

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

平成 27 年度 研究成果報告書

平成 28 年 3 月

株式会社デンソー

第1章 はじめに.....	1
1.1. 研究開発の背景.....	1
1.2. 研究開発の目的.....	1
1.3. 第1章まとめ.....	2
第2章 研究開発目標.....	3
2.1. 社会的波及効果（アウトカム目標）.....	3
2.2. 技術的達成目標（アウトプット目標）.....	4
2.3. 第2章まとめ.....	4
第3章 研究開発体制.....	5
3.1. SIP 全体開発体制から見た総務省プロジェクトの位置付け.....	5
3.2. 総務省プロジェクトにおける本研究開発の位置付け.....	6
3.3. 研究者一覧.....	7
3.3.1. a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発.....	8
3.3.2. c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証.....	8
3.3.3. d-2) 制御用周辺情報の通信検証.....	8
3.4. 研究開発実施場所.....	8
3.5. 第3章まとめ.....	9
第4章 研究成果の要約.....	11
4.1. 年次目標（平成27年度）.....	11
4.1.1. a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発.....	11
4.1.2. c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証.....	12
4.1.3. d-2) 制御用周辺情報の通信検証.....	13
4.2. 成果概要.....	14
4.2.1. a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発.....	14
4.2.2. c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証.....	15
4.2.3. d-2) 制御用周辺情報の通信検証.....	16
4.3. 第4章まとめ.....	16
第5章 研究成果.....	17
5.1. 実験用に製作した機器.....	17
5.1.1. 車車路車協調システム計測装置.....	17
5.1.2. 車車路車協調システム記録装置.....	22
5.1.3. 車載無線システム（非一般車用）.....	24
5.2. 研究課題 a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発.....	27
5.2.1. 研究目的.....	27
5.2.2. 研究内容.....	27
5.2.3. 自動走行ユースケースにおける 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約・課題.....	28

5.2.3.1.	検討対象ユースケースの選定	28
5.2.3.2.	対象ユースケースの概要と課題となるポイント	30
5.2.3.3.	700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約	33
5.2.3.4.	700MHz 帯 ITS 通信の適用性検討の前提条件	35
5.2.3.5.	700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約・課題と対応	42
5.2.4.	自専道での協調型合流支援における通信特性の評価	44
5.2.4.1.	テストコース実験による通信特性の評価	45
5.2.4.2.	公道実験による通信特性の評価	57
5.2.4.3.	シミュレーションによる通信特性の評価	63
5.2.4.3.1.	評価対象	63
5.2.4.3.2.	評価項目	68
5.2.4.3.3.	評価方法	70
5.2.4.3.4.	評価条件	71
5.2.4.3.5.	評価結果	79
5.2.4.3.6.	シミュレーションのまとめ	95
5.2.5.	交差点での周辺車両認知における通信特性とその影響評価	96
5.2.5.1.	テストコース実験による通信特性とその影響評価	96
5.2.5.2.	シミュレーションによる通信特性とその影響評価	110
5.2.6.	まとめ	141
5.2.7.	参考文献	144
5.3.	研究課題 c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証	145
5.3.1.	研究目的	145
5.3.2.	研究内容	145
5.3.3.	車車間通信による救急車接近通知アプリケーションの検証	146
5.3.3.1.	実験による通信エリアと周辺車両の挙動変化の確認 (名古屋実験 1)	146
5.3.3.2.	評価車両による救急車の情報到達タイミングの観測 (名古屋実験 2)	155
5.3.3.3.	交通シミュレーションによる救急車移動時間短縮効果の検証	171
5.3.3.3.1.	救急車回避行動のドライビングシミュレータ実験による調査	172
5.3.3.3.2.	被験者へのアンケート調査	205
5.3.3.3.3.	救急車移動時間短縮効果のシミュレーションによる検証	212
5.3.3.3.4.	救急車移動時間短縮効果検証のまとめ	231
5.3.4.	車車間通信と路車間通信による拡張サービスに向けた検証 (神戸実験)	232
5.3.5.	まとめ	245
5.3.6.	参考文献	246
5.4.	研究課題 d-2) 制御用周辺情報の通信検証	247
5.4.1.	研究の背景	247

5.4.2.	研究目的	247
5.4.3.	実施内容	248
5.4.4.	車両挙動モデルの構築	248
5.4.4.1.	シミュレーションモデル	248
5.4.4.2.	車両モデル	249
5.4.5.	車両挙動モデル作成のための車両情報のデータ取得	251
5.4.5.1.	パラメータの同定	252
5.4.5.2.	車両モデルの検証	261
5.4.6.	通信利用型車両シミュレーション検証	262
5.4.6.1.	シーン1 (本線走行車両が制御する場合)	263
5.4.6.1.1.	シーン1のシミュレーション	263
5.4.6.1.2.	通信失敗時のシミュレーション	265
5.4.6.1.3.	通信不具合の車両への影響	266
5.4.6.1.4.	シミュレーションのパラメータ評価	271
5.4.6.1.5.	シミュレーション結果の考察	273
5.4.6.2.	シーン2 (合流車両が制御する場合)	274
5.4.6.2.1.	合流の決め方	274
5.4.6.2.2.	シミュレーションモデルについて	277
5.4.6.2.3.	合流判断モデル	278
5.4.6.2.4.	車速制御モデル	279
5.4.6.2.5.	車線変更移動制御モデル	279
5.4.6.2.6.	シミュレーション結果	280
5.4.6.2.7.	シナリオaのシミュレーション結果	281
5.4.6.2.8.	シナリオbのシミュレーション結果	287
5.4.6.2.9.	信号遅延による合流不具合の検討	293
5.4.6.2.10.	シーン2におけるまとめ	294
5.4.7.	まとめ	296
5.4.8.	参考文献	297
5.5.	第5章まとめ	298
第6章	研究発表などの成果	299
6.1.	研究発表	299
6.1.1.	査読付き市場発表論文数	299
6.1.2.	査読付き口頭発表数	299
6.1.3.	その他の誌上発表数	299
6.1.4.	口頭発表数	299
6.2.	特許出願	299

6.2.1. 特許出願数	299
6.3. 第6章まとめ	300
第7章 その他研究開発活動	303
7.1. 人材の確保及び育成への配慮	303
7.1.1. 技術討論会	303
7.2. 普及啓発	324
7.2.1. ビジネスプロデューサ会議	324
7.2.2. 研究開発運営委員会	326
7.2.3. ITSに関する世界会議などの取り組み	327
7.3. 第7章まとめ	332

第1章 はじめに

1.1. 研究開発の背景

平成 25 年に閣議決定された「世界最先端 IT 国家創造宣言」では、「2018 年を目処に交通事故死者数を 2,500 人以下とし、2020 年までに世界で最も安全な道路交通社会を実現する」そして、このために「車の自律系システムと車と車、道路と車との情報交換等を組み合わせ、2020 年代中には自動走行システムの試用を開始する」とされている。この国家目標を達成し、世界の道路交通社会が実現することによって得られる価値は社会的にも産業的にも大きく、世界に対するわが国としての貢献に資すると考えられる。

このような国家目標を背景として、総合科学技術・イノベーション会議で創設された「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の自動走行システムに係わる研究開発」の一部として、本研究開発は実施される。

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）は、各省庁の管轄の下、それぞれ特徴あるプロジェクトが実施される。本研究開発は、総務省の“ICT を活用した次世代 ITS の確立”のテーマの 1 つである“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”に該当する。

1.2. 研究開発の目的

自動走行システムは、車載センサで構成される自律型システムが主となって構築されることが想定されるが、より安全・安心な自動走行システムを実現するためには、無線通信を利用した協調型システムの活用が重要となると考えられる。現時点で、この自動走行に用いる無線通信システムは定まっておらず、既存の無線通信システムの適用性についても明確になっていない。

本研究開発は、協調型の自動走行システムに必要な、高い信頼性を有する車車間通信・路車間通信技術を確立することを目的とする。また、協調型の安全運転支援システムや自動走行システムを有効に機能させるためには、協調通信システムの普及が重要となるため、その普及を促進させることも目的とする。

本研究開発は、昨年 2014 年度において、テストコースや公道等において、多数の車両が存在する状況等においても、安全運転支援に必要となる通信性能（通信遅延、通信到達率等）で車車間通信・路車間通信が行えることを検証した。また、通信性能を改善するための技術提案と評価を実施した。また、協調通信システムの普及に向け、サービス競合時の支援方法や、緊急車両との通信を利用したアプリケーションの効果検証、普及価格帯車載システムでの位置精度等の検証を実施した。

本年度 2015 年度では、これら車車間通信・路車間通信を協調型の自動走行システムに適用することを念頭に研究開発を実施する。これまでの安全運転支援よりも高い通信性能が求められることが想定されるため、その適用性や課題の明確化及び性能改善のための技術開発

を進める。また、協調通信システム普及のための研究活動については、2014年度で基本的な部分までの取組みだった部分を進展させ、より現実的・実用的なアウトプットを出すような取組みを実施する。

1.3. 第1章まとめ

日本において、交通事故の低減や今後の少子高齢化に対応する技術開発として、自動走行システムが有望と考えられている。また、産業の高度化の一例として、自動走行システムが、日本の自動車産業に大きな影響を及ぼすという予想もある。そのような背景から、本研究開発においては、まず、車車間通信、路車間通信の有効性をアピールできる検証を実施し、さらに自動走行システムの実現に必要な、高い信頼性を有する車車間通信・路車間通信技術を確立するための研究開発を行う。また、協調型の自動走行を有効に機能させるために必要となる普及促進に向けた研究活動についても実施する。

第2章 研究開発目標

2.1. 社会的波及効果（アウトカム目標）

ICT を活用した次世代 ITS の確立の基本計画書には、アウトカム目標として「交通事故死者 2,500 人以下／年を達成する。達成時期については、今後ロードマップを作成し、PDCA を回すことによって明らかにしていく。」と記載されている。この背景としては、2018 年交通事故死者数 2,500 人以下、2020 年交通渋滞半減（2010 年比）が、政官民で取り組む政府目標として掲げられたことがある。図 2.1-1 に平成 26 年までの交通事故の発生件数・死者数・負傷者数の推移を示す（出典：平成 26 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について 警察庁交通局）。

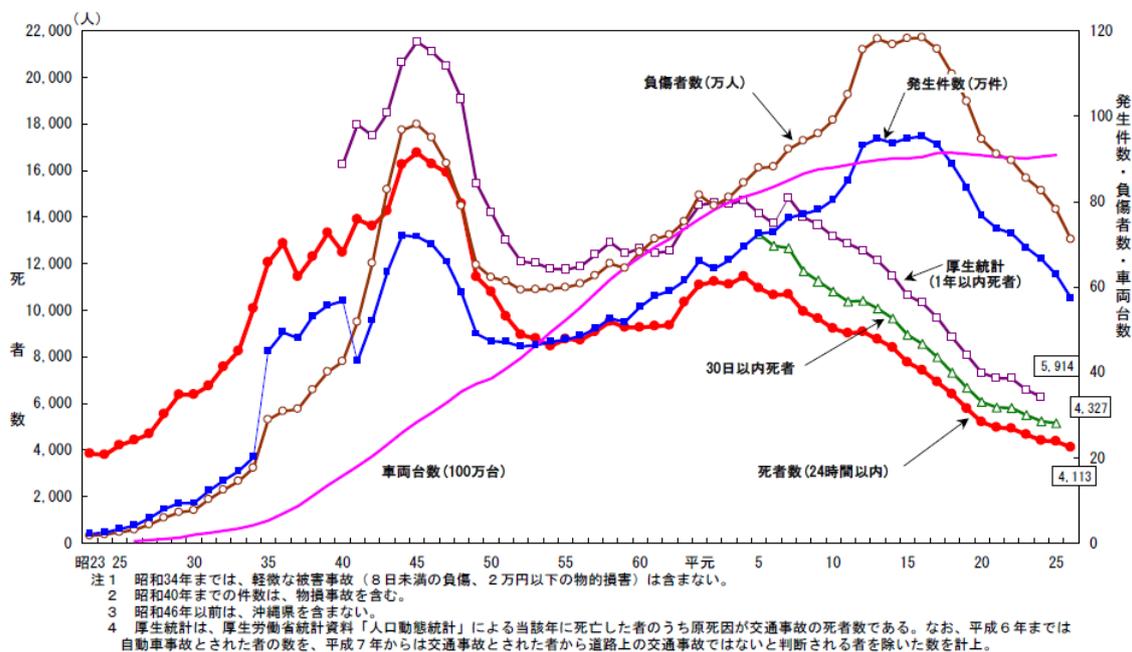


図 2.1-1 平成 26 年までの交通事故の発生件数・死者数・負傷者数の推移

平成 26 年（2014 年）における交通事故の状況としては、発生件数 57 万 3,842 件、死者数 4,113 人、負傷者数 71 万 1,374 人であり、対前年でみると減少傾向にはあるがまだ依然として大きな数字が残っている。政府の目標は、この 4,113 人の死者数を 4 割程度減少させることであり、非常に高い目標であるとも言える。

交通事故の実態に関しては、4 大事故モード（追突、車線逸脱、交差点、歩行者事故）への対応が不可欠である。特に交差点での事故や歩行者・自転車との事故は、車単独での対応が難しいため、無線通信により車と車、車と道路インフラが協調する安全運転支援システムによる事故防止効果が期待される。

SIP 自動走行システムプログラムでは、その研究開発計画の中で、2017 年までに信号情報や渋滞情報等のインフラ情報を活用した準自動走行システム（レベル 2）、さらに 2020

年代前半を目途に準自動走行システム（レベル 3）、2020 年代後半以降に完全自動走行システムの市場化を目指す」と記載されている。これらの実現に向けて、車載センサによる自律型システムと ITS 通信による協調型システムのそれぞれが発展し、それら両方が機能することが必要になると考えられる。

上記システムを実現することにより、社会的波及効果（アウトカム目標）として、「交通事故死者 2,500 人以下／年を達成すること」を設定する。

2.2. 技術的達成目標（アウトプット目標）

ICT を活用した次世代 ITS の確立の基本計画書には、以下の区分により研究開発を実施すると記載されている。

- 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
- II. 歩車間通信技術の開発
- III. インフラレーダーシステム技術の開発

本研究開発は、I. の「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」を担当する。その中で取組みは大きく 2 つに分けられ、1 つは自動走行のための車車路車協調システムの通信・サービスに関する研究、もう 1 つは車車路車協調システムの普及促進に関連する研究である。前者については、既に安全運転支援用に実用化されている 700MHz 帯 ITS 通信をベースに、その自動走行のユースケースに対する適用性や課題について、通信・サービスの両面から明確化する。また、700MHz 帯 ITS 通信の通信性能を改善するための技術開発を行う。後者については、複数の運転支援サービスが競合した場合の支援方法の検討や、非一般車両（緊急車両や公共車両）との通信を利用したアプリケーションの有効性の検証、様々な道路環境における普及価格帯車載システムにおける性能検証等を実施することで、車車路車協調システムの普及につなげる研究を行う。

これらの研究を行うことにより、「自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術」を実現することを技術的達成目標（アウトプット目標）として設定する。

2.3. 第 2 章まとめ

交通事故の発生件数・死者数・負傷者数を減らすためには、車と車、車と道路インフラが協調する安全運転支援システムによる事故防止が期待される。それに用いる車車間通信、路車間通信の協調型自動走行への適用性の検証及び技術開発、また協調システムの普及促進につなげる研究開発を実施して社会的波及効果（アウトカム目標）として、「交通事故死者 2,500 人以下／年を達成すること」と技術的達成目標（アウトプット目標）として「自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術」を実現することを目指す。

第3章 研究開発体制

3.1. SIP 全体開発体制から見た総務省プロジェクトの位置付け

第107回総合科学技術会議で、安倍総理から日本が世界一を再び目指すためにイノベーションを重視する旨の発言があり、それを受けてSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）とImPACT（革新的研究開発推進プログラム）が創設された。SIPは、府省・分野の枠を超えた横断型プログラムであり、研究から出口までを見据えた取組みを推進する。対象課題として、以下の11テーマが選定された。

- ・ 革新的燃焼技術
- ・ 次世代パワーエレクトロニクス
- ・ 革新的構造材料
- ・ エネルギーキャリア
- ・ 次世代海洋資源調査技術
- ・ 自動走行システム
- ・ インフラ維持管理・更新・マネジメント技術
- ・ レジリエントな防災・減災機能の強化
- ・ 次世代農林水産業創造技術
- ・ 革新的設計生産技術
- ・ 重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保

本研究開発活動は「自動走行システム」に係る研究開発の一部として実施される。「自動走行システム」のプログラムディレクターとして、トヨタ自動車株式会社顧問の渡邊浩之氏が就任された。図3.1-1で示す実施体制（出典：SIP自動走行システム研究開発計画より）の座長PDにあたる。

自動走行システムの研究開発プログラムは、内閣府が事務局を務め、その下に警察庁、総務省、経済産業省、国土交通省が役割を分担し、各プロジェクトを推進する。その中で、総務省プロジェクトの位置付けは、ICTを活用した高度な安全運転支援システムの実現に向けた技術の開発である。

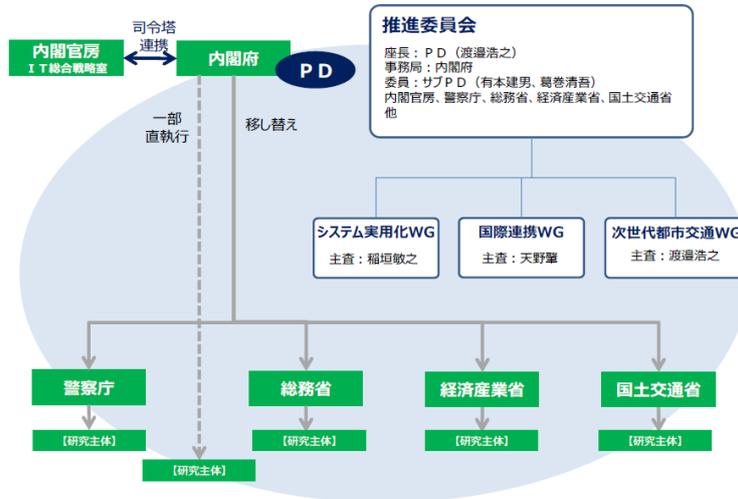


図 3.1-1 実施体制

総務省が推進するプロジェクトは、以下の3つからなる。

- 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
- II. 歩車間通信技術の開発
- III. インフラレーダーシステム技術の開発

3.2. 総務省プロジェクトにおける本研究開発の位置付け

本研究開発は、3.1節で示した総務省が推進するプロジェクトの「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」に該当し、株式会社デンソー、パナソニック株式会社、パイオニア株式会社、国立大学法人電気通信大学の4研究機関が研究主体である。本プロジェクトの中では、テーマ課題が複数に分かれており、4研究機関が分担し取り組んでいる。研究開発テーマ（課題）と担当研究機関を表3.2-1に示す。

表 3.2-1 研究開発テーマと担当研究機関

課題 a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発	デンソー
課題 b) 車車路車協調システムのサービスに関する研究開発	パナソニック
課題 c) 普及促進に関する研究開発	
課題 c-1) 普及車載機での評価検証	パイオニア
課題 c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証	デンソー
課題 c-3) 公共交通アプリケーションの有効性検証	パイオニア
課題 d) 自動走行の通信に関する研究開発	
課題 d-1) 分散協調 ITS 通信技術開発	電気通信大学
課題 d-2) 制御用周辺情報の通信検証	デンソー

株式会社デンソーは、表 3.2-1 で示したテーマのうち、課題 a)、課題 c-2)、課題 d-2) について取組んだ。以下、株式会社デンソーの担当するテーマの概要について記載する。

1) 課題 a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発

車車路車協調システムとして既に 700MHz 帯 ITS 通信が安全運転支援用途として実用化されており、その自動走行への用途拡張が考えられる。本研究開発では、現行の通信規格を協調型自動走行へ適用した場合の適用範囲や課題について明確化する。

2) 課題 c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証

車車路車協調システムの普及が、協調型の安全運転支援及び自動走行システムが有効に働くためには重要である。本研究開発においては、昨年度実施した非一般車両との通信を利用したアプリケーションの有効性の検証を、さらに深堀し、効果を明らかにすることにより、車車路車協調システムの普及に寄与する。

3) 課題 d-2) 制御用周辺情報の通信検証

車車路車協調システムにより得られる情報を車両がより活用するようになるためには、通信の信頼度や情報の精度を高める必要がある。本研究開発では、通信で得た情報を元に自動走行車両が行動判断することを想定し、通信特性が車両制御に与える影響について検証する。

3.3. 研究者一覧

① 研究責任者

氏名 : 難波秀彰
所属 : 技術開発センター 研究開発 1 部
住所 : 愛知県刈谷市昭和町 1-1
電話 : 0566-55-0341 (内線) 551-40600
FAX : 0566-25-4552
E-mail : hideaki_nanba@denso.co.jp

② 経理責任者

氏名 : 吉田克典
所属 : 技術開発センター 研究開発 1 部
住所 : 愛知県刈谷市昭和町 1-1
電話 : 0566-61-3692 (内線) 551-40603
FAX : 0566-25-4552
E-mail : katsunori_yoshida@denso.co.jp

③ ビジネスプロデューサ

氏名 : 伊藤敏之

所属 : 技術開発センター 技術企画部

住所 : 愛知県刈谷市昭和町 1-1

電話 : 0566-20-3250 (内線) 551-25731

FAX : 0566-25-4552

E-mail : toshiyuki_ito denso.co.jp

3.3.1. a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発

【担当研究者】

難波秀彰、川合健夫、吉田克典、小林顕二、伊吹明彦、伊藤敏之、玉置文博、下平俊也、小枝賢一、加藤修吾、澤田学、伊神章公、平山泰弘、今井謙一郎、中田恒夫、古山卓宏、坂本将紘、吉永諭史

3.3.2. c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証

【担当研究者】

難波秀彰、小林顕二、伊吹明彦、玉置文博、下平俊也、加藤修吾、澤田学、伊神章公、平山泰弘、中田恒夫、古山卓宏、坂本将紘、吉永諭史

3.3.3. d-2) 制御用周辺情報の通信検証

【担当研究者】

難波秀彰、川合健夫、澤田学、今井謙一郎、小枝賢一

3.4. 研究開発実施場所

主な実施場所：デンソー本社…………… (住所：愛知県刈谷市昭和町 1-1)

実施場所：デンソーYRP 情報通信研究室…………… (住所：神奈川県横須賀市光の丘 3-4)

実施場所：名古屋環状線…………… (住所：愛知県名古屋市北区)

実施場所：テストコース…………… (住所：茨城県つくば市)

実施場所：高速道路…………… (道路：東名高速道路 厚木 IC 周辺)

3.5. 第3章まとめ

本章では、本研究開発の位置付けと実施体制について記載した。本プロジェクトは4つの研究機関が研究主体となり、その中で株式会社デンソーは、「a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発」、「c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証」と「d-2) 制御用周辺情報の通信検証」を担当した。本プロジェクトは、4研究機関が互いに連携協力する方針で進めてきた。ほぼ3ヶ月に一回のペースで連携会議を開催し、相互理解を深め、実験協力等も行った。さらに、4研究機関の研究内容の相互理解と研鑽のため、技術討論会を実施した。発表は、それぞれの研究機関の若手研究員が行い、人材育成の機会とした。次年度以降の計画においても本方針を継続し、課題の解決に向けた研究開発の推進に取り組んでいきたい。

第4章 研究成果の要約

4.1. 年次目標（平成27年度）

4.1.1. a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発

1) 目標

自動走行車両における車車路車通信を利用したユースケースに対し、実験・シミュレーションにより通信特性を求めることで、700MHz帯 ITS 通信の適用性や課題を明確化する。

2) 根拠

700MHz帯 ITS 通信規格は安全運転支援用に実用化されており、それを自動走行に適用した場合の限界や適用条件を明確化することで、適用可能な範囲については現通信規格を新たな用途へ活用するための指針となり、またそれを超える範囲については通信技術に対する研究課題が設定可能となるため。今年度の取組みにより明らかになった課題に対しては、来年度、対応技術を検討する予定。

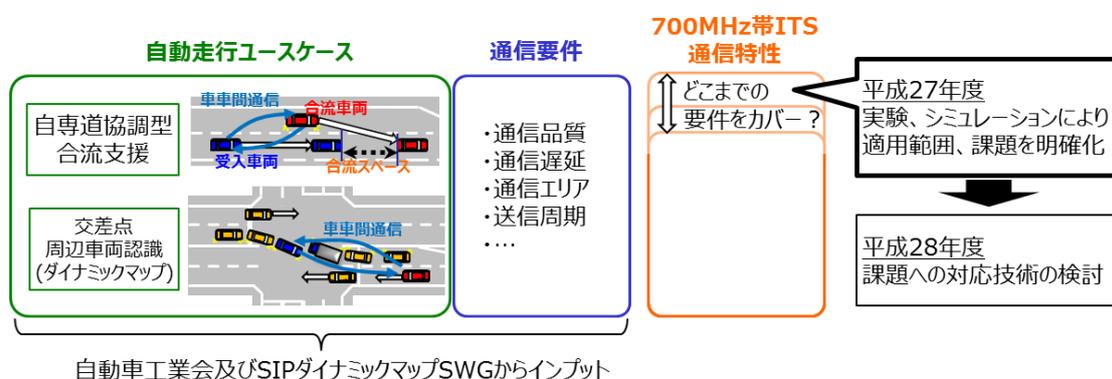


図 4.1.1-1 課題 a) 取組み目標イメージ

4.1.2. c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証

1) 目標

車車間通信を利用した緊急車両接近通知アプリケーションの効果として、一般車両ドライバーへの緊急車両接近認知や回避行動への支援効果および緊急車両到着時間の短縮効果について検証する。

2) 根拠

緊急車両接近通知アプリケーションの効果が、一般車両側だけでなく緊急車両側の到着時間短縮にも及ぶことを示すことで、車車路車協調システムの普及促進につながると考えられるため。今年度は、昨年度実施した基礎的シミュレーションを拡張させ、より現実に近いモデル・条件で効果を検証する

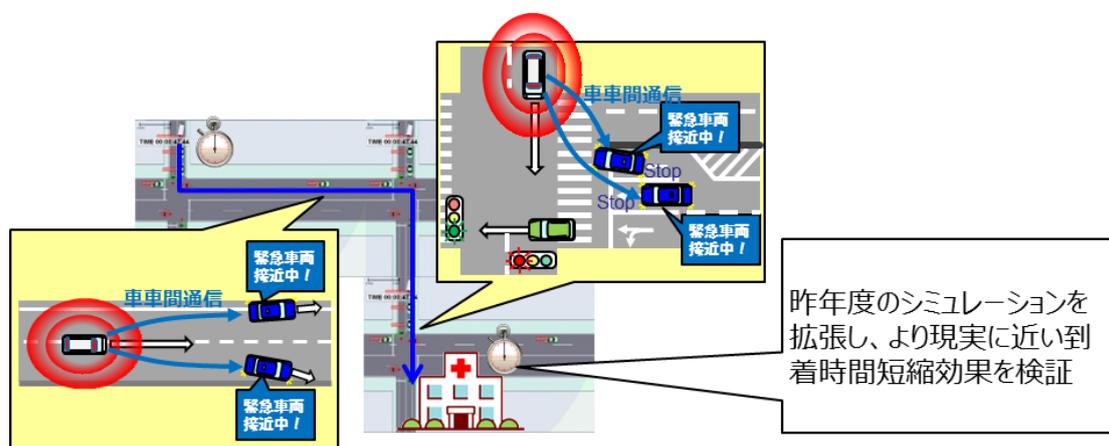


図 4.1.2-1 課題 c-2) 取組み目標イメージ

4.1.3. d-2) 制御用周辺情報の通信検証

1) 目標

通信で取得した周辺情報を基に自動合流するシステムに対し、通信エラーや通信遅延による車両制御への影響を確認することで、自動走行に必要な通信の性能・機能について明確化する。

2) 根拠

車車路車協調システムを将来的に自動走行へ適用する（自動化レベルを向上させる）ためには、車両のモビリティに対応した車両の位置情報の通信が必要であるため。また、その通信の性能が車両の挙動にどう影響を及ぼすかを明らかにする必要があるため。

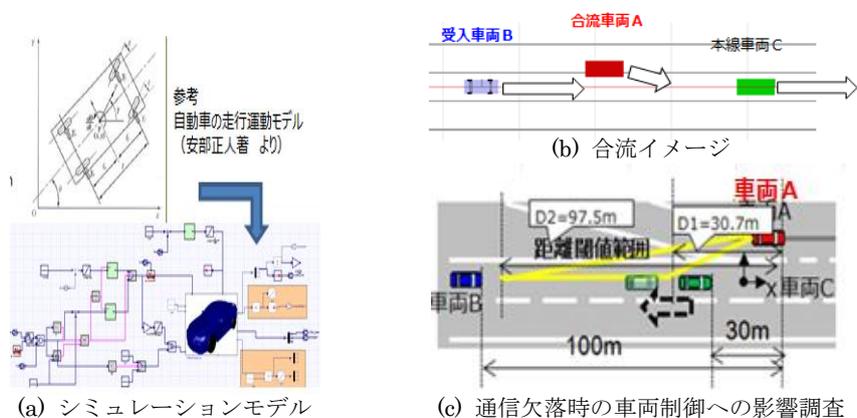


図 4.1.3-1 課題 d-2) 取組みイメージ

4.2. 成果概要

4.2.1. a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発

1) 協調型自動走行システムのユースケースの選定と700MHz帯ITS通信適用時の制約事項の抽出

自工会およびSIPダイナミックマップSWGのユースケース検討資料から、2つのユースケース（自動車専用道路における協調型合流支援、交差点における周囲車両認知）を選定した。選定したユースケースに対し、700MHz帯ITS通信を適用する場合の制約について検討した結果、自専道における協調型合流支援については、送信周期やメッセージサイズに制約があり、その制約のもとで適用した際にユースケースが要求する通信性能を達成可能かの検証に取り組むこととした。交差点における周囲車両認知については、通信規格に起因する制約はないが、通信によって取得した車両位置情報をマッピングして使用することを想定した場合の700MHz帯ITS通信特性による影響の明確化に取り組むこととした。

2) 自専道における協調型合流支援に対する700MHz帯ITS通信適用範囲の明確化

車載機77台を用いた実験をテストコースにて実施し、周囲車両が通信する中での合流車両と受入車両間の通信特性を取得した。その結果、所望エリアにおけるパケット到達率は97%以上であり、通信要件である99%以上を満足出来ないことが判った。さらに車載機台数を増加した条件について、700MHz帯ITS通信適用時の通信シーケンスやメッセージ構造の検討結果を踏まえシミュレーションにより通信特性を求めた。その結果もパケット到達率が99%を下回ることがあることが判った。この特性の主要因は、送信タイミング等の分析結果からパケット衝突発生によるものと推定され、通信要件を満足するためにはそれへの対策が課題であることが明確となった。ただし、評価指標を合流車両と本線受入車両間の合意形成の成功率とした場合、自工会ユースケース記載の通信シーケンス適用時と比較して遜色無い結果（99.96%以上）が得られることも判った。

3) 交差点における周辺車両認知に対する700MHz帯ITS通信適用時の通信特性による影響の明確化

車載機85台を用いた実験をテストコースにて実施し、交差点中心付近で右折待機中車両を中心に周囲車両との車車間通信データを取得した。その結果、通信遅延や連続パケットロス発生による周辺車両位置認知への影響は小さいことが判った。さらに車載機台数を増加した大規模交差点での条件について、路車間通信の通信トラフィックやセキュリティ処理遅延も考慮しシミュレーションを実施した。その結果、混雑した交通流（43台/km）で車載機搭載率100%の条件では、通信遅延、連続パケットロス発生による周辺車両位置認知への影響が大きいことが判った。特にパケットロスについては、低い確率ながら連続20回以上発生することがあり、2秒以上車両位置データが更新されないことになる。ただし、連続パケットロスは、相手車両が自車両に近づくにつれ減少する傾向にあることも明らかになった。

4.2.2. c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証

1) 救急車とその周辺車両との車車間通信データ収集による情報到達タイミングの確認

名古屋市の30台以上の救急車に車載無線機とログ装置を搭載し、救急車と遭遇した車載機搭載車両の通信データを取得した。また緊急車両接近通知アプリケーションを搭載した評価車両を使い、緊急走行中の救急車からの通信及びアプリケーション通知のタイミング等を取得した。それらの結果、サイレン音や赤色灯により認知可能となるタイミングより早く、車車間通信による救急車認知支援が可能となることを確認した。

2) 緊急車両接近通知アプリケーションによるドライバー行動データの取得とモデルの作成

ドライビングシミュレータに緊急車両接近通知アプリケーションを組み込み、いくつかの緊急車両接近パターンに対する被験者75名の行動データを取得した。その結果、緊急車両の認知タイミングと回避操作タイミングの迅速化に効果があることを確認した。取得したデータを基に、通知アプリケーション動作時のドライバー行動モデルを作成した。

3) 緊急車両到着時間短縮効果の検証

作成したドライバー行動モデルを交通流シミュレータに組み込み、また実在の道路を模擬した複数の交差点を含む走行シナリオを作成し、シミュレーションを実施した。その結果、一般車両のアプリケーション搭載率の増加とともに緊急車両の移動時間が減少すること、搭載率100%において最大8%程度、到着時間を短縮出来ることを確認した。

4.2.3. d-2) 制御用周辺情報の通信検証

高速道路での自動合流シーンにおける通信性能の車両挙動に及ぼす影響について、車両のシミュレーションモデルを作成した。合流シーンにおける通信性能の劣化が車両に及ぼす影響を、シミュレーションを用いて、通信の遅延、通信の欠落等のパラメータを種々変えることにより、その影響度を調査した。

本年度の研究開発では、通信だけの影響を調査するため、車両の制御は、通信で受信したデータのみで実施した。(現実的な自動走行システムでは、車載センサを利用した自律走行系と通信を用いた協調走行系が役割を分担して協調して機能実現すると想定する。)通信の影響の内、通信周期が100msの場合、乗員が許容できない加速度が発生する可能性があることが、わかった。通信周期を100msから20msと短くすると、車両挙動は、ほとんど通信性能の影響を受けない状況になる。これは、現行の通信方式ARIB STD T-109のままでは、通信で取得した情報のみで車両制御することが困難なケースがあることを示している。合流する車両が本線を走行する2車両の間に入り込む場合の検討では、通信の劣化により、入り込まずに後方に回る場合と、当初は後方に回る予定が、通信の劣化で、あやまって2車両の間に入り込む場合が、通信の劣化によって起こる場合が出現した。このように、現在使用されている通信方式(ARIB STD T-109)をそのまま使用して、自動運転の通信に使った場合、一例ではあるが、期待した車両の挙動が得られない場合があることが、特定の条件ではあるが、検出できた。

4.3. 第4章まとめ

本章では、取り組み課題毎に、年次目標と実施内容及び成果の概要を記載した。a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発では、協調型自動走行システムの2つのユースケースに対し、現行の700MHz帯ITS通信を適用した場合の、適用限界や通信特性による影響について明らかにした。また、さらに通信特性を向上させるための通信の課題についても明確にすることが出来た。c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証では、車車間通信を利用した緊急車両接近通知アプリが、周辺車両ドライバーの認知を助け、退避行動に対する余裕時間を創出すること、その結果として緊急車両の到着時間への短縮効果を定量的に示すことが出来た。d-2) 制御用周辺情報の通信検証では、現行車車間・路車間通信の通信方式(ARIB STD T-109)を利用して取得した情報を自動走行システムの車両制御へ使用することを検討した結果、特定の自動運転ユースケースにおいて、その通信性能の劣化(通信遅延、通信欠落)が、車両の挙動に与える影響を示すことが出来た。

第5章 研究成果

5.1. 実験用に製作した機器

平成27年度の実験に使用する機器として、課題 a)で使用する±1msec 精度で通信遅延を測定できる計測システムを構成するための機器として「車車路車協調システム計測装置」を、課題 c-2)で実運用されている救急車と一般車両との車車間通信を記録する車車間通信ログ取得装置を構成するための機器として「車車路車協調システム記録装置」(以下、ログ装置)を製作した。

また、課題 c-2)の実験で一般車両と救急車の遭遇する機会を増やすため、「車載無線システム(非一般車用)」(以下、車載無線機)を追加で製作し、名古屋市消防局の救急車のうち平成26年度に車載無線機を搭載していない車両に「車載無線機」と「ログ装置」を合わせて搭載した。

さらに、神戸市内で救急車に搭載された車載無線機と路側機との間で通信されるデータを収集し分析するため、神戸市消防局の救急車にも車載無線機とログ装置を搭載し使用した。

5.1.1. 車車路車協調システム計測装置

平成27年度に課題 a)での実験に使用する計測システムでは、±1msec の精度で通信遅延を測定できることが求められる。この計測システムを構成するための中心となる機器が「車車路車協調システム計測装置」である。

「車車路車協調システム計測装置」を用いた計測システムにより、評価車両と周辺車両との車車間通信において、時刻/タイミング/位置に着目したデータを収集する。計測システムの構成図を図 5.1.1-1 に、車車路車協調システム計測装置の機器外観を図 5.1.1-2 に示す。

計測システムは、高精度 GPS による高い精度の測位機能と、1PPS 信号による無線機間の時刻同期機能、「車車路車協調システム計測装置」による車車間通信機能と±1msec 精度での通信データ遅延測定機能とデータ記録機能、さらにドラレコにより車両周辺環境を画像に記録する機能からなる。

車車間通信で送受されるデータは「車車路車協調システム計測装置」内の無線機に内蔵される SD カードに記録される。SD カードへの記録の際、無線機内で通信データを処理するためにかかる時間をステップごとに記録できるようメッセージを構成している。メッセージに各ステップの遅延時間がどのように記録されるのかを図 5.1.1-3 に示す。

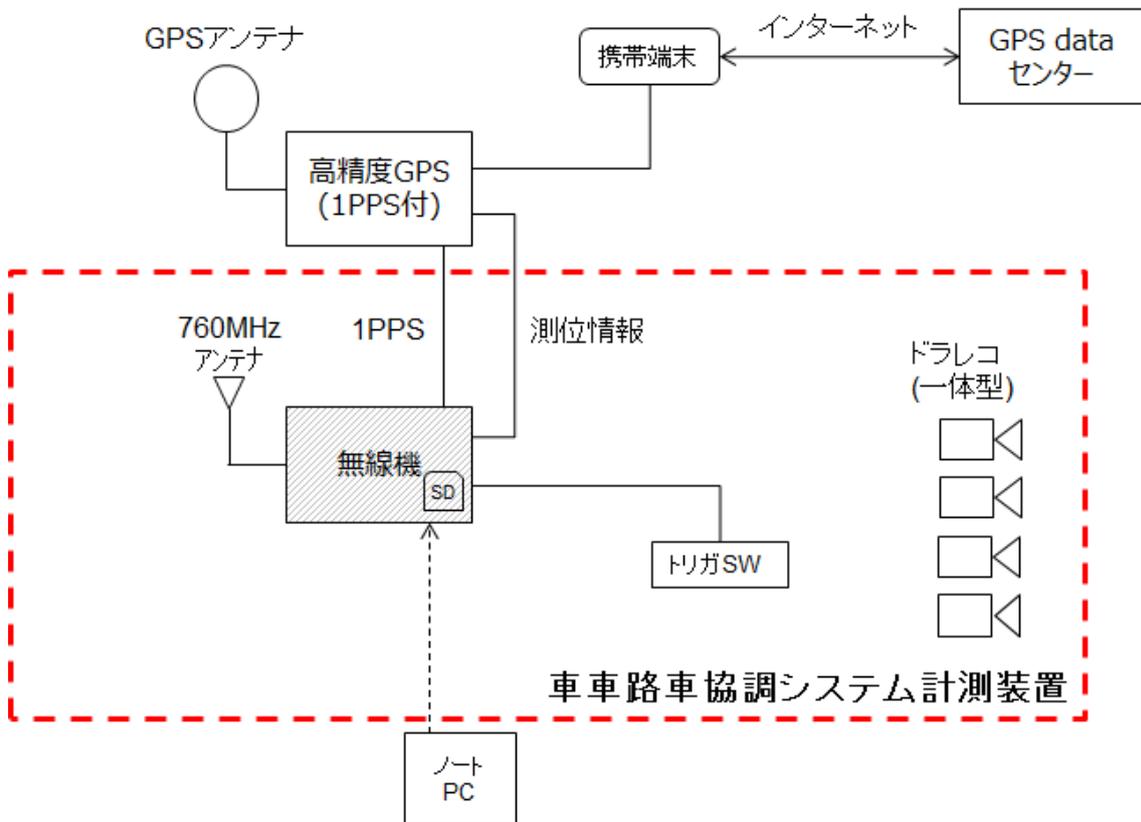


図 5.1.1-1 計測システムの構成



付属品一式 (アンテナ/ドラレコ等)

無線機外観

図 5.1.1-2 車車路車協調システム計測装置 機器外観

図 5.1.1-3 に、並走した後に合流する 2 台の車両間における車車間通信に関わる遅延の測定範囲と遅延を保持するためのメッセージ構成を示す。ユースケースとしては車両 B が車両 A の車線に合流することを想定し、その際に車両 B が車両 A に対して送信する自車位置と真の車両 B の自車位置の食い違いを観測する。ただし、このシステムでは GPS 装置そのものの測位結果を出力するまでの遅れは考慮していない。

STEP1： 車両 B が GPS 測位を完了して送信メッセージにその緯度経度を設定
その時の UTC 時刻、位置情報を自由領域に設定

STEP2： 車車間メッセージは 100msec ごとに送信されるので、車両 B の測位情報がメッセージとして送信されるときに車両 B は STEP2 の位置まで来ている。
この時の送信時刻を自由領域に追加して車両 B のメッセージとして送信。

STEP3： 車両 A が車両 B のメッセージを受信するまでの無線区間の遅れに車両 A での受信処理を加えた遅れが②。車両 A は受信時の UTC 時刻、位置情報を受信した車両 B のメッセージに追記、さらに受信時刻も追加して SD メモリに格納する。

ここで、車両 A と車両 B は同じ計測システムを搭載しているので、1PPS により時刻同期がとれており、車両 A で SD カードに格納されたデータを分析することで、車両 B における送信までの遅延時間 (①) や、車両 B のメッセージが作られてから車両 A でメッセージの受信が完了するまで (①+②) などの時間を求めることができる。

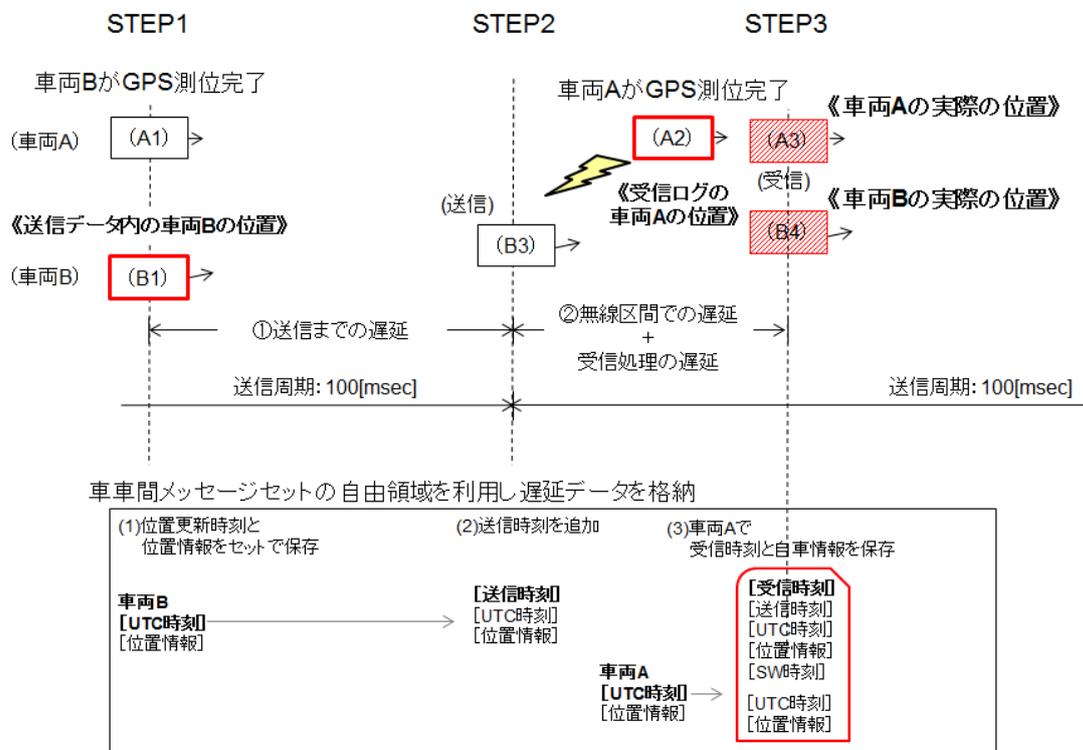


図 5.1.1-3 計測システムにおける遅延時間の格納方法

図 5.1.1-1 で示す車車路車計測システム計測装置で使用している無線機のシステム構成図を図 5.1.1-4、諸元表を表 5.1.1-1 に示す。無線モジュールで ARIB-STD-T109 準拠の無線通信を実現し、車車間通信データはメイン CPU で処理する。また、車車間通信を記録するため、受信した車車間メッセージは SD カードに書き込まれる。

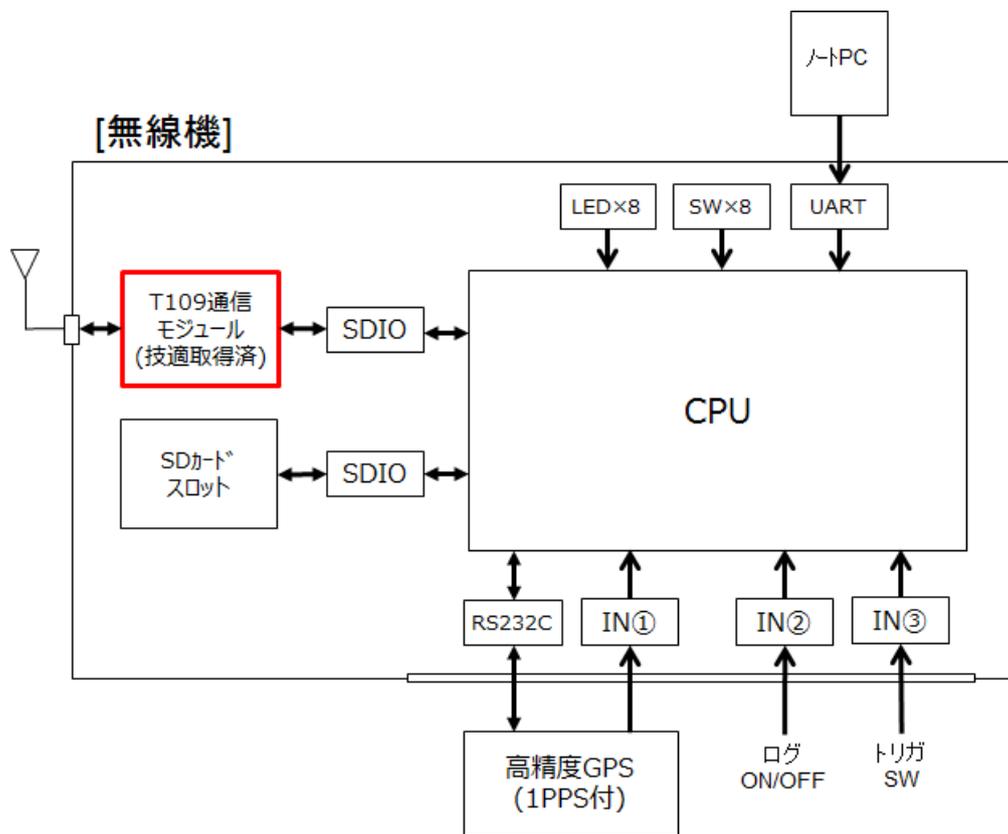


図 5.1.1-4 無線機のシステム構成

表 5.1.1-1 計測装置の諸元

項目	仕様
通信規格	ARIB STD-T109 準拠
仕様周波数	760MHz
変調方式	ODFM/QPSK,16QAM
定格送信電力	83mW
電源	定格電圧 DC12V 動作範囲 DC8.5~16V
定格消費電流	+B 端子 500mA (25°C 12V 時)
暗電流	+B 端子 100 μ A 以下 (25°C 12V, ACC OFF 時)
コネクタ	RF (700MHz) , RS232C, 車両信号, CAN, Ether
外形寸法	本体寸法 約 100×130×40mm、重量 約 130g
環境条件	保存温度 -40°C~85°C、動作温度 -30°C~65°C
機能	記録媒体へのデータ書込み 外部からのソフト更新機能 機器診断機能 USB, CAN, Ether, RS232C 通信

計測装置で使用する 760MHz 用アンテナの諸元表を表 5.1.1-2 に、アンテナの外観図を図 5.1.1-5 に示す。

表 5.1.1-2 計測装置で使用する無線機用 760MHz アンテナの諸元

項目	仕様
型式	接地式ホイップアンテナ
使用周波数	760MHz
入力インピーダンス	公称 50 Ω
VSWR	使用周波数帯域内で 2.0 以下
絶対利得	公称 2.15dB
指向性	垂直偏波 水平面内公称無指向性
給電部接栓	SMA-J 型
質量	約 0.3kg
設置方法	マグネット式

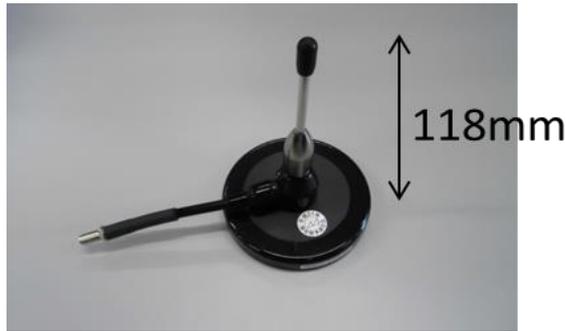
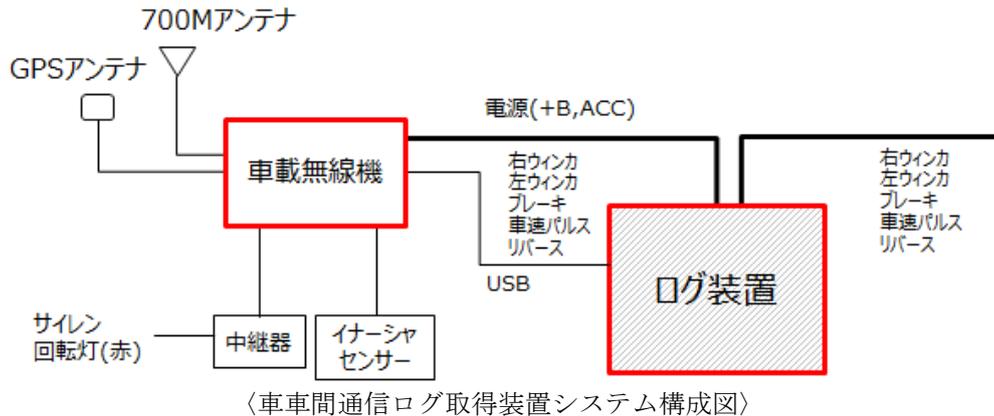


図 5.1.1-5 計測装置で使用する無線機用 760MHz アンテナの外観

5.1.2. 車車路車協調システム記録装置

課題 c-2)で、実運用されている救急車と一般車両との車車間通信を記録する、車車間通信ログ取得装置を構成するための機器として「車車路車協調システム記録装置」(以下、ログ装置)を製作した。車車間通信ログ取得装置は、760MHz 車車間通信を実現する「車載無線システム(非一般車両用)」(以下、車載無線機)と「車車路車協調システム記録装置」(ログ装置)で構成される。

車車間通信ログ取得装置のシステム構成図と主要部品の写真を図 5.1.2-1 に示す。



〈車載無線機とログ装置〉

図 5.1.2-1 記録装置のシステム構成図と主要部品

ログ装置は、車載無線機から送られる車車間メッセージをログ装置が内蔵する SD カードに記録する。ログ装置のシステム構成を図 5.1.2-2 に諸元表を表 5.1.2-1 表に示す。

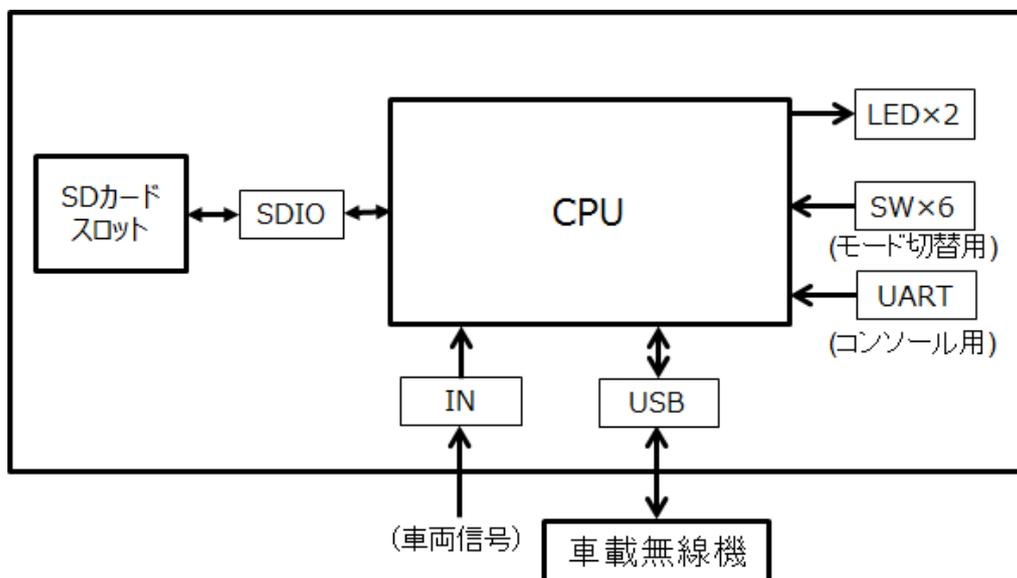


図 5.1.2-2 ログ装置のシステム構成

表 5.1.2-1 ログ装置の諸元表

項目	仕様
電源	定格電圧 DC12V 動作範囲 DC8.5~16V
定格消費電流	+B 端子 500mA (25°C 12V 時)
暗電流	+B 端子 100 μ A 以下 (25°C 12V, ACC OFF 時)
コネクタ	USB ケーブル, 電源コネクタ×2 (スルー出力)
外形寸法	本体寸法 約 65×100×20mm、重量 約 100g
環境条件	保存温度 -40°C~85°C, 動作温度 -30°C~65°C
機能	記録媒体へのデータ書込み 外部からのソフト更新機能 機器診断機能 USB 通信

5.1.3. 車載無線システム（非一般車用）

名古屋市内の実験で名古屋市消防局の救急車に搭載する「車載無線システム(非一般車用)」を平成26年度に引き続き製作した。図5.1.3-1にシステム図を示す。無線モジュールでARIB-STD-T109準拠の無線通信を行い、路車間/車車間通信データはメインCPUで処理する。また暗号化/復号処理用にSAMを搭載した。車載無線システム(非一般車用)は救急車用車載通信機として使用するため、サイレンと赤色灯の状態検出を可能にしている。

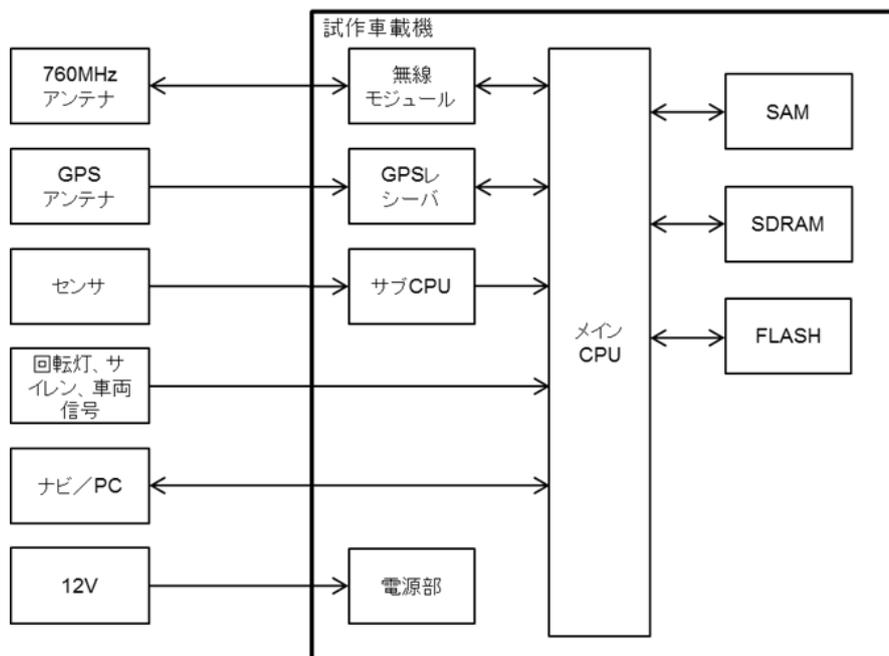


図 5.1.3-1 システム図

車載無線システム（非一般車用）の諸元を表 5.1.3-1 に、外観を図 5.1.3-2 に示す。

表 5.1.3-1 車載無線システム（非一般車用）の諸元

項目	仕様					
中心周波数	760MHz					
占有周波数帯幅	9MHz 以下					
空中線電力	10mW/MHz 以下					
空中線電力の偏差	±50%以内					
変調精度	-24dB 以下					
変調方式	BPSK/OFDM		QPSK/OFDM		16QAM/OFDM	
符号化率	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4
通信速度	3Mbps	4.5Mbps	6Mbps	9Mbps	12Mbps	18Mbps
受信感度	-85dBm 以下	-84dBm 以下	-82dBm 以下	-80dBm 以下	-77dBm 以下	-73dBm 以下
受信最大入力電力	-20dBm 以上					
アクセス方式	路車間：時分割同報通信、車車間：CSMA/CA					
電源電圧	12V					
消費電力	24W 以下					
外形寸法	136mmx100.8mmx30mm					
外部インターフェース	USB					

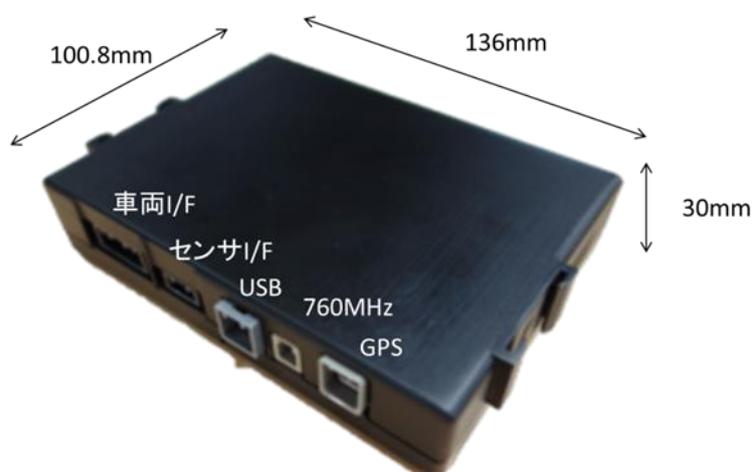


図 5.1.3-2 車載無線システム（非一般車用）外観

車載無線システム（非一般車用）で使用する無線機用 760MHz アンテナの各諸元を表 5.1.3-2、および外観を図 5.1.3-3 に示す。

表 5.1.3-2 車載無線システム（非一般車用）で使用する無線機用 760MHz アンテナの各諸元

項目	仕様
型式	接地式ホイップアンテナ
使用周波数	755～765MHz
入力インピーダンス	公称 50Ω
VSWR	使用周波数帯域内で 2.0 以下
絶対利得	公称 2.15dB
指向性	垂直偏波 水平面内公称無指向性
基部側接栓	N-J 型
質量	約 0.3kg
設置方法	ルーフトップ穴開け取り付け

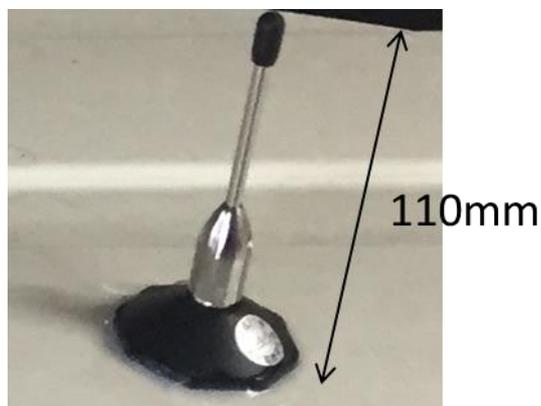


図 5.1.3-3 車載無線システム（非一般車用）で使用する無線機用 760MHz アンテナの外観

5.2. 研究課題 a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発

5.2.1. 研究目的

SIP 自動走行システムプログラムの目標に、交通事故死者低減、交通渋滞の緩和等の国家目標の達成が掲げられており、そのために自動走行システムの自動化レベルを現行のレベル 1 (安全運転支援システム) からレベル 2、3 (準自動走行システム) へ上げるための研究開発が期待されている (出典: SIP 自動走行システム研究開発計画)。自動走行システムは、車に搭載したセンサ等を利用して周辺環境を認知し、それを基に判断・操作を行う自律型システムを中心に研究開発が進められている。また、安全・安心な自動走行の実現には、無線通信を利用する協調型システムを併用することも考えられており、ITS 通信による先読み情報の活用により、進路上の交通環境を適切に把握し、制御や支援を実現することが検討されている (出典: SIP 自動走行システム研究開発計画)。一方で、車車間通信・路車間通信を利用した車車路車協調システムによる安全運転支援サービスが、我が国で 2015 年に開始された (詳細については ITS Connect 推進協議会 Web ページを参照: https://www.itsconnect-pc.org/about_its_connect/service.html)。特に衝突事故の発生頻度の高い交差点での事故防止への効果が期待されている。この車車間通信・路車間通信には、700MHz 帯 ITS 通信 (ARIB STD-T109、2016 年 3 月時点では 2013 年に策定された 1.2 版が最新) が適用されており、衝突事故防止サービス以外にも協調型オートクルーズコントロール (C-ACC) 等のサービスも実現されている (詳細については、トヨタ自動車 Web ページを参照: <http://toyota.jp/technology/safety/itsconnect/>)。

本研究は、協調型の自動走行システムに必要となる車車間通信・路車間通信の通信仕様を明確化することを目的とする。安全運転支援に利用されてきた車車間通信・路車間通信を協調型自動走行に活用した場合の適用性に関する検討はこれまで行われていない。安全運転支援用に実用化されている 700MHz 帯 ITS 通信をベースに検討を進め、協調型の自動走行システムの通信要件に対しどこまで適用可能かを見極めることが本年度の目標である。

5.2.2. 研究内容

本研究は、700MHz 帯 ITS 通信を協調型自動走行システムに適用した場合における通信特性を取得することで、その通信要件を満足可能か、またその通信性能及び通信機能による適用範囲がどこまでかを明らかにする。検討対象とする協調型自動走行システムのユースケースについては、日本自動車工業会 (以下、自工会) および SIP ダイナミックマップ SWG で検討されている内容を基にした。まず、このユースケースの中から検討対象とするものを選定し、700MHz 帯 ITS 通信の仕様に起因する制約事項等を抽出した。次に選定したユースケース毎に想定される走行シーンを設定し、その走行シーンにおける通信特性について、実験及びシミュレーションによりデータを取得し、分析・考察を行った。実験においては、一般車両の交通への影響が懸念される条件ではテストコースを使用して実施した。シミュレ

ーションにおいては、実験よりさらに車載機台数の多い条件や、現行の通信規格外の通信方式を適用した場合の特性について取得した。それらの結果を、各ユースケースの要件や評価指標に対しまとめ、適用範囲を示し、課題を明確化する。

5.2.3. 自動走行ユースケースにおける 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約・課題

5.2.3.1. 検討対象ユースケースの選定

協調型自動走行のユースケースとして、自工会が検討中のユースケースと SIP ダイナミックマップ SWG が検討中のユースケースの中から検討対象を選定する。自工会ユースケースを整理したものを表 5.2.3.1-1 に、SIP ダイナミックマップ SWG ユースケースを整理したものを表 5.2.3.1-2 に示す。自工会の検討中のユースケースには、通信到達率など通信に関わる要求値が記載されており、本研究ではこれを通信要件として取扱う。なお、ユースケースは検討中の段階であり、記載されている数値は暫定値であることに留意が必要である。

表 5.2.3.1-1 自工会が検討中のユースケース

No.	ユースケース		機能要件	情報要件	通信要件
UC1	合流・車線変更時の支援		<ul style="list-style-type: none"> 車線変更時に後続直進車に対して車線変更リクエストを送信 後続直進車はレスポンスを返し車間を空けるように制御を実施 進路変更車は安全スペースを自律センサで確認して車線変更を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 車線変更要求 車線方向 車線変更状態 要求車間距離 周辺車両情報 等 	<ul style="list-style-type: none"> 通信到達率99% 最大48台 合意形成期間0.4s以内 送信周期20ms、50ms メッセージサイズ70byte 通信オーバーヘッド250byte 等
UC2	突発事象の配信		<ul style="list-style-type: none"> 車載センサで路上障害物等の緊急回避が必要になるモノを検出した際に、ハザード情報を後続車へ送信 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急ハザード情報 	<ul style="list-style-type: none"> 通信到達率99% 同時送信2台 送信周期20ms、1s メッセージサイズ28byte 通信オーバーヘッド250byte 等 路車間通信をトリガに送信 等
UC3	自動運転車による情報収集・再配信	路側センサの補完	<ul style="list-style-type: none"> 車載センサで路上障害物等を検出したハザード情報を収集し、路側インフラへ送信 	<ul style="list-style-type: none"> ハザード情報 	
UC4		緊急時の路側サービスの補完	<ul style="list-style-type: none"> 路側インフラより取得した対向車側の先読み情報がある地点で対向車両に対して再配信 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急ハザード情報 	<ul style="list-style-type: none"> 送信周期20ms、1s 等

表 5.2.3.1-2 SIP ダイナミックマップ SWG が検討中のユースケース

No.	ユースケース	協調システム記載部分			
		機能要件	情報要件	通信要件	
1	走行位置判定	なし			
2-1	走行制御 【自動車専用道】	料金所通過	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから料金所前後を走行する車両の情報を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 料金所前後を走行する車両の情報 	
2-2		本線への合流（ICから本線へ、JCTから本線へ）	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから本線を走行する車両の情報を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 本線を走行する車両 	
2-3		本線走行	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから先行する車両の位置情報と走行速度を取得する。 自律システム、協調システムから隣接する車線を走行する車両の位置情報と走行速度、舵角、ヨーレート、ターンシグナル等の情報を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 先行車情報 隣接車情報 	
2-4		工事規制	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムにより工事区間の情報を取得する。 自律システム、協調システムにより追い越し車線を走行する車両の位置情報と走行速度を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 工事規制情報 周辺車両情報 	
2-5a		車線変更（走行車線から追い越し車線へ）	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムにより追い越し車線を走行する車両の位置情報と走行速度を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺車両情報 	
2-5b		車線変更（追い越し車線から走行車線へ）	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから走行車線を走行する車両の位置情報と走行速度を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺車両情報 	
2-6	本線からの分流（本線からJCTへ、本線からICへ）	なし			
3-1	走行制御 【一般道】	本線走行	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから隣接する車線を走行する車両の位置情報と走行速度、舵角、ヨーレート、ターンシグナル等の情報を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 隣接車情報 	
3-2		優先道路への合流	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから本線を走行する車両の情報を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 優先道路を走行する車両 	
3-3a		車線変更（走行車線から追い越し車線へ）	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから追い越し車線を走行する車両の位置情報と走行速度を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺車両情報 	
3-3b		車線変更（追い越し車線から走行車線へ）	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから走行車線を走行する車両の位置情報と走行速度を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺車両情報 	
3-4		交差点直進	なし		
3-5		交差点右折	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから交差点を通過する車両の情報を取得する。 自律システム、協調システムから横断歩道を通過する歩行者の情報を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 対向車情報 歩行者・自転車情報 二輪車情報 	
3-6	交差点左折	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから横断歩道を通過する歩行者・自転車の情報を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 二輪車情報 歩行者・自転車情報 		
3-7	障害物回避	なし			
4	駐車場	駐車区間線内への駐車	<ul style="list-style-type: none"> 自律システム、協調システムから駐車場内を走行する車両の情報を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> 駐車場内を走行する車両の情報 	

(記載なし)

これらの中から検討対象として、自工会ユースケースからは UC1 の合流・車線変更時の支援を、SIP ダイナミックマップ SWG ユースケースからは No.3-5 の走行制御【一般道】の交差点右折を選定した。選定理由としては、前者は自工会ユースケース文書の中で優先的に検討することが期待されると記載があることから、後者は一般道の特徴となる交差点において、右折待ち車両にとってセンサの死角となる対向直進車等の認知に通信が有効活用出来るのではないかという考えからである。また、これらのユースケースに対して、通信手段として車車間通信と路車間通信の 2 つが考えられるが、どちらも車車間通信を使うものを検討対象とする。この理由としては、前者については車車間通信が前提とされている（自工会資料では路車間通信については従来の通信方式で実現が見込めると記載あり）ことから、後者については路側インフラが整備されていない交差点についても対象とすることから車車間通信のケースを取扱うこととした。これら 2 つのユースケースについて、これ以降、「自専道における協調型合流支援」、「交差点における周辺車両認知」と呼ぶことにする。

5.2.3.2. 対象ユースケースの概要と課題となるポイント

検討対象とする 2 つのユースケースについて、その概要と通信仕様の観点で課題となるポイントについて述べる。

自専道における協調型合流支援は、合流車両が本線へ車線変更する際に合流スペースを確保するため、あらかじめ本線車両と車車間通信を用いて合意形成を行うものである。協調型合流支援のイメージを図 5.2.3.2-1 に示す。自工会ユースケースには、協調型合流支援のフローとして合意形成期、車間確保期、合流実施期の 3 つのフェーズが定義されている。合意形成期においては、合流車両は、車車間通信を用いて受入要求を送信し、本線走行車両のうち、その合流車両の車線変更時に干渉する可能性のある車両が車車間通信を用いて応答を返すことで合意形成を図る。車間確保期においては、合意形成成立後、受入車両は速度調整を実施し、合流車両が車線変更する前までに合流スペースを確保する。合流車両は、合流車線にて必要な加速を実施し、車線変更の準備を行う。合流実施期においては、合流車両は確保された合流スペースを利用して、自律センサで周囲の状況を確認しながら本線へ車線変更を実施する。受入車両は、合流車両が車線変更を完了するまで速度調整を継続する。協調型合流支援は、このフローを実行することで、合流車両が本線へスムーズに車線変更出来るようにするものである。

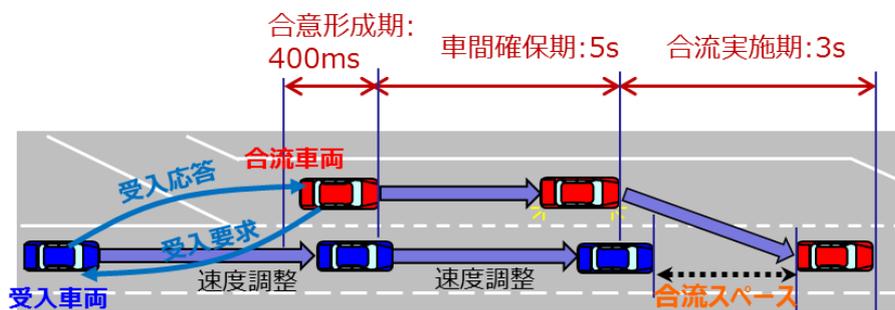


図 5.2.3.2-1 協調型合流支援のイメージ

交差点における周辺車両認知は、車車間通信を用いて自車両の位置、速度等の情報を送信し合うことで、周辺車両の位置を認知するものである。この認知は、ダイナミックマップに反映され、自動走行車両が周囲車両の動きを推定し、走行プランの決定に用いることが想定されている。ダイナミックマップの構造イメージを図 5.2.3.2-2 に示す（出典：SIP-adus Workshop 2015 “Dynamic Map Development in SIP-adus” Ryota Shirato）。交差点における周辺車両認知のユースケースでは、車車間通信にて得た情報を使い、Dynamic レイヤ上に周辺車両の位置をマッピングし、それを随時更新して用いることが想定される。車両位置のマッピングは Static レイヤの地図データの座標とリンクしている必要がある。交差点における周辺車両認知のイメージを図 5.2.3.2-3 に示す。このイメージでは、交差点中心付近の右折待ち車両（図中の青色の車両）を中心に示した。周辺車両から車車間

通信にて受信した情報を用い、地図上に周辺車両の位置情報を重畳する。位置情報以外にも速度や進行方向等の情報も活用することで、各車両の動きの推定がある程度可能になると考えられる。

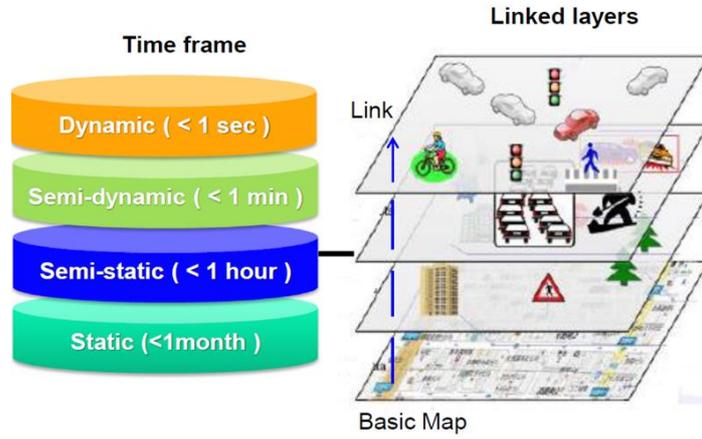


図 5.2.3.2-2 ダイナミックマップの構造イメージ

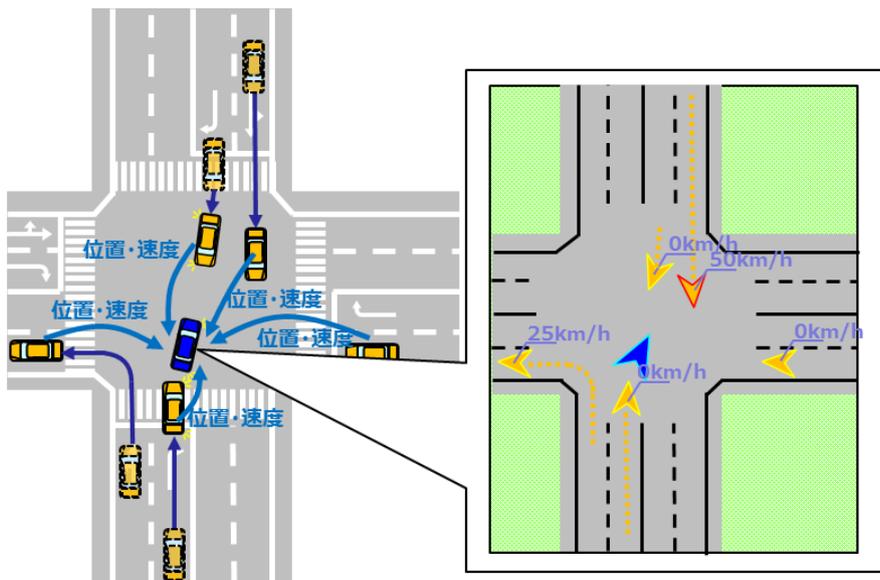


図 5.2.3.2-3 交差点における周辺車両認知のイメージ

それぞれのユースケースについて課題となることが想定されるポイントについてまとめたものを表 5.2.3.2-1 に示す。自専道における協調型合流支援では、合流車両が合流レーンを加速して本線に車線変更するまでの限られた期間に合流支援を機能させるために、400ms という短い期間で確実に合意形成を完了する必要がある、それを実現するには安全運転支援で要求されるよりも高い通信品質が求められることが想定される。交差点における周辺車両認知では、多くの車両が流入する交差点で、周辺の車両、特に自車と交錯する可能性がある車両の位置を正しく、抜けもれなく認知しマッピングするためには、通信トラフィックが集中する条件においても周辺車両の位置や動きの把握に影響するような遅延や連続的な通信エラーの生じない通信特性が求められる。

表 5.2.3.2-1 各ユースケースの課題となるポイント

ユースケース	課題となるポイント	通信への要求
自専道における 協調型合流支援	合流という限られた時間内で支援を機能させる必要がある	短時間で確実に通信するための高い通信品質
交差点における 周辺車両認知	多くの車両が集まる交差点においても抜け漏れなく車両位置を認知する必要がある	通信トラフィックが集中する条件下での連続的な通信エラーの防止/低遅延

5.2.3.3. 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約

検討対象の 2 つのユースケースについて、通信の役割と要件をまとめたものを表 5.2.3.3-1 に示す。一番右の列には、既に 700MHz 帯 ITS 通信を利用して実用化されているドライバー向け安全運転支援（情報提供レベル）の通信の役割と要件を示した（“通信利用型運転支援システムのガイドライン” 国土交通省自動車局 を参考に作成）。700MHz 帯 ITS 通信適用時に、電波法に関わる規則や通信標準規格によって制約を受ける項目について確認する。

表 5.2.3.3-1 各ユースケースにおける通信の役割と要件

ユースケース	自専道における 協調型合流支援	交差点における 周辺車両認知	安全運転支援 (情報提供レベル)
通信の役割	合流スペースを開けるための合意形成のためのメッセージ交換	周辺車両の位置・速度・進行方向等の情報取得	周辺車両の位置・速度や車両種別や緊急走行中等の情報取得
アプリ要件	合意形成期間400ms以内 等	T.B.D.	適用上限速度70km/h 情報提示・反応時間3.7s
通信要件	通信相手	合流車両－本線車両	周辺車両相互
	通信形式	ブロードキャスト(or ユニキャスト)	ブロードキャスト
	送信モード	プロトコルに従ったタイミングで送信	周期送信
	最小送信間隔	20ms	T.B.D.
	許容遅延	T.B.D.	T.B.D.
	通信品質(到達率)	99%以上	T.B.D.
	通信エリア	T.B.D.	T.B.D.
	送信情報	<ul style="list-style-type: none"> ・メッセージID ・車線変更要求/受入応答 ・車両ID ・車線方向(レーン) ・自車位置(緯度、経度、高度) ・車速 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両ID ・送信時刻 ・自車位置(緯度、経度、高度) ・車速 ・車両種別 ・緊急自動車用拡張情報等 (ITS Forum RC-013参照)
	メッセージサイズ	70byte	T.B.D.
	通信オーバーヘッド	250byte	T.B.D.

1) 自専道における協調型合流支援における 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約

自専道における協調型合流支援については、その通信の役割が合流時に合流スペースを確保するための合意形成を目的としたメッセージ交換であり、安全運転支援（情報提供レベル）における通信の役割とは異なる。合流車両と本線車両（受入車両）とが決まれば、特定の相手との通信を行うことが想定されている。また、アプリ要件として 400ms 以内に合意形成することが想定されており、その短い期間で確実に情報を伝えるために、通信要件として、通信品質（到達率）が 99%に、送信間隔が最小 20ms に設定されている。また協調型合流支援用を使用する通信データについて、メッセージサイズが 70byte、通信オーバーヘッドサイズが 250byte に設定されている。以下、制約になると考えられる各項目について述べる。

① 最小送信間隔

700MHz 帯 ITS 通信では、通信標準規格である ARIB STD-T109 の中で最小送信間隔が 100ms に規定されており、自工会ユースケースに記載のあるような送信間隔 20ms や 50ms には対応出来ない。特に合意形成期に想定されている 20ms 周期で 5 連送することで通信品質を向上させる手段については、700MHz 帯 ITS 通信では用いることが出来ない。アプリ要件である 400ms 以内の合意形成を達成するには、最小送信間隔の規定が制約になり得る。

② メッセージサイズ

無線設備規則の中で 700MHz 帯 ITS の陸上移動局の無線設備の技術的条件として「任意の 100ms における送信時間の総和が 0.66ms 以下かつ送信バースト長が 0.33ms 以下」との規定がある。これは、車車間通信で用いられる変調方式（1 次変調方式 QPSK、符号化率 1/2）では、通信オーバーヘッドを除くとメッセージサイズの上限が 100byte に制限されることを意味する。自専道における協調型合流支援のユースケースの中で設定されているメッセージサイズは 70byte であり、100byte の中で送信することは可能だが、協調型合流支援に関わる車両以外の周囲車両が 700MHz 帯 ITS 通信を利用して安全運転支援サービスを実行していることを考慮すると、両方のサービスを継続させるためには、両方のメッセージを同時に送信する必要がある。ただし、安全運転支援用の基本メッセージと協調型合流支援用メッセージの 2 つのメッセージを同時に送信することは、メッセージサイズの上限を超えることになるため出来ず、メッセージサイズ上限の規定が制約になり得る。

③ 通信オーバーヘッドサイズ

また、ARIB STD-T109 及び ITS Forum RC-010 によって陸上移動局の通信オーバーヘッドが規定されており、そのサイズは 87byte である。このサイズはメッセージサイズと合わせて、前述の無線設備の技術的条件を満たす値となっており、これ以上大きくすることは難しい。そのため、自専道における協調型合流支援のユースケースに記載の通信オーバーヘッドサイズ 250byte を適用することは出来ず、通信オーバーヘッドサイズについても制約を受ける対象となる。

表 5.2.3.3-2 自専道における協調型合流支援の 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約

自専道における協調型合流支援		
制約を受ける項目	要件値	700MHz帯ITS通信の制約
最小送信間隔	20ms	100ms以下は対応不可
メッセージサイズ	70byte	100byte以上は対応不可※
通信オーバーヘッド	250byte	87byteに固定

※：協調型合流支援用メッセージのみであれば対応可能だが
安全運転支援用基本メッセージとの同時送信は対応不可（1次変調方式：QPSK1/2を前提）

2) 交差点における周辺車両認知における 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約

交差点における周辺車両認知については、その通信要件は多くの項目で未決定である。通信の役割としては周辺車両の位置や速度等の情報を取得することであり、その結果をダイナミックマップとして地図上にマッピングして使用することが想定される。この通信の役割は、周辺車両の位置・速度等の情報取得という部分で安全運転支援（情報提供レベル）のものと共通している。700MHz 帯 ITS 通信適用時に、電波法に関わる規則や通信標準規格による制約を受ける項目は、ユースケース記載の情報からは該当なしと考えられる。

5.2.3.4. 700MHz 帯 ITS 通信の適用性検討の前提条件

前節では、対象ユースケースにおける 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約として、電波法に関わる規則や通信標準規格によって制約を受ける項目について確認した。ただし、通信エリアや許容遅延というような通信性能に関わる項目についても、700MHz 帯 ITS 通信で実現可能な性能以上が要求された場合には、性能面での制約となり得る。制約や課題について検討を進めるためには、通信性能に関わる項目含めた検討の前提条件を設定する必要がある。本節ではこれら前提条件について検討する。

1) 自専道における協調型合流支援における 700MHz 帯 ITS 通信適用時の前提条件

自専道における協調型合流支援の通信要件については、表 5.2.3.3-1 に示したが、通信エリアや許容遅延の項目が未決定であり、制約や課題を検討するための前提条件として暫定値を設定する必要がある。そこで、ユースケースの記載内容を基に具体的な走行シーンや通信シーケンスについて検討することで、通信エリアや通信遅延の暫定値を設定する。

① 通信エリアの検討

合流走行シーンにおけるタイミングと変数の割当てを図 5.2.3.4-1 に示す。自工会ユースケースには、協調型合流支援のフローとして合意形成期、車間確保期、合流実施期の 3 つのフェーズが定義されており、それぞれに目安となる期間として 400ms、5s、3s が割当てられている。ここで、合意形成開始のタイミングを t_0 、車間確保開始のタイミングを t_1 、合流実施のタイミングを t_2 、合流完了のタイミングを t_3 とする。シナリオとしては、合流車両が合流レーンに入った t_0 で合意形成の通信シーケンスが始まり、合流時に近接する可能性のある本線車両と車間通信により合意形成がなされる。その後、合流車両は合流レーンを加速し、本線へ車線変更する。本線車両は、合意形成後に速度調整を行うことで t_3 における合流車両との車間距離 D_3 が確保されるよう速度調整を行う。

合流車両と本線車両との間で通信する必要がある最大距離は、 t_0 の時点での距離 L_0 と考えられる。これは、合意形成後の車間確保期、合流実施期にも通信は行われるが、合流車両が加速して本線車両の速度に近付くため、合流車両と本線車両との距離は合意形成期と比較して短くしかならないためである。この距離 L_0 は合流車両の速度・加速度及び本線車両の

速度・加速度に依存する。想定される典型ケース含む数ケースについて計算した結果を表 5.2.3.4-1 に示す。計算の条件として、合流車両の初期速度を 40km/h、各車両の加速度の範囲を±0.2G とする。合流車両は本線走行速度まで加速しつつ 8.4s 後に合流を完了する。合流後の本線車両との所要車間距離 D_3 については、合流完了時 t_3 の本線車両の速度における 2 秒車間（100km/h の場合は 56m）に設定し、合流車両の車長は 5m とした。典型ケースとして、合流車両は 8.4s 間に 40km/h から 100km/h まで加速（0.2G）、本線車両は 100km/h を維持するケースを設定した。このケースで D_3 が 56m となるのは、 L_0 が 132m の場合であり、これ以上は通信による合意支援がなくとも本線車両の前に合流が可能となる。また、別のケースとして本線車両が典型ケースより遅い場合は、 L_0 の値は小さくなる。本線車両の速度を制限速度+20km/h の 120km/h に設定した場合、 L_0 の値は 190m となる。仮に、合流車両の車間確保期間を 5s から 9s と伸ばし、加速度を 0.2G から 0.135G に落とし合流時に 100km/h となるものとし、本線車両が 120km/h 等速としたケースを図 5.2.3.4-2 に示す。このケースにおける L_0 は 246m となるが、合流車両が合流開始から完了までに進む距離が 240m となるため、合流レーン長として設定されている 255m（加速区間 200m、テーパ長 55m）に対してマージンがほとんど無い状態となる。これらの検討から、典型ケースにおける最大通信距離は約 130m、本線車両が 120km/h を考慮すると約 190m、合流車両の加速度を落とし加速期間を伸ばしたケース（車間確保期間を伸ばしたケース）まで考慮すると約 250m となり、この通信エリアにおける通信品質を評価対象とする。

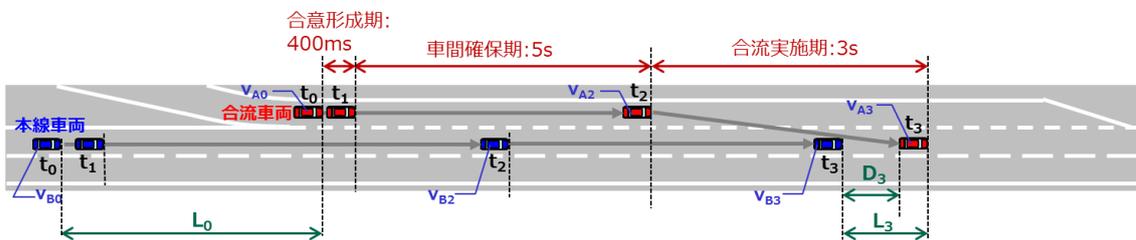


図 5.2.3.4-1 合流走行シーンにおけるタイミングと変数割当て

表 5.2.3.4-1 合流走行シーンにおける走行ケース毎の最大通信距離

合流車両速度 v_A [km/h]			本線車両速度 v_B [km/h]				合流後 所要車間距離 D_3 [m]	最大通信距離 L_0 [m]
t_0	→	t_3	t_0	t_1	→	t_3		
40	+0.135G	80	80	80	等速	80	44	96
40	+0.135G	80	100	100	-0.1G	80	44	116
40	+0.2G	100	100	100	等速	100	56	132
40	+0.2G	100	120	120	-0.1G	100	56	152
40	+0.2G	100	120	120	等速	120	67	190

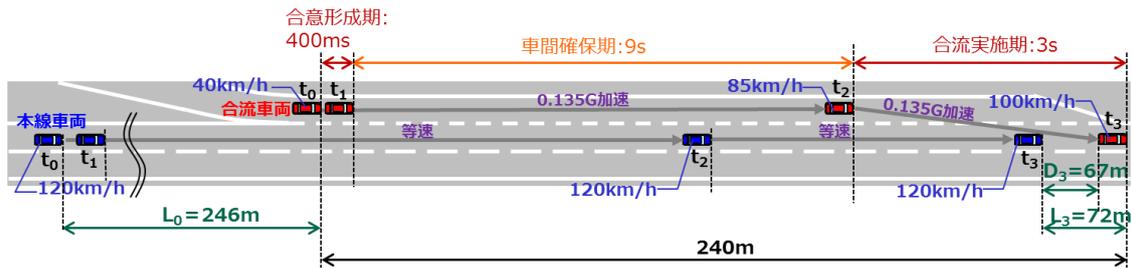


図 5.2.3.4-2 車間確保期間を伸ばした場合の走行ケース

② 許容遅延の検討

自専道における協調型合流支援のユースケースに基づく通信シーケンスを図 5.2.3.4-3 に示す。通信シーケンスは、合意形成期、車間確保期、合流実施期のそれぞれのフェーズで異なっている。合意形成期においては、合流車両は車線変更要求を最初の 100ms で繰り返し 5 回送信し、次の 100ms は応答を待つ。要求を受信した本線車両は、自車がその要求に該当するか否かを判断し、該当する場合は、受入可否の応答を 100ms 以内に返す。これを 2 回繰り返し、400ms で合流支援の合意が形成されたか判断する。車間確保期においては、合流車両は自車の制御情報を 50ms 周期で送信し、受入車両は合流スペースを空けるよう速度制御を行いながら応答を返す。合流実施期においては、合流車両は自車の制御情報を 50ms 周期で送信し、受入車両は合流スペースに別の車両が割り込んできた場合にのみ応答を返す。

この通信シーケンスから 1 回の通信遅延について考える。通信シーケンスでは、メッセージを送り出してから受け取るまでの純粋な通信遅延の他に、送信メッセージの生成にかかる時間や、受けたメッセージの内容から判断する処理時間が必要になる。特に合意形成期においては、通信相手が特定されていない状況にあるため、本線車両は自車が受入れに該当する車両かどうかの判断にある程度の処理時間が必要になると考えられる。そのため、通信のみに掛かる遅延時間は、少なく抑える必要がある。図 5.2.3.4-4 に合意形成期間における 1 回の通信遅延の配分イメージを示す。合意形成期間 400ms 以内に合流車両と本線車両とのやり取りが 2 回想定されているため、1 回のやり取りは 200ms 以内に完了させる必要がある。ここで、本線車両が合流車両からの通信を受信してから、該当車両の判断及び応答メッセージ生成に 100ms 必要だと仮定する。合流車両が送信した 5 連送の最後のパケットのみ本線車両に到達した場合を考えると、合流車両の送信に必要な時間が 80ms、本線車両の処理時間が 100ms であるため、残り 20ms で 2 回分の通信、つまり 1 回の通信遅延を 10ms 以下に抑える必要がある。この数値は、機器の処理能力にも依存し、また連送を使用するかどうかによっても変化するが、200ms 以内に要求と応答の 2 回の通信を成立させることを考えると、少なくとも 100ms 以下に抑える必要があると考えられる。

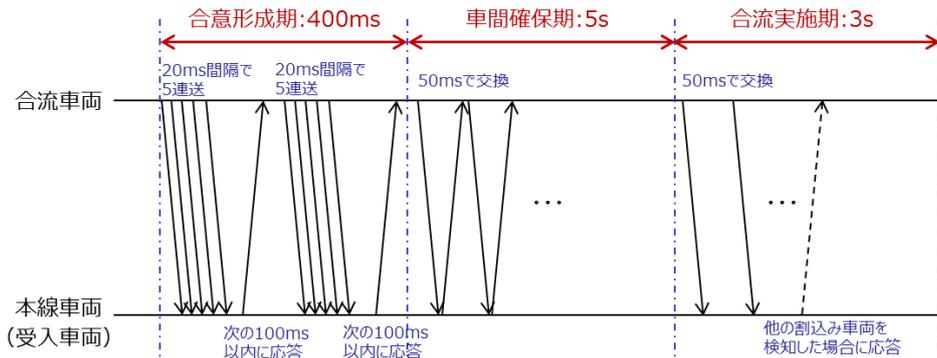


図 5.2.3.4-3 協調型合流支援のユースケースに基づく通信シーケンス

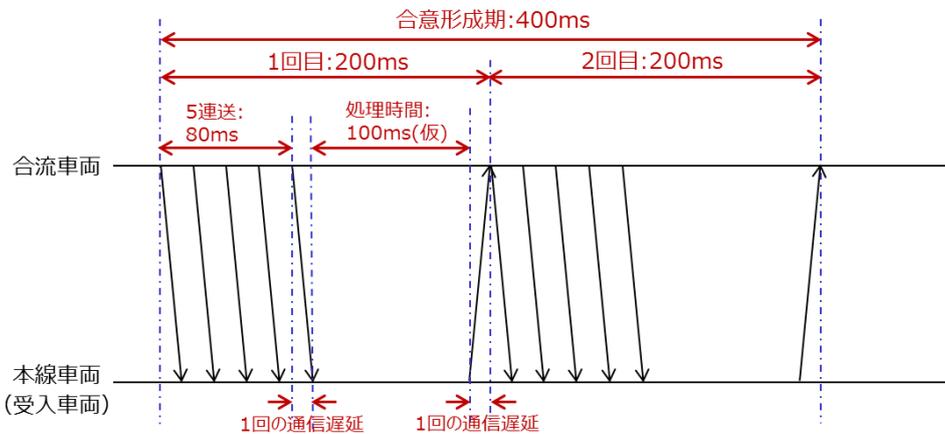


図 5.2.3.4-4 合意形成期間における1回の通信遅延の配分イメージ

2) 交差点における周辺車両認知における 700MHz 帯 ITS 通信適用時の前提条件

交差点における周辺車両認知の通信要件については、表 5.2.3.3-1 に示したように、ほとんどの項目がユースケースの要件としては規定されていない。通信以外の要件についても、特に具体的な数値が示されていない。そこで、通信要件については 700MHz 帯 ITS 通信で満足出来る数値と同じ数値を暫定値とする。その上で、周辺車両認知として車両位置をマッピングすることに対する通信特性の影響について検討する。

① 車車間通信取得情報を用いた車両位置マッピングの検討

車車間通信を用いた車両位置マップのイメージを図 5.2.3.4-5 に示す。また 700MHz 帯 ITS 通信の車車間通信基本メッセージの構成を表 5.2.3.4-2 に示す。図中では、自車両を青い車両とし表示し、その周辺車両から車車間通信で受信したメッセージを基に、自車両の持つ地図データ上に位置をマッピングする。受信したメッセージには位置情報以外にも速度や加速度、進行方向等の情報が含まれているため、車両毎にそれらの情報を

紐付け記憶し、通信によってメッセージを受信する度に情報のアップデートを行う（図中では少し前の時間の位置を点線で軌跡として表示）。このマッピングした結果を用いて、自動走行車両は周囲車両の動きを予測し、自車両の走行パスプランの決定等に用いることが想定される。

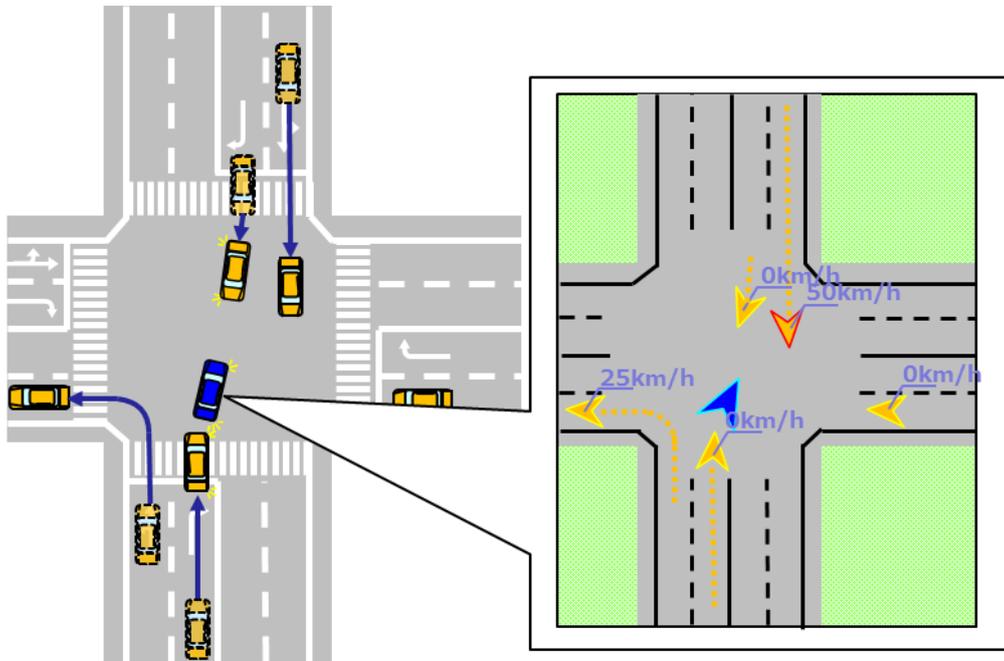


図 5.2.3.4-5 車車間通信取得情報を用いた車両位置マップイメージ

表 5.2.3.4-2 700MHz 帯 ITS 通信の車車間通信基本メッセージの構成

領域	データ構造	格納するDF(データフレーム)	DFに格納する主な情報
共通領域	共通アプリヘッダ領域	DF_共通領域管理情報	サービス規格ID、メッセージID、車両ID、インクリメントカウンタ等
		DF_時刻情報	時、分、(ミリ)秒等
	共通アプリデータ領域	DF_位置情報	緯度、経度、高度等
		DF_車両状態情報	車速、車両方位角、前後加速度等
		DF_車両属性情報	車両サイズ種別、車両用途種別等
		DF_位置オプション情報(*)	位置情報遅れ時間等
		DF_GPS状態オプション情報(*)	位置情報誤差楕円等
		DF_位置取得オプション情報(*)	GPS測位モード等
		DF_車両状態オプション情報(*)	ヨーレート、ブレーキ状態等
DF_交差点情報(*)	交差点距離等		
DF_拡張情報(*)	緊急自動車用拡張情報等	(*) : オプション情報	
自由領域	自由アプリヘッダ領域	DF_自由領域管理情報	
		DF_個別アプリデータ管理情報セット	
	自由アプリデータ領域		

次に、上記の車両位置マップの位置誤差要因について述べる。誤差の発生箇所を送信側アプリ、通信、受信側アプリの3つに分け、各発生箇所における誤差要因を表 5.2.3.4-3 に示す。これらで発生する誤差要因の中には、情報の精度や処理による遅延が含まれており、誤差の大きさに対して支配的となると考えられるものもあるが、今回は通信特性による影響を明らかにすることを目的とするため、通信部分で発生する誤差要因を対象とする。さらに、処理遅延については実装（プロセッサの演算処理能力とコスト）に依存し、競争領域に該当するため、それらを除いた通信プロトコルによる送信遅延、通信エラーによる情報損失による影響を検討対象とする。

表 5.2.3.4-3 車両位置マップの主な位置誤差要因

発生箇所	誤差要因
送信側アプリ	<ul style="list-style-type: none"> 測位精度 位置情報更新タイミングによる遅延 送信メッセージ生成タイミングによる遅延
通信	<ul style="list-style-type: none"> 送信側の通信・セキュリティ処理による遅延 通信プロトコルによる送信遅延 電波の伝搬時間による遅延 通信エラーによる情報損失 受信側の通信・セキュリティ処理による遅延
受信側アプリ	<ul style="list-style-type: none"> 受信メッセージ処理による遅延 各車両情報更新処理による遅延 車両位置情報と地図データとの測位系の違いによる差異

② 通信特性による車両位置マップの位置誤差への影響

通信特性による2つの誤差要因である、通信プロトコルによる送信遅延と通信エラーによる情報損失が、車両位置マップの位置誤差へ与える影響について述べる。

通信プロトコルによる送信遅延は、それを受信する側にとって、車両位置マップにマッピングする車両情報のリアルタイム性に影響するものである。この発生要因としては、主に通信プロトコルのレイヤ2（データリンク層）におけるメディアアクセス制御（MAC）による遅延と考えられる。700MHz帯 ITS 通信では、MACにCSMA（Carrier Sense Multiple Access）方式が採用されており、ランダムアクセスにおいてパケットの衝突が起これにくいよう送信タイミングが制御されるよう動作する。このCSMAによる遅延は、通信トラフィックが低い（疎な）条件では比較的小さい（1ms以下）が、通信トラフィックが高い（集中した）条件では大きくなる。

通信エラーによる情報損失は、送信メッセージが受信側で得ることが出来ず、車両位置マップの車両情報が更新されない影響となる。その発生要因としては、電波伝搬による受信電力不足やフェージングの影響及び他のパケットとの衝突によるものが考えられる。700MHz帯 ITS 通信では車車間通信の変調方式として、比較的低い受信電力であっても通信が成立

するように 1 次変調方式 QPSK、符号化率 1/2 を使用することが多い。これにより、送受信アンテナ間が直接見通せる状況では 300m 程度、建物等で直接見通せない状況においても 90m 程度の距離まで通信が届くことが期待出来るが、周囲の建物や周囲の車両の影響により通信特性は変動するため、どのような環境においても通信エラーをゼロにすることは難しい。また、先に述べた CSMA 方式によりパケットの衝突が起こりにくいような送信タイミングの制御がなされているものの、同時送信によるパケットの衝突が生じるケースは起こりうるため、それによる通信エラーも考慮する必要がある。パケットの衝突は確率的に発生し、通信トラフィックが高い（集中した）条件ではその確率は高くなる。

通信プロトコルによる送信遅延と通信エラーによる情報損失の車両位置マップへの影響について、簡易な条件を設定し机上計算にて検討する。設定条件として、直線的に走行している 1 台の車両から車車間通信によって受信した情報を車両位置マップにマッピングすることを考える。車車間通信の送信周期は 700MHz 帯 ITS 通信を使用したアプリケーションでよく用いられる 100ms とする。通信遅延、通信エラーによる車両位置マップへの影響イメージを図 5.2.3.4-6 に示す。(a)の走行モデルに対し、(b)が通信遅延、通信エラーが無い場合の車両位置マップ、(c)は通信遅延、通信エラーが有る場合の車両位置マップのイメージである。通信遅延は、情報受信時点における真の車両位置と比較して遅延分前の情報となる。通信エラーは、それが生じた時点の情報が欠落する。数値例として、この車両が 72km/h (20m/s) で等速直線走行しているものとする、100ms 毎に 2m 移動した位置が表示されるが、仮に遅延が 20ms ある場合は、受信時には既に 0.4m 車両は進んでいることになり、また仮に 2つのパケットが連続して通信エラーとなった場合は、300ms に進む距離である 6m の間の位置が特定出来ないことになる。これらについては、受信メッセージに含まれる送信時刻と位置情報や速度情報から、受信時点での車両位置を逐次推測することで対応出来ると考えられるが、送信周期を大きく超えるような遅延や、通信エラーが長く連続して発生した場合には、推測誤差が大きくなることが予想される。特に連続した通信エラーによって、数 100ms から秒のオーダーで情報が得られないと、その間に車両が急加速や急減速、あるいは急な車線変更や急旋回をした場合に予測誤差が大きくなることが懸念される。

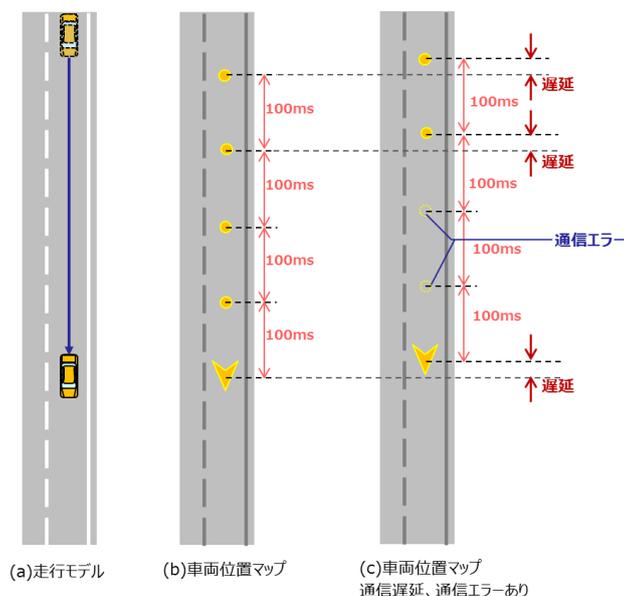


図 5.2.3.4-6 通信遅延、通信エラーによる車両位置マップへの影響イメージ

5.2.3.5. 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約・課題と対応

前節までの制約、前提条件の検討を踏まえ、各ユースケースに 700MHz 帯 ITS 通信を適用した場合における、制約・課題についてまとめ、本研究での対応について示す。

1) 自専道における協調型合流支援における 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約・課題と対応

自専道における協調型合流支援における 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約・課題と本研究での対応について示したものを表 5.2.3.5-1 に示す。以下、制約項目毎に本研究での対応について述べる。

制約項目の 1 つである送信間隔については、本研究の対応として、送信周期 100ms で通信する場合の通信特性及び合意形成確率と、自工会ユースケースに記載のある 100ms 以下の送信周期で通信する場合の通信特性及び合意形成確率を求め、それらを比較することで 700MHz 帯 ITS 通信の適用範囲について明らかにする。これは送信周期 100ms 以下を扱うため、シミュレーションを用いて実施する。100ms の送信周期で送り合うタイミング等の詳細については、5.2.4.3 で述べる。

メッセージサイズについては、合流支援用メッセージと安全運転支援用メッセージとの共通データをマージすることで 100byte の中に収める方法について検討を実施する。この詳細については 5.2.4.3 で述べる。

情報通信遅延、通信品質については、合流走行シーンを設定し、合流車両と受入車両との間の通信特性を求めることで、暫定値含む要件を 700MHz 帯 ITS 通信で満足出来るか検証する。これについては、実験、シミュレーションの両方で実施する。実験では、実際の電波

伝搬特性における特性確認を、シミュレーションでは車載機の普及が進んだ状況を模擬し通信トラフィックが比較的高い条件での特性確認を行う。

通信オーバーヘッドについては、これへの対応策を本研究では取り扱わないこととし、以降の検討では700MHz帯ITS通信と同じサイズ87byteとみなして扱う。自工会ユースケースに記載の通信オーバーヘッドサイズ250byteは、公開鍵暗号方式における電子証明書等を含むセキュリティヘッダサイズを考慮されたものと推測される。このため、セキュリティ強度やセキュリティ処理遅延を含めた検討・議論が別途必要になると考えられる。本研究では、700MHz帯ITS通信のセキュリティ含む通信プロトコルを適用することを前提とする。

表 5.2.3.5-1 自専道協調型合流支援へ700MHz帯ITS通信適用時の制約・課題

	自専道における協調型合流支援の通信要件	700MHz帯ITS通信(安全運転支援)	700MHz帯ITS通信適用時の制約・課題	本研究での対応
通信形式	ブロードキャスト(orユニキャスト)	ブロードキャスト		
送信モード	プロトコルに従ったタイミングで送信	周期送信	送信間隔100ms以下に出来ない。	送信間隔100msで送信する場合の通信特性と、ユースケース記載の送信間隔で送信する場合の通信特性とを比較する。(シミュレーション)
最小送信間隔	20ms	100ms		
許容遅延	【暫定】10ms以下 少なくとも100ms以下	300ms	通信遅延特性について明確化が必要。	合流走行シーンにおける通信特性を取得する。(実験、シミュレーション)
通信品質(到達率)	99%以上	10m積算バケット到達率95%以上	所要の通信エリアにおける通信品質特性について明確化が必要。(送信間隔についても要考慮。)	
通信エリア	【暫定】130m(Typ.) 250m(Max.)	300m(見通し内) 90m(見通し外)		
送信情報	<ul style="list-style-type: none"> ・メッセージID ・車線変更要求/受入応答 ・車両ID ・車線方向(レーン) ・自車位置(緯度、経度、高度) ・車速 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両ID ・送信時刻 ・自車位置(緯度、経度、高度) ・車速 ・車両種別 ・緊急自動車用拡張情報等 (ITS Forum RC-013 参照) 	メッセージサイズを100byte以上に出来ない。	合流支援用メッセージと安全運転支援用メッセージの両方に対応するメッセージ(もしくは送信方法)について検討する。(シミュレーション)
メッセージサイズ	70byte	100byte(最大)		
通信オーバーヘッド	250byte	87byte	オーバーヘッドサイズは87byteに固定。	本研究では対応範囲外とし、オーバーヘッドサイズは700MHz帯ITS通信と同じ87byteとして扱う。(セキュリティ強度や処理速度等、別途検討・議論が必要。)

