

自動走行システムに必要な車々間通信・路車間通信技術の基礎的研究開発*

Study of Vehicle-to-Vehicle and Vehicle-to-Infrastructure Communication Systems for Giving Advantages to Automated Driving Systems

伊藤 敏之
Toshiyuki ITO

As the level of driving automation becomes higher, the ability of automated driving systems to sense in a wider range of driving environments is becoming necessary. Deployment of connected vehicle technology will give advantages to automated driving systems. In this paper, details of the results of our research in four sub-themes are described. Firstly we will discuss the characteristics of 700MHz radio communication technology in real environments using actual vehicles. Next we will discuss arbitration ideas for multiple services/messages generated independently from vehicle-to-vehicle messages, fundamental evaluation results related to the confidence of messages vs. position accuracies, and several ideas for improving the quality of service of radio communication performance.

This study was performed as a research project on automated driving systems under the auspices of the Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP).

Key words :

Automated Driving Systems, Vehicle to Vehicle Communication Systems, Vehicle to Infrastructure Communication Systems

1. 取組みの背景・目的

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。平成26年7月には「ICTを活用した次世代ITSの確立基本計画書¹⁾」を公表しており、研究開発内容として下記3つのサブプロジェクトが示されている。

- I. 自動走行システムに必要な車々間通信・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、上記のうちテーマIに対応して実施するものであり、(株)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社共同で取り組んでいる。なお、テーマIにおける具体的な研究開発課題は、Table 1に示す五つであり、各課題の解決に向けた研究開発を進めている。

Table 1 RGD themes

課題	担当(代表者)
①車々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）	デンソー 難波 秀彰
②車々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）	パナソニック 畑山 佳紀
③普及促進に関する研究開発（普及車載機での評価検証）	パイオニア 松本 令司
④普及促進に関する研究開発（非一般車両アプリケーションの有効性検証）	デンソー 難波 秀彰
⑤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）	電気通信大学 山尾 泰

*一般社団法人 電子情報通信学会の了解を得て、通信ソサイエティマガジン 2015 Winter No.35 より一部加筆して転載

各研究開発課題について、研究開発の初年度となる平成 26 年度に実施した内容を以下に示す。

2. 車々路車協調システムの通信に関する研究開発

(1) 実施概要

本研究開発は、自動走行システムに必要な車々間通信・路車間通信技術の開発を主目的として実施しているが、平成 26 年度は、その基礎研究として 700MHz 帯の安全運転支援システムを実現するための通信品質の確認及び課題の明確化を目的として研究開発を実施した。

具体的には、車々路車協調システムの普及時におけるパケット到達率や遅延時間について、実験及びシミュレーションにより取得し、Table 2 及び Table 3 に示すアプリケーションの通信要件を満足するか否かを検証することを目的としている。Table 2 では、パケット到達率及び遅延時間の要件を示している。この要件は、Table 3 に示すとおり、支援内容により求められる最大通信距離が異なる。なお、通信要件は、情報通信審議会情報通信技術分科会移動通信システム委員会（現在は、陸上無線通信委員会に名称変更）での検討結果に基づく。

Table 2 Communication performance requirements (Packet arrival rate, Delay)

	路車間通信	車々間通信
パケット到達率	99%以上	95%以上
遅延時間	300ms 以下	

Table 3 Communication performance requirements (Maximum communications range)

		路車間通信	車々間通信
最大通信距離	右折時 衝突防止	98m	144m
	信号情報 提供	239m	—

本研究開発では、実環境下でかつ車両が集中し高い通信トラフィックが発生している状態における通信特性が、アプリケーションの通信要件を満足出来るかが重要となる。そこで、公道において意図的に作り出した高い通信トラフィック時における通信特性を取得し、アプリケーションの通信要件を満足しているかを確認することとした。具体的には、平成 26 年度は、横須賀、名古屋、神戸の

交通環境及び通信環境の異なる三つの地域にて、最大 100 台規模の車載機を用いた公道実験を実施し、通信ログ等から通信特性を求めた。

また、実環境での実験では、車載機の普及率を正確に模擬することは困難である。そこで、都市部の道路環境を模擬した通信シミュレーションを実施し、普及率に対する通信特性を解析した。

なお、分析ケースのうち、トラフィック集中時とは、路側機からの路車間通信の電波が受信できるエリアの中に、車々間通信の電波を送信する複数の車両を配置した状況のことを示す。また、ランダム走行は、車々間通信のトラフィックを変化させるため、車々間通信のデータを送信する車両が数 km のエリア内で自由走行を行った。

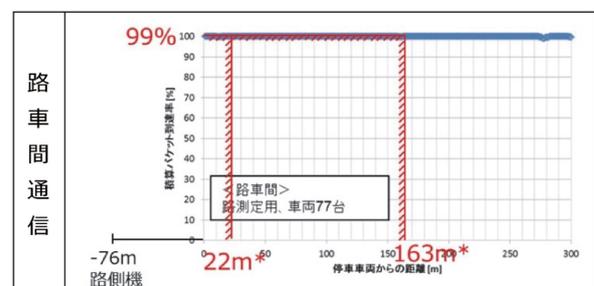
実験実施時は、1 台の車両に複数の車載機を搭載し、通信可能な車両が多く存在する状況を疑似的に再現した。したがって、Table 4 に示すとおり、車載機の台数は車両台数よりも多くなっている。

Table 4 Public road test conditions

実験地域	横須賀	名古屋	神戸
車載機台数	77 台 (最大台数)	93 台	8 台
車両台数	17 台	33 台	8 台
路側機数	1 基	1 基	6 基
分析ケース	交差点での トラフィック集中時	実交通流 ランダム走行時	車路車による 情報伝達

(2) 特定交差点トラフィック集中時

特定交差点にてトラフィックが集中したケースを想定したパケット到達率及び通信遅延の検証について、横須賀で実施した実験結果を Fig. 1 及び Fig. 2 に示す。



