

平成 30 年度
「実環境を想定した自動走行支援通信の
メッセージセット及びプロトコルに
関する調査検討」
の請負報告書

平成 31 年 3 月

沖電気工業株式会社

目次

1. 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査 検討の概要	1
1.1. 調査検討の目的	1
1.2. 調査検討の背景	1
1.3. 調査検討の前提条件	1
1.4. 調査検討の実施項目	2
1.5. 調査検討会の設置と実施体制	5
1.6. 審議経過	7
2. 自動走行支援通信の前提条件の整理、通信要件の抽出と評価	9
2.1. 実施方法	9
2.2. 自動走行向けの通信活用ユースケースの調査	10
2.2.1. 自工会検討 UC 及び ITS 無線通信活用の位置づけ	10
2.2.2. 緊急ハザード情報 (UC1-2)	12
2.2.3. 合流支援情報 (UC2)	19
2.2.4. 車線変更支援情報 (UC3)	24
2.2.5. メッセージ内容一覧	26
2.3. 前提条件の整理	28
2.4. 通信要件の抽出と評価	29
2.5. 自動走行支援通信の前提条件の整理、通信要件の抽出と評価のまとめ	33
3. 自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの検討	37
3.1. 実施方法	37
3.2. メッセージセット検討	38
3.2.1. 既存メッセージセット規格との比較分析	38
3.2.2. 自工会検討 UC のメッセージセット内容の分類、共通化	42
3.2.3. セキュリティ調査	46
3.2.4. パケット分割／再結合	48
3.2.5. パケット構成 (案)	49
3.3. プロトコル検討	52
3.3.1. 通信制御方式の概要	52
3.3.2. 通信制御フローとプロトコルスタックの概要	53
3.3.3. 自動走行支援通信のプロトコル案の主な通信諸元	54
3.3.4. 通信シーケンス検討結果 (UC1-2)	54
3.3.5. 通信シーケンス検討結果 (UC2)	57
3.3.6. 通信シーケンス検討結果 (UC3)	59

3.3.7.	プロトコル検討結果 (ITS FORUM RC-005 ベース)	60
3.3.8.	プロトコル検討結果 (ARIB STD-T109 ベース)	63
3.3.9.	プロトコル検討結果 (ARIB STD-T75 ベース)	65
3.4.	自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの検討のまとめ	68
4.	自動走行支援通信の通信性能評価	89
4.1.	実施方法	89
4.2.	電波伝搬モデルの検討	89
4.2.1.	距離特性	90
4.2.2.	マルチパスフェージング (短区間)	91
4.2.3.	マルチパスフェージング (瞬時)	91
4.2.4.	シャドウイング	93
4.3.	リンクレベル (1 対 1) の通信性能評価	96
4.3.1.	評価条件	96
4.3.2.	パケットエラー率-CNR 特性	98
4.3.3.	距離特性	99
4.3.4.	無線回線設計	100
4.4.	システムレベル (N 対 N) の通信性能評価	105
4.4.1.	道路条件・交通流モデル	105
4.4.2.	通信性能評価結果 (路車間通信 UC)	107
4.4.3.	通信性能評価結果 (車車間通信 UC)	110
4.5.	複数 UC 混在時の検討	122
4.5.1.	道路条件・交通流モデル	122
4.5.2.	通信性能評価結果 (複数 UC 混在時)	122
4.6.	優先制御の検討	127
4.6.1.	検討対象とする優先制御方法	127
4.6.2.	通信性能評価結果 (優先制御)	128
4.7.	メッセージセットの拡張性検討	130
4.8.	自動走行支援通信の通信性能評価のまとめ	132
5.	自動走行支援通信の有効性の検証	135
5.1.	検証方法	135
5.2.	路側機及びセンサーの設置条件の検討	137
5.2.1.	机上検討の方法	138
5.2.2.	検討対象とする通信活用時の速度制御ケース	138
5.2.3.	机上検討の想定条件	139
5.2.4.	設置条件に影響するパラメータ	139
5.2.5.	検討対象とする道路ケース	140

5.2.6.	設置条件の検討結果	141
5.3.	車両制御モデル	144
5.3.1.	加減速モデル	145
5.3.2.	IDM	147
5.4.	有効性のシミュレーション結果	148
5.4.1.	評価条件と評価対象	148
5.4.2.	机上検討による設計値とシミュレーションとの関係	149
5.4.3.	都市高速道路の結果	151
5.4.4.	都市間高速道路の結果	152
5.4.5.	狭い車両発生間隔の場合に通信の効果が得られない要因	154
5.5.	自動走行支援通信の有効性の検証のまとめ	155
6.	自動走行支援通信の実用化に向けた検討	157
6.1.	通信仕様案を適用する上での問題	157
6.2.	搭載率の評価	159
6.3.	高度なセンシング機器の必要性	160
6.4.	路側機及びセンシングエリアの設置位置	163
6.5.	その他の実用化へ向けた問題、対応	167
7.	成果まとめ	169
7.1.	全体	169
7.2.	前提条件の整理、通信要件の抽出と評価	170
7.2.1.	自動走行向けの通信活用ユースケースの調査	170
7.2.2.	前提条件の整理	172
7.2.3.	通信要件の抽出と評価	173
7.3.	メッセージセット及びプロトコルの検討	175
7.3.1.	メッセージセット検討	175
7.3.2.	プロトコル検討	180
7.3.3.	通信仕様案（メッセージセット案）まとめ	181
7.3.4.	通信仕様案（プロトコル案）まとめ	187
7.4.	通信性能評価	198
7.4.1.	電波伝搬モデルの検討	198
7.4.2.	リンクレベル（1対1）の通信性能評価	198
7.4.3.	システムレベル（N対N）の通信性能評価	201
7.4.4.	複数 UC 混在時の検討	203
7.4.5.	優先制御の検討	204
7.4.6.	メッセージセット拡張性の検討	205
7.4.7.	候補通信方式毎の通信性能評価まとめ	206

7.5.	有効性の検証	209
7.5.1.	路側機及びセンサーの設置条件の検討.....	209
7.5.2.	車両制御モデル	211
7.5.3.	有効性のシミュレーション結果	211
7.6.	実用化に向けた検討.....	215
7.6.1.	通信仕様案を適用する上での問題.....	215
7.6.2.	搭載率の影響.....	217
7.6.3.	高度なセンシング機器の必要性	217
7.6.4.	路側機及びセンシングエリアの設置位置	218
7.6.5.	その他の実用化へ向けた問題、対応	220
8.	課題まとめ	223
9.	【付属資料 1】平成 30 年度 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討 実施体制及び構成員名簿	225
9.1.	実施体制	225
9.2.	構成員名簿.....	226
10.	【付属資料 2】平成 30 年度 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討の実施内容.....	227
10.1.	本調査検討及び CC 調査検討の実施項目	227

1. 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討の概要

1.1. 調査検討の目的

SIP「自動走行システム」関連事業のこれまでの成果や、日本自動車工業会（以下、自工会）における検討状況、欧米における関連する ITS 無線通信の仕様検討状況等を踏まえ、実環境で想定される周辺車両による電波の遮蔽やマルチパス等の影響を考慮し、車両挙動の安定化や交通流の円滑化を支援する通信のメッセージセット及びプロトコルを検討し、その効果の評価を行う。

1.2. 調査検討の背景

調査検討実施にあたっての背景を、自動走行の実現へ向けた取り組みと自動走行支援通信のメッセージセット、プロトコル策定の必要性の観点から以下に記す。

➤ 自動走行の実現へ向けた取り組み

道路交通のさらなる円滑化や交通事故の削減、さらには高齢者等の移動支援やドライバー不足の対応など、従来の道路交通・移動に係る社会的課題の解決に資するものと期待され、政府や民間事業者等による実現へ向けた取り組みが加速している。

高度な自動走行システムの実現のためには、車車間通信・路車間通信を利用して、先読み情報を含めた車両の周辺情報の収集や車両間の調停等を行うことが有効であり、高速道路における合流シーンなどドライバーによる複雑な判断が要求される場面において、円滑な自動走行を行うために通信の利用は不可欠である。

自動走行向けの通信活用ユースケース（高速道路における合流支援等）を想定しつつ、当該ユースケースに対応する通信技術の開発や実証実験による実際の道路交通環境下での通信成立性の検証等が実施されてきた。

➤ 自動走行支援通信のメッセージセット、プロトコル策定の必要性

実際に車車間通信・路車間通信技術を自動走行システムに適用していくためには、ターゲットとなる自動運転レベルを明確にしたうえで、具体的な通信活用ユースケースに応じて ITS 無線通信要件を設定し、これを基に自動走行を支援する車車間通信・路車間通信（以下、自動走行支援通信）のメッセージセットとプロトコルを策定する必要がある。

1.3. 調査検討の前提条件

調査検討を実施するにあたって考慮した前提条件を以下に示す。

- 調査検討で扱う自動走行支援通信は、高速道路上における自動運転レベル 2・3 (SAE (Society of Automotive Engineers) International の定義による) の自動走行を主な検討対象とする。また、自動走行車は自律系センサーをベースとして自動運転を行うこととし、車両挙動の安定化や交通流の円滑化など補助的な目的で通信を使用することとする。
- 平成 29 年度「自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」、平成 28 年度「自動走行向け ITS 無線通信手順についての調査検討」及び平成 26 年度～28 年度「自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術の開発」の検討結果を踏まえる。
- 自工会及び ITS 情報通信システム推進会議 (以下、ITS FORUM) における自動走行への ITS 無線通信の活用に関する検討状況を踏まえる。また、最新の ITS 無線通信システムの規格化、標準化の動向を踏まえる。

1.4. 調査検討の実施項目

本調査検討の実実施計画及び実施範囲を、表 1.4-1 に示す。表 1.4-1 の赤枠部分が本調査検討の実施範囲である。

本調査検討における実施項目 (1) では、自工会、ITS FORUM 等で議論されている自動運転レベル 2・3 の自動走行向けの通信活用ユースケースを調査・分析し、自動走行向け ITS 無線通信のメッセージセット及びプロトコルの検討を実施する上での前提条件及び通信要件を整理し、その妥当性を評価する。

実施項目 (2) では、実施項目 (1) で抽出した通信要件より、自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルを検討する。

実施項目 (3) では、実施項目 (2) で検討したメッセージセット案及びプロトコル案について、当該案による自動走行支援通信の通信性能を評価する。また、当該案による自動走行支援通信の有効性の机上検討及びシミュレーション評価を行う。さらに、当該案の実用化に向けた検討をする。

表 1.4-1：調査検討の実施計画

※表中の赤枠部分が H30 年度実施の本調査検討の実施項目と成果

	実施項目	成果
H27(2015)年度 ※ITS FORUMにおける活動	・既存のITS無線通信をベースとした可能性検討	・可能性検討(特定サービスの要件検討、課題抽出等)
H28(2016)年度 ※H28請負作業	(1)自動走行向けの通信要件検討 (2)自動走行向けITS無線通信手順の検討 (3)自動走行向けITS無線通信手順の通信性能の机上検証	・自動走行向けITS無線通信の導入可能性検討 ・通信仕様案の検討
H29(2017)年度	(1)自動走行支援通信の通信要件の策定 (2)自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの策定	・自動走行向けITS無線通信のメッセージセット案及びプロトコル案の検討(ステージ2-1) ・通信活用モデル、通信要件、ITS無線通信の有効性と課題まとめ(自動運転レベル2、3)
H30(2018)年度	(1)自動走行支援通信の前提条件の整理、通信要件の抽出と評価 (2)自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの検討 (3)自動走行支援通信の通信性能、有効性の評価及び実用化に向けた検討	・実験用ガイドライン(ITS FORUM RC-xxx)等の策定へ向けた通信仕様案の作成 ・自動運転レベル2・3の自動走行を支援する通信活用ユースケースの通信要件の妥当性や実現可能性、自動走行支援通信の有効性と課題のまとめ

実施計画に基づき調査検討の目的を達成するための実施項目と成果目標を以下に示す。また、調査検討全体の実施フローを図 1.5-1 に示す。

●実施項目

(1) 自動走行支援通信の前提条件の整理、通信要件の抽出と評価

自工会、ITS FORUM 等で議論されている自動運転レベル2・3の自動走行向けの通信活用ユースケースを調査・分析し、自動走行向け ITS 無線通信のメッセージセット及びプロトコルの検討を実施する上での前提条件及び通信要件を整理し、その妥当性を評価する。

ア 前提条件の整理

具体的な通信活用ユースケースに対して、車両密度・速度や電波伝搬環境等の道路環境条件、アンテナ設置位置等の車両条件、送信情報や電波伝搬モデル等の通信システム条件等、本調査検討を実施する上での前提条件をユースケース毎に整理する。

イ 通信要件の抽出と評価

(1) アの前提条件を踏まえて、ユースケース毎に通信要件を抽出し、各ユースケースの通信要件の妥当性や実現可能性を評価する。なお、各ユースケースの通信

要件の妥当性や実現可能性の評価にあたっては、自動車メーカーとの連携も考慮して実施する。

(2) 自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの検討

上記（１）で抽出した通信要件より、自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルを検討する。なお、検討にあたっては、これまで国内において車車間・路車間通信向け ITS 無線通信として検討、規格化されてきた ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 の通信仕様を参考にする。

(3) 自動走行支援通信の通信性能、有効性の評価及び実用化に向けた検討

上記（２）で検討したメッセージセット案及びプロトコル案について、当該案による自動走行支援通信の通信性能を評価する。また、当該案による自動走行支援通信の有効性の机上検討及びシミュレーション評価を行う。さらに、当該案の実用化に向けた検討をする。

ア 自動走行支援通信の通信性能評価

それぞれのユースケース、メッセージセット案及びプロトコル案に対して、パケット到達率、通信遅延等の通信性能評価を行う。評価にあたっては、周辺車両による電波の遮蔽やマルチパスの影響を考慮する。

イ 自動走行支援通信の有効性の検証

上記（３）アの通信性能評価結果を踏まえて、メッセージセット案及びプロトコル案に基づく自動走行支援通信による効果を検証・評価する。具体的には、通信活用により車両挙動の安定化や交通流の円滑化が、自律型システムのみに基づく場合に比べてどのように改善するか等を、机上検討、シミュレーション等により検証・評価する。

ウ 自動走行支援通信の実用化に向けた検討

検討した案を実現する際の技術的な困難性や実用化の難易度等を整理する。

●成果目標

欧米における車車間・路車間通信の仕様検討状況を踏まえつつ、今後の実機評価や実験用ガイドライン等の策定に向けた自動走行支援通信の通信仕様案（メッセージセット案及びプロトコル案）をまとめる。

- 実験用ガイドライン（ITS FORUM RC-xxx）等の策定へ向けた通信仕様案の作成（平成 29 年度作成の仕様案の補正）
- 自動運転レベル 2・3 の自動走行を支援する通信活用ユースケースの通信要件や実現可能性、自動走行支援通信の有効性と課題のまとめ

なお、欧米では LTE や Wi-Fi の ITS 利用が検討されており、国内でも ITS FORUM（無線方式検討 TG）において LTE 適用検討が開始されているが、本調査検討では、まず 700MHz 帯及び 5.8GHz 帯の ITS 無線通信を対象を絞って検討を行うことで、自動走行支援通信技術の仕様素案、検証方法を確立することを目指す。

1.5. 調査検討会の設置と実施体制

無線通信技術や運転支援・自動走行に関する専門家や学識経験者等からなる検討会を設置し、調査検討の実施内容に関する議論を実施した。具体的には、ITS 研究を実施している大学、自動車メーカー、ITS 通信機器メーカー、無線通信標準化に関わる団体から有識者に参加頂いた。また、自動車メーカーの構成員には、自工会や SIP における議論や情報の展開も担当してもらった。

なお、通信要件まとめの実施にあたっては ITS 情報通信システム推進会議（以下、ITS FORUM と記す）、特に無線方式検討 TG と連携して開催した。

調査検討会の実施体制及び構成員名簿、本調査検討と Connected Car 社会の実現に向けた既存 ITS 用無線システムの高度化を行うための技術的条件等に関する調査検討の実施項目の整理として、それぞれ 9 章【付属資料 1】、10 章【付属資料 2】に示す。

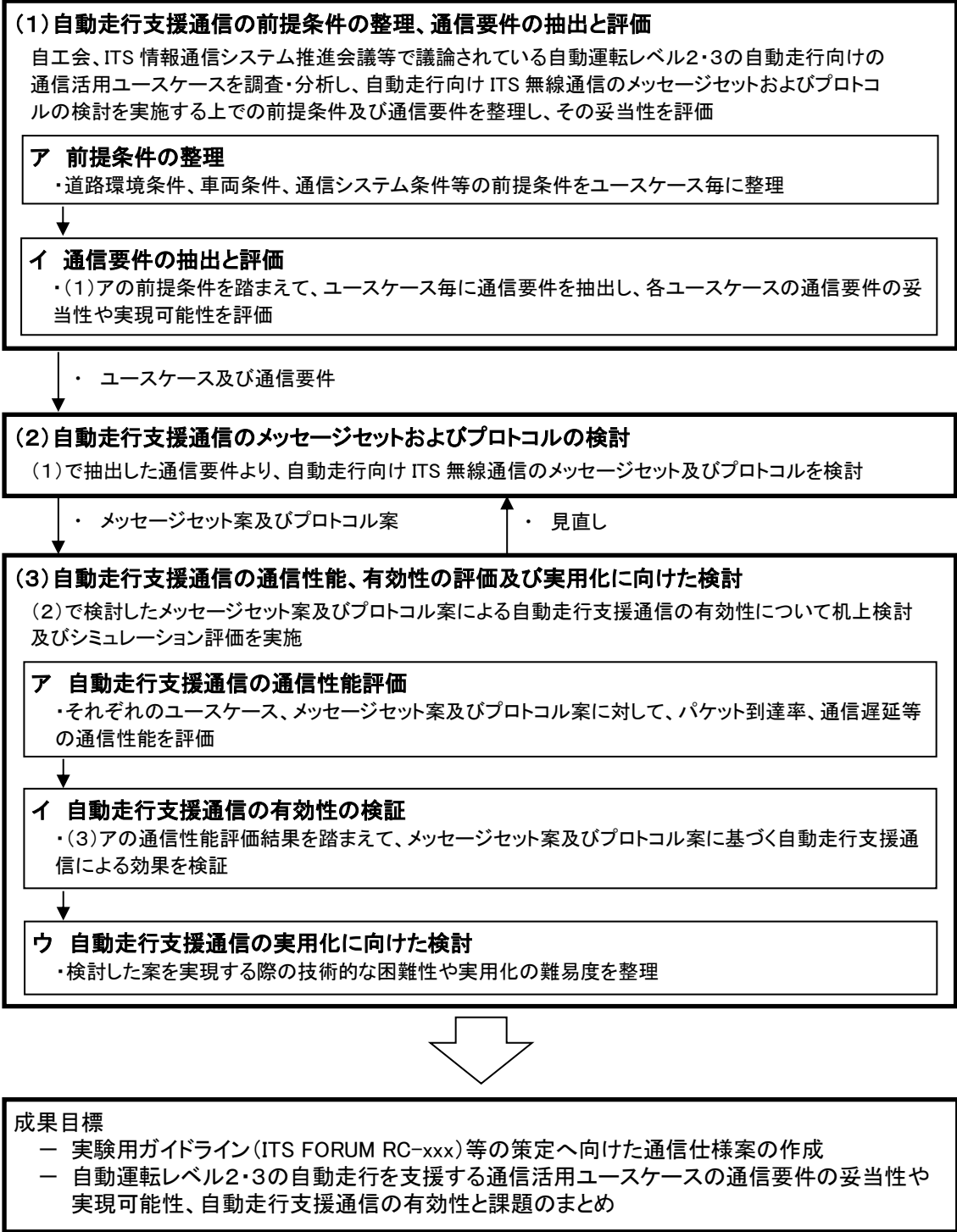


図 1.5-1：調査検討全体の実施フロー

1.6. 審議経過

自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討会は、全3回開催した。

- 第1回 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討会（2018年9月28日）
 - ・ 調査検討会規程に基づき、主査、副主査を選出した。
 - ・ 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討概要の説明を行った。既存システムとの共用や想定する通信形態等について議論が行われ、安全運転支援通信等を活用した車両情報の共有は行わず、イベント発生時を除き自律系センサーでの情報取得のみを行い、通信形態としてブロードキャスト通信を想定する等の調査検討の前提条件を確認した。本調査検討と「Connected Car 社会の実現に向けた既存 ITS 用無線システムの高度化を行うための技術的条件等に関する調査検討」（以下、Connected Car 調査検討）の位置づけ、役割分担に関して整理して調査検討を進めることで承認を得た。
 - ・ 前提条件の整理、通信要件の抽出と評価方法を提示した。調査検討対象とする自工会検討ユースケースの想定するメッセージ内容、車両台数等について議論が行われた。
 - ・ メッセージセット及びプロトコルの検討方法について提示した。自工会、ITS FORUM と連携して、上位レイヤを含めたプロトコルの整理、優先制御の検討等を進めることで承認を得た。
 - ・ 通信性能、有効性の評価及び実用化に向けた検討方法について提示した。自動運転車の挙動のモデル化等の議論が行われた。
 - ・ 全体の実施計画を提示し承認を得た。

- 第2回実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討会（2018年12月5日）
 - ・ 前回合会で議論した課題、アクションアイテムについて、対応方法を提示し承認を得た。
 - ・ 検討対象とした改定後の自工会検討ユースケース（以下、UC）について、前提条件の整理及び通信要件の抽出結果を報告した。合流支援 UC における自動・手動運転の切り替えタイミング、メッセージの拡張性等の議論が行われた。通信エリア見直し時の評価も追加することで承認を得た。
 - ・ メッセージセット及びプロトコルの検討状況について報告した。大型車による電波遮蔽の影響と対策方法、緊急ハザード UC における中継方法等について議論が

行われた。大型車の遮蔽、中継時の遅延等の問題提起と解決策の提案をセットで整理して示す必要がある等の指摘を受けた。

- ・ 自動走行支援通信の通信性能の評価状況を報告した。大型車の遮蔽等の問題の解決策は今回提示の方法に限定せず、いくつか提示し追加評価が必要との指摘を受けた。
 - ・ 合流支援ユースケース (UC2-1-1) の路側機の設置条件の検討結果について報告した。車両の走行速度や車両情報の取得範囲等の設置条件を机上検討する上での想定条件について確認が行われた。
 - ・ 自動走行支援通信の有効性の検討状況について報告した。加速レーン起点周辺のビデオ解析の結果を踏まえて、合流支援 UC が有効となるシーン、通信内容等の議論が行われた。前提条件等の情報共有を自工会とこれまで以上に密に行うよう指摘を受けた。
- 第3回実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討会 (2019年2月27日)
- ・ 前回合合で議論した課題、アクションアイテムについて、対応方法を提示し承認を得た。
 - ・ 自動走行支援通信の通信性能の評価結果を報告した。通信性能を改善するための追加機能や優先制御について確認、議論が行われた。機能追加や規格変更の実現性について報告書に整理することで承認を得た
 - ・ 自動走行支援通信の有効性の検証結果を報告した。本調査検討における有効性検証は、様々な条件に対応する際のベースとなる評価系を構築し、ある条件での評価を行った立場で報告書をまとめ、車両毎の速度の揺らぎを考慮した評価等の指摘事項を今後の課題として明記することで承認を得た。
 - ・ 成果まとめ案について説明し、報告書にまとめる際の見直し内容、記載する課題について、意見交換を実施した。
 - ・ 本調査検討の報告書目次案を提示し承認を得た。

2. 自動走行支援通信の前提条件の整理、通信要件の抽出と評価

本章では、自工会、ITS FORUM 等で議論されている自動運転レベル 2・3 の自動走行向けの通信活用ユースケース（以下、UC）を調査・分析し、自動走行向け ITS 無線通信のメッセージセット及びプロトコルの検討を実施する上での前提条件及び通信要件を整理し、その妥当性を評価する。

2.1. 実施方法

図 2.1-1 に、本章における自動走行支援通信の前提条件の整理、通信要件の抽出と評価の流れを示す。

まず、2.2 節にて、自工会にて検討された自動走行向けの通信活用 UC を中心に調査・分析し、本調査検討で対象とする自動運転レベル 2・3 の UC を抽出する。続いて、2.3 節にて、抽出した UC に対して、車両密度・速度や電波伝搬環境等の道路環境条件、アンテナ設置位置等の車両条件、送信情報や電波伝搬モデル等の通信システム条件等、本調査検討を実施する上での前提条件を UC 毎に整理する。さらに、2.4 節では、整理した前提条件を踏まえて、UC 毎に目標通信品質や通信距離、データサイズ、通信頻度、送信車両台数、通信遅延等の通信要件を抽出し、各 UC の通信要件の妥当性や実現可能性を評価する。

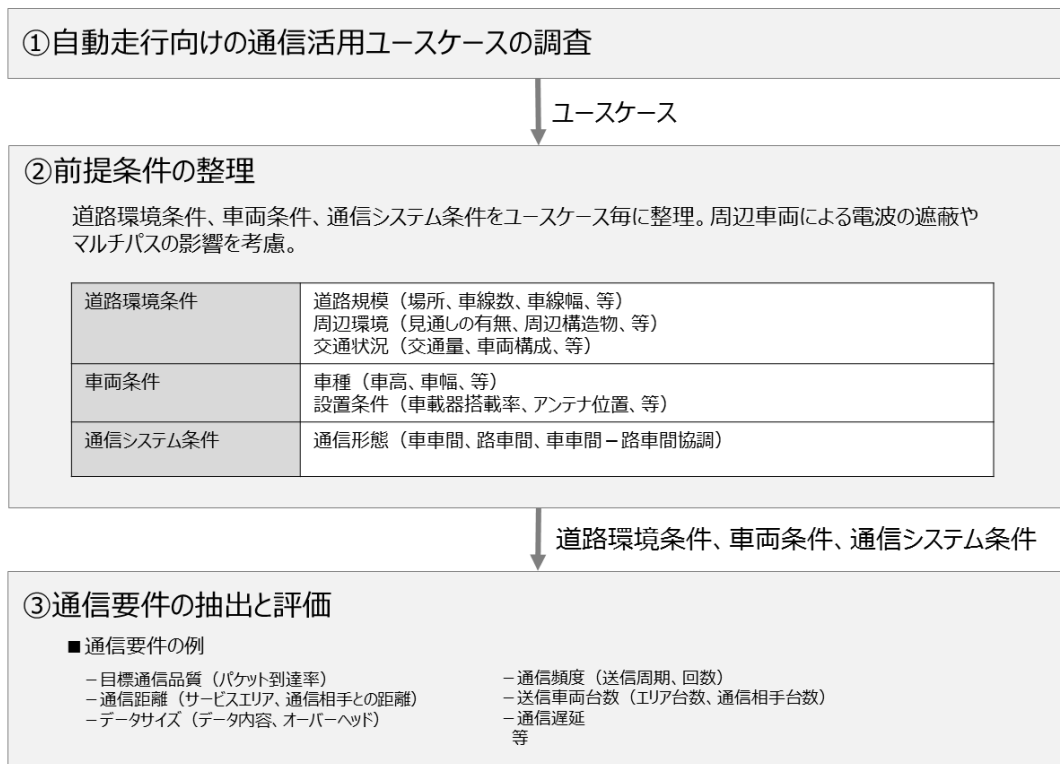


図 2.1-1：前提条件の整理、通信要件の抽出と評価の流れ

2.2. 自動走行向けの通信活用ユースケースの調査

本節では、自工会にて検討された自動走行向けの通信活用 UC を中心に調査する。

2.2.1. 自工会検討 UC 及び ITS 無線通信活用の位置づけ

自工会では、検討対象とする UC の改定が行われた（「自動運転向け ITS 無線通信活用シーンと通信手順（案）」版 3.1、2018 年 9 月）。表 2.2-1 及び図 2.2-1 に、改定後の自動運転向け通信活用 UC 一覧及び概要を示す。

表 2.2-1：自工会検討の自動運転向け通信活用 UC 一覧

情報種別	UC No. (版3.1)	分類	内容	UC No. (版3)
先読み情報	1-1	路車	自立センサでは検知できない先の情報として渋滞情報、料金所情報、臨時走行レーン情報などを配信し、未然に経路、車線選択を行うことで走行を円滑化	1
先読み情報 車両からの緊急ハザード情報の発信	1-2-1	車車	緊急回避事象が発生した際に、後続車両に緊急ハザード情報を配信	4
	1-2-2	車路	走行車両が収集した緊急ハザード情報を路側インフラへ伝達	2
	1-2-3	路車	走行車両から収集した緊急ハザード情報を上流インフラから走行車両へ再配信	3
	1-2-4	路車 車車 車車協調	上流インフラから取得した対向車線の緊急ハザード情報を、対向車に再配信	5
合流支援	2-1-1	路車	インフラで計測した本線上走行車両の走行情報を合流車両へ伝達し、合流を円滑化	6
	2-1-2	車車	本線走行車両の走行情報を車車間通信で本線合流車両へ伝達し、合流を円滑化	8
本線支援	2-2	路車	インフラで計測した合流車の出現情報を本線走行車両へ伝達し、合流を円滑化	7
車線変更支援	3	車車	車線変更の際に、周辺車両の走行情報を交換し、車線変更を円滑化	8
隊列走行支援	4	車車 路車	追従走行する大型トラック間で相互に走行情報を伝達し、隊列走行を形成 一般自動運転車割り込み時の走行調停も合わせて行う（一時的な混合走行の許容と離脱推奨、離脱後の隊列再形成など）	9

本調査検討対象UC

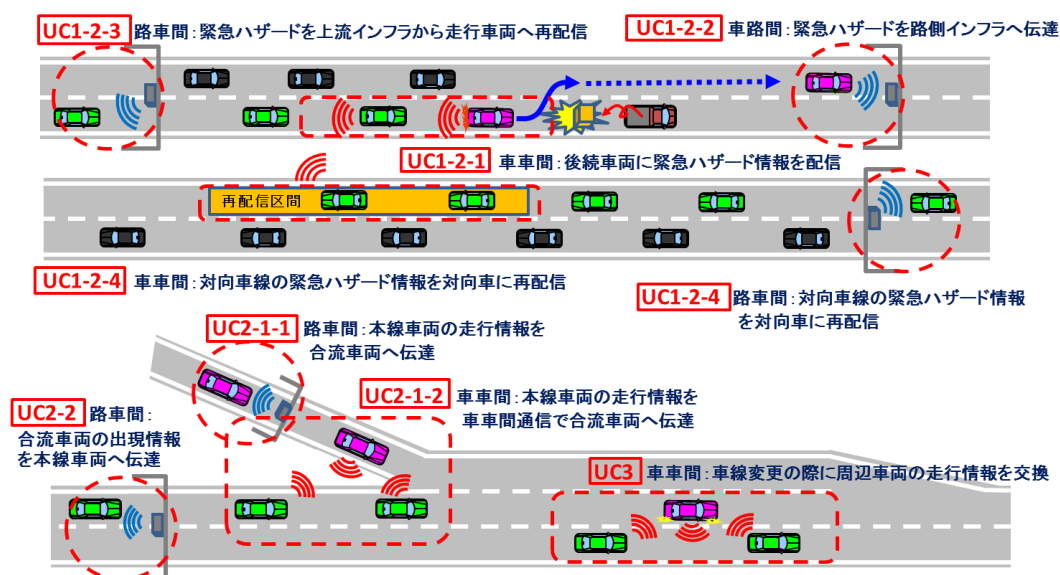


図 2.2-1：自工会検討の自動運転向け通信活用 UC 概要

表 2.2-2 に、自工会が想定する自動運转向け ITS 無線通信の位置づけを示す。これらは、自工会と ITS FORUM（無線方式検討 TG）の議論、整合結果を踏まえて整理されたものである。

表 2.2-2：ITS 無線通信活用の位置づけ

項目	前提条件
自動走行支援通信活用の位置づけ	<ul style="list-style-type: none"> ● 自律自動運転に対してあくまで支援を行う情報の位置づけ ● 通信機を持たない一般車両との混合走行を考慮し、必ずしも通信情報が届かなくても自律系で自動走行が出来ることが前提
期待する効果	<ul style="list-style-type: none"> ● 自律処理系の中に通信情報を加えることで、周囲の状況判断を早くできるようになることから、自動走行の際の判断の迅速性や確実性を高めることを目的とする

表 2.2-3 に、想定する道路環境及びシステム設計を行う際の前提条件を示す。

表 2.2-3：想定する道路環境、システム設計を行う際の前提条件

項目	前提条件
想定する道路環境	<ul style="list-style-type: none"> ● 自動運転の実用化時期の早い都市間高速、都市高速、もしくはこれらに準じた環境を想定（一般道自専道および一般道については次STEPの検討とする）
想定速度	<ul style="list-style-type: none"> ● 上限： 自動運転車 120km/h、周辺の一般車両 130km/h 本線法定速度の今後の改定も想定、自動運転車は法規遵守、周辺の一般車両については法定速度+10km/hを上限とする ● 下限： 40km/h 最低速度は、渋滞時は通常走行と異なるルール化が必要となるため別ユースケースとして取り扱うこととし、40km/hを下限とする
自動運転車の想定加減速度	<ul style="list-style-type: none"> ● 普通車の最大加速度は 0.2G、最大減速度 0.25G ● 大型車の最大加速度は 0.15G、最大減速度 0.15G
その他、車線数、車間距離など	<ul style="list-style-type: none"> ● 収容台数を算出するにあたり、都市間高速として本線の車線数は最大片側3車線（合流レーンがある所は4車線）、連絡路の車線数は最大2車線 ● 車間距離としては非渋滞時の密集環境を想定して1秒車間を想定
目標とする通信性能	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の安全運転支援に比べ確実性の高い情報伝達を実現するため、通信パケット到達率目標を100msで99%（仮）目標とし、必要に応じて連送、再送を検討するものとする

以下に、自工会検討資料をもとにして、表 2.2-1 の緊急ハザード情報 UC1-2（UC1-2-1～4）、合流支援情報 UC2（UC2-1-1～2、UC2-2）及び車線変更支援情報 UC3 の概要を示す。

2.2.2. 緊急ハザード情報（UC1-2）

●UC1-2-1：緊急回避情報が発生した際に、後続車両に緊急ハザード情報を配信【車車間】

(1) 目的

- 自動運転車が緊急減速や緊急車線変更を行った場合に後続車へ緊急ハザード情報を伝送することで、後続車の円滑な回避制御や、必要に応じて自動走行制御の支援レベルの変更を実現する。

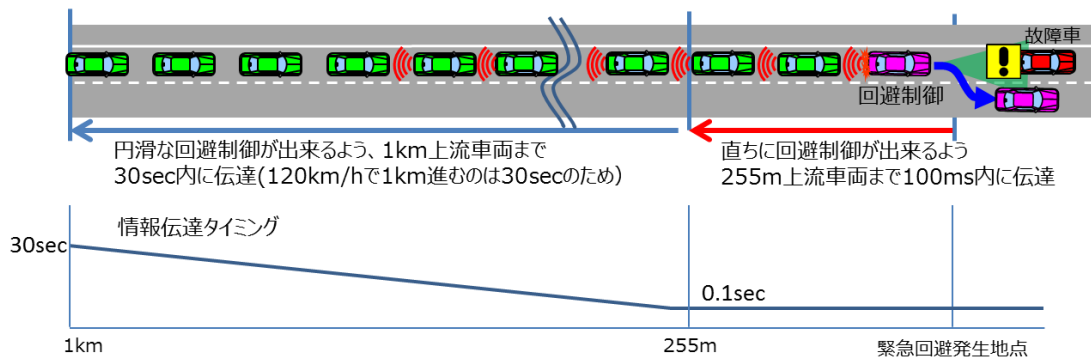


図 2.2-2：UC1-2-1（車車間通信）概要

(2) ハザード情報例

- ① 発生した緊急回避行動種別
発生地点及び緊急制動、緊急車線変更など
- ② 原因（判る場合）
対象物情報（速度、車両種別）

(3) 検討の前提条件

- ハザードに対する回避制御を行うために、図 2.2-2 に図示するようにハザード発生地点からの距離に応じたタイミング以内で情報を伝達させる。
- その際に情報を再配信する場合は以下に留意する。
 - ① 同一情報を複数の車両から同じタイミングで発信しない。
 - ② 鮮度の古い情報は発信しない（1時間以内）。
 - ③ 路側インフラより同一情報が配信されたら発信しない。
 - ④ 上流に下記グラフに示す情報伝達タイミング以内に情報が伝わること。

(4) 情報交換シーケンスと通信内容

- 図 2.2-3 に、UC1-2-1 の情報交換シーケンスと通信内容を示す。

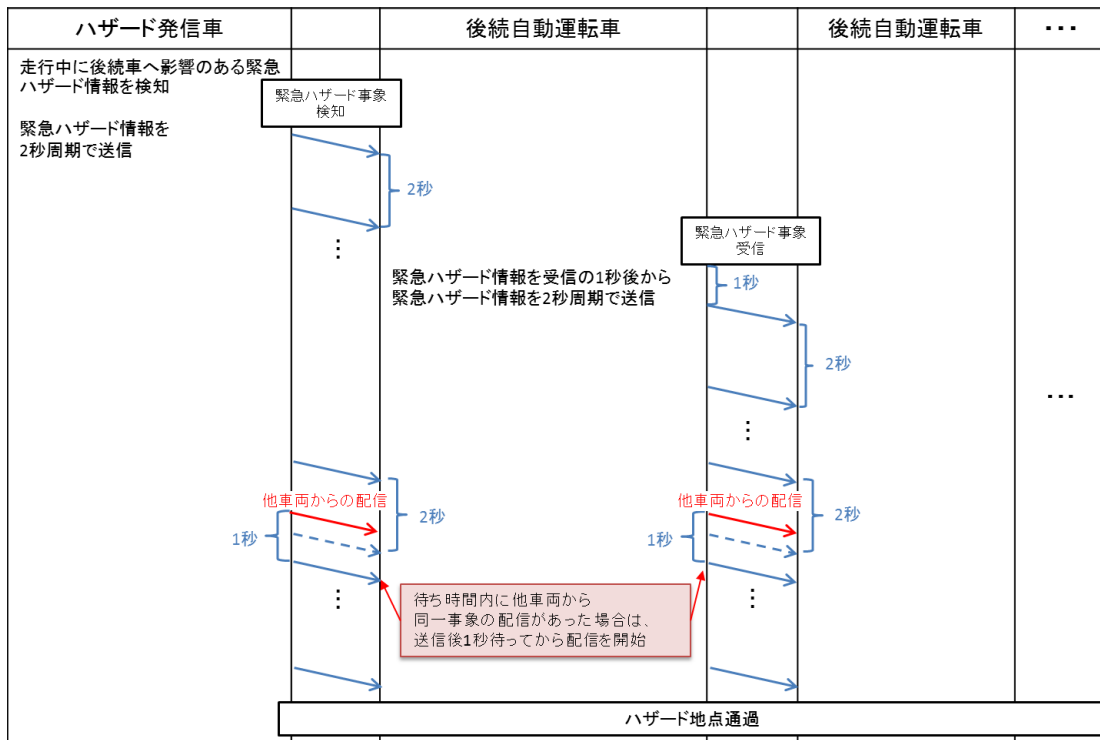


図 2.2-3 : UC1-2-1 の情報交換シーケンスと通信内容

(5) メッセージサイズ

図 2.2-4 に、UC1-2-1 のメッセージ内容とそのサイズを示す。

①基本メッセージセット(RC-013/BSM/CAMを参照し設定)	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
車両ID	32bit
<事象情報>	
発生時刻	32bit
発生事象 (緊急回避行動種別)	8bit
対象物情報 (速度、車両種別)	24bit
<地点情報>	
緯度経度高度	88bit
距離	16bit
レーン情報/上下線	4bit
道路種別等	8bit
<通行情報>	
通行可否 (レーンチェンジ要否)	2bit
<配信指定情報>	
発信元車両ID	32bit
配信対象レーン/上下線	4bit
情報有効時間	32bit
再配信距離	16bit
トータルメッセージサイズ	39byte

図 2.2-4 : UC1-2-1 のメッセージサイズ

●UC1-2-2：走行車両が収集した緊急ハザード情報を路側インフラへ伝達【路車間】

(1) 目的

- 自動運転車に搭載のセンサーや走行履歴などにより、道路上で発生している交通障害を高精度位置とともに路側にアップリンクし、路側センサー配備を補完するとともに緊急性の高い情報の早期配信に繋げる。

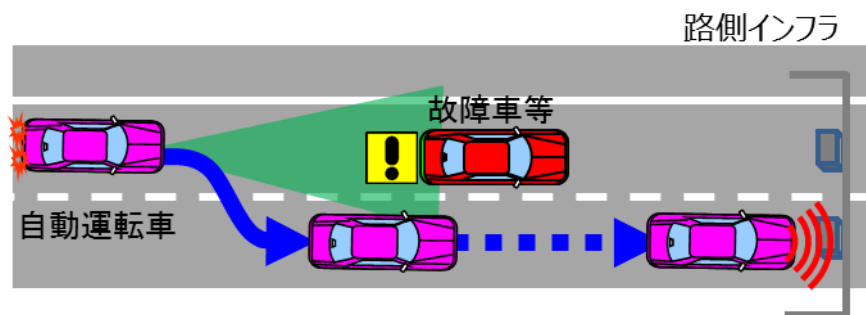


図 2.2-5：UC1-2-2（路車間通信）概要

(2) ハザード情報例

① 自車で検出するハザード

落下物や故障車、逆走車、渋滞末尾など相対速度が大きい物体を検知し、緊急減速などを行った履歴

上記ハザード情報を発生地点と共に蓄積し、次に通過する路側インフラにアップリンクする。路側では、アップリンク情報の緊急度・アップ頻度などを考慮し、インフラからの情報配信可否を判断した上で配信を行う。

(3) 通信方法案

- インフラを通過する際の路車間通信をトリガーとして、収集したハザード情報をプローブ情報とは別情報の緊急処理情報として路側にアップリンクする通信方式を想定する。

(4) 通信対象想定

- インフラを通過するのは車頭時間 1 秒とすると 1 秒当たり 1 回、片側 3 車線として同時通過は 3 台として秒 3 回通信すると想定する。

(5) 情報交換シーケンスと通信内容

図 2.2-6 に、UC1-2-2 の情報交換シーケンスと通信内容を示す。

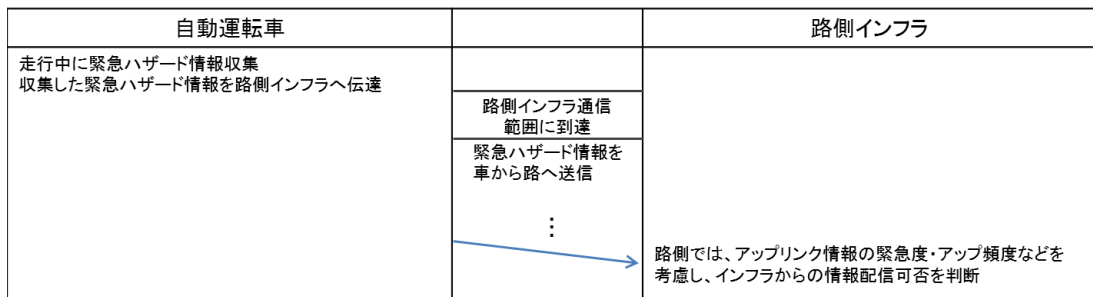


図 2.2-6 : UC1-2-2 の情報交換シーケンスと通信内容

(6) メッセージサイズ

図 2.2-7 に、UC1-2-2 のメッセージ内容とそのサイズを示す。

①通信情報内容(RC-013/BSM/CAMを参照し設定)	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
車両ID	32bit
以下個別ハザード情報 max20ハザード分	
<事象情報>	
発生時刻	32bit
発生事象(ハザード種別)	8bit
<地点情報>	
緯度経度高度	88bit
距離	16bit
レーン情報/上下線	4bit
道路種別等	8bit
<通行情報>	
通行可否(レーンチェンジ要否)	2bit
トータルメッセージサイズ	405byte

図 2.2-7 : UC1-2-2 のメッセージサイズ

●UC1-2-3 : 緊急回避情報が発生した際に、後続車両に緊急ハザード情報を配信【路車間】

(1) 目的

- 自動運転車などから路側に集約されたハザード情報を、ハザード発生地点の上流インフラから再配信することで緊急性の高い情報の早期配信に繋げる。

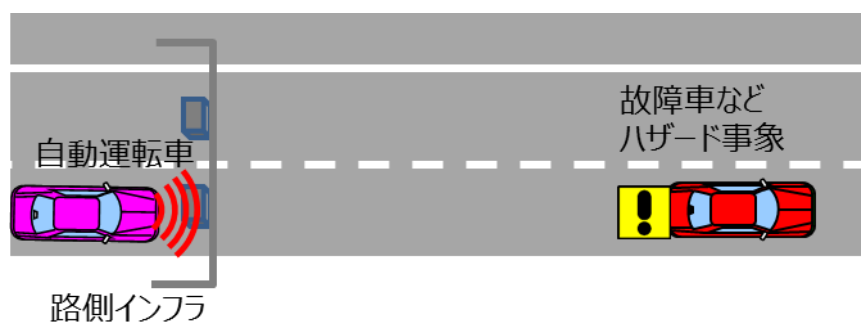


図 2.2-8 : UC1-2-3 (路車間通信) 概要

(2) ハザード情報例

① 自車で検出するハザード

落下物や故障車、逆走車、渋滞末尾など相対速度が大きい物体を検知し、緊急減速などを行った履歴

(3) 通信方法案

- インフラを通過する際の路車間通信として、従来 VICS の配信情報に加えて緊急ハザード情報を送信することを想定する。

(4) 通信対象想定

- インフラを通過するのは車頭時間 1 秒とすると 1 秒当たり 1 回、片側 3 車線として同時通過は 3 台として秒 3 回通信することを想定する。

(5) 情報交換シーケンスと通信内容

図 2.2-9 に、UC1-2-3 の情報交換シーケンスと通信内容を示す。

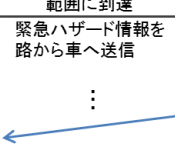
自動運転車		路側インフラ
	路側インフラ通信 範囲に到達 緊急ハザード情報を 路から車へ送信 ⋮ 	

図 2.2-9 : UC1-2-3 の情報交換シーケンスと通信内容

(6) メッセージサイズ

図 2.2-10 に、UC1-2-3 のメッセージ内容とそのサイズを示す。

①通信情報内容(RC-013/BSM/CAMを参照し設定)	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
路側機ID	32bit
以下個別ハザード情報 max20ハザード分	
<事象情報>	
発生時刻	32bit
発生事象(ハザード種別)	8bit
<地点情報>	
緯度経度高度	88bit
距離	16bit
レーン情報/上下線	4bit
道路種別等	8bit
<通行情報>	
通行可否(レーンチェンジ要否)	2bit
トータルメッセージサイズ	405byte

図 2.2-10 : UC1-2-3 のメッセージサイズ

●UC1-2-4: 上流インフラから取得した対向車線の緊急ハザード情報を対向車に再配信【路車間・車車間】

(1) 目的

- 路側から受けた緊急性の高い先読み情報を、車両から対向車線の車両などへ情報再配信することで、ETC2.0のインフラ通過後の区間の配信補完を行うとともに緊急性の高い情報について早期配信を行う。

- ① 路側機より対向車線の緊急ハザード情報を取得。
- ② 指定場所に到達した際にハザード情報を対向車線の走行車両に再配信する。

ただし、対向車線側に渋滞発生時は再配信情報が鮮度的に有効ではなくなるので再配信は行わない。

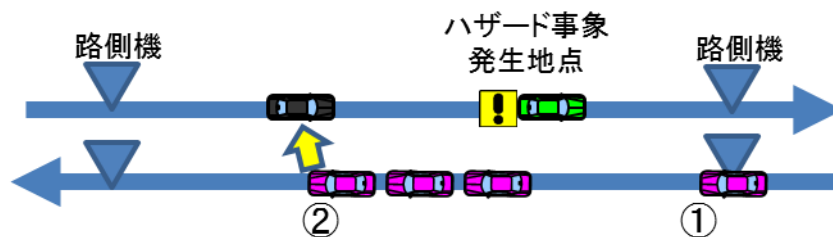


図 2.2-11 : UC1-2-4 (路車間・車車間通信協調) 概要

(2) 通信対象想定

- 高速道路対向車線の車両
- 片側3車線を想定し中央分離帯を考慮して通信距離100m程度

(3) 通信方法案

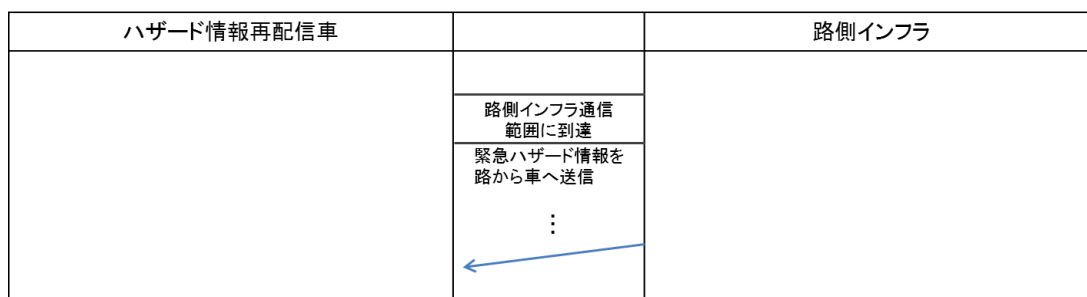
- 緊急ハザード情報を対向車へ再配信区間の間は2秒毎に送信することとする。
- また、複数車両が同時に同一メッセージを送信しない様、近傍車両が同一メッセージを送信している場合は、送信終了後1秒待ってから送信を開始する通信方式とする。

(4) 通信台数想定

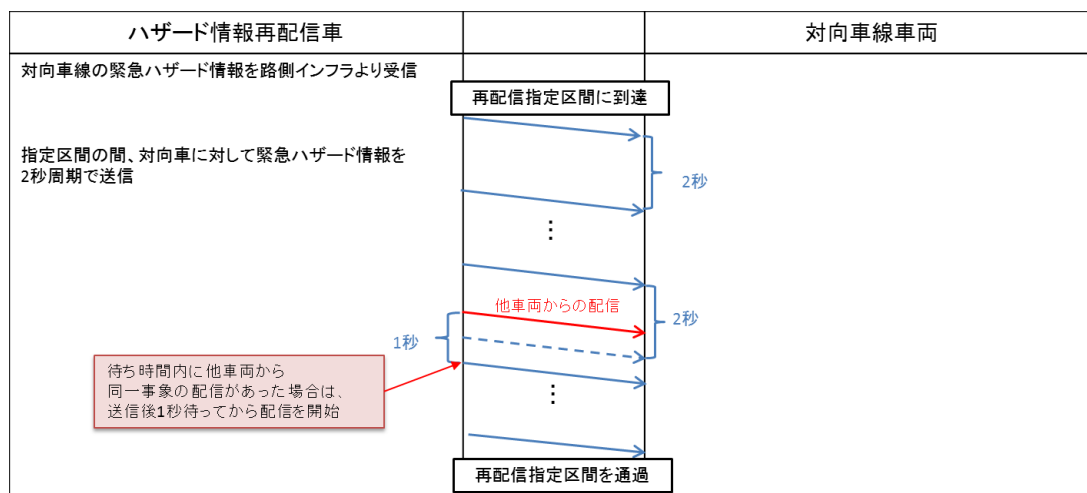
- 緊急事象であり、同一通信範囲で複数個所は発生しないと想定し、緊急ハザード情報は最短で1秒おきに送信となるため、秒当たり1回送信すると想定する。

(5) 情報交換シーケンスと通信内容

図 2.2-12 に、UC1-2-4 の情報交換シーケンスと通信内容を示す。



(a) 路車間通信



(b) 車車間通信

図 2.2-12 : UC1-2-4 の情報交換シーケンスと通信内容

(6) メッセージサイズ

図 2.2-13 に、UC1-2-4 のメッセージ内容とそのサイズを示す。

①路⇒車への通信内容	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
路側機ID	32bit
以下個別ハザード情報 max4ハザード分	
<事象情報>	
発生時刻	32bit
発生事象 (ハザード種別)	8bit
<地点情報>	
緯度経度高度	88bit
距離	16bit
レーン情報/上下線	4bit
道路種別等	8bit
<通行情報>	
走行レーン規制有無/走行レーン指示	8bit
<配信指定情報>	
再配信場所	
緯度経度高度、距離、上下線、区間	124bit
再配信時間、情報有効時間	64bit
トータルメッセージサイズ	175byte
ドライバ向けに簡易図形送信時は1kb/ハザード追加となり	
トータルメッセージサイズ	4175byte

(a) 路車間通信

②車⇒車への通信内容(RC-013/BSM/CAMを参照し設定)	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
車載機ID	32bit
<事象情報>	
発生時刻	32bit
発生事象 (ハザード種別)	8bit
<地点情報>	
緯度経度高度	88bit
距離	16bit
レーン情報/上下線	4bit
道路種別等	8bit
<通行情報>	
走行レーン規制有無/走行レーン指示	8bit
<配信指定情報>	
配信対象レーン/上下線	4bit
情報有効時間	32bit
トータルメッセージサイズ	30byte
簡易図形を送信する場合は+1kb	1030byte

(b) 車車間通信

図 2.2-13 : UC1-2-4 のメッセージサイズ

2.2.3. 合流支援情報 (UC2)

●UC2-1-1 : 本線合流車両へ、本線上を走行する車両の走行情報を伝達し、合流を円滑化
【路車間】

(1) 目的

- 合流シーンにおいては合流車と本線車が横並びしてしまうと、合流が難しくなり、状況によっては本線車の流れを乱す原因となっている。このため、合流車両に本線

上を走行する車両の走行情報を伝達し、加速レーン起点で到達タイミングが一致しないように走行速度制御を行い、合流の円滑化を図る。

- 本線車両の走行情報は路側のセンサーより収集する。
- 最終的な合流判断・制御は自律系センサーによる車線変更動作を基本とし、本支援は予め通信情報を活用することで、より円滑な合流を実現することを目的とする。

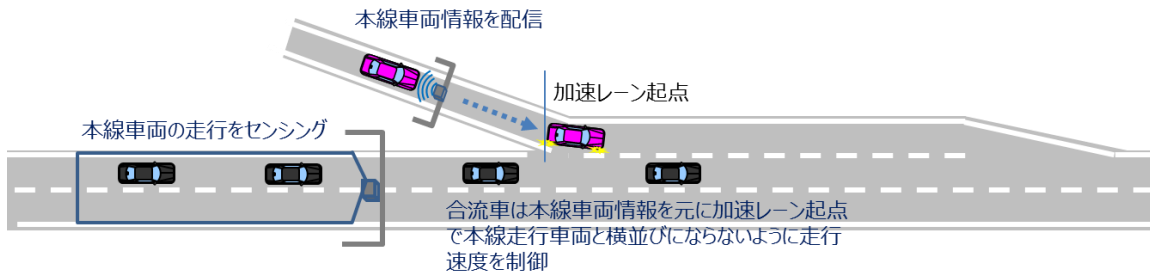


図 2.2-14 : UC2-1-1 (路車間通信) 概要

(2) 通信方法案

- インフラを通過する際の路車間通信として、従来 VICS の配信情報に加えて本線車両の走行情報を送信することを想定する。

(3) 通信対象想定

- インフラを通過するのは車頭時間 1 秒とすると 1 秒当たり 1 回、片側 2 車線として同時通過は 2 台として秒 2 回通信することを想定する。

(4) 情報交換シーケンスと通信内容

図 2.2-15 に、UC2-1-1 の情報交換シーケンスと通信内容を示す。

合流車両		路側インフラ
本線車走行情報から、加速レーン起点で到達タイミングが一致しないように走行速度制御を実施		合流地点上流の路側のセンサより、本線車走行情報を収集
	路側インフラ通信範囲に到達	
	本線車走行情報を路から車へ送信	
	⋮	
	←	

図 2.2-15 : UC2-1-1 の情報交換シーケンスと通信内容

(5) メッセージサイズ

図 2.2-16 に、UC2-1-1 のメッセージ内容とそのサイズを示す。

①路⇒車への通信内容	
<路側機情報>	
メッセージID	8bit
路側機ID	32bit
加速レーン起点情報	16bit (路側機からの道のり距離)
情報更新時刻	32bit
<本線車両情報>	
走行車両数	8bit (最大40台)
以下各車両毎	
車両ID	8bit
車両位置	88bit(緯度経度高度)
走行レーン	8bit
車両速度	16bit
車両長さ	14bit
加速レーン起点到達時刻	16bit
トータルメッセージサイズ	772byte
※走行車両数	
路側センサの検知範囲を200mと想定し、時速40km/hで車間1sec、車長5mとすると1レーンあたり13台で、全3レーンあるとするとトータル39台となるため40台で設定	

図 2.2-16 : UC2-1-1 のメッセージサイズ

●UC2-1-2 : 本線合流の際に、関係車両間で相互の走行情報を交換し円滑な合流を行う【車車間】

(1) 目的

- 合流シーンにおいては合流車と本線車が横並びになってしまうと、合流が難しくなり、状況によっては本線車の流れを乱す原因となっている。このため、合流車両、合流車両双方で車両の走行情報を伝達することで、加速レーン起点で到達タイミングが一致しないように走行速度制御を行い、合流の円滑化を図る。
- 最終的な合流判断・制御は自律系センサーによる車線変更動作を基本とし、本支援は予め通信情報を活用することで、より円滑な合流を実現することを目的とする。

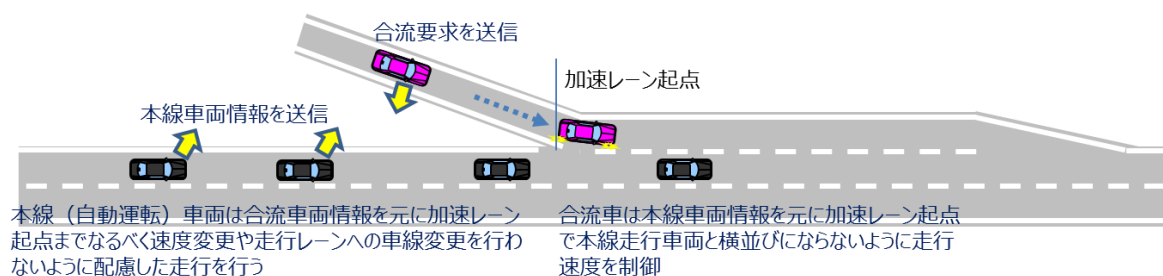


図 2.2-17 : UC2-1-2 (車車間通信) 概要

(2) 検討の前提条件

- 路車間による支援のある個所では本 UC は使用しない。

- UC2-1-1 と同等の情報を収集するために、合流車は路側インフラ設置位置通過と同じタイミングで合流要求を送信。本線車両は、路側センサー検知範囲と同等の範囲の車両がそれぞれ本線車両情報を返信する。

(3) 通信対象想定

- 合流要求を送信するのはインフラを通過するのと同様に車頭時間 1 秒とすると 1 秒当たり 1 回、片側 2 車線として同時通過は 2 台として秒 2 回通信することを想定する。
- 本線車情報は、センサー検知範囲内の車両台数最大 40 台が秒 2 回通信することを想定する。

(4) 情報交換シーケンスと通信内容

図 2.2-18 に、UC2-1-2 の情報交換シーケンスと通信内容を示す。

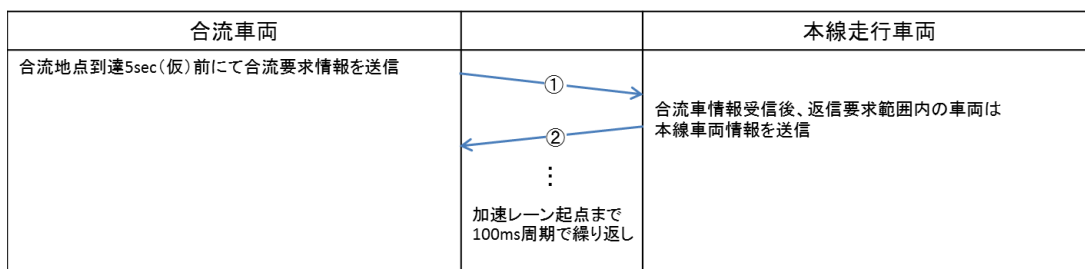


図 2.2-18 : UC2-1-2 の情報交換シーケンスと通信内容

(5) メッセージサイズ

図 2.2-19 に、UC2-1-2 のメッセージ内容とそのサイズを示す。

合流要求情報

①基本メッセージセット(RC-013/BSM/CAMを参照し設定)	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
車両ID	32bit
<加速レーン起点情報>	
緯度経度高度	88bit
レーン情報/上下線	4bit
返信要求位置範囲(上流)	16bit
(下流)	16bit
(それぞれ加速レーン起点からの道のり距離)	
<合流車情報>	
車両位置 (緯度経度高度)	88bit
走行レーン	8bit
車両速度	16bit
車両長さ	14bit
加速レーン起点到達時刻	16bit
トータルメッセージサイズ	39byte

(a) 合流要求車両情報

本線車両情報

②基本メッセージセット(RC-013/BSM/CAMを参照し設定)	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
車両ID	32bit
<本線車両情報>	
車両位置 (緯度経度高度)	88bit
走行レーン	8bit
車両速度	16bit
車両長さ	14bit
加速レーン起点到達時刻	16bit
先行車との車間距離	16bit
トータルメッセージサイズ	25byte

(b) 本線車両情報

図 2.2-19 : UC2-1-2 のメッセージサイズ

●UC2-2 : 本線走行車両へ、IC での合流車の出現タイミングを伝達し、合流を円滑化 (オプション UC) 【路車間】

(1) 目的

- 合流支援は UC2-1-1 を主体的に活用することとし、本支援は合流車がある場合に本線車の急激な速度変更や、走行レーンへの車線変更などを抑制することで UC2-1-1 をより精度高く実現するための補足的な情報として活用する。
- 合流車両の走行情報は路側のセンサーより収集する。

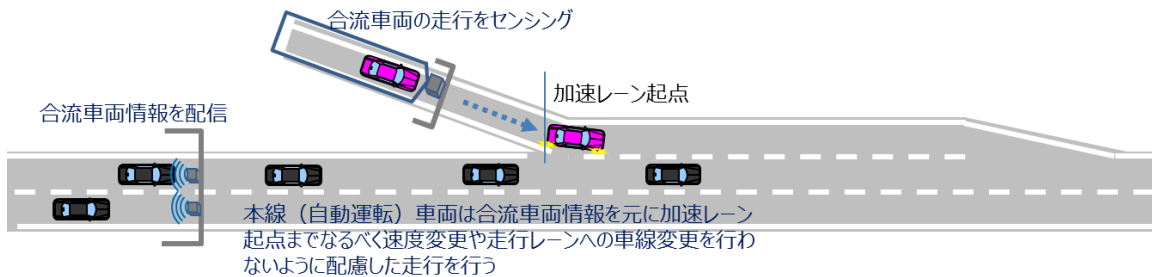


図 2.2-20 : UC2-2 (路車間通信) 概要

(2) 通信方法案

- インフラを通過する際の路車間通信として、従来 VICS の配信情報に加えて本線車両の走行情報を送信することを想定する。

(3) 検討の前提条件

- インフラを通過するのは車頭時間 1 秒とすると 1 秒当たり 1 回、片側 3 車線として同時通過は 3 台として秒 3 回通信することを想定する。

(4) 情報交換シーケンスと通信内容

図 2.2-21 に、UC2-2 の情報交換シーケンスと通信内容を示す。

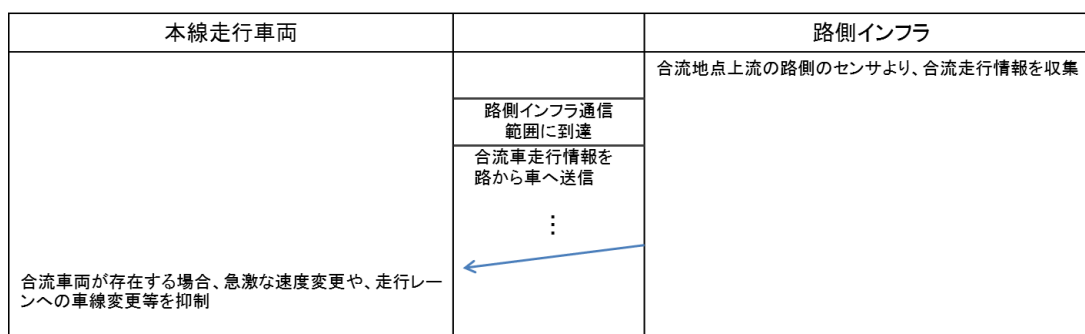


図 2.2-21 : UC2-2 の情報交換シーケンスと通信内容

(5) メッセージサイズ

図 2.2-22 に、UC2-2 のメッセージ内容とそのサイズを示す。

①路⇒車への通信内容	
<路側機情報>	
メッセージID	8bit
路側機ID	32bit
加速レーン起点情報	16bit (路側機からの道のり距離)
情報更新時刻	32bit
<合流車両情報>	
走行車両数	8bit (最大10台)
以下各車両毎	
車両ID	8bit
車両位置	88bit(緯度経度高度)
走行レーン	8bit
車両速度	16bit
車両長さ	14bit
加速レーン起点到達時刻	16bit
トータルメッセージサイズ	202byte
※走行車両数	
路側センサの検知範囲を80mと想定し、時速40km/hで車間1sec、車長5mとすると1レーンあたり5台で、全2レーンあるとするとトータル10台となる	

図 2.2-22 : UC2-2 のメッセージサイズ

2.2.4. 車線変更支援情報 (UC3)

●UC3: 車線変更の際に、関係車両間で相互の走行情報を交換し円滑な車線変更を行う【車車間】

(1) 目的

- 車線変更シーンにおいては、近傍車両によって遮蔽されていたり、速度差が大きく接近してくる車両については自律系センサーでの検知が困難となる場合がある。
- このため、車線変更車両、周辺車両双方で車両の走行情報を伝達することで、車線変更先の適切な決定に寄与し、車線変更の円滑化を図る。

- 最終的な車線変更判断・制御は自律系センサーによる車線変更動作を基本とし、本支援は予め通信情報を活用することで、より円滑な車線変更を実現することを目的とする。



関係車両の対象範囲:2台後方および前方の車両位置を把握(前後126m(仮))

図 2.2-23 : UC3 (車車間通信) 概要

(2) 検討の前提条件

- 自律系センサーで車線変更スペースがない場合に本 UC を活用。
- 車線変更を行う車両は車線変更要求を送信。
- 要求に対し対象範囲の車両は走行情報を返信する。
- 100ms 以内に複数車両から車線変更要求がある場合は、都度返信は行わず、1回の返信に集約する。
- 返信が同時に発生しないよう、要求車からの距離に応じて返信タイミングを調整するなど送信の優先順を考慮する。

(3) 通信対象想定

- 速度差 20km/h、自車の前後 2 台分までの車両位置を把握するための関係車の対象範囲は前後 126m と想定される。ここで関係車両群の最大数は速度 40km/h、車長 5m、車間 1sec とすると、1 回の車線変更要求に対して最大 16 台が返信することになる。

(4) 情報交換シーケンスと通信内容

図 2.2-24 に、UC3 の情報交換シーケンスと通信内容を示す。

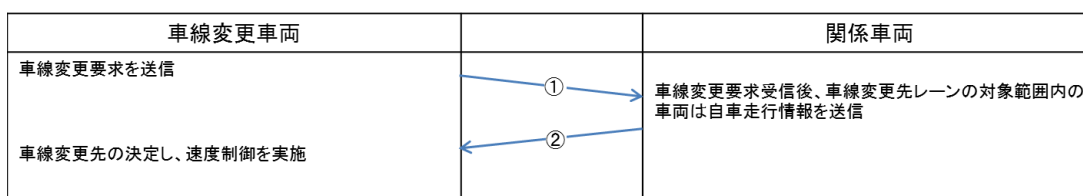


図 2.2-24 : UC3 の情報交換シーケンスと通信内容

(5) メッセージサイズ

図 2.2-25 に、UC3 のメッセージ内容とそのサイズを示す。

車線変更要求情報

①基本メッセージセット(RC-013/BSM/CAMを参照し設定)	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
車両ID	32bit
<自車走行情報>	
車線情報 (元レーン、移動先レーン)	8bit
車両位置 (緯度経度高度)	88bit
車両速度	16bit
車両長さ	14bit
<返信要求範囲指定情報>	
距離	16bit
トータルメッセージサイズ	23byte

(a) 車線変更車両情報

関係車両走行情報

②基本メッセージセット(RC-013/BSM/CAMを参照し設定)	
<管理情報>	
メッセージID	8bit
車両ID	32bit
<関係車両情報>	
車両位置 (緯度経度高度)	88bit
走行レーン	8bit
車両速度	16bit
車両長さ	14bit
先行車との車間距離	16bit
トータルメッセージサイズ	23byte

(b) 関係車両情報

図 2.2-25 : UC3 のメッセージサイズ

2.2.5. メッセージ内容一覧

表 2.2-4 に、自工会検討 UC のメッセージ内容とそのサイズの一覧を示す。同表の赤字部分である UC3 の返信要求範囲指定情報 (16 ビット) が、改定前のものから追加された情報である。

表 2.2-4：自工会検討 UC のメッセージ内容一覧

情報名		bit	対応情報										
			車両からの緊急ハザード情報の発信					合流支援				車線変更支援	
						UC1-2-4		UC 2-1-1	UC2-1-2		UC2-2	UC3	
			UC 1-2-1	UC 1-2-2	UC 1-2-3	路車	車車		合流車	本線車		車線 変更車	関係車
合計メッセージサイズ[byte]			39	405	405	175/4175	30/1030	772	39	25	202	23	23
管理	メッセージID	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	車両ID	32	○	○			○	○	○			○	○
	路側機ID	32			○	○	○			○			
事象	発生時刻	32	○	○※1	○※1	○※2	○						
	発生事象(ハザード種別)	8		○※1	○※1	○※2	○						
	発生事象(緊急回避行動種別)	8	○										
	対象物(速度、車両種別)	24	○										
地点	緯度経度高度	88	○	○※1	○※1	○※2	○						
	距離	16	○	○※1	○※1	○※2	○						
	レーン情報/上下線	4	○	○※1	○※1	○※2	○						
	道路種別等	8	○	○※1	○※1	○※2	○						
通行	通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○	○※1	○※1								
	走行規制有無/走行レーン指定	8				○※2	○						
配信指定	配信元車両ID	32	○										
	配信対象レーン/上下線	4	○				○						
	情報有効時間	32	○										
	再配信距離	16	○										
	緯度経度高度、距離、上下線、区間 再配信時間、情報有効時間	124				○※2							
路側機	加速レーン起点	16					○			○			
	情報更新時刻	32					○			○			
加速レーン起点	緯度経度高度	88							○				
	レーン情報/上下線	4							○				
	返信要求位置範囲(上流、下流)	32							○				
車両	走行車両数	8						○			○		
	車両ID	8						○			○		
	車両位置(緯度経度高度)	88						○※3	○	○	○※4	○	○
	走行レーン	8						○※3	○	○	○※4		○
	車両速度	16						○※3	○	○	○※4	○	○
	車両長さ	14						○※3	○	○	○※4	○	○
	加速レーン起点到達時刻	16						○※3	○	○	○※4		
	先行車との車間距離	16								○			○
	車線情報(元レーン、移動先レーン)	8										○	
	返信要求範囲指定 オプション	8000				○※2	○					○	

【※1】 最大20ハザード分 【※2】 最大4ハザード分 【※3】 最大40台分 【※4】 最大10台分

2.3. 前提条件の整理

本節では、抽出した UC に対して、車両密度・速度や電波伝搬環境等の道路環境条件、アンテナ設置位置等の車両条件、送信情報や電波伝搬モデル等の通信システム条件等、本調査検討を実施する上での前提条件を UC 毎に整理する。

表 2.3-1 に、前提条件の整理結果を示す。整理にあたっては、表 2.2-3 の自工会検討資料における想定と前提条件、ITS FORUM（無線方式検討 TG）での議論、検討結果及び本調査検討会における議論、指摘内容を参考にした。平成 29 年度「自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（以下、平成 29 年度調査検討）における前提条件からの主な追加変更は以下の通りである。

- 表 2.2-3 に従い、本調査検討の道路条件に都市間高速道路を追加した。6 章において、都市高速道路及び都市間高速道路の両方を想定して自動走行支援通信の有効性を検証する。
- 調査検討会において一般道路の追加についても議論が行われたが、本調査検討では都市高速道路及び都市間高速道路を想定した検討、評価を優先し、一般道路は検討範囲外とした。ただし、一般道路 UC の追加等に対するメッセージセットの拡張性に関しては一部検討を実施する。
- 車両条件における通信機器搭載車両として大型車を追加する。また、通信システム条件として周辺の車両、特に大型車による電波遮蔽の影響を考慮し、4 章において大型車による電波遮蔽を考慮した電波伝搬モデルの検討及び通信性能評価を実施する。ただし、本調査検討では電波遮蔽の影響のモデル化を大型車 1 台想定で実施する。調査検討会において指摘のあった隊列走行車等の複数台想定電波遮蔽のモデル化等が今後必要である。
- 平成 29 年度調査検討と同様に、全車が通信機器を搭載している想定で検討、評価を実施する。ただし、6 章の自動走行支援通信の実用化に向けた検討において、通信機器の搭載率が自動走行支援通信の有効性に与える影響等、非搭載車両混在時の検討を一部実施する。

