



# **SONNET**入門

NEW : バージョン 18 の登録作業

有限会社ソネット技研 石飛 徳昌

<http://www.Sonnet.Site>

[info@Sonnet.Site](mailto:info@Sonnet.Site)

2022 年 2 月 6 日



# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>SonnetLite のインストール</b>	<b>1</b>
1.1	最新バージョンをお使いください	1
1.2	インストールに必要な環境	1
1.3	古いバージョンのアンインストール	1
1.4	ダウンロード	1
1.5	インストール	2
1.6	登録	2
1.7	ライセンスのインストール	3
1.8	サポートや使用制限など	4
<b>第 2 章</b>	<b>Sonnet 入門</b>	<b>5</b>
2.1	はじめに	5
2.1.1	起動と構成	5
2.1.2	外部インターフェース	5
2.1.3	ファイルの拡張子表示を設定する	6
2.2	例題の呼び出しと操作の概要-RFID タグ	6
2.2.1	例題の呼び出し	7
2.2.2	“xgeom”: モデルの入力と解析条件の設定	7
2.2.3	“emgraph”: グラフの表示	10
2.2.4	“emvu”: 電流分布の表示	14
2.3	問題の入力とアンテナ特性-逆 F アンテナ	15
2.3.1	問題の概要	15
2.3.2	“xgeom” の起動	15
2.3.3	単位の設定	16
2.3.4	ボックスパラメータの仮設定	16
2.3.5	誘電体層の構造の設定	16
2.3.6	金属導体の定義	17
2.3.7	構造の確認	17
2.3.8	ToolBox の概要	17
2.3.9	パターンの入力	17
2.3.10	解析条件の設定	22
2.3.11	解析と結果の表示	23
2.3.12	“xgeom” での作業のまとめ	23
2.3.13	“patvu” による放射特性の計算と表示	23
2.4	パラメータスイープと特性インピーダンス-マイクロストリップ線路	25
2.4.1	問題の概要	25
2.4.2	特性インピーダンスの周波数特性	25
2.4.3	線路幅のスイープ	27
2.4.4	境界からの距離のスイープ	28

2.4.5	作業のまとめ	29
2.4.6	技術的なトピック	30
2.5	超伝導導体	30
2.5.1	モデルの概要	30
2.5.2	超伝導導体のモデル	30
2.5.3	解析条件と結果の表示	32
2.6	部品と関数-バイアスティー	34
2.6.1	問題の概要	34
2.6.2	入力準備	34
2.6.3	パターンの入力	34
2.6.4	部品のマウント	36
2.6.5	解析条件と結果の表示	37
2.6.6	部品のモデルについて	38
第3章	これから	39
3.1	数値計算についての誤解	39
3.1.1	細かく計算しても精度は上がらない	39
3.1.2	コンピュータが進歩しても解析規模はほとんど増えない	39
3.2	高周波の基礎の基礎 [5]	40
3.2.1	波長によるシミュレータの選択	40
3.2.2	特性インピーダンスが定義できる場合	40
3.2.3	導体損失と誘電体損失の解析手法	40
3.2.4	波長と不要放射とアンテナとノイズの関係	40
3.3	より詳しい資料	40
3.3.1	ソネット技研で用意している資料	40
3.3.2	SPICE に関して	41
3.3.3	アンテナについて	41
3.3.4	数値計算について	41
3.4	Web での情報提供	41
3.5	お問い合わせの際のお願い	41
参考文献		43



## 第 1 章

# SonnetLite のインストール

無料の電磁界解析ソフト SonnetLite のインストール方法を詳しく説明します。ポイントは次の二点です。

- 最新のバージョンを使う。
- 他の Sonnet と同時にインストールしない。

### 1.1 最新バージョンをお使いください

SonnetLite はバージョン 18 から製品版と同一の新しいユーザーインターフェースになりました。また、ライセンスの登録作業も容易になりました。

- SonnetLite および SonnetLitePlus のバージョン 15 は廃止され、それらのライセンスは今後発行されることはありません。
- SonnetLite バージョン 18 は SonnetLite および SonnetLitePlus のバージョン 15 のモデルファイルを読み込み、再解析することができます。
- SonnetLite バージョン 18 は SonnetLitePlus のバージョン 15 と同等以上の規模のモデルを解析できます。

### 1.2 インストールに必要な環境

推奨する環境は

- SonnetLite の他のバージョンや製品版がインストールされていない事
- Windows を定期的に更新し最新の状態に保てること。<sup>\*1</sup>
- 一般的な能力の Intel 系 CPU<sup>\*2</sup>
- vnc, rdc などネットワークを介したのリモート操作をしないこと。<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> これを書いている 2022 年 1 月の時点で、デスクトップ OS では Windows10 のシェアが 80% 以上です。Windows11 への移行はまだしばらくかかると思われます。

<sup>\*2</sup> これを書いている 2022 年 1 月の時点でおそらく Apple 社で採用されている ARM 系 CPU では動作しません。

<sup>\*3</sup> ライセンスのインストールまではリモート操作でも可能です。

です。

**古いバージョンをインストールしている場合** “1.3 古いバージョンのアンインストール”に従って、古いバージョンをアンインストールしてください。

**製品版を他の人と共有なさっている場合** 製品版は他の人が仕事に使っているかもしれませんから別の PC を探してください。

**製品版を自分専用にお使いの場合** SonnetLite をインストールせず、5 ページの “Sonnet 入門” に進んでください。“Sonnet 入門”の範囲では製品版と SonnetLite の差は殆どありません。

### 1.3 古いバージョンのアンインストール

1. Windows の プログラムの追加と削除 や アプリと機能の中から SonnetLite 15.53 <sup>\*4</sup> の アンインストールを選んでください
2. あとは画面の指示に従ってデフォルトの ボタンで最後まで進めばアンインストールは完了です。次の “1.4 ダウンロード” に進んで最新の SonnetLite を入手してください。

**CD-ROM や DVD-ROM をお持ちの場合** お手元に SonnetLite の CD-ROM や DVD-ROM をお持ちなら、そのバージョンは古い可能性が高いです。次の “1.4 ダウンロード” に進んで最新の SonnetLite を入手してください。

### 1.4 ダウンロード

米国ソネット社のサイトから最新の SonnetLite をダウンロードします。

1. <https://www.sonnetsoftware.com/products/>

が、実際に使用しようとするライセンスが得られません。リモートでの使用には製品版のネットワークライセンスが必要です。

<sup>\*4</sup> メニューの名前は SonnetLite 15.53 でなく、例えば SonnetLite 18.51 や Sonnet 17.54 などかもしれません。



図 1.1 ダウンロードサイトの QR コード

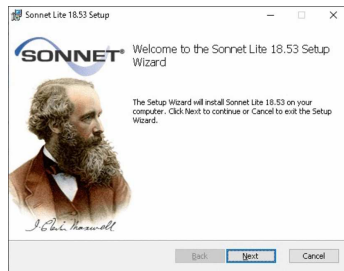


図 1.2 インストール開始

lite/download.html にアクセスします\*5。図 1.1 の QR コードからもアクセスできます。

2. ダウンロード手順が英語で説明されますから **Download** をクリックしてください。

#### Free Download

[Download Sonnet Lite](#)

Before downloading Sonnet Lite, please read the [License Agreement](#).  
Sonnet Lite cannot be used for publishing competitive comparisons; d  
License Agreement.

Follow these steps to install Sonnet Lite:

1. Download and Install Sonnet Lite:

1. [Download](#)

3. Windows の設定によってはセキュリティ警告が出るかもしれません。デフォルトの **ボタン** をクリックしてどんどん進んでください。
4. setup\_sonnetlite1853.msi \*6 というファイルがダウンロードされます。
5. ダウンロードしたファイルを実行すると、図 1.2 のように “Setup Wizard ウィンドウ” の初期画面が現れます。 **Next** をクリックして次の “1.5 インストール” に進んでください。\*7

\*5 もし “404” エラーになったら <https://www.sonnetsoftware.com> から **Products** **SonnetLite** のメニューをたどってください。

\*6 ファイル名末尾の数字はバージョン番号ですから別の番号かもしれません。

\*7 もし Sonnet の他のバージョンのアンインストールに失敗していれば何か警告がでますから、インストールをキャンセルして 1 ページの “1.3 古いバージョンのアンインストール” に戻ってください。



図 1.3 “Session Manager”

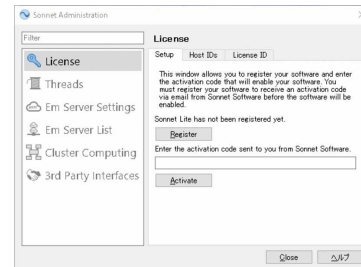


図 1.4 “License Setup ウィンドウ”

## 1.5 インストール

インストールは可能なかぎりデフォルトのまま進めてください。

1. 図 1.2 は “Setup Wizard ウィンドウ” の初期画面です。 **Next** をクリックして進んでください。
2. 次に使用許諾書への同意が求められます。 “☐ I accept the terms in the license agreement : 使用許諾書に同意する” に “☒ チェックを入れて” **Next** をクリックしてください。もちろん同意しなければインストールを続けることはできません。
3. 後はデフォルトの **ボタン** でどんどん進んでください。
4. インストールが終わると、Windows のスタートメニューかデスクトップに Sonnet の新しいアイコンがあるはずですから、ダブルクリックで実行してください。
5. 図 1.3 の **SessionMgr.** と登録を促す “Sonnet Lite Registration ウィンドウ” (図 1.4) が開きます。 **Close** で閉じることができますが、未登録のままでは解析規模に厳しい制限がかかっているのです、次の “1.6 登録” に進んでください。

## 1.6 登録

ここではインストールした SonnetLite の登録情報を米国ソネット社に送り、メールでライセンスを受け取る手順を説明します。

1. もし図 1.4 の “License Setup ウィンドウ” が開かなかった場合は、 **SessionMgr.** の **Admin** **License...** を選んでください。
2. 図 1.4 の “License Setup ウィンドウ” の **Register** をク

**Sonnet Lite Registration**

Please fill out the form below to register Sonnet Lite.  
Please note, a valid email address is required as your registration  
Your personal information will be kept confidential.

First Name \*:   
 Last Name \*:   
 Email \*:   
 Company:   
 Phone:   
 Address:   
 City:   
 State:   
 Zip code:   
 Country \*:   
 Version:   
 Host ID:   
 License ID:

**Sonnet Lite Activation Code** 受信トレイ ✕

litereg@sonnetsoftware.com 13:24 (6 分前) ☆  
 To 自分  
 Thank you for registering Sonnet Lite.

Below is your activation code to enable Sonnet Lite.  
 Please copy the code and paste it into the Activation Code text box.  
 You can find this by opening Sonnet Lite and clicking Admin > License  
 After pasting the code, click Activate and enjoy using Sonnet Lite!

Lite Activation Code:  
 LY4ZxPrtqkVJziaqn4AedPleCRNxbqXCBDmFu9vRA=

図 1.5 米国ソネット社の登録サイト

図 1.6 米国ソネット社から届くメール

リックしてください。

- 図 1.5 のようにウェブブラウザが米国ソネット社の登録サイトに接続されます\*<sup>8</sup>。
- 各項目に記入してください。“\*” マークの項目は必ず記入してください。特に Email アドレスは重要です。ここで記入した Email アドレスにライセンスが送られてきます。最後の三行は灰色で表示されていて、\*<sup>9</sup> 変更することはできません。
- Register** をクリックしてください。
- 次の内容が英語で表示されます。

登録ありがとうございます。activation code が下記の E-mail アドレスにお送りします。

E-mail アドレス

もし E-mail アドレスが間違いならここをクリックしてください。activation code が 24 時間経っても届かないならここに連絡してください。

- 英語のメッセージを理解したらブラウザを閉じてください。
- やがて“Sonnet Lite Activation Code”というメールが届きます。

このメールが届いたなら 3 ページの“1.7 ライセンスのインストール”に進んでください。

もし届かない場合は\*<sup>10</sup>

- 受信しても迷惑メールフォルダなどに自動的に振り分けられて気づいていない。
- 3 ページの図 1.5 で記入した E-mail アドレスが間

\*<sup>8</sup> 当然ながらこの時点でインターネット接続が必要です。もし失敗した場合はインターネット接続のできる環境を整えてから SessionMgr. の **Admin** **License...** を選んでください。

\*<sup>9</sup> これらは今 SonnetLite をインストールしたマシンを識別する固有情報です。この固有情報に対応したライセンスが発行されます。従ってこの登録作業は必ず SonnetLite を使用するマシンで行なわなければなりません。

\*<sup>10</sup> 2022 年の時点で 2,3 分で届くようです。10 分たっても届かなければなにか悪いことが起こっていると疑って良いでしょう。

違っているか、受信できないアドレスである。

- (極めてまれに)“米国ソネット社のサーバーのトラブル”

です。

英文というだけで迷惑メールとして判断されてしまうことがあります。あなたの迷惑メールフォルダに紛れていないか、あるいは迷惑メールフィルタの設定が厳しすぎないか調べてみてください。




会社や大学内のメールアカウントは送信にも受信にも厳しい制限がかかっている場合が多いですセキュリティ上の理由で、海外からのメールを全て制限している場合すらあります。2 ページの“1.6 登録”に戻り別の E-mail アドレスで試してみてください。

このようなお客様のメールプログラムや、メール経路上のあちこちに設定された迷惑メールフィルタや、転送、フォルダ分けルール、セキュリティポリシーや、アクセス権や、ネットワークの状態が原因として考えられます。それらに関して弊社からお手伝いすることは物理的に不可能です。この問題はお客様ご自身で解決なさってください。


それでもだめならソネット社のサーバーのトラブルです\*<sup>11</sup>。




## 1.7 ライセンスのインストール

ここでは Sonnet 社から届いたライセンスをインストールした SonnetLite に登録します。


- SessionMgr. を起動し、メニューから **Admin** **License...** を選び、図 1.4 の“License Setup  ”を開きます。
- 米国ソネット社から届いたメール図 1.6 の最後の行に 40 文字ほどの一見ランダムな文字列があります。これが“Lite Activation Code”です。この行を  コピーしてください。
- 図 1.4 の“License Setup  ”の中央“Enter the

\*<sup>11</sup> この場合日本からできることはあまりありません。https://www.sonnetsoftware.com/support/problemupload.asp から“何日の何時に SonnetLite を登録したが、まら activation code が届かない”とメッセージを送るだけです。

activation code set to you from Sonnet Software” の直下に上でコピーした “Lite Activation Code” を  ペーストしてください

4.  をクリックします。
5. “ Software Activated: Sonnet Lite is now activated.  ” が開きますから閉じてください。
6. 図 1.4 の “ License Setup  ” を閉じてください。





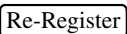
これでライセンスのインストールができたはずです。

図 1.4 の “ License Setup  ” を閉じてください。

## 1.8 サポートや使用制限など

**マニュアル** 今お読みになっているこの冊子の 5 ページの “Sonnet 入門” を通して実習なさることが Sonnet に習熟する近道です。

**新しいバージョン** SonnetLite にはサポートサービスはありませんから新しいバージョンがリリースされても自動的にアップデートされることはありません。“1.3 古いバージョンのアンインストール” を行ってその時の最新版をご利用ください。

**使用期限**  の   を選んで図 1.4 の “ License Setup  ” を開いてください。中央に “Your license will expire on...” に続いてライセンスの期限が表示されているはずです。この期限まで SonnetLite を使うことができます。期限が来たらその下の  をクリックして再登録すればまた使えるはずです。

**複数使用** SonnetLite は一人で何度でも登録して別々のライセンスを受けることができます。ただし、2 ページの 1.6 登録は、実際に使う PC で行わなければなりません。

**その他の使用制限** 詳しくは使用許諾書に従ってください。

## 第 2 章

# Sonnet 入門

この章は、無料版製品版を問わず初めて Sonnet をお使いになる方が自習していただけるように書きました。操作の一つ一つの手順を説明してありますから実際に操作しながら全体を通してお読みください。


### 2.1 はじめに


起動と全体の構成を紹介します。


#### 2.1.1 起動と構成


まず、Sonnet を起動してみましょう。Windows のスタートメニューの中の Sonnet の項目をクリックするだけです。2 ページの図 1.3 のような“アイコンが並んだウィンドウ”が現れます。


これらのアイコンは、Sonnet を構成する個々のモジュールを表していて、左から順に次の機能を持っています。



 “Project Editor”: モデルの入力と解析条件の設定。おそらく最も長い時間操作する部分です。15 ページからの“2.3 問題の入力”で詳しく説明します。

 “Analysis Monitor”: 解析経過を監視します。

 “Response Viewer”: 解析結果をグラフに表示します。有益な知見を得られるような様々な表示形式に切り替えることができます。10 ページからの“2.2.3 “emgraph” グラフの表示”で詳しく説明します。

 “Current Density Viewer”: 電流密度分布をグラフィックに表示します。シミュレータらしい機能ですが、グラフィックな表示から技術的な知見を得るにはかなりのスキルが必要です。この後 14 ページからの“2.2.4 “emvu”: 電流分布の表示”で紹介します。

 “Far Field Viewer”: 放射特性の計算と表示をします。Sonnet Lite には含まれていない機能ですが、アンテナの設計には便利なので 23 ページからの“2.3.13 “patvu” による放射特性の計算と表示”で紹介します。

 “Manual”: マニュアルの呼び出し。オンラインのマニュアルが開きます。また使用中に開く“ ”

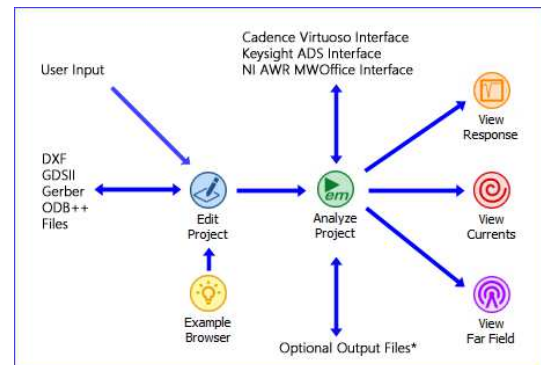






図 2.1 Sonnet Suites の構成


に  があれば、それをクリックするとその“ ”に応じた情報が表示されます。

 “Example Viewer”: 例題の呼び出し。

これらのモジュールはまた、図 2.1 のように作業の流れと対応しています。このように Sonnet は単独のプログラムではなく、いくつかのモジュールから構成されています。これらのモジュールを組み合わせたものを特に Sonnet Suites と呼ぶことがあります。

#### 2.1.2 外部インターフェース

図 2.1 では、 に外部のファイルとデータをやりとりできることを示す矢印があります。残念ながら Sonnet Lite に実装されているファイル形式は限定されたものですが、製品版では下記のように豊富な外部インターフェースが用意されています。

-  に入出力できるファイル形式

**son ファイル** モデル形状や解析条件が含まれる Sonnet 独自形式のテキストファイルです。




**zon ファイル** son ファイルと解析結果を zip 圧縮した Sonnet 独自形式のバイナリファイルです。

**dxs ファイル** 2D CAD で一般的なファイル形式です。

**gds ファイル** 半導体のレイアウトツールで一般的なファイル形式です。

**gerber ファイル** プリント基板のレイアウトツールで一般的なファイル形式です。




dxg, gds, gerber などのファイルを介して  に形状を入力すると便利ですが、立体構造や材料データ、閉じた線分と面の区別など電磁界解析に必要な情報が含まれないため、 でのモデルの編集は必ず。従ってこれらのファイル形式を使ってモデルを入力する場合でも  の操作を知っておいてください。


