トラックの隊列走行を可能にする5G技術

5G as an Enabler for Truck Platooning

吉野 仁 Hitoshi Yoshino[†] 三上 学 Manabu Mikami[†]

Summary

第5世代移動通信システム (5G) がサポートする通信領域は三つあると言われている。従来の延長である拡張モバイルブロードバンド通信 (eMBB), 超高信頼・超低遅延通信 (URLLC) と超多数端末接続通信 (mMTC) である。これらの通信領域のうち, eMBB を中心とする領域はスマートフォンの大容量化など既に商用化が始まっている。URLLC と mMTC は産業への応用が期待される通信領域で, 今後大きく発展する分野と期待されている。本稿ではまず 5G のサポートする三つの通信領域について概説する。つぎに, 5G の産業への応用例として期待されているトラックの隊列走行 (後続車自動運転, 遠隔監視制御) を取り上げ, 応用事例, 通信への要求条件について述べる。そして, 5G 技術の具体的な適用例について述べる。最後に, 隊列走行の制御システムと結合した 5G 隊列走行実験をテストコース及び新東名高速道路で実施した結果について紹介する。

Key Words

5G, トラック隊列走行, サイドリンク, QoS 制御, 無線リソース制御

1 はじめに

第5世代移動通信システム (5G) の商用化が始まった。5G はまず従来の移動通信システムの能力拡張である拡張モバイルブロードバンド通信 (eMBB: enhanced Mobile Broadband) から展開されることになる。5G ではこれに加えて, 超高信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communication) や超多数端末接続通信 (mMTC: massive Machine Type Communication) を新たな適用領域としており, 高度情報化社会の社会基盤として期待されている。特に URLLC と mMTC は新しい市場を開拓できる可能性があり, 具体的な 5G の適用事例の確立が急務である。

2 5G のサポートする三つの領域

5G 移動通信システムに期待される無線能力を図1に示す。2020 年以降の移動通信の様々な利用シナリオを想定して, 通信の立場から必要な無線能力を特定し, 大きく三つの通信分野に大別している。従来のモバイルブロードバンド通信の拡張である「拡張モバイルブロードバンド通信 (eMBB)」, 自動運転や産業機器の制御などミッションクリティカルな「超高信頼・低遅延通信 (URLLC)」, 及びセンサネットワークや IoT (Internet of Things) 端

末通信のような多数同時接続を想定した「超多数端末接続通信 (mMTC)」である。実際の 5G の活用事例ではこれら三つの通信要素を組み合わせた通信を用いる。4G までの移動通信システムでは, モバイルブロードバンド通信が主な対象であったが, 5G からは新たに URLLC と mMTC が新たな移動通信の領域として加えられた。今後, 従来の人を中心とした通信に加えて, ‘もの’と‘もの’の通信をサポートし 5G 移動通信が社会インフラとして使われることを想定している。

同図において, 内側のオレンジ色の六角形が 4G, 外側の青色の六角形が 5G の無線能力を表す。主な指標としては, ピークユーザレート, 1 セル当りの端末収容数, 伝送遅延, 同時接続数, 低消費電力, 移動度などがある。10 Gbit/s 以上のピークユーザレートは拡張モバイルブロードバンド (eMBB) のサポートに必要である。更に, ネットワーク容量を拡大するために, 一つの基地局に収容する端末数 (1 セル当りの端末収容数) も 1 万台程度と 4G の 10~100 倍程度に増大する必要がある。また無線区間 1 ms 以下の遅延, 及びブロック誤り率 (BLER: Block Error Rate) 10^{-5} 以下を満たす信頼性は, 超高信頼・低遅延通信 (URLLC) のサポートに必要となる。また, 超多数端末接続通信 (mMTC) では, 無線端末装置の同時接続数 100 万台/km²が必要である。更に mMTC の分野では, 無線端末の消費電力を 4G 比で 1/10 とすることを目標としている。5G では移動度に関しては高速列車での利用を考慮して 500km/h における通信のサ

