

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

Development of V2V, V2I Communication Technology Toward the Automated Driving Systems

代表研究責任者 難波秀彰 株式会社 デンソー

研究開発期間 平成 26 年度～平成 28 年度

【Abstract】

In order to realise the safest road-transport society, in addition to the higher autonomous driving support system, it is very effective and useful to use the vehicle to vehicle, vehicle to infrastructure communication technology. This technology is expected to be higher and sophisticated toward the automated driving systems. This project took the following themes as the practical themes by the four company team (DENSO, Panasonic, Pioneer, The university of Electro-Communications).

- To study the communication performance in the era of widely penetrated.
- To study the services to accelerate V2V, V2I technology widely penetrated.
- To study the necessary communication technology of the cooperative automated driving system.
- To investigate the services and its evaluation of the cooperative automated driving system.

The results of the studies shall be the basic technology of the incoming cooperative automated driving system, and contributed to the safest road-transport society.

1 研究開発体制

- 代表研究責任者 難波秀彰 (株式会社 デンソー)
- 研究分担者 難波秀彰 (株式会社 デンソー)
畑山佳紀 (パナソニック株式会社)
矢部一夫 (パイオニア株式会社)
山尾泰 (電気通信大学)
- 総合ビジネスプロデューサ 杉浦孝明 (三菱総合研究所)
- ビジネスプロデューサ 伊藤敏之 (株式会社 デンソー)
阿部朋明 (パナソニック株式会社)
柴崎裕昭 (パイオニア株式会社)
藤井威生 (電気通信大学)
- 研究開発期間 平成 26 年度～平成 28 年度
- 研究開発予算 総額 1,053 百万円

(内訳)

平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度
498 百万円	334 百万円	221 百万円

2 研究開発課題の目的および意義

日本における交通事故の現状は、これまでの国を挙げた長年にわたる努力の成果により、交通事故死者は減少してきてはいるものの、依然として大きな社会問題となっている。そのような中、平成 25 年に IT 総合戦略本部決定された「世界最先端 IT 国家創造宣言」（平成 28 年 5 月改訂）では、「2020 年を目処に交通事故死者数を 2500 人以下とし、2020 年までに世界一安全な道路交通社会を実現する」、「自動走行に関して、平成 32 年までに高速道路での自動走行や限定地域での無人自動走行による移動サービスが可能となるよう、平成 29 年度までに必要な実証を可能とすることを含め取組を推進する」という国家目標が掲げられた。このために、車の自律系システムと車と車、道路と車で情報交換等を行う協調型システムを組み合わせることによる、2020 年代中の自動走行システムの試用開始の実現に向けた研究開発が、各所で盛んに行われている。特に、通信を使った協調型自動走行システムは、車載センサーのみを用いた自律型自動走行システムでの車両周辺の状況認識の範囲を拡大させるシステムであり、車車間通信により取得・提供した周辺の車両情報（位置、速度、ウィンカー等の情報）、路車間通信により取得した周辺の道路交通情報（信号機、交差点における車両・歩行者等の情報）を活用することにより、スムーズな自動運転の実現や安全運転支援の高度化に貢献すると考えられている。

本研究開発は、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実施されたものである。本研究開発においては、自動走行システムの実現に必要な高度な通信性能や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った。具体的には、公道等における実証実験を通じて、多数の自動車が存在する状況等において車車間通信・路車間通信が確実にかつ遅延なく行えることを検証するとともに、必要情報の抽出や支援判断等の技術に関する検討と新しい通信技術の検討・提案を行った。

3 研究開発成果（アウトプット）

「ICT を活用した次世代 ITS の確立 基本計画書」に記載されている 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の到達目標は「実用環境下(多数の車両(緊急車両、バス、一般車両等)が混在する公道)において、多数の車載機が交差点に存在する場合でも、確実に通信を成立させる。」であるが、課題やアプローチが多岐に渡るため、個別の目標を以下のように設定した。

- (1) 車載機普及時における通信特性の評価
- (2) 車載機普及に向けたサービス観点での評価、開発、検証
- (3) 協調型自動走行に必要な通信技術の開発
- (4) 協調型自動走行のサービスの検討とその成立性の検証

3. 1 車両集中交差点における通信特性の評価

(1) 車載機普及時における通信特性の評価

現在、我が国では安全運転支援用の通信が実用化されており、交差点等における事故防止効果が期待されている。自動走行に通信を適用する上でも、既に実用化されている通信（700MHz 帯 ITS 通信）を活用することが、早期実現性や今後の普及に関して有効だと考えられる。ただし、周波数リソースが限られているため、多くの通信機が特定の範囲内で通信を行う場合に、通信特性が低下する可能性がある。車載機が普及した段階において、車両が集中する交差点でそのおそれが高い。本研究では、100 台規模

の車載機を用いた公道実験を交差点等で実施し、通信特性の評価を行った。交通条件や通信条件の異なる3地域（横須賀市、名古屋市、神戸市）での実験の結果、普及時においても安全運転支援の通信要件（通信品質、遅延時間）を満足することを確認した。さらに車両が大量に集中する大規模交差点については、シミュレーションにより車載機搭載率に対する通信特性を明らかにした。