2) 交差点における周辺車両認知における700MHz帯ITS通信適用時の制約・課題と対応

交差点における周辺車両認知における700MHz帯ITS通信適用時の制約・課題と本研究での対応について示したものを表5.2.3.5-2に示す。先にも述べたように交差点における周辺車両認知の通信要件については、ほとんどの項目が未決定であり、700MHz帯ITS通信の仕様を暫定値とした。5.2.3.4で述べたように、車両位置マップに対しては、通信遅延及び通信品質(連続した通信エラー)が影響を与えることから、本研究では、交差点シーンを設定し、対象とする車両間の通信特性を取得することで、その車両位置マップの位置誤差への影響を明確化する。これについては、実験、シミュレーションの両方にて実施する。

実験では、実際の電波伝搬特性における特性確認を、シミュレーションでは車載機の普及が進んだ状況を模擬し通信トラフィックが高い条件での特性確認を行う。

表 5.2.3.5-2 交差点周辺車両認知へ 700MHz 帯 ITS 通信適用時の制約・課題

	交差点における 周辺車両認知の通信要件	700MHz帯ITS通信 (安全運転支援)	700MHz帯ITS通信 適用時の制約・課題	本研究での対応
通信形式	ブロードキャスト	ブロードキャスト		
送信モード	周期送信	周期送信		
最小送信間隔	【暫定】 100ms	100ms		
許容遅延	【暫定】 300ms	300ms		
通信品質 (到達率)	【暫定】10m積算パケット到達率95%以上と同等	10m積算パケット到達率95%以上	車両位置マップへの通信特性の影響の明確化が必要。	交差点シーンにおける通信特性を取得する。(実験、シミュレーション)
通信エリア	【暫定】 300m(見通し内) 90m(見通し外)	300m(見通し内) 90m(見通し外)		
送信情報	<ul style="list-style-type: none"> ・車両ID ・送信時刻 ・自車位置(緯度、経度、高度) ・車速 ・車両方位角等 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両ID ・送信時刻 ・自車位置(緯度、経度、高度) ・車速 ・車両種別 ・緊急自動車用拡張情報等 (ITS Forum RC-013 参照) 		
メッセージサイズ	【暫定】 100byte(最大)	100byte(最大)		
通信 オーバーヘッド	【暫定】 87byte	87byte		

5.2.4. 自専道での協調型合流支援における通信特性の評価

本項では、5.2.3項で選定したユースケース「自専道での協調型合流支援」において、700MHz 帯 ITS 通信が、通信要件を満足可能か、またその通信能力及び通信機能による適用範囲がどこまでかを明らかにする。5.2.3項で示したように、選定したユースケースに700MHz 帯 ITS 通信を適用するには制約・課題があるため、実機で対応できる範囲は実機を用いた実験で評価し、対応できない範囲はシミュレーションで評価を行う。具体的には、テストコース実験により、周辺環境による伝搬特性の変化が少ない基礎的な通信特性の評価、典型パターンとして、時速 100km/h、車間距離 3 秒間相当、の車両密度 (11 台/km) における通信台数での通信特性の評価を行う (5.2.4.1)。また、公道実験により、周辺環境の伝搬特性による影響の評価を行う (5.2.4.2)。シミュレーションでは、更に通信負荷を高めた状態での評価および 700MHz 帯 ITS 通信では対応できない条件での評価を行う (5.2.4.3)。

5.2.4.1. テストコース実験による通信特性の評価

自専道での協調型合流支援を想定した車車間通信の通信特性をテストコース実験により取得し、自動走行へ適用可能か評価する。具体的には、合意形成期におけるパケット到達率と遅延時間を評価し、通信要件を満足できるか評価する。

1) 使用した機器

本実験で使用した機器を下記に示す。

- ・ 車車路車協調システム計測装置
- ・ 評価用通信発生装置

図 5.2.4.1-1 に車車路車協調システム計測装置の構成を、図 5.2.4.1-2 に評価用通信発生装置の構成を示す。車車路車協調システム計測装置の詳細については、5.1.1 項に示したので、ここでは割愛する。評価用通信発生装置は H26 年度に開発した機器である。図 5.2.4.1-3 に示すように、無線機 5 台が 1 セットになった構成であり、通信負荷を高めるために使用する。

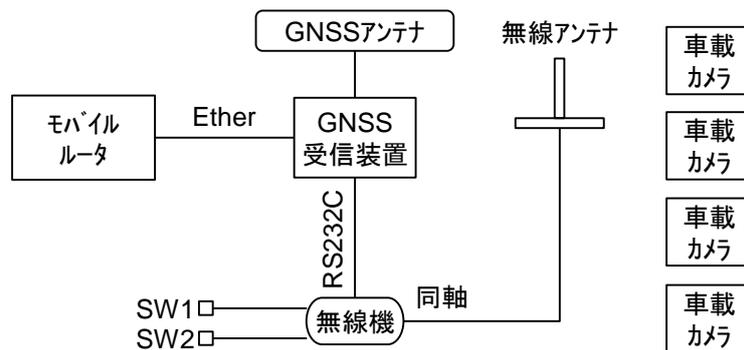


図 5.2.4.1-1 車車路車協調システム計測装置の構成

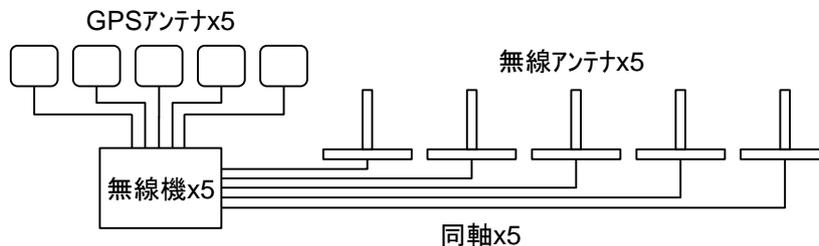


図 5.2.4.1-2 評価用通信発生装置の構成

① パケット到達率

パケット到達率は、任意の評価期間における受信パケット数と、未到達と判断されるパケット数から、下記の式(5.1)により算出する。

$$N_x / (N_x + N_{lost}) \quad (5.1)$$

N_x : 受信パケット数

N_{lost} : 未到達のパケット数

車車間通信データには、データ送信順を示す番号情報（インクリメントカウンタ）が含まれており、送信の度にインクリメントされている。全てのパケットをロス無く受信できていれば、受信データのインクリメントカウンタは 1 ずつ増加するが、何らかの事情でパケットが受信できなかった場合、インクリメントカウンタに抜けが生じる。インクリメントカウンタに抜けが生じた場合、抜けが生じたインクリメントカウンタのパケットは未到達であると判断する。

② 遅延時間

遅延時間は、送信側でメッセージを生成した時刻（送信時刻）と、受信側でメッセージを受信した時刻（受信時刻）との差により算出する。今回の実験に用いた機器は、セキュリティ処理は含まれていないため、セキュリティ処理に起因する遅延は発生しない。

③ 合意形成成功率

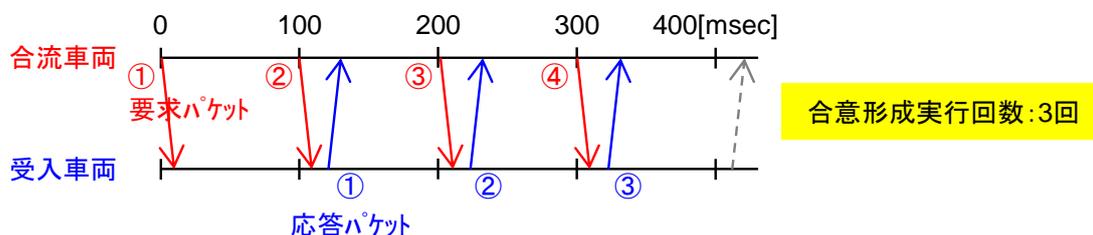
合意形成成功率は合流車両が合意形成期 0.4 秒間に少なくとも 1 回、受入車両からの応答パケットの受信に成功する確率と定義する。

5.2.3.2 で示したように、選定したユースケースでは、合意形成期において、合流車両は車線変更要求を最初の 100msec で要求し、その後 100msec の間に応答を待つことを想定している。要求を受信した受入車両は、自車はその要求に該当するか否かを判断し、該当する場合は、受入可否の応答を 100msec 以内に返す。これを 2 回繰り返し、0.4 秒間で合流支援の合意が形成されたか判断する。

ユースケースでは、要求と応答それぞれの到達率を 99%としているため、要求/応答が成功する確率 98.01%(0.99²)、要求/応答が失敗する確率 1.99%(1 - 0.99²)、2 回連続で要求/応答が失敗する確率 0.0396%((1 - 0.99²)²)、から、合意形成成功率は 99.960%となる。

なお、700MHz 帯 ITS 通信を用いる場合は、図 5.2.4.1 - 4 に示すように、受入車両の応答時間と、通信による遅延時間によって、合意形成実行回数が変わる。選定したユースケースでは、受入車両の応答時間は 100msec としているため、要求と応答の通信による遅延が 100msec 以下であれば、合意形成実行回数は 3 回となる。

(受入車両の応答時間 + 通信による遅延時間)が $100 \sim 200$ msecの場合



(受入車両の応答時間 + 通信による遅延時間)が $200 \sim 300$ msecの場合

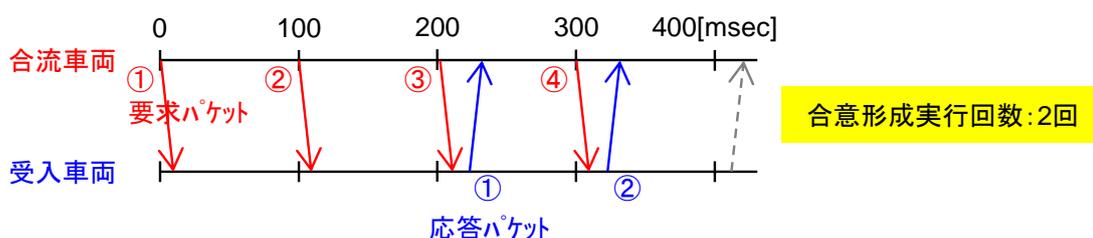


図 5.2.4.1-4 合意形成実行回数

3) 評価項目

自専道での合流シーンにおける、合流車両と受入車両の間のパケット到達率と遅延時間を評価する。また、今後システムが普及し多くの車両が車載機を搭載した際の影響を把握するため、通信車両台数を増やした状況でも測定を行う。さらに、合流車両と受入車両の間に大型車両が存在し、見通しが取れなくなる場合の影響を把握するため、遮蔽車両が存在する状況でも測定を行う。

4) 評価方法

図 5.2.4.1-5 に本実験の車両配置、図 5.2.4.1-6 に評価車両の外観、図 5.2.4.1-7 に遮蔽車両の外観、図 5.2.4.1-8 と図 5.2.4.1-9 に実験風景を示す。評価車両は、合流車線を想定した位置と、本線を想定した位置にそれぞれ配置する。通信車両台数を増やすため、5 台の無線機を 1 セットとした評価用通信発生装置を高負荷車両へ搭載する。高負荷車両は、本線を想定した位置に 40m 間隔で 15 台配置する。遮蔽車両を配置する場合は、受入車両の前方 28m の位置に配置する。車間距離 28m は、時速 100km/h での 1 秒車間に相当する。なお、全ての車両はキャリアセンスできる状態にあり、隠れ端末は発生していない環境である。

実際の合流シーンでは、合意形成開始時に、受入車両の左斜め前方を合流車両が走行しており、合流完了までの間に徐々に車間距離（通信距離）が短くなっていく。実験では、5.2.3.節で示したように、典型パターンにおいて合意形成開始時に必要となる通信距離 250m 以内の通信特性を取得するため、合流側の評価車両を A 地点から B 地点まで走行さ

せ、通信距離 3.5m~250m における通信特性を取得する。なお、通信距離 3.5m とは合流車両と受入車両が隣り合っている状態である。

合流側の評価車両は時速 3.6km/h (秒速 1m/s) で 1 条件につき 4 回走行する。車車間通信メッセージの送信周期は 100msec であり、時速 3.6km/h で測定することで 100mm 毎にデータを取得することができる。車車間通信メッセージに含まれる位置情報の分解能は約 100mm である。700MHz 帯 ITS 通信の周波数偏差±20ppm (±1.52kHz) に対し、ドップラー効果による周波数偏差は、時速 120km/h でも 0.0844kHz であり、周波数に対する走行速度の影響は無いと考える。

なお、パケット到達率は、5.2.3.4 で示した典型パターンにおける所要通信距離 130m/190m/250m において、停止した状態で 5 分間測定を行い評価する。

得られた車車間通信データから、パケット到達率と遅延時間および合意形成成功率を算出する。

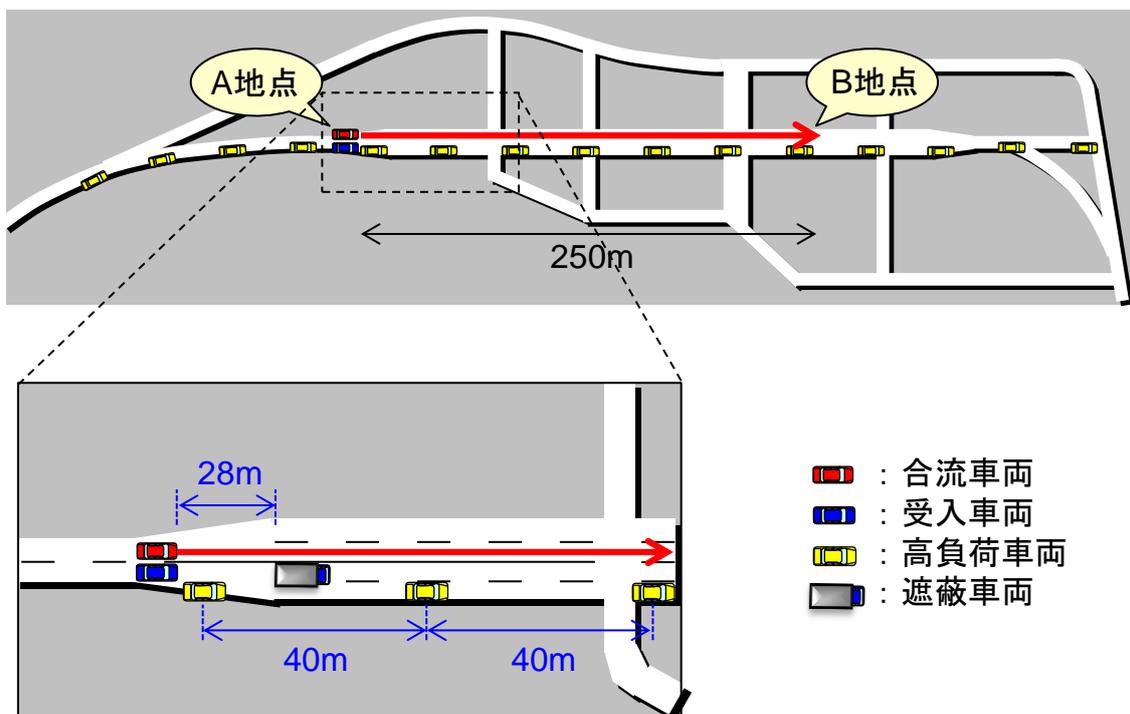


図 5.2.4.1-5 車両配置



図 5.2.4.1-6 評価車両 (トヨタ、サクシード)



図 5.2.4.1-7 遮蔽車両 (全長 : 6.49m、全幅 : 2.21m、全高 : 3.23m)



図 5.2.4.1-8 実験風景1

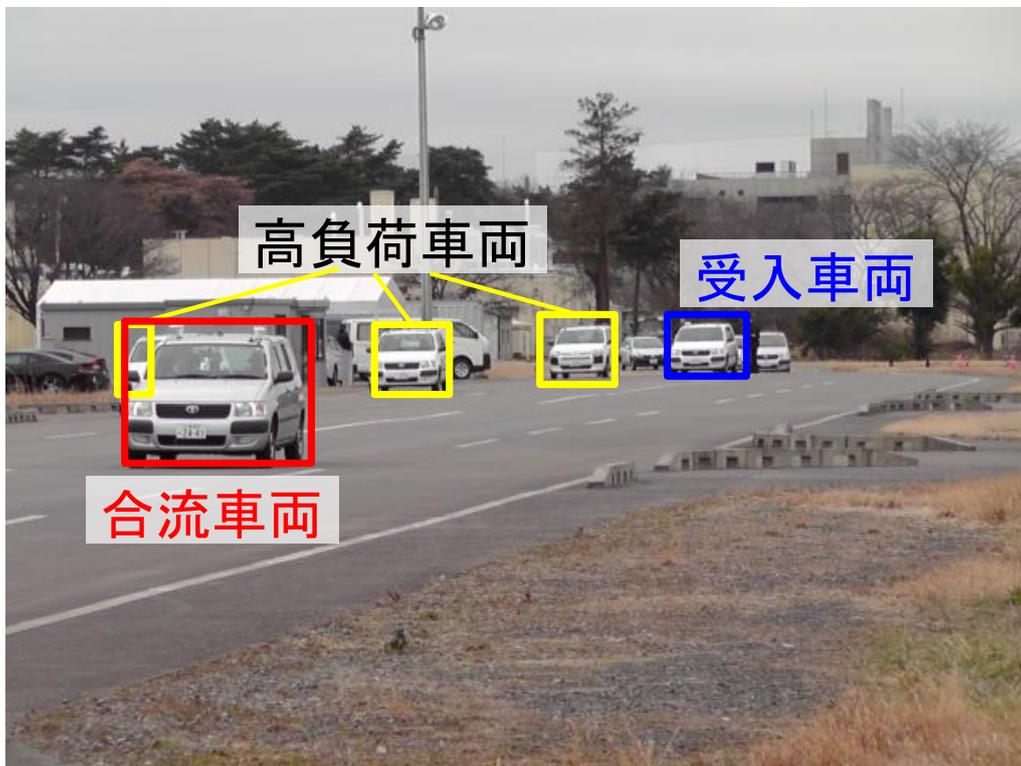


図 5.2.4.1-9 実験風景2

5) 評価条件

評価条件は、通信台数が2台および77台の2パターン、遮蔽車両が存在する場合およびしない場合の2パターンの、計4パターンで実施する。通信台数2台とは、合流車両と受入車両の2台のみが車車間通信している状況を表す。通信台数77台とは、時速100km/h、3秒車間で本線上6車線を車両が走行し車車間通信をしている状況に相当する*。

※ 時速100km/h、車長5m、3秒車間で、キャリアセンス範囲に相当する約1000mの区間6車線に車両が存在すると仮定すると、車両台数は約70台となる。合流車線も考慮すると約76台となり、評価用通信発生装置は5台1セットのため、実験では評価車両の2台を加えた計77台とする。

6) 評価結果

図5.2.4.1-10、図5.2.4.1-11、図5.2.4.1-12、図5.2.4.1-13に、合流車両で測定した、合流車両と受入車両間の通信距離に対する受信電力とパケット到達率の特性を示す。パケット到達率は、測定時間5分間におけるパケット到達率を示しており、算出の際の分母(受信パケット数+未到達のパケット数)は、約3000である。なお、遮蔽車両の影響等で、受信電力の落ち込みが見られる位置でも測定を行った。

通信台数が2台の場合は、遮蔽車両の有無に関わらず、通信距離130m/190m/250mにおいてパケット到達率は100%であった。一方、通信台数が77台の場合は、通信距離130m/190m/250mにおいてパケット到達率は約98%であった。その他の通信距離においても、パケット到達率は98%前後となっている。通信台数の増加により、パケット到達率が低下していることから、パケットが衝突する確率が高まっているものと考えられる。また、図5.2.4.1-13に示すように、遮蔽車両が有る場合は、通信距離50m以上の範囲において遮蔽車両の影響と思われる受信電力の低下が見られ、受信電力の低下と共にパケット到達率が低下していることがわかる。5.2.3.3に示したように、選定したユースケースではパケット到達率99%以上が必要とされており、通信台数77台の条件では、実験結果はそれを下回る値となった。

ここで、実験結果から合意形成成功率を評価する。5.2.4.1でも示したように、自工会ユースケースでは、要求/応答での到達率を99%としているため、合意形成成功率は99.960%となる。

次に、700MHz帯ITS通信を用いる場合を想定する。図5.2.4.1-4に示したように、合意形成開始から合意形成完了まで0.4秒間の時間がある場合、合流車両と受入車両の間で合意形成する機会は、受入車両の応答時間と通信による遅延時間にもよるが、2~3回あると考えられる。測定結果を踏まえ、パケット到達率を97%とすると、合意形成実行回数が3回の場合は合意形成成功率99.979%、合意形成実行回数が2回の場合は合意形成成功率99.651%となる。この様に、パケット到達率97%でも、合意形成の機会が3回あれば、す

なわち受入車両の応答時間と通信による遅延の合計が 200msec 以下であれば、合意形成成功率は 99.979%となり、自工会ユースケースの 99.960%を上回る。

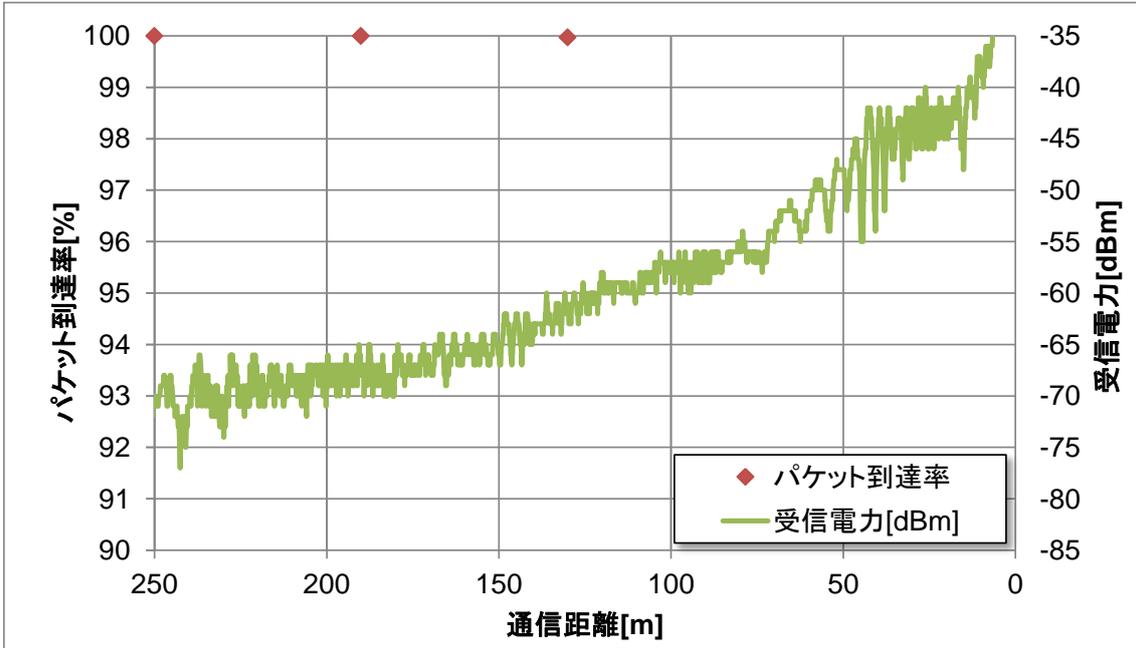


図 5.2.4.1-10 パケット到達率と受信電力（通信台数2台、遮蔽車両無し）

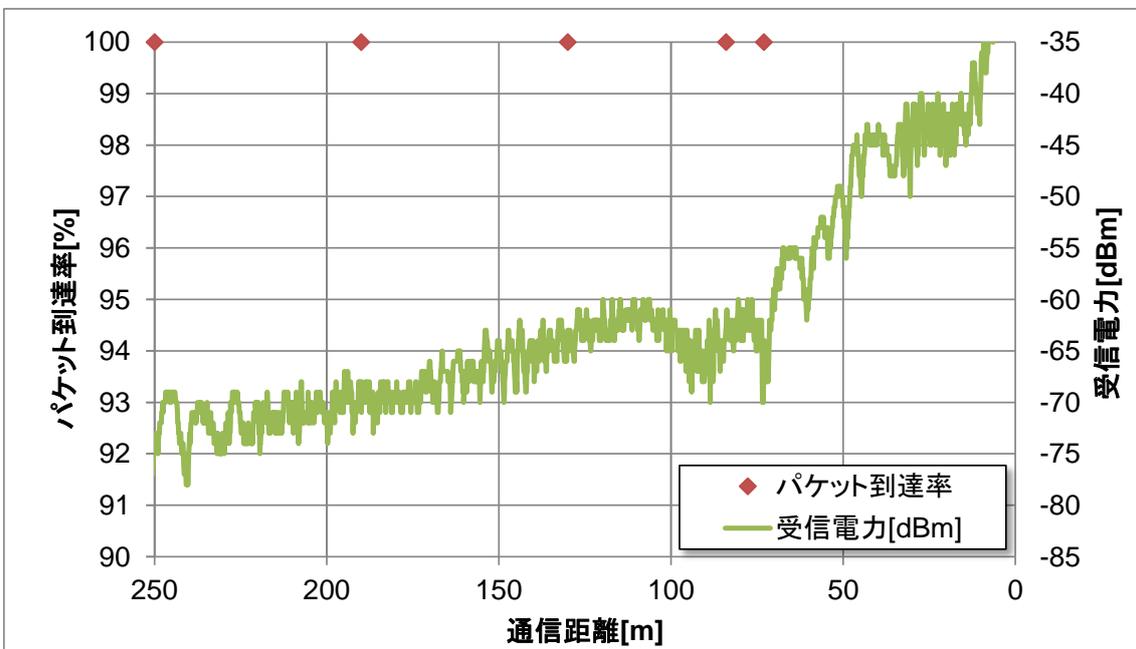


図 5.2.4.1-11 パケット到達率と受信電力（通信台数2台、遮蔽車両有り）

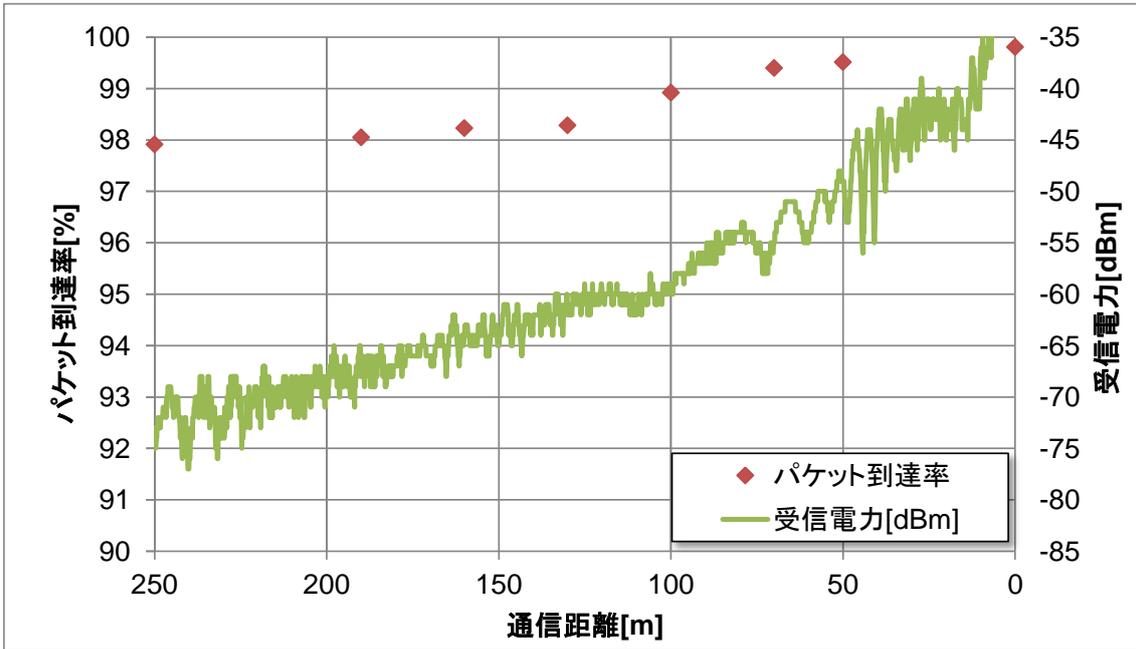


図 5.2.4.1-12 パケット到達率と受信電力（通信台数 77 台、遮蔽車両無し）

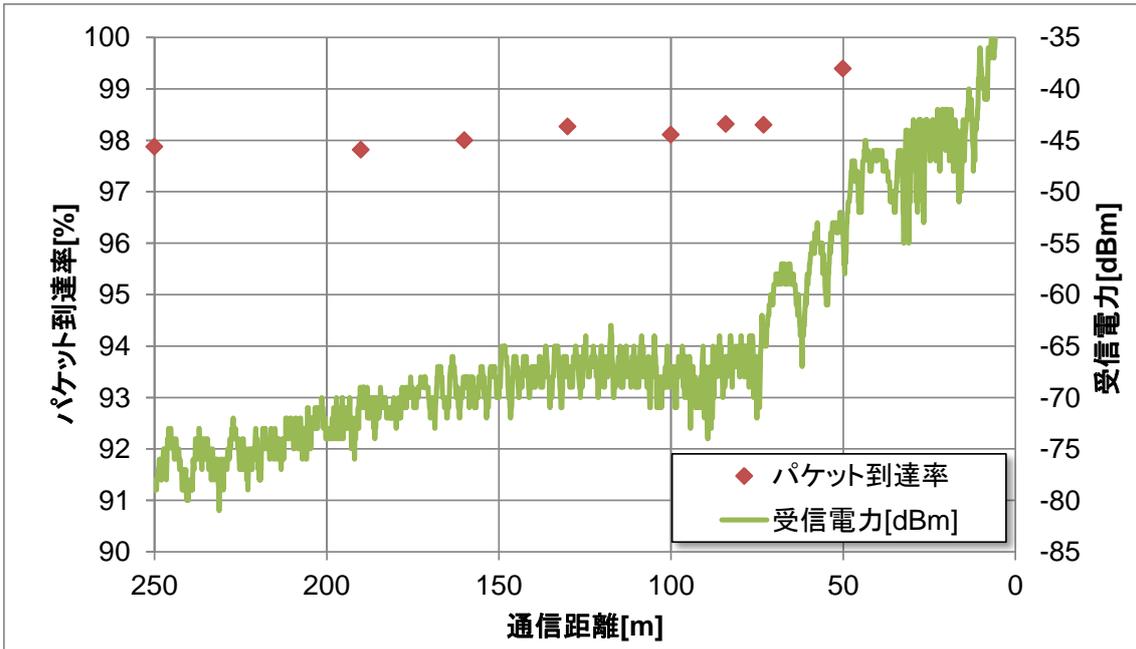


図 5.2.4.1-13 パケット到達率と受信電力（通信台数 77 台、遮蔽車両有り）

図 5.2.4.1-14、図 5.2.4.1-15、図 5.2.4.1-16、図 5.2.4.1-17 に、測定区間における遅延時間のヒストグラムを示す。通信台数が 2 台の場合は、遅延時間は 4msec 未満、通信台数が 77 台の場合は、遅延時間は 5msec 未満であった。通信台

数の増加に伴い、CSMA/CA の動作により遅延時間が大きくなっていると考えられるが、通信台数による大きな違いは無い結果であった。また、遮蔽車両による違いは見られなかった。

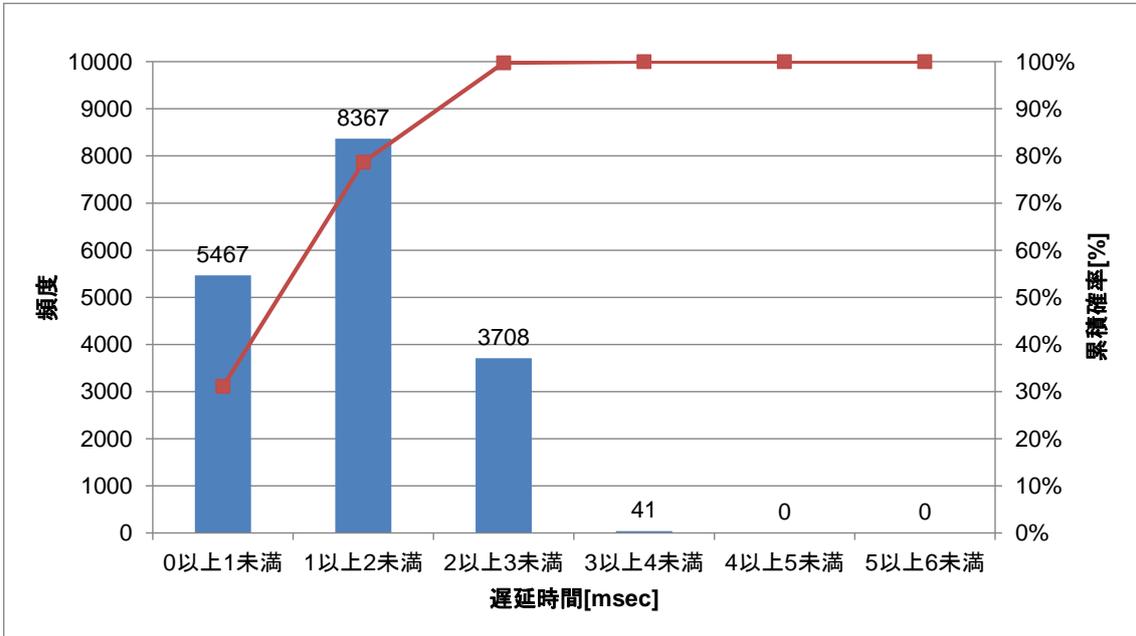


図 5.2.4.1-14 遅延時間（通信台数 2 台、遮蔽車両無し）

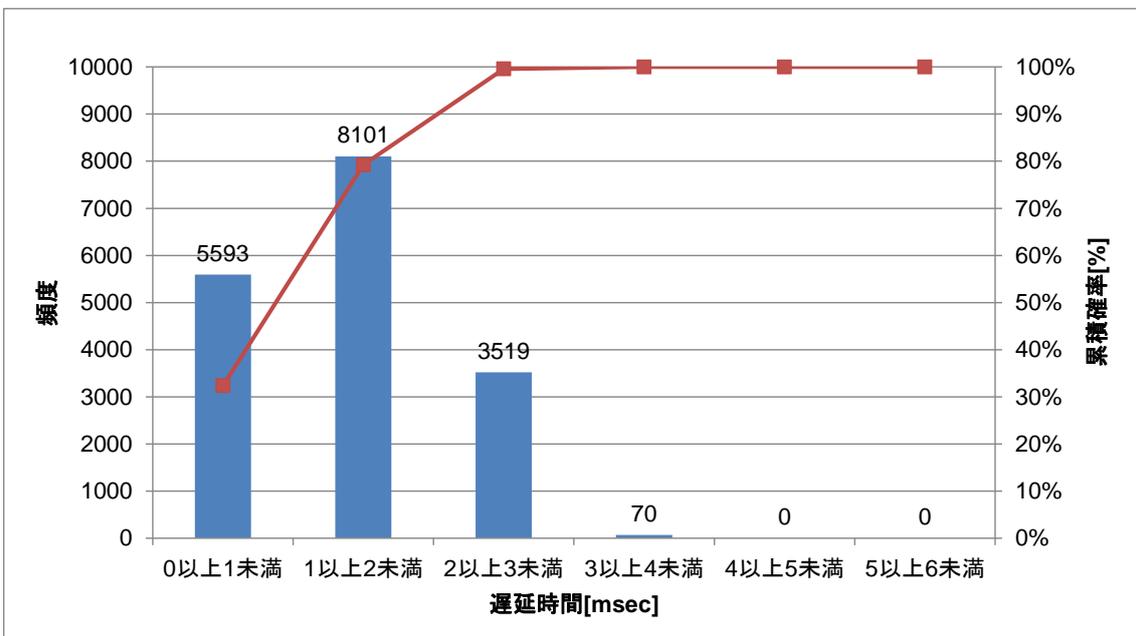


図 5.2.4.1-15 遅延時間（通信台数 2 台、遮蔽車両有り）

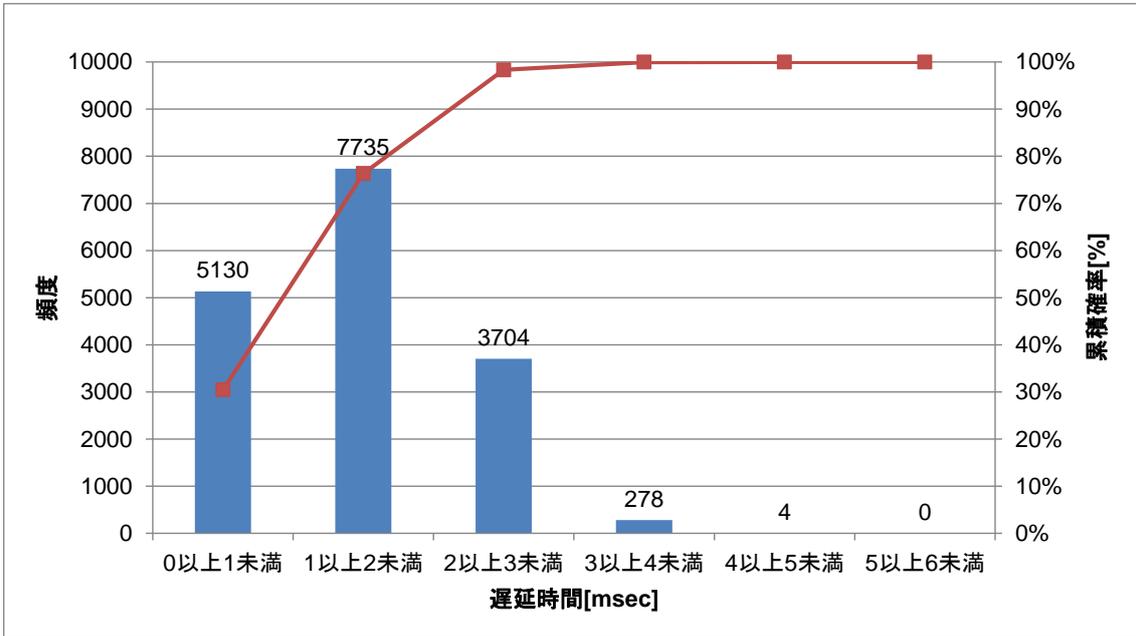


図 5.2.4.1-16 遅延時間（通信台数 77 台、遮蔽車両無し）

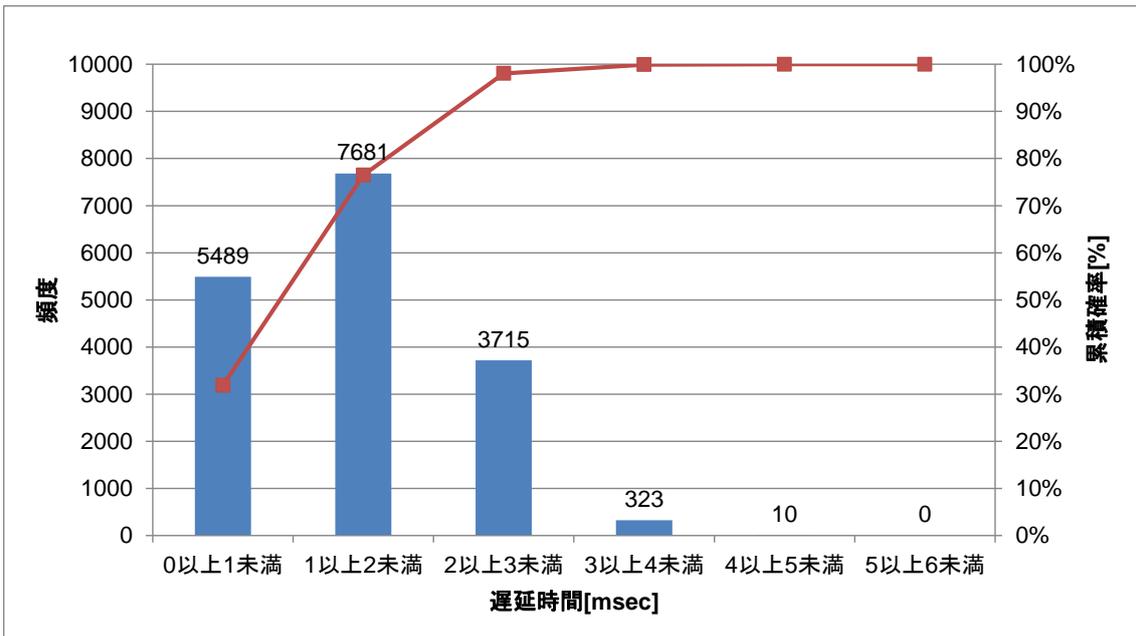


図 5.2.4.1-17 遅延時間（通信台数 77 台、遮蔽車両有り）

5.2.4.2. 公道実験による通信特性の評価

本項では、自専道での協調型合流支援を想定した車車間通信の通信特性を公道実験により取得する。合流車両と移動車両が走行している状況で測定を行い、テストコース実験の結果と比較することで、周囲の伝搬環境による影響を確認する。

1) 使用した機器

本実験で使用した機器を下記に示す。

- ・ 車載無線システム（一般車両用）
- ・ 車車路車協調システム評価装置

図 5.2.4.2-1 に使用した機器の構成を示す。どちらも H26 年度に開発した機器である。

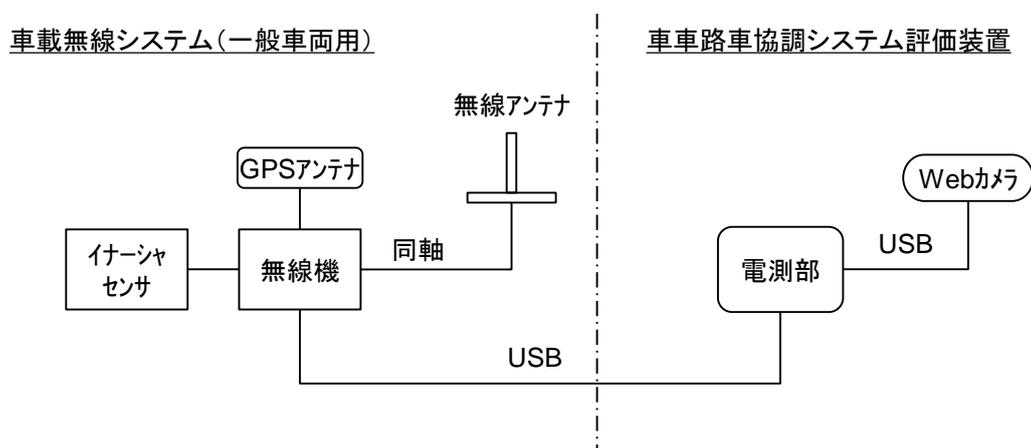


図 5.2.4.2-1 使用した機器の構成

2) 実験環境と評価概要

本実験では、実環境での自専道合流シーンにおいて、合流車両と受入車両の間で車車間通信を行い、車車間通信データからパケット到達率を算出する。実験は、自動車専用道路である横浜横須賀道路にて行う。なお、実際の交通流の中で、想定する合流シーンの位置関係を再現することは困難なため、実際の測定は合流ではなく、分流をしながら測定を行う。実際の合流に当てはめると右側通行の位置関係になるが、周囲の伝搬環境による影響を確認する上では問題無いものとする。

① パケット到達率

パケット到達率は、任意の評価期間における受信パケット数と、未到達と判断されるパケット数から、式(5.1)により算出する。

車車間通信データには、データ送信順を示す番号情報（インクリメントカウンタ）が含まれており、送信の度にインクリメントされている。全てのパケットをロス無く受信できていれば、受信データのインクリメントカウンタは1ずつ増加するが、何らかの事情でパケットが受信できなかった場合、インクリメントカウンタに抜けが生じる。インクリメントカウンタに抜けが生じた場合、抜けが生じたインクリメントカウンタのパケットは未到達であると判断する。

3) 評価項目

実環境での自専道合流シーンにおける、合流車両と受入車両の間のパケット到達率を評価する。

4) 評価方法

図 5.2.4.2-2 に測定場所、図 5.2.4.2-3 に評価車両の外観、図 5.2.4.2-4 に実験風景を示す。測定は、横浜横須賀道路下り線の佐原インターチェンジで行う。本線の制限速度は 80km/h であり、分流路は、分流地点から約 130m で制限速度 40km/h となる。また、本線側は分流地点から約 150m 地点以降、分流路との間に遮音壁が設置されている。

評価車両は自専道の走行車線を 2 秒車間で追従走行する。インターチェンジにて、先行車両はそのまま本線を走行し、後続車両は分流路へ分流する。後続車両は、分流路の 40km/h 制限区間に到達するまでに、分流開始から出来る限り等加速度で減速する。取得した車車間通信データから、2 台の評価車両の間のパケット到達率を評価する。

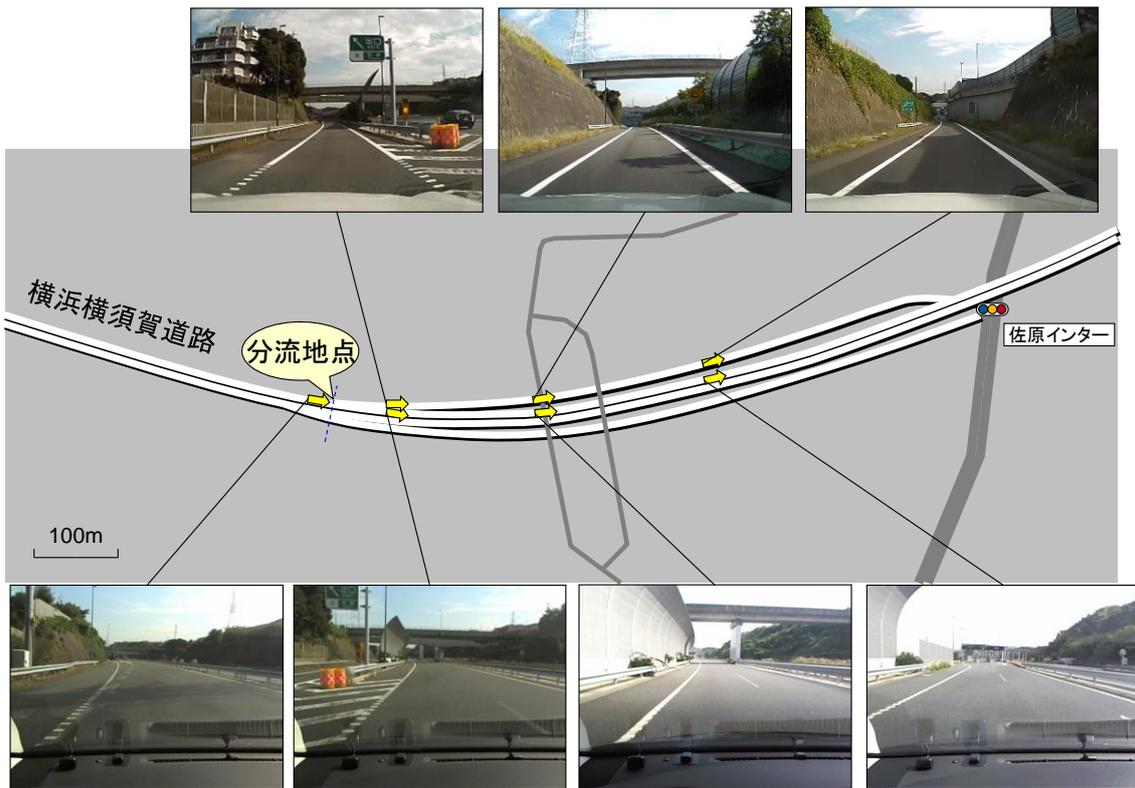


図 5.2.4.2-2 測定場所



図 5.2.4.2-3 評価車両 (先行車：プリウス、後続車：クラウンマジェスタ)



図 5.2.4.2-4 実験風景

5) 評価条件

通信台数は先行車両と後続車両の2台である。

6) 評価結果

図 5.2.4.2-5 に先行車両と後続車両の間の通信距離に対するパケット到達率の特性を示す。パケット到達率は、走行 10m 区間におけるパケット到達率を示している。通信距離は、2 台の車両の緯度経度から算出しているため、高度は考慮されていない。測定は 4 回行い、うち 1 回だけパケットロスが 1 つ発生したが、パケット到達率としては高い結果となっている。

図 5.2.4.2-6 に、分流開始後の評価車両の位置関係をプロットしたものを示す。位置は受信した車車間通信データの位置情報を参照している。分流開始から約 10 秒前後で、遮音壁によって車両間の見通しが遮られるものの、前述した 1 回のパケットロスが発生したタイミング以外は、正しく車車間通信が行えている。以上のように、実環境でも通信台数 2 台において、テストコース実験で得られた結果と同様に、99%以上のパケット到達率となっている。

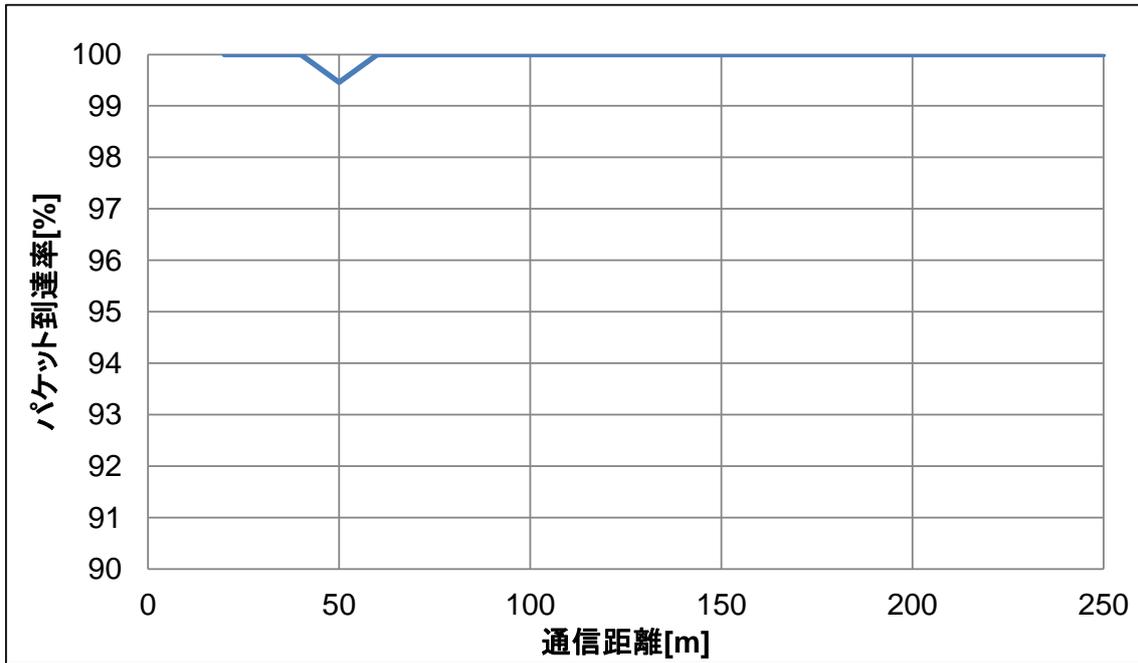


図 5.2.4.2-5 パケット到達率

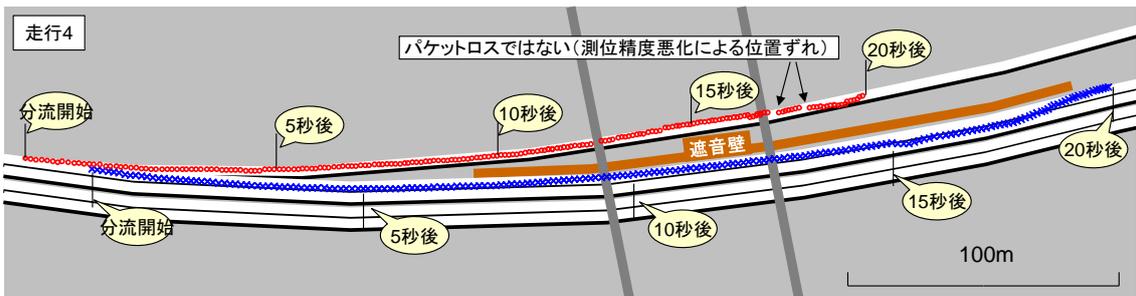
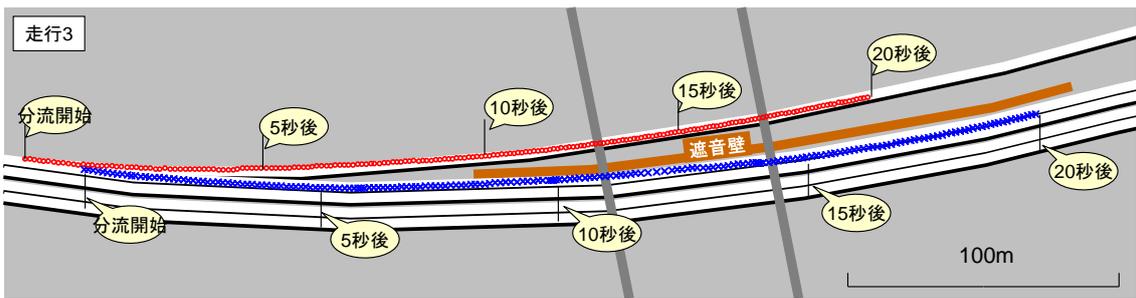
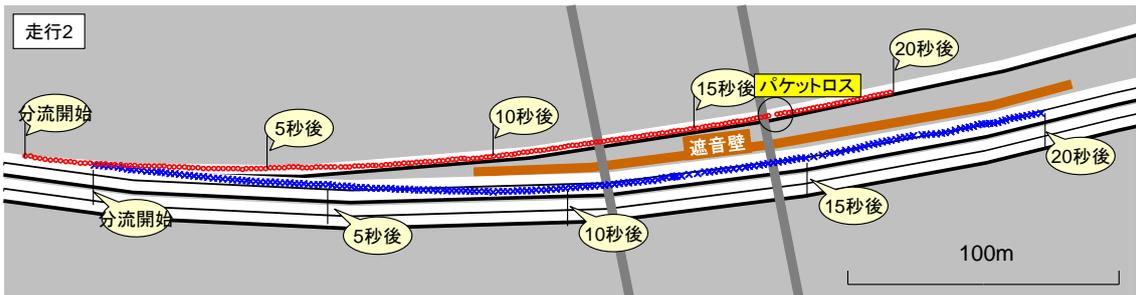
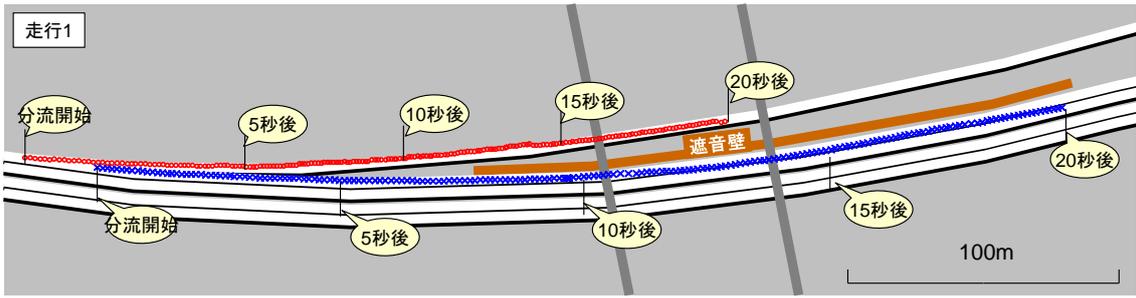


図 5.2.4.2-6 評価車両の位置関係

5.2.4.3. シミュレーションによる通信特性の評価

5.2.4.1では、700MHz帯ITS通信を適用した場合の合流車両と受入車両間の基礎的な通信特性、及び、典型ケースとして定義した本線走行速度100km/h、3s車間における本線走行車両の通信トラヒックの影響を評価した。本節では、前節の評価条件を拡張し、さらに通信負荷を高めた条件を設定する。また、現行の700MHz帯ITS通信規格では対応できない送信間隔100ms以下の通信も評価対象とする。そして、シミュレーションにより通信特性を求め、通信要件と比較することで、700MHz帯ITS通信の適用可能な条件を明らかにする。

協調型合流支援に700MHz帯ITS通信を適用することを想定する場合、協調型合流支援の通信と通常の安全運転支援の通信が同一の周波数帯において混在する。この場合、合流区間の周辺に存在する車両が送信する通常の安全運転支援のためのパケットとの衝突が、協調型合流支援の通信品質に大きく影響する可能性がある。この安全運転支援のためのパケットとの衝突の発生頻度は、本線走行速度や車間隔等の本線上の車両台数に依存する。そこで、通信負荷を高めた条件を設定する際、本線上の車両台数を決めるパラメータを変化させて通信特性を明らかにする。さらに、高架構造の自専道を想定し、通常の運転支援の通信を行っている高架下一般道上の車両が送信するパケットとの衝突の影響も明らかにする。

また、5.2.3.3で述べたように、ユースケースに基づく通信シーケンスは送信間隔100ms以下の通信が記載されており、現行の700MHz帯ITS通信規格の仕様上の制約により実現することが困難である。この問題に対する対応案を検討するために、2つの通信シーケンスを定義し、通信特性を評価する。1つは、700MHz帯ITS通信規格の仕様を拡張することを想定して、送信間隔100ms以下の通信を実現するものである。もう1つは、700MHz帯ITS通信規格の仕様の範囲内で実現することを想定して、最小送信間隔100msで要求メッセージと応答メッセージの交換を行うものである。2つの通信シーケンスの詳細については5.2.4.3.1で述べる。

5.2.4.3.1. 評価対象

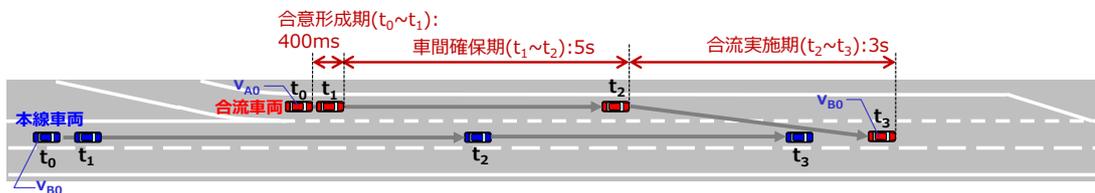
1) 協調型合流支援の通信と安全運転支援の通信の動作及び走行シーン

協調型合流支援の通信と安全運転支援の通信が混在する状況を評価するため、各車両は走行状態及び通信状態に応じた通信の動作を定義した。この際、協調型合流支援に関わる車両以外の周囲車両は安全運転支援の通信を継続していることを考慮し、協調型合流支援の通信を実行中でも安全運転支援のメッセージの送信は継続することとする。これを実現するのに必要な両通信のメッセージの統合方法については後述する。

合流車両と本線上受入車両の走行パターンを図5.2.4.3.1-1に示す。本走行パターンは5.2.3.3で述べた自工会ユースケースに基づいている。合流車両は $V_{A0}=40\text{km/h}$ で合流レーンに進入すると加速を開始し、合意形成期($t_0\sim t_1$)・車間確保期($t_1\sim t_2$)・合流実施期($t_2\sim t_3$)の合計時間8.4s後に本線走行速度に達すると同時に合流を完了する。その際、

加速開始と同時に協調型合流支援の通信を開始し、通信シーケンスに従って合意形成期の要求メッセージを送信する。このとき、要求メッセージには特定の受入車両が宛先として設定されているものとする。ここで、合流が完了し合流実施期が終了すると、協調型合流支援の通信を終了し、通常の安全運転支援の通信のみを実施する。

本線上の車両は本線走行速度 V_{B0} で定速走行する。その際、通常時は安全運転支援の通信が行われていることとする。そして合流車両から要求メッセージを受信すると、協調型合流支援の通信を開始し、受入車両の通信シーケンスに従って合意形成期の応答メッセージを送信する。このとき、受入車両は受信した要求メッセージが自分宛かどうかを判断できるものとし、自分宛の要求メッセージに対してのみ応答する。そして、合流車両から合流完了のメッセージを受信すると、通常の安全運転支援の通信のみを実施する。



※時刻 $t_0 \sim t_3$ までの間は協調型合流支援の通信を行い、それ以外は安全運転支援の通信のみを行う。

図 5.2.4.3.1-1 合流車両と受入車両の走行パターン

要求メッセージを受信しない通常車両は安全運転支援の通信を継続する。通常車両が存在する範囲として、①自専道のみ、②自専道及び一般道、の2条件を検討する。

① 自専道のみ

自専道のみを考慮する場合、合流車両、受入車両に加えて、第1車線以外の本線車線上に通常車両が走行しているものとする。通常車両は合流車両から要求メッセージを受信しないため、安全運転支援の通信を常時行っているものとする。

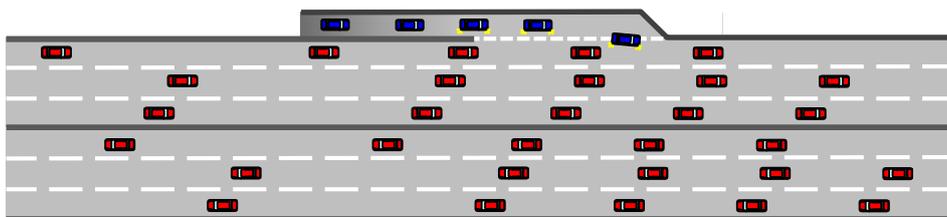


図 5.2.4.3.1-2 自専道のみの場合の走行シーン

② 自専道及び一般道

自専道及び一般道を考慮する場合、高架構造の自専道を想定し、前述の自専道のみの場合に加えて、高架下一般道上に通常車両が走行しているものとする。これらの一般道上通常車両も合流車両から要求メッセージを受信しないため、安全運転支援の通信を常時行っているものとする。

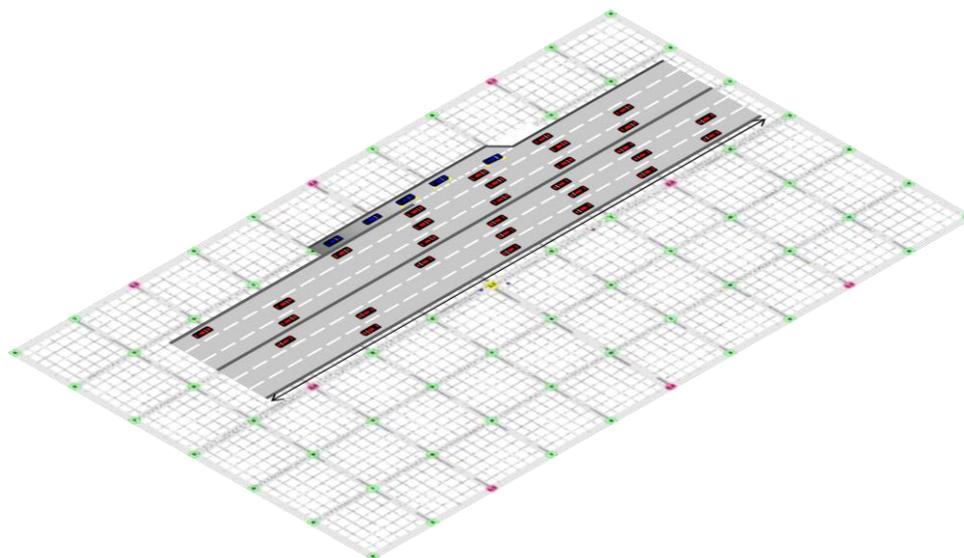


図 5.2.4.3.1-3 一般道を考慮する場合の走行シーン

2) 協調型合流支援の通信シーケンス

5.2.3.3で述べたように、ユースケースに基づく通信シーケンスは現行の 700MHz 帯 ITS 通信規格の仕様上の制約により実現することが困難である。この問題に対する対応案を検討するために、2つの通信シーケンスを定義し評価対象とする。

① 通信シーケンス A 案

通信シーケンス A 案はユースケースに基づく通信シーケンスをそのまま実現したものである。通信シーケンスの概要を図 5.2.4.3.1-4 に示す。通信シーケンスの詳細な説明は 5.2.3.4 に述べたためここでは割愛する。

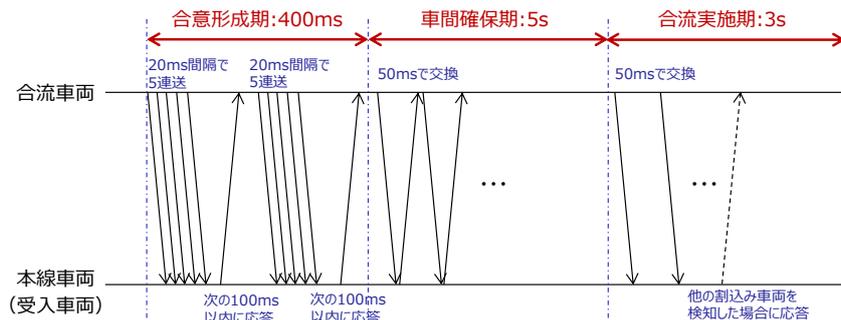


図 5.2.4.3.1-4 通信シーケンス A 案 (ユースケースに基づく通信シーケンス)

② 通信シーケンス B 案

通信シーケンス B 案は 700MHz 帯 ITS 通信規格の仕様の範囲内で実現することを想定して、最小送信間隔 100ms で要求メッセージと応答メッセージの交換を行うものである。通信シーケンスを図 5.2.4.3.1-5 に示す。

合意形成期においては、合流車両は車線変更要求メッセージを 100ms 間隔で周期送信する。要求を受信した本線車両は、自車がその要求に該当するか否かを判断し、該当する場合は、応答メッセージを返す。これを複数回繰り返し、400ms で合流支援の合意が形成されたか判断する。仮に、応答時の処理時間を 100ms とすると、合意形成期の 400ms 間に最大 3 回繰り返すことができる。車間確保期においては、合流車両は自車の制御情報を要求メッセージとして 100ms 周期で送信する。受入車両は合流スペースを空けるよう速度制御を行いながら応答メッセージを 100ms 周期で送信する。合流実施期においては、合流車両は自車の制御情報を要求メッセージとして 100ms 周期で送信し、受入車両は応答メッセージを 100ms 周期で送信する。

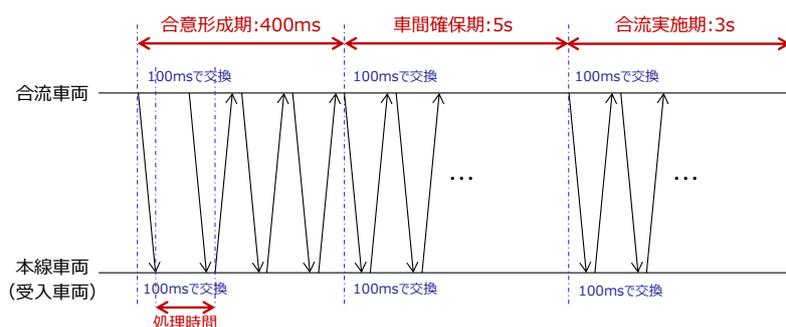


図 5.2.4.3.1-5 通信シーケンス B 案 (最小送信間隔 100ms を考慮した通信シーケンス)

3) 通信メッセージ

協調型合流支援と通常の運転支援におけるメッセージサイズとオーバーヘッドサイズを表 5.2.4.3.1-1 に示す。

表 5.2.4.3.1-1 メッセージサイズとオーバーヘッドサイズ

通信種別	メッセージ種別	サイズ	オーバーヘッド
協調型合流支援	要求メッセージ	100byte	27byte
	応答メッセージ		
安全運転支援	—	100byte	27byte

各メッセージについて以下に説明する。

① 協調型合流支援時の要求メッセージと応答メッセージ

5.2.3.3で述べたように、ユースケースで定義された協調型合流支援のメッセージと安全運転支援のサービスを同時に送信することは現行の700MHz帯ITS通信規格の仕様上の制約により実現することが困難である。そこで、ユースケースで定義されたメッセージと700MHz帯ITS通信で現在利用されている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 ITS FORUM RC-013 1.0版（以降、RC-013）のメッセージ構成とを比較し、共通化可能と考えられる部分を除いたフィールドを自由領域に格納することとした。共通化可能と考えられる部分を除いたフィールド長は約50byte程度であり、RC-013の自由領域の最大サイズ以下となる。これにより、現行の700MHz帯ITS通信規格の仕様上の制約の下でも協調型合流支援時の要求・応答メッセージを送信することが可能になるとともに、協調型合流支援の通信が動作中も、安全運転支援に必要なメッセージを送信することが可能となる。なお、シミュレーション評価では要求メッセージと応答メッセージのサイズは100byteとした。

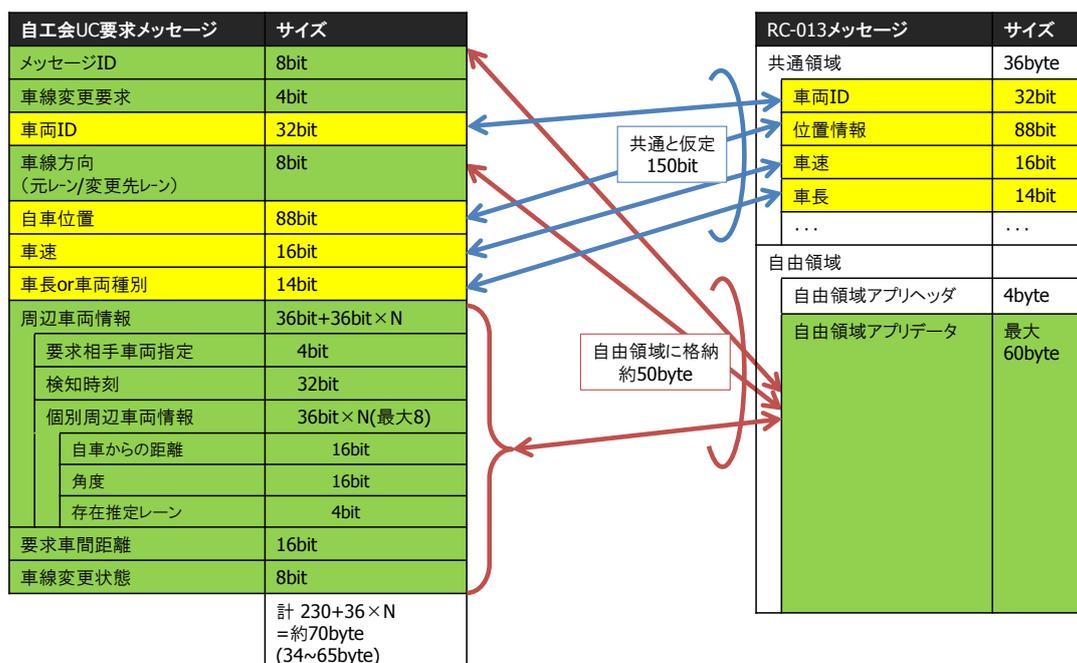


図 5.2.4.3.1-6 通信メッセージ

② 安全運転支援のメッセージ

RC-013 で規定されるメッセージを用いるものとした。メッセージサイズは 100byte とした。

③ オーバーヘッド

協調型合流支援及び通常の運転支援のメッセージと 700MHz 帯 ITS 通信規格のプロトコルヘッダに加えてオーバーヘッドを考慮する。オーバーヘッドのサイズは 700MHz 帯 ITS 通信のセキュリティ処理を想定して設定した。

5.2.4.3.2. 評価項目

協調型合流支援の通信に対する評価項目を表 5.2.4.3.2-1 に示す。

表 5.2.4.3.2-1 評価項目

通信種別	評価項目	所要値
協調型合流支援	パケット到達率	99%
	合意形成成功率	99.96%
	通信遅延時間	10ms

各評価項目の定義を以下に説明する。

1) パケット到達率

協調型合流支援の通信は、合意形成期、車間確保期、合流実施期の各期間における平均パケット到達率で評価する。各期間における平均パケット到達率は以下の式により導出する。

$$PAR_{req}(P_x) = Q_{R_x}(P_x)/Q_{T_x}(P_x)$$

$$PAR_{res}(P_x) = S_{R_x}(P_x)/S_{T_x}(P_x)$$

$PAR_{req}(P_x)$ 、 $PAR_{res}(P_x)$ ：期間 P_x における平均要求/応答パケット到達率

$Q_{R_x}(P_x)$ 、 $S_{R_x}(P_x)$ ：期間 P_x における要求/応答パケット受信成功数

$Q_{T_x}(P_x)$ 、 $S_{T_x}(P_x)$ ：期間 P_x における要求/応答パケット送信数

P_x ：各期間を表す。 P_1 ：合意形成期、 P_2 ：車間確保期、 P_3 ：合流実施期

例として、通信シーケンス B 案の合意形成期 P_1 における要求パケットの平均パケット到達率 $PAR_{req}(P_1)$ を求める場合、合意形成期 400ms 間に合流車両から要求パケットは 4 回送信されるため、 $Q_{T_x}(P_1) = 4$ となる。それに対して受入車両が 2 回受信に成功した場合、 $Q_{R_x}(P_1) = 2$ となる。

また、通信シーケンス A 案の合意形成期における 5 回の連送は 1 回のパケット送信と見なす。また、5 つの連送パケットのうち、少なくとも 1 つを受入車両が受信に成功した場合、受信成功と見なす。

平均パケット到達率の所要値は、表 5.2.3.3-1 に基づき 99%を用いる。

2) 合意形成成功率

協調型合流支援の通信については合意形成成功率での評価を行う。合意形成成功率は合流車両が合意形成期 400ms の間に少なくとも 1 回受入車両からの応答パケットの受信に成功する確率であり、合意形成期の要求パケット到達率 $PAR_{req}(P_1)$ と応答パケット到達率、 $PAR_{res}(P_1)$ を用いて以下の式により導出する。

$$P = 1 - \left(1 - PAR_{req}(P_1) \cdot PAR_{res}(P_1)\right)^R$$

ここで、 R は合意形成期における合意形成実行回数（要求パケットと応答パケットの交換機会の数）である。合意形成の実行回数は通信遅延時間と応答時の処理時間に依存する。それらの合計が 100ms 以上 200ms 未満である場合、 $R = 3$ となる。

合意形成成功率の所要値は、5.2.4.1 の検討に基づき 99.960% とする。

3) 通信遅延時間

通信遅延時間は、送信側でメッセージを生成した送信時刻と受信側でメッセージを受信した受信時刻との差により算出する。遅延時間の要因として以下を考慮する。

I. MAC 副層におけるアクセス制御による遅延

車車間通信においては遅延時間算出対象のパケットの生成時刻から送信時刻までの経過時間とする。車車間通信においてはキャリアセンス結果に基づく送信待機時間が含まれる。

路車間通信においては 100ms 毎に 1 度に送信する一連のパケットのうち先頭パケットの生成時刻から遅延時間算出対象のパケットの送信時刻までの経過時間とする。

II. 伝搬遅延

送信側でパケットの先頭が送信開始された時刻から受信側でパケットの先頭が受信開始される時刻までの経過時間とする。

III. パケット送信時間

受信側でパケットの先頭が受信開始された時刻から受信を終える時刻までの経過時間とする。

IV. セキュリティ処理時間

受信側でパケットの受信を終えた時刻からセキュリティ処理を終える時刻までの経過時間とする。着目するパケットの直前に受信されたパケットのセキュリティ処理が行われている間バッファ内に保持されている時間が含まれる。なお、送信側のセキュリティ処理時間については考慮しない。

通信遅延時間の所要値は、協調型合流支援の通信については、5.2.3.4 の検討結果に基づき 10ms とする。

5.2.4.3.3. 評価方法

本節では交通流シミュレータと無線ネットワークシミュレータを使用して評価を行った。それぞれの役割を以下に示す。

1) 交通流シミュレータ

道路構造、信号等の交通規則、及び他車両の状態に応じた車両の動きをシミュレーションする機能を有する。道路構造条件、交通流条件、信号条件、車両密度条件を設定可能で、シミュレーション実行により初期配置した車両が移動開始して条件に従った車両移動が行われる。

交通流シミュレータは安全運転支援の通信を行う通常車両を一般道上に配置する際に用いた。協調型合流支援の通信を行う合流車両と受入車両については、合流完了までに要する時間や合流車両と受入車両の位置関係の変化がシミュレーション試行毎に大きく異なり、車両台数の増加による通信特性の変化に着目した評価を行うのに適切でないことが分かったため、交通流シミュレータは用いず等しい車両間隔で一定の走行パターンに従うように配置した。

2) 無線ネットワークシミュレータ

路側機と車載機の無線通信をシミュレーションする機能を有する。無線部として ARIB STD-T109 で規定されたプロトコルを実装し、さらに協調型合流支援の通信を実現するための拡張機能を実装した。伝搬モデルには、専道、一般道、及び専道・一般道相互の路車間伝搬モデル、車車間伝搬モデルを実装した。

車両座標データはシミュレーション開始時に定義する必要がある。一般道上の通常車両については、交通流シミュレータから車両移動データを取り込むこととした。

3) 交通流シミュレータと無線ネットワークシミュレータの連携

一般道上の通常車両を配置する際、交通流シミュレータのシミュレーション結果である車両移動データを無線ネットワークシミュレータで取り込むために、車両移動データの内容を次のように決定した。

まず、実際の車両は位置が連続的に変化するが、車両の位置座標データサイズとシミュレーションが要求する精度を考慮して交通流シミュレータ側で 100ms 間隔の車両位置情報データを出力する。次に、この情報を無線ネットワークシミュレータ側で初期起動時に取り込み、無線ネットワークシミュレーション時の車両位置情報として使用する。この場合、無線ネットワークシミュレーションでは物理層を模擬しているため、100ms 以下の時間粒度で車両の位置情報が必要となるが、この場合は等速直線運動を仮定して、前後の車両位置情報データから補完する。

また、無線ネットワークシミュレータ側で異なる評価条件間で通信特性を比較評価する場合を考慮して、車両位置座標は事前に複数試行用のデータを作成する。この際、まず無線通信ネットワークシミュレーション 1 試行分の長さよりも長い時間に渡って交通流シミュレーションを行い、車両の移動の連続性が保たれた車両位置座標を生成する。次に、このデータから無線通信シミュレーション 1 試行分のデータを試行回数分切り出して使用する。

5.2.4.3.4. 評価条件

1) 送信条件

自専道上の車載機、及び一般道上の車載機と路側機の送信条件を表 5.2.4.3.4-1 に示す。

表 5.2.4.3.4-1 送信条件

通信機種別	プロトコル ヘッダ*1	ペイロード	
		自専道	一般道
車載機	61byte+セキュリティヘッダ*2	要求メッセージ：100byte 応答メッセージ：100byte 安全運転支援メッセージ：100byte	安全運転支援メッセージ：100byte
路側機	65byte+セキュリティヘッダ	—	重要交差点： 1000byte×4 パケット、 一般交差点： 1000byte×1 パケット

※1：ARIB STD-T109 及び ITS FORUM RC-010 に準拠

※2：セキュリティヘッダのサイズは後述

自専道上の車載機については、5.2.4.3.1 での検討に基づき設定した。

一般道上の路側機については、送信データ量が相対的に多い重要交差点と相対的に少ない一般交差点を想定し、重要交差点はペイロード長 1000byte×4 パケット、一般交差点はペイロード長 1000byte×1 パケットとする。路車間通信期間はこれらのデータ量に応じて設定した。その際、ARIB STD-T109 及び ITS FORUM RC-010 に規定されるプロトコルヘッダを考慮する。また、各パケットの分割は考慮しない。

2) 車載機のセキュリティ処理モデル

通信遅延時間の評価においてセキュリティ処理時間を考慮するために仮定したセキュリティ処理モデルについて説明する。

- 車載機が受信したパケットは ARIB STD-T109 の各層を経てセキュリティ処理部に受け渡されると、受信された順にセキュリティ処理用のキューに入力される。

- パケットは入力された順に 1 つずつ取り出され、送信元の種別（車載機か路側機）、送信元が路側機の場合は一度に送信するデータの先頭パケットかどうかに応じて、予め設定した処理遅延が経過した後にセキュリティ処理が終了する。
- セキュリティ処理が終了したパケットはアプリケーションに受け渡される。但し、送信元が路側機の場合、先頭パケットが無線区間における受信失敗またはセキュリティ処理によるパケット破棄によってセキュリティ処理が行われていない場合、2 番目以降のパケットは破棄されアプリケーションには受け渡されない。
- セキュリティ処理の処理遅延は、送信元が車載機の場合 30us、路側機の場合、先頭パケット：4700us、2 番目パケット以降：200us とした。
- セキュリティヘッダサイズ（メッセージにおけるオーバーヘッド）は送信元が車載機の場合 27byte、路側機の場合、先頭パケット：385byte（重要交差点）、301byte（一般交差点）、2 番目パケット以降：56byte とした。

3) 通信条件

通信方式におけるパラメータの設定を表 5.2.4.3.4-2 に示す。

表 5.2.4.3.4-2 通信条件

項目	車載機	路側機
周波数	760MHz	
送信電力	19.2dBm (10dBm/MHz)	
変調方式	QPSK	16QAM
アンテナ高	1.2m	6m
アンテナ指向性	無指向性	
アンテナ利得	0dBi	
給電線損失	3dB (受信側のみ考慮)	0dB
受信感度	-77dBm (16QAM : 路車受信) -82dBm (QPSK : 車車受信)	(受信は評価しない)
所要 DUR	14dB (16QAM : 路車受信) 9dB (QPSK : 車車受信)	(受信は評価しない)
キャリアセンスレベル	-85dBm	(キャリアセンスなし)
CW サイズ	63	
路車間通信期間の 転送回数	—	1
路車間通信期間の 通知	(プロトコル仕様に従って動作)	各路側機はフィールド内に存在する全路側機分の路車間通信期間を通知

4) 伝搬モデル

自専道、一般道、及び自専道・一般道相互の路車間伝搬モデル、車車間伝搬モデルを表 5.2.4.3.4-3 に示す。

表 5.2.4.3.4-3 伝搬モデル

項目	自専道	一般道		自専道・一般道間
	車車間	車車間	路車間	車車間・路車間
伝搬損	大地反射 2 波	伊藤・多賀モデル (文献[1],[2])	文献[3]	Walfisch 池上モデル (表 5.2.4.3.4-4、文献[4])
フェージング 損失の分布	正規分布 (損失のみを考慮)			—
フェージング 損失の標準偏差	3.89dB		1.89dB	—
車両遮蔽損失	—	LOS : 2.1dB NLOS : 2.3dB (送受信点間距離 > 平均車頭間隔 の場合のみ)	0dB	—

表 5.2.4.3.4-4 Walfisch 池上モデルのパラメータ

パラメータ	値
自専道上車両アンテナ高	16.2m ^{*1}
一般道上車両アンテナ高	1.2m
道路幅	10m ^{*2}
入射角	90degree ^{*3}
建物高	15m
建物間隔	50m

※1 自専道高架橋 15m に車両アンテナ高 1.2m を加えた値。

※2 本シミュレーションにおける一般道の道路幅は後述するように道路種別に応じて 10m/38m/50m が存在するが、最も本数が 10m 幅を設定した。

※3 厳密には送受信車両の走行位置により変化するが、簡単化のために入射角が不明の場合に用いる値としてモデルで定義されている値を設定した。

自専道上の車車間通信については、既存の研究において伝搬特性が十分に明らかにされていない。そこで、自専道に周囲には電波を反射させる構造物が比較的少なく、自専道道路表面からの反射波が支配的であり、かつ合流車両と受入車両との距離が比較的小さいため多くの場合他車両による遮蔽は生じないと仮定し、大地反射 2 波モデルを用いた。

一般道上の車車間通信では伝搬モデルとして伊藤・多賀モデル（文献[1],[2]）を用いた。但し、送受信点に関する可逆性や見通し内外の伝搬損失の連続性を保証するために見通し外損失式の一部を変更した。また、回折回数は 2 回まで考慮した。さらに、送受信車両間に複数の伝搬経路が存在する場合には受信電力を真値で合計した。

自専道・一般道間の伝搬モデルについては、既存の研究において伝搬特性が十分に明らかにされていないため、自専道高架上の車両のアンテナ高より周囲の建造物の高さが低い場合を想定し、文献[4]の Walfisch 池上モデルを用いた。

5) 道路条件

① 自専道

自専道の道路条件を表 5.2.4.3.4-5 に、道路配置を図 5.2.4.3.4-1 に示す。

表 5.2.4.3.4-5 自専道の道路条件

項目	全長	車線幅	中央帯幅	路側帯幅	車線数
本線	1480m	3.5m	4.5m	2.5m	片側 3 車線
加速車線	255m				片側 1 車線

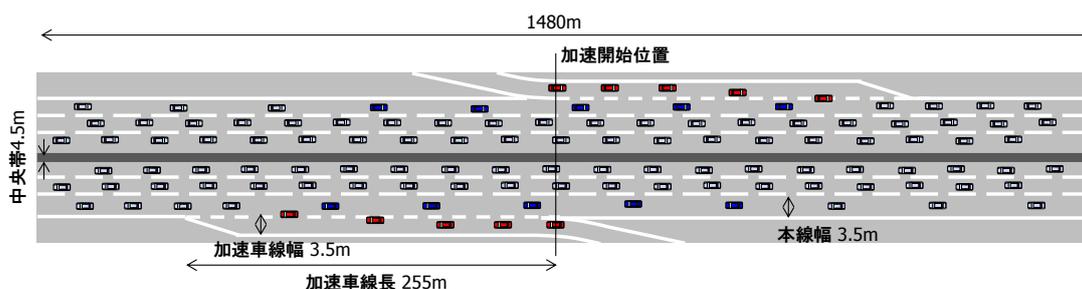


図 5.2.4.3.4-1 自専道の配置

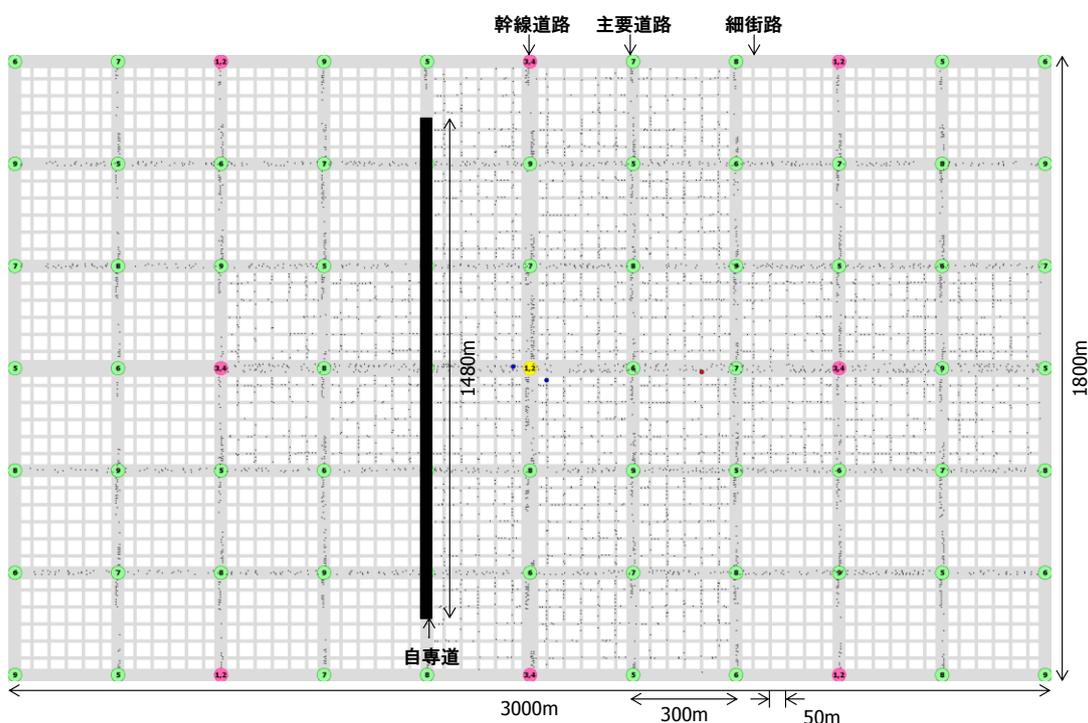
加速開始位置（加速車線端）は上下線で同じ位置関係となるように配置した。この加速開始位置を中心に 1480m の範囲を本線を配置範囲とした。

② 一般道

一般道の道路条件を表 5.2.4.3.4-6 に、道路配置を図 5.2.4.3.4-2 に示す。

表 5.2.4.3.4-6 一般道の道路条件

項目	幅	車線幅	分離帯幅	路肩・歩道幅	配置間隔	車線数
細街路	10m	3.5m	なし	1.5m	50m	片側 1 車線
主要道路	38m	3.5m	なし	12m	300m	片側 2 車線
幹線道路	50m	3.5m	5m	12m	-	片側 3 車線



※交差点に存在する円は路側機の位置を表している。路側機の配置条件については後述する。

図 5.2.4.3.4-2 一般道の配置

一般道の道路配置範囲は 3000m×1800m の長方形とし内部に格子状に幹線道路・主要道路・細街路を配置した。幹線道路は、両辺の中心同士を結ぶ直線上に各 1 本のみ配置した。主要道路・細街路は幹線道路と並行に配置間隔の条件に従い配置した。

さらに、自専道と一般道が混在する場合の評価を行う際には、自専道を道路配置範囲の短辺方向に存在する幹線道路に隣接する主要道路の直上 15m に配置した。この際、自専道部分中央の加速開始位置が、道路配置範囲の長辺方向にある幹線道路の中心線と重なるように配置した。

6) 交通流条件

自専道及び一般道の道路条件を表 5.2.4.3.4-7 に示す。

表 5.2.4.3.4-7 交通流条件

(a) 自専道

評価条件	本線走行速度	車両間隔		
		本線第 1 車線	本線第 2・3 車線	合流車両
自専道のみ の評価	60,80,100km/h	2s	1s	2s
		2s	2s	2s
		2s	3s	2s
自専道及び一般 道の評価	100km/h	3s	3s	3s

(b) 一般道

項目	自由走行速度	車両密度条件	交差点分岐率
細街路	30km/h	30 台/km	0%
主要道路	40km/h	43 台/km	右左折各 10%
幹線道路	70km/h	43 台/km	右左折各 10%

自専道上の合流車両及び本線第 1 車線の車両間隔は 2s を下限とした。これは、合流完了時の合流車両と受入車両の間隔を最小 1s と想定したためである。

一般道上の通常車両の各道路、各信号における走行動作を以下の条件で設定する。

- 幹線道路、主要道路、細街路の交通は分離させる。
- 右左折は幹線道路同士及び主要道路同士のみを考慮。細街路は直進のみとする。
- 道路端に達した車両は反対方向に走行を開始する。
- 停止線は、細街路同士の交差点及び幹線・主要道路と細街路の交差点のうち幹線・主要道路上以外に設置する。幹線・主要道路と細街路の交差点の細街路上の停止線は直交する道路の道路端からセットバック 5m。それ以外はセットバック 2m とする。

信号の設置、動作について以下の条件で設定する。

- 信号は幹線道路・主要道路の間の交差点にのみ設定する。
- 青信号 57 秒→黄信号 3 秒→赤信号 60 秒を 1 周期とする。
- 細街路と幹線道路・主要道路の間は無信号交差点とする。
- 細街路上の車両は一旦停止後、幹線道路・主要道路側の交差点と無関係に直進とする。

7) 路側機配置、路側機の路車間通信期間の割り当て（一般道のみ）

路側機について、送信データ量が相対的に多い重要交差点に配置するものと、相対的に少ない一般交差点に配置するものの2種類の条件を設定した。

重要交差点配置の路側機は2つの路車間通信期間を割り当て、一般交差点の路側機には1つの路車間通信期間を割り当てる。

具体的な路車間通信期間の割り当てを図 5.2.4.3.4-3 に示す。路側機設置間隔は300m とした。円が路側機配置場所を表し、円内に示した数字が路車間通信期間番号である。路車間通信期間番号が2つ書かれた円が重要交差点に配置された路側機となり、重要交差点の周辺8カ所の交差点が一般交差点に配置された路側機となる。

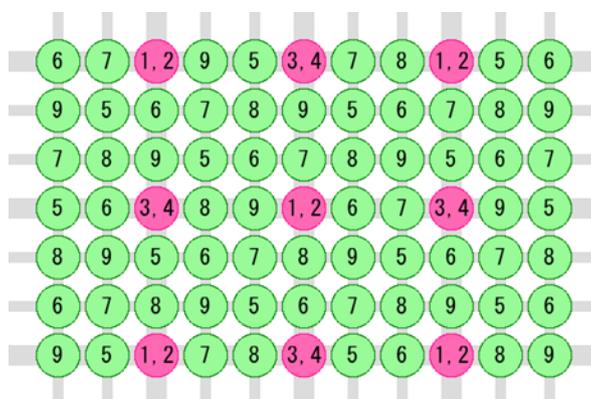


図 5.2.4.3.4-3 路車間通信期間の割り当て（一般道）

8) 評価車両

自専道上の評価車両の配置を図 5.2.4.3.4-4 に示す。

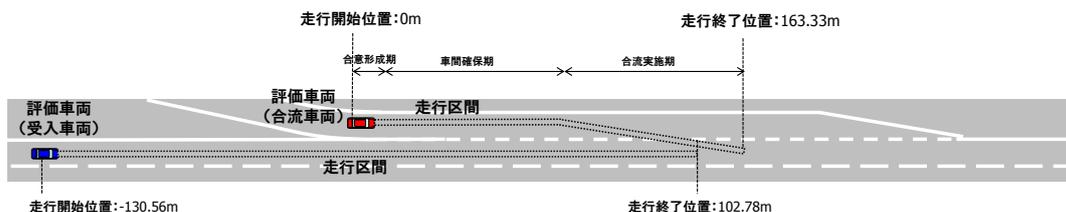


図 5.2.4.3.4-4 評価車両の配置（自専道、本線走行速度 100km/h の場合）

- 評価車両（合流車両）は、加速車線端に配置する。初期速度 40km/h で走行を開始後、一定加速度で加速し、8.4s 後に本線走行速度に達するとともに合流を完了し走行を終了する。本線走行速度が 100km/h の場合、走行区間は 163.33m となる。

- 評価車両（受入車両）は、本線第1車線を本線走行速度で8.4s間定速走行し、合流車両が合流を完了するとともに走行を終了する。本線走行速度が100km/h、合流完了時の合流車両との車両間隔が1sの場合、走行区間は233.34mとなる。

5.2.4.3.5. 評価結果

主な評価条件を表5.2.4.3.5-1にまとめる。なお、自専道のみを配置した条件におけるシミュレーションの試行回数は625回とした。このとき、5.2.4.3.2で定義したパケット到達率を求める際の送信パケット数は2000以上となる。また、自専道及び一般道を配置した条件における試行回数は、1試行の計算時間が長時間となることから10回とした。その上で、車間確保期のみに着目し、複数の合流・受入車両に対して得られた結果を平均した。このとき、パケット到達率を求める際の送信パケット数は3000以上となる。

表 5.2.4.3.5-1 主な評価条件

道路配置	自専道 ^{※1}			一般道
	本線走行速度	車両間隔	合流・受入車数 ^{※3}	車両密度
自専道のみ	100km/h	1s ^{※2} /2s/3s	合流：3台×2 ^{※4} 受入：3台×2	—
	80km/h			
	60km/h			
自専道及び一般道（B案のみ）	100km/h	3s	合流：3台×2 受入：3台×2	43台/km/車線、 車載機普及率 50%

※1 自専道上の車載機普及率は100%を想定した。

※2 合流スペースを確保するため合流車両及び合流位置手前の第1車線車両については2s間隔とした。

※3 ある時刻において合流車両または受入車両として通信を行っている数。

※4 上下線対称配置としたため、2倍している。

1) 通信シーケンス A 案

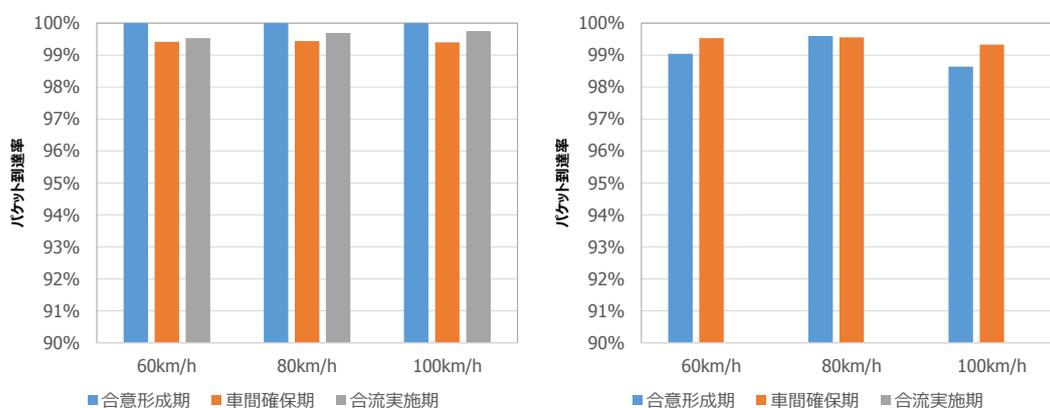
① 自専道のみ、車両間隔 3s

車両間隔を 3s 車間とした場合の平均パケット到達率を図 5.2.4.3.5-1 に、通信遅延時間を図 5.2.4.3.5-2 に示す。なお、図 5.2.4.3.5-1 において、合意形成期のパケット到達率は連送したパケットのうち 1 つでも受信に成功できればパケット到達と判定した場合の値である。また、通信シーケンス A 案は合流実施期は応答パケットを送信しないため、図に値を表示していない。

図 5.2.4.3.5-1 より、要求パケットの平均パケット到達率は、全ての期間においていずれの本線走行速度でも 99%以上となった。

応答パケットの平均パケット到達率は、合意形成期では、本線走行速度 100km/h の場合を除き、99%以上となった。車間確保期では、いずれの本線走行速度でも 99%以上となった。本線走行速度が 100km/h の場合、車両数は最も少なくなるものの、合流車両と受入車両の間の距離は最も長くなるため、受信電力が低下しパケット衝突が発生した際に受信に失敗する頻度が増加し到達率が低下したと考えられる。

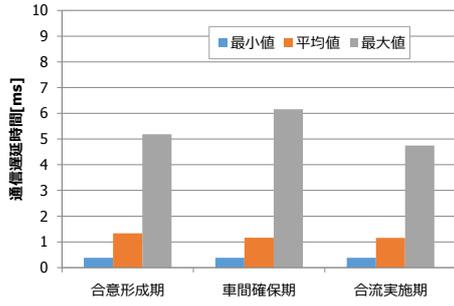
図 5.2.4.3.5-2 より、通信遅延時間は、合意形成期開始から合流実施期終了までの最大値が要求パケット・応答パケットともに 10ms 以下となった。



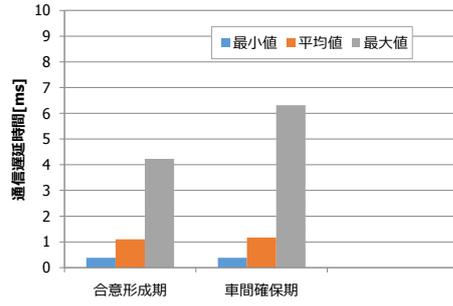
a) 要求パケット

b) 応答パケット

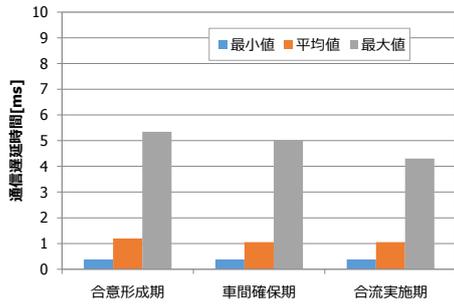
図 5.2.4.3.5-1 各期間の平均パケット到達率 (A 案、3s 車間)



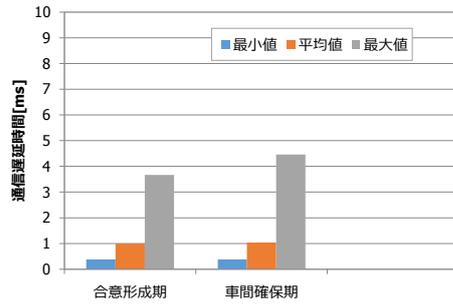
(1) 本線走行速度 60km/h



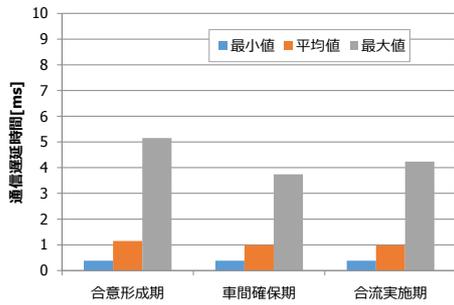
(1) 本線走行速度 60km/h



(2) 本線走行速度 80km/h

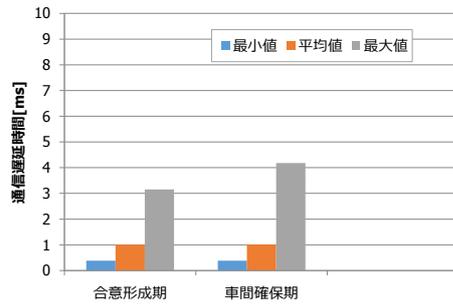


(3) 本線走行速度 80km/h



(3) 本線走行速度 100km/h

a) 要求パケット



(3) 本線走行速度 100km/h

b) 応答パケット

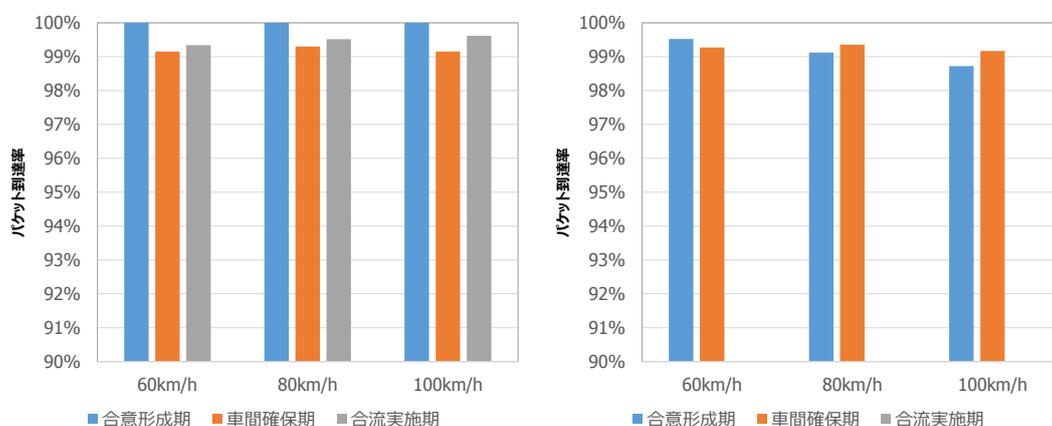
図 5.2.4.3.5-2 通信遅延時間 (A案、3s車間)

② 自専道のみ、車両間隔 2s

車両間隔を 2s 車間とした場合の平均パケット到達率を図 5.2.4.3.5-3 に、通信遅延時間を図 5.2.4.3.5-4 に示す。

図 5.2.4.3.5-3 より、要求パケットの平均パケット到達率は、全ての期間においていずれの本線走行速度でも 99%以上となった。また、応答パケットは、合意形成期では、本線走行速度 60km/h と 80km/h の場合 99%以上となったが、100km/h の場合は 99%未満となった。車間確保期では、いずれの本線走行速度でも 99%以上となった。車両間隔が 2s となり他車両の数が増加したため、パケット衝突の影響が顕著になったと考えられる。

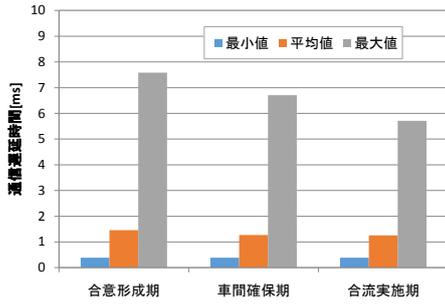
図 5.2.4.3.5-4 より、通信遅延時間は、合意形成期開始から合流実施期終了までの最大値が要求パケット・応答パケットともに 10ms 以下となった。



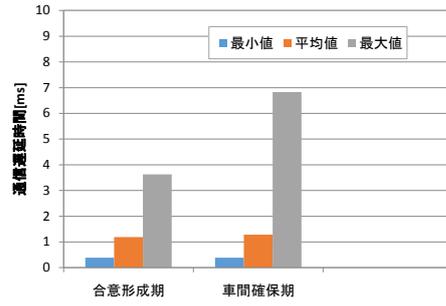
a) 要求パケット

b) 応答パケット

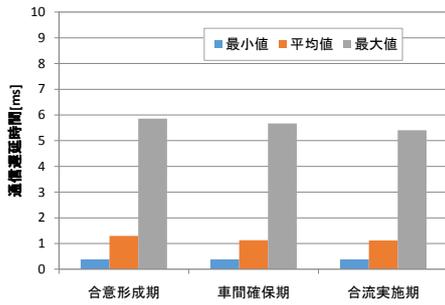
図 5.2.4.3.5-3 各期間の平均パケット到達率 (A 案、2s 車間)



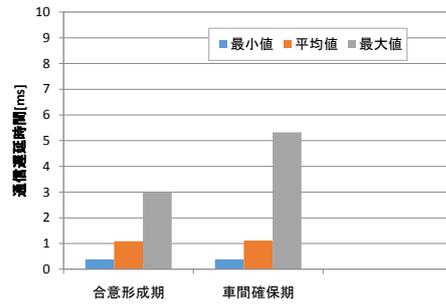
(1) 本線走行速度 60km/h



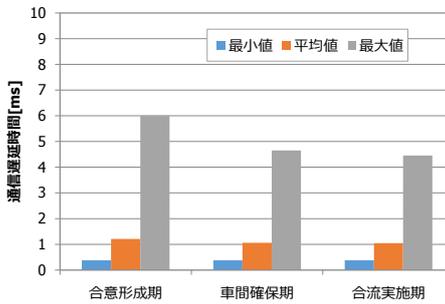
(1) 本線走行速度 60km/h



(2) 本線走行速度 80km/h

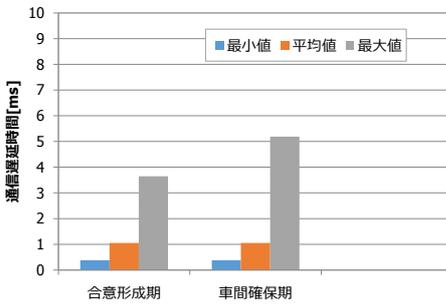


(3) 本線走行速度 80km/h



(3) 本線走行速度 100km/h

a) 要求パケット



(3) 本線走行速度 100km/h

b) 応答パケット

図 5.2.4.3.5-4 通信遅延時間 (A案、2s車間)

③ 自専道のみ、車両間隔 1s

車両間隔を 1s 車間とした場合の平均パケット到達率を図 5.2.4.3.5-5 に、通信遅延時間を図 5.2.4.3.5-6 に示す。

図 5.2.4.3.5-5 より、要求パケットの平均パケット到達率は、合意形成期ではいずれの本線走行速度でも 99%以上となった。一方、車間確保期ではいずれの本線走行速度でも 99%未満、合流実施期では、本線走行速度 100km/h の場合を除き 99%未満となった。また、応答パケットは、全ての期間でいずれの本線走行速度の場合でも 99%未満となった。車両間隔が 1s となり他車両の数がさらに増加したため、車間確保期や合流実施期において合流車両と受入車両が近接する状況となってもパケット衝突による受信失敗の頻度が増加したためと考えられる。

図 5.2.4.3.5-6 より、通信遅延時間は、一部最大値が 10ms 以上となった。他車両の数の増加によりキャリアセンス結果に基づき送信待機する頻度が増加し、通信遅延時間が増加したためと考えられる。

