
- SAE J2945/5 Service Specific Permissions and Security Guidelines for Connected Vehicle Applications（コネクティッドカーのためのサービスパーミッションとセキュリティガイドライン）
- ETSI TS 136 201、ETSI TS 136 213、ETSI TS 136 321、ETSI TS 136 322、ETSI TS 136 331、（E-UTRA 関連標準仕様：物理層の定義、物理層処理、MAC プロトコル仕様、無線リンク制御プロトコル仕様、無線リソース制御（RRC）プロトコル仕様）
- ETSI TS 123 285, Architecture enhancements for V2X services, V14.9.0 (Release 14) [3GPP TS 23.285]（V2X サービスのための強化アーキテクチャ）
- ETSI TS 123 303 Proximity-based services（ProSe）；Stage 2, V14.1.0 (Release 14) [3GPP TS 23.303]（近接ベースサービス）
- IEEE Std 1609.2™、IEEE Std 1609.3™、IEEE Std 1609.12™（WAVE 関連標準：セキュリティサービス、ネットワーキングサービス、識別子割り当て）

(キ) 内容

SAE J3161/1 の目次構成を表 3.3.2-3 に示す。

表 3.3.2-3　SAE J3161/1 の目次構成

No.	目次[37]	備考
1.	SCOPE	－
2.	REFERENCES	－
3.	TERMS AND DEFINITIONS	－
4.	V2V SAFETY SYSTEMS CONCEPT OF OPERATIONS AND SYSTEM DESCRIPTION	• V2V セーフティの運用とシステム記述のコンセプトに関する説明 • 具体的には、4.1 でシステムの概要（図 3.3.2-2）、4.2 で V2V 安全機能に関するシステム記述（SAE J2945/1 参照とされている）を規定 • また、本書では緊急対応に従事する公共安全車両（警察車両、消防車両、救急車）が送信する情報への対応が追加

[37] 出典：目次欄は、SAE、J3161™/1 MAR2022, On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications、2022 年 3 月

No.	目次[37]	備考
5.	INTERFACE DESCRIPTION	• V2V の無線データ定義（BSM 送受信、ポジショニング、セキュリティ・プライバシー、開始/停止まではSAE J2945/1 参照と記載、マッピングはSAE J2945/1 参照+緊急対応に従事する公共安全車両をサポートするデータフレームとエレメントを規定、追加でPC5 無線プレコンフィギュレーションを規定）、システムインタフェース（V2V 通信インタフェース、SCMS（Security Credential Management System）通信インタフェース※1、ポジショニングサブシステムインタフェース※1）を規定
6.	MINIMUM REQUIREMENTS	• 適合規格プロファイル、POSTIM（Positioning and Timing Requirements）※1、BSM 伝送、無線周波数パフォーマンス、セキュリティ・プライバシー、セキュリティマネジメント※1 に関する最低要件を規定
7.	PARAMETER SETTINGS	• セクション6 の最低要件におけるパラメータに割り当てる値を規定（基本的にはSAE J2945/1 参照とされ、例外のパラメータのみ記載）
8.	NOTES	―
9.	APPENDIX A A.1 IMPLEMENTATION CONFORMANCE STATEMENT (NORMATIVE) A.2 COORDINATE TRANSFORMATION (NORMATIVE) A.3 2D POSITION EXTRAPOLATION (NORMATIVE) A.4 REFER TO SAE J2945/1 A.3.CALCULATIONS INTO VEHICLE’S POSITION REFERENCE POINT A.5 PATH HISTORY REFERENCE DESIGN (INFORMATIVE) A.6 PATH PREDICTION REFERENCE DESIGN (INFORMATIVE) A.7 OPEN SKY TEST CONDITIONS (NORMATIVE) A.8 ADDITIONAL CONGESTION CONTROL ALGORITHM DETAILS (NORMATIVE) A.9 EXAMPLE SIGNED MESSAGE WITH CERTIFICATE AND CORRESPONDING ASN.1 (INFORMATIVE) A.10 RRC PRE-CONFIGURATION PARAMETERS	―
10.	APPENDIX B CHANGES TO SAE J2735 TO ADD TIME CONFIDENCE TO VEHICLE SAFETY EXTENSIONS	―
11.	APPENDIX C SSP DESIGN FOR EMERGENCY VEHICLES (REFER TO J2945/5)	―

※1 それぞれ SAE J2945/1 参照と記載。

Figure 1 - On-board V2V system

図 3.3.2-2　V2V システムの構成要素とそのインタフェース（4.1 節）[38]

(b) ETSI TS 103 574

(ア) 名称

- Intelligent Transport Systems (ITS); Congestion Control Mechanisms for C-V2X PC5 interface; Access layer part
- 参照文書：ETSI TS 103 574 V1.1.1

(イ) 標準化団体

- ETSI

(ウ) 標準化ステータス

- 改定：2018-11, 1.1.1 (Active)

(エ) 標準の位置づけ

- Technical specification（TS）
- セキュリティ層の ITS コミュニケーションセキュリティ（ETSI TS 102 940～943）で使用する、C-V2X 通信に係る輻輳制御メカニズムを規定

(オ) スコープ・標準内容

- LTE-V2X のアクセス層での輻輳制御技術を規定
- 規定内容には、輻輳制御を行うエンティティへのインタフェースを含む
- 本 TS は 3GPP Release14 RAN 仕様に準拠

(カ) 関連標準類

- ETSI TS 136 300 (V14.7.0): "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (3GPP TS 36.300 version 14.7.0 Release 14)".（E-UTRA・E-UTRAN の概要）

---

[38] 出典：SAE、J3161™/1 MAR2022, On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications、P11、2022 年 3 月

- ETSI TS 136 321 (V14.7.0): "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification (3GPP TS 36.321 version 14.7.0 Release 14)".（MAC プロトコル仕様関連）
- ETSI TS 136 331 (V14.6.2): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 36.331 version 14.6.2 Release 14)”.（無線リソース制御のプロトコル仕様関連）
- ETSI TS 136 214 (V14.4.0): “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements (3GPP TS 36.214 version 14.4.0 Release 14)".（物理層に係る計測関連）

(キ) 内容

ETSI TS 103 574 の目次構成を表 3.3.2-4 に示す。

表 3.3.2-4　ETSI TS 103 574 の目次構成

No.	目次[39]	備考
1.	Scope	－
2.	Reference	－
3.	Definition of terms and abbreviations	－
4.	Congestion Control Overview 4.1 Introduction 4.2 Operational requirements 4.3 Congestion control architecture 4.4 Default parameters for mode 4	• 4.1：V2X 通信での輻輳制御の位置（図 3.3.2-3）、仕組み、チャネル輻輳の原因の概要を説明 • 4.2：輻輳によるチャネルの負荷に応じた、チャネルリソースの運用要件を規定 • 4.3：LTE-V2X の輻輳制御のアーキテクチャを規定（輻輳制御管理のエンティティは、ファシリティ層、トランスポート・ネットワーク層、アクセス層のそれぞれとインタフェースを持つ） • 4.4：LTE-V2X で、アプリケーションレイヤから下位レイヤに送信されるパケットに関連付けられる優先値の概要と、優先値の参照標準を説明
5.	Control mechanism 5.1 Calculation of CR 5.2 Calculation of CBR 5.3 Other considerations	• 5.1：パケット送信に係る、CR（Channel occupancy Ratio）と CRlimit（CR の制限値）との関係式を規定 • 5.2：アクセス層における CBR（Channel Busy Ratio）の算出方法を規定 • 5.3：制御プールとデータプールが周波数的に隣接していない構成の場合の測定、輻輳制御、仕様を規定

[39] 出典：目次欄は、ETSI、ETSI TS 103 574 V1.1.1 (2018-11), Intelligent Transport Systems (ITS); Congestion Control Mechanisms for the C-V2X PC5 interface; Access layer part、2018 年 11 月

No.	目次[39]	備考
6.	Congestion Control Process and data exchange 6.1 Introduction 6.2 Algorithm/flowchart(informative) 6.3 Data exchange between access layer congestion control and Congestion Control Management Entity 6.4 Data exchanged between Congestion Control Management Entity and Facilities and Network/transport Layers	• 6.1：6 章の概要 • 6.2：各送信プールによる処理プロセスを規定 • 6.3：アクセス層での輻輳制御と輻輳制御管理のエンティティの間で交換するパラメータを規定 • 6.4：輻輳制御管理のエンティティが、ファシリティ層、トランスポート・ネットワーク層のそれぞれと交換するパラメータを規定

図 3.3.2-3　ITS station におけるコンジェスションコントロール[40]

[40] 出典：ETSI、ETSI TS 103 574 V1.1.1 (2018-11), Intelligent Transport Systems (ITS); Congestion Control Mechanisms for the C-V2X PC5 interface; Access layer part、P7、2018 年 11 月

3.3.3 干渉回避に関わる標準

DSRC 向けの干渉回避に関係する標準は、欧州では ETSI TS 103 724 として標準化されている。概要は以下のとおりである。

(a) ETSI TS 103 724

(ア) 名称

ETSI TS 103 724

Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Interference Management Zone Message (IMZM)

(イ) 標準化団体

ETSI

(ウ) 標準化ステータス

- ETSI TC ITS（WG1 Application Requirements and Services）による Technical Specification（TS）
- 2019 年に提案され、2021 年 8 月に発行（V2.1.1 以前のバージョンは非公開）

(エ) 標準の位置づけ

- 欧州における V2X（ITS-G5、C-V2X）と他のサービスとの干渉を防ぐために利用される

(オ) スコープ・標準内容

- 干渉回避領域を特定するための「干渉管理領域メッセージ」（IMZM）を定義
- ITS station と他のサービスの同一チャネル・隣接チャネルシナリオにおける動的な帯域共有による周波数共有を最適化するために干渉管理領域が設定される

(カ) 関連標準類

- ETSI EN 302 636: GeoNetworking
- ETSI TS 102 894: Users and applications requirements
- ETSI TS 103 097: Security header and certificate formats
- ETSI EN 302 637: Basic Set of Applications（CAM）
- ETSI TS 103 300-3: VRU awareness basic service　他

(キ) 参照文書

ETSI TS 103 724 V2.1.1

(ク) 内容

ETSI TS 103 724 の目次構成を表 3.3.3-1 に示す。

表 3.3.3-1　ETSI TS 103 724 の目次構成

No.	目次[41]	備考
1.	Scope	－
2.	References	－
3.	Definition of terms, symbols and abbreviations	－

[41] 出典：目次欄は、ETSI、ETSI TS 103 724 V2.1.1 (2021-08), Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Interference Management Zone Message (IMZM); Release 2、2018 年 11 月

No.	目次[41]	備考
4.	Introduction to Interference Management Zone (IMZ) basic service	• ITS station と他のサービスとスペクトルを動的に共有することができる地理的な領域として Interference Management Zone（IMZ）を設定
5.	IMZ basic service functional description	• IMZ サービスは、ファシリティレイヤの機能として位置づけ（図 3.3.3-1）
6.	IMZM dissemination	• ゾーン内での無線リソースの利用条件等を IMZ メッセージ（IMZM）として提示
7.	IMZM Format Specification	• IMZM は、インフラ側デバイスから CAM のフォーマットにより送出され、IMZ における利用チャネル、Tolling 等のサービス種別、パラメータ等を伝達（図 3.3.3-2）
8.	Annex A (normative): ASN.1 specification of IMZM	－
9.	Annex B (informative): Security analysis of IMZ use cases	－

Figure 1: IMZ basic service within the ITS-S architecture

図 3.3.3-1　ITS station における IMZ サービス[42]

[42] 出典：ETSI、ETSI TS 103 724 V2.1.1 (2021-08), Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Interference Management Zone Message (IMZM); Release 2、P12、2018 年 11 月

Figure 4: General structure of an IMZM

図 3.3.3-2　IMZM の構造[43]

[43] 出典：ETSI、ETSI TS 103 724 V2.1.1 (2021-08), Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Interference Management Zone Message (IMZM); Release 2、P20、2018 年 11 月

3.3.4 セキュリティに関わる標準

V2X 通信のセキュリティに関係する標準は、米国では IEEE 1609.2、欧州では ETSI TS 102 940 他、中国では YD/T 3594 として標準化されている。それぞれの概要は以下のとおりである。

(a) IEEE 1609.2

(ア) 名称

- IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments--Security Services for Applications and Management Messages
- 参照文書：IEEE Std 1609.2-2016

(イ) 標準化団体

- IEEE

(ウ) 標準化ステータス

- 改定：2016-03, Active

(エ) 標準の位置づけ

- IEEE 標準
- 輻輳制御層のオンボードシステム（DSRC：SAE J2945/1, C-V2X：SAE J3161/1）の下位で使用する WAVE セキュリティサービスを規定

(オ) スコープ・標準内容

- WAVE 機器が使用するメッセージのセキュリティを担保可能な形式・処理、アプリケーションメッセージの安全性確保方法等を規定
- また、コアとなるセキュリティ機能のサポートに必要な管理機能を記述

(カ) 関連標準類

- Federal Information Processing Standard (FIPS) 180-4, Secure Hash Standard (SHS), Aug. 2015.（セキュアハッシュ関数関連）
- Federal Information Processing Standard (FIPS) 186-4, Digital Signature Standard (DSS), July 2013.（電子署名関連）
- Federal Information Processing Standard (FIPS) 197, Advanced Encryption Standard (AES), Nov. 2001.（AES 暗号方式関連）
- IEEE Std 1363a™-2004, IEEE Standard Specifications for Public Key Cryptography–Amendment 1: Additional Techniques.（公開鍵暗号方式関連）
- IEEE Std 1609.0™, IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)–Architecture.（WAVE に係るガイド）
- IEEE Std 1609.3™, Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)–Networking Services.（WAVE に係るネットワークサービス関連）
- IEEE Std 1609.12™, Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)–Identifier Allocations.（WAVE に係る識別子割り当て関連）
- IETF Request for Comments: 3629, UTF-8, A Transformation Format of ISO 10646.5（ISO 10646.5 の変換フォーマット）
- IETF Request for Comments: 5639, Elliptic Curve Cryptography (ECC) Brainpool Standard Curves and Curve Generation.（楕円曲線暗号関連）
- Standards for Efficient Cryptography Group, “SEC 1: Elliptic Curve Cryptography,” Version 2.0, May 21, 2009.7（楕円曲線暗号関連）
- Standards for Efficient Cryptography Group, “SEC 4: Elliptic Curve Qu-Vanstone Implicit Certificate Scheme (ECQV),” Version 1.0, Jan. 24, 2013.（ECQV の証明書スキーム関連）

  ※Reference 文書には含まれないが、SAE はシステム構築におけるガイドとして SS V2X 001（Security Specification through the Systems Engineering Process for SAE V2X Standards）を規定

(キ) 内容

- V2V/V2I でやり取りするメッセージに仮名証明書を添付し、なりすましやメッセージの改ざんを防止する方法を規定

IEEE 1609.2 の目次構成を表 3.3.4-1 に示す。

表 3.3.4-1　IEEE 1609.2 の目次構成

No.	目次[44]	備考
1.	Overview	－
2.	Normative reference	－
3.	Definitions, abbreviations, and acronyms	－
4.	General description	• 仮名証明書を一定周期で更新する仕組みを規定 • V2X 通信機器に複数の仮名証明書を持たせ、一定期間毎に更新し、通信内容のトラッキングを防ぎプライバシーを保護する方法を規定
5.	Cryptographic operations and validity	－
6.	Data structures	－
7.	Certificate revocation lists (CRLs) and the CRL Verification Entity	－
8.	Peer-to-peer certificate distribution (P2PCD)	－
9.	Service primitives and functions	－
10.	Annex A (normative) Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) proforma	－
11.	Annex B (normative) ASN.1 modules	－
12.	Annex C (informative) Specifying the use of IEEE Std 1609.2 by SDEEs	－
13.	Annex D (informative) Examples and use cases	－
14.	Annex E (informative) Deployment considerations	－
15.	Annex F (informative) Bibliography	－

(b) ETSI TS 102 940

(ア) 名称

- ETSI TS 102 940 Intelligent Transport Systems (ITS) Security; ITS communications security architecture and security management Release 2
- 参照文書：ETSI TS 102 940 V2.1.1

(イ) 標準化団体

- ETSI

---

[44]出典：目次欄は、IEEE、IEEE Std 1609.2™-2016, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments—Security Services for Applications and Management Messages、2016 年 1 月 29 日

(ウ) 標準化ステータス

- 2021 年改定（2012 年制定）

(エ) 標準の位置づけ

- 欧州標準として ETSI TS 102 731 で定義される ITS セキュリティサービスに基づいて、ITS 通信に必要な機能エンティティと ETSI EN 302 665 で定義される ITS リファレンスアーキテクチャの各要素との関係を規定する

(オ) スコープ・標準内容

- ITS 通信のセキュリティアーキテクチャとして、セキュリティサービスに必要な機能エンティティ及び各エンティティと ITS リファレンスアーキテクチャの各要素との関係を規定する
- セキュリティ識別子と証明書の管理、PKI のプロセスとインタフェース、基本ポリシーとガイドラインを含む一連のセキュリティサービスの役割と位置づけを規定する

(カ) 関連標準類

- ETSI EN 302 665 ITS Communications Architecture（ITS コミュニケーションアーキテクチャ）
- ETSI TS 102 731 ITS Security; Security Services and Architecture（セキュリティサービスとアーキテクチャ）
- ETSI TS 102 941 ITS Security; Trust and Privacy Management（セキュリティ トラスト・セキュリティマネジメント）
- ETSI TS 102 942 ITS Security; Access Control（セキュリティ アクセスコントロール）
- ETSI TS 102 943 ITS Security; Confidentiality services（コンフィデンシャリティサービス）
- ETSI TS 103 097 ITS Security; Security header and certificate formats（セキュリティヘッダと証明書のフォーマット）
- ETSI EN 302 636-4-1 ITS Vehicular communications; GeoNetworking; Part4（位置情報利用プロトコル 第 4 部）

(キ) 内容

ETSI TS 102 940 の目次構成を表 3.3.4-2 に示す。

表 3.3.4-2　ETSI TS 102 940 の目次構成

No.	目次[45]	備考
1.	Scope	－
2.	References	－
3.	Definition of terms, symbols, abbreviations and notation	－
4.	ITS reference architecture 4.1 Background 4.2 ITS applications groups 4.3 Security requirements of ITS application groups	• レファレンスアーキテクチャを規定（図 3.3.4-1）

[45] 出典：目次欄は、ETSI、ETSI TS 102 940 V2.1.1 (2021-07), Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management; Release 2、2021 年 7 月

No.	目次[45]	備考
5.	ITS communications security architecture 5.1 ITS station communications security architecture 5.2 Security services 5.3 ITS security functional model	• セキュリティのアーキテクチャを規定
6.	ITS station security management 6.1 Basic principles 6.2 Guidelines for establishing enrolment trust requirements 6.3 Trust and privacy management 6.4 Access control 6.5 Identity management 6.6 Confidentiality	• ITS station におけるセキュリティマネジメントを規定
7.	ITS Security management system 7.0 General 7.1 Certificate Trust List/multiple Root Cas 7.2 Root CA 7.3 Enrolment Authority 7.4 Authorization Authority 7.5 Trust List Manager 7.6 Misbehaviour Authority	• セキュリティマネジメントシステムを規定（図 3.3.4-2）

図 3.3.4-1　ITS station におけるセキュリティの構成[46]

[46] 出典：ETSI、ETSI TS 102 940 V2.1.1 (2021-07), Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management; Release 2、P22、2021 年 7 月

図 3.3.4-2　PKI アーキテクチャ[47]

(c) YD/T 3594

(ア) 名称

- YD/T 3594-2019 General technical requirements of security for vehicular communication based on LTE
- 参照文書：YD/T 3594-2019

(イ) 標準化団体

- China Communication Standards Association
（Drafting；China Academy of Information and Communications Technology）

(ウ) 標準化ステータス

- 2019 年設定

(エ) 標準の位置づけ

- 工業情報化部の標準として発行

(オ) スコープ・標準内容

- LTE を用いた車両通信のセキュリティに関する総合的な技術要件、インタフェース、セキュリティ要件、セキュリティ手順を規定

(カ) 関連標準類

- GB/T 37376-2019 Transportation - Digital certificate format
- GB/T 37374-2019 Intelligent transport - Digital certificate application interface
- 3GPP TS 33.210 3G security; Network Domain Security (NDS); IP network layer security)
- 3GPP TS 33.223 Generic Authentication Architecture (GAA); Generic Bootstrapping Architecture (GBA) Push function)
- 3GPP TS 33.246 3G Security; Security of Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS)

---

[47] 出典：ETSI、ETSI TS 102 940 V2.1.1 (2021-07), Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management; Release 2、P35、2021 年 7 月

- IEEE Std 1363 IEEE Standard Specifications for Public-Key Cryptography
- IEEE Std 1609.2-2016 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Security Services for Applications and Management Messages
- IETF RFC 5639 Elliptic Curve Cryptography (ECC) Brainpool Standard Curves and Curve Generation

(キ) 内容

YD/T 3594 の目次構成を表 3.3.4-3 に示す。

表 3.3.4-3　YD/T 3594 の目次構成

No.	目次[48]	備考
1.	Scope	―
2.	Normative References	―
3.	Abbreviations	―
4.	LTE-based vehicular communication architecture 4.1 Overview 4.2 PC5 and LTE-Uu based V2X communication architecture 4.3 MBMS and LTE-Uu based V2X communication architecture 4.4 LTE-based vehicular communication security architecture	• アーキテクチャを規定（図 3.3.4-3）
5.	Requirements for LTE-based vehicular communication security 5.1 General security requirements 5.2 Security requirements for network elements	• セキュリティリクワイアメントを規定 • ネットワークによる認証、V2X 通信の完全性の保護、匿名性とプライバシーの保護（デバイスの追跡や識別の防止）、暗号アルゴリズムの利用のサポート、安全な通信路（https 等）のサポート、機密情報の安全な保管のサポート等を要求
6.	Security process of V5 interface 6.1 Overview 6.2 Description of security basic elements 6.3 General requirements for security data structure 6.4 Public key certificate format 6.5 Message signing process 6.6 Message encryption process 6.7 Key negotiation	• セキュリティプロセスを V5（各 UE 上の V2X application 間の参照点）とその他の参照点（V3、MB2）に分けて規定 • 参照標準として IEEE 1609.2 を含む

[48] 出典：目次欄は、COMMUNICATION INDUSTRY STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、YD/T 3594-2019, General technical requirements of security for vehicular communication based on LTE、2019 年 11 月 11 日

No.	目次[48]	備考
7.	Security procedures of other interfaces 7.1 V2X communication security process between network elements 7.2 Security process of V3 interface 7.3 Security process of MB2 interface	
8.	Appendix A (Normative) Algorithm description	—
9.	Appendix B (Informative) Device authorization management	—
10.	Appendix C (Informative) Public key certificate management	—
11.	Appendix D (Informative) Data message of V5 interface	—
12.	Appendix E (Informative) Key negotiation calculation process	—
13.	Appendix F (Informative) Certificate request and response	—
14.	Appendix G (Informative) Recommendations on allocation of security-related AID value	—

図 3.3.4-3　セキュリティ アーキテクチャ[49]

[49] COMMUNICATION INDUSTRY STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、YD/T 3594-2019, General technical requirements of security for vehicular communication based on LTE、P13、2019 年 11 月 11 日

3.4　継続調査が必要な事項の整理

3.4.1　新たなサービスへの対応

各国では新たなサービスに関する検討と標準化も進展している。これまで最初のステップとして検討されてきた BSM、CAM/DENM 等の基本的なメッセージを利用するサービスに加え、歩行者等（VRU）の安全に資するようなメッセージ等についても検討が行われており、SAE や ETSI において標準化が行われている。

また、より高度なサービスとして、協調認識（CPS/CPM）としてセンシングデータ等の共有、車両の状態を密に交換するサービス、調停・ネゴシエーションを行うサービス等に関しても検討中であり、こうした新たなサービスのためのメッセージ等についても標準化が進展中である。

こうしたサービスに関する動向について今後も引き続き調査をするとともに、サービス導入の必要性について検討を行っていく必要がある。

3.4.2　通信や制御に関わる標準化への対応

通信や制御に関する標準化は一通り整備されてきているが、新たな通信に関する標準類については検討中の部分も多い。

LTE-V2X や DSRC（802.11p）に関する標準が整備されてきている一方で、NR-V2X あるいは 802.11bd 等の新しい通信の利用に関してはまだ開発途上であり、今後も標準化等の動向について動向を把握する必要がある。

また、新たなサービスによるニーズ（例えば、VRU への適用による通信トラフィックの増加、データシェアリングによる通信量の増加等）の変化から、制御方法の検討や標準化も引き続き行われると考えられ、そうした動向についても注視していく必要がある。

4. 通信プロトコルの案出に向けた検討

本章では、通信プロトコルの案出に向けた検討内容を記載する。具体的には通信プロトコルの案出に向け、通信チャネル割り当て、上位層における通信制御方式、交通流シミュレーションを通じた効果検証を検討した。

4.1 通信チャネル割り当て

通信チャネルの割り当てにおける検討手順を図 4.1-1 に示す。

はじめに、割り当てに関する検討方針の検討では、海外動向調査結果を踏まえて、割り当てるチャネル構成や対象メッセージを検討方針として定義した。次に、通信チャネルの割り当て案の検討では、ITS フォーラム通信要件及びメッセージセット（RC-017）を用いて通信チャネル割り当て案を検討した。検討した通信チャネル割り当て案の各案に対して、特徴、実現に向けた課題等を考察した。

図 4.1-1　通信チャネル割り当ての検討手順

また上記の手順で検討した割り当て案に対して、協調型自動運転ユースケースに基づくケーススタディを実施し各チャネルの通信量の試算を行い、通信チャネル割り当てを決定するための課題検討を実施した。

4.1.1 割り当て案に関する検討方針

(1) チャネル帯域幅

本検討では 5.9GHz 帯 30MHz 幅を前提として、RC-017 におけるメッセージを前提として、通信チャネル割り当て案の検討を行う。

１チャネル当たりの帯域幅は、海外動向を踏まえ、10MHz 幅、20MHz 幅、30MHz 幅のそれぞれを対象とする。

図 4.1.1-1 に各国における周波数割り当て状況を示す。

図 4.1.1-1　各国における周波数割り当て状況[50]

(2) メッセージ

RC-017 におけるメッセージ（狭域通信に関わる計 12 種類）に対し、通信形態（V2I、V2V）、通信内容に応じた通信チャネルの割り当て案を検討する。

- 全てのユースケースが実装されていることを前提とする（2040 年以降）
- 現時点で、V2I による先読み情報（d-1～5）、隊列走行（g-1,2）に関わるメッセージは考慮しない

4.1.2 通信チャネルの割り当て案の検討

通信チャネルの割り当てにおける考え方として、RC-017 におけるメッセージをグループに分けし、そのグループに基づき割り当て案を検討した。

(1) 通信チャネルの割り当てにおける基本的な考え方

以下にメッセージのグループ分けと割り当て案の検討内容を示す。

(a) メッセージのグループ分け

RC-017 で定義されているメッセージを、以下の 3 つの観点でグループ化した。

1) V2I ユースケースと V2V ユースケースは場面が異なることから、原則、別のチャネルに割り当てる。
2) 路車間での調停、車車間でのネゴシエーションは多数のやり取りが発生することから、原則、同報とは別のチャネルに割り当てる。
3) 車両において緊急的に発生する事象（急ブレーキ等）は、確実に伝達すべきことから、原則、別チャネルに割り当てる。

ここでの結果を図 4.1.2-1 に示す。

---

50 出典：周波数再編アクションプラン（令和 4 年度版）（案） 概要の P11
https://www.soumu.go.jp/main_content/000833366.pdf

図 4.1.2-1 メッセージのグループ化

なお、c-2-1 交差点の情報による走行支援のメッセージについては、交差点だけではなく ETSI の CAM や SAE の BSM と同様に常時送信するものと考え、c-2-1 のメッセージ名を車両基本情報メッセージとして置き換えて検討した。

(b) 割り当て案の検討

図 4.1.2-1 のグループ A～E を以下の考えに応じ、案 1～案 9 の割り当て案を検討した。

- 案 1～4：4.1.2(1)(a)の 1)～3)に基づきチャネル帯域幅 10MHz×3ch として、割り当て案を検討した。
  なお、案 3、案 4 については、4 チャネルのうち 1 チャネルは 700MHz 帯 ITS を共用することを想定した。
- 案 5：チャネル帯域幅 30MHz×1ch として割り当て案を検討した。
  （C-V2X における NR-V2X として、チャネル帯域幅 30MHz は対応可能）
- 案 6～9：チャネル帯域幅 10MHz×1ch、20MHz×1ch として割り当て案を検討した。
  （米国 FCC における 5.9GHz の割り当て、チャネル帯域幅 10MHz×1ch、20MHz×1ch を参照）

案 1～案 9 の割り当てイメージを図 4.1.2-2 示す。

図 4.1.2-2 案 1～案 9 の割り当てイメージ

上記割り当て案の案 1～9 の各チャネル割り当てと帯域幅を表 4.1.2-1 に示す。

表 4.1.2-1　チャネル割り当て案（案 1～案 9）

<table>
<tr><th>通信形態</th><th>グループ</th><th>案 1</th><th>案 2</th><th>案 3</th><th>案 4</th><th>案 5</th><th>案 6</th><th>案 7</th><th>案 8</th><th>案 9</th></tr>
<tr><td rowspan="2">V2I</td><td>グループ A
路側機からの同報メッセージ</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch1
10MHz</td><td rowspan="5">Ch1
30MHz</td><td rowspan="2">Ch1
10MHz</td><td>Ch2
20MHz</td><td>Ch2
20MHz</td><td>Ch1
10MHz</td></tr>
<tr><td>グループ B
路側機による調停メッセージ</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch2
10MHz</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch2
20MHz</td><td>Ch1
10MHz</td></tr>
<tr><td rowspan="3">V2V</td><td>グループ C
車両からの同報（連続）メッセージ</td><td>Ch2
10MHz</td><td>Ch2
10MHz</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch2
10MHz</td><td rowspan="3">Ch2
20MHz</td><td>Ch2
20MHz</td><td>車両基本情報メッセージ
Ch1 10MHz
上記以外
Ch2 20MHz</td><td>車両基本情報メッセージ
Ch2 20MHz
上記以外
Ch1 10MHz</td></tr>
<tr><td>グループ D
車両からの同報（緊急）メッセージ</td><td>Ch3
10MHz</td><td>Ch2
10MHz</td><td>Ch3
10MHz</td><td>Ch3
10MHz</td><td>Ch2
20MHz</td><td>Ch2
20MHz</td><td>Ch1
10MHz</td></tr>
<tr><td>グループ E
車両同士によるネゴシエーションメッセージ</td><td>Ch2
10MHz</td><td>Ch3
10MHz</td><td>Ch4
10MHz</td><td>Ch4
10MHz</td><td>Ch1
10MHz</td><td>Ch2
20MHz</td><td>Ch1
10MHz</td></tr>
</table>

各割り当て案の特徴を表 4.1.2-2 に示す。

表 4.1.2-2　チャネル割り当て案（案 1～案 9）の特徴

案	概要	特徴
案 1	10MHz×3ch	緊急車両メッセージを優先 緊急時、車両からの同報（緊急）メッセージの到達性を考慮し、車両からの同報（緊急）メッセージを単独チャネルに割り当て
案 2	10MHz×3ch	車両同士のネゴシエーションメッセージを優先 合流時、ネゴシエーションメッセージの到達性を考慮し、車両同士によるネゴシエーションメッセージを単独チャネルに割り当て
案 3	10MHz×4ch	路側機による調停、車両緊急メッセージ、車両同士のネゴメッセージを優先 合流時の調停メッセージ、緊急時のメッセージ、合流時のネゴシエーションメッセージの到達性を考慮し、路側機による調停メッセージ、車両からの同報（緊急）メッセージ、車両同士によるネゴシエーションメッセージを単独チャネルに割り当て
案 4	10MHz×4ch	V2V のメッセージを優先 V2V メッセージの到達性を考慮し、V2V のメッセージを単独チャネルに割り当て
案 5	30MHz×1ch	全てのメッセージを 1 つのチャネルに集約 柔軟性、拡張性を向上させるため、帯域量を最大限 30MHz1ch に割り当て
案 6	10MHz×1ch、20MHz×1ch	V2I を 10MHz と V2V を 20MHz に設定 V2I と V2V での独立性を向上させるため、通信形態（V2I、V2V）でチャネルを分けた割り当て
案 7	10MHz×1ch、20MHz×1ch	調停ネゴシエーションのメッセージを 10MHz、同報メッセージを 20MHz 設定 同報と調停・ネゴシエーションでの独立性を向上させるため、通信形態（同報、調停・ネゴシエーション）でチャネルを分けた割り当て
案 8	10MHz×1ch、20MHz×1ch	車両基本情報メッセージを 10MHz 単独チャネルに設定 車両基本情報メッセージの独立性を向上させるため、車両基本情報メッセージを単独で 10MHz に割り当て
案 9	10MHz×1ch、20MHz×1ch	車両基本情報メッセージを 20MHz 単独チャネルに設定 車両基本情報メッセージの独立性を向上させるため、車両基本情報メッセージを単独で 20MHz に割り当て

4.1.3 各割り当て案に対する考察

各割り当て案に対しメリットデメリットを検討した。各案のメリットデメリットを表 4.1.3-1 に示す。

表 4.1.3-1　チャネル割り当て案（案 1～案 9）のメリット/デメリット一覧

案	メリット	デメリット
案 1	• 車両緊急メッセージを単独で Ch3 に割り当てを行うことで、緊急時、他のメッセージによる遅延等の影響を軽減	• Ch2 の通信量大 • 調停車両台数が多い時、Ch1 の通信量大
案 2	• 車両同士によるネゴシエーションを単独で Ch3 に割り当てを行うことで、合流時、他のメッセージによる遅延等の影響を軽減	• 調停車両台数が多い時、Ch1 の通信量大 • Ch2 のグループ C,D の通信がお互いに影響を及ぼす可能性がある
案 3	• 路車間の調停、車両緊急メッセージ、車両同士によるネゴシエーションをそれぞれ単独で Ch2、3、4 に割り当てを行うことで、路車間の調停、車両緊急メッセージ、車両同士によるネゴシエーション以外のメッセージによる遅延等の影響を軽減	• Ch1 の通信量大
案 4	• 各 V2V メッセージを単独で Ch2、3、4 に割り当てを行うことで、V2I メッセージによる遅延の影響等を軽減	• 調停車両台数が多い時、Ch1 の通信量大
案 5	• 今後のユースケース、メッセージに対する柔軟性、拡張性を有する • スペクトラム効率大が期待できる	• 上位層における通信制御の複雑化 • C-V2X の 30MHz 幅は、NR-V2X での適用が必要
案 6	• V2I、V2V でチャネルを切り分け • 通信量大、また通信量の変動大が想定される V2V に対して 20MHz を割り当て • Ch2 としてスペクトル効率大が期待できる	• Ch2 の上位層における通信制御の複雑化 • 調停車両台数が多い時、Ch1 の通信量大
案 7	• 同報と調停&ネゴシエーションを分けて Ch 1、2 に割り当て • Ch2 としてスペクトル効率大が期待できる	• Ch1、2 の上位層における通信制御の複雑化
案 8	• ユースケース間の移行にも対応しやすい（例：a-1-3→a-1-4） • イベント系メッセージに余裕を持たせた割り当て • Ch2 としてスペクトル効率大が期待できる	• Ch2 の上位層における通信制御の複雑化
案 9	• ユースケース間の移行にも対応しやすい（例：a-1-3→a-1-4） • Ch2 としてスペクトル効率大が期待できる	• Ch1 の上位層における通信制御の複雑化 • 調停車両台数が多い時、Ch1 の通信量大

4.1.4 ケーススタディに則した通信量の試算

割り当て案に対して、協調型自動運転ユースケースに基づきケーススタディの条件を定義し、各チャネルにおける通信量を試算した。

(1) ケーススタディの条件

以下にケーススタディの条件を示す。

(a) 対象とするケーススタディ

ユースケース出現場所の候補を、表 4.1.4-1 に示す。

出現場所として、様々なユースケースが輻輳し、多くの通信が生じる可能性が高い「交差点周辺」を選定し、「交差点周辺」に関わるユースケースを対象とする。

表 4.1.4-1　ユースケース出現場所の候補

ユースケース出現場所	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：V2V）	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）
合流部周辺	○	△※1	○	-	○	-	-	○	-
交差点周辺	-	-	○	○	○	×※2	○	○	○
通信パス	• インフラ→合流車	• 合流車→本線車 • 本線車→合流車	• 変更車→受入車 • 受入車→変更車	• インフラ→周辺車	• インフラ→周辺車	• 検出車→周辺車	• 対向車→右折車	• 検出車→周辺車	• 緊急車両→周辺車 • 緊急車両→インフラ • インフラ→周辺車

※○：発生する、-：発生しない

※1 △：発生するが通信量の試算対象外(合流支援は、a-1-3 のユースケースを採用するため)

※2 ×：発生するが通信量の試算対象外(車両基本情報メッセージと同等と考えるため)

(b) ケーススタディにおける道路環境、車両条件

道路環境、車両条件を以下に示す。

- 車線数は、直進 2 車線、右折レーン 1 車線で交差点の横方向、縦方向ともに計 5 車線。
- 縦方向の車両は静止状態。
- 右折レーンは 250m とし、右折車は静止状態。
- 車長は 5m。
- 車間距離は車速 20km/h@1 秒車間、車速 40km/h@1 秒車間、車速 40km/h@2 秒車間を対象とし、静止状態では車間 2m とする。

(c) ケーススタディにおける通信条件

通信条件を以下に示す。

- 通信範囲：交差点中心から半径 250m の範囲。
- 車両基本情報メッセージ（c-2-1 メッセージと同等）：常に定周期送信を想定（走行車両 100ms 周期、停止車両 1s 周期）。
- c-1：同時 10 台からの送信を想定。
- e-1：同時 1 台からの送信を想定。
- a-2：c-1 の発生に伴い車線変更が発生するものとし、走行車両数の 5%が車線変更すると想定。

(d) 通信量の計算式

通信量の計算式を以下に示す。

通信量 [bps] ＝（メッセージサイズ×周期×通信範囲内の端末数）[bps]

通信量を求める際に必要なメッセージサイズ、送信周期は、RC-017 に記載されている値を使用する。

(e) 各ユースケースにおける個別条件

各ユースケースにおける個別条件を以下に示す。

- c-1、c-3 はセットとして考える。本検討では 5 台がハザード情報を検出すると仮定し、5 台が c-1、c-3 のユースケースのメッセージを同時に発信するという考えで、計 10 台から c-1/c-3 のメッセージを発信する。
- c-1、c-3 のリレー送信は、本検討では後続車へリレーしない前提で検討する。
- e-1 の緊急車両は 1 台として考える。
- a-2 に関して、自動運転車両は交差点直前で車線変更しない想定だが、c-1、c-3 の発生に伴う車線変更が発生する可能性がある。全体車両数の 5%（仮）が車線変更すると仮定する。
- イベントトリガーのユースケースは同時発生（通信量が最大の場合）するものとして考える。

(f) 車両配置

車速 20km/h@1 秒車間、車速 40km/h@1 秒車間、車速 40km/h@2 秒車間時の車両配置を以下に示す。

(ア) 車速 20 ㎞/h＠1 秒車間

車速 20 ㎞/h@1 秒車間（車間距離 5.56m）の場合の交差点車両配置結果は 460 台となる。交差点のイメージを以下の図 4.1.4-1 に示す。

以下、車両基本情報メッセージを基に通信量を試算した。

横方向直進車両：47 台×4 車線
横方向右折車両：34 台×2 車線
縦方向全車線：34 台×6 車線

1 メッセージあたりのパケットサイズ：2,256bit[51]

走行中の車両（横方向直進車両）台数（100ms 周期で送信）：188 台
静止状態の車両（横方向右折車両＋縦方向全車線）台数（1s 周期で送信）：272 台

通信量試算：（走行中の通信量＋静止状態の通信量）×1/1,000
（2,256bit×10Hz×188 台＋2,256bit×1Hz×272 台）×1/1,000=4,854.91Kbps

図 4.1.4-1　車速 20 ㎞/h@1 秒車間での車両配置イメージ

(イ) 車速 40 ㎞/h@1 秒車間
車速 40 ㎞/h@1 秒車間（車間距離 11.11m）の場合の交差点車両配置結果は 396 台となる。交差点のイメージを以下の図 4.1.4-2 に示す。
以下、車両基本情報メッセージを基に通信量を試算した。

横方向直進車両：31 台×4 車線
横方向右折車両：34 台×2 車線
縦方向全車線：34 台×6 車線
1 メッセージあたりのパケットサイズ：2,256bit

走行中の車両（横方向直進車両）台数（100ms 周期で送信）：124 台
静止状態の車両（横方向右折車両＋縦方向全車線）台数（1s 周期）：272 台

通信量試算：（走行中の通信量＋静止状態の通信量）×1/1,000
（2,256bit×10Hz×124 台＋2,256bit×1Hz×272 台）×1/1,000=3,411.07Kbps

[51] 参照：https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf
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
P.256 c-2-1 の最大データサイズ

図 4.1.4-2　車速 40 ㎞/h@1 秒車間での車両配置イメージ

(ウ) 車速 40 ㎞/h@2 秒車間

車速 40 ㎞/h@2 秒車間（車間距離 22.22m）の場合の交差点車両配置結果は 348 台となる。交差点のイメージを以下の図 4.1.4-3 に示す。

以下、車両基本情報メッセージを基に通信量を試算した。

横方向直進車両：19 台×4 車線
横方向右折車両：34 台×2 車線
縦方向全車線：34 台×6 車線
1 メッセージあたりのパケットサイズ：2,256bit

走行中の車両（横方向直進車両）台数（100ms 周期）：76 台
静止状態の車両（横方向右折車両＋縦方向全車線）台数（1s 周期）：272 台

通信量試算：（走行中の通信量＋静止状態の通信量）×1/1,000
（2,256bit×10Hz×76 台＋2,256bit×1Hz×272 台）×1/1,000=2,328.19Kbps

図 4.1.4-3　車速 40 ㎞/h@2 秒車間での車両配置イメージ

(2) ケーススタディによる試算結果
ケーススタディによる試算結果を以下に示す。

(a) 各ユースケースにおける通信量の試算
前述した各車両配置のユースケース毎の通信量の試算結果を記載する。

(ア) 車速 20 ㎞/h@1 秒車間
車両配置として車速 20km/h@1 秒車間での試算結果を表 4.1.4-2 に示す。

表 4.1.4-2　車速 20 ㎞/h@1 秒車間時のユースケース毎の通信量

ユースケース	メッセージ ID	送信端末数	1 メッセージあたりのパケットサイズ[bit]	送信周期[Hz]	通信量[Kbps]
-	車両基本情報メッセージ	460	2,256	10	4,854.9
a-2	調停/更新要求メッセージ	9	2,328	10	1,288.6
	調停/更新応答メッセージ	47	2,296	10	
b-1-1	信号情報メッセージ	1	8,000	10	80.0
c-1/c-3	ユースケース c-3 でのメッセージ	5	2,496	10	249.6
c-2-2	ユースケース c-2-2 でのメッセージ	1	9,200	10	92.0
e-1	ユースケース e-1 でのメッセージ	1	2,416	10	24.2

(イ) 車速 40 ㎞/h@1 秒車間

車両配置として車速 40km/h@1 秒車間での試算結果を表 4.1.4-3 に示す。

表 4.1.4-3　車速 40 ㎞/h@1 秒車間時のユースケース毎の通信量

ユースケース	メッセージ ID	送信端末数	1 メッセージあたりのパケットサイズ[bit]	送信周期[Hz]	通信量[Kbps]
-	車両基本情報メッセージ	396	2,256	10	3,411.1
a-2	調停/更新要求メッセージ	6	2,328	10	851.4
	調停/更新応答メッセージ	31	2,296	10	
b-1-1	信号情報メッセージ	1	8,000	10	80.0
c-1/c-3	ユースケース c-3 でのメッセージ	5	2,496	10	249.6
c-2-2	ユースケース c-2-2 でのメッセージ	1	9,200	10	92.0
e-1	ユースケース e-1 でのメッセージ	1	2,416	10	24.2

(ウ) 車速 40 ㎞/h@2 秒車間

車両配置として車速 40km/h@2 秒車間での試算結果を表 4.1.4-4 に示す。

表 4.1.4-4　車速 40 ㎞/h@2 秒車間時のユースケース毎の通信量

ユースケース	メッセージ ID	送信端末数	1 メッセージあたりのパケットサイズ[bit]	送信周期[Hz]	通信量[Kbps]
-	車両基本情報メッセージ	348	2,256	10	2,328.2
a-2	調停/更新要求メッセージ	4	2,328	10	529.4
	調停/更新応答メッセージ	19	2,296	10	
b-1-1	信号情報メッセージ	1	8,000	10	80.0
c-1/c-3	ユースケース c-3 でのメッセージ	5	2,496	10	249.6
c-2-2	ユースケース c-2-2 でのメッセージ	1	9,200	10	92.0
e-1	ユースケース e-1 でのメッセージ	1	2,416	10	24.2

(a) 各チャネル割り当て案における試算結果

案 1～案 9 に対して、車両配置として車速 20km/h@1 秒車間、車速 40km/h@1 秒車間、車速 40km/h@2 秒車間毎の各チャネル割り当て案の各チャネルにおける通信量を試算した結果を表 4.1.4-5 に示す。

表 4.1.4-5 各チャネル割り当て案における試算結果

単位：通信量(Kbps)

チャネル	案1			案2			案3			案4		
	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間
Ch.1	172.0	172.0	172.0	172.0	172.0	172.0	5051.1	3607.2	2524.4	172.0	172.0	172.0
Ch.2	6167.7	4286.6	2881.7	5128.7	3684.8	2602.0	0	0	0	4879.1	3435.2	2352.4
Ch.3	249.6	249.6	249.6	1288.6	851.4	529.4	249.6	249.6	249.6	249.6	249.6	249.6
Ch.4	-	-	-	-	-	-	1288.6	851.4	529.4	1288.6	851.4	529.4

チャネル	案5			案6			案7			案8			案9		
	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間	20km/h @1秒車間	40km/h @1秒車間	40km/h @2秒車間
Ch.1	6589.3 (2196.4)	4708.3 (1569.4)	3303.3 (1101.1)	172.0	172.0	172.0	1288.6	851.4	529.4	4854.9	3411.1	2328.2	1734.4	1297.2	975.1
Ch.2	-	-	-	6417.3 (3208.7)	4536.3 (2268.2)	3131.3 (1565.7)	5300.7 (2650.4)	3856.8 (1928.4)	2774.0 (1387.0)	1734.4 (867.2)	1297.2 (648.6)	975.1 (487.6)	4854.9 (2427.5)	3411.1 (1705.6)	2328.2 (1164.1)
Ch.3,4	割り当て無し														

※（xxxx.x）：表中における括弧書きの値については、10MHz 幅換算の値

※ピンク色塗りつぶし：グループ C「車両からの同報（連続）」を含むチャネルの最大通信量

現状、車両基本情報メッセージは走行車両 100ms 周期、停止車両 1s 周期としているが、条件によっては通信制御の考慮が必要

※青色塗りつぶし：グループ E「車両同士によるネゴシエーション」として、a-2 の車両数に依存する（今回は走行車両数の 5%）

(b) 通信量の試算結果に対する考察

車両基本情報メッセージ、車両同士によるネゴシエーションに関するメッセージが含まれるチャネルの通信量は、車両数に応じ比例して通信量が増大することから、通信量が Mbps オーダーとなった。他のメッセージについては、車両間隔が短く、車両が多い場合でも比較的に通信量は小さくなった。

今回のケーススタディと同様に車両数に応じ比例して通信量が増大することが考えられる場合（特に実環境では、車両数の上限を想定することができないため)、チャネルに通信負荷がかかった場合でも通信制御等を用いて、チャネル通信量を抑制する検討が必要である。

4.1.5 各割り当て案の検討課題

各割り当て案に対する検討・検証課題の抽出手順を以下に示す。

1） 以下の 2 つの観点で検討課題を抽出
   - チャネル割り当てのあるべき姿からの課題抽出（トップダウン）
   - チャネル割り当て案の案 1～案 9 の技術的観点からの課題抽出（ボトムアップ）
2） 1）で抽出した 2 つの観点での課題を突き合わせて紐づけを実施し、抜け漏れがないかを確認
3） 2）で紐づけた課題を以下の 4 つに分類
   - 各チャネル割り当て案の帯域使用量の確認
   - メッセージの多重化
   - 帯域使用率の確認（20MHz、30MHz 幅のチャネル割り当て）
   - マルチチャネル対応に向けた対応可否の確認
4） 課題のまとめ

(1) 検討課題の抽出

トップダウン、ボトムアップで各割り当て案の課題の深堀検討を実施した。

(a) トップダウンによる課題抽出

以下の観点で課題の抽出を行った結果を図 4.1.5-1 に示す。

- 各チャネル通信量平均化
- ユースケース間の連携
- 将来的な柔軟性、拡張性
- 5.9GHz 帯と 700MHz 帯 ITS の共用

図 4.1.5-1 トップダウンによる課題抽出

また、図 4.1.5-1 のツリー構造から検討した具体的な課題内容や検討・検証事項を表 4.1.5-1 に示す。

表 4.1.5-1　トップダウン観点での課題一覧（1／2）

No	大項目	中項目	小項目	課題
1	チャネル割り当ての決定	各チャネル通信量平均化	通信量オーバー（通信制御）	送信間隔が短く、チャネル負荷が高い場合の通信制御検討
2			通信量オーバー（送信遅延）	優先度が低いメッセージの送信遅延によるユースケースの実現への影響確認
3			使用頻度	送信頻度、受信頻度が高いメッセージが同じチャネルに偏ることによるチャネル負荷軽減検討
4			メッセージ割り振り（V2I 同報）	車両台数が多い場合の通信量大による通信制御検討
5			メッセージ割り振り（V2I 調停）	車両台数が多い場合の通信量大によるメッセージの多重化による効果検証
6			メッセージ割り振り（V2V 同報）	車両台数が多い場合の通信量大（10MHz を超える場合あり）による通信制御検討
7			メッセージ割り振り（V2V ネゴシエーション）	車両台数が多い場合の通信量大による通信制御検討
8			帯域（サイズ）	帯域超過に対する通信制御検討
9		ユースケース間の連携	V2I⇔V2V の連携（メッセージ遅延）	ユースケース間の連携によるメッセージの送信遅延が、切り替え後のユースケースへの影響確認
10			同報⇔調停ネゴシエーションの連携（メッセージ遅延）	
11			同報（緊急）⇔同報（連続）の連携	

表 4.1.5-1　トップダウン観点での課題一覧（2／2）

No	大項目	中項目	小項目	課題
12		将来的な柔軟性、拡張性	上位層における通信制御の複雑化（30MHz）	30MHz 幅における無線リソースの最適化検討
13			30MHz 幅では、C-V2X での使用不可（30MHz）	
14			30MHz のリソースの最適化（30MHz）	
15			上位層における通信制御の複雑化（10MHz、20MHz）	20MHz 幅における無線リソースの最適化検討
16			10MHz、20MHz のリソースの最適化（10MHz、20MHz）	
17		5.9GHz 帯と 700MHz 帯 ITS の共用	周波数特性（メッセージ割り振り）	周波数の特性等を考慮し、メッセージ割り振りによる効果検証
18			マルチチャネル（ハードウェア制約）	マルチチャネルにおけるハードウェア制約として、複数無線の実装によるコスト増の低減
19			マルチチャネル（干渉）	マルチチャネルにおける隣接チャネルからの干渉、ブロッキングの影響確認
20			マルチチャネル（チップ性能）	マルチチャネルにおけるチップ性能（チャネル切り替え制限、処理スペック）による実現性の検討
21			マルチチャネル（共用）	5.9GHz 帯と 700MHz 帯 ITS の共用を行うためのマルチチャネル対応した端末検討

(b) ボトムアップによる課題抽出

通信チャネル割り当て案である 表 4.1.2-1 の案 1～案 9 に対して課題の抽出を行い、その抽出結果を表 4.1.5-2 に示す。

表 4.1.5-2　ボトムアップによる課題一覧

No	案	課題内容
1	案 1	グループ C、E に対する通信制御の最適化
2		調停車両台数が多い時、路側機の送受信シーケンス検討
3	案 2	グループ C、D に対する通信制御の最適化
4		調停車両台数が多い時、路側機の送受信シーケンス検討
5	案 3	グループ A、C に対する通信制御の最適化
6		700MHz 帯 ITS を含めたマルチチャネル化
7	案 4	調停車両台数が多い時、路側機の送受信シーケンス検討
8		700MHz 帯 ITS を含めたマルチチャネル化
9	案 5	路側システム、車載システムの通信制御仕様化・共通化
10		チャネル利用率の最大化検討
11	案 6	V2I と V2V での通信制御仕様化・共通化
12		調停車両台数が多い時、路側機の送受信シーケンス検討
13	案 7	V2I と V2V での通信制御仕様化・共通化
14		調停＆ネゴシエーション車両台数が多い時、調停ネゴシエーションの送受信シーケンス検討
15	案 8	V2I と V2V での通信制御仕様化・共通化
16		調停＆ネゴシエーション車両台数が多い時、調停ネゴシエーションの送受信シーケンス検討
17	案 9	V2I と V2V での通信制御仕様化・共通化
18		路側機＆調停ネゴシエーションの送受信シーケンス検討

(c) トップダウンとボトムアップの観点で抽出した課題の突き合わせ

前述したトップダウン、ボトムアップの観点で抽出した課題の突き合わせを実施した結果、トップダウンでの課題は、概ねボトムアップでの課題と紐づけることができる。そのため、トップダウンで抽出した課題に基づき、課題の全体像として整理する。

表 4.1.5-1 をベースに紐づけ表を作成し、表 4.1.5-3 にトップダウンでの課題に対するボトムアップでの課題の紐づけ関係を示す。

表 4.1.5-3　トップダウン、ボトムアップ観点での課題の紐づけ表（1／3）

No	トップダウン観点で抽出した課題項目				ボトムアップ観点での課題番号	課題の種別
	大項目	中項目	小項目	課題		
1	チャネル割り当ての決定	各チャネル通信量平均化	通信量オーバー（通信制御）	送信間隔が短く、チャネル負荷が高い場合の通信制御検討	1,2,3,4,5,7,9,11,12,13,14,15,16,17,18	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
2			通信量オーバー（送信遅延）	優先度が低いメッセージの送信遅延によるユースケースの実現への影響確認	1,2,3,4,5,7,9,11,12,13,14,15,16,17,18	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
3			使用頻度	送信頻度、受信頻度が高いメッセージが同じチャネルに偏ることによるチャネル負荷軽減検討	1,2,3,4,5,7	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
4			メッセージ割り振り（V2I 同報）	車両台数が多い場合の通信量大による通信制御検討	5	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
5			メッセージ割り振り（V2I 調停）	車両台数が多い場合の通信量大によるメッセージの多重化による効果検証	2,4,7,12,14,16,18	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
6			メッセージ割り振り（V2V 同報）	車両台数が多い場合の通信量大（10MHz を超える場合あり）による通信制御検討	1,2,3,4,5,7,15,16	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
7			メッセージ割り振り（V2V ネゴシエーション）	車両台数が多い場合の通信量大による通信制御検討	14,16,18	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
8			帯域（サイズ）	帯域超過に対する通信制御検討	1,2,3,4,5,7,15,16	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認

表 4.1.5-3　トップダウン、ボトムアップ観点での課題の紐づけ表（2／3）

No	トップダウン観点で抽出した課題項目				ボトムアップ観点での課題番号	課題の種別
	大項目	中項目	小項目	課題		
9		ユースケース間の連携	V2I⇔V2V の連携（メッセージ遅延）	ユースケース間の連携によるメッセージの送信遅延が、切り替え後のユースケースへの影響確認	－	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
10			同報⇔調停ネゴシエーションの連携（メッセージ遅延）		－	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
11			同報（緊急）⇔同報（連続）の連携		－	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
12		将来的な柔軟性、拡張性	上位層における通信制御の複雑化（30MHz）	30MHz 幅における無線リソースの最適化検討	9,10	柔軟性・拡張性の検討
13			30MHz 幅では、NR-V2X での使用不可（30MHz）			
14			30MHz のリソースの最適化（30MHz）			
15			上位層における通信制御の複雑化（10MHz、20MHz）	20MHz 幅における無線リソースの最適化検討	11,13,15,17	20MHz、30MHz 幅のチャネル割り当てにおける課題検討
16			10MHz、20MHz のリソースの最適化（10MHz、20MHz）			

表 4.1.5-3　トップダウン、ボトムアップ観点での課題の紐づけ表（3／3）

No	トップダウン観点で抽出した課題項目				ボトムアップ観点での課題番号	課題の種別
	大項目	中項目	小項目	課題		
17		5.9GHz 帯と700MHz 帯 ITS の共用	周波数特性（メッセージ割り振り）	周波数の特性等を考慮し、メッセージ割り振りによる効果検証	－	マルチチャネル対応に向けた対応可否確認
18			マルチチャネル（ハードウェア制約）	マルチチャネルにおけるハードウェア制約として、複数無線の実装によるコスト増の低減	－	マルチチャネル対応に向けた対応可否確認
19			マルチチャネル（干渉）	マルチチャネルにおける隣接チャネルからの干渉、ブロッキングの影響確認	－	マルチチャネル対応に向けた対応可否確認
20			マルチチャネル（チップ性能）	マルチチャネルにおけるチップ性能（チャネル切り替え制限、処理スペック）による実現性の検討	－	マルチチャネル対応に向けた対応可否確認
21			マルチチャネル（共用）	5.9GHz 帯と 700MHz 帯 ITS の共用確認を行うためのマルチチャネル対応した端末検討	6,8	マルチチャネル対応に向けた対応可否確認
22	ボトムアップのみ 路側機又は調停・ネゴシエーションの送受信シーケンス検討				2,4,7,12,14,16,18	メッセージの多重化
23	ボトムアップのみ 路側システム、車載システムの通信制御仕様化・共通化				9,11,13,15,17	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認

(2) 割り当て案の課題のまとめ

トップダウン、ボトムアップの課題をまとめるにあたり、表 4.1.5-3 に記載されている各課題を 4 つの種別に集約し、今後の検討内容、検証例を整理した。

4 つの種別を以下に示す。

- 各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認
- メッセージの多重化
- 20MHz、30MHz 幅のチャネル割り当てにおける課題検討
- マルチチャネルの対応に向けた対応可否確認

表 4.1.5-4 に、集約した課題と検討内容、検証例をまとめた一覧を示す。

表 4.1.5-4　通信チャネル割り当ての課題一覧表（1／3）

No	検討課題	検討内容	検証例
1	各チャネル割り当て案の帯域使用量を確認 • 通信量の基準値の決定 • 通信量増大時の対策の効果確認 • 複数ユースケースを考慮した通信要件の検討 • 通信制御方式の決定（送信制御、優先度）	各チャネルの帯域使用量の判断基準を検討し、各チャネル割り当て案によって、判断基準を超過していないか確認する。	海外仕様等を参考に、判断基準の根拠を決定し、条件を決めてシミュレーションを実施して、判断基準を満たしているか確認する。 判断基準の候補 • 各チャネルにおける帯域使用量 • 全チャネルの効率（走行環境等によるチャネルのバランスを確認） シミュレーション 実施条件 • 通信制御で導き出した通信制御方式を組み入れ、案 1～案 9 で通信シミュレーションを実施し、通信量を計測する。 検証方法 • シミュレーション検証で導き出した案 1～案 9 の各チャネルの通信量が、判断基準を満たしているか確認する。

表 4.1.5-4　通信チャネル割り当ての課題一覧表（2／3）

No	検討課題	検討内容	検証例
2	メッセージの多重化 • 調停に関係する送受信シーケンスの通信量を抑える対策の検討 • RC-017 に関する追加検討(通信要件・ＭＳＧ仕様等)	RC-017 で検討されているメッセージについて、メッセージの多重化を行い、メッセージ仕様の変更や通信要件を考慮し帯域使用率の低減を検討する。	メッセージを多重化することによって、課題 No.1 の判断基準を満たしているか確認する。 メッセージの多重化方法： ① 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に、メッセージを多重化する。 ② 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に、メッセージを多重化する。 ③ 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に、メッセージを多重化する。 シミュレーションの実施： ①、②、③の各々の条件にあったユースケースで通信シミュレーションを実施し、メッセージが多重化されてもシーケンスのとおりに動作することを確認する。 判断条件： ①、②、③のシミュレーションを実施し、課題 No.1 の判断基準を満たしているか確認する。 • また①、②、③の実施前と実施後の差分で効果を確認し、多重化した分の効果が発揮されていることを確認する。

表 4.1.5-4　通信チャネル割り当ての課題一覧表（3／3）

No	検討課題	検討内容	検証例
3	柔軟性・拡張性の検討 • 20MHz、30MHz 幅のチャネル割り当てにおける課題検討	20MHz、30MHz の帯域幅を含むチャネル割り当て案について、課題がないか確認する。 • ユースケースの追加、変更等 • チャネル利用の効率化 20MHz or 30MHz が割り当てられた場合の上位層における課題の有無	ユースケースの追加、検討： • 10MHz 幅よりも広域になることでユースケースの追加や変更(統合)が可能かどうか検討する。 チャネル利用の効率化仕様の決定： 効率化仕様の候補（C-V2X の場合）： • SAE[52]にある表のようにパケットサイズに合わせてソースブロックサイズを変える。 • チャネル利用効率の最適化を行う方法として、リソースブロックの最適化が考えられる。最適化を実施するためには、MCS やメッセージサイズから最適なリソースブロックを求める必要があるが、ユースケース毎にメッセージサイズは異なることから最適化方法について検討していく必要がある。（C-V2X の場合）
4	マルチチャネル対応に向けた対応可否確認 • 5.9GHz 帯でのマルチチャネルの実現方法 • 700MHz 帯との共用	5.9GHz 帯でのマルチチャネル化と 700MHz 帯との共用に向けた課題検討 • チャネルの切り替え制御の導入 • 隣接チャネルからの干渉、ブロッキングの影響 • 複数無線を実装するためのコスト • マルチチャネル対応した端末の確保	実機を用いた検証の実施： • チャネルの切り替えの性能を評価する。 • 複数チャネルの送受信が可能な機器を使用して、隣接チャネルでの干渉等の影響を評価する。 ハードウェア面での検討： • ハードウェア面での実装コストの低減に向けた検討

[52] 参照：https://www.sae.org/standards/content/j3161/1_202203/
P.29　Table 11 20MHz low speed (<120km/h)、Table 12 20MHz high speed (≧120km/h)

表 4.1.5-4 に記載した課題検討を通じ、通信チャネル割り当てを最終的に決定するにあたり、以下の事項等を踏まえ継続検討が必要と考える。検討手順案を図 4.1.5-2 に示す。

- 複数のユースケースの同時発生、ユースケース間の連携等を考慮し、通信要件（周期、品質等）の追加検討結果を踏まえた検討（RC-017 に関する追加検討）
- 通信制御仕様（送信制御、優先度）を踏まえた検討
- 無線機における、5.9GHz 帯のマルチチャネルの実現方法
- 700MHz 帯 ITS との共用

図 4.1.5-2 通信チャネル割り当て検討手順案

4.2　上位層における通信制御方式

本項では、上位層における通信制御方式について、検討した結果を述べる。

上位層における通信制御方式の検討手順を図 4.2-1 に示す。

米国（SAE）、EU（ETSI）の通信制御方式例を調査し、その内容に基づき通信制御方式案を案出した。通信制御方式案における機能要件について、ケーススタディを通じて検証し、 実現イメージ及び実現する上での検討・検証事項を整理した。

本検討結果は事業項目(c)、事業項目(d)へ検討に際しフィードバックした。

図 4.2-1　上位層における通信制御方式の検討手順

4.2.1　通信制御方式例

SAE と ETSI の通信制御方式例を調査し、それぞれを比較した結果をまとめた。

(1) SAE[53]

SAE の通信制御方式を以下に示す。

(a) 通信制御のイメージ図

SAE の通信制御方式のイメージを図 4.2.1-1 に示す。上位層における通信制御では、送信タイミング判断、優先度設定、送信電力判断が行われている。

下位層における通信制御では、使用する技術（LTE-V2X／DSRC）によって制御内容が異なるが、本項では上位層における通信制御方式を検討対象とすることから、下位層に関しては詳細な記載は行わず、概要を記載する。

[53] SAE J2945/1_202004 Ch.6.3.8、SAE J3161/1_202203 Ch.6.1.1、Ch.6.3.8 に基づき要約。
https://www.sae.org/standards/content/j2945/1_202004/
https://www.sae.org/standards/content/j3161/1_202203/

図 4.2.1-1　SAE の通信制御方式のイメージ図

(b) 送信タイミング判断

送信タイミング判断における判断要件と、それに対するインプット、処理内容、アウトプットを表 4.2.1-1 に示す。

表 4.2.1-1　SAE の通信制御方式：送信タイミング判断

判断要件	インプット	処理内容	アウトプット
周辺車両密度	受信した BSM（Basic Safety Message）	受信した車両基本情報メッセージの車両 ID の数を計算し、周辺車両密度とし、それに応じて送信タイミングを計算： • 車両密度が規定された下限値以下：送信タイミングは下限値で固定 • 車両密度が規定された上限値以上：送信タイミングは上限値で固定 • 車両密度が上記以外：送信タイミングを車両密度に比例させて変更させる	送信タイミング
クリティカルイベント	クリティカルイベント判断情報	新規クリティカルイベント検出時、BSM を即送信※1	

※1　SAE J2735 の BSM のメッセージ構造の記載では、BSM の一部として車両イベントを示すデータエレメントがあり、クリティカルイベントを通知できる。
https://www.sae.org/standards/content/j2735_202007/

(c) 優先度設定

優先度設定における判断要件と、それに対するインプット、処理内容、アウトプットを表 4.2.1-2 に示す。

表 4.2.1-2　SAE の通信制御方式：優先度設定

判断要件	インプット	処理内容	アウトプット
メッセージの種類	メッセージの種類	メッセージの種類に応じ優先度を変更する	優先度
クリティカルイベント、緊急車両か否か	自車情報	自車情報（緊急車両か否か、クリティカルイベントフラグの有無）に応じ優先度を変更する	

(d) 送信電力判断

送信電力判断における判断要件と、それに対するインプット、処理内容、アウトプットを表 4.2.1-3 に示す。

表 4.2.1-3　SAE の通信制御方式：送信電力判断

判断要件	インプット	処理内容	アウトプット
クリティカルイベント	クリティカルイベント判断情報	クリティカルイベントの有無に応じ、送信電力設定を変更する（クリティカルイベントフラグがある場合は送信電力を上限値に設定する）	送信電力
（DSRC の場合）周辺通信状況	下位層で計算されたチャネル負荷（CBP）（Channel Busy Percentage）	CBP に応じて送信電力を計算： • CBP が規定された下限値以下：送信電力は上限値で固定 • CBP が規定された上限値以上：送信電力は下限値で固定 • CBP が上記以外：送信電力を上限値と下限値の間でリニアに変更させる	
（LTE-V2X の場合） BSM の情報	自車情報	自車情報（緊急車両か否か）に応じ、送信電力を 20dBm/33dBm のいずれかに変更する	

(2) ETSI[54]

ETSI の通信制御方式を以下に示す。

(a) 通信制御のイメージ図

ETSI 通信制御方式のイメージを図 4.2.1-2 に示す。上位層における通信制御では、送信タイミング判断、優先度設定が行われている。

下位層における通信制御では、使用する技術（LTE-V2X／DSRC）によって制御内容が異なるが、本項では上位層における通信制御方式を検討対象とすることから、下位層に関しては詳細な記載は行わず、概要を記載する。

[54] ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 Ch.6.1.3、ETSI TS 103 613 V1.1.1 Ch. Annex B Table B.7、ETSI TS 102 636-4-2 V1.2.1 Ch.8 Table 4 に基づき要約。
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.04.01_30/en_30263702v010401v.pdf
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103600_103699/103613/01.01.01_60/ts_103613v010101p.pdf
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360402/01.02.01_60/ts_1026360402v010201p.pdf

図 4.2.1-2　ETSI の通信制御方式のイメージ図

(b) 送信タイミング判断

送信タイミング判断における判断要件と、それに対するインプット、処理内容、アウトプットを表 4.2.1-4 に示す。

表 4.2.1-4　ETSI の通信制御方式：送信タイミング判断

判断要件	インプット	処理内容	アウトプット
周辺通信状況（DSRC のみ）	下位層で計算されたチャネル負荷	下位層から渡されたチャネル負荷に応じて送信タイミングの最小値を計算 • チャネル負荷が高い場合、送信タイミングを遅くする • チャネル負荷が低い場合、送信タイミングを早くする	送信タイミング
自車情報（速度、位置、方位角）	自車に搭載される計測システム（センサ）から取得した自車情報	前回車両基本情報メッセージ送信時の自車情報（速度、位置、方位角）と比較し、変化量を計算し、一定の閾値を超えたら、即時送信を実施し、その後一定の送信回数において同じ送信タイミングで送信	

(c) 優先度設定

優先度設定における判断要件と、それに対するインプット、処理内容、アウトプットを表 4.2.1-5 に示す。

表 4.2.1-5　ETSI の通信制御方式：優先度設定

判断要件	インプット	処理内容	アウトプット
メッセージの種類	メッセージの種類	メッセージの種類に応じ優先度を変更する	優先度
イベントの緊急度	イベントの種類	イベントの種類によって緊急度が決まり、緊急度の違いによって DENM（Decentralized Environmental Notification Message）の優先度が異なる	

(3) SAE の通信制御方式と ETSI の通信制御方式の比較

SAE の通信制御方式と ETSI の通信制御方式それぞれの仕様概要と主な特徴を表 4.2.1-6 に示す。

表 4.2.1-6　SAE、ETSI の通信制御方式の仕様概要と主な特徴

項目	SAE	ETSI
送信周期	• -（送信周期がなく、送信するたびに送信タイミングを算出している）	• デフォルトの送信周期はアプリケーション設定値に依存 CAM：設定範囲 100ms-1s、デフォルト 1s • 通信状況に応じ送信タイミングの最小値を変更（上位層で制御するのは DSRC のみ）
送信タイミング判断	• 周辺車両密度に応じ送信タイミング判断を行う（BSM の送信タイミング：100ms-600ms で、密度算出周期 100ms） • クリティカルイベントを新規で検出時は即送信	• 自車の変化量を検出時に送信 • 変化量：速度 0.5m/s、位置 4m、方位角 4 度
優先度制御	• 予めメッセージ毎に優先度を規定 自車情報（緊急車両か否か、クリティカルイベント）に応じて、BSM の優先度を変更する	• 予めメッセージ毎に優先度を規定 発生するイベント内容に応じて、DENM の優先度を変更する
送信電力制御	• 自車情報（緊急車両か否か、クリティカルイベント）に応じ送信電力を変更する（緊急車両は LTE-V2X のみ） • 周辺通信状況に応じて、送信電力を変更する（DRSC のみ）	• （送信電力の制御は下位層で実施する）
主な特徴	• 周辺環境（車両密度、通信環境）に応じて送信タイミングを制御する ○周辺環境（車両密度、通信環境）に合った制御効果が期待できる △周辺環境の計測精度に影響され、場面に応じた検証を要する • 送信メッセージの種類等、自車情報に応じて優先度制御を行い、柔軟性がある	• 主に自車挙動に応じ、自律的な送信タイミングの制御を行う ○ロジックは平易で、周辺環境の影響を受けにくい △制御効果は場面に応じた検証を要する • 送信メッセージの種類等、自車情報に応じて優先度制御を行い、柔軟性がある

凡例：○（メリット）　△（デメリット）

4.2.2 通信制御方式の考え方

本項では、国内での通信制御方式案の検討方法について考え方を述べる。

表 4.2.1-6 で示したとおり、SAE と ETSI の通信制御方式は、それぞれ周辺環境に応じた制御と自車挙動に応じた制御であり、国内での通信制御仕様を検討する際、SAE、ETSI で使用されている判断要件を一通り検討対象とし、また欧米との道路交通環境の違い等、国内ならではの事情、状況も考慮に入れて検討する。

検討における前提条件を以下の 1)～4)に示す。

1) 上位層の通信制御方式として実現すべき機能を以下の 2 点として定義する。
- 送信タイミング判断：状況に応じ、次の送信タイミングを制御する機能を有する。
- 優先度設定：メッセージ種別、状況に応じた優先度設定の機能を有する。

2) 通信制御方式案のアプリケーション（上位層）と通信レイヤの機能分担方針を以下とする。
- アプリケーション：通信機能に対するアプリケーション要件（優先度設定、送信タイミング判断）及び走行車両環境に基づく送信指示の機能を有する。
- 通信レイヤ：アプリケーションからの指示及び無線通信環境に基づく通信制御の機能を有する。（3GPP、IEEE 等で規定された標準仕様による）

3) 送信タイミング制御及び優先度制御における対象メッセージは以下のとおりとする。

ｱ) 送信タイミング制御

車両数に応じメッセージが増大する以下のメッセージを対象とする。
- 車両基本情報メッセージ
  ※車両基本情報メッセージとは、SAE の BSM、ETSI の CAM と同様に車両の基本情報を常時送信するものとして、ITS フォーラム通信要件及びメッセージセット（RC-017）内に定義されている、c-2-1 交差点の情報による走行支援メッセージのメッセージ名を変えて本検討内で定義したものである。
- 路車間の調停情報、車車間のネゴシエーション情報の交換のためのメッセージ（管制要求/応答メッセージ、調定要求/応答メッセージ、更新要求/応答メッセージ）

ｲ) 優先度制御
- 車両基本情報メッセージ
- その他 RC-017 で定義された全てのメッセージ

4) 本検討では、アプリケーション（上位層）や通信レイヤによる再送・連送制御は考慮しない。

4.2.3 上位層における通信制御仕様の検討

送信タイミング判断と優先度設定に関わる通信制御仕様について、検討結果を以下に示す。

(1) 通信制御方式案

(a) 通信制御方式案のイメージ図

通信制御方式案のイメージを図 4.2.3-1 に示す。上位層における通信制御では、送信タイミング判断、優先度設定を行う。

図 4.2.3-1　通信制御方式案のイメージ図

(b) 通信制御方式案の判断要件

送信タイミング判断、優先度設定の判断要件と、それに対するインプット、処理内容、アウトプットの一覧を表 4.2.3-1 に示す。

表 4.2.3-1 の各判断要件の処理内容は(2)項及び(3)項に示す。

表 4.2.3-1　通信制御方式案の判断要件一覧

判断要件	インプット	処理概要	アウトプット
周辺車両密度	受信した車両基本情報メッセージ	受信した車両基本情報メッセージの車両 ID の数から周辺車両数を把握し、周辺車両密度を算出する。それに応じて送信タイミングを計算。 • 周辺車両密度が高い場合は、送信タイミングを遅くする • 周辺車両密度が低い場合は、送信タイミングを早くする	送信タイミング
周辺通信状況	下位層で計算されたチャネル負荷	下位層から渡されたチャネル負荷に応じて、通信輻輳を回避するための送信タイミングを計算。 • 周辺通信状況が混雑の場合は、送信タイミングを遅くする • 周辺通信状況が閑散の場合は、送信タイミングを早くする	
自車情報	自車に搭載される計測システム（センサ）から取得した自車情報	前回車両基本情報メッセージ送信時の自車情報（速度、位置、方位角）と比較し、変化量を計算し、一定の閾値を超えたら、即時送信を実施し、同じ送信タイミングで規定した回数送信する。 • 自車速度が遅い場合は、送信タイミングを遅くする • 自車速度が速い場合は、送信タイミングを早くする • 変化量が閾値を超えた場合は、そのタイミングで送信する	
走行環境	• 地図情報（高速/一般道） • 自車に搭載される計測システム（カメラ）から取得した周辺状況	地図情報や自車に搭載される計測システムから取得した周辺状況により、走行環境を判断。 • 安心安全な走行環境の場合は、送信タイミングを遅くする • 通信輻輳が発生しやすい環境の場合は、送信タイミングを遅くする • 天候が悪く、センシング性能低下の場合は、送信タイミングを早くする	
クリティカルイベント	イベント情報	取得したイベント情報によってクリティカルイベントの有無を判断。クリティカルイベントが発生した場合、即時送信実施し、クリティカルイベント発生中の送信タイミングを早くする。	
メッセージの種類	メッセージの種類	メッセージの種類に応じて優先度を変化させる。	優先度
クリティカルイベント	イベント情報	クリティカルイベント発生時、対応するメッセージの優先度を高くする。	

