

## 1 実習名

低域通過フィルタの設計と測定 (「EMC シミュレーション技術」)

## 2 実習の目的

シミュレーション技術は今日の電子技術の中で非常に重要な役割を担っている。特に高周波回路設計、EMC 対策を行う技術者は是非とも習得しておきたい技術である。ここでは、シミュレーションにより得られた解析結果と実際に製作したプリント基板を使用して測定を行い、シミュレーションの有用性を確認する。

## 3 電磁界シミュレーションについて

### 3-1 各種電磁界解析シミュレータ

今日の高速デジタル回路設計や高周波回路設計にはシミュレーション技術は必要不可欠である。例えば各種エレクトロニクス製品にはマイクロコンピュータが使用されており、デジタル回路設計は欠かせない。このような時に回路動作のシミュレーションを行い、細部の動作確認を理解する事が必要となる。また、高周波回路設計においても受信電波や放射される電波のシミュレーション解析を行い、回路動作の確認や不要に放射される電波の対策を行うことが必要である。

このような製品を開発するとき、回路動作はもとより設計の段階からノイズの発生と低減などの測定結果を予測する事が必要となる。シミュレーションを用いることにより製品の開発期間を短くしたり、問題を事前に対処したりすることが出来る。

これらのシミュレーション結果の精度には使用するモデルの精度が解析結果に影響を及ぼすため、しっかりしたモデルを制作することが大切である。

シミュレーションには回路動作を得意とする Spice 系と電磁界解析を周波数領域で解析するモーメント法や有限要素法、時間領域で解析する有限差分時間領域法 (FD TD) などがある。はじめに電磁界解析のシミュレータの概要を説明した後、今回教材として使用するために取り上げた S・NAP について紹介する。

### 3-2 電磁界解析の概要

自然界の現象の多くは微分・積分方程式で説明される。電磁気学・電気回路でもマクスウェル方程式、ポアゾン方程式、ラプラス方程式でも微分や積分を使用した式がでてくることが多い。しかし、これらの方程式を直接解析することは出来ない。シミュレーションでは、これらの解析をいろいろな手法 (数値解析) により問題を解いている。

電磁界解析には上記で述べた周波数領域の解析と時間領域での解析の2種類に大別される。以下にこれらシミュレーションの概要を説明する。

#### 周波数領域での解析

(1) モーメント法 (Method of Moments)

積分方程式を離散化して数値的に解く方法

(2) 有限要素法 (Finite Element Method)

解析領域を要素に分割し、要素1つ1つにガラキーン法を適用して要素方程式をつくり、全ての要素を重ね合わせ系全体で離散化行列方程式を組み立てる方法

(3) 境界要素法 (Boundary Element Method)

境界上に未知電磁量をとって積分方程式をつくり、これを離散化して解く方法

#### 時間領域での解析

(1) 有限差分時間領域法 (Finite-Difference Time-Domain)

Maxwell 方程式の各成分式の時間軸における直接的な逐次計算を行う方法

(2) 伝送線路行列法 (Transmission Line Matrix)

空間の離散点間を1次元線路と仮定し、各格子点で散乱行列を定義して波動伝搬を逐次的に計算する方法

なお、これらの電磁界シミュレータの詳細については参考文献(1)～(5)を参照。

### 3-3 S・NAP-Fieldによるマイクロストリップ低域通過フィルタの設計・製作

(1) 目的

モーメント法によるS・NAP-Fieldを使用してマイクロストリップ低域通過フィルタの設計を行い、シミュレーションを行う。さらにマイクロストリップ低域通過フィルタ基板を実際に製作し実測して結果をシミュレーション結果と比較する。また、応用例としてIC、チップ抵抗、チップコンデンサ等の部品を配置した場合の電磁界解析を行い、シミュレーションの有効性を確認する。

(2) S・NAP-Fieldについて

S・NAP-Field Windows はシールド領域のモーメント法解析エンジンを搭載し

たプレーナ回路用電磁界シミュレータで L (インダクタンス)、C (コンデンサ)、R (抵抗)、トランジスタなどの電子回路部品を基板に実装し、パターンと混在させて解く事ができる新しいタイプのマイクロ波シミュレータである。かつて別々のシミュレーション問題とされていた回路シミュレーションと電磁界シミュレーションを統合して解くことにより、回路要素を考慮した電流分布、電解分布などがシミュレーションでき、アクティブアンテナなども効率良く解析できる。これはモーメント法を用いた新しい回路解析手法と言える。

#### < 解析の特徴 >

シールド領域、マルチレイヤーにおけるプレーナ回路をモーメント法で解析する。

- ・ L、C、R、トランジスタなどの回路要素をモーメント法のインピーダンス行列と連立して解くことで回路素子を混在した電磁界解析を行い、電流分布、Sパラメータ、雑音指数等を計算する。
- ・ 抵抗、インダクタ、キャパシタ、Sパラモデル、トランス、トランジスタ、コントロール電源、アイソレータ、サーキュレータなど 40 種以上の部品が混在可能。
- ・ レイヤー、ビアは無制限に使用でき、グランドビアおよび隣接する層間をビアで接続できる。
- ・ パッチアンテナ指向性パターン、指向性利得のシミュレーションも可能。
- ・ S・NAP-Pro とのリンク機能で、素子の最適化、チューニングを S・NAP-Pro 側で容易に実行できる。

#### (3) S・NAP-Field を使用した設計とシミュレーション

S・NAP-Field を使用したシミュレーション結果は S パラメータ、スミスチャート、電流分布などにより表示することが出来る。今回はこの中で S パラメータを使用して解析と測定結果を比較している。回路設計は Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタを参考に設計し実習を行う。

S・NAP-Field の操作手順については「8 S・NAP の操作手順」を参考に行うこと。

##### ① S パラメータについて

S パラメータは入力信号として入力波、出力信号として反射波を考え S 行列 (Scattering matrix) で表す。入力端子・出力端子をそれぞれ特性インピーダンスで終端し、回路網の伝送特性と反射特性を測定することによって求められる。

マイクロ波の世界では通常  $50\Omega$  で終端している。図 1 にその原理を示す。また図 2 に S パラメータによる 4 端子回路網の構成図を示す。

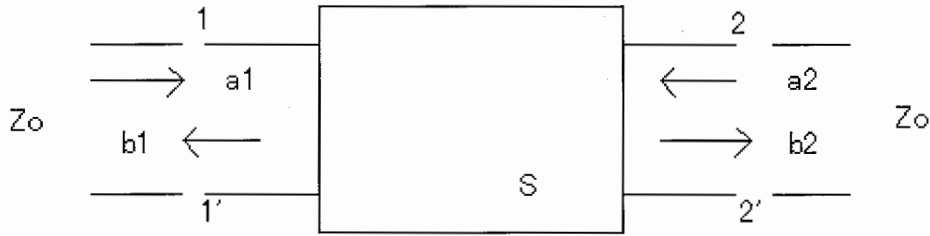


図 1 S パラメータについて

送り込んだ信号電力  $a_1, a_2$

反射されてきた信号電力  $b_1, b_2$

各端子における電圧  $V_1, V_2$  電流  $i_1, i_2$  とこれらの信号電力の間には

$$a_1 = 1/2(v_1/\sqrt{Z_0} + \sqrt{Z_0} \times i_1)$$

$$a_2 = 1/2(v_2/\sqrt{Z_0} + \sqrt{Z_0} \times i_2)$$

$$b_1 = 1/2(v_1/\sqrt{Z_0} - \sqrt{Z_0} \times i_1)$$

$$b_2 = 1/2(v_2/\sqrt{Z_0} - \sqrt{Z_0} \times i_2)$$

上式における左辺の  $a_1, a_2, b_1, b_2$  を規格化された電力といい、電力の平方根  $[W^{1/2}]$  の次元をもった量であり、このパラメータを使うと S パラメータを次式のように定義できる。

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$

あるいは、

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

上式における各 S パラメータの物理的意味は、

$S_{11} = (b_1/a_1)_{a_2=0}$  入力側の電圧反射係数(入力反射係数)

$S_{21} = (b_2/a_1)_{a_2=0}$  順方向電圧伝送係数(順方向透過係数)

