

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

実施研究機関：(株)デンソー、パナソニック(株)、パイオニア(株)、電気通信大学
 研究開発期間：H26年度～H28年度
 研究開発費：H26年5.0億円、H27年3.3億円、H28年2.2億円、計10.5億円
 担当課室名：総合通信基盤局 移動通信課 新世代移動通信システム推進室

1. 研究開発概要

■目的

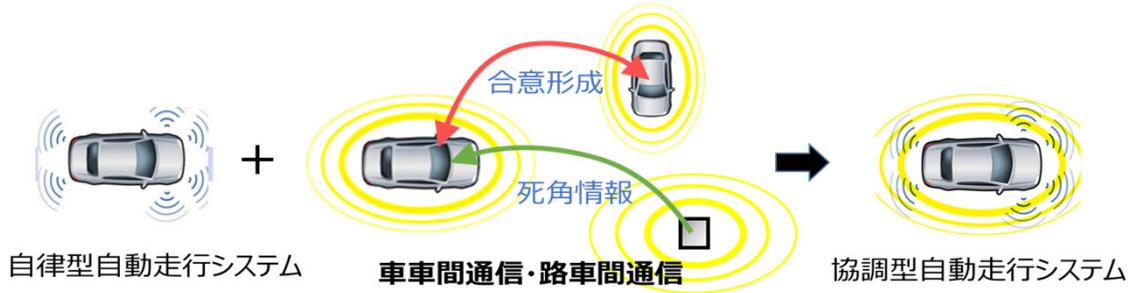
自動走行システムには、交通事故の削減や交通渋滞の緩和など、社会に対して様々なメリットが期待される。より安全で円滑な自動走行システムの実現には、車載センサー等を用いた「自律型」自動走行システムの高度化に加え、車と車／インフラ等をつなぐ通信技術を活用した「協調型」自動走行システムの実用化が不可欠である。本研究開発では、日本のITS専用周波数である700MHz帯ITS通信に基づき、協調型自動走行システムを実現する車車間通信／路車間通信技術に関する研究開発を行う。

■政策的位置づけ

「世界最先端IT国家創造宣言」(平成25年6月閣議決定)や「世界最先端IT国家創造宣言 工程表」(平成25年6月高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部決定)などにおいて、“(自動走行システムの実用化などを通じて)2018年を目途に交通事故死数を2,500人以下とし、2020年までには、世界で最も安全な道路交通社会を実現する”という目標が掲げられ、そのための車車間通信／路車間通信技術の開発に取り組むべき旨が掲げられている。

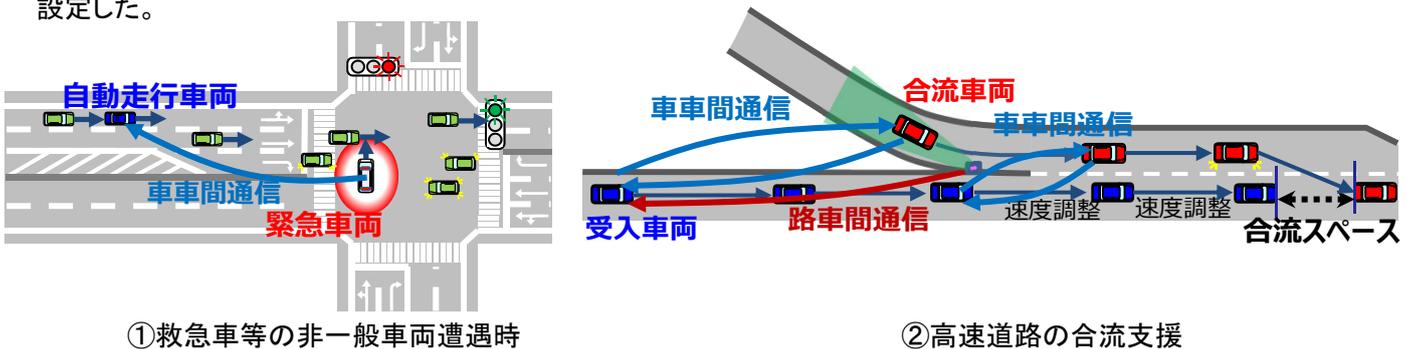
■目標

協調型自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術として、自動運転レベル3(条件付自動運転車(限定地域))以降に必要となる技術を開発すること。具体的には、700MHz帯ITS通信をベースとして、将来的な普及状況を踏まえた通信性能の評価・検証を行うとともに、高速道路の合流支援などを実現する技術の確立などを目標とする。