(2) 通信制御方式案：送信タイミング判断

送信タイミング判断に関わる要件は、アプリケーション要件に加えて、SAE、ETSI の通信制御方式を参考にしたものと、追加要件を含めた以下を対象とする。

- アプリケーション要件：デフォルト送信周期、送信時機
- 周辺車両密度：通信台数に基づく車両密度算出
- 周辺通信状況：無線リソース占有率、チャネル負荷
- 自車情報：速度、位置、方位角
- 走行環境：一般道/専用道等の走行環境
- クリティカルイベント：有無、ある場合のイベント内容

上記の判断要件を考慮した送信タイミング判断の基本処理フローを図 4.2.3-2 に示す。

図 4.2.3-2　通信制御方式案：送信タイミング判断

以下に、各判断要件の仕様案とその参考となる例を示す。

(a) 周辺車両密度

(ア) 周辺車両密度の求め方[55]

1)　仕様概要

周辺車両密度とは、測定する車両を中心に所定の半径内の車両台数のことであり、測定する車両が受信した車両基本情報メッセージの中から、対象範囲内に位置する車両の一意となる ID の数をカウントすることで測定する。

測定した車両密度に対して、平滑化を行う。

2)　仕様例

受信した BSM の中から所定の範囲内に位置する車両の一意となる ID の数をカウントし周辺車両密度とする。周辺車両密度の算出にあたり、使用する算出式とパラメータの所定値を以下に示す。

- 車両密度の平滑化の算出式[56]

平滑化された車両密度 = 測定した車両密度 × 測定した車両密度の重み係数 + 前回算出の平滑化された車両密度 × (1 − 測定した車両密度の重み係数)

- パラメータの所定値[57]

車両密度の対象となる所定の範囲：100m

測定した車両密度の重み係数：0.05

---

[55] SAE J2945/1_202004 Ch.6.3.8 を参考として作成。
https://www.sae.org/standards/content/j2945/1_202004/

[56] 出典：SAE J2945/1_202004 Ch.6.3.8.4

[57] 出典：SAE J2945/1_202004 Ch.7 Table 21

(イ) 車両密度による送信タイミングの求め方[58]

1) 仕様概要

上記(ア)で求めた周辺車両密度を使用し、車両基本情報メッセージの次回の送信タイミングの算出を行う。

送信タイミングの計算方法として、周辺車両密度が高い場合に送信タイミングを遅くし、周辺車両密度が低い場合に送信タイミングを早くする。周辺車両密度の高低は、予め定められた周辺車両密度の基準値と比較して判断する。送信タイミングの算出仕様は、以下とする。

- 算出した周辺車両密度が上限値以上の場合、送信タイミングが上限値
- 算出した周辺車両密度が下限値以下の場合、送信タイミングが下限値
- 算出した周辺車両密度が上限と下限の間の場合、送信タイミングをリニアに変化させる

2) 仕様例

使用する算出式とパラメータの所定値を以下に示す。

- 次回の送信タイミングの算出式[59]

$$\text{次回の送信タイミング} = \begin{cases} \text{送信タイミングの下限値}, & \text{車両密度が下限値以下} \\ \text{車両密度と比例して変化}\quad, & \text{車両密度が上下限の間} \\ \text{送信タイミングの上限値}, & \text{車両密度が上限値以上} \end{cases}$$

- パラメータの所定値[60]

送信タイミングの下限値：100ms

送信タイミングの上限値：600ms

車両密度の基準の下限値：25 台

車両密度の基準の上限値：(600/100)×25＝150 台（車両密度の基準の上下限の比例は、送信タイミングの上下限の比例と同様であり、車両密度の基準の上限値は下限値より計算される）

(b) 周辺通信状況

(ア) チャネル負荷による送信タイミングの求め方[61]

1) 仕様概要

周辺通信状況としてチャネル負荷を以て判断する。チャネル負荷は無線ハードウェアによって提供されるチャネルの使用状況を示す指標であり、チャネル負荷のパラメータとして、本検討では Channel Busy Ratio（以下 CBR という）を使用し、以降の記載で「チャネル負荷＝CBR」を前提とする。

CBR は、一定期間内に、チャネルがビジー（Received Signal Strength Indicator（以下 RSSI という）が閾値以上）であったリソースの割合で求める。

本検討では、対象メッセージは主に車両基本情報メッセージだけでパケットサイズが一定のため、制御方法が簡単なリアクティブアプローチを採用する。リアクティブアプローチでは、チャネル負荷の値によって送信タイミングの取りうる最小値が決まり、チャネル負荷の抑制を実現する効果を達成する。また送信タイミングの頻繁な変化を避けるために、チャネル負荷の平滑化を行う必要がある。

チャネル負荷に応じた送信タイミングの決め方は、今後検討する課題として 4.2.4

---

[58] SAE J2945/1_202004 Ch.6.3.8 を参考として作成。
https://www.sae.org/standards/content/j2945/1_202004/

[59] 算出式の出典：SAE J2945/1_202004 Ch.6.3.8.4

[60] パラメータの所定値の出典：SAE J2945/1_202004 Ch.7 Table 21

[61] ETSI TS 102 687 V1.2.1 Ch.5 を参考として作成。
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102687/01.02.01_60/ts_102687v010201p.pdf

節で記載する。

2） 仕様例

チャネル負荷に応じて送信レート、送信電力、送信データレート値が決まる。送信レートに関して使用する算出方法（ルックアップテーブル）を表 4.2.3-2 に示す[62]。

表 4.2.3-2　チャネル負荷と送信レートとの関係の一例

チャネル負荷	チャネルの状態	送信タイミング	送信レート
<30%	RELAXED	100ms	10Hz
30%～39%	ACTIVE1	200ms	5Hz
40%～49%	ACTIVE2	300ms	3.33Hz
50%～59%	ACTIVE3	400ms	2.5Hz
≥60%	RESTRICTED	500ms	2Hz

(c) 自車情報

(ア) 自車情報（速度、位置、方位角）による送信タイミングの求め方[63]

1） 仕様概要

前回の車両基本情報メッセージの送信から所定の時間が経過すると、車両が自車情報（速度、位置、方位角）を監視し始め、自車情報の変化量が基準値を超えると、車両基本情報メッセージを送信する。

自車情報の変化量によって車両基本情報メッセージの送信が発生した場合、安心安全保障上の考慮により、次の車両基本情報メッセージの送信タイミングを早く設定する。連続して一定の回数で自車情報の変化量による送信が発生しなかった場合、送信タイミングをデフォルト値に戻す。

2） 仕様例

ETSI では、CAM の送信条件として以下の 2 パタンが定義されている[64]。

- 条件①：以下の自車情報の変化量の基準値を超えると、CAM を送信する。
  速度の変化量：0.5m/s
  位置の変化量：4m
  方位角の変化量：4°
- 条件②：前回の CAM の送信から、算出された次回の CAM の送信までの時間が経過する（DSRC の場合は上記時間を測る以外に、上位層で通信状況を考慮する必要もある）と、CAM を送信する。

条件①による CAM の送信において、前回の CAM 送信から所定の時間の経過後に、自車情報の変化量を監視し始める。LTE-V2X における所定時間は送信タイミングの下限値（100ms 固定）で、DSRC における所定時間はチャネル負荷によって可変である。DSRC の所定時間の求め方については、リアクティブアプローチの場合はルックアップテーブルを使用するが、サンプルとして表 4.2.3-2[62] が ETSI の検証で使用されている。

また、条件①によって CAM の送信が発生した場合、次回の CAM が送信されるまでの最大送信タイミングは、前回の送信から今回の送信までの時間が設定される。条

---

[62] ルックアップテーブルの出典：ETSI TR 101 613 V1.1.1 Ch. 5.2.3.3 Table 12
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101600_101699/101613/01.01.01_60/tr_101613v010101p.pdf

[63] ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 Ch. 6.1.3 を参考として作成。
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.04.01_30/en_30263702v010401v.pdf

[64] 送信条件の出典：ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 Ch. 6.1.3

件②によってCAMが3回送信された後、次回CAMの生成の最大送信タイミングは、デフォルトの送信タイミング（送信タイミングの上限値の 1,000ms）として設定される。

(d) 走行環境

(ア) 走行環境による送信タイミング判断の考え方

1） 仕様概要

走行環境に応じた通信制御は、SAE、ETSI にはない考え方であり、国内の道路交通事情に即した効果が期待できる。

欧米と比べて道路幅の違いや規制速度の違い等国内ならではの事情・状況となる要件候補を表 4.2.3-3 に示す。要件候補に対して下記の考え方に沿って送信タイミング判断の考え方を検討した。

なお、具体的な仕様を検討する際に、走行環境における要件候補の情報収集可否、収集方法、情報精度・品質を見極めることが必要である。

- 安全が比較的に確保されている走行環境の場合（例えば、専用道、歩車分離道路）は、送信タイミングを遅くする。
- 天候が悪く（例えば、雨、雪、霧の場合）、自車、インフラのセンシング性能の低下が見込まれる場合は、送信タイミングを早くする。
- 車両が混雑しやすい周辺環境の場合（例えば、日中の市街地）は、送信タイミングを遅くする。
- 一般道と高速道が交差する場合は、一般道を優先させるために、高速道における送信タイミングを遅くする。

表 4.2.3-3　走行環境における要件候補

要件候補					送信タイミング判断の考え方（案）
区分	項目	主な内容	情報収集手段（想定）	課題/実現性	
道路	種別	一般道、専用道	• 自車位置 • 地図データ	• 地図データ項目の有無	安全が比較的に確保されている道路種別の場合は、自車の送信タイミングを遅くする。
	構造	車線数、幅員広狭、勾配緩急、曲率、路肩有無、歩行者道有無	• 地図データ • 自車センサ	• 地図データ項目の有無 • 自車センサ対応可否	安全が比較的に確保されている道路構造の場合は、自車の送信タイミングを遅くする。
	交差点	信号有無、車線数、立体交差点、叉路数、一般道と高速道との立体交差	• 地図データ • 自車センサ	• 地図データ項目の有無 • 自車センサ対応可否	安全に留意を要する地点の場合は、送信タイミングを早くする。
	分合流	分岐、合流	• 地図データ • 自車センサ	• 地図データ項目の有無 • 自車センサ対応可否	安全に留意を要する地点の場合は、送信タイミングを早くする。
	特殊地点	トンネル、踏切、駐車場、立体駐車場、工事現場、事故現場	• 地図データ • インフラ協調	• 地図データ項目の有無 • インフラ協調対応可否	安全に留意を要する地点の場合は、送信タイミングを早くする。
外的要因	天候	晴、曇、雨、雪、霧 ※注意報、警報の発生	• 地図データ • 自車センサ • インフラ協調	• 天候データの精度/信頼性 • 自車センサ対応可否 • インフラ協調対応可否	センシング性能の低下が見込まれる場合は、自車の送信タイミングを早くする。
	周辺光量	日中、夕方（薄暮）、夜間の時間帯による周辺の明るさ	• 自車センサ	• 光量データの精度/信頼性 • 自車センサ対応可否	周辺光量が安全に留意を要する暗さの場合、自車の送信タイミングを早くする。
	緊急車両	緊急車両（警察、消防、救急）の存在有無	• 地図データ	－	緊急車両が存在する場合は、自車の送信タイミングを遅くする。
	周辺環境	中心市街地、商店街、通学路（スクールゾーン）、郊外、山間部	• 地図データ	• 周辺環境データの精度/信頼性 • 地図データ項目の有無	車両が混雑しやすい、また安全に留意を要する。 周辺環境の場合は、送信タイミングを早くする。

(e) クリティカルイベント

(ア) クリティカルイベントの発生による送信タイミング判断の考え方[65]

1) 仕様概要

クリティカルイベントが発生した場合、緊急事象及び車両の情報（例えば速度、位置、方位角等）をいち早く周りに知らせる必要があるため、車両基本情報メッセージの送信タイミングを早める。

クリティカルイベントの発生状況（発生中かどうか、発生中なら新規発生か否か）を確認し、その発生状況によって車両基本情報メッセージの送信タイミングを設定する。

なお、クリティカルイベントの発生による送信タイミングの決定は、車両基本情報メッセージを対象にするため、車両基本情報メッセージに車両イベントの情報を載せるフィールドの必要性を検討する必要がある。

2) 仕様例

SAE では、次の BSM の送信スケジュールの設定は、以下のいずれかのタイミングで行われる。送信スケジュールを設定する際に、クリティカルイベントの発生状況を確認する。

- 車両密度によって次回 BSM の送信タイミングの算出後
- クリティカルイベントが新規で発生する際

また、クリティカルイベントによる BSM の送信タイミングの決定は以下のとおりで行われる。

- クリティカルイベントが新規で発生：即送信する。
- クリティカルイベントが発生中（新規でない場合）：次回の送信タイミングが 100ms（±ランダムオフセット）以上の場合、即送信する。

(イ) 国内におけるクリティカルイベントの定義例

1) 通信制御仕様案

ETSI 及び SAE の仕様と SIP ユースケースの固有イベントを含めた、クリティカルイベントの定義例を表 4.2.3-4 に示す。またで使用する凡例を表 4.2.3-5 で定義する。

[65] SAE J2945/1_202004 Ch.6.3.8 を参考として作成。
https://www.sae.org/standards/content/j2945/1_202004/

表 4.2.3-4　クリティカルイベントの定義例

区分	項目案	ETSI[66]	SAE[67]	SIP ユースケース	クリティカルイベント定義例／コメント	
自車状況	急制動発生	○	○	c-1, c-3	○	緊急性あり
	緊急事象発生（緊急車両等）	-	-	e-1	○	緊急性あり
	事故・故障発生	○	○	f-1(V2N)	△	現状の SIP ユースケース V2N のみ
	乗員異常発生（体調等）	○	-	-	△	自動運転 Level3 での要否検討
	危険物輸送中	-	△	-	○	主に物流車、商用車が対象
	遠隔操作中	-	-	h-1(V2N)	△	現状の SIP ユースケースは V2N のみ
周辺状況	周辺異常検知（前方障害物等）	-	-	c-3	△	c-3 は急制動が前提
	道路環境検知（渋滞、事故、規制等）	○	-	-	-	緊急性なし
	逆走検知	○	-	d-2	△	現状の SIP ユースケース V2N のみ
ユースケース状況	合流・車線変更・進入意思	-	-	a-1-x, a-2, a-3	-	緊急性なし
	交差点直進意思	-	-	c-2-x	△	要否検討
	交差点右折意思	-	-	c-2-x	-	緊急性なし

表 4.2.3-5　凡例

記号	ETSI	SAE	クリティカルイベント定義例
○	DENM イベントとして定義あり	クリティカルイベントとして定義あり	推奨
△	-（当該記載なし）	クリティカルでない車両イベントとして定義あり	要検討項目
-	DENM イベントとして定義なし	車両イベントとして定義なし	非推奨

(3) 通信制御方式案：優先度設定

以下のとおり優先度設定における判断要件を定義する。

- メッセージ内容（メッセージ種類）
- クリティカルイベントの有無、内容

---

[66]出典：ETSI EN 302 637-3 V1.3.1 Ch.7.1.4 Table 10。
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.03.01_60/en_30263703v010301p.pdf

[67] 出典：SAE J2735_202007 Ch.7.208。
https://www.sae.org/standards/content/j2735_202007/
出典：SAE J2945/1_202004 Ch. 3.1.2。
https://www.sae.org/standards/content/j2945/1_202004/

上記の判断要件を踏まえ、メッセージの優先度設定を行う。
優先度設定の基本処理フローを図 4.2.3-3 に示す。

図 4.2.3-3　通信制御方式案：優先度設定

(a) メッセージの内容に応じたメッセージの優先度の定義

(ア) SAE、ETSI での考え方

SAE J2945/0 では、メッセージ毎に推奨される Enhanced distributed channel access（以下、EDCA という）優先度が異なる[68]。

ETSI TS 103 613 では、メッセージ毎に PPPP 優先度が異なり、ETSI TS 102 636-4-2 では、メッセージ毎に EDCA 優先度が異なる[69]。

(イ) メッセージの内容に応じた優先度設定の考え方

RC-017 で定義されたメッセージに対するメッセージの優先度の定義例を表 4.2.3-6 に示す。

[68] SAE J2945/0_201712 Table 3 を参照。
https://www.sae.org/standards/content/j2945_201712/

[69] ETSI TS 103 613 V1.1.1 Table B.7、ETSI TS 102 636-4-2 V1.2.1 Table 4 を参照。
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103600_103699/103613/01.01.01_60/ts_103613v010101p.pdf
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360402/01.02.01_60/ts_1026360402v010201p.pdf

表 4.2.3-6　メッセージの優先度の定義例（通常時）

SIP ユースケース	考え方	メッセージ	優先度の定義例（通常時）
-※1	定周期メッセージとして優先度中の扱い	車両基本情報メッセージ	中
信号情報による走行支援（b-1-1）	車両挙動制御と関係しないため優先度低の扱い	信号情報メッセージ	低
交差点の情報による走行支援（c-2-x）	車両挙動制御、特に安全に関わるメッセージとして優先度高＋の扱い	ユースケース c-2-1 でのメッセージ ユースケース c-2-2 でのメッセージ	高＋
衝突回避（c-１、c-3）		ユースケース c-3 でのメッセージ	
緊急車両回避（e-1）		ユースケース e-1 でのメッセージ	
合流支援（a-1-x） 車線変更支援（a-2） 優先道路進入支援（a-3）	車両挙動制御に関わるメッセージとして優先度高の扱い	位置情報メッセージ 管制要求/応答メッセージ 調停要求/応答メッセージ 更新要求/応答メッセージ	高

※1　RC-017 には車両基本情報メッセージを扱うユースケースの定義が存在しないため、ユースケース欄は「-」と記載。

(b) クリティカルイベントに応じたメッセージの優先度の定義

(ア) SAE、ETSI での考え方

SAE J2945/1、SAE J3161/1 では、クリティカルイベントの有無、緊急車両か否かによって、BSM の優先度を変更する[70]。

ETSI TS 101 539-1 では、事象の緊急度によって DENM メッセージの優先度を変更する[71]。

(イ) クリティカルイベントによる優先度設定の考え方

RC-017 で定義されたメッセージに対して、クリティカルイベントの発生時、SAE や ETSI での考え方を参考に、対応するメッセージの優先度の段階を上げる。

今後、各クリティカルイベントに対応するメッセージの種類、クリティカルイベント発生時の優先度をどう変更するかなど、詳細検討が必要である。

クリティカルイベント発生時における優先度の定義例を表 4.2.3-7 に示す。

---

[70] SAE J2945/1_202004 Ch.6.3.4、SAE J3161/1_202203 Ch.6.3.4 を参照。
https://www.sae.org/standards/content/j2945/1_202004/
https://www.sae.org/standards/content/j3161/1_202203/

[71] ETSI TS 101 539-1 V1.1.1 Ch.5.1 Table 5.1.1 を参照。
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101500_101599/10153901/01.01.01_60/ts_10153901v010101p.pdf

表 4.2.3-7　メッセージの優先度の定義例
（クリティカルイベント発生時）

SIP ユースケース	考え方	メッセージ	優先度の定義例（クリティカルイベント発生時）
–※1	定周期メッセージとして優先度中の扱い	車両基本情報メッセージ	中＋
信号情報による走行支援（b-1-1）	車両挙動制御と関係しないため優先度低の扱い	信号情報メッセージ	–（関連するクリティカルイベントがないため）
交差点の情報による走行支援（c-2-x）	車両挙動制御、特に安全に関わるメッセージとして優先度高＋の扱い	ユースケース c-2-1 でのメッセージ ユースケース c-2-2 でのメッセージ	高＋＋
衝突回避（c-1、 c-3）		ユースケース c-3 でのメッセージ	
緊急車両回避（e-1）		ユースケース e-1 でのメッセージ	
合流支援（a-1-x） 車線変更支援（a-2） 優先道路進入支援（a-3）	車両挙動制御に関わるメッセージとして優先度高の扱い	位置情報メッセージ 管制要求/応答メッセージ 調停要求/応答メッセージ 更新要求/応答メッセージ	高＋

※1　RC-017 には車両基本情報メッセージを扱うユースケースの定義が存在しないため、ユースケース欄は「-」と記載。

(4) 通信制御方式全体イメージ

表 4.2.3-1 に示す各判断要件に対する(2)、(3)の検討結果を踏まえ、アプリケーション（上位層）における通信制御実現イメージ（機能ブロック図）を図 4.2.3-4 に示す。

図 4.2.3-4　通信制御の実現イメージ図

(5) 送信タイミング判断の各判断要件に対するケーススタディ

表 4.2.3-1 に示す送信タイミング判断の各判断要件に関し、ケーススタディを通じ制御内容の特性を机上で検証する。SAE、ETSI の通信制御の仕様として定められているパラメータの値を適用し、検証した[72]。また、周辺通信状況の判断要件については、ETSI では通信制御の仕様として定められたパラメータの具体値が定義されていない。そのため、本検証では ETSI の検証で使用している値を適用し検証した[73]。

なお、本検証では再送・連送制御は考慮しておらず、また通信チャネルとしては帯域幅 10MHz の 1 チャネルとして検証した。

(a) ケーススタディの前提条件

今回のケーススタディにおいては、各車両が送信する車両基本情報メッセージに対し、各判断要件による通信制御の効果を検証する。ケーススタディの前提条件を以下の(ア)～(オ)とする。

(ア) 通信量の算出式

通信制御の効果を検証するにあたり、通信制御の有無や、各判断要件による通信制御を実装する際の必要な通信量を算出し、比較することで効果を確認する。

必要な通信量の算出式として、以下の式を用いる。

通信量＝パケットサイズ×周期×通信範囲内の端末数

(イ) 対象とするユースケースと判断要件

- ユースケース（メッセージ）：車両基本情報メッセージ
  車両数に応じて通信量が大きく変動するメッセージとして車両基本情報メッセージを検討対象とした。
- 判断要件：周辺車両密度、周辺通信状況、自車情報
  送信タイミング判断において、現時点で走行環境とクリティカルイベントの机上検証が困難であるため、机上検証の対象外とする。机上検証が困難と判断した理由を以下に記す。
  - 走行環境：走行環境に応じた通信制御に関わるパラメータ設計が未のため。
  - クリティカルイベント：車両の動きを含めた交通流シミュレーションによる検証が必要のため。

(ウ) 送信タイミングの上限値と下限値

通信制御の効果を検証するにあたり、車両基本情報メッセージの送信タイミング（送信周期）の下限値と上限値を定める必要がある。RC-017 には規定がないため、通信制御の効果を比較する際の制御変数として、本検証では送信タイミングの下限値と上限値を以下とした。

- 下限値：100ms
- 上限値：1,000ms

(エ) 通信制御をしない場合の送信タイミング

通信制御の効果を検証するための比較対象として、通信制御をしない場合の車両基本情報メッセージの送信タイミングを以下とした。

- 走行車両：100ms
- 静止車両：1,000ms

---

[72] 各判断要件のケーススタディで使用するパラメータの詳細は 4.2.3(5)(d)(ア)、4.2.3(5)(d)(ウ)の「検証で適用する仕様とパラメータ」を参照。

[73] 各判断要件のケーススタディで使用するパラメータの詳細は 4.2.3(5)(d)(イ)の「検証で適用するサンプルのパラメータ」を参照。

(オ) 対象とする道路環境と車両配置

上記以外の前提条件として、ケーススタディの道路環境（対象の地点、車両の配置方法）について定義する。

- 対象の地点：交差点周辺の半径 250m の範囲[74]を対象とする。
- 交差点の車線数は、直進 2 車線、右折レーン 1 車線で、交差点の横、縦方向とも計 5 車線で検討。
- 検討対象の車両の車長を 5m とし、静止状態の車間距離は 2m とする[75]。
- 車両の配置については以下とし、具体的な配置図の例を図 4.2.3-5 に記載する。
  - 交差点の縦方向は車両を配置しない。
  - 交差点の横方向の右折レーンは 250m とし、右折車は静止状態（2 車線計 68 台）
  - 交差点の横方向の直進車両は、以下のパタンで配置する。

ｱ） 車速 20km/h@1 秒車間（4 車線計 188 台）
ｲ） 車速 30km/h @1 秒車間（4 車線計 152 台）
ｳ） 車速 40km/h @1 秒車間（4 車線計 124 台）
ｴ） 車速 50km/h @1 秒車間（4 車線計 108 台）
ｵ） 車速 60km/h @1 秒車間（4 車線計 92 台）
ｶ） 車速 70km/h @1 秒車間（4 車線計 84 台）

(b) 上記前提条件に基づいた道路環境の詳細化

上記(a)で定義したケーススタディの前提条件に基づき、対象の地点の交差点周辺における車両の配置図の一例を記載する。

交差点の縦方向全車線、横方向の右折レーンの車両の配置は全てのケースにおいて同様の配置となる。例として、ｳ)の場合（車速 40km/h @1 秒車間）の車両の配置図を図 4.2.3-5 に示す。

図 4.2.3-5　通信制御のケーススタディの車両配置図の例

---

[74] RC-017 において、想定する直接通信が可能な距離を参照。
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf

[75] RC-017 において、想定する車両の車長、静止状態の車間距離を参照。
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf

配置条件ｳ)以外の場合においては、交差点横方向の直進車線の車両配置のみが変化し、交差点の縦方向全車線、横方向の右折レーンの車両配置は変化しない。

(c) 通信制御なしの場合に必要な通信量試算

通信制御の効果を検証するための比較対象として、通信制御をしない場合の必要な通信量の試算結果を以下に示す。ここで使用する車両基本情報メッセージの送信タイミングは、4.2.3(5)(a)項による。

表 4.2.3-8　通信制御なしの場合の必要な通信量試算結果

走行車両の車速[km/h]	車両台数[台]			通信量[Kbps]※1
	走行車両	静止車両	全車両	
20	188	68	256	4,394.7
30	152	68	220	3,582.5
40	124	68	192	2,950.9
50	108	68	176	2,589.9
60	92	68	160	2,228.9
70	84	68	152	2,048.5

※1 車両基本情報メッセージのパケットサイズは、RC-017 で定義したユースケース c-2-1 でのメッセージと同様の 282 byte を使用し、計算結果は小数点以下 2 桁を四捨五入。

(d) 机上検証の結果

各判断要件における検証結果として、通信量の試算結果、通信量の変化傾向、通信制御の効果について述べる。

(ア) 周辺車両密度

本ケーススタディでは、周辺車両密度の判断要件を検証対象とした。周辺車両密度による送信制御仕様は、SAE J2945/1[76]に準じる。ただし、車両密度の範囲の基準値、送信タイミングの上限値、車両密度の基準の上限値は 4.2.3(5)(a)の前提条件の値を使用した。

1)　検証で適用する仕様とパラメータ

- 周辺車両密度の基準値
  車両密度の基準の下限値：25 台
  車両密度の基準の上限値：(1,000/100)×25＝250 台
  範囲：半径 250m
- 次回の車両基本情報メッセージの送信タイミングの算出式

$$\text{次回の送信タイミング} = \begin{cases} \text{下限値の 100ms,} & \text{車両密度が 25 台以下} \\ \text{上下限の間でリニアに変化,} & \text{車両密度が 25 台～250 台} \\ \text{上限値の 1,000ms,} & \text{車両密度が 250 台以上} \end{cases}$$

2)　通信量試算結果

周辺車両密度による通信制御の必要な通信量の試算結果を表 4.2.3-9 に示す。

[76] 制御方式の詳細は、4.2.3(2)(a) の通信制御方式例を参照。

表 4.2.3-9　周辺車両密度による通信制御の必要な通信量試算結果

走行車両の車速[km/h]	車両台数[台]			送信タイミング（送信周期）[ms]		通信量[Kbps]※1※2
	走行車両	静止車両	全車両	静止車両	走行車両	
20	188	68	256	1,000	1,000	577.5
30	152	68	220	880	880	564
40	124	68	192	768	768	564
50	108	68	176	704	704	564
60	92	68	160	640	640	564
70	84	68	152	608	608	564

※1 車両基本情報メッセージのパケットサイズは、RC-017 で定義したユースケース c-2-1 でのメッセージと同様の 282 byte を使用し、計算結果は小数点以下 2 桁を四捨五入。
※2 本来は、各車両それぞれが自車の周辺車両密度を計算するべきだが、机上では実現できないため、全ての車両に交差点中心の周辺車両密度を適用する。通信制御なしの場合の必要な通信量との比較結果を図 4.2.3-6 に示す。

図 4.2.3-6　周辺車両密度による通信制御の効果

3)　通信制御の効果

規定した周辺車両密度の変動範囲内（本検証では25～250台）では、通信量をリニアに抑制することが実現でき、周辺車両密度に応じたセンシティブな制御ができている。

- 周辺車両密度を N、周辺車両密度の基準の下限値を B とした場合、周辺車両密度が B(=25 台)<N＜10*B の場合、100ms～1,000ms で送信タイミングがリニアに変更され、通信量が一定値となる
- N≦25 の場合は 100ms で、N≧10*25 の場合は 1,000ms で固定のため、それぞれの場合の通信量は車両密度と比例する

周辺車両密度による通信制御がより効果を発揮すると考えられる条件は以下である。

- 車両基本情報メッセージが単独チャネルの場合

- 車両基本情報メッセージと同一チャネルのメッセージの通信量の変化が少ない場合

ただし、周辺車両密度の基準値について、様々なケーススタディを通じた適正値の検証が必要である。また、送信タイミングの変動範囲は、実現するアプリケーション要件として決める必要がある。

(イ) 周辺通信状況

本ケーススタディでは、周辺通信状況の判断要件を検証対象とした。周辺通信状況による送信制御仕様は、ETSI TR 101 613[77]で行った検証に準じる。

1) 検証で適用するパラメータ

- リソース占有率の算出式

周辺通信状況をチャネル負荷（CBR）として算出するに際し、リソース占有率を利用し算出した。

リソース占有率＝送信に必要なサブフレーム数÷サブフレームの総数

上記算出式におけるパラメータの考え方を以下に記載する。

- 送信に必要なサブフレーム数の考え方

今回のケーススタディでは、LTE-V2X の仕様である 3GPP TS 36.213（Table 7.1.7.2.1-1）で定義された Modulation and Coding Scheme (MCS) 5 の場合の物理リソースブロックの容量（109 byte）を使用する。また、リソースブロックとサブフレームの関係は以下のものとする。

1 サブフレーム= 5 サブチャネル = 50 RB（リソースブロック）

上記により、282 byte のメッセージを一通送信するために、約 2.59 サブフレームが必要となり、車両台数との乗算で送信に必要なサブフレーム数を算出できる。

- サブフレームの総数の考え方

リソース占有率の計算において、1ms は 1 サブフレームに対応するため、全車両が同じ送信周期として考えた場合、サブフレームの総数を送信周期（ms）に置き換えできる。

なお、本来は各車両それぞれが自車の周辺のチャネル負荷を計算するべきだが、机上では実現できないため、全ての車両に交差点中心のチャネル負荷を適用する。そのため、全車両が同じ送信周期で送信する。

- 次回の車両基本情報メッセージの送信タイミングの算出方法表 4.2.3-2 を使用し、算出したリソース占有率に対応する送信タイミングを適用する。

2) 通信量試算結果

周辺通信状況による通信制御の必要な通信量の試算結果を表 4.2.3-10 に示す。

---

[77] 制御方式の詳細は、4.2.3(2)(b)の通信制御方式例を参照。

表 4.2.3-10　周辺通信状況による通信制御の必要な通信量試算結果

走行車両の車速[km/h]	車両台数[台]			送信タイミング（送信周期）[ms]		通信量[Kbps]※1※2
	走行車両	静止車両	全車両	静止車両	走行車両	
20	188	68	256	300	300	1,925.1
30	152	68	220	300	300	1,654.4
40	124	68	192	300	300	1,443.8
50	108	68	176	300	300	1,323.5
60	92	68	160	300	300	1,203.2
70	84	68	152	200	200	1,714.6

※1 車両基本情報メッセージのパケットサイズは、RC-017 で定義したユースケース c-2-1 でのメッセージと同様の 282 byte を使用し、計算結果は小数点以下 2 桁を四捨五入。
※2 本来は、各車両それぞれが自車の周辺通信状況を計算するべきだが、机上では実現できないため、全ての車両に交差点中心の周辺通信状況を適用する。

通信制御なしの場合の必要な通信量との比較結果を図 4.2.3-7 に示す。

図 4.2.3-7　周辺通信状況による通信制御の効果

3)　通信制御の効果

リソース占有率（チャネル負荷）の変化に応じて、段階的な通信量の抑制が実現できている。

図 4.2.3-7 では車速が 60km/h から 70km/h に変化する際、車両台数が減少し送信タイミング（送信周期）が短くなる（表 4.2.3-10 参照）ため、車速が 20km/h～60km/h に対して、通信量が増えている。

周辺通信状況による通信制御については、車両基本情報メッセージのみならず同チャネルの全メッセージの影響が考慮されるため、実際に生じるユースケース、メッセージ等に関係なく全般的に効果があると考えられる。

ただし、チャネル負荷に応じた送信タイミング判断の仕様とパラメータは、様々な

ケーススタディを通じた適正値の検証が必要である。また通信方式（DSRC 又は LTE-V2X）に応じてチャネル負荷の検出精度・品質が異なるため、チャネル負荷の値の使用については通信方式毎にチャネル負荷の検出精度・品質を見極める必要がある。周辺通信状況の頻繁な変化による状態の変化を避けるために、計測されたチャネル負荷の平滑化（移動平均等）を行うことも必要があると考える。

(ウ) 自車情報

本ケーススタディでは、自車情報の判断要件を検証対象とした。自車情報（位置）の送信制御仕様は、ETSI EN 302 637-2[78]に準じる。自車情報（速度、方位角）の変化量は検証の対象外とする。

1) 検証で適用する仕様とパラメータ

- 自車情報（位置）の変化量の基準値： 4m
- 次回の車両基本情報メッセージの送信タイミングの算出方法：車速に応じ、車両が基準値（4m）の距離を移動するために必要な時間を送信タイミングとして適用する。

2) 通信量試算結果

自車情報による通信制御の必要な通信量の試算結果を表 4.2.3-11 に示す。

表 4.2.3-11　自車情報による通信制御の必要な通信量試算結果

走行車両の車速[km/h]	車両台数[台]			送信タイミング（送信周期）[ms]		通信量[Kbps] ※1
	走行車両	静止車両	全車両	静止車両	走行車両	
20	188	68	256	1,000	720	793.8
30	152	68	220	1,000	480	742.5
40	124	68	192	1,000	360	867.8
50	108	68	176	1,000	288	930.5
60	92	68	160	1,000	240	999.4
70	84	68	152	1,000	205.71	1,018.2

※1 車両基本情報メッセージのパケットサイズは、RC-017 で定義したユースケース c-2-1 でのメッセージと同様の 282 byte を使用し、計算結果は小数点以下 2 桁を四捨五入。

通信制御なしの場合の必要な通信量との比較結果を図 4.2.3-8 に示す。

[78] 制御方式の詳細は、4.2.3(2)(c)4.2.3(2)(a)の通信制御方式例を参照。

図 4.2.3-8　自車情報による通信制御の効果

3）　通信制御の効果

規定した位置変化量に応じた通信量の抑制効果が実現できている。

自車情報による通信制御は、自車挙動に応じた自律的な送信タイミングの制御であるため、周辺環境の影響を受けにくく、実際に生じるユースケース、メッセージ等に関係なく全般的に効果があると考えられる。

ただし、自車情報の変化量の基準値は、様々なケーススタディを通じた適正値の検証が必要である。

(エ) 検証の結果のまとめ

机上ケーススタディを通じ、以下の送信タイミング判断の各判断要件に関し、走行車両の車速が 20km/h～70km/h の間で変化する際、通信量の抑制が確認できた。

- 周辺車両密度
- 周辺通信状況
- 自車情報

（ア）～（ウ）に示した各判断要件による検証の結果を図 4.2.3-9 に示す。

図 4.2.3-9　各判断要件による通信制御の効果

4.2.4 通信制御方式案に対する検討課題整理

本項では、4.2.3 節で検討、検証した通信制御方式案に対する、今後の検討・検証課題を記載する。

通信制御方式案に対する検討・検証課題の抽出手順を以下に示す。

1) トップダウンの観点での課題抽出
   ユースケースの実現に向けた課題抽出の観点をトップダウンの観点として課題を抽出する。
2) ボトムアップの観点での課題抽出
   各判断要件の技術的な観点からの課題抽出をボトムアップの観点として課題を抽出する。
3) トップダウン、ボトムアップの観点で抽出した課題の突き合わせ
   上記の観点で抽出した課題を突き合わせて、検討する課題の全体を定義する。
4) 課題の集約と深掘り
   課題全体に対して、分類し集約を行う。集約した課題に対して、仕様検討の観点、検証の観点と検証する際の判断基準案等の深掘を実施する。

(1) 検討・検証課題の抽出

通信制御方式案に対する検討・検証課題を網羅的に整理するために、トップダウン及びボトムアップの観点で課題の抽出を行い、この 2 つの観点による結果の突き合わせにより、課題の全体像を決定した。

(a) トップダウン観点での課題抽出

ユースケースの実現に向けてツリー構造にて課題抽出したものを図 4.2.4-1 に示す。

図 4.2.4-1　トップダウンによる課題抽出

また上記のツリー構造に対して、詳細化した課題と検討・検証ポイントを表 4.2.4-1 に示す。

表 4.2.4-1　トップダウン観点での課題一覧

No	大項目	中項目	小項目	課題
1	ユースケースで起こりうること	シーケンス異常	-	メッセージ送受信不可／遅延によるシーケンスの異常は、メッセージの到達性と即時性によるもののため、No.5～No.13 と同様な課題であり、No.5～No.13 で検討するため、本項目は検討の対象外とする
2		複雑な走行環境	各車両による判断の不一致	4.2.3(2)(d)検討の複雑な走行環境において、各要件を考慮し、車両によって判断の不一致を回避できる送信タイミングの算出方法の決定と効果検証
3			多数のユースケースの共存	多数のユースケースが共存する際、ユースケースの干渉確認と影響確認
4		自動運転車両以外(手動運転車両や人等)によるインシデント	-	自動運転車両以外によるインシデントが発生時の対応を考慮する必要があるが、自動運転車両以外の問題であり、通信制御仕様とは関係しないため、通信制御の課題検討の対象外とする
5	通信要件	通信品質（到達性）	送信不可	トラフィック増大による送信不可は、No.13 と同様な課題であり、No.13 で検討するため、本項目は検討の対象外とする
6				端末の処理リソースの性能確認及び負荷高抑制
7				送受信処理において端末の処理速度の性能確認
8				アプリケーション内部で問題が発生し送信不可の場合を考慮する必要があるが、通信制御仕様とは関係しないため、通信制御の課題検討の対象外とする
9			受信不可	トラフィック増大による受信不可は、No.13 と同様な課題であり、No.13 で検討するため、本項目は検討の対象外とする
10				電波品質が不安定・障害物で電波減衰・受信範囲外の場合の対処を考慮する必要があるが、端末での制御ができない要素となるため、通信制御の課題検討の対象外とする
11		通信性能（即時性）	送信タイミング	即時性を確保するための送信タイミングの算出方法の検討と効果検証
12			優先度	優先度が低いメッセージの送信遅延によるユースケースの実現への影響確認
13			チャネル負荷	チャネル負荷の増大によって、送信遅延の発生する場合の仕様決定と効果検証： • 車両密度大の時やクリティカルイベント発生時、走行環境に関連する通信制御仕様 • チャネル負荷高の場合の通信環境に関連する通信制御の仕様

※　灰色網掛け：課題検討の対象外として、検討・検証項目にて対象外とする理由を記載

(b) ボトムアップ観点での課題抽出

通信制御方式案の各判断要件の仕様案における確認事項を以下の 5 種類の大項目に分け、それぞれについて課題の抽出を行った結果を表 4.2.4-2 に示す。

1） 各判断要件の課題

各判断要件の具体的な仕様・パラメータの採用値の課題検討であり、通信制御仕様案の各判断要件のインプット、処理、アウトプットを表 4.2.3-1 で整理し、その結果を用いて、各判断要件の課題を抽出する。

2） 複数の判断要件の組み合わせ

各判断要件を組み合わせて通信制御案を決定するための課題を抽出する。

3） 各判断要件及び複数判断要件の組み合わせにおける共通的な課題

1)、2）に対する共通的な仕様課題（再送制御や送信電力制御）を抽出する。

4） 複数ユースケースの共存

複数ユースケースが共存する場合の課題を抽出する。

5） 実装課題

実装する際の課題（ハードウェア制約等）の観点で課題を提示する。

表 4.2.4-2　ボトムアップ観点での課題一覧（1／3）

No	大項目	中項目	小項目	課題内容
1	各判断要件の課題 (1／2)	送信タイミング判断	送信タイミングに関連するアプリケーション要件	実現するアプリケーションによって決める必要がある情報のため、通信制御の検討対象外とする。
2			周辺車両密度	下記パラメータの決定 • 周辺車両密度基準(台数) • 周辺車両密度基準(範囲)
3			周辺通信状況	下記パラメータの仕様決定 • チャネル負荷のパラメータ選定(CBR か、それ以外か) • チャネル負荷の平滑化処理の実現レイヤと処理内容 • チャネル負荷の上限、下限の閾値 • チャネル負荷に応じ送信タイミングの最小値の求め方(マッピング表/リニア関係で算出)
4			自車情報	下記パラメータの決定 • 即時送信のトリガー(速度、位置、方位角) • 即時送信トリガー後の同じ送信タイミングで数回送信が必要な場合、同じ送信タイミングで送信する回数
5			走行環境	下記仕様の決定 • 4.2.3(2)(d)項の走行環境に応じた通信制御の考え方の例に沿った送信タイミング判断の具体的制御内容及び走行環境に関わる各条件の組み合わせ方
6			クリティカルイベント	下記仕様の決定 • クリティカルイベント発生中の送信タイミングを早くする仕様が必要な場合、具体的仕様の検討（どのような間隔で何回送信するか)

表 4.2.4-2　ボトムアップ観点での課題一覧（2／3）

No	大項目	中項目	小項目	課題内容
7	各判断要件の課題（2／2）	優先度設定	メッセージの種類	下記仕様の決定 • メッセージの種類に応じた優先度順位のマッピング表
8			クリティカルイベント	下記パラメータと仕様の決定 • クリティカルイベントの種類 • クリティカルイベントの種類毎に、クリティカルイベント発生時、メッセージの種類に応じた優先度順位のマッピング表 • クリティカルイベントの種類の優先度順位
9	複数判断要件の組み合わせ	通信要件	メッセージの即時性確保	下記仕様を決定し、効果を検証 • 即時性確保処理で実装する判断要件選定 • 複数の要件を実装する際の制御の仕様
10		通信環境	帯域緩和	下記仕様を決定し、効果を検証 • 帯域緩和処理で実装する判断要件の選定 • 複数の要件を実装する際の制御の仕様 • 帯域緩和処理をする際の判断条件(周辺車両密度、周辺通信状況)の閾値決め
11		通信要件＆通信環境の組み合わせ	即時性確保＆帯域緩和	下記仕様を決定し、効果を検証 • 即時性確保、帯域緩和を組み合わせた通信制御の仕様
12	各判断要件及び複数判断要件の組み合わせにおける共通的な課題	車両基本情報メッセージの定義	通信制御仕様案の送信タイミング判断の対象として車両基本情報メッセージの詳細定義	RC-017 において車両基本情報メッセージの定義がなく、SAE の BSM や ETSI の CAM のように車両の基本情報用のメッセージとして必要か検討する必要がある。注意点として、車両基本情報メッセージに車両イベントの情報を載せるフィールドの必要性を検討する必要がある。通信制御のみの観点では車両基本情報メッセージのメッセージ構成を決定できないため、通信制御の検討対象外とする。
13		再送制御	再送制御を考慮した通信制御仕様案の定義	下記仕様を決定し、効果を検証 • 再送制御の実現レイヤと処理内容
14		送信電力	送信電力変更を考慮した通信制御仕様案の定義	下記仕様を決定し、効果を検証 • 送信電力変更の仕様の要否 • 条件に応じた送信電力の値決め

表 4.2.4-2　ボトムアップ観点での課題一覧（3／3）

No	大項目	中項目	小項目	課題内容
15	複数ユースケースの共存	チャネル割り当て	車両基本情報メッセージ、調停・ネゴのメッセージが同じチャネルに共存するかどうかのチャネル割り当て決め	下記項目の決定 • 車両基本情報メッセージ、調停・ネゴのメッセージのうち、どれが同じチャネルに割り当てられるか（4.1 章にて検討のため、通信制御の課題検討対象外のする）
16		送信タイミング判断	チャネル負荷が高い場合、調停・ネゴのメッセージの送信タイミングをどれくらい遅らせて良いか	下記仕様を決定し、効果を検証 • チャネル負荷による調停・ネゴシエーションのメッセージの送信タイミングのマッピング表決め
17	実装課題	ハードウェアの制約	頻繁な送信タイミング変更への対応可否	下記項目を実機にて検証 • 送信タイミングを変化させる際のハードウェアの対応可否を検証
18		送信電力	送信電力変更の仕様を実装する際、ハードウェアで対応可能か	下記項目を実機にて検証 • ハードウェアの送信電力の変更の対応可否を確認
19		処理リソース	受信バッファーと送信バッファーの必要な容量の検討	下記仕様を決定し、実機にて検証 • 送受信バッファー（送受信用のメモリ/レジスタ）サイズの詳細決定 • 上記検討結果の送受信バッファー（送受信用のメモリ/レジスタ）サイズが送受信に対応可能か検証（必要な送受信バッファーの量の明確化）
20			処理リソースが不足することはないかを検証	下記項目を実機にて検証 • 送受信処理での処理リソースの対応可否を検証（必要な処理リソース使用量の明確化）
21		処理速度	処理速度で、エンコード/デコード、情報の引き渡し等、各処理において、送信処理が間に合うかを検証	下記項目を実機にて検証 • 送受信処理での処理速度の対応可否を検証（処理速度の明確化）

※　灰色の網掛け：課題検討の対象外として、検討・検証項目にて対象外とする理由を記載。

(c) トップダウン、ボトムアップの観点で抽出した課題の突き合わせ

トップダウン、ボトムアップの観点で抽出した課題を突き合わせ、課題の全体像を表 4.2.4-3 に示す。

表 4.2.4-3　トップダウン、ボトムアップ観点での課題の紐づけ表（1／3）

No	トップダウン観点で抽出した課題項目				ボトムアップ観点での課題番号	課題の種別
	大項目	中項目	小項目	課題		
1	ユースケースで起こりうること	シーケンス異常	-	メッセージ送受信不可／遅延によるシーケンスの異常は、メッセージの到達性と即時性によるもののため、No.5～No.13 と同様な課題であり、No.5～No.13 で検討するため、本項目は検討の対象外とする	他の項目との重複による検討対象外の項目のため、紐づけは省略	他の項目との重複による検討対象外の項目のため、分類は省略
2		複雑な走行環境	各車両による判断の不一致	4.2.3(2)(d)検討の複雑な走行環境において、各要件を考慮し、車両によって判断の不一致を回避できる送信タイミングの算出方法の決定と効果検証	5	制御仕様・パラメータ適正値の検証(車両基本メッセージ)
3			多数のユースケースの共存	多数のユースケースが共存する際、ユースケースの干渉確認と影響確認	15，16	制御仕様・パラメータ適正値の検証(調停/ネゴシエーションメッセージ)
4		自動運転車両以外(手動運転車両や人等)によるインシデント	-	自動運転車両以外によるインシデントが発生時の対応を考慮する必要があるが、自動運転車両以外の問題であり、通信制御仕様とは関係しないため、通信制御の課題検討の対象外とする	-	アプリケーション要件、アプリケーション処理の決定
5	通信要件（1／2）	通信品質（到達性）（1／2）	送信不可	トラフィック増大による送信不可は、No.13 と同様な課題であり、No.13 で検討するため、本項目は検討の対象外とする	他の項目との重複による検討対象外の項目のため、紐づけは省略	他の項目との重複による検討対象外の項目のため、分類は省略
6				端末の処理リソースの性能確認及び負荷高抑制０	19，20	通信レイヤを含めた最適化検討
7				送受信処理において端末の処理速度の性能の確認	21	通信レイヤを含めた最適化検討
8				アプリケーション内部で問題が発生し送信不可の場合を考慮する必要があるが、通信制御仕様とは関係しないため、通信制御の課題検討の対象外とする	-	アプリケーション要件、アプリケーション処理の決定

表 4.2.4-3　トップダウン、ボトムアップ観点での課題の紐づけ表（2／3）

No	トップダウン観点で抽出した課題項目				ボトムアップ観点での課題番号	課題の種別
	大項目	中項目	小項目	課題		
9	通信要件（2／2）	通信品質（到達性）（2／2）	受信不可	トラフィック増大による受信不可は、No.13 と同様な課題であり、No.13 で検討するため、本項目は検討の対象外とする	他の項目との重複による検討対象外の項目のため、紐づけは省略	他の項目との重複による検討対象外の項目のため、分類は省略
10				電波品質が不安定・障害物で電波減衰・受信範囲外の場合の対処を考慮する必要があるが、端末での制御ができない要素となるため、通信制御の課題検討の対象外とする	–	アプリケーション要件、アプリケーション処理の決定
11		通信性能（即時性）	送信タイミング	即時性を確保するための送信タイミングの算出方法の検討と効果検証 優先度が低いメッセージの送信遅延によるユースケースの実現への影響確認	2，3，4，5，6，9，10，11，16，17，21	制御仕様・パラメータ適正値の検証(車両基本メッセージ) 複合的な送信タイミング判断仕様の検討 通信レイヤを含めた最適化検討
12			優先度	メッセージセット及び車両基本情報メッセージに対し、クリティカルイベントの有無と種類に応じたメッセージの優先度を決定	7，8	優先度設定の検討
13			チャネル負荷	チャネル負荷の増大による、送信遅延が発生する場合の対策として、通信制御仕様や複合的なタイミング制御仕様の検討と効果検証	2，3，5，6，10，11，16	制御仕様・パラメータ適正値の検証(車両基本メッセージ) 複合的な送信タイミング判断仕様の検討

表 4.2.4-3　トップダウン、ボトムアップ観点での課題の紐づけ表（3／3）

No	トップダウン観点で抽出した課題項目				ボトムアップ観点での課題番号	課題の種別
	大項目	中項目	小項目	課題		
14	ボトムアップのみ 送信タイミングに関連するアプリケーション要件（実現するアプリケーションによって決める必要がある情報のため、通信制御の検討対象外とする）				1	アプリケーション要件、アプリケーション処理の決定
15	ボトムアップのみ 通信制御仕様案の送信タイミング判断の対象として車両基本情報メッセージの詳細定義（通信制御のみの観点ではメッセージ構成を決定できないため、通信制御の検討対象外とする）				12	車両基本情報メッセージの詳細定義
16	ボトムアップのみ 再送制御を考慮した通信制御仕様案の定義				13	制御仕様・パラメータ適正値の検証(車両基本メッセージ) 複合的な送信タイミング判断仕様の検討
17	ボトムアップのみ 送信電力変更を考慮した通信制御仕様案の定義（ハードウェアの対応可否を含む）				14	制御仕様・パラメータ適正値の検証(車両基本メッセージ) 複合的な送信タイミング判断仕様の検討
18	ボトムアップのみ 送信電力変更の仕様を実装する際、ハードウェアで対応可能か				18	通信レイヤを含めた最適化検討

※　灰色の網掛け：検討対象外の項目。

(2) 課題の集約と深掘り

本項では、4.2.4 節で検討、検証した通信制御方式案に対する、今後の検討・検証課題を記載に対し、課題の集約と深掘りを実施し、対策として今後の検討・検証項目を提示する。

表 4.2.4-3 の課題の種別による課題の集約結果、また集約した課題の各項目に対して、仕様検討の観点、検証の観点と検証する際の判断基準案等の深掘りを行い、その結果を表 4.2.4-4 に示す。

表 4.2.4-4　通信制御方式案の検討における課題一覧表（1／3）

No	検討課題	内容	検証内容
1	アプリケーション要件、アプリケーション処理の決定	以下のパラメータは、実現されるアプリケーションの要求によって決める必要がある。 ・車両基本情報メッセージのデフォルト送信タイミング ・車両基本情報メッセージの送信タイミングの上限値及び下限値 ・調停/ネゴシエーションの各メッセージのデフォルト送信タイミング ・調停/ネゴシエーションの各メッセージの送信タイミングの上限値及び下限値 ・アプリケーションが自車情報、CBR等下位層から取得する情報を更新する頻度 またインシデント、電波障害の対応の仕組み等、アプリケーションの処理内容を決める必要がある。	実現するアプリケーションによって決める必要がある情報のため、通信制御の検討対象外とする。
2	車両基本情報メッセージの詳細定義	RC-017において車両基本情報メッセージの定義がなく、独立なメッセージとして必要か検討する必要がある。	通信制御のみの観点では車両基本情報メッセージのメッセージ構成を決定できないため、車両イベントのフィールドの必要性を含め、通信制御の検討対象外とする。
3	制御仕様・パラメータ適正値の検証(車両基本メッセージ)	様々なケーススタディを通じた制御仕様及びパラメータ適正値の検証が必要である。 車両基本情報メッセージの送信タイミング判断の仕様を選定するため、それぞれの要件毎の送信タイミングの算出方法を決めて通信帯域の圧迫の有無を評価する必要がある。 ・周辺車両密度 ・周辺通信状況 ・自車状況 ・走行環境 ・クリティカルイベント	各判断要件において、送信タイミングの算出ロジック及び必要なパラメータの具体値に関して仕様決定する。その仕様を用いて、シミュレーションを実施し、通信制御の効果を評価する。 [仕様案] SAE,ETSI での通信制御仕様を参考にする。 [判断基準案] ・PAR ・CBR　等 ただし、SAE や ETSI における仕様の定義背景や判断基準の根拠が不明であるため、国内独自での判断基準を決定する必要がある。 評価する際の考慮事項として、送信電力の変更の仕様の要否とその詳細、再送制御の仕様の詳細も合わせて検証する必要がある。

表 4.2.4-4　通信制御方式案の検討における課題一覧表（2／3）

No	検討課題	内容	検証内容
4	複合的な送信タイミング判断仕様の検討	複数の送信タイミング判断要件を複合判断仕様の検証が必要である。	課題 No.3 における判断要件を複合して、送信タイミングの算出ロジック及び必要なパラメータの具体値の仕様を決定する。その仕様を用いて、シミュレーションを実施し、通信制御の効果を評価する。 [仕様案] SAE、ETSI での通信制御仕様を参考にする。 課題 No.2 における各判断要件の組み合わせ。 [判断基準案] ・PAR ・CBR　等 ただし、評価する際の観点と検証用の基準として、PAR、CBR 等のパラメータを用いるが、基準値となる値を決めるにあたり判断根拠が必要となる。 評価する際の考慮事項として、送信電力の変更の仕様の要否とその詳細、再送制御の仕様の詳細も合わせて検証する必要がある。
5	制御仕様・パラメータ適正値の検証(調停/ネゴシエーションメッセージ)	様々なケーススタディを通じた制御仕様及びパラメータ適正値の検証が必要である。 調停/ネゴシエーションのメッセージに対して、送信タイミングの算出方法を決める必要がある。	調停/ネゴシエーションのメッセージに対して、送信タイミングの詳細な算出ロジック及び必要なパラメータの具体値の仕様を決定後、シミュレーションを実施し通信制御の効果の妥当性を評価する。 [仕様検討の観点] 調停/ネゴシエーションのメッセージはイベント型で、即時送信できる場合は即時送信し、チャネル負荷が高く即時送信できないケースにのみ、ユースケースの実現に影響を及ぼさないために適当な間を取って送信する仕様が必要と考える。 [判断基準案] ・PAR ・CBR　等 ただし、SAE や ETSI における仕様の定義や判断基準の根拠が不明であるため、国内独自での判断基準を決定する必要がある。 評価する際の考慮事項として、送信電力の変更の仕様の要否とその詳細、再送制御の仕様の詳細も合わせて検証する必要がある。

表 4.2.4-4　通信制御方式案の検討における課題一覧表（3／3）

No	検討課題	内容	検証内容
6	優先度設定の検討	RC-017 で定義されたメッセージセット及び車両基本情報メッセージに対し、クリティカルイベントの有無と種類に応じたメッセージの優先度を決める必要がある。 ・通常時のメッセージの優先度順位 ・クリティカルイベントの種類 ・クリティカルイベントの種類の優先度順位 ・クリティカルイベントの種類毎に、クリティカルイベント発生時のメッセージの優先度順位	クリティカルイベントの有無と種類に応じた優先度決めのロジックを実装させシミュレーション又は実機評価を実施し、クリティカルイベントが発生するシナリオで通信制御の効果を評価し、優先度決めのロジックの妥当性を評価する。 [判断基準案] 評価する際の観点として、該当するクリティカルイベント発生時の対応メッセージが確かに優先されて届くかどうかを観点とする。 ※現状検討では、車両挙動の制御に直接関わるかどうかで優先度の順位付けの例を提示したが、その妥当性について検証が必要と考えられる。 [判断基準案] ・優先度が高いメッセージは優先的に、かつ確実に届いているか
7	通信レイヤを含めた最適化検討	通信レイヤやハードウェアまでを含めた性能要件として下記を確認・決定する必要がある。 ・通信タイミングの切り替え時間の性能確認 また製品として実装する際に、以下の項目についても確認する必要がある。 ・必要な処理速度の明確化 ・必要な処理リソース使用量の明確化 ・必要な送受信バッファー（送受信用のメモリ/レジスタ）サイズの詳細決定	通信レイヤを含めた最適化を検討し、左記項目に関するハードウェア制約を明らかにする。 ハードウェア制約に満たすかの妥当性については、実機で検証する。

※ 灰色網掛け：課題検討の対象外として、検討・検証項目にて対象外とする理由を記載。

課題に対する検証内容として、シミュレーションによる検証や実機検証が必要であり、通信制御仕様案の効果及びレイヤ全体としての最適化を考慮する必要がある。また、検証を実施するにあたり、検証観点や適合性を判断するための基準値やその根拠を決定する必要があり、最終的決定した通信制御方式案の制御効果を定量的に評価するために更なる調査・検討・検証が必要であると考える。

これまでの検討結果を用いて以下の事項等を踏まえ継続検討を要すると考える。

- 様々なケーススタディを通じた制御仕様及びパラメータ適正値の検証
- 複数の送信タイミング判断要件に関する複合判断仕様の検討
- 通信レイヤでの通信制御を含めた全体での最適化検討

今後の検討手順案を図 4.2.4-2 に示す。

図 4.2.4-2　今後の検討手順案

4.3　シミュレーションによる通信要件の検証

本節では、協調型自動運転ユースケースにおける 5.9GHz 帯 V2X システムの効果を検証する。具体的には、交通シミュレーションを用いて、通信仕様の違いによる自動運転車間での情報伝達の遅延による車両挙動への影響に関し検証する。

4.3.1　シミュレーションで対象とする協調型自動運転ユースケースの選定

シミュレーションで扱う協調型自動運転ユースケースは、「c.先読み情報：衝突回避」のうち、図 4.3.1-1 に示した「c-1.前方での急停止、急減速の衝突回避支援」とした（以下、「ユースケース」という）。これらは、前方にある障害情報を後方の車両に通知し、早めの減速等を促す車両挙動を扱っている。また、情報伝達による迅速な車両制御が期待されており、遅延が及ぼす影響が懸念されるものである。

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

機能分類	c. 先読み情報：衝突回避		
ユースケース名	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援		
対象場所	高速道路+一般道	対象車両	オーナー・カー
概要	急ブレーキ情報およ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。		

ユースケースイメージ

留意事項（通信要件等）	通信	V2V	データ区分／情報内容	メッセージ	急ブレーキ情報
	接続形態	1対多		センサーデータ	位置、速度
	制御用途	速度調整、停止		リッチコンテンツ	—
	即応性	要	データ量		小

図 4.3.1-1　シミュレーションで扱うユースケース[79]

図 4.3.1-2 にシミュレーションで想定する通信場面のイメージを示す。すなわち、比較的走行速度が高い一般道幹線で、車群先頭車が前方障害物の手前で急停止する緊急性を要する場面であり、かつそれ以外にも様々な伝達すべき情報が存在する交差点付近の状況を想定した。
この状況下でユースケースは、後続車両が前方車両の減速に反応して減速し始めるより前に情報を受け取ることにより、より安全な状況になることが期待される。

[79] SIP 協調型自動運転ユースケース，2019 年度協調自動運転通信方式検討 TF 活動報告，2019

図 4.3.1-2　交差点周辺での通信例[80]

図 4.3.1-3 にユースケースで期待される情報伝達と車両挙動のイメージを示す。ここでは、一定速度で走行する自動運転車（以降、「車群先頭車」若しくは単に「先頭車」と呼び、これを 0 台目とする）と、それに追従して走行する複数台の車両（以降、「後続車」と呼び、先頭に近い方から順に 1 台目、2 台目とする）で形成される車群を想定し、先頭車が前方の障害物等、急停止を要する事象を検知すると同時に、その情報を通信要件で定める周期及び回数に従って発報する。後続車には、シミュレーションでのケースによって自動運転車若しくは手動運転車を想定するが、自動運転車の場合は、情報を受け取った時点で、より安全な状況になるように、予備的な減速で車間を開けるように制御を行う。このとき、現実には通信を阻害する様々な要因が生じて、後続車に情報が伝達されるのに複数回の発報が必要になる可能性があるため、それを情報伝達の遅延時間として、通信仕様を定めて扱うこととした。

なお、ユースケースでは後続車が車線変更して衝突を回避する場面も想定されているが、ここでは車両制御の面でより制約の大きい、同一車線での減速挙動のみを想定した。

図 4.3.1-3　ユースケースで期待される情報伝達と車両挙動のイメージ

---

[80] 図中の通信要件は、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, ITS FORUM RC-017 1.0 版, ITS 情報通信システム推進会議, 2022、による

4.3.2 車両挙動に関する既往文献調査

シミュレーションに先立ち、想定したユースケースで考慮すべき車両挙動や交通現象に関する既往の技術文献を調査した。

(1) 定常走行時の車間時間について

シミュレーションでは、先行車に追従して定常走行する車群を発生させるが、その際の車間時間をどのように設定するかに関する文献を調査した。

(a) 高速道路や一般道幹線道路での車間時間分布

手動運転車の定常走行時の車間に関しては、以下の既往文献を参考にした。

邢らの研究[81]では都市間高速道路の感知器パルスデータを用いて渋滞発生前の交通状況を分析している。分析結果は図 4.3.2-1 となり、渋滞発生前の 15 分間の追い越し車線での車頭時間の最頻値は 1.5 秒である。

また、隅田らの研究[82]では福岡県の国道を走行する車両の速度と車頭時間を計測しており、多くの車両が 1～1.5 秒で走行していることが分かっている。

図 4.3.2-1　渋滞発生前 15 分間の追い越し車線車頭時間頻度分布

---

[81] 車両感知器パルスデータを用いた渋滞発生時交通現象分析、2010、邢健、鶴元史、石田貴志、村松栄嗣

[82] 運転者が保持する車間時間に着目した交通流シミュレーションによる交通流と交通事故防止についての解析、2020、隅田康明、林政喜、合志和晃、松永勝也

(b) ACC の車間設定について

自動運転車の定常走行時における車間設定に関しては、現在市販されている ACC（adaptive cruise control）の車間設定について、Web で公開されている情報[83]を既往文献として参照する。今回のシミュレーションにおいては、自動運転車は安全性や快適性を重視するとして、図 4.3.2-2 の「長」相当の車間を保持して走行することとした。

図 4.3.2-2　ACC の車間設定例 [83]

[83] ホンダ・FREED Hybrid ACC 操作説明書より
https://www.honda.co.jp/ownersmanual/webom/jpn/freedhybrid/2017/details/13686090-53076.html

(2) 急制動時の減速挙動について

急制動の減速挙動については、以降の(a)～(f)に整理した技術文献での知見を参考に、速度と減速度の関係を図 4.3.2-3 にまとめた。すなわち、先頭車の緊急停止時の減速度、追従車両の急停止時の許容減速度、事前情報を与えた時の停止時許容減速度の 3 段階に整理した上で、今回のシミュレーションでは先行車の急減速挙動における減速度を 0.5G とした。

図 4.3.2-3　走行速度と最大減速度の関係（図中英小文字は以下(a)～(f)の見出し番号に対応）

(a) ドライビングシミュレータによる自動隊列走行時の運転者の急回避行動の分析

鄭らの研究[84]では、ドライビングシミュレータを利用し、自動隊列走行時の運転者の急回避行動について分析を行っている。研究内容は、高速道路を隊列走行中に先行車が急制動を行った場合の後続車の急制動挙動及び車間距離の計測を、ドライビングシミュレータを用いて行った。

この研究では図 4.3.2-4 のように先頭車の緊急停止時の急減速は 0.6G を想定している。また、図 4.3.2-5 のように後続車の急制動挙動では運転者が先行車の急停止を確認してからブレーキを踏むまでの反応時間は 0.6 秒であることから、これらの値を知見として利用できると考えられる。

---

[84] ドライビングシミュレータによる自動隊列走行時のドライバの緊急回避行動分析、2012、鄭仁成、山邉茂之、李昇勇、中野公彦、 安藝雅彦、須田義大

図 4.3.2-4　先行車の減速度及び後続車の想定減速度 [84]

図 4.3.2-5　減速度別の運転者の反応時間 [84]

(b) 制動時における運転者の安心感に関する研究

田中らの研究[85]では、自動車の制動時における運転者の安心感について研究を行っている。研究内容は、被験者に乗用車を直進路で運転をさせ、目的の位置に停止するように表 4.3.2-1 に示すような平均減速度から算出された指定の距離からブレーキを踏んでもらう。その時の制動時の安心感を表 4.3.2-2 のような内容で 5 段階評価してもらう。

実験結果を図 4.3.2-6 に示す。図 4.3.2-6 より、減速度が小さいほど安心感が大きくなり、初期速度は早いほど不安を感じ始める減速度が大きくなっていることが分かり、この研究は減速挙動の感性的な解釈として利用できると考えている。

[85] 自動車の制御時の安心感に関する研究、2016、田中裕章、竹森大祐、宮地智弘、入部百合絵、小栗宏次

表 4.3.2-1　減速度の条件設定 [85]

初期速度 [km/h]	平均減速度 [G]				初期速度 [km/h]	平均減速度 [G]			
	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4		Exp.5	Exp.6	Exp.7	Exp.8
30	0.075	0.100	0.125	0.150	30	0.175	0.200	0.225	0.250
50	0.125	0.150	0.175	0.200	50	0.225	0.250	0.275	0.300
70	0.175	0.200	0.225	0.250	70	0.275	0.300	0.325	0.350

表 4.3.2-2　安心感の 5 段階評価 [85]

Feeling Levels	Perceived Safety
2	非常に安心(Very secure)
1	安心(Moderately secure)
0	どちらでもない(Neutral)
-1	不安(Moderately fearful)
-2	非常に不安(Very fearful)

図 4.3.2-6　安心感についてのアンケート調査結果 [85]

(c) 交差点接近時のジレンマゾーンでの急減速に関する研究

市原らの研究[86]では、信号の切り替わりを先読みすることで交差点接近時のジレンマゾーンでの急減速を削減することを目的とした ITS 無線技術の研究を行った。研究内容は、車両と通信可能な信号機を用いて信号の先読み情報を取得し、車両と信号までの距離及び速度から信号が何秒後に切り替わるか予測する。走行車は定速挙動については実車で行い、加速中の挙動についてはシミュレーションを用いて検証を行っている。結果は表 4.3.2-3 のようになり、信号の切り替わりを事前に予測することで停止時の最大減速の削減を行うことができた。

[86] 自動運転における ITS 無線を用いたジレンマゾーンでの急減速の削減、2021、市原直樹、米陀佳祐、菅沼直樹

表 4.3.2-3　ジレンマゾーン支援前後の減速度変化[86]

Experimental number	W/ Prediction	W/O Prediction
①	$-1.19[\mathrm{m/s^2}]$	$-2.97[\mathrm{m/s^2}]$
②	$-1.09[\mathrm{m/s^2}]$	$-1.78[\mathrm{m/s^2}]$

(d) 急減速等の危険事象検出に関する研究

畠中らの研究[87]では、急ハンドルや急減速等の危険事象を検出する方法と、ヒヤリハット情報提供方法の検討を目的とした研究を行っている。研究内容は、乾燥路面及び水膜路面に対して、小型・普通・大型車両をそれぞれ 20、40、80km/h で走行させた場合の車両挙動の変化を分析している。これによると、表 4.3.2-4 に示したとおり、路面状態や車種による急減速挙動の変化の影響は小さく、走行速度が及ぼす影響が大きいことが分かる。

表 4.3.2-4　試験走路項目毎の減速度[87]

項目	急回避挙動 （最大左右加速度）	急減速挙動 （最大前後加速度）
路面別の影響	0.24G（乾燥路面） 0.21G（水膜路面） →影響は小さい	-0.49G（乾燥路面） -0.51G（水膜路面） →影響は小さい
車種別の影響	0.25G（小型車） 0.25G（普通車） 0.22G（大型車） →影響は小さい	-0.46G（小型車） -0.47G（普通車） -0.45G（大型車） →影響は小さい
走行速度の影響	0.22G（20km/h） 0.22G（40km/h） 0.25G（60km/h） 0.25G（80km/h） →影響は小さい	-0.39G（20km/h） -0.53G（40km/h） -0.65G（60km/h） -0.73G（80km/h） →速度に依存する
個人特性の影響	約 0.3G の ばらつき幅 →個人差に依存する	約 0.4G の ばらつき幅 →個人差に依存する

(e) 運転者の能力別の急制動挙動に関する研究

牧下らの研究[88]では、急制動挙動を運転者の能力による問題とし、運転者の能力別の制動の仕方や制動距離について研究を行っている。研究内容は、安全運転に関する指導者とその研修生及び一般運転者を対象とし、被験者が車両の速度が安定したと判断したタイミングから急制動を行い、その加速度を取得した。結果は図 4.3.2-7 のようになり、最大加速度では研修生の平均値が 0.966G で一般運転者は 0.826G となり、危険率 1%で有意差が見られた。

---

87 プローブデータを活用した安全走行支援サービスに関する検討、2007、畠中秀人、平沢孝之、真部泰幸、渡邊寧、井上洋、竹中憲郎、川崎弘太

88 普通乗用車運転者の緊急時の制動動作と制動距離、2001、牧下寛、松永勝也

図 4.3.2-7　制動距離と速度の関係図（上：指導者、中：研修生、下：一般運転者）[88]

(f) プローブ情報を用いた急減速挙動検出に関する研究

菊地らの研究[89]では、急減速挙動を始めとするプローブ情報を用いて算出可能な指標をヒヤリハット指標として提案し、活用の可能性について検討を行うことを目的とし、ヒヤリハットの閾値を 0.3G として分析を行っている。この研究では表 4.3.2-5 のようにヒヤリハットの指標値として急減速度の強度が対策前後で 0.52G→0.46G となっており、対策前の最大減速度がシミュレーションの参考値として利用できると考えた。

---

[89] 道路交通安全対策事業における急減速挙動データの活用可能性に関する研究、2012、菊地春海、岡田朝男、水野裕彰、絹田裕一、中村俊之、萩原剛、牧村和彦

表 4.3.2-5　ヒヤリハット関連指標の指標値[89]

分類	指標	試算指標	
		菊ノ尾・押切交差点	追分交差点
急減速挙動の発生回数	急減速挙動発生回数	20.8→19.0 (9%減)	13.2→6.8 (48%減)
急減速の強度	最大減速度	[押切交差点] 0.52G→0.46G [菊ノ尾交差点] 0.40G→0.33G	0.53G→0.43G
	急減速挙動発生時の強度構成	[押切交差点] 0.5G 以上の急減速挙動の構成比が低下 [菊ノ尾交差点] 0.35G 以上の強度の急減速挙動の構成比が低下	0.5G 以上の強度の急減速挙動の構成比が低下
	急減速時の平均強度	0.34G→0.34G ※統計的に有意な差は得られず	0.35G→0.34G ※統計的に有意な差は得られず
急減速直前の速度	速度ランク別急減速挙動発生地点	高速度で走行時に生じる急減速挙動が減少	高速度で走行時に生じる急減速挙動が減少

(3) 先行車の減速に伴う後続車の制動開始時間に関する研究

追従走行する車両が、先行車の減速に対して反応する時の時間遅れについても、既往文献を調査した。

牧下らの研究[90]では、乗用車を運転する被験者に公道に設けた周回コースを走行させ、飛び出しや先行車の制動挙動等の危険が発生した時の制動開始時間を計測した。この研究は飛び出しに対する反応時間の大部分が 0.1～1.4 秒であり、先行車の制動に対する反応時間は 0.4～1.6 秒であることが図 4.3.2-8 及び図 4.3.2-9 から分かる。

これを参考に、シミュレーションでは、先行車の減速に対して自車が減速するまでの時間を「減速伝播時間」として、0.4～1.6 秒の範囲になるよう、パラメータを設定することとした。

90 自動車運転中の突然の危険に対する制動反応の時間、2002、牧下寛、松永勝也

図 4.3.2-8　飛び出しに対する反応時間 [90]

図 4.3.2-9　先行車の制動に対する反応時間 [90]

(4) 加加速度による乗り心地評価について

シミュレーションでは、通信仕様によって、急停止時の挙動がどのように変化するかを検証するが、評価指標の一つとして考えられる加加速度（「躍度」あるいは「ジャーク」とも呼ばれる）について、以下に、加加速度を用いて車両挙動を評価した既往研究を整理した。

王ら[91]は、安全な環境下で、様々な速度域での発進、停止を繰り返し、乗客席に着座する被験者が、乗り心地を主観評価する実験を行った。文献では、「…ジャークが約 10 [m/s³] の振幅

[91] 王鋒、佐川貢一、猪岡光：自動車の加減速と乗り心地の関係に関する研究、人間工学、Vol.36、No.4、2000

で振動することによって乗り心地評定値が増加…（＝乗り心地の悪さを感じる）」することが言及されており、速度変動による乗り心地は、減速度と加加速度に影響を受けると考えられる。

図 4.3.2-10　乗車姿勢による乗り心地の比較
（上：加速度と加加速度、下：読書姿勢と球形姿勢の乗り心地）[91]

また、田中ら[92]も同様の主旨で研究を行っており、安全な環境下で、様々な初速から被験者に急ブレーキ操作をさせ、その時の乗り心地を主観指標で評価している。この研究では、減速開始から減速ピークまでの平均加加速度を「初期加加速度（impression jerk)」と定義し、図 4.3.2-11 に示したように、初期加加速度[93]が-3G/sec（≒ -28m/s³）[94]を下回ると、不安を感じる（Number of feelings が負値になる）傾向があることを示している。

[92] 田中裕章、竹森大祐、宮地智弘、入部百合絵、小栗宏次：自動車の制動時の安心感に関する研究、DENSO TECHNICAL REVIEW、Vol.21、2016
[93] 引用文献中で「減速開始から減速度ピークまでの平均加加速度」として定義されている。
[94] ただし、図 4.3.2-11 左のグラフから初期加加速度を読み取ると、およそ 0.3/2.5=0.12G/sec であり、文献で言及された初期加加速度が一桁大きく誤っている可能性がある。

(a) Feeling Level 2 in 70 km/h

図 4.3.2-11　減速時に運転者が感じる不安感の評価
（上：減速挙動の例、下：走行速度と減速度別の不安感）[92]

4.3.3 交通シミュレーションでの車両挙動モデリング

本項では今回実施したシミュレーションについての考え方を説明する。

(1) 車群先頭車の挙動

車群先頭車については、指定した速度で一定時間走行後に、指定した減速度で停止する挙動を想定した。ここでは、通信方式による遅延が最も許容されにくい、緊急時の急停止に相当する減速度で停止することとした。

