Collaboration **Projects**

車両デザインを損なわず、安定した 5G通信を実現する車載用アンテナ技術 -車載用5Gガラスアンテナー

猪又 5Gイノベーション推進室

ドコモは5Gによる将来のコネクテッドカーの実現に向け、走行車両において適切に基地局電波を受 信できるようにするため、車載用5Gガラスアンテナを開発した、これは、自動車用ガラスに実装で きる28GHz帯対応アンテナであり、車両のデザインを損なわずに5G通信を行うことができる。本 アンテナを車両窓ガラスへ分散配置することにより、5G電波の送受信を安定的に行うことが可能と なり、安定した高速通信を実現する、なお、本研究はAGC株式会社との共同研究によって実施した。

1 まえがき

現在, 2020年以降の高速・大容量, 低遅延, 多数 端末接続を特徴とするモバイル通信ネットワーク. 第5世代移動通信システム(5G)の導入検討が精力 的に進められており、5Gの利用周波数帯である 28GHz帯は、超広帯域*1が利用できることから、高 速・大容量通信を実現することが期待されている [1] [2]. また、3GPPなどにおいて自動車とあらゆ るものをつなぐセルラV2X (Vehicle to everything) *2も議論されており、各国の主要団体および企業に よる実証実験が進められている [3] [4].

28GHz帯は、これまで第4世代移動通信システム (4G) などで利用していた周波数帯よりも波長が短 く、直進性が強くなるため、車室で通信するときに は、車体で電波が遮断され、弱まってしまい、通信 が不安定となる傾向がある. そこで. ドコモは

AGC株式会社(以下, AGC)と、自動車での安定 した5G高速通信実現に向け、28GHz帯の電波送受 信が可能な車載用5Gガラスアンテナを世界で初め て開発した [5]~[9].

本開発のパートナーであるAGCは、約40年前から 車載用アンテナの設計・開発・製造を手掛けており. AM, FM, TVなどの放送やLTE通信などで利用さ れているアンテナを車両窓ガラスに整合させ、組み 込む技術を有していた. その技術に、ドコモがこれ まで世界主要ベンダと研究を重ねてきた高周波数帯 (28GHz帯) の5G技術を組み合わせることで、車載 用5Gガラスアンテナを開発することが可能となっ た. 本アンテナは、28GHz帯の電波が弱まる前に車 両窓ガラス面に設置したアンテナ素子で電波を送受 信することで、安定した5G高速通信が可能になる. また、車両窓ガラス面に設置しても視野をさえぎら ず、車両デザインを損なうこともない.

^{©2019} NTT DOCOMO INC

本誌掲載記事の無断転載を禁じます.

^{*1} 超広帯域:100MHz以上の帯域幅のこと 日本では 28GHz帯 において400MHzの帯域幅が5G無線通信用に割り当てられた.

本稿では、28GHz帯対応車載用5Gガラスアンテナと実証実験の様子を解説する.

なお、本研究はAGCオートモーティブカンパニー、 材料融合研究所との共同研究によって実施された.

2. 車載用5Gアンテナの要件と技術課題

5Gの利用周波数帯である28GHz帯は、LTEなど で利用されている周波数帯よりも直進性が強くなる ため、車室で通信するときには車体により電波が遮 蔽されやすく、大きな伝搬損失*3が生じる、そこで、 基地局の超多素子アンテナを用いたビームフォー ミング*4技術の適用により、高いアンテナ利得*5を 実現し、28GHz帯の伝搬損失を補償する手法の検討 が行われている。一方、アンテナ利得を向上させれ ばさせるほど形成されるビームは狭角化してしまう. 走行中、適切に基地局のビームを選択するためには、 車載用5Gアンテナは、自動車周辺の構造物からの マルチパス波を強い電力で受信できるように、無指 向性*6かつ高いアンテナ利得であることが望ましい. また. 5Gでは水平偏波と垂直偏波の複数のアンテナ から異なるデータを同時に伝送して通信速度を向上 させるMIMO (Multiple Input Multiple Output)*7

伝送技術が用いられる. そのため、車載用5Gアンテナにおいても、両偏波の複数ビームを適切に受信できる必要がある.

従来利用されている車載用アンテナは、AM、FM、TVなどの放送用アンテナ(写真1)やLTE通信用アンテナを車両窓ガラス面にプリントして用いたガラスアンテナであり、設計により運転手の視野をさえぎらず、車両デザインを損なわないものであった。

ドコモは, 高速・大容量通信のために28GHz帯対 応の車載用5Gガラスアンテナの開発においても運転手の視野をさえぎらず, 車両のデザインを損なわないことも要件として検討を開始した.

