

コネクテッドカー時代に向けた ドコモの取り組み

5Gイノベーション推進室

コネクテッドカービジネス推進室

第一法人営業部

あべ じゅんいち よしおか しょうへい
阿部 順一 吉岡 翔平
やすかわ しんぺい
安川 真平
しんま かんたろう
新聞 寛太郎

自動車業界は「CASE」と表現される変革の時期を迎えている。コネクテッド化、自動運転化、シェアサービス化、電動化の4つの要素からなり、現在、積極的に技術検討が進められている。中でもコネクテッド化は他の3要素の高度化に資する要素であり、特に5G/LTEの活用が期待されている。そこで本稿ではコネクテッド化に着目し、セルラ通信による支援が有効とされる安全運転支援の概要とドコモにおける取り組みを解説する。

1. まえがき

近年、自動車を取り巻く環境は大きく変わろうとしている。2016年にダイムラーが提唱したCASEは、Connected（コネクテッド化）、Autonomous（自動運転化）、Shared & Services（シェアサービス化）、Electric（電動化）の4つの要素によって自動車業界に変革をもたらすという。

中でもコネクテッド化は、他の3要素の高度化に資する要素である。例えば、車両や道路上に設置されたレーダーやカメラで取得したセンサ情報を、無

線通信により相互連携し、交通状況を解析する。その解析結果を基に交通事故の原因となりうる危険な状態の通知や交差点の通過支援情報などを配信することで、安全で効率的な自動運転の実現が見込まれる。

そこで、ドコモでは官民ITS構想・ロードマップ[1]が掲げる「世界一安全で円滑な」道路交通社会の構築というビジョンに通信事業者として貢献するため、「CASE」のコネクテッド化に着目し、セルラ通信の活用による取り組みを推進している。

本稿ではセルラ通信による安全運転支援の概要と

ドコモにおける各種取組みを解説する。

2. セルラ通信による安全運転支援の概要

2.1 安全運転支援に向けた通信の役割

車両に搭載されたセンサやカメラ（以下、センサ）により車両の周囲の人間や物体を認識し、事故の可能性を検知して緊急ブレーキをかけるなど、安全運転に寄与するADAS（Advanced Driver Assistance System）^{*1}の普及が進んでいる。一方で、自車のセンサでは検出が難しい物陰などの見通し外領域や、渋滞情報などの広域の交通情報を無線通信で収集・配信する技術も検討され、一部VICS（Vehicle Information and Communication System）^{**2}やITS Connect[®]^{*3}などのITS（Intelligent Transportation System）^{*4}としてすでに実用化されている [2] [3]。

センサでの情報の検出や無線通信による情報収集・配信の考え方の一例として、自動運転での活用が想定されているダイナミックマップの概要を図1

に示す。ダイナミックマップは、3D地図と車載センサのセンシング結果を利用して自動運転車両の正確な位置を把握するとともに、センサや無線通信で検出・配信された情報をマッピングし、走行ルートにおけるリアルタイムの交通状況の把握を実現する。

ダイナミックマップは更新頻度などの違いにより静的情報・準静的情報・準動的情報・動的情報の4つの階層で定義されている。

静的～準動的情報は、時間的に変化する交通環境に関する情報提供であり、自動運転システムだけではなく手動運転のドライバーに対する安全運転支援の観点も含めて無線通信の活用が検討されている。

動的情報には、信号情報や周辺車両、歩行者情報などがある。これらは、1秒以下の更新頻度を想定する、状況把握の過失が事故に直結しかねない情報であり、車載センサの情報が該当するが、センサが検出できない見通し外領域などでは無線通信の活用も考えられる。