$S_{12} = (b_1/a_2)_{a_1=0}$  逆方向電圧伝送係数(逆方向透過係数)

$S_{22} = (b_2/a_2)_{a_1=0}$  出力側の電圧反射係数(出力反射係数)

ここで  $a_n$  は入射波、 $b_n$  は反射波を表し、 $a_n=0$  はポート n 側を終端しているという意味である。

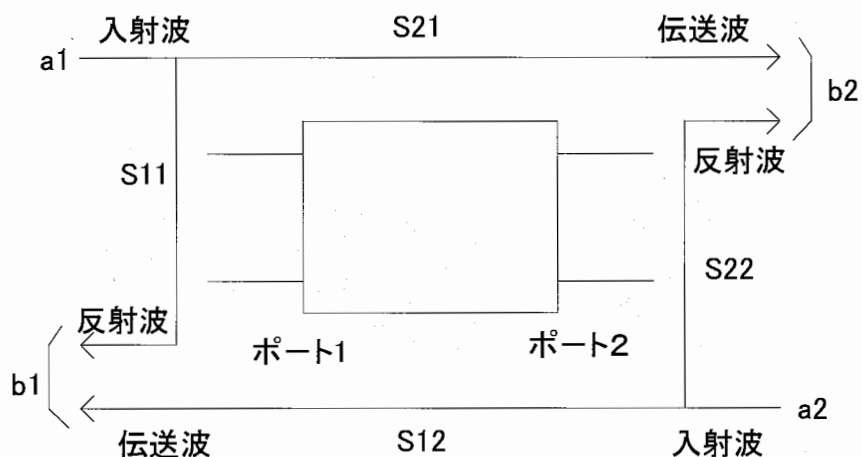


図2 Sパラメータによる4端子回路網

## ② Sパラメータの評価

Sパラメータは、全てのポートがある値のインピーダンスで終端されていることを前提に計算されている。先に述べたがマイクロ波では通常  $50\Omega$  である。Sパラメータはどのような値のインピーダンスで終端されていても計算できる。得られた解析結果の中で、始めに電氣的に結合されているポートについて調べる。そのSパラメータの位相角が許容できる最大値を超えるようならば、その路線長を短くする必要があるので回路の修正が必要となる。

## (4) シミュレーション実習

### ① 基板設計

今回使用する「Chebyshev型マイクロストリップ低域通過フィルタ」の寸法を図3に示す。基板寸法は  $115\text{mm} \times 50\text{mm}$  で低域通過フィルタは遮断周波数を  $850\text{MHz}$  付近に設定している。これは、測定に利用するネットワークアナライザを  $1.3\text{GHz}$  の装置としている為である。これ以上の帯域を持つネットワークアナライザを使用する場合は、この寸法にこだわる必要はない。

まず、使用するChebyshev型マイクロストリップ低域通過フィルタ基板のそれぞれの役割を記す。Sパラメータで説明したように入力・出力を  $50\Omega$  に設定しているのでそれぞれ線の太さを  $3\text{mm}$  に設定している。基板のプリント配線の幅設定にあたっては、インターネットで調べたマイクロストリップラインの解析ツールを参考にしてプリント配線幅のインピーダンスを求めて、実習を行う。下記に使用したツールのホームページアドレスを示す。

<http://www1.sphere.ne.jp/i-lab/ilab/index.htm>

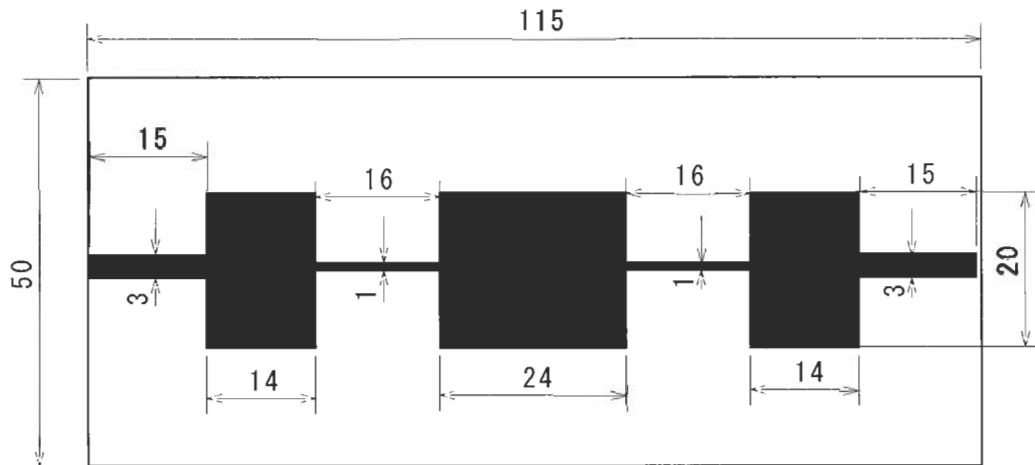


図3 シミュレーション基板寸法 単位 mm

図4に解析ツールを表示し、簡単に説明する。

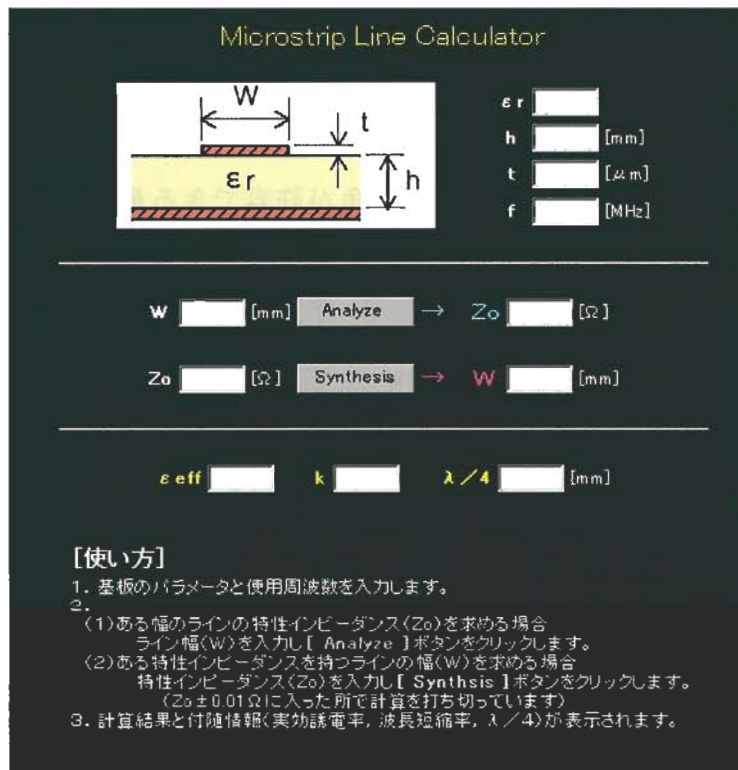


図4 マイクロストリップライン解析ツール

今回、 $\epsilon_r \cdot h \cdot t \cdot f$ はそれぞれ以下のように設定する。

比誘電率	$\epsilon_r=4.6$	基板の厚さ	$h=1.6(\text{mm})$
導体厚	$t=35 \mu\text{m}$	周波数	$f=850\text{MHz}$

このツールで入力インピーダンス  $Z_0=50\Omega$  と入力すると、 $W=2.90625\text{mm}$  と計算される。これよりマイクロストリップラインの幅を  $3\text{mm}$  と設定する。また、インダクタンス (L) とキャパシタンス (C) は図 5 に示した以下の公式により求められる。この公式の詳しい内容については「Foundations for Microstrip Circuit Design」TERRY EDWARDS (ENGALCO, Knaresborough, UK) の P277~287 を参照すること。

