

# 5Gにおける電波伝搬と電波吸収技術

Hashimoto Osamu  
青山学院大学 橋本 修

理工学部 電気電子工学科 教授  
〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1

## ▲はじめに

従来の第4世代移動通信システム(4G)や無線LAN無線に比べて、より高い周波数帯へ移行する形で実用化が進められている第5世代移動通信システム(5G)では、大容量かつ低遅延な特徴を活かした、高精細な映像伝送や、低遅延な特徴を活かした遠隔医療や建設重機の遠隔操縦などの多様なサービスの実現が期待されている。一方、5Gでは3.7GHzや4.5GHz帯さらに28GHz帯のミリ波帯と呼ばれる周波数を利用するため、電波の直進性の強さに起因して、建物などの構造物に遮へいされ見通しが利かない場合では、遮へい損失や回折損失が大きくなるため、電波が届きにくいという特徴を持っている。そのため、屋内外のエリアをカバーするために、建物や車両による遮へい損失特性を考慮した解析・評価に関する研究が盛んに行われている。

このような解析・評価には、解析モデルのモデル化精度や、実際の環境における電波伝搬特性を精度よく把握することが重要となる。さらに、電波は周囲の構造物で反射するため、マルチパスが形成されることで電波干渉によって障害が生じるため、通信の確実性が求められるケースでは目的に応じて電波吸収体や電磁波シールドによる対策を講じる必要がある。

本特集では、まず5Gの基礎となる電波伝搬理

論や解析技術に関する基礎的な事項や最近の電波吸収体に関する具体的な研究事例について詳しく解説する。

## ▲電波吸収体の事例

電波吸収体は、高い吸収性能かつ理想的な広帯域特性を持つ代表的な例として、電波暗室に用いられるピラミッド型吸収体があるが、実際の利用環境に応じて、より軽量で薄型なものが要求されてくる。従来、電波吸収体の研究分野では、軽量、薄型に加え、高強度、耐環境性および施工性などまで考慮した研究が幅広く行われている。

具体的な実現例として、視認性を有する透明な抵抗皮膜などを用いたシート型電波吸収体<sup>1)、2)</sup>や、視認性に加えて通気性も配慮した格子型の電波吸収体<sup>3)、4)</sup>、分割導電膜(DCF: Divided Conductive Film)を用いた超薄型吸収体<sup>5)、6)</sup>、誘電体基板上の幾何学的な配線パターンによる共振現象を応用した周波数選択板(FSS: Frequency Selective Surface)<sup>7)~9)</sup>などの各種の付加価値を有する電波吸収体が提案されている。一例として、研究されている超薄型吸収体の構成と吸収特性を図1に示す。この吸収体は厚みが約 $\lambda/200$ であり、透明性などの付加価値をつけることも可能であり、5G応用が期待される<sup>10)~12)</sup>。また電波吸収体に用いる材料もさまざまであり、材料面からの研究も多々行われている<sup>13)~15)</sup>。

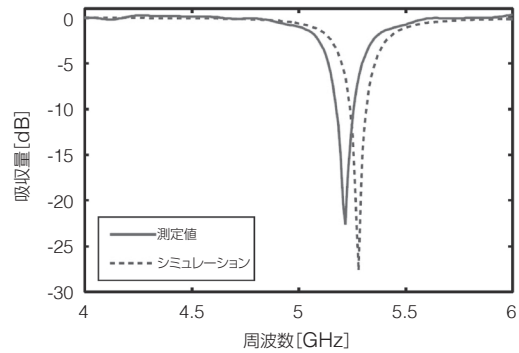
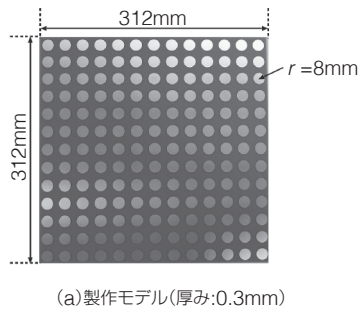


図1 超薄型電波吸収体の製作モデルと吸収特性

### 電波伝搬の基礎

電波伝搬の形態を大きく分けると、見通しの良い環境で基地局などの送信源からスマートフォンなどの受信端末へ直接到達する電波が主となる場合を見通し内電伝搬と呼び、遠方まで良好に通信可能である。また、市街地のような環境では、周囲の構造物による反射を繰り返して伝搬するマルチパス伝搬となる。さらに、建築物や車両などに完全に遮られて見通しが利かない環境では電波の減衰が大きくなる見通し外伝搬に分けられる。

このような電波伝搬を考えていく上で、まず図2に示す偏波について説明する。この図に示すように電波が $z$ 方向へ伝搬していく場合、電界と磁界は互いに直交しており、電界が最大になれば磁界も最大になることから両者は同位相で伝搬する。ここで、電波の進行方向と電界の向きがつくる面を偏波面という。この偏波面( $yz$ 面)を大

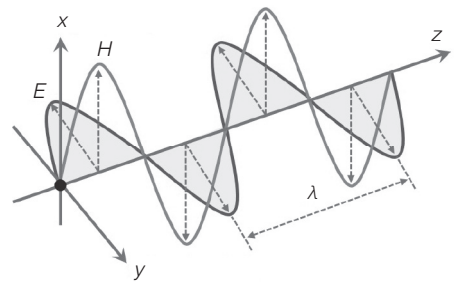


図2 水平偏波のようす

地面と考える時、図2のように大地面に対して電界の向きが水平な場合を水平偏波、また垂直な場合を垂直偏波と呼ぶ。

次に、図3(a)のように、電界の $x$ 方向成分と $y$ 方向成分に位相差がある場合を考えてみる。このような場合、両者を合成した合成電界は図3(b)のようになり電界方向が回転しながら伝搬していく。これを円偏波と呼ぶ。ただし、いずれの場合