3. 2 非一般車両アプリケーションの有効性評価

(2) 車載機普及に向けたサービス観点での評価、開発、検証

車載機の普及促進策の1つに、緊急車両等の非一般車両への搭載を推し進めることが考えられる。非一般車両への搭載が進むことで、通信によるサービス機会が確実に増えるため、一般車両のユーザへ訴求効果があると考えられるが、一方で非一般車両のユーザにも搭載によるメリットが必要となる。本研究では、一般車両に搭載される緊急車両接近通知アプリケーションによって、一般車両が迅速に退避行動を行い、結果的に緊急車両が目的地に到着する時間が短縮されるという仮説を設定し、その検証を行った。名古屋市等の救急車に車載機を搭載し、実データ収集を行った。その結果、救急車の視認距離やサイレン音聴取距離に対し、より手前で通信が成立しており接近通知アプリケーションにより、退避操作までの余裕時間が出来ることを確認した。また、75人の被験者を対象としたドライビングシミュレータを用いたドライバー行動データの取得を行った結果、救急車が後方より接近した場合に接近通知アプリケーションにより認知・退避操作タイミングが早まることを確認した。これらのデータを基にシミュレーションを行った結果、一般車両への搭載率が10%であっても到着時間短縮効果があり、搭載率50%で約7%の時間短縮効果があることを確認した。

3. 3 車車間通信データ処理の効率化手法の確立

(2) 車載機普及に向けたサービス観点での評価、開発、検証

(4) 協調型自動走行のサービスの検討とその成立性の検証

周囲の多数の車両と車車間通信を行う場合、多数の受信データの中から、自動走行における合意形成相手車両など自車にとって継続監視すべき対象車両のデータを絞り込む必要がある。特に、複雑な道路形状周辺で多数の通信可能な車両が存在する環境下においては、現在策定されている車車間通信メッセージ情報（車両位置、車速、進行方位角等）だけでは絞り込みが難しい。そこで本研究では、この対象車両データを効率的に絞り込む手法について検討を行った。送信メッセージに、自車の走行する道路を特定する道路特定情報を含めることで、高速道路のジャンクションのような複雑な道路形状においても効率的かつ適切に絞り込むことが可能であることをシミュレーションにより確認した。また、今回検証した道路特定情報の追加が現行の車車間通信メッセージの枠組みを変えず（車車間メッセージガイドライン ITS FORUM RC-013 の自由領域のみを使用して）実現可能であることを提示できた。

3. 4 協調型自動走行に向けた通信性能の向上技術の開発

(3) 協調型自動走行に必要な通信技術の開発

自動車工業会で検討されている自動走行システムにおいて、車載センサーに基づく自律型自動走行システムでは、車両の動作に介入したり、制御に影響をおよぼすような動作は、センサーの信頼性と認識できる速度に依存する。一方、自動走行車両が車車間通信を用い、高速道路等における合流地点で、合流車両と本線車両間で合意形成を行い、合流スペースを確保する協調型合流支援では、通信の信頼や通

信性能が大きな影響をおよぼす。そこで使用される通信への暫定要件として、現行の安全運転支援用通信（700MHz 帯 ITS 通信）以上の性能（送信データ量、通信品質）が求められている。そこで本研究では、700MHz 帯 ITS 通信の方式に大きな変更を加えることなく、機能追加することで、要件を満足するための技術について検討を行った。現状の通信と後方互換性を維持しながら送信データ量を拡張するために、階層変調技術を応用した。協調型合流支援に必要な通信距離範囲内で要件を満たす送信データ量の拡張が可能であること、また実際にハードウェアに実装し従来通信機とも互換性があることを確認した。通信品質を向上させるために、送信頻度可変機能と送信タイミング予約機能について検討し、シミュレーションにより要件を満たすことが可能となることを確認した。

3. 5 協調型自動走行ユースケースの検討と成立性検証

(4) 協調型自動走行のサービスの検討とその成立性の検証

本取り組みでは、まず初めに通信による先読み情報の活用が有効であると考えられるユースケースの抽出を行った。自律型自動走行システムでは、車載するセンサーの検知の後に周辺の環境を把握する。

一方、通信を利用する協調型自動走行システムでは、先読み情報を用いた予見により余裕をもって対応動作を講じることができる。この中で、早期の実用化が期待されている高速道路における合流ユースケースについて、車車間通信による先読み情報活用モデルを検討し、これが成立する通信要件を定め、既存の 700MHz 帯 ITS 通信を用いた基礎的な通信実験を都市間高速や都市高速の計 7 地点で実施した。その結果、多くの地点では通信要件を満足し、先読み情報活用モデルが成立する可能性が見込まれたものの、都市高速などに見られる地下を走る本線への合流のような環境では、車車間通信のみではモデルの成立が困難であることが確認された。この結果を受け、路側に設置されたインフラシステムから路車間通信を用いて車両に情報を提供するモデルについても検討を行った。

続いて、これらのモデルの妥当性を評価する実験をテストコースにて実施した。その結果、車車間通信活用については、本線車両と合流車両の間で適切な合意形成が確立でき、その本線車両が合流車両を安全に合流させるために必要な車間距離を確保する減速行動が取れることを実証した。また、路車間通信活用については、路側インフラから提供される合流車両や本線車両の検知情報をもとに適切な車間距離確保行動や加速タイミング調整が行えることを確認した。