(2) 後続車の追従挙動モデル

後続車は自身の前方を走行する車両（以降、「後続車」に対する意味で、「先行車」と呼ぶ）に追従走行する。ここでは、追従挙動モデルとして、オランダ応用科学研究機構（TNO：Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek Mobility & Logistics）での ACC による減速波伝播抑制のシミュレーション評価等、多くの適用実績ある IDM+式[95]を採用した。IDM+式は、国内でも、国土政策技術研究所による ACC 普及時の高速道路サグ部での渋滞緩和方策の検討[96]や、自動運転普及時の路車協調合流支援システムのシミュレーション評価[97]等で利用されている。

IDM+式は、後続車の走行速度及び先行車との車間距離と相対速度に基づいて、次式の常微分方程式で加速度を求めるものである。すなわち、

$$\frac{dv}{dt} = a \cdot \min\left[1 - \left(\frac{v}{v_d}\right)^2,\ 1 - \left(\frac{s^*(v, \Delta v)}{s}\right)^2\right]$$

$$s^*(v, \Delta v) = s_j + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}$$

ここで、

v ：速度 [m/s]
s ：車頭距離 [m] ※1
s^* ：希望車頭距離 [m]
v_d ：希望速度 [m/s]
Δv ：相対接近速度 [m/s] ※2
s_j ：停止時車頭距離 [m]
T ：安全車頭時間 [s]
a ：最大加速度 [m/s^2]
b ：希望減速度 [m/s^2]
※1 シミュレーションでは車尾距離（車間距離＋自車長）として計算する
※2 先行車に接近する場合が正

である。なお、シミュレーションでは離散時間（$\Delta t = 0.01$[s]）で加速度を逐次更新するため、上記の微分方程式を 4 次のルンゲクッタ法で差分式に変換している。

また、ここでは上記の IDM+式に加えて、減速挙動の伝播遅れを調整するために、IDM+式で求められた加速度に指数平滑処理を適用している。すなわち、

$$\tilde{a}_{t+1} = \alpha^* \tilde{a}_t + (1 - \alpha^*)\hat{a}_t$$

---

[95] W. Schakel、B. Arem、Bart Netten：Effects of cooperative adaptive cruise control on traffic flow stability、13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems、Madeira Island、September 19-22, 2010.
[96] 鈴木一史、山田康右、堀口良太、岩武宏一：高速道路サグ部渋滞対策に資する ACC の将来性能と渋滞緩和効果、交通工学論文集、Vol. 1 (2015)、No. 2 特集号、p. B_60-B_67. 2015.
[97] 中川敏正、関谷浩孝、中田諒、花守輝明、藤村亮太、井坪慎二、岩里泰幸：交通シミュレーションによる合流支援情報提供システムの効果分析、交通工学論文集、2022 年 8 巻 3 号、pp.20-29、2022.

$$\alpha^* = 1 - \left\{\frac{s_c - s_t}{(1-\beta)s_c}\right\}^{\gamma}$$

ここで、

$\tilde{a}_t$ ： 平滑化後の加速度
$\hat{a}_t$ ： 平滑化前の加速度（時刻 t の状態から IDM+式で求めた加速度）
s_c ： 臨界車頭距離（IDM+式の定常 FD で容量状態となる車頭距離）
s_t ： 時刻tでの車頭距離$(< s_c)$
$\beta \in (0,1)$, $\gamma \in \{1,2,\cdots\}$：パラメータ

である。

(3) 車両挙動に関するパラメータの設定

4.3.4 項のシミュレーションで採用する車両挙動に関するパラメータをシミュレーションによる評価（車両挙動の感度分析）を通じて決定する。車両挙動に関するパラメータのうち、表 4.3.3-1 の★印で示した、初期状態での走行速度と車間距離、車群先頭車の減速度及び追従式パラメータを変化させシミュレーションを実施し、手動運転車（小型・大型）、自動運転車（情報あり・なし）に対応する挙動を評価した。

表 4.3.3-1　パラメーター一覧（★は感度分析対象）

カテゴリ	パラメータ	値	単位	備考
基本設定	車両数	10	［台］	
	区間長	4,000	［m］	
	計算時間	120	［s］	
	計算間隔	0.01	［s］	
	記録間隔	0.01	［s］	
車群先頭車挙動	★初期速度	15～25	［m/s］	5［m/s］刻みで感度分析（×3）
	減速開始時間	30	［s］	
	停止時減速度	5.0	［m/s²］	急停止時の減速度
追従車挙動	★希望速度	15～25	［m/s］	5［m/s］ 刻みで感度分析（×3）．ただし車群先頭車の初期速度以上
	★安全車頭時間	1.0～2.5	［s］	0.3［m/s］ 刻みで感度分析（×6）．初期の車間距離はこの値で決まる
	停止時車頭距離	7.0	［m］	停止時車間距離は 7-5=2［m］
	★最大加速度	1.0～2.5	［m/s²］	0.3［m/s2］刻みで感度分析（×6）
	★希望減速度	1.0～5.0	［m/s²］	0.4［m/s2］刻みで感度分析（×11）
	車長	5.0	［m］	普通乗用車相当
その他	★平滑化レンジ（β）	0.25～0.5		
	★平滑化強度（γ）	1～4		

(a) シミュレーションによる評価（車両挙動の感度分析）で確認する車両挙動特性指標

(ア) 初期速度と車間距離

自動運転は手動運転よりも長い車間距離を取ると想定し、4.3.2(1)項での整理を踏まえて、以下の方針でパラメータを選定する。具体的には、手動運転は車間時間 1.1～1.5 秒の範囲で、また、自動運転は車間時間 1.8～2.0 秒の範囲で、それぞれパラメータを選定した。

(イ) 減速伝播時間

IDM+式には反応遅れ時間項が明示的に含まれないが、結果として減速挙動の伝播に時間がかかることが知られている。ここでは、図 4.3.3-1 のように、先行車の減速開始から後続車の減速開始までの時間差で読み取る。具体的には、減速度が閾値（0.1m/s²）を超えた時刻の先行車との差を減速伝播時間とした。

一般的に、車群前方車両ほど、先行車の減速が急激なので、急な反応が求められ、減速伝播時間が短くなる。パラメータ感度分析では、4.3.2(3)項での知見を踏まえて、車群中の手動運転車の減速伝播時間が 0.4～1.6 秒の範囲に収まるよう選定した。また、自動運転の方が車間距離を長く取ると考え、より穏やかに減速でき、減速伝播時間が手動運転より長くなる傾向にあるとした。

図 4.3.3-1　減速伝播時間の解釈

(ウ) 最大減速度の増幅率

停止時の車両挙動を特徴付ける指標として、先行車の減速度最大値に対して、後続車の減速度最大値の比率を調べた。もし、減速度最大値が減衰して伝播するなら、安全に停止できる挙動と解釈でき、逆に増幅して伝播するなら、後続に行くにつれて減速度が大きくなり、最後は物理的なタイヤと路面の摩擦抵抗を超えて衝突してしまう[98]ことになり、安全性の面で好ましくない挙動であるといえる。

なお、既往文献調査では、急制動時の減速度の伝播に関する知見が得られていないため、ここでは、手動運転と自動運転の特性を相対的に比較して理解するための指標として扱うこととし、手動運転の方が自動運転よりも増幅率が大きいと想定し、パラメータ感度分析での参考指標とした。

---

[98] なお、ここで採用した IDM+式は、衝突しない（collision free）よう、物理的な限界を超えた減速度を許容するため、後のシミュレーションでも衝突するかどうかを論じるわけではないことに留意する。

(エ) 車間-相対速度感度比

加えて、手動運転と自動運転の特性を相対比較する指標として、追従時に車間と相対速度それぞれに対して、どの程度反応しているかを車間-相対速度感度比として示した。具体的には、シミュレーション結果で得られた各車両の先行車に対する相対速度と車間距離の関係を、ACC 速度制御の分野でよく知られる Helly モデル（次式）に当てはめ、重回帰分析で推定した相対速度ゲインk_vと車間距離ゲインk_sの比率を求めたものである。

$$\dot{v}_t = k_v \Delta v_t + k_s\left(s_t - s_j - v_t T\right)$$

ここで、

$\dot{v}_t$: 加速度,

v_t: 速度,

Δv_t: 相対速度,

s_t: 車間距離,

s_j: 停止時車間距離,

T: 安全車間時間

この感度比が高いほど、相対速度よりも車間に重みを置いて反応していることを意味する。ここでは、自動運転は手動運転よりも相対速度に重みを置き、感度比が小さくなるとして、パラメータ感度分析での参考指標とした。

(b) 設定パラメータ一覧

表 4.3.3-2 に、シミュレーションによる評価（車両挙動の感度分析）を通じ選定したパラメータ設定値を車種毎に示す。

表 4.3.3-2　設定パラメーター一覧

	項目	単位	手動運転車（小型）		手動運転車（大型）		自動運転車（情報なし）		自動運転車（情報あり）	
パラメータ	希望速度	[m/s]	15～25	先頭車の初期速度に合わせる	15～25	先頭車の初期速度に合わせる	15.00	先頭車の初期速度に合わせる	15.00	先頭車の初期速度に合わせる
	安全車間	[s]	1.30		1.60	小型より長め	1.90	手動運転より長め ACC の中～長車間相当	2.20	情報なしより長め ACC の長車間相当
	停止車間	[m]	2.00		2.00		2.00		2.00	
	最大加速度	[m/s²]	2.20		1.30	小型より穏やかな減速	1.60	手動運転より穏やかな減速	1.00	情報なしより穏やかな減速
	希望減速度	[m/s²]	5.00		3.40		3.40		2.20	
	車長	[m]	5.00		12.00		5.00		5.00	
	平滑化強度	γ	2		2		1	手動運転より俊敏に反応	1	手動運転より俊敏に反応
	平滑化範囲	β	0.5		0.5		0.5		0.5	
挙動特性指標 (6 台の平均)	減速前車間時間	[s]	1.38～1.43		1.68～1.73	小型より長い	1.98～2.03	手動運転より長い	2.28～2.33	情報なしより長く余裕を確保
	減速伝播時間	[s]	0.79～0.84		1.01～1.08	小型より余裕を持って減速	1.01～1.07	手動運転より余裕を持って減速	1.12～1.17	情報なしより余裕を持って減速
	減速度増幅率		0.90～0.95		0.90～0.96	小型と同程度	0.84～0.89	手動運転より減衰伝播	0.82～0.87	情報なしより減衰伝播
	車間-相対速度感度比		2.11～2.44		0.87～1.08	小型より相対速度重視	2.09～2.19	手動運転より相対速度重視	1.70～(2.86)	情報なしより相対速度重視

(ア) 手動運転車（小型）

図 4.3.3-2 に、選定したパラメータ値での手動運転車（小型）の挙動特性を示す。それぞれのグラフでは、感度分析で初期速度を 3 通りに設定したものを合わせて記載した。

- 定常走行では、およそ 1.4 秒の車間時間を保持する。
- 減速伝播時間は、0.4～1.3 秒の範囲にばらつき、平均でおよそ 0.82 秒となる。本項(a)(イ)で述べたとおり 1 台目は追従している車群先頭車の急制動に対して衝突しないよう俊敏に反応するが、後続になるにつれて伝播時間は長くなる。
- 減速度の増幅率は、平均でおよそ 0.92 であり、減速度が減衰して伝播する。なお、1 台目は 1 を超える場合もあり、(a)(ウ)で述べたとおり衝突の可能性が示唆される。
- 車間-相対速度感度比は平均でおよそ 2.28 となり、自動運転よりも車間距離に重みを置いていることになる。

図 4.3.3-2　手動運転（小型）の車両挙動特性

(イ) 手動運転車（大型）

図 4.3.3-3 に、選定したパラメータ値での手動運転車（大型）の挙動特性を示す。大型車に関しては、安全車間時間パラメータを小型より長く設定したことで、定常走行時の車間時間が長くなり、それに伴い減速伝播時間も長くなる。

図 4.3.3-3　手動運転（大型）の車両挙動特性

(ウ) 自動運転車（情報なし）

図 4.3.3-4 に、選定したパラメータ値での自動運転車（情報なし）の挙動特性を示す。自動運転での定常走行では、手動運転よりも長い車間を保持して走行するように設定したことで、減速伝播時間は長くなる。これは、IDM+式での希望減速度パラメータは自動運転の方が手動運転よりも小さく設定しており、同じ車間時間、同じ速度で走行している場合、自動運転の方が俊敏に反応する挙動を示すが、自動運転の方が長い車間時間で走行しているため、図 4.3.3-5 に示したように、減速伝播時間も長くなったものである。また、これに伴い、減速度の増幅率は小さくなり、より安全に停止する挙動となる。

なお、車間-相対速度感度比は、手動運転車よりも相対速度を重視している挙動であることを示している。

図 4.3.3-4　自動運転（情報なし）の車両挙動特性

図 4.3.3-5　自動運転車と手動運転車の減速挙動の比較イメージ

(エ) 自動運転車（情報あり）

図 4.3.3-6 に、選定したパラメータ値での自動運転車（情報あり）の挙動特性を示す。情報ありの場合は、情報なしよりも長い車間を維持するように設定した。これに伴い、情報なしの挙動よりも、減速伝播時間は長く、また減速度の増幅率は小さくなる。

なお、図 4.3.3-7 に示したように、シミュレーションでは、自動運転車はまず情報なしの設定で走行し、車群先頭車の障害物検知情報が伝達された時点で、情報ありの設定に切り替える仕組みとした。これにより、情報が伝達されたタイミングで、それまでよりも長い車間を保持するよう減速するため、先行車への追従による減速伝播時間よりも先に情報が伝達されれば、予備的な減速を行うことになる。

図 4.3.3-6　自動運転（情報あり）の車両挙動特性

図 4.3.3-7　情報伝達による自動運転車の予備的な減速挙動イメージ

4.3.4 シミュレーションによる評価

通信仕様を複数パタン想定し、通信仕様、自動運転車／手動運転車、小型車／大型車の条件を変え、複数ケースによるシミュレーションを実施した。シミュレーションの結果を以下に示す。

(1) 通信仕様

シミュレーションにおける通信仕様は、後続車における初回のメッセージ受信タイミングとして、以下の想定に基づき複数パタンを設定した。

- 大型車による通信遮蔽等、突発的な通信環境の悪化による後続車における受信タイミングの遅延
- 700MHz 帯高度道路交通システムが運用されている場合とされていない場合での違いを考慮

1) 700MHz 帯と 5.9GHz 帯の電波伝搬特性の違いによる通信品質への影響

車両によるシャドウイングや、マルチパスの影響等による通信品質の悪化については、5.9GHz の方が影響を受けやすい。間に存在する車両によるシャドウイング損失は、5.9GHz の方が影響を受けやすく、通信環境の悪化によるメッセージの不達の可能性が高まる（後方車両の方がより影響を受ける）。

2) 700MHz 帯の有無による全体通信容量の違いによる通信輻輳への影響

700MHz 帯があると通信チャネルが 1ch 純増し、全体の通信容量も増えるため、通信輻輳への影響が懸念される。通信輻輳の影響が小さいユースケースの通信要件として、事象発生後、100ms 周期でメッセージを送信するものとし、メッセージの不達の可能性を考慮して受信タイミングを 100ms～500ms で条件設定した。

通信仕様として、表 4.3.4-1 に示したパタン 1～9 の 9 通りのパタンで、障害物検知タイミングから後続車へ情報が届くまでの遅延時間を変えてシミュレーションを行った。

表 4.3.4-1　通信仕様の設定パタン

情報伝達遅延時間

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目	備考
パタン 1	100ms	100ms	100ms	200ms	200ms	200ms	4 台目以降の通信環境の悪化（小）を想定
パタン 2	100ms	100ms	100ms	200ms	200ms	300ms	4 台目以降の通信環境の悪化（中）を想定
パタン 3	100ms	100ms	100ms	300ms	300ms	300ms	4 台目以降の通信環境の悪化（大）を想定
パタン 4	100ms	100ms	200ms	300ms	300ms	400ms	3 台目以降の通信環境の悪化（小）を想定
パタン 5	100ms	100ms	200ms	300ms	400ms	400ms	3 台目以降の通信環境の悪化（中）を想定
パタン 6	100ms	100ms	200ms	300ms	400ms	500ms	3 台目以降の通信環境の悪化（大）を想定
パタン 7	100ms	100ms	100ms	100ms	100ms	100ms	通信要件のとおり
パタン 8	500ms	500ms	500ms	500ms	500ms	500ms	比較検証
パタン 9	1s	1s	1s	1s	1s	1s	比較検証
パタン 11	―	100ms	―	―	―	―	
パタン 12	―	300ms	―	―	―	―	
パタン 13	―	500ms	―	―	―	―	

(2) 評価内容

シミュレーションでは、上述(1)の通信仕様に基づいて、自動運転車を先頭（0 台目）とし、6 台が後続（1～6 台目）する車群を定常走行させた状態から、先頭車を 5m/s²（≒0.5G）の減速度で停止させた時の、後続車両の挙動を評価する。定常走行とは、先行車が一定速度で走行し

た状態で、追従走行する後続車も速度変化しない状態である。ここでは、一般道の幹線道路を想定し、先頭の自動運転車を 54km/h（15m/s）で走行させる。

評価指標としては、後続車の速度、加速度及び加加速度の時間変化をグラフで示し、ケース間で比較する。以下、(3)～(5)で計 16 ケースのシミュレーション結果を示した後、(6)で各ケースの結果を比較評価する。

(3) シミュレーション結果：全て自動運転車で一般道幹線での速度域から急停止（ケース 0～9）

シミュレーションにおけるケースを表 4.3.4-2 に示す。また、以下の(a)～(j)に各ケースでの車群中車両の速度、加速度及び加加速度時間変化を示す。

表 4.3.4-2　ケース設定一覧（ケース 0～9）

ケース	通信パタン	初期速度	車種	備考
0		15m/s（54km/h）	全て自動運転	通信なし
1	パタン 1	〃	〃	通信あり
2	パタン 2	〃	〃	〃
3	パタン 3	〃	〃	〃
4	パタン 4	〃	〃	〃
5	パタン 5	〃	〃	〃
6	パタン 6	〃	〃	〃
7	パタン 7	〃	〃	〃
8	パタン 8	〃	〃	〃
9	パタン 9	〃	〃	〃

(a) ケース 0

表 4.3.4-3　情報伝達タイミング（ケース 0）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	–	–	–	–	–	–

図 4.3.4-1　急停止時の速度変化（ケース 0）

図 4.3.4-2　急停止時の加速度変化（ケース 0）

図 4.3.4-3　急停止時の加加速度変化（ケース 0）

(b) ケース 1

表 4.3.4-4　情報伝達タイミング（ケース 1）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	200	200	200

図 4.3.4-4　急停止時の速度変化（ケース 1）

図 4.3.4-5　急停止時の加速度変化（ケース 1）

図 4.3.4-6　急停止時の加加速度変化（ケース 1）

(c) ケース 2

表 4.3.4-5　情報伝達タイミング（ケース 2）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	200	200	300

図 4.3.4-7　急停止時の速度変化（ケース 2）

図 4.3.4-8　急停止時の加速度変化（ケース 2）

図 4.3.4-9　急停止時の加加速度変化（ケース 2）

(d) ケース 3

表 4.3.4-6　情報伝達タイミング（ケース 3）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	300	300	300

図 4.3.4-10　急停止時の速度変化（ケース 3）

図 4.3.4-11　急停止時の加速度変化（ケース 3）

図 4.3.4-12　急停止時の加加速度変化（ケース 3）

(e) ケース 4

表 4.3.4-7　情報伝達タイミング（ケース 4）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	200	300	300	400

図 4.3.4-13　急停止時の速度変化（ケース 4）

図 4.3.4-14　急停止時の加速度変化（ケース 4）

図 4.3.4-15　急停止時の加加速度変化（ケース 4）

(f) ケース 5

表 4.3.4-8　情報伝達タイミング（ケース 5）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	200	300	400	400

図 4.3.4-16　急停止時の速度変化（ケース 5）

図 4.3.4-17　急停止時の加速度変化（ケース 5）

図 4.3.4-18　急停止時の加加速度変化（ケース 5）

(g) ケース 6

表 4.3.4-9　情報伝達タイミング（ケース 6）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	200	300	400	500

図 4.3.4-19　急停止時の速度変化（ケース 6）

図 4.3.4-20　急停止時の加速度変化（ケース 6）

図 4.3.4-21　急停止時の加加速度変化（ケース 6）

(h) ケース 7

表 4.3.4-10　情報伝達タイミング（ケース 7）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	100	100	100

図 4.3.4-22　急停止時の速度変化（ケース 7）

図 4.3.4-23　急停止時の加速度変化（ケース 7）

図 4.3.4-24　急停止時の加加速度変化（ケース 7）

(i) ケース 8

表 4.3.4-11　情報伝達タイミング（ケース 8）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	500	500	500	500	500	500

図 4.3.4-25　急停止時の速度変化（ケース 8）

図 4.3.4-26　急停止時の加速度変化（ケース 8）

図 4.3.4-27　急停止時の加加速度変化（ケース 8）

(j) ケース 9

表 4.3.4-12　情報伝達タイミング（ケース 9）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

図 4.3.4-28　急停止時の速度変化（ケース 9）

図 4.3.4-29　急停止時の加速度変化（ケース 9）

図 4.3.4-30　急停止時の加加速度変化（ケース 9）

(4) シミュレーション結果：手動運転車に自動運転車が混入する状況で一般道幹線での速度域から急停止（ケース 10～13）

シミュレーションにおけるケースを表 4.3.4-13 に示す。また、以下の(a)～(d)に各ケースでの車群中車両の速度、加速度及び加加速度時間変化を示す。

表 4.3.4-13　ケース設定一覧（ケース 10～13）

ケース	通信パタン	初期速度	車種	備考
10		15m/s（54km/h）	2 台目が自動運転、他は手動運転（小型）	通信なし
11	パタン 11	〃	〃	通信あり
12	パタン 12	〃	〃	〃
13	パタン 13	〃	〃	〃

(a) ケース 10

表 4.3.4-14　情報伝達タイミング（ケース 10）

	1 台目 （手動）	2 台目 （自動）	3 台目 （手動）	4 台目 （手動）	5 台目 （手動）	6 台目 （手動）
情報伝達タイミング[ms]	–	–	–	–	–	–

図 4.3.4-31　急停止時の速度変化（ケース 10）

図 4.3.4-32　急停止時の加速度変化（ケース 10）

図 4.3.4-33　急停止時の加加速度変化（ケース 10）

(b) ケース 11

表 4.3.4-15　情報伝達タイミング（ケース 11）

	1 台目 （手動）	2 台目 （自動）	3 台目 （手動）	4 台目 （手動）	5 台目 （手動）	6 台目 （手動）
情報伝達タイミング[ms]	－	100	－	－	－	－

図 4.3.4-34　急停止時の速度変化（ケース 11）

図 4.3.4-35　急停止時の加速度変化（ケース 11）

図 4.3.4-36　急停止時の加加速度変化（ケース 11）

(c) ケース 12

表 4.3.4-16　情報伝達タイミング（ケース 12）

	1 台目 （手動）	2 台目 （自動）	3 台目 （手動）	4 台目 （手動）	5 台目 （手動）	6 台目 （手動）
情報伝達タイミング[ms]	–	300	–	–	–	–

図 4.3.4-37　急停止時の速度変化（ケース 12）

図 4.3.4-38　急停止時の加速度変化（ケース 12）

図 4.3.4-39　急停止時の加加速度変化（ケース 12）

(d) ケース 13

表 4.3.4-17　情報伝達タイミング（ケース 13）

	1 台目 （手動）	2 台目 （自動）	3 台目 （手動）	4 台目 （手動）	5 台目 （手動）	6 台目 （手動）
情報伝達タイミング[ms]	－	500	－	－	－	－

図 4.3.4-40　急停止時の速度変化（ケース 13）

図 4.3.4-41　急停止時の加速度変化（ケース 13）

図 4.3.4-42　急停止時の加加速度変化（ケース 13）

(5) シミュレーション結果：大型車が混在する状況で一般道幹線での速度域から急停止（ケース 30、31）

シミュレーションにおけるケースを表 4.3.4-18 に示す。また、以下の(a)～(b)に各ケースでの車群中車両の速度、加速度及び加加速度時間変化を示す。

表 4.3.4-18　ケース設定一覧（ケース 30、31）

ケース	通信パタン	初期速度	車種	備考
30		15m/s（54km/h）	2 台目が自動運転、他は手動運転（大型）	通信なし
31	パタン 11	〃	〃	通信あり

(a) ケース 30

表 4.3.4-19　情報伝達タイミング（ケース 30）

	1 台目 （手動大型）	2 台目 （自動）	3 台目 （手動大型）	4 台目 （手動大型）	5 台目 （手動大型）	6 台目 （手動大型）
情報伝達タイミング[ms]	–	–	–	–	–	–

図 4.3.4-43　急停止時の速度変化（ケース 30）

図 4.3.4-44　急停止時の加速度変化（ケース 30）

図 4.3.4-45　急停止時の加加速度変化（ケース 30）

(b) ケース 31

表 4.3.4-20　情報伝達タイミング（ケース 31）

	1 台目（手動大型）	2 台目（自動）	3 台目（手動大型）	4 台目（手動大型）	5 台目（手動大型）	6 台目（手動大型）
情報伝達タイミング[ms]	－	100	－	－	－	－

図 4.3.4-46　急停止時の速度変化（ケース 31）

図 4.3.4-47　急停止時の加速度変化（ケース 31）

図 4.3.4-48　急停止時の加加速度変化（ケース 31）

(6) シミュレーション結果の考察

(3)～(5)に示したシミュレーション結果について考察する。

(a) 通信の有無による効果

全て自動運転車としたケース 0 の通信なしと、その他の通信ありケース 1～9 では、追従車の速度や加速度の変化に違いが認められ、図 4.3.4-49 のとおり、通信ありで減速度ピークが小さく、かつタイミングが遅くなっていることから、より安全な停止挙動になることが示された。

図 4.3.4-49　自動運転車で構成される車群での通信あり（左：ケース 0）と通信なし（右：ケース 1）の加速度変化比較

同様に、手動運転車と自動運転車が混在するケース 10 及び 30 の通信なしと、その他の通信ありケース 11～13 及び 31 では、追従する手動運転車の速度や加速度の変化にも違いが認められ、図 4.3.4-50 に示したとおり、通信ありで減速度ピークが小さく、かつタイミングが遅くなっていることから、手動運転車もより安全な停止挙動になることが示された。

図 4.3.4-50　手動運転車（小型）と自動運転車が混在する車群での通信なし（左：ケース 10）と通信あり（右：ケース 11）の加速度変化比較

いずれの場合も、加加速度もピークが小さくなっていることから、通信があることで運転者の心理面でもより安心な挙動になることが示唆された。特に、手動運転と混在するケースでは、図 4.3.4-51 に示したとおり、2 台目の自動運転車に追従する後続 3 台目以降の手動運転車で加加速度が小さくなる。加加速度と乗り心地の評価値には線形の相関が認められるとされていることから、この例では、3 台目の不安が約 3 割減少したと解釈できる。

図 4.3.4-51　手動運転車（小型）と自動運転車が混在する車群での通信なし（ケース 10）と通信あり（ケース 11）の加加速度変化比較

(b) 後続車における受信時機の違いの評価

通信ありの場合で、後続車の受信時機を変えたケース 1～9、ケース 11～13 の比較では、速度、加速度の変化を比較しても、追従車の速度変化等には大きな影響が見られない結果となった。

これは、後続車の減速挙動の伝播時間（2 台目：850ms～9 台目：1.5s 程度）に対し、受信時機（100ms～500ms 程度）の変動幅が小さいため、後続車 2 台目以降は受信時機の違いによる減速度（加速度）及び加加速度への影響が認められなかったものと考えられる。

図 4.3.4-52　メッセージ受信時機と減速伝播時機の関係

なお、加加速度のレベルで比較すると、受信時機による違いが認められる。図 4.3.4-53 は最も通信時機が早い全車 100ms のケース 7 と、最も遅い全車 500ms のケース 8 の加加速度変化を比較したものである。右側のケース 8 の方が 1 台目の加加速度ピークが大きくなっており、通信時機が遅れることで、乗り心地の評価でデメリットが認められる。

図 4.3.4-53　自動運転車で構成される車群での通信時機 100ms（左：ケース 7）と 500ms（右：ケース 8）の加加速度変化比較

(c) 大型車の混入による影響

交通状況の違いとして、大型車が混入する場合のケーススタディをケース 30 と 31 で行った。図 4.3.4-54 の加速度変化の比較では、大型車が混入する場合でも、通信ありのケースで減速度ピークが小さくなっており、乗り心地の面でメリットが得られている。小型車が混入する図 4.3.4-55 との対比においては、大型車の方が小型車よりも加加速度ピークが小さいが、これは、大型車の方が小型車よりも車間を空けて走行しており、余裕を持って減速していることによる。

図 4.3.4-54　手動運転車（大型）と自動運転車が混在する車群での通信なし（ケース 30）と通信あり（ケース 31）の加速度変化比較

図 4.3.4-55　手動運転車（小型）が混在する車群での通信あり（ケース 11）と手動運転車（大型）が混在する通信あり（ケース 31）の加加速度変化比較

4.3.5 検証結果に対する考察と課題

(1) 検証結果の考察

検証結果について以下にまとめる。

1) 5.9GHz 帯 V2X システムの効果

- 安全性としての「減速度」に加え、乗り心地としての「加加速度」の視点での評価を実施。
- 通信により先行車の急減速を検知し後続車が予備的に減速することで、後続車の「減速度」ピークが緩和され、安全に停止できる効果がある「加加速度」ピークが小さくなり、乗員が感じる不安感を減少する効果がある。
- 通信のあり／なしでの比較では、「減速度」よりも「加加速度」の方がより顕著な違いが見られた。

2) 通信仕様の違いによる影響

- 今回のシミュレーションで想定した情報受信時機の遅延範囲（100～500ms）では、車群先頭車（0 台目）の直後（1 台目）は、遅延が 500ms まで大きくなると、それより前に先行車への追従による減速伝播が生じるため、予備的な減速の効果が減少する。
- 車群の 2 台目以降では、受信時機の違いによる変化は認められなかった。
- 情報なしのケースで先行車の減速伝播に 1～数秒かかっているため、最大 500ms の遅延であっても、十分に早期の予備的な減速を行うことができるためと考えられる。

3) 交通状況の違いによる影響

- 大型車の混入で交通状況が異なる場面でも、情報通信により後続車への安全面での恩恵が得られる。

(2) 課題

今回は、通信環境の違いを 100～500ms の情報伝達遅延時間として定数で表現したが、現実の通信環境においては、遮蔽やマルチパス、輻輳等の影響で情報伝達の確実性が低下する等、状況に応じた遅延が存在すると考えられる。これらに対しては、通信シミュレータと交通シミュレータを連携させて、周辺環境に応じた現実味のある評価ツールが望まれる。

また、現実には、先行車が障害を検知してから情報を発出するまでの遅延や、後続車が情報を受信してから車両挙動を制御するまでの遅延等、様々な要因が考えられる。これらをどのようにモデリングするかについても議論される必要がある。

なお、今回は自動運転車の減速挙動に関しては実際のデータが示されていないため、感度分析において手動運転車の挙動に対して定性的な違いを示した上で、実務者会議で諮りながら適切と思われるパラメータを設定した。より現実的な評価とするには、自動運転車の実挙動データに基づいた車両挙動のモデリングを行うことが望ましいことに触れておく。

4.3.6 参考資料

0～(5)項に示したシミュレーションとは別に、交通状況の設定や前提条件にバリエーションを持たせた参考ケースを用いたシミュレーションを実施した。以下、この参考ケースについて述べる。

(1) シミュレーション結果：全て自動運転車で高速での速度域から急停止（ケース 60～69）

シミュレーションにおけるケースを表 4.3.6-1 に示す。また、以下の(a)～(j)に各ケースでの車群中車両の速度、加速度及び加加速度時間変化を示す。

通信なしのケース 60 と通信ありの 61～69 では後続車の速度変化に差が見られる一方で、本編評価ケースと同様に、通信パタンの違いによる停止挙動には大きな違いは見られなかった。

表 4.3.6-1　ケース設定一覧（ケース 60～69）

ケース	通信パタン	初期速度	車種	備考
60		25m/s (90km/h)	全て自動運転	通信なし
61	パタン 1	〃	〃	通信あり
62	パタン 2	〃	〃	〃
63	パタン 3	〃	〃	〃
64	パタン 4	〃	〃	〃
65	パタン 5	〃	〃	〃
66	パタン 6	〃	〃	〃
67	パタン 7	〃	〃	〃
68	パタン 8	〃	〃	〃
69	パタン 9	〃	〃	〃

(a) ケース 60

表 4.3.6-2　情報伝達タイミング（ケース 60）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	–	–	–	–	–	–

図 4.3.6-1　急停止時の速度変化（ケース 60）

図 4.3.6-2　急停止時の加速度変化（ケース 60）

図 4.3.6-3　急停止時の加加速度変化（ケース 60）

(b) ケース 61

表 4.3.6-3　情報伝達タイミング（ケース 61）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	200	200	200

図 4.3.6-4　急停止時の速度変化（ケース 61）

図 4.3.6-5　急停止時の加速度変化（ケース 61）

図 4.3.6-6　急停止時の加加速度変化（ケース 61）

(c) ケース 62

表 4.3.6-4　情報伝達タイミング（ケース 62）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	200	200	300

図 4.3.6-7　急停止時の速度変化（ケース 62）

図 4.3.6-8　急停止時の加速度変化（ケース 62）

図 4.3.6-9　急停止時の加加速度変化（ケース 62）

(d) ケース 63

表 4.3.6-5　情報伝達タイミング（ケース 63）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	300	300	300

図 4.3.6-10　急停止時の速度変化（ケース 63）

図 4.3.6-11　急停止時の加速度変化（ケース 63）

図 4.3.6-12　急停止時の加加速度変化（ケース 63）

(e) ケース 64

表 4.3.6-6　情報伝達タイミング（ケース 64）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	200	300	300	400

図 4.3.6-13　急停止時の速度変化（ケース 64）

図 4.3.6-14　急停止時の加速度変化（ケース 64）

図 4.3.6-15　急停止時の加加速度変化（ケース 64）

(f) ケース 65

表 4.3.6-7　情報伝達タイミング（ケース 65）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	200	300	400	400

図 4.3.6-16　急停止時の速度変化（ケース 65）

図 4.3.6-17　急停止時の加速度変化（ケース 65）

図 4.3.6-18　急停止時の加加速度変化（ケース 65）

(g) ケース 66

表 4.3.6-8　情報伝達タイミング（ケース 66）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	200	300	400	500

図 4.3.6-19　急停止時の速度変化（ケース 66）

図 4.3.6-20　急停止時の加速度変化（ケース 66）

図 4.3.6-21　急停止時の加加速度変化（ケース 66）

(h) ケース 67

表 4.3.6-9　情報伝達タイミング（ケース 67）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	100	100	100

図 4.3.6-22　急停止時の速度変化（ケース 67）

図 4.3.6-23　急停止時の加速度変化（ケース 67）

図 4.3.6-24　急停止時の加加速度変化（ケース 67）

(i) ケース 68

表 4.3.6-10　情報伝達タイミング（ケース 68）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	500	500	500	500	500	500

図 4.3.6-25　急停止時の速度変化（ケース 68）

図 4.3.6-26　急停止時の加速度変化（ケース 68）

図 4.3.6-27　急停止時の加加速度変化（ケース 68）

(j) ケース 69

表 4.3.6-11　情報伝達タイミング（ケース 69）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

図 4.3.6-28　急停止時の速度変化（ケース 69）

図 4.3.6-29　急停止時の加速度変化（ケース 69）

図 4.3.6-30　急停止時の加加速度変化（ケース 69）

(2) シミュレーション結果：手動運転車に自動運転車が混入する状況で高速での速度域から急停止（ケース 70～73）

シミュレーションにおけるケースを表 4.3.6-12 に示す。また、以下の(a)～(d)に各ケースでの車群中車両の速度、加速度及び加加速度時間変化を示す。

こちらも(1)と同様に、通信なしのケース 70 と通信ありの 71～73 では後続車の速度変化に差が見られる一方で、通信パタンの違いによる停止挙動には大きな違いは見られなかった。

表 4.3.6-12　ケース設定一覧（ケース 70～73）

ケース	通信パタン	初期速度	車種	備考
70		25m/s（90km/h）	2 台目が自動運転、他は手動運転（小型）	通信なし
71	パタン 11	〃	〃	通信あり
72	パタン 12	〃	〃	〃
73	パタン 13	〃	〃	〃

(a) ケース 70

表 4.3.6-13　情報伝達タイミング（ケース 70）

	1 台目（手動）	2 台目（自動）	3 台目（手動）	4 台目（手動）	5 台目（手動）	6 台目（手動）
情報伝達タイミング[ms]	–	–	–	–	–	–

図 4.3.6-31　急停止時の速度変化（ケース 70）

図 4.3.6-32　急停止時の加速度変化（ケース 70）

図 4.3.6-33　急停止時の加加速度変化（ケース 70）

(b) ケース 71

表 4.3.6-14　情報伝達タイミング（ケース 71）

	1 台目（手動）	2 台目（自動）	3 台目（手動）	4 台目（手動）	5 台目（手動）	6 台目（手動）
情報伝達タイミング[ms]	–	100	–	–	–	–

図 4.3.6-34　急停止時の速度変化（ケース 71）

図 4.3.6-35　急停止時の加速度変化（ケース 71）

図 4.3.6-36　急停止時の加加速度変化（ケース 71）

(c) ケース 72

表 4.3.6-15　情報伝達タイミング（ケース 72）

	1 台目 （手動）	2 台目 （自動）	3 台目 （手動）	4 台目 （手動）	5 台目 （手動）	6 台目 （手動）
情報伝達タイミング[ms]	－	300	－	－	－	－

図 4.3.6-37　急停止時の速度変化（ケース 72）

図 4.3.6-38　急停止時の加速度変化（ケース 72）

図 4.3.6-39　急停止時の加加速度変化（ケース 72）

(d) ケース 73

表 4.3.6-16　情報伝達タイミング（ケース 73）

	1 台目 （手動）	2 台目 （自動）	3 台目 （手動）	4 台目 （手動）	5 台目 （手動）	6 台目 （手動）
情報伝達タイミング[ms]	－	500	－	－	－	－

図 4.3.6-40　急停止時の速度変化（ケース 73）

図 4.3.6-41　急停止時の加速度変化（ケース 73）

図 4.3.6-42　急停止時の加加速度変化（ケース 73）

(3) シミュレーション結果：全て短車間の自動運転車で一般道幹線での速度域から急停止（ケース 20～21）

シミュレーションにおけるケースを表 4.3.6-17 に示す。以下の(a)(b)に各ケースでの車群中車両の速度、加速度及び加加速度時間変化を示す。

安全車間が短くなることで、急制動に対する減速挙動の時間的余裕が少なくなるため、4.3.4 節でのケースと比較すると、減速度や加加速度のピークが大きくなってしまうが、通信あり・なしでのピーク減少幅で見ると、短車間における減少幅が大きい。すなわち、車間が短いほど、通信の恩恵が大きくなることを示唆している。

表 4.3.6-17　ケース設定一覧（ケース 20～21）

ケース	通信パタン	初期速度	車種	備考
20		15m/s（54km/h）	全て自動運転（安全車間 1.3 秒）	通信なし
21	パタン 1	〃	〃	通信あり

(a) ケース 20

表 4.3.6-18　情報伝達タイミング（ケース 20）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	–	–	–	–	–	–

図 4.3.6-43　急停止時の速度変化（ケース 20）

図 4.3.6-44　急停止時の加速度変化（ケース 20）

図 4.3.6-45　急停止時の加加速度変化（ケース 20）

(b) ケース 21

表 4.3.6-19　情報伝達タイミング（ケース 21）

	1 台目	2 台目	3 台目	4 台目	5 台目	6 台目
情報伝達タイミング[ms]	100	100	100	200	200	200

図 4.3.6-46　急停止時の速度変化（ケース 21）

図 4.3.6-47　急停止時の加速度変化（ケース 21）

図 4.3.6-48　急停止時の加加速度変化（ケース 21）

5. 通信プロトコル案の設計

本章では、通信プロトコル案及び通信メッセージセット案の検討を行い、課題を整理した結果（5.1 節及び 5.2 節）を述べる。また通信シミュレーションによる通信性能評価を行い考察、課題を整理した結果（5.3 節）を述べる。最後に参考文献（5.4 節）をまとめる。

5.1 通信プロトコル案の検討

本節では、通信プロトコル案の検討を行い、課題を整理した結果を述べる。以降では、検討の進め方（5.1.1 節）に従い、参考規格を整理し、通信制御フロー、プロトコルスタック、各レイヤの機能・動作インタフェース、700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法を検討した結果（5.1.2～5.1.5 節）を踏まえ、SIP UC の通信シナリオ例に基づく通信シーケンスの詳細化・検討案の妥当性確認（5.1.6 節）を行い、課題を整理した結果（5.1.7 節）を述べる。

5.1.1 検討の進め方

通信プロトコル案の検討の進め方について、以下に示す。

はじめに、国際動向調査（3 章）の結果を踏まえ、既存の 5.9GHz 帯 ITS 無線通信規格として米国の SAE, IEEE 標準及び欧州の ETSI 標準（以下、欧米仕様）を候補とし、米国及び欧州の DSRC/CV2X 技術仕様を調査の上、通信制御フロー、プロトコルスタック、通信諸元等を整理した（5.1.2 節）。続いて、SIP 協調型自動運転ユースケース [1]（以下、SIP UC）の通信シナリオ案として、ITS フォーラム発行のガイドラインである「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」[2]（以下、ITS FORUM RC-017）を参照し、通信制御フロー等を整理した。両者の整理結果を比較・分析の上、欧米仕様に通信シナリオ案独自の仕様を追加する形で、5.9GHz 帯通信プロトコル案の作成を行い、概要案として通信制御フロー及びプロトコルスタックをまとめ（5.1.3 節）、更に詳細仕様案として機能・動作・インタフェースをまとめ（5.1.4 節）、国内における既存の ITS 用無線通信規格（700MHz 帯高度道路交通システム [3] ）との連携方法について検討を実施した（5.1.5 節）。作成した通信プロトコル案を踏まえ、SIP UC の通信シナリオ例に基づく通信シーケンス（ITS FORUM RC-017 参照）を通信プロトコル案のレイヤ区分、レイヤ間インタフェースに基づき詳細化することで、機能・動作・インタフェース等の妥当性確認を実施し（5.1.6 節）、最後に検討課題を整理した（5.1.7 節）。なお、セキュリティについては欧米仕様と同様（電子署名）の方式を想定し、通信プロトコル案の検討に必要な前提条件（インタフェースや処理手順等）を整理したが、詳細仕様の検討は対象外とした。

上記で説明した通信プロトコル案のまとめイメージを図 5.1.1-1、検討の進め方のフローを図 5.1.1-2 に示す。

項目		候補通信方式（既存ITS通信をベースとして機能の追加・見直しを実施）		
		ITS FORUM RC-005ベース ＋追加機能	ARIB STD-T109ベース ＋追加機能	ARIB STD-T75ベース ＋追加機能
実現可能UC	路車間	1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2		1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2
	車車間	1-2-1, 2-1-2, 3		－
	路車・車車協調	1-2-4		－
アプリケーション	**中継制御**	**あり(UC1-2-1)**		なし
	送信制御	**あり(UC2-1-2,UC3)**	**あり(UC2-1-2)**	なし
L7(通信上位層)	**連送制御**	**あり(UCに応じて回数変更)**	なし／**あり(自動走行支援時)**	なし／**あり(自動走行支援時)**
L2(データリンク層)	MAC方式	CSMA/CA（ランダムバックオフ制御）		TDMA（スロテッドALOHA）
	再送制御	なし		あり
	パケット分割・再結合	あり	なし／**あり(自動走行支援時)**	あり
L1(物理層)	中心周波数	5.8GHz帯	760MHz帯	5.8GHz帯
	空中線電力	10mW/MHz以下		基地局：300mW以下、移動局：10mW以下
	占有帯域幅	9MHz		4.4MHz
	変調方式	QPSK/OFDM、16QAM/OFDM		π/4シフトQPSK
	誤り訂正	畳み込み符号（符号化率1/2）		BCH符号(63,51)
	ダイバーシチ制御(受信)	なし／あり(自動走行支援時)		なし

※青字：ベースとなる既存ITS通信の仕様から追加変更部分

通信諸元例

既存のITS向け通信規格（DSRC, CV2X）を参考に、事業項目bの検討結果（通信チャネル割り当て、通信輻輳制御）及び700MHz帯高度道路交通システムとの連携方法を追加・整理

※H30年度 総務省「実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd01_more/503.pdf）に記載の図を基に作成

図 5.1.1-1　通信プロトコル案まとめイメージ（通信制御フロー、プロトコルスタック、通信諸元）

図 5.1.1-2　通信プロトコル案の検討手順

5.1.2 参考規格の整理

本節では、国際動向調査（3 章）の結果を踏まえ、既存の 5.9GHz 帯 ITS 無線通信規格として米国の SAE, IEEE 標準及び欧州の ETSI 標準（以下、欧米仕様）を候補とし、米国及び欧州の DSRC/CV2X 技術仕様を調査の上、通信制御フロー、プロトコルスタック（(1)節）、通信諸元（(2)節）、レイヤ間インタフェース（(3)節）を整理した結果を述べる。

(1) 通信制御フロー、プロトコルスタック

欧州及び米国仕様の通信制御フロー、プロトコルスタックの概要を表 5.1.2-1 に示す。なお、米国仕様（SAE J2945/1, J3161/1 等）におけるメッセージ副層及び欧州仕様（ETSI TS 102 894-1 等）におけるファシリティ層については、レイヤ 5～7 に相当する機能として、ここでは便宜的に「上位層（レイヤ 5～7 相当）」として整理した。

欧州及び米国の仕様を比較した場合、通信制御フローについては、米国仕様はレイヤ 3 において実質的な機能を持たないが、その他のレイヤは基本的な機能に差はない。プロトコルスタックについては、レイヤ 3～7 の構成は両者で差異があるが、それぞれの仕様において、レイヤ 1～2 の 2 つの無線通信方式（DSRC, CV2X）で共通のスタックとなっている。またレイヤ 1～2 の構成は、無線通信方式（DSRC, CV2X）毎に欧米で共通であり、DSRC の場合、複数チャネルの切替機能が定められている点が CV2X と異なる。

米国 DSRC, 米国 CV2X, 欧州 DSRC, 欧州 CV2X による通信制御フロー、プロトコルスタック詳細の整理結果について、図 5.1.2-1～図 5.1.2-4 示す。

表 5.1.2-1　参考規格の概要（通信制御フロー、プロトコルスタック）　[4]-[25]

<table>
<tr><th rowspan="3">レイヤ</th><th colspan="4">通信制御フロー</th><th colspan="4">プロトコルスタック</th></tr>
<tr><th colspan="2">米国</th><th colspan="2">欧州</th><th colspan="2">米国</th><th colspan="2">欧州</th></tr>
<tr><th>DSRC</th><th>CV2X</th><th>DSRC</th><th>CV2X</th><th>DSRC</th><th>CV2X</th><th>DSRC</th><th>CV2X</th></tr>
<tr><td>アプリケーション</td><td colspan="4">・メッセージを周期的に送信
・優先度設定、送信タイミング判断</td><td colspan="2">EEBL, FCW 等
(DSRC : SAE J2945/1 等,
CV2X : SAE J3161/1 等)</td><td colspan="2">Co-operative Awareness,
Road Hazard Warning 等
(ETSI TS 102-637-1 等)</td></tr>
<tr><td>上位層
(レイヤ5～7
相当)</td><td colspan="4">・車両基本情報を周期的に送信 (*1)
・輻輳制御 (帯域制御 (*2))
・情報要素の多重 (*3)
・メッセージを分割 (*4)
・ハザード情報を周期的に再送 (*5)
・ハザード情報を転送 (*5, 6)</td><td colspan="2">通信サービス : BSM Exchange 等
(DSRC : SAE J2945/1 等,
CV2X : SAE J3161/1 等)、
メッセージ : BSM 等
(SAE J2735 等)</td><td colspan="2">通信サービス : CA Basic Service,
DEN Basic Service 等
(ETSI TS 102-894-1 等)、
メッセージ : CAM, DENM 等
(ETSI TS 102-894-2 等)</td></tr>
<tr><td>トランスポート層
(レイヤ4)</td><td colspan="4">上位層のサービスを特定する情報を追加</td><td colspan="2">WSMP Transport Protocols
(IEEE 1609.3)</td><td colspan="2">Basic Transport Protocol
(ETSI EN 302 636-5)</td></tr>
<tr><td>ネットワーク層
(レイヤ3)</td><td colspan="2">実質的な
機能なし</td><td colspan="2">・ネットワーク上の宛先を
特定する情報を追加
・周期的に再送 (*6)
・パケットを転送</td><td colspan="2">WSMP Networking Protocols
(IEEE 1609.3)</td><td colspan="2">GeoNetworking
(ETSI EN 302 636-4-1 等)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">データリンク層
(レイヤ2)</td><td colspan="4">上位層のプロトコルを特定する情報を追加</td><td>LLC
(IEEE 1609.3)</td><td>PDCP
(ETSI TS 136 323)</td><td>LLC
(ISO/IEC 8802-2)</td><td>PDCP
(ETSI TS 136 323)</td></tr>
<tr><td colspan="4">チャネル割り当て</td><td>Channel Coordination
(IEEE 1609.4)</td><td>–</td><td>Multichannel Operation
(ETSI TS 102 724)</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="4">パケットを分割</td><td rowspan="2">MAC
(IEEE 802.11)</td><td>RLC
(ETSI TS 136 322)</td><td rowspan="2">MAC
(IEEE 802.11)</td><td>RLC
(ETSI TS 136 322)</td></tr>
<tr><td colspan="4">・送信元リンクを特定する情報を追加
・無線多重化　・再送制御 (*7)
・輻輳制御 (優先制御 (*8))</td><td>MAC
(ETSI TS 136 321)</td><td>MAC
(ETSI TS 136 321)</td></tr>
<tr><td>物理層
(レイヤ1)</td><td colspan="4">符号化、変調を行い送信</td><td>PHY
(IEEE 802.11)</td><td>PHY
(ETSI TS 136 201)</td><td>PHY
(IEEE 802.11)</td><td>PHY
(ETSI TS 136 201)</td></tr>
<tr><td>セキュリティ層</td><td colspan="4">送信元の真正性とメッセージの完全性を保証する情報 (署名) を追加</td><td colspan="4">電子署名
（米国 : IEEE 1609.2, 欧州 : ETSI TS 102 940 等）</td></tr>
</table>

(*1) 米国仕様 : BSM送信の場合、欧州仕様 : CAM送信の場合　(*2) 米国DSRCの場合、出力制御あり
(*3) 欧州仕様の場合（ETSI TR 103 439における検討例）　(*4) 欧州仕様かつMAPEM送信の場合
(*5) 欧州仕様かつDENM送信の場合　(*6) オプション　(*7) CV2Xの場合　(*8) 欧州DSRCの場合、帯域制御及び出力制御あり

図 5.1.2-1　通信制御フロー、プロトコルスタック（米国 DSRC）　[4], [6]-[10], [26]

図 5.1.2-2　通信制御フロー、プロトコルスタック（米国 CV2X）　[5]-[9], [11]-[14], [26]-[28]

図 5.1.2-3　通信制御フロー、プロトコルスタック（欧州 DSRC）　[15]-[23], [29]-[31]

図 5.1.2-4　通信制御フロー、プロトコルスタック（欧州 CV2X）　[15]-[20], [24], [27]-[28], [32]

(2) 通信諸元

本節では、欧州及び米国仕様の通信諸元について上位層（レイヤ 5～7 相当）((a)節)、ネットワーク、トランスポート層（レイヤ 3～4）((b)節)、輻輳制御（(c)節)、複数チャネル運用（(d)節）に分けて整理した結果を述べる。

(a) 上位層（レイヤ 5～7 相当）

はじめに、欧州仕様の上位層諸元を表 5.1.2-2 に示す。

上位層（欧州仕様の場合、ファシリティ層に相当）の通信サービスはメッセージ毎に定められているが、Day2 以降のサービス（センサ情報を共有する CPS, 調停を行う MCS, 隊列走行等）は標準化作業中であり、今後の動向を確認していく必要がある。

続いて、米国仕様の上位層諸元を表 5.1.2-3 に示す。BSM 以外の通信サービスは、標準化作業中（併せて、メッセージセット仕様も見直し予定）であり、今後の動向を確認していく必要がある。欧州仕様と米国仕様を比較した場合、米国仕様で BSM を送信する通信サービスは、欧州仕様で同様のメッセージ（CAM, DENM）を送信する通信サービスと諸元に大きな差はない。

表 5.1.2-2　通信諸元（欧州仕様の上位層）　[15], [25], [33]-[39]

■アプリケーション例（参考）

フェーズ (*1)	Day 1 (Awareness Driving)				Day 2 (Sensing Driving)	Day 3+ (Co-operative Driving)	
名称	Co-operative Awareness	Road Hazard Warning	Intersection Collision Risk Warning	Traffic Light Prioritisation	Overtaking Vehicle Warning	Co-operative Lane Change	Platooning
出典 (*2)	ETSI TS 102 637-1		ETSI TS 101 539-2	ETSI TS 103 301	ETSI TR 102 638		ETSI TR 103 298

■上位層 (L5-7相当)

通信サービス	CA Basic Service	DEN Basic Service	RLT Service	TLM Service	IVI Service	TLC Service	CP Basic Service	MC Service	–	
メッセージ名	CAM	DENM	MAPEM	SPATM	IVIM	SREM, SSEM	CPM	MCM	PAM	PCM
標準仕様 (*2)	ETSI EN 302 637-2	ETSI EN 302 637-3	ETSI TS 103 301				ETSI TR 103 562	ETSI TS 103 561	ETSI TR 103 298	
通信形態	V2V, V2I, I2V		I2V			V2I, I2V	V2V, V2I, I2V		V2V	V2V
通信相手	非特定車両 (*3)									特定車両 (*4)
周期型/非周期型	周期型	非周期型	周期型			非周期型	周期型	非周期型	周期型	周期型
送信周期	0.1～1.0		1.0			–	0.1～1.0		0.05～0.1	0.02～1.0
転送	なし	なし/あり						なし		
米国の類似仕様（参考） (*2)	SAE J2945/1, SAE J3161/1	SAE J2945/2	SAE J2945/B		SAE J2945/4	–	SAE J2945/8, SAE J3224	SAE J3186	SAE J2945/6	

(*1) フェーズとアプリケーションの対応は、"Guidance for day 2 and beyond roadmap, July 2021" (C2C-CC) を参照
(*2) 斜体は未発行のため、欧州仕様については、関連文書（ETSI TR 103 439）を参照
(*3) MC Service は特定車両の場合あり　(*4) 非特定車両も可

表 5.1.2-3　通信諸元（米国仕様の上位層）　[4]-[5], [40]-[41]

■アプリケーション例（参考）

名称	Emergency Electronic Brake Lights	Emergency Vehicle Alert	Road Weather Applications	Signalized Intersection Applications	Road Safety Applications	Cooperative Perception System	Sensor Sharing Service	Maneuver Sharing and Coordinating Service	Platooning
出典 (*1)	SAE J2945/1, SAE J3161/1	SAE J2945/2	SAE J2945/3	SAE J2945/B	SAE J2945/4	SAE J2945/8	SAE J3224	SAE J3186	SAE J2945/6

■上位層 (L5-7相当)

メッセージ名	BSM	BSM	RWM	MAP, SPaT	TIM	PSM	SDSM		
標準仕様 (*1)	SAE J2945/1, SAE J3161/1	SAE J2945/2	SAE J2945/3	SAE J2945/B	SAE J2945/4	SAE J2945/8	SAE J3224	SAE J3186	SAE J2945/6
通信形態	V2V, V2I		I2V	V2I		V2V, V2I, I2V			V2V
通信相手	不特定車両								
周期型/非周期型	周期型 (*2)	非周期型	非周期型						
送信周期	0.1～0.6		0.5～1.0						
転送	なし								
欧州の類似仕様（参考） (*1)	ETSI EN 302 637-2	ETSI EN 302 637-3		ETSI TS 103 301		ETSI TR 103 562		ETSI TS 103 561	ETSI TR 103 298

(*1) 斜体は未発行のため、米国仕様については、SAEホームページに記載の要約を参照
(*2) イベント発生による送信タイミングの再設定あり

(b) ネットワーク、トランスポート層（レイヤ 3～4）

ネットワーク、トランスポート層（レイヤ 3～4）の通信諸元を表 5.1.2-4 に示す。

トランスポート層（レイヤ 4）は、欧州及び米国仕様ともに、ブロードキャスト、リアルタイム性を想定し、インターネットプロトコルにおける UDP と類似した仕様となっている。ネットワーク層（レイヤ 3）は、米国仕様の場合、アドレスを持たず実質的な機能はないが、欧州仕様の場合、位置情報を活用したアドレス指定、マルチホップ通信が可能な仕様となっている。

表 5.1.2-4　通信諸元（欧米仕様のレイヤ 3～4）　[8], [18]-[19]

■トランスポート層 (L4)

地域	米国	欧州	–	
プロトコル名	**WSMP Transport Protocols**	**Basic Transport Protocol**	UDP (参考)	TCP (参考)
標準仕様	IEEE 1609.3	ETSI EN 302 636-5	IETF RFC	
上位層サービスの特定	あり (PSID)	あり (ポート番号)		
1対1通信	可			
1対N通信	可			不可
コネクション確立	なし			あり
輻輳制御	なし			あり
パケット分割・結合	なし			あり
再送	なし			あり
誤り検出	なし		あり	

■ネットワーク層 (L3)

地域	米国	欧州	–
プロトコル名	**WSMP Networking Protocols**	**Geo-Networking**	IPv6 (参考)
標準仕様	IEEE 1609.3	ETSI EN 302 636-4	IETF RFC
上位層プロトコルの特定	なし	あり	
宛先アドレスの指定	不可	可 (位置)	可 (識別番号)
パケット転送	不可	可	

(c) 輻輳制御

輻輳制御の通信諸元を表 5.1.2-5 に示す。

欧州仕様の場合、レイヤ 1～2 で測定したチャネル使用率に基づき、帯域制御（上位層による送信周期の変更、DSRC による送信遅延の付加、出力制御、CV2X によるリソース割り当て上限の変更）を行う。米国仕様の場合、受信状況から車両密度を推定することで帯域制御（上位層による送信周期の変更、CV2X によるリソース割り当て上限の変更）を行う。また欧州及び米国仕様ともに、上位層で設定した優先度に基づき、優先制御（優先度別のキューを保持し、DSRC の場合は送信待ち時間、CV2X の場合は割り当て可能なリソース数を優先度別に設定）を行う。

表 5.1.2-5　通信諸元（欧米仕様の輻輳制御）　[4]-[5], [29]-[30], [32]

■輻輳制御

地域	米国		欧州	
プロトコル名	**DSRC**	**CV2X**	**DSRC**	**CV2X**
標準仕様	SAE J2945/1	SAE J3161/1	ETSI TS 103 175, ETSI TS 102 687	ETSI TS 103 574
他車との情報共有	なし		あり (チャネル使用率) (*)	なし
帯域制御（上位層）	あり (車両密度による送信周期の設定)		あり (チャネル使用率による送信周期の設定) (*)	
帯域制御（MAC）	なし	あり (チャネル使用率による リソース上限の設定)	あり (チャネル使用率による 送信遅延の付加)	あり (チャネル使用率による リソース上限の設定)
優先制御（MAC）	あり (上位層で設定した優先度による)			
出力制御（PHY）	あり (チャネル使用率による)	なし	あり (チャネル使用率による) (*)	なし

(*) オプション

(d) 複数チャネル運用

DSRC の場合における複数チャネル運用の通信諸元を表 5.1.2-6 に示す。

米国仕様の場合、1 つのチューナで 2 つのチャネル（CCH と SCH）を切り替えながら受信することで、CCH で利用可能なサービス及びサービスが使用するチャネル（CCH 又は SCH）を認識し、利用したいサービスのチャネル（SCH）に切り替えることが可能である。欧州仕様の場合、各サービスは CCH を優先して使用することを想定しており、シングルチューナの場合は、

CCH のみを受信し、マルチチューナの場合は、通信が輻輳した場合に優先度の低いサービスが利用する CCH 以外のチャネル（SCH）も受信可能である。

表 5.1.2-6　通信諸元（欧米仕様の複数チャネル運用）　[9], [23]

■データリンク層 (L2)： 複数チャネル運用（DSRCのみ）

地域	米国	欧州
標準仕様	IEEE 1609.4	ETSI TS 102 724
チャネル種別	あり （単一のCCH, 複数のSCH）	
CCHの用途	非IPデータ （非安全系サービスで使用する チャネルの通知を想定）	・優先度の高い情報 （安全系サービスを想定） ・優先度の低い情報 （非安全系サービスを想定。 チャネルが空いている場合）
SCHの用途	全てのデータ （非安全系サービスを想定）	優先度の低い情報 （非安全系サービスを想定）
CCHとSCHの時分割	あり （シングルチューナの場合でも CCH及びSCHを使用可能）	なし （シングルチューナの場合、 CCHのみ使用可能）

(3) レイヤ間インタフェース

本節では、欧州及び米国仕様のレイヤ間インタフェースの整理結果について、はじめに概要（(a)節）を述べ、続いて欧州仕様の詳細（(b)節）、米国仕様の詳細（(c)節）を述べる。

(a) 概要

欧米仕様のレイヤ間インタフェース（要求プリミティブのパラメータ）の概要を表 5.1.2-7 に示す。

米国仕様の場合、上位層から全ての下位レイヤ（レイヤ 1～4）の通信パラメータを渡している。欧州仕様の場合、上位層からレイヤ 3～4 の通信パラメータ、輻輳制御の管理エンティティからレイヤ 1～2 の通信パラメータを主に渡している。

表 5.1.2-7　参考規格の概要（レイヤ間インタフェース）　[4]-[5], [7]-[10], [18]-[19], [21], [24], [29]-[32], [37]-[38], [42]

<table>
<tr><th rowspan="3">レイヤ</th><th colspan="6">レイヤ間インタフェース (要求プリミティブのパラメータ)</th></tr>
<tr><th colspan="3">米国</th><th colspan="3">欧州</th></tr>
<tr><th colspan="2">DSRC</th><th>CV2X</th><th colspan="2">DSRC</th><th>CV2X</th></tr>
<tr><td>上位層
(レイヤ5～7
相当)</td><td colspan="3">(明確な定義なし)</td><td colspan="3">・イベントに関連する情報 (検出時間、位置等)
・上位層の通信パラメータ (繰り返し間隔、転送の有無等)
・レイヤ3の通信パラメータ (宛先エリア、トラフィッククラス)
・メッセージの一部（アプリケーションにより生成）</td></tr>
<tr><td>トランス
ポート層
(レイヤ4)</td><td colspan="3" rowspan="2">・レイヤ4の通信パラメータ (上位層のサービスを特定する情報 (PSID))
・チャネルに割り当てに関するパラメータ (チャネル識別子、時間スロット)
・レイヤ2の通信パラメータ (宛先、優先度、終了時間)
・レイヤ1の通信パラメータ (送信電力、データ速度)
・メッセージ</td><td colspan="3">・レイヤ4の通信パラメータ
(上位層のサービスを特定する情報 (宛先ポート) 等)
・レイヤ3の通信パラメータ
(送信形態、宛先エリア、トラフィッククラス、生存時間、ホップ数等)
・メッセージ　・セキュリティ層のパラメータ (*3)</td></tr>
<tr><td>ネットワーク層
(レイヤ3)</td><td colspan="3">・レイヤ3の通信パラメータ
(送信形態、宛先エリア、トラフィッククラス、生存時間、ホップ数等)
・メッセージ（レイヤ4 PDU）　・セキュリティ層のパラメータ (*3)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">データリンク層
(レイヤ2)</td><td>LLC</td><td>・チャネル割り当てに関するパラメータ
(チャネル識別子、時間スロット)
・レイヤ2の通信パラメータ
(宛先、優先度、終了時間、チャネル識別子)
・レイヤ1の通信パラメータ (送信電力、データ速度)
・メッセージ (レイヤ3 PDU)</td><td rowspan="3">・送信機の設定パラメータ
(チャネル等) (*1)
・レイヤ2の通信パラメータ
(宛先、優先度、終了時間)
・レイヤ1の通信パラメータ
(送信電力)
・メッセージ (レイヤ3 PDU)</td><td>LLC</td><td>・チャネル割り当てに関するパラメータ
(チャネル番号、送信機ID) (*4)
・MACの通信パラメータ
(送信元、宛先、優先度 (*5))
・レイヤ1の通信パラメータ
(送信電力、MCS) (*4)
・メッセージ (レイヤ3 PDU)</td><td rowspan="3">・レイヤ2の通信パラメータ
(優先度 (*4, 5))
・メッセージ (レイヤ3 PDU)</td></tr>
<tr><td>MAC</td><td>・チャネル割り当てに関するパラメータ
(チャネル識別子、時間スロット)
・レイヤ2の通信パラメータ
(宛先、優先度、終了時間、チャネル識別子)
・レイヤ1の通信パラメータ (送信電力、データ速度)
・メッセージ (LLC PDU)</td><td>MAC</td><td>・MACの通信パラメータ
(送信元、宛先、優先度 (*5))
・レイヤ1の通信パラメータ
(送信電力、MCS)
・メッセージ（LLC PDU）</td></tr>
<tr><td>物理層
(レイヤ1)</td><td colspan="2">・レイヤ1の通信パラメータ (送信電力、データ速度)
・メッセージ (MAC PDU)</td><td colspan="2">・レイヤ1の通信パラメータ
(送信電力、MCS)
・メッセージ (MAC PDU)</td></tr>
<tr><td>セキュリティ層</td><td colspan="6">・セキュリティ層のパラメータ (サービスを特定する情報 (米国：PSID, 欧州：ITS-AID) (*2) 等)
・メッセージ (要求側レイヤ PDU)</td></tr>
</table>

(*1) レイヤ3-4の管理エンティティ経由　(*2) サービス固有の許可を反映するために必要　(*3) ネットワーク層で署名を行う場合
(*4) 輻輳制御の管理エンティティ経由　(*5) レイヤ3の通信パラメータ（トラフィッククラス）に基づき設定

(b) 欧州仕様

欧州仕様のレイヤ間インタフェース詳細について上位層、レイヤ 1～4、セキュリティ層、DSRC の輻輳制御インタフェース、CV2X の輻輳制御インタフェースに分け、それぞれ表 5.1.2-8～表 5.1.2-14 に示す。

表 5.1.2-8　レイヤ間インタフェース（欧州仕様の上位層）　[37]-[38]

対象レイヤ	ファシリティ層 (レイヤ5-7に相当)			
通信サービス (メッセージ)	CA Basic Service (CAM)	DEN Basic Service (DENM)		
インタフェース名	(該当なし)	IF.DEN.1		
要求の種別 (発生条件)	–	AppDENM_trigger (新規イベントを検出)	AppDENM_update (イベントの変化を検出)	AppDENM_termination (イベントの終了を検出)
①のパラメータ	–		アクションIDまたは他の適切な識別子	アクションIDまたは他の適切な識別子
		イベント検出時間	イベント検出時間	イベント検出時間
		イベント位置	イベント位置	イベント位置
		イベント有効時間 (*1)	イベント有効時間 (*1)	イベント有効時間 (*1)
		繰り返し継続時間 (*1)	繰り返し継続時間 (*1)	繰り返し継続時間 (*1)
		送信間隔 (*1)	送信間隔 (*1)	送信間隔 (*1)
		繰り返し間隔 (*1)	繰り返し間隔 (*1)	繰り返し間隔 (*1)
		状況コンテナの情報 (*1,2)	状況コンテナの情報 (*1,2)	
		位置コンテナの情報 (*1,3)	位置コンテナの情報 (*1,3)	
		アラカルトコンテナの情報 (*1,4)	アラカルトコンテナの情報 (*1,4)	
		イベントに関連するエリア (*1)	イベントに関連するエリア (*1)	イベントに関連するエリア (*1)
		宛先エリア (*1)	宛先エリア (*1)	宛先エリア (*1)
		トラフィッククラス	トラフィッククラス (*1)	トラフィッククラス
②のパラメータ	–	アクションIDまたは他の適切な識別子	アクションIDまたは他の適切な識別子	アクションIDまたは他の適切な識別子
		失敗通知 (*1)	失敗通知 (*1)	失敗通知 (*1)
インタフェース名	IF.CAM	IF.DEN.2		
③のパラメータ	受信データ (CAM)	受信データ (DENM) (*1)		

(*1) オプション
(*2) イベントの種類等
(*3) イベント位置までの経路等
(*4) ユースケース固有の情報

表 5.1.2-9　レイヤ間インタフェース（欧州仕様のレイヤ 1～4、要求プリミティブ）　[10], [18]-[19], [21]

対象レイヤ	トランスポート層（レイヤ4）	ネットワーク層（レイヤ3）	LLC（レイヤ2）	MAC（レイヤ2）	PHY（レイヤ1）
プリミティブ名	BTP-Data. request	GN-DATA. request	AL-DATA. request	MA-UNITDATA. request	PHY-TXSTART. request
パラメータ	BTP種別 送信元ポート (*1) 宛先ポート 宛先ポート情報 (*1) GNパケットトランスポート種別 GN宛先アドレス GN通信プロファイル GNセキュリティプロファイル (*1) GN最大パケット生存時間 (*1) GN繰り返し間隔 (*1) GN最大繰り返し時間 (*1) GN最大ホップ数 (*1) GNトラフィッククラス 長さ データ	上位プロトコルエンティティ パケットトランスポート種別 宛先アドレス 通信プロファイル セキュリティプロファイル (*1) ITS-AID (*1,2) セキュリティ許可 (*1,2) セキュリティコンテキスト情報 セキュリティターゲットIDリスト (*1,2) 最大パケット生存時間 (*1) 繰り返し間隔 (*1) 最大繰り返し時間 (*1) 最大ホップ数 (*1) トラフィッククラス 長さ データ	送信元MACアドレス 宛先MACアドレス 優先度 送信電力 MCS チャネル番号 トランシーバID データ	送信元アドレス 宛先アドレス ルーティング情報 (*3) 優先度 ドロップエリジブル サービスクラス ステーションベクトル (*4) 送信電力 (*5) MCS (*5) データ MSDUフォーマット	TXベクトル PHY-DATA. request データ ユーザインデックス (*4) PHY-TXEND. request (パラメータなし)

※レイヤ 1～2 は DSRC の場合のみ

① 要求 (request)
② 確認 (confirm)
③ 指示 (indication)
④ 応答 (response)

：上位層のプリミティブ（左側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

(*1) オプション
(*2) 長さ情報を含む
(*3) IEEE802.11の場合、常に無効
(*4) 特定の場合のみ、有効
(*5) 元の規格（IEEE 802.11）では含まない

表 5.1.2-10　レイヤ間インタフェース（欧州仕様のレイヤ 1～4、確認プリミティブ）　[10], [18]-[19], [21]

対象レイヤ	トランスポート層 (レイヤ4)	ネットワーク層 (レイヤ3)	LLC (レイヤ2)	MAC (レイヤ2)	PHY (レイヤ1)
プリミティブ名	(該当なし)	GN-DATA. confirm	(該当なし)	MA-UNITDATA-STATUS.indication	PHY-TXSTART. confirm
パラメータ	–	結果コード	–	送信元アドレス 宛先アドレス 送信ステータス 提供された優先度 提供されたサービスクラス	TXステータス
					PHY-DATA. confirm
					(パラメータなし)
					PHY-TXEND. Confirm
					スクランブラまたはCRC (*1)

(*1) 特定の場合のみ、有効

※レイヤ 1～2 は DSRC の場合のみ

表 5.1.2-11　レイヤ間インタフェース（欧州仕様のレイヤ 1～4、指示プリミティブ）　[10], [18]-[19], [21]

対象レイヤ	トランスポート層 (レイヤ4)	ネットワーク層 (レイヤ3)	LLC (レイヤ2)	MAC (レイヤ2)	PHY (レイヤ1)
プリミティブ名	**BTP-Data. indication**	**GN-DATA. indication**	**AL-DATA. indicate**	**MA-UNITDATA. indication**	**PHY-CCA. indication**
パラメータ	送信元ポート (*1) 宛先ポート 宛先ポート情報 (*1) GNパケットトランスポート種別 GN宛先アドレス GN送信元位置ベクトル GNセキュリティレポート (*1) GN証明書ID (*1) GN許可 (*2) GNトラフィッククラス GN残存パケット生存時間 (*1) 長さ データ	上位プロトコルエンティティ パケットトランスポート種別 宛先アドレス 送信元位置ベクトル セキュリティレポート (*1) 証明書ID (*1) ITS-AID (*1,2) セキュリティ許可 (*1,2) トラフィッククラス 残存パケット生存時間 (*1) 残存ホップ数 (*1) 長さ データ	送信元MACアドレス 宛先MACアドレス CBR チャネル番号 トランシーバID データ RSSI	送信元アドレス 宛先アドレス ルーティング情報 (*3) 受信ステータス 優先度 ドロップエリジブル サービスクラス ステーションベクトル (*4) CBR (*5) データ MSDUフォーマット RSSI (*5)	ステート IPIレポート (*4) チャネルリスト (*4) **PHY-RXSTART. indication** RXベクトル **PHY-DATA. indication** データ **PHY-RXEND. indication** RCPI RXエラー

※レイヤ 1～2 は DSRC の場合のみ

：下位層のプリミティブ（右側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

(*1) オプション
(*2) 長さ情報を含む
(*3) IEEE802.11の場合、常に無効
(*4) 特定の場合のみ、有効
(*5) 元の規格（IEEE 802.11）では含まない

表 5.1.2-12　レイヤ間インタフェース（欧州仕様のセキュリティ層）［42］

対象レイヤ	セキュリティ層（送信側）		セキュリティ層（受信側）	
生成順	1	2	1	2
要求/確認	要求（①）	確認（②）	要求（①′）	確認（②′）
プリミティブ名	SF-SIGN. request	SF-SIGN. confirm	SF-VERIFY. request	SF-VERIFY. confirm
パラメータ	TBSメッセージ長 TBSメッセージ ITS-AID 許可の長さ 許可 コンテキスト情報（*1） 鍵ハンドル（*1）	SECメッセージ長 SECメッセージ	SECヘッダ長 SECヘッダ メッセージ長 メッセージ	レポート 証明書ID（*1） ITS-AIDの長さ ITS-AID 許可

（*1）オプション

表 5.1.2-13　レイヤ間インタフェース（欧州 DSRC の輻輳制御インタフェース）　[29]-[31]

対象レイヤ	トランスポート層 (レイヤ4)	トランスポート層、ネットワーク層 (レイヤ4, 3)	LLC, MAC, PHY (レイヤ2, 1)
エンティティ名	DCC_FAC	DCC_NET	DCC_ACC
DCC_CROSS からのパラメータ	利用可能なCBR (CBR_a)	局所的なCBR CBR目標値 送信電力レベルの上限値 (*1) アイドル時間 (T_{off}) (*2) 利用可能なCBR (CBR_a) (*1,2)	アイドル時間 (T_{off}) 送信電力レベルの上限値
DCC_CROSS へのパラメータ	(パラメータなし)	広範囲のCBR	局所的なCBR メッセージの送信時間 (T_{on})

(*1) オプション
(*2) 現行の仕様では、未使用

表 5.1.2-14　レイヤ間インタフェース（欧州 CV2X の輻輳制御インタフェース）［32］

対象レイヤ	トランスポート層 (レイヤ4)	トランスポート層、ネットワーク層 (レイヤ4, 3)	PDCP, RLC, MAC, PHY (レイヤ2, 1)
管理エンティティからのパラメータ	CBR 送信周期の推奨値 送信パケットの統計値	CBR 送信周期の推奨値	優先度 (PPPP)
管理エンティティへのパラメータ	トラフィッククラス (*1)	(パラメータなし)	送信パケットの統計値 CBR 最大送信速度

(*1) 優先度に相当

(c) 米国仕様

米国仕様のレイヤ間インタフェース詳細について上位層、レイヤ 1～4、セキュリティ層に分け、それぞれ表 5.1.2-15～表 5.1.2-21 に示す。

表 5.1.2-15　レイヤ間インタフェース（米国 DSRC のレイヤ 1～4、要求プリミティブ）　[8]-[10]