■対象とするユースケース

対象とする協調型自動走行システムのユースケースとして、自動車メーカー等の関係者からの意見(ニーズ)を踏まえ、①救急車等の非一般車両遭遇時サービス(車載センサーだけでは検出が難しく、遭遇時には退避走行などの特別な対応が求められる)、②高速道路の合流支援サービス(同じく、車載センサーだけでは円滑な合流が難しい)の2つを設定した。



テーマ分類	研究開発テーマ	担当
①通信技術	a) 車両集中交差点における通信性能の評価	デンソー
	b) 協調型合流支援サービスに向けた通信性能改善技術開発	デンソー
	c) 高信頼通信を実現するための技術開発	電気通信大学
②サービス	a) 非一般車両遭遇時サービスの成立性と有効性検証	デンソー
	b) 協調型合流支援サービスの成立性と有効性検証	パナソニック
	c) 車車間通信データの効率化手法の確立	パイオニア

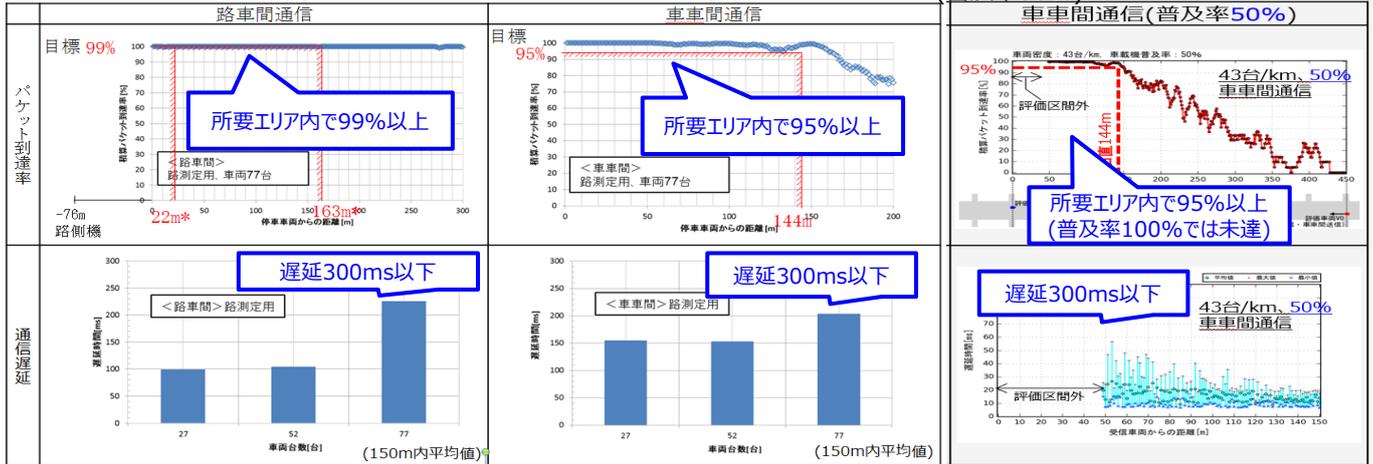
2. 研究開発成果概要

①通信技術 a)車両集中交差点における通信性能の評価

課題	普及状態での車両集中交差点における通信性能(積算パケット到達率、遅延)を定量化すること。
実施内容	検証実験：横須賀、名古屋、神戸にて最大100台規模の通信を発生させて通信性能を評価。 シミュレーション：大規模交差点モデルにおいて、通信要件を満足可能な普及率を定量化。
成果	検証実験：交差点トラフィック集中時、実交通流ランダム走行時、複数路側機設置時の各条件において、安全運転支援の通信要件※を満足することを確認。※(積算パケット到達率:99%(路車間)、95%(車車間)、遅延:300ms以下) シミュレーション：大規模交差点では路車間通信は要件満足するものの、車車間通信は普及率50%を超える要件を満たせなくなるケースが発生することを明確化。

横須賀実験の結果(車載機:77台相当、路側機:1基)

大規模交差点シミュレーション結果(普及率50%)