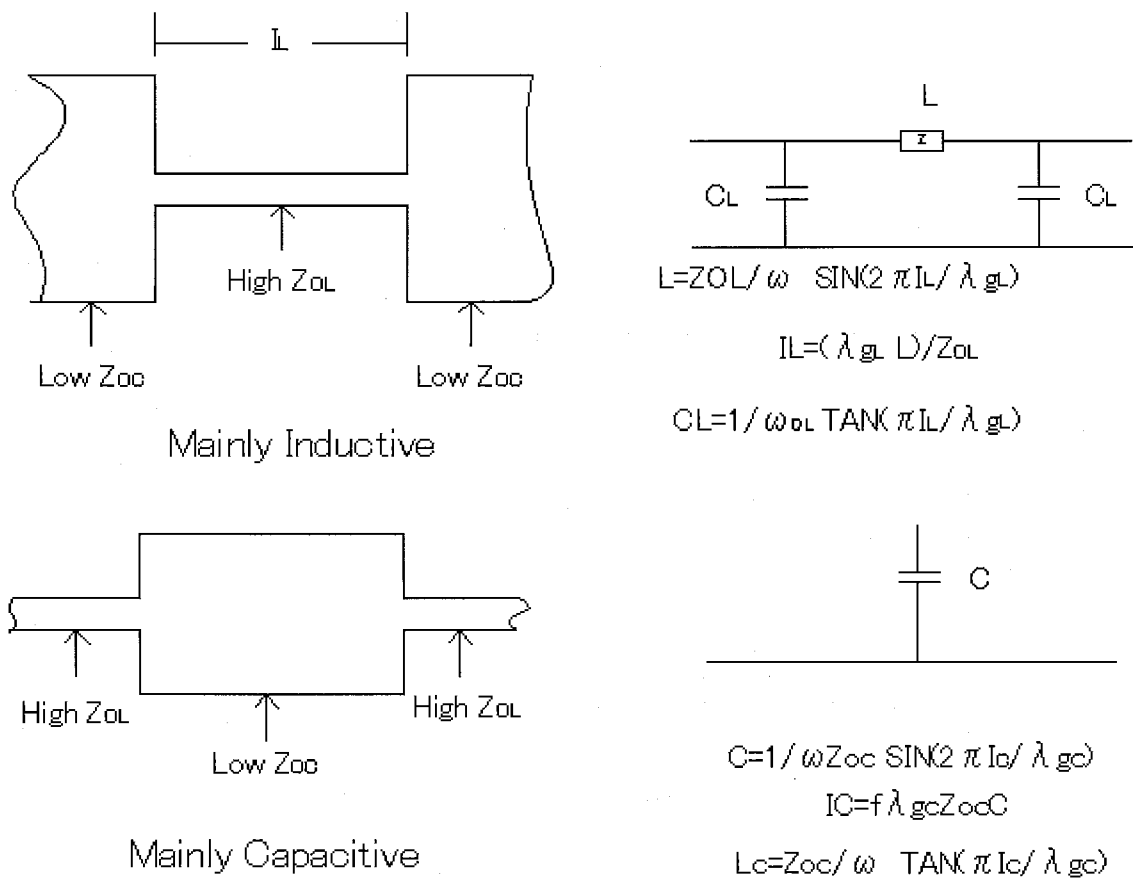


図 5 インダクタンス (L) とキャパシタンス (C) を求める公式

インダクタンス L を求めると、上で示したツールにより  $1.0\text{mm}$  の時の  $Z_0$  は  $84.3618\Omega$  となる。 $850\text{MHz}$  の波長  $\lambda$  は

$$\lambda = \text{光の速さ} / \text{周波数} = 0.353(\text{m})$$

と求めることができる。そして、公式の上段から分かるようにそれぞれの値を代入し計算すると  $L=4.44\text{nH}$  と求められる。キャパシタンス C も同様にツールにより  $24\text{mm}$  の時の値を求め公式の下段に代入し計算すると、 $C=8\text{pF}$  と求めることができる。これより今回使用する Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタの遮断周波数を求めると  $844\text{MHz}$  となる。この結果によりシミュレーションと測定を行う。

図6に図5の公式から求めた回路定数を示す。

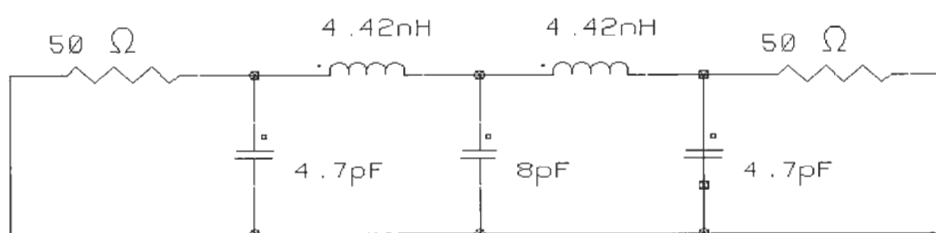


図6 設計した回路図

## ②シミュレーションと結果

図7に今回シミュレーションする基板を示す。なお、「8 S・NAP 操作法」を基にS・NAPによるシミュレーションモデルを設計すること。

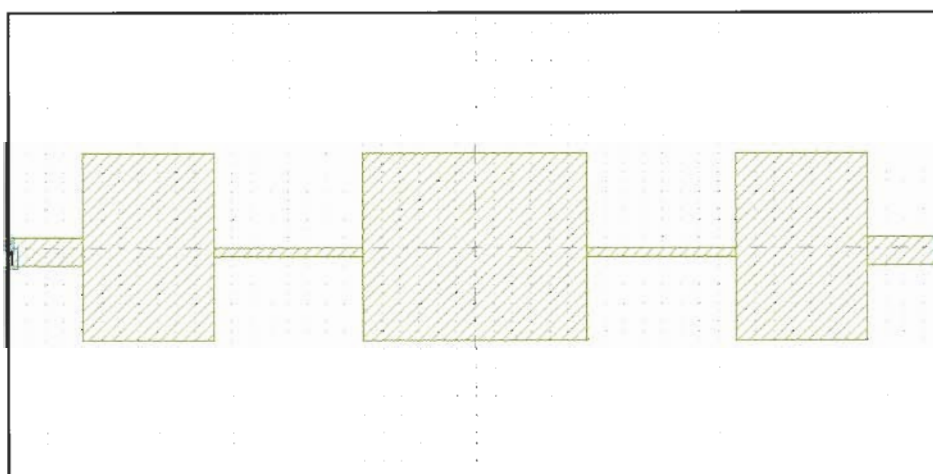


図7 シミュレーション作成基板

シミュレーションモデルを解析した結果を図8に示す。結果からも分かるように遮断周波数は840MHzとなりほぼ計算通りの結果が得られる。



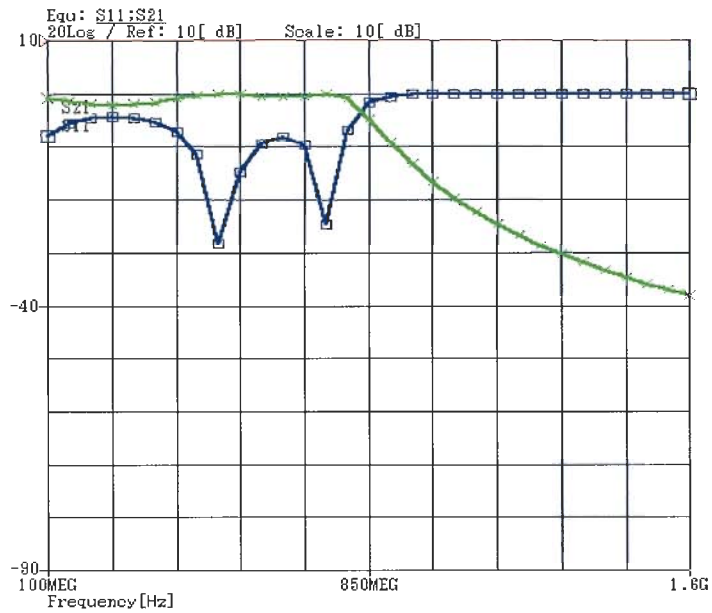


図8 Sパラメータによる特性結果

次にシミュレーションモデルを解析結果をワイヤフレーム表示する。図9はChebyshev型マイクロストリップ低域通過領域700MHz時の結果で、ポート1からポート2に電流成分が通過している状態が分かる。

