

Beyond5G/6G を見据えた テラヘルツ波帯アンテナの検討

佐藤 啓介* 宍戸 洸太** 佐々木隆吉**
市川 舜太** 大島 一郎*

Study of Terahertz Band Antennas for Beyond 5G/6G

*Keisuke Sato, Kota Shishido, Takayoshi Sasaki,
Shunta Ichikawa and Ichiro Oshima*

Beyond5G/6G に向けて、テラヘルツ波帯とよばれる 100GHz ~ 300GHz の超高周波の利用が検討されている。300GHz 帯での伝搬実験用オムニアンテナが求められているが、導波管インタフェースへの対応・微細構造などの理由により、実現されていなかった。

本稿では、当社で開発してきたオムニアンテナを題材に、5G 以前のオムニアンテナと、Beyond5G/6G で割当てられる 300GHz 帯アンテナの構成・特徴・検討課題の違いについて述べる。また、300GHz 帯オムニアンテナについては、電磁界解析・試作による実測を行い、良く一致する結果が得られた。

For Beyond 5G/6G, the use of ultrahigh frequencies between 100 GHz and 300 GHz, known as the terahertz band, is studied. Though omni-antennas for propagation experiments in the 300 GHz band have been demanded, they are not realized due to the lack of support for waveguide interfaces and microstructures.

This paper describes the differences in configuration, features, and issues to be considered between the omni-antennas developed before 5G and the 300 GHz antennas to be allocated for Beyond 5G/6G, subject to our omni-antennas. The 300 GHz omni-antenna was evaluated by electromagnetic field analysis and prototyping. The result has a good agreement between the analysis and the measurement.

1. はじめに

現在の 5G から、移動通信における mmWave 帯 (28GHz 帯) の利用が開始された。その中で、企業・自治体が広く免許取得できるローカル 5G への割り当ても実施された⁽¹⁾。さらに、次世代移動通信の Beyond5G/6G では、無線通信の更なる高速化を目指し、100GHz ~ 300GHz までの超高周波の利用が検討されている⁽²⁾。

一般的に、5G での mmWave 帯のエリア形成は、伝搬損失の補償のためビームフォーミング可能な高利得平面アレーアンテナを用いる⁽³⁾。しかし、ローカル 5G でのエリア形成を考慮したときにビーム

フォーミングの機能は、コスト面・性能面・制御面でオーバスペックになるケースがある。

一方、テラヘルツ波帯では、本稿執筆時点において、移動通信上の振る舞いが十分明らかになっていないという課題がある。その課題の一つとしてチャネルモデルの構築があるが、そのためにオムニアンテナを利用した伝搬実験が望まれる。しかし、テラヘルツ波帯では、微細構造および導波管インタフェースへの対応から、従来の移動通信用アンテナでの設計方法ではオムニアンテナの実現が困難である。これらの問題を鑑みて、当社では開口面アンテナ技術を用いた 300GHz 帯オムニアンテナを開発した⁽⁴⁾。

本稿では、当社で開発してきたオムニアンテナを題材に、5G 以前の Sub6 帯以下向け / mmWave 帯用アンテナと Beyond5G/6G で割当てられる

* R&D 統括センター ワイヤレス研究所
** 機器統括部 移動通信技術開発部

300GHz帯アンテナを比較し、構成・特徴・検討課題の違いについて述べる。さらに、300GHz帯オムニアンテナでは、電磁界解析ならびに試作による実測結果を示す。

2. 各周波数帯におけるオムニアンテナ

2.1 Sub6帯以下のオムニアンテナ

図1に、Sub6帯以下の例として、当社で開発した、800MHz/2GHz帯デュアルバンドオムニアンテナの内部構造を図1に示す⁽⁵⁾。本アンテナは、デュアルバンドの共用に加えて、垂直・水平偏波共用構成による偏波 MIMO / ダイバーシティへの対応も可能な構成となっている。各アンテナ素子やアレーアンテナを構成するための給電回路などは、誘電体基板を用いて設計されており、立体的に組み上げることで内部構造を実現する。また各構造の外形寸法は cm オーダであり、手作業での組立が可能な程度のサイズである。このように Sub6帯以下のアンテナは、複雑な構成を用いた高機能化が比較的簡易に

