

# もう一度学ぶ電磁気学の世界



## 第15回 電磁波吸収のしくみ

小暮裕明



前回(2005年11月号, pp.79-86)は電磁波の侵入を阻止し, また逆に電磁波ノイズを漏らさない, 電磁シールドのしくみについて学びました。「臭いものに蓋<sup>ふた</sup>」というのは一時的な手当てという意味が込められていますが, 電磁シールドの蓋は恒久的な解決策になりえます。しかし完璧な密閉はありえないので, わずかな隙間でも放射が助長されることがあります。空間は特性インピーダンス $377\Omega$ の伝送線路と考えられるので, それが電磁波を伝えるのは持って生まれた能力(?)ともいえます。そこで今回は, すでに空間へ旅立ってしまった電磁波を捕捉・吸収する方法について学びます。(筆者)

体にして, その両端に抵抗体の円板を並列に挿入する方法や, 図2のように損失材料(Polyironなど)を充てんする方法があります<sup>(1)</sup>。

方形導波管線路では, 図3のように中央のスロットから抵抗体を出し入れして減衰量を任意に設定する可変減衰器があります<sup>(1)</sup>。図4に示すように, この位置は電界が最大になっており, 挿入する抵抗体の体積を変えることで減衰量を可変としています。また図5は, 電界分布に沿って抵抗体の位置を変えることで減衰量を可変とするタイプです。これらの減衰器は, 前者をフラップ形, 後者をベーン形と

### 1. 電磁波を減衰させる素子

#### ● 減衰器のしくみ

同軸ケーブルの内部に抵抗体を置くと, 伝送する電磁エネルギーは減衰します。図1のように内導体の一部を抵抗

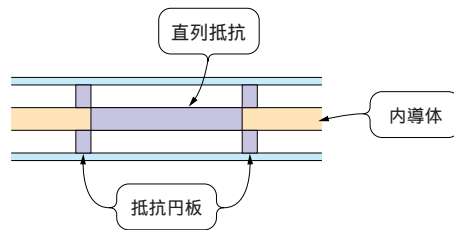


図1 抵抗板を挿入した同軸減衰器  
内導体の一部を抵抗体にして, その両端に抵抗体の円板を並列に挿入する。

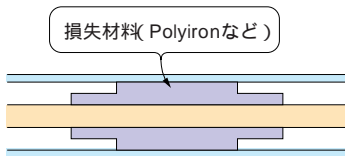


図2 損失材料を充てんした同軸減衰器  
損失材料として, Polyironなどが用いられる。

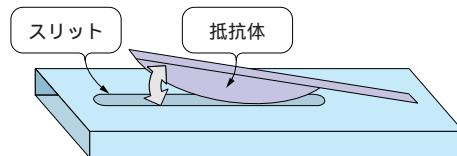


図3 方形導波管の可変減衰器(フラップ形)  
中央のスロットから抵抗体を出し入れして減衰量を任意に設定する。

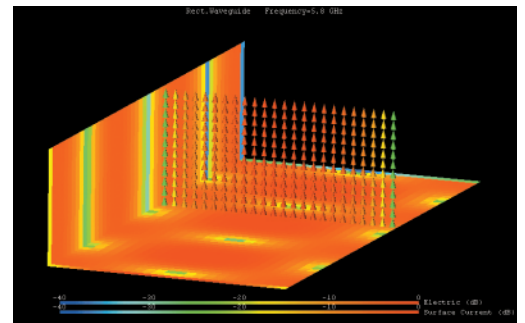


図4 方形導波管の電界  
中央は電界が最大になっている(TE<sub>10</sub>モード)。上部と手前の導体は表示していない。

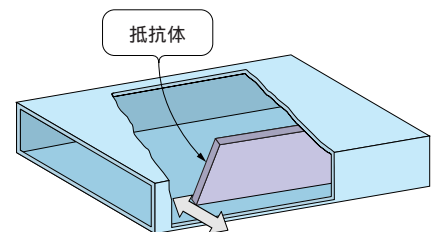


図5 方形導波管の可変減衰器(ベーン形)  
電界分布に沿って抵抗体の位置を変える。

呼んでいます<sup>(2)</sup>。

### ● マイクロストリップ線路の無反射終端器

図6はマイクロストリップ線路の無反射終端器です。ストリップ導体の端に薄膜抵抗が付けられ、その先は接地ストラップでグラウンド導体に接続されています<sup>(1)</sup>。

図7に示すように、マイクロストリップ線路の周りの電界は、線路とグラウンドの間に強く発生しています。電界ベクトルは金属面に対して垂直で、その強度は線路とグラウンドの間が最大になっていますが、近傍の空間にも広がっていることがわかります。