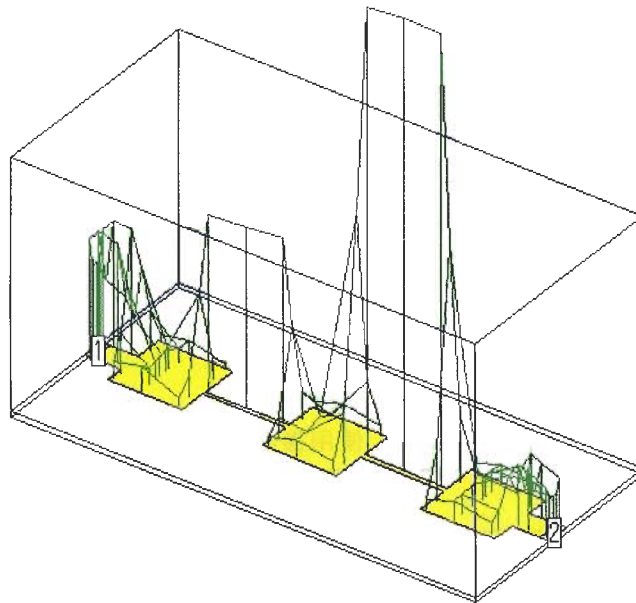


図9 Chebyshev型マイクロストリップ低域通過領域700MHz時の表示

図10は、Chebyshev型マイクロストリップ低域通過領域外の1.45GHz時の結果で、ポート1からポート2に電流成分が通過出来ない状態が確認できる。

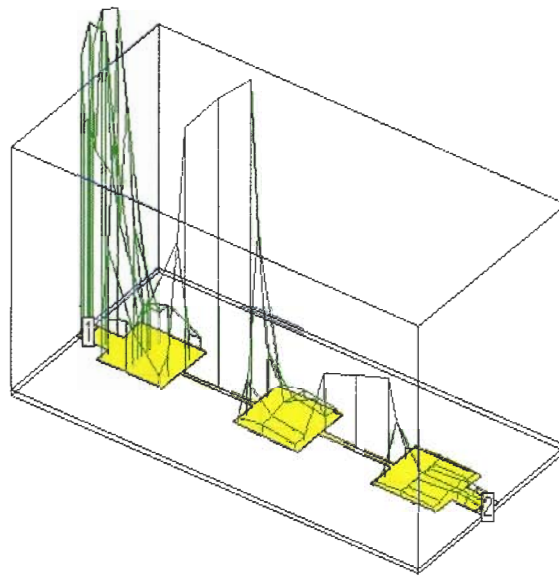


図 10 Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過領域外 1.45GHz 時の表示

このようにワイヤフレーム表示で解析結果を確認すると各周波数帯での電流成分の動きが確認され周波数特性の動的な可視化ができる。シミュレーション解析時のステップ周波数を細かくすると周波数の伝搬をより良く確認できる。

#### 4 マイクロストリップ低域通過フィルタの設計と測定

##### 4-1 目的

シミュレーション結果から得られた基板寸法を基に実際にプリント基板を製作し、Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタを解析結果と比較する。

##### 4-2 主な使用機器

表 1 使用機器の一覧

品名	型式	数量	備考
ネットワークアナライザ	HP8712ES	1	アジレントテクノロジー製
校正キットモデル	HP85033D	1	アジレントテクノロジー製
N/SMA 変換コネクタ		1	アジレントテクノロジー製
SMA 中継コネクタ	Male-Female タイプ	1	ヒロセ製
SMA 中継コネクタ	Male-Female タイプ	1	ヒロセ製
高周波測定用ケーブル	両端 SMA 型	1	ケーブル長 30cm 程度
電磁界シミュレータ	S・NAP シミュレータ	1	MEL 社 (評価版)

### 4-3 実習手順及び測定

#### (1) 周波数ゲイン特性及び反射特性の測定

ネットワークアナライザのキャリブレーションを行う。2 個のポートに対してスルーケーブルの接続を行う。N 型 (male) コネクタを持つケーブルをポート 1 と 2 の間に接続し校正する。図 11 は今回使用したネットワークアナライザである。



図 1 1 ネットワークアナライザ

次に表示される指示に従い、3 種類の標準 (オープン、ショート、負荷) の各ポートに接続して指示に従い校正する。図 12 は今回使用する校正器セットである。



図 1 2 校正キット

製作するプリント基板を図 13 に示す。基板の両端にはネットワークアナライザで測定するための入・出力端子を取り付けてある。この入出力接続端子に SMA コネクタを接続する。

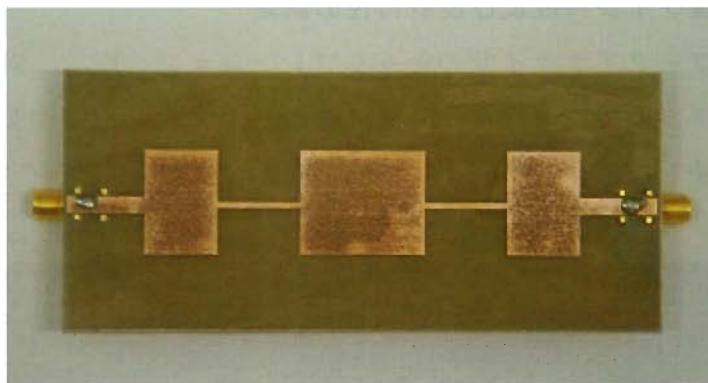


図 1 3 製作する Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタ基板

今回の測定は S・NAP で解析したシミュレーションモデルに従い、100MHz から 1600MHz までは最低測定する。図 14 は Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタをネットワークアナライザに取り付け実験を行った写真である。

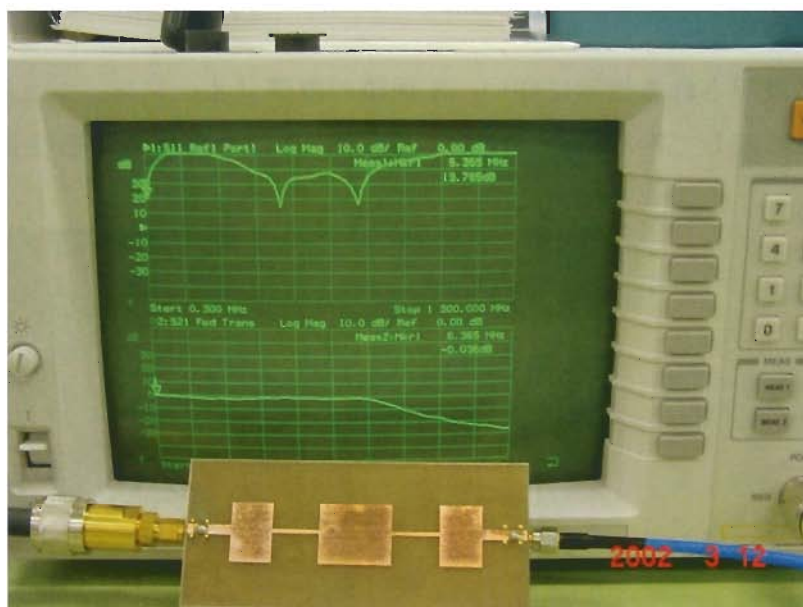


図 1 4 ネットワークアナライザに取り付けた測定実験

製作する Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタの実測遮断周波数はおおよそ 830MHz となる。シミュレーション結果とは 10MHz 程度ずれているが、5 次の Chebyshev 型特性が得られることが確認できる。

## 5 S・NAPによる電磁界シミュレーションのまとめ

- (1) S・NAP について操作方法を習得したか。 ( YES NO )
- (2) S パラメータについて理解したか。 ( YES NO )
- (3) ネットワークアナライザ の操作法を習得したか。 ( YES NO )
- (4) 高周波コネクタについて習得したか。 ( YES NO )
- (5) Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタの  
周波数特性について理解できたか ( YES NO )
- (6) Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタの  
周波数帯による電流の流れを理解できたか ( YES NO )

## 6 関連知識 (応用)

- (1) S・NAP の操作手順書に従い、電子部品をプリント基板上に配置した場合のシミュレーションを行い、周波数特性を解析してみる。
- (2) マイクロストリップを用いた HPF、BPF をシミュレーションにより設計し、周波数特性を解析してみる。
- (3) S・NAP によりパッチアンテナのシミュレーションモデルを作成し、特性を解析してみる。