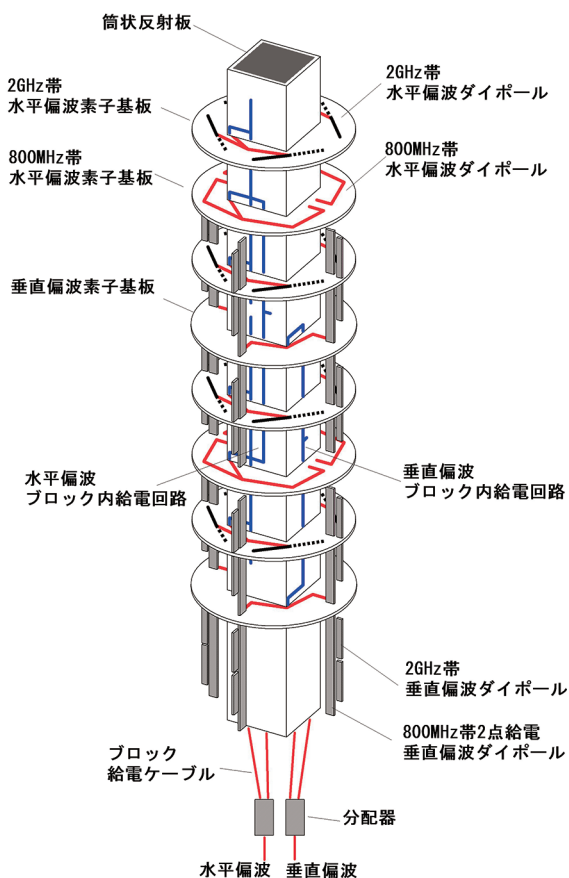


図1 800MHz/2GHz帯デュアルバンド偏波共用オムニアンテナの内部構造⁽⁵⁾

できる特徴をもつ。

2.2 mmWave帯オムニアンテナ(ローカル5G向け28GHz帯無線機)

写真1に、当社で開発したローカル5G向け28GHz帯無線機の構造を示す。本図の装置は、オムニアンテナを実装した形状である。無線装置は2系統で構成され、それぞれ垂直/水平偏波で9dBi以上の高利得なオムニアンテナを実装する。