3. 車載用5Gガラスアンテナの開発

3.1 コンセプト

無指向性アンテナを用いた構成ではアンテナ利得が低くなる。そこで無指向性アンテナを用いずに、無指向性を形成しかつ、高いアンテナ利得が得られ、MIMO伝送に対応するには、複数の指向性アンテナを用いて車両の全方位にビームを形成する分散アレー配置構成が考えられる。車両の全方位に面して



写真1 従来のTV放送用ガラスアンテナ

- *2 V2X:自動車と他の自動車の間(車車間(V2V: Vehicle to Vehicle)),自動車と信号機や道路標識などのインフラ(路車間(V2I: Vehicle to Infrastructure)),あるいはスマートフォンを持った歩行者と車の間(車歩行者間(V2P: Vehicle to Pedestrian))が直接に相互通信することを目的とした無線通信システムの総称.
- *3 伝搬損失:送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量.
- *4 ビームフォーミング:複数のアンテナの位相の制御によって アンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテ ナ利得を増加/減少させる技術.

いる車両窓ガラスは、波長よりも大きな間隔で配置されており、信号相関*8を低くし、MIMO伝送効率を向上させるためにも、アンテナの実装位置として望ましい.

実装位置を図1に示す. 図1の星印に示すように、フロントガラス、両サイドのリアクオーターガラス、リアガラスの計4枚のガラス面にそれぞれアンテナを分散設置し、水平面でおおよそ無指向性となるように指向性アンテナを配置する方法とした. 28GHz帯においても市街地では、自動車周辺構造物からのマルチパス波が多く存在するため、本配置方法により、360度の電波の到来から、最も電波が強い方向の指向性アンテナを選択してデータを送受信することが可能になり、電波が障害物で遮られたりしやすい市街地においても、安定した高速通信を実現する

ことができる.

3.2 AGCとの共同研究によるコンセプトの実現

ドコモはコンセプトを実現するため、2018年6月よりAGCとの共同研究を開始した。開発した車載用5Gガラスアンテナを**写真2**に示す。

(1)オンガラスアンテナ

写真2(a)は2018年6月に開発した車両ガラス設置型アンテナ(以下、オンガラスアンテナ)である。オンガラスアンテナは、MIMO伝送に対応するために、垂直偏波と水平偏波のアンテナを一組とした小型のアンテナユニット*9であり、それぞれ2素子のアンテナ素子を用いて垂直方向のビームを水平になるよう電気的にチルト*10させている。28GHz帯の電波放射効率を向上させるため、オンガラスアンテナは

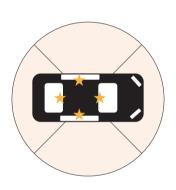
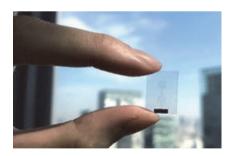


図1 アンテナ実装位置とアンテナパターン



(a)オンガラスアンテナ



(b)ガラス一体型5Gアンテナ

写真2 開発した車載用5Gガラスアンテナ

- *5 アンテナ利得:アンテナの最大放射方向における放射強度. 一般に等方性のアンテナを基準とした比で表される.
- *6 指向性:アンテナからの放射強度(あるいは受信感度)の方向 特性
- *7 MIMO:送信データをあらかじめ複数の信号(ストリーム)に 分割し、送信機と受信機の双方で複数のアンテナを使い、それ
- らを同じ周波数帯域で送受信する無線通信方式.
- *8 相関:異なる信号の類似性を示す指標. 複素数で表され絶対値は0~1の値をとる. 1に近いほど類似性が高く, 受信側の信号の分離が困難となるため, MIMO通信においては通信速度が低下する

優れた低誘電率**11,低誘電正接**12をもつフッ素樹脂基板により設計した。また、アンテナは立体構造となっており、アンテナ指向方向の最適化が容易にできる。本アンテナの設置場所は、運転手の視野を阻害しない場所に限定されるが、アンテナ指向方向を容易に変化できるため、電波を効率的に受信でき、通信速度は速い。

(2)ガラス一体型5Gアンテナ

写真2(b)は2019年5月に開発したガラスー体型5Gアンテナである。本アンテナは、小型、薄型かつ透明なガラスアンテナで、オンガラスアンテナと同様に垂直偏波と水平偏波のアンテナをそれぞれ2素子ずつ用いて垂直方向のビームを水平になるよう電気チルトさせている。本アンテナは、オンガラスアンテナと同等程度の低誘電率、低誘電正接をもつ合成石英基板により設計した。本アンテナは、ガラスと一体化しておりオンガラスアンテナよりも目立たず、多素子アンテナを車両窓ガラス面に設置しても視野をさえぎることがない。一方、本アンテナは平面構造となっているため、アンテナ指向方向は限定され、通信速度はオンガラスアンテナよりも劣化してしまう。