- 他社 CAE 環境と Sonnet とのインターフェース。



mwoint AWR 社の Microwave Office


ebridge agilent 社の ADS

cvbridge Cadence 社の Virtuoso 環境\*1

これらの他社 CAE 環境ではその CAE 環境の中から直接 Sonnet の解析エンジン  を呼び出して、電磁界解析結果を利用できます。

-  に入出力できるファイル形式

**touchstone 形式** マイクロ波シミュレータや測定器で一般的な形式のテキストファイルです。“S1P”、“S2P”あるいは“SnP”ファイルと呼ばれることもあります [1]。  は、Touchstone 形式のファイルを出力することもできますし、逆に Touchstone 形式のファイルをドロップするだけでグラフにプロットできます。また製品版の  のモデルの一部にこのファイルを組み合わせることもできます。

**csv 形式** 数値データをカンマで区切ったテキストファイルです。excel など数値を扱うさまざまなプログラムで利用することができます。 

は解析結果を、また  は電流分布を csv 形式で出力することもできます。

**SPICE ネットリスト** 回路シミュレータ SPICE で扱うファイル形式です。回路図を表現したテキストファイルです。Sonnet の結果を SPICE ネットリストで出力することができます。限定された周波数範囲で利用できる  $\pi$  型の等価回路出力機能の他に、広帯域で利用できる複雑な等価回路、結合した多条線路やインダクタに特化した等価回路出力機能があります。\*2

### 2.1.3 ファイルの拡張子表示を設定する

上で説明した様々なファイルのファイル名の最後には 3 文字のアルファベットがついています。これは“ファイル名の拡張子”といって windows が、“そのファイルをどんなアイコンで表示し、どんなプログラムで開くか？”の重要な手がかりです。ところが、windows の標準の設定ではこの拡張子を表示しない設定になっていま

\*1 SonnetLite では利用できません。

\*2 SonnetLite では  $\pi$  型等価回路のみ利用できます。

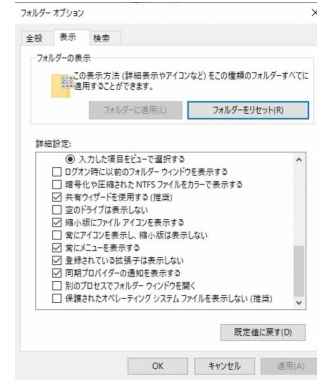


図 2.2 登録されている拡張子を表示する

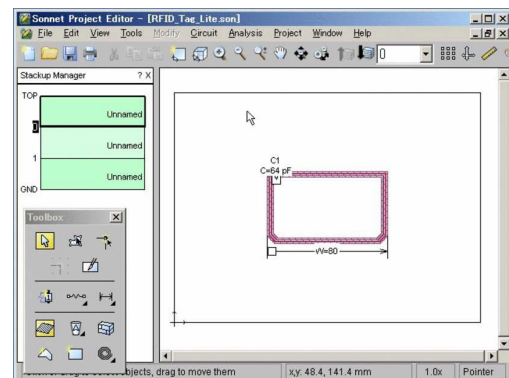


図 2.3 呼び出した“13 MHz RFID Tag (Lite)”

す。Sonnet を使い始める前に拡張子を表示する設定をしておきましょう。\*3

1. windows の“マイコンピュータ”を開く
2. “表示 [タブ]” “☒ ファイル名拡張子”にチェック
3. “表示 [タブ]” “オプション [ダイアログ]”をクリック
4. “フォルダーオプション [ダイアログ]”の“表示 [タブ]”
5. “詳細設定”の中の下から 4 番目くらいにある．“☐ 登録されている拡張子は表示しない”のチェックをはずす。(図 2.2)
6. [適用 (A)]と [OK]をクリックする

では、次に簡単な例題を呼び出して、各モジュールの操作を実際に見てみましょう。



## 2.2 例題の呼び出しと操作の概要—RFID タグ

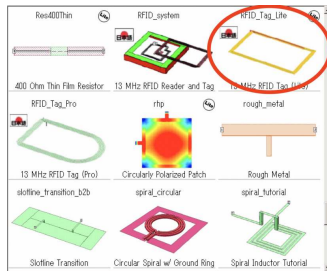
RFID タグの例題を“Example Browser [ダイアログ]”から呼び出して、そのモデルの内容を観察しながら Sonnet の取り扱いを体験します。特に解析結果の表示について詳しく説明します。

\*3 この変更は他のアプリケーションを使う上でも、問題を起こしません。

## 2.2.1 例題の呼び出し

## “Example Browser” を使う

1. Task Bar で **Project** **Browse Examples...** を選ぶと, “Example Browser”  が開きます。
2. “RFID.Tag.Lite” という例題を探し出してください。たぶん下から 1/4 くらいまでスクロールしないと出てこないでしょう。この例題の右上には **Lite**  という小さなアイコンがついていて SonnetLite で編集や解析が可能であることを示しています。\*4




3. **RFID.Tag.Lite** の絵をダブルクリックしてください。

最初に Sonnet を使う時は多くのウィンドウが重なりあって現れるかもしれません。例題を詳しく見る前に、要らないウィンドウを閉じておきましょう。

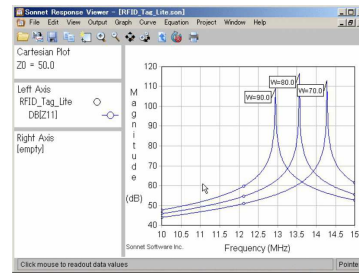
## 要らないウィンドウを閉じる


下図左は、新しいバージョンの新機能を紹介する文書を読むように促しています。 **Don't Ask Again** をクリックすればもう現れません。




上図右の “Quick Start Guide”  も開くかもしれませんが、これは、操作すべき手順を順番に示してくれるガイドですが、全て英語なので邪魔なら “☒ Don't Show me Quick Start Guide” にチェックを入れて **Close** をクリックください。\*5

解析結果のグラフも自動的に開きます。このグラフも **File** **Exit** で閉じてしまってください。




その他の要らないウィンドウを閉じて図 2.3 のウィンドウだけを残してください。これが Sonnet でモデルを入力したり解析条件を設定する  です。

## 2.2.2 “xgeom” : モデルの入力と解析条件の設定

 を使ってモデルを観察し、解析条件の設定を確認します。

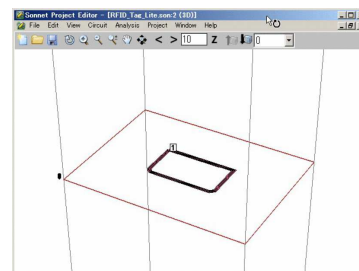
## Stackup Manager の表示を消す

起動直後の  は図 2.3 のように左端に層構造を表す領域が表示されているかもしれません。メニューから **View** **Stackup Manager** を選んで消しましょう。\*6

これで 2 次元表示が  全体に拡大されたはずですが。(8 ページの図 2.4)


## 3 次元表示への切り替え

ここでメニューの **View** **View 3D** を選ぶと、3 次元表示に切り替わります。





3 次元表示では、次の方法で視点を変更できます。


## ■ Rotate View

1. **View** **Rotate View** を選ぶか、 **[esc]** キーを押してください。
2. マウスイカーソルが  に変わります
3. 3 次元表示画像上でマウスをドラッグしてください。

## ■ PanView

1. **View** **Pan view** を選ぶか、メニューバーの下ツールバーから  をクリックしてください。
2. マウスイカーソルが  に変わります
3. 3 次元表示画像上でマウスをドラッグしてください。

\*4 **Lite** のアイコンがついてないモデルや解析結果も開いて閲覧することはできますが、変更や保存はできません。

\*5 この機能を復活させるには **File** **Preferences...** で開く “Preferences”  の “Hints” **タブ** で “☒ Show Quick Start Guide at Startup” にチェックを入れます。

\*6 Stackup Manager は IC 設計のように非常に多くの層を使う場合に便利です。

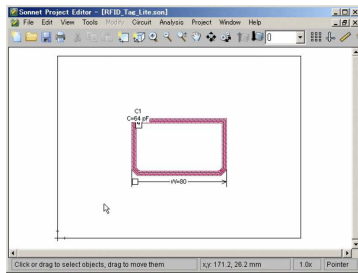



図 2.4 サブウィンドウを最大化

### 素早い拡大と縮小


続いて、画像の拡大と縮小の操作を紹介します。この操作は 3 次元表示だけでなく Sonnet の様々な場面で使える重要な操作です。

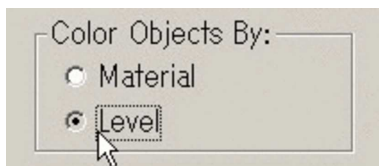
■**拡大** キーボードで **[スペースバー]** を押すと、マウスカーソルが  拡大鏡に変わり、マウスドラッグで指定した枠内を拡大表示します。マウスの中ボタンでドラッグしても同じ操作ができます。

■**全体表示** キーボードの **[ctrl]** と **[F]** を同時に押すとモデル全体が表示されます。

この二つの操作は 2 次元表示, 3 次元表示, グラフ, 電流分布表示など様々な場面で頻繁に使います。

### 3 次元表示の色分け

メニューで **View** **Colors...** を選んで “3D Colors  ” を開いてください。 “Color Objects By: **frame**” では、おそらく “**Material**” が選択されています。<sup>\*7</sup> これを “**Level**” に変更して **[Close]** をクリックしてください。層ごとに色分けされて構造が解りやすくなるはずです。



### ポートの構造

**1** と表示された部分を大きく拡大してください。四角で囲まれた数字はポートを表します。<sup>\*8</sup> **1** は二つの導体片が接する境界上に配置されています。Sonnet では接触した導体片同士は導通していると扱われますが、例外としてポートが配置されている場合は二つの導体片は互いに絶縁されていて、それぞれの導体片にポートの + 端子と - 端子が接続されます。<sup>\*9</sup>

<sup>\*7</sup> “**Material**” は 34 からの “2.6 バイアスティー” の例題のように同一の導体層内に複数の材料を使う場合に便利です。

<sup>\*8</sup> ポートと端子は混同されやすいですが、別の概念です。ポートは、+ 端子と - 端子が対になった端子対と考えると理解しやすいです。

<sup>\*9</sup> この + 端子と - 端子が隣接する金属片に接続されるポートを Sonnet では “Ungrounded Internal Port” と呼びます。その他の

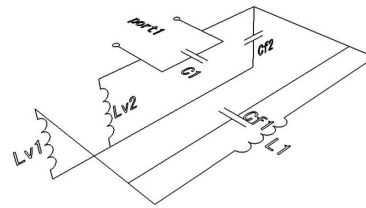


図 2.5 モデルの等価回路

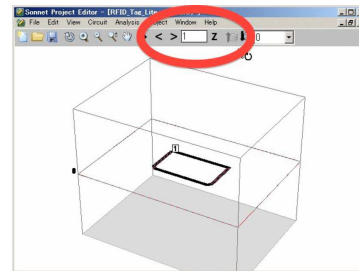
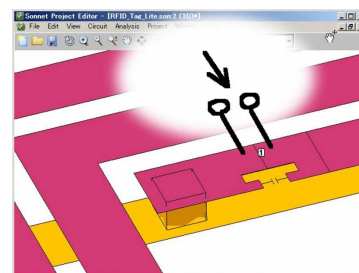


図 2.6 Z 軸は自動的に拡大される



### 問題の構造の理解

この例題を回路図に表せば図 2.5 のようになります。 $L_1$  は導体を巻いたインダクタで、 $C_{f1}$  はその巻線間の浮遊キャパシタです。 $C_1$  は実際の RFID では IC チップの内部容量かもしれません。 $C_{f2}$  はフィルムの裏表の導体を対向させてできるキャパシタです。 $L_{v1}, L_{v2}$  は via のインダクタンスです。 $L_{v1}, L_{v2} \ll L_1$  なので、このモデルは  $C_{f1} + C_{f2} + C_1$  と  $L_1$  で構成される並列共振回路と考えることができます。ポートから回路の内側を見たインピーダンスは、直流で  $0\Omega$ 、高い周波数で  $j\omega L_1\Omega$ 、そして共振周波数では  $\pm j\infty\Omega$  になるはずです。この後、解析結果がそのようになることを確かめます。

### 3 次元表示の z 方向の表示倍率

微細な層構造を見やすくするために、Z 方向の表示倍率はそれぞれのモデルに適した値に自動的に設定されます。しかしこれはモデルの形状を誤解する原因にもなります。

図 2.6 の上部の楕円で囲んだ部分は 3 次元表示の Z 方向の表示倍率を示しています。たぶん **<** **>** **10** **Z** と表示されています。**10** の部分に **1** を入力して

ポートについて <http://www.Sonnet.Site/support/tips/ports/> にまとめてあります。



[Z]をクリックしてください。さらに [ctrl] [F] で全体を表示してください。これが z 方向の表示倍率を 1 にした本来のモデルの形です。

### モデルの周囲条件

図 2.6 を見るとモデルが直方体の領域で囲まれていることがわかります。Sonnet はこの直方体の内側だけを解析します。そして、この直方体の壁は導電率が  $\infty$  の理想導体でできています。つまりモデルは理想的なシールドボックスの中で解析されます。<sup>\*10</sup>

### 2 次元表示への切り替え

3 次元表示は構造を理解するには便利ですが、モデルを作ったり修正する操作は 2 次元表示で行います。

メニューの [View] [View 2D] を選んで 2 次元表示に戻り、

- [スペースバー] または [中ボタン]
- [ctrl] [F]

の二つの操作で、2 次元表示を自由に拡大縮小できるように練習してみてください。

### ファイルの保存

[File] [Save] を選んでファイルを保存しておきましょう。何処になんという名前で保存するかはきちんと認識してください。

### 誘電体層の構造

2 次元表示では、問題を真上から見た状態しか編集できません。3 次元的な構造の編集には [Circuit] [Dielectric Layers] を選んで、“Dielectric Layers” ダイアログを開きます。

Thickness	Mat. Name	Erel	Dielectric Loss Tan
83.0	Unnamed	1.0	0.0
0.05	Unnamed	3.0	0.0
83.0	Unnamed	1.0	0.0

この例題では最上の誘電体層は 83mm の空気で、その下の誘電体層は 0.05mm の薄いフィルム、さらにその下の誘電体層に 83mm の空気があります。導体パターンはこの三つの誘電体層の境目にあります。<sup>\*11</sup> 上下の空気層に比べて中央の誘電体層は非常に薄く、図 2.6 の 3 次元表示では表示されていません。

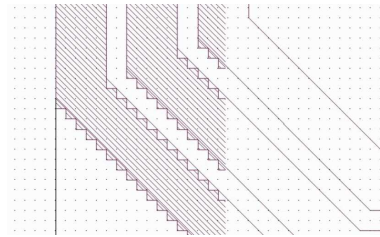
[Cancel] で “Dielectric Layers” ダイアログを閉じてください。

<sup>\*10</sup> 電磁界シミュレータによって周囲の壁が、透磁率  $\infty$  の理想磁性体や、377 $\Omega$  の抵抗膜の場合、あるいは壁がなく無限に何も無い空間が広がっているとみなす場合などがあります。これを“境界条件”と呼び、電磁界シミュレータそれぞれのアルゴリズムで決まります。

<sup>\*11</sup> SonnetLite から SonnetLevel2Silver までは、3 層の誘電体層まで、すなわち 2 層の導体層まで解析できます。SonnetProfessional では、層数の制限はありません。

### セル

1. 図のように RFID Tag の左下の角の周辺を拡大してください。



2. 上図 (左) のように斜めの導体パターンがギザギザになっている様子が見えます。また、そのギザギザは画面上の黒い小さなドット<sup>\*12</sup> に一致していることに注意してください。
3. メニューから [View] [Cell Fill] を選んでください。
4. 上図 (右) のように図形のギザギザが消えます。

ギザギザの無い線画は、Sonnet に入力された形状です。ドットに丸められたギザギザは、Sonnet が解析する形状です。円弧や斜めそしてどんな微細な図形でも入力する事ができますが、解析するときにはこのようにドットに丸められた図形を解析します。このドットを Cell と呼び、解析の最小単位です。

Cell はレイアウトツールの Grid とは別の概念です。Cell はなるべく大きく設定してください。リアルな図形を再現できるように微細な Cell を設定すれば、解析に無駄な時間を消費することになります。“Cell size” の大きさの決定は Sonnet を使いこなす上で重要なポイントです。

もう一度、メニューから [View] [Cell Fill] を選んで通常の表示に戻しておいてください。

### モデルを元に戻す

ここまでの練習中にうっかりマウスで図形を動かしたり変更してしまったりしたかもしれません。メニューから [File] [Revert to Saved] を選んでください。<sup>\*13</sup> 本当に戻っていいか聞いてくるので [Revert] をクリックしてください。これで最後に保存した時の状態に戻ります。

### 解析条件の設定

モデルの構造が把握できたので次に解析条件を見てみます。

1. メニューから [Analysis] [Setup...] を選んでください。
2. 図 2.7 の “Analysis Setup” ダイアログが現れます。
3. 中ほどの “Analysis Control” フレームの一行目に “Parameter Sweep” ボutton が選択されています。これは、周波数以外の何かのパラメータを変更しなが

<sup>\*12</sup> ドットが表示されないときはさらに拡大してみてください。

<sup>\*13</sup> もし何も変更していないなら [Revert to Saved] を選択できません。

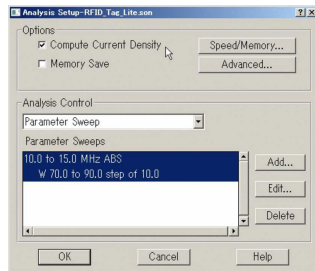


図 2.7 “Analysis Setup” ダイアログ

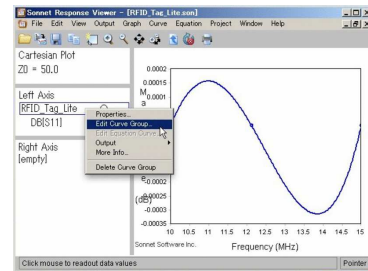


図 2.9 “emgraph”

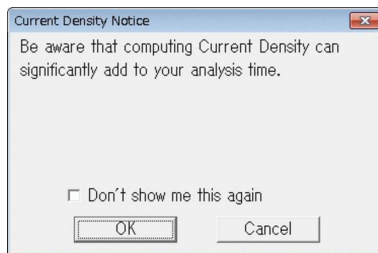



図 2.8 Current Density についての注意

ら解析するという意味です。

その下の“Parameter Sweeps”という欄には“10.0 to 15.0 MHz ABS W 70.0 to 90.0 step 10.0”とあります。これは W を<sup>\*14</sup>70.0mm から 90.0mm まで 10.0mm ステップで変化させ、その都度周波数 10.0 から 15.0MHz まで ABS で Sweep しなさいという意味です。

ABS とは“Adaptive Band Synthesis(適用帯域合成)”の略で、Sonnet だけの超高速な周波数 Sweep 方法です。開始と終了周波数だけを指定すると Sonnet 自身が最適な周波数間隔を見つけます。