図2に、一例として、28GHz帯垂直偏波オムニアンテナの内部構造を示す。本アンテナは、低損失な高周波数用基板を用いた多層構成により、アンテナ

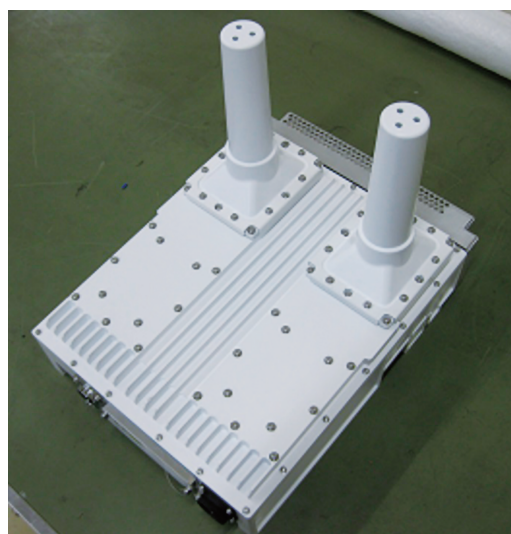


写真1 ローカル5G向け28GHz帯無線装置

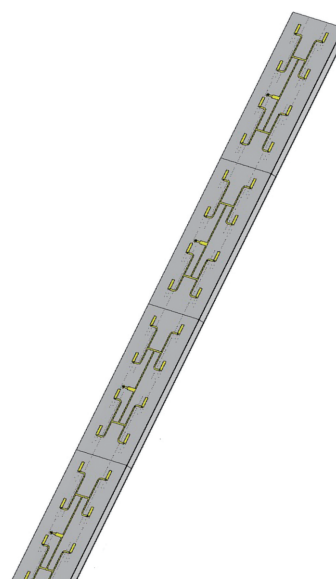


図2 28GHz帯垂直偏波オムニアンテナの内部構造

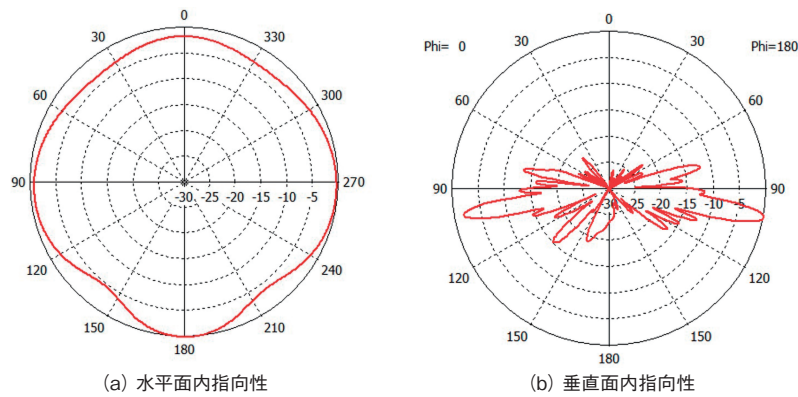


図3 28GHz 帯オムニアンテナの指向性

素子・給電回路をパターン化したリニアアレーアンテナにより構成している。なお、本稿では示していないが、水平偏波についても同様の構成である。

mmWave 帯においても、アレーによるオムニアンテナの実現という点では、Sub6 帯以下のものと同じ設計思想となる。しかし、Sub6 帯以下と比較して構造が小さく、手作業での組立・調整が難しいため、多層基板を用いた構成とした。すなわち、mmWave 帯アンテナは、Sub6 帯以下と比較して多層基板での実現が可能な程度にシンプルな構成で機能を絞った設計とする必要がある。

図3に28GHz帯垂直偏波オムニアンテナの指向性を示す。水平面内でほぼ無指向性となる指向性が得られている。また、垂直面内は 10° チルトビームが得られるように設計している。

2.3 300GHz 帯オムニアンテナ

本稿執筆時点において、300GHz帯アンテナは導波管インタフェースが主流であり、オムニアンテナでもその対応が求められる。さらに、Sub6帯やmmWave帯と比較して、あらゆる損失が大きいことが分かっているため、給電回路なども可能な限りの低損失化が望まれる。以上の観点から、当社は、開口面アンテナおよび導波管の技術⁽⁶⁾に着目し、300GHz帯での実現を試みた。

表1に、300GHz帯オムニアンテナの目標諸元を示す。使用周波数帯にて、VSWR2以下、3dB以内の無指向性を得る垂直偏波アンテナとする。図4に、当社で開発した300GHz帯アンテナの解析構造を示す。アンテナは、給電部、1次放射器、反射鏡、レドームから構成される。給電部は、矩形導波管、モード変換器、円形導波管から構成される。WR-3の矩形導波管により、 TE_{10} モード励振する。モード変換器

表1 300GHz 帯オムニアンテナの設計諸元

使用周波数	300GHz \pm 2.5GHz
偏波	垂直偏波
垂直面内指向性	半値幅 20° /サイドローブレベル-15dB以下
水平面内指向性	無指向性(偏差3dB以内)
VSWR	使用周波数帯にて2以下
指向性利得	6dBi以上

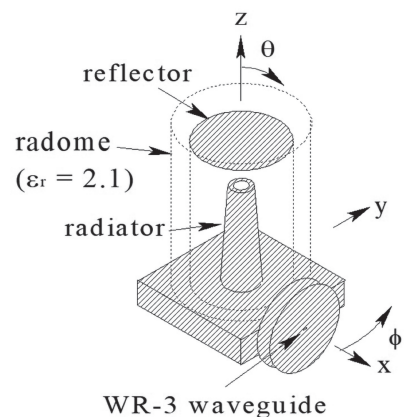


図4 300GHz 帯オムニアンテナの解析構造

により、矩形導波管内で支配的な TE_{10} モードを打ち消し、円形導波管内は TM_{01} モードが伝搬する。1次放射器は、 TM_{01} モード励振により、軸方向がヌルとなるコニカル指向性を得る。1次放射器から放射された電波は、反射鏡により水平方向に反射され、無指向性を得る。レドームはテフロン材($\epsilon_r = 2.1$)とし、その厚みは300GHzで反射を抑制できる寸法に調整する。本アンテナの全体的なサイズは、 $\phi 27\text{mm} \times 40\text{mm}$ 程度であり、非常に小形である。