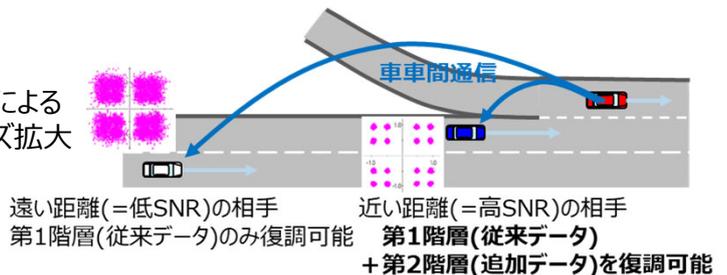
①通信技術 b)協調型合流支援サービスに向けた通信性能改善技術開発

課題	協調型合流支援に700MHz帯ITS通信を適用した場合の課題の明確化と対策技術を開発すること。
実施内容	テストコースにて、高速道路合流シーンを模擬した通信特性を把握し、課題を明確化。 課題に対する対策技術を検討し、それを組み込んだことによる効果をシミュレーションにて評価。
成果	対策技術として、従来通信との互換性を維持しながら送信データサイズを拡大可能な階層変調技術及び通信品質を安定化可能な送信頻度可変機能(ETSI方式)と送信タイミング予約機能を提案。 評価の結果、送信データサイズ拡大をしてもわずかに要件未達なケース*があるものの概ね暫定要件を満足できることを確認(*通信距離約100mの合意形成期においてパケット到達率が約98%(要件99%)。)

テストコースで実性能を把握



階層変調技術による送信データサイズ拡大

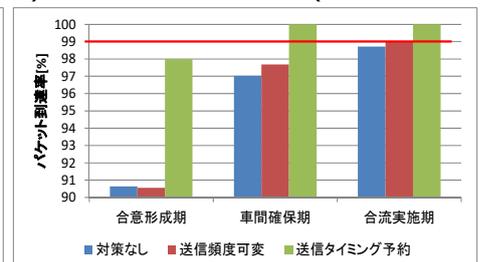
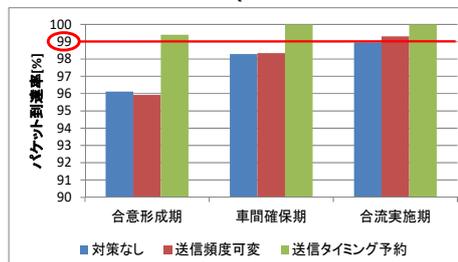


対策が必要な課題

	暫定要件(自工会)	700MHz帯ITS通信
送信データサイズ	320byte	100byte
パケット到達率	99%以上	約97%

送信頻度可変機能と送信タイミング予約機能による通信品質の安定化

シミュレーション結果(階層変調なし100byte) 階層変調を適用した場合(第2階層320byte)

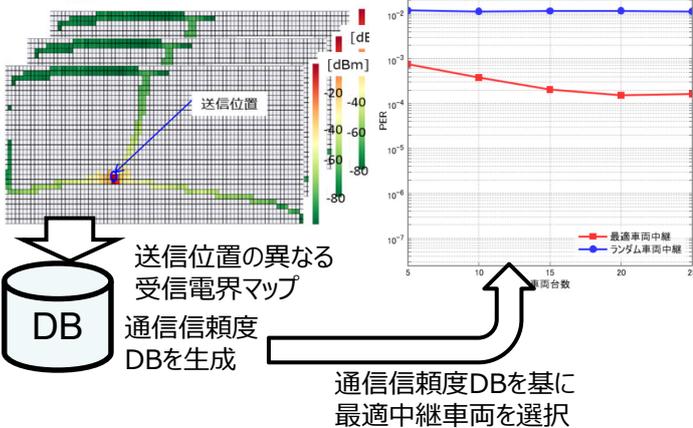


2. 研究開発成果概要(続き)