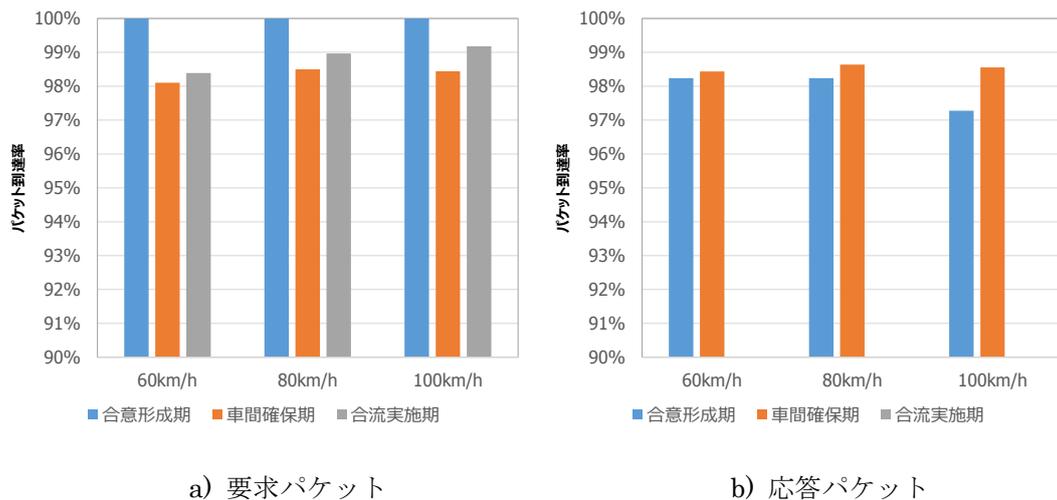
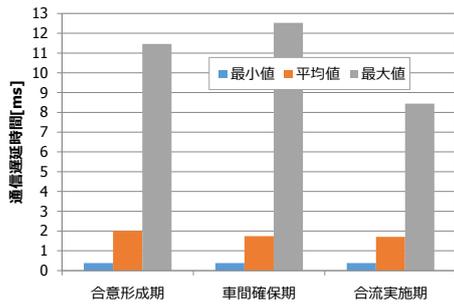
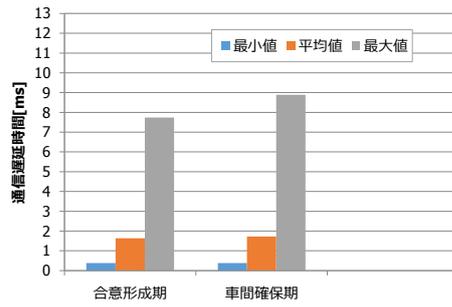


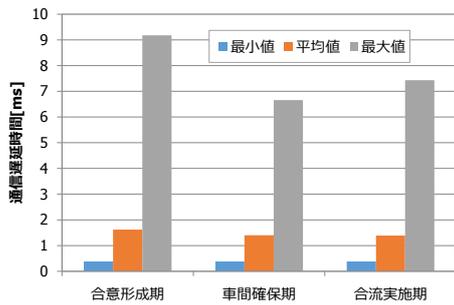
図 5.2.4.3.5-5 各期間の平均パケット到達率 (A 案、1s 車間)



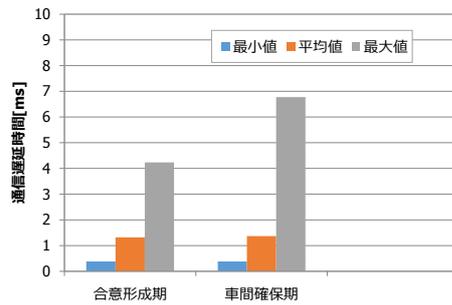
(1) 本線走行速度 60km/h



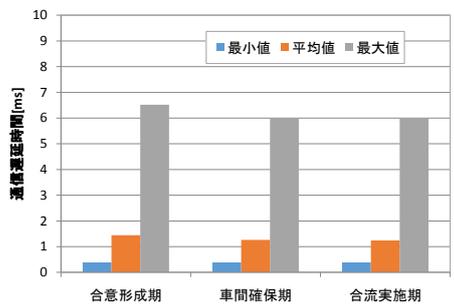
(1) 本線走行速度 60km/h



(2) 本線走行速度 80km/h

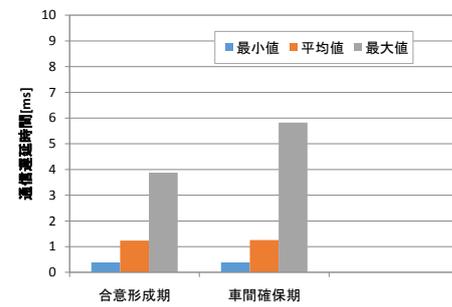


(3) 本線走行速度 80km/h



(3) 本線走行速度 100km/h

a) 要求パケット



(3) 本線走行速度 100km/h

b) 応答パケット

図 5.2.4.3.5-6 通信遅延時間 (A案、1s車間)

2) 通信シーケンス B 案

① 自専道のみ、車両間隔 3s

車両間隔を 3s 車間とした場合の平均パケット到達率を図 5.2.4.3.5-7 に、通信遅延時間を図 5.2.4.3.5-8 に示す。

図 5.2.4.3.5-7 より、要求パケットの平均パケット到達率は、本線走行速度 100km/h の場合の合意形成期を除き 99%以上となった。本線走行速度 100km/h の場合、合流車両と受入車両との間の距離は最も長くなるため、受信電力が低下しパケット衝突が発生した際に受信に失敗する頻度が増加し到達率が低下したと考えられる。応答パケットの平均パケット到達率も同様に、本線走行速度 60km/h と 100km/h の場合の合意形成期を除き、99%以上となった。

図 5.2.4.3.5-8 より、通信遅延時間は、合意形成期開始から合流実施期終了までの最大値が要求パケット・応答パケットともに 10ms 以下となった。

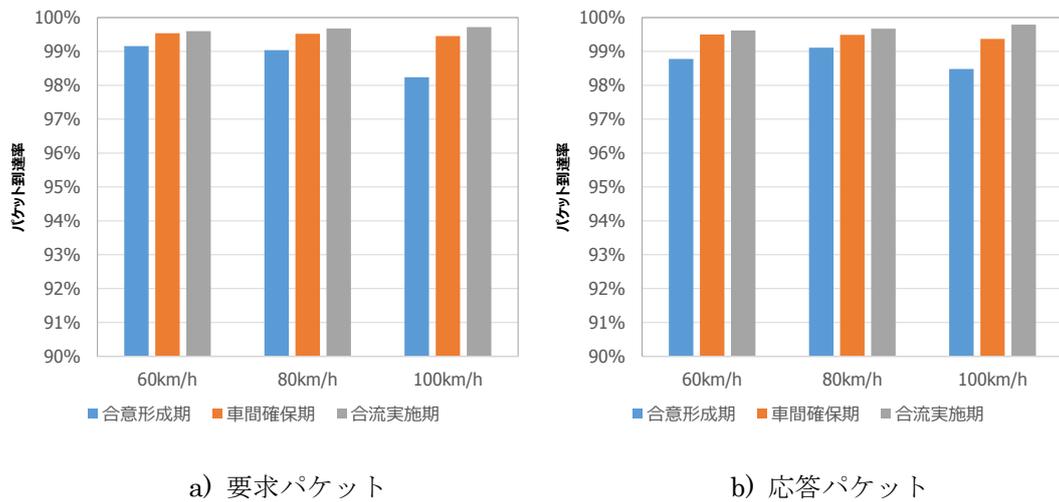
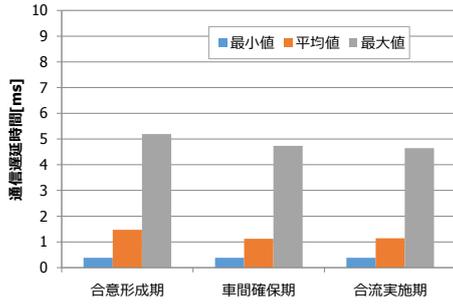
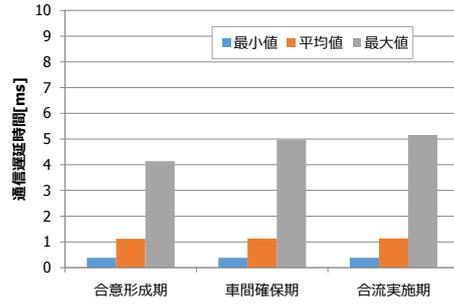


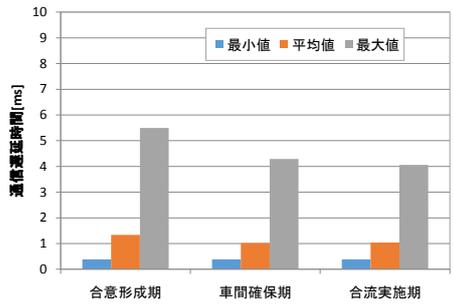
図 5.2.4.3.5-7 各期間の平均パケット到達率 (B 案、3s 車間)



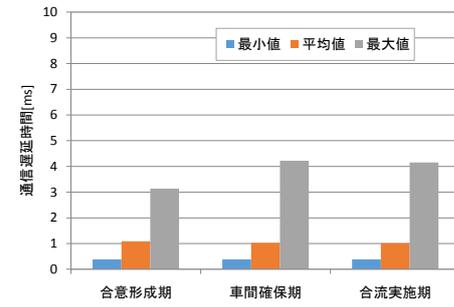
(1) 本線 60km/h



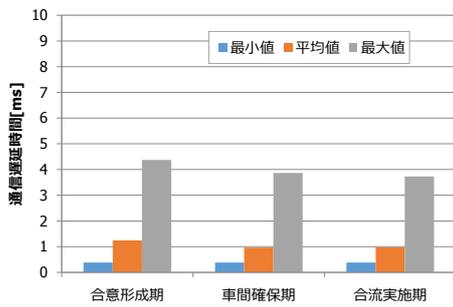
(1) 本線 60km/h



(2) 本線 80km/h

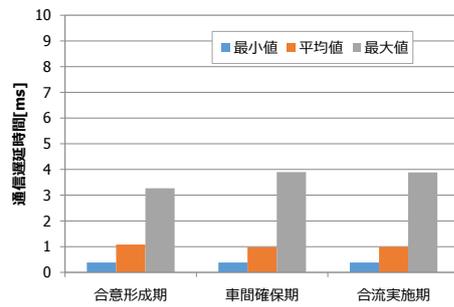


(3) 本線 80km/h



(3) 本線 100km/h

a) 要求パケット



(3) 本線 100km/h

b) 応答パケット

図 5.2.4.3.5-8 通信遅延時間 (B案、3s 車間)

② 自専道のみ、車両間隔 2s

車両間隔を 2s 車間とした場合の平均パケット到達率を図 5.2.4.3.5-9 に、通信遅延時間を図 5.2.4.3.5-10 に示す。

図 5.2.4.3.5-9 より、要求パケットの平均パケット到達率は、合意形成期ではいずれの本線走行速度の場合も 99%未満となった。また、応答パケットは、本線走行速度 80km/h の場合 99%以上となったが、60km/h と 100km/h の場合は 99%未満となった。車間確保期と合流実施期では、要求パケット・応答パケットともに 99%以上となった。車両間隔が 2s となり他車両の数が増加したため、パケット衝突の影響が顕著になったと考えられる。

図 5.2.4.3.5-10 より、通信遅延時間は、合意形成期開始から合流実施期終了までの最大値が要求パケット・応答パケットともに 10ms 以下となった。

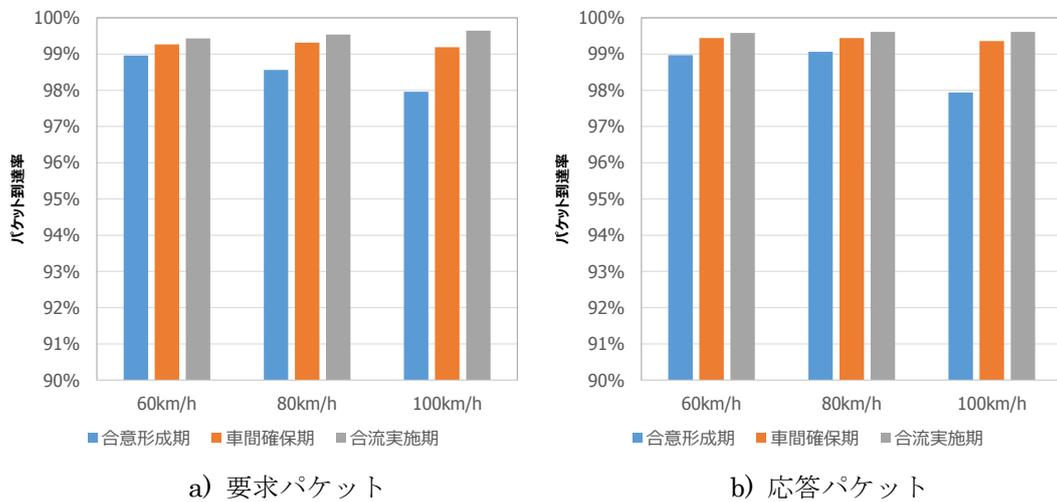
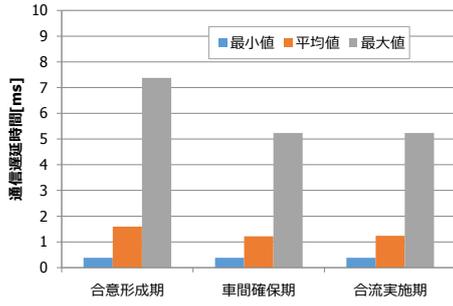
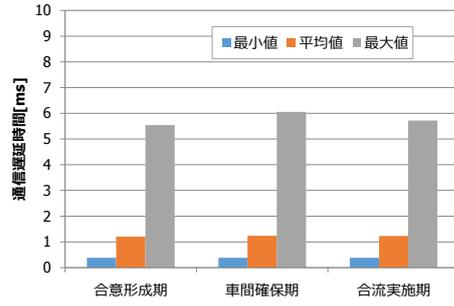


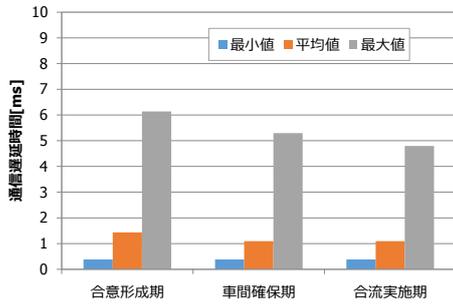
図 5.2.4.3.5-9 各期間の平均パケット到達率 (B 案、2s 車間)



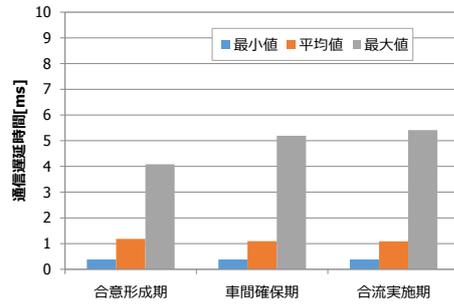
(1) 本線 60km/h



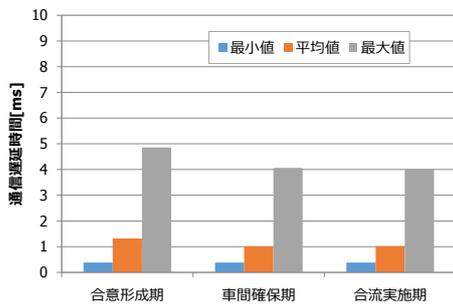
(1) 本線 60km/h



(2) 本線 80km/h

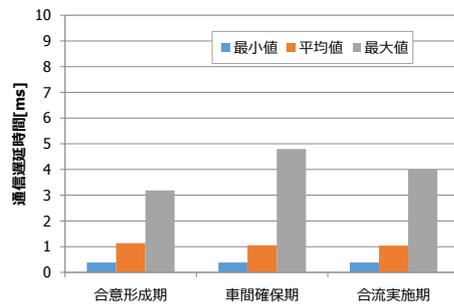


(3) 本線 80km/h



(3) 本線 100km/h

a) 要求パケット



(3) 本線 100km/h

b) 応答パケット

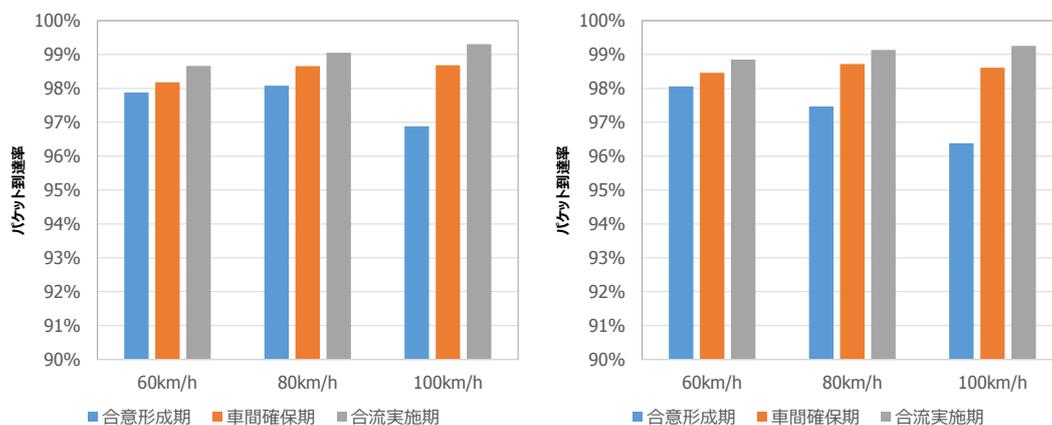
図 5.2.4.3.5 - 10 通信遅延時間 (B案、2s 車間)

③ 自専道のみ、車両間隔 1s

車両間隔を 1s 車間とした場合の平均パケット到達率を図 5.2.4.3.5-11 に、通信遅延時間を図 5.2.4.3.5-12 に示す。

図 5.2.4.3.5-11 より、要求パケットの平均パケット到達率は、合流実施期における本線走行速度 80km/h と 100km/h の場合を除き 99%未満となった。同様に、応答パケットも、合流実施期における本線走行速度 80km/h と 100km/h の場合を除き、99%未満となった。車両間隔が 1s となり他車両の数がさらに増加したため、車間確保期や合流実施期において合流車両と受入車両が近接する状況となってもパケット衝突による受信失敗の頻度が増加したためと考えられる。

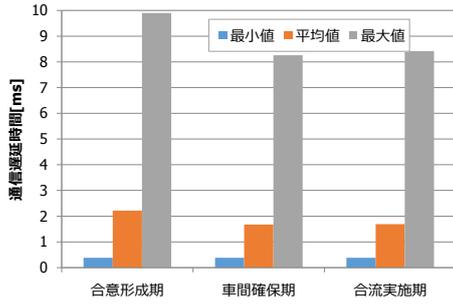
図 5.2.4.3.5-12 より、通信遅延時間は、合意形成期開始から合流実施期終了までの最大値が要求パケット・応答パケットともに 10ms 以下となった。



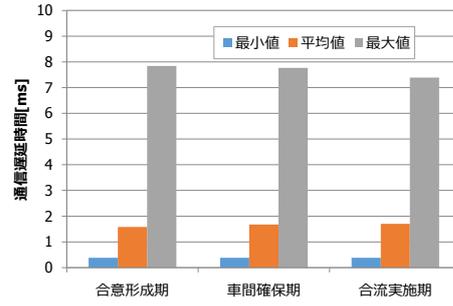
a) 要求パケット

b) 応答パケット

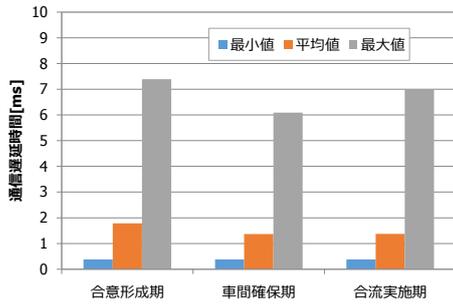
図 5.2.4.3.5-11 各期間の平均パケット到達率 (B案、1s 車間)



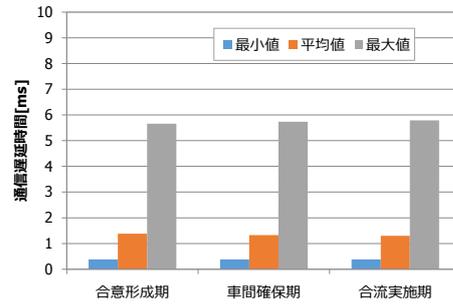
(1) 本線 60km/h



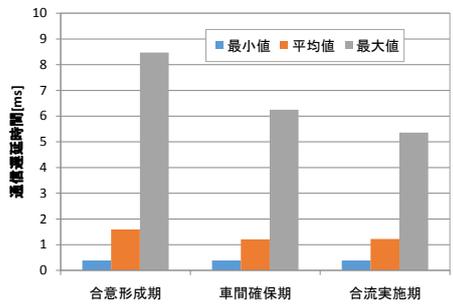
(1) 本線 60km/h



(2) 本線 80km/h

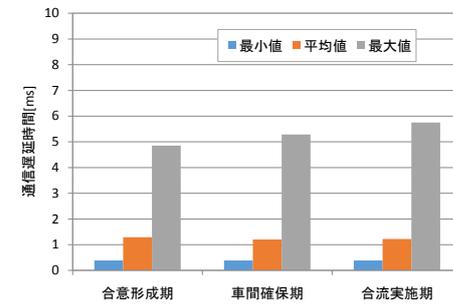


(3) 本線 80km/h



(3) 本線 100km/h

a) 要求パケット



(3) 本線 100km/h

b) 応答パケット

図 5.2.4.3.5 - 1 2 通信遅延時間 (B案、1s 車間)

④ 自専道及び一般道

通信シーケンス B 案について、高架構造の自専道を想定し、通常の運転支援の通信を行っている高架下一般道上にも車両を配置した場合の評価結果を示す。車間確保期における平均パケット到達率を図 5.2.4.3.5-13 に、通信遅延時間を図 5.2.4.3.5-14 に示す。

図 5.2.4.3.5-13 より、自専道上及び一般道に車両を配置した場合のパケット到達率は自専道のみ車両を配置した場合に比べて低下することが分かる。具体的には要求パケットで約 3.1%、応答パケットで約 2.6%低下した。自専道上だけでなく一般道上の車両が送信するパケットとのパケット衝突が発生し、受信失敗の頻度が増加したためと推測される。

図 5.2.4.3.5-14 より、自専道上及び一般道に車両を配置した場合の通信遅延時間は自専道のみ車両を配置した場合に比べて増加することが分かる。具体的には、要求パケットの最大値で約 0.6ms、応答パケットの最大値で約 2.1ms 増加した。自専道上だけでなく一般道上の車両の送信をキャリアセンスして送信待機することで、通信遅延時間が増加したためと推測される。

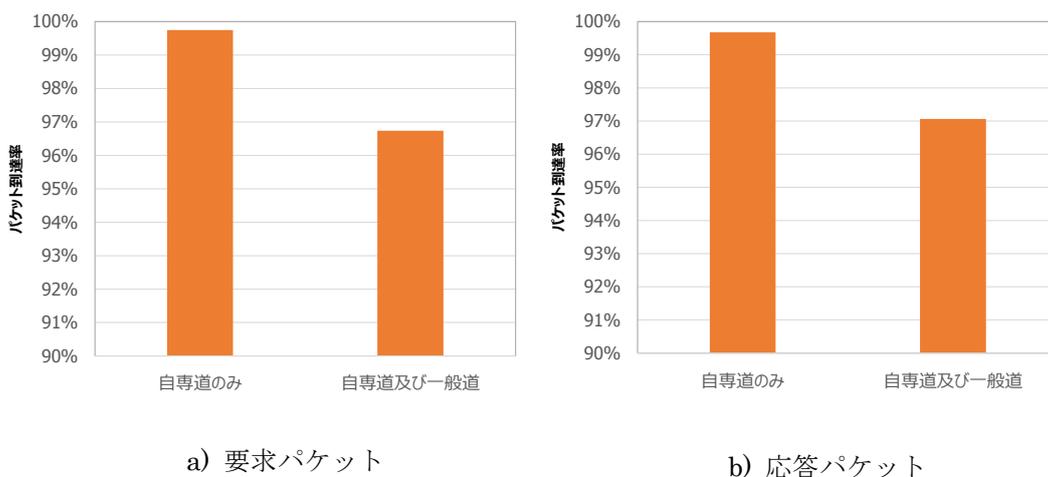


図 5.2.4.3.5-13 車間確保期の平均パケット到達率 (B 案、100km/h・3s 車間)

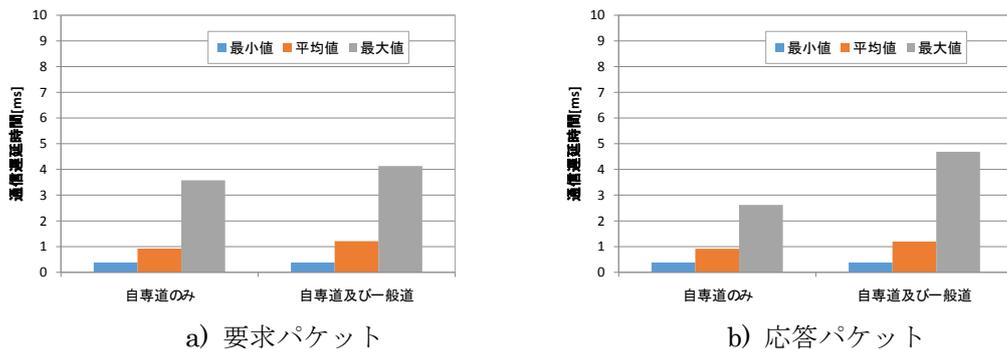


図 5.2.4.3.5-1.4 車間確保期の通信遅延時間 (B 案、100km/h・3s 車間)

3) 評価結果のまとめ

以上の評価結果のうち、合意形成期、車間確保期、合流実施期の各期間内での平均パケット到達率を表 5.2.4.3.5-2 にまとめる。また、合意形成期については要求パケット到達率と応答パケット到達率から導出した合意形成成功率も記載した。

表より、どちらの通信シーケンス案も、合意形成期のパケット到達率が 99% 未満となる場合が多くなっていることが分かる。合意形成期は合流車両と受入車両の通信距離が離れ受信電力が低下するため、周囲の車両とのパケット衝突によるパケット受信失敗頻度が多くなっているためと考えられる。但し、通信シーケンス A 案の要求パケットは連送を行っているため、いずれの条件においてもパケット到達率が 99% 以上となっている。

同表より、通信シーケンス A 案は、各期間のパケット到達率が全て 99% 以上となる条件は本線走行速度 80km/h、車両間隔 2s または 3s の場合、および本線走行速度 60km/h、車両間隔 2s または 3s の場合となった。一方、通信シーケンス B 案は、本線 80km/h、車両間隔 3s の場合に、各期間のパケット到達率が 99% 以上となった。

また、合意形成期について、パケット到達率に変えて合意形成成功率に基づいて評価した場合、通信シーケンス A 案および B 案とも、いずれの本線走行速度において車両間隔 2s または 3s の場合に、合意形成成功率 99.96% 以上、かつ車間確保期・合流実施期のパケット到達率 99% 以上となった。

表 5.2.4.3.5-2 評価結果

(a) 通信シーケンス A 案

通信シーケンス	本線走行速度	車両間隔	合意形成期			車間確保期		合流実施期	
			要求パケット到達率*2*3	応答パケット到達率	合意形成成功率*4	要求パケット到達率	応答パケット到達率	要求パケット到達率	応答パケット到達率
A案	100km/h	3s	100.00%	98.64%	99.9997%	99.40%	99.33%	99.75%	—
		2s	100.00%	98.72%	99.9998%	99.15%	99.17%	99.61%	—
		1s	100.00%	97.28%	99.9980%	98.44%	98.55%	99.18%	—
	80km/h	3s	100.00%	99.60%	100.0000%	99.44%	99.56%	99.69%	—
		2s	100.00%	99.12%	99.9999%	99.30%	99.35%	99.52%	—
		1s	100.00%	98.24%	99.9995%	98.50%	98.64%	98.97%	—
	60km/h	3s	100.00%	99.04%	99.9999%	99.42%	99.53%	99.53%	—
		2s	100.00%	99.52%	100.0000%	99.15%	99.27%	99.34%	—
		1s	100.00%	98.24%	99.9995%	98.11%	98.43%	98.39%	—

(b) 通信シーケンス B 案

通信シーケンス	本線走行速度	車両間隔	合意形成期			車間確保期		合流実施期	
			要求パケット到達率*2	応答パケット到達率	合意形成成功率*4	要求パケット到達率	応答パケット到達率	要求パケット到達率	応答パケット到達率
B案	100km/h	3s	98.24%	98.48%	99.9966%	99.45%	99.37%	99.72%	99.79%
		2s	97.96%	97.94%	99.9933%	99.19%	99.36%	99.65%	99.61%
		1s	96.88%	96.38%	99.9709%	98.68%	98.61%	99.31%	99.26%
	80km/h	3s	99.04%	99.11%	99.9994%	99.52%	99.49%	99.68%	99.67%
		2s	98.56%	99.06%	99.9987%	99.31%	99.44%	99.54%	99.61%
		1s	98.08%	97.47%	99.9915%	98.66%	98.72%	99.06%	99.14%
	60km/h	3s	99.16%	98.78%	99.9991%	99.54%	99.50%	99.60%	99.62%
		2s	98.96%	98.97%	99.9991%	99.26%	99.44%	99.43%	99.58%
		1s	97.88%	98.06%	99.9935%	98.18%	98.46%	98.66%	98.85%

※1 色付きの枠内は所要値を満たしたことを示す。

※2 パケット到達率の所要値は 99%とした。

※3 5つの連送パケットのうち、少なくとも1つを受入車両が受信に成功した場合、受信成功と判定した場合のパケット到達率。

※4 合意形成成功率の所要値は 99.96%とした。合意形成成功率算出時の合意形成実行回数 R は、通信シーケンス A 案の場合はユースケースに従い 2 回とし、通信シーケンス B 案の場合は通信遅延時間と応答時の処理遅延の和が 100ms 以上 200ms 未満と仮定し 3 回とした。

5.2.4.3.6. シミュレーションのまとめ

本節では、自専道での協調型合流支援のユースケースにおける通信特性について、合流区間の周辺に存在する車両が送信する通常の運転支援のためのパケットとの衝突が、協調型合流支援の通信品質に与える影響を評価した。その際、協調型合流支援の通信シーケンスとして、700MHz帯 ITS 通信規格の仕様を拡張することを想定したユースケースに基づく通信シーケンス（通信シーケンス A 案）と、700MHz帯 ITS 通信規格の仕様の範囲内で実現することを想定した最小送信間隔 100ms で要求メッセージと応答メッセージの交換を行う通信シーケンス（通信シーケンス B 案）を定義し評価した。

その結果、いずれの通信シーケンス案も、合意形成期のパケット到達率が 99%を下回る条件が多くなっていることが分かった。合意形成期は合流車両と受入車両の通信距離が離れ受信電力が低下するため、周囲の車両とのパケット衝突の影響が大きいと考えられる。

導出したパケット到達率をユースケースの通信要件であるパケット到達率 99%以上と比較すると、通信シーケンス A 案は、各期間のパケット到達率が全て 99%以上となる条件は本線走行速度 80km/h、車両間隔 2s または 3s、および本線走行速度 60km/h、車両間隔 2s または 3s の場合の場合となった。一方、通信シーケンス B 案は、本線 80km/h、車両間隔 3s の場合に、各期間のパケット到達率が 99%以上となった。

また、合意形成期の評価項目として、パケット到達率に変えて合意形成成功率に基づいて評価した場合、通信シーケンス A 案および B 案とも、いずれの本線走行速度において車両間隔 2s または 3s の場合に、合意形成成功率 99.96%以上、かつ車間確保期・合流実施期のパケット到達率 99%以上となった。

さらに本節では、高架構造の自専道を想定し、通常の運転支援の通信を行っている高架下一般道上の車両が送信するパケットとの衝突の影響を評価した。その結果、自専道上及び一般道に車両を配置した場合のパケット到達率は自専道のみ車両を配置した場合に比べて低下し、自専道上にのみ車両が存在する場合はパケット到達率が 99%以上となる場合でも、一般道上にも車両が存在する場合はパケット到達率が 99%未満となることが分かった。評価条件で想定した一般道が格子状に配置されるような大都市の道路環境では、自専道上に加えて一般道上に存在する車両が送信するパケットとの衝突の影響を考慮する必要があると言える。

5.2.5. 交差点での周辺車両認知における通信特性とその影響評価

本項では、5.2.3項で選定したユースケース「交差点での周辺車両認知」において、700MHz帯 ITS 通信が、車両位置マップの位置誤差へ与える影響について明らかにする。具体的には、遅延時間とパケット到達率および連続したパケットロスの発生状況を評価し、位置誤差へ与える影響を明らかにする。車車間通信により周辺車両を認知するシーンとして、交差点における右折待ちシーンを想定し、テストコース実験では通信負荷と遮蔽車両による影響を評価する(5.2.5.1)。シミュレーションでは、更に通信負荷を高めた状態および隠れ端末を考慮した環境での評価を行う(5.2.5.2)。

5.2.5.1. テストコース実験による通信特性とその影響評価

本項では、交差点での周辺車両認知を想定した車車間通信の通信特性をテストコース実験により取得する。車車間通信データをダイナミックマップへ適用した際に重要と考えられる遅延時間とパケット到達率および連続したパケットロスの発生状況、位置誤差へ与える影響を評価する。

1) 使用した機器

本実験で使用した機器を下記に示す。

- ・ 車車路車協調システム計測装置
- ・ 評価用通信発生装置

図 5.2.5.1-1、図 5.2.5.1-2 に車車路車協調システム計測装置の構成を、図 5.2.5.1-3 に評価用通信発生装置の構成を示す。車車路車協調システム計測装置の詳細については、5.1.1 に示したので、ここでは割愛する。評価用通信発生装置は H26 年度に開発した機器である。無線機 5 台が 1 セットになった構成であり、通信負荷を高めるために使用する。

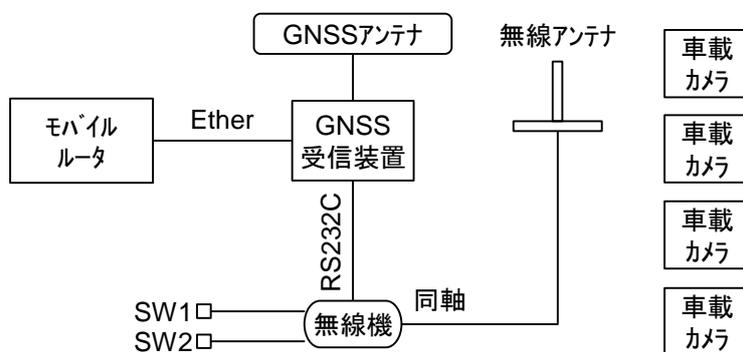


図 5.2.5.1-1 車車路車協調システム計測装置の構成

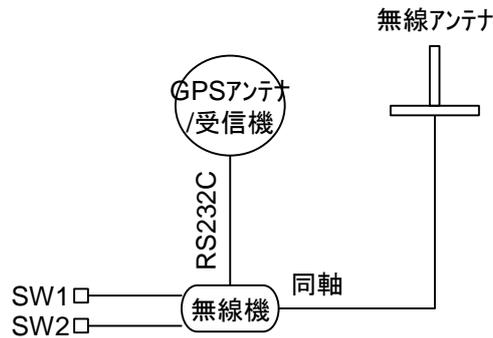


図 5.2.5.1-2 車車路車協調システム計測装置の構成

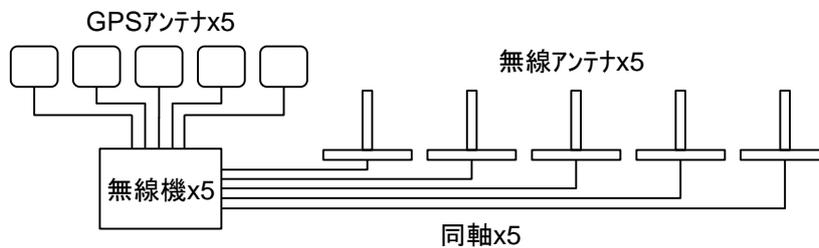


図 5.2.5.1-3 評価用通信発生装置の構成

2) 実験環境と評価概要

本実験では、交差点での右折待ちシーンを想定した車両配置において、右折待機車両と周辺車両の間で車車間通信を行い、受信した車車間通信データからパケット到達率と遅延時間を算出する。また連続したパケットロスを抽出する。得られた遅延時間、パケット到達率、連続したパケットロスが、位置誤差へ与える影響を試算し、影響を評価する。

実験は、一般財団法人 日本自動車研究所の模擬市街路西コース（茨城県つくば市苜間2530）にて行う。コース内の交差点周辺に車両を配置し、右折待ちの位置関係を模擬して実験を行う。

① 遅延時間

遅延時間は、送信側でメッセージを生成した時刻（送信時刻）と、受信側でメッセージを受信した時刻（受信時刻）との差により算出する。今回の実験に用いた機器は、セキュリティ処理は含まれていないため、セキュリティ処理に起因する遅延は発生しない。

② パケット到達率

パケット到達率は、任意の評価期間における受信パケット数と、未到達と判断されるパケット数から、式(5.1)により算出する。

車車間通信データには、データ送信順を示す番号情報（インクリメントカウンタ）が含まれており、送信の度にインクリメントされている。全てのパケットをロス無く受信できていれば、受信データのインクリメントカウンタは1ずつ増加するが、何らかの事情でパケットが受信できなかった場合、インクリメントカウンタに抜けが生じる。インクリメントカウンタに抜けが生じた場合、抜けが生じたインクリメントカウンタのパケットは未到達であると判断する。

ここで、未到達のパケットが連続した場合を、連続したパケットロスとする。インクリメントカウンタが3増加した場合は、2連続のパケットロスが発生したと判断する。

3) 評価項目

交差点での右折待ちシーンにおける、車両間相互の遅延時間とパケット到達率および連続したパケットロスを評価する。また、今後システムが普及し多くの車両が車載機を搭載した際の影響を把握するため、通信車両台数を増やした状況でも測定を行う。さらに、対向する右折車線に大型車両が存在し、見通しが取れなくなる場合の影響を把握するため、遮蔽車両が存在する状況でも測定を行う。

4) 評価方法

図 5.2.5.1-4 に本実験の車両配置、図 5.2.5.1-5 にその車両番号、図 5.2.5.1-6 ~ 図 5.2.5.1-9 に実験車両の機器構成、図 5.2.5.1-10、図 5.2.5.1-11 に実験風景を示す。図に示すように、右折待機車両と遮蔽車両は、交差点内の中央付近に配置し、周辺車両は交差点付近に9台配置する。右折待機車両と周辺車両の計10台は、車車間通信データの取得が可能であり、便宜上図 5.2.5.1-5 に示す番号を割り当てる。周辺車両9台のうち、4台は走行しながら測定を行うため、右折待機車両と周辺車両の間の通信距離は、最大約110mとなる。通信車両台数を増やすため、5台の無線機を1セットとした評価用通信発生装置を右折待機車両と周辺車両および高負荷車両へ搭載する。高負荷車両は、周辺車両（停止）の後方に配置する。

測定は、1条件につき約10分間、周辺車両4台が走行している状態で行う。得られた車車間通信データから、遅延時間とパケット到達率を算出する。また連続したパケットロスを抽出する。得られた結果から、車車間通信データをダイナミックマップへ適用した際に想定される位置誤差の影響を評価する。

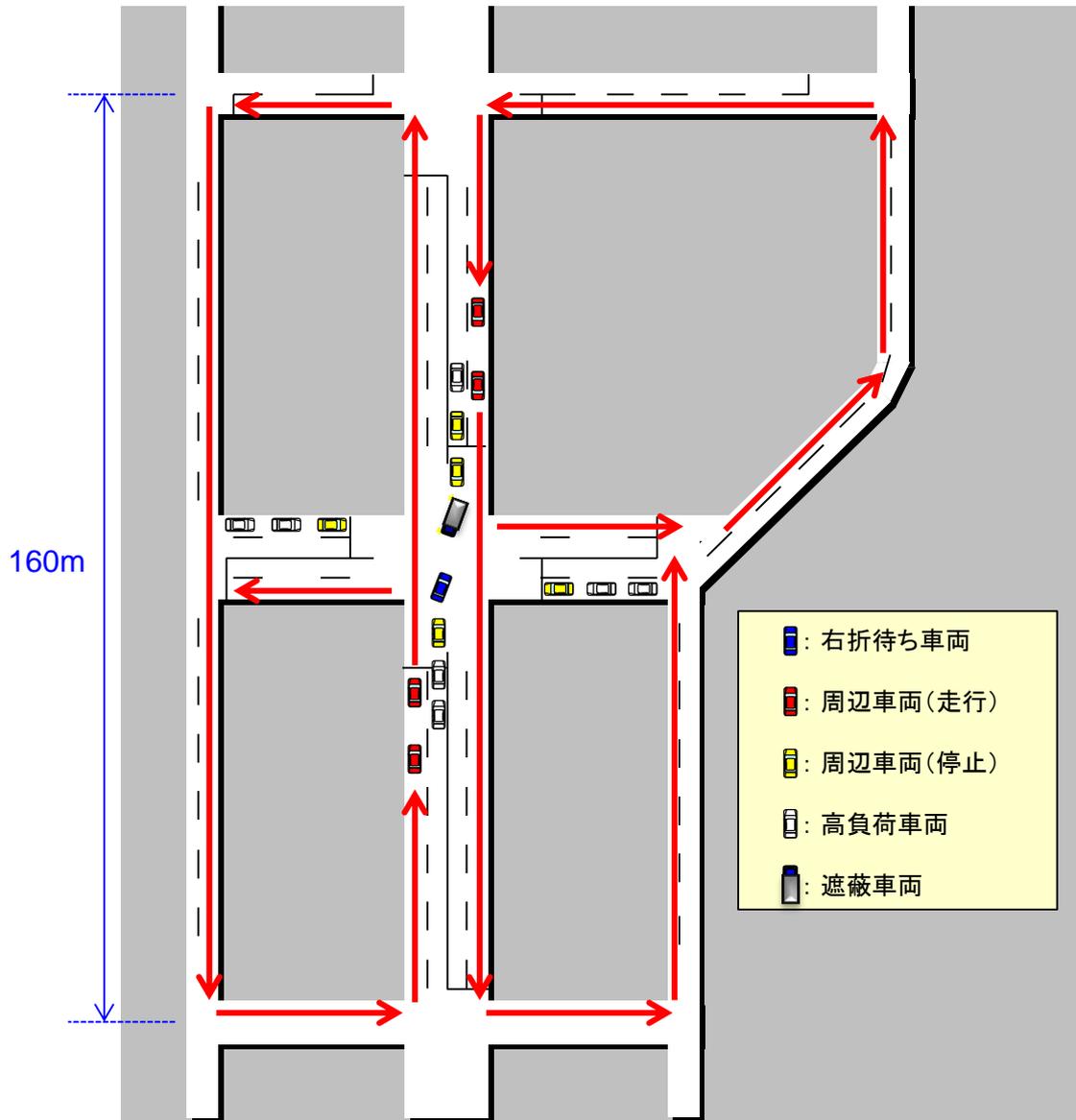


図 5.2.5.1-4 車両配置

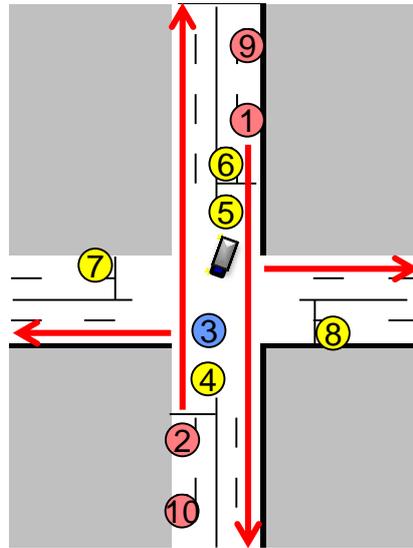


図 5.2.5.1-5 車両番号

〈車両1,2〉

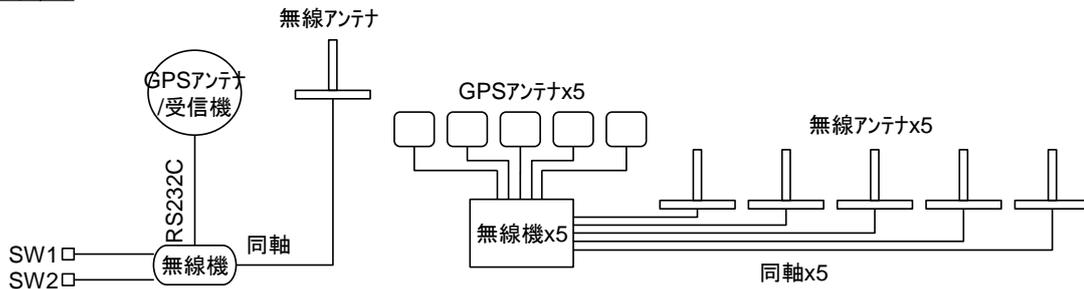


図 5.2.5.1-6 車両1,2の機器構成

〈車両3~8〉

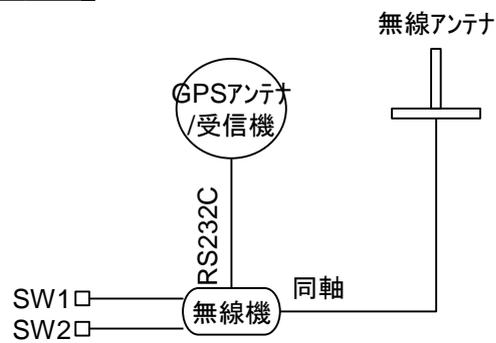


図 5.2.5.1-7 車両3~8の機器構成

〈車両9, 10〉

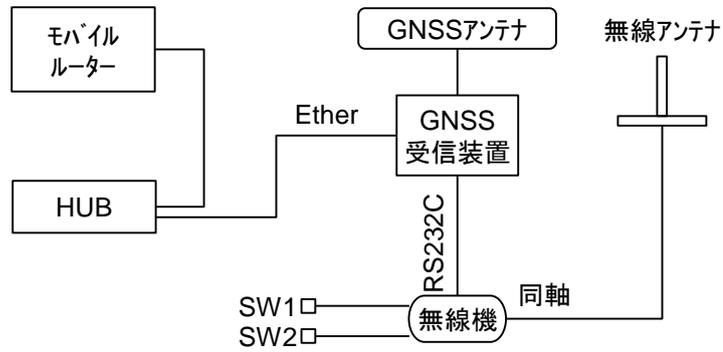


図 5.2.5.1-8 車両9, 10の機器構成

〈高負荷車両〉

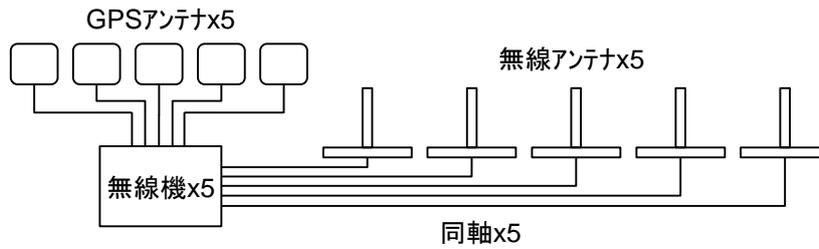


図 5.2.5.1-9 高負荷車両の機器構成

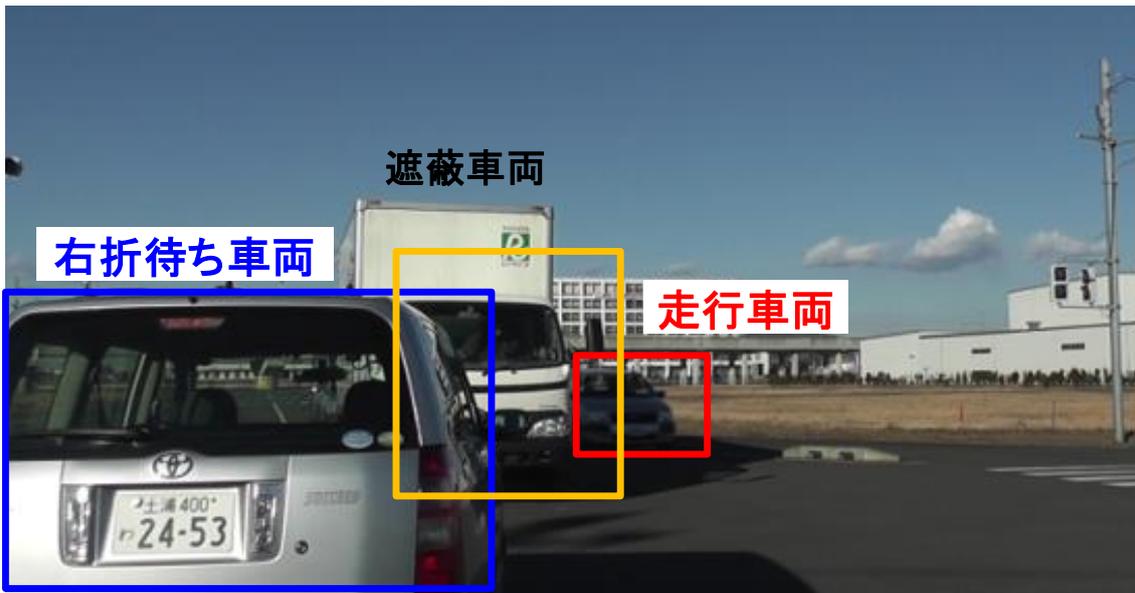


図 5.2.5.1-10 実験風景



図 5.2.5.1-11 実験風景

5) 評価条件

評価条件は、通信台数が 10 台および 85 台の 2 パターン、遮蔽車両が存在する場合および存在しない場合の 2 パターンの、計 4 パターンで実施する。

6) 評価結果

まず初めに、表 5.2.5.1-1 に右折待機車両と周辺車両 9 台の車車間通信におけるパケット到達率を、表 5.2.5.1-2 にパケットロスの発生状況を示す。パケット到達率は、測定時間約 10 分間における、右折待機車両で算出した周辺車両 9 台からのパケット到達率を示している。通信台数 10 台の場合は、パケット到達率 99.9% であり、連続したパケットロスは 2 連続が 1 回発生したのみであった。ここで、車両 10 台の車車間通信データ全パケットを解析した結果、発生したパケットロスのうちほとんどがパケットの衝突によるものである可能性が高いことがわかった。周辺車両のうち、2 台の送信タイミングが同時刻となっており、その両者のパケットを複数の周辺車両でロスしていることから、パケットの衝突が起きていると推察できる。なお、パケットロスが 2 回連続したケースでは、3 台の送信タイミングが同時刻となっており、よりパケットの衝突が起きやすい状態にあったことがわかっている。実際に、ある 1 台からのパケットが、それぞれ違う車両のパケットと続けて衝突したと推察できるデータが確認できた。

一方、通信台数 85 台の場合は、パケット到達率 98.4%、連続したパケットは 2 連続が 31 回発生した。ここでも同様に、車両 10 台の車車間通信データ全パケットを解析した結果、発生したパケットロスのうちほとんどがパケットの衝突によるものである可能性が高いことがわかった。通信台数の増加により、衝突の確率が上がっていると考えられる。

表 5.2.5.1-1 パケット到達率（評価対象パケット：周辺車両9台→右折待機車両）

通信台数	遮蔽車両	パケット到達率[%]
10台	無し	99.9
10台	有り	99.9
85台	無し	98.4
85台	有り	98.3

表 5.2.5.1-2 パケットロスの発生状況

通信台数10台			通信台数85台		
パケットロス	頻度	発生確率[%]	パケットロス	頻度	発生確率[%]
無し	117315	99.88	無し	113252	98.40
1回	145	0.12	1回	1814	1.57
2回連続	1	0.00	2回連続	31	0.03

図 5.2.5.1-12、図 5.2.5.1-13、図 5.2.5.1-14、図 5.2.5.1-15 に遅延時間のヒストグラムを示す。通信台数が 10 台の場合は、遅延時間は 5msec 未満、通信台数が 85 台の場合は、遅延時間は 6msec 未満であった。通信台数の増加に伴い、CSMA/CA の動作により遅延時間が大きくなっていると考えられるが、通信台数による大きな違いは無い結果であった。また、遮蔽車両による違いは見られなかった。

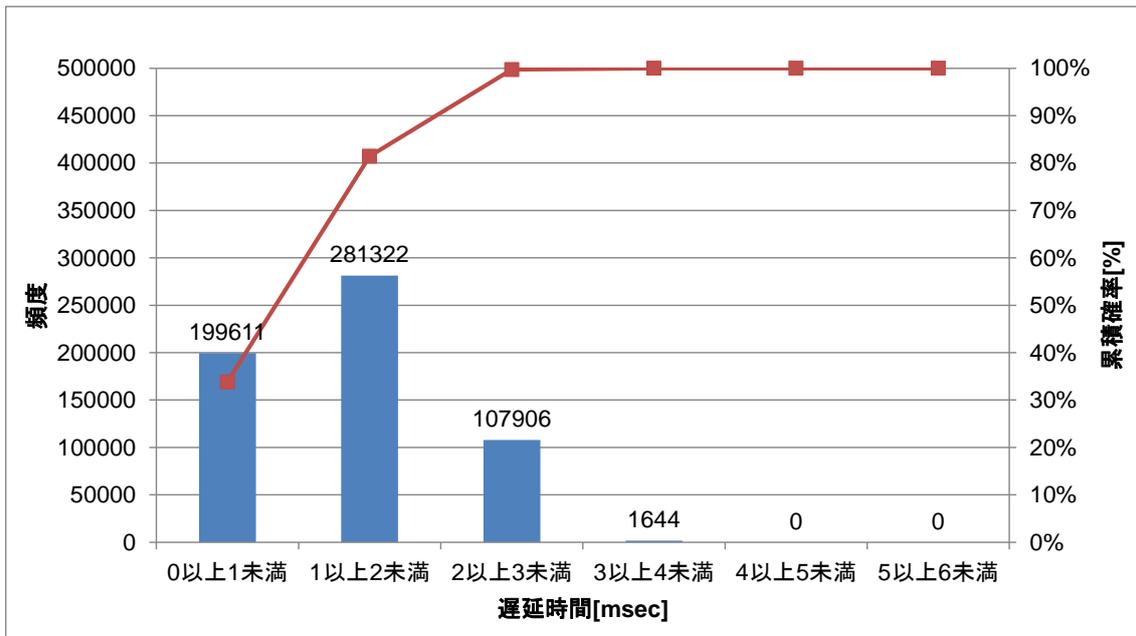


図 5.2.5.1-12 遅延時間（通信台数 10 台、遮蔽車両無し）

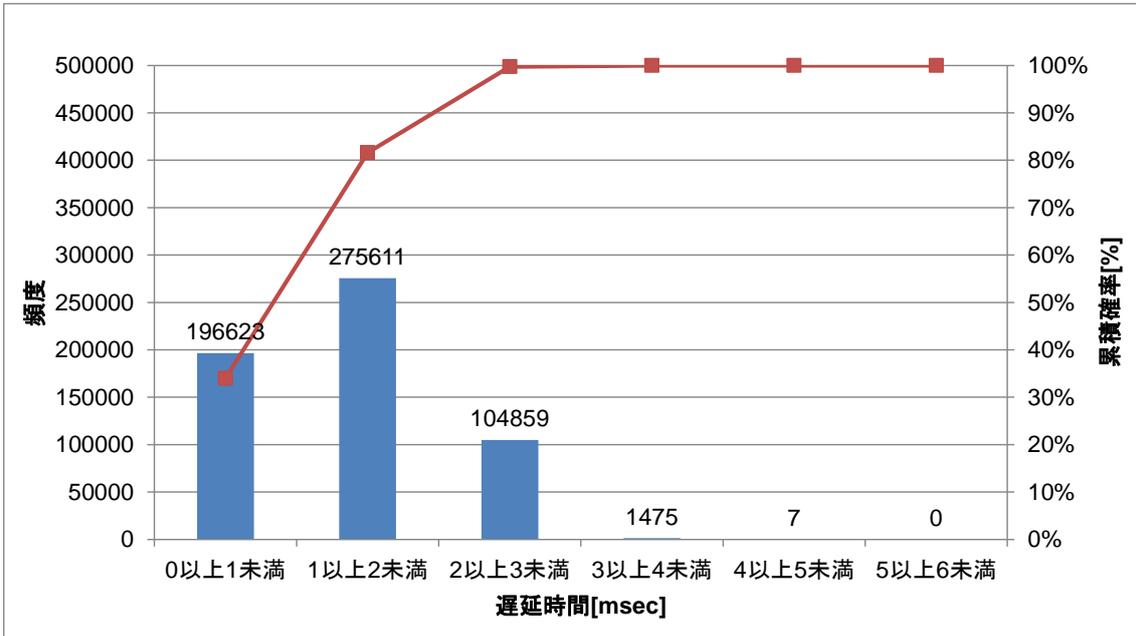


図 5.2.5.1-13 遅延時間（通信台数 10 台、遮蔽車両有り）

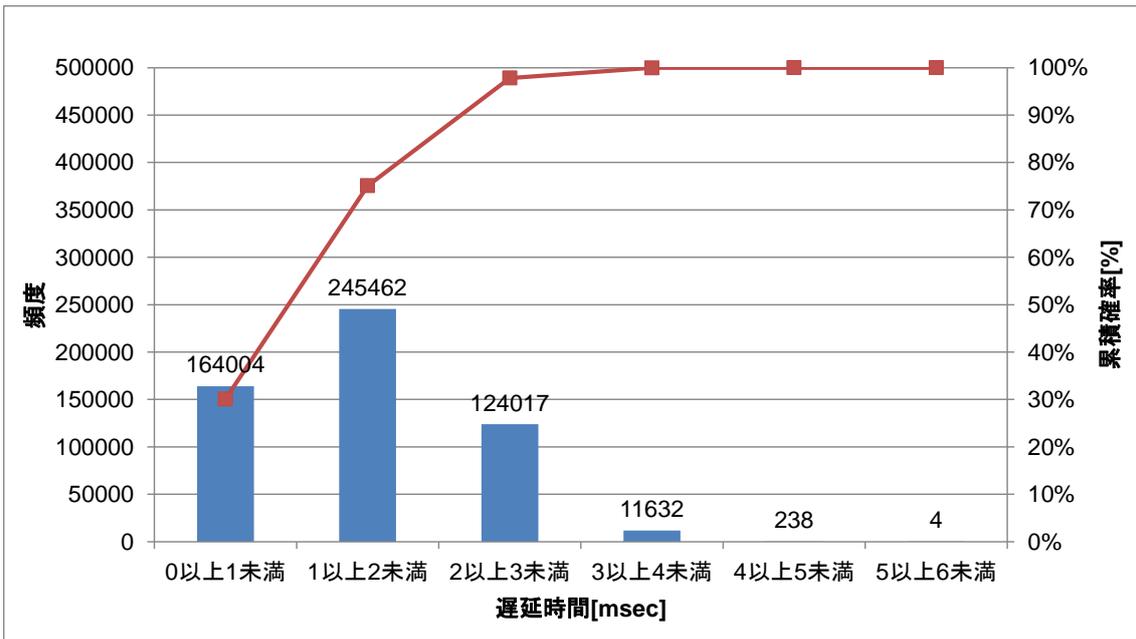


図 5.2.5.1-14 遅延時間（通信台数 85 台、遮蔽車両無し）

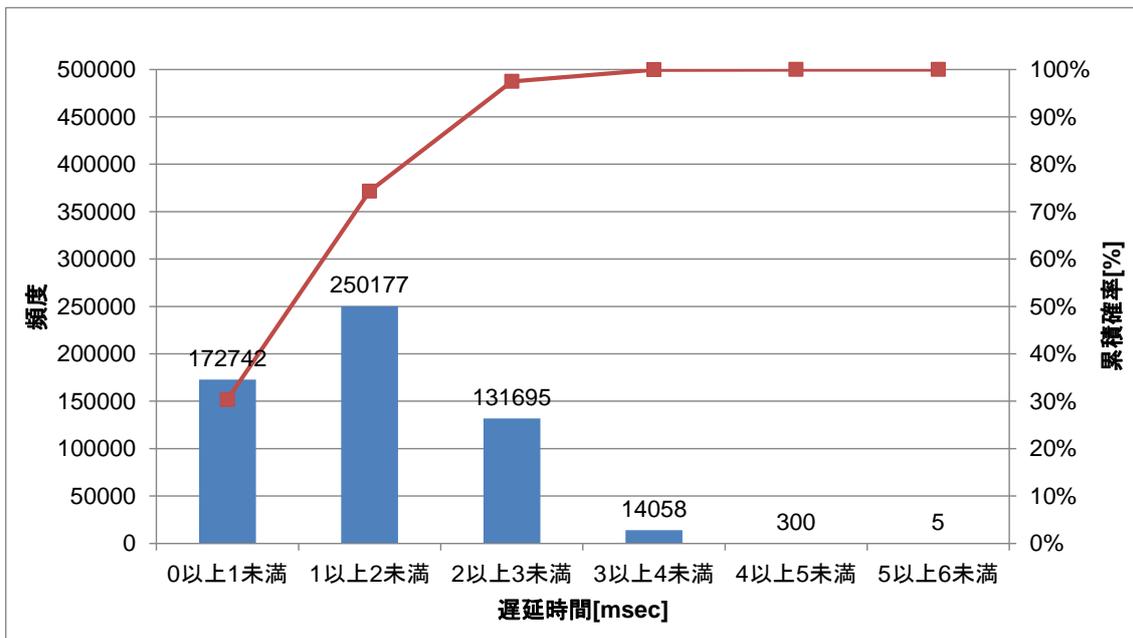


図 5.2.5.1-15 遅延時間（通信台数 85 台、遮蔽車両有り）

表 5.2.5.1-1 に車車間通信データが取得できる 10 台全車両の、相互の packets 到達率を示す。受信 packets 数は約 6000 packets である。通信台数 10 台の場合は 99.6~100%（平均 99.9%）、通信台数 85 台の場合は 97.6~99.2%（平均 98.4%）であった。図 5.2.5.1-5 から分かるように、車両の位置関係により通信距離が異なるため、通信距離が長く受信電力が低い関係にある車両ほど、packets 到達率が低い傾向にある。表 5.2.5.1-4 に連続した packets ロスの発生回数を示す。3 連続の packets ロスは 1 回だけ発生し、残りは全て 2 連続であった。通信台数 10 台の場合は 2 連続の packets ロスが最大 1 回、通信台数 85 台の場合は 2 連続の packets ロスが最大 7 回発生した。

表 5.2.5.1-3 パケット到達率

送信 \ 受信		パケット到達率[%]									
		車両1	車両2	車両3	車両4	車両5	車両6	車両7	車両8	車両9	車両10
車両1	通信台数10台、遮蔽無し		99.6	99.7	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.9	99.7
	通信台数10台、遮蔽有り		99.7	99.8	99.8	99.8	99.8	99.6	99.8	99.9	99.8
	通信台数85台、遮蔽無し		97.9	98.1	98.1	98.2	98.2	98.0	98.4	98.4	98.0
	通信台数85台、遮蔽有り		97.7	97.9	97.8	98.1	98.1	97.6	98.1	98.6	97.8
車両2	通信台数10台、遮蔽無し	99.6		99.8	99.7	99.7	99.7	99.8	99.7	99.7	99.8
	通信台数10台、遮蔽有り	99.9		99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.8	99.9	100.0
	通信台数85台、遮蔽無し	98.4		98.5	98.6	98.6	98.5	98.7	98.5	98.4	98.8
	通信台数85台、遮蔽有り	97.6		98.1	98.1	98.1	98.1	98.2	97.9	97.8	98.5
車両3	通信台数10台、遮蔽無し	99.9	99.8		99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
	通信台数10台、遮蔽有り	99.8	99.9		99.9	99.8	99.8	99.9	99.8	99.8	99.9
	通信台数85台、遮蔽無し	98.4	98.4		98.7	98.2	98.1	98.8	98.2	98.2	98.4
	通信台数85台、遮蔽有り	98.2	98.5		98.8	98.2	98.1	98.9	98.2	98.4	98.3
車両4	通信台数10台、遮蔽無し	99.9	99.9	100.0		99.9	99.9	100.0	99.9	99.9	100.0
	通信台数10台、遮蔽有り	99.7	99.8	99.9		99.8	99.8	99.9	99.8	99.8	99.8
	通信台数85台、遮蔽無し	97.9	98.4	98.9		97.9	97.9	99.0	98.2	98.2	98.3
	通信台数85台、遮蔽有り	98.5	98.8	99.0		98.6	98.5	99.2	98.6	98.5	98.8
車両5	通信台数10台、遮蔽無し	99.9	99.9	99.9	99.9		99.9	100.0	100.0	99.9	99.9
	通信台数10台、遮蔽有り	99.9	99.9	99.9	99.9		99.9	99.9	99.9	99.8	99.9
	通信台数85台、遮蔽無し	98.7	98.5	98.4	98.3		98.6	98.7	99.2	98.6	98.5
	通信台数85台、遮蔽有り	98.4	98.4	98.3	98.4		98.5	98.6	99.1	98.6	98.4
車両6	通信台数10台、遮蔽無し	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9		100.0	99.9	99.9	99.9
	通信台数10台、遮蔽有り	99.8	99.8	99.8	99.9	99.9		99.9	99.9	99.8	99.9
	通信台数85台、遮蔽無し	98.3	98.0	97.7	97.6	98.0		98.8	98.4	98.1	98.1
	通信台数85台、遮蔽有り	98.5	98.5	98.1	98.0	98.6		98.9	98.8	98.6	98.3
車両7	通信台数10台、遮蔽無し	99.9	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0		99.9	99.9	99.9
	通信台数10台、遮蔽有り	99.7	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9		99.9	99.8	100.0
	通信台数85台、遮蔽無し	97.9	98.3	99.0	99.1	98.3	98.7		97.7	97.9	98.3
	通信台数85台、遮蔽有り	98.1	98.8	99.1	99.2	98.6	99.1		98.2	98.1	98.8
車両8	通信台数10台、遮蔽無し	99.9	99.9	99.9	99.9	100.0	99.9	99.8		99.9	99.9
	通信台数10台、遮蔽有り	99.9	99.7	99.9	99.9	100.0	99.9	99.9		99.9	99.8
	通信台数85台、遮蔽無し	98.5	98.2	98.2	98.6	99.1	98.7	98.0		98.6	98.3
	通信台数85台、遮蔽有り	98.5	98.2	98.2	98.6	99.0	98.9	98.1		98.5	98.3
車両9	通信台数10台、遮蔽無し	99.9	99.9	99.8	99.9	99.9	99.8	99.9	99.9		99.9
	通信台数10台、遮蔽有り	100.0	99.8	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9		99.8
	通信台数85台、遮蔽無し	98.6	97.9	98.3	98.1	98.1	98.2	98.1	98.3		98.0
	通信台数85台、遮蔽有り	98.7	98.1	98.2	98.3	98.5	98.6	98.2	98.4		98.1
車両10	通信台数10台、遮蔽無し	99.8	99.8	99.8	99.9	99.9	99.8	99.8	99.8	99.8	
	通信台数10台、遮蔽有り	99.7	99.9	99.9	99.9	99.8	99.9	99.9	99.9	99.8	
	通信台数85台、遮蔽無し	98.3	98.8	98.5	98.6	98.4	98.4	98.5	98.3	98.2	
	通信台数85台、遮蔽有り	97.8	98.7	98.3	98.4	98.2	98.3	98.3	98.0	98.0	

表 5.2.5.1-4 連続したパケットロスの発生回数

送信 \ 受信		連続パケットロス発生回数									
		車両1	車両2	車両3	車両4	車両5	車両6	車両7	車両8	車両9	車両10
車両1	通信台数10台、遮蔽無し		1	0	0	0	0	0	0	0	0
	通信台数10台、遮蔽有り		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	通信台数85台、遮蔽無し		2	2	2	2	3	3	2	2	2
	通信台数85台、遮蔽有り		2	5	3	4	3	3	3	2	4
車両2	通信台数10台、遮蔽無し	1		0	1	0	0	0	0	0	0
	通信台数10台、遮蔽有り	0		0	0	0	0	0	0	0	0
	通信台数85台、遮蔽無し	2		1	1	2	1	1	1	1	1
	通信台数85台、遮蔽有り	6		5	3	4	5	6	7	6	5
車両3	通信台数10台、遮蔽無し	0	0		0	0	0	0	0	0	0
	通信台数10台、遮蔽有り	0	0		0	0	0	0	0	0	0
	通信台数85台、遮蔽無し	2	2		1	2	2	2	2	3	2
	通信台数85台、遮蔽有り	1	1		1	2	2	2	2	2	2
車両4	通信台数10台、遮蔽無し	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	通信台数10台、遮蔽有り	1	0	0		0	0	0	0	0	0
	通信台数85台、遮蔽無し	1	1	0		1	1	0	1	1	1
	通信台数85台、遮蔽有り	1	0	1		0	0	0	0	0	0
車両5	通信台数10台、遮蔽無し	1	0	0	0		0	0	0	0	1
	通信台数10台、遮蔽有り	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	通信台数85台、遮蔽無し	1	1	1	1		1	1	1	0	1
	通信台数85台、遮蔽有り	2	2	2	3		2	1	2	3	2
車両6	通信台数10台、遮蔽無し	1	0	1	1	0		0	1	0	1
	通信台数10台、遮蔽有り	0	0	0	0	0		0	0	0	0
	通信台数85台、遮蔽無し	1	1	2	2	1		1	0	1	1
	通信台数85台、遮蔽有り	3	1	2	2	2		0	1	2	0
車両7	通信台数10台、遮蔽無し	0	0	0	0	0	0		0	0	0
	通信台数10台、遮蔽有り	1	0	0	0	0	0		0	0	0
	通信台数85台、遮蔽無し	2	2	0	0	3	1		3	2	3
	通信台数85台、遮蔽有り	3	2	0	0	2	1		3	2	1
車両8	通信台数10台、遮蔽無し	0	0	0	0	0	0	0		0	0
	通信台数10台、遮蔽有り	0	0	0	0	0	0	0		0	0
	通信台数85台、遮蔽無し	1	1	1	1	0	0	1		0	0
	通信台数85台、遮蔽有り	1	3※	2	3	1	1	2		2	2
車両9	通信台数10台、遮蔽無し	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	通信台数10台、遮蔽有り	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	通信台数85台、遮蔽無し	1	1	1	1	1	1	1	0		2
	通信台数85台、遮蔽有り	0	2	3	3	3	1	2	0		2
車両10	通信台数10台、遮蔽無し	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	通信台数10台、遮蔽有り	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	通信台数85台、遮蔽無し	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	通信台数85台、遮蔽有り	4	0	2	1	3	4	3	4	4	

※ うち1回は3連続パケットロス

選定したユースケースでは、遅延時間、パケット到達率共に、要件が示されていない。そこで、実験で得られたこれらの通信特性が、車車間通信データをダイナミックマップへ適用した際に、位置誤差にどのような影響を及ぼすかについて評価する。図 5.2.5.1-16 に周辺車両情報のマッピング結果、図 5.2.5.1-17 に周辺車両情報の表示例を示す。周辺車両との車車間通信がパケットロス無く、遅延無く行えていれば、リアルタイムに周辺車両を認知することができる。しかしながら、図 5.2.5.1-18 に示すように、遅延が発生すると、相手車両の位置に誤差が生じ、パケットロスが発生すると相手車両の位置が100msec以上に渡って認知できなくなる。

① 遅延時間による影響

5msec の遅延が発生した場合、相手車両が 5msec の間に走行する距離の分だけ、位置に誤差が生じることになる。相手車両の速度が 36km/h の場合、5msec の間の走行距離、つまり 0.05m の位置の誤差が生じる。同様に、相手車両の速度が 72km/h とすると 0.10m の位置の誤差が生じる。測定結果から、5msec の遅延が発生する確率は 0.001%程度であり、平均遅延時間としても約 1.4msec であることから、本実験条件においては、影響は限定的であると言える。

② パケットロスによる影響

パケットロスが発生しない場合は、約 100msec 毎に車車間通信を行うことができるため、相手車両の速度が 36km/h の場合、1m 間隔で相手車両の位置を認知することができる。同様に、相手車両の速度が 72km/h の場合、2m 間隔で認知することができる。一方、パケットロスが発生すると、受信間隔が 200msec あるいはそれ以上に大きくなってしまい、相手車両の速度が 36km/h の場合は、2m 間隔あるいはそれ以上の間隔でしか相手車両の位置を認知することができなくなってしまう。測定結果から、パケットロスが発生する確率は 1.57%であり、遅延時間による影響よりも発生確率が高く、またその影響も大きい。

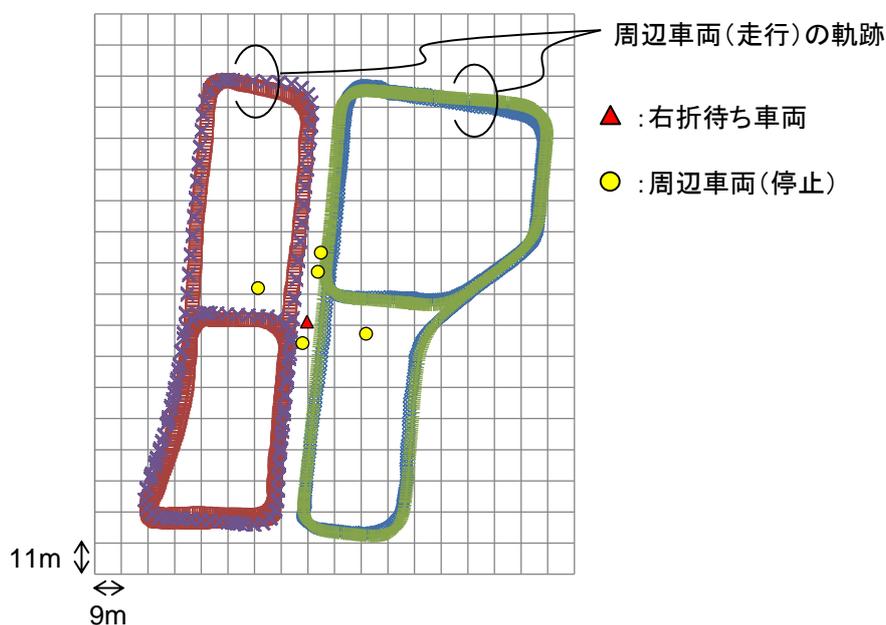


図 5.2.5.1-16 周辺車両情報のマッピング結果

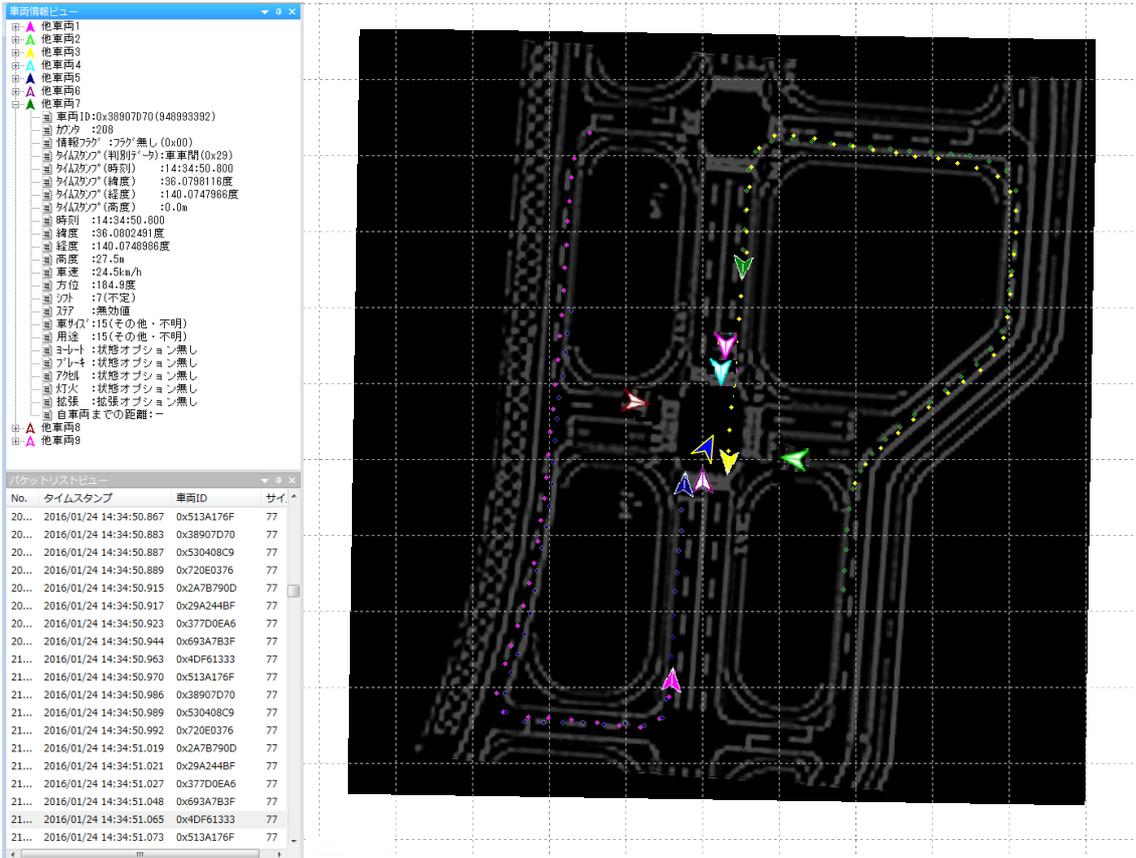


図 5.2.5.1-17 周辺車両情報の表示例

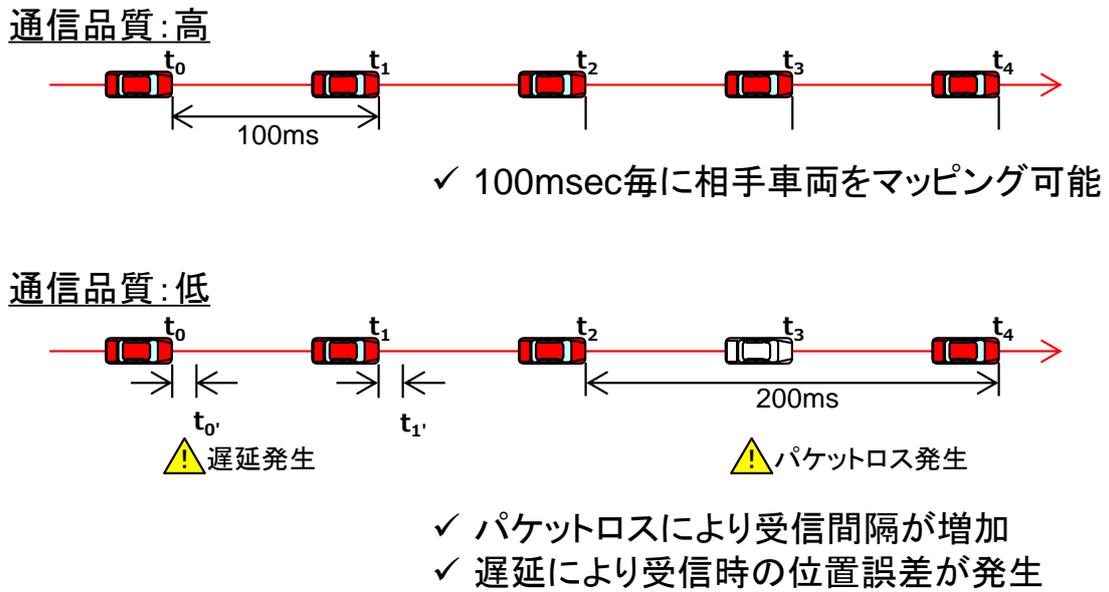


図 5.2.5.1-18 通信品質劣化による影響

5.2.5.2. シミュレーションによる通信特性とその影響評価

本項では、交差点における周辺車両認知において、車載機の普及が進んだ状況における車両位置マップの位置誤差への影響を明確化する。

具体的には、大規模な交差点における実際の交通流や 700MHz 帯 ITS 通信システムを模擬したシミュレーション環境を用いて、車載機の普及率、車両密度を変更したシミュレーションを実施し、車車間通信の通信特性を取得し車両位置マップの位置誤差への影響を評価する。

1) 評価概要

右折車両が交差点に侵入する直前の場面において、車車間通信を用いて交差点の周辺車両を事前に認知するシーンを評価対象シーンとする。評価対象シーンにおいて、右折車両と周辺車両間の通信における通信遅延時間と通信エラー(連続パケットロス、パケット到達率)、および位置誤差を算出し、各通信特性が位置誤差へ与える影響を評価する。以下に評価項目の定義を示す。

① 通信遅延時間

通信遅延時間は、送信側でメッセージを生成した時刻と、受信側でメッセージを受信した時刻との差により算出する。本シミュレーションでは、実環境に近い 700MHz 帯 ITS 通信システムを模擬するため、車載機のセキュリティ処理時間を含めた考慮する。以下に本シミュレーションで考慮する遅延要因を示す。

- **MAC 副層におけるアクセス制御による遅延**
通信遅延時間算出対象のパケットの生成時刻から送信時刻までの経過時間とする。車車間通信においてはキャリアセンス結果に基づく送信待機時間が含まれる。
- **伝搬遅延**
送信側でパケットの先頭が送信開始された時刻から受信側でパケットの先頭が受信開始される時刻までの経過時間とする。
- **パケット受信時間**
受信側でパケットの先頭が受信開始された時刻から受信を終える時刻までの経過時間とする。
- **セキュリティ処理時間**
受信側でパケットの受信を終えた時刻からセキュリティ処理を終える時刻までの経過時間とする。着目するパケットの直前に受信されたパケットのセキュリティ処理が行われている間バッファ内に保持されている時間が含まれる。なお、送信側のセキュリティ処理時間については考慮しない。

② 通信エラー

連続パケットロスとその頻度、およびパケット到達率を考慮する。

連続パケットロスは、受信側で送信パケットの受信に失敗し、連続して未到達となったパケット数の値とし、その値の連続パケットロスが発生した頻度をカウントする。

パケット到達率は、任意の評価区間 x [m]における送信パケット数および受信パケット数から算出する。具体的には、任意の地点における送信パケット数と受信パケット数を評価区間の距離分移動加算処理し、移動加算処理後の送信パケット数 N_{tx} と受信パケット数 N_{rx} から、1回送信当りのパケット到達率を算出する。今回評価区間 x は 10 とした。

$$N_{rx}/N_{tx}$$

N_{tx} : 評価区間 x において移動加算した送信パケット数

N_{rx} : 評価区間 x において移動加算した受信パケット数

パケットの受信失敗として以下を考慮する。

- 無線区間における受信失敗
具体的には受信電力が受信感度を下回る場合、パケット同士の干渉により DU 比が所要値を下回る場合である。
- セキュリティ処理によるパケット破棄
受信側においてセキュリティ処理に伴うバッファ溢れを受信失敗とする。

③ 位置誤差

通信遅延時間と通信エラーの 2 つの要因による位置誤差を考慮する。

通信遅延時間による位置誤差は、送信側でメッセージを生成した時刻における送信車両位置と、受信側でメッセージを受信した時刻における送信車両の位置との差により算出する。

通信エラーによる位置誤差は、通信エラー発生直前のメッセージを送信側で生成した時刻における送信車両位置と、その送信時刻から通信エラー期間（パケットロスにより受信側で送信側のメッセージを受信できない期間。仮に 2 つのパケットが連続してロストした場合、通信エラー期間は 300ms となる）に送信車両が実際に進んだ位置との差とする。

2) 評価方法

交通流シミュレータと無線ネットワークシミュレータを用いて評価を行った。

交通流シミュレータは、道路構造、信号等の交通規則、及び他車両の状態に応じた車両の動きをシミュレートする機能を有する。道路構造条件、交通流条件、信号条件、車両密度条件により初期配置した車両が移動開始して条件に従った車両移動が行われる。

無線ネットワークシミュレータは、路側機と車載機の無線通信をシミュレートする機能を有する。無線部として ARIB STD-T109 で規定されたプロトコルを実装し、伝搬モデルには路車間伝搬モデル、車車間伝搬モデルを実装する(伝搬モデルの詳細は後述の評価条件⑤、⑥を参照)。シミュレーションにおける路車間通信と車車間通信では、物理層からアプリケーション層までの動作が模擬される。

3) 評価条件

本シミュレーションでは下記の諸条件を定義して詳細を設定した。以下にシミュレーション条件を示す。

① 車載機の送信条件

全ての車載機においてペイロード長 100byte 固定長のパケットを送信するものとする。

その際、ARIB STD-T109 及び ITS FORUM RC-010 に規定されるプロトコルヘッダを考慮し、23byte のヘッダを追加する。

② 路側機の送信条件

路側機が一度に送信するデータは複数のパケットで構成するものとする。送信データ量が相対的に多い重要交差点と相対的に少ない一般交差点を想定し、重要交差点はペイロード長 1000byte×4 パケット、一般交差点はペイロード長 1000byte×1 パケットとする。路車間通信期間はこれらのデータ量に応じて設定した。その際、ARIB STD-T109 及び ITS FORUM RC-010 に規定されるプロトコルヘッダを考慮し、27byte のヘッダを追加する。また、各パケットの分割は考慮しない。

③ 車載機のセキュリティ処理モデル

通信遅延時間の評価においてセキュリティ処理時間を考慮するために仮定したセキュリティ処理モデルについて説明する。

車載機が受信したパケットは ARIB STD-T109 の各層を経てセキュリティ処理部に受け渡されると、受信された順にセキュリティ処理用のキューに入力される。

パケットは入力された順に 1 つずつ取り出され、送信元の種別（車載機か路側機）、送信元が路側機の場合は一度に送信するデータの先頭パケットかどうかに応じて、予め設定した処理遅延が経過した後にセキュリティ処理が終了する。

セキュリティ処理が終了したパケットはアプリケーションに受け渡される。但し、送信元が路側機の場合、先頭パケットが無線区間における受信失敗またはセキュリティ処理によるパケット破棄によってセキュリティ処理が行われていない場合、2 番目以降のパケットは破棄されアプリケーションには受け渡されない。

セキュリティ処理の処理遅延は、送信元が車載機の場合 30us、路側機の場合、先頭パケット：4700us、2 番目パケット以降：200us とした。セキュリティヘッダサイズは送信元が車載機の場合 27byte、路側機の場合、先頭パケット：385byte（重要交差点）、301byte（一般交差点）、2 番目パケット以降：56byte とした。

④ 通信条件

通信方式におけるパラメータを以下の条件で設定する。

表 5.2.5.2-1 通信方式

項目	車載機	路側機
周波数	760MHz	
送信電力	19.2dBm (10dBm/MHz)	
変調方式	QPSK	16QAM
アンテナ高	1.2m	6m
アンテナ指向性	無指向性	
アンテナ利得	0dBi	
給電線損失	3dB (受信側のみ考慮)	0dB
受信感度	-77dBm (16QAM : 路車受信) -82dBm (QPSK : 車車受信)	(受信は評価しない)
所要 DUR	14dB (16QAM : 路車受信) 9dB (QPSK : 車車受信)	(受信は評価しない)
キャリアセンスレベル	-85dBm	(キャリアセンスなし)
CW サイズ	63	
路車間通信期間の 転送回数	—	1
路車間通信期間の 通知	(プロトコル仕様に従って 動作)	各路側機はフィールド内に 存在する全路側機分の 路車間通信期間を通知
フェージング損失の 分布	正規分布 (損失のみを考慮)	—
フェージング損失の 標準偏差	3.89dB	1.89dB
車両遮蔽損失	LOS : 2.1dB、NLOS : 2.3dB (送受信点間距離>平均車頭 間隔の場合のみ)	0dB

⑤ 車車間伝搬モデル

車間通信では伝搬モデルとして伊藤・多賀モデル（参考文献[1][2]）を用いた。但し、送受信点に関する可逆性や見通し内外の伝搬損失の連続性を保証するために見通し外損失式の一部を変更した。また、回折回数は 2 回まで考慮した。さらに、送受信車両間に複数の伝搬経路が存在する場合には受信電力を真値で合計した。

⑥ 路車間伝搬モデル

参考文献[3]のモデルを用いた。

⑦ 道路条件

3 種類の道路を以下の条件で設定する。

表 5.2.5.2-2 道路条件

項目	幅	車線幅	分離帯幅	路肩・歩道幅	配置間隔	車線数
細街路	10m	3.5m	なし	1.5m	50m	片側 1 車線
主要道路	38m	3.5m	なし	12m	300m	片側 2 車線
幹線道路	50m	3.5m	5m	12m	-	片側 3 車線

⑧ 交通流条件

道路毎に車両密度、自由走行速度、交差点分岐率を以下の条件で設定する。

表 5.2.5.2-3 車両条件

項目	自由走行速度	車両密度条件 (23 台/km)	車両密度条件 (43 台/km)	分岐率
細街路	30km/h	16 台/km	30 台/km	0%
主要道路	40km/h	23 台/km	43 台/km	右左折各 10%
幹線道路	70km/h	23 台/km	43 台/km	右左折各 10%

各道路、各信号における車両の走行動作を以下の条件で設定する。

- 幹線道路、主要道路、細街路の交通は分離させる。
- 右左折は幹線道路同士及び主要道路同士のみを考慮。細街路は直進のみとする。
- 道路端に達した車両は反対方向に走行を開始する。
- 停止線は、細街路同士の交差点及び幹線・主要道路と細街路の交差点のうち幹線・主要道路上以外に設置する。幹線・主要道路と細街路の交差点の細街路上の停止線は直交する道路の道路端からセットバック 5m。それ以外はセットバック 2m とする。

信号の設置、動作について以下の条件で設定する。

- 信号は幹線道路・主要道路の間の交差点にのみ設定する。
- 青信号 57 秒→黄信号 3 秒→赤信号 60 秒を 1 周期とする。
- 細街路と幹線道路・主要道路の間は無信号交差点とする。
- 細街路上の車両は一旦停止後、幹線道路・主要道路側の交差点と無関係に直進とする。

⑨ 路側機配置、路側機の路車間通信期間の割り当て

路側機について、送信データ量が相対的に多い重要交差点に配置するものと、相対的に少ない一般交差点に配置するものの 2 種類の条件を設定した。

重要交差点配置の路側機は 2 つの路車間通信期間を割り当て、一般交差点の路側機には 1 つの路車間通信期間を割り当てる。

具体的な路車間通信期間の割り当てを図 5.2.5.2-1 に示す。路側機設置間隔は 300m とした。円が路側機配置場所を表し、円内に示した数字が路車間通信期間番号である。路車間通信期間番号が 2 つ書かれた円が重要交差点に配置された路側機となり、重要交差点の周辺 8 カ所の交差点が一般交差点に配置された路側機となる。

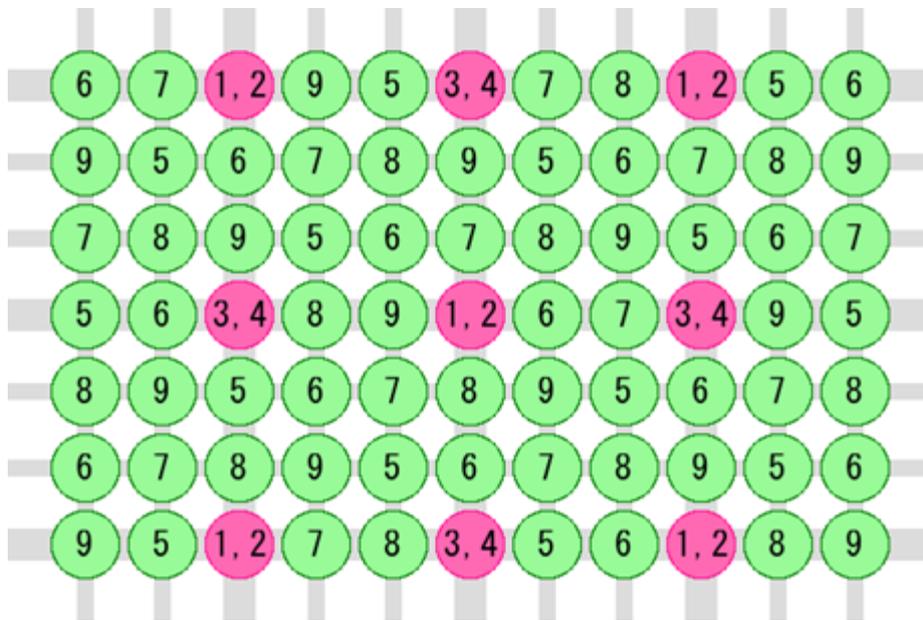


図 5.2.5.2-1 路車間通信期間の割り当て

⑩ 車両配置と周辺車両認知対象エリア

評価対象シーンにおける車両配置を図 5.2.5.2-2 に示す。右折車両が交差点に侵入する直前の場面を想定し、線道路同士の交差点の中心から左側に 49m の距離の幹線道路上の右端車線に右折車両を配置した。また、右折車両と走行車両が交錯する可能性のあるエリアを周辺車両認知の対象エリアとして設定した。右折車両は停止状態とし、交通流条件に従い走行する対象エリア上の車両との車車間通信特性を取得する。

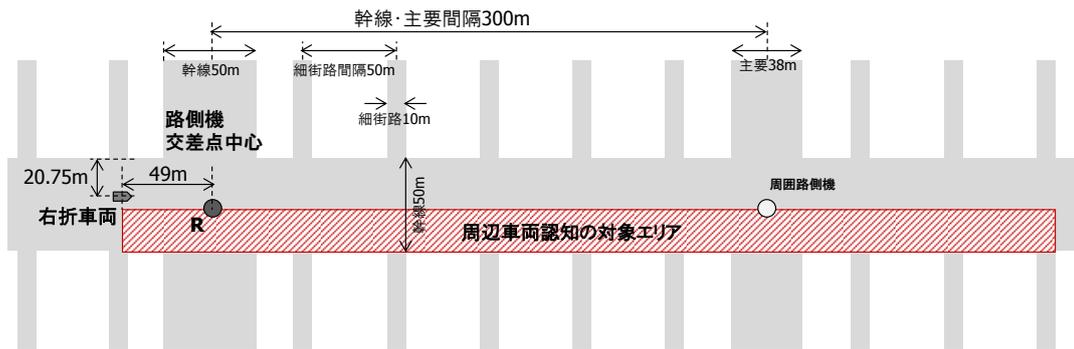


図 5.2.5.2-2 車両配置と周辺車両認知対象エリア

⑪ 車載機普及率

車両密度を 2 種類 (1 車線あたり 23、43 台/km)、車載機普及率を 4 種類 (10、20、50、100%) 設定した。

4) 評価結果

位置誤差に影響を与える要因として、通信遅延時間と連続パケットロス の 2 つを考慮する。はじめに通信遅延時間による位置誤差への影響を評価し、次に連続パケットロスによる位置誤差への影響を評価する。

① 通信遅延時間による位置誤差への影響

図 5.2.5.2-3～図 5.2.5.2-10 に通信遅延時間の距離特性、図 5.2.5.2-11～図 5.2.5.2-18 に通信遅延時間により発生する位置誤差の距離特性を示す。横軸は右折車両からの距離、縦軸はそれぞれ通信遅延時間、位置誤差である。

通信遅延時間についてみると、車両密度 43 台/km・車載機普及率 100%の場合に、右折車両からの距離が 50m 地点の交差点中心付近において最大 100ms 程度の通信遅延時間が発生していることがわかる。

位置誤差についてみると、車両密度 23 台/km・車載機普及率 100%と車両密度 43 台/km・車載機普及率 100%の場合に最大 1m 以上、車両密度 43 台/km・車載機普及率 100%の場合に、最大 2m 程度の誤差が通信遅延時間により生じることがわかる。

図 5.2.5.2-19～図 5.2.5.2-26 に通信遅延時間の分布特性、図 5.2.5.2-27～図 5.2.5.2-34 に通信遅延時間により発生する位置誤差の分布特性を示す。分布特性は、右折車両から 200m 以内の対象エリアにおける通信遅延時間、および位置誤差を集計した結果である。

位置誤差の分布をみると、通信遅延時間により 1m 以上の誤差が発生する確率は、車両密度 23 台/km・車載機普及率 100% の場合では 1% 未満、車両密度 43 台/km・車載機普及率 100% の場合ではおよそ 5% であった。

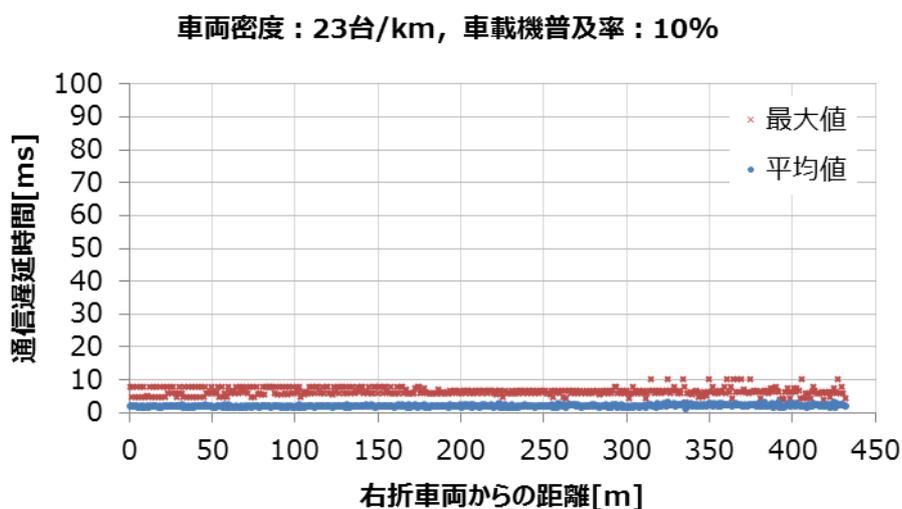


図 5.2.5.2-3 通信遅延時間の距離特性 (23 台/km、普及率 10%)

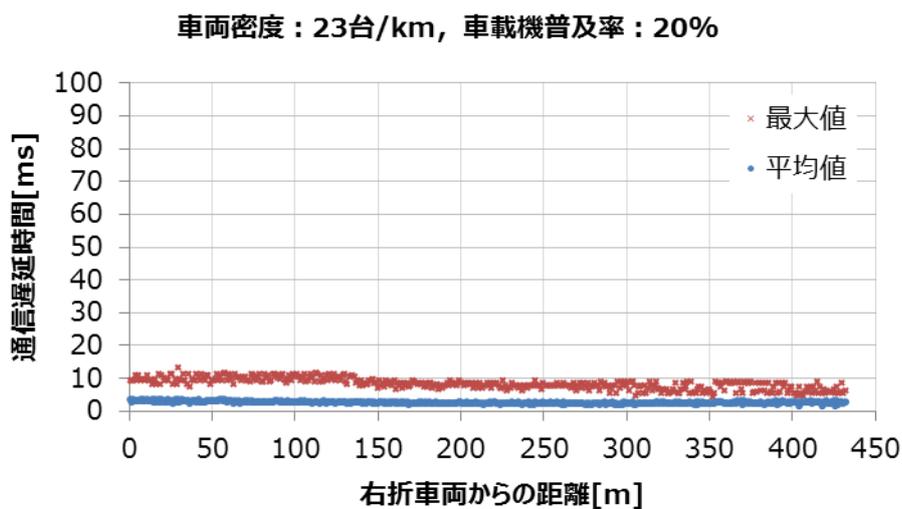


図 5.2.5.2-4 通信遅延時間の距離特性 (23 台/km、普及率 20%)

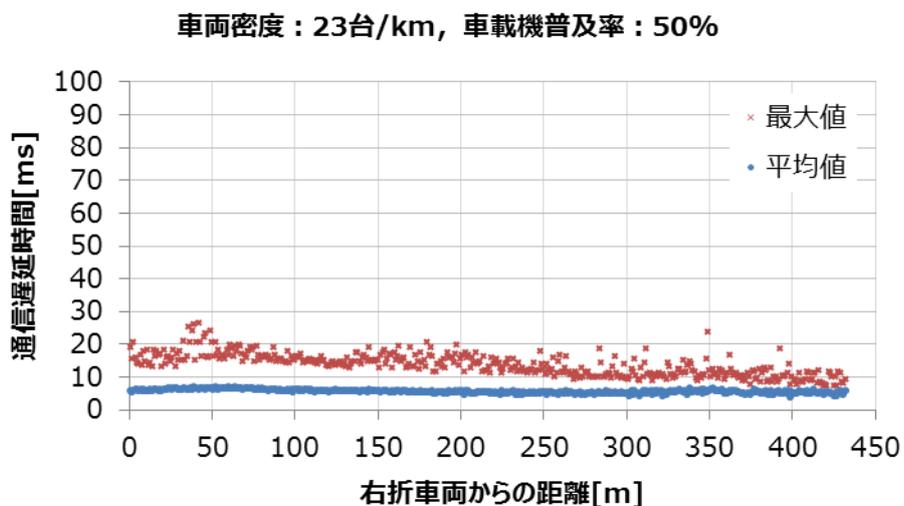


図 5.2.5.2-5 通信遅延時間の距離特性 (23 台/km、普及率 50%)

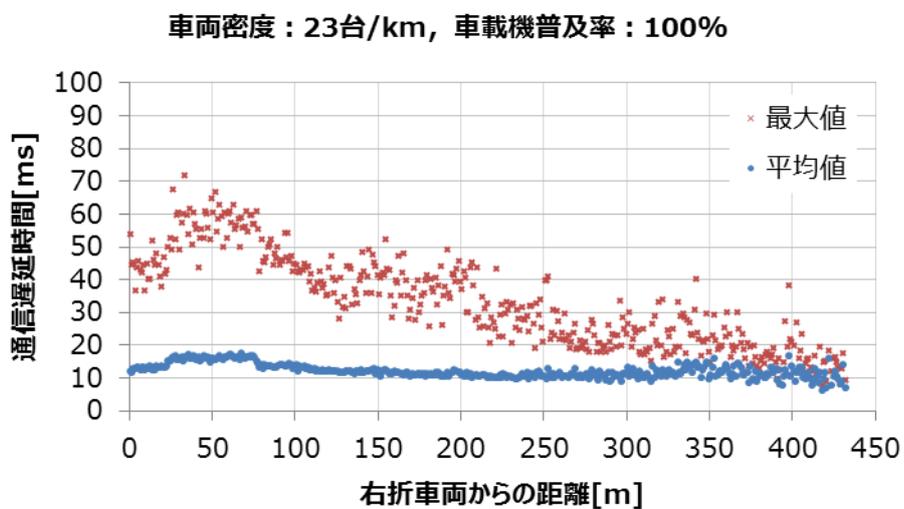


図 5.2.5.2-6 通信遅延時間の距離特性 (23 台/km、普及率 100%)

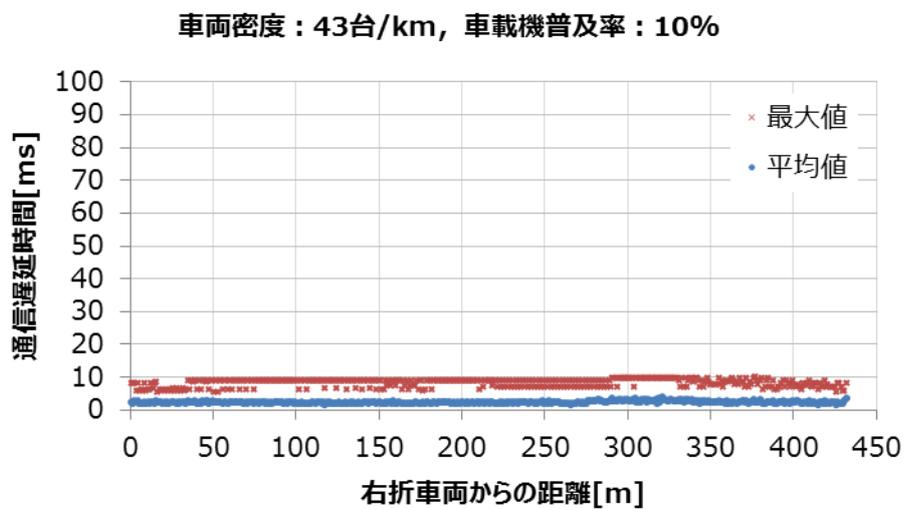


図 5.2.5.2-7 通信遅延時間の距離特性（43 台/km、普及率 10%）

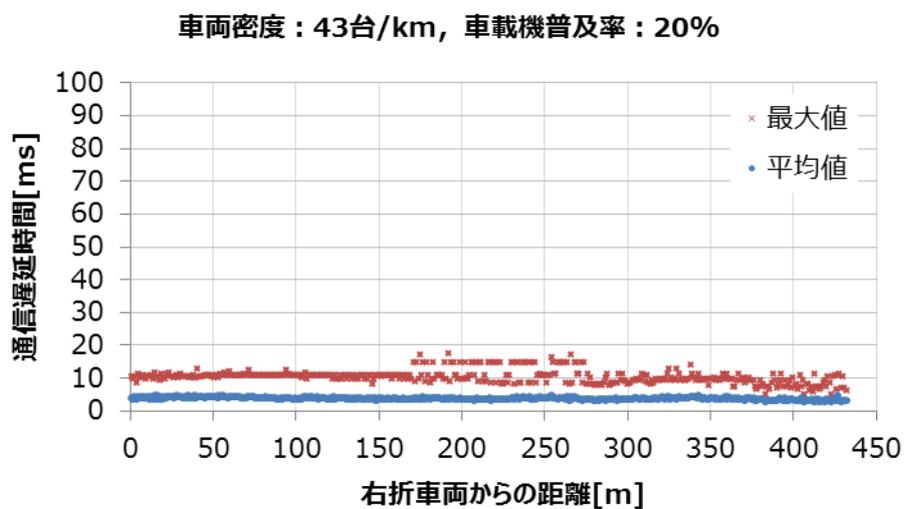


図 5.2.5.2-8 通信遅延時間の距離特性（43 台/km、普及率 20%）

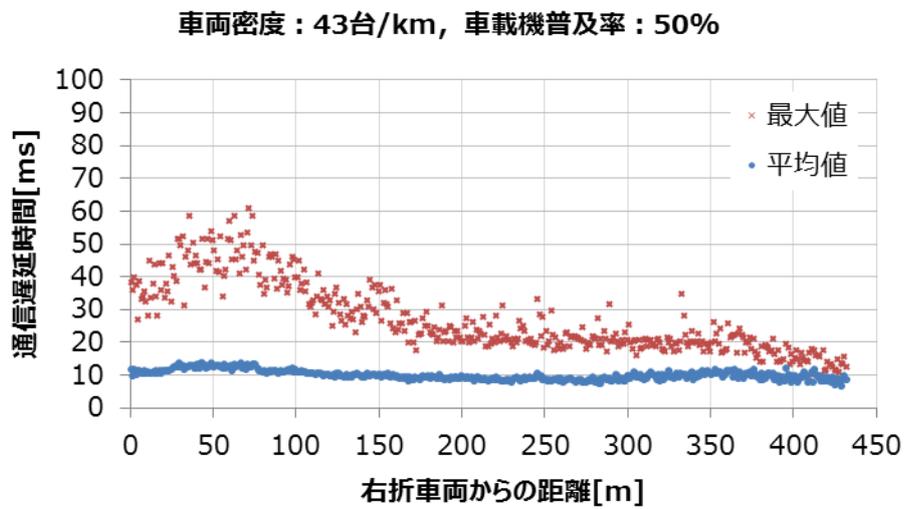


図 5.2.5.2-9 通信遅延時間の距離特性 (43 台/km、普及率 50%)

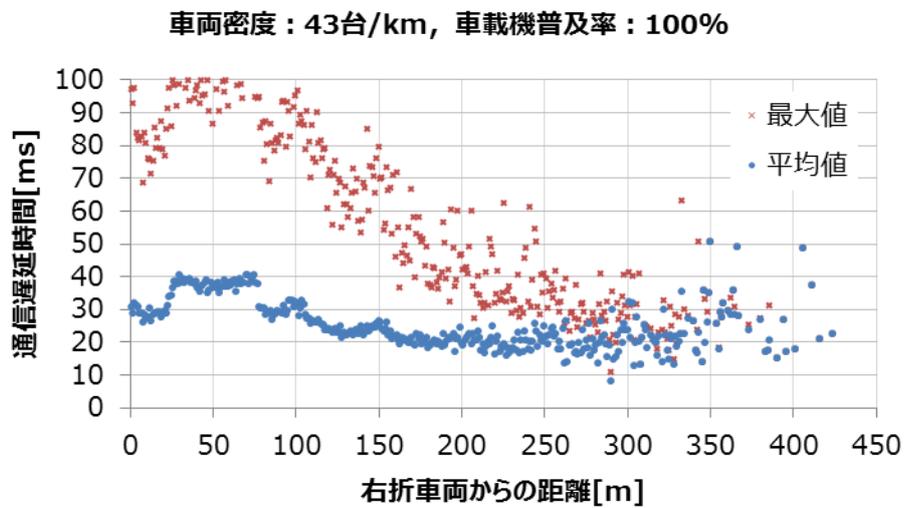


図 5.2.5.2-10 通信遅延時間の距離特性 (43 台/km、普及率 100%)