- もし一番上の“☒ Compute Currents”にチェックが入ってなければチェックを入れてください。
- ☒ OK で閉じてください。
- 図 2.8 の“Current Density Notice ”が開くかもしれません。“☒ Compute Currents”にチェックを入れると解析時間がかかるかもしれない”という注意です。<sup>\*15</sup> “☒ Don't show me this again”にチェックを入れて ☒ OK で閉じれば現れなくなります。


これで解析条件の設定が終わりです。

## 解析


実はこの例題は、既に解析が終わっています。実際の解析を体験するために、古い解析データを削除してから

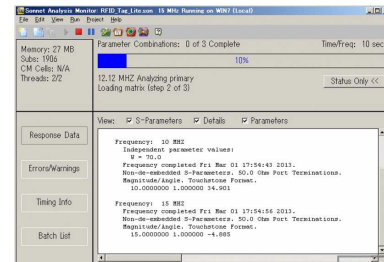
改めて解析してみましょう。

## ■古い解析データの削除

- メニューの **Analysis** **Clean Data...** を選んでください。
- “削除するデータを指定する ”が開きます。
- “☒ All Data”を選択し
- ☒ OK を押して閉じてください。


## ■解析の実行

- メニューの **Project** **Analyze** を選んで下さい。
- 解析前にモデルを保存するように促されますので、**Save** を選んで保存してください。
-  が開いて解析の経過が表示されます。



このモデルは SonnetLite のモデルとしては、やや大きいです。少し時間がかかるかもしれません。<sup>\*16</sup>

## 2.2.3 “emgraph”：グラフの表示

解析結果を  を使って様々な形式のグラフにしてみます。

## グラフの表示

グラフを表示するには、




-  のアイコンをクリックするか
- メニューから **Project** **View Response** **New Graph** を選びます。

図 2.9 のように、 がグラフを表示します。<sup>\*17</sup> サブウィンドウが大きすぎて全体が表示されないときは、サ

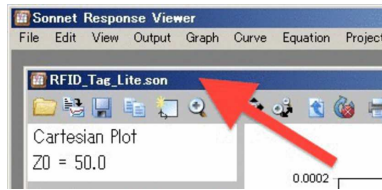
<sup>\*14</sup> 8 ページの図 2.4 のようにこの RFID タグの横幅です。

<sup>\*15</sup> かつてディスクが高価だった頃、この注意が表示されるようになりました。現在ではそのような問題が起こることはまずありませんし、そもそも SonnetLite ではそれほど大きな問題を扱うことはできません。

<sup>\*16</sup> 例えば薄型の A4 ノート PC で 1 分 45 秒でした。

<sup>\*17</sup>  は最後に表示したデータ形式を表示しようとして失敗す

ブウィンドウのタイトルバーをダブルクリックしてサブウィンドウを最大化してください。



グラフの左端の凡例には

Left Axis  
RFID\_Tag\_Lite  
DB[S11]



と表示されていて、このグラフが

- 左の目盛に従って
- “RFID\_Tag\_Lite” というモデルの
- $S_{11}$  を dB で表示している

ということがわかります。








### グリッドの表示

グラフを見やすいようにグリッドを表示しましょう。

1. **Graph** **Options** を選んで “Graph Options”  “を開きます。
2. “General”  ”で, “☒ Show Grid” にチェックを入れます。
3. **OK** で閉じます。

### 表示パラメータの選択

このモデルでは  $W$  を変化させながら周波数スイープしたはずですが、グラフは一本しか描かれていません。他の  $W$  の解析結果も表示しましょう。

1. 図 2.9 のように、左中程の凡例 “RFID\_Tag\_Lite”  ”の上で  右クリックし、メニューから **Edit Curve Group...** を選んでください。
2. 図 2.10 の “Edit Curve Group”  ”が開きます。
3. 下の方の **Select Combinations...** をクリックしてください。
4. 図 2.11 の “Select Parameters”  ”が開きます。
5. 図 2.11 の “Select Parameters”  ”の上の “Unselected Parameter Combinations”  ”がグラフに表示されないパラメータ、下の “Selected Parameter Combinations”  ”がグラフに表示されるパラ

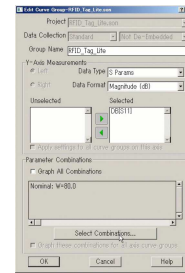


図 2.10 “Edit Curve Group” ダイアログ

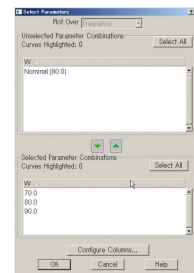


図 2.11 “Select Parameter” ダイアログ

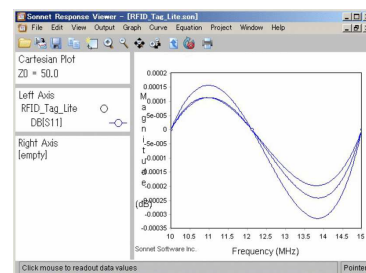








図 2.12 横幅  $W$  による  $S$  パラメータの変化


メータです。

6. 上の “Unselected Parameter Combinations”  ”の右上の **Select All** をクリックしてください。表示されないパラメータが全て選択されます。
7. 中央の  をクリックしてください。全てのパラメータが “Selected Parameter Combinations”  ”に移動します。
8. **OK** で “Select Parameter”  ”を閉じてください。
9. **OK** で “Edit Curve Group”  ”を閉じてください。
10. 図 2.12 のように  $W$  に対応した 3 本の  $|S_{11}|$  のグラフが描かれます。

### 目盛の変更

図 2.12 では Y 軸の目盛が拡大されすぎていますから適正な目盛に直しましょう。

1.  のメニューから **Graph** **Set Axes...** を選んでください。

ることがあります。グラフが表示されなかった場合は、 を一旦閉じて、もう一度開いてみてください。

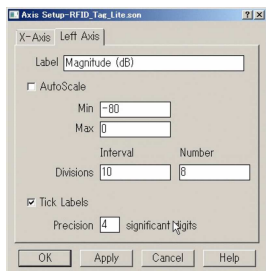
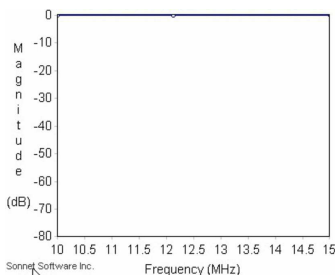


図 2.13 “Axis Setup” ダイアログ

- 図 2.13 の “Axis Setup” <sup>ダイアログ</sup> が開きます。
- “Left Axis” <sup>タブ</sup> を選んでください。
- “☐ AutoScale” のチェックを外してください。
- “Min” の欄に “-80” を入力してください。
- “Max” の欄に “0” を入力してください。
- “Divisions” の横の “Interval” の欄に “10” を入力してください。
- “OK” で “Axis Setup” <sup>ダイアログ</sup> を閉じます。

これは測定器の一般的な表示レンジです。

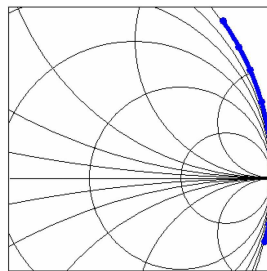


グラフは横一線で上端に張り付いています。このモデルでは導体形状やパラメータとは無関係に理論的に  $|S_{11}| = 1$  つまり 0dB になるはずですが、\*18 図 2.12 では計算上の微かな誤差が大きく拡大されて間違った印象を与えていたのです。

### スミスチャートの表示

次は高周波らしいスミスチャートの表示にしてみましよう。

メニューから **Graph** **Type** **Smith** を選ぶと、グラフがスミスチャートに切り替わります。



$|S_{11}| = 1$  なので、 $S_{11}$  の軌跡はスミスチャートの外周上にあります。

さて、グラフを再び直交グラフの “☒ AutoScale” に戻しておきましょう。

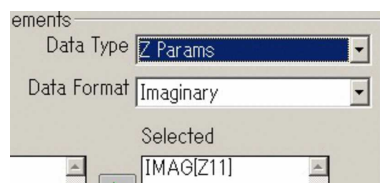
- メニューから **Graph** **Type** **Cartesian** \*19 を選んでください。
- Graph** **Set Axes...** を選んでください。
- 図 2.13 の “Axis Setup” <sup>ダイアログ</sup> が開きます。
- “Left Axis” <sup>タブ</sup> を選んでください。
- “☒ AutoScale” のチェックを入れてください。
- “OK” で “Axis Setup” <sup>ダイアログ</sup> を閉じます。
- グラフは図 2.12 の直交座標系に戻ります。

Sonnet はデフォルトでは、 $S_{11}$  を表示しますが、これは必ずしも 13MHz の RFID には適していません。\*20 別のパラメータを表示してみましょう。

### インピーダンスパラメータの表示

インピーダンスの虚数部  $\text{Im}(Z_{11})$  を描いてみましょう。

- 10 ページの図 2.9 のように、左中程の凡例 “RFID.Tag.Lite ○” の上で 右クリックし、メニューから **Edit Curve Group...** を選んでください。
- 11 ページの図 2.10 の “Edit Curve Group” <sup>ダイアログ</sup> が開きます。
- 図のように “Data Type” を **Z Params** に変更します。



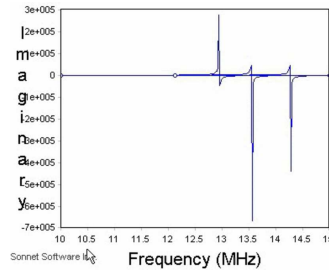
- “Data Format” を **Imaginary** に変更します。
- ◀ ▶ を使って “IMAG[Z11]” を右の “Selected” に移してください。
- “OK” で “Edit Curve Group” <sup>ダイアログ</sup> を閉じてください。
- $\text{Im}(Z_{11})$  の周波数特性がグラフに表示されます。

\*18 このモデルは導体損失，誘電体損失，放射，周囲の壁面の損失など一切の損失を無視しているので全くエネルギー損失がありません。ポートから注入したエネルギー全てが反射されます。

\*19 cartesian はデカルト座標系，直交座標系。

\*20 **File** **Preferences...** で “Preferences” <sup>ダイアログ</sup> を開くとデフォルトの表示形式を変更できます。



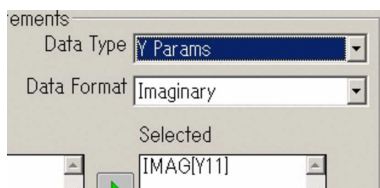


このグラフにはインピーダンスの虚数部  $\text{Im}(Z_{11})$  が共振周波数付近で急激に変化する様子が明確に現れています。しかし、その変化はあまりに急峻なので共振周波数付近の  $\text{Im}(Z_{11})$  の値を読み取ることは困難です。共振周波数付近の詳しい情報を知るにはインピーダンスよりアドミタンスのほうが適しています。

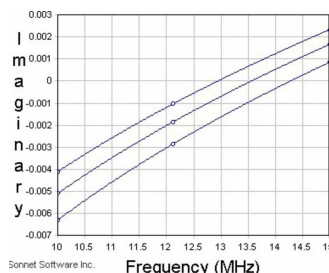
### アドミタンスパラメータの表示

アドミタンスの虚数部  $\text{Im}(Y_{11})$  を描いてみましょう。

- 10 ページの図 2.9 のように、凡例の上で を右クリックし、メニューから **Edit Curve Group...** を選んでください。
- “Edit Curve Group ” の “Data Type” を **Y Params** に、“Data Format” を **Imaginary** に設定し、“IMAG[Y11]” を “Selected” に移してください。



3. **[OK]** で “Edit Curve Group ” を閉じてください。
4.  $\text{Im}(Y_{11})$  の周波数特性がグラフに表示されます。



$\text{Im}(Y_{11}) = 0$  となる周波数が共振周波数です。これで共振周波数付近の値がわかりやすくなりました。このグラフから等価回路を抽出して見ましょう。

### 並列共振回路の等価回路の抽出

■データの読み取り まず、 $\text{Im}(Y_{11})$  のグラフから共振周波数の近くの値を読み取りましょう。

1.  $\text{Im}(Y_{11})$  のトレースの中の一本を選び、共振周波数付近を思いっきり拡大してください。拡大するとト

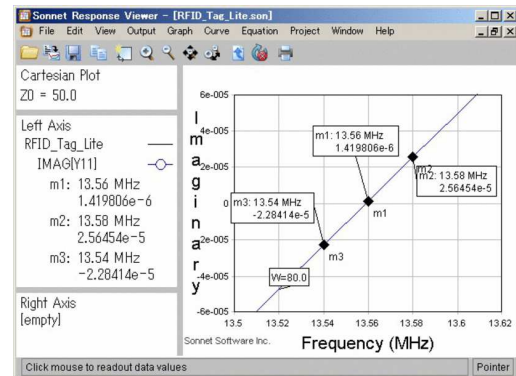


図 2.14 共振点付近を拡大しデータを読み取る

レースはほとんど直線に見えるはず\*21。

2. グラフのトレースの上で を右クリックし、現れるメニューから **Add Marker** **Data Maker** を選んでマーカーを置いてください。
3. 図 2.14 のように共振周波数とその周りの二点でデータを読み取ってください。複数のマーカーを置いても、マーカーをマウスでドラッグして読み取っても構いません。

図 2.14 では次表の値になっていますが、これは一例です。拡大する部分や、マーカーを置く位置で次表とは違うかもしれません。

周波数	$\text{Im}(Y_{11})$
$f_0 = 13.56\text{MHz}$	$\text{Im}(Y_{11,0}) = 1.419806 \times 10^{-6}\text{S}$
$f_1 = 13.54\text{MHz}$	$\text{Im}(Y_{11,1}) = -2.28414 \times 10^{-5}\text{S}$
$f_2 = 13.58\text{MHz}$	$\text{Im}(Y_{11,2}) = 2.56454 \times 10^{-5}\text{S}$

実際に読み取った値を次の表にメモし、この後の計算をやってみてください。

周波数	$\text{Im}(Y_{11})$
$f_0 = \text{MHz}$	$\text{Im}(Y_{11,0}) = \times 10^{(\quad)}\text{S}$
$f_1 = \text{MHz}$	$\text{Im}(Y_{11,1}) = \times 10^{(\quad)}\text{S}$
$f_2 = \text{MHz}$	$\text{Im}(Y_{11,2}) = \times 10^{(\quad)}\text{S}$

■共振周波数  $f_0$  の抽出 この例では 13.56MHz で  $\text{Im}(Y_{11,1})$  がほぼ 0 なので  $f_0 = 13.56\text{MHz}$  とします。

■並列キャパシタンス  $C_0$  の抽出 共振周波数の周りの二点のデータから次の方法で並列キャパシタンス  $C_0$  を計算できます。

$$C_0 = \frac{\Delta \text{Im}(Y_{11})}{2\Delta\omega} \quad (2.1)$$

\*21 グラフの一部を拡大、縮小するのはとてもよく使う操作なので、もしまだ覚えていないなら 8 ページの “素早い拡大と縮小” を復習してください。

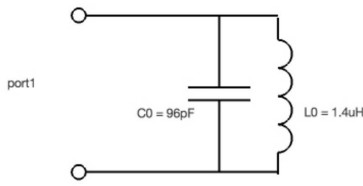


図 2.15 抽出した並列等価回路

$$= \frac{\text{Im}(Y_{11,1}) - \text{Im}(Y_{11,2})}{2 \cdot 2\pi(f_1 - f_2)} \quad (2.2)$$

$$= \frac{-2.28414 \times 10^{-5} - 2.56454 \times 10^{-5}}{2 \cdot 2\pi(13.54 \times 10^6 - 13.58 \times 10^6)} \quad (2.3)$$

$$= 9.646 \times 10^{-11} (\text{F}) \quad (2.4)$$

$$= 96.46 (\text{pF}) \quad (2.5)$$

$$(2.6)$$

■並列インダクタンス  $L_0$  の抽出 共振周波数  $f_0$  と並列キャパシタンス  $C_0$  から

$$\frac{1}{\omega_0^2} = L_0 C_0 \quad (2.7)$$


$$L_0 = \frac{1}{\omega_0^2 C_0} \quad (2.8)$$

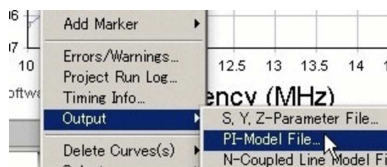
$$= \frac{1}{(2\pi 13.56 \times 10^6)^2 \cdot 96.46 \times 10^{-12}} \quad (2.9)$$

$$= 1.428 \times 10^{-6} \quad (2.10)$$

$$= 1.428 (\mu\text{H}) \quad (2.11)$$

こうして図 2.15 に示す並列等価回路が抽出できます。

■等価回路の考え方 Sonnet では等価回路を抽出するもっと楽な方法が幾つか用意されています。例えばグラフ上で  右クリックして **Output** **PI-Model File** を選ぶと  $\pi$  型等価回路を自動的に抽出できます。



しかしこの機能は GHz 以上での使用を前提にしているので  $0.1\mu\text{H}$  より大きいインダクタを無視しますし、<sup>\*22</sup> 汎用的な  $\pi$  型等価回路なので、RFID には不便です。


等価回路を抽出するには使用目的に適したトポロジを決めなければなりません。上記で抽出した図 2.15 の等価回路トポロジは、シンプルでしかも共振周波数付近の電気的特性を非常に良く再現します。<sup>\*23</sup> 8 ページの図 2.5 は、物理的な形状から考察した等価回路で、物理現

<sup>\*22</sup> 無視するインダクタの閾値は **Model Options...** の **Lmax(nH)** で設定できます。


<sup>\*23</sup> 実務上はモデルに損失を含め、等価回路に損失を表す抵抗を含める必要があるでしょう。このモデルに損失を含めると

象との対応を定性的に考えることに適しています。プログラムで自動的に抽出される汎用の等価回路抽出機能は、回路シミュレータとの連携には十分ですが、技術者が何かを考察する手がかりには適していません。

## まとめ



ここで紹介した  の操作はほんの一部です。同じデータでも多くの表現方法があるので、その問題の目的にあわせた表現を選んでください。

### 2.2.4 “emvu”：電流分布の表示

次に  を使ってビジュアルな電流分布を観察しましょう。


#### “emvu”の起動

電流分布を表示する  を呼び出すにはいろいろな方法があります。

- Task Bar の  をクリック
- Analysis Monitor から  をクリック
- メニューから **Project** **View Current** を選ぶ

どれかひとつを試してください。どの方法でも結果は同じなので、その都度便利な方法を選んでください。

#### 表示条件の設定

図 2.16 が  が電流分布を表示している様子です。<sup>\*24</sup> この図は

- ポート **1** に
- 内部抵抗  $50\Omega$  の電源を接続し
- 振幅  $1\text{V}$  周波数  $10\text{MHz}$  の正弦波を入力し続けた時の
- 位相  $0$  の瞬間の
- 第  $0$  番目の導体層の
- 電流密度の絶対値

の分布です。<sup>\*25</sup> もちろん、これらの条件は変更できます。


**Plot** **Ports...** を選ぶと各ポートに、任意の振幅と位相を持った信号源を与えることができます。<sup>\*26</sup>

**Plot** **Setup...** を選ぶと電流を  $x, y$  の直交成分に分解して表示させたり、周波数を変更したり、(もしあれ

SonnetLite では扱うことができない解析規模になる可能性があります。

<sup>\*24</sup> もし、ここで “Project Has No Current Data(このプロジェクトは電流データを持っていない)” というエラーがでたら 9 ページの “解析条件の設定” を確認してください。おそらく ☒ **Compute Currents**” にチェックが入っていないでしょう。