表 2.3-1：調査検討を実施する上での前提条件

項目	H30年度調査検討の検討条件	H30年度調査検討の範囲外
道路環境	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市間高速道路、都市高速道路(一部)を想定 <ul style="list-style-type: none"> - 通信相手車両とは見通し内 - 片側3車線(合流レーンのある箇所では片側4車線) - 交通量: 車間時間1s以上 ● 非渋滞時を想定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市高速道路、一般道路を想定 <ul style="list-style-type: none"> - 通信車両相手と見通し外となる状況(地物による遮蔽)が発生 ● 渋滞時への拡張
	<ul style="list-style-type: none"> ● 乗用車、大型車(アンテナはルーフに搭載)から中心に検討 ● 全車が通信機器を搭載し、同じ通信制御ロジックで走行 	<ul style="list-style-type: none"> ● 二輪車の追加 ● 非搭載車両混在時の検討
通信システム	<ul style="list-style-type: none"> ● 通信形態と検討対象とする通信方式 <ul style="list-style-type: none"> - 車車間通信 <ul style="list-style-type: none"> 5.8GHz帯: ITS FORUM RC-005 700MHz帯: ARIB STD-T109 - 路車間通信 <ul style="list-style-type: none"> 5.8GHz帯: ARIB STD-T75、ITS FORUM RC-005 700MHz帯: ARIB STD-T109 ● ブロードキャスト通信を想定 ● 通信イベント発生時を除き、自律系センサでのみ情報取得を想定 <ul style="list-style-type: none"> - 通信により常時情報を共有している想定ではない ● 各UCが単独で存在する場合、複数UCが混在する場合を検討 	<ul style="list-style-type: none"> ● 他システム(既存サービス)との共用検討 <ul style="list-style-type: none"> - 5.8GHz帯: ETC2.0 - 700MHz: 情報提供型安全運転支援 ● 合意等の通信を必要とするUCを想定(特定の通信相手)
	<ul style="list-style-type: none"> ● 車両による電波遮蔽の影響を考慮(大型車1台想定) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大型車複数台(隊列走行車等)による電波遮蔽の影響を考慮

2.4. 通信要件の抽出と評価

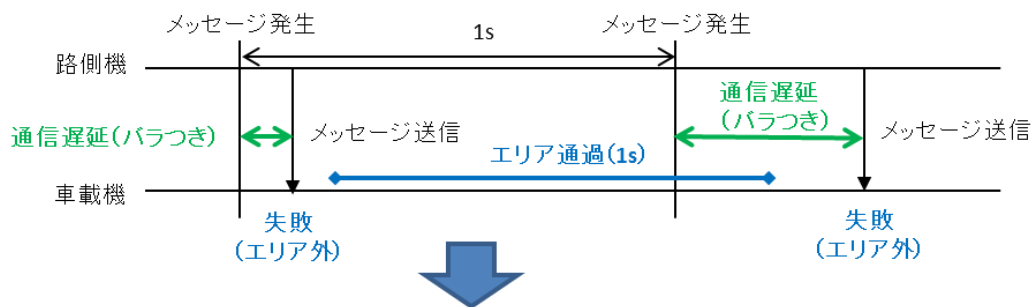
本節では、整理した前提条件を踏まえて、UC 毎に目標通信品質や通信距離、データサイズ、通信頻度、送信車両台数、通信遅延等の通信要件を抽出し、各 UC の通信要件の妥当性や実現可能性を評価する。なお、各 UC の通信要件の妥当性や実現可能性の評価にあたっては、自動車メーカーとの連携も考慮して実施する。

表 2.4-1 に、2.2 節において調査した自工会検討 UC (UC1-2、UC2 及び UC3) の通信要件の整理結果を示す。なお、通信要件の整理にあたっては、平成 29 年度調査検討における自工会検討 UC (改定前の UC2~8) の通信要件まとめを参考に、自工会及び ITS FORUM と連携して通信要件の見直しを実施した。自工会検討内容からの主な追加変更は以下の通りである。

- 路車間通信 UC の UC 対象エリア及び必要通信距離は、無線方式検討 TG における検討を参考に、上限速度 120km/h のときに 1 秒間で走行する距離 33.3m とした(暫定値)。
【表 2.4-1 の※1】
- 路車間通信 UC の送信頻度は、図 2.4-1 に示すような通信遅延等による受信タイミングのバラつきを考慮して 1 秒当たり 1 回から 2 回に増やした。【同表の※2】
- 路車間通信 UC の通信遅延は、無線方式検討 TG における検討を参考に、UC 対象エリア通過中に通信が完了することが重要であり、通信遅延時間自体は重要ではないため規定不要と判断した。【同表の※3】
- UC2-1-2 の UC 対象エリア及び必要通信距離は、本線車両 120km/h、合流車両 40km/h とし、自工会検討内容を参考に加速レーン起点到達 5s 前(仮)に合流要求を送信開始

する場合を想定して算出した（ただし、本線と合流車線の角度が大きくなると必要通信距離は算出した値より増加）。【同表の※4】

なお、表 2.4-1 のデータサイズにはセキュリティ等のオーバーヘッドは含まれていない。セキュリティ等のオーバーヘッドサイズに関しては 3 章にて検討する。



受信タイミングにバラつきがある場合、『路側機におけるメッセージ発生周期=車載機のエリア通過時間』
とするとメッセージを受信できないケースが発生

図 2.4-1：路車間通信 UC における通信遅延等による受信タイミングのバラつき

表 2.4-1：自工会検討 UC の通信要件の整理まとめ

UC No.	1-2-1	1-2-2	1-2-3	1-2-4		2-1-1	2-1-2	2-2	3
				路車間	車車間				
情報種別	先読み情報					合流支援			車線変更支援
	車両からの緊急ハザード情報発信					合流車支援		本線車支援	
内容	後続車両に配信	路側インフラへ伝達	上流インフラから走行車両へ再配信	対向車に再配信		本線車両の走行情報を伝達	本線車両の走行情報を車車間通信で伝達	合流車両の出現情報を伝達	周辺車両の走行情報を交換
通信形態	車車間	路車(UL)	路車間(DL)		車車間	路車間(DL)	車車間	路車間(DL)	車車間
UC対象エリア	1km	33.3m ^{*1}			1km	33.3m ^{*1}	367m ^{*4}	33.3m ^{*1}	252m
必要通信距離	255m	↑			100m	↑	212m ^{*4}	↑	126m
通信品質	PER<1E-2(仮)								
データサイズ	39byte	405byte		175byte/ 4175byte (簡易図形)	30byte/ 1030byte (簡易図形)	772byte	39byte(合流)/ 25byte(本線)	202byte	23byte
送信頻度	2s間隔	0.5s間隔 ^{*2}			2s間隔	0.5s間隔 ^{*2}	0.1s間隔	0.5s間隔 ^{*2}	規定せず
送信台数	140台	3台	1台 (路側)		2台	1台 (路側)	42台 (合流2+本線40)	1台 (路側)	17台 (車線変更1+関係16)
通信遅延	0.1~ 30s以下	規定せず ^{*3}			2s以下	規定せず ^{*3}	0.1s以下	規定せず ^{*3}	0.1s以下
通信相手	非特定車両 (後続車両)	路側機	非特定車両 (同報配信)	非特定車両 (同報配信)	非特定車両 (対向車線)	非特定車両 (同報配信)	非特定車両 (合流-本線)	非特定車両 (同報配信)	非特定車両 (車線変更-関係)
最大走行速度差	120km/h				240km/h (120+120)	120km/h	80km/h (120-40)	120km/h	80km/h (120-40)

続いて、抽出した各 UC の特徴を分析し、通信要件の妥当性や実現可能性を以下に示す。UC 毎の特徴分析結果より、特にデータサイズ、通信形態、必要通信距離の検証が重要であることが確認できた。

●通信要件の妥当性

- 目標通信品質（パケットエラー率 $PER < 1E-2$ ）に関しては仮値であるものの、自工会の検討内容をもとに整理した通信要件は概ね妥当。
- UC2-1-2 に関しては、UC 対象エリア及び必要通信距離を暫定的な送信開始位置をもとに決めているため、今後詳細な検討が進んだ段階で見直しが必要。

●通信要件の実現可能性

- 路車間通信 UC の UC 対象エリア及び必要通信距離 33.3m は既存 DSRC と同程度であり、路側機の設置位置の調整等により UC 対象エリア内の見通し確保が比較的容易であるため実現可能性は高い。
- 一方、車車間通信 UC の必要通信距離は 100～252m と路車間通信 UC よりも長いため、長距離通信による受信電力の低下に加えて遮蔽車両の発生頻度が増加し、通信要件を実現する条件としてはより厳しい（特に必要通信距離が 200m 以上の UC1-2-1 及び UC2-1-2）。また、イベント発生箇所の道路形状や、遮音壁、中央分離帯の樹木やフェンス等の影響により通信相手との見通しが困難となる状況が発生。見通し内環境を前提としている条件の見直しが必要。
- UC1-2-4(簡易図形情報あり)は路車間、車車間通信ともにデータサイズが大きいため、回線マージンの確保が他 UC と比べて難しい可能性あり。

2.5. 自動走行支援通信の前提条件の整理、通信要件の抽出と評価のまとめ

自工会、ITS FORUM 等で議論されている自動運転レベル 2・3 の自動走行向けの通信活用 UC を調査・分析し、自動走行向け ITS 無線通信のメッセージセット及びプロトコルの検討を実施する上での前提条件及び通信要件を整理し、その妥当性を評価した。

●自動走行向けの通信活用 UC の調査

2018 年 9 月に改定された自工会検討 UC を調査し、自工会が想定する自動運転向け ITS 無線通信の位置づけや道路環境及びシステム設計を行う際の前提条件を整理した。

表 2.5-1：自工会検討の自動運転向け通信活用 UC 一覧

本調査検討対象UC

情報種別	UC No. (版3.1)	分類	内容	UC No. (版3)
先読み情報	1-1	路車	自立センサでは検知できない先の情報として渋滞情報、料金所情報、臨時走行レーン情報などを配信し、未然に経路、車線選択を行うことで走行を円滑化	1
先読み情報 車両からの緊急ハザード情報の発信	1-2-1	車車	緊急回避事象が発生した際に、後続車両に緊急ハザード情報を配信	4
	1-2-2	車路	走行車両が収集した緊急ハザード情報を路側インフラへ伝達	2
	1-2-3	路車	走行車両から収集した緊急ハザード情報を上流インフラから走行車両へ再配信	3
	1-2-4	路車 車車 協調	上流インフラから取得した対向車線の緊急ハザード情報を、対向車に再配信	5
合流支援	2-1-1	路車	インフラで計測した本線上走行車両の走行情報を合流車両へ伝達し、合流を円滑化	6
	2-1-2	車車	本線走行車両の走行情報を車車間通信で本線合流車両へ伝達し、合流を円滑化	8
本線車支援	2-2	路車	インフラで計測した合流車の出現情報を本線走行車両へ伝達し、合流を円滑化	7
車線変更支援	3	車車	車線変更の際に、周辺車両の走行情報を交換し、車線変更を円滑化	8
隊列走行支援	4	車車 路車	追従走行する大型トラック間で相互に走行情報を伝達し、隊列走行を形成 一般自動運転車割込み時の走行調停も合わせて行う（一時的な混合走行の許容と離脱推奨、離脱後の隊列再形成など）	9

表 2.5-2：自工会が想定する道路環境、システム設計を行う際の前提条件

項目	前提条件
想定する道路環境	●自動運転の実用化時期の早い都市間高速、都市高速、もしくはこれらに準じた環境を想定(一般道自専道および一般道については次STEPの検討とする)
想定速度	●上限：自動運転車 120km/h、周辺の一般車両 130km/h 本線法定速度の今後の改定も想定、自動運転車は法規遵守、周辺の一般車両については法定速度+10km/hを上限とする ●下限：40km/h 最低速度は、渋滞時は通常走行と異なるルール化が必要となるため別ユースケースとして取り扱うこととし、40km/hを下限とする
自動運転車の想定加減速度	●普通車の最大加速度は 0.2G、最大減速度 0.25G ●大型車の最大加速度は 0.15G、最大減速度 0.15G
その他、車線数、車間距離など	●収容台数を算出するにあたり、都市間高速として本線の車線数は最大片側3車線(合流レーンがある所は4車線)、連絡路の車線数は最大2車線 ●車間距離としては非渋滞時の密集環境を想定して1秒車間を想定
目標とする通信性能	●従来の安全運転支援に比べ確実性の高い情報伝達を実現するため、通信パケット到達率目標を100msで99%(仮)目標とし、必要に応じて連送、再送を検討するものとする

●前提条件の整理

抽出した UC に対して、車両密度・速度や電波伝搬環境等の道路環境条件、アンテナ設置位置等の車両条件、送信情報や電波伝搬モデル等の通信システム条件等、本調査検討を実施する上での前提条件を UC 毎に整理した。

表 2.5-3 に、前提条件の整理結果を示す。整理にあたっては、自工会検討における想定や前提条件に加えて、ITS FORUM（無線方式検討 TG）での検討結果及び本調査検討会における議論、指摘内容を参考にした。各種条件の主な修正としては、実環境を想定して大型車による電波遮蔽、及び複数 UC 混在時の影響を追加した。

表 2.5-3：調査検討を実施する上での前提条件

項目	H30年度調査検討の検討条件	H30年度調査検討の範囲外
道路環境	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市間高速道路、都市高速道路(一部)を想定 <ul style="list-style-type: none"> - 通信相手車両とは見通し内 - 片側3車線(合流レーンのある箇所では片側4車線) - 交通量: 車間時間1s以上 ● 非渋滞時を想定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市高速道路、一般道路を想定 <ul style="list-style-type: none"> - 通信車両相手と見通し外となる状況(地物による遮蔽)が発生 ● 渋滞時への拡張
車両	<ul style="list-style-type: none"> ● 乗用車、大型車(アンテナはルーフに搭載)から中心に検討 ● 全車が通信機器を搭載し、同じ通信制御ロジックで走行 	<ul style="list-style-type: none"> ● 二輪車の追加 ● 非搭載車両混在時の検討
通信システム	<ul style="list-style-type: none"> ● 通信形態と検討対象とする通信方式 <ul style="list-style-type: none"> - 車車間通信 <ul style="list-style-type: none"> 5.8GHz帯: ITS FORUM RC-005 700MHz帯: ARIB STD-T109 - 路車間通信 <ul style="list-style-type: none"> 5.8GHz帯: ARIB STD-T75、ITS FORUM RC-005 700MHz帯: ARIB STD-T109 ● ブロードキャスト通信を想定 ● 通信イベント発生時を除き、自律系センサでのみ情報取得を想定 <ul style="list-style-type: none"> - 通信により常時情報を共有している想定ではない ● 各UCが単独で存在する場合、複数UCが混在する場合を検討 ● 車両による電波遮蔽の影響を考慮(大型車1台想定) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 他システム(既存サービス)との共用検討 <ul style="list-style-type: none"> - 5.8GHz帯: ETC2.0 - 700MHz: 情報提供型安全運転支援 ● 合意等の通信を必要とするUCを想定(特定の通信相手) ● 大型車複数台(隊列走行車等)による電波遮蔽の影響を考慮

●通信要件の抽出と評価

整理した前提条件を踏まえて、UC 毎に目標通信品質や通信距離、データサイズ、通信頻度、送信車両台数、通信遅延等の通信要件を抽出し、各 UC の通信要件の妥当性や実現可能性を評価した。なお、各 UC の通信要件の妥当性や実現可能性の評価にあたっては、自動車メーカーとの連携も考慮して実施した。

表 2.5-4 に、調査した自工会検討 UC (UC1-2、UC2 及び UC3) の通信要件の整理結果を示す。なお、通信要件の整理にあたっては、平成 29 年度調査検討における自工会検討 UC (改定前の UC2~8) の通信要件まとめを参考に、自工会及び ITS FORUM と連携して通信要件の見直しを実施した。

続いて、抽出した各 UC の特徴を分析し、通信要件の妥当性や実現可能性を以下に示す。UC 毎の特徴分析結果より、特にデータサイズ、通信形態、必要通信距離の検証が重要であることが確認できた。

【通信要件の妥当性】

- 目標通信品質（パケットエラー率 $PER < 1E-2$ ）に関しては仮値であるものの、自工会の検討内容をもとに整理した通信要件は概ね妥当。
- UC2-1-2 に関しては、UC 対象エリア及び必要通信距離を暫定的な送信開始位置をもとに決めているため、今後詳細な検討が進んだ段階で見直しが必要。

【通信要件の実現可能性】

- 路車間通信 UC の UC 対象エリア及び必要通信距離 33.3m は既存 DSRC と同程度であり、路側機の設置位置の調整等により UC 対象エリア内の見通し確保が比較的容易であるため実現可能性は高い。
- 一方、車車間通信 UC の必要通信距離は 100~252m と路車間通信 UC よりも長いため、長距離通信による受信電力の低下に加えて遮蔽車両の発生頻度が増加し、通信要件を実現する条件としてはより厳しい（特に必要通信距離が 200m 以上の UC1-2-1 及び UC2-1-2）。また、イベント発生箇所の道路形状や、遮音壁、中央分離帯の樹木やフェンス等の影響により通信相手との見通しが困難となる状況が発生。見通し内環境を前提としている条件の見直しが必要。
- UC1-2-4 (簡易図形情報あり) は路車間、車車間通信ともにデータサイズが大きいため、回線マージンの確保が他 UC と比べて難しい可能性あり。

表 2.5-4：自工会検討 UC の通信要件の整理まとめ

UC No.	1-2-1	1-2-2	1-2-3	1-2-4		2-1-1	2-1-2	2-2	3
				路車間	車車間				
情報種別	先読み情報					合流支援			車線変更支援
	車両からの緊急ハザード情報発信					合流車支援		本線車支援	
内容	後続車両に配信	路側インフラへ伝達	上流インフラから走行車両へ再配信	対向車に再配信		本線車両の走行情報を伝達	本線車両の走行情報を車車間通信で伝達	合流車両の出現情報を伝達	周辺車両の走行情報を交換
通信形態	車車間	路車間(UL)	路車間(DL)		車車間	路車間(DL)	車車間	路車間(DL)	車車間
UC対象エリア	1km	33.3m			1km	33.3m	367m	33.3m	252m
必要通信距離	255m	↑			100m	↑	212m	↑	126m
通信品質	PER<1E-2(仮)								
データサイズ	39byte	405byte		175byte／4175byte(簡易図形)	30byte／1030byte(簡易図形)	772byte	39byte(合流)／25byte(本線)	202byte	23byte
送信頻度	2s間隔	0.5s間隔			2s間隔	0.5s間隔	0.1s間隔	0.5s間隔	規定せず
送信台数	140台	3台	1台(路側)		2台	1台(路側)	42台(合流2+本線40)	1台(路側)	17台(車線変更1+関係16)
通信遅延	0.1～30s以下	規定せず			2s以下	規定せず	0.1s以下	規定せず	0.1s以下
通信相手	非特定車両(後続車両)	路側機	非特定車両(同報配信)	非特定車両(同報配信)	非特定車両(対向車線)	非特定車両(同報配信)	非特定車両(合流+本線)	非特定車両(同報配信)	非特定車両(車線変更+関係)
最大走行速度差	120km/h				240km/h(120+120)	120km/h	80km/h(120-40)	120km/h	80km/h(120-40)

3. 自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの検討

本章では、2章で抽出した通信要件より、自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルを検討する。なお、検討にあたっては、これまで国内において車車間・路車間通信向け ITS 無線通信として検討、規格化されてきた ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 の通信仕様を参考にする。

3.1. 実施方法

図 3.1-1 に、本章における自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの検討の流れを示す。

まず、2章にて抽出した自工会検討 UC の通信要件を踏まえて、自動走行支援通信のメッセージセットを検討する。メッセージセットの検討にあたっては、ITS FORUM RC-013 や SAE、ETSI 等の国内外の既存メッセージセット規格をもとに検討した平成 29 年度「自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（以下、平成 29 年度調査検討）のメッセージセット案を参考にする。

続いて、自工会検討 UC の通信要件を踏まえて、自動走行支援通信のプロトコルを検討する。プロトコルの検討にあたっては、平成 29 年度調査検討にてまとめたプロトコル案を参考にする。平成 29 年度調査検討のプロトコル案は、これまで国内において車車間・路車間通信向け ITS 無線通信として検討、規格化されてきた ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 の通信仕様を参考にして検討されたものである。

最後に、これらメッセージセット及びプロトコルの検討結果を、実環境を想定した自動走行支援通信の通信仕様案（メッセージセット案及びプロトコル案）としてまとめる。なお、4章の実環境を想定した自動走行支援通信の通信性能の評価結果を踏まえて、必要に応じて通信仕様案の追加変更を行う。

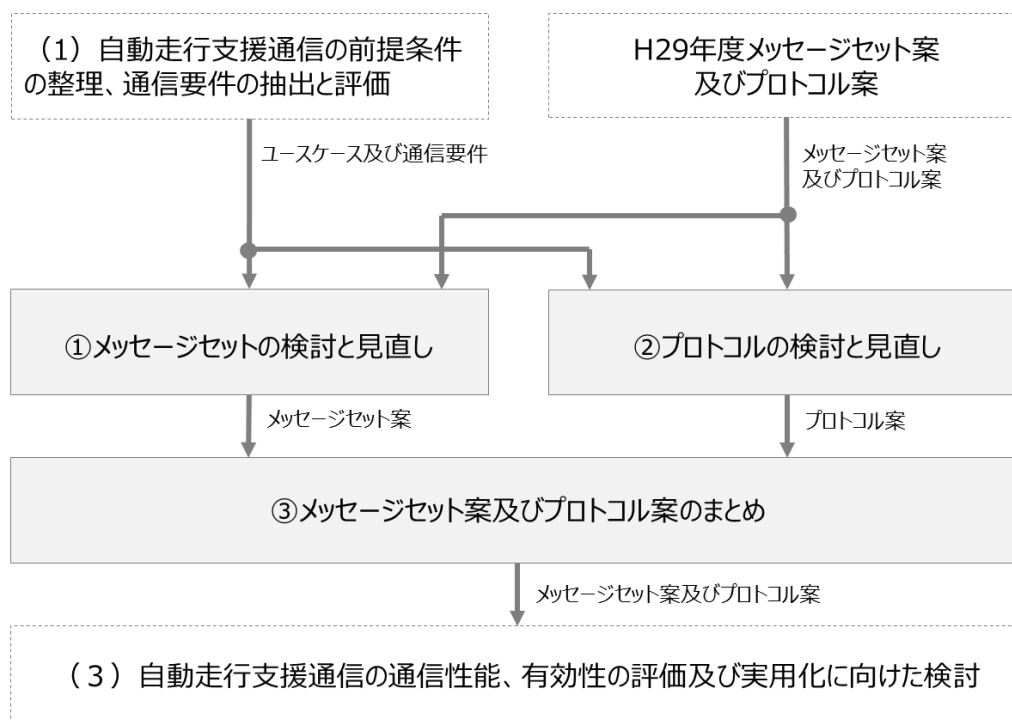


図 3.1-1：メッセージセット及びプロトコルの検討の流れ

3.2. メッセージセット検討

抽出した自工会検討 UC の通信要件を踏まえて、自動走行支援通信のメッセージセットを検討する。メッセージセットの検討にあたっては、ITS FORUM RC-013 や SAE、ETSI 等の国内外の既存メッセージセット規格をもとに検討した平成 29 年度「自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（以下、平成 29 年度調査検討）のメッセージセット案を参考にする。

3.2.1. 既存メッセージセット規格との比較分析

現在安全運転支援等で採用されている国内外のメッセージセット規格を調査し、自工会検討 UC で検討されているメッセージ内容、サイズと比較し、流用／共通化が可能か等の分析を行う。

本調査検討の対象である自工会検討 UC に自動走行支援通信を適用した場合の通信品質評価を行うためにメッセージセットのサイズ見積もりを主目的としているため、具体的な検討が今後継続して必要である。

参考とするメッセージセット規格は以下のものとする。

- 国内： ITS FORUM RC-013
- 国外： SAE（米国）、ETSI（欧州）

上記の 3 つの規格とも安全運転支援用のメッセージセット規格である。

- ITS FORUM RC-013
 - ・ ITS FORUM RC-013 1.1 版「700MHz 帯高度道路交通システム 実験用車車間通信メッセージガイドライン」
- SAE
 - ・ SAE J2735_201603 「Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary」
- ETSI
 - ・ EN 302 637-2 「Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service」
 - ・ EN 302 637-3 「Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service」

表 3.2-1 に、自工会検討 UC のメッセージ内容と既存規格との比較結果を示す。同表では自工会検討 UC のメッセージ内容を分類し必要な情報を「○」としている。また、分類した情報が既存規格で定義されているかを調査し、同じ内容、サイズの情報がある場合は「○」、サイズ等の一部が異なるものの同様の情報がある場合は「△」としている。

なお、ITS FORUM RC-013 に関しては「基本メッセージ」、SAE に関しては「BSM (Basic Safe Message)」、ETSI に関しては「CAM (Cooperative Awareness Message)」及び「DENM (Decentralized Environmental Notification Message)」について調査し、比較している。

同表より、サイズ、詳細定義が異なるケースがあるものの国内外の従来規格において自工会検討 UC で必要なメッセージ内容と同様の情報が定義されており、流用／共通化の可能性があることが分かる。

続いて、ITS FORUM RC-013 の基本メッセージセットを適用した場合の分析結果を示す。表 3.2-2 に、ITS FORUM RC-013 の基本メッセージとそのデータエレメントの構成を示す。

同表に示すように、ITS FORUM RC-013 の基本メッセージ構成をベースとして自動走行支援通信のメッセージセットを定義した場合、自工会検討 UC の想定されるメッセージ内容の内、18.75 バイトが基本メッセージのデータエレメントとして定義されている。それ以外の自工会検討 UC のメッセージ内容に関しては、新たに共通領域として追加定義、もしくは自由領域を利用する必要がある。共通領域の追加定義は既存規格との互換性、自由領域の利用は大きいサイズのメッセージをパケット送信する際の分割／再結合の検討が必要となる（分割／再結合については後述）。

表 3.2-1：自工会検討 UC のメッセージ内容一覧及び既存メッセージセット規格との比較

情報名		bit	対応情報										共通化判定 ※5					
			車両からの緊急ハザード情報の発信					合流支援			車線変更支援		ITS FORUM RC-013	SAE	ETSI			
			UC 1-2-1	UC 1-2-2	UC 1-2-3	UC1-2-4		UC 2-1-1	合流車支援		本線車支援	UC3			基本メッセージ	BSM	CAM	DENM
大項目	小項目				路車	車車		合流車	本線車	UC2-2	車線変更車	関係車						
合計メッセージサイズ[byte]			39	405	405	175/4175	30/1030	772	39	25	202	23	23	—	—	—	—	
管理	メッセージID	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△※6			
	車両ID	32	○	○			○		○	○		○	○	○	○	△※7	△※7	
	路側機ID	32			○	○	○				○					△※7	△※7	
事象	発生時刻	32	○	○※1	○※1	○※2	○								△op※6		△※6	
	発生事象(ハザード種別)	8		○※1	○※1	○※2	○										△※7	
	発生事象(緊急回避行動種別)	8	○															
	対象物(速度、車両種別)	24	○															△※8
地点	緯度経度高度	88	○	○※1	○※1	○※2	○											△※6
	距離	16	○	○※1	○※1	○※2	○							○op				△op※6
	レーン情報/上下線	4	○	○※1	○※1	○※2	○									△op※7	△op※7	
	道路種別等	8	○	○※1	○※1	○※2	○											△op※7
通行	通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○	○※1	○※1													
	走行規制有無/走行レーン指定	8				○※2	○											
配信指定	配信元車両ID	32	○															
	配信対象レーン/上下線	4	○				○											
	情報有効時間	32	○				○											△※6
	再配信距離	16	○															
	緯度経度高度、距離、上下線、区間	124				○※2												
路側機	再配信時間、情報有効時間	64				○※2												
	加速レーン起点	16					○				○							
加速レーン起点	情報更新時刻	32					○				○							△※6
	緯度経度高度	88							○									
	レーン情報/上下線	4							○									
車両	返信要求位置範囲(上流、下流)	32							○									
	走行車両数	8						○			○							
	車両ID	8						○			○							
	車両位置(緯度経度高度)	88						○※3	○	○	○※4	○	○	○	○	○	△※6	
	走行レーン	8						○※3	○	○	○※4		○			△op※7	△op※7	
	車両速度	16						○※3	○	○	○※4	○	○	○	○	△※6	△※6	△op※6
	車両長さ	14						○※3	○	○	○※4	○	○	○	○	△※6	△※6	
	加速レーン起点到達時刻	16						○※3	○	○	○※4							
	先行車との車間距離	16											○	○				
	車線情報(元レーン、移動先レーン)	8											○					
	返信要求範囲指定	距離	16									○						
オプション	簡易図形	8000				○※2	○											

【※1】 最大20ハザード分 【※2】 最大4ハザード分 【※3】 最大40台分 【※4】 最大10台分
 【※5】 ○: 共通化可能(但し、一台分) / △: 同様の情報はありますが定義が異なる。 / op: オプションの場合 【※6】 サイズが異なる。
 【※7】 格納情報の定義に差はあるものの同様の情報を扱っており、共通化の可能性あり。 【※8】 複数のデータエレメントを結合することにより同様の情報となる。

表 3.2-2 : ITS FORUM RC-013 の基本メッセージとデータエレメント構成

表 4-1 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	0~26	格納は任意。格納順序は変更不可。
		DF_GPS 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	

自工会検討UCのメッセージと
共通化可能なデータエレメント
(18.75バイト分)

表 5-1 DF_共通領域管理情報の構成

データフレーム/データエレメント	サイズ	備考
DF_共通領域管理情報	64bit	必須。
DE_共通サービス規格 ID	3bit	必須。
DE_メッセージ ID	2bit	必須。
DE_バージョン情報	3bit	必須。
DE_車両 ID	32bit	必須。
DE_インクリメントカウンタ	8bit	必須。
DE_共通アプリデータ長	8bit	必須。
DE_オプションフラグ	8bit	必須。

表 5-3 DF_位置情報の構成

データフレーム/データエレメント	サイズ	備考
DF_位置情報	88bit	必須。
DE_緯度	32bit	必須。
DE_経度	32bit	必須。
DE_高度	16bit	
DE_位置取得情報	4bit	必須。
DE_高度取得情報	4bit	

表 5-4 DF_車両状態情報の構成

データフレーム/データエレメント	サイズ	備考
DF_車両状態情報	72bit	必須。
DE_車速	16bit	必須。
DE_車両方位角	16bit	必須。
DE_前後加速度	16bit	必須。
DE_車速取得情報	3bit	必須。
DE_車両方位角取得情報	3bit	必須。
DE_前後加速度取得情報	3bit	必須。
DE_シフトポジション	3bit	
DE_ステアリング角度	12bit	

表 5-5 DF_車両属性情報の構成

データフレーム/データエレメント	サイズ	備考
DF_車両属性情報	32bit	必須。
DE_車両サイズ種別	4bit	必須。
DE_車両用途種別	4bit	必須。
DE_車幅	10bit	
DE_車長	14bit	

3.2.2. 自工会検討 UC のメッセージセット内容の分類、共通化

自工会検討 UC のメッセージ内容を比較分類し、共通化可能な情報の抽出等を行う。

表 3.2-3 に、通信形態（送信局）が路車間通信（基地局）、路車間通信（移動局）及び車車間通信（移動局）の場合のメッセージ内容の分類結果を示す。

同表に示すように、ITS FORUM RC-013 等の規格を参考に、全 UC に共通な情報を共通領域、UC 毎に必要な情報を自由領域として定義すると、管理情報（メッセージ ID、車両／路側機 ID）は全 UC に共通な情報であり共通領域として定義するのが適当であることが分かる。ただし、同表ではサイズが同じである車両 ID と路側機 ID を同一情報として扱うことを想定したが、共用した場合に想定サイズで必要な情報が定義可能かどうか等の確認が必要である。

一方、UC 毎に異なる管理情報以外の情報については、緊急ハザード情報（UC1-2）に必要な情報（同表、水色部分）と、合流支援情報（UC2）及び車線変更情報（UC3）に必要な情報（同表、オレンジ色部分）が異なることが確認できる。

表 3.2-3：自工会検討 UC のメッセージ内容の分類

(a) 路車間通信（基地局）

領域	情報名		bit	車両からの緊急 ハザード情報の発信		合流支援	
				UC 1-2-3	UC1-2-4 路車	合流車支援 UC 2-1-1	本線車支援 UC2-2
	大項目	小項目		合計メッセージサイズ[byte]			
共通 領域	管理情報	メッセージID	8	○	○	○	○
		車両ID	32				
		路側機ID	32	○	○	○	○
		発生時刻	32	○	○		
事象情報	発生事象(ハザード種別)	8	○	○			
	発生事象(緊急回避行動種別)	8					
	対象物情報(速度、車両種別)	24					
	緯度経度高度	88	○	○			
地点情報	距離	16	○	○			
	レーン情報/上下線	4	○	○			
	道路種別等	8	○	○			
通行情報	通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○				
	走行規制有無/走行レーン指定	8		○			
配信指定 情報	配信元車両ID	32					
	配信対象レーン/上下線	4					
	情報有効時間	32					
	再配信距離	16					
	緯度経度高度、距離、上下線、区間	124		○			
路側機 情報	再配信時間、情報有効時間	64		○			
	加速レーン起点情報	16			○	○	
加速レーン 起点情報	情報更新時刻	32			○	○	
	緯度経度高度	88					
	レーン情報/上下線	4					
車両情報	返信要求位置範囲(上流、下流)	32					
	走行車両数	8			○	○	
	車両ID	8			○	○	
	車両位置(緯度経度高度)	88			○	○	
	走行レーン	8			○	○	
	車両速度	16			○	○	
	車両長さ	14			○	○	
	加速レーン起点到達時刻	16			○	○	
	先行車との車間距離	16					
	車線情報(元レーン、移動先レーン)	8					
返信要求範囲 指定情報	距離	16					
オプション (追加)	簡易図形情報 (拡張時の追加情報)	8000 (TBD)		○			

(b) 路車間通信（移動局）

領域	情報名		bit	車両からの緊急 ハザード情報の発信
	大項目	小項目		UC 1-2-2
合計メッセージサイズ[byte]				405
共通 領域	管理情報	メッセージID	8	○
		車両ID	32	○
		路側機ID	32	
自由 領域	事象情報	発生時刻	32	○
		発生事象(ハザード種別)	8	○
		発生事象(緊急回避行動種別)	8	
		対象物情報(速度、車両種別)	24	
	地点情報	緯度経度高度	88	○
		距離	16	○
		レーン情報/上下線	4	○
	通行情報	道路種別等	8	○
		通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○
		走行規制有無/走行レーン指定	8	
	配信指定 情報	配信元車両ID	32	
		配信対象レーン/上下線	4	
		情報有効時間	32	
		再配信距離	16	
		緯度経度高度、距離、上下線、区間	124	
	路側機 情報	再配信時間、情報有効時間	64	
		加速レーン 起点情報	16	
	加速レーン 起点情報	情報更新時刻	32	
		緯度経度高度	88	
		レーン情報/上下線	4	
	車両情報	返信要求位置範囲(上流、下流)	32	
		走行車両数	8	
		車両ID	8	
		車両位置(緯度経度高度)	88	
		走行レーン	8	
		車両速度	16	
		車両長さ	14	
加速レーン起点到達時刻		16		
先行車との車間距離		16		
車線情報(元レーン、移動先レーン)		8		
返信要求範囲 指定情報	距離	16		
オプション (追加)	簡易図形情報 (拡張時の追加情報)	8000 (TBD)		

(c) 車車間通信 (移動局)

領域	情報名		bit	車両からの緊急 ハザード情報の発信		合流支援 合流車支援		車線変更支援	
	大項目	小項目		UC	UC1-2-4	UC2-1-2		UC3	
				1-2-1	車車	合流車	本線車	車線変更車	関係車
合計メッセージサイズ[byte]				39	30/1030	39	25	23	23
共通 領域	管理情報	メッセージID	8	○	○	○	○	○	○
		車両ID	32	○	○	○	○	○	○
		路側機ID	32						
自由 領域	事象情報	発生時刻	32	○	○				
		発生事象(ハザード種別)	8		○				
		発生事象(緊急回避行動種別)	8	○					
		対象物情報(速度、車両種別)	24	○					
		緯度経度高度	88	○	○				
	地点情報	距離	16	○	○				
		レーン情報/上下線	4	○	○				
		道路種別等	8	○	○				
	通行情報	通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○					
		走行規制有無/走行レーン指定	8		○				
	配信指定 情報	配信元車両ID	32	○					
		配信対象レーン/上下線	4	○	○				
		情報有効時間	32	○	○				
		再配信距離	16	○					
		緯度経度高度、距離、上下線、区間	124						
	路側機 情報	再配信時間、情報有効時間	64						
		加速レーン起点情報	16						
	加速レーン 起点情報	情報更新時刻	32						
		緯度経度高度	88			○			
		レーン情報/上下線	4			○			
	車両情報	返信要求位置範囲(上流、下流)	32			○			
		走行車両数	8						
		車両ID	8						
		車両位置(緯度経度高度)	88			○	○	○	○
		走行レーン	8			○	○	○	○
		車両速度	16			○	○	○	○
		車両長さ	14			○	○	○	○
		加速レーン起点到達時刻	16			○	○		
		先行車との車間距離	16				○		○
		車線情報(元レーン、移動先レーン)	8					○	
返信要求範囲 指定情報		距離	16					○	
オプション (追加)	簡易図形情報 (拡張時の追加情報)	8000 (TBD)		○					

3.2.3. セキュリティ調査

ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109、ARIB STD-T75 の3つの候補通信方式にてパケット送信時のオーバーヘッドサイズを見積もるためにセキュリティに関する調査を行う。

●ARIB STD-T75

ARIB STD-T75 では、DSRC 専用に最低限レベルでのプライバシー／無線傍受対策として、秘話鍵配送のスクランブルによる簡易秘話方式（秘話スクランブル方式）を定めている。

図 3.2-1 に、ARIB STD-T75 におけるスクランブル概要及び秘話スクランブル方式を示す。秘話スクランブル方式における秘話鍵は、基地局と移動局にあらかじめ用意した同一の変換テーブルと、リンクチャネル確立フェーズで交換されるリンクアドレスを利用して生成される。つまり、セキュリティによるオーバーヘッドは特に必要でない。

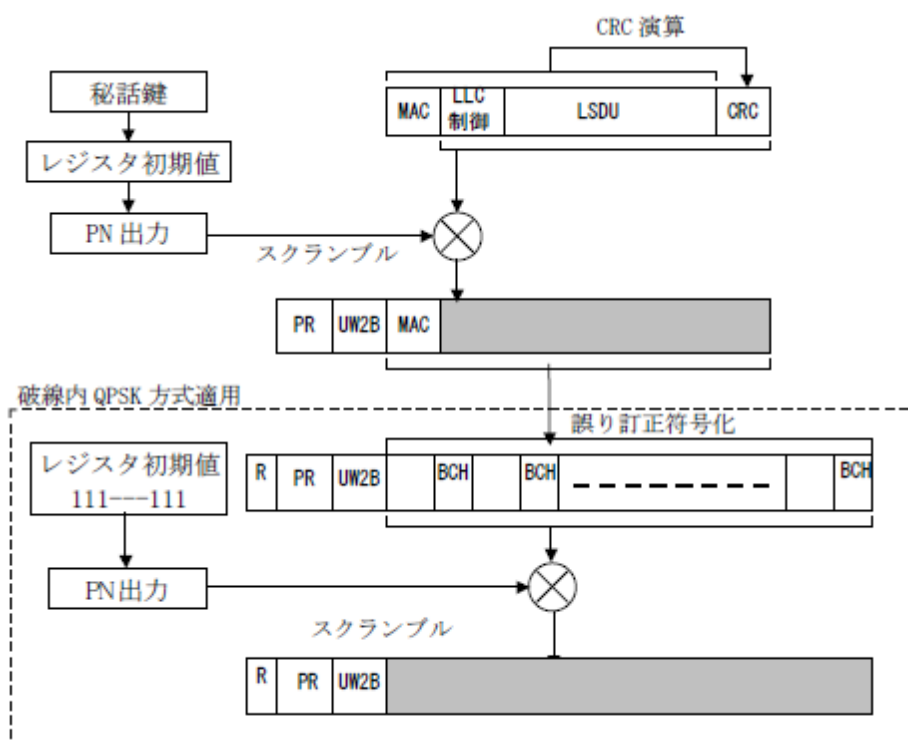


図 3.2-1 : ARIB STD-T75 のスクランブル概要と秘話スクランブル方式

●ARIB STD-T109

平成 27 年度 SIP 研究成果報告書「ICT を利用した次世代 ITS の確立【課題 I】自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術の開発 ウ) 車車間通信・路車間通信の通信プロトコルの開発」では、ARIB STD-T109 を用いる安全運転支援システムにおけるセキ

セキュリティのオーバーヘッドは、車載機：27 バイト及び基地局：56 バイトとして検討・評価を行っている。

- ARIB STD-T109 への適用を想定したセキュリティ関連のガイドライン ITS FORUM RC-009 があるが、具体的な方式やオーバーヘッドサイズは規定していない。
- ARIB STD-T109 を用いた安全運転支援システムで実際に用いられているセキュリティ仕様は非公開であり、上記オーバーヘッドの内容等の詳細は不明である。

●ITS FORUM RC-005

ITS FORUM RC-005 へ適用するセキュリティ方式はまだ規定されていない。

図 3.2-2 に示すように、代表的なセキュリティ方式である公開鍵方式及び共通鍵方式 (MAC 方式) におけるセキュリティデータサイズ (例) は 204 バイト及び 53 バイトである。

データ改ざん、なりすまし等への対抗や国際協調の観点 considering、欧米で採用されている IEEE1609.2 の公開鍵方式のオーバーヘッドサイズ 204 バイトと H28 年度「自動走行向け ITS 無線通信手順についての調査検討」における想定サイズ 250 バイト (公開鍵方式と同程度) を踏まえて、本調査検討では以下の 2 ケースを想定して検討、評価を進める。

- 27/56 バイト：ARIB STD-T109 (車載機/路側機) のセキュリティデータと同じサイズ
- 250 バイト：H28 年度及び H29 年度調査検討における想定サイズ

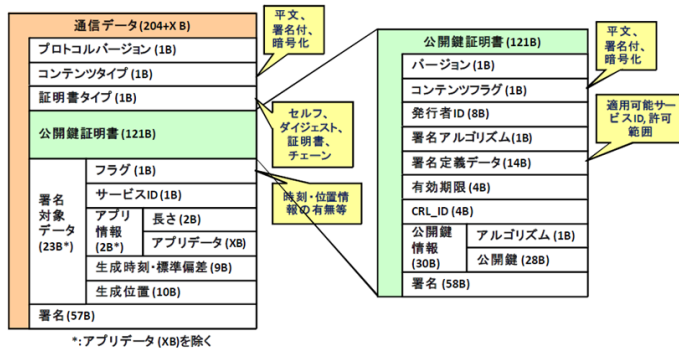


図 6-2 電子署名方式での通信フォーマット (IEEE1609.2)

**公開鍵方式の
セキュリティデータサイズ (例) : 204byte
(IEEE1609.2規格の最小サイズ)**

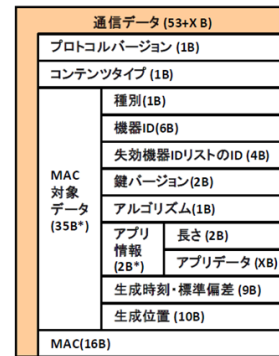


図 6-4 MAC 方式の通信フォーマット例

**共通鍵方式の
セキュリティデータサイズ (例) : 53byte**

図 3.2-2 : 公開鍵方式と共通鍵方式 (MAC 方式)

3.2.4. パケット分割／再結合

メッセージサイズが大きい自工会検討 UC に対しては、パケット分割／再結合の処理が必要となる。候補通信方式毎にパケット分割／再結合の処理方法及びそれにもなうオーバーヘッドサイズを整理する。

3つの候補通信方式に適用されるパケット分割／再結合処理は以下のガイドライン、通信規格で規定されている。

- ITS FORUM RC-005 : ITS FORUM RC-014
- ARIB STD-T109 : ITS FORUM RC-010
- ARIB STD-T75 : 同規格内にて規定

●ITS FORUM RC-005／ITS FORUM RC-014

図 3.2-3 に、ITS FORUM RC-005 に適用される ITS FORUM RC-014 におけるデータ交換例を示す。パケット分割／再結合は ITS-LPP 層及び ITS-ASL-ELCP 層の 2ヶ所で行われる。同図に示すように、アプリケーションから 1386 バイト以上のデータを受け取った場合、パケット分割が行われ計 13 バイトのオーバーヘッドが追加される。

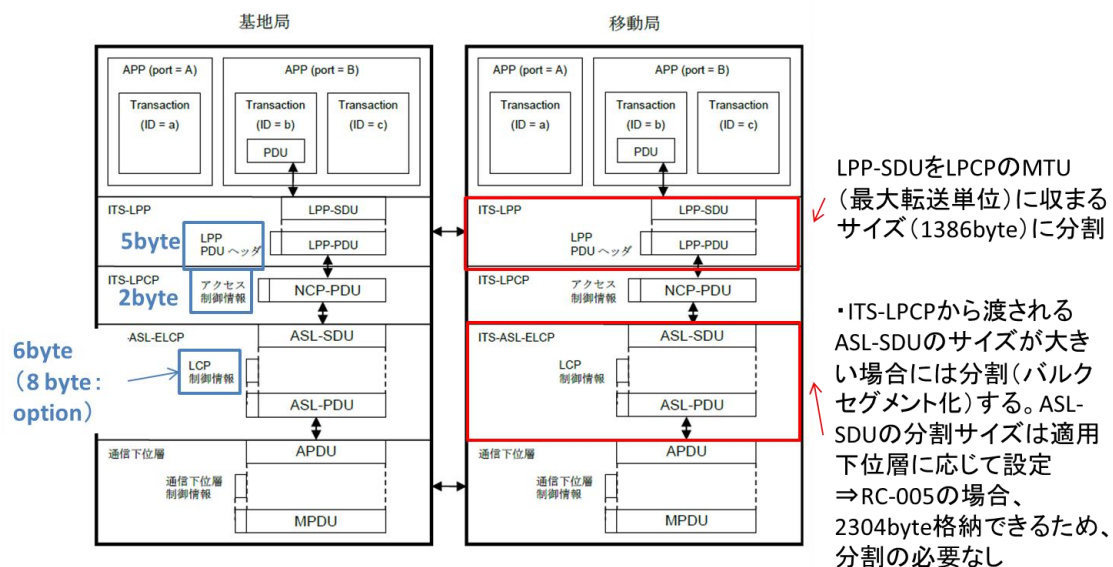


図 3.2-2 ITS-LPP におけるトランザクション間データ交換例

図 3.2-3 : データ交換例 (ITS FORUM RC-014)

●ARIB STD-T109／ITS FORUM RC-010

図 3.2-4 に示すように、(路側機における) パケット分割及び送信を ARIB STD-T109 に適用するために ITS FORUM RC-010 において規定されるオーバーヘッドサイズは、路側機 (基地局) : 5 バイト及び車載機 (移動局) : 1 バイトである。

注意すべきは、本パケット分割／再結合が適用される送信元は路側機のみである点である。すなわち、ARIB STD-T109 及び ITS FORUM RC-010 を自動走行支援通信に適用した場合、車載機が送信するメッセージに対してはパケット分割／再結合を行うことができない。さらに、ARIB STD-T109 による 700MHz 帯 ITS 無線通信を自動走行支援通信として使用する場合は送信パケット長に上限がある。

後述の有効性の机上検討では、車載機におけるパケット分割／再結合、送信制限に関しては今後見直されることを想定して、通信品質評価を行うこととする。

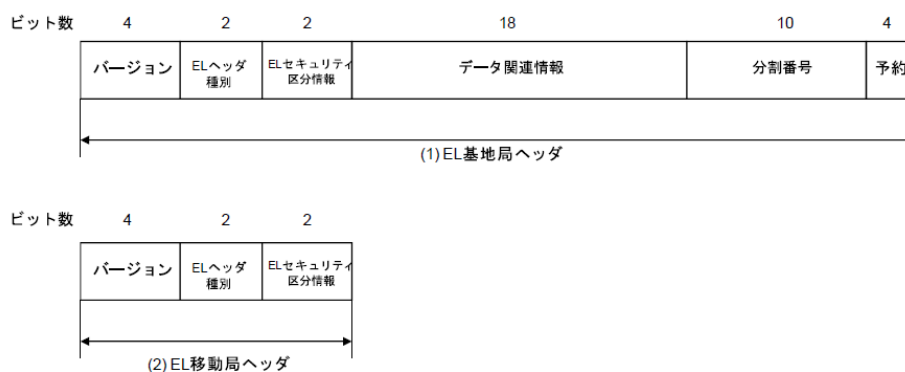


図 3.10 EL 基地局ヘッダと EL 移動局ヘッダの構成

図 3.2-4 : パケット分割／再結合のための EL ヘッダの構成 (ITS FORUM RC-010)

●ARIB STD-T75

ARIB STD-T75 規格内でパケット分割／再結合に関して規定されており、MAC 制御フィールドの一部を用いて処理が行われる。すなわち、パケット分割／再結合によるオーバーヘッドの追加は必要でない。

3.2.5. パケット構成 (案)

セキュリティ及びパケット分割／再結合による追加オーバーヘッドの整理結果を踏まえて、候補通信方式毎のパケット構成 (案) を検討する。

図 3.2-5 から図 3.2-7 に、それぞれ ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 を候補通信方式とした場合の自動走行支援通信のパケット構成 (案) を示す。

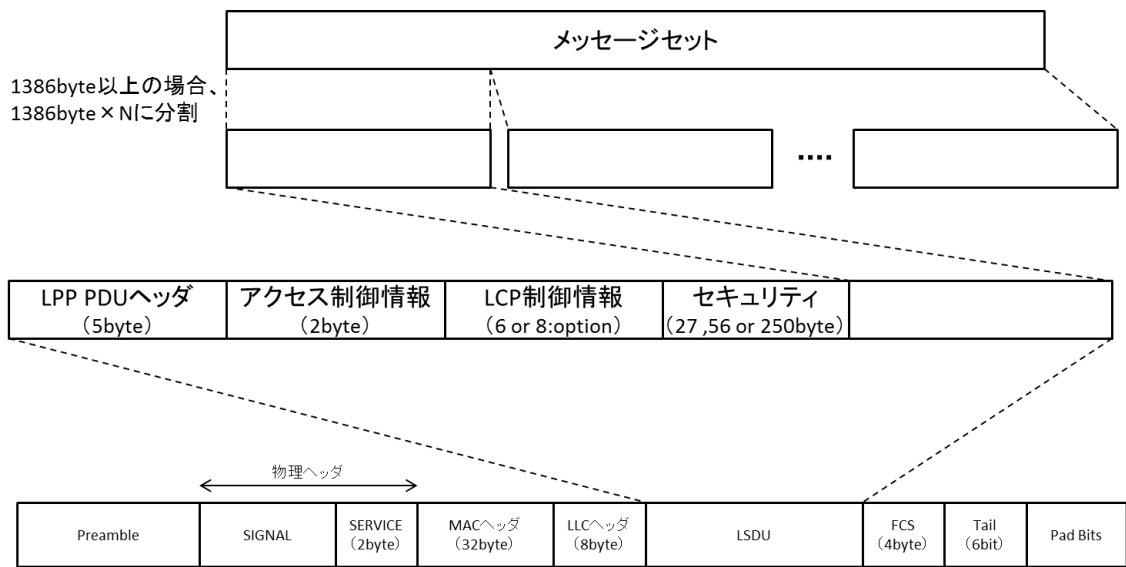
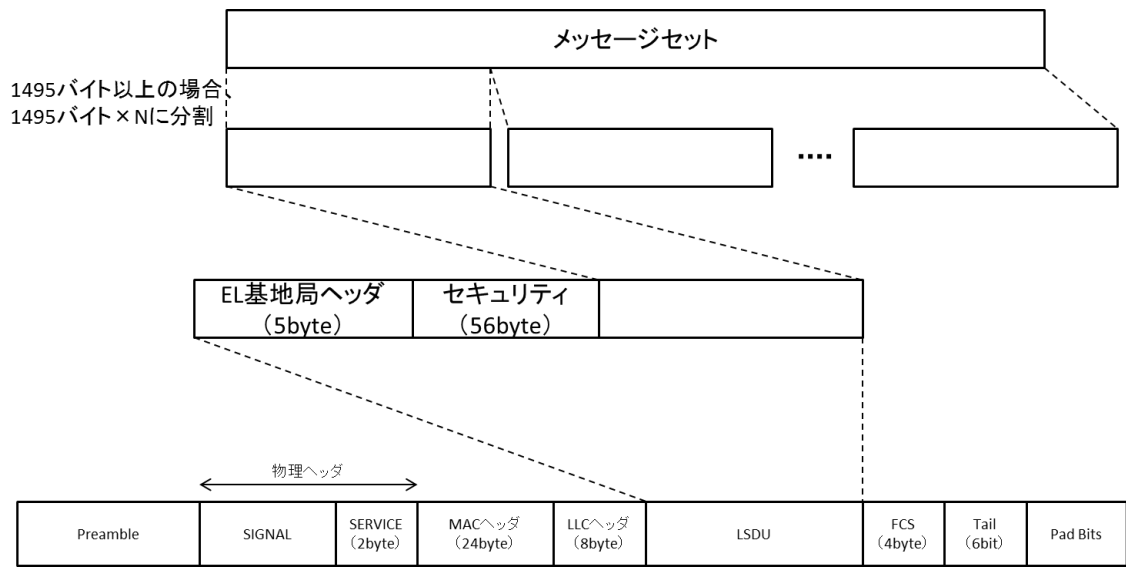
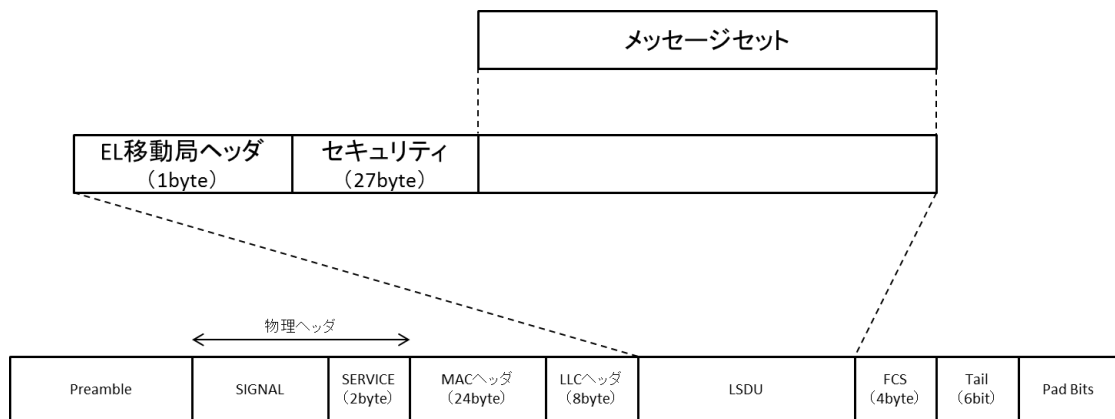


図 3.2-5：自動走行支援通信の packets 構成 (案)
候補通信方式：ITS FORUM RC-005 (路側機、車載機)



(a) 路側機



(b) 車載機

図 3.2-6 : 自動走行支援通信の packets 構成 (案)

候補通信方式 : ARIB STD-T109

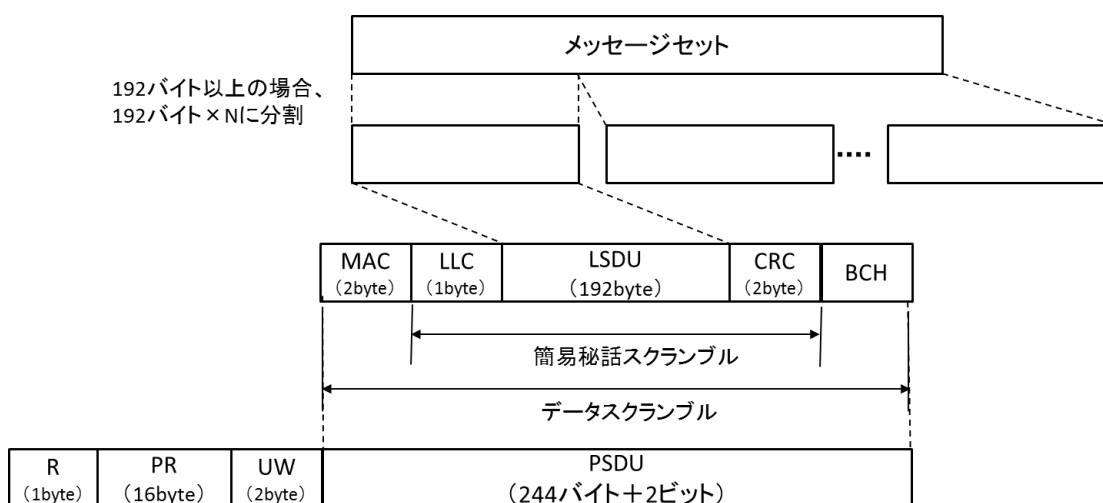


図 3.2-7：自動走行支援通信のパケット構成（案）

候補通信方式：ARIB STD-T75（路側機、車載機）

3.3. プロトコル検討

自工会検討 UC の通信要件を踏まえて、自動走行支援通信のプロトコルを検討する。プロトコルの検討にあたっては、平成 29 年度調査検討にてまとめたプロトコル案を参考にする。平成 29 年度調査検討のプロトコル案は、これまで国内において車車間・路車間通信向け ITS 無線通信として検討、規格化されてきた ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 の通信仕様を参考にして検討されたものである。

3.3.1. 通信制御方式の概要

通信形態、必要通信距離、通信シーケンス等の観点から、自工会検討 UC 毎にプロトコルを検討し、変調方式、送信タイミング、連送等の通信制御パラメータをアプリケーションと連携して変更する必要があることを確認した。4 章の通信性能の評価より、通信要件を満足するための UC 毎の通信制御パラメータを抽出した。図 3.3-1 に、通信制御方式の適用例を示す。

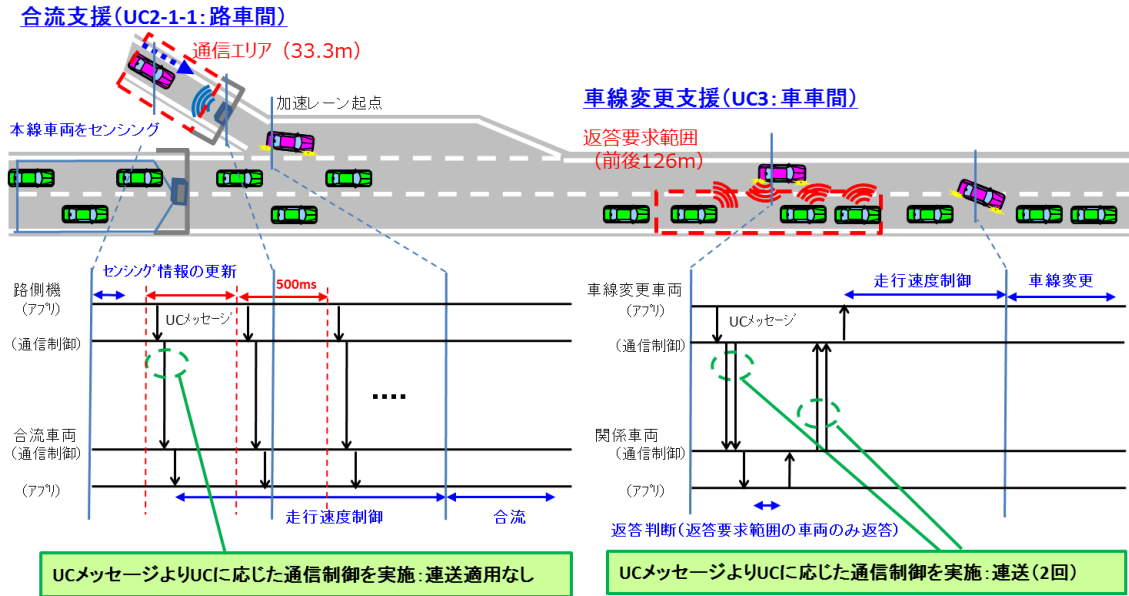


図 3.3-1 : 通信制御方式の適用例 (合流支援、車線変更支援)

3.3.2. 通信制御フローとプロトコルスタックの概要

前節のアプリケーションと連携した通信制御を実現するために、通信上位層を設定した通信制御方式を検討した。図 3.3-2 に、検討した通信制御フロー例及びプロトコルスタック例を示す。同図に示すように、メッセージセットに含まれる UC 情報 (メッセージ ID) に応じて変調方式、送信タイミング等の既存 ITS 無線通信のパラメータと連送等の通信上位層の追加機能のパラメータを変更する。本調査検討では、ガイドライン策定に向けてプロトコルスタックへの対応を整理した。

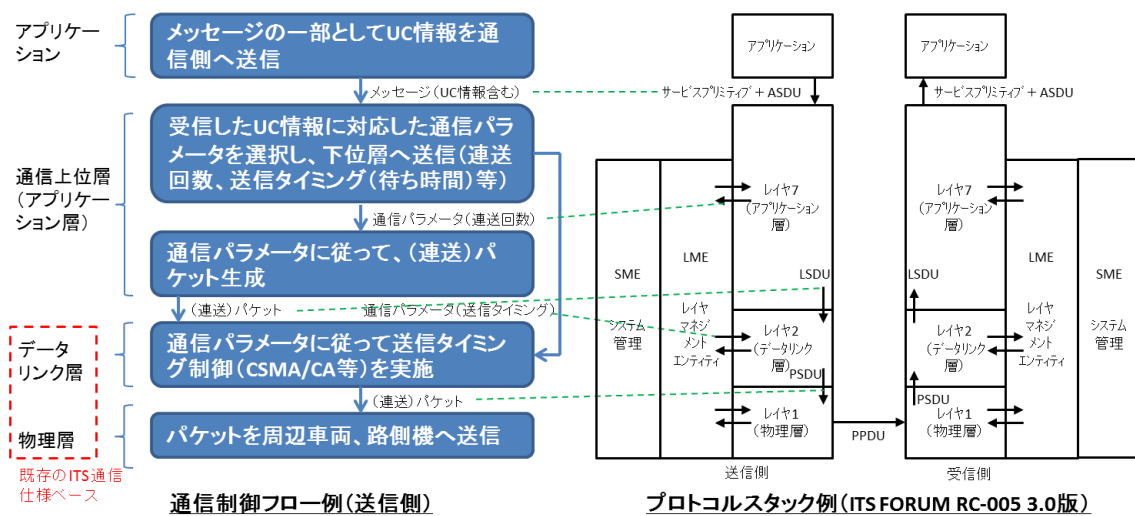


図 3.3-2 : 通信制御フロー例 (送信側) とプロトコルスタック例 (ITS FORUM RC-005)

3.3.3. 自動走行支援通信のプロトコル案の主な通信諸元

既存の ITS 無線通信仕様 (ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75) をベースに、実環境を想定した条件において自工会検討 UC を実現するためのプロトコルを検討、評価し、自動走行支援通信のプロトコル案を作成した。

表 3.3-1 に、候補通信方式（ベースの既存 ITS 無線通信）毎のプロトコル案の主な通信諸元を示す。同表の青字が候補通信方式の仕様から追加変更が必要な部分である。なお、同表は L1（物理層）及び L2（データリンク層）における追加変更を極力少なくする立場で整理したものである。

送信時間制限等の候補通信方式の規格上の制約により必要な追加機能の適用が難しい場合、実現可能な UC が限定されるものの、4 章の通信性能評価より同表に示す中継制御、送信制御及び連送制御機能をアプリケーション、L7（通信上位層）等に適用することで、全ての自工会検討 UC の通信要件を満足することが分かった（規格上の制約がある場合等は 6 章にて検討）。

表 3.3-1：自動走行支援通信プロトコルの主な通信諸元

項目		候補通信方式（既存 ITS 通信をベースとして機能の追加・見直しを実施）		
		ITS FORUM RC-005ベース +追加機能	ARIB STD-T109ベース +追加機能	ARIB STD-T75ベース +追加機能
実現可能UC	路車間	1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2		1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2
	車車間	1-2-1, 2-1-2, 3		—
	路車・車車協調	1-2-4		—
アプリケーション	中継制御	あり(UC1-2-1)		なし
	送信制御	あり(UC2-1-2, UC3)	あり(UC2-1-2)	なし
L7(通信上位層)	連送制御	あり(UC1に応じて回数変更)	なし/あり(自動走行支援時)	なし/あり(自動走行支援時)
	パケット分割・再結合	あり	なし/あり(自動走行支援時)	なし
L2(データリンク層)	MAC方式	CSMA/CA（ランダムバックオフ制御）		TDMA（スロットALOHA）
	再送制御	なし		あり
	パケット分割・再結合	なし		あり
L1(物理層)	中心周波数	5.8GHz帯	760MHz帯	5.8GHz帯
	空中線電力	10mW/MHz以下		基地局：300mW以下、 移動局：10mW以下
	占有帯域幅	9MHz		4.4MHz
	変調方式	QPSK/OFDM、16QAM/OFDM		n/4シフトQPSK
	誤り訂正	畳み込み符号（符号化率1/2）		BCH符号(63,51)
	ダイバーシチ制御(受信)	なし/あり(自動走行支援時)		なし

※青字：ベースとなる既存ITS通信の仕様から追加変更部分

3.3.4. 通信シーケンス検討結果（UC1-2）

自工会検討資料及び 4 章の通信性能評価を踏まえて、自工会検討 UC に対して通信シーケンスを検討した。以下に検討結果として緊急ハザード情報（UC1-2）の通信シーケンス案を示す。

●UC1-2-1：緊急回避情報が発生した際に、後続車両に緊急ハザード情報を配信【車車間】

図 3.3-3 に、UC1-2-1（車車間通信）の通信シーケンス案を示す。配信車両からハザード情報を受け取った再配信エリア内の車両は、再配信を行い後続車に情報を伝達（中継）する。ただし、中継による通信トラフィック増大を抑制するために、同一ハザード情報を自車より後方の車両が配信していることを検知した場合、その情報の再配信は停止する等の処理を行う。さらに、通信トラフィック増大の抑制をさらに高め、かつ配信タイミングが他車と競合しないように、ハザード地点からの距離が遠いほど、再配信までの待ち時間を短くすることで、より上流の車両が優先的（効率的）に再配信を行う。

また、緊急ハザード地点から 255m 以内の車両が、大型車等の電波遮蔽により配信車両からの緊急ハザード情報が直接受信できなかった場合にも、通信要件である通信遅延 0.1s 以下を満足するためには、遮蔽車両による中継機能の追加、もしくは同図のように再配信車両は緊急ハザード情報を受信後 1s 待機することなく再配信を行う等の対策が必要である。

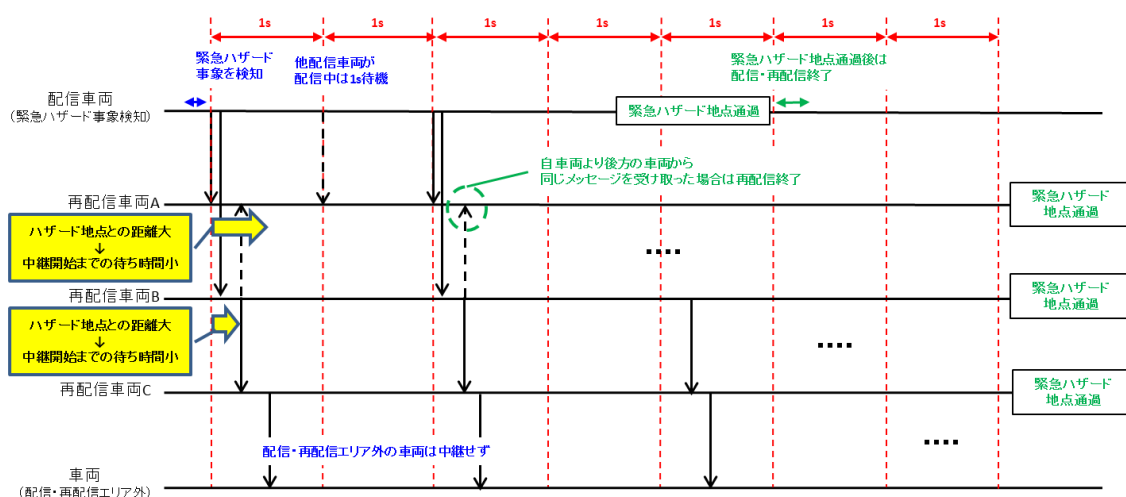


図 3.3-3：UC1-2-1 の通信シーケンス案

●UC1-2-2：走行車両が収集した緊急ハザード情報を路側インフラへ伝達【路車間】

図 3.3-4 に、UC1-2-2（路車間通信アップリンク）の通信シーケンス案を示す。自工会検討の通信シーケンスからの追加変更は、路側機は一定周期で制御パケットを送信し（同図では 100ms 周期）、車両は制御パケットを受信できるエリア内に進入したら、アップリンクの通信を開始する点である。車両がアップリンク通信の開始／終了を判断する方法（例）としては、路側機からの制御パケットの受信レベルがキャリアセンス感度等の閾値以上／以下で切り替える方法が考えられる。

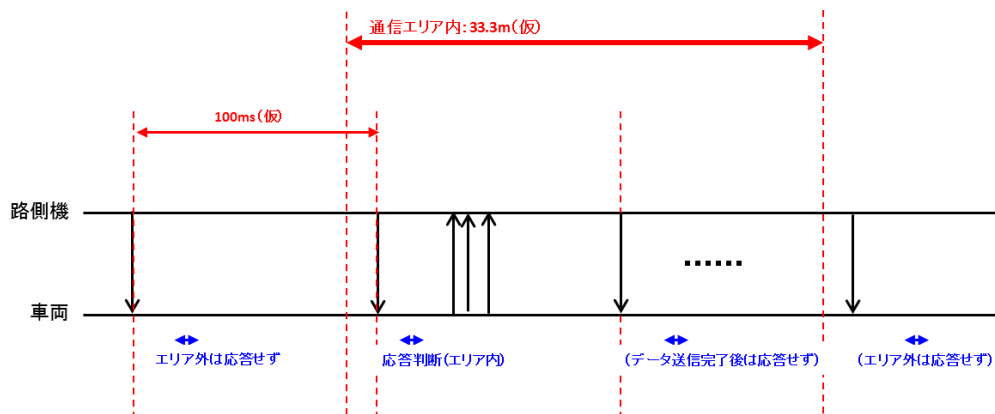


図 3.3-4 : UC1-2-2 の通信シーケンス案

●UC1-2-3 : 緊急回避情報が発生した際に、後続車両に緊急ハザード情報を配信【路車間】

図 3.3-5 に、UC1-2-3（路車間通信ダウンリンク）の通信シーケンス案を示す。緊急ハザード地点上流の路側機は、自動運転車などから路側に集約されたハザード情報を、エリアを通過する車両に再配信する（送信周期は通信要件の 0.5s 以下）。

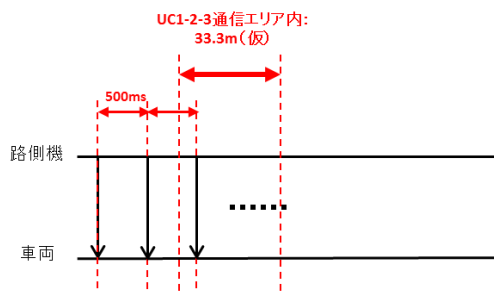


図 3.3-5 : UC1-2-3 の通信シーケンス案

●UC1-2-4 : 上流インフラから取得した対向車線の緊急ハザード情報を対向車に再配信【路車間・車車間】

図 3.3-6 に、UC1-2-4（路車間・車車間協調）の通信シーケンス案を示す。

- 路車間通信： 路側機はエリアを通過する再配信車両にハザード情報（再配信エリア情報含む）を送信する（送信周期は通信要件の 0.5s 以下）。
- 車車間通信： 再配信車両は受信した再配信エリア情報をもとにハザード情報の再配信を行う。