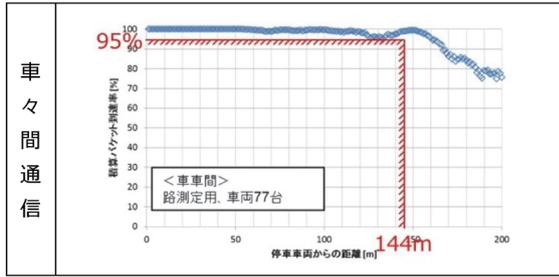


Fig. 1 Packet arrival rate

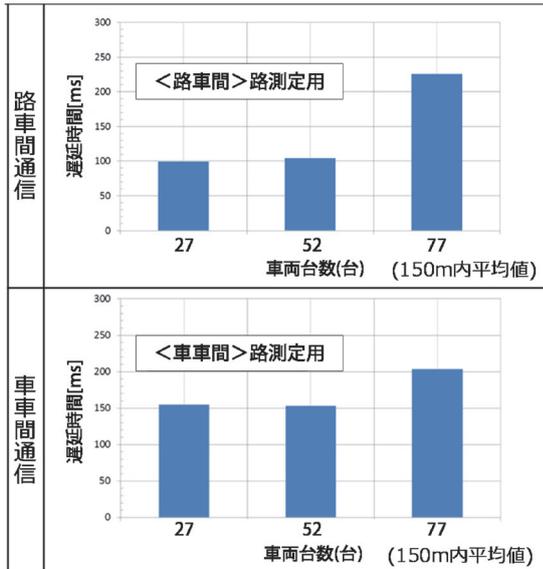


Fig. 2 Communication delay

パケット到達率は、安全運転の支援内容別に要求される最大通信距離の範囲内で、路車間通信が99%以上、車々間通信が95%以上の要件を満足する結果が得られた。

通信遅延については、車両台数が27台、52台、77台のいずれの条件においても300ms以下の要件を満足する結果が得られた。

(3) 大都市交差点モデル

大都市の交差点周辺における通信特性について、市販電波伝搬シミュレータ²⁾により得られた結果をFig. 3及びFig. 4に示す。なお、シミュレーション条件はTable 5の通りである。Fig. 3及びFig. 4において、路車間通信の場合は、Table 5の道路構造条件における片側3車線道路同士の間隔の交差点に向かって速度70km/hで走行する評価車両と、当該交差点に配置した路側機との間の通信特性を示している。また、車々間通信の場合は、前記車両と、前記交差点から49m離れた位置に配置した車両との間の通信特性を示している。なお、これらの路側機及び車

両の配置については、総務省情報通信審議会³⁾における検討結果に基づき設定した。

シミュレーションを行った結果、パケット到達率については、路車間通信は渋滞状態(43台/km)かつ車載機普及率100%の条件で到達率99%以上を満たす結果が得られた。車々間通信は渋滞状態かつ車載機普及率100%の条件では到達率95%以上の要件を満たすことが出来なかったが、車載機普及率50%の条件では到達率95%以上の要件を満足する結果が得られた。

通信遅延については、路車間通信、車々間通信ともに300ms以下という要件を満足する結果が得られた。

Table 5 Simulation conditions

道路構造	3,000m×1,800mの範囲の中央に片側3車線道路を縦横各1本、300m間隔で片側2車線道路を格子状に配置。さらにその間に50m間隔で片側1車線道路を配置。
交通流条件	市販交通流シミュレータ[4]を用い、上記道路構造における交通流を生成。
路側機配置	片側2車線以上の道路同士が交わる全交差点に配置。その内、片側3車線道路同士の間隔の交差点及びそこを中心に900m毎に現れる交差点を送信データ量が多い重要交差点と定義。
送信データ量	車載機：100byte 路側機：1,000byte×4パケット(重要交差点)、1,000byte×1パケット(一般交差点)
通信条件	路側機及び車載機の通信プロトコルはARIB STD-T109に準拠して設定。路車間通信期間数は9とし、路側機配置及び送信データ量を考慮して期間長を設定。期間長の合計は12.24ms。
電波伝搬モデル	距離減衰モデルとして、車々間通信は伊藤ら[5][6]、路車間通信は浦山ら[7]が提案したモデルを使用。フェージングは正規分布に従うものと、標準偏差は車々間通信においては3.89dB、路車間通信においては1.89dBとした。但し、損失のみを考慮した。車両遮蔽損失は車々間通信でのみ考慮し、見通し内条件において2.1dB、見通し外条件において2.3dBとした。

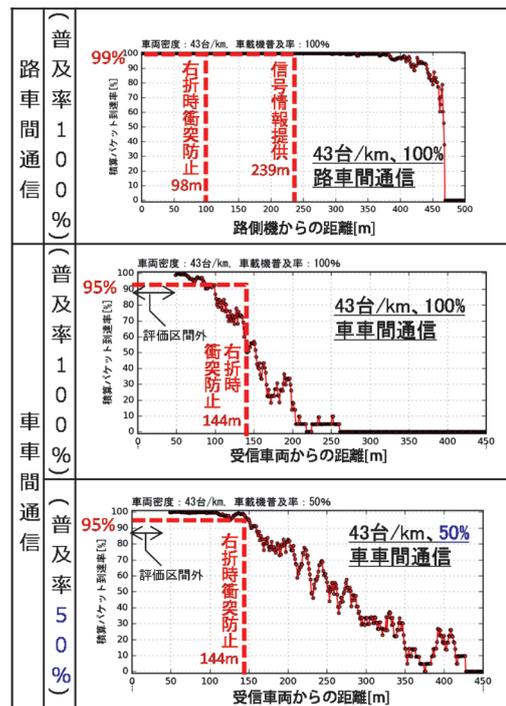


Fig. 3 Simulation result (packet arrival rate)