オンガラスアンテナの設置例を**写真3**に示す.フロントガラス,左右のリアクオーターガラス,リアガラス計4枚の車両窓ガラスにそれぞれオンガラスアンテナを分散設置することで,無指向性を形成し,データの送受信を行う.ガラス一体型5Gアンテナ



も、オンガラスアンテナ同様に計4枚の車両窓ガラスに分散設置した。

4. 実証実験

4.1 実験概要

実験は、東京都墨田区周辺の市街地スモールセル*13環境において実施した. 写真4に示す実験用車両の窓ガラスに、オンガラスアンテナおよびガラス一体型5Gアンテナを設置し、車両内に設置した5G端末に接続した. 5G基地局の無線装置を、別の実験用車両の屋根の上に設置し、5G基地局と車載用5Gガラスアンテナを接続した5G端末との間で28GHz帯の周波数を用いて、時速約30kmで市街地を走行しながらスループット*14を取得した. 帯域幅は、本実験装置にて送信可能な最大帯域幅である800MHzと、400MHzを用いた.

本実験で使用した28GHz帯5G基地局装置と5G端末装置の主要諸元を表1に示す.5G基地局装置は、128素子の水平偏波、垂直偏波のアンテナパネルにより、ビームフォーミングを行いながら最大4ストリームを送信し、実験用車両の移動に伴いビームを追従させる機能を有している。一方、5G端末装置は実験用車両後方座席に設置し、オンガラスアンテナおよびガラス一体型5Gアンテナを接続した。5G基地局装置はビーム追従を行うため、最適なアンテナビームを的確かつ迅速に選択する必要があるが、本実験装置ではビームごとの受信電力参照用信号で



写真3 オンガラスアンテナの設置例

- *9 アンテナユニット:基地局を構成する装置の1つで、送受信するデジタル信号を無線周波数に変換し、送信電力の増幅やアンテナ素子での送受信などを行う装置. Massive MIMOにおけるビーム生成に必要な処理についても行う.
- *10 チルト:アンテナから放射される電波の,最大放射方向の垂直 面内における傾き角を表す.また,チルトの方向を制御する方
- 法として、アンテナを物理的に傾ける機械チルトと、アンテナ素子の振幅・位相を制御して電波の最大放射方向を傾ける電気 チルト方式がある.
- *11 誘電率:回路に電流を流した時に電界の分布に関係する材料固有の量のこと. 誘電率が高いとアンテナのサイズを小さくできるものの. 動作する周波数帯域幅は狭くなる傾向にある.



写真4 実証実験風景

表1 主要諸元

5G基地局装置	周波数	27.9GHz
	システム帯域幅	732MHz, 366MHz
	複信方式	TDD (UL: DL=2:48)
	無線アクセス方式	OFDMA
	アンテナ構成	垂直・水平偏波に対応、各偏波2×128素子
	最大MIMOストリーム数	4
	変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM
5G端末装置	アンテナ構成	垂直・水平偏波に対応、各偏波8素子、2素子をサブアレー化

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

QAM : Quadrature Amplitude Modulation

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying TDD : Time Division Duplex

あるMRS (Mobility Reference Signal) を用いて、 実験用車両の走行位置に応じて基地局の適切なアン テナビームを選択した.端末は基地局アンテナビー ムの中で受信電力が良好となる複数の候補を基地局 にフィードバックし、基地局はフィードバック情報 を基に送信する基地局アンテナビームを決定する. これによって、実験用車両の走行位置に応じた最適 な基地局アンテナビームが選択され、ビーム追従が できる.

4.2 実験結果

市街地においてオンガラスアンテナと, ガラスー体型5Gアンテナを用いて取得したスループットを表2に示す.

オンガラスアンテナの実験では、800MHzの帯域幅を用いた. オンガラスアンテナを用いたときのスループットは、下り最大7.9Gbps、基地局から半径約100mのエリアにおいて平均3Gbpsであり、通信距離は最大232m程度であった.

