
2021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通信方式の検討のうち、700MHz帯ITSに係る評価」

成果報告書

2022年5月

京セラ株式会社

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.	はじめに	1
1.1.	事業の目的	1
1.2.	事業概要	1
1.3.	研究の方法	2
1.4.	700MHz 帯高度道路交通システムの概要	2
2.	評価方法	5
2.1.	対象ユースケース	5
2.2.	通信要件	5
3.	机上検討	12
3.1.	検討方法	12
3.1.1.	通信エリア・通信品質評価	14
3.1.2.	送信時間の制約評価（送信パケット長）	16
3.1.3.	路側機設置制約評価（スロット割当）	18
3.1.4.	メッセージセット	21
3.2.	条件	23
3.3.	結果	26
3.3.1.	通信エリア・通信品質評価	26
3.3.2.	送信時間の制約評価（送信パケット長）	30
3.3.3.	路側機設置制約評価（スロット割当）	36
3.3.4.	メッセージセット	38
3.4.	結果まとめ	43
4.	シミュレーション	45
4.1.	ユースケース分類	45
4.2.	シミュレーション条件	50
4.2.1.	道路モデル	50
4.2.2.	モデル配置	50
4.2.3.	路側機配置及びスロット割り当て	50
4.2.4.	車両配置	51
4.2.5.	通信条件及び伝搬モデル	52
4.2.6.	メッセージサイズ	53
4.2.7.	評価項目	54
4.3.	シミュレーション結果	55
4.3.1.	低速移動時の最大車両密度条件	55
4.3.2.	規制速度程度での最大車両密度条件	61

4.3.3.	結果まとめ	67
4.3.4.	考察	68
4.4.	追加検証シミュレーション	69
4.4.1.	シミュレーション条件	69
4.4.2.	シミュレーション結果	70
4.4.3.	考察	74
5.	課題と対策	75
6.	まとめと今後の展望	81
6.1.	まとめ	81
6.2.	今後の展望	82

● 研究開発の成果と達成状況

(1) 研究開発の成果

協調型自動運転ユースケース（以下、SIP ユースケース）のうち、V2N を除く V2I、V2V の 20 ユースケースに関して、ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討 TG（以下、無線方式検討 TG）提示の通信要件における 700MHz 帯高度道路交通システム（以下、700MHz 帯 ITS）での対応可否について、机上検討およびシミュレーションにより結果を示した。

机上検討は、路車間や車車間同士の干渉の影響がない環境での通信エリア・通信品質の確認と送信時間の制約評価の確認を行った。具体的には、通信エリアの確認では伝搬損失モデル式を用いてサービスエリア端での受信電力を求め、受信可否判定閾値との比較により通信エリアを確認した。送信時間の制約評価の確認では、無線方式検討 TG 提示の通信要件のうちアプリケーションデータサイズをもとに現行 700MHz 帯 ITS のセキュリティおよびオーバーヘッドを勘案し、送信データ量を算出した。送信データ量が ARIB STD-T109 規格で定められている 100 ms 周期における送信時間の制約内で送信できるかどうかを確認した。

また、700MHz 帯 ITS 路車間通信サービスの路側機と SIP ユースケースをサービスする路側機の送信タイミングが重なり、車載機で受信する際に干渉しないよう無線送信スロットの配置検討を行った。

シミュレーションは、2016 年に実施された「700MHz 帯高度道路交通システムの高度化に向けた検討」[1]を参考に、SIP ユースケース検討モデル（以下、SIP-UC 検討モデル）を構築した。本モデルのなかで、近接したエリアで各ユースケースのサービスが実施された時の検討を行い、SIP ユースケースの 700MHz 帯 ITS での実現性確認と既存サービスとの共存成立性確認を行った。

本シミュレーションの結果、無線方式検討 TG 提示の通信要件未達となったユースケースに対し、課題の抽出と対策立案を行った。

(2) 達成状況

SIP ユースケースを実現する通信方式の検討のうち、700MHz 帯 ITS に係る評価について評価結果を示し、本結果に対する課題の抽出および対策立案を行い、今後の展望を提示した。SIP ユースケースのうち、意思疎通が不要なユースケースについては、700MHz 帯 ITS にて実現できる可能性を示した。意思疎通が必要なユースケースについては、新たな通信方式を用いて実現するか、もしくは 700MHz 帯 ITS と新たな通信方式の両方を用いて実現する考え方を対策案として提示した。

本検討結果について、本研究開発テーマとは別に実施されるセルラーV2X 方式に関する検討において策定されるロードマップへインプットを行い、目的を達成することができた。

● 研究発表・講演、文献、特許等の状況

(1) 研究発表・講演

なし

(2) 論文

なし

(3) 特許等（知財）

なし

(4) 受賞実績

なし

(5) 成果普及の努力（プレス発表等）

なし

・ 和文要約

平成 31 年度に SIP 第 2 期として実施された調査「自動運転システムのための通信技術に関する調査」で V2X の活用が期待される協調型自動運転ユースケース（以下、SIP ユースケース）が検討されている。本研究開発では、SIP ユースケースにおいて、ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討 TG（以下、無線方式検討 TG）にて検討された具体的な通信に対する要求仕様等に基づき、700MHz 帯高度道路交通システム（以下、700MHz 帯 ITS）での対応可否を机上検討およびシミュレーションにより評価した。以下に概要を示す。

(1) 机上検討

無線方式検討 TG から提示された通信要件をもとに通信エリア、送信時間制約、路側機設置制約、メッセージセットの評価を実施した。

- ・ 路側機の無線送信スロット（以下、スロット）割り当てを検討した結果、SIP ユースケースに必要な 4 スロットが確保可能となった。よって、路車間・路路間通信は既存の ITS サービスに SIP ユースケースを加えても成立することを確認した。
- ・ 既存 700MHz 帯 ITS に SIP ユースケースのメッセージセットが追加可能かの検討を行った結果、ITS Connect TD-001 の自由領域（オプションの領域）を活用することで SIP ユースケースのメッセージセットが追加可能なことを確認した。
- ・ g-1（電子牽引による後続車無人隊列走行）のユースケースは緊急時の送信周期が 20 ms と定められているが、本評価で用いた T109 規格では通信周期を 100 ms 周期と規定しているため、送信要件未達とした。
- ・ 意思疎通が必要なユースケースの一部(a-1-3, a-1-4, a-2, a-3)は通信要件の車両台数で未達であった。

(2) シミュレーション

無線方式検討 TG から提示された通信要件をもとに、既存 700MHz 帯 ITS に SIP ユースケースが追加可能かのシミュレーション評価を実施した。

- ・ 路車間通信は要件を達成し、追加可能であった。（机上検討にて、距離的に互いに影響を与える範囲のすべての路側機に対して、路側機送信可能時間のスロットを重複することなく割当ができ、その条件でシミュレーションを実施できたため）
- ・ 車路間通信の一部、車車間通信は、車載機同士による干渉の影響のために要件未達であった。これらに関しては、パケット到達率や必要通信距離要件を満足するために必要な無線通信遅延を示した。
- ・ 要件未達のユースケースにおいて、これらのサービスを実現する場合に現実的な要件を今後検討するための下地として受信感度変更、路路間通信用スロットの有無、車両密度の見直し等を反映した評価も実施した。

以上の結果より、無線方式検討 TG 提示の通信要件未達となったユースケースに対し、課題の抽出と、対策立案を行った。

(3) 課題と対策

- ・ SIP ユースケースのサービス要件の深掘りが課題である。対策としては、各ユースケースについて、それを検討した関連団体と連携し、サービス時の状況や自動運転車両の挙動、制御方法などを踏まえたサービス要件の更なる具体化を図り、サービス要件を踏まえた実用的・最適な通信要件（通信距離や無線区間許容遅延等）を定めていくことが挙げられる。
- ・ 意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3, a-1-4, a-2, a-3 については、700MHz 帯 ITS の現在の仕様はブロードキャストプロトコルであるため意思疎通への対応は困難である。しかしながら、700MHz 帯の電波は、遠くまで届き回り込む特性を持つことから、互いの位置を確認する基本的なやりとりを使う場合は最適であり、700MHz 帯 ITS をどのように使うかに関して、より深い議論が必要である。上記 SIP ユースケースへの対策として 2 つ提案した。これらについて今後検討を行う必要がある。

案 1) 新たな通信方式のみ

周囲状況の認知(位置や速度情報等)も含めて新たな通信方式で行う。この場合、帯域幅や伝搬性の検討が必要である。また既存の安全運転支援サービスとの関係(共存の場合、コストと搭載のインパクトが大きい。新方式への移行は車両の展開・普及、品質担保が課題)の検討が必要である。

案 2) 700MHz 帯 ITS+新たな通信方式

周辺状況の認知(位置や速度情報等)を 700MHz 帯 ITS で行い、その後の意思疎通のシーケンスは新たな通信方式で行う「ベーシックメッセージ(BM)+高度化メッセージ」の考え方を導入する。

- ・ メッセージセットの規格化、セキュリティの要件などをシステム実用化に向けて定義することが課題となる。その対策として各関連団体と協議しガイドライン策定や規格化の推進が挙げられる。
- ・ 現時点では路側機のスロット割当配置ルールがない。よって、今後路側機の普及に伴い、効率的なスロット割当を行うためのルール作り（ガイドライン策定）が課題となる。対策としては、必要各関連団体と協議しルール作りの推進が挙げられる。
- ・ g-1（電子牽引による後続車無人隊列走行）のユースケースは、通常時は 700MHz 帯 ITS で実現の可能性があるが、急制動時（緊急時）の 20 ms 周期送信が課題となる。対策として、ARIB STD-T109 の規格変更、あるいはユースケース要件の深掘りによる要件変更が挙げられる。

本研究開発テーマとは別に実施されるセルラーV2X 方式に関する検討において策定されるロードマップへ本検討結果をインプットした。

・ 英文要約

Cooperative autonomous driving use cases in which V2X is expected to be utilized (below, "SIP-UC") were considered as part of the Study on Communication Technologies for Automated Driving Systems conducted as the second phase of the Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) in 2019. In this research, based on the specific communication requirements and other specifications discussed for SIP-UC by the Radio System Technology TG of the Advanced ITS Info-communication Systems Committee of the ITS Info-communications Forum (below, the "Radio System Technology TG"), the feasibility of using 700 MHz band Intelligent Transport Systems (below, "700 MHz band ITS") to support SIP-UC was evaluated through desk study and simulations. A summary is given below.

(1) Desk study

Based on the communication requirements presented by the Radio System Technology TG, this study evaluated the communication area, transmission time constraints, roadside unit installation constraints, and message sets.

- ・ As a result of considering the allocation of wireless transmission slots (below, "slots") for roadside units, it became possible to allocate the 4 slots required for SIP-UC.
Accordingly, it was confirmed that roadside-vehicle communication and inter-roadside communication can be established even if SIP-UC are added to existing ITS services.
- ・ As a result of studying the possibility of adding SIP-UC message sets to the existing 700 MHz band ITS, it was confirmed that SIP-UC message sets can be added by utilizing the free field (optional area) of ITS Connect TD-001.
- ・ A transmission cycle for emergencies in the g-1 use case (Unmanned platooning of following vehicles by electronic towbar) is specified as 20 ms, but since the T109 standard used in this evaluation specifies a communication cycle of 100 ms, the transmission requirement was not met.
- ・ Some of the UCs that required interaction (a-1-3, a-1-4, a-2, a-3) did not meet the communication requirement for number of vehicles.

(2) Simulation

Based on the communication requirements presented by the Radio System Technology TG, a simulation-based evaluation was conducted to see if SIP-UC could be added to the existing 700 MHz band ITS.

- ・ Roadside-to-vehicle communication met the requirements and was able to be added.
(This was because in the desk study, the slots for roadside unit transmission time were able to be allocated to all roadside units within the range that affect each other in terms

of distance without duplication, and the simulation was able to be successfully performed under those conditions)

- Vehicle-roadside communication, and some aspects of inter-vehicle communication, did not meet the requirements due to the impact of interference among onboard units (OBU). Regarding these, RF delay required to satisfy the packet arrival rate and required communication distance requirements is shown.
- For the use cases where requirements were not met, as a basis for future consideration of realistic requirements when implementing these services, evaluation was also conducted to reflect changes in reception sensitivity, availability of slots for inter-roadside communication, and vehicle density.

Based on the above results, issues were identified, and future actions devised for use cases where the communication requirements presented by the Radio System Technology TG were not met.

(3) Issues and future actions

- The issue is deeper examination of the service requirements of SIP-UC. As an action, for each use case, it is necessary to work with related organizations that have studied it to further specify service requirements based on circumstances at time of service, behavior of autonomous vehicles, etc., and to define practical and optimal communication requirements (communication distance, wireless section allowable delay, etc.) based on service requirements.
- For SIP-UC a-1-3, a-1-4, a-2, a-3 that require interaction, since the current 700 MHz band ITS specification is a broadcast protocol, supporting interaction is difficult. However, radio waves in the 700 MHz band, with their distant reach and ability to go around obstacles, are ideally used for basic exchanges for confirmation of positioning, and deeper discussion is needed on how to use 700 MHz band ITS. We have proposed two measures for the above SIP-UC. These will need to be considered in the future.

Proposal 1: New communication method only

A new communication method that includes recognition of surrounding conditions (position, speed information, etc.) will be used. In such cases, it is necessary to study bandwidth and transmission (propagation). In addition, relationships with existing safe driving support services need to be considered (in the case of coexistence, the impact of cost and installation is significant. Deployment and dissemination of vehicles and quality assurance are issues when transitioning to a new system).

Proposal 2: 700 MHz band ITS + new communication method

This proposal is for the concept of "Basic Message (BM) + Advanced Message," in which basic recognition of the surrounding situation (position, speed information, etc.) is

performed by the 700 MHz band ITS, and the subsequent interactive sequence is performed by new communication methods.

- For practical application of the system, setting definitions for message set standardization, security requirements, etc. are issues. Future actions to address this issue include formulating guidelines and promoting standardization in consultation with related organizations.
- At present, there is no slot allocation rule for roadside units. Therefore, with the spread of roadside units in the future, creating rules (formulating guidelines) for efficient slot allocation remains an issue. Future actions to address this issue include promoting rulemaking in consultation with various relevant organizations.
- The g-1 use case (Unmanned platooning of following vehicles by electronic towbar) may be achieved using 700MHz band ITS at normal states, but there is an issue with 20 ms cycle transmission during sudden braking (during emergencies). Future actions include changing the ARIB STD-T109 standard or changing requirements after deep examination of use case requirements.

The results of this study were input into the roadmap to be developed for the study of the cellular V2X system, which is being conducted separately from this R&D theme.

1. はじめに

1.1. 事業の目的

交通事故の低減、交通渋滞の削減、交通制約者のモビリティ手段の確保や物流・移動サービスのドライバー不足の改善・コスト低減等の社会的課題の解決やビジネスの創出など、自動運転がもたらす社会変革へ大きな期待が持たれている。このような背景のなか、戦略的イノベーション創造プログラム（以下、SIP）第2期自動運転（システムとサービスの拡張）において自動運転を実用化するための技術課題の克服のため、自動運転車が走行可能な環境の整備や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、走行環境整備の検討の中で、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。

本事業では、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）にて作成されたV2Xの活用が期待される「SIP協調型自動運転ユースケース」（以下、SIP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することを目的とする。

1.2. 事業概要

ITS情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 無線方式検討TG（以下、無線方式検討TG）に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、通信要件）について、机上検討やシミュレーション等により以下(a)～(d)を実施する。

(a) 700MHz帯ITSでの対応可否評価

狭域通信に係る通信要件について、700MHz帯高度道路交通システム（以下、700MHz帯ITS）での対応可否を、机上検討またはシミュレーションにより評価する。

(b) 技術的な課題の抽出・整理

(a)の検討の結果、対応不可となった狭域通信に係る通信要件について、これらの通信要件を満たすための技術的な課題の抽出・整理を行う。

(c) 課題に対する対策立案

(b)で得られた課題を踏まえ、課題への対応策（既存の通信方式の改善方策等）を立案する。

(d) 検討TF及びITS情報通信システム推進会議への報告並びに資料作成支援

(ア) 検討状況を検討TFやITS情報通信システム推進会議などの国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）、内閣府、総務省が指定する会合へ報告し、当該会合での指摘を本事業の実施へ適切に反映すること。これら会合には、必要に応じて、事務局として参加すること。報告すべき会合は、NEDO、内閣府、総務省等の関係者と協議の上で決定すること。

- (イ) 検討 TF（各月 1 回開催）及び ITS 情報通信システム推進会議の会合（各月数回開催）の検討資料の作成支援を行うこと。資料作成に当たっては、(a)～(c)の成果及び NEDO、内閣府、総務省、検討 TF、ITS 情報通信システム推進会議の関係者等との協議を踏まえること。

1.3. 研究の方法

研究開発体制を図 1-1 に示す。ITS 情報通信システム推進会議の無線方式検討 TG、および 700MHz 帯 ITS 実用化専門委員会へ月一回の会合、ならびに適宜臨時会合を開催いただき、会合での報告と協議を行い、ご支援いただいた。

本研究開発テーマとは別に実施されるセルラーV2X 方式に関する検討において受託者である日本電気株式会社と連携して本テーマを遂行した。

本研究開発の成果および進捗状況については、検討 TF へ随時報告を行った。

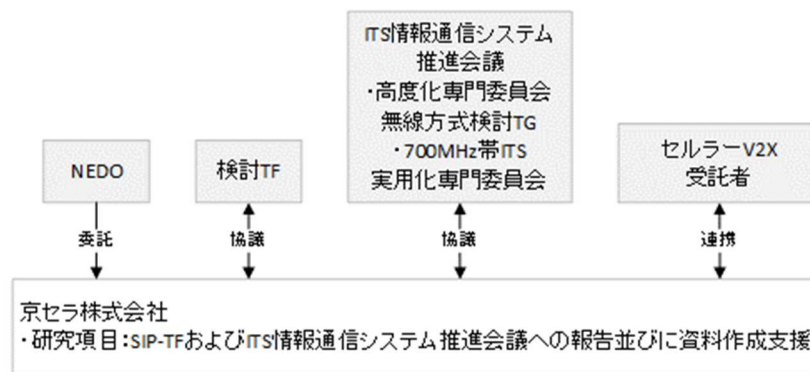


図 1-1 実施体制図

1.4. 700MHz 帯高度道路交通システムの概要

700MHz 帯 ITS は、安全運転支援システムとして平成 23 年 12 月に制度化され、700MHz 帯の周波数（755.5MHz～764.5MHz）を用いて車車間通信、路車間通信によりドライバーの事故防止を支援するものである。700MHz 帯は、建物や車両等遮蔽物の影まで電波が届きやすいことを特徴としており、様々な活用が期待されている。

路車間通信システムは、信号情報や対向車両情報、歩行者情報など、車両センサーでは検知が難しい情報を路側機が周辺車両に提供するものであり、例として信号情報提供システムや、右折時衝突防止システムなどが挙げられる。車車間通信システムは、車両が自車の情報（位置、速度、方向など）を周辺車両に提供するものであり、出会い頭衝突防止や追突防止の支援、あるいは緊急車両情報の提供を行うサービスが現在行われている（表 1-1 参照）。なお、本研究開発では現在行われている路車間通信システムと車車間通信システムを併せて既存サービスと呼ぶ。

700MHz 帯 ITS の標準規格として、一般社団法人電波産業会より ARIB STD-T109 [2]にて規格化されている。通信諸元を表 1-2 に示す。700MHz 帯 ITS システムにおける通信の方式としては、割り当てられた単一の伝送チャネル（周波数）にて、車車間通信と路車間通信を時分割によって共用する無線アクセス方式である。路側機が送信するデータ送信時間を TDMA によりあ

あらかじめ割り当て、残りの時間を車車間通信で CSMA/CA により使用するものである。路側機同士は、GPS 等により時刻同期しており、車載機は路側機が送信する時刻を基準に送信タイミングを決める。路側機が送信する期間は、路側機同士の送信タイミングが重複しないよう運用者によって調整が必要となる。また、路側機が送信する期間は、車車間通信によって転送されることで、路車間通信の通信エリア外にいる車載機においても周辺車載機から情報を得ることで路車間と車車間の干渉を回避することが可能となる。

平成 23 年には新たに路車間サービスの高度化（近接交差点信号情報や緊急車接近情報の広域提供等）および信号管制システムの強靱化を目的として路路間通信が検討され、平成 26 年 3 月に ITS 情報通信システム推進会議より「700MHz 帯高度道路交通システム実験用路路間通信ガイドライン ITS FORUM RC-012」 [3]が策定されている。路路間通信を用いた信号機同士の連携を行うことで、災害に強いインフラ構築への活用が期待されている。

表 1-1 700MHz 帯安全運転支援システムの概要

	システム概要	システムの特徴
車車間通信	車載機同士が直接通信を行い、周囲の車の情報（位置、速度等）を入手し、必要に応じて安全運転支援を行う。	インフラ整備に関わらず不特定の場所で利用可能。
路車間通信	路側機と車載機の通信により、インフラからの情報（信号情報、規制情報、歩行者情報等）を入手し、必要に応じて安全運転支援を行う。	路側機設置個所で確実に情報提供が可能であり、事故多発地点での効果が期待される。

※700MHz 帯安全運転支援システムについて (https://www.soumu.go.jp/main_content/000281445.pdf) より

表 1-2 700MHz 帯 ITS の通信諸元

	路側機	車載機
周波数帯	755.5MHz を超え 764.5MHz 以下	
占有周波数帯幅	9 MHz 以下	
空中線電力	10 mW/MHz 以下	
変調方式	BPSK/OFDM, QPSK/OFDM, 16QAM/OFDM	
誤り訂正	畳み込み FEC R=1/2, 3/4	
通信方法	ブロードキャスト	
送信周期	100 ms	
データ伝送速度	3, 4, 5, 6, 9, 12, 18 Mbit/s	
アクセス方式	TDMA	CSMA/CA
セキュリティ方式	電子署名方式+MAC 方式	MAC 方式
送信時間	任意の 100 ms 間における送信時間の総和は、10.5 ms 以下	任意の 100 ms 間における送信時間の総和は、0.66 ms 以下であり、かつ、送信バースト長は 0.33 ms 以下

セキュリティについては、平成 23 年 4 月に ITS 情報通信システム推進会議より「運転支援通信システムに関するセキュリティガイドライン ITS FORUM RC-009 1.0 版」 [4]が策定された。その後、平成 26 年に総務省より「700MHz 帯安全運転支援システムのセキュリティ要求事

項」※1 が公表され、平成 27 年には「700MHz 帯安全運転支援システム構築のためのセキュリティガイドライン」※2 が公表されており、セキュリティに対する対策がなされている。また運用面においても運用管理機関にてセキュリティ情報の管理、運用が行われている。

※1 https://www.soumu.go.jp/main_content/000297761.pdf

※2 https://www.soumu.go.jp/main_content/000367888.pdf

参考文献

- [1] 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告 平成 21 年 7 月 28 日付諮問 2029 号「ITS 無線システムの技術的条件」のうち「700MHz 帯高度道路交通システムの高度化に関する技術的条件」について
https://www.soumu.go.jp/main_content/000477035.pdf
- [2] ARIB STD-T109 1.3 版, 700MHz 帯高度道路交通システム 標準規格, ARIB, 平成 29 年 7 月
- [3] 700MHz 帯高度道路交通システム 実験用路間通信ガイドライン ITS FORUM RC-012 1.1 版, ITS 情報通信システム推進会議, 平成 26 年 3 月 31 日
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p59/ITS_FORUM_RC-012_v11.pdf
- [4] 運転支援通信システムに関するセキュリティガイドライン ITS FORUM RC-009 1.0 版, ITS 情報通信システム推進会議, 平成 23 年 4 月 27 日
https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p41/ITS_FORUM_RC009V1_0.pdf
- [5] 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, 令和 4 年 6 月 24 日
- [6] IEEE802.11-2007 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
- [7] IEEE 802.11-14/0571r8 Appendix 3 – RBIR and AWGN PER Tables
<https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/14/11-14-0571-08-00ax-evaluation-methodology.docx>
- [8] ITS Connect TD-001 1.1 版, ITS Connect システム 車車間通信メッセージ仕様, 令和元年 11 月
- [9] 道路構造令, 施行日：令和 2 年 11 月 25 日
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=345CO0000000320>
- [10] 700MHz 帯安全運転支援システム構築のためのセキュリティガイドライン 1.0 版, 総務省, 平成 27 年 7 月 9 日
https://www.soumu.go.jp/main_content/000367888.pdf

2. 評価方法

2.1. 対象ユースケース

本研究開発テーマでは、25 の SIP ユースケースのうち、通信形態が V2I および V2V の 20 のユースケースを評価対象とする。SIP ユースケースの一覧を表 2-1 に示す。

表 2-1 SIP ユースケース一覧

No.	大分類	中分類	ユースケース名	通信形態
1	①車載センサー検知外情報の入手が必要なユースケース	a. 合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援	V2I
2			a-1-2.本線隙間狙い合流支援	V2I
3		b. 信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)	V2I
4			b-1-2.信号情報による走行支援 (V2N)	V2N
5		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
6			c-2-1.交差点の情報による走行支援 (V2V)	V2V
7			c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	V2I
8			c-3. ハザード情報による衝突回避支援	V2V
9		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、V2N
10			d-2.逆走車の通知による走行支援	V2I、V2N
11			d-3.渋滞の情報による走行支援	V2I、V2N
12			d-4. 分岐・出口渋滞支援	V2I、V2N
13			d-5.ハザード情報による走行支援	V2I、V2N
14		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、V2N
15	②自車が保有する情報の提供が必要なユースケース	f. インフラによる情報収集・配信	f-1.救援要請(e-Call)	V2N
16			f-2.交通流の最適化のための情報収集	V2I、V2N
17			f-3.地図更新・自動生成	V2N
18			f-4.ダイナミックマップ情報配信	V2N
19	③車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース	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	V2I
20			a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援	V2V
21			a-2.混雑時の車線変更の支援	V2V
22			a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	V2V
23		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
24			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
25		h. 遠隔操作	h-1.移動サービスカーの操作・管理	V2N

2.2. 通信要件

各 SIP ユースケースの実現に必要な通信要件については、無線方式検討 TG にて検討された要件 [5]とする。なお、本研究に用いた通信要件は 2021 年 7 月時点において提示された要件であり、詳細を表 2-2～表 2-12 に示す。

表 2-2 無線方式検討 TG 提示の通信要件の用語説明

項目	説明
機能分類	機能分類名
ユースケース	ユースケース名称
No.	ユースケース番号
メッセージ名	メッセージ名がある場合は記載
通信形態	V2V, V2I の種別を記載
通信相手	特定車両もしくは不特定車両
対象エリア(最小範囲)	V2V の場合は、通信距離と同じ。V2I の場合はインフラエリア
エリアあたり送信台数	V2V および V2I では上記対象エリアあたりの送信台数
必要通信距離	V2V、V2I における所要通信距離、あるいは V2V, V2I でメッセージ内の情報が有効な距離範囲
最大相対速度	V2V では車車間の最大相対速度。V2I では車両最大速度
最大データサイズ	1 メッセージ当たりの最大データサイズ オーバヘッド 250byte を含む。
周期型もしくは非周期型	周期型もしくは非周期型の区別
送信周期	周期型の場合に、情報要素を更新して送信する周期
1 パケット当たり PAR (パケット到達率)	無線区間許容遅延内で実現すべき最大データサイズのパケットの到達率(Packet Arrival Rate)
無線区間許容遅延	ITS FORUM RC-015 で規定する無線アクセスレイヤが、所要信頼度を実現するためにシステムが許容する最大遅延時間（無線アクセスレイヤにおける送信待ち時間や連送/再送時間などを含む）。無線区間許容遅延を超えたメッセージは、復号結果にかかわらず未到達とする。

表 2-3 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：a. 合流・車線変更支援 [1 / 4]）

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
No.	a-1-1	a-1-2
メッセージ名	位置情報	位置情報
通信形態	V2I (I → V)	V2I (I → V)
通信相手	非特定車両	非特定車両
対象エリア(最小範囲)	合流起点 6 秒前から合流起点 6 秒前と合流起点の中央まで	合流起点 6 秒前から合流起点まで
エリアあたり送信台数	1 台	1 台
必要通信距離 ※1	33.9～59.8m (国総研仕様書：95m)	66.7～116.7 m
最大相対速度	連絡路：20～70km/h	連絡路：20～70km/h
最大データサイズ	1510 byte (1260+250) 想定台数：46 台	2752 byte (2502+250) 想定台数：92 台
周期型/非周期型	周期型	周期型
送信周期	100ms	100ms
1 パケット当たり PAR	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)
無線区間許容遅延	規定しない※	規定しない※

※対応可否判定のため、送信周期から無線区間許容遅延を 100 ms と想定する。

表 2-4 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：a. 合流・車線変更支援 [2 / 4]）

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	管制要求	調定要求 更新要求	調定応答 更新応答
通信形態	V2I (I → V)	V2I (V → I)	V2I (I → V)	V2I (V → I)
通信相手	非特定車両	路側インフラ	特定車両	特定車両
対象エリア (最小範囲)	合流起点 6 秒前から 合流起点まで	管制要求範囲内	管制要求範囲内	管制要求範囲内
エリアあたり 送信台数	1 台	1 台	1 台 (×管制数)	48 台 (管制数、混雑時)
必要通信距離	連絡路: 66.7~116.7 m 本線: 111.1~266.7m	66.7~116.7 m	連絡路: 66.7~116.7 m 本線: 111.1~266.7m	連絡路: 66.7~116.7 m 本線: 111.1~266.7m
最大相対速度	連絡路:20~70 km/h 本線:20~120 km/h	連絡路:20~70 km/h 本線:20~120 km/h	連絡路:20~70 km/h 本線:20~120 km/h	連絡路:20~70 km/h 本線:20~120 km/h
最大データ サイズ	5236 byte (4986+250) 想定台数: 184 台	287 byte (37+250)	273 byte (23+250)	287 byte (37+250)
周期型 / 非周期型	周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	100ms	不定		
1 パケット 当たり PAR	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)
無線区間 許容遅延	規定しない	100 ms を想定	100 ms を想定	100 ms を想定

