

つまむアンテナ —誘電体導波路のアンテナ応用—

6G-IOWN推進部

ふくだ 福田	あつし 敦史	やまもと 山本	ひろと 大斗
おかざき 岡崎	ひろし 浩司	すずき 鈴木	やすのり 恭宜
かわい 河合	くにひろ 邦浩		

無線アクセス開発部

5G時代で利用され、また6G時代で利用が検討されている高周波数帯（ミリ波帯）の通信エリアを、簡単かつ経済的に構築または拡大する方法を提案する。提案方法では、高周波数帯用伝送媒体である誘電体導波路の一部より電波を放射させ、その周囲を通信エリア化する。誘電体導波路上の任意の場所から電波を放射できるため、場所や環境に応じたさまざまな通信エリアを迅速に構築できる。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）の商用サービスが2020年3月に開始された。5Gでは、移動通信システムとしては初めて、28GHz帯という高周波数帯を利用した広帯域高速通信が実用化された [1]。28GHz帯の利用は今後拡大することが予想される。

一般に高周波数帯では、伝搬距離に対する伝搬損失^{*1}が大きくなることが知られている [2]。加えて、基地局と端末の間が見通し外（NLOS：Non-Line-Of-

Sight）^{*2}となる通信環境では、高周波数帯の電波は電波遮蔽物の影響を受けやすいため端末への受信電力が大幅に低下し、低周波数帯の場合よりも通信エリアが狭くなることが懸念される。そのため、5Gおよび、28GHz帯以上の高い周波数での利用が検討されている第6世代移動通信システム（6G）において、高周波数帯の無線通信における高速大容量化を追求する際には、基地局と端末が見通し内（LOS：Line-Of-Sight）^{*3}となる通信環境を確保することが必要と考えられている [3]。

©2021 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

^{*1} 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。

^{*2} 見通し外（NLOS）：送受信間に遮蔽物があり、反射波や回折波などでしか通信できない状態。

^{*3} 見通し内（LOS）：送受信間に遮蔽物がなく、直接波を使用した通信が主となる状態。

例えば、今後需要が見込まれる工場内でのIoT化などにおける5Gの適用は、低遅延や大容量伝送といった観点で期待が大きい。一方で、工場内は人間や機械のような電波遮蔽物が多くNLOS環境になりやすいばかりか、これらの電波遮蔽物が移動することも想定され、また、生産ラインの変更などに伴うレイアウト変更も発生する。これらによる通信環境の変動に対して、迅速にかつ経済的にLOS通信環境を提供する方法が必要となる。

LOS通信環境を確保する方法の1つとして、基地局アンテナを分散配置するとともに、基地局アンテナから放射される電波の指向性^{*4}を制御することが挙げられる。この方法はLOS環境を確保するだけでなく、周波数利用効率^{*5}を改善し、システム全体の通信容量を改善することも期待できる [3]。しかし、アンテナ設置場所やアンテナまでの給電経路の確保が難しい場合には適用し難く、分散するアンテナの増加に伴う設置コスト増も課題となる。

本稿で提案するLOS通信環境確保に向けた方法は、高周波数帯用の伝送媒体として使用されている誘電体導波路（以下、導波路）の一部から電波を漏洩させ、これにより放射された電波で周囲を通信エリア化することである。電波を漏洩する導波路を漏洩導波路と呼ぶ。この漏洩導波路は、地下街やトンネルなどの通信エリア化のために利用されている漏洩同軸ケーブル（LCX：Leaky-Coaxial-Cable）^{*6}と同類であり、高周波数帯で損失が大きいLCXの高周波数対応版といえる。また、漏洩導波路ではLCXに

は無い新たな使い方を提供する。LCXでは同軸ケーブルの外部導体にあらかじめ設けられた隙間から電波が漏洩するため、一度敷設したLCXの電波漏洩場所の移動はできない。一方、提案の漏洩導波路では漏洩場所を自由に選択できる。本稿では、提案する漏洩導波路を具体化した「曲がるアンテナ」および「つまむアンテナ」について概説するとともに、漏洩導波路による動作の確認を目的として行った、60GHz帯動画伝送システムを用いた実証実験について解説する。