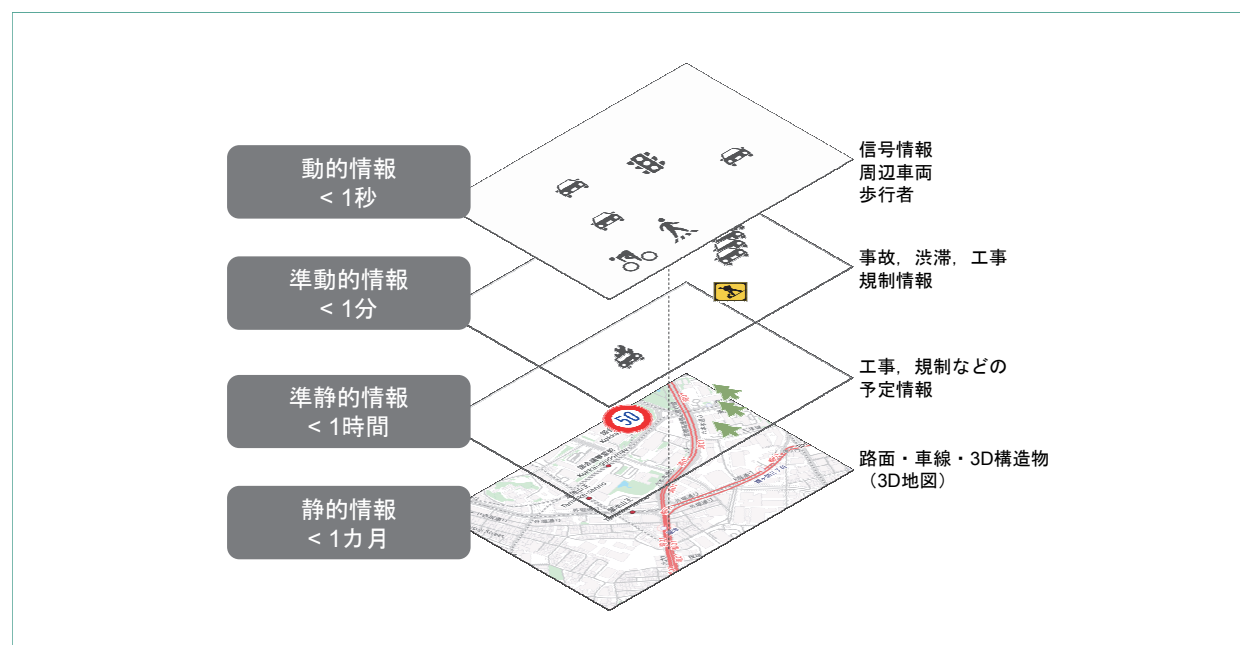


図1 ダイナミックマップの概要

^{*1} ADAS：先進運転支援システムで、車載センサやカメラなどを活用し、自動車の運転の安全性向上をめざすシステム。自動車の運転は「認知」「判断」「操作」の3要素で成り立っているが、3要素のどこかでミスが生じると事故や危険な運転操作につながる。ADASはセンサなどで把握した周囲の状況に基づき、前記3要素を補助する。

^{*2} VICS[®]：一般財団法人道路交通情報通信システムセンターの登録商標。

^{*3} ITS Connect[®]：760MHz帯の専用周波数を用い、路車間、車車間通信を活用した運転支援システムのこと。塩谷和也氏の登録商標。

2.2 セルラV2Xの概要

車両とあらゆるものを無線通信で接続し情報共有する手段として、V2X (Vehicle to Everything) 技術が検討されており、車車間の直接通信 (V2V: Vehicle to Vehicle)、車と路側機 (道路脇に設置されている無線通信設備) 間の直接通信 (V2I: Vehicle to Infrastructure)、車両と歩行者間の直接通信 (V2P: Vehicle to Pedestrian)、LTEや5Gなどのセルラ網を経由して通信する広域通信 (基地局経由通信, V2N: Vehicle to Network) から構成される。

V2X技術の1つとして、セルラ通信技術を基盤とし、移動通信システムの標準化団体である3GPP (3rd Generation Partnership Project) において標準化されたセルラV2Xがあり、技術検討や実証実験が進んでいる。図2はセルラV2Xの適用領域である。