表 2-5 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：a. 合流・車線変更支援 [3 / 4]）

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	
No.	a-1-4		a-2	
メッセージ名	調定要求 更新要求	調定応答 更新応答	調定要求 更新要求	調定応答 更新応答
通信形態	V2V	V2V	V2V	V2V
通信相手	非特定車両(調定要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)	非特定車両(調定要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)
対象エリア (最小範囲)	調定要求範囲内	調定要求範囲内	車線変更要求範囲内	車線変更要求範囲内
エリアあたり 送信台数	一時停止時:1 台 合流開始時:1 台	一時停止時: 27 台 合流開始時: 36 台	73 台	48 台
必要通信距離	255 m	255 m	調定要求: 255 m 更新要求: 38.9 m	調定応答: 255 m 更新応答: 38.9 m
最大相対速度	20~70 km/h	20~70 km/h	調定要求: 0~120 km/h 更新要求: 0~20 km/h	調定応答: 0~120 km/h 更新応答: 0~20 km/h
最大データ サイズ	291 byte (41+250)	287 byte (37+250)	291 byte (41+250)	287 byte (37+250)
周期型 / 非周期型	非周期型	非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	不定	不定	不定	不定
1 パケット 当たり PAR	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)
無線区間 許容遅延	100 ms を想定	100 ms を想定	100 ms を想定	100 ms を想定

表 2-6 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：a. 合流・車線変更支援 [4 / 4]）

機能分類	a.合流・車線変更支援	
ユースケース	渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	
No.	a-3	
メッセージ名	調定要求 更新要求	調定応答 更新応答
通信形態	V2V	V2V
通信相手	非特定車両(調定要求) 特定車両(更新要求)	特定車両 (要求車)
対象エリア (最小範囲)	交差点要求範囲内	交差点要求範囲内
エリアあたり 送信台数	2 台	68 台
必要通信距離	111.1 m	111.1 m
最大相対速度	0～60 km/h	0～60 km/h
最大データ サイズ	291 byte (41+250)	287 byte (37+250)
周期型 / 非周期型	非周期型	非周期型
送信周期	不定	不定
1 パケット 当たり PAR	PAR≥99%（仮）	PAR≥99%（仮）
無線区間 許容遅延	100 ms を想定	100 ms を想定

表 2-7 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：b.信号情報）

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（V2I）
No.	b-1-1
メッセージ名	—
通信形態	V2I
通信相手	非特定車両
対象エリア (最小範囲)	206.3 m(仮)
エリアあたり 送信台数	路側機設置モデル(https://www.soumu.go.jp/main_content/000455914.pdf 4.2 章)参照
必要通信距離	大型車：約 206.3 m(仮)
最大相対速度	70 km/h
最大データ サイズ	1Kbyte/交差点程度
周期型 / 非周期型	周期型
送信周期	100 ms
1 パケット 当たり PAR	5m 評価区間で 99%以上 (700MHz 帯システムと同様)
無線区間 許容遅延	遅延は規定せず。ゆらぎは、±300 ms 以内 (https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/205.pdf)

表 2-8 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：c. 先読み情報：衝突回避）

機能分類	c. 先読み情報：衝突回避			
ユースケース	前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	交差点の情報による走行支援	交差点の情報による走行支援	ハザード情報による衝突回避支援/前方での急停止、急減速時の衝突回避支援
No.	c-1	c-2-1	c-2-2	c-3
メッセージ名	—	—	—	—
通信形態	V2V	V2V	V2I (I => V)	V2V
通信相手	c-3 参照	非特定車両	非特定車両	
対象エリア (最小範囲)	c-3 参照	(右折車両が配信情報が必要とする通信エリア) -上流側：右折車両の停止線から 30m 上流地点より上流 -下流側：右折先終地点 (右折車両が情報が必要とする対向車両の範囲) -上流側：交差点内の右折待ちポイントから安全な加速度で右折を開始し、対向車線を横断可能な時間分、交差点から上流の位置。 -下流側：右折車から対向直進車両を見たときの見通し外（死角）となる位置。当該位置が、対向直進車両が走行する車線の停止線より上流側にくる場合には、停止線位置とする	(右折車両が配信情報が必要とする通信エリア) c-2-1 参照	・車車間直接通信：事象発生地点から上流 250m ・リレーの場合：事象発生地点から上流 1km
エリアあたり送信台数	c-3 参照	片側 6 車線：348 台 片側 3 車線：125 台	N/A	(車両速度:120km/h, 車間距離: 2s) 79 台 (車両速度:60km/h, 車間距離: 1s) 277 台 (緊急行動実施地点から 1km 区間における 6 車線の総台数)
必要通信距離	c-3 参照	片側 6 車線：190 m 片側 3 車線：135 m	片側 6 車線：75.2 m 片側 3 車線：52.4 m	・車車間直接通信：事象発生地点から上流 250m ・リレーの場合：事象発生地点から上流 1km
最大相対速度	c-3 参照	~70 km/h	~70 km/h	~120 km/h
最大データサイズ	c-3 参照	282 byte (32+250)	片側 6 車線： 1534 byte(1284+250) 片側 3 車線： 1150 byte(900+250))	312 byte (62+250)
周期型 / 非周期型	c-3 参照	周期型	周期型	周期型
送信周期	c-3 参照	100 ms	100 ms	100 ms
1 パケットあたり PAR	c-3 参照	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)	PAR ≥ 99% (仮)
無線区間許容遅延	c-3 参照	100 ms を想定	100 ms を想定	・緊急回避行動発生場所から上流 255m まで：100 ms 以内 ・上記より上流地点：上流 1 km までは距離に応じて 30 s まで緩和

表 2-9 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：d. 先読み情報：走行計画変更）

機能分類	d. 先読み情報：走行計画変更				
ユースケース	異常車両の通知による走行支援	逆走車の通知による走行支援	渋滞の情報による走行支援	分岐・出口渋滞支援	ハザード情報による走行支援
No.	d-1	d-2	d-3	d-4	d-5
メッセージ名	—	—	—	—	—
通信形態	V2I	V2I	V2I	V2I	V2I
通信相手	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両	ハザード情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両
対象エリア（最小範囲）	最小 66.6 m～	最小 66.6 m～	最小 66.6 m～	最小 66.6 m～	最小 66.6 m～
エリアあたり送信台数	Uplink： 異常車両台数（通常 1 台） Downlink： ブロードキャスト	Uplink： 異常車両台数（通常 1 台） Downlink： ブロードキャスト	Uplink： 異常車両台数（通常 1 台） Downlink： ブロードキャスト	Uplink： 異常車両台数（通常 1 台） Downlink： ブロードキャスト	Downlink： ブロードキャスト
必要通信距離	最小 66.6 m～	最小 66.6 m～	最小 66.6 m～	最小 66.6 m～	最小 66.6 m～
最大相対速度	20 km/h ～120 km/h	20 km/h ～120 km/h	20 km/h ～120 km/h	20 km/h ～120 km/h	20 km/h ～120 km/h
最大データサイズ	715Byte (465+250)	715Byte (465+250)	715Byte (465+250)	715Byte (465+250)	715Byte (465+250)
周期型 / 非周期型	周期型	周期型	周期型	周期的	周期的
送信周期	最小 1 秒	最小 1 秒	最小 1 秒	最小 1 秒	最小 1 秒
1 パケットあたり PAR	PAR≥99% （仮）	PAR≥99% （仮）	PAR≥99% （仮）	PAR≥99% （仮）	PAR≥99% （仮）
無線区間許容遅延	規定しない※	規定しない※	規定しない※	規定しない※	規定しない※

※対応可否判定のため、送信周期から無線区間許容遅延を 1 秒と想定する。

表 2-10 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：e.先読み情報：緊急車両回避）

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	緊急車両情報が有効に活用できるエリアに存在する非特定の車両
対象エリア（最小範囲）	150 m の半円
エリアあたり送信台数	ブロードキャスト
必要通信距離	最小 150 m
最大相対速度	20 km/h～120 km/h
最大データサイズ	290 byte(40+250)
周期型 / 非周期型	周期的
送信周期	100 ms
1 パケットあたり PAR	PAR≥99%（仮）
無線区間許容遅延	100 ms 以下

表 2-11 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：f.インフラによる情報収集・配信）

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	非特定車両
対象エリア (最小範囲)	半径 151 m の円
エリアあたり 送信台数	389 台(最大ケース)
必要通信距離	最小 33.3 m ＊時速 120 km で走行時の 1 秒間での移動距離
最大相対速度	20 km/h~120 km/h
最大データ サイズ	Uplink : 279 Byte(29+250) Downlink : 規定しない
周期型 / 非周期型	周期型
送信周期	V2I : 最小 1 秒
1 パケット 当たり PAR	V2I : PAR≧99% (仮)
無線区間 許容遅延	規定しない※

※対応可否判定のため、送信周期から無線区間許容遅延を 1 秒と想定する。

表 2-12 無線方式検討 TG 提示の通信要件一覧（中分類：g.隊列・追従走行）

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

3. 机上検討

3.1. 検討方法

机上検討は、次の観点で実施を行う。

- ・ リンクバジェットの観点で、通信距離要件を達成できるか。

シミュレーションを実施する前に、リンクバジェットを机上計算し、必要通信距離における受信電力が **PAR 99%**における最低受信感度に対して不足していないかを確認する。リンクバジェットとは、送信端と受信端の間の経路に存在する利得要因と損失要因を全て加味して、リンク全体の伝搬損失を計算するものである。

- ・ データサイズの観点で、遅延要件を達成できるか。

ARIB STD-T109 [2]では、100 ms 中に送信可能な時間は、路側機では 10.5 ms、車載機は 0.33 ms 以下と規定されており、本規定に対して無線方式検討 TG 提示のアプリケーションデータサイズおよび無線区間許容遅延の要件を達成できるか確認する。

また、4 章で示すシミュレーション実施に当たり、次の 2 点についても机上検討で確認する。

- ・ 既存サービスと SIP ユースケース両方が成立する無線送信スロット（以下、スロット）割当が可能か。

路側機のスロットは、図 3-1 に示す通り 100 ms 中に 16 スロット存在する。この中から各路側機同士の干渉が発生しないよう適切なスロットを割り当てる必要がある。2016 年に実施された「700MHz 帯高度道路交通システムの高度化に向けた検討」[1]（以下、既存モデルシミュレーション）におけるスロット割当をベースに、SIP ユースケースの路側機スロット割当を検討する。

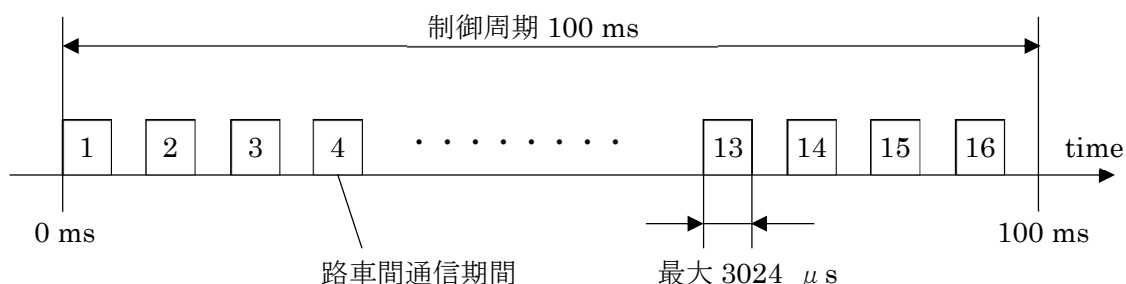


図 3-1 路車間通信期間の配置

- ・ 路側機／車載機の送信メッセージのメッセージフォーマット

既存サービスと SIP ユースケースとの共存シミュレーションを行うにあたり路側機および車載機の送信メッセージを決める必要があるため、メッセージセットについて検討を行う。メッセージセット検討にあたり、SIP ユースケースの路側機送信メッセージが、現在サービスされている 700MHz 帯 ITS 路車間通信サービス規格で対応可能か、SIP ユースケースの車載機メッセージが 700MHz 帯 ITS 車車間通信サービス規格で対応可能かをそれぞれ

確認する。さらに、既存サービスと複数の SIP ユースケースが同時にサービスされたときに同規格で対応可能かの検討を行う。

以上を整理したものを表 3-1 にまとめる。

表 3-1 机上検討の評価内容

	観点	評価項目名
1	リンクバジェットの観点で、通信距離要件を達成できるか	通信エリア・通信品質評価
2	データサイズの観点で、遅延要件を達成できるか	送信時間の制約評価（送信パケット長）
3	既存サービスと SIP ユースケース両方が成立するスロット割当可能か	路側機設置制約評価（スロット割当）
4	路側機／車載機の送信メッセージのメッセージフォーマット	メッセージセット

机上検討において、判定が必要となる次の 3 つの評価について、判定基準を表 3-2 に示す。

- ・ 通信エリア・通信品質評価
- ・ 送信時間の制約評価（送信パケット長）
- ・ 路側機設置制約評価（スロット割当）

表 3-2 机上検討の判定基準

	評価項目	評価方法	判定基準
1	通信エリア・通信品質	通信エリア端での通信品質を確認（干渉がない前提）	通信エリア端での所望波受信電力 $\geq$ 受信成功率 99%となる受信電力
2	送信時間の制約評価（送信パケット長）	メッセージの伝達に必要な送信データサイズおよび送信台数をもとに無線使用時間を確認	メッセージの伝達に必要な無線使用時間 $\leq$ ARIB STD-T109 におけるスロット使用可能時間（路側機: 10.5 ms, 車載機: 0.33 ms）
3	路側機 設置制約評価（スロット割当）	路側機間の離隔距離を確認	通信エリア端での DU 比※1 $\geq$ DU 比閾値※2 となる離隔距離

※1 所望波と非所望波の受信電力比率（以下、DU 比）

※2 DU 比閾値は、表 3-3 の所要 DU 比を参照

3.1.1. 通信エリア・通信品質評価

通信エリア・通信品質の評価は、以下の式より各ユースケースのサービスエリア端の受信電力を求め、この値が受信可否判定閾値以上かどうかにより対応可否を判定する。なお、受信可否判定閾値は、無線方式検討 TG 提示の通信要件で示されているパケット到達率 99%となる受信電力を指す。評価イメージを図 3-2 に示す。

$$\text{受信電力} = \text{送信電力}(\text{※1}) - (\text{伝搬ロス} + \text{フェージング損失} + \text{シャドウイング損失})$$

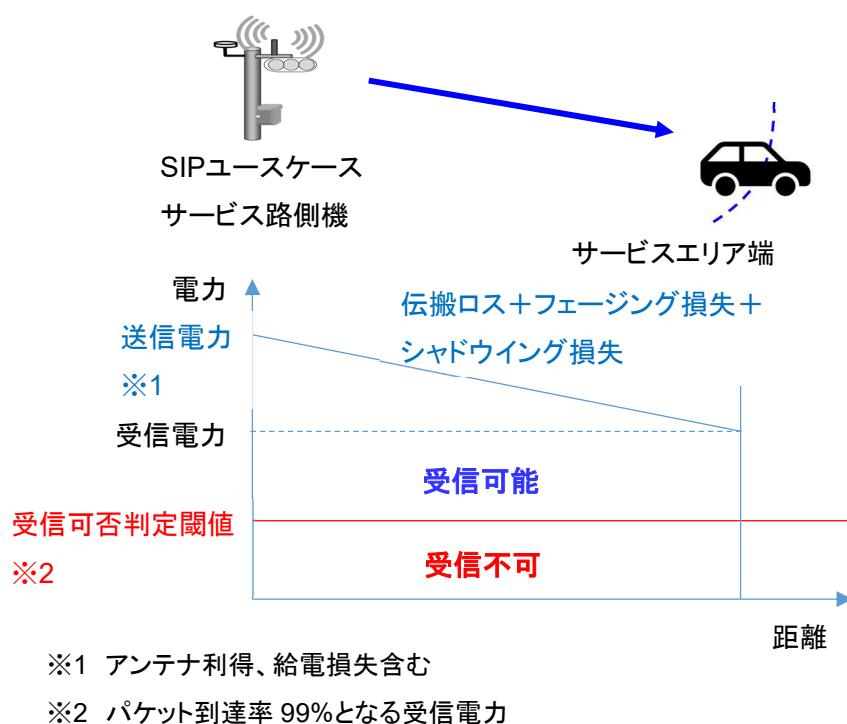


図 3-2 通信エリア・通信品質の評価イメージ

伝搬ロスは、既存モデルシミュレーション [1]で採用された“700MHzITS 路車・路路モデル”、および“伊藤・多賀モデル”を用いて計算する。その他のパラメータについても、過去実測で得られた実績のある既存モデルシミュレーションの条件を流用することとした（表 3-3 参照）。

受信可否判定閾値は、無線方式検討 TG から提示された通信要件で規定されている 1 パケット当たりの PAR をもとに算出した最低受信感度とした。IEEE 802.11 関連文書である文献 [6]に記載の受信感度を参考にしたが、PAR 90%相当の値が規定されていることから、文献 [7]の SNR・PER カーブ(図 3-3)より 90%から 99%へ PAR を向上させるために必要な電力比を求め、表 3-4 のとおり換算した値である、16QAM1/2 で-75.9 dBm、QPSK1/2 で-81 dBm とした。

表 3-3 机上検討用パラメータ

	路側機	車載機
周波数	760 MHz	
送信電力	19.2 dBm	
変調方式	16QAM1/2	QPSK1/2
データ量	別途定める条件による	
送信周期	路車間：100 ms、路路間：200 ms	100 ms
アンテナ高	一般道：6 m	一般道：1.5 m
アンテナ利得	0 dBi	0 dBi
給電損失	0 dB	3 dB
受信可否判定閾値	-75.9 dBm(16QAM1/2)、-81 dBm(QPSK1/2)	
所要 DU 比	14 dB(16QAM1/2)、9 dB(QPSK1/2)	
伝搬損失モデル	700MHzITS 路車・路路モデル	伊藤・多賀モデル
フェージング	路車間：4.4 dB	車車間：6.4 dB
シャドウイング	N/A	4.0 dB

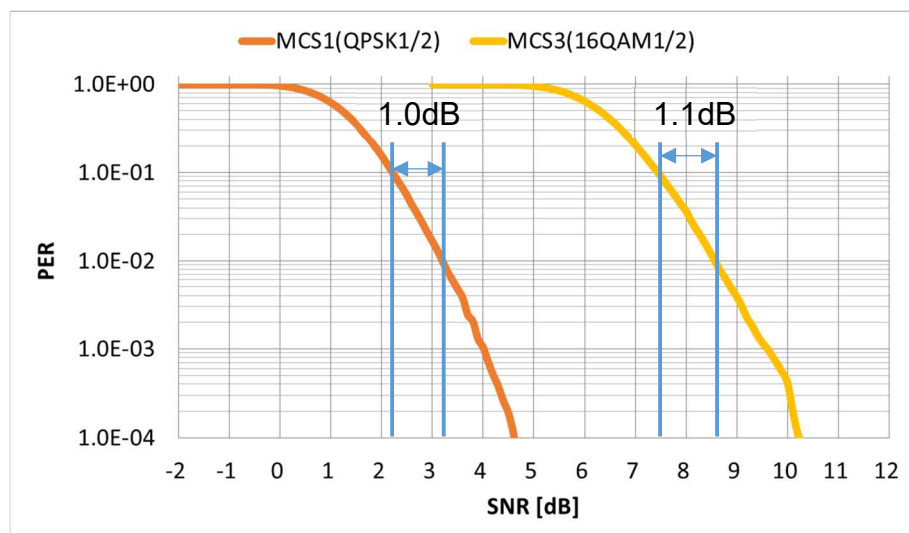


図 3-3 SNR-PER カーブ（参考文献 [7]より）

表 3-4 机上検討で使用する受信可否判定閾値（変調方式毎の受信感度）

	16QAM1/2	QPSK1/2	備考
受信感度(@PER10%)	-77 dBm	-82 dBm	パケット到達率(PAR)90%相当※1
	↓ 1.1 dB	↓ 1.0 dB	PER10% ⇒ PER1%換算※2
受信感度(@PER1%)	-75.9 dBm	-81 dBm	パケット到達率(PAR)99%相当

※1 参考文献 [6]の” Receiver performance requirements” より

※2 図 3-3 SNR-PER カーブより

3.1.2. 送信時間の制約評価（送信パケット長）

送信時間の制約評価は、送信パケット長が無線方式検討 TG 提示の無線区間許容遅延内に送信できるサイズかどうかを確認する。

ARIB STD-T109 では、100 ms 中に送信可能な時間が決まっており、路側機、車載機でそれぞれ以下が規定されている。

＜ARIB STD-T109 規格における送信時間の制約＞

- ・路側機：100 ms 当たり 10.5 ms 以内
- ・車載機：100 ms 当たり 0.33 ms 以内

アプリケーションデータサイズおよびオーバーヘッド（セキュリティ含む）を加味した送信データサイズより送信パケット長を求め、送信時間を算出する。ここで、送信対象の車両台数が複数台の場合、送信時間に車両台数 N を乗算したものが、全体の送信時間となる。算出した送信時間が、上記送信時間の制約時間内に収まるかどうかを確認する。算出した送信時間が通信要件の無線区間許容遅延に収まるかどうかで対応可否を判断する。なお、通信要件に記載されているデータサイズには一律 250 byte のオーバーヘッドが含まれているが、車載機については ARIB STD-T109 で規定されている送信可能時間を超えるため、今回の評価では既に ITS Connect にてサービスされているセキュリティおよび ARIB STD-T109 規格のオーバーヘッドを用いた（表 3-5 参照）。

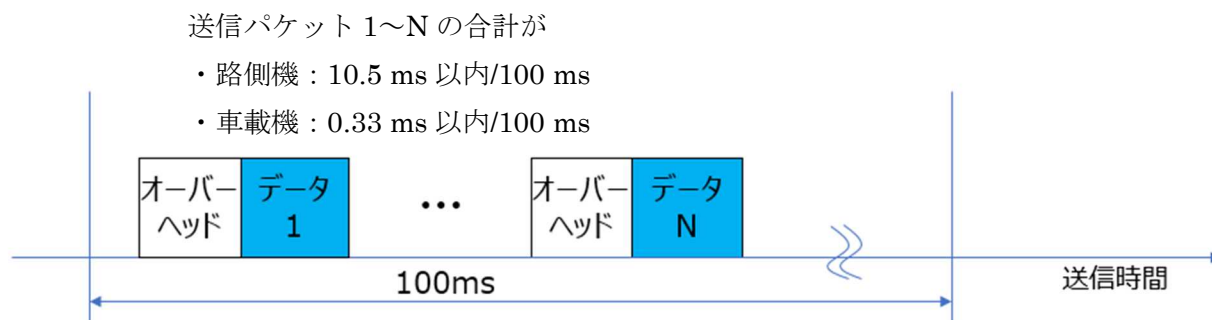


図 3-4 送信パケットのイメージ

送信時間の具体的な計算手順について以下に記載する。

- ① アプリケーションデータサイズにオーバーヘッドを加え、PLCP(Physical Layer Convergence Protocol)データサイズ（レイヤ 1 総メッセージ長）を求める。
PLCP データ＝アプリケーションデータサイズ＋オーバーヘッド（表 3-5 の(a)+(b)+(c)）
- ② 表 3-7 より PLCP データサイズから OFDM シンボル数を求める。
なお、PLCP ヘッダの RATE～Tail（24 bit＝SIGNAL 部）は、BPSK1/2、SERVICE 以降は各変調方式に従う

- ③ ARIB STD-T109 [2] (IEEE802.11-2007 [6]) より 1OFDM シンボル= $8\mu\text{s}$ に基づいて送信時間を求め、最後に PLCP プリアンブル ($32\mu\text{s}$) 分を加算する。

表 3-5 送信データサイズの計算

		路側機	車載機							
(a)	セキュリティヘッダのサイズ [byte]	先頭パケット：273+28×N 後続パケット：56×(N-1) (N は 100 ms 中の送信パケット数)	27							
(b)	MAC～EL ヘッダのサイズ[byte] ※詳細は表 3-6 参照	65	61							
(c)	PLCP ヘッダ、Tail、Pad Bits の サイズ	PLCP Header								
		RATE 4bits	Reserved 1bit	LENGTH 12bits	Parity 1bit	Tail 6bits	SERVICE 16bits	PSDU	Tail 6bits	Pad Bits
		SIGNAL 部(BPSK1/2)								

表 3-6 MAC~EL ヘッダのサイズ [byte]

	路側機	車載機
EL ヘッダ	5	1
L7 ヘッダ	2	2
IVC-RVC ヘッダ	22	22
LLC ヘッダ	8	8
MAC ヘッダ	24	24
FCS	4	4
合計	65	61

表 3-7 OFDM シンボル当たりのデータビット数

	OFDM シンボル当たりの Data bit 数
BPSK1/2	24
QPSK1/2	48
16QAM1/2	96

3.1.3. 路側機設置制約評価（スロット割当）

路側機設置制約評価（スロット割当）では、高速道路の SIP ユースケース（a-1-1, a-1-2, a-1-3, d-1～d-5）と既存サービスが共存可能な路側機設置条件を求める。なお、一般道路の SIP ユースケースは、700MHz 帯 ITS 路車間通信サービスを拡張することで、1つの路側機で両方のサービスを提供することを前提とする。

- ・ 共存可能となる路側機設置条件の考え方
- ・ 同一スロットタイミングで送信する路側機同士で、それぞれの通信エリア端での DU 比が所要 DU 比以上となる離隔距離が確保できること（図 3-5）。
- ・ 既存サービス路側機のスロット割当は、既存モデルシミュレーション [1]の割当ルールを踏襲する。同一スロットで送信する路側機同士の離隔距離は、図 3-6 の通りとする。

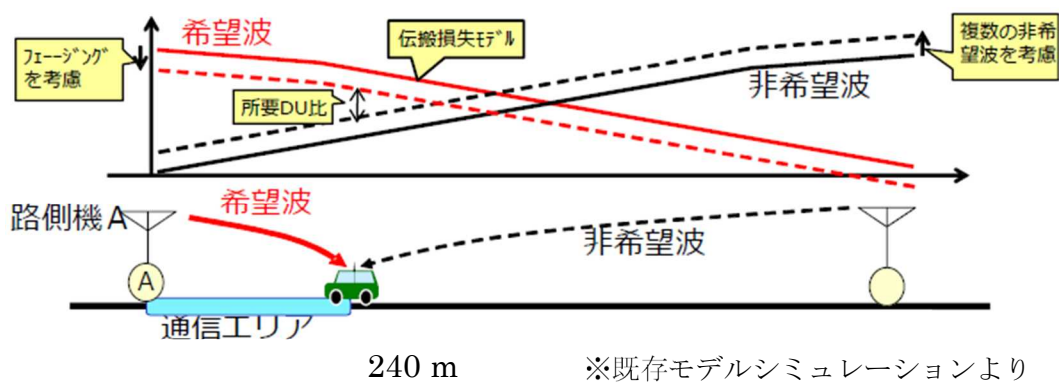
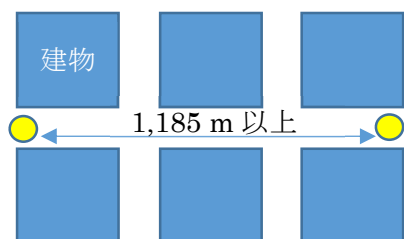


図 3-5 路側機同士の離隔イメージ

■ 同一スロット同士の路側機の離隔距離（300 m 面配置の場合）

● 見通し内

1,185 m 以上



● : 路側機

● 見通し外

見通し 300 (600) m + 見通し外 600 (300) m 以上

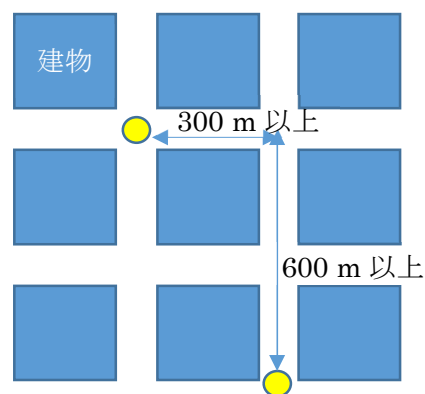


図 3-6 見通し内、見通し外の離隔距離

- ・ 共存可否の検討条件

共存可否の検討条件は下記のとおりとする。

(1) 一般道路側機の配置

一般道路側機の配置は既存モデルシミュレーションの中で最も設置密度が高い 300 m 面配置（図 3-7）とする。

(2) 路側機スロット分類

図 3-8 に記載の既存モデルシミュレーションのスロット分類をベースとするが、“①重要交差点の路車間通信で使用”と“②一般交差点の路車間通信で使用”の制約は外し、重要交差点の路側機と一般交差点の路側機は、スロット 1～12 で混在させた状態で検討する。

(3) SIP ユースケース（高速道）路側機の路側機配置

前述の(1)の 300 m 面配置上に、高速道路（本線、合流部）および SIP ユースケース（高速道）路側機を配置する（図 3-9）（以降、本モデルを SIP-UC 検討モデルと呼ぶ）。