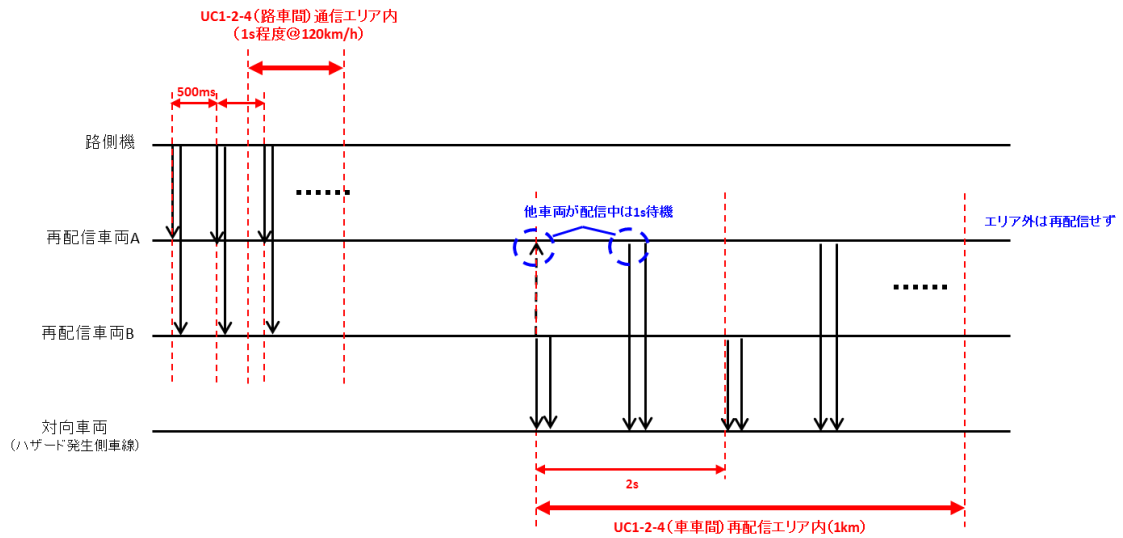


図 3.3-6 : UC1-2-4 の通信シーケンス案

3.3.5. 通信シーケンス検討結果 (UC2)

以下に合流支援情報 (UC2) の通信シーケンス案を示す。

●UC2-1-1 : 本線合流車両へ、本線上を走行する車両の走行情報を伝達し、合流を円滑化【路車間】

図 3.3-7 に、UC2-1-1 (路車間通信ダウンリンク) の通信シーケンス案を示す。本線に設置された路側のセンサーにより検知された情報を、合流車線のエリアを通過する車両に同報配信する (送信周期は通信要件の 0.5s 以下)。

同図に示すように、センシング情報の更新頻度やタイミングによって、センシング情報の更新時刻と車両の packets 受信時刻に差が生じる。時刻差に対する許容値によって本シーケンスを見直す必要があるが、時刻差に対する許容値の精緻化は合流地点の推定処理の検討とともに進める必要があり、今後の課題とする。

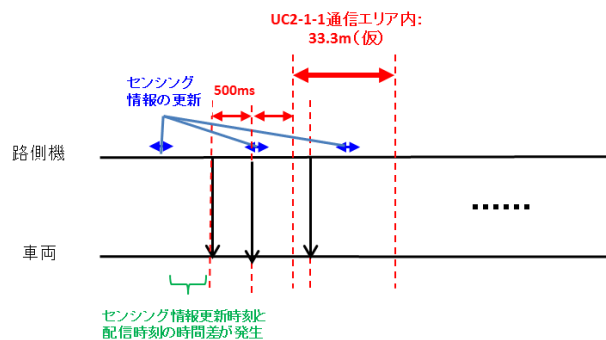


図 3.3-7 : UC2-1-1 の通信シーケンス案

●UC2-1-2：本線合流の際に、関係車両間で相互の走行情報を交換し円滑な合流を行う【車車間】

図 3.3-8 に、UC2-1-2（車車間通信）の通信シーケンス案を示す。

合流車両は路側インフラ設置位置通過と同じタイミングで合流要求の送信開始（送信周期は通信要件の 0.1s 以下）。

路側センサー検知範囲と同等のエリア内の本線車両は各要求に対して返信する。ただし、本線車両は同時発生による返信パケットの衝突を防止および通信トラフィック増大を抑制するために、以下の送信制御を行う。

- 返信タイミング調整機能： 返信エリア端からの距離等に応じて返信タイミングを調整
- 返信集約機能： 0.1s 以内に複数車両から合流要求がある場合は、その都度返信を行わず 1 回の返信に集約

また、大型車等による電波遮蔽が発生した場合にも、必要通信距離 212m 離れた車両間で通信を行うためには、遮蔽車両による中継機能の追加等の対策が必要である。

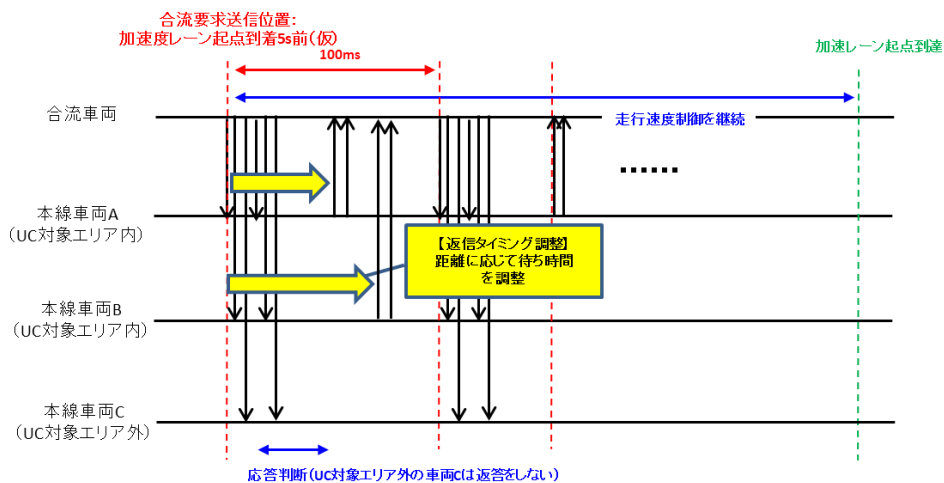


図 3.3-8：UC2-1-2 の通信シーケンス案

●UC2-2：本線走行車両へ、IC での合流車の出現タイミングを伝達し、合流を円滑化（オプショナル UC）【路車間】

図 3.3-9 に、UC2-2（路車間通信ダウンリンク）の通信シーケンス案を示す。合流車線に設置された路側のセンサーにより検知された情報を、本線のエリアを通過する車両に同報配信する（送信周期は通信要件の 0.5s 以下）。

同図に示すように、センシング情報の更新頻度やタイミングによって、センシング情報の更新時刻と車両のパケット受信時刻に差が生じる。時刻差に対する許容値によって本シ

シーケンスを見直す必要があるが、時刻差に対する許容値の精緻化は合流地点の推定処理の検討とともに進める必要があり、今後の課題とする。

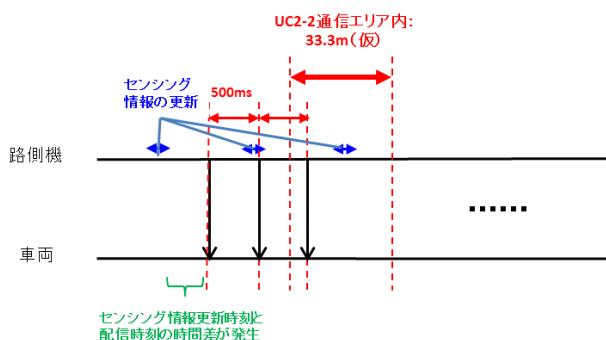


図 3.3-9 : UC2-2 の通信シーケンス案

3.3.6. 通信シーケンス検討結果 (UC3)

以下に車線変更支援情報 (UC3) の通信シーケンス案を示す。

●UC3: 車線変更の際に、関係車両間で相互の走行情報を交換し円滑な車線変更を行う【車車間】

図 3.3-10 に、UC3 (車車間通信) の通信シーケンス案を示す。

車線変更を行う車両は車線変更要求を送信する。要求に対し対象範囲の関係車両は各要求に対して走行情報を返信する。ただし、関係車両は同時発生による返信パケットの衝突を防止および通信トラフィック増大を抑制するために、以下の送信制御を行う。

- 返信タイミング調整機能： 車線変更要求車両からの距離等に応じて返信タイミングを調整
- 返信集約機能： 0.1s 以内に複数車両から車線要求がある場合は、その都度返信を行わず 1 回の返信に集約

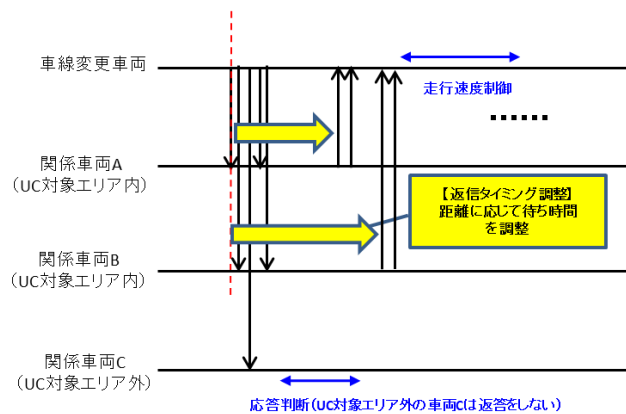


図 3.3-10 : UC3 の通信シーケンス案

3.3.7. プロトコル検討結果 (ITS FORUM RC-005 ベース)

ITS FORUM RC-005 をベースとしたプロトコル検討結果を示す。参考としたガイドライン ITS FORUM RC-005 3.0 版の第 1 部—第 1.1 部に記載されているマルチキャリア

(OFDM) 伝送方式—車車間アプリケーション及び ITS-ASL 対応拡張方式をベースとして機能の追加・見直しを実施した。赤字部分は本調査検討より抽出した追加機能、青字部分は本調査検討の対象外として今後検討、評価が必要な項目である。

●概要

- 5.8GHz 帯を使用した車車間通信システム及び路車間通信システムの実験用として、IEEE802.11p-2010 及び IEEE1609.3-2010 を参考に、陸上移動局（車載機）と陸上移動局及び陸上移動局と基地局（路側機）との間の無線区間インタフェースについて規定する。
- 移動局と移動局又は基地局と移動局間の同報通信に限定する。

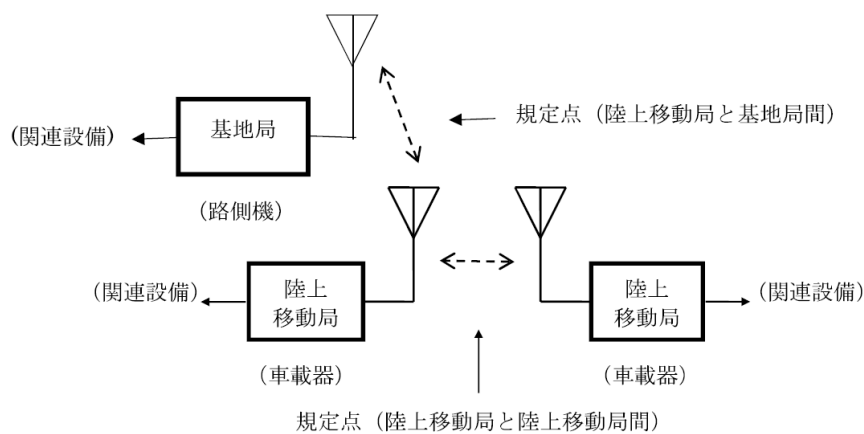


図 3.3-11 : システムの構成 (ITS FORUM RC-005 ベース)

●無線通信方式

【伝送方式】

- 表 3.3-2 に、伝送方式の諸元を示す。《変調方式が BPSK/OFDM、64QAM/OFDM の場合の通信性能評価が今後必要》

表 3.3-2：伝送方式の諸元（ITS FORUM RC-005 ベース）

項目	諸元
無線周波数	5.8GHz 帯
周波数選定	規定しない
誤り訂正	畳み込み FEC R=1/2、2/3、3/4
変調	BPSK/OFDM、QPSK/OFDM、16QAM/OFDM、64QAM/OFDM

【アクセス方式】

- CSMA/CA（Carrie Sense Multiple Access /Collision Avoidance）方式の通信制御手順とする。
- 移動局及び基地局は、移動局及び基地局と同報通信を行う。

●プロトコル

【プロトコルスタック】

- 図 3.3-12 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1（物理層：参考ガイドラインの 4.2 節に規定）、レイヤ 2（データリンク層：参考ガイドラインの 4.3 節に規定）及びレイヤ 7（アプリケーション層：参考ガイドラインの 4.4 節に規定）の 3 層構造とする。
- アプリケーションとレイヤ 7 間のサービスプリミティブ等についても規定する。

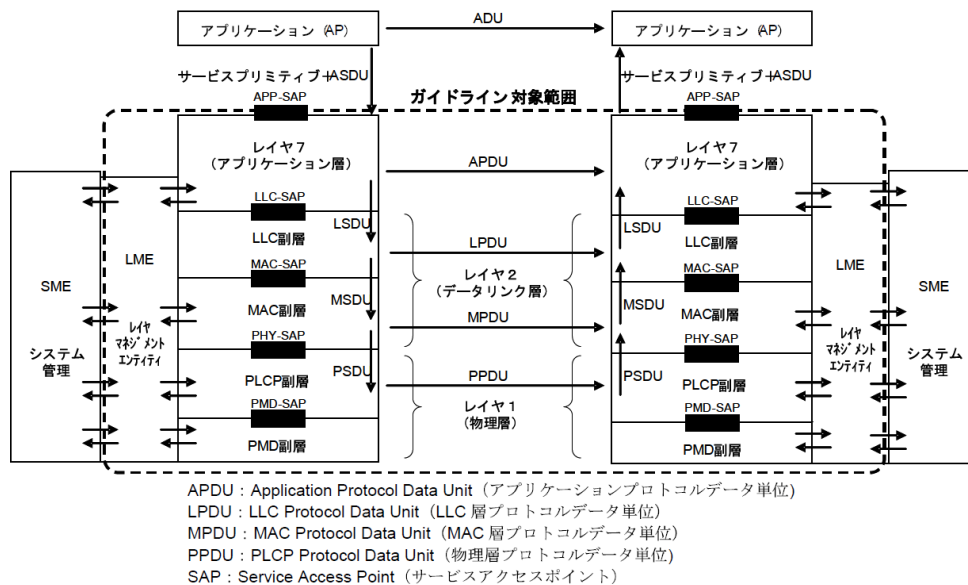


図 3.3-12 : プロトコルスタック (ITS FORUM RC-005 ベース)

【IP 系プロトコル】

- 規定しない。

【番号計画 (アドレッシング)】

- 移動局及び基地局を識別するための番号としてリンクアドレス (MAC アドレス) を用いる。
- リンクアドレスの生成方法は規定しない。

【セキュリティ方式】

- 規定しない。

● 一般的条件及び無線設備の技術的条件

- 参考ガイドラインの第 3 章にて規定

● 通信制御方式

【レイヤ 1 (物理層) 規格】

- 参考ガイドラインの 4.2 節にて規定

【レイヤ 2 (データリンク層) 規格】

- 参考ガイドラインの 4.3 節にて規定

【レイヤ 7 (アプリケーション層) 規格】

- 参考ガイドラインの 4.4 節にて規定
- **連送制御機能を追加**

【アプリケーション】

- 中継制御機能を追加
- 送信制御機能を追加

3.3.8. プロトコル検討結果（ARIB STD-T109 ベース）

ARIB STD-T109 をベースとしたプロトコル検討結果を示す。参考とした規格 ARIB STD-T109 1.3 版に記載されている方式をベースとして機能の追加・見直しを実施した。

●概要

- 無線設備規則第 49 条の 22 の 2 に規定される「700MHz 帯高度道路交通システムの無線設備」の陸上移動局と移動局及び移動局と基地局との間の無線区間インタフェースについて規定する。
- 基地局又は移動局からの同報通信方式に限定する。

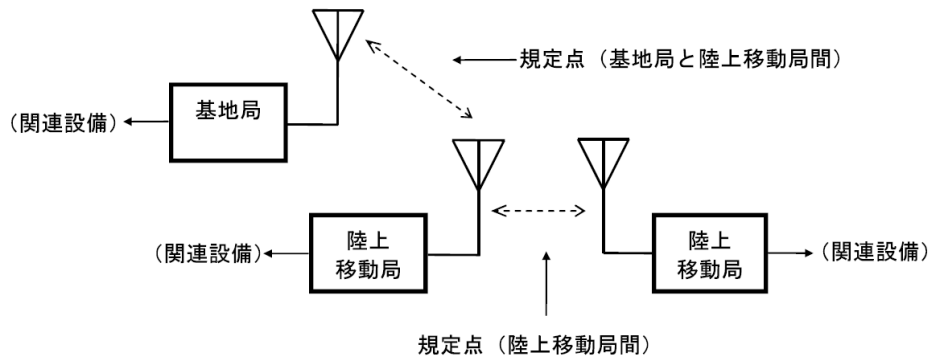


図 3.3-13 : システムの構成（ARIB STD-T109 ベース）

●無線通信方式

【伝送方式】

- 表 3.3-2 に、伝送方式の諸元を示す。《変調方式が BPSK/OFDM の場合の通信性能評価が今後必要》

表 3.3-3 : 伝送方式の諸元（ARIB STD-T109 ベース）

項目	諸元
無線周波数	700MHz 帯の単一周波数
周波数選定	不要（固定）
誤り訂正	畳み込み FEC R=1/2、3/4
変調	BPSK/OFDM、QPSK/OFDM、16QAM/OFDM

【アクセス方式】

- 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を基本とする。《車車間と路車間 UC 混在時の適用検討、評価が今後必要》
- 基地局からの通信は、基地局の送信設定時間内に同報通信を行う。
- 移動局からの通信は、移動局の送信設置時間内に、CSMA/CA (Carrie Sense Multiple Access /Collision Avoidance) 方式の通信制御手順を基本とした同報通信を行う。

●プロトコル

【プロトコルスタック】

- 図 3.3-14 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1 (物理層：参考規格の 4.2 節にて規定)、レイヤ 2 (データリンク層：参考規格の 4.3 節にて規定)、車車間・路車間共用通信制御情報層 (IVC-RVC 層：4.4 節にて規定) 及びレイヤ 7 (アプリケーション層：4.5 節にて規定) の 4 層構造とする。《IVC-RVC 層を適用した検討、評価が今後必要》
- レイヤ 7 とアプリケーション間のサービスプリミティブ、レイヤ 7 とセキュリティ管理間のサービスプリミティブ等についても規定する。

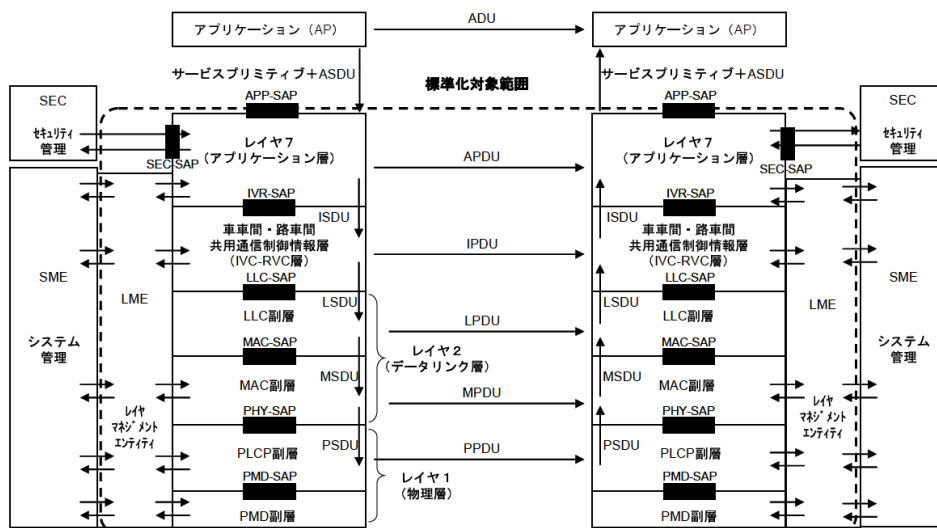


図 3.3-14：プロトコルスタック (ARIB STD-T109 ベース)

【IP 系プロトコル】

- 規定しない。

【番号計画 (アドレッシング)】

- 移動局及び基地局を識別するための番号としてリンクアドレス（MAC アドレス）を用いる。
- リンクアドレスの生成方法は規定しない。

【セキュリティ方式】

- 規定しない。

●一般的条件及び無線設備の技術的条件

- 参考規格の第 3 章にて規定

●通信制御方式

【レイヤ 1（物理層）規格】

- 参考規格の 4.2 節にて規定

【レイヤ 2（データリンク層）規格】

- 参考規格の 4.3 節にて規定

【車車間・路車間共用通信制御情報層（IVC-RVC 層）規格】

- 参考規格の 4.4 節にて規定

【レイヤ 7（アプリケーション）規格】

- 参考規格の 4.5 節にて規定
- **連送制御機能を追加**
- **パケット分割・再結合機能を追加**

【アプリケーション】

- **中継制御機能を追加**
- **送信制御機能を追加**

3.3.9. プロトコル検討結果（ARIB STD-T75 ベース）

ARIB STD-T75 をベースとしたプロトコル検討結果を示す。参考とした規格 ARIB STD-T75 1.5 版に記載されている $\pi/4$ シフト QPSK 方式をベースとして機能の追加・見直しを実施した。

●概要

- 基地局と陸上移動局及び移動局と試験用無線局の間の無線区間インタフェースについて規定する。

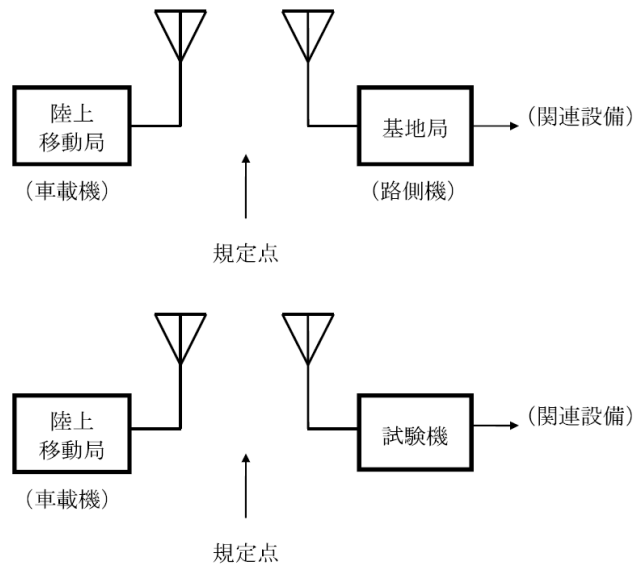


図 3.3-15：システムの構成（ARIB STD-T75 ベース）

●無線通信方式

【伝送方式】

- 表 3.3-4 に、伝送方式の諸元を示す。

表 3.3-4：伝送方式の諸元（ARIB STD-T75 ベース）

項目	諸元
無線アクセス方式	TDMA-FDD
TDMA 多重数	8 以下（2、4 あるいは 8 で可変）
送受信周波数間隔	40MHz
変調方式	$\pi/4$ シフト QPSK
伝送速度	4096kbps
媒体アクセス制御方式	アダプティブスロットドアロハ方式

●プロトコル

【プロトコルスタック】

- 図 3.3-16 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1（物理媒体層：参考規格の 4.2 節に規定）、レイヤ 2（データリンク層：参考規格の 4.3 節に規定）及びレイヤ 7（アプリケーション層：参考規格の 4.4 節に規定）の 3 層構造とする。
- MAC 副層及びレイヤ 1 の層管理エンティティ（LME）及びシステム管理エンティティ（SME）を規定し、各層間でのサービスプリミティブを交換し管理を行う。

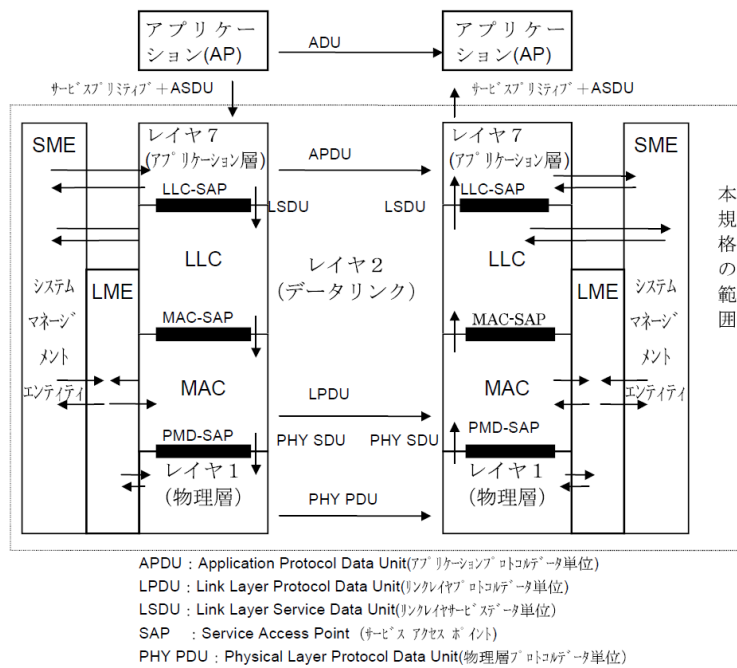


図 3.3-16 : プロトコルスタック (ARIB STD-T75 ベース)

【番号計画 (リンクアドレス)】

- リンクアドレスは移動局にてランダムに選択された 4 オクテット長のアドレスを使用する。

【秘話方式】

- 簡易秘話方式を標準化する。

●無線設備の技術的条件

- 参考規格の第 3 章にて規定 ($\pi/4$ シフト QPSK 方式)

●通信制御方式

【レイヤ 1 (物理層) 規格】

- 参考規格の 4.2 節にて規定

【レイヤ 2 (データリンク層) 規格】

- 参考規格の 4.4 節にて規定

【レイヤ 7 (アプリケーション) 規格】

- 参考規格の 4.5 節にて規定
- **連送制御機能を追加**

3.4. 自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの検討のまとめ

本章では、2章で抽出した通信要件より、自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルを検討した。検討にあたっては、これまで国内において車車間・路車間通信向け ITS 無線通信として検討、規格化されてきた ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 の通信仕様を参考にした。

●メッセージセット検討

メッセージセットの検討にあたっては、ITS FORUM RC-013 や SAE、ETSI 等の国内外の既存メッセージセット規格をもとに検討した平成 29 年度「自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（以下、平成 29 年度調査検討）のメッセージセット案を参考にした。

【既存メッセージセット規格との比較分析】

現在安全運転支援等で採用されている国内外のメッセージセット規格を調査し、自工会検討 UC で検討されているメッセージ内容、サイズと比較し、流用／共通化が可能か等の分析を行った。サイズ、詳細定義が異なるケースがあるものの国内外の従来規格において自工会検討 UC で必要なメッセージ内容と同様の情報が定義されており、流用／共通化の可能性があることが分かった。

【自工会検討 UC のメッセージセット内容の分類、共通化】

自工会検討 UC のメッセージ内容を比較分類し、共通化可能な情報の抽出等を行った。ITS FORUM RC-013 等の規格を参考に、全 UC に共通な情報を共通領域、UC 毎に必要なとなる情報を自由領域として定義すると、管理情報（メッセージ ID、車両／路側機 ID）は全 UC に共通な情報であり共通領域として定義するのが適当であることが分かった。

一方、UC 毎に異なる管理情報以外の情報については、緊急ハザード情報（UC1-2）に必要な情報と、合流支援情報（UC2）及び車線変更情報（UC3）に必要な情報が異なることが確認できた。

【セキュリティ調査】

ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109、ARIB STD-T75 の 3 つの候補通信方式にてパケット送信時のオーバーヘッドサイズを見積もるためにセキュリティに関する調査を行った。

ARIB STD-T75

ARIB STD-T75 では、DSRC 専用に最低限レベルでのプライバシー／無線傍受対策として、秘話鍵配送のスクランブルによる簡易秘話方式（秘話スクランブル方式）を定めている。秘話スクランブル方式における秘話鍵は、基地局と移動局にあらかじめ用意した同一

の変換テーブルと、リンクチャネル確立フェーズで交換されるリンクアドレスを利用して生成される。つまり、セキュリティによるオーバーヘッドは特に必要でない。

ARIB STD-T109

平成 27 年度 SIP 研究成果報告書「ICT を利用した次世代 ITS の確立【課題 I】自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術の開発 ウ) 車車間通信・路車間通信の通信プロトコルの開発」では、ARIB STD-T109 を用いる安全運転支援システムにおけるセキュリティのオーバーヘッドは、車載機：27 バイト及び基地局：56 バイトとして検討・評価を行っている。

- ARIB STD-T109 への適用を想定したセキュリティ関連のガイドライン ITS FORUM RC-009 があるが、具体的な方式やオーバーヘッドサイズは規定していない。
- ARIB STD-T109 を用いた安全運転支援システムで実際に用いられているセキュリティ仕様は非公開であり、上記オーバーヘッドの内容等の詳細は不明である。

ITS FORUM RC-005

ITS FORUM RC-005 へ適用するセキュリティ方式はまだ規定されていない。

データ改ざん、なりすまし等への対抗や国際協調の観点を考慮して、欧米で採用されている IEEE1609.2 の公開鍵方式のオーバーヘッドサイズ 204 バイトと H28 年度「自動走行向け ITS 無線通信手順についての調査検討」における想定サイズ 250 バイト（公開鍵方式と同程度）を踏まえて、本調査検討では以下の 2 ケースを想定して検討、評価を進めた。

- 27/56 バイト：ARIB STD-T109（車載機/路側機）のセキュリティデータと同じサイズ
- 250 バイト：H28 年度及び H29 年度調査検討における想定サイズ

【パケット分割/再結合】

メッセージサイズが大きい自工会検討 UC に対しては、パケット分割/再結合の処理が必要となる。候補通信方式毎にパケット分割/再結合の処理方法及びそれにもなうオーバーヘッドサイズを整理した。

ITS FORUM RC-005/ITS FORUM RC-014

ITS FORUM RC-005 に適用される ITS FORUM RC-014 におけるパケット分割/再結合は、ITS-LPP 層及び ITS-ASL-ELCP 層の 2 ヶ所で行われる。アプリケーションから 1386 バイト以上のデータを受け取った場合、パケット分割が行われ計 13 バイトのオーバーヘッドが追加される。

ARIB STD-T109/ITS FORUM RC-010

（路側機における）パケット分割及び送信を ARIB STD-T109 に適用するために ITS FORUM RC-010 において規定されるオーバーヘッドサイズは、路側機（基地局）：5 バイト及び車載機（移動局）：1 バイトである。

本パケット分割／再結合が適用される送信元は路側機のみであり、ARIB STD-T109 及び ITS FORUM RC-010 を自動走行支援通信に適用した場合、車載機が送信するメッセージに対してはパケット分割／再結合を行うことができない。さらに、ARIB STD-T109 による 700MHz 帯 ITS 無線通信を自動走行支援通信として使用する場合は送信パケット長に上限がある。(後述の有効性の机上検討では、車載機におけるパケット分割／再結合、送信制限に関しては今後見直されることを想定して、通信品質評価を実施)

ARIB STD-T75

ARIB STD-T75 規格内でパケット分割／再結合に関して規定されており、MAC 制御フィールドの一部を用いて処理が行われる。すなわち、パケット分割／再結合によるオーバーヘッドの追加は必要でない。

【パケット構成案】

セキュリティ及びパケット分割／再結合による追加オーバーヘッドの整理結果を踏まえて、候補通信方式毎のパケット構成(案)を検討した。

●プロトコル検討

プロトコルの検討にあたっては、平成 29 年度調査検討にてまとめたプロトコル案を参考にした。平成 29 年度調査検討のプロトコル案は、これまで国内において車車間・路車間通信向け ITS 無線通信として検討、規格化されてきた ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 の通信仕様を参考にして検討されたものである。

【通信制御方式の概要】

通信形態、必要通信距離、通信シーケンス等の観点から、自工会検討 UC 毎にプロトコルを検討し、変調方式、送信タイミング、連送等の通信制御パラメータをアプリケーションと連携して変更する必要があることを確認した。

【通信制御フローとプロトコルスタックの概要】

アプリケーションと連携した通信制御を実現するために、通信上位層を設定した通信制御方式を検討した。図 3.4-1 に、検討した通信制御フロー例及びプロトコルスタック例を示す。同図に示すように、メッセージセットに含まれる UC 情報(メッセージ ID) に応じて変調方式、送信タイミング等の既存 ITS 無線通信のパラメータと連送等の通信上位層の追加機能のパラメータを変更する。本調査検討では、ガイドライン策定に向けてプロトコルスタックへの対応を整理した。

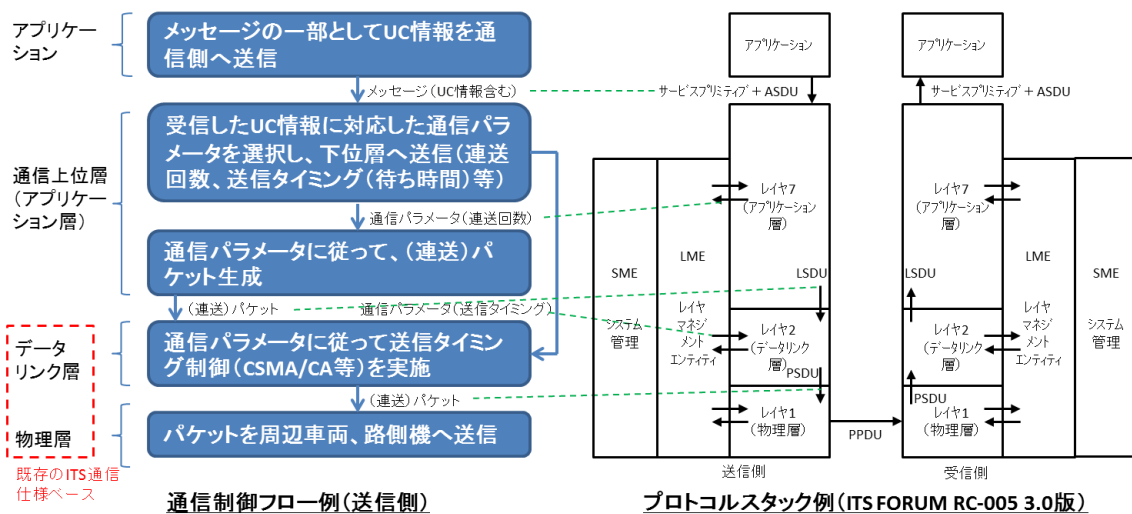


図 3.4-1 : 通信制御フロー例 (送信側) とプロトコルスタック例 (ITS FORUM RC-005)

【自動走行支援通信のプロトコル案の主な通信諸元】

既存の ITS 無線通信仕様 (ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75) をベースに、実環境を想定した条件において自工会検討 UC を実現するためのプロトコルを検討、評価し、自動走行支援通信のプロトコル案を作成した。

表 3.4-1 に、候補通信方式 (ベースの既存 ITS 無線通信) 毎のプロトコル案の主な通信諸元を示す。同表の青字が候補通信方式の仕様から追加変更が必要な部分である。なお、同表は L1 (物理層) 及び L2 (データリンク層) における追加変更を極力少なくする立場で整理したものである。

送信時間制限等の候補通信方式の規格上の制約により必要な追加機能の適用が難しい場合、実現可能な UC が限定されるものの、中継制御、送信制御及び連送制御機能をアプリケーション、L7 (通信上位層) 等に適用することで、全ての自工会検討 UC の通信要件を満足することが分かった。

表 3.4-1：自動走行支援通信プロトコルの主な通信諸元

項目		候補通信方式（既存ITS通信をベースとして機能の追加・見直しを実施）		
		ITS FORUM RC-005ベース +追加機能	ARIB STD-T109ベース +追加機能	ARIB STD-T75ベース +追加機能
実現可能UC	路車間	1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2		1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2
	車車間	1-2-1, 2-1-2, 3		—
	路車・車車協調	1-2-4		—
アプリケーション	中継制御	あり(UC1-2-1)		なし
	送信制御	あり(UC2-1-2,UC3)	あり(UC2-1-2)	なし
L7(通信上位層)	連送制御	あり(UC1に応じて回数変更)	なし/あり(自動走行支援時)	なし/あり(自動走行支援時)
	パケット分割・再結合	あり	なし/あり(自動走行支援時)	なし
L2(データリンク層)	MAC方式	CSMA/CA (ランダムバックオフ制御)		TDMA (スロットALOHA)
	再送制御	なし		あり
	パケット分割・再結合	なし		あり
L1(物理層)	中心周波数	5.8GHz帯	760MHz帯	5.8GHz帯
	空中線電力	10mW/MHz以下		基地局：300mW以下、 移動局：10mW以下
	占有帯域幅	9MHz		4.4MHz
	変調方式	QPSK/OFDM, 16QAM/OFDM		n/4シフトQPSK
	誤り訂正	畳み込み符号 (符号化率1/2)		BCH符号(63,51)
	ダイバーシティ制御(受信)	なし/あり(自動走行支援時)		なし

※青字：ベースとなる既存ITS通信の仕様から追加変更部分

●通信仕様案（メッセージセット案）まとめ

メッセージセット及びプロトコルの検討結果を、実環境を想定した自動走行支援通信の通信仕様案（メッセージセット案及びプロトコル案）としてまとめた。以下にメッセージセット案を示す。

【メッセージ内容】

表 3.4-2 に、通信形態（送信局）が路車間通信（基地局）、路車間通信（移動局）及び車車間通信（移動局）の場合の自工会検討 UC のメッセージ内容の分類を示す。

同表に示すように、管理情報（メッセージ ID、車両／路側機 ID）は全 UC に共通な情報であり共通領域として定義する（ただし、車両 ID と路側機 ID を同一情報として扱うことを想定するが、共用した場合に想定サイズで必要な情報が定義可能かどうか等の確認が必要）。

一方、UC 毎に異なる管理情報以外の情報については、緊急ハザード情報（UC1-2）に必要な情報（同表、水色部分）と、合流支援情報（UC2）及び車線変更情報（UC3）に必要な情報（同表、オレンジ色部分）が異なり自由領域として定義する。

表 3.4-2：自工会検討 UC のメッセージ内容の分類

(a) 路車間通信（基地局）

領域	情報名		bit	車両からの緊急 ハザード情報の発信		合流支援	
				UC 1-2-3	UC1-2-4 路車	合流車支援 UC 2-1-1	本線車支援 UC2-2
	大項目	小項目					
合計メッセージサイズ[Byte]				405	175/4175	772	202
共通 領域	管理情報	メッセージID	8	○	○	○	○
		車両ID	32				
		路側機ID	32	○	○	○	○
自由 領域	事象情報	発生時刻	32	○	○		
		発生事象(ハザード種別)	8	○	○		
		発生事象(緊急回避行動種別)	8				
		対象物情報(速度、車両種別)	24				
	地点情報	緯度経度高度	88	○	○		
		距離	16	○	○		
		レーン情報/上下線	4	○	○		
		道路種別等	8	○	○		
	通行情報	通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○			
		走行規制有無/走行レーン指定	8		○		
	配信指定 情報	配信元車両ID	32				
		配信対象レーン/上下線	4				
		情報有効時間	32				
		再配信距離	16				
	路側機 情報	緯度経度高度	124		○		
再配信時間、情報有効時間		64		○			
加速レーン起点情報		16			○	○	
情報更新時刻		32			○	○	
加速レーン 起点情報		緯度経度高度	88				
レーン情報/上下線		4					
車両情報	返信要求位置範囲(上流、下流)	32					
	走行車両数	8			○	○	
	車両ID	8			○	○	
	車両位置(緯度経度高度)	88			○	○	
	走行レーン	8			○	○	
	車両速度	16			○	○	
	車両長さ	14			○	○	
	加速レーン起点到達時刻	16			○	○	
	先行車との車間距離	16					
	車線情報(元レーン、移動先レーン)	8					
返信要求範囲 指定情報	距離	16					
オプション (追加)	簡易図形情報 (拡張時の追加情報)	8000 (TBD)		○			

(b) 路車間通信（移動局）

領域	情報名		bit	車両からの緊急 ハザード情報の発信
	大項目	小項目		UC 1-2-2
合計メッセージサイズ[byte]				405
共通 領域	管理情報	メッセージID	8	○
		車両ID	32	○
		路側機ID	32	
自由 領域	事象情報	発生時刻	32	○
		発生事象(ハザード種別)	8	○
		発生事象(緊急回避行動種別)	8	
		対象物情報(速度、車両種別)	24	
	地点情報	緯度経度高度	88	○
		距離	16	○
		レーン情報/上下線	4	○
	通行情報	道路種別等	8	○
		通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○
		走行規制有無/走行レーン指定	8	
	配信指定 情報	配信元車両ID	32	
		配信対象レーン/上下線	4	
		情報有効時間	32	
		再配信距離	16	
		緯度経度高度、距離、上下線、区間	124	
	路側機 情報	再配信時間、情報有効時間	64	
		加速レーン起点情報	16	
	加速レーン 起点情報	情報更新時刻	32	
		緯度経度高度	88	
		レーン情報/上下線	4	
		返信要求位置範囲(上流、下流)	32	
	車両情報	走行車両数	8	
		車両ID	8	
		車両位置(緯度経度高度)	88	
		走行レーン	8	
		車両速度	16	
		車両長さ	14	
加速レーン起点到達時刻		16		
先行車との車間距離		16		
車線情報(元レーン、移動先レーン)		8		
返信要求範囲 指定情報	距離	16		
オプション (追加)	簡易図形情報 (拡張時の追加情報)	8000 (TBD)		

(c) 車車間通信 (移動局)

領域	情報名		bit	車両からの緊急 ハザード情報の発信		合流支援 合流車支援		車線変更支援	
	大項目	小項目		UC	UC1-2-4	UC2-1-2		UC3	
				1-2-1	車車	合流車	本線車	車線変更車	関係車
合計メッセージサイズ[byte]				39	30/1030	39	25	23	23
共通 領域	管理情報	メッセージID	8	○	○	○	○	○	○
		車両ID	32	○	○	○	○	○	○
		路側機ID	32						
自由 領域	事象情報	発生時刻	32	○	○				
		発生事象(ハザード種別)	8		○				
		発生事象(緊急回避行動種別)	8	○					
		対象物情報(速度、車両種別)	24	○					
		緯度経度高度	88	○	○				
	地点情報	距離	16	○	○				
		レーン情報/上下線	4	○	○				
		道路種別等	8	○	○				
	通行情報	通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○					
		走行規制有無/走行レーン指定	8		○				
	配信指定 情報	配信元車両ID	32	○					
		配信対象レーン/上下線	4	○	○				
		情報有効時間	32	○	○				
		再配信距離	16	○					
		緯度経度高度、距離、上下線、区間	124						
	路側機 情報	再配信時間、情報有効時間	64						
		加速レーン起点情報	16						
	加速レーン 起点情報	情報更新時刻	32						
		緯度経度高度	88			○			
		レーン情報/上下線	4			○			
	車両情報	返信要求位置範囲(上流、下流)	32			○			
		走行車両数	8						
		車両ID	8						
		車両位置(緯度経度高度)	88			○	○	○	○
		走行レーン	8			○	○	○	○
		車両速度	16			○	○	○	○
		車両長さ	14			○	○	○	○
		加速レーン起点到達時刻	16			○	○		
		先行車との車間距離	16				○		○
		車線情報(元レーン、移動先レーン)	8					○	
返信要求範囲 指定情報		距離	16					○	
オプション (追加)	簡易図形情報 (拡張時の追加情報)	8000 (TBD)		○					

【パケット構成】

図 3.4-2 から図 3.4-4 に、それぞれ ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 を候補通信方式とした場合の自動走行支援通信のパケット構成（案）を示す。

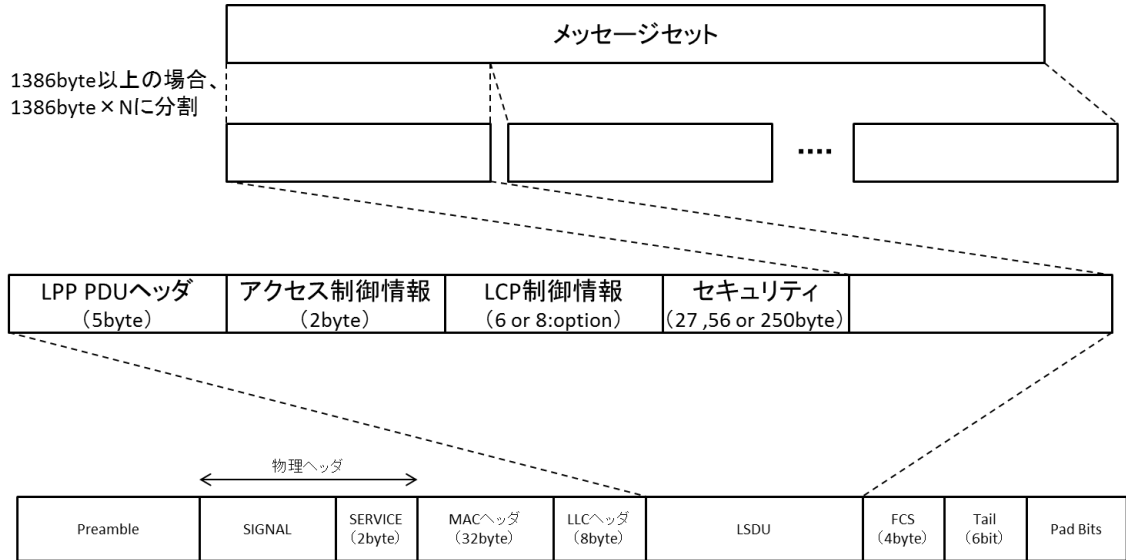
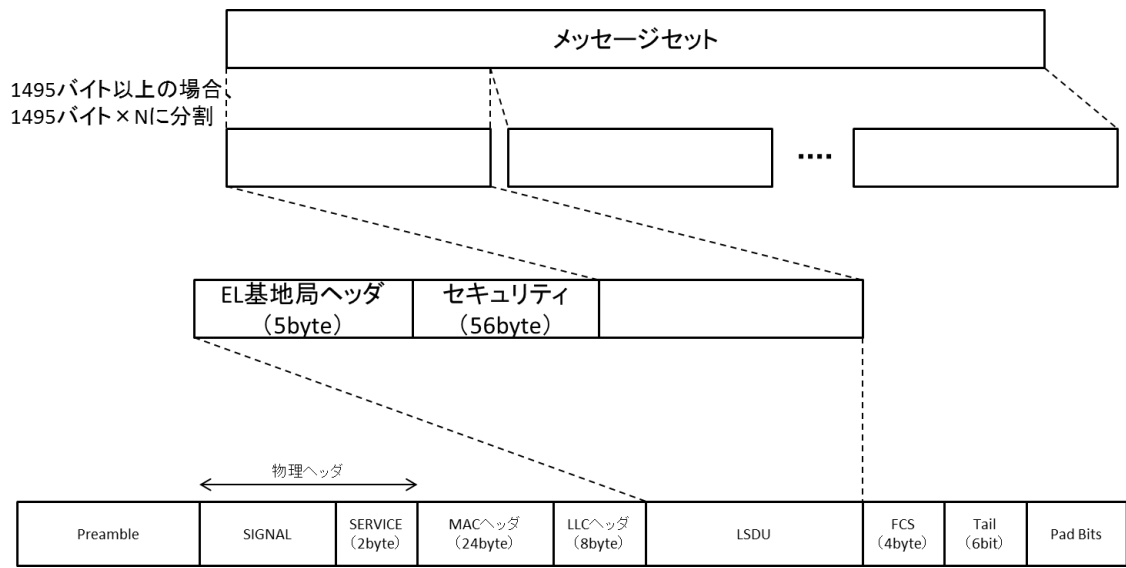
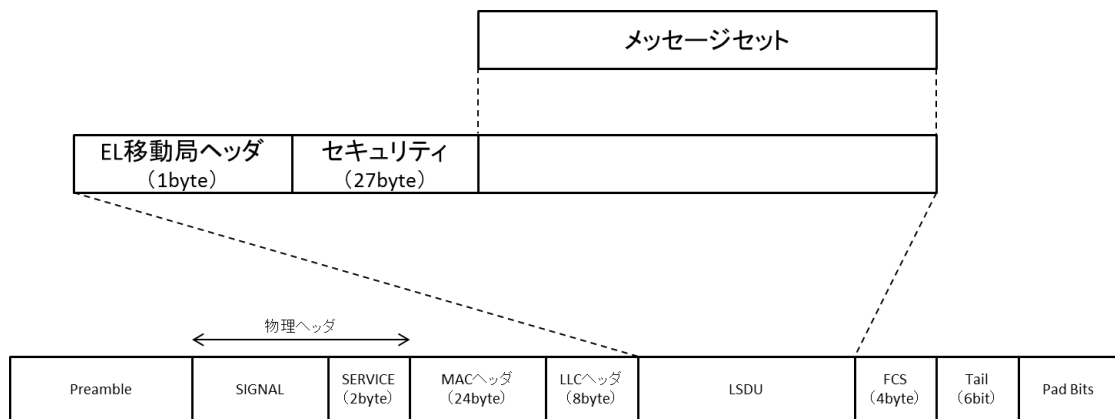


図 3.4-2：自動走行支援通信のパケット構成（案）
候補通信方式：ITS FORUM RC-005（路側機、車載機）



(c) 路側機



(d) 車載機

図 3.4-3 : 自動走行支援通信の packets 構成 (案)

候補通信方式 : ARIB STD-T109

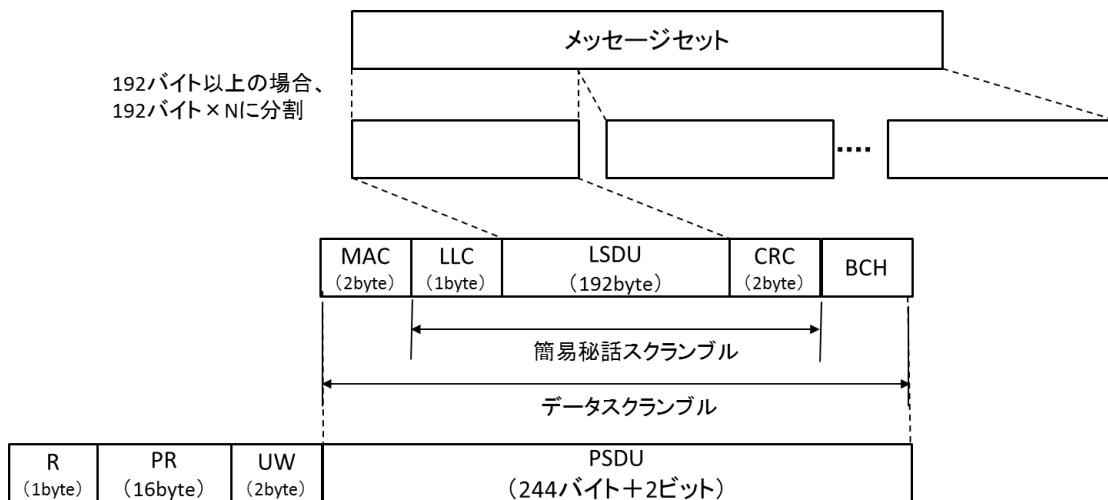


図 3.4-4：自動走行支援通信のパケット構成（案）
候補通信方式：ARIB STD-T75（路側機、車載機）

●通信仕様案（プロトコル案）まとめ

以下にプロトコル案を示す。

【通信シーケンス】

図 3.4-5 から図 3.4-12 に、自工会検討 UC を想定した通信シーケンス案を示す。

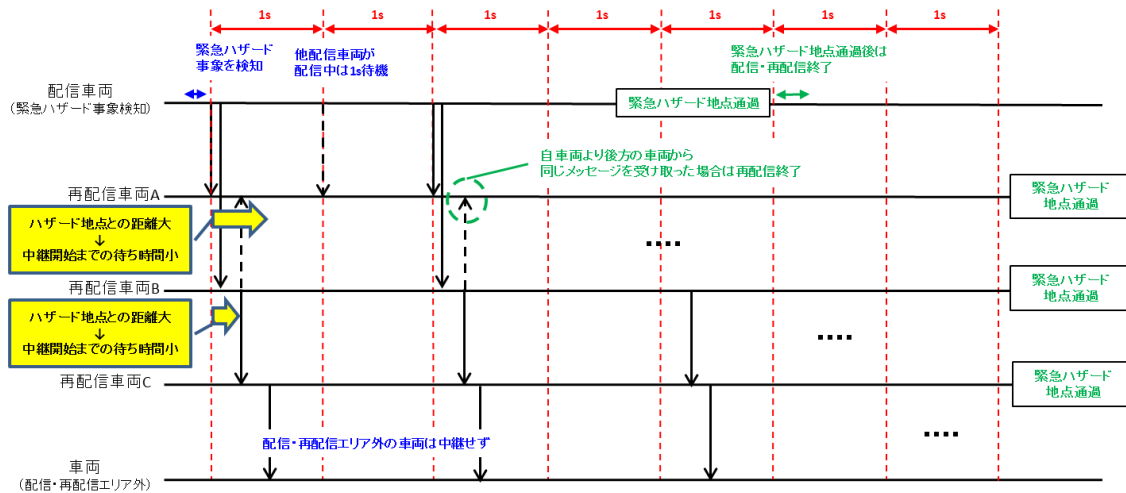


図 3.4-5：UC1-2-1 の通信シーケンス案

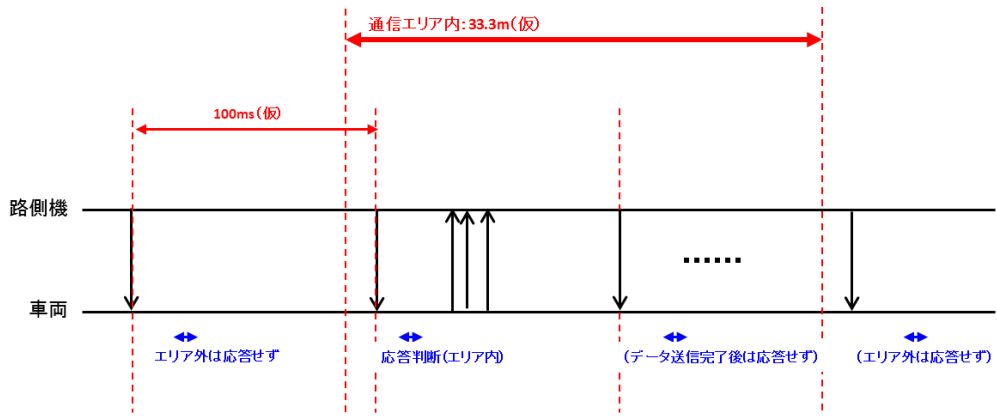


図 3.4-6 : UC1-2-2 の通信シーケンス案

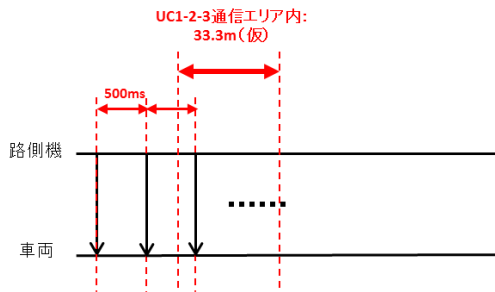


図 3.4-7 : UC1-2-3 の通信シーケンス案

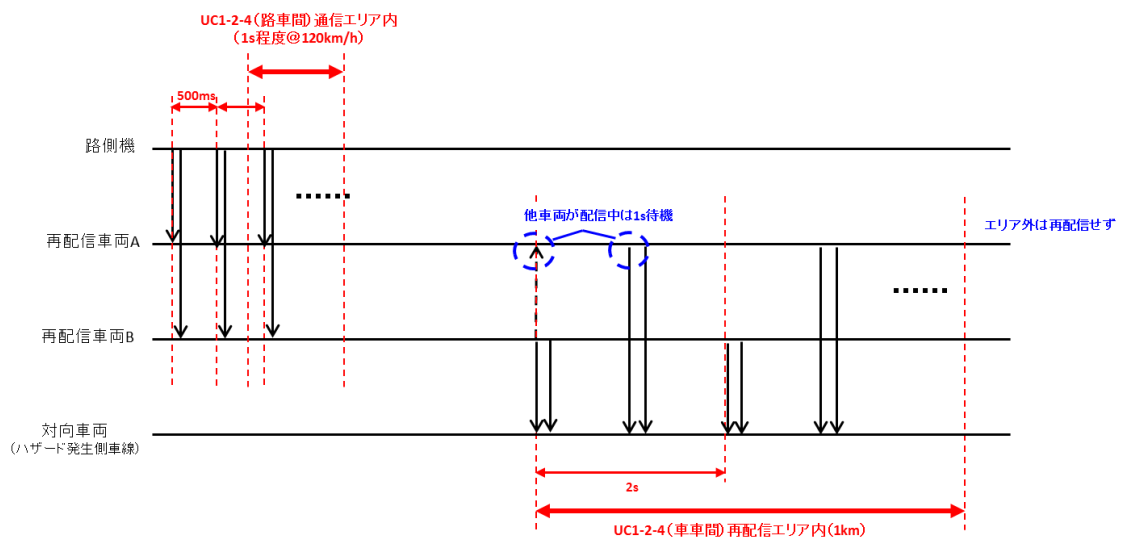


図 3.4-8 : UC1-2-4 の通信シーケンス案

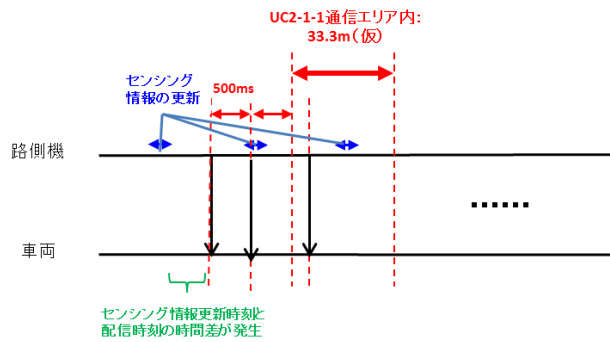


図 3.4-9 : UC2-1-1 の通信シーケンス案

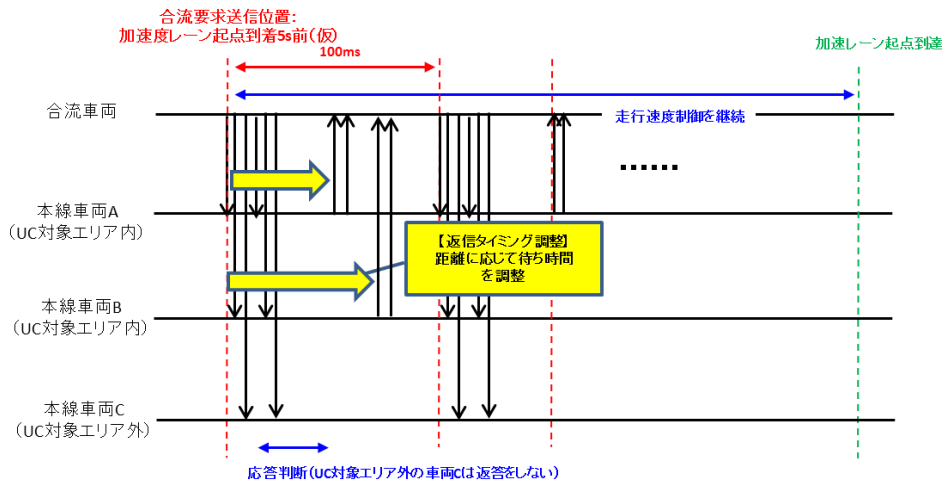


図 3.4-10 : UC2-1-2 の通信シーケンス案

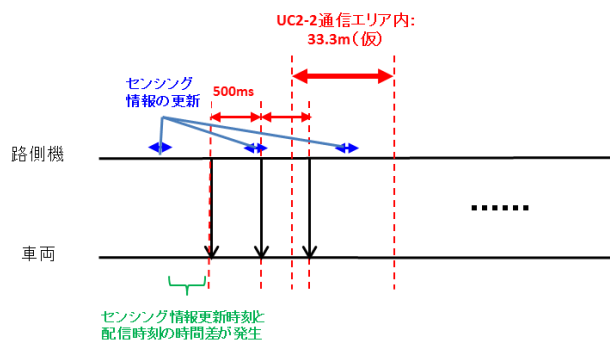


図 3.4-11 : UC2-2 の通信シーケンス案

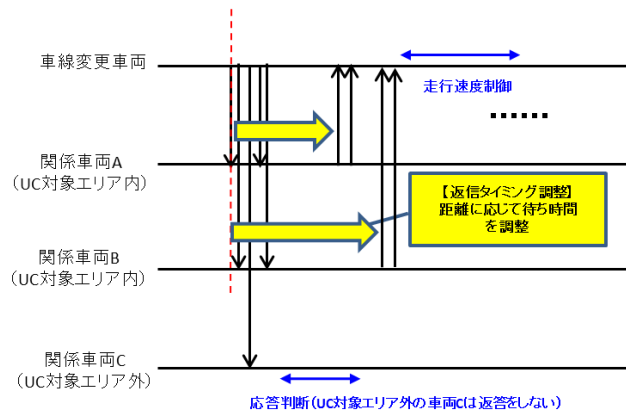


図 3.4-12 : UC3 の通信シーケンス案

【プロトコル案 (ITS FORUM RC-005 ベース)】

ITS FORUM RC-005 をベースとしたプロトコル案を示す。本プロトコル案はガイドライン ITS FORUM RC-005 3.0 版の第 1 部—第 1.1 部に記載されているマルチキャリア (OFDM) 伝送方式—車車間アプリケーション及び ITS-ASL 対応拡張方式 (以下、参考ガイドライン) をベースとして機能の追加・見直しを行ったものである。赤字部分は本調査検討より抽出した追加機能である。

概要

- 5.8GHz 帯を使用した車車間通信システム及び路車間通信システムの実験用として、IEEE802.11p-2010 及び IEEE1609.3-2010 を参考に、陸上移動局 (車載機) と陸上移動局及び陸上移動局と基地局 (路側機) との間の無線区間インタフェースについて規定する。
- 移動局と移動局又は基地局と移動局間の同報通信に限定する。

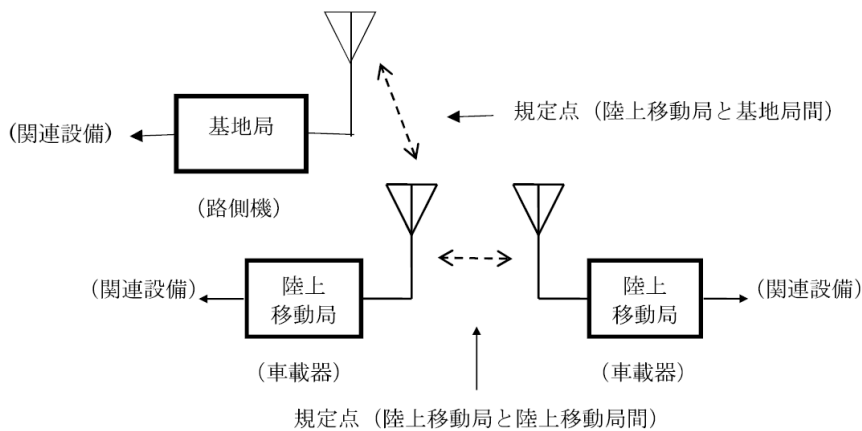


図 3.4-13 : システムの構成 (ITS FORUM RC-005 ベース)

無線通信方式

○伝送方式

- 表 3.4-3 に、伝送方式の諸元を示す。

表 3.4-3 : 伝送方式の諸元 (ITS FORUM RC-005 ベース)

項目	諸元
無線周波数	5.8GHz 帯
周波数選定	規定しない
誤り訂正	畳み込み FEC R=1/2、2/3、3/4
変調	BPSK/OFDM、QPSK/OFDM、16QAM/OFDM、64QAM/OFDM

○アクセス方式

- CSMA/CA (Carrie Sense Multiple Access /Collision Avoidance) 方式の通信制御手順とする。
- 移動局及び基地局は、移動局及び基地局と同報通信を行う。

プロトコル

○プロトコルスタック

- 図 3.4-14 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1 (物理層: 参考ガイドラインの 4.2 節に規定)、レイヤ 2 (データリンク層: 参考ガイドラインの 4.3 節に規定) 及びレイヤ 7 (アプリケーション層: 参考ガイドラインの 4.4 節に規定) の 3 層構造とする。
- アプリケーションとレイヤ 7 間のサービスプリミティブ等についても規定する。

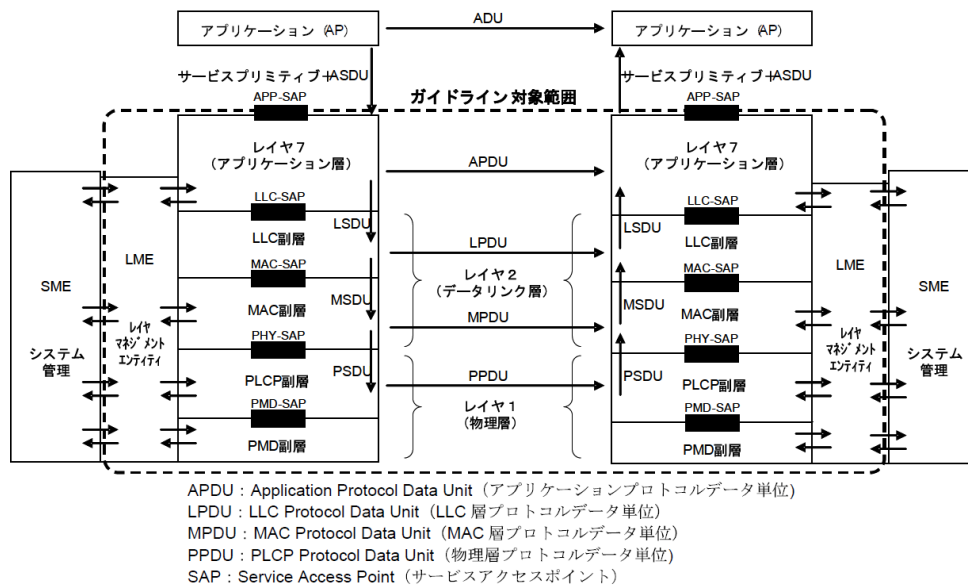


図 3.4-14 : プロトコルスタック (ITS FORUM RC-005 ベース)

○IP 系プロトコル

- 規定しない。

○番号計画 (アドレッシング)

- 移動局及び基地局を識別するための番号としてリンクアドレス (MAC アドレス) を用いる。
- リンクアドレスの生成方法は規定しない。

○セキュリティ方式

- 規定しない。

一般的条件及び無線設備の技術的条件

- 参考ガイドラインの第 3 章にて規定

通信制御方式

○レイヤ 1 (物理層) 規格

- 参考ガイドラインの 4.2 節にて規定

○レイヤ 2 (データリンク層) 規格

- 参考ガイドラインの 4.3 節にて規定

○レイヤ 7 (アプリケーション層) 規格

- 参考ガイドラインの 4.4 節にて規定

- **連送制御機能を追加**

○アプリケーション

- 中継制御機能を追加
- 送信制御機能を追加

【プロトコル案 (ARIB STD-T109 ベース)】

ARIB STD-T109 をベースとしたプロトコル案を示す。本プロトコル案は ARIB STD-T109 1.3 版 (以下、参考規格) に記載されている方式をベースとして機能の追加・見直しを行ったものである。

概要

- 無線設備規則第 49 条の 22 の 2 に規定される「700MHz 帯高度道路交通システムの無線設備」の陸上移動局と移動局及び移動局と基地局との間の無線区間インターフェースについて規定する。
 - 基地局又は移動局からの同報通信方式に限定する。

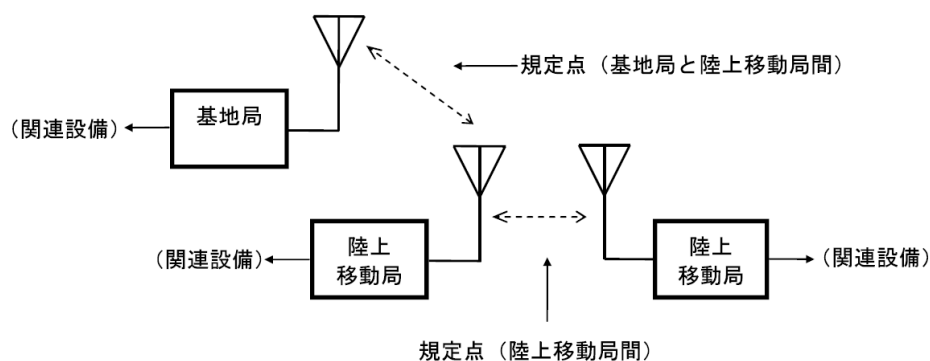


図 3.4-15 : システムの構成 (ARIB STD-T109 ベース)

無線通信方式

○伝送方式

- 表 3.4-4 に、伝送方式の諸元を示す。

表 3.4-4 : 伝送方式の諸元 (ARIB STD-T109 ベース)

項目	諸元
無線周波数	700MHz 帯の単一周波数
周波数選定	不要 (固定)
誤り訂正	畳み込み FEC R=1/2、3/4
変調	BPSK/OFDM、QPSK/OFDM、16QAM/OFDM

○アクセス方式

- 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を基本とする。
- 基地局からの通信は、基地局の送信設定時間内に同報通信を行う。
- 移動局からの通信は、移動局の送信設置時間内に、CSMA/CA (Carrie Sense Multiple Access /Collision Avoidance) 方式の通信制御手順を基本とした同報通信を行う。

プロトコル

○プロトコルスタック

- 図 3.4-16 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1 (物理層：参考規格の 4.2 節にて規定)、レイヤ 2 (データリンク層：参考規格の 4.3 節にて規定)、車車間・路車間共用通信制御情報層 (IVC-RVC 層：4.4 節にて規定) 及びレイヤ 7 (アプリケーション層：4.5 節にて規定) の 4 層構造とする。
- レイヤ 7 とアプリケーション間のサービスプリミティブ、レイヤ 7 とセキュリティ管理間のサービスプリミティブ等についても規定する。

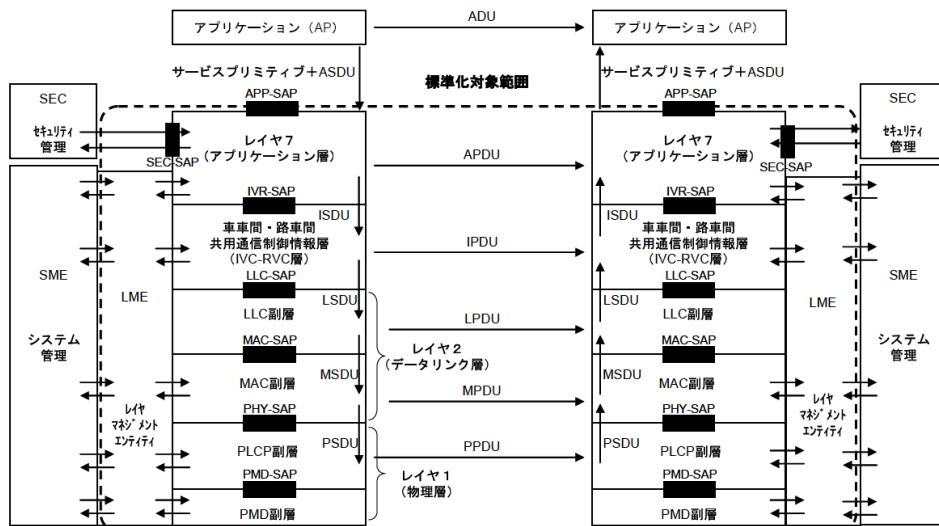


図 3.4-16：プロトコルスタック (ARIB STD-T109 ベース)

○IP 系プロトコル

- 規定しない。

○番号計画 (アドレッシング)

- 移動局及び基地局を識別するための番号としてリンクアドレス（MAC アドレス）を用いる。
- リンクアドレスの生成方法は規定しない。

○セキュリティ方式

- 規定しない。

一般的条件及び無線設備の技術的条件

- 参考規格の第 3 章にて規定

《通信制御方式》

○レイヤ 1（物理層）規格

- 参考規格の 4.2 節にて規定

○レイヤ 2（データリンク層）規格

- 参考規格の 4.3 節にて規定

○車車間・路車間共用通信制御情報層（IVC-RVC 層）規格

- 参考規格の 4.4 節にて規定

○レイヤ 7（アプリケーション）規格

- 参考規格の 4.5 節にて規定
- **連送制御機能を追加**
- **パケット分割・再結合機能を追加**

○アプリケーション

- **中継制御機能を追加**
- **送信制御機能を追加**

【プロトコル案（ARIB STD-T75 ベース）】

ARIB STD-T75 をベースとしたプロトコル案を示す。本プロトコル案は ARIB STD-T75 1.5 版に記載されている $\pi/4$ シフト QPSK 方式（以下、参考規格）をベースとして機能の追加・見直しを行ったものである。