[†] ソフトバンク株式会社先端技術開発本部, 東京都 Advanced Technology Division, SoftBank Corporation, 105-7317 Japan

図1 5Gの無線能力

ポートを目標としている^{(1), (2)}。

5Gは、これらの無線能力を、応用事例（ユースケース）に応じて必要なだけ提供するという柔軟な無線システムとなっている。

3 5Gのトラック隊列走行への適用

3.1 5Gのトラック隊列走行の通信

トラック隊列走行では、数台のトラックが隊列車群を形成し走行する。先頭車両が有人でドライバにより運転される。後続車両は無人で先頭車両に追従する自動運転である。トラック隊列走行では、車両間の通信を用いて隊列車群を一体に制御する。現在実用化に向け世界各国で開発が行われている。

トラックの隊列走行により様々な社会課題の解決が可能となる。隊列走行により車間距離を短くして走行させることで、走行空気抵抗を低減し燃費向上が可能となる（図2）。図2において車間距離が2mの場合、燃費改善は約25%となることが知られている。

トラックの隊列走行では、(1) 車両の制御のためのメッセージ通信、(2) トラック隊列の後方及び側方監視のための画像通信、(3) 補機類の情報を隊列トラック間で共有するためのメッセージ通信の三つがある。

(1) 車両の制御

通信により、先頭車両がブレーキをかけたという情報を後続車に伝えるときに、トラックが80 km/hで走行しているとすると、通信による遅延が100 msの場合では2.2 m車間距離が縮まる。一方、通

信による遅延時間が1 msの場合は2.2 cmとなる。更に制御遅延も加わる。隊列走行により車間距離を例えば2 m短縮して走行する場合、通信だけで100 ms遅延すると先頭車に追突してしまうことになる。無線区間の伝送遅延が1 ms以下となる5G URLLCのこの分野への利活用が期待される。

レーダなどを用いて先行車両と後続車との車間距離を測定し、速度に応じた安全な車間距離を保持する適応車間距離制御（ACC: Adaptive Cruise Control）は既に実用化され多くの車両に搭載されている。しかし、車間距離情報だけの制御では、前方を走る車の減速が発生してから車間距離が変化するまでに、時間的に大きな遅れが生じる。後続車の減速が発生するまでには更に遅れが生じる。このためACCだけで追突を防止するには長い車間距離が必要である。一方、協調型適応車間距離制御（CACC: Cooperative ACC）では車車間通信を用いて前方車両の速度や位置の情報を後続車に伝送できるため、先行車両の減速開始時点で後続車側は車速を制御できるため、前方車両が急制動したときの車間距離制御性を大幅に改善することができる。また、制御の遅れによるハンチングの少ない安定した走行も可能となる。更なる燃費低減、道路の交通容量の増大のためには、安全を確保しつつ車間距離の短縮と隊列車両数の増大が必要である。隊列走行の更なる高度化には、低遅延かつ高信頼の通信を提供できる5G URLLCが必要不可欠となることが予測される。

更に、トラックの隊列走行では、複数のトラックが一つの隊列を形成し、その隊列が一つの制御システムとなっている。この制御システムにおいては、

図2 車間距離と燃費向上率

操作量と状態量が、無線回線を介して複数のトラックをまたぐことになる。各トラックの積載量や、加速性能、ブレーキ性能、操舵性能には、ばらつきがあるので、将来、隊列のより安定した最適制御を行うためには、フィードバック制御などが必要であり、低遅延・高信頼の5G URLLC通信が、制御システム内の制御情報のやり取りに有効であると考えられる。

(2) モニタ画像による後方及び側方監視

トラックの隊列走行においては、隊列後方及び側方の目視による安全確認が必要である。隊列走行する車両の台数にもよるが、1台のトラックの全長12m、車間距離10mの3台隊列の場合では、隊列の全長は56mとなる。先頭車両のサイドミラーやバックミラーでは十分な視認を行うことは困難となる。そのため、最後尾の車両に取り付けられたカメラにより後方及び側方監視を行うことになる。

