

# 共振によるトラブルを探る(その3)

## —— 意図しないアンテナをつくっていないか? ——

小暮裕明

今回は、ハウジング(筐体)の外で発生している電磁ノイズがどのように内部の回路に結合するのかを知るため、筐体内に取り込まれる電磁エネルギーについて調べました。筐体が共振する周波数は、その寸法によって決まりますが、導体で囲まれた空胴(キャビティ)共振器には、理論上無数の共振モード(姿態)がありますから、導体でつくられた筐体も同じだと考えられます。それぞれのモードが現れる周波数では、わずかな開口部を介して電磁エネルギーが筐体内に取り込まれることがあります。このときの周波数が内部の回路の動作周波数に近くなると、誤動作の原因となることも考えられます。今回は筐体自身の共振現象だけでなく、実装した回路基板のさまざまな構造にも着目して、新たな共振源を発見します。(筆者)

### はじめに

身近な共振(共鳴)現象として、橋の固有振動周期に一致した揺れによる事故や、木造の狭い部屋が大音響で振動した例を連載第16回で紹介しました(2002年3月号のpp.129-136)。

後者の事例は、筐体が空胴共振器として動作している状態を連想させます。連載第16回と第17回(2002年4月号のpp.146-153)で共振周波数における筐体内の電界や磁界のようすを解析してみると、規則的できれいなパターンが観測さ

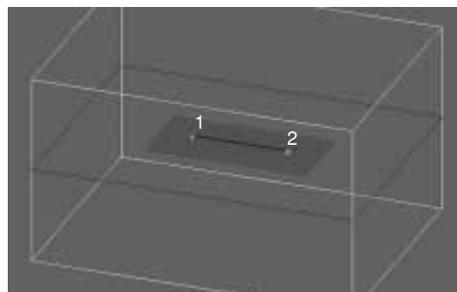
れました。これが共振モード(姿態)です。

共振モードを調べていると、すぐにいくつかの共通点に気がつきます。例えば筐体内の空間では、周波数が高くなると、電界の強弱がいくつもきれいに繰り返された分布が観測されます。このとき電界ベクトルの向きに着目すると、いずれの高次モードでも、筐体壁に対して垂直になるように分布しています。これに対して、1/4周期(90度)後の磁界ベクトルは、きれいな渦が観測され、今度は筐体壁に対して平行になっているのがわかります。これらを時間軸でアニメーション表示してみると、パターン自体はそのまま移動せずに、大きさと向きが正弦波の変化に従って時々刻々と変わり、共振しているようすを直感的に理解することができます。

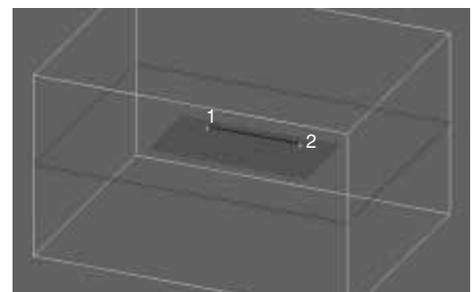
一方、橋の振動の例は、ギターなどの弦楽器の振動を連想させます。弦は両端が固定されており、弦の振動は、互いに反対方向へ進む波と波の合成になります。この合成波を観測すると、左右に移動しないことがわかります。これは定在波(standing wave)と呼ばれています。

ギターの弦は、長さが1/2波長のときに共鳴しますが、まっすぐな金属ワイヤで構成した1/2波長のアンテナも共振します。このとき電磁エネルギーがワイヤにとどまっていれば空間への放射はありませんが、アンテナから発生した電気力線は押し出されて、閉じた曲線となって空間を旅するようになります。

これがアンテナの設計であれば問題ありません。しかし、



(a) 線路が基板の中央にある場合



(b) 線路が基板の縁に近い場合

〔図1〕  
マイクロストリップ線路のモデル  
(Sonnet)

回路の伝送線路や基板の一部でこの現象が起こってしまうと、不要ふく射となります。「どこかに意図しないアンテナをつくっていないか」という疑問が、ノイズの発生源をつきとめるきっかけになるでしょう。