V2V, V2I, V2Pの直接通信 (以下、直接通信V2X) では、車両の近傍であるが、車載センサが検知できない「直接通信アシスト領域」の情報提供をターゲットにしており、低遅延通信が可能なPC5と呼ばれる無線インタフェースを利用する。例えば、

交差点通過支援、前方車両の緊急ブレーキの通知などを周囲にブロードキャストするユースケースが想定されている。この直接通信アシスト領域は、前述のダイナミックマップでは主に動的情報に対応する。

V2Nは主に直接通信アシスト領域がカバーできない範囲において、セルラ網の広域性を活用した通信を担う。例えば渋滞情報など、喫緊の状況判断には直結しないが円滑な運転に寄与するユースケースが想定されている。なお、V2Nは車両が基地局を経由して他の車両、歩行者、路側機と通信する形態も考えられ、V2N2X (Vehicle to Network to Everything) とも呼ばれる。この広域通信アシスト領域は、前述のダイナミックマップでは主に静的～準動的情報に対応する。

2.3 セルラV2X標準化動向

セルラV2Xの標準化は、3GPP SA (Service and System Aspects)*5においてユースケース、要求条件、アーキテクチャ、セキュリティなどを定め、それらに基づき3GPP RAN (Radio Access Network)*6に

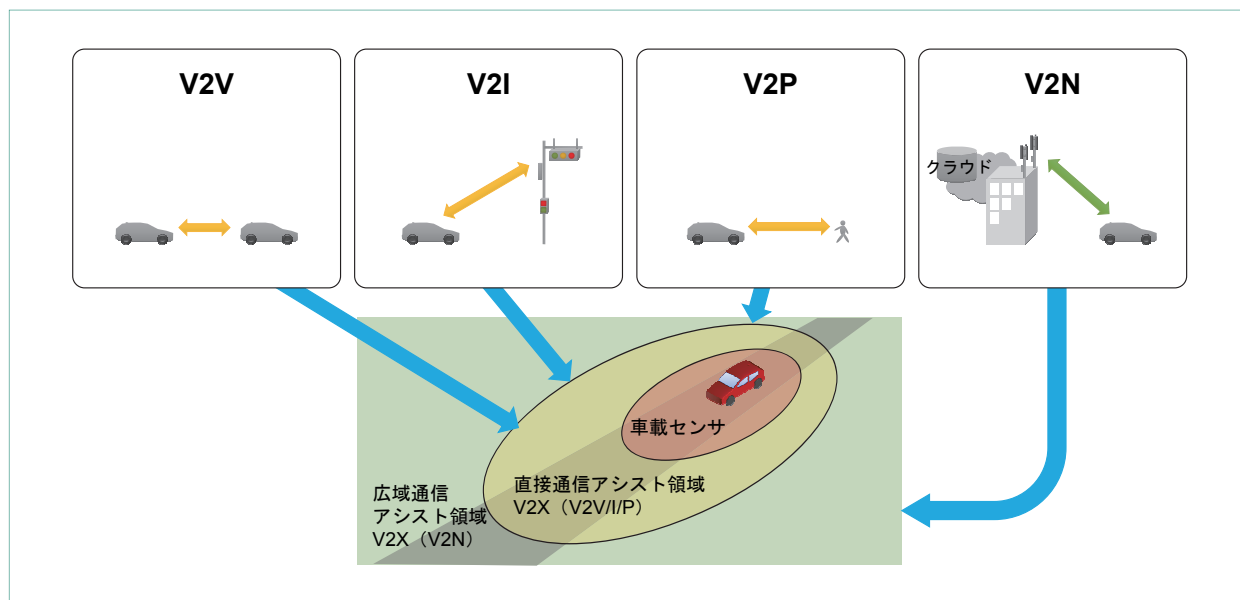


図2 セルラV2Xの適用領域

*4 ITS: 通信技術を用いて、車両管理や道路交通などを快適にする交通システム全体の総称。

*5 3GPP SA: 3GPPにおいて、サービス要求条件、アーキテクチャ、セキュリティ、コーデック、ネットワーク管理に関する仕様化を行っているグループ。

*6 3GPP RAN: 3G以降の移動体通信システムの標準化団体において、端末と基地局間の仕様を策定するグループ。3GPP RANの配下には複数のWG (Working Group) が存在し、無線Layer 1仕様を検討するWG (WG1)、無線Layer 2/3仕様を検討するWG (WG2)、無線パフォーマンスを検討するWG (WG4) など、各技術の内容に分かれて検討が行われる。

においてV2Nと直接通信V2Xそれぞれの無線インタフェースに関する検討が進められている。また、3GPPにおける議論は、セルラV2Xによるコネクテッドカーサービスを検討する自動車業界の団体5GAA（5G Automotive Association）と情報交換を行いながら進められている。

(1)直接通信V2X

直接通信V2Xは、3GPP Release 12, 13（以下、Rel.12, 13）で仕様化された端末間通信に基づき、端末の高速移動への対応、通信範囲拡大、基地局による送信リソース制御もしくは端末の周波数センシングによる自律的な送信リソースの選択、などのV2X向けの直接通信（LTE Rel.14, 15）が仕様化された。Rel.14では、基本的な安全運転支援アプリケーションを対象とし、数百バイトのsmallパケットの周期的なブロードキャスト通信に最適化されており、ITS向け周波数（5.855～5.925MHz）での運用が想定されている。さらにRel.15ではキャリアアグリゲーション^{*7}および高次変調の機能追加によるデータレート向上が仕様化された。