昨今、自動車のミラーをカメラとディスプレイで置き換える電子ミラーの検討が行われている。後写鏡に関する国際連合欧州経済委員会の規則(Regulation 46)が改訂され、画像の遅延は200ms以下と規定されている。また、Regulation 46では電子ミラーは60m後方の視認が必要であると規定されており、100万画素以上の解像度が必要と言われている。また、Regulation 46ではフレームレートは30fpsと規定されているが、動画像を明瞭にするためには実際は60fps程度が必要と言われている⁽³⁾。以上の要求条件を参考に、トラック

隊列走行の後方及び側方監視の画像モニタの要求条件を検討すると、市場での入手しやすさも考慮すると、解像度が1920×1080のフルHD画像(総画素数は207万画素)でフレームレート60fps程度の画像ストリームを複数、後続車両から先頭車両に伝送し表示する必要がある。5Gの大容量伝送能力を用いて無圧縮で画像を送ることも考えられるが、実装においては、Regulation 46での遅延への要求条件200ms以下の規定を考慮して、低遅延コーデックを使用することが必要と思われる。実際には、5G通信のEnd-to-Endの伝送遅延、上記画像コーデック・デコードの遅延を合わせたGlass-to-Glass(カメラレンズから画像表示モニタまで)の遅延時間と伝送ビットレートを最適化することが必要である。

隊列内の後方及び側方の安全確認のための車両間の画像伝送は、隊列走行固有ではあるが重要な5Gユースケースになると考えられる。

(3) 補機類の情報の共有

隊列走行においては、後続車の変速機のギアの位置、イグニッションキーの位置、燃料計、水温計及び警告灯などのメンテナンス情報を先頭車の運転手は把握する必要がある。このような情報は、制御のための情報や後方・側方監視のためのモニタ画像の伝送よりも優先順位は低い、重要な情報である。また、このような情報は、メッセージサイズが小さく、時間間隔はほかと比較して長い、一定の間隔を置いて報告される必要がある。また、伝送遅延が許容される情報でもある。このような情報を前記

図3 車両情報の優先度に応じた伝送制御

図4 セルラー系通信の二つの車車間通信

(1), (2) の情報とともに伝送する場合は、QoS 制御による情報の優先順位付けが必要となる。

3.2 通信の QoS (Quality-of-Service) 制御

3.1 で、隊列走行に必要な情報について述べたが、これらの情報が 5G 通信を用いて伝送される際には、伝送される情報を情報の性質に応じて、優先順位付けをして伝送する必要がある。図3に 5G 車車間通信における QoS 制御の概念図を示す。ここでは 3 種類の優先順位付けの例を示したが、各優先度の分類の中で更に優先付けが必要である。5G のネットワーク区間においては優先順位の異なるクラスの情報に対して、スライスを設定し、QoS 制御をする仕組みがあるが、無線区間については、まだ標準化仕様が策定されていない。隊列走行する車両間の通信をポイントツーポイント (P2P) の通信と考えると、電波伝搬状況により伝送容量と伝送遅

延が変化する単一の周波数チャネルを単一のユーザが使用する回線とみなせるため、ネットワークのスライシングの考え方でスライスを設定することにより優先順位付けが可能であり、隊列走行の通信にも適用可能である。将来的には、同一周波数チャネルを複数の車両（ユーザ）で共有する場合を想定して、ランダムアクセス時のパケットの優先順位付けの方法を規定する必要がある。

4 5G 通信で提供される車車間通信

4.1 基地局経由の車車間通信

図4にセルラー系通信で提供される二つの車車間通信の形態を示す。第1の形態は、通常のセルラー通信と同様に、基地局を介した車車間通信である。無線端末から基地局への上り回線 (Uplink) と基地局から無線端末への下り回線 (Downlink)

図5 車車間直接通信の無線リソース制御モード

から成る。Uu インタフェースとも呼ばれている。

基地局に設置された高性能アンテナや高性能無線機に助けられて比較的安定した通信が確保される。また、周波数帯を選べば、現在の携帯電話と同様に、広域のカバレッジも確保できる。通信は移動通信ネットワーク（コアネットワーク）を介して行われるため、無線区間の伝送遅延に加えて移動通信