<sup>\*25</sup> 測定では回路の状態が激しく変化してゆく平均的な結果を観測しますが、シミュレータのビジュアルな表示は限定された条件下のある瞬間の状態です。

<sup>\*26</sup> Sonnet Level2Basic 以上では、 を使ってモデルそのものに信号源の振幅、位相、内部抵抗をリアクタンスも含めて設定できます。

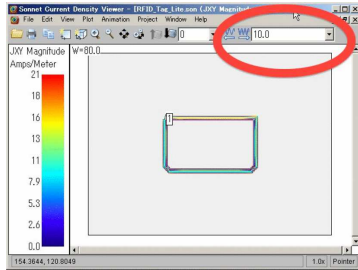


図 2.16 “emvu”

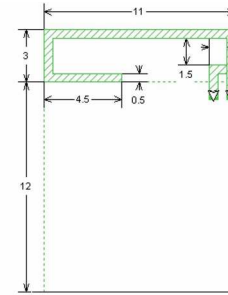


図 2.17 寸法図

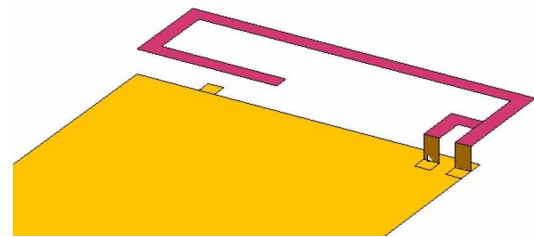


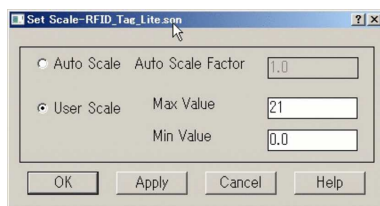
図 2.18 構造図

ば) 他の導体層の分布を表示させたり, 電荷や発熱量を表示することもできます。

**周波数** 図 2.16 のように, 右上の “プルダウン” でも操作できます。

#### スケールの固定

1. **Plot** **Scale...** 選ぶと “Set Scale” ダイアログ が現れます。

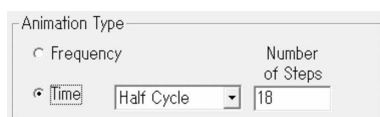


2. “☒ User Scale” を選択して
3. **OK** で閉じてください。

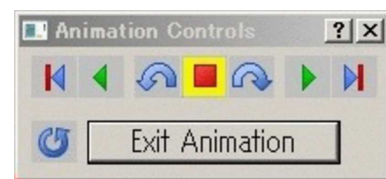
これは, 電流分布を表示するときのスケールを表しています。デフォルトでは “☒ Auto Scale” で色鮮やかに表示されますが, 科学的な分析材料とするためにはスケールを固定しておかないと, 間違った判断を下してしまいます。

#### 電流分布のアニメーション表示

1. **Animation** **Settings...** を選んで “Animation Settings” ダイアログ “を開きます。



2. “Animation Type [frame]” を “☒ Time” に変更し
3. **OK** で閉じてください。
4. **Animation** **Animation View** を選んでください。
5. 下図のような小さなウィンドウが開きます。後は直感で操作できるでしょう。しばらく色々な条件のアニメーションで楽しんでください。



ここまで, RFID タグのモデルを例に, モデルの定義の様子と解析そして, 結果を観察する手順を見てきました。次の例題ではモデルを実際に入力し解析条件を設定します。次の例題に取り掛かる前に今開いているウィンドウをすべて **File** **Exit** で閉じておきましょう。

## 2.3 問題の入力とアンテナ特性-逆 F アンテナ





プリント基板上の逆 F アンテナのモデルを入力しながら, 特に図形入力ノウハウ, 解析条件の設定を体験します。また, アンテナの解析に特有のトピックも紹介します [2]。

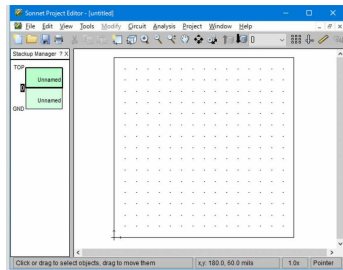
### 2.3.1 問題の概要

ここで解析する問題は, ガラエボ基板上に構成した逆 F アンテナです。周波数は 2.45GHz とします。図 2.17 に寸法図, 図 2.18 に構造図を掲げます。基板表面のアンテナ導体の右下の端は via で基板裏面のベタ導体と接続されています。もう一つの via は給電点で, 実際の回路ではここが任意の長さの 50Ω 線路を介して回路と接続されます。アンテナ導体の他端はベタ導体と接近し浮遊容量作り出しています。

### 2.3.2 “xgeom” の起動


まずは

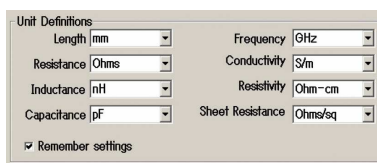
1. Task Bar の  のアイコンをクリックし **New Geometry** を選んで  を起動してください。
2. 不要な “” を閉じ, “Stackup Manager” も不要なら閉じ,  の中のサブウィンドウを最大化しておきましょう。<sup>\*27</sup>




### 2.3.3 単位の設定

最初に単位を設定します。デフォルトでは長さの単位が mils になっているので, mm に直しておきましょう。


1. **Circuit** **Units...** を選びます。
2. “Units ” が開きます。

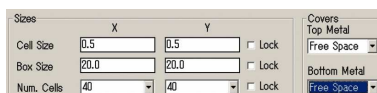



3. “Length” を “mm ” に直します。
4. “☒ Remember Settings” にチェックを入れておきましょう。これでここで設定した単位が今後のデフォルトになります。
5. **OK** で閉じます。

### 2.3.4 ボックスパラメータの仮設定

逆 F アンテナが収まる程度のボックス (解析領域) の大きさを指定し, それを適切な大きさの Cell に区切ります。


1. **Circuit** **Box...** を選びます。
2. “Box Settings ” が開きます。



3. “Sizes ” の中の “Cell Size X” と “Cell Size Y” を 0.5 にします。
4. “Cell Size” の欄の右の “☒ Lock” にチェックを入れます。<sup>\*28</sup>




<sup>\*27</sup> 7 ページの “要らないウィンドウを閉じる”, 7 ページの “Stackup Manager の表示を消す”。

<sup>\*28</sup>  $(BoxSize) = (CellSize) \times (Num.Cells)$  の関係から, これら 3 つ


5. “Box Size X” と “Box Size Y” を 20.0 くらいにします。<sup>\*29</sup>
6. “Top Metal” と “Bottom Metal” を “Free Space ” に直します。<sup>\*30</sup>
7. “Symmetry” にチェックが入っていたら外します。<sup>\*31</sup>
8. **OK** で閉じます。

### 2.3.5 誘電体層の構造の設定

誘電体層の構造を設定します。この問題ではガラエポ基板と, その上下それぞれに空気層があります。アンテナの導体パターンはガラエポ基板と上の空気層の界面に, ベタ導体パターンはガラエポ基板と下の空気層の界面に配置されます。


1. **Circuit** **Dielectric Layers...** を選びます。
2. “Dielectric Layers ” が開きます。
3. 右上の “Copy ” の中の **Below...** か **Above...** を押して層を追加します。
4. “Dielectric Editor ” が開きますが, **OK** で閉じてください。
5. “Dielectric Layers ” の左端に “Thickness” <sup>\*32</sup> を入力する欄がありますから, 上から 30, <sup>\*33</sup> 0.765, <sup>\*34</sup> 30 と入力してください。

	Thickness (mm)	Mat. Name	Erel	Dielectric Loss Tan
0	30.0	Air	1.0	0.0
	0.765	FR-4	4.3	0.015
GND	30.0	Air	1.0	0.0

6. 0.765 と入力した中央の誘電体層の行を
  - ダブルクリックするか
  - クリックして表示を反転させ, 次に右中央の **Edit** をクリックして “Dielectric Editor ” を開いてください。
7. 各項目を下図のように設定し “Dielectric Editor

のパラメータのうちひとつを変更すると他の二つのうちどちらかが自動的に変化します。“☒ Lock” をチェックすると, そのパラメータが変化しないよう固定されます。

<sup>\*29</sup> ここで指定した Box Size はモデルを入力するための仮の値です。後で解析に適した Box Size に直します。

<sup>\*30</sup> “Free Space ” を指定すると, Sonnet の解析空間の天井 (“Top Metal”) が床 (“Bottom Metal”) に 377Ω シート抵抗が貼り付けられ, 電波吸収材のように振舞います。

<sup>\*31</sup> これはパターンの対称性でなく, “磁気壁” を解析空間の中央に配置することを意味します。もし意味がわからなければ, “必ず外す” と考えてください。

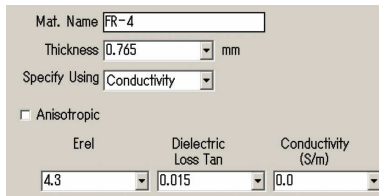
<sup>\*32</sup> “Thickness” は “厚さ”。

<sup>\*33</sup> Sonnet ではアンテナのモデルの空気層の厚みを, およそ  $1/4\lambda = 30\text{mm}$  に推奨しています。

<sup>\*34</sup> この数値は通称 0.8mm のガラエポ基板の厚みが両面の 18μm 厚の銅箔を含んでおり, 誘電体自身の厚みは 0.765mm と想定しています。基板の厚さに導体厚が含まれているかどうかは特に薄い基板では重要な問題になりますから, 基板の製造元の資料で確認してください。



ダイアログ ” を **OK** で閉じてください。\*35 \*36

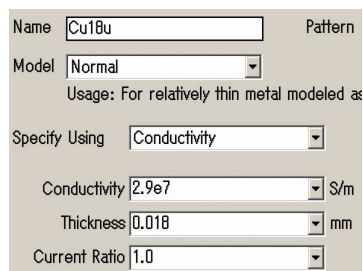


8. “Dielectric Layers” ダイアログ ” を **OK** で閉じてください。

### 2.3.6 金属導体の定義

導体パターンに使う 18 $\mu$ m の銅を定義しておきます。

1. **Circuit** **Metal Types...** を選び “Metal Types” ダイアログ ” を開きます。
2. 右の **Add Planar...** をクリックし\*37, “Planar Metal Editor” ダイアログ ” を開きます。
3. 各項目を下図のように設定し, “Planar Metal Editor” ダイアログ ” を **OK** で閉じます。\*38 \*39 \*40

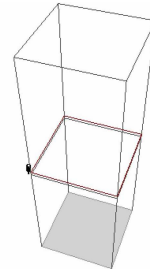


4. “Metal Types” ダイアログ ” の右上の “Default metal for new Planar” を今定義した “Cu18u” プルダウン ” に変更します。
5. “Metal Types” ダイアログ ” を **OK** で閉じます。
6. **File** **Save As...** で名前をつけて保存します。

### 2.3.7 構造の確認

これで、3次元の解析空間が確保され、モデルを入力する準備が整いました。3次元表示にし\*41 z方向の表示倍率を ‘1’ に\*42 設定してください。そして表示範囲を

適切に縮小\*43 すると解析空間が概ね図の形になっているはずです。



確認できたら2次元表示にもどしておいてください。

### 2.3.8 ToolBox の概要

モデルの入力ではメニューによる操作の他に **ToolBox** を使うと便利です。\*44 は、大きく三つの部分に分かれています。



上段	図形の編集に関わるアイコン
中段	要素の追加に関わるアイコン
下段	導体, via, ブリックに関わるアイコン

右下に三角が付いたアイコンは、**右クリック**するとサブメニューが開いて別の機能に変化します。特に右下角のアイコンは状況に応じて様々に変化します。

### 2.3.9 パターンの入力

ではいよいよ図形を入力していきます。

基板の裏面にベタ導体とアンテナ導体パターンを描く領域を描き、それを目安に基板表面のアンテナ導体パターンを描きます。

#### 層の選択

図形を描く導体層を選択します。現在の導体層は右上に表示されています。このモデルでは ‘0’ がアンテナ導体パターンを描く基板表面, ‘1’ がベタ導体を置く基板裏面です。下記の操作で導体層を ‘1’ にしてください。\*45

#### ■下の層に移動するには

- 導体層の表示の左の **DownOneLevel** をクリックするか。
- **View** **Down One Level** を選ぶか
- キーボードで **ctrl** と **D** を同時に押してください。

#### ■上の層に移動するには

- 導体層の表示の左の **UpOneLevel** をクリックするか。

\*35 ‘FR-4’ は単なる名前で、解析結果には何の影響も与えません。

\*36 これらの値は、基板メーカーの発表値とは異なります。次項目の導電率も含め弊社で簡易的に測定した値です [3]。精密な測定は簡単ではありません [4]。

\*37 **Add Planar...** は 導体パターン専用の導体の定義で、**Add Via...** は via ホール専用の導体の定義です。

\*38 ‘Cu18u’ は単なる名前で、任意の文字列でかまいません。

\*39 **INF** は、導電率 $=\infty$ 、すなわち理想的な導体を意味します。2.9e7 は、 $2.9 \times 10^7$  を意味する Fortran 言語以来の伝統的な表現です。

\*40 “Current Ratio” は導体の裏と表に流れる電流の比です。厳密な値を特定するには製品版の厳密な導体モデルが必要です [5]。

\*41 7 ページの “3次元表示への切り替え”

\*42 8 ページの “3次元表示の z 方向の表示倍率”。

\*43 8 ページの “素早い拡大と縮小”。




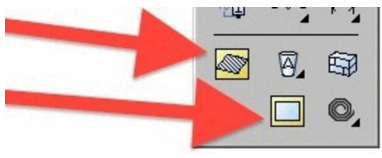


\*44 もし表示されていないければ 2 次元表示にして、**View** **Tool Box** で表示されます。

\*45 ‘GND’ と表示される層は、解析空間のグラウンドであって、このモデルのベタ導体ではありません。


- **View** **Up One Level** を選ぶか
- キーボードで **ctrl** と **U** を同時に押してください。

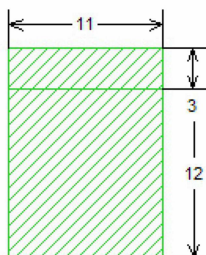
### 長方形を描く

最初に 11×12mm の長方形を描きます。

1.  で  と  をクリックするか
 
  - **Tools** **Add Metalization** **Draw Rectangle** を選ぶか
  - キーボードの **ctrl** と **R** を同時に押します。
2. マウスポインタが  に変わり、長方形の描画モードに入ります。
3. 2次元表示の領域の適当な場所で一回クリックします。
4. そのままマウスを動かすと、マウスの動きに応じて様々な形の長方形が表示されます。
5. この状態で
  - 適切な寸法の長方形の位置でもう一度クリックするか<sup>\*46</sup>
  - キーボードで “@11, 12  ” と入力します。
6. 11×12mm の長方形が描かれます。
7. 意図しない図形が描かれてしまったら、**ctrl** と **Z** で操作をもとに戻すことができます。

次にこの 11×12mm の長方形の上辺に接するように 11×3mm の長方形を描きます。


1. キーボードの **ctrl** と **R** を同時に押すか、別の方法で長方形の描画モードに入ります。
2. 11×12 長方形の左上の角で一回クリックします。
3. キーボードで “@11, 3  ” と入力します。
4. 11×3mm の長方形が、11×12mm の長方形の上辺に接して描かれます。



ここで描いた 11×12mm の長方形はベタ導体です。11×3mm の長方形は、アンテナ導体パターンを描く領

<sup>\*46</sup> この方法は推奨しません。マウスに頼らず、キーボードで正確な数値を入力してください。

域の目安となる補助図形で、後で消してしまいます。長方形は

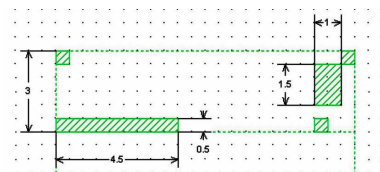
1. キーボードで **ctrl** **R**
2. クリック
3. キーボードで “@x 座標, y 座標  ”





という短い操作で描くことができます。複雑な図形を描く前に、長方形の補助図形をたくさん描いて、それを基準に目的の図形を描くと楽です。

### 多角形を描く

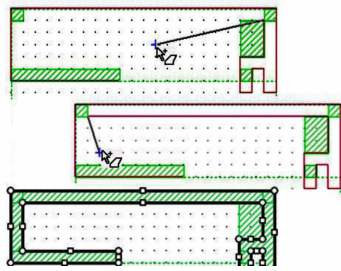
基板表面にアンテナ導体パターンを多角形として描きます。<sup>\*47</sup>

1. 導体層を移動します。現在の導体層は右上に ‘1’ と表示されています。17 ページ “層の選択” の方法で、導体層 ‘0’ 層に移ってください。
2. 図 2.17 の寸法図を参考に明示されている寸法で、長方形の補助図形を描きます。アンテナ導体パターンの完成形を想像しながらわかりやすいように、寸法の明確な補助図形を配置してください。下図は一例です。



3. 補助図形を目安にアンテナ導体パターンを描きます。
 
  -  と  をクリックするか
  - **Tools** **Add Metalization** **Draw Polygon** を選ぶか
  - キーボードの **ctrl** と **P** を同時に押します。
4. マウスポインタが  に変わり、多角形の描画モードに入ります。
5. 補助図形を目安にクリックしながら、アンテナ導体パターンの形状を描いてゆきます。
6. 意図しない位置でクリックしてしまったときは **DEL** か **BS** キーで最後のクリックを取り消すことができます。
7. 右のエレメントの形状のすべての角でクリックして、多角形が閉じると、多角形の描画モードが終わります。

<sup>\*47</sup> 多くの基板レイアウトツールでは配線パターンを有限な幅の線や折れ線として扱いますし、DXF ファイルでは幅が ‘0’ の線の集合で図形を表現しています。ところが Sonnet では線概念はありません。全ての導体パターンは全て多角形で、直線的な配線パターンも長方形なり多角形として入力しなければなりません。



8. 意図しない形状になってしまったら、その図形を選択し

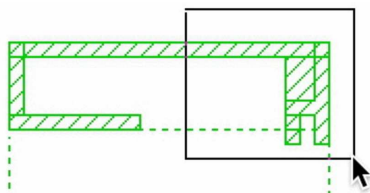
- 多角形の頂点の○をドラッグして頂点を移動
- 多角形の辺の中央の□をドラッグして辺を移動することができます。

9. メニューから **File** **Save** を選ぶか **ctrl** **S** で保存しておきます。<sup>\*48</sup>

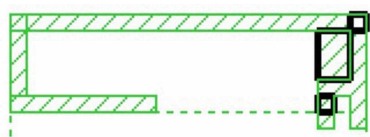
### 図形の選択と削除

不要になった補助図形を削除しましょう。ここではアンテナ導体パターンと補助図形が複雑に重なり合っているので、不要な図形だけを選択する方法に注意してください。<sup>\*49</sup>