(4) 高速道路⇄一般道路間の伝搬損失モデル

ITU-R P.1411 を採用する。

(5) SIP ユースケース（高速道）のデータサイズ

スロット占有時間の最も長い a-1-3 のデータサイズである 4,986 byte を使用する（表 3-8）。

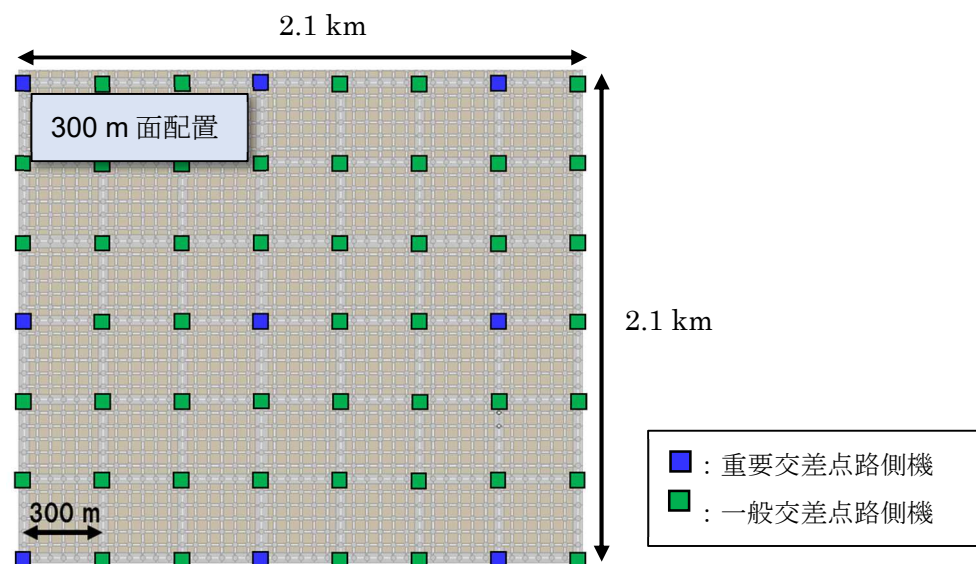


図 3-7 既存モデルの 300 m 面配置

①と②の制約を外し、混在させた状態で検討する

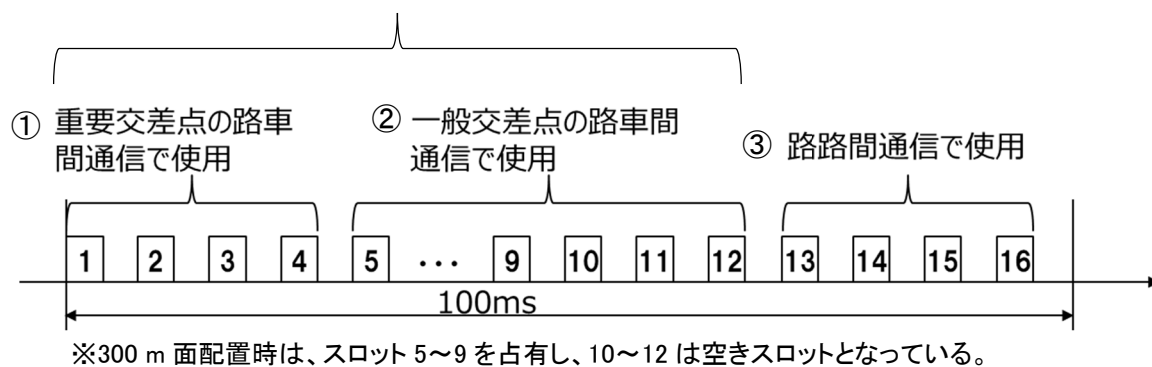


図 3-8 スロットの分類

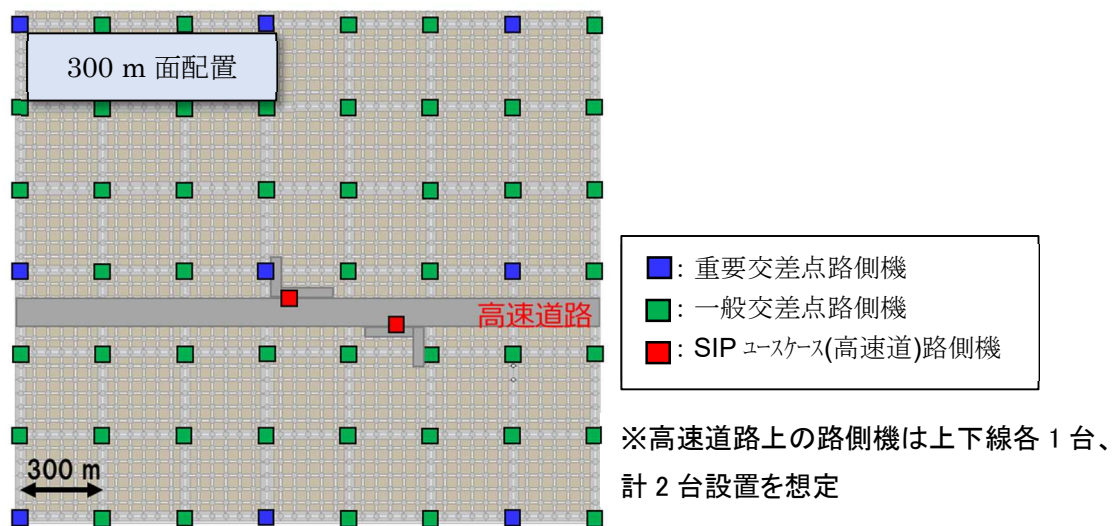


図 3-9 300 m 面配置上に高速道路と路側機配置 (SIP-UC 検討モデル)

表 3-8 SIP ユースケース（高速道）一覧

	ユース ケース 番号	ユースケース名	データサイズ [byte]	占有時間 [μs]
SIP ユース ケース （高速 道）	a-1-1	予備加減速合流支援	1,260	1,272
	a-1-2	本線隙間狙い合流支援	2,502	2,320
	a-1-3	路側管制による本線車両協調合流支援	4,986	4,640※
	d-1	異常車両の通知による走行支援	445	584
	d-2	逆走車の通知による走行支援	445	584
	d-3	渋滞の情報による走行支援	445	584
	d-4	分岐・出口渋滞支援	445	584
	d-5	ハザード情報による走行支援	445	584

※路側機 1 台当たり 2 スロット必要

3.1.4. メッセージセット

本研究開発では、路側機および車載機から送信されるメッセージについては、既存の安全運転支援サービス（ITS Connect サービス）で用いられているメッセージセット（既存メッセージセットと呼ぶ）をベースとして活用する方針とする。ここでは、SIP ユースケースを実現するため、既存メッセージセットに対して SIP ユースケースで必要となるメッセージについて整理を行い、新たに SIP ユースケースメッセージセットを定義する。

なお、意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3,a-1-4,a-2,a-3 については、既存のブロードキャストメッセージとは種類が異なるため、分けて検討することとする。

● SIP ユースケース路側機送信メッセージセット

意思疎通が必要な a-1-3（調定要求／更新要求メッセージ）以外のメッセージについて、路側機送信メッセージセットを検討する。一般道路用路側機のメッセージについては、700MHz 帯 ITS 路車間通信サービスに包含もしくは拡張で対応可能か検討する。対応できない場合、SIP ユースケースの路側機送信メッセージセットを検討する（図 3-10 参照）。

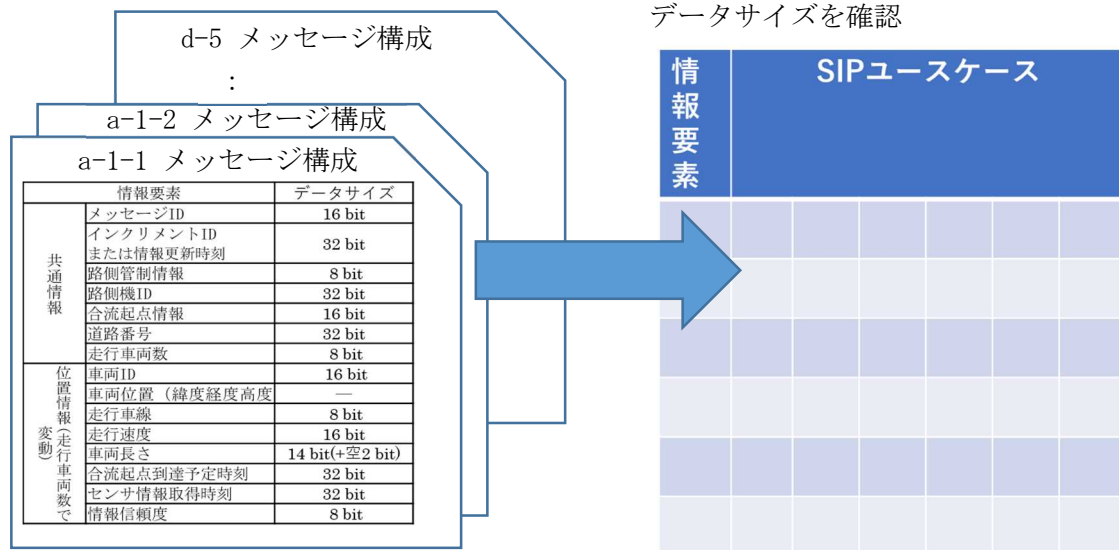


図 3-10 路側機送信メッセージセットの検討方法

● SIP ユースケース車載機送信メッセージセット

意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3,a-1-4,a-2,a-3 以外のユースケースの車載機送信メッセージについて、現在 700MHz 帯 ITS でサービスされている車車間メッセージ規格である ITS Connect TD-001 で対応可能かを確認する。さらに、各ユースケースをまとめてメッセージセットとして実現できるかを検討する。

基本メッセージの構成				
領域	データ構造	格納する DF	サイズ (byte)	備考
共通領域	共通アプリヘッダ領域	DF_共通領域管理情報	8	格納は必須。
		DF_時刻情報	4	格納は必須。正しい値をセット出来ない場合は不定値をセットする。
		DF_位置情報	11	
		DF_車両状態情報	9	
		DF_車両属性情報	4	
	共通アプリデータ領域	DF_位置オプション情報 (*)	2	格納は任意。格納順序は変更不可。
		DF_GNSS 状態オプション情報 (*)	4	
		DF_位置取得オプション情報 (*)	2	
		DF_車両状態オプション情報 (*)	7	
		DF_交差点情報 (*)	10	
		DF_拡張情報 (*)	1	
自由領域	自由アプリヘッダ領域	DF_自由領域管理情報	0~1	格納は任意。サイズは個別アプリデータ数により変化。
		DF_個別アプリデータ管理情報セット	0~21	
	自由アプリデータ領域	(規定しない)	0~60	格納は任意。格納順序は DF_個別アプリデータ管理情報セットの格納順に従う。
			計 36~100	(*) : オプション情報

SIP ユースケースのうち車載機送信メッセージが ITS Connect TD-001 の共通アプリデータ領域に該当するか、該当しない場合は自由アプリデータ領域に入るかを確認する。

図 3-11 車載機送信メッセージセットの検討方法 (ITS Connect TD-001 [8]より抜粋)

3.2. 条件

・ 道路条件

机上検討で使用するための道路条件について記載する。SIP ユースケースは、一般道路と高速道路のユースケースが存在する。一般道路は、既存モデルシミュレーション [1]で採用された道路条件と同等とし、図 3-7、図 3-12 に示すような構造とする。高速道路は、図 3-9 に示した通り、一般道路の上に高架の高速道本線および連絡路を配置した。その道路条件については、道路構造令 [9] (図 3-13) を参照し、表 3-9 および図 3-14 に示す通りとする。

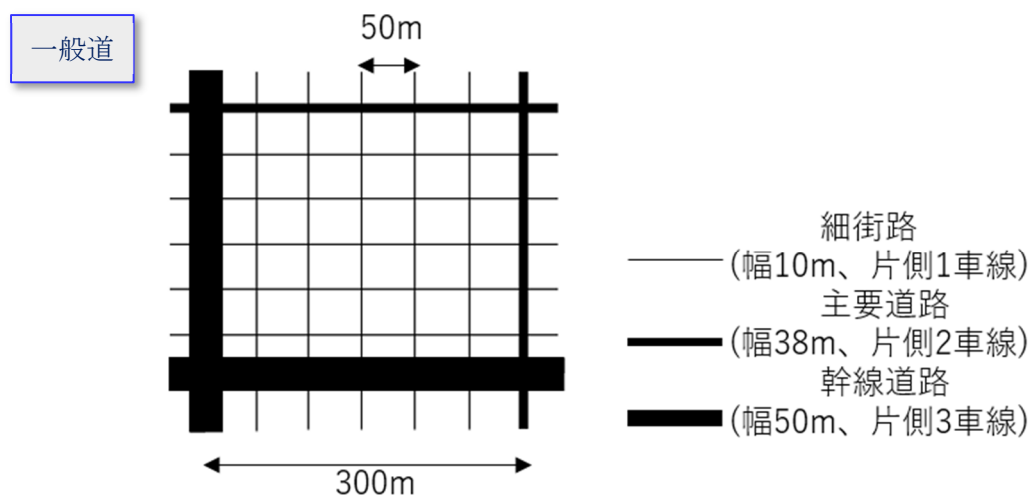


図 3-12 一般道路の構成 (既存モデルシミュレーション [1]より)

道路の区分

道路の存する地域	地方部	都市部
高速自動車国道及び自動車専用道路又はその他の道路の別		
高速自動車国道及び自動車専用道路	第一種	第二種
その他の道路	第三種	第四種

第二種の道路

道路の存する地域	大都市の都心部以外の地区	大都市の都心部
道路の種類		
高速自動車国道	第一級	
高速自動車国道以外の道路	第一級	第二級

中央帯幅

区分	中央帯の幅員 (単位 メートル)
第二種 第一級	二・二五
第二種 第二級	一・七五

道路幅

区分	車線の幅員 (単位 メートル)
第二種 第一級	普通道路 三・五
	小型道路 三・二五

路肩幅

区分	車道の左側に設ける路肩の幅員 (単位 メートル)
第二種	普通道路 一・二五

図 3-13 道路構造令より引用した道路構造

表 3-9 高速道本線および連絡路の車線数と道路幅

	車線数	道路幅	備考
高速道本線	片側 3 車線	25.75 m	車線幅 3.5 m×3 車線×2 方向＋中央分離帯 2.25 m＋路肩 1.25×2 方向で計算
連絡路	片側 1 車線	4.75 m	車線幅 3.5 m×1 車線＋路肩 1.25 で計算

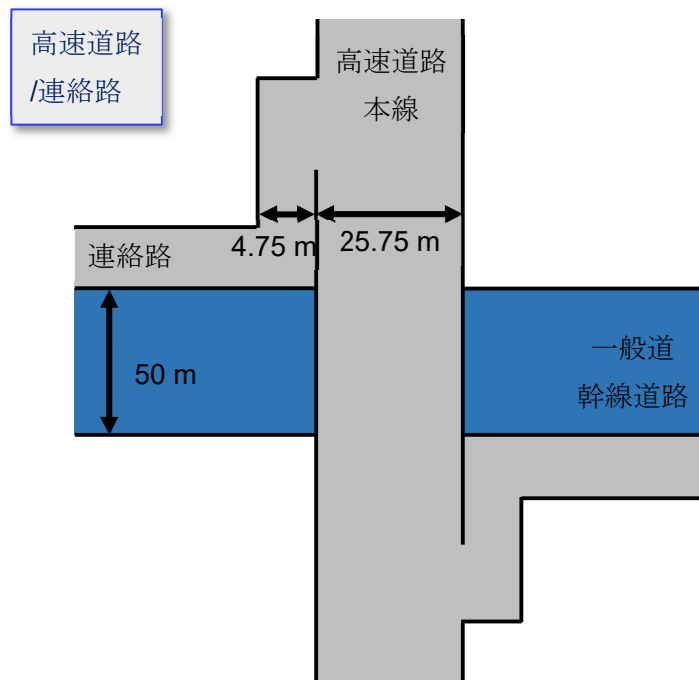


図 3-14 高速道本線および連絡路の構成

・ 高速道連絡路の構成

高速道連絡路の構成は最悪条件を想定し、図 3-15 に示すような構成とした。基本的な構造はカーブ形状を想定し、これを見通し内と見通し外に分けた直角構造にモデル化した。見通し内となる距離はカーブの曲線半径から計算した。

SIP ユースケースの速度要件から 60 km/h を設計速度とし、道路構造令より曲率半径を 110 m とした。このとき、見通し内となる距離は 47.29 m であり、これをモデル化した図 3-15 の右下に示す構成とした。

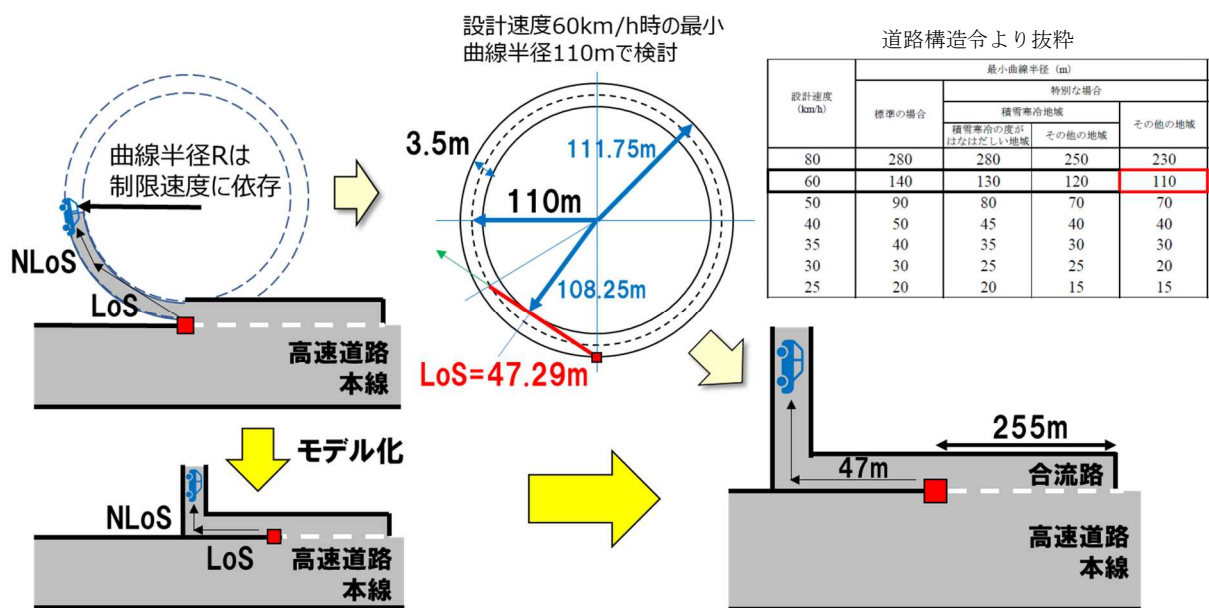


図 3-15 高速道路連絡路の構成

3.3. 結果

3.3.1. 通信エリア・通信品質評価

各ユースケースを以下の4つに分類して結果を報告する。

- ・ 路車間通信関連 : a-1-1, a-1-2, b-1-1, c-2-2, d-1～d-5
- ・ 車車間通信関連 : c-1, c-3, c-2-1, e-1, g-1, g-2
- ・ 車路間通信関連 : d-1～d-4, f-2
- ・ 意思疎通が必要な SIP ユースケース関連 : a-1-3, a-1-4, a-2, a-3

● 路車間通信関連

路車間通信関連の通信エリア・通信品質評価結果を表 3-10 に示す。結果、無線方式検討 TG 提示の通信要件達成となった。

表 3-10 路車間通信関連の通信エリア・通信品質評価結果

	ユースケース名	a-1-1, a-1-2	b-1-1	c-2-2	d-1, d-2, d-3, d-4, d-5	備考
	通信形態	V2I (I→V)	V2I (I→V)	V2I (I→V)	V2I (I→V)	
A	送信電力	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	
B	アンテナ利得	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	
C	給電損失	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	
D	無線区間距離	116.7 m (47+69.7 m)	206.3 m	75.2 m	66.6 m	必要通信距離
E	無線区間伝搬損失	85.3 dB	80.3 dB	66.3 dB	65.2 dB	700MHzITS 路車・路路モデル
F	フェージング損失	4.4 dB	4.4 dB	4.4 dB	4.4 dB	
G	シャドウイング損失	N/A	N/A	N/A	N/A	700MHzITS 路車・路路モデルに含まれる
H	受信電力 =A+(B-C)-(E+F+G)	-70.5 dBm	-65.5 dBm	-51.5 dBm	-50.4 dBm	
I	受信可否判定閾値	-75.9 dBm	-75.9 dBm	-75.9 dBm	-75.9 dBm	16QAM1/2
J	回線マージン =H-I	5.4 dB	10.4 dB	24.4 dB	25.5 dB	
	判定 J≥0dB	要件達成	要件達成	要件達成	要件達成	

● 車車間通信関連

車車間通信関連の通信エリア・通信品質評価結果を表 3-11 に示す。結果、無線方式検討 TG 提示の通信要件達成となった。

表 3-11 車車間通信関連の通信エリア・通信品質評価結果

	ユースケース名	c-1, c-3	c-2-1	e-1	g-1	g-2	備考
	通信形態	V2V	V2V	V2V	V2V	V2V	
A	送信電力	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	
B	アンテナ利得	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	
C	給電損失	3 dB	3 dB	3 dB	3 dB	3 dB	
D	無線区間距離	250 m	190 m	150 m	60 m	141 m	必要通信距離
E	無線区間伝搬損失	83.5 dB	80.8 dB	76.5 dB	65.4 dB	75.7 dB	伊藤・多賀モデル
F	フェージング損失	6.4 dB	6.4 dB	6.4 dB	6.4 dB	6.4 dB	
G	シャドウイング損失	4 dB	4 dB	4 dB	0 dB	0 dB	
H	受信電力 =A+(B-C)-(E+F+G)	-77.7 dBm	-75.0 dBm	-70.7 dBm	-55.6 dBm	-65.9 dBm	
I	受信可否判定閾値	-81 dBm	-81 dBm	-81 dBm	-81 dBm	-81 dBm	QPSK1/2
J	回線マージン =H-I	3.3 dB	6.0 dB	10.3 dB	25.4 dB	15.1 dB	
	判定 J≥0dB	要件達成	要件達成	要件達成	要件達成	要件達成	

● 車路間通信関連

車路間通信関連の通信エリア・通信品質評価結果を表 3-12 に示す。結果、無線方式検討 TG 提示の通信要件達成となった。

表 3-12 車路間通信関連の通信エリア・通信品質評価結果

	ユースケース	d-1, d-2, d-3, d-4	f-2	備考
	通信形態	V2I (V→I)	V2I (V→I)	
A	送信電力	19.2 dBm	19.2 dBm	
B	アンテナ利得	0 dBi	0 dBi	
C	給電損失	3 dB	3 dB	
D	無線区間距離	66.6 m	150 m	必要通信距離
E	無線区間伝搬損失	65.2 dB	75.3 dB	700MHzITS 路車・路路モデル
F	フェージング損失	4.4 dB	4.4 dB	
G	シャドウイング損失	N/A	N/A	700MHzITS 路車・路路モデルに含まれる
H	受信電力 =A+(B-C)-(E+F+G)	-53.4 dBm	-63.5 dBm	
I	受信可否判定閾値	-81 dBm	-81 dBm	QPSK1/2
J	回線マージン =H-I	27.6 dB	17.5 dB	
	判定 J≥0dB	要件達成	要件達成	

● 意思疎通が必要な SIP ユースケース関連

意思疎通が必要な SIP ユースケース関連の通信エリア・通信品質評価結果を表 3-13、表 3-14 に示す。結果、無線方式検討 TG 提示の通信要件達成となった。

表 3-13 a-1-3 の通信エリア・通信品質評価結果

	ユースケース	a-1-3				備考
	通信形態	①V2I (I→V) 位置情報提供(本線)	①V2I (I→V) 位置情報提供(連絡路)	③V2I (I→V) 調定/更新要求(本線)	④V2I (V→I) 調定/更新応答(本線)	
A	送信電力	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	
B	アンテナ利得	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	
C	給電損失	0 dB	0 dB	0 dB	3 dB	
D	無線区間距離	266.7 m	116.7 m (47+69.7 m)	266.7 m	266.7 m	必要通信距離 本線：LoS、連絡路：NLoS
E	無線区間伝搬損失	84.3 dB	82.5 dB	84.3 dB	84.3 dB	700MHzITS 路車・路路モデル
F	フェージング損失	4.4 dB	4.4 dB	4.4 dB	4.4 dB	
G	シャドウイング損失	N/A	N/A	N/A	N/A	700MHzITS 路車・路路モデルに含まれる
H	受信電力 =A+(B-C)-(E+F+G)	-69.5 dBm	-67.7 dBm	-69.5 dBm	-72.5 dBm	
I	受信可否判定閾値 ※1	-75.9 dBm ※1	-75.9 dBm ※1	-75.9 dBm ※1	-81 dBm ※2	※1:路車間メッセージ：16QAM1/2, ※2:車車間メッセージ：QPSK1/2
J	回線マージン =H-I	6.4 dB	8.2 dB	6.4 dB	8.5 dB	
	判定 J≥0dB	要件達成	要件達成	要件達成	要件達成	

表 3-14 a-1-4, a-2, a-3 の通信エリア・通信品質評価結果

	ユースケース	a-1-4, a-2		a-3		備考
	通信形態	①V2V 調定要求/更新要求	②V2V 調定応答/更新応答	①V2V 調定要求/更新要求	②V2V 調定応答/更新応答	
A	送信電力	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	19.2 dBm	
B	アンテナ利得	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	
C	給電損失	3 dB	3 dB	3 dB	3 dB	
D	無線区間距離	255 m	255 m	111.1 m	111.1 m	必要通信距離
E	無線区間伝搬損失	83.7 dB	83.7 dB	83.8 dB	83.8 dB	伊藤・多賀モデル a-3：NLoS
F	フェージング損失	6.4 dB	6.4 dB	6.4 dB	6.4 dB	
G	シャドウイング損失	4 dB	4 dB	4 dB	4 dB	
H	受信電力 =A+(B-C)-(E+F+G)	-77.9 dBm	-77.9 dBm	-78 dBm	-78 dBm	
I	受信可否判定閾値	-81 dBm	-81 dBm	-81 dBm	-81 dBm	QPSK1/2
J	回線マージン =H-I	3.1 dB	3.1 dB	3.0 dB	3.0 dB	
	判定 J≥0dB	要件達成	要件達成	要件達成	要件達成	

3.3.2. 送信時間の制約評価（送信パケット長）

送信時間の制約評価（送信パケット長）の評価結果を下記および表 3-15～表 3-23 に示す。

- ・ a-1-3、a-1-4、a-2、a-3 の「エリアあたり送信台数」が要件未達
- ・ g-1（電子牽引による後続車無人隊列走行）の緊急時 20 ms 送信が要件未達
- ・ その他は要件達成

表 3-15 a-1-1 の送信時間の制約評価（送信パケット長）結果

	ユースケース	a-1-1		備考
	通信形態	V2I (I→V)		
A	アプリケーションデータサイズ	1,260 byte		
B	データ分割	2 分割(1,000+260)		1,000 byte で分割
C	セキュリティヘッダのサイズ	先頭 : 329 byte	後続 : 56 byte	
D	MAC～EL ヘッダのサイズ	65 byte	65 byte	
E	PLCP ヘッダ(SIGNAL 部除く)、Tail、Pad Bits のサイズ	22 bit+ α	22 bit+ α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	24 bit	
G	PLCP データサイズ =A+C+D+E	11,174 bit+ α	3,070 bit+ α	レイヤ 1 の DATA 部総メッセージ長
H	OFDM シンボル当たりの Data	24(BPSK1/2)	24(BPSK1/2)	SIGNAL 部 : BPSK1/2
I	bit 数	96(16QAM1/2)	96(16QAM1/2)	DATA 部 : 16QAM1/2
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	118 OFDMsymbols	33 OFDMsymbols	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μ s]+32[μ s]	1,272 μ s (976 μ s+296 μ s)		1OFDM シンボル=8μ s 32[μ s] : PLCP プリアンブル
L	判定 K≤路:10.5ms,車:0.33ms	要件達成		

表 3-16 a-1-2 の送信時間の制約評価（送信パケット長）結果

	ユースケース	a-1-2			備考
	通信形態	V2I (I→V)			
A	アプリケーションデータサイズ	2,502 byte			
B	データ分割	3 分割(1,000×2+502)			1,000 byte で分割
C	セキュリティヘッダのサイズ	先頭 : 357 byte	後続(2 番 目) : 112 byte	後続(3 番目) : 112 byte	
D	MAC～EL ヘッダのサイズ	65 byte	65 byte	65 byte	
E	PLCP ヘッダ(SIGNAL 部除 く)、Tail、Pad Bits のサイズ	22 bit+ α	22 bit+ α	22 bit+ α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	24 bit	24 bit	
G	PLCP データサイズ =A+C+D+E	11,398 bit+ α	9,438 bit+ α	5,454 bit+ α	レイヤ 1 の DATA 部総 メッセージ長
H	OFDM シンボル当たりの	24	24	24	SIGNAL 部 : BPSK1/2
I	Data bit 数	96	96	96	DATA 部 : 16QAM1/2
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	120	100	58	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μ s]+32[μ s]	2,320 μ s (992 μ s+832 μ s+496 μ s)			10FDM シンボル=8μ s 32[μ s] : PLCP プリアン ブル
L	判定 K≤路:10.5ms,車:0.33ms	要件達成			