2020年3月に仕様化完了を予定しているNR（New Radio）Rel.16では、周期的なブロードキャスト通信に加えて非周期的なデータ通信やユニキャスト、グループキャスト通信が検討されている。またフィードバック情報を用いた再送制御や高精度かつ高効率なQoS（Quality of Service）^{*8}制御が提供される。Rel.16はITS向け周波数を含む6GHz以下および24.25GHzから52.6GHzまでのミリ波^{*9}の幅広い周波数を対象とし、同一周波数帯におけるUL（UpLink）/DL（DownLink）通信との共存も検討されている。

(2)V2N

V2Nは、基地局と特定の1台の車両との通信（ユニキャスト通信）、および、基地局と特定の複数の車両との通信（マルチキャスト通信）が想定されている。Rel.13までに標準化が完了しており、LTEの

既存規格を利用できる。さらに2018年6月に策定が完了している5G向けの新しい無線方式（NR）の初期仕様（Rel.15）を利用可能である。加えて、Rel.16において、0.5～1msの無線区間遅延と最小パケット誤り率 10^{-6} を満たす超高信頼低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）^{*10}のむけの規格の検討が進められている。

3. ドコモにおける取組み

3.1 概要

ドコモでは、コネクテッドカーによる安全運転支援の実現に向け、総務省やパートナー企業と連携し、直接通信V2Xにおける通信性能の評価と既存システムとの干渉条件の調査とセルラV2Xの実証実験を実施した。また、V2Xで伝送された情報をマッピングし、セルラ網を活用して配信するダイナミックマップについても実証実験を実施したので、合わせて解説する。

3.2 直接通信V2Xにおける通信性能の評価と既存システムとの干渉条件の調査

ドコモは、セルラV2Xの導入への事前検討として、総務省による周波数割当てプロセス [5] の一環で実施される技術試験事務^{*11}を2018年度に受託した。

本技術試験事務では、3GPPでRel.14として仕様化された直接通信において、自動運転や安全運転支援において想定される「高速道路での合流／車線変更支援」および「緊急ハザード通知」の2つのユースケースを要求条件とした基本的な通信性能の評価（図3①）、および、日本国内でETC（Electronic Toll Collection system）/ETC2.0として実運用されているITS無線システムである5.8GHz DSRC（Dedicated Short Range Communications）（ARIB（Association of Radio Industries and Businesses）^{*12} STD-T75 [6]）を既存システムとした干渉条件の調査（図3②）と