概要

- 基地局と陸上移動局及び移動局と試験用無線局の間の無線区間インタフェースについて規定する。

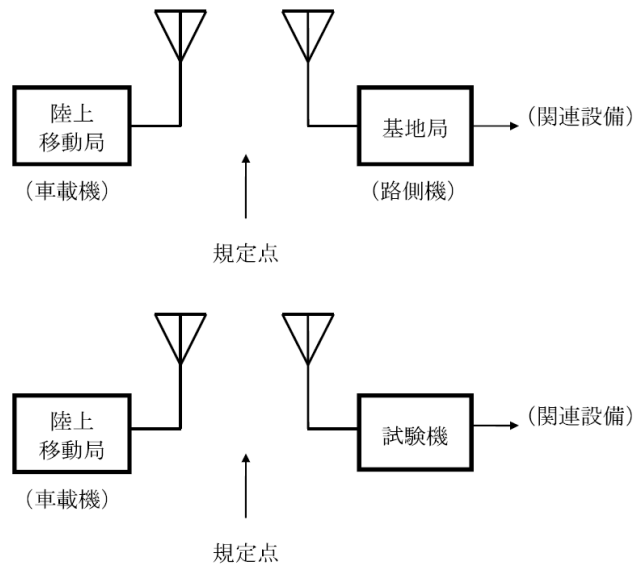


図 3.4-17：システムの構成（ARIB STD-T75 ベース）

無線通信方式

○伝送方式

- 表 3.4-5 に、伝送方式の諸元を示す。

表 3.4-5：伝送方式の諸元（ARIB STD-T75 ベース）

項目	諸元
無線アクセス方式	TDMA-FDD
TDMA 多重数	8 以下（2、4 あるいは 8 で可変）
送受信周波数間隔	40MHz
変調方式	$\pi/4$ シフト QPSK
伝送速度	4096kbps
媒体アクセス制御方式	アダプティブスロットドアロハ方式

プロトコル

○プロトコルスタック

- 図 3.4-18 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1（物理媒体層：参考規格の 4.2 節に規定）、レイヤ 2（データリンク層：参考規格の 4.3 節に規定）及びレイヤ 7（アプリケーション層：参考規格の 4.4 節に規定）の 3 層構造とする。
- MAC 副層及びレイヤ 1 の層管理エンティティ（LME）及びシステム管理エンティティ（SME）を規定し、各層間でのサービスプリミティブを交換し管理を行う。

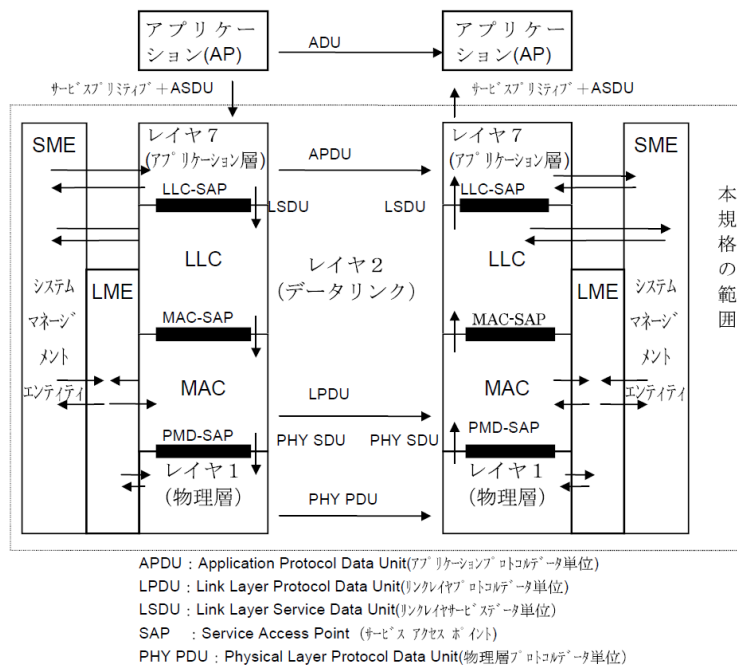


図 3.4-18 : プロトコルスタック (ARIB STD-T75 ベース)

○番号計画 (リンクアドレス)

- リンクアドレスは移動局にてランダムに選択された 4 オクテット長のアドレスを使用する。

○秘話方式

- 簡易秘話方式を標準化する。

無線設備の技術的条件

- 参考規格の第 3 章にて規定 ($\pi/4$ シフト QPSK 方式)

通信制御方式

○レイヤ 1 (物理層) 規格

- 参考規格の 4.2 節にて規定

○レイヤ 2 (データリンク層) 規格

- 参考規格の 4.4 節にて規定

○レイヤ 7 (アプリケーション) 規格

- 参考規格の 4.5 節にて規定

- **連送制御機能を追加**

4. 自動走行支援通信の通信性能評価

本章では、3章にて検討したメッセージセット案及びプロトコル案を適用した場合の通信性能に関して、机上検討及びシミュレーション評価を行う。

4.1. 実施方法

図 4.1-1 に、本章における自動走行支援通信の通信性能評価の流れを示す。

まず、4.2 節では、電波伝搬モデルの検討において、H29 年度の「自動走行向け支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」等の検討結果を踏まえつつ、より実環境に近いモデルを検討する。

続いて、4.3 節では、リンクレベル（1 対 1）の通信性能評価において、パケットエラー率－CNR 特性の評価を実施し、その結果を基に無線回線設計を行う。

最後に、システムレベル（N 対 N）の通信性能評価において、3 章で検討したプロトコル、アクセス制御や車両の移動等の時間的・場所的変動を考慮したシミュレーション評価系を用いて、パケット到達率、通信遅延時間等を確認する。まず、4.4 節では、UC が単独で存在する場合の評価を行い、通信要件を満たすために必要な条件を明らかにする。続いて、4.5 節では、複数 UC が混在する場合の検討、評価を行う。4.6 節では、優先制御に関する検討の一つとして、4.5 節で想定した複数 UC 混在時における優先制御の検討、評価を行う。

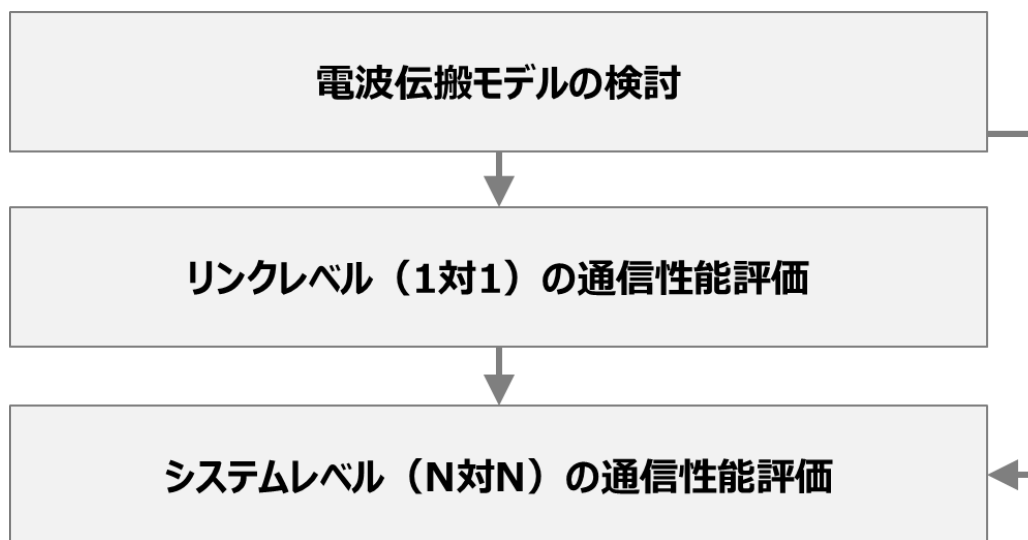


図 4.1-1：自動走行支援通信の通信性能評価の流れ

4.2. 電波伝搬モデルの検討

本節では、実環境を想定した電波伝搬モデルについて検討する。電波伝搬特性は、距離特性（パスロス）、マルチパスフェージング及びシャドウイングで特徴付けられる。表 4.2-1 に、本調査検討における電波伝搬特性の分類を示す。同表の距離特性、マルチパスフェー

ジング（短区間）、マルチパスフェージング（瞬時）及びシャドウイングに対して、それぞれモデルの検討を行う。

表 4.2-1：電波伝搬特性の分類

電波伝搬特性		概要	本検討で関連する主な要因
距離特性	長区間	通信距離による受信電力の減衰	・アンテナの高さ ・路面
マルチパスフェージング	短区間	パケットレベルでの電力の変動	・建物 ・周辺車両
	瞬時	シンボルレベルでの電力の変動	
シャドウイング		遮蔽による受信電力の減衰	・送受信間に存在する車両

4.2.1. 距離特性

距離特性を表すパスロスモデルの代表的なものとして、奥村カーブ／奥村-秦カーブや坂上モデル、Walfish-池上モデル等があるが、本調査検討では、車車間通信及び路車間通信の評価に適したパスロスモデルとして、H29年度の「自動走行向け支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」等を参考に、以下に示す「ITS 通信シミュレーション評価シナリオ」モデルを用いる。

$$L_{LoS,m} = L_{bp} + 6 + \begin{cases} 20 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left(\frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{for } d > R_{bp} \end{cases}$$

$$L_{bp} = \left\lceil 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_1 h_2} \right) \right\rceil \quad R_{bp} \approx \frac{4h_1 h_2}{\lambda}$$

ここで、 $L_{LoS,m}$ は伝搬損失[dB]、 λ は波長[m]、 h_1, h_2 は送受信のアンテナ高[m]、 d はアンテナ間距離[m]である。

「ITS 通信シミュレーション評価シナリオ」モデルは、ITU-R P.1411 において勧告化されたモデルを基本モデルとしている。ただし、本モデルは、市街地等において道路沿いに電波が伝搬する、いわゆるストリートキャニオン環境を想定したモデルであり、高速道路

におけるモデルではない。今後高速道路における測定が行われた際には、測定結果との比較分析、モデルの見直しが必要である。

4.2.2. マルチパスフェージング（短区間）

マルチパスフェージング（短区間）による電力変動は、一般的に対数正規分布（標準偏差 σ [dB]）で表現される。本調査検討においても同様に対数正規分布の変動として反映する。

表 4.2-2 に本調査検討で用いるマルチパスフェージング（短区間）による電力変動の標準偏差の候補を示す。同表は、本調査検討で対象とする、高速道路環境想定、車車間通信想定であるかを選定基準とする。候補の中から、最も標準偏差の大きい「Path Loss Characterization for Vehicular Communications at 700 MHz and 5.9 GHz Under LOS and NLOS Conditions」の値を採用し、標準偏差 σ は 5.8GHz、760MHz でそれぞれ 3.68dB、4.46dB とする。ただし、本モデルは、国内の高速道路における実測値を根拠としたモデルではないため、今後、国内の高速道路における測定が行われた際には、測定結果との比較分析、モデルの見直しが必要である。

表 4.2-2：マルチパスフェージング（短区間）による電力変動

文献名	発表媒体	標準偏差 σ
Study on LTE-based V2X Services	3GPP TR36.885 v.14	3.0dB
Wideband Car-to-Car Radio Channel Measurements and Model at 5.9 GHz	2008 IEEE 68th Vehicular Technology Conference	3.2dB
Path Loss Characterization for Vehicular Communications at 700 MHz and 5.9 GHz Under LOS and NLOS Conditions	IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014	3.68dB@5.9GHz 4.46dB@700MHz (Highway)

4.2.3. マルチパスフェージング（瞬時）

マルチパスフェージング（瞬時）の影響を表す遅延プロファイルモデルには、距離特性と同様に、H29年度の「自動走行向け支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」等を参考とする。

●ITS FORUM RC-005（5.8GHz 帯）

ITS FORUM 運転支援通信システム専門委員会 伝搬モデル検討合同連絡会の検討モデル（都市部、郊外、市街地）の内、最も厳しい都市部環境の遅延プロファイルモデルを採用する。

表 4.2-3 に、本調査検討の ITS FORUM RC-005 の評価を行う際に用いる遅延プロファイルモデルを示す。

表 4.2-3 : 遅延プロファイルモデル (ITS FORUM RC-005)

遅延量 [us]	相対電力 [dB]	ライスファクタ [dB]
0	0	9.85
0.1	-7.61	6.05
0.2	-12.78	4.97
0.3	-17.48	4.56
0.4	-19.33	4.24
0.5	-21.65	4.07
0.6	-21.71	4.06
0.7	-24.88	4.39
0.8	-28.48	4.03
0.9	-29.44	4.36
1.0	-30.49	6.39
1.1	-32.90	6.63
1.4	-32.92	7.27
1.7	-33.70	6.51

●ARIB STD-T109 (700MHz 帯)

上記の ITS FORUM RC-005 と同様に、伝搬モデル合同連絡会における議論を反映したモデルを採用する。表 4.2-4 に、本調査検討の ARIB STD-T109 の評価を行う際に用いる遅延プロファイルモデルを示す。本モデルは、遅延スプレッドが大きい 20% のプロファイルを選択し、それを代表するようなダブルクラスタ型の統計的プロファイルモデルである。

表 4.2-4 : 遅延プロファイルモデル (ARIB STD-T109)

遅延量 [us]	相対電力 [dB]	ライスファクタ [dB]	
0	0	13.4	
0.1	-1.7	6.8	
0.2	-3.4		
0.3	-5.1		
0.4	-6.9		
0.5	-8.6		
0.6	-10.3		
0.7	-12.0		
0.8	-13.7		
0.9	-15.4		
1.0	-17.1		
1.1	-18.9		
1.2	-20.6		
1.3	-22.3		
1.4	-24.0		
1.5	-25.7	7.7	
1.8	-19.4		13.1
1.9	-21.3		
2.0	-23.2		
2.1	-25.1		
2.2	-27.0		
2.3	-28.9		
2.4	-30.8		
2.5	-32.7		
2.6	-34.5		
2.7	-36.4		
2.8	-38.3		
2.9	-40.2		
3.0	-42.1		
3.1	-44.0		
3.2	-45.9		
3.3	-47.8		

●ARIB STD-T75 (5.8GHz 帯)

指向性アンテナを用いた近距離のスポット通信を想定し、直接波のみ存在する場合のモデルを用いる。

4.2.4. シャドウイング

シャドウイングは遮蔽車両の位置、遮蔽車両の台数等で変動する値である。本調査検討では、最近接の1台の大型車両による影響が支配的と考え、シャドウイングの値は固定値とする。

国内の高速道路を想定した 5.8GHz 及び 700MHz 帯に対応するシャドウイングによる電力の減衰量は、測定結果の十分な報告はない。そのため、本調査検討では、周波数をパラ

メータに待ち、測定時の周辺環境に依存しない幾何学（ナイフエッジ回折）モデルである「3GPP TR 38. 901」の Blockage model B を採用することとする。以下に算出式を示す。

$$L_{dB} = -20 \log_{10} \left(1 - (F_{h_1} + F_{h_2})(F_{w_1} + F_{w_2}) \right)$$

F_{h_1} 、 F_{h_2} 、 F_{w_1} 及び F_{w_2} は次式で与えられる。

$$F_{h_1/h_2|w_1/w_2} = \frac{\tan^{-1} \left(\pm \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\lambda} (D1_{h_1/h_2|w_1/w_2} - r')} \right)}{\pi}$$

ここで、 λ は波長[m]である。また、図 4.2-1 で示すように、 $D1_{h_1/h_2|w_1/w_2}$ は、受信点と遮蔽物の 4 つ（上下左右）のエッジとの間の距離[m]、 r' は、受信点と遮蔽物（送信点と受信点を結んだ線と遮蔽物との交点）との距離[m]である。

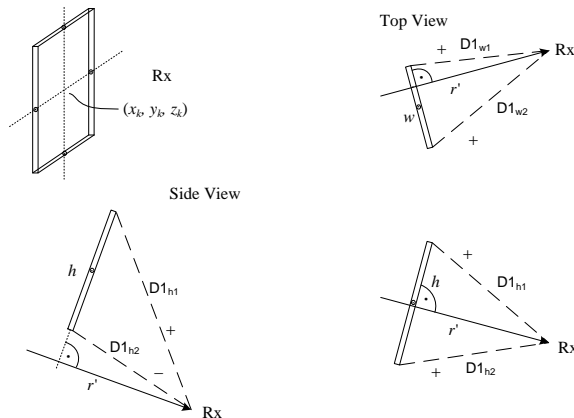


図 4.2-1：遮蔽物と受信点間の幾何学的関係の図

表 4.2-5、図 4.2-2 にそれぞれ、シャドウイング損失算出時のパラメータ、遮蔽物と送受信車両の位置関係を示す。表 4.2-5 のパラメータは、図 4.2-2 で示すように車車間通信において普通車（アンテナ高 1.6m）が受信をする際、大型車（車幅 2.5m×車高 4m）によって遮蔽をされた場合を想定する。図 4.2-3 に、シャドウイング損失の算出結果を示す。同図の通り、シャドウイング損失は距離特性を持つ。しかし、最近接大型車の影響が支配的とし、同一車線上、40km/h、車間距離 1 秒の位置にいる大型車両によるシャドウイング損失を本調査検討では採用する。具体的には、5.8GHz、760MHz でそれぞれ、10dB、4dB となる。また、一般的には路車間通信におけるシャドウイング損失は車車間通信に比べ小さい値となるが、路側機の設置条件の違いを許容するため、車車間通信と同じ値を適用する。

表 4.2-5 : シャドウイング損失算出時のパラメータ

パラメータ			
大型車寸法 [m]		アンテナ高 [m]	周波数 [GHz]
幅 (w)	高さ (h)		
2.5	4	1.6	5.8 / 0.76

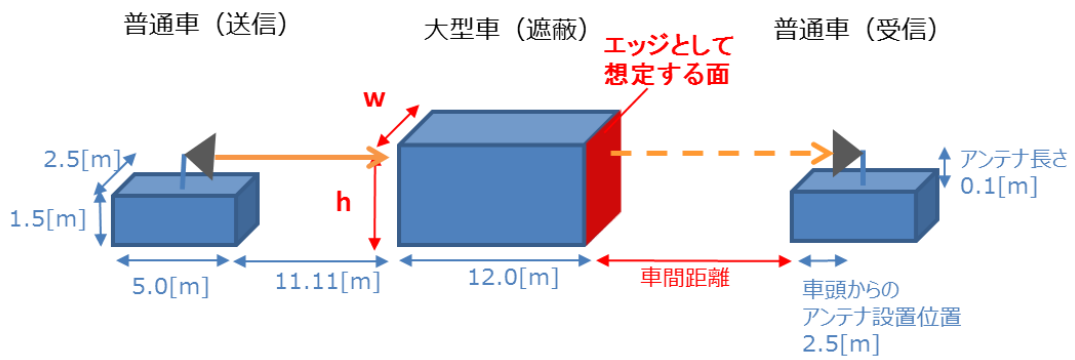


図 4.2-2 : 遮蔽物と送受信車両の位置関係

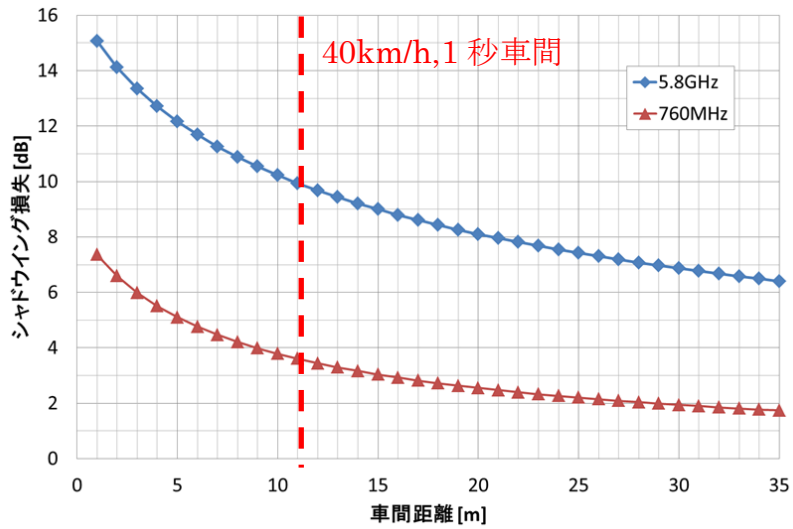


図 4.2-3 : シャドウイング損失算出結果

4.3. リンクレベル（1対1）の通信性能評価

まず、3章で検討したプロトコル（特に物理層仕様）及び4.2で検討した電波伝搬モデルをもとに、通信性能評価における評価条件の整理を行う。次に、1対1通信の通信品質であるパケットエラー率-CNR特性の評価し、目標通信品質を達成するために必要な所要CNRを算出する。最後に、その所要CNRと電波伝搬モデルをもとにそれぞれのUCに対して無線回線設計を行い、通信要件を達成するか確認を行う。

4.3.1. 評価条件

表4.3-1、表4.3-2に、それぞれITS FORUM RC-005及びARIB STD-T109とARIB STD-T75のシミュレーション評価条件を示す。本調査検討では、ITS FORUM RC-005及びARIB STD-T109はルーフ上にアンテナを設置することを想定し、普通車及び大型車のアンテナ高を、それぞれ1.6m及び4.1mとする。

また、UC1-2-2、UC1-2-3、UC1-2-4（路車間通信）、UC2-1-1及びUC2-2における路側機アンテナは、中央車線上に設置することを想定する。図4.3-1に、路側機アンテナの指向性パターンを示す（俯角27度とする）。さらに、図4.3-2に、ARIB STD-T75の車載機アンテナの指向性パターンを示す（仰角60度とする）。

表 4.3-1：シミュレーション評価条件（ITS FORUM RC-005 及び ARIB STD-T109）

項目		ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109	備考	
L1	中心周波数	5810MHz	760MHz		
	空中線電力	10mW/MHz			
	占有帯域幅	9MHz			
	変調方式	QPSK/OFDM、16QAM/OFDM		2方式を優先	
	誤り訂正	畳み込み符号(符号化率1/2)		符号化率1/2を優先	
	ダイバーシチ	なし、あり(最大比合成)			
	雑音電力密度	-173.9dBm/Hz		T=25°C	
	雑音指数	10dB			
	固定劣化	5dB			
	路側機	アンテナ利得	10dBi	0dBi	指向性アンテナ(図4.3-1)
		ケーブル・コネクタロス	0dB		
		アンテナ偏波	垂直		
	車載器	アンテナ利得	4dBi	2dBi	全方位無指向性アンテナ
		ケーブル・コネクタロス	4dB	2dB	※絶対利得0dBを想定(規格値より)情通審資料を参考に値を決定
アンテナ偏波		垂直			
PER-CMR特性	リンクレベルシミュレーション結果の利用		PER-CINR特性も同じと仮定		
L2	MAC方式	CSMA/CA		ランダムバックオフ制御	
	CWサイズ	63 (63~1023)		基本はARIB STD-T109と同じ63を使用	
	キャリアセンス感度	プリアンブル:-85dBm、プリアンブル以外:-65dBm			
	通信形態	ブロードキャスト			
上位層(L7)	連送	なし、あり			
電波伝搬	伝搬損失モデル	「ITS通信シミュレーション評価シナリオ」モデル(LOS環境)		ITU-R P1411モデル(中央値)と同じ	
	アンテナ高	1.6m(普通車)、4.1m(大型車)、6.0m(路側機)			

表 4.3-2 : シミュレーション評価条件 (ARIB STD-T75)

項目		ARIB STD-T75	備考	
L1	中心周波数	5810MHz		
	空中線電力	50mW(路側機)、10mW(車載器)		
	占有帯域幅	4.4MHz		
	変調方式	$\pi/4$ シフト-QPSK		
	誤り訂正	BCH符号(63,51)		
	ダイバーシチ	なし		
	雑音電力密度	-173.8dBm/Hz	T=25°C	
	雑音指数	8dB(路側機)、13dB(車載器)	車載器は路側機(クラス1、ASK方式)と同程度を想定	
	固定劣化	3dB		
	路側機	アンテナ利得	10dBi	指向性アンテナ(図4.3-1)
		ケーブル・コネクタロス	0dB	
		アンテナ偏波	円	
	車載器	アンテナ利得	6dBi	指向性アンテナ(図4.3-2)
		ケーブル・コネクタロス	4dB	
アンテナ偏波		円		
ガラス損失	3dB	フロントガラスによる損失		
PER-CMR特性	リンクレベルシミュレーション結果の利用	PER-CINR特性も同じと仮定		
L2	MAC方式	TDMA-FDD	Slotted-ALOHA	
	通信形態	ブロードキャスト		
上位層(L7)	連送	なし、あり		
電波伝搬	伝搬損失モデル	「ITS通信シミュレーション評価シナリオ」モデル(LOS環境)	ITU-R P1411モデル(中央値)と同じ	
	アンテナ高	1.0m(普通車)、2.0m(大型車)、6.0m(路側機)		

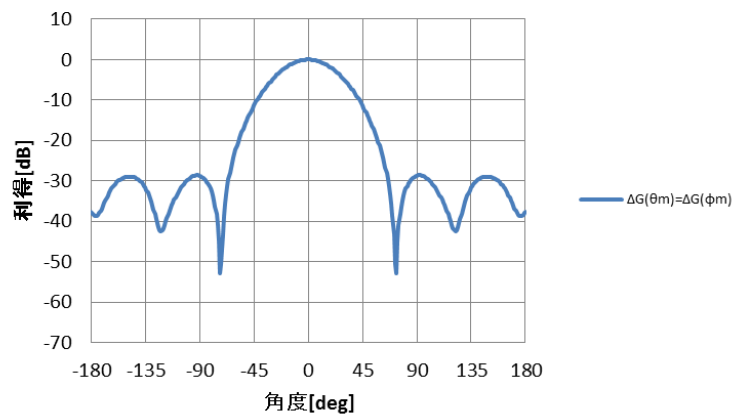


図 4.3-1 : 路側機アンテナの指向性パターン

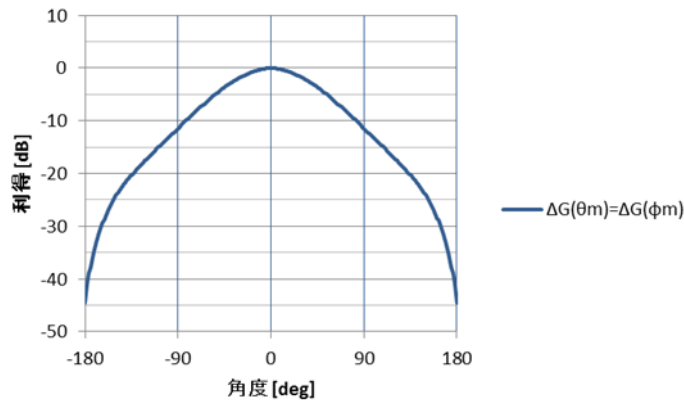


図 4.3-2 : ARIB STD-T75 の車載機アンテナの指向性パターン

4.3.2. パケットエラー率-CNR 特性

パケットエラー率-CNR 特性評価では、主に以下のパラメータを反映する。

- 変調方式：QPSK、16QAM
- ペイロードサイズ：メッセージ及びセキュリティ等のオーバーヘッドサイズ
- ドップラー周波数：相対速度及び中心周波数
- マルチパスフェージング（瞬時）：遅延プロファイルモデル
- 受信ダイバーシチ：あり、なし

なお、受信ダイバーシチに関しては、ITS FORUM RC-005 及び ARIB STD-T109 の車載機に対してのみ適用する（2 ブランチ）。

図 4.3-3 に、評価結果の一例として、UC1-2-3、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ 250byte、連送回数 2 回のパケットエラー率-CNR 特性を示す。目標品質（ $PER < 1E-2$ ）を達成する最小の CNR が所要 CNR となるため、図 4.3-3 の条件においては、変調方式が QPSK、16QAM の場合、それぞれ 8.5、20.0dB となる。

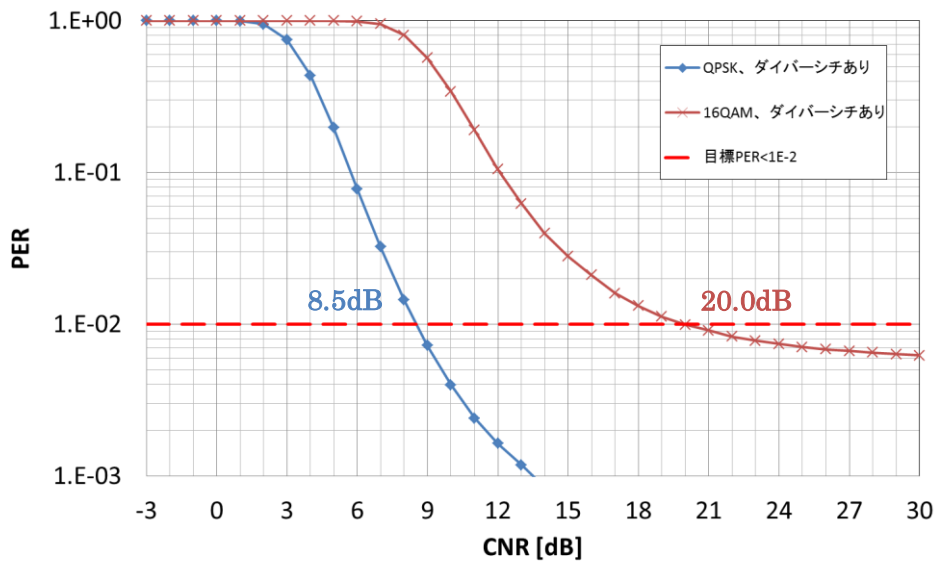


図 4.3-3 : パケットエラー率-CNR 特性 結果例
 (UC1-2-3、ITS FORUM RC-005、
 セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ 250byte、連送回数 2 回)

同様にそれぞれの UC、候補通信方式に対し評価を行い、所要 CNR を 4.3.4 項、パケットエラー率-CNR 特性を 4.4 節のインプットとして反映する。

4.3.3. 距離特性

4.2.1 項で検討した距離特性のモデルから、対象とする候補通信方式に対して、車車間通信、路車間通信の距離特性を算出する。路車間通信に関しては、図 4.3-1 及び図 4.3-2 のアンテナ指向性も反映する。普通車、大型車及び路側機の組み合わせによって、距離特性は変わるが、本項では、一例として、組み合わせの内最も厳しい条件の結果を示す。

図 4.3-4、図 4.3-5 に、それぞれ距離特性（車車間通信想定）、距離特性（路車間通信想定）を示す。必要通信距離が 200m 以上と大きい UC1-2-1、UC2-1-2 の場合を除き、ARIB STD-T109 が最も伝搬損失が小さいことが分かる。

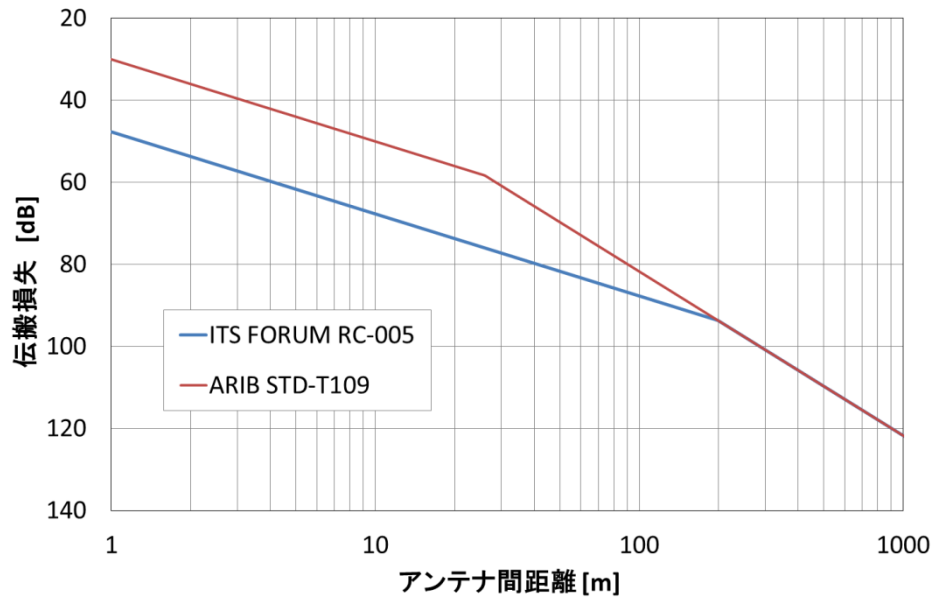


図 4.3-4：距離特性（車車間通信想定）

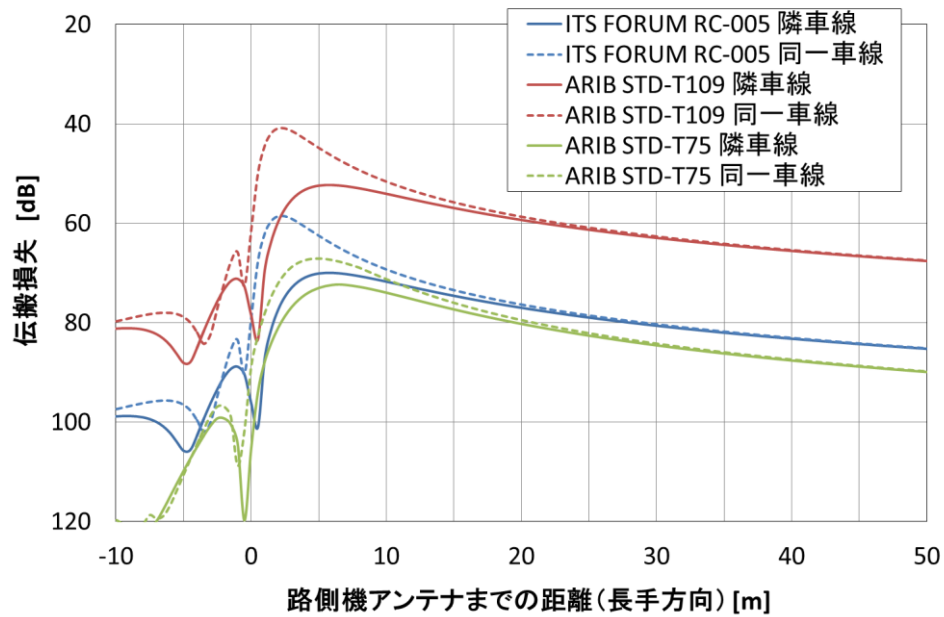


図 4.3-5：距離特性（路車間通信想定）

4.3.4. 無線回線設計

無線回線設計においては、想定する厳しい条件であっても通信要件を満たせるのか確認するため、電波伝搬特性は以下を想定して反映する。

- ・マルチパスフェージング（短区間）は場所率 99%となる値（ 2.33σ ）を使用
- ・シャドウイングは常に発生

表 4.3-3 に、一例として、UC1-2-3、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ 250byte、連送回数 2 回の無線回線設計を示す。通信要件（必要通信距離の $PER < 1E-2$ ）を満足する場合、同表の回線マージンが 0dB 以上となる。他の UC、候補通信方式等の対象となる全ての条件に対して同様に無線回線設計を行う。

表 4.3-3：無線回線設計 結果例
(UC1-2-3、ITS FORUM RC-005、
セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ 250byte、連送回数 2 回)

記号	項目	単位	変調方式		備考
			QPSK	16QAM	
			ダイバーシチ		
			あり	あり	
A	空中線電力	mW/MHz	10.0		
B	占有周波数帯域幅	MHz	9.0		
C	帯域内実行電力 $=10\log_{10}(A \times B)$	dBm	19.5		
D	ケーブルコネクタロス (送信)	dB	0.0		
E	アンテナ利得(送信)	dBi	10.0		
F	実行放射電力 $=C-D+E$	dBm	29.5		
G	アンテナ利得(受信)	dBi	4.0		
H	偏波減衰	dB	0.0		
I	ケーブルコネクタロス (受信)	dB	4.0		
J	雑音電力密度	dBm/Hz	-173.9		T=25°C
K	雑音指数	dB	10.0		
L	固定劣化	dB	5.0		
M	干渉雑音電力密度	dBm/Hz	-∞		干渉なしを想定
N	雑音干渉電力密度	dBm/Hz	-163.9		
O	情報レート $=10\log_{10}(B)$	dB	69.5		
P	所要C/(I+N)	dB	8.5	20.0	PER<1E-2
Q	受信感度 $=L+N+O+P$	dBm	-80.9	-69.4	
R	ダイバーシチ利得	dB	0.0		所要C/(I+N)に反映させているため、本項目は0dBと表記
S	誤り訂正利得	dB	0.0		
T	フェージングマージン	dB	8.6		標準偏差3.68dBの対数正規分布における場所率99%値
U	システム許容伝搬損 $=F+G-H-I-Q+R+S-T$	dB	101.8	90.3	
V	無線区間距離	m	34.8		通信エリア:33.3m(1.5~34.8m)
W	無線区間伝搬損失	dB	82.0		
X	シャドウイング損失	dB	10.0		
Y	回線マージン $=U-W-X$	dB	9.8	-1.7	

通信要件を満足

表 4.3-4 に、路車間通信 UC に対する無線回線設計結果のまとめを示す。同表より、以下のことが分かる。

➤ 全候補通信方式

- UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）を選択することで回線マージンが 0dB 以上となる

- 候補通信方式：ITS FORUM RC-005
 - ・ 連送回数を増やすことで回線マージンが 10dB 程度
- 候補通信方式：ARIB STD-T109
 - ・ 連送を行うことなく回線マージンが 20dB 以上
- 候補通信方式：ARIB STD-T75
 - ・ 最大でも数 dB の回線マージン
 - ・ 連送回数を増やしても改善効果が小さい

表 4.3-4：無線回線設計（路車間通信 UC）まとめ

UC No.	値	候補通信方式				要件 必要通信距離 [m]	
		ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109	ARIB STD-T75			
		セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ [byte]					
		250	車路27、路車56		(簡易秘話)		
1-2-2 緊急ハザード UL	必要連送回数[回]	3 - 5	2 - 5	1 - 5	5	33.3	
	回線マージン [dB]	0.9 - 7.3	1.8 - 9.6	19.4 - 23.2	0.2		
	最大通信距離 [m]	38 - 78	42 - 101	170 - 210	35		
1-2-3 緊急ハザード DL	必要連送回数[回]	2 - 5	1 - 5	1 - 5	1 - 5		
	回線マージン [dB]	9.8 - 13.0	5.7 - 14.0	24.5 - 27.0	0.4 - 2.2		
	最大通信距離 [m]	103 - 147	65 - 165	226 - 261	36 - 43		
1-2-4 緊急ハザード 対向車 DL	簡易 図形 情報 あり	必要連送回数[回]	2 - 5	2 - 5	1 - 5		2 - 5
		回線マージン [dB]	4.3 - 11.2	4.9 - 11.5	22.9 - 26.1		1.0 - 2.0
		最大通信距離 [m]	56 - 120	59 - 125	207 - 248		38 - 42
	簡易 図形 情報 なし	必要連送回数[回]	1 - 5	1 - 5	1 - 5		1 - 5
		回線マージン [dB]	7.5 - 14.2	11.4 - 15.3	24.8 - 27.2	0.8 - 2.3	
		最大通信距離 [m]	80 - 169	123 - 191	230 - 264	37 - 43	
2-1-1 合流支援 合流車へ伝達 DL	必要連送回数[回]	2 - 5	2 - 5	1 - 5	1 - 5		
	回線マージン [dB]	8.6 - 12.4	8.9 - 12.6	24.3 - 26.8	0.3 - 2.2		
	最大通信距離 [m]	90 - 138	93 - 141	224 - 258	36 - 43		
2-2 合流支援 本線車へ伝達 DL	必要連送回数[回]	1 - 5	1 - 5	1 - 5	1 - 5		
	回線マージン [dB]	6.6 - 14.0	11.2 - 15.2	24.7 - 27.2	0.6 - 2.2		
	最大通信距離 [m]	72 - 165	120 - 189	229 - 269	37 - 43		

表 4.3-5 に、車車間通信 UC に対する無線回線設計結果のまとめを示す。同表において、5 連送以下の回線マージンが 0dB 未満のケースに関しては、5 連送以下の回線マージン、最大通信距離を記載している。同表より、以下のことが分かる。

- 両候補通信方式
 - ・ 長距離通信（200m 以上）が必要な UC1-2-1、UC2-1-2 に対しては、全ての候補通信方式にて回線マージン 0dB 未満
- 候補通信方式：ITS FORUM RC-005
 - ・ UC1-2-4（簡易図形なし）、オーバーヘッドサイズ 27byte 以外は回線マージン 0dB 未満
- 候補通信方式：ARIB STD-T109
 - ・ UC1-2-1、UC2-1-2 以外は、連送を行うことなく回線マージンが 0dB 以上

車車間通信 UC が路車間通信 UC に比べ、通信要件を達成する条件が少ない主な理由として、必要通信距離がある。全ての路車間通信 UC が 33.3m であるのに対して、車車間通信距離は小さくとも 100m あり、距離特性による損失量に大きな差が発生する。

無線回線設計で想定する最も厳しい電波伝搬環境下でも、必要通信距離が大きい車車間通信 UC のサービスを継続するためには、必要通信距離と最大通信距離のギャップを埋める対策が必要となる。以下に対策案の一例を示すが、実際の電波伝搬環境の測定結果を踏まえながら継続検討する必要がある。

- 対策案①：受信感度の見直し
 - ・ IEEE802.11 策定当時の雑音指数 NF や固定劣化の見直し
 - ・ 適用にあたっては商用時の実現性も合わせて検討が必要
- 対策案②：中継の適用
 - ・ 全車両が中継を行うと通信トラフィックが増加し性能が劣化する可能性があるため、中継車両の選択、制限方法の検討が必要

表 4.3-5：無線回線設計（車車間通信 UC）まとめ

UC No.	値	候補通信方式			要件 必要 通信 距離 [m]	
		ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109			
		セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ [byte]				
		250	27			
1-2-1 後続車へ 緊急ハザード*	必要連送回数[回]	(5)	(5)	(5)	255	
	回線マージン[dB]	-11.0	-10.0	-6.1		
	最大通信距離[m]	92	103	179		
1-2-4 緊急 ハザード* 対向車	簡易 図形 情報 あり	必要連送回数[回]	(5)	(5)	1 - 5	100
		回線マージン[dB]	-4.1	-3.9	5.6 - 8.7	
		最大通信距離[m]	62	63	138 - 165	
	簡易 図形 情報 なし	必要連送回数[回]	(5)	5	1 - 5	
		回線マージン[dB]	-2.1	0.2	7.8 - 10.3	
		最大通信距離[m]	78	101	156 - 180	
2-1-2 合流支援	必要連送回数[回]	(5)	(5)	(5)	212	
	回線マージン[dB]	-7.8	-6.8	-2.9		
	最大通信距離[m]	92	103	179		
3 車線変更	必要連送回数[回]	(5)	(5)	1 - 5	126	
	回線マージン[dB]	-2.6	-1.6	3.7 - 6.2		
	最大通信距離[m]	93	104	155 - 180		

※赤字:5連送以下の回線マージンが0dB未満のケースに関しては
5連送時の回線マージン、最大通信距離を記載

4.4 節のシステムレベル（N 対 N）の通信性能評価では、表 4.3-4、表 4.3-5 より回線マージンが 0dB 以上の条件について評価を実施する。ただし、5 連送でも回線マージンが 0dB 未満の条件に関しては、5 連送を適用した場合について評価を実施する。

4.4. システムレベル（N対N）の通信性能評価

本節では、3章で検討したプロトコル、アクセス制御や車両の移動等の時間的・場所的変動を考慮したシミュレーションを用い、システムレベル（N対N）でのパケット到達率、通信遅延時間を確認することで、それぞれのUCが単独で存在する環境において、通信要件を満たすために必要な技術的条件を明らかにする。

4.4.1. 道路条件・交通流モデル

2.4節の通信要件で想定する条件を満足するよう、車線等の道路条件、車両密度や速度等の交通流モデルを検討する。

●路車間通信 UC

図 4.4-1 に、路車間通信ダウンリンク UC（UC1-2-3、UC1-2-4 路車間通信、UC2-1-1、UC2-2）のシステムレベルの通信性能評価における道路条件、交通流モデルを示す。

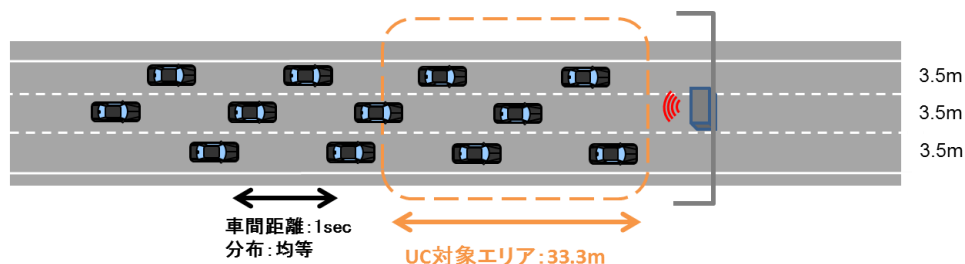


図 4.4-1：道路条件・交通流モデル（路車間通信ダウンリンク）

図 4.4-2 に、UC1-2-2 のシステムレベルの通信性能評価における道路条件、交通流モデルを示す。車両は、路側機からのパケットを受信し、かつ、受信電力がキャリアセンスレベル以上ならば、アップリンクのパケットを送信する。また、本評価では、路側機の送信条件（仮）として、送信周期 100ms、データサイズ 100byte とする。

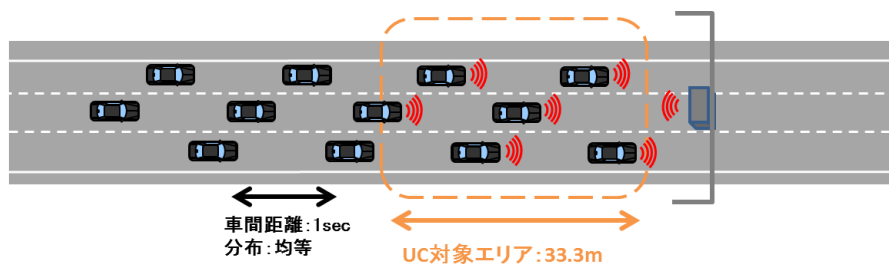


図 4.4-2：道路条件・交通流モデル（UC1-2-2）

●車車間通信 UC

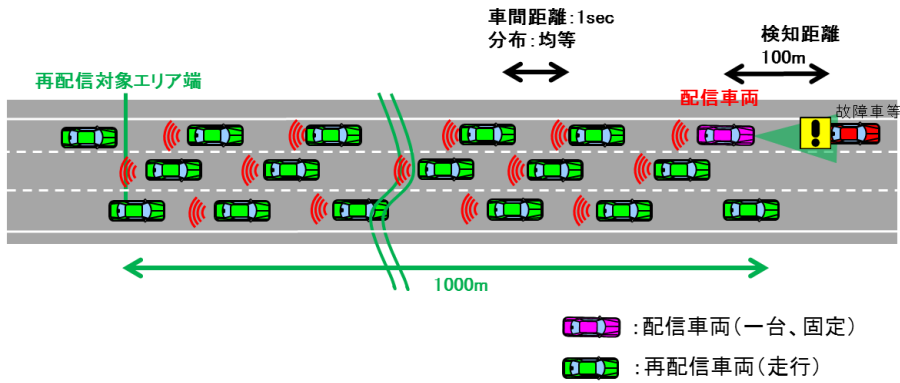


図 4.4-3 に、UC1-2-1 のシステムレベルの通信性能評価における道路条件、交通流モデルを示す。

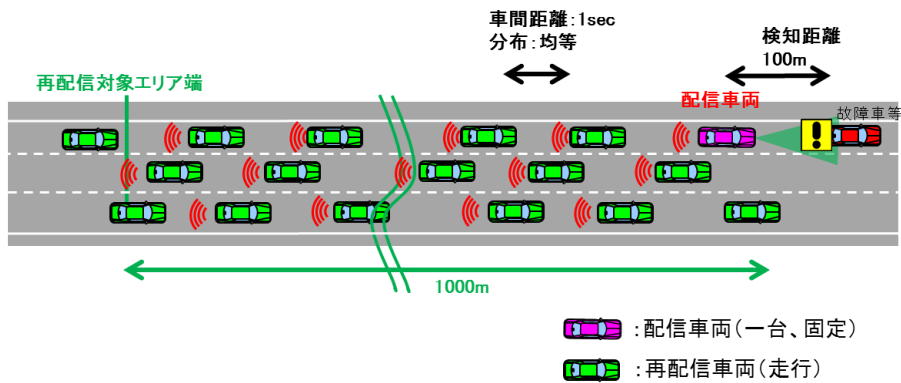


図 4.4-3：道路条件・交通流モデル (UC1-2-1)

図 4.4-4 に、UC1-2-4(車車間通信)のシステムレベルの通信性能評価における道路条件、交通流モデルを示す。厳しい条件で評価するため、集計対象とする車両は遮蔽が最も発生しやすい外側の車線の車両とする。

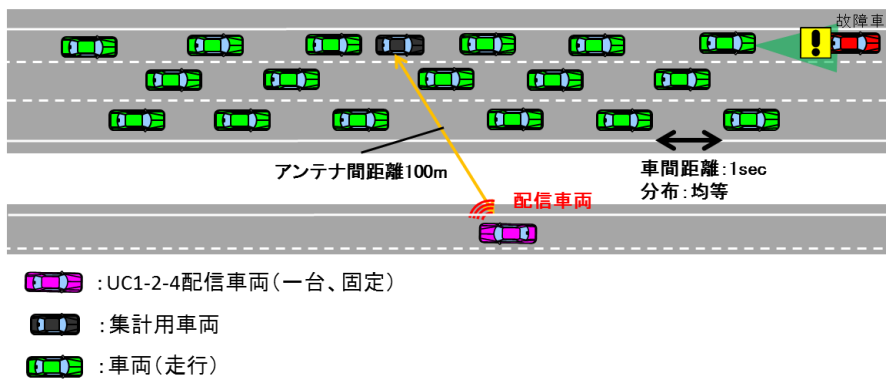


図 4.4-4：道路条件・交通流モデル (UC1-2-4：車車間通信)

図 4.4-5 に、UC2-1-2 のシステムレベルの通信性能評価における道路条件、交通流モデルを示す。合流車両は加速レーン起点到着 5sec 前に要求パケットの送信を開始し、加速レーン起点到着まで要求を周期的 (100msec) に送信し続ける。その間、返信要求範囲は加速レーン起点に到着するまでの時間及び合流車両と本線車両の相対速度を考慮して逐次シフトする。

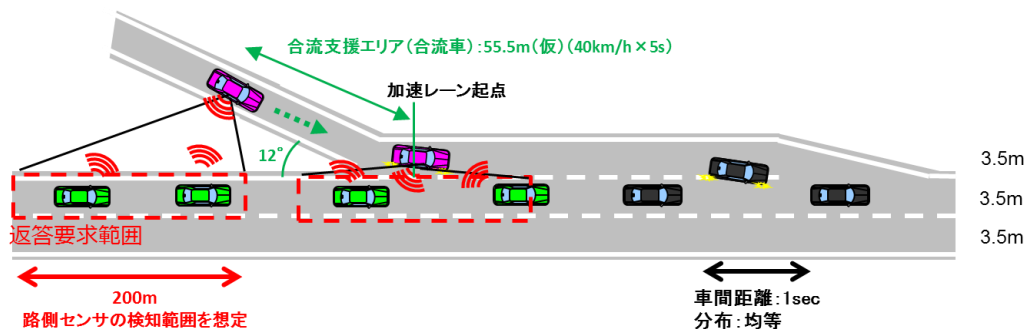


図 4.4-5 : 道路条件・交通流モデル (UC2-1-2)

図 4.4-6 に、UC2-2 のシステムレベルの通信性能評価における道路条件、交通流モデルを示す。本項の評価では車線変更車の同時発生は対象とせず、常に一台の車両のみ要求を送信することとする。



図 4.4-6 : 道路条件・交通流モデル (UC2-2)

4.4.2. 通信性能評価結果 (路車間通信 UC)

●ダウンリンク (UC1-2-3、UC1-2-4 路車間通信、UC2-1-1、UC2-2)

路車間通信 (ダウンリンク) を用いた自工会検討 UC は複数あるが、図 4.4-1 に示したようにシミュレーション評価の道路条件・交通流モデルは同じとし、メッセージサイズが UC により異なる。そこで、対象 UC の中で最もメッセージサイズが大きく、条件が厳しい UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報ありの場合の結果について、例として示す。

図 4.4-7 に、一例として、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、2 連送、40km/h の場合の PER-路側機からの距離特性を示す。路車間通信ダウンリンク UC はパケット衝突が発生しないため、対象 UC の中で最も回線マージンが小さい本条件が通信要件を達成する場合、その他の全ての条件で通信要件を達成する。同図より、UC 対象エリアの全域で目標通信品質 (PER<1E-2) を満足することが分かる。

40km/h の場合は大型車による遮蔽が発生するが、回線マージンが十分にあるため、エリア内での通信品質はほとんど劣化しない。

また、自工会 UC における路車間通信ではエリアを通過するまでにメッセージの受け取り／受け渡しが出来れば良い。そのため、エリア通過車両のうち通信に成功した車両の割合を目標の達成／未達成の評価基準（目標値：通過車両通信成功率 99%以上）とする。本条件の通過車両通信成功率を確認したところ、99.7%となり目標値を上回っているため、通信要件を満たすと判断する。

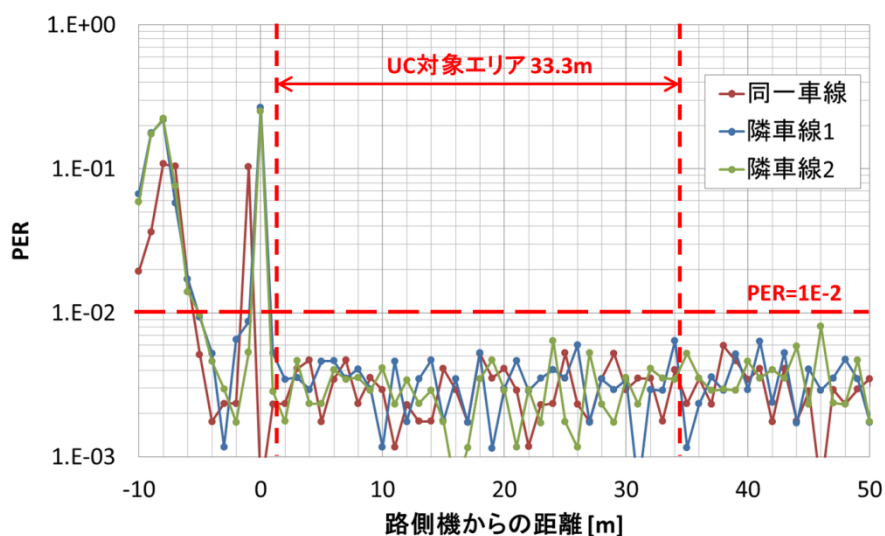


図 4.4-7 : PER-路側機からの距離特性 : UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり (ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、2 連送、40km/h)

●アップリンク (UC1-2-2)

図 4.4-8 に、一例として、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、4 連送、40km/h の場合の PER-路側機からの距離特性を示す。同表において、同一車線は大型車の陰になりやすく電力が落ちる頻度が多いため、PER 特性が隣車線と異なっている。しかしながら、路車間通信ダウンリンク UC と同様に、通過車両通信成功率は 99.9%と目標値を上回っており、通信要件を満たす。

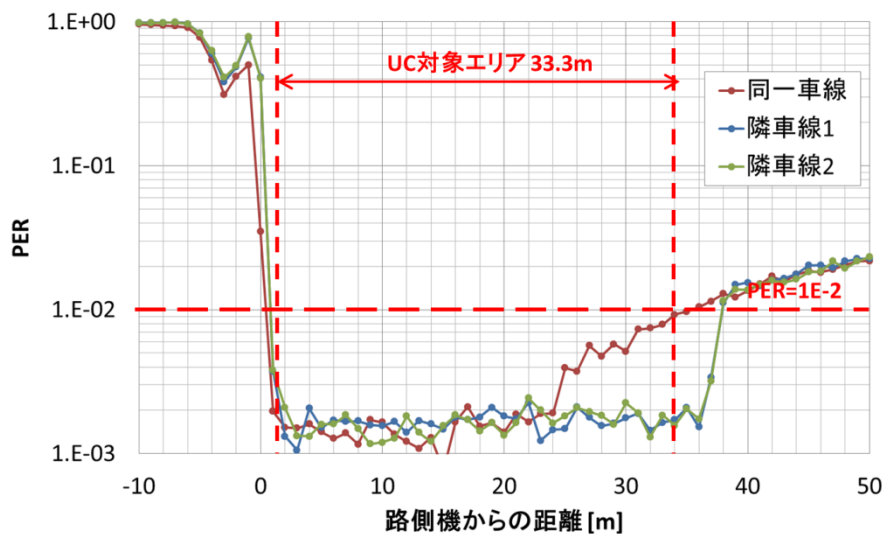


図 4.4-8 : PER—路側機からの距離特性 : UC1-2-2

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、4 連送、40km/h)

表 4.4-1 に、路車間通信 UC に対するシステムレベルの通信性能評価結果まとめを示す。同表より、以下のことが分かる。

➤ 全候補通信方式

- ・ パケット衝突による性能劣化を考慮しても全ての候補通信方式に対して、UC に応じて適切な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）を選択することで通信要件を満足する

表 4.4-1：システムレベルの通信性能評価結果（路車間通信 UC）まとめ

UC No.	候補通信方式				
	ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109	ARIB STD-T75		
	セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ [byte]				
	250	車路27、路車56	(簡易秘話)		
1-2-2 緊急ハザード UL	3-5	2-5	1-5	5	
1-2-3 緊急ハザード DL	2-5	1-5	1-5	1-5	
1-2-4 緊急 ハザード 対向車 DL	簡易図形 情報あり	2-5	2-5	1-5	2-5
	簡易図形 情報なし	1-5	1-5	1-5	1-5
2-1-1 合流支援 合流車へ伝達 DL	2-5	2-5	1-5	1-5	
2-2 合流支援 本線車へ伝達 DL	1-5	1-5	1-5	1-5	

4.4.3. 通信性能評価結果（車車間通信 UC）

●UC1-2-1

UC1-2-1には通信遅延時間に対して、緊急回避発生地点上流 255m 地点で 100msec 以下、1km 地点で 30sec 以下と 2つの要件がある。共に達成するときのみ、UCとして通信要件達成と判断する。

図 4.4-9、図 4.4-10 に、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h の場合の PER—緊急回避発生地点からの距離特性、通信遅延時間—緊急回避発生地点からの距離特性を示す。図 4.4-9 より、UC 対象エリア端 (1km 地点) の End-End の通信品質が、目標通信品質 (PER<1E-2) を満足することが分かる。しかしながら、255m 地点での通信遅延時間が 1sec 程度となり、目標通信遅延時間 (100msec) を満足しない。これは、再配信時の中継待機時間として 1sec 設けているため、配信車両から直接 255m 地点の車両までパケットが到達しないと 1sec 以上の通信遅延時間になってしまうためである。直接届かない主な原因は、シャドウイングによる電力の減衰である。シャドウイングを回避する方法として、遮蔽が発生しにくい大型車が配信する等が考えられるが、配信車両は緊急ハザード検知車両であるため、緊急ハザード検知車両の中に常に大

型車がいるとは考えにくい。そのため、直接届かなくとも、255m 地点での通信遅延時間が目標値である 100msec 以下となるように対策を検討する。

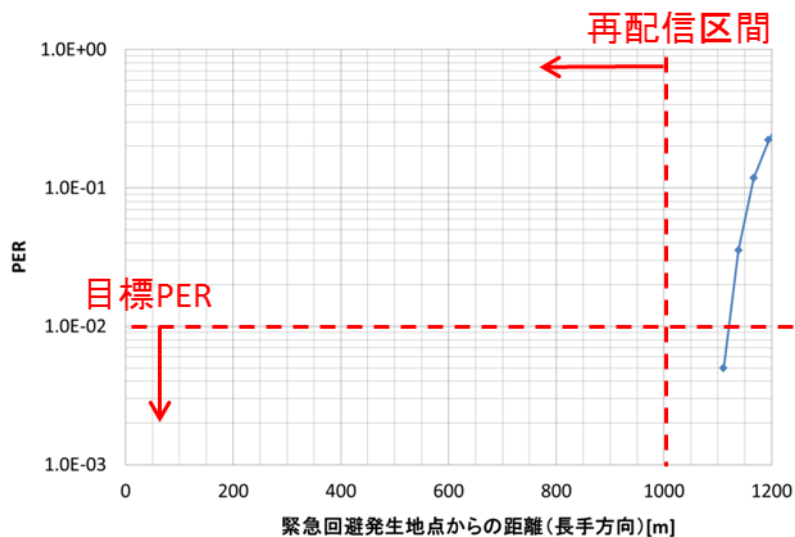


図 4.4-9 : PER—緊急回避発生地点からの距離特性 : UC1-2-1
(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h)

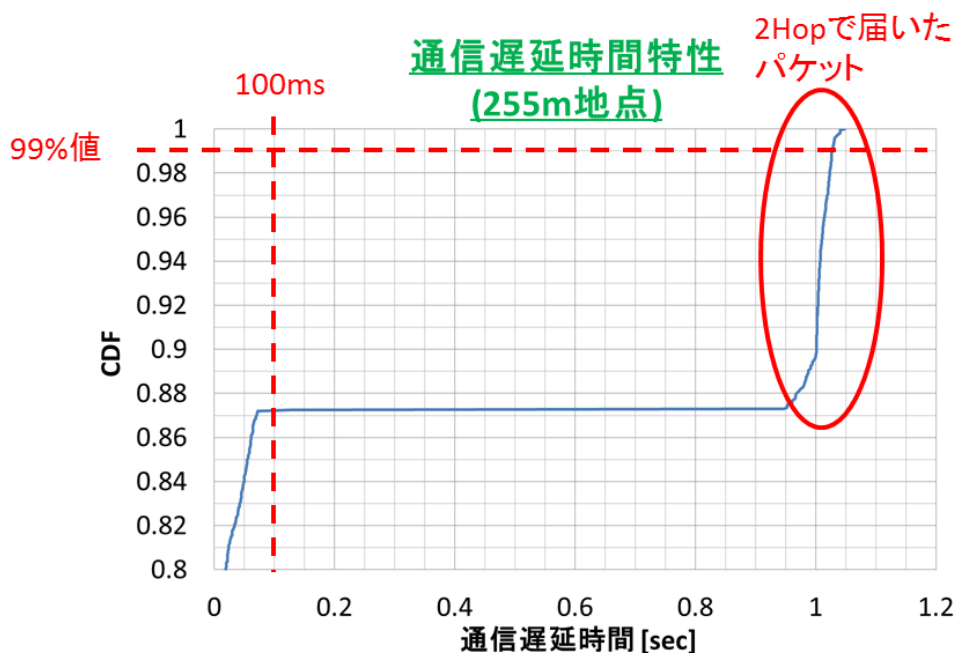


図 4.4-10 : 通信遅延時間—緊急回避発生地点からの距離特性 : UC1-2-1
(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h)

- 対策① : 中継待機時間短縮による通信遅延時間の改善

配信車両から緊急回避発生地点から 255m 上流の車両への通信遅延時間を 100msec 以下にするためには、少なくとも 255m 到達までの Hop 数に中継待機時間を乗算した値を 100msec 以下にしなければならない。しかしながら、必要な Hop 数は候補通信方式や連送数によって異なる。そのため、まずは様々な必要 Hop 数を許容するため中継待機時間を設けない場合について改善効果の検討を行う。

図 4.4-11 に、中継待機時間なし方式を適用した ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h の場合における通信遅延時間—緊急回避発生地点からの距離特性を示す。同表より、255m 地点での通信遅延時間が小さくなり、通信要件を満足することが分かる。しかしながら、今後、他 UC や他システムとの共用を考えた場合、トラフィックの抑制が必要になることが予想される。中継において、トラフィックを抑制する方法の 1 つとして、周辺車両が同一情報を配信していることを確認した場合に、確認した車両は中継をやめる等の方法がある。しかし、中継待機時間なし方式では周辺車両の配信を確認する時間を設けられないため、トラフィックの抑制には対応できない。そのため、トラフィックの抑制に有効な中継方式についても検討を行う。

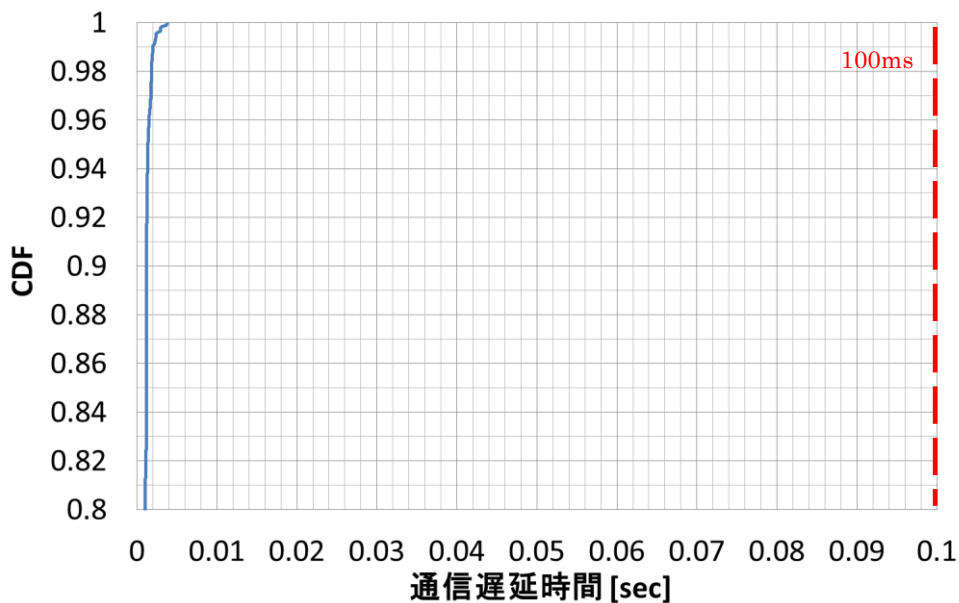


図 4.4-11：通信遅延時間—緊急回避発生地点からの距離特性：UC1-2-1 中継待機時間なし (ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h)

➤ 対策②：通信トラフィックの抑制

通信トラフィックの抑制するための中継車両の選択方法を検討する。緊急回避発生地点からの距離が遠いほど待機時間を短くすることで、上流の車両が優先的に再配信できるようにする。図 4.4-12 に、中継タイミン調整機能における待機時間を示す。

本方式では、再配信区間の上流端（緊急回避発生地点から上流 1km 地点）を基準（待機時間 0sec）とし、距離に比例した待機時間（1m 当たり 0.1msec）を設ける。車線が混雑した場合にも提案方式が適切に動作し改善効果を得られるのか確認するため、本検討では車間距離を 0sec とした最も密な環境についても評価を行う。

図 4.4-13 に、中継タイミング調整適用前後の平均ホッピング台数－緊急回避発生地点からの距離特性を示す。同図より、中継タイミング調整機能適用前と比べて適用後は、平均ホッピング台数が減少していることに加えて、ホッピング車両が特定の位置に集中しており、本調査検討で用いた中継タイミング調整機能が有効であることが確認できる。

表 4.4-2 に、中継タイミング調整適用前後の UC 対象エリア全体での平均ホッピング台数を示す。同表より、中継タイミング調整を適用することで、通信トラフィックを適用前の数%程度に軽減できることが分かる。そのため、中継タイミング調整機能の適用前であっても通信要件は満たすものの、今後他 UC 混在や他システムとの共用時性能確保のためには、中継タイミング調整機能の適用が望ましいと言える。

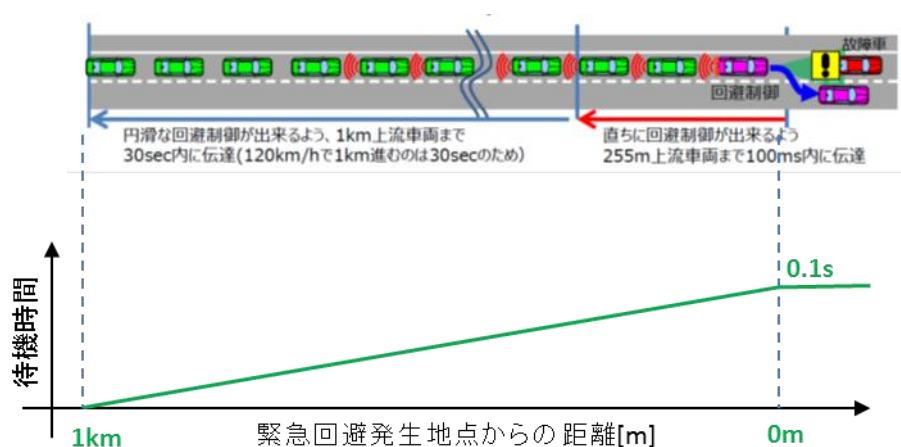


図 4.4-12：中継タイミング調整：UC2-1-2

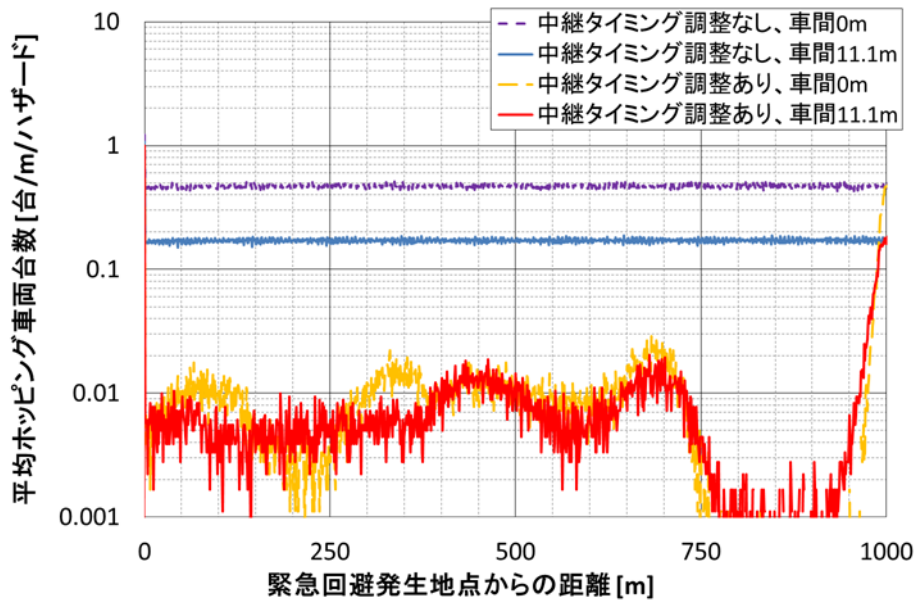


図 4.4-13：平均ホッピング台数－緊急回避発生地点からの距離特性
(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h)

表 4.4-2：UC 対象エリア全体での平均ホッピング台数

車間距離 (車線毎)	中継タイミングの調整	
	あり	なし
11.1m	10.4	173.2
0m	15.0	473.1

●UC1-2-4 車車間通信

UC1-2-4 車車間通信は、簡易図形情報あり／なしの 2 つの条件がある。ここでは、メッセージサイズが大きく、条件が厳しい UC1-2-4 車車間通信 簡易図形情報ありの場合の結果について、例として示す。

図 4.4-14 に、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h の場合の PER－アンテナ間距離特性を示す。同表より、通信要件を満足することが分かる。

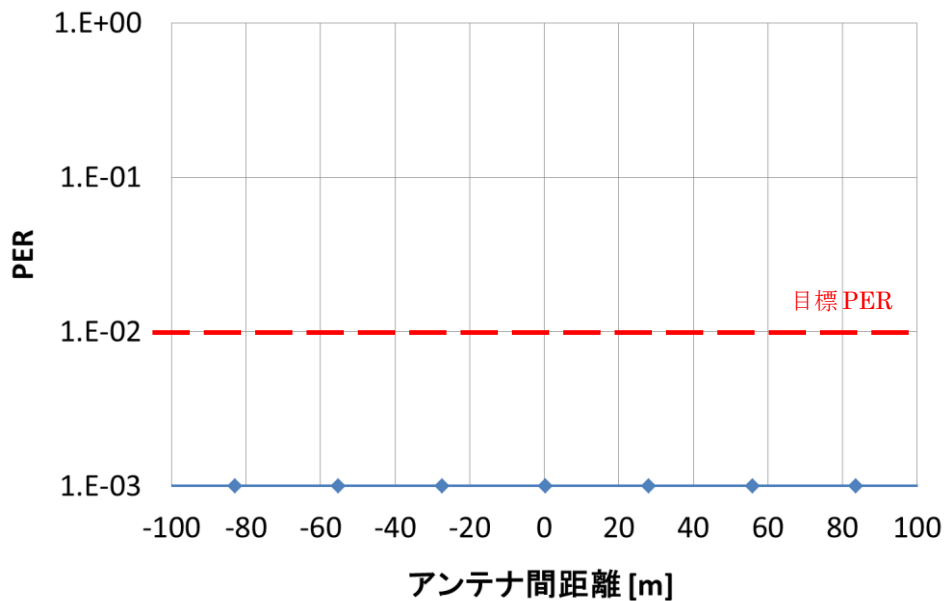


図 4.4-14 : PER—アンテナ間距離特性 : UC1-2-4 車車間通信 簡易図形情報あり
(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h)

