

6G 時代に向け、サブテラヘルツ波を利用した 車両通信システムの高速大容量伝送に成功

—実走行車両に対し 1.7Gbit/s、300m 超の 5G 標準仕様準拠無線伝送を実証—

概要

国立大学法人京都大学大学院情報学研究科の原田博司教授、香田優介准教授らの研究グループは、サブテラヘルツ帯（100 GHz 帯）において、交差点から約 300 m 長にわたる車線上を実際に走行する車両に対し、5 G 標準化で定められている通信仕様に準拠しながら、国内の 5 G に割り当てられている最大チャンネル帯域幅（400MHz）の 2 倍以上（920MHz）を用いた高速無線伝送（伝送レート：1.7 Gbit/s）に成功しました。実際に走行する車両へのデータ伝送において、5 G 標準化仕様に準拠した通信方式を用いながら、サブテラヘルツ帯の電波を用いて高速・大容量伝送を実証したのは世界初の成果です。今回の成果により、交差点周辺で生成される点群データや高精度 3 次元地図情報など、自動運転車両向け大容量認識情報を移動通信環境下で高速に伝送することが可能となります。これにより、より安全な自動運転・自動交通社会の実現に向けた超高速無線通信インフラの研究開発が加速するものと期待されます。



図 1：サブテラヘルツ帯車両向け移動伝送装置（(a) 送信機、(b) 受信機）

1. 背景

商用サービスが開始されている第 5 世代移動通信システム (5G) は、「高速・大容量」「低遅延」「多接続」を特長とし、個人向け通信サービスのみならず産業や社会基盤を支える重要な情報通信インフラとして、さらなる高度化が期待されています。なかでも自動運転分野においては、車両向け通信システム V2X (Vehicle-to-Everything) ¹が注目されており、5G の活用が検討されています。V2X では、車両同士あるいは車両と路側インフラとの間で、位置情報、各種センサー、メーター、モニターの情報を共有することで、交通事故の削減等交通分野におけるさまざまな課題解決に貢献することが期待されています。日本では、このような V2X の実現に向けて 5.9 GHz 帯の利用が検討されているほか、28 GHz 帯に代表されるミリ波帯²を用いた研究開発も進められています。一方で、自動運転車両に搭載されるカメラや LiDAR などのセンサーは高性能化・高精細化が進んでおり、取り扱うデータ量は今後さらに増大すると予想されています。こうした大容量データを瞬時に伝送し、安心・安全な自動運転システムを実現するためには、より広い周波数帯域の確保が急務になっています。

その有力候補として注目されているのが、100–300 GHz のサブテラヘルツ波です (図 2)。サブテラヘルツ波は、現在の 5G で利用可能なチャンネル帯域幅を大幅に上回る広帯域が確保できるため、高精細映像や高精度 3 次元地図データなどの大容量情報を高速に伝送する超高速無線通信技術として期待されています。



図 2 : サブテラヘルツ波の位置付け

京都大学では、交差点の俯瞰映像や点群データ、高精度 3 次元地図など、自動運転車両の認識に必要な大容量データを高速に伝送することで、安全・安心な自動運転社会の実現を目指したサブテラヘルツ波 V2X 通信システムの研究開発を進めてきました。2025 年 7 月には、5G 標準仕様に準拠しながら、国内の 5G に割り当てられている最大チャンネル帯域幅(400MHz)の 2 倍を超える 920MHz を用いた 6G 向け広帯域移動伝送試験装置を開発し、移動体に対する基礎伝送試験において伝送レート：1.7 Gbit/s を達成しました (「4. 関連する成果」参照)。しかし、これまでは低速で移動する台車を用いた基礎実験にとどまっておらず、サブテラヘルツ波 V2X 通信システムの実利用を想定した、実際に走行する車両との通信実証は行われていませんでした。

2. 研究成果

交差点を含む実道路環境において伝送試験を実施し、交差点から延びる直線 330 m 長の車線上 (図 3 (a)) で、20–30 km/h で実際に走行する車両に対して、交差点から最大で 320 m 離れた地点までサブテラヘルツ帯広帯域信号伝送を伝送することに成功しました。本試験は、「4. 関連する成果」に示す研究成果をもとに開発した 6G 向けサブテラヘルツ帯広帯域移動伝送試験装置を使用しました。本装置は以下の特長を有しています。

1. サブテラヘルツ帯 (105GHz) において 5G 標準仕様で採用されている OFDMA³方式に準拠した物理層信号を送信可能

- OFDMA 方式におけるサブキャリア間隔を現行 5G の 120 kHz から 960 kHz へ拡張することで、5G で利用されている最大チャネル帯域幅(400MHz)の 2 倍を超える 920MHz の広帯域化を実現し、最大 1.7 Gbps の高速伝送を達成
- 広帯域化に伴う移動環境下で送信された信号を受信できる信号処理機能をソフトウェア無線技術より開発し、サブテラヘルツ帯においても安定した受信を実現