^{*7} キャリアアグリゲーション：複数のキャリアを用いて同時に受信することにより、既存のLTEとの互換性を保ちながら広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

^{*8} QoS：通信の目的に応じて最適な帯域を確保し、その通信に求められる通信品質を保证する技術。

^{*9} ミリ波：周波数帯域の区分の1つ、30GHzから300GHzの周波数

をもつ電波信号。

^{*10} 超高信頼低遅延通信（URLLC）：低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。

^{*11} 技術試験事務：電波を有効に利用できる実現性の高い技術について技術的検討を行い、その技術の早期導入を図ることを目的として、総務省により実施されている施策。

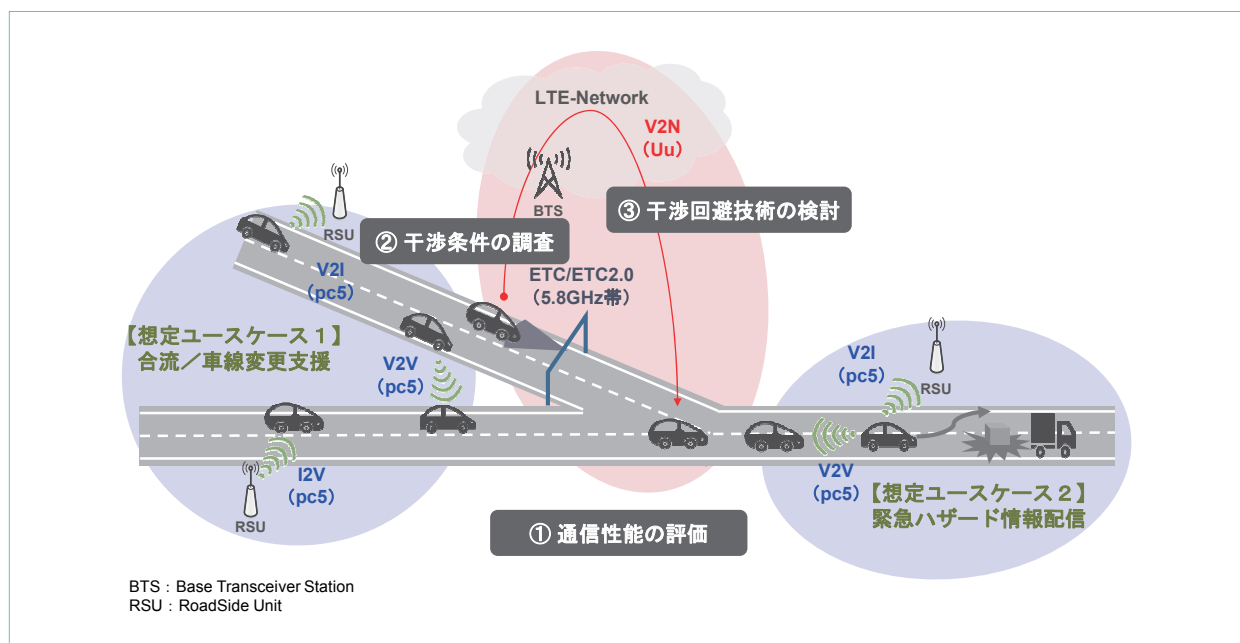


図3 コネクテッドカー社会の実現に向けた技術試験事務

干渉回避技術の検討（図3③）を実施した。

通信性能の評価に関して、遮蔽物が無い見通し環境においてシステム内・隣接チャネルからの干渉がない場合、パケット誤り率 10^{-2} 以下を満たす通信距離が、車車間は830～1,000m以上、路車間は400～620m程度を確認した。