5G以前の周波数と比較し、波長の観点から、微細構造を高い精度で製作する必要があり、手作業での調整などはもはや不可能である。したがって、テラ

表2 各周波数帯のアンテナの構成・特徴

	SUB6 帯以下	mmWAVE 帯	テラヘルツ波帯
周波数	700MHz 帯～4.5GHz 帯	28GHz 帯	100GHz 帯～300GHz 帯
寸法・製作精度	cm オーダ	mm オーダ	mm～ μ m オーダ
アンテナ構成	周波数・偏波共用適用可	限定的(単周波数)	限定的(導波管必須)
設計法	マニュアル調整も可能	高いシミュレーション精度が必要	より高いシミュレーション精度が必要

ヘルツ波帯などの超高周波のアンテナ設計において、シミュレーション精度の重要性が増す。

表2に、ここまで論じた各周波数帯のアンテナの構成・特徴をまとめておく。

3. 300GHz 帯オムニアンテナの解析結果と実測結果

写真2に、解析モデルをもとにした試作機の構造を示す。給電構造含めて解析モデルとほぼ誤差のない構造を目標に製作している。図5にVSWRの周波数特性を示す。使用周波数帯において、VSWR2以下の良好な性能が得られている。また、解析値と実測値で非常によく一致した特性となる。図6に、300GHzにおける指向性を示す。水平面内指向性において、偏差2dB以下の無指向性パターンが得られている。さらに、VSWRと同様に、解析と実測値において非常に良く一致した特性が得られており、十分なシミュレーション精度を確保できていることがわかる。