3. 6 非一般車両遭遇時ユースケースの検討と成立性検証

(4) 協調型自動走行のサービスの検討とその成立性の検証

自動走行車両が一般道を走行する上で課題は多く存在するが、その中の 1 つに非一般車両と遭遇した場合の走行がある。特に、緊急車両や路面電車と自動走行車が遭遇した場合には、自動走行車はそれを認知し、相手が一般車両の場合とは異なる対応を行う必要がある。本研究では、通信を使って非一般車両を認知し、退避や退避走行を行うユースケースについて検討を行った。車載機を搭載した救急車のデータと路側インフラセンサの一般車両検知データを収集し、赤信号で救急車が交差点に進入するシーンにおける一般車両の減速行動を分析した。分析したデータを用い自動走行車両の待避行動モデルを作成しシミュレーションを行った結果、通信が無い（自律センサのみで認知する）場合と比較して通信が有る方が、より確実でかつ余裕のある（急減速することなく）待避行動が可能であることを確認した。また、路面電車に対しては、広島市の路面電車に車載機を搭載し、評価車両との間の通信特性を把握した。その結果、軌道敷を横断する場合に、現行の 700MHz 帯 ITS 通信の利用で十分手前から路面電車の接近を認知可能であり、当該認知に基づく待避行動が実現可能であることを明らかにした。

3. 7 自動走行向け通信の新技術開発

(3) 協調型自動走行に必要な通信技術の開発

本研究課題では、現在検討されている自動走行の通信ユースケースだけではなく将来的な拡張も考慮し、現在実用化されている通信と比較して高信頼かつ低遅延な通信性能を実現する通信技術について検討を行った（3. 3の研究が早期実現に向け現行の通信規格を大きく変えないコンセプトであるのに対し、本研究では、それにとらわれず、より高い性能を実現することに主眼を置いた）。以下、複数の技術アプローチについて検討したため、その狙いと成果を個別に記載する。

3. 7. 1 多次元分散協調による高信頼車車間通信の調査・研究

車車間通信ネットワークの高信頼・低遅延化を実現するため、無線通信をつかさどる時間・周波数・空間という多次元要素を相互連携させ、複数車両が分散協調することによるネットワークの信頼性向上を目指す。また、観測情報を統計化およびマップ化することで通信信頼度のデータベースを構築し、高信頼・低遅延無線ネットワークの実現を図る。

本研究課題では、送受信者間のパケット誤り率や受信信号電力といった電波環境情報に基づく高効率な車車間通信手法の検討、及びそのような電波環境情報の予測を実現する電波環境データベースの構築の実証の2つを中心とした検討を行った。

まず、時空間ブロック符号(STBC: Space Time Block Code)の活用による複数車両協調マルチホップ通信をベースとしたパケットの伝送手法を検討した。STBCは、複数の送信アンテナから複数シンボルを複数時間に渡って送信する手法であり、時間軸・空間軸でダイバーシチ効果を得ることができる。各中継端末に一般的な1対1の無線通信でのSTBCにおけるアンテナと同等の役割を与え、ブロードキャスト伝送による情報の冗長化を施すことで本来のSTBCに加えて協調ダイバーシチ効果を得ることができ、高信頼な伝送を実現できる。ここでは、ホップごとに中継車両とネットワーク全体の制御を行う車両1台を選択する中継手法を検討した。提案手法では、周辺の電波伝搬特性や車両位置に基づいてパケット伝送への貢献度が高い車両を適応的に選択することで、マルチホップ通信における冗長な中継伝送を削減する。高速道路を想定した計算機シミュレーションにより、提案手法が従来手法に匹敵する通信成功率を達成しながら、中継伝送時の平均送信車両数を削減できることを確認した。

次に、高精度な電波環境認識を実現するため、車車間通信環境における実観測値を蓄積した電波環境データベースの構築について検討した。ここでは通信エリアを2次元平面上にメッシュ化し、メッシュごとに送受信位置に対応する受信信号強度を集約するデータベースを提案した。MySQLを用いて実際にデータベースを構築し、IEEE 802.11p 準拠の車載機を搭載した車両を用いた実証実験によりその精度を評価した。実証実験では、東京都調布市・三鷹市周辺での車車間通信及び東京都港区台場周辺での路車間通信を通して、無数の送受信位置情報に対応する受信信号強度を観測した。実験結果より、提案手法を用いることで電波伝搬特性への構造物の影響を予測でき、既存の伝搬損失モデルに基づく予測手法と比較して瞬時の受信信号電力値に対する平均二乗誤差(RMSE)を最大 4.9[dB]程度改善できることを確認できた。また、データベースを用いて、電力制御および中継車両選択を行うマルチホップ通信方式を提案し、中継車両を無作為に選択する手法と比較して、過去の統計情報を用いることでパケット誤り率の改善を確認した。

3. 7. 2 複数路側機中継器による棲分け型協調中継システムの調査・研究

車車間通信の信頼度向上と情報配信遅延の低減を目的として、路側中継器を用いた自律分散車路車中継アシスト通信方式の効果を直線道路および大規模市街地を想定した大規模ネットワークシミュレーションによって定量化するとともに、複数の路側中継器の相乗効果と相互干渉を分析して最適な棲分け型協調中継アシストシステムの実現を図る