1. 不要な図形を 左ボタンでドラッグして囲みます。



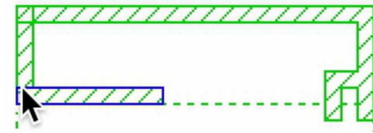
2. 囲まれた図形が選択されます。



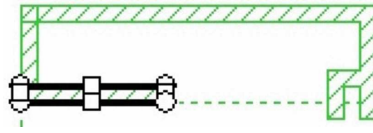
3. 右クリックし、**Delete** を選びます。



4. 複数の図形が重なり合っている場合、マウスカースルが指している図形は青く表示されます。



5. 意図した図形が青くなったら、 左クリックで図形を選択します。



6. 選択された図形の上で 右クリックし、**Delete** を選びます。



基板裏面の補助図形も消します。

1. 導体層を‘1’に移動します。現在の導体層は右上に表示されています。<sup>\*50</sup>
2. 11×3mm 長方形の上で 右クリックし、**Delete** を選びます。

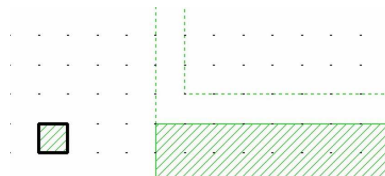


### 図形の移動

ベタ導体の一部から凸状にはみ出した調整タブを描きます。調整タブは、その大きさや位置でアンテナの動作周波数を微調整することができます。

ここではわざとベタ導体と離れた領域に調整タブを描いて、後から意図する位置に移動します。こうすることで大きなベタ導体を間違えて選択してしまうことを防ぎます。

1. 現在の導体層が右上に‘1’と表示されていることを確かめてください。
2. 11×12mm の長方形の左上あたりの適当な位置に 0.5×0.5mm の正方形を描きます。<sup>\*51</sup>



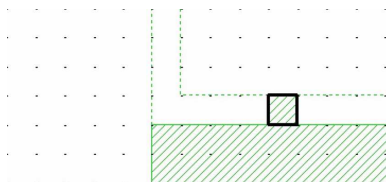
<sup>\*48</sup> モデルの編集中は頻繁に保存する習慣をつけてください。**ctrl**と**S**を同時に押すと素早く保存できます。

<sup>\*49</sup> 図形の選択は、Windows の一般的なアプリケーションと同じく 左クリックや 左ボタンでドラッグで操作できます。

<sup>\*50</sup> 17 ページ “層の選択”

<sup>\*51</sup> 18 ページの “長方形を描く”。

3. 下図の位置がよく分かるように表示を拡大し、\*52 描いた正方形を図の位置にドラッグしてください。



### 図形の一体化

調整タブとベタ導体は別の図形ですが、接する導体同士は導通し、Sonnet の解析でも一体の導体として扱われます。もし完全に一体の図形として編集したければ一体化することもできます。

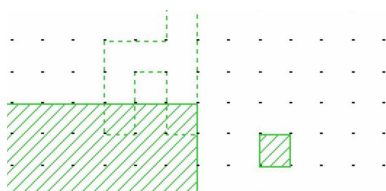
- 調整タブとベタ導体を選択します。
- Edit** **Boolean Operations** **Union** を選びます。\*53

### via と via port の入力

ベタ導体とアンテナ導体パターンを接続する via をベタ導体と離れたところに作り、そのうち 1 つの via を port と設定します。そして所定の位置に移動します。


#### ■via




- 現在の導体層が右上に '1' と表示されていることを確かめてください。
- 11 × 12mm の長方形の右上あたりの適当な位置に 0.5 × 0.5mm の正方形を描きます。\*54



- Tool** **Add Via** **Up One Level** を選んでください。



の下から二行目中央のアイコンが  上向きの via に変わります。

- Tool** **Add Via** **Edge via** を選ぶか
  -  をクリックし、ToolBox の右下のアイコンを  右クリックしサブメニューで **Edge Via** を選択します。\*55
- マウスマウスカーソルが  に変わります。

\*52 これはとてもよく使う操作です。8 ページの“素早い拡大と縮小”。

\*53 バージョン 15 以前は **Edit** **Merge** でした。バージョン 16 から図形同士の論理操作ができるようになり、**Edit** **Boolean Operations** にまとめられました。これを書いている 2016 年 5 月の時点で製品版はバージョン 16 ですが、SonnetLite はまだバージョン 15 です。

\*54 18 ページの“長方形を描く”。

\*55 via を一個だけ追加するにはサブメニューの方が簡単です。

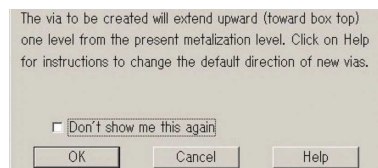

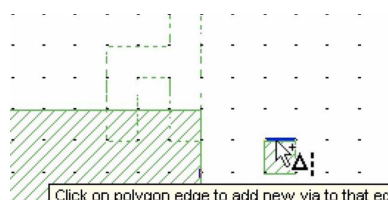


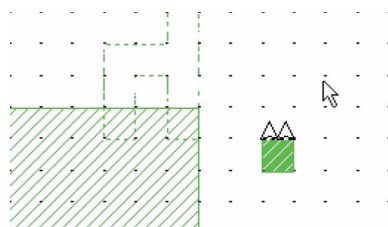


図 2.19 via は上の導体層に向かって配置されます。




- 図 2.19 の“Via Directions Notice  ”が現れて“via は上の導体層に向かって描かれる”と警告されるかもしれません。“☒ Don't show me this again”にチェックを入れて **OK** で閉じれば現れなくなります。
- 0.5 × 0.5mm の上の辺が青く表示されるようにマウスマウスカーソルを上辺に合わせて下さい。





- ここで  左クリックすると、上向きのシンボル  が表示されて、この位置から上の導体層に向かって via が配置されたことが表示されます。\*56\*57



#### ■via のコピー


- 0.5 × 0.5mm 正方形と via を  左ボタンでドラッグして囲みます。
-  右クリックして現れるメニューから **Copy** を選ぶか
  - キーボードで **ctrl** と **C** を同時に押すか
  - Edit** **Copy** を選んでください。
-  右クリックして現れるメニューから **Paste** を選ぶか
  - キーボードで **ctrl** と **V** を同時に押すか
  - Edit** **Paste** を選んでください。

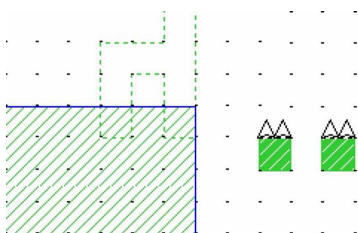
\*56 もし意図しない位置に via が配置されてしまったら、via のシンボル  をクリックして選択し **DEL** キーで削除してやり直してください。

\*57 このシンボル  は物理的な via ホールの穴の位置や数と一致しません。






\*58

4. 新しい  $0.5 \times 0.5\text{mm}$  正方形と via を  左ボタンでドラッグして図の位置に移動します。





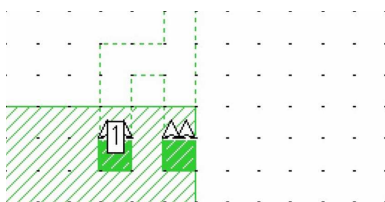
### ■via を “Via Port” に設定

-  で  をクリックするか
  - **Tool** **Add Port** を選びます。
- マウスイカーソルが  に変わります。
- 左側の via の上でクリックすると、ポートのシンボルが表示されて、この位置から上の導体層に向かう via が切断され、そこにポートが配置されたことが示されます。<sup>\*59</sup>\*60



### ■via と “Via Port” を所定の位置にドラッグ


- 2つの  $0.5 \times 0.5\text{mm}$  正方形と via を  左ボタンでドラッグして囲みます。
-  左ボタンでドラッグして図の位置に移動します。



### ■“Via Port” の構造

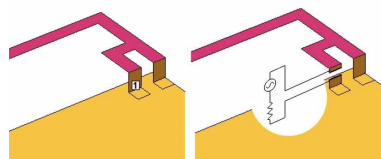
- ここで 3 次元表示にして構造を確認してみましょう

<sup>\*58</sup> コピー、カット、ペーストは Windows のすべてのアプリケーションと同じく **Edit** メニューか、キーボードの **[ctrl]** **[C]**, **[ctrl]** **[X]**, **[ctrl]** **[V]** で操作できます。

<sup>\*59</sup> ポート番号は自動的に “1” になります。もし “1” 以外の数字になってしまった場合はポートのシンボルをダブルクリックして “Port Properties”  “を” を開いて “Port Number” を変更してください。

<sup>\*60</sup> “Via Port” を配置するには、(1)via を下の導体層から上の導体層に向かって設定し、(2)port を下の導体層に配置しなくてはなりません。上の導体層にも port を配置できるように見えますが、解析の段階でエラーがでて、解析できません。この間違いは後で発見することが難しいので注意してください。

う。<sup>\*61</sup> via port は等価的に via が切断されて、その途中に内部抵抗  $50\Omega$  の信号源が挿入されたように扱われます。<sup>\*62</sup> <sup>\*63</sup>



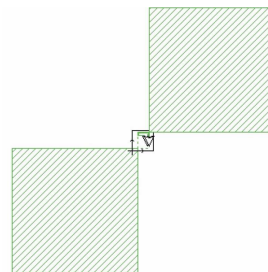
2. 次の操作のために 2 次元表示に戻しておいてください。


### ボックスパラメータの再設定

ボックスの大きさを解析に適した大きさに再設定します。アンテナの解析ではアンテナの周囲におよそ  $1\lambda$  の余裕を持たせることが推奨されています。このアンテナは  $2.45\text{GHz}$  で動作させるので、必要な余裕はおおよそ  $1\lambda \approx 120\text{mm}$  です。<sup>\*64</sup>

まず、必要な余裕の大きさを把握するため、 $120\text{mm}$  の正方形をアンテナの周囲に配置します。次に、その正方形を補助図形として新しいボックスの大きさを指定します。

- $120\text{mm}$  の正方形を図のようにアンテナの左下と右上に描いてください。厳密でなくて構いません。どうせ後で直します。<sup>\*65</sup>





- Circuit** **Box** を選び “Box Settings”  “を開いてください。


<sup>\*61</sup> 7 ページの “3 次元表示への切り替え”



<sup>\*62</sup> この + 端子と - 端子が via の上端と下端に接続されるポートを Sonnet では “Via Port” と呼びます。その他のポートについて <http://www.Sonnet.Site/support/tips/ports/> にまとめがあります。

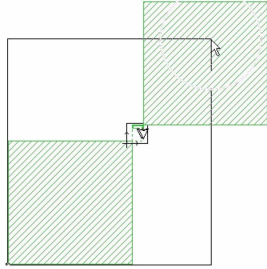
<sup>\*63</sup> 意図しない層に via を作ってしまったときは、20 ページの “2.3.9 via と via port の入力” の最初からやり直してください。特に via を配置する前に “現在の導体層” をよく確認してください。


<sup>\*64</sup>  $\lambda$ (ラムダ) は “波長”。シミュレータであれ測定器であれ高周波を扱う場合には、扱う信号の波長を常に意識してください。40 ページからの “3.2 高周波の基礎の基礎” でその理由を解説します。


<sup>\*65</sup> 18 ページの “長方形を描く” に従って、**[ctrl]** **[R]**, アンテナの左下で “@-120,-120 ”, そして **[ctrl]** **[R]**, アンテナの右上で “@120,120 ” で正方形が 2 つ描かれます。それらを表示するには 8 ページの “素早い拡大と縮小”

3. “Box Settings  ”の中ほどの **Set Box Size with Mouse** をクリックしてください。

4. “Box Settings  ”が一旦消えて、 が現れるので、左下の120mmの正方形の左下角でクリックし、そして右上の正方形の右上角でもう一度クリックしてください。



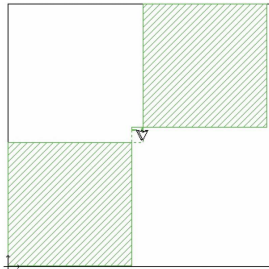
5. クリックした点を対角とする四角が青く囲まれて表示されます。  キーを押してください。

6. “Box Settings  ”が再び開きます。おそらく “Num.Cells” は 500, 500 かそらの値になっているでしょう。

7. “Cell Size” の欄の右の “☒ Lock” にチェックを入れてください。

8. “Num.Cells” の値を 512, 512 に直して **OK** で閉じてください。<sup>\*66</sup>

9. 解析領域が拡大されているはずです。120mm の正方形はもう不要なので削除して下さい。




10. アンテナが box の中央からずれてしまっているのを直します。

- **Edit** **Select All** を選ぶか
- キーボードで **ctrl** と **A** を同時に押して図形全部を選択してください。

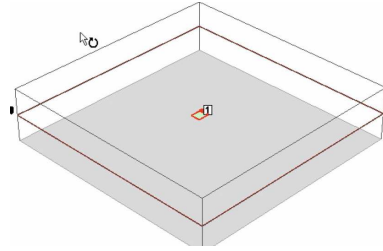
11. **Modify** **Center** **Both** を選択してください。<sup>\*67\*68</sup>

<sup>\*66</sup> Sonnet では “Num.Cells” の値が  $2^N$  の時最も高速に解析できます。この例では体感できるほどの効果はありませんが、Num.Cells が大きい場合、例えば  $4096 = 2^{12}$  と 4093 (素数) では解析時間に大きな差が生じます。

<sup>\*67</sup> この結果、図形と Cell がズレる場合があります。その場合はキーボードで **ctrl** **A** で全ての図形を選択し、続いて @0.25, 0.25  と入力して、“Cell Size” の半分だけ図形を移動してみてください。













<sup>\*68</sup> 図形と Cell のズレを修正する別の方法もあります。(1) **ctrl**

12. 3次元表示に切り替えて概ね図と同じになっていることを確かめておいてください。









### 2.3.10 解析条件の設定

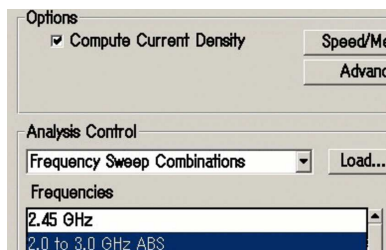
Sonnet の “Adaptive Sweep (ABS)” は非常に高速で高精度な周波数スイープ方法ですが、特定の解析周波数を指定することができません。アンテナの解析では “Adaptive Sweep (ABS)” と特定の周波数での解析を組み合わせて指定します。

1. **Analysis** **Setup...** を選び “Analysis Setup  ”を開きます。(10 ページの図 2.7)
2. “☒ Compute Currents” にチェックを入れてください。<sup>\*69</sup>
3. “Analysis Control  ”を “Frequency Sweep Combinations  ”に設定します。
4. **Add...** をクリックしてください。“Frequency Sweep Entry  ”が開きます。
5. “Frequency Sweep Entry  ”で “Sweep Type” を “Single Frequency  ”に設定します。
6. “Freq” 欄に 2.45 と入力し、**OK** で “Frequency Sweep Entry  ”を閉じます。
7. “Analysis Setup  ”で **Add...** をクリックしてください。新しい “Frequency Sweep Entry  ”が開きます。
8. “Frequency Sweep Entry  ”で “Sweep Type” を “Adaptive Sweep (ABS)  ”に設定します。
9. ‘Start’ 欄に 2, ‘Stop’ 欄に 3 と入力し、**OK** で “Frequency Sweep Entry  ”を閉じます。

**A** で全ての図形を選択します。(2) メニューから **Modify**

**Snap To...** を選んで “Snap Objects  ”を開きます。(3) “Snap Mode  ”から “ Preserve shape and spacing relative to the reference point” を選び、**Select Reference Point** をクリックします。(4)  が現れるので、図形の頂点を一箇所クリックします。(5) 再び “Snap Objects  ”が開くので、**OK** をクリックして閉じます。

<sup>\*69</sup> これは Sonnet が解析した後、電流密度のデータを残すかどうかの指定です。電流分布を観測したい場合と、アンテナ解析モジュール  を使用する場合には、ここにチェックを入れなくてはなりません。



10. “Analysis Setup” を で閉じます。
11. 10 ページの図 2.8 の “Current Density Notice” が開くかもしれません。 で閉じてください。

これで、2.45GHz の “Single Frequency” を解析した後で 2 ~ 3GHz の “Adaptive Sweep (ABS)” のスイープを行うよう設定されました。<sup>\*70</sup>

### 2.3.11 解析と結果の表示

1. を選ぶと解析が始まります。
2. 解析が終わったら を選ぶと dB( $S_{11}$ ) のグラフが表示されます。

グラフの設定については 10 ページから始まる “2.2.3 “emgraph”: グラフの表示” で詳しく説明しました。<sup>\*71</sup>

### 2.3.12 “xgeom” での作業のまとめ

での作業をまとめておきましょう。

単位の設定

ボックスパラメータの設定 ボックスのサイズ・Cell Size・ボックスの上下面の材質の設定

誘電体層の構造の設定 材質厚さ  
誘電率・誘電正接・導電率・透磁率・磁性損失の設定

金属導体の定義

パターンの入力 長方形は , クリック,  
“@x,y ”,  
多角形は .