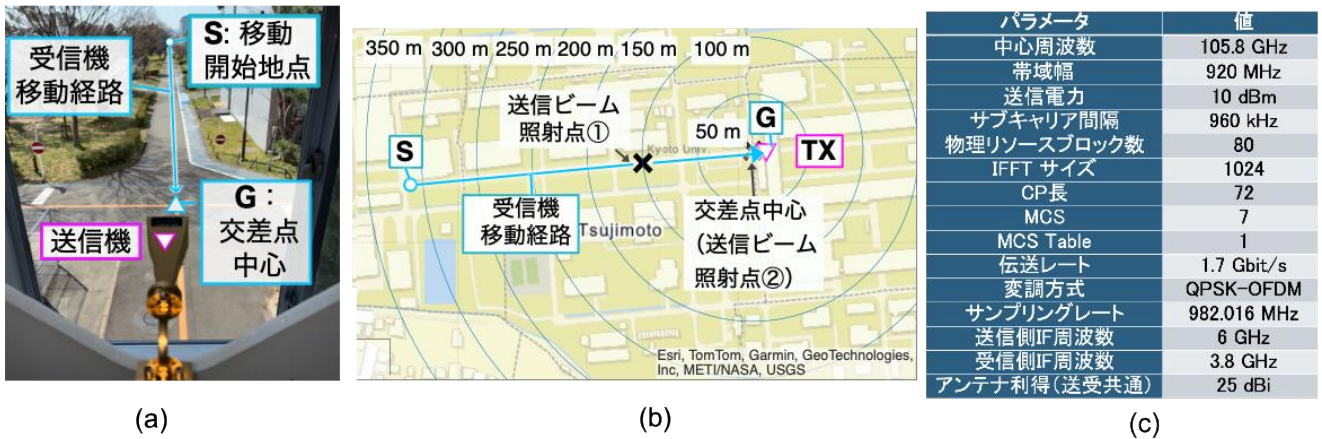


図 3：実験環境および諸元。(a) 実験環境、および実験開始地点における受信機の写真、(b) 送信機位置、送信ビーム照射点、受信機移動経路 (c) 実験諸元

伝送実験では、送信ビームの照射方向を変えた以下の 2 つの条件について評価を行いました。

- 送信機を、試験対象である交差点・道路を望む建物内に高さ約 5.8 m の位置に設置し、送信ビームを交差点中央からおよそ 100 m 離れた地点に向けて照射しました (図 3(b) 送信ビーム照射点①)。その上で、受信機を搭載した車両 (図 1(b)) を交差点中心からおよそ 330 m の範囲で走行させ、伝送特性を測定しました。なお受信アンテナの高さは 1.5 m です。
- 同じ送信機設置位置において、送信ビームを交差点中心に向けて照射しました (図 3(b) 送信ビーム照射点②)。その上で、受信機を搭載した車両を交差点中心から約 330 m の範囲で走行させ、伝送特性を測定しました。

伝送試験の主なパラメータを図 3(c)に示します。送受信アンテナには、利得 25 dBi の標準ホーンアンテナを使用しました。また、いずれの実験においても受信アンテナは常に水平面内で交差点方向を向くように設定しました。なお、送信ビームは移動する受信車両に追従させず、実験中を通じて固定方向に照射しています。

図 4 に受信機の各通過地点における伝送特性を示します。本評価では、5G 信号のブロック誤り率 (BLER : Block Error Rate) を伝送特性の評価尺度として用いました。BLER が 0.1 以下の場合を通信可能な状態と判断しています。

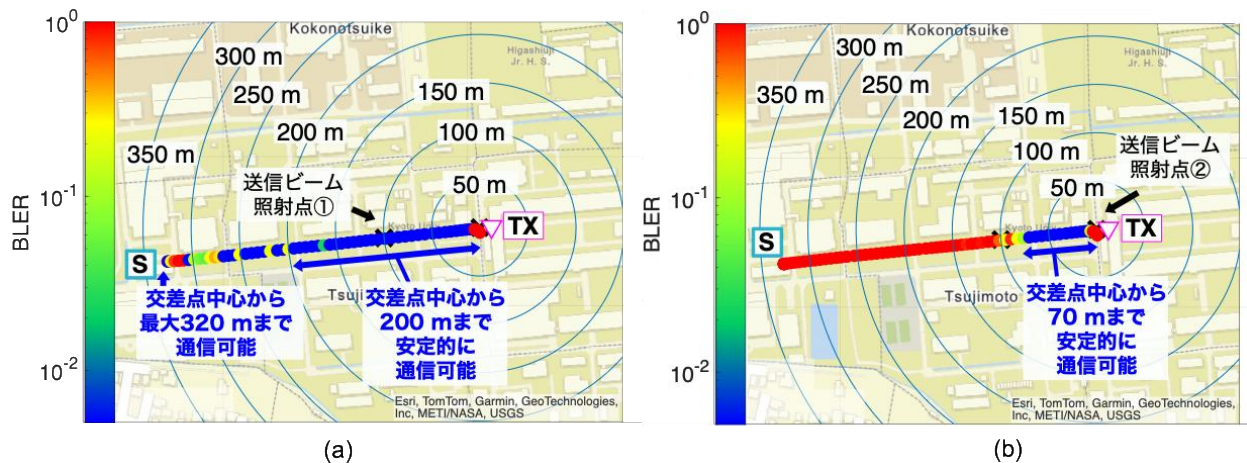


図4：(a) 交差点中心から 100 m 地点に送信ビームを照射した際の伝送特性 (b) 交差点中心に送信ビームを照射した際の伝送特性。図の同心円は、交差点中心からの距離を表す。