ネットワーク内での伝送遅延があるが、それでも4Gにおいても数十から百 ms の比較的低い伝送遅延で通信が可能である。5G になると基地局直下に MEC (Mobile Edge Computing^{*}) サーバを置いて通信を折り返して、10 数 ms 以下の遅延で通信することも可能となる。この形態の通信は、隊列間の車車間通信や、遠隔監視センターなどの地上局との通信にも有効である。

* MEC は、本来、ETSI (欧州電気通信標準化機構) で、ネットワークエッジでクラウドやIT サービスを提供する機能として Multi-access Edge Computing という用語を用いて検討が行われていた。ここではその後5Gで広く用いられている「モバイルネットワークのエッジ (端)」という意味で Mobile Edge Computing とした。

4.2 車車間直接通信

第2の形態は、基地局を介さずに車載無線端末間で直接通信をする形態である。Sidelink と呼ばれる通信回線である。PC5 インタフェースとも呼

図6 車車間直接通信の制御モードの動的切替

ばれている。車載無線端末が直接通信するため、隊列への割込み車の有無や通信環境（アンテナ設置場所など）により通信品質が劣化する場合がある。また、端末間通信であるため、送信電力も小さく、車載できるアンテナの利得も限られている。

しかしながら、移動通信ネットワークを介さずに無線端末間で直接通信するため、数ms以下の伝送遅延で通信が可能である。また、隊列走行するトラックの隊列内通信のような、短い通信距離（数十m程度）の応用事例においては各車両の無線端末は近距離で通信するため、端末間の直接通信であるが安定した通信も可能である。

更に、Sidelinkには、無線リソース（通信に割り当てる無線周波数帯域幅や時分割のスロット数など）の管理を、(a) 基地局側で行うSidelinkモード1（図5(a)）と、(b) 無線端末側で自律的に行うSidelinkモード2（図5(b)）がある。前記(a)の場合、基地局による効率的なリソース管理が可能となりふくそうや混信／干渉の軽減が可能となる。しかしながら、基地局による制御であるため、端末が基地局圏外にいと、通信ができなくなる。

一方、前記(b)の場合、基地局圏外においても通信が可能となる利点があるが、周辺の端末を考慮した無線リソースの制御ができなため、効率的な干渉回避ができないことがある。これら二つのモードの得失を補う方法として、基地局圏内か圏外かで動的にこれらのうち適切なモードに切り換える方法

が検討されている（図6）。車車間直接通信では車両の交通量が多く車載端末の数が多い都市部などでは基地局も整備されている場合が多いので、干渉の回避低減のために、基地局側で無線リソース制御をするSidelinkモード1（図5(a)）は有効である。車両の交通量が少なく車両端末の数が少ない場所では基地局がない場合も考えられ、自律的に無線リソースを制御するSidelinkモード2（図5(b)）が有効である。このような場所では通信のトラヒックも少ないと考えられ、必ずしも基地局を介した効率的な無線リソース制御による干渉低減は必要ないかもしれない。Sidelinkを走行場所に応じて動的にモード切替することは、トラックの隊列走行では有効な方法と考えられる。

4.3 通信の二重化

隊列走行では高信頼性を確保するため通信の多重化（二重化若しくは三重化）が必要である。トラックの隊列走行は高速道路などの通信環境が整備された路線でまず実用化されると考えると、前述した二つの形態のセルラ系通信（基地局経由通信と車車間直接通信）は、トラック隊列走行の車車間通信の冗長性を確保する上で有効であると考えられる。高速道路など通信環境が整った場所では、通信回線の二重化をセルラ系通信のみで構成することが可能である。

図 7 隊列走行のユースケース

5 トラック隊列走行実験

5.1 想定する応用例

5G 通信をトラック隊列走行へ適用する実証実験を、総務省技術試験事務 5G 実証試験の一つとして実施した^{(4), (5)}。この実証実験では、図 7 (a) と (b) に示す応用例について取り組んだ。