解析条件の設定 電流分布を見るには  
“ Compute Currents” にチェック

解析

### 2.3.13 “patvu” による放射特性の計算と表示

ここでの実習には、製品版のアンテナ解析モジュール が必要です。Sonnet Lite/LitePlus では、実行することはできませんが、アンテナの解析には重要なトピックなので紹介します。

#### 座標系

では球面座標系が用いられます。図 2.20 は、

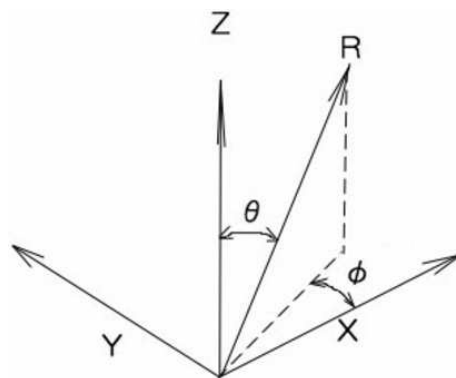


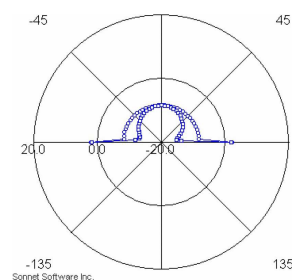
図 2.20 xgeom の直交座標系と “patvu” の球面座標系の対応)

の直交座標系と の球面座標系の対応を示しています。

のデフォルトでは  $\phi = 0$  で、 $x-z$  面内の指向性が表示されます。

#### 極座標形式の指向性の表示

1. を選ぶと が開きます。
2. まず、極座標形式に直しましょう。メニューから を選んでください。これがこのアンテナの  $x-z$  面内の指向性です。
3. メニューから を選んで “Select Phi Values” を開いてください。左側の “Calculated” 欄の “90.0 Degrees” をダブルクリックして、右側の “Plotted” に移し、 で閉じてください。
4. このアンテナの  $x-z$  面内と  $y-z$  面内の両方の指向性がプロットされます。



このグラフでは

- 下半分の方角への放射が表示されていない
- 横方向への放射が異常
- 周波数が 2GHz
- スケールが実用的でない

という問題があります。これらを直していきましょう。

#### 周波数と角度を指定した再計算

角度と周波数を指定した指向性を観察するためには、その角度と周波数の条件で指向性を計算しなおさなくて

<sup>\*70</sup> “Adaptive Sweep (ABS)” は、既に解析した解析結果を分析してさらに解析が必要かどうかを自動的に判断します。従って “Frequency Sweep Combinations” で複数の解析を組み合わせる場合 “Adaptive Sweep (ABS)” を最後に実行すると無駄な解析をしなくて済みます。

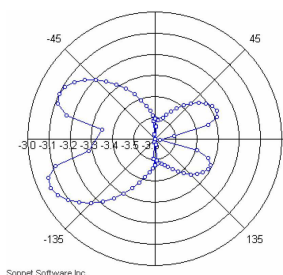
<sup>\*71</sup> 特に小型アンテナでは dB( $S_{11}$ ) だけでアンテナの良し悪しを判断してはいけません [6]。

	Start (Degrees)	Stop (Degrees)	Step (Degrees)
Theta 1	-80.0	80.0	5.0
Theta 2	-180.0	-100.0	5.0
Theta 3	100.0	180.0	5.0
Phi 1	0.0	90.0	90.0

図 2.21 “Calculation Setup”

はなりません。

1. **Graph** **Calculate...** を選んで図 2.21 の “Calculation Setup” ダイアログを開いてください。
2. “Angles” タブ をクリックしてください。
3. Theta1 の Start を -80, Stop を 80 に設定してください。
4. さらに **New Theta** をクリックして、図 2.21 の “Calculation Setup” ダイアログのように設定してください。
5. “Frequencies” タブ をクリックしてください。
6. “Frequencies to Calculate” の中の 2.0GHz をダブルクリックして “Available Frequencies” に移動してください。<sup>\*72</sup>
7. “Available Frequencies” の中の 2.45GHz をダブルクリックして “Frequencies to Calculate” に移動してください。<sup>\*73</sup>
8. **Calculate** で “Calculation Setup” ダイアログ を閉じると 2.45GHz の指向性が現れます。今度は、下半分への放射も表示されています。



### 目盛の設定

極座標系式のグラフは目盛次第で印象が大きく変わりますから、適正な目盛に設定しておきましょう。

1. **Graph** **Axis...** を選んで、“Axis Properties” ダイアログを開いてください。

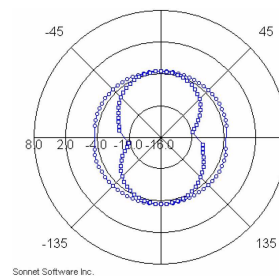
<sup>\*72</sup> “Available Frequencies” は “放射を計算するための有効な電流分布のデータがある周波数”，“Frequencies to Calculate” は “これから放射を計算する周波数” を意味します。

<sup>\*73</sup> 必要なら “Ports” タブ をクリックし給電電力や位相、そして信号源のインピーダンスも変更できます。

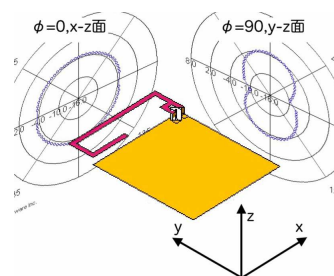
2. “☐ AutoScale” のチェックを外し、各項目を下図のように設定してください。

<input type="checkbox"/> AutoScale	<input checked="" type="checkbox"/> Tick Labels
Min	-16.0
Max	8.0
Interval	Number
Divisions	6.0
	4

**OK** で “Axis Properties” ダイアログ を閉じてください。小型アンテナの典型的な特性が表示されます。



3.  $\phi = 0^\circ$  と  $\phi = 90^\circ$  の特性が重ね書きされていますが、23 ページの図 2.20 を参照して、アンテナの構造との対応を把握してください。



このグラフでは 2dBi を基準に 6dB 毎の目盛を設定しました。1/2λ ダイポールの理論値は 2dBi で、アンテナの性能が 6dB 変るごとに通信距離は半分になりますから、ここで解析した逆 F アンテナの通信距離は 1/2λ 逆 F アンテナのおよそ半分だとわかります。

### “patvu” の仕組み

アンテナの指向性は次の方法で計算されています。

1. が指定の周波数で電磁界解析を行い、導体上の電流分布を求める。
2. が指定の周波数での電流分布から、指定の方向への放射を求める。

この手順は次の操作に対応します。第一の段階は

- 22 ページの 2.3.10 で説明したように電磁界解析の周波数を明示的に指定し、
- 10 ページの図 2.7 のように “Analysis Setup” ダイアログで “☒ Compute Currents” にチェックを入れて電流分布を求めるよう指定すること。



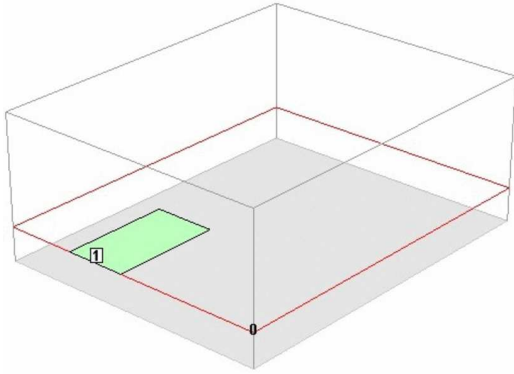




図 2.22 マイクロストリップ線路を調べるモデル

第二の段階は

-  のメニューで **Graph** **Calculate...** を選び、
- “Calculation Setup  ” (図 2.21) で、どの周波数での電流分布からどの方向への放射を計算するかを指定すること

以上の段階の何処かが抜けていると放射特性を表示できません。

ここではモデルの入力の実際の手順を見てきました。アンテナの解析について注意すべきことは [2] にまとめてありますからそちらも参照してください。

次の例題では、形状を自動的に変形して解析を繰り返すテクニックを紹介します。次の例題に取り掛かる前に今開いているウィンドウを閉じておきましょう。

## 2.4 パラメータスイープと特性インピーダンス-マイクロストリップ線路

マイクロストリップ線路の特性インピーダンスと導体パターンの形状を自動的に変化させるパラメータスイープについて勉強します。


### 2.4.1 問題の概要



ここで作るモデルの概観を図 2.22 に掲げます。これは小さなプリント基板で、グラウンド面はベタアース、パターン面には短いマイクロストリップ線路があるだけです。このマイクロストリップ線路の特性インピーダンスが  $50\Omega$  になる線路幅と周囲物体の影響を調べます。




### 2.4.2 特性インピーダンスの周波数特性

最初のモデルでは周波数を広い範囲で変化させて、マイクロストリップ線路の周波数特性を調べます。

#### “xgeom” の起動と単位の設定

 を起動し、これまでのモデルと同じように単位や環境を設定します。

1. Task Bar の  のアイコンをクリックし **New Geometry** を選んで  を起動してください。

2. 不要な “ ” を閉じ、“Stackup Manager” も不要なら閉じ、 中のサブウィンドウを最大化しておきましょう。<sup>\*74</sup>
3. メニューで **Circuit** **Units...** を選び、長さの単位が “mm  ” になっていることを確認し **OK** で閉じます。<sup>\*75</sup>

#### 誘電体層の構造の設定

1. **Circuit** **Dielectric Layers...** を選んでください。
2. 図のように各誘電体層の厚さと “Erel”, “Dielectric Loss tan” を設定してください。<sup>\*76</sup>



Thickness (mm)	Mat. Name	Erel	Dielectric Loss Tan
5	Unnamed	1.0	0.0
0.765	FR-4	4.3	0.015




3. **OK** で閉じてください。



#### 金属導体の定義

17 ページの “2.3.6 金属導体の定義” と同じく  $18\mu\text{m}$  の銅を定義してください。<sup>\*77</sup>

#### ボックスパラメータの設定

1. メニューで **Circuit** **Box...** を選び、“Box Settings  ” を開いてください。
2. “Sizes  ” の中を図のように設定します。<sup>\*78</sup>

	X	Y
Cell Size	1.0	0.05 
Box Size	16.0	12.8 
Num. Cells	16	256 

3. “Top Metal” は “Lossless  ”, “Bottom Metal” は “Cu18u  ” に設定します。<sup>\*79</sup>
4. “□ Symmetry” がチェックされていないことを確かめます。
5. **OK** で閉じます。

<sup>\*74</sup> 7 ページの “要らないウィンドウを閉じる”, 7 ページの “Stackup Manager の表示を消す”

<sup>\*75</sup> 16 ページの “2.3.3 単位の設定”。

<sup>\*76</sup> 16 ページの “2.3.5 誘電体層の構造の設定”。

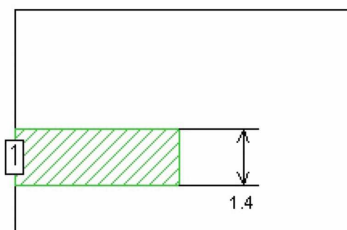
<sup>\*77</sup> この例題のマイクロストリップ線路のようにグラウンド導体に接近して対向している導体の電流はグラウンド導体に対向する面だけに流れます。それゆえ “Current Ratio” は 0 です。しかし結果への影響は小さいので、ここでは 1 のまますすめます [5]。

<sup>\*78</sup> この例では “X” 方向と “Y” 方向の “Cell Size” の比が大きく、“Cell” は非常に細長い形状になっています。電磁界解析の手法によってはこれが誤差要因になることがあります、Sonnet の解析手法では問題になりません。

<sup>\*79</sup> 解析空間の天井 (“Top Metal”) は無損失の金属、床 (“Bottom Metal”) は  $18\mu\text{m}$  の銅、側面も無損失の金属なのでこのプリント基板は理想的なシールドボックスに囲まれている事になります。


### パターンの入力

図のように解析領域の左に接するように長方形を描きます。<sup>\*80</sup> 長方形の大きさは厳密でなくて構いません。概ね  $4 \times 1.5\text{mm}$  程度がよいでしょう。解析領域の上からの距離は  $3\text{mm}$  程度がよいでしょう。







### ポートの入力

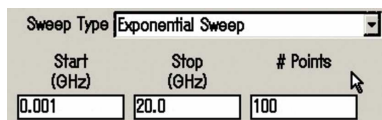
次に長方形の左端にポートを配置してください。



1. **Tools** **Add Port** を選びます
2. マウスイカーソルが  に変わり、ポートを追加する準備ができたことがわかります。
3. ポートを配置したい場所でクリックしてください。
4. ポートのシンボルが表示されます<sup>\*81</sup>
5. **ctrl** **S** で保存しておきます。

### 解析条件の設定

この例題では周波数を広い範囲で変化させて、特性インピーダンスの周波数特性を調べます。

1. **Analysis** **Setup...** を選び “**Analysis Setup**  ” を開きます。
2. “**Analysis Control**  ” の一行目を “**Frequency Sweep Combinations**  ” に設定します。
3. **Add...** をクリックしてください。 “**Frequency Sweep Entry**  ” を下図のように設定します。




4. **OK** で “**Frequency Sweep Entry**  ” を閉じます。
5. “**Analysis Setup**  ” を **OK** で閉じます。

これで、周波数を  $1\text{MHz}$  から  $20\text{GHz}$  まで指数関数的に  $100$  点変化させて解析するように設定できました。



### 解析と結果の表示

では、解析してグラフを描いてみましょう。

1. **ctrl** **S** で保存しておきます。
2. **Project** **Analyze** を選ぶと解析が始まります。
3. 解析が終わったら **Project** **View Response** **New Graph** を選ぶと  が開きます。<sup>\*82</sup>

### グラフの横軸を対数目盛りに設定する




このモデルでは周波数範囲が  $5$  桁にも及ぶのでグラフの横軸を対数目盛りにしておきましょう。

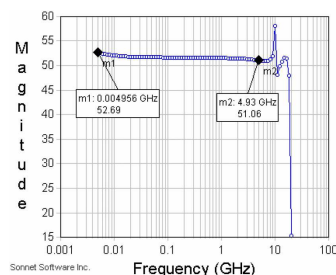
1.  の **Graph** **Set Axis...** を選んで “**Axis Setup**  ” を開き、 “**X-Axis** **タブ** ” を選びます。そして “☒ **Use Log10 Scale** ” にチェックをいれてください。
2. **OK** で閉じてください。

グラフの横軸が対数目盛りになりました。

### グラフの縦軸を特性インピーダンスに設定する

グラフの縦軸はデフォルトで  $\text{dB}|S_{11}|$  になっています。これを特性インピーダンスに変更しましょう。<sup>\*83</sup>

1.  $10$  ページの図 2.9 のように、凡例の上で  を右クリックし、メニューから **Edit Curve Group...** を選んでください。
2.  $11$  ページ 図 2.10 の “**Edit Curve Group**  ” が開きます。
3. “**Y-axis Measurements**  ” を  $27$  ページの図 2.23 のように変更して **OK** で閉じてください。
4.  $11$  ページの “**グリッドの表示** ” に従って、グリッドも表示しておきましょう。



これが特性インピーダンスの周波数特性のグラフです。周波数が  $0.005\text{GHz}$  から  $5\text{GHz}$  まで  $3$  桁変化しても特性インピーダンスは  $3\%$  しか変化しません。つまりこの線路の特性インピーダンスの解析は  $0.005\text{GHz}$  から  $5\text{GHz}$  の間のどこか適当な一点、例えば  $0.159\text{GHz}$  で行えば十分です。<sup>\*84</sup>

<sup>\*80</sup>  $18$  ページの “長方形を描く”。これはとても良く使う操作です。

<sup>\*81</sup> このポートでは  $+$  端子が金属片に  $-$  端子が解析空間の側壁に接続されます。Sonnet ではこのポートを “**Box Wall Port** ” と呼びます。また  $+$  端子が金属片に  $-$  端子が解析空間底面に接続されるポートを “**Auto Grounded Port** ” と呼びます。“**Box Wall Port** ” は “**Auto Grounded Port** ” よりも厳密な解析が行われます。その他のポートについて <http://www.Sonnet.Site/support/tips/ports/> にまとめてあります。

<sup>\*82</sup> このモデルでは “**X** ” 方向の “**Cell Size** ” が大き過ぎる ” という警告が出ますが、このモデルに関してはこの警告は重要ではありません。

<sup>\*83</sup>  $10$  ページの “2.2.3 “**emgraph** ”: グラフの表示”。

<sup>\*84</sup> このモデルでは  $10\text{GHz}$  を超えると急激な変化が現れます。そ

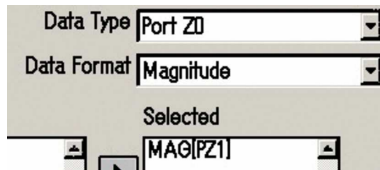




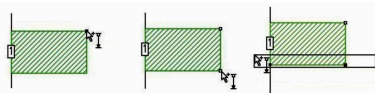
図 2.23 グラフに特性インピーダンスを表示させる設定

### 2.4.3 線路幅のスイープ

線路幅を様々に変化させて特性インピーダンスが  $50\Omega$  になる線路幅を求めます。


#### パラメータ設定

1.  の **Tools** | **Add Dimension Parameter** | **Add anchored** を選びます。
2. マウскарソルが  に変わります



3. 上図の左のように、線路の右上の角をクリックします。<sup>\*85</sup>
4. 上図の中央のように、線路の右下の角をクリックします。<sup>\*86</sup>
5. 上図の右のように、線路の下の左右の角を含むように大きくドラッグして囲みます。<sup>\*87</sup>
6. **[Enter]** キーを押します。



7. 上図の左のように、“Parameter Properties  ”が開くので“Name”として“w”とでも入力して、**[OK]**で閉じてください。
8. 上図の右のように画面に寸法線が現れるので適当な位置にドラッグしてクリックしてください。
9. **[ctrl] [S]**で保存しておきます。<sup>\*88</sup>

#### パラメータの確認


パラメータの設定は非常に間違えやすい操作のひとつです。うまく設定できたかどうかパラメータを変化させて見ましょう。




の理由は 40 ページの “3.2.2 特性インピーダンスが定義できる場合” に説明してあります。

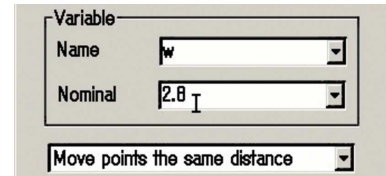
<sup>\*85</sup> この点がパラメータの基準 ( **anchor** ) になります。


<sup>\*86</sup> この点と、先ほどの **anchor** との距離がパラメータになります

<sup>\*87</sup> この囲まれた範囲の点が、パラメータと連動して移動します。

<sup>\*88</sup> 保存するときに、“既に解析したデータがあるけど消して良いか?  ”と聞かれるかもしれません。 **[Delete]** で進んでかまいません。もし古いデータを残したいなら **[Save As...]** で別の名前にしましょう。







1. “w” の上でダブルクリックすると “Parameter Properties  ”が開きます。
2. 画面で “Parameter Properties  ”と  の両方が見えるように画面の位置を調整してください。

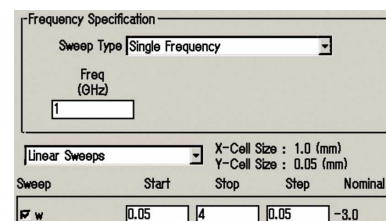


3. “Nominal” に次の値を入力して **[Apply]** をクリックしてください。<sup>\*89</sup>  
12mm たぶん線路がはみだしてしまい、解析できません。  
-3mm 線路がはみだすか、壁に接近しすぎるでしょう。  
0.01mm 線路が細すぎてなくなってしまいます。<sup>\*90</sup>
4. 終わったら 1.4mm にもどし、 **[OK]** で “Parameter Properties  ”を閉じてください。

#### 解析条件の設定

これまでは周波数を変化させて解析してきましたが、次はパラメータ “w” を変化させて解析します。

1. **[Analysis] [Setup...]** を選び “Analysis Setup  ”を開きます。
2. “Analysis Control  ”の一行目を “Parameter Sweep  ”に設定します。
3. **[Add...]** をクリックしてください。 “Parameter Sweep Entry  ”が開きます。
4. “☒ w” にチェックを入れます。
5. “w” の “Start” を 0.05, “Stop” を 4, “Step” を 0.05 に設定します。
6. “Frequency Specification  ”の “Sweep Type” を **[Single Frequency]** にします。
7. “Frequency Specification  ”の “Freq” を 1 にします。



<sup>\*89</sup> もし、意図しない変化をするなら 27 ページの “パラメータ設定” からやりなおしてください。

<sup>\*90</sup> このモデルでは Cell Size を 0.05mm に設定しているので、それより細かい形状を扱う事ができません。

8. **[OK]**で“Parameter Sweep Entry ダイアログ”を閉じます。
9. “Analysis Setup ダイアログ”を **[OK]**で閉じます。

これで周波数 1GHz で、線路幅  $w$  を 0.05mm から 4mm まで 0.05mm ごとに変化させて解析するように設定できました。

#### 解析と結果の表示

では、解析してみましょう。

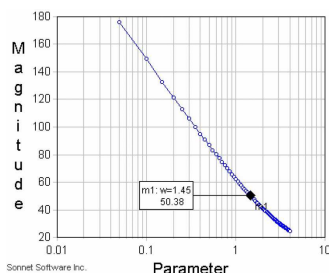
1. **[ctrl]** **[S]**で保存しておきます。
2. **[Project]** **[Analyze]** を選ぶと解析が始まります。
3. 解析が終わったら **[Project]** **[View Response]** **[New Graph]** を選ぶと emgraph が開きます。

#### グラフの軸の設定

デフォルトではグラフの横軸は周波数です。ここでは“ $w$ ”を変化させたので横軸をパラメータにします。また“ $w$ ”の変化は 2 桁にも及ぶので横軸は対数目盛りにしておきましょう。