複数路側機中継器による棲分け型協調中継アシストによって車車間通信の信頼度向上と情報配信遅延の低減を達成するため、平成 26 年度にセクタ化受信中継器による中継アシスト法を提案して基本性能の把握とシミュレーション環境の構築を行い、平成 27 年度は直線道路および単独交差点市街地環境における性能改善効果を明らかにした。続いて平成 28 年度には 9 交差点からなる大規模市街地環境での効果を明らかにするとともに、複数の路側中継器の相乗効果と相互干渉を分析して、最適な棲分け型協調中継アシストシステムの実現に取り組んだ。平行して、市街地多重伝搬環境でのセクタ化受信分離度の評価を実環境で測定し、より現実に即したシステムとなるよう設計に反映した。

車車間通信は自律分散パケット無線通信システムであるため、複数の車両が互いに相手の送信を検知できずに同時送信する隠れ端末問題が発生して通信信頼度が低下することが知られている。これを解決するためには、車両から送信されたパケットを中継器で受信して中継経路を構成し、直接車車間経路に加えて中継経路を平行して用いる中継アシスト方式が有効である。路側中継器を各車両からの見通しの良い高さ 5~6m の信号機ポール上に設置すれば、見通しの無い交差点で電波の回折損失が大きな場合において、伝搬損失の補償の面でも大きな効果がある。しかし中継器そのものが隠れ端末問題の影響によって車車間通信パケットを受信できないと、高い中継アシストの効果は得られない。

そこで、異なる方向から到達するパケットを方角別のセクタ化受信アンテナと個別受信機で受信し、隠れ端末の影響を軽減した中継器の構成を導入することで、車車間通信信頼度の向上を可能にした。その効果は直線道路環境において 1 台および 2 台の路側器を用いた場合の改善効果として定量化され、大きな効果を得た。さらに複数交差点からなる市街地に複数の路側中継器が設置された場合を想定して 9 交差点からなる道路環境に 1176 台の車両を配置して路側中継器間の相互影響を分析した。この結果、隣接する中継器が中継する範囲を中継器間距離の 50%程度オーバーラップした場合に最も棲み分け効果が大きく、最も条件の悪い送信位置において中継アシストなしの場合に 62%であったエリア平均配信率が 90%まで改善できることが判明した。この設計条件によって複数の路側中継器による最適な棲分け型協調中継アシストシステムの実現が可能であることが示された。

3. 7. 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

無線通信を介した高信頼・低遅延な情報交換の実現のため、車車間通信に適した送信フレーム長が短い誤り訂正符号を選択し、高信頼性と遅延のトレードオフについて明らかにすることで、次世代の車車間通信を支える誤り訂正符号化技術を確立する。

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を実現するために、以降で「有限符号長における高信頼化を達成する RA 信号符号の構築」、「IEEE802.11p と後方互換性を有した符号化重畳変調技術に関する検討」、「自動運転を支援する路側・路上センサ・車両間通信技術の構築」、及び「あらゆる通信路環境でロバスト性を有する多次元空間結合 RA 符号化協調を用いた車両群・基地局間通信」の四つのサブテーマを中心に取り組んだ。

「有限符号長における高信頼化を達成する RA 信号符号の構築」においては、符号化演算量が小さく、強力な誤り訂正能力を持つ RA 符号に着目し、この符号の性質を利用した格子符号を設計することで、符号化・復号演算量を抑えながら、中符号長で優れた復号特性を持つ符号を提案した。計算機シミュレ

ーションより、RA 信号符号が現行の車車間通信規格で採用されている畳み込み符号を含む中程度の符号長において、最も優れた特性を示すことを明らかにした。

「IEEE802.11p と後方互換性を有した符号化重畳変調技術に関する検討」では、協調型自動走行システムにおいてより高度な協調制御を行うために、車車間通信の現行物理層規格である IEEE802.11p と後方互換性を維持しつつ、送受信車両間の距離に応じて異なる伝送効率を達成する手法として階層型変調の導入を検討した。提案した階層型変調により、送受信車両間の距離に応じて異なる伝送効率を達成することが可能であることを示した。

「自動運転を支援する路側・路上センサ・車両間通信技術の構築」では、自動運転システムを支援する路側(路上)センサ・車両間通信技術として、フレームレス ALOHA を改良した符号化フレームレス ALOHA に基づく通信を検討した。符号化フレームレス ALOHA の理論的なパケット損失確率 (PLR: Packet Loss Rate) を導出することで、通常のフレームレス ALOHA において存在していた PLR の下界を完全に解消できることを明らかにした。加えて、通常のフレームレス ALOHA では 10^{-3} のオーダーであったスループットの分散を、 10^{-6} のオーダーまで抑えられることを明らかにした。

「あらゆる通信路環境でロバスト性を有する多次元空間結合 RA (Repeat-Accumulate) 符号化協調を用いた車両群・基地局間通信」では、自動運転システムを支援する目的のもと、あらゆる通信路環境において高信頼な車両群・基地局間通信を実現する技術として、多次元空間結合 RA 符号化協調を検討した。時間変動の早い通信路、遅い通信路をそれぞれ 1-BEC (Binary Erasure Channel)、 T -BEC としてモデル化することで、符号化法の最適化を行い、あらゆる通信路において高い信頼性を達成することを示した。