表 3-17 a-1-3 の送信時間の制約評価（送信パケット長）結果

	ユースケース	a-1-3			備考
	通信形態	V2I (I→V) 位置情報提供			
A	アプリケーションデータサイズ	4,986 byte			
B	データ分割	5 分割(1,000×4+986)			1,000 byte で分割
C	セキュリティヘッダのサイズ	先頭 : 413 byte	後続(2～4 番 目) : 224 byte	後続(5 番目) : 224 byte	
D	MAC～EL ヘッダのサイズ	65 byte	65 byte	65 byte	
E	PLCP ヘッダ(SIGNAL 部除 く)、Tail、Pad Bits のサイ ズ	22 bit+α	22 bit+α	22 bit+α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	24 bit	24 bit	
G	PLCP データサイズ =A+C+D+E	11,846 bit+α	10,334 bit+α	10,222 bit+α	レイヤ 1 の DATA 部総 メッセージ長
H	OFDM シンボル当たりの	24	24	24	SIGNAL 部 : BPSK1/2
I	Data bit 数	96	96	96	DATA 部 : 16QAM1/2
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	125	109	108	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μs]+32[μs]	2,320 μs (992 μs+832 μs+496 μs)			1OFDM シンボル=8 μs 32[μs] : PLCP プリアン ブル
L	判定 K≤路:10.5ms,車:0.33ms	要件達成			

表 3-18 b-1-1, c-2-2 の送信時間の制約評価（送信パケット長）結果

	ユースケース	b-1-1	c-2-2		備考
	通信形態	V2I (I→ V)	V2I (I→V)		
A	アプリケーションデータサイズ	1,000 byte	1,150 byte		
B	データ分割	なし	2 分割(1,000+150)		
C	セキュリティヘッダのサイズ	301 byte	先頭 : 329 byte	後続 : 56 byte	
D	MAC～EL ヘッダのサイズ	65 byte	65 byte	65 byte	
E	PLCP ヘッダ(SIGNAL 部除 く)、Tail、Pad Bits のサイ ズ	22 bit+α	22 bit+α	22 bit+α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	24 bit	24 bit	
G	PLCP データサイズ =A+C+D+E	10,950 bit +α	11,174 bit +α	2,190 bit +α	レイヤ 1 の DATA 部総メッ セージ長
H	OFDM シンボル当たりの Data	24	24	24	SIGNAL 部 : BPSK1/2
I	bit 数	96	96	96	DATA 部 : 16QAM1/2
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	116	118	24	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μs]+32[μs]	960 μs	1,200 μs (976 μs +224 μs)		1OFDM シンボル=8 μs 32[μs] : PLCP プリアンブル
L	判定 K≤路:10.5ms,車:0.33ms	要件達成	要件達成		

表 3-19 d-1～d-5 の送信時間の制約評価（送信パケット長）結果

	ユースケース	d-1～d-5	備考
	通信形態	V2I (I→V)	
A	アプリケーションデータサイズ	445 byte	
B	データ分割	なし	
C	セキュリティヘッダのサイズ	301 byte	
D	MAC～EL ヘッダのサイズ	65 byte	
E	PLCP ヘッダ(SIGNAL 部除く)、Tail、Pad Bits のサイズ	22 bit+ α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	
G	PLCP データサイズ =A+C+D+E	6,510 bit+ α	レイヤ 1 の DATA 部総メッセージ長
H	OFDM シンボル当たりの Data	24(BPSK1/2)	SIGNAL 部 : BPSK1/2
I	bit 数	96(16QAM1/2)	DATA 部 : 16QAM1/2
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	69 OFDMsymbols	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μ s]+32[μ s]	584 μs	1OFDM シンボル=8 μ s 32[μ s] : PLCP プリアンブル
L	判定 K≤路:10.5ms,車:0.33ms	要件達成	

表 3-20 車路間通信関連ユースケースの送信時間の制約評価（パケット長）結果

	ユースケース	d-1～d-4	f-2	備考
	通信形態	V2I (V→I)	V2I (V→I)	
A	アプリケーションデータサイズ	27 byte	29 byte	
B	データ分割	なし	なし	
C	セキュリティヘッダのサイズ	27 byte	27 byte	
D	MAC～EL ヘッダのサイズ	61 byte	61 byte	
E	PLCP ヘッダ(SIGNAL 部除く)、Tail、Pad Bits のサイズ	22 bit+ α	22 bit+ α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	24 bit	
G	PLCP データサイズ =A+C+D+E	942 bit+ α	958 bit+ α	レイヤ 1 の DATA 部総メッセージ長
H	OFDM シンボル当たりの	24(BPSK1/2)	24(BPSK1/2)	SIGNAL 部 : BPSK1/2
I	Data bit 数	48(QPSK1/2)	48(QPSK1/2)	DATA 部 : 16QAM1/2
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	21 OFDMsymbols	21 OFDMsymbols	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μ s]+32[μ s]	200 μs	200 μs	1OFDM シンボル=8 μ s 32[μ s] : PLCP プリアンブル
L	判定 K≤路:10.5ms,車:0.33ms	要件達成	要件達成	

表 3-21 車車間通信関連ユースケースの送信時間の制約評価（パケット長）結果

	ユースケース	c-1/c-3	c-2-1	e-1	g-1		g-2	備考
	通信形態	V2V	V2V	V2V	V2V (通常時)	V2V (緊急時)	V2V	
A	アプリケーション データサイズ	62 byte	32 byte	40 byte	100 byte	2 byte	100 byte	
B	データ分割	なし	なし	なし	なし	なし	なし	1,000 byte で 分割
C	セキュリティヘッ ダのサイズ	27 byte	27 byte	27 byte	27 byte	27 byte	27 byte	
D	MAC~EL ヘッダ のサイズ	61 byte	61 byte	61 byte	61 byte	61 byte	61 byte	
E	PLCP ヘッダ (SIGNAL 部除 く)、Tail、Pad Bits のサイズ	22 bit+ α	22 bit+ α	22 bit+ α	22 bit+ α	22 bit+ α	22 bit+ α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit	
G	PLCP データサイ ズ =A+C+D+E	1,222 bit+ α	982 bit + α	1,046 bit+ α	1,526 bit + α	742 bit+ α	1,526 bit+ α	レイヤ 1 の DATA 部総メッ セージ長
H	OFDM シンボル当 たりの Data bit 数	24	24	24	24	24	24	SIGNAL 部： BPSK1/2
I		48	48	48	48	48	48	DATA 部： QPSK1/2
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	27	22	23	33	17	33	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μ s]+32[μ s]	248 μs	208 μ s	216 μ s	296 μs	840 μs (=168 μs ×5)	296 μs	1OFDM シンボ ル=8 μ s 32[μ s] : PLCP プリアンブル
L	判定 K≤路:10.5ms, 車:0.33ms	要件 達成	要件達 成	要件達 成	要件達 成	要件未達	要件達 成	

表 3-22 a-1-3 の送信時間の制約評価（パケット長）結果

	ユースケース	a-1-3			備考
	通信形態	V2I(I→V) 調定要求	V2I(I→V) 更新要求	V2I(V→I) 調定応答/ 更新応答	
A	アプリケーションデータサイズ	23 byte	23 byte	37 byte	
B	データ分割	なし	なし	なし	1,000 byte で分割
C	セキュリティヘッダのサイズ	301 byte	301 byte	27 byte	
D	MAC～EL ヘッダのサイズ	65 byte	65 byte	61 byte	
E	PLCP ヘッダ(SIGNAL 部除く)、Tail、Pad Bits のサイズ	22 bit+ α	22 bit+ α	22 bit+ α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	24 bit	24 bit	
G	PLCP データサイズ =A+C+D+E	3,134 bit+ α	3,134 bit+ α	1,022 bit+ α	レイヤ 1 の DATA 部総メッセージ長
H	OFDM シンボル当たり	24	24	24	SIGNAL 部 : BPSK1/2
I	の Data bit 数	96	96	48	DATA 部 : 16QAM1/2(路), QPSK1/2(車)
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	34	34	23	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μ s]+32[μ s]	304 μ s	304 μ s ×車両台数	216 μ s	1OFDM シンボル=8 μ s 32[μ s] : PLCP プリアンプ ル
L	判定 K≤路:10.5ms, 車:0.33ms	要件達成	要件未達 (34 台まで 対応可)	要件達成	

表 3-23 a-1-4、a-2、a-3 の送信時間の制約評価（パケット長）結果

	ユースケース	a-1-4、a-2、a-3			備考
	通信形態	V2V 調定要求	V2V 更新要求	V2V 調定応答/ 更新応答	
A	アプリケーションデータサイズ	41 byte	41 byte	37 byte	
B	データ分割	なし	なし	なし	1,000 byte で分割
C	セキュリティヘッダのサイズ	27 byte	27 byte	27 byte	
D	MAC～EL ヘッダのサイズ	61 byte	61 byte	61 byte	
E	PLCP ヘッダ(SIGNAL 部除く)、Tail、Pad Bits のサイズ	22 bit+ α	22 bit+ α	22 bit+ α	α : Pad Bits
F	PLCP ヘッダの SIGNAL 部	24 bit	24 bit	24 bit	
G	PLCP データサイズ =A+C+D+E	1,054 bit+ α	1,054 bit+ α	1,022 bit+ α	レイヤ 1 の DATA 部総メッセージ長
H	OFDM シンボル当たり	24	24	24	SIGNAL 部 : BPSK1/2
I	の Data bit 数	48	48	48	DATA 部 : QPSK1/2
J	OFDM シンボル数 =F/H+G/I	23	23	23	端数は Pad Bits 分
K	送信時間 =J×8[μ s]+32[μ s]	216 μ s	216 μ s ×車両台数	216 μ s	1OFDM シンボル=8 μ s 32[μ s] : PLCP プリアンブル
L	判定 K≤路:10.5ms, 車:0.33ms	要件達成	要件未達 (1 台のみ 対応可)	要件達成	

3.3.3. 路側機設置制約評価（スロット割当）

700MHz 帯 ITS における路側機のスロットは、TDMA 方式で図 3-1 に示す通り 16 スロット存在しており、路側機の送信時間が重ならない（互いのサービスに影響を与えない）ようスロットを割り当てる必要がある。2016 年の既存モデルシミュレーション [1]時のスロット割当をベースに、お互いのサービスに影響を与えないよう、同一スロット割当する路側機間の距離を一定間隔離隔する。

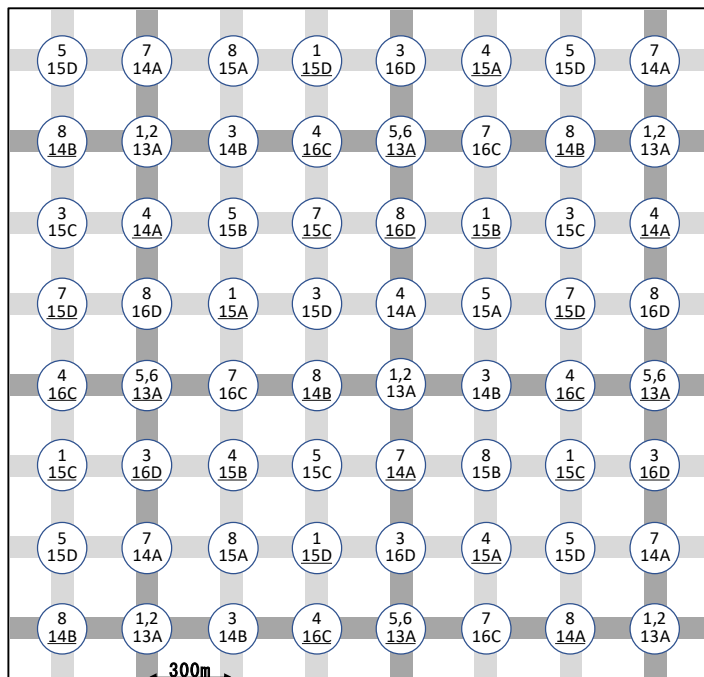
SIP ユースケース（高速道）路側機は、3.1.3 節に記載の通り上りと下りの高速道路合流地点にそれぞれ 1 台ずつ設置し、スロット数は 1 台当たり 2 スロット使用するため、合計 4 スロット使用する。路側機が送信可能なスロットは最大 16 スロット（図 3-1）であるため、既存サービス路側機が使用するスロット数が 12 スロットで収まれば、SIP ユースケース（高速道）路側機と共存可能となる。

路路間通信用スロットは現在使用されておらず、今後の運用も未定であるが、2016 年の既存モデルシミュレーション [1]に合わせて、路路間通信用に 4 スロット確保することとする。以上

のことから、既存サービスの路側機が路車間通信で使用するスロット数を、上記 12 スロットから 4 スロットを引いた 8 スロットで収めることができれば、既存サービスと SIP ユースケースが同時共存可能なスロット割当が可能となる。

なお、一般道路の SIP ユースケースで路側機を使用するのは、b-1-1 と c-2-2 の 2 つのユースケースであり、これらは既存 ITS Connect 路車間通信サービスのメッセージ拡張で対応可能であるため（3.3.4 項参照）、既存サービスの路側機で対応する前提としている。

以上のことから既存サービス路側機が路車間通信用として 8 スロットで収まるかどうかについて検討を行う。従来の検討方法である重要交差点と一般交差点でスロットを分けた場合、9 スロット使用することになりスロットが不足することとなる。このことから、重要交差点と一般交差点でスロットを分けずにスロット割当が可能か検討を実施した。結果は、図 3-17 の通り重要交差点および一般交差点にスロット 1～8 を割り当てることができたため、SIP ユースケース（高速道）路側機にスロット 9～12 の 4 スロットを割り当てることが可能となった（図 3-17）。



上段：路車間通信のスロット番号
下段：路路間通信のスロット番号※
※A～D は、1 スロットを 4 分割したもので、アンダーラインが引かれたものはタイミングが異なる場合

図 3-16 既存サービス路側機のスロット割当例

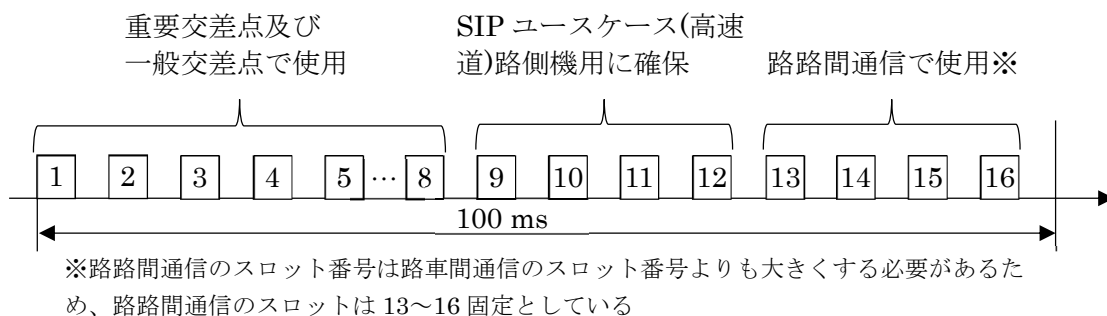


図 3-17 既存サービス路側機と SIP ユースケース（高速道）路側機のスロット割当

3.3.4. メッセージセット

3.3.4.1. SIP ユースケース路側機送信メッセージセット

SIP ユースケースのうち路側機送信メッセージは、高速道路用と一般道路用の両方があるため、それぞれ個別に検討を行う。

・ SIP ユースケース（高速道）路側機のメッセージ

既存メッセージセットでは高速道路用の路側機のメッセージセットが存在しないため、新たに定義することとする。SIP ユースケース（高速道）路側機が送信するメッセージは、a 系列（a-1-1, a-1-2, a-1-3）と d 系列（d-1～d-5）である。それぞれを統合した結果を表 3-24 に示す。

表 3-24 SIP ユースケース（高速道）路側機のメッセージセット(MS)

情報要素		a-1-1		a-1-2		a-1-3		a 系 MS	d-1～d-5	d 系 MS	MS 合計	
合計		754 byte		2,502 bye		4,986 byte		4,986 byte	445 byte	445 byte	5,426 byte	
		6,032 bit		20,016 bit		39,888 bit		39,888 bit	3,560 bit	3,560 bit	43,408 bit	
共通情報	メッセージ ID	16	144 bit	16	144 bit	16	144 bit	144 bit	8	40 bit	40 bit	144 bit
	インクリメント ID または 情報更新時刻	32		32		32						
	路側管制情報	8		8		8						
	路側機 ID、車両 ID (自)	32		32		32			32			
	合流起点情報	16		16		16						
	道路番号	32		32		32						
	走行車両数	8		8		8						
位置情報 ×車両台 数	車両 ID	16	128 bit × 46 台	16	216 bit × 92 台	16	216 bit × 184 台	216 bit × 184 台		-	-	216 bit × 184 台
	車両位置(緯度経度高度)			88		88						
	走行車線	8		8		8						
	走行速度	16		16		16						
	車両長さ	14(+空 2)		14(+空 2)		14(+空 2)						
	合流起点到達予定時刻	32		32		32						
	センサー情報取得時刻	32		32		32						
情報信頼度	8	8	8									
個別ハザード情報 ×20 ハザード分	発生時刻		-		-		-	-	32	176 bit × 20 ハザード	176 bit × 20 ハザード	176 bit × 20 ハザード
	発生事象(ハザード種別)								8			
	速度								16			
	車両位置(緯度経度高度)								88			
	事象距離情報								16			
	レーン情報/上下線								4			
	道路種別等								8			
	通行可否(レーンチェンジ要否)								2			

	(空)								2			
--	-----	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--

※a系MS、d系MS、MS合計は統合したメッセージセット

本検討ではユースケース毎のメッセージを整理する中で、メッセージを統合した場合の重複するデータを共通情報として定義した。統合したメッセージセットでは共通情報は一つに集約されるためメッセージサイズの効率化が図れると考えられる。また、実際に運用する際には無線方式検討TG提示のシナリオに記載されているメッセージの他に別途メッセージ識別情報等の管理情報を付与する必要がある。どのメッセージ体系を採用するかは今後の課題であり、管理情報含めて関連団体と協議・検討する必要がある。

個別メッセージと統合メッセージのデータサイズについて表 3-25、表 3-26 に示す。シミュレーションでは個別 SIP ユースケースの最大サイズである 4,986 byte を適用することとする。

表 3-25 SIP ユースケース（高速道）個別メッセージ

No.	SIP ユースケース（高速道）	最大サイズ	備考
a-1-1	予備加減速合流支援	754 byte	位置情報は最大 46 台分
a-1-2	本線隙間狙い合流支援	2,502 byte	位置情報は最大 92 台分
a-1-3	路側管制による本線車両協調合流支援	4,986 byte	位置情報は最大 184 台分
d-1～d-5	異常車両、逆走車、渋滞の情報等通知	445 byte	ハザード情報は最大 20 ハザード分

表 3-26 SIP ユースケース（高速道）統合メッセージセット

No.	SIP ユースケース（高速道）	最大サイズ	備考
1	a-1-1, a-1-2, a-1-3 統合 路側管制による本線車両協調合流支援	4,986 byte	位置情報は最大 184 台分
2	d-1 ～ d-5 統合 異常車両、逆走車、渋滞の情報等通知	445 byte	ハザード情報は最大 20 ハザード分
3	全メッセージセット統合	5,426 byte	位置情報は最大 184 台分 ハザード情報は最大 20 ハザード分

・ SIP ユースケース（一般道）路側機のメッセージ

一般道路の路側機送信が必要なユースケースは、b-1-1 と c-2-2 の 2 つである。検討の結果、それぞれ以下の結果となった。

- ・ b-1-1（信号情報による走行支援）は、700MHz 帯 ITS 路車間通信システムをベースに「生成時刻」と「生成時刻からの残秒数」の情報追加が必要であるため、既存の 700MHz 帯 ITS 路車間通信システムを一部拡張する必要がある。
- ・ c-2-2（交差点の情報による走行支援）は、700MHz 帯 ITS 路車間通信システムに包含されることを確認できた。

なお、シミュレーションにおける SIP ユースケース（一般道）路側機の日データサイズは、無線方式検討 TG から提示された最も大きいサイズである c-2-2 の 1,150 byte を採用する。

3.3.4.2. SIP ユースケース車載機送信メッセージセット

最初に各 SIP ユースケースの車載機送信メッセージが、ITS Connect TD-001 [8]の共通領域に含まれるかどうかを確認した。共通領域に含まれるものは共通領域に格納し、それ以外は自由領域に格納した。その上で、各ユースケースで必要となる自由領域のデータサイズを確認した（図 3-18）。結果、全ての車載機送信のユースケースのメッセージを統合したときの自由アプリデータ領域のサイズは 50 byte となり、ITS Connect TD-001 の自由アプリデータ領域の最大サイズ 60 byte に収まることが分かった。

ITS Connect TD-001				BM (ベーシックメッセージ) [bit]									
領域	データ構造	格納するDF	サイズ [bit]	c-2-1	c-3/c-1	d-1~d-5	e-1	c-2-1, c-3/c-1, d-1~d-5, e-1 合計	g-1	g-2	f-2	g-1, g-2, f-2 合計	
共通領域	共通アプリヘッダ領域	DF_共通領域管理情報	64	48	32	32	32				32	共通アプリ領域	
		DF_時刻情報	32	32	32				32		32		
		DF_位置情報	88	88	88				88	88	88		
		DF_車両状態情報	72	48	32				72	32	48		
		DF_車両属性情報	32	24	24				32				
	共通アプリデータ領域	DF_位置オプション情報	16										
		DF_GNSS_状態オプション情報	32										
		DF_位置取得オプション情報	16										
		DF_車両状態オプション情報	56										
		DF_交差点情報	80										
DF_拡張情報		8											
自由領域	自由アプリヘッダ領域	DF_自由領域管理情報	0~8									自由アプリ領域	
		DF_個別アプリデータ管理情報	0~168										
	自由アプリデータ領域	(規定しない)	0~480										
自由領域合計byte数 [byte]				50	2	37	24	36	40	7	7	4	11
自由領域合計bit数 [bit]				398	16	296	190	282	316	56	50	32	82
自由領域メッセージ	メッセージID		16	16	16	16	16	16					
	緊急行動発生時刻 (対象)		32		32	32	32	32					
	緊急行動種別 (対象)		8		8	8	8	8					
	対象物情報 (対象)		24		24	16	24	24					
	事象位置情報 (対象)		88		88	88	88	88					
	事象距離情報 (対象)		16		16	16		16					
	車線情報 (対象)		8		8	4	4	8					
	道路種別情報 (対象)		8		8	8	8	8					
	通行可否情報 (対象)		8		8	2	2	8					
	発信元車載器ID (対象)		32		32		32	32					
	配信対象車線情報 (対象)		8		8			8					
	情報有効時間 (対象)		32		32		32	32					
	再配信距離 (対象)		16		16		16	16					
	距離		16				16	16					
	再配信対象レーン/上下線		4				4	4					
	後続車両情報		24						24	24		24	
	車両距離		16						16			16	
	アクセル、ブレーキ		16						16	16		16	
	追従可否		2							2		2	
	メーカ情報		8							8		8	
	レーン情報		14								14	14	
	V2I/定期/イベント配信		2								2	2	

※黄色表示は元のシナリオに記載が無かったため想定した値を設定。グレー表示は無線方式検討 TG から提示されたシナリオで「使用しない想定」と記載されていたもの。

図 3-18 車載機送信メッセージセット自由領域サイズ確認

ただし、ITS Connect TD-001 の使用可能自由領域は 0~60 byte で可変サイズとなっており、共通アプリデータ領域を全て使用した場合や、自由アプリデータ領域を既存サービスでどの程度使用するかによって、SIP ユースケースの対応可否が変わってくる。

図 3-18、図 3-19 よりオプション領域を使用しない場合（図 3-19 のパターンⅢ）、全ての車載機送信ユースケースにおいて実現可能であるが、自由領域を 16 byte 以上を必要とするユースケースについては、オプション領域の使用に制約があることが分かった。ITS Connect サービスにおいてオプション領域を使用する場合、SIP ユースケースが利用できない場合もあるため、社会実装に向けては ITS Connect 推進協議会との協議が必要となる。なお、シミュレーションでは、SIP ユースケース個別の最大サイズ 73 byte を使用する（表 3-27）。

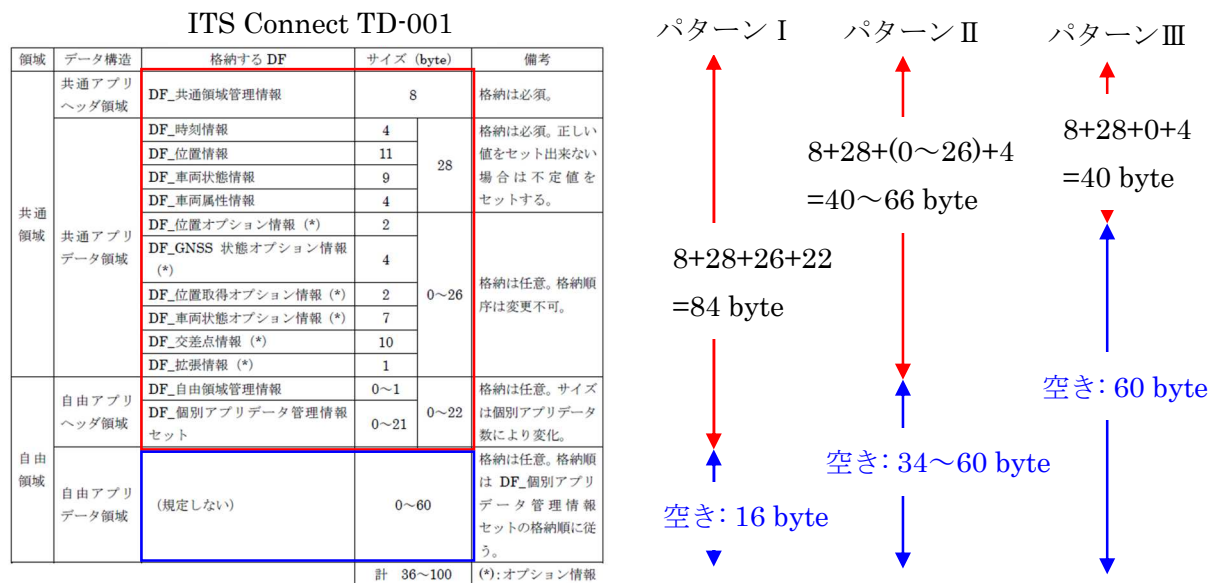


図 3-19 ITS Connect TD-001 使用可能自由領域確認

自由アプリヘッダ領域 4 byte 内訳

- DF_自由領域管理情報：計 1 byte(8 bit)
 - DE_自由アプリヘッダ長：5 bit
 - DE_個別アプリデータ数：3 bit
- DF_個別アプリデータ管理情報：計 3 byte(24 bit)
 - DE_個別サービス規格 ID：8 bit
 - DE_個別アプリデータ先頭アドレス：8 bit
 - DE_個別アプリデータ長：8 bit

図 3-20 自由アプリヘッダ領域（4 byte）内訳

表 3-27 SIP ユースケース個別メッセージセット

No.	SIP ユースケース	共通領域	自由領域	合計
c-2-1	交差点の情報	36 byte	2 byte	38 byte
c-3 / c-1	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	36 byte	37 byte	73 byte
d-1 ~ d-5	異常車両、逆走車、渋滞の情報等通知	36 byte	24 byte	60 byte
e-1	緊急車両の情報	36 byte	36 byte	72 byte
g-1	電子牽引	36 byte	7 byte	43 byte
g-2	追従走行	36 byte	7 byte	43 byte
f-2	交通流の最適化	36 byte	4 byte	39 byte

統合ケースにおいても表 3-28 の通り実現可能であることが分かった。ただし、前述の通り自由領域を 16 byte 以上必要とする場合は、オプション領域の使用に制限がある。

表 3-28 SIP ユースケース統合メッセージセット

No.	SIP ユースケース	共通領域	自由領域	合計
1	c-2-1, c-3/c-1, d-1~d-5, e-1 の合計	36 byte	40 byte	76 byte
2	c-2-1, c-3/c-1, d-1~d-5, e-1, f-2 の合計	36 byte	42 byte	78 byte
3	g-1, g-2, f-2 の合計	36 byte	11 byte	47 byte
4	No.1~3 の合計	36 byte	50 byte	86 byte

最後に車載機送信メッセージセット案のメリット・デメリットを表 3-29 に示す。

表 3-29 車載機送信メッセージセット案のメリット・デメリット

	メリット	デメリット
SIP ユースケース毎にメッセージセットを準備した場合	それぞれにて必要最低限のメッセージとなるため 1 つを運用する場合はデータサイズが小さい	- メッセージセット数が計 7 個となるため管理数、定義数が多い - 複数の SIP ユースケースが同時発生した場合、データサイズが単純な足し算になるため大きくなる - 複数の SIP ユースケースが同時発生した場合、個別アプリデータ管理情報をいくつも用意しなければならない
SIP ユースケースを統合したメッセージセットの場合	- 管理・定義するメッセージセットが少ない - 複数の SIP ユースケースが同時発生した場合、重複される部分は統合されるためデータサイズが小さい	1 つの SIP ユースケースのメッセージのみ必要な場合でも統合されたフォーマットで送信となるためデータサイズが大きくなる

3.4. 結果まとめ

表 3-30 に通信エリア評価および送信時間の制約評価（パケット長）の評価結果をまとめる。
送信時間の制約評価において、意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3,a-1-4,a-2,a-3 と g-1
（隊列走行）が無線方式検討 TG 提示の通信要件未達となったが、その他は通信要件達成している。

