



# エンジニアの素朴なキモ


## 第5回 電気の壁と磁気の壁


小暮裕明

電磁界シミュレータを使い始めると、電気壁や磁気壁(表1)という専門用語に戸惑うエンジニアが少なくない。これらは現実の世界には存在しないので、直感的にとらえづらい。電気壁は無損失の導体板をイメージすればよいが、磁気壁は理解しづらい。しかし最近メタマテリアル<sup>注1</sup>の研究が進み、特定周波数における実現の可能性が注目されている。(筆者)


 新人：図1の線路は、図2のようにモデリングすると、線路の導体が半分になることで、電磁界シミュレータのメモリ使用量は1/4に節約できるそうです<sup>注2</sup>。


 先輩：図1のポートに注目すると、下側の線路はポート番号が負になっている。-1ポートの電流は+1ポートの電流と向きが逆で等量、つまりこれは差動モード<sup>1</sup>だ。

 図2が図1と等価というのは、シミュレータの閉じた環境と関係していますか。

 その通り。開放空間の問題は積分演算で解くが、パソコンでは時間がかかる。そこで、電磁界シミュレータのSonnetでは、4面を電気壁とすることでFFTによって高精度な結果を得ている。

 電気の壁...ですか。

 これは直観的には無損失の導体、つまり完全導体<sup>注3</sup>の箱をイメージすればよい。電界ベクトルは電気壁に垂直で、磁界ベクトルは電気壁に平行になるから、これらの条件を満たすように空間内の電磁界分布(モードと呼ぶ)が確定する。図2で線路側に近い壁は電気壁だが、これは図1の中央にある対称面にあたるので、対称境界(Symmetry Boundary)と呼ぶこともある。

 図2の電気壁の先に、鏡に映った線路(鏡像)を描くと図3のようになりますから、図2が2本の線路と等価であることが分かります。しかしなぜ差動モードになるのか分かりません。

注1 メタマテリアルとは、規則正しい構造配列の周期が、電磁波などの波長の波長に關して現れる特異な物理現象を人工的に作りだした媒質。自然界に存在しないという意味で人工媒質とも呼ばれる。

注2 モーメント法で用いる行列サイズは、離散化した要素数の2乗に比例する。ソネット技研のWebサイトにある「Tips」の「EvenとOddモードパラメータの扱い方」の項を参照。

<http://www.sonnetsoftware.co.jp/support/tips/>

無償版のSonnet Liteも同サイトからダウンロードできる。

注3 完全導体は電気抵抗がゼロの物質をいう。超伝導体は電気抵抗がゼロのほか、マイスナー効果(内部磁界がゼロになる)を示す。

表1  
電気壁と磁気壁

	別の名称	特徴	人工物
電気壁 (Electric Wall)	完全導体PEC (Perfect Electric Conductor)	電界は表面に垂直	超伝導体 *注3を参照
磁気壁 (Magnetic Wall)	完全磁性体PMC (Perfect Magnetic Conductor)	磁界は表面に垂直	高インピーダンス面として発明されたAMC(Artificial Magnetic Conductor)