これらの成果とより具体的な自動運転との関わりとして、有限符号長における誤り訂正技術は、自動運転を支える将来の基盤技術として期待できる。また階層型変調技術は、近傍車両との低遅延かつ高速な通信を実現しつつ、後方互換性の維持により、現行規格から新方式への滑らかな移行を可能とする。また路側センサからの通信技術は、ダイナミックマップにおいて効率的な情報配信を実現する。協調通信技術は、クラウド連携型の群制御のように基地局と複数台の車両との通信を支える将来の技術として期待できる。

3. 7. 4 既存プロトコルに対する上記技術の適用性の検討

安全運転支援を前提とした現在のブロードキャスト車車間通信の条件下で、3. 7. 2 の複数路側機中継器による棲分け型協調中継システムを例にとりて上記技術の適用効果を検証する。

本研究開発課題では、ARIB STD-T109 車車間通信規格に対する一般化した中継アシストの伝送特性改善効果をまず理論解析し、次に 3. 7. 2 で研究開発した路側中継アシストを適用した場合の直線道路環境および市街地複数交差点環境での伝送特性、特に平均伝送遅延の改善効果をシミュレーションによって定量化した。

一般にブロードキャスト車車間通信では、フェージング、シャドウイングおよび隠れ端末問題の影響によってパケット誤りが発生する。これに対して、ARIB STD-T109 では同一情報の複数回送信によってブロードキャスト通信の信頼性の向上を図る。しかしながら既存の複数回送信では、パケット受信成功率が低くなるにつれて送信遅延が急激に大きくなる問題がある。そこで路側中継アシスト法を適用した場合の効果について、直線道路および市街地複数交差点環境を想定し、大規模シミュレーションによって提案法の効果を評価した。その結果、既存の車車間通信プロトコル規格の基本部分を変更せずに提案法の中継器を追加することで、直線道路において提案法は通常の複数回送信と比較して平均累積受信

遅延を 1/2 から 1/7 まで大幅に低減できることが明らかになった。また、市街地複数交差点環境において平均累積受信遅延を 120ms 程度から 15~45 ms まで中継アシストによって低減できることを明らかにした。さらに、エアタイムの占有時間が短い 16QAM 変調を車車間通信に用いることで、車両密度が高い場合でも平均累積受信遅延を 20ms 以下に抑えることができることを示した。

3. 8 研究開発マネジメント上の工夫、費用対効果分析を踏まえた効率性

4つの研究機関が定期的に会合を行い、互いの進捗内容を共有し、進め方について議論を行うことで、揃えるべきところは揃えつつ、互いの研究内容の位置付けを明確化するようにした。実験計画を共有し、実験機器の他研究機関への貸し出しや、同時に実験を行うことで、機器やテストコース等の費用の削減を図った。外部有識者による研究開発運営委員会を設置し、研究の進捗状況を定期的に報告して技術的な助言・指導を頂き、研究開発がより効果的なものとなるようにした。

4 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた取組みの実施状況

目標は、“交通事故死者数 2500 人以下/年を達成する。”であり、その達成のために車両相互の死亡事故の内訳のうち死亡事故の 46%、重傷事故の 62%を占める出会い頭衝突、右折時衝突を防ぐのに有効な車車間通信・路車間通信を用いた安全運転支援システムの実現・普及・高度化に向けた研究開発を実施した。また、一般的に人間よりも安全かつ円滑な運転を可能とする自動運転システムの実現に向けて、車車間通信・路車間通信を活用するための研究開発を実施した。

その取組みとしては、出会い頭衝突、右折時衝突が、主として見通しの悪い交差点でおきることがよく知られており、これを回避するための有効な手段が車車間路車間通信を利用した情報提供、警告システムである。本研究開発において、実交差点（名古屋市千種区本山交差点等）で通信性能の確認や車両の挙動、動線の調査を行い、データ解析の結果、従前の状態に比べ車車間通信、路車間通信を利用した情報提供が有効であることが結論づけられた。

自動運転システムの実現のための車車間通信・路車間通信技術を開発する為には、自動走行システムが運用されているシーンとかユースケースを基に通信の性能要件を検討しなければならない。自動車工業会より高速道路における合流のユースケースを提供してもらい、該ユースケースにおいて、通信の性能と先読み情報の活用法について検討し実験で確認をした。通信性能を向上させる新しい技術を考案し、他車両と通信を利用した協調型自動走行システムの連携の方向性を提示できた。これらは、通信の標準化団体である ITS 情報通信システム推進会議の専門委員長らを招き技術討論会を実施し、本研究内容について紹介、説明した。また自動車工業会へも、説明会を実施した際に報告した。

5 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた計画

政策目標（アウトカム目標）達成に資するための、車車間通信・路車間通信を用いた安全運転支援システムの普及・高度化、協調型自動走行システムに実現に向けた計画を記載する。

車車間通信・路車間通信を用いた安全運転支援システムの普及・高度化に向けては、現在実用化されている 700MHz 帯 ITS 通信やメッセージ等の標準仕様・ガイドライン等に対し、本研究開発で得られた成果を反映する活動を行う。標準化団体である ITS 情報通信システム推進会議や、700MHz 帯 ITS の運用主体である ITS コネクト推進協議会等へインプットし、次期仕様・ガイドラインに向けた議論を