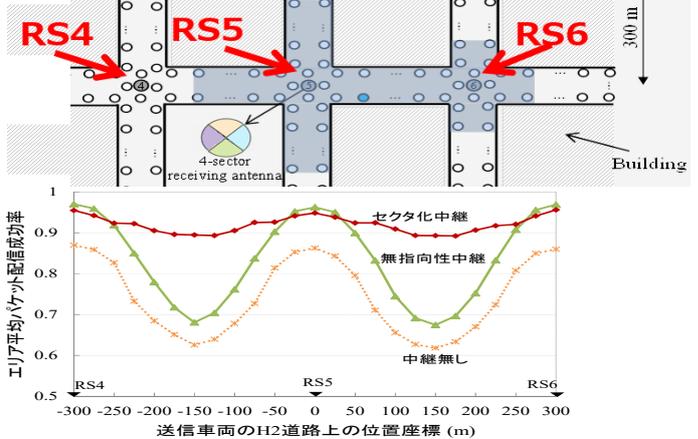
①通信技術 c)高信頼通信を実現するための技術開発

課題	将来的にさらに高い信頼性が通信に求められることを考慮し、700MHz帯ITS通信の制約に捉われず、その実現技術を開発すること。具体的な課題として、最適な中継通信を実現すること、隠れ端末によるパケット衝突を低減すること、高い誤り訂正能力を車両間通信で実現することと設定。
実施内容	車車間通信の信頼性を高める手法として、通信信頼度データベースを用いた車両による中継通信と、交差点に設置する路側機による中継通信を用いる手法について検討し、シミュレーションにより評価する。 多次元空間結合RA符号化協調通信について検討し、シミュレーションにより評価する。
成果	通信信頼度データベースにより最適中継車両および送信電力制御をすることで、ランダム中継した場合と比較してパケットエラー率を1桁低減できることを確認。 路側機中継機にセクタ受信化とパケット合成中継技術を適用することで、エリアによってパケット到達率を20%以上改善できることを確認。 誤り訂正能力の高いRA符号と階層変調技術を組み合わせた適応変調により、所要 E_b/N_0 を1~2dB低減。

通信信頼度データベースを用いた最適中継により通信品質を向上



路側中継機(RS)にセクタ受信化とパケット合成中継技術の適用により、通信品質を向上



②サービス a)非一般車両遭遇時サービスの成立性と有効性検証

課題	救急車等の非一般車両遭遇時サービスの成立性と、一般車両・緊急車両の両側面への有効性・効果について明確化すること。
実施内容	実際に使用されている救急車にITS車載機を搭載し、通信特性の把握および通信による救急車接近認知効果を検証。また、路面電車にもITS車載機を搭載し、通信特性の把握を実施。 一般車両の待避モデルを作成し、ITS通信の有無による救急車の到着時間短縮効果をシミュレーションで検証。 緊急車両側方接近シーンの減速停止モデルを一般車両の挙動から作成し、自動運転車の待避成功率をシミュレーションで検証。
成果	交差点中心100m以内の範囲では、所要の通信品質を満足可能であることを確認。 救急車接近認知は、サイレン音聴取と比較してITS通信の方が100~200m手前から可能であることを確認。 あるケースにおいて、ITS通信の有無による救急車の到着時間の短縮効果として7.4%低減できることを定量化。 緊急車両側方接近シーンにおいて、ITS通信の有無によって自動運転車の待避成功率(最大減速度0.25G以下)が向上することを確認。これらから非一般車両遭遇時サービスの有効性を示すことができた。

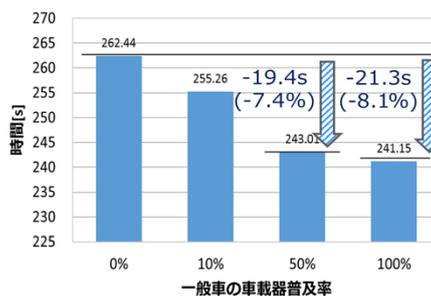


救急車接近認知距離

	北→南	南→北
サイレン音	168m	150m
ITS通信	278m	359m

通信の方が100~200m手前で認知可能

3交差点を含む道路モデルにおける緊急車両の到着時間シミュレーション結果



側方接近シーンにおける待避成功率シミュレーション結果

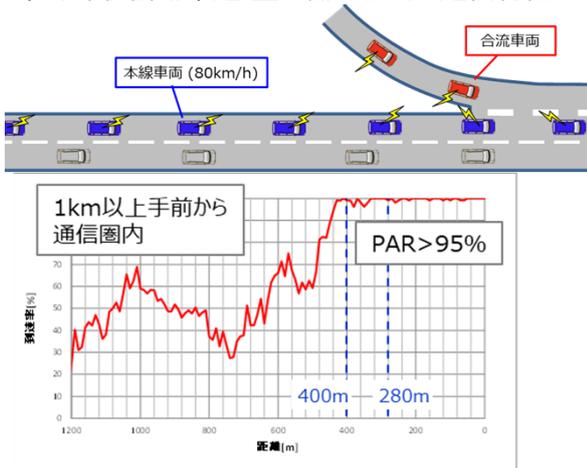


2. 研究開発成果概要(続き)