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層（レイヤ4, 3）	LLC（レイヤ2）	MAC（レイヤ2）	PHY（レイヤ1）
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage.request	DL-UNITDATAX.request	MA-UNITDATAX.request	PHY-TXSTART.request
パラメータ	PSID			
		送信元アドレス	送信元アドレス	
	ピアMACアドレス	宛先アドレス	宛先アドレス	
			ルーティング情報 (*1)	
	ユーザ優先度	優先度	優先度	
			サービスクラス	
	終了時間	Wsm終了時間	終了時間	
	チャネル負荷	チャネル負荷		
	送信電力レベル	Tx電力レベル	Tx電力レベル	TXベクトル
	データ速度	データ速度	データ速度	
	チャネル識別子	チャネル識別子	チャネル識別子	
	タイムスロット	タイムスロット	タイムスロット	
	情報要素インジケータ			PHY-DATA.request
	長さ			
	データ	データ	データ	データ
				ユーザインデックス (*2)
				PHY-TXEND.request
				(パラメータなし)

(*1) IEEE802.11の場合、常に無効
(*2) 特定の場合のみ、有効

：上位層のプリミティブ（左側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

表 5.1.2-16　レイヤ間インタフェース（米国 DSRC のレイヤ 1～4、確認プリミティブ）　[8]-[10]

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層 (レイヤ4, 3)	LLC (レイヤ2)	MAC (レイヤ2)	PHY (レイヤ1)
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage. confirm	（該当なし）	MA-UNITDATAX- STATUS.indication	PHY-TXSTART. confirm
パラメータ	結果コード	–	送信元アドレス 宛先アドレス 送信ステータス 提供された優先度 提供されたサービスクラス	TXステータス
				PHY-DATA. confirm
				(パラメータなし)
				PHY-TXEND. Confirm
				スクランブラまたはCRC (*1)

(*1) 特定の場合のみ、有効

表 5.1.2-17　レイヤ間インタフェース（米国 DSRC のレイヤ 1～4、指示プリミティブ）　[8]-[10]

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層 (レイヤ4, 3)	LLC (レイヤ2)	MAC (レイヤ2)	PHY (レイヤ1)
プリミティブ名	**WSM-WaveShortMessage. indication**	**DL-UNITDATA. indication**	**MA-UNITDATA. indication**	**PHY-CCA. indication**
パラメータ	PSID			
	ピアMACアドレス	送信元アドレス	送信元アドレス	
		宛先アドレス	宛先アドレス	
			ルーティング情報 (*1)	
			受信ステータス	ステート
	ユーザ優先度	優先度	優先度	
			ドロップエリジブル	
			サービスクラス	
			ステーションベクトル (*2)	
				IPIレポート (*2)
				チャネルリスト (*2)
	チャネル負荷			**PHY-RXSTART. indication**
	送信電力レベル			
	データ速度			RXベクトル
	チャネル番号			**PHY-DATA. indication**
	長さ			
	データ	データ	データ	データ
			MSDUフォーマット	**PHY-RXEND. indication**
	WSMPバージョン			
				RCPI
				RXエラー

(*1) IEEE802.11の場合、常に無効
(*2) 特定の場合のみ、有効

：下位層のプリミティブ（右側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

表 5.1.2-18　レイヤ間インタフェース（米国 CV2X のレイヤ 1～4、要求プリミティブ）　[8]

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層 (レイヤ4, 3)	LTE-V2X (レイヤ2, 1)
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage. request	AS-DATA. request
パラメータ	PSID	
	ピアMACアドレス	宛先アドレス
	ユーザ優先度	優先度
	終了時間	終了時間 (PDB)
	チャネル負荷	
	送信電力レベル	Tx電力レベル
	データ速度 (*1)	
	チャネル識別子	
	タイムスロット (*1)	
	情報要素インジケータ	
	長さ	
	データ	データ
		送信機プロファイルID
		時間信頼度の含有

(*1) LTE-V2Xの場合、未使用

：上位層のプリミティブ（左側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

表 5.1.2-19　レイヤ間インタフェース（米国 CV2X のレイヤ 1～4、指示プリミティブ）　[8]

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層（レイヤ4, 3）	LTE-V2X（レイヤ2, 1）
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage.indication	AS-DATA.indication
パラメータ	PSID	
	ピアMACアドレス	送信元アドレス
	ユーザ優先度	
	チャネル負荷	
	送信電力レベル	
	データ速度	
	チャネル番号	
	長さ	
	データ	データ
	WSMPバージョン	

：下位層のプリミティブ（右側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

表 5.1.2-20　レイヤ間インタフェース（米国仕様のセキュリティ層、送信側）　[7]

対象レイヤ	セキュリティ層 (送信側)	
生成順	1	2
要求/確認	要求 (①)	確認 (②)
プリミティブ名	Sec-SignedData. request	Sec-SignedData. confirm
パラメータ	暗号マテリアルハンドル データ (*1) データ種別 (*1) 外部データのハッシュ (*1,2) 外部データのハッシュアルゴリズム (*1,2) PSID 生成時刻の設定 (*3) 生成場所の設定 (*4) 終了時間 (*1,2) 署名者識別子の種別 署名者識別子の証明書チェーンの長さ (*1) 証明書チェーンの最大長 (*1) 高速検証付き署名 楕円曲線点のフォーマット ピアツーピア証明書配布の使用 SDEE ID (*1)	署名付きデータ 結果コード

(*1) オプション
(*2) BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1) の場合、未使用
(*3) BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1) の場合、有効に設定
(*4) BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1) の場合、無効に設定

表 5.1.2-21　レイヤ間インタフェース（米国仕様のセキュリティ層、受信側）　[7]

対象レイヤ	セキュリティ層 （受信側）			
生成順	1	2	3	4
要求/確認	要求（①′）	確認（②′）	要求（①′）	確認（②′）
プリミティブ名	Sec-SecureData Preprocessing.request	Sec-SecureData Preprocessing.confirm	Sec-SignedData Verification.request	Sec-SignedData Verification.confirm
パラメータ	SDEE ID (*1) PSID データ

5.1.3 通信制御フロー、プロトコルスタックの検討

本節では、5.9GHz 帯通信プロトコルの概要案として通信制御フロー、プロトコルスタックを検討した結果を述べる。以降では、SIP 協調型自動運転ユースケース（以下、SIP UC）の通信シナリオ案として、ITS フォーラム発行のガイドラインである「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」[2]（以下、ITS FORUM RC-017）を参照し、通信制御フロー等を整理し、欧米仕様の整理結果（5.1.2 節を参照）と比較・分析した（(1)節及び(2)節）。続いて、欧米仕様に通信シナリオ案独自の仕様を追加する形で、5.9GHz 帯通信プロトコル案の作成方針を検討（(3)節）し、概要案として通信制御フロー及びプロトコルスタックをまとめた（(4)節）結果を述べる。

(1) 通信シナリオ案に基づく欧米仕様との比較整理

ITS FORUM RC-017 記載の SIP UC の通信シナリオ案に基づき、通信制御フローを整理し、無線通信方式（DSRC, CV2X）毎に欧米仕様と比較した結果をそれぞれ図 5.1.3-1、図 5.1.3-2 に示す。図中の赤色は、通信シナリオ案と欧米仕様との差異を表す。通信シナリオ案ではレイヤの区分、レイヤ間インタフェース、送信可能なメッセージサイズへの分割方法等は言及されていないため、通信シナリオ案から通信プロトコル案を検討するにあたり、これらの検討が必要となる。また欧米仕様では、上位層及びレイヤ 2 による輻輳制御、複数チャネルの切替機能を備えている。

① 自車の観測した輻輳状態（送信時間、チャネル使用率）
② 他車との情報交換により、推定した輻輳状態（チャネル使用率）
③ ①、②に基づき、設定した輻輳制御パラメータ（帯域制限値）
④ 自車の観測した輻輳状態（チャネル使用率）

(*1) 管制/合意のユースケース（UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3）の場合
(*2) 付録1における検討を参考
(*3) 路側インフラからハザード情報を配信するユースケース（UC d-1～5）の場合
(*4) ハザード情報をリレー（転送）するユースケース（UC c-1, c-3）の場合

(*5) CAM送信の場合　(*6) ETSI TR 103 439 における検討例
(*7) MAPEM送信の場合　(*8) DENM送信の場合
(*9) オプション　(*10) 輻輳制御（DCC）における機能
(*11) BSM送信の場合

※赤色の箇所：通信シナリオ案と欧米仕様との差

図 5.1.3-1　通信制御フローの比較（DSRC）　[2], [4], [6]-[10], [15]-[23], [26], [29]-[31], [43]

① 自車の観測した輻輳状態（送信時間、チャネル使用率）
② 他車との情報交換により、推定した輻輳状態（チャネル使用率）
③ ①、②に基づき、設定した輻輳制御パラメータ（帯域制限値）

(*1) 管制/合意のユースケース（UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3）の場合
(*2) 付録1における検討を参考
(*3) 路側インフラからハザード情報を配信するユースケース（UC d-1～5）の場合
(*4) ハザード情報をリレー（転送）するユースケース（UC c-1, c-3）の場合

(*5) CAM送信の場合　(*6) ETSI TR 103 439 における検討例
(*7) MAPEM送信の場合　(*8) DENM送信の場合
(*9) オプション　(*10) BSM送信の場合

※赤色の箇所：通信シナリオ案と欧米仕様との差

図 5.1.3-2　通信制御フローの比較（CV2X）　[2], [5]-[9], [11]-[20], [24]-[28], [32], [43]

(2) 通信メッセージ毎の通信要件の比較整理

通信メッセージ毎の通信要件を比較整理した結果を表 5.1.3-1～表 5.1.3-4 に示す。

通信メッセージの内容で分類した場合、欧米仕様と比較して上位層で想定する通信要件に大きな差はないが、欧米仕様の場合、送信周期は輻輳制御により変動する。また欧州仕様の場合、上位層又はネットワーク層での転送機能を使うことで、一部の通信メッセージにおいては転送あり/なしの選択が可能な仕様となっている。

表 5.1.3-1　通信メッセージ毎の通信要件の比較 (1/4)　[2], [4]-[5], [25], [35], [37]-[39]

メッセージの内容	**車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）**				**信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）**		
地域	**国内**		**欧州**	**米国**	**国内**		**欧州**
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	f.インフラによる情報収集・配信	–		b.信号情報	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（V2V）	交通流の最適化のための情報収集	Co-operative Awareness etc.	Emergency Electronic Brake Lights etc.	信号情報による走行支援	交差点の情報による走行支援（V2I）	Intersection Collision Risk Warning etc.
No.	c-2-1	f-2	–		b-1-1	c-2-2	–
通信サービス	**–**		**CA Basic Service**	**–**	**–**		**TLM Service**
メッセージ名	**–**		**CAM**	**BSM**	**–**		**SPATEM**
情報要素	**車両基本情報**		**–**		**ユースケース固有情報（交差点情報）**		**–**
通信形態	V2V	V2I	V2V, V2I, I2V		I2V		
通信相手	非特定車両				非特定車両		
周期型/非周期型	周期型				周期型		
送信周期	0.1s	1s	0.1～1s		0.1s		1s
転送	なし				なし		なし/あり

表 5.1.3-2　通信メッセージ毎の通信要件の比較 (2/4)　[2], [4]-[5], [25], [35], [37]-[39]

メッセージの内容	**検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）**									
地域	**国内**								**欧州**	**米国**
機能分類	c. 先読み情報：衝突回避		e.先読み情報：緊急車両回避	d. 先読み情報：走行計画変更					–	
ユースケース	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	ハザード情報による衝突回避支援	緊急車両の情報による走行支援	異常車両の通知による走行支援	逆走者の通知による走行支援	渋滞の情報による衝突回避支援	分岐・出口渋滞支援	ハザード情報による走行支援	Road Hazard Warning etc.	Emergency Vehicle Alert etc.
No.	c-1	c-3	e-1	d-1	d-2	d-3	d-4	d-5	–	
通信サービス	**–**								**DEN Basic Service**	**–**
メッセージ名	**–**								**DENM**	**BSM**
情報要素	**ユースケース固有情報（ハザード情報）**								**–**	
	c-1, c-3		**e-1**	**d-x**						
通信形態	V2V			V2I, I2V				I2V	V2V, V2I, I2V	
通信相手	非特定車両									
周期型/非周期型	非周期型									
送信周期	0.1s			1s					0.1～1s	
転送	あり		なし						なし/あり	なし

表 5.1.3-3　通信メッセージ毎の通信要件の比較 (3/4)　[2], [4]-[5], [25], [35], [37]-[39]

メッセージの内容	**車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）**					**隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）**		**隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）**	
地域	**国内**				**欧州**	**国内**	**欧州**	**国内**	**欧州**
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	a.合流・車線変更支援			–	g.隊列・追従走行	–	g.隊列・追従走行	–
ユースケース	交差点の情報による走行支援（V2I）	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	Overtaking Vehicle Warning etc.	電子牽引による後続車無人隊列走行	Platooning	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	Platooning
No.	c-2-2	a-1-1	a-1-2	a-1-3	–	g-1	–	g-2	–
通信サービス	**–**				**CP Service**	**–**	**–**	**–**	**–**
メッセージ名	**–**	**位置情報**			**CPM**	**–**	**PCM**	**–**	**PAM**
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**				**–**	**ユースケース固有情報(後続車無人隊列走行情報)**	**–**	**ユースケース固有情報(後続車有人隊列走行情報)**	**–**
	c-2-2	**a-1-x**							
通信形態	I2V				V2V, V2I, I2V	V2V		V2V	
通信相手	非特定車両					特定車両		非特定車両	
周期型/非周期型	周期型					周期型		周期型	
送信周期	0.1s				0.1～1s	0.02～0.1s		0.1s	0.05～0.1s
転送	なし				なし/あり	なし		なし	

表 5.1.3-4　通信メッセージ毎の通信要件の比較 (4/4)　[2], [4]-[5], [25], [35], [37]-[39]

メッセージの内容	**走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）**									
地域	**国内**									**欧州**
機能分類	a.合流・車線変更支援									–
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援			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		混雑時の非優先道路から優先道路への進入支援		Co-operative Lane Change etc.
No.	a-1-3			a-1-4		a-2		a-3		–
通信サービス	**–**									**MC Service**
メッセージ名	**管制要求**	**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**	**調停要求/更新要求**	**調停応答/更新応答**	**MCM**
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**									**–**
通信形態	V2I	I2V	V2I	V2V						V2V, V2I, I2V
通信相手	非特定車両/特定車両									
周期型/非周期型	非周期型									
送信周期	(0.1s)									0.1～1s
転送	なし									

(3) 通信プロトコル案の検討方針

本節では、欧米仕様に通信シナリオ案独自の仕様を追加する形で、5.9GHz 帯通信プロトコル案の作成方針を検討した結果を述べる。以降では、プロトコル案作成の進め方を検討（(a)節）の上、欧米仕様への追加が必要な項目（通信シナリオ案独自の仕様）を抽出するため、欧米仕様による対応可能性を検討（(b)節）した結果を述べる。

(a) プロトコル案作成の進め方

欧米仕様との通信制御フローの比較結果（(1)節）を踏まえ、通信プロトコル案の検討方針を整理した結果を無線通信方式（DSRC, CV2X）毎にそれぞれ図 5.1.3-3、図 5.1.3-4 に示す。

通信シナリオ案から通信プロトコル案を作成するにあたり、以下の検討が必要である。

- レイヤ 3 以上のレイヤ区分及びレイヤ間インタフェースを明確化
- レイヤ 7 の機能・動作を整理
- レイヤ 2, 7 の追加機能について検討
  （上位層における通信制御方式、チャネル割り当て、通信メッセージの分割等）
- レイヤ 3～4 の機能ついて検討（国際協調と今後の拡張性を考慮）

① 自車の観測した輻輳状態（送信時間、チャネル使用率）
② 他車との情報交換により、推定した輻輳状態（チャネル使用率）
③ ①、②に基づき、設定した輻輳制御パラメータ（帯域制限値）
④ 自車の観測した輻輳状態（チャネル使用率）

(*1) 管制/合意のユースケース（UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3）の場合
(*2) 付録1における検討を参考
(*3) 路側インフラからハザード情報を配信するユースケース（UC d-1～5）の場合
(*4) ハザード情報をリレー（転送）するユースケース（UC c-1, c-3）の場合

(*5) CAM送信の場合　(*6) ETSI TR 103 439 における検討例
(*7) MAPEM送信の場合　(*8) DENM送信の場合
(*9) オプション　(*10) 輻輳制御（DCC）における機能
(*11) BSM送信の場合

図 5.1.3-3　通信プロトコル案の検討方針（DSRC）　[2], [4], [6]-[10], [15]-[23], [26], [29]-[31], [43]

① 自車の観測した輻輳状態（送信時間、チャネル使用率）
② 他車との情報交換により、推定した輻輳状態（チャネル使用率）
③ ①、②に基づき、設定した輻輳制御パラメータ（帯域制限値）

(*1) 管制/合意のユースケース（UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3）の場合
(*2) 付録1における検討を参考
(*3) 路側インフラからハザード情報を配信するユースケース（UC d-1～5）の場合
(*4) ハザード情報をリレー（転送）するユースケース（UC c-1, c-3）の場合

(*5) CAM送信の場合　(*6) ETSI TR 103 439 における検討例
(*7) MAPEM送信の場合　(*8) DENM送信の場合
(*9) オプション　(*10) BSM送信の場合

図 5.1.3-4　通信プロトコル案の検討方針（CV2X）　[2], [5]-[9], [11]-[20], [24]-[28], [32], [43]

(b) 欧米仕様による対応可能性検討

本節では、通信プロトコル案の作成にあたり、欧米仕様への追加が必要な項目（通信シナリオ案独自の仕様）を抽出するため、欧州仕様による対応可能性（(ア)節）、及び米国仕様による対応可能性（(イ)節）を検討した結果を述べる。

(ア) 欧州仕様の場合

SIP UC の通信シナリオ案について、欧州仕様による対応可能性を検討、整理した結果を表 5.1.3-5 に示す。

情報提供のユースケース（車両基本情報、ハザード情報、交差点情報を送信するユースケース）は、同様のユースケースが標準化されているため、対応可能と考えられるが、管制/合意のユースケース（調停情報を送信するユースケース）は、標準化されていないため（類似のユースケースは標準化作業中のため、今後の動向の確認が必要）、通信シナリオ案の実現には宛先の特定、要求/応答等の新たな機能追加が必要と考えられる。その他のユースケース（周辺車両情報の提供、隊列走行のユースケース）は、標準化されていないが（類似のユースケースは標準化作業中のため、今後の動向の確認が必要）、アプリケーションによる周期的送信で実現可能と考えられる。

(イ) 米国仕様の場合

SIP UC の通信シナリオ案について、米国仕様による対応可能性を検討、整理した結果を表 5.1.3-6 に示す。

情報提供のユースケース（車両基本情報、ハザード情報を送信するユースケース）は、同様のユースケースが標準化されているため、対応可能と考えられるが、管制/合意のユースケース（調停情報を送信するユースケース）は、標準化されていないため（類似のユースケースは標準化作業中のため、今後の動向の確認が必要）、通信シナリオ案の実現には宛先の特定、要求/応答等の新たな機能追加が必要と考えられる。その他のユースケース（交差点情報、周辺車両情報の提供、隊列走行のユースケース）は、標準化されていないが（類似のユースケースは標準化作業中のため、今後の動向の確認が必要）、アプリケーションによる周期的送信で実現可能と考えられる。

表 5.1.3-5　参考仕様による対応可能性検討（欧州仕様の場合）　[2], [18]-[19], [25], [35], [37]-[39]

機能分類	ユースケース	通信形態	情報要素		欧州仕様			主な機能分担 (案)										欧州仕様による対応可否（●：可、－：今後の動向を要確認）
					メッセージ名	アプリケーション、ファシリティ層	トランスポート、ネットワーク層	アプリケーション				ファシリティ層（L5-7に相当）			ネットワーク、トランスポート層 (L3-4)			
								宛先の特定	周期的に送信	リレー（転送）	要求/応答	宛先の特定	周期的に送信	リレー（転送）	宛先の特定	周期的に送信	リレー（転送）	
c.先読み情報：衝突回避	c-2-1.交差点の情報による走行支援 (V2V)	V2V	車両基本情報		CAM	ETSI EN 302 637-2	ETSI EN 302 636-4, 5	－	－	－	－	－	●	－	－	－	－	●
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	V2I																
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	ユースケース固有情報	ハザード情報	DENM	ETSI EN 302 637-3		－	●	－	－	－	－	●	－	－	－	●（リレー（転送）はファシリティ層での対応可）
	c-3.ハザード情報による衝突回避支援																	
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	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	V2I, I2V						－	●（I2Vのみ）	－	－	－	●（情報更新なし）	－	－	－	－	●（情報更新なしの周期的送信はファシリティ層での対応可）
	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																	
b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援	I2V		交差点情報	SPATM	ETSI TS 103 301		－	●	－	－	－	－	－	－	－	－	●
c.先読み情報：衝突回避	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)																	
a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援			周辺車両情報	CPM	ETSI TR 103 562（標準化作業中）		－	●	－	－	－	－	－	－	－	－	－（アプリケーションによる周期的送信を想定）
	a-1-2.本線隙間狙い合流支援																	
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	I2V																
		V2I, I2V		調停情報	MCM	ETSI TS 103 561（標準化作業中）		●	（●）	－	●	－	－	－	－	－	－	－（宛先の特定、要求/応答の機能追加が必要）
	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.混在時の車線変更の支援																	
	a-3.混雑時の非優先道路から優先道路への進入支援																	
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		後続車無人隊列走行情報	PCM	ETSI TR 103 298（標準化作業中）		（●）	●	－	－	－	－	－	－	－	－	－（アプリケーションによる周期的送信を想定）
	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			後続車有人隊列走行情報	PAM			－	●	－	－	－	－	－	－	－	－	

表 5.1.3-6　参考仕様による対応可能性検討（米国仕様の場合）　[2], [4]-[6], [8], [40]-[41]

機能分類	ユースケース	通信形態	情報要素		米国仕様			主な機能分担（案）										米国仕様による対応可否（●：可、－：今後の動向を要確認）
					メッセージ名	アプリケーション、メッセージ副層	トランスポート、ネットワーク層	アプリケーション				メッセージ副層（L5-7に相当）			ネットワーク、トランスポート層（L3-4）			
								宛先の特定	周期的に送信	リレー（転送）	要求/応答	宛先の特定	周期的に送信	リレー（転送）	宛先の特定	周期的に送信	リレー（転送）	
c.先読み情報：衝突回避	c-2-1.交差点の情報による走行支援（V2V）	V2V	車両基本情報		BSM	SAE J2945/1, J3161/1	IEEE 1609.3	－	－	－	－	－	●	－	－	－	－	●
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	V2I																
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	ユースケース固有情報	ハザード情報				－	●	●	－	－	－	－	－	－	－	●（リレー（転送）はアプリケーションで対応）
	c-3.ハザード情報による衝突回避支援																	
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	V2V				SAE J2945/2		－	●	－	－	－	－	－	－	－	－	●
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	V2I, I2V			RWM（I2Vの類似例）	SAE J2945/3（I2Vの類似例）		－	●（I2Vのみ）	－	－	－	－	－	－	－	－	●（周期的送信はアプリケーションで対応）
	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																	
b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援	I2V		交差点情報	SPaT	SAE J2945/B（標準化作業中）		－	●	－	－	－	－	－	－	－	－	－（アプリケーションによる周期的送信を想定）
c.先読み情報：衝突回避	c-2-2.交差点の情報による走行支援（V2I）																	
a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援			周辺車両情報	－	SAE J3224（標準化作業中）		－	●	－	－	－	－	－	－	－	－	
	a-1-2.本線隙間狙い合流支援																	
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	I2V																
		V2I, I2V		調停情報	－	SAE J3186（標準化作業中）		●	（●）	－	●	－	－	－	－	－	－	－（宛先の特定、要求/応答の機能追加が必要）
	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.混在時の車線変更の支援																	
	a-3.混雑時の非優先道路から優先道路への進入支援																	
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		後続車無人隊列走行情報	－	SAE J2945/6（標準化作業中）		（●）	●	－	－	－	－	－	－	－	－	－（アプリケーションによる周期的送信を想定）
	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			後続車有人隊列走行情報	－			－	●	－	－	－	－	－	－	－	－	

(4) 通信制御フロー、プロトコルスタック案

通信プロトコル案の検討方針（(3)節）を踏まえ、通信プロトコル案の概要を表 5.1.3-7 にまとめるとともに、通信制御フロー、プロトコルスタック案を無線通信方式（DSRC, CV2X）毎にそれぞれ表 5.1.3-8、表 5.1.3-9 に示す。

SIP UC は同報型、直接通信が主要のため、レイヤ 3～4 の機能が小さい米国仕様 [4]-[5], [7]-[8], [40]-[41] をベースとしたが、米国で標準化済みの上位層仕様は、BSM 送信（データサイズが小さい、転送なし）のみのため、メッセージの多重・分割及び転送機能については、欧州仕様及び欧州における検討例 [25], [38] を参考とした。また管制/合意のユースケースに対応するため、欧米仕様に含まれない新たな機能として宛先の特定、要求/応答処理を追加した。

表 5.1.3-7　通信プロトコル案の概要

レイヤ	主な仕様	備考
アプリケーション	・メッセージ生成、周期的に送信 ・宛先の特定、要求/応答処理 (管制/合意のユースケース) ・送信制御 (優先度設定、送信タイミング判断)	欧米仕様に管制/合意で必要な機能を追加
上位層 (レイヤ 5-7)	・ブロードキャスト通信 (宛先不特定) ・車両基本情報の生成、周期的に送信 ・ハザード情報を周期的に再送 (*) ・ハザード情報をリレー (転送) (*)	欧州仕様と同様 (代替案として米国仕様と同様とした場合、(*)はアプリケーションで対応)
ネットワーク、トランスポート層 (レイヤ 3-4)	・ブロードキャスト通信 (宛先不特定) ・リレー/経路制御なし	米国仕様と同様 (代替案として欧州仕様と同様でも対応可)
―	チャネル割り当て	静的な割り当てを想定
データリンク、物理層 (レイヤ 1-2)	・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 (ITS FORUM RC-015) に準拠	欧米仕様と同様

表 5.1.3-8　通信制御フロー、プロトコルスタック案（DSRC）

レイヤ		機能・動作 (通信制御フローにおける項目)	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC)	欧州仕様 (ETSI標準)	米国仕様 (SAE, IEEE標準)
アプリケーション		メッセージを周期的に送信	●	●	●
		優先度設定、送信タイミング判断	●	●	●
		宛先の特定	●	–	–
		要求/応答処理	●	–	–
上位層 (レイヤ5～7相当)		車両基本情報を周期的に送信	●	●	●
		輻輳制御 (帯域制御)	●	●	●
		情報要素の多重	●	●	–
		メッセージを分割	●	●	–
		連送制御	●	–	–
		ハザード情報を周期的に再送	●	●	–
		ハザード情報を転送	●	●	–
セキュリティ層		送信元の真正性とメッセージの完全性を保証する情報 (署名) を追加	●	●	●
トランスポート層 (レイヤ4)		上位層のサービスを特定する情報を追加	●	●	●
ネットワーク層 (レイヤ3)		ネットワーク上の宛先を特定する情報を追加	–	●	–
		周期的に再送	–	●	–
		パケットを転送	–	●	–
データリンク層 (レイヤ2)	–	チャネル割り当て	●	●	●
	LLC	上位層のプロトコルを特定する情報を追加	●	●	●
	MAC	パケットを分割	●	●	●
		送信元リンクを特定する情報を追加	●	●	●
		輻輳制御 (優先制御)	●	●	●
		無線多重化	●	●	●
物理層 (レイヤ1)		符号化、変調を行い送信	●	●	●

レイヤ3以上はCV2Xと同一(連送制御を除く)

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、－：未対応

表 5.1.3-9　通信制御フロー、プロトコルスタック案（CV2X）

レイヤ		機能・動作 (通信制御フローにおける項目)	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (CV2X)	欧州仕様 (ETSI標準)	米国仕様 (SAE, IEEE標準)
アプリケーション		メッセージを周期的に送信	●	●	●
		優先度設定、送信タイミング判断	●	●	●
		宛先の特定	●	–	–
		要求/応答処理	●	–	–
上位層 (レイヤ5～7相当)		車両基本情報を周期的に送信	●	●	●
		輻輳制御 (帯域制御)	●	●	●
		情報要素の多重	●	●	–
		メッセージを分割	●	●	–
		ハザード情報を周期的に再送	●	●	–
		ハザード情報を転送	●	●	–
セキュリティ層		送信元の真正性とメッセージの完全性を保証する情報 (署名) を追加	●	●	●
トランスポート層 (レイヤ4)		上位層のサービスを特定する情報を追加	●	●	●
ネットワーク層 (レイヤ3)		ネットワーク上の宛先を特定する情報を追加	–	●	–
		周期的に再送	–	●	–
		パケットを転送	–	●	–
データリンク層 (レイヤ2)	–	チャネル割り当て	●	–	–
	PDCP	上位層のプロトコルを特定する情報を追加	●	●	●
	RLC	パケットを分割	●	●	●
	MAC	送信元リンクを特定する情報を追加	●	●	●
		輻輳制御 (優先制御)	●	●	●
		再送制御	●	●	●
		無線多重化	●	●	●
物理層 (レイヤ1)		符号化、変調を行い送信	●	●	●

レイヤ3以上は
DSRCと同一
(連送制御を除く)

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、－：未対応

5.1.4　各レイヤの機能・動作・インタフェースの検討

本節では、5.9GHz 帯通信プロトコルの概要案（5.1.3(4)節）を踏まえ、詳細案として機能・動作・インタフェースを検討した結果を述べる。以降では、機能・動作（(1)節）、レイヤ間インタフェース（(2)節）の順に検討した結果を述べる。

(1) 機能・動作の検討

概要案（5.1.3(4)節）を踏まえ、5.9GHz 帯通信プロトコルの機能・動作を検討した。機能・動作の概要を表 5.1.4-1 に示す。

アプリケーションは欧米仕様 [4]-[5], [40]-[41] と同様、車両基本情報以外のメッセージを周期的に送信するが、管制/合意のユースケースに対応するため、欧米仕様に含まれない新たな機能として宛先の特定、要求/応答処理を追加した。また上位層における通信制御方式の検討結果（4.2 節）を踏まえ、送信制御機能（優先度設定、送信タイミング判断）を追加している。ここでのアプリケーションは通信シナリオ案に示された内容のうち、通信機能の実現手段として、受信した情報を活用した走行計画見直し等の判断までを想定した。走行計画見直しを車両の挙動に反映するために必要な制御系アプリケーションは範囲外としたが、両者の機能分担については、今後の議論が必要である。

上位層は欧米仕様 [4]-[5] と同様、ユースケースで共通となる車両基本情報を周期的に送信するとともに、欧州仕様や欧州の検討例 [25], [38]、及び ITS FORUM RC-017 の検討結果 [2] を参考に、セキュリティによるオーバヘッドを削減するため、複数の宛先又は複数のユースケースが同時に発生し、各情報要素のサイズが小さい場合は情報要素の多重（1 つのメッセージにまとめる）を行う機能を追加した。

セキュリティ層は米国仕様 [7] を参考に、上位層からの要求で署名付きメッセージを作成する想定としている。ネットワーク、トランスポート層は同報型、直接通信のユースケースを想定し、特別は機能を持たないが、フレーム構成等は米国仕様 [8] を参考に、今後の拡張性を考慮した仕様とするのが望ましいと考えられる。

レイヤ 1～2 は ITS フォーラム発行のガイドラインである「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」[43]（以下、ITS FORUM RC-015）をベー

スとし、4.1 節の検討を踏まえたチャネル割り当ての実現方法は、割り当てチャネル数と同数の無線機（レイヤ 2 以下）を備える想定とした。

表 5.1.4-1　通信プロトコル案 機能・動作の概要

レイヤ	機能・動作の概要
アプリケーション	・車両基本情報以外のメッセージを周期的に送信 ・宛先の特定、要求/応答処理 （管制/合意のユースケースの場合） ・送信制御（優先度設定、送信タイミング判断）
上位層 （レイヤ 5～7）	・ユースケースで共通となる車両基本情報を周期的に送信 ・情報要素の多重 （複数の宛先又は複数のユースケースが同時に発生し、各情報要素のサイズが小さい場合、セキュリティによるオーバヘッド削減のため、1 つのメッセージにまとめる） ・通信メッセージの分割 （下位レイヤで受け取りが可能なサイズを超える場合） ・周期的に再送（ハザード情報の場合） ・リレー（転送）（ハザード情報の場合）
セキュリティ層	・上位層からの要求により、署名付きメッセージを作成
ネットワーク、 トランスポート層 （レイヤ 3～4）	・上位層のサービス特定以外の機能なし （同報型、直接通信のユースケースが主要なため） ・フレーム構成等、今後の拡張性を考慮 （米国仕様を参考）
物理層、データリンク層 （レイヤ 1～2）	・ITS FORUM RC-015 をベース （DSRC：米国仕様を参考に必要機能を追加、CV2X：3GPP 技術仕様に準拠） ・チャネル割り当て （割り当てチャネルと同数の無線機（レイヤ 2 以下）を備える想定） ・通信パラメータは固定 （自律的な通信のため、事前に設定することを想定）

機能・動作の詳細について、レイヤ及び送信/受信側毎に前提条件、課題、欧米仕様との対応と併せて検討、整理した結果を表 5.1.4-2～ 表 5.1.4-11 に示す。

表 5.1.4-2　通信プロトコル案 送信側の機能・動作（アプリケーション）　[2], [4]-[5], [35], [38], [40]-[41]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC, CV2X共通)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
アプリケーション	メッセージを周期的に送信	●	・車両基本情報以外の各ユースケースで必要な情報を収集（車両：ハザード情報など。路側インフラ：信号情報、車両検知情報など） ・メッセージの各情報要素を設定 ・情報を更新しながら周期的に送信	・アプリケーションは必要な情報を持つシステムにアクセスし、情報を取得可能（車両：測位システム（GNSS 等）、車載ネットワーク（CAN 等）など。路側インフラ：信号制御機、センサ等） ・上記の情報は、所定の周期で各システムからアプリケーションに送信（要求／応答型ではなく、要求なしの応答（配信）型を想定）	・情報提供システムへの要求事項の整理（許容遅延など） ・遅延に起因する位置等の誤差の補正の必要性、必要な場合は補正方法 ・レイヤ内の機能分担（複数のサービスが利用する共通のエンティティ等）	●	●
	優先度の設定、送信タイミング判断	●	・クリティカルイベントの判定等に基づき送信タイミングを決定 ・メッセージ毎の優先度を設定	・通信要件の緩和（送信周期など）が必要となるため、通信要件の精査、見直しが今後実施される可能性を想定	・達成可能な通信条件の整理 ・下位レイヤにおける輻輳情報の活用可能性検討	●	●
	宛先の特定	●	・管制/合意のユースケースを対象とし、宛先として、位置・距離等による範囲（調停要求の場合）または車両/路側インフラのIDを設定（管制要求、調停応答、更新要求、更新応答の場合）	・レイヤ7以下は宛先不特定（ブロードキャスト）を想定し、受信側で自身の位置やIDに基づき判断	・遅延に起因する位置等の誤差の補正の必要性、必要な場合は補正方法 ・レイヤ内の機能分担（複数のサービスが利用する共通のエンティティ等）	–	–
	要求/応答処理	●	・管制/合意のユースケースを対象 ・要求メッセージを生成・送信後、応答メッセージの受信を待つ ・応答メッセージを生成・送信後、次回の要求メッセージの受信を待つ ・状態管理を行う（（管制要求）→調停要求→調停応答→更新要求→更新応答→…）	・情報を更新しながら繰り返し要求メッセージを送信するため、応答側は受信毎に自車が合意可能かを繰り返し判断する必要あり ・調停情報としてのメッセージの共通化を踏まえ、管制/合意のユースケース（UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3）で共通の方法として検討	・通信シナリオ案の改版を踏まえた見直し検討（再送、複数の要求/応答が同時発生する場合への対応等） ・レイヤ内の機能分担（複数のサービスが利用する共通のエンティティ等） ・適切なパラメータの設定（送信周期、応答待ち時間等）	–	–

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、–：未対応

表 5.1.4-3　通信プロトコル案 送信側の機能・動作（上位層）　[2], [4]-[5], [25], [37]-[38]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC, CV2X共通)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
上位層(レイヤ5～7相当)	車両基本情報を周期的に送信	●	・ユースケースで共通となる車両基本情報に必要な情報を収集（自車の状態（位置、速度等）、属性（寸法、車種等）など） ・メッセージの各情報要素を設定 ・情報を更新しながら周期的に送信	・上位層は必要な情報を持つシステムにアクセスし、情報を取得可能（車両：測位システム（GNSS等）、車載ネットワーク（CAN 等）など。路側インフラ：信号制御機、センサ等） ・上記の情報は、所定の周期で各システムから上位層に送信（要求／応答型ではなく、要求なしの応答（配信）型を想定）	・情報提供システムへの要求事項の整理（許容遅延など） ・遅延に起因する位置等の誤差の補正の必要性、必要な場合は補正方法 ・レイヤ内の機能分担（複数のサービスが利用する共通のエンティティ等）	●	●
	輻輳制御(帯域制御)	●	・車両基本情報を対象とし、通信の輻輳状態、自車情報の変化量等に基づき送信タイミングを決定 ・車両基本情報の優先度を設定	・通信要件の緩和（送信周期など）が必要となるため、通信要件の精査、見直しが今後実施される可能性を想定	・達成可能な通信条件の整理 ・下位レイヤにおける輻輳情報の活用可能性検討	●	●
	情報要素の多重	●	・セキュリティによるオーバヘッド削減のため、複数ユースケースのメッセージを同時に生成する場合、情報要素を結合（ITS FORUM RC-017の付録1 4章におけるケース3）, 方式1の場合に該当）	・車両が送信するメッセージを対象（各情報要素のサイズがセキュリティによるオーバヘッドのサイズよりも十分に小さく、かつ結合後もメッセージ分割が不要なサイズである場合を想定） ・情報要素の多重後、セキュリティ処理を行う（結合したメッセージに署名を付加）	・メッセージフォーマットの見直し（多重した情報要素の識別方法） ・多重化する情報要素に関連する複数サービスの機能分担（サブレイヤの必要性検討を含む）	●	–
	メッセージを分割	●	・下位層での受け取りが可能なサイズにメッセージを分割	・メッセージサイズが下位層で対応可能なサイズ（米国仕様の場合、2402バイト）を超える場合を想定 ・メッセージの分割後、セキュリティ処理を行う（分割したメッセージ毎にオーバヘッドが付加されるため、上位層での分割は必要最小限としたい）	・メッセージフォーマットの見直し（分割したメッセージの識別方法） ・レイヤ内の機能分担（サブレイヤの必要性検討を含む）	●	–
	連送制御(DSRCのみ)	●	・ブロードキャスト（確認応答なし）の場合、同一メッセージを複数回送信（ITS FORUM RC-015に準拠）	–	適切なパラメータの設定（連送回数）	–	–
	ハザード情報を周期的に再送	●	・ハザード情報を対象とし、有効時間の間、周期的に送信（情報更新なし）	・ハザード情報の更新がない場合、2回目以降の送信は上位層で対応可能であり、アプリケーションの介在は不要	–	●	–
	ハザード情報を転送	●	・ハザード情報を対象とし、メッセージを受信し、かつユースケースの対象エリア内に存在する場合、所定の周期で転送（通信トラフィック量削減のため、所定の周期内で受信したメッセージのうち、最新のメッセージのみ転送）	・情報を更新しながら繰り返し送信を行うため、転送元はユースケース（サービス）毎に最新のメッセージを判別する必要あり ・転送を行うユースケース（UC c-1, c-3）の通信シナリオを参考に、今後のユースケース拡張も考慮し、特定のユースケースに限定されない汎用的な方法として検討	・適切なパラメータの設定（転送を行う周期） ・通信トラフィック量の削減方法（他者が転送した場合の転送待ち時間の導入、位置情報の利用など） ・輻輳制御機能との連携の必要性、必要な場合は連携方法	●	–

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、－：未対応

表 5.1.4-4　通信プロトコル案 送信側の機能・動作（セキュリティ層、レイヤ 3-4）　[7]-[8], [18]-[20]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC, CV2X共通)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
セキュリティ層	送信元の真正性とメッセージの完全性を保証する情報（署名）を追加	●	・署名付きメッセージを作成	・上位層から要求（レイヤ4以下にはセキュリティ層における処理後のメッセージを渡す）	・詳細仕様の検討 ・オーバヘッドの見積もり精緻化（実際のサイズは変動あり）	●	●
トランスポート層(レイヤ4)	上位層のサービスを特定する情報を追加	●	・受信したパケットのメッセージに該当するユースケース(サービス) を特定する情報として、サービス毎に識別番号（米国の場合、PSID）を付加	・同報型、直接通信（転送なし）のユースケースが主要のため、信頼性・順序性確保の処理は不要 ・フレーム構成は、IEEE 1609.3を参考（今後の拡張性を考慮）	・サービス毎の識別番号の割当て、管理方法	●	●
ネットワーク層(レイヤ3)	ネットワーク上の宛先を特定する情報を追加	–	(機能なし)	・同報型、直接通信（転送なし）のユースケースが主要のため、経路制御は不要 ・フレーム構成は、IEEE 1609.3を参考（今後の拡張性を考慮）	・今後のユースケース拡張の可能性を踏まえた見直し検討	●	–
	周期的に再送	–				●	–
	パケットを転送	–				●	–

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、–：未対応

表 5.1.4-5　通信プロトコル案 送信側の機能・動作（DSRC のレイヤ 1-2）　[8]-[10], [21]-[23], [43]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
–	チャネル割り当て	●	・該当チャネルのレイヤ2にメッセージを渡す	・割り当てチャネル数と同一の無線機（レイヤ2以下）を備える想定（同時送受信が可能） ・自律的な通信のため、チャネルはユースケース（サービス）毎に固定（事前に設定） ・上位層でメッセージ毎に設定したチャネルに基づき、処理を行う	・レイヤ3と複数のレイヤ2とのインタフェース方法（レイヤ2の選択機能をレイヤ3に追加、またはサブレイヤの検討） ・割り当てチャネル数未満の無線機を備えることを許容するか、許容する場合はチャネル切替方法	●	●
LLC (レイヤ2)	上位層のプロトコルを特定する情報を追加	●	・IEEE 1609.3に準拠 （ITS FORUM RC-015のインタフェースを見直し）	–	–	●	●
MAC (レイヤ2)	パケットを分割	●	・IEEE 802.11に準拠 （ITS FORUM RC-015にパケット分割、優先制御の機能を追加、インタフェースを見直し）	–	・送信元リンクを特定する情報（アドレス）の割当て方法 ・適切な通信パラメータの設定（送信待ち時間等）	●	●
	送信元リンクを特定する情報を追加	●				●	●
	輻輳制御（優先制御）	●		・上位層でメッセージ毎に設定した優先度に基づき、処理を行う		●	●
	無線多重化	●		・自律的な通信のため、通信パラメータは固定（事前に設定）		●	●
物理層 (レイヤ1)	符号化、変調を行い送信	●	・ITS FORUM RC-015に準拠 （周波数帯は5.9GHz帯に見直し）	・自律的な通信のため、通信パラメータは固定（事前に設定）	・適切な通信パラメータの設定（送信電力、データ速度等）	●	●

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、–：未対応

表 5.1.4-6　通信プロトコル案 送信側の機能・動作（CV2X のレイヤ 1-2）　[8], [11]-[14], [24], [43]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (CV2X)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
–	チャネル割り当て	●	・該当チャネルのレイヤ2にメッセージを渡す	・割り当てチャネル数と同一の無線機（レイヤ2以下）を備える想定（全てのチャネルの同時送受信が可能） ・自律的な通信のため、ユースケース（サービス）毎に使用するチャネルは固定（事前に設定） ・上位層でメッセージ毎に設定したチャネルに基づき、処理を行う	・レイヤ3と複数のレイヤ2とのインタフェース方法（レイヤ2の選択機能をレイヤ3に追加、またはサブレイヤの検討） ・割り当てチャネル数未満の無線機を備えることを許容するか、許容する場合はチャネル切替方法	●	●
PDCP (レイヤ2)	上位層のプロトコルを特定する情報を追加	●	・ITS FORUM RC-015に準拠（3GPP TS 36.323 に準拠）	–	–	●	●
RLC (レイヤ2)	パケットを分割	●	・ITS FORUM RC-015に準拠（3GPP TS 36.322 に準拠）	–	・送信元リンクを特定する情報（アドレス）の割当て方法 ・適切な通信パラメータの設定（リソース割り当て方法、再送回数等）	●	●
MAC (レイヤ2)	送信元リンクを特定する情報を追加	●	・ITS FORUM RC-015に準拠（3GPP TS 36.321 に準拠）			●	●
	輻輳制御（優先制御）	●		・上位層でメッセージ毎に設定した優先度に基づき、処理を行う		●	●
	再送制御	●		・自律的な通信のため、通信パラメータは固定（事前に設定）		●	●
	無線多重化	●				●	●
物理層 (レイヤ1)	符号化、変調を行い送信	●	・ITS FORUM RC-015に準拠（3GPP TS 36.211-214 に準拠）	・自律的な通信のため、通信パラメータは固定（事前に設定）	・適切な通信パラメータの設定（送信電力、データ速度等）	●	●

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、–：未対応

表 5.1.4-7　通信プロトコル案 受信側の機能・動作（アプリケーション）　[2], [4]-[5], [35], [38], [40]-[41]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC, CV2X共通)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
アプリケーション	メッセージを受信	●	・各ユースケースで必要な情報を受信し、サービスで必要な判定を行う	・アプリケーションは必要な情報を持つシステムにアクセスし、情報を取得可能（車両：測位システム（GNSS 等）、車載ネットワーク（CAN 等）など。路側インフラ：信号制御機、センサ等） ・上記の情報は、所定の周期で各システムからアプリケーションに送信（要求／応答型ではなく、要求なしの応答（配信）型を想定）	・情報提供システムへの要求事項の整理（許容遅延など） ・遅延に起因する位置等の誤差の補正の必要性、必要な場合は補正方法 ・レイヤ内の機能分担（複数のサービスが利用する共通のエンティティ等）	●	●
	優先度の設定、送信タイミング判断	●	・送信側で設定した優先度に基づき、必要に応じ処理を行う（上位層への通知等）	・通信要件の緩和（送信周期など）が必要となるため、通信要件の精査、見直しが今後実施される可能性を想定	・達成可能な通信条件の整理 ・下位レイヤにおける輻輳情報の活用可能性検討	●	●
	宛先の判定	●	・管制/合意のユースケースを対象とし、位置・距離等による範囲（調停要求の場合）または車両/路側インフラのIDを設定（管制要求、調停応答、更新要求、更新応答の場合）した宛先について、自身が該当するかを位置やIDに基づき判定	・レイヤ7以下は宛先不特定（ブロードキャスト）を想定し、受信側で自身の位置やIDに基づき判断	・遅延に起因する位置等の誤差の補正の必要性、必要な場合は補正方法 ・レイヤ内の機能分担（複数のサービスが利用する共通のエンティティ等）	–	–
	要求/応答処理	●	・管制/合意のユースケースを対象 ・要求メッセージを受信後、応答メッセージを生成、送信 ・応答メッセージを受信後、次回の要求メッセージを生成、送信 ・状態管理を行う（（管制要求）→調停要求→調停応答→更新要求→更新応答→…）	・情報を更新しながら繰り返し要求メッセージを送信するため、応答側は受信毎に自車が合意可能かを繰り返し判断する必要あり ・調停情報としてのメッセージの共通化を踏まえ、管制/合意のユースケース（UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3）で共通の方法として検討	・通信シナリオ案の改版を踏まえた見直し検討（再送、複数の要求/応答が同時発生する場合への対応等） ・レイヤ内の機能分担（複数のサービスが利用する共通のエンティティ等） ・適切なパラメータの設定（送信周期、応答待ち時間等）	–	–

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、–：未対応

表 5.1.4-8　通信プロトコル案 受信側の機能・動作（上位層）　[2], [4]-[5], [25], [37]-[38]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC, CV2X共通)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
上位層 (レイヤ5～7相当)	車両基本情報を受信	●	・受信した車両基本情報を上位層に渡す	・上位層は必要な情報を持つシステムにアクセスし、情報を取得可能（車両：測位システム（GNSS等）、車載ネットワーク（CAN 等）など。路側インフラ：信号制御機、センサ等） ・上記の情報は、所定の周期で各システムから上位層に送信（要求／応答型ではなく、要求なしの応答（配信）型を想定）	・情報提供システムへの要求事項の整理 (許容遅延など) ・遅延に起因する位置等の誤差の補正の必要性、必要な場合は補正方法 ・レイヤ内の機能分担 (複数のサービスが利用する共通のエンティティ等)	●	●
	輻輳制御 (帯域制御)	●	・送信側で設定した送信タイミング、優先度に基づき、必要に応じ処理を行う (上位層への通知等)	・通信要件の緩和（送信周期など）が必要となるため、通信要件の精査、見直しが今後実施される可能性を想定	・達成可能な通信条件の整理 ・下位レイヤにおける輻輳情報の活用可能性検討	●	●
	情報要素の多重分離	●	・セキュリティによるオーバヘッド削減のため、複数ユースケースのメッセージを同時に生成する場合、結合した情報要素を分離（ITS FORUM RC-017の付録1 4章におけるケース3) , 方式1の場合に該当）	・車両が送信するメッセージを対象（各情報要素のサイズがセキュリティによるオーバヘッドのサイズよりも十分に小さく、かつ結合後もメッセージ分割が不要なサイズである場合を想定） ・情報要素の多重後、セキュリティ処理を行う（結合したメッセージに署名を付加）	・メッセージフォーマットの見直し (多重した情報要素の識別方法) ・多重化する情報要素に関連する複数サービスの機能分担 (サブレイヤの必要性検討を含む)	●	–
	メッセージを結合	●	・下位層での受け取りが可能なサイズに分割されたメッセージを結合	・メッセージサイズが下位層で対応可能なサイズ（米国仕様の場合、2402バイト）を超える場合を想定 ・メッセージの分割後、セキュリティ処理を行う（分割したメッセージ毎にオーバヘッドが付加されるため、上位層での分割は必要最小限としたい）	・メッセージフォーマットの見直し (分割したメッセージの識別方法) ・レイヤ内の機能分担 (サブレイヤの必要性検討を含む)	●	–
	連送制御 (DSRCのみ)	●	・重複を含む全てのメッセージを上位層に渡す (ITS FORUM RC-015に準拠)	–	適切なパラメータの設定（連送回数）	–	–
	ハザード情報再送の重複を破棄	●	・ハザード情報を対象とし、受信済み情報との比較により重複を破棄	・ハザード情報の更新がない場合、2回目以降の送信は上位層で対応可能であり、アプリケーションの介在は不要	–	●	–
	ハザード情報を転送	●	・ハザード情報を対象とし、メッセージを受信し、かつユースケースの対象エリア内に存在する場合、転送を行う最新のメッセージをを保存/更新	・情報を更新しながら繰り返し送信を行うため、転送元はユースケース (サービス) 毎に最新のメッセージを判別する必要あり ・転送を行うユースケース (UC c-1, c-3) の通信シナリオを参考に、今後のユースケース拡張も考慮し、特定のユースケースに限定されない汎用的な方法として検討	・適切なパラメータの設定 (転送を行う周期) ・通信トラフィック量の削減方法 (他者が転送した場合の転送待ち時間の導入、位置情報の利用など) ・輻輳制御機能との連携の必要性、必要な場合は連携方法	●	–

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、－：未対応

表 5.1.4-9　通信プロトコル案 受信側の機能・動作（セキュリティ層、レイヤ 3-4）　[7]-[8], [18]-[20]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC, CV2X共通)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
セキュリティ層	送信元の真正性とメッセージの完全性を保証する情報（署名）を検証	●	・署名付きメッセージを検証	・上位層から要求（レイヤ4以下にはセキュリティ層における処理後のメッセージを渡す）	・詳細仕様の検討 ・オーバヘッドの見積もり精緻化（実際のサイズは変動あり）	●	●
トランスポート層(レイヤ4)	上位層のサービスを特定する情報を追加	●	・受信したパケットのメッセージに該当するユースケース(サービス) を特定する情報として、サービス毎に識別番号（米国の場合、PSID）を付加	・同報型、直接通信（転送なし）のユースケースが主要のため、信頼性・順序性確保の処理は不要 ・フレーム構成は、IEEE 1609.3を参考（今後の拡張性を考慮）	・サービス毎の識別番号の割当て、管理方法	●	●
ネットワーク層(レイヤ3)	ネットワーク上の宛先を特定	–	(機能なし)	・同報型、直接通信（転送なし）のユースケースが主要のため、経路制御は不要 ・フレーム構成は、IEEE 1609.3を参考（今後の拡張性を考慮）	・今後のユースケース拡張の可能性を踏まえた見直し検討	●	–
	再送データの重複を破棄	–				●	–
	パケットを転送	–				●	–

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、–：未対応

表 5.1.4-10　通信プロトコル案 受信側の機能・動作（DSRC のレイヤ 1-2）　[8]-[10], [21]-[23], [43]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (DSRC)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
－	チャネル割り当て	●	・該当チャネルで受信したメッセージを上位層に渡す	・割り当てチャネル数と同一の無線機（レイヤ2以下）を備える想定（同時送受信が可能） ・自律的な通信のため、チャネルはユースケース（サービス）毎に固定（事前に設定） ・上位層でメッセージ毎に設定したチャネルに基づき、処理を行う	・レイヤ3と複数のレイヤ2とのインタフェース方法（レイヤ2の選択機能をレイヤ3に追加、またはサブレイヤの検討） ・割り当てチャネル数未満の無線機を備えることを許容するか、許容する場合はチャネル切替方法	●	●
LLC (レイヤ2)	上位層のプロトコルを特定	●	・IEEE 1609.3に準拠 （ITS FORUM RC-015のインタフェースを見直し）	－	－	●	●
MAC (レイヤ2)	パケットを結合	●	・IEEE 802.11に準拠 （ITS FORUM RC-015にパケット分割、優先制御の機能を追加、インタフェースを見直し）	－	・送信元リンクを特定する情報（アドレス）の割当て方法 ・適切な通信パラメータの設定（受信バッファサイズ等）	●	●
	送信元リンクを特定	●				●	●
	輻輳制御（優先制御）	●		・送信側でメッセージ毎に設定した優先度に基づき、必要に応じ処理を行う（上位層への通知等）		●	●
	無線多重分離	●		・自律的な通信のため、通信パラメータは固定（事前に設定）		●	●
物理層 (レイヤ1)	受信後、復調、復号を行う	●	・ITS FORUM RC-015に準拠 （周波数帯は5.9GHz帯に見直し）	・自律的な通信のため、通信パラメータは固定（事前に設定）	－	●	●

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、－：未対応

表 5.1.4-11　通信プロトコル案 受信側の機能・動作（CV2X のレイヤ 1-2）　[8], [11]-[14], [24], [43]

レイヤ	機能・動作	5.9GHz帯 通信プロトコル案 (CV2X)				欧州仕様	米国仕様
		対応	機能・動作の詳細	前提条件	課題		
–	チャネル割り当て	●	・該当チャネルで受信したメッセージを上位層に渡す	・割り当てチャネル数と同一の無線機（レイヤ2以下）を備える想定（全てのチャネルの同時送受信が可能） ・自律的な通信のため、ユースケース（サービス）毎に使用するチャネルは固定（事前に設定） ・上位層でメッセージ毎に設定したチャネルに基づき、処理を行う	・レイヤ3と複数のレイヤ2とのインタフェース方法（レイヤ2の選択機能をレイヤ3に追加、またはサブレイヤの検討） ・割り当てチャネル数未満の無線機を備えることを許容するか、許容する場合はチャネル切替方法	●	●
PDCP (レイヤ2)	上位層のプロトコルを特定	●	・ITS FORUM RC-015に準拠（3GPP TS 36.323 に準拠）	–	–	●	●
RLC (レイヤ2)	パケットを分割	●	・ITS FORUM RC-015に準拠（3GPP TS 36.322 に準拠）	–	・送信元リンクを特定する情報（アドレス）の割当て方法 ・適切な通信パラメータの設定（リソース割り当て方法、再送回数等）	●	●
MAC (レイヤ2)	送信元リンクを特定	●	・ITS FORUM RC-015に準拠（3GPP TS 36.321 に準拠）			●	●
	輻輳制御（優先制御）	●		・送信側でメッセージ毎に設定した優先度に基づき、必要に応じ処理を行う（上位層への通知等）		●	●
	再送制御	●		・自律的な通信のため、通信パラメータは固定（事前に設定）		●	●
	無線多重分離	●				●	●
物理層 (レイヤ1)	受信後、復調、復号を行う	●	・ITS FORUM RC-015に準拠（3GPP TS 36.211-214 に準拠）	・自律的な通信のため、通信パラメータは固定（事前に設定）	–	●	●

●：対応（欧州仕様は検討例を含む）、–：未対応

(2) レイヤ間インタフェースの検討

本節では、5.9GHz 帯通信プロトコル案のレイヤ間インタフェースを検討した結果を述べる。以降では、検討方針（(a)節）に基づき、検討した検討案（(b)節）を述べる。

(a) 検討方針

5.9GHz 帯通信プロトコル案のレイヤ間インタフェースの検討方針を表 5.1.4-12 に示す。

機能・動作の検討（(1)節）において米国仕様をベースとしたため、レイヤ間インタフェースにおいても米国仕様 [7]-[10] （5.1.2(3)節で調査、整理した結果）を参考に、上位層からレイヤ 1～4 のパラメータを渡し、通信チャネルの割り当て（4.1 節）、上位層における通信制御方式（4.2 節）の優先度設定に基づく優先制御等、下位レイヤでの処理に必要なパラメータを割り当てる方針とした。

表 5.1.4-12　通信プロトコル案 レイヤ間インタフェースの検討方針

レイヤ	レイヤ間インタフェース（要求プリミティブのパラメータ）					
	米国			欧州		
	DSRC		CV2X	DSRC		CV2X
上位層 (レイヤ5～7 相当)	(明確な定義なし)			・イベントに関連する情報（検出時間、位置等） ・上位層の通信パラメータ（繰り返し間隔、転送の有無等） ・レイヤ3の ・メッセージ		
トランス ポート層 (レイヤ4)	・レイヤ4の通信パラメータ（上位層のサービスを特定する情報（PSID）） ・チャネルに割り当てに関するパラメータ（チャネル識別子、時間スロット） ・レイヤ2の通信パラメータ（宛先、優先度、終了時間） ・レイヤ1の通信パラメータ（送信電力、データ速度） ・メッセージ			・レイヤ4の （上位層 ・レイヤ3の （送信形 ・メッセージ		
ネットワーク層 (レイヤ3)				・レイヤ3の （送信形 ・メッセージ		
データリンク層 (レイヤ2)	LLC	・チャネル割り当てに関するパラメータ （チャネル識別子、時間スロット） ・レイヤ2の通信パラメータ （宛先、優先度、終了時間、チャネル識別子） ・レイヤ1の通信パラメータ（送信電力、データ速度） ・メッセージ（レイヤ3 PDU）	・送信機の設定パラメータ （チャネル等）（*1） ・レイヤ2の通信パラメータ （宛先、優先度、終了時間） ・レイヤ1の通信パラメータ （送信電力） ・メッセージ（レイヤ3 PDU）	LLC	・ラ （ ・M （ ・レ （ ・メッセージ（レイヤ3 PDU）	
	MAC	・チャネル割り当てに関するパラメータ （チャネル識別子、時間スロット） ・レイヤ2の通信パラメータ （宛先、優先度、終了時間、チャネル識別子） ・レイヤ1の通信パラメータ（送信電力、データ速度） ・メッセージ（LLC PDU）		MAC	・MACの通信パラメータ （送信元、宛先、優先度（*5）） ・レイヤ1の通信パラメータ （送信電力、MCS） ・メッセージ（LLC PDU）	
物理層 (レイヤ1)	・レイヤ1の通信パラメータ（送信電力、データ速度） ・メッセージ（MAC PDU）			・レイヤ1の通信パラメータ （送信電力、MCS） ・メッセージ（MAC PDU）		
セキュリティ層	・セキュリティ層のパラメータ（サービスを特定する情報（米国：PSID, 欧州：ITS-AID）（*2）等） ・メッセージ（要求側レイヤ PDU）					

レイヤ間インタフェースの検討方針は以下の通り。
- **米国仕様を参考（上位層からレイヤ1-4のパラメータを渡す）**
- **下位レイヤでの処理に必要なパラメータを割当て（チャネル割り当て、優先制御）**

（*1）レイヤ3-4の管理エンティティ経由　（*2）サービス固有の許可を反映するために必要　（*3）ネットワーク層で署名を行う場合
（*4）輻輳制御の管理エンティティ経由　（*5）レイヤ3の通信パラメータ（トラフィッククラス）に基づき設定

(b) 検討案

5.9GHz 帯通信プロトコル案のレイヤ間インタフェースの検討案について、無線通信方式（DSRC, CV2X）及びセキュリティ層毎に表 5.1.4-13～表 5.1.4-19 に示す。

無線通信方式を DSRC とした場合のレイヤ 1～4 のインタフェースは ITS FORUM RC-015 [43] をベースとし、要求/表示プリミティブにおいては米国仕様（IEEE1609.3 [8] ）を参考にレイヤ 2 での通信チャネルの割り当て、上位層における通信制御方式を踏まえた優先制御に必要なパラメータを追加した。

無線通信方式を CV2X とした場合のレイヤ 1～4 のインタフェースは米国仕様（IEEE 1609.3）と同様とした。

セキュリティ層のインタフェースは、米国仕様（IEEE 1609.2 [7] ）と同様の想定としたが、PSID, データ以外のセキュリティ関連パラメータの利用方法は、詳細仕様と併せて今後の検討が必要である。

表 5.1.4-13　通信プロトコル案 レイヤ間インタフェース（DSRC, 要求プリミティブ）

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層（レイヤ4, 3）	LLC（レイヤ2）	MAC（レイヤ2）	PHY（レイヤ1）
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage 要求	DL-UNITDATA 要求	MA-UNITDATA 要求	PHY-TXSTART 要求
パラメータ	PSID			
		送信元アドレス	送信元アドレス	
	ピアMACアドレス	宛先アドレス	宛先アドレス	
	ユーザ優先度	優先度	優先度	
	終了時間	Wsm終了時間	終了時間	
				TXベクトル
	チャネル識別子	チャネル識別子	チャネル識別子	
				PHY-DATA 要求
	長さ			
	データ	データ	データ	データ
				ユーザインデックス（*1）
				PHY-TXEND. 要求
				（パラメータなし）

（*1）特定の場合のみ、有効

※ITS FORUM RC-015では IEEE1609.3に準拠（本検討では、必要最小限のパラメータのみ示す）

※割り当てチャネル数と同一の無線機（レイヤ2以下）を備える場合、事前に設定したチャネルを変えないため不要だが、今後の使用可能性を考慮

① 要求 (request)
② 確認 (confirm)
③ 指示 (indication)
④ 応答 (response)

：上位層のプリミティブ（左側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

表 5.1.4-14　通信プロトコル案 レイヤ間インタフェース（DSRC, 確認プリミティブ）

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層 (レイヤ4, 3)	LLC (レイヤ2)	MAC (レイヤ2)	PHY (レイヤ1)
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage 確認	（該当なし）	（該当なし）	PHY-TXSTART 確認
パラメータ	結果コード	–	–	TXステータス
				PHY-DATA 確認
				(パラメータなし)
				PHY-TXEND 確認
				スクランブラまたはCRC (*1)

(*1) 特定の場合のみ、有効

表 5.1.4-15　通信プロトコル案 レイヤ間インタフェース（DSRC, 指示プリミティブ）

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層（レイヤ4, 3）	LLC（レイヤ2）	MAC（レイヤ2）	PHY（レイヤ1）
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage 表示	DL-UNITDATA 表示	MA-UNITDATA 表示	PHY-CCA 表示
パラメータ	PSID			
	ピアMACアドレス	送信元アドレス	送信元アドレス	
		宛先アドレス	宛先アドレス	
				ステート
	ユーザ優先度	優先度	優先度	
				IPIレポート (*1)
				チャネルリスト (*1)
				PHY-RXSTART 表示
				RXベクトル
				PHY-DATA 表示
	長さ	長さ		
	データ	データ	データ	データ
				PHY-RXEND 表示
				RCPI
				RXエラー

(*1) 特定の場合のみ、有効

※ITS FORUM RC-015では IEEE1609.3に準拠（本検討では、必要最小限のパラメータのみ示す）

：下位層のプリミティブ（右側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

表 5.1.4-16　通信プロトコル案 レイヤ間インタフェース（CV2X, 要求プリミティブ）

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層 (レイヤ4, 3)	LTE-V2X (レイヤ2, 1)
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage. request	AS-DATA. request
パラメータ	PSID	
	ピアMACアドレス	宛先アドレス
	ユーザ優先度	優先度
	終了時間	終了時間 (PDB)
	チャネル負荷	
	送信電力レベル	Tx電力レベル
	データ速度 (*1)	
	チャネル識別子	
	タイムスロット (*1)	
	情報要素インジケータ	
	長さ	
	データ	データ
		送信機プロファイルID
		時間信頼度の含有

(*1) LTE-V2Xの場合、未使用

：上位層のプリミティブ（左側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

表 5.1.4-17　通信プロトコル案 レイヤ間インタフェース（CV2X, 指示プリミティブ）

対象レイヤ	トランスポート層、ネットワーク層（レイヤ4, 3）	LTE-V2X（レイヤ2, 1）
プリミティブ名	WSM-WaveShortMessage.indication	AS-DATA.indication
パラメータ	PSID	
	ピアMACアドレス	送信元アドレス
	ユーザ優先度	
	チャネル負荷	
	送信電力レベル	
	データ速度	
	チャネル番号	
	長さ	
	データ	データ
	WSMPバージョン	

：下位層のプリミティブ（右側の列）で指定されたパラメータと同一（一部形式変更、データ追加あり）

表 5.1.4-18　通信プロトコル案 レイヤ間インタフェース（セキュリティ層、送信側）

対象レイヤ	セキュリティ層 (送信側)	
生成順	1	2
要求/確認	要求 (①)	確認 (②)
プリミティブ名	Sec-SignedData. request	Sec-SignedData. confirm
パラメータ	暗号マテリアルハンドル データ (*1) データ種別 (*1) 外部データのハッシュ (*1,2) 外部データのハッシュアルゴリズム (*1,2) PSID 生成時刻の設定 (*3) 生成場所の設定 (*4) 終了時間 (*1,2) 署名者識別子の種別 署名者識別子の証明書チェーンの長さ (*1) 証明書チェーンの最大長 (*1) 高速検証付き署名 楕円曲線点のフォーマット ピアツーピア証明書配布の使用 SDEE ID (*1)	署名付きデータ 結果コード

(*1) オプション
(*2) BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1) の場合、未使用
(*3) BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1) の場合、有効に設定
(*4) BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1) の場合、無効に設定

表 5.1.4-19　通信プロトコル案 レイヤ間インタフェース（セキュリティ層、受信側）

対象レイヤ	セキュリティ層 （受信側）			
生成順	1	2	3	4
要求/確認	要求（①）	確認（②）	要求（①′）	確認（②′）
プリミティブ名	Sec-SecureData Preprocessing.request	Sec-SecureData Preprocessing.confirm	Sec-SignedData Verification.request	Sec-SignedData Verification.confirm
パラメータ	SDEE ID (*1) PSID データ

5.1.5 700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法検討

本節では、5.9GHz 帯通信プロトコルの概要案（5.1.3 節）及び詳細仕様案（5.1.4 節）の検討結果を踏まえ、国内における既存の ITS 用無線通信規格（700MHz 帯高度道路交通システム[3]）との連携方法について検討した結果を述べる。以降では、検討方針（(1)節）に基づき、検討した検討案（(2)節）を述べる。

(1) 検討方針

700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法の検討方針を図 5.1.5-1 に示す。700MHz 帯と 5.9GHz 帯の通信プロトコル間では、今後の国際動向との調和を考慮した場合に、スタック構成やセキュリティ方式などが異なる可能性があるため、レイヤ 7 以下での連携は行わず（レイヤ 7 以下の変更なし）、レイヤ 7 よりも上位での連携を検討する。

図 5.1.5-1　700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法 検討方針 [3]

(2) 検討案

700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法案を表 5.1.6-2 に示す。

連携度合いにより、3 種類を検討の上、メリット、課題、構成を整理した。開発ロードマップや普及状況を踏まえ、各ユースケースについて 700MHz 帯及び 5.9GHz 帯への通信チャネルの割り当て方法の検討が今後必要である。また両周波数帯での新たなシステム（自動運転）の実現にあたっては、既存システムとの共存方法や後方互換性など、課題の整理が今後必要であると考えられる。

表 5.1.5-1　700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法案

案	案1	案2	案3
連携方法	**事前に周波数帯を決定（連携なし）**	**アプリケーションから周波数帯を選択**	**アプリケーション外で周波数帯を選択**
メリット	既存アプリケーションの改修が不要	普及状況等に応じて、アプリケーションで使用する周波数の切替が可能	システム全体で周波数利用効率を鑑みて、周波数を決定することが可能
課題	アプリケーションで使用する周波数を見直した場合の対応方法	各アプリケーションで使用する周波数を分散させる方法の検討	700MHz帯と5.9GHz帯を共用するための管理レイヤの検討
構成			

5.1.6　SIP UC の通信シナリオ例に基づく通信シーケンスの詳細化・検討案の妥当性確認

本節では、作成した通信プロトコル案（5.1.3～5.1.4 節）を踏まえ、SIP UC の通信シナリオ例に基づく通信シーケンス [2]（ITS FORUM RC-017 参照）を通信プロトコル案のレイヤ区分、レイヤ間インタフェースに基づき詳細化することで、機能・動作・インタフェース等の妥当性確認を実施した結果を述べる。以降では、実施内容（(1)節）に従い、通信シーケンスの詳細化（(2)節）を実施し、検討案の妥当性確認（(3)節）を実施した結果を述べる。

(1) 実施内容

はじめに、SIP UC の通信シナリオ例に基づく通信シーケンス（ITS FORUM RC-017 参照）をベースに、通信メッセージの発生条件、送受信の手順等について整理を行う。続いて、設計した通信プロトコル案に基づき、路側インフラ/車両毎に、アプリケーション及び各通信レイヤを細分化し、アプリケーション及び通信レイヤ毎の通信メッセージの発生条件、送受信の手順等を整理する（通信シーケンスを詳細化する）。最後に、通信シーケンス詳細化の結果を踏まえ、通信プロトコル案の機能・動作・インタフェース等について妥当性の確認を行う。

上記で説明した SIP UC の通信シナリオ例に基づく通信シーケンスの一例を図 5.1.6-1、通信シーケンスの詳細化イメージを図 5.1.6-2 に示す。

図 5.1.6-1　通信シナリオ例に基づく通信シーケンスの一例 [2]

図 5.1.6-2　通信シーケンスの詳細化イメージ

(2) 通信シーケンスの詳細化

本節では、実施内容（(1)節）に従い、SIP UC の通信シナリオ例に基づく通信シーケンス（ITS FORUM RC-017 参照）を通信プロトコル案のレイヤ区分、レイヤ間インタフェースに基

づき詳細化した結果を述べる。以降では、ユースケース毎の詳細化（(a)節）、レイヤ 7 以下の詳細化（(b)節）、通信メッセージ毎の詳細化（(c)節）の順に述べる。

上記 3 種類の詳細化について、説明する。「ユースケース毎の詳細化」は、アプリケーション及び上位層（レイヤ 5～7）のみ整理した。上位層以外の通信レイヤ（レイヤ 1～4、セキュリティ層）の通信シーケンスは全てのユースケースで共通のため、「レイヤ 7 以下の詳細化」として別途整理した。また、複数のメッセージを使用するユースケースも存在するため、ユースケース毎の詳細化の事前準備として、通信メッセージ毎に細分化した詳細化を実施したため、参考として、「通信メッセージ毎の詳細化」の整理結果も記載した。

(a) ユースケース毎の詳細化

ユースケース毎に詳細化した通信シーケンスを図 5.1.6-3～図 5.1.6-15 に示す（ユースケースと図番号との対応は、表 5.1.6-1 を参照）。信号情報及び交差点情報を送信するユースケース（UC b-1-1, c-2-2）におけるアプリケーション及び各無線レイヤの処理・機能分担については、「平成 30 年度成果報告書 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）／ 自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査」 [44] を参考とした。

管制/合意のユースケース（調停情報を送受信する UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3）の場合、路側インフラー車両間又は車両同士の要求/応答による通信（調停要求/更新応答後、更新要求/更新応答を繰り返し）により要求待ち/応答待ちが発生するため、状態管理が必要と考えられ、今後の詳細検討が必要である。また調停要求は宛先範囲、更新要求/更新応答は宛先の特定が必要であり、これら要求/応答及び宛先の特定は、アプリケーションによる機能分担を想定した。

その他のユースケースの場合、路側インフラは外部の計測システム等より、車両は車載センサ等より情報を取得し、周期的に送信する（非周期型のユースケースの場合、イベント発生以降は周期的に送信）。欧米仕様 [4]-[5], [35], [37]-[38], [40]-[41] を参考に、複数のユースケースで共通となる車両基本情報の送信は上位層、その他の情報の送信はアプリケーションによる機能分担を想定した。

ハザード情報を送信するユースケースにおいて、リレー（転送）を行う場合（UC c-1, c-3）及び情報を周期的に再送する場合（UC d-1～5）、欧州仕様 [38] を参考に、上位層による機能分担を想定した。

宛先のアプリケーションは、路側インフラの場合は受信した情報を外部に提供し、車両の場合は受信した情報及び自身の車載センサ等の情報等より走行計画の見直し等を行う。

表 5.1.6-1　ユースケース毎の詳細化結果と図番号との対応

機能分類	ユースケース	通信形態	情報要素		アプリケーション			上位層		対応する図番号
					宛先の特定	周期的に送信	要求/応答	周期的に送信	リレー(転送)	
a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援	I2V	ユースケース固有情報	周辺車両情報	－	●	－	－	－	図 5.1.6-3
	a-1-2.本線隙間狙い合流支援									－（UC a-1-1 と同様）
	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援									図 5.1.6-4～図 5.1.6-5
		V2I, I2V		調停情報	●	－	●	－	－	
	a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援	V2V								図 5.1.6-6
	a-2.混雑時の車線変更の支援									－（UC a-1-4 と同様）
	a-3.混雑時の非優先道路から優先道路への進入支援									－（UC a-1-4 と同様）
b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援	I2V		交差点情報	－	●	－	－	－	図 5.1.6-7
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		ハザード情報	－	●	－	－	●	図 5.1.6-8
	c-2-1.交差点の情報による走行支援 (V2V)		車両基本情報		－	－	－	●	－	図 5.1.6-9
	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	I2V	ユースケ	交差点情報	－	●	－	－	－	図 5.1.6-10

			ース固有情報	周辺車両情報	－	●	－	－	－	
	c-3.ハザード情報による衝突回避支援	V2V		ハザード情報	－	●	－	－	●	－（UC c-1 と同様）
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	I2V, V2I		ハザード情報	－	●（I2V）	－	●（再送）	－	図 5.1.6-11
	d-2.逆走車の通知による走行支援									－（UC d-1 と同様）
	d-3.渋滞の情報による走行支援									－（UC d-1 と同様）
	d-4.分岐・出口渋滞支援									－（UC d-1 と同様）
	d-5.ハザード情報による走行支援	I2V								－（UC d-1 と同様）
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			ハザード情報	－	●	－	－	－	図 5.1.6-12
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	V2I	車両基本情報		－	－	－	●	－	図 5.1.6-13
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	ユースケース固有情報	後続車無人隊列走行情報	－	●	－	－	－	図 5.1.6-14
	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		後続車有人隊列走行情報	－	●	－	－	－	図 5.1.6-15

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**
	a-1-x
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
No.	a-1-1
メッセージ名	位置情報
通信形態	I2V
通信相手	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**
送信周期	**0.1s**
リレー（転送）	**なし**

図 5.1.6-3　詳細化した通信シーケンス（UC a-1-1）

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**
機能分類	a.合流・車線変更支援
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援
No.	a-1-3
メッセージ名	位置情報
通信形態	I2V
通信相手	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**
送信周期	**0.1s**
リレー（転送）	**なし**