## 7 参考文献

- (1) 小暮裕明、“高周波の世界”、CQ 出版社、1999 年
- (2) 小暮裕明、“電磁界シミュレータで学ぶワイヤレスの世界”、CQ 出版社、2001 年
- (3) 小川隆博、“マイクロ波回路設計実習セミナー”、参考資料、2003 年
- (4) 宇野亨、“FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析”、コロナ社、1998 年
- (5) 安達三郎、“電磁波工学”、コロナ社、1983 年
- (6) 川端広一、小野内巧“Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタの設計と製作”、小山職業能力開発大学校紀要、2001 年
- (7) 宮内一洋、“フィルタの解析と設計”、コロナ社、1997 年
- (8) 鈴木茂夫、“高周波設計の基礎と勘どころ”、日刊工業新聞社、2000 年
- (9) 前田真一、“高速回路のノイズ解析”、工業調査会、2002 年

## 8 S・NAP 操作手順書

### 8-1 S・NAP の概要

S・NAP シリーズには、DC からマイクロ波まで対応できる回路シミュレータで線形・非線形解析機能、ハーモニック・バランス、トランジェント解析機能を持つ S・NAP/Pro と回路合成理論に基づいた回路設計ソフトウェアでフィルタ、整合回路、発振器、オペアンプフィルタなどが設計可能な S・NAP Design、さらに今回使用した、回路混在型電磁界シミュレータでモーメント法を用いた多層基板、平面回路用シミュレータで電磁界方程式と回路方程式を連立して解くことで、部品を実装した状態で解析を可能にした S・NAP/Field などがある。

S・NAP/Field はパターン図形を描くジオメトリエディタとモーメント法エンジンを乗せたシミュレータで構成される。シミュレータは解析エンジンだけではなく、グラフや電流分布ビューワ、遠方界を表示するフィールドビューワも備えている。ジオメトリエディタとシミュレータは OLE でリンクされており、ジオメトリエディタでドキュメントを一つ作成するとそれと同時にシミュレータ側もドキュメントが一つ作成される。

### Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタの設計

#### (1) 回路図の作成

図 15 のような Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタを設計し、実習を行い電流分布と S パラメータ特性をシミュレーションする。

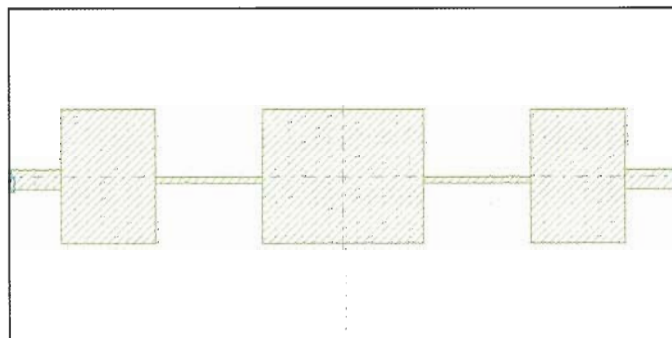


図 15 Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタ

#### (2) ボックスサイズの設定

最初に解析領域となるボックスサイズを設定する。メニューの「ツール」「ボックスサイズ設定」を順に選択すると図 16 の設定ダイアログがオープンする。

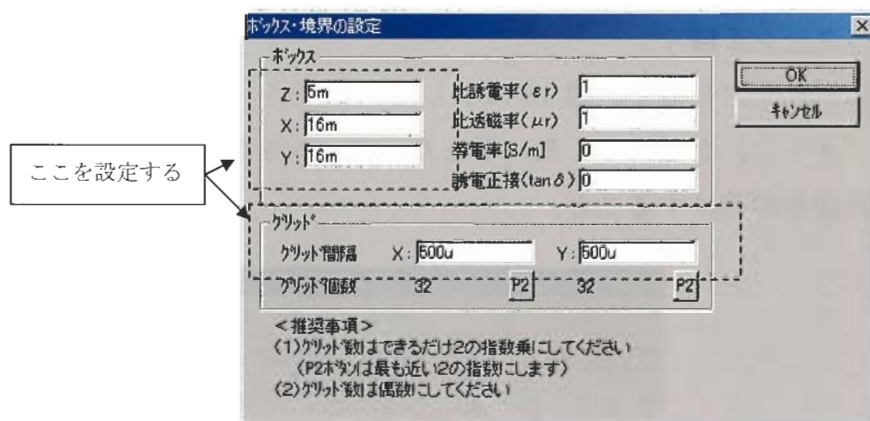


図 16 ボックスサイズの設定

まず X、Y、Z のサイズを入力し、X、Y 方向のグリッドピッチを入力する。グリッドピッチと X、Y のサイズは必ず整数倍になるように設定する。また、できるだけ 2 の指数乗になるようにする。ここでは X に「12.8m」、Y に「25.6m」、Z に「10m」と入力する。グリッドピッチは X に「400 $\mu$ 」、Y に「200 $\mu$ 」を入力する。その他の値は空気中に基板があるという前提であるので、デフォルト値のままとする。なお、ここで「m」はミリを表わし、「 $\mu$ 」はマイクロを表わしている。

### (3) 誘電体の設定

次に誘電体を設定する。メニューの「ツール」「レイヤー編集・追加」「編集」を順に選ぶ。ツールバー右端の「プロパティ」のボタンでも同じ操作が行なえる。ここでは誘電体の厚さと、比誘電率を入力する。

図 17 の誘電体の設定画面でそれ以外の項目はデフォルト値のままとする。今回は厚さの部分に「1m」、比誘電率の部分に「3.4」と記入する。これで 1 [mm] の厚みの誘電率 3.4 の誘電体が底に敷かれた事になる。

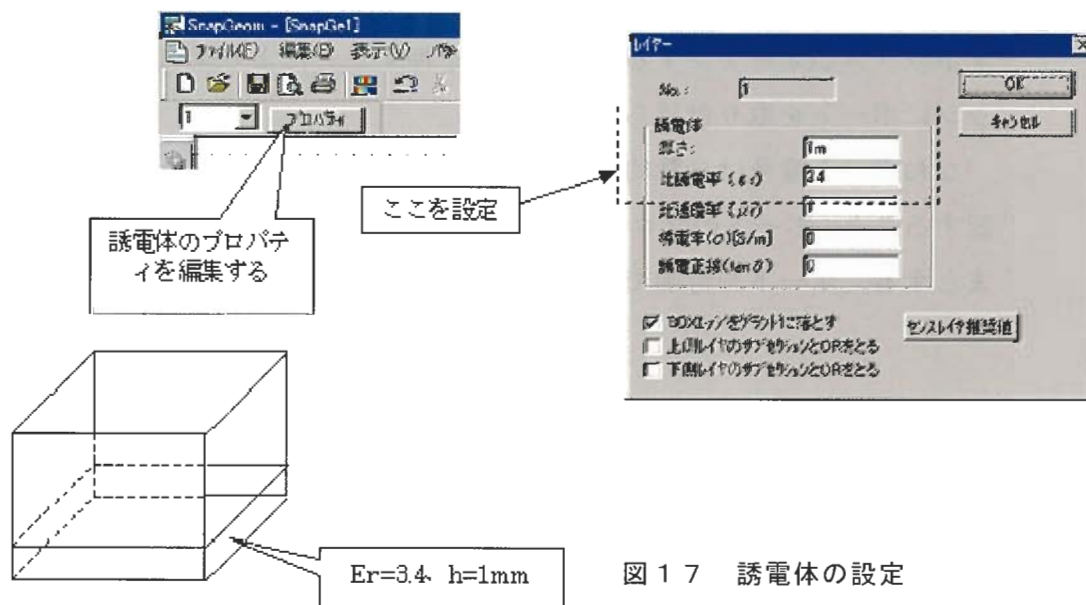


図 17 誘電体の設定

#### (4) パターンを描く

次にパターンを描く。図 18 に示したツールバーの部分の図形メニューから「四角形パターン」を選択し、先に示したパターンを描く。図 19 のパターン寸法は先の回路図を参考にする。