行っていく予定である。また、普及の観点で、緊急車両等の非一般車両への車載無線機搭載に向けた活動も行う。機器の搭載を検討する車両管理者があれば、本研究成果や機器搭載に関する説明アピールを実施することで、搭載を促していく。

協調型自動走行システムの実現に向けては、まず、車載センサーに基づく自律型自動走行システムに加えて通信の具体的な使い方や使用する通信メディアの統一等の方向性が自動車メーカーを中心に決定される必要がある。自動走行システムの検討を行う団体（自動車工業会等）へ本研究成果（実験等による検証結果）を展開し、自律型自動走行システムに通信を利用することによる機能拡大の方向性の決定に寄与することにより協調型自動走行システムの早期実現を図る。自動走行レベルや適用走行範囲の実現時期に合わせて、成果を活用し必要な技術開発とその標準化を進めていく。

また、上記 700MHz 帯 ITS 通信の高度化の一つとして、自動走行への応用に関する検討や現状の通信関連の標準仕様やサービス等との整合性に関する検討等、本研究成果をベースに引続き研究開発を行い、自動走行システムの実現レベルや適用走行範囲等を考慮した上で、標準化団体や運用管理主体にインプットし通信が必要とされる時期に合わせて標準化する活動を進めていく。

表 アウトカム指標（追跡調査に向けたベンチマーク）

アウトカム指標	目標年度	数値目標等	調査方法	終了条件
普及・標準化のためのプロモーション活動	平成30年度	プロジェクト紹介、研究発表、デモを平成30年度までに5件以上実施	展示会、国際会議等での発表	5件以上実施
実用化に向けた標準化活動	平成29年度	平成29年度までに、自動車の標準化に係る関係団体と、本研究開発の標準化に係る議論を開始する。	関係団体での標準化検討状況の確認	標準化に係る議論を開始

6 査読付き誌上発表論文リスト

- [1] Cong-Hoang Diem, Koya Sato, Takeo Fujii, "Cooperative distributed STBC transmission scheme for multi-hop V2V communications," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E99A, no.1, pp.252-262. (2016年1月)

7 査読付き口頭発表論文（印刷物を含む）リスト

- [1] Cong-Hoang Diem, Takeo Fujii, "A Novel Distributed STBC Cooperative Diversity Scheme for OFDM Multi-hop Relay Networks," in Proc. IEEE CCNC2015, Las Vegas, NV, (2015年1月10日):
- [2] Le Tien Trien, Yasushi Yamao, "Packet Combining Relay Scheme with Sectorized Relay Station for Reliable ITS V2V Communication" in Proc. IEEE VTC2015-Spring, Glasgow, UK, (2015年5月13日):
- [3] Diem Cong-Hoang, Takeo Fujii, "Distributed STBC for vehicular communications on highway," in Proc. ITS World Congress 2015, Bordeaux, France, (2015年10月8日):
- [4] Diem Cong-Hoang, Takeo Fujii, "An efficient cooperative transmission scheme for vehicular communications," in Proc. ITST 2015, Copenhagen, Denmark, (2015年12月3日):
- [5] Le Tien Trien, Yasushi Yamao, "Performance Analysis of CSMA/CA Packet Relay Assisted V2V Communication with Sectorized Relay Station," in Proc. IEEE VNC 2015, Kyoto, Japan, (2015年12月18日):
- [6] Le Tien Trien, Yasushi Yamao, "Packet Relay Assisted V2V Communication with Multiple Sectorized Relay Stations," in Proc. IEEE VTC 2016-Spring, Nanjing, China, (2016年5月18日)
- [7] Yasushi Yamao, L. T. Trien, Takeo Fujii, Koji Ishibashi, "Delay Reduction by Relay-Assisted Broadcast Transmission for Dependable V2V communications," in Proc. ITS World Congress, Melbourne, Australia, (2016年10月11日)
- [8] Le Tien Trien, Yasushi Yamao, "Measured Separation of Sectorized Reception for ITS V2V Relay-Assisted Communication in Urban Environment," Proc. ISAP, Okinawa, Japan, (2016年10月26日).
- [9] Cong-Hoang Diem, Takeo Fujii, "Relay selection method using radio environment database for multi-hop V2V communications," in Proc. ICOIN 2017, Chiang Mai, Thailand, (2017年1月12日):
- [10] Ryosuke Tanaka, Koji Ishibashi, "Robust Coded Cooperation Based on Multi-Dimensional Spatially Coupled Repeat-Accumulate Codes," in Proc. IEEE WCNC, San Francisco, CA, (2017年3月20日):
- [11] Le Tien Trien, Yasushi Yamao, "Packet Relay-Assisted V2V Communication with Cooperative Relay Stations in Urban Environment," in Proc. ITS European Congress, Strasbourg, France, Jun. 2017. (採録決定)

8 その他の誌上発表リスト

- [1] 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 Vol.98 No.10 pp860-863 (2015年10月)

- [3] 川合健夫、“さらなる安全で安心な道路交通の実現に向けて”、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エティマガジン 12 月号 (2015 年 12 月)
- [5] 伊藤敏之、“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”、デンソーテクニカルレビュー2016 Vol.21 pp127-139 (2016 年 12 月)