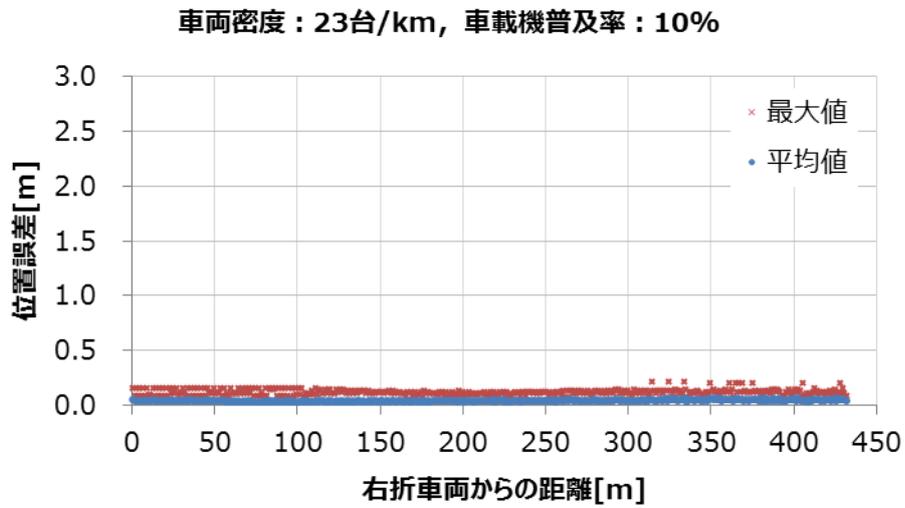


図 5. 2. 5. 2 - 1 1 位置誤差の距離特性 (23 台/km、普及率 10%)

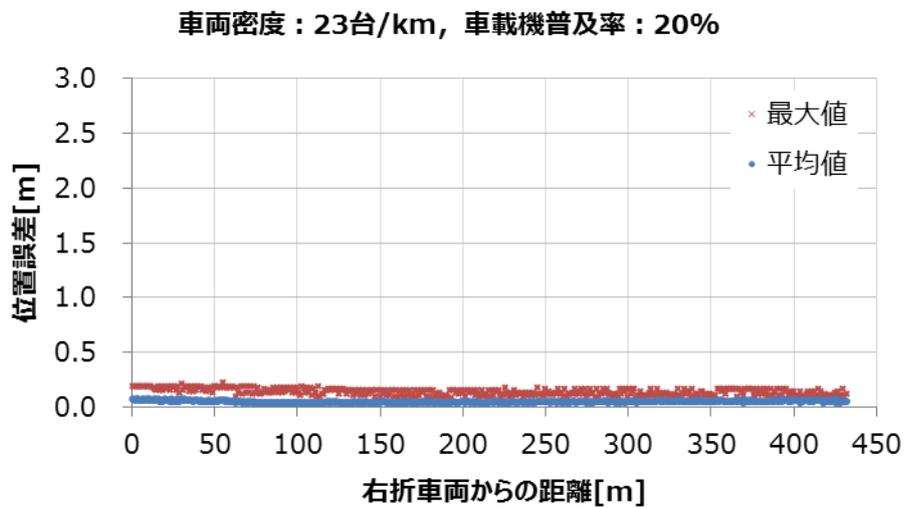


図 5. 2. 5. 2 - 1 2 位置誤差の距離特性 (23 台/km、普及率 20%)

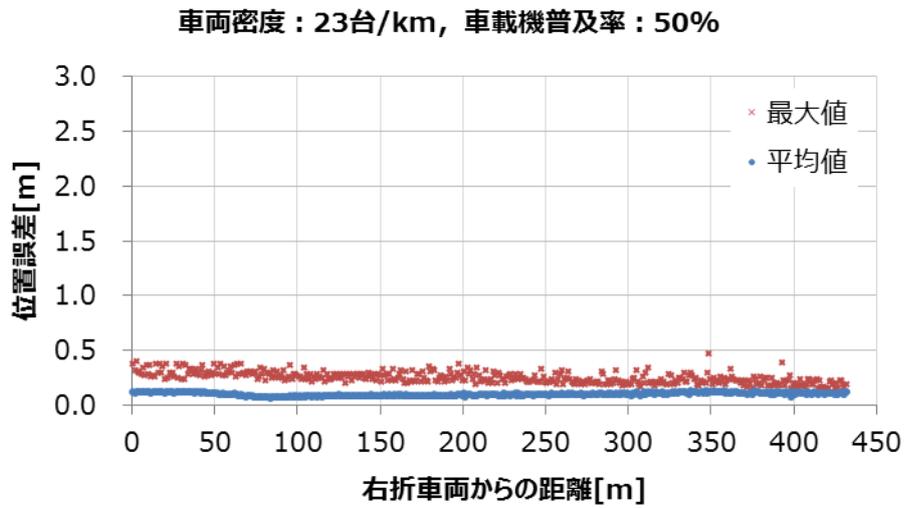


図 5.2.5.2-13 位置誤差の距離特性 (23 台/km、普及率 50%)

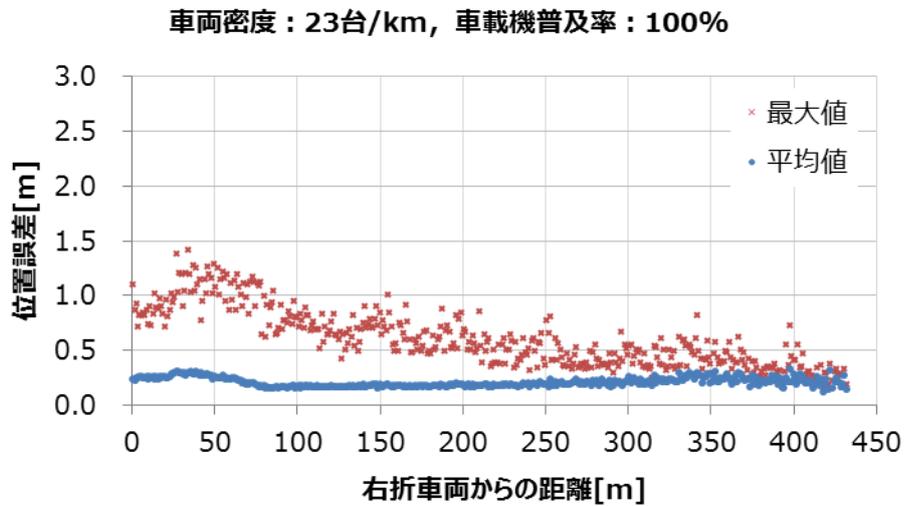


図 5.2.5.2-14 位置誤差の距離特性 (23 台/km、普及率 100%)

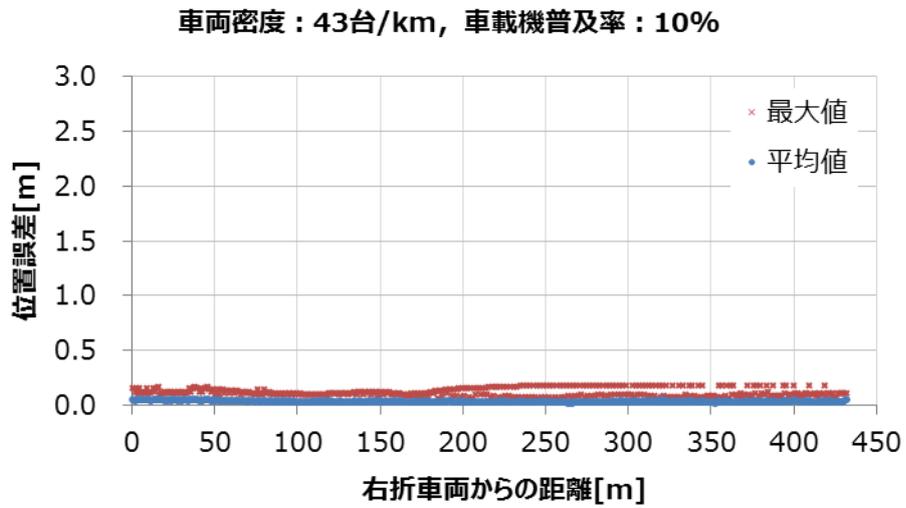


図 5. 2. 5. 2 - 1 5 位置誤差の距離特性 (43 台/km、普及率 10%)

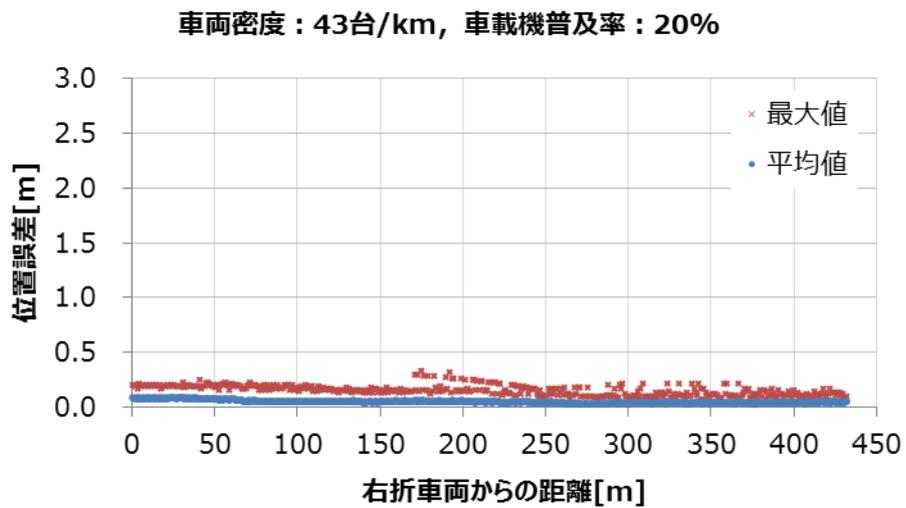


図 5. 2. 5. 2 - 1 6 位置誤差の距離特性 (43 台/km、普及率 20%)

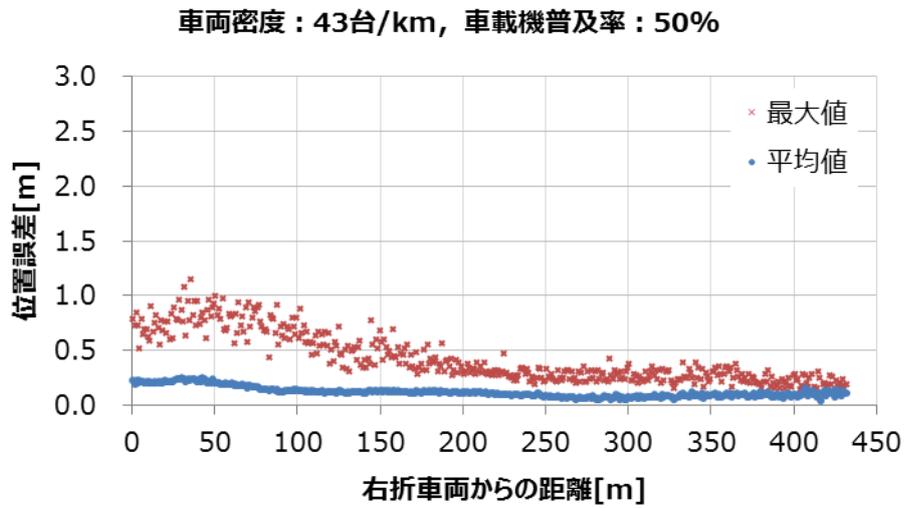


図 5.2.5.2-17 位置誤差の距離特性 (43 台/km、普及率 50%)

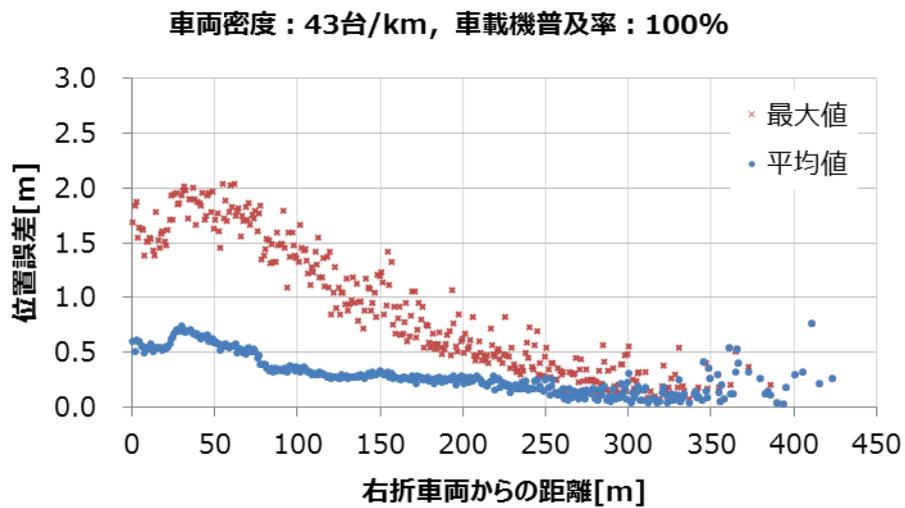


図 5.2.5.2-18 位置誤差の距離特性 (43 台/km、普及率 100%)

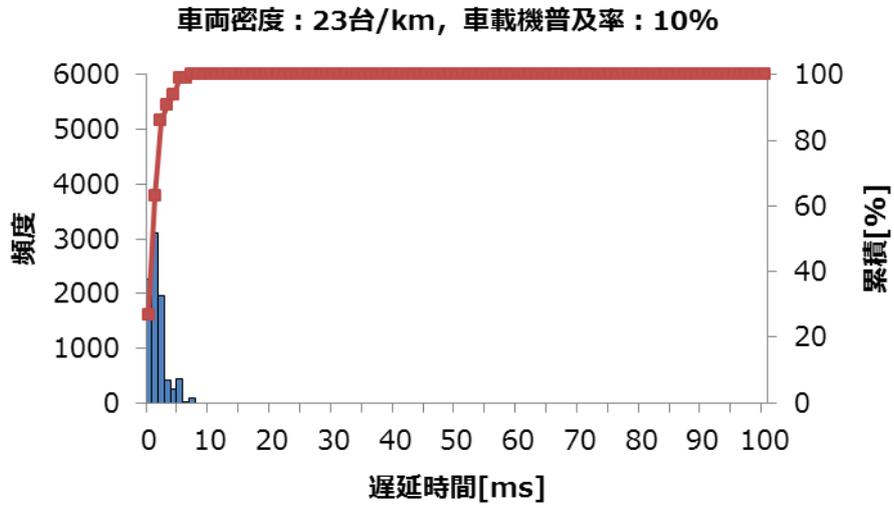


図 5.2.5.2-19 通信遅延時間の分布 (23 台/km、普及率 10%)

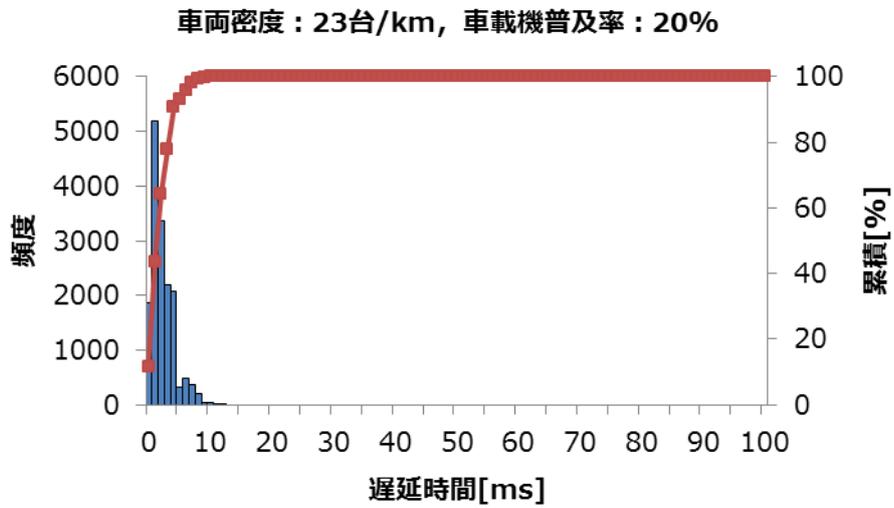


図 5.2.5.2-20 通信遅延時間の分布 (23 台/km、普及率 20%)

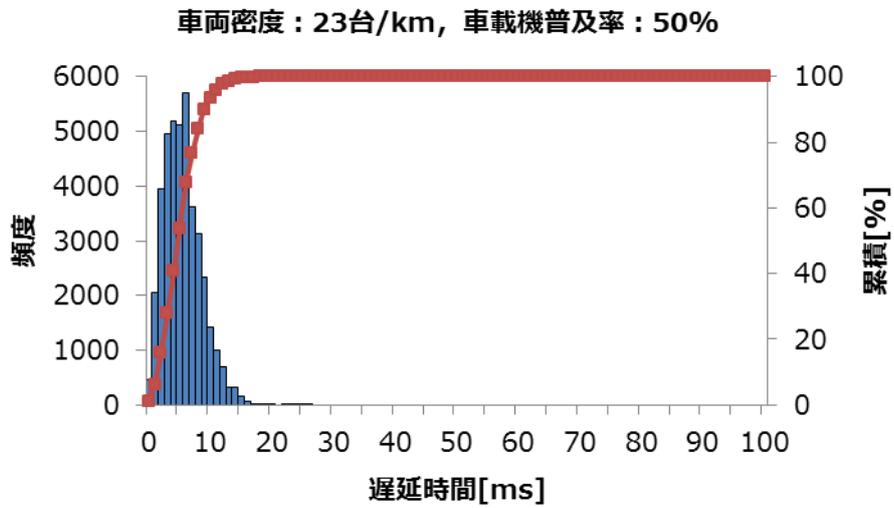


図 5.2.5.2-2.1 通信遅延時間の分布 (23 台/km、普及率 50%)

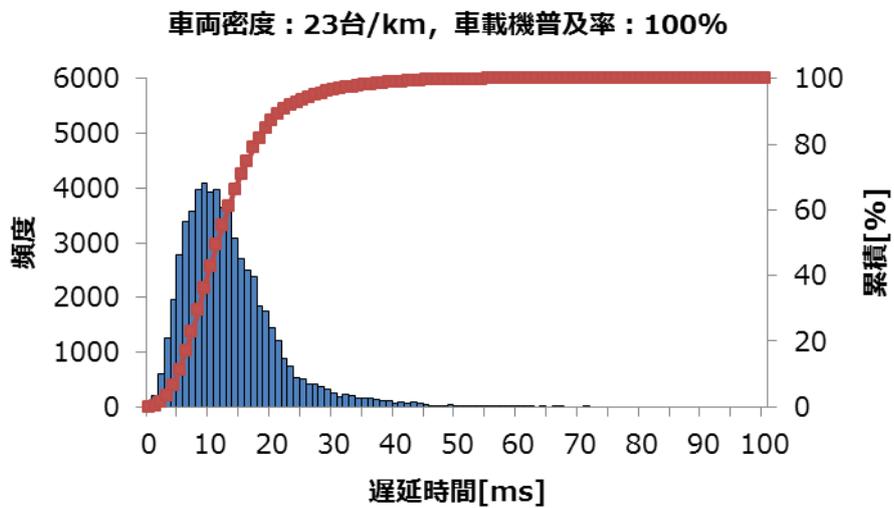


図 5.2.5.2-2.2 通信遅延時間の分布 (23 台/km、普及率 100%)

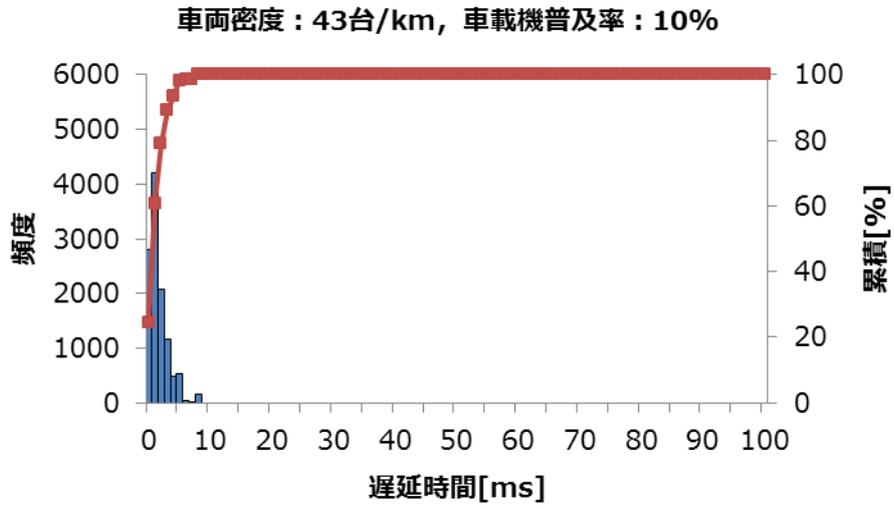


図 5.2.5.2-2.3 通信遅延時間の分布 (43 台/km、普及率 10%)

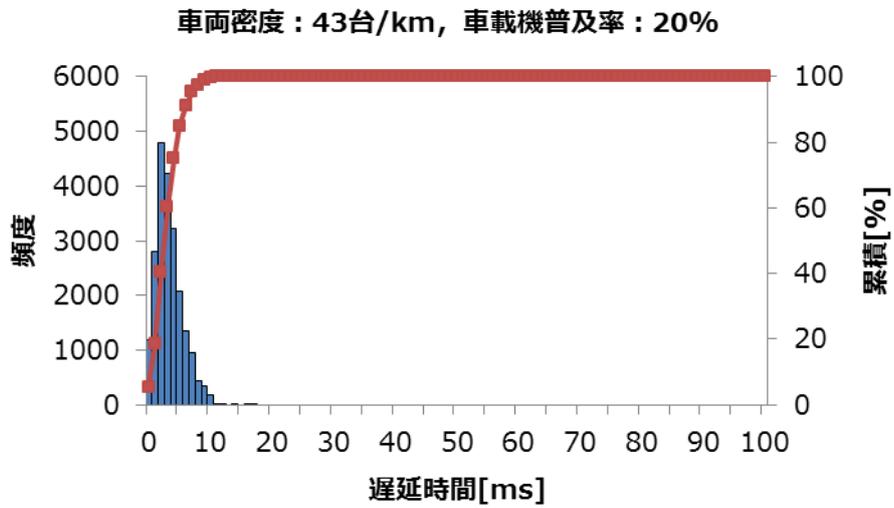


図 5.2.5.2-2.4 通信遅延時間の分布 (43 台/km、普及率 20%)

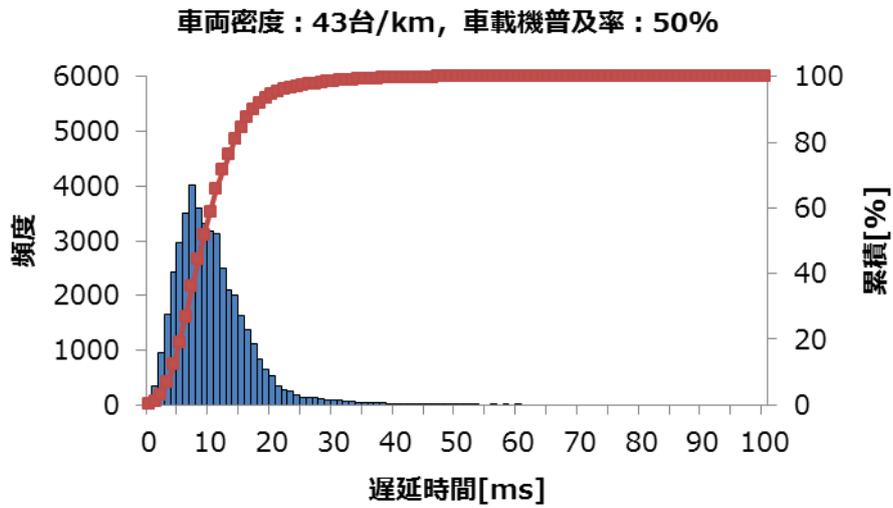


図 5.2.5.2-25 通信遅延時間の分布 (43 台/km、普及率 50%)

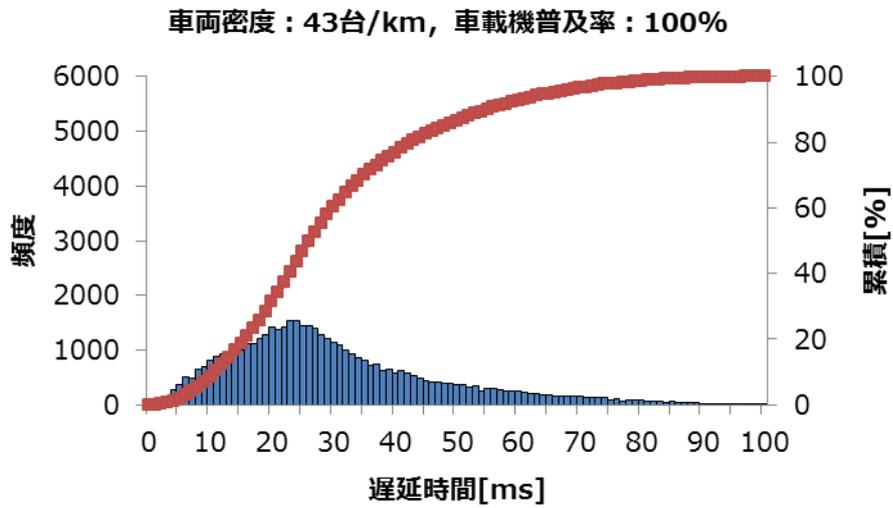


図 5.2.5.2-26 通信遅延時間の分布 (43 台/km、普及率 100%)

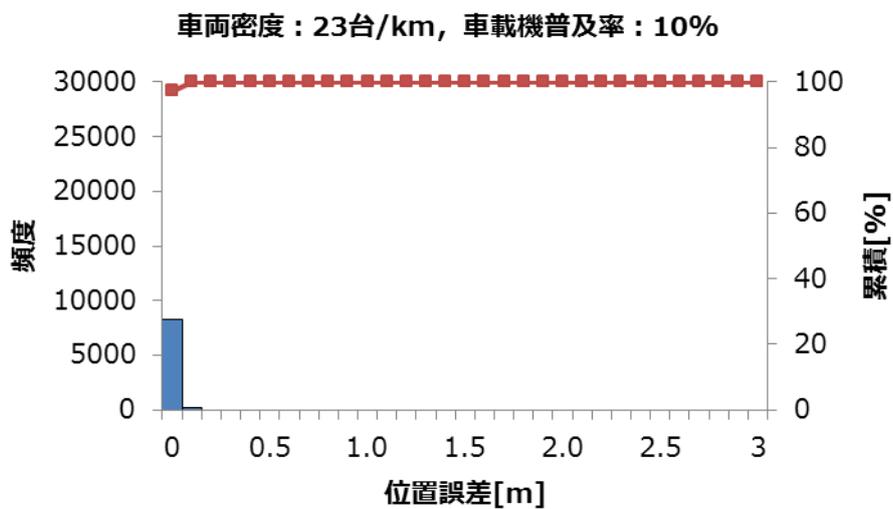


図 5.2.5.2-27 位置誤差の分布 (23 台/km、普及率 10%)

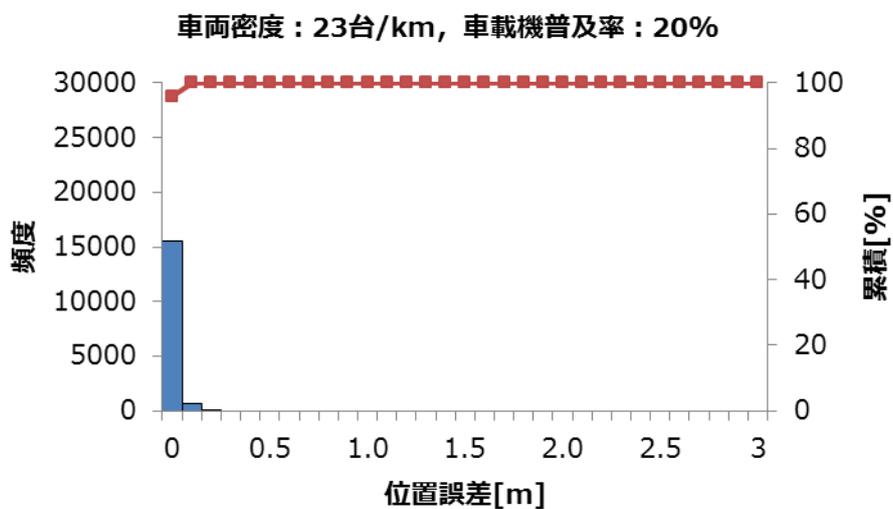


図 5.2.5.2-28 位置誤差の分布 (23 台/km、普及率 20%)

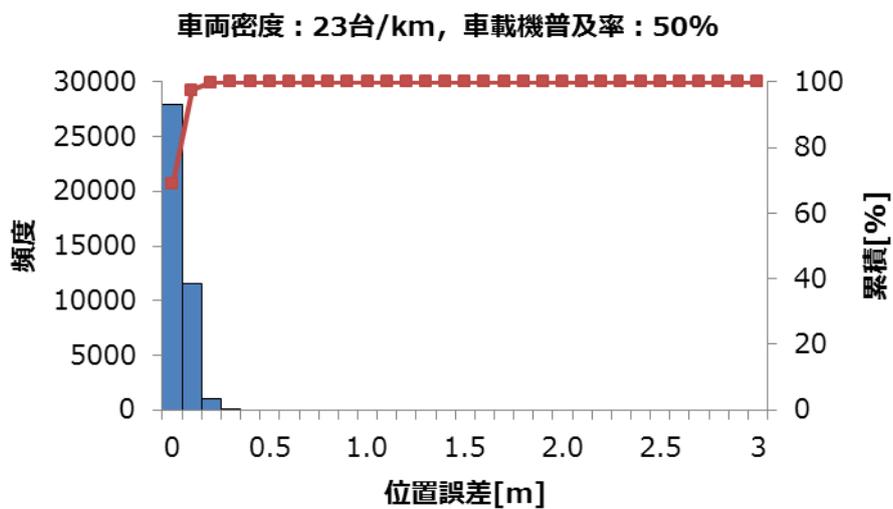


図 5.2.5.2-29 位置誤差の分布 (23 台/km、普及率 50%)

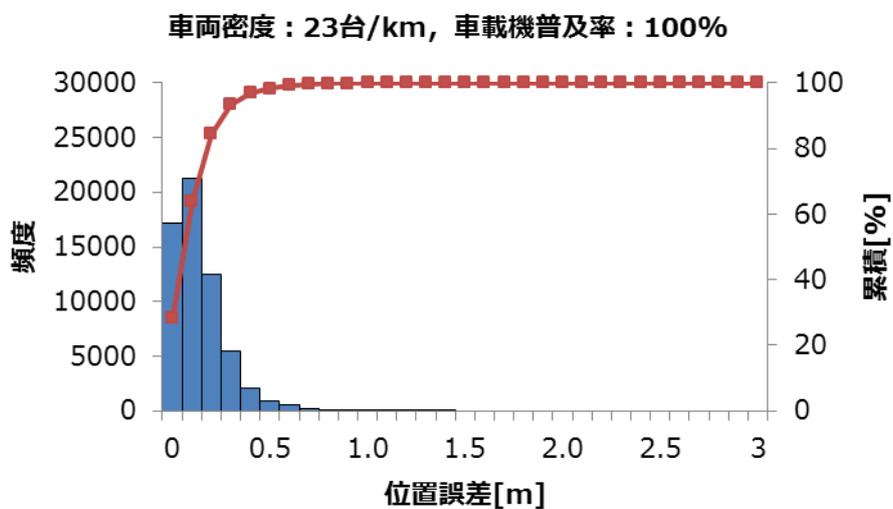


図 5.2.5.2-30 位置誤差の分布 (23 台/km、普及率 100%)

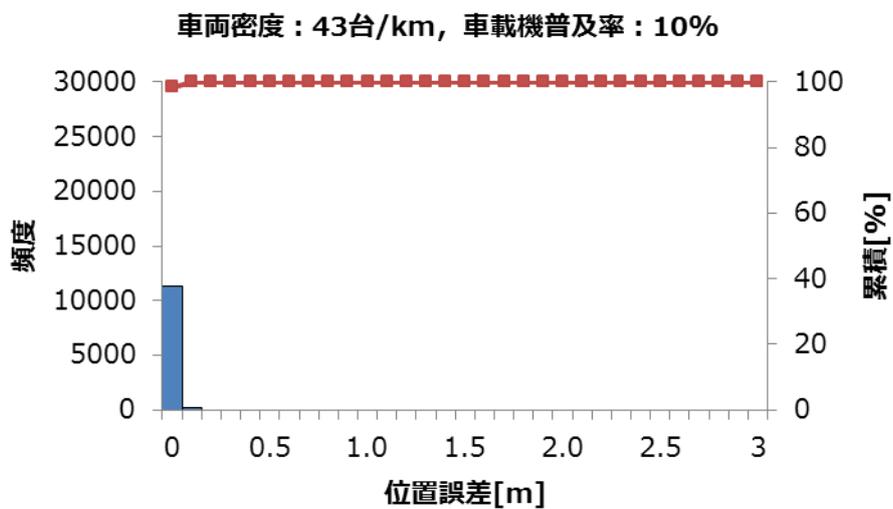


図 5.2.5.2-3.1 位置誤差の分布 (43 台/km、普及率 10%)

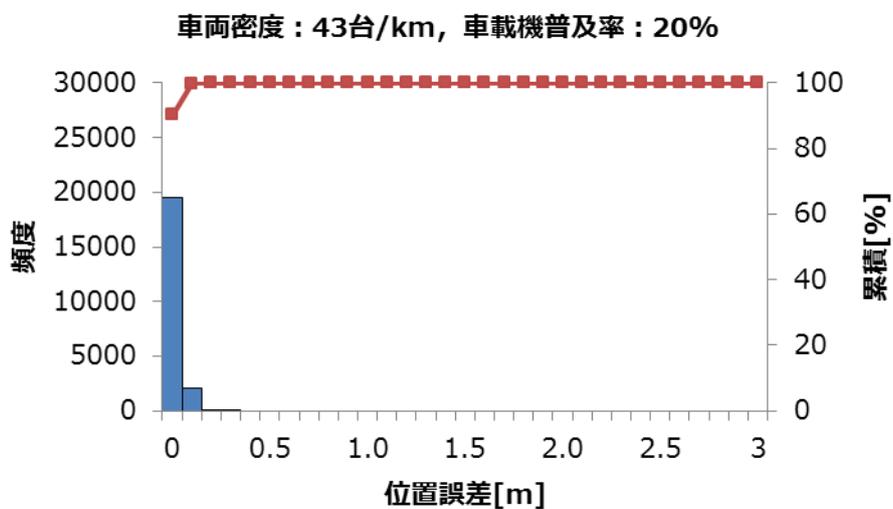


図 5.2.5.2-3.2 位置誤差の分布 (43 台/km、普及率 20%)

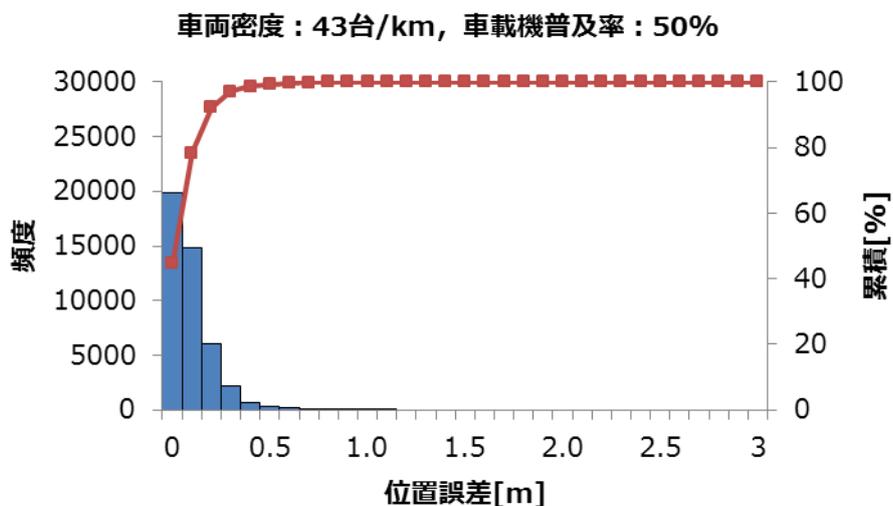


図 5.2.5.2-33 位置誤差の分布 (43 台/km、普及率 50%)

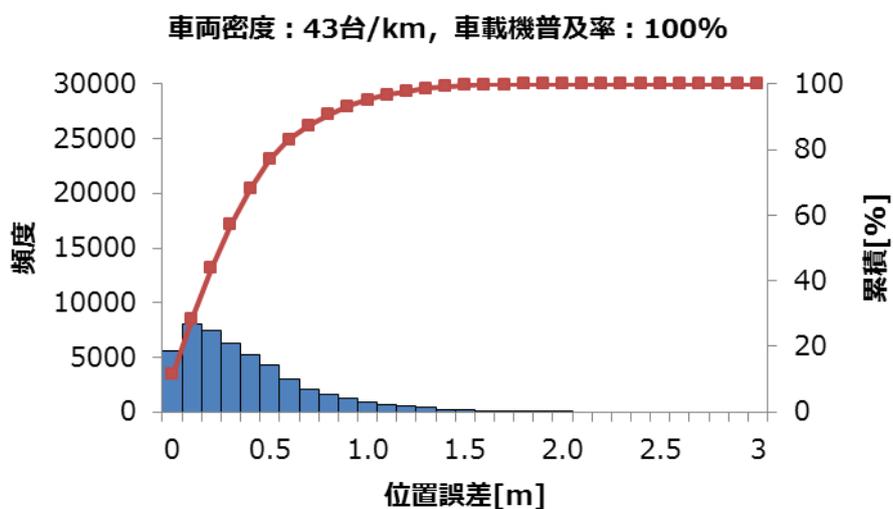


図 5.2.5.2-34 位置誤差の分布 (43 台/km、普及率 100%)

② 通信エラーによる位置誤差への影響

表 5.2.5.2-4～表 5.2.5.2-11 に連続パケットロスの発生頻度をまとめた表を示す。右折車両から 200m 以内の対象エリアを 50m 間隔で 4 つの区間（右折車両から近い順に 0-50m 区間、50-100m 区間、100-150m 区間、150-200m 区間とする）に区切り、各区間における連続パケットロスの発生頻度を集計している。また、表の最下段は、各区間において車両が右折車両に送信したパケットの総数（送信パケット数）を示している。

右折車両から距離が近い区間では、値の大きな連続パケットロスの発生頻度が減少する傾向がある。通信トラフィックが最大となる車両密度 43 台/km・車載機普及率 100%の場合において、0-50m 区間では 5 以上の連続パケットロスの発生頻度は、送信パケット 15000 回に対して 16 回程度の割合である。

「① 通信遅延時間による位置誤差への影響」節で述べたように、通信遅延時間により 1m 以上の位置誤差が発生するのは、車両密度 43 台/km・車載機普及率 100%においておよそ 5%である。一方、連続パケットロスにより 1 万回に 10 回程度の割合ではあるが 5 パケット以上連続してロスし、受信側で送信側のメッセージを受信できない期間が 600-1000ms 程度生じることとで、最大でも 100ms 程度である通信遅延時間の影響よりも大きな位置誤差が発生する可能性がある。

表 5.2.5.2-4 連続パケットロスの発生頻度 (23 台/km、普及率 10%)

		区間[m]				全区間合計
		0-50	50-100	100-150	150-200	0-200
連続パケットロス数	0	1479	2390	2140	2037	8046
	1-5	18	108	100	88	314
	6-10	0	0	2	1	3
	11-15	0	0	0	1	1
	16-20	0	0	0	0	0
	21-25	0	0	0	0	0
	26以上	0	0	0	0	0
送信パケット数		1502	2541	2314	2191	8548

表 5.2.5.2-5 連続パケットロスの発生頻度 (23 台/km、普及率 20%)

		区間[m]				全区間合計
		0-50	50-100	100-150	150-200	0-200
連続パケットロス数	0	2411	5009	4049	3503	14972
	1-5	77	244	344	342	1007
	6-10	0	0	2	7	9
	11-15	0	0	1	0	1
	16-20	0	0	0	0	0
	21-25	0	0	0	0	0
	26以上	0	0	0	0	0
送信パケット数		2508	5322	4578	4084	16492

表 5.2.5.2-6 連続パケットロスの発生頻度 (23 台/km、普及率 50%)

		区間[m]				全区間合計
		0-50	50-100	100-150	150-200	0-200
連続パケットロス数	0	6617	12352	8715	6287	33971
	1-5	395	1522	1997	2022	5936
	6-10	0	3	38	43	84
	11-15	0	0	3	2	5
	16-20	0	0	1	0	1
	21-25	0	0	0	0	0
	26以上	0	0	0	0	0
送信パケット数		7060	14315	11983	9882	43240

表 5.2.5.2-7 連続パケットロスの発生頻度 (23 台/km、普及率 100%)

		区間[m]				全区間合計
		0-50	50-100	100-150	150-200	0-200
連続パケットロス数	0	10558	16422	9973	4971	41924
	1-5	1454	5381	5609	4050	16494
	6-10	0	28	183	233	444
	11-15	0	2	21	40	63
	16-20	0	0	2	7	9
	21-25	0	0	0	2	2
	26以上	0	0	0	0	0
送信パケット数		12284	24284	21153	15020	72741

表 5.2.5.2-8 連続パケットロスの発生頻度 (43 台/km、普及率 10%)

		区間[m]				全区間合計
		0-50	50-100	100-150	150-200	0-200
連続パケットロス数	0	1731	3307	3147	2500	10685
	1-5	33	113	161	225	532
	6-10	0	1	2	5	8
	11-15	0	0	0	0	0
	16-20	0	0	0	0	0
	21-25	0	0	0	0	0
	26以上	0	0	0	0	0
送信パケット数		1773	3463	3394	2885	11515

表 5.2.5.2-9 連続パケットロスの発生頻度 (43 台/km、普及率 20%)

		区間[m]				全区間合計
		0-50	50-100	100-150	150-200	0-200
連続パケットロス数	0	3212	6620	5707	3651	19190
	1-5	121	500	671	868	2160
	6-10	0	0	11	15	26
	11-15	0	0	0	1	1
	16-20	0	0	0	0	0
	21-25	0	0	0	0	0
	26以上	0	0	0	0	0
送信パケット数		3352	7265	6741	5118	22476

表 5.2.5.2-10 連続パケットロスの発生頻度 (43 台/km、普及率 50%)

		区間[m]				全区間合計
		0-50	50-100	100-150	150-200	0-200
連続パケットロス数	0	7346	11704	8993	4169	32212
	1-5	826	2840	3968	2891	10525
	6-10	1	8	95	183	287
	11-15	0	1	9	35	45
	16-20	0	0	1	4	5
	21-25	0	0	0	2	2
	26以上	0	0	1	0	1
送信パケット数		8324	15517	16184	11398	51423

表 5.2.5.2-11 連続パケットロスの発生頻度 (43 台/km、普及率 100%)

		区間[m]				全区間合計
		0-50	50-100	100-150	150-200	0-200
連続パケットロス数	0	10422	10150	3802	466	24840
	1-5	3281	8419	5969	1079	18748
	6-10	16	346	953	329	1644
	11-15	0	34	261	159	454
	16-20	0	7	104	53	164
	21-25	0	1	47	23	71
	26以上	0	0	19	16	35
送信パケット数		15075	28310	30944	9591	83920

図 5.2.5.2-35～図 5.2.5.2-42 にパケット到達率の距離特性を示す。横軸は右折車両からの距離、縦軸はパケット到達率を示す。

車両密度 43 台/km・車載機普及率 100%において、右折車両から 50m 離れた地点のパケット到達率はおよそ 60%、200m 離れた地点のパケット到達率は 10%以下である。

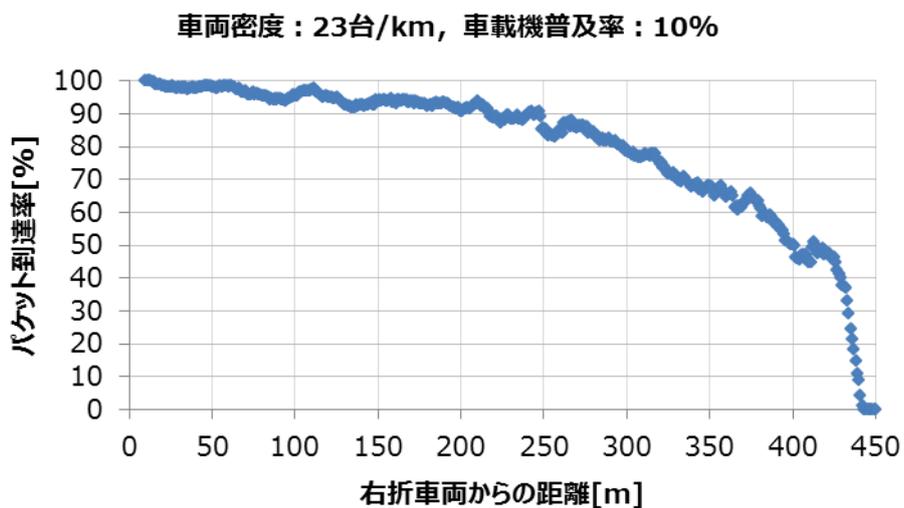


図 5.2.5.2-35 パケット到達率 (23 台/km、普及率 10%)

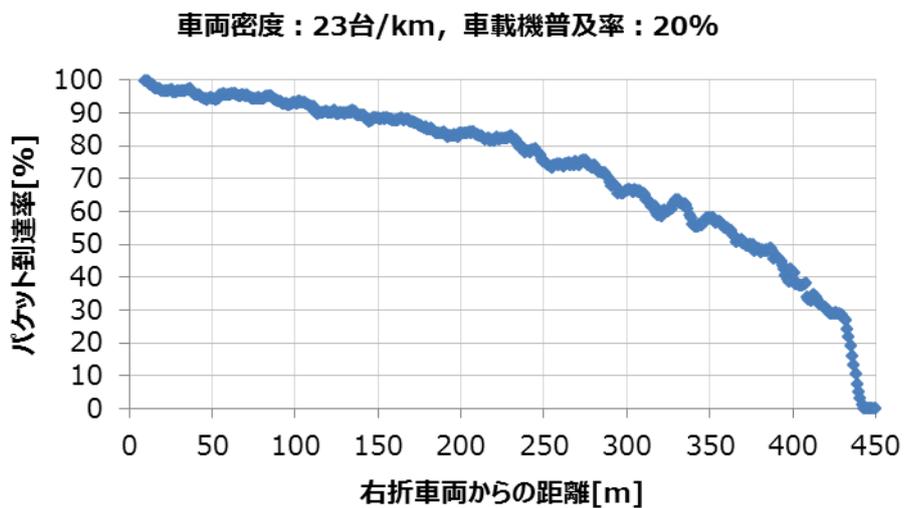


図 5.2.5.2-36 パケット到達率 (23 台/km、普及率 20%)

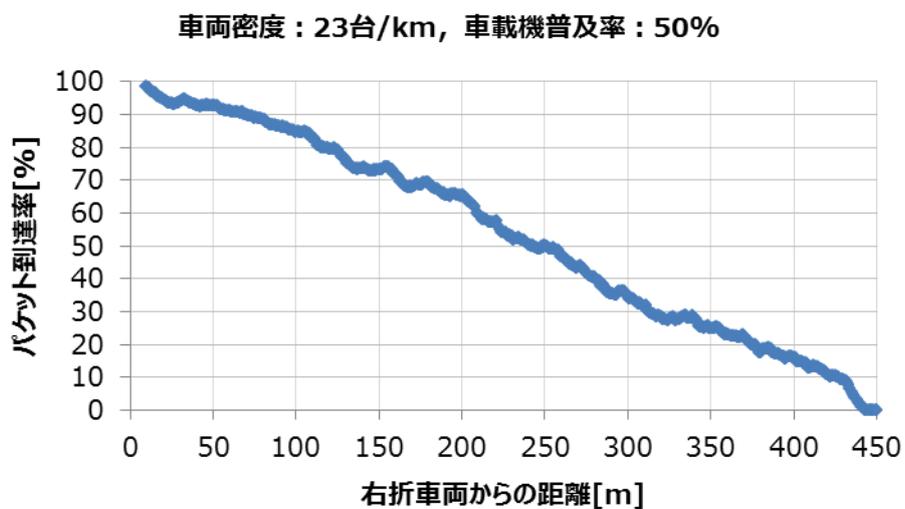


図 5.2.5.2-37 パケット到達率 (23 台/km、普及率 50%)

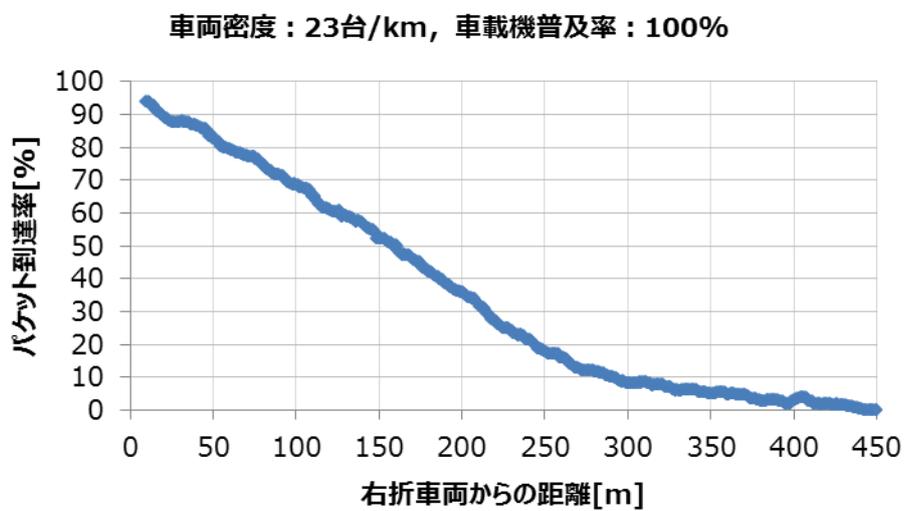


図 5.2.5.2-38 パケット到達率 (23 台/km、普及率 100%)

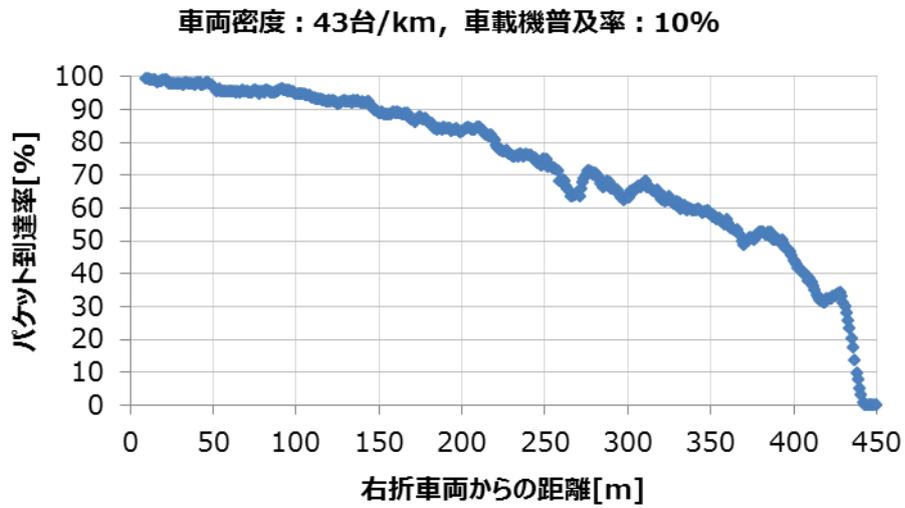


図 5.2.5.2-39 パケット到達率 (43 台/km、普及率 10%)

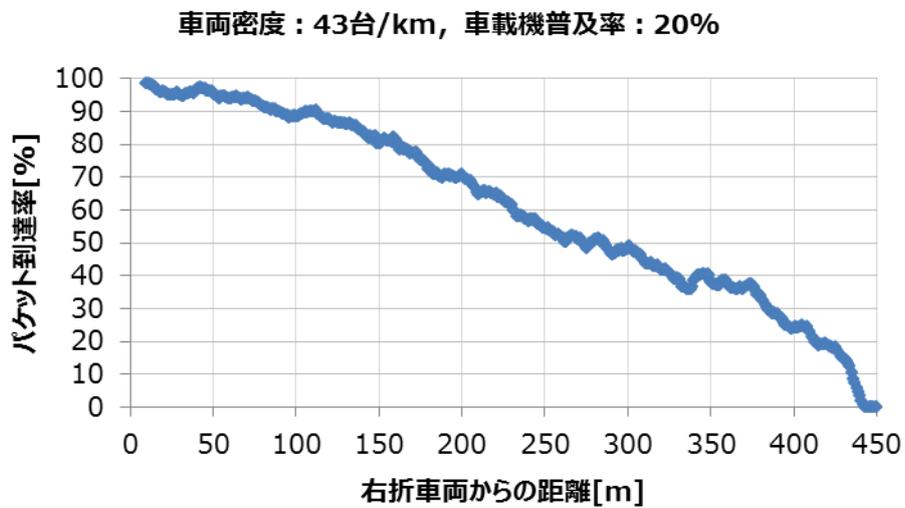


図 5.2.5.2-40 パケット到達率 (43 台/km、普及率 20%)

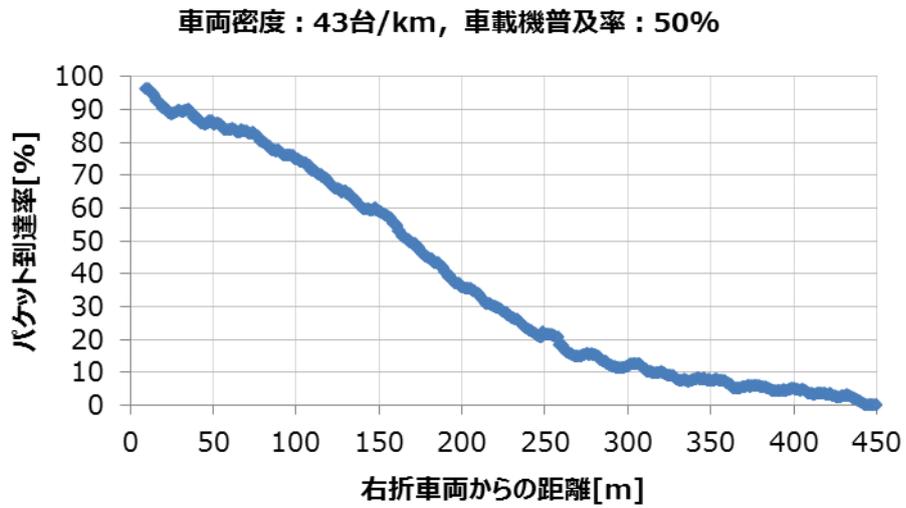


図 5.2.5.2-4.1 パケット到達率 (43 台/km、普及率 50%)

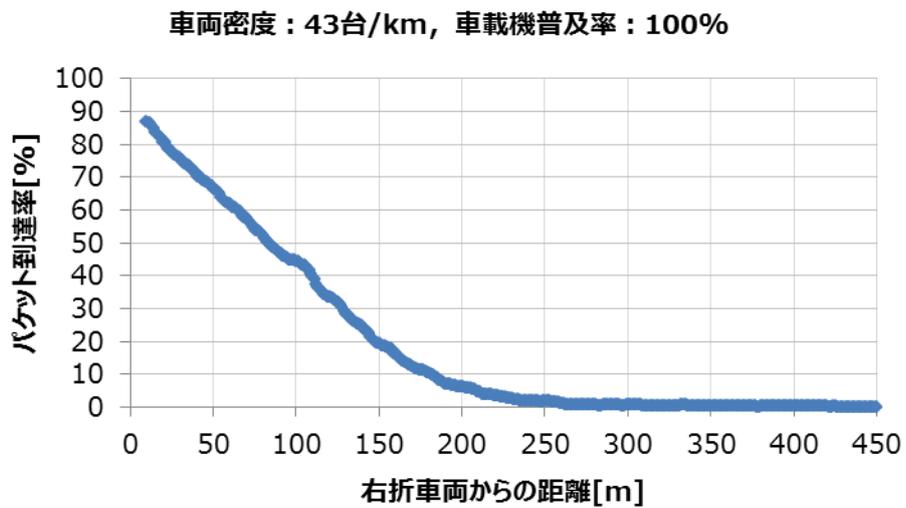


図 5.2.5.2-4.2 パケット到達率 (43 台/km、普及率 100%)

5.2.6. まとめ

本節では、700MHz 帯 ITS 通信を協調型自動走行システムに適用した場合における通信特性を取得することで、その通信要件を満足可能か、またその通信性能及び通信機能による適用範囲がどこまでかを明らかにした。検討対象とする協調型自動走行システムのユースケースについては、自工会および SIP ダイナミックマップ SWG で検討されている内容を基にした。まず、このユースケースの中から 2 つのユースケース（自専道での協調型合流支援、交差点での周辺車両認知）を選定し、通信仕様における制約事項等を抽出した。次に選定したユースケース毎に想定される走行シーンを設定し、その走行シーンにおける通信特性について、実験及びシミュレーションによりデータを取得し、分析・考察を行った。以下に、ユースケース毎の結果をまとめる。

1) 自専道での協調型合流支援

テストコース実験では、通信台数の増加によりパケット到達率が低下し、選定したユースケースの通信要件、パケット到達率 99%を下回る結果となった。通信台数の増加によりパケットが衝突する頻度が増えたためと考えられる。しかしながら、合意形成成功率という点では、実験結果から得られたパケット到達率 97%においても、99.979%という高い確率が達成でき、これはユースケースで想定される条件から導かれる合意形成成功率 99.96%を上回る結果となった。

公道実験では、通信台数 2 台の条件において、テストコース実験に比べ試行回数が少ないものの、テストコース実験と同様にパケット到達率は 99%以上となった。通信特性の与える影響は、周囲の伝搬環境より通信台数の増加が大きいと考えられる。

シミュレーションの評価結果を表 5.2.4.3.5-2 に示す。テストコース実験と同様に、通信台数の増加によりパケット到達率が低下する結果が得られた。また、シミュレーションでは、700MHz 帯 ITS 通信規格の仕様を拡張することを想定したユースケースに基づく通信シーケンス（通信シーケンス A 案）と、700MHz 帯 ITS 通信規格の仕様の範囲内で実現することを想定した最小送信間隔 100ms で要求メッセージと応答メッセージの交換を行う通信シーケンス（通信シーケンス B 案）を定義し評価した。

その結果、いずれの通信シーケンス案も、合意形成期のパケット到達率が 99%を下回る条件が多くなっていることが分かった。合意形成期は合流車両と受入車両の通信距離が離れ受信電力が低下するため、周囲の車両とのパケット衝突の影響が大きいと考えられる。

導出したパケット到達率をユースケースの通信要件であるパケット到達率 99%以上と比較すると、通信シーケンス A 案は、各期間のパケット到達率が全て 99%以上となる条件は本線走行速度 80km/h、車両間隔 2s または 3s および本線走行速度 60km/h、車両間隔 2s または 3s の場合となった。一方、通信シーケンス B 案は、本線 80km/h、車両間隔 3s の場合に、各期間のパケット到達率が 99%以上となった。

また、合意形成期の評価項目として、パケット到達率に変えて合意形成成功率に基づいて評価した場合、通信シーケンス A 案および B 案とも、いずれの本線走行速度において車両間隔 2s または 3s の場合に、合意形成成功率 99.96%以上、かつ車間確保期・合流実施期のパケット到達率 99%以上となった。

テストコース実験やシミュレーションにおいてパケット到達率が 99%を下回る要因としては、送信タイミング等の分析の結果から、パケット衝突の発生によるものと推定される。車両間隔が 1s の場合など、車両が比較的密な配置となり通信トラフィックが集中する場合に、パケット衝突の発生確率が高くなるものと推測される。パケット到達率を向上させるためには、パケット衝突への対策が課題となると考えられる。

表 5.2.6-1 評価結果 (表 5.2.4.3.5-2 の再掲)

(a) 通信シーケンス A 案

通信シーケンス	本線走行速度	車両間隔	合意形成期			車間確保期		合流実施期	
			要求パケット到達率*2*3	応答パケット到達率	合意形成成功率*4	要求パケット到達率	応答パケット到達率	要求パケット到達率	応答パケット到達率
A案	100km/h	3s	100.00%	98.64%	99.9997%	99.40%	99.33%	99.75%	—
		2s	100.00%	98.72%	99.9998%	99.15%	99.17%	99.61%	—
		1s	100.00%	97.28%	99.9980%	98.44%	98.55%	99.18%	—
	80km/h	3s	100.00%	99.60%	100.0000%	99.44%	99.56%	99.69%	—
		2s	100.00%	99.12%	99.9999%	99.30%	99.35%	99.52%	—
		1s	100.00%	98.24%	99.9995%	98.50%	98.64%	98.97%	—
	60km/h	3s	100.00%	99.04%	99.9999%	99.42%	99.53%	99.53%	—
		2s	100.00%	99.52%	100.0000%	99.15%	99.27%	99.34%	—
		1s	100.00%	98.24%	99.9995%	98.11%	98.43%	98.39%	—

(b) 通信シーケンス B 案

通信シーケンス	本線走行速度	車両間隔	合意形成期			車間確保期		合流実施期	
			要求パケット到達率*2	応答パケット到達率	合意形成成功率*4	要求パケット到達率	応答パケット到達率	要求パケット到達率	応答パケット到達率
B案	100km/h	3s	98.24%	98.48%	99.9966%	99.45%	99.37%	99.72%	99.79%
		2s	97.96%	97.94%	99.9933%	99.19%	99.36%	99.65%	99.61%
		1s	96.88%	96.38%	99.9709%	98.68%	98.61%	99.31%	99.26%
	80km/h	3s	99.04%	99.11%	99.9994%	99.52%	99.49%	99.68%	99.67%
		2s	98.56%	99.06%	99.9987%	99.31%	99.44%	99.54%	99.61%
		1s	98.08%	97.47%	99.9915%	98.66%	98.72%	99.06%	99.14%
	60km/h	3s	99.16%	98.78%	99.9991%	99.54%	99.50%	99.60%	99.62%
		2s	98.96%	98.97%	99.9991%	99.26%	99.44%	99.43%	99.58%
		1s	97.88%	98.06%	99.9935%	98.18%	98.46%	98.66%	98.85%

※1 色付きの枠内は所要値を満たしたことを示す。

※2 パケット到達率の所要値は 99%とした。

※3 5つの連送パケットのうち、少なくとも1つを受入車両が受信に成功した場合、受信成功と判定した場合のパケット到達率。

※4 合意形成成功率の所要値は 99.96%とした。合意形成成功率算出時の合意形成実行回数 R は、通信シーケンス A 案の場合はユースケースに従い 2 回とし、通信シーケンス B 案の場合は通信遅延時間と応答時の処理遅延の和が 100ms 以上 200ms 未満と仮定し 3 回とした。

本研究では、自工会ユースケースに記載の通信に関わる要求値を通信要件として取り扱い、その数値を基準に検討及び判定を実施したが、このユースケースは検討段階のものであり、要求値は暫定値であることに留意する必要がある。

2) 交差点での周辺車両認知

選定したユースケースでは、パケット到達率、遅延時間共に、要件が示されていない。そこで、車車間通信データをダイナミックマップへ適用した際に、実験およびシミュレーションで得られた通信特性が位置誤差にどのような影響を及ぼすかについて評価した。

テストコース実験では、車車間通信データが取得できる 10 台相互のパケット到達率を評価した。受信パケット数は約 6000 パケットである。その結果、通信台数 10 台の場合は 99.6～100% (平均 99.9%)、通信台数 85 台の場合は 97.6～99.2% (平均 98.4%) であった。通信台数の増加によりパケットが衝突する頻度が増えたためと考えられる。また、3 連続のパケットロスが 1 回だけ発生し、残りは全て 2 連続であった。通信台数 10 台の場合は 2 連続のパケットロスが最大 1 回、通信台数 85 台の場合は 2 連続のパケットロスが最大 7 回発生した。遅延時間は通信台数の増加によりわずかに増加したが、6msec 未満であった。これらの結果から、通信遅延や連続パケットロス発生による車両位置マッピングへの影響は非常に小さいことがわかった。

シミュレーションでは、さらに車載機台数を増加した大規模交差点での条件について、路車間通信の通信トラフィックやセキュリティ処理遅延も考慮した。その結果、混雑した交通流 (43 台/km) で車載機搭載率 100% の条件では、通信遅延、連続パケットロス発生による車両位置マッピングへの影響があることがわかった。特にパケットロスについては、低い確率ながら連続 20 回以上発生することがあり、2 秒以上車両位置データが更新されないことになる。ただし、連続パケットロスは、相手車両が自車両に近づくにつれ減少する傾向にあることも明らかになった。

テストコース実験やシミュレーションで見られた連続パケットロスの要因としては、送信タイミング等の分析の結果から、パケット衝突が連続的に発生していると推定される。特にシミュレーションにおいては、交差点周辺建物の遮蔽の影響により隠れ端末となる状況が発生し、その状況において 2 台以上の車載機のパケット送信タイミングが重なる場合にパケット衝突が発生、その状況が数百 μ s から数秒の間継続することで、大きな回数の連続パケットロスが発生していると推定される。このパケット衝突の発生確率は、車両密度及び車載機搭載率が高い条件で高くなるものと推測される。連続的なパケットロスを減少させるためには、パケット衝突への対策が課題となると考えられる。

5.2.7. 参考文献

- [1] 伊藤義信, 多賀登喜雄 “車車間通信環境における見通し外伝搬損失推定,” 2008 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-1-61, 2008 年
- [2] 伊藤義信, 多賀登喜雄他, “車車間通信環境における見通し内伝搬損失推定,” 信学技報, AP2006-126, pp.95-100, 2007 年
- [3] 浦山他, “市街地 700MHz 帯路車間通信環境における電波伝搬損失モデル,” 信学技報, AP2011-146, 2012.年
- [4] COST Action 231, –Digital mobile radio. Towards future generation systems— Final report, European Communities, Tech. rep. EUR18957, Ch. 4, 1999

5.3. 研究課題 c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証

5.3.1. 研究目的

車車路車協調システムは、車載器を搭載した車両にのみサービスが提供されることから、システムおよびサービスの効果を最大化するためにはある程度の普及が必要となる。そのため、普及の促進が重要であり、特に実用化初期段階における普及促進が課題となる。一方、車車間通信は一般車両同士の通信を利用した運転支援のみならず広範な応用が期待される。例えば緊急車両等の非一般車両と周辺の一般車両が車車間通信を行い、一般車両へのすみやかな回避行動を促すことで、非一般車両の円滑な走行を支援することができる。このような車車路車協調システムのアプリケーションの有効性を具体的に示すことで、普及促進に寄与することができると考えられる。そこで、本研究開発では、非一般車両である緊急車両が車車間通信を利用して周囲の一般車両に対して緊急走行中であることを通知するアプリケーションを対象とした有効性の検証を行う。

また、上記の車車間通信を利用したサービスをさらに拡張し、緊急車両が送信する車車間通信情報を路側機が転送・再送信するサービスについて、実際の運用状況における通信の確実性の検証を行う。

5.3.2. 研究内容

本研究開発では、緊急車両として救急車を検討対象とした。救急車出動件数は、平成 26 年には 598 万 4921 件に上り、近年増加傾向にあるとともに将来的にも増加が予測されている[1]。また、救急車の現場等到着所要時間（119 番通報から現場に到着するまでに要した時間）も延伸傾向にあることから[1]、車車間通信による救急車接近通知アプリケーションにより円滑な走行を支援することが期待されていると考えられる。

そこで、まず、実際に運用中の救急車との通信実験による検証として、車車間通信ログ取得装置を搭載して得られた通信ログを解析することで、救急車と車載機を搭載した周辺車両との通信エリアと救急車接近時の周辺車両の挙動について確認する（5.3.3.1）。また、評価用車両を用いて、緊急走行中の救急車と評価車両が遭遇した際の、車車間通信の成立タイミングと救急車のサイレン音や赤色灯が認知可能となるタイミングとの関係について確認する（5.3.3.2）。その上で、一般車両へ救急車の接近状況を通知するアプリケーションが導入された際の有効性として、救急車接近通知アプリケーションによる情報提供が一般車両への速やかな回避行動を促し、救急車移動時間短縮に繋がることを検証する（5.3.3.3）。

さらに、上記の車車間通信を利用したサービスをさらに拡張するものとして、緊急車両が送信する車車間通信情報を路側機が転送・再送信するサービスについて、実際の救急車の運用状況における救急車と路側機との間の通信の確実性と車両検知位置(救急車と路側機との通信距離)の安定性について評価する（5.3.4）。

5.3.3. 車車間通信による救急車接近通知アプリケーションの検証

5.3.3.1. 実験による通信エリアと周辺車両の挙動変化の確認（名古屋実験1）

本節では、緊急車両として実際に運用中の救急車に車車間通信ログ取得装置を搭載して通信ログを取得し、その通信ログを解析することで救急車と車載機を搭載した周辺車両が実際に通信出来たエリアと救急車接近時の周辺車両の挙動について確認する。

1) 実験環境と評価概要

車車間通信ログ取得装置は、平成26年度に実験用に開発し救急車に搭載した「車載無線システム（非一般車両用）」（以下、車載無線機とする）に平成27年度に実験用に開発した「車車路車協調システム記録装置」（以下、ログ装置とする）を追加して構成した。今年度は、車車間通信ログ取得装置を名古屋市消防局に配備されている救急車のうち49台に取り付けて実験を実施した。また車車間通信の相手車両となる周辺車両としては、平成26年度の実験で使用した一般車両40台を活用した。

本実験において、車載無線機が救急車の通常走行状態（回送）と緊急走行状態（出動中）を判別して車車間メッセージとして構成する方法と救急車に搭載された車車間通信ログ取得装置のシステム構成や動作について説明する。

① 車載機による救急車の状態判別方法と送信メッセージ構成

本実験で使用した車車間通信ログ取得装置の構成を図5.3.3.1-1に示す。図に示すように、車載無線機は中継器を介して「赤色灯」と「サイレン」の状態を検出できる。「赤色灯」の点灯状態と「サイレン」の鳴動状態により、送信する車車間メッセージで周辺車両に通知する「車両用途種別」と「緊急自動車用拡張情報」を表5.3.3.1-1のように変化させる。

本実験では「車両用途種別」は赤色灯が点灯（ON）しているときは「1：緊急自動車」となり、消灯（OFF）しているときは「0：自家用自動車」となる。つまり、赤色灯を消灯し回送している救急車は、車車間メッセージとしては一般車両と同じ扱いになる。また、「緊急自動車用拡張情報」は「車両用途種別」が「緊急自動車」の時で、かつ、救急車が走行している（車速が0km/h超）ときにサイレンが鳴動（ON）していれば「緊急移動中」となり、サイレンが停止（OFF）していれば「通常状態」となる。また、「車両用途種別」が「緊急自動車」でサイレンが鳴動していても停車（車速が0km/h）しているときは「緊急停止中」、サイレンを鳴らさずに停車しているときは「路上活動中」となる。これは、今回の実験仕様で、信号による停車の度に頻繁に走行状態から停止状態に遷移することを防ぐため、車速が0km/hの状態が5分間（300sec）継続した場合に「緊急移動中」から「緊急停止中」あるいは「通常状態」から「路上活動中」に状態変化することとした。

この実験では、一般車両で受信された車車間メッセージの「車両用途種別」が「1：緊急自動車」で「緊急自動車用拡張情報」が「1：緊急移動中」であれば、そのメッセージを送信している車両は回避対象の救急車として扱う。

表 5.3.3.1-1 救急車の状態により車車間メッセージに設定される値

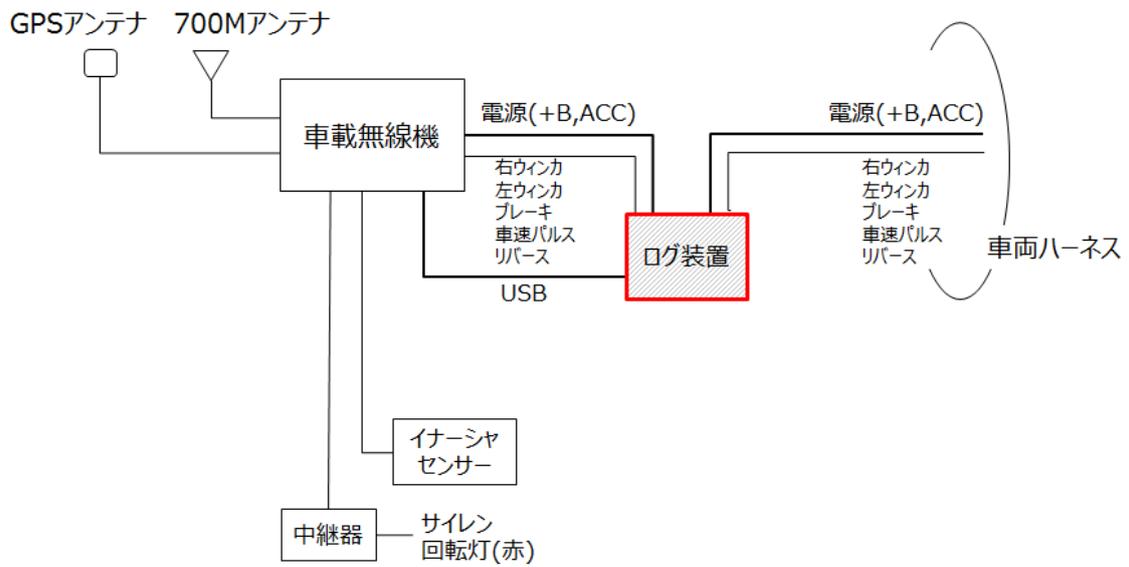
救急車の状態		車車間メッセージに設定される値	
赤色灯の状態	サイレンの状態	車両用途種別	緊急自動車用拡張情報
消灯 (OFF)	停止 (OFF)	0：自家用自動車	0：通常状態
消灯 (OFF)	鳴動 (ON)	0：自家用自動車	0：通常状態
点灯 (ON)	停止 (OFF)	1：緊急自動車	0：通常状態 (0km/h 超) 2：路上活動中 (300sec 以上 0km/h 継続)
点灯 (ON)	鳴動 (ON)	1：緊急自動車	1：緊急移動中 (0km/h 超) 2：緊急停止中 (300sec 以上 0km/h 継続)

② ログ取得システムの構成と動作

図 5.3.3.1-1 に「車車間通信ログ取得装置」、図 5.3.3.1-2 と図 5.3.3.1-3 に救急車に車車間通信ログ取得装置を搭載した構成図を、そして図 5.3.3.1-4 に平成 26 年度の実験で使用した一般車両を示す。車車間通信ログ取得装置は、平成 26 年度に開発した車載無線機にログ装置（図中、赤枠で囲われた装置）を追加して車載無線機が出力する通信ログを記録できるようにした装置である。

車車間通信ログ取得装置の動作を説明する。本システムを構成する車載無線機が周辺車両から車車間メッセージを受信したことをトリガとして、受信した車車間メッセージと自車（救急車）の車車間メッセージを通信ログとしてログ装置に出力する。また、周辺車両の車車間メッセージが受信できなくなったタイミングで通信ログの出力を停止する。

車車間通信ログ取得装置によって得られた救急車と周辺車両の通信ログをオフライン解析することによって、救急車と周辺車両の車車間通信が成立した時刻や場所、救急車と周辺車両の位置関係や車両間の距離を算出するとともに、救急車接近時に周辺車両がどのように動いたか（どのような回避行動を起こしたか、起こさなかったかなど）を確認した。



(a) システム構成



(b) 車載無線機とログ装置

図 5.3.3.1-1 車車間通信ログ取得装置

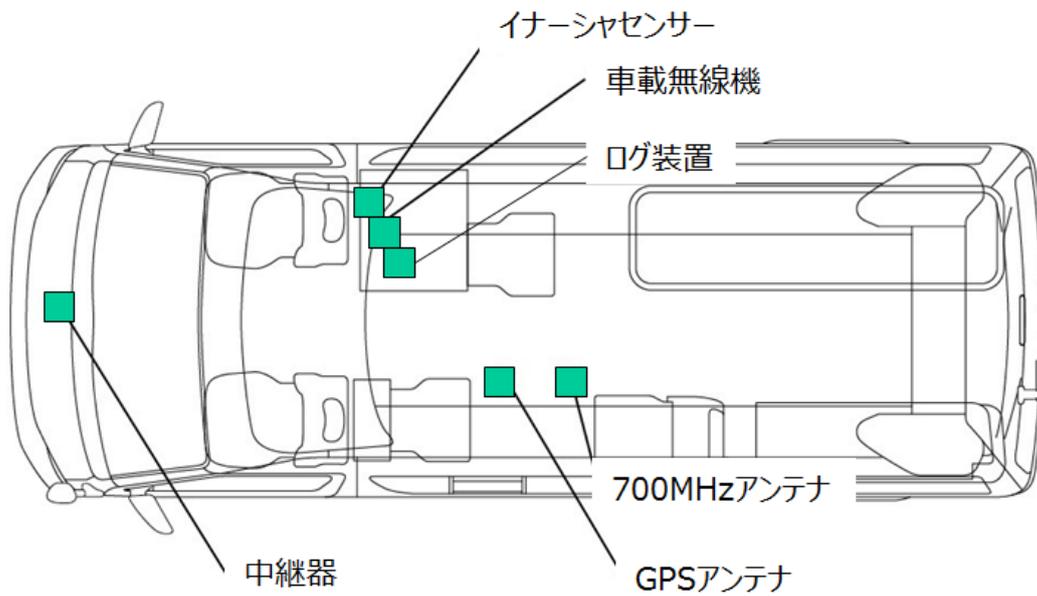


図 5.3.3.1-2 救急車への車車間通信ログ取得装置の搭載状況

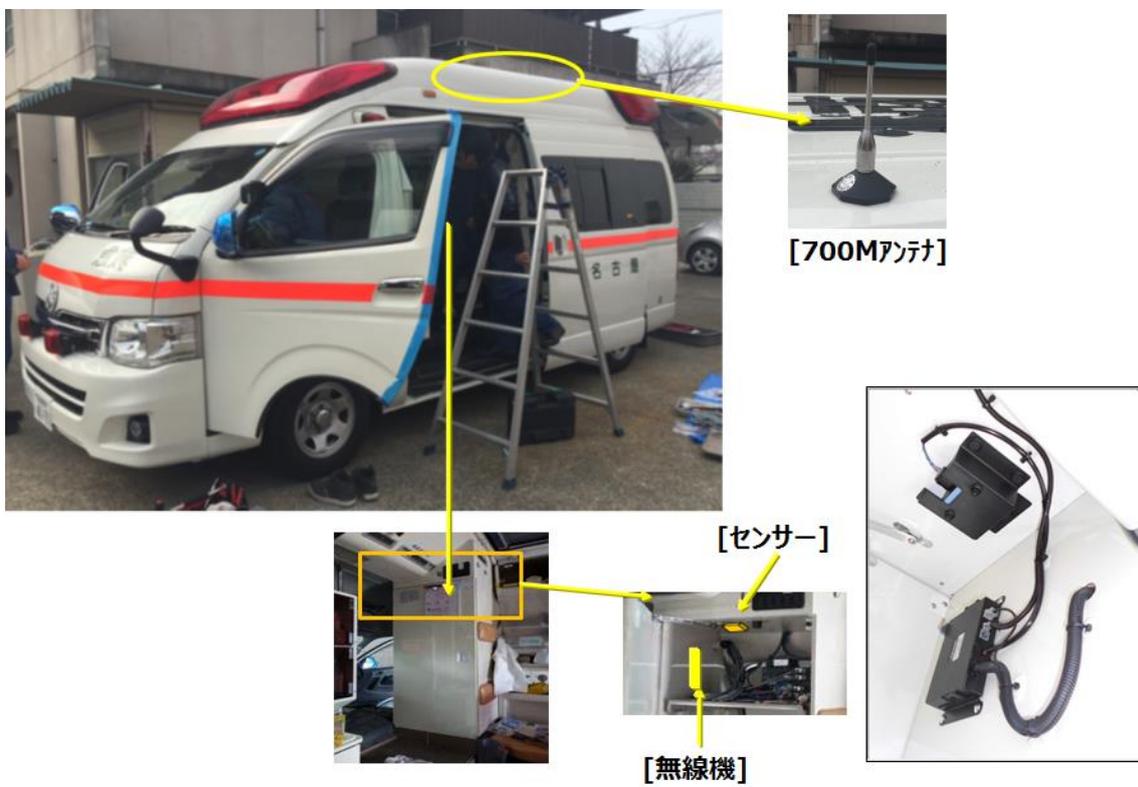
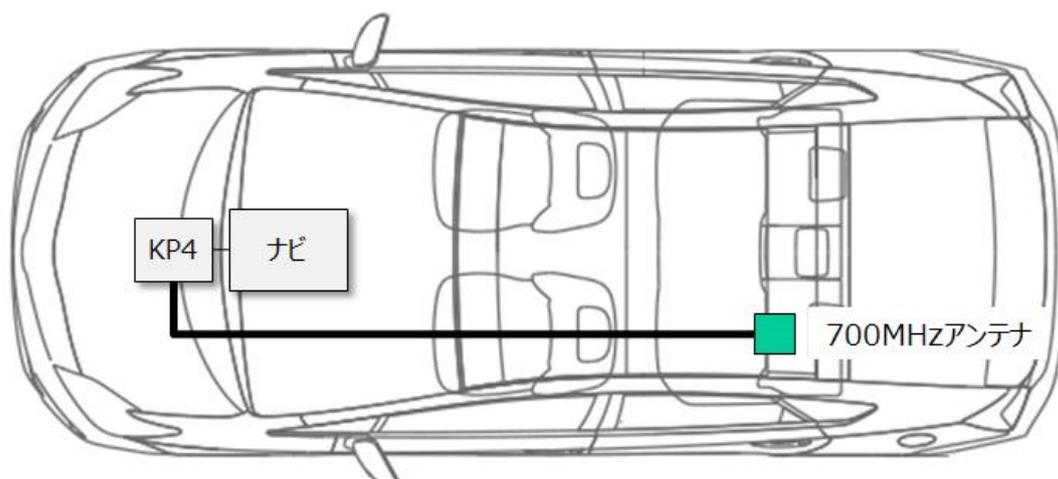


図 5.3.3.1-3 名古屋市消防局の救急車への搭載



(a) 実験車両（一般車両）での機器の配置



(b) ナビゲーション画面例：救急車の接近を通知

図 5.3.3.1-4 平成 26 年度の実験車両（一般車両）

2) 評価項目

車車間通信ログ取得装置によって得られた救急車と周辺車両の通信ログのオフライン解析で、緊急走行している救急車が一般車両に接近する過程における、車車間通信が救急車に届いた車車間通信開始距離と、救急車接近時の一般車両の減速開始距離を評価する。

今回の実験で使用した一般車両の車車間メッセージから得られる車両情報を表 5.3.3.1-2 に示す。救急車と一般車両の車車間通信開始距離は時刻情報と位置情報から算出し、一般車両の挙動は、車両状態情報の「車速」「車両方位角」から車両速度変化や車両進行方向の変化、車両状態オプション情報の「ブレーキ状態」や「灯火類状態」からブレーキや左右ウィンカーの作動によって評価する。

表右端の「T 車」は平成 26 年 12 月頃から販売された車車間通信機能搭載車両であり、総数は不明であるものの、救急車の送信する車車間メッセージを受信しその接近を知ることができる機能を搭載しているため評価の対象に加えた。

表 5.3.3.1-2 救急車の状態により車車間メッセージに設定される値

車両情報		H26 年度実験車	T 車
時刻情報	時/分/ミリ秒	○	○
位置情報	緯度/経度	○	○
	位置取得情報	○	○
	高度	○	—
	高度取得情報	○	—
車両状態情報	車速	○	○
	車両方位角	○	○
	前後加速度	○	○
	シフトポジション	—	○
車両状態オプション情報	ブレーキ状態	○	—
	灯火類状態	ウィンカー	—

3) 評価方法

車車間通信ログ取得装置を取り付けた名古屋市消防局の救急車 49 台が、通常業務をしている中で平成 26 年度の実験車（一般車両）40 台などと遭遇、救急車に搭載しているログ装置に一般車両との車車間通信が記録される。そのログを回収しオフラインで評価した。

救急車の車車間通信成立距離は、一般車両の車車間メッセージが救急車の車載機で受信された時刻における一般車両と救急車の緯度経度から算出する直線距離とする。

救急車接近による一般車両の挙動変化は、一般車両の車車間メッセージの「車速」「車両方位角」「前後加速度」「ブレーキ状態」「灯火類状態」などから判別する。特に今回の実験では、全ての一般車両の「ブレーキ状態」と「灯火機状態」が取得できるわけではないので、全一般車両から取得できる「前後加速度」情報を利用し、 $-0.1G$ より大きく減速した場合にブレーキ踏むなどして減速したと判断、その時の救急車からの距離を減速開始距離とした。その際に、それぞれの車両の進行方向を考慮し、同じ方向（救急車は後方から一般車両が接近していると想定）あるいは反対方向（救急車は一般車両の前方から接近していると仮定）の場合は 2 点間の直線距離を求め、それ以外の時（救急車は交差点を介して一般車両の右方あるいは左方から接近していると想定）は、一旦、それぞれの車両の位置を地図にマッピングし、それぞれの車両から交差点までの距離を算出してその距離の合計を車両間の距離とした。

判別を容易にするために、救急車が一般車両に約 200m 以内に接近したところで、救急車と一般車両の走行軌跡を地図上にマッピングし、例えば「直線道路にもかかわらず車両方位角が大きく変化」「信号が無いところで減速Gが出ている、あるいは、ブレーキが踏まれ

ている」等の現象が無いか確認する。そして、挙動変化の起こった際の救急車と一般車両の位置関係と距離、どのような挙動だったかを求める。分析の例を図 5.3.3.1-5 に示す。

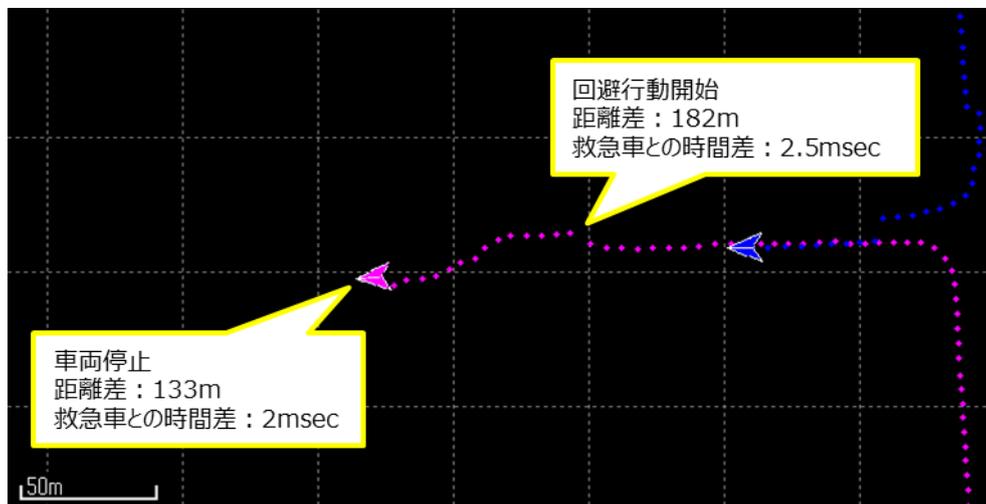


図 5.3.3.1-5 一般車両挙動分析の例

4) 評価結果

ログデータをオフライン解析し、一般車両の車車間通信メッセージが救急車に到達した時の救急車と一般車両の「車車間通信成立距離 (m)」、一般車両が救急車接近に伴い速度を落とし始めたときの両車両間の「減速開始距離 (m)」、そして、一般車両が停止した際の両車両間の「停止距離 (m)」をそれぞれ算出して、実環境における車車間通信可能エリアと一般車の挙動変化の事例を確認する。

比較的地形が平坦で、広い直線道路が多い名古屋市北部を管轄とする、楠署、北署、西署、東署、中署、老松署、椿署の救急車 7 台から取得したログの解析結果を一例として示す。

【救急車が前方から接近する事例】

救急車が一般車両の前方から接近する場合、片側一車線の道路で救急車を優先して通過させるために、一般車両が一旦左によけて減速・停車し救急車を通過させる、交差点において救急車が右折する場合に、直進する一般車両が減速・停止して救急車を通過させる、などのケースが観測された。この時の車車間通信成立距離は平均 591m、一般車両の減速開始距離は救急車から平均 84.2m であった。ただし、前方より接近する場合でも、救急車が一般車両に直線で近づいてくる場合と、前方の交差点で直交する道路から右折 (左折) した後前方から接近する場合があります、後者の場合通信成立距離が短くなる傾向があった。その事例を図 5.3.3.1-6 に、観測された通信成立距離と減速開始距離の事例のグラフを図 5.3.3.1-7 に示す。

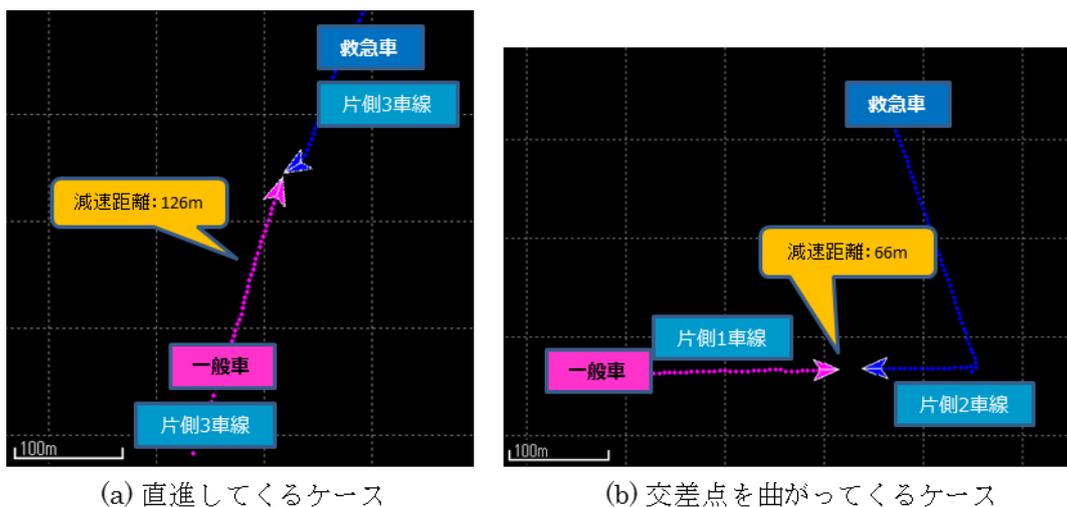


図 5.3.3.1-6 前方接近時、走行パターンによる通信成立距離の違い

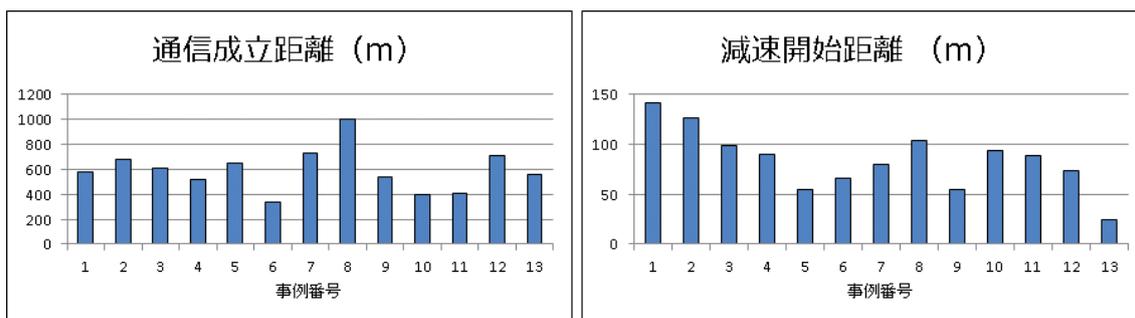


図 5.3.3.1-7 前方接近時の通信成立、減速開始の事例

【救急車が後方から接近する事例】

救急車が一般車両の後方から接近する場合、車車間通信成立距離は平均 608m、一般車両の減速開始距離は救急車から平均 85m であった。減速開始距離の分布が長いものと短いものにわかれているが、短いものは救急車が接近してきたときに既に信号待ちなどで停止しており、救急車が目視できるところまで接近した際に救急車を優先して通すために徐行で移動し、のちに停止という行動を起こしたことに起因する。観測された通信成立距離と減速開始距離の事例のグラフを図 5.3.3.1-8 に示す。

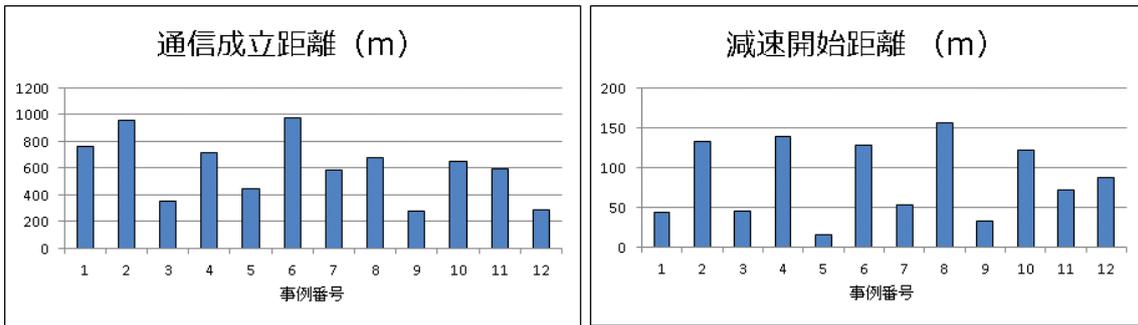


図 5.3.3.1-8 後方接近時の通信成立、減速開始の事例

【救急車が左方から接近する事例】

救急車が一般車両の左方から接近する場合、車車間通信成立距離は平均 332m、一般車両の減速開始距離は救急車から平均 120m であった。観測された通信成立距離と減速開始距離の事例のグラフを図 5.3.3.1-9 に示す。

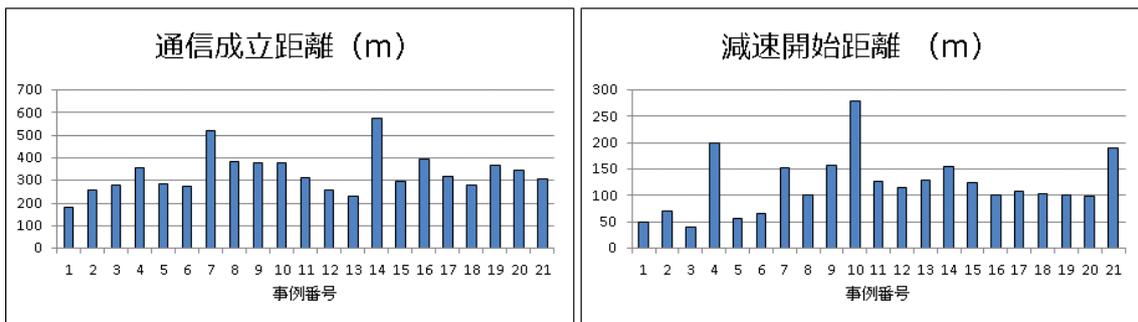


図 5.3.3.1-9 左方接近時の通信成立、減速開始の事例

【救急車が右方から接近する事例】

救急車が一般車両の右方から接近する場合、車車間通信成立距離は平均 360m、一般車両の減速開始距離は平均 115m であった。観測された通信成立距離と減速開始距離の事例の分布のグラフを図 5.3.3.1-10 に示す。

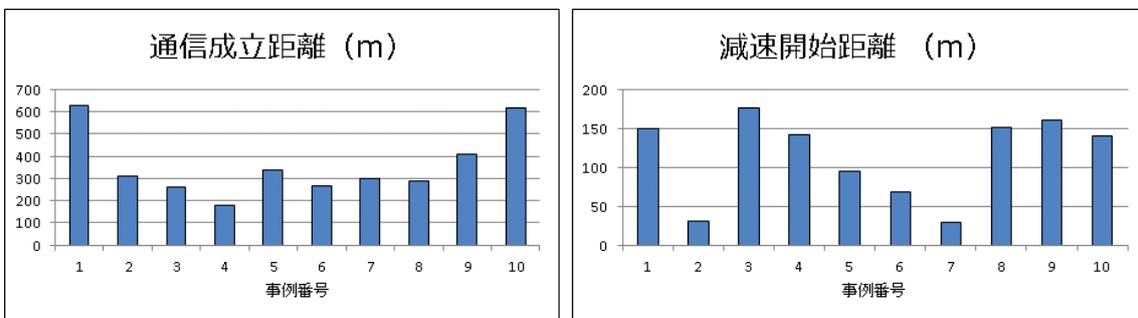


図 5.3.3.1-10 右方接近時の通信成立、減速開始の事例

解析結果より、一般車両から救急車への車車間通信が成立した時の直線距離は、救急車と一般車両の間が見通しの良い「前方から接近」と「後方から接近」する場合はおよそ 600m、交差点等に対して直交方向から接近する為にお互いを見通せない「左方から接近」と「右方から接近」の場合はおよそ 350m であることが確認できた。

また、一般車両が挙動を変化させたときの救急車からの距離は、「前方から接近」と「後方から接近」はおよそ 85m、「左方から接近」と「右方から接近」のおよそ 120m に対して短い距離であることが確認できた。

表 5.3.3.1-3 平均通信成立距離と平均減速開始距離

接近方向	平均通信成立距離	平均減速開始距離
前方	591m	84.2m
後方	608m	85m
左方	332m	120m
右方	360m	115m

この解析結果から、見通しの良い悪いに関わらず、ドライバーが行動を起こした結果として車両挙動が変化する地点よりも遠方から、一般車両に救急車の車車間通信メッセージが到達していることが確認できた。

5.3.3.2では評価車両をもちいて実際に救急車が接近するときの車車間通信到達状況やサイレン音、赤灯の認識タイミングを観測し、本節のログデータ解析で想定した、救急車からの車車間通信がサイレン音や赤色灯よりも早く一般車に到達することを確認する。

5.3.3.2. 評価車両による救急車の情報到達タイミングの観測（名古屋実験2）

車車間通信による救急車の接近情報通知が、サイレン音や赤色灯による通知よりも先に評価車両に到達することを確認するため、緊急走行中の救急車から車車間通信が評価車両に届いたタイミングにおける評価車両と救急車との距離、評価車両で救急車のサイレン音が聴取できたタイミングでの2車間の距離、赤色灯により救急車が認知できたタイミングでの2車間の距離を測定しタイミングの前後関係の評価した。

本実験で評価車両の相手となる救急車は、前節の実験で車車間通信ログ取得装置（車載無線機とログ装置）を搭載した名古屋市消防局の救急車49台である。

ドライバー自身が救急車からの車車間通信やサイレン音、赤色灯を認知するタイミングを計測するという評価は被験者であるドライバーの個性によるばらつきが生じることが想定されたので、本実験ではドライバーに情報が提供されるタイミングとして、救急車からの車車間通信が評価車両に到達したタイミングや評価車両に搭載したビデオカメラによりサイ

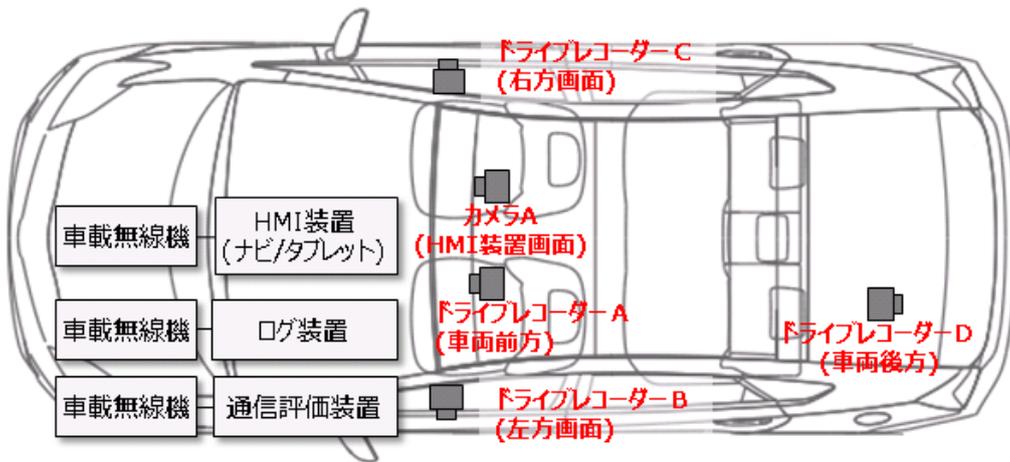
レン音が録音されたタイミング、ドライブレコーダーに救急車の映像が映ったタイミングを基準として測定し評価に使用した。

1) 実験環境と評価概要

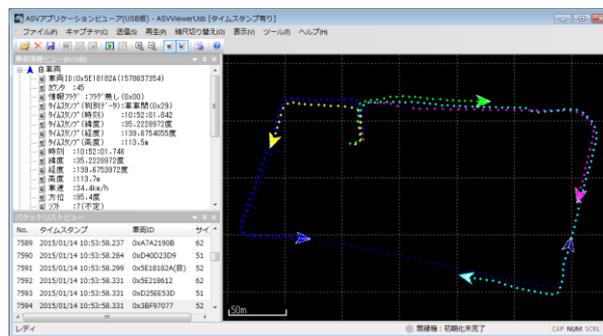
図 5.3.3.2-1 に今回の実験で使用した、救急車が評価車両に接近する際の情報を取得する評価システムを示す。また、車車間通信成立、サイレン音聴取、赤色灯視認のタイミング時の距離測定についての評価の概要を述べる。

- 車車間通信成立タイミングにおける車間距離
車車間通信が成立したタイミングを計測する為に、平成 26 年度に使用した通信評価装置と平成 27 年度に開発したログ装置を利用し救急車からの車車間メッセージが受信された時刻を記録する。その時刻を基準としてオフライン解析によりそれぞれの車両の位置を割り出して車間距離を求める。
- サイレン音聴取タイミング
車両の前後左右に搭載したドライブレコーダーにより録音された救急車のサイレン音より評価車両内におけるサイレン音聴取時刻を記録する。その時刻を基準としてオフライン解析によりそれぞれの車両の位置を割り出して車間距離を求める。
評価車両内部は、窓を閉じて余分な音は一切なく静かであり、救急車の到来を待ち受ける間は一時停車/低速走行で走行ノイズも小さく理想的な測定環境である。これに対し、実環境においては、カーオーディオを使用したり、走行ノイズが大きかったりすることで、よりサイレン音聴取タイミングが遅れる傾向にあると想定している。
- 赤色灯視認タイミング
車両の前後左右に搭載したドライブレコーダーに録画された画像（赤色灯）により、評価車両で救急車が視認できた時刻を記録する。その時刻を基準としてオフライン解析によりそれぞれの車両の位置を割り出して車間距離を求める。
ドライブレコーダーの画像をオフラインで解析するので、実環境でドライバーがルームミラーなどで赤色灯を目視確認するよりも微細な映像を視認することができる。そのため、ドライバーが運転する状況下で救急車を視認するのは、本実験で計測された視認タイミングよりも遅れる傾向にあると想定している。

こうして得られた、車車間通信成立タイミングと距離、サイレン音聴取タイミングと距離、赤色灯による救急車の視認タイミングと距離の前後関係を確認することにより、車車間通信による救急車接近の情報提供が有効であるかを評価する。



(a) 車載無線機とログ装置



(b) 通信評価装置



(c) HMI 装置 (ナビ)



(d) HMI 装置 (タブレット)



(e) カメラAによる撮影



(f) ドライブレコーダーによる撮影

図 5.3.3.2-1 評価システム

評価車両としては、トヨタ自動車株式会社製プリウスHVを用いた。図 5.3.3.2-2 に評価用実験車両とカメラの搭載状況を示す。



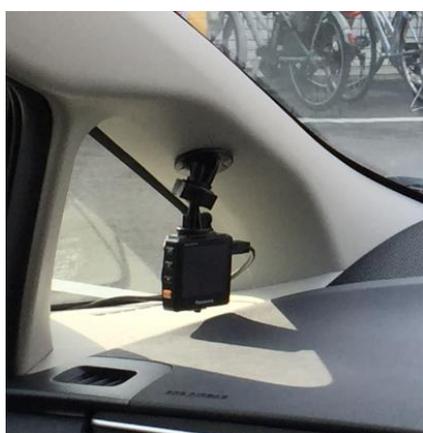
(a) 評価車両



(b) ビデオカメラとドラレコ (前方)



(c) ドラレコ (後方)



(d) ドラレコ (左方)



(e) ドラレコ (右方)

図 5.3.3.2-2 評価車両とカメラの搭載状況

2) 評価項目

救急車が評価車両に接近する際の、車車間通信成立時刻とそのタイミングでの 2 車両間の距離、救急車の接近が評価車両に搭載したビデオカメラやドラレコに記録された「サイレン音」「赤色灯」で認識された時刻とそのタイミングでの 2 車両間の距離を算出して、車車間通信による情報や、救急車の「サイレン音」、「赤色灯」の情報が評価車両に到達する順序を確認することにより、車車間通信による情報提供がより早いことを評価する。

ここで用いる 2 車両間の距離は、救急車の車車間メッセージが評価車両に到達したタイミングにおける救急車と評価車両の位置（緯度/経度）より求める 2 車両間の直線距離とする。また、サイレン音聴取や赤色灯視認のタイミングでの距離も同様にその時刻における 2 車両の位置から求めた 2 車両間の直線距離とする。

3) 評価方法

名古屋市内で 1 日の救急搬送数の多い独立行政法人国立病院機構名古屋医療センター（17.6 件/日[2]）周辺と名古屋第二赤十字病院（25.4 件/日[2]）周辺において、評価車両を用いて救急車の接近状況の評価した。

図 5.3.3.2-3 に独立行政法人国立病院機構名古屋医療センター（以降、名古屋医療センター）周辺での評価車両による救急車接近時の「車車間通信成立」「サイレン音聴取」「赤色灯視認」タイミングの測定区間、図 5.3.3.2-4 に八事日赤周辺における評価車両の測定位置と救急車の走行ルートを示す。八事日赤周辺では評価車両を交差点付近の駐車場に駐車した状態で測定した。

名古屋医療センター周辺の実験の様子を図 5.3.3.2-5 に、名古屋第二赤十字病院周辺の実験の様子を図 5.3.3.2-6 に示す。

名古屋医療センター周辺の評価では、図 5.3.3.2-3 で示すように救急車が北方から評価車両の後方に接近する走行パターンと、交差点に東向きに評価車両を駐車して救急車が左方から接近する走行パターンを評価した。救急車が後方から接近する走行パターンでは、評価車両より約 500m 後方（北方）に離れた歩道橋で北方からの救急車の接近を監視、救急車を発見した監視員から評価車両に連絡が入ったところで救急車接近に伴う「車車間通信」「サイレン音」「赤色灯」データの測定を開始した。また固定観測点では、評価車両は交差点に向かって停車した状態で左側方（北方）から接近する救急車の「車車間通信」「サイレン音」「赤色灯」の測定を実施した。

ここで、車車間通信成立距離は、車車間通信成立タイミングに車車間通信評価装置で観測した救急車と評価車両の位置から算出する。算出イメージを図 5.3.3.2-7 に示す。またサイレン音聴取や救急車の赤色灯認識タイミングは、認識時のドライビングレコーダ（以下ドラレコ）に記録されている時刻を参照し、車車間通信成立距離算出と同様に、車車間通信評価装置に記録されているそのタイミングの救急車と評価車両の位置から算出する。算出イメージを図 5.3.3.2-8 に示す。