無限長の均一な伝送線路に一方のみの電磁波が進んでいるとき、電圧と電流の比は場所によらず一定値となり、この値をその線路の特性インピーダンスといいます。

図8は、電磁界シミュレータ Micro-Stripes<sup>注1</sup>のモデルで、マイクロストリップ線路のグラウンド面から線路を見上げた図です(誘電体層とグラウンド導体は表示していない。また対称形なので半分の解析空間になっている)。電界と表面電流を積分(積算)してそれぞれ電圧と電流の値を求めた結果、特性インピーダンスは44 となりました<sup>(3)</sup>。

伝送線路の特性インピーダンスが44 のときに、同じ値である44 の抵抗器で終端すれば、線路を伝搬する電磁波は抵抗器に取り込まれてしまいます。これは物理的には不連続な構造ですが、電気的には連続状態と考えられます。

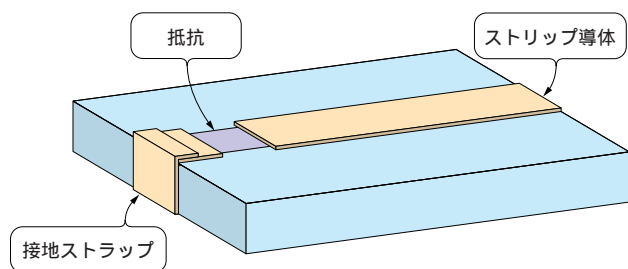


図6 マイクロストリップ線路の無反射終端器

ストリップ導体の端に薄膜抵抗が付けられ、その先は接地ストラップでグラウンド導体に接続されている。

注1: Micro-Stripes( マイクロストライプス )のWebサイトのURL は「<http://www.microstripes.com/>」。

注2: ある集合S1の任意な元(要素)に集合S2の元をそれぞれ一つずつ対応させることを写像(mapping)という。線路断面の2次元の静電界(z面)を、別の座標系(w面)において等電位線が座標一定の線と一致するように写像することで問題を解く方法を、等角写像法という。

注3: マイクロストリップ線路の電磁界は、誘電体層と空気の2種類の媒質を伝搬する。均質な媒質で充たされたストリップ線路の線路容量が、マイクロストリップ線路の線路容量と等しくなるときの誘電率を、実効誘電率という。

注4: AppCADは、<http://www.hp.woodshot.com/> から無償でダウンロードできる。

無反射状態を実現でき、電磁エネルギーは抵抗器内で熱エネルギーに変換されます。

### ● Sonnet Lite による無反射終端のシミュレーション

静電磁界における特性インピーダンスを、等角写像法<sup>注2</sup>によって求める方法があります。これを簡略化した実用的な数式が発表されています<sup>(1)</sup>が、周波数が高くなると実効誘電率<sup>注3</sup>も変化するため、静電磁界における値とは異なってきます。

高周波では、マイクロストリップ線路の特性インピーダンスを決定するパラメータは、誘電体の厚さ、誘電率、線路幅、線路導体の厚さ、動作周波数などです。図9は、これらの値を入力することで、さまざまな線路の特性インピーダンスを計算してくれる「AppCAD<sup>注4</sup>」の画面です。比誘電率4.9で厚さ1.6mmの誘電体を使い、線路幅を調整して2.8mmにしたとき、1GHzにおける特性インピーダンス

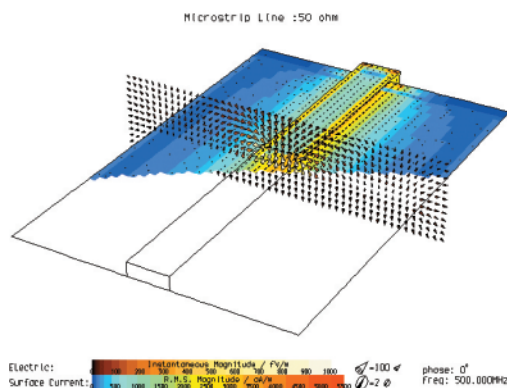


図7 マイクロストリップ線路の周りの電界  
線路とグラウンドの間に強く発生している。

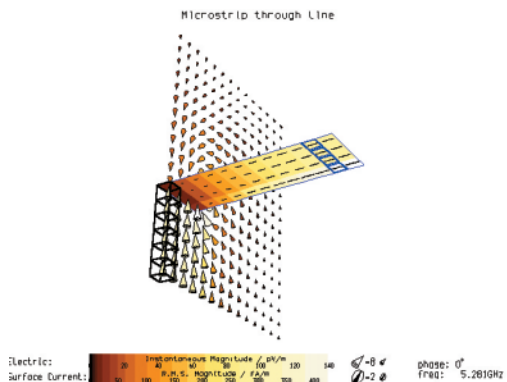


図8 マイクロストリップ線路の電界分布

マイクロストリップ線路のグラウンド面から線路を見上げている。誘電体層とグラウンド導体は表示していない。対称形なので半分の解析空間となっている。