図 7 (a) の応用例は隊列を形成する車両間の車車間通信である。ここでは隊列走行する 3 台のトラック相互間に車車間通信を適用した。この事例において通信の要求条件は大別すると二つある。一つは車両制御系情報（速度、車両の位置など）の通信に必要な小容量低遅延通信である。他方は隊列走行の周辺を監視するビデオ監視系情報（車両の周囲状況の監視など）の通信に必要な大容量低遅延通信である。前者においては更に高信頼性も必要となる。

図 7 (b) の応用例は走行する隊列車両と、遠隔運行管理センターとの通信である。この事例にお

いては、移動通信コアネットワークを通した遅延を低遅延にすることが必要であり、かつ、従来のセルラー通信の基地局経由の通信（アップリンクとダウンリンク）が必要となる。基地局を経由した通信で、車両監視のための大容量低遅延のビデオ通信と、車両の遠隔操作のための小容量低遅延通信が必要となる。

5.2 テストコースでの試験結果

日本自動車研究所の城里テストコースで、(1) 基地局経由の車車間通信（V2N2V）と、(2) 車車間直接通信（V2V Direct）の実験を行った（図 8）。

5G 無線機は、5G NR（New Radio）ベースの無線仕様（Release 16）に準拠した。ただし、以下の実験では 3GPP での 5G-NR Sidelink 無線仕様が確定する前に試作装置を製作し、実験を行ったため、5G-NR Sidelink においては、(1) モード 1 は NR Uu による無線リソース制御のみを行い、4G LTE Uu からの制御は実装していない。また、(2)

MAC レイヤより上位層のプロトコル (RLC/PDCP 等) は独自のプロトコルを実装, (3) 使用端末が固定であるため, 無線リソースのスケジューラは固定割当などの相違がある. 図 9 に無線フレーム構成

図 8 テストコースでの車車間伝送実験 (QoS 制御)

成を示す.

無線フレームの先頭には, (1) Sidelink モード 1 と Uu インタフェースの無線フレーム同期に使用する特別サブフレーム 1 と, (2) Sidelink モード 2 の無線フレーム同期に使用する特別サブフレームの二つの特別サブフレームを持つ. 無線サブフレーム長は 0.25 ms (14 OFDM シンボル) である. そして, 14 OFDM シンボルをダウンリンク, アップリンク, Sidelink にそれぞれ 3 シンボルずつ割り当て, そのほかは各リンク間の GP (Guard Period) に割り当てている. 中心周波数は 4.5 GHz 帯で, 伝送帯域幅は 20 MHz, サブキャリア間隔は 60 kHz である. TDD ベースのシステムで Self-contained TDD フレーム構成を持つ.

図 9 5G-NR Sidelink 試作装置の無線フレーム構成

図 10 伝送遅延特性 (CCDF) 基地局経由通信

図 11 伝送遅延特性 (CCDF) 車車間直接通信

5.2.1 基地局経由の車車間通信

図 10 に伝送遅延特性 (CCDF: 相補累積分布関数) を示す。同図では、上り回線及び下り回線の無線区間片道遅延時間 (OTT: One Trip Time) を、赤線及び青線それぞれ示す。また、緑線は IP レイヤ往復遅延時間 (RTT: Round Trip Time) を示す。同図より上下回線とも 99.99 % 以上の確率で片道の無線区間伝送遅延 1.1 ms 以下、ネットワーク往復のエンドツーエンド遅延 3.0 ms 以下を達成していることが分かる。本実験では、モバイルネットワークの端で、MEC サーバにより折返しをしているため、IP レイヤでの往復遅延が、以下に述べる車車間直接通信 (端末間通信) とほぼ同等の RTT となっていると考えられる。

5.2.2 車車間直接通信 (5G-NR Sidelink)