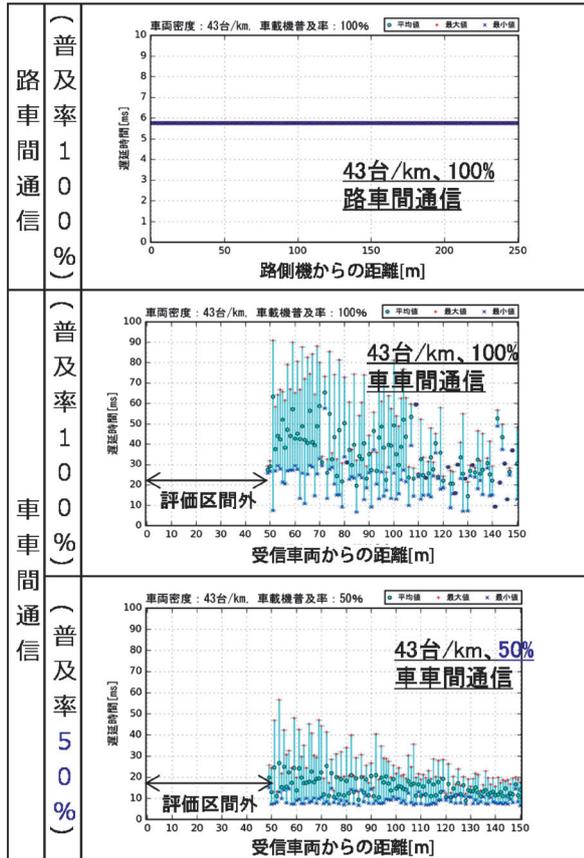


Fig. 4 Simulation result (communication delay)

(4) 実交通流ランダム走行

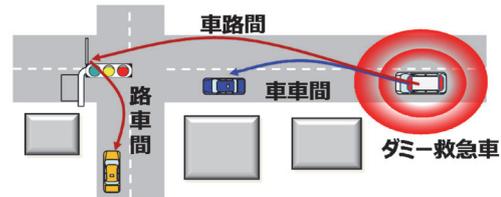
名古屋で実施した実験では、実際の交通流の中で車載機搭載車両をランダムに走行させた際のパケット到達率及び通信遅延について検証を行った。

実験の結果、パケット到達率は、路車間通信は99%以上、車々間通信は95%以上という要件をほぼ満足する結果が得られた。通信遅延は、路側機が実運用されており、路車間通信に関する測定は出来ていないが、車々間通信は300ms以下という要件を満足することが出来た。

(5) 車路車による到達エリアの拡張

神戸にて実施した実験では、車両から路側機を介して別の車両に情報を伝達させることによる到達エリアの拡大の可能性について検証を行った。

検証の結果、Fig. 5 に示す通り車々間通信の到達距離が466.5mであった条件下で、車路車間通信では1.3倍の距離となる606.45m先までパケットが到達することを確認した。



〈車→車の到達距離〉 計測車両2から 466.5 m
 〈車→路→車の到達距離〉 計測車両2から 606.45 m

Fig. 5 Definition of Vehicle-Infrastructure-Vehicle communication path

3. 車々路車協調システムのサービスに関する研究開発

(1) 実施概要

本研究開発は、車々路車協調システムにおいて、車々間通信、路車間通信の双方から受信した情報内容が重複している場合や、複数の支援サービスの競合が発生した場合における、運転者への適切な支援手法を検討し、車載システムへの実装を行って評価・検証を行うことを目的としている。

支援発生時の状態や運転者の反応を解析するため、車両周辺の状況や運転者の行動を観測するための映像、車両の挙動を観測するためのCANやセンサのデータ、車々間・路車間通信による受信データ、そしてこれらのデータと支援結果等を関連付けて記録する運転支援結果記録システムを開発する。

平成26年度は、車々間・路車間通信を利用した複数の運転支援が同時発生した場合の支援手法の検討、検討結果を実装した車載システム及び運転支援結果記録システムの開発を行い、テストコースならびに公道での評価・検証を実施した (Table 6)。

Table 6 Evaluation and validation conditions

場所	テストコース (模擬市街路)	公道 (名古屋市内)	公道 (神戸市内)
日程	2015年1月26日 ~30日	2015年2月12日 ~19日	2015年3月2日 ~5日
実験項目	①②③	①③	②④
車両	評価車両2台 模擬緊急車両1台 対向車両1台	評価車両3台 模擬緊急/ 対向車両3台	評価車両3台 模擬緊急車両4台 対向車両3台
路側機数	1台(実験局)	1台	6台

- ①: 路車-右折時衝突防止支援と車々-緊急車両接近情報提供の競合
- ②: 車々-右折時衝突防止支援と車々-緊急車両接近情報提供の競合
- ③: 路車-右折時衝突防止支援と車々-右折時衝突防止支援の競合
- ④: 路車-緊急車両接近情報提供と車々-緊急車両接近情報提供の競合

(2) 実証実験時の運転支援手法

実証実験時の運転支援手法は、Fig. 6 に示すとおり発生中の支援内容は全て提示しつつ、最も優先的に運転者に知らせるべきと判断した情報については、目立つ表示と音声で知らせる手法（HMI）とした。

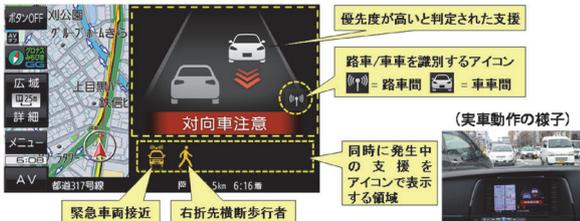


Fig. 6 Screen image of driving support function

なお、運転者に優先的に知らせる支援を選択する手法としては、Table 7 の二つのロジックを検討し、実証実験にて比較・検証を行った。

Table 7 Driving assistance methods

ロジック A : Time-To-Collision (TTC : 衝突余裕時間) により支援優先度を決定 自車とその事象に出会うまでの時間を算出し、その時間が短いものを選択する。 TTC が等しい場合は、ロジック B の優先度テーブルを参照する。
ロジック B : サービスの種別ごとに設定した支援優先度 (テーブル) に従い決定 事故防止系のサービスを情報提供系のサービスより優先する。 事故防止系のサービスは路車間サービスを車々間サービスよりも優先する。 緊急車両接近情報提供は、車々間通信情報の路側機による転送であるため、車々情報を優先する。

(3) 実証実験システム構成

実証実験にて用いたシステムの構成を Fig. 7 に示す。複数の運転支援が同時発生した場合の支援手法（HMI）を組み込んだ車載機を搭載するとともに、車々間・路車間通信情報や支援結果情報等より運転支援結果を記録するシステムを搭載した。