1. emgraph の **[Graph]** **[Plot Over]** **[Parameter]** を選んでください。これで横軸が周波数でなくパラメータになります。
2. たぶん“Edit Curve Group ダイアログ”<sup>\*91</sup>が開くので、27 ページ 図 2.23 のように縦軸を特性インピーダンスに設定してください。
3. さらに“Parameter Combinations frame”の“☒ Graph All Combinations”にチェックを入れて **[OK]**で閉じてください。
4. 横軸を対数目盛りに設定してください。<sup>\*92</sup>
5. グリッドを表示してください。<sup>\*93</sup>

線路幅と特性インピーダンスの関係が描かれます。



グラフから  $w \approx 1.4\text{mm}$  で  $Z_0 \approx 50\Omega$  になることがわかります。<sup>\*94</sup>

#### 2.4.4 境界からの距離のスweep

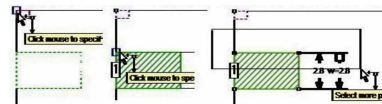
マイクロストリップ線路を解析領域の隅っこに近づけて、それによって特性インピーダンスが変化の様子を調べてみましょう。

##### 追加のパラメータ設定と確認

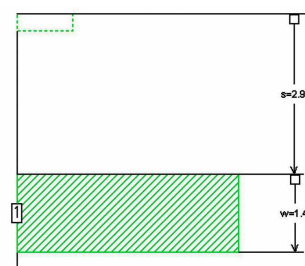
1. xgeom の **[View]** **[Down One Level]** を選んで一番下の“GND”層まで移動してください。<sup>\*95</sup>
2. 図のように、左上の隅に小さな四角を描いてください。<sup>\*96</sup>



3. **[Tools]** **[Add Dimension Parameter]** **[Add anchored]** を選びます。
4. マウスイカーソルが に変わります



5. 上図の左のように左上隅の角をクリックします。
6. **[View]** **[Up One Level]** を選んでマイクロストリップ線路導体の層に戻ります。
7. 上図の中央のように、線路の左上の角をクリックします。
8. 上図の右のように、線路の上の左右の角を含むように大きくドラッグして囲みます。
9. **[Enter]** キーを押します。
10. “Parameter Properties ダイアログ”が開くので“Name”として“s”とでも入力して、**[OK]**で閉じてください。
11. 画面に寸法線が現れるので適当な位置にドラッグしてクリックしてください。



<sup>\*91</sup> 11 ページの図 2.10

<sup>\*92</sup> 26 ページの“グラフの横軸を対数目盛りに設定する”。

<sup>\*93</sup> 11 ページの“グリッドの表示”

<sup>\*94</sup> 必要ならマーカーを使ってください。マーカーの操作は 13 ページの“並列共振回路の等価回路の抽出”。




<sup>\*95</sup> 17 ページの“層の選択”。

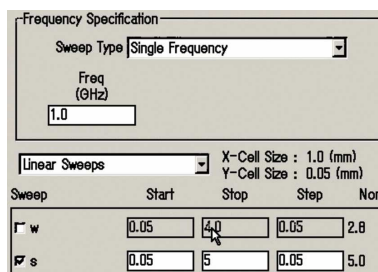
<sup>\*96</sup> この四角はパラメータの基準点として使います。解析には影響しないように“GND”上に描きます。




12. **[ctrl]** **[S]**で保存しておきます。
13. “s”に様々な数値を設定して意図した変化をするか確認してください。

### 解析条件の設定



1. **[Analysis]** **[Setup...]** を選び “Analysis Setup”  を開きます。
2. **[Edit...]** をクリックして, “Parameter Sweep Entry”  を開きます。
3. “w”のチェックを外し, “s”にチェックを入れます。\*97
4. “s”の“Start”を0.05, “Stop”を5, “Step”を0.05に設定します。
5. 下図のようになっていれば, **[OK]**で “Parameter Sweep Entry”  を閉じます。



6. “Analysis Setup”  を **[OK]**で閉じます。


これで周波数 1GHz で壁から線路までの距離  $s$  を 0.05mm から 5mm まで 0.05mm ごとに変化させて解析するように設定できました。

### 解析と結果の表示

1. **[ctrl]** **[S]**で保存しておきます。
2. **[Project]** **[Analyze]** を選ぶと解析が始まります。
3. 解析が終わったら **[Project]** **[View Response]** **[New Graph]**  を選ぶと  が開きます。

### グラフの軸の設定


グラフの横軸を“s”に設定しましょう。“w”と“s”の二つのパラメータがあるので、グラフの横軸が“w”でなく“s”だと明示的に指定しなければなりません。










1. 横軸をパラメータに設定してください。\*98
2. たぶん “Edit Curve Group”  が開くので、縦軸を特性インピーダンスに設定してください。\*99\*100

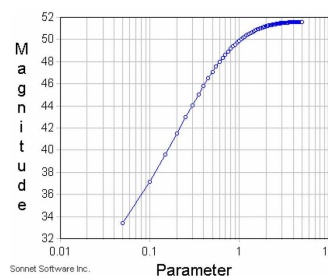
\*97 SonnetLite では同時に変化させるパラメータはひとつですが、SonnetLitePlus では二つのパラメータを同時に変化させることができます。しかし複数のパラメータを変化させると計算負荷が急激に増大しますし、計算結果が増えすぎて意味のある傾向を把握することも難しくなります。

\*98 **[Graph]** **[Plot Over]** **[Parameter]** です。

\*99 27 ページの図 2.23。

\*100 もし開かなかったら、グラフの凡例の上で  右クリックし、

3. さらに “Parameter Combinations”  の **[Select Combinations...]** をクリックして “Select Parameters”   を開いてください。\*101
4. 上部の “Plot Over” を “s”  に設定してください。これでグラフの横軸が“w”から“s”に変わります。
5. **[Unselected Parameter Combinations]** のリストの中から “Freq” が 1.0, “w” が 1.4 のデータをクリックして選んでください。
6. 中央の  をクリックするとデータが下の **[Selected Parameter Combinations]** に移ります。
7. “Select Parameters”   を **[OK]**で閉じてください。
8. “Edit Curve Group”   を **[OK]**で閉じてください。
9. 横軸を対数目盛りに設定し、グリッドも表示してください。\*102
10. 壁までの距離 “s” と特性インピーダンスの関係が描かれます。






マイクロストリップ線路と壁を 0.4mm まで近づけると、特性インピーダンスはおよそ 10% 下がります。


### 2.4.5 作業のまとめ

パラメータスイープを使ったモデルを体験したところで作業の要点をまとめておきましょう。



### 特性インピーダンスの表示

 の “Edit Curve Group”  で “Data Type” を “Port Z0” 

### パラメータの設定

 の **[Tools]** **[Add Dimension Parameter]** **[Add anchor]**, 基準点だけでなく従属点も選択すること。手動で値を設定して期待する動きを確認すること。

### パラメータスイープの解析条件

 の “Analysis Setup”  で “Analysis Control” を **[Parameter Sweep]** に設定する。パラメータの分解能を細かくしすぎないこと。パラメータの変化範囲をむ

**[Add Curve Group...]**

\*101 11 ページの “表示パラメータの選択あたり参照”。

\*102 26 ページの “グラフの横軸を対数目盛りに設定する”。11 ページの “グリッドの表示”

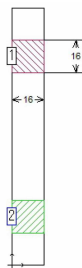


図 2.24 超伝導導体のシートインピーダンスを調べるモデル

やみと広くしないこと。

パラメータスイープの結果表示



Graph

Plot Over

Parameter

## 2.4.6 技術的なトピック

### 周囲の影響

この問題のように基板の裏面がベタグラウンドの回路では、基板厚さの半分より近いものの影響を強く受けます。それゆえ他の回路や部品を基板厚さの二倍程度離して配置すれば安全です。

逆に差動線路は二本の線路を強く結合させる事で周囲の影響を取り除く構造です。差動線路を構成する二本の線路は基板厚さの半分かそれ以下に接近させましょう [5]。

### より複雑なパラメータスイープ

パターン寸法だけでなく基板の誘電率や、解析空間の天井の高さなどほとんどの数値データをパラメータに指定できます。さらにパラメータ同士を関数で関連付けできるので、周波数に対して特性が変化する材料や、導体の微細構造や断面形状の影響など、数式表現さえ可能ならあらゆる要素を表現することができます [7], [8]。

次の例題に取り掛かる前に今開いているウィンドウを閉じておきましょう。

## 2.5 超伝導導体


ここでは超伝導導体の振る舞いを関数に定義し、それをシンプルなモデルで検証します。超伝導導体に興味のない方は 34 ページの “2.6 部品と関数-バイアスティー”。まで進んでください。

### 2.5.1 モデルの概要

図 2.24 は、ここで作るモデルの 2 次元表示です。2 つの正方形の導体が右端で接地されていて左端のポートから導体のインピーダンスを観測します。2 つの正方形の一方は理想導体で他方は超伝導体とし、両者のインピーダンスの差から図 2.25 のグラフを描きます。

### 2.5.2 超伝導導体のモデル

#### “xgeom” の起動と単位の設定

1.  の **File** > **New Geometry** で新しいファイルを開き

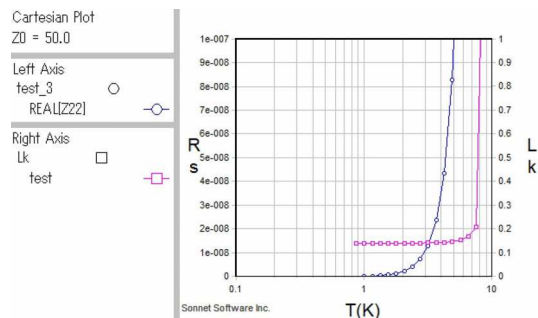


図 2.25 超伝導導体のシートインピーダンスの温度依存性

ます。

2. 単位を図のように設定してください。\*103\*104

Length	microns
Resistance	Ohms
Inductance	nH
Capacitance	nF

### 温度依存シートインピーダンスの定義

超伝導導体のシートインピーダンスの関数


$$R_s = \frac{1}{2} \omega^2 \mu_0^2 \lambda_L^3(T) \sigma_N \left( \frac{T}{T_c} \right)^4 \quad (2.12)$$

$$L_s = \mu_0 \lambda_L(T) \quad (2.13)$$

$$\lambda_L(T) = \frac{\lambda_L(0)}{\sqrt{1 - \left( \frac{T}{T_c} \right)^4}} \quad (2.14)$$

[9] [10]

を入力します。

1.  の **Circuit** - **Variable List...** を選んで “Variable List ダイアログ” を開いてください。
2. **New...** で “Add/Edit Variable ダイアログ” を開きます。
3. “Name” は ‘T’, “Value or Equation” を例えば ‘4.2’ とでもしましょう。
4. **OK** で “Add/Edit Variable ダイアログ” を閉じます。

Name	T
Value or Equation	4.2

同様に下記 ‘T<sub>c</sub>’ から下の変数や関数も設定してください\*105。

\*103 16 ページの “2.3.3 単位の設定”。

\*104 この例題では、この冊子の他の例題と異なる単位を使っています。

\*105 この例では T, T<sub>c</sub>, λ<sub>L</sub>(0), σ<sub>N</sub> に niobium を想定した値を設定しています。

$T = 4.2$   
 $T_c = 8.7$   
 $\Lambda_{L0} = 8.5e-008$   
 $\sigma_n = 11690000$   
 $u_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$   
 $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \text{freq}$   
 $\Lambda_{LT} = \Lambda_{L0} / \sqrt{1 - (T/T_c)^4}$   
 $R_s = \omega^2 \cdot u_0^2 / 2 \cdot \Lambda_{LT}^3 \cdot \sigma_n \cdot (T/T_c)^4$   
 $L_s = u_0 \cdot \Lambda_{LT} \cdot 1e12$   
 $X_s = \omega \cdot L_s \cdot 1e-12$

$R_s$  の式は長いのでリストでは改行していますが、実際は一行に続けて入力してください。また画面の表示も下図の様に一部しか表示されません。

$\Lambda_{L0}$	8.5e-8
$\sigma_n$	1.169e7
$u_0$	$4 \cdot \pi \cdot 1e-7$
$\omega$	$2 \cdot \pi \cdot \text{freq}$
$\Lambda_{LT}$	$\Lambda_{L0} / \sqrt{1 - (T/T_c)^4}$
$R_s$	$\omega^2 \cdot u_0^2 / 2 \cdot \Lambda_{LT}^3 \cdot \sigma_n \cdot (T/T_c)^4$
$L_s$	$u_0 \cdot \Lambda_{LT} \cdot 1e12$
$X_s$	$\omega \cdot L_s \cdot 1e-12$

**OK** で “ Variable List ” を閉じてください。

### 超伝導導体の定義

超伝導導体を定義します。

1. **Circuit** **Metal Types...** を選び “ Metal Types ” を開きます\*106。
2. 右の **Add Planar...** をクリックし、 “ Planar Metal Editor ” を開きます。
3. 各項目を下図のように設定し\*107, “ Planar Metal Editor ” を **OK** で閉じます\*108。

Name	sc
Model	General
Usage: For special cases mo	
Rdc	$R_s$
Rrf	0.0
Xdc	$X_s$
Ls	0.0

4. “ Metal Types ” の右上の “ Default metal for new Planar ” を “ sc ” に変更します。
5. “ Metal Types ” を **OK** で閉じます。

\*106 17 ページの “2.3.6 金属導体の定義”

\*107 “  $R_s$  ”, “  $X_s$  ” で設定できます。

\*108 SonnetProfessional では Xdc でなく Ls を直接設定することもできます。

### ボックスパラメータの設定

1. メニューで **Circuit** **Box...** を選び, “ Box Settings ” を開いてください。
2. “ Sizes ” の中を図のように設定します。

	X	Y
Cell Size	1.0	1.0
Box Size	16.0	128.0
Num. Cells	16	128

“ Top metal ” と “ Bottom metal ” が “ Lossless ” になっていることを確かめます

3. **OK** で閉じます。

### 誘電体層の構造の設定

1. **Circuit** **Dielectric Layers...** を選んでください。
2. 図のように各誘電体層の厚さを設定してください。\*109

Thickness (microns)	Mat. Name
16.0	Unnamed
16.0	Unnamed

3. **OK** で閉じてください。

### パターンの入力

30 ページの図 2.24 を参照しながらパターンとポートを入力してください。2つの正方形はそれぞれ  $16\mu\text{m}$  で\*110, 左右の対辺はそれぞれ境界に接し, 左側の一辺にはポートを置きます\*111。

### 図形と導体モデルの関連付け

“ port1 ” に接続された正方形を理想導体, “ port2 ” に接続された正方形は超伝導導体とします。

1. “ port1 ” に接続された正方形を 右クリックして,
2. サブメニューから **Metal Properties...** を選び,
3. “ Metalization Properties ” の “ Metal ” を “ Lossless ” に変更して

Metal	Lossless
-------	----------

4. **OK** で閉じます。

1. “ port2 ” に接続された正方形を 右クリックして,
2. サブメニューから **Metal Properties...** を選び,

\*109 16 ページの “2.3.5 誘電体層の構造の設定”。

\*110 17 ページの 2.3.9 で説明した方法で描くことができます。

\*111 26 ページの “ポートの入力”

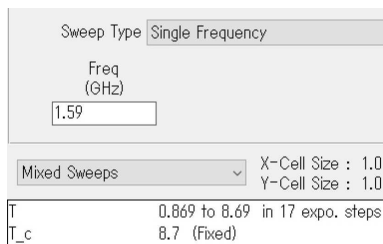
3. “Metalization Properties” の “Metal” を “sc” に変更して
4. で閉じます。

### 2.5.3 解析条件と結果の表示

#### 解析条件の設定

このモデルでは温度 “T” を 0.869(K) から 8.69(K) まで指数関数的に 17 点変化させ、その都度周波数 “1.59GHz” で解析します。

1. を選び “Analysis Setup” を開きます。
2. “Analysis Control” の一行目を “Parameter Sweep” に設定します。
3. をクリックして “Parameter Sweep Entry” を開きます。
4. の “Sweep Type” を “Single Frequency” にします。
5. “Freq” を 1.59 に設定します。
6. 中央の “Linear Sweeps” を “Mixed Sweeps” に変更します。
7. “T” の行をクリックして選び、 をクリックし、 “Edit Parameter Sweep” を開きます。
8. “Sweep Type” を “ Exponential” に
9. “Start” を “0.869”
10. “Stop” を “8.69”<sup>\*112</sup>
11. “#Steps” を “17”
12. で “Edit Parameter Sweep” を閉じます。



13. で “Parameter Sweep Entry” を閉じます。
14. で “Analysis Setup” を閉じます。

#### 解析と結果の表示

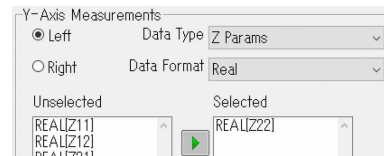
では、解析してみましょう。

1. で保存しておきます。
2. を選ぶと解析が始まります。
3. 解析が終わったら を選ぶと が開きます。

#### 複素シートインピーダンスの表示

まず、横軸を温度 “T”，縦軸を超伝導体のシート抵抗  $\text{Re}(Z_{22})$  の関係のグラフを描きます。

1. グラフの横軸を に設定します。
2. “Edit Curve Group” が開きます。
3. の中で
4. “ Left” をクリック、
5. “Data Type” を “Z Params” に設定、
6. “Data Format” を “Real” に設定します。
7. 中ほどの “Unselected” の中から をダブルクリックしてください
8. は右側の “Selected” リストに移動するはずでず。



これで  $\text{Re}(Z_{22})$  が表示されますが、グラフ横軸のパラメータがまだ設定されていません。

9. 下から 3 行目の をクリックして、 “Select Parameters” を開きます。
10. 一番上の “Plot Over” が “T” になっていることを確かめて<sup>\*113</sup>
11. で “Select Parameters” を閉じます。
12. で “Edit Curve Group” を閉じます。


超伝導体のシートリアクタンス  $\text{Im}(Z_{22})$  と、理想導体の  $\text{Im}(Z_{11})$  も表示させましょう。




1. で “Edit Curve Group” を開きます。
2. の中で
3. “ Right” をクリック、
4. “Data Type” を “Z Params” に設定、
5. “Data Format” を “Imaginary” に設定します。
6. 中ほどの “Unselected” の中から と をダブルクリックしてください
7. と は右側の “Selected” リストに移動するはずでず。これで  $\text{Im}(Z_{11})$ ,  $\text{Im}(Z_{22})$  が表示されますが、グラフ横軸のパラメータがまだ設定されていません。
8. 下から 3 行目の をクリック

<sup>\*112</sup> 臨界温度  $T_c = 8.7$  に設定してはいけません。





<sup>\*113</sup> このモデルでは T だけをスイープしたので “T” になっているはずでず。複数のパラメータを Sweep して解析した場合はここで明示的に指定する必要があります。

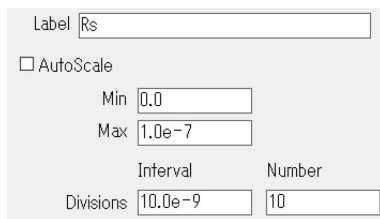




して, “Select Parameters”  を開きます。

9. 一番上の “Plot Over” が “T”  になっていることを確かめて
10. **OK** で “Select Parameters”  を閉じます。
11. **OK** で “Edit Curve Group”  を閉じます。