●UC3

図 4.4-15 に、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h の場合の PER—車線変更車両からの距離特性を示す。車線変更車両近傍の車両は目標通信品質 (PER<1E-2) 満たしているが、パケット衝突により返信範囲端に向けて通信品質が劣化し、目標通信品質満足しないことが分かる。パケット衝突を起こす主要因は、以下の 2 点が挙げられる。

- 返信車両はほぼ同時に CSMA/CA を開始するため、返信車両が多い場合には CW (CW=63 の場合) によるランダムバックオフでは十分に送信タイミングの重複が回避できない。
- 同一車線に大型車が存在する場合、エリア両端の車両同士は隠れ端末となるため、チャネルがビジーであることを判断できずに送信を開始する (図 4.4-16)。

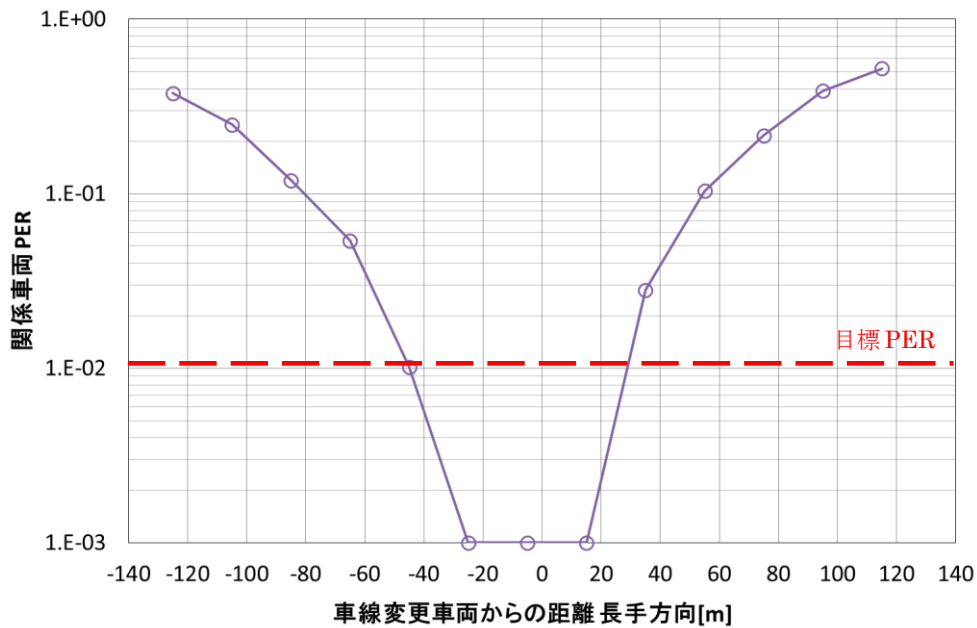


図 4.4-15：関係車両 PER—車線変更車両からの距離特性：UC3
 (ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h)

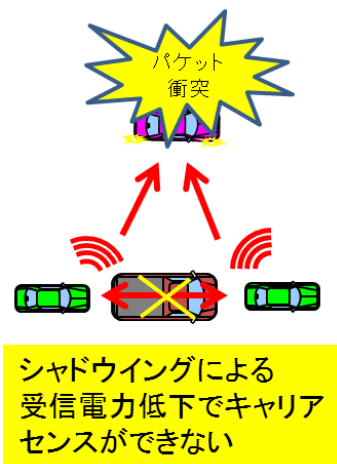


図 4.4-16：パケット衝突の発生イメージ

上記、パケット衝突の 2 つの要因を回避する対策技術として、本調査検討では返信のタイミングを調整する機能を検討する。

図 4.4-17 に、UC3 の返信タイミング調整機能における待機時間を示す。本方式では、返信範囲の上流側を基準(待機時間 0sec)とし、距離に比例した待機時間(1m 当たり 0.2msec)を設ける。この対策によって、1 つの要求に対する返信パケットの衝突確率の改善が期待される(複数の要求が同時発生した場合の対策ではない)。

図 4.4-18 に、返信タイミング調整機能適用前後（ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h）の PER—車線変更車両からの距離特性を示す。同図より、返信タイミング調整方式適用によって車線変更車両遠方の通信品質が大きく改善し、目標通信品質を満足することが確認できる。返信タイミング調整機能は一つの要求に対する返信の packets 衝突回避に大いに有効であることが分かる。

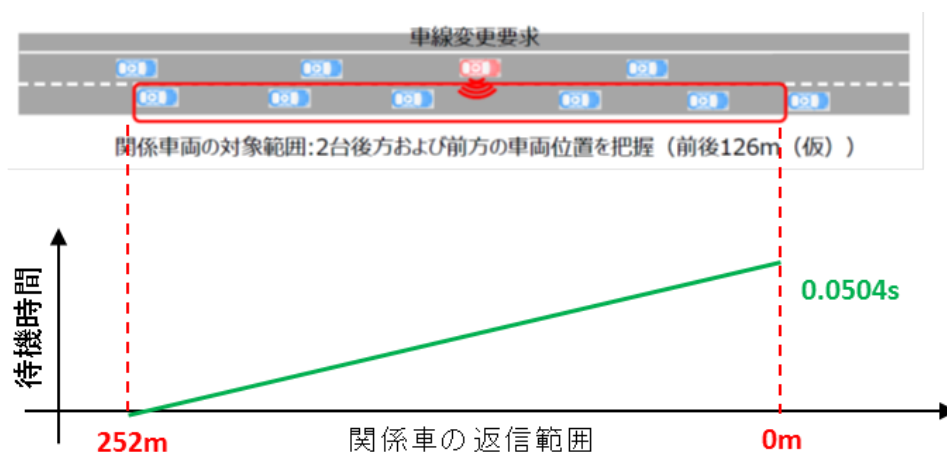


図 4.4-17：返信タイミング調整における待機時間：UC3

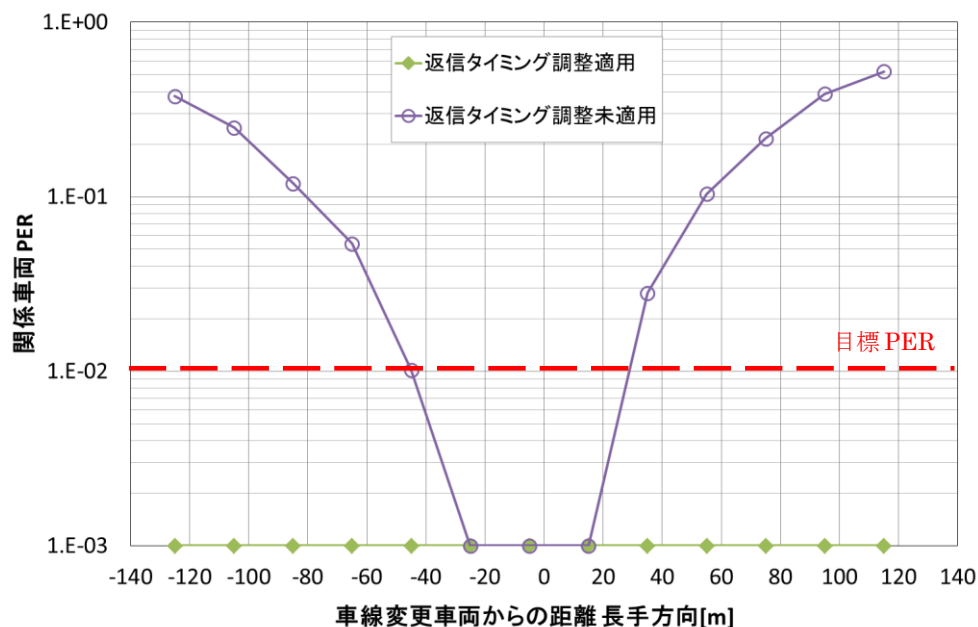


図 4.4-18：関係車両 PER—車線変更車両からの距離特性：UC3

返信タイミング調整機能適用前後

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送、40km/h)

●UC2-1-2

通信要件で対象とする合流、本線の車線数は、それぞれ 2 車線、3 車線である。しかし、通信要件を満足しない場合にどの車線数までであれば、サービスの提供が可能か明らかとするため、合流は 1~2 車線、本線は 1~3 車線のすべての条件について、通信性能の確認を行う。

表 4.4-3 に、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、16QAM、5 連送における各車線数の PER を示す。同表より、車線数に関わらず通信要件を満足しないことが分かる。

エラーの主要因として、以下の 4 点が挙げられる。

- ① 返信車両はほぼ同時に CSMA/CA を開始するため、返信車両が多い場合 CW (CW=63 の場合) によるランダムバックオフでは十分に送信タイミングの重複が回避できない。
- ② 同一車線に大型車が存在する場合、エリア両端の車両同士は隠れ端末となるため、チャンネルがビジーであることを判断できずに送信を開始する (図 4.4-16)。
- ③ 合流車両は加速レーン起点の 5sec(仮)前から到達するまでの間 100ms 毎に要求を送信しつづけるため、返信車両は 100msec の間に複数の返信が必要となる。そのトラフィックの増加に伴い、①、②の影響が大きくなる。
- ④ 要求車両、返信車両間に遮蔽が発生した場合、受信電力が小さくなり、パケットエラーが増加する。

表 4.4-3 : 各車線数の PER 一覧 : UC2-1-2

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、16QAM、5 連送)

返信範囲 (本線側)	要求範囲 (合流側)	
	1車線	2車線
1車線	○	○
2車線	×	×
3車線	×	×

対策技術として、まず、UC3 と同様に返信の返信タイミング調整機能を適用する。図 4.4-19 に、UC2-1-2 の返信タイミング調整機能における待機時間を示す。単位距離当たりの待機時間 (1m 当たり 0.2msec) を統一しているため、返信範囲の異なる UC3 と最大の待機時間は異なる。さらに、トラフィックの増大 (エラーの主要因③) への対策技術とし

て返信集約機能を検討する。返信集約機能とは、100msec 以内に複数車両から要求がある場合に、都度返信は行わず、1 回の返信に集約する機能である。

表 4.4-4 に、返信タイミング調整機能を適用した、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、16QAM、5 連送における各車線数の PER を示す。同表より、少ない車線数であれば通信品質が目標値を満足するものの、車線数が大きい条件については、目標品質を満足しないことが分かる。これは、トラフィックが多いためにパケット衝突が十分に軽減されていないこと、さらに、遮蔽発生確率が車線数に応じて大きくなることが原因として考えられる。

表 4.4-5 に、返信タイミング調整及び返信集約の両機能を適用した、ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、16QAM、5 連送における各車線数の PER を示す。同表より、想定する車線数（合流：2 車線、本線：3 車線）で通信要件を満足することが分かる。

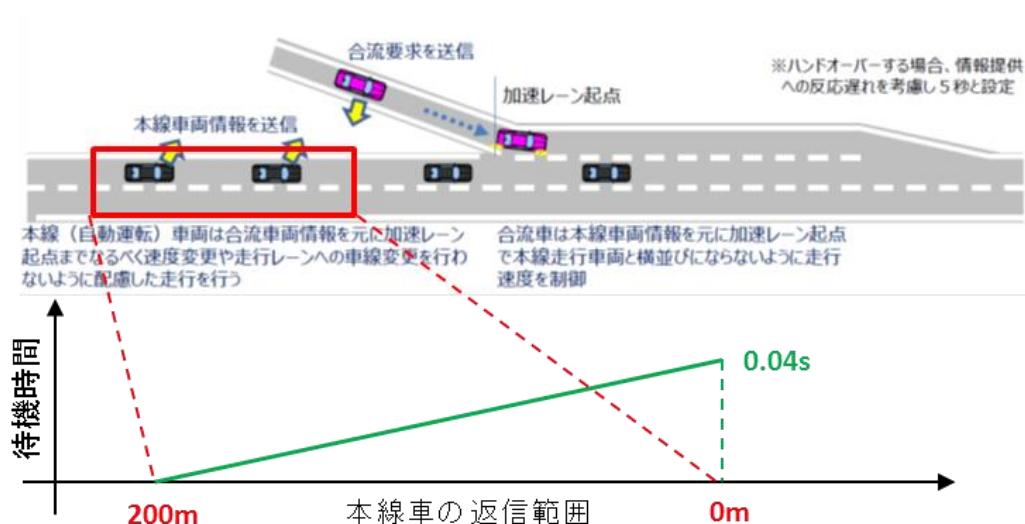


図 4.4-19：返信タイミング調整における待機時間：UC2-1-2

表 4.4-4： 対象車線数毎の PER 一覧：UC2-1-2

返信タイミング調整機能適用

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、16QAM、5 連送)

返信範囲 (本線側)	要求範囲 (合流側)	
	1車線	2車線
1車線	○	○
2車線	○	×
3車線	×	×

表 4.4-5： 対象車線数毎の PER 一覧：UC2-1-2

返信タイミング調整及び返信集約適用

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、16QAM、5 連送)

返信範囲 (本線側)	要求範囲 (合流側)	
	1車線	2車線
1車線	○	○
2車線	○	○
3車線	○	○

表 4.4-6 に、車車間通信 UC に対するシステムレベルの通信性能評価結果まとめを示す。
同表より、以下のことが分かる。

➤ 両候補通信方式

- ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択及び以下の送信制御を適用することで通信要件を満足する
 - ✓ UC2-1-2：返信タイミング調整+返信集約
 - ✓ UC3：返信タイミング調整（車線変更の同時発生や他 UC 混在時の性能確保のためには返信集約の追加適用が望ましい）

表 4.4-6：システムレベルの通信性能評価結果（車車間通信 UC）まとめ

UC No.	候補通信方式			
	ITS FORUM RC-005		ARIB STD-T109	
	セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ [byte]			
	250	27		
1-2-1 後続車へ緊急ハザード*	5	5	5	
1-2-4 緊急 ハザード* 対向車	簡易図形 情報あり	5	5	1 - 5
	簡易図形 情報なし	5	5	1 - 5
2-1-2 合流支援	5※1	5※1	5※1	
3 車線変更	5※2	5※2	1 - 5	

※1: 送信制御として返信タイミング調整および返信集約の両機能が必要

※2: 送信制御として返信タイミング調整の機能が必要

4.5. 複数 UC 混在時の検討

本節では、複数 UC が混在したときの通信性能について評価を行う。

4.5.1. 道路条件・交通流モデル

本調査検討では、複数 UC 混在の一例として、路車間通信 UC と車車間通信 UC が混在した状況を想定する。路車間通信 UC としては UC1-2-4 簡易図形情報あり、車車間通信 UC としては UC3 を想定する。それぞれの選定理由を以下に示す。

【選定理由】

- UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり
 - ・ 路車間通信 UC の中で最もメッセージサイズが大きい
- UC3
 - ・ 道路上のあらゆる場所で発生するため、路車間通信 UC のエリア近傍で発生する可能性がある
 - ・ 複数同時に発生する

図 4.5-1 に、複数 UC 混在のシステムレベルの通信性能評価における道路条件、交通流モデルを示す。本調査検討ではまずキャリアセンスが最大限に働く状況を想定し、UC1-2-4 のエリアと UC3 のエリアの下流端同士が重なる配置とする。

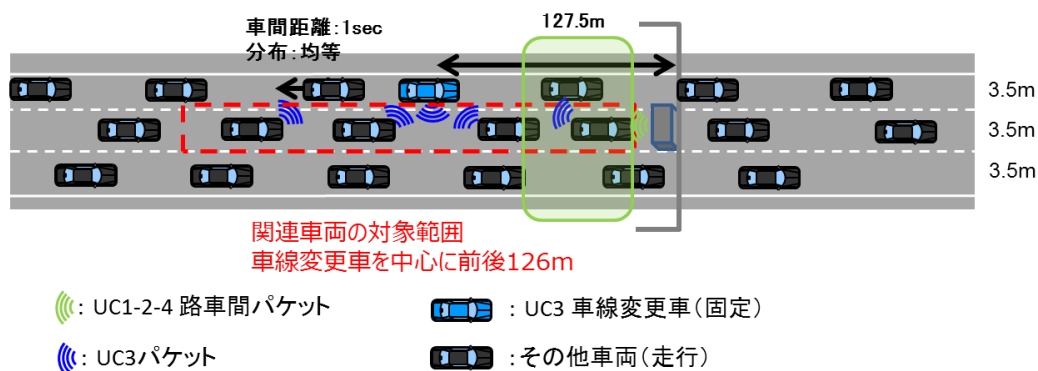


図 4.5-1：道路条件・交通流モデル

(「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在)

4.5.2. 通信性能評価結果（複数 UC 混在時）

複数 UC 混在時の通信性能評価として、以下の 3 つの条件で検討を行う。

- ① 両 UC が 1 つずつ発生

- UC1-2-4 の通信エリア内で UC3 の車線変更車両が 1 台発生
- ② 車車間通信 UC が 1 つ + 路車間通信 UC のメッセージ量を増加
UC1-2-4 のメッセージサイズを拡張
- ③ 路車間通信 UC が 1 つ + 複数の車車間通信 UC が同時発生
UC1-2-4 の通信エリア内で UC の車線変更車両が複数台発生

●ケース①：両 UC が 1 つずつ発生

表 4.5-1 に、UC1-2-4 の通信エリア内で UC3 の車線変更車両が 1 台発生した場合の、それぞれの UC の PER 特性を示す。比較のため、それぞれの UC に対して、単独 UC で評価した場合の PER についても合わせて記載する。同図より、混在させた環境下においてもそれぞれの UC の通信性能は劣化が小さく、通信要件を達成することが分かる。

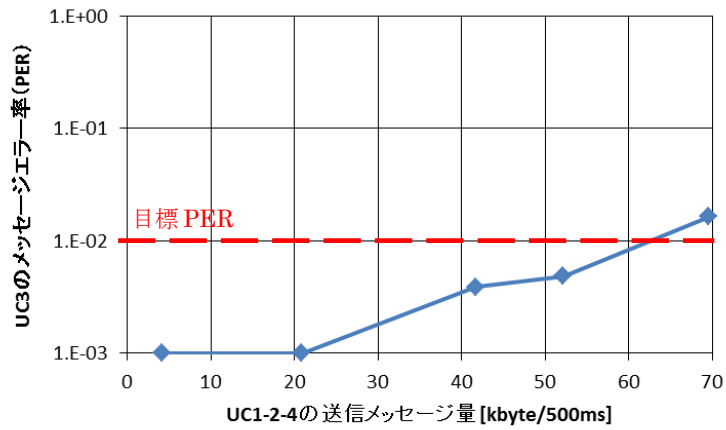
表 4.5-1：PER 特性：「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在 (ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)

UC No.	PER	
	単独 UC	複数 UC 混在
UC1-2-4	3.2E-03	3.4E-03
UC3	1.0E-03	1.0E-03

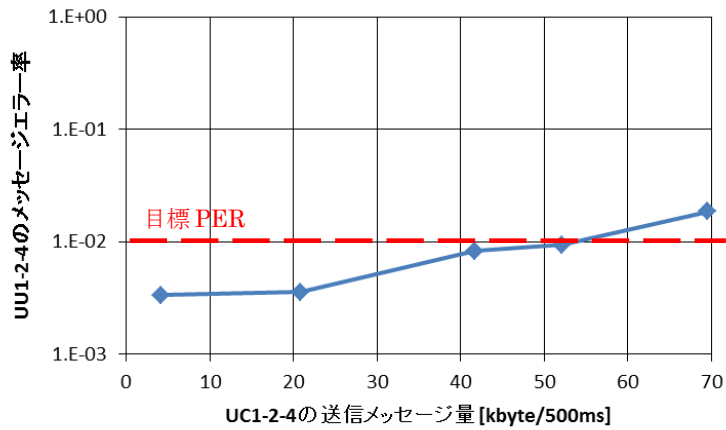
●ケース②：車車間通信 UC が 1 つ + 路車間通信 UC のメッセージ量を増加

図 4.5-2、図 4.5-3 に PER—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性、通信遅延時間—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性を示す。図 4.5-2、図 4.5-3 より、路車間通信 UC のメッセージ量の増加に応じて UC3 の PER、通信遅延時間が大きくなることが分かる。路車間通信 UC のメッセージ量が 50~60kbyte 以上になると、UC3 は通信要件を満たさなくなる。シャドウイング発生時において、UC3 の上流側の返信車両と路側機が隠れ端末となることがエラー増加の主な原因となる。

一方、UC1-2-4 のメッセージ量が 50~60kbyte 以上になると、UC1-2-4 は通信要件を満たさなくなるが、これは、分割パケット数が増加するためであり、UC3 からの影響は小さい (つまり、単独 UC であってもメッセージ量を増加させる際に同様の傾向となる)。



(a) UC3

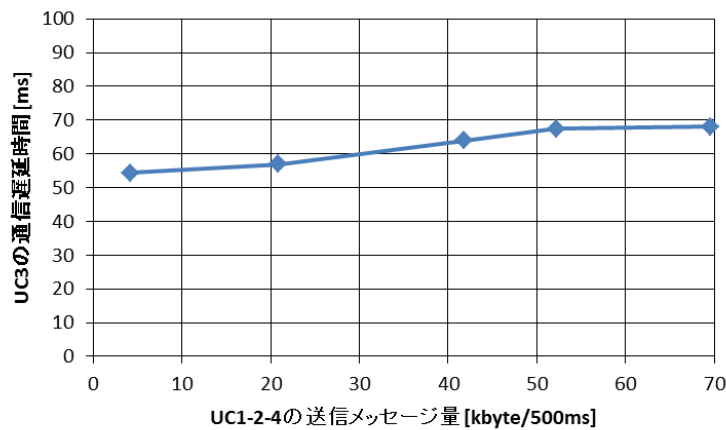


(b) UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり

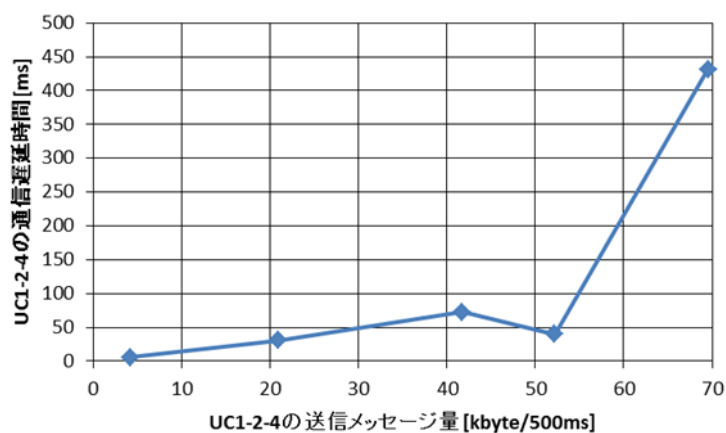
図 4.5-2 : PER—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性

「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)



(a) UC3



(b) UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり

図 4.5-3 : 通信遅延時間—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性

「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在

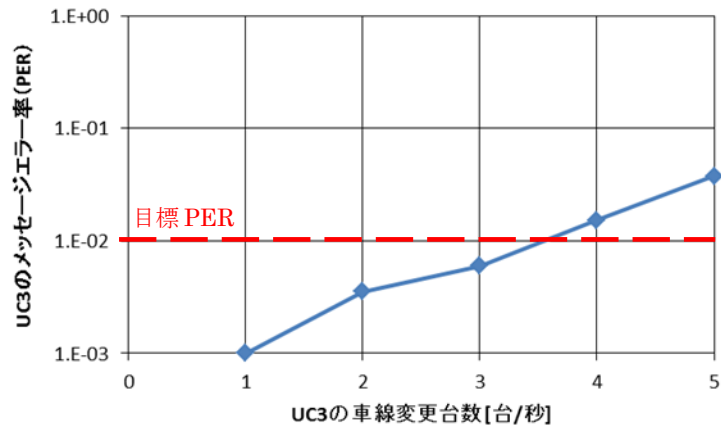
(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)

●ケース③ : 路車間通信 UC が 1 つ + 複数の車車間通信 UC が同時発生

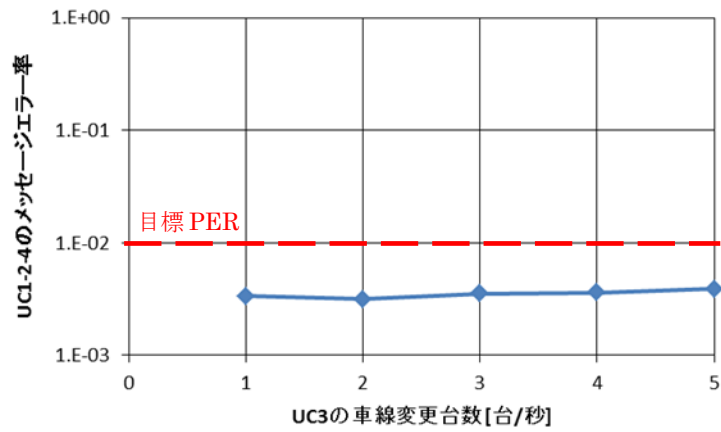
図 4.5-4、図 4.5-5 に、PER—UC3 の車線変更台数特性、通信遅延時間—UC3 の車線変更台数特性を示す。図 4.5-4、図 4.5-5 より、UC3 は同一 UC の車線変更台数の増加に伴い PER が劣化し、4 台以上同時発生すると通信要件を満足しなくなることが分かる。一方、UC1-2-4 は、UC3 の車線変更台数の増加に伴う通信性能の変化は小さい。UC1-2-4 が UC3 の影響を受けにくい主な理由として、以下の 2 点が挙げられる。

- UC1-2-4 の路側機と UC3 の車両が隠れ端末となる距離に比べ、UC1-2-4 の必要通信距離が小さいため、隠れ端末発生時の SINR が大きい
- ITS FORUM RC-005 想定の場合、UC1-2-4 は UC3 よりも実効放射電力が 10dB 大きい

よって、UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報ありは、UC3 の車両台数に関わらず、通信性能を満足することが分かった。



(a) UC3

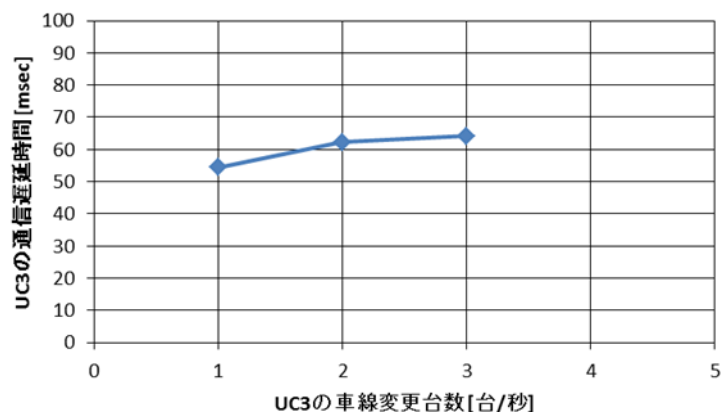


(b) UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり

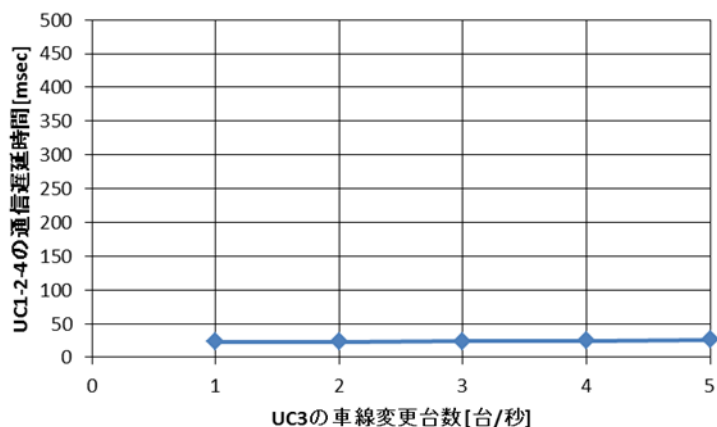
図 4.5-4 : PER—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性

「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)



(a) UC3



(b) UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり

図 4.5-5：通信遅延時間—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性

「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在
(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)

4.6. 優先制御の検討

優先制御の検討では、複数 UC 混在時の通信性能評価の 3 つの条件の内、他の UC が原因で通信性能が劣化した前項のケース②の条件を検討対象とする。優先制御を行うことで通信性能が改善するか評価を行う。

4.6.1. 検討対象とする優先制御方法

本調査検討では、CSMA/CA で適用可能な優先制御方式を検討する必要がある。そのため、IEEE802.11 において優先制御として規定されている EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) を参考に複数 UC 混在時における優先制御を検討、評価する。

EDCA では、送信するデータの種類（カテゴリ）毎に優先度を設定し、その優先度に応じたキューを設ける。そして、アクセス制御時のパラメータであるキャリアセンス時間とバックオフ・アルゴリズムの乱数発生範囲を優先度に応じて変更する。優先度が高いデータに関しては、キャリアセンス時間を短くしバックオフ・アルゴリズムの乱数発生範囲を小さくすることで、送信機会が増え、優先的に送信される。本調査検討では、EDCA のパラメータの内、AIFSN（Arbitration Inter Frame Space Number）、CW を変更した場合の優先制御の効果を検討する。

4.6.2. 通信性能評価結果（優先制御）

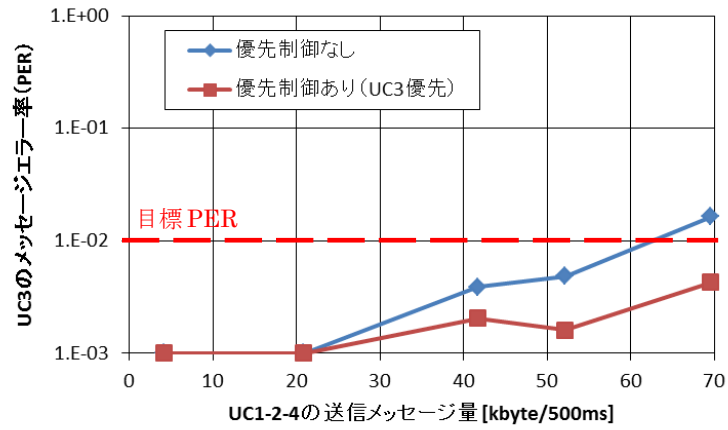
●ケース②：車車間通信 UC が 1 つ + 路車間通信 UC のメッセージサイズを増加

本条件では UC3 を優先した場合について検討する。表 4.6-1 に、優先制御評価時の UC1-2-4、UC3 の EDCA パラメータを示す。UC3 を優先するため、UC3 は単独 UC の評価時のパラメータから変更はせず、優先しない UC1-2-4 のキャリアセンス時間、バックオフ・アルゴリズムの乱数発生範囲を大きくするため、AIFSN、CW をそれぞれ 7、255 と設定する。

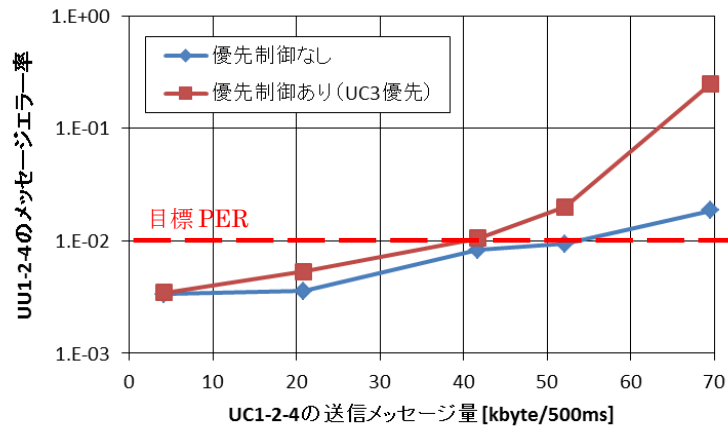
図 4.6-1、図 4.6-2 に、優先制御適用あり／なしの PER—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性、通信遅延時間—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性を示す。図 4.6-2 より、UC1-2-4 のトラフィックの増加に伴う UC3 の通信遅延時間の増加が、優先制御適用後では大きく軽減できていることが分かる。つまり、UC3 の送信を優先できていると考えられる。さらに、図 4.6-1 より、優先度が低い UC1-2-4 の通信品質は劣化するものの、優先制御により UC1-2-4 のトラフィックの増加に伴う UC3 の通信品質の劣化が小さくなることが分かる。優先制御適用前では通信要件を満たさなかった、UC1-2-4 のメッセージサイズが 70kbyte の条件であっても、優先制御適用することで通信要件を満足する。よって、複数 UC 混在時に UC3 を優先する場合、EDCA による優先制御が有効であることが分かった。

表 4.6-1：優先制御パラメータ（UC3 優先）

UC No.	CW	AIFSN
1-2-4	255	7
3	63	2



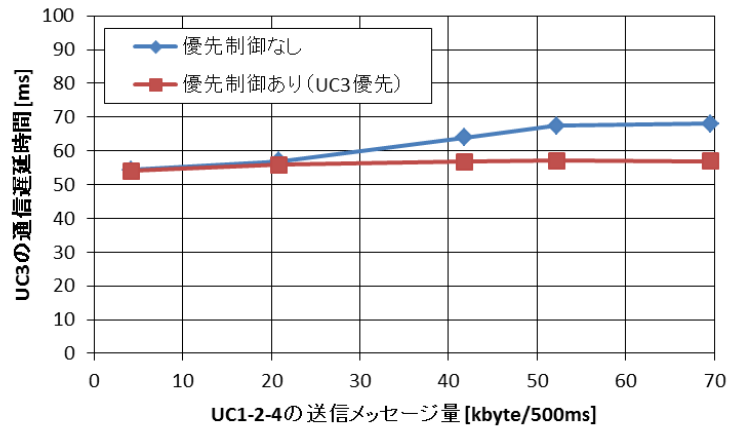
(a) UC3



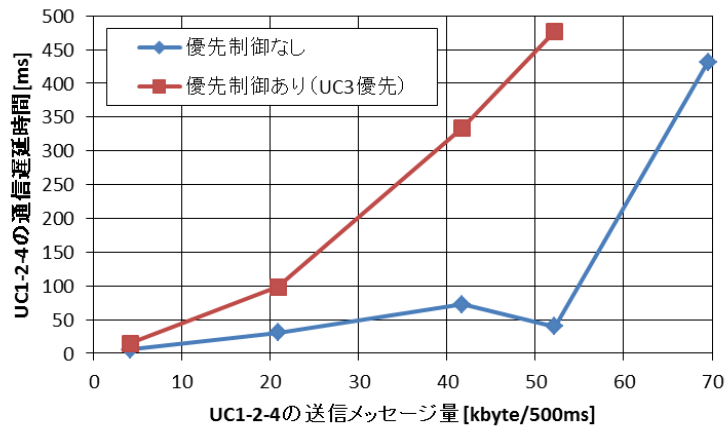
(b) UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり

図 4.6-1 : PER—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性
「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在
優先制適用あり／なし

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)



(a) UC3



(b) UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり

図 4.6-2：通信遅延時間－路車間通信 UC の送信メッセージ量特性
「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在
優先制適用あり／なし

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)

4.7. メッセージセットの拡張性検討

今後の UC の追加変更を見据えて、3 章にて検討したメッセージセットの自由領域の拡張性を考慮した検討を行う。

本調査検討では、検討例として路車間通信 UC (ダウンリンク) 想定で各候補通信方式の通信可能なメッセージサイズ上限の見積りを行う。

➤ 検討条件

- 各候補通信方式ともメッセージサイズの増加にともないメッセージを分割して複数パケットで送信する。複数の分割パケットを送信する際、データ更新周期内に、

かつ通信可能エリア通過中に送信を完了する必要がある。本検討ではデータ更新周期に対する送信可能な最大メッセージサイズを見積もる。

- 120km/h で走行する車両が通信エリア通過中にすべての分割パケットの受信に成功する確率が 99%以上となるメッセージサイズを候補通信方式毎に評価する。
- なお、ARIB STD-T109 ベースの候補通信方式に関しては、以下の ARIB STD-T109 で規定される路側機（基地局）の送信時間制限を適用して評価する。

図 4.7-1 に、候補通信方式毎のエリア通過中に通信可能な最大メッセージサイズの見積り結果を示す。

同図より、全候補通信方式において、データ更新周期を長くしても通信可能なメッセージサイズに上限値があることが分かる。これは、分割パケット数の増加に応じて全分割パケットの受信に成功するために必要な通信距離が減少（必要な受信電力が増加）するためである。

また、各候補通信方式の最大メッセージサイズを比較すると、ITS FORUM RC-005（オーバーヘッド 56byte）のメッセージサイズが最も大きくなることが分かる。

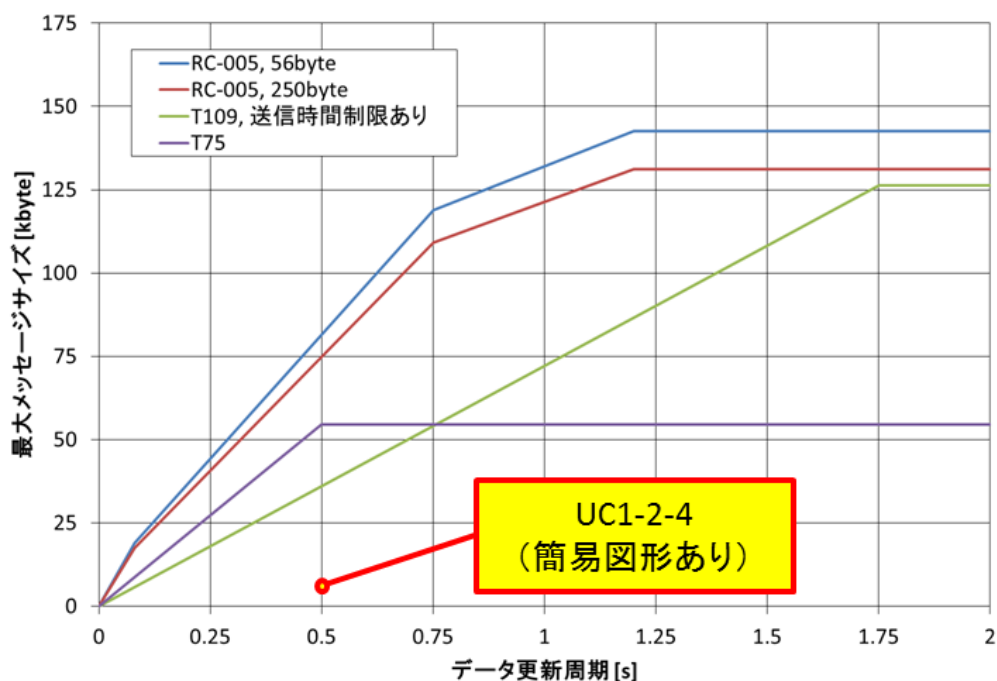


図 4.7-1：最大メッセージサイズーデータ更新周期特性（路車間通信 UC ダウンリンク）

4.8. 自動走行支援通信の通信性能評価のまとめ

本章では、実環境を想定した電波伝搬モデルの選定を行った上で、机上検討及びシミュレーション評価により通信性能評価を行い、各 UC の通信要件を満足できるか確認を行った。通信性能評価から、各候補通信方式が通信要件を満足するためのプロトコルパラメータ及び追加機能を整理し、表 4.8-1 に通信性能評価まとめとして示す。同表より、以下のことが分かった。

●候補通信方式：ITS FORUM RC-005

- 路車間通信 UC
 - ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択することで通信要件を満足する
- 車車間通信 UC
 - ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択及び以下の送信制御を適用することで通信要件を満足する
 - ✓ UC2-1-2：返信タイミング調整+返信集約
 - ✓ UC3：返信タイミング調整（車線変更の同時発生や他 UC 混在時の性能確保のためには返信集約の追加適用が望ましい）

●候補通信方式：ARIB STD-T109

- 路車間通信 UC
 - ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択することで通信要件を満足する
- 車車間通信 UC
 - ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択、以下の送信制御を適用及び規格の見直し（送信時間制限の見直し）をすることで通信要件を満足する
 - ✓ UC3：返信タイミング調整（車線変更の同時発生や他 UC 混在時の性能確保のためには返信集約の追加適用が望ましい）

●候補通信方式：ARIB STD-T75

- 路車間通信 UC
 - ・ 路車間通信 UC については、UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択及び以下の送信制御を適用することで通信要件を満足する

以下に、対策技術の追加検討等の今後の課題を示す。

●候補通信方式：ITS FORUM RC-005

- 無線回線設計で想定する最も厳しい電波伝搬環境下での、最大通信距離と必要通信距離のギャップに対する対策の検討が必要
 - ・ 対策案①：受信感度の見直し
 - ✓ IEEE802.11 策定当時の雑音指数 NF や固定劣化の見直し
 - ✓ 適用にあたっては商用時の実現性も合わせて検討が必要
 - ・ 対策案②：中継の適用
 - ✓ 全車両が中継を行うと通信トラフィックが増加し性能が劣化する可能性があるため、中継車両の選択、制限方法の検討が必要

●候補通信方式：ARIB STD-T109

- 本調査検討では対象外とした既存システム（安全運転支援）との同一チャネルでの共存検討の実施が必要

●候補通信方式：ARIB STD-T75

- マルチパスフェージングの影響の確認及び対策が必要
- 既設インフラを自動走行向け通信に使用する際には、フェージングの影響が十分小さいことの確認が必要
- 新たに設置する際には、フェージングの影響が十分小さくなるアンテナ設計や設置が必要

表 4.8-1：通信性能評価まとめ
目標通信性能による判定

○：最悪条件での回線マージン0dB以上、かつシステムレベルでの平均PER<1E-2、通信遅延が要件以下
△：最悪条件での回線マージン0dB未満、システムレベルでの平均PER<1E-2、通信遅延が要件以下

UC(ユースケース)		通信形態	候補通信方式			
			ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109	ARIB STD-T75	
緊急 ハザード	1-2-1	車車間	△	△	△	
	1-2-2	路車間	○	○	○	
	1-2-3	路車間	○	○	○	
	1-2-4	簡易図形 情報あり	路車間	○	○	○
			車車間	△	△※3,※4	△
		簡易図形 情報なし	路車間	○	○	○
		車車間	○	○	△	
合流	2-1-1	路車間	○	○	○	
	2-1-2	車車間	△※1	△※1,※3	△	
	2-2	路車間	○	○	○	
車線変更	3	車車間	△※2	○	△	

※1:送信制御(返信タイミング調整+返信集約)の適用 ※2:送信制御(返信タイミング調整)の適用
※3:送信時間制限の見直しが必要 ※4:パケット分割機能の追加が必要

5. 自動走行支援通信の有効性の検証

本章では、メッセージセット案及びプロトコル案に基づく自動走行支援通信による効果を検証・評価する。具体的には、通信活用により車両挙動の安定化が、自律型システムのみに基づく場合に比べてどのように改善するかを、机上検討及びシミュレーションにより検証・評価する。

5.1. 検証方法

本節では、自動走行支援通信（以下、通信）の有効性の検証方法について説明する。本検討では、合流時において通信を導入することにより、通信がない場合より車両の挙動が安定して走行できるようになることを確認する。ここで、有効性が期待できるとは車両の挙動が安定することであり、具体的には、低い加減速度で車両が合流できることである。すなわち、合流に伴う各車両の最大加減速度についての累積分布関数を統計的に求め、通信がある場合の累積分布関数の概形が、通信がない場合より低い方向に移動すれば、車両の挙動が安定し、通信の有効性が期待できると評価する。

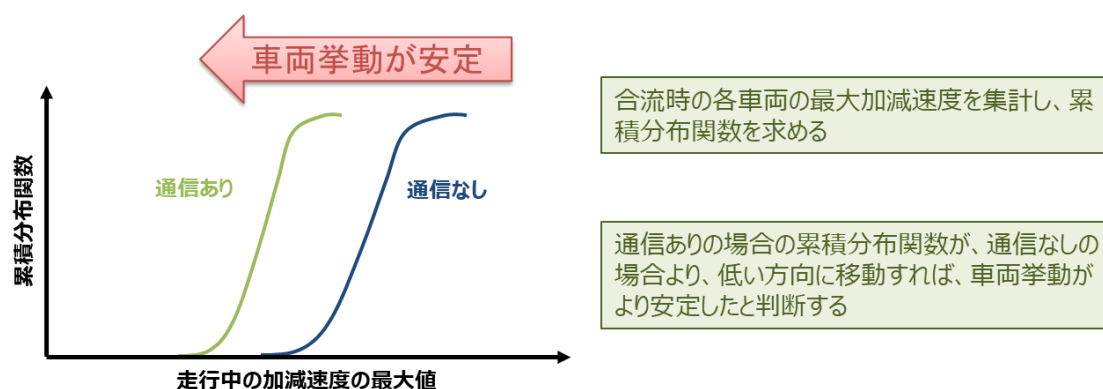


図 5.1-1：車両挙動の安定性の評価方法

本合流支援システム（以下、本システム）を導入するためには、本線側を走行する車両（以下、本線車両）の情報を取得する手段と、合流側を走行する車両（以下、合流車両）へ当該車両情報を伝達する手段が必要となる。本検討では、本線側にセンシングエリアを設け、レーザレンジファインダ等の車両検出技術を適用することで、センシングエリア内の本線車両の位置と速度を取得できるものとする。

取得した車両情報は有線通信等を経由し合流側の路側機まで伝送され、路側機の通信エリアに侵入した合流車両に向けて路車間通信により伝送する。

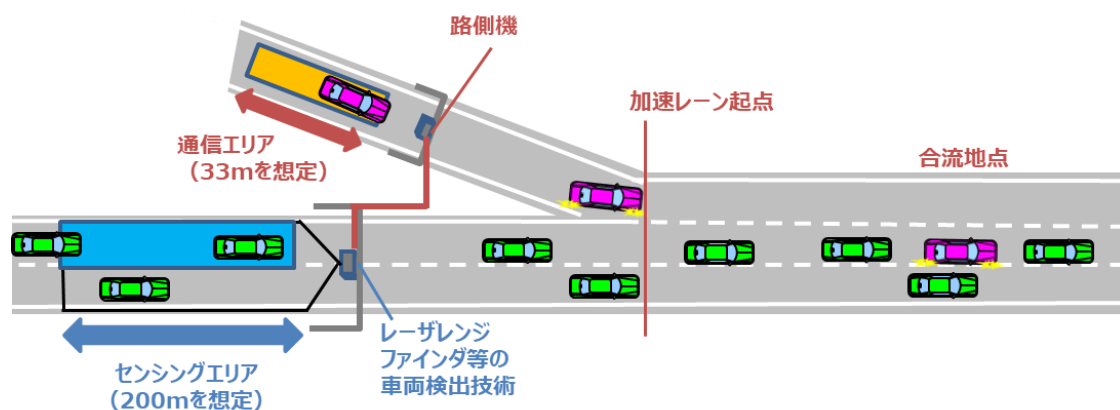


図 5.1-2 : システム構成

合流車両は当該車両情報を受信することで、センシングエリア内を走行する本線車両の状況が把握できるため、望ましい合流地点を後述の計算方法から求めることができる。通信がある場合は、加速レーン起点に到達する前の路側機を通過する地点から、望ましい合流地点に到達するための合流処理を開始できる。

一方、通信がない場合は、加速レーン起点に到達してから本線車両の位置と速度を確認し、合流処理を開始しなければならない。このとき、合流処理は加速レーンの終端までに完了する必要があるため、本線車両の位置、速度及び加速レーン長によっては、大きな加減速を伴って合流せざるを得ない場合が発生する。

したがって、通信がある場合の方が合流に準備する走行時間が設けられるため、通信がない場合より緩やかに合流できることが期待できる。

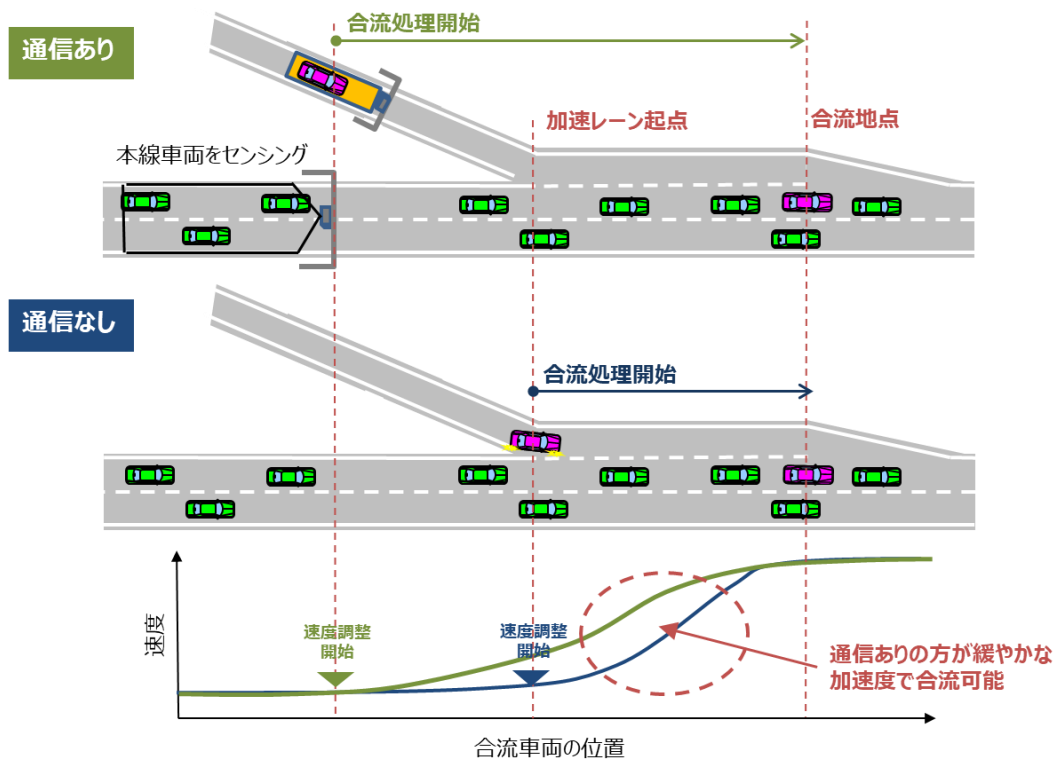


図 5.1-3：通信あり／通信なしにおける車両挙動の違い

ここで、合流車両が加速レーン起点に到達したときに本線車両と横並びになる場合に、合流に伴う大きな加減速が発生すると考えられる。通信の導入により合流に準備する走行時間が確保できるため、この時間を利用して横並びを回避するように速度調整ができれば、合流時の加速度を低減できると考えられる。

横並びを回避するためには、本線車両が存在しない時刻に合わせて合流車両が加速レーン起点に到達すればよい。本線車両が等速で走行することを仮定すれば、本線車両の位置と速度の情報から、本線車両が加速レーン起点に到達する時刻を求めることができる。逆に、本線車両が存在しない時刻も求めることができる。

以上より、本検討では、通信の導入により得られる本線車両の情報を利用し、できる限り緩やかな加速度で本線と速度を合わせつつ、本線車両が存在しない時刻に加速レーン起点に到達するように合流車両の加速度を調整する方法を考え、それが有効であるのかを検証することを目的とする。

5.2. 路側機及びセンサーの設置条件の検討

本節では、シミュレーションによる自動走行支援通信の有効性の検証・評価に先立ち、路車間通信による合流支援 UC (UC2-1-1) における路側機及びセンサーの設置条件を机上検討する。

5.2.1. 机上検討の方法

以下に、本机上検討を行う際の条件を示す。

- ✓ 合流支援 UC2-1-1 の通信により、加速レーン起点に到達するまでの速度や到達タイミングの調整（以下、速度制御）が可能となる路側機の設置位置（加速レーン起点までの距離）・通信距離、センサーの設置位置・検知距離等の関係（以下、設置条件）を検討する
- ✓ 通信活用時の加速レーン起点までの速度制御方法を変えた場合の設置条件を比較
- ✓ 道路としては都市高速、都市間高速を想定

5.2.2. 検討対象とする通信活用時の速度制御ケース

通信によりセンサー検知範囲の車両情報を取得してから加速レーン起点到達までの合流車両の加減速による速度制御方法としては、以下の3ケースを想定してケース毎の設置条件を検討する。図 5.2-1 に、各速度制御ケースの制御方法を示す。

- ケース①：速度調整あり、タイミング調整なし
 - ・ 加速レーン到達時の走行速度をセンサー検知範囲の本線車両の速度に近づける
 - ・ ただし、加速レーン到達タイミングは、センサー検知範囲の本線車両のタイミングに合わせる必要なし
- ケース②：速度調整あり、タイミング調整あり（横並びを許容）
 - ・ 加速レーン到達時の走行速度をセンサー検知範囲の本線車両の速度に近づける
 - ・ 加速レーン到達タイミングはセンサー検知範囲の本線車両に合わせる。ただし、タイミングを合わせた結果、横並びになる状況が発生する可能性あり
- ケース③：速度調整あり、タイミング調整あり（横並びを回避）
 - ・ 加速レーン到達時の走行速度をセンサー検知範囲の本線車両の速度に近づける
 - ・ 加速レーン到達タイミングはセンサー検知範囲の本線車両に合わせる。さらに、横並びを回避するタイミングで加速レーン起点に到達

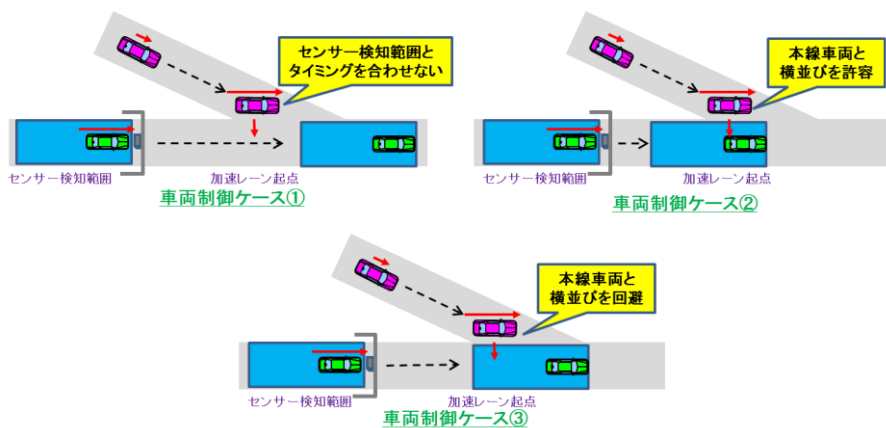


図 5.2-1：検討対象とする速度制御ケース

5.2.3. 机上検討の想定条件

設置条件を机上検討する上で想定する本線車両、合流車両、及び本線上のセンサーに関する条件を以下に示す。

- 本線車両
 - ・ 自由流に近い状態で一定速度 V で走行
- 合流車両
 - ・ 通信により本線車両の状況を把握するまでは一定速度 v_0 で走行
 - ・ 通信後、速度制御等の処理時間経過するまでの速度 v_1 は v_0 と同じ
 - ・ 加速レーン起点までの速度制御
 - ✓ 加速レーン起点における走行速度 v_2 を本線車両に近づけて加速レーン起点に到達するように加速・減速を実施
 - ✓ 【速度制御ケース③のみ】上記かつ本線車両との車間距離が最小車間距離以上となるように加速・減速を実施
- 本線上のセンサー
 - ・ 検知エリア内の本線車両の走行位置、速度を常に把握
 - ・ 検知エリア内を少なくとも1台の車両が走行

5.2.4. 設置条件に影響するパラメータ

路側機及びセンサーの設置条件は、路側機の通信距離や車載機のアンテナ設置位置、車両の長さや加減速の範囲等により異なる。図 5.2-2 及び表 5.2-1 に、本机上検討における設置条件に影響するパラメータとその値を示す。

同表に示すパラメータ値に対する路側機の設置位置（加速レーン起点までの距離） d とセンサーの設置位置 D の関係を設置条件として求める。

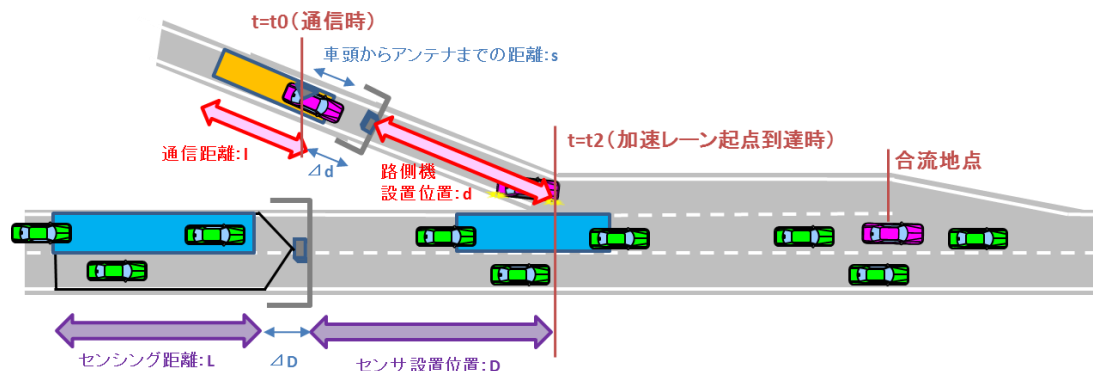


図 5.2-2 : 設置条件に影響するパラメータ

表 5.2-1：設置条件に影響するパラメータの値

パラメータ		文字	値		備考
			普通車	大型車	
路側機	通信距離	l	33.3m		120km/h × 1sに相当
	アンテナから通信エリアまでの距離	△d	0m		オフセット量
車載機	車頭からアンテナまでの距離	s _i	5m	2m	
車両	車長	r _i	5m	12m	
	最大加速度	α	0.2G	0.15G	G:重力加速度
	最大減速度	β	0.25G	0.15G	
センサー	センシング距離	L	200m		
	センサーからセンシングエリアまでの距離	△D	0m		オフセット量
車両制御	処理時間	△t	1.5s		センシング、通信による処理遅延含む
	最小車間距離	w _{min}	10m		速度制御ケース③の場合

5.2.5. 検討対象とする道路ケース

検討対象とする道路ケースは以下の3ケースとする。表 5.2-2 に、各道路ケースにおける本線車両、合流車両の速度範囲を示す。同表に示すように、合流車両の速度範囲は、通信時の速度 v₀、速度制御中の速度 v、加速レーン到達時の速度 v₂ で異なる。

- ケース(1)：都市高速道路を想定
- ケース(2)：都市間高速道路を想定
 - ・ 本線の速度引き上げとともに合流車線（ランプ）の最大速度が 80km/h に見直された場合を想定
- ケース(3)：都市間高速道路を想定
 - ・ 同 100km/h に見直された場合を想定

表 5.2-2：道路ケースと各位置における速度

パラメータ		文字	道路ケース						備考
			(1)		(2)		(3)		
			最大	最小	最大	最小	最大	最小	
本線車両	走行速度 [km/h]	V	60 ^{※1}	40 ^{※2}	120 ^{※2}	40 ^{※2}	120 ^{※2}	40 ^{※2}	V _{max} ~ V _{min}
合流車両	通信時の走行速度 [km/h]	v ₀	60 ^{※1}	20 ^{※3}	80	40 ^{※2}	100	40 ^{※2}	処理時間経過まで継続。 v _{0_max} ~ v _{0_min}
	速度制御中の走行速度範囲[km/h]	v				20 ^{※3}		20 ^{※3}	処理時間経過～加速レーン起点。 v _{max} ~ v _{min}
	加速レーン到達時の走行速度[km/h]	v ₂		40 ^{※2}		40 ^{※2}		40 ^{※2}	v _{2_max} ~ v _{2_min}

- ※1： 国総研等の検討における想定速度（法定速度）を参考
 ※2： 自動運転向けITS通信活用シーンと通信手順（案）3.1版の想定速度（最大、最小）
 ※3： ETCゲート通過速度と同程度を想定

なお、速度制御による加速レーン起点到達時の合流車両の走行速度 v₂ は、以下のように本線車両の走行速度 V から決定する。すなわち、本線車両速度 V が v₂ の上限 v_{2_max}（下限 v_{2_min}）よりも大きい（小さい）場合は v₂ を上限 v_{2_max}（v_{2_min}）となるように調整し、V が v₂ の速度調整の範囲内のときは v₂ を V とするよう調整する。

$$v2 = \begin{cases} v2_min & V < v2_min \text{ のとき} \\ V & v2_min \leq V \leq v2_max \text{ のとき} \\ v2_max & V > v2_max \text{ のとき} \end{cases}$$

5.2.6. 設置条件の検討結果

上記の速度制御ケース①～③、道路ケース(1)～(3)に対して、表 5.2-1 及び表 5.2-2 に示した評価条件を用いて、各速度制御ケースの制御が可能となる路側機の設置位置（加速レーン起点からアンテナまでの距離） d 及びセンサーの設置位置（加速レーン起点からセンサーまでの距離） D の条件を机上検討（数値計算）により試算した。表 5.2-3 に、試算した設置条件を満足する路側機及びセンサーの設置位置の最小値を示す。次節以降のシミュレーション評価による効果検証は、同図に示す速度制御ケース③、道路ケース(1)及び(2)に対して実施する。

表 5.2-3：設置条件の検討結果まとめ（設置位置の最小値）

設置位置の 最小値		道路ケース					
		(1)		(2)		(3)	
速度制御 ケース	①	d	95m	d	162m	d	265m
		D	—※1	D	—※1	D	—※1
	②	d	95m	d	398m	d	594m
		D	0m	D	532m	D	511m
	③	d	154m	d	638m	d	662m
		D	110m	D	958m	D	842m

※1: 本検討にて想定したように本線車両の速度が一定の場合、センサー設置位置Dに関する制限は特になし

シミュレーション評価による
効果検証を実施

図 5.2-3 に、検討結果例として速度制御ケース③、道路ケース(1)の場合の設置条件の試算結果を示す。同図に示す青線（緑線）の内側が、普通車（大型車）の合流車両に対して、想定する速度制御ケースの制御が可能となる路側機の設置位置 d とセンサーの設置位置 D の範囲を表している。

同図より、最大加速度・減速度が小さい大型車に対する設置条件の方が制限されることが分かる。

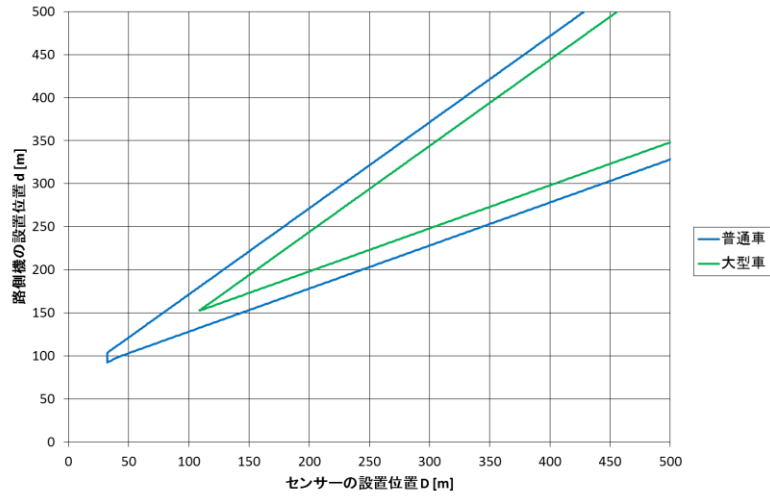


図 5.2-3：設置条件の検討結果例（速度制御ケース③、道路ケース(1)の場合）

図 5.2-4 に、道路ケースによる設置条件の違いを示す（速度制御ケース③の場合）。

同図より、都市間高速道路想定道路ケース(2)及び(3)は都市高速道路想定道路ケース(1)と比べて、設置位置を遠方にする必要があることが分かる。

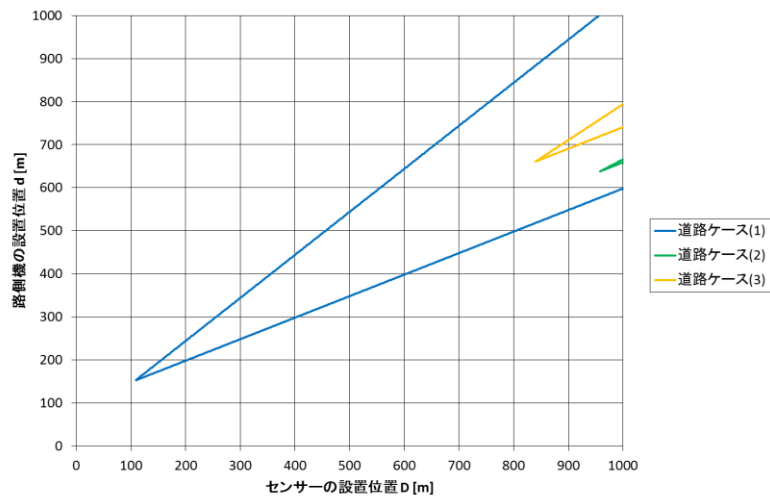
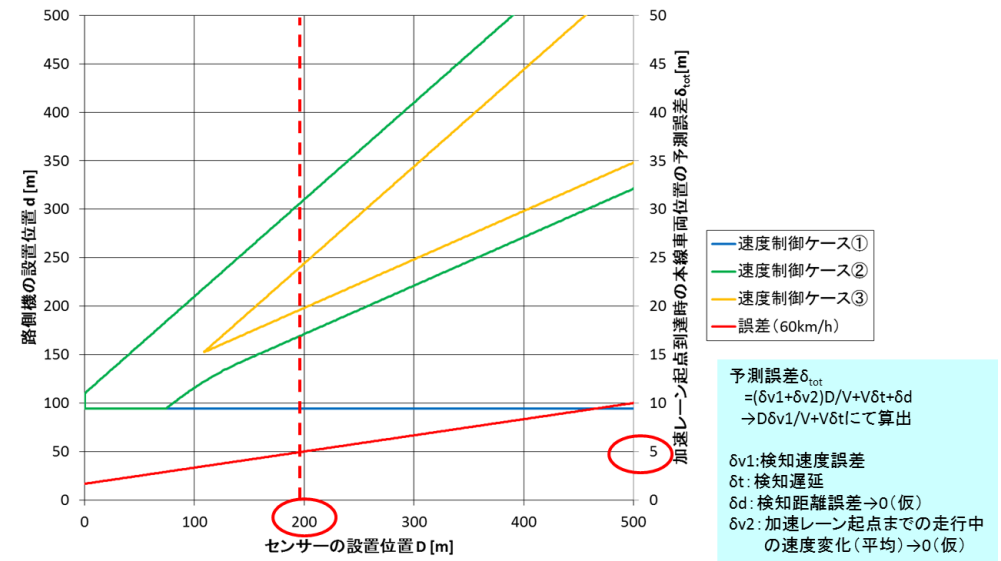


図 5.2-4：速度制御ケースによる設置条件の違い（道路ケース(1)、(2)の場合）

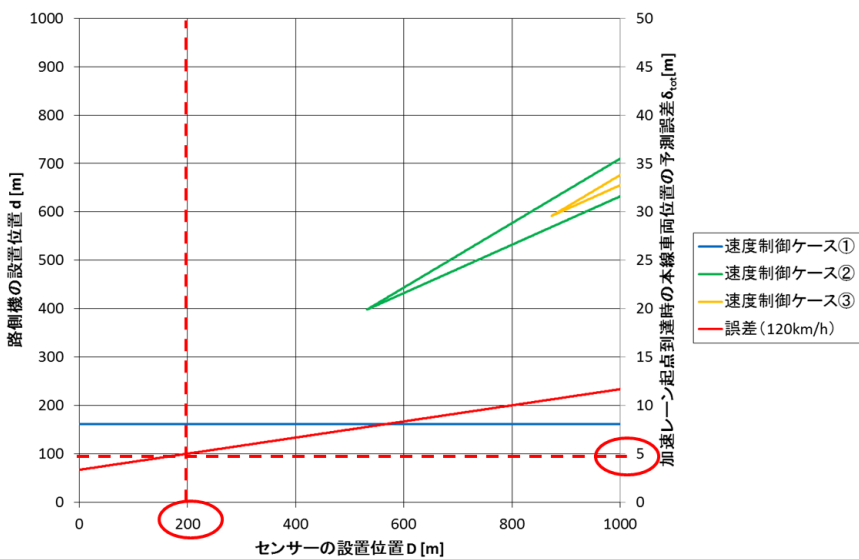
図 5.2-5 に、速度制御ケースによる設置条件の違いを示す(道路ケース(1)及び(2)の場合)。同図には参考値として、センサー検知による本線車両情報をもとにして本線車両が加速レーン起点に到達すると予測したタイミングでの実際の本線車両位置と加速レーン起点との距離差を予測誤差として示している（同図の赤線。センサー検知の速度誤差及び遅延がそれぞれ 1km/h 及び 0.1s、それ以外の誤差要因は十分小さいとした場合）。

同図(a)より、道路ケース(1)の場合、加速レーン起点到達時の本線車両位置の予測誤差を車長 5m (普通車) 以下にするにはセンサー設置位置 D を 200m とする必要があると、速度制御ケース③において、D が 200m 以下となる設置条件があることが分かる。

一方、同図(b)より、道路ケース(2)の場合、本線車両位置の予測誤差 5m とするために必要なセンサー設置位置 D が 200m 以下となる速度制御ケース③の設置条件はないことが分かる。



(a) 道路ケース(1)



(b) 道路ケース(2)

図 5.2-5 : 速度制御ケースによる設置条件の違い

5.3. 車両制御モデル

本節では、シミュレーションに適用する車両制御モデルについて述べる。本シミュレーションは、図 5.3-1 に示すように各走行地点における本線車両と合流車両の挙動に合わせて車両制御モデルを選択する。

本線車両は本線の全域において後述の IDM(Intelligent Driver Model)を適用し走行する。合流車両は各走行地点によって車両制御モデルを変更する。

スタートから通信エリアまでは本線車両と同様に IDM を適用し走行する。通信エリアから加速レーン起点までは、通信がない場合とある場合で変更する。通信がない場合は IDM により走行を継続する。通信がある場合は横並びを回避するための車両制御モデルを適用し走行する。この車両制御モデルのことを本検討では加減速モデルと呼び、合流時の適切な加減速度を求めるために利用する。具体的な計算手順は後述する。なお、加減速モデルの結果を利用し、それぞれの車両が独立して動作すると、本検討では前方車両との車両情報の交換を想定しないため、前方車両との車間が著しく狭くなる場合が発生する。現在の車間が安全車間よりも狭くなった場合には加減速モデルでの走行を諦め、IDM に切り変えて以降の走行を継続する。

加速レーン起点に到着すると、通信がある場合とない場合に限らず、もう一度、加減速モデルにより合流位置を計算する。このとき自車両にはレーザレンジファインダが備わっており、半径 100m 以内に存在する車両は検出できることを前提とし、検出した本線車両の位置と速度から合流位置を再計算する。合流が完了するとシミュレーションの終わりまで IDM により走行する。なお、通信を利用することで既に横並びが回避された状況では、加速レーン起点で再計算しても結果は変わらず、加速レーン起点到達直後に本線に合流できる。