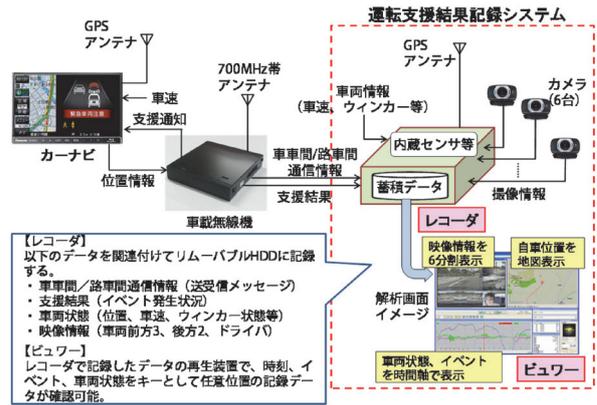


Fig. 7 System architecture of experimental system

(4) 実験シナリオ

テストコース（模擬市街路）及び名古屋で実施した実験のシナリオを Table 8 及び Table 9 に示す。

Table 8 Experiment scenario (test course drive)

異なる支援の競合	① 路車-右折時衝突防止支援と車々-緊急車両接近情報提供の競合 シナリオ 1 : 緊急車両が左方から接近する場合 2 : 緊急車両が右方から接近する場合 3 : 緊急車両が前方から接近する場合 4 : 緊急車両のみ前方から接近する場合 5 : 緊急車両が後方から接近する場合
	② 車々-右折時衝突防止支援と車々-緊急車両接近情報提供の競合 シナリオ 1 : 緊急車両が左方から接近する場合
同一支援の競合	③ 路車-右折時衝突防止支援と車々-右折時衝突防止支援の競合 シナリオ 1 : 対向車両が車載機を搭載している場合

Table 9 Experiment scenario (city drive)

異なる支援の競合	①路車-右折時衝突防止支援と車々-緊急車両接近情報提供の競合 シナリオ 2 : 緊急車両が右方から接近する場合 3 : 緊急車両が前方から接近する場合 5 : 緊急車両が後方から接近する場合
同一支援の競合	③路車-右折時衝突防止支援と車々-右折時衝突防止支援の競合 シナリオ 1 : 対向車両が車載機を搭載している場合

(5) 実験結果

「路車-右折時衝突防止支援」と「車々-緊急車両接近情報提供」が競合した状況で、緊急車両が右方から接近（緊急車両が先に交差点に進入するパターン）において、支援優先度テーブルのみを使用したロジック B では Fig. 8 に示すとおり目の前を緊急車両が通過するにもかかわらず、対向右折支援が優先される事象が発生した。一方、TTC を使用したロジック A においては、概ね想定どおりに適切な支援が行われることが確認できた。但し、Fig. 9 に示すとおり相手車両との位置関係が特定の状況において、ロジック A でも短時間で優先する支援が

変化してしまう事例も確認された。

上記結果から、今後の検討では、ロジック A を基本とし、より安定的な支援が実現できるよう更なる改良と評価が必要である。

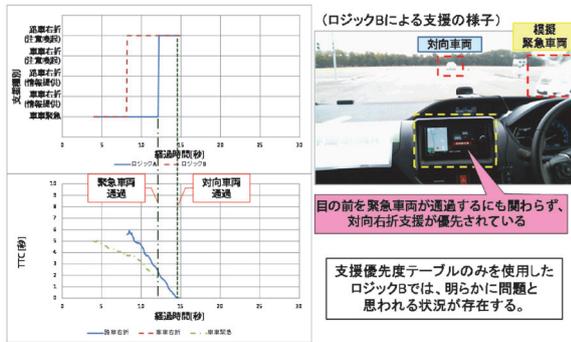


Fig. 8 Test result (logic B)

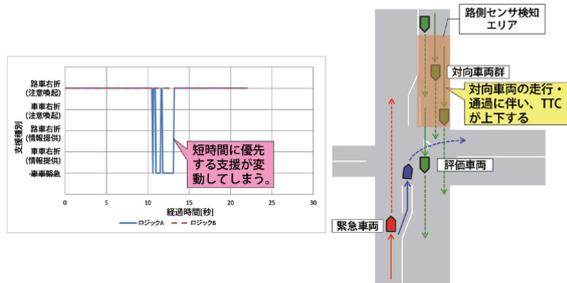


Fig. 9 Test result (logic A)

4. 普及促進に関する研究開発 —普及車載機での評価検証—

(1) 実施概要

自動走行システムの導入段階においては、様々な形態の車々間通信機器が存在することが想定され、その普及促進のためには、既に実用化されている機器と同等レベルの車載機を用いて運転支援サービスの実用性を実環境で検証しておくことが必要である。そこで本研究開発では、多様な道路状況における実用性評価を行うことを目的としている。

具体的には、既に実用化されている機器を基本とした実証用車載機を用いて、横須賀の2つのエリアを対象に単純な道路環境下における運転支援サービスを想定した車両の測位位置の誤差についての基礎評価を実施した (Table 10, Fig. 10)。

Table 10 Experiment conditions

場所	横須賀リサーチパーク (YRP) 周辺、平成町周辺
日時	2015年2月23日~27日 (5日間)
実験規模	車両3台、車載機9台



Fig. 10 Snapshot of Evaluation

(2) 検証項目及び検証手法

実証実験においては、車載機実走ログの位置情報の誤差がTTCに与える影響について調査を行った。誤差を求めるにあたっては、精度の高い車両位置情報 (以下、リファレンス位置) を算出し、車載機実走ログの位置情報と比較し誤差を算出した。

なお、リファレンス位置の算出は、RTK-GPSにより道路周囲の構造物 (以下、ランドマーク) の位置を測定し、走行時に車両に設置したハイスピードカメラによってランドマークを撮影することで、相対的に車両前後方向の位置を算出する手法を用いた。車両横方向の位置に関しては、車両にレーザレンジセンサを設置し、距離を計測することで算出した。

(3) 実証実験システム構成

実証実験にて用いたシステムの構成を Fig. 11 に示す。実験車両には3台の車載機、通信機を搭載し、3種類の測位システム (① GPSのみ、② GPS+センサー、③ GPS+センサー+マップマッチング) によりそれぞれ位置情報の取得を行った。