図7に、300GHz帯での電界分布を示す。一次放射器からの電波が反射鏡に当たり、最終的に水平方向に放射する様子が確認できる。

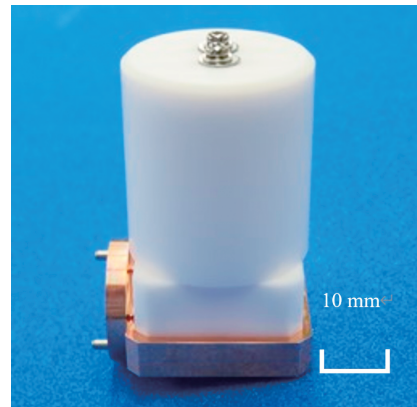


写真2 300GHz 帯オムニアンテナの試作機構造

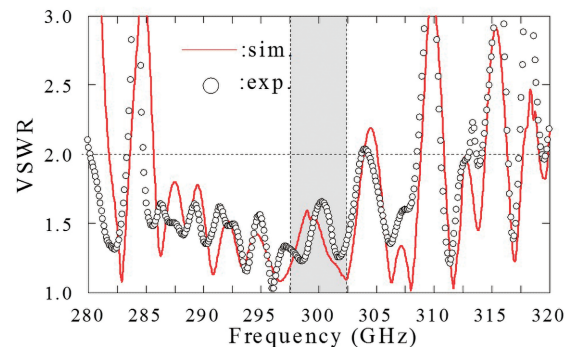


図5 VSWRの周波数特性

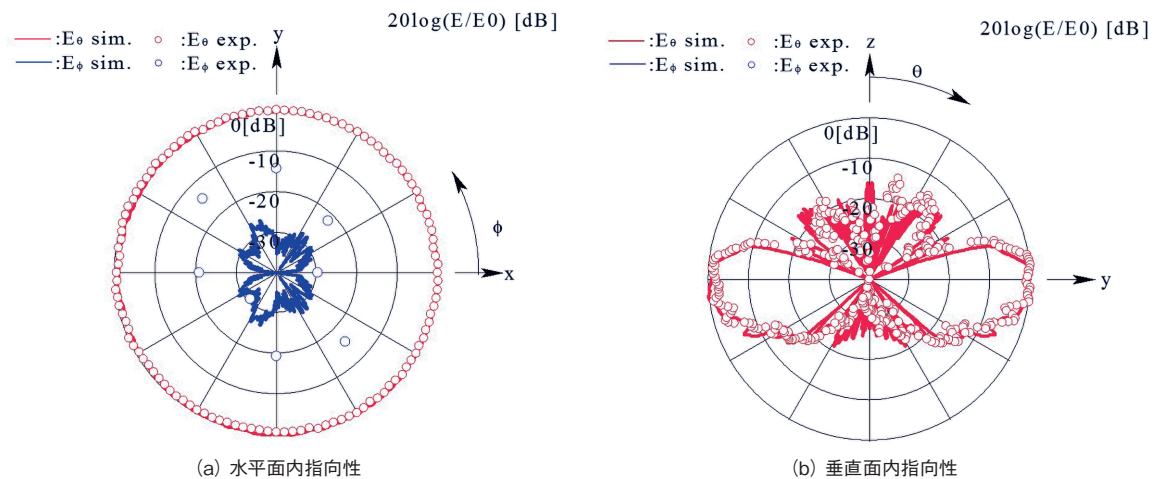


図6 300GHz 帯オムニアンテナの指向性(@300GHz)

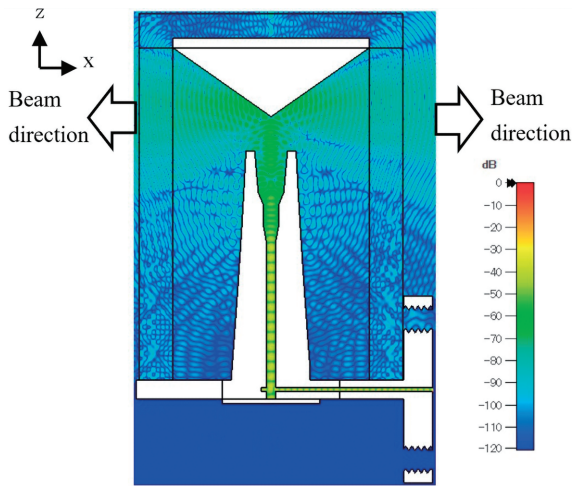


図7 電界分布(@300GHz)

4. むすび

当社で開発してきたオムニアンテナを題材に5G以前のオムニアンテナと Beyond5G/6G で割当てられる 300GHz 帯アンテナの構成・特徴・検討課題の違いについて述べた。300GHz 帯オムニアンテナについては、電磁界解析・試作による実測を行った。使用周波数において VSWR2 以下の良好な性能が得られた。300GHz において、偏差 2dB 以下の無指向性を得た。また、VSWR ならびに指向性ともに解析値と実測値で良く一致する結果が得られた。

参考文献

- (1) https://www.soumu.go.jp/main_content/000716749.pdf
- (2) NTT ドコモ, “5Gの高度化と6G,” NTT ドコモホワイトペーパー, 2020年7月
- (3) 佐藤 啓介, 高橋 行隆, 三浦 進, 佐々木 希, 高橋 久枝, 宍戸 洸太, 大島 一郎, “5Gに向けた無線機一体型基地局アンテナに関する取り組み,” 電興技報 52号, p11-p16, 2020年6月
- (4) 佐藤 啓介, 佐々木 隆吉, 市川 舜太, 大島 一郎, “キャビティ付き TM01 モード変換器を用いた 300GHz 帯反射鏡無指向性アンテナ,” 信学論 B, Vol. J105-B, No.4, pp.405-413, 2022年4月
- (5) 大島 一郎, 牧山 真之, 三賀 保紀, “デュアルバンド偏波共用オムニアンテナ,” 電興技報 39号, p5-p8, 2006年1月
- (6) 毛塚 敦, 山田 吉英, 風間 保裕, “コセカント2乗ビームを有する水平面内無指向性反射鏡アンテナ

の設計と実現性能,” 信学論 (B), vol.J88-B, no.9, pp1728-1737, 2005年9月

☆☆



佐藤 啓介
 平成18年入社
 R&D 統括センター ワイヤレス研究所
 移动通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事
 電子情報通信学会・IEEE 会員



宍戸 洸太
 平成25年入社
 機器統括部 移动通信技術開発部
 移动通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事
 電子情報通信学会会員
 博士(工学)



佐々木隆吉
 平成28年入社
 機器統括部 移动通信技術開発部
 移动通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事
 電子情報通信学会・IEEE 会員



市川 舜太
 令和2年入社
 機器統括部 移动通信技術開発部
 移动通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事
 電子情報通信学会会員



大島 一郎
 平成7年入社
 R&D 統括センター ワイヤレス研究所
 移动通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事
 電子情報通信学会・IEEE 会員
 博士(工学)