走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）		
ユースケース固有情報（調停情報）		
a.合流・車線変更支援		
路側管制による本線車両協調合流支援		
a-1-3		
管制要求	調停要求更新要求	調停応答更新応答
V2I	I2V	V2I
非特定車両/特定車両		路側インフラ
非周期型		
－		
なし		

図 5.1.6-4　詳細化した通信シーケンス（UC a-1-3 (1/2)）

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**
機能分類	a.合流・車線変更支援
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援
No.	a-1-3
メッセージ名	位置情報
通信形態	I2V
通信相手	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**
送信周期	**0.1s**
リレー（転送）	**なし**

走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）		
ユースケース固有情報（調停情報）		
a.合流・車線変更支援		
路側管制による本線車両協調合流支援		
a-1-3		
管制要求	調停要求更新要求	調停応答更新応答
V2I	I2V	V2I
非特定車両/特定車両		路側インフラ
非周期型		
－		
なし		

図 5.1.6-5　詳細化した通信シーケンス（UC a-1-3 (2/2)）

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**
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
No.	a-1-4
メッセージ名	調停要求 / 調停応答 更新要求 / 更新応答
通信形態	V2V
通信相手	非特定車両/特定車両
周期型/非周期型	**非周期型**
送信周期	**－**
リレー（転送）	**なし**

図 5.1.6-6　詳細化した通信シーケンス（UC a-1-4）

メッセージの内容	信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）
情報要素	**ユースケース固有情報（交差点情報）**
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
No.	b-1-1
メッセージ名	–
通信形態	I2V
通信相手	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**
送信周期	**0.1s**
リレー（転送）	**なし**

※参考文献：
平成 30 年度成果報告書 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）／ 自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査

図 5.1.6-7　詳細化した通信シーケンス（UC b-1-1）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）	検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）
情報要素	**車両基本情報**	**ユースケース固有情報（ハザード情報）**
		c-1, c-3
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	
No.	c-1	
メッセージ名	–	
通信形態	V2V	
通信相手	非特定車両	
周期型／非周期型	**周期型**	**非周期型**
送信周期	**0.1s**	
リレー（転送）	**なし**	**あり**

図 5.1.6-8　詳細化した通信シーケンス（UC c-1）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）
情報要素	**車両基本情報**
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（V2V）
No.	c-2-1
メッセージ名	–
通信形態	V2V
通信相手	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**
送信周期	**0.1s**
リレー（転送）	**なし**

図 5.1.6-9　詳細化した通信シーケンス（UC c-2-1）

メッセージの内容	信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）
情報要素	**ユースケース固有情報（交差点情報）**	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**
		c-2-2
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（V2I）	
No.	c-2-2	
メッセージ名	–	
通信形態	I2V	
通信相手	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**	
送信周期	**0.1s**	
リレー（転送）	**なし**	

※参考文献：
平成 30 年度成果報告書 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）／ 自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査

図 5.1.6-10　詳細化した通信シーケンス（UC c-2-2）

メッセージの内容	検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）	
情報要素	**ユースケース固有情報（ハザード情報）**	
	d-x	
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	
No.	d-1	
メッセージ名	–	
通信形態	V2I	I2V
通信相手	非特定車両	
周期型/非周期型	**非周期型**	
送信周期	**–**	**1s**
リレー（転送）	**なし**	

図 5.1.6-11　詳細化した通信シーケンス（UC d-1）

メッセージの内容	検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）
情報要素	**ユースケース固有情報（ハザード情報）**
	e-1
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
通信相手	非特定車両
周期型/非周期型	**非周期型**
送信周期	**0.1s**
リレー（転送）	**なし**

図 5.1.6-12　詳細化した通信シーケンス（UC e-1）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）
情報要素	**車両基本情報**
機能分類	f.インフラによる情報収集・配信
ユースケース	交通流の最適化のための情報収集
No.	f-2
メッセージ名	–
通信形態	V2I
通信相手	路側インフラ
周期型/非周期型	**周期型**
送信周期	**1s**
リレー（転送）	**なし**

図 5.1.6-13　詳細化した通信シーケンス（UC f-2）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）	隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）
情報要素	**車両基本情報**	**ユースケース固有情報（後続車無人隊列走行情報）**
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	
No.	g-1	
メッセージ名	–	
通信形態	V2V	
通信相手	特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**	
送信周期	**0.02～0.1s**	
リレー（転送）	**なし**	

図 5.1.6-14　詳細化した通信シーケンス（UC g-1）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）	隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）
情報要素	**車両基本情報**	**ユースケース固有情報（後続車有人隊列走行情報）**
機能分類	g.隊列・追従走行	
ユースケース	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-2	
メッセージ名	–	
通信形態	V2V	
通信相手	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**	
送信周期	**0.1s**	
リレー（転送）	**なし**	

図 5.1.6-15　詳細化した通信シーケンス（UC g-2）

(b) レイヤ 7 以下の詳細化

上位層（レイヤ 5～7）以下を詳細化した通信シーケンスを図 5.1.6-16～図 5.1.6-18 に示す。

メッセージの分割が発生しない場合（図 5.1.6-16）、送信元の上位層（レイヤ 5～7）はアプリケーションから通信メッセージを受け取り、セキュリティ層に電子署名を要求し、セキュリティ層により作成された署名付きメッセージを受け取り、下位層（レイヤ 4）に渡す。宛先の上位層（レイヤ 5～7）は下位層（レイヤ 4）から署名付きメッセージを受け取り、セキュリティ層に前処理と電子署名の検証を要求し、セキュリティ層から問題なしの応答が得られた場合、アプリケーションに通信メッセージを渡す。

下位層（レイヤ 4）で受け取りが可能なサイズを超えるため、上位層によるメッセージの分割が発生する場合（図 5.1.6-17）、上位層（レイヤ 5～7）は通信メッセージの分割を行う。分割後の各メッセージの処理は、メッセージの分割が発生しない場合と同様である。分割したメッセージ毎に電子署名を付加する必要があるため、分割した数だけ、セキュリティによるオーバヘッドのサイズが増加する。

下位層（レイヤ 1）で受け取り可能なサイズを超えるため、レイヤ 2 によるメッセージの分割が発生する場合（図 5.1.6-18）レイヤ 2 はメッセージの分割を行う。レイヤ 2 よりも上位の層（レイヤ 3 以上）における処理は、メッセージの分割が発生しない場合と同様である。この場合、上位層（レイヤ 5～7）で分割は発生しないため、セキュリティによるオーバヘッドのサイズはメッセージの分割が発生しない場合と同じである。

図 5.1.6-16　レイヤ 7 以下を詳細化した通信シーケンス（メッセージの分割なし）

図 5.1.6-17　レイヤ 7 以下を詳細化した通信シーケンス（上位層によるメッセージの分割あり）

図 5.1.6-18　レイヤ 7 以下を詳細化した通信シーケンス（レイヤ 2 によるメッセージの分割あり）

(c) 通信メッセージ毎の詳細化（参考）

ユースケース毎の詳細化の事前準備として、通信メッセージ（ITS FORUM RC-017 付録 1 に記載の「情報要素」）毎に詳細化した通信シーケンスを図 5.1.6-19～図 5.1.6-32 に示す（ユースケースと図番号との対応は、表 5.1.6-2 を参照）。ここでは、通信メッセージ毎の通信シーケンスを①周期型、②非周期型（非周期的、リレー（転送）なし）、③非周期型（周期的に送信、リレー（転送）なし）、④非周期型（周期的に送信、リレー（転送）あり）の 4 つに分類して、整理した（①～④は、表 5.1.6-2 の「通信パタン」の列に対応）。

表 5.1.6-2　通信メッセージ（情報要素）毎の詳細化結果と図番号との対応

情報要素			機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	周期型/非周期型	周期的に送信	リレー(転送)	通信パタン	対応する図番号
車両基本情報			c.先読み情報:衝突回避	c-2-1.交差点の情報による走行支援 (V2V)	—	V2V	周期型	あり	なし	①	図 5.1.6-19
			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		V2I					図 5.1.6-20
ユースケース固有情報	交差点情報		b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援		I2V					図 5.1.6-21
			c.先読み情報:衝突回避	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)							図 5.1.6-22
	周辺車両情報	c-2-2									
		a-1-x	a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援	位置情報						図 5.1.6-23
				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							
	後続車無人隊列走行情報		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					図 5.1.6-24
	後続車有人隊列走行情報			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 5.1.6-25
ユースケース固有情報	調停情報		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	管制要求	V2I	非周期型	なし	なし	②	図 5.1.6-26
					調停要求/更新要求	I2V					図 5.1.6-27
					調停応答/更新応答	V2I					図 5.1.6-26
				a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援	調停要求/更新要求	V2V					図 5.1.6-28
					調停応答/更新応答						
				a-2.混在時の車線変更の支援	調停要求/更新要求						
					調停応答/更新応答						
				a-3.混雑時の非優先道路から優先道路への進入支援	調停要求/更新要求						
					調停応答/更新応答						
	ハザード情報	d-x	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	—	V2I					図 5.1.6-29
				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							
ユースケース固有情報	ハザード情報	e-1	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	—	V2V	非周期型	あり	なし	③	図 5.1.6-30
		d-x	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		I2V					図 5.1.6-31
				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							
ユースケース固有情報	ハザード情報	c-1, c-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	—	V2V	非周期型	あり	あり	④	図 5.1.6-32
				c-3.ハザード情報による衝突回避支援							

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）		信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）	
情報要素	**車両基本情報**		**ユースケース固有情報（交差点情報）**	
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	f.インフラによる情報収集・配信	b.信号情報	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（V2V）	交通流の最適化のための情報収集	信号情報による走行支援	交差点の情報による走行支援（V2I）
No.	c-2-1	f-2	b-1-1	c-2-2
メッセージ名	–		–	
通信形態	V2V	V2I	I2V	
通信相手	非特定車両	路側インフラ	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**			
送信周期	**0.1s**	**1s**	**0.1s**	
リレー(転送)	**なし**			

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）				隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）	隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**				**ユースケース固有情報（後続車無人隊列走行情報）**	**ユースケース固有情報（後続車有人隊列走行情報）**
	c-2-2	**a-1-x**				
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	a.合流・車線変更支援			g.隊列・追従走行	
ユースケース	交差点の情報による走行支援（V2I）	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	電子牽引による後続車無人隊列走行	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.	c-2-2	a-1-1	a-1-2	a-1-3	g-1	g-2
メッセージ名	–	位置情報			–	–
通信形態	I2V				V2V	
通信相手	非特定車両				特定車両	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**					
送信周期	**0.1s**				**0.02～0.1s**	**0.1s**
リレー(転送)	**なし**					

図 5.1.6-19　詳細化した通信シーケンス（車両基本情報、V2V の場合）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）		信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）	
情報要素	**車両基本情報**		**ユースケース固有情報（交差点情報）**	
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	f.インフラによる情報収集・配信	b.信号情報	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（V2V）	交通流の最適化のための情報収集	信号情報による走行支援	交差点の情報による走行支援（V2I）
No.	c-2-1	f-2	b-1-1	c-2-2
メッセージ名	–		–	
通信形態	V2V	V2I	I2V	
通信相手	非特定車両	路側インフラ	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**			
送信周期	**0.1s**	**1s**	**0.1s**	
リレー(転送)	**なし**			

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）				隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）	隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**				**ユースケース固有情報（後続車無人隊列走行情報）**	**ユースケース固有情報（後続車有人隊列走行情報）**
	c-2-2	**a-1-x**				
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	a.合流・車線変更支援			g.隊列・追従走行	
ユースケース	交差点の情報による走行支援（V2I）	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	電子牽引による後続車無人隊列走行	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.	c-2-2	a-1-1	a-1-2	a-1-3	g-1	g-2
メッセージ名	–	位置情報			–	–
通信形態	I2V				V2V	
通信相手	非特定車両				特定車両	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**					
送信周期	**0.1s**				**0.02～0.1s**	**0.1s**
リレー(転送)	**なし**					

図 5.1.6-20　詳細化した通信シーケンス（車両基本情報、V2I の場合）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）		信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）	
情報要素	**車両基本情報**		**ユースケース固有情報（交差点情報）**	
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	f.インフラによる情報収集・配信	b.信号情報	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（V2V）	交通流の最適化のための情報収集	信号情報による走行支援	交差点の情報による走行支援（V2I）
No.	c-2-1	f-2	b-1-1	c-2-2
メッセージ名	–		–	
通信形態	V2V	V2I	I2V	
通信相手	非特定車両	路側インフラ	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**			
送信周期	**0.1s**	**1s**	**0.1s**	
リレー(転送)	**なし**			

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）				隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）	隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**				**ユースケース固有情報（後続車無人隊列走行情報）**	**ユースケース固有情報（後続車有人隊列走行情報）**
	c-2-2	**a-1-x**				
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	a.合流・車線変更支援			g.隊列・追従走行	
ユースケース	交差点の情報による走行支援（V2I）	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	電子牽引による後続車無人隊列走行	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.	c-2-2	a-1-1	a-1-2	a-1-3	g-1	g-2
メッセージ名	–	位置情報			–	–
通信形態	I2V				V2V	
通信相手	非特定車両				特定車両	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**					
送信周期	**0.1s**				**0.02～0.1s**	**0.1s**
リレー(転送)	**なし**					

※参考文献：
平成 30 年度成果報告書 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）／ 自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査

図 5.1.6-21　詳細化した通信シーケンス（交差点情報）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）		信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）	
情報要素	**車両基本情報**		**ユースケース固有情報（交差点情報）**	
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	f.インフラによる情報収集・配信	b.信号情報	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（V2V）	交通流の最適化のための情報収集	信号情報による走行支援	交差点の情報による走行支援（V2I）
No.	c-2-1	f-2	b-1-1	c-2-2
メッセージ名	–		–	
通信形態	V2V	V2I	I2V	
通信相手	非特定車両	路側インフラ	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**			
送信周期	**0.1s**	**1s**	**0.1s**	
リレー(転送)	**なし**			

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）				隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）	隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**				**ユースケース固有情報（後続車無人隊列走行情報）**	**ユースケース固有情報（後続車有人隊列走行情報）**
	c-2-2	**a-1-x**				
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	a.合流・車線変更支援			g.隊列・追従走行	
ユースケース	交差点の情報による走行支援（V2I）	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	電子牽引による後続車無人隊列走行	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.	c-2-2	a-1-1	a-1-2	a-1-3	g-1	g-2
メッセージ名	–	位置情報			–	–
通信形態		I2V			V2V	
通信相手	非特定車両				特定車両	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**					
送信周期		**0.1s**			**0.02～0.1s**	**0.1s**
リレー(転送)	**なし**					

※参考文献：
平成 30 年度成果報告書 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）／ 自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査

図 5.1.6-22　詳細化した通信シーケンス（周辺車両情報（UC c-2-2））

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）		信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）	
情報要素	**車両基本情報**		**ユースケース固有情報（交差点情報）**	
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	f.インフラによる情報収集・配信	b.信号情報	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（V2V）	交通流の最適化のための情報収集	信号情報による走行支援	交差点の情報による走行支援（V2I）
No.	c-2-1	f-2	b-1-1	c-2-2
メッセージ名	–		–	
通信形態	V2V	V2I	I2V	
通信相手	非特定車両	路側インフラ	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**			
送信周期	**0.1s**	**1s**	**0.1s**	
リレー(転送)	**なし**			

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）				隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）	隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**				**ユースケース固有情報（後続車無人隊列走行情報）**	**ユースケース固有情報（後続車有人隊列走行情報）**
	c-2-2	**a-1-x**				
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	a.合流・車線変更支援			g.隊列・追従走行	
ユースケース	交差点の情報による走行支援（V2I）	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	電子牽引による後続車無人隊列走行	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.	c-2-2	a-1-1	a-1-2	a-1-3	g-1	g-2
メッセージ名	–	位置情報			–	–
通信形態		I2V			V2V	
通信相手	非特定車両				特定車両	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**					
送信周期		**0.1s**			**0.02～0.1s**	**0.1s**
リレー(転送)	**なし**					

図 5.1.6-23　詳細化した通信シーケンス（周辺車両情報（UC a-1-x））

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）		信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）	
情報要素	**車両基本情報**		**ユースケース固有情報（交差点情報）**	
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	f.インフラによる情報収集・配信	b.信号情報	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（V2V）	交通流の最適化のための情報収集	信号情報による走行支援	交差点の情報による走行支援（V2I）
No.	c-2-1	f-2	b-1-1	c-2-2
メッセージ名	–		–	
通信形態	V2V	V2I	I2V	
通信相手	非特定車両	路側インフラ	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**			
送信周期	**0.1s**	**1s**	**0.1s**	
リレー(転送)	**なし**			

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）				隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）	隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**				**ユースケース固有情報（後続車無人隊列走行情報）**	**ユースケース固有情報（後続車有人隊列走行情報）**
	c-2-2	**a-1-x**				
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	a.合流・車線変更支援			g.隊列・追従走行	
ユースケース	交差点の情報による走行支援（V2I）	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	電子牽引による後続車無人隊列走行	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.	c-2-2	a-1-1	a-1-2	a-1-3	g-1	g-2
メッセージ名	–	位置情報			–	–
通信形態	I2V				V2V	
通信相手	非特定車両				特定車両	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**					
送信周期	**0.1s**				**0.02～0.1s**	**0.1s**
リレー(転送)	**なし**					

図 5.1.6-24　詳細化した通信シーケンス（後続車無人隊列走行情報）

メッセージの内容	車両状態・属性（位置、速度、寸法、車種等）		信号情報（信号機の灯色情報、信号サイクル情報等）	
情報要素	**車両基本情報**		**ユースケース固有情報（交差点情報）**	
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	f.インフラによる情報収集・配信	b.信号情報	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（V2V）	交通流の最適化のための情報収集	信号情報による走行支援	交差点の情報による走行支援（V2I）
No.	c-2-1	f-2	b-1-1	c-2-2
メッセージ名	–		–	
通信形態	V2V	V2I	I2V	
通信相手	非特定車両	路側インフラ	非特定車両	
周期型/非周期型	**周期型**			
送信周期	**0.1s**	**1s**	**0.1s**	
リレー(転送)	**なし**			

メッセージの内容	車両検知情報（センサ情報、検知した車両の速度・位置等）				隊列車両の操作情報（ブレーキ、アクセル等）	隊列に関する情報（追従可否、先行車ID等）
情報要素	**ユースケース固有情報（周辺車両情報）**				**ユースケース固有情報（後続車無人隊列走行情報）**	**ユースケース固有情報（後続車有人隊列走行情報）**
	c-2-2	**a-1-x**				
機能分類	c.先読み情報：衝突回避	a.合流・車線変更支援			g.隊列・追従走行	
ユースケース	交差点の情報による走行支援（V2I）	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	電子牽引による後続車無人隊列走行	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.	c-2-2	a-1-1	a-1-2	a-1-3	g-1	g-2
メッセージ名	–	位置情報			–	–
通信形態	I2V				V2V	
通信相手	非特定車両				特定車両	非特定車両
周期型/非周期型	**周期型**					
送信周期	**0.1s**				**0.02～0.1s**	**0.1s**
リレー(転送)	**なし**					

図 5.1.6-25　詳細化した通信シーケンス（後続車有人隊列走行情報）

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）					
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**					
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		混雑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					
通信相手	非特定車両/特定車両					
周期型/非周期型	**非周期型**					
送信周期	**－**					
リレー(転送)	**なし**					

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）			検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）			
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**			**ユースケース固有情報（ハザード情報）**			
				d-x			
機能分類	a.合流・車線変更支援			d. 先読み情報：走行計画変更			
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援			異常車両の通知による走行支援	逆走者の通知による走行支援	渋滞の情報による衝突回避支援	分岐・出口渋滞支援
No.	a-1-3			d-1	d-2	d-3	d-4
メッセージ名	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	I2V		V2I			
通信相手	非特定車両/特定車両		路側インフラ				
周期型/非周期型	**非周期型**						
送信周期	**－**						
リレー(転送)	**なし**						

(*) 管制要求：ユースケース発生条件を満たす場合（連絡路の車両が位置情報メッセージを受信し、特定地点に位置すると判断した場合）
調停応答：調停要求を受信し、自車の位置が要求範囲内と判断した場合
更新応答：自車宛ての更新要求を受信した場合

図 5.1.6-26　詳細化した通信シーケンス（調停情報、V2I の場合）

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）					
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**					
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		混雑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					
通信相手	非特定車両/特定車両					
周期型/非周期型	**非周期型**					
送信周期	**－**					
リレー(転送)	**なし**					

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）			検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）			
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**			**ユースケース固有情報（ハザード情報）**			
				d-x			
機能分類	a.合流・車線変更支援			d. 先読み情報：走行計画変更			
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援			異常車両の通知による走行支援	逆走者の通知による走行支援	渋滞の情報による衝突回避支援	分岐・出口渋滞支援
No.	a-1-3			d-1	d-2	d-3	d-4
メッセージ名	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	I2V		V2I			
通信相手	非特定車両/特定車両		路側インフラ				
周期型/非周期型	**非周期型**						
送信周期	**－**						
リレー(転送)	**なし**						

図 5.1.6-27　詳細化した通信シーケンス（調停情報、I2V の場合）

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）					
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**					
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		混雑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					
通信相手	非特定車両/特定車両					
周期型/非周期型	**非周期型**					
送信周期	**－**					
リレー(転送)	**なし**					

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）			検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）			
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**			**ユースケース固有情報（ハザード情報）**			
				d-x			
機能分類	a.合流・車線変更支援			d. 先読み情報：走行計画変更			
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援			異常車両の通知による走行支援	逆走者の通知による走行支援	渋滞の情報による衝突回避支援	分岐・出口渋滞支援
No.	a-1-3			d-1	d-2	d-3	d-4
メッセージ名	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	I2V	V2I				
通信相手	非特定車両/特定車両		路側インフラ				
周期型/非周期型	**非周期型**						
送信周期	**－**						
リレー(転送)	**なし**						

(*) 調停要求：ユースケース発生条件を満たす場合（合流起点への到達等）
調停応答：調停要求を受信し、自車の位置が要求範囲内と判断した場合
更新要求：自車宛ての調停応答または更新応答を受信し、調停が必要（混雑による速度低下等）と判断した場合
更新応答：自車宛ての更新要求を受信した場合

図 5.1.6-28　詳細化した通信シーケンス（調停情報、V2V の場合）

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）					
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**					
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		混雑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					
通信相手	非特定車両/特定車両					
周期型/非周期型	**非周期型**					
送信周期	**–**					
リレー(転送)	**なし**					

メッセージの内容	走行目標に関する情報（目標速度/車線/車間距離、返信要求範囲等）			検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）		
情報要素	**ユースケース固有情報（調停情報）**			**ユースケース固有情報（ハザード情報）**		
				d-x		
機能分類	a.合流・車線変更支援			d. 先読み情報：走行計画変更		
ユースケース	路側管制による本線車両協調合流支援			異常車両の通知による走行支援	逆走者の通知による走行支援	渋滞の情報による衝突回避支援	分岐・出口渋滞支援
No.	a-1-3			d-1	d-2	d-3	d-4
メッセージ名	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	I2V		V2I			
通信相手	非特定車両/特定車両		路側インフラ				
周期型/非周期型	**非周期型**						
送信周期	**–**						
リレー(転送)	**なし**						

図 5.1.6-29　詳細化した通信シーケンス（ハザード情報（UC d-x）、V2I の場合）

メッセージの内容	検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）					
情報要素	**ユースケース固有情報（ハザード情報）**					
	e-1	**d-x**				
機能分類	e.先読み情報：緊急車両回避	d. 先読み情報：走行計画変更				
ユースケース	緊急車両の情報による走行支援	異常車両の通知による走行支援	逆走者の通知による走行支援	渋滞の情報による衝突回避支援	分岐・出口渋滞支援	ハザード情報による走行支援
No.	e-1	d-1	d-2	d-3	d-4	d-5
メッセージ名	–					
通信形態	V2V	I2V				
通信相手	非特定車両					
周期型/非周期型	**非周期型**					
送信周期	**0.1s**	**1s**				
リレー(転送)	**なし**					

図 5.1.6-30　詳細化した通信シーケンス（ハザード情報（UC e-1））

メッセージの内容	検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）					
情報要素	**ユースケース固有情報（ハザード情報）**					
	e-1	**d-x**				
機能分類	e.先読み情報：緊急車両回避	d. 先読み情報：走行計画変更				
ユースケース	緊急車両の情報による走行支援	異常車両の通知による走行支援	逆走者の通知による走行支援	渋滞の情報による衝突回避支援	分岐・出口渋滞支援	ハザード情報による走行支援
No.	e-1	d-1	d-2	d-3	d-4	d-5
メッセージ名		–				
通信形態	V2V	I2V				
通信相手	非特定車両					
周期型/非周期型	**非周期型**					
送信周期	**0.1s**	**1s**				
リレー(転送)	**なし**					

図 5.1.6-31　詳細化した通信シーケンス（ハザード情報（UC d-x）、I2V の場合）

メッセージの内容	検出したイベント情報（発生時刻、種別、位置等）	
情報要素	**ユースケース固有情報（ハザード情報）**	
	c-1, c-3	
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	ハザード情報による衝突回避支援
No.	c-1	c-3
メッセージ名	–	
通信形態	V2V	
通信相手	非特定車両	
周期型/非周期型	**非周期型**	
送信周期	**0.1s**	
リレー(転送)	**あり**	

図 5.1.6-32　詳細化した通信シーケンス（ハザード情報（UC c-1, c-3））

(3) 検討案の妥当性確認

検討した通信プロトコル案の机上検討を実施し、通信シーケンスとしてアプリケーション、各レイヤ、情報提供元の関係を整理することで、通信シナリオ案と矛盾のないことが確認できた。管制/合意のユースケースにおいては、要求/応答通信による受信待ち状態が発生するため、状態遷移の管理が必要と考えられ、今後の詳細検討が必要である。

今後の課題として、以下が挙げられる。

- 管制/合意のユースケースにおいて、複数の要求/応答が同時発生する場合の検証
  （UC a-1-3 における複数車両との路側管制、UC a-3 における優先道路上の複数車両との調停など）
- センサ情報の更新頻度や処理遅延、送信遅延を考慮した場合の検証
  （UC a-1-3 において位置情報による車両の認識に遅れが生じた場合、路側インフラと車両で位置情報の認識に差が生じた場合の路側管制による通信への影響など）
- 通信シナリオ案における複数案の比較検証
  （UC a-1-3 における管制要求への応答方法、調停要求の送信タイミング、要求車に対して更新要求/応答と位置情報のどちらを用いるかなど。UC a-3 における複数車両への合意要求の手順など）

5.1.7 通信プロトコル案の検討課題

今後の課題として、以下が挙げられる。

- **通信シナリオ案の改版、海外動向を反映した見直し検討**

管制/合意のユースケース等、通信シナリオ案において仕様の一部において複数案が示されている場合等、ITS FORUM RC-017 で整理された課題を踏まえ、通信シナリオ案の改版が見込まれることと、管制/合意のユースケースや CPS 等、海外で類似のユースケースに対応した通信プロトコルが標準化作業中のため、これらの動向も踏まえ、見直し検討が今後必要になると考えられる。

- **通信機能以外（制御系など）とのインタフェース仕様の検討**

通信シナリオ案に基づき、通信系としてのアプリケーション及び上位層における機能を検討したが、自動運転のユースケース実現のため、受信情報を活用した走行計画見直し等の方法を詳細化した上で、通信機能以外を実現するアプリケーション（車両における制御系アプリケーションなど）とどのような情報をやり取りして、車両の走行に反映させていくべきか今後、議論が必要と考えられる。

- **状態遷移、例外処理など含めた詳細手順の検討**

通信プロトコル案として機能・動作・インタフェースをまとめたが、今後の標準化にあたっては、状態遷移や例外処理等を含めた手順（フロー）を明確にすることで仕様を詳細化し、相互接続性を確保していく必要があると考えられる。

5.2　通信メッセージセット案の検討

本節では、通信メッセージセット案の検討を行い、課題を整理した結果を述べる。以降では、検討の進め方（5.2.1 節）に従い、情報要素、利用ユースケース、サイズ等を検討した結果（5.2.2 節）を踏まえ、課題を整理した結果（5.2.3 節）を述べる。

5.2.1　検討の進め方

通信メッセージセット案の検討の進め方について、以下に示す。

SIP 協調型自動運転ユースケース（以下、SIP UC）の通信メッセージセット案として、ITS フォーラム発行のガイドラインである「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」[2]（以下、ITS FORUM RC-017）を参照し、情報要素と利用ユースケース、サイズ等を整理することで、通信チャネルの割り当て案（4.1 節）及び通信プロトコル案（5.1 節）との整合性を確認した（5.2.2(1)節）。更に、通信プロトコル案の検討結果を踏まえ、情報要素の多重について ITS FORUM RC-017 の記載を参考に、プロトコル案で実現可能な方法の検討、効果検証を行い（5.2.2(2)節）、最後に検討課題を整理した（5.2.3 節）。

上記で説明した通信メッセージセット案の整理イメージを図 5.2.1-1 に示す。

メッセージセット案まとめイメージ
（情報要素、利用ユースケース、サイズ）

ITS FORUM RC-017を参考に整理し、ITSフォーラムによる検討のアップデート、事業項目bの検討結果（通信チャネル割り当て案）を踏まえ、見直し

領域	情報名 大項目	情報名 小項目	bit	車両からの緊急ハザード情報の発信 UC 1-2-3	車両からの緊急ハザード情報の発信 UC1-2-4 路車	合流支援 合流車支援 UC 2-1-1	合流支援 本線車支援 UC2-2
合計メッセージサイズ [byte]				405	175/4175	772	202
共通領域	管理情報	メッセージID	8	○	○	○	○
		車両ID	32				
		路側機ID	32	○	○	○	○
自由領域	事象情報	発生時刻	32	○	○		
		発生事象（ハザード種別）	8	○	○		
		発生事象（緊急回避行動種別）	8				
		対象物情報（速度、車両種別）	24				
	地点情報	緯度経度高度	88	○	○		
		距離	16	○	○		
		レーン情報/上下線	4	○	○		
		道路種別等	8	○	○		
	通行情報	通行可否（レーンチェンジ要否）	2	○			
		走行規制有無/走行レーン指定	8		○		
	配信指定情報	配信元車両ID	32				
		配信対象レーン/上下線	4				
		情報有効時間	32				
		再配信距離	16				
		緯度経度高度、距離、上下線、区間	124		○		
		再配信時間、情報有効時間	64		○		
	路側機情報	加速レーン起点情報	16			○	○
		情報更新時刻	32			○	○
	加速レーン起点情報	緯度経度高度	88				
		レーン情報/上下線	4				
		返信要求位置範囲（上流、下流）	32				
	車両情報	走行車両数	8			○	○
		車両ID	8			○	○
		車両位置（緯度経度高度）	88			○	○
		走行レーン	8			○	○
		車両速度	16			○	○
		車両長さ	14			○	○
		加速レーン起点到達時刻	16			○	○
		先行者との車間距離	16				
		車線情報（元レーン、移動先レーン）	8				
	返信要求範囲指定情報	距離	16				
	オプション	簡易図形情報	8000		○		
	（追加）	（拡張時の追加情報）	（TBD）				

※H30年度 総務省「実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd01_more/503.pdf）に記載の表を基に作成

事業項目bの検討結果イメージ
（通信チャネル割り当て案）

図 5.2.1-1　通信メッセージセット案まとめイメージ（情報要素、利用ユースケース、サイズ）

5.2.2 情報要素、利用ユースケース、サイズ等の検討

本節では、SIP 協調型自動運転ユースケース（以下、SIP UC）の通信メッセージセット案として、ITS フォーラム発行のガイドラインである「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」[2]（以下、ITS FORUM RC-017）を参照し、情報要素と利用ユースケース、サイズ等を整理することで、通信チャネルの割り当て案（4.1 節）及び通信プロトコル案（5.1 節）との整合性を確認し（(1)節）、更に、通信プロトコル案の検討結果を踏まえ、情報要素の多重について ITS FORUM RC-017 の記載を参考に、プロトコル案で実現可能な方法の検討、効果検証を行った（(2)節）結果を述べる。

(1) 情報要素、利用ユースケース、サイズ等の整理

ITS フォーラムにおける検討結果（ITS FORUM RC-017 付録 1）を確認し、ユースケース間での共通化を考慮した情報要素と利用ユースケース、サイズ等を整理した結果について、概要及び詳細をそれぞれ表 5.2.2-1～表 5.2.2-3 及び表 5.2.2-4～表 5.2.2-11 に示す。更に通信チャネル割り当て（4.1 節）の対象ユースケースに絞り、概要を整理した結果を表 5.2.2-12 に示す。本整理結果を通信プロトコル案の検討（5.1 節）及び通信シミュレーションによる通信性能評価（5.3 節）の前提条件として検討を実施することで、通信チャネル割り当て案及び通信プロトコル案との整合性を確認できた。

表 5.2.2-1　通信メッセージセット案の概要（情報要素、利用ユースケース、サイズ等 (1/3) ）

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				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-1-1	a-1-2	a-1-3				a-1-4		a-2		a-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	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					I2V	I2V	I2V	V2I	I2V	V2I	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V
必要通信距離					59.3m	118.6m	270m	118.6m	270m	270m	255m	255m	255m	255m	111.1m	111.1m
送信周期					100ms	100ms	100ms	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1パケット当たりPAR					99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%
データサイズ（メッセージ共通化の考慮なし）［Byte］					1510	2752	5236	287	285	287	291	287	291	287	291	287
データサイズ（メッセージ共通化の考慮あり）［Byte］					**1518**	**2760**	**5244**	**329**	**298**	**329**	**329**	**329**	**329**	**329**	**329**	**329**
①	メッセージ情報				18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
③	車両基本情報							31		31	31	31	31	31	31	31
④	ユースケース固有情報	1	路側管制情報		1	1	1									
		2	周辺車両情報	1 a-1-xにおいて路側インフラが送信する情報要素	1249	2491	4975									
				2 c-2-2において路側インフラが送信する情報要素												
		3	調停情報					30	30	30	30	30	30	30	30	30
		4	交差点情報													
		5	ハザード情報	1 c-1, c-3において車両が送信する情報要素												
				2 d-1, d-2, d-3, d-4, d-5において路側インフラ或いは、車両が送信する情報要素												
				3 e-1において車両が送信する情報要素												
		6	後続車無人隊列走行情報													
		7	後続車有人隊列走行情報													

表 5.2.2-2　通信メッセージセット案の概要（情報要素、利用ユースケース、サイズ等 (2/3) ）

機能分類					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			
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	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	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-1-1	c-1	c-2-1	c-2-2	c-3	d-1		d-2	
メッセージ名					–	–	–	–	–	–	–	–	–
通信形態					I2V	V2V	V2V	I2V	V2V	V2I	I2V	V2I	I2V
必要通信距離					206.3m	250m	190.8m	75.2m	250m	66.6m	66.6m	66.6m	66.6m
送信周期					100ms	100ms	100ms	100ms	100ms	1s	1s	1s	1s
1パケット当たりPAR					99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%
データサイズ（メッセージ共通化の考慮なし）［Byte］					690	312	282	1534	312	715	715	715	715
データサイズ（メッセージ共通化の考慮あり）［Byte］					**664**	**338**	**299**	**1488**	**338**	**759**	**728**	**759**	**728**
①	メッセージ情報				18	18	18	18	18	18	18	18	18
③	車両基本情報					31	31		31	31		31	
④	ユースケース固有情報	1	路側管制情報										
		2	周辺車両情報	1	a-1-xにおいて路側インフラが送信する情報要素								
				2	c-2-2において路側インフラが送信する情報要素			824					
		3	調停情報										
		4	交差点情報		396			396					
		5	ハザード情報	1	c-1, c-3において車両が送信する情報要素	39			39				
				2	d-1, d-2, d-3, d-4, d-5において路側インフラ或いは、車両が送信する情報要素					460	460	460	460
				3	e-1において車両が送信する情報要素								
		6	後続車無人隊列走行情報										
		7	後続車有人隊列走行情報										

表 5.2.2-3　通信メッセージセット案の概要（情報要素、利用ユースケース、サイズ等 (3/3) ）

機能分類					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	
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	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	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)	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.					d-3		d-4		d-5	e-1	f-2	g-1	g-2
メッセージ名					–	–	–	–	–	–	–	–	–
通信形態					V2I	I2V	V2I	I2V	I2V	V2V	V2I	V2V	V2V
必要通信距離					66.6m	66.6m	66.6m	66.6m	66.6m	150m	171.8m	60m	141m
送信周期					1s	1s	1s	1s	1s	100ms	1s	100ms (緊急時20ms)	100ms
1パケット当たりPAR					99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	98% (緊急時99.99%)	95%
データサイズ（メッセージ共通化の考慮なし）［Byte］					715	715	715	715	715	302	279	350	350
データサイズ（メッセージ共通化の考慮あり）［Byte］					**759**	**728**	**759**	**728**	**728**	**347**	**299**	**365**	**359**
①	メッセージ情報				18	18	18	18	18	18	18	18	18
③	車両基本情報				31		31			31	31	31	31
④	ユースケース固有情報	1	路側管制情報										
		2	周辺車両情報	1	a-1-xにおいて路側インフラが送信する情報要素								
				2	c-2-2において路側インフラが送信する情報要素								
		3	調停情報										
		4	交差点情報										
		5	ハザード情報	1	c-1, c-3において車両が送信する情報要素								
				2	d-1, d-2, d-3, d-4, d-5において路側インフラ或いは、車両が送信する情報要素	460	460	460	460	460			
				3	e-1において車両が送信する情報要素					48			
		6	後続車無人隊列走行情報									66	
		7	後続車有人隊列走行情報										60

表 5.2.2-4　通信メッセージセット案の詳細（情報要素、利用ユースケース、サイズ等。機能分類 a～c (1/4) ）

機能分類						a.合流・車線変更支援												b.信号情報	c. 先読み情報：衝突回避			
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				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		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	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.						a-1-1	a-1-2	a-1-3				a-1-4		a-2		a-3		b-1-1	c-1	c-2-1	c-2-2	c-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	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						I2V	I2V	I2V	V2I	I2V	V2I	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	I2V	V2V	V2V	I2V	V2V
データサイズ（合計）［bit］						12144	22080	41952	2632	2384	2632	2632	2632	2632	2632	2632	2632	5312	2704	2392	11904	2704
①	メッセージ情報	**サイズ（合計）**				**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**
		–	–	–	–	データ長・メッセージサイズ	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
						共通バージョン	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
						メッセージID	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
						メッセージバージョン	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
						インクリメントID	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
						路側機ID	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
						車載機ID（自車）	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
						送信タイプ識別																
						宛先																
						DE_オプションフラグ																
②	路側インフラ基本情報	**サイズ（合計）**																				
		–	–		–	–																
③	車両基本情報	**サイズ（合計）**							**248**		**248**	**248**	**248**	**248**	**248**	**248**	**248**		**248**	**248**		**248**
		–	–	1	情報の時刻に関する情報	時刻情報			32		32	32	32	32	32	32	32		32	32		32
				2	車両の位置に関する情報	道路番号			32		32	32	32	32	32	32	32		32	32		32
						走行車線			16		16	16	16	16	16	16	16		16	16		16
						車両位置（緯度経度高度）			88		88	88	88	88	88	88	88		88	88		88
				3	車両の状態に関する情報	車両速度（目標速度）			16		16	16	16	16	16	16	16		16	16		16
						車両方位角			16		16	16	16	16	16	16	16		16	16		16
						車両加減速情報			16		16	16	16	16	16	16	16		16	16		16
						車速取得情報																
						車両方位角取得情報																
						車両加減速取得情報																
						シフトポジション																
						ステアリング角度																
				4	車両の属性に関する情報	車両長さ			16		16	16	16	16	16	16	16		16	16		16
						車両属性情報			8		8	8	8	8	8	8	8		8	8		8
						車両サイズ種別																
						車幅																
				5	車両のその他の情報	車両情報			8		8	8	8	8	8	8	8		8	8		8
						[1]の共通領域相当																

※表中の数値（サイズ）の単位は、bit, また表の塗り分けは、メッセージ共通化によるサイズ増加の有無を表す。　：サイズの増加なし（共通化前と同一サイズ）　：サイズの増加あり

表 5.2.2-5　通信メッセージセット案の詳細（情報要素、利用ユースケース、サイズ等。機能分類 a～c (2/4) ）

機能分類						a.合流・車線変更支援											b.信号情報	c. 先読み情報：衝突回避			
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				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	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	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.						a-1-1	a-1-2	a-1-3				a-1-4		a-2		a-3	b-1-1	c-1	c-2-1	c-2-2	c-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	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						I2V	I2V	I2V	V2I	I2V	V2I	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	I2V	V2V	V2V	I2V	V2V
データサイズ（合計）[bit]						12144	22080	41952	2632	2384	2632	2632	2632	2632	2632	2632	2632	5312	2704	2392	11904	2704
④	ユースケース固有情報	**サイズ（合計）**				**10000**	**19936**	**39808**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**3168**	**312**		**9760**	**312**
		1	路側管制情報	**サイズ（合計）**		**8**	**8**	**8**														
				–	–	路側管制情報	8	8	8													
		2	周辺車両情報	**サイズ（合計）**			**9992**	**19928**	**39800**												**6592**	
				1	a-1-xにおいて路側インフラが送信する情報要素	**サイズ（合計）**	**9992**	**19928**	**39800**													
						サイズ（中計）	**56**	**56**	**56**													
						合流起点情報	16	16	16													
						道路番号	32	32	32													
						走行車線数	8	8	8													
						サイズ（中計）	**9936**	**19872**	**39744**													
						情報要素数（車両数）	**46**	**92**	**184**													
						サイズ（小計）	**216**	**216**	**216**													
						車両ID	16	16	16													
						車両位置（緯度経度高度）	88	88	88													
						走行車線	8	8	8													
						走行速度	16	16	16													
						車両長さ	16	16	16													
						合流起点到達予定時刻	32	32	32													
						センサ情報取得時刻	32	32	32													
						情報信頼度	8	8	8													
				2	c-2-2において路側インフラが送信する情報要素	**サイズ（合計）**															**6592**	
						情報要素数（方路数）															**4**	
						サイズ（小計）															**1648**	
						DF_提供点管理番号															24	
						DE_センサID															8	
						DE_システム状態															8	
						DE_センサバージョン															8	
						DE_位置種別															1	
						DE_システム設計遅延時間															7	
						DE_再送遅延時間																
						DF_車道検知エリア情報															48	
						DE_車道検知エリア単位数（I）															8	
						DF_車道検知エリア単位															1536	
		3	調停情報	**サイズ（合計）**					**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**	**240**					
				–	–	合意応答				8	8	8	8	8	8	8	8	8				
						車両速度（目標速度）				16	16	16	16	16	16	16	16	16				
						車載器ID（通信対象）				32	32	32	32	32	32	32	32	32				
						情報更新時刻				32	32	32	32	32	32	32	32	32				
						返信要求範囲				112	112	112	112	112	112	112	112	112				
						合流先（目標）車線				8	8	8	8	8	8	8	8	8				
						先行車との（目標）車間距離				16	16	16	16	16	16	16	16	16				
						行動開始予定時間				16	16	16	16	16	16	16	16	16				

※表中の数値（サイズ）の単位は、bit, また表の塗り分けは、メッセージ共通化によるサイズ増加の有無を表す。　：サイズの増加なし（共通化前と同一サイズ）　：サイズの増加あり

表 5.2.2-6　通信メッセージセット案の詳細（情報要素、利用ユースケース、サイズ等。機能分類 a～c (3/4) ）

機能分類						a.合流・車線変更支援												b.信号情報	c. 先読み情報：衝突回避			
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				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		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	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.						a-1-1	a-1-2	a-1-3				a-1-4		a-2		a-3		b-1-1	c-1	c-2-1	c-2-2	c-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	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						I2V	I2V	I2V	V2I	I2V	V2I	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	I2V	V2V	V2V	I2V	V2V
データサイズ（合計） [bit]						12144	22080	41952	2632	2384	2632	2632	2632	2632	2632	2632	2632	5312	2704	2392	11904	2704
④	ユースケース固有情報	4	交差点情報	**サイズ（合計）**														**3168**			**3168**	
				–	–	DE_運用区分コード												8			8	
						DF_送信時刻												80			80	
						DF_提供点管理番号												24			24	
						DE_システム状態												8			8	
						DE_イベントカウンタ												8			8	
						DE_車灯機数												8			8	
						DE_歩灯器数												8			8	
						DE_接続方路数（I）												8			8	
						DE_サービス方路数（J）												8			8	
						DF_サービス方路信号情報												608			608	
						DF_車灯器情報												1664			1664	
						DF_歩灯器情報												512			512	
						DF_方路識別情報												224			224	
		5	ハザード情報	**サイズ（合計）**															**312**			**312**
				1	c-1, c-3 において車両が送信する情報要素	**サイズ（合計）**													**312**			**312**
						情報更新時刻													32			32
						緊急行動発生時刻													32			32
						緊急行動種別													8			8
						対象物情報													24			24
						事象位置情報													88			88
						事象距離情報													16			16
						車線情報													8			8
						道路種別情報													8			8
						通行可否情報													8			8
						発信元車載器ID													32			32
						配信対象車線情報													8			8
						情報有効時間													32			32
						再配信距離													16			16
				2	d-1, d-2, d-3, d-4, d-5 において路側インフラ或いは、車両が送信する情報要素	**サイズ（合計）**																
						情報要素数（ハザード数）																
						サイズ（小計）																
						事象情報																
						地点情報																
						通行情報																
				3	e-1において車両が送信する情報要素	**サイズ（合計）**																
						事象情報																
						地点情報																
						通行情報																
						再配信指定情報																
						予備																

※表中の数値（サイズ）の単位は、bit, また表の塗り分けは、メッセージ共通化によるサイズ増加の有無を表す。 ：サイズの増加なし（共通化前と同一サイズ） ：サイズの増加あり

表 5.2.2-7　通信メッセージセット案の詳細（情報要素、利用ユースケース、サイズ等。機能分類 a～c (4/4) ）

機能分類						a.合流・車線変更支援											b.信号情報	c. 先読み情報：衝突回避			
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				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	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	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.						a-1-1	a-1-2	a-1-3				a-1-4		a-2		a-3	b-1-1	c-1	c-2-1	c-2-2	c-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	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						I2V	I2V	I2V	V2I	I2V	V2I	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	I2V	V2V	V2V	I2V	V2V
データサイズ（合計） [bit]						12144	22080	41952	2632	2384	2632	2632	2632	2632	2632	2632	2632	5312	2704	2392	11904	2704
④	ユースケース固有情報	6	後続車無人隊列走行情報	**サイズ（合計）**																		
				–	–	車両状態情報																
						車両属性情報																
						後続車両情報																
						車間距離																
						アクセル、ブレーキ																
						電子ミラー映像																
		7	後続車有人隊列走行情報	**サイズ（合計）**																		
				–	–	追従の可否やメーカ等を示す情報																
						追従車両は対象の先行車両のID等																
						CACC対応車の情報																

※表中の数値（サイズ）の単位は、bit, また表の塗り分けは、メッセージ共通化によるサイズ増加の有無を表す。 ：サイズの増加なし（共通化前と同一サイズ） ：サイズの増加あり

表 5.2.2-8　通信メッセージセット案の詳細（情報要素、利用ユースケース、サイズ等。機能分類 d～g (1/4) ）

機能分類						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	
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	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	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)	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.						d-1		d-2		d-3		d-4		d-5	e-1	f-2	g-1	g-2
メッセージ名						–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
通信形態						V2I	I2V	V2I	I2V	V2I	I2V	V2I	I2V	I2V	V2V	V2I	V2V	V2V
データサイズ（合計）［bit］						6072	5824	6072	5824	6072	5824	6072	5824	5824	2776	2392	2920	2872
①	メッセージ情報	**サイズ（合計）**				**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**	**144**
		–	–	–	–	データ長・メッセージサイズ	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
						共通バージョン	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
						メッセージID	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
						メッセージバージョン	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
						インクリメントID	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
						路側機ID	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
						車載機ID（自車）	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
						送信タイプ識別													
						宛先													
						DE_オプションフラグ													
②	路側インフラ基本情報	**サイズ（合計）**																
		–	–	–	–													
③	車両基本情報	**サイズ（合計）**				**248**		**248**		**248**		**248**			**248**	**248**	**248**	**248**
		–	–	1	情報の時刻に関する情報	時刻情報	32		32		32		32			32	32	32	32
				2	車両の位置に関する情報	道路番号	32		32		32		32			32	32	32	32
						走行車線	16		16		16		16			16	16	16	16
						車両位置（緯度経度高度）	88		88		88		88			88	88	88	88
				3	車両の状態に関する情報	車両速度（目標速度）	16		16		16		16			16	16	16	16
						車両方位角	16		16		16		16			16	16	16	16
						車両加減速情報	16		16		16		16			16	16	16	16
						車速取得情報													
						車両方位角取得情報													
						車両加減速取得情報													
						シフトポジション													
						ステアリング角度													
				4	車両の属性に関する情報	車両長さ	16		16		16		16			16	16	16	16
						車両属性情報	8		8		8		8			8	8	8	8
						車両サイズ種別													
						車幅													
				5	車両のその他の情報	車両情報	8		8		8		8			8	8	8	8
						[1]の共通領域相当													

※表中の数値（サイズ）の単位は、bit, また表の塗り分けは、メッセージ共通化によるサイズ増加の有無を表す。　：サイズの増加なし（共通化前と同一サイズ）　：サイズの増加あり

表 5.2.2-9　通信メッセージセット案の詳細（情報要素、利用ユースケース、サイズ等。機能分類 d～g (2/4) ）

機能分類						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	
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	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	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)	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.						d-1		d-2		d-3		d-4		d-5	e-1	f-2	g-1	g-2
メッセージ名						–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
通信形態						V2I	I2V	V2I	I2V	V2I	I2V	V2I	I2V	I2V	V2V	V2I	V2V	V2V
データサイズ（合計）［bit］						6072	5824	6072	5824	6072	5824	6072	5824	5824	2776	2392	2920	2872
④	ユースケース固有情報	**サイズ（合計）**				**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**384**		**528**	**480**
		1	路側管制情報	**サイズ（合計）**														
				–	–	路側管制情報												
		2	周辺車両情報	**サイズ（合計）**														
				1	a-1-xにおいて路側インフラが送信する情報要素	**サイズ（合計）**												
						サイズ（中計）												
						合流起点情報												
						道路番号												
						走行車線数												
						サイズ（中計）												
						情報要素数（車両数）												
						サイズ（小計）												
						車両ID												
						車両位置（緯度経度高度）												
						走行車線												
						走行速度												
						車両長さ												
						合流起点到達予定時刻												
						センサ情報取得時刻												
						情報信頼度												
				2	c-2-2において路側インフラが送信する情報要素	**サイズ（合計）**												
						情報要素数（方路数）												
						サイズ（小計）												
						DF_提供点管理番号												
						DE_センサID												
						DE_システム状態												
						DE_センサバージョン												
						DE_位置種別												
						DE_システム設計遅延時間												
						DE_再送遅延時間												
						DF_車道検知エリア情報												
						DE_車道検知エリア単位数（I）												
						DF_車道検知エリア単位												
		3	調停情報	**サイズ（合計）**														
				–	–	合意応答												
						車両速度（目標速度）												
						車載器ID（通信対象）												
						情報更新時刻												
						返信要求範囲												
						合流先（目標）車線												
						先行車との（目標）車間距離												
						行動開始予定時間												

※表中の数値（サイズ）の単位は、bit, また表の塗り分けは、メッセージ共通化によるサイズ増加の有無を表す。 ：サイズの増加なし（共通化前と同一サイズ） ：サイズの増加あり

表 5.2.2-10　通信メッセージセット案の詳細（情報要素、利用ユースケース、サイズ等。機能分類 d～g (3/4) ）

機能分類						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	
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	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	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)	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.						d-1		d-2		d-3		d-4		d-5	e-1	f-2	g-1	g-2
メッセージ名						–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
通信形態						V2I	I2V	V2I	I2V	V2I	I2V	V2I	I2V	I2V	V2V	V2I	V2V	V2V
データサイズ（合計） [bit]						6072	5824	6072	5824	6072	5824	6072	5824	5824	2776	2392	2920	2872
④	ユースケース固有情報	4	交差点情報	**サイズ（合計）**														
				–	–	DE_運用区分コード												
						DF_送信時刻												
						DF_提供点管理番号												
						DE_システム状態												
						DE_イベントカウンタ												
						DE_車灯機数												
						DE_歩灯器数												
						DE_接続方路数（I）												
						DE_サービス方路数（J）												
						DF_サービス方路信号情報												
						DF_車灯器情報												
						DF_歩灯器情報												
						DF_方路識別情報												
		5	ハザード情報	**サイズ（合計）**		**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**384**			
				1	c-1, c-3 において車両が送信する情報要素	**サイズ（合計）**												
						情報更新時刻												
						緊急行動発生時刻												
						緊急行動種別												
						対象物情報												
						事象位置情報												
						事象距離情報												
						車線情報												
						道路種別情報												
						通行可否情報												
						発信元車載器ID												
						配信対象車線情報												
						情報有効時間												
						再配信距離												
				2	d-1, d-2, d-3, d-4, d-5 において路側インフラ或いは、車両が送信する情報要素	**サイズ（合計）**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**	**3680**				
						情報要素数（ハザード数）	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**				
						サイズ（小計）	**184**	**184**	**184**	**184**	**184**	**184**	**184**	**184**	**184**				
						事象情報	56	56	56	56	56	56	56	56	56				
						地点情報	120	120	120	120	120	120	120	120	120				
						通行情報	8	8	8	8	8	8	8	8	8				
				3	e-1において車両が送信する情報要素	**サイズ（合計）**									**384**			
						事象情報									64			
						地点情報									216			
						通行情報									8			
						再配信指定情報									88			
						予備									8			

※表中の数値（サイズ）の単位は、bit, また表の塗り分けは、メッセージ共通化によるサイズ増加の有無を表す。　：サイズの増加なし（共通化前と同一サイズ）　：サイズの増加あり

表 5.2.2-11　通信メッセージセット案の詳細（情報要素、利用ユースケース、サイズ等。機能分類 d～g (4/4) ）

機能分類						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	
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	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	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)	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.						d-1		d-2		d-3		d-4		d-5	e-1	f-2	g-1	g-2
メッセージ名						–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
通信形態						V2I	I2V	V2I	I2V	V2I	I2V	V2I	I2V	I2V	V2V	V2I	V2V	V2V
データサイズ（合計） [bit]						6072	5824	6072	5824	6072	5824	6072	5824	5824	2776	2392	2920	2872
④	ユースケース固有情報	6	後続車無人隊列走行情報	**サイズ（合計）**													**528**	
				–	–	車両状態情報											16	
						車両属性情報											32	
						後続車両情報											480	
						車間距離												
						アクセル、ブレーキ												
						電子ミラー映像												
		7	後続車有人隊列走行情報	**サイズ（合計）**														**480**
				–	–	追従の可否やメーカ等を示す情報												480
						追従車両は対象の先行車両のID等												
						CACC対応車の情報												

※表中の数値（サイズ）の単位は、bit, また表の塗り分けは、メッセージ共通化によるサイズ増加の有無を表す。 ：サイズの増加なし（共通化前と同一サイズ） ：サイズの増加あり

表 5.2.2-12　通信メッセージセット案の概要（通信チャネル割り当ての対象ユースケース）

機能分類	ユースケース	No.	メッセージ名	通信形態	データサイズ [byte]										
					合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報						
									路側管制情報	周辺車両情報		調停情報	交差点情報	ハザード情報	
										a-1-x	c-2-2			c-1, c-3	e-1
a.合流・車線変更支援	予備加減速合流支援	a-1-1	位置情報	I2V	**1518**	250	18		1	1249					
	本線隙間狙い合流支援	a-1-2	位置情報	I2V	**2760**	250	18		1	2491					
	路側管制による本線車両協調合流支援	a-1-3	位置情報	I2V	**5244**	250	18		1	4975					
			管制要求	V2I	**329**	250	18	31				30			
			調停要求 更新要求	I2V	**298**	250	18					30			
			調停応答 更新応答	V2I	**329**	250	18	31				30			
	車同士のネゴシエーションによる合流支援	a-1-4	調停要求 更新要求	V2V	**329**	250	18	31				30			
			調停応答 更新応答	V2V	**329**	250	18	31				30			
	混雑時の車線変更の支援	a-2	調停要求 更新要求	V2V	**329**	250	18	31				30			
			調停応答 更新応答	V2V	**329**	250	18	31				30			
	渋滞走行の非優先道路から優先道路への進入支援	a-3	調停要求 更新要求	V2V	**329**	250	18	31				30			
			調停応答 更新応答	V2V	**329**	250	18	31				30			
b.信号情報	信号情報による走行支援（V2I）	b-1-1	–	I2V	**664**	250	18						396		
c.先読み情報：衝突回避	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	c-1	–	V2V	**338**	250	18	31						39	
	交差点の情報による走行支援（V2V）	c-2-1	–	V2V	**299**	250	18	31							
	交差点の情報による走行支援（V2I）	c-2-2	–	I2V	**1488**	250	18				824		396		
	ハザード情報による走行支援	c-3	–	V2V	**338**	250	18	31						39	
e.先読み情報：緊急車両回避	緊急車両の情報による走行支援	e-1	–	V2V	**347**	250	18	31							48

(2) 情報要素の多重方法の検討

本節では、通信プロトコル案の検討結果を踏まえ、情報要素の多重について ITS FORUM RC-017 の記載を参考に、プロトコル案で実現可能な方法の検討、効果検証を行った結果を述べる。以降では、検討方針（(a)節）に基づき、検討した検討案（(b)節）を述べる。

(a) 検討方針

通信プロトコル案における課題として、メッセージのサイズ（調停情報の場合、30 バイト）に対してセキュリティによるオーバヘッドのサイズ（250 バイト）が大きく通信容量が増大するため、通信容量の削減が挙げられる。具体的には、同一ユースケースで複数の宛先が存在する環境又は複数ユースケースが混在する環境下で、宛先又はユースケース毎にセキュリティ情報を付加したパケットを送信した場合、宛先又はユースケースの数だけセキュリティによるオーバヘッドが付加され、通信容量が増大するため、通信容量の削減が課題となる。

上記への対策として、ITS FORUM による検討結果（ITS FORUM RC-017 付録 1 の「4 情報要素の多重」）を参考に、以下の 2 つのケースにおいて情報要素を多重する（1 つのパケットにまとめる）ことで、セキュリティによるオーバヘッドを 1 つとし、通信容量を減らすことを検討した。

- 検討案 1： 路側インフラが複数車両に調停/更新要求を送信する場合
  （ITS FORUM RC-017 記載の ケース 2) に該当）
- 検討案 2： 車両が複数ユースケースの情報を送信する場合
  （ITS FORUM RC-017 記載の ケース 3) に該当）

上記で説明した情報要素の多重イメージを図 5.2.2-1 に示す。

(b) 検討案

本節では、情報要素の多重方法の検討方針（(a)節）で検討した 2 つの検討案について、仕様検討及び効果検証を実施した結果を述べる。

検討案 1 の場合（ 路側インフラが複数車両に調停/更新要求を送信する場合)、UC a-1-3（路側管制による本線車両協調合流支援）の調停/更新要求について、路側インフラが送信する宛先車両の異なる情報要素（調停情報）を多重することを検討する。多重可能な宛先車両数は、パケット分割なしで送信可能な最大サイズより決定されるが一例として、CV2X（LTE V2X（PC5））の場合に 10MHz チャネルで QPSK, 符号化率＝0.5 とした場合、1 パケットあたり最大 15 台（718 バイト/1ms）を 1 つのパケットにまとめることが可能である。本検討における効果検証例を図 5.2.2-2 に示す。ITS FORUM RC-017 記載の通信要件に示される送信台数（48 台）においては、情報要素の多重により 1/7 程度の通信量に削減されることが見込まれる。

検討案 2 の場合（車両が複数ユースケースの情報を送信する場合)、同一チャネルで送信する各ユースケースの情報要素（ユースケース固有情報）を多重することを検討する。本検討における効果検証例を図 5.2.2-3 に示す。なお、通信チャネル割り当て案を踏まえた多重方法の詳細は、通信シミュレーションによる通信性能評価 （5.3 節）で検討した。

- ケース 1） 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。
- ケース 2） 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列に実施し、複数の管制情報が発生している状況が考えられる。
- ケース 3） 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。

※引用元： ITS FORUM RC-017 付録1の「4 情報要素の多重」

図 5.2.2-1　情報要素の多重イメージ

検討案1の多重方法

■情報要素の多重なし

セキュリティによる オーバヘッド (250バイト)	メッセージ 情報 (18バイト)	車両#1宛て 調停情報 (30バイト)

セキュリティによる オーバヘッド (250バイト)	メッセージ 情報 (18バイト)	車両#2宛て 調停情報 (30バイト)

⋮

■情報要素の多重あり

セキュリティによる オーバヘッド (250バイト)	メッセージ 情報 (18バイト)	車両#1宛て 調停情報 (30バイト)	車両#2宛て 調停情報 (30バイト)	・・・

通信量の比較（効果見積もり）

検討案1の対象ユースケース

機能分類	ユースケース	No.	メッセージ名	通信形態	送信周期	エリアあたり送信台数	データサイズ [byte] 合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報 路側管制情報	周辺車両情報 a-1-x	周辺車両情報 c-2-2	調停情報	交差点情報	ハザード情報 c-1, c-3	ハザード情報 e-1	検討案1の対象
a.合流・車線変更支援	予備加減速合流支援	a-1-1	位置情報	I2V	100ms	1	**1518**	250	18		1	1249						–
	本線隙間狙い合流支援	a-1-2	位置情報	I2V	100ms	1	**2760**	250	18		1	2491						–
	路側管制による本線車両協調合流支援		位置情報	I2V	100ms	1	**5244**	250	18		1	4975						–
			管制要求	V2I	–	1	**329**	250	18	31				30				–
		a-1-3	調停要求 更新要求	I2V	100ms (仮)	(管制数)	**298**	250	18					30				●
			調停応答 更新応答	V2I	100ms (仮)	48	**329**	250	18	31				30				–
	車同士のネゴシエーションによる合流支援	a-1-4	調停要求 更新要求	V2V	100ms (仮)	1	**329**	250	18	31				30				–
			調停応答 更新応答	V2V	100ms (仮)	36	**329**	250	18	31				30				–
	混雑時の車線変更の支援	a-2	調停要求 更新要求	V2V	100ms (仮)	73	**329**	250	18	31				30				–
			調停応答 更新応答	V2V	100ms (仮)	48	**329**	250	18	31				30				–
	渋滞走行の非優先道路から優先道路への進入支援	a-3	調停要求 更新要求	V2V	100ms (仮)	2	**329**	250	18	31				30				–
			調停応答 更新応答	V2V	100ms (仮)	68	**329**	250	18	31				30				–
b.信号情報	信号情報による走行支援（V2I）	b-1-1	–	I2V	100ms	1	**664**	250	18						396			–
c.先読み情報：衝突回避	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	c-1	–	V2V	100ms	139	**338**	250	18	31						39		–
	交差点の情報による走行支援（V2V）	c-2-1	–	V2V	100ms	125	**299**	250	18	31								–
	交差点の情報による走行支援（V2I）	c-2-2	–	I2V	100ms	1	**1488**	250	18				824		396			–
	ハザード情報による走行支援	c-3	–	V2V	100ms	139	**338**	250	18	31						39		–
e.先読み情報：緊急車両回避	緊急車両の情報による走行支援	e-1	–	V2V	100ms	1	**347**	250	18	31							48	–

図 5.2.2-2　情報要素の多重 検討案 1 の効果検証例

検討案2の多重方法

■情報要素の多重なし

セキュリティによるオーバヘッド（250バイト）	メッセージ情報（18バイト）	車両基本情報（31バイト）	UC a-2 調停情報（30バイト）

セキュリティによるオーバヘッド（250バイト）	メッセージ情報（18バイト）	車両基本情報（31バイト）	UC c-1 ハザード情報（39バイト）

⋮

■情報要素の多重あり

セキュリティによるオーバヘッド（250バイト）	メッセージ情報（18バイト）	車両基本情報（31バイト）	UC a-2 調停情報（30バイト）	UC c-1 ハザード情報（39バイト）	…

通信量の比較例（効果見積もり）

検討案2の対象ユースケース

機能分類	ユースケース	No.	メッセージ名	通信形態	送信周期	エリアあたり送信台数	データサイズ [byte] 合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報 路側管制情報	周辺車両情報 a-1-x	周辺車両情報 c-2-2	調停情報	交差点情報	ハザード情報 c-1, c-3	ハザード情報 e-1	検討案2の対象
a.合流・車線変更支援	予備加減速合流支援	a-1-1	位置情報	I2V	100ms	1	**1518**	250	18		1	1249						–
	本線隙間狙い合流支援	a-1-2	位置情報	I2V	100ms	1	**2760**	250	18		1	2491						–
	路側管制による本線車両協調合流支援		位置情報	I2V	100ms	1	**5244**	250	18		1	4975						–
			管制要求	V2I	–	1	**329**	250	18	31				30				●
		a-1-3	調停要求更新要求	I2V	100ms（仮）	（管制数）	**298**	250	18					30				–
			調停応答更新応答	V2I	100ms（仮）	48	**329**	250	18	31				30				●
	車同士のネゴシエーションによる合流支援	a-1-4	調停要求更新要求	V2V	100ms（仮）	1	**329**	250	18	31				30				●
			調停応答更新応答	V2V	100ms（仮）	36	**329**	250	18	31				30				●
	混雑時の車線変更の支援	a-2	調停要求更新要求	V2V	100ms（仮）	73	**329**	250	18	31				30				●
			調停応答更新応答	V2V	100ms（仮）	48	**329**	250	18	31				30				●
	渋滞走行の非優先道路から優先道路への進入支援	a-3	調停要求更新要求	V2V	100ms（仮）	2	**329**	250	18	31				30				●
			調停応答更新応答	V2V	100ms（仮）	68	**329**	250	18	31				30				●
b.信号情報	信号情報による走行支援（V2I）	b-1-1	–	I2V	100ms	1	**664**	250	18						396			–
c.先読み情報：衝突回避	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	c-1	–	V2V	100ms	139	**338**	250	18	31						39		●
	交差点の情報による走行支援（V2V）	c-2-1	–	V2V	100ms	125	**299**	250	18	31								●
	交差点の情報による走行支援（V2I）	c-2-2	–	I2V	100ms	1	**1488**	250	18				824		396			–
	ハザード情報による走行支援	c-3	–	V2V	100ms	139	**338**	250	18	31						39		●
e.先読み情報：緊急車両回避	緊急車両の情報による走行支援	e-1	–	V2V	100ms	1	**347**	250	18	31							48	●

図 5.2.2-3　情報要素の多重 検討案 2 の効果検証例

5.2.3 通信メッセージセット案の検討課題

今後の課題として、以下が挙げられる。

- 今後のメッセージセット見直しを反映した検討

メッセージの共通化について、共通化できてない複数のユースケースで更なる共通化を継続検討中である等、ITS FORUM RC-017 で整理された課題を踏まえ、通信メッセージセット案の見直しが見込まれるため、見直し検討が今後必要になると考えられる。

- 情報要素の多重について詳細手順の検討、評価

情報要素の多重について、今後の標準化にあたって必要性を議論の上、必要な場合は、複数ユースケースにおいて多重を行う通信レイヤやタイミング等、詳細手順を明確にすることで仕様を定めていく必要があると考えられる。

5.3　通信シミュレーションによる通信性能評価

本節では、通信シミュレーションによる通信シミュレーション評価を行い考察、課題を整理した結果を述べる。以降では、評価の進め方（5.3.1 節）に従い、単路及び合流部、交差点における評価を行い、考察、課題を整理した結果（5.3.2～5.3.3 節）を述べる。

5.3.1　評価の進め方

通信プロトコル案及び通信メッセージセット案の検討結果（5.1 節及び 5.2 節）を踏まえ、通信チャネルの割り当て（4.1 節）、上位層における通信制御方式（4.2 節）、及び情報要素の多重（5.2.2(2)節）の効果検証を目的とした評価を実施した。SIP 協調型自動運転ユースケース [1]（以下、SIP UC）のうち、直接通信（V2V 及び V2I）のユースケースを評価対象とし、発生場所毎に同時に発生し得るユースケースの組み合わせを考慮しながら、単路における評価（5.3.2 節）、合流部、交差点における評価（5.3.3 節）の順に実施した。なお、無線通信方式は CV2X（LTE V2X（PC5））とした場合のみ評価した。

上記で説明した評価の進め方のフローを図 5.3.1-1 に示す。

図 5.3.1-1　通信シミュレーションによる通信性能評価の進め方

5.3.2　単路における評価

本節では、SIP 協調型自動運転ユースケース [1]（以下、SIP UC）のうち、直接通信（V2V）のユースケースを評価対象とし、発生場所を問わないユースケースについて、単一ユースケースの評価とその組み合わせた場合の複数ユースケースの評価（5.3.2 節）を実施した結果を述べる。以降では、評価条件（(1)節）、回線設計結果（(2)節）、通信シミュレーション結果（(3)節）、評価結果に対する考察・課題（(4)節）の順に述べる。

(1) 評価条件

本節では、単路における評価条件を述べる。

・評価条件の概略

はじめに、通信シミュレーションにおける評価条件の整理結果を表 5.3.2-1 に示す。通信チャネルの割り当て（4.1 節）、通信メッセージの共通化（5.2.2(2)節における情報要素の多重方法）

の検討を反映した評価条件を設定するとともに、R3 年度検討（*）の評価条件を比較し、より精緻な通信パラメータ・評価指標を選定した。続いて、単路における評価条件の概略を説明する。赤枠が単路における評価条件である。通信チャネルは単一チャネルとする。評価ケースは、単一のユースケースの場合、発生場所を問わないユースケース（UC a-2, c-1, e-1）に限定して実施する。また、複数のユースケースの評価も UC a-2, c-1, e-1 の組み合わせについて実施する。複数のユースケース評価の際、メッセージの共通化（情報要素の多重方法）の検討結果（5.2.2(2)節）を踏まえ、情報要素の多重を行う条件として、その効果を検証する。

(*) 総務省 R3 年度 周波数ひっ迫対策技術試験事務「5.9GHz 帯 V2X 用通信システムに関する技術的検討」（表 5.3.2-1 では、「R3 年度 総務省（5.9GHz CV2X）」と記載）、SIP 第 2 期自動運転（システムとサービスの拡張） R3 年度研究開発における「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」（表 5.3.2-1 では、「R3 年度 SIP 5.9GHz CV2X」と記載）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」（表 5.3.2-1 では、「R3 年度 SIP 700MHz ITS」と記載）

表 5.3.2-1　評価条件の整理

項目		本事業		R3年度 総務省 (5.9GHz CV2X)	R3年度 SIP	
		合流部、交差点における評価	単路における評価		5.9GHz CV2X	700MHz ITS（参考）
運用方式	セキュリティによるオーバヘッド	250バイト（ITS FORUMRC-017の想定）			なし	路側機：273＋28nバイト、車載機：27バイト（既存サービスの方式を想定）
	通信チャネル	複数（b項検討を反映）	単一			
L1/L2関連	通信仕様	LTE V2X（PC5）				ARIB STD-T109
	送信回数	2回（Blind HARQ）			1回	
	アンテナダイバーシチ	あり（送信1系統、受信2系統）			なし	
電波伝搬	パスロス	ITU-R P.1411				路車間：700MHzITS路車・路路モデル 車車間：伊藤・多賀モデル
	瞬時フェージング	あり（3GPP EVA）			あり（レイリー/仲上）	あり（正規分布）
	シャドウイング	あり（対数正規分布（標準偏差：3.68dB））			なし	
	遮蔽損失	あり（大型車による遮蔽を考慮（10dB））			なし	あり（0.5dB/台（最大8dB））
通信条件	評価ケース（SIP UC）	・複数UC（合流部周辺、交差点周辺の2通りとし、通信の輻輳が想定される組み合わせを選定）	・単一UC（UC a-2, c-1, e-1を候補） ・複数UC（上記の組み合わせ） ※b項の効果検証対象UC（c-1）を含む発生場所が任意のV2V UCを対象	・単一UC（全て） ・複数UC（モデルケースに限定）	・単一UC（合流部周辺のUC a-1-4） ・複数UC（交差点周辺のUC b-1-1, c-1, c-2-2） ※通信の輻輳が想定されるケースを選定	・単一UC（高速道/一般道及び路車間/車車間の4ケースで代表） ・複数UC（全てのUC）
	メッセージの共通化	あり（ITS FORUM RC-017の検討結果を参考）		なし（UC毎に別個のメッセージ）		あり（ITS Connect TD-001を参考）
	干渉源	あり（車載機は常時、100ミリ周期で送信）		なし（対象UCの通信エリア外は考慮せず）		あり（同一チャネルの既存サービス）
評価指標	評価項目	PAR, 遅延（99%値）, 遅延（PARの要求値に達するまでの時間）			PAR, 遅延（平均）	PAR, 遅延（PARの要求値に達するまでの時間）
	通信品質の定義	1パケットあたり				

・対象ユースケース、チャネル割り当て

対象ユースケースまたチャネル割り当ての関係について、図 5.3.2-1 に示す。対象ユースケースは V2V 通信の発生場所を問わないユースケースである UC a-2（混雑時の車線変更の支援）, c-1（前方で急停止、急減速時の衝突回避支援）, e-1（緊急車両の情報による走行支援）となる。チャネル割り当てについて、通信チャネルの割り当て（4.1 節）の検討状況（案 1～4）を踏まえ、1 つのチャネルに注目し、同一チャネルでユースケースが混在する場合を含めた評価を実施する。UC e-1, c-1, a-2 は、それぞれ通信チャネルの割り当て（4.1 節）の検討でのグループ C、D、E が当てはまる。評価ケース 1 では 1 チャネル（②）に 1 つのユースケース（案 4 のグループ C の UC e-1）を割り当てた場合の評価となる。評価ケース 2 では 1 チャネル（③）に 1 つのユースケース（案 4 のグループ D の UC c-1）を割り当てた場合の評価となる。評価ケース 3 では 1 チャネル（④）に 1 つのユースケース（案 4 のグループ E の UC a-2）を割り当てた場合の評価となる。評価ケース 4 では 1 チャネル（②）に 2 つのユースケース（案 2 のグループ C の UC e-1 とグループ D の UC c-1）を割り当てた場合の評価となる。評価ケース 5 では 1 チャネル（②）に 2 つのユースケース（案 1 のグループ C の UC e-1 とグループ E の UC a-2）を割り当てた場合の評価となる。

以上より、評価ケースは、1 チャネルに 1 つのユースケースを割り当てる 3 通り（UC e-1 のみ, c-1 のみ, a-2 のみ）、1 チャネルに 2 つのユースケースを割り当てる 2 通り（UC e-1, c-1 が混在する場合と UC e-1, a-2 が混在する場合）の計 5 通りとなる。

通信形態	グループ	基本	案1	案2	案3	案4
V2I	グループA 路側機からの同報	①	①	①	①	①
	グループB 路側機による調停	②	①	①	②	①
V2V	グループC 車両からの同報(連続)	③	②	②	①	②
	グループD 車両からの同報(緊急)	④	③	②	③	③
	グループE 車両同士によるネゴ	⑤	②	③	④	④

評価ケース	同一チャネルにおけるUCの混在	機能分類	ユースケース
1	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
2	なし	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
3	なし	a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援
4	あり	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
		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
5	あり	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
		a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援

図 5.3.2-1　単路における評価の条件（対象ユースケース、チャネル割り当て）

※「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-」(https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf)に記載の図を基に作成

・メッセージ構成とサイズ

表 5.3.2-2 にメッセージ構成とサイズを示す。メッセージの共通化（情報要素の多重方法）の検討結果（5.2.2(2)節）を踏まえ、同一チャネルに複数のユースケースが混在する場合のメッセージを共通化する。具体的には車載機で共通のメッセージ情報及び車両基本情報に加え、同一チャネルで混在するユースケースの固有情報を全て追加することにより、メッセージを共通化する。

表 5.3.2-2　単路における評価の条件（メッセージ構成とサイズ）

評価ケース	同一チャネルにおけるUCの混在	機能分類	ユースケース	データサイズ [Byte]												
				合計	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報									
							路側管制情報	周辺車両情報		調停情報	交差点情報	ハザード情報			後続車無人隊列走行情報	後続車有人隊列走行情報
								a-1-x	c-2-2			c-1, c-3	e-1 (*1)	d-x		
1	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	334	18	31							35			
2	なし	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	338	18	31						39				
3	なし	a.合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	329	18	31				30						
4	あり	e.先読み情報：緊急車両回避 c.先読み情報：衝突回避	e-1. 緊急車両の情報による走行支援 c-1. 前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	338	18	31						39 (*2)				
5	あり	e.先読み情報：緊急車両回避 a.合流・車線変更支援	e-1. 緊急車両の情報による走行支援 a-2. 混雑時の車線変更の支援	364	18	31				30			35			