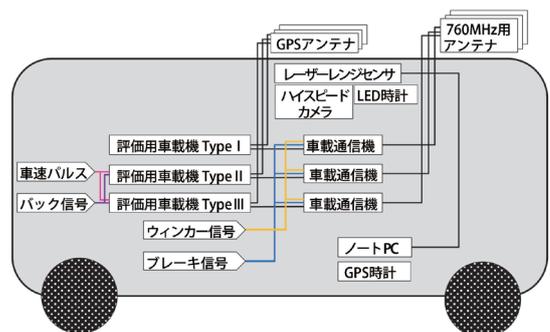


Fig. 11 System architecture of experimental system

(4) 実験条件

走行実験は、支援シーンとして出会い頭と右折直進のシーンを想定し、二つのエリアについて **Table 11** に示す回数の走行を行い、上述の3種類の測位システムにより位置情報の取得を行った。

Table 11 Test scenarios

場所	想定支援	走行コース	走行回数
YRP	出会い頭	パターン 1	8回 (約 15分/回)
	右折直進	パターン 2	8回 (約 15分/回)
平成町	出会い頭	パターン 1	2回 (約 30分/回)
		パターン 2	3回 (約 30分/回)
	右折直進	パターン 3	2回 (約 30分/回)
		パターン 4	3回 (約 30分/回)

(5) 実験結果

実験実施結果の一部例を **Fig. 12** 及び **Fig. 13** に示す。

横須賀市平成町周辺における走行パターン1での取得データから、リファレンス位置と車載機ログの自転車位置との差を車両進行方向成分と横方向成分に分解して集計した結果を、誤差の平均値と標準偏差による正規分布の曲線を **Fig. 12** に示す。位置情報の誤差がTTCに与える影響を評価するために、リファレンス位置から算出したリファレンスTTCと実測位置から算出した実測TTCを比較したグラフを **Fig. 13** に示す。本走行検証実験においては運転支援が起きるようにタイミングを合わせた走行を行っていないため、TTCは相手車両の前後方向の位置誤差と相手車両の車速から算出した。理論値の直線よりも下側にある場合には実測TTCが本来のTTCよりも短く、支援が早く発生する状況であることを示している。

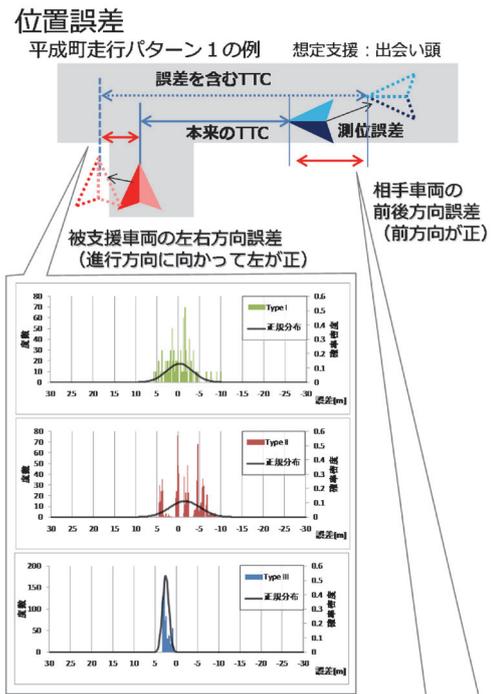


Fig. 12 Position error analyses (1)

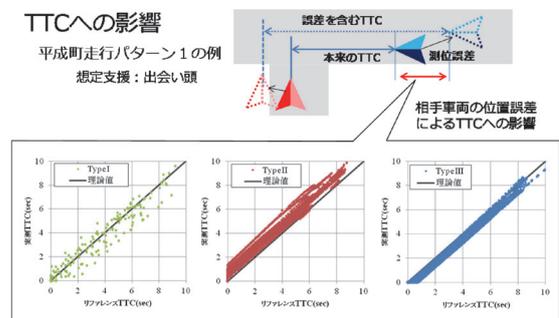


Fig. 13 Position error analyses (2)

5. 普及促進に関する研究開発-非一般 車両アプリケーションの有効性検証-

(1) 実施概要

本研究開発は、緊急車両が車々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ことを目的としている。平成 26 年度に実施した内容は、以下の 4 点である。

- ①緊急走行車両周辺の一般車両の挙動や道路条件影響調査
- ②救急車からの車々間通信エリア確認
- ③一般ドライバーの緊急車両走行時の退避行動モデルのパラメータ推定
- ④緊急車両の到着時間短縮効果の基礎シミュレーション

(2) 救急車からの車々間通信エリア確認

救急車からの車々間通信エリア確認として、救急車型の車両に車載機を搭載し、公道実験を実施した。

(3) 一般ドライバーの緊急車両走行時の退避行動モデルのパラメータ推定

一般ドライバーの緊急車両走行時の退避行動モデルのパラメータ推定として、ドライビングシミュレータを使用し、救急隊員へのヒアリング、ドライビングレコーダ画像、定点カメラ画像の解析を通して設定した緊急車両走行シナリオに対し、データを取得した。この結果を基に Fig. 14 に示す緊急車両の退避行動の意思決定フローを作成するとともに、ブレーキ操作やステアリング操作等のパラメータを設定した。

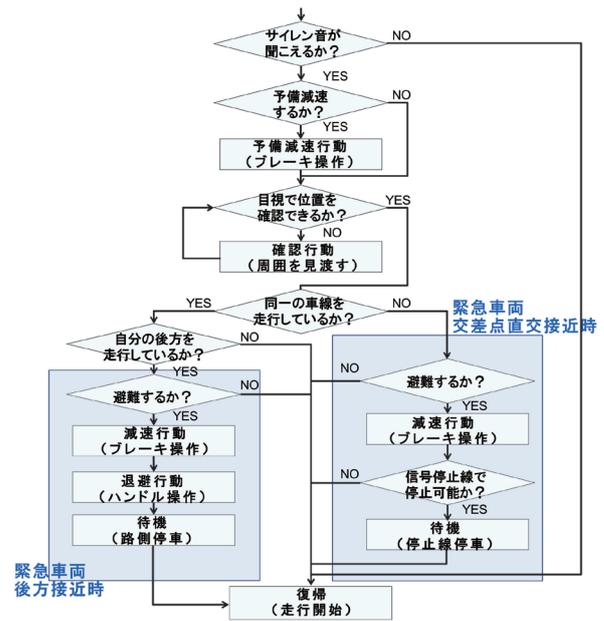


Fig. 14 Assumption of decision making flow

(4) 緊急車両の到着時間短縮効果の基礎シミュレーション

交通流シミュレータ上に緊急車両走行時の一般車両の退避行動を組み込み、車々間通信による緊急車両の接近情報を一般車両に提供する支援アプリケーションの有無を設定し、設定の違いによる緊急車両の移動時間を検証した。今回は、基礎的な条件として比較的小規模で一般車両の走行速度が遅い単一交差点を設定した。