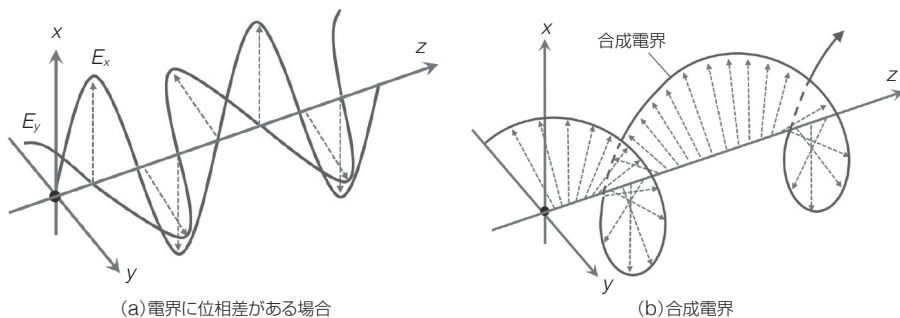


図3 円偏波のようす

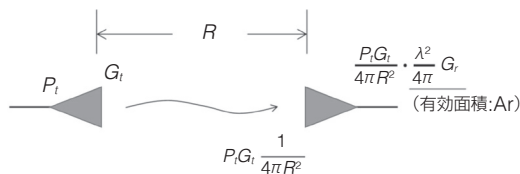


図4 フリスの伝達公式

も電界面と磁界面は互いに直交し伝搬方向には電界成分と磁界成分が存在しない点において共通している。

次に図4に示すように利得 $G_t$ の送信アンテナから送信電力 $P_t$ の電波が放射され距離 $R$ 隔てた位置にある利得 $G_r$ の受信アンテナで受信された受信電力を求めてみる。図中に示すように、送信アンテナから放射された距離 $R$ における電力密度は $P_t \cdot G_t / 4\pi R^2$ となることより、これに受信アンテナの有効面積 $A_r = G_r \cdot \lambda^2 / 4\pi$ を乗じることで、最終的に受信電力は $P_r = (\lambda / 4\pi R)^2 \cdot G_t \cdot G_r \cdot P_t$ となる。この公式はフリスの伝達公式と呼ばれる。同様に、利得 $G_t$ の送信アンテナから送信電力 $P_t$ の電波が放射され距離 $R$ にある反射物体から反射された電波が受信アンテナで受信された時の受信電力を求める。

この場合、図5に示すように、送信アンテナから放射された距離 $R$ における電力密度は $P_t \cdot G_t \cdot 1 / 4\pi R^2$ となり、これが目標物に照射されると、目標物のレーダー断面積 $A_0$ を乗じた電力で再放射されることになる。この再放射された電波の $R$ 離れた位置における電力密度は、 $P_t \cdot G_t \cdot A_0 / (4\pi R^2)^2$ となるため、これに受信アンテナの有効面積( $A_r$ )を乗じることで、最終的に受信アンテナで受信される電力は、 $P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2 \cdot A_0 / \{(4\pi)^3 \cdot R^4\}$ となり、この式はレーダー方程式と呼ばれる。

このような電波伝搬の考え方をを用いることでアンテナ利得や周波数、送受信間の距離をパラメータとした単純な伝搬モデルを解くことができる。また、反射板のレーダー断面積 $A_0$ を調整することで通信領域を拡張などにも応用可能である<sup>16)</sup>。しかしながら、建物などの構造物が存在する実際の環境にそのまま適用するには計算が極めて複雑となる。

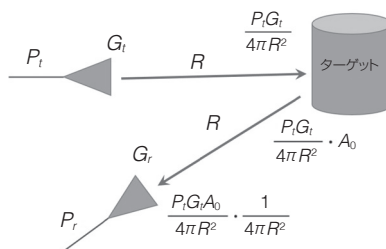


図5 レーダー方程式

## 電波伝搬解析

このような複雑な電波伝搬問題の解析手法として、FDTD(Finite Difference Time Domain) 法や、FEM(Finite Element Method)、レイトレース法などがあるが、FDTD法やFEMはマクスウェル方程式を時間的・空間的に差分化などして解く解析手法であり、マイクロ波やミリ波帯の波長に比べて建築構造物のようなサイズを解析対象とする場合、大きな計算リソースが必要であるため、大規模空間の解析にはレイトレース法<sup>17)、18)</sup>が用いられることが多い。レイトレース法とは、電波を無数のレイ(光線)と見なし、建物などの構造物から反射されるレイの軌跡を幾何学的にトレースして解く幾何光学近似手法である。反射減衰や透過減衰量、さらには距離減衰を見込んで、受信点における受信電力を計算することが可能である。

レイトレース法における留意点として、アンテナの近傍の複雑な電磁界の振る舞いは、FDTD法やFEMのように正確に解析することが困難であり、たとえばアンテナを天井や壁の近傍に設置した場合、実際のアンテナはインピーダンスの変化によりその指向性が変化するため天井や壁などの建築部材の影響を考慮した解析上の工夫も必要となる。このような場合、FDTD法とレイトレース法を併用したハイブリッド解析が有効である。また、降雨減衰や樹木などによる影響では、これらに起因するさまざまな環境における減衰も考慮する必要がある。さらに、アスファルト舗装や吹付コンクリートのような表面が粗面の物体からの反射波は、散乱波を含むためミリ波帯のように高い周波数では影響が大きくなる点に留意する必要がある。