2. 導波路のアンテナ応用

2.1 導波路

高周波数帯の信号を伝送する媒体としては、(a)導波管、(b)同軸ケーブル、そして(c)導波路が用いられることが多い（写真1）。

(a)導波管は、誘電体^{*7}または空気の周囲を導体で囲んだ断面形状をもち、衛星地球局などで利用されている。導波管は、断面形状によって対応周波数帯が決まり、それより高い周波数の電波を伝送できるが、対応周波数帯が低いものはその断面が太く、また容易に曲げることはできないため取回しの際に制約が生じる場合がある。

(b)同軸ケーブルは、中心導体と外部導体が同心円状に配置された断面形状をもち、直流から高周波数帯まで多く利用されている。両導体間には誘電体が充填されているものが一般的である。



(a)導波管



(b)同軸ケーブル



(c)導波路

写真1 高周波数帯の信号を伝送する媒体の例

^{*4} 指向性：空間中に放射された電波の方向と強度を示す指標。
^{*5} 周波数利用効率：単位時間、単位周波数当たりで伝送できる情報ビット数。
^{*6} 漏洩同軸ケーブル（LCX）：外導体上に設けられた隙間から電波を漏洩する仕組みを有する同軸ケーブル。

^{*7} 誘電体：直流電流が流れない絶縁体。プラスチックなどが含まれる。

外部導体により電波漏洩が少なく、また細めのケーブルは、ある程度の柔軟性があることが特長となるが、高周波数帯での損失が導波管よりも高いため、主としてマイクロ波以下の周波数帯で利用される。外部導体に隙間を設けたものはLCXと呼ばれ、隙間から電波が放射されることで地下街やトンネルなどの電波不感地帯の通信エリア化がなされている。

- (c)導波路は、棒状の誘電体の周囲を、異なる誘電率^{*8}を有する誘電体で囲んだ構造であり、内側の誘電体の誘電率を周囲よりも高くすることで、主に内側誘電体に高周波数帯電波を閉じ込めて伝送する。なお、本稿で用いた導波路は、内側誘電体を比誘電率^{*9} 2.1のポリテトラフルオロエチレン（PTFE：Poly Tetra Fluoro Ethylene）^{*10}、外側誘電体を比誘電率がほぼ1.00の空気としている。電波は誘電体中を伝搬する際に損失を受け、その損失は一般に周波数が高くなるほど増加するが、同軸ケーブルでの損失増加よりは小さいため、高周波数帯の伝送媒体として利用されている。

ドコモは、高周波数帯でLOS通信環境を確保する手段として、導波路の高周波数帯での低損失伝送特性を利用し、端末周辺で電波を放射させることで、無線伝送距離を最小化しNLOS通信環境をなるべく生じさせない構成の検討を行っている。これまで導波路からの電波の放射原理、すなわち導波路のアンテナ応用に関しては、導波路を屈曲させ、屈曲部より電波を放射させる曲がるアンテナと、導波路を別の誘電体で挟むことでそこから電波を放射させるつまむアンテナを提案している。以下、両アンテナについて解説する。

2.2 曲がるアンテナ

導波路の屈曲部では電波が外部に放射される現象が起こり、その分の電力損失が生じる。しかし、導波路本来の利用目的は伝送媒体として電波をできるだけ低損失で遠くに届けることにある。よって、これまで導波路は極力曲げないように利用されてきた。一方、図1に示すように屈曲時の放射現象をアンテナとして積極的に利用したものが曲がるアンテナである[4]。導波路は曲げやすい素材で製造できるこ

