

# マイクロストリップ・フィルタのしくみを調べる (その1)

小暮裕明

電磁界解析ソフトウェアは、回路の周囲にできる電界と磁界の分布をできるだけ正確に解くことによって、あらゆる電氣的な現象をシミュレーション(模擬実験)しようというものです。試作した回路を測定して設計どおりの性能が得られなければ、原因を早急に見つけなければなりません。比較的低い動作周波数では、コンデンサ、コイル、抵抗器といった部品の値を調整することで所望の性能を得ることができます。しかし、マイクロ波帯やより高い周波数で使われる結合線路型のフィルタなどでは、これらの集中定数部品の場合と異なり、 $C$ 、 $L$ 、 $R$ が等価的に組み合わせられた分布定数回路として考えなければなりません。したがって設計どおりに動作しない原因の一つには、電磁界が予想したとおりに分布していないことが挙げられます。今回は、線路の表面電流や $S$ パラメータを詳しく調べることで、電磁界解析ソフトウェアをマイクロストリップ・フィルタの設計に役立てる方法を解説します。(筆者)

## 1 マイクロストリップ・ノッチ・フィルタの事例

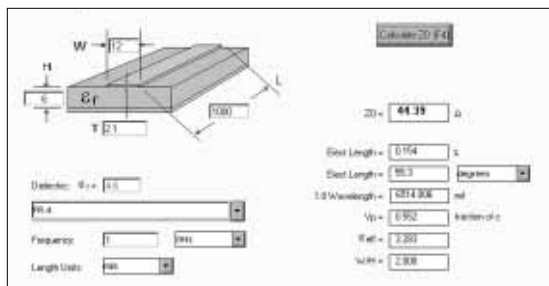
### ●マイクロストリップ線路構造と集中定数による等価回路

図1はAppCAD<sup>注1</sup>というソフトウェアで、マイクロス

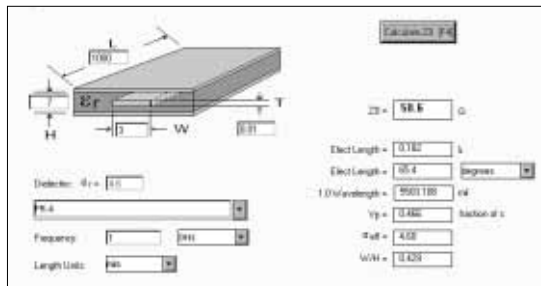
トリップ線路の特性インピーダンスなどを計算している画面です。図2はストリップ線路と呼ばれています。これは図1のマイクロストリップ線路の上にグラウンド板がもう1枚ある構造で、両板でサンドイッチされた内部に誘電体が詰まっています。

これらのまっすぐな線路は、マイクロ波帯などの高周波回路基板の伝送線路としてよく使われ、その特性インピーダンスは、線路幅、誘電体厚、誘電率などによって決まります。線路の途中で形状を変えて不連続な部分をつくると、特性インピーダンスが変わります。この形状をくふうすることで、マイクロストリップ線路が持っている自己インダクタンスや静電容量をうまく使い、 $L$ (インダクタンス)や $C$ (キャパシタンス)として働く線路を構成することができます。

表1に、リアクタンス回路素子をマイクロストリップ線路の構造で実現する方法とその等価回路をまとめました。表1の(1)は、線路から分岐した短い線路の先端を開放したものです。等価回路ではオープン・スタブ<sup>注2</sup>を構成しています。表1の(2)は、(1)と同様の線路の先をグラウンド層へ短絡したものです。等価回路ではショート・スタブを構成しています。いずれも分布定数リアクタンス素子として使われます。表1の(3)は間隙(ギャップ)をつくって、