表 3-30 通信エリア・通信品質評価、送信時間の制約評価（パケット長）結果まとめ

No.	大分類	中分類	ユースケース名	評価結果	通信エリア・通信品質評価結果	送信時間の制約評価結果
1	①車載センサー検知外情報の入手が必要なユースケース	a. 合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援	V2I	●	●
2			a-1-2.本線隙間狙い合流支援	V2I	●	●
3		b. 信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援（V2I）	V2I	●	●
4			b-1-2.信号情報による走行支援（V2N）	V2N		
5		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	●	●
6			c-2-1.交差点の情報による走行支援（V2V）	V2V	●	●
7			c-2-2.交差点の情報による走行支援（V2I）	V2I	●	●
8			c-3. ハザード情報による衝突回避支援	V2V	●	●
9		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, V2N	●	●
10			d-2.逆走車の通知による走行支援	V2I, V2N	●	●
11			d-3.渋滞の情報による走行支援	V2I, V2N	●	●
12			d-4. 分岐・出口渋滞支援	V2I, V2N	●	●
13			d-5.ハザード情報による走行支援	V2I, V2N	●	●
14		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	V2I, V2N	●	●
15	②自車が保有する情報の提供が必要なユースケース	f. インフラによる情報収集・配信	f-1.救援要請(e-Call)	V2N		
16			f-2.交通流の最適化のための情報収集	V2I, V2N	●	●
17			f-3.地図更新・自動生成	V2N		
18			f-4.ダイナミックマップ情報配信	V2N		
19	③車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース	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	V2I	●	※1
20			a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援	V2V	●	※1
21			a-2.混雑時の車線変更の支援	V2V	●	※1
22			a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	V2V	●	※1
23		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	●	※2
24			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	●	●
25		h. 遠隔操作	h-1.移動サービスカーの操作・管理	V2N		

※●は、机上検討において無線方式検討 TG 提示の要件を満たしていることを意味する

※1 無線方式検討 TG 提示の「エリアあたり送信台数」が通信要件未達

※2 無線方式検討 TG 提示の緊急時 20 ms 送信が通信要件未達

スロット割当に関して、重要交差点と一般交差点でスロットを分けずに割当検討を行った結果、重要交差点および一般交差点にスロット 1～8、SIP ユースケース（高速道）路側機にスロ

ット 9～12 を割り当てることができ、高速道路と一般道路間の路側機同士の干渉は発生しないよう割り当てが可能となった。

メッセージセットに関して、SIP ユースケース（高速道）路側機のメッセージセットを定義した。シミュレーションでは個別 SIP ユースケースの最大サイズである 4,986 byte を適用する。SIP ユースケース（一般道）路側機のメッセージセットについては、700MHz 帯 ITS 路車間通信システムに包含、もしくは一部の拡張のみで対応可能であることが分かった。シミュレーションでは無線方式検討 TG から提示された最も大きいサイズである c-2-2 の 1,150 byte を採用する。

SIP ユースケースの車載機送信メッセージセットを定義し、本メッセージセットを ITS Connect TD-001 に包含できる可能性を示した。ただし、ITS Connect サービスにおいてオプション領域を使用する場合は、SIP ユースケースが利用できない場合もあるため、社会実装に向けては ITS Connect 推進協議会との協議が必要となる。シミュレーションでは、SIP ユースケース個別の最大サイズ 73 byte を適用する。

4. シミュレーション

3章において、単独の SIP ユースケースでのリンクバジェットの観点での通信成立性と、ARIB STD T-109 [2]における送信時間制約の検討を行い、無線方式検討 TG 提示の要件に対する 700MHz 帯 ITS における対応可否の机上検討を行った。これを踏まえ、通信環境をモデル化して複数台の路側機及び車載機を配置したシミュレーションを行うことで、SIP ユースケースや既存サービスが同時に行われるときの実現性や共存成立性の検討を行った。

4.1. ユースケース分類

シミュレーションを行うにあたり、SIP ユースケースをサービス提供場所及び通信区間で以下の 4 モデルに分類した。これらの各分類中から最も厳しい条件となるユースケースを代表ユースケースとし、代表 4 モデルを包含したシミュレーション環境を構築した。これによりすべての SIP ユースケースが同時に行われるときの検討が可能であると考えられる。

(1) モデル 1：高速道 路車間通信

図 4-1 の通り、高速道路上の路側機・車載機間で通信を行うユースケースをモデル 1 と分類した。表 4-1 にモデル 1 に分類したユースケースとそれに対する無線方式検討 TG 提示の通信要件を示す。表中の車両密度は各ユースケースシナリオにおける最悪条件を選択している。d-1～d-5、f-2 については通信頻度が他のユースケースに比して 1/10 となっているため、通信量は車両密度が 1/10 となっている状態に相当する。

このなかで、データサイズ、車両密度が最も厳しい条件となっている a-1-3（路側管制による本線車両協調合流支援）を代表ユースケースとした。

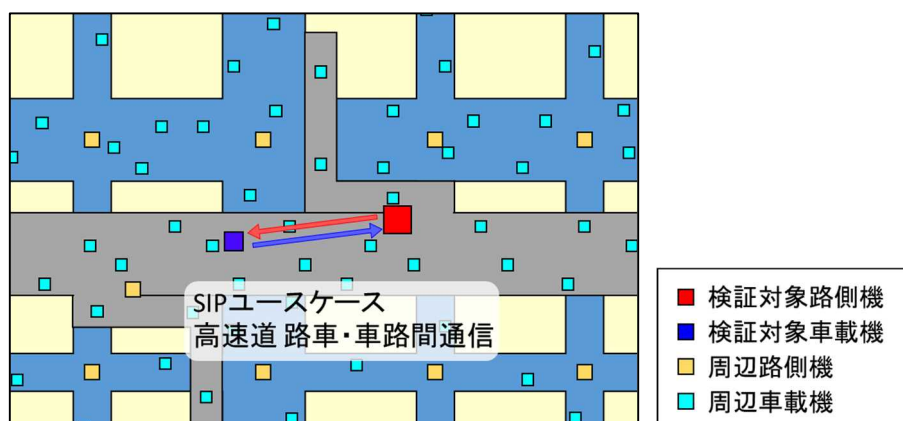


図 4-1 モデル 1 の概念図

表 4-1 モデル 1 のユースケースと通信要件

	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				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	交通流の最適化のた めの情報収集
No.	a-1-1	a-1-2	a-1-3				d-1	d-2	d-3	d-4	d-5	f-2
メッセージ名	—	—	位置情報 提供	管制要求	調定要求 合意要求	調定応答 合意応答	—	—	—	—	—	—
通信形態	路車	路車	路車	車路	路車	車路	路車	路車	路車	路車	路車	車路
通信品質	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%
必要通信距離 [m]	95	116.7	266.7	266.7	266.7	266.7	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6	33.3
データサイズ [byte]	514	1,692	4,986	37	21	37	Uplink : 27 Downlink: 445	Uplink : 27 Downlink: 445	Uplink : 27 Downlink: 445	Uplink : 27 Downlink: 445	Downlink: 445	29
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両	非特定車両	特定車両	路側インフ ラ	非特定車両	非特定車両	非特定車両	非特定車両	非特定車両	非特定車両
対象エリア	高速合流	高速合流	高速合流	高速合流	高速合流	高速合流	高速本線	高速本線	高速本線	高速本線	高速本線	高速本線／一般道
通信頻度	100ms	100ms	100ms	100ms	100ms	100ms	1sec	1sec	1sec	1sec	1sec	1sec
1車線あたりの 車両密度	本線：20km/h、2秒車間 連絡路：20km/h、1秒車間 ⇒ 62台/km、95台/km		本線：20km/h、1秒車間 連絡路：20km/h、1秒車間、 ⇒ 95台/km				20km/h、1秒車間 ⇒ 95台/km (9.5台/km相当)				車長:5m、1m車間 ⇒ 167台/km (16.7台/km相当)	
優先ユース ケース	—	—	○				—				—	

(2) モデル 2：高速道 車車間通信

図 4-2 の通り、高速道路上の車載機・車載機間で通信を行うユースケースをモデル 2 と分類した。表 4-2 にモデル 2 に分類したユースケースとそれに対する無線方式検討 TG 提示の通信要件を示す。モデル 1 と同様、表中の車両密度は各ユースケースシナリオにおける最悪条件を選択している。1 車線あたりの車両密度が最も高く、連絡路を含んでいるため車両数が最も多くなる a-1-4（車同士のネゴシエーションによる合流支援）を代表ユースケースとした。

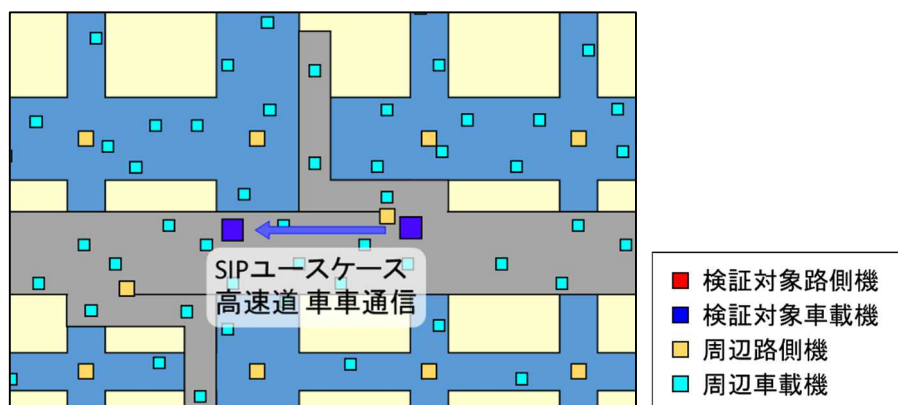


図 4-2 モデル 2 の概念図

表 4-2 モデル2 のユースケースと通信要件

	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		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	緊急車両の情報に よる走行支援	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.	a-1-4		a-2		c-3/c-1	e-1	g-1	g-2
メッセージ名	調定要求 合意要求	調定応答 合意応答	調定要求 合意要求	調定応答 合意応答				
通信形態	車車	車車	車車	車車	車車	車車	車車	車車
通信品質	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	PAR ≧ 99%	通常時100msあたり PAR ≧ 98% 緊急時100msあたり PAR ≧ 99.99%	10m走行でのパケッ ト累積率95%
必要通信距離 [m]	255m※JAMA要求		255m※JAMA要求		250	150	相対距離 60m程度	141 (車間距離35m + 車 長12m) × 3)
データサイズ [byte]	43	38	43	38	62	40	100	100
通信相手	非特定車両(調定要求) 特定車両(合意要求)	特定車両	非特定車両(調定要求) 特定車両(合意要求)	特定車両	非特定車両	非特定車両	特定車両(1対Nを用 いて1対1を実現)	非特定車両
対象エリア	高速合流	高速合流	高速本線	高速本線	高速本線	一般道	高速本線	高速本線/一般道
通信頻度	100ms	100ms	100ms	100ms	100ms	100ms	100ms、緊急時20ms	100ms
1車線あたりの 車両密度	本線：5m車長、2m車間、 連絡路：5m車長、2m車間 ⇒143台/km		5m車長、2m車間 ⇒143台/km		60km/h、1秒車間 ⇒46台/km	40km/h、1秒車間 ⇒62台/km	12m車長、5m車間 ⇒59台/km	12m車長、30m車間 ⇒24台/km
優先ユース ケース	○		—		—	—	—	—

(3) モデル3：一般道 路車間通信

図 4-3 の通り、一般道路上の路側機・車載機間で通信を行うユースケースをモデル3 と分類した。表 4-3 にモデル3 に分類したユースケースとそれに対する無線方式検討 TG 提示の通信要件を示す。表中の車両密度は各ユースケースシナリオにおける最悪条件である。f-2 についてはモデル1 と同様に車両密度を 1/10 相当と表記している。

データサイズ、車両密度が最も厳しい条件となっている c-2-2 (交差点の情報による走行支援 (V2I)) を代表ユースケースとした。

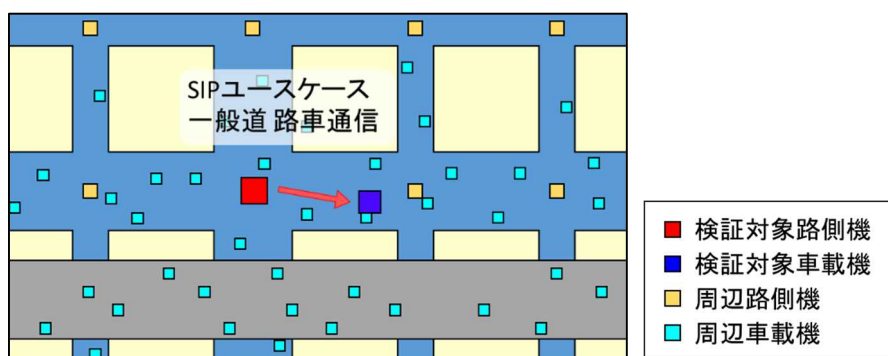


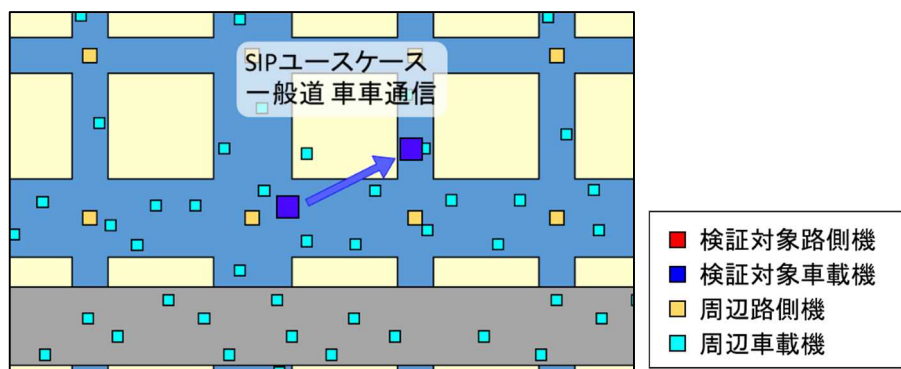
図 4-3 モデル3 の概念図

表 4-3 モデル3のユースケースと通信要件

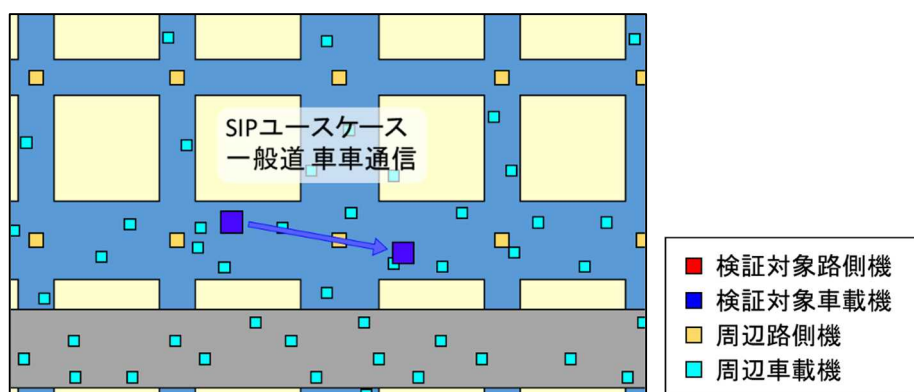
	信号情報による 走行支援 (V2I)	交差点の情報による 走行支援 (V2I)	交通流の最適化のための 情報収集
No.	b-1-1	c-2-2	f-2
メッセージ名			
通信形態	路車	路車	車路
通信品質	5m評価区間で99%以上 (700MHz帯システムと同様)	PAR≧99%	PAR≧99%
必要通信距離[m]	206.3	75.2	33.3
データサイズ[byte]	1,000	1,150	29
通信相手	非特定車両	非特定車両	非特定車両
対象エリア	一般道交差点	一般道交差点	高速本線／一般道
通信頻度	100ms	100ms	1sec
車両密度	70km/h、2秒車間 ⇒23台/km	30km/h、2秒車間 ⇒ 46台/km	車長:5m、1m車間 ⇒167台/km (17台/km相当)

(4) モデル4：一般道 車車間通信

図 4-4 の通り、一般道路上の車載機・車載機間で通信を行うユースケースをモデル4と分類した。表 4-4 にモデル4に分類したユースケースとそれに対する無線方式検討 TG 提示の通信要件を示す。a-3 については非優先道路内から優先道路上の車両との通信を行うことが想定されており、表中にある他のユースケースとは異なり見通し外通信となる。したがって、本モデルについては見通し外通信である a-3（渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援）と、見通し内通信であるユースケースの中で最も車両密度の高い c-2-1（交差点の情報による走行支援(V2V)）を対象ユースケースとしてモデル化を行った。



(a) 見通し外



(b) 見通し内

図 4-4 モデル4の概念図

表 4-4 モデル4のユースケースと通信要件

	渋滞時の非優先道路から優先道路への 進入支援		交差点の情報による 走行支援 (V2V)	緊急車両の情報に よる走行支援	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.	a-3		c-2-1	e-1	g-2
メッセージ名	調定要求 合意要求	調定応答 合意応答			
通信形態	車車	車車	車車	車車	車車
通信品質	PAR≧99%	PAR≧99%	PAR≧99%	PAR≧99%	10m走行でのパケッ ト累積率95%
必要通信距離[m]	111.1	111.1	190	150	141
データサイズ[byte]	43	38	32	40	100
通信頻度	100ms	100ms	100ms	100ms	100ms
通信相手	非特定車両(調定要求) 特定車両(合意要求)	特定車両	非特定車両	非特定車両	非特定車両
対象エリア	一般道交差点	一般道交差点	一般道交差点	一般道	高速本線/一般道
1車線あたり車両密度	5m車長、2m車間 ⇒ 143台/km		30km/h、2秒車間 ⇒ 46台/km	30km/h、2秒車間 ⇒46台/km	80km/h、1秒車間 ⇒37台/km

表 4-5 に分類と対象ユースケースをまとめる。

表 4-5 ユースケース分類のまとめ

モデル	環境	通信形態	対象ユースケース	包含ユースケース
1	高速道路	路車間通信	a-1-3	a-1-1, a-1-2, d-1~d-5, f-2
2		車車間通信	a-1-4	a-2, c-3/c-1, e-1, g-1, g-2
3	一般道路	路車間通信	c-2-2	b-1-1, f-2
4		車車間通信	a-3, c-2-1	e-1, g-2

4.2. シミュレーション条件

4.2.1. 道路モデル

道路モデルについては既存モデルシミュレーション [1]を参考として、300 m 面配置に高速道路の本線及び連絡路を配置したものとした。高速道路上の車載機と一般道路上の車載機とはお互いの送信パケットの干渉が想定されるが、これを最悪の条件で検討するために、一般道路でのユースケースを配置する幹線道路に接する形で高速道路を配置した。

4.2.2. モデル配置

4.1 節で分類した各モデルを近接して配置することにより、各 SIP ユースケースが近接して行われた場合のシミュレーションを行った。

各モデル及び既存サービスの配置の概念図を図 4-5 に示す。

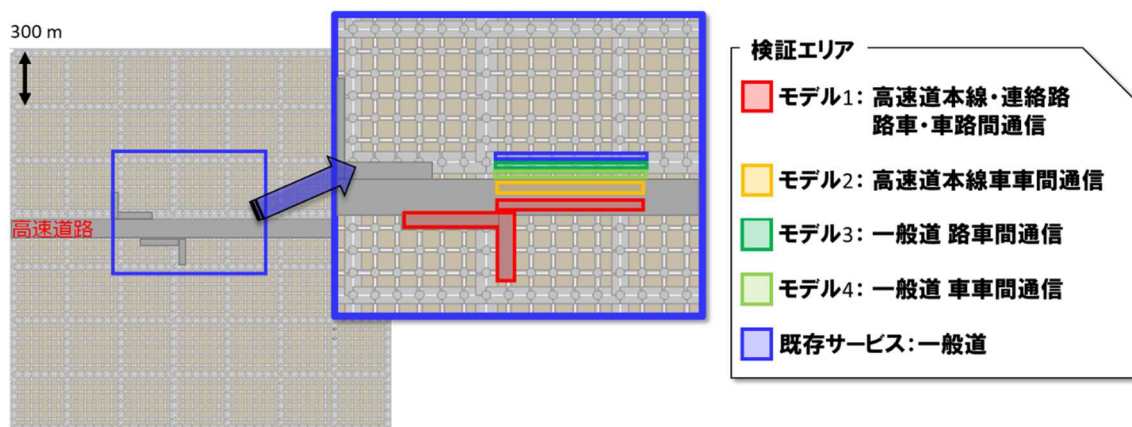


図 4-5 SIP ユースケースおよび既存サービスの配置

4.2.3. 路側機配置及びスロット割り当て

路側機の配置及びスロット割当は3章における机上検討結果を反映し、図 4-6 のようにした。一般道についてはスロット 1~8 を重要交差点に 2 スロット、一般交差点に 1 スロット割り当て、高速道路の路側機 2 台に 9~12 スロットを 2 スロットずつ割り当てている。13~16 スロットについては路路間通信に割り当てている。

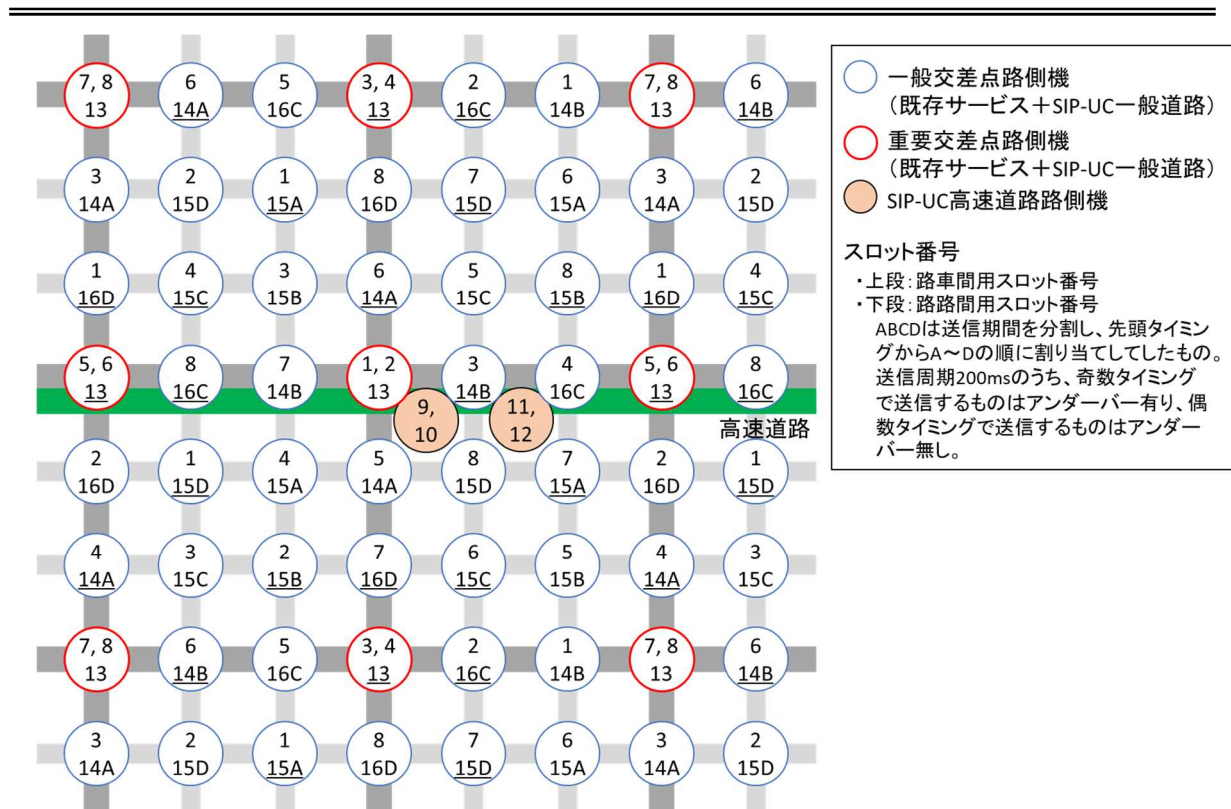


図 4-6 路側機配置及びスロット割り当て

4.2.4. 車両配置

車載機を搭載した車両を下記条件の車両密度となるように配置した。このとき、車両位置が一定間隔で固定的になると車載機送信メッセージ同士の衝突や干渉の影響が特異的に発生する可能性があることから、シミュレーションの実行ごとに車両位置をランダム化した。なお、本シミュレーションにおいてはすべての車両を 1.5 m 高、5 m 長の一般車両とした。

車両密度は無線方式検討 TG 提示のシナリオに基づき、以下に示す 2 パターンでのシミュレーションを実施した。

(1) 低速移動時の最大車両密度条件

無線方式検討 TG 提示のシナリオに基づいた最も厳しい条件として、高速道本線及び連絡路上の低速移動となる条件を 20 km/h、一般道路上は 10 km/h と考え、下記条件でシミュレーションを実施した。

表 4-6 低速時最大密度条件の路側機及び車両密度

	SIP ユースケース		既存サービス
	高速道	一般道	
路側機	2 台	1 台	重要交差点 9 台 一般交差点 55 台
車載機	95 台/km (20 km/h)	143 台/km (10 km/h)	43 台/km (25 km/h)

(2) 規制速度程度での最大車両密度条件

無線方式検討 TG 提示のシナリオに基づいたより現実な条件として、表 4-7 の通り規制速度程度での走行時の最大密度条件でのシミュレーションを実施した。

表 4-7 規制速度程度での最大車両密度条件の路側機及び車両密度

	SIP ユースケース			既存サービス
	高速道本線	高速道連絡路	一般道	
路側機	2 台	—	1 台	重要交差点 9 台 一般交差点 55 台
車載機	17 台/km (120 km/h)	23 台/km (70 km/h)	23 台/km (70 km/h)	23 台/km (70 km/h)

4.2.5. 通信条件及び伝搬モデル

通信条件及び伝搬モデルは表 4-8 に示すものとした。高速道路に関係しない通信条件は 2016 年度の既存シミュレーションの条件を踏襲している。

高速道防音壁の伝搬損失は実際の高速道路で実験を行い、その結果から 10 dB とした。

一般道と高速道との間の伝搬モデルは伊藤・多賀モデルと ITU-R P.1411 の 2 つのモデルでの伝搬をシミュレーション上で確認した結果を比較して決定した。比較した結果、ITU-R P.1411 モデルにおいて見通し外への伝搬が過度となることが確認されたため伊藤・多賀モデルを採用した。

高速道路に設置する路側機は、低速時最大密度条件においてはより厳しい条件となる無指向性アンテナとし、規制速度程度最大車両密度条件においては実サービスを想定して 2 台の路側機がそれぞれの対象とする方向に指向性を持った指向性アンテナとした。

表 4-8 通信条件及び伝搬モデル

	路側機	車載機
周波数	760 MHz	
送信電力	19.2 dBm	
変調方式	16QAM1/2	QPSK1/2
送信周期	100 ms	100 ms
アンテナ高	道路高 + 6 m	道路高 + 1.5 m
アンテナ利得	0 dBi	0 dBi
給電損失	0 dB	3 dB
受信可否判定閾値※2	-75.9 dBm(16QAM1/2)、 -81 dBm(QPSK1/2)	
所要 DU 比	14 dB(16QAM1/2)、9 dB(QPSK1/2)	
キャリアセンスレベル	—	-85 dBm
CW サイズ	—	63
伝搬損失モデル	700MHzITS 路車・路路モデル	伊藤・多賀 モデル
	一般道路⇔高速道路 ：伊藤・多賀モデル	
高速道防音壁 伝搬損失	10 dB	
フェージング※3	路車間：4.4 dB	車車間：6.4 dB
車両の遮蔽損	—	0.5 dB/台 (最大 8 dB)

※1 1,000byte で分割送信、 ※2 受信成功率 99%となる受信電力

※3 フェージング損失の確率分布は、2016 年既存モデルシミュレーションと同じ正規分布とする

4.2.6. メッセージサイズ

表 4-9 にシミュレーションにおけるアプリケーションデータサイズを示す。SIP ユースケースの路側機及び車載機については、3.1.2 で机上検討した各ユースケースのメッセージセットから最大となるものを採用した。既存ユースケースについては既存モデルシミュレーション [1]において使用されたデータサイズとした。

表 4-9 各路側機・車載機におけるアプリケーションデータサイズ

	SIP ユースケース		既存サービス	
	高速道	一般道	重要交差点	一般交差点
路側機	4,986 byte	1,150 byte	2,750 byte	1,150 byte
車載機	73 byte			

シミュレーションにおいてはこのアプリケーションデータサイズに ARIB STD-T109 規格等に準じた各種ヘッダが付加されて送信される。このとき、3.1.2 と同様にセキュリティオーバーヘッドは既にサービスで使用されているセキュリティオーバーヘッドを使用してシミュレーションを行った。

4.2.7. 評価項目

700MHz 帯 ITS による SIP ユースケースの対応可否及び既存サービスへの影響については、距離ごとのパケット到達率と無線通信遅延によって評価を行った。

- ・パケット到達率

パケット到達率はアプリケーションレイヤにおける送信パケット数に対し、そのうちの受信成功パケット数の比とした。すなわち、CSMA/CA のキャリアセンスにより送信が見送られた結果、一回の送信周期（100 ms）のうちに送信できなかったパケットについても分母として含め、送信失敗とした。送信パケット数は 10 秒間で発生する数とし、シードを変えて 2 回以上実施した平均のパケット到達率で評価した。

- ・無線通信遅延

無線通信遅延は、少なくとも 1 回のパケットを受信できる確率が所望のパケット到達率に達するまでの時間と定義した。すなわち、所望のパケット到達率に達するまでに送信した回数に送信周期である 100 ms を掛けたものであり、一回のパケット送信に対するパケット到達率を P_x とし、所望のパケット到達率を P_D として、下式のようなになる。

$$\text{無線通信遅延} = \text{ceil} \left[\frac{\log(1 - P_D)}{\log(1 - P_x)} \right] \times 100 \text{ ms}$$