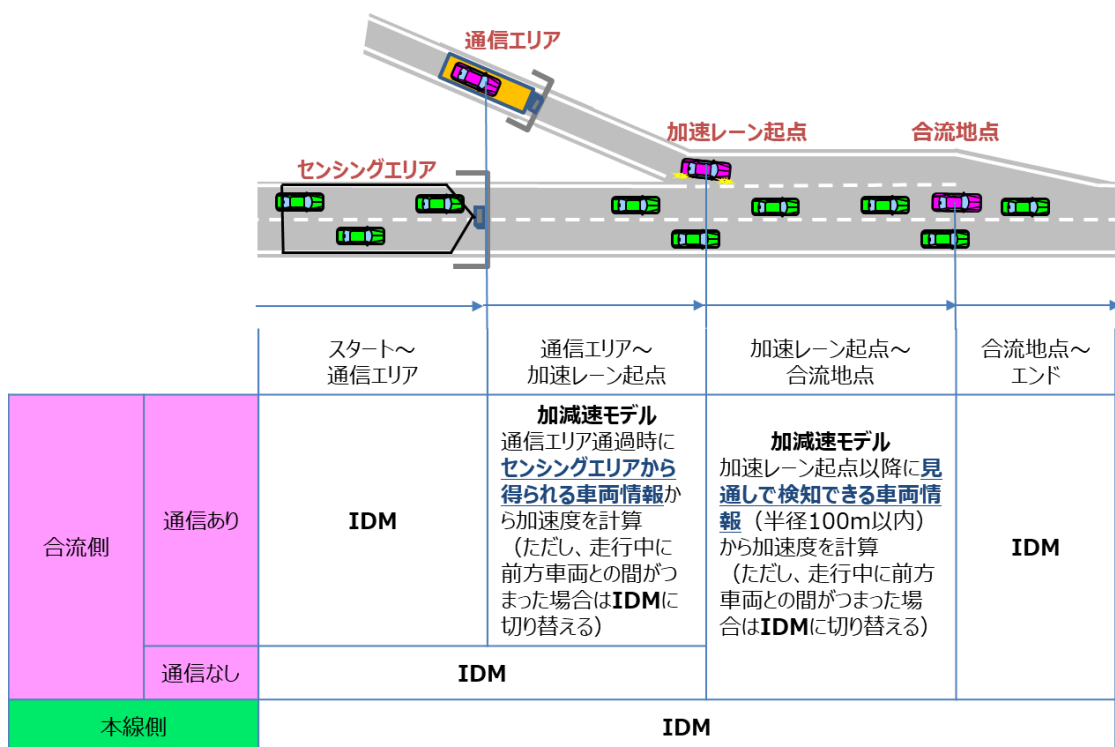


図 5.3-1 : シミュレーションに適用する車両制御モデル

5.3.1. 加減速モデル

加減速モデルは合流地点の座標と合流の候補位置をパラメータとし、合流に伴う加減速度をそれぞれの条件で計算し、その中から最も加減速度の値が小さくなる条件を求めるものである。以下で加減速モデルの具体的な計算手順について述べる。

合流車両が入手可能な情報は、センシングエリア内を走行する本線車両の速度、位置及びこれらの情報を取得した時刻である。センシングエリア内を走行する全ての車両情報は、スナップショットのように一括で取得できるものとする。現在位置は、取得した車両位置に対して、スナップショットを取得してから経過した時間に当該車両が等速で進んだ変位を加算することで推定できる。また、センシングエリアのサイズはわかっているため、本線車両が存在しない時刻(範囲)も推定できる。以下では本線車両が存在しない範囲のことを候補位置 d と呼ぶ。

合流車両が最も低い加減速度で合流地点に到達するためには以下のいずれかの走行パターンになると考えられる。これらのパターンは合流車両と本線車両の現在位置及び速度の関係により決まる。

- 合流側より本線側の走行速度が高い場合のパターン
- ① 加速のみ
- ② 加速し、減速に切り替える

- ③ 減速し、加速に切り替える
- ④ 加速し、等速に切り替える
- ⑤ 等速し、加速に切り替える
- ⑥ 加速し、等速に切り替え、減速に切り替える
- ⑦ 減速し、等速に切り替え、加速に切り替える

●本線側より合流側の走行速度が高い場合のパターン

- ⑧ 減速のみ
- ⑨ 加速し、減速に切り替える
- ⑩ 減速し、加速に切り替える
- ⑪ 減速し、等速に切り替える
- ⑫ 等速し、減速に切り替える
- ⑬ 加速し、等速に切り替え、減速に切り替える
- ⑭ 減速し、等速に切り替え、加速に切り替える

以下では、便宜上、②のパターンの計算手順について説明する。ただし、②のパターンは一般化したものと考えてよく、その他のパターンも同様の手順で計算できる。例えば、①のパターンは、②のパターンに対して、 t_1 が合流地点での時刻 T と同じになり、減速する時間が0となるパターンと考えればよい。

合流車両について合流地点での車両速度 $v(T)$ は式(1)から導ける。なお、最も小さい加減速の値となるためには、加速と減速の値が同じになる。したがって、加速を a とすれば、減速を $-a$ と置くことができる。

$$v(T) = V_{main} = v(0) + at_1 - a(T - t_1) \quad (1)$$

さらに、合流地点 x_{join} は式(2)として導ける。

$$x_{join} = v(0)t_1 + \frac{1}{2}at_1^2 + (v(0) + at_1)(T - t_1) - \frac{1}{2}a(T - t_1)^2 \quad (2)$$

また、候補位置が T 秒後に等速 V_{main} で走行した場合に到達する距離が $d + x_{join}$ となることから式(3)が導ける。

$$T = \frac{d+x_{join}}{V_{main}} \quad (3)$$

(1)(2)(3)式から加速度 a について解くと、式(4)が導ける。

$$a = \frac{V_{main}(V_{main}-v(0))}{d+x_{join}-2t_1V_{main}} \quad (4)$$

t_1 は下記となる。

$$t_1 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$A = 2(V_{main} - v(0))$$

$$B = -4d$$

$$C = \left\{ -2x_{join} + (V_{main} + v(0)) \left(\frac{d + x_{join}}{V_{main}} \right) \right\} \left(\frac{d + x_{join}}{V_{main}} \right)$$

ここで、 x_{join} と d をパラメータとし、 x_{join} と d を変更しながら式(4)に代入していき、その中から最も加減速度が小さくなる場合の値を、車両制御に用いる加減速度 a とする。

合流地点に到達するときに、加速、減速、加減速のいずれかが最も小さくなる条件を候補位置から求める

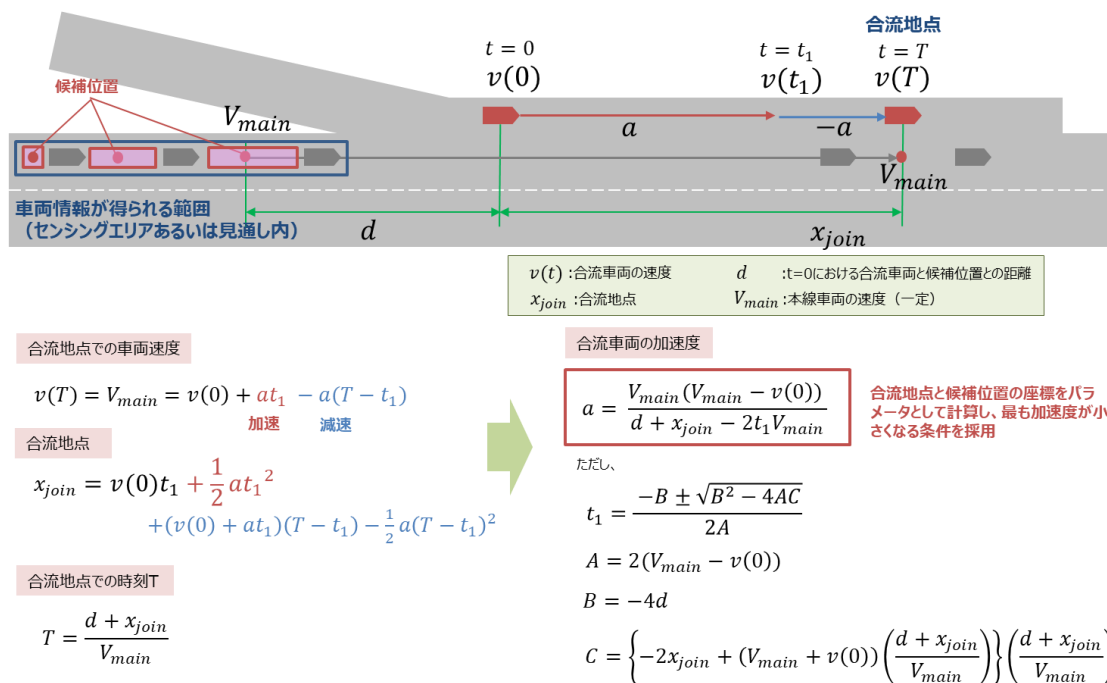
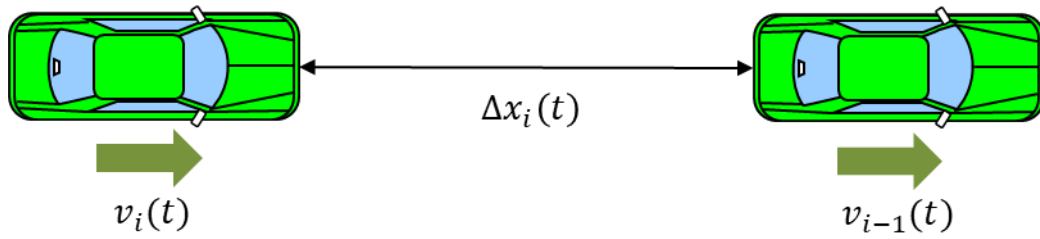


図 5.3-2 : 加減速モデルによる車両制御

5.3.2. IDM

IDMは「自車両の速度」「前方車両の速度」「自車両と前方車両との車間」から、前方車両との車間を調整するための加減速度を求める車両制御モデルであり、車間制御を行う際に一般的に利用されている。



$$\frac{dv_i(t)}{dt} = a \left\{ 1 - \left(\frac{v_i(t)}{V_{max}} \right)^4 - \left(\frac{desired\ gap}{\Delta x_i(t)} \right)^2 \right\}$$

$$desired\ gap = s_0 + T v_i(t) + \frac{v_i(t)(v_i(t) - v_{i-1}(t))}{2\sqrt{ab}}$$

パラメータ	記号	設定値
最大速度	V_{max}	各評価条件の車両の上限速度
安全車頭時間	T	1.6 [sec]
最大加速度	a	普通車 : 0.2G [m/s ²] 大型車 : 0.15G [m/s ²]
最大減速度	b	普通車 : 0.25G [m/s ²] 大型車 : 0.15G [m/s ²]
最低車間距離	s_0	2.0 [m]

G=9.80619920[m/s²]

図 5.3-3 : IDM による車両制御

5.4. 有効性のシミュレーション結果

5.4.1. 評価条件と評価対象

図 5.4-1 にシミュレーションの評価条件を示す。

パラメータ		文字	値		備考
			普通車	大型車	
路側機	通信距離	l	33.3m		120km/h × 1sに相当
	アンテナから通信エリアまでの距離	Δd	0m		オフセット量
車載機	車頭からアンテナまでの距離	s_i	5m	2m	
車両	車長	r_i	5m	12m	
	最大加速度	α	0.2G	0.15G	G:重力加速度
	最大減速度	β	0.25G	0.15G	
センサー	センシング距離	L	200m		
	センサーからセンシングエリアまでの距離	ΔD	0m		オフセット量
車両制御	処理時間	Δt	1.5s		センシング、通信による処理遅延含む
	最小車間距離	w_{min}	10m		速度制御ケース③の場合

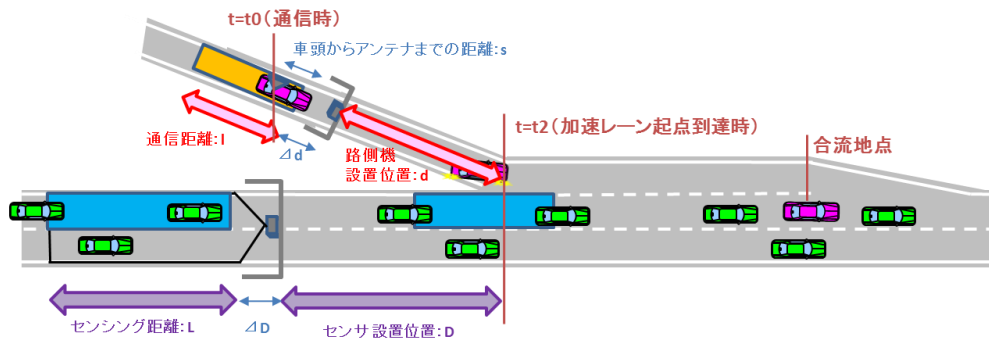


図 5.4-1：シミュレーションの評価条件

また、都市高速道路および都市間高速道路の路側機設置位置及びセンサー設置位置について表 5.4-1 に示す。

表 5.4-1：路側機設置位置及びセンサー設置位置

パラメータ	文字	首都高速道路	都市間高速道路
路側機設置位置	d	154m	662m
センサ設置位置	D	110m	842m

5.4.2. 机上検討による設計値とシミュレーションとの関係

本節では、机上検討による設計値とシミュレーションとの関係を確認する。机上検討では、車両が大型車であった場合に、想定される最大の加速度である 0.15G 以下で合流できるように路側機とセンシングエリアの設置位置を設計した。机上検討の設計通りに動作するかは、条件を同じにしてシミュレーションを実行すれば確認できる。図 5.4-2 に示すように机上検討の前提と同等の車両制御モデルを設定し、シミュレーションによる妥当性を確認する。

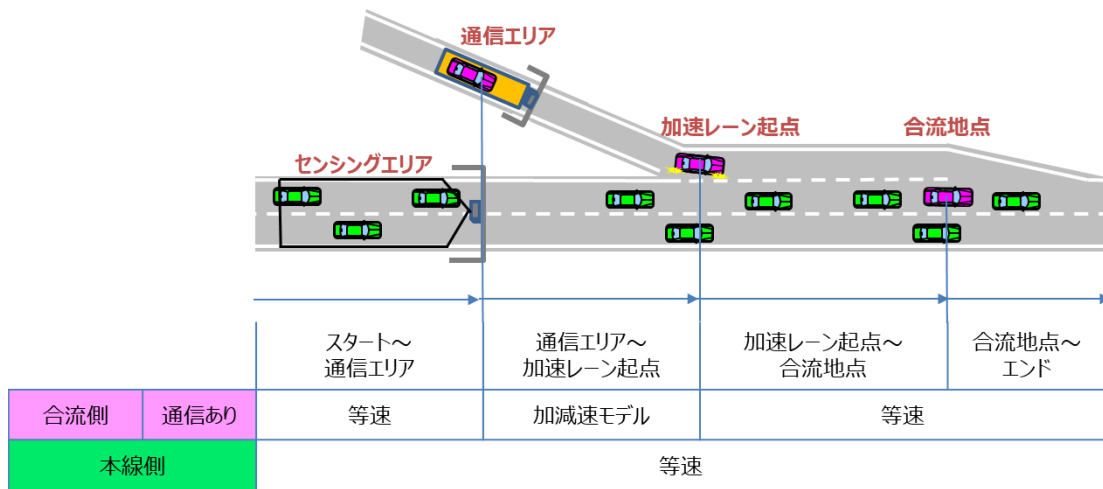


図 5.4-2：机上計算と同等となる車両制御モデル

結果を図 5.4-3 に示す。机上検討では想定される最大の加速度（最悪のケース）が 0.15G 以下になるように設計されているため、結果の累積分布関数は 0.15G 以下で 1 にならないとはならない。本結果より、いずれの車両発生間隔の条件においても設計通りに全車両の加速度の最大値は 0.15G 以下となることが確認できる。したがって、机上検討及び同条件で行ったシミュレーションの妥当性が確認できる。

次節以降は、図 5.3-1 に示すように、実際の車両挙動に近い IDM を動作させ、大型車の発生頻度を 20%にした場合の結果について示す。

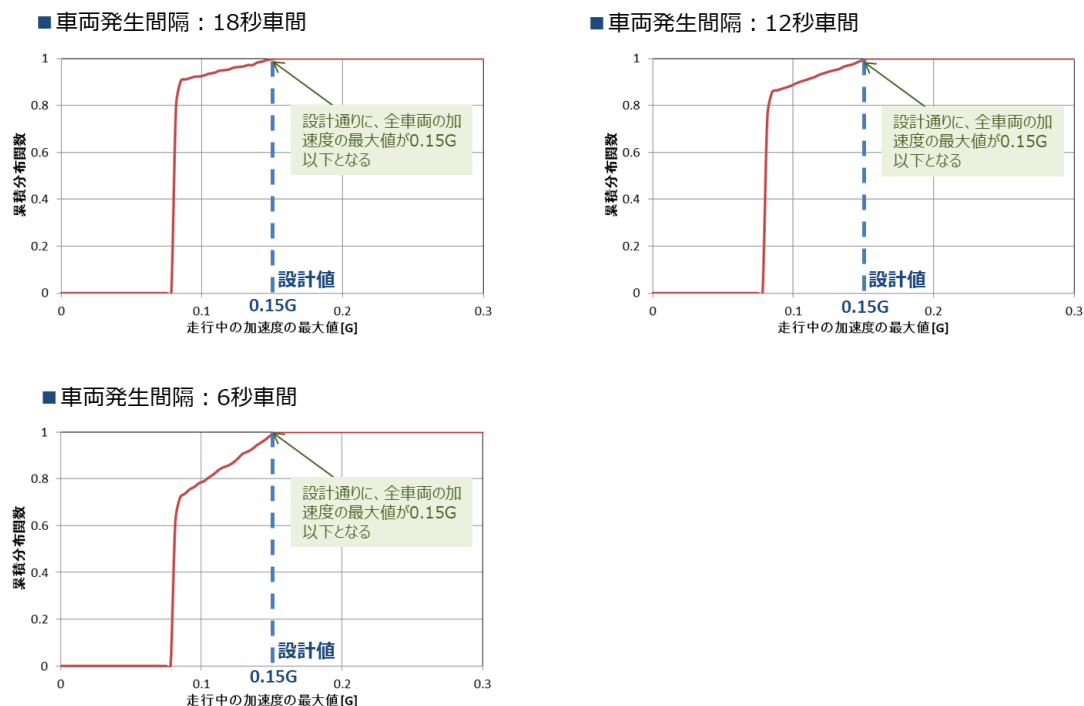


図 5.4-3：机上計算の設計値と比較するためのシミュレーション

5.4.3. 都市高速道路の結果

都市高速道路の道路ケースにおいて、本線速度が 60km/h 及び合流速度が 40km/h の場合では、通信がある場合の方が、いずれの車両発生間隔の場合も、累積分布関数が加速度の低い方に移動することが確認できる。

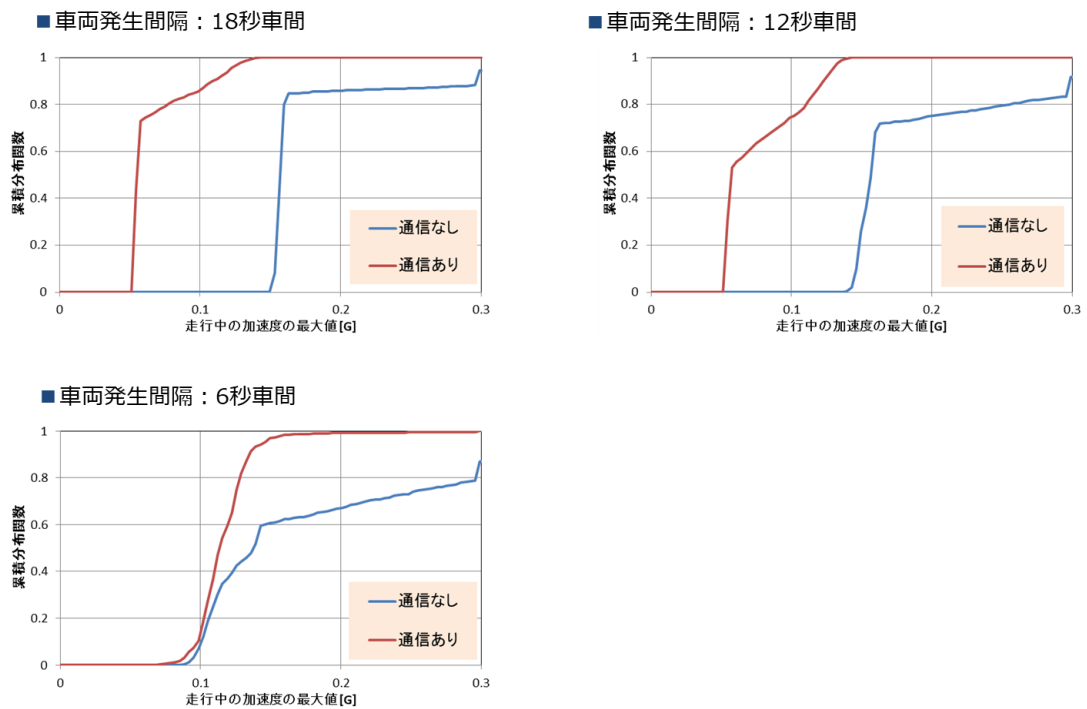


図 5.4-4：都市高速道路（本線 60km/h、合流 40km/h）

同様に、都市高速道路の道路ケースにおいて本線速度が 40km/h 及び合流速度が 40km/h の場合も、通信がある場合の方が、累積分布関数が加速度の低い方に移動する。ただし、車両発生間隔が 6 秒の場合では、通信がある場合とない場合で累積分布関数の概形が近づき、明確な効果が確認できなくなる。この理由については後述する。

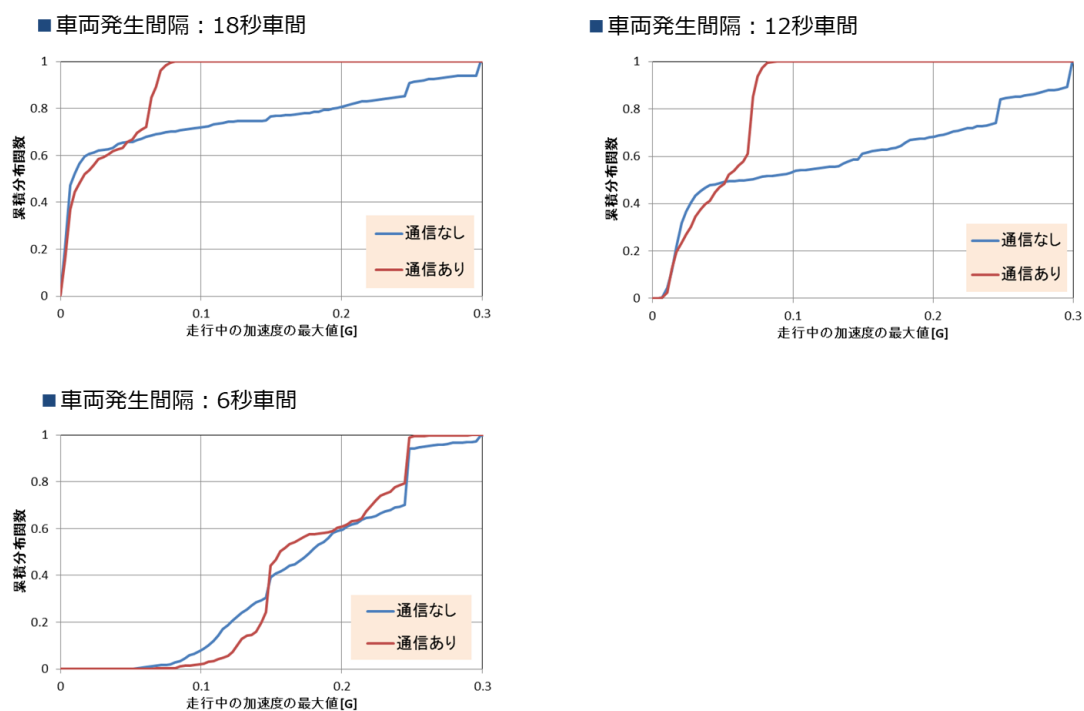


図 5.4-5：都市高速道路（本線 40km/h、合流 40km/h）

5.4.4. 都市間高速道路の結果

次に、都市間高速道路の道路ケースについて確認した。本線速度が 80km/h 及び合流速度が 40km/h で走行した場合も、通信ありの方が、累積分布関数が加速度の低い方に移動する傾向となる。ただし、都市高速道路と同様に、車両発生間隔が 6 秒の場合では明確な効果が確認できない。

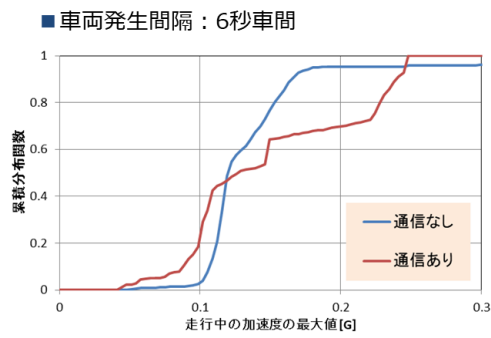
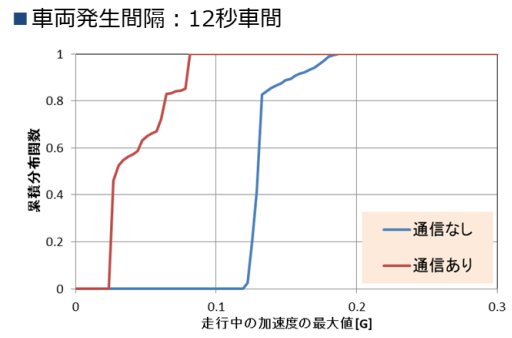
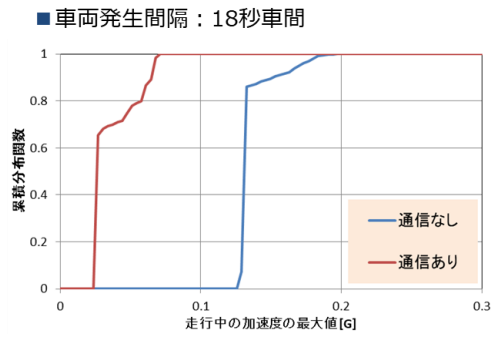


図 5.4-6：都市間高速道路（本線 80km/h、合流 40km/h）

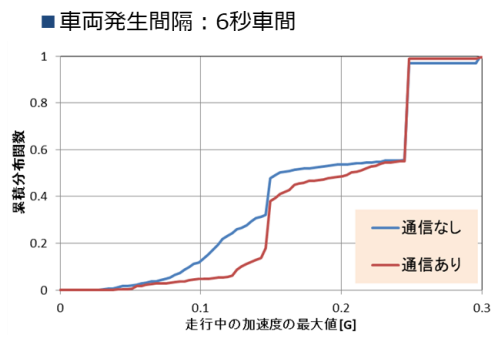
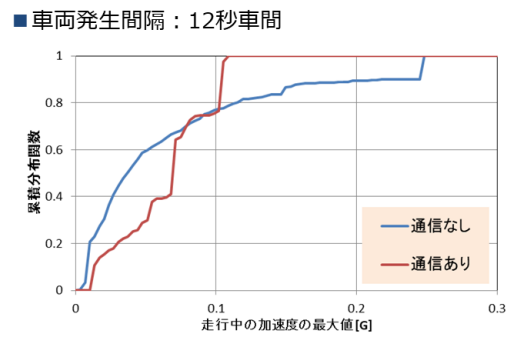
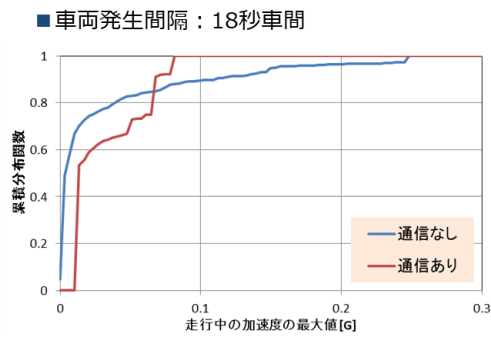


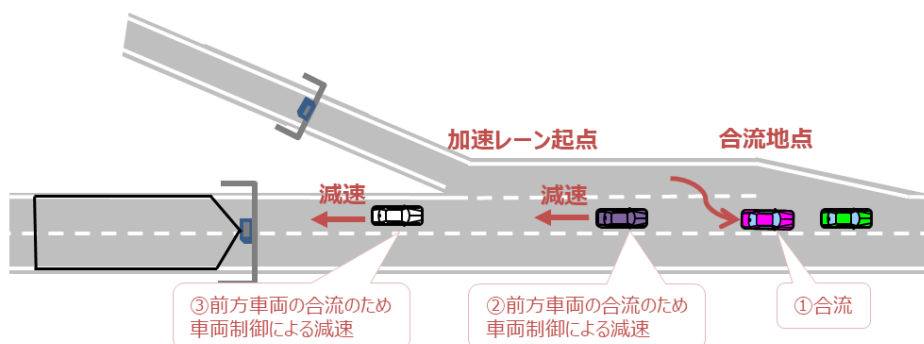
図 5.4-7：都市間高速道路（本線 40km/h、合流 40km/h）

5.4.5. 狭い車両発生間隔の場合に通信の効果を得られない要因

本検討で適用した IDM は、合流後に車間が十分に空いていれば、さらに車間を空ける動作をしない。例えば、車両発生間隔が 12 秒及び 18 秒のシミュレーションでは、車両密度が低く、合流後も十分に車間が空いている可能性が高いため、さらに車間を空けようとしていない。しかし、車両発生間隔が 6 秒のシミュレーションでは、車両密度が高くなり、合流後の車間が十分ではない場合に前方車両との車間を空け始める。このとき、後続する本線車両もその影響を受け、車間を空け始める。

通信がある場合において、本線車両が車間を空けることは合流時刻に加速レーン起点に本線車両が存在してしまう確率が上がることを意味する。合流車両はセンシングエリアから得られる本線車両の位置と速度情報をもとに、各本線車両が速度を変えずに等速で走行することを仮定し、合流位置を計算する。しかし、本線車両が車間を空け始めることで減速が生じると、等速を仮定して計算した合流位置との誤差が生じるため、横並びが発生する確率が増加する。このとき、通信がない場合と同じように、大きな加減速度を伴った合流処理が必要となる。車両発生間隔が 6 秒のシミュレーションでは横並びの影響が顕著に現れる。

■ 合流により後続車両が次々と減速を開始する



■ 通信ありでも想定した合流位置で合流し難くなる（最悪では横並びが発生）

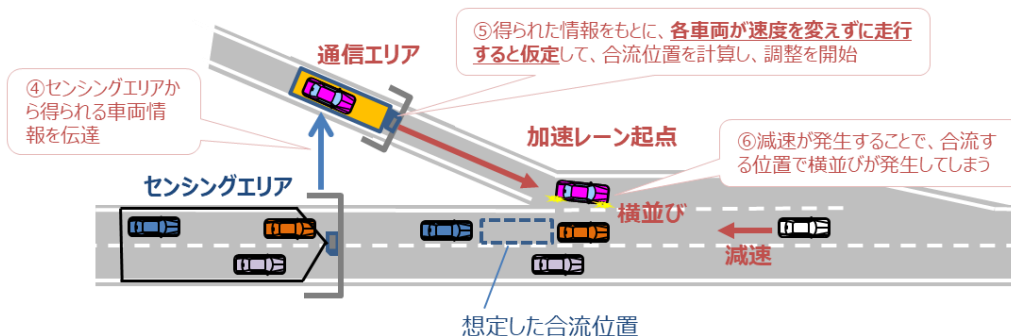


図 5.4-8：狭い車両発生間隔の場合に通信の効果を得られない要因

5.5. 自動走行支援通信の有効性の検証のまとめ

合流時に自動走行支援通信を導入することにより、通信がない場合より車両の挙動が安定して走行できることをシミュレーションにより確認した。ここで、車両挙動の安定性は、合流に伴う車両の最大加減速度についての累積分布関数を求め、通信がある場合の累積分布関数の概形が、通信がない場合より低い方向に移動することで評価した。

都市高速道路及び都市間高速道路の道路ケースで検証したところ、車両発生間隔が 18 秒、12 秒の場合、通信ありの累積分布関数の方が加速度の低い方に移動する傾向となり、本システムが車両挙動の安定化として効果があることを確認した。

車両発生間隔が 6 秒の場合では、車両密度が高くなり、前方車両との車間を空け始める。これにより減速が生じると、等速を仮定して計算した合流位置との誤差が生じるため、横並びが発生する確率が増加する。通信がない場合と同様に、大きな加減速度を伴った合流処理が必要となるため、通信による明らかな改善が確認できない結果となった。減速が生じる場合でも、横並びを回避するためには、例えば、車車間通信の利用のように、加速レーン起点近傍で車両情報の交換等を行う必要があると考えられる。

6. 自動走行支援通信の実用化に向けた検討

本章では、自動走行支援通信の実用化に向けた検討として、作成した通信仕様案を適用するための問題（難易度等）、通信機の搭載率が有効性に与える影響、高度なセンシング機器の必要性および路側機の設置位置への対応、等について整理・評価する。

6.1. 通信仕様案を適用する上での問題

本節では、表 6.1-1 に示す本調査検討で作成した通信仕様案を適用する上での問題（難易度等）を整理する。

表 6.1-1：候補通信方式の主な通信諸元

項目		候補通信方式（既存ITS通信をベースとして機能の追加・見直しを実施）		
		ITS FORUM RC-005ベース +追加機能	ARIB STD-T109ベース +追加機能	ARIB STD-T75ベース +追加機能
実現可能UC	路車間	1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2		1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2
	車車間	1-2-1, 2-1-2, 3		—
	路車・車車協調	1-2-4		—
アプリケーション	中継制御	あり(UC1-2-1)		なし
	送信制御	あり(UC2-1-2,UC3)	あり(UC2-1-2)	なし
L7(通信上位層)	連送制御	あり(UCに応じて回数変更)	なし/あり(自動走行支援時)	なし/あり(自動走行支援時)
	パケット分割・再結合	あり	なし/あり(自動走行支援時)	なし
L2(データリンク層)	MAC方式	CSMA/CA（ランダムバックオフ制御）		TDMA（スロットッドALOHA）
	再送制御	なし		あり
	パケット分割・再結合	なし		あり
L1(物理層)	中心周波数	5.8GHz帯	760MHz帯	5.8GHz帯
	空中線電力	10mW/MHz以下		基地局：300mW以下、 移動局：10mW以下
	占有帯域幅	9MHz		4.4MHz
	変調方式	QPSK/OFDM、16QAM/OFDM		n/4シフトQPSK
	誤り訂正	畳み込み符号（符号化率1/2）		BCH符号(63,51)
	ダイバーシティ制御(受信)	なし/あり(自動走行支援時)		なし

※青字：ベースとなる既存ITS通信の仕様から追加変更部分

●ITS FORUM RC-005 ベースの通信仕様案における問題

- ベースとなる通信方式が国内においてまだ規格化されていないため、機能追加への柔軟度は高い。
- また、同じ 5.8GHz 帯を用いる ARIB STD-T75 ベースの通信と比べて回線マージンが大きいいため、アンテナ設置等の運用時の自由度も高い。
- 一方で 5.8GHz 帯の ETC/ETC2.0 や隣接周波数を使用する既存システムとの干渉の影響評価、対策技術の検討がまだ十分ではなく、後述の ARIB STD-T109 の送信時間制限のように使用条件が制限されて実現可能な UC が限定される可能性がある。CC 調査検討等の今後の取り組みで詳細な干渉回避技術の検討やチャンネル確保の議論が必要である。

●ARIB STD-T109 ベースの通信仕様案における問題

- 既に規格化された通信方式をベースとしており、特にその中で送信時間制限の規定が大きな問題となる。送信時間制限の規定が残されたままでは本通信仕様案の追加機能の一つである連送機能は適用できず、表 6.1-2 に示すように実現可能な UC が限定される。送信時間制限は隣接チャネルとの干渉を抑制するために設けられたものであり、制限見直しを行うことは極めて難しい。
- 電波伝搬特性に優れており回線マージンが最も大きいため、アンテナ設置等の運用時の自由度は高い。
- 本調査検討の対象外とした既存の安全運転支援システムとの同一チャネル共用に関する検討が必要である。その際、安全運転支援と自動走行支援とともにメッセージの共通化等の可能性検討も必要となる。

表 6.1-2 : 【参考】候補通信方式の主な通信諸元（規格見直しができない場合）

項目		候補通信方式（既存ITS通信をベースとして機能の追加・見直しを実施）		
		ITS FORUM RC-005ベース +追加機能	ARIB STD-T109ベース	ARIB STD-T75ベース
実現可能UC	路車間	1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2		1-2-3, 2-1-1, 2-2
	車車間	1-2-1, 2-1-2, 3	3	-
	路車・車車協調	1-2-4	1-2-4(簡易図形情報なし)	-
アプリケーション	中継制御	あり(UC1-2-1)	なし	なし
	送信制御	あり(UC2-1-2, UC3)	なし	なし
L7(通信上位層)	連送制御	あり(UCに応じて回数変更)	なし	なし
	パケット分割・再結合	あり	なし	(あり)
L2(データリンク層)	MAC方式	CSMA/CA（ランダムバックオフ制御）		TDMA（スロットALOHA）
	再送制御	なし		あり
	パケット分割・再結合	なし		あり
L1(物理層)	中心周波数	5.8GHz帯	760MHz帯	5.8GHz帯
	空中線電力	10mW/MHz以下		基地局：300mW以下、 移動局：10mW以下
	占有帯域幅	9MHz		4.4MHz
	変調方式	QPSK/OFDM, 16QAM/OFDM		n/4シフトQPSK
	誤り訂正	畳み込み符号（符号化率1/2）		BCH符号(63,51)
	ダイバーシティ制御(受信)	なし/あり(自動走行支援時)		なし

※青字：ベースとなる既存ITS通信の仕様から追加変更部分

●ARIB STD-T75 ベースの通信仕様案における問題

- 既に規格化された通信方式をベースとしており、本通信仕様案の連送機能の追加による規格見直しのインパクトはあるが、他システムへの干渉の影響等は変わらないため、ARIB STD-T109 の見直しと比べると難易度は低い。表 6.1-2 に示すように規格見直しができない場合は実現可能 UC が限られる。
- 回線マージンが高々数 dB と最も小さい通信方式であり、かつ厳しいマルチパス環境を想定した設計ではないため、マルチパスの影響を小さくするための路側機アンテナの

設置場所の制限やアンテナ角度の調整、指向性アンテナの開発等の運用上、開発上の問題は大きい。

- 路車間通信専用の通信方式のため、車車間通信 UC や路車間・車車間協調 UC を実現するには、他通信システムとの協調についての検討が必要となる。

6.2. 搭載率の評価

本節では、通信機の搭載率が本システムの有効性に与える影響について評価する。搭載率の評価は本システムを導入するにあたり、普及の途中の段階でも効果が期待できるものなのか、あるいは、普及がかなり進んだ段階でないと効果が期待できないものなのかを確認するために実施する。

本評価では、合流車両の搭載率を 0% から 100% の間で 20% 刻みに変更してシミュレーションを実行する。通信機を搭載する車両は、設定した搭載率になるように確率的に決める。

なお、搭載率の評価はパケット到達率の評価と同様に扱うことができる。例えば、搭載率 60%（及びパケット到達率 100%）の条件で評価した結果は、パケット到達率 60%（及び搭載率 100%）の条件で評価した結果と同じになる。

都市高速道路の道路ケースにおけるシミュレーション結果を図 6.2-1 および図 6.2-2 に示す。いずれの車両発生間隔の場合においても搭載率が上がることで、累積分布関数の概形が徐々に加速度の小さい方向に移動することが確認できる。この結果から本システムは通信機が普及する途中の段階においても、搭載率に応じて有効性が期待できるものと考えられる。

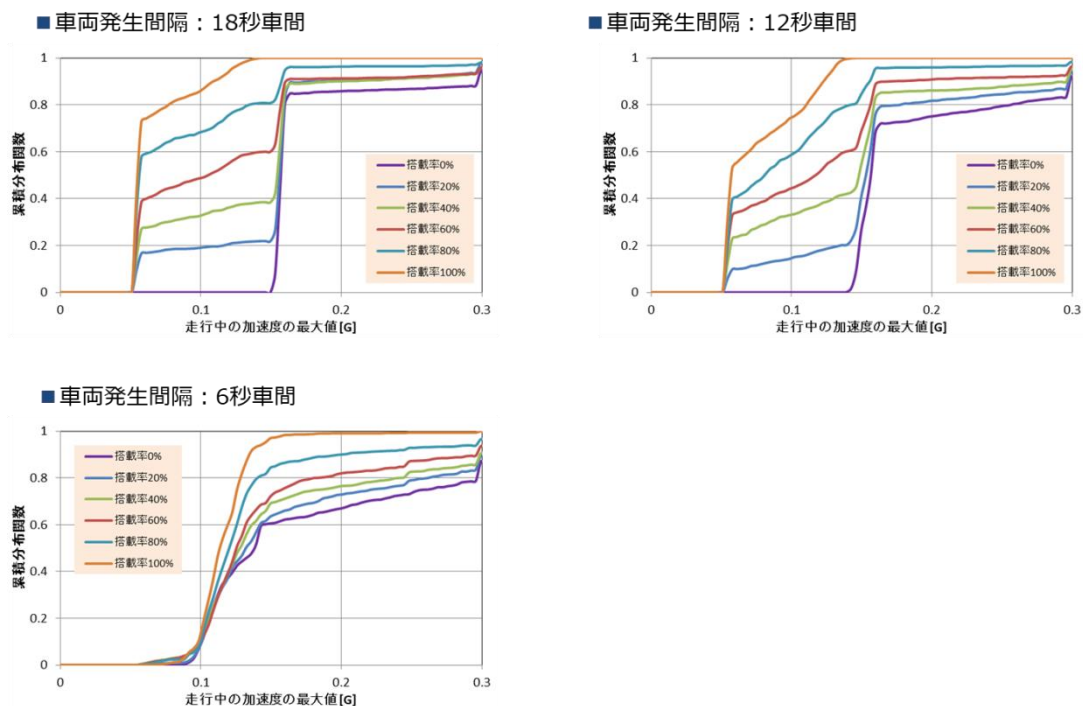


図 6.2-1：搭載率の影響：都市高速道路（本線 60km/h、合流 40km/h）

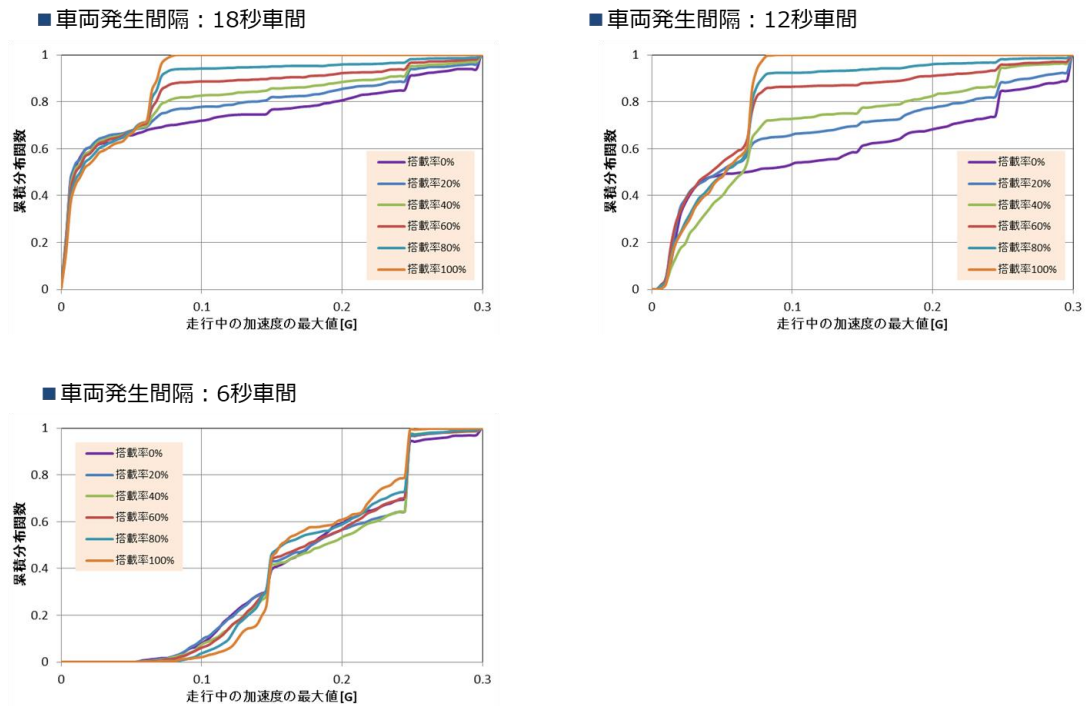


図 6.2-2：搭載率の影響：都市高速道路（本線 40km/h、合流 40km/h）

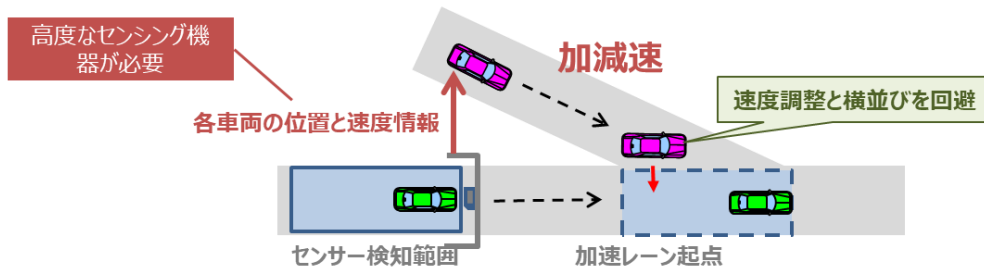
6.3. 高度なセンシング機器の必要性

ここまでの評価では、本システムを導入するにあたり、本線車両の位置と速度を正確に取得するために高度なセンシング機器を敷設することを前提とした。

一方で、本線車両の位置と速度を正確に取得できないまでも、平均的な速度の値のみを取得し、この情報を合流車両に伝えるだけで効果が期待できるのであれば、敷設の規模が小さくなるという点では実用化にとって有利である。そこで、平均速度の情報のみを与えた場合の効果について評価した。

ここで、本線側の平均速度の情報のみを与えた場合、所定の計算により一定の加速度を加えることで、加速レーン起点までに本線速度に合わせることができるとは、各本線車両の位置と正確な速度がわからないため、加速レーン起点到着時に横並びが発生する可能性がある。すなわち、本評価は、横並びが発生することによる有効性への影響を確認することと同じである。

速度調整と横並び回避



速度調整のみ

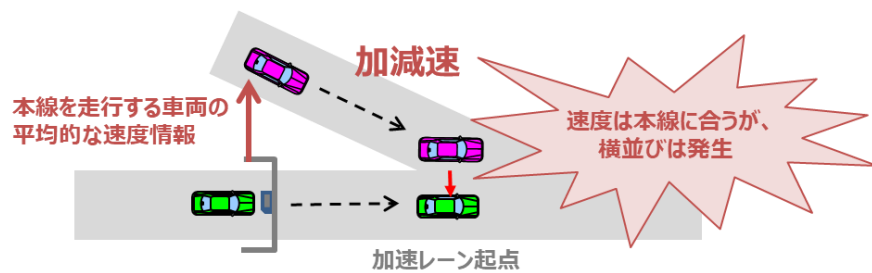


図 6.3-1：横並び回避機能がある場合とない場合の違い

速度調整のみを行った場合の結果について図 6.3-2 に示す。車両発生間隔が 18 秒、12 秒の場合では、横並びを回避した場合に比べれば劣化こそするが、累積分布関数が低い方向に移動することから、効果は期待できると考えてよい。ただし、車両発生間隔が 6 秒の場合においては、通信なしの場合に比べて、むしろ悪くなる場合がある。

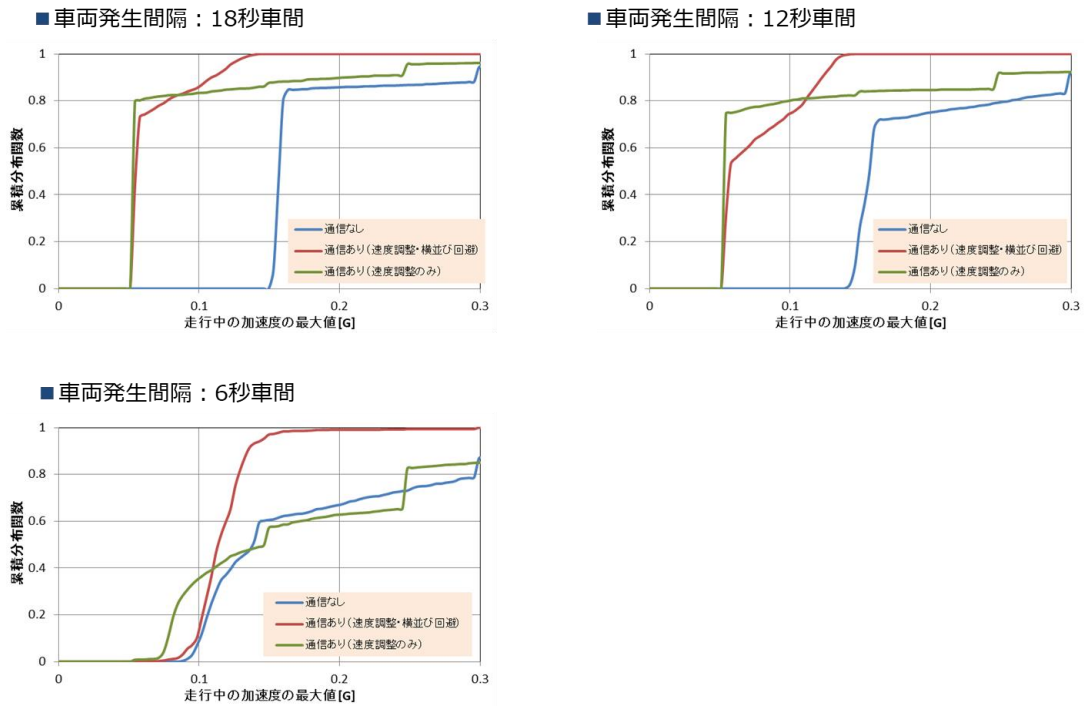


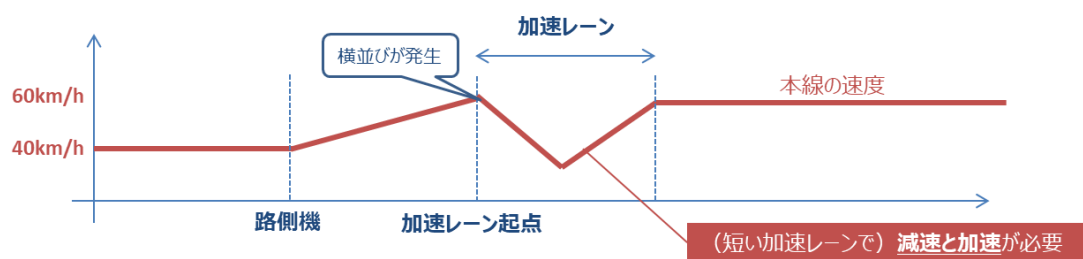
図 6.3-2 : 速度調整のみの効果

この原因についての概要を図 6.3-3 に示す。本評価条件において、速度調整のみを行った場合、40km/h から 60km/h に加速して加速レーン起点に到達する。ここで、横並びが発生した場合、本線の速度と同じ 60km/h のまま走行を続けても合流できないため、一度、減速し、横並びの状態を避けたうえで、加速し合流しなければならない。

一方、通信なしの場合には、本線の情報が取得できないため、40km/h のまま加速レーン起点に到達する。ここで、横並びが発生した場合、40km から加速のみを利用して合流することになる。つまり、同じ速度で横並びになってしまう方が、短い加速レーンの中で加速と減速の両方を行わなければならない分、合流時の加減速度を大きくせざるを得なくなる。

以上より、速度情報のみの場合では効果が低下するため、横並び回避機能まで実装する方が望ましいと考えられる。つまり、本線側にセンサーを敷設し、本線車両の位置と速度を正確にセンシングできる機器を備えるシステム構成が望ましいと考えられる。

- 60km/h（本線の速度と同じ）で加速レーン起点で横並びになってしまう場合



- 40km/hで加速レーン起点で横並びになってしまう場合

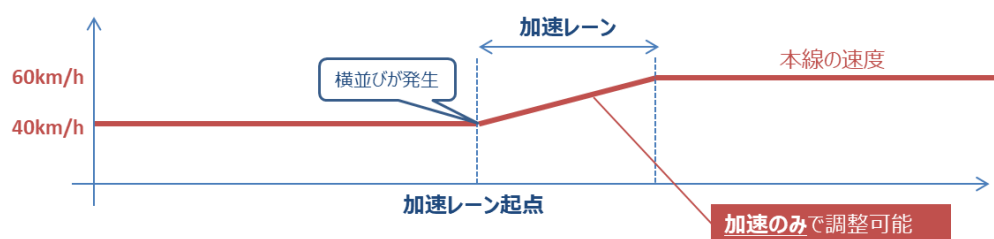


図 6.3-3 : 加速度が大きくなってしまう原因

6.4. 路側機及びセンシングエリアの設置位置

前述の机上検討より、都市間高速道路では路側機やセンシングエリアの位置を加速レーン起点から大きく離れた位置に敷設せざるを得ないことを確認した。これは、都市間高速道路の場合、本線車両および合流車両の取り得る走行速度の幅（最大値と最小値の差）が大きく、様々な走行速度に対応して設計する必要があることに起因する。

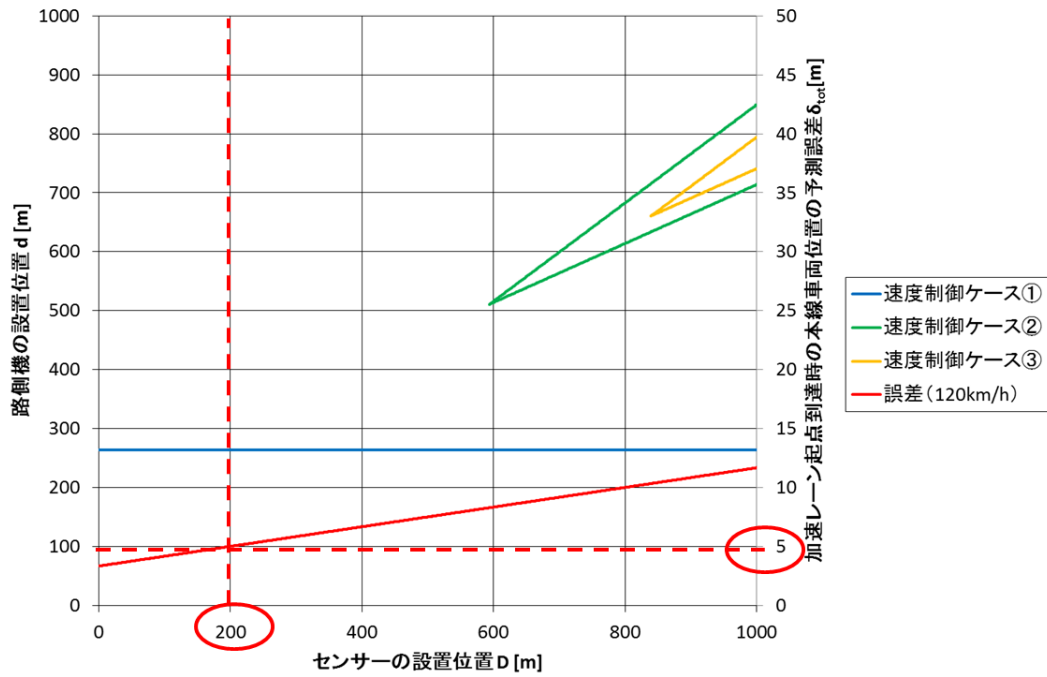
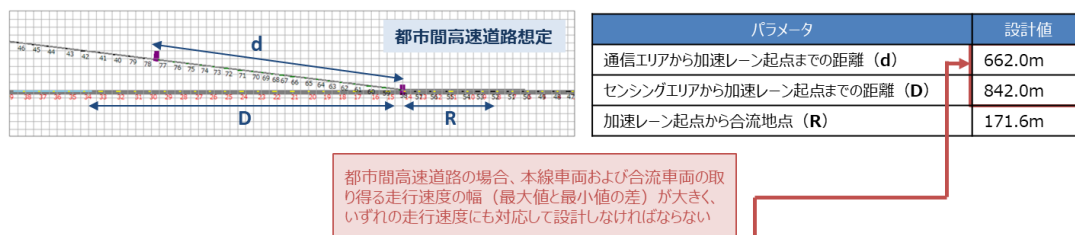


図 6.4-1：路側機とセンサーの設置位置の関係

例えば、都市間高速道路の道路ケースでは、路側機から加速レーン起点までの距離は 662.0m、センシングエリアから加速レーン起点までの距離は 842.0m となるが、これほど離れた場所に路側機やセンシングエリアを設置するのは、設置場所が限定されるという点で実用化に課題がある。また、実際の走行では等速を仮定できないため、これほど離れた場所での車両情報を取得しても、加速レーン起点に到達したときには誤差が生じ、車両情報が役に立たないことも考えられる。



パラメータ	設計値
通信エリアから加速レーン起点までの距離 (d)	662.0m
センシングエリアから加速レーン起点までの距離 (D)	842.0m
加速レーン起点から合流地点 (R)	171.6m

パラメータ	文字	道路ケース				備考	
		首都高速道路		都市間高速道路			
		最大	最小	最大	最小		
本線車両	走行速度 [km/h]	V	60	40	120	40	$V_{max} \sim V_{min}$
合流車両	通信時の走行速度[km/h]	v_0	60	20	100	40	処理時間経過まで継続。 $V_{0_max} \sim V_{0_min}$
	速度制御中の走行速度範囲 [km/h]	v				20	処理時間経過～加速レーン起点。 $V_{max} \sim V_{min}$
	加速レーン到達時の走行速度[km/h]	v_2		40		40	$V_{2_max} \sim V_{2_min}$

図 6.4-2：都市間高速道路における路側機とセンシングエリアの設置位置

ここで、路側機やセンシングエリアを遠方に設置しなければならないのは、様々な走行速度に対応させるためであるので、路側機やセンシングエリアに侵入する速度を限定し、走行速度の幅を小さくできれば、これらを遠方に設置しなくてもよくなる。例えば、本線が 100km/h で走行している場合、路側機の通信エリアに侵入する時点で本線速度の±20km/h 程度（80km/h から 120km/h 程度）の走行速度になるように制御できれば、走行速度の幅が小さくなるため、路側機やセンシングエリアを加速レーン起点の近傍に設置できるようになる。

このとき、加速レーン起点の近傍に敷設したセンシングエリアで取得した各車両の速度情報は遠方の合流車両に対しては利用できないが、平均走行速度の算出は可能であり、これを合流車両に伝える方法が考えられる。例えば、図 6.4-3 のように、新たに通信エリア（以下、通信エリア B）を設ける方法を考える。ここで、通信エリア B に対して、センシングエリアも新たに敷設する必要はない。通信エリア B を走行中の合流車両は本線の平均的な速度情報のみを得て、通信エリア A までは速度調整を行う。通信エリア A に侵入すると、センシングエリアから得られる各車両の正確な位置と速度情報を利用して、横並び回避と本線との最終的な速度調整を行う。

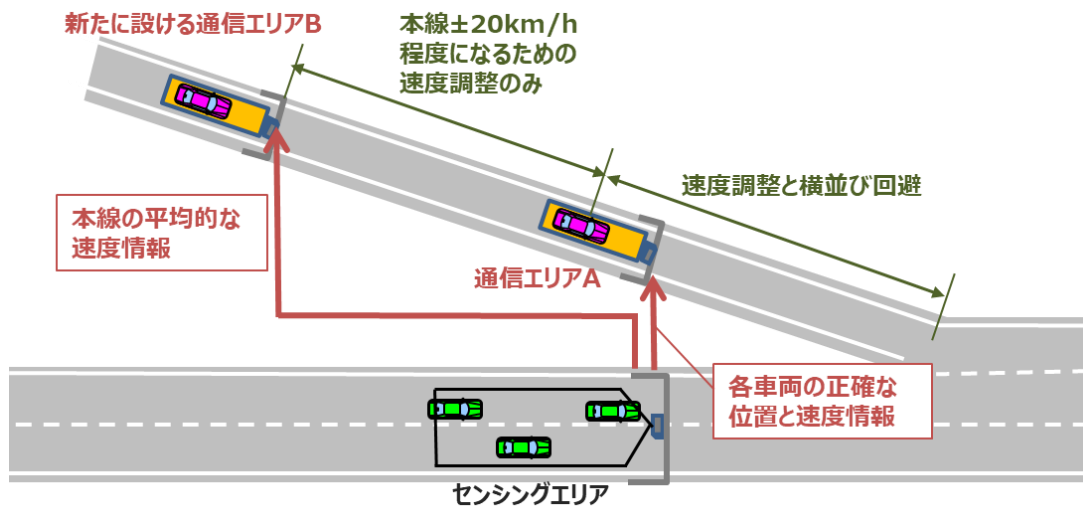


図 6.4-3：新たに通信エリアを設ける方法

前述の方法のほかに、将来的に路側機の通信範囲が拡大すれば、加速レーン起点近傍のセンシングエリアで取得した車両情報を遠方の合流車両に届けられるようになることが考えられるかもしれない。例えば、図 6.4-4 に示す構成であった場合、センシングエリアから得られる各車両の正確な位置と速度情報が役立つのは赤枠内の合流車両 A に限定されるが、合流車両 B も車両情報を受信することで本線車両の平均速度は推定できると考えられる。すなわち、路側機の遠方から速度調整は行うことができる。

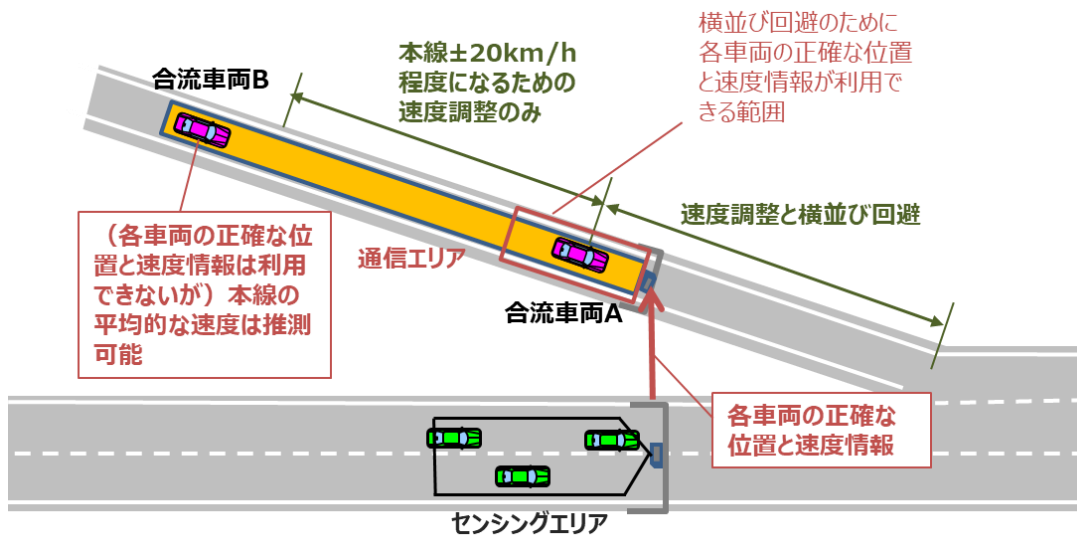


図 6.4-4：通信エリアを拡張する方法

以下では、効果を確認するために典型的な例について評価した。平均速度の情報配信は路側機から 300m 離れた場所に設定した。本線速度が 100km/h の場合には、合流車両は平

均速度の情報を受け、速度を 40km/h から 80km/h まで上げて通信エリアまで走行する。通信エリアに侵入すると、センシングエリアから得られた本線車両の正確な位置と速度情報をもとに合流位置を計算し、80km/h から本線の 100km/h に速度を上げながら加速レーン起点まで走行する。

図 6.4-5 に示すように、平均速度を事前に提供することで、累積分布関数の概形が低い方向に移動する。車両挙動の安定化に効果が期待できる可能性があることを確認した。

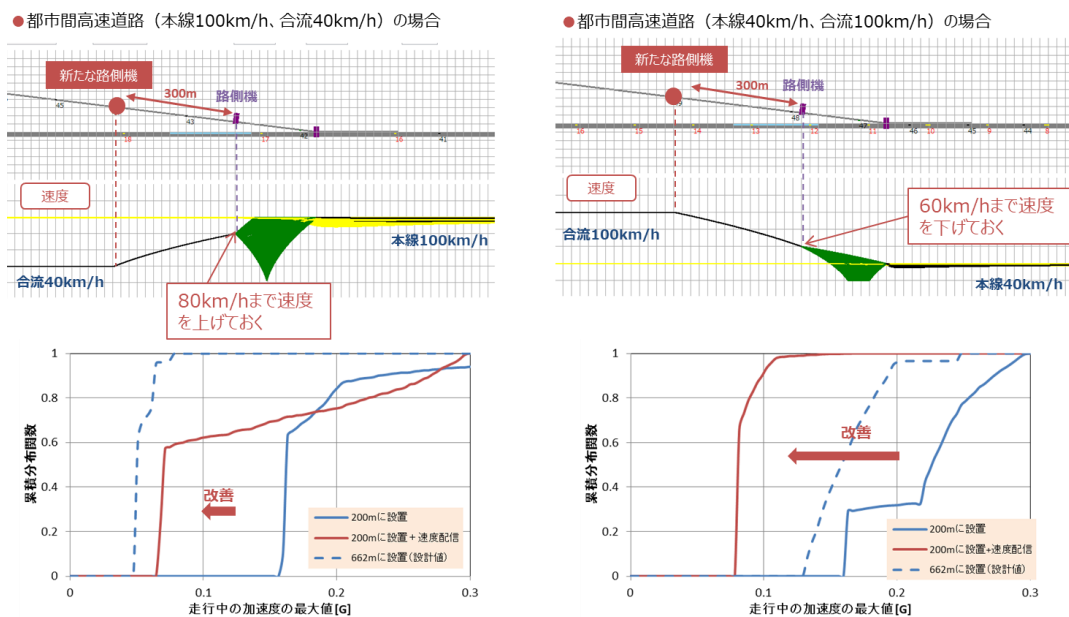


図 6.4-5：新たに通信エリアを設けた場合の効果

6.5. その他の実用化へ向けた問題、対応

表 6.5-1 に、実用化へ向けた問題、対応として、特に本調査検討における有効性検証のシミュレーションで反映されていない劣化要因及びシステムの課題について列挙する。なお、本有効性検証は典型的な条件を設定しシミュレーションによる評価を行ったが、この結果をもってあらゆる条件に対して通信の有効性を訴求するには十分とまでは言えない。今後、様々な条件に変更して評価を継続していく必要がある。

表 6.5-1 : その他の実用化へ向けた問題、対応

項目	内容
センサーの検出精度のばらつき	本検討では、本線車両の位置と速度は完全に正確な値が検出できることを想定した。実際には、センサーの精度にばらつきがあるため、位置と速度の誤差を反映する必要がある。
車両の加速度のばらつき	本検討では、各車両は車両制御モデルにより計算された加速度により走行するが、実際には、値通りに車両の加速度を制御することはできない。ばらつきの影響を反映する必要がある。
車間制御モデルの選定	本検討では、車間制御モデルとして IDM を選定した。IDM は、動作させる際に設定するパラメータが少なく広く利用されているが課題もある。例えば、減速が過剰に反応するなどの報告がある (A. Kesting, M. Treiber, D. Helbing, "Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity", Philos. Trans. Roy. Soc. London A Math. Phys. Sci., vol. 368, no. 1928, pp. 4585-4605, 2010.)。車両制御モデルの妥当性については検討を継続する必要がある。
車両発生間隔	本検討では、車両発生間隔は典型的な評価を行うため、均等の間隔で車両を発生させた。実際には、均等ではなく揺らぎを与えて評価する必要がある。
車線変更の影響	本検討では、本線車両が車線変更しない評価を行った。実際には、合流時に近傍の本線車両が車線変更を行う場合も考えられ、その影響が評価できていない。車線変更の処理を反映した評価が必要である。
車両密度が高い場合への対応	本検討では、車両発生間隔を 6 秒、12 秒及び 18 秒に変更して評価した。6 秒の場合では車両密度が高くなり、減速が生じることから、横並びが発生することを確認した。横並びを回避するためには、例えば、車車間通信の利用のように、加速レーン起点近傍で車両情報の交換等を行う必要があると考えられる。

7. 成果まとめ

7.1. 全体

SIP「自動走行システム」関連事業のこれまでの成果や、日本自動車工業会（以下、自工会）における検討状況、欧米における関連する ITS 無線通信の仕様検討状況等を踏まえ、実環境で想定される周辺車両による電波の遮蔽やマルチパス等の影響を考慮し、車両挙動の安定化や交通流の円滑化を支援する通信のメッセージセット及びプロトコルを検討し、その効果の評価を行った。

- 今年度改定された自工会ユースケース（UC1-2-1～UC3 の 9 つ）について、通信要件のまとめを ITS 情報通信システム推進会議と連携して実施した
- 以下を候補通信方式としてメッセージセットおよび通信プロトコルを検討し、実環境を模擬した電波伝搬モデルを適用した計算機シミュレーション評価により各 UC における通信性能を明らかにした
 - ・ ITS FORUM RC-005 【5.8GHz 帯を用いた車車間通信システムの実験用ガイドライン】
 - ・ ARIB STD-T109 【700MHz 帯高度道路交通システム】
 - ・ ARIB STD-T75 【狭域通信（DSRC）システム】
- 上記通信性能評価より、目標性能を確保するための条件を明らかにした。また、その際の検討課題を抽出した
- 候補通信方式の目標性能を満足する条件を分析できた。これをもとに自動走行支援通信仕様案としてまとめた。また実験用ガイドラインの策定に向けた計画立案を、ITS 情報通信システム推進会議にて開始した。表 7.1-1 に、自動走行支援通信の通信仕様案の主な諸元を示す。
- 自動走行支援通信仕様案をユースケースに適用することによる車両挙動の安定化や交通流の円滑化等の改善効果の机上および実機検証に本成果を活用していく

表 7.1-1：自動走行支援通信プロトコルの主な通信諸元

項目		候補通信方式（既存ITS通信をベースとして機能の追加・見直しを実施）		
		ITS FORUM RC-005ベース +追加機能	ARIB STD-T109ベース +追加機能	ARIB STD-T75ベース +追加機能
実現可能UC	路車間	1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2		1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2
	車車間	1-2-1, 2-1-2, 3		—
	路車・車車協調	1-2-4		—
アプリケーション	中継制御	あり(UC1-2-1)		なし
	送信制御	あり(UC2-1-2,UC3)	あり(UC2-1-2)	なし
L7(通信上位層)	連送制御	あり(UC1に応じて回数変更)	なし/あり(自動走行支援時)	なし/あり(自動走行支援時)
	パケット分割・再結合	あり	なし/あり(自動走行支援時)	なし
L2(データリンク層)	MAC方式	CSMA/CA (ランダムバックオフ制御)		TDMA (スロットALOHA)
	再送制御	なし		あり
	パケット分割・再結合	なし		あり
L1(物理層)	中心周波数	5.8GHz帯	760MHz帯	5.8GHz帯
	空中線電力	10mW/MHz以下		基地局：300mW以下、 移動局：10mW以下
	占有帯域幅	9MHz		4.4MHz
	変調方式	QPSK/OFDM, 16QAM/OFDM		n/4シフトQPSK
	誤り訂正	畳み込み符号 (符号化率1/2)		BCH符号(63,51)
	ダイバーシティ制御(受信)	なし/あり(自動走行支援時)		なし

※青字：ベースとなる既存ITS通信の仕様から追加変更部分

7.2. 前提条件の整理、通信要件の抽出と評価

自工会、ITS FORUM 等で議論されている自動運転レベル 2・3 の自動走行向けの通信活用ユースケース（以下、UC）を調査・分析し、自動走行向け ITS 無線通信のメッセージセット及びプロトコルの検討を実施する上での前提条件及び通信要件を整理し、その妥当性を評価した。

7.2.1. 自動走行向けの通信活用ユースケースの調査

2018年9月に改定された自工会検討 UC を中心に調査した。表 7.2-1 及び図 7.2-1 に、改定後の自動運转向け通信活用 UC 一覧及び概要を示す。

表 7.2-2 及び表 7.2-3 に、自工会が想定する自動運转向け ITS 無線通信の位置づけや道路環境及びシステム設計を行う際の前提条件を示す。

表 7.2-1：自工会検討の自動運转向け通信活用 UC 一覧

本調査検討対象UC

情報種別	UC No. (版3.1)	分類	内容	UC No. (版3)	
先読み情報	先読み情報	1-1	路車	自立センサでは検知できない先の情報として渋滞情報、料金所情報、臨時走行レーン情報などを配信し、未然に経路、車線選択を行うことで走行を円滑化	1
	車両からの緊急ハザード情報の発信	1-2-1	車車	緊急回避事象が発生した際に、後続車両に緊急ハザード情報を配信	4
		1-2-2	車路	走行車両が収集した緊急ハザード情報を路側インフラへ伝達	2
		1-2-3	路車	走行車両から収集した緊急ハザード情報を上流インフラから走行車両へ再配信	3
		1-2-4	路車 車車 車車 協調	上流インフラから取得した対向車線の緊急ハザード情報を、対向車に再配信	5
合流支援	合流車支援	2-1-1	路車	インフラで計測した本線上走行車両の走行情報を合流車両へ伝達し、合流を円滑化	6
		2-1-2	車車	本線走行車両の走行情報を車車間通信で本線合流車両へ伝達し、合流を円滑化	8
	本線車支援	2-2	路車	インフラで計測した合流車の出現情報を本線走行車両へ伝達し、合流を円滑化	7
車線変更支援	3	車車	車線変更の際に、周辺車両の走行情報を交換し、車線変更を円滑化	8	
隊列走行支援	4	車車 路車	追従走行する大型トラック間で相互に走行情報を伝達し、隊列走行を形成 一般自動運転車割り込み時の走行調停も合わせて行う（一時的な混合走行の許容と離脱推奨、離脱後の隊列再形成など）	9	