※メッセージサイズ及びメッセージの共通化に際しては、R3 年度 SIP 事業（「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」）における検討（TD-001 メッセージセットにおける SIP 情報の追加方法）を参考に、以下 2 点を想定。

(*1) UC e-1 の情報要素は、ITS FORUM RC-017 [2] 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と説明のある情報要素を除外し、48→35 バイトとした。

(*2) UC e-1 と UC c-1 のユースケース固有情報は、緊急情報として同一の領域を共用する形とし、e-1（35 バイト）も c-1（39 バイト）も収まる 39 バイトとした。

・評価条件の詳細

単路における評価の条件の詳細を表 5.3.2-3 に示す。アンテナダイバーシチ、セキュリティによるオーバヘッド、送信回数、瞬時フェージング、シャドウイング、遮蔽損失について、R3 年度検討（*）の評価条件を比較し、より精緻な通信パラメータ・評価基準を選定した。

(*) 総務省 R3 年度 周波数ひっ迫対策技術試験事務「5.9GHz 帯 V2X 用通信システムに関する技術的検討」、SIP 第 2 期自動運転（システムとサービスの拡張） R3 年度研究開発における「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」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」

表 5.3.2-3　単路における評価の条件の詳細

項目		値
L1/L2 関連	中心周波数	5890MHz
	空中線電力	23dBm
	システム帯域幅	10MHz
	変調方式	QPSK, 16QAM/SC-FDM
	誤り訂正（符号化率）	データ信号：ターボ符号（0.5） 制御信号：TBCC（0.1）
	アンテナダイバーシチ	あり（送信1系統、受信2系統）
	雑音電力密度	−173.9dBm/Hz
	雑音指数	10dB
	固定劣化	5dB
	アンテナ利得	4dBi
	アンテナ指向性	なし
	ケーブル・コネクタロス	4dB
	セキュリティによる オーバヘッド	250byte （ITS FORUM RC-017の想定）
	センシングウィンドウ	1000ms
	リソース選択ウィンドウ	50ms
	同期	GNSS
	送信回数	2回（blind HARQ）
電波伝搬	パスロス	ITU-R P.1411
	瞬時フェージング	3GPPによる検討モデル（*1）
	シャドウイング	対数正規分布（標準偏差：3.68dB）（*2）
	遮蔽損失	送受信間に大型車が存在する場合：10dB（*3）
	アンテナ高	1.6m（普通車）, 4.1m（大型車）

*1 Extended Vehicular A model 3GPP TS 36.101 and 3GPP TS 36.104
*2 3GPP TR 36.885（A.1.4 channel model）を参考に空間相関を考慮した変動モデル
*3 3GPP TR 38.901 Blockage model B（ナイフエッジ回折によるモデル）を参考に
隣接する大型車 1 台による減衰量を車速40km/h, 1s車間で計算

R3年度検討（SIP, 総務省技試）の評価条件を比較し、より精緻な通信パラメータ・評価指標を選定

・回線設計とシミュレーションの対象

回線設計とシミュレーションの対象について表 5.3.2-4 に示す。回線設計又はシミュレーションを実施するものを●、実施しないものを－としている。同表に示すように、回線設計は全ての評価ケースについて実施し、シミュレーションは通信エリアあたりの送信台数が 1 台の場合を除いた評価ケースについて実施することとする。

なお、UC c-1, a-2 を含む評価ケース（評価ケース 2～5）のシミュレーションにおいて、同一チャネルのユースケースが複数の場所で同時発生する場合を考慮し、同一メッセージを送信する干渉源をユースケースの通信エリア外に配置することとする。

表 5.3.2-4　単路における評価での回線設計とシミュレーションの対象についての整理

評価ケース	同一チャネルにおけるUCの混在	機能分類	ユースケース	通信エリアあたりの送信台数	干渉源	回線設計	シミュレーション
1	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	1台	なし	●	–
2	なし	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	277台	あり	●	●
3	なし	a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	121台	あり	●	●
4	あり	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	1台	あり	●	●
		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	277台			
5	あり	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	1台	あり	●	●
		a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	121台			

（●：実施、－：実施せず）

(2) 回線設計結果

回線設計の結果について、表 5.3.2-5 に示す。対応可否が○の場合、所要 PAR に対して必要通信距離におけるシステムマージンが 0dB 以上である。×の場合、システムマージンが 0dB 未満である。大型車による遮蔽がない場合、全てのユースケースで対応可能（最大通信距離における回線マージンが 0dB 以上）であるが、大型車による遮蔽がある場合、最大通信距離の短い（150m 以下）e-1（緊急車両の情報による走行支援）は対応可能だが、最大通信距離が大きく（250m 以上）回線設計上の最大通信距離を超える UC c-1（前方で急停止、急減速時の衝突回避支援）及び a-2（混雑時の車線変更の支援）は対応不可となった。

表 5.3.2-5　単路における評価の回線設計結果

評価ケース	同一チャネルにおけるUCの混在	機能分類	ユースケース	通信要件(データ/距離/PAR)	回線マージン(大型車遮蔽有/無)	最大通信距離(大型車遮蔽有/無)	対応可否(大型車遮蔽有/無)
1	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	334byte/150m/99%	+4.6dB/+14.6dB	225.1m/400.3m	○/○
2	なし	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	338byte/250m/99%	-1.8dB/+8.2dB	225.1m/400.3m	×/○
3	なし	a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	329byte/255m/99%	-2.2dB/+7.8dB	225.1m/400.3m	×/○
4	あり	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	338byte/150m/99%	+4.6dB/+14.6dB	225.1m/400.3m	○/○
		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	338byte/250m/99%	-1.8dB/+8.2dB	225.1m/400.3m	×/○
5	あり	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	364byte/150m/99%	+4.6dB/+14.6dB	225.1m/400.3m	○/○
		a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	364byte/250m/99%	-1.8dB/+8.2dB	225.1m/400.3m	×/○

※対応可否については、
可（○）：必要通信距離での回線マージンが0dB以上
否（×）：必要通信距離での回線マージンが0dB未満

(3) 通信シミュレーション結果

通信シミュレーションの結果について、以下の３つを示す。

－１パケットあたり PAR

※ITS FORUM RC-017 1.4 節の規定による。

－ 遅延（99%値）

※ITS FORUM RC-017 1.3 節で定義された遅延の 99%値である。

－ 遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）

※R3 年度検討（R3 年度研究開発における「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」）を参考に、少なくとも 1 回のパケットを受信できる確率が①の要求値に達するまでの時間（①の要求値に達するまでに送信した回数に送信周期である 100 ms を掛けたもの）として、以下の式で計算した。

$$\text{遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）} = \mathrm{ceil}\left[\frac{\log(1-P_D)}{\log(1-P_x)}\right] \times 100\ [ms]$$

P_D: 1 パケットあたり PAR の要求値（99%），P_x: 1 パケットあたり PAR

・評価ケース 4（UC e-1：緊急車両の情報による走行支援）

評価ケース 4（1 チャネルに UC e-1 と c-1 が混在する場合）の UC e-1（緊急車両の情報による走行支援）についての評価結果のまとめ、１パケット当たり PAR、遅延（99%値）、遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）をそれぞれ表 5.3.2-6、図 5.3.2-2、図 5.3.2-3 及び図 5.3.2-4 に示す。通信シナリオにおける通常時（車速 120km/h の 2 秒車間）、混雑時（車速 60km/h の 1 秒車間）はともに対応不可となった。

表 5.3.2-6　評価ケース 4（UC e-1：緊急車両の情報による走行支援）の結果のまとめ

ユースケース	車間距離	必要通信距離	1パケットあたりPAR	遅延（99%値）	遅延（PARの要求値に達するまでの時間）
e-1.緊急車両の情報による走行支援	120km/h, 2s	150m	95.6%	–	200ms
	60km/h, 1s		57.1%	–	600ms

図 5.3.2-2　評価ケース 4（UC e-1：緊急車両の情報による走行支援）の結果：
1 パケット当たり PAR

図 5.3.2-3　評価ケース 4（UC e-1：緊急車両の情報による走行支援）の結果：
遅延（99%値）

図 5.3.2-4　評価ケース 4（UC e-1：緊急車両の情報による走行支援）の結果：
遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）

・評価ケース 4（UC c-1：前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）

評価ケース 4（1 チャネルに UC e-1 と c-1 が混在する場合）の UC c-1（前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）についての評価結果のまとめ、1 パケット当たり PAR、遅延（99%値）、遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）をそれぞれ表 5.3.2-7、図 5.3.2-5、図 5.3.2-6 及び図 5.3.2-7 に示す。通信シナリオにおける通常時（車速 120km/h の 2 秒車間）、混雑時（車速 60km/h の 1 秒車間）はともに対応可能となった。

表 5.3.2-7　評価ケース 4（UC c-1：前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）の結果のまとめ

ユースケース	車間距離	必要通信距離	1パケットあたりPAR	遅延（99%値）	遅延（PARの要求値に達するまでの時間）
c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	120km/h, 2s	250m（直接通信）	100.0%	85.8ms	100ms
		1000m（中継通信）	100.0%	134.5ms	200ms
	60km/h, 1s	250m（直接通信）	99.3%	88.4ms	100ms
		1000m（中継通信）	100.0%	179.8ms	200ms

図 5.3.2-5　評価ケース 4（UC c-1：前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）の結果：
1 パケット当たり PAR

図 5.3.2-6　評価ケース 4（UC c-1：前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）の結果：
遅延（99%値）

図 5.3.2-7　評価ケース 4（UC c-1：前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）の結果：遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）

・評価ケース 5 （UC e-1：緊急車両の情報による走行支援, UC a-2：混雑時の車線変更の支援）

評価ケース 5（1 チャネルに UC e-1 と a-2 が混在する場合）の各ユースケースについての評価結果のまとめ、1 パケット当たり PAR、遅延（99%値）、遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）をそれぞれ表 5.3.2-8、図 5.3.2-8、図 5.3.2-9 及び図 5.3.2-10 に示す。通信シナリオにおける通常時（車速 120km/h の 2 秒車間）、混雑時（車速 60km/h の 1 秒車間）はともに対応不可となった。

表 5.3.2-8　評価ケース 5 （UC e-1：緊急車両の情報による走行支援, UC a-2：混雑時の車線変更の支援）の結果のまとめ

ユースケース	車間距離	必要通信距離	1パケットあたりPAR	遅延（99%値）	遅延（PARの要求値に達するまでの時間）
e-1.緊急車両の情報による走行支援	120km/h, 2s	150m	95.6%	–	200ms
	60km/h, 1s		57.1%	–	600ms
a-2.混雑時の車線変更の支援	120km/h, 2s	255m	91.8%	–	200ms
	60km/h, 1s		24.2%	–	1700ms

図 5.3.2-8　評価ケース 5 （UC e-1：緊急車両の情報による走行支援, UC a-2：混雑時の車線変更の支援）の結果：1パケット当たり PAR

図 5.3.2-9　評価ケース 5 （UC e-1：緊急車両の情報による走行支援, UC a-2：混雑時の車線変更の支援）の結果：遅延（99%値）

図 5.3.2-10　評価ケース 5 （UC e-1：緊急車両の情報による走行支援, UC a-2：混雑時の車線変更の支援）の結果：遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）

(4) 評価結果に対する考察・課題

表 5.3.2-9 に単路における評価結果のまとめを示す。ユースケースが混在する評価ケース（4 及び 5）においてもユースケースが混在しない評価ケース（2 及び 3）と同等の通信品質となった。これは、メッセージの共通化（情報要素の多重方法）によるサイズ削減による効果である。

UC c-1（前方での急停止、急減速時の衝突回避支援）について、干渉源の存在や UC e-1 が混在に関わらず通信要件を満足した。これは中継を行うユースケースのため、通信容量は大きいものの複数の端末が中継を行うことで、パケットが到達可能となる。UC e-1（緊急車両の情報による走行支援）及び UC a-2（混雑時の車線変更の支援）について、通信要件を満足しない。これは必要通信距離が大きく、受信電力が相対的に小さくなるため、干渉源を含めた他車とのパケット衝突による干渉の影響が大きいためである。

車間距離について、車間距離 60km/h,1s の場合よりも、車間距離 120km/h,2s の場合の方が、通信品質がよい結果となった。車間距離が広がることで送信台数が減り、干渉の影響が下がったことが考えられる。このことから通信制御方式として、車両の送信周期を広げた場合、時間当たりの送信台数を減らし、干渉の影響を下げることができるため、通信品質の改善が有効である可能性がある。

今後の課題として、通信制御方式として、送信周期を広げた場合の評価が挙げられる。

表 5.3.2-9　単路における評価のまとめ

評価ケース	同一チャネルにおけるUCの混在	機能分類	ユースケース	通信要件（データ/距離/PAR/遅延）	車線数/車間距離					
					3車線/120km/h,2s			3車線/60km/h,1s		
					通信性能（PAR/遅延）	対応可否	遅延（PARの要求値に達するまでの時間）	通信性能（PAR/遅延）	対応可否	遅延（PARの要求値に達するまでの時間）
2	なし	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	338byte/250m/99%/100ms	100%/85.8ms	○	100ms	99.3%/88.4ms	○	100ms
3	なし	a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	329byte/255m/99%/100ms	91.8%/－	×	200ms	24.2%/－	×	1700ms
4	あり	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	338byte/150m/99%/100ms	95.6%/－	×	200ms	57.1%/－	×	600ms
		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	338byte/250m/99%/100ms	100%/85.8ms	○	100ms	99.3%/88.4ms	○	100ms
5	あり	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	364byte/150m/99%/100ms	95.6%/－	×	200ms	57.1%/－	×	600ms
		a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	364byte/255m/99%/100ms	91.8%/－	×	200ms	24.2%/－	×	1700ms

※対応可否については、
可（○）：通信エリア内で通信要件（PAR, 遅延）を満足
否（×）：通信エリア内で通信要件（PAR, 遅延）を未達成

5.3.3 合流部、交差点における評価

本節では、SIP 協調型自動運転ユースケース [1]（以下、SIP UC）のうち、直接通信（V2V 及び V2I）のユースケースを評価対象とし、発生場所毎に同時に発生し得るユースケースの組み合わせを考慮しながら、合流部、交差点における評価を実施した結果を述べる。以降では、評価条件（(1)節）、回線設計結果（(2)節）、通信シミュレーション結果（(3)節）、評価結果に対する考察・課題（(4)節）の順に述べる。

(1) 評価条件

本節では、合流部、交差点における評価条件を述べる。

はじめに、通信シミュレーションにおける評価条件の整理結果を表 5.3.3 1 に示す。通信チャネルの割り当て（4.1 節）、通信メッセージの共通化（5.2.2(2)節における情報要素の多重方法）の検討を反映した評価条件を設定するとともに、R3 年度検討（*）の評価条件を比較し、より精緻な通信パラメータ・評価指標を選定した。続いて、合流部、交差点における評価条件詳細を表 5.3.3-2 に示す。赤枠内で示した通り、通信チャネル割り当ての案（4.1.2 節）のうち 2 通り（10MHz×3 チャネルの案 1 及び 10MHz チャネル＋20MHz チャネルの案 6）を選定し、合流部、交差点で同時に発生し得る V2V, V2I 通信のユースケースを組み合わせると共に、ユースケースの対象エリア周辺には、同一のユースケースが複数発生することによる干渉源も存在する想定とした。また、メッセージの共通化（情報要素の多重方法）の検討結果（5.2.2(2)節）を踏ま

え、同一ユースケースにおける複数の宛先の情報要素、及び同一チャネルにおける複数のユースケースにおいて情報要素の多重を行う条件とした。更に、上位層における通信制御方式（4.2節）の効果検証として、送信周期を通信要件よりも大きくした場合の評価も実施した。

(*) 総務省 R3 年度 周波数ひっ迫対策技術試験事務「5.9GHz 帯 V2X 用通信システムに関する技術的検討」（表 5.3.3 1 では、「R3 年度 総務省（5.9GHz CV2X）」と記載）、SIP 第 2 期自動運転（システムとサービスの拡張） 令和 3 年度研究開発における「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」（表 5.3.3 1 では、「R3 年度 SIP 5.9GHz CV2X」と記載）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」（表 5.3.3 1 では、「R3 年度 SIP 700MHz ITS」と記載）

表 5.3.3-1　通信シミュレーションによる通信性能評価 評価条件の整理

項目		本事業		R3年度 総務省（5.9GHz CV2X）	R3年度 SIP	
		合流部、交差点における評価	単路における評価		5.9GHz CV2X	700MHz ITS（参考）
運用方式	セキュリティによるオーバヘッド	250バイト（ITS FORUMRC-017の想定）			なし	路側機：273＋28nバイト、車載機：27バイト（既存サービスの方式を想定）
	通信チャネル	複数（事業項目bの検討を反映）	単一			
L1/L2関連	通信仕様	LTE V2X（PC5）				ARIB STD-T109
	送信回数	2回（Blind HARQ）			1回	
	アンテナダイバーシチ	あり（送信1系統、受信2系統）			なし	
電波伝搬	パスロス	ITU-R P.1411				路車間：700MHzITS路車・路路モデル 車車間：伊藤・多賀モデル
	瞬時フェージング	あり（3GPP EVA）			あり（レイリー/仲上）	あり（正規分布）
	シャドウイング	あり（対数正規分布（標準偏差：3.68dB））			なし	
	遮蔽損失	あり（大型車による遮蔽を考慮（10dB））			なし	あり（0.5dB/台（最大8dB））
通信条件	評価ケース（SIP UC）	・複数UC（合流部周辺、交差点周辺の2通りとし、通信の輻輳が想定される組み合わせを選定）	・単一UC（UC a-2, c-1, e-1を候補） ・複数UC（上記の組み合わせ） ※b項の効果検証対象UC（c-1）を含む発生場所が任意のV2V UCを対象	・単一UC（全て） ・複数UC（モデルケースに限定）	・単一UC（合流部周辺のUC a-1-4） ・複数UC（交差点周辺のUC b-1-1, c-1, c-2-2） ※通信の輻輳が想定されるケースを選定	・単一UC（高速道/一般道及び路車間/車車間の4ケースで代表） ・複数UC（全てのUC）
	メッセージの共通化	あり（ITS FORUM RC-017の検討結果を参考）		なし（UC毎に別個のメッセージ）		あり（ITS Connect TD-001を参考）
	干渉源	あり（車載機は常時、100ミリ秒周期で送信）		なし（対象UCの通信エリア外は考慮せず）		あり（同一チャネルの既存サービス）
評価指標	評価項目	PAR, 遅延（99%値）, 遅延（PARの要求値に達するまでの時間）			PAR, 遅延（平均）	PAR, 遅延（PARの要求値に達するまでの時間）
	通信品質の定義	1パケットあたり				

表 5.3.3-2　合流部、交差点における評価条件詳細

項目		本事業		R3年度 総務省（5.9GHz CV2X）	R3年度 SIP	
		合流部、交差点における評価	**単路における評価**		5.9GHz CV2X	700MHz ITS（参考）
運用方式	セキュリティによるオーバヘッド	250バイト（ITS FORUMRC-017の想定）				3＋28nバイト、車載機：存サービスの方式を想定）
	通信チャネル	複数（事業項目bの検討を反映）	単一			
L1/L2関連	通信仕様	LTE V2X（PC5）				T109
	送信回数	2回（Blind HARQ）				
	アンテナダイバーシチ	あり（送信1系統、受信2系統）				
電波伝搬	パスロス	ITU-R P.1411				)MHzITS路車・路路モデル 藤・多賀モデル
	瞬時フェージング	あり（3GPP EVA）				布）
	シャドウイング	あり（対数正規分布（標準偏差：3.68dB））				
	遮蔽損失	あり（大型車による遮蔽を考慮（10dB））				台（最大8dB））
通信条件	評価ケース（SIP UC）	・複数UC（合流部周辺、交差点周辺の2通りとし、通信の輻輳が想定される組み合わせを選定）	・単一UC（UC a-2, c-1, e-1を候補） ・複数UC（上記の組み合わせ） ※b項の効果検証対象UC（c-1）を含む発生場所が任意のV2V UCを対象			高速道/一般道及び 間の4ケースで代表） てのUC）
	メッセージの共通化	あり（ITS FORUM RC-017の検討結果を参考）				nnect TD-001を参考）
	干渉源	あり（車載機は常時、100ミリ秒周期で送信）				ャネルの既存サービス）
評価指標	評価項目	PAR, 遅延（99%値）, 遅延（PARの要求値に達するまでの時間				PARの要求値に達するまで
	通信品質の定義	1パケットあたり				

- **チャネル割り当て： 2通り**
  - **10MHz×3**（事業項目bにおける案1）及び**10MHz＋20MHz**（案6）
  - 隣接Chの影響（干渉電力）を考慮
- **通信制御方式： 送信周期見直し**
  - 代替案として、送信周期を通信要件よりも大きくした場合（時間変化は考慮せず）における通信品質改善の可能性を検証
- **対象とする場所： 2通り**
  - **合流部**、**交差点**を候補
- **対象ユースケース： 複数**
  - 上記の2か所で同時に発生し得るV2I, V2Vユースケースを組み合わせ
  - 複数ユースケースのメッセージを多重（ITS FORUM RC-017の検討を参考）
- **干渉源： あり**
  - 対象ユースケースの通信エリア外に干渉源が存在（ユースケースが複数の場所で同時発生する場合を考慮）

合流部、交差点における対象ユースケース・道路環境を表 5.3.3-3、各場所におけるユースケースの重ね合わせイメージをそれぞれ図 5.3.3-1、図 5.3.3-2 に示す。

表 5.3.3-3　合流部、交差点における対象ユースケース・道路環境

	高速道路の合流部	一般道の交差点
対象 ユースケース	V2I のユースケース（UC a-1-3）， V2V のユースケース（UC a-2, c-1, e-1）の混在 ※路側管制による合流支援のユースケース（UC a-1-3）に、同時に発生し得るユースケースを組み合わせ	V2I のユースケース（UC b-1-1, c-2-2）、 V2V のユースケース（UC a-2, c-1, e-1）の混在 ※信号情報/交差点情報による走行支援のユースケースに、同時に発生し得るユースケースを組み合わせ
道路条件	本線：3 車線、連絡路：1 車線	片側 3 車線
交通流 （車両密度）	・通常時（車速 100km/h・2s 車間） ・混雑時（車速 50km/h・1s 車間） ※UC a-1-3 の通信シナリオ案における検討条件を参照	横方向の走行車線（外側及び中央）： ・通常時（車速 70km/h・2s 車間）、 ・混在時（車速 30km/h・1s 車間） 横方向の右折車線（内側）、縦方向の車線： ・静止（車間は 2m） ※UC c-2-2 の通信シナリオ案における検討条件を参照
干渉源	対象ユースケースの通信エリア外に存在（周辺車両は全て同じユースケースの情報を送信） ※評価対象とする受信車両位置を中心に、上流/下流ともに 500m 程度の範囲に存在	対象ユースケースの通信エリア外に存在（周辺車両は全て同じユースケースの情報を送信） ※評価対象とする受信車両位置を中心に、上流/下流ともに 500m 程度の範囲に存在。縦方向の車両は交差点中心から 100m 程度の範囲に存在（横方向の受信車両位置からは見通し外）

※「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-」
（https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf）に記載の図を基に作成

図 5.3.3-1　ユースケースの重ね合わせイメージ（高速道路の合流部）

※「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-」（https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf）に記載の図を基に作成

図 5.3.3-2　ユースケースの重ね合わせイメージ（一般道の交差点）

各場所におけるユースケースとチャネルの対応をそれぞれ表 5.3.3-4、表 5.3.3-5 に示す。評価条件として選定したチャネル割り当て案（複数チャネルの場合）との比較のため、単一チャネルの場合の評価も実施しており、本条件についても併記する。

表 5.3.3-4　ユースケースとチャネルの対応（高速道路の合流部）

<table>
<tr><th rowspan="2">機能分類</th><th rowspan="2">ユースケース</th><th rowspan="2">通信形態</th><th colspan="2">複数チャネル
（通信チャネル割り当て案）</th><th colspan="2">単一チャネル
（比較のために実施した条件）</th></tr>
<tr><th>案1
(10MHz×3Ch)</th><th>案6
(10MHz＋20MHz)</th><th>10MHz</th><th>20MHz</th></tr>
<tr><td>a.合流・車線変更支援</td><td>a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援</td><td>V2I</td><td>Ch1 (10MHz)</td><td>Ch1 (10MHz)</td><td rowspan="4">Ch1 (10MHz)</td><td rowspan="4">Ch1 (20MHz)</td></tr>
<tr><td>e.先読み情報：緊急車両回避</td><td>e-1.緊急車両の情報による走行支援</td><td rowspan="3">V2V</td><td rowspan="2">Ch2 (10MHz)</td><td rowspan="3">Ch2 (20MHz)</td></tr>
<tr><td>a.合流・車線変更支援</td><td>a-2.混在時の車線変更の支援</td></tr>
<tr><td>c.先読み情報：衝突回避</td><td>c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援</td><td>Ch3 (10MHz)</td></tr>
</table>

表 5.3.3-5　ユースケースとチャネルの対応（一般道の交差点）

<table>
<tr><th rowspan="2">機能分類</th><th rowspan="2">ユースケース</th><th rowspan="2">通信形態</th><th colspan="2">複数チャネル
（通信チャネル割り当て案）</th><th colspan="2">単一チャネル
（比較のために実施した条件）</th></tr>
<tr><th>案1
(10MHz×3Ch)</th><th>案6
(10MHz＋20MHz)</th><th>10MHz</th><th>20MHz</th></tr>
<tr><td>b.信号情報</td><td>b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)</td><td rowspan="2">V2I</td><td rowspan="2">Ch1 (10MHz)</td><td rowspan="2">Ch1 (10MHz)</td><td rowspan="5">Ch1 (10MHz)</td><td rowspan="5">Ch1 (20MHz)</td></tr>
<tr><td>c.先読み情報：衝突回避</td><td>c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)</td></tr>
<tr><td>e.先読み情報：緊急車両回避</td><td>e-1.緊急車両の情報による走行支援</td><td rowspan="3">V2V</td><td rowspan="2">Ch2 (10MHz)</td><td rowspan="3">Ch2 (20MHz)</td></tr>
<tr><td>a.合流・車線変更支援</td><td>a-2.混在時の車線変更の支援</td></tr>
<tr><td>c.先読み情報：衝突回避</td><td>c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援</td><td>Ch3 (10MHz)</td></tr>
</table>

各場所におけるユースケースとデータサイズの対応をそれぞれ表 5.3.3-6、表 5.3.3-7 に示す。本評価では前述の通り、同一ユースケースにおける複数の宛先の情報要素、及び同一チャネルにおける複数のユースケースにおいて情報要素の多重を行う条件としたため、UC a-1-3（路側管制による本線車両協調合流支援）の調停/更新要求について、宛先車両の異なる情報要素（調停情報）を多重し、更に車両が複数ユースケースの情報を送信する場合は、同一チャネルで送信する各ユースケースの情報要素（ユースケース固有情報）を多重した。各場所における情報要素の多重方法をそれぞれ表 5.3.3-8～表 5.3.3-11、表 5.3.3-12～表 5.3.3-15 に示す。

通信条件の詳細を表 5.3.3-16 に示す。5.3.1 節で説明した通り、無線通信方式は CV2X（LTE V2X（PC5））とした場合のみ評価した。

表 5.3.3-6　ユースケースとデータサイズの対応（高速道路の合流部）

送信元	機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	情報要素の多重あり（本評価で設定した条件）複数チャネル（通信チャネル割り当て案）案1（10MHz×3Ch） チャネル	データサイズ [byte]	案6（10+20MHz） チャネル	データサイズ [byte]	単一チャネル（比較のために実施した条件）10MHz チャネル	データサイズ [byte]	20MHz チャネル	データサイズ [byte]	情報要素の多重なし（参考） データサイズ [byte]
路側インフラ	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	位置情報(*1)	I2V	Ch1	**1572**	Ch1	**1572**	Ch1	**1572**	Ch1	**1572**	**1572**
			調停要求 更新要求(*2)			**718 (×4)**		**718 (×4)**		**718 (×4)**		**718 (×4)**	**298 (×48)**
車両			管制要求 調停応答 更新応答	V2I		**329**		**329**		**398**		**398**	**329**
	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	－	V2V	Ch2	**364**	Ch2	**368**					**334**
	a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	調停要求 更新要求 調停応答 更新応答										**329**
	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	－		Ch3	**338**							**338**

(*1) データサイズは、車速50km/h・1s車間の場合（車速100km/h・2s車間の場合、708バイト）
(*2) データサイズは、車速50km/h・1s車間の場合（車速100km/h・2s車間の場合、情報要素の多重あり：718 (×2) バイト、多重なし：298 (×16) バイト）
また「718 (×4)」の表記は、718バイトを4回送信することを表す。

表 5.3.3-7　ユースケースとデータサイズの対応（一般道の交差点）

<table>
<tr><th rowspan="4">送信元</th><th rowspan="4">機能分類</th><th rowspan="4">ユースケース</th><th rowspan="4">メッセージ名</th><th rowspan="4">通信形態</th><th colspan="8">情報要素の多重あり
(本評価で設定した条件)</th><th rowspan="4">情報要素の多重なし
(参考)</th></tr>
<tr><th colspan="4">複数チャネル
(通信チャネル割り当て案)</th><th colspan="4">単一チャネル
(比較のために実施した条件)</th></tr>
<tr><th colspan="2">案1
(10MHz×3Ch)</th><th colspan="2">案6
(10+20MHz)</th><th colspan="2">10MHz</th><th colspan="2">20MHz</th></tr>
<tr><th>チャネル</th><th>データサイズ [byte]</th><th>チャネル</th><th>データサイズ [byte]</th><th>チャネル</th><th>データサイズ [byte]</th><th>チャネル</th><th>データサイズ [byte]</th><th>データサイズ [byte]</th></tr>
<tr><td rowspan="2">路側インフラ
(*1)</td><td>b.信号情報</td><td>b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)</td><td>－</td><td rowspan="2">I2V</td><td rowspan="2">Ch1</td><td rowspan="2">1488</td><td rowspan="2">Ch1</td><td rowspan="2">1488</td><td rowspan="6">Ch1</td><td rowspan="2">1488</td><td rowspan="6">Ch1</td><td rowspan="2">1488</td><td rowspan="2">1488</td></tr>
<tr><td>c.先読み情報:衝突回避</td><td>c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="4">車両</td><td>e.先読み情報:緊急車両回避</td><td>e-1.緊急車両の情報による走行支援</td><td>－</td><td rowspan="4">V2V</td><td>Ch2</td><td>364</td><td>Ch2</td><td>368</td><td>368</td><td>368</td><td>334</td></tr>
<tr><td rowspan="2">a.合流・車線変更支援</td><td rowspan="2">a-2.混雑時の車線変更の支援</td><td>調停要求
更新要求</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="2">329</td></tr>
<tr><td>調停応答
更新応答</td></tr>
<tr><td>c.先読み情報:衝突回避</td><td>c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援</td><td>－</td><td>Ch3</td><td>338</td><td>338</td></tr>
</table>

(*1) UC b-1-1のメッセージはUC c-2-2のメッセージに包含されるため、路側インフラからは1つのメッセージ（UC c-2-2のメッセージ）のみ送信することを想定

表 5.3.3-8　情報要素の多重方法（高速道路の合流部）　－通信チャネルの割り当て案 1－

送信元	宛先	チャネル	機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	データサイズ [byte]												
							合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報								
											路側管制情報	周辺車両情報	調停情報 (UC a-1-3)				調停情報 (UC a-2)	ハザード情報	
												a-1-x	車両#1	車両#2	・・・	車両#15 (*2)		c-1, c-3	e-1 (*5)
路側インフラ	非特定車両	Ch1	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	位置情報	I2V	1572 (*3)	250	18		1	1303 (*4)							
	車両#1～車両#15				調停要求 更新要求		718 (*6)	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#16～車両#30				調停要求 更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#31～車両#45				調停要求 更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#45～車両#48 (*1)				調停要求 更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
車両	路側インフラ	Ch1			管制要求	V2I	329	250	18	31			30						
					調停応答 更新応答														
	非特定車両	Ch2	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	–	V2V	364	250	18	31							30		35
			a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	調停要求 更新要求														
					調停応答 更新応答														
		Ch3	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	–		338	250	18	31								39	

(*1) 車速50km/h・1s車間の場合（車速100km/h・2s車間の場合、最大16台）　(*2) 10MHz帯域幅の場合（20MHz帯域幅の場合、車両#39が最大）
(*3) 車速50km/h・1s車間の場合（車速100km/h・2s車間の場合、708バイト）　(*4) 車速50km/h・1s車間の場合（車速100km/h・2s車間の場合、439バイト）
(*5) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
ITS FORUM RC-017 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と記載された情報要素を除外し、35バイトを想定
(*6) 10MHz帯域幅の場合（20MHz帯域幅の場合、1438バイト）

表 5.3.3-9　情報要素の多重方法（高速道路の合流部）　－通信チャネルの割り当て案 6－

送信元	宛先	チャネル	機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	データサイズ [byte]												
							合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報								
											路側管制情報	周辺車両情報	調停情報 (UC a-1-3)				調停情報 (UC a-2)	ハザード情報	
												a-1-x	車両#1	車両#2	・・・	車両#15 (*2)		c-1, c-3	e-1 (*5)
路側インフラ	非特定車両	Ch1	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	位置情報	I2V	1572 (*3)	250	18		1	1303 (*4)							
	車両#1～車両#15				調停要求 更新要求		718 (*6)	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#16～車両#30				調停要求 更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#31～車両#45				調停要求 更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#45～車両#48 (*1)				調停要求 更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
車両	路側インフラ	Ch1			管制要求	V2I	329	250	18	31			30						
					調停応答 更新応答														
	非特定車両	Ch2	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	–	V2V	368	250	18	31							30	39 (*7)	
			a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	調停要求 更新要求														
					調停応答 更新応答														
			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	–														

(*1) 車速50km/h･1s車間の場合（車速100km/h･2s車間の場合、最大16台）　(*2) 10MHz帯域幅の場合（20MHz帯域幅の場合、車両#39が最大）
(*3) 車速50km/h･1s車間の場合（車速100km/h･2s車間の場合、708バイト）　(*4) 車速50km/h･1s車間の場合（車速100km/h･2s車間の場合、439バイト）
(*5) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
ITS FORUM RC-017 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と記載された情報要素を除外し、35バイトを想定
(*6) 10MHz帯域幅の場合（20MHz帯域幅の場合、1438バイト）
(*7) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
UC e-1とc-1のユースケース固有情報は、緊急情報として同一の領域を共用し、UC e-1（35バイト）もc-1（39バイト）も収まる39バイトを想定

表 5.3.3-10　情報要素の多重方法（高速道路の合流部）　－単一チャネル－

送信元	宛先	チャネル	機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	データサイズ [byte]												
							合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報								
											路側管制情報	周辺車両情報	調停情報 (UC a-1-3)				調停情報 (UC a-2)	ハザード情報	
												a-1-x	車両#1	車両#2	・・・	車両#15 (*2)		c-1, c-3	e-1 (*5)
路側インフラ	非特定車両	Ch1	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	位置情報	I2V	1572 (*3)	250	18		1	1303 (*4)							
	車両#1～車両#15				調停要求更新要求		718 (*6)	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#16～車両#30				調停要求更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#31～車両#45				調停要求更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
	車両#45～車両#48 (*1)				調停要求更新要求		718	250	18				30	30	・・・	30			
車両	路側インフラ	Ch1			管制要求	V2I	398	250	18	31			30				30	39 (*7)	
					調停応答更新応答														
	非特定車両		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	–	V2V													
			a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	調停要求更新要求														
					調停応答更新応答														
			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	–														

(*1) 車速50km/h・1s車間の場合（車速100km/h・2s車間の場合、最大16台）　(*2) 10MHz帯域幅の場合（20MHz帯域幅の場合、車両#39が最大）
(*3) 車速50km/h・1s車間の場合（車速100km/h・2s車間の場合、708バイト）　(*4) 車速50km/h・1s車間の場合（車速100km/h・2s車間の場合、439バイト）
(*5) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
ITS FORUM RC-017 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と記載された情報要素を除外し、35バイトを想定
(*6) 10MHz帯域幅の場合（20MHz帯域幅の場合、1438バイト）
(*7) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
UC e-1とc-1のユースケース固有情報は、緊急情報として同一の領域を共用し、UC e-1（35バイト）もc-1（39バイト）も収まる39バイトを想定

表 5.3.3-11　情報要素の多重方法（高速道路の合流部）　－情報要素の多重なし（参考）－

送信元	宛先	機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	データサイズ [byte]												
						合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報								
										路側管制情報	周辺車両情報	調停情報 (UC a-1-3)				調停情報 (UC a-2)	ハザード情報	
											a-1-x	車両#1	車両#2	・・・	車両#15 (*2)		c-1, c-3	e-1 (*5)
路側インフラ	非特定車両	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	位置情報	I2V	1572 (*3)	250	18		1	1303 (*4)							
	車両#1			調停要求 更新要求		298	250	18				30						
	車両#2			調停要求 更新要求		298	250	18				30						
	・・・			・・・														
	車両#48 (*1)			調停要求 更新要求		298	250	18				30						
車両	路側インフラ			管制要求 調停応答 更新応答	V2I	329	250	18	31			30						
	非特定車両	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	–	V2V	334	250	18	31									35
		a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	調停要求 更新要求 調停応答 更新応答		329	250	18	31							30		
		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	–		338	250	18	31								39	

(*1) 車速50km/h･1s車間の場合（車速100km/h･2s車間の場合、最大16台）　(*2) 10MHz帯域幅の場合（20MHz帯域幅の場合、車両#39が最大）
(*3) 車速50km/h･1s車間の場合（車速100km/h･2s車間の場合、708バイト）　(*4) 車速50km/h･1s車間の場合（車速100km/h･2s車間の場合、439バイト）
(*5) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
ITS FORUM RC-017 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と記載された情報要素を除外し、35バイトを想定

表 5.3.3-12　情報要素の多重方法（一般道の交差点）　－通信チャネルの割り当て案 1－

送信元	宛先	チャネル	機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	データサイズ [byte]								
							合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報				
											周辺車両情報	交差点情報	調停情報	ハザード情報	
											c-2-2			c-1, c-3	e-1 (*2)
路側インフラ	非特定車両	Ch1	b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)	–	I2V	1488 (*1)	250	18		824	396			
			c.先読み情報: 衝突回避	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	–										
車両	非特定車両	Ch2	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	–	V2V	364	250	18	31			30		35
			a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	調停要求 更新要求										
					調停応答 更新応答										
		Ch3	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	–		338	250	18	31				39	

(*1) UC b-1-1のメッセージはUC c-2-2のメッセージに包含されるため、路側インフラからは1つのメッセージ（UC c-2-2のメッセージ）のみ送信することを想定
(*2) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
ITS FORUM RC-017 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と記載された情報要素を除外し、35バイトを想定

表 5.3.3-13　情報要素の多重方法（一般道の交差点）　－通信チャネルの割り当て案 6－

<table>
<tr><th rowspan="3">送信元</th><th rowspan="3">宛先</th><th rowspan="3">チャネル</th><th rowspan="3">機能分類</th><th rowspan="3">ユースケース</th><th rowspan="3">メッセージ名</th><th rowspan="3">通信形態</th><th colspan="9">データサイズ [byte]</th></tr>
<tr><th rowspan="2">合計</th><th rowspan="2">オーバヘッド</th><th rowspan="2">①メッセージ情報</th><th rowspan="2">③車両基本情報</th><th colspan="5">④ユースケース固有情報</th></tr>
<tr><th>周辺車両情報</th><th rowspan="2">交差点情報</th><th rowspan="2">調停情報</th><th colspan="2">ハザード情報</th></tr>
<tr><th></th><th></th><th></th><th></th><th>c-2-2</th><th>c-1, c-3</th><th>e-1 (*2)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">路側インフラ</td><td rowspan="2">非特定車両</td><td rowspan="2">Ch1</td><td>b.信号情報</td><td>b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)</td><td>－</td><td rowspan="2">I2V</td><td rowspan="2">1488 (*1)</td><td rowspan="2">250</td><td rowspan="2">18</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">824</td><td rowspan="2">396</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>c.先読み情報: 衝突回避</td><td>c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="3">車両</td><td rowspan="3">非特定車両</td><td rowspan="3">Ch2</td><td>e.先読み情報: 緊急車両回避</td><td>e-1.緊急車両の情報による走行支援</td><td>－</td><td rowspan="3">V2V</td><td rowspan="3">368</td><td rowspan="3">250</td><td rowspan="3">18</td><td rowspan="3">31</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="3">30</td><td rowspan="3">39 (*3)</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">a.合流・車線変更支援</td><td rowspan="2">a-2.混雑時の車線変更の支援</td><td>調停要求
更新要求</td></tr>
<tr><td>調停応答
更新応答</td><td></td></tr>
<tr><td>c.先読み情報: 衝突回避</td><td>c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援</td><td>－</td><td></td></tr>
</table>

(*1) UC b-1-1のメッセージはUC c-2-2のメッセージに包含されるため、路側インフラからは1つのメッセージ（UC c-2-2のメッセージ）のみ送信することを想定
(*2) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
ITS FORUM RC-017 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と記載された情報要素を除外し、35バイトを想定
(*3) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
UC e-1とc-1のユースケース固有情報は、緊急情報として同一の領域を共用し、UC e-1（35バイト）もc-1（39バイト）も収まる39バイトを想定

表 5.3.3-14　情報要素の多重方法（一般道の交差点）　－単一チャネル－

<table>
<tr><th rowspan="3">送信元</th><th rowspan="3">宛先</th><th rowspan="3">チャネル</th><th rowspan="3">機能分類</th><th rowspan="3">ユースケース</th><th rowspan="3">メッセージ名</th><th rowspan="3">通信形態</th><th colspan="9">データサイズ [byte]</th></tr>
<tr><th rowspan="2">合計</th><th rowspan="2">オーバヘッド</th><th rowspan="2">①メッセージ情報</th><th rowspan="2">③車両基本情報</th><th colspan="5">④ユースケース固有情報</th></tr>
<tr><th>周辺車両情報</th><th rowspan="2">交差点情報</th><th rowspan="2">調停情報</th><th colspan="2">ハザード情報</th></tr>
<tr><th></th><th></th><th></th><th></th><th>c-2-2</th><th>c-1, c-3</th><th>e-1 (*2)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">路側インフラ</td><td rowspan="2">非特定車両</td><td rowspan="2">Ch1</td><td>b.信号情報</td><td>b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)</td><td>－</td><td rowspan="2">I2V</td><td rowspan="2">1488 (*1)</td><td rowspan="2">250</td><td rowspan="2">18</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">824</td><td rowspan="2">396</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>c.先読み情報: 衝突回避</td><td>c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)</td><td>－</td></tr>
<tr><td rowspan="3">車両</td><td rowspan="3">非特定車両</td><td rowspan="3">Ch1</td><td>e.先読み情報: 緊急車両回避</td><td>e-1.緊急車両の情報による走行支援</td><td>－</td><td rowspan="3">V2V</td><td rowspan="3">368</td><td rowspan="3">250</td><td rowspan="3">18</td><td rowspan="3">31</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">30</td><td rowspan="3">39 (*3)</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>a.合流・車線変更支援</td><td>a-2.混雑時の車線変更の支援</td><td>調停要求
更新要求
調停応答
更新応答</td></tr>
<tr><td>c.先読み情報: 衝突回避</td><td>c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援</td><td>－</td></tr>
</table>

(*1) UC b-1-1のメッセージはUC c-2-2のメッセージに包含されるため、路側インフラからは1つのメッセージ（UC c-2-2のメッセージ）のみ送信することを想定
(*2) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
ITS FORUM RC-017 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と記載された情報要素を除外し、35バイトを想定
(*3) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
UC e-1とc-1のユースケース固有情報は、緊急情報として同一の領域を共用し、UC e-1（35バイト）もc-1（39バイト）も収まる39バイトを想定

表 5.3.3-15　情報要素の多重方法（一般道の交差点）　－情報要素の多重なし（参考）－

送信元	宛先	機能分類	ユースケース	メッセージ名	通信形態	データサイズ [byte]								
						合計	オーバヘッド	①メッセージ情報	③車両基本情報	④ユースケース固有情報				
										周辺車両情報	交差点情報	調停情報	ハザード情報	
										c-2-2			c-1, c-3	e-1 (*2)
路側インフラ	非特定車両	b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)	–	I2V	1488 (*1)	250	18		824	396			
		c.先読み情報: 衝突回避	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	–										
車両	非特定車両	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	–	V2V	334	250	18	31					35
		a.合流・車線変更支援	a-2.混雑時の車線変更の支援	調停要求 更新要求		329	250	18	31			30		
				調停応答 更新応答										
		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	–		338	250	18	31				39	

(*1) UC b-1-1のメッセージはUC c-2-2のメッセージに包含されるため、路側インフラからは1つのメッセージ（UC c-2-2のメッセージ）のみ送信することを想定
(*2) 昨年度検討（令和3年度「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」）を参考に、
ITS FORUM RC-017 6.2.1.10 (1) の表のうち、「使用しない想定」と記載された情報要素を除外し、35バイトを想定

表 5.3.3-16　合流部、交差点における評価 通信条件の詳細

項目		値
L1/L2関連	中心周波数	5890MHz
	空中線電力	23dBm
	システム帯域幅	10MHz
	変調方式	QPSK, 16QAM/SC-FDM
	誤り訂正（符号化率）	データ信号： ターボ符号（0.5） 制御信号： TBCC（0.1）
	アンテナダイバーシチ	あり（送信1系統、受信2系統）
	雑音電力密度	-173.9dBm/Hz
	雑音指数	10dB
	固定劣化	5dB
	アンテナ利得	路側機：6dBi, 車載機：4dBi
	アンテナ指向性	なし
	ケーブル・コネクタロス	路側機：0dB, 車載機：4dB
	セキュリティによる オーバーヘッド	250byte （ITS FORUM RC-017の想定）
	センシングウィンドウ	1000ms
	リソース選択ウィンドウ	50ms
	同期	GNSS
	送信回数	2回（blind HARQ）
電波伝搬	パスロス	ITU-R P.1411
	瞬時フェージング	3GPPによる検討モデル（*1）
	シャドウイング	対数正規分布（標準偏差：3.68dB）（*2）
	遮蔽損失	送受信間に大型車が存在する場合：10dB（*3）
	アンテナ高	路側機：6.0m, 車載機：1.6m (普通車), 4.1m (大型車)

*1 Extended Vehicular A model 3GPP TS 36.101 and 3GPP TS 36.104
*2 3GPP TR 36.885（A.1.4 channel model）を参考に空間相関を考慮した変動モデル
*3 3GPP TR 38.901 Blockage model B（ナイフエッジ回折によるモデル）を参考に
隣接する大型車１台による減衰量を車速40km/h, 1s車間で計算

R3年度検討（SIP, 総務省技試）の評価条件を比較し、より精緻な通信パラメータ・評価指標を選定

(2) 回線設計結果

本節では、リンクレベル（1 対 1 通信）による評価として、回線設計を実施した結果を述べる。評価条件（(1)節）に示した通り、通信チャネルの割り当て案を案 1（10MHz×3 チャネル）及び案 6（10MHz＋20MHz）とした場合の回線設計結果をそれぞれ表 5.3.3-17 及び表 5.3.3-18 に示す。

大型車による遮蔽がない場合、全てのユースケースで対応可能（最大通信距離における回線マージンが 0dB 以上）であるが、大型車による遮蔽がある場合、最大通信距離の短い（150 メートル以下）UC a-1-3（路側管制による本線車両協調合流支援）及び e-1（緊急車両の情報による走行支援）は対応可能だが、最大通信距離が大きく（255 メートル）回線設計上の最大通信距離を超える UC c-1（前方で急停止、急減速時の衝突回避支援）及び a-2（混雑時の車線変更の支援）は対応不可となった。

複数チャネルの場合（通信チャネルの割り当て案の案 1 及び案 6）との比較のため、単一チャネル（10MHz 及び 20MHz）の場合の回線設計結果をそれぞれ表 5.3.3-19 及び表 5.3.3-20 に示す。

単一チャネルの場合、複数チャネルの場合よりも 1 つのチャネルにより多くのユースケースが混在するため、パケットサイズが大きくなるが、セキュリティによるオーバヘッドのサイズ（250 バイト）よりも各ユースケースの情報要素のサイズは小さい（数十バイト）ため、情報要素の多重により、複数のユースケースの情報要素を 1 つのパケットにまとめても、パケットサイズに大きな差はないため、複数チャネルの場合と同様の結果となった。

表 5.3.3-17　回線設計結果（通信チャネルの割り当て案 1、10MHz×3 チャネル）

案1
(10MHz×3Ch)

No.	機能分類	ユースケース	メッセージ名	グループ	チャネル	通信要件 (データ/距離/PAR)	回線マージン (大型車遮蔽有/無)	最大通信距離 (大型車遮蔽有/無)	対応可否 (大型車遮蔽有/無)
高速道路の合流部									
1	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	位置情報	B	1	1572byte/222.2m/99%	+2.8dB/+12.8dB	308.3m/852.6m	○/○
2			調停要求・更新要求	B	1	718byte/222.2m/99%	+5.1dB/+15.1dB	398.3m/969.0m	○/○
3			調停応答・更新応答	B	1	329byte/222.2m/99%	+6.8dB/+16.8dB	488.2m/1072.9m	○/○
4	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	–	C	2	368byte/150.0m/99%	+4.3dB/+14.3dB	220.6m/392.2m	○/○
5	a. 合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	調停要求・更新要求	E	2	368byte/255.0m/99%	-2.5dB/+7.5dB	220.6m/392.2m	×/○
6			調停応答・更新応答	E	2	368byte/255.0m/99%	-2.5dB/+7.5dB	220.6m/392.2m	×/○
7	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	–	D	3	338byte/250.0m/99%	-2.2dB/+7.8dB	220.6m/392.2m	×/○
一般道の交差点									
8	b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I）	–	A	1	1488byte/206.3m/99%	+4.2dB/+14.2dB	334.4m/887.9m	○/○
9	c. 先読み情報:衝突回避	c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I）	–	A	1	1488byte/ 75.2m/99%	+12.9dB/+22.9dB	334.4m/887.9m	○/○
10	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	–	C	2	368byte/150.0m/99%	+3.7dB/+13.7dB	214.0m/380.5m	○/○
11	a. 合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	調停要求・更新要求	E	2	368byte/255.0m/99%	-3.0dB/+7.0dB	214.0m/380.5m	×/○
12			調停応答・更新応答	E	2	368byte/255.0m/99%	-3.0dB/+7.0dB	214.0m/380.5m	×/○
13	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	–	D	3	338byte/250.0m/99%	-2.7dB/+7.3dB	214.0m/380.5m	×/○

可（○）：必要通信距離での回線マージンが0dB以上
否（×）：必要通信距離での回線マージンが0dB未満

表 5.3.3-18　回線設計結果（通信チャネルの割り当て案 6、10MHz＋20MHz）

案6
（10MHz＋20MHz）

No.	機能分類	ユースケース	メッセージ名	グループ	チャネル	通信要件（データ/距離/PAR）	回線マージン（大型車遮蔽有/無）	最大通信距離（大型車遮蔽有/無）	対応可否（大型車遮蔽有/無）
高速道路の合流部									
1	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	位置情報	B	1	1572byte/222.2m/99%	+2.8dB/+12.8dB	308.3m/852.6m	○/○
2			調停要求・更新要求	B	1	718byte/222.2m/99%	+5.1dB/+15.1dB	398.3m/969.0m	○/○
3			調停応答・更新応答	B	1	329byte/222.2m/99%	+6.8dB/+16.8dB	488.2m/1072.9m	○/○
4	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	－	C	2	368byte/150.0m/99%	+4.4dB/+14.4dB	222.1m/394.9m	○/○
5	a. 合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	調停要求・更新要求	E	2	368byte/255.0m/99%	-2.4dB/+7.6dB	222.1m/394.9m	×/○
6			調停応答・更新応答	E	2	368byte/255.0m/99%	-2.4dB/+7.6dB	222.1m/394.9m	×/○
7	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	－	D	2	368byte/250.0m/99%	-2.1dB/+7.9dB	222.1m/394.9m	×/○
一般道の交差点									
8	b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I）	－	A	1	1488byte/206.3m/99%	+4.2dB/+14.2dB	334.4m/887.9m	○/○
9	c. 先読み情報：衝突回避	c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I）	－	A	1	1488byte/ 75.2m/99%	+12.9dB/+22.9dB	334.4m/887.9m	○/○
10	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	－	C	2	368byte/150.0m/99%	+3.8dB/+13.8dB	215.5m/383.1m	○/○
11	a. 合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	調停要求・更新要求	E	2	368byte/255.0m/99%	-2.9dB/+7.1dB	215.5m/383.1m	×/○
12			調停応答・更新応答	E	2	368byte/255.0m/99%	-2.9dB/+7.1dB	215.5m/383.1m	×/○
13	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	－	D	2	368byte/250.0m/99%	-2.6dB/+7.4dB	215.5m/383.1m	×/○

可（○）：必要通信距離での回線マージンが0dB以上
否（×）：必要通信距離での回線マージンが0dB未満

表 5.3.3-19　回線設計結果（単一チャネル、10MHz）

単一チャネル
(10MHz)

No.	機能分類	ユースケース	メッセージ名	グループ	チャネル	通信要件 (データ/距離/PAR)	回線マージン (大型車遮蔽有/無)	最大通信距離 (大型車遮蔽有/無)	対応可否 (大型車遮蔽有/無)
高速道路の合流部									
1	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	位置情報	B	1	1572byte/222.2m/99%	+2.8dB/+12.8dB	308.3m/852.6m	○/○
2			調停要求・更新要求	B	1	718byte/222.2m/99%	+5.1dB/+15.1dB	398.3m/969.0m	○/○
3			調停応答・更新応答	B	1	368byte/222.2m/99%	+6.8dB/+16.8dB	488.2m/1072.9m	○/○
4	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	–	C	1	368byte/150.0m/99%	+4.3dB/+14.3dB	220.6m/392.2m	○/○
5	a. 合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	調停要求・更新要求	E	1	368byte/255.0m/99%	-2.5dB/+7.5dB	220.6m/392.2m	×/○
6			調停応答・更新応答	E	1	368byte/255.0m/99%	-2.5dB/+7.5dB	220.6m/392.2m	×/○
7	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	–	D	1	368byte/250.0m/99%	-2.2dB/+7.8dB	220.6m/392.2m	×/○
一般道の交差点									
8	b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I）	–	A	1	1488byte/206.3m/99%	+4.2dB/+14.2dB	334.4m/887.9m	○/○
9	c. 先読み情報:衝突回避	c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I）	–	A	1	1488byte/ 75.2m/99%	+12.9dB/+22.9dB	334.4m/887.9m	○/○
10	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	–	C	1	368byte/150.0m/99%	+3.7dB/+13.7dB	214.0m/380.5m	○/○
11	a. 合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	調停要求・更新要求	E	1	368byte/255.0m/99%	-3.0dB/+7.0dB	214.0m/380.5m	×/○
12			調停応答・更新応答	E	1	368byte/255.0m/99%	-3.0dB/+7.0dB	214.0m/380.5m	×/○
13	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	–	D	1	368byte/250.0m/99%	-2.7dB/+7.3dB	214.0m/380.5m	×/○

可（○）：必要通信距離での回線マージンが0dB以上
否（×）：必要通信距離での回線マージンが0dB未満

表 5.3.3-20　回線設計結果（単一チャネル、20MHz）

単一チャネル
(20MHz)

No.	機能分類	ユースケース	メッセージ名	グループ	チャネル	通信要件 (データ/距離/PAR)	回線マージン (大型車遮蔽有/無)	最大通信距離 (大型車遮蔽有/無)	対応可否 (大型車遮蔽有/無)
高速道路の合流部									
1	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	位置情報	B	1	1572byte/222.2m/99%	+0.1dB/+10.1dB	225.2m/712.4m	○/○
2			調停要求・更新要求	B	1	1438byte/222.2m/99%	+2.3dB/+12.3dB	288.9m/825.3m	○/○
3			調停応答・更新応答	B	1	368byte/222.2m/99%	+7.0dB/+17.0dB	494.9m/1080.2m	○/○
4	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	–	C	1	368byte/150.0m/99%	+4.4dB/+14.4dB	222.1m/394.9m	○/○
5	a. 合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	調停要求・更新要求	E	1	368byte/255.0m/99%	-2.4dB/+7.6dB	222.1m/394.9m	×/○
6			調停応答・更新応答	E	1	368byte/255.0m/99%	-2.4dB/+7.6dB	222.1m/394.9m	×/○
7	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	–	D	1	368byte/250.0m/99%	-2.1dB/+7.9dB	222.1m/394.9m	×/○
一般道の交差点									
8	b. 信号情報	b-1-1. 信号情報による走行支援（V2I）	–	A	1	1488byte/206.3m/99%	+1.3dB/+11.3dB	240.9m/753.7m	○/○
9	c. 先読み情報:衝突回避	c-2-2. 交差点の情報による走行支援（V2I）	–	A	1	1488byte/ 75.2m/99%	+10.1dB/+20.1dB	240.9m/753.7m	○/○
10	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	–	C	1	368byte/150.0m/99%	+3.8dB/+13.8dB	215.5m/383.1m	○/○
11	a. 合流・車線変更支援	a-2. 混雑時の車線変更の支援	調停要求・更新要求	E	1	368byte/255.0m/99%	-2.9dB/+7.1dB	215.5m/383.1m	×/○
12			調停応答・更新応答	E	1	368byte/255.0m/99%	-2.9dB/+7.1dB	215.5m/383.1m	×/○
13	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	–	D	1	368byte/250.0m/99%	-2.6dB/+7.4dB	215.5m/383.1m	×/○

可（○）：必要通信距離での回線マージンが0dB以上
否（×）：必要通信距離での回線マージンが0dB未満

(3) 通信シミュレーション結果

本節では、システムレベル（N 対 N 通信）による評価として、通信シミュレーション評価を実施した結果を述べる。高速道路の合流部及び一般道の交差点における通信シミュレーション結果をそれぞれ表 5.3.3-21 及び表 5.3.3-22 に示す。評価条件（(1)節）に示した通り、各場所において、通信チャネルの割り当て案を案 1（10MHz×3 チャネル）及び案 6（10MHz＋20MHz）とした場合、及び比較のため単一チャネル（10MHz 及び 20MHz）とした場合、上位層における通信制御方式の効果検証のため、送信周期を通信要件よりも広げた場合について実施の上、併記した。また車両密度（速度及び車間時間）については、それぞれ通常時（高速道路の合流部では車速 100km/h, 2s 車間、一般道の交差点では車速 70km/h, 2s 車間）及び混雑時（高速道路の合流部では車速 50km/h, 1s 車間、一般道の交差点では車速 30km/h, 2s 車間）の 2 通りで実施した結果を上下に記載した。

結果については、ユースケースのメッセージ毎に「1 パケットあたり PAR」（①）、「遅延（99%値）」（②）、「対応可否」（③）、「遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）」（④）の 4 つを示した。①は ITS FORUM RC-017 1.4 節の規定による。②は ITS FORUM RC-017 1.3 節で定義された遅延の 99%値である。③は①の要求値（99%）を達成する場合は「○」、未達成の場合は「×」を記載した。④は昨年度検討（令和 3 年度研究開発における「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」）を参考に、少なくとも 1 回のパケットを受信できる確率が①の要求値に達するまでの時間（①の要求値に達するまでに送信した回数に送信周期である 100 ms を掛けたもの）として、以下の式で計算した。

$$\text{遅延（PAR の要求値に達するまでの時間）} = \mathrm{ceil}\left[\frac{\log(1-P_D)}{\log(1-P_x)}\right] \times 100\ [ms]$$

P_D: 1 パケットあたり PAR の要求値（99%）, P_x: 1 パケットあたり PAR

上記の通信シミュレーション結果のうち、通信チャネル割り当て案 6（10MHz＋20MHz）とした場合の結果の詳細例として、各場所におけるユースケースの 1 パケットあたり PAR－距離特性をそれぞれ図 5.3.3-3、図 5.3.3-4 に示す。

本評価では情報要素の多重を行い、また無線通信パラメータとして連送（LTE V2X（PC5）の場合、blind HARQ による 2 回送信）を行う条件設定とした。情報要素の多重及び連送による効果検証のため、通信チャネル割り当て案 6（10MHz＋20MHz）について、情報要素の多重なし及び連送なしの場合を評価し、結果を比較した。各場所における比較結果をそれぞれ表 5.3.3-23、表 5.3.3-24 に示す。

表 5.3.3-21　通信シミュレーション結果（高速道路の合流部）

■車速100km/h, 2s車間 の場合

路側機：100ms（変更なし）、車載機：200ms（100msから変更）

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	単一チャネル 10MHz 1パケット当たりPAR	単一チャネル 10MHz 遅延(99%値)	単一チャネル 10MHz 対応可否	単一チャネル 10MHz 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	単一チャネル 20MHz 1パケット当たりPAR	単一チャネル 20MHz 遅延(99%値)	単一チャネル 20MHz 対応可否	単一チャネル 20MHz 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	複数チャネル（通信チャネル割り当て案） 案1（10MHz×3Ch） 1パケット当たりPAR	案1 遅延(99%値)	案1 対応可否	案1 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	案6（10MHz+20MHz） 1パケット当たりPAR	案6 遅延(99%値)	案6 対応可否	案6 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	通信制御方式の効果検証（周期を広げた場合） 案1（10MHz×3Ch） 1パケット当たりPAR	案1 遅延(99%値)	案1 対応可否	案1 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	案6（10MHz+20MHz） 1パケット当たりPAR	案6 遅延(99%値)	案6 対応可否	案6 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)
I2V（本線）	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援	位置情報	222.2m	100.0%	49.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	98.0%	–	×	200ms	97.6%	–	×	200ms	99.0%	–	×	200ms	99.7%	50.0ms	○	100ms
		調停要求更新要求	222.2m	99.0%	50.0ms	○	100ms	100.0%	45.0ms	○	100ms	96.4%	–	×	200ms	98.7%	–	×	200ms	98.9%	–	×	200ms	99.0%	–	×	200ms
V2I（本線）		調停応答更新応答	222.2m	42.0%	–	×	900ms	86.8%	–	×	300ms	54.4%	–	×	600ms	43.1%	–	×	900ms	78.9%	–	×	400ms	76.9%	–	×	400ms
I2V（連絡路）		位置情報	66.7m	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms
		調停要求更新要求	66.7m	99.7%	46.0ms	○	100ms	100.0%	44.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	99.8%	46.0ms	○	100ms	99.8%	46.0ms	○	100ms
V2I（連絡路）		調停応答更新応答	66.7m	95.6%	–	×	200ms	100.0%	46.4ms	○	100ms	96.4%	–	×	200ms	96.1%	–	×	200ms	98.2%	–	×	200ms	97.6%	–	×	200ms
V2V（中継なし）	a-2.混雑時の車線変更の支援	–	255m	50.5%	–	×	700ms	86.5%	–	×	300ms	60.3%	–	×	500ms	81.1%	–	×	300ms	84.2%	–	×	400ms	91.5%	–	×	200ms
	e-1.緊急車両の情報による走行支援	–	150m	84.0%	–	×	300ms	98.8%	–	×	200ms	89.8%	–	×	300ms	95.5%	–	×	200ms	95.6%	–	×	200ms	97.9%	–	×	200ms
V2V（中継あり）	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	–	250m（直接通信）	98.7%	103.6ms	×	200ms	100.0%	58.2ms	○	100ms	100.0%	65.1ms	○	100ms	100.0%	70.8ms	○	100ms	100.0%	88.5ms	○	200ms	99.9%	82.8ms	○	200ms
		–	1000m（中継通信）	100.0%	152.7ms	○	200ms	100.0%	128.7ms	○	200ms	100.0%	152.8ms	○	200ms	100.0%	133.1ms	○	200ms	100.0%	173.3ms	○	200ms	100.0%	136.7ms	○	200ms

■車速50km/h, 1s車間 の場合

路側機：100ms（変更なし）、車載機：300ms（100msから変更）

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	単一チャネル 10MHz 1パケット当たりPAR	単一チャネル 10MHz 遅延(99%値)	単一チャネル 10MHz 対応可否	単一チャネル 10MHz 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	単一チャネル 20MHz 1パケット当たりPAR	単一チャネル 20MHz 遅延(99%値)	単一チャネル 20MHz 対応可否	単一チャネル 20MHz 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	複数チャネル（通信チャネル割り当て案） 案1（10MHz×3Ch） 1パケット当たりPAR	案1 遅延(99%値)	案1 対応可否	案1 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	案6（10MHz+20MHz） 1パケット当たりPAR	案6 遅延(99%値)	案6 対応可否	案6 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	通信制御方式の効果検証（周期を広げた場合） 案1（10MHz×3Ch） 1パケット当たりPAR	案1 遅延(99%値)	案1 対応可否	案1 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	案6（10MHz+20MHz） 1パケット当たりPAR	案6 遅延(99%値)	案6 対応可否	案6 遅延(PARの要求値に達するまでの時間)
I2V（本線）	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援	位置情報	222.2m	6.5%	–	×	6900ms	30.0%	–	×	1300ms	0.0%	–	×	–	0.0%	–	×	–	57.7%	–	×	600ms	64.4%	–	×	500ms
		調停要求更新要求	222.2m	30.4%	–	×	1300ms	57.3%	–	×	600ms	22.6%	–	×	1900ms	23.7%	–	×	1800ms	77.6%	–	×	400ms	83.3%	–	×	300ms
V2I（本線）		調停応答更新応答	222.2m	1.8%	–	×	25200ms	14.1%	–	×	3100ms	0.0%	–	×	–	0.0%	–	×	–	34.4%	–	×	1200ms	33.3%	–	×	1200ms
I2V（連絡路）		位置情報	66.7m	76.8%	–	×	400ms	94.3%	–	×	200ms	64.4%	–	×	500ms	74.7%	–	×	400ms	93.2%	–	×	200ms	97.8%	–	×	200ms
		調停要求更新要求	66.7m	86.6%	–	×	300ms	94.7%	–	×	200ms	84.9%	–	×	300ms	91.8%	–	×	200ms	99.6%	45.0ms	○	100ms	98.9%	–	×	200ms
V2I（連絡路）		調停応答更新応答	66.7m	39.3%	–	×	1000ms	81.3%	–	×	300ms	47.0%	–	×	800ms	37.1%	–	×	1000ms	80.6%	–	×	300ms	80.3%	–	×	300ms
V2V（中継なし）	a-2.混雑時の車線変更の支援	–	255m	1.1%	–	×	40100ms	20.5%	–	×	2100ms	5.8%	–	×	7700ms	19.9%	–	×	2100ms	48.3%	–	×	900ms	64.2%	–	×	600ms
	e-1.緊急車両の情報による走行支援	–	150m	20.5%	–	×	2100ms	53.7%	–	×	600ms	17.5%	–	×	2400ms	53.4%	–	×	700ms	75.7%	–	×	600ms	87.0%	–	×	300ms
V2V（中継あり）	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	–	250m（直接通信）	70.0%	172.8ms	×	400ms	99.2%	98.8ms	○	100ms	92.2%	124.3ms	×	200ms	100.0%	68.7ms	○	100ms	100.0%	67.4ms	○	300ms	100.0%	83.9ms	○	300ms
		–	1000m（中継通信）	100.0%	316.9ms	○	400ms	100.0%	161.5ms	○	200ms	100.0%	283.3ms	○	300ms	100.0%	166.1ms	○	200ms	100.0%	149.9ms	○	300ms	100.0%	145.9ms	○	300ms

※表の塗り分けは、遅延（PARの要求値に達するまでの時間）の値による

：100ms　：200ms～300ms　：400ms～600ms　：700ms～1200ms　：1300ms～

表 5.3.3-22　通信シミュレーション結果（一般道の交差点）

路側機：100ms（変更なし）、
車載機：走行/右折待ち車両は200ms, 静止車両は1000ms（100msから変更）

■車速70km/h, 2s車間 の場合

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	単一チャネル								複数チャネル								通信制御方式の効果検証（周期を広げた場合）							
				10MHz				20MHz				10MHz×3Ch				10MHz+20MHz				10MHz×3Ch				10MHz+20MHz			
				1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)
I2V	b-1-1.信号情報による走行支援(V2I)	–	138.5m(普通車)	11.3%	–	×	3900ms	35.5%	–	×	1100ms	84.0%	–	×	300ms	93.5%	–	×	200ms	90.9%	–	×	200ms	93.7%	–	×	200ms
		–	206.3m(大型車)	0.0%	–	×	–	9.7%	–	×	4600ms	86.8%	–	×	300ms	95.9%	–	×	200ms	98.5%	–	×	200ms	98.9%	–	×	200ms
	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	–	30m	88.1%	–	×	300ms	83.2%	–	×	300ms	100.0%	48.4ms	○	100ms	100.0%	41.2ms	○	100ms	100.0%	47.4ms	○	100ms	100.0%	46.4ms	○	100ms
V2V(中継なし)	a-2.混雑時の車線変更の支援	–	255m	3.1%	–	×	14700ms	19.1%	–	×	2200ms	3.3%	–	×	13800ms	10.9%	–	×	4000ms	19.4%	–	×	2200ms	50.0%	–	×	800ms
	e-1.緊急車両の情報による走行支援	–	150m	21.4%	–	×	2000ms	61.4%	–	×	500ms	22.3%	–	×	1900ms	63.5%	–	×	500ms	52.6%	–	×	800ms	85.6%	–	×	400ms
V2V(中継あり)	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	–	250m(直接通信)	94.7%	110.9ms	×	200ms	99.7%	80.9ms	○	100ms	84.3%	153.2ms	×	300ms	100.0%	85.9ms	○	100ms	96.7%	109.7ms	×	200ms	100.0%	64.8ms	○	200ms
		–	1000m(中継通信)	100.0%	276.9ms	○	300ms	100.0%	150.9ms	○	200ms	100.0%	333.9ms	○	400ms	100.0%	147.9ms	○	200ms	100.0%	196.7ms	○	200ms	100.0%	124.8ms	○	200ms

路側機：100ms（変更なし）、
車載機：走行/右折待ち車両は300ms, 静止車両は1000ms（100msから変更）

■車速30km/h, 2s車間 の場合

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	単一チャネル								複数チャネル（通信チャネル割り当て案）								通信制御方式の効果検証（周期を広げた場合）							
				10MHz				20MHz				案1（10MHz×3Ch）				案6（10MHz+20MHz）				案1（10MHz×3Ch）				案6（10MHz+20MHz）			
				1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)
I2V	b-1-1.信号情報による走行支援(V2I)	–	138.5m(普通車)	0.0%	–	×	–	16.3%	–	×	2600ms	67.0%	–	×	500ms	82.8%	–	×	300ms	89.4%	–	×	300ms	97.3%	–	×	200ms
		–	206.3m(大型車)	0.0%	–	×	–	0.0%	–	×	–	92.5%	–	×	200ms	94.1%	–	×	200ms	97.4%	–	×	200ms	98.7%	–	×	200ms
	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	–	30m	66.9%	–	×	500ms	76.7%	–	×	400ms	100.0%	50.4ms	○	100ms	96.5%	–	×	200ms	100.0%	45.4ms	○	100ms	98.2%	–	×	200ms
V2V(中継なし)	a-2.混雑時の車線変更の支援	–	255m	0.0%	–	×	–	1.7%	–	×	26700ms	0.0%	–	×	–	13.7%	–	×	3200ms	26.9%	–	×	1500ms	73.7%	–	×	600ms
	e-1.緊急車両の情報による走行支援	–	150m	4.4%	–	×	10300ms	34.4%	–	×	1100ms	5.7%	–	×	8000ms	34.9%	–	×	1100ms	45.9%	–	×	900ms	84.4%	–	×	300ms
V2V(中継あり)	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	–	250m(直接通信)	56.3%	189.9ms	×	600ms	100.0%	83.3ms	○	100ms	51.0%	172.1ms	×	700ms	99.8%	98.9ms	○	100ms	100.0%	80.7ms	○	300ms	100.0%	59.6ms	○	300ms
		–	1000m(中継通信)	100.0%	414.9ms	○	500ms	100.0%	182.9ms	○	200ms	100.0%	429.9ms	○	500ms	100.0%	179.8ms	○	200ms	100.0%	178.7ms	○	300ms	100.0%	96.3ms	○	300ms

※表の塗り分けは、遅延（PARの要求値に達するまでの時間）の値による

：100ms　：200ms～300ms　：400ms～600ms　：700ms～1200ms　：1300ms～

図 5.3.3-3　通信シミュレーション結果の詳細例（高速道路の合流部）

図 5.3.3-4　通信シミュレーション結果の詳細例（一般道の交差点）

表 5.3.3-23　情報要素の多重なし/連送なしの場合との比較（高速道路の合流部）

■車速100km/h, 2s車間 の場合

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	情報要素の多重								連送							
				あり				なし（参考）				あり				なし（参考）			
				1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)
I2V（本線）	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援	位置情報	222.2m	97.6%	–	×	200ms	25.1%	–	×	1600ms	97.6%	–	×	200ms	94.9%	–	×	200ms
		調停要求更新要求	222.2m	98.7%	–	×	200ms	42.5%	–	×	900ms	98.7%	–	×	200ms	88.7%	–	×	300ms
V2I（本線）		調停応答更新応答	222.2m	43.1%	–	×	900ms	5.9%	–	×	7600ms	43.1%	–	×	900ms	74.8%	–	×	400ms
I2V（連絡路）		位置情報	66.7m	100.0%	46.0ms	○	100ms	66.5%	–	×	500ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	95.5%	–	×	200ms
		調停要求更新要求	66.7m	100.0%	46.0ms	○	100ms	81.9%	–	×	300ms	100.0%	46.0ms	○	100ms	97.3%	–	×	200ms
V2I（連絡路）		調停応答更新応答	66.7m	96.1%	–	×	200ms	39.0%	–	×	1000ms	96.1%	–	×	200ms	98.5%	–	×	200ms
V2V（中継なし）	a-2.混雑時の車線変更の支援	–	255m	81.1%	–	×	300ms	42.9%	–	×	900ms	81.1%	–	×	300ms	79.4%	–	×	300ms
	e-1.緊急車両の情報による走行支援	–	150m	95.5%	–	×	200ms	77.7%	–	×	400ms	95.5%	–	×	200ms	93.7%	–	×	200ms
V2V（中継あり）	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	–	250m（直接通信）	100.0%	70.8ms	○	100ms	98.5%	106.3ms	×	200ms	100.0%	70.8ms	○	100ms	100.0%	68.6ms	○	100ms
		–	1000m（中継通信）	100.0%	133.1ms	○	200ms	100.0%	159.3ms	○	200ms	100.0%	133.1ms	○	200ms	100.0%	154.5ms	○	200ms

■車速50km/h, 1s車間 の場合

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	情報要素の多重								連送							
				あり				なし（参考）				あり				なし（参考）			
				1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)
I2V（本線）	a-1-3.路側管制による本線車両協調合流支援	位置情報	222.2m	0.0%	–	×	–	0.0%	–	×	–	0.0%	–	×	–	42.9%	–	×	900ms
		調停要求更新要求	222.2m	23.7%	–	×	1800ms	0.2%	–	×	283200ms	23.7%	–	×	1800ms	67.4%	–	×	500ms
V2I（本線）		調停応答更新応答	222.2m	0.0%	–	×	–	0.0%	–	×	–	0.0%	–	×	–	2.8%	–	×	16300ms
I2V（連絡路）		位置情報	66.7m	74.7%	–	×	400ms	0.0%	–	×	–	74.7%	–	×	400ms	53.9%	–	×	600ms
		調停要求更新要求	66.7m	91.8%	–	×	200ms	12.0%	–	×	3700ms	91.8%	–	×	200ms	98.9%	–	×	200ms
V2I（連絡路）		調停応答更新応答	66.7m	37.1%	–	×	1000ms	0.7%	–	×	61200ms	37.1%	–	×	1000ms	61.3%	–	×	500ms
V2V（中継なし）	a-2.混雑時の車線変更の支援	–	255m	19.9%	–	×	2100ms	1.6%	–	×	28400ms	19.9%	–	×	2100ms	32.1%	–	×	1200ms
	e-1.緊急車両の情報による走行支援	–	150m	53.4%	–	×	700ms	18.9%	–	×	2200ms	53.4%	–	×	700ms	55.1%	–	×	600ms
V2V（中継あり）	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	–	250m（直接通信）	100.0%	68.7ms	○	100ms	79.2%	152.8ms	×	300ms	100.0%	68.7ms	○	100ms	100.0%	67.4ms	○	100ms
		–	1000m（中継通信）	100.0%	166.1ms	○	200ms	100.0%	312.4ms	○	400ms	100.0%	166.1ms	○	200ms	100.0%	147.2ms	○	200ms