この無線通信遅延は、少なくとも 1 回のパケットを P_D の確率で受信可能である時間を示している。なお、本来は走行による移動があるため、徐々にパケット到達率が変化するが、本検討では同一地点におけるパケット到達率を元に計算を行っている。これらから、各ユースケースにおける必要通信距離及び無線区間における許容通信遅延が要件を満足するかを評価した。

- ・積算パケット到達率

既存サービスとの共存成立性は、制度化の際の指標である積算パケット到達率を用いて評価を行った。積算パケット到達率は、評価区間でのパケット送信のうち少なくとも 1 回は受信できる確率であり、下式で定義されている。

$$\text{積算パケット到達率} = 1 - (1 - P_x)^{N_x}$$

P_x : x [m] 区間における 1 回送信あたりのパケット到達率

N_x : x [m] 区間を走行する間に通信相手が送信する平均パケット数

なお、路車間通信は $x = 5$ [m]、車車間通信は、 $x = 10$ [m] を評価区間とする。

4.3. シミュレーション結果

4.3.1. 低速移動時の最大車両密度条件

4.3.1.1. 700MHz 帯 ITS による SIP ユースケースの対応可否

低速移動時の最大車両密度条件における SIP ユースケースのシミュレーション結果を示す。無線方式検討 TG のシナリオ [5]内で走行速度に応じて必要通信距離が変化するユースケースに関しては、低速移動時の必要通信距離を計算しその値を判定基準とした。

(1) 高速道本線 路車間通信

高速道本線における路車間通信の packets 到達率と無線通信遅延時間を図 4-7 に示す。また、表 4-10 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。a-1-3 の必要到達距離である 266.7 m において 99 %以上の packets 到達率となっており、無線方式検討 TG 提示の通信要件を満たすことがわかる。

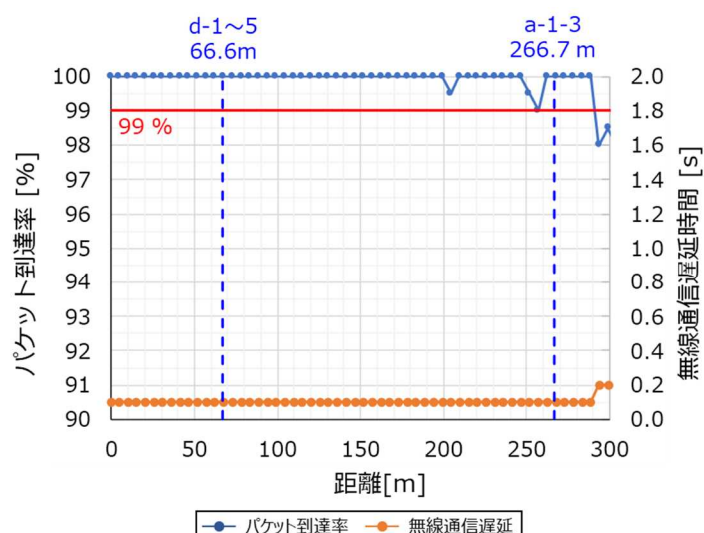


表 4-10 ユースケース毎の遅延時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-3	100 ms	0.6 m
d-1~d-5	100 ms	0.6 m

図 4-7 高速道本線 渋滞条件
路車間通信のシミュレーション結果

(2) 高速道連絡路 路車間通信

高速道連絡路における路車間通信のシミュレーション結果を図 4-8 に示す。また、表 4-11 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。最も必要通信距離の長い a-1-2, a-1-3 の 116.7 m において 99 %以上の packets 到達率が得られており、連絡路においても路車間通信は無線方式検討 TG 提示の通信要件を満たすことがわかる。

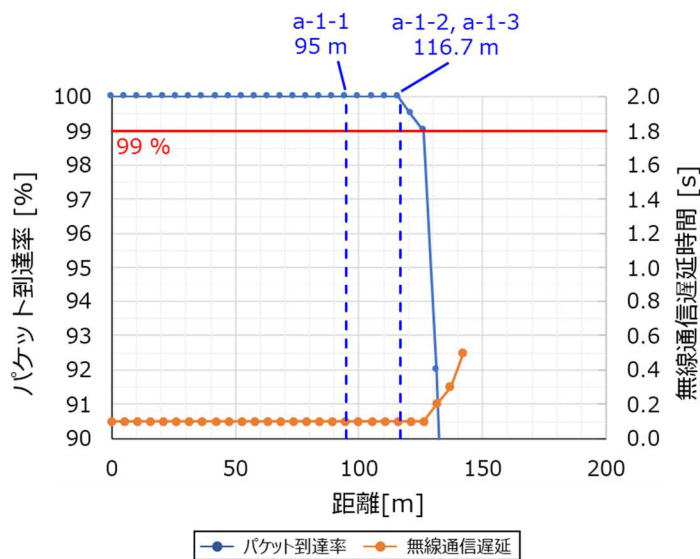


表 4-11 ユースケース毎の遅延時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-1	100 ms	0.6 m
a-1-2	100 ms	0.6 m
a-1-3	100 ms	0.6 m

図 4-8 高速道連絡路 渋滞条件
路車間通信のシミュレーション結果

(3) 高速道本線 車路間通信

高速道本線における車路間通信の PACKET 到達率及び無線通信遅延時間を図 4-9 に示す。また、表 4-12 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。表中の遅延時間はユースケースごとの必要距離以下における PACKET 到達率の最低値から算出している。

0 m、60 m 付近や 130～160 m の範囲など PACKET 到達率が急落している場所があることがわかる。これは南北に走る道路が見通しとなる場所と一致しており、車載機送信メッセージの衝突による PACKET 到達率の低下が発生していると考えられる。

近距離においても PACKET 到達率が 40～70 % 程度と低くなっているため、いずれのユースケースにおいても無線通信遅延時間は 900 ms となった。これにより、d-1～d-4 及び f-2 は無線方式検討 TG 提示の通信要件を満たすが、無線区間許容遅延が 100 ms である a-1-3 は通信要件を満たさなかった。

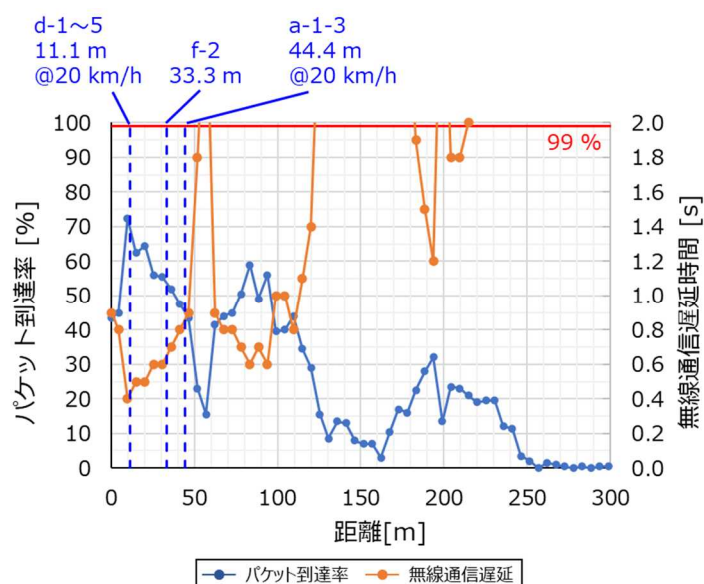


図 4-9 高速道本線 渋滞条件
車路間通信のシミュレーション結果

表 4-12 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-3	900 ms	5.0 m
d-1~d-4	900 ms	5.0 m
f-2	900 ms	5.0 m

(4) 高速道連絡路 車路間通信

高速道連絡路における車路間通信の packet 到達率及び無線通信遅延時間を図 4-10 に示す。また、表 4-13 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。本線と同様、近距離においても packet 到達が 40~70 %程度と低くなっており、packet 到達率 99 %を満足しないことがわかる。

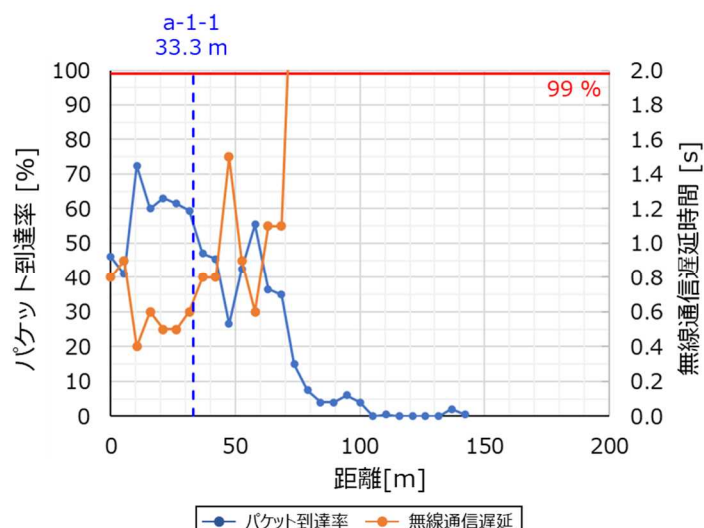


図 4-10 高速道連絡路 渋滞条件
車路間通信のシミュレーション結果

表 4-13 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-3	900 ms	5.0 m

(5) 高速道本線 車車間通信

高速道本線における車車間通信の packets 到達率及び無線通信遅延時間を図 4-11 に示す。また、表 4-14 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。近距離においても packets 到達率が低くなっており、packets 到達率 99 %を満たさないことがわかる。場所により packets 到達率が急に悪化する場所があるが、南北に走る道路が見通しとなる場所と一致していることから、(3)の車路間通信と同様に車載機送信同士メッセージ同士の衝突によるものと考えられる。

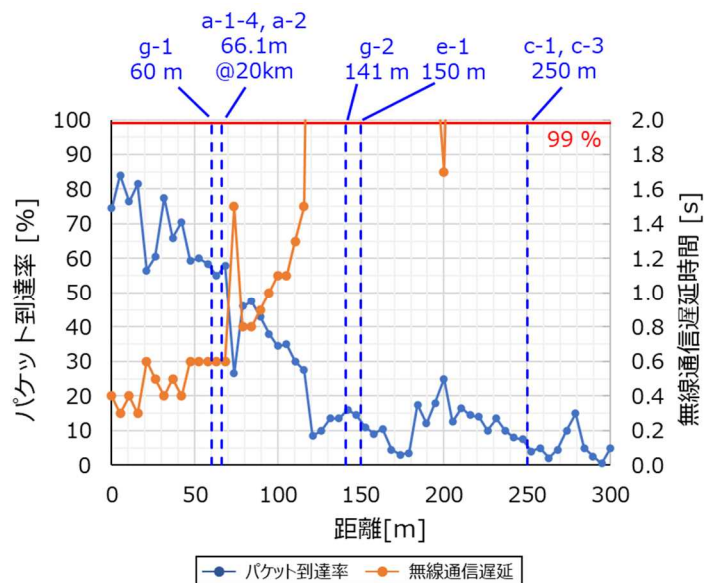


表 4-14 ユースケース毎の遅延時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-4	600 ms	3.3 m
a-2	600 ms	3.3 m
c-3/c-1	15.2 s	84.4 m
e-1	5.2 s	28.9 m
g-1	600 ms	3.3 m
g-2	5.2 s	28.9 m

図 4-11 高速道本線 渋滞条件
車車間通信のシミュレーション結果

(6) 一般道 路車間通信

一般道路における路車間通信の packets 到達率と、無線通信遅延時間を図 4-12 に示す。また、表 4-15 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。b-1-1 の必要通達距離である 206.3 m において 99 %以上の packets 到達率となっており、無線方式検討 TG 提示の通信要件を満たすことがわかる。

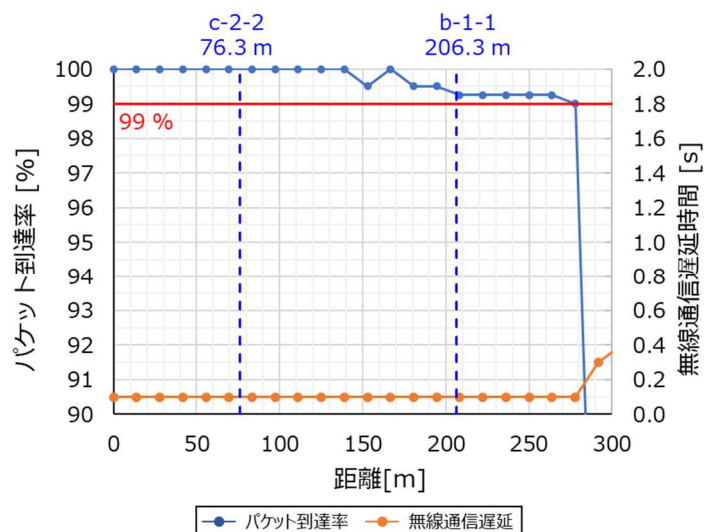


表 4-15 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
b-1-1	100 ms	1.1 m
c-2-2	100 ms	1.1 m

図 4-12 一般道 渋滞条件
路車間通信のシミュレーション結果

(7) 一般道見通し外 車車間通信

一般道路の見通し外通信における車車間通信のパケット到達率と、無線通信遅延時間を図 4-13 に示す。また、表 4-16 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。走行速度が低い状態を想定しているため必要な通信距離は短いものの、近距離であってもパケット到達率は低くなっており、パケット到達率 99% は未達となった。無線通信遅延時間についても 900 ms となっており、車両が 5 m 進む時間に相当するものとなっていた。

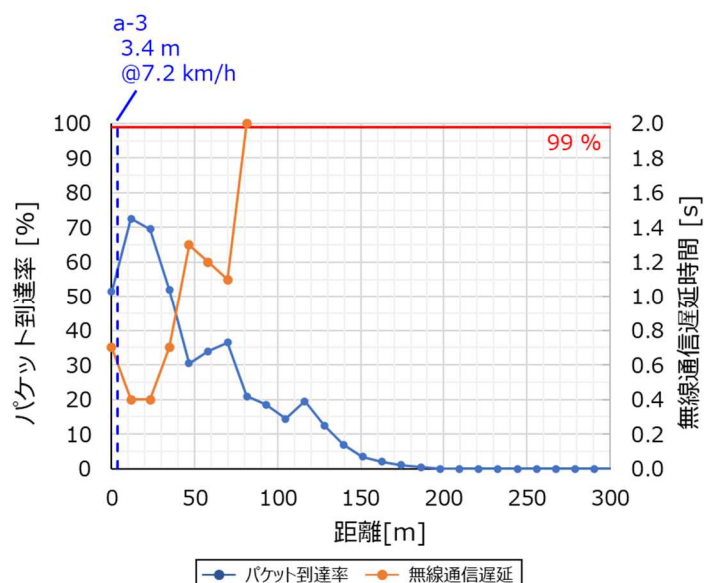


表 4-16 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-3	900 ms	5.0 m

図 4-13 一般道 NLoS 渋滞条件
車車間通信のシミュレーション結果

(8) 一般道見通し内 車車間通信

一般道路の見通し内通信における車車間通信のパケット到達率と、無線通信遅延時間を図 4-14 に示す。また、表 4-17 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。10～60 m においてパケット到達率が低くなっているが、南北に配置した幹線道路との交差点内にあたる場所であり、車載機送信パケット同士の衝突により低下していると考えられる。全体としてパケット到達率が低く、パケット到達率 99 %は未達となった。

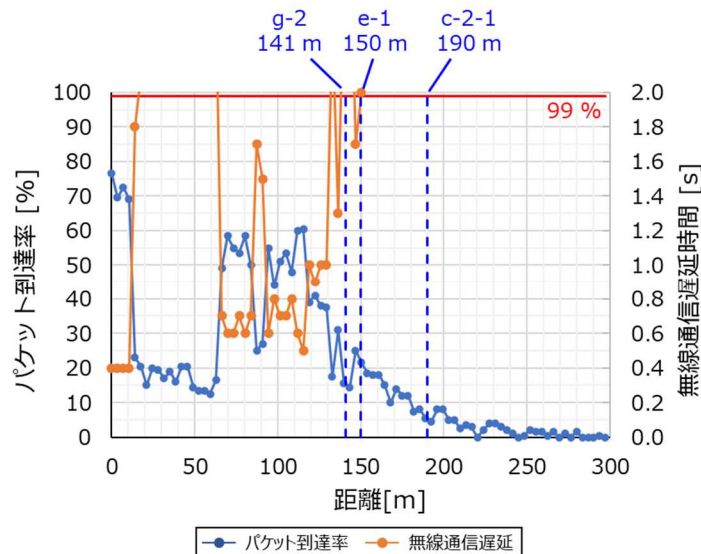


表 4-17 ユースケース毎の遅延時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
c-2-1	10.1 s	56.1 m
e-1	3.5 s	19.4 m
g-2	3.5 s	19.4 m

図 4-14 一般道 LoS 渋滞条件
車車間通信のシミュレーション結果

4.3.1.2. 既存サービスとの共存性確認

低速移動時の最大車両密度条件における既存サービスのシミュレーション結果を図 4-15 に示す。4.2.7 節で示した通り、路車間通信である(a)のグラフは 5 m の積算、車車間通信である(b)は 10 m の積算したパケット到達となっている。グラフから路車間通信は 240 m で積算パケット到達率 99%、車車間通信は 85 m で積算パケット到達率 95%という通信要件を満足しており、SIP ユースケースと共存可能であることが確認できた。

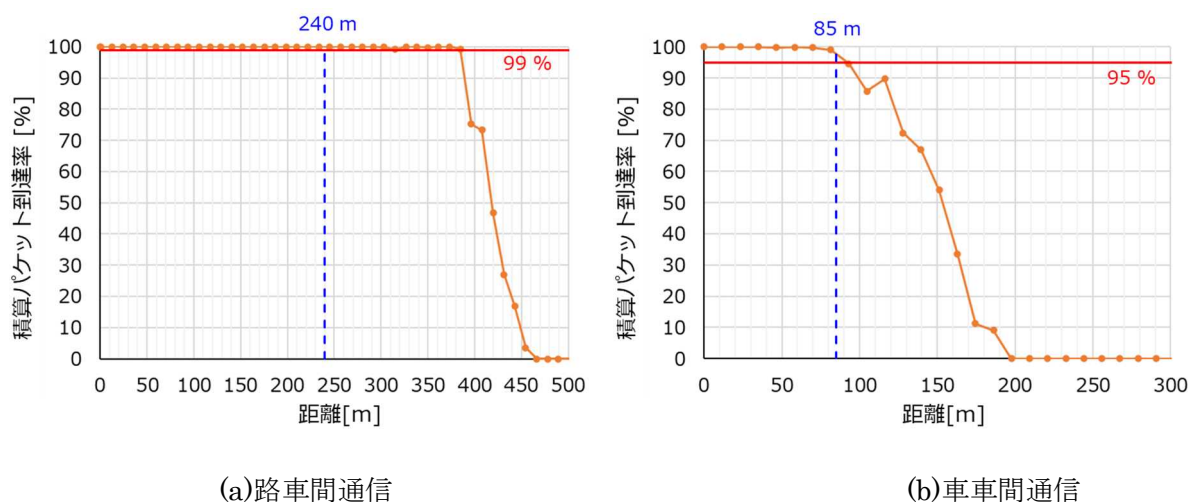


図 4-15 既存サービスのシミュレーション結果

4.3.2. 規制速度程度での最大車両密度条件

4.3.2.1. 700MHz 帯 ITS による SIP ユースケースの対応可否

規制速度程度での走行における最大車両密度となる条件で SIP ユースケースのシミュレーションを行った結果を示す。

(1) 高速道本線 路車間通信

高速道本線における路車間通信の packets 到達率と、無線通信遅延時間を図 4-16 に示す。また、表 4-18 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。

低速移動時の最大車両密度条件において 99 %以上の packets 到達率となっていたのと同様、a-1-3 の必要通達距離である 266.7 m において 99 %以上の packets 到達率となっており無線方式検討 TG 提示の通信要件を満たすことがわかる。

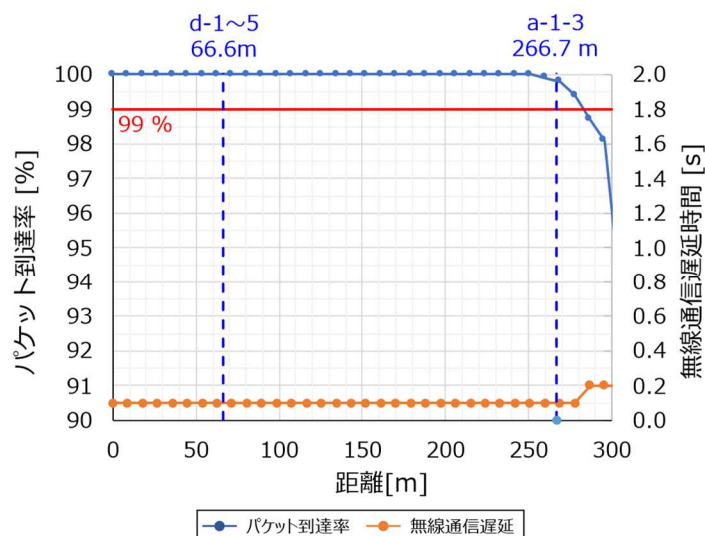


表 4-18 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-3	100 ms	3.3 m
d-1~d-4	100 ms	3.3 m

図 4-16 高速道本線 通常走行条件
路車間通信のシミュレーション結果

(2) 高速道連絡路 路車間通信

高速道連絡路における路車間通信のシミュレーション結果を図 4-17 に示す。また、表 4-19 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。本線と同様、車両密度による変化はほぼ見られず、無線方式検討 TG 提示の通信要件を満たすことがわかる。

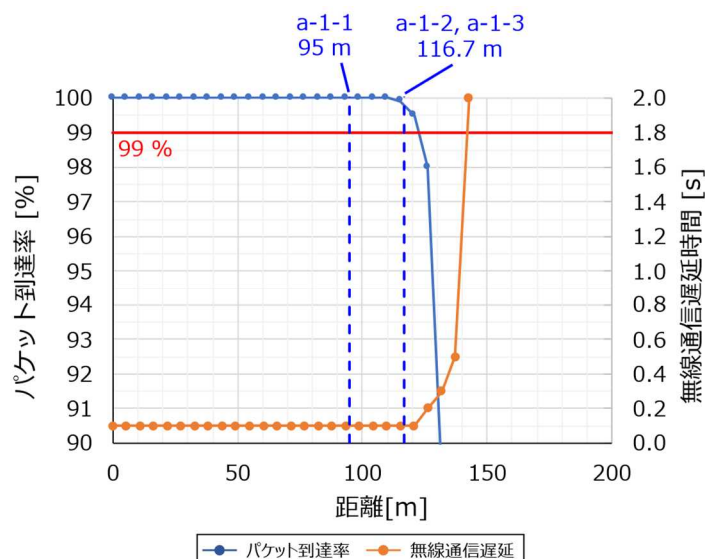


表 4-19 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-1	100 ms	1.9 m
a-1-2	100 ms	1.9 m
a-1-3	100 ms	1.9 m

図 4-17 高速道連絡路 通常走行条件
路車間通信のシミュレーション結果

(3) 高速道本線 車路間通信

高速道本線における車路間通信の packets 到達率及び無線通信遅延時間を図 4-18 に示す。また、表 4-20 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。低速移動時の最大車両条件に比べ、packets 到達率が大幅に改善していることがわかる。しかしながら、a-1-3 については必要距離における無線通信遅延は 700 ms となっており、無線方式検討 TG 提示の通信要件を満たさなかった。d-1~d-4 及び f-2 については低速移動時と同様に通信要件を達成している。

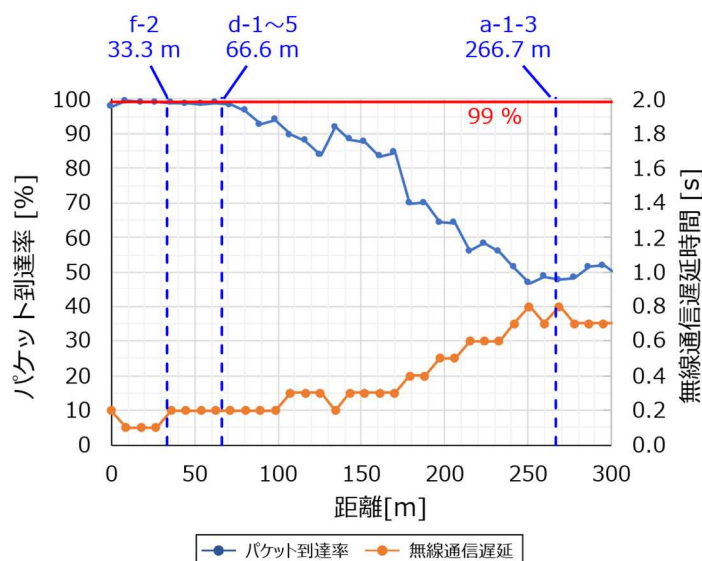


表 4-20 ユースケース毎の遅延時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-3	800 ms	26.7 m
d-1~d-5	200 ms	6.7 m
f-2	200 ms	6.7 m

図 4-18 高速道本線 通常走行条件
車路間通信のシミュレーション結果

(4) 高速道連絡路 車路間通信

高速道連絡路における車路間通信の packets 到達率及び無線通信遅延時間を図 4-19 に示す。また、表 4-21 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。本線と同様、車両密度が低下したことにより packets 到達率が改善していることがわかるが、無線方式検討 TG 提示の通信要件は未達となった。

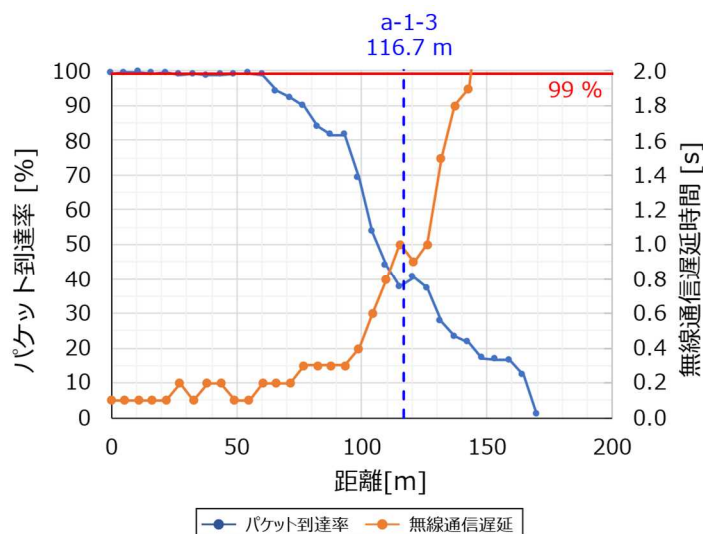


表 4-21 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-1	900 ms	17.5 m

図 4-19 高速道連絡路 通常走行条件
車路間通信のシミュレーション結果

(5) 高速道本線 車車間通信

高速道本線における車車間通信の packet 到達率及び無線通信遅延時間を図 4-20 に示す。また、表 4-22 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。低速移動時に比較して packet 到達率は改善しているものの、99 % 以上とはならず g-1 の必要通信距離である 60 m においても無線通信遅延は 200 ms となり無線方式検討 TG 提示の通信要件は未達となった。

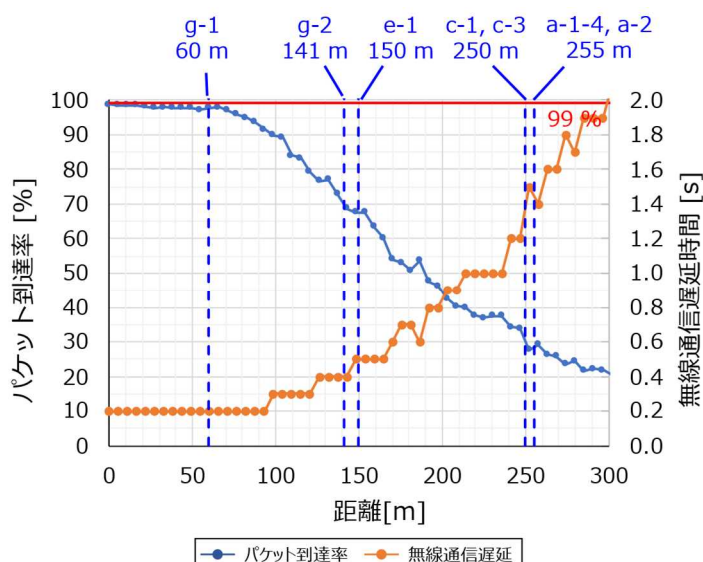


表 4-22 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-1-4	1.4 s	27.2 m
a-2	1.4 s	27.2 m
c-3/c-1	1.5 s	29.2 m
e-1	500 ms	9.7 m
g-1	200 ms	3.9 m
g-2	400 ms	7.8 m

図 4-20 高速道本線 通常走行条件
車車間通信のシミュレーション結果

(6) 一般道 路車間通信

一般道路における路車間通信の packets 到達率と、無線通信遅延時間を図 4-21 に示す。また、表 4-23 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。低速移動時の最大密度条件と同様、規制速度程度での最大密度条件においても無線方式検討 TG 提示の通信要件を達成した。

