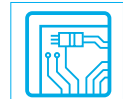


もう一度学ぶ電磁気学の世界

第17回 人体と電磁波(その1)

小暮裕明



人間が住む空間は、特性インピーダンス 377Ω の伝送線路と考えられます(本誌 2004 年 11 月号, pp.139-146 の連載第 7 回を参照)。いったん空間へ旅立った電磁波は、広大な宇宙という線路網へ向けて伝搬しますが、途中にある雲や電離層によって線路は不連続になります。空間という名の伝送線路網は、実用上導体で完璧に密閉することができないので、電磁波を遮へいするのは至難の業です。人体は電磁的には誘電体ですから、電磁波が貫通することで空間を不連続状態にします。一部は体内で熱エネルギーに変換されますから、人体の細胞組織への影響も取りざたされています。一方、電磁波は誘電体に沿って伝わるので、人体を通信ケーブル代わりに利用する「人体通信」も実用化されています。今回は空間に共存している人間と電磁波のかかりについて調べます。(筆者)

1. 誘電体の役割

マイクロストリップ線路やレッチェル線(2 平行線路)、同軸ケーブルや導波管などの伝送線路は、いずれも導体を電磁界のガイドとして使用しています⁽¹⁾。空間も効率良く電磁波を伝えますが、マイクロストリップ線路などとは異なり、ガイドとなる媒質^{注1}すら不要な伝送線路といえます。

空間に誘電体の棒があると、電磁波は棒の中を進みます。光が電磁波であることを思えば、この現象は光ファイバ・ケーブルからも類推できます。空間と誘電体という異なった媒質の境界面では電磁波の一部が透過し、残りは境界面で反射します。誘電率の高い媒質(ここでは誘電体棒)から低い媒質(空気)へ向かう電磁波は、入射角がある角度を超

えると透過しなくなります。

光は屈折率の大きい媒質から小さい媒質に入射すると、ある角度からは全反射します。この現象が発生する最小の入射角を臨界角といいます。誘電体棒の中を進む電磁波にも、これと同じような現象が現れます。

● ミリ波で使われる誘電体線路

導体の表面抵抗は周波数の平方根に比例(本誌 2005 年 6 月号, pp.133-140 の連載第 12 回を参照)するため、マイクロ波以上の周波数では、同軸ケーブルなどは電磁波を伝送しづらくなってきます。

導波管線路¹は断面が矩形や円の金属筒ですが、同じ形状の誘電体棒も誘電体線路として使われます。周波数が 30 GHz ~ 300GHz のミリ波の回路では、距離が短い場合はマイクロストリップ線路も使われますが、損失を減らすために誘電体線路がよく使われます。

● 誘電体線路のシミュレーション事例

むき出しの誘電体線路では、曲がりなどの不連続部から不要放射があります。そこで 2 枚の金属板で挟んだ構造の NRD ガイド(Non Radiative Dielectric Wave Guide)がミリ波集積回路などで使われています⁽²⁾。

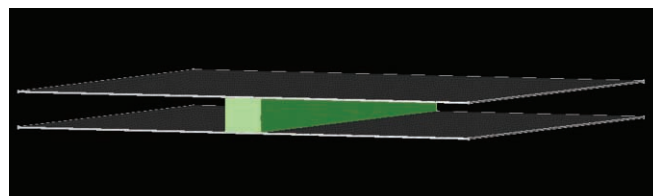


図1 NRD ガイドのモデル

60GHz で動作するように設計した Micro-Stripes のモデルである。平板の間隔は 2.25mm。誘電体がなければ 66GHz 以下の周波数で電磁波は伝わらなくなる。

注1: 宇宙は電磁波を伝えるエーテルという媒質で満たされていると考えられていた。アインシュタインが相対性理論で電磁波の伝搬に媒質は不要であるという説を発表してから、この概念は用いられなくなった。

導体の並行平板は導波管の側壁を除いた線路のように動作しますが、平板の間隔が動作周波数の波長の1/2以下で、電界が平板に平行なモードの電磁波は伝わらなくなります。導波管には遮断(カットオフ)周波数³が存在しますが、このように導体の並行平板にもあります。

図1はMicro-Stripes^{注2}で作成したモデルで、動作周波数60GHz用に設計されたNRDガイドの例です。平板の間隔を2.25mmにしているため、66GHz以下の周波数で電磁波は伝わらなくなります。そこで、図1のような比誘電率2.0の誘電体ストリップを装荷すると、波長短縮効果によって55GHz以上の周波数で伝送できるようになります⁽²⁾。