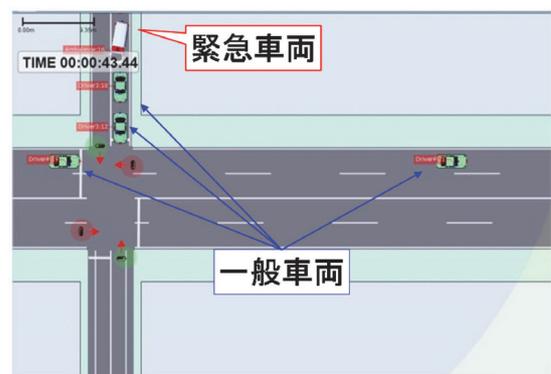


Fig. 15 A simulation scenarios

また、緊急車両の接近情報の提供方法として、接近情報のみを提供した場合と、それに加えて位置情報も提供した場合について検証した。さらに、一般車両への車載機の普及率による緊急車両の移動時間の違いについても検討を行った。

その結果、一般車両の後方から緊急車両が接近するシナリオにおいては (Fig. 15), 位置情報の提供により緊急車両の移動時間を短縮できる可能性があることが分かった。一方で、信号交差点の直交する方向から緊急車両が接近する状況においては、緊急車両の移動時間の短縮効果は見られなかった。今後はより大規模の交差点での評価や複数の交差点を含む移動経路における評価が必要と考えられる。

6. 自動走行の通信に関する研究

(1) 実施概要

本研究開発は、自動走行の実現に向け、現在の安全選手支援を実現するための車々間通信システムと比較し、無駄な中継パケットの削減や効果的な中継器の活用により更に高信頼かつ低遅延の無線通信を目指した、発展的な車々間ネットワークの開発を目的としている。

平成 26 年度に実施した内容は、以下の 3 点である。

① 多次元分散協調による高信頼車々間通信の調査・研究

①-1 分散協調 Space-Time Block Codes (STBC: 時空間符号) による高信頼マルチホップ伝送の検討

①-2 電波環境の観測及び統計化による周波数高効率利用の検討

② 路側中継器による棲み分け型協調中継システムの調査・研究

③ 高信頼・低遅延車々間通信を実現する誤り訂正符号化技術の調査・研究

(2) 多次元分散協調による高信頼車々間通信の調査・研究 一分散協調 STBC による高信頼マルチホップ伝送の検討⁸⁾

自動走行環境では高信頼な情報伝送手段が要求される。一方、現状の車々間通信をそのまま適用した場合、フェージングやシャドウイングによる信頼性低下、大電力送信や複数回送信による他の車々間通信端末への干渉、などの懸念がある。

このような課題に対し、本研究では STBC に基づく分散協調 Automatic Repeat reQuest (ARQ: 自動再送要求) 法を提案している (Fig. 16)。具体的には、STBC を適用し、複数ノード協調ブロードキャストによる信頼性向上を図

るとともに、各車両の位置や移動ベクトルを考慮し、道路方向に沿った方向性繰り返し送信を行う。加えて、信頼度向上に貢献しやすいノードのみを中継に選択することで不要な繰り返し送信を削減し、ネットワーク全体の省電力化と高信頼化を図っている。

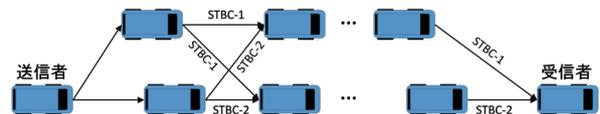


Fig. 16 Conceptual diagram of STBC Multi-hop Network

本手法の有効性を確認するため、車々間通信を想定した電波伝搬環境において、パケット損失率及び電力効率の評価を行った。なお、本評価は、送信者から受信者への直接通信、AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector) によるマルチホップ伝送、全中継型の STBC 分散 ARQ 方式の 3 方式を比較する形で行った。

評価の結果、提案手法は AODV と比較して信頼性の高い通信を実現できることを確認した (Fig. 17)。また、1 パケットを伝送するのに必要な消費電力の特性を評価し、全中継型に匹敵する高信頼性を省電力で実現できることを確認した (Fig. 18)。

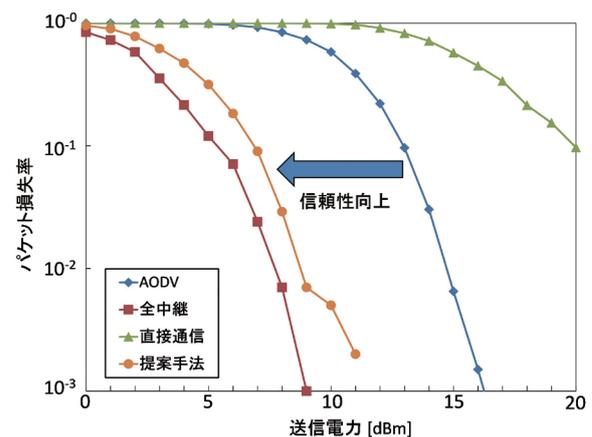


Fig. 17 Packet error rate

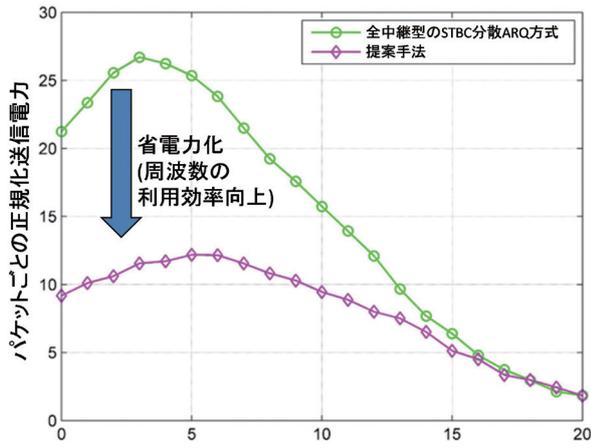


Fig. 18 Evaluation result of power efficiency

(3) 多次元分散協調による高信頼車々間通信の調査・研究 — 電波環境の観測及び統計化による周波数高効率利用の検討 —

自動運転アプリケーションでは多様な要求を持つ情報を周囲の無線環境に適応させて情報交換する必要がある。一方、周辺電波環境の統計情報を用いることで環境に適応したプロトコルやパケット送信間隔の設定が可能であることから、基礎的な観測手法について実験的に検証を実施した。