〔図1〕AppCADによるマイクロストリップ線路の特性値の計算



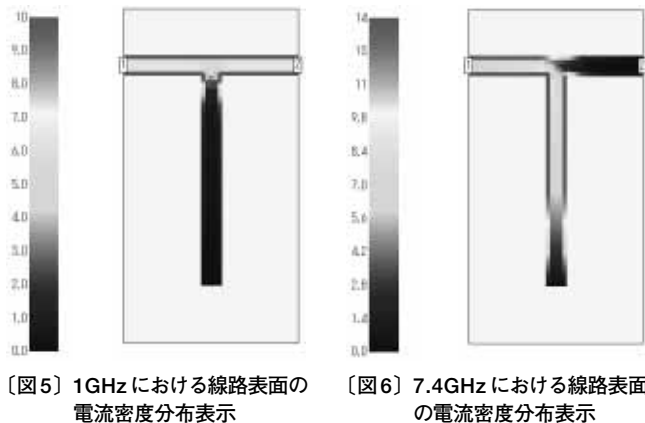
〔図2〕AppCADによるストリップ線路の特性値の計算

注1：AppCAD Version 3.0は、以下のURLのホームページから無償でダウンロードできる。<http://www.hp.woodshot.com/>

注2：伝送線路から枝分かれした部分のことをスタブ(stub：切り株)と呼ぶ。先端が開放(オープン)の場合をオープン・スタブ、先端がグラウンドに接続されている場合をショート・スタブと呼ぶ。

〔表1〕リアクタンス回路素子をマイクロストリップ線路構造で実現する方法とその等価回路

|     | 線路の構造 | 等価回路 |
|-----|-------|------|
| (1) |       |      |
| (2) |       |      |
| (3) |       |      |

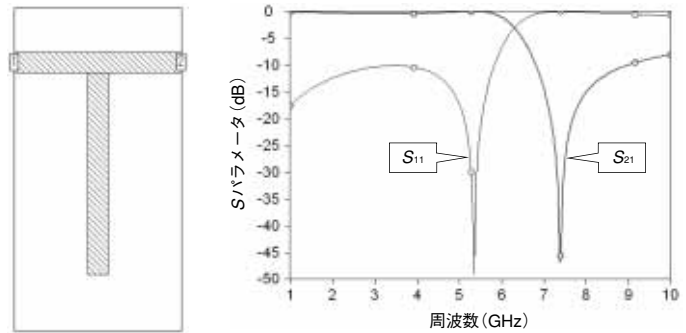


両線路の開放端間の静電容量を利用する構造です。

### ●マイクロストリップ線路によるノッチ・フィルタ

図3は、表1の(1)をSonnet Lite<sup>注3</sup>でモデリングした例です。線路幅は1mm、スタブの長さは10mmで、基板厚は1mmに設定しました。誘電体の比誘電率は、初めは波長短縮の効果を考慮しないように1.0に設定してあります。このため線路の特性インピーダンスは、AppCADやSonnet Liteの結果によれば約125Ωになります。

図4は、Sonnet Lite Ver.8.51のABS機能(本誌2002年7月号, pp.148-154の連載第20回を参照)の周波数指定について、1GHz～10GHzに指定したときのSパラメータの



結果で、デフォルトの50Ωで正規化した値です。1GHz～5GHzでは、 $S_{21}$ が0dB(1.0)に近いことから、図3のポート1に加えた信号(電磁波)のほとんどがポート2へ出力されていることがわかります。

図5は1GHzにおける線路表面の電流密度分布です。スタブにはほとんど電流が流れず、通過していることがわかります。図4の $S_{21}$ のカーブは、7.4GHz付近で急に落ち込みますが、ここでは図6のように、ポート2へほとんど電流が流れていないことがわかります。

誘電体の比誘電率を1.0に設定して波長短縮を考慮しない場合、スタブの長さが10mmですから、7.4GHzでは約1/4波長に相当していることがわかります。スタブの先端はオープンですから、ここで180度位相がずれて反射波が分岐点へ戻ります。そしてこの位置はスタブの先端からちょうど1/4波長ですから、位相が反転している反射波と進行波はキャンセルされ、特定の周波数で急しゅんな減衰を与える、いわゆるノッチ・フィルタとして働きます<sup>1)</sup>。また図6の表面電流は、スタブの先端ではゼロですから、1/4波長離れた分岐点では最大です。このとき電圧は、スタブの先端では最大、分岐点ではゼロと考えられます。

図7は、誘電体の比誘電率を9.6にしたときのSパラメータです。このとき線路の特性インピーダンスは約50Ωになります。図4では7.4GHzだった遮断周波数が、波長短縮の効果で3GHz付近になっています。この周波数における波長短縮率は約0.4ということになります。これは実効比誘電率の平方根の逆数<sup>2)</sup>ですから、Sonnet Liteで得られた実効比誘電率の値(6.4)からも、3GHz付近へシフトすることがわかります。

注3: Sonnet Lite の最新版はVer.8.51。インストール手順や日本語マニュアルは、以下のURLのホームページから無償で入手できる。http://www.sonnetusa.com/jp/