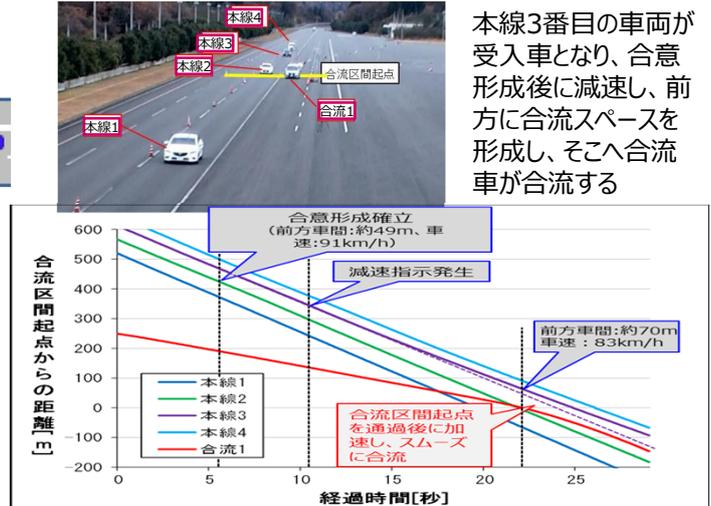
②サービス b) 協調型合流支援サービスの成立性と有効性検証

課題	協調型合流支援サービスに700MHz帯ITS通信を適用した場合の成立性や、サービスとしての有効性及び実現に向けた課題を明確化すること。
実施内容	実際の高速道路における通信特性を把握し、車車間通信での合意形成シーケンスを検討。テストコースにて、通信による合意形成と協調合流支援を手動運転車(通信受信時にドライバーに減速指示を画面表示)で模擬した実証実験をおこない、成立性と課題を明確化。
成果	合流地点から手前400mまでパケット到達率95%以上であることを確認(周囲からの干渉なし)。合流車の要求に対し、本線車両が合流車の合流を妨げる可能性を予測し、受入車として応答し、減速して合流スペースを空けるシーケンスモデルを作成。 4台の本線車両の間にITS通信による合意形成により合流できることを実証。受入車の選定手法は要改善。

東海環状自動車道 豊田勘八ICでの通信特性



テストコースでの協調型合流支援



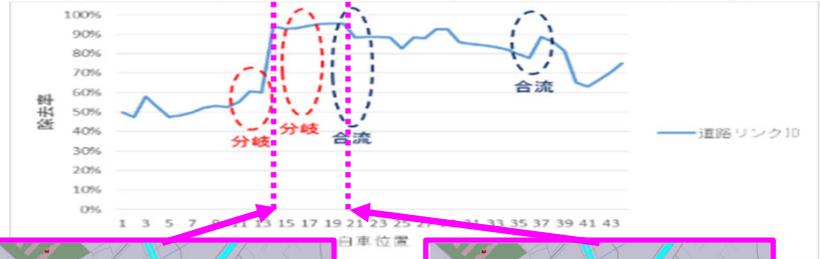
②サービス c) 車車間通信データの効率化手法の確立

課題	将来的な普及期を見据え、処理負荷を軽減するために、大量の車車間通信受信データの中から自車にとって監視すべき車両のデータを絞り込むこと。
実施内容	立体交差道路など複雑な道路形状において、車車間通信実験を行い、通信の到達性と自車位置情報精度を評価する。高速道路のジャンクションにおいて、自車が監視すべき対象車両を効率的に抽出する手法について検討し、抽出効果をシミュレーションにより評価する。
成果	道路特定情報(車両が走行している道路を特定する情報)として道路リンクIDを車車間通信メッセージに付加し、この情報を基に監視対象車両を抽出することによって、除去率50%以上を達成していることを確認。通信相手車両が自動運転車以外の場合に、車両位置精度が低下することを考慮し、複数の道路リンクIDを送信することで、必要な監視対象車両の見逃しを抑制しつつ、一定の除去率を得られることを確認。