※表の塗り分けは、遅延（PARの要求値に達するまでの時間）の値による

：100ms　：200ms～300ms　：400ms～600ms　：700ms～1200ms　：1300ms～

表 5.3.3-24　情報要素の多重なし/連送なしの場合との比較（一般道の交差点）

■車速70km/h, 2s車間 の場合

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	情報要素の多重								連送							
				あり				なし（参考）				あり				なし（参考）			
				1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)
I2V	b-1-1.信号情報による走行支援(V2I)	–	138.5m(普通車)	93.5%	–	×	200ms	72.8%	–	×	400ms	93.5%	–	×	200ms	81.3%	–	×	300ms
		–	206.3m(大型車)	95.9%	–	×	200ms	94.1%	–	×	200ms	95.9%	–	×	200ms	88.2%	–	×	300ms
	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	–	30m	100.0%	41.2ms	○	100ms	97.4%	–	×	200ms	100.0%	41.2ms	○	100ms	97.4%	–	×	200ms
V2V(中継なし)	a-2.混雑時の車線変更の支援	–	255m	10.9%	–	×	4000ms	0.0%	–	×	–	10.9%	–	×	4000ms	39.7%	–	×	1000ms
	e-1.緊急車両の情報による走行支援	–	150m	63.5%	–	×	500ms	19.9%	–	×	2100ms	63.5%	–	×	500ms	74.5%	–	×	400ms
V2V(中継あり)	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	–	250m(直接通信)	100.0%	85.9ms	○	100ms	89.4%	131.5ms	×	300ms	100.0%	85.9ms	○	100ms	100.0%	66.9ms	○	100ms
		–	1000m(中継通信)	100.0%	147.9ms	○	200ms	100.0%	239.5ms	○	300ms	100.0%	147.9ms	○	200ms	100.0%	124.9ms	○	200ms

■車速30km/h, 2s車間 の場合

通信形態等	ユースケース	メッセージ名	必要通信距離	情報要素の多重								連送							
				あり				なし（参考）				あり				なし（参考）			
				1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)	1パケット当たりPAR	遅延(99%値)	対応可否	遅延(PARの要求値に達するまでの時間)
I2V	b-1-1.信号情報による走行支援(V2I)	–	138.5m(普通車)	82.8%	–	×	300ms	51.6%	–	×	700ms	82.8%	–	×	300ms	70.0%	–	×	400ms
		–	206.3m(大型車)	94.1%	–	×	200ms	75.3%	–	×	400ms	94.1%	–	×	200ms	77.9%	–	×	400ms
	c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	–	30m	96.5%	–	×	200ms	96.7%	–	×	200ms	96.5%	–	×	200ms	91.5%	–	×	200ms
V2V(中継なし)	a-2.混雑時の車線変更の支援	–	255m	13.7%	–	×	3200ms	0.0%	–	×	–	13.7%	–	×	3200ms	17.8%	–	×	2400ms
	e-1.緊急車両の情報による走行支援	–	150m	34.9%	–	×	1100ms	3.6%	–	×	12800ms	34.9%	–	×	1100ms	62.1%	–	×	500ms
V2V(中継あり)	c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	–	250m(直接通信)	99.8%	98.9ms	○	100ms	83.9%	138.0ms	×	300ms	99.8%	98.9ms	○	100ms	99.9%	66.8ms	○	100ms
		–	1000m(中継通信)	100.0%	179.8ms	○	200ms	100.0%	329.0ms	○	400ms	100.0%	179.8ms	○	200ms	100.0%	130.1ms	○	200ms

※表の塗り分けは、遅延（PARの要求値に達するまでの時間）の値による

：100ms　：200ms～300ms　：400ms～600ms　：700ms～1200ms　：1300ms～

(4) 評価結果に対する考察・課題

本節では、通信シミュレーション結果（(3)節）について考察、課題を整理した結果を述べる。

複数チャネル割り当てを比較した結果、V2V 通信のユースケースを 20MHz 帯域内で 2 チャネルに割り当てた場合よりも、1 チャネルに割り当てた場合の方が、通信品質が概ねよい結果となった。同一チャネル内で情報要素を多重して 1 つのパケットにまとめる場合、チャネル数が少ない方が、帯域あたりのパケット数も少なくなるため、送信頻度及びセキュリティによるオーバヘッド（通信量）を削減可能であり、チャネル内及びチャネル間の干渉低減に有効であると考えられる。

単一チャネルの場合（最大で 20MHz 帯域幅）と比較した結果、必ずしも通信品質は改善しない結果となった。複数チャネルの割り当てにより車両の送信が複数チャネルに分散するケースでは、異なるチャネル間での情報要素の多重ができず、帯域あたりのパケット数が増加することで、チャネル内及びチャネル間の干渉が増えるためと考えられる。

通信制御方式の効果検証として、車両の送信周期を広げた場合の通信性能評価を実施した。通信が輻輳し、PAR の要求値を達成できない状況下においては、通信品質の改善が見込めることが確認できた。

情報要素の多重の効果検証として、情報要素の多重なしとした場合の評価を実施し、結果を比較した。情報要素の多重なしの場合よりも、情報要素の多重ありの方が通信品質がよい結果となった。情報要素の多重により、複数の情報要素をまとめて 1 つのパケットとして送信することで、通信量（セキュリティによるオーバヘッド）及び送信頻度を削減でき、情報要素の多重の有効性が確認できた。

連送（LTE V2X（PC5）の場合、blind HARQ による 2 回送信）の効果検証として、連送なしとした場合の評価を実施し、結果を比較した。1 パケットあたり PAR が要求値（99%）に近い場合は連送なしの場合よりも、連送ありの場合の方が通信品質がよい結果となった。通信が輻輳していない環境においては、連送パケットが 2 回確実に届くことで、SNR の改善効果が得られやすいと考えられる。一方、1 パケットあたり PAR が大幅に劣化している場合は、連送ありの場合よりも、連送なしの場合の方が通信品質がよい結果となった。通信が輻輳している環境においては、連送を行わずに通信量及び送信頻度を減らすことにより、送信パケットが 1 回のみでも到達しやすくなると考えられる。以上の結果を踏まえ、通信の輻輳への対策として、上位層における通信制御方式とレイヤ 2 以下を連携させる場合、通信の輻輳状況に応じて連送回数を変化させることが一手段として考えられる。

評価結果を踏まえ、複数のユースケースが同時に発生し、通信量が大きい状況下で通信品質を改善するには、少ないチャネル数で情報要素をまとめて 1 つのパケット（帯域あたりのパケット数を減らすことで少ない通信量、低い送信頻度）で送信し、輻輳状況に応じて送信周期や連送回数の制御を行う（混雑時には送信頻度を下げる）ことが有効と考えられる。

今後の課題として、以下が挙げられる。

- **同一帯域幅における単一/複数チャネルの性能比較**
  （例：NR V2X の場合、30MHz の帯域幅で 1 チャネルがよいか、2 チャネル以上に分けるのがよいか）
- **ユースケース単位以外でのチャネル割り当て方法による効果検証**
  （例：情報要素の多重を行う場合、ユースケース単位ではなく送信元単位でチャネルを分けた方が、チャネル利用効率が改善する可能性あり。路側インフラの送信（V2I 通信の I→V 方向）と車両の送信（V2I 通信の V→I 方向＋V2V 通信）で分ける等）
- **送信周期の時間変化、優先度等を考慮した通信制御方式の詳細評価**

5.4 参考文献

[1] 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-
https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf
[2] 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
ITS FORUM RC-017 1.0 版
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf
[3] 700MHz 帯高度道路交通システム 標準規格 ARIB STD-T109 1.3 版
https://www.arib.or.jp/kikaku/kikaku_tushin/desc/std-t109.html
[4] SAE J2945/1_202004, On-Board System Requirements for V2V Safety Communications
https://www.sae.org/standards/content/j2945/1_202004/
[5] SAE J3161/1_202203, On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications
https://www.sae.org/standards/content/j3161/1_202203/
[6] SAE J2735_202007, V2X Communications Message Set Dictionary
https://www.sae.org/standards/content/j2735_202007/
[7] IEEE 1609.2-2016, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments
-- Security Services for Applications and Management Messages
https://standards.ieee.org/ieee/1609.2/6038/
[8] IEEE 1609.3-2020, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) -- Networking Services
https://standards.ieee.org/ieee/1609.3/10360/
[9] IEEE 1609.4-2016, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)
-- Multi-Channel Operation
https://standards.ieee.org/ieee/1609.4/6183/
[10] IEEE 802.11-2020, IEEE Standard for Information Technology--Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks
-- Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
https://standards.ieee.org/ieee/802.11/7028/
[11] ETSI TS 136 323 V14.5.0 (2018-01), LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification (3GPP TS 36.323 version 14.5.0 Release 14)
[12] ETSI TS 136 322 V14.1.0 (2017-10), LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Link Control (RLC) protocol specification (3GPP TS 36.322 version 14.1.0 Release 14)
https://www.etsi.org/standards
[13] ETSI TS 136 321 V14.13.0 (2020-11), LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification (3GPP TS 36.321 version 14.13.0 Release 14)
https://www.etsi.org/standards
[14] ETSI TS 136 201 V14.1.0 (2017-04), LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE physical layer; General description (3GPP TS 36.201 version 14.1.0 Release 14)
https://www.etsi.org/standards
[15] ETSI TS 102 637-1 V1.1.1 (2010-09), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 1: Functional Requirements
https://www.etsi.org/standards
[16] ETSI TS 102 894-1 V1.1.1 (2013-08), Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 1: Facility layer structure, functional requirements and specifications
https://www.etsi.org/standards
[17] ETSI TS 102 894-2 V1.3.1 (2018-08), Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data

dictionary
https://www.etsi.org/standards
[18] ETSI EN 302 636-5-1 V2.2.1 (2019-05), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 5: Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol
https://www.etsi.org/standards
[19] ETSI EN 302 636-4-1 V1.4.1 (2020-01), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality
https://www.etsi.org/standards
[20] ETSI TS 102 940 V2.1.1 (2021-07), Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management; Release 2
https://www.etsi.org/standards
[21] ETSI EN 302 663 V1.3.1 (2020-01), Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band
https://www.etsi.org/standards
[22] ISO/IEC 8802-2:1998 Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements — Part 2: Logical link control
https://www.iso.org/standard/30174.html
[23] ETSI TS 102 724 V1.1.1 (2012-10), Intelligent Transport Systems (ITS); Harmonized Channel Specifications for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band
https://www.etsi.org/standards
[24] ETSI EN 303 613 V1.1.1 (2020-01), Intelligent Transport Systems (ITS); LTE-V2X Access
layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band
https://www.etsi.org/standards
[25] ETSI TR 103 439 V2.1.1 (2021-10), Intelligent Transport Systems (ITS); Multi-Channel Operation study; Release 2
https://www.etsi.org/standards
[26] IEEE 1609.12-2019, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Identifiers
https://standards.ieee.org/ieee/1609.12/7446/
[27] ETSI TS 124 301 V14.10.0 (2019-01), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3 (3GPP TS 24.301 version 14.10.0 Release 14)
https://www.etsi.org/standards
[28] ETSI TS 136 331 V14.14.0 (2020-04), LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 36.331 version 14.14.0 Release 14)
https://www.etsi.org/standards
[29] ETSI TS 103 175 V1.1.1 (2015-06), Intelligent Transport Systems (ITS); Cross Layer DCC Management Entity for operation in the ITS G5A and ITS G5B medium
https://www.etsi.org/standards
[30] ETSI TS 102 687 V1.2.1 (2018-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part
https://www.etsi.org/standards
[31] ETSI TS 102 636-4-2 V1.2.1 (2020-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 2: Media-dependent functionalities for ITS-G5

https://www.etsi.org/standards
[32] ETSI TS 103 574 V1.1.1 (2018-11), Intelligent Transport Systems (ITS); Congestion Control Mechanisms for the C-V2X PC5 interface; Access layer part
https://www.etsi.org/standards
[33] CAR 2 CAR Communication, “Consortium Guidance for day 2 and beyond roadmap”
https://www.car-2-car.org/documents/general-documents
[34] ETSI TS 101 539-2 V1.1.1 (2018-06), Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 2: Intersection Collision Risk Warning (ICRW) application requirements specification
https://www.etsi.org/standards
[35] ETSI TS 103 301 V2.1.1 (2021-03), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services; Release 2
https://www.etsi.org/standards
[36] ETSI TR 102 638 V1.1.1 (2009-06), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions
https://www.etsi.org/standards
[37] ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 (2019-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service
https://www.etsi.org/standards
[38] ETSI EN 302 637-3 V1.3.1 (2019-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service
https://www.etsi.org/standards
[39] ETSI TR 103 562 V2.1.1 (2019-12), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2
https://www.etsi.org/standards
[40] SAE J2945/2_201810, Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness
https://www.sae.org/standards/content/j2945/2_201810/
[41] SAE J2945/3_202201, Requirements for Road Weather Applications
https://www.sae.org/standards/content/j2945/3_202201/
[42] ETSI TS 102 723-9 V1.1.1 (2021-03), Intelligent Transport Systems (ITS); OSI cross-layer topics; Part 9: Interface between security entity and facilities layer
https://www.etsi.org/standards
[43] 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
ITS FORUM RC-015 1.0 版
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p64/ITS_FORUM_RC-015_v10.pdf
[44] 平成 30 年度成果報告書 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）／ 自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査
https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd02/201_s.pdf

6. 無線機仕様の案出

本章では、5.9GHz 帯 V2X システムの無線機(車載機及び路側機)の仕様の検討を行い、無線機仕様案として整理した結果（6.1 節）を述べる。また、実機を用いた実証実験をテストコース等で行った結果（6.2 節）を述べる。更に、導入に向けての課題を整理し、その解消方針を検討した結果（6.3 節）を述べる。

6.1 無線機の仕様の検討

本節では、5.9GHz 帯 V2X システムの無線機(車載機及び路側機)の仕様の検討を行い、無線機仕様案として整理した結果を述べる。以降では、検討の進め方（6.1.1 節）に従い、既存システムの装置仕様を参考に、無線機仕様の項目抽出、細分化を行うことで整理した無線機仕様案の項目一覧（6.1.2 節）に、3,4,5 章の調査結果を踏まえ、無線機仕様の項目一覧に適用する仕様、パラメータを整理することで無線機仕様を案出し（6.1.3 節）、課題について整理結果（6.1.4 節）を述べる。

6.1.1 検討の進め方

既存システム（ETC/ETC2.0 等）の装置仕様書及びシステム要件に関する仕様書において、無線機仕様・機能として検討されている項目及び内容を参考とし、無線機仕様として整理する項目について抽出・細分化を行うことで、無線機仕様案の項目一覧の作成を実施した。その項目一覧に対して適用する仕様、パラメータについて、3,4,5 章の検討結果を踏まえ、既存無線システムとの連携を見据えて検討、整理することで無線機仕様を案出した。

上記で説明した検討の進め方のフローを図 6.1.1-1 に示す。

図 6.1.1-1　無線機の仕様の検討　検討フロー

6.1.2 無線機仕様の項目一覧の検討

(1) 参考規格の整理

無線機仕様の項目検討にあたり参考とした国内外の既存システムの規格について表 6.1.2-1 に示す。国内については、既存 ITS システムの装置規格書として、ETC/ETC2.0 の装置規格書を調査対象とした。既存 ITS システムには ITS Connect にあるが会員限定の情報であるため、本事業での調査対象には含めない。国外に関しては 3 章の調査結果踏まえ、米国、欧州の DSRC、CV2X の通信仕様の全体像を規定する SAE J2945、SAE J3161、ETSI TS302 665、ETSI TS103 723 を調査対象とした。なお、SAE J2945、SAE J3161 に関しては、発行済みの規格の内、通信形態が V2I,V2V の規格を対象とした。また、J2945/5 は、特定パラメータの設計に関するドキュメントのため調査対象外とした。

表 6.1.2-1　調査対象の国内外規格 [1]-[11]

米国：SAE

番号	タイトル	通信形態	発行状況（*1）	調査対象
J2945	Dedicated Short Range Communication (DSRC) Systems Engineering Process Guidance for SAE J2945/X Documents and Common Design Concepts	—	発行済	○
J2945/1	On-Board System Requirements for V2V Safety Communications	V2V	発行済	○
J2945/2	Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness	V2V	発行済	○
J2945/3	Requirements for Road Weather Applications	V2I	発行済	○
J2945/4	Road Safety Applications	V2I	未発行	—
J2945/5	Service Specific Permissions and Security Guidelines for Connected Vehicle Applications	—	発行済	—
J2945/6	Performance Requirements for Cooperative Adaptive Cruise Control and Platooning	V2V, V2I	未発行	—
J2945/7	Positioning Enhancements for V2X Systems	—	未発行	—
J2945/8	Cooperative Perception System	V2X, P2I	未発行	—
J2945/9	Vulnerable Road User Safety Message Minimum Performance Requirements	P2V	発行済	—
J2945/A	Road user-to-Road User Courteous Communication	V2I	未発行	—
J2945/B	Recommended Practices for Signalized Intersection Applications	V2I	未発行	—
J2945/C	Requirements for Probe Data Collection Applications	V2I	発行済	○
J2945/D	Road user-to-Road User Courteous Communication	V2X	未発行	—
J3161	LTE Vehicle-to-Everything (LTE-V2X) Deployment Profiles and Radio Parameters for Single Radio Channel Multi-Service Coexistence	—	発行済	○
J3161/1	On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications	V2V	発行済	○
J3161/2	LTE Vehicle-to-Everything (LTE-V2X) Deployment Profiles and Radio Parameters for 10 MHz Channel	—	未発行	—

欧州：ETSI

番号	タイトル	通信形態
EN302 665	Intelligent Transport Systems (ITS); Communication architecture	V2V, V2I
TS103 723	Intelligent Transport Systems (ITS); Profile for LTE-V2X Direct Communication	V2V, V2I

国内：高速道路会社6社（*2）

タイトル	通信形態
5.8GHz帯DSRC路側無線装置規格書	V2I
5.8GHz帯DSRC車載器規格書	V2V

*1 2022年7月時点における以下のSAE CommitteesのWorksより
C-V2X Technical Committee, V2X Security Technical Committee, V2X Core Technical Committee, Infrastructure Applications Technical Committee, V2X Vehicular Applications Technical Committee
出典：https://www.sae.org/servlets/works/

*2 日本高速道路㈱、中日本高速道路㈱、西日本高速道路㈱、首都高速道路㈱、阪神高速道路㈱、本州四国連絡高速道路㈱

(2) 無線機仕様の項目の抽出

参考規格の整理結果（(1)節）を踏まえ、各規格で規定されている項目、内容を整理した。表 6.1.2-2～表 6.1.2-4 に、調査対象とした規格における目次と内容概要を示す。SAE、ETSI、国内でそれぞれ一例として、SAE J2945/1（及び SAE J3161/1）、ETSI EN302 665、5.8GHz 帯 DSRC 路側無線装置規格書について示した。無線機仕様で規定されている項目は多岐に渡るため、項目の抽出及び以降の検討では、通信規格作成に必要な項目を優先検討することとした。そのため、表 6.1.2-2～表 6.1.2-4 においても、優先度をさげ、仕様の詳細検討を行わない項目については「検討対象外」として整理した。具体的には、通信以外の機能（5.8GHz 帯 DSRC 路側無線装置規格書における、故障検出部の機能及び特性、電源部の機能及び特性 等）、インタフェースのハードウェア（HW）仕様　等が挙げられる。更に、セキュリティについては 5 章と同様に、通信プロトコル案の検討に必要な前提条件（インタフェースや処理手順等）は考慮するものの、詳細仕様の検討は対象外とした。SAE J2945/2,3,C で規定の内容は、章立てに違いはあるものの、これらの発行済みの規格は、応答を必要としない同報通信のアプリケーションを対象としているため、SAE J2945/1 の 4～6 章で規定されている項目に大きな差異はない。そのため、以降では、DSRC の場合は SAE J2945/1、CV2X の場合は SAE J3161/1 を代表例として検討した。

表 6.1.2-2　SAE J2945/1 及び SAE J3161/1 の目次及び内容概要 [2],[7]

SAE 2945/1「On-Board System Requirements for V2V Safety Communications」、SAE 3161/1「On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications」	
目次	内容
1.SCOPE	
1.1 Purpose	規格の目的
2. REFERENCES	
2.1 Applicable Documents	引用文献
2.2 Related Publications	参考文献
3. TERMS AND DEFINITIONS	
3.1 Definitions	用語の定義
3.2 Abbreviations and Acronyms	略語の定義
3.3 Requirement Numbering Convention	要件番号の定義
4. V2V SAFETY SYSTEMS CONCEPT OF OPERATIONS AND SYSTEM DESCRIPTION	
4.1 V2V System Overview	V2Vシステム概要、システム構成図
4.2 V2V Safety Features	シナリオとそれを実現するアプリケーションの機能
5. INTERFACE DESCRIPTION	
5.1 V2V Over-the-Air Data Description	無線区間インターフェスでやり取りする情報 （BSMに適用するオプションを含む）
5.2 System Interfaces	各レイヤ間、セキュリティ証明書管理システム、 測位システムのインターフェース概要
6. MINIMUM REQUIREMENTS	
6.1 Standards Profiles	プロトコルスタックと具体的な引用箇所
6.2 Positioning and Timing Requirements	GNSS、補正の可否、座標系、時刻の要件
6.3 BSM Transmission Requirements on Channel vChannelNumber	BSMの送信要件 （送信条件、チャネル間隔、デバイス起動条件等）
6.4 RF Performance Requirements	送信電力の測定方法の定義と精度、受信感度
6.5 Security and Privacy Requirements	セキュリティの署名や検証手順の詳細
6.6 Security Management	セキュリティ管理システムの機能（登録時の動作等）
7. PARAMETER SETTINGS	6章で出てきた変数の具体的な値と根拠
8. NOTES	
8.1 Revision Indicator	改訂事項の表記の仕方の説明

□：検討対象
■：検討対象外

表 6.1.2-3　ETSI EN 302 665 の目次及び内容概要 [8]

ETSI EN 302 665「Intelligent Transport Systems (ITS);Communication architecture 」	
目次	内容
1.SCOPE	
2. REFERENCES	
2.1 Normative references	引用文献
2.2 Informative references	参考文献
3 Definitions and abbreviations	
3.1 Definitions	用語の定義
3.2 Abbreviations	略語
4 Basics	
4.1 Document overview	ドキュメント概要
4.2 Severability clause	可分性条項
4.3 ITSC design principles	ITSC の設計原則
4.4 ITS station reference architecture	ITS ステーションのリファレンス アーキテクチャ
4.5 Functional elements of ITSC	ITSC の機能要素
4.6 ITSC networking	ITSC ネットワーキング
4.7 ITSC implementation architecture	ITSC 実装アーキテクチャ
5 ITS applications	
5.1 Context	コンテキスト
5.2 Classes of applications	アプリケーションのクラス
5.3 Prioritization and channel assignment	優先順位付けとチャネル割当
5.4 Secure maintenance	セキュアメンテナンス
5.5 Registration authority	登録機関
6 ITSC OSI protocol stack	
6.1 Access layer	アクセス層の要件
6.2 Networking & transport layer	ネットワークとトランスポート層の要件
6.3 Facilities layer	ファシリティ層の要件
7 ITSC management entity	
7.1 Context	コンテキスト
7.2 Functionality	管理エンティティの機能
8 ITSC Security	
8.1 Context	コンテキスト
8.2 General functionality	一般的な機能

□：検討対象
■：検討対象外

表 6.1.2-4　5.8GHz 帯 DSRC 路側無線装置規格書の目次及び内容 [10]

5.8GHz帯DSRC路側無線装置規格書	
目次	内容
1章　一般的事項	
１－１　本規格書の適用範囲	システム概略構成、装置の概略構成と規格の適用範囲
１－２　適用規格	規格書で明記していない事項についての適用規格
１－３　用語の説明	規格書で使用している用語、略語の説明
１－４　路側無線装置の概要	装置の概要、装置構成、通信領域
１－５　路側無線装置の前提条件	要件、機能、考慮すべき内容等
2章　必要条件	
２－１　内部構成	装置の内部構成
２－２　構造	筐体への要求事項等
２－３　空中線部の機能及び特性	空中線部の種類、利得、指向性、偏波
２－４　送受信部の機能及び特性	送受信部の適用パラメータ
２－５　通信制御部の機能及び特性	L1～L7に対する適用パラメータ及び機能を記載
２－６　故障検出部の機能及び特性	異常があった場合に監視制御部へ通知する機能
２－７　監視制御部の機能及び特性	遠隔制御装置への情報転送、現用系/予備系の切替機能
２－８　電源部の機能及び特性	電源部の要件概要、詳細は２－１２
２－９　オプション機能	オプション機能の例
２－１０　インターフェース	レイヤ間及びアプリケーション処理部（AP処理部）との物理/論理インタフェース
２－１１　環境条件	IEC規格参照
２－１２　電源	入力条件、消費電力、絶縁抵抗、絶縁耐圧
２－１３　信頼性	保守性、平均故障間隔（MTBF）
２－１４　品質管理	製造者に求められる品質管理の認証について
２－１５　付属品、保守用品	付属品（例：取付ボルト）、保守用品（予備ユニット）
２－１６　書類の提出	性能・諸元等を満足することを証明する仕様の提出
3章　性能試験	
３－１　目的	製造者が装置の機能及び特性を確認する方法
３－２　種類	
３－３　実施方法	

□：検討対象
□：検討対象外

表 6.1.2-5 に、5.9GHz 帯 V2X システムの無線機仕様の項目一覧を示す。参考規格の内容との対応も合わせて同表に示す。目的や前提条件等を 1．スコープ、該当システムのシステム構成や機器構成を 2．V2X システムの概要、各レイヤの仕様やインタフェースを 3．V2X システムの概要としてまとめることで、V2X システムの無線機仕様の項目一覧とした。

表 6.1.2-5　無線機仕様の項目一覧と既存仕様書との比較、整理

5.9GHz帯V2Xシステム 無線機仕様の項目一覧	5.8GHz帯DSRC 路側無線装置規格書	SAE J2945/1「On-Board System Requirements for V2V Safety Communications」	ETSI EN 302 665「Intelligent Transport Systems (ITS); Communication architecture 」
1.　スコープ ・目的 ・適用範囲、前提条件 （対象UC、要件等）	１－１　本規格書の適用範囲 １－５　路側無線装置の前提条件	1.SCOPE 4.2 V2V Safety Features 5.1 V2V Over-the-Air Data Description	1.SCOPE 4.3 ITSC design principles 5 ITS applications
2. V2Xシステムの概要 ・システム構成 ・機器構成	１－４　路側無線装置の概要 ２－１　内部構成	4.1 V2V System Overview	4.5 Functional elements of ITSC 4.6 ITSC networking
3. V2X通信の機能/特性/インタフェース ・一般的条件及び無線設備の技術的条件 ・通信制御部の機能、特性、インタフェース	２－３　空中線部の機能及び特性 ２－４　送受信部の機能及び特性 ２－５　通信制御部の機能及び特性 ２－１０　インターフェース	5.2 System Interfaces ：概要 6.1 Standards Profiles ：詳細 6.3 BSM Transmission Requirements on Channel vChannelNumber：詳細（輻輳制御）	6 ITSC OSI protocol stack 7 ITSC management entity

(3) 詳細項目の抽出

無線機仕様の項目一覧のうち、3.V2X 通信の機能/特性/インタフェースについて、細分化を行う。細分化の際は、(2)と同じく既存規格を参考とした。

まず、一般的条件及び無線設備の技術的条件の詳細項目の抽出は以下の手順で実施した（図 6.1.2-1）。

ア）各既存仕様書の詳細項目を抽出

イ）項目の OR を取り V2X 通信の詳細項目として整理

通信方式：DSRCの場合

5.9GHz帯V2Xシステム 無線機仕様の項目一覧		5.8GHz帯DSRC 路側無線装置規格書	SAE J2945/1「On-Board System Requirements for V2V Safety Communications」	ETSI EN 302 665「Intelligent Transport Systems (ITS); Communication architecture 」
3. V2X通信の機能/特性/インターフェース	一般的条件及び無線設備の技術的条件	2－3　空中線部の機能及び特性 2－4　送受信部の機能及び特性	6.1 Standards Profiles ：詳細（物理媒体依存副層の特性）	6 ITSC OSI protocol stack
	通信制御部の機能、特性、インターフェース	2－5　通信制御部の機能及び特性 2－１０　インターフェース	5.2 System Interfaces ：概要 6.1 Standards Profiles ：詳細 6.3 BSM Transmission Requirements on Channel vChannelNumber：詳細（輻輳制御）	6 ITSC OSI protocol stack 7 ITSC management entity

ア）

5.8GHz帯DSRC路側無線装置規格書	SAE J2945/1、ETSI EN 302 665
データレート	データレート
符号化率	符号化率
チャネル	チャネル
	変調方式
空中線電力	空中線電力
空中線電力の許容偏差	
送信スペクトラムマスク	送信スペクトラムマスク
キャリアオフ時の漏洩電力	
送信スプリアス	送信スプリアス
周波数の許容偏差	周波数の許容偏差
変調精度	変調精度
信号送出絶対時間の許容偏差	送信タイミングの精度
受信感度	受信感度
スプリアス・レスポンス・リジェクション	隣接チャネル除去
	非隣接チャネル除去
副次的に発する電波等の限度	
受信最大入力電力	受信最大入力電力
	CCA要件
空中線の構造	
空中線の利得	
空中線の偏波	
空中線の設置	

：記述なし

イ）

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目		
一般的条件及び無線設備の技術的条件	一般的条件	データレート
		符号化率
		チャネル
		変調方式
	送信特性	空中線電力
		空中線電力の許容偏差
		送信スペクトラムマスク
		キャリアオフ時の漏洩電力
		送信スプリアス
		周波数の許容偏差
		変調精度
		送信タイミングの精度
	受信特性	受信感度
		隣接チャネル除去
		非隣接チャネル除去
		副次的に発する電波等の限度
		受信最大入力電力
		CCA要件
	空中線	空中線の構造
		空中線の利得
		空中線の偏波
		空中線の設置

通信方式：CV2Xの場合

5.9GHz帯V2Xシステム 無線機仕様の項目一覧		5.8GHz帯DSRC 路側無線装置規格書	SAE J3161/1「On-Board System Requirements for V2V Safety Communications」	ETSI TS 103 723「Intelligent Transport Systems (ITS);Profile for LTE-V2X Direct Communication」
3. V2X通信の機能/特性/インターフェース	一般的条件及び無線設備の技術的条件	2－3　空中線部の機能及び特性 2－4　送受信部の機能及び特性	6.1 Standards Profiles ：詳細（物理媒体依存副層の特性）	5 Requirement Specifications for OBUs 6 Requirement Specifications for RSUs
	通信制御部の機能、特性、インターフェース	2－5　通信制御部の機能及び特性 2－１０　インターフェース	5.2 System Interfaces ：概要 6.1 Standards Profiles ：詳細 6.3 BSM Transmission Requirements on Channel vChannelNumber：詳細（輻輳制御）	5 Requirement Specifications for OBUs 6 Requirement Specifications for RSUs

ア）

5.8GHz帯DSRC路側無線装置規格書	SAE J3161/1、ETSI TS 103 723
データレート	
符号化率	符号化率
チャネル	チャネル
空中線電力	空中線電力
空中線電力の許容偏差	空中線電力の許容偏差
	最小空中線電力
送信スペクトラムマスク	送信スペクトラムマスク
キャリアオフ時の漏洩電力	送信オフ時の漏洩電力
送信スプリアス	送信スプリアス
周波数の許容偏差	周波数の許容偏差
変調精度	変調精度
信号送出絶対時間の許容偏差	
受信感度	受信感度
スプリアス・レスポンス・リジェクション	隣接チャネル除去
	次隣接チャネル除去
	非隣接チャネル除去
副次的に発する電波等の限度	
受信最大入力電力	受信最大入力電力
空中線の構造	
空中線の利得	
空中線の偏波	
空中線の設置	

：記述なし

イ）

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目		
一般的条件及び無線設備の技術的条件	一般的条件	データレート
		符号化率
		チャネル
		変調方式
	送信特性	空中線電力
		空中線電力の許容偏差
		送信スペクトラムマスク
		キャリアオフ時の漏洩電力
		送信スプリアス
		周波数の許容偏差
		変調精度
		送信タイミングの精度
	受信特性	受信感度
		隣接チャネル除去
		次隣接チャネル除去
		非隣接チャネル除去
		副次的に発する電波等の限度
		受信最大入力電力
	空中線	空中線の構造
		空中線の利得
		空中線の偏波
		空中線の設置

図 6.1.2-1　一般的条件及び無線設備の技術的条件　詳細項目の抽出方法

次に、通信制御部の機能、特性、インタフェースの詳細項目の抽出は以下の手順で実施した（図 6.1.2-2）。

ア）各既存仕様書の詳細項目を抽出
イ）同様の内容の項目はいずれかの仕様の記載に統一
ウ）既存仕様書のアプリケーション固有の機能は項目から除外
エ）UC 毎に整理
オ）項目の OR を取り V2X 通信の詳細項目として整理

5.9GHz帯V2Xシステム 無線機仕様の項目一覧		5.8GHz帯DSRC 路側無線装置規格書	SAE J2945/1「On-Board System Requirements for V2V Safety Communications」	ETSI EN 302 665「Intelligent Transport Systems (ITS); Communication architecture」
3. V2X通信の機能/特性/インターフェース	一般的条件及び無線設備の技術的条件	2－3　空中線部の機能及び特性 2－4　送受信部の機能及び特性	6.1 Standards Profiles ：詳細 （物理媒体依存副層の特性）	6 ITSC OSI protocol stack
	通信制御部の機能、特性、インターフェース	2－5　通信制御部の機能及び特性 2－10　インターフェース	5.2 System Interfaces ：概要 6.1 Standards Profiles ：詳細 6.3 BSM Transmission Requirements on Channel vChannelNumber：詳細（輻輳制御）	6 ITSC OSI protocol stack 7 ITSC management entity

ア）

	5.8GHz帯DSRC路側無線装置規格書			SAE J2945/1、ETSI EN 302 665		
レイヤ1の機能	概要	—	—	概要	—	—
	レイヤ1 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能	レイヤ1 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
			パラメータ			パラメータ
	レイヤ1層管理 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能			
			管理情報ベース（MIB）			
	レイヤ1通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット	レイヤ1通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
		送/受信手順	—		送/受信手順	—
：	：	：	：	：	：	：
レイヤ7の機能	概要	—	—	概要	—	—
	レイヤ7 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能	レイヤ7 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
			パラメータ			パラメータ
		セキュリティプリミティブ	機能		セキュリティプリミティブ	機能
			パラメータ			パラメータ
	レイヤ7層管理 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能			
			管理情報ベース（MIB）			
	レイヤ7通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット	レイヤ7通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
		送/受信手順	—		送/受信手順	—
レイヤマネジメント エンティティ機能				レイヤマネジメント サービスインターフェース	レイヤ1	機能
						管理情報ベース（MIB）
					：	：
					レイヤ7	機能
						管理情報ベース（MIB）
セキュリティレイヤの機能	—	—	—			
システム管理レイヤの機能	—	—	—			
	路側無線装置間の時分割	動作	—			
		クロックの精度	—			
その他機能	パラメータデフォルト値	—	—			
				メッセージの送信要件	利用サービスインターフェース	—
					送信パラメータ	—
					送信条件	—
					データ要素の精度	—
					データの時続性	—
					輻輳制御	—
空中線部ー送受信部間	物理インターフェース	—	—			
送受信部ー通信制御部間	物理インターフェース	—	—			
アプリケーション-レイヤ7間	物理インターフェース	—	—			

イ）

ウ）

エ）

ウ）

オ）

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目				
通信制御部の機能、特性、インターフェース	レイヤ1の機能	概要	—	—
		レイヤ1 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ1通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	：	：	：	：
	レイヤ7の機能	概要	—	—
		レイヤ7 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
			セキュリティプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ7通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	レイヤマネジメント エンティティ機能	レイヤマネジメント サービスインターフェース	レイヤ1	機能
				管理情報ベース（MIB）
			：	：
			レイヤ7	機能
				管理情報ベース（MIB）
	セキュリティレイヤの機能			
	その他機能	送信要件	a-1-1	通信シーケンス
				利用サービスインターフェース
				送信パラメータ
			：	：
			g-2	通信シーケンス
				利用サービスインターフェース
				送信パラメータ
			輻輳制御	—
	空中線部ー送受信部間	物理インターフェース	—	—
	送受信部ー通信制御部間	物理インターフェース	—	—
	アプリケーション-レイヤ7間	物理インターフェース	—	—
		論理インターフェース	—	—

：記述なし

：検討対象外

図 6.1.2-2　通信制御部の機能、特性、インタフェース　詳細項目の抽出方法

詳細項目の抽出結果を反映した無線機仕様の項目一覧を、表 6.1.2-6、表 6.1.2-7 に示す。

表 6.1.2-6　無線機仕様の項目一覧（DSRC）
詳細項目の抽出後

5.9GHz帯V2Xシステム無線機仕様（*1）
項目一覧
1. スコープ ・目的 ・適用範囲、前提条件（対象UC、要件等）
2. V2Xシステムの概要 ・システム構成 ・機器構成
3. V2X通信の機能/特性/インターフェース ・一般的条件及び無線設備の技術的条件 ・通信制御部の機能、特性、インターフェース

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目		
一般的条件及び無線設備の技術的条件	一般的条件	データレート
		符号化率
		チャネル
		変調方式
	送信特性	空中線電力
		空中線電力の許容偏差
		送信スペクトラムマスク
		キャリアオフ時の漏洩電力
		送信スプリアス
		周波数の許容偏差
		変調精度
		送信タイミングの精度
	受信特性	受信感度
		隣接チャネル除去
		非隣接チャネル除去
		副次的に発する電波等の限度
		受信最大入力電力
		CCA要件
	空中線	空中線の構造
		空中線の利得
		空中線の偏波
		空中線の設置

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目				
通信制御部の機能、特性、インターフェース	レイヤ1の機能	概要	—	—
		レイヤ1 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ1通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	⋮	⋮	⋮	⋮
	レイヤ7の機能	概要	—	—
		レイヤ7 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
			セキュリティプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ7通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	レイヤマネジメントエンティティ機能	レイヤマネジメントサービスインターフェース	レイヤ1	機能
				管理情報ベース（MIB）
			⋮	⋮
			レイヤ7	機能
				管理情報ベース（MIB）
	セキュリティレイヤの機能			
	その他機能	送信要件	a-1-1	通信シーケンス
				利用サービスインターフェース
				送信パラメータ
			⋮	⋮
			g-2	通信シーケンス
				利用サービスインターフェース
				送信パラメータ
			輻輳制御	—
	空中線部－送受信部間	物理インターフェース	—	—
	送受信部－通信制御部間	物理インターフェース	—	—
	アプリケーション-レイヤ7間	物理インターフェース	—	—

表 6.1.2-7　無線機仕様の項目一覧（CV2X）
詳細項目の抽出後

5.9GHz帯V2Xシステム無線機仕様（*1）
項目一覧
1. スコープ ・目的 ・適用範囲、前提条件（対象UC、要件等）
2. V2Xシステムの概要 ・システム構成 ・機器構成
3. V2X通信の機能/特性/インターフェース ・一般的条件及び無線設備の技術的条件 ・通信制御部の機能、特性、インターフェース

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目		
一般的条件及び無線設備の技術的条件	一般的条件	データレート
		符号化率
		チャネル
		変調方式
	送信特性	空中線電力
		空中線電力の許容偏差
		送信スペクトラムマスク
		キャリアオフ時の漏洩電力
		送信スプリアス
		周波数の許容偏差
		変調精度
		送信タイミングの精度
	受信特性	受信感度
		隣接チャネル除去
		次隣接チャネル除去
		非隣接チャネル除去
		副次的に発する電波等の限度
		受信最大入力電力
	空中線	空中線の構造
		空中線の利得
		空中線の偏波
		空中線の設置

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目				
通信制御部の機能、特性、インターフェース	レイヤ1の機能	概要	—	—
		レイヤ1 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ1通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	⋮	⋮	⋮	⋮
	レイヤ7の機能	概要	—	—
		レイヤ7 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
			セキュリティプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ7通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	レイヤマネジメントエンティティ機能	レイヤマネジメントサービスインターフェース	レイヤ1	機能
				管理情報ベース（MIB）
			⋮	⋮
			レイヤ7	機能
				管理情報ベース（MIB）
	セキュリティレイヤの機能			
	その他機能	送信要件	a-1-1	通信シーケンス
				利用サービスインターフェース
				送信パラメータ
			⋮	⋮
			g-2	通信シーケンス
				利用サービスインターフェース
				送信パラメータ
			輻輳制御	—
	空中線部－送受信部間	物理インターフェース	—	—
	送受信部－通信制御部間	物理インターフェース	—	—
	アプリケーション-レイヤ7間	物理インターフェース	—	—

6.1.3　無線機仕様の項目一覧に対する適用仕様、パラメータの検討

本項では、前項の検討結果である、無線機仕様の項目一覧に対して、適用する仕様、パラメータを整理することで無線機仕様案を作成した。

(1) スコープ

無線機仕様の項目一覧における1.スコープとして、目的、適用範囲、前提条件（対象UC、要件等）を整理した結果について述べる。本項目の内容については、本事業の目的及び3～6章の検討範囲を踏まえて整理した。

(a) 目的

協調型自動運転の実現に向け、5.9GHz帯の電波を用いるV2Xシステムの導入に係る課題解決及び検討を加速化するため、その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様の案をまとめたものである。

(b) 適用範囲、前提条件（対象UC、要件等）

適用範囲

無線機仕様案として、通信レイヤに加えて、アプリケーション及び通信レイヤ―アプリケーション間のインタフェースに適用する。本項で述べるアプリケーションは特筆しない限り通信制御のためのアプリケーションのことを差し、各ユースケースのメッセージやメッセージに必要な情報のやり取りを行う機能を実現するものとする。

前提条件

- アクセスレイヤとしては、自動運転（自専道）通信活用ユースケースを対象とした通信システムの実験用ガイドラインであるITS FORUM RC-015をベース [12]
- 本仕様案の案出にあたり対象としたユースケースは、SIPに検討された25種のユースケースの内、路車間通信及び車車間通信を対象としたユースケース [13]
- ITS情報通信システム推進会議（以下「ITSフォーラム」という。）において検討されている自動運転車の普及に応じた通信に要求される要件（データ量、通信エリア、許容遅延時間、通信速度、パケット到達率等。以下「ITSフォーラム通信要件」という。）及びメッセージセットのうち、狭域通信（路車間通信及び車車間通信。以下同じ。）に係るもの [14]

(2) V2Xシステムの概要

無線機仕様の項目一覧における 2.V2X システムの概要として、システム構成、機器構成を整理した結果ついて述べる。なお、上位層（レイヤ 5～7）とアプリケーションは必ずしも機器として分かれる訳ではないが、本節では情報が必要な論理ブロックが明確となるよう、分けて記載した。

(a) システム構成

ITS FORUM RC-017における各ユースケースの想定シナリオ及び通信シーケンスの検討結果（5.1.6 節）において無線機（及びアプリケーション）と接続されるシステムについて整理を行い、V2Xシステムの路車間通信/車車間通信それぞれのシステム構成を検討した。

表6.1.3-1に、各ユースケースにおける接続システムの整理結果を示す。5章の検討結果を踏まえると、車両基本情報は上位層、車両基本情報以外のメッセージはアプリケーションより送信されるため、車載機は上位層、アプリケーションそれぞれで車両センサの情報が必要となる。そのため、接続される外部システムは車両側の1種類であるものの、接続方法としても分けて整理した。路側機に関してはアプリケーションからのメッセージ送信となるため、外部システムとのインタフェースも同様にアプリケーションとなる。一方で接続が必要な外部システムはユースケース毎に異なり、「路側センサ群」、「交通信号制御機」、「路側センサ群、交通信号制御機」、「管理サーバ」及び「車メーカ、交通情報提供事業者等」の5種類となる。

接続システム一覧を踏まえ、路車間通信、車車間通信のシステム構成を整理した結果を図6.1.3-1に示す。ここで、車載センサ等の情報は、車両側の制御装置等を介して間接的に受渡が行われると仮定し、車両側としてブロック図を記載した。また、アプリケーションは装置に内蔵する場合としない場合の両方が考えられるが、本システム構成図においては内蔵しない場合を想定し、アプリケーション処理装置を別途設ける。アプリケーション処理装置は、複数のアプリケーションが動作可能な機能を有する。

前述の通り、車載機は車両側との接続方法がユースケースによって異なるが、ユースケースに関わらず共通利用されると想定されるため、両方の接続方法に対応した形で１種類の構成とした。路側機は、必ずしも１台の路側機で全てのユースケースに対応する形ではなく、運用形態や事業者によって対応するユースケースが異なる可能性があるため、それぞれのユースケースを実現するために必要な最小のインタフェース毎に整理を行った。ただし、「管理サーバ」と「車メーカ、交通情報提供事業者等」等の接続は、ネットワーク網を介した接続となるため、無線機側の直接のインタフェースとしては同じくネットワーク網になるため一つの構成として整理した。

本整理にあたり、車両とのインタフェースは、自車情報を得る方法として車両側の制御装置等を介して間接的に受渡が行われると仮定したが、該当インタフェースの詳細は車側のシステムを構築する関連団体と協議していく必要がある。

表 6.1.3-1　各ユースケースにおける接続システム一覧

機能分類	ユースケース	通信形態	接続システム			
			外部システム－アプリケーション間		外部システム－上位層間	
			路側機	車載機	路側機	車載機
a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援	I2V	路側センサ群	車両側（車載センサ等）	－	－
	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	I2V 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.混在時の車線変更の支援					
	a-3.混雑時の非優先道路から優先道路への進入支援					
b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援	I2V	交通信号制御機			
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）	V2V		－		車両側（車載センサ等）
	c-2-2.交差点の情報による走行支援（V2I）	I2V	路側センサ群、交通信号制御機	車両側（車載センサ等）		－
	c-3.ハザード情報による衝突回避支援	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	I2V	管理サーバ（ネットワーク網）			
	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	V2V	－			
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	V2I	車メーカ、交通情報提供事業者等（ネットワーク網）	－		車両側（車載センサ等）
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	－	車両側（車載センサ等）		－
	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 6.1.3-1　システム構成図

(b) 機器構成

前頁システム構成図、通信プロトコル案の検討結果（5.1 節）を踏まえ、無線機内の構成について想定される案を整理した。また、通信方式ロードマップ [15]を踏まえ、既存 ITS（700MHz 帯）との連携時の構成ついて整理を実施した。

機器構成：5.9GHz 帯無線機単体

図 6.1.3-2 に、5.9GHz 帯無線機の機器構成を示す。通信プロトコル案におけるチャネル割り当てに関する機能・動作（割り当てチャネル数と同一の無線部（レイヤ 2 以下）を備える想定）を踏まえると、マルチチャネルに対応するためには、割り当てチャネル数の無線部あるいは無線部+通信制御部(L3～L7)を備えることが必要であることから、その両方の機器構成案を整理した。各構成図の赤枠内は、チャネル割り当て数に合わせて実装数を変更することで、そのチャネル割り当て数に対応した構成となる。以降の既存 ITS との連携を考慮した構成図においては割り当てチャネル数の無線部を備える場合を一例として記載した。

表 6.1.3-2 に、マルチチャネル対応方法における無線部の構成の特徴を示す。同表における「△」は、他の構成案に対して劣ることが懸念される項目について記載した。同表は定性的な比較にとどまるため、今後、各構成に対し、性能要件、コスト、実装条件等について定量的に評価を行い、各構成でシステム要件を満足するか明らかにすることで、実装依存とするか、無線機仕様として規定すべきかを判断する必要がある。

割当てチャネル数の無線部を備える場合

割当てチャネル数の無線部＋通信上位層を備える場合

図 6.1.3-2　機器構成　5.9GHz 帯無線機単体

表 6.1.3-2　マルチチャネル対応方法における無線部の構成の特徴

構成	製造コスト	装置サイズ	スループット （/30MHz全体）	備考	追加 検討事項
単一無線部： 単一CH	○	○	△ （参照するアクセスレイヤ仕様では、20MHzが最大）	・C-V2Xの場合のNR-V2Xを適用することで、30MHz幅に対応可能であり、スループット良化	・上位層における通信制御方式の詳細検討
単一無線部： 複数CH	○	○	△ （チャネル切替や制御方法に基づく遅延が懸念）	―	・上位層における通信制御方式の詳細検討 ・通信プロトコルにおけるチャネル切替方式
複数無線部： 複数CH	△	△	○	・複数チャネルで送信と受信のタイミングが重なる場合、端末内干渉により通信品質が劣化する可能性あり ・複数チャネル同時送信による他端末での通信品質の劣化については、チャネル間で送信管制を適用することにより改善が期待される	・上位層における通信制御方式の詳細検討 ・送信管制方法及び 同期性能に対する要求値の検討

次に、SIP 協調型自動運転の通信方式ロードマップ -2021 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告で検討整理された通信方式ロードマップを踏まえ、既存 ITS（700MHz 帯）との連携時の構成についても整理を実施した。構成の検討にあたっては、700MHz 帯高度道路交通システムとの連携方法案 1～3（5.1.5 節）を踏まえ検討した。

図 6.1.3-3 に、SIP 協調型自動運転の通信方式ロードマップを示す。通信方式のロードマップにおいて、以下を利用方法・時期を想定されている。

- 新たな通信方式（5.9GHz）の導入時期は 2030 年を想定
- 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

上記想定を踏まえ、5.9GHz 帯無線機の機器構成は、導入、導入後の 2 つの時期を想定して整理を実施した。その結果として、案 1～3 を以降に示す。

- 導入：先行導入された既存 ITS 無線機を継続利用しながら、5.9GHz 帯無線機を利用
- 導入後：通信装置の小型化や周辺機器との配線を簡素化等のニーズがあると想定し、既存 ITS 無線機と一体型とする

なお、旧無線機で対象としていたサービスについて新たな無線機導入後も、入れ替えが完了するまで継続的に提供ができるようにするためには、アプリケーションで使用する周波数の切り替え時期・方法等を今後検討していく必要がある。その時期・方法等を踏まえた機器構成案の更新が今後の課題として挙げられる。

※：SIP 協調型自動運転の通信方式ロードマップ
-2021 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告-
(https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/roadmap.pdf)に記載の図を基に作成

図 6.1.3-3　SIP 協調型自動運転の通信方式ロードマップ

既存 ITS との連携方法を考慮した機器構成：案 1 5.9GHz 帯無線機導入（連携なし）

図 6.1.3-4 に、機器構成案 1 を示す。本案は、前述のロードマップにおける新たな通信方式（5.9GHz）の導入時期を想定した案の一つであり、既存 ITS 無線機をそのまま活用する場合（連携方法案 1 に対応）を想定した。既存 ITS 無線機及びそのアプリケーションに改修が不要であるため導入のハードルは低いものの、各無線機で提供するサービス（各アプリケーションの使用周波数）の見直しへの対応が難しい。

図 6.1.3-4　機器構成：案 1　5.9GHz 帯無線機導入（連携なし）

既存 ITS との連携方法を考慮した機器構成：案 2　5.9GHz 帯無線機導入（連携あり）

図 6.1.3-5 に、機器構成案 2 を示す。本案は、機器構成案 1 と同様に新たな通信方式（5.9GHz）の導入時期を想定した案の一つとなる（連携方法案 2 に対応）。連携方法案 3 に対応する場合、アプリケーションと各無線機の通信制御部との間に、700MHz 帯と 5.9GHz 帯を共用するための管理レイヤを追加する必要がある。本案では機器構成案 1 とは異なり一つのアプリケーションから既存 ITS 及び 5.9GHz 帯の通信レイヤへのアクセスが可能な構成となる。そのため、普及状況等に応じて、各アプリケーションで使用する周波数の切り替えが可能になる。一方で、アプリケーションとしては各無線機に対応したインタフェースを設ける必要があるため、先行して導入されている 700MHz 帯のアプリケーションにおいては、5.9GHz 帯無線機導入前より、連携を想定した 5.9GHz 帯無線機とのインタフェース実装が必要となる。

図 6.1.3-5　機器構成：案 2　5.9GHz 帯無線機導入（連携あり）

既存 ITS との連携方法を考慮した機器構成：案 3 5.9GHz 帯無線機導入後（連携あり）

図 6.1.3-6 に、機器構成案 3 を示す。機器構成案 2 と同様に、連携方法案 2 に対応した機器構成図となる。本案は、前述のロードマップにおける新たな通信方式（5.9GHz）の導入後、機器の入れ替え等が十分に進んだ後の時期を想定し、既存 ITS 無線機と 5.9GHz 帯無線機を一体型の構成とした。2 台必要であった無線機を 1 台で実現することで、電源部や制御部などでモジュール等の共通化を図ることが可能となり、部品点数や実装スペースの削減により、装置の容積も小さくなり実装に自由度が増すことも期待される。また、消費電力の削減も期待される。一方で、PA、LNA、アンテナ等の周波数特性により、共通化は難しいことが予想されるため、700MHz 帯と 5.9GHz 帯でアンテナを別途設ける構成とした。

図 6.1.3-6　機器構成：案 3　5.9GHz 帯無線機導入後（連携あり）

(3) V2X 通信の機能/特性/インタフェース

無線機仕様の項目一覧における V2X 通信の機能/特性/インタフェースとして、一般的条件及び無線設備の技術的条件、通信制御部の機能/特性/インタフェースについて整理した結果について述べる。

(a) 一般的条件及び無線設備の技術的条件

一般的条件及び無線設備の技術的条件の各項目について、次の手順で適用するパラメータを整理した。まず、ITS フォーラム発行のガイドラインである「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」（以下、ITS FORUM RC-015）で規定されている項目についてはその値を適用した。次に、上記手順で埋まらない項目については、5.3 節において評価条件とした値を適用した。その他のパラメータについては「TBD」として記載した。

表 6.1.3-3、表 6.1.3-4 に、一般的条件及び無線設備の技術的条件の整理結果を示す。引用元の欄に、それぞれの値をどの文献より参照したかを明記した。なお、複数選択肢があるパラメータについては、本事業にて評価した条件が分かるよう、参考情報として評価条件を備考の欄に記入した。また、チャネルについてはチャネル割り当てによって決まる項目となるため TBD とした。今回 TBD とした項目については、継続検討が必要であるが、空中線の構造、利得及び偏波については、提供するサービス種別毎等に定めていくこと等が考えられる。また、偏波については、各機器で偏波が異なると送受信間で損失が発生することから、路側機及び車載機で統一することが望ましい。

表 6.1.3-3　一般的条件及び無線設備の技術的条件の検討結果：DSRC [12]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目			値	引用元	備考
一般的条件及び無線設備の技術的条件	一般的条件	データレート	変調方式と符号化率の組合せによる	–	–
		符号化率	畳み込みFEC R=1/2、2/3、3/4	ITS FORUM RC-015	参考文書[1]において、畳み込みFEC R=1/2にて評価
		チャネル	TBD	–	–
		変調方式	BPSK/OFDM、QPSK/OFDM、16QAM/OFDM、64QAM/OFDM	ITS FORUM RC-015	参考文書[1]において、QPSK/OFDM、16QAM/OFDMにて評価
	送信特性	空中線電力密度	10mW/MHz	ITS FORUM RC-015	–
		空中線電力の許容偏差	路側機：上限20%、下限50% 車載機：上限50%、下限50%	ITS FORUM RC-015	–
		送信スペクトラムマスク	TBD	–	–
		キャリアオフ時の漏洩電力	TBD	–	–
		送信スプリアス	TBD	–	–
		周波数の許容偏差	±20×10^{-6}以内	ITS FORUM RC-015	–
		変調精度	■送信中心周波数成分の抑圧 準拠文書[1]「17.3.9.6.1 Transmitter center frequency leakage」の規定による。 ■送信スペクトル平坦性 準拠文書[1]「17.3.9.6.2 Transmitter spectral flatness」の規定による。 ■送信変調精度 準拠文書[1]「17.3.9.6.3 Transmitter constellation error」の規定による。 本システムではBPSK、QPSK、16QAM及び64QAMが選択される。	ITS FORUM RC-015	–
		送信タイミングの精度	TBD	–	–
	受信特性	受信感度	準拠文書[1]「17.3.10.1 Receiver minimum input sensitivity」の規定による。 本システムでは「10MHz channel spacing」のBPSK、QPSK、16QAM及び64QAMが選択される。	ITS FORUM RC-015	–
		隣接チャネル除去	TBD	–	–
		非隣接チャネル除去	TBD	–	–
		副次的に発する電波等の限度	TBD	–	–
		受信最大入力電力	TBD	–	–
		CCA要件	準拠文書[1]「17.3.9.6.3 Transmitter constellation error」の規定による。 本システムではBPSK、QPSK、16QAM及び64QAMが選択される。	ITS FORUM RC-015	–
	空中線	空中線の構造	TBD	–	–
		空中線の利得	TBD	–	–
		空中線の偏波	TBD ただし、送受信共に、偏波を統一することを推奨する。	ITS FORUM RC-015	–
		空中線の設置	TBD	–	–

準拠文書[1] IEEE802.11p-2010 [12]

参考文書[1] SIP 第1 期「実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（平成30 年度）

表 6.1.3-4　一般的条件及び無線設備の技術的条件の検討結果：CV2X [17]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目			値	引用元	備考
一般的条件及び無線設備の技術的条件	一般的条件	データレート	TBD	–	–
		符号化率	TBD	–	–
		チャネル	TBD	–	–
		変調方式	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.2.3.G」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
	送信特性	空中線電力	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.2.2.G 」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		空中線電力の許容偏差	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.2.2.G 」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		送信スペクトラムマスク	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.6.3.G 」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		キャリアオフ時の漏洩電力	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.3.3.G 」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		送信スプリアス	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.6.3.G 」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		周波数の許容偏差	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.5.1.G 」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		変調精度	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.5.2」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		送信タイミングの精度	TBD	–	–
	受信特性	受信感度	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　6.5.1.G 」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		隣接チャネル除去	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　7.5.1G」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
		次隣接チャネル除去	TBD	–	–
		非隣接チャネル除去	TBD	–	–
		副次的に発する電波等の限度	TBD	–	–
		受信最大入力電力	「3GPP TS36.101 V14.13.0（2019-9）　7.4.1G」の規定による。	ITS FORUM RC-015(*1)	–
	空中線	空中線の構造	TBD	–	–
		空中線の利得	路側機：指向性　10dBi以下、無指向　6dBi以下 車載機：4dBi以下	本事業評価条件	R3年度検討(*2) の評価条件を比較し、より精緻な通信パラメータを選定
		空中線の偏波	TBD	–	–
		空中線の設置	路側機：6.0m以下 車載機：4.1m以下	本事業評価条件	R3年度検討(*2) の評価条件を比較し、より精緻な通信パラメータを選定

*1　「3GPP TS 36.101 E-UTRA User Equipment(UE) radio transmission and reception」[17]で規定される値。

*2　総務省 R3年度 周波数ひっ迫対策技術試験事務「5.9GHz帯V2X用通信システムに関する技術的検討」、SIP第2期自動運転（システムとサービスの拡張）　令和3年度研究開発における「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」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」

(b) 通信制御部の機能、特性、インタフェース

無線機仕様の項目一覧における V2X 通信の機能/特性/インタフェースとして、通信制御部の機能、特性、インタフェースについて整理した結果について述べる。本項目の検討対象の多くは 5 章の検討結果を適用することできるため、まず、通信制御部の機能/特性/インタフェースの項目と 5 章の検討結果の対応を表 6.1.3-5 に整理した。概要以外で 5 章にて検討されていない項目については次の通りに整理した。レイヤ 5～7 の機能おけるサービスプリミティブについては、5.1.6 節の通信シーケンスの検討結果を踏まえると、アプリケーションからの周期的送信と上位層での周期的送信の 2 種類あることを踏まえ、それぞれを別のプリミティブとして定義し、必要最小限のパラメータを記載した。レイヤマネジメントエンティティ機能は、5.1 節で検討したプロトコル案の機能・動作を実現するために必ずしも必要なものではないが、レイヤ1、レイヤ2 等、参考規格があるレイヤについては、今後の拡張性の踏まえ、参考規格における仕様のままとした。

表 6.1.3-5　V2X 通信の機能/特性/インタフェースの項目一覧と 5 章検討結果の対応

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目				
通信制御部の機能、特性、インターフェース	レイヤ1の機能	概要	—	—
		レイヤ1 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ1通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	レイヤ2の機能	概要	—	—
		レイヤ2 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ2通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	レイヤ3～4の機能	概要	—	—
		レイヤ3～4 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ3～4通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	レイヤ5～7の機能	概要	—	—
		レイヤ5～7 サービスインターフェース	サービスプリミティブ	機能
				パラメータ
			セキュリティプリミティブ	機能
				パラメータ
		レイヤ5～7通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット
			送/受信手順	—
	レイヤマネジメント エンティティ機能	レイヤマネジメント サービスインターフェース	レイヤ1	機能
				管理情報ベース（MIB）
			⋮	⋮
			レイヤ7	機能
				管理情報ベース（MIB）
	セキュリティレイヤの機能			
	その他機能	送信要件	a-1-1	通信シーケンス
				利用サービスインターフェース
				送信パラメータ
			⋮	⋮
			g-2	通信シーケンス
				利用サービスインターフェース
				送信パラメータ
			上位層での通信制御方式	—
	空中線部－送受信部間	物理インターフェース	—	—
	送受信部－通信制御部間	物理インターフェース	—	—
	アプリケーション-レイヤ7間	物理インターフェース	—	—

5章検討結果との対応

■DSRCの場合
・表5.1.4-13
■CV2Xの場合
・表5.1.4-14

■DSRCの場合
・表5.1.4-5,10
・図5.1.6-15,16,17
■CV2Xの場合
・表5.1.4-6,11
・図5.1.6-15,16,17

・表5.1.4-4,9
・図5.1.6-15,16,17

・表5.1.4-15

・表5.1.4-3,8
・図5.1.6-15,16,17

・図5.1.6-3～14

上記整理結果を踏まえ、以降では「レイヤ 1 の機能」等、大項目毎に整理結果を述べる。

整理結果を表 6.1.3-6～表 6.1.3-14 に示す。機能、特性、インタフェースの仕様を記述するにあたり既存規格を一部参考としているため、参考文書と同じ機能、動作を想定している箇所を黒字、参考文書からの変更点或いは参考文書がない箇所については、青字で記載することとした。また、追加の機能の内、詳細手順までは検討できていない項目については、適切でない項目に分類することを避けるため、各レイヤの通信制御の項目に「その他の機能」を追加し、そこにまとめて記載することとした。なお、項目一覧は体系的にまとめたため、整理にあたり必要に応じて項目の追加を行った。

表 5.1.4-5、表 5.1.4-6、表 5.1.4-10 及び表 5.1.4-11 の結果を踏まえ、DSRC のレイヤ 1 及び CV2X レイヤ 1～2 は、ITS FORUM RC-015 準拠の仕様とした。DSRC のレイヤ 2 については、ITS FORUM RC-015 に対して、パケット分割、優先制御の機能が追加、MAC、LLC のサービスプリミティブのパラメータとして、優先度、終了時間、チャネル識別子を追加した。

レイヤ 3～4 は、表 5.1.4-13 の結果を踏まえると、チャネル割り当てに関するパラメータと優先制御のためのパラメータの受渡が必要となるが、参考文献で定義されるサービスプリミティブのパラメータで実現できるため、該当プリミティブを記載することで、無線機仕様とした。

表 6.1.3-6　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：レイヤ 1（DSRC）[12]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目					値	備考
通信制御部の機能、特性、インタフェース	レイヤ1の機能	概要	—	—	準拠文書[1]　第1部 ITS　FORUM　RC-005参照方式に従う。ただし、周波数帯については、5.9GHz 帯に見直し。	
		レイヤ1サービスインタフェース	サービスプリミティブ（*1）	要求	■PHY-TXSTART要求 機能：MPDUの送信を開始するための要求 パラメータ：TXベクトル ■PHY-DATA要求 機能：データのオクテットの転送 パラメータ：データ、ユーザインデックス(*2) ■PHY-TXEND要求 機能：MPDUの現在の送信を完了 パラメータ：(なし)	準拠文書[1]「4.2.2.1.4 PHY-TXSTART要求」の規定による。 準拠文書[1]「4.2.2.1.1 PHY-DATA要求」の規定による。 準拠文書[1]「4.2.2.1.6 PHY-TXEND要求」の規定による。
				確認	■PHY-TXSTART確認 機能：送信の開始を確認 パラメータ：TXステータス ■PHY-DATA確認 機能：データ転送を確認 パラメータ：(なし) ■PHY-TXEND確認 機能：送信の完了を確認 パラメータ：スクランブラまたはCRC(*2)	準拠文書[1]「4.2.2.1.5 PHY-TXSTART確認」の規定による。 準拠文書[1]「4.2.2.1.3 PHY-DATA確認」の規定による。 準拠文書[1]「4.2.2.1.7 PHY-TXEND確認」の規定による。
				指示	■PHY-CCA表示 機能：メディアの現在の状態を通知 パラメータ：ステート、IPレポート(*2)、チャネルリスト(*2) ■PHY-RXSTART表示 機能：PLCPが有効な開始フレーム区切り文字（SFD）とPLCPヘッダーを受信したことを通知 パラメータ：RXベクトル ■PHY-DATA表示 機能：データの転送を確認 パラメータ：データ ■PHY-RXEND表示 機能：現在受信中のMPDUが完了したことを通知 パラメータ：RCPI、RXエラー	準拠文書[1]「4.2.2.1.10 PHY-CCA指示」の規定による。 準拠文書[1]「4.2.2.1.11 PHY-RXSTART指示」の規定による。 準拠文書[1]「4.2.2.1.2 PHY-DATA指示」の規定による。 準拠文書[1]「4.2.2.1.12 PHY-RXEND指示」の規定による。
		物理層コンバージェンス手順副層	プロトコルデータ単位	データフォーマット	準拠文書[1]「4.2.3.1 フレームフォーマット」の規定による。	
			送/受信手順	物理層コンバージェンス手順副層でのパケット送信処理手順	準拠文書[1]「4.2.3.10 物理層コンバージェンス手順副層でのパケット送信処理手順」の規定による。	
				物理層コンバージェンス手順副層でのパケット受信処理手順	準拠文書[1]「4.2.3.11物理層コンバージェンス手順副層でのパケット受信処理手順」の規定による。	
		物理媒体依存副層	—	—	準拠文書[1]「4.2.5　物理媒体依存副層」の規定による。	

準拠文書[1]:ITS FORUM RC-015[12]

（*1）　本事業にて検討したプリミティブのみ記載

（*2）　特定の場合のみ、有効

表 6.1.3-7　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：レイヤ 1（CV2X）[12], [18]-[21]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目			値	備考
通信制御部の機能、特性、インタフェース	レイヤ1の機能	概要	準拠文書[1]　第2部　LTE V2X(PC5)参照方式（準拠文書[2]～[5]）に従う。	
		物理チャネルおよび変調	準拠文書[2]]に従う。	
		多重化とチャネルコーディング	準拠文書[3]]に従う。	
		物理層手順	準拠文書[4]]に従う。	
		物理層：測定	準拠文書[5]]に従う。	

準拠文書[1]:ITS FORUM RC-015[12]

準拠文書[2]:3GPP TS 36.211[18]

準拠文書[3]:3GPP TS 36.212[19]

準拠文書[4]:3GPP TS 36.213[20]

準拠文書[5]:3GPP TS 36.214[21]

表 6.1.3-8　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：レイヤ 2（DSRC）[12]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目					値	備考
通信制御部の機能、特性、インタフェース	レイヤ2の機能	概要	—	—	特筆しない限り、準拠文書[1] 第1部 ITS FORUM RC-005参照方式に従う。	
		レイヤ2 通信制御	プロトコルデータ単位	データフォーマット	準拠文書[1]「4.3.2 プロトコル単位」の規定による。	
		レイヤ2 （MAC） サービス インタフェース	サービスプリミティブ	要求	■MA-UNIDATA要求 機能：MACサービスデータ単位（MSDU:MAC Service Data Unit）を送ることを要求 パラメータ：送信元アドレス、宛先アドレス、優先度、終了時間、チャネル識別子、データ	準拠文書[1] 「4.3.3.2 MACインターフェースサービス仕様」の規定に対し、赤字のパラメータを追加。
				確認	—	
				指示	■MA-UNIDATA表示 機能：MSDUの到着を示す パラメータ：送信元アドレス、宛先アドレス、優先度、データ	
			リンクアドレス （MACアドレス）	—	準拠文書[1]「4.3.3.3 リンクアドレス（MACアドレス）」の規定による。	
			MAC副層の機能	—	準拠文書[1]「4.3.3.4 MAC副層の機能」の規定による。	
			アクセス制御	—	準拠文書[1]「4.3.3.5 アクセス制御」の規定による。	
		レイヤ2 （MAC） 通信制御	送/受信手順	—	準拠文書[1]「4.3.3.6 データ送受信制御」の規定による。	
			その他機能	—	■パケット分割 TBD ■輻輳制御（優先制御） 上位層でメッセージ毎に設定した優先度に基づき、処理を行う。	■輻輳制御（優先制御） 米国仕様と参考に、上位層から下位レイヤに優先制御に必要なパラメータを渡すことを想定
		レイヤ2 （LLC） サービス インタフェース	サービスプリミティブ	要求	■DL-UNIDATA要求 機能：MACサービスデータ単位（MSDU:MAC Service Data Unit）を送ることを要求 パラメータ：送信元アドレス、宛先アドレス、優先度、WSM終了時間、チャネル識別子、データ	準拠文書[1] 「4.3.4.2 LLCインターフェースサービス仕様」の規定に対し、赤字のパラメータを追加。
				確認	—	
				指示	■DL-UNIDATA表示 機能：MSDUの到着を示す パラメータ：送信元アドレス、宛先アドレス、優先度、長さ、データ	
			LLC手順のタイプ	—	準拠文書[1]「4.3.4.4 LLC手順のタイプ」の規定による。	
			LLC手順要素	—	準拠文書[1]「4.3.4.5 LLC手順要素」の規定による。	
			LLC手順	—	準拠文書[1]「4.3.4.6 LLC手順」の規定による。	

準拠文書[1]:ITS FORUM RC-015[12]

表 6.1.3-9　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：レイヤ 2（CV2X）[12], [23]-[25]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目			値	備考
通信制御部の機能、特性、インタフェース	レイヤ2の機能	概要	準拠文書[1] 第2部 LTE V2X(PC5)参照方式（準拠文書[2]～[4]）に従う。	
		MACプロトコル仕様	準拠文書[2]に従う。	
		RLCプロトコル仕様	準拠文書[3]に従う。	
		RDCPプロトコル仕様	準拠文書[4]に従う。	

準拠文書[1]:ITS FORUM RC-015[12]
準拠文書[2]:3GPP TS 36.321[22]
準拠文書[3]:3GPP TS 36.322[23]
準拠文書[4]:3GPP TS 36.323[24]

表 6.1.3-10　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：レイヤ 3,4 [25]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目					値	備考
通信制御部の機能、特性、インタフェース	レイヤ3,4の機能	概要	—	—	同報型、直接通信のユースケースが主要のため、上位層のサービスを特定する以外の機能なし	チャネル割当て数と同一の無線機（レイヤ2以下）を備える想定
		レイヤ3,4 サービス インタフェース	サービス プリミティブ （*1）	要求	■WSM-WaveShortMessage要求 機能：ASDUの送信を要求する パラメータ：PSID、ピアMACアドレス、ユーザ優先度、終了時間、チャネル識別子、長さ、データ	準拠文書[4]「7.3.2 WSM-WaveShortMessage.request」の規定による。
				確認	■WSM-WaveShortMessage確認 機能：データ送信結果を通知する パラメータ：結果コード	準拠文書[4]「7.3.3 WSM-WaveShortMessage.confirm」の規定による。
				指示	■WSM-WaveShortMessage表示 機能：ASDUの到着を示す パラメータ：PSID、ピアMACアドレス、ユーザ優先度、長さ、データ	準拠文書[4]「7.3.4 WSM-WaveShortMessage.indication」の規定による。
		レイヤ3,4 通信制御	プロトコル データ単位	データフォーマット	準拠文書[4]「8.3 WAVE Short Message(WSM) format」の規定による。	
			送/受信手順	送信手順	準拠文書[4]「5.5.2 WSM transmission」の規定による。	
				受信手順	準拠文書[4]「5.5.3 WSM reception」の規定による。	

準拠文書[1]:IEEE1609.3-2020[25]
（*1）　必要最小現のパラメータのみ記載

表 6.1.3-11　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：レイヤ 5～7 [12], [14], [16]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目					値	備考
通信制御部の機能、特性、インタフェース	レイヤ7の機能	概要	—	—	セキュリティのサービスプリミティブは、参考文書の同様の機能、パラメータがあれば 本事業で検討した必要機能を実現できることを示しており、準拠とするかは継続検討が必要となる。	
		レイヤ7 サービス インタフェース	サービス プリミティブ	要求	■メッセージ送信要求 機能：UCのメッセージを送信する パラメータ：メッセージ、優先度 ■メッセージトリガ要求 機能：上位層で周期送信するUCのメッセージを送信する パラメータ：メッセージ、優先度、上位層における通信パラメータ（送信周期、タイムアウト）	各プリミティブの名称は仮。 通信シーケンスと併せて 今後の詳細検討が必要。
				確認	TBD	
				指示	■受信メッセージ表示 機能：受信メッセージをアプリケーションに渡す パラメータ：メッセージ	
			サービス プリミティブ (セキュリティ)	要求	■Sec-SignedData.request 機能：SDS がデータに署名することを要求するために SDEE によって使用される パラメータ：暗号マテリアルハンドル、データ (*1)、データ種別 (*1)、外部データのハッシュ (*1,2)、 外部データのハッシュアルゴリズム (*1,2)、PSID、生成時刻の設定 (*3)、生成場所の設定 (*4)、 終了時間 (*1,2)、署名者識別子の種別、署名者識別子の証明書チェーンの長さ (*1)、 証明書チェーンの最大長 (*1)、高速検証付き署名、楕円曲線点のフォーマット、 ピアツーピア証明書配布の使用、SDEE ID (*1) ■Sec-SecureDataPreprocessing.request 機能：SDS がセキュア データの前処理を実行するように要求するために SDEE によって使用される パラメータ：SDEE ID (*1)、PSID、データ、ピアツーピア証明書配布の使用 ■Sec-SignedDataVerification.request 機能：SDS が署名されたデータを検証するように要求するために SDEE によって使用される パラメータ：SDEE ID、PSID、内容種別、署名付きデータ、 外部データのハッシュ (*1,2)、外部データのハッシュアルゴリズム (*1,2)、証明書チェーンの最大長 (*1)、 妥当性（リプレイ）(*3)、妥当性（過去の生成時間）(*4)、有効期間 (*1)、 妥当性（未来の生成時間）(*4)、未来のデータ許容期間 (*1)、生成時間 (*1)、 妥当性（終了時間）(*3)、終了時間 (*1)、整合性（生成位置）(*1,4)、 妥当性（生成位置距離）(*3)、有効距離 (*1)、生成位置 (*1)、 期限切れ証明書失効リストの許容時間 (*1)、妥当性（失効した証明書）(*4)	参考文書[1]の規定のプリミティブと 同様の機能、パラメータを 持つものを適用すると仮定。 PSID, データ以外のセキュリティ 関連パラメータの利用方法は、 詳細仕様と併せて 今後の検討が必要。
				確認	■Sec-SignedData.confirm 機能：対応するリクエストプリミティブに指定された処理で計算された値を返す パラメータ：署名付きデータ、結果コード ■Sec-SecureDataPreprocessing.confirm 機能：対応するリクエストプリミティブに指定された処理で計算された値を返す パラメータ：結果コード、内容種別 (*1)、サービス固有の許可 (*1) 、 保証水準 (*1)、証明書失効リストの最早時間 ■Sec-SignedDataVerification.confirm 機能：対応するリクエストプリミティブの結果を返す パラメータ：結果コード	
		レイヤ7 通信制御	プロトコル データ単位	データ フォーマット	TBD	
			送/受信手順	送信手順	a)アプリケーションから受信したメッセージをそのまま下位レイヤ転送送信する場合 b)アプリケーションから受信したメッセージに対して車両基本情報を追加した上で下位レイヤに送信する場合 c)アプリケーションから受信したメッセージを更新されるまで、上位層で周期送信する場合 d)アプリケーションに関係なく、上位層でメッセージを周期送信する場合	詳細手順は今後の検討が必要
				受信手順	a)下位レイヤから受信したメッセージをアプリケーションに送信する場合	
			その他機能	—	■輻輳制御(帯域制御) TBD ■情報要素の多重 複数ユースケースのメッセージを同時に生成する場合、結合した情報要素を分離 準拠文書[2]「付録1 4章」におけるケース3) , 方式1の検討例による ■メッセージを分割 下位層での受け取りが可能なサイズに分割 ■メッセージを結合 下位層での受け取りが可能なサイズに分割されたメッセージを結合 ■連送制御（DSRCの場合のみ適用） 準拠文書[1] 第1.2部「4.4.2.1.3 サービス内容の仕様」の規定による。 ■ハザード情報を周期的に再送 ハザード情報を対象とし、受信済み情報との比較により重複を破棄 ■ハザード情報を周期的の転送 ハザード情報を対象とし、メッセージを受信し、かつユースケースの対象エリア内に 存在する場合、転送を行う最新のメッセージをを保存/更新	■メッセージを分割 ■メッセージを結合 ■ハザード情報を周期的に再送 ■ハザード情報を周期的に再送 実現方法の詳細は今後の検討が必要