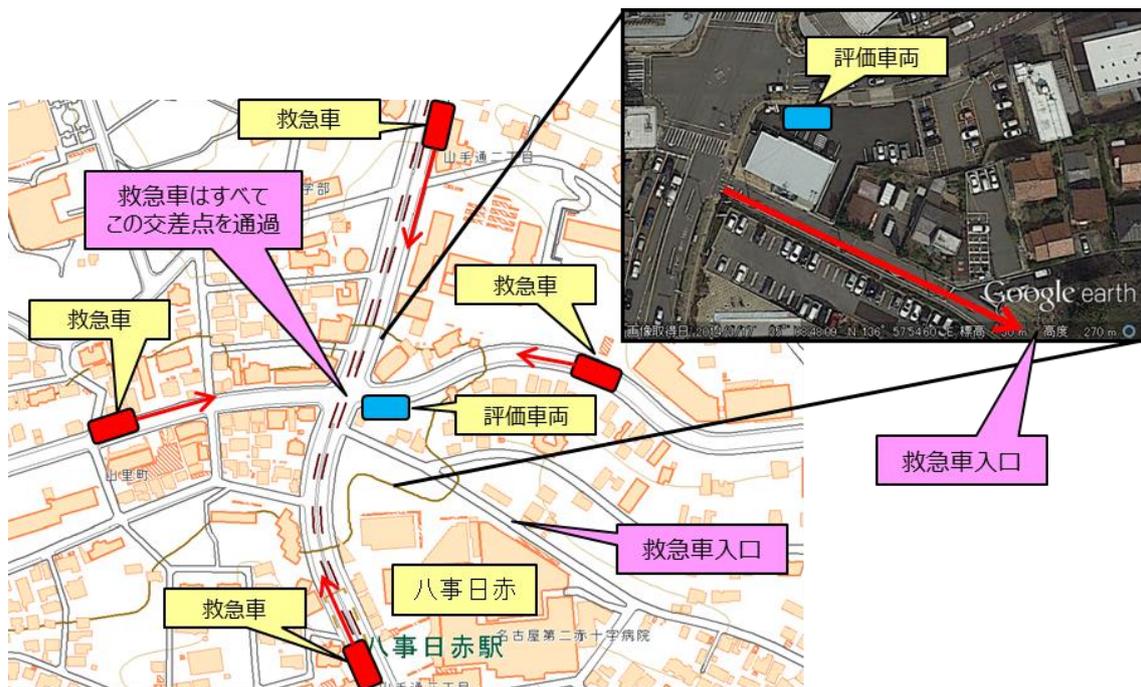
名古屋第二赤十字病院周辺の評価では、評価車両は図 5.3.3.2-4 で示す駐車場に駐車した状態で名古屋第二赤十字病院の救急車入口にアプローチする救急車の接近を監視し評価を行った。評価車両の駐車位置に対して前方（西方）・後方（東方）・左側方（南方）、右側方（北方）の4方向からアプローチする救急車の測定を実施した。

評価基準としては、救急車の赤色灯が「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示【2009.03.24】〈第三節〉第231（緊急自動車）の第一項」で「警光灯は、前方300mの距離から点灯を確認できる赤色のものであること。（以下略）」と定められていることから、評価車両と救急車の車車間通信成立タイミングにおける2車両の距離が300mより遠くなれば、赤色灯の視認タイミングやサイレン音の認識タイミングよりも早く情報を得ることができると想定し、上記距離（300m）を基準にして実験の結果を評価した。



「国土地理院の電子地形図 (<http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>) に実験内容を追記して掲載」

図 5.3.3.2-3 名古屋医療センター周辺走行ルート



「国土地理院の電子地形図 (<http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>) に実験内容を追記して掲載」

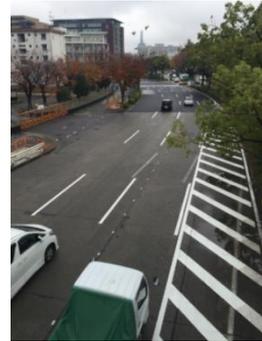
図 5.3.3.2-4 名古屋第二赤十字病院周辺走行ルート



(a) 救急車を監視した歩道橋



(b) 歩道橋より北の状況



(c) 歩道橋より南の状況



(d) 救急車走行ルートで待機



(e) 救急車データ取得中



(f) ドラレコでとらえた救急車の画像（後方と右方）



(g) 固定観測点から左方の状況



(h) 固定観測点で測定中

図 5.3.3.2-5 実験風景（名古屋医療センター周辺）



(a) 名古屋第二赤十字病院北の駐車場で観測



(b) 交差点より北方の状況



(c) 交差点より南方の状況



(d) 交差点より西方の状況



(e) 交差点より東方の状況

図 5.3.3.2-6 実験風景 (名古屋第二赤十字病院周辺)

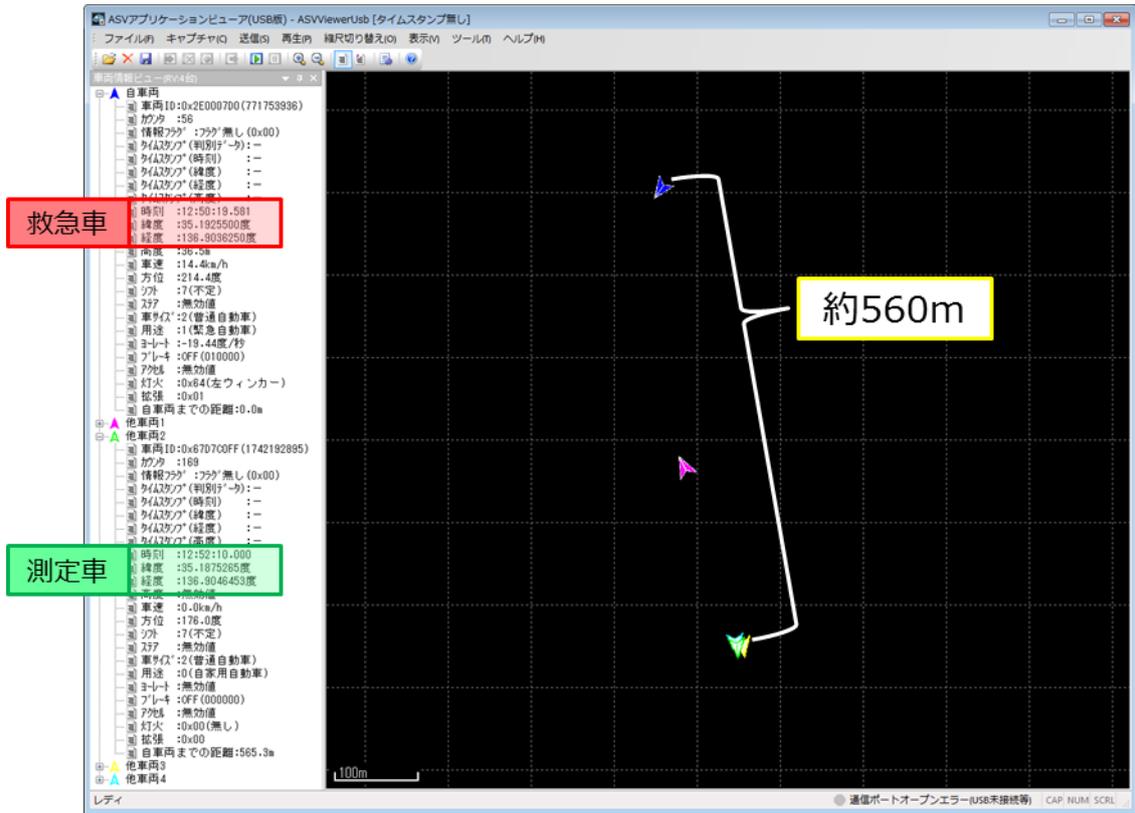
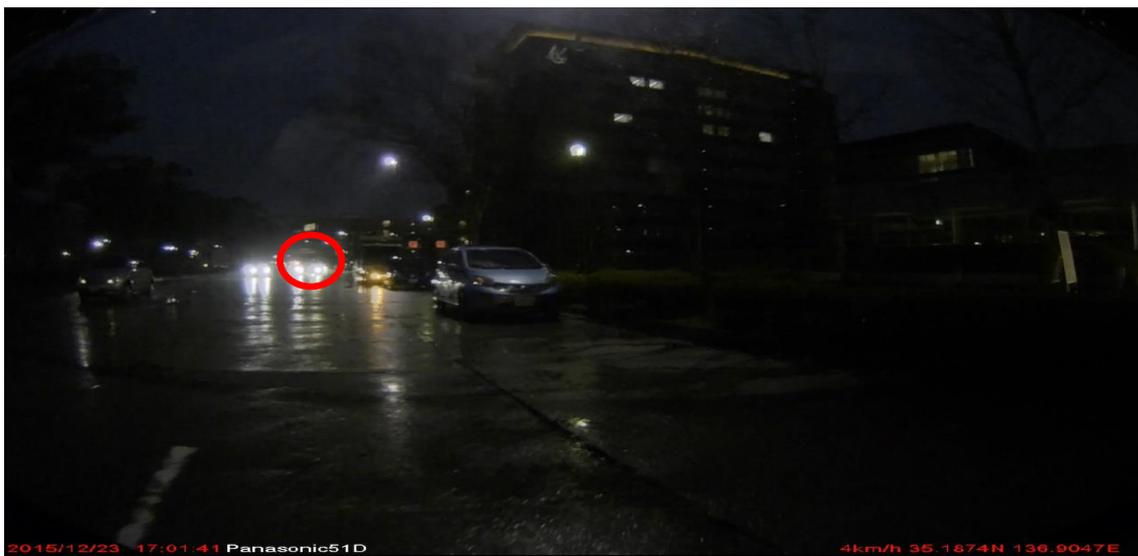


図 5.3.3.2-7 車車間通信距離算出例



(晴天・昼間時)



(雨天・夜間時)

図 5.3.3.2-8 救急車認識タイミング算出例
(ドラレコに記録されている時刻からログファイルの評価車両と救急車の位置を算出する)

4) 評価結果

【名古屋医療センター周辺】

救急車が走行する走行パターンは、シミュレーションで用いるルートに相当する走行パターンを中心に評価した（図 5.3.3.2-3 において北から南に走行する走行パターン）。救急車と評価車両の車車間通信が成立したタイミングでの 2 車両間の距離、救急車のサイレン音聴取や赤色灯視認が評価車両でできたタイミングでの 2 車両間の距離、そして、車車間通信が成立してからドライブレコーダーにより救急車を視認するまでに救急車が評価車に接近する距離を表 5.3.3.2-1 に示す。

表 5.3.3.2-1 評価結果（国立名古屋医療センター周辺）

【救急車が後方から接近するパターン】

事例	車車間通信成立	サイレン音聴取	救急車視認	車車間通信成立後視認までの距離差	情報提供後(300mと設定)視認までの距離
1	570m	200m	200m	370m	100m
2	560m	380m	374m	186m	—
3	530m	177m (雨天)	230m	300m	70m
4	575m	220m	200m	375m	100m
5	520m	286m	231m	289m	69m
6	567m	292m	219m	348m	81m
平均	554m	259m	242m	311m	84m

【救急車が側方から接近するパターン】

事例	車車間通信成立	サイレン音聴取	救急車視認	車車間通信成立後視認までの距離差	情報提供後(300m)視認までの距離
1	468m	166m	137m	331m	163m
2	414m	107m	144m	270m	106m
平均	441m	137m	141m	301m	135m

救急車が後方から接近する走行パターンでは、救急車と評価車両の距離が約 550m となったタイミングで車車間通信がまず成立、その後、2 台の車両の距離が約 250m となったタイミングで実際のサイレン音が聴取されるとともに救急車の赤色灯が視認されている。サイレン音聴取のタイミングと救急車の赤色灯視認タイミングは評価車両の周囲環境（天候、周辺雑音、交通状況）により順序が入れ替わることがある（後方より接近の 3 行目）が、車車間通信成立から救急車視認までは距離にして平均約 300m 余裕があることが分かった。

実験では、歩道橋の監視員から救急車の接近を知らされた評価車両が停止状態から走行開始し、後方から接近する救急車に追いつかれるという走行パターンで測定したので、救急車

と評価車両の速度差は大きく、平均約 15km/h と仮定すると車車間通信成立から救急車視認まで $300\text{m} \div 15\text{km/h} = \text{約 } 72 \text{ 秒}$ の時間的余裕があることになる。

ここで仮に、車車間通信で得られた情報をもとにして、評価車両から 300m 後方に救急車が接近したタイミングで車両に搭載された HMI 装置などを活用して緊急車両接近情報をドライバーに通知すると仮定すると、救急車接近情報通知タイミングにおける車両間の距離から実際に緊急車両を認識するタイミングにおける車両間の距離まで、救急車が走行により短縮する距離としては約 84m で、余裕時間としては $84\text{m} \div 15\text{km/h} = \text{約 } 20.2 \text{ 秒}$ となる。表 5.3.3.2-1 の右端の列にドライバーに対して緊急車両接近情報を通知してから視認までの余裕距離を試算した結果を示す。

これらの評価結果から、救急車と一般車両の車車間通信が成立してからドライバーが救急車を認識するまでには一定の時間差が確保されるため、ドライバーは余裕をもって行動できる時間が創出されていることがわかる。

【名古屋第二赤十字病院周辺】

名古屋医療センター周辺は片側 5 車線で直線道路という電波伝搬には非常に条件の良い環境であった。これに対して、電波伝搬にとってより厳しい環境でも、救急車からの車車間通信がサイレン音や赤色灯よりも速く評価車両に到達するかを確認する為に名古屋第二赤十字病院周辺において確認を行った。

名古屋第二赤十字病院周辺は図 5.3.3.2-9 に示すように、片側 2 車線と片側 1 車線の道路が交差する交差点の約 10m 南に救急車の入り口がある。この交差点につながる方路はすべてアップダウンがあり、かつ、曲がった道路という条件である。ここで交差点の 4 方路全てから到来する救急車が観測できるポイントに評価車両を駐車して観測を行った。収集したデータのまとめを表 5.3.3.2-2～表 5.3.3.2-5 に示す。

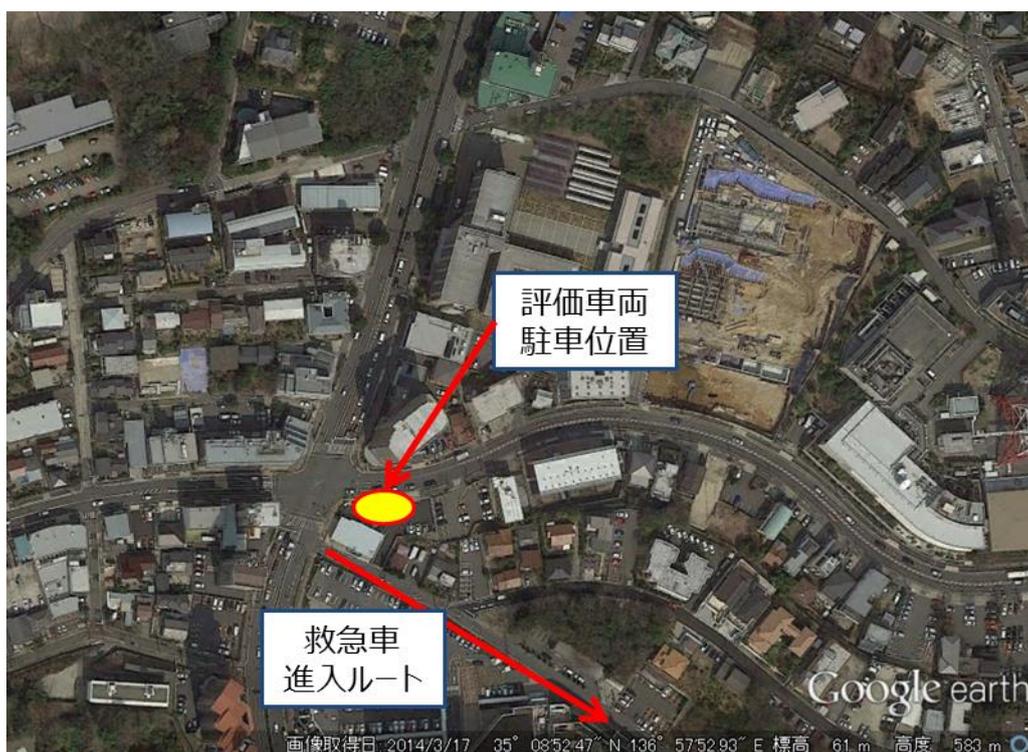


図 5.3.3.2-9 名古屋第二赤十字病院周辺

表 5.3.3.2-2 評価結果 (名古屋第二赤十字病院周辺：北→南)

事例	車車間通信成立	サイレン音聴取	救急車視認	通信成立後距離
1	296m	193m	29m	267m
2	302m	70m	33m	269m
3	290m	233m	34m	256m
4	290m	202m	49m	241m
5	282m	81m	38m	244m
6	196m	180m	32m	164m
7	276m	163m	38m	238m
8	289m	218m	33m	256m
平均	278m	168m	36m	242m

表 5.3.3.2-3 評価結果（名古屋第二赤十字病院周辺：南→北）

事例	車車間通信成立	サイレン音聴取	救急車視認	通信成立後距離
1	470m	116m	42m	428m
2	422m	149m	41m	381m
3	185m	185m	28m	157m
平均	359m	150m	37m	322m

表 5.3.3.2-4 評価結果（名古屋第二赤十字病院周辺：東→西）

事例	車車間通信成立	サイレン音聴取	救急車視認	通信成立後距離
1	605m	166m	103m	502m
2	531m	162m	25m	506m
3	523m	150m	129m	394m
4	521m	156m	135m	386m
5	606m	156m	39m	567m
6	602m	231m	100m	502m
7	457m	261m	57m	400m
平均	549m	183m	84m	465m

表 5.3.3.2-5 評価結果（名古屋第二赤十字病院周辺：西→東）

事例	車車間通信成立	サイレン音聴取	救急車視認	通信成立後距離
1	659m	361m	87m	572m
2	637m	172m	110m	527m
3	609m	215m	110m	499m
4	640m	322m	113m	527m
5	337m	222m	65m	272m
6	650m	165m	109m	541m
7	646m	225m	51m	595m
8	343m	118m	118m	225m
平均	565m	225m	95m	470m

見通しのきかない環境でも、サイレン音聴取タイミングより前に救急車接近を車車間通信が成立したタイミングで知ることができることを確認できた。評価車両の進行方向にあたる「東→西」（救急車が後方より接近）、「西→東」（同、前方より接近）では、平均すると救急車と評価車両の距離が約 550m のタイミングで車車間通信が最初に成立し、その後、2 台の車両の距離が約 200m になったタイミングでサイレン音が聴取され、約 90m のタイミング

で救急車の赤色灯が視認されている。名古屋第二赤十字病院付近の環境は図 5.3.3.2-7 に示すように見通しがきかないため、サイレン音聴取タイミングと救急車視認のタイミングの差が大きくなっていると思われる。

また、評価車両の左右側方から接近するパターンにあたる「北→南」（救急車が右方から接近）、「南→北」（同、左方から接近）では、平均すると 2 台の車両間の距離が約 300m になったタイミングで車車間通信が成立し、約 150m になったタイミングでサイレン音が聴取、約 35m になったタイミングで救急車の赤色灯が視認されている。

この結果から、見通しのきかない環境においても、救急車と評価車両の車車間通信が成立した後にサイレン音聴取や赤色灯視認により救急車が認識される順序は変わらないことが確認できた。また、車車間通信成立から救急車視認までは距離にして平均約 450m（救急車が前後方向から接近）、あるいは、平均約 250m（救急車が左右方向から接近）の余裕があることがわかった。救急車が平均約 20km/h で評価車両に接近していると仮定すると、救急車が前後方向から接近する場合は $450\text{m} \div 20\text{km} = \text{約 } 81 \text{ 秒}$ 、左右方向から接近する場合は $250\text{m} \div 20\text{km/h} = \text{約 } 45 \text{ 秒}$ の時間的余裕があることになる。

上記検討の具体例として、実際に「東→西」のルートで救急車が接近した場合の、車車間通信が成立したタイミング、サイレン音を聴取したタイミング、救急車が視認できたタイミングとその時の救急車の位置を図 5.3.3.2-10 に示す。このデータは表 5.3.3.2-3 の 1 番目のデータに対応する。車車間通信が成立した時刻が 14:54:00 でサイレン音が聴取できた時刻がその約 70 秒後の 14:55:10、救急車を視認できた時刻はさらにその約 8 秒後（つまり車車間通信成立から約 78 秒後）の 14:55:18 である。

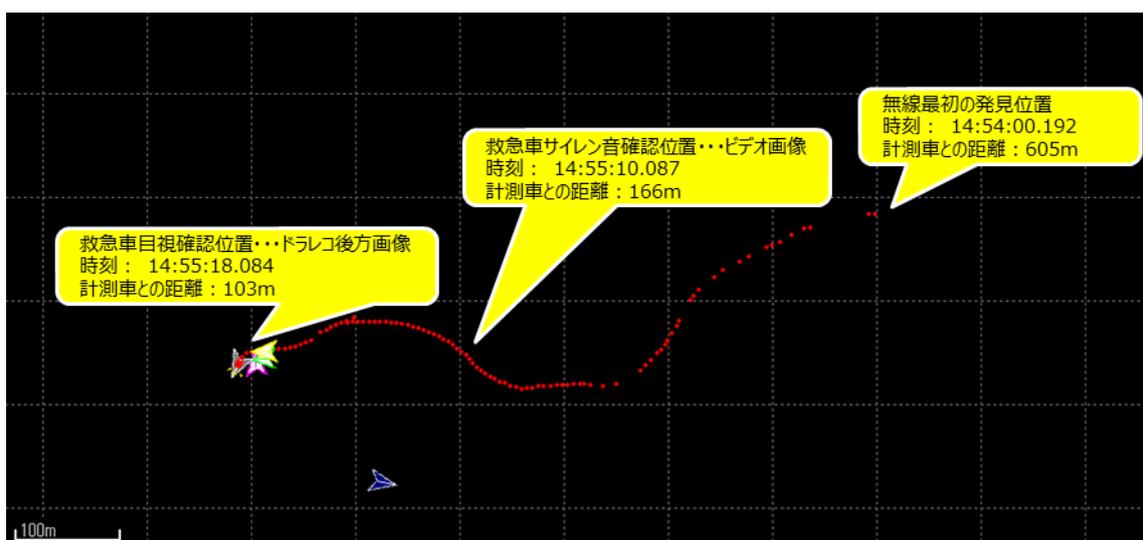


図 5.3.3.2-10 救急車接近時のイベント発生タイミング

片側 5 車線の直線道路という、電波伝搬にとって良好な環境の国立名古屋医療センター周辺での評価結果と、片側 1 車線でカーブもあり高低差もあり見通しのきかない、電波伝搬にとって良好とは言えない環境の名古屋第二赤十字病院周辺での評価結果を比較しても、車車間通信が成立したタイミングに対する、救急車のサイレン音が聴取できたタイミングと救急車が赤色灯により視認できたタイミングの順番が変わることは無く、そのタイミングの差も約 60 秒程度はある事が確認できた。

今回の実験結果から、電波伝搬にとっての環境の良し悪しによらず、ドライバーがサイレン音を聴取するタイミングよりも早いタイミングで救急車と評価車両の車車間通信が成立していることが確認できた。

5.3.3.3. 交通シミュレーションによる救急車移動時間短縮効果の検証

本節では、救急車接近通知アプリケーションによる情報提供が一般車両への速やかな回避行動を促し、救急車移動時間短縮に繋がることを検証する。また、車載器の普及状況ごとの有効性を示し、このようなアプリケーションが有効となる普及率を確認する。具体的には、様々な道路条件が含まれた状況の下で、救急車接近通知アプリケーションが導入されることによって一般車両がスムーズに回避できること、および救急車の移動時間を短縮できること検証する。なお、車載器が普及した状況を現実に再現することは困難であるため、本研究開発においては、実際のドライバーの回避行動モデルを作成し、それを組み込んだ交通シミュレーションを用いて検証する。

そのために、実際の一般車両のドライバーの救急車の回避行動およびアプリケーション通知時の反応をモデル化し、それをシミュレーションに組み込む。検証は、理想的な道路状況だけではなく実際の様々な要因が含まれた道路状況において行うことが望ましい。また、車載器がどの程度普及するとアプリケーションが有効となるかを明確にする必要がある。以上をふまえ、本研究開発では下記の内容を実施した。

- ① 救急車回避行動のドライビングシミュレータ実験による調査（5.3.3.3.1、5.3.3.3.2）
 - 救急車接近時の一般車両のドライバーの回避行動に関するデータを取得するためのドライビングシミュレータによる実験
 - 救急車接近通知アプリケーションに対する反応に関するアンケート調査
- ② 救急車移動時間短縮効果のシミュレーションによる検証（5.3.3.3.3）
 - 実験結果データに基づく一般車両ドライバーの緊急車両回避行動モデルの構築
 - 評価対象道路モデルの構築
 - 評価対象道路上における車載器の普及率ごとのシミュレーション評価

5.3.3.3.1. 救急車回避行動のドライビングシミュレータ実験による調査

一般車両のドライバーの緊急車両接近時の回避行動および緊急車両接近通知アプリケーションによる通知時の反応を把握するために、一般から被験者を募り、被験者に対してドライビングシミュレータを用いた運転実験およびアンケート調査を実施した。

1) 被験者の収集

緊急車両接近通知アプリケーションの効果を検証するための被験者としては、日頃から運転をしているドライバーが望ましい。また、実験結果に何らかのバイアスのかかる要因は可能な限り排除する必要がある。これらを考慮し、被験者候補となるモニタをスクリーニング調査によって収集した。スクリーニングの条件は運転免許を所持し週に1,2回以上の運転機会があると回答した30代から50代の男性および女性である。

上記条件に合致するモニタ数は694名であった。実験の被験者は、後述する実験シナリオに基づき75名を想定しているため、条件に合致したモニタから被験者を選定した。被験者は、モニタの中から特に優先順位は設けず、年齢・男女関係なく実験日程内に参加可能な被験者を選定した。収集した75名の被験者の属性は、以下のとおりである。

① 被験者の性別・年代分布

特に割り付けは行わなかったが、ほぼ均等に分布した(図5.3.3.3.1-1、図5.3.3.3.1-2)。

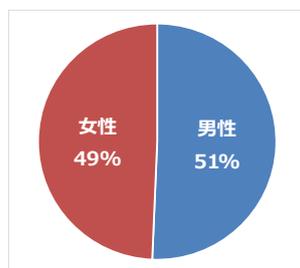


図 5.3.3.3.1-1 被験者の性別分布

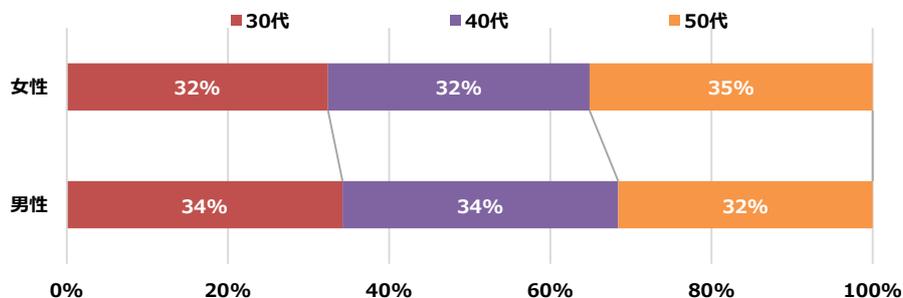


図 5.3.3.3.1-2 被験者の性別ごとの年代分布

② 被験者の運転頻度分布

男性は週に1～2回程度運転する人が多く、女性は週に1～2回、3～5回程度運転する人が多い(図 5.3.3.3.1-3)。

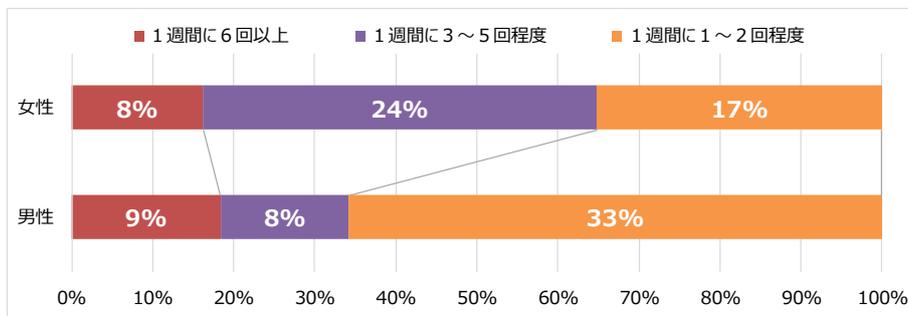


図 5.3.3.3.1-3 被験者の性別ごとの運転頻度分布

2) ドライビングシミュレータ実験

救急車接近時の一般車両のドライバーの回避行動データを取得するために、ドライビングシミュレータを用いて、救急車が接近する状況を再現し、その状況の下で被験者の運転行動を記録する実験を行った。

① 実験環境

ドライビングシミュレータの筐体は、株式会社フォーラムエイトが開発したものをを使用した。筐体は6軸モーションプラットフォームを備えており、ブレーキ、アクセル、ステアリング操作に連動して応じて筐体が傾くものである。画面は26インチのLCDモニタを前面と左右に配置する。また、また、運転席左側にはナビゲーション機能および救急車接近通知情報提供機能を持つ7インチのディスプレイ(以降、ナビ画面)を設置した。実験に使用したドライビングシミュレータ筐体の外観を図 5.3.3.3.1-4に示す。



図 5.3.3.3.1-4 ドライビングシミュレータ筐体

実験時に走行する仮想道路環境の構築には、株式会社フォーラムエイトが開発・販売しているドライビングシミュレーション用のバーチャルリアリティ作成ソフト「UC-win/Road Ver.10 Driving Sim¹（以下、UC-win/Road）」を使用した。UC-win/Road では、車道や歩道、沿道建物や街路樹、信号機などを仮想空間内に配置し、実際の道路環境に近い環境を表現することができる。また、シナリオ設定機能により、被験者が運転する車両（以降、自車両）以外の車両の動きを制御することができる。救急車の走行についても本機能により実現している。実験用に構築した仮想道路空間の景観の例を図 5.3.3.3.1-5 に示す。なお、図中の左側に位置する表示は、実際にはドライビングシミュレータのナビ画面上に表示されるものである。

¹ 「UC-win/Road Ver.10 Driving Sim」は、株式会社フォーラムエイトの登録商標である。



図 5.3.3.3.1-5 ドライビングシミュレータ上での景観例

被験者のドライビングシミュレータでの運転の様子を運転席前方と後方の2箇所からカメラで撮影し、その映像を録画した(図 5.3.3.3.1-6)。録画した映像は、ドライビングシミュレータの実験後に、救急車接近時の認知および判断のきっかけやタイミングを特定するためのインタビューを行う際に使用した。

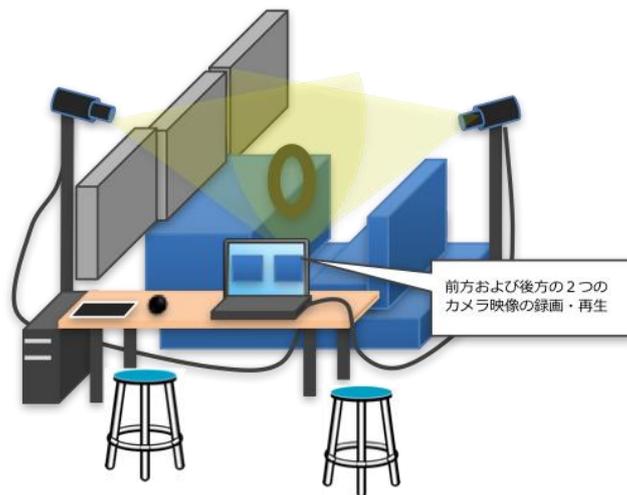


図 5.3.3.3.1-6 実験時の映像記録イメージ

② 実験シナリオ

ドライビングシミュレータの実験で走行するコースは、片側1車線の道路と片側2車線の道路が信号交差点で交差する仮想的な道路とした。図 5.3.3.3.1-7は、モデル化した実験コースおよび沿道建物配置した俯瞰図である。



図 5.3.3.3.1-7 ドライビングシミュレータ上の実験コース

救急車の接近時には、被験者であるドライバーに救急車のサイレン音が聞こえるものとした。救急車が自車両から半径 60m 接近時から 20m 近くなるごとにサイレンの音量が大きくなるように設定した。60m という閾値は、馬場、江端の研究[3]において、救急車との距離がおおよそ 60m で約半分の人が音に気づくとされていることを参考に設定している。

救急車接近通知アプリケーションによるドライバーへの情報提供方法として、本研究開発ではナビ画面に接近情報を表示するものとした。ナビ画面への表示内容として、通常時のナビ画面である「通常モード」と、救急車接近を通知する「救急車接近通知モード」の2つとした。

通常モードでは、地図上への自車両の現在位置のプロットと、進行経路を文字で表示する。救急車接近通知モードでは、自車両の現在位置のプロットと進行経路情報に加え、地図上への救急車の位置のプロットおよび緊急車両までの距離と、後方・側方の接近方向を図示したものを表示する。通常モードおよび救急車接近通知モード（後方接近時、側方接近時）のナビ画面イメージをそれぞれ図 5.3.3.3.1-8 および

図 5.3.3.3.1-9 に示す。

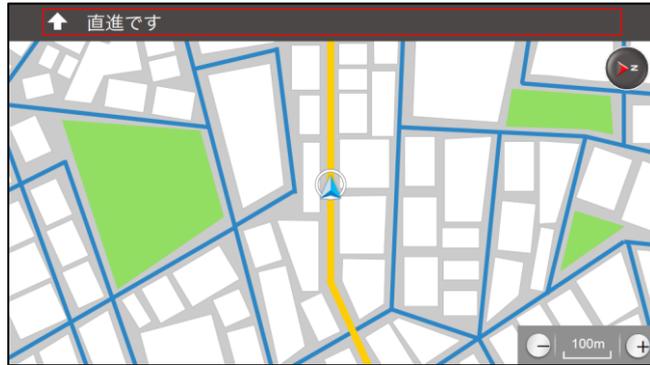


図 5.3.3.3.1-8 通常モードのナビ画面



図 5.3.3.3.1-9 救急車接近通知モードのナビ画面（左：後方接近時、右：側方接近時）

なお、救急車接近通知アプリケーションからドライバーへの救急車の接近通知は、後方接近の場合は、救急車からの距離が 300m 以内、側方接近の場合は車車間通信の障害物による減衰を考慮して救急車と遭遇する交差点からの距離が 100m 以内となったタイミングで行うものとした。また、通常モードから救急車接近通知モードに切り替わる際には、「ポン」とアラート音を発音するものとした。

救急車接近時におけるドライバーの反応を観測するシナリオとして、以下の状況を考慮した。

- 救急車の接近方向
 - 後方
 - 側方
- 自車両の走行道路車線数
 - 片側 1 車線
 - 片側 2 車線
- 先行車両の救急車回避行動
 - 回避行動をしない
 - 救急車が 60m まで接近時に回避行動をする
 - ※サイレンが聞こえている状態で先行車両が回避していることを想定
 - 救急車が 120m まで接近時に回避行動をする
- サイレンが聞こえていない状態で先行車両が回避していることを想定
- 先行車両の回避方向（回避行動をする場合）
 - 道路左側へ回避
 - 道路右側へ回避
- 救急車接近通知アプリによる情報提供
 - 情報提供あり
 - 情報提供なし

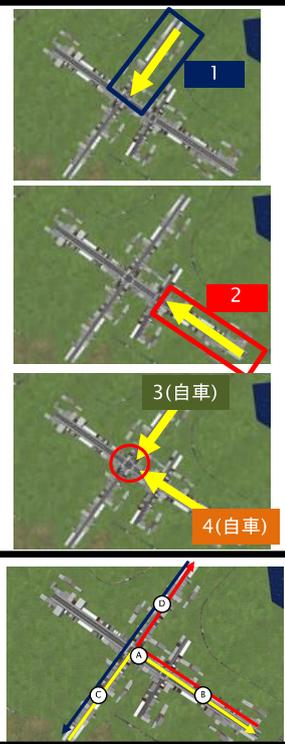
また、被験者があらかじめ救急車来ることを想定して実験に臨んだ場合には日常とは異なる運転行動をしてしまう可能性があることから、被験者に救急車接近状況の行動観察が実験の主目的であることを悟られないことを目的として、実験の目的とは関係のない以下のダミーのシナリオを用意した。

- イベントなし：救急車接近などのイベントが何も発生しない
- 工事：走行路前方に 50m ほど 1 車線規制（ナビ画面に規制情報を表示）
- 故障車：走行路前方の路肩に故障車両が停止
- 右折時直進車交錯：自車両が右折時に大型車の影から乗用車が直進してくる
- 右折時自転車交錯：自車両が右折時に自転車が直進してくる
- ボール飛出し：走行路前方をボールが横切る

以上を踏まえ、実施する 29 の実験シナリオの一覧を表 5.3.3.3.1-1 に示す。なお、救急車接近シナリオには条件の組合せに応じて 1A~4D のコードを付与している。

表 5.3.3.3.1-1 実験シナリオ一覧

コード	名前	救急車 接近方向	自転車走行道路	先行車両の回避行動	接近 情報	経路	地点
1A	救急車接近	後方	片側1車線	回避せず	×	1	-
1B	救急車接近	後方	片側1車線	回避せず	○	1	-
1C	救急車接近	後方	片側1車線	60m手前・左へ	×	1	-
1D	救急車接近	後方	片側1車線	120m手前・左へ	×	1	-
1E	救急車接近	後方	片側1車線	60m手前・左へ	○	1	-
1F	救急車接近	後方	片側1車線	120m手前・左へ	○	1	-
2A	救急車接近	後方	片側2車線	回避せず	×	2	-
2B	救急車接近	後方	片側2車線	回避せず	○	2	-
2C	救急車接近	後方	片側2車線	60m手前・右へ	×	2	-
2D	救急車接近	後方	片側2車線	120m手前・右へ	×	2	-
2E	救急車接近	後方	片側2車線	60m手前・右へ	○	2	-
2F	救急車接近	後方	片側2車線	120m手前・右へ	○	2	-
2G	救急車接近	後方	片側2車線	60m手前・左へ	×	2	-
2H	救急車接近	後方	片側2車線	120m手前・左へ	×	2	-
2I	救急車接近	後方	片側2車線	60m手前・左へ	○	2	-
2J	救急車接近	後方	片側2車線	120m手前・左へ	○	2	-
3A	救急車接近	側方	片側1車線	-	×	3	-
3B	救急車接近	側方	片側1車線	-	○	3	-
4A	救急車接近	側方	片側2車線	-	×	4	-
4B	救急車接近	側方	片側2車線	-	○	4	-
4C	救急車接近	側方	片側2車線	交差点手前	×	4	-
4D	救急車接近	側方	片側2車線	交差点手前	○	4	-
DM1	なし	-	片側2車線直進	-	-	青	-
DM2	なし	-	右折	-	-	赤	-
DM3	工事	-	左折	-	○	黄	B
DM4	故障車	-	左折	-	-	黄	C
DM5	右折時直進車交錯	-	右折	-	-	赤	A
DM6	右折時自転車交錯	-	左折	-	-	黄	A
DM7	ボール飛出し	-	右折	-	-	赤	D



片側1車線の後方接近時のシナリオ(1A,1B,1C,1D,1E,1F)では、図5.3.3.3.1-10に示す経路を走行する。このとき、救急車は、走行開始点から120m以上かつ交差点より50m手前までの範囲で追いつくことが出来るように発生タイミングと速度を設定し、自転車両の後方から接近する。制限速度を50km/hとし、それ以上の速度は出せないものとした。救急車は、自転車両が回避した状態の場合に、右寄りに避けて追い越す。

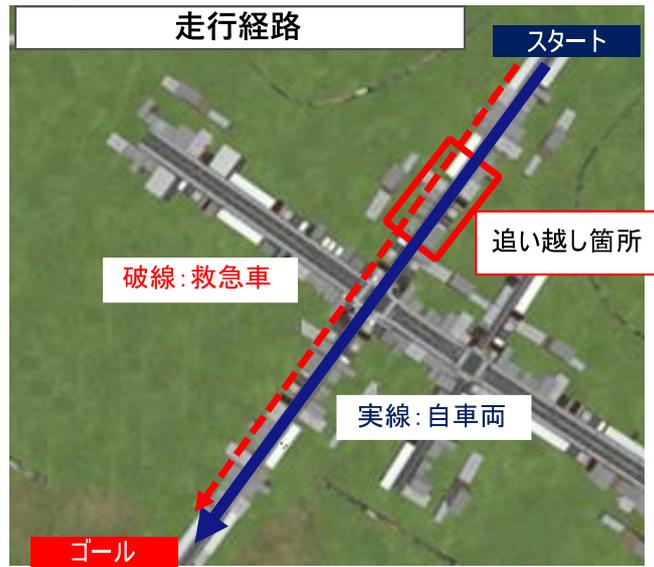


図 5.3.3.3.1-10 片側1車線、後方接近時の走行経路

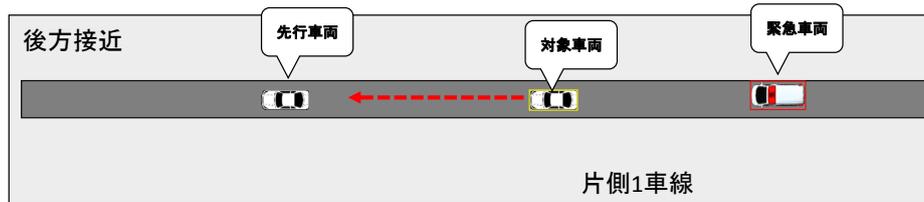


図 5.3.3.3.1-11 片側1車線、後方接近時の走行イメージ

片側2車線の後方接近時のシナリオ(2A,2B,2C,2D,2E,2F,2G,2H,2I,2J)では、図5.3.3.3.1-12に示す経路を走行する。2車線のうち右車線から走行を開始し、被験者が左車線に車線変更しないよう、左車線は他車両で混雑した状態とした。このとき、救急車は、走行開始点から120m以上かつ交差点より50m手前までの範囲で追いつくことができるように発生タイミングと速度を設定し、自車両の後方から接近する。制限速度を50km/hとし、それ以上の速度は出せないものとした。救急車は、自車両が回避した状態の場合に、右または左寄りに避けて追い越す。

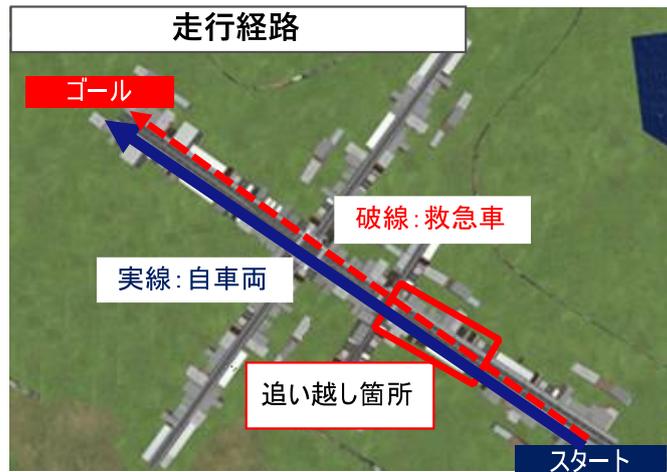


図 5.3.3.3.1-12 片側2車線、後方接近時の走行経路

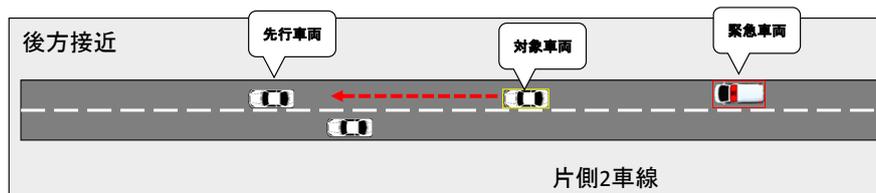


図 5.3.3.3.1-13 片側2車線、後方接近時の走行イメージ

片側1車線の側方接近時のシナリオ(3A,3B)では、図5.3.3.3.1-14に示す経路を走行する。直交方向の道路を直進する救急車と交差点で交錯するよう、救急車の速度を交差点手前で調整し、自車両が交差点に差し掛かり、救急車を目視できるタイミングになった時点で、交差点停止線付近を時速10km程度で走行している状態とした。なお、自車両がスムーズな走行状態で交差点に差し掛かる状態になるように、交差点での自車両側の信号は常に青となるように設定し、先行車両を含めた他車両は存在しない状態とした。

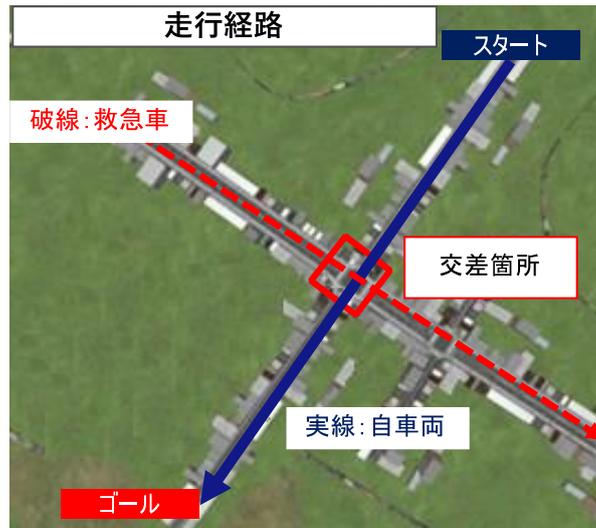


図 5.3.3.3.1-14 片側1車線、側方接近時の走行経路

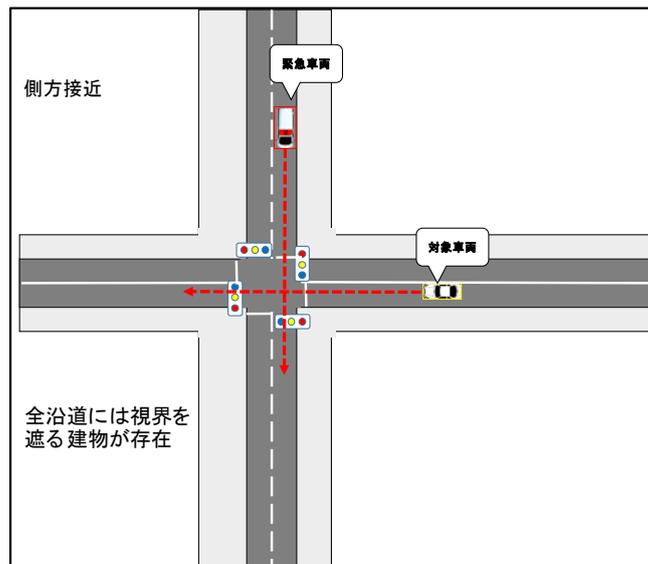


図 5.3.3.3.1-15 片側1車線、側方接近時の走行イメージ

片側2車線の側方接近時のシナリオ(4A,4B)では、図5.3.3.3.1-16に示す経路を走行する。直交方向の道路を直進する救急車と交差点で交錯するよう、救急車の速度を交差点手前で調整し、自車両が交差点に差し掛かり、救急車を目視できるタイミングになった時点で、交差点停止線付近を時速10km程度で走行している状態とする。なお、自車両がスムーズな走行状態で交差点に差し掛かる状態になるように、交差点での自車両側の信号は常に青となるように設定し、先行車両を含めた他車両は存在しない状態とする。

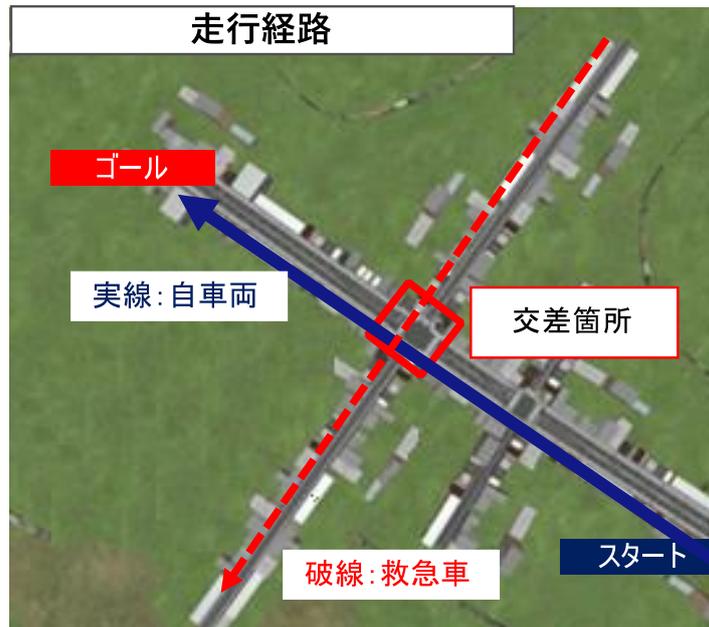


図 5.3.3.3.1-16 片側2車線、側方接近時の走行経路

各被験者に対して、一人あたりの実験時間および被験者への実験の負担を考慮し、10種類のシナリオを割り当てた。

被験者があらかじめ救急車来ることを想定して実験に臨んだ場合には日常とは異なる運転行動をしてしまう可能性があることから、被験者に救急車接近状況の行動観察が実験の主目的であることを悟られないことを目的として、10シナリオのうち3シナリオを救急車接近シナリオとして、残りの7シナリオをダミーシナリオとした。また、以下を考慮しシナリオの割り付けを行った。(図 5.3.3.3.1-17)

- 初回はドライビングシミュレータでの運転に慣れていないため、習熟することを目的として、特にイベントが発生せず、右折を含むダミーシナリオ(DM2)を割り当てる。
- 10シナリオ中、4、7、10番目の3シナリオにはそれぞれ異なる救急車接近シナリオを割り当てる。
- 10シナリオ中、7つのダミーシナリオには、初回に設定されたDM2以外のダミーシナリオ(DM1~DM7)を重複なしのランダムな順番で設定する。
- 各救急車接近シナリオについては、75名の被験者を通して10サンプル以上取得出来るように割り付ける。
- 救急車接近シナリオにおいて片側1車線の後方接近、片側2車線の後方接近、側方接近の3種類の中のいずれか1種類のみ3回実施することを避けるように割り付ける。

- 緊急車両接近情報「提供あり」のシナリオの後に、「提供なし」シナリオを実施すると、「表示されなかった情報が表示されていない」状況となり、混乱をきたす可能性があることから、情報提供ありのシナリオが含まれる場合には「なし→あり→あり」の順番か、もしくは「なし→なし→あり」の順番になるように割り付ける。



図 5.3.3.3.1-17 被験者一人あたりのシナリオ構成

③ 実験要領

75名の被験者に対してドライビングシミュレータによる運転実験を行った。実施期間、実施場所および実施手順は以下のとおりである。

- 実施期間
16日間
- 実施手順
 1. はじめに実験担当者より被験者にドライビングシミュレータの機材及び実験内容に関して十分な説明を行なったうえで、②で述べた通りダミーシナリオ7コースと救急車が登場するシナリオ3コースの合計10コースを、画面の指示に従って運転するよう被験者に依頼する。なお、被験者には救急車接近時の行動を取得する目的であることは告げず、普段通りの運転を行い、何かイベントが起

これば随時適切に対応をお願いする。また、救急車接近通知アプリケーションによる通知が行われるシナリオを実施する被験者に対しては、あらかじめ救急車接近時に通知される旨は告げず、ナビ画面上に様々な情報提供が行われる旨のみを伝える。

2. ドライビングシミュレータでの運転開始時に、画面上に「直進してください」「一つ目の交差点を右折してください」といった経路の指示を表示し、被験者は、それに従い運転を行う。(図 5.3.3.3.1-18)
3. 全シナリオでの走行が終了した後、救急車が登場するシナリオを対象に、実験中にドライビングシミュレータ前方および後方から撮影した運転中の映像を見ながら、実験担当者が被験者に緊急車両回避時の意思決定に関する以下のインタビューを行う。(図 5.3.3.3.1-19)
 - 救急車認知タイミング
 - 救急車認知きっかけ
 - 救急車回避行動タイミング
 - 救急車回避行動きっかけ

ドライビングシミュレータの実験では、被験者の運転操作ログデータを取得する。取得するデータは、以下のとおりである。

- 操作ログデータ (時系列)
 - ステアリング変化量[-1.0~1.0]
 - ブレーキ操作量[0.0~1.0]
 - アクセル操作量[0.0~1.0]
 - 位置座標[X,Y]
 - 速度[km/h]



図 5.3.3.3.1-18 実験風景



図 5.3.3.3.1-19 実験後インタビューの様子

ドライビングシミュレータの実験の結果、各シナリオについて得られたサンプル数を表 5.3.3.3.1-2 に示す。また、各被験者の運転操作ログをグラフ化した。グラフ化した例を図 5.3.3.3.1-20 に示す。

表 5.3.3.3.1-2 各シナリオの取得サンプル数

	シナリオコード	取得サンプル数
緊急車両接近シナリオ	1A	11
	1B	10
	1C	11
	1D	10
	1E	10
	1F	11
	2A	10
	2B	10
	2C	10
	2D	11
	2E	10
	2F	10
	2G	10
	2H	10
	2I	10
	2J	10
ダミーシナリオ	3A	10
	3B	10
	4A	10
	4B	10
	4C	11
	4D	10
	DM1	75
DM2	75	
DM3	75	
DM4	75	
DM5	75	
DM6	75	
DM7	75	
総計		750

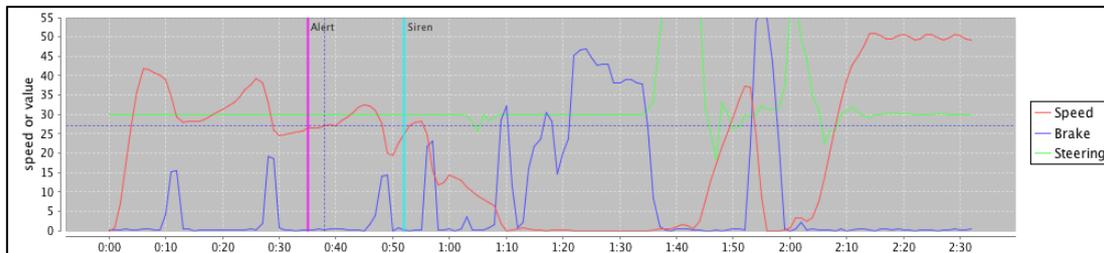


図 5.3.3.3.1-20 ドライビングシミュレータの操作ログをグラフ化した例

④ 実験結果

認知したきっかけについて、以下のシナリオで集計した結果をそれぞれ図 5.3.3.3.1-21～図 5.3.3.3.1-24に示す。なお、きっかけについては、実験後のインタビューにおける被験者の回答で判断した。各シナリオ毎の全被験者数に対する各きっかけと回答した被験者の割合である。

- 「後方接近時・接近通知なし」のシナリオ（1A, 1C, 1D, 2A, 2C, 2D, 2G, 2H）
- 「後方接近時・接近通知あり」のシナリオ（1B, 1E, 1F, 2B, 2E, 2F, 2I, 2J）

- 「側方接近時・接近通知なし」のシナリオ（3A, 4A, 4C）
- 「側方接近時・接近通知あり」のシナリオ（3B, 4B, 4D）

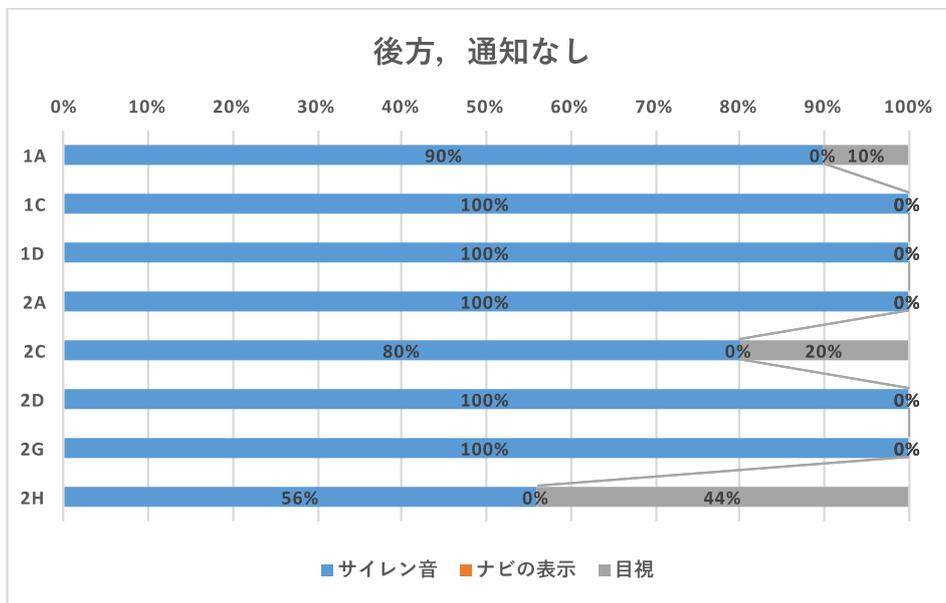


図 5.3.3.3.1-21 後方接近時・接近通知なしシナリオの認知きっかけ

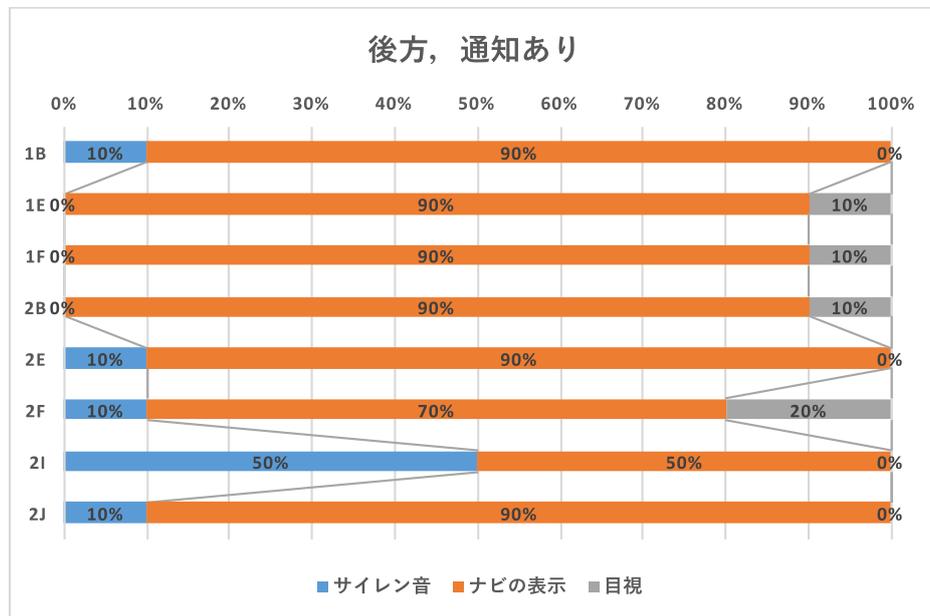


図 5.3.3.3.1-22 後方接近時・接近通知ありシナリオの認知きっかけ

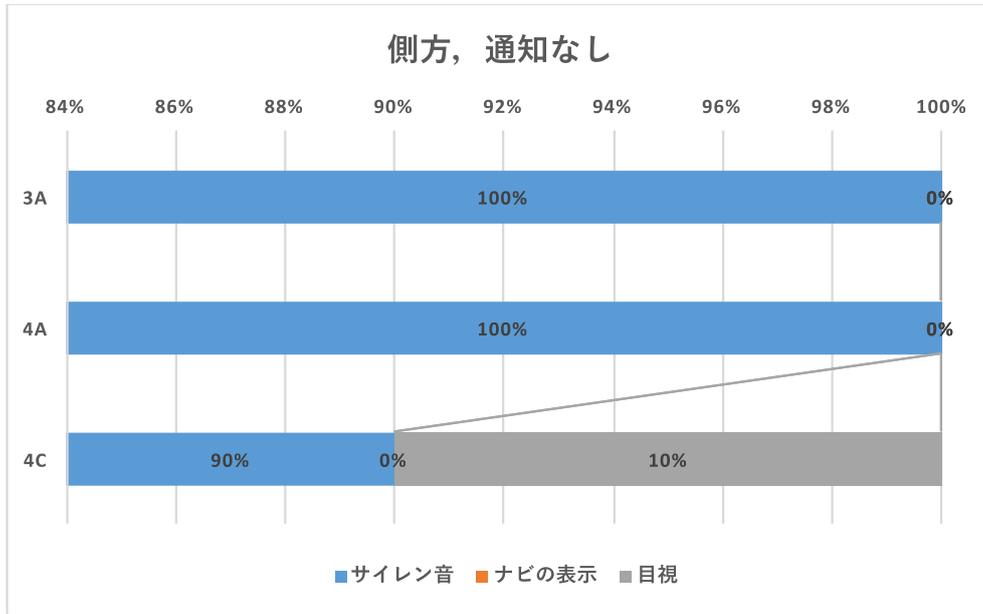


図 5.3.3.3.1-23 側方接近時・接近通知なしシナリオの認知きっかけ

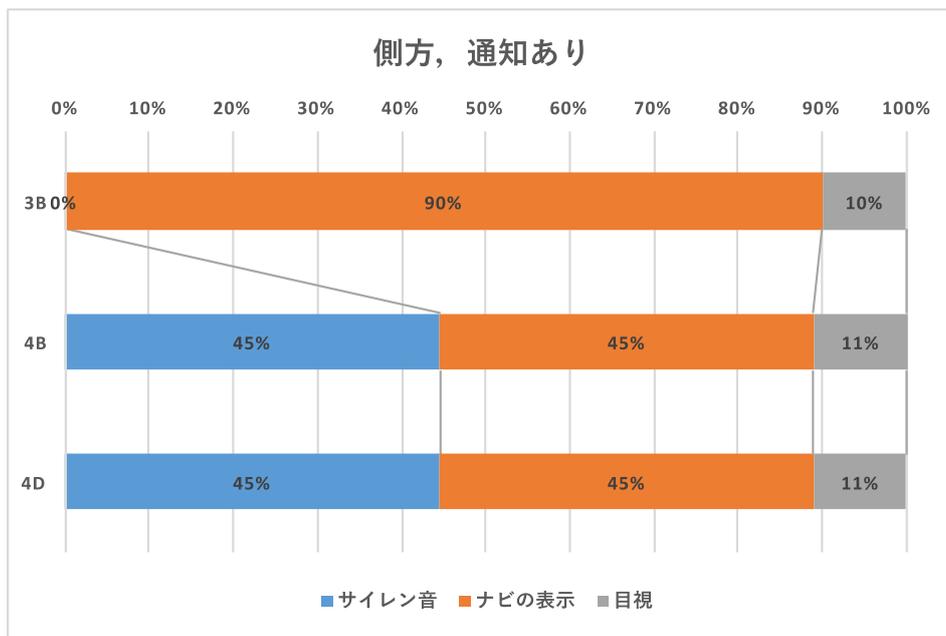


図 5.3.3.3.1-24 側方接近時・接近通知ありシナリオの認知きっかけ

回避行動の有無について、以下のシナリオで集計した結果をそれぞれ図 5.3.3.3.1-25～図 5.3.3.3.1-28に示す。なお、回避の有無については、操作ログデータおよび実験映像データを参考に、救急車を回避する行動を明確に行ったかどうかで判断した。

- 「後方接近時・接近通知なし」のシナリオ（1A,1C,1D,2A,2C,2D,2G,2H）
- 「後方接近時・接近通知あり」のシナリオ（1B,1E,1F,2B,2E,2F,2I,2J）

- 「側方接近時・接近通知なし」のシナリオ（3A,4A,4C）
- 「側方接近時・接近通知あり」のシナリオ（3B,4B,4D）

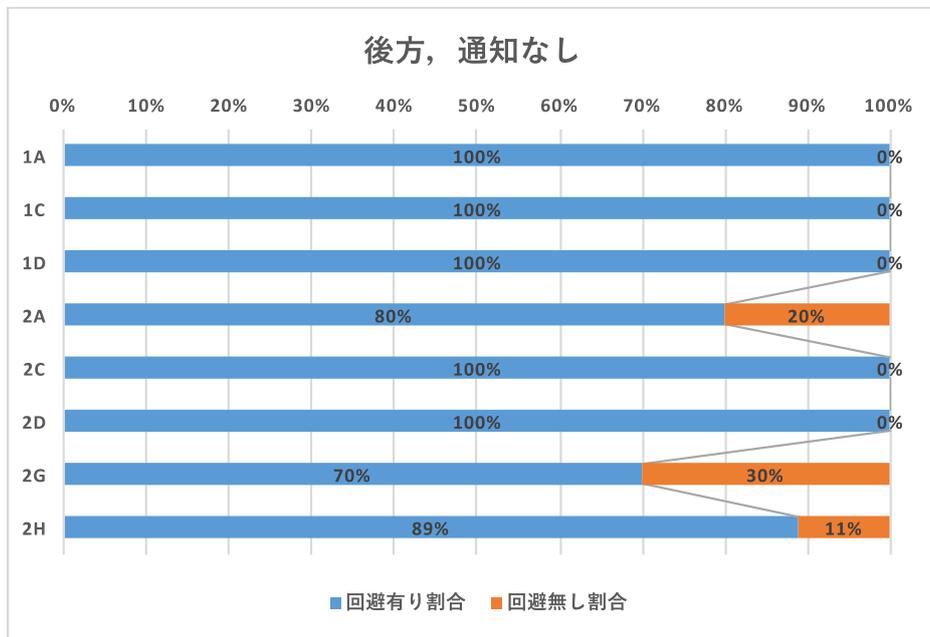


図 5.3.3.3.1-25 後方接近時・接近通知なしシナリオの回避有無割合

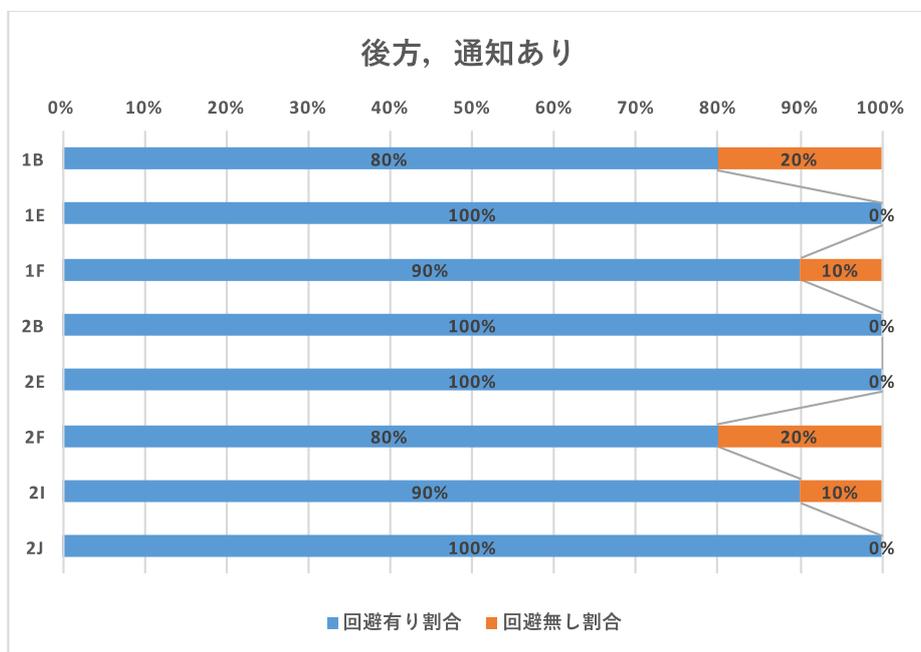


図 5.3.3.3.1-26 後方接近時・接近通知ありシナリオの回避有無割合

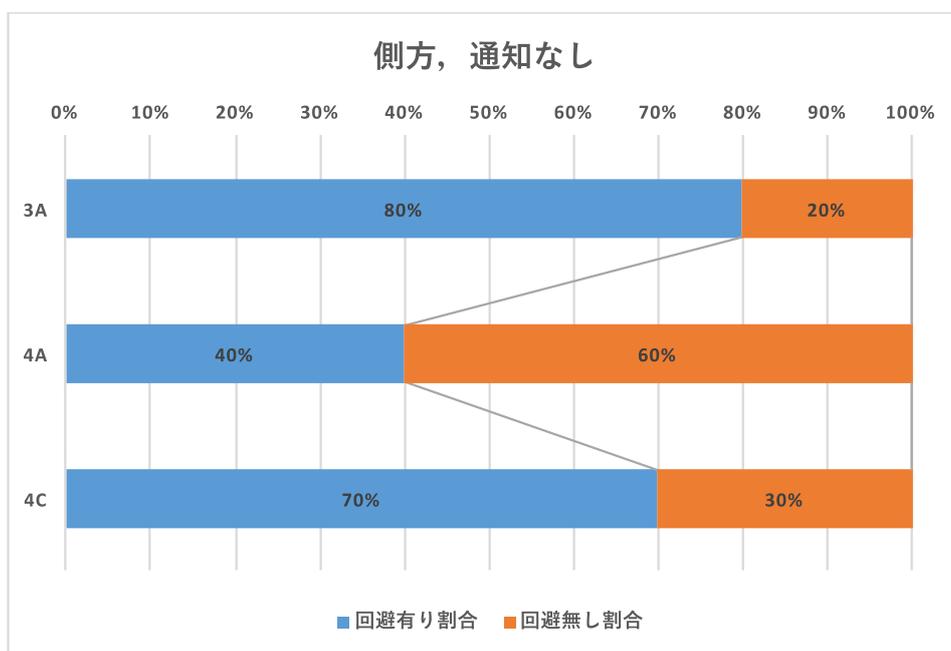


図 5.3.3.3.1-27 側方接近時・接近通知なしシナリオの回避有無割合

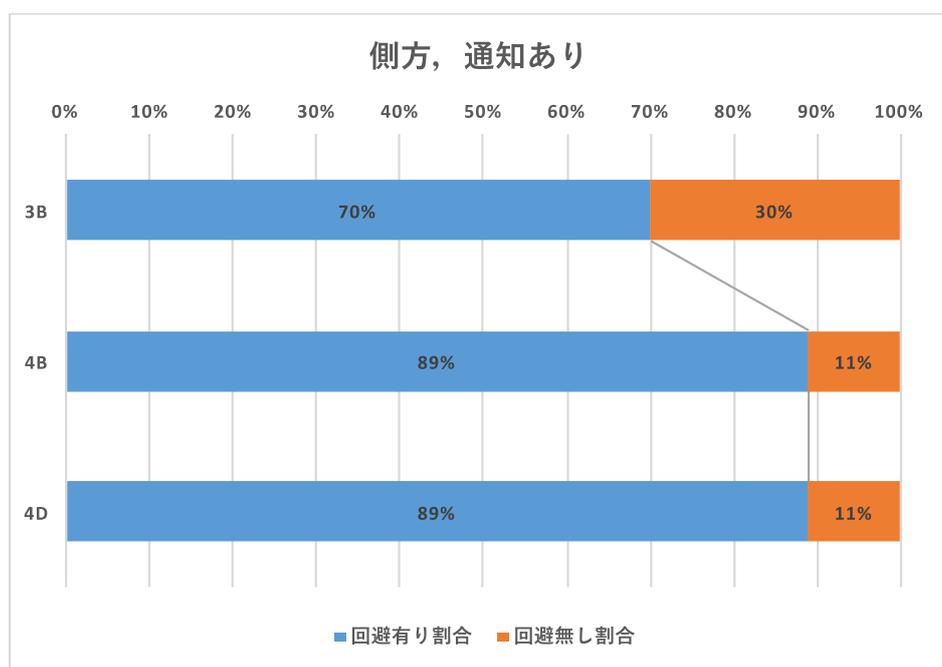


図 5.3.3.3.1-28 側方接近時・接近通知ありシナリオの回避有無割合

救急車が接近した際、直接回避するための減速ではなく、予備的な減速を行った被験者の割合について、以下のシナリオで集計した結果をそれぞれ図 5.3.3.3.1-29～図 5.3.3.3.1-32に示す。なお、予備減速の実施については、操作ログデータを参考に、停止行動ではない減速を行っているかで判断した。

- 「後方接近時・接近通知なし」のシナリオ（1A,1C,1D,2A,2C,2D,2G,2H）
- 「後方接近時・接近通知あり」のシナリオ（1B,1E,1F,2B,2E,2F,2I,2J）
- 「側方接近時・接近通知なし」のシナリオ（3A,4A,4C）
- 「側方接近時・接近通知あり」のシナリオ（3B,4B,4D）

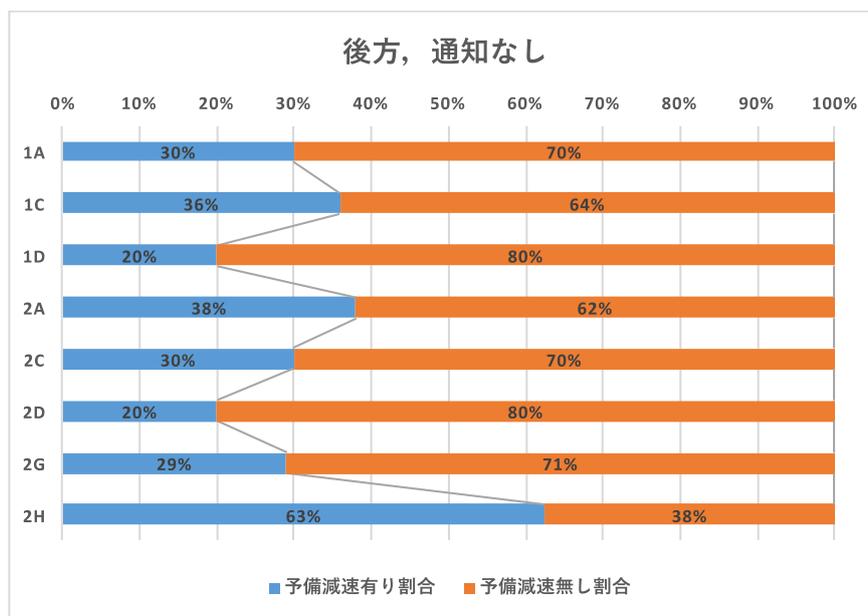


図 5.3.3.3.1-29 後方接近時・接近通知なしシナリオの予備減速有無割合

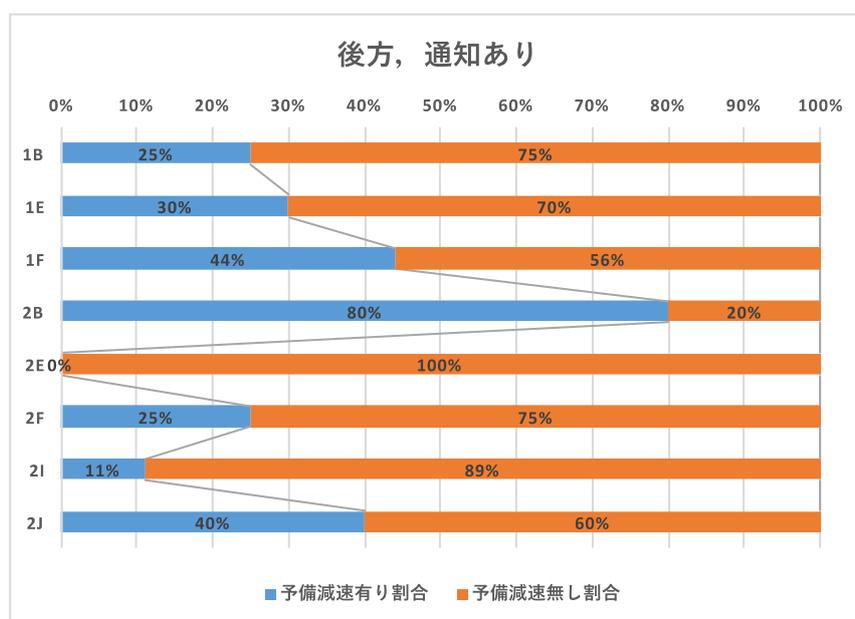


図 5.3.3.3.1-30 後方接近時・接近通知ありシナリオの予備減速有無割合

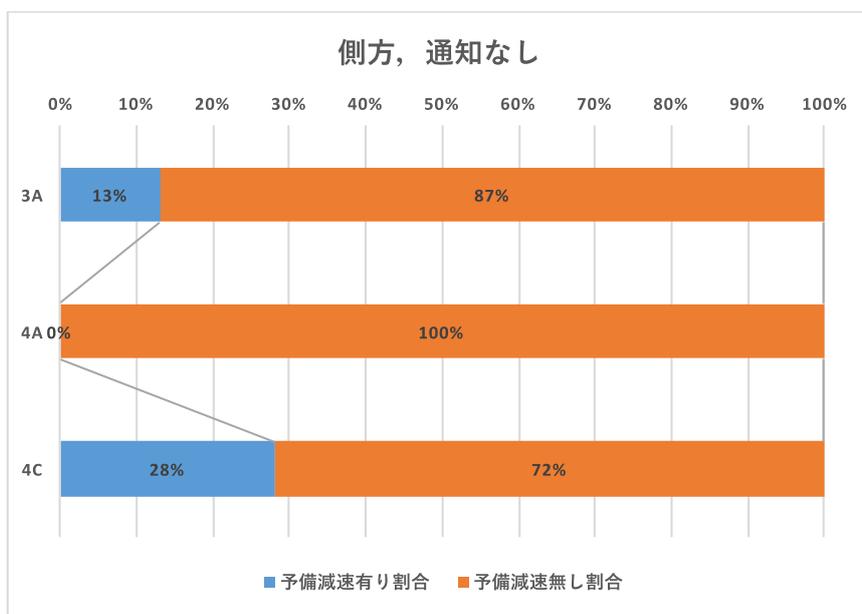


図 5.3.3.3.1-31 側方接近時・接近通知なしシナリオの予備減速有無割合

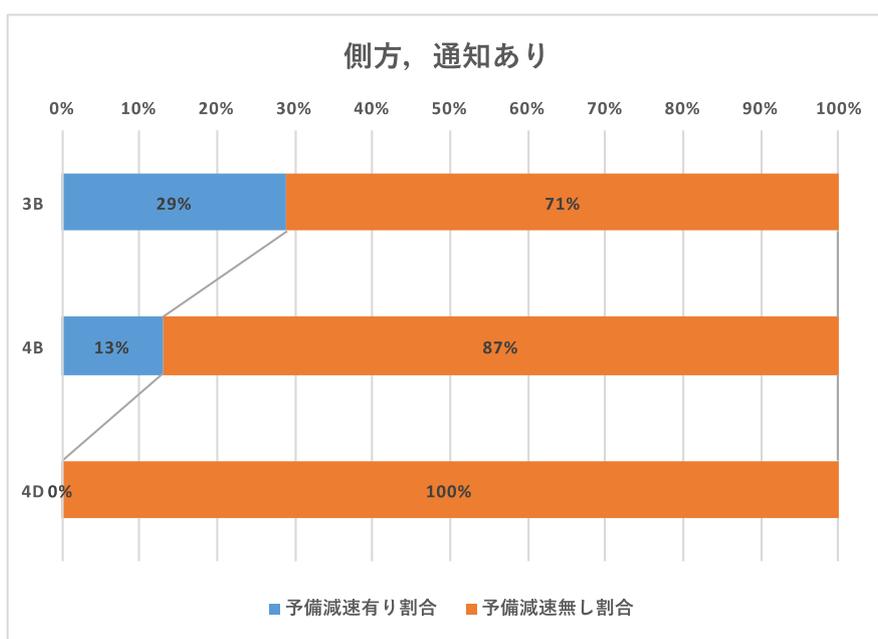


図 5.3.3.3.1-32 側方接近時・接近通知ありシナリオの予備減速有無割合

回避行動を行うと判断したきっかけについて、以下のシナリオで集計した結果をそれぞれ図 5.3.3.3.1-33～図 5.3.3.3.1-36に示す。なお、きっかけについては、実験後のインタビューにおける被験者の回答で判断した。

- 「後方接近時・接近通知なし」のシナリオ（1A,1C,1D,2A,2C,2D,2G,2H）
- 「後方接近時・接近通知あり」のシナリオ（1B,1E,1F,2B,2E,2F,2I,2J）

- 「側方接近時・接近通知なし」のシナリオ (3A,4A,4C)
- 「側方接近時・接近通知あり」のシナリオ (3B,4B,4D)

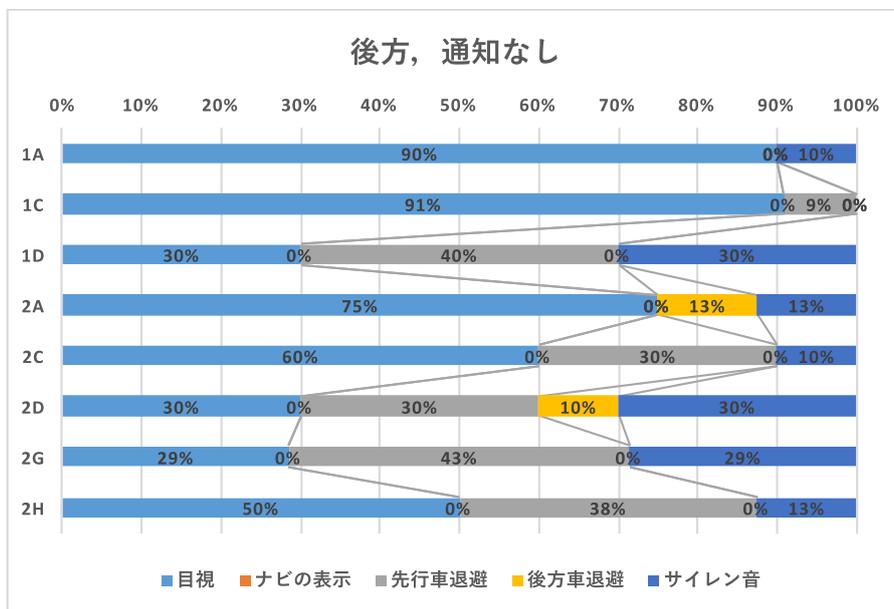


図 5.3.3.3.1-33 後方接近時・接近通知なしシナリオの判断きっかけ

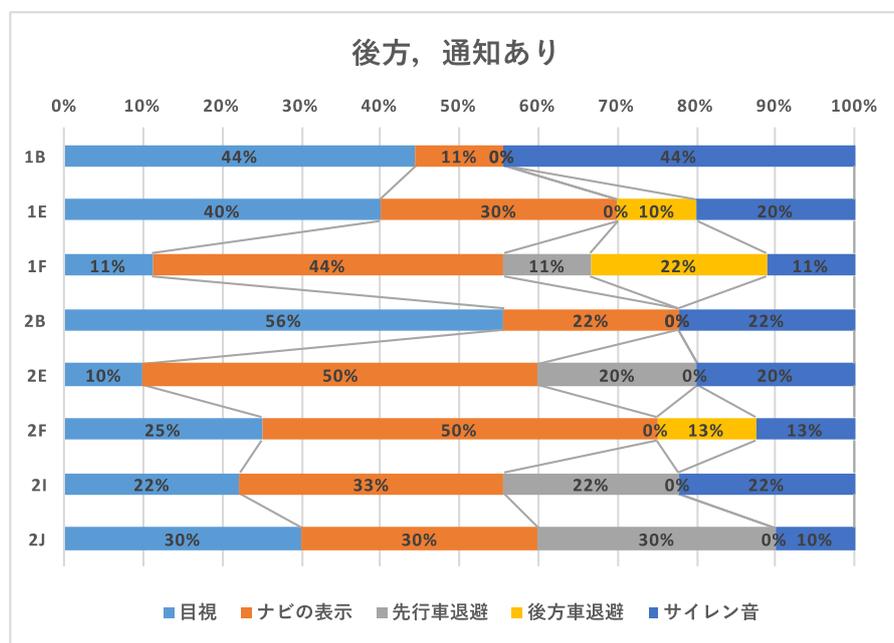


図 5.3.3.3.1-34 後方接近時・接近通知ありシナリオの判断きっかけ

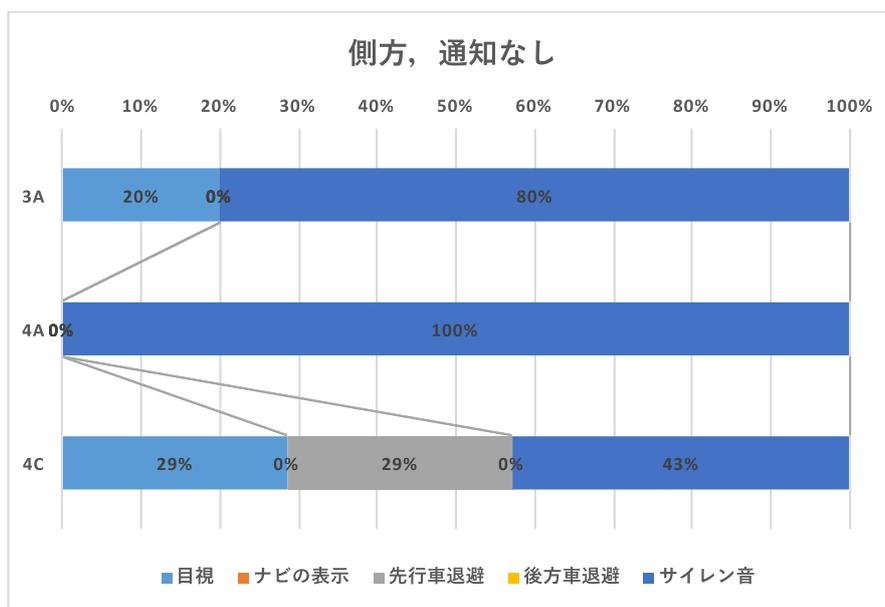


図 5.3.3.3.1-35 側方接近時・接近通知なしシナリオの判断きっかけ

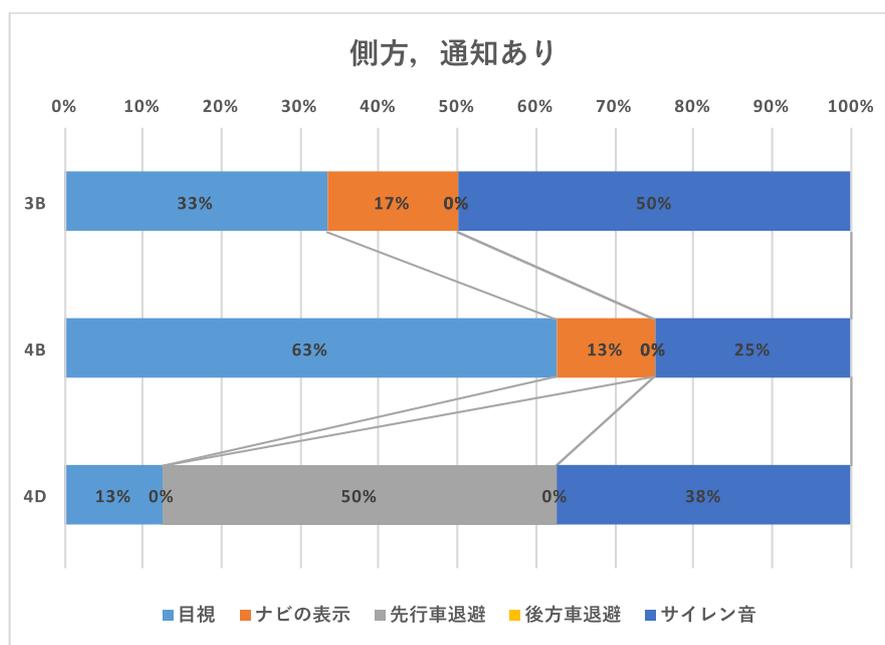


図 5.3.3.3.1-36 側方接近時・接近通知ありシナリオの判断きっかけ

回避操作内容について、以下のシナリオで集計した結果をそれぞれ図 5.3.3.3.1-37～図 5.3.3.3.1-40に示す。

- 「後方接近時・接近通知なし」のシナリオ（1A,1C,1D,2A,2C,2D,2G,2H）
- 「後方接近時・接近通知あり」のシナリオ（1B,1E,1F,2B,2E,2F,2I,2J）

- 「側方接近時・接近通知なし」のシナリオ（3A,4A,4C）
- 「側方接近時・接近通知あり」のシナリオ（3B,4B,4D）

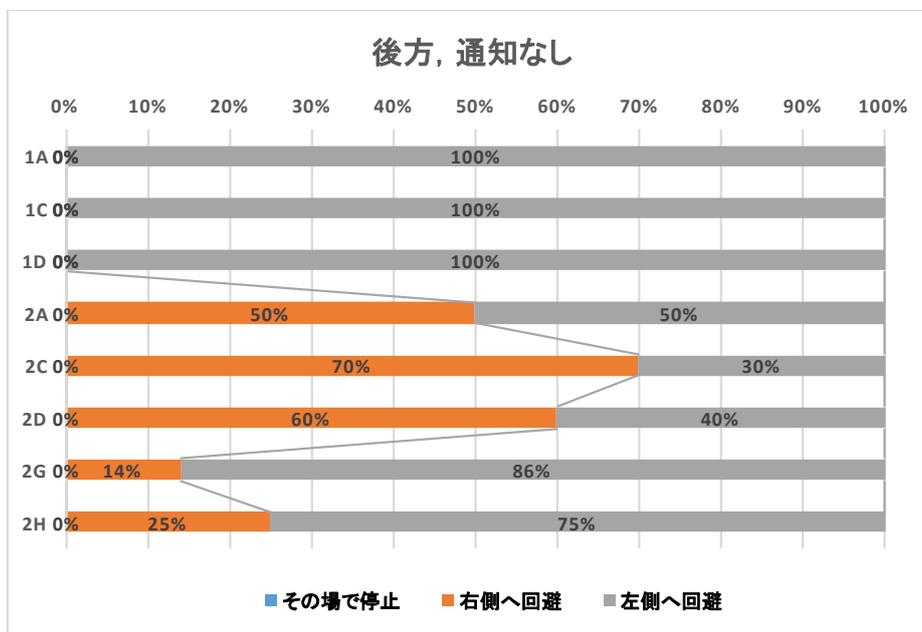


図 5.3.3.3.1-37 後方接近時・接近通知なしシナリオの操作内容

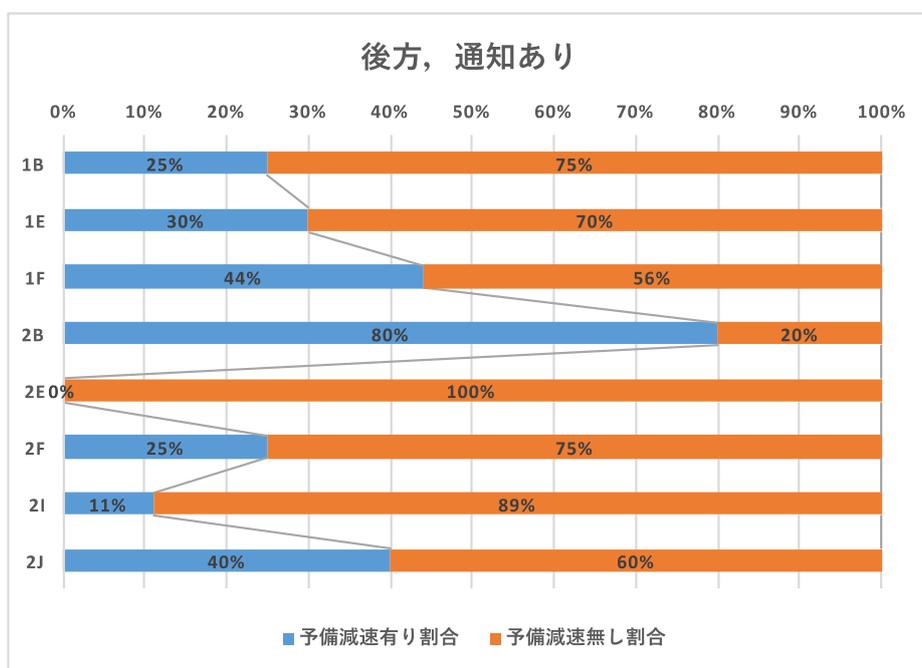


図 5.3.3.3.1-38 後方接近時・接近通知ありシナリオの操作内容

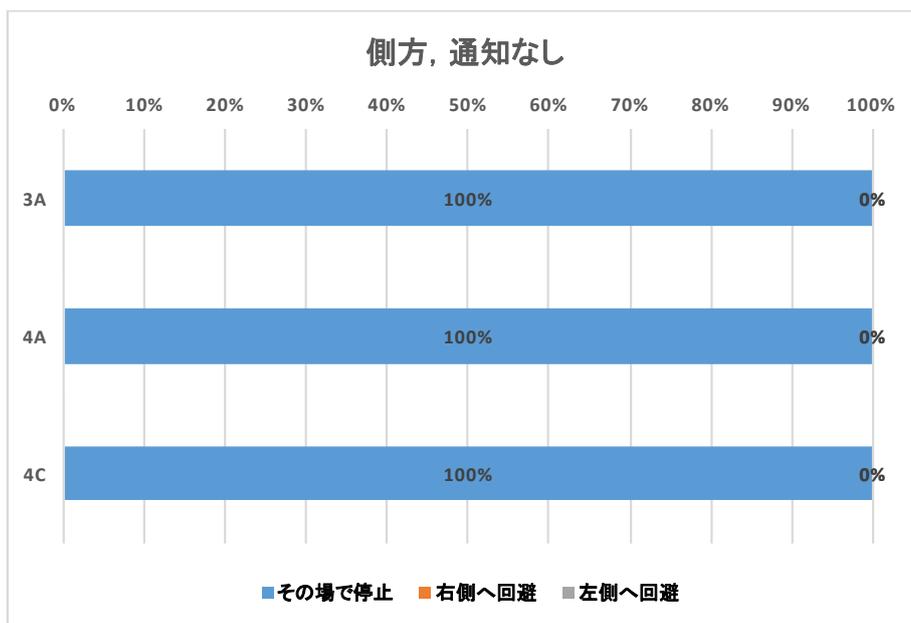


図 5.3.3.3.1-39 側方接近時・接近通知なしシナリオの操作内容

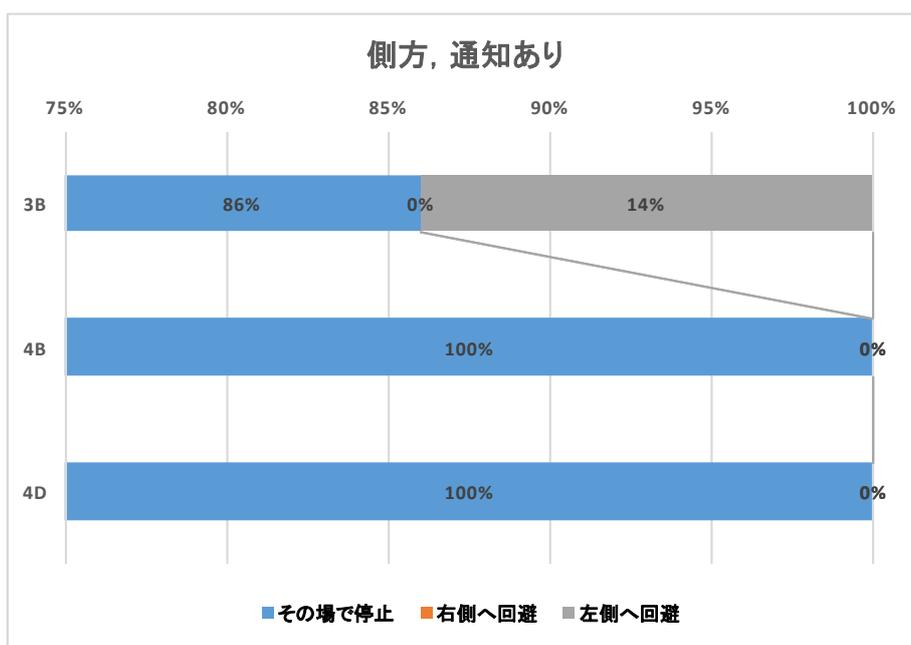


図 5.3.3.3.1-40 側方接近時・接近通知ありシナリオの操作内容

走行開始時刻から、救急車の接近を認知したタイミングおよびその後回避を判断するタイミングについて、以下のシナリオで集計した結果をそれぞれ図 5.3.3.3.1-41～図 5.3.3.3.1-43 に示す。なお、認知タイミングについては、実験後の被験者へのインタビューでの回答結果を参考とした。判断タイミングについてもインタビューで回答しても

らったが、ログデータ上では明らかに回避している後の時間を回答しているなど、非常に曖昧なものであったことから、認知したタイミングから操作ログデータを参考に回避行動を行っているタイミングの1秒前までの時間を判断タイミングとした。(判断後操作までの時間を1秒と仮定)

- 「片側1車線後方接近時」のシナリオ (1A,1B,1C,1D,1E,1F)
- 「片側2車線後方接近時」のシナリオ (2A,2B,2C,2D,2E,2F,2G,2H,2I,2J)
- 「側方接近時」のシナリオ (3A,3B,4A,4B,4C,4D)

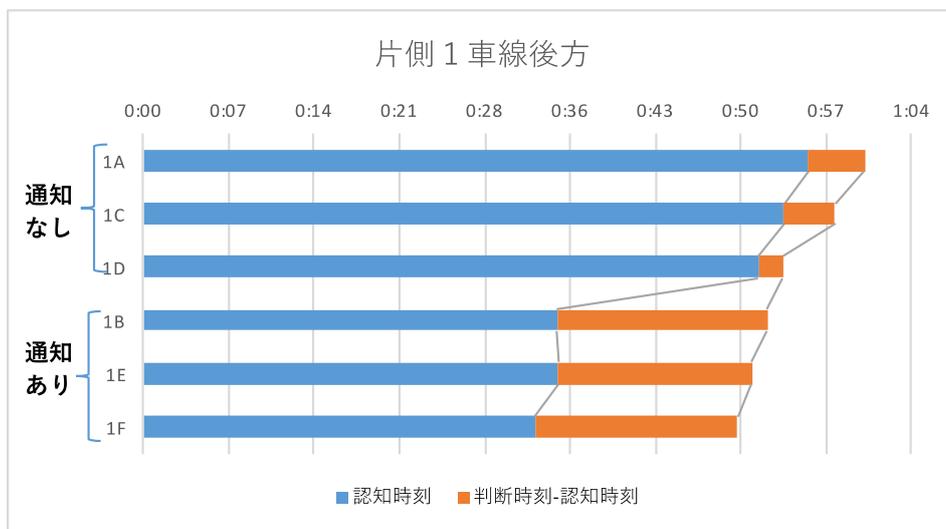


図 5.3.3.3.1-4.1 片側1車線後方接近時シナリオの認知・判断までの時刻

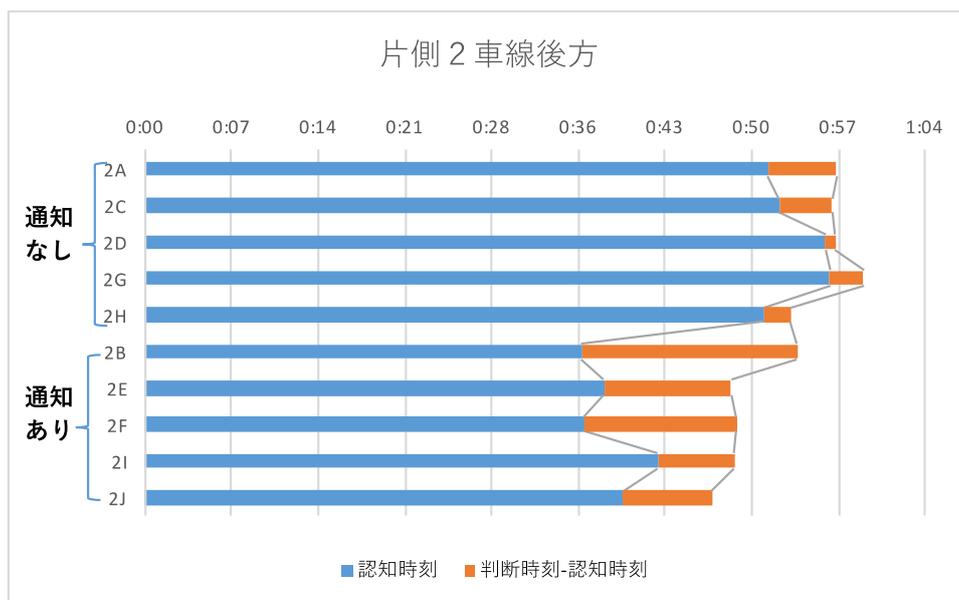


図 5.3.3.3.1-4.2 片側2車線後方接近時シナリオの認知・判断までの時刻

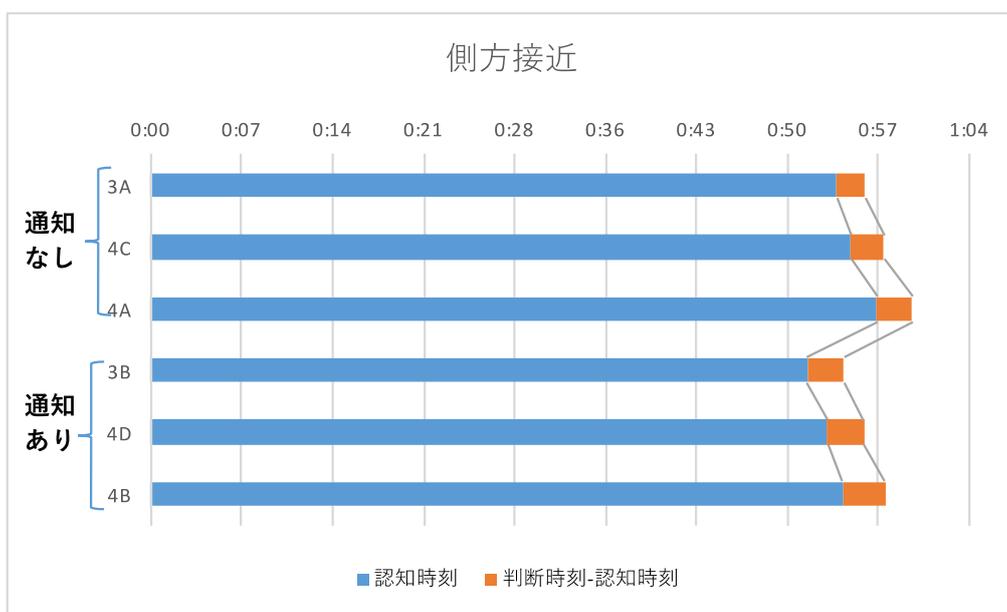


図 5.3.3.3.1-43 側方接近時シナリオの認知・判断までの時刻

3) 救急車接近通知アプリケーションが回避行動に与える影響の分析

本節ではドライビングシミュレータ実験で取得した被験者の救急車回避行動データを元に、救急車接近通知アプリケーションが回避行動に与える影響について考察し、回避操作の迅速化に効果があるかを検証する。

まず、後方接近時の回避行動における、救急車の認知から実際の回避操作のタイミングについて考察する。図 5.3.3.3.1-44 は片側1車線後方接近時の救急車認知タイミングおよび回避操作タイミングの平均値を示している。情報提供なしの場合は、先行車の回避行動が異なる3つのシナリオ、1A、1C、1Dの全サンプルの平均である。同様に、情報提供ありの場合は、シナリオ1B、1E、1Fの全サンプルの平均である。

縦軸は、サイレン音の提示タイミングとのタイミング差とした。情報提供なしの場合、図中の棒の最下部がサイレン音の再生タイミングを表し、青色部分がサイレン音提示から認知までの時間の平均値、オレンジ色部分が認知から回避操作までの時間を示す。一方で、情報提供ありの場合、棒の最下部は接近通知アプリケーションによる情報提供の表示タイミングを表す。

図より、情報提供ありの場合、情報提供なしに比べて認知タイミングが平均18.4秒早くなっており、回避操作タイミングは平均5秒早くなっていることが分かる。これは情報提供ありの場合、情報提供表示がサイレン音より平均20.3秒早く行われたためと推測される。この情報提供をきっかけとして救急車を認知した被験者の割合および回避判断をした被験者の割合について図 5.3.3.3.1-45 および図 5.3.3.3.1-46 に示す。図 5.3.3.3.1-45 より、情報提供ありの場合、90%の被験者が接近通知アプリの情報提供をきっかけに救急車を認知しており、認知タイミングの迅速化に大きな効果があることが分かる。

一方で、図 5.3.3.3.1-46 より、回避判断のきっかけが接近通知アプリである被験者は 27%と 2 番目に多いものの、その割合は認知のきっかけよりも減少している。このことから回避判断については、個々の被験者の行動パターンや周囲の交通の状況によりきっかけにばらつきがあると考えられる。結果として、接近通知アプリは回避判断のきっかけとして最も利用され、回避操作の迅速化に繋がることが分かった。但し、効果の度合いは認知タイミングに比べると減少することが分かった。

図 5.3.3.3.1-47 は片側 2 車線後方接近時の認知タイミングと回避操作タイミングを表している。片側 2 車線時も片側 1 車線時と同様の傾向にあることを確認し、接近通知アプリの情報提供が認知タイミングと回避操作タイミングの迅速化に効果があることを確認した。

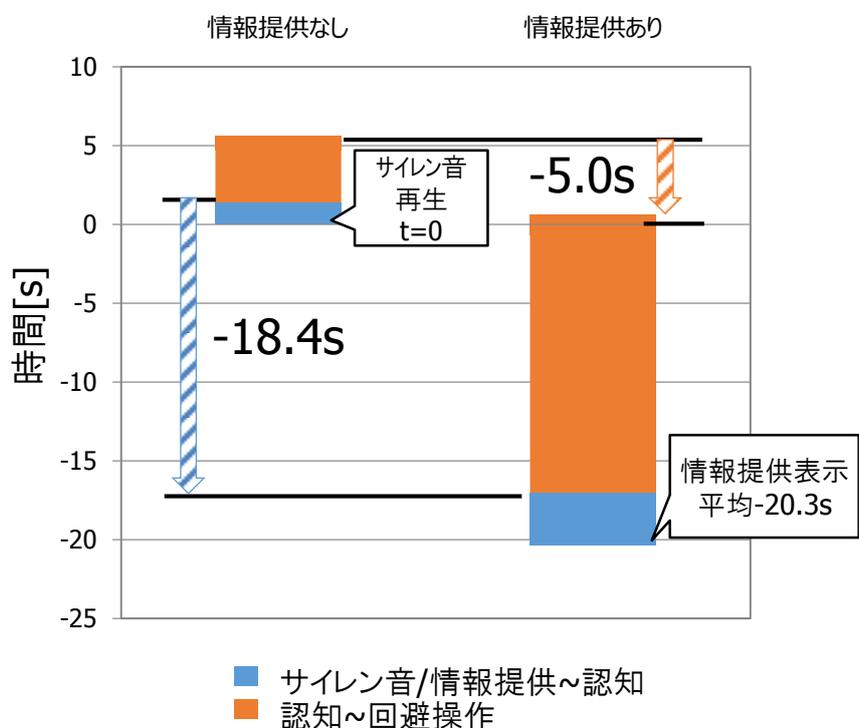


図 5.3.3.3.1-44 救急車認知から回避操作までのタイミング (片側 1 車線後方接近)

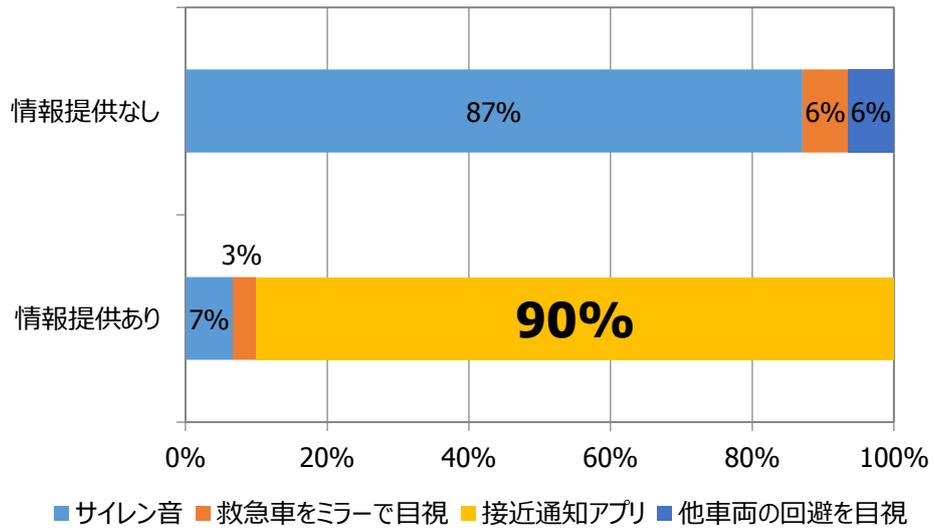


図 5.3.3.3.1-45 救急車認知のきっかけ (片側1車線後方接近)