干渉条件の調査については、ETCに対しては20MHz以上のキャリアの占有帯域間の周波数的な離隔で0～23.5mの離隔距離が必要であること、ETC2.0に対しては20MHz以上の周波数的な離隔で23.5～349.5mの離隔距離が必要であることを確認した。また、ETC/ETC2.0基地局の位置情報を事前に把握した上で離隔距離を考慮したジオフェンス^{*13}を構築し、当該エリア内では直接通信V2Xの送信を停止してV2Nに切り替える干渉回避技術を検討した。

3.3 セルラV2X実証実験

ドコモは、コンチネンタル・オートモーティブ・ジャパン株式会社、エリクソン、日産自動車株式会

社、沖電気工業株式会社、Qualcomm Technologies, Inc. と共同で、日本において初めてセルラV2Xの実証実験に成功した^[4]。ドコモは商用LTE網を活用し、各車両から車両位置などの情報を収集し、安全運転支援メッセージを配信するV2N（V2N2X）の評価システムを開発し、走行実験を実施した。

実験で用いたV2N（V2N2X）評価システムは、図4に示すように、各車両の情報を商用LTE網に閉域接続^{*14}したITSサーバに一定周期で収集する。ITSサーバでは情報を解析し、事故リスクを判定、故障車などの道路上の障害物や見通しの悪い交差点での出会い頭衝突、対向車両接近時における追越し危険などの安全運転支援メッセージを配信する（図5）。

本実験において、LTEの通信遅延が中央値^{*15}で50ms以下、95%タイル値^{*16}において60ms以下でメッセージを配信できることを確認した。なお、本結果は各車両ですでに無線接続が確立された状態において、本実験の環境下で確認した参考値である。

本実験ではV2N（V2N2X）の通信遅延を検証し

^{*12} ARIB：一般社団法人電波産業会。日本における通信・放送分野における電波利用システムに関する標準規格の策定などを行う総務省所管の社団法人。

^{*13} ジオフェンス：地上に仮想的に設定した境界線のこと。位置情報と連携し、この境界線の出入りにより端末の動作を規定する、などの活用が可能。

^{*14} 閉域接続：ドコモが提供するアクセスプレミアムLTEにより、インターネットを経由せずにサーバなどを直接LTEネットワークに接続すること。

^{*15} 中央値：有限個のデータを小さい順（または大きい順）に並べたとき、真ん中に位置する値のこと。

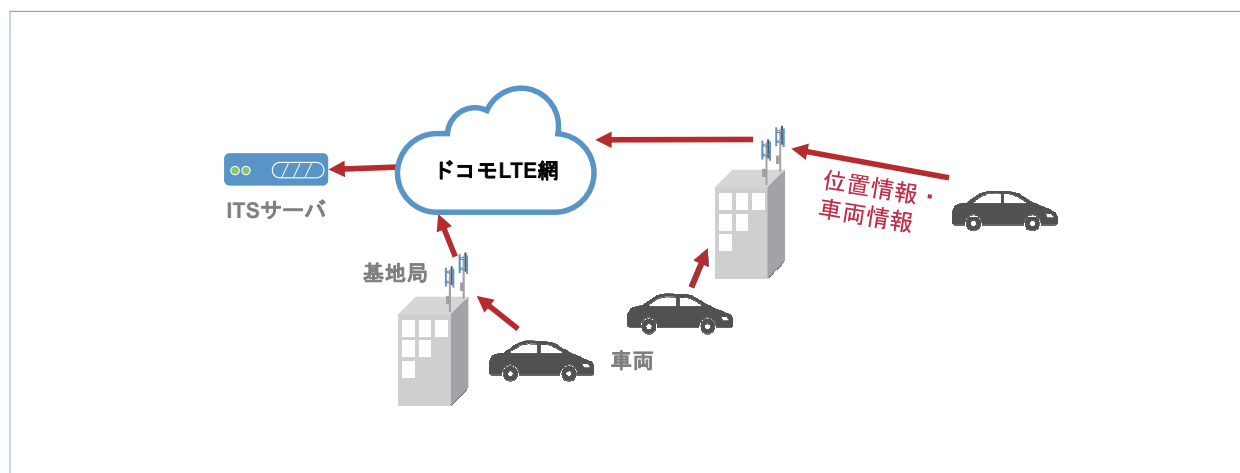


図4 V2N (V2N2X) 評価システムの概要



図5 V2Nによる故障車通知

たが、実用化に向けては情報を集約してリアルタイムの安全運転支援情報を配信するITSサーバのスケラビリティや、システム全体の可用性、通信回線やITSサーバなどのコスト負担の在り方などの検討が必要である。