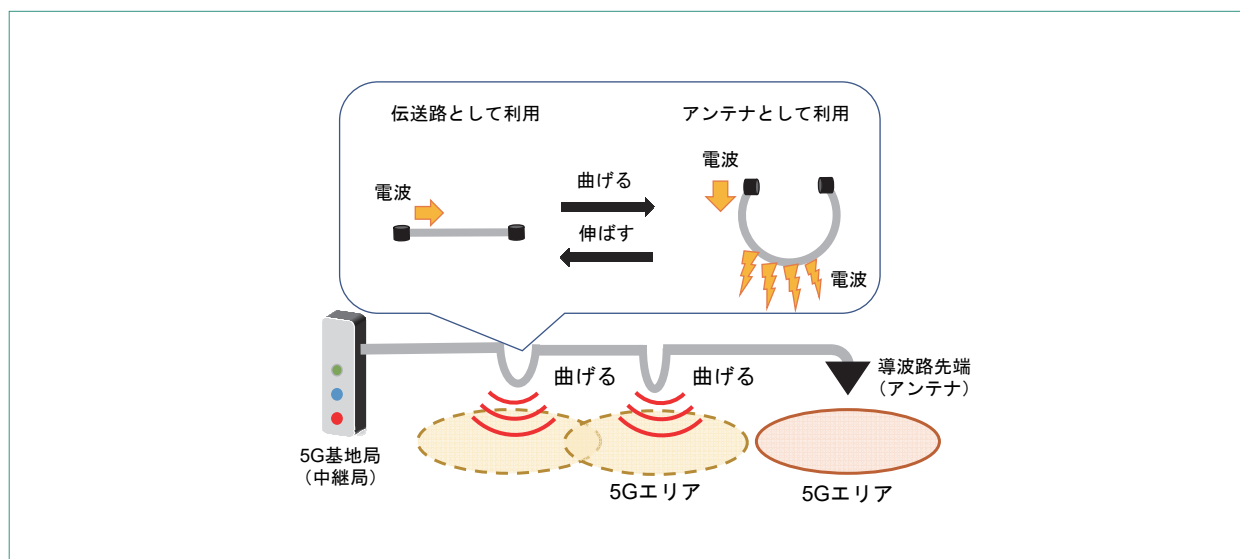


図1 曲がるアンテナによる通信エリア化

*8 誘電率：誘電体の分極のしやすさを示す指標。

*9 比誘電率：真空の誘電率を1とした場合の、物質の誘電率の比を表す指標。

*10 ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）：フッ素原子と炭素原子で構成されるフッ素樹脂。

とから、図1に示すように放射したい場所で導波路を屈曲させることで、導波路に沿った任意の場所で電波を放射し、通信エリア化を行うことができる。また、屈曲を解除し、まっすぐにすれば放射現象は生じないことから、いつでも電波の放射を停止し、通信エリアを解除することもできる。なお、曲がるアンテナの屈曲部構成には一定の導波路長が必要であることから、長さに余裕をもった導波路敷設が必要となる。また繰返しの曲げ、伸ばしによる導波路の特性劣化などに注意する必要がある。

2.3 つまむアンテナ

導波路に別の誘電体（以下、別誘電体）を付加することで、導波路中を伝搬する電波の一部を別誘電体に誘導できる。そして、図2に示すように、別誘電体から電波が放射される現象をアンテナに応用したものがつまむアンテナである。つまむアンテナも、曲がるアンテナと同様につまむ場所を自由に選ぶことができるため、図2に示すように導波路に沿った任意の場所で電波を放射し、通信エリア化を行う。また、つまみをはなすことで、放射現象が生じない

ことから、いつでも電波の放射を停止し、通信エリアを解除することができる。なお、つまむアンテナの放射箇所からは電波を受信することもできる。加えて、つまむアンテナは導波路上に別誘電体を取り付けるだけでよく、設置性に優れている。

3. 導波路アンテナの実証実験

つまむアンテナによる電波の放射現象を確認する目的で、実証実験を行った。実証実験には市販のSHARP社製無線HDMI（High-Definition Multimedia Interface）送受信ユニット（VR-WH1）を用いた。主な無線仕様を表1に示す。本ユニットは、60GHz帯を使用するWireless HD規格の無線送受信ユニットで構成される。送信機は60GHz帯の広帯域幅（1.76GHz）を使用し、入力されたHDMI信号を電波に変換して送信し、受信機は受信電波からHDMI信号を生成する。今回の実験では、送信機から一度空間に放射された電波を導波路に入力し、つまむアンテナから放射し、受信する構成とした。