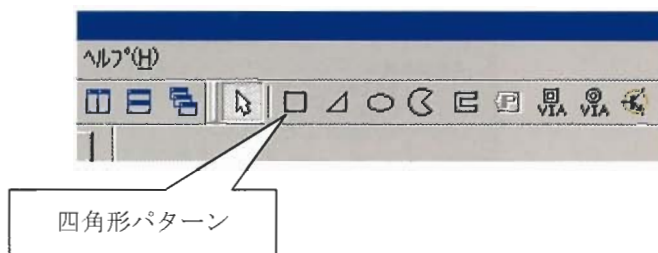


図 18 図形メニューから「四角形パターン」を選択

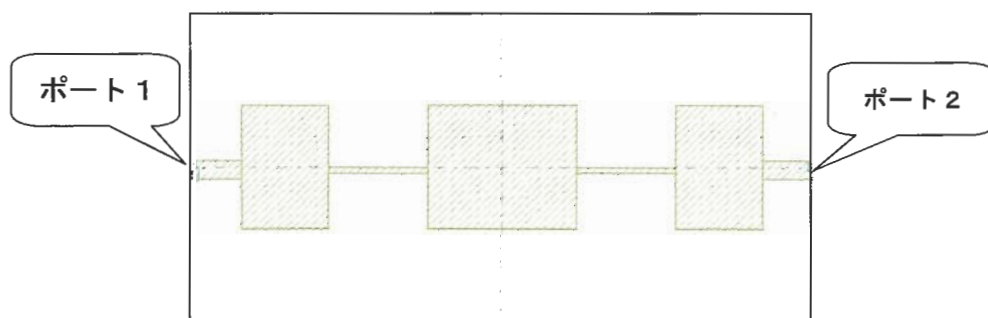


図 19 Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタ

#### (5) ポートを付ける

次にポートを付ける作業を行う。ポートは図 19 で示した四角形図形のエッジのみ付けることができる。また取り付け位置としては、ボックスエッジに付けるのが最適である。ポートを取り付ける四角形を選択すると、ツールバーのポートメニューが有効になるので、そこからメニューで選択する。ポート追加・削除のダイアログボックスがオープンするので④と②を押すことにより図 19 のようにパターンエッジにポートを取り付けられる。

なおポート番号は自動的にインクリメントされるが、連番になっていることを確認すること。ポートのプロパティ設定もあるが、ここではデフォルトの  $50\Omega$  のままとする。ポートを付加できたら回路は完成となる。

#### (6) 回路図形の保存

回路図が完成したら名前を付けて必ず保存する。今後この名前がシミュレータ側でも利用されることになる。保存はメニューの「ファイル」「名前を付けて保存」を順に選択して行う。ここでは、「チュートリアル 1.sgm」の名前で保存する。



### (7) シミュレータに図形情報を渡す

図 20 で示している虹色のツールボタンを押す事で、OLE を介してシミュレータに図形情報が送られ、シミュレータがアクティブになり手前に表示される。Windows2000 ではメニューバーでアイコンが点滅する。

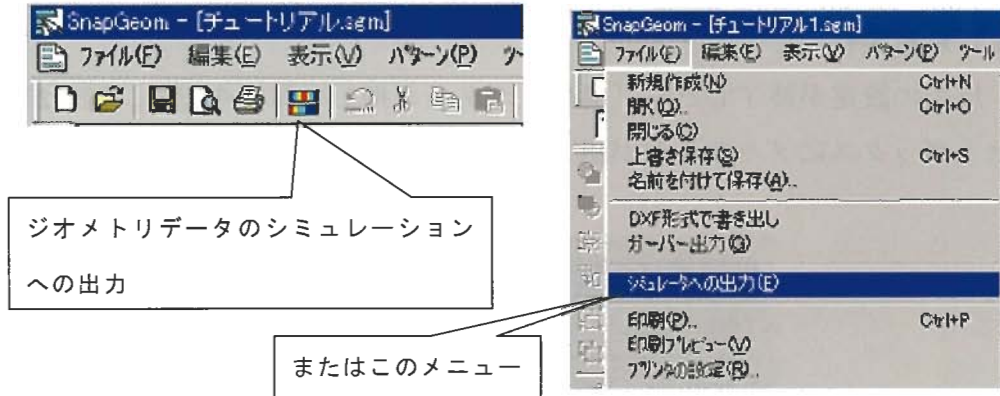


図 20 シミュレータに図形情報出力

### (8) シミュレーション設定

<条件設定>

「シミュレーション」メニューから「Sパラメータ解析」を選択すると、図 21 のようなダイアログが表示される。ここでの重要な設定項目はスイープ周波数である。スタート周波数を「100」、ストップ周波数を「1600」、ステップ周波数を「50」と入力する。この場合単位は「MHz」を選択する。

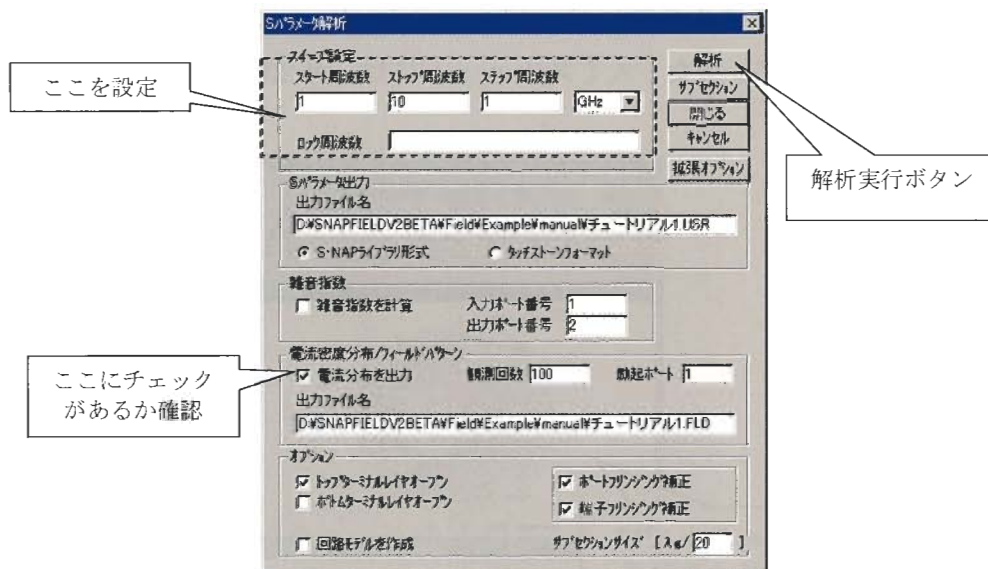


図 21 シミュレーション設定

他の設定はデフォルトのまま構わないが、次の点を確認して置くこと。

- ・「電流分布を出力」にチェックが入っているか。

- ・ S パラメータ出力のファイル名及び電流密度分布のファイル名が書かれているか。
- ・ ファイル名はジオメトリエディタで保存したときの名前に拡張子の変更されて書き込まれているか。

### (9) 解析実行

以上の設定が終了したら「解析」ボタンを押して解析を行う。図 22 で示すレポートボックスにメッセージが出力され、実行していることが確認できる。

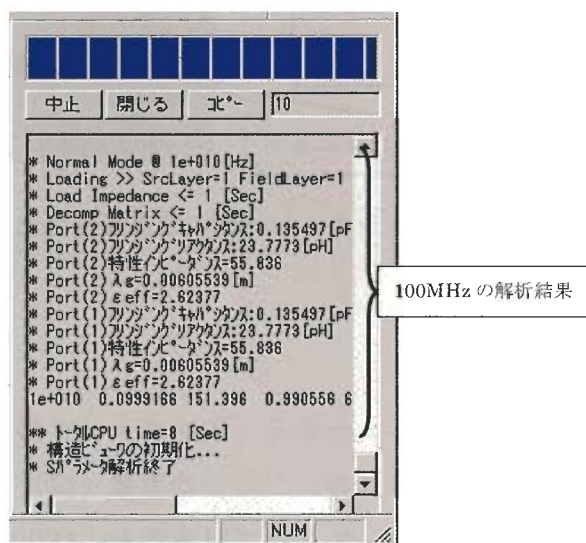


図 22 レポートボックス

レポートボックスの最後に「\*S パラメータ解析終了」と出ていれば解析は無事に実行されている。また、スミスチャートには、図 23 のような S11 が表示される。