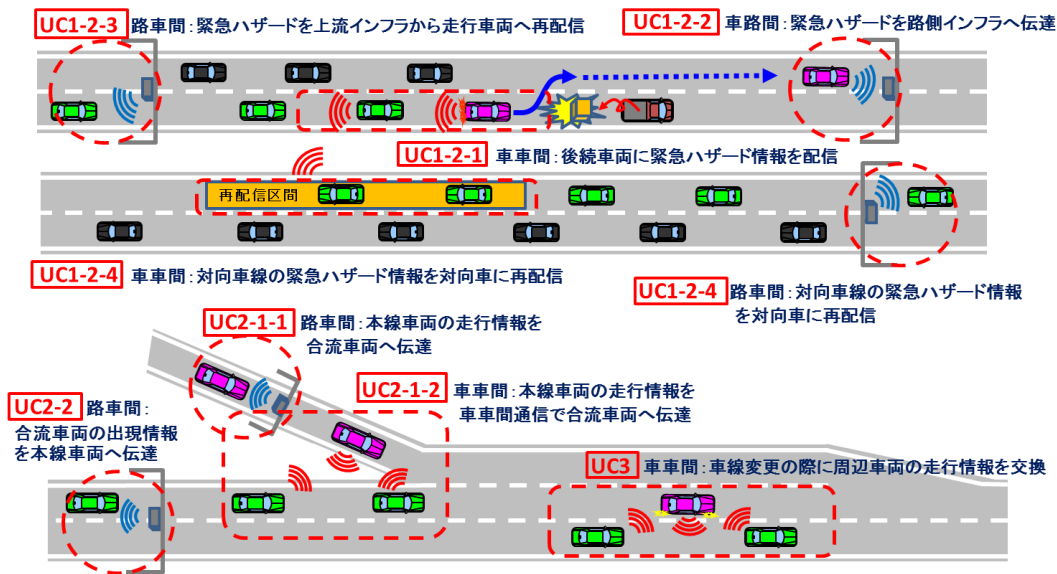


図 7.2-1：自工会検討の自動運转向け通信活用 UC 概要

表 7.2-2：ITS 無線通信活用の位置づけ

項目	前提条件
自動走行支援通信活用の位置づけ	<ul style="list-style-type: none"> ● 自律自動運転に対してあくまで支援を行う情報の位置づけ ● 通信機を持たない一般車両との混合走行を考慮し、必ずしも通信情報が届かなくても自律系で自動走行が出来ることが前提
期待する効果	<ul style="list-style-type: none"> ● 自律処理系の中に通信情報を加えることで、周囲の状況判断を早くできることから、自動走行の際の判断の迅速性や確実性を高めることを目的とする

表 7.2-3：道路環境、システム設計を行う際の前提条件

項目	前提条件
想定する道路環境	●自動運転の実用化時期の早い都市間高速、都市高速、もしくはこれらに準じた環境を想定(一般道自専道および一般道については次STEPの検討とする)
想定速度	●上限：自動運転車 120km/h、周辺の一般車両 130km/h 本線法定速度の今後の改定も想定、自動運転車は法規遵守、周辺の一般車両については法定速度+10km/hを上限とする ●下限：40km/h 最低速度は、渋滞時は通常走行と異なるルール化が必要となるため別ユースケースとして取り扱うこととし、40km/hを下限とする
自動運転車の想定加減速度	●普通車の最大加速度は 0.2G、最大減速度 0.25G ●大型車の最大加速度は 0.15G、最大減速度 0.15G
その他、車線数、車間距離など	●収容台数を算出するにあたり、都市間高速として本線の車線数は最大片側3車線(合流レーンがある所は4車線)、連絡路の車線数は最大2車線 ●車間距離としては非渋滞時の密集環境を想定して1秒車間を想定
目標とする通信性能	●従来の安全運転支援に比べ確実性の高い情報伝達を実現するため、通信パケット到達率目標を100msで99%(仮)目標とし、必要に応じて連送、再送を検討するものとする

7.2.2. 前提条件の整理

抽出した UC に対して、車両密度・速度や電波伝搬環境等の道路環境条件、アンテナ設置位置等の車両条件、送信情報や電波伝搬モデル等の通信システム条件等、本調査検討を実施する上での前提条件を整理した。

表 7.2-4 に、前提条件の整理結果を示す。整理にあたっては、自工会検討における想定や前提条件に加えて、ITS FORUM（無線方式検討 TG）での検討結果及び本調査検討会における議論、指摘内容を参考にした。各種条件の主な修正としては、実環境を想定して大型車による電波遮蔽、及び複数 UC 混在時の影響を追加した。

表 7.2-4：調査検討を実施する上での前提条件

項目	H30年度調査検討の検討条件	H30年度調査検討の範囲外
道路環境	●都市間高速道路、都市高速道路(一部)を想定 - 通信相手車両とは見通し内 - 片側3車線(合流レーンのある箇所では片側4車線) - 交通量: 車間時間1s以上 ●非渋滞時を想定	●都市高速道路、一般道路を想定 - 通信車両相手と見通し外となる状況(地物による遮蔽)が発生 ●渋滞時への拡張
車両	●乗用車、大型車(アンテナはルーフに搭載)から中心に検討 ●全車が通信機器を搭載し、同じ通信制御ロジックで走行	●二輪車の追加 ●非搭載車両混在時の検討
通信システム	●通信形態と検討対象とする通信方式 - 車間通信 5.8GHz帯: ITS FORUM RC-005 700MHz帯: ARIB STD-T109 - 路間通信 5.8GHz帯: ARIB STD-T75、ITS FORUM RC-005 700MHz帯: ARIB STD-T109 ●ブロードキャスト通信を想定 ●通信イベント発生時を除き、自律系センサでのみ情報取得を想定 - 通信により常時情報を共有している想定ではない ●各UCが単独で存在する場合、複数UCが混在する場合を検討 ●車両による電波遮蔽の影響を考慮(大型車1台想定)	●他システム(既存サービス)との共用検討 - 5.8GHz帯: ETC2.0 - 700MHz: 情報提供型安全運転支援 ●合意等の通信を必要とするUCを想定(特定の通信相手) ●大型車複数台(隊列走行車等)による電波遮蔽の影響を考慮

7.2.3. 通信要件の抽出と評価

整理した前提条件を踏まえて、UC 毎に目標通信品質や通信距離、データサイズ、通信頻度、送信車両台数、通信遅延等の通信要件を抽出し、各 UC の通信要件の妥当性や実現可能性を評価した。なお、各 UC の通信要件の妥当性や実現可能性の評価にあたっては、自動車メーカーとの連携も考慮して実施した。

表 7.2-5 に、調査した自工会検討 UC (UC1-2、UC2 及び UC3) の通信要件の整理結果を示す。なお、通信要件の整理にあたっては、平成 29 年度調査検討における自工会検討 UC (改定前の UC2~8) の通信要件まとめを参考に、自工会及び ITS FORUM と連携して通信要件の見直しを実施した。

続いて、以下に示すように抽出した各 UC の特徴を分析し、通信要件の妥当性や実現可能性を評価した。UC 毎の特徴分析結果より、特にデータサイズ、通信形態、必要通信距離の検証が重要であることが確認できた。

●通信要件の妥当性

- 目標通信品質 (パケットエラー率 $PER < 1E-2$) に関しては仮値であるものの、自工会の検討内容をもとに整理した通信要件は概ね妥当。
- UC2-1-2 に関しては、UC 対象エリア及び必要通信距離を暫定的な送信開始位置をもとに決めているため、今後詳細な検討が進んだ段階で見直しが必要。

●通信要件の実現可能性

- 路車間通信 UC の UC 対象エリア及び必要通信距離 33.3m は既存 DSRC と同程度であり、路側機の設置位置の調整等により UC 対象エリア内の見通し確保が比較的容易であるため実現可能性は高い。
- 一方、車車間通信 UC の必要通信距離は 100~252m と路車間通信 UC よりも長いため、長距離通信による受信電力の低下に加えて遮蔽車両の発生頻度が増加し、通信要件を実現する条件としてはより厳しい (特に必要通信距離が 200m 以上の UC1-2-1 及び UC2-1-2)。また、イベント発生箇所の道路形状や、遮音壁、中央分離帯の樹木やフェンス等の影響により通信相手との見通しが困難となる状況が発生。見通し内環境を前提としている条件の見直しが必要。
- UC1-2-4 (簡易図形情報あり) は路車間、車車間通信ともにデータサイズが大きいため、回線マージンの確保が他 UC と比べて難しい可能性あり。

表 7.2-5 : 自工会検討 UC の通信要件の整理まとめ

UCNo.	1-2-1	1-2-2	1-2-3	1-2-4		2-1-1	2-1-2	2-2	3
				路車間	車車間				
情報種別	先読み情報					合流支援			車線変更支援
	車両からの緊急ハザード情報発信					合流車支援		本線車支援	
内容	後続車両に配信	路側インフラへ伝達	上流インフラから走行車両へ再配信	対向車に再配信		本線車両の走行情報を伝達	本線車両の走行情報を車車間通信で伝達	合流車両の出現情報を伝達	周辺車両の走行情報を交換
通信形態	車車間	路車間(UL)	路車間(DL)		車車間	路車間(DL)	車車間	路車間(DL)	車車間
UC対象エリア	1km	33.3m			1km	33.3m	367m	33.3m	252m
必要通信距離	255m	↑			100m	↑	212m	↑	126m
通信品質	PER<1E-2(仮)								
データサイズ	39byte	405byte		175byte／4175byte(簡易図形)	30byte／1030byte(簡易図形)	772byte	39byte(合流)／25byte(本線)	202byte	23byte
送信頻度	2s間隔	0.5s間隔			2s間隔	0.5s間隔	0.1s間隔	0.5s間隔	規定せず
送信台数	140台	3台	1台(路側)		2台	1台(路側)	42台(合流2+本線40)	1台(路側)	17台(車線変更1+関係16)
通信遅延	0.1～30s以下	規定せず			2s以下	規定せず	0.1s以下	規定せず	0.1s以下
通信相手	非特定車両(後続車両)	路側機	非特定車両(同報配信)	非特定車両(同報配信)	非特定車両(対向車線)	非特定車両(同報配信)	非特定車両(合流+本線)	非特定車両(同報配信)	非特定車両(車線変更+関係)
最大走行速度差	120km/h				240km/h(120+120)	120km/h	80km/h(120-40)	120km/h	80km/h(120-40)

7.3. メッセージセット及びプロトコルの検討

抽出した通信要件より、自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルを検討した。検討にあたっては、これまで国内において車車間・路車間通信向け ITS 無線通信として検討、規格化されてきた ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 の通信仕様を参考にした。

7.3.1. メッセージセット検討

メッセージセットの検討にあたっては、ITS FORUM RC-013 や SAE、ETSI 等の国内外の既存メッセージセット規格をもとに検討した平成 29 年度「自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（以下、平成 29 年度調査検討）のメッセージセット案を参考にした。

●既存メッセージセット規格との比較分析

現在安全運転支援等で採用されている国内外のメッセージセット規格を調査し、自工会検討 UC で検討されているメッセージ内容、サイズと比較し、流用／共通化が可能か等の分析を行った。

本調査検討の対象である自工会検討 UC に自動走行支援通信を適用した場合の通信品質評価を行うためにメッセージセットのサイズ見積もりを主目的としたため、具体的な検討が今後継続して必要である。

参考としたメッセージセット規格は以下のものである。

- 国内： ITS FORUM RC-013
- 国外： SAE（米国）、ETSI（欧州）

上記の 3 つの規格とも安全運転支援用のメッセージセット規格である。

表 7.3-1 に、自工会検討 UC1-2-1～UC3 のメッセージ内容と既存規格との比較結果を示す。同表では自工会検討 UC のメッセージ内容を分類し必要な情報を「○」としている。また、分類した情報が既存規格で定義されているかを調査し、同じ内容、サイズの情報がある場合は「○」、サイズ等の一部が異なるものの同様の情報がある場合は「△」としている。

なお、ITS FORUM RC-013 に関しては「基本メッセージ」、SAE に関しては「BSM (Basic Safe Message)」、ETSI に関しては「CAM (Cooperative Awareness Message)」及び「DENM (Decentralized Environmental Notification Message)」について調査し、比較している。同表より、サイズ、詳細定義が異なるケースがあるものの国内外の従来規格において自工会検討 UC で必要なメッセージ内容と同様の情報が定義されており、流用／共通化の可能性があったことが分かった。

表 7.3-1：自工会検討 UC のメッセージ内容一覧及び既存メッセージセット規格との比較

情報名		bit	対応情報										共通化判定 ※5					
			車両からの緊急ハザード情報の発信					合流支援			車線変更支援		ITS FORUM RC-013	SAE	ETSI			
			UC 1-2-1	UC 1-2-2	UC 1-2-3	UC1-2-4		UC 2-1-1	合流車支援		UC2-2	UC3			基本メッセージ	BSM	CAM	DENM
路車	車車	合流車				本線車	車線変更車		関係車									
大項目	小項目																	
合計メッセージサイズ[byte]			39	405	405	175/4175	30/1030	772	39	25	202	23	23	—	—	—	—	
管理	メッセージID	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△※6			
	車両ID	32	○	○			○		○	○			○	○		△※7	△※7	
	路側機ID	32			○	○	○				○					△※7	△※7	
事象	発生時刻	32	○	○※1	○※1	○※2	○								△op※6		△※6	
	発生事象(ハザード種別)	8		○※1	○※1	○※2	○										△※7	
	発生事象(緊急回避行動種別)	8	○															
	対象物(速度、車両種別)	24	○															△※8
地点	緯度経度高度	88	○	○※1	○※1	○※2	○											△※6
	距離	16	○	○※1	○※1	○※2	○							○op				△op※6
	レーン情報/上下線	4	○	○※1	○※1	○※2	○									△op※7	△op※7	
	道路種別等	8	○	○※1	○※1	○※2	○											△op※7
通行	通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○	○※1	○※1													
	走行規制有無/走行レーン指定	8				○※2	○											
配信指定	配信元車両ID	32	○															
	配信対象レーン/上下線	4	○				○											
	情報有効時間	32	○				○											△※6
	再配信距離	16	○															
	緯度経度高度、距離、上下線、区間	124				○※2												
路側機	再配信時間、情報有効時間	64				○※2												
	加速レーン起点	16					○				○							
加速レーン起点	情報更新時刻	32					○				○							△※6
	緯度経度高度	88							○									
	レーン情報/上下線	4							○									
車両	返信要求位置範囲(上流、下流)	32							○									
	走行車両数	8						○			○							
	車両ID	8						○			○							
	車両位置(緯度経度高度)	88						○※3	○	○	○※4	○	○	○	○	○	△※6	
	走行レーン	8						○※3	○	○	○※4		○			△op※7	△op※7	
	車両速度	16						○※3	○	○	○※4	○	○	○	△※6	△※6	△op※6	
	車両長さ	14						○※3	○	○	○※4	○	○	○	△※6	△※6		
	加速レーン起点到達時刻	16						○※3	○	○	○※4							
	先行車との車間距離	16											○					
	車線情報(元レーン、移動先レーン)	8											○					
返信要求範囲指定	距離	16										○						
オプション	簡易図形	8000				○※2	○											

【※1】 最大20ハザード分 【※2】 最大4ハザード分 【※3】 最大40台分 【※4】 最大10台分
 【※5】 ○: 共通化可能(但し、一台分) / △: 同様の情報はありますが定義が異なる。 / op: オプションの場合 【※6】 サイズが異なる。
 【※7】 格納情報の定義に差はあるものの同様の情報を扱っており、共通化の可能性あり。 【※8】 複数のデータエレメントを結合することにより同様の情報となる。

●自工会検討 UC のメッセージセット内容の分類、共通化

自工会検討 UC のメッセージ内容を比較分類し、共通化可能な情報の抽出等を行った。ITS FORUM RC-013 等の規格を参考に、全 UC に共通な情報を共通領域、UC 毎に必要なとなる情報を自由領域として定義すると、管理情報（メッセージ ID、車両／路側機 ID）は全 UC に共通な情報であり共通領域として定義するのが適当であることが分かった。ただし、サイズが同じである車両 ID と路側機 ID を同一情報として扱うことを想定したが、共用した場合に想定サイズで必要な情報が定義可能かどうか等の確認が必要である。

一方、UC 毎に異なる管理情報以外の情報については、緊急ハザード情報（UC1-2）に必要な情報と、合流支援情報（UC2）及び車線変更情報（UC3）に必要な情報が異なることが確認できた。

●セキュリティ調査

ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109、ARIB STD-T75 の 3 つの候補通信方式にてパケット送信時のオーバーヘッドサイズを見積もるためにセキュリティに関する調査を行った。

【ARIB STD-T75】

ARIB STD-T75 では、DSRC 専用に最低限レベルでのプライバシー／無線傍受対策として、秘話鍵配送のスクランブルによる簡易秘話方式（秘話スクランブル方式）を定めている。秘話スクランブル方式における秘話鍵は、基地局と移動局にあらかじめ用意した同一の変換テーブルと、リンクチャネル確立フェーズで交換されるリンクアドレスを利用して生成される。つまり、セキュリティによるオーバーヘッドは特に必要でない。

【ARIB STD-T109】

平成 27 年度 SIP 研究成果報告書「ICT を利用した次世代 ITS の確立【課題 I】自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術の開発（ウ）車車間通信・路車間通信の通信プロトコルの開発」では、ARIB STD-T109 を用いる安全運転支援システムにおけるセキュリティのオーバーヘッドは、車載機：27 バイト及び基地局：56 バイトとして検討・評価を行っている。

- ARIB STD-T109 への適用を想定したセキュリティ関連のガイドライン ITS FORUM RC-009 があるが、具体的な方式やオーバーヘッドサイズは規定していない。
- ARIB STD-T109 を用いた安全運転支援システムで実際に用いられているセキュリティ仕様は非公開であり、上記オーバーヘッドの内容等の詳細は不明である。

【ITS FORUM RC-005】

ITS FORUM RC-005 へ適用するセキュリティ方式はまだ規定されていない。

図 7.3-1 に示すように、代表的なセキュリティ方式である公開鍵方式及び共通鍵方式 (MAC 方式) におけるセキュリティデータサイズ (例) は 204 バイト及び 53 バイトである。

データ改ざん、なりすまし等への対抗や国際協調の観点を考慮して、欧米で採用されている IEEE1609.2 の公開鍵方式のオーバーヘッドサイズ 204 バイトと H28 年度「自動走行向け ITS 無線通信手順についての調査検討」における想定サイズ 250 バイト (公開鍵方式と同程度) を踏まえて、本調査検討では以下の 2 ケースを想定して検討、評価を進めた。

- 27/56 バイト : ARIB STD-T109 (車載機/路側機) のセキュリティデータと同じサイズ
- 250 バイト : H28 年度及び H29 年度調査検討における想定サイズ

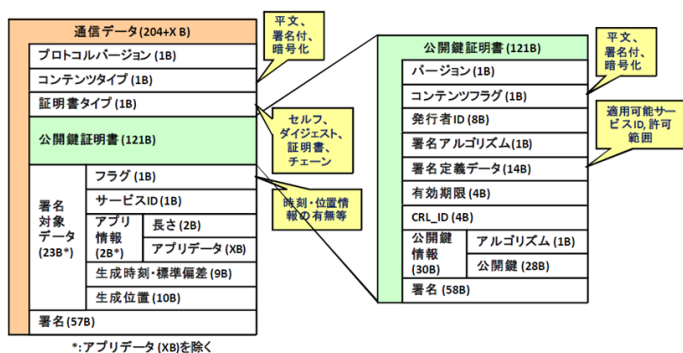
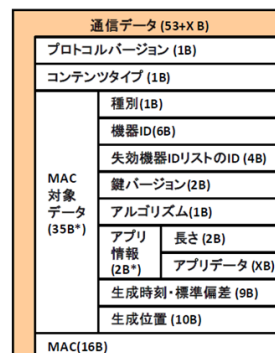


図 6-2 電子署名方式での通信フォーマット(IEEE1609.2)

**公開鍵方式の
セキュリティデータサイズ(例): 204byte
(IEEE1609.2規格の最小サイズ)**



*: アプリデータ (XB)を除く

図 6-4 MAC 方式の通信フォーマット例

**共通鍵方式の
セキュリティデータサイズ(例): 53byte**

図 7.3-1 : 公開鍵方式と共通鍵方式 (MAC 方式)

●パケット分割/再結合

メッセージサイズが大きい自工会検討 UC に対しては、パケット分割/再結合の処理が必要となる。候補通信方式毎にパケット分割/再結合の処理方法及びそれにともなうオーバーヘッドサイズを整理した。

3つの候補通信方式に適用されるパケット分割/再結合処理は以下のガイドライン、通信規格で規定されている。

- ITS FORUM RC-005 : ITS FORUM RC-014
- ARIB STD-T109 : ITS FORUM RC-010
- ARIB STD-T75 : 同規格内にて規定

【ITS FORUM RC-005/ITS FORUM RC-014】

図 7.3-2 に、ITS FORUM RC-005 に適用される ITS FORUM RC-014 におけるデータ交換例を示す。パケット分割／再結合は ITS-LPP 層及び ITS-ASL-ELCP 層の 2 ヶ所で行われる。同図に示すように、アプリケーションから 1386 バイト以上のデータを受け取った場合、パケット分割が行われ計 13 バイトのオーバーヘッドが追加される。

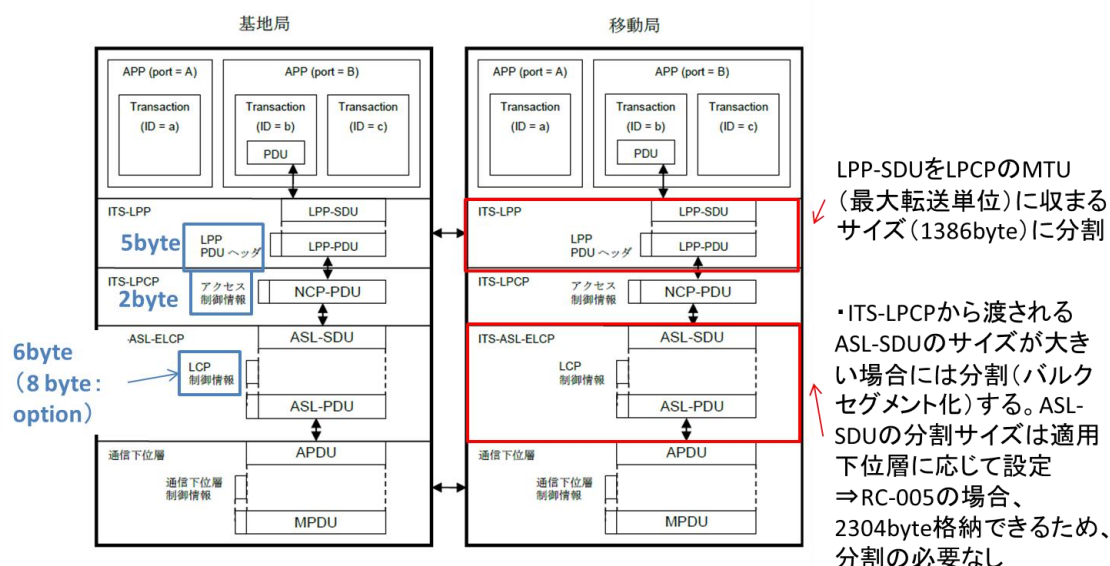


図 3.3-2 ITS-LPP におけるトランザクション間データ交換例

図 7.3-2 : データ交換例 (ITS FORUM RC-014)

【ARIB STD-T109/ITS FORUM RC-010】

(路側機における) パケット分割及び送信を ARIB STD-T109 に適用するために ITS FORUM RC-010 において規定されるオーバーヘッドサイズは、路側機 (基地局) : 5 バイト及び車載機 (移動局) : 1 バイトである。

本パケット分割／再結合が適用される送信元は路側機のみであり、ARIB STD-T109 及び ITS FORUM RC-010 を自動走行支援通信に適用した場合、車載機が送信するメッセージに対してはパケット分割／再結合を行うことができない。さらに、ARIB STD-T109 による 700MHz 帯 ITS 無線通信を自動走行支援通信として使用する場合は送信パケット長に上限がある。(後述の有効性の机上検討では、車載機におけるパケット分割／再結合、送信制限に関しては今後見直されることを想定して、通信品質評価を実施)

【ARIB STD-T75】

ARIB STD-T75 規格内でパケット分割／再結合に関して規定されており、MAC 制御フィールドの一部を用いて処理が行われる。すなわち、パケット分割／再結合によるオーバーヘッドの追加は必要でない。

●パケット構成案

セキュリティ及びパケット分割／再結合による追加オーバーヘッドの整理結果を踏まえて、候補通信方式毎の packets 構成（案）を検討した。

7.3.2. プロトコル検討

プロトコルの検討にあたっては、平成 29 年度調査検討にてまとめたプロトコル案を参考にした。平成 29 年度調査検討のプロトコル案は、これまで国内において車車間・路車間通信向け ITS 無線通信として検討、規格化されてきた ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 の通信仕様を参考にして検討されたものである。

●通信制御方式の概要

通信形態、必要通信距離、通信シーケンス等の観点から、自工会検討 UC 毎にプロトコルを検討し、変調方式、送信タイミング、連送等の通信制御パラメータをアプリケーションと連携して変更する必要があることを確認した。図 7.3-3 に、通信制御方式の適用例を示す。

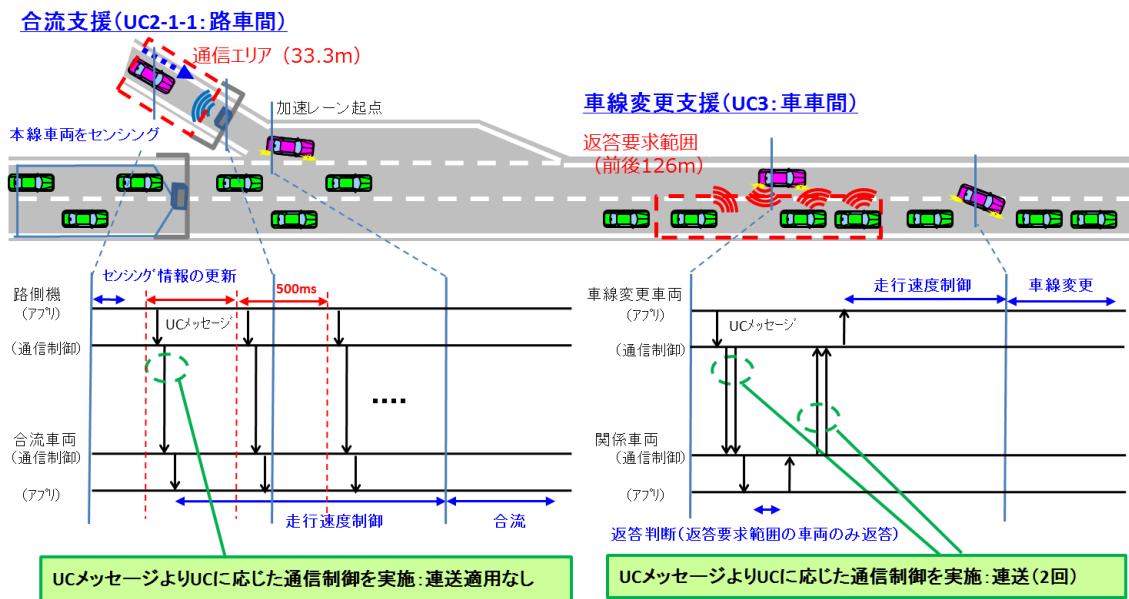


図 7.3-3 : 通信制御方式の適用例（合流支援、車線変更支援）

●通信制御フローとプロトコルスタックの概要

アプリケーションと連携した通信制御を実現するために、通信上位層を設定した通信制御方式を検討した。図 7.3-4 に、検討した通信制御フロー例及びプロトコルスタック例を示す。同図に示すように、メッセージセットに含まれる UC 情報（メッセージ ID）に応じて変調方式、送信タイミング等の既存 ITS 無線通信のパラメータと連送等の通信上位層の

追加機能のパラメータを変更する。本調査検討では、ガイドライン策定に向けてプロトコルスタックへの対応を整理した。

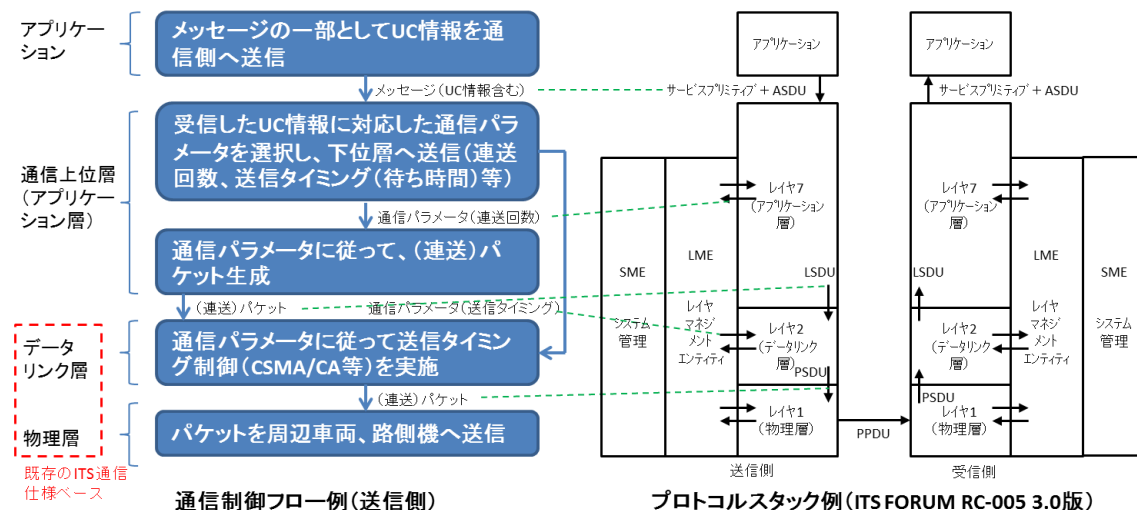


図 7.3-4：通信制御フロー例（送信側）とプロトコルスタック例（ITS FORUM RC-005）

●自動走行支援通信のプロトコル案の主な通信諸元

既存の ITS 無線通信仕様 (ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75) をベースに、実環境を想定した条件において自工会検討 UC を実現するためのプロトコルを検討、評価し、自動走行支援通信のプロトコル案を作成した。

表 7.1-1 に、候補通信方式（ベースの既存 ITS 無線通信）毎のプロトコル案の主な通信諸元を示す。同表の青字が候補通信方式の仕様から追加変更が必要な部分である。なお、同表は L1（物理層）及び L2（データリンク層）における追加変更を極力少なくする立場で整理したものである。

送信時間制限等の候補通信方式の規格上の制約により必要な追加機能の適用が難しい場合、実現可能な UC が限定されるものの、中継制御、送信制御及び連送制御機能をアプリケーション、L7（通信上位層）等に適用することで、全ての自工会検討 UC の通信要件を満足することが分かった。

7.3.3. 通信仕様案（メッセージセット案）まとめ

検討結果をもとに、実環境を想定した自動走行支援通信の通信仕様案（メッセージセット案及びプロトコル案）としてまとめた。以下にメッセージセット案を示す。

●メッセージ内容

表 7.3-2 に、通信形態（送信局）が路車間通信（基地局）、路車間通信（移動局）及び車車間通信（移動局）の場合の自工会検討 UC のメッセージ内容の分類を示す。

同表に示すように、管理情報（メッセージ ID、車両／路側機 ID）は全 UC に共通な情報であり共通領域として定義する（ただし、車両 ID と路側機 ID を同一情報として扱うことを想定するが、共用した場合に想定サイズで必要な情報が定義可能かどうか等の確認が必要）。

一方、UC 毎に異なる管理情報以外の情報については、緊急ハザード情報（UC1-2）に必要な情報（同表、水色部分）と、合流支援情報（UC2）及び車線変更情報（UC3）に必要な情報（同表、オレンジ色部分）が異なり自由領域として定義する。

表 7.3-2：自工会検討 UC のメッセージ内容の分類

(a) 路車間通信（基地局）

領域	情報名		bit	車両からの緊急ハザード情報の発信		合流支援	
				UC 1-2-3	UC1-2-4 路車	合流車支援 UC 2-1-1	本線車支援 UC2-2
	大項目	小項目		合計メッセージサイズ[byte]		405	175/4175
共通領域	管理情報	メッセージID	8	○	○	○	○
		車両ID	32				
		路側機ID	32	○	○	○	○
自由領域	事象情報	発生時刻	32	○	○		
		発生事象(ハザード種別)	8	○	○		
		発生事象(緊急回避行動種別)	8				
		対象物情報(速度、車両種別)	24				
	地点情報	緯度経度高度	88	○	○		
		距離	16	○	○		
		レーン情報/上下線	4	○	○		
	通行情報	道路種別等	8	○	○		
		通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○			
	配信指定情報	走行規制有無/走行レーン指定	8		○		
		配信元車両ID	32				
		配信対象レーン/上下線	4				
		情報有効時間	32				
	路側機情報	再配信距離	16				
		緯度経度高度、距離、上下線、区間	124		○		
		再配信時間、情報有効時間	64		○		
		加速レーン起点情報	16			○	○
	加速レーン起点情報	情報更新時刻	32			○	○
		緯度経度高度	88				
	車両情報	レーン情報/上下線	4				
		返信要求位置範囲(上流、下流)	32				
走行車両数		8			○	○	
車両ID		8			○	○	
車両位置(緯度経度高度)		88			○	○	
走行レーン		8			○	○	
車両速度		16			○	○	
車両長さ		14			○	○	
加速レーン起点到達時刻		16			○	○	
先行車との車間距離		16			○	○	
車線情報(元レーン、移動先レーン)	8						
返信要求範囲指定情報	距離	16					
オプション(追加)	簡易図形情報(拡張時の追加情報)	8000		○			
		(TBD)					

(b) 路車間通信（移動局）

領域	情報名		bit	車両からの緊急 ハザード情報の発信
	大項目	小項目		UC 1-2-2
合計メッセージサイズ[byte]				405
共通 領域	管理情報	メッセージID	8	○
		車両ID	32	○
		路側機ID	32	
自由 領域	事象情報	発生時刻	32	○
		発生事象(ハザード種別)	8	○
		発生事象(緊急回避行動種別)	8	
		対象物情報(速度、車両種別)	24	
	地点情報	緯度経度高度	88	○
		距離	16	○
		レーン情報/上下線	4	○
	通行情報	道路種別等	8	○
		通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○
		走行規制有無/走行レーン指定	8	
	配信指定 情報	配信元車両ID	32	
		配信対象レーン/上下線	4	
		情報有効時間	32	
		再配信距離	16	
		緯度経度高度、距離、上下線、区間	124	
	路側機 情報	再配信時間、情報有効時間	64	
		加速レーン起点情報	16	
	加速レーン 起点情報	情報更新時刻	32	
		緯度経度高度	88	
		レーン情報/上下線	4	
	車両情報	返信要求位置範囲(上流、下流)	32	
		走行車両数	8	
		車両ID	8	
		車両位置(緯度経度高度)	88	
		走行レーン	8	
		車両速度	16	
		車両長さ	14	
加速レーン起点到達時刻		16		
先行車との車間距離		16		
車線情報(元レーン、移動先レーン)		8		
返信要求範囲 指定情報	距離	16		
オプション (追加)	簡易図形情報 (拡張時の追加情報)	8000 (TBD)		

(c) 車車間通信 (移動局)

領域	情報名		bit	車両からの緊急 ハザード情報の発信		合流支援 合流車支援		車線変更支援	
	大項目	小項目		UC	UC1-2-4	UC2-1-2		UC3	
				1-2-1	車車	合流車	本線車	車線変更車	関係車
合計メッセージサイズ[byte]				39	30/1030	39	25	23	23
共通 領域	管理情報	メッセージID	8	○	○	○	○	○	○
		車両ID	32	○	○	○	○	○	○
		路側機ID	32	○	○	○	○	○	○
自由 領域	事象情報	発生時刻	32	○	○				
		発生事象(ハザード種別)	8		○				
		発生事象(緊急回避行動種別)	8	○					
		対象物情報(速度、車両種別)	24	○					
	地点情報	緯度経度高度	88	○	○				
		距離	16	○	○				
		レーン情報/上下線	4	○	○				
	通行情報	道路種別等	8	○	○				
		通行可否(レーンチェンジ要否)	2	○					
		走行規制有無/走行レーン指定	8		○				
	配信指定 情報	配信元車両ID	32	○	○				
		配信対象レーン/上下線	4	○	○				
		情報有効時間	32	○	○				
		再配信距離	16	○					
		緯度経度高度、距離、上下線、区間	124						
	路側機 情報	再配信時間、情報有効時間	64						
		加速レーン起点情報	16						
	加速レーン 起点情報	情報更新時刻	32						
		緯度経度高度	88			○			
		レーン情報/上下線	4			○			
	車両情報	返信要求位置範囲(上流、下流)	32			○			
		走行車両数	8						
		車両ID	8						
		車両位置(緯度経度高度)	88			○	○	○	○
		走行レーン	8			○	○	○	○
		車両速度	16			○	○	○	○
		車両長さ	14			○	○	○	○
加速レーン起点到達時刻		16			○	○			
先行車との車間距離		16				○		○	
車線情報(元レーン、移動先レーン)		8					○		
返信要求範囲 指定情報	距離	16					○		
オプション (追加)	簡易図形情報 (拡張時の追加情報)	8000 (TBD)		○					

● パケット構成

図 7.3-5 から図 7.3-7 に、それぞれ ITS FORUM RC-005、ARIB STD-T109 及び ARIB STD-T75 を候補通信方式とした場合の自動走行支援通信のパケット構成（案）を示す。

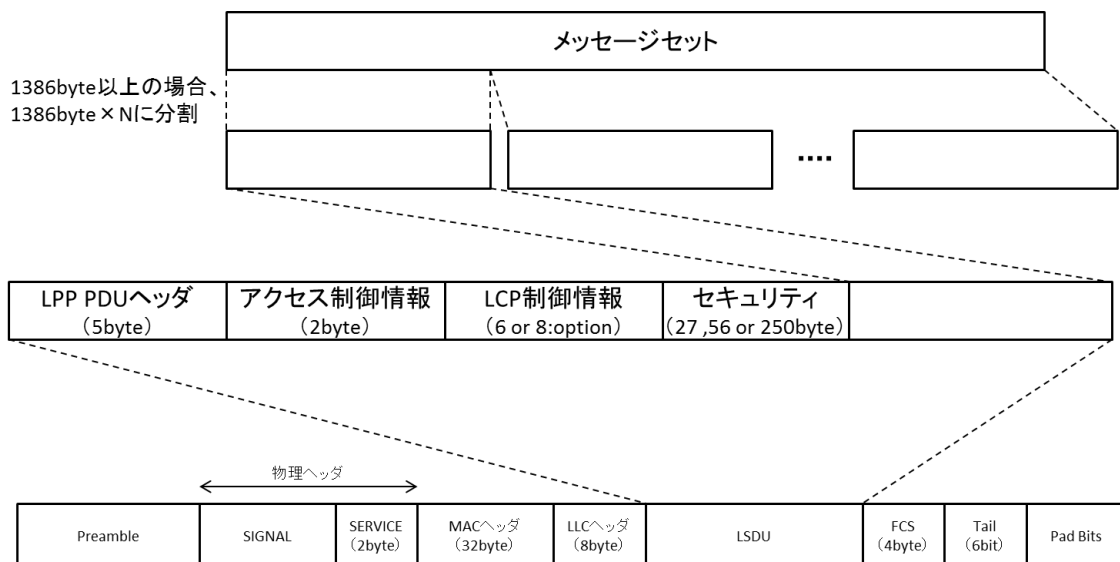
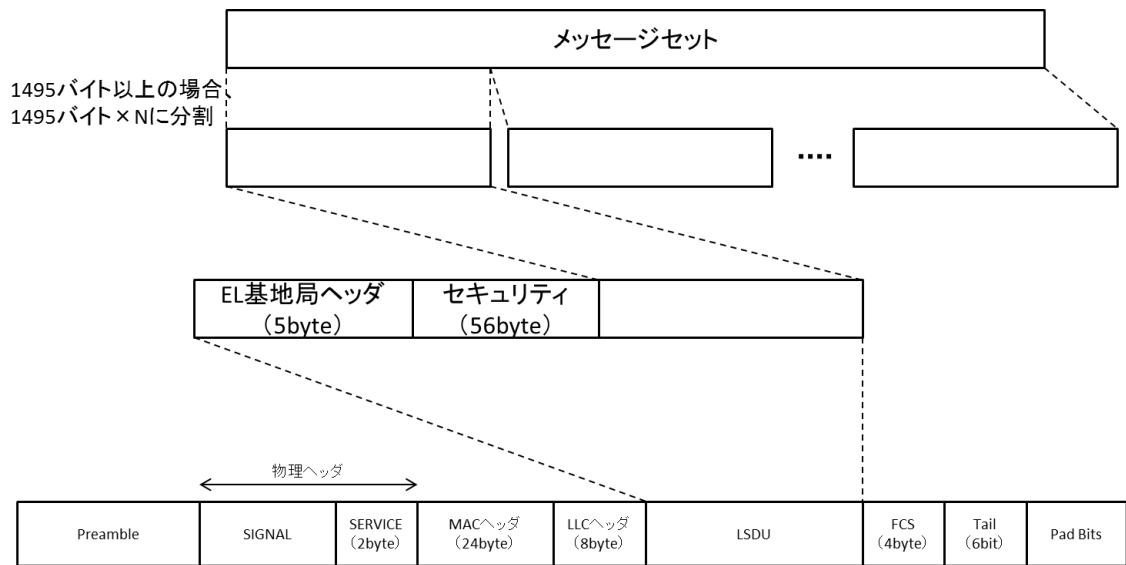
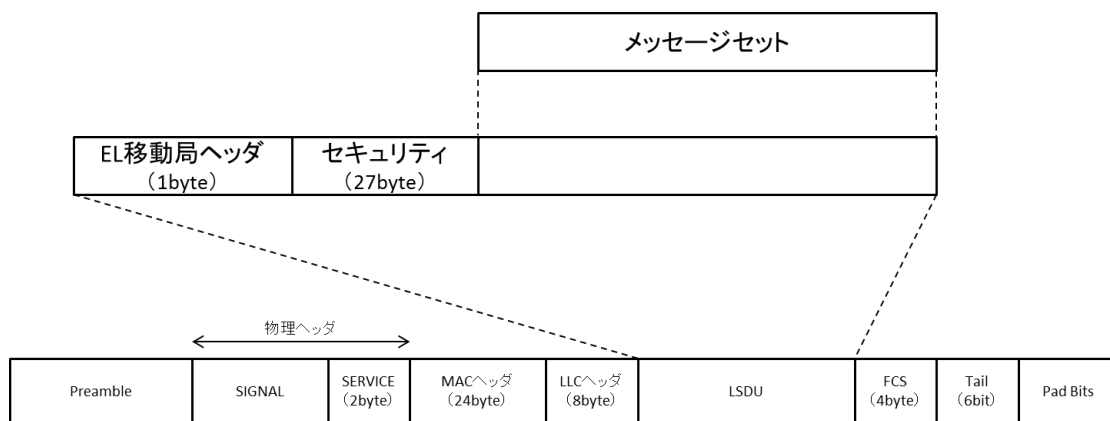


図 7.3-5：自動走行支援通信のパケット構成（案）
候補通信方式：ITS FORUM RC-005（路側機、車載機）



(a) 路側機



(b) 車載機

図 7.3-6 : 自動走行支援通信の packets 構成 (案)

候補通信方式 : ARIB STD-T109

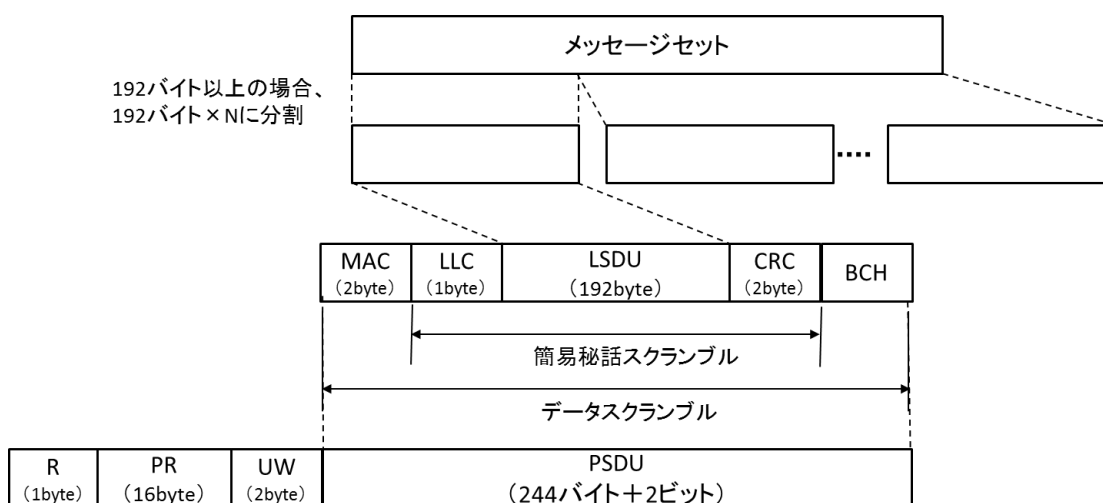


図 7.3-7：自動走行支援通信のパケット構成（案）

候補通信方式：ARIB STD-T75（路側機、車載機）

7.3.4. 通信仕様案（プロトコル案）まとめ

以下にプロトコル案を示す。

●主な通信諸元

表 7.1-1 に、候補通信方式（ベースの既存 ITS 無線通信）毎のプロトコル案の主な通信諸元を示す。同表の青字が候補通信方式の仕様から追加変更が必要な部分である。なお、同表は L1（物理層）及び L2（データリンク層）における追加変更を極力少なくする立場で整理したものである。

【通信シーケンス】

図 7.3-8 から図 7.3-15、自工会検討 UC を想定した通信シーケンス案を示す。

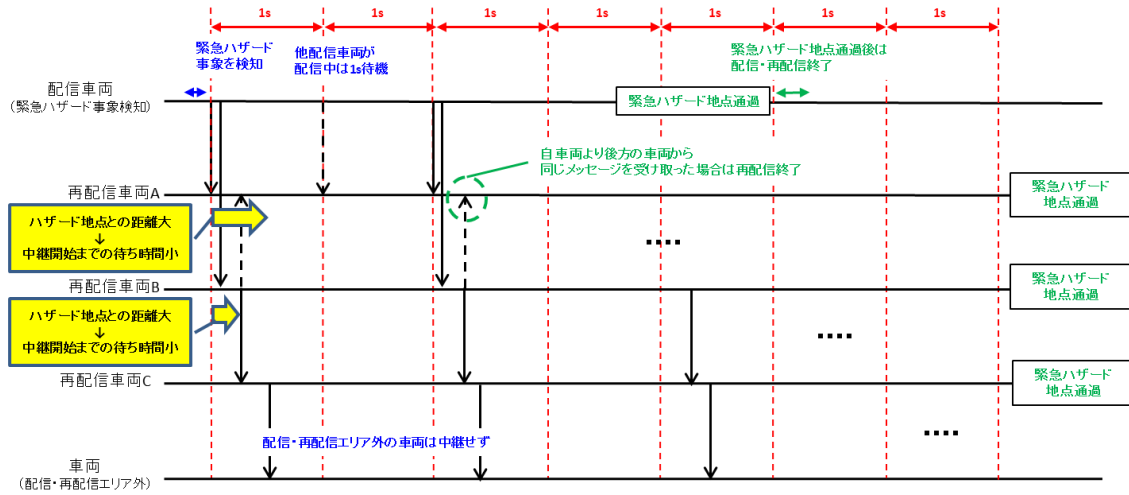


図 7.3-8 : UC1-2-1 の通信シーケンス案

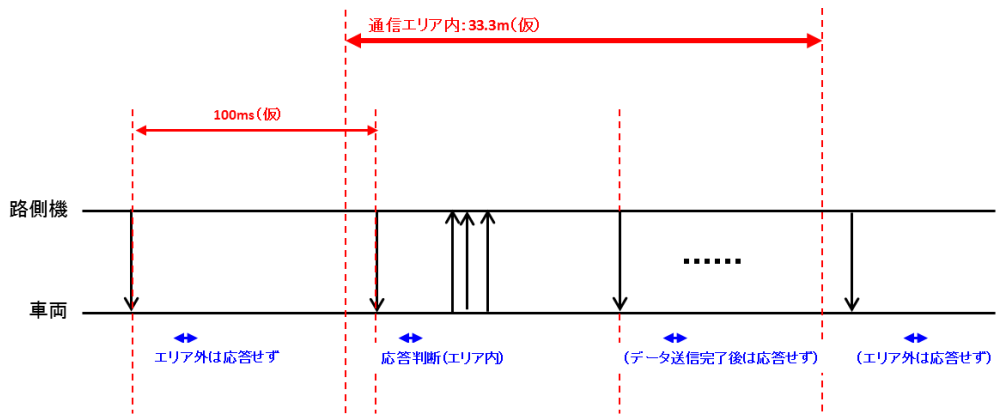


図 7.3-9 : UC1-2-2 の通信シーケンス案

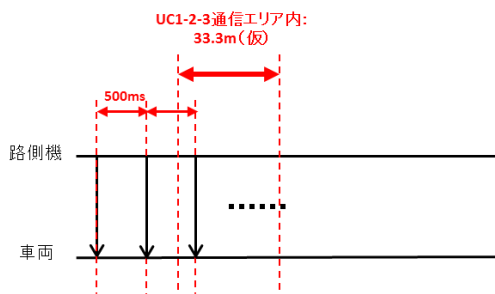


図 7.3-10 : UC1-2-3 の通信シーケンス案

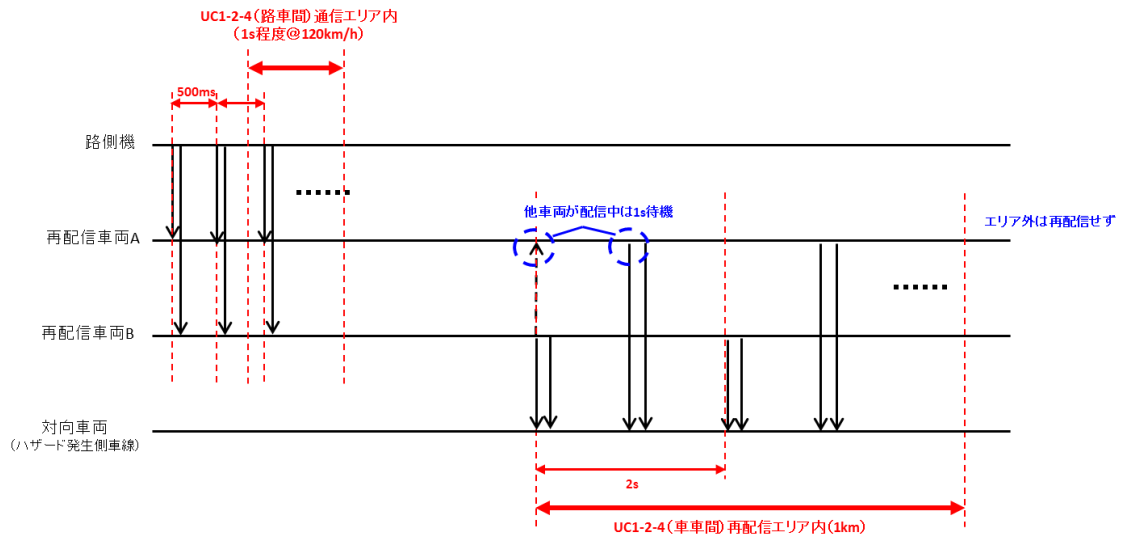


図 7.3-11 : UC1-2-4 の通信シーケンス案

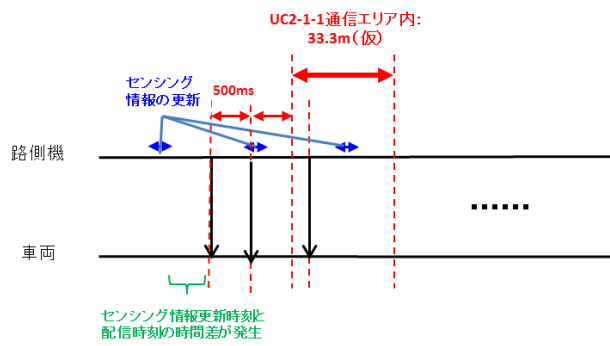


図 7.3-12 : UC2-1-1 の通信シーケンス案

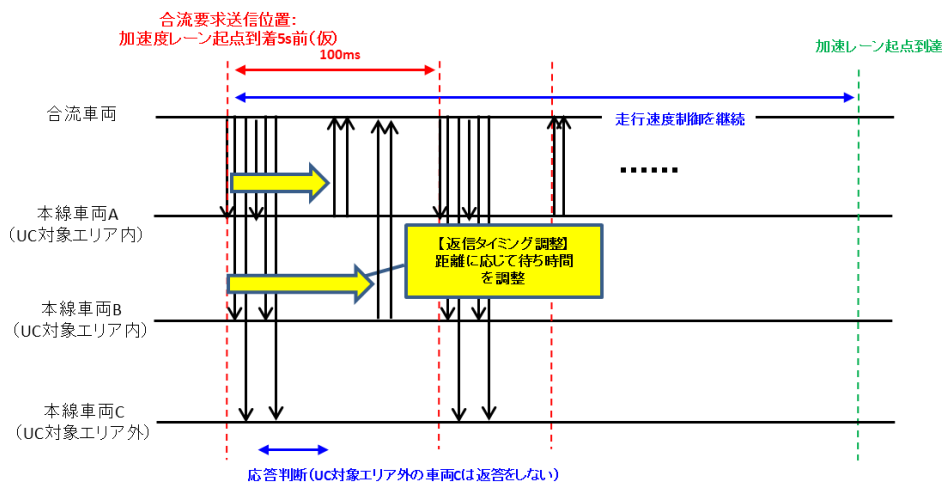


図 7.3-13 : UC2-1-2 の通信シーケンス案

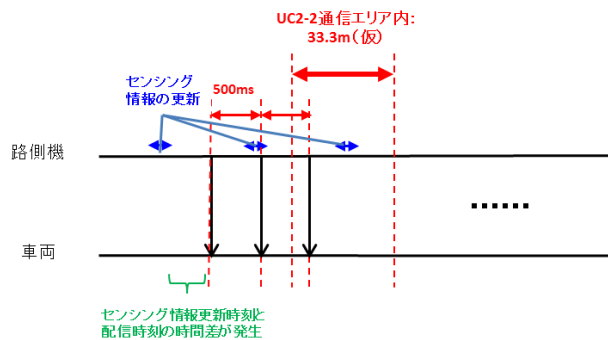


図 7.3-14 : UC2-2 の通信シーケンス案

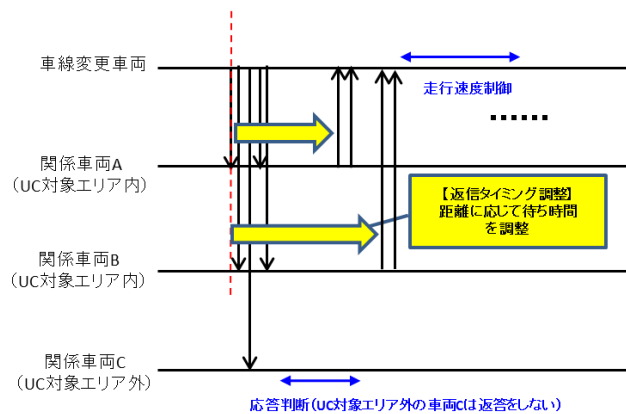


図 7.3-15 : UC3 の通信シーケンス案

【プロトコル案 (ITS FORUM RC-005 ベース)】

ITS FORUM RC-005 をベースとしたプロトコル案を示す。本プロトコル案はガイドライン ITS FORUM RC-005 3.0 版の第 1 部-第 1.1 部に記載されているマルチキャリア (OFDM) 伝送方式-車車間アプリケーション及び ITS-ASL 対応拡張方式 (以下、参考ガイドライン) をベースとして機能の追加・見直しを行ったものである。赤字部分は本調査検討より抽出した追加機能である。

概要

- 5.8GHz 帯を使用した車車間通信システム及び路車間通信システムの実験用として、IEEE802.11p-2010 及び IEEE1609.3-2010 を参考に、陸上移動局 (車載機) と陸上移動局及び陸上移動局と基地局 (路側機) との間の無線区間インタフェースについて規定する。
- 移動局と移動局又は基地局と移動局間の同報通信に限定する。

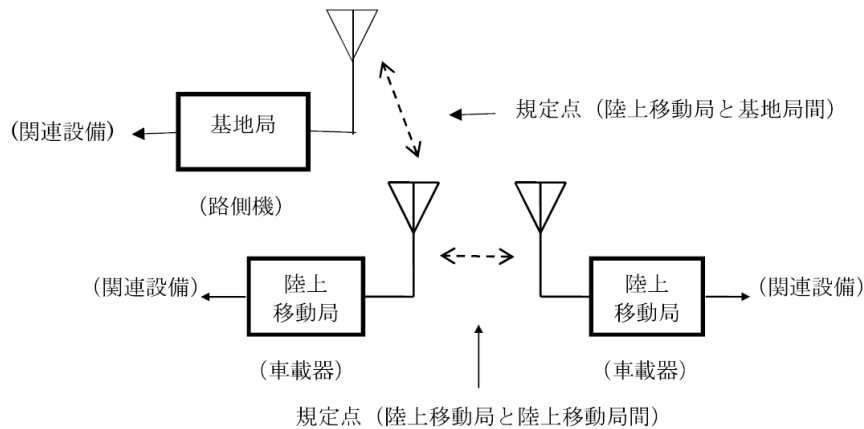


図 7.3-16 : システムの構成 (ITS FORUM RC-005 ベース)

無線通信方式

○伝送方式

- 表 7.3-3 に、伝送方式の諸元を示す。

表 7.3-3 : 伝送方式の諸元 (ITS FORUM RC-005 ベース)

項目	諸元
無線周波数	5.8GHz 帯
周波数選定	規定しない
誤り訂正	畳み込み FEC R=1/2、2/3、3/4
変調	BPSK/OFDM、QPSK/OFDM、16QAM/OFDM、64QAM/OFDM

○アクセス方式

- CSMA/CA (Carrie Sense Multiple Access /Collision Avoidance) 方式の通信制御手順とする。
- 移動局及び基地局は、移動局及び基地局と同報通信を行う。

プロトコル

○プロトコルスタック

- 図 7.3-17 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1 (物理層 : 参考ガイドラインの 4.2 節に規定)、レイヤ 2 (データリンク層 : 参考ガイドラインの 4.3 節に規定) 及びレイヤ 7 (アプリケーション層 : 参考ガイドラインの 4.4 節に規定) の 3 層構造とする。
- アプリケーションとレイヤ 7 間のサービスプリミティブ等についても規定する。

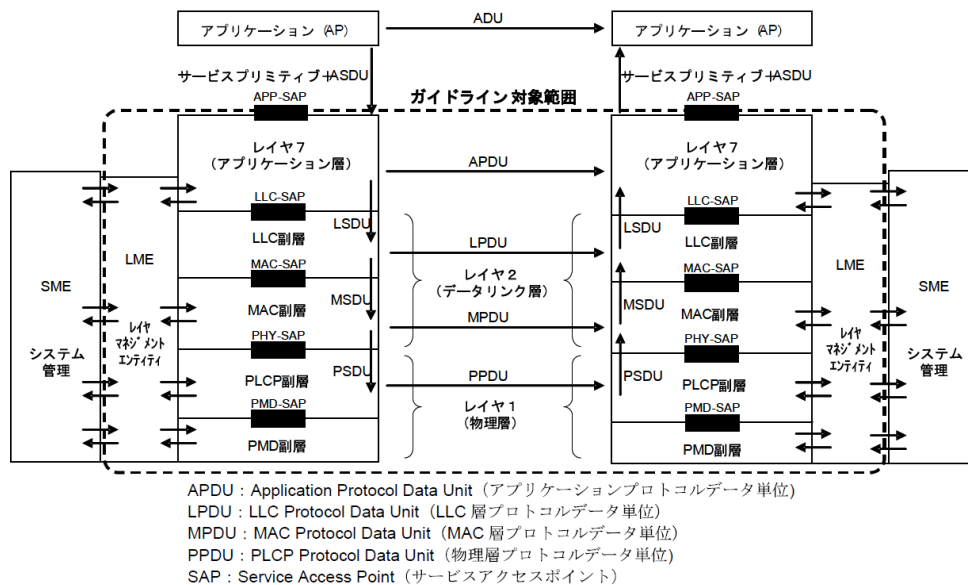


図 7.3-17 : プロトコルスタック (ITS FORUM RC-005 ベース)

○IP 系プロトコル

- 規定しない。

○番号計画 (アドレッシング)

- 移動局及び基地局を識別するための番号としてリンクアドレス (MAC アドレス) を用いる。
- リンクアドレスの生成方法は規定しない。

○セキュリティ方式

- 規定しない。

一般的条件及び無線設備の技術的条件

- 参考ガイドラインの第 3 章にて規定

通信制御方式

○レイヤ 1 (物理層) 規格

- 参考ガイドラインの 4.2 節にて規定

○レイヤ 2 (データリンク層) 規格

- 参考ガイドラインの 4.3 節にて規定

○レイヤ 7 (アプリケーション層) 規格

- 参考ガイドラインの 4.4 節にて規定

- **連送制御機能を追加**

○アプリケーション

- 中継制御機能を追加
- 送信制御機能を追加

【プロトコル案 (ARIB STD-T109 ベース)】

ARIB STD-T109 をベースとしたプロトコル案を示す。本プロトコル案は ARIB STD-T109 1.3 版 (以下、参考規格) に記載されている方式をベースとして機能の追加・見直しを行ったものである。

概要

- 無線設備規則第 49 条の 22 の 2 に規定される「700MHz 帯高度道路交通システムの無線設備」の陸上移動局と移動局及び移動局と基地局との間の無線区間インターフェースについて規定する。
- 基地局又は移動局からの同報通信方式に限定する。

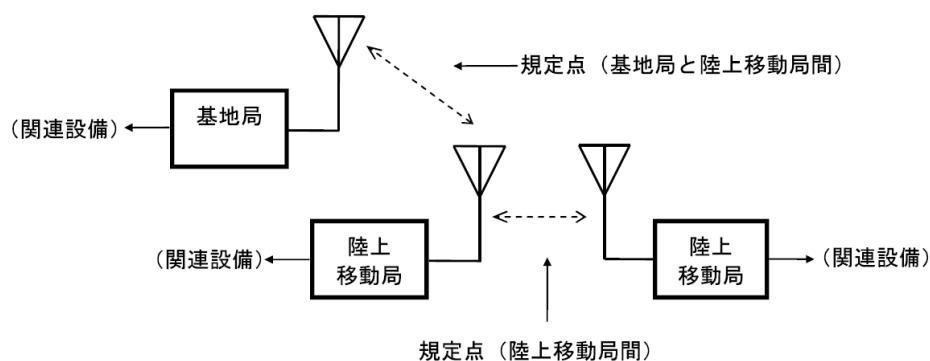


図 7.3-18 : システムの構成 (ARIB STD-T109 ベース)

無線通信方式

○伝送方式

- 表 7.3-4 に、伝送方式の諸元を示す。

表 7.3-4 : 伝送方式の諸元 (ARIB STD-T109 ベース)

項目	諸元
無線周波数	700MHz 帯の単一周波数
周波数選定	不要 (固定)
誤り訂正	畳み込み FEC R=1/2、3/4
変調	BPSK/OFDM、QPSK/OFDM、16QAM/OFDM

○アクセス方式

- 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を基本とする。
- 基地局からの通信は、基地局の送信設定時間内に同報通信を行う。
- 移動局からの通信は、移動局の送信設置時間内に、CSMA/CA (Carrie Sense Multiple Access /Collision Avoidance) 方式の通信制御手順を基本とした同報通信を行う。

プロトコル

○プロトコルスタック

- 図 7.3-19 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1 (物理層：参考規格の 4.2 節にて規定)、レイヤ 2 (データリンク層：参考規格の 4.3 節にて規定)、車車間・路車間共用通信制御情報層 (IVC-RVC 層：4.4 節にて規定) 及びレイヤ 7 (アプリケーション層：4.5 節にて規定) の 4 層構造とする。
- レイヤ 7 とアプリケーション間のサービスプリミティブ、レイヤ 7 とセキュリティ管理間のサービスプリミティブ等についても規定する。

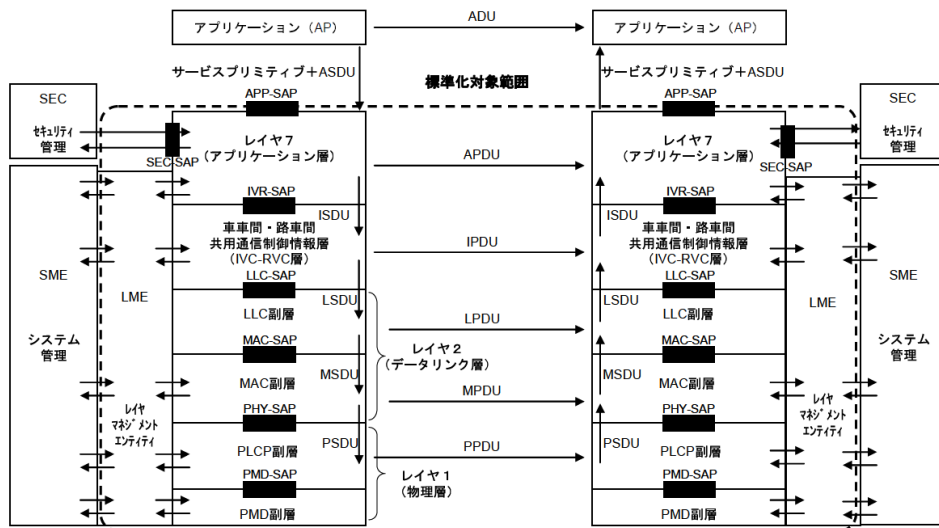


図 7.3-19：プロトコルスタック (ARIB STD-T109 ベース)

○IP 系プロトコル

- 規定しない。

○番号計画 (アドレッシング)

- 移動局及び基地局を識別するための番号としてリンクアドレス（MAC アドレス）を用いる。
 - リンクアドレスの生成方法は規定しない。
- セキュリティ方式
- 規定しない。

一般的条件及び無線設備の技術的条件

- 参考規格の第 3 章にて規定

通信制御方式

- レイヤ 1（物理層）規格
 - 参考規格の 4.2 節にて規定
- レイヤ 2（データリンク層）規格
 - 参考規格の 4.3 節にて規定
- 車車間・路車間共用通信制御情報層（IVC-RVC 層）規格
 - 参考規格の 4.4 節にて規定
- レイヤ 7（アプリケーション）規格
 - 参考規格の 4.5 節にて規定
 - **連送制御機能を追加**
 - **パケット分割・再結合機能を追加**
- アプリケーション
 - **中継制御機能を追加**
 - **送信制御機能を追加**

【プロトコル案（ARIB STD-T75 ベース）】

ARIB STD-T75 をベースとしたプロトコル案を示す。本プロトコル案は ARIB STD-T75 1.5 版に記載されている $\pi/4$ シフト QPSK 方式（以下、参考規格）をベースとして機能の追加・見直しを行ったものである。

概要

- 基地局と陸上移動局及び移動局と試験用無線局の間の無線区間インタフェースについて規定する。

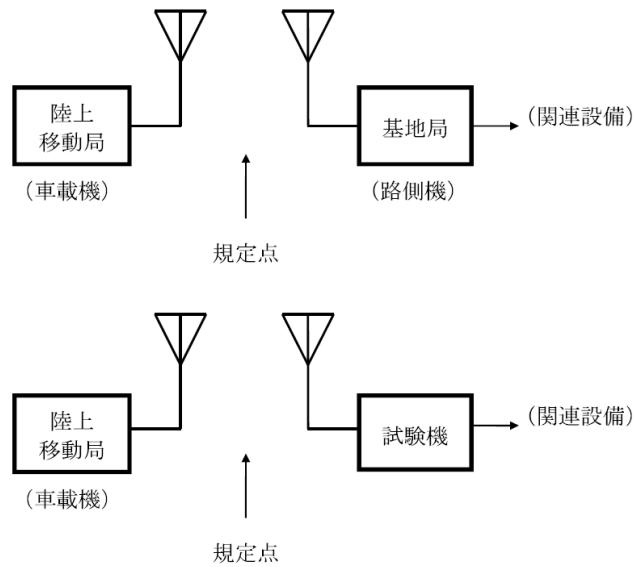


図 7.3-20：システムの構成（ARIB STD-T75 ベース）

無線通信方式

○伝送方式

- 表 7.3-5 に、伝送方式の諸元を示す。

表 7.3-5：伝送方式の諸元（ARIB STD-T75 ベース）

項目	諸元
無線アクセス方式	TDMA-FDD
TDMA 多重数	8 以下（2、4 あるいは 8 で可変）
送受信周波数間隔	40MHz
変調方式	$\pi/4$ シフト QPSK
伝送速度	4096kbps
媒体アクセス制御方式	アダプティブスロットドアロハ方式

プロトコル

○プロトコルスタック

- 図 7.3-21 に、プロトコルスタックを示す。
- レイヤ 1（物理媒体層：参考規格の 4.2 節に規定）、レイヤ 2（データリンク層：参考規格の 4.3 節に規定）及びレイヤ 7（アプリケーション層：参考規格の 4.4 節に規定）の 3 層構造とする。
- MAC 副層及びレイヤ 1 の層管理エンティティ（LME）及びシステム管理エンティティ（SME）を規定し、各層間でのサービスプリミティブを交換し管理を行う。

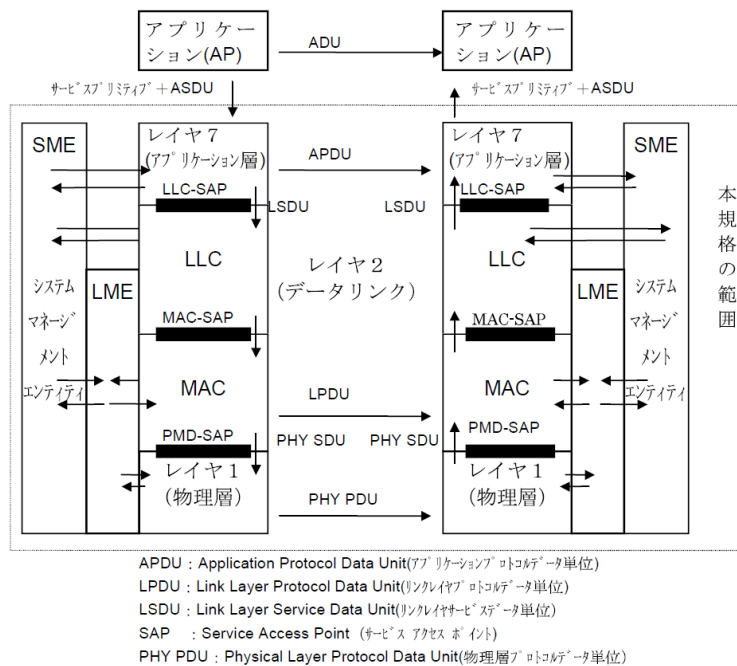


図 7.3-21 : プロトコルスタック (ARIB STD-T75 ベース)

○番号計画 (リンクアドレス)

- リンクアドレスは移動局にてランダムに選択された 4 オクテット長のアドレスを使用する。

○秘話方式

- 簡易秘話方式を標準化する。

無線設備の技術的条件

- 参考規格の第 3 章にて規定 ($\pi/4$ シフト QPSK 方式)

通信制御方式

○レイヤ 1 (物理層) 規格

- 参考規格の 4.2 節にて規定

○レイヤ 2 (データリンク層) 規格

- 参考規格の 4.4 節にて規定

○レイヤ 7 (アプリケーション) 規格

- 参考規格の 4.5 節にて規定

- **連送制御機能を追加**

7.4. 通信性能評価

メッセージセット及びプロトコルの検討結果を踏まえて、実環境を想定した電波伝搬モデルの選定を行った上で、机上検討及びシミュレーション評価により各 UC の通信性能評価を行った。