また、ガラス一体型5Gアンテナの実験では、

^{*12} 誘電正接:回路に電流を流そうとした時に電流がアンテナまで 伝わらずに途中で漏れてしまうことがあり、この漏れ量の指標 となる材料固有の値のこと。値が高いと通信に使われるべき電 気のエネルギーがアンテナに伝わらず、放射効率が劣化する。

^{*13} スモールセル:カバーされるエリアがマクロセルよりも比較的 狭いセル.マイクロセルとも呼ばれる.

^{*14} スループット:単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的な データ転送速度.

表2 実験結果

アンテナ種類	帯域幅	実験装置によって得られたスループット
オンガラスアンテナ	800MHz	最大 7.9Gbps 平均* 3.0Gbps
ガラスー体型 5Gアンテナ	800MHz	最大 7.5Gbps 平均* 2.5Gbps
	400MHz	最大 3.8Gbps 平均* 1.3Gbps

※基地局から半径約100mのエリアで算出

400MHzの帯域幅と800MHzの帯域幅を用いた. 400MHzの帯域幅では、下り最大3.8Gbps, 基地局から半径約100mのエリアにおいて平均1.3Gbps, 800MHzの帯域幅では下り最大7.5Gbps, 基地局から半径約100mのエリアにおいて平均2.5Gbpsであり, 通信距離は最大178m程度であった.

本実験結果から車載用5Gガラスアンテナを用いることで、安定した5G高速通信を実現することができた。また、両アンテナを比較すると、オンガラスアンテナを用いたときのスループットが高く、通信距離が長いことが分かる。オンガラスアンテナは立体構造となっており、アンテナパターンを容易に最適化することができ、通信性能を向上させることができたが、ガラス一体型5Gアンテナは平面構造となっているため、同じアンテナ素子数ではアンテナパターンの最適化が難しく、スループットに差異が生じたと考えられる。

5. あとがき

本稿では、車載用5Gガラスアンテナの開発とその実証実験について解説した。今後もドコモおよびAGCは、本アンテナのMassive MIMO*15対応によるさらなる通信速度の向上に向けて検討を続けていく。さらに、基地局の設置が困難な場所や一時的な5Gの需要があるような環境において、本アンテナの活用による5Gのエリア拡充や用途の拡大などの

取組みを進めていく予定である.

文 献

- [1] NTT DOCOMO, INC.: "DOCOMO 5G white paper, 5G radio access: Requirements, concept and technologies," Jul. 2014.
- [2] ITU-R M.2412-0: "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020," Oct. 2017.
- [3] 3GPP TR38.912 V1. 0. 0: "Study on New Radio (NR) Access Technology (Release 14)," Mar. 2017.
- [4] NTT DOCOMO Press Release: "Leading Automotive, Telecom and ITS Companies Unveil First Announced Cellular V2X Trials in Japan," Jan. 2018.
- [5] NTT DOCOMO Press Release: "Success with 5G Communications Using "Vehicle Glass Mounted Antenna" for 5G Connected Car," Jul. 2018.
- [6] 今井 哲朗, 猪又 稔, 佐山 稔貴, 加賀谷 修・東海林 英明・竹内 彰一・信岡 淳: "マイクロセル環境におけ る28GHz帯車両ガラス設置型アンテナの性能評価," 信 学技報, Vol.118, No.310, AP2018-143, pp.233-236, Nov. 2018.
- [7] 佐山 稔貴, 加賀谷 修, 東海林 英明, 竹内 彰一, 信岡 淳, 猪又 稔, 今井 哲朗: "28GHz帯アンテナ実装部位としての車両窓ガラスの可能性検討," 信学技報, Vol.118, No.310, AP2018-142, pp.227-232, Nov. 2018.
- [8] 猪又 稔, 今井 哲朗, 来山 大祐, 佐山 稔貴, 加賀谷 修, 東海林 英明, 竹内 彰一, 信岡 淳: "高速移動環境 における28GHz帯車両ガラス設置型アンテナを用いた下 り伝送特性," 信学技報, Vol.118, No.310, AP2018-144, pp.237-242, Nov. 2018.
- [9] NTT DOCOMO Press Release: "DOCOMO, AGC and Ericsson Achieve World's First 5G Communication Using Glass Antenna for 28 GHz," May 2019.

リアを確保しつつ、高速なデータ通信を実現する.

^{*15} Massive MIMO:送信と受信にそれぞれ複数素子のアンテナを 用いることで無線信号を空間的に多重して伝送するMIMO伝送 方式において、より多くのアンテナ素子で構成される超多素子 アンテナの採用により、高周波数帯使用時の電波伝搬損失補償 を可能とする鋭い電波ビームの形成や、より多くのストリーム の同時伝送を実現する技術、これらにより、所望のサービスエ