観測実験では、連続信号観測用スペクトラムアナライザと平均電力観測用ソフトウェア無線機等を用いて、固定観測と移動観測を行い、周辺に存在する ITS システムの電波環境を観測した (Table 12)。

Table 12 Experiment conditions

期間	2015年2月10日~12日
場所	愛知県名古屋市北区城見通り2丁目 交差点付近
概要	<p><観測機器構成></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ テクトロニクスRSA306(連続信号観測用スペクトラムアナライザ) 2台 ■ USRP N210 with WBX(平均電力観測用ソフトウェア無線機) 2台 ■ ノートPC 4台 アンテナ 4本 GPSモジュール 4個

観測の結果、固定観測では、車載機搭載車両が走行している時間帯において複数の路側機・車載機の信号を観測し、走行していない時間では路側機からのビーコン信号のみを観測した。また、累積分布より信号の時間的占有率の傾向が把握可能であることを確認した。移動観測では、-60dBm 程度の周期的な信号に加え、車載機が発

生源であると考えられる電力が変動する信号を確認した (Fig. 19)。

以上から、平均受信電力値の空間的な分布、路側機の時間的占有率、車々間通信の混雑度等の基本環境の統計化が可能であることが示唆された。

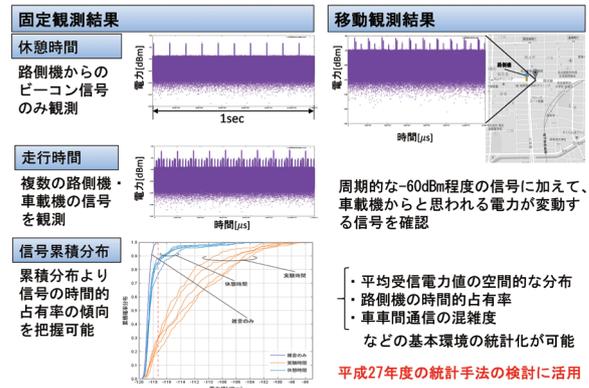


Fig. 19 Observation of received signals

(4) 路側中継器によるすみ分け型協調中継システムの調査・研究⁹⁾

車々間・路車間通信では、道路上の多数の車載機と路側機が自律分散パケット通信を行う。この場合、ノード位置による隠れ端末問題によって誤りが発生するため、高信頼通信を実現する上で大きな課題となる。したがって、車載機と路側機の位置を考慮した棲み分けアクセス法が必要である。

上記課題に対し、1台の路側中継器による分散中継通信の分析と改善法の検討を行った。

検討の結果、車々間通信パケットを路側中継器で中継することで、通信信頼度の向上が図れることを確認した。加えて、路側中継器をセクタ化することで、車々間直接通信と中継通信の干渉を更に減らし、通信信頼度を高める方法を提案し、その効果が大きいことを確認した (Fig. 20)。

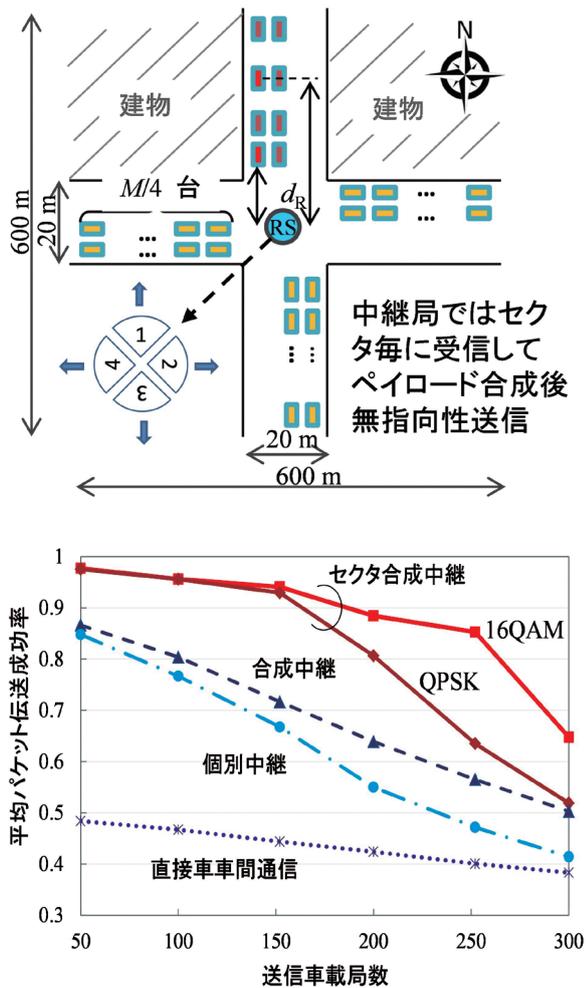


Fig. 20 Simulation result

(5) 高信頼・低遅延車々間通信を実現する誤り訂正符号化技術の調査・研究¹⁰⁾

一般に、高信頼性を達成するためには極力長い符号長の適用が望ましい。一方、符号長の長さに比例して信号の送信から復調までの遅延時間が増大するため、自動運転環境においては、限られた符号長で高信頼な通信を実現できる手法が必要とされる。

そこで、有限符号長において優れた性能を持つ符号の設計を行うとともに、複数の車両（端末）で協調することにより高信頼通信を実現する手法について基礎検討を行った。

今回検討を行った符号化法では、十分に短いパケット長の符号を実現するとともに、フェージングによる通信品質の劣化の平滑化を実現することを確認した。今回の結果を踏まえ、今後は情報共有による遅延等についての更なる検討が必要である (Fig. 21, Fig. 22)。