道路特定情報として道路リンクIDを用いた場合の模式図(鶴島ジャンクションの例)



道路リンクIDによる受信データ抽出により、最大90%の除去率を達成



3. 政策目標の達成状況（経済的・社会的な効果）等

■政策目標(アウトカム目標)の達成状況

年間交通事故時者数目標2500人に対し、2021年は2636人。

一方で、本研究開発は700MHz帯ITS通信の自動走行システムへの適用を考慮したものであるが、その通信の特性やサービスの有効性および拡張性を示したことで、ITS Connectを含む安全運転支援システムの普及立上げに貢献。

■研究成果の社会展開活動

研究終了時に①普及に向けたプロモーション活動、②実用化に向けた標準化活動について計画と目標を設定し、活動を継続してきた。当初の目標は達成済み。

活動	数値目標	進捗状況	達成状況
普及に向けたプロモーション	平成30年度までに5件以上発表	口頭発表7件。査読付き誌上発表論文3件。他、フォーラムやシンポジウム等にて成果発表を実施。	目標達成
実用化に向けた標準化	平成29年度までに標準化団体において議論開始	ITS情報通信システム推進会議において、自動運转向けITS通信方式について議論継続中。 ■ 関連発行ドキュメント ・ RC-015：自動運転(自専道)通信活用ユースケース向け通信システムの実験用ガイドライン ・ RC-017：SIP協調型自動運転ユースケースに関する通信シナリオ/通信要件の検討資料 ← 「②サービス b)協調型合流支援サービスの成立性と有効性検証」の検討結果をインプット	目標達成 (本研究成果の方式含め比較検討を実施中)

■新たな市場の形成、売上の発生、国民生活水準の向上

○緊急車両のうち、救急車用ITS車載機が2020年に製品化され、2年間で約1400万円の売上が発生

本研究において、名古屋市の救急車にITS車載機を搭載し、通信による緊急車両接近の認知向上効果や、それによる一般車の待避行動迅速化について示した。結果として、消防庁におけるITS通信活用の研究(平成30年度救急業務のあり方に関する検討会)につながり、上記製品化に大きく貢献した。

また、救急車への普及は、一般車両への普及へもつながることが予想される。普及が進むことで、救急車の走行がスムーズとなり、救急活動時間の短縮、ひいては、国民生活水準の向上に貢献すると考える。

さらに、今後、消防車など他の緊急車両への製品化により、さらなる展開などが期待できる。



製品化された救急車用ITS車載機の外観

緊急車両の国内台数規模

	国内台数
救急車	約6,000台
消防車	約20,000台
パトロールカー	約9,000台

■知財や国際標準獲得等の推進

特許は計画時目標6件に対し、16件出願(うち2件は海外含む)し、現時点で11件が取得済み(うち2件は海外含む)であり、当初の目標を達成している。

■周知広報活動の実績(研究終了後)

- ・査読付き誌上発表論文: 3件
- ・査読付き口頭発表論文: 1件
- ・口頭発表: 7件(学会以外として、自動車技術会自動運転委員会、SIP-adus Workshop等で講演)

研究期間中と研究終了後の周知広報活動・知財獲得実績

	研究期間中	研究終了後	合計
査読付き誌上発表論文数	1	3	4
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	11	1	12
その他の誌上発表数	5	0	5
口頭発表数	38	7	45
特許出願数	13	3	16
特許取得数	0	11	11
報道発表数	1	0	1