9 口頭発表リスト

- [1] 中岡謙、“Next-Generation Intelligent Transport Systems (ITS) utilizing ICT”、SIP-adus Workshop 2014 (東京) (2014 年 11 月 17 日)
- [2] レ ティエン チェン、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車間通信の品質改善効果”、信学技報 RCS2014-222 (伊勢市) (2014 年 12 月 18 日)
- [3] Cong-Hoang Diem, Takeo Fujii, “An Efficient Distributed Cooperative Diversity Method for STBC-OFDM Multi-hop Networks,” 信学技報 RCS2014-258 (伊勢市) (2014 年 12 月 19 日)
- [4] 難波秀彰、“データ通信を利用した環境認識 “、メディアミーティング (東京) (2015 年 1 月 29 日)
- [5] 武石直樹、石橋功至、ジュゼッペ・アブレウ、“分散多次元空間結合 Repeat-Accumulate 符号”、信学技報 RCS2014-313 (目黒区) (2015 年 3 月 4 日)
- [6] 難波秀彰、“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”、情報通信が支える次世代の ITS (東京都) (2015 年 3 月 6 日)
- [7] 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”、愛知県 ITS 推進協議会 会員セミナー (名古屋市) (2015 年 3 月 23 日)
- [8] 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「ICT が支える次世代の ITS」(名古屋市) (2015 年 4 月 8 日)
- [9] 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 (名古屋市) (2015 年 5 月 29 日)
- [10] Cong-Hoang Diem, Koya Sato, Fujii Takeo, "A Highly Efficient Transmission Scheme for Multi-hop V2V Communications on Highway," 信学技報 SR2015-29 (長野市) (2015 年 7 月 30 日)
- [11] Hideaki Nanba, “V2V,V2I Communication Technology for Road Safety and toward the Automated Driving Systems”、8th ATRANS Symposium (Bangkok Thailand) (2015 年 8 月 21 日)
- [12] Yoshifumi Kato, “DENSO’s Approach toward Future Mobility Society”、SAE China Congress (Shanghai China) (2015 年 10 月 27 日)
- [13] Hideaki Nanba, “Perception of driving environment through communication”、SIP-adus Workshop 2015 (Tokyo Japan) (2015 年 10 月 27 日)
- [14] 尾形駿、石橋功至、“符号化 ALOHA に基づく路車間通信に関する一検討”、信学技報 SR2015-81 (長崎市) (2016 年 1 月 22 日)
- [15] レ ティエン チェン、山尾泰、“セクタ化受信中継器を用いた CSMA/CA 中継アシスト車車間通信の性能解析”、信学技報 ITS2015-56 (札幌市) (2016 年 2 月 22 日)
- [16] 尾形駿、石橋功至、“車車間協調フレームレス ALOHA に基づく路車間通信に関する一検討”、2016 年電子情報通信学会総合大会 (福岡市) (2016 年 3 月 16 日)

- [17] 尾形駿、石橋功至、“大規模ランダム多元接続のための符号化フレームレス ALOHA のパケット損失確率について”、信学技報 RCS2016-22 (弘前市) (2016年4月22日)
- [18] 鶴見俊介、佐藤光哉、市川浩次、藤井威生、“通信信頼度マップデータベースを利用した車車間通信の高効率化”、WTP2016 (江東区) (2016年5月25日)
- [19] レ ティエン チェン、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 ITS 車車間通信の高信頼化”、WTP2016 (江東区) (2016年5月25日)
- [20] 尾形駿、石橋功至、“符号化 ALOHA に基づく路車間通信に関する一検討”、WTP2016 (江東区) (2016年5月26日)
- [21] 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”、ワイヤレステクノロジーパーク 2016 (江東区) (2016年5月26日)
- [22] レ ティエン チェン、山尾泰、“セクタ化中継アシスト車車間通信のための市街地環境におけるセクタ間分離度の測定”、URSI-F 第 605 回会合 (調布市) (2016年6月7日)
- [23] 鶴見俊介、藤井威生、“電波環境データベースを用いた通信信頼度情報に基づく通信効率化”、URSI-F 第 605 回会合 (調布市) (2016年6月7日)
- [24] 難波秀彰、“Wireless Technologies in ITS toward Automated Driving Systems and Connected Car”、名古屋大学留学生向け講座 (名古屋市) (2016年6月22日)
- [25] 小野田邦宏、“Driving Behavior Detection Technology for ADAS/AD and its application for smarter mobility”、Automated Vehicles Symposium 2016 Breakout Session #16(San Francisco USA) (2016年7月20日)
- [26] レ ティエン チェン、山尾泰、“複数路側中継器による棲分け型協調中継アシスト車車間通信システム”、信学技報 RCS2016-119 (名古屋市) (2016年7月21日)
- [27] 田中亮輔、石橋功至、“レイリーフェーディング環境下における多次元空間結合 Repeat-Accumulate 符号化協調のパケット誤り率特性”、2016 電子情報通信学会ソサイエティ大会、(札幌市) (2016年9月20日)
- [28] 鶴見俊介、藤井威生、“通信信頼度情報を活用した V2V 高信頼通信”、2016 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (札幌市) (2016年9月22日)
- [29] Hideaki Nanba、“Perception of connected vehicle toward the connected and automated vehicle”、SIP-adus Workshop 2016 Connected Vehicles Session (Tokyo Japan) (2016年11月15日)
- [30] 難波秀彰、小林顕二、“優先車両の車車間通信利用時におけるユースケースの検討”、電子情報通信学会 ITS 研究会 (高松市) (2016年12月2日)
- [31] 坂本将紘、“無線通信技術で実現するクルマの進化”、YRP 研究開発推進協会 2016 年度 APT 研修 (横須賀市) (2016年12月13日)
- [32] 鶴見俊介、藤井威生、“信頼度マップによる事前情報を利用した高信頼車車間通信”、信学技報 SR2016-98 (目黒区) (2017年3月1日)
- [33] 小林顕二、“平成 28 年度における SIP の実証実験の状況等について”、平成 28 年度愛知実証実験連絡会 (名古屋市) (2017年3月16日) ,
- [34] 片桐啓太、藤井威生、“V2V 通信における受信信号に基づく受信成功率算出アルゴリズム”、2017 電子情報通信学会総合大会 (名古屋市) (2017年3月23日)
- [35] 大比良和哉、石橋功至、“自動走行システムのための IEEE802.11p と後方互換性を有した階層型変調