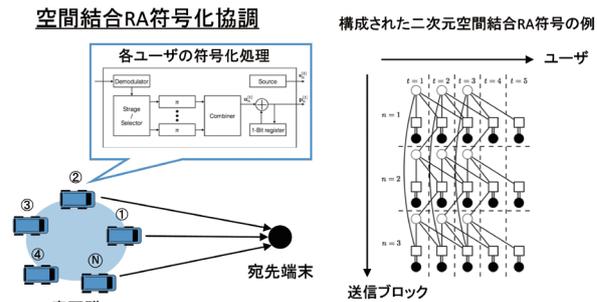


Fig. 21 Diagram of the proposed method

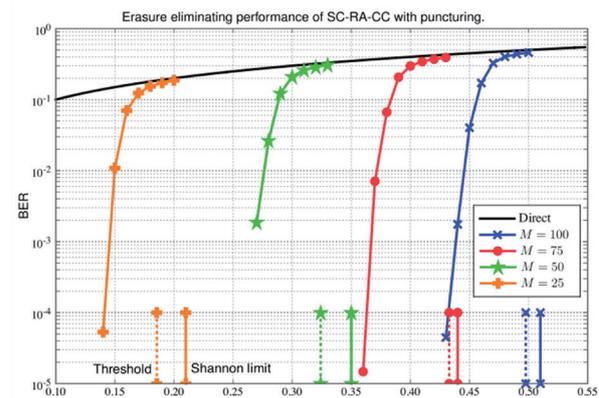


Fig. 22 Erasure eliminating performance of SC-RA-CC with puncturing

7. 今後の展開

3カ年に渡り実施予定の研究開発のうち初年度となる平成26年度は、各課題について研究開発環境の構築及び基礎的な検証を実施し、成果を得ることが出来た。

「車々路車協調システムの通信に関する研究開発」では、多数の車両が存在する中でのパケット到達率及び遅延時間の通信特性について、実験を実施した特定交差点で通信要件をほぼ満足する結果が得られた。ただし、渋滞状態（1車線当たり43台/km）かつ車載機普及率100%という高いトラヒックが集中して発生している条件におけるシミュレーションにおいて、車々間通信の到達率が通信要件を満たすことが困難な可能性もあるという結果が得られた。

「車々路車協調システムのサービスに関する研究開発」では、複数の支援サービスが競合した際の支援ロジックの検討と評価ツールの構築を行った。

「普及促進に関する研究開発－普及車載機での評価検証－」では、車載機の位置情報の誤差が衝突余裕時間

に与える影響についてその度合いを確認した。

「普及促進に関する研究開発－非一般車両アプリケーションの有効性検証－」では、緊急車両の到着時間短縮効果のシミュレーション環境を構築し、今後の各種検証の環境を構築した。

「自動走行の通信に関する研究」では、高信頼かつ低遅延の車々間ネットワーク技術の調査研究を実施し、高信頼・低遅延の車々間通信を実現する誤り訂正符号化技術を実現する手法の基礎検討を行った。

平成 27 年度は上記平成 26 年度の成果を踏まえ、引き続き各研究開発課題について取組みを進める予定である。

「車々路車協調システムの通信に関する研究開発」では、パケット到達率が要件を満たさなかった条件や通信遅延が発生した地点の特徴分析や、平成 26 年度の公道実験では存在しなかった環境におけるパケット到達率や通信遅延等の通信特性の検討も行う予定である。

「車々路車協調システムのサービスに関する研究開発」では、平成 26 年度に開発を行った運転支援のロジックを基本とし、より一層の安定的な支援が実現できるようなロジックの改良及びその評価を実施する予定である。

「普及促進に関する研究開発－普及価格帯レベルの実証用車載機において、様々な道路状況における模擬環境下の運転支援サービスについての応用評価を行う予定である。また新たなテーマとして「公共交通アプリケーションの有効性検証」にも取組み、自車周辺を運行する旅客運送自動車の旅客乗降状態や運行に関する情報をもとに接触事故を予防する運転支援サービスについての基礎評価を行う予定である。

「普及促進に関する研究開発－非一般車両アプリケーションの有効性検証－」においては、緊急車両接近通知アプリによる支援の有無によるドライバー行動データ取得とドライバー行動モデル作成を行い、複数の道路や交差点を含む緊急走行シナリオにおける到着時間短縮効果について検証する。

「自動走行の通信に関する研究」では、道路形状に合わせた中継制御法の検証、多次元観測情報の観測および統計化技術の確立、複数中継の棲分け方式の考案、有

限長誤り訂正符号とそれを用いた分散符号化協調技術の構築などを行う予定である。

本技術は、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)・自動走行システムに関わる研究開発の一部である総務省の「ICTを活用した次世代 ITS の確立」による委託を受けて実施した研究開発による成果です。

参考文献

- 1) 総務省, ICTを活用した次世代 ITS の確立 基本計画書, 平成 26 年.
- 2) Qualnet, Scalable Networks Technologies, <http://web.scalable-networks.com/content/qualnet>
- 3) 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 移動通信システム委員会, 700MHz 帯安全運転支援通信システムの技術的条件報告書(案), 平成 23 年.
- 4) PTV Vissim, PTV GROUP, <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>
- 5) 伊藤義信, 多賀登喜雄, “車々間通信環境における見通し外伝搬損失推定”, 2008 信学総大(通信), no. B-1-61, p. 61, March 2008.
- 6) 伊藤義信, 多賀登喜雄, 村松潤哉, 鈴木徳祥, “車々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, Jan. 2007.
- 7) 浦山博史, 白永英晃, 山田雅也, 平山泰弘, 杉浦泰伸, 澤田学, “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, pp. 1-6, Jan. 2012.
- 8) C.-H. Diem and Takeo Fujii, “An Efficient Distributed Cooperative Diversity Method for STBC-OFDM Multi-hop Networks”, 信学技報, RCS2014-258, 2014 年 12 月
- 9) L.T. Trien, 山尾泰, “セクタ化受信中継局を用いたパケット合成中継法による車々間通信の品質改善効果”, 信学技報, RCS2014-222, pp.13-18, Dec. 2014.
- 10) 武石直樹, 石橋功至, G. Abreu, “分散多次元空間結合 Repeat-Accumulate 符号”, 信学技報, RCS2014-313, pp.71-76, March 2015.

著者



伊藤 敏之

いとう としゆき

技術企画部

車々間・路車間通信応用システムの企画・

開発に従事