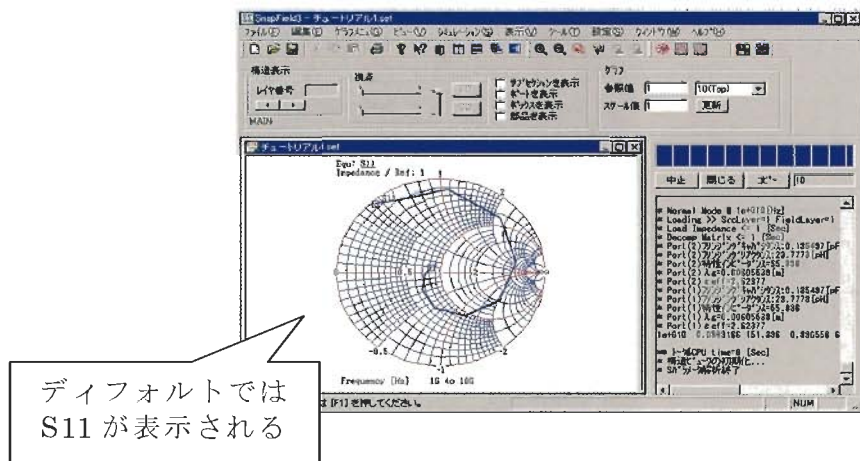


図 23 S11 のスミスチャート

## (10) 解析結果の表示

### ① S パラメータを表示する

デフォルトのままだとスミスチャートが表示されていて、S11の軌跡が描かれていない。この回路の場合2ポート回路なので、S11からS22までの4つのパラメータが計算されている。他のパラメータの選択は、メニューの「編集」「グラフ表示データ」を順に選択すると図24で表示される画面で行なう。なお、マウスの右ボタンをクリックしてポップアップメニューから選んでもかまわない。この時、表示式のボックスに調べたいパラメータをキーボードから直接入力するか、表示されているリストボックスから選んでダブルクリックする。複数のパラメータを一度に指定する場合は、パラメータをセミコロン「;」で区切って指定する。

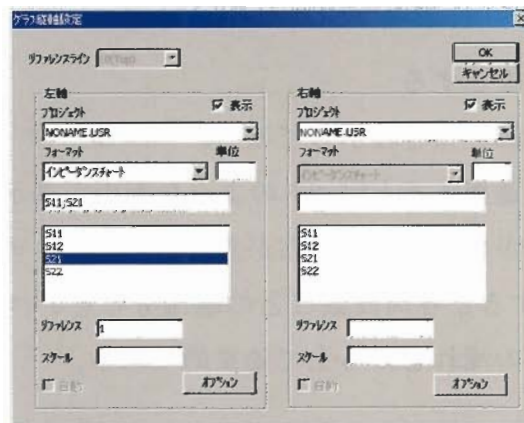


図24 Sパラメータの選択

### ② スカラグラフを表示する

スミスチャートをスカラグラフに変更するには、図25に示すようにメニューの「ビュー」から「カルテシアン」を選択する。ただしS・NAPのバージョンにより設定が一部異なる。

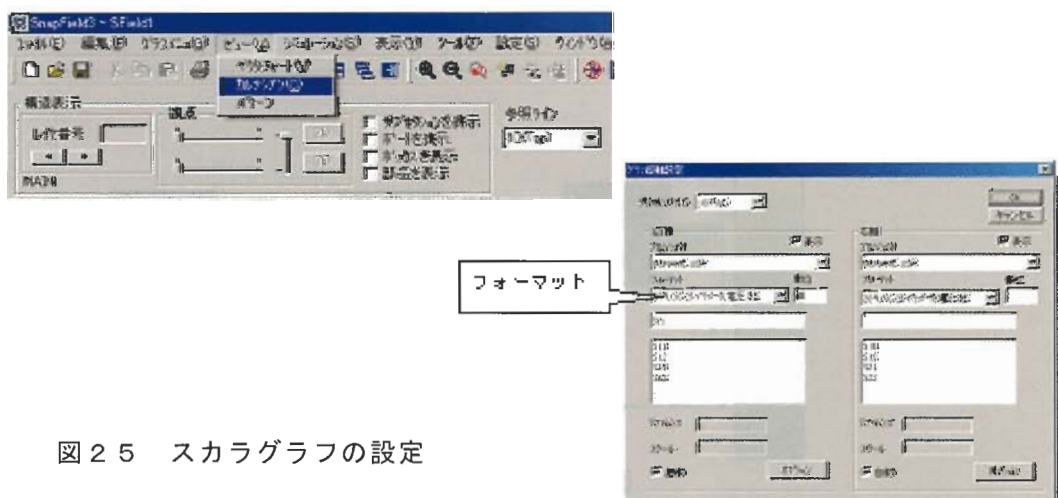


図25 スカラグラフの設定

③ グラフをもう一枚表示する

グラフを複数表示するには、図 26 の「ウインドウ」「新しいウインドウを開く」を選ぶと新しいビューが開くので、好みのグラフに設定する。グラフは何枚でも開くことができる。

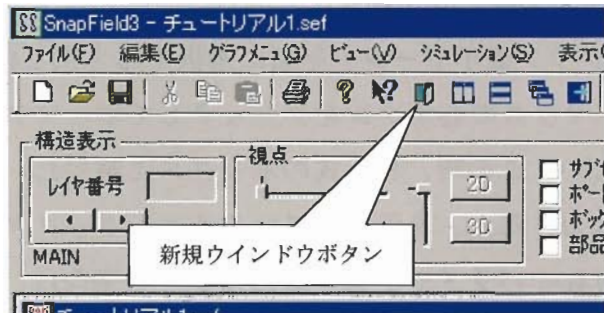


図 26 新規ウインドウの設定

④ 電流分布を表示する

最後に電流分布を表示してみる。メニューの「ツール」「カレントビューワ」を順に選択すると図 27 のような画面が表示される。カレントビューワプログラムが起動、電流分布が表示される。この電流分布は、表示モードで AUTO にすると各周波数ごとの電流分布をアニメーション的に見ることができ、電流の流れを知る上で効果的である。