に関する一検討”、 2017 電子情報通信学会総合大会（名古屋市）（2017 年 3 月 23 日）

- [36] レ ティエン チェン, 山尾泰, “市街地環境における棲分け型協調中継アシスト車車間通信システム,”
信学技報 RCS2017（香川県）（2017 年 4 月 25 日）

1 0 出願特許リスト

- [1] 柴田鉄兵、「車両制御装置」、日本国、2015 年 7 月 25 日
- [2] 藤井威生、佐藤光哉、「通信信頼度サーバ、通信信頼度管理システムおよび 通信信頼度管理方法」、
日本国、2016 年 3 月 24 日
- [3] 坂本将紘、「退避指示装置」、日本国、2016 年 3 月 29 日
- [4] 柴田鉄兵、VEHICLE CONTROL DEVICE、米国、2016 年 9 月 16 日
- [5] 伊神章公、「通信装置及び通信端末装置」、日本国、2016 年 10 月 21 日
- [6] 柴田 鉄兵、車両制御方法および車両制御装置、日本、2016 年 11 月 10 日
- [7] 杉浦泰伸、「通信装置及び通信端末装置」、日本国、2016 年 12 月 22 日
- [8] 今井謙一郎、「緊急車両通行支援システム」、日本国、2017 年 1 月 17 日
- [9] 吉永諭史、「通信装置及び通信方式」、日本国、2017 年 2 月 23 日
- [10] 平山泰弘、「通信装置及び通信方式」、日本国、2017 年 2 月 24 日
- [11] 平山泰弘、「通信装置及び通信方式」、日本国、2017 年 2 月 24 日
- [12] 神谷有志、「通信装置及び通信端末装置」、日本国、2017 年 2 月 28 日
- [13] 吉永諭史、「通信装置及び通信方式」、日本国、2017 年 3 月 3 日

1 1 取得特許リスト

なし

1 2 国際標準提案・獲得リスト

なし

1 3 参加国際標準会議リスト

なし

1 4 受賞リスト

なし

1 5 報道発表リスト

(1) 報道発表実績

- [1] “名古屋市内で自動走行システムの実証実験を実施”、総務省東海総合通信局、2015 年 2 月 13 日

(2) 報道掲載実績

- [2] “デンソー「見えない対向車」キャッチ”、読売新聞、2015 年 2 月 15 日

研究開発による成果数

	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)	1 件 (1 件)	0 件 (0 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	2 件 (2 件)	4 件 (4 件)	5 件 (5 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)	4 件 (0 件)	1 件 (0 件)
口 頭 発 表 数	7 件 (0 件)	9 件 (2 件)	2 0 件 (1 件)
特 許 出 願 数	0 件 (0 件)	3 件 (0 件)	1 0 件 (1 件)
特 許 取 得 数	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)
国 際 標 準 獲 得 数	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)
報 道 発 表 数	1 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)
報 道 掲 載 数	1 件 (0 件)	0 件 (0 件)	0 件 (0 件)

	合計
査読付き誌上発表論文数	1 件 (1 件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	1 1 件 (1 1 件)
その他の誌上発表数	5 件 (0 件)
口 頭 発 表 数	3 6 件 (3 件)
特 許 出 願 数	1 3 件 (1 件)
特 許 取 得 数	0 件 (0 件)
国 際 標 準 提 案 数	0 件 (0 件)
国 際 標 準 獲 得 数	0 件 (0 件)
受 賞 数	0 件 (0 件)
報 道 発 表 数	1 件 (0 件)
報 道 掲 載 数	1 件 (0 件)

注 1 : 各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注 2 : 「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読 (peer-review (論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの)) のある出版物に掲載され

た論文等（Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む）を計上する。

注3：「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集（電子媒体含む）に掲載された論文等（ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。）を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等（電子情報通信学会技術研究報告など）は、「口頭発表数」に分類する。

注4：「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等（査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む）を計上する。

注5：PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。（何カ国への出願でも1件として計上）。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6：同一の論文等は複数項目に計上しないこと。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しないこと。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。