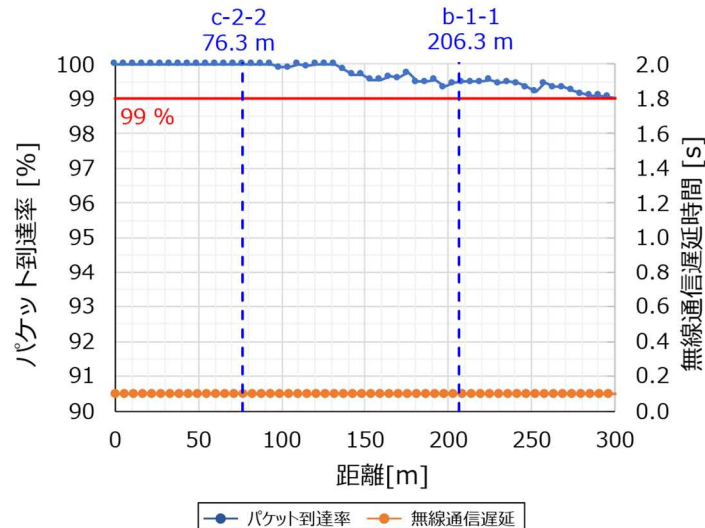


表 4-23 ユースケース毎の遅延時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
b-1-1	100 ms	1.9 m
c-2-2	100 ms	1.9 m

図 4-21 一般道 通常走行条件
路車間通信のシミュレーション結果

(7) 一般道 見通し外 車車間通信

一般道路の見通し外通信における車車間通信の packets 到達率と、無線通信遅延時間を図 4-22 に示す。また、表 4-24 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。0 m 地点における packets 到達率は約 50 % から約 95 % まで改善したものの、無線方式検討 TG 提示の通信要件は未達となった。

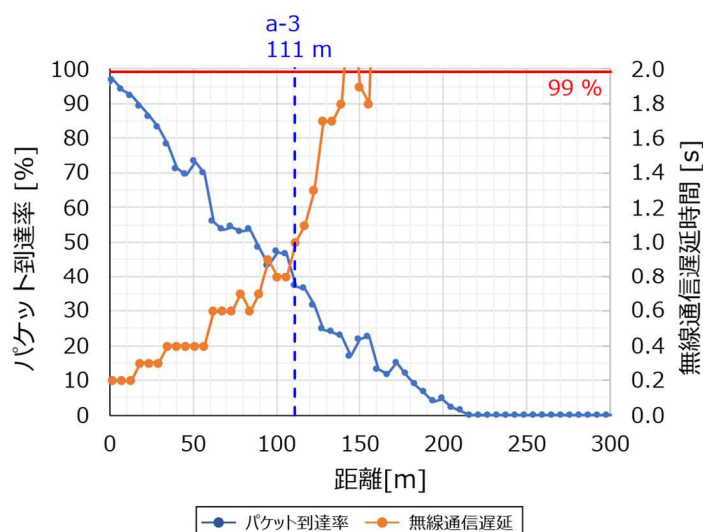


表 4-24 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
a-3	1 s	19.4 m

図 4-22 一般道 NLoS 通常走行条件
車車間通信のシミュレーション結果

(8) 一般道 見通し内 車車間通信

一般道路の見通し内通信における車車間通信のパケット到達率と、無線通信遅延時間を図 4-23 に示す。また、表 4-25 に各ユースケースにおける遅延時間とその間に移動する距離を示す。低速移動時の最大密度条件のときに見られた 10～60 m におけるパケット到達率の低下は、車両密度の低下によりほぼ見られなくなっている。また、全体としてパケット到達率は改善しているものの、無線方式検討 TG 提示の通信要件は未達となった。

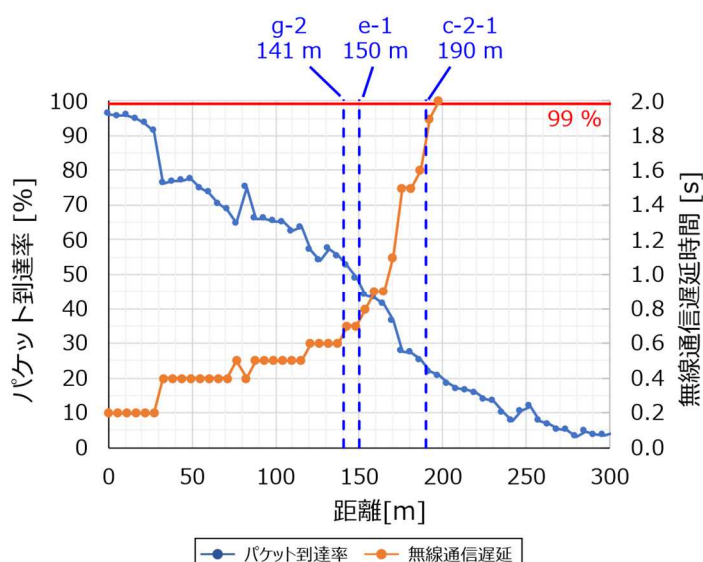


表 4-25 ユースケース毎の遅延
時間と遅延時間中の移動距離

ユースケース	遅延	移動距離
c-2-1	1.9 s	36.9 m
e-1	800 ms	15.6 m
g-1	700 ms	13.6 m

図 4-23 一般道 LoS 通常走行条件
車車間通信のシミュレーション結果

4.3.2.2. 既存サービスとの共存性確認

規制速度程度での走行における最大車両密度となる条件での既存サービスのシミュレーション結果を図 4-24 に示す。4.2.7 節で示した通り、路者間通信である(a)のグラフは 5 m の積算、車車間通信である(b)は 10 m の積算したパケット到達となっている。グラフから路車間通信は 240 m で積算パケット到達率 99 %、車車間通信は 85 m で積算パケット到達率 95 %という通信要件を満足しており、SIP ユースケースと共存可能であることが確認できた。

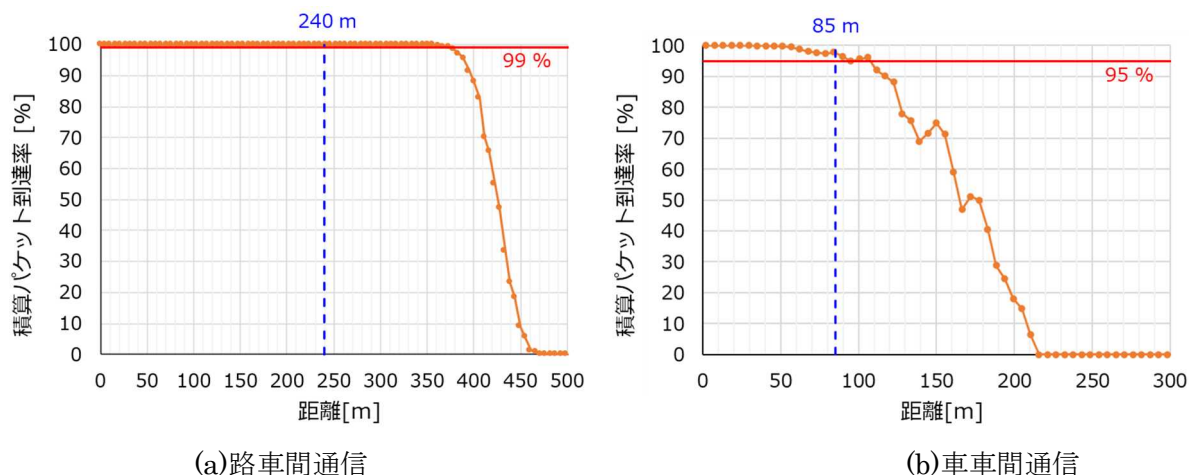


図 4-24 既存サービスのシミュレーション結果

4.3.3. 結果まとめ

シミュレーションの結果に基づき、ユースケースごとの 700MHz 帯 ITS での対応可否を表 4-3 に示す。

路車間通信 (a-1-1, a-1-2, a-1-3, b-1-1, c-2-2, d-1~d-5) は、無線方式検討 TG 提示の通信要件を低速移動時・規制速度程度の最大車両密度条件ともに達成した。距離的に互いに影響を与える範囲の全ての路側機に対して、路側機送信可能時間のスロットを重複することなく割り当て可能であり、車載機で受信するときに各路側機からの送信メッセージが互いに干渉しない通信が可能であった。

車車間通信 (a-1-4, a-2, a-3, c-1, c-2-1, c-3, e-1, g-1, g-2) は無線方式検討 TG 提示の通信要件を達成することができなかった。低速移動時の最大車両密度条件においては十分な受信電力が得られると考えられる地点においてもパケット到達率が低くなっており、隠れ端末問題により車載機送信メッセージの衝突が発生していると考えられる。隠れ端末問題とは T109 規格の車車間通信で使用されている CSMA/CA において発生する問題であり、互いにキャリアセンス範囲外となっている 2 台の車載機 A, B が受信車載機 C に対して通信可能であった場合に、A, B 間で互いの送信有無がわからないために A, B の送信メッセージが C に対して同時に到達しうることによって衝突が発生する問題である。

また、送信車両から見通しとなる車両が多くなる交差点などにおいて、パケット到達率が著しく低下しており、無線通信キャパシティの不足による送信不可が多く発生していることが考えら

れる。規制速度程度での最大車両密度条件においても改善しているものの、無線方式検討 TG 提示の通信要件は達成しなかった。

車路間通信 (d-1~d-4、f-2、a-1-3) において、d-1~d-4 および f-2 は、無線方式検討 TG から提示された通信要件を達成できた。車載機送信メッセージの衝突の影響は見られるものの想定した無線区間許容遅延が 1 秒と他のユースケースよりも長いため、要件達成となった。a-1-3 については、無線区間許容遅延が 100 ms であり、無線方式検討 TG 提示の通信要件が未達となった。

表 4-26 SIP ユースケースごとの 700MHz 帯 ITS での対応可否結果のまとめ

	大分類	中分類	ユースケース名	通信要件			700MHz ITSでの 対応可否	TG通信距離要件にて所定のPARが満足する 無線通信遅延 (距離/遅延)		
				距離	遅延	PAR		規制速度最大車両密度	低速移動時最大密度	
1	①車載センサー検知外情報の入手が必要なユースケース	a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援	95 m	100 ms	99 %	○	渋滞走行機参照	95 m / 100 ms(※)	
2			a-1-2.本線隙間狙い合流支援	116.7 m	100 ms	99 %	○	渋滞走行機参照	116.7 m / 100 ms(※)	
3		b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)	206.3 m	5 m区間	99 %	○	渋滞走行機参照	206.3 m / 100 ms(※)	
4			b-1-2.信号情報による走行支援 (V2N)							
5		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	250 m	100 ms	99 %	×	250 m / 1.5 s	250 m / 15.2 s	
6			c-2-1.交差点の情報による走行支援 (V2V)	190 m	100 ms	99 %	×	190 m / 1.9 s	190 m / 10.1 s	
7			c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	76.3 m	100 ms	99 %	○	渋滞走行機参照	76.3 m / 100 ms(※)	
8			c-3.ハザード情報による衝突回避支援	250 m	100 ms	99 %	×	V→V 250 m / 1.5 s	250 m / 15.2 s	
9			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	120 km/h:66.6 m 20 km/h:11.1 m	1 s	99 %	○	V→I 66.6 m / 200 ms I→V 渋滞走行機参照	V→I 11.1 m / 900 ms I→V 66.6 m / 100 ms(※)
10				d-2.逆走車の通知による走行支援	120 km/h:66.6 m 20 km/h:11.1 m	1 s	99 %	○	V→I 66.6 m / 200 ms I→V 渋滞走行機参照	V→I 11.1 m / 900 ms I→V 66.6 m / 100 ms(※)
11				d-3.渋滞の情報による走行支援	120 km/h:66.6 m 20 km/h:11.1 m	1 s	99 %	○	V→I 66.6 m / 200 ms I→V 渋滞走行機参照	V→I 11.1 m / 900 ms I→V 66.6 m / 100 ms(※)
12				d-4.分岐・出口渋滞支援	120 km/h:66.6 m 20 km/h:11.1 m	1 s	99 %	○	V→I 66.6 m / 200 ms I→V 渋滞走行機参照	V→I 11.1 m / 900 ms I→V 66.6 m / 100 ms(※)
13				d-5.ハザード情報による走行支援	120 km/h:66.6 m 20 km/h:11.1 m	1 s	99 %	○	渋滞走行機参照	66.6 m / 100 ms(※)
14			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	150 m	100 ms	99 %	×	150 m / 800 ms	150 m / 5.2 s
15		②自車が保有する情報の提供が必要なユースケース	f.インフラによる情報収集・配信	f-1.救援要請(e-Call)						
16				f-2.交通流の最適化のための情報収集	33.3 m	1 s	99 %	○	V→I 33.3 m / 200 ms	V→I 33.3 m / 900 ms
17				f-3.地図更新・自動生成						
18				f-4.ダイナミックマップ情報配信						
19	③車車間及び路車間の意識疎通が必要なユースケース	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	高速道本線 120 km/h:266.7 m 20 km/h:44.4 m 高速道連絡路 70 km/h:116.7 m 20 km/h:33.3 m	100 ms	99 %	×	高速道本線 V→I 266.7 m / 800 ms I→V 渋滞走行機参照 高速道連絡路 V→I 116.7 m / 900 ms I→V 渋滞走行機参照	高速道本線 V→I 44.4 m / 900 ms I→V 266.7 m / 100ms(※) 高速道連絡路 V→I 33.3 m / 900 ms I→V 116.7 m / 100 s(※)	
20			a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援	120 km/h:255 m 20 km/h:66.1 m	100 ms	99 %	×	255 m / 1.4 s	66.1 m / 600 ms	
21		g.隊列・追従走行	a-2.混雑時の車線変更の支援	120 km/h:255 m 20 km/h:66.1 m	100 ms	99 %	×	255 m / 1.4 s	66.1 m / 600 ms	
22			a-3.渋滞走行の非優先道路から優先道路への進入支援	60 km/h:111.1 m 7.2 km/h:3.4 m	100 ms	99 %	×	111.1 m / 1.0 s	3.4 m / 700 ms	
23			g-1.電子牽引による後続車無人隊列走行	60 m	100 ms	99 %	×	60 m / 200 ms	シナリオ範囲外	
24			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	141 m	10 m区間	95 %	×	141 m / 700 ms	シナリオ範囲外	
25			h.遠隔操作	h-1.移動サービスカーの操作・管理						

(※): 最高速度での最大車両密度条件においても規制速度程度での最大車両密度条件の通信要件を満足

※通信時のセキュリティについては、無線方式検討 TG が提示するオーバーヘッド長ではなく、700MHz 帯 ITS で採用されているオーバーヘッド長を適用した結果

4.3.4. 考察

車車間通信は主に下記 2 つの理由により無線方式検討 TG 提示の通信要件が未達成となったと考えられる。

① 送信率低下

車載機の密度が高くなると、送信タイミングが得られず 100 ms 以内に送信できない状態が発生する。

② 同時送信による受信不可

キャリアセンス範囲外の車載機が評価車載機の送信タイミングを把握できずに同時送信を起こす隠れ端末問題により車載機同士の同時送信が発生し、所要 DU 比が満足できず受信不可となる事象が発生する。

車路通信についても、車車間通信と同様の理由によりパケット到達率が低下しており、無線区間許容遅延が 100 ms である a-1-3 は達成しなかったものと考えられる。

4.4. 追加検証シミュレーション

700MHz 帯 ITS による SIP ユースケースの社会実装に向けた検討を行う上で参考とするべく、一例として環境条件を変更したシミュレーションを行った。

4.4.1. シミュレーション条件

追加検証として、条件を変更した下記 4 つの条件でのシミュレーションを実施した。

- 条件 1：規制速度程度での最大車両密度条件

条件変更による変化を見るために、4.3.2 で示した規制速度程度での最大車両密度条件のシミュレーション結果を表示する。

- 条件 2：受信感度変更

路側機及び車載機の受信感度は 3.1.1 で検討したとおり、文献 [6], [7]を参考として決定したが、技術進展に伴い受信感度の向上が考えられる。ここでは受信感度の一例として表 4-27 に示すように 8 dB の改善があった場合のシミュレーションを行った。なお、車載機におけるキャリアセンスレベルは変更していない。

この変更により、通達距離の拡大が期待される。

表 4-27 追加検証における受信感度変更

変調方式	変更前	変更後
QPSK 1/2	-82 dBm	-90 dBm
16QAM 1/2	-77 dBm	-85 dBm

- 条件 3：受信感度変更＋路路間通信 OFF

4.3 節に結果を示したシミュレーションにおいては、図 4-25 に示すように 13～16 スロットに路路間通信を割り当てていた。場所により路路間通信が実施されていない場合もあることから、条件 2 に加え路路間通信を取りやめた条件でシミュレーションを行った。

この変更により、路路間通信用スロットが車載機通信に開放されるため、送信率の向上や車載機送信同士の衝突を低減することが期待される。

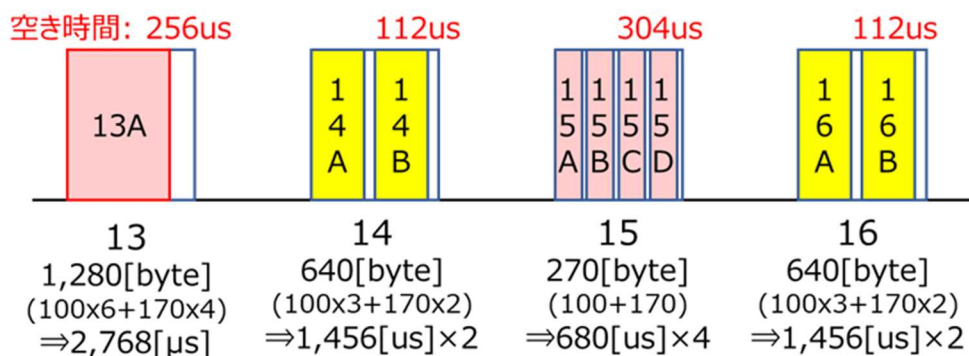


図 4-25 路路間通信の通信期間

・ 条件 4：受信感度変更＋路路間通信 OFF＋車両密度変更

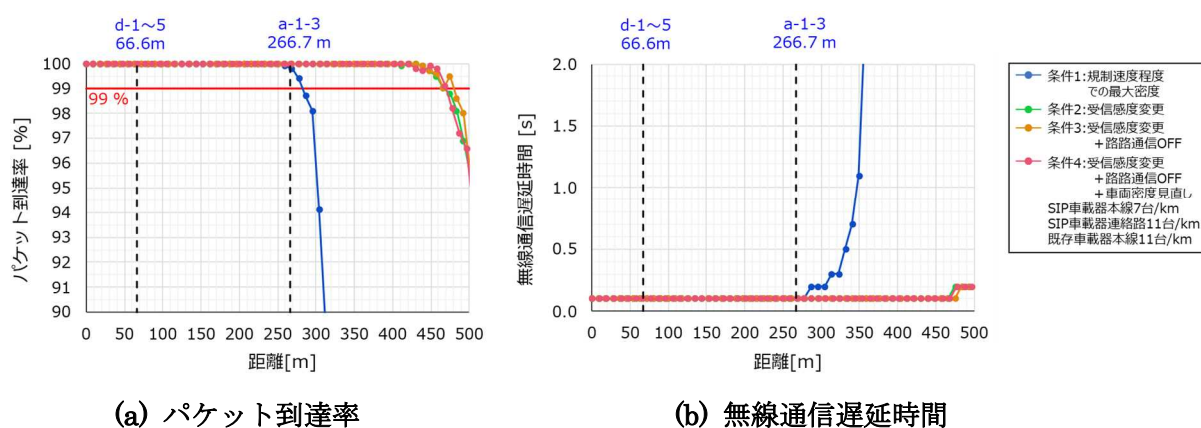
車両密度は規制速度程度における最も密条件としてきたが、車両密度が低い環境における 700MHz 帯 ITS の実力を評価するため、条件 3 に加え車両密度を中核都市レベル想定約 1/2 としたシミュレーションを行った。

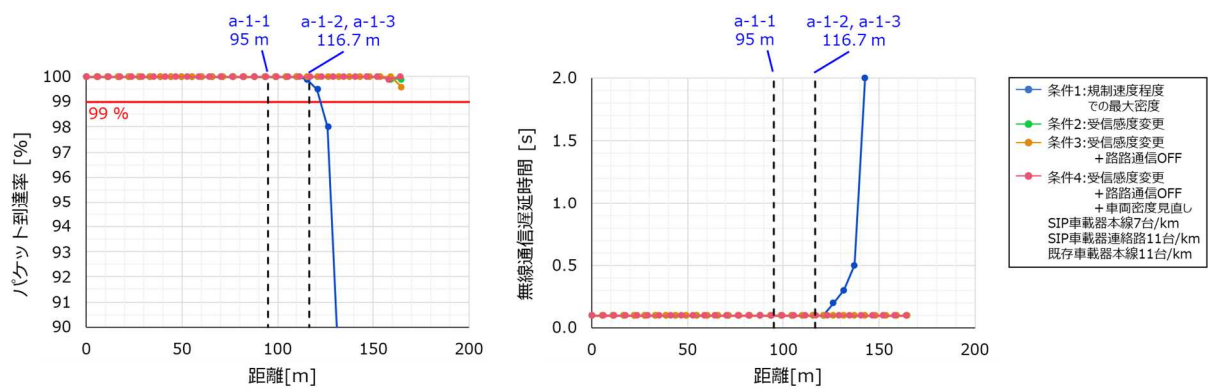
この条件変更により、条件 3 と同様に送信率の向上や車載機送信同士の衝突を低減することが期待される。

4.4.2. シミュレーション結果

(1) 高速道 路車間通信

高速道における路車間通信の追加シミュレーションについて、本線の結果を図 4-26、連絡路の結果を図 4-27 に示す。条件 2 により通達距離が伸びているものの、条件 3, 4 の変更は路側機の送信可否および路側機送信メッセージの受信可否にほとんど影響を与えないため変化はなかった。





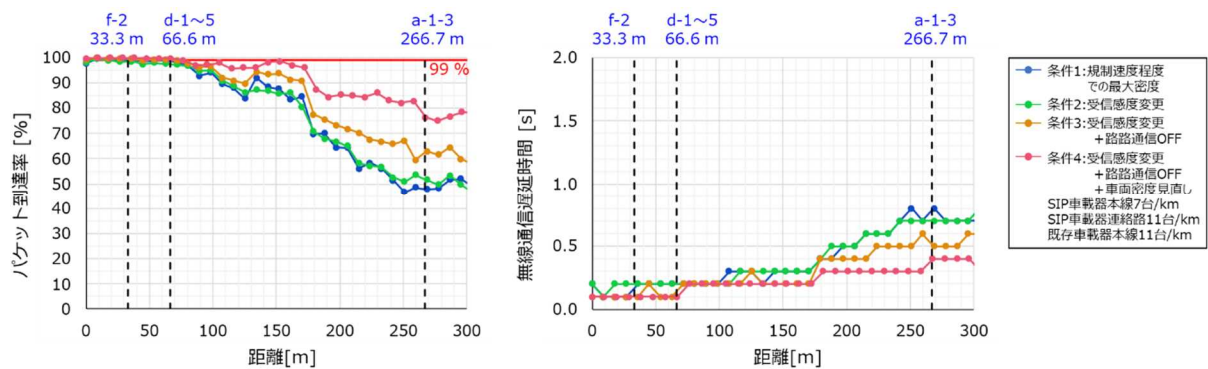
(a) パケット到達率

(b) 無線通信遅延時間

図 4-27 条件変更シミュレーション結果（高速道連絡路 路車間通信）

(2) 高速道 車路間通信

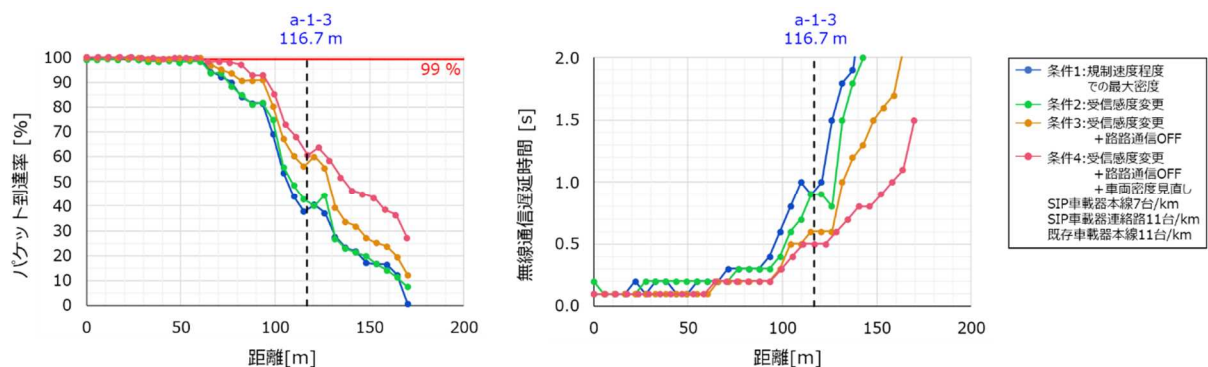
高速道における車路間通信の追加シミュレーションについて、本線の結果を図 4-28、連絡路の結果を図 4-29 に示す。条件 2 による受信感度変更の影響に比べ、条件 3, 4 による効果が大きく、送信率低下や車載機送信同士の衝突によってパケット到達率が低下していたことがわかる。



(a) パケット到達率

(b) 無線通信遅延時間

図 4-28 条件変更シミュレーション結果（高速道本線 車路間通信）



(a) パケット到達率

(b) 無線通信遅延時間

図 4-29 条件変更シミュレーション結果（高速道連絡路 車路間通信）

(3) 高速道本線 車車間通信

高速道本線における車車間通信の追加シミュレーション結果を図 4-30 に示す。条件 2 の受信感度変更による変化はほとんど見られず、条件 3, 4 による路路間通信スロットの車載機への開放や車両台数が減ったことによりパケット到達率及び無線通信遅延時間の改善がみられる。

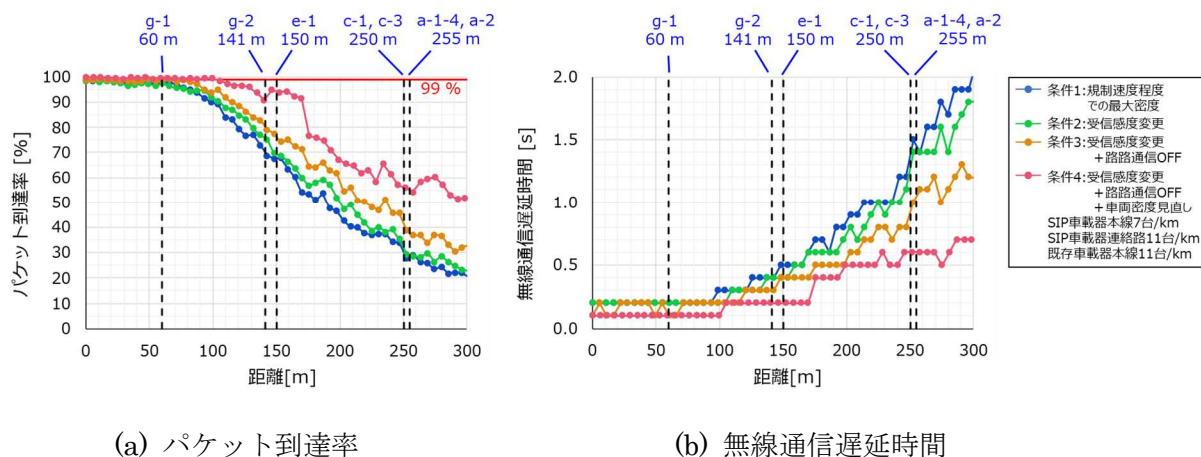


図 4-30 条件変更シミュレーション結果（高速道本線 車車間通信）

(4) 一般道 路車間通信

一般道路における路車間通信の追加シミュレーションについて、図 4-31 に示す。(1)と同様、受信感度変更により通達距離は変化しているが、路路間通信 OFF や車両密度変更の影響はほとんど見られない。

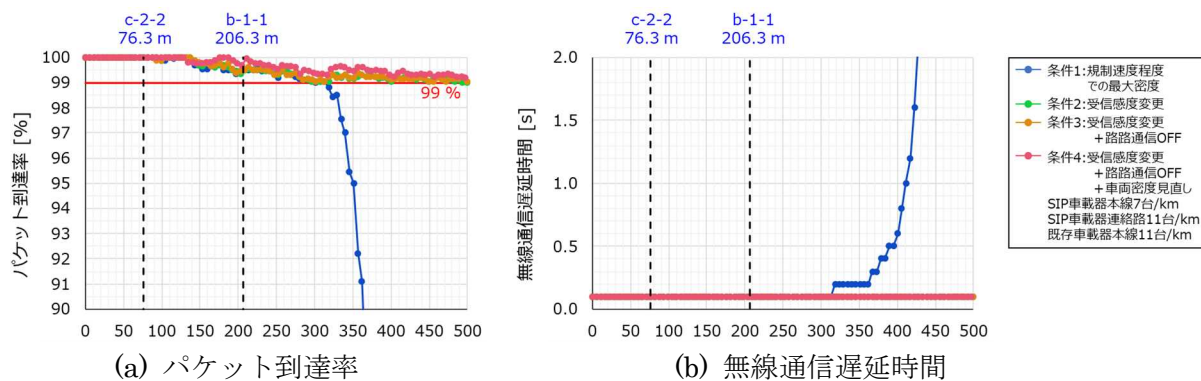
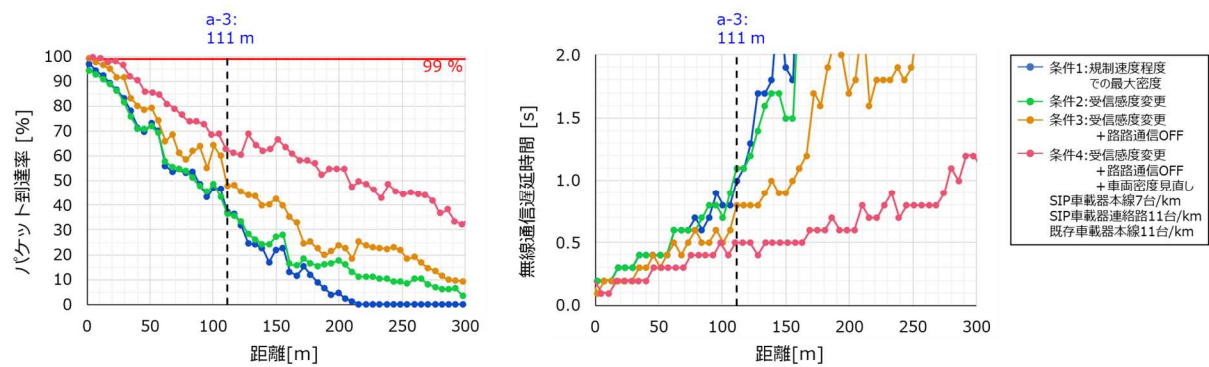