7.4.1. 電波伝搬モデルの検討

電波伝搬環境について実環境を模擬するため、電波伝搬特性を4つに分類し、それぞれに対してモデルの選定を行った。表 7.4-1 に選定した電波伝搬モデルを示す。

表 7.4-1：選定電波伝搬モデル

電波伝搬特性		選定モデルまたは値		
		ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109	ARIB STD-T75
距離特性	長区間	「ITS 通信シミュレーション評価シナリオ」モデル		
マルチパス フェージング	短区間	$\sigma = 3.68\text{dB}$	$\sigma = 4.46\text{dB}$	$\sigma = 3.68\text{dB}$
	瞬時	ITS FORUM 運転支援通信システム専門委員会 伝搬モデル検討合同連絡会の検討モデル		未適用 (AWGN 環境想定)
シャドウイング		10dB	4dB	10dB

7.4.2. リンクレベル（1対1）の通信性能評価

●路車間通信 UC

電波伝搬モデル、1対1通信の通信品質であるパケットエラー率－CNR 特性等を考慮した無線回線設計の結果より以下のことが分かった。

【候補通信方式：ITS FORUM RC-005】

- ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）を選択することで回線マージンが 0dB 以上
- ・ 連送回数を増やすことで回線マージンが 10dB 程度

【候補通信方式：ARIB STD-T109】

- ・ UC に応じて適当な変調方式を選択することで、連送を行うことなく回線マージンが 20dB 以上

【候補通信方式：ARIB STD-T75】

- ・ 最大でも数 dB の回線マージン
- ・ 連送回数を増やしても改善効果が小さい

表 7.4-2 に、路車間通信 UC に対する無線回線設計結果のまとめを示す。

表 7.4-2：無線回線設計（路車間通信 UC）まとめ

UC No.	値	候補通信方式				要件 必要通信距離 [m]	
		ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109	ARIB STD-T75			
		セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ [byte]					
		250	車路27、路車56		(簡易秘話)		
1-2-2 緊急ハザード UL	必要連送回数[回]	3 - 5	2 - 5	1 - 5	5	33.3	
	回線マージン[dB]	0.9 - 7.3	1.8 - 9.6	19.4 - 23.2	0.2		
	最大通信距離[m]	38 - 78	42 - 101	170 - 210	35		
1-2-3 緊急ハザード DL	必要連送回数[回]	2 - 5	1 - 5	1 - 5	1 - 5		
	回線マージン[dB]	9.8 - 13.0	5.7 - 14.0	24.5 - 27.0	0.4 - 2.2		
	最大通信距離[m]	103 - 147	65 - 165	226 - 261	36 - 43		
1-2-4 緊急ハザード 対向車 DL	簡易 図形 情報 あり	必要連送回数[回]	2 - 5	2 - 5	1 - 5		2 - 5
		回線マージン[dB]	4.3 - 11.2	4.9 - 11.5	22.9 - 26.1		1.0 - 2.0
		最大通信距離[m]	56 - 120	59 - 125	207 - 248		38 - 42
	簡易 図形 情報 なし	必要連送回数[回]	1 - 5	1 - 5	1 - 5	1 - 5	
		回線マージン[dB]	7.5 - 14.2	11.4 - 15.3	24.8 - 27.2	0.8 - 2.3	
		最大通信距離[m]	80 - 169	123 - 191	230 - 264	37 - 43	
2-1-1 合流支援 合流車へ伝達 DL	必要連送回数[回]	2 - 5	2 - 5	1 - 5	1 - 5		
	回線マージン[dB]	8.6 - 12.4	8.9 - 12.6	24.3 - 26.8	0.3 - 2.2		
	最大通信距離[m]	90 - 138	93 - 141	224 - 258	36 - 43		
2-2 合流支援 本線車へ伝達 DL	必要連送回数[回]	1 - 5	1 - 5	1 - 5	1 - 5		
	回線マージン[dB]	6.6 - 14.0	11.2 - 15.2	24.7 - 27.2	0.6 - 2.2		
	最大通信距離[m]	72 - 165	120 - 189	229 - 269	37 - 43		

●車車間通信 UC

電波伝搬モデル、1対1通信の通信品質であるパケットエラー率-CNR 特性等を考慮した無線回線設計の結果より以下のことが分かった。

【候補通信方式：ITS FORUM RC-005】

- ・ セキュリティ等のオーバーヘッドサイズが 250byte の場合、全ての UC で回線マージン 0dB 未満
- ・ セキュリティ等のオーバーヘッドサイズが 27byte の場合、UC1-2-4（簡易図形なし）以外は回線マージン 0dB 未満

【候補通信方式：ARIB STD-T109】

- ・ UC1-2-4、UC3 は、連送を行うことなく回線マージンが 0dB 以上
- ・ UC1-2-1、UC2-1-2 は、回線マージン 0dB 未満

表 7.4-3 に、車車間通信 UC に対する無線回線設計結果のまとめを示す。長距離通信 (200m 以上) が必要な UC1-2-1、UC2-1-2 に対しては、全ての候補通信方式にて回線マージン 0dB 未滿となる。そのため、無線回線設計で想定する最も厳しい電波伝搬環境下でも、それらの UC のサービスを継続するためには、必要通信距離と最大通信距離のギャップを埋める対策が必要となる。以下に対策案の一例を示すが、実際の電波伝搬環境の測定結果を踏まえながら継続検討する必要がある。

- 対策案①：受信感度の見直し
 - ・ IEEE802.11 策定当時の雑音指数 NF や固定劣化の見直し
 - ・ 適用にあたっては商用時の実現性も合わせて検討が必要
- 対策案②：中継の適用
 - ・ 全車両が中継を行うと通信トラフィックが増加し性能が劣化する可能性があるため、中継車両の選択、制限方法の検討が必要

表 7.4-3：無線回線設計（車車間通信 UC）まとめ

UC No.	値	候補通信方式			要件 必要通信距離 [m]	
		ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109			
		セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ [byte]				
		250	27			
1-2-1 後続車へ 緊急ハザード*	必要連送回数[回]	(5)	(5)	(5)	255	
	回線マージン [dB]	-11.0	-10.0	-6.1		
	最大通信距離 [m]	92	103	179		
1-2-4 緊急ハザード* 対向車	簡易図形情報あり	必要連送回数[回]	(5)	(5)	1 - 5	100
		回線マージン [dB]	-4.1	-3.9	5.6 - 8.7	
		最大通信距離 [m]	62	63	138 - 165	
	簡易図形情報なし	必要連送回数[回]	(5)	5	1 - 5	
		回線マージン [dB]	-2.1	0.2	7.8 - 10.3	
		最大通信距離 [m]	78	101	156 - 180	
2-1-2 合流支援	必要連送回数[回]	(5)	(5)	(5)	212	
	回線マージン [dB]	-7.8	-6.8	-2.9		
	最大通信距離 [m]	92	103	179		
3 車線変更	必要連送回数[回]	(5)	(5)	1 - 5	126	
	回線マージン [dB]	-2.6	-1.6	3.7 - 6.2		
	最大通信距離 [m]	93	104	155 - 180		

※赤字:5連送以下の回線マージンが0dB未滿のケースに関しては5連送時の回線マージン、最大通信距離を記載

7.4.3. システムレベル（N対N）の通信性能評価

検討したプロトコル、アクセス制御や車両の移動等の時間的・場所的変動を考慮したシミュレーションを用い、システムレベル（N対N）でのパケット到達率、通信遅延時間を確認し、通信要件を満足するか評価を行った。評価対象は、表 7.4-2、表 7.4-3 より回線マージンが 0dB 以上の条件とした。ただし、5 連送でも回線マージンが 0dB 未満の条件に関しては、5 連送を適用した場合を評価対象とした。

●路車間通信 UC

表 7.4-4 に、路車間通信 UC に対するシステムレベルの通信性能評価結果まとめを示す。路車間通信 UC に対するシステムレベルの通信性能評価結果より以下のことが分かった。

- パケット衝突による性能劣化を考慮しても全ての候補通信方式に対して、UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）を選択することで通信要件を満足する

表 7.4-4：システムレベルの通信性能評価結果（路車間通信 UC）まとめ

UC No.		候補通信方式			
		ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109	ARIB STD-T75	
		セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ [byte]			
		250	車路27、路車56	(簡易秘話)	
1-2-2 緊急ハザード UL		3-5	2-5	1-5	5
1-2-3 緊急ハザード DL		2-5	1-5	1-5	1-5
1-2-4 緊急 ハザード 対向車 DL	簡易図形 情報あり	2-5	2-5	1-5	2-5
	簡易図形 情報なし	1-5	1-5	1-5	1-5
2-1-1 合流支援 合流車へ伝達 DL		2-5	2-5	1-5	1-5
2-2 合流支援 本線車へ伝達 DL		1-5	1-5	1-5	1-5

●車車間通信 UC

表 7.4-5 に、車車間通信 UC に対するシステムレベルの通信性能評価結果まとめを示す。車車間通信 UC に対するシステムレベルの通信性能評価結果より以下のことが分かった。

- 全ての候補通信方式に対して、UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択及び以下の送信制御を適用することで通信要件を満足する
 - UC2-1-2：返信タイミング調整+返信集約
 - UC3：返信タイミング調整（車線変更の同時発生や他 UC 混在時の性能確保のためには返信集約の追加適用が望ましい）

表 7.4-5：システムレベルの通信性能評価結果（車車間通信 UC）まとめ

UC No.	候補通信方式			
	ITS FORUM RC-005		ARIB STD-T109	
	セキュリティ等のオーバーヘッドサイズ [byte]			
	250	27		
1-2-1 後続車へ緊急ハザード*	5	5	5	
1-2-4 緊急 ハザード* 対向車	簡易図形 情報あり	5	5	1 - 5
	簡易図形 情報なし	5	5	1 - 5
2-1-2 合流支援	5※1	5※1	5※1	
3 車線変更	5※2	5※2	1 - 5	

※1: 送信制御として返信タイミング調整および返信集約の両機能が必要
 ※2: 送信制御として返信タイミング調整の機能が必要

以下に、適用した送信制御についての概要を示す。

【返信タイミング調整】

1つ要求に対して複数の車両が返信を行う UC（UC2-1-2、UC3）において、返信パケット同士の衝突を回避するための機能となる。本調査検討では、返信範囲の上流側を基準（待機時間 0sec）とし、距離に比例した待機時間（1m 当たり 0.2msec）を設ける方法を採用した。図 7.4-1 に、一例として、UC3 に適用した場合の返信タイミング調整における待機時間を示す。

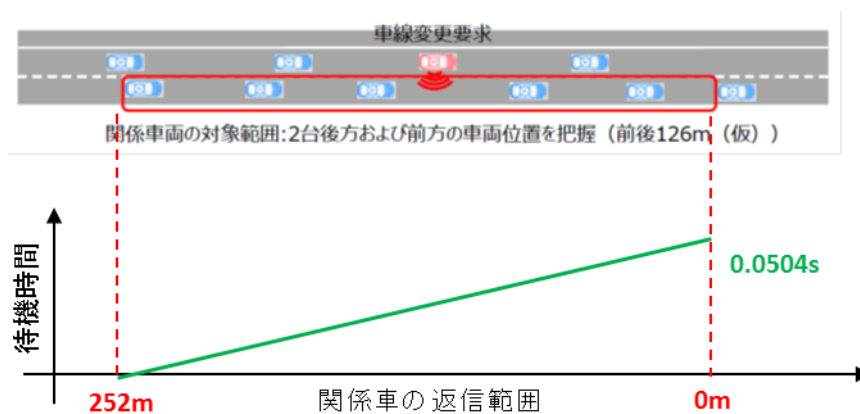


図 7.4-1：返信タイミング調整における待機時間：UC3

【返信集約】

1つ要求に対して複数の車両が返信を行う UC (UC2-1-2、UC3) において、短時間に複数要求が発生した場合に返信側のトラフィックが混雑しエラーが増加することを回避するための機能となる。本調査検討では、100msec で 5 秒間要求の送信を継続する UC2-1-2 への適用を念頭に置き、100msec 以内に複数車両から要求がある場合に、都度返信は行わず、1 回の返信に集約する方法を採用した。

7.4.4. 複数 UC 混在時の検討

複数 UC 混在の一例として、路車間通信 UC と車車間通信 UC が混在した状況を想定した。路車間通信 UC としては UC1-2-4 簡易図形情報あり、車車間通信 UC としては UC3 を想定した。それぞれの選定理由を以下に示す。

【選定理由】

- UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり
 - ・ 路車間通信 UC の中で最もメッセージサイズが大きい
- UC3
 - ・ 道路上のあらゆる場所で発生するため、路車間通信 UC のエリア近傍で発生する可能性がある
 - ・ 複数同時に発生する

複数 UC 混在時の通信性能評価として、3つの条件①～③で検討、評価を行い、以下のことが分かった。

- ケース①：両 UC が 1 つずつ発生
 - ・ 両 UC とともに、単独 UC の通信品質から大きな劣化はなく、通信要件を満足する
- ケース②：車車間通信 UC が 1 つ + 路車間通信 UC のメッセージ量を増加

- ・ UC1-2-4 のメッセージ量を増加にともない、UC3 の PER、通信遅延時間が大きくなる
 - ・ UC1-2-4 のメッセージ量が 50~60kbyte 以上になると、UC3 は通信要件を満たさなくなる
 - ・ UC1-2-4 のメッセージ量が 50~60kbyte 以上になると、UC1-2-4 は通信要件を満たさなくなる（分割パケット数が増加するため、PER、通信遅延時間が増加する）
- ケース③：路車間通信 UC が 1 つ + 複数の車車間通信 UC が同時発生
- ・ UC1-2-4 は UC3 のパケットとの衝突の影響が小さいため、UC3 を複数発生させても、通信要件を満足する
 - ・ UC3 を 4 台以上発生させた場合、UC3 は同 UC 内のパケット衝突の増加により、通信要件を満たさなくなる

7.4.5. 優先制御の検討

優先制御の有効性の検討では、複数 UC 混在時の通信性能評価の 3 つの条件の内、他の UC が原因で通信性能が劣化した、ケース②の条件を検討対象とした。IEEE802.11 において優先制御として規定されている EDCA を参考に優先制御を行うことで、優先した UC3 の通信性能が改善するか評価を行った。

- ケース②：車車間通信 UC が 1 つ + 路車間通信 UC のメッセージ量を増加
- 図 7.4-2、図 7.4-3 に、優先制御適用あり／なしの PER—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性、通信遅延時間—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性を示す。UC3 を優先した場合の優先制御の有効性の検討より以下のことが分かった。
- ・ 特定の自工会 UC の組み合わせであっても、EDCA を参考とした優先制御の有効性を確認
 - ✓ 優先制御の適用により、優先した UC (UC3) の通信性能が改善する
 - ✓ 優先制御の適用前では通信要件を満たさなかった、UC1-2-4 の送信メッセージ量 70kbyte の条件であっても、優先制御を適用することで通信要件を満足する

ただし、本調査検討で起こりうる全ての UC の組み合わせについては、網羅的に評価できていない。そのため、本調査検討で対象としなかった組み合わせに関しても有効性があるのか引き続き検討が必要である。

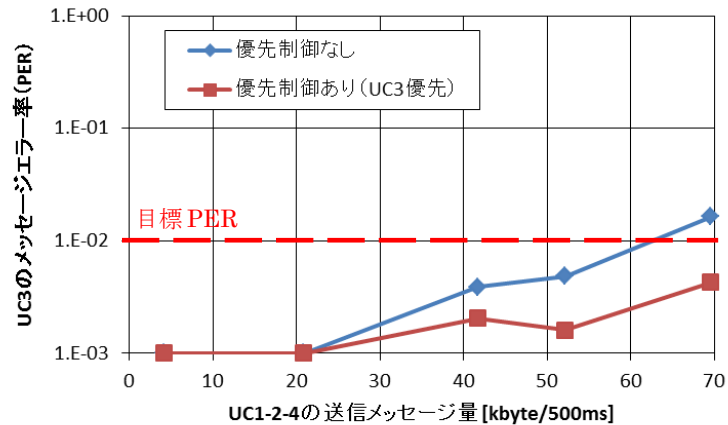


図 7.4-2 : PER—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性 : UC3 優先
「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在
優先制適用あり／なし

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)

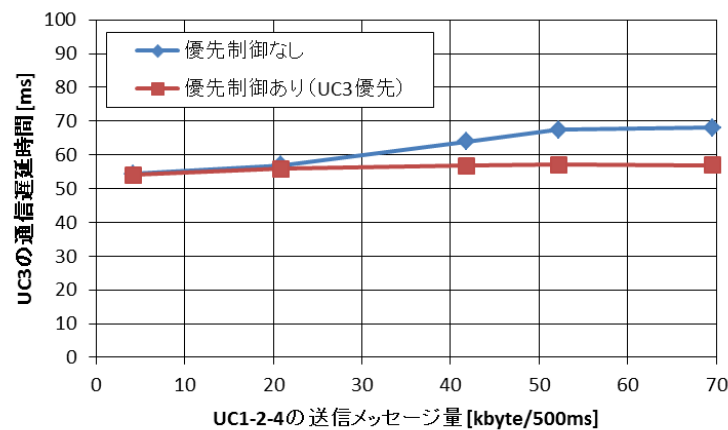


図 7.4-3 : 通信遅延時間—路車間通信 UC の送信メッセージ量特性
「UC1-2-4 路車間通信 簡易図形情報あり」と「UC3」の混在
優先制適用あり／なし

(ITS FORUM RC-005、セキュリティ等のオーバーヘッド 250byte、QPSK、5 連送)

7.4.6. メッセージセット拡張性の検討

今後の UC の追加変更を見据えて、メッセージセットの自由領域の拡張性を考慮した検討を行った。

本調査検討では、検討例として路車間通信 UC (ダウンリンク) 想定で各候補通信方式の通信可能なメッセージサイズ上限の見積りを行った。今後、路車間通信 UC (アップリンク) 及び車車間通信 UC 想定での検討、評価が必要である。

図 7.4-4 に、候補通信方式毎のエリア通過中に通信可能な最大メッセージサイズの見積り結果を示す。同図より、候補通信方式毎の通信可能な最大メッセージサイズが確認できた。また、各候補通信方式の最大メッセージサイズ比較より、ITS FORUM RC-005（オーバーヘッド 56byte）が最大であることが分かった。

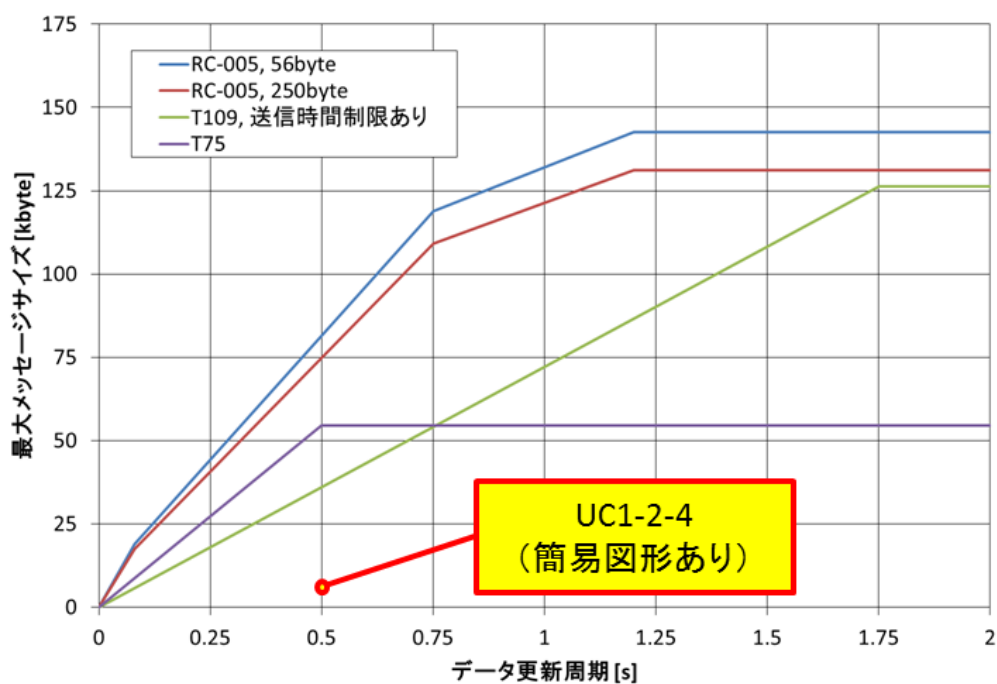


図 7.4-4：最大メッセージサイズーデータ更新周期特性（路車間通信 UC ダウンリンク）

7.4.7. 候補通信方式毎の通信性能評価まとめ

通信性能評価から、各候補通信方式が通信要件を満足するための通信パラメータ及び追加機能を整理し、表 7.4-6 に通信性能評価まとめとして示す。同表より、以下のことが分かった。

●候補通信方式：ITS FORUM RC-005

【路車間通信 UC】

- ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択することで通信要件を満足する

【車車間通信 UC】

- ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択及び以下の送信制御を適用することで通信要件を満足する
 - ・ UC2-1-2：返信タイミング調整+返信集約

- ・ UC3：返信タイミング調整（車線変更の同時発生や他 UC 混在時の性能確保のためには返信集約の追加適用が望ましい）

●候補通信方式：ARIB STD-T109

【路車間通信 UC】

- ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択することで通信要件を満足する

【車車間通信 UC】

- ・ UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択、以下の送信制御を適用及び規格の見直し（送信時間制限の見直し）をすることで通信要件を満足する
 - ・ UC3：返信タイミング調整（車線変更の同時発生や他 UC 混在時の性能確保のためには返信集約の追加適用が望ましい）

●候補通信方式：ARIB STD-T75

【路車間通信 UC】

- ・ 路車間通信 UC については、UC に応じて適当な通信制御パラメータ（連送回数、変調方式）の選択及び以下の送信制御を適用することで通信要件を満足する

各候補通信方式に関して、追加で検討が必要な内容等の今後の課題を以下に示す。

●候補通信方式：ITS FORUM RC-005

- ・ 無線回線設計で想定する最も厳しい電波伝搬環境下での、最大通信距離と必要通信距離のギャップに対する対策の検討が必要
 - ・ 対策案①：受信感度の見直し
 - ✓ IEEE802.11 策定当時の雑音指数 NF や固定劣化の見直し
 - ✓ 適用にあたっては商用時の実現性も合わせて検討が必要
 - ・ 対策案②：中継の適用
 - ✓ 全車両が中継を行うと通信トラフィックが増加し性能が劣化する可能性があるため、中継車両の選択、制限方法の検討が必要

●候補通信方式：ARIB STD-T109

- ・ 本調査検討では対象外とした既存システム（安全運転支援）との同一チャネルでの共存検討の実施が必要

●候補通信方式：ARIB STD-T75

- ・ マルチパスフェージングの影響の確認及び対策が必要
- ・ 既設インフラを自動走行向け通信に使用する際には、フェージングの影響が十分小さいことの確認が必要
- ・ 新たに設置する際には、フェージングの影響が十分小さくなるアンテナ設計や設置が必要

表 7.4-6：通信性能評価まとめ（目標通信性能による判定）

○:最悪条件での回線マージン0dB以上、かつシステムレベルでの平均PER<1E-2、通信遅延が要件以下
 △:最悪条件での回線マージン0dB未満、システムレベルでの平均PER<1E-2、通信遅延が要件以下

UC(ユースケース)		通信形態	候補通信方式			
			ITS FORUM RC-005	ARIB STD-T109	ARIB STD-T75	
緊急 ハザード	1-2-1	車車間	△	△		
	1-2-2	路車間	○	○	○	
	1-2-3	路車間	○	○	○	
	1-2-4	簡易図形 情報あり	路車間	○	○	○
			車車間	△	△※3,※4	
		簡易図形 情報なし	路車間	○	○	○
車車間			○	○		
合流	2-1-1	路車間	○	○	○	
	2-1-2	車車間	△※1	△※1,※3		
	2-2	路車間	○	○	○	
車線変更	3	車車間	△※2	○		

※1:送信制御(返信タイミング調整+返信集約)の適用 ※2:送信制御(返信タイミング調整)の適用
 ※3:送信時間制限の見直しが必要 ※4:パケット分割機能の追加が必要

7.5. 有効性の検証

合流時に自動走行支援通信を導入することにより、通信がない場合より車両の挙動が安定して走ることができることをシミュレーションにより確認した。車両挙動の安定性は、合流に伴う車両の最大加減速度についての累積分布関数を求め、通信がある場合の累積分布関数の概形が、通信がない場合より低い方向に移動することで評価した。

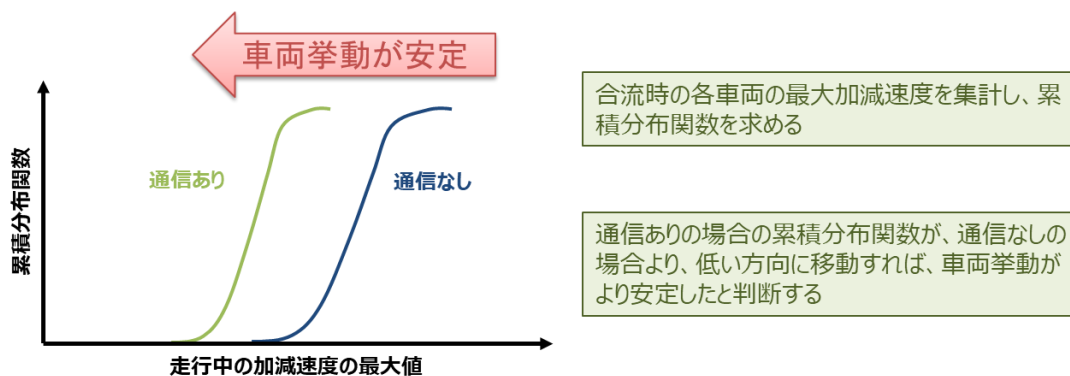


図 7.5-1：車両挙動の安定性の評価方法

7.5.1. 路側機及びセンサーの設置条件の検討

シミュレーションによる自動走行支援通信の有効性の検証・評価に先立ち、路車間通信による合流支援 UC (UC2-1-1) における路側機及びセンサーの設置条件を机上検討した。通信によりセンサー検知範囲の車両情報を取得してから加速レーン起点到達までの合流車両の加減速による速度制御方法としては、以下の3ケースを想定した(図 7.5-2)。

- ケース①：速度調整あり、タイミング調整なし
- ケース②：速度調整あり、タイミング調整あり（横並びを許容）
- ケース③：速度調整あり、タイミング調整あり（横並びを回避）

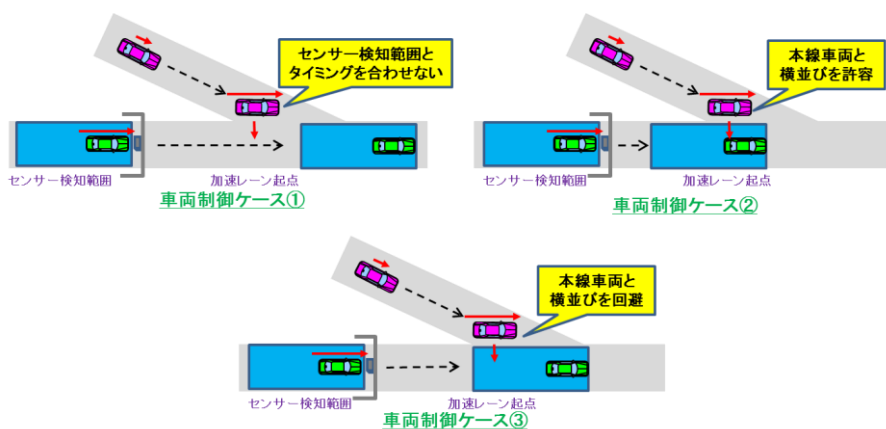


図 7.5-2：検討対象とする速度制御ケース

検討対象とする道路ケースは以下の3ケースを想定した(表 7.5-1)。

- ケース(1): 都市高速道路を想定
- ケース(2): 都市間高速道路を想定(本線の速度引き上げとともに合流車線(ランプ)の最大速度が80km/hが見直された場合)
- ケース(3): 都市間高速道路を想定(同100km/h)

表 7.5-1: 道路ケースと各位置における速度

パラメータ		文字	道路ケース						備考
			(1)		(2)		(3)		
			最大	最小	最大	最小	最大	最小	
本線車両	走行速度 [km/h]	V	60 ^{※1}	40 ^{※2}	120 ^{※2}	40 ^{※2}	120 ^{※2}	40 ^{※2}	$V_{max} \sim V_{min}$
合流車両	通信時の走行速度 [km/h]	v_0	60 ^{※1}	20 ^{※3}	80	40 ^{※2}	100	40 ^{※2}	処理時間経過まで継続。 $v_{0_max} \sim v_{0_min}$
	速度制御中の走行速度範囲 [km/h]	v			20 ^{※3}		20 ^{※3}		処理時間経過～加速レーン起点。 $v_{max} \sim v_{min}$
	加速レーン到達時の走行速度 [km/h]	v_2		40 ^{※2}		40 ^{※2}		40 ^{※2}	$v_{2_max} \sim v_{2_min}$

- ※1: 国総研等の検討における想定速度(法定速度)を参考
- ※2: 自動運転向けITS通信活用シーンと通信手順(案)3.1版の想定速度(最大、最小)
- ※3: ETCゲート通過速度と同程度を想定

上記の速度制御ケース①～③、道路ケース(1)～(3)に対して、各速度制御ケースの制御が可能となる路側機の設置位置(加速レーン起点からアンテナまでの距離) d 及びセンサーの設置位置(加速レーン起点からセンサーまでの距離) D の条件を机上検討(数値計算)により試算した。表 7.5-2 に、試算した設置条件を満足する路側機及びセンサーの設置位置の最小値を示す。本検討結果より、都市間高速道路を想定した場合、路側機等の設置位置を遠くにする必要があり、想定した速度制御の効果が十分でない可能性があることを分かった。

表 7.5-2: 設置条件の検討結果まとめ(設置位置の最小値)

設置位置の最小値		道路ケース					
		(1)		(2)		(3)	
速度制御ケース	①	d	95m	d	162m	d	265m
		D	— ^{※1}	D	— ^{※1}	D	— ^{※1}
	②	d	95m	d	398m	d	594m
		D	0m	D	532m	D	511m
	③	d	154m	d	638m	d	662m
		D	110m	D	958m	D	842m

※1: 本検討にて想定したように本線車両の速度が一定の場合、センサー設置位置Dに関する制限は特になし

シミュレーション評価による効果検証を実施

7.5.2. 車両制御モデル

本検討の車両制御モデルを図 7.5-3 に示す。車両制御モデルとして加減速モデル及び IDM(Intelligent Driver Model)を利用し、これらを車両位置によって使い分けて動作させる。

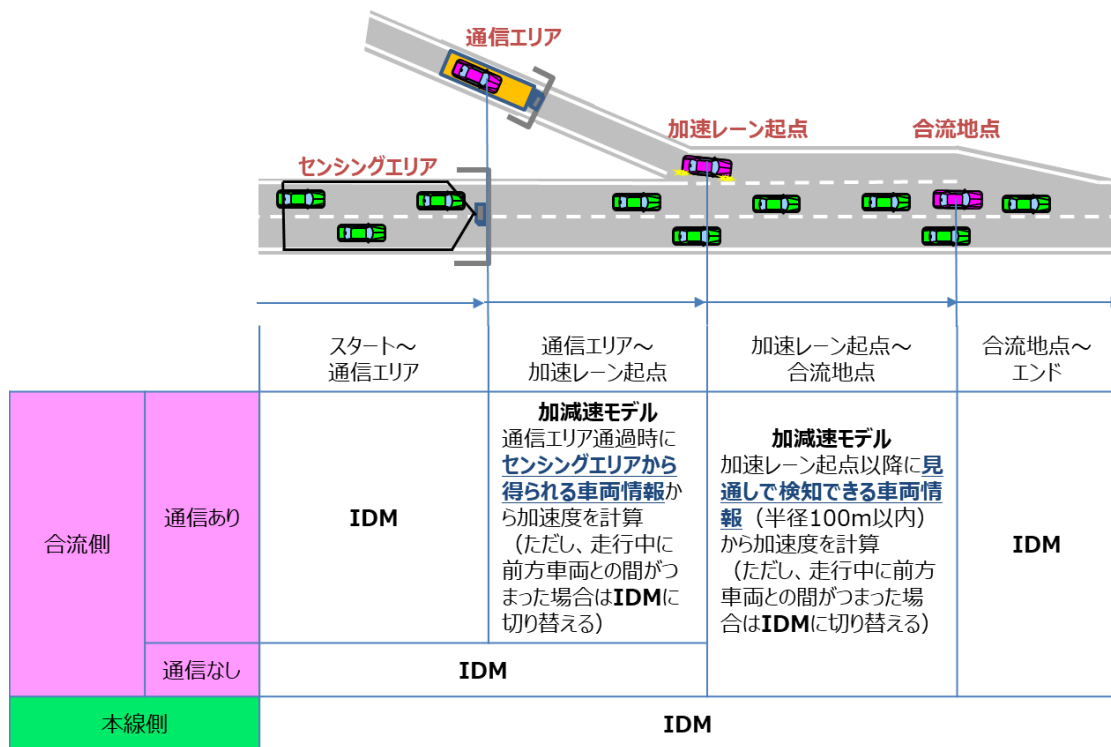


図 7.5-3 : シミュレーションに適用する車両制御モデル

7.5.3. 有効性のシミュレーション結果

●評価条件

シミュレーション評価の前提条件を図 7.5-4 に示す。

パラメータ		文字	値		備考
			普通車	大型車	
路側機	通信距離	l	33.3m		120km/h × 1sに相当
	アンテナから通信エリアまでの距離	Δd	0m		オフセット量
車載機	車頭からアンテナまでの距離	s_i	5m	2m	
車両	車長	r_i	5m	12m	
	最大加速度	α	0.2G	0.15G	G:重力加速度
	最大減速度	β	0.25G	0.15G	
センサー	センシング距離	L	200m		
	センサーからセンシングエリアまでの距離	ΔD	0m		オフセット量
車両制御	処理時間	Δt	1.5s		センシング、通信による処理遅延含む
	最小車間距離	w_{min}	10m		速度制御ケース③の場合

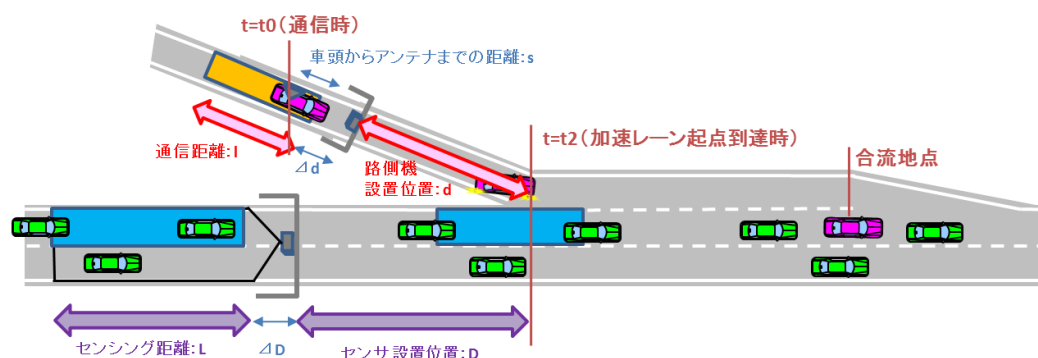


図 7.5-4 : 評価の前提条件

●結果

都市間高速道路(本線速度が 80km/h 及び合流速度が 40km/h)の結果を図 7.5-5 に示す。車両発生間隔が 18 秒、12 秒の場合、通信ありの累積分布関数の方が加速度の低い方に移動する傾向となり、本システムが車両挙動の安定化として効果があることを確認した。

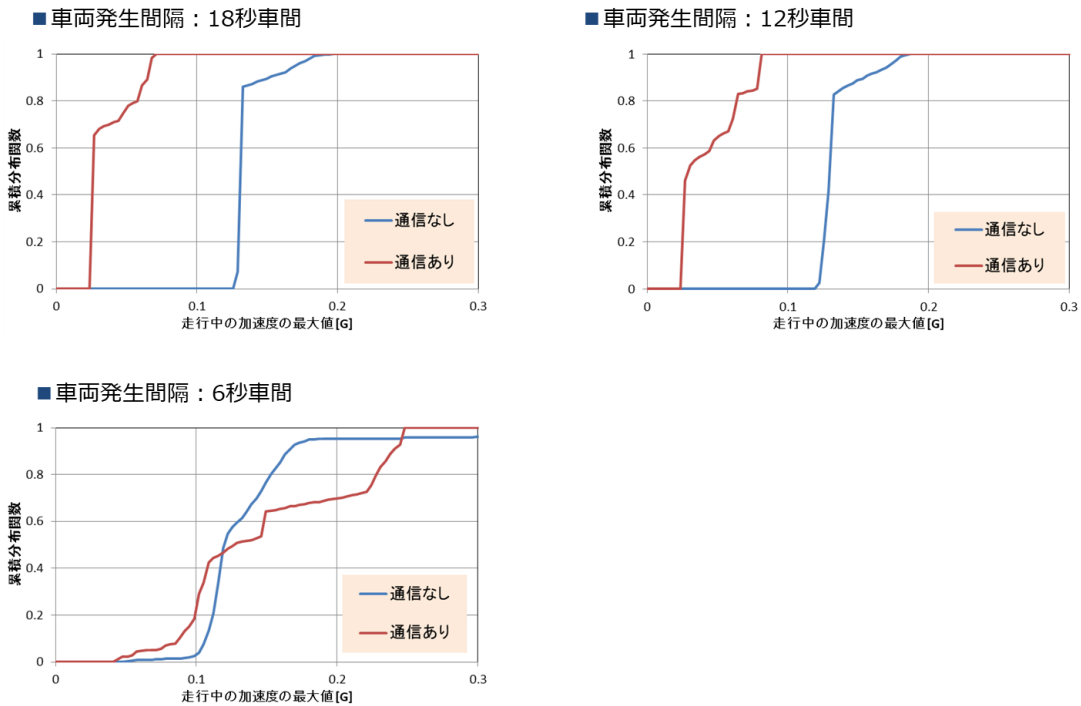
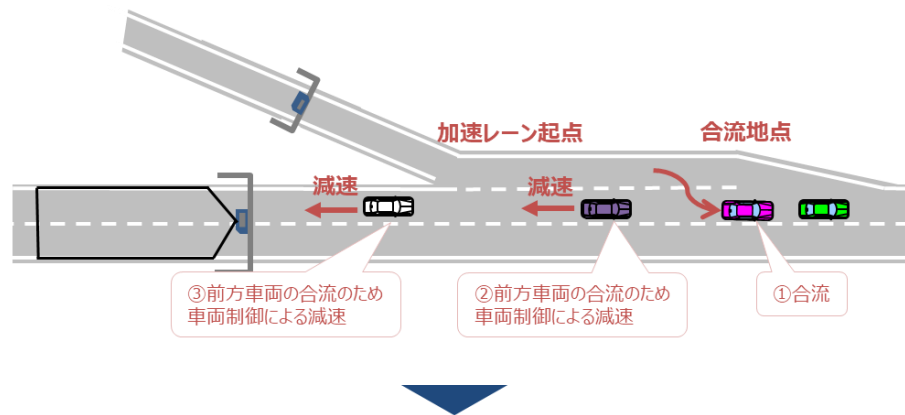


図 7.5-5：都市間高速道路（本線 80km/h、合流 40km/h）

一方、車両発生間隔が 6 秒の場合では、図 7.5-6 に示すように、車両密度が高くなり、前方車両との車間を空け始める。これにより減速が生じると、等速を仮定して計算した合流位置との誤差が生じるため、横並びが発生する確率が増加する。通信がない場合と同様に、大きな加減速度を伴った合流処理が必要となるため、通信による明らかな改善が確認できない結果となる。減速が生じる場合でも、横並びを回避するためには、例えば、車車間通信の利用のように、加速レーン起点近傍で車両情報の交換等を行う必要があると考えられる。

■合流により後続車両が次々と減速を開始する



■通信ありでも想定した合流位置で合流し難くなる（最悪では横並びが発生）

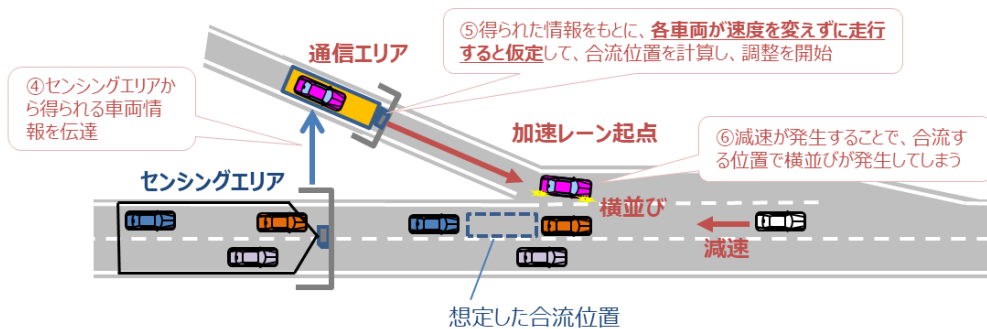


図 7.5-6：狭い車両発生間隔の場合に通信の効果を得られない要因

次に、0.2G 以下を車両挙動が安定した走行ができる最大加速度とした場合の全車両の達成率について、都市高速道路の場合を表 7.5-3 に、都市間高速道路の場合を表 7.5-4 にまとめる。

表 7.5-3：安定化の達成率(都市高速道路)

本線60km/h、合流40km/h		通信あり	通信なし
車両間隔	広い (18秒車間)	100%	85%
	普通 (12秒車間)	100%	75%
	狭い (6秒車間)	99%	67%

本線40km/h、合流40km/h		通信あり	通信なし
車両間隔	広い (18秒車間)	100%	80%
	普通 (12秒車間)	100%	68%
	狭い (6秒車間)	61%	59%

表 7.5-4 : 安定化の達成率(都市間高速道路)

本線80km/h、合流40km/h		通信あり	通信なし
車両間隔	広い (18秒車間)	100%	100%
	普通 (12秒車間)	100%	100%
	狭い (6秒車間)	70%	95%

本線40km/h、合流40km/h		通信あり	通信なし
車両間隔	広い (18秒車間)	100%	96%
	普通 (12秒車間)	100%	89%
	狭い (6秒車間)	48%	53%

7.6. 実用化に向けた検討

自動走行支援通信の実用化に向けた検討として、作成した通信仕様案を適用するための問題（難易度等）、通信機の搭載率（普及率）が有効性に与える影響、高度なセンシング機器の必要性および路側機の設置位置への対応、等について、実現する際の技術的な困難性や実用化の難易度等を整理した。

7.6.1. 通信仕様案を適用する上での問題

表 7.1-1 に示す本調査検討で作成した通信仕様案を適用する上での問題（難易度等）を整理した。

●ITS FORUM RC-005 ベースの通信仕様案における問題

- ベースとなる通信方式が国内においてまだ規格化されていないため、機能追加への柔軟度は高い。
- また、同じ 5.8GHz 帯を用いる ARIB STD-T75 ベースの通信と比べて回線マージンが大きいと、アンテナ設置等の運用時の自由度も高い。
- 一方で 5.8GHz 帯の ETC/ETC2.0 や隣接周波数を使用する既存システムとの干渉の影響評価、対策技術の検討がまだ十分ではなく、後述の ARIB STD-T109 の送信時間制限のように使用条件が制限されて実現可能な UC が限定される可能性がある。CC 調査検討等の今後の取り組みで詳細な干渉回避技術の検討やチャンネル確保の議論が必要である。

●ARIB STD-T109 ベースの通信仕様案における問題

- 既に規格化された通信方式をベースとしており、特にその中で送信時間制限の規定が大きな問題となる。送信時間制限の規定が残されたままでは本通信仕様案の追加機能の一つである連送機能は適用できず、表 7.6-1 に示すように実現可能な UC が限定さ

れる。送信時間制限は隣接チャネルとの干渉を抑制するために設けられたものであり、制限見直しを行うことは極めて難しい。

- 電波伝搬特性に優れており回線マージンが最も大きいため、アンテナ設置等の運用時の自由度は高い。
- 本調査検討の対象外とした既存の安全運転支援システムとの同一チャネル共用に関する検討が必要である。その際、安全運転支援と自動走行支援とともにメッセージの共通化等の可能性検討も必要となる。

表 7.6-1：【参考】候補通信方式の主な通信諸元（規格見直しができない場合）

項目		候補通信方式（既存ITS通信をベースとして機能の追加・見直しを実施）		
		ITS FORUM RC-005ベース +追加機能	ARIB STD-T109ベース	ARIB STD-T75ベース
実現可能UC	路車間	1-2-2, 1-2-3, 2-1-1, 2-2		1-2-3, 2-1-1, 2-2
	車車間	1-2-1, 2-1-2, 3	3	-
	路車・車車協調	1-2-4	1-2-4(簡易図形情報なし)	-
アプリケーション	中継制御	あり(UC1-2-1)	なし	なし
	送信制御	あり(UC2-1-2, UC3)	なし	なし
L7(通信上位層)	連送制御	あり(UCに応じて回数変更)	なし	なし
	パケット分割・再結合	あり	なし	(あり)
L2(データリンク層)	MAC方式	CSMA/CA（ランダムバックオフ制御）		TDMA（スロットALOHA）
	再送制御	なし		あり
	パケット分割・再結合	なし		あり
L1(物理層)	中心周波数	5.8GHz帯	760MHz帯	5.8GHz帯
	空中線電力	10mW/MHz以下		基地局：300mW以下、 移動局：10mW以下
	占有帯域幅	9MHz		4.4MHz
	変調方式	QPSK/OFDM、16QAM/OFDM		n/4シフトQPSK
	誤り訂正	畳み込み符号（符号化率1/2）		BCH符号(63,51)
	ダイバーシチ制御(受信)	なし/あり(自動走行支援時)		なし

※青字：ベースとなる既存ITS通信の仕様から追加変更部分

●ARIB STD-T75 ベースの通信仕様案における問題

- 既に規格化された通信方式をベースとしており、本通信仕様案の連送機能の追加による規格見直しのインパクトはあるが、他システムへの干渉の影響等は変わらないため、ARIB STD-T109の見直しと比べると難易度は低い。表 7.6-1 に示すように規格見直しができない場合は実現可能 UC が限られる。
- 回線マージンが高々数 dB と最も小さい通信方式であり、かつ厳しいマルチパス環境を想定した設計ではないため、マルチパスの影響を小さくするための路側機アンテナの設置場所の制限やアンテナ角度の調整、指向性アンテナの開発等の運用上、開発上の問題は大きい。
- 路車間通信専用の通信方式のため、車車間通信 UC や路車間・車車間協調 UC を実現するには、他通信システムとの協調についての検討が必要となる。

7.6.2. 搭載率の影響

通信機の搭載率が本システムの有効性に与える影響を評価した。本評価は、普及の途中の段階でも効果が期待できるものなのか、あるいは、普及がかなり進んだ状態でないと効果が期待できないものなのかを確認するために実施した。図 7.6-1 に示す結果より、本システムは通信機が普及する途中の段階においても、搭載率に応じて有効性が期待できることを確認した。

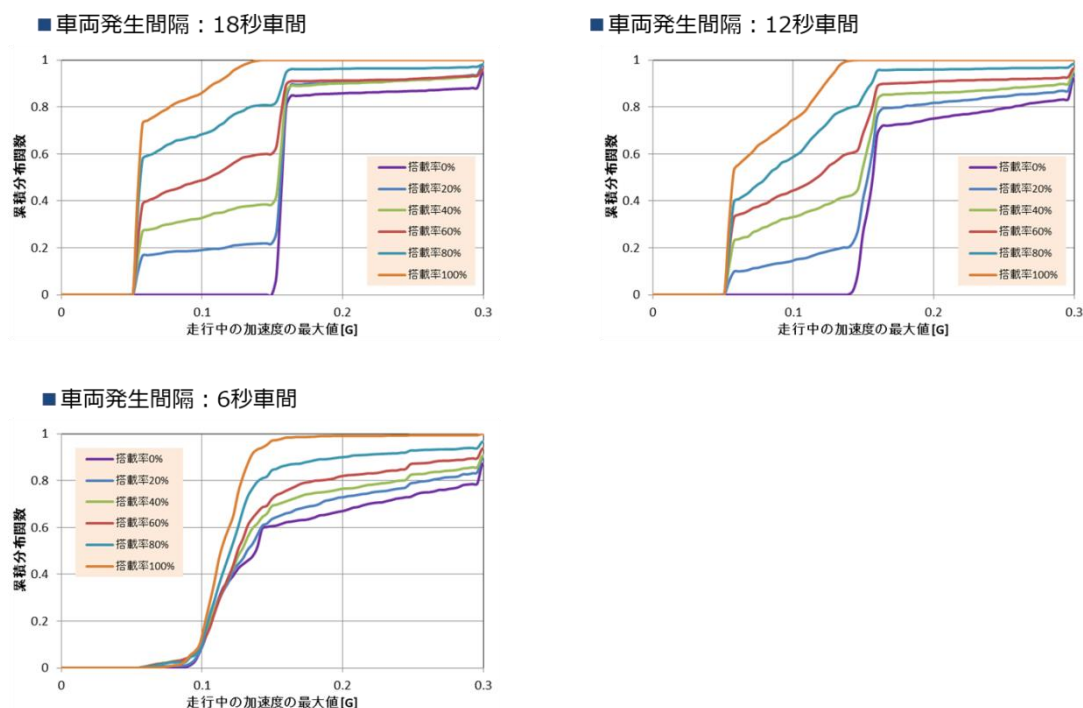


図 7.6-1：搭載率の影響：都市高速道路（本線 60km/h、合流 40km/h）

7.6.3. 高度なセンシング機器の必要性

平均的な速度情報のみを合流車両に与えた場合に、どの程度の有効性が期待できるかを評価した。平均的な速度情報を与えた場合では、本線車両の正確な位置と速度情報がないため、加速レーン起点で横並びが発生する場合がある。

図 7.6-2 の結果から、車両発生間隔が 18 秒、12 秒の場合では、有効性が期待できるが、車両発生間隔が 6 秒の場合では、加速レーン起点で横並びが発生してしまい、通信なしの場合に比べて、むしろ悪くなる場合があることがわかった。

したがって、十分な効果を得るには横並びを回避する機能が必要であり、本機能を実現するために、車両の速度および位置を高精度に検出する高度なセンシング機器を備えるシステム構成が望ましい。

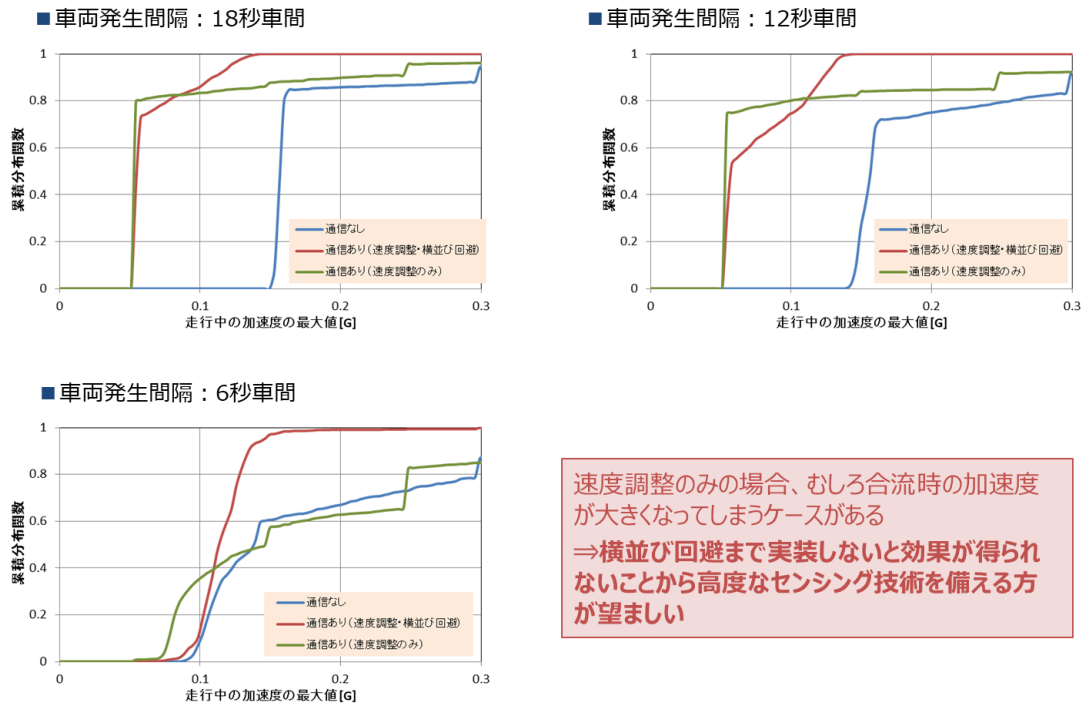


図 7.6-2：速度調整のみの効果

7.6.4. 路側機及びセンシングエリアの設置位置

都市間高速道路の場合、本線車両および合流車両の取り得る走行速度の幅（最大値と最小値の差）が大きく、様々な走行速度にも対応して設計する必要がある。その結果、路側機とセンシングエリアの設置位置は加速レーン起点からかなり遠方に設置せざるを得ない。

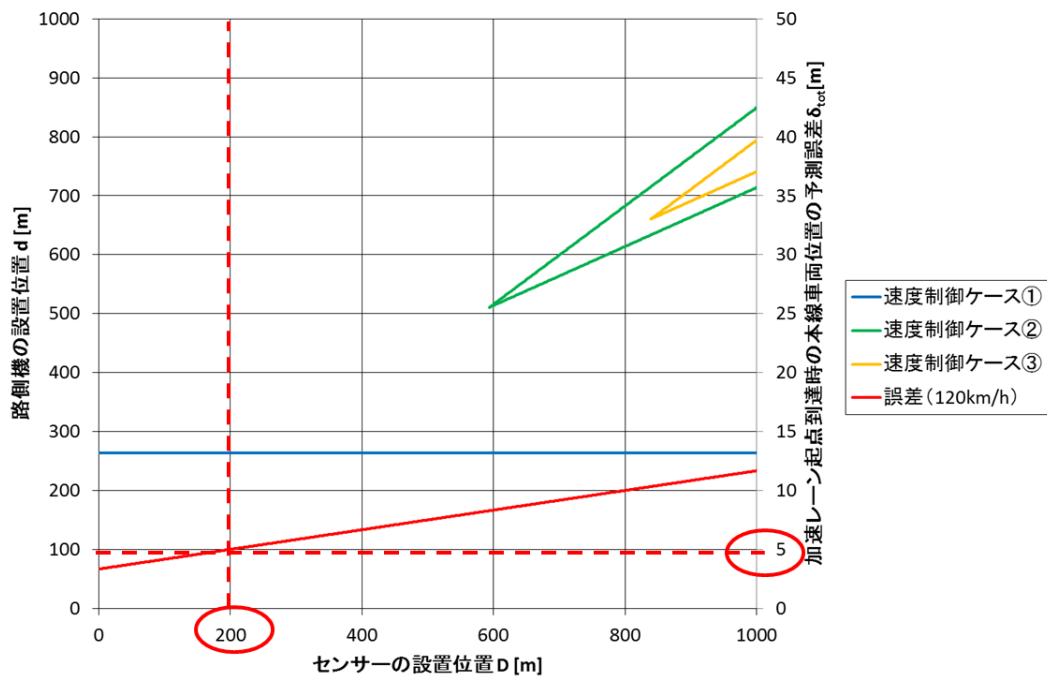


図 7.6-3：路側機とセンサーの設置位置の関係

路側機やセンシングエリアを遠方に設置するのは、設置場所が限定されるという点で実用化に課題がある。また、これほど離れた場所での本線車両の情報を取得しても、実際の走行では等速を仮定できないことから加速レーン起点到達時には誤差が生じ、車両情報として役に立たないことが考えられる。

ここで、路側機やセンシングエリアに侵入する速度を限定し、走行速度の幅を小さくできれば、これらを遠方に設置しなくてもよくなる。例えば、図 7.6-4 のように、新たに通信エリア（以下、通信エリア B）を設ける方法が考えられる。このとき、通信エリア B に対して、センシングエリアも新たに敷設する必要はない。加速レーン起点近傍に設置されたセンシングエリアから、本線の平均的な速度情報のみを得て、通信エリア A までは速度調整を行う。通信エリア A に侵入すると、センシングエリアから得られる各車両の正確な位置と速度情報を利用し、横並び回避と本線との最終的な速度調整を行う。

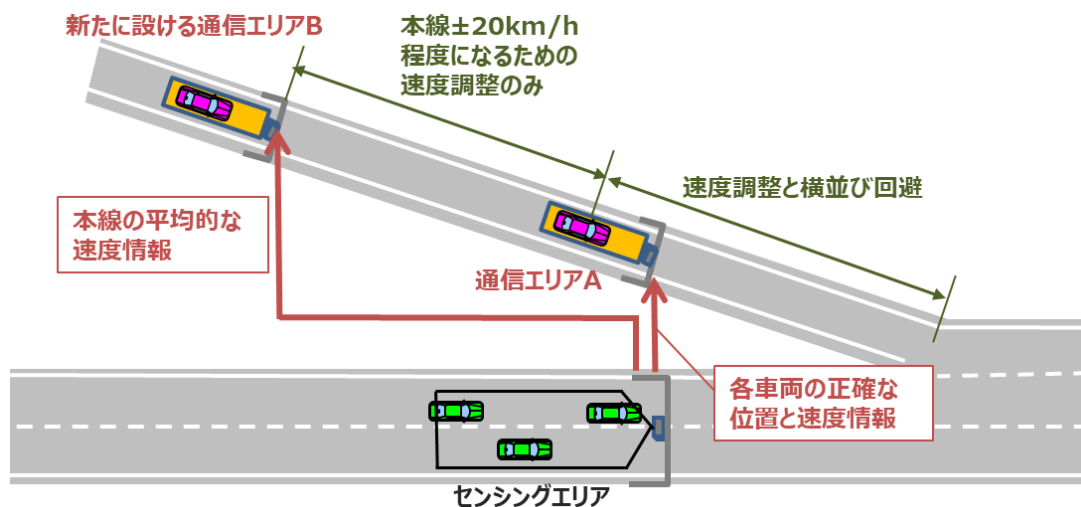


図 7.6-4：新たに通信エリアを設ける方法

以上の考え方をもとに、平均速度の情報配信を路側機から 300m 離れた場所に設定する例について評価した。

図 7.6-5 に示すように、平均速度を事前に提供することで、累積分布関数の概形が低い方向に移動するため、車両挙動の安定化に効果が期待できる可能性があることを確認した。

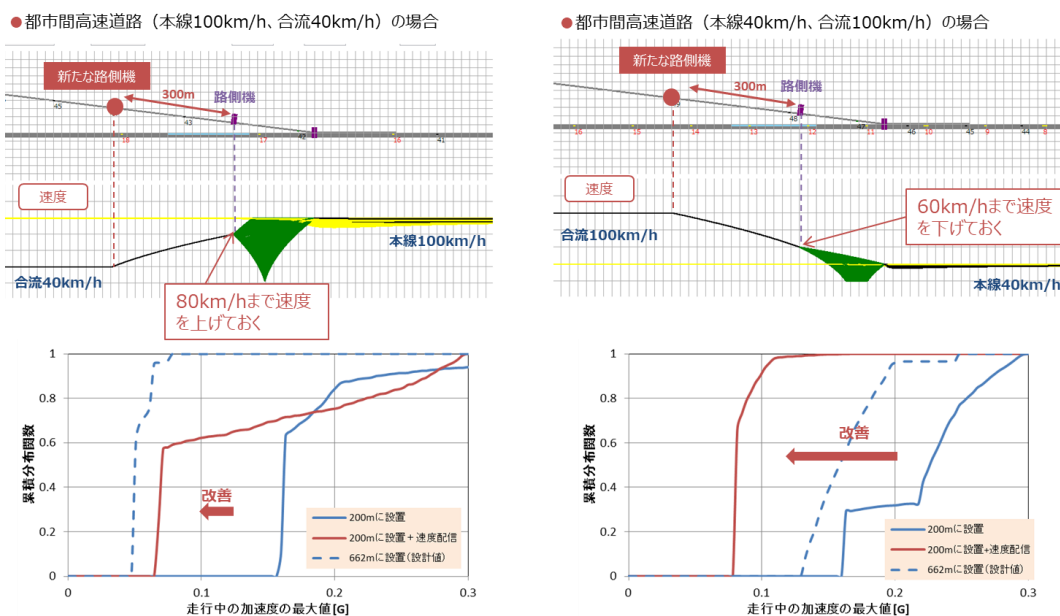


図 7.6-5：新たに通信エリアを設けた場合の効果

7.6.5. その他の実用化へ向けた問題、対応

表 7.6-2 に、実用化へ向けた問題、対応として、特に本調査検討における有効性検証のシミュレーションで反映されていない劣化要因及びシステムの課題について列挙する。な

お、本検討は典型的な条件を設定しシミュレーションによる評価を行ったが、この結果をもってあらゆる条件に対して通信の有効性を訴求するには十分とまでは言えない。今後、様々な条件に変更して評価を継続していく必要がある。

表 7.6-2：その他の実用化へ向けた問題、対応

項目	内容
センサーの検出精度のばらつき	本検討では、本線車両の位置と速度は完全に正確な値が検出できることを想定した。実際には、センサーの精度にばらつきがあるため、位置と速度の誤差を反映する必要がある。
車両の加速度のばらつき	本検討では、各車両は車両制御モデルにより計算された加速度により走行するが、実際には、値通りに車両の加速度を制御することはできない。ばらつきの影響を反映する必要がある。
車間制御モデルの選定	本検討では、車間制御モデルとして IDM を選定した。IDM は、動作させる際に設定するパラメータが少なく広く利用されているが課題もある。例えば、減速が過剰に反応するなどの報告がある (A. Kesting, M. Treiber, D. Helbing, "Enhanced intelligent driver model to assess the impact of driving strategies on traffic capacity", Philos. Trans. Roy. Soc. London A Math. Phys. Sci., vol. 368, no. 1928, pp. 4585-4605, 2010.)。車両制御モデルの妥当性については検討を継続する必要がある。
車両発生間隔	本検討では、車両発生間隔は典型的な評価を行うため、均等の間隔で車両を発生させた。実際には、均等ではなく揺らぎを与えて評価する必要がある。
車線変更の影響	本検討では、本線車両が車線変更しない評価を行った。実際には、合流時に近傍の本線車両が車線変更を行う場合も考えられ、その影響が評価できていない。車線変更の処理を反映した評価が必要である。
車両密度が高い場合への対応	本検討では、車両発生間隔を 6 秒、12 秒及び 18 秒に変更して評価した。6 秒の場合では車両密度が高くなり、減速が生じることから、横並びが発生することを確認した。横並びを回避するためには、例えば、車車間通信の利用のように、加速レーン起点近傍で車両情報の交換等を行う必要があると考えられる。

8. 課題まとめ

表 7.6-1 に、本調査検討の対象外とした内容や調査検討会での議論で挙げられた課題を示す。

表 7.6-1：課題一覧

項目	No.	課題	内容
0 全体	0-1	一般道UCの追加検討	・高速道路、一般道の両方の必要なメッセージセットや可変長のメッセージセット設計等 ・JEITA等との検討内容の共有が必要
	0-2	他システム(既存サービス)との共用検討	・5.8GHz帯: ETC2.0 ・700MHz帯: 安全運転支援
	0-3	送信時間制限の影響	・共用検討と合わせて行う必要あり
	0-4	マルチキャリア適用時の検討	・サービス増加にともなうマルチキャリアの必要性
	0-5	セキュリティ技術の協調	・欧州等でのセキュリティ技術の動向を考慮 ・海外に発信
1 (1)自動走行支援通信の前提条件の整理、通信要件の抽出と評価	1-1	自工会検討UC以外のUC検討	・一般道UC、ネゴシエーション型通信等
	1-2	非渋滞時への拡張	・収容台数の見直し ・トラフィック増加時の通信の効率化、優先制御等
	1-3	通信要件の追加評価	・効果検証による通信要件(通信品質等)の妥当性の継続評価 (本調査検討では99%(仮)を採用し有効性を確認)
2 (2)自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルの検討	2-1	セキュリティの追加検討	・セキュリティ要件に基づいた検討、候補通信方式の比較評価 ・想定するオーバーヘッドサイズが大きく変化した場合は通信性能の再評価が必要
	2-2	ネゴシエーション型通信の検討	・海外でのメッセージセット検討状況を踏まえた検討 ・通信トラフィック増加への対応
	2-3	各レイヤにおけるUC毎に必要な通信制御の認識方法の検討	・メッセージID等の自工会検討UCのメッセージによる認識が困難な場合、追加するアプリケーションデータ内容、サイズの検討が必要(サイズが大きい場合、再評価が必要) ・下位レイヤにおける認識方法は、MIB経由のシステム一層管理間の手順等の検討が必要
	2-4	追加機能(中継等)の追加検討	・中継等の追加機能を適用するために必要な制御情報の抽出や手順の詳細検討
	2-5	優先制御、輻輳制御の検討	・本調査検討で対象外とした条件も含めた検討(例: メッセージ毎orUC毎の実施)
	2-6	回線マージン0dB未満の車車間通信UCに対する性能改善の追加検討	・受信感度の見直し ・遮蔽車両による中継方式
3 (3)自動走行支援通信の通信性能、有効性の評価及び実用化に向けた検討	3-1	隊列走行車による遮蔽の反映	・隊列走行車等の複数台による遮蔽の検討、評価(本調査検討の車両遮蔽は1台を想定)
	3-2	電波伝搬モデルの妥当性評価	・高速道路上で測定が行われた際は比較、見直しが必要(例えば、本調査検討のフェージング(短区間)モデルは海外の高速道路での測定結果をもとにしているため、国内の高速道路とは異なる環境の可能性あり)
	3-3	マルチパスフェージングの影響	・特にARIB STD-T75における確認、対策検討
	3-4	回線マージン0dB未満の車車間通信UCに対する性能改善の追加検討	・受信感度の見直し ・遮蔽車両による中継方式
	3-5	効果検証シミュレーションの改良	・センサー検出精度、車両加速度(制御誤差、個人差等)、車両発生間隔のばらつきを考慮した評価 ・車両制御モデルの改良(自動運転車、一般車) ・近傍車両の車線変更の影響
	3-6	UC2-1-1以外の有効性検証	・通信活用時の車両制御のモデル化(UC毎)

9. 【付属資料 1】平成 30 年度 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討 実施体制及び構成員名簿

9.1. 実施体制

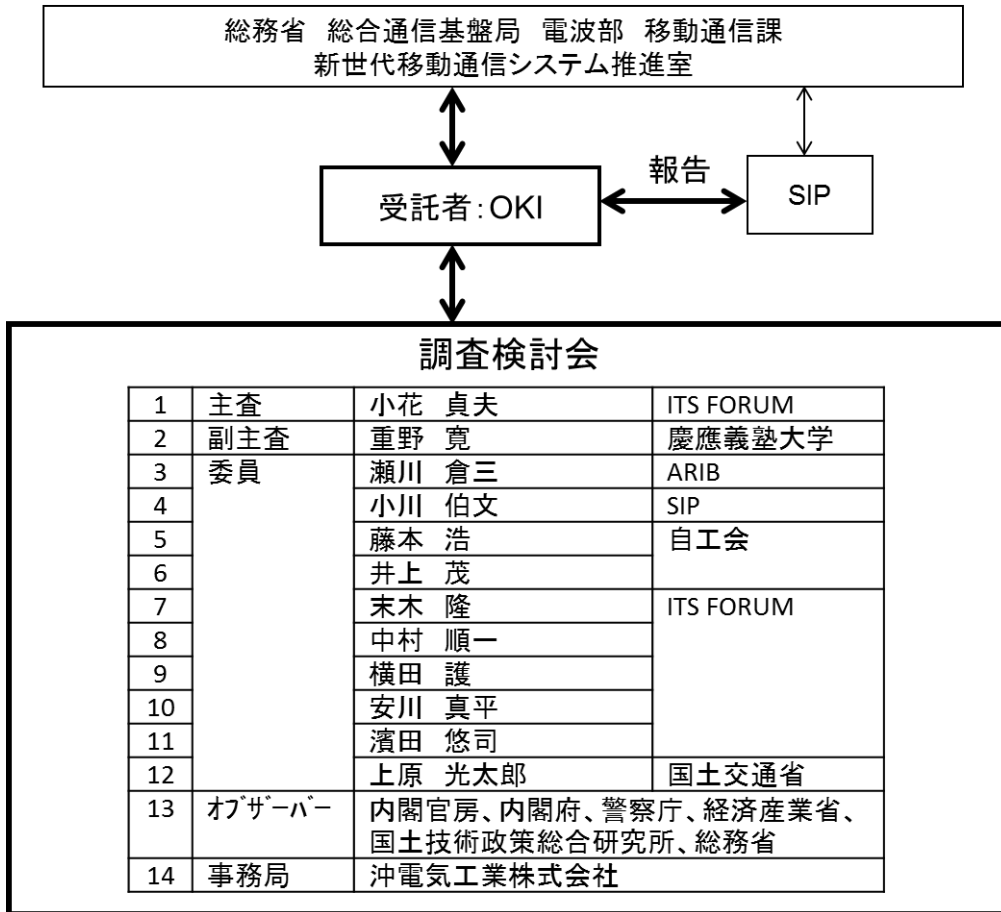


図 9.1-1: 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討の実施体制

9.2. 構成員名簿

表 9.2-1: 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討の構成員名簿

	名前	委員会等	所属
主査	小花 貞夫	ITS 情報通信システム推進会議 高度化専門委員会 委員長	国立大学法人電気通信大学 情報理工学研究所 情報・ネットワーク工学専攻
副主査	重野 寛	—	慶應義塾大学 理工学部 情報工学科
委員	瀬川 倉三	—	一般社団法人電波産業会 研究開発本部 ITS グループ
	小川 博文	SIP 自動走行システム システム実用化 WG 車路車間通信民間窓口 国際連携 WG 準構成員 Connected Vehicle 窓口	マツダ株式会社 R&D 技術管理本部 開発調査部
	藤本 浩	一般社団法人日本自動車工業会 安全・環境技術委員会 ITS 技術部会 移動体通信分科会長	日産自動車株式会社 電子技術・システム技術開発本部 AD&ADAS 先行技術開発部 戦略企画グループ
	井上 茂	一般社団法人日本自動車工業会 ITS 技術部会 移動体通信分科会 協調活動検討ワーキング 主査	株式会社本田技術研究所 四輪 R&D センター 第 12 技術開発室 第 1 ブロック
	末木 隆	ITS 情報通信システム推進会議 700MHz 帯 ITS 実用化専門委員会 委員長	トヨタ自動車株式会社 ITS 企画部 ITS 企画室
	中村 順一	ITS 情報通信システム推進会議 5GHz 帯路車間通信検討 WG 主査	東芝インフラシステムズ株式会社 社会システム事業部 道路ソリューション技術部
	横田 護	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 ユースケース検討 G	株式会社ヨコオ 経営企画本部 研究開発部
	安川 真平	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 通信方式検討 G	株式会社 NTT ドコモ 5G イノベーション推進室 5G 無線技術研究グループ
	濱田 悠司	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 ガイドライン検討 G	三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 地理情報通信技術グループ
		上原 光太郎	—
オブザーバ		内閣官房 内閣府 警察庁 経済産業省 国土技術政策総合研究所 総務省 総合通信基盤局 電波部 移動通信課 新世代移動通信システム推進室	
事務局 (請負者)		沖電気工業株式会社	

10. 【付属資料 2】平成 30 年度 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討の実施内容

10.1. 本調査検討及び CC 調査検討の実施項目

図 10.1-1 に、平成 30 年度「実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」（SIP-adus における本調査検討）及び「Connected Car 社会の実現に向けた既存 ITS 用無線システムの高度化を行うための技術的条件等に関する調査検討」（CC 調査検討）の実施項目を整理する。

- SIP-adus: 実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討
- CC: Connected Car 社会の実現に向けた既存 ITS 用無線システムの高度化を行うための技術的条件等に関する調査検討

検討項目		H29年度	H30年度
前提条件整理、通信要件抽出		一部実施(UC2~8)	実施(新UC)
通信仕様(素案)検討		完了	—
通信要件、通信シナリオの詳細検討		一部実施(UC2~8)	実施(新UC)
机上検証②シミュレーション検証			
電波伝搬モデル検討		完了 (基本モデル) ^{※1}	実施 (シャドウイングモデル追加) ^{※1}
無線回線設計 (通信距離、マージンの把握)		一部実施 (UC2~8)	実施 (新UC)
通信性能評価 (台数、品質等の目標達成の 可能性検証)	単独UC	一部実施 (UC2~8)	実施 (新UC)
	複数UC	—	一部実施
既存サービスとの共存検討		—	一部実施
通信仕様案検討		—	実施(素案補正)
実機検証		—	基礎特性取得

※1 基本モデル: 電波の平均的な受信レベルを表す統計モデル
シャドウイングモデル: 大型車等による電波遮蔽を考慮したモデル

図 10.1-1: 平成 30 年度本調査検討 (SIP-adus) 及び CC 調査検討の実施項目整理