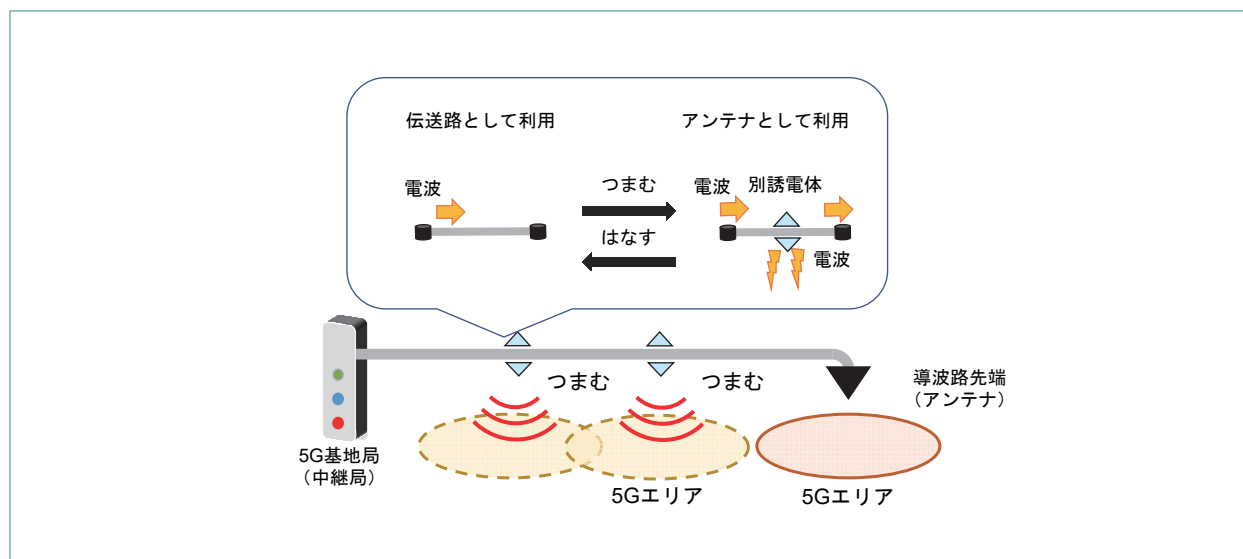


図2 つまむアンテナによる通信エリア化

3.1 つまむアンテナを用いた動画伝送実験

実験系ブロック図を図3に示す。PCにて動画を再生し、HDMI信号を出力する。出力されたHDMI信号は分配され、1つは送信モニタに、もう1つは送信機に入力される。送信機ではPCで再生された動画が確認できる。また、送信機ではHDMI信号を60GHz帯の電波に変換し、導波路に入力する。つまむアンテナから放射された電波は受信機に入力され、受信機にてHDMI信号に変換される。受信機より出力されたHDMI信号を受信モニタに入力することで、受信映像を確認できる。なお、つまむアンテナの別誘電体を市販の洗濯ばさみの先端に取り付けた。

洗濯ばさみでつまむ前の送信モニタ、受信モニタの様子を写真2(a)に、洗濯ばさみでつまんだ後の送信モニタ、受信モニタの様子を写真2(b)に示す。写

真2(b)から、洗濯ばさみで導波路をつまむことで、別誘電体が導波路に取り付けられ、別誘電体から電波が放射されるようになり、受信機に放射された電波が受信されたことで、接続する受信モニタに送信モニタと同じ映像が確認できる。写真2(a)のように洗濯ばさみでつままなければ、電波の放射はされず、電波の受信もされないため、受信モニタには何も表示されないことも確認できる。

写真2(b)の洗濯ばさみでつまんだ後に、放射部と受信部の間に電波遮蔽板を置いた場合の送信モニタ、受信モニタの様子を写真3に示す。電波遮蔽板により放射部と受信部の間がNLOS環境となり、電波が受信されず、写真3(a)のように受信モニタには何も表示されない。このような場合でも、つまむアンテナでは、導波路上の別の任意の箇所をつまむことで

表1 無線HDMI送受信ユニットの主な無線仕様

準拠規格	Wireless HD 1.1
伝送方式	HRP/LRP
中心周波数	60.48GHz (Ch2) 62.64GHz (Ch3)
バンド幅	1.76GHz