3.4 ダイナミックマップの効率的な配信技術の実証実験

自動運転の実用化や普及が進みダイナミックマップのデータが高頻度に流通するようになった場合、大幅に増加した通信トラフィックがセルラ通信網に想定外の負荷をかける恐れがある。この課題認識の

*16 %タイル値：計測値の分布（ばらつき）を小さい数字から大きい数字に並べ替え、パーセント表示することによって、小さい数字から大きな数字に並べ変えた計測値においてどこに位置するのかを測定する単位。例えば65パーセンタイルであれば、最小値から数えて65%に位置する値を指す。

下、ドコモは2016年度から2018年度にかけて総務省よりダイナミックマップの効率的な配信技術の研究開発を受託した。

本研究開発では、従来はクラウドで一極集中管理することが想定されていた地図データを、セルラ通信網内に地域ごとに設置するモバイルエッジサーバ^{*17}を活用して分散管理する技術、地図データを125m平方や1km平方単位に分割して更新バージョンを付与して管理することにより分割配信および差分配信する技術、自動運転車両の走行状態や配信データの用途・容量などに応じてセルラ通信と無線LAN通信を動的に切り替えたり同時に通信したりする技術の研究開発を実施した（図6）。

これらの技術の検証は、横須賀リサーチパークにLTE試験基地局、コアネットワーク^{*18}シミュレータ、モバイルエッジサーバなどの通信環境やダイナミックマップ（SIP（Strategic Innovation promotion Program）^{*19}での検討結果を踏まえて地図を測量・

図化）や自動運転車両（同志社大学、名古屋大学、金沢大学、東京大学の協力を得て4台の車両を用意）を含む実環境を模した実験環境を構築して実施した。検証の結果、本技術を用いることでセルラ通信網の無線区間・有線区間の通信トラフィックを従来と比較して50%以下に低減可能であることを確認した。また、検証においては地図の配信から自動運転車両の走行までのEnd-to-Endのサービス成立性も検証した。具体的には、研究開発した技術を用いて自動運転の処理方式が異なる4台の車両に対してダイナミックマップを配信し、これを受信した4台の車両が同じように走行することを確認した。