参考文書[1]:IEEE1609.2-2016[26]
準拠文書[1]:ITS FORUM RC-015[12]
準拠文書[2]:ITS FORUM RC-017[14]
（*1）オプション
（*2）BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1）の場合、未使用
（*3）BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1）の場合、有効に設定
（*4）BSM (SAE J2945/1, SAE J3161/1）の場合、無効に設定

表 6.1.3-12　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：アプリケーション

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目				値	備考
通信制御部の 機能、特性、 インタフェース	アプリ ケーションの 機能	アプリ ケーションの 機能	その他機能	■メッセージを周期的に送信 ・車両基本情報以外の各ユースケースで必要な情報を収集 （車両：ハザード情報など。路側インフラ：信号情報、車両検知情報など） ・メッセージの各情報要素を設定 ・情報を更新しながら周期的に送信 ■メッセージを受信 ・各ユースケースで必要な情報を受信し、サービスで必要な判定を行う ■優先度の設定、送信タイミング判断（送信側） ・クリティカルイベントの判定等に基づき送信タイミングを決定 ・メッセージ毎の優先度を設定 ■優先度の設定、送信タイミング判断（受信側） ・送信側で設定した優先度に基づき、 必要に応じ処理を行う（上位層への通知等） 以下、管制/合意のユースケースを対象とした機能 ■宛先の特定 ・宛先として、位置・距離等による 範囲（調停要求の場合）または車両/路側インフラのIDを設定 （管制要求、調停応答、更新要求、更新応答の場合） ■宛先の判定 ・位置・距離等による範囲（調停要求の場合）または車両/路側インフラの IDを設定（管制要求、調停応答、更新要求、更新応答の場合）した宛先に ついて、自身が該当するかを位置やIDに基づき判定 ■要求/応答処理（送信側） ・要求メッセージを生成・送信後、応答メッセージの受信を待つ ・応答メッセージを生成・送信後、次回の要求メッセージの受信を待つ ・状態管理を行う （（管制要求）→調停要求→調停応答→更新要求→更新応答→…） ■要求/応答処理（受信側） ・要求メッセージを受信後、応答メッセージを生成、送信 ・応答メッセージを受信後、次回の要求メッセージを生成、送信 ・状態管理を行う（（管制要求）→調停要求→調停応答→更新要求→更 新応答→…）	

表 6.1.3-13　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：
レイヤマネジメントエンティティ [12]

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目				値	備考
通信制御部の 機能、特性、 インターフェース	レイヤ マネジメント エンティティ 機能	レイヤ1	管理プリミティブ	準拠文書[1]「4.2.4.1 管理プリミティブ」の規定による	
			管理情報ベース（MIB）	準拠文書[1]「4.2.4 物理層管理情報ベース」の規定による	
		レイヤ2	管理プリミティブ	準拠文書[1]「4.3.5 レイヤ2層管理サービスインターフェース」の規定による。	
			管理情報ベース（MIB）	TBD	
		レイヤ3～4	管理プリミティブ	TBD	
			管理情報ベース（MIB）	TBD	
		レイヤ5～7	管理プリミティブ	TBD	
			管理情報ベース（MIB）	TBD	

準拠文書[1]:ITS FORUM RC-015[12]

表 6.1.3-14　通信制御部の機能、特性、インタフェースの検討結果：
その他機能

V2X通信の機能/特性/インターフェースの詳細項目					値	備考
通信制御部の機能、特性、インターフェース	その他機能	送信要件	a-1-1 a-1-2	通信シーケンス	図 5.1.6-3 に従う。	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			a-1-3	通信シーケンス	図 5.1.6-4 に従う。	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			a-1-4 a-2 a-3	通信シーケンス	図 5.1.6-5 に従う	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			b-1-1	通信シーケンス	図 5.1.6-6 に従う。	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			c-1 c-3	通信シーケンス	図 5.1.6-7 に従う	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			c-2-1	通信シーケンス	図 5.1.6-8 に従う。	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			c-2-2	通信シーケンス	図 5.1.6-9 に従う	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			d-1～5	通信シーケンス	図 5.1.6-10 に従う	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			e-1	通信シーケンス	図 5.1.6-11 に従う。	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			f-2	通信シーケンス	図 5.1.6-12 に従う	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			g-1	通信シーケンス	図 5.1.6-13 に従う。	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			g-2	通信シーケンス	図 5.1.6-14 に従う。	
				利用サービスインターフェース	TBD	
				送信パラメータ	TBD	
			上位層での通信制御方式	—	4.2.3節に従う。	

6.1.4　無線機仕様案の検討課題

今後の課題として、以下が挙げられる。

- **性能要件、コスト、実装条件等の定量評価によるマルチチャネル対応方法の決定**

無線機仕様においてマルチチャネル対応方法の構成（無線部（レイヤ 1～2）、通信制御部（レイヤ 3～7）の数、等）について、実装依存で問題がないか、詳細を規定する必要があるのか、扱いを決めていく必要がある。その判断のために、性能要件、コスト、実装条件等の定量評価が必要と考えられる。

- **検討の優先度を下げた項目の仕様検討**

優先検討した通信規格に関わる項目ではないインタフェースのハードウェア仕様、通信以外の機能（故障検出、電源等）等についても、必要性を議論の上、仕様を定めていく必要がある。

- **車両とのインタフェース要件の詳細検討**

自車情報を得る方法として車両側の制御装置等を介して間接的に受渡が行われると仮定したが、メッセージの取得頻度、遅延等のメッセージに対する要件を整理の上、該当インタフェースの仕様を関係団体と協議・検討を行う必要がある。

6.2　テストコース等での実証実験

本節では、実機を用いた実証実験をテストコース等で行った結果を述べる。以降では、実験の進め方（6.2.1 節）に従い、実験条件・方法の検討を行い（6.2.2 節）、屋内及び屋外において実機評価を行い、考察、課題を整理した結果（6.2.3～6.2.5 節）を述べる。

6.2.1　実験の進め方

チャネル割り当て（4.1 節）の効果検証及びシミュレーションによる通信性能評価結果との比較分析を目的として実機評価を行った。

図 6.2.1-1 に、テストコース等での実証実験　検討フローを示す。まず、複数チャネルの通信トラフィックを模擬するための条件・方法の検討を行った（6.2.2 節）。次に、屋内実験 にて実験条件、実験系の妥当性の確認のため隣接 Ch の干渉影響について特性を測定し（6.2.3 節）、テストコースにて複数チャネルの通信トラフィックを模擬した環境で通信性能評価を実施した（6.2.4 節）。

図 6.2.1-1　テストコース等での実証実験　検討フロー

6.2.2　実験条件・方法

(1) 評価条件の整理

表 6.2.2-1 に、本事業の評価条件と R3 年度検討（*）の評価条件の比較を示す。5.3 節のシミュレーションによる通信性能評価と同様に、ユースケースが複数混在する時を想定、また、通信方式は CV2X（LTE V2X（PC5））を対象とした。4.1 節で検討したチャネル割り当ての効果検証するため、通信チャネルとして複数、帯域幅として 10MHz に加えて、20MHz を対象とした。評価指標としては PAR に加えて遅延を考慮した。なお、屋外実験では 5.9GHz 帯の代替周波数として 5.8GHz 帯を使用し、既存システムへ影響が無いようにした。

(*)SIP 第 2 期自動運転（システムとサービスの拡張）　令和 3 年度研究開発における「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」（表 6.2.2-1 では、「R3 年度 SIP 5.9GHz CV2X」と記載）

表 6.2.2-1　本事業の評価条件と R3 年度検討の評価条件の比較

項目		本事業	R3年度 SIP
		5.9GHz CV2X	5.9GHz CV2X
運用方式	通信チャネル	複数	単一
L1/L2関連	通信仕様	LTE V2X（PC5）	LTE V2X（PC5）
	送信回数	2回（Blind HARQ）	1回
	アンテナダイバーシチ	あり （送信1系統、受信2系統）	あり （送信1系統、受信2系統）
電波伝搬	伝搬環境	テストコース	テストコース
	遮蔽車両	あり	あり
通信条件	評価ケース（SIP UC）	複数UC	複数UC（c-1,c-2-2）
	通信形態	路車間/車車間	車車間
		1対1/N対N	1対1/N対N
	周波数	5.8GHz帯	5780MHz
	帯域幅	10MHz/20MHz	10MHz
評価指標	評価項目	PAR、遅延（99%）	PAR

(2) 通信トラフィックの模擬方法及び複数チャネルの評価パタンの検討

複数チャネルの評価パタンを検討するにあたり、以下を前提条件とした。

- 5.9GHz の複数チャネルは 10MHz×3 チャネル（チャネル割り当て案 1）、10MHz＋20MHz チャネル（チャネル割り当て案 6）
- 3 チャネルの配置は、チャネル間干渉について最も厳しい条件となる各チャネルが隣接する場合を評価
  - ただし、屋外実験においては隣々接チャネルの干渉の影響についても評価

図 6.2.2-1 に、実験方法の検討結果を示す。

評価車両、干渉車両いずれも無線機及び無線機アンテナを搭載する。以降、評価車両、干渉車両が送信に利用するチャネルをそれぞれ、評価チャネル、干渉チャネルと表記する。干渉車両とは、ユースケースの通信トラフィックを模擬することを目的とし、評価車両が利用するチャネルと同一また他チャネルを使用して送信を行う車両のことを指す。干渉車両は、評価条件に応じて短周期且つ大きいサイズのパケットをバースト波で送信することで、各ユースケースが想定する数 10～数 100 台の車載機の通信トラフィックを模擬する。その環境下で、評価車両は通信を行いながら走行し、距離対 PAR 等のデータを取得する。

図中の右上に複数チャネルの評価パタンを示す。評価パタン A,B は複数チャネルの結果と比較するための単一チャネルの条件、評価パタン C,D,E が複数チャネルの条件となる。評価パタン A,B は、評価チャネルに対し、干渉チャネルも同じチャネルを利用して、バースト送信でユースケースの通信トラフィックを付加して、評価車両の通信品質を評価する。評価パタン C,D,E の場合、評価チャネルに対し、同一チャネルについては、バースト送信で通信トラフィックを付加する部分は同じだが、隣接チャネルの通信トラフィックも付加する。

バースト波の場合、本事業で利用する装置 1 台当たりで送信可能な通信トラフィックは無線リソース占有率の最大 25%相当となるが、同一チャネル及び隣接チャネルそれぞれで干渉波を送信する無線機を 4 台用意することで、通信トラフィックが込み合った条件を模擬した。通信トラフィックは、1 対 1 通信実験、N 対 N 通信実験でそれぞれ以下の通りに与える。

- 1 対 1 通信実験
  - 同一チャネル：送信なし
  - 隣接チャネル：各無線機より送信可能な最大の通信トラフィックを送信
- N 対 N 通信実験
  - 同一及び隣接チャネル：シミュレーション評価における該当チャネルの通信トラフィックを模擬

図 6.2.2-1　実験方法の検討（N 対 N 通信実験）

(3) 実施項目一覧

表 6.2.2-2 に、実施項目一覧を示す。表中で「－」と記載した条件は、評価対象としたチャネル割り当て案を踏まえた場合に発生しない組み合わせとなるため、実施対象外とした。

表 6.2.2-2　実験項目一覧

項目	評価チャネル	干渉チャネル：他チャネル		干渉チャネル：同一チャネル	複数UCの組み合わせ				備考
					高速道路　合流部		一般道　交差点		
					評価対象				
	システム帯域幅	システム帯域幅	評価チャネルとの関係	システム帯域幅	V2I	V2V	V2I	V2V	
N対N	10			10	●	●	●	●	評価パタンA
	20			20	●	●	●	●	評価パタンB
	10	10	隣接	10	●	●	●	●	評価パタンC　チャネル割り当て案1
	10	20	隣接	10	●	－	●	－	評価パタンD　チャネル割り当て案6
	20	10	隣接	20	－	●	－	●	評価パタンE　チャネル割り当て案6

●:実施済み、－：未実施（測定対象外）

(4) 無線機諸元・測定系の構成

表 6.2.2-3 に、無線機諸元を示す。

図 6.2.2-2 に、測定系を示す。評価対象とする LTE-V2X（PC5）の無線機とその制御用の PC の他、基準点からの距離あるいはアンテナ間の距離を測るため GNSS モジュール、各車両の PC の時刻同期のため GPS 受信型の NTP サーバを用いた。

表 6.2.2-3　無線機諸元

項目	LTE V2X（PC5）
	路側機/車載機
送信周波数	5775~5822.5MHz まで 2.5MHz 間隔の 20 波／ 5780~5797.5MHz まで 2.5MHz 間隔の 8 波
帯域幅	10MHz／ 20MHz 以下
送信出力	200mW 以下
変調方式	SC-FDM
電波型式	D7D, G7D, NON
空中線利得	路側機：水平無指向 5dBi, 指向性 10dBi 以下 車載機：水平無指向 6dBi 以下
空中線の高さ	路側機：5～6m 車載機：1.5～2m

図 6.2.2-2　測定系の構成

6.2.3 屋内実験

本節では実機による屋内実験の評価結果を説明する。本実験では、室内模擬環境における干渉抑圧性能を評価する。複数チャネルを利用する場合、隣接チャネル（及び隣々接チャネル）の干渉の影響を受けるため、その影響について実機の実力値を確認するという位置付けである。また、屋外実験では 5.9GHz 帯の代替周波数として 5.8GHz 帯を使用するため、5.9GHz 帯と 5.8GHz 帯の両周波数帯で干渉抑圧性能を評価し、代替周波数で用いることの妥当性を確認した。

実験の概要、測定系、測定条件は、各評価結果に付属する。なお、室内模擬環境における評価のため、無線機間は有線での接続とし、装置間の電波の回り込みによる測定への影響がないよう、各装置はシールドボックスに入れて測定を実施した。

(1) 測定結果（他チャネルの干渉評価、V2V）

図 6.2.3-1 に、他チャネルの干渉評価、V2V の屋内実験結果を示す。

屋内実験では、希望波信号に対して、レベルを変えながら干渉波信号を合波して、希望波の通信品質が目標値（PER=10^{-2}）以下となる干渉電力を測定した。

測定条件について述べる。対象とする車車間通信のユースケースは、干渉の影響として厳しい条件とするため、車車間通信の中で最も必要通信距離が大きく、D/U が小さくなることが予想される UC a-2 とし、パケットサイズ及び規定点での受信電力を設定した。干渉波としては、隣接、隣々接チャネルとなる周波数を設定し、過入力による装置の破損を防ぐために、上限を-25dBm として干渉電力を与えた。また、許容干渉電力の机上値は、最大通信距離における受信電力と机上検証から得られた所要 C/（N+I）を基に、熱雑音以外に許容できる干渉電力量を算出した。隣接、隣々接の場合の値は、図中（*2）に記載の送信特性、受信特性から求められる離調による減衰量を考慮して算出した。

次に、測定結果について述べる。縦軸の許容干渉電力とは、通信品質を満足する干渉電力の閾値を表し、この値よりも大きい干渉電力が入力されると通信品質を満足しなくなる。測定結果と机上計算の結果を比較すると、隣接チャネルについて 20dB 程度改善していることが確認できる。また、隣々接チャネルについては、上限-25dBm においても干渉の影響が見られなかったためプロットされていない。つまり、隣々接チャネルの許容干渉電力は、-25dBm よるも高い電力となる。更に、5.8GHz と 5.9GHz の結果を比較すると、許容干渉電力に大きな差はない。そのため、屋外実験において 5.9GHz の代替周波数として 5.8GHz を利用するが、隣接チャネルの影響は 5.9GHz で測定した場合と大きな差は発生しない予想される。

図 6.2.3-1　屋内実験結果　他チャネルの干渉評価、V2V

(2) 測定結果（他チャネルの干渉評価、V2I）

図 6.2.3-2 に、他チャネルの干渉評価、V2I の屋内実験結果を示す。測定方法や測定系は V2V と同様であるが、測定条件を決めるにあたり、V2I のユースケースである UC b-1-1 を想定しパラメータの設定を行った。

V2V の時と同様に、机上計算に比べ実機での測定結果は、隣接チャネルについて改善していることが確認できた。更に、5.8GHz と 5.9GHz の比較結果についても V2V の場合と同様であるため、5.8GHz を代替周波数として利用することに問題はないと判断した。

図 6.2.3-2　屋内実験結果　他チャネルの干渉評価、V2I

6.2.4 屋外実験

(1) 実験場所

茨城県つくば市に位置する一般財団法人日本自動車研究所（JARI）の自動運転評価拠点 Jtown 敷地内の V2X 市街地にて実験を行った。

図 6.2.4-1　実験場所：自動運転評価拠点 Jtown V2X 市街地

(2) 車両配置

図 6.2.4-2、図 6.2.4-3 に、自動運転評価拠点 Jtown V2X 市街地の車両配置を示す。以降の説明における通信距離は、評価車両（固定）から評価車両（走行）へのアンテナ間距離のことを指す。

対象 UC の最大通信距離以内（以下、評価対象エリア）の通信性能を評価するため、通信距離が最大通信距離よりも遠方となる約 400m の位置を評価車両の走行開始位置とした。また、干渉が発生した際に D/U として厳しい条件で評価を行うため、評価対象エリアで希望波の受信電力が一番小さくなる位置である対象 UC の最大通信距離に干渉車両のうち一台を配置することとした。

更に、机上検討で考慮している遮蔽損失を模擬するため、評価車両及び干渉車両とは別に、大型車を利用した。大型車は干渉の影響として厳しい条件とするため、希望波の遮蔽が発生するように配置した。具体的には、V2V の場合は固定している評価車両の後方に配置する。一方で、V2I の場合は電測車の周辺に大型車を配置しても、アンテナ高が高いため大型車周辺でしか遮蔽が発生しない。そのため、評価車両は大型車を追従走行する方法で、測定を実施した。

図中の①～④は複数ある干渉車両を識別するために附番したものであり、測定条件における①～④と対応する。

出典:国土地理院空中写真（https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1）を加工して作成

図 6.2.4-2　車両配置（V2V）

出典:国土地理院空中写真（https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1）を加工して作成

図 6.2.4-3　車両配置（V2I）

(3) 測定条件

表 6.2.4-1 に、測定条件の一例を示す。5.3 節の通信シミュレーションによる通信性能評価おける通信トラフィックの位置分布と同程度にするため、干渉車両毎にデータサイズを設定した。また、複数台のトラフィックを模擬するために 1 台当たりが送信するデータサイズを大きくすることを踏まえ、各干渉車両が送信するデータサイズを算出する際には、以下の点を考慮した。

- 1 台あたり送信するパケットサイズを考慮した場合にリソース選択の関係により利用されないサブチャネル数を考慮
  （以下、V2V の例（1 台あたり送信するパケットサイズ 377byte））
  - 10MHz の場合
    全ての端末が等しく、1 台当たり 3 サブチャネル/5 サブチャネルの送信が必要となるため、残りの 2 サブチャネルは他端末の送信でも利用されない。そのため、サブチャネルは埋まっている想定で通信トラフィックを算出した。
  - 20MHz の場合
    1 台当たり 3 サブチャネル/10 サブチャネルの送信となる。選ばれるサブチャネルによっては、1 サブフレーム当たりに 2～3 端末で送信が可能であるが、厳しい条件を模擬するために、常に 2 端末しか送信できない場合を想定し、残りのサブチャネルは埋まっている想定で通信トラフィックを算出した。

表 6.2.4-1　測定条件　N 対 N 通信実験、V2V、
高速道路、評価パタン C（チャネル割り当て案 1（複数チャネル 10MHz×3ch））想定

項目	値・仕様		
	評価チャネル	干渉チャネル（同一）	干渉チャネル（隣接）
想定UC	車車間UC		
データサイズ	377byte(*1)	①2176byte ②1088byte ③1518byte ④2725byte	①2176byte ②1088byte ③2417byte ④2725byte
送信周期	100ms	20ms	
中心周波数	5790MHz	5790MHz	5800MHz
システム帯域幅	10MHz		
送信電力	23dBm		
アンテナ利得	4dBi		
アンテナ指向性	なし		
ケーブル・コネクタロス	3.2dB		
アンテナの高さ	1.5m		
変調方式(符号化率)	QPSK(0.5)		
送信回数	2回（blind HARQ）		

シミュレーション評価における
通信トラフィックの
位置分布を模擬するため、
車両毎のデータサイズを調整

*1：UC a-2,e-1についてメッセージ共通化した際のデータサイズ
3サブチャネル/5サブチャネル利用

(4) 実験結果

図 6.2.4-4 に、実験結果の一例を示す。

最大通信距離以下の範囲においては、PAR=98.4%となった。シミュレーション結果と比較した場合に 100m 以遠の通信距離が大きい地点では通信品質が良化している。一方で通信距離が小さい地点で通信品質がシミュレーションよりも悪くなる結果が得られた。通信距離が小さい地点で通信品質が悪くなった原因の考察を次に記載する。実験においては、D/U が厳しくなる条件を想定して希望波のみが遮蔽される位置に大型車を配置としているため、衝突が発生した際に近場でも D/U が小さくなる場合がある（仮に 0m 地点の評価車両(送信)と 375m 地点の干渉車両間でパケット衝突が発生した場合、約 50m 地点の位置から希望波よるも干渉波の受信電力が大きくなる可能性がある）。

出典:国土地理院空中写真（https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1）を加工して作成

図 6.2.4-4　実験結果　N 対 N 通信実験、V2V
高速道路、評価パタン C（チャネル割り当て案 1（複数チャネル 10MHz×3ch））想定

高速道路の合流部及び一般道の交差点の通信トラフィクを模擬した屋外における N 対 N 通信実験の結果一覧を表 6.2.4-2 に示す。PAR については、屋外実験で模擬した通信トラフィックと同じ条件で実施した通信シミュレーション結果について、比較のため併記した。

表 6.2.4-2　屋外実験　結果一覧

PAR（上段：実験、下段：シミュレーション）

項目	評価チャネル	干渉チャネル：他チャネル		干渉チャネル：同一チャネル	複数UCの組み合わせ 評価対象 高速道路 合流部		一般道 交差点		備考
	システム帯域幅	システム帯域幅	評価チャネルとの関係	システム帯域幅	V2I	V2V	V2I	V2V	
N対N	10			10	96.0 100.0	92.1 83.8	60.2 94.2	80.7 77.3	評価パタンA
	20			20	100.0 100.0	99.8 96.6	84.0 94.4	95.9 87.5	評価パタンB
	10	10	隣接	10	95.7 99.0	98.4 84.2	100.0 99.4	88.7 71.3	評価パタンC　チャネル割り当て案1
	10	20	隣接	10	99.5 99.7	–	100.0 99.2	–	評価パタンD　チャネル割り当て案6
	20	10	隣接	20	–	100.0 91.5	–	96.6 93.9	評価パタンE　チャネル割り当て案6

6.2.5　実験結果に対する考察・課題

本節では、実験結果（6.2.節）について考察、課題を整理した結果を述べる。

単一チャネルと複数チャネルの結果の比較において次の傾向が得られた。チャネル割り当てについて、 V2V 通信のユースケースを 10MHz 帯域幅の 2 チャネルに割り当てた場合よりも、20MHz 帯域幅の 1 チャネルに割り当てた場合の方が、 V2V 通信、 V2I 通信ともに通信品質がよい結果となった。車両の送信において情報要素の多重が可能な場合、チャネル数を少なくした方が、より多くの情報要素を多重してセキュリティによるオーバヘッド（通信量）を削減することが可能なため、チャネル内の通信品質の確保及び他チャネルへの干渉の低減に有効であると考えられる。本傾向は、シミュレーション評価結果と同様である。

ただし、高速道路 合流部における単一チャネル（20MHz）と複数チャネル（10MHz+20MHz）の結果の比較においては、シミュレーションにおいては複数チャネル（10MHz+20MHz）の場合に通信品質が劣化したのに対して、実験では同程度の通信品質となった。シミュレーションにおいて、通信品質が劣化した要因としては他チャネル（10MHz）からの干渉の影響だと考えられるが、実験では、屋内実験で確認した通り隣接チャネルの干渉に対する実機の実力値は机上に対して良化しているため、その差が表れたと考えられる。

今後の課題として、以下が挙げられる。

- マルチチャネルの送信・受信を 1 つの無線機で実現した場合の実機検証

本実証実験においては、マルチチャネルの送信・受信を模擬するあたり、該当チャネル数の無線機を用いて検証を実施したが、同一無線機でマルチチャネルを実現した場合、他チャネルとのアンテナ共有や送受信の切替に通信性能が劣化する懸念があるため、その影響について実機検証する必要があると考えられる。

6.3　導入に向けての課題とその解消方針の整理

本項では、導入に向けての課題を整理し、その解消方針を検討した結果を述べる。

表 6.3-1 に、導入に向けての課題とその解消方針についての整理結果を示す。

表 6.3-1　導入に向けての課題とその解消方針についての整理　整理結果

課題	内容	解消方針
定量評価による マルチチャネル 対応方法の決定	無線機仕様においてマルチチャネル対応方法の構成（無線部（レイヤ 1～2)、通信制御部（レイヤ 3～7）の数、等）について、実装依存で問題がないか、詳細を規定する必要があるのか、扱いを決めていく必要がある。	各構成に対し、スループット等の性能要件に加え、コスト、実装条件等について定量的に評価を行い、システム要件に対するギャップを明らかにする。
700MHz 帯 高度道路交通 システムとの 連携方法を踏まえた 無線機仕様の更新	ロードマップを踏まえると、700MHz 帯無線機を先行して利用しているところに 5.9GHz 帯無線機が導入される。また、700MHz 帯無線機については、既存システム（ITS Connect）との共存も考慮する必要がある。各無線機に対して、共存・連携のために要求される機能、インタフェース等について無線機仕様への反映が必要となる。	今後継続検討されるチャネル割り当てに応じて、連携に必要な性能、機能要件の明確化を行う。その結果を踏まえ両無線機の機能追加等の要否を判断し、計画的に無線機仕様の更新及び実装を行う。
車両との インタフェース 要件の詳細検討	自車情報を得る方法として車両側の制御装置等を介して間接的に受渡が行われると仮定したが、該当インタフェースを今後決めて行く必要がある。	今後の UC の追加、変更等に対する柔軟性・拡張性を考慮しながら、サービス要件、サービスの実現性等を踏まえたメッセージ情報取得頻度、精度等の要件を明らかにする。その結果にもとづき、関連団体と協議・検討を行う。
セキュリティ仕様の 詳細決定	国内の V2X システムのセキュリティ仕様について、現状では決まっていない。	欧米の動向を踏まえると V2X のセキュリティとしては、IEEE1609.2(現在改版中)が候補となると考えられる。どう適用するのか利用者・ステークホルダでコンセンサスを得る必要がある。
通信上位層の 標準化促進	これまで ITS フォーラムでは通信下位層を中心に仕様検討が進められ ARIB 規格になっている。上位層についても同様に標準化を進め、国内では ARIB 規格、また、必要に応じ機器仕様については ETC 機器と同様 JEITA 規格として管理するなどが考えられる。国際標準化としては必要となる規格にあわせて ISO TC204 などへの提案を実施する必要がある。セキュリティや CPS 等の UC 等、必要となる上位層の標準仕様の詳細化検討を産学官で進める場を設定し、標準化戦略を検討しつつ、普及促進に向け、早急に推進する必要がある。	標準化に関するステークホルダとなる利用者、提供者などの団体との連携を強化し、標準化戦略、目的等を決定し、標準化規格案については対象となる SDO(標準化機関)を選定し推進していく。

6.4 参考文献

[1] SAE J2945 Dedicated Short Range Communication (DSRC) Systems Engineering Process Guidance for SAE J2945/X Documents and Common Design Concepts
https://www.sae.org/standards/content/j2945_201712/

[2] SAE J2945/1_202004 On-Board System Requirements for V2V Safety Communications
https://www.sae.org/standards/content/j2945/1_202004/

[3] SAE J2945/2_201810 Dedicated Short Range Communications (DSRC) Performance Requirements for V2V Safety Awareness
https://www.sae.org/standards/content/j2945/2_201810/

[4] SAE J2945/3_202201 Requirements for Road Weather Applications
https://www.sae.org/standards/content/j2945/3_202201/

[5] SAE J2945/C_202206 Requirements for Probe Data Collection Applications
https://www.sae.org/standards/content/j2945/c_202206/

[6] SAE J3161 LTE Vehicle-to-Everything (LTE-V2X) Deployment Profiles and Radio Parameters for Single Radio Channel Multi-Service Coexistence
https://www.sae.org/standards/content/j3161_202204/

[7] SAE J3161/1_202203 On-Board System Requirements for LTE-V2X V2V Safety Communications
https://www.sae.org/standards/content/j3161/1_202203/

[8] ETSI EN 302 665 V1.1.1 (2010-09) Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture
https://www.etsi.org/standards

[9] ETSI TS103 723 V1.2.1 (2020-11) Intelligent Transport Systems (ITS); Profile for LTE-V2X Direct Communication
https://www.etsi.org/standards

[10] 5.8GHz 帯 DSRC 路側無線装置規格書 令和 2 年 10 月
https://shop.ri-nexco.co.jp/item/715/

[11] 5.8GHz 帯 DSRC 車載器規格書 平成 26 年 7 月
https://shop.ri-nexco.co.jp/item/424/

[12] 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
ITS FORUM RC-015 1.0 版
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p64/ITS_FORUM_RC-015_v10.pdf

[13] 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-
https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/usecase.pdf

[14] 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
ITS FORUM RC-017 1.0 版
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p70/ITS_FORUM_RC-017_v10.pdf

[15]SIP 協調型自動運転の通信方式ロードマップ
-2021 年度協調型自動運転通信方式検討 TF 活動報告-
https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/roadmap.pdf

[16]IEEE 802.11p-2010 IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments
https://standards.ieee.org/ieee/802.11p/3953/

[17]3GPP TS 36.101 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception

[18]3GPP TS 36.211 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical channels and modulation

[19]3GPP TS 36.212 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Multiplexing and channel coding

[20]3GPP TS 36.213 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical layer procedures

[21]3GPP TS 36.214 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA);
Physical layer; Measurements
[22]3GPP TS 36.321 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA);
Medium Access Control (MAC) protocol specification
[23]3GPP TS 36.322 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA);
Radio Link Control (RLC) protocol specification
[24]3GPP TS 36.323 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA);
Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification
[25]IEEE 1609.3-2020 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Networking Services
https://standards.ieee.org/ieee/1609.3/10360/
[26] IEEE 1609.2-2016 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments --Security Services for Applications and Management Messages
https://standards.ieee.org/ieee/1609.2/6038/

7. 関係各所との意見交換

本研究を進めるにあたり、ITS フォーラム及び関係する団体、機関との意見交換を実施するために、月 1 回の関係者会議を開催し、検討結果を報告し関係者の皆様よりご意見をいただき、本研究に反映した。またITSフォーラム無線方式検討タスクグループ（以下　無線方式検討TGという）会議に出席し、検討結果を報告しタスクグループの皆様よりご意見をいただき、本研究に反映した。

7.1　会議体

会議体と参加メンバーを表 7.1-1 に示す。

表 7.1-1　会議体

番号	会議体	参加メンバー	開催
1	関係者会議	自工会関係者、ITS フォーラム関係者、オブザーバー（内閣府、総務省、NEDO）、沖電気工業、日本電気	月 1 回開催
2	ITS フォーラム　無線方式 TG・個別会合	ITSフォーラム関係者、TGメンバー、沖電気工業、日本電気	月 1 回程度開催

7.2　関係者会議

関係者会議の開催・参加実績及び報告内容について以下に記す。

7.2.1　開催実績

期間内に開催した関係者会議を表 7.2.1-1 に示す。

表 7.2.1-1　関係者会議の開催実績

番号	開催日時	会合名
1	2022 年 5 月 31 日	第 1 回　関係者会議
2	2022 年 6 月 30 日	第 2 回　関係者会議
3	2022 年 7 月 29 日	第 3 回　関係者会議
4	2022 年 8 月 30 日	第 4 回　関係者会議
5	2022 年 10 月 4 日	第 5 回　関係者会議
6	2022 年 11 月 1 日	第 6 回　関係者会議
7	2022 年 12 月 19 日	第 7 回　関係者会議

7.2.2　報告内容、コメント・ご指摘事項、対応状況

開催及び参加した各回の主な報告内容、コメント・ご指摘内容、対応状況について表 7.2.2-1 に示す。

表 7.2.2-1　関係者会議での報告内容、コメント・ご指摘事項

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
第 1 回 関係者会議（5/31）でのご指摘事項			
1	• 実施内容、全体方針について説明	• 交通流シミュレーションは、どのような交通環境を想定して実施するのか。時期、ADAS システムを搭載した車の割合等の前提条件を提示していただきたい。特に車両の挙動に関してはその根拠（文献等）を併せて提示していただきたい。 • 交通流シミュレーションの対象とするユースケースに関しては、どのような通信プロトコルを想定し、通信の輻輳がどう生じるのか検討の上、選定していただきたい。	• 第 2 回関係者会議でご説明済み。 • 第 2 回関係者会議でご説明済み。
2		• 検討の前提とする SIP ユースケース（25 種）に関し、日本独自のユースケースの有無、加えて海外ではプロトコルやメッセージセットが検討されていないものがあるかどうかを整理していただきたい。	• 第 2 回関係者会議でご説明済み。（大きな差異なし）
3		• Wi-Fi6（5GHz 帯）の利用が始まり、5.9GHz 帯の V2X に干渉が生じると考えている。干渉対策に関し、グローバル動向を把握する必要があると考える。V2N と V2I の役割分担はどのように考えるのか。	• 昨年度までの干渉検討は国内のユースケースを前提としていたため、海外における干渉対策の調査等の実施については今後の課題として報告書に記載する。
4		• 本事業のアウトプットとして何が求められているのかを明確にしてもらいたい。何を最終アウトプットとするのかを合意してから、会議の議論を進めたいので、次回に整理して提示いただきたい。	• 第 2 回関係者会議でご説明済み。
第 2 回 関係者会議（6/30）でのご指摘事項			
1	• a 項 国際動向調査 • b 項 通信プロトコルの案出に向けた検討	• 海外動向調査に関し、記載漏れの追記、最新の検討状況も踏まえて、ブラッシュアップしてもらいたい。	• 有識者へのヒアリングを踏まえ、資料をブラッシュアップし、第 3 回関係者会議でご説明済み。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
2	• 通信チャネルの割り当て案 メッセージの比較整理 割り当て案の考え方 • 交通流シミュレーションを通じた効果検証 検証内容、シミュレーション内容 • c 項 通信プロトコル案の設計 • シミュレーションによる通信性能評価 検討の進め方 • d 項 無線機仕様の案出 • 無線機の仕様の検討	• ユースケース及びメッセージ比較整理表を統合、再整理してもらいたい。	• 再整理の上、第 3 回関係者会議でご説明済み。
3		• チャネル割り当て案の考え方を明文化してもらいたい。	• 資料再整理の上、メールにて送付済み。
4		• 「本事業のインプット・アウトプット整理」の記載内容をブラッシュアップしてもらいたい。	• 会議上のご指摘を踏まえ、修正する。 ⇒ 第 3 回関係者会議でご説明済み。
5		• 通信シミュレーション評価の目的、内容を検討してもらいたい。	• 目的、内容を整理し、関係者会議で説明していく。 ⇒ 第 4 回関係者会議でご説明済み。
6		• SAE J2945/1 以外の仕様も調査を行い、無線機仕様の項目案へ反映してもらいたい。	• 調査対象を追加し項目の再整理を行い、再整理結果について第 4 回関係者会議でご説明済み。
第 3 回 関係者会議（7/29）でのご指摘事項			
1	• b 項 通信プロトコルの案出に向けた検討 • 通信チャネルの割り当て チャネル割り当て案 • 交通流シミュレーションを通じた効果検証 検証状況（中間報告） • c 項 通信プロトコル案の設計 • 通信プロトコル案の設計 • メッセージ案の検討 検討状況・整理状況の報告 • シミュレーションによる通信性能評価 評価条件の整理 • d 項 無線機仕様の案出	• 通信容量試算における通信範囲の考え方を ITS フォーラムと調整の上、見直すこと。	• ITS Forum 様とご調整し、通信容量試算における通信範囲は通信要件とする。 ⇒ 第 4 回関係者会議でご説明済み。
2		• 通信容量試算と必要帯域幅試算は分けて考えること。	• 通信容量試算と必要帯域幅試算は分けてご提示する。 ⇒ 第 4 回関係者会議でご説明済み。
3		• ユースケース／メッセージ比較表に関し、通信方式の違い有無、メッセージ内容の違い有無など、わかる範囲で追記してもらいたい。	• 資料をブラッシュアップする。 ⇒ 第 4 回関係者会議でご説明済み。
4		• p. 8～9 に関し、左側の通信制御フロー図と、右側のプロトコルスタック図は、それぞれのレイヤが対応する部分を合うように記載を見直すこと。	• 第 4 回関係者会議でご説明済み。
5		• ダイバーシティの種別を含め、シミュレーション条件に関して整理すること。	• 第 4 回関係者会議でご説明済み。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
6	• 無線機の仕様の検討 仕様書の項目案	• 次回より、全体の進め方と、現在の進捗状況、及び今回の報告内容がわかるような記載とすること。	• 第 4 回関係者会議より対応済み。
7		• 次回、実証実験の計画を示していただきたい。	• 第 4 回関係者会議でご説明済み。
第 4 回 関係者会議（8/30）でのご指摘事項			
1	• b 項 通信プロトコルの案出に向けた検討 • 通信チャネルの割り当て案 • 上位層における通信（輻輳）制御方式 • 交通流シミュレーションを通じた効果検証 • c 項 通信プロトコル案の設計 • 通信プロトコル案の設計 • メッセージ案の検討 • シミュレーションによる通信性能評価 • d 項 無線機仕様の案出 • 無線機の仕様の検討 • テストコース等での実証実験	• 交通流シミュレーションに際し、設定とするパラメータ（車間距離）の根拠を明示してもらいたい。	• 第 5 回関係者会議でご説明済み。
2		• 通信（輻輳）制御方式に関し、SAE、ETSI の各方式に対する比較表を整理してもらいたい。	• 第 5 回関係者会議でご説明済み。
3		• 通信（輻輳）制御方式に関し、検討した結果に対する検証内容を整理してもらいたい。	• 第 6 回関係者会議でご説明済み。
第 5 回 関係者会議（10/4）でのご指摘事項			
1	• b 項 通信プロトコルの案出に向けた検討 • 通信チャネルの割り当て • 上位層における通信（輻輳）制御方式 • 交通流シミュレーションを通じた効果検証 • c 項 通信プロトコル案の設計 • 通信プロトコル案の設計 • シミュレーションによる通信性能評価 • d 項 無線機仕様の案出 • テストコース等での実証実験	• 通信チャネルの割り当てに関し、通信端末へのマルチチャネルの実装には様々な課題が想定される。今後の検討課題として明記すべき。	• 第 6 回関係者会議でご説明済み。
2		• 交通流シミュレーションに際し、受信時機として車両側のセンシング、処理遅延が考慮されているのか明示してもらいたい。	• 受信時機は 100ms～500ms として設定し、車両側のセンシング、処理遅延としての数値は置いていない。資料に追記する。 ⇒ 第 6 回関係者会議でご説明済み。
3		• プロトコル検討において、700MHz 帯の扱いはどのようにするのか、基本的なポリシーを提示すべき。	• 5.9GHz を想定した検討を行った上で、700MHz 帯との連携を考慮した追加検討が必要。基本的なポリシーは資料に追記する。

<table>
<tr><th>番号</th><th>報告内容</th><th>関連するコメント・ご指摘事項</th><th>対応</th></tr>
<tr><td>4</td><td rowspan="2"></td><td>• 屋外実験において、干渉チャネルが隣接する場合だけでなく、離れた場合の実験も追加してもらいたい。</td><td>• 先に実施する屋内実験の結果より、屋外実験での条件を追加する等を検討する。
⇒ 第 6 回関係者会議でご説明済み。</td></tr>
<tr><td>5</td><td>• 想定する送信電力密度を確認して実験条件を決める必要がある。</td><td>• 実験機の設定を確認した上で、条件等を整理し、資料に追記する。</td></tr>
<tr><td colspan="4">第 6 回 関係者会議（11/8）でのご指摘事項</td></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="7">• b 項 通信プロトコルの案出に向けた検討
• 上位層における通信（輻輳）制御方式案
机上検証結果の報告
• 通信チャネルの割り当て案（まとめ）
• 交通流シミュレーションを通じた効果検証
追加検証結果の報告
• 事業成果取りまとめ方針（案）
• c 項 通信プロトコル案の設計
• 通信プロトコル案及び机上検討状況の報告
• d 項 無線機仕様の案出
• テストコース等での実証実験
進捗状況の報告
• 成果内容（案）</td><td>• 通信チャネル割り当てに関し、周波数アロケーションの考え方を提示してもらいたい。</td><td>• 第 6 回関係者会議でご説明済み。</td></tr>
<tr><td>2</td><td>• 通信（輻輳）制御に関し、SAE、ETSI におけるパラメータの設定根拠を確認してもらいたい。</td><td>• SAE、ETSI におけるパラメータの設定根拠を確認し提示する。</td></tr>
<tr><td>3</td><td>• 通信（輻輳）制御の走行環境に基づく制御に関し、各情報の入手方法、課題等を整理してもらいたい。</td><td>• 各情報の入手方法、課題等を整理する。</td></tr>
<tr><td>4</td><td>• 交通流シミュレーションに関し、車間時間を 1.3s に狭めて実施した理由は何か。</td><td>• 参考検証として実施した。その旨を明記する。</td></tr>
<tr><td>5</td><td>• 通信（輻輳）制御方式に関し、今後、どのような手順で仕様化していくのか。</td><td>• 今後の検討手順を整理する。</td></tr>
<tr><td>6</td><td>• プロトコルにおけるレイヤ毎の機能分担・処理フロー等に関して、受信側の記載も追加してもらいたい。</td><td>• 受信側についても追記する。</td></tr>
<tr><td>7</td><td>• 本事業の目的、活動、最終的に何をすべきかという点など改めて整理・説明してもらいたい。</td><td>• 説明する資料を事業概要として追加する。</td></tr>
<tr><td>8</td><td></td><td>• 要求メッセージを送りその応答を待つステートについて記載がないので確認してもらいたい。</td><td>• 全体の通信シーケンスを整理する際に、応答を返すために必要と思われる状態遷移についても検討する。
⇒第 7 回関係者会議でご説明済み。</td></tr>
<tr><td colspan="4">第 7 回 関係者会議（12/19）でのご指摘事項</td></tr>
</table>

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
1	• a 項 国際動向調査 • b 項 通信プロトコルの案出に向けた検討	• 現時点でマルチチャネルには実装上の課題があることを成果報告書の中で記載してもらいたい。	• 報告書にその旨、記載する。
2	• c 項 通信プロトコル案の設計 • d 項無線機仕様の案出 • 最終の検討結果のまとめ報告	• 「ダイナミックマップ」は概念であるため、例えば高精度地図の固定情報や配信可能な動的情報等、想定される具体的なデータ収集元を記載してもらいたい。	• 適切なデータ収集元の記載に修正する。
3		• 交通流シミュレーションに関し、自動運転車は約 2 秒の車間を空け、急制動時に衝突することはない前提条件としていることを記載してもらいたい。	• 前提条件として明記する。
4		• 資料上の各種表の「○」とか「△」の意味を明記してほしい。	• 表中の「○」や「△」の意味を追記する。
5		• 割愛されたトランザクションに関する説明を実施する場を別途、設けてもらいたい。	• 別途、場を設けてご説明。
6		• ITS フォーラムの場での更なる議論が必要な項目があれば、アクションアイテムとして報告書にまとめてもらいたい。	• 更なる議論が必要な項目をアクションアイテムとして報告書にまとめる。
7		• 車載機の構成に関し、サービスの連続性の確保を加味した拡張性に関する課題も検討事項として報告書に記載してもらいたい。	• そのような検討事項があることを報告書に記載する。

7.3　ITS フォーラム

ITS フォーラムとの会議の開催及び参加実績と報告内容について以下に記す。

7.3.1　開催実績

期間内に参加した会合を表 7.3.1-1 に示す。

表 7.3.1-1　ITS フォーラム会議の参加実績

番号	開催日時	会合名
1	2022 年 5 月 16 日	第 160 回無線方式検討 TG
2	2022 年 6 月 13 日	第 161 回無線方式検討 TG
3	2022 年 7 月 11 日	第 162 回無線方式検討 TG
4	2022 年 8 月 4 日	第 163 回無線方式検討 TG
5	2022 年 8 月 18 日	ITS フォーラム無線方式検討 TG 様－受託者会議
6	2022 年 9 月 9 日	第 164 回無線方式検討 TG
7	2022 年 9 月 13 日	ITS フォーラム高度化専門委員会 中間報告
8	2022 年 9 月 30 日	ITS フォーラム無線方式検討 TG 様－受託者会議
9	2022 年 10 月 7 日	第 165 回無線方式検討 TG
10	2022 年 11 月 1 日	ITS フォーラム無線方式検討 TG 様－受託者会議
11	2022 年 11 月 10 日	第 166 回無線方式検討 TG
12	2022 年 12 月 15 日	ITS フォーラム無線方式検討 TG 様－受託者会議
13	2022 年 12 月 26 日	第 167 回無線方式検討 TG
14	2023 年 1 月 23, 24 日	ITS フォーラム高度化専門委員会 報告

7.3.2 報告内容、コメント・ご指摘事項、対応状況

ITS フォーラムの主な報告内容、コメント・ご指摘内容、対応状況について表 7.3.2-1 に示す。

表 7.3.2-1　ITS フォーラムへの報告内容、コメント・ご指摘事項

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
第 160 回無線方式検討 TG（5/16）でのご指摘事項			
1	• 実施内容、全体方針について説明	• プロトコルの検討は標準化作業を想定しているか。	• 標準化のプロセスに入る前に、標準化に資するためのプロトコル案を作成するイメージ。標準化のプロセスを進めるとしたら、次年度以降となる。
2		• 5.9GHz の V2I、V2V にスコープが当たっているが、V2N はスコープに入らないのか。	• V2N は今年度のスコープに入っていない。
第 161 回無線方式検討 TG（6/13）でのご指摘事項			
1	• 第 1 回関係者会議の報告	• 無線方式検討 TG では通信方式に収まるか否かの検討を実施しているが、サービスの保証はしていない。今回の事業においてサービス成立性の答えが出るのか。	• 通信の成立性を通信シミュレーションにて確認を行う。成立しない場合は課題として提起する。
2		• 700MHz 帯委員会との連携はどのように行うのか。	• 必要に応じて問い合わせを行う。
3		• 通信の構成や通信（輻輳）制御を検討するとのことだが、通信パラメータの変数の定義や変数名が違うケースへの対応はどのようにするのか。	• 通信シミュレーションの中で効果を確認していき、効果がある場合はプロトコル案に反映するが、細かいパラメータの決定までいけるかは未定。
4		• メッセージフィールドとして海外との差分として定義が異なる場合に、海外連携をどのように進めるのか。	• メッセージサイズの比較が必要と考えており、フォーラムと調整しながら進める。
第 162 回無線方式検討 TG（7/11）でのご指摘事項			
1	• 第 2 回関係者会議の報告	• チャネルの割り当てについて、送受信は 3 チャネル同時に起こる想定か。	• 送受信でチャネルを分けることは考えていない。割り当ての詳細検討の中で、同時送受信ができない制約が出てくると思う。
2		• 複数周波数チャネルを使った周波数割り当てなど、無線方式検討 TG と同意したところを明確化する必要はないか。	• SIP-adus 事業関係者会議と無線方式検討 TG での議論に時間差はあるが、有識者のコメントをいただきながら、議論を進めていく。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
第163回無線方式検討TG（8/4）でのご指摘事項			
1	• 第3回関係者会議の報告	• チャネル割り当てについて、10MHz幅だけでなく20MHz幅等は検討しているか。	• 第4回の関係者会議にて検討して報告済み。
2		• 複数CH同時に送受信できる必要があるか、隣のチャネルで受信と送信を同時に実行する動作は端末の複雑度があるのではないか。いずれかのチャネルで送信時に他のキャリアでは端末内干渉により受信できない場合が考えられる。	• どのような送受信が発生するか、検討していく。
3		• 250m以上届くところは干渉となる等、チャネル効率とスペクトラム効率の議論は合わせて考える必要があるのではないか。	• 要議論として検討していく。
4		• シミュレーション評価の中でチャネル利用効率に対する定量的な評価はされるのか。	• どこまでやるかは要確認。2台の端末を近づけて通信した場合に、干渉がどのように見えるか確認する形になる。
5		• 実機の結果をフィードバックして再度シミュレーションをするのか。	• 実験結果をシミュレーションにフィードバックすることは考えていない。
6		• 5.9GHzだけで全部やるということも考えているのか。	• チャネル割り当ての検討結果次第。700MHz帯との共存やロードマップと合わせて、今回の結果を受けて考察していく。
7		• シミュレーションや実機での確認において、昨年度との違いは30MHzを使うところと考えてよいか。 • シミュレーションは10MHz以外に30MHz幅でも実施されるのか。	• 昨年度は、1つのUCを10MHzで評価した。今回は複数CH等でやることと全部ができなければ、どこまでできるかをまとめる。 • シミュレーション評価は2段階で、単一もやるし、3CH同時シミュレーションもやる。CH間干渉も見る。1つの車で3CHを同時に使うところまでの想定はなかったので、そこは検討が必要。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
8		• ユースケースを組み合わせたOK／NGのシミュレーション以外に、通信（輻輳）制御するまでの限界点を見極めるような評価を実施するのか。 • システムの容量評価と、メッセージ共通化の議論は並行して検討していく方が良いのではないか。	• NECで検討中の通信（輻輳）制御次第でもある。まずはITSフォーラムの通信要件を参考にメッセージを共通化した場合の検討を行う。基本条件を評価し、そこで駄目な場合には通信（輻輳）制御等を考えていく必要がある。 • 定量的な相関があるので、分析は大事と認識している。
ITS無線方式検討TG－受託者会議（8/18）でのご指摘事項			
1	• ITSフォーラムからのQA	• アメリカFCC関連の動きとして、5.9GHzの20MHz帯域幅を検討とも聞いている。海外動向を確認した上で、案として考慮してもらいたい。	• 海外動向を確認した上で、案として考慮する。
2		• メッセージを特性毎にグルーピングして案を考えた方が幅広く案が考えると思う。 • a-1-3とa-1-4は一連のシーケンスになる場合もあり、同一チャネルにしておいた方が良いのではないか。	• 現時点では、V2I／V2V、同報／調定・ネゴの形でメッセージを特性毎にグルーピングして案を考えている。過不足があるようなら追加検討する。 • 今後の論点の一つとして継続議論させていただきたい。
3		• 共存するユースケースをまとめた資料の表中の“△”はどのような意味か。	• 合流支援に際し、a-1-3はマストであり、a-1-4は必ずしもマストではないと考え、△とした。
4		• 昨年度のSIP事業でNECが実施したシミュレーション条件に合わせて、今年度も実施した方が良いのではないか。（ダイバーシティ、固定劣化、アンテナ利得） • シミュレーションで車載機などからの干渉は考慮されているか。	• シミュレーション条件は合わせる方向で検討するが、より一般的な方を選択する。 • c項では、パケット到達率で考慮して評価を行う。干渉の影響を考慮して別途検討をする必要がある。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
5		• 通信条件 a-2 について走行車両数の 5%が車線変更すると想定との記載があるが、1 台の車線変更において、a-2 の要求条件となっている 73 台と通信が発生するとの理解であっているか。	• 5%との妥当性については検討する。
6		• 5.9GHz 通信において各 SIP-UC 単独で通信エリアは満足できるという前提で検討される認識で良いか。	• 通信エリアを満足できるかは、通信（輻輳）制御の達成度を高める検討を行い、課題の明確化を図ることを考えている。
7		• チャネル帯域算出において、スペクトラム効率、チャネル利用率を使用について、教えてほしい。	• スペクトラム効率とチャネル利用率については、使用帯域幅を算出するために、C2CCC の値を参考に算出した。C2CCC、5GAA でも特定の前提を置いている数値であり、一義に定義は難しいため、まずはチャネルを割り振った時にどのくらいの通信容量になるかの数値として評価する。
8		• Congestion control として、閾値を超えたら、通信（輻輳）制御では通信周期を長くするとか、メッセージの優先順位を選択するとかでパケットを減らすことになるのか。	• 通信（輻輳）制御については、第 4 回の関係者会議で案を示す。
9		• プロトコルスタックを RC-017 がカバーするためには整理が必要である。 • Congestion control はどこで規定されるのか。	• その認識で整理していく。 • 中身が明確なものは RC-017 で、そうでないものは新規規定になる。
10		• 250m より広い範囲で無線が届くという指摘に対し、どう扱うべきか。	無線飛び過ぎ問題については、システムレベルシミュレーションの中で考慮する必要がある。通信容量の計算では通信要件に基づく 250m の前提で考え、必要帯域の試算ではスペクトラム効率中で考慮する必要がある。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
第 164 回無線方式検討 TG（9/9）でのご指摘事項			
1	• 第 4 回関係者会議の報告	• 通信（輻輳）制御はグループ C、E に適用するという記載があるが、グループ適用を制限する理由はあるか。a-1-3 にも適用可能ではないか。 • イベントの最初の送信に対する通信（輻輳）制御は不適切で、イベント発生後に周期的に送信のみ通信（輻輳）制御対象とする必要があると考えている。	• 特に制限をかける意図はなく、全体的な議論だと考えている。 • ご認識の通りと考えている。
2		• シミュレーションと実験は、LTE-V2X になっていて、仕様の案出しは DSRC になっている理由を教えてほしい。	• シミュレーションと実験は LTE-V2X で実施する。それ以外は両方行う。性能の比較については昨年度の総務省の評価で行われているので、必要に応じてその結果を参考にする予定である。
3		• シミュレーション結果で“×”があるものについては、“○”にするための工夫や調整はするのか。	• 方式観点で圧倒的に改善するというものはなく、感度などを見直せばよくなるのではないかと思う。帯域を 20MHz にすることも考えられるが、距離ネックだとやはり厳しい。その場合、積算で 99%いくのか、どこまで求めるのか、などを考える必要がある。
ITS フォーラム高度化専門委員会 中間報告でのご指摘事項（9/13）			
1	• 中間報告	• 今後のユースケース／メッセージの拡張性、柔軟性を考え、一つの通信チャネルとして上位層で制御する方策も考えられる。上記に際し、上位層と下位層での制御インタフェースの検討が必要。	• 第 6 回関係者会議でご説明済み。
2		• 通信レイヤとアプリケーションで、整合を図った通信輻輳制御機能の検討、検証が必要。	• ITS フォーラムと継続議論する。
ITS フォーラム無線方式検討 TG－受託者会議（9/30） でのご指摘事項			
1	• 第 5 回関係者会議の報告事項　事前確認	• 通信（輻輳）制御について、車両からの送信が主なターゲットと理解したが、路側インフラ側のメッセージについては考えるのか。	• まずは車両における通信（輻輳）制御を前提として考えるが、車両側の通信（輻輳）制御を固めた上で、路側への適用についても追加検討を行う。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
2		• ITS FORUM RC-017 のメッセージの構成を考えると、イベントとメッセージの内容が 1 対 1 で対応するため、メッセージに従って優先度が変わるような考え方になると推測する。	• 今後議論が必要だが、メッセージ毎に基本的な優先度が決まるが、クリティカルイベントに紐づくメッセージがいくつかあり、クリティカルイベントがあった場合にはそのメッセージの優先度を上げる考え方としている。
3		• チャネル割り当ての 10MHz＋20MHz について、今回の説明では V2V と V2I で分けていたが、他の案もあるのではないか。周期送信と非周期送信で分ける考え方もある。	• 承知した。
4		• マルチチャネルの場合、隣接チャネルの影響はどのように反映されているのか。	• マルチチャネルの実装に際しての課題整理が必要である。
5		• 実験条件として、連続波が 20ms のバーストという説明で正しいか。	• 20ms はバースト波の送信周期となり、連続波は周期の概念はない。
6		• b 項では通信（輻輳）制御を主にアプリケーションレイヤで考えていると理解したが、本ページの処理フローではアプリケーションレイヤだけでなくレイヤ 2 にも通信（輻輳）制御の記載がある。関係性について説明してほしい。	• 海外の一般的な通信（輻輳）制御では上位層で決めた優先度に従い、下位層での制御が行われるため選択肢として挙げた。今後 b 項の検討結果も踏まえ、決めていく。
7		• シミュレーション及び実験では、チャネル割り当て案のどれを評価するのか。 • 通信（輻輳）制御を入れたシミュレーションは実施するのか。	• 割り当て案の案 1 と案 6 について評価する。 • 今年度は通信（輻輳）制御を入れたシミュレーションは実施しない。
第 165 回無線方式検討 TG（10/7）でのご指摘事項			
1	• 第 5 回関係者会議の報告	• 通信（輻輳）制御の考え方は欧州や米国で検討されているものでは不十分なのか。アレンジする理由を教えていただきたい。	• 双方の検討結果は基本的な考え方が異なると判断し、あるべき姿を検討している。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
2		• 交通流シミュレーションの目的は円滑性、安全性のどちらなのか。目的によっては対象外のものを確認する可能性もあり、自動車メーカに確認すべきと考える。	• 現時点では自工会様からのご指摘はいただいていないが、確認を行う。
ITS フォーラム無線方式検討 TG－受託者会議（11/1）でのご指摘事項			
1	• 第 6 回関係者会議の報告事項　事前確認	• 車両密度、通信状況の両方式を比べると、通信されるデータ長が可変だと考えると、通信状況に応じた制御が適切ではないかと考える。また、端末だけで考えると普及率が変わると挙動が変わってしまうので、普及率に応じてパラメータの設定を見直す必要がある。	• 今回は各方式を独立で検討、検証した。ご指摘の点は様々なケーススタディを通じ判断する必要がある。
2		• 車両情報による制御での 4m の位置変化は、自工会との 700MHz 帯の議論の中で移動 5m における積算のパケット到達率指標を満たすという指標があるので、そことの関連性を考慮する必要がある。	• 上記のご指摘の点は様々なケーススタディを通じ判断する必要があると認識している。
3		• 通信（輻輳）制御を適用したことにより通信要件を満たせなくなるのではないか。	• 通信（輻輳）制御はユースケースに応じた通信要件を満たすことが前提であり、その範囲で通信（輻輳）制御されるものと考えている。また通信（輻輳）制御と優先度制御をセットで考える必要がある。
4		• 通信チャネルの割り当てについて、移動機の方は 2 チャネル同時受信ができないことが言われているので、常にイベント系の方を優先されて送信し、基本情報の方を落とされるようにする方が、制御が組みやすいのではないか。	• ご指摘の点は案 8、9 が相当する割り当て案だと考える。
5		• CPS は普及率が高くなるまでにどのような仕組みで実施するのか、一段高い検討が必要と考えている。	• CPS は、V2V、V2I の普及率を時間軸で捉え検討していく必要があると認識した。
6		• 受信の方はベースバンドをどれだけ持つかの話になるが、送信の方は同時にできる・できないの問題があるかと思う。	• 実装面から見た課題についてもまとめる。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
7		• 複数チャネルが対応できる無線機を前提としているが、チャネル切り替えは想定していないのか。	• 選択肢としては考えられるので、チャネル切り替えも含め課題を洗い出してまとめる。
8		• 優先度のレベルを伝えるだけでなく、一定時間に届かない場合には、廃棄しても良いといった、有効時間もセットで考える必要がある。	• 承知した。
9		• 実証実験において隣接チャネルからの干渉が全くない結果になっているが、スペクトラムマスク的にもかかっていないのか。	• 隣接チャネルの干渉が一定のレベル以上で加わると影響を受けことは屋内実験から分かっている。しかし、マスクによる減衰等の効果により、今回報告した屋外実験の条件においては、通信品質が劣化する D/U にはならなかった。引き続き、他の条件でも実験を実施し、影響を確認する。
第 166 回無線方式検討 TG（11/10）でのご指摘事項			
1	• 第 6 回関係者会議の報告	• 交通シミュレーションにて通信を 100%保証できない場合にどのような影響があるのか。	• 100ms～500ms 受信遅延を設けてシミュレーションを実施した結果、追従走行の場合、後続車の減速挙動の伝搬時間（2 台目：850ms～9 台目：1.5s 程度）かかるため、通信遅延による影響はほとんどない。
2		• 隣接チャネルによる干渉はどうなっているか。	• 同一チャネルで許容される干渉電力（許容干渉電力）を計算して、その値を元に 3GPP 技術仕様の送受信特性の値より隣接チャネルの許容干渉電力を計算している。今回提示した屋内測定結果例は、干渉波は 10MHz の帯域を全て使用しているが、希望波は対象 UC のパケットサイズとしており、全ての帯域を使用する値ではない。帯域全ての利用する条件も今後実施予定があるため、引き続き測定及び結果の整理を行う。
3		• メッセージセットの検討はその後どうなっているか。	• プロトコルを踏まえて検討を行い、評価結果と合わせて第 7 回の関係者会議にて説明。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
4		• RC-017 に対して、要求と応答の関係やステートの要否などの検討は、どのように進めるのか。	• 通信シーケンス詳細化による机上検討を行い、課題を整理する方向で考えている。
ITS フォーラム無線方式検討 TG－受託者会議（12/15）でのご指摘事項			
1	第 7 回関係者会議の報告事項　事前確認	• 通信チャネル割り当てついて、20MHz や 30MHz の時には 10MHz に正規化した数字もあった方が比較しやすいと思う。	• 資料に追記する。
2		上位層における通信制御方式について、イベントの生成を判断しているので、“送信タイミング”の記載に違和感がある。 • 天候などでの変更は、その通信範囲にいる全ての車両の通信量に影響し、かつ、悪天候でも全ての通信を実現できるようにシステムの容量を設計する必要があるので、“悪天候で通信量を増やす”というよりは、実質的には“良天候で通信量を減らす”を行うかどうかの議論になると思う。 • パラメータの変更としては、車両が自律的に変える方法もあるが、V2N でパラメータの変更を指示することもでき、それは走行環境のみに依存せず、パラメータの値を変更していくこともできる。今後検討の必要があると記載を追記できないか。	• “送信タイミング”の意味合いを注記し、適切な用語への修正は検討する。 • 今後の検討課題として認識した。 • ご指摘の旨、追記する。
3		• 交通流シミュレーションでの、乗り心地評価と安全評価の感度の関係を何か記載できないか。	• 今回、安全性：減速度、乗り心地：加加速度の 2 面で評価した旨、明記する。
4		• アプリケーションがどのような意味で使われているか、c、d 項で整理した方が良い。	• 言葉の定義、及び c、d 項で矛盾がないか確認する。
5		• メッセージセット案の検討で、まとめにおける情報要素の多重について、ケースを限定して記載する必要はないと考える。	• ご指摘を踏まえ、一般的な表現に記載を見直す。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
6		• 無線機の仕様の検討で、アプリケーションとセンサがつながっている記載になっているが、“アプリケーション”と“車両側”というインタフェースにして車両側の中にセンサなどが入っている分け方の方が汎用的に思う。 • 送受信切換を1アンテナ系統のみで実現というあたりまで限定する必要はないと思う。 • ロジック部の実現方法としては、“LTE-V2X の CA 機能を使う”、“LTE-V2X と NR-V2X の組を使う”、“1CH 向けを複数同時に搭載する”などいろいろな実現方法があり、それらの議論が今後行えるように、図の抽象度を上げておいた方が良いと思う。 • “無線部”、“チューナ”、“RF”がどこまで入っているのか意図がつかめていない。	• 誤解がないよう、図を見直す。 • ご指摘を踏まえ、記載を見直す。 • 承知した。 • 言葉の定義を明確にし、再整理する。
7		• テストコース等での実証実験で、隣接チャネルを連続波からバースト波に変更したとのことだが、通信トラフィックがそれに従いどのように変動するか、なんらかの記載が必要に思う。	• バースト波での評価における通信トラフィックあるいはリソース利用率の条件について説明を追記する。
第 167 回無線方式検討 TG（12/26）でのご指摘事項			
1	• 第 7 回関係者会議の報告	• 通信制御方式の検討とチャネルの割り当て案の検討との関係はあるのか。	• 今回の検討は独立に近い形でそれぞれの考えをまとめている。最終的に双方を決定していく上では一緒になった検討が必要であり、今後は一体となって考える必要がある。
2		• 通信制御のケーススタディでは、割り当て案を決めて実施したのか。	• 今回は案に関わらず実施した。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
3		• シミュレーションによる通信性能評価に関して、結果NGが気になっている。原因は分かっているのか？また、何を見直したら良いのかの提示が望まれる。	• 報告書まとめにて原因や見直しの方向性を整理する。
ITSフォーラム高度化専門委員会 報告でのご指摘事項（1/23,24）			
1	最終報告	• ITU-R Working party5Aで米国、欧州、日本について同じ様な形で比較結果がまとめられている資料が検討段階のものが提示されているので、参考にされると良い。	• 確認する。
2		• チャネル割り当ての案１～9を考えるにあたり、DSRC系、C-V2X系の区別するような検討は、入っているか。 • チャネル割り当てグループA～Eは、サービス毎に分けたのではなく、通信の類型で分けたと理解してよいか。 • チャネル割り当てグループをまぜると複雑度が増すのと、安全にかかわるものは、帯域には関係なく独立にしておきたいなど、要求条件で分ける考え方もあると思う • 700MHz帯はチャネル割り当ての表に加味しているのか。 • C-V2Xはリソース単位でチャネルをコントロールしているが、もう少し未来だと時間軸方向もあるかと思っている。700MHz帯は同じチャネルでV2IとV2Vを共存させており、このような使い方もあるのではないかと思っている。	• 入っていない。テクノロジーニュートラルの立場での検討である。 • 基本的には通信の類型で分けているが、案8、9はサービス視点での分類も含まれている。 • その意味合いも類型に含まれている、同報の連続ではなく同報の緊急に含まれている。 • 加味していないが、4ch使用する案では、700MHz帯をどれかで使う案になり、それ以外は5.9GHzのみで考えている。 • 承知した。今後の検討課題と認識した。
3		• 交通流シミュレーションの結果において、通信の数100msの遅延では自動車の挙動には大きな影響が無いというのは、興味深い結果だと思う。隊列走行の場合も送信周期は100msなのか。	• 隊列走行は特殊ケースということで今回は対象外としており、その旨を検討の前提として記載する。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
4		• 今回周期的通信として、成功とか失敗とか関係なく送っているものは良いが、合流だと調停が上手くいかないと、成功と失敗が出てくるが、時間的に余裕があれば、調停の失敗はもう一度調停に入るので、トラヒック量に影響すると思う。	• 今後の検討課題と認識した。
5		• レイヤ５からレイヤ７までの間で、セキュリティが対応される認識であっているか。 • 多重化をして複数のサービスを一つのセキュリティ制御にまとめると言われているのか。 • 今回、検討のミッションに多重化とセキュリティは入っているのか。 • セキュリティの何を対象として検討したのかをはっきり記載した方が良いと思った。	• その認識であっている。 • 同じ ch で複数のユースケースのメッセージが発生する場合、バラバラで送るのではなく、ひとつのメッセージに束ねられるのであれば、一つの上位層からのメッセージとしてセキュリティ情報を付加することで、まとめられるのではないかとして検討した。 • 今回、中身の仕様は対象外とさせていただいたが、セキュリティの署名により 250byte のオーバーヘットが通信容量として増えることは、シミュレーション評価に反映した。 • 承知した。
6		• 路車間通信のシステム構成が書いてあるが、この路側機側の構成４パタンは、どのように位置づけられるのか。 • 単純にサービスだけでなく、事業者や運用形態に絡んで、４つのパタンになることを記載しておいた方が良いと思った。	• 路側機は設置場所等によって、提供するサービスが異なり、そのサービス毎に構成が異なると考えられる。そのため、ユースケースを実現する為のミニマム構成をそれぞれ整理した。 • 了解した。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
7		• アプリケーション処理装置は実態としては、論理的には独立してあるが、実態としては、L7 制御部とくっついているものもあると思った。論理的に書いてあるので、実態としては一緒になる場合もある等、書いておいても良いかと思っている。	• 了解した。
8		• 屋外通信実験では、大型車を配置して陰になるところも再現している認識であっているか。 • シミュレーションより結果が良化しているのは何故か。	• 一部再現はしている。シミュレーションでは、特定の割合で大型車をランダムに発生させているため、希望波や干渉波に関係なく、まんべんなく遮蔽が発生しているが、今回の実験では通信車両及び大型車の数は限られるため、干渉の影響として厳しい条件とするため希望波が遮蔽されるように、配置を調整している。 • シミュレーションは規格値をもとに評価しているが、実機では規格値を満足するよう設計されるため、受信感度等が良化していることと、電波伝搬の部分で建物等の反射によるマルチパスフェージングは机上検討モデルで想定する環境をテストコースでは完全には再現できていないため、その影響もあると考える。
9		• 無線 LAN 等のチップであればチャネル使用率などが取得でき、周波数が混雑しているか分かるため、より正確に電波の占有率が分かる。何も見ずに送るだけよりも、チップとのやり取りを含めたクロスレイヤ制御により、レイヤ間の情報を使って効率的に実施する選択肢もあると思った。	• 承知した。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
10		• 情報（コンテンツ）の種類を分けて、それに合った制御の仕方を考える必要がある。コンテンツの性格により、届かないと困る、届いた方がよい、届かなくてもよいなど段階を分けて整理するのがよいと思った。また優先度と瞬時的に送る必要があるかは別であり、他のメッセージをはねのける優先度と必ず届かなければならない優先度（大事度）は別かもしれず、そのような制御方法もあると思う。	• 承知した。
11		• 優先度の制御について、通常の無線 LAN の場合、キューに入ったら CSMA/CA で順番に送信されるが、送信キューを飛び越えることやバックオフを優先度毎に変えて、すぐに送信が必要なデータはバックオフを小さくすることなどは考えているか。	• 今回そこまで踏み込んで検証していない。通信レイヤの機能を鑑みて、その制御を含めて上位側でコントロールできるか考える必要があると理解した。
12		• プロトコルを決めても、時間とともに機能アップやパラメータの追加が生じる可能性があるが、その辺りのプロトコル設計をどう考えているか。	• 今回フォーマット詳細までは踏み込めてないが、ご指摘いただいた内容は課題として記載する。
13		• ネゴシエーションについて、車両挙動の変化により、合意が無効になったり失敗する可能性があるため、通信のやり直しが発生したり、周辺車両の合意状況を把握する必要があると思うが、検討では考慮しているか。	• 机上検討では通信シナリオ案の通信シーケンスを詳細化したが、典型的な例のみであり、また ITS フォーラムでも全てのケースを想定した詳細化、決定には至ってない。シミュレーション評価についても通信容量（通信トラフィック量）を再現しているが、シーケンスを完全に再現している訳ではないため、ご指摘いただいた点は課題として整理する。
14		• 海外で標準化を検討中とあるが、互いに違うものとなるのか、海外に合わせるのか、あるいは国内からもよりよいものを提案していくようなリーダシップを取るのか等、今後のやり方をどう考えているか。	• 受託者には判断できないが、ご指摘を踏まえ、導入に向けての課題として記載を検討する。

番号	報告内容	関連するコメント・ご指摘事項	対応
15		• 連送について評価で比較したとあるが、海外では連送をしているのか。 • 優先度若しくは重要度を考えて、連送するかしないかをコントロールした方がよいのではと思う、また通信が輻輳しないようにするため、チャネル使用率が上がった場合、他の様々なコントロールと併せて、連送回数も考慮した方がよいと思う。	• CV2X の場合、仕様は存在するが、欧米ともに連送回数を何回にすべきという結論は出てない認識である。 • 今回は全てのデータが同じ連送回数での評価としたが、ご指摘を踏まえ、課題として記載する。
16		• 複数チャネルについて、1 つの無線機で 3 つのチャネルに対応とした場合、きちんと処理できるか懸念があるが、例えば欧米はどのように考えているか？複数のチャネルを使う場合に、1 つの無線部でこなそうとしているのか。 • 無線部を複数持てば、コストは上がるのではないか。	• 欧米の場合、シングルチューナ、マルチチューナ両方を考慮した仕様が定められており、米国の場合はシングルチューナの場合でもチャネルを切り替えながら目的のチャネルを選択することが可能であり、欧州の場合は優先度の高い順に割り当てチャネルを決め、シングルチューナの場合は優先度の高いチャネルのみを使用することになっているが、実装がどこまで準拠しているかは認識していない。 • ご認識の通りである。実装方法におけるメリットだけでなく、デメリットも考慮した検討が必要であり、ご指摘の点は課題として整理する。
17		• 今後 700MHz 帯と 5.9GHz 帯を使用する場合、700MHz 帯の既存システム（ITS Connect）が共存するが、どう移行するのか？5.9GHz 帯をサポートしない車両が 700MHz 帯で合流等の新たな情報を送信した場合に、ITS Connect の受信側はエラーを起こさず無視して動くかどうか、新しいプロトコルを設計する場合の後方互換性が気になった。	• ご指摘を踏まえ、700MHz 帯と 5.9GHz 帯の両方を使用する場合の既存システムの運用、移行等、課題の整理が必要である旨、記載したい。

8. まとめ

本事業の調査検討では、SIP 第 2 期の研究開発で得られた、協調型自動運転ユースケースに対する無線通信技術への具体的な要求仕様を作成したロードマップに基づき、協調型自動運転の実現へ向け、5.9GHz 帯の電波を用いた場合の V2X システムの導入に係る課題解決及び検討を加速するため、その導入に必要となる通信プロトコルを含めた無線機の仕様を案出した。

通信プロトコルの案出に向けた検討に際しては、国際動向（関連する制度、規格）等を踏まえ、5.9GHz 帯 V2X システムの通信要件（通信内容、通信チャネル、通信輻輳制御等）を検討した。また、通信プロトコル案の設計及び無線機仕様の案出に際しては、電波伝搬特性や通信チャネル間干渉の影響等を考慮した通信シミュレーション評価結果に基づき、通信手順、プロトコルスタック等の通信プロトコル案、及び複数ユースケース混在時の共通化や拡張性等のメッセージセット案について検討し、無線機仕様案に反映した。

案出された通信プロトコル案を含めた無線機の仕様をもって、協調型自動運転の実現へ向け、各研究機関、各企業で整合を図り、検討に取り組んでいくことが期待される。