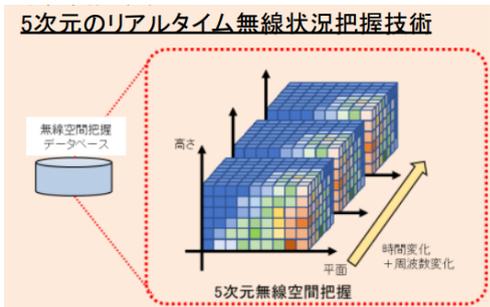
4. 研究成果から生み出された科学的・技術的な効果

■新たな科学技術開発の誘因

①c)で開発された技術は、その後も以下のような応用研究に結びついている。

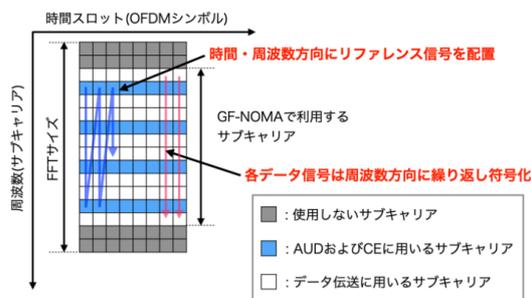
通信信頼度データベースに関する研究は、その後、通信端末のログを位置情報に紐づけて蓄積・統計化する技術として、車載端末のみならずスマートフォンを活用した研究への拡張を進めており、異システム間の周波数共用技術・自動運転向けのマルチ通信システムにおける通信信頼度保証の検討・Beyond 5G/6Gにおける周波数利用に関する研究など様々な応用研究が進んでいる。

車車間通信のための低遅延な通信方式は、その後拡張され、現在ではBeyond 5G/6Gにおける超多接続・低遅延技術の要求を満たすための、非直交多元接続に基づくグラントフリーアクセス技術として検討が進められている。



通信信頼度データベースの応用研究例

NICT Beyond5G研究開発促進事業 次世代の5次元モバイルインフラ技術の研究開発 令和3年度成果概要書より



超低遅延の通信方式の応用研究例

電気通信大学 報道発表2021年3月 多数同時接続と超低遅延を実現する新たな通信技術(Beyond 5G/6Gの実現に向けて) —圧縮センシングを活用したグラントフリー非直交伝送法の開発— より

5. 副次的な波及効果

■研究人材の育成

本研究開発に関わった大学院生が博士課程で5名、修士課程で8名、それぞれ学位を取得し、当該研究分野の発展に大きく貢献するとともに、後進の育成にも寄与した。

6. アウトカム目標の達成に向けた取組計画の達成状況等

■政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた取組計画の達成状況

研究期間中に設置した総合ビジネスプロデューサーによって、海外動向を踏まえたビジネス面での課題抽出などを実施し、①700MHz帯ITS通信による安全運転支援等のプロモーション活動、②協調型自動走行システムに係るユースケースや要件等の標準化へのインプット、など実施した結果、救急車用ITS車載器の製品化などの成果に繋がった。

■周知広報活動の実績

研究開発終了後、査読付き論文4件を含む、論文・口頭発表を計11件を実施。学会以外として、自動車技術会自動運転委員会、SIP-adus Workshop等で講演を実施した。

7. 政策へのフィードバック

■国家プロジェクトとしての妥当性、プロジェクト設定の妥当性

本プロジェクトでは、実際に使用されている救急車にITS車載機を搭載し、その効果を示すことができたことによって、実際に救急車用ITS車載機の製品化など、社会的にインパクトのある実装につながった。また、本プロジェクトでは、名古屋市、横須賀市、神戸市などの各自治体にも大きな協力をいただいております、国家プロジェクトでないと成しえなかった。

車車間通信・路車間通信は、異なるメーカー間の相互接続性が重要であり、本プロジェクトでは、通常は競合関係にある企業が連携し、お互いのリソースを出し合って協力しながら、普及状態の模擬や検証に取り組んだ。またメーカーが準備した機器や環境を大学に提供することで、実際の環境でデータを取得しながら研究開発を推進した。車車間・路車間通信を、研究開発から実用化、そして普及およびさらなる改良へ繋げるには、このような連携が必要であり、当該プロジェクトは国が実践するにふさわしい。

本プロジェクトによって、ITS通信による安全運転支援システムの普及が後押しされたことは、交通事故死者数の減少、ひいては国民の安全・安心につながった。

■プロジェクトの企画立案、実施支援、成果展開への取組み等に関する今後の政策へのフィードバック

協調型自動走行システムについては、まだユースケースが定まった段階であり、これからサービス仕様やシステム仕様が検討・議論され、適用する通信方式の検討や実証実験等が活発化すると考えられる。700MHz帯ITS無線は、車車間通信・路車間通信を活用した日本発の技術であり、この分野における我が国の先進性を継続するためにも、協調型自動走行システムの実現に向けて、国家プロジェクトとして継続的な検討が必要と考えられる。