図 11 に CCDF を示す。同図において、赤線は先頭車 (1 号車:UE#1) と 2 号車 (UE#2) の間の無線区間 OTT, 青線は 2 号車 (UE#2) と先頭車 (1 号車:UE#1) への無線区間 OTT を示す。また、同図緑線は、先頭車 (1 号車:UE#1) と後続車 (2 号車:UE#2) の間の IP レイヤ RTT: Round Trip Time を示す。

また、同図赤色及び青色の破線は先頭車 (UE#1) と最後尾車 (3 号車:UE#3) の間の無線区間 OTT: One Trip Time を、同図緑色の破線は先頭車 (UE#1) と最後尾車 (3 号車:UE#3) の間の IP レイヤ RTT: Round Trip Time を示す。

同図より 5G-NR Sidelink (SL) において、先頭車 (UE#1) から後続車 (UE#2) (BL: Backward Link) 及び後続車 (UE#2) から先頭車 (FL:

Forward Link), 先頭車 (1 号車:UE#1) と最後尾車 (3 号車:UE#3) の間でも 99.9% 以上の確率で片道の無線区間伝送遅延 1 ms 以下を達成していることが分かり、また、99.99% 以上の確率で、IP レイヤ往復のエンドツーエンド遅延 3.3 ms 以下を達成していることが分かる。

5.3 新東名高速道路における隊列走行実験

5.3.1 5G CACC 実証実験

本実験では、5G 無線機を実際のトラック隊列走行の CACC 装置と結合し、制御メッセージを 5G-NR Sidelink で伝送した。実際の走行環境として、新東名高速道路において、5G トラック隊列走行を行った (図 12 (a), (b))。隊列走行するトラックの車間距離は 10 m である。図 13 に CACC の ECU (Electronic Control Unit) 装置から見た伝送遅延の測定例を示す。縦軸は CACC 装置内部で観測された伝送遅延 (秒), 横軸は走行距離 (m) である。ECU 内部のデータプロトコルへの変換の遅延などにより、5G-NR Sidelink では 5~20 ms の遅延が観測されている。

5.3.2 5G Sidelink における動的モード切替試験

車車間直接通信 (Sidelink) の二つの無線リソース制御モード (モード 1 及びモード 2) の間の動的モード切替 (図 6) の試験を行った。これは、基地局カバレッジ内外で、Sidelink を安定的かつ効率的に行うために必要な試験である。端末が圏外を検知すると、SL モード 2 (自律モード) に切り換える。図 14 に試験シナリオを示す。

実験 BS 局にセクタアンテナを設置し、セクタ間

(a) トラック 3 台隊列 (前面)

(b) トラック 3 台隊列 走行(後面)

図 12 新東名高速道路 5G CACC 実験

図 13 ECU から見た伝送遅延

でモード 1 のハンドオーバー及び、両セクタの圏外となる部分でのモード 1 からモード 2 への切替試験を行った。

地点 #A を出発して、高速道路上を移動し、地点 #B の基地局 (2 セクタから成り、それぞれ Cell#1 (BS ID:0) と Cell#2 (BS ID:1) のエリアを持つ) 前を通過して、地点 #C へ移動する実験を行った。試験コース上においては、Cell#1 及び Cell#2 の一部が高速道路の切通し区間のために基地局の電波が到達しない。

図 15 にモード切替を行ったときの無線区間の遅延特性を示す。無線リソース制御の制御モードの切替による大きな遅延はないことが分かる。

5.3.3 基地局経由の通信実験

更にトラック隊列の遠隔監視・遠隔操作に向けて、図 7 (b) のユースケースについて四つの基地局を用いて伝送遅延を評価する実験を行った。5G システムとして、NSA (Non-Stand Alone) システムを設置した。NSA は 5G が利用できない場所では 4G として動作するシステムである。既存の商用 4G 基地局の鉄塔に、5G 及び 4G の実験用アンテナを設置した (図 16)。図 17 に基地局経由の 5G の遅延特性を示す。上段が上り回線、下段が下り回線の E2E 遅延の測定結果である。横軸は高速道路上の位置を表す。同図で赤点は 5G-NSA の遅延特性を、青点は LTE のみの遅延特性をそれぞれ示す。同図から、高速道路の切通し区間など、見通し外伝搬となる場所においてカバレッジが難しいことが分かった。また、基地局直下においてもアンテナ指向性の影響により、信号レベルが大きく低下す