図 4-31 条件変更シミュレーション結果（一般道 路車間通信）

(5) 一般道 車車間通信

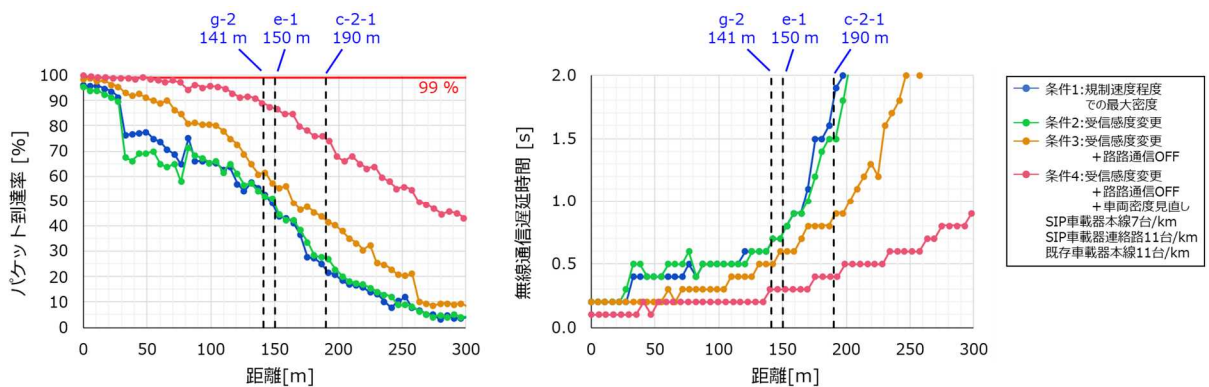
一般道路における路車間通信の追加シミュレーションについて、見通し外通信の結果を図 4-32、見通し内通信の結果を図 4-33 に示す。条件 4 による車両密度変更の影響が顕著であることがわかる。一般道路は高速道路に比して車両密度が高い条件となるため、車両密度の影響が大きいと考えられる。



(a) パケット到達率

(b) 無線通信遅延時間

図 4-32 条件変更シミュレーション結果（一般道見通し外 車車間通信）



(a) パケット到達率

(b) 無線通信遅延時間

図 4-33 条件変更シミュレーション結果（一般道見通し内 車車間通信）

(6) まとめ

車路間及び車車間通信の通信品質は受信感度を向上しても、改善が見られなかった。一方で、路路間通信用スロットを使用しないことで、車路間及び車車間通信の通信品質がわずかに改善し、更に車両密度を下げる事によって大幅に改善した。

また、車両密度を低下させた条件4においては無線通信遅延が0.1～1.4秒改善しており、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）のユースケースにおいては無線方式検討TG提示の通信品質要件を達成することが分かった。

表 4-28 条件変更による通信遅延の改善状況

No.	大分類	中分類	ユースケース名	TGの通信要件 距離/遅延/PAR	700MHz ITSでの 対応可否	TG通信距離要件にて所定のPARが満足する 無線通信遅延（距離/遅延）※規制速度での最大車両密度条件	
						条件変更前（条件1）	条件変更後（条件4）
1	①車載センサ検知外情報入手が必要なユースケース	a.合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援				
2			a-1-2.本線降車扱い合流支援				
3		b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援(V2I)				
4			b-1-2.信号情報による走行支援(V2N)				
5			c-1.前方での急停止、急減速時の衝突回避支援	250 m/100 ms/99 %	×	250 m/1.5 s 1.5 s移動距離:29.2 m	250 m/600 ms 600 ms移動距離:11.7 m
6		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)	190 m/100 ms/99 %	×	190 m/1.9 s 1.9 s移動距離:36.9 m	190 m/400 ms 400 ms移動距離:7.8 m
7			c-2-2.交差点の情報による走行支援(V2I)				
8			c-3.ハザード情報による衝突回避支援	250 m/100 ms/99 %	×	250 m/1.5 s 1.5 s移動距離:29.2 m	250 m/600 ms 600 ms移動距離:11.7 m
9		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				
10			d-2.逆走車の通知による走行支援				
11			d-3.渋滞の情報による走行支援				
12			d-4.分岐・出口渋滞支援				
13			d-5.ハザード情報による走行支援				
14		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	150 m/100 ms/99 %	×	150 m/500 ms 500 ms移動距離:9.7 m	150 m/200 ms 200 ms移動距離:3.9 m
15	②自車が保有する情報の提供が必要なユースケース	f.インフラによる情報収集・配信	f-1.救援要請(e-Call)				
16			f-2.交通流の最適化のための情報収集				
17			f-3.地図更新・自動生成				
18			f-4.ダイナミックマップ情報配信				
19	③車車間及び車路間の意思疎通が必要なユースケース	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	高速道本線 120 km/h:266.7 m/100 ms/99 % 20 km/h:44.4 m/100 ms/99 %	×	本線120 km/h 266.7 m/800 ms 800 ms移動距離:26.7 m 連絡路 70 km/h 116.7 m/900 ms 900 ms移動距離:17.5 m	本線120 km/h 266.7 m/400 ms 400 ms移動距離:13.3 m 連絡路 70 km/h 116.7 m/500 ms 500 ms移動距離:9.7 m
20			a-1-4.車両同士のネゴシエーションによる合流支援	120 km/h:255 m/100 ms/99 % 20 km/h:66.1 m/100 ms/99 %	×	255 m/1.4 s 1.4 s移動距離:27.2 m	255 m/600 ms 600 ms移動距離:11.7 m
21			a-2.混雑時の車線変更の支援	120 km/h:255 m/100 ms/99 % 20 km/h:66.1 m/100 ms/99 %	×	255 m/1.4 s 1.4 s移動距離:27.2 m	255 m/600 ms 600 ms移動距離:11.7 m
22			a-3.渋滞走行の非優先道路から優先道路への進入支援	60 km/h:111.1 m/100 ms/99 % 7.2 km/h:3.4 m/100 ms/99 %	×	111.1 m/1.0 s 1.0 s移動距離:19.4 m	111.1 m/500 ms 500 ms移動距離:9.7 m
23		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	通常:60 m/100 ms/99 % 緊急:60 m/20 ms/99 %	×	60 m/200 ms 200 ms移動距離:3.89 m	60 m/100 ms 100 ms移動距離:1.9 m
24			g-2.追従走行並びに追従走行を利用した後続車無人隊列走行	※10 m区間 = 500 ms @70 km/h	○	141 m/700 ms 800 ms移動距離:13.6 m	141 m/300 ms 300 ms移動距離:5.8 m
25		h.遠隔操作	h-1.移動サービスカーの操作・管理				



4.4.3. 考察

追加検証シミュレーションの結果より車車間通信・車路間通信では、通信品質は受信感度の変更では変化がない一方、路路間通信時間の車載機への開放、車両密度の見直しでは顕著な改善が見られた。これは、路路間通信期間の開放や車両密度の低下によって車載機に開放された通信時間の分だけ収容可能な車載機端末が増え、車載機送信タイミング衝突によるパケット到達率低下が緩和していると考えられる。すなわち、本検討で実施した条件下では、車載機通信期間が不足していることで送信率の低下や車載機送信同士の同時送信が発生していることが大きな要因となっていると考えられる。

g-1 や d-1～5 などのユースケースにおいて無線方式検討 TG 提示の通信品質要件に近づくことが分かり、ユースケースのサービス要件を深掘りすることで通信要件を達成する可能性があると考えられる。

5. 課題と対策

3章机上検討及び4章シミュレーションの結果を受けて課題の抽出と対策立案を行った。

① 協調型自動運転ユースケースのサービス要件の深掘り

<課題>

無線方式検討 TG 提示のシナリオおよび通信要件に対して、机上検討およびシミュレーション評価を実施したところ、一部の SIP ユースケースにおいては無線方式検討 TG 提示の通信要件未達となった。無線方式検討 TG から提示された通信要件は、サービス要件の詳細が未確定な状態のため PAR や無線区間許容遅延が想定値であったり、車両の混雑状況の違いや走行条件、周辺環境等複数の状況を包含した一つのサービス要件となったりしているため、必要通信距離がより厳しい要件となっている。当該通信要件を詳細に確認していくなかで、SIP ユースケースそれぞれに対する適用シーン（道路状況：車両密度、走行速度）や情報収集手段（通信、自律センサー）など自動運転に関するサービス要件について更なる整理が必要であることが分かった。具体的には、自動運転車両がどのような動きをするのか、いつまでに制御が必要か、通信にどこまで求められるのかなどの検討が必要である。例えば、自動運転車両の車間距離はどれだけ確保されるのか、前方車両が大型車で見通しが悪い場合とそうでない場合で変わるのか、見通しの悪いカーブや交差点ではどの程度の速度で走行するのかなどが挙げられる。これら自動運転の挙動や制御方法、さらには自律センサーとの棲み分けによって、求められる通信要件も変わってくる。以上のことから今後、それぞれの状況に応じた詳細なサービス要件を明確にし、その要件に対する通信要件を定義する必要がある。

<対策>

上記課題に対する対策として、一般社団法人日本自動車工業会、ITS 情報通信システム推進会議などの各 SIP ユースケース提唱団体が更に連携し、周辺車両の混雑状況や自動運転車両の挙動、制御方法などを踏まえたサービス要件の更なる具体化を図り、サービス要件を踏まえた実用的・最適な通信要件（必要通信距離や無線区間許容遅延等）を定めていく必要がある。周辺車両が混雑している状況においては、車両の走行速度が遅くなるため送信周期を延ばすことも対策として考えられる。

参考として、表 4-26 に示した各ユースケースの 700MHz 帯 ITS での対応可否において、対応不可となったユースケースにおける受託者による提案通信要件を表 5-1 に示す。

g-1 のユースケースについては 3 章での検討のとおり、T109 規格においては無線区間許容遅延の要件を満たせないため検討対象としていない。

表 5-1 提案の通信要件※緑色の箇所は無線方式検討 TG 提示の通信要件で対応可

	大分類	中分類	ユースケース名	提案通信要件 距離/遅延/PAR	700MHz ITS での 対応可否
1	①車載センサ ー検知外情報 の入手が必要 なユースケー ス	a.合流・車 線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援		
2			a-1-2.本線隙間狙い合流支援		
3		b.信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援(V2I)		
4			b-1-2.信号情報による走行支援(V2N)		
5		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	120 km/h:81.7 m/200 ms/99 % 20 km/h:17.8 m/600 ms/99 %	○
6			c-2-1.交差点の情報による走行支援 (V2V)	70 km/h:157.6 m/900 ms/99 % 20 km/h:45.1 m/2.9 s/99 %	○
7			c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)		
8			c-3. ハザード情報による衝突回避支援	120 km/h:81.7 m/200 ms/99 % 20 km/h:17.8 m/600 ms/99 %	○
9		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		
10			d-2.逆走車の通知による走行支援		
11			d-3.渋滞の情報による走行支援		
12			d-4. 分岐・出口渋滞支援		
13			d-5.ハザード情報による走行支援		
14		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	120 km/h:150 m/900 ms/99 % 20 km/h:150 m/5.2 s/99 %	○
15	②自車が保有 する情報の提 供が必要なユ ースケース	f.インフラ による情報 収集・配信	f-1.救援要請(e-Call)		
16			f-2.交通流の最適化のための情報収集		
17			f-3.地図更新・自動生成		
18			f-4.ダイナミックマップ情報配信		
19	③車車間及び 路車間の意思 疎通が必要な ユースケース	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	高速道本線 120 km/h:266.7 m/600 ms/99 % 20 km/h:44.4 m/900 ms/99 % 高速道連絡路 120 km/h:116.7 m/600 ms/99 % 20 km/h:33.3 m/900 ms/99 %	○
20			a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流 支援	70 km/h:124.4 m/2 s/99 % 20 km/h:65.8 m/2 s/99 %	× ※1
21			a-2.混雑時の車線変更の支援	相対速度 60 km/h:166.6 m/2 s/99 % 相対速度 20 km/h:77.7 m/2 s/99 %	× ※1
22		g. 隊列・ 追従走行	a-3.渋滞走行の非優先道路から優先道路への 進入支援	60 km/h:127.8 m/2 s/99 % 7.2 km/h:34.8 m/2 s/99 %	× ※1
23			g-1. 電子牽引による後続車無人隊列走行	通常時:60 m/200 ms/99 % 緊急時:60 m/20 ms/99.99 %	× ※2
24			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	100 km/h:141 m/800 ms/95 %	○
25		h. 遠隔操 作	h-1.移動サービスカーの操作・管理		

※1：ネゴシエーションは未達成、ベーシックメッセージは達成

※2：緊急時は未達成、通常時は達成

② 意思疎通が必要な SIP ユースケース (a-1-3,a-1-4,a-2,a-3) への対応

<課題>

車載機と路側機間または車載機間でメッセージのやり取りを行う意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3,a-1-4,a-2,a-3 については、無線方式検討 TG 提示の通信要件に示される「エリア

あたり送信台数」が多く、ARIB STD-T109 [2]で定められている 100 ms 周期における送信時間の制約内に収まらない結果となった。そのため新たな通信方式での対応が必要となる。しかしながら、700MHz 帯の電波は、遠くまで届き回り込む特性を持つことから、互いの位置を確認する基本的なやりとりに使う場合は最適であり、700MHz 帯 ITS をどのように使うかに関するより深い議論が課題となる。

<対策>

SIP ユースケースの通信でやり取りされるメッセージを表 5-2 に示すように、自動運転や安全運転支援に必要な不可欠な道路状況、信号情報、各車両の位置や速度、方向などの基本的な情報（以下、基本情報）を片方向通信で通知するベーシックメッセージ、意思疎通に必要な双方向通信でやり取りする高度化メッセージに分類して考える。

SIP ユースケースは、意思疎通が不要な SIP ユースケースと、意思疎通が必要な SIP ユースケースに分類できる。意思疎通が不要な SIP ユースケースは、路側機または車載機から通知された基本情報を受信することで実現できるものであり、ベーシックメッセージにより実現できる。一方の意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3,a-1-4,a-2,a-3 は、意思疎通が不要な SIP ユースケースと同様に周囲の状況を受信することに加え、車線変更や合流などでは相手車両との意思疎通が必要であり、ベーシックメッセージと高度化メッセージにより実現できる。これらを踏まえ下記 2 つの対策を提案する。

案 1) 新たな通信方式のみで実現

周囲状況の受信(位置や速度情報等)および意思疎通を含めて新たな通信方式のみで行う場合、その通信方式の周波数帯の帯域幅や伝搬性の検討が必要である。また既存の安全運転支援サービス（ITS Connect サービス）との関係についての検討が必要である。具体的には、SIP ユースケースと安全運転支援サービスが共存する場合、新たな通信方式と 700MHz 帯 ITS の 2 つの通信方式に対応するための車載機へのインパクトが大きくなる点とコストの課題がある。安全運転支援サービスを SIP ユースケースとともに新たな通信方式へ移行する場合は、車両の展開・普及、品質担保が課題となり、どちらも検討が必要である。

案 2) 700MHz 帯 ITS + 新たな通信方式で実現

700MHz 帯 ITS は遠方まで電波が届き、回り込む特性を持つことから広範囲の路側機および車載機へ情報通知ができる。また、周期送信しているため時々刻々と変化する周辺情報を通知できることからベーシックメッセージの活用に最適である。

意思疎通が必要な SIP ユースケースにおいて、メッセージを分離することにより基本情報を意思疎通時にやり取りする必要がなくなるため、高度化メッセージを行う新たな通信方式に対する要件が緩和できる可能性がある。ただし、新たな通信方式と 700MHz 帯 ITS の 2 つの通信方式に対応するための車載機へのインパクトとコストの課題は案 1 と同様に存在する。

今後、意思疎通が不要な SIP ユースケースを 700MHz 帯 ITS が担い、意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3,a-1-4,a-2,a-3 を 700MHz 帯 ITS と新たな通信方式の両方が担うという考え方が早期社会実装のためには必要である。

表 5-2 メッセージ定義と通信方式

	内容	通信方式
ベーシックメッセージ	自動運転や安全運転支援には必要不可欠な道路状況、信号情報、各車両の位置や速度、方向などの基本的な情報を片方向通信で通知するメッセージ。	700MHz 帯 ITS
高度化メッセージ	意思疎通に必要な情報を双方向通信でやり取りするメッセージ。	新たな通信方式

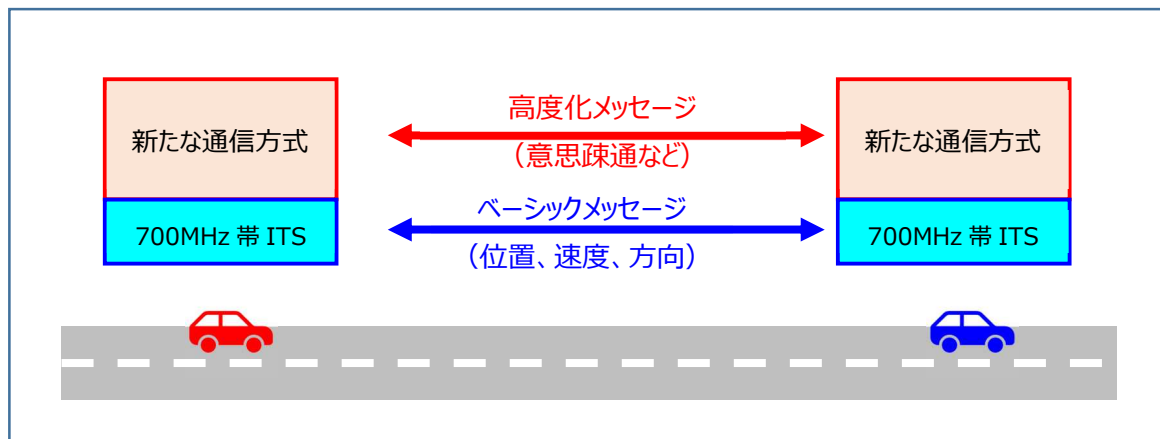


図 5-1 メッセージと通信方式のイメージ

③ システム実用化に向けた定義

<課題>

本研究開発では、シミュレーションを行うにあたり仮置きしたパラメータや設定がいくつか存在する。例えば、車載機送信メッセージについては、ITS Connect サービスで用いられている TD-001 の自由領域（オプション領域）を活用する方針とした。路側機送信メッセージについては、高速道路用として新規にメッセージセットを定義した。一般道路用は 700MHz 帯 ITS 路車間通信サービスを一部拡張することとして、1 台の路側機でサービスする前提とした。また、セキュリティについて、無線方式検討 TG が提示するオーバーヘッド長ではなく、700MHz 帯 ITS で採用されているオーバーヘッド長を適用した。

システム実用化に向けてこれら定義することが今後の課題である。

<対策>

システム実用化に向けた対策として、今回定義した SIP ユースケースメッセージセットについて、関連団体とのすり合わせを行う必要がある。新たに定義した高速道路用路車間通信メッセージセットについて、他の自動運転プロジェクトにおいて高速道路向けユースケースの検討がなされている団体が存在していればメッセージの利活用のためのすり合わせが必要である。セキュリティについても自動運転車両の正当性証明方法など、システム全体のセキュリティポリシーをどのように考えるかについて各関連団体との協議が必要となる。

④ 路側機送信スロット割当の配置ルール（ガイドライン）策定

<課題>

現時点では、路側機のスロット割当配置ルールがないため、今後サービスが普及し特定の空間で多くの路側機を密に設置する場合は、路側機が送信するスロットを効率的に割り当てることが課題である。

<対策>

スロット割当の効率化の観点では、路側機種別（重要交差点用路側機、一般交差点用路側機、路路間通信用路側機）ごとに、スロット番号の棲み分けを行わない割当方法も考えられるため、これらについて関連団体と協議しガイドラインとして策定することが望まれる。

⑤ 隊列走行ユースケースへの対応

<課題>

g-1（電子牽引による後続車無人隊列走行）のユースケースは、通常時と急制動時（緊急時）のシナリオが定義されており、通常時は 700MHz 帯 ITS にて実現の可能性があるが、急制動時の 20 ms 周期送信が無線方式検討 TG 提示の通信要件未達であるため、急制動時の対応が課題である。

<対策>

対策としては、ARIB STD-T109 で規格化されている送信可能時間を無線方式検討 TG 提示の通信要件に記載されている「20 ms 間隔でパケット 5 連送」が実現できるように規格変更が挙げられる。その際、常に 20 ms 周期で送信できるよう変更するのではなく、緊急時のごく短時間のみに限定することで規格変更の難易度が下がると考えられる。あるいは、課題①で記載した SIP ユースケースのサービス要件の深掘り後にあらためて通信要件を定義することなども考えられる。

表 5-3 各ユースケースに対する課題と対策

No.	大分類	中分類	ユースケース名	通信方式	課題と対策
1	①車載センサー検知外情報の入手が必要なユースケース	a. 合流・車線変更支援	a-1-1.予備加減速合流支援	V2I	③,④
2			a-1-2.本線隙間狙い合流支援	V2I	③,④
3		b. 信号情報	b-1-1.信号情報による走行支援 (V2I)	V2I	③,④
4			b-1-2.信号情報による走行支援 (V2N)	V2N	
5		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	①,③
6			c-2-1.交差点の情報による走行支援 (V2V)	V2V	①,③
7			c-2-2.交差点の情報による走行支援 (V2I)	V2I	③,④
8			c-3. ハザード情報による衝突回避支援	V2V	①,③
9		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, V2N	③,④
10			d-2.逆走車の通知による走行支援	V2I, V2N	③,④
11			d-3.渋滞の情報による走行支援	V2I, V2N	③,④
12			d-4. 分岐・出口渋滞支援	V2I, V2N	③,④
13			d-5.ハザード情報による走行支援	V2I, V2N	③,④
14		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	V2I, V2N	①,③
15	②自車が保有する情報の提供が必要なユースケース	f. インフラによる情報収集・配信	f-1.救援要請(e-Call)	V2N	
16			f-2.交通流の最適化のための情報収集	V2I, V2N	③
17			f-3.地図更新・自動生成	V2N	
18			f-4.ダイナミックマップ情報配信	V2N	
19	③車車間及び路車間の意思疎通が必要なユースケース	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	V2I	①～④
20			a-1-4.車同士のネゴシエーションによる合流支援	V2V	①,②,③
21			a-2.混雑時の車線変更の支援	V2V	①,②,③
22			a-3.渋滞時の非優先道路から優先道路への進入支援	V2V	①,②,③
23		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	①,②,③,⑤
24			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	①,③
25		h. 遠隔操作	h-1.移動サービスカーの操作・管理	V2N	

6. まとめと今後の展望

6.1. まとめ

本事業では「協調型自動運転ユースケース」に関して、無線通信技術への具体的な要求仕様等通信に係る技術的な実現性検証のために、無線方式検討 TG 提示の通信要件に対する 700MHz 帯 ITS での対応可否を机上検討及びシミュレーションで評価した。評価結果をもとに課題の抽出と対策立案を行った。本検討結果を本研究開発テーマとは別に実施されるセルラーV2X 方式に関する検討において策定されるロードマップにインプットした。

●机上検討

机上検討による通信品質評価及び送信時間制約評価の結果、意思疎通が必要なユースケース (a-1-3, a-1-4, a-2, a-3) および g-1 (電子牽引による後続車無人隊列走行) が無線方式検討 TG 提示の通信要件未達となった。路側機のスロット割当については、2016 年度に実施された「700MHz 帯高度道路交通システムの高度化に向けた検討」 [1]で検討された 300 m 面配置を参考に SIP ユースケースサービス路側機の配置検討を行い、既存サービス路側機を含め全ての路側機のスロット割当ができた。また、路側機、車載機送信メッセージセットの検討を行い、ITS Connect サービスと共存できることを確認した。

●シミュレーション

机上検討では、基礎検討として 1 台送信での通信品質評価を行ったが、シミュレーションでは実際に複数台の車載機を配置しての評価を実施した。また、机上検討で実施した路側機のスロット割当結果を用いて、SIP ユースケースモデルを構築し、各ユースケースが近接してサービスが実施された時のシミュレーションを行い、SIP ユースケースの 700MHz 帯 ITS での実現性確認と既存サービスとの共存成立性確認を行った。無線方式検討 TG 提示の通信要件に対して達成可否を以下に記載する。

路車間通信 (a-1-1, a-1-2, a-1-3, b-1-1, c-2-2, d-1～d-5) は、距離的に互いに影響を与える範囲の全ての路側機に対して、路側機送信可能時間のスロットを重複することなく割り当てできたため通信要件を達成した。

車車間通信 (a-1-4, a-2, a-3, c-1, c-2-1, c-3, e-1, g-1, g-2) は、主に車載機送信同士の干渉の影響により通信要件未達となった。

車路間通信 (d-1～d-4, f-2, a-1-3) に関して、d-1～d-4 および f-2 は、通信要件を達成した。車載機送信同士の干渉の影響は見られるものの無線区間許容遅延が 1 秒と他のユースケースよりも長く、複数回の受信機会のうち 1 回でも受信できれば良いという考え方が適用できるためである。a-1-3 は、無線区間許容遅延が 100 ms であるため通信要件未達となった。

意思疎通が必要なユースケース (a-1-3, a-1-4, a-2, a-3) に関して、700MHz 帯 ITS は基本的にはブロードキャストによる 100 ms 周期送信であり、複数車載機との意思疎通は難しい結果となった。

既存サービスに関してシミュレーションで確認した結果、既存サービス要件を達成することができた。この理由の一つに、SIP ユースケースと既存サービスで使用するメッセージで共通となる部分をメッセージセットと共有したことが挙げられる。

●課題と対策

SIP ユースケースのサービス要件の深掘りが課題であり、SIP ユースケースそれぞれに対する道路状況（車両密度、走行速度など）や情報収集手段（通信、自律センサー）など自動運転に関するサービス要件について更なる整理が必要である。

意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3, a-1-4, a-2, a-3 については、700MHz 帯 ITS 単体での実現は困難であることから、ベーシックメッセージと高度化メッセージの観点で整理を行った。基本情報をブロードキャストで通知するベーシックメッセージについては、遠方まで電波が届くという特性を生かし広範囲からの情報を収集できる 700MHz 帯 ITS が担い、意思疎通に必要な情報を双方向通信でやり取りをする高度化メッセージについては新たな通信方式が担うという考え方で意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3, a-1-4, a-2, a-3 を実現する提案を行った。

社会実装に向けた課題と対策として、システム実用化に向けたメッセージセットの規格化、セキュリティの検討が必要であることを示した。また、路側機スロット割当ルール（ガイドライン）の策定が必要であることを提案した。

g-1（電子牽引による後続車無人隊列走行）のユースケースは、急制動時（緊急時）の対応が課題であることが分かった。対策としては、ARIB STD-T109 の規格変更やユースケースの深掘りによる要件見直しが必要となる。

6.2. 今後の展望

(1) 長期的な活用が可能である 700MHz 帯 ITS の実証実験・社会実装推進

本研究開発では「協調型自動運転ユースケース」に関して、机上検討、シミュレーションを通じて 700MHz 帯 ITS での実現性を検証した。意思疎通が必要なユースケース（a-1-3, a-1-4, a-2, a-3）以外の多くのユースケースで扱う車両の位置、速度、方向などといった基本情報は、現在利用されている ITS Connect サービスと同一である。また、700MHz 帯波の遠くまで届き回り込む特性は、見通しが悪いといった日本の道路事情や車両におけるアンテナ設計等に対しても非常に有利であると言われている。よって、国際動向を踏まえつつ 700MHz 帯 ITS は協調型自動運転向けにも最大限活用することが重要であると考え、そのためには下記が求められる。

- ・ 各 SIP ユースケースに対して、道路状況など様々な状況を踏まえた、より詳細なサービス要件や、そこから求められる通信要件をしっかりと定義する。
- ・ ユースケースのロードマップに従い、自動運転車両を走らせるために必須のサービスを優先し、これを着実に社会実装しつつ、通信に関してもより高度化を図る。

今後は、協調型自動運転向けの通信として、700MHz 帯 ITS をどのような形で実現していくかの議論を継続していくことが重要であると考え。

(2)意思疎通が必要な SIP ユースケースの実現時期を想定し、新たな通信方式を検討

意思疎通が必要な SIP ユースケース a-1-3,a-1-4,a-2,a-3 は、情報配信を想定したブロードキャストである 700MHz 帯 ITS では対応が困難であるため、意思疎通を行うための双方向通信ができる新たな通信方式での対応が必要である。しかしながら意思疎通を行うためには、5 章の課題と対策で記載の通り通信シーケンスが複雑であり、多くの課題が残されているため更なる検討が必要である。

今後も継続して検討を行うなかで、基本情報をブロードキャストで通知するベーシックメッセージを 700MHz 帯 ITS、意思疎通に必要な情報を双方向通信でやり取りする高度化メッセージを新たな通信方式が担うという考え方を取り入れた案も含めて新たな通信方式についての議論が重要であると考えられる。現状を把握したうえで今後の検討を行う必要がある。