図2は、入力ポート付近の電界の様子です。金属表面には出力ポートへ向かう強い表面電流の分布が観測され、動作周波数60GHzで電磁波が伝わるようになっていたことが確認できます(上部の導体板と誘電体ストリップは表示していない)。

図3は、誘電体幅の midpoint を通る断面における磁界の様子

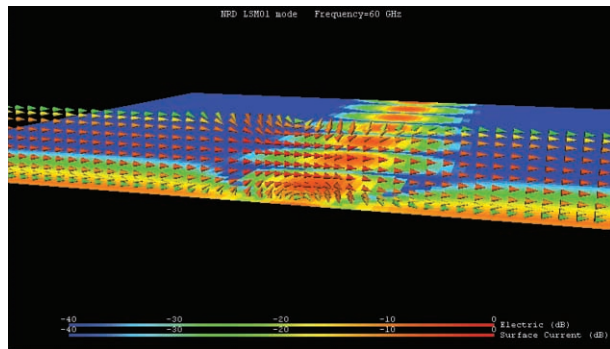


図2 入力ポート付近の電界の様子(60GHz)

金属表面には出力ポートへ向かう強い表面電流の分布が観測され、動作周波数60GHzで電磁波が伝わるようになっていたことが確認できる。

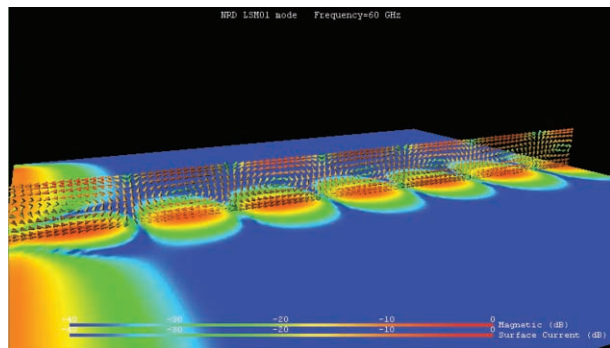


図3 誘電体幅の midpoint を通る断面における磁界の様子(60GHz)

波長ごとに周期的なパターンを示しており、回転の向きが反転しているようすがわかる。

です。波長ごとに周期的なパターンを示しており、回転の向きが反転しているようすがわかります。図4は50GHzの場合です。電磁波が遮断されていることがわかります。

● 巧みなポケベルのループ・アンテナ

人体は誘電体としてモデリングできますから、身につけて使うことが前提のアンテナは、誘電体の効果を考慮して設計しなければなりません。一方、「電気を誘う」という誘電体の性質を積極的に利用したアンテナ・システムも考案されています。

ポケベル(一般にはページャ: pager)は、小型端末にデータを送信して、着信音を鳴らしたり文字メッセージを送ったりする移動体通信システムの草分けです。日本では1968年に150MHz帯を利用して始まり、その後この帯域が満杯になったので、250MHz帯も使われました。

図5は初期のポケベルに内蔵された微小ループ・アンテナの構造図です⁽⁴⁾。ループは約65mm×13mmの長方形ですから、1波長の2mに比べてかなり小型のアンテナです。1回巻きのループはコイル(L)ですから、コンデンサを直列に装荷して、直列LC共振として同調をとっています。

微小ループは短絡回路ですから強い電流が流れます。このため給電点のインピーダンスの実部(レジスタンス)はきわめて低くなります。そこで図5のようにL型のタップを用いて入力インピーダンスを調整しており、等価回路はタップを切ったインダクタンスとして表現できます。

ポケベルは、文字どおりポケットに入れて使うことを想定して設計されました。このため体内に電磁界が貫通し、図6(a)のようなループ状の電流が体内に発生します。こ

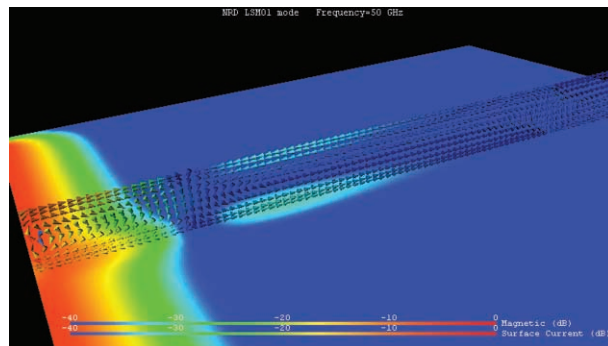


図4 誘電体幅の midpoint を通る断面における磁界の様子(50GHz)

50GHzでは電磁波が遮断されている。

注2: Micro-Stripes(マイクロストライプス)のWebサイトのURLは <http://www.flomerics.com/microstripes/>