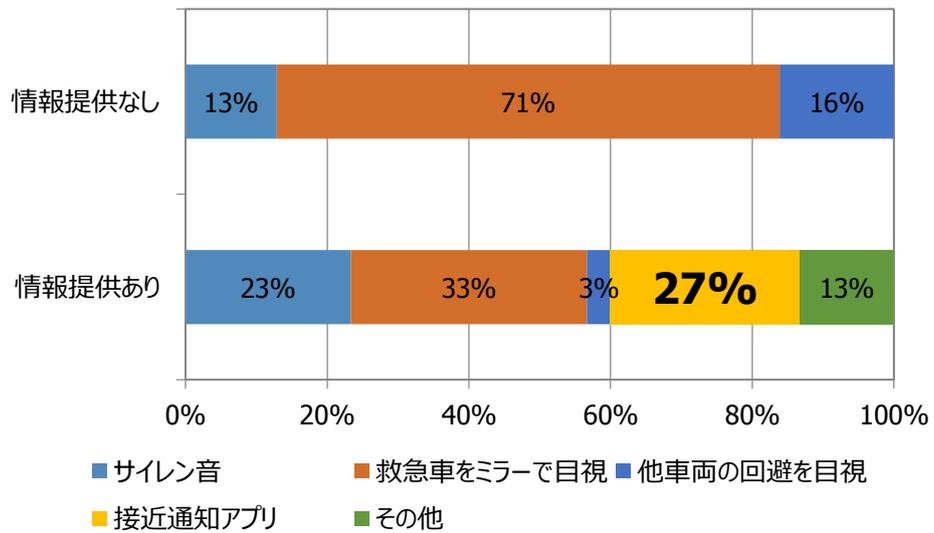


図 5.3.3.3.1-46 回避判断のきっかけ (片側1車線後方接近)

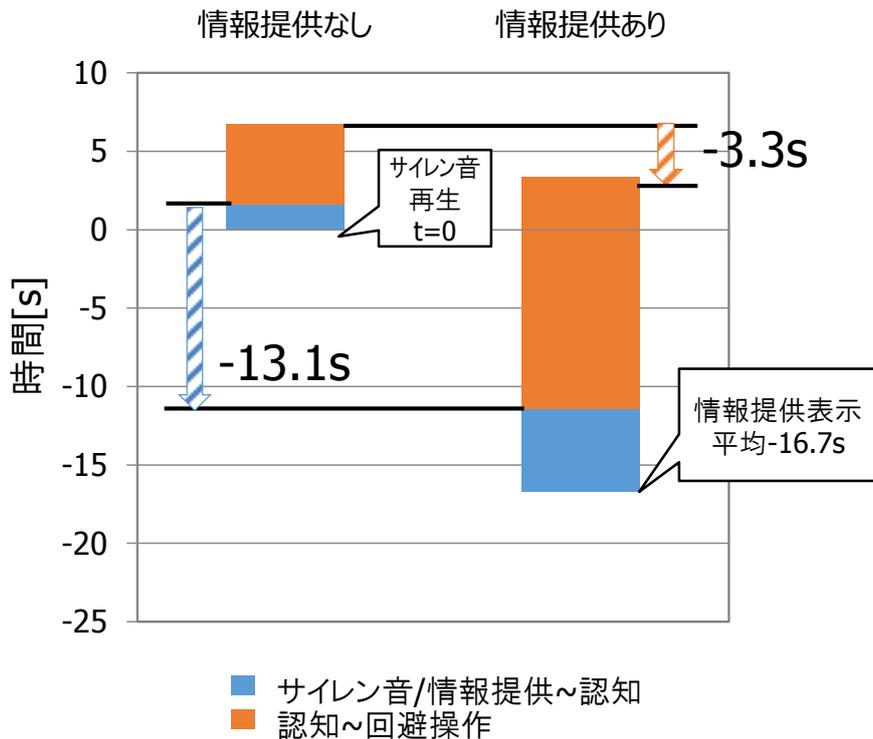


図 5.3.3.3.1-47 救急車認知から回避操作までのタイミング (片側2車線後方接近)

次に、側方接近時の回避行動について、救急車の認知から実際の回避操作のタイミングについて考察する。図 5.3.3.3.1-48 は片側1車線側方接近時の救急車認知タイミングおよび回避操作タイミングの平均値を示している。後方接近時と同様に先行車の回避行動が異なる複数のシナリオの全サンプルの平均である。

図より、情報提供ありの場合となしの場合で、認知タイミングと回避操作タイミングはほぼ同等であることが分かる。これは、情報提供の表示タイミングがサイレン音の再生タイミングより平均3秒しか早く行われておらず、認知や回避操作の迅速化に影響していないためと推測される。実際、図 5.3.3.3.1-49 に示すように、90%の被験者が接近通知アプリの情報提供をきっかけに救急車を認知しており、認知のきっかけとして有用であることは確認できた。一方で、図 5.3.3.3.1-50 に示すように、回避判断においては、5%とわずかな被験者しか情報提供をきっかけとしておらず、結果として回避操作タイミングの迅速化には繋がっていないことが分かった。

今回の実験条件では、側方接近シナリオで想定した交差点周辺は道路端まで高層建造物が存在するものとした。この場合、救急車と自車両の間は完全な見通し外となるため、通信距離が短くなり、結果的に情報提供が提示されるタイミングとサイレン音が提示されるタイミング差が小さくなる。一方で、側方接近においても、建造物の高さが低い、建造物の存在する間隔が広いなどの条件の違いにより完全な見通し外とはならない場合は、車車間通信距離

が長くなることで情報提供タイミングが早くなり、回避操作の迅速化に十分な効果が得られる可能性があると考えられる。

図 5.3.3.3.1-51 は片側 2 車線側方接近時の認知タイミングと回避操作タイミングを表している。片側 2 車線時も片側 1 車線時と同様の傾向にあることを確認した。

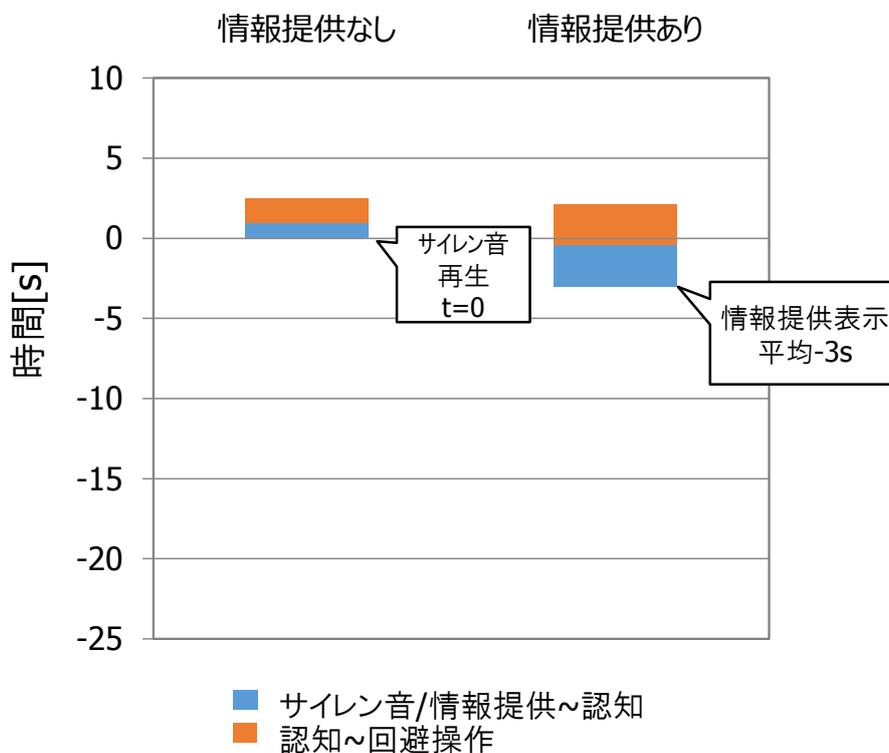


図 5.3.3.3.1-48 救急車認知から回避操作までのタイミング (片側 1 車線側方接近)

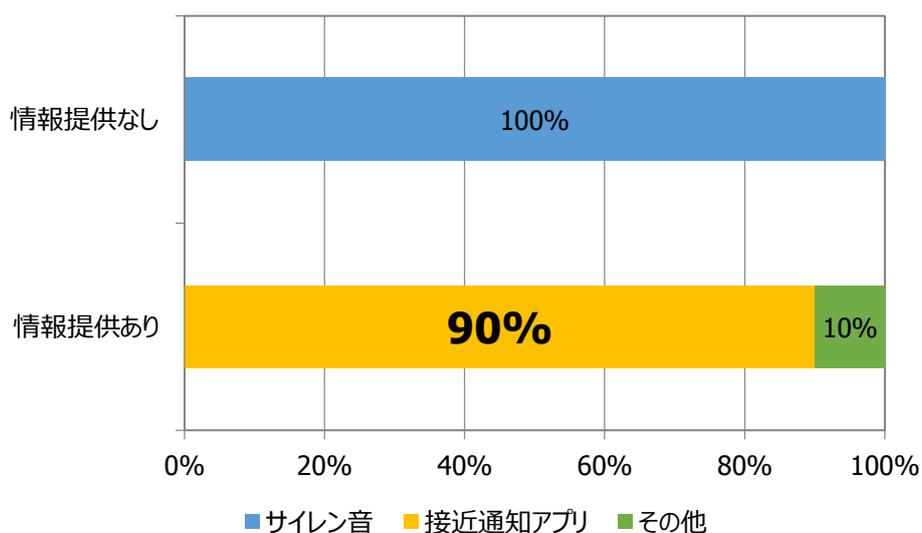


図 5.3.3.3.1-49 救急車認知のきっかけ (片側 1 車線側方接近)

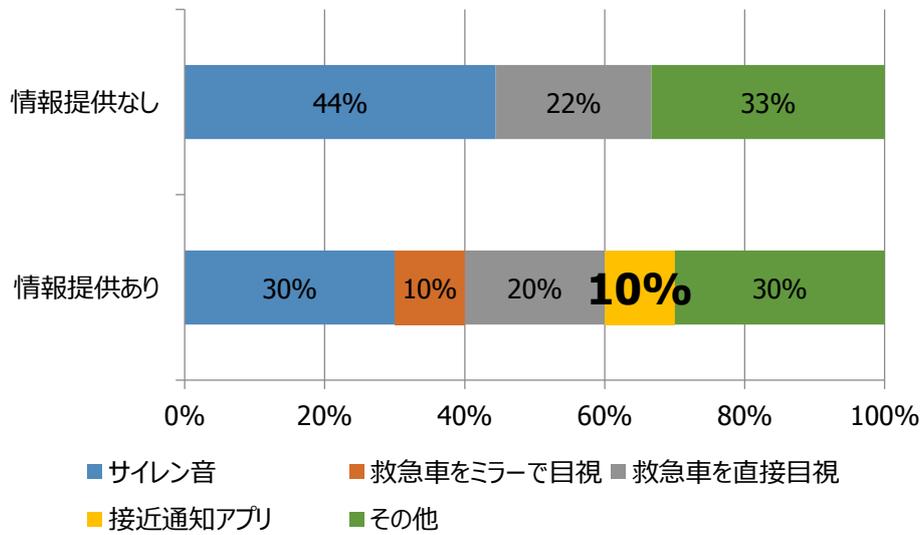


図 5.3.3.3.1-50 回避判断のきっかけ (片側1車線側方接近)

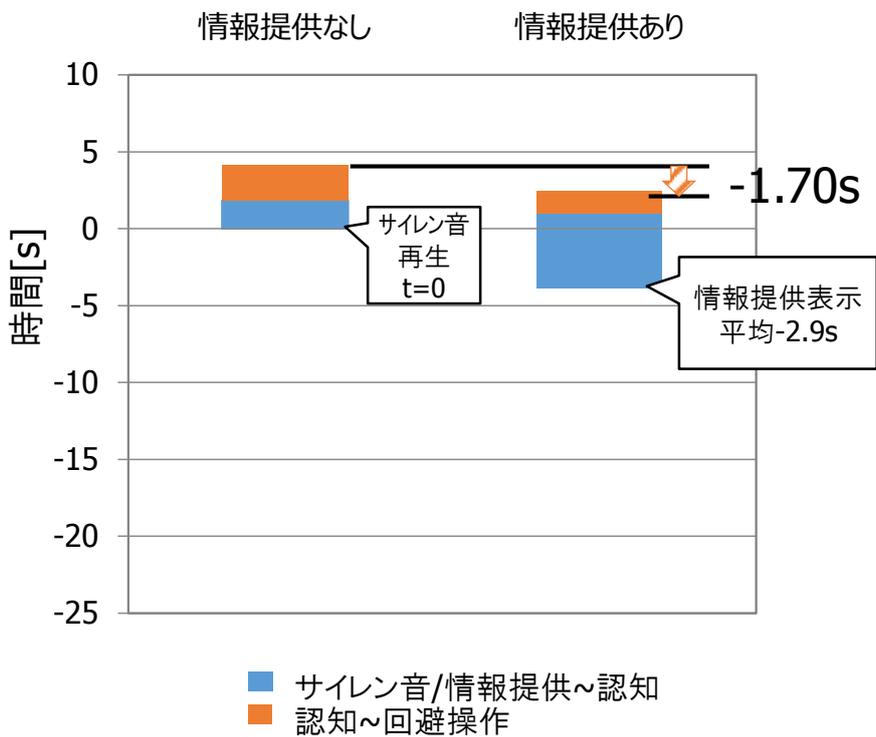


図 5.3.3.3.1-51 救急車認知から回避操作までのタイミング (片側2車線側方接近)

5.3.3.3.2. 被験者へのアンケート調査

ドライビングシミュレータにて救急車接近通知アプリケーションのシナリオを体験した37名の被験者に対しては、救急車接近通知アプリケーションの使い勝手に関するアンケートを実施した。

1) 救急車接近通知アプリケーションの使い勝手に関するアンケート

救急車接近アプリケーションが有効なシナリオ（接近情報ありシナリオ）を体験した37名の被験者に対して、救急車接近通知アプリの使い勝手に関するアンケートを実施した。質問項目は下記の通りである。

質問①：提供された情報は救急車に道を譲る際に役に立ちましたか？

質問②：質問①で【役に立った】と答えた人について

- ②-1：役に立ったと感じた理由は何ですか？
- ②-2：提供された以下の4つの情報について、それぞれどの程度役に立ちましたか？
 - 救急車までの距離の数値
 - 地図上に表示された救急車の位置
 - 画像で表示された救急車の接近方向
 - 救急車の接近を知らせる警告音
- ②-3：今回の情報提供はどのような場面で特に役に立つと思われませんか？
- ②-4：実際に車を運転する際、同様の情報提供を使いたいと思いませんか？
- ②-5：このシステムは既存のカーナビ等の車載機器に機能を追加して使用することが想定されています。既存のカーナビにこの機能が追加された場合、どのくらい上乗せした価格なら付けたいと思いませんか？

質問③：質問①で【役に立たなかった】と答えた人について

- ③-1：役に立たなかったと感じた理由は何ですか？
- ③-2：提供された4つの情報について、どの程度役に立ちましたか？
 - 救急車までの距離の数値
 - 地図上に表示された救急車の位置
 - 画像で表示された救急車の接近方向
 - 救急車の接近を知らせる警告音
- ③-3：今回の情報提供はどのような場面で特に役に立つと思われませんか？

まず、質問①「提供された情報は救急車に道を譲る際に役に立ちましたか？」という質問については、「役に立った」、または「どちらかと言えば役に立った」と回答した被験者は32名であった。一方、「どちらかと言えば役に立たなかった」、または「役に立たなかった」と回答した被験者は5名であった。

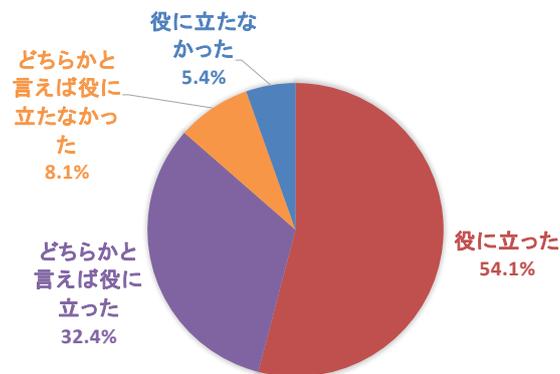


図 5.3.3.3.2-1 「提供された情報は救急車に道を譲る際に役に立ったか」回答結果

「役に立った」または「どちらかと言えば役に立った」と回答した 32 名に対して、以下の質問を行った回答結果をそれぞれ図 5.3.3.3.2-2～図 5.3.3.3.2-6 に示す。

- 「役に立ったと感じた理由」(図 5.3.3.3.2-2)
- 「提供された 4 つの情報について、どの程度役に立ったか」(図 5.3.3.3.2-3)
 - 救急車までの距離の数値
 - 地図上に表示された救急車の位置
 - 画像で表示された救急車の接近方向
 - 救急車の接近を知らせる警告音
- 「情報提供がどのような場面で特に役に立つと思うか」(図 5.3.3.3.2-4)
- 「実際に車を運転する際に同様の情報提供を使いたいと思うか」(図 5.3.3.3.2-5)
- 「既存のカーナビへ機能追加される場合の上乗せ価格の上限」(図 5.3.3.3.2-6)

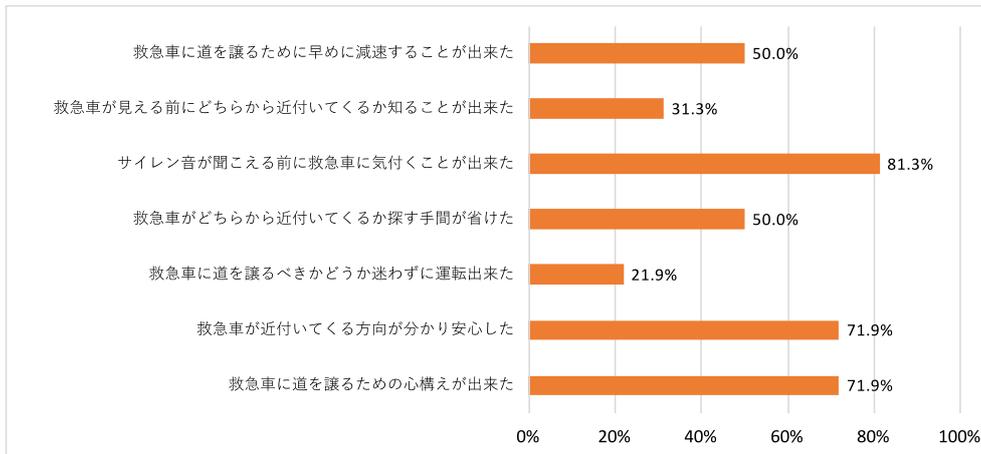


図 5.3.3.3.2-2 「役に立ったと感じた理由」回答結果

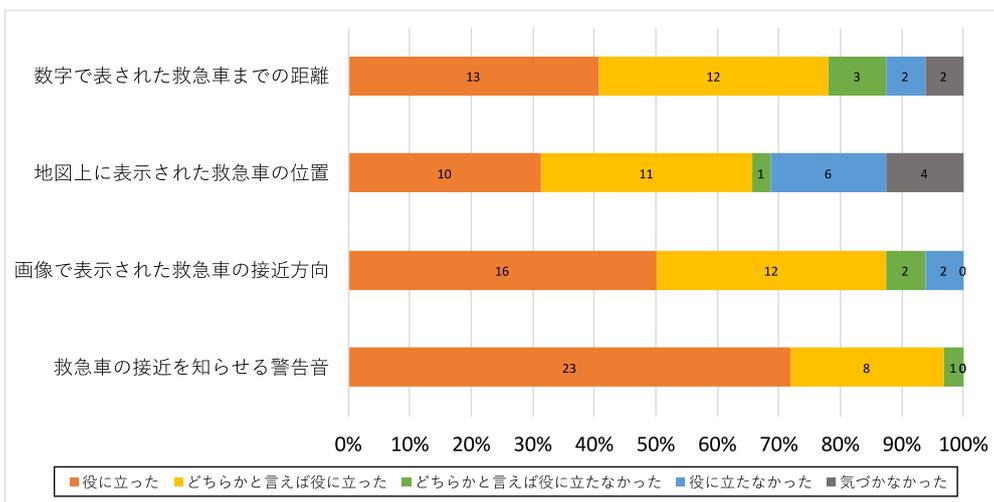


図 5.3.3.3.2-3 「提供された各情報はどの程度役に立ったか」回答結果

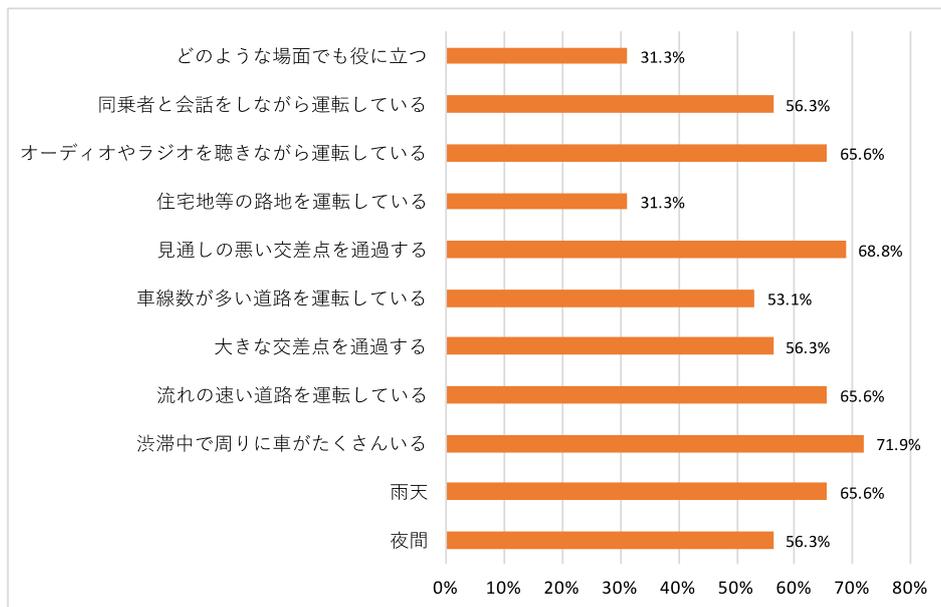


図 5.3.3.3.2-4 「提供された情報が特にどの場面で役に立つと思うか」 回答結果

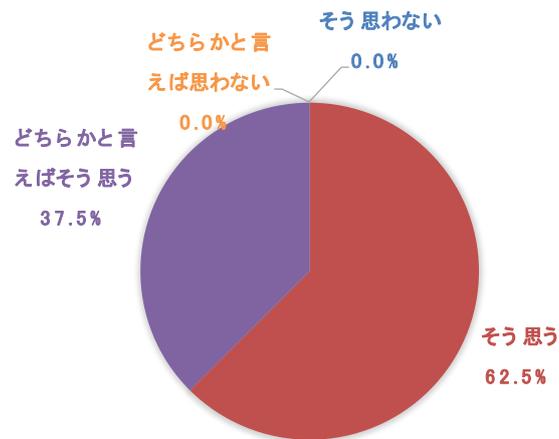


図 5.3.3.3.2-5 「実際に車を運転する際に同様の情報提供を使いたいと思うか」 回答結果

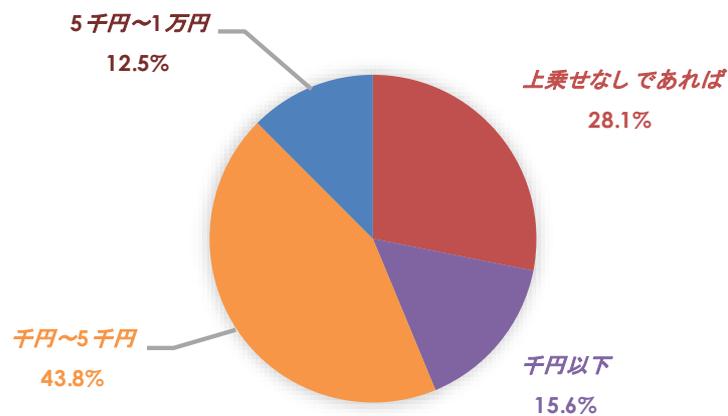


図 5.3.3.3.2-6 「既存のカーナビへ機能追加される場合の上乗せ価格の上限」回答結果

一方、「どちらかと言えば役に立たなかった」または「役に立たなかった」と回答した 5 名に対して、以下の質問を行った回答結果をそれぞれに図 5.3.3.3.2-7～図 5.3.3.3.2-10 示す。

- 「役に立たなかったと感じた理由」(図 5.3.3.3.2-7)
- 「提供された 4 つの情報について、どの程度役に立ったか」(図 5.3.3.3.2-8)
 - 救急車までの距離の数値
 - 地図上に表示された救急車の位置
 - 画像で表示された救急車の接近方向
 - 救急車の接近を知らせる警告音
- 「情報提供がどのような場面で特に役に立つと思うか」(図 5.3.3.3.2-9)

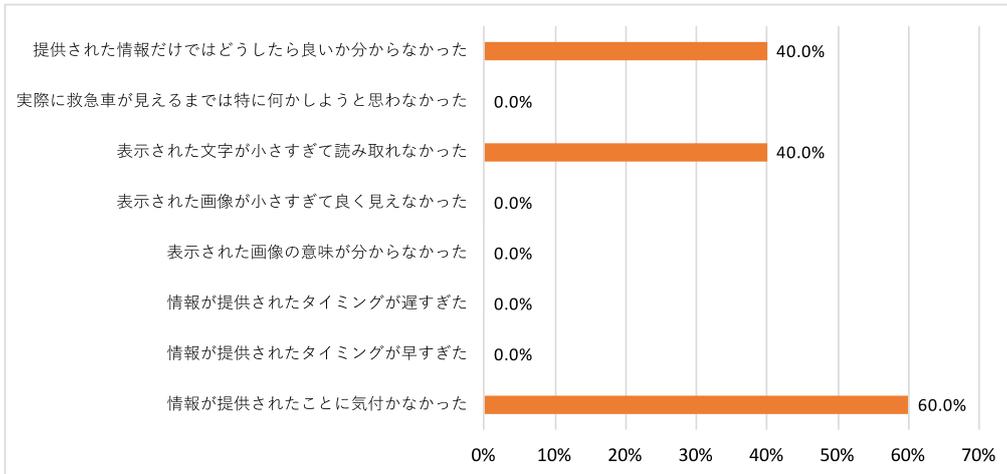


図 5.3.3.3.2-7 「役に立たなかったと感じた理由」回答結果

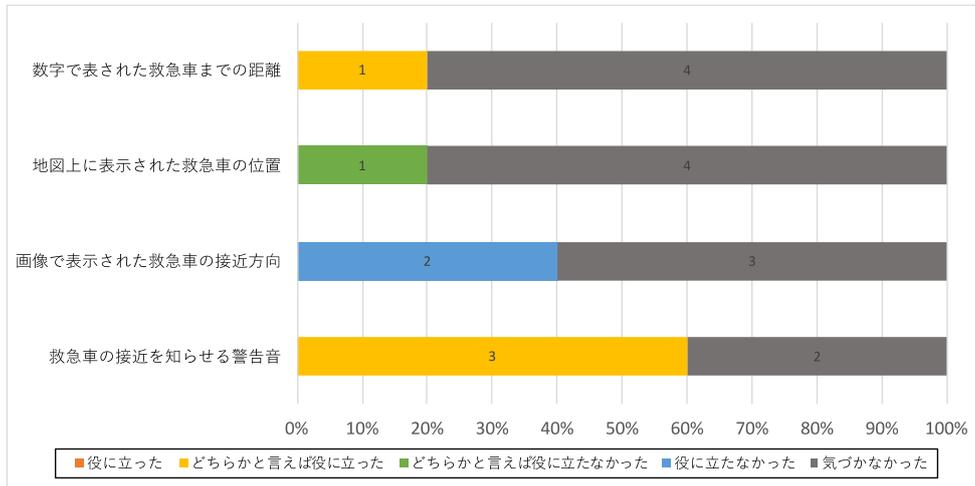


図 5.3.3.3.2-8 「提供された4つの情報について、どの程度役に立ったか」回答結果

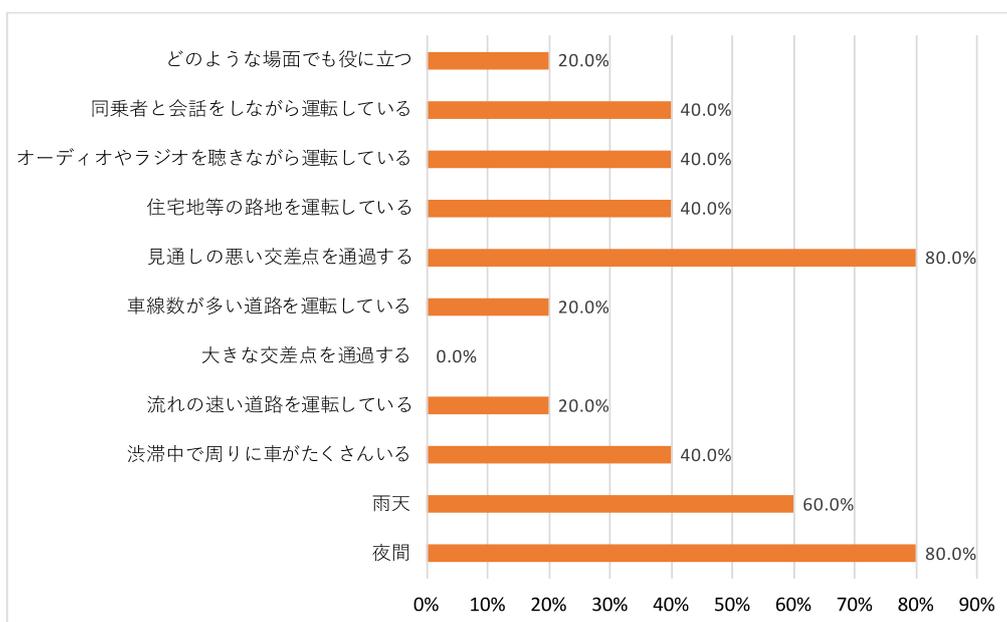


図 5.3.3.3.2-9 「情報提供がどのような場面で特に役に立つと思うか」 回答結果

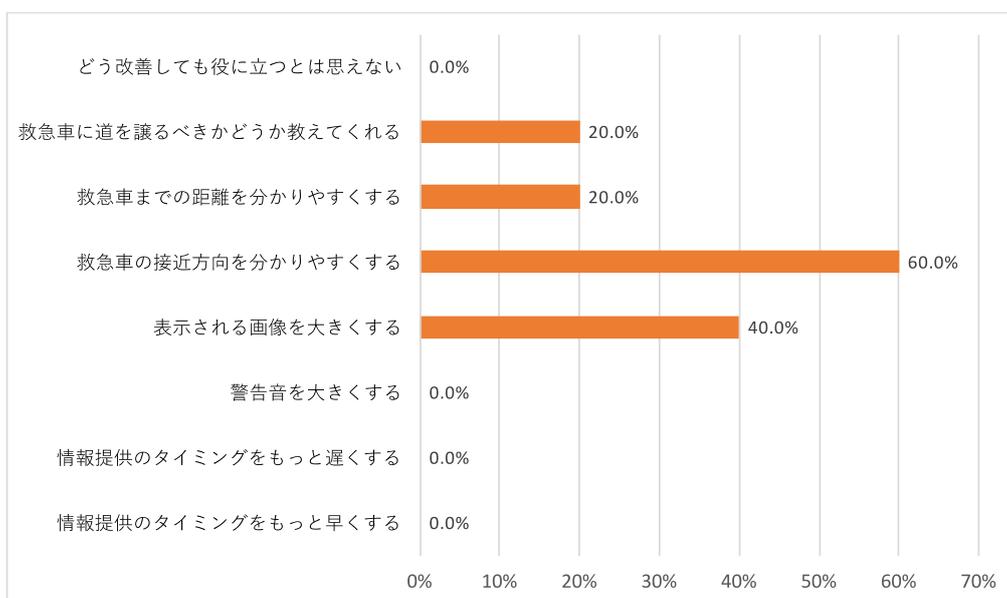


図 5.3.3.3.2-10 「救急車接近情報提供をどう改善すれば役に立つと思うか」 回答結果

2) アンケート結果に対する考察

質問①の回答結果より被験者の 86.5%が接近通知アプリケーションによる情報提供が救急車に道を譲る際に「役立った」または「どちらかと言えば役に立った」と回答しており、本アプリケーションが一般車ドライバーの回避行動の支援に効果があると言える。また、役に立ったまたはどちらかと言えば役に立ったと回答した被験者について、81.3%が「サイレン

音が聞こえるより前に救急車に気付くことが出来た」と回答しており、ドライビングシミュレータ実験の結果と合わせて、情報提供による認知タイミングの迅速化の効果が確認できる。また、71.9%が「救急車が近付いてくる方向が分かり安心した」、「救急車に道を譲るための心構えが出来た」と回答しており、回避行動の負担軽減にも効果があることを確認した。

5.3.3.3.3. 救急車移動時間短縮効果のシミュレーションによる検証

車載器が普及した状況の下での救急車接近通知アプリケーションの有効性を確認するために、実験データに基づき一般車両が救急車を回避する行動をモデル化し組み込んだ交通シミュレーションを用いて救急車移動時間の短縮効果を評価した。

1) 救急車回避行動モデルの構築

車車間通信の車載器の導入効果を適切に評価するためには、交通シミュレーション上の車両の挙動は実際の運転行動に基づいていることが望ましい。一般車両の救急車接近時の回避行動はドライバーによって様々であり、接近時の周囲の交通状況などの道路環境や、救急車のサイレンや位置の認知の有無や認知の遅れ、判断内容、判断の遅れ、操作内容、操作の遅れなど人的要因（ヒューマンファクタ）が大きく影響していると考えられる。以上のことから、本研究で用いる交通シミュレータは、以下の要件を満たす必要がある。

1. 一般的な運転行動（前方車両追従、車線変更、信号停止など）を表現出来る
2. 救急車が接近時の回避行動を模擬できる
3. 個々のドライバーごとに運転の個性を表現できる
4. 個々のドライバーごとにその周囲の状況に応じて自律的に運転行動をする
5. ドライバーは、聴覚、視覚および車載器からのみ情報を認知し、認知した情報に基づき、判断、操作を行う
6. ドライバーの認知の遅れ、判断の遅れ、操作の遅れを表現できる
7. 救急車の回避行動を表現できる
8. 車両間の通信状況（通信の可否など）や通信内容を扱うことができる

上記要件を満たすシミュレータとして、ドライバーの運転行動における遅れ時間や行動内容といったヒューマンファクタを考慮した交通シミュレータ（以下、交通シミュレータ）として、ドライバー毎の運転行動の違いをエージェントとしてモデル化し、道路環境の変化やドライバー（エージェント）間の相互作用による運転行動の変化を、複数のエージェントを配置した仮想的な交通環境の中で模擬できる、マルチエージェント・シミュレーシ

ョン（以下、MAS）のアプローチを採用した交通シミュレータ「artiso² TRASST」[4]を用いた。

本研究開発で用いる交通シミュレータのドライバー行動モデルのフレームワークを図 5.3.3.3.3-1 に示す。ドライバーは、外部世界を車両上から認知する。ドライバーは、認知した情報に基づき自身の交通行動ルールに則り判断を行い、行動タスクを作成し、そのタスクに基づいて乗車車両の操作を行う。なお、ドライバーが認知する情報としては、車両外の視聴覚情報以外にも車車間通信を通して提示される情報を入手できるものとした。

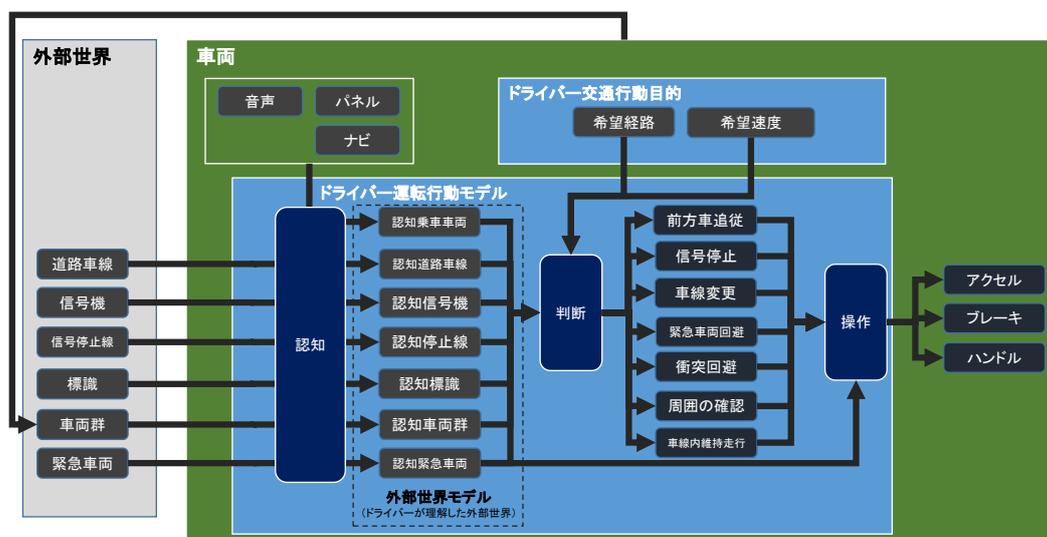


図 5.3.3.3.3-1 構築したドライバー行動モデルのフレームワーク

本研究開発で目的とする評価に必要な交通シミュレーションの要件に対応するために、一般車両ドライバーモデル（救急車回避行動モデル）、救急車走行モデル、道路モデルを交通シミュレータへ組み込んだ。

① ドライバーモデル（救急車回避行動モデル）

本交通シミュレーションにおけるドライバーは、それぞれが自身の行動特性、過去の行動履歴、周囲の環境などに基づいて自律的に行動を行う。ドライバーの行動は前述の「ドライバーの認知、判断、操作モデル」に基づいて行われるが、これら認知・判断・操作の内容やタイミングについては、一般的に個々の能力や行動基準などの個人特性によって異なる。ドライバーの個人特性として「視力」「視野角」「聴力（サイレン音の認知）」「希望速度」「救急車認知きっかけ」「救急車回避のための予備減速の有無」「救急車両回避の有無」「救急車回避判断きっかけ」「救急車回避操作方法」を定義し、以下に述べる方法で設定した。

² 「artiso」は、株式会社構造計画研究所の登録商標である。

ア) 視力及び視野角

「視力」については、自動車での直線走行における予見範囲の距離が文献[5]によると 50～140m となっていることから、この中間値である 90m と設定した。

「視野角」については、既存研究の実験結果より視野角 30° より遠い点では見落としが発生する確率が非常に高くなることから 30° と設定した[6]。

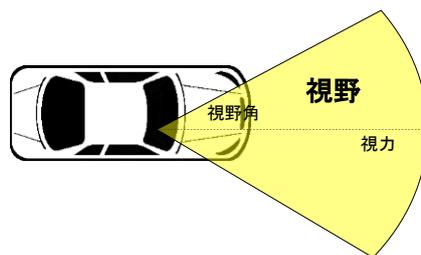


図 5.3.3.3.3-2 ドライバーの視野

ドライバーの視覚情報は、視野範囲内の情報から得られるものとする。視野範囲は、ドライバーの視距離、視野角、向きによって決定される。車両中のドライバーの位置を原点とし、視距離を半径とした視野角の扇型の領域を視野範囲とする。視野範囲の向きは、顔の向きに従って変化する。視野範囲外のものについては認知できないものとし、視野範囲内のものについては距離や大きさに関係なく認知可能とする。なお、他車両や障害物の後ろ側は見えないものとし、これらによって視認領域は変化する。ドライバーの視認領域のイメージを図 5.3.3.3.3-3 に示す。

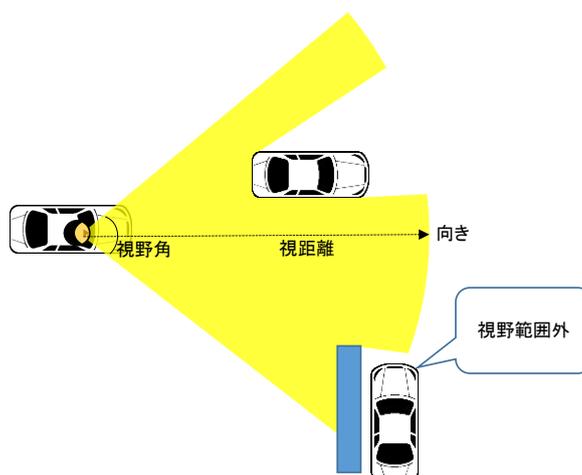


図 5.3.3.3.3-3 ドライバーの視認領域イメージ

イ) 聴力

「聴力 (サイレン音の認知)」は、緊急車両のサイレン音が聞こえる距離について、様々な要因を複合的に検討している文献[3]を参考にした。文献[3]では、緊急車両までの距離と音の認知率の関係が推定されており、本研究におけるドライバーのサイレン音の認知モデルはこの研究で推定された値を用いた。サイレン音の聞こえ方は、距離だけではなくドライバーの状態や車内の環境にも依存する。ここでは、安全側を見積もり、全てのドライバーについて、カーステレオを聴いており、さらに救急車の接近を予期していない状況における救急車までの距離とサイレン音の認知率の値を設定した (図 5.3.3.3.3-4)。

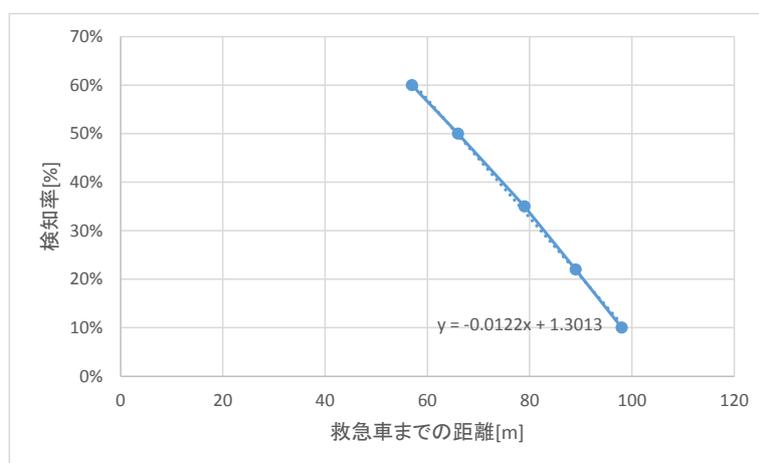


図 5.3.3.3.3-4 救急車までの距離と救急車のサイレン音の認知率

ウ) 希望速度

「希望速度」については、道路の法定速度を希望速度として設定し、基本的に希望速度で走行する。ただし、走行途中で信号や緊急車両の接近、他車両との衝突回避など、状況に応じて減速、停止を行うものとする。

エ) 救急車認知きっかけ

ドライバーは、救急車の接近を認知可能な状況におかれた際には、ある「認知きっかけ」で「認知するタイミング (認知遅れ)」になった時点で救急車の接近を認知する。ここでの救急車の「認知きっかけ」および「認知タイミング」は、ドライビングシミュレータの実験結果に基づき設定した。実験シナリオである、走行車線数、救急車接近通知アプリケーションあり/なし、先行車回避行動あり/なし、先行車両回避タイミング・回避方向、救急車接近方向 (後方/側方) について、シミュレーション上のドライバーの現在の走行で一致した状況 (シナリオ) における「認知きっかけ」および「認知タイミング」を選択する。例えば、現在走行している車線数が1車線で、救急車接近通知アプリケーションが利用可能で、先行車両が回避行動をしていない状況では、1割のドライバーがサイレンにより救急車を認知し、

9割のドライバーが通知アプリケーションにより救急車を認知する（図 5.3.3.3.3-5）。なお、目視などその他の認知理由が存在するため、きっかけの割合が合計 1.0 にならない場合があるため、その際には 1.0 に正規化した割合とする。

また、各認知きっかけにおける認知タイミングについても、実験結果に基づいた認知タイミングを設定する。具体的には、該当する条件の認知きっかけにおける被験者の認知時間について 1 秒区切りのヒストグラムを作成し、秒数ごとの出現確率を求める。ドライバーは出発時にあらかじめ 0.0~1.0 までの乱数値を設定し、秒数ごとの出現確率に基づきルーレット選択により決定する（図 5.3.3.3.3-6）。これにより、認知が早いドライバーは常に認知が早くなり、一方の認知の遅いドライバーは常に認知が遅くなることを表現する。なお、視野範囲内に救急車が存在する場合には、即時認知するものとした。

走行車線数	アプリ通知	先行車退避	接近方向	先行車回避タイミング	CO DE	CODE内容	割合
1	0	0	0	0	11	[認知きっかけ]サイレン割合	0.90
1	0	0	0	0	12	[認知きっかけ]アプリ通知認知割合	0.00
1	1	0	0	0	11	[認知きっかけ]サイレン割合	0.10
1	1	0	0	0	12	[認知きっかけ]アプリ通知認知割合	0.90
2	0	0	0	0	11	[認知きっかけ]サイレン割合	1.00
2	0	0	0	0	12	[認知きっかけ]アプリ通知認知割合	0.00
2	1	0	0	0	11	[認知きっかけ]サイレン割合	0.00
2	1	0	0	0	12	[認知きっかけ]アプリ通知認知割合	0.90
2	0	1	0	2	11	[認知きっかけ]サイレン割合	0.80
2	0	1	0	2	12	[認知きっかけ]アプリ通知認知割合	0.00
...

図 5.3.3.3.3-5 走行条件ごとの認知きっかけ割合

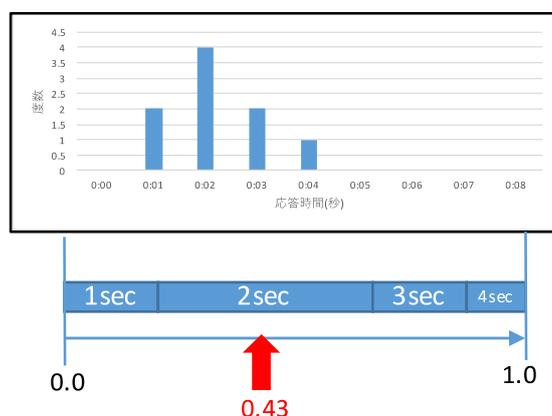


図 5.3.3.3.3-6 認知タイミングの決定イメージ（ルーレット選択）

オ) 救急車回避のための予備減速の有無

実験では、ドライバーが救急車の接近を認知後、回避行動を行う前に、予備的に減速（20km/h程度まで減速し走行）する「予備減速」行動が多く見られた。そのため、ドライバーモデルとして予備減速を考慮する。「予備減速」の実施の有無は、ドライビングシミュレータの実験結果に基づき設定した。実験シナリオである、走行車線数、救急車接近通知アプリケーションあり／なし、先行車回避行動あり／なし、先行車両回避タイミング・回避方向、救急車接近方向（後方／側方）について、シミュレーション上のドライバーの現在の走行で一致した状況（シナリオ）における「予備減速」を選択する。例えば、現在走行している車線数が1車線で、救急車接近通知アプリケーションが利用可能で、先行車両が回避行動をしていない状況では、25%のドライバーが認知後予備減速し、75%のドライバーが予備減速を行わない（図 5.3.3.3.3-7）。

車線数	アプリ通知	先行車退避	接近方向	先行車回避タイミング	CODE	CODE内容	割合
1	0	0	0	0	31	予備減速あり割合	0.30
1	1	0	0	0	31	予備減速あり割合	0.25
1	0	2	0	2	31	予備減速あり割合	0.36
1	0	2	0	1	31	予備減速あり割合	0.20
1	1	2	0	2	31	予備減速あり割合	0.30
1	1	2	0	1	31	予備減速あり割合	0.44
2	0	0	0	0	31	予備減速あり割合	0.38
2	1	0	0	0	31	予備減速あり割合	0.80
...

図 5.3.3.3.3-7 走行条件ごとの予備減速割合

カ) 救急車両回避の有無

実験では、認知後も回避行動を行わないドライバーが存在した。そのため、ドライバーモデルとして回避行動の有無を考慮する。「回避行動」の有無は、ドライビングシミュレータの実験結果に基づき設定した。実験シナリオである、走行車線数、救急車接近通知アプリケーションあり／なし、先行車回避行動あり／なし、先行車両回避タイミング・回避方向、救急車接近方向（後方／側方）について、シミュレーション上のドライバーの現在の走行で一致した状況（シナリオ）における「回避行動」を選択する。例えば、現在走行している車線数が1車線で、救急車接近通知アプリケーションが利用可能で、先行車両が回避行動をしていない状況では、80%のドライバーが認知後回避行動を行い、29%のドライバーが回避行動を行わない（図 5.3.3.3.3-8）。

車線数	アプリ通知	先行車退避	接近方向	先行車回避タイミング	CO DE	CODE内容	割合
1	0	0	0	0	21	回避あり割合	1.00
1	1	0	0	0	21	回避あり割合	0.80
1	0	2	0	2	21	回避あり割合	1.00
1	0	2	0	1	21	回避あり割合	1.00
1	1	2	0	2	21	回避あり割合	1.00
1	1	2	0	1	21	回避あり割合	0.90
2	0	0	0	0	21	回避あり割合	0.80
2	1	0	0	0	21	回避あり割合	1.00
...

図 5.3.3.3.3-8 走行条件ごとの回避行動割合

キ) 救急車回避判断きっかけ

ドライバーは、救急車の接近を認知後、なんらかの回避行動を実行する判断きっかけに基づき、実際の回避行動を開始する。ここでの救急車の「判断きっかけ」は、ドライビングシミュレータの実験結果に基づき設定した。実験シナリオである、走行車線数、救急車接近通知アプリケーションあり／なし、先行車回避行動あり／なし、先行車両回避タイミング・回避方向、救急車接近方向（後方／側方）について、シミュレーション上のドライバーの現在の走行で一致した状況（シナリオ）における「判断きっかけ」を選択する。例えば、現在走行している車線数が1車線で、救急車接近通知アプリケーションが利用可能で、先行車両が回避行動をしていない状況では、44%のドライバーが救急車を目視可能な状況で回避判断し、11%のドライバーが通知アプリケーションを確認することで回避判断する（図 5.3.3.3.3-9）。なお、その他の判断きっかけ理由が存在するため、きっかけの割合が合計1.0にならない場合がある。その場合には1.0に正規化した割合とする。（判断きっかけが「サイレン」については、予備減速行動とみなし「その他」とした）

また、判断タイミングについては、実験結果として判断タイミングを取得したが、操作ログデータ上では明らかに回避している後の時間を判断タイミングと回答しているなど非常に曖昧なものであったことや、実験時の周囲の車両の位置や、被験者の確認方法などの状況に依存するものであるため、一般的な判断タイミングとしてみなすことができない。そのため、判断タイミングは、判断きっかけに該当する状況になるまでの時間として考え、特に判断までの時間は設定しない。

車線数	アプリ通知	先行車退避	接近方向	先行車回避タイミング	CODE	CODE内容	割合
1	0	0	0	0	41	目視判断割合	0.90
1	0	0	0	0	42	ナビ確認割合	0.00
1	0	0	0	0	43	先行車退避判断割合	0.00
1	0	0	0	0	44	後方車退避判断割合	0.00
1	1	0	0	0	41	目視判断割合	0.44
1	1	0	0	0	42	ナビ確認割合	0.11
1	1	0	0	0	43	先行車退避判断割合	0.00
1	1	0	0	0	44	後方車退避判断割合	0.00
1	0	2	0	2	41	目視判断割合	0.91
1	0	2	0	2	42	ナビ確認割合	0.00
1	0	2	0	2	43	先行車退避判断割合	0.09
1	0	2	0	2	44	後方車退避判断割合	0.00
1	0	2	0	1	41	目視判断割合	0.30
1	0	2	0	1	42	ナビ確認割合	0.00
1	0	2	0	1	43	先行車退避判断割合	0.40
1	0	2	0	1	44	後方車退避判断割合	0.00
...

図 5.3.3.3.3-9 走行条件ごとの回避判断きっかけ

ク) 救急車回避操作方法

実験では、ドライバーの回避操作として「道路右側に避ける」、「道路左側に避ける」、「その場で停止する」の3つの行動が見られた。そのため、ドライバーモデルとして回避操作方法を考慮する。「回避操作」は、ドライビングシミュレータの実験結果に基づき設定した。実験シナリオである、走行車線数、救急車接近通知アプリケーションあり／なし、先行車回避行動あり／なし、先行車両回避タイミング・回避方向、救急車接近方向（後方／側方）について、シミュレーション上のドライバーの現在の走行で一致した状況（シナリオ）における「回避操作」を選択する。例えば、現在走行している車線数が1車線で、救急車接近通知アプリケーションが利用可能で、先行車両が回避行動をしていない状況では、全てのドライバーが左側への回避行動を行う（図 5.3.3.3.3-10）。なお、回避操作を行うタイミングは、回避判断後1秒後と仮定した。

片側1車線の場合には、路側帯へ回避する。2車線道路の場合には、路側帯側の車両が左に避ける場合には、路側帯に避け、それ以外の場合は該当方向の車線へ車線変更を行う。

車線数	アプリ通知	先行車退避	接近方向	先行車回避タイミング	CO DE	CODE内容	割合
1	0	0	0	0	51	その場で停止割合	0.00
1	0	0	0	0	52	右に寄る割合	0.00
1	0	0	0	0	53	左に寄る割合	1.00
1	1	0	0	0	51	その場で停止割合	0.00
1	1	0	0	0	52	右に寄る割合	0.00
1	1	0	0	0	53	左に寄る割合	1.00
1	0	2	0	2	51	その場で停止割合	0.00
1	0	2	0	2	52	右に寄る割合	0.00
1	0	2	0	2	53	左に寄る割合	1.00
1	0	2	0	1	51	その場で停止割合	0.00
1	0	2	0	1	52	右に寄る割合	0.00
1	0	2	0	1	53	左に寄る割合	1.00
1	1	2	0	2	51	その場で停止割合	0.00
1	1	2	0	2	52	右に寄る割合	0.00
1	1	2	0	2	53	左に寄る割合	1.00
1	1	2	0	1	51	その場で停止割合	0.00
1	1	2	0	1	52	右に寄る割合	0.00
1	1	2	0	1	53	左に寄る割合	1.00
2	0	0	0	0	51	その場で停止割合	0.00
2	0	0	0	0	52	右に寄る割合	0.50
2	0	0	0	0	53	左に寄る割合	0.50
...

図 5.3.3.3.3-10 走行条件ごとの回避操作

以上のドライバーの救急車回避行動における個人特性の各要素をフローとしてまとめたものを救急車回避行動モデルと定義する（図 5.3.3.3.3-11）。

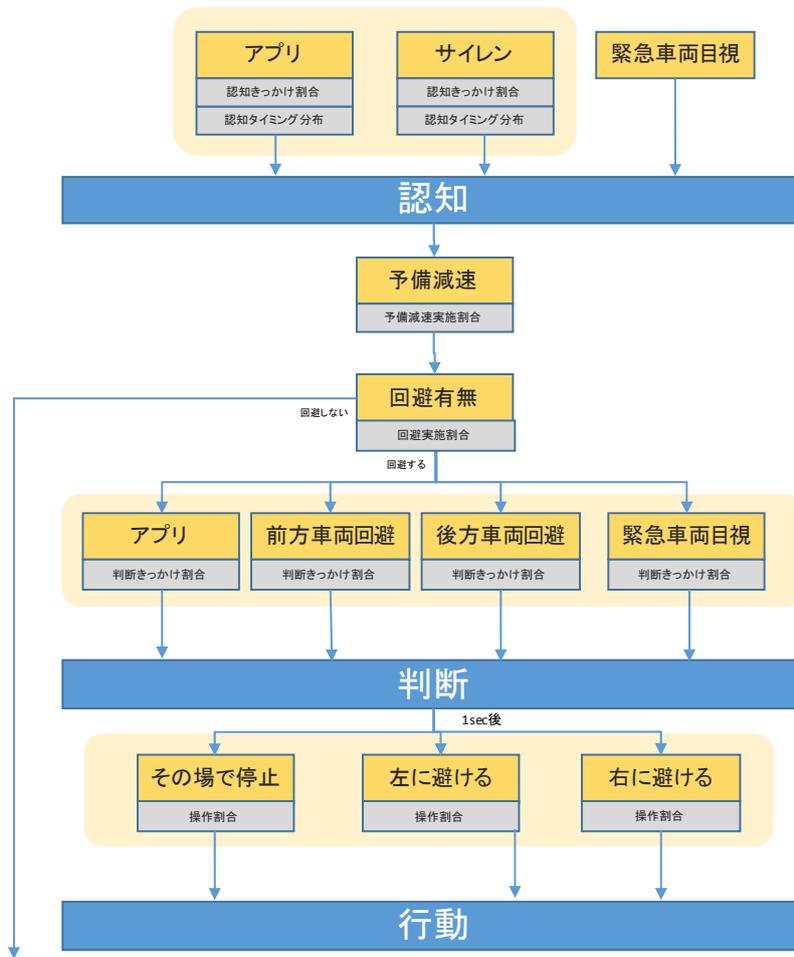


図 5.3.3.3.3-11 ドライバーの救急車回避行動モデル

ドライバーは走行開始地点から走行を開始し、目的地に到着するまで経路に沿って走行する。走行途中に信号停止、救急車の回避、他車両との衝突回避など必要に応じて行動を切り替える。

なお、ドライバーは信号停止中など完全に停止している状態および交差点内に位置する場合には回避行動は行わないものとする。また、救急車の接近を認知後、救急車の位置を確認できない場合には周囲を確認するために周囲を見渡す行動を行う。救急車の位置を 20 秒以上確認できない場合には、回避行動を解除し、通常の走行を行うものとした。

② 救急車走行モデル

緊急車両行動モデルに関する既存研究が存在しないため、本研究では緊急車両行動については前年度に実施した緊急車両運転者へのインタビューや救急車に設置したドライブレコーダーによる一般車両の回避行動調査の結果を参考に簡易的な行動を行うものとしてモデル化した。

救急車ドライバーへのインタビュー結果および救急車に設置したドライブレコーダーの映像から、救急車ドライバーは道路の状況に応じて臨機応変に対応していることや、ドライバーによっても対応方法が異なることから一般的なモデル化は困難であると判断した。また、救急車ドライバーへのインタビュー結果および救急車に設置したドライブレコーダーの映像から、追い越しが困難な場合については、反対車線を逆走して追い越す行動もあるが、交通シミュレーション上で逆走を許した場合、救急車の移動時間は一般ドライバーの回避行動の影響を受けず車車間通信の効果を評価できないため、シミュレーション上では逆走による追い越しはしないものとした。また、本研究開発では救急車の避け方を細かく作りこむことは本質的ではないことから、走行している車線について、一般車両が回避した状態である場合は基本的に追い越すことが可能であるとし、それ以外の場合は追い越しできないものとした。以上をふまえ、緊急車両の行動については下記のように設定した。

- 走行速度
 - 最大時速 80km/h とする。
- 赤信号の通過
 - 緊急車両は、赤信号でも通過できる。
 - 信号交差点において赤信号の状態で通過する際には、直交道路からの一般車両との衝突する危険性があるため、すぐに停止できる 20km/h 以下まで減速し、走行する。
 - 一般車両に接触しそうな場合には、その場で停止する。
- 追い越し行動
 - 前方一般車両が左側に回避行動を行っている場合、回避している一般車両を避けて走行する。
 - ◇ 一般車両が走行する車線の隣接車線を走行出来る場合には、車線変更する。
 - ◇ 隣接車線に車線変更できない場合には、一般車両が回避している車線の反対方向に半分だけ走行軌道を変更する。
 - 一般車両に接触しそうな場合には、その場で停止する。
 - 追い越し後は、車線変更の場合はそのままの車線で、走行軌道を変更した場合には元の車線を中心とした軌道に戻る。
 - 実際の救急車は、前方車両を追い越せず反対車線に抜けられる場合には、反対車線を逆走するが、本研究開発では、救急車接近通知アプリケーションの効果を検証することが目的であるため、移動時間が一般車両の回避行動に影響しない逆走は行わない。

2) 道路モデルの構築

本研究開発では、愛知県名古屋市の大津通付近の一般道路をシミュレーションの評価対象道路とした。対象道路を図 5.3.3.3.3-12 の赤破線部分で示す。救急車は北の西志賀交差点から出発し、南の破線の端点まで走行するものとする。救急車の走行経路中には、以下の 6 つの信号交差点が存在するが、金城 1 丁目交差点、名城公園北交差点および名城公園交差点については交通量が少ない交差点であり、救急車の走行への影響が少ないと考えられることから、シミュレーション上の道路から省略し、城見通 2 交差点、城北橋交差点、名城公園南交差点の 3 つの交差点を対象とした。

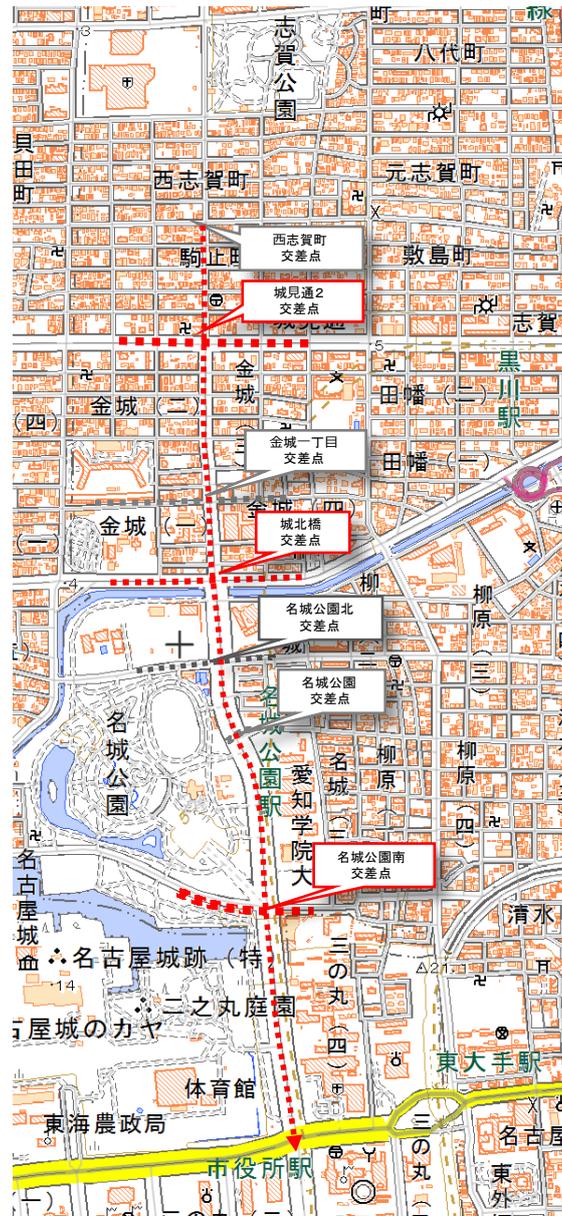


図 5.3.3.3.3-12 評価対象道路

(国土地理院の地理院地図に対象道路及び交差点名を追記して掲載)

対象道路について、シミュレーションでは以下のようにモデル化した。

- 対象道路である大津通は、城北橋交差点より南部分が片側 3 車線以上の道路であるが、実施した実験では片側 1 車線の道路と片側 2 車線の道路を対象とした行動のみを対象としていることから、行動モデルとしては片側 1 車線および片側 2 車線の行動のみしか表現できない。また、本研究開発では、様々な道路環境における評価が目的であり、片側 1 車線に加え 2 車線以上の複数車線を考慮することが主眼であることから、シミュレーション上では片側 2 車線道路とした。
- 対象道路はカーブ部分が存在するが、救急車の走行については大きな影響がない程度のカーブであるため、距離は維持したままの直線道路とした。
- 大津通の反対車線の道路（南側から北側）は、救急車の走行に影響しないため、一般車両は走行しないものとした。
- 側方接近側の道路については、上り車線および下り車線それぞれが救急車の走行に影響があると思われるため、上り車線と下り車線の両方から一般車両が走行するものとした。
- 道路を走行する一般車両は右左折を行わず、直進のみとした。
- 沿道には、全て視界および電波を妨げる十分に高い障害物が存在するものとした。なお、道路から障害物までの距離は、実際の道路中心から歩道際までの距離とした。
- 城北橋交差点については、右折専用レーンが存在するため、右折待ちの車両が 3 台常に停車しているものとした。これは、側方接近時に救急車の視認を妨げる状況を模擬することを意図している。

以上に基づきモデル化した道路を図 5.3.3.3.3-13 に示す。

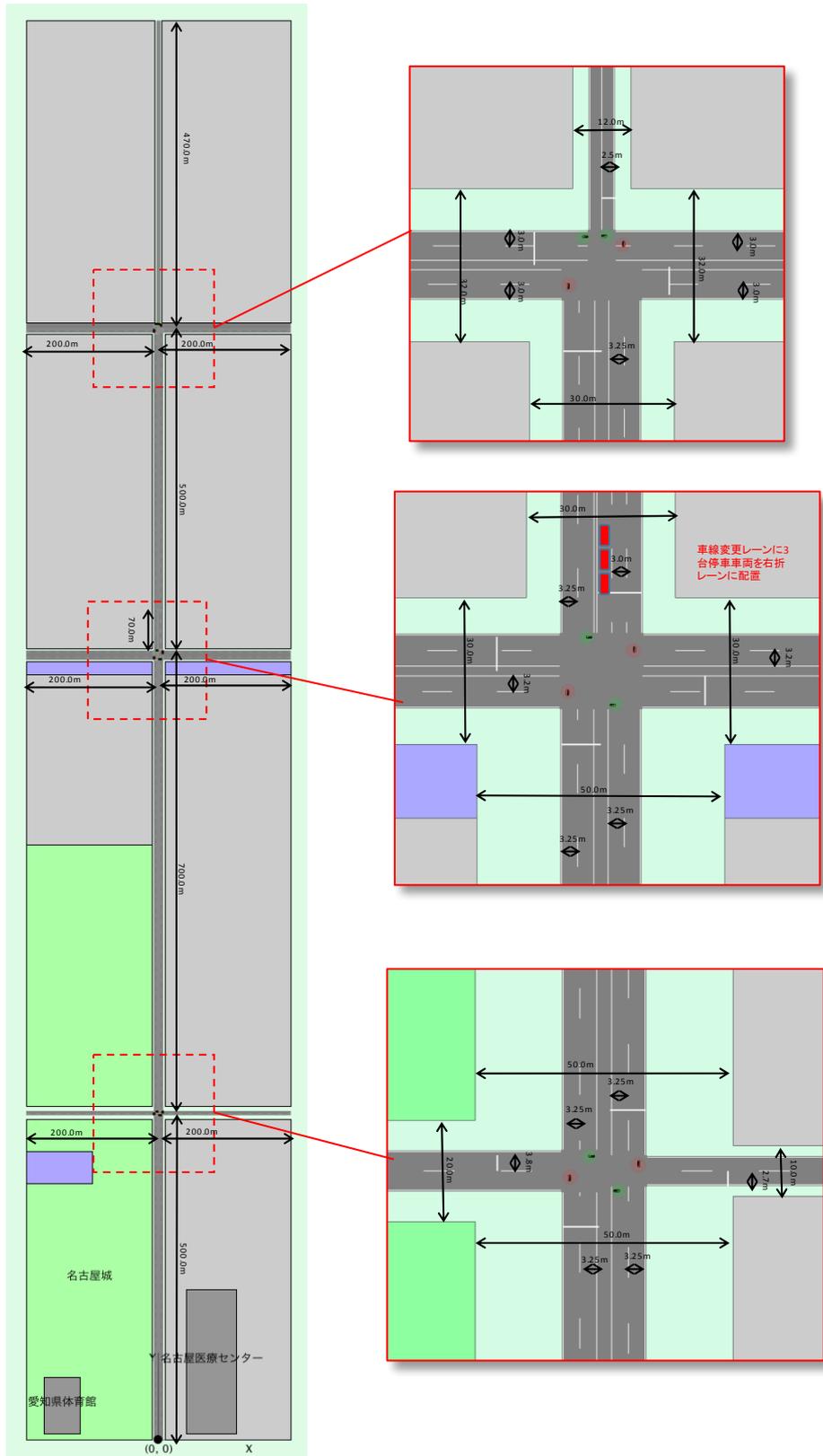


図 5.3.3.3.3-13 モデル化した道路

対象とする各交差点の信号サイクルおよび現示については、現地で目視にて調べた時間を設定した。(表 5.3.3.3.3-1)

表 5.3.3.3.3-1 信号サイクルと現示

	南北	東西	時間[sec]
城見通2交差点	青	赤	56
	黄	黄	4
	赤	赤	2
	赤	青	82
	黄	黄	4
	赤	赤	2
城北橋交差点	青	赤	56
	黄	黄	4
	赤	赤	2
	赤	青	82
	黄	黄	4
	赤	赤	2
名城公園南 交差点	青	赤	81
	黄	黄	4
	赤	赤	2
	赤	青	77
	黄	黄	4
	赤	赤	2

道路上の一般車両の交通量については、平成22年交通センサス一般交通量調査の箇所別基本表および時間帯別交通量表[7]を参考に設定した。また、交通センサスの調査対象外の道路については、現地調査による交通量調査結果を参考に設定した。

具体的には、各道路の時間自動車類交通量(7:00~翌7:00まで)データを24で割った値に対して、シミュレーションモデルでは車線数を実際の半分としていることから、さらに2分の1としたものを、時間帯別交通量表の12時間交通量の上り・下りの比率を参考として、対象方向の割合としたものを各道路に割り当てた。

各道路の制限速度は、道路区間ごとに実際の制限速度を設定した。

対象道路の各道路区間に設定した交通量および制限速度を図5.3.3.3.3-14に示す。

3) 車車間通信モデルの設定

車載機を搭載した一般車両は救急車と通信を行えるものとする。ただし、送信側は緊急車両のみとし、一般車両間の通信は行わないものとした。

電波の伝搬損失により対象車両へ情報がうまく伝達できない場合がある。そのため、車両ごとに伝搬損失値を算出し、情報通知の可否を判定する。送信側と受信側の相対位置から車車間通信伝搬モデル[8][9]に基づき送信電力と伝搬損失値から受信電力を算出した。受信電力に閾値を設け、閾値以上の場合は通信可能、閾値未満の場合には通信不可とした。通信は単方向のみとし、マルチホップによる通信の伝搬は行わないものとする。通信する内容は、「救急車の接近」と「救急車の現在位置」の2種類とした。

車車間通信の送受信条件は以下のとおりとする。

- 送信電力：19.2[dBm]
- アンテナ高さ
 - 送信側 h_t (緊急車両)：2.0m
 - 受信側 h_r (一般車両)：1.2m
- 波長 λ ： $(3.0 \times 10^8) / (f \times 10^9)$ m
- 周波数 f ：0.76GHz
- 通信可能な受信感度：-82[dBm]以上

但し、車車間通信可能距離が 300m 以上の場合でも、緊急車両が半径 300m 以内にある場合にのみ情報提供を行うものとした。

4) シミュレーション評価

前述の一般車両ドライバーモデル(救急車回避行動モデル)、救急車走行モデル、道路モデルを組み込んだ交通シミュレータを用いて、車載器の普及状況における救急車の移動時間の短縮効果を評価する。

以下の 5 パターンの車載器の普及状況についてそれぞれ評価する。なお、カッコ内は便宜上付与したシナリオ名である。

- 0%：すべての一般車両が車車間通信できない (SNA000)
- 5%：すべての一般車両のうち 5%の車両のみが車車間通信可能 (SNA005)
- 10%：すべての一般車両のうち 10%の車両のみが車車間通信可能 (SNA010)
- 50%：すべての一般車両のうち 50%の車両のみが車車間通信可能 (SNA050)
- 100%：すべての一般車両が車車間通信可能 (SNA100)

各普及状況に対する各一般車両発生箇所からの車両の発生台数(台/hour)を表 5.3.3.3.3-2 に示す。表中の車両発生箇所 (G1、G3-1 など) は図 5.3.3.3.3-1 4 に対応する。また、「V2X」は車車間通信車載器搭載した一般車両を意味し、「GEN」は車載器を搭載していない一般車両を意味する。

表 5.3.3.3.3-2 : 各シナリオの車両発生箇所ごとの車両発生台数

シナリオ名	車載器普及率	交通量 (台/hour)													
		G3-2		G3-1		G1		G4-1		G4-2		G5-1		G5-2	
		V2X	GEN	V2X	GEN	V2X	GEN	V2X	GEN	V2X	GEN	V2X	GEN	V2X	GEN
SNA000	0.00	0.00	365.32	0.00	343.10	0.00	396.69	0.00	177.05	0.00	174.65	0.00	131.80	0.00	190.32
SNA005	0.05	18.27	347.05	17.15	325.94	19.83	376.86	8.85	168.20	8.73	165.92	6.59	125.21	9.52	180.81
SNA010	0.10	36.53	328.79	34.31	308.79	39.67	357.02	17.71	159.35	17.47	157.19	13.18	118.62	19.03	171.29
SNA050	0.50	182.66	182.66	171.55	171.55	198.35	198.35	88.53	88.53	87.33	87.33	65.90	65.90	95.16	95.16
SNA100	1.00	365.32	0.00	343.10	0.00	396.69	0.00	177.05	0.00	174.65	0.00	131.80	0.00	190.32	0.00

評価値は、緊急車両の走行開始から目的地までの移動時間とした。

救急車の移動時間は、一般車両の初期配置や信号通過のタイミングなどによって大きく異なる。そのため、初期配置や信号通過のタイミングの影響を含めた上で、総合的にシナリオ間の比較検証を行うために、救急車の出発タイミングや個々の一般車両の発生タイミングを乱数によって試行ごとに変化させ、合計 45 試行分の結果の平均を評価した。なお、救急車の出発タイミングは、道路全体に車両が行き渡る時間である 240 秒後から 360 秒後の間で発生するものとした。ただし、一般車両の交通量および信号の現示・サイクルは全試行共通とした。

シミュレーション実行の様子を図 5.3.3.3.3-15 に示す。

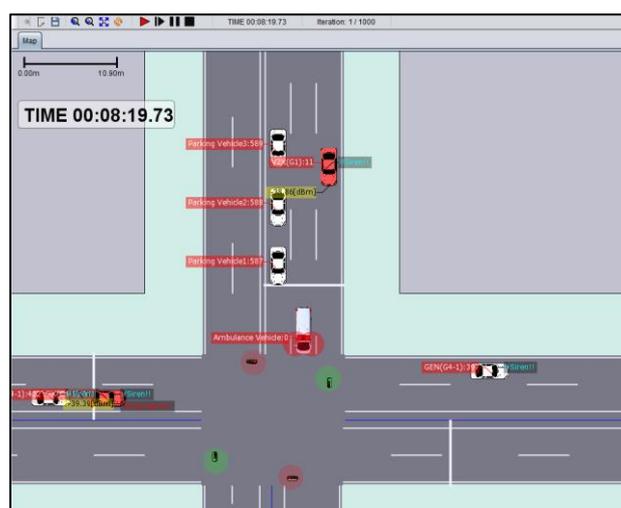


図 5.3.3.3.3-15 シミュレーション実行の様子

シミュレーションによる評価結果を図 5.3.3.3.3-16 に示す。図より、一般車の車載機普及率の増加とともに平均移動時間は減少傾向にあることが分かる。普及率 100% の場合は普及率 0% (接近通知アプリによる情報提供なしに相当) に比べて、8.1% (21.29 秒) 移動時間が減少している。また、普及率 5% ではほとんど減少は見られず、普及率 50% と 100% では減少量が小さくなっていることから、本シミュレーション条件においては普及率 50% 程度において全車に車載機が普及した場合と同等の効果が得られると考えられる。

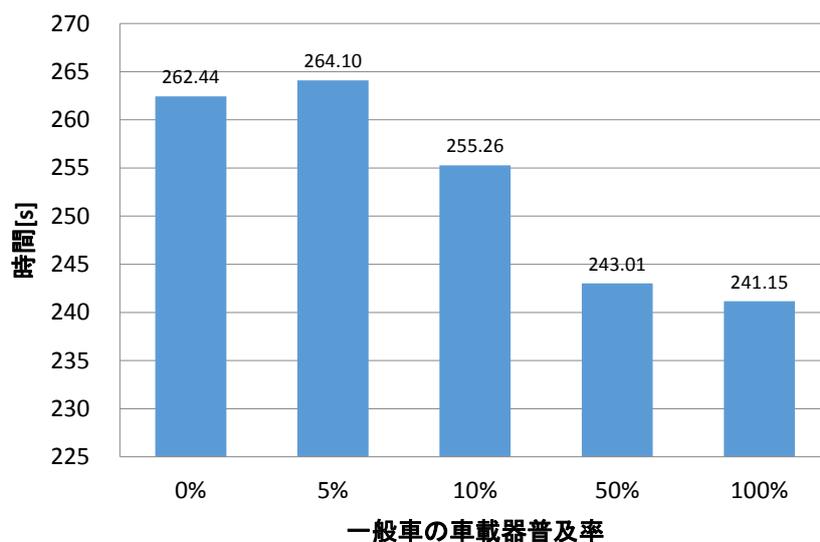


図 5.3.3.3.3-16 各シナリオの平均移動時間

5.3.3.3.4. 救急車移動時間短縮効果検証のまとめ

本節では、ドライビングシミュレータ実験による救急車回避行動の調査及び実験被験者へのアンケート調査を行い、接近通知アプリケーションによる情報提供が回避行動に与える影響を調査した。さらに、ドライビングシミュレータ実験で取得したデータに基づき作成したドライバーの回避行動モデルを組み込んだ交通シミュレーションを用いて、車載器が普及した状況の下での救急車移動時間短縮効果を検証した。

ドライビングシミュレータ実験の結果より、接近通知アプリケーションの情報提供により救急車の認知タイミングと回避操作タイミングの迅速化に効果があることを確認した。特に、救急車が被験者車両の後方から接近する状況において大きな効果が認められた。一方で交差点通過時に側方から接近する状況においてはタイミングの迅速化の度合いは小さかった。これは、側方接近時には救急車との間が見通し外環境となることから通信距離が短くなり、接近通知アプリケーションの情報提供タイミングとサイレン音が聞こえるタイミングとの差が小さくなったことが要因として考えられる。

次に、被験者へのアンケート調査では、救急車接近通知アプリケーションを体験した 8 割以上の被験者が役に立ったと回答しており、本アプリケーションが一般車ドライバーの回避行動の支援に効果があると言える。また、役に立ったと回答した被験者の約 7 割が救急車の接近方向が分かる安心感や回避行動を行うための事前の心構えが出来たことを理由としており、回避行動の負担軽減にも効果があると言える。

最後に、交通シミュレーションの結果より、一般車の車載機普及率の増加とともに移動時間が減少し、普及率 100%において最大 8.1% (21.29 秒) 短縮できることを確認した。

5.3.4. 車車間通信と路車間通信による拡張サービスに向けた検証（神戸実験）

本節では路車間通信の確実性と車両検知位置（つまり路車間通信到達距離）の安定性に関し実際の救急車の実運用状況において、アプリケーションがそれら通信メッセージを実際に使用する観点で評価する。

1) 実験環境と評価概要

図 5.3.4-1 にデータ取得・解析のために開発した車車路車協調システム記録装置をはじめとする車両に搭載された車両機器構成を示す。ここに示す車載機と記録装置およびそれら機器の救急車への搭載は、前項の名古屋実験 1 の救急車と同一である。この記録装置を車載機と USB で接続し、救急車が稼働中は送信情報と路車間通信、車車間通信両方の受信情報をすべて記録する。この受信情報から路車間通信の確実性（車車間通信メッセージの正確な中継）の確認と路側機による車両検知位置を算出し、路側機ごとに受信開始位置の安定性を評価する。

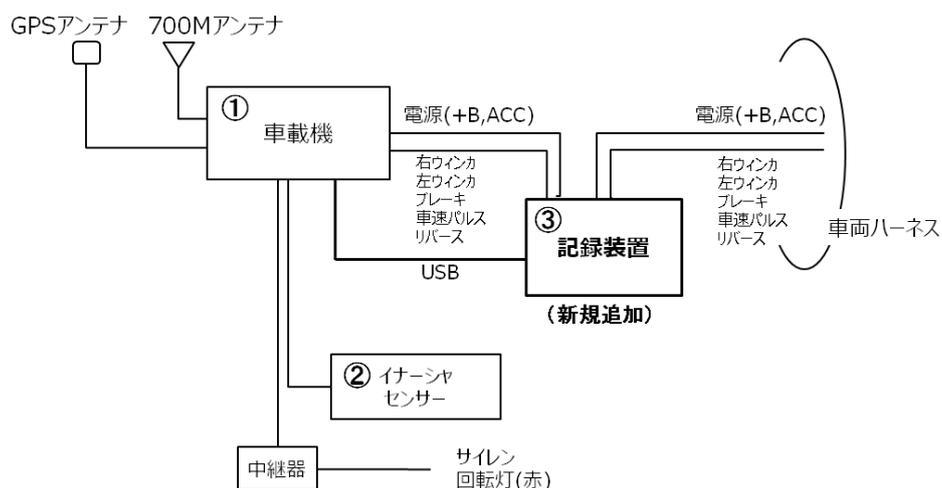


図 5.3.4-1 : 車両機器構成と搭載機器

本評価で利用した路側機は、図 5.3.4-2 に示す神戸市 HAT 神戸地区の交差点に昨年度の警察庁事業で整備された路側機である。図中に路側機の位置とその路側機の識別番号を示す。また図 5.3.4-3 に路側機が設置された交差点一例と使用した機器の一部を示す。



図 5.3.4-2 : 路側機の設置場所と路側機識別番号



図 5.3.4-3 : 設置交差点例と路側機アンテナ

評価用車両は、神戸市消防局の協力のもと神戸市で運用中の救急車のなかから昨年度車載機を搭載した 3 台に車車路車協調システム記録装置を追加搭載し、実際の運用状況で走行してもらう。この車車路車協調システム記録装置を使い、それら車両の走行中の車車間通信、路車間通信のすべての送受信情報を取得する。



図 5.3.4-4 : 評価装置搭載救急車と搭載場所

2) 評価項目

本評価を実施した HAT 神戸地区のインフラ協調システムのサービスは、「緊急車両接近情報提供サービス」と呼ばれ、緊急車両（以下、救急車）が発信する“緊急車両走行中”の車車間通信を路側機が受信し、その受信情報を路側機が路車間通信で再度送信するサービスである。この情報中継により、緊急車両情報が車車間通信により直接受信できないエリアにいる車両であっても、その車両がこのサービス対応の路側機近傍にいる場合、緊急車両情報を路車間通信で受け取ることができるようになる。つまり情報伝達エリアを拡大するサービスである。本評価はこの情報中継機能の路車間通信の確実性と車両検知位置の安定性を評価する。

① 通信の確実性

救急車の送信する車車間通信メッセージが正しく路側機に伝達・中継されていることを路車間通信メッセージにより確認する。

救急車が発信した“緊急車両走行中”メッセージの内容と路側機で折り返されるその車車間通信メッセージに対応する路車間通信メッセージに含まれる“緊急車両走行中”情報の内容を比較する。

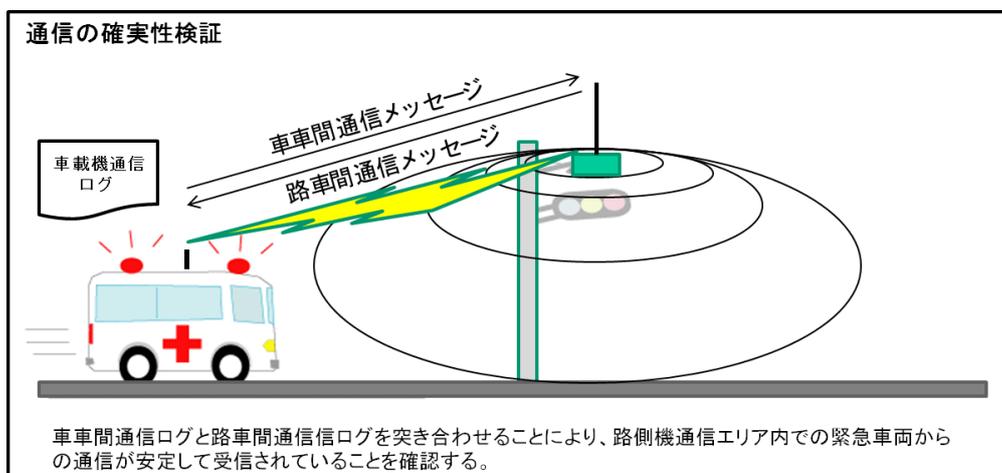


図 5.3.4-5 : 通信の確実性評価イメージ

② 車両検知位置の安定性

路側機による緊急走行中の車両検知位置の安定性を路車間通信メッセージより確認する。車両検知位置に影響を与える要因として走行ごとの通信上の偶発的ばらつきや周囲の道路環境の影響等によるばらつきが考えられるため、実際の道路環境で走行中の車両について車両検知位置の安定性を評価する。

救急車が発信した“緊急車両走行中”の車車間通信メッセージを最初に路側機が受信しはじめた位置を、路側機で折り返されるその“緊急車両走行中”情報を含んだ路車間通信通信

メッセージを使い特定する。この位置特定を走行ごとに行い、ばらつき（安定性）を確認する。

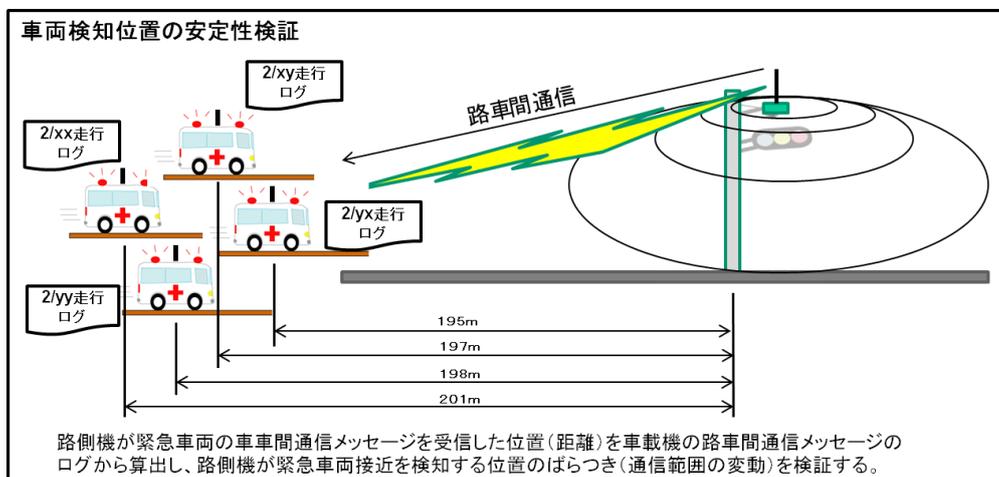


図 5.3.4-6 : 車両検知位置の安定性評価イメージ

3) 評価方法

運用中の救急車の走行ごとに、搭載した車車路車協調システム記録装置で通信ログ（車車間通信の送受信メッセージ、路車間通信の受信メッセージのすべて）を取得する。一定期間救急車が運用された後、残された通信ログから“緊急車両走行中”の車車間通信メッセージおよび“緊急車両走行中”の車車間通信メッセージ情報を含む路車間通信メッセージを抽出し、複数ある路側機からのメッセージを路側機ごとに分類する。

① 通信の確実性

前記の分類されたそれぞれの路側機からの路車間通信メッセージに含まれる中継された車車間通信メッセージ内容とその送信元である救急車が送信した当該車車間通信メッセージ内容を比較する。

この比較結果から路車間通信メッセージで中継された車車間通信メッセージ内容のデータ誤り、抜け、重複等の情報伝達誤りの割合を算出し、情報伝達の確実性の割合を評価する。

データ誤りは救急車が送信した車車間通信メッセージのログとそれに対応する路車間通信メッセージに含まれる元の車車間通信メッセージのデータが変化していないか確認する。

抜け、重複の判断には路車間通信メッセージおよび車車間通信メッセージにそれぞれ規定されているインクリメントカウンタの情報を使用する。路車間通信メッセージが連続して受信されている場合（インクリメントカウンタ値が連続かつ受信間隔が 100mS）に、そこに含まれる車車間通信メッセージのインクリメントカウンタ値が不連続の場合は抜け、車車間通信メッセージのインクリメントカウンタ値や車速等情報内容が同一であれば重複とする。

② 車両検知位置の安定性

前記の分類されたそれぞれの路側機からの路車間通信メッセージについて、走行ごとの最初に通信を始めた位置を特定する。この特定された複数の位置を路側機ごとに集約し、通信開始位置の安定性を評価する。また地図上にその位置をプロットし可視化する。

4) 評価条件

<路側機の設定条件>

本評価で使用した路側機は、路車間通信メッセージの送信機能および車車間通信メッセージを受信する機能を持った路側機である。車車間通信メッセージを受信機能を使い走行中の緊急車両からの車車間通信メッセージを検知した場合、その車車間通信メッセージそのものを路車間通信メッセージの一部に緊急車両情報として組み込み送信する。この緊急車両情報を路車間通信で車両に報知するために、路側機は1回の送信タイミングで3つの路車間通信メッセージ（道路線形情報、サービス支援情報、緊急車両接近情報）を送信する。

<車載機の設定条件>

救急車に搭載した車載機は、実用化仕様に合わせ車載機通信セキュリティを「緊急車両用」とする。また実運用に合わせて、緊急走行中は緊急車両としての車車間通信メッセージ、つまり車車間メッセージセットの「DE_車両用途種別」を「1：緊急自動車」かつ「DE_緊急自動車用拡張情報」を「1：緊急移動中」としたメッセージを送信しつづける。

救急車の走行経路は、車両が実運用中であるため実験用として特定の経路を指定せず通常の救急出動のルールに基づく経路を走行している。したがって出動ごとに必ずしも路側機が設置された交差点エリアを走行するとは限らず、出動回数と取得した評価に使えるログ（路車間通信ログ）回数とは一致してしない。

5) 評価結果

① 通信の確実性

通信の確実性を確認するための路車間通信メッセージは、図 5.3.4-2にある路側機のうちエリアの両端にある路側機 591 と 594 からのメッセージを代表例として確認した。これらそれぞれの路側機ごとに安定した路側機通信エリア内で送信された“緊急車両走行中”の車車間通信メッセージとその車車間通信メッセージ内容が中継された路車間通信メッセージに含まれる車車間通信メッセージ内容の誤り、抜け、重複のメッセージ総数と割合を表 5.3.4-1 に示す。

なお“安定した路側機通信エリア”としては路車間通信メッセージが欠落なく連続して受信できているエリアとし、今回の評価では閾値として“12 秒以上”連続して路車間通信メッセージが受信できているデータ部分を抽出した。

表 5.3.4-1 : 通信の確実性

ID	I2V	Correct	Error	Ratio
591	29344	27427	1917	6.5[%]
594	25663	21370	4293	16.7[%]

ID : 路側機識別番号

I2V : 路車間通信メッセージで中継された緊急走行状態情報の数
(= 路車間通信メッセージ受信数)

Correct : 緊急走行状態情報が路車間通信で正しく伝達された数

Error : 緊急走行状態情報が路車間通信で正しく伝達されなかった数

Ratio : $\text{Error}/\text{I2V} \times 100(\%)$

この安定した通信エリア内での **Error** を解析した結果、ほとんどの現象は同一の緊急走行状態情報が 2 回以上連続して受信され、その結果本来送られてくるべき更新された情報がスキップされて欠落している。ほかには本来来るべき情報が純粹に欠落している場合があったが、情報が変化して伝達された事例はなかった。(詳細については付録を参照のこと)

② 車両検知位置の安定性

ア) 車両検知位置の定義

車両検知位置の定義として、一般的に通信分野で使われる累積パケット到達率 $xx\%$ ではなく、本評価では路車間通信を使ったサービスの利用形態を考え、サービスが開始されるであろうと推定される路車間通信メッセージを受信した位置を「車両検知位置」と定義し、その車両検知位置について評価した。ここでは、車両検知位置を「路車間通信メッセージを最初に 5 秒以上連続して受信した際に、その最初のメッセージを受信した位置」と定義する。

イ) 車両検知位置の評価結果

前記の定義に基づき評価した車両検知位置を表 5.3.4-2 に示す。またに路側機ごとに、救急車がその路側機通信エリアに侵入したときの車両検知位置すべてを地図上にプロットしたものを図 5.3.4-7~図 5.3.4-12 に示す。

なお路側機 593 の地点 B は道路形状が交差点から北方向先の道路形状が T 字路になっており、物理的に遠方から直線的に車両が接近できないため車両検知位置が他の路側機との距離より短くなっている。(図 5.3.4-2 参照)

またデータ解析した結果、同じ方向から路側機に接近してきた場合でも定義した車両検知位置が 2 つのグループに分かれたパターンが見つかったため、分かれたそれぞれの車両検知位置を算出している。

表 5.3.4-2 : 車両検知位置の平均座標と路側機との距離

ID	地点	進行方向	平均緯度	平均経度	路側機との距離	$1\sigma_{n-1}$
591	A	西 → 東	34.6961653	135.2092611	287[m]	8[m]
	B1	北 → 南	34.6988055	135.2135194	201[m]	-
	B2	北 → 南	-	-	-	-
	C1	東 → 西	34.6990107	135.2155801	376[m]	20[m]
	C2	東 → 西	34.7002582	135.2187482	699[m]	37[m]
592	A	西 → 東	34.6971500	135.2108986	316[m]	13[m]
	B1	北 → 南	34.7002861	135.2124916	238[m]	-
	B2	北 → 南	-	-	-	-
	C1	東 → 西	34.6995170	135.2168864	293[m]	52[m]
	C2	東 → 西	34.7003342	135.2189742	505[m]	40[m]
593	A	西 → 東	34.6985138	135.2137138	346[m]	-
	B1	北 → 南	-	-	-	-
	B2	北 → 南	34.7010115	135.2179435	156[m]	13[m]
	C1	東 → 西	-	-	-	-
	C2	東 → 西	34.7009686	135.2213330	404[m]	54[m]
594	A	西 → 東	-	-	-	-
	B1	北 → 南	34.6983194	135.2137333	450[m]	-
	B2	北 → 南	34.7041900	135.2170277	461[m]	53[m]
	C1	東 → 西	-	-	-	-
	C2	東 → 西	34.7011074	135.2216238	341[m]	39[m]
597	A	西 → 東	-	-	-	-
	B1	北 → 南	-	-	-	-
	B2	北 → 南	-	-	-	-
	C1	東 → 西	34.6986844	135.2144703	200[m]	15[m]
	C2	東 → 西	-	-	-	-
598	A	西 → 東	-	-	-	-
	B1	北 → 南	-	-	-	-
	B2	北 → 南	34.7039365	135.2170884	257[m]	51[m]
	C1	東 → 西	-	-	-	-
	C2	東 → 西	34.7002915	135.2188305	183[m]	3[m]

注記) $1\sigma_{n-1}$ 欄に記載なきは、データ数が1のため算出できず



図 5.3.4-7 : 路側機 591 の車両検知位置



図 5.3.4-8 : 路側機 592 の車両検知位置



図 5.3.4-9 : 路側機 593 の車両検知位置



図 5.3.4-10 : 路側機 594 の車両検知位置

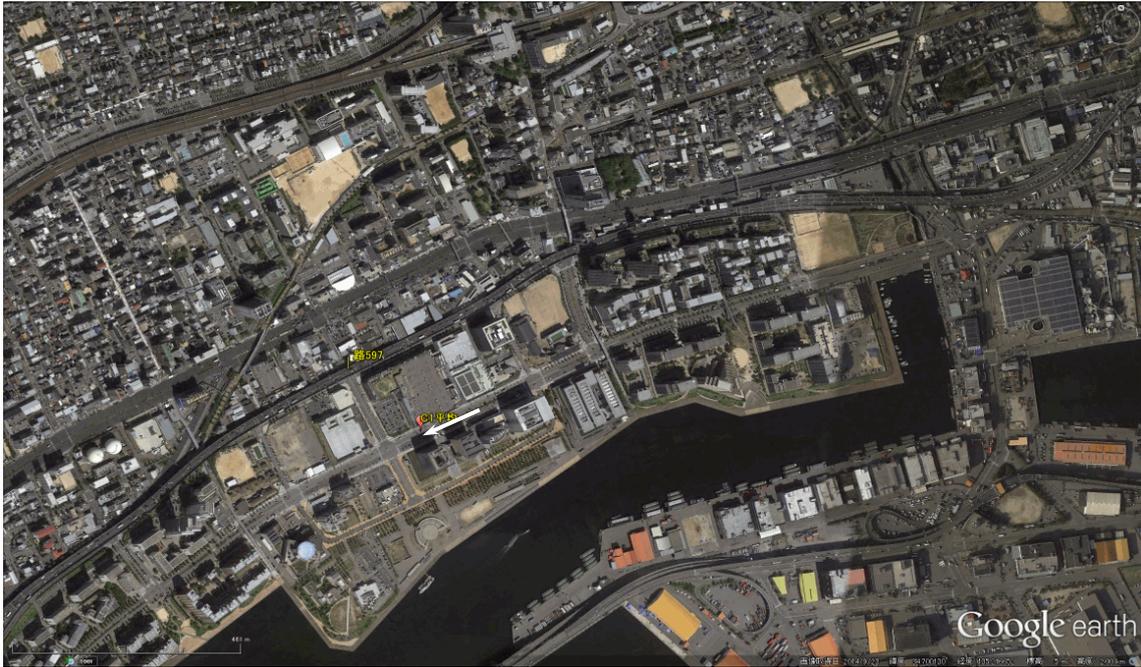


図 5.3.4-11 : 路側機 597 の車両検知位置



図 5.3.4-12 : 路側機 598 の車両検知位置

6) 5.3.4節のまとめ

① 通信の確実性

救急車から車車間通信で送信された緊急走行中のメッセージは、表 5.3.4-1 より路側機で受信されたのち路車間通信でそのメッセージは再送信されていることを確認した。また路車間通信で再送信された車車間通信メッセージは連続して安定的に救急車で受信できしており、またそこに含まれる救急車の緊急走行中のメッセージ内容自体は正しく中継されていることを確認した。

ただしこの中継の際に、路側機からの路車間通信メッセージ本体は 100mS 毎に更新され正しく救急車側で受信されているにも関わらず、そこに含まれる車車間通信メッセージ内容が同一のまま（重複）である場合が見受けられた。

もし路側機が受信した緊急走行中のメッセージをそのまま順次中継しているとすると、このような同一情報の複数回送信は情報伝達遅延を累積させるが、この同一情報の送信前後で車車間メッセージの中継が一部スキップされているため伝達遅延の累積は発生していない。したがって瞬間的にみると車載機は路側機から同一情報を受け取ることがあるが、大きな情報伝達遅延や情報自体の誤りは発生しておらず、基本的な車車間通信メッセージの中継は成立していると言える。

これら同一情報の伝達の原因は、路側機内部での中継処理の問題と推察され、今回利用した実験機である路側機ソフトウェア固有の問題とみなすことができ、今後の路側機ソフトウェアの改修で解決されると考える。

また今回の実験のように路側機がオリジナルの情報元（車載機）から受信した情報を中継し、その中継された情報を利用するアプリケーションの設計をおこなう際には、無線回線のエラーによるメッセージの欠落に加え、これら瞬時的に発生する中継情報の重複、欠落を考慮したシステム設計が必要である。

② 車両検知位置の安定性

定義した車両検知位置は、表 5.3.4-2 に示されるように、概ね 200m から 699m の距離で検知されている。この位置であれば一般的なインフラ協調のサービスに必要な通信エリアが確保されていると言える。つまり車車間通信情報の中継を利用した場合であっても各種サービスを安定して提供できる。（図 5.3.4-7～図 5.3.4-12）

また車両検知位置が同じ方向から接近する場合でも 2 グループに分かれている原因として、「北→南」の 2 グループは救急車が走行している道路の違いであった。具体的には路側機 594 の B1 は路側機 597 の交差点を通る道路を走行しており、B2 は路側機 598 の交差点を通る道路を走行している。しかし路側機 591、592 に西から接近するパターンについては、救急車は同じ道路を走行しているため走行道路の違いでは説明できず、更なる解析が必要である。

さらに取得したデータを精査した結果、離散的に受信される路車間通信メッセージ受信位置は非常にばらついており、路側機から 1km ほど離れた位置でも車両が検知される場合があった。これは道路環境（坂、高架の高速道路など）、周辺建物環境（大型ビルなど）の影響で電波が遠方まで到達し検知されていると推定する。（事例は付録の地図を参照のこと）

救急車の車車間通信を路側機が連続して取得できる位置と比較して、この離散的に路車間通信を取得できる位置は路側機から大きく離れており、このエリアは通信エリアとして要求される範囲外である。

このことから路側機で車車間通信情報を受信し、その情報を転送・再送信するサービスにおいては、路側機側でサービス要件に応じて受信した車車間通信を取捨選択したのちに路車間通信でその選択された情報のみを再送信する、あるいは車載機のアプリケーション側でサービスに必要な遠方の車両から送信された車車間通信情報が受信される可能性を配慮した設計をおこなうことが必要である。

5.3.5. まとめ

本研究開発では、一般車両への車車路車協調システム普及促進の一つの方策として、救急車が周囲の一般車両に対して緊急走行中であることを通知するアプリケーションを対象とした有効性の検証を行った。

具体的にはまず、実際に運用中の救急車との通信実験を行い、車車間通信ログ取得装置を搭載して得られた通信ログを解析することで、救急車と車載機を搭載した周辺車両との通信エリアと救急車接近時の周辺車両の挙動について確認した。また、評価用車両を用いて、緊急走行中の救急車と評価車両が遭遇した際の、車車間通信の成立タイミングに対するサイレン音や赤色灯が認知可能となるタイミングを確認した。その結果、サイレン音や赤色灯が認知可能となるタイミングより早く車車間通信が可能となることを確認した。

次に、上記実験で確認したタイミングの関係に基づき、サイレン音や赤色灯が認知可能となるタイミングより早いタイミングで一般車両のドライバーに救急車の接近が通知された場合の一般車両ドライバーの回避行動をドライビングシミュレータ実験で調査した。その結果、救急車の認知タイミングと回避操作タイミングの迅速化に効果があることを確認した。

さらに、ドライビングシミュレータ実験で取得したデータに基づき作成した回避行動モデルを組み込んだ交通シミュレーションを実施した。その結果、一般車の車載機普及率の増加とともに救急車移動時間が減少し、普及率 100%において最大 8.1% (21.29 秒) 短縮できることを確認した。

また、上記の車車間通信を利用したサービスを拡張するものとして、緊急車両が送信する車車間通信情報を路側機が転送・再送信するサービスについて、実際の運用状況における検証を行った。その結果、救急車から車車間通信で送信された緊急走行中のメッセージが路側機から安定して再送信されていることが確認した。また、車車間通信情報が連続受信できる位置は比較的安定しているものの、周辺環境の影響でまれに遠方からも受信される可能性に配慮する必要があることを確認した。

以上の検討は、車車路車協調システムをドライバーの運転支援に活用することを前提とし、緊急車両の接近通知アプリケーションによる情報提供に対するドライバーの行動の影響に着目して実施した。一方で、将来的に車車路車協調システムの普及が進んだ段階においては、一般車両として、ドライバーが運転する車両だけでなく自動走行車両が混在している可能性も考えられる。そのような交通環境において、緊急車両が円滑に走行するに当たっての課題や車車路車協調システムによる支援の可能性について検討することが必要と考えられる。

5.3.6. 参考文献

- [1] 消防庁, 平成 27 年版 消防白書
- [2] 愛知県内臨床研修病院一覧, <http://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/37074.pdf>
- [3] 馬場紘彦, 江端正直, “救急車の警告音の検知に関する研究,” 日本音響学会誌, Vol.52(4), pp244-252, 1996 年
- [4] artisoc TRASST, <http://mas.kke.co.jp>
- [5] 近藤政市, “基礎自動車工学後期編,” 養賢堂, 1967 年
- [6] 津留直彦, “運転者の視覚認知機能の解明とモデル化の研究”, デンソーテクニカルレビュー, vol.12, No.1, 2007 年
- [7] 国土交通省, 平成 22 年度 全国道路・街路交通情勢調査 (道路交通センサス), <http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>
- [8] 伊藤義信, 多賀登喜雄, “車車間通信環境における見通し外伝搬損失推定,” 電子情報通信学会総合大会通信講演論文集, 1B-1-61, 2008 年
- [9] 伊藤義信, 多賀登喜雄他: 車車間通信環境における見通し内伝搬損失推定: 信学技報, AP2006-126, pp.95-100, 2007 年.