### Keyword

電気壁, 磁気壁, 完全導体, 対称境界, 鏡像, 差動モード, RFID, 並列LC共振, 高インピーダンス面

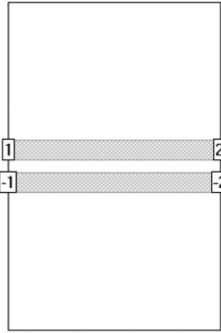


図1 差動線路のモデリング例  
Sonnet Lite によるモデルである。

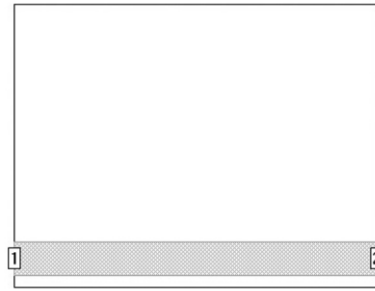


図2 差動線路と等価なモデル  
側壁が電気壁であることを利用して、解析空間を半分になっている。

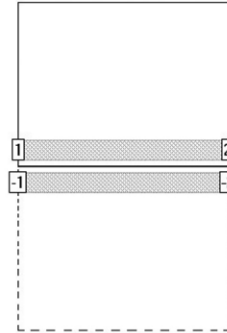


図3 鏡像  
図2の電気壁(青線の位置)を対称面とした鏡像を描くと図1と同じになる。

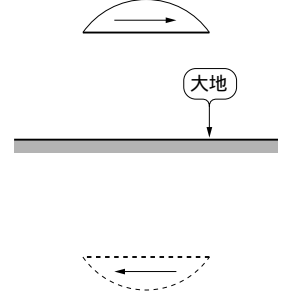


図4 完全導体板がアンテナの鏡像を作る  
大地の近くにあるダイポール・アンテナとそのイメージ・アンテナを説明するときによく使われる図。

## ● 鏡像の正体

鏡に映る姿を見ていると飽きないね。右手が映ると左手になるから左右逆だが、なぜ上下は逆ではないのだろう。

えっ...?

それはともかく、なぜ電気壁が鏡になるのかを考えてみよう。

そうだ、地面近くのダイポール・アンテナ(図4)を思い出しました。教科書ではグラウンドを無限の完全導体板として説明しています。

よく気がついたね。図4は完全導体板(すなわち電気壁)がアンテナの鏡像を作るという説明だ。イメージ・アンテナともいう。ここで矢印は電流の向きを表しているが、互いに逆向きだ。

アンテナを地面に近づけると電波は飛ばなくなると思います。

その通り。図5は60mm長のアンテナを55mm x 90mmの完全導体板上5mmの位置に置いたモデルで、これほど近づけば、アンテナというよりもマイクロストリップ線路のようだ。グラウンド板に流れる電流は、まるでアンテナが鏡に映っているようで、これが鏡像という命名の根拠かもしれない。

そもそも電気壁に逆向きの電流が誘導されるしくみが分かりません。

図6は磁界ベクトルを小さな円錐で表しており、その向きは常に導体面に平行なので、アンテナの周りにループ状に分布している。アンテナに線状電流が流れると、このように周りに磁界が発生するが注4、磁界ベクトル

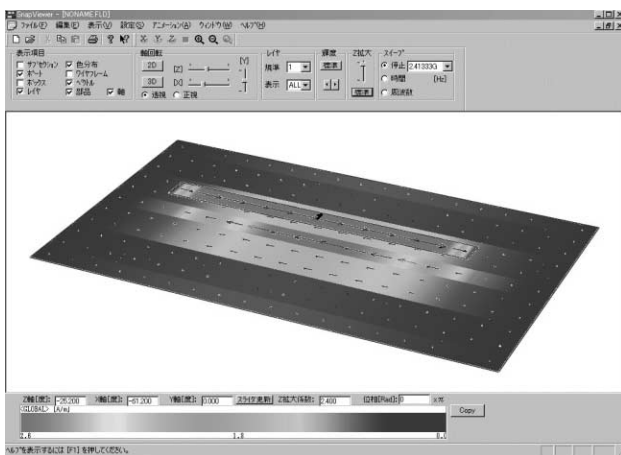


図5 ダイポール・アンテナを完全導体板上に置いたモデル  
60mm長のダイポール・アンテナを55mm x 90mmの完全導体板上5mmの位置に置いた。エム・イー・エルの電磁界シミュレータSNAP-Fieldを使用。  
<http://www.melinc.co.jp/>

注4 右ネジを電流の流れる方向に回すと、磁力線はネジの回転する向きにできる。

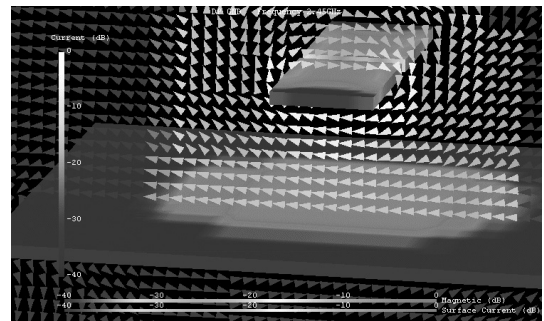


図6 アンテナの周りに分布する磁界ベクトル  
小さな円錐で表しており、向きは常に導体面に平行になるので、ループ状に分布している。