図 14 Sidelink の動的切替の試験シナリオ

図 15 Sidelink の動的モード切換の伝送遅延特性

図 16 商用 4G 基地局に併設された 5G アンテナと実験基地局

ることが分かった。同図より 5G が選択されている場合には (1) Short TTI (Transmission Time Interval) により LTE 単独と比較してエンドツーエンドの遅延が約半分に短縮することができること、(2) 5G 下り回線ではエンドツーエンド遅延を試験区間の高速道路上の多くの区間で 10 ms 以下とす

ることができること、(3) 下り回線と比較して上り回線の伝送遅延が大きいこと、(4) セル間ハンドオーバー発生場所を含む 5G-NR のセル端を中心に遅延が大きくなることが分かった。信号レベル低下によるハイブリッド ARQ の再送回数の増加などが原因と考えられる。上り回線の処理遅延の短縮が課題である。

6 まとめ

トラックの隊列走行に 5G を適用するための要求条件、ユースケース、及び、トラックの隊列走行に 5G が提供できる通信の形態について議論した。そして、総務省 5G 技術試験事務のプロジェクトの一つとしてその基本性能を評価した。その結果、5G-NR Sidelink では、エンドツーエンドの伝送遅延 3.3 ms 以下と無線区間の伝送遅延 1 ms 以下を達成することを確認した。更に、総務省 5G 技術試験事務と、経済産業省及び国土交通省のトラック隊列

図 17 基地局経由の 5G の遅延特性

走行プロジェクトの一環として、5G を実際の CACC 装置と結合し、隊列走行実験を新東名高速道路で実施した。その結果、ほかの既存通信システムと比較して、5G の隊列走行への応用が有効であることを確認した。現在の隊列走行制御システムでは新しい 5G の低遅延性と高信頼性を十分生かし切れたシステムとはなっていない。今後、隊列走行の高度化（車間距離の短縮や、更なる走行の安定性確保）に向けて、5G を十分活用できるような隊列走行システムの開発に貢献できれば幸いである。

■ 文献

- (1) ITU-R, “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,” Recommendation ITU-R M.2083, Sept. 2015.
- (2) 5GMF, 5GMF White Paper “5G mobile communications systems for 2020 and beyond,” Ver.1.01, July 2016.
- (3) 久米秀尚, “電子ミラー解禁 普及開始は 2018 年から,” 日経 Automotive Features 解説, pp. 58-63, Aug. 2016.
- (4) 総務省, “5G 総合実証試験の開始,” http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000297.html, May 2017.
- (5) M. Mikami and H. Yoshino, “Field trial on 5G

low Latency radio communication system towards application to truck platooning,” IEICE Trans. Commun. vol. E-102, no.8, pp. 1447-1457, Aug. 2019.

(2020 年 6 月 10 日受付, 8 月 24 日再受付)

吉野 仁 (正員)

1986 東京理科大・工・電気卒。1988 同大学院工学研究科修士課程了。2009 ソフトバンク株式会社入社。以来、移動通信システムの研究に従事。現在、同社先端技術戦略部担当部長。1994 年度本会学術奨励賞、1994 年度本会論文賞、2020 年度本会論文賞、2020 年度本会最優秀論文賞各受賞。IEEE 会員。博士（工学）（東工大）。

三上 学 (正員：シニア会員)

1993 東北大・工・情報卒。1995 同大学院情報科学研究科博士前期課程了。2000 日本テレコム株式会社（現ソフトバンク株式会社）情報通信研究所配属。以来、無線通信技術、移動通信技術の研究開発に従事。2008 東北大学院工学研究科博士後期課程了。2020 年度本会論文賞、2020 年度本会最優秀論文賞各受賞。IEEE 会員。博士（工学）。