5.4. 研究課題 d-2) 制御用周辺情報の通信検証

5.4.1. 研究の背景

自動運転には、センサ類をメインにしてシステムを構成した自律型自動走行システムと、通信を使った協調型自動走行システムがある。自動車が自動走行する場合、その周辺情報を把握し、制御に用いる。センサ類をメインにした自律型走行システムだけでは、把握できる情報が限定的なものになる可能性があり、より先の見えない環境の情報も利用できる協調型自動走行システムも活用され、最終的にはこれらシステムが統合されていくと言われている。本研究開発は、このような自動走行システムを実用化していく社会の趨勢の中で、また、通信の機能が自動走行システムにどう関わっていくかが議論されている状況の中で、通信の役割を考察し、実用化への貢献を果たしたいと考え、取り組むものである。

5.4.2. 研究目的

自動走行システムにおいて、車両間で通信したことによって得た情報を用いて自動走行を行うシステムでは、通信の性能、例えば、通信間隔、遅延時間、通信失敗等が自動走行に大きな影響を及ぼす可能性があるため、その影響を精査することは重要である。また、これらの通信性能に要求される定量的要件を導出することは急務な課題である。

本研究では、自動走行システムの机上検討の第一ステップとして、代表的なシーンである、自車が高速道路車線に合流するシーンをコンピュータ上でシミュレーションできるモデルを構築し、通信の性能が車両の挙動にどう影響するかを評価することを目的とする。

本年度の研究開発では、通信性能の影響を調査するため、車両の制御は、通信で受信したデータのみで実施した。これは、将来の自動走行システムが自律センサを用いずに構成できるということを想定しているものではない。現実的には、自動走行システムが実用化される場合には、自律センサ系を利用した自律型自動走行システムがベースとなり、それに通信を利用した協調型自動走行システムが加わる形になると想定される。本年度の研究開発においては、自律センサ系と通信との役割分担や連携について、まだ十分な議論がなされていない状況を鑑み、制御に使う周囲車両位置等の情報は、通信で得られるものだけを使用するという前提で検討を実施した。

5.4.3. 実施内容

上記目的を達成するために、下記手順で研究開発を実施した。

- (1) 自動車工業会から提示頂いた自動運転のユースケースを検討のベースとする。
- (2) 通信性能（通信遅延、通信欠落等）が、車両の挙動にどう影響するかを検討するため、車両の動的モデルを構築する。
- (3) 車両の動的モデルのパラメータを同定するため、国土交通省の SIP プロジェクトの実験に参加させて頂いたり、テストコースにおいて実験を行い、実際にデータを観測、取得する。
- (4) 構築したモデルを使って、車両の挙動と通信の関係をシミュレーションで調査する。

5.4.4. 車両挙動モデルの構築

車両があるシナリオのもと走行している状態を現す走行モデルと単体の車両のダイナミクスを現す車両モデルを構築した。

5.4.4.1. シミュレーションモデル

図 5.4.4.1-1 に走行モデルを示す。3 台の車両が、高速道路を一定の車間距離を維持しながら走行している状況を現している。車両間では、相互の位置情報等が通信を介して共有されており、この情報を用いて一定の距離を保つために PID 制御を用いてフィードバック制御がされている。3 台の車両は、図 5.4.4.1-2 に示すシステム図のように自車両 B のモデルと車両 A、車両 C からなる関係で記述される。これらは、MATLAB のモデル記述ツールで作成されている。

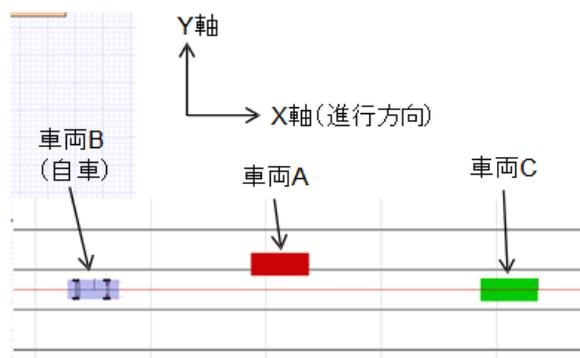


図 5.4.4.1-1 走行モデル

尚、本年度の研究開発では、本線上を走行している車両は、2 台だけとしてシミュレーションを実施した。これは、シミュレーション時間、およびシステムの複雑さを考慮したためである。また、本研究の目的は、精緻な車両制御モデルの開発ではないため、周辺状況に応じた操舵制御（軌跡制御）等については考慮していない。

走行に関しては、本線走行車両が車速を制御するシーン1と合流車両が制御するシーン2の2つを検討した。各シーンのロジックは、以降の節で説明する。

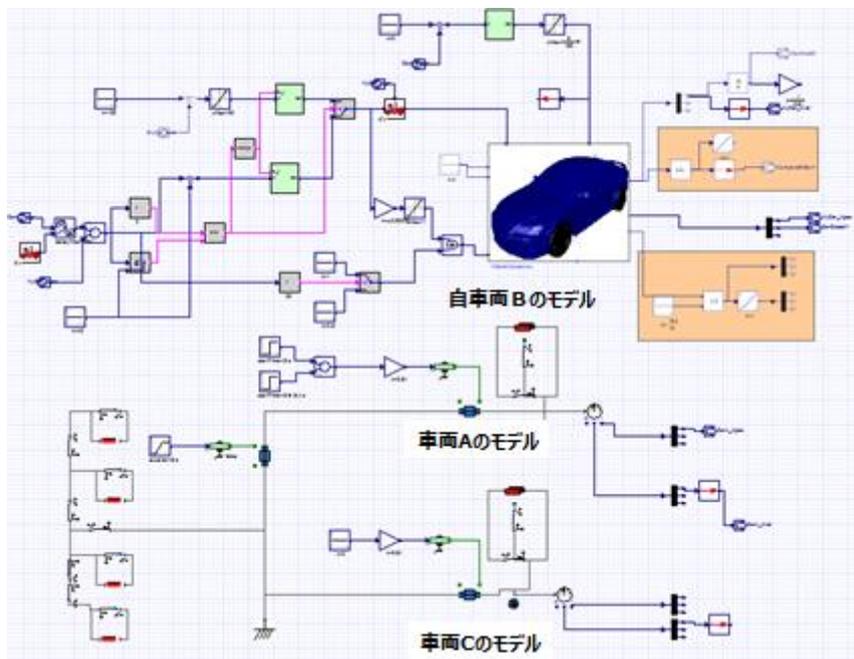


図 5.4.4.1-2 システム図

5.4.4.2. 車両モデル

車両モデルは、車のダイナミクスを示す。車両モデルを精緻に構築することは、本研究開発の目的ではない。また、すでに自動車の走行運動モデルについては、有名な著作もある。一例として、安部正人著自動車の運動と制御を示す。

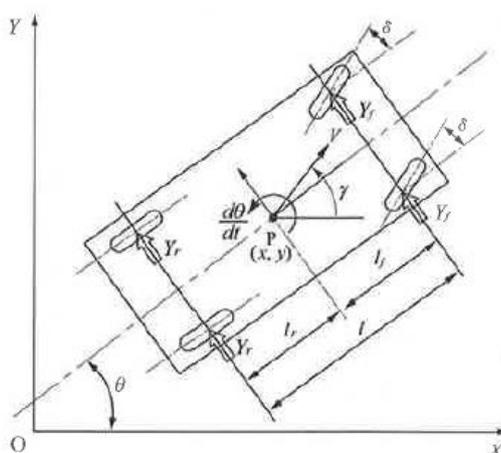


図 5.4.4.2-1 自動車の走行運動モデルの参照例
(安部正人著「自動車の運動と制御」より)

それらを参考にして、車両モデルを構築した。、車両の入出力信号を図 5.4.4.2-2 に示す。

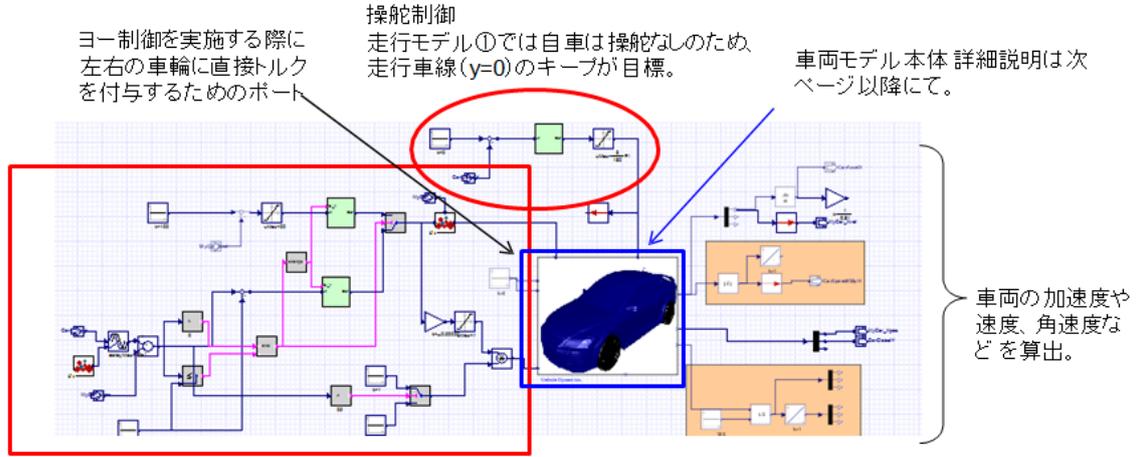


図 5.4.4.2-2 車両の入出力信号

車両モデルの各部詳細について、図 5.4.4.2-3 に車両モデルの構成を示す。

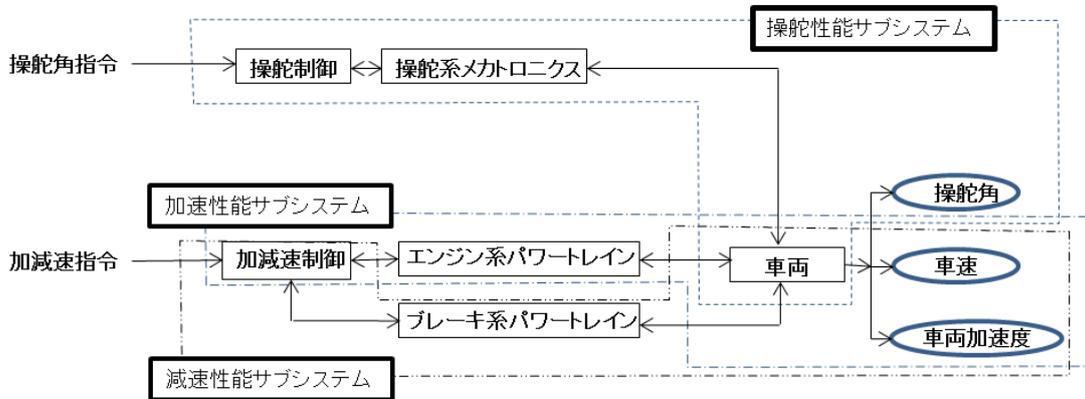


図 5.4.4.2-3 車両モデルの構成

車両モデルは、加速性能サブシステム、減速性能サブシステム、操舵性能サブシステムから構成される。各ブロックは、伝達関数で表現される。たとえば、エンジン系パワートレインの伝達関数は、次式のように表される。

$$G_{eng} = \frac{K_{e1}\omega_{e1}^2}{s^2 + 2\zeta_{e1}\omega_{e1}s + \omega_{e1}^2} \frac{K_{e2}\omega_{e2}}{s + \omega_{e2}}$$

車両は、重量 1.3t の乗用車を車両カタログの数値を参照してモデル化に利用した。表 5.4.4.2-1 にシミュレーションに使用する項目を示す。

表 5.4.4.2-1 シミュレーションで扱う項目

1 時間 [s]	22 A車との速度差 [km/h]	43 タイヤキャスター角変動FR [deg]
2 加速度X [m/s ²]	23 車両速度x [m/s]	44 A車との距離(信号値) [m]
3 加速度Y [G]	24 車両速度Y [m/s]	45 ハンドル制御信号 P成分
4 後輪トーションビーム曲げ変形 [mm]	25 車両速度Z [m/s]	46 ハンドル制御信号 減成分
5 ブレーキ信号	26 車両座標系速度X [m/s]	47 ハンドル制御信号 D成分
6 重心加速度Y [m/s ²]	27 車両座標系速度Y [m/s]	48 タイヤ動半径RL [m]
7 重心高さ [m]	28 車両座標系速度Z [m/s]	49 タイヤスリップ率RL
8 重心ピッチング [deg]	29 A車速度x [km/h]	50 タイヤ動半径RR [m]
9 重心ピッチング速度 [deg/s]	30 車両速度 [km/h]	51 タイヤスリップ率RR
10 重心ロール [deg]	31 位置Y目標値 [m]	52 ステアリングロッド長さLh [mm]
11 重心ロール速度 [deg/s]	32 走行距離 [m]	53 ステアリングロッド長さRh [mm]
12 重心ヨー [deg]	33 FLサスバネ長さ [m]	54 操舵角 [deg]
13 重心ヨー速度 [deg]	34 FRサスバネ長さ [m]	55 操舵信号
14 車両A速度 [km/h]	35 RLサスバネ長さ [m]	56 ハンドル角 [deg]
15 車両A位置X [m]	36 RRサスバネ長さ [m]	57 タイヤキャスター角変動FL [deg]
16 車両C速度 [km/h]	37 トルク信号(飽和前)	58 タイヤキャスター角変動FR [deg]
17 車両C位置X [m]	38 タイヤ動半径FL [m]	59 後輪トーションビーム捩り [deg]
18 A車との距離Y [m]	39 タイヤスリップ率FL	60 トルク(デフ前) [Nm]
19 車両位置x [m]	40 タイヤキャスター角変動FL [deg]	61 車輪と車両重心距離FL [m]
20 車両位置Y [m]	41 タイヤ動半径FR [m]	62 車輪と車両重心距離FR [m]
21 車両位置Z [m]	42 タイヤスリップ率FR	63 A車との距離(実値) [m]

5.4.5. 車両挙動モデル作成のための車両情報のデータ取得

車両のダイナミクスモデルは、前節で説明した図 5.4.4.2-1 の自動車の運動と制御に記載されている数式に基づき導出される伝達関数を用いた既存のブロックモデルを採用した。キネマティックに表現された数式(伝達関数)は、シミュレーションツールによってブロック記述に変換する。図 5.4.5-1 にブロック記述の例を示す。ただし、ここでのパラメータは、後述する実車実験により導出する。

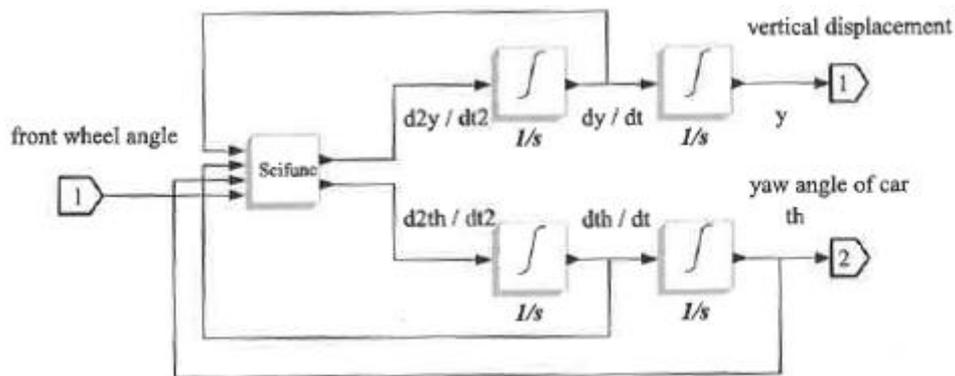


図 5.4.5-1 伝達関数のブロック記述例

各サブシステムが記述されると、それらを全体編集してシミュレーション用のブロック図を構築する。例として図 5.4.5-2 に走行をシミュレーションするブロック図の例を示す。前述したサブシステムは、**dynamics** に入れられる。

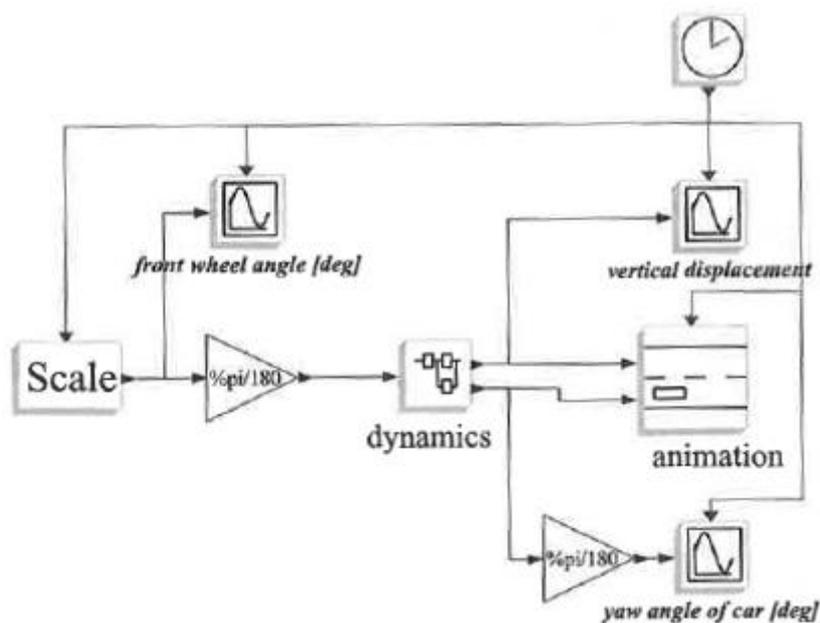


図 5.4.5-2 シミュレーション用ブロック図の一例

5.4.5.1. パラメータの同定

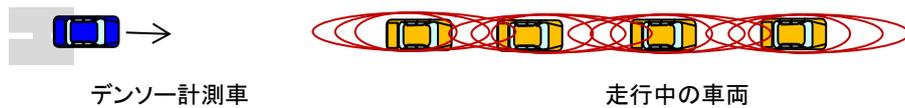
車両ダイナミクスは、車両の挙動全体を表すが、本研究では、図 5.4.4.2-3 の車両モデルの構成で記述されているように、下記 3 つの性能を表すサブモデルのみを扱った。

- (1) 加速性能
- (2) 減速性能
- (3) 操舵性能

である。

具体的なパラメータ数値を決定するため、(1) と (2) は、国土交通省の SIP に関して、交通安全環境研究所が、11 月 10 日に東名高速道路で CACC の実験を実施するのに参加させてもらい、高速道路で一定距離を保ちながら、制御するために通信しながら走行している後方をデンソーの計測車両が併走させてもらいデータ取得した。

図 5.4.5.1-1 に CACC 制御で走行している車両のあとをデンソー車両が追随しながら通信している情報を取得するスキームを示す。



(a) 通信データ取得スキーム



(b) 走行ルート（東名高速道路）
出典：国土地理院ウェブサイト



(c) 実験の様子

図 5.4.5.1-1 CACC 実験と計測の様子

(日時：11月10日(火)，場所：東名高速道路 海老名SA～首都高速)

取得したデータを示す。

日時：2016年11月10日 16:34～16:37

場所：東名高速道路用賀IC付近

天気：小雨

A車						
カウンタ	時刻	緯度(度)	経度(度)	車速	車両方位角	
85	34:00.1	35.62734	139.6096	75.92	59.9	
86	34:00.1	35.62734	139.6096	75.92	59.9	
87	34:00.2	35.62735	139.6096	75.85	59.9	
88	34:00.4	35.62737	139.6097	75.53	59.9	
89	34:00.5	35.62738	139.6097	76.07	59.9	
90	34:00.5	35.62738	139.6097	76.07	59.9	
91	34:00.7	35.6274	139.6097	75.64	59.9	
92	34:00.7	35.6274	139.6097	75.64	59.9	
93	34:00.8	35.62741	139.6098	75.64	59.9	
94	34:01.0	35.62743	139.6098	75.49	59.8	
95	34:01.0	35.62743	139.6098	75.49	59.8	
:	:	:	:	:	:	

B車						
カウンタ	時刻	緯度(度)	経度(度)	車速	車両方位角	前後加速度
182	34:00.0	35.6271666	139.6092583	75.96	60.8	0.04
183	34:00.1	35.627175	139.6092777	75.96	60.7	0.15
184	34:00.2	35.6271833	139.6092972	75.89	60.6	0.17
185	34:00.3	35.6271944	139.6093194	76	60.5	0.21
186	34:00.4	35.6272027	139.6093388	75.96	60.5	0.15
187	34:00.5	35.6272111	139.6093583	76.03	60.4	0.09
188	34:00.6	35.6272222	139.6093805	76	60.3	0.2
189	34:00.7	35.6272305	139.6094	76	60.3	0.15
190	34:00.8	35.6272388	139.6094194	76.03	60.2	0.11
191	34:00.9	35.62725	139.6094388	76	60.2	0.15
192	34:01.0	35.6272583	139.6094583	75.96	60.1	0.03
:	:	:	:	:	:	:

C車						
カウンタ	時刻	緯度(度)	経度(度)	車速	車両方位角	前後加速度
106	34:00.0	35.6270638	139.6090111	74.09	61.7	-0.02
107	34:00.1	35.627075	139.6090333	74.02	61.5	-0.05
108	34:00.2	35.6270833	139.6090527	74.02	61.4	-0.04
109	34:00.3	35.6270916	139.6090722	74.02	61.3	-0.03
110	34:00.4	35.6271027	139.6090944	73.98	61.3	-0.06
111	34:00.5	35.6271111	139.6091138	73.91	61.2	-0.08
112	34:00.6	35.6271194	139.6091333	73.98	61.2	-0.03
113	34:00.7	35.6271305	139.6091555	73.98	61.1	-0.02
114	34:00.8	35.6271388	139.609175	73.98	61	-0.02
115	34:00.9	35.6271472	139.6091944	73.91	60.9	-0.05
116	34:01.0	35.6271583	139.6092166	73.91	60.9	-0.04
:	:	:	:	:	:	:

D車							
カウンタ	時刻	緯度(度)	経度(度)	車速	車両方位角	前後加速度	
33	34:00.0	35.6268944	139.6086805	77.08	63.6	0.02	
34	34:00.1	35.6269027	139.6087	77.11	63.5	-0.01	
35	34:00.2	35.6269111	139.6087222	77.18	63.3	0.06	
36	34:00.3	35.6269194	139.6087416	77.08	63.1	0.04	
37	34:00.4	35.6269277	139.6087611	76.97	62.9	0	
38	34:00.5	35.6269388	139.6087861	77.15	62.8	-0.03	
39	34:00.6	35.6269472	139.6088055	77	62.6	-0.13	
40	34:00.7	35.62695	139.6088222	77.15	62.4	0.01	
41	34:00.8	35.6269583	139.6088444	77.22	62.3	0.06	
42	34:00.9	35.6269666	139.6088638	77.08	62.2	0.05	
43	34:01.0	35.626975	139.6088833	77.04	62.1	0.01	
:	:	:	:	:	:	:	:

	A車-B車間距離	B車-C車間距離	C車-D車間距離
時刻	計算結果(m)	計算結果(m)	計算結果(m)
16:34:00.0	37.8	25.2	35.5
16:34:00.1	35.8	24.8	35.8
16:34:00.2	36.2	24.8	35.6
16:34:00.3	37.7	25.2	35.6
16:34:00.4	37.9	24.8	36.0
16:34:00.5	35.9	24.8	35.4
16:34:00.6	38.0	25.2	35.4
16:34:00.7	36.1	24.8	36.3
16:34:00.8	36.4	24.8	36.1
16:34:00.9	38.3	25.0	36.1
16:34:01.0	36.3	24.6	36.5
:	:	:	:

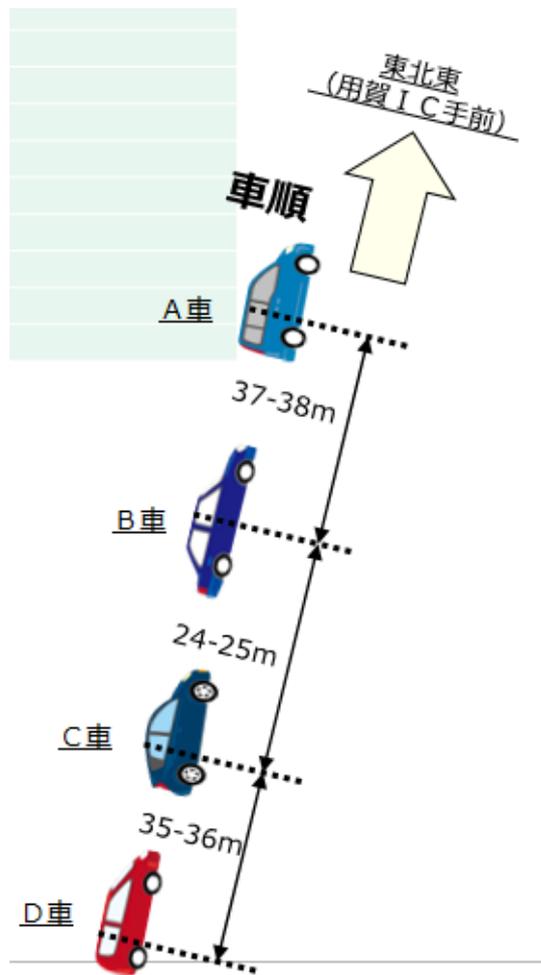


図 5.4.5.1-2 走行時の車順

(1) 加速性能の同定

合わせ込みにより得られた車両モデル(の一部)

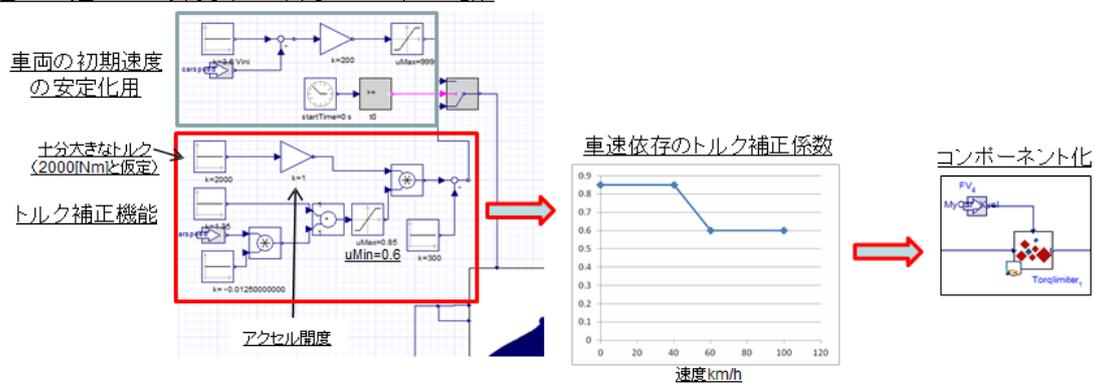
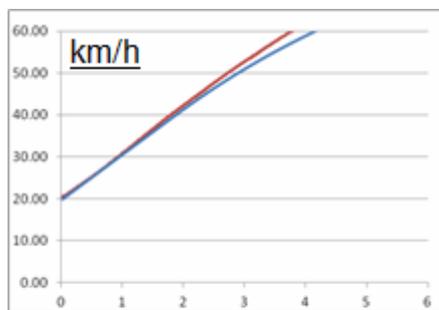


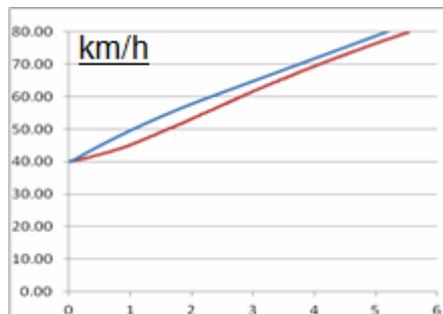
図 5.4.5.1-3 合わせ込みにより得られた車両モデル (加速性能サブシステム)

上記モデルに前節で得られたデータをあてはめ、補正係数を用いて加速の車両モデルを構築した。そしてそのモデルに同じ数値を代入し、実機のデータと比較した。



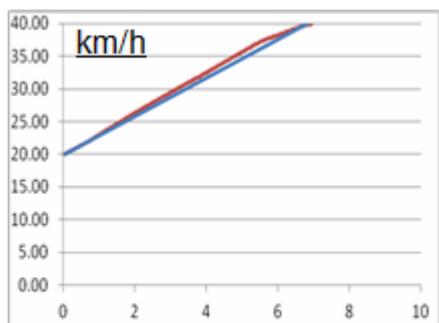
— 解析
— 実測データ

(a) 急加速 (20km→60km)



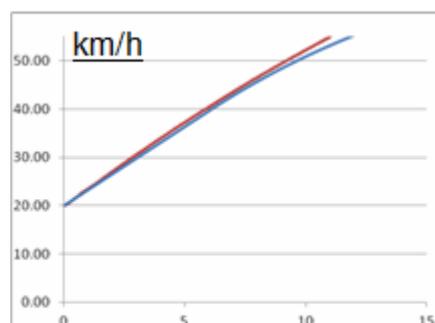
— 解析
— 実測データ

(b) 急加速 (40km→80km)



— 解析
— 実測データ

(c) 加速 (20km→40km)



— 解析
— 実測データ

(d) 加速 (20km→60km)

図 5.4.5.1-4 車両モデルと実機データの比較結果

構築したモデルは、実車と同程度の加速性能を現すことを確認した。

(2) 減速性能の同定

実測車速データからブレーキ作動を制御する車両モデル(減速サブシステム)を構築した。

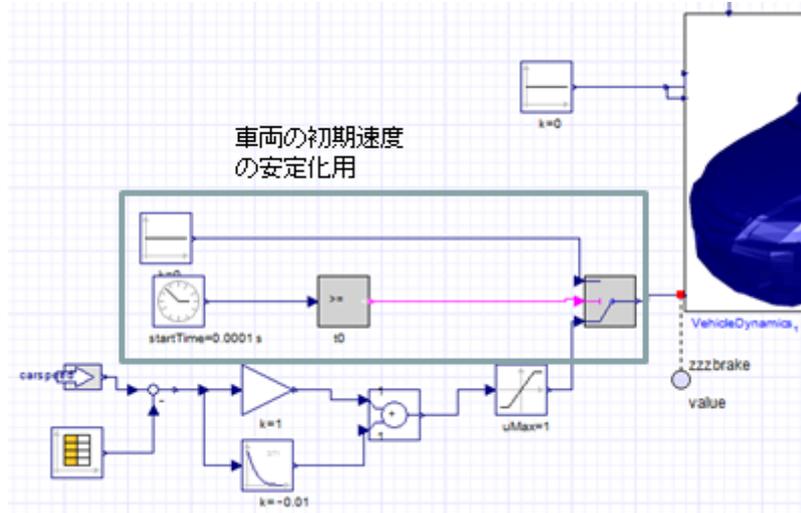


図 5.4.5.1-5 合わせ込みにより得られた車両モデル(減速性能サブシステム)

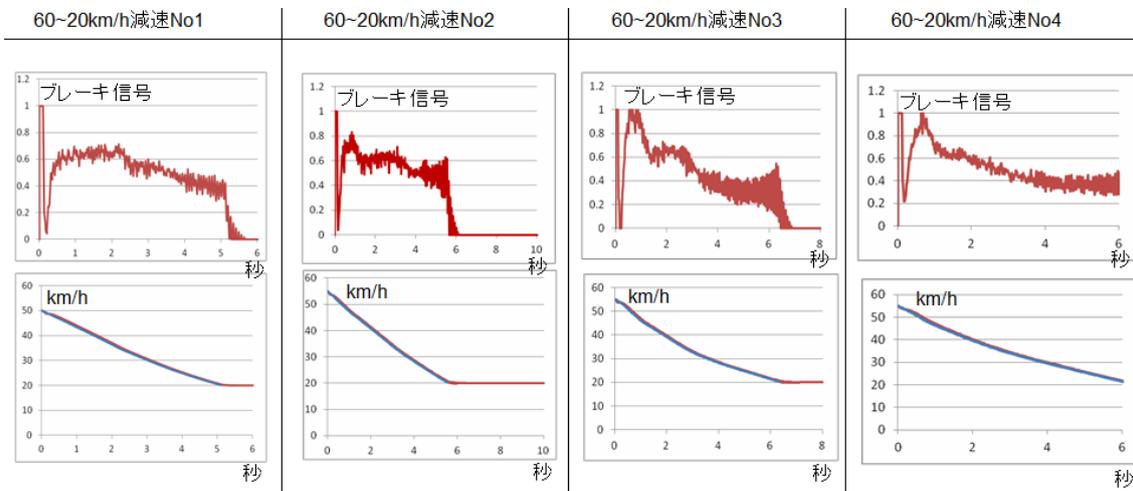


図 5.4.5.1-6 車両モデルと実機データの比較結果

ブレーキ信号は、架空ブレーキ信号(モデルの出力)で、車両減速中のブレーキの作動率は、約0.8~0.4で、概ね予想される範囲と判断される。

(3) 操舵性能の同定

操舵性能のデータ取得に関しては、CACC の実験では、車線変更をしないため、別途テストコースで車線変更の実験を特別に企画して実施した。



図 5.4.5.1-7 デンソーのテストコースで実施した車線変更の実験

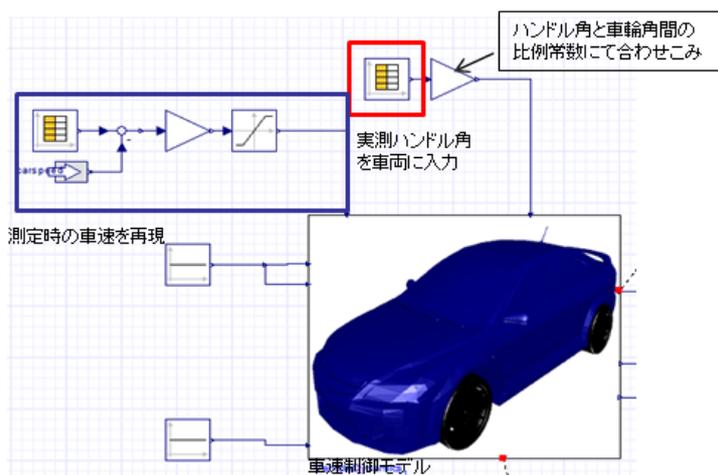


図 5.4.5.1-8 合わせ込みにより得られた車両モデル (操舵性能サブシステム)

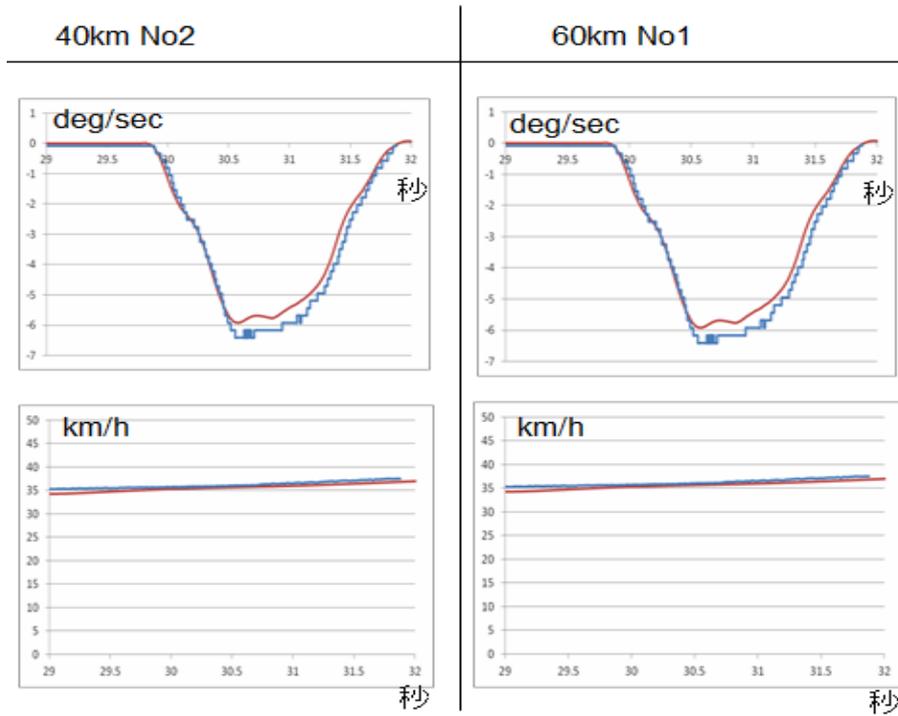


図 5.4.5.1-9 車両モデルと実機データの比較結果

図 5.4.5.1-9 に車両モデル（操舵モデル）と実機データの比較を示す。実際の実車に近い操舵応答が得られていると判断する。

5.4.5.2. 車両モデルの検証

前節で構築したシミュレーション用の車両モデルを、車間距離を制御しながら走行している場合のシーンで、車両間の関係が、妥当な値を示すかを検証した。

(条件)

- 先行車両 A は、40km/h で定速走行し、自車は、60km/h で後ろから、車間距離 40m になるように制御する。
- 車両 A の位置情報のみを通信で取得し、車間距離が 40m を下回ったら 40m を保持するようにフィードバックがかかる。

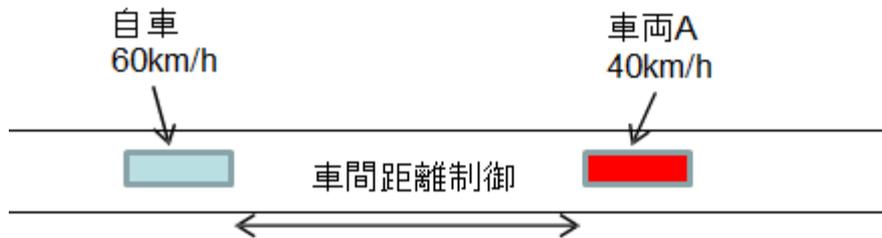


図 5.4.5.2-1 車間距離制御のシーン

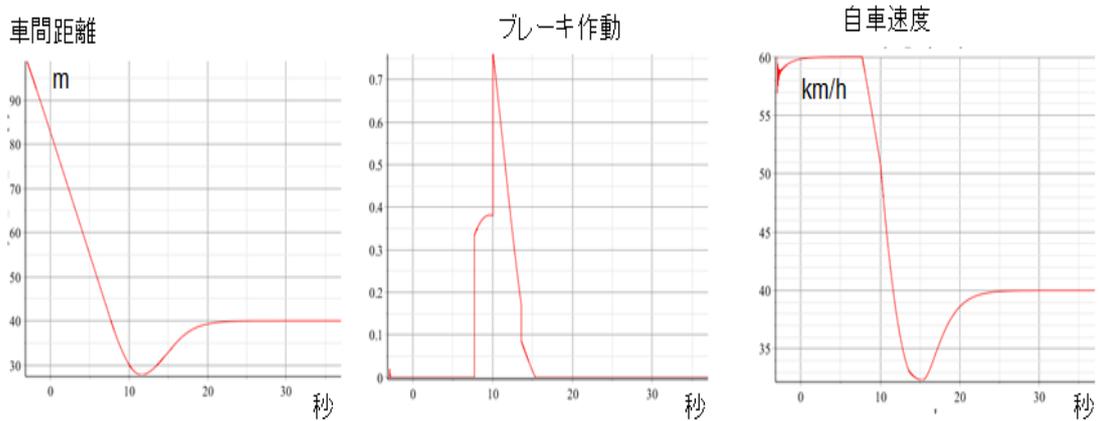


図 5.4.5.2-2 動作検証の結果

応答とシミュレーションで得たデータは、概ね妥当と判断する。

5.4.6. 通信利用型車両シミュレーション検証

高速道路の他車速度は 100km/h 一定、自車は加速車線の始点に立つ。解析開始タイミングの車速は 40km/h とし、加速車線から本車線に合流する間に、本車線の車両状況を確認しながら車両速度を制御し、車線変更するシーンを考える。合流シーンは概ね図 5.4.6-1 および図 5.4.6-2 の通り、合意形成期間、車間確保期、合流実施期 3 つのフェーズで構成される。

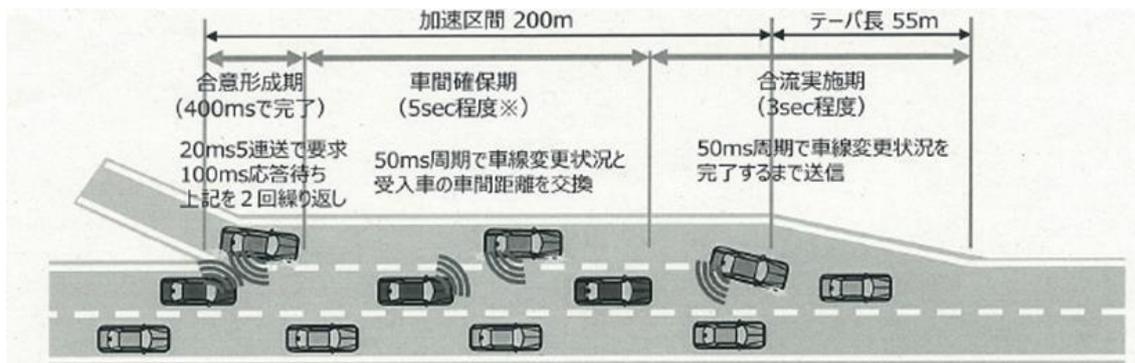


図 5.4.6-1 自工会提供の合流のユースケース

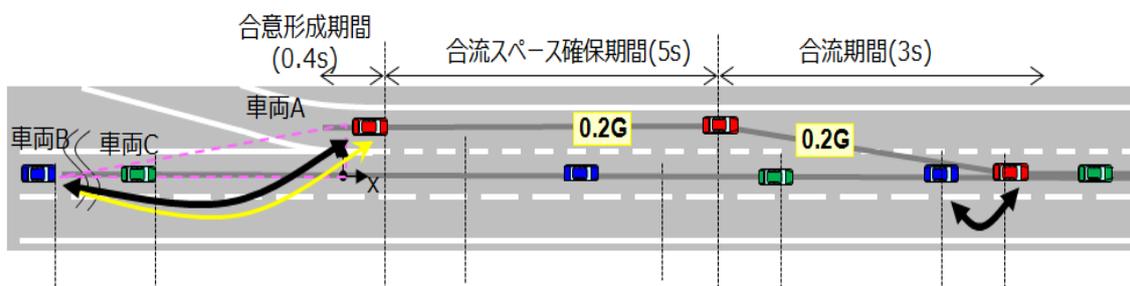


図 5.4.6-2 デンソーシミュレーション用ユースケース

(1) 合意形成期 (0.4 秒)

自車 A は初期車速 40km/h にて加速車線の入口から入る。本車線の車両と通信することにより、本車線の車両 B と C の前もしくは後ろのどの位置に合流するかを予め決めたルールに従って決定する。この行為を折衝（ネゴシエーション）と呼ぶ。

(2) 車間確保期 (5 秒程度)

本期間中の車両 A は合意形成期の結果通りに加速しながら本車線への合流タイミングを待つ。本研究では、合流タイミングは合意結果によって合流開始 5.4s もしくは車両 B 通過後の安全距離を確保した後とした。安全距離は、余裕時間 1s とし、例えば車速 100km/h 走行の場合には、27.8m となる。

(3) 合流期間 (5.4 秒以後)

本期間の開始時点から車両 A はフル加速 (本研究では最大加速 0.2G) しながら、3 秒間をかけてゆっくり車線変更する。本車線の中央に到達し、且つ、車両 A の速度が本車線車速 100km/h に到達した時点にて本車線への合流が完全に終了したとする。

5.4.6.1. シーン 1 (本線走行車両が制御する場合)

5.4.6.1.1. シーン 1 のシミュレーション

- 加減速の制御に関しては、初期値として車両 B、車両 C は、初速度 100km/h を PD 制御で維持している。
- 車両 A は、車両 B,C 間に入る込む距離があると判断し車両 C の横から合流する。
- 車両 B は、車両 A に後方から接近し車速制御は、車両 B が行う。
- 車両 A との X 方向間隔が 40m をきったら前方車両を車両 A にして PID 制御で 40m を維持する。
- 車両 A との X 方向間隔が 25m をきったら、フルブレーキを可能にして車両の接近し過ぎを抑制。それ以外は、ハーフブレーキ以下で車間を調整する。
※ 解析は、時刻 $t = -3[s]$ からスタートし、車両の挙動が安定した時刻 $t = 0$ から走行シナリオが開始する。

車間制御は PD 制御により実施した。目標とする車間距離に対して、通信により得られた前車の位置と自車位置から現在の車間距離との差が入力となる。以下の P 項、D 項の足し算の結果により加速、減速が制御される。

P (比例項) : 車間距離が大きい場合には加速側、小さい側には減速側に反応する。

D (微分項) : 車間距離の変動分、すなわち相対速度に反応する。

前車の車速の方が速い場合には加速し、遅い場合には減速する。

D 項の効果として、例えば P 制御のみの場合、前車が 60km/h、自車が 100km/h で目標車間距離に向かって近づいている時に、目標車間距離まではさらに加速し続け、目標車間距離よりも短くなって初めて減速する挙動となってしまう、車間距離が過度に近づきすぎてしまう (オーバーシュート/アンダーシュート)。これを回避するため、D 項により相対速度を監視することで、自車が他車より速い場合には減速側、自車が他車より遅い場合には加速側に向かうように制御器が働くようにしている。大まかに言うと、車間距離が目標車間距離に近い状況では D 項の影響がより大きくなる。

現実的な制御法に関しては、各メーカーの競争領域になるため、詳細は、不明である。たとえば、車車間通信でやりとりするメッセージ、たとえば RC-013 に記載の車速情報をつかって、速度の補間等を行いながら制御ロジックを構築することになるが、今回のシミュレーションでは、制御ロジックを開発することが目的ではないため、あえて、車間の PD 則で検討した。

図 5.4.6.1.1-1 にシーン 1 のイメージを示す。

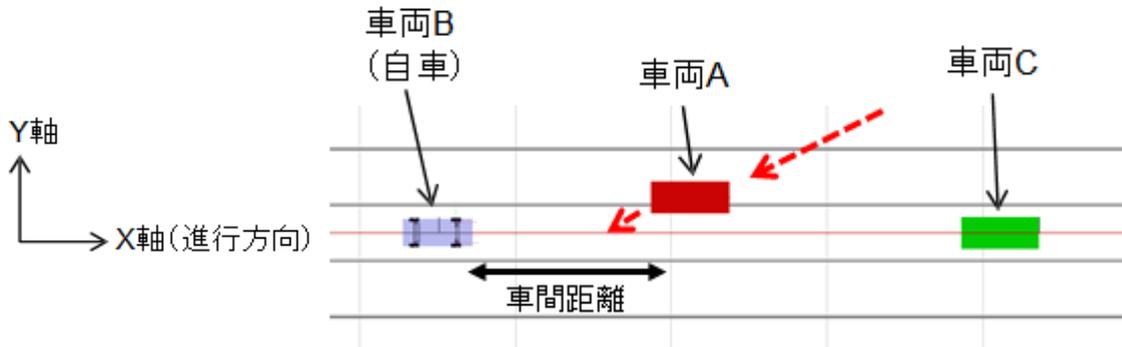
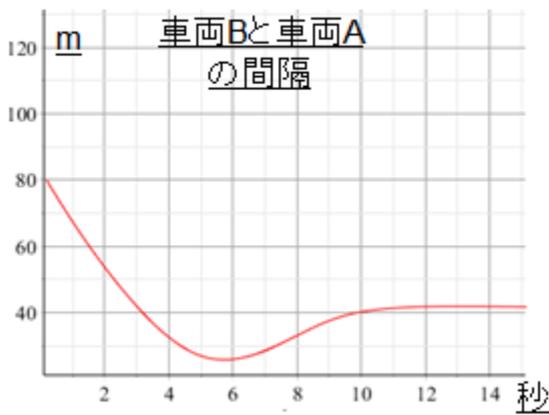


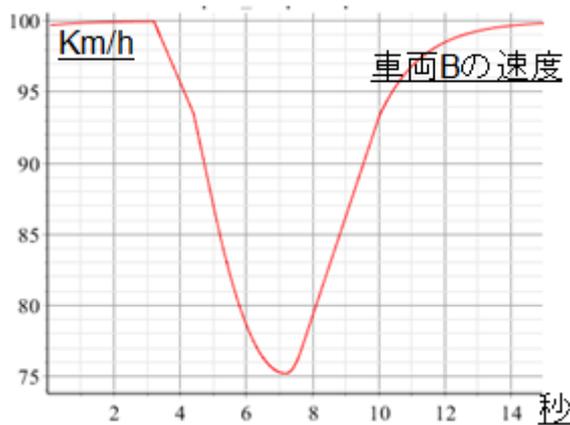
図 5.4.6.1.1-1 シーン 1 のシミュレーションのイメージ

シミュレーション結果を図 5.4.6.1-2 から図 5.4.6.1-4 に示す。



初期状態では、車両 A は、自車両 B の前方 80m 以上離れた位置にあった。車両 B は、車両 A の後方から接近し、その距離は、80m から徐々に 27m くらいまで縮まる。

図 5.4.6.1.1-2 車両 B と車両 A の距離



車間距離が、40m を切った段階で、車両 B は、制動をかける。車速は、100km/h から 75km/h まで下がる。その後、車両 A との距離を 40m に近づけるため、車速を上げる。最終的には、時速 100km/h、距離 40m で車両 A に追従するように走行する。

図 5.4.6.1.1-3 車両 B の速度

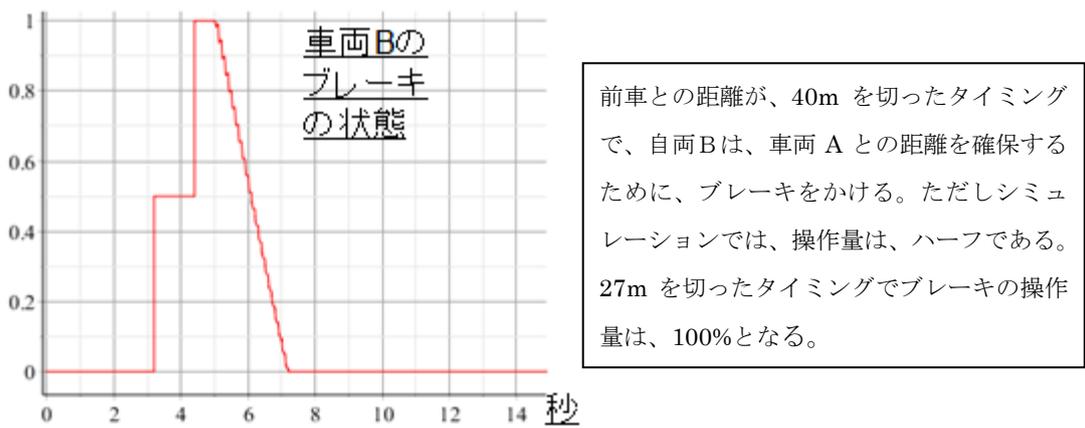


図 5.4.6.1.1-4 自車両Bのブレーキの作動状況

5.4.6.1.2. 通信失敗時のシミュレーション

図 5.4.6.1.2-1 に車車間通信の遅延と通信失敗のモデルを示す。遅延も通信失敗もシミュレーション上では、前回の信号値を保持してそれを制御に反映する。

図 5.4.6.1.2-2 は、遅延の delay 時間の設定を、図 5.4.6.1.2-3 は、受信した車両が認識する他車との車間距離と実際の車間距離の関係を示す。

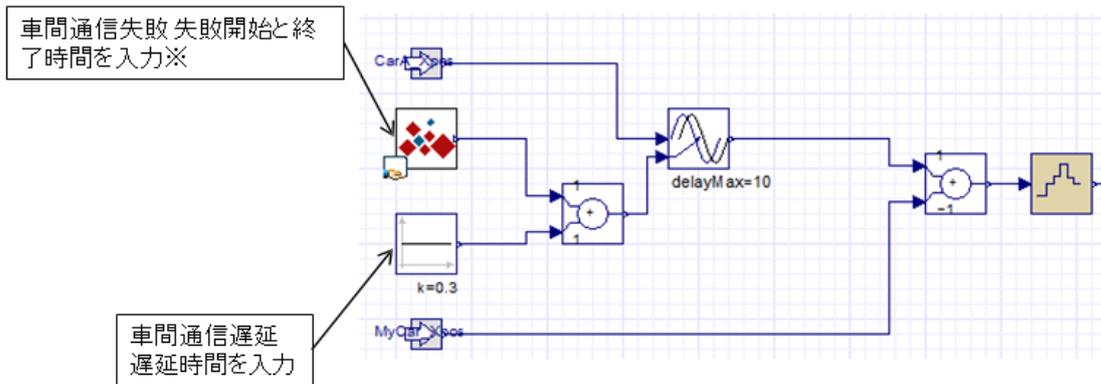


図 5.4.6.1.2-1 車車間通信の遅延と通信失敗のモデル

$$delay(t) = \begin{cases} t - a + \text{epi} & a < t \text{ and } t < b \\ \text{epi} & \text{otherwise} \end{cases}$$

図 5.4.6.1.2-2 遅延開始時間の保持のための delay 時間調整式

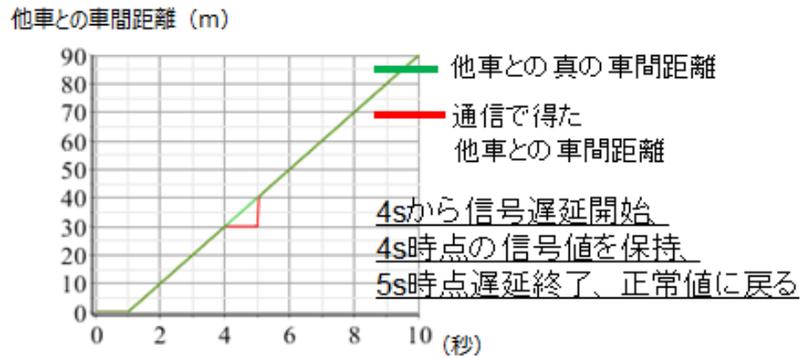


図 5.4.6.1.2-3 他車との車間距離の真値との関係

5.4.6.1.3. 通信不具合の車両への影響

車車間通信で、1 サンプル (100ms) が正常でなかった場合、車両の挙動がどう変わるのかをシミュレーションで調べた。1 サンプルが正常でないというのは、通信が欠落する場合、遅延により以前の値が送られる場合の 2 通りがある。いずれの場合も、合流のシーン 1 においては、合意形成期間、合流スペース確保期間、合流期間で車両がうける影響度は、ことなると思われる。

ここでは、合流スペース確保期間の 3.5~3.6s の間に 1 サンプルが正常でなかった場合と、合流期間の 5.7~5.8s の間に 1 サンプルが正常でなかった場合を事例として示す。送信インターバルは、ARIB STD T-109 規定通りの 100ms で、自車両 B の速度は、100km/h である。図 5.4.6.1.3-1 から図 5.4.6.1.3-4 に合流スペース確保期間の通信不具合時のシミュレーション結果を示す。

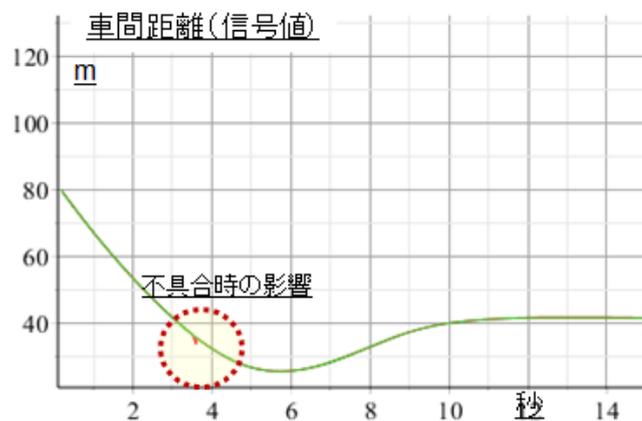


図 5.4.6.1.3-1 車間距離

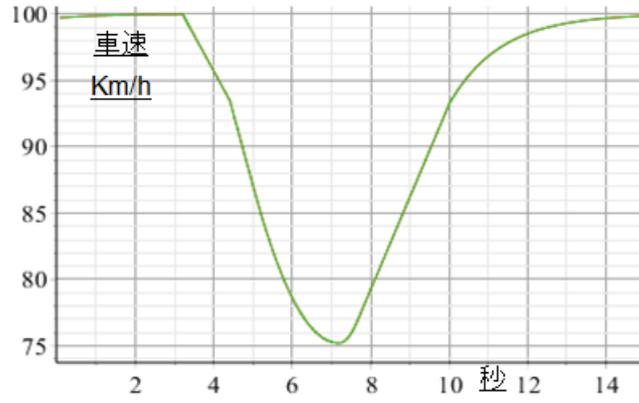


図 5.4.6.1.3-2 車速

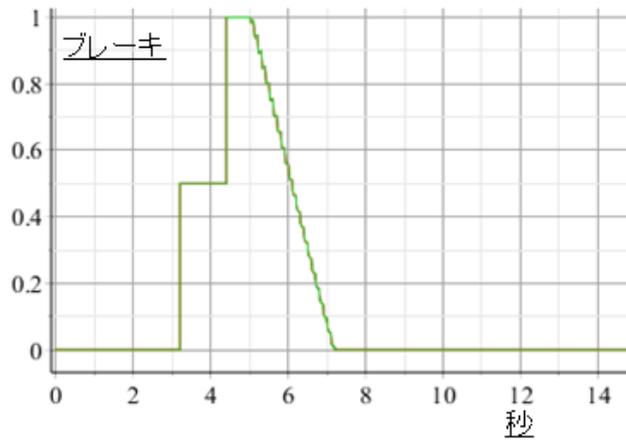


図 5.4.6.1.3-3 ブレーキ

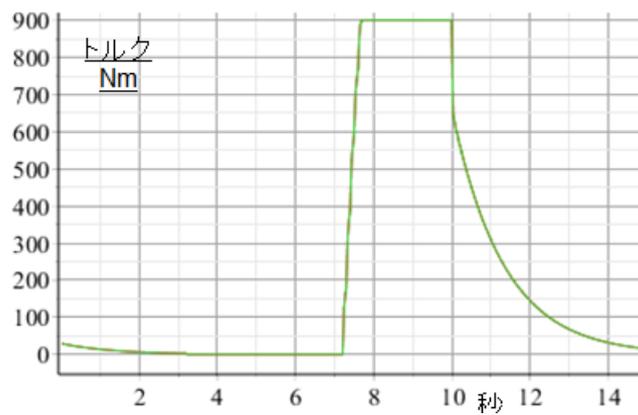


図 5.4.6.1.3-4 発生トルク

この期間における1サンプリングの通信不具合は、車両に大きな影響を与えることはない。

3.5 秒で1 サンプリングが抜けた場合に、大きな影響がないのは、この期間では自車の減速度が緩やかなため、1 サンプリングの抜けの影響が出ない結果になったと思われる。詳細にいうと、車間制御による減速中だが、初期はブレーキ力の最大を 50%とする制限範囲にあるために、制御上は、より大きなブレーキ力を発生したいところが上限で切られ、1 サンプリングの抜けの影響がこの範囲の中に収まっているためと思われる。

図 5.4.6.1.3-5 から図 5.4.6.1.3-9 までに合流期間の通信不具合時のシミュレーション結果を示す。ただし、目標車間は 27m としている。

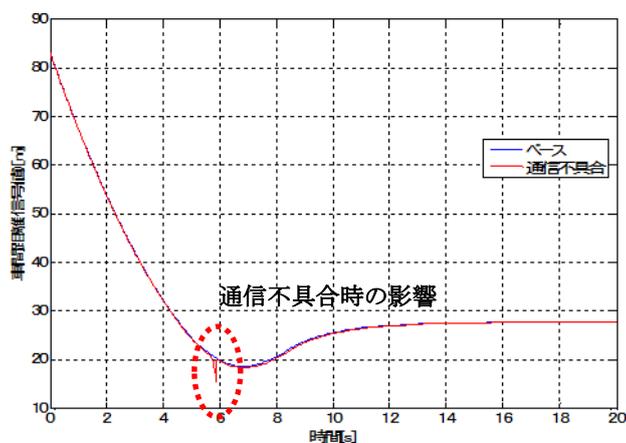


図 5.4.6.1.3-5 車間距離

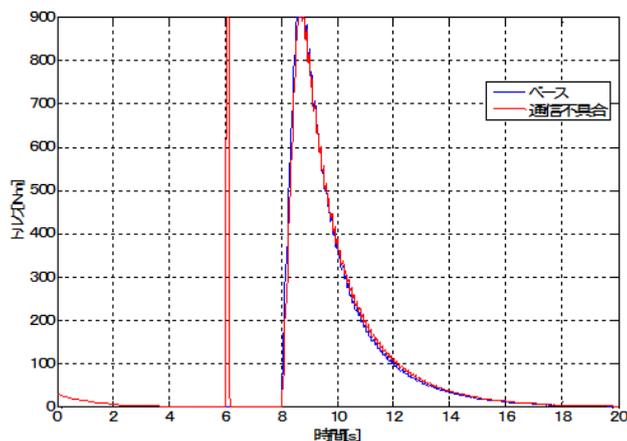


図 5.4.6.1.3-6 発生トルク

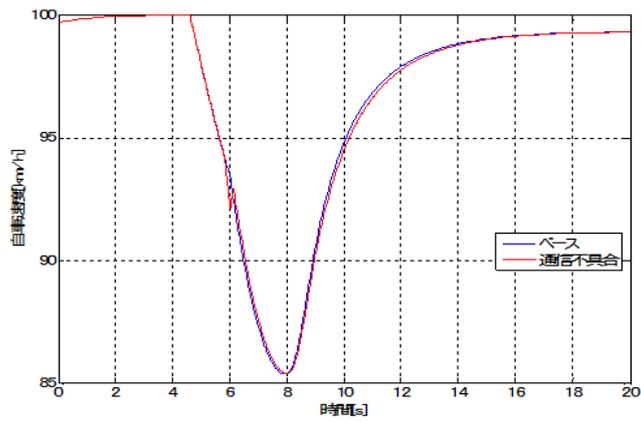


図 5.4.6.1.3-7 車速

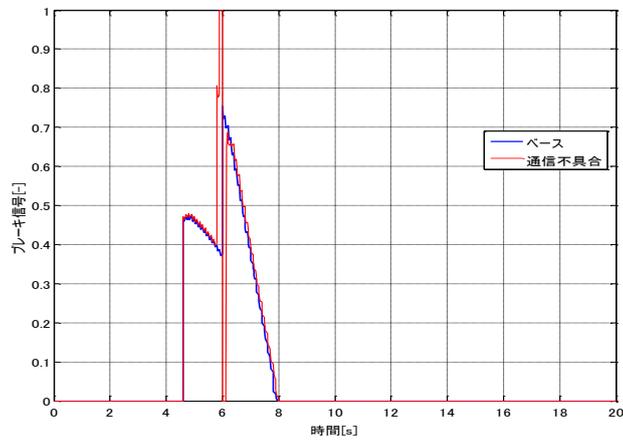


図 5.4.6.1.3-8 ブレーキ信号

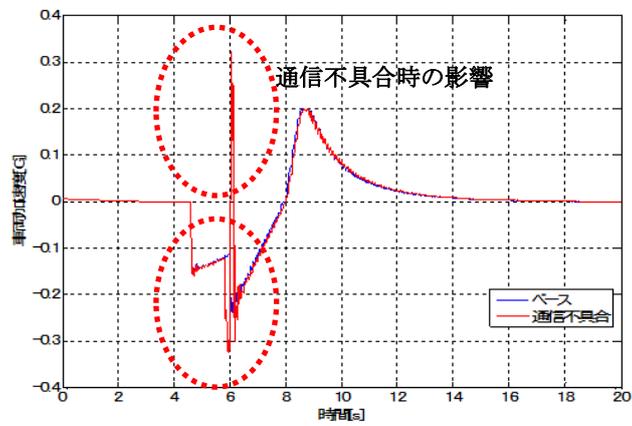


図 5.4.6.1.3-9 車両の加速度

合流期間においては、1回のサンプリングに相当する時間（今回の場合 100ms）でも、通信の欠落があった場合、急ブレーキの発生（ $-0.3G$ ）と速度の復帰のために、加速してトルクを 800Nm 発生する。

この急激な挙動は、車両加速度で $-0.3G$, $+0.3G$ に相当し、運転者に違和感を与える。この理由として、通信が抜けた場合は、前回値を利用しているためと考える。

抜けた時点では、

- ①. 実際よりも車間を短く
- ②. 他車が減速 と認識する。

そのため、このタイミングにおいては急ブレーキが発生する可能性がある。一方で通信が正常に戻った時点では、

- ③. 正常な車間
- ④. 他車が加速 と認識する。

④の影響により、5.7秒で1サンプリングが抜けた後、新しい情報が入力されると、制御則のD項が、大きく効くことになり自転車も加速する結果となっている。

今回は、通信の欠落時の振る舞いをシミュレーションしたが、遅延と通信欠落の差は、下記のようになっている。通信欠如は、前回の値を使用している。例えば、前車が一定速度（ $100\text{km/h} \div 3.6 \approx 27.8\text{m/s}$ ）で走っている場合に前車の位置が2秒時で50m、2.1秒時で53m、2.2秒時で56mとしたとき、

ア) 2.1秒時の値が抜けた場合には、

「2秒時で50m、2.1秒時で50m、2.2秒時で56m」と認識する。

この結果、前車の車速は

2.0 → 2.1秒時：車速 0m/s

2.1 → 2.2秒時：車速 60m/s

と、減速、加速しているようにみえる。

イ) 全体が100msの遅延の場合には、

「2秒時で47m、2.1秒時で50m、2.2秒時で53m」と認識する。

この結果、前車の車速は

2.0 → 2.1秒時：車速 30m/s

2.1 → 2.2秒時：車速 30m/s

となり、正しい情報が遅れた結果を認識することになる。

以上のことが、以降のシミュレーションにおける遅延と通信欠落の差となっていると考える。このように、通信の不具合は、発生するタイミングによって車両は受ける影響力に大きな差異を生じてしまう。

以降、5.4.6.1.4節では、シミュレーションのパラメータを振って評価する。

5.4.6.1.4. シミュレーションのパラメータ評価

シミュレーションのパラメータとして、車速(100km/h, 110km/h)、車間通信周期(100ms, 50ms, 20ms)、車間通信遅延(0, 300%)、通信連続失敗(0, 1, 2回)、タイミング(100km/h:0, 5.7秒, 8秒、110km/h:0, 3.4, 7.5秒)の組み合わせで実施した。

組み合わせの項番は、解析 No.1 から解析 No.60 までとする。それぞれのシミュレーションで出力したポイントは、車間距離(通信で得た値)、トルク、車速、ブレーキ、車両加速度、車間距離(真値)である。詳細データは、付録 A.3.2 にシミュレーション結果データ集シーン 1 としてまとめて記載している。判定は、車両加速度が、通信が正常に機能していた場合に比べて、 $\pm 0.3g$ 以上発生する場合に、 \times とした。 \triangle は、判断に迷うレベルとする。

表 5.4.6.1.4-1 解析結果

解析 No	車速 km/h	送信周期 msec	通信遅延 %	通信連続 失敗回数	タイミング sec	判定
1	100	100	0	0	0	○
2	100	100	300	0	0	×
3	100	100	0	1	5.7	×
4	100	100	0	2	5.7	×
5	100	100	0	1	8	\triangle
6	100	100	0	2	8	×
7	100	100	300	1	5.7	×
8	100	100	300	2	5.7	×
9	100	100	300	1	8	×
10	100	100	300	2	8	×
11	100	50	0	0	0	○
12	100	50	300	0	0	\triangle
13	100	50	0	1	5.7	\triangle
14	100	50	0	2	5.7	\triangle
15	100	50	0	1	8	○
16	100	50	0	2	8	○
17	100	50	300	1	5.7	\triangle
18	100	50	300	2	5.7	\triangle
19	100	50	300	1	8	\triangle
20	100	50	300	2	8	\triangle
21	100	20	0	0	0	○
22	100	20	300	0	0	○

解析 No	車速 km/h	送信周期 msec	通信遅延 %	通信連続 失敗回数	タイミング sec	判定
23	100	20	0	1	5.7	○
24	100	20	0	2	5.7	○
25	100	20	0	1	8	○
26	100	20	0	2	8	○
27	100	20	300	1	5.7	○
28	100	20	300	2	5.7	○
29	100	20	300	1	8	○
30	100	20	300	2	8	△
31	110	100	0	0	0	○
32	110	100	300	0	0	△
33	110	100	0	1	3.4	○
34	110	100	0	2	3.4	△
35	110	100	0	1	7.5	△
36	110	100	0	2	7.5	×
37	110	100	300	1	3.4	△
38	110	100	300	2	3.4	×
39	110	100	300	1	7.5	△
40	110	100	300	2	7.5	×
41	110	50	0	0	0	○
42	110	50	300	0	0	○
43	110	50	0	1	3.4	○
44	110	50	0	2	3.4	△
45	110	50	0	1	7.5	○
46	110	50	0	2	7.5	△
47	110	50	300	1	3.4	○
48	110	50	300	2	3.4	△
49	110	50	300	1	7.5	○
50	110	50	300	2	7.5	△
51	110	20	0	0	0	○
52	110	20	300	0	0	○
53	110	20	0	1	3.4	○
54	110	20	0	2	3.4	○
55	110	20	0	1	7.5	○

解析 No	車速 km/h	送信周期 msec	通信遅延 %	通信連続 失敗回数	タイミング sec	判定
56	110	20	0	2	7.5	△
57	110	20	300	1	3.4	○
58	110	20	300	2	3.4	○
59	110	20	300	1	7.5	△
60	110	20	300	2	7.5	△

5.4.6.1.5. シミュレーション結果の考察

車車間通信の遅延によって、車間距離制御の全域において、車間距離は、過少評価される。結果として、ブレーキ、発生トルクは、必要以上に作動し、車間距離は、拡大する傾向となる。

車車間通信の失敗の発生タイミングに、瞬間的にブレーキ力と駆動力が発生する。車間距離は、制御により全域に大きな影響を及ぼすことはなかった。車車間通信の遅延と通信失敗の組み合わせによる影響は観測できなかった。車車間通信の通信インターバル（通信周期）の短縮によって、車車間通信の遅延と失敗の影響は軽減される傾向になる。

5.4.6.2. シーン2（合流車両が制御する場合）

合流車両が、制御して本線車線を走行している車両の間に入る場合、2つのケースがある。

図 5.4.6.2-1 に合流車両が制御した合流の場合分けを示す。

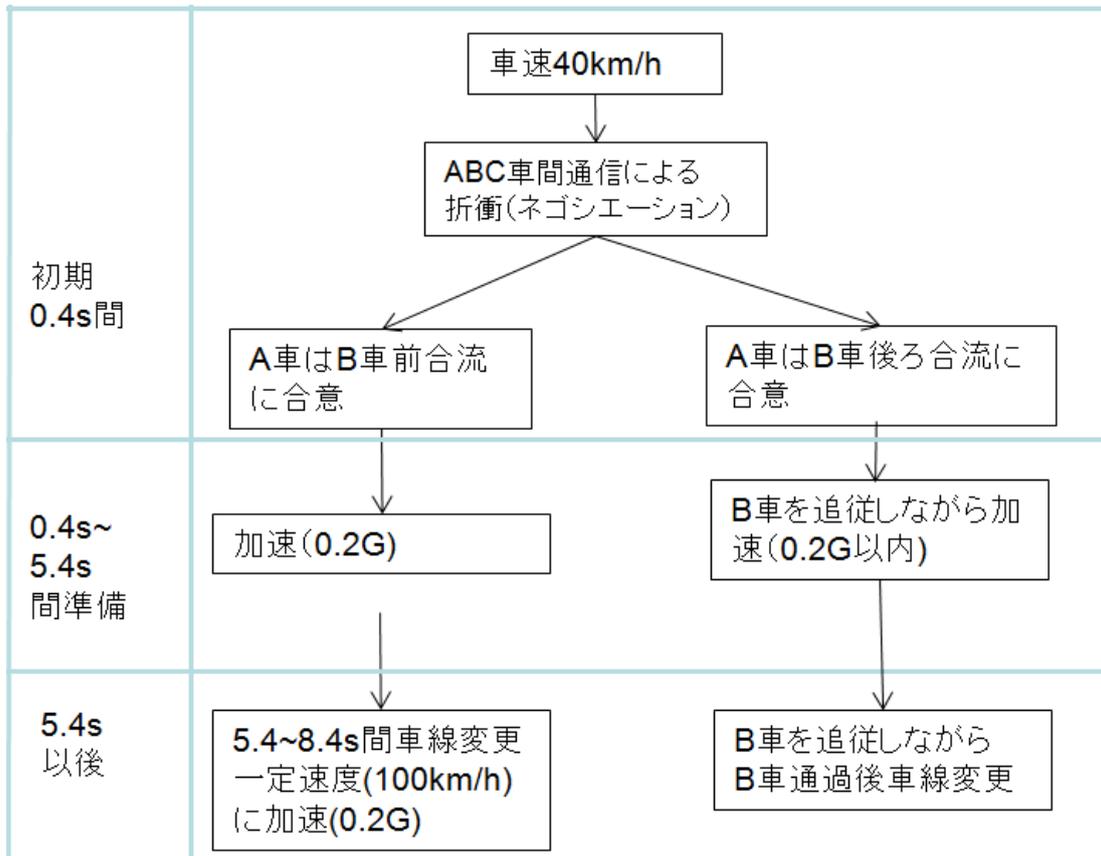


図 5.4.6.2-1 合流車両が制御した合流の場合分け

5.4.6.2.1. 合流の決め方

本年度の研究開発においては、一例として以下のような合流を想定した評価を行う。加速車線にある車両と本車線の車両の速度違いによって、合流する車両が合流前後に他の車両が前にある場合に急接近することは避ける必要がある。そのため、合流車両は合流期間中に他車との一定以上の安全距離を保持できる場合において、加速しながら一定のタイミングで車線変更することとする。それ以外の場合、他車と一定車間距離を確保した上で本車線の対象車両の後ろに車線変更を実行する。合流開始時は、車間通信により、対象車両との車間位置を走行中にモニタし、決めた閾値により判断する。判断ロジックフローを図 5.4.6.2.1-1 に示す。

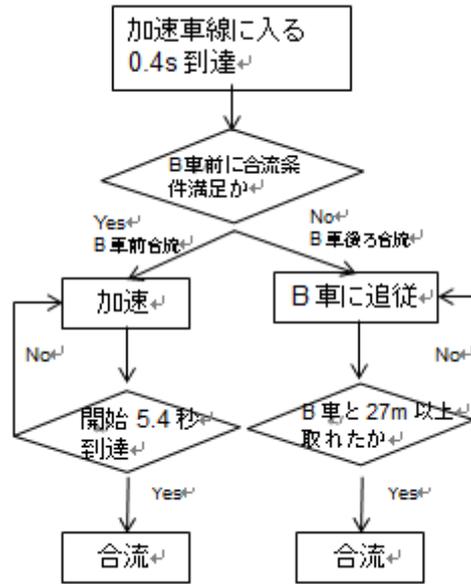


図 5.4.6.2.1-1 判断ロジックフロー

本車線車両 B の前に合流条件について、図 5.4.6.2.1-2 のように前車との車間位置の閾値 D1 と後車との車間距離の閾値 D2 を検討する。

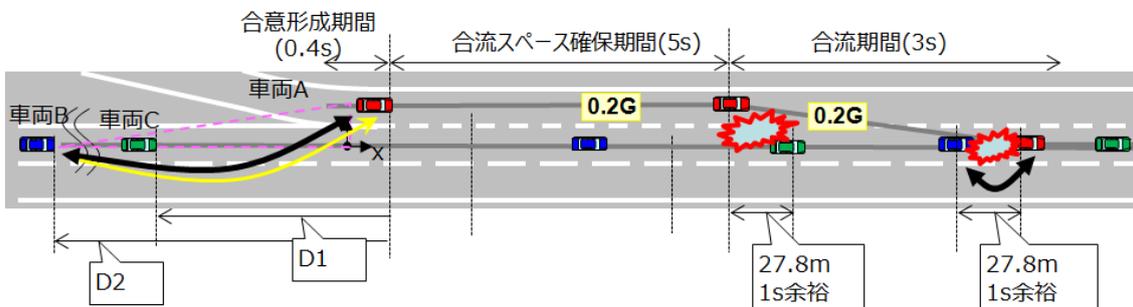


図 5.4.6.2.1-2 合流時位置関係

合流について、合意形成時 (0.4s) の車両 A の速度 40km/h、加速度 0.2G、本車線車両速度 100km/h を想定する。車線変更中の車両 A と他車間の安全車間距離は余裕時間 1s として、車速 100km/h の場合には 27.8m となる。合流開始時点 s (5.4s) の車両 A と本車線車両 C の間に安全車間距離を取れるように初期車間距離 D1 を予測する。

5.4s 時点、車両 A の移動量 Sa は以下となる。

$$Sa = vt + 0.5at^2 = 11.1 \cdot 5 + 0.5 \cdot (0.2 \cdot 9.81) \cdot 5^2 = 80.5$$

C 車の移動量 Sc は以下となる。

$$Sc = vt = 27.8 \cdot 5 = 139$$

よって、安全車間距離を取るためには、以下の条件成立が必要となる。

$$139 - D1 - 80.5 > 27.8$$

$$D1 < 30.7$$

車両 A は車線変更し、本車線の車速まで加速した時点が車両 B と最も接近する。その時点の安全距離から車両 B との初期車間距離 $D2$ を予測する。

車両 A は 100km/h に到達するタイミングは以下となる。

$$t = (27.8 - 11.1) / (0.2 * 9.81) = 8.4s$$

その時点車両 A の移動量は以下となる。

$$Sa = vt + 0.5at^2 = 11.1 \cdot 8.4 + 0.5 \cdot (0.2 \cdot 9.81) \cdot 8.4^2 = 163.8$$

一方、B 車の移動量は以下となる。

$$Sb = vt = 27.8 \cdot 8.4 = 233.5$$

$$D2 + 163.8 - 233.5 > 27.8$$

よって、安全車間距離を取るためには、以下の条件成立が必要となる。

$$D2 > 97.5$$

結果として、車両 A の本車線車両 B の前に合流する車間距離の閾値条件は、図 5.4.6.2.1-3 および図 5.4.6.2.1-4 に示すように、車両間の合意形成時点 (0.4s) の車両 A から後方 30.7m (安全車間距離は、27.8m) と 97.5m 範囲内 (黄色枠) 本車線に走行する車両 B, C は入っていないこととなる。車両 B もしくは車両 C がこの距離閾値 (黄色枠) に入る場合、車両 A は B 車に追従しながら B 車の後ろに合流することになる。車両 B、C 以外は本研究では無いこととした。

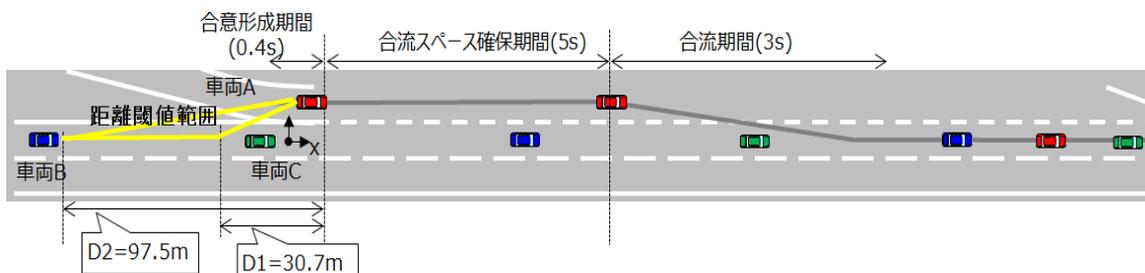


図 5.4.6.2.1-3 距離閾値範囲の図

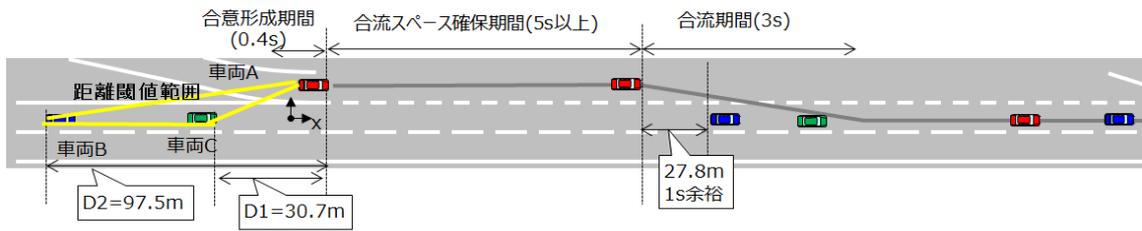


図 5.4.6.2.1-4 距離閾値と余裕距離

5.4.6.2.2. シミュレーションモデルについて

合流シーンをコンピュータ上で実行できるようにするためにブロック線図ベースのシミュレータを用いてモデルを作成し、車両動作の時間歴を解析した。作成したモデルは図 5.4.6.2.2-1 のように、自車 A の車両モデル、車線変更の制御器に相当する車両入力モデル、車両速度と変位を出力するモデルと他車両の走行モデルから構成される。

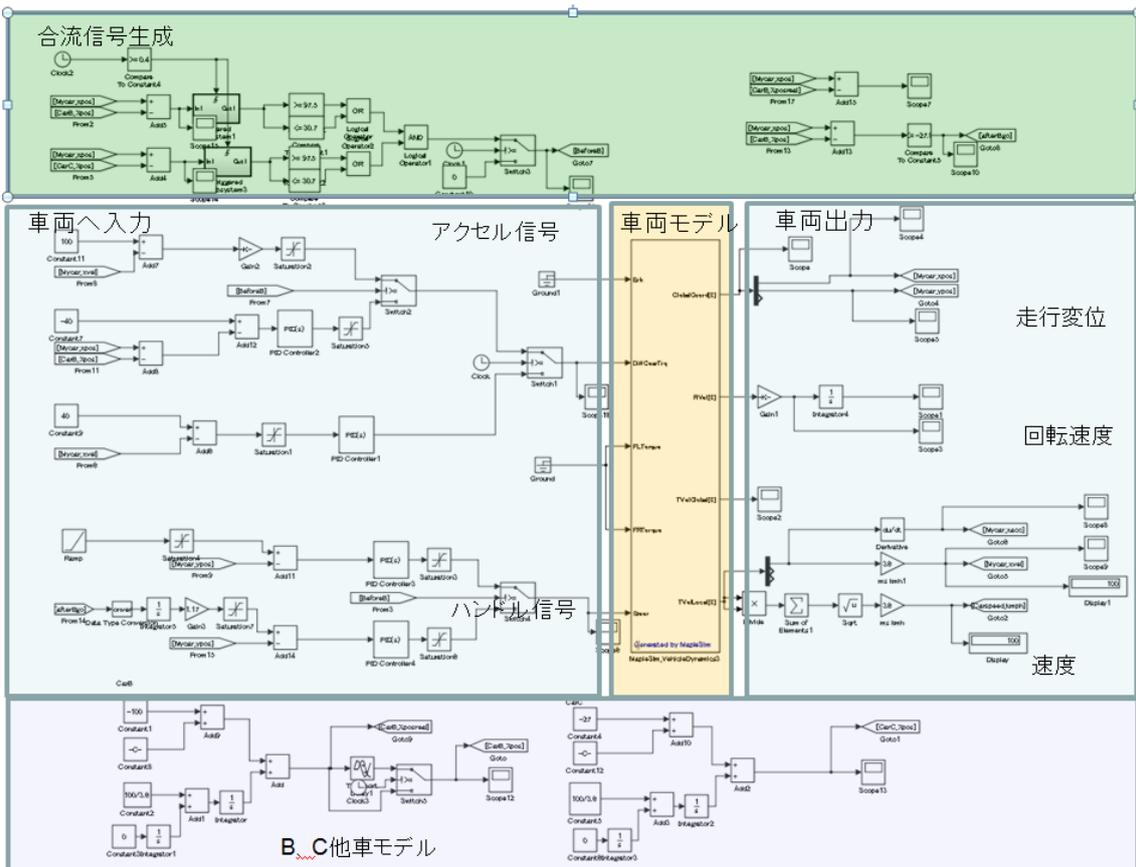


図 5.4.6.2.2-1 シミュレーションモデル図

5.4.6.2.3. 合流判断モデル

自車と本車線車両の相対距離から、車線変更可否について判断するモデルは、図 5.4.6.2.3-1 の通りである。

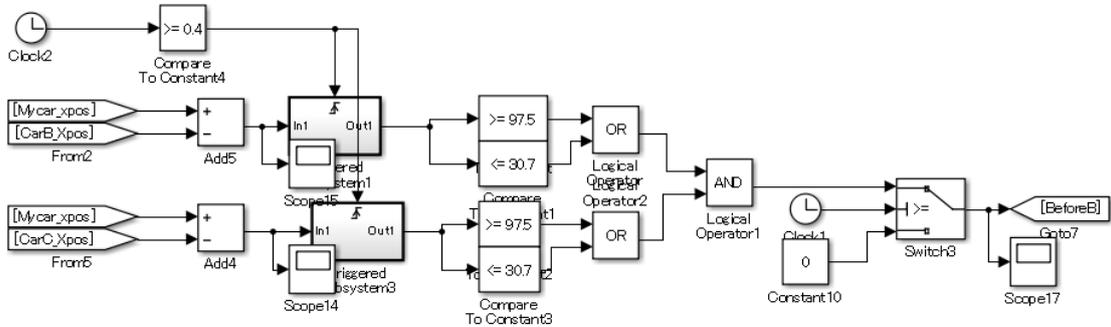


図 5.4.6.2.3-1 判断モデル

車両 A は加速車線に入ってから 0.4 秒時点の車両 A と他車の走行位置から相対距離を計算し、閾値と比較することで、合流信号を出力する。車間距離閾値は前章で検討した後方 97.5m と 30.7m とした。閾値達成信号を triggered ブロックを通して、本車線車両 B の前に合流 (BeforeB) 許可信号が出力される。車両 AB、AC 間距離を計算する際、車両 A より前の場合車間距離をプラスとする。車両 A より後ろの場合、車間距離をマイナスとする。

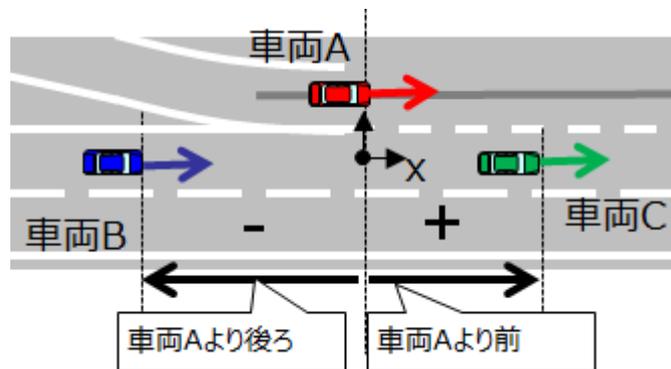


図 5.4.6.2.3-2 距離計算のための符号

5.4.6.2.4. 車速制御モデル

車両 A の速度制御モデルは、図 5.4.6.2.4-1 の通りである。

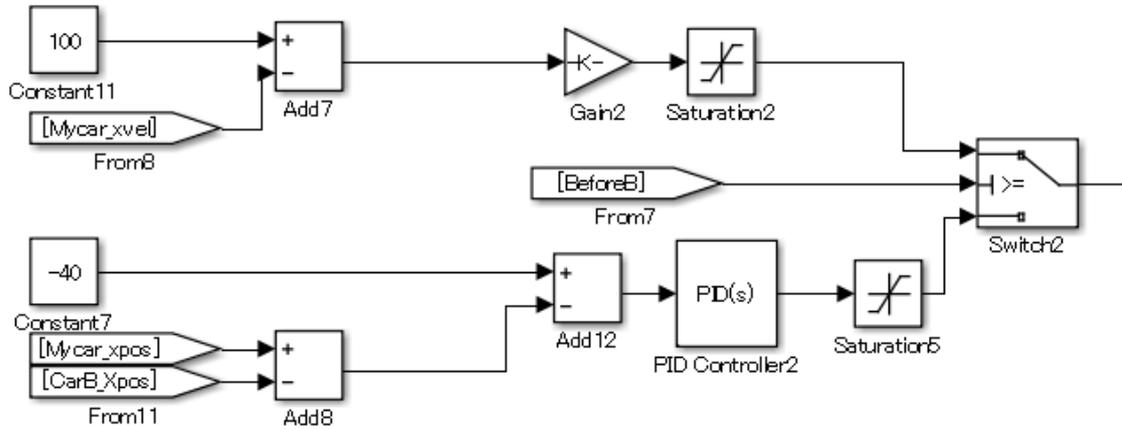


図 5.4.6.2.4-1 車両 A の速度制御モデル

車両 B の前に合流する信号によって、車両 A の加速動作は変わる。車両 B の前に合流する場合、車両 A の速度を 100km/h を達成するよう駆動トルク信号が発生する。車両 B の後ろに合流する場合、車両 B との距離を 40m になるように PID 制御によって駆動トルク信号が発生する。

5.4.6.2.5. 車線変更移動制御モデル

車両 A の横移動を制御するモデルは図 5.4.6.2.5-1 の通りである。

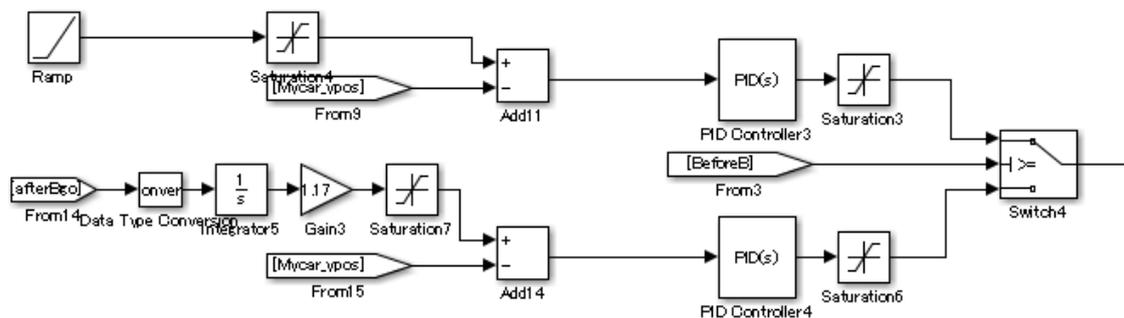


図 5.4.6.2.5-1 車両 A の車線変更モデル

車両 B の前に合流信号が作動する場合、車両 A は 5.4s 時点から 3s 間かけて一定速度の横変位にて車線変更する。車両 B の後ろに合流する場合、車両 B との安全距離を取れたタ

イメージから同じく 3s 間かけて車線変更する。モデル上、一定の横移動の目標値に対して、目標横変位に対する PID 制御の出力値を操舵角として車両へ入力する。

5.4.6.2.6. シミュレーション結果

合流シーンのシミュレーションモデルに本車線車両の初期位置を適切に設定し、車両 A が車両 B の前及び後ろに合流する 2 シーンをシミュレーションにて実行した。加速車線にある車両 A の初速度は 40km/h、本車線車両 B、C の速度は 100km/h と設定する。

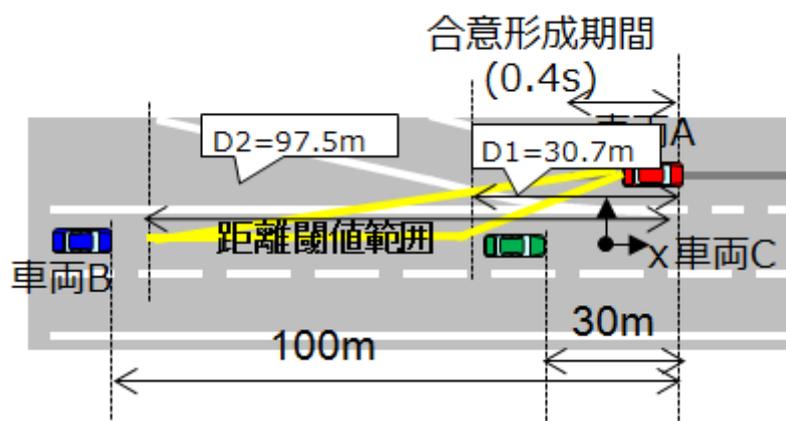


図 5.4.6.2.6-1 シナリオ a (車両 B の前に合流)

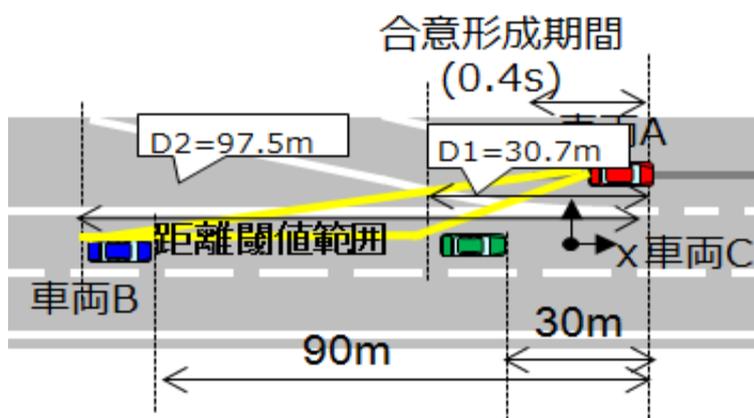


図 5.4.6.2.6-2 シナリオ b (車両 B の後ろに合流)

前章で検討した車間距離の閾値 ($D1=30.7\text{m}$ と $D2=97.5\text{m}$) によって、シナリオ a の場合、車両 BC は閾値範囲外のため車両 A は車両 B の前に合流することを想定する。シナリオ b の場合、車両 B は距離閾値範囲に入るため、車両 A は車両 B の後ろに合流することを想定する。

5.4.6.2.7. シナリオ a のシミュレーション結果

シナリオ a でのシミュレーション結果を図 5.4.6.2.7-1～図 5.4.6.2.7-9 に示す。

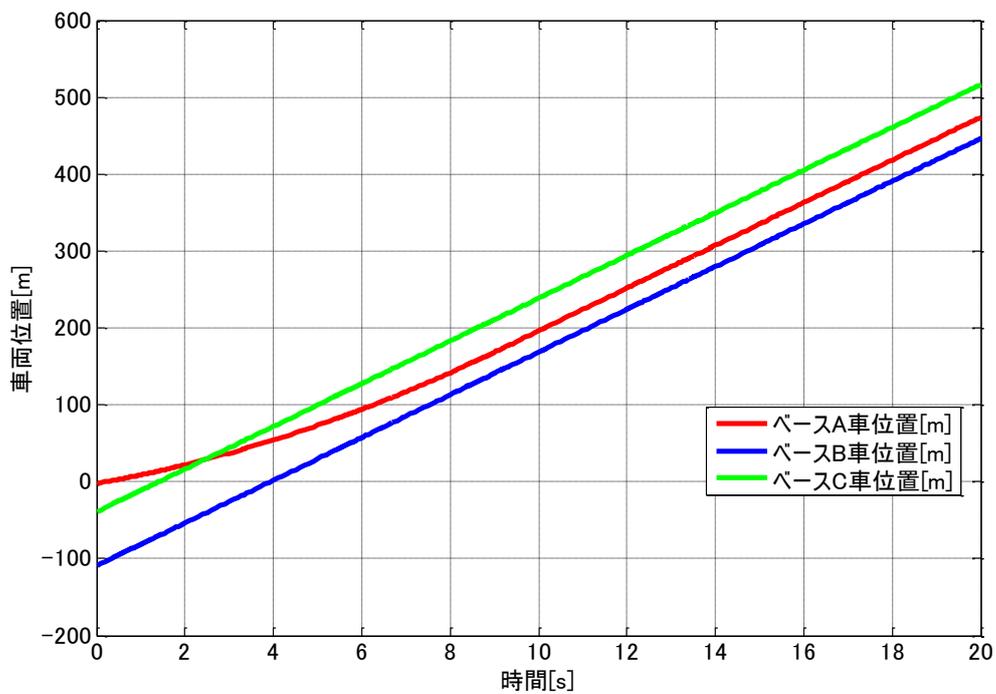


図 5.4.6.2.7-1 シナリオ a での車両位置 [m]

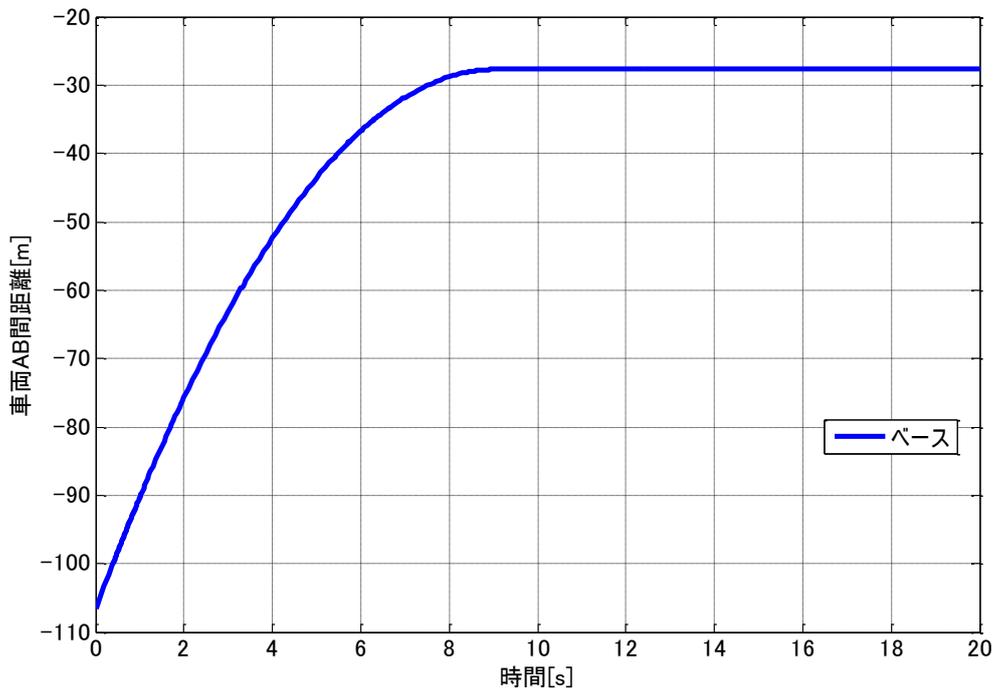


図 5.4.6.2.7-2 シナリオ a での車両 AB 間距離 [m]

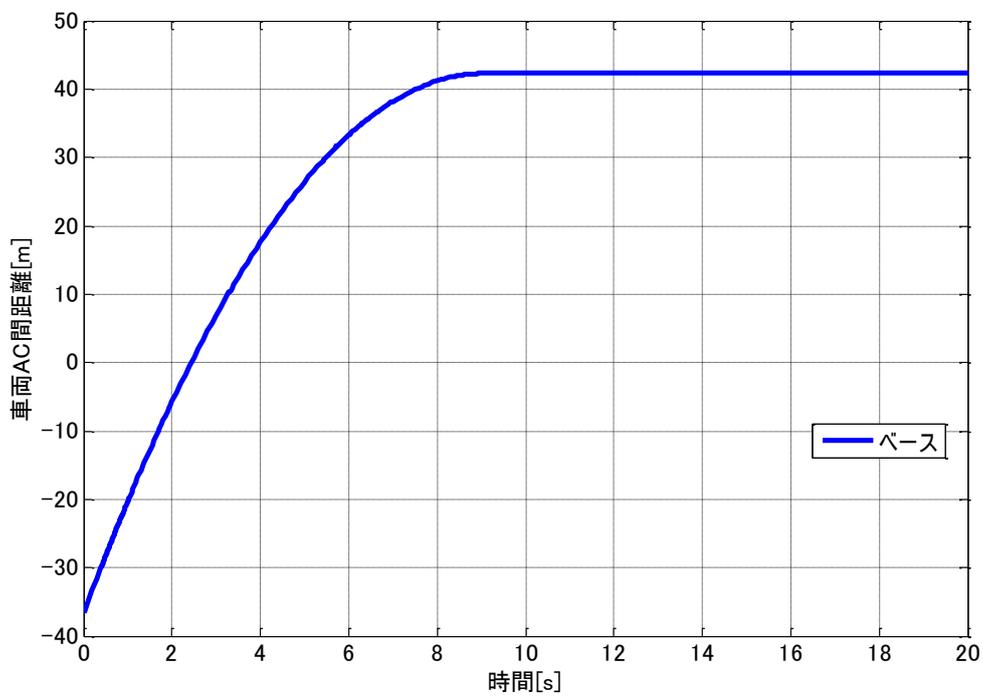


図 5.4.6.2.7-3 シナリオ a での車両 AC 間距離 [m]

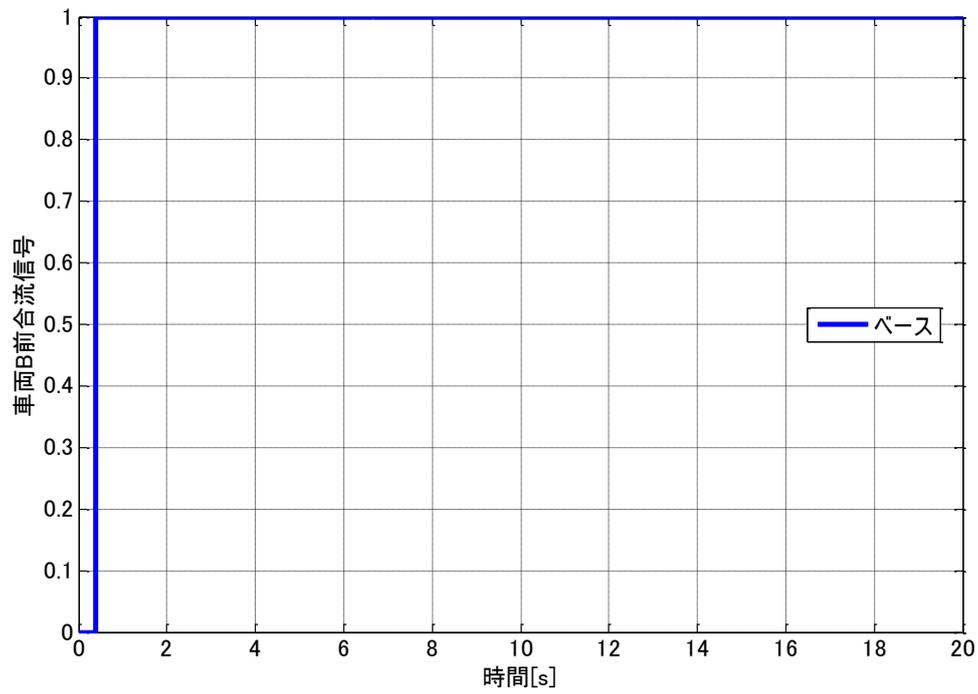


図 5.4.6.2.7-4 シナリオ a での車両 B 前合流信号

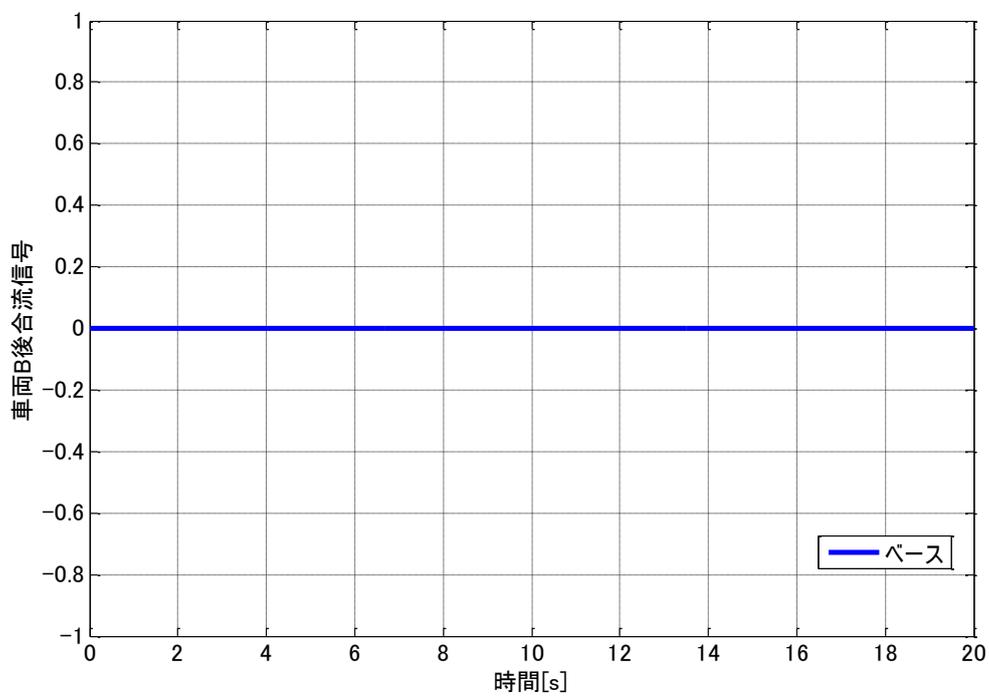


図 5.4.6.2.7-5 シナリオ a での車両 B 後合流信号

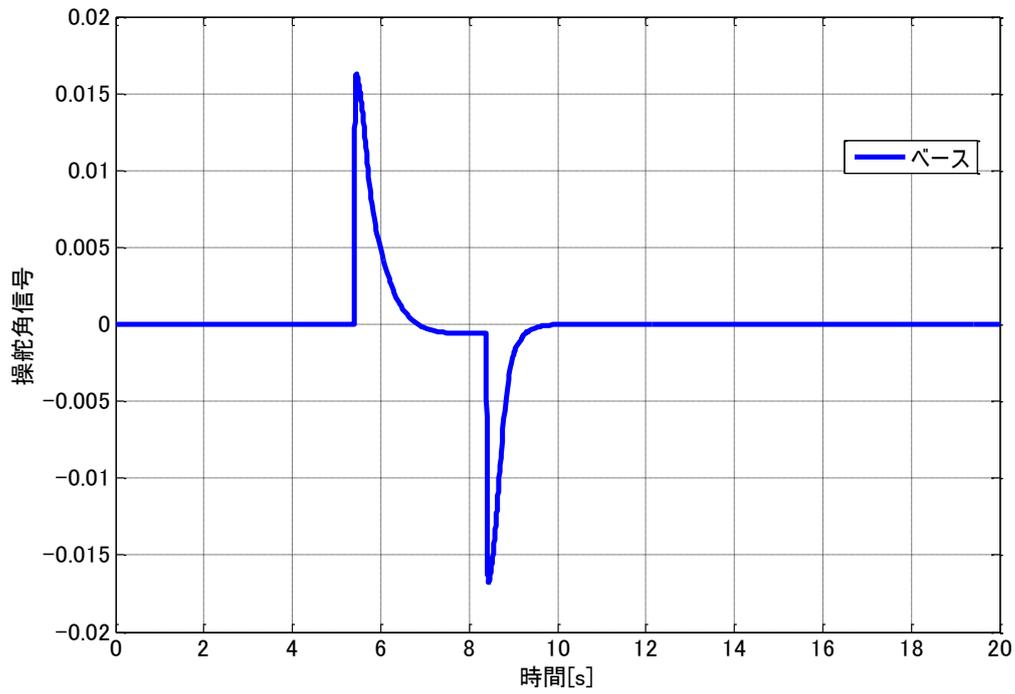


図 5.4.6.2.7-6 シナリオ a での操舵角信号

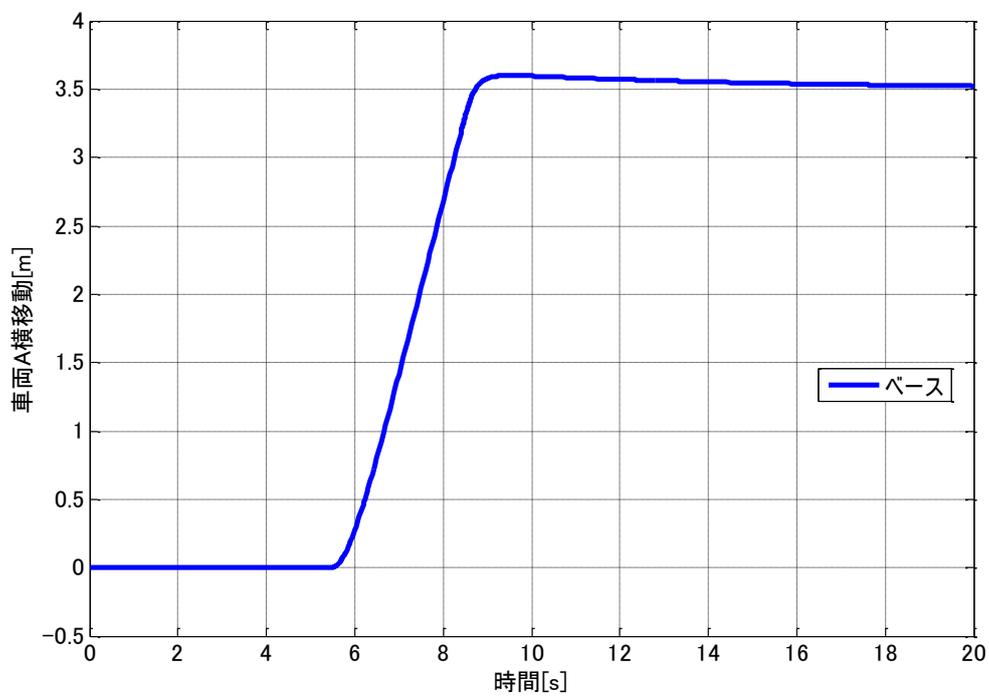


図 5.4.6.2.7-7 シナリオ a での車両 A 横移動[m]

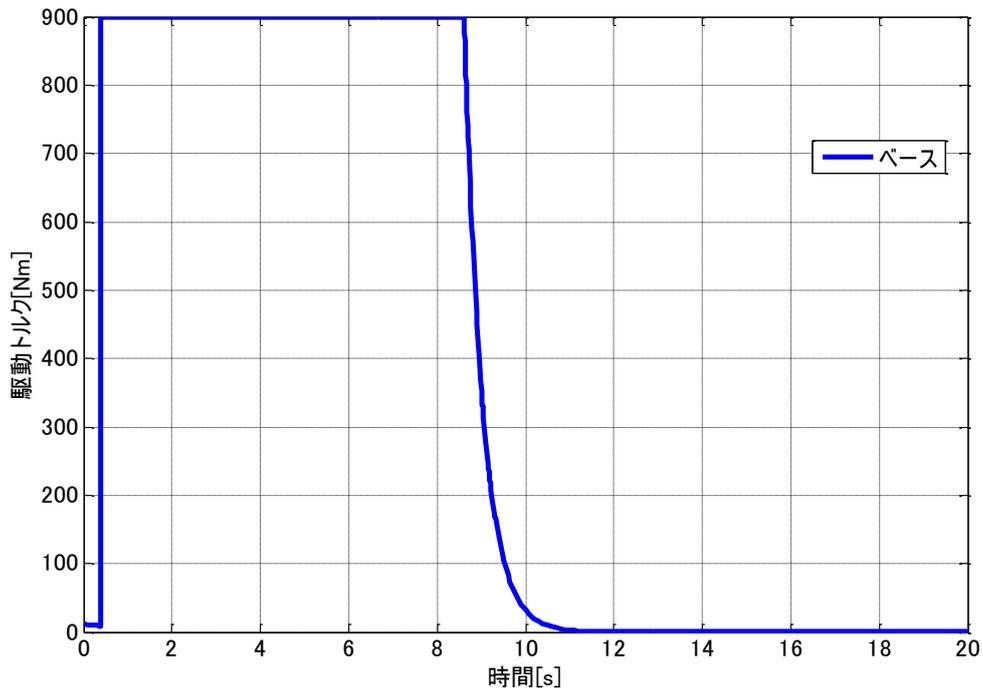


図 5.4.6.2.7-8 シナリオ a での駆動トルク [Nm]