HRP : High Rate PHY
LRP : Low Rate PHY

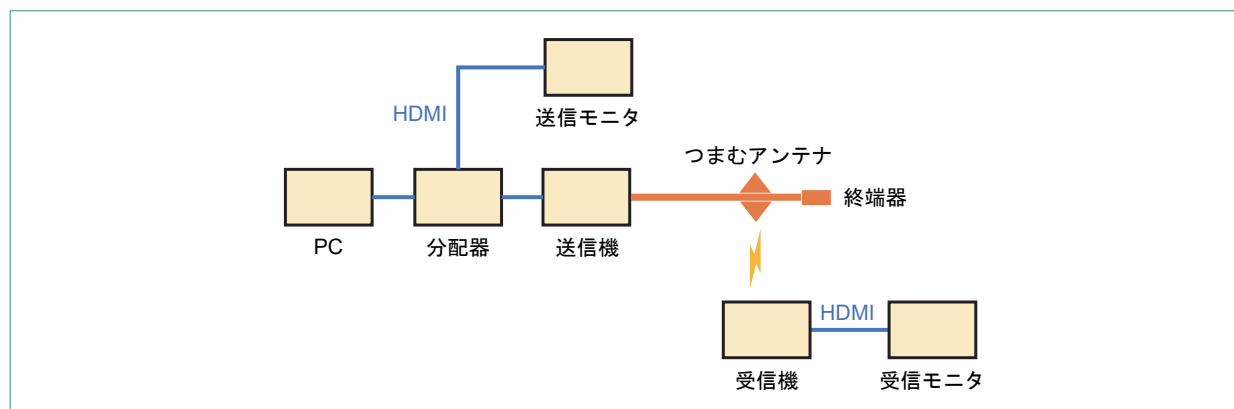
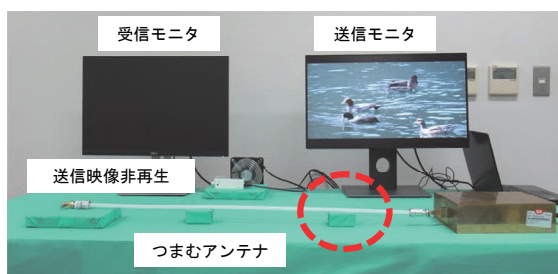


図3 実証実験系ブロック図

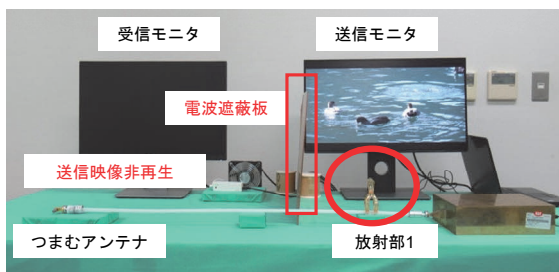


(a)別誘電体取外し時（つまむ前）

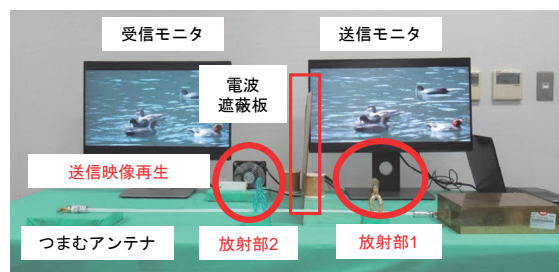


(b)別誘電体取付け時（つまんだ後）

写真2 つまむアンテナからの電波放射による映像伝送実験



(a)遮蔽板設置時（放射部1カ所）



(b)遮蔽板設置時（放射部2カ所）

写真3 つまむアンテナによる電波遮蔽物回避の様子

電波を放射でき、また複数箇所をつまむことができる。写真3(b)に示すように、導波路上で放射部と受信部の間がLOS環境となる場所をつまむことで電波が受信され、受信モニターと送信モニターとで同じ映像が確認できるようになる。また、電波遮蔽物が動いた場合でも、つまむ場所を変えることで簡単にLOS環境を構築できる。

4. あとがき

本稿では、高周波数帯用の伝送媒体である導波路について述べ、これをアンテナに応用し、フレキシブルな通信エリア化が可能な曲がるアンテナおよびつまむアンテナについて解説した。今後は実環境に

おける通信エリア化検証を行っていく予定である。

文 献

- [1] 古城，ほか：“5G商用サービス概要，”本誌，Vol.28，No.1，pp.6-10，Apr. 2020.
- [2] 今井，ほか：“5Gのための電波伝搬，”本誌，Vol.23，No.4，pp.40-48，Jan. 2016.
- [3] NTTドコモ：“ホワイトペーパー：5Gの高度化と6G，”第3版，Feb. 2021.
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/index.html
- [4] K. Kawai, T. Takada, A. Fukuda, H. Okazaki and S. Narahashi: “A new area formation approach for millimeter wave communication systems employing a dielectric waveguide,” Proc. of the 45th European Microwave Conference, pp.1088-1090, Sep.2015.