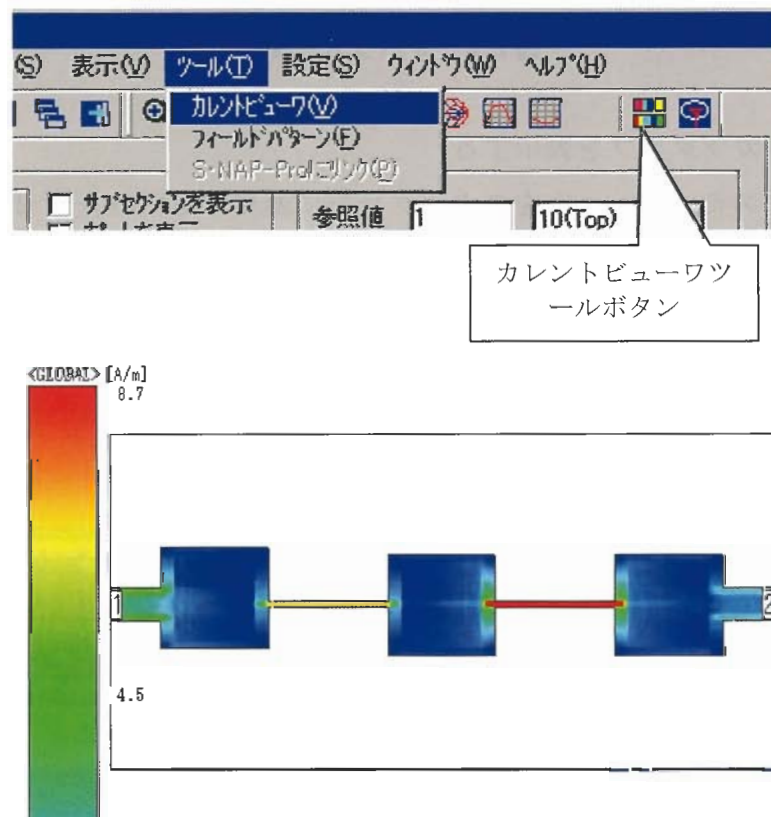


図 27 カレントビューワ設定

以上で、S・NAP/Field を用いた Chebyshev 型マイクロストリップ低域通過フィルタの操作手順を終了する。

## 8-2 電子部品混在モデルの解析法

最後に、この S・NAP/Field では電子部品を混在させた状態で電磁界シミュレーションが行えると言う特長がある。例として図 28 のような 5 次ハイパスフィルタ(HPF)回路を作成し、スミスチャートと S パラメータ特性、電流分布をシミュレーションした解析事例を示す。サンプル回路はボックスサイズが  $X=10\text{mm}$ 、 $Y=6.4\text{mm}$ 、 $Z=3.2\text{mm}$  でグリッド間隔を  $Y=100\mu$ 、 $Z=100\mu$  としている。基板上にあるマイクロストリップ線路に接続したチップキャパシタには 1005 型のコンデンサーを 3 個使用しており、値は  $C1=C3=0.2\text{pF}$ 、 $C2=0.12\text{pF}$  である。ただし、この評価版ソフトを使用してシミュレーションを行うには確認しておく項目が幾つかある。1 つ目はパターンがグリッド上に載っていないとシミュレーションできないことである。2 つ目は各パターンのマトリックスサイズが 500 を超えるとシミュレーションできないことである。さらに電子部品を配置する場合には部品の接続点に気を付ける必要がある。その他にも幾つかあるので、使用する場合には注意をしておいて欲しい。もちろん製品版にはこれらの制限はない。

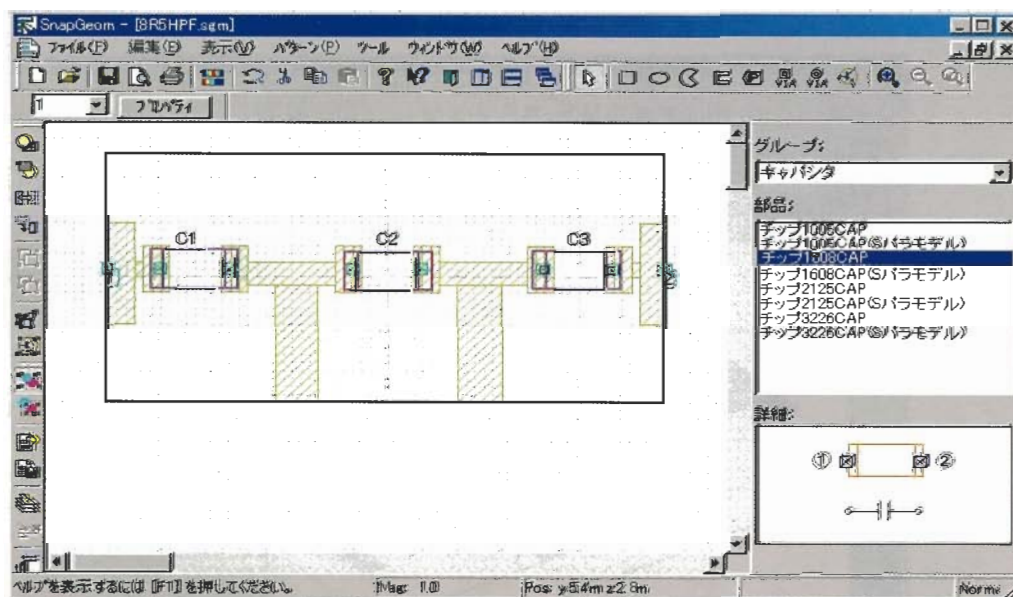
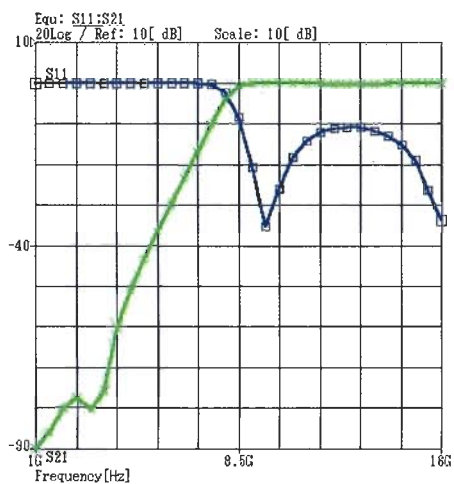


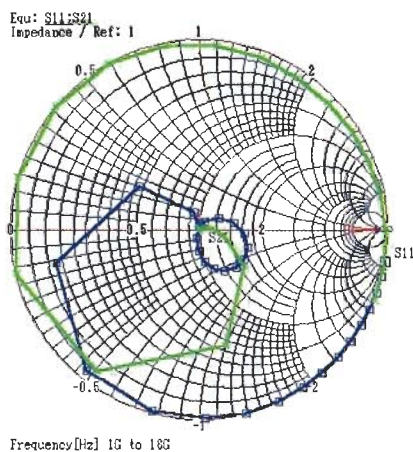
図 28 ハイパスフィルタ回路

このハイパスフィルタの遮断周波数は 8.5GHz であり、解析結果を S パラメータとスミスチャートで図 29 に示す。スミスチャートからコンデンサは周波数 0(直流)ではインピーダンスは  $\infty \Omega$  で、反射率 1 の全反射になる。また、周波数が高くなるに

つれて時計回りに外周を移動していることが分かる。インダクタンス成分は周波数0では0Ωのショートで、周波数が上がるにつれて外周を時計回りに移動していることが分かる。



SパラメータのS11とS21



スミスチャートによる結果

図29 ハイパスフィルタ回路解析結果

図30は10GHzのときの電流分布表示で、電流がポートに達し移動していることが理解できる。

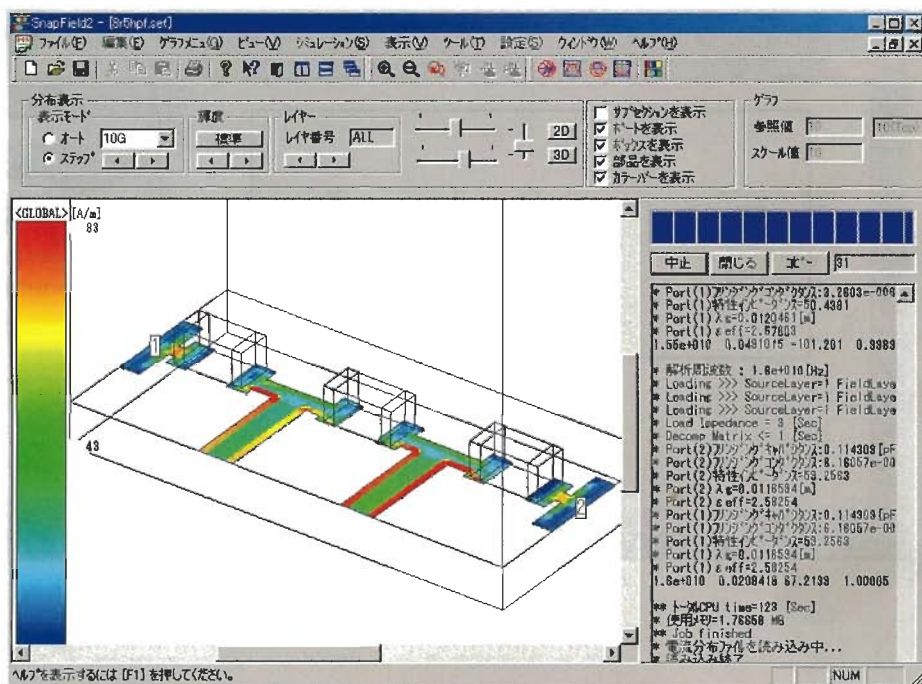


図30 電流分布表示結果