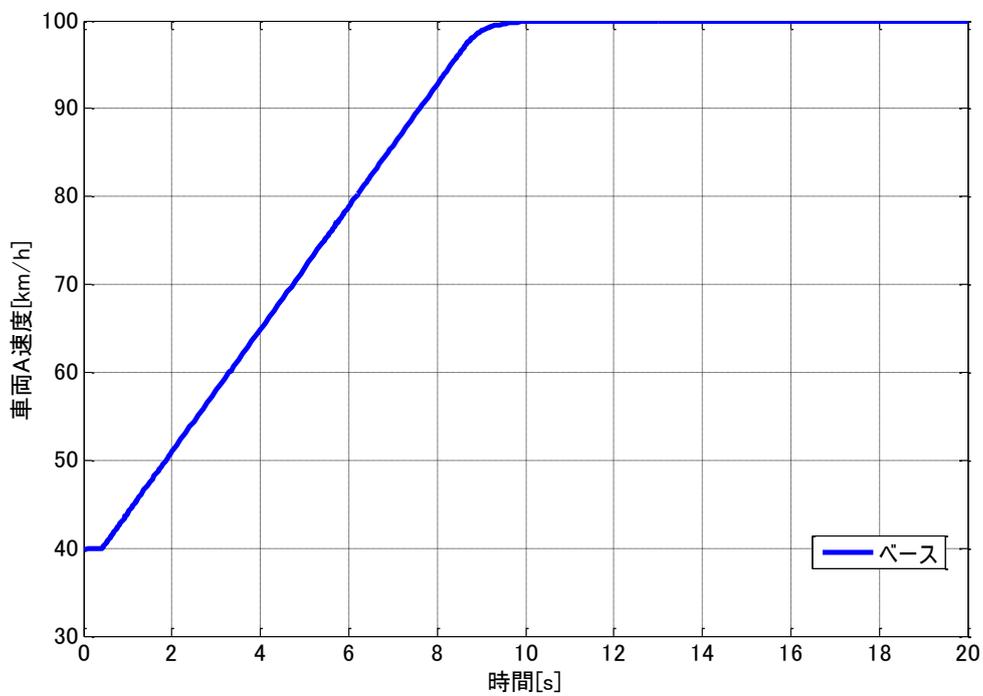


図 5.4.6.2.7-9 シナリオ a での車両 A 速度 [km/h]

シミュレーションの開始後 0.4s 時点、車両 B の前に合流する車間距離閾値条件は満足でき、合流信号が出力される。合流中車両 A の速度は初期値 40km/h から目標車速 100km/h に加速する。横方向の移動量は車線幅に相当する 3.5m となる。車両の挙動は妥当な結果を得た。車両運動状態の概要を図 5.4.6.2.7-10 に纏める。

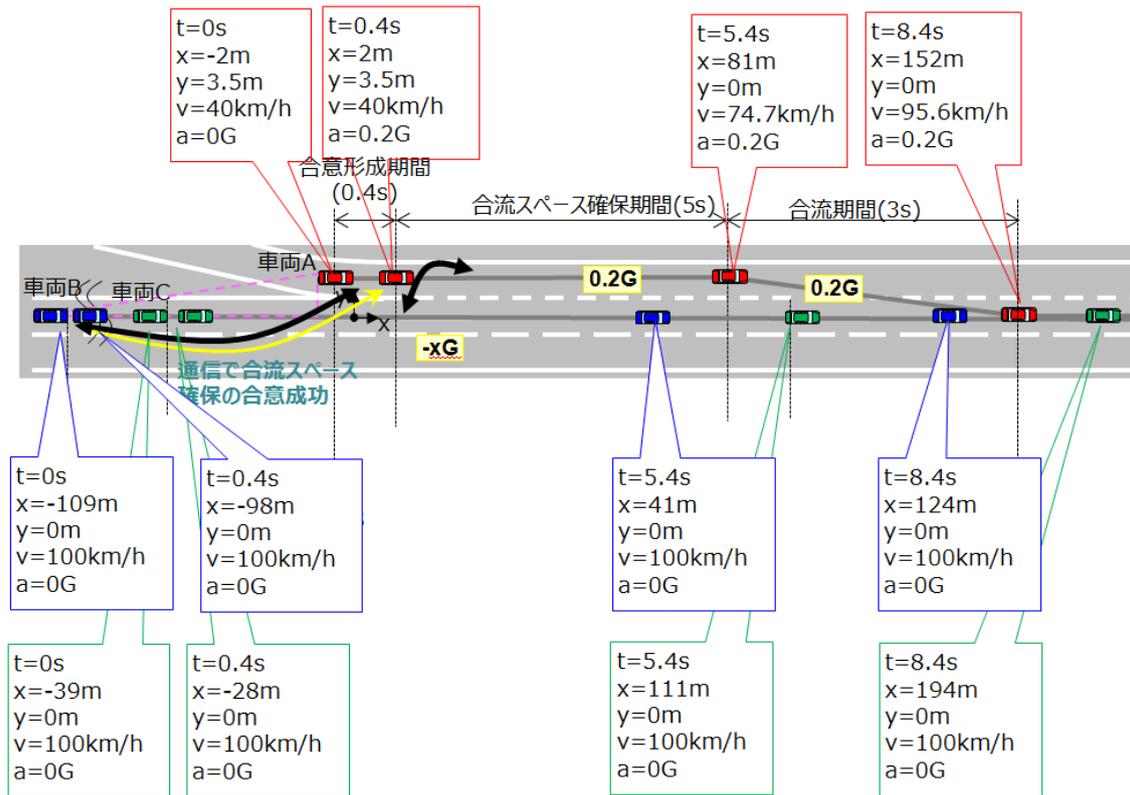


図 5.4.6.2.7-10 シナリオ a の車両運動状態

5.4.6.2.8. シナリオbのシミュレーション結果

車両C,Bを先行させ、Bの最後尾に合流するシナリオbのシミュレーション結果を図 5.4.6.2.8-1～図 5.4.6.2.8-9に示す。

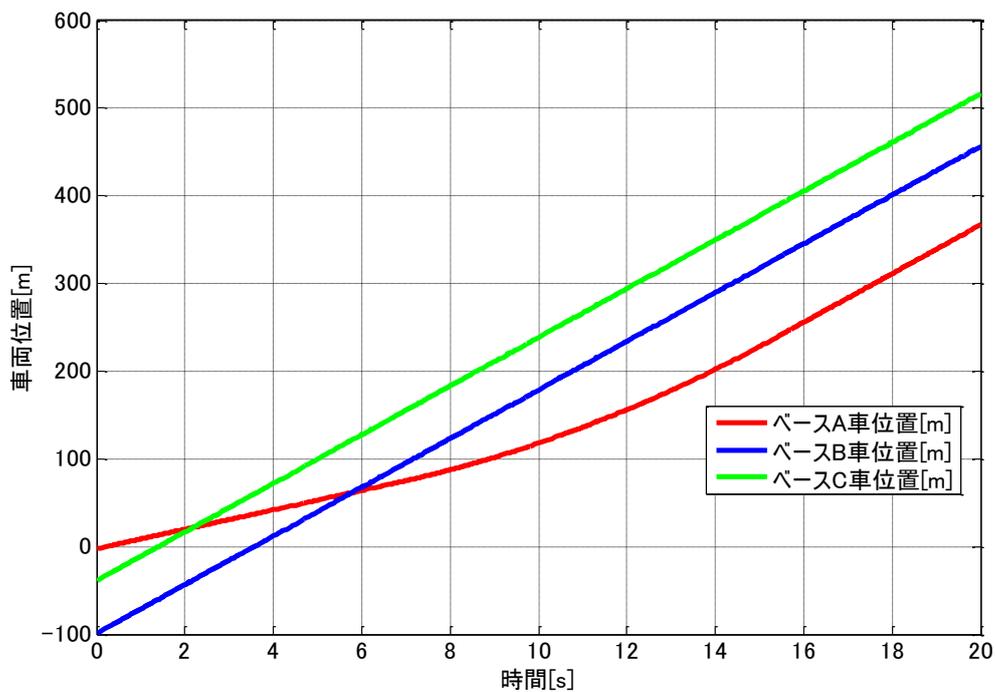


図 5.4.6.2.8-1 シナリオbでの車両位置[m]

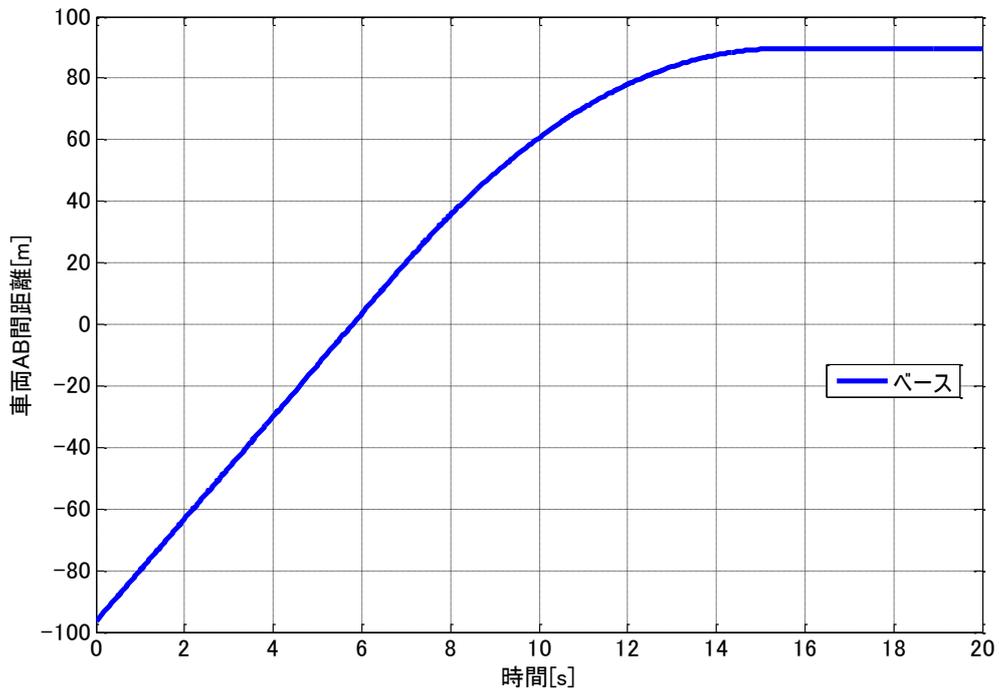


図 5.4.6.2.8-2 シナリオ b での車両 AB 間距離 [m]

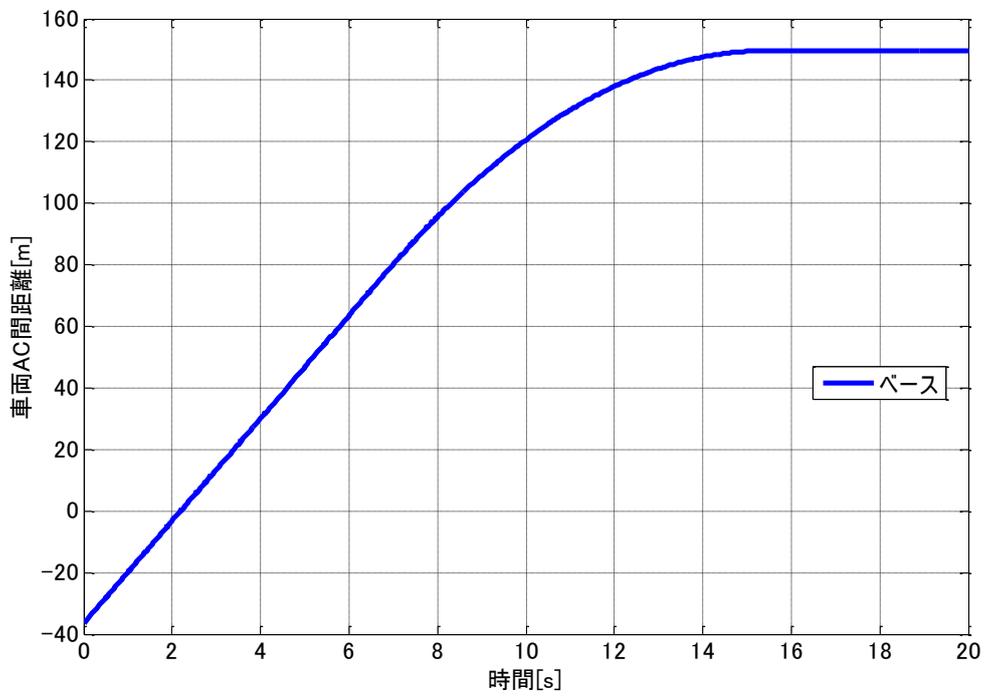


図 5.4.6.2.8-3 シナリオ b での車両 AC 間距離 [m]

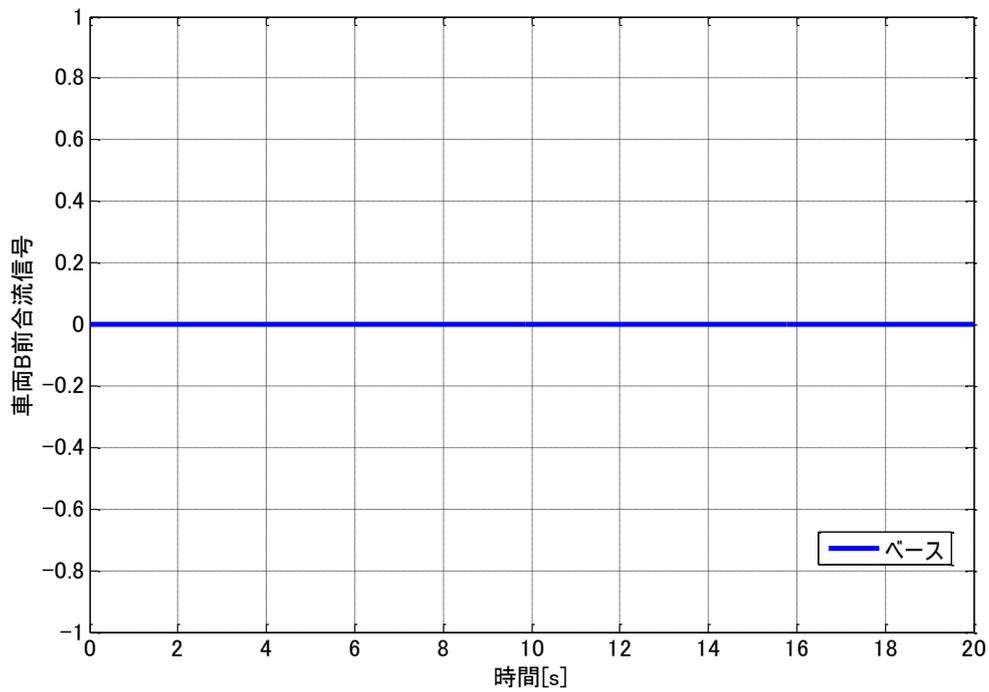


図 5.4.6.2.8-4 シナリオ b での車両 B 前合流信号

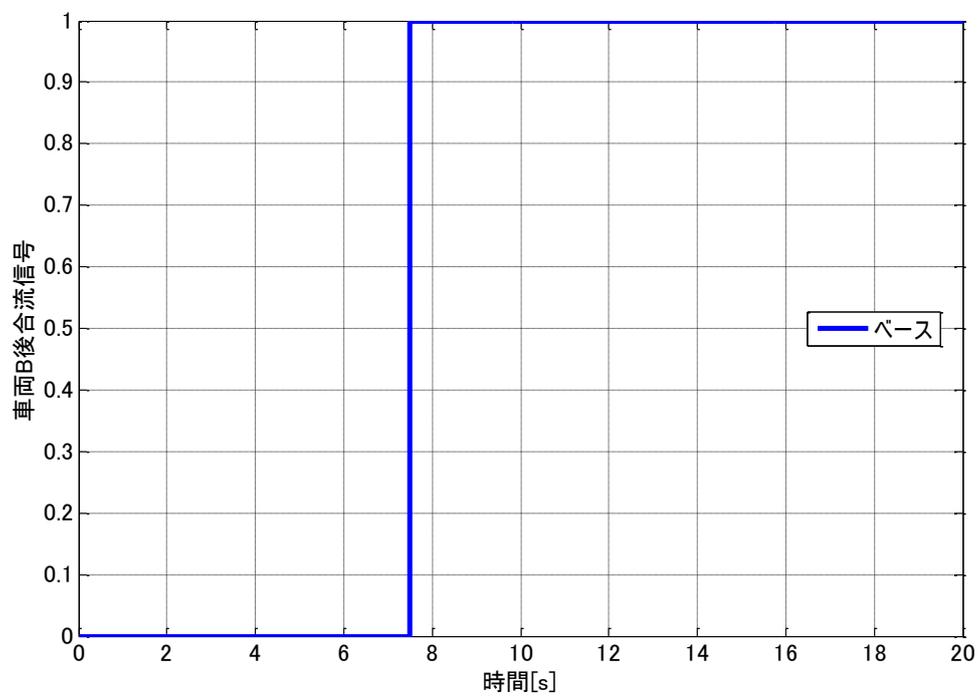


図 5.4.6.2.8-5 シナリオ b での車両 B 後合流信号

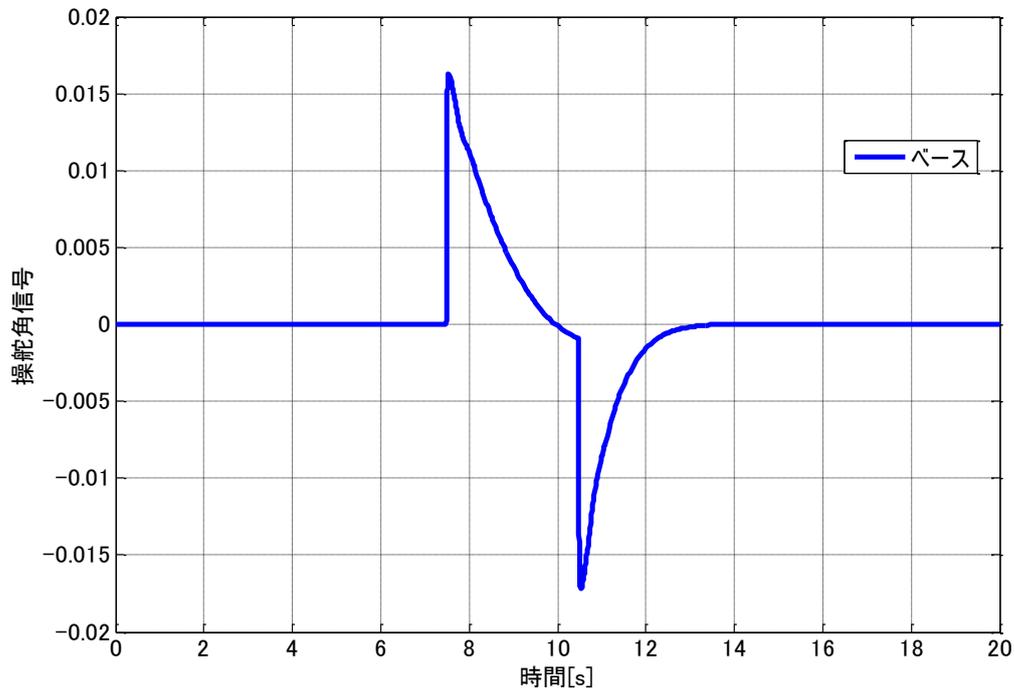


図 5.4.6.2.8-6 シナリオ b での操舵角信号

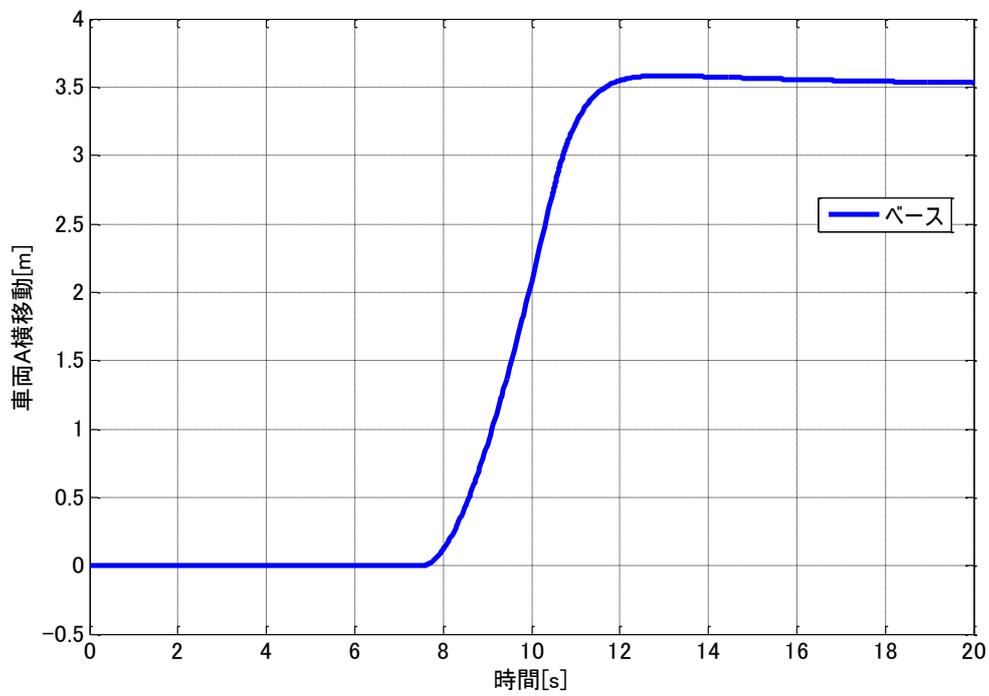


図 5.4.6.2.8-7 シナリオ b での車両 A 横移動[m]

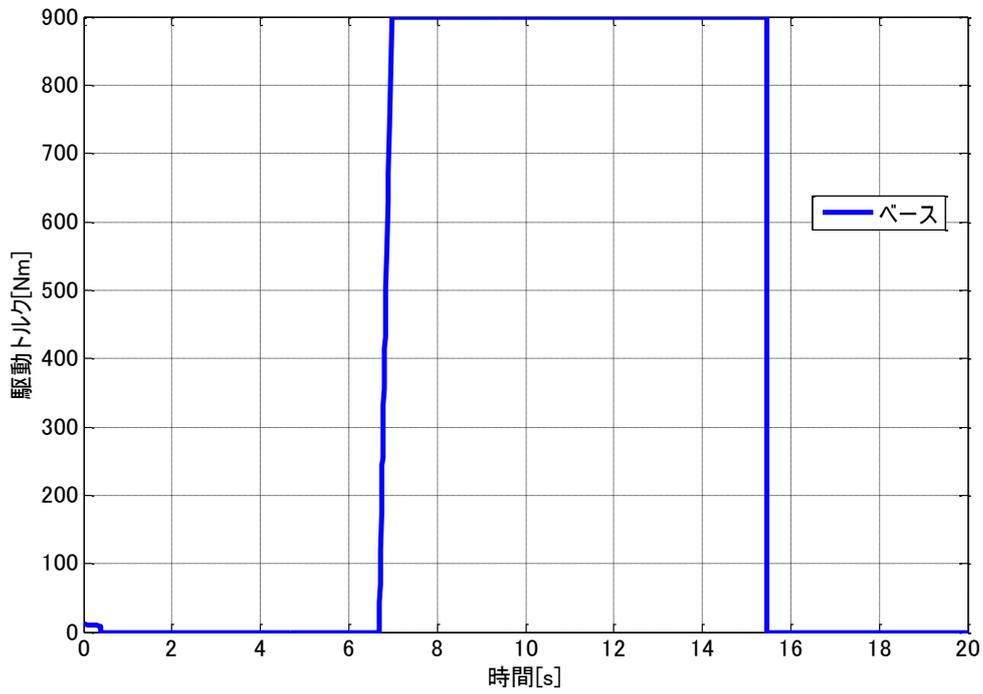


図 5.4.6.2.8-8 シナリオ b での駆動トルク [Nm]

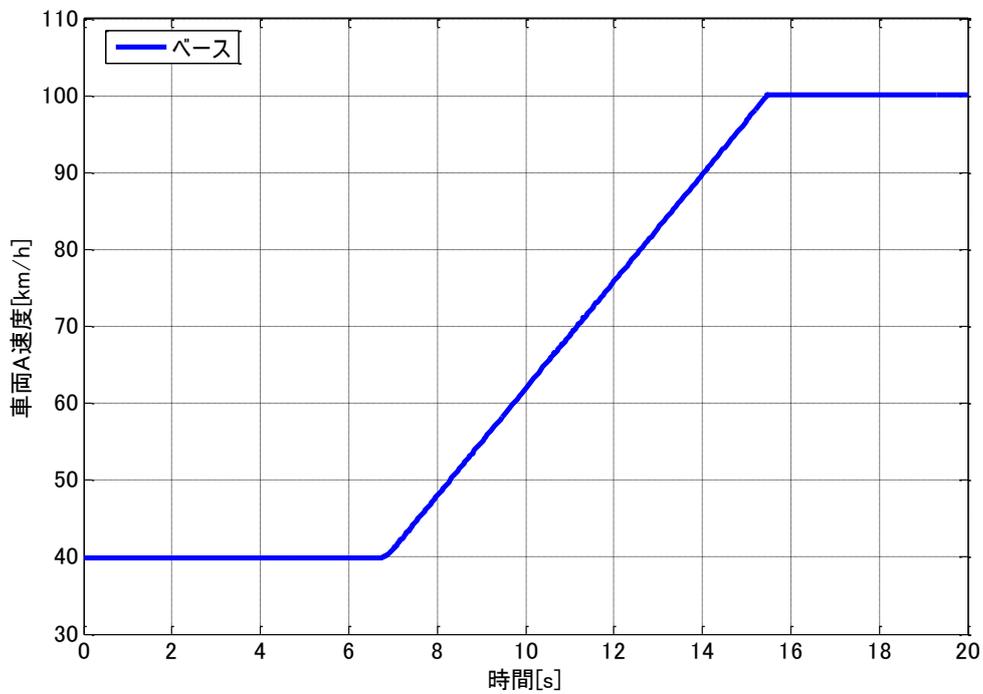


図 5.4.6.2.8-9 シナリオ b での車両 A 速度 [km/h]

シミュレーションの開始後 0.4s 時点、車両 B との車間距離閾値条件は不成立のため合流信号が出力されない。車両 A は本車線車両 B との距離を確保できた時点 (8s) から合流する。横方向の移動量は車線幅と相当する 3.5m である。車両の挙動は妥当な結果を得た。シナリオ b の車両運動状態の概要を図 5.4.6.2.8-10 に纏める。

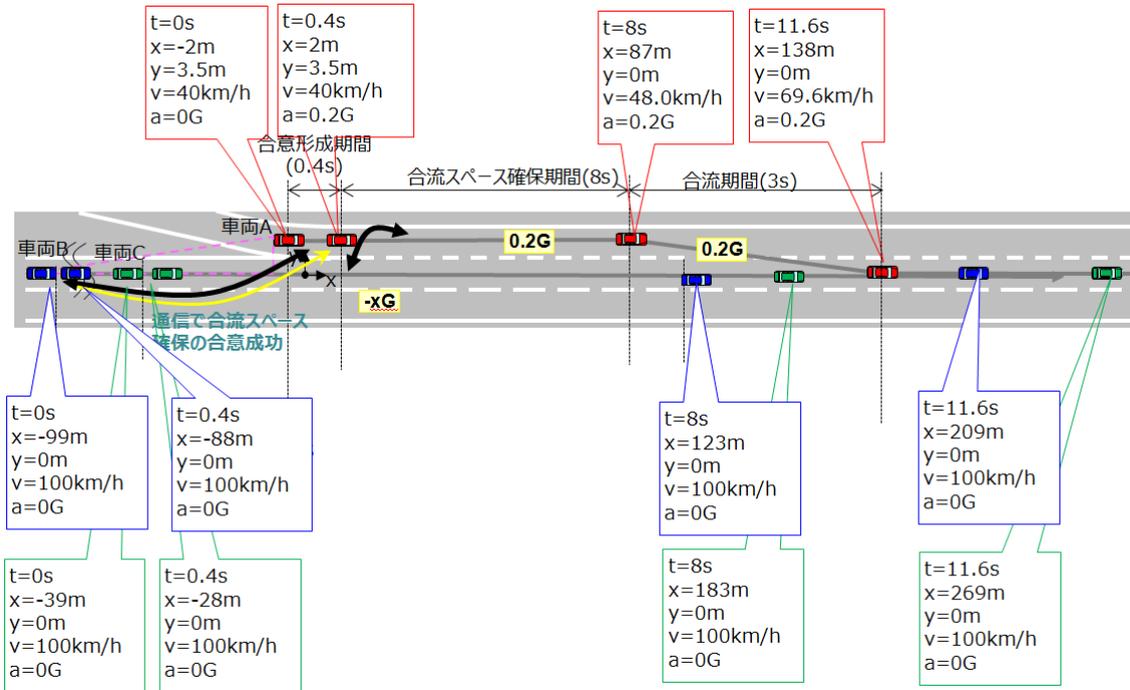


図 5.4.6.2.8-10 シナリオ b の車両運動状態

5.4.6.2.9. 信号遅延による合流不具合の検討

現解析において、車両合流ロジックは他車両の位置情報から合流可否を判断する。他車の位置情報の伝達遅れによって、制御ロジックは誤動作する可能性がある。この誤動作の一例として下記 2 つのシナリオを想定した。これは、信号遅延によって位置の誤差が大きく発生して以上接近、合流タイミングの喪失が発生してしまう事例である。図 5.4.6.2.9-1 と図 5.4.6.2.9-2 に 2 種類の典型的な誤動作例を示す。

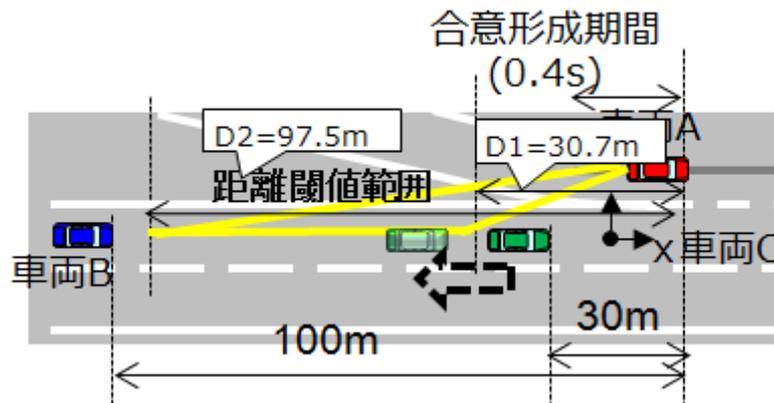


図 5.4.6.2.9-1 通信遅延(A-C間)による車両C位置の誤判定 (シナリオ a)

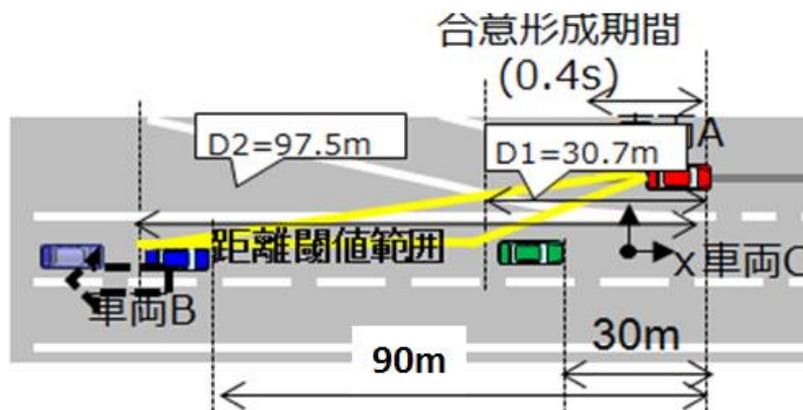


図 5.4.6.2.9-2 通信遅延(A-B間)による車両B位置の誤判定 (シナリオ b)

シナリオ a において、車両 C 位置の通信信号遅延が発生した場合、車両 C の位置情報の遅延により車両 A-C 間距離は過大評価となる。これが大きくなると車両 A は、本来、車両 B-C 間に合流可能であったのが、車両 B の後ろに合流すると判断し、合流期間は必要以上に長くなる。

シナリオ b において、車両 B 位置の通信信号遅延が発生した場合、車両 B の位置情報の遅延により車両 A-B 間距離は過大評価となる。これが大きくなると車両 A は、本来、車両

B の後方に合流すべきところを、車両 B の前に合流すると判断し、車両 A・B の車間距離は異常接近することが想定される。

シナリオ a およびシナリオ b の通信周期、遅延、通信失敗の回数を変化させた時のシミュレーションの結果は、付録 A.3.3 シミュレーション結果データ集シーン 2 に記載する。

5.4.6.2.10. シーン 2 におけるまとめ

シナリオ a、b での通信不具合の解析結果を表 5.4.6.2.10-1、表 5.4.6.2.10-2 にまとめる。同表の「判定」列に、想定通りの合流（車両 A が、車両 C と車両 B の間に入る合流）が実施できたケースに○、通信不具合による誤判定が生じ、想定とは異なる合流となったケース（車両 A は、車両 B の後方に入る）を×としている。

表 5.4.6.2.10-1 シナリオ a での誤判定 a' の解析結果まとめ

解析 No	送信周期[ms]	通信遅延	通信連続失敗[回数]	合流完了時間[s]	判定
1	100	0	0	8.7	△
2	100	0	1	12.3	×
3	100	0	2	12.3	×
4	100	300%	0	12.3	×
5	100	300%	1	12.3	×
6	100	300%	2	12.3	×
7	50	0%	0	8.7	△
8	50	0%	1	12.3	×
9	50	0%	2	12.3	×
10	50	300%	0	12.3	×
11	50	300%	1	12.3	×
12	50	300%	2	12.3	×
13	20	0%	0	8.7	△
14	20	0%	1	8.7	○
15	20	0%	2	12.3	×
16	20	300%	0	12.3	×
17	20	300%	1	12.3	×
18	20	300%	2	12.3	×

シナリオ a では、C 車との距離を閾値 30.7m に対して 30m に設定し、余裕を 0.7m と厳しくしている。そのため、通信不具合が発生すると、本解析ケースの最も通信不具合の影響が少ない解析 No14 を除き、想定と異なる合流となった。

ここでは、合流を完了させるまでの時間を評価し、表 5.4.6.2.10-1 にまとめている。想定通りの合流では 8.7s で完了できるが、車間通信の不具合の影響を受けた×のケースでは、B 車を先に行かせる時間を要しトータル 12.3 秒となり、合流車線側のスムーズな交通流の妨げになり得ることがわかる。なお、判定×の想定と異なる合流となったケースにおいて、合流完了時間が同じになっているが、これは本シナリオでは C 車のみとの通信の影響を評価しており、B 車との通信を考えていないことによる。

表 5.4.6.2.10-2 シナリオ b での誤判定 b' の解析結果まとめ

解析 No	送信周期[ms]	通信遅延	通信連続失敗[回数]	車両 AB 間の距離[m]	判定
1	100	0	0	75.9	△
2	100	0	1	75.6	○
3	100	0	2	75.4	○
4	100	300%	0	-17.8	×
5	100	300%	1	-17.8	×
6	100	300%	2	-17.8	×
7	50	0%	0	75.9	△
8	50	0%	1	75.7	○
9	50	0%	2	75.5	○
10	50	300%	0	80.1	○
11	50	300%	1	79.9	○
12	50	300%	2	79.7	○
13	20	0%	0	75.7	△
14	20	0%	1	75.7	○
15	20	0%	2	75.6	○
16	20	300%	0	77.4	○
17	20	300%	1	77.4	○
18	20	300%	2	77.3	○

シナリオ b では、B 車との距離閾値 97.5m に対して、90m に設定し、余裕が 2.5m とシナリオ a よりも緩い条件に設定している。そのため、通信不具合が発生すると、本解析ケースの最も通信不具合の影響が大きい解析 No4~6 を除き、想定通りの合流を実施できる結果となった。

ここでは、合流時の車両 AB 間の距離を評価し、表 5.4.6.2.10-2 にまとめている。通信不具合の×のケースにおいて、合流車両 A は本線車両 B の前に割り込む事態となり、その車間距離は -17.8m と時速 100km/h の余裕時間 1 秒に相当する 27.8m よりも短く、本

解析条件において通信不具合により危険な状態を引き起こしている。なお、本解析では A 車が B 車の前に合流するケースではシナリオに従い、何ら制御の介入をさせていないため AB 間の距離は一定の -17.8m となっている。

5.4.7. まとめ

通信で自動走行する車両において、通信性能の劣化（通信遅延や通信欠落）が、車両の挙動にどのような影響を及ぼすかを、高速道路での合流を一例として調査した。車両のモデルは、実走して得たデータから導出し、そのモデルを使って、合流時における通信の性能劣化が、車両の挙動（急激な加減速度の発生や合流する車の位置等）にどう影響するかをシミュレーションで確認、評価した。

合流するケースにおいて、2 通りのパターンを調査した。まず本線側を走行する車両が、合流する側の車両の情報を通信で得て、前車との距離を調整する。すなわち、制御は本線走行車が行い、合流する車両は制御しない場合である（シーン 1）。この場合、通信の欠落で走行車両が危険と判断してブレーキを掛けるが、通信が欠落する場所によって車両の挙動は、影響度が大きく異なった。合意形成直後のあたりだと、一回の通信の欠落では、走行車両は、フィードバック制御を継続して実施しており、車両に発生する加速度は、無視できるぐらいのレベルであった。しかし、合流実施するタイミングで、通信の欠落が一回でもあると、運転者が許容できないレベルの減速過加速度が発生する（ -0.3G を超える）。

しかし、通信周期を 100ms から 20ms と短くすると、車両挙動は、ほとんど影響うけない状況になる。 50ms 周期だと場合による。これは、現行の通信方式 ARIB STD T-109 のままでは、適用できないことをしめす。

他のパターンとして、本線側を走行する車両は一定速度で走行して、制御は合流する側が実施する場合である（シーン 2）。この場合、合流する車両が本線を走行する 2 車両の間に入り込む場合に、通信の劣化により、入り込めずに後方に回る場合と、当初は後方に回る予定が、通信の劣化により誤って 2 車両の間に入り込む場合のシナリオを検討した。

間に入り込むシナリオの場合、通信周期が 100ms 、 50ms 、 20ms いずれの場合も、通信の性能劣化が合流する判断に大きく影響を及ぼし、間に入れず後方にまわる結果が多いという結論が出た。後ろに回り込むシナリオの場合、通信周期が 100ms の場合、誤って間に入り込む場合が出現した。他の周期の場合は、結果として後方に回り込む入り方をするため、期待した動き（後方に回り込む）が実現できていた。

このように、現在使用されている通信方式（ARIB STD T-109）をそのまま使用して、自動運転の通信に使った場合、一例ではあるが、期待した車両の挙動が得られない場合があることが、特定の条件ではあるが抽出できた。

今後、ここで得た課題を解決する通信技術を検討する上での貴重な事例として活用していく。

5.4.8. 参考文献

- [1] 安部正人, “自動車の運動と制御 第2版一車両運動力学の理論形成と応用,” 東京電機大学出版局
- [2] 橋本洋志, 石井千春, “Scilab/Scicos で学ぶシミュレーションの基礎,” オーム社
- [3] Wenjing Cao, Masakazu Muka, Taketoshi Kawabe, Hikaru Nishira, and Noriaki Fujiki, “Merging trajectory generation for vehicle on a motor way using receding horizon control framework consideration of its applications,” IEEE International Conference on Control Applications (CCA), pp. 2127–2134, 2014 年
- [4] 大川進, 本田昭, “よくわかる図解とシミュレーションで学ぶ自動車のモーションコントロール技術入門,” オーム社

5.5. 第5章まとめ

本章では本研究の実施により得られた成果について報告した。

5.1節では本研究での実験の遂行のために新たに開発した機器の概要を説明した。

5.2節では研究課題 a) の成果を説明した。課題 a) は 700MHz 帯 ITS 通信の協調型自動走行システムへの適用可能性を明らかにすることを目的に、以下の要領により実施した。すなわち、具体的な検討対象として協調型自動走行システムの 2 つのユースケース（自動車専用道路での協調型合流支援、交差点での周辺車両認知）を選定し、それぞれにおける様々な車両密度、車両速度等の条件下での通信性能を実験及びシミュレーションにより調査した。その結果、各ユースケースで要求される通信性能は一定未満の車両密度においては担保されることが明らかになった。

5.3節では研究課題 c-2) の成果を説明した。課題 c-2) は車車路車協調システムの普及に向け、非一般車両である緊急車両が車車間通信を利用して周囲の一般車両に対して緊急走行中であることを通知するアプリケーションの有効性を検証することを目的とした。本課題は複数のアプローチにより実施し、それぞれに対する成果を得た。まず、実際に運用中の救急車および評価用車両に搭載された車車間通信ログ取得装置から得た通信ログの解析により、救急車と評価車両の遭遇時に、サイレン音や赤色灯が認知可能となるタイミングより早く車車間通信が可能となることを確認した。次に、確認したタイミングの関係に基づき、救急車の接近を通知された一般車両ドライバーの回避行動をドライビングシミュレータ実験で調査した。さらにその結果に基づき作成した回避行動モデルを組み込んだ交通シミュレーションにより、車車間通信の普及に伴い救急車移動時間の短縮が可能となることを明らかにした。また、車車間通信を利用したサービスを拡張し、緊急車両が送信する車車間通信情報を路側機が転送・再送信するサービスについて、実際の運用状況における検証を行った。その結果、転送された車車間通信情報を含んだ路車間通信メッセージが連続受信できる位置は比較的安定し一般的なサービスに必要とされる交差点から 200m 程度以上の位置であった。またこの受信位置(交差点からの距離)は交差点周辺の電波伝搬環境(おもに見通しの有無)により数倍の開きがある。さらに周辺環境の影響で遠方からも受信されることがあり、その可能性に配慮したシステム設計が必要であることが明らかになった。

5.4節では研究課題 d-2) の成果を説明した。課題 d-2) は車車間通信を車両制御に適用した際に、通信性能が車両挙動に与える影響を評価することを目的として以下の要領により実施した。すなわち、まず具体的な検討対象として課題 a) でも対象とした自動車専用道路での協調型合流支援を選定し、必要となる車両の動的モデルを構築した。次に、動的モデルのパラメータを決定するための実車実験を行い、決定されたパラメータを適用したモデルを用いたシミュレーションにより、通信性能と車両の挙動との関係を調査した。その結果、通信の欠落が一定以下であれば、期待した合流動作が可能であり、かつ車両挙動も許容可能な範囲内に収まることが明らかになった。

第6章 研究発表などの成果

6.1. 研究発表

6.1.1. 査読付き市場発表論文数

実績 0件

6.1.2. 査読付き口頭発表数

実績 0件

6.1.3. その他の誌上発表数

- [1]. 株式会社デンソー 難波秀彰, “情報通信が支える次世代の ITS”, ITU ジャーナル, 2015年7月
- [2]. 平山泰弘, 澤田学, “V2X 通信技術の動向と将来展望”, 電子情報通信学会誌, Vo.98, No.10, pp860-863, 2015年
- [3]. 川合健夫, “さらなる安全で安心な道路交通の実現にむけて”, UTMS 協会機関紙「UTMS」, 第4号, 2015年8月
- [4]. 伊藤敏之, “自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術の基礎的研究開発”, 電子情報通信学会通信ソサイティマガジン12月号, 2015年12月

6.1.4. 口頭発表数

- [1]. 株式会社デンソー 難波秀彰, “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”, 情報通信フロンティアセミナー
- [2]. 株式会社デンソー 難波秀彰, “自動走行システムに必要な技術の開発” 自動走行のための次世代路面標示研究会
- [3]. HIDEAKI NANBA, “V2V,V2I Communication Technology for Road Safety and toward the Automated Driving Systems”, Asian Transportation Research Society (ATRANS)
- [4]. YOSHIFUMI KATO, “Denso's Approach toward Future Mobility Society”, SAE China Congress

6.2. 特許出願

6.2.1. 特許出願数

坂本将紘, 退避指示装置, 日本, 2016年3月

6.3. 第6章まとめ

ほぼ予定通りの成果を得ることができた。表 5.4.4.2-1 に平成 26 年度と平成 27 年度におけるデンソーの研究成果一覧を示す。

表 6.3-1 デンソーの研究成果一覧表

	平成 26 年度	平成 27 年度
査読付き誌上発表論文数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)	4 件 (0 件)
口頭発表数	3 件 (0 件)	4 件 (2 件)
特許出願数	0 件 (0 件)	1 件 (0 件)
特許取得数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
国際標準提案数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
受賞数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
報道発表数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
報道掲載数	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)

※ () 内の数字は海外発表件数を表す。

デンソーは、SIP 総 1 の代表研究責任社として、受託 4 社をまとめている。受託 4 社の成果をすべてまとめたものは、表 6.3-2 に示す。

表 6.3-2 受託 4 社の研究成果一覧表

	平成 26 年度		平成 27 年度		平成 28 年度	
査読付き誌上発表論文数	0 件	(0 件) 《0 件》	1 件	(1 件) 《2 件》	0 件	(0 件) 《4 件》
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	1 件	(1 件) 《1 件》	3 件	(3 件) 《4 件》	0 件	(0 件) 《4 件》
その他の誌上発表数	0 件	(0 件) 《0 件》	4 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》
口頭発表数	6 件	(0 件) 《3 件》	6 件	(2 件) 《6 件》	0 件	(0 件) 《6 件》
特許出願数	0 件	(0 件) 《2 件》	2 件	(0 件) 《3 件》	0 件	(0 件) 《3 件》
特許取得数	0 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》
国際標準提案数	0 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》
受賞数	0 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》
報道発表数	1 件	(0 件) 《1 件》	0 件	(0 件) 《1 件》	0 件	(0 件) 《1 件》
報道掲載数	0 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》	0 件	(0 件) 《0 件》

※ () 内の数字は海外発表を表し、《 》内の数字は発表計画件数を表す。

第7章 その他研究開発活動

技術開発動向や市場動向を踏まえ、本研究開発成果を活用した製品やサービスの国際的な普及展開、国際的な標準化活動のための関係省庁との連携及び関係機関への提案を実施した。本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施した。

また、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して行う。その為に、若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招聘制度、インターンシップ制度等による人材の活用を行う。

研究開発成果については、原則として、政府としてインターネット等により発信を行うとともに、マスコミを通じた研究開発成果の発表、講演会での発表等により、広く一般国民へ研究開発成果を分かりやすく伝える。

7.1. 人材の確保及び育成への配慮

研究開発による成果をあげるためには優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備の為に、若手の人材育成の観点から行う技術討論会にて部外研究員受け入れや招聘制度、インターンシップ制度等による人材の活用を行った。

7.1.1. 技術討論会

各研究機関の内容を相互に理解していくことは、今後の世界の標準化を指向した場合に貴重なデータ取得になり、そこで得られた実験のノウハウやデータの処理技術は、研究補助者として参加する海外の技術者への貴重な機会となる。本主旨のもと、本年度の新たな取り組みとして、研究内容の情報共有による研究成果の相乗効果、若手研究員の人材育成及び国際連携を目的として平成28年2月18日に委員、オブザーバ4名、研究機関から39名が参加した術討論会を実施した。本討論会では、各研究機関の現状の取組や研究課題について各研究機関の若手研究員から発表し、運営委員会の委員、オブザーバ、ビジネスプロデューサ、各研究機関の責任者を中心に質疑・討議を実施した。また、各研究機関の個別テーマについては、それぞれパネル、実機、実験風景ビデオで取組を委員他出席研究員に対し説明し、お互いの取組テーマについての理解を深めた。参加者による活発な議論により各社の実務を担当する若手の研究員の研究に対する意識改革とモチベーションアップもはかれた。

① 実施概要

SIP 総1ウ 研究開発運営委員会「技術討論会」	
概要	本研究開発における、各研究機関の現状の取組、研究課題について、各研究機関の若手研究員から発表し、各委員及び各研究機関研究員間にて技術討議を行う
目的	研究内容の精査、共同研究の成果向上のため・若手研究員の人材育成のため
実施日	平成28年2月18日 13:00~16:30 [210分]
場所	AP 東京丸の内（貸会議室） H+I 会議室 http://www.tc-forum.co.jp/kanto-area/ap-marunouchi/ma-base/ 東京都千代田区丸の内1-1-3 日本生命丸の内ガーデンタワー3
参加者	本運営委員会の委員 及び オブザーバ（総務省様） 各研究機関の研究責任者及び研究員（実務実施者、若手リーダーなど）

② プログラム

時間	プログラム	発表者	所要
13:00	開会	司会	10分
	委員長、総務省ご挨拶	委員長 須田委員長 総務省 増子室長補佐	
13:10	総1ウ共同研究の実施計画、推進について	代表研究者 難波 秀彰	15分
13:25	各研究機関の技術課題について発表	4研究機関	100分 (発表15分・討議10分)×4社
13:25	①非一般車両アプリケーションの有効性検証	(株)デンソー 平山 泰弘	
13:50	②自動走行システムへの通信情報の活用検討	パナソニック(株) 柴田 鉄兵	
14:15	③普及車載機での評価	パイオニア(株) 佐藤 翔太	
14:40	④高信頼・低遅延な車車間通信を実現する新たな誤り訂正符号	電気通信大学 石橋 功至	
＜休憩・レイアウト変更＞		10分	
15:15	テーマ別パネル、展示品 説明	各社 説明者	60分
16:15	委員長、総務省ご挨拶	委員長 須田委員長	15分
		総務省 増子室長補佐	
16:30	閉会	司会	



(a) 須田委員長ご挨拶



(b) 総務省移動通信課 増子室長補佐ご挨拶



(c) 難波代表研究者



(d) 会場風景

図 7.1.1-1 ご挨拶の様子

③ 発表概要

順	タイトル	発表概要	発表者
1	非一般車両アプリケーションの有効性検証 —緊急車両接近情報提供が回避行動に与える影響の調査—	本研究開発では、緊急車両の接近を車車間通信を利用して一般車ドライバーに情報提供するアプリケーションについて、緊急車両の現場到着時間の短縮効果を検証している。今回、アプリケーションによる情報提供が一般車ドライバーの回避行動に与える影響をドライビングシミュレータを用いた実験により調査した。実験結果から、情報提供によりドライバーの緊急車両の認知及び回避判断までにかかる時間が短縮できることを示す。	株式会社 デンソー 研究開発1部 平山 泰弘

2	<p>自動走行システムへの通信情報の活用検討 ～合流シーンにおける通信性能の評価～</p>	<p>本研究では、自動走行システムにおいて、車車間通信や路車間通信により得られる情報を活用することで安全性の向上などの効果が期待できるユースケースを抽出し、そのユースケースにおける通信性能を評価した。本発表では、ユースケースの一つである合流シーンを用いて、自動走行システムにおける車両走行モデルと、実環境における通信性能の測定結果を紹介し、通信情報の有効性を示す。</p>	<p>パナソニック株式会社 車載エレクトロニクス事業部 第三商品開発部 柴田 鉄兵</p>
3	<p>普及車載機での評価 —一般的な普及車載機で複雑な道路環境下を走行し、車車間通信を用いた運転支援システムに与える影響を検証</p>	<p>本研究開発では、普及価格帯レベルの車載機で走行する道路の特定が難しいことが想定される。複雑な道路環境下で走行実験を行い、車車間通信を用いた運転支援システムに与える影響を検証している。今回、複雑な道路環境として、を埼玉県及び都内で車両の特定が困難な高架/アンダーパスのある交差点や多階層となっている地点を選定し実験を実施した。実験結果から、ある特定の複雑な道路環境によっては普及価格帯レベルの車載機で車車間通信を使った運転支援を行うにはいくつかの課題があることを示す。</p>	<p>パイオニア株式会社 商品統括部 技術開発部 先行開発部 1 課 佐藤 翔太</p>
4	<p>高信頼・低遅延な車車間通信を実現する新たな誤り訂正符号</p>	<p>一般に誤り訂正符号は、符号長が十分に長い場合に通信路容量に漸近、もしくは達成することが知られている。しかし例えば自動運転のような、遅延に対して強い制約のある環境では、短符号長において、いかに高い信頼性を達成するかが重要となる。本発表では符号長が数千ビットと非常に短い状況において高い復号特性を持つ Repeat-Accumulate 信号符号を提案し、従来から知られる二元体上の符号と比較して優れた復号特性を示すことを、計算機シミュレーションによって明らかにする。</p>	<p>電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 石橋 功至</p>



(a) (株) デンソー 平山氏



(b) パナソニック (株) 柴田氏



(c) パイオニア (株) 佐藤氏



(d) 電気通信大学 石橋氏



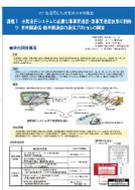
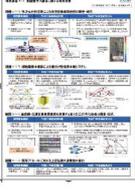
(e) 質疑

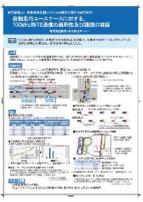
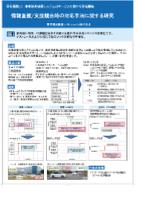
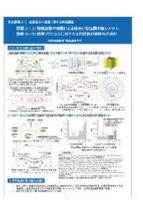


(f) 質疑

図 7.1.1-2 技術課題発表の様子

④ 展示内容

内容	研究機関	パネルイメージ	資料イメージ
全体統括			<ul style="list-style-type: none"> ・全体背景 ・目的 ・開発プロセス ・将来イメージ
各機関の 総括チャート	デンソー		<ul style="list-style-type: none"> ・課題毎の目的 ・計画 ・進捗 ・成果 ・スケジュール
	パナソニック		
	パイオニア		
	電通大		

内容	研究機関	パネルイメージ/資料作成					
各テーマ別取組内容	デンソー		<p>a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発 自動走行ユースケースに対する、700MHz帯ITS通信の適用性及び課題の検証</p>		<p>c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証 緊急車両接近通知アプリによる緊急車両の到着時間短縮効果の検証</p>		<p>d-2) 制御用周辺情報の通信検証 高速道での自動合流シーンにおける通信性能の車両挙動に及ぼす影響の検討</p>
	パナソニック		<p>b) 車車路車協調システムのサービスに関する研究開発 情報重複/支援競合時の対応手法に関する研究</p>		<p>b) 自動走行システムへの通信情報の活用検討 自動走行システムへの通信情報の活用検討</p>		
	パイオニア		<p>c-1) 自動走行用の普及車載機に向けて(車両特定が難しい道路状況の検討) 複雑な道路環境下における車車間通信を用いた運転支援に与える影響の検証</p>		<p>c-3) 公共交通アプリケーションの有効性検証(バス/タクシーでの効果検討) 旅客運送自動車の基本的な運行状態を通知することにより接触事故を予防するシステムの基礎評価</p>		
	電通大		<p>d-1) 自動走行の通信に関する研究開発 d-1-1) 多次元分散協調による高信頼車車間通信の調査・研究</p>		<p>d-1-2) 複数路側中継器による種分け型協調中継システム d-1-4) 既存プロトコルに対する上記技術の適用性の検討</p>		<p>d-1-3) 高信頼・低遅延車車間通信を実現する誤り訂正符号化技術の調査・研究</p>
	三菱総研		<p>実施体制/技術動向調査1—通信技術関連動向</p>		<p>技術動向調査2—北米の研究開発動向</p>		

ICTを活用した次世代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 Ⅱ 車車間通信・路車間通信の通信プロトコルの開発

代表研究機関 株式会社 デンソー
 研究機関 パナソニック株式会社
 研究機関 パイオニア株式会社
 研究機関 国立大学法人 電気通信大学
 総合ビジネスプロデューサー 三菱総合研究所

■ 研究開発概要

背景

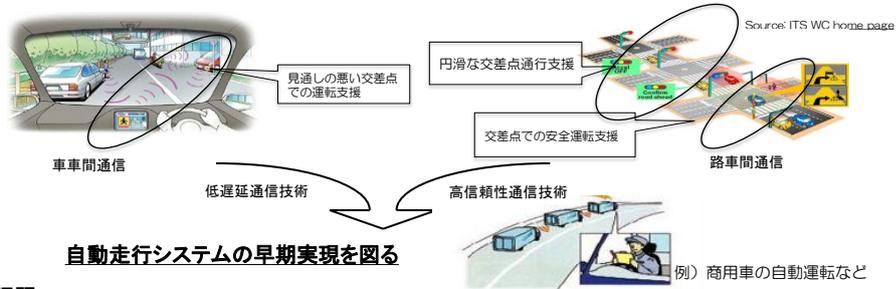
交通事故の削減、交通渋滞の緩和、環境負荷の低減、高齢者等の移動の支援、運転の快適性を向上するために、自動走行システムが有望と考えられている。自動走行システムの実現には、高い信頼性、小さい通信遅延を有する車車間通信・路車間通信技術を開発する必要がある。

目的

自動走行システムを実現するために、従来の自動車単体での運転支援技術のさらなる高度化と、車と車、車とインフラ、車と歩行者をつなぐ高度な無線通信技術を活用した運転支援技術を早期に確立する必要がある。この技術の確立のため、公道での実証を通じて車車間、路車間でやりとりする通信の評価を実施して、その通信でやりとりされる情報が、タイミング的にも量的にも想定したアプリケーションを満足するものであるかどうかを評価する。

概要

車車間通信、路車間通信技術をさらに高度化し低遅延通信や高信頼性通信を実現して自動走行システムの実現に寄与する。



研究課題

車車間通信、路車間通信技術をさらに高度化し低遅延通信や高信頼性通信を実現して自動走行システムの実現に寄与する為、多種多様な多数の車両が混在する公道等の環境下で、開発した通信プロトコルが所定の性能を満たし、かつ確実に動作するかを実証実験をおこなって検証する。上記目的を達成するため、研究課題を設定した。

研究開発機関

	研究開発課題	担当研究機関
普及促進の課題	非一般車両アプリケーションの有効性検証 (救急車での効果検討)	株式会社 デンソー
	普及車載機での評価検証 (車両特定が難しい道路状況の検討)	パイオニア株式会社
	公共交通アプリケーションの有効性検証 (バス/タクシーでの効果検討)	
自動走行の課題	自動走行システムへの通信性能の検討 (自工会の自動合流シナリオでの通信性能の検討)	株式会社 デンソー
	自動走行システムへの通信情報の活用検討 (先読み情報の活用検討)	パナソニック株式会社
	分散協調ITS通信技術開発 (自動走行用通信技術の検討)	国立大学法人 電気通信大学

開発運営委員会・ ビジネスプロデューサー会議

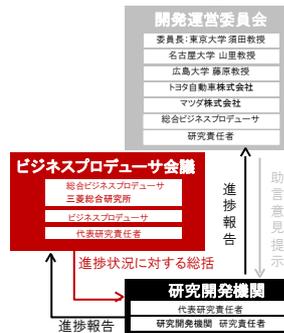


図 7.1.1-3 課題Ⅰの研究開発概要のパネル

研究課題 a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発

研究開発課題	平成27年度実施計画	平成27年度達成見込み
自動走行ユースケースに対する、700MHz帯ITS通信の適用性及び課題の明確化	(1) 自動走行ユースケースにおける通信プロトコルの制約/課題抽出 (2) 走行実験、シミュレーションのデータ取得条件の検討と実施 (3) 実験、シミュレーションデータを用いた通信特性の解析と仮説検証	(1) 自専道での協調型合流支援と交差点でのダイナミックマップへの活用の2つのユースケースを抽出し、前者は合意形成時の通信品質を、後者は位置誤差への遅延影響を課題として抽出。 (2) テストコース走行実験による通信特性の取得と、普及後を想定した通信トラフィックにおける通信特性をシミュレーション解析。 (3) 合流車両と本線車両間の距離とパケット到達率を算出。通信トラフィックが高い場合に、合意形成が所要時間内で可能かを検証。通信特性(連続パケットロス)による位置誤差影響を算出。



研究課題 c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証

研究開発課題	平成27年度実施計画	平成27年度達成見込み
緊急車両接近通知アプリによる緊急車両の到着時間短縮効果の検証	(1) 緊急車両接近通知アプリによるドライバー行動モデルの作成 (2) 緊急車両到着時間短縮効果の検証 (3) 救急車周辺車両の実データ収集	(1) ドライビングシミュレータに接近通知アプリを組み込み、救急車の認知や回避行動のタイミングデータを取得し、行動モデルを作成。 (2) 行動モデルを交通流シミュレータに組み込み、設定した走行シナリオにおける通知アプリによる到着時間短縮効果を検証。 (3) 救急車搭載した車載機ログと、評価車両を用いた通知アプリによる救急車認知タイミングの実データを取得し、シミュレーションにおける行動モデルと比較。



研究課題 d-2) 制御用周辺情報の通信検証

研究開発課題	平成27年度実施計画	平成27年度達成見込み
通信利用型車両制御における通信特性による影響の検証	(1) 車両挙動モデル作成のための車両情報のデータ取得 (2) 車両挙動モデルの構築 (3) 通信利用型車両制御シミュレーション検証	(1) 国土省プロの公道実験に参加し、高速道路における車車間通信データを取得し車両情報を解析。 (2) 取得した車両情報に基づいた車両挙動モデルをシミュレータ上に構築。 (3) 自専道合流シーンにおいて通信利用型車両制御を実施した場合における、通信特性が車両挙動に与える影響を確認。

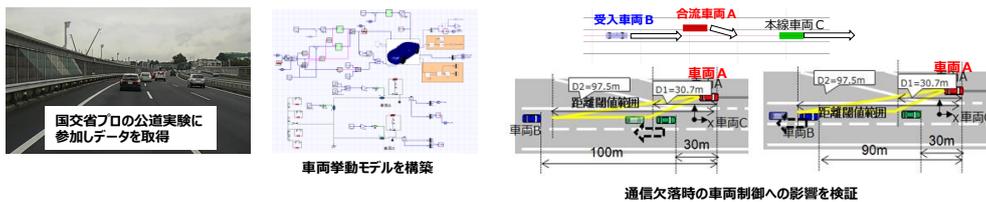


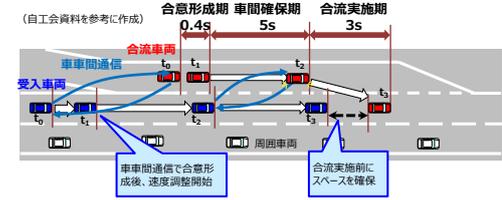
図 7.1.1-4 デンソーの研究課題のパネル

研究課題 a) 車車路車協調システムの通信に関する研究開発
自動走行ユースケースに対する、700MHz帯ITS通信の適用性及び課題の検証
 研究実施機関：株式会社デンソー

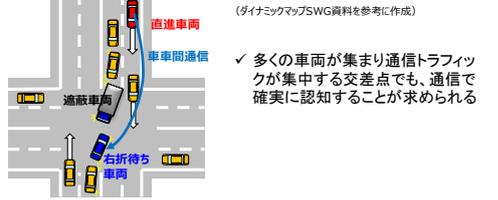
成果 700MHz帯ITS通信を、自専道での協調型合流支援や、交差点でのダイナミックマップへの活用に適用した場合の、通信特性を明らかにした。

目標 自動走行ユースケースやその各通信要件に対し、現行の700MHz帯ITS通信規格 (ARIB STD-T109) をベースに、実験・シミュレーションにより通信特性を求め、その適用性及課題について検証する。

実施内容
 ①自動走行ユースケースにおける通信要件/通信プロトコルの制約抽出
 ②実験/シミュレーションによる通信特性の取得 ③自動走行ユースケースに対する適用性の検証と課題抽出
 <自専道における協調型合流支援> <交差点における周辺車両認知>



- ✓ 合流開始後0.4秒間(合意形成期)の通信品質が重要
- ✓ 規格外プロトコルはシミュレーションで検証



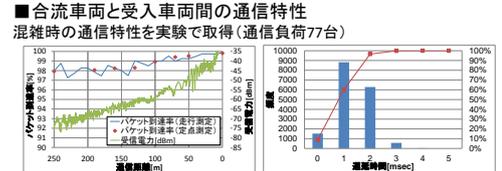
- ✓ 多くの車両が集まり通信トラフィックが集中する交差点でも、通信で確実に認知することが求められる

結果

必要通信距離の見積り
 合流車が加速、合流するケースにおいて、必要な通信距離を見積り

合流車速度 [km/h]	受入車速度 [km/h]	合流時確保車間距離 [m] *1	必要通信距離 [m]		
初速	合流時	初速	合流時		
40	80	80	80	44	75
40	100	100	100	56	130
40	100	120	100	56	154
40	100	120	120	67	187

✓ 必要な通信距離は最大187m

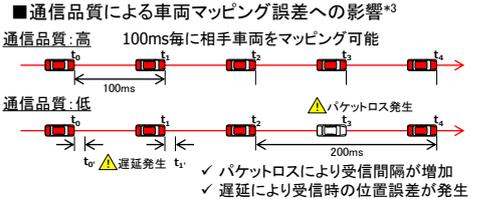


✓ 車車間通信77台条件でパケット到達率97%以上、通信遅延4ms²以下

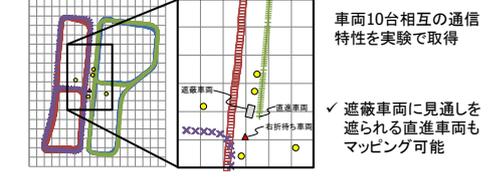
高トラフィック時や規格外送信における特性
 高速道路を走行する車両の搭載率を変更した時の通信特性をシミュレーションで解析中。送信周期100msで送信する方式と、100ms以下で連送を使う方式の2種類について実施し比較する予定。

今後の課題

- ・合意形成成功率の検証
- ・各ユースケースに対するT109の適用性判断と通信特性向上に向けた技術開発



- 通信品質による車両マッピング誤差への影響*3
- ✓ パケットロスにより受信間隔が増加
- ✓ 遅延により受信時の位置誤差が発生



車車間通信85台条件でパケット到達率98%以上、通信遅延5ms²以下

高トラフィック時における特性
 大規模交差点において、路車間通信を含め、車載機搭載率を変化させた時の通信特性と、車両マッピングへの影響をシミュレーション中。

連続パケットロス数	発生確率	通信負荷
0	98.4	85台
1	1.57	通信エリア: 110m以内
2	0.03	通信遅延: 最大5msec

高トラフィック時における特性

大規模交差点において、路車間通信を含め、車載機搭載率を変化させた時の通信特性と、車両マッピングへの影響をシミュレーション中。

図 7.1.1-5 研究課題 a) のパネル

研究課題 c-2) 非一般車両アプリケーションの有効性検証

緊急車両接近通知アプリによる緊急車両の到着時間短縮効果の検証

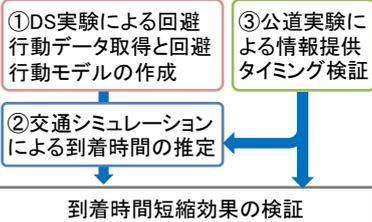
研究実施機関: 株式会社デンソー

成果 緊急車両接近通知アプリによる情報提供時の緊急車両回避行動をドライビングシミュレータ(DS)で取得し、認知タイミングや回避操作タイミングが早まることを確認した。

目標

緊急車両が車車間通信により緊急走行であることを通知するアプリケーションを対象とし、このアプリケーションによる緊急車両の到着時間短縮効果について検証する。

実施内容



回避行動データ取得



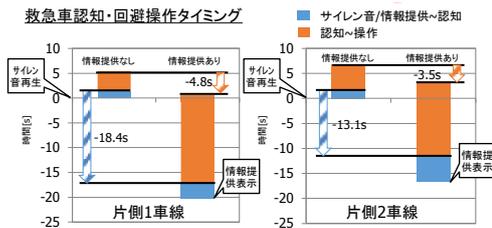
- 救急車認知、回避判断タイミング記録(録画映像・インビュー)
- 回避操作(DSログ)
- 被験者75名、実験シナリオ29種



認知手段	提示タイミング
サイレン音(後方・側方接近)	相対距離60m
接近通知アプリ(後方接近)	300m
接近通知アプリ(側方接近)	交差点手前100m

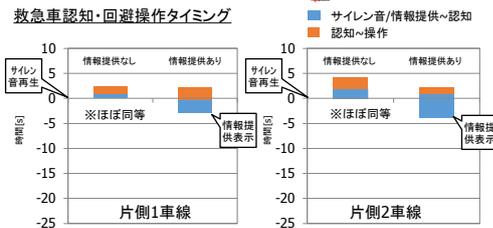
結果

後方接近

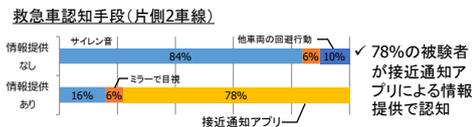


✓ 接近通知アプリによる情報提供で、認知・回避操作タイミングが早まることを確認

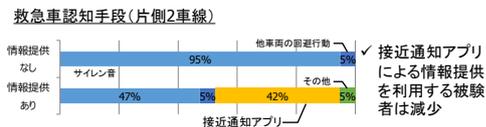
側方接近



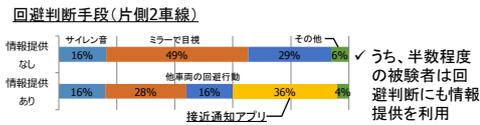
✓ 認知・回避操作タイミングはほぼ同等
✓ サイレン音と情報提供表示のタイミング差が小さいため



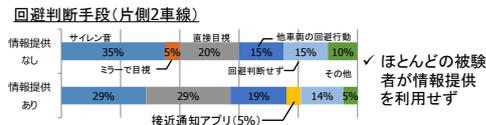
✓ 78%の被験者が接近通知アプリによる情報提供で認知



✓ 接近通知アプリによる情報提供を利用する被験者は減少



✓ うち、半数程度の被験者は回避判断にも情報提供を利用



✓ ほとんどの被験者が情報提供を利用せず

今後の課題

- ✓ 回避行動データを反映した交通シミュレーションにて到着時間を推定(名古屋市内2km区間で評価予定)
- ✓ 公道実験による情報提供タイミングの分析(名古屋市内にて稼働中の救急車との通信ログを記録済み)

図 7.1.1-6 研究課題 c) のパネル

研究課題 d-2) 制御用周辺情報の通信検証

高速道での自動合流シーンにおける通信性能の 車両挙動に及ぼす影響の検討

研究実施機関: 株式会社デンソー

成果

相手車両位置情報の車車間通信での通信遅延・通信失敗の影響は、合流シーンの各ステージにより影響度が異なり、その度合いを調査した。

目標

自動合流制御を実現するための、要求通信性能を明確化する。また通信の限界をpushした上で、自律自動走行システムとの協調制御法を検討する。

実施内容

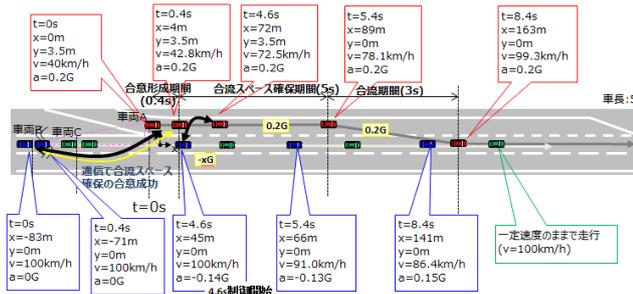
高い目標を達成するため、下記手順で実施する。

- (1) 自動車工業会から提示頂いた自動運転のユースケースを検討のベースとする。
- (2) 通信性能が、車両へどのように影響するかを検討する為、車両の動的モデルを構築する。
- (3) 車両の動的モデルのパラメータを同定するため、自動車会社の実験に参加させてもらう。
- (4) 構築したモデルを使って、車両の挙動と通信の関係をシミュレーションで調査する。

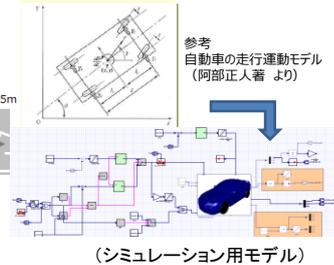
※ 本年度の研究開発では、通信だけの影響を調査するため、車両の制御は、通信で受信したデータのみで実施した。実際は、自律センサー系と通信システムが協調する。

結果

(1) ベースとしたユースケース



(2) 車両の動的モデル



(3) 実走データからパラメータ同定



(4) 通信不具合の車両への影響

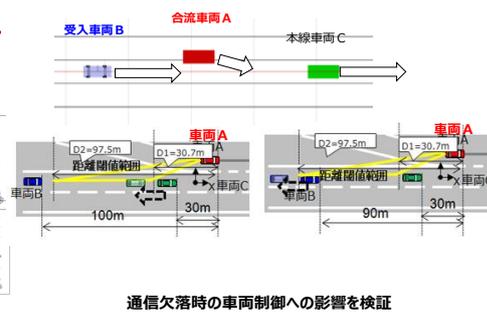


図 7.1.1-7 研究課題 d) のパネル

■ 各社の展示



(a) (株) デンソー



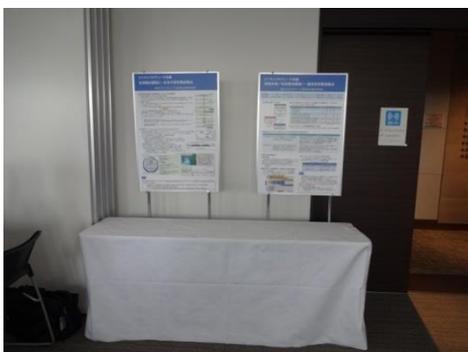
(b) パナソニック (株)



(c) パイオニア (株)



(d) 電気通信大学



(e) 三菱総合研究所 (総合ビジネスプロデューサ)



(f) 展示コーナー全景



(g) ディスカッション風景



(h) ディスカッション風景

図 7.1.1-8 パネル説明会の様子

⑤ 出席者

研究機関	部署名	氏名(敬称略)	役割	事務局
委員長	東京大学 教授	須田 義大	委員長	
委員	名古屋大学 教授	山里 敬也	委員	
委員	トヨタ自動車(株) ITS 企画部 室長	末木 隆	委員	
オブザーバ	総務省 移動通信課 室長補佐	増子 喬紀	オブザーバ	
(株) デンソー (13名)	研究開発 1 部通信システム開発室	中田 恒夫		
	研究開発 1 部通信システム開発室	坂本 将紘		
	研究開発 1 部通信システム開発室	小野 学		
	研究開発 1 部通信システム開発室	伊神 章公		
	研究開発 1 部通信システム開発室	古山 卓宏		
	研究開発 1 部通信システム開発室	吉永 諭史		
	研究開発 1 部通信システム開発室	今井 謙一郎		
	研究開発 1 部通信システム開発室	平山 泰弘	発表者	事務局
	研究開発 1 部	澤田 学	責任者	
	研究開発 1 部 企画課	難波 秀彰	代表研究員	
	研究開発 1 部 企画課	小林 颯二	司会	
	研究開発 1 部 企画課	川合 健夫		司会サポート
研究開発 1 部 企画課	吉田 克典		事務局 ・受付	
パナソニック(株) (5名)	AIS 社車載エレクトロニクス事業部 安全・安心 SBU 第三商品開発部	畑山 佳紀	責任者	
	AIS 社車載エレクトロニクス事業部 安全・安心 SBU 第三商品開発部	武村 浩司		
	AIS 社車載エレクトロニクス事業部 安全・安心 SBU 第三商品開発部	柴田 鉄兵	発表者	事務局
	AIS 社車載エレクトロニクス事業部 安全・安心 SBU 第三商品開発部	樋口 啓介		
	AIS 社車載エレクトロニクス事業部 安全・安心 SBU 第三商品開発部	水口 孝夫		時間管理
パイオニア(株) (7名)	先行企画部	柴崎 裕昭	ビジネスプロモーター	
	先行開発部	矢部 一夫	責任者	
	先行開発部	松本 令司		

	先行開発部	高橋 哲也		事務局 運営サポート、 マイク
	先行開発部	青木 岳		
	先行開発部	佐藤 翔太	発表者	
	ソフト開発部	石川 真生		
電気通信大学 (10名)	AWCC	山尾 泰	責任者	
	AWCC	藤井 威生	ビジネスプロデューサ	事務局 ・議事録
	AWCC	石橋 功至	発表者	
	AWCC	佐藤 光哉		
	AWCC	LE TIEN TRIEN		
	AWCC	王 昊		
	AWCC	市川 浩次		
	AWCC	鶴見 俊介		
	AWCC	尾形 駿		
	AWCC	田中 亮輔		
三菱総合研究所 (4名)	社会公共マネジメント研究本部	杉浦 孝明	総合 ビジネスプロデューサ	
	社会公共マネジメント研究本部	加藤 二郎		
	社会公共マネジメント研究本部	鯉淵 正裕		事務局 ・受付
	社会公共マネジメント研究本部	田中 清一		

⑥ 議事録

SIP 総1ウ 研究開発運営委員会 「技術討論会」 議事録

日時：平成28年2月18日(木) 13:00-16:30

場所：AP 東京丸の内会議室

参加者(敬称略)：

運営委員会委員長：須田義大(東京大学)

運営委員会委員：山里敬也(名古屋大学)、末木隆(トヨタ自動車)

運営委員会オブザーバ：増子喬紀(総務省)

受託機関構成員：

デンソー： 難波秀彰（代表研究員）、澤田学（研究責任者）、伊神章公、今井謙一郎、小野学、川合健夫、小林顕二、坂本将紘、中田恒夫、平山泰弘、古山卓宏、吉田克典、吉永 諭史

パナソニック： 畑山佳紀（研究責任者）、柴田鉄兵、武村浩司、樋口啓介、水口孝夫

パイオニア： 矢部一夫（研究責任者）、青木岳、石川真生、佐藤翔太、柴崎裕昭、高橋哲也、松本令司

電気通信大学： 山尾泰（研究責任者）、石橋功至、藤井威生、市川浩次、王昊、尾形駿、佐藤光哉、田中亮輔、鶴見俊介、LE TIEN TRIEN

総合ビジネスプロデューサ：

三菱総合研究所： 杉浦孝明（総合ビジネスプロデューサ）、加藤二郎、鯉渕正裕、田中清一

0. はじめに

司会（デンソー小林）より本技術討論会の位置づけ（研究討論、若手研究者による講演）について説明

1. 委員長挨拶

須田運営委員会委員長よりご挨拶

昨今の自動走行研究の流れより通信の重要性が高まっている。技術の情報を共有して研究の推進を目指して欲しい。

2. 総務省挨拶

総務省増子様よりご挨拶

最初の研究計画の段階から周囲の環境が変化してきているので研究は逐次計画を見直しながら実のある研究開発として欲しい。

3. 総1ウ共同研究の実施計画、推進について（デンソー難波）

代表研究者難波より実施背景、研究進捗に関して説明

2030年の完全自動運転に向けて、2020年には自動走行システムの運用が始まる可能性が高い。このスケジュールをにらんで通信システムを考えていくのが本委託研究の主なミッション。

自動運转向けの通信システムを日本から世界に発信できるようにしたいという長期的なビジョンを持っている。その実現のためには、車両に無線機が搭載されていることがまず必要となる。そこで、車車間通信の普及促進というテーマからスタートした。2015年から自動運転にターゲットを拡張し、普及促進とともに研究活動を進めている。

本研究開発では4社が、相互に連携しての課題解決に取り組んでいる。また、他省庁、

他機関とも連携しての活動を行っている。

2015 年の研究開発では普及促進と自動走行システムという二つの大きなトピックを定め研究開発に取り組んでいる。

4. 各研究機関の技術課題発表

①非一般車両アプリケーションの有効性検証（デンソー平山）

- ・普及促進の課題として救急車の到達時間短縮が、車車路車協調システムを用いることで実現できるという研究開発の紹介
- ・救急車の接近検出アプリの効果をドライビングシミュレータにより取得、ドライバの回避行動の分析を実施
- ・結果としてアプリによる情報提供で、認知・回避操作タイミングが早まることを確認

< 質疑応答 >

須田委員長： 普段の運営委員会と比べて研究内容をじっくりと聞いてよかった。

情報提供アプリは具体的にどういう表示なのか？他車の行動に対する影響というはシナリオにどのように反映されているのか？

平山： 表示は、情報提供の画面をナビ上に表示、加えて表示に合わせて音が鳴動してアラートを出す。実験シナリオには、先行車の回避の有無、回避方向（右、左）によって、後続車の回避行動がどうなるかを評価している。

須田委員長： シナリオが複数あることになるが、被験者によって内容を替えているのか？

平山： 同じ内容のシナリオに対して被験者からランダムにピックアップした10名で実施している。

パイオニア柴崎： 20 秒前に認知ができたとしても回避行動はしばらくたってから始めるということなのか？ユーザはどういうきっかけで回避行動を始めているのか？

平山： 指摘の通り、認知は早くできているが、回避は遅れて始めている例が多い。通常は、サイレンで認知、目視で回避するが、情報提供により、情報で認知、サイレンで回避となる傾向があり、それにより回避行動は早くなっている。

電通大山尾： 側方から来る車両についての効果が少ないとの結果であったが、路側機による情報提供を組み合わせれば、後方と同様の効果が現れるのでは？

平山： 今回は車車間に特化しているが、ご指摘のとおり路側機があれば同様の効果が出ると考える。

難波研究代表者： 被験者の年代による効果の違いはあるか？

平山： データは取得しているが現時点ではまだ分析できていない。現データは全世代の平均値である。

パイオニア矢部： 後続車両は左右に回避すればよいが、側方からの緊急車両にはどのような回避を行うのか？

平山： 側方からの接近の場合は、交差点の手前で停止するというのが回避行動である。

②自動走行システムへの通信情報の活用検討（パナソニック柴田）

- ・通信で得られる先読み情報を自動走行システムに活用することを目的に研究
- ・先読み情報を活用したユースケースの抽出とモデル化、通信性能の評価を実施
- ・ユースケースとして「合流」「車線変更」「緊急ハザード情報共有」「前方検知」「歩行者横断検知」を抽出
- ・「合流」のユースケースを用いて、先読み情報活用モデル、実証実験について紹介
- ・地上での合流では、定めた要件以上のネゴシエーションを行えるが、地下での合流ではネゴシエーションが行えない例があることを確認

< 質疑応答 >

山里委員： 今回の前提はすべての車両が自律運転可能で、かつ通信機器を持っているということによいのか？

柴田： 今回の取組みは通信性能の評価となる。自律センサによる合流動作の詳細検討は対象外となる。

山里委員： その前提だと、通信はサポートで、最終的には自律的に車両が判断することになると思うが、どのように判断するのか？

柴田： 今回は通信部分に特化しているので、制御の詳細な動作までの検討は行っていない。

山里委員： 実際は車両単位ではなく車群で制御するという考えが必要ではないか？

柴田： その通りで自律を助けながら車群で制御するというのが将来的な一つの形と思われる。

末木委員： ネゴシエーションの1回というものの定義は何か？

柴田： 本線車両と合流車両のそれぞれの車載機応答時間を 200ms として、本線→合流→本線と通信が一往復することでネゴシエーションの確立としている。

須田委員長： 公道で合流するタイミングはどのように計っているのか？

柴田： 本線側走行の車両が定速で走行し、合流車両に位置を逐次伝達することでタイミングを計った。

末木委員：合流の際の速度制御について、今回は具体的なアルゴリズムは考えていないのか？

柴田：今回は通信部分のみの検討であるため具体的なアルゴリズムは検討していない。

デンソー澤田：今回抽出したユースケースの中から、検討を具体化していく対象を選定する際の基準は、どのように考えているか？

柴田：通信による効果が大きいもの、実現性の高いものを選定していく。

デンソー澤田：今回の実験は、700MHzの利用を前提として検討しているのか？

柴田：今は700MHzを想定しているが、他の周波数の活用も考えられる。

難波研究代表者：デンソーの検討では、通信が失敗するとスムーズな合流ができず、結果的に車群の後ろで合流するというパターンが多かったが、今回の検討ではどうなっているのか？

柴田：今回の実験は通信性能の検証であり、合流地点における合流動作の具体的なアルゴリズムについては検討していない。今回のモデルでは、合流地点で車両同士ができるだけ干渉しないように、事前に通信によって得た情報を使って、本線車両が車間を空けてあげることが想定している。

③普及車載機での評価検証（パイオニア佐藤）

- ・複雑な道路環境が車車通信利用した運転支援に与える影響について研究を紹介
- ・一般道と高架道路がクロスするような複雑な道路環境が運転支援システムに与える影響を検証
- ・以下の実験結果を紹介
 - 一般交差点＋一般道（オーバパス）のケース：右折時の衝突防止支援、車載機 I レベルでの位置精度では道路の特定が困難な場合があることを確認
 - 一般道交差点＋高速道（掘割式）のケース：右折時の衝突防止支援、出会頭衝突防止、このような道路形状では通信に影響が出る場合があることを確認
 - 多階層立体交差（美女木 JCT 5 階層）のケース：多階層を跨いでも車車間通信の電波が到達するため走行道路の識別が必要になることを確認
 - 結果として、普及車載機での位置精度、トンネルのような道路形状での通信確保、想定以上の電波到達のため多階層の道路識別、という課題があることを確認

< 質疑応答 >

山里委員：今回の実施内容はカーナビと車載機が精度の低い普及機ということなのか？

佐藤：カーナビレベルの GPS と普及車載機を想定している。

山里委員：GPS、通信の成功・失敗で4つのパターンがあると思われるが今回はど

のパターンを扱っているのか？

佐藤： 通信ができ、位置もある程度取れている前提で、課題となる場所を検討した

パナソニック畑山： 車載機 I、車載機 II の違いは？

佐藤： 車載機 I は GPS+マップマッチングというカーナビレベルの位置精度を持つ車載機、車載機 II は単純に GPS のみということ

パナソニック畑山： 具体的にどの程度違うのか？

佐藤： 車載機 II だと道路から外れるような例がある

パナソニック畑山： 車載機 I でも道を間違えることもあるということだとどちらでも違わないのでは？

佐藤： 車載機 II は GPS による誤差でさらに位置精度の劣化の影響が拡大することがある。

杉浦総合 B P： GPS やアンテナの取り付け位置はどこか？

佐藤： GPS、アンテナはルーフトップに設置、GPS は「みちびき」など準天頂衛星は利用していない。アンテナはホイップアンテナ

杉浦総合 B P： ルーフトップにアンテナというのは製品では難しいことも多いため、製品も意識した環境を考慮したほうがよい

末木委員： 本日の発表で提示した課題を元にどのような対策をとるのか？

佐藤： 来年度の以降の研究課題として取り組みたい。

増子室長補佐： 高度情報を認識するような標準になっていると思うが、ダイナミックマップで考えると道路 ID や区間 ID を送信する必要がある。今回の結果から精度の低い古い車載機の情報は無視するほうがよいと思われかねないので課題を整理したほうが良い。

佐藤： 高度情報の活用や制度の低い情報の扱いは今後検討予定

④高信頼・低遅延な車車間通信を実現する新たな誤り訂正符号（電通大石橋）

- ・車車間通信に必要なものとして高信頼、低遅延をターゲットとして研究を実施、
- ・その一つとして通信路符号化を取り扱う例を示す。通信路容量拡大には長い符号かつ無限の復号演算量が必要となるが、これは低遅延と相反してしまう。この相反する2つの要素を考えて車車間通信に適用可能な符号を考えることを検討
- ・その一方式として Repeat Accumulate (RA)符号に多元 LDPC を組み込むことで、中程度の長さで、シャノン容量に近づく符号を検討。⇒RA 信号符号を提案
- ・IEEE802.11p で利用する畳み込み符号と比較して 3.5dB 程度の性能改善が得られる

<質疑応答>

山里委員： 演算の複雑性について、符号化が簡単ということはわかったが、復号の

演算量がどうなっているのか？

石橋： 通常の信号符号では演算量は大きいですが、アイゼンシュタイン環の導入により、信号空間が制限されるため現実的な演算量での復号が可能である。

デンソー澤田： 評価で利用している 500 シンボルは、車車通信では比較的長いパケット長だと思われるが、100 ビット程度のさらなるショートパケットではどのような結果となるのか？

石橋： 500 ビット程度までは十分に動作するが、100 ビット以下まで短くするとブロック符号のほうが良くなる領域となる。

パイオニア石川： この技術が実現すると車車間通信にどのような恩恵があるのかを教えてください。

石橋： IEEE802.11p 標準の符号では性能改善に限界があるので、次の通信規格制定時の性能改善の方法として考えている。100ms に 1 回の通信で確実にデータ配信ができるようになるため、システム全体の信頼性が向上する。

5. テーマ別パネル、展示品説明

須田運営委員会委員長よりご挨拶

受託 4 社の研究進捗およびビジネスプロデューサ会議での検討状況の報告をパネルで説明

6. 委員長挨拶

須田運営委員会委員長よりご挨拶

本日の技術討論会の総括、相互の情報交流の場は非常に大切であり、このような会が課題抽出の場としても重要であり、今後も継続して欲しい。

7. 総務省挨拶

総務省増子様よりご挨拶

本委託研究は来年で終了であるが、それで全ての課題が解決するものではないと考えている。その後の展開も含めて自動運転のための通信の研究を推進していきたい。

以上

7.2. 普及啓発

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施する。

7.2.1. ビジネスプロデューサ会議

1) 背景

総務省では、内閣府の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）自動走行システム研究開発計画のうち「ICTを活用した次世代 ITS の確立」を担当している。

「ICTを活用した次世代 ITS の確立」には、下記 3 つのサブプロジェクトがある。

- 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
- II. 歩車間通信技術の開発
- III. インフラレーダーシステム技術の開発

上記のうち、テーマ I について、株式会社デンソーを代表研究者とし、株式会社デンソー、パナソニック株式会社、パイオニア株式会社、国立大学法人電気通信大学の 4 社の共同で受託し、研究開発を進めている。なお、研究開発では下記 4 つの課題への対応を実施している。

- ① 車車路車協調システムの通信に関する研究開発
(多数の車両存在時の通信特性の検証)
- ② 車車路車協調システムのサービスに関する研究開発
(情報重複や支援競合時の対応検討)
- ③ 普及促進に関する研究開発 (緊急自動車や非一般車へ応用した時の効果検証)
- ④ 自動走行の通信に関する研究 (分散協調ネットワーク技術の確立)

2) 目的

本業務では、上記背景にて示した研究開発を進めるにあたり、政策目標として設定しているアウトカム目標の達成に向けた取組み、及びその進捗状況について総括する「ビジネスプロデューサ会議」の運営を支援することを目的とする。

3) 平成 27 年度の会議の開催状況

平成 27 年度のビジネスプロデューサ会議は、以下に示す日程及び次第で開催した。

表 7.2.1-1 平成 27 年度のビジネスプロデューサ会議の開催状況

回	開催日	議題
第 1 回会議	平成 27 年 9 月 17 日 (木)	1) 平成 26 年度第 3 回会議議事録の確認 2) 今年度のビジネスプロデューサ会議の進め方 3) 関連動向報告 - 今年度の取組み概要
第 2 回会議	平成 27 年 12 月 2 日 (水)	1) 第 1 回会議議事録の確認 2) 北米における車車間・路車間通信の動向に関する調査報告 3) 通信技術動向に関する調査報告 4) 関連動向報告 - 今年度の取組み状況等
第 3 回会議	平成 28 年 3 月 4 日 (金)	1) 第 2 回会議議事録の確認 2) 市場動向に関する調査報告 3) 関連動向報告 - 今年度の取組み状況等

なお、関連する研究開発運営委員会は、以下に示す日程で開催した。

表 7.2.1-2 平成 27 年度の研究開発運営委員会の開催状況

回	開催日
第 1 回会議	平成 27 年 9 月 29 日 (火)
第 2 回会議	平成 27 年 12 月 14 日 (月)
技術討論会	平成 28 年 2 月 18 日 (木)
第 3 回会議	平成 28 年 3 月 28 日 (月)

7.2.2. 研究開発運営委員会

研究開発の実施にあたって、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者、将来的な利用者となる企業等を含んだ研究開発運営委員会を設置した。委員には外部の学識経験者、有識者、将来的な利用者となる企業に参画をお願いし、次の5名に委員の就任をお願いした。委員長には専門知識を有し、当分野における経験を有する東京大学の須田教授に就任頂いた。

<委員構成>

委員長	須田 義大	(東京大学 教授)
委員	藤原 章正	(広島大学 研究科長)
	山里 敬也	(名古屋大学 教授)
	末木 隆	(トヨタ自動車 室長)
	山本 康典	(マツダ 研究長)

第1回の研究開発運営委員会にて本年度の委員会を3回実施することが承認され以下のよう計画に基づき3回の委員会を実施した。

<実施結果及び主な議事>

第1回 研究開発運営委員会 平成27年9月29日

(議事) 平成27年度 研究開発のスケジュール
平成27年度の研究内容説明資料
平成27年度ビジネスプロデューサ会議の進め方

第2回 研究開発運営委員会 平成27年12月24日

(議事) 平成27年度 研究開発のスケジュール
平成27年度 研究開発内容の中間報告
課題1 研究実施主体間の関係についての整理
平成28年度 研究開発実施計画(案)
総合ビジネスプロデューサ資料
研究開発運営委員会「技術討論会」の開催について

第3回 研究開発運営委員会 平成28年3月28日

(議事) 平成27年度 研究開発内容の最終報告
平成28年度 研究開発 継続評価会の状況について報告

7.2.3. ITSに関する世界会議などの取り組み

平成27年度にSIP総1の研究開発の活動の成果を、2つの国際会議で発表した。

1) 8th ATRANS Symposium

〈Session 3D〉 Intelligent Transportation System (ITS) セッションにおいて、口頭発表を行いDNの安全技術、V2Xの取組、SIP（日本の国プロ）を紹介した。

発表者： Hideaki Nanba

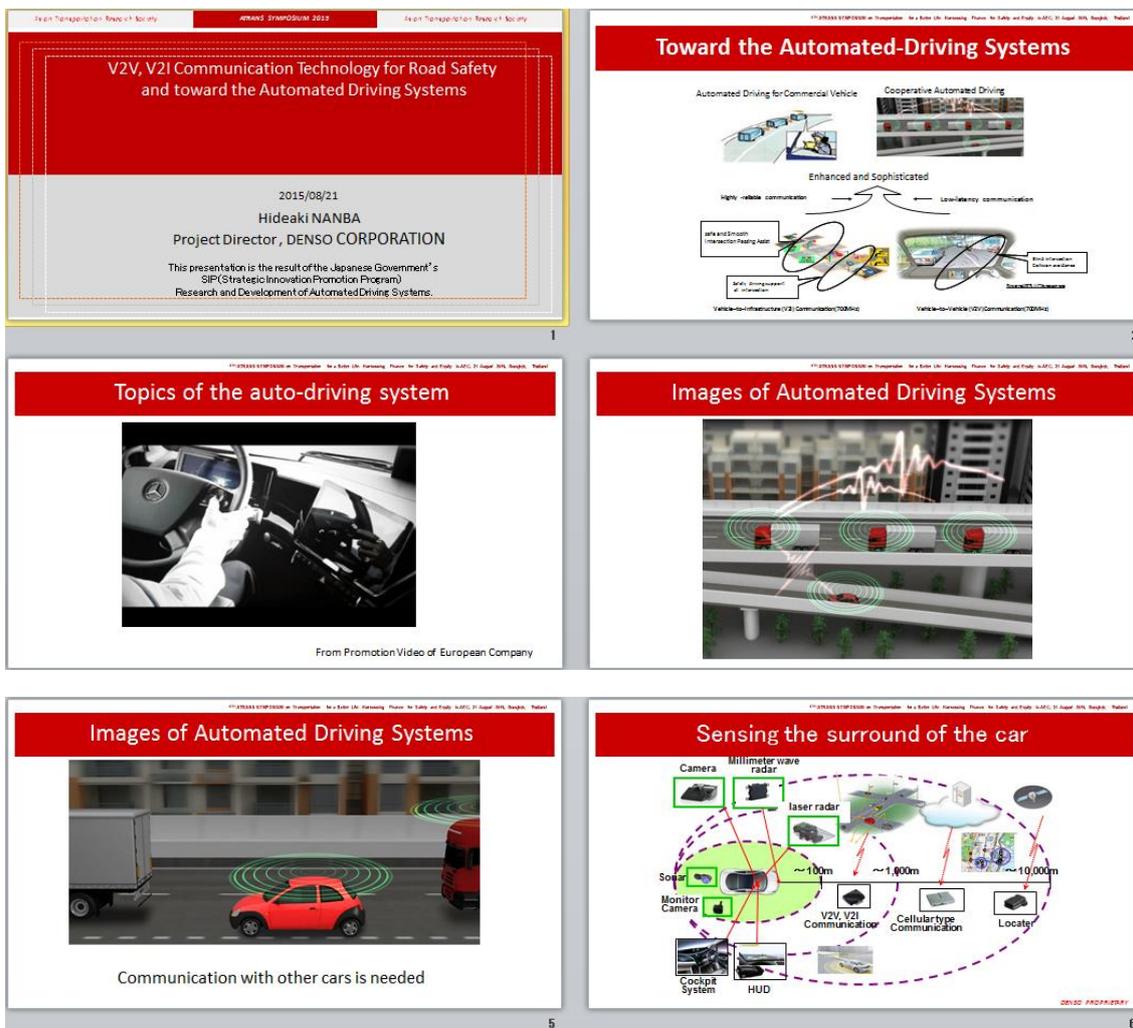
タイトル： V2V Technology for Road Safety

学会： 8th ATRANS Symposium

場所： Bangkok, Thailand

日時： 2015年8月21日（金）

発表原稿は以下の通りである。



Preventive safety technology

Collision avoidance support brakes

Active cruise control

Pedestrian collision avoidance support brakes

Automatic high beam

Lane keep support system

Camera

Millimeter wave radar

Traffic sign recognition

DEVELOPMENT

7

High recognition technology "MUSIC" in Millimeter wave radar

(Example) Two vehicles cruise in same speed

MUSIC: Multiple Signal Classification

Vehicle 1 Vehicle 2

Vehicle 1 Vehicle 2

Vehicle 1 Vehicle 2

Legacy

MUSIC

Advanced car

Advanced car

Range [m]

Angle [deg]

Angle [deg]

Legacy: Not separation

MUSIC: Separation Success

DEVELOPMENT

8

Recognition Target of Camera Images

Vehicle

Camera

Light

Walkers

Road Lane

Traffic Sign

Walkers in many fashion

Example of the pedestrian recognition

HOG + SVM

HOG : Histogram Of Gradient

SVM : Support Vector Machine

Input Image

Gradient Calculation

Histogram per block

Relating of the histogram

HOG Features (100~1000 dimensions)

Normalizing

Feature vector

Recognition Process (SVM)

Recognition Result (Person/non-person)

DEVELOPMENT

11

Wireless Sensors / Devices relating to Safety

radio unit

DCM

ETC

V2X prototype

front camera

vision sensor

image processing (Power On/Off Warning)

millimeter wave radar

generation 42

generation 43

laser radar (LIDAR)

ACC LIDAR

for low speed automatic emergency braking (AEB)

DEVELOPMENT

12

Image of V2V communication at the blind corner

13

Emergency Electronic Brake Lights Safety Application by V2V

without cooperative systems

using cooperative systems

STOP

in vehicle HUD

cooperative warning allows following car sufficient time to stop safely

DEVELOPMENT

14

Background and Aims of the Research and Development

Using the predictive information on ITS, Automated Driving Systems shall be realized and expedited.

(From the Cabinet Office)

Vehicle-to-Infrastructure communication

Vehicle-to-Vehicle communication

DEVELOPMENT

15

Field Operation Test

Collaboration with MITI-project and NPA-project

■ NAGOYA-city

■ YOKOSUKA-city

■ KOBE-city

One Road-side unit is put in place for NAGOYA and YOKOSUKA.

Six Road-side units are put in place for KOBE by NPA-project.

DEVELOPMENT

16

a) The study of communication in the cooperative system (V2V, V2I)

Higher data communication capacity when vehicle equipped with DSRC device increases

V2V msg. V2I msg.

Communication performance at the heavy traffic jam is evaluated in the specific area.

Experimental Site : NAGOYA city, YOKOSUKA city

Outline of NAGOYA FOT

Experiment Area: NAGOYA city, NHTA-main4, SHEROVI-center-2, Intersections

Experiment Purpose:

- Verification of the communicable area
- Influence check of the slow driving
- Influence check of the communicating traffic increase

Experiment Scale:

- 12 Roadside wireless unit
- 100 cars with wireless unit

EXPERIMENT VEHICLE	VEHICLE TYPE	TOTAL
Police/ambulance car	1	1
Road car with radar detector	15	15
Management car	2	2
Sum	18	18
Real ambulance car	32	32
Customer car / Commercial car	24	24
Road car (DSRC)	10	10
Road car (Non-DSRC)	8	8
Sum	84	141
Total	82	153

Department: CSRS / 100 cars
 Participants: 100 cars
 Date: 2014.02.09 ~ 02.10
 Main Project with NHTA and NHTA project

17

18

a) The study of communication in the cooperative system (V2V, V2I)

Communication performance at the heavy traffic in the big intersection area of NAGOYA-city

Result of the latency

Result of the packet arriving rate

The Emergency Motor Vehicle is prioritized

C) The study of promotion and penetration

Shorten the time to the destination of the emergency vehicle in city congested condition

Assistance for emergency vehicle traveling

Time to destination

increase

Real Camera

Ambulance vehicle with wireless unit

Simulation

Experimental Site : NAGOYA city, YOKOSUKA city

Summary

- For Road Safety
 - Advanced automobile sensors support the automotive safety driving system.
 - V2V technology provides the invisible information to the driver.
 - Automated driving system shall be evolved from the bases of V2V technology.
- Last year's result
 - As for the verification of the requested communication condition, real measurement data is collected and simulation shows the data in various penetration rates.
 - As for the service confliction in the case of having the same kind information, the data is collected in the real public road.
 - As for the effect of V2V application to the ambulance vehicle, the basic data is collected.
- This year's plan
 - New theme is added toward the automated driving system

2) 2nd SIP-adus Workshop 2015

Connected Vehicles セッションにて、口頭発表を行った。

- 発表者： Hideaki Nanba
 タイトル： Perception of driving environment through communication
 学会： 2nd SIP-adus Workshop 2015
 主催： 内閣府総合科学技術・イノベーション会議
 戦略的イノベーション創造プログラム 自動走行システム推進委員会
 場所： Tokyo, Japan
 日時： 2015年10月27日(火)・28日(水)

発表原稿は以下の通りである。

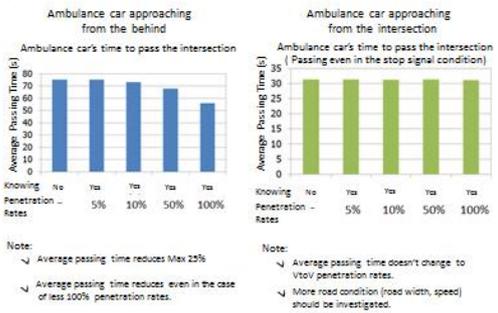
<p>Session: Connected Vehicles</p> <p>Perception of driving environment through VtoV, VtoI Communication and a problem</p> <p>October, 27, 2015</p> <p>Hideaki NANBA</p> <p>DENSO CORPORATION</p>	<p>Contents</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. MIC* Research Activities for Next-Generation ITS . 2. Perception of the emergency vehicle approach through VtoV Communication. 3. Verification Test of the latency and packet arriving rate in the public road. <p>*MIC: Ministry of Internal Affairs and Communications in Japan</p>
<p>MIC* Research Activities for Next-Generation ITS</p> <p>Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC) in Japan plans to realize an advanced safety driving support system utilizing ICT. With the system, traffic accidents can be avoided on the basis of information transmitted by VtoV, VtoI, VtoP communication.</p> <p>DENSO CORPORATION, PANASONIC CORPORATION, PIONEER CORPORATION, THE UNIVERSITY OF ELECTRO-COMMUNICATIONS are beginning to develop the sophisticated communication technology toward the automated driving system.</p>	<p>Next-Generation Intelligent Transport Systems (ITS) utilizing ICT</p> <p>Field Operation Test (Collaboration with MIT- project and NPA- project)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ NAGOYA-city: To evaluate the communication performance in the real traffic situation like the big intersection. ■ YOKOSUKA-city: To evaluate the communication performance in the communication concentrated situation. ■ KOBE-city: To evaluate the communication performance in the multiple road-side units existed situation.
<p>Perception of the emergency vehicle approach through VtoV Communication</p> <p>The Emergency Motor Vehicle is prioritized.</p>	<p>The study of promotion and penetration</p> <p>Assistance for emergency vehicle traveling</p> <p>Shorten the time to the destination of the emergency vehicle is very controversial problem.</p> <p>Experimental Site :</p>

Example of the simulation DENSO
- Ambulance car passing the simple intersection -



7

Simulation result explains the time reduction of the arriving time DENSO



8

Verification Test DENSO
of the latency and packet arriving rate in the public road

Objective
Verify the VtoV and VtoI communication performance and scalability under the condition that a large number of vehicles exist in the high density

Higher data communication traffic when vehicles equipped with OBE devices increase

Increase a number of vehicles and measure the packet delivery ratio and transmit delay

Low: The communication Reliability and Latency under the congested traffic.

High: Many staying vehicle

Communication performance at the heavy traffic jam is evaluated in the specific area.

Experimental Site : NAGOYA city, YOKOSUKA city

9

Outline of NAGOYA FOT, YOKOSUKA FOT DENSO

Experimental Scale

Area	YOKOSUKA	NAGOYA
Wireless Units	77 units	88 units
Vehicles	17 units	33 units
RSU	1 unit	1 unit

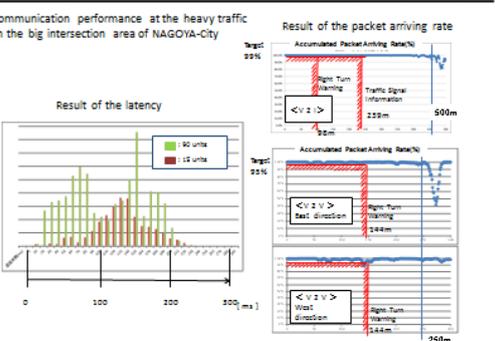
Experiment Area :
NAGOYA-city, KITA-ward, SHIRONI-street-2, intersection
YOKOSUKA-city, OOTSU-ward, intersection

Experiment Purpose

- Verification of the communicable area
- Influence Check of the communicating traffic increase
- Verification of the communicating performance at the high traffic jam.
- Data collection of the ambulance vehicle

10

The study of communication in the cooperative system (V2V, V2I) DENSO



11

Scene of the NAGOYA Field of Test DENSO



12

Next Step DENSO

toward the automated driving system

- Development of advanced communication technology

Applying to the Vehicle Control Scheme

- Usage of the looking-ahead information

13

Thank you for your kind attention! DENSO



14

7.3. 第7章まとめ

SIP 総1の研究開発活動に関しては、研究開発の成果だけではなく、人材の育成、将来の日本の産業の基盤となるべく車車間通信、路車間通信の技術開発においても、ビジネス視点での調査やアンケートに基づく方向付けを行った。

人材の育成に関しては、本年度、技術討論会なる構成員、とくに若手の技術者に担当している技術分野について発表してもらい、いろいろな意見をいただいた。これは、会終了後の調査においても、非常に好評で、各社の取り組みへの理解が深まったとか、尊敬する先生方と直接意見交換したとか、モチベーションの高揚に役立った。

ビジネスプロデューサ会議では、研究開発の視点だけではなく、世界の動向や市場調査などを議論しあって、今後のこの分野の方向性を確認できた。特に、アンケートを実施した車車間通信や路車間通信のマーケット調査では、1200名のモニタを年代、男女あまねく調査し、その意識を調べることができた。

研究開発運営委員会は、須田委員長の下、計3回実施し研究開発の方向性について指導いただいた。昨年課題であった、車車間通信・路車間通信の技術開発の出口が、普及促進から、自動運転への係わりで研究開発をすすめるように変更したのが、大きな出来事であった。時折しも、米国や欧州でも自動運転の高まりがおこり、米国Google社では、公道を自動運転車が走行している実験が紹介されたりもした。

運転支援の分野では、日本が一步先んじて実用化したのが、今後のAutomated Driving and Connected Carにおいては、通信の分野で日本がもっと頑張らないと外国に追い越されてしまう等の危機感が共有された。

ITSに関する世界会議などの取り組みも、本年度は、2回国際会議で発表することができ、世界に対して、研究成果の発信ができた。