4. あとがき

本稿では、セルラ通信を用いた安全運転支援について、技術概要を解説するとともにドコモの取組みとして各実証実験を紹介した。

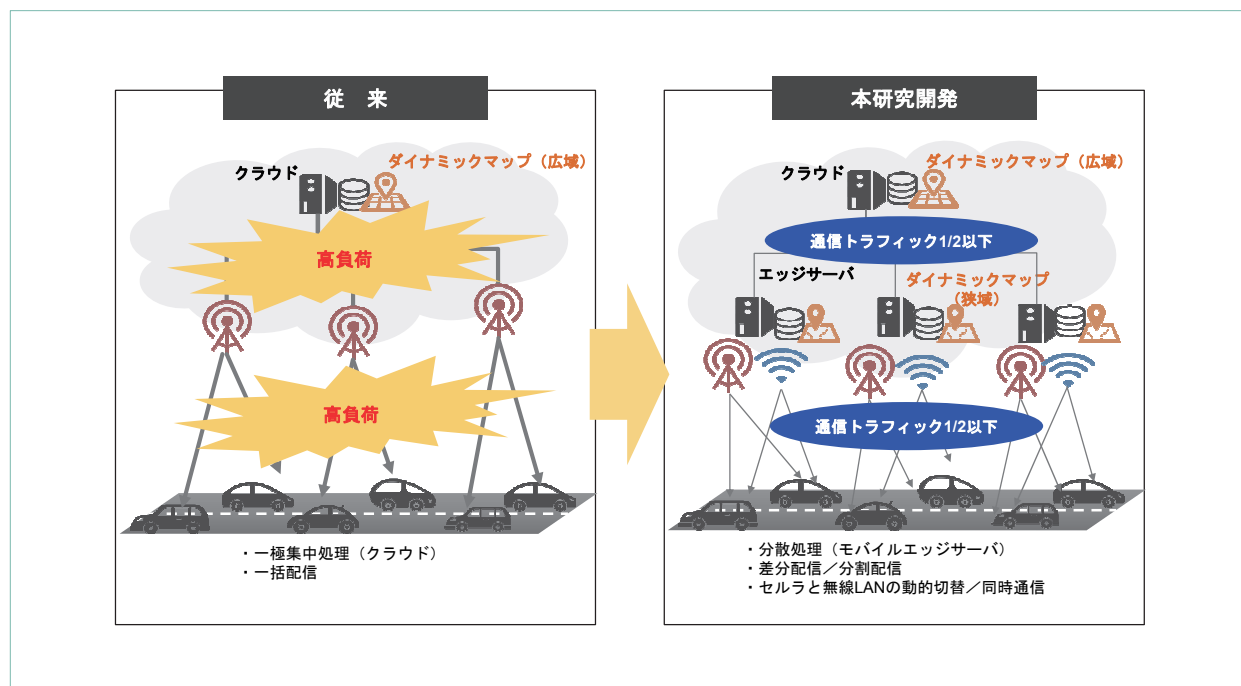


図6 ダイナミックマップの効率的な配信技術の研究開発の概要

^{*17} モバイルエッジサーバ：インターネット上ではなく、端末に比較的近いセルラ網内においてサービス処理を行うサーバのこと。

^{*18} コアネットワーク：交換機、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

^{*19} SIP：戦略的イノベーション創造プログラムのことで、内閣府に設置された総合科学技術・イノベーション会議において、府省の枠を超えて基礎研究から実用化・事業化までを見据えた取組みを推進する国家プロジェクト。

多数の交通参加者をセルラ通信によって接続して安全運転支援を提供するセルラV2Xの実現には、関係省庁や自動車業界と連携しさまざまな環境における実験を行い、実用性の検討を深める必要がある。ドコモはセルラ通信を活用した安全運転支援の持続可能な形での社会実装を継続して検討し、「世界一安全で円滑な」道路交通社会の実現に貢献していく方針である。

なお、本稿は、総務省の技術試験事務「Connected Car社会の実現に向けた既存ITS用無線システムを補完する新たな無線システムの技術的条件等に関する調査検討」、および、総務省の委託研究「自律型モビリティシステム（自動走行技術、自動制御技術等）の開発・実証」、「膨大な自律型モビリティシステムを支える多様な状況に応じた周波数有効利用技術の研究開発」の成果の一部を活用したものである。

文 献

- [1] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：“官民ITS構想・ロードマップ2019,” Jun. 2019.
<https://cio.go.jp/node/2509>
- [2] ITS Connect推進協議会ホームページ.
<https://www.itsconnect-pc.org/>
- [3] 一般財団法人道路交通情報通信システムセンター：“VICS.”
<https://www.vics.or.jp/>
- [4] NTTドコモ報道発表資料：“日本初、セルラーV2Xの共同実証実験に成功,” Dec.2018.
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_181213_01.pdf
- [5] 総務省：“総務省電波利用ホームページ 周波数割当てプロセス.”
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/process/index.htm>
- [6] ARIB STD-T75 V1.5：“狭域通信（DSRC）システム,” Dec. 2008.
https://www.arib.or.jp/image/kikaku/kikaku_sample/sample-std-t75-1.5.pdf