図4(a)に示すように、送信ビームを交差点中心から約 100 m 離れた地点に照射した場合、交差点中央付近の一部を除き、交差点中央から最大 200 m の範囲において安定した通信が可能であることが確認しました。また、通信可能エリアは最大 320 m 先まで広がることを確認しました。一方、送信ビームを交差点中心に向けて照射した場合には、交差点中心から道路上約 70 m 程度の範囲において BLER が通信可能条件である 0.1 を下回ることを確認しました (図4(b))。これらの結果から、送信ビームの照射方向を調整することで、用途に応じた柔軟な通信カバーエリアの形成が可能であることが明らかになりました。特に、交差点手前の道路に向けて送信ビームを照射することで、車両が交差点へ進入する前の広い範囲において、高速・大容量通信を提供できることを確認しました。さらに、本実験では送信ビームを移動車両に追従させていないにもかかわらず、交差点前の道路上に広い通信エリアを形成できることを実証しました。このことから、交差点周辺で生成される高精度 3 次元地図情報や点群データなどの先読み認識情報を、走行車両に対して高速かつ大容量に伝送できる可能性が示されました。

3. 波及効果、今後の展開

本研究により、道路環境において、現状の 5G で利用されるチャネル帯域幅を超える広帯域信号をサブテラヘルツ帯で行う際、送信ビームを移動受信車両に正確に追従しなくとも、走行する車両に対し最大 320 m まで高速・大容量通信が可能であることを実証しました。今回の成果は、図5に示すような交差点周辺の俯瞰映像、点群データ、高精度 3 次元地図情報など自動運转向けの大容量認識情報を 5G 標準仕様に準拠しながら高速に伝送できる可能性を示すものです。これにより、より安全・安心な交通社会の実現に向けた超高速無線通信インフラの研究開発が加速されることが期待されます。また、本研究成果は 2026 年度 6 月に実施されました電子情報通信学会短距離無線通信研究会において発表されました。

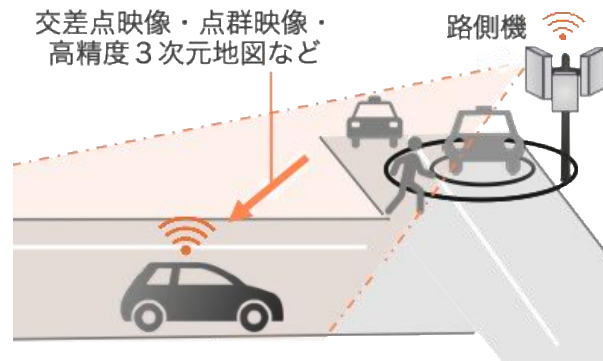


図 5：今後期待されるサブテラヘルツ帯 V2X 通信システム

4. 関連する成果

サブテラヘルツ帯における 6 G 向け広帯域移動伝送試験装置を開発し、車両向け広帯域移動通信システムの基礎伝送に成功

https://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/ja/PL/PL_2025_04.html

5. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究（JPJ010017C07501）の一環として実施されたものです。

<用語解説>

1. V2X (Vehicle-to-everything)

車両が他の車両、インフラ、歩行者、ネットワーク等あらゆるものと無線により接続し、情報共有や協調制御を行うシステムです。交通事故の削減や交通流の最適化、自動運転への高度化などへの活用が期待されています。V2Xは車両同士を接続するV2V(Vehicle-to-vehicle)、車両と他の路側機等のインフラを接続するV2I(Vehicle-to-infrastructure)、車両と歩行者を接続するV2P (Vehicle-to-pedestrian)、車両とネットワークを接続するV2N (Vehicle-to-network) から構成されています。

2. ミリ波帯：

学術的には、30 GHz 付近から 300 GHz までの周波数帯域全般を指します。総務省より第 5 世代移動通信システムに向けて割り当てられた 28 GHz 付近の周波数帯域もミリ波帯と呼ばれることが多く、一般的にはその下限として 28 GHz を含みます。しかし、上記の定義の中の 100 GHz から 300 GHz の周波数帯域は「サブテラヘルツ帯」と呼ばれ、これまで国際標準化による仕様策定が行われてきた無線通信システムの使用する帯域（28 GHz 帯、および、60 GHz 帯など）と区別されることが多いです。

3. 直交周波数多元接続方式 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access : OFDMA)

データを直交する周波数サブキャリアに分割して並列に伝送する直交周波数分割多重方式 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing : OFDM) を拡張し、複数の無線局がそれぞれ異なるサブキャリアを用いることで、互いに混信することなく同時に通信を行うことを可能にする技術。第 4 世代移動通信システム (4G) では下り通信において採用されており、現在では第 5 世代移動通信システム (5G) において、下り通信および上り通信の両方に採用されています。