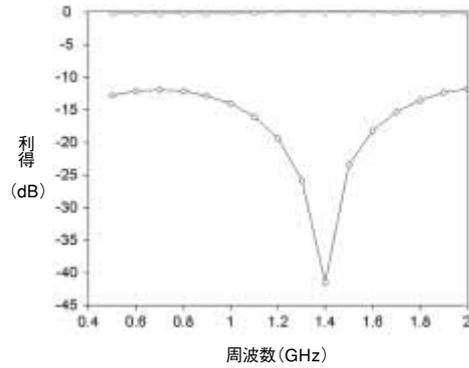
## 1 グラウンドの縁に沿った電流

### ●グラウンド板の縁に着目する

高周波回路では、一般のプリント配線板にマイクロストリップ線路が使われるようになりました。線路の特性インピーダンスを一定に保てる構造ですが、そのためにはグラウンド板の面積が十分であることが前提です。しかし実際の配線は、必ずしも基板の中央部に集中できるものではありませんから、線路とグラウンド板の縁までの距離をどの程度にしたら、グラウンドの効果が十分かという点が気になります。

ここでは、マイクロストリップ線路が基板の中央にある場合(図1(a))と、基板の縁に偏っている場合(図1(b))の電磁界を解析してみました。モデルの基板寸法は50mm × 100mm、誘電体厚は1.6mm、比誘電率は4.8、線路幅は2mm、線路長は60mmです。Sonnet<sup>注1</sup>は解析空間(Box)の底部をグラウンドとしてモデリングする例が多いのですが、ここでは有限長のグラウンドの縁に着目するため、解析空間の中央にグラウンド層をつくり、viaポートを使っています。また基板からの放射を考慮して、BoxのTopとBottomをFree Spaceに設定しました。

このマイクロストリップ線路の特性インピーダンス<sup>注2</sup>は、主に誘電体厚、比誘電率、線路幅によって決まります。ここでは適当な数値を用いており、50Ω線路になっています



〔図2〕 図1(a)のモデルのSパラメータ ( $S_{21}$ ,  $S_{11}$ )

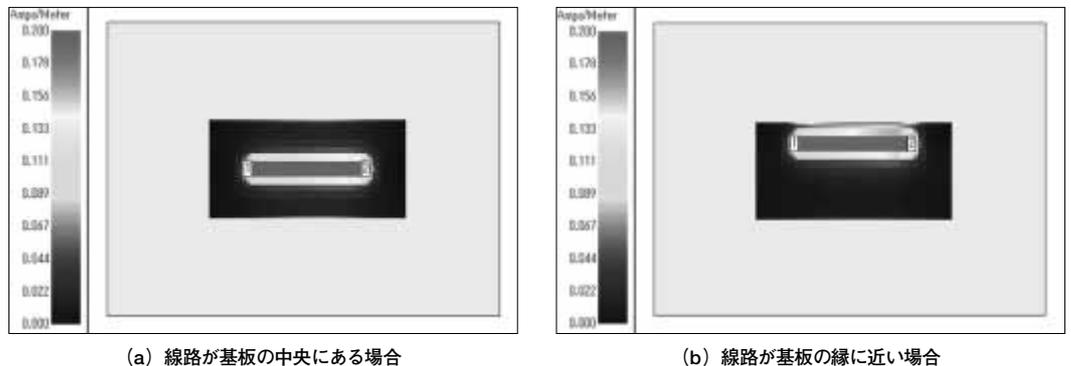
ん。50Ωで正規化したSパラメータを図2に示します。

AppCAD<sup>注3</sup>などのRF回路設計ツールによれば、今回の線路の特性インピーダンスは約60Ω、実効比誘電率は3.4です。波長短縮率は実効比誘電率の平方根の逆数で求められますから、約0.54です。 $S_{11}$ は1.4GHz付近で小さくなっており、入力ポート1への反射が非常に少ないことがわかります。このとき線路長は、波長短縮を考慮したときの半波長に近くなっています(参考文献1)の第5章を参照)。

図1(b)のモデルは、線路とグラウンドの片側の縁間の距離を10mmに設定してあります。両モデルのグラウンド基板面に分布する表面電流は、どちらも線路直下の位置にリターンの電流が強く現れているのがわかります(図3)。一方グラウンドの縁に注目すると、図3(b)は片側の縁により強い電流が流れていることがわかります。図3(a)では、両方の縁部にやや強い電流が認められるものの、図3(b)ほどの差はありません。

〔図3〕  
マイクロストリップ線路のグラウンドの表面電流 (Sonnet)

表示スケールの最大値を0.2 (A/m)に固定している。



(a) 線路が基板の中央にある場合

(b) 線路が基板の縁に近い場合

注1 Sonnetの問い合わせ先：ソネットソフトウェア・インク日本支店(TEL:03-3863-7717), <http://www.sonnetusa.com/>

注2 特性インピーダンスとは、伝送線路の一端を励振したときに生じる波(進行波と反射波)の電圧と電流の比、または電界と磁界の比のこと。

注3 AppCADは<http://www.hp.woodshot.com/>から無償でダウンロードできる。