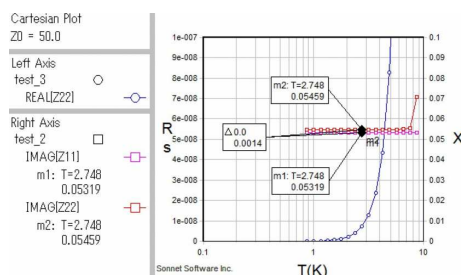
ではグラフの目盛を整えましょう。

1. **Graph** - **Options** で “Graph Options”  を開き,
2. “☒ Show Grid” にチェックを入れて, **OK** で閉じます。
3. **Graph** - **Set Axis...** で “Axis Setup”  を開きます。
4. “X-Axis”  を選び “Label” に T(K) とでも入力します。
5. “☒ Use Log10 Scale” にチェックを入れて **Apply** をクリックします。
6. “Left-Axis”  を選び “Label” に Rs とでも入力します。
7. “☐ Auto Scale” のチェックを外し, “Min” を 0 “Max” を 1E-7 “Number” を 10 とします。
8. **Apply** をクリックします。



9. “right-Axis”  を選び “Label” に X とでも入力します。
10. “☐ Auto Scale” のチェックを外し, “Min” を 0, “Max” を 0.1, “Number” を 10 とします。
11. **OK** で “Graph Options”  を閉じます。






超伝導導体のシートインピーダンス  $Z_{22}$  は臨界温度  $T_c$  に近づくと急激に変化します。特にリアクタンスについては理想導体のシートリアクタンス  $\text{Im}(Z_{11})$  との差から超伝導導体の Kinetic Inductance  $L_k = ((\text{Im}(Z_{22}) - \text{Im}(Z_{11}))/\omega)$  が臨界温度付近で急激に増加します。

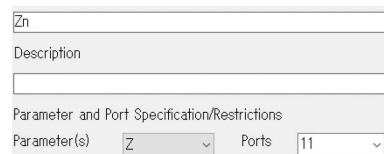







例えばこの図の例では  $T = 2.748(K)$  において  $\omega L_k =$

0.0014 です。この解析では  $\omega = 10^{10}$  なので\*114  $L_k = 0.14\text{pH/ロ}$  と読み取ることができます。次にこの計算を関数に定義して Kinetic Inductance を直接グラフに描いてみます。

### Kinetic Inductance 関数の定義



1. **Equation** - **Manage Equations...** で “Equation Management”  を開きます。
2. **New...** をクリックして “Add equation”  を開きます。
3. “Equation Name” に  $L_k$  とでも入力します。
4. “Arguments” **Add...** をクリックし “Add argument definition”  を開きます。
5. “Name” を例えば Zn とします。
6. “Parameter(s)” を “Z”  に
7. “Ports” を “11”  に設定し







8. **OK** で “Add argument definition”  を閉じます。
9. “Arguments” **Add...** をクリックし “Add argument definition”  を開きます。
10. “Name” を例えば Zs とします。
11. “Parameter(s)” を “Z”  に
12. “Ports” を “22”  に設定し
13. **OK** で “Add argument definition”  を閉じます。
14. “Equation Body” に

$$(\text{imag}(Z_s) - \text{imag}(Z_n)) / 2 / \text{PI} / \text{FREQ} * 1e12$$


と入力します。

15. **OK** で “Add equation”  を閉じます。
16. **Close** で “Equation Management”  を閉じます。

### Kinetic Inductance 関数の表示

1. **Equation** - **Add Equation Curve** を選び, “Add Equation Curve”  を開きます。
2. **Equation** の左上で “ $L_k$ ”  を選びます。
3. 左下の “Axis” を “ Right” に設定します。
4. **OK** で “Add Equation Curve”  を閉じます。

目盛を整えます。

1. **Graph** - **Set Axis...** で “Axis Setup”  を開き

\*114 周波数 1.59GHz なので, 角周波数  $\omega = 2\pi f = 10^{10}$  です。

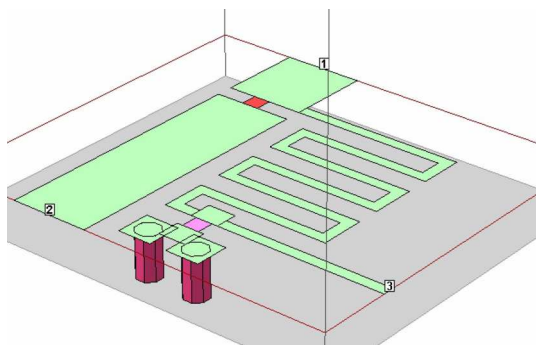


図 2.26 バイアスティー回路の概観

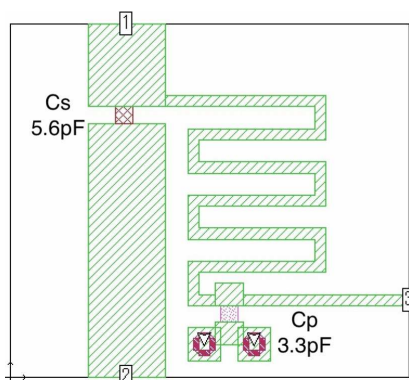


図 2.27 バイアスティー回路のモデル

ます。

2. “right-Axis [タブ]”を選び“Label”に Lk とでも入力します。
3. “□ Auto Scale”のチェックを外し，“Min”を 0，“Max”を 1，“Number”を 10 とします。
4. [OK]で“Graph Options [ダイアログ]”を閉じます。

30 ページの図 2.25 のグラフが描かれます。

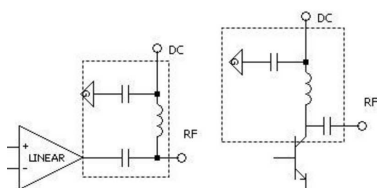
これで超伝導導体のモデルができたので、次の例題ではより不雑なパターンを入力してみます。

## 2.6 部品と関数-バイアスティー

バイアスティー (高周波回路へ直流バイアスを供給する回路) を例に関数パラメータとチップ部品の取り扱いを勉強します。

### 2.6.1 問題の概要

バイアスティー回路は、高周波回路に直流電流を重畳したり、分離したりする回路です。



ここで作るモデルの概観を図 2.26 に掲げます。図 2.27 は、同じモデルの 2 次元表示です。このモデルではチップ部品も使用します。

### 2.6.2 入力準備

モデルのパターンを入力する前に、環境を設定します。ここでは既存のモデルを参照することで設定を簡単に済ませます。

#### “xgeom”の起動と単位の設定

1. [xgeom] の [File] [New Geometry] で新しいファイルを開きます。
2. 長さの単位が“mm [プルダウン]”になっていることを確認してください。<sup>\*115</sup>
3. [Circuit] [Load Technology...] を選び、25 ページの“2.4 マイクロストリップ線路”のモデルを指定してください。

これで、誘電体の層構造、金属導体のパラメータが“2.4 マイクロストリップ線路”のモデルと同じに設定されます。

#### デフォルト導体の指定

デフォルトで使用する導体を“Cu18u”に指定しておきます。<sup>\*116</sup>

1. [Circuit] [Metal Types...] で“Metal Types [ダイアログ]”を開きます。
2. 右上の“Default metal for new Planar”を“Cu18u [プルダウン]”に変更します。
3. “Metal Types [ダイアログ]”を [OK] で閉じます。

#### ボックスパラメータの設定

1. メニューで [Circuit] [Box...] を選び，“Box Settings [ダイアログ]”を開いてください。
2. “Sizes [frame]”の中を図のように設定します。

	X	Y	
Cell Size	0.1	0.1	<input checked="" type="checkbox"/> Lock
Box Size	7.2	6.4	<input type="checkbox"/> Lock
Num. Cells	72	64	<input type="checkbox"/> Lock

3. “Top Metal”が“Lossless [プルダウン]”，“Bottom Metal”が“Cu18u [プルダウン]”になっていることを確かめます。
4. [OK] で閉じます。

### 2.6.3 パターンの入力

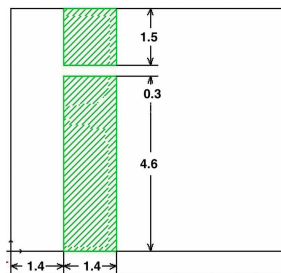
寸法図を参照しながらパターンを入力してください。大部分の図形は 17 ページの 2.3.9 で説明した方法で描くことができます。ここでは他の技法も紹介しながら説明します。

<sup>\*115</sup> 16 ページの“2.3.3 単位の設定”。

<sup>\*116</sup> 17 ページの“金属導体の定義”。

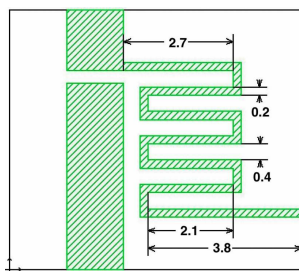
## 50Ω 線路

図のようにマイクロストリップ線路を描いてください。<sup>\*117</sup>



## ミアンダ線路の入力

図のようにミアンダ線路を描いてください。



1. **Tools** **Add Metalization** **Meander** を選ぶと
2. “Meander Attributes”<sup>ダイアログ</sup> が開きます。図のようにパラメータを設定し **OK** で閉じてください。<sup>\*118</sup>

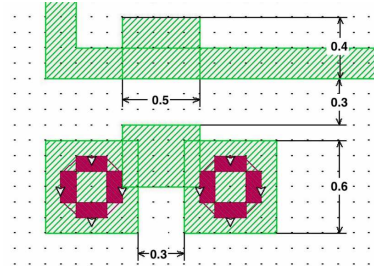
Num. Legs	7	Last Length	3.8
Conductor Width	0.2	<input type="checkbox"/> Round	
Conductor Spacing	0.4		
Length	2.1		
First Length	2.7		

3. 画面にミアンダ線路が現れるので、適切な位置に配置してください。
4. 不適切な位置に配置してしまったときは、マウスでドラッグして修正できます。
5. メニューから **File** **Save As...** を選んでこのモデルに名前をつけて保存しておきましょう。

<sup>\*117</sup> 線路同士の間隔や周囲との余裕は、取れて不要な結合が生じるように、“2.4 マイクロストリップ線路”の結果よりも狭くしてあります。Sonnet の解析結果にはその影響が完全に反映されません。

<sup>\*118</sup> このミアンダ線路は折り返しの間隔が狭すぎて、互いに不要な結合を起こしています。電磁界解析結果にはその影響が完全に反映されます。

## 部品パッドの入力



図のように部品パッドとなる図形を入力してください。部品パッドは単純な長方形の組み合わせで入力できます。<sup>\*119</sup> via は次で説明します。

## via の入力

1. 現在の導体層が の右上に ‘0’ と表示されていることを確かめてください。
2. **Tool** **Add Via** **Down To Ground** を選んでください。<sup>\*120</sup>
3. **Tool** **Add Via** **Circular...** を選びます。<sup>\*121</sup> <sup>\*122</sup>
4. “Circle Attributes”<sup>ダイアログ</sup> が現れます。図のようにパラメータを入力して **OK** で閉じてください。

Diameter	0.4	
Num. Sides	16	
<input checked="" type="checkbox"/> Center Justified		

5. via が現れるので、適切な位置に配置してください。
6. 下向きのシンボル ▽ が表示されて、この位置から下の導体層に向かって via が配置されたことが表示されます。<sup>\*123</sup>
7. 不適切な位置に配置してしまったときは、マウスでドラッグして修正できます。
8. メニューから **File** **Save** を選んで保存しておきます。

<sup>\*119</sup> 図形が重なりあったり、切断されていても Sonnet の解析上はほとんど影響ありませんが、20 ページの“図形の一体化”の方法で一体化することもできます。

<sup>\*120</sup> これは、これから配置する via の方向を示しています。現在操作している導体層から上に一層 (**Up One Level**)、下に一層 (**Down One Level**) または一番下のグランドまで貫通 (**Down To Ground**) の三つから選択できます。

<sup>\*121</sup> ここでは円形の via **Circular...** を使いましたが、円形 via は解析負荷が大きいので、via そのものを厳密に解析したい場合を除いて **Edge Via** を推奨します。

<sup>\*122</sup> via の方向について警告する 20 ページの図 2.19 の “Via Directions Notice”<sup>ダイアログ</sup> が開いたら、**OK** で閉じてください。

<sup>\*123</sup> この時表示される via は、円形 via を選択しても、四角い via になります。円形 via を円形のまま解析するためには Cell Size をもっともっと小さくしなくてはなりません。それは計算負荷を非常に大きくしてしまいます。

## ポートの入力

34 ページの図 2.27 を参照してポートを配置してください。<sup>\*124</sup>

ポートは図形の辺の中央に配置されます。意図しない位置にポートが配置された場合は、間違ったポートをクリックして選択し、**[DEL]**キーで削除してやり直してください。特にポート **[3]**は間違えやすいです。ポートを配置する前に表示を拡大しておくとう間違いが起こりにくいです。

### 2.6.4 部品のマウント

抵抗を電磁界解析モデルに含めるには、必要な抵抗値に合わせて、抵抗率の大きな金属、つまりシート抵抗を定義し、抵抗の形状を描きます。同様にチップインダクタやチップキャパシタの場合は、必要なリアクタンス値に合わせて、リアクタンスを持った金属、つまりシートリアクタンスを定義し、その金属でチップ部品を描きます。

ここではキャパシタンスが 5.6pF で、外形が 0.6 × 0.3mm のチップキャパシタを例にその方法を説明します。

#### シートリアクタンス値を計算する関数の定義

最初に、キャパシタの値、寸法、そしてそれに対応したシートリアクタンス  $X_s$  を計算する関数を定義します。

$$X_s = -\frac{1}{2\pi \cdot \text{freq} \cdot C_s \times 10^{-12}} \frac{W}{L} (\Omega/\square)$$

$\text{freq}$  の単位は Hz,  $C_s$  の単位は pF なので係数を乗じてあります。  $W/L$  は比率しか使わないので単位を気にする必要はありません。<sup>\*125</sup>次にこの  $X_s$  を金属導体に関連付けます。

1. **[Circuit]** **[Variable List...]** を選びます。
2. “Variable List” <sup>ダイアログ</sup> が開きます。
3. **[New...]** をクリックしてください。
4. “Add/Edit Variable” <sup>ダイアログ</sup> が開きます。
5. “Name” は、‘Cs’ とでもしましょう。<sup>\*126</sup>
6. “Value or Equation” に 5.6 と入力してください。
7. “Units” <sup>プルダウン</sup> を ‘pF’, “Description” に ‘Series Capacitance’ とでも入力しておきましょう。<sup>\*127</sup>

8. **[OK]** で “Add/Edit Variable” <sup>ダイアログ</sup> を閉じます。
9. “Variable List” <sup>ダイアログ</sup> で再び **[New...]** をクリックして “Add/Edit Variable” <sup>ダイアログ</sup> を開いてください。
10. “Name” は ‘W’, “Value or Equation” を 0.3 と設定してください。<sup>\*128</sup>
11. **[OK]** で “Add/Edit Variable” <sup>ダイアログ</sup> を閉じます。
12. “Variable List” <sup>ダイアログ</sup> で再び **[New...]** をクリックして “Add/Edit Variable” <sup>ダイアログ</sup> を開いてください。
13. “Name” は ‘L’, “Value or Equation” を 0.3 と設定してください。<sup>\*129</sup>
14. **[OK]** で “Add/Edit Variable” <sup>ダイアログ</sup> を閉じます。
15. “Variable List” <sup>ダイアログ</sup> で再び **[New...]** をクリックして “Add/Edit Variable” <sup>ダイアログ</sup> を開いてください。
16. “Name” は、‘XC<sub>s</sub>’ としましょう。
17. “Value or Equation” に

$$-1/(2\pi \cdot \text{freq} \cdot C_s \cdot 1e-12) \cdot W/L$$

と入力してください。<sup>\*130</sup>

18. **[OK]** で “Add/Edit Variable” <sup>ダイアログ</sup> を閉じます。
19. “Variable List” <sup>ダイアログ</sup> には 4 つの変数が定義されているはずです。 **[OK]** で “Variable List” <sup>ダイアログ</sup> を閉じてください。

20. **[ctrl]** **[S]** で保存しておきます。

これで、シートリアクタンス  $X_s$  を計算する関数が定義できました。次にこの  $X_s$  を導体に関連付けます。

#### シートリアクタンス導体の定義

1. **[Circuit]** **[Metal Types...]** を選びます。
2. “Metal Types” <sup>ダイアログ</sup> が開きます。
3. **[Add Planar...]** で “Planar Metal Editor” <sup>ダイアログ</sup> を開いてください。

<sup>\*124</sup> 26 ページの “ポートの入力”。

<sup>\*125</sup>  $W/L$  は、部品の外形寸法でなく、パッド電極に載っていない部分の寸法です。例えば 0.6 × 0.3mm のチップ部品であれば  $W = 0.3\text{mm}$ ,  $L = 0.3\text{mm}$ ,  $W/L = 1$  と考えて差し支えありません。

<sup>\*126</sup> この項目は変数名です。別の関数の引数として使います。大文字小文字も区別されます。



<sup>\*127</sup> “Units” <sup>プルダウン</sup> と “Description” は単なるメモです。解析には影響しません。

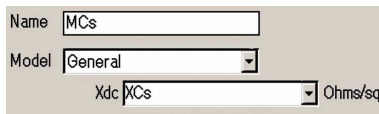
<sup>\*128</sup> “Units” <sup>プルダウン</sup> は ‘mm’, “Description” は ‘width’ とでも入力しておきましょう。これらは単なるメモです。解析には影響しません。


<sup>\*129</sup> この ‘L’ は、部品からパッド電極を取り除いた長さを意味しています。

<sup>\*130</sup> もし設定したいなら, “Units” <sup>プルダウン</sup> は ‘Ohms/sq’, “Description” は ‘Sheet Reactance’, とでも入力しておきましょう。



4. “Name”は‘MCs’とでもしましょう。
5. “Model”は“General”を選んでください。
6. “Xdc”は“XCs”を選んでください。

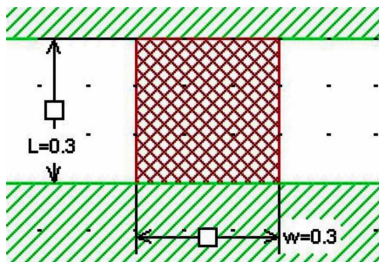


7. “Planar Metal Editor”を“OK”で閉じます。
8. “Metal Types”を“OK”で閉じます。

これでキャパシタと等価なシートリアクタンス導体‘MCs’が定義できました。このシートリアクタンス導体を使ってキャパシタCsを描きましょう。

#### キャパシタのマウント

1. 図のように5.6pFのキャパシタの位置に長方形を描いてください。寸法は上で定義した変数‘W’と‘L’と一致させてください。この例では0.3×0.3です。



2. 今描いた長方形の上で右クリックし“Metal Properties...”を選んでください。
3. “Metalization Properties”が開きます。
4. “Metal”を“MCs”に設定してください。
5. “OK”で“Metalization Properties”を閉じます。

この長方形はキャパシタと等価なリアクタンスを持ちしかも Sonnet の解析上は金属として扱われます。

もう一つのキャパシタについても上記の例と同様の手順で、‘Cp’, ‘XCp’, ‘MCp’を定義して、キャパシタと等価な導体片を描画してください。






$$C_p = 3.3$$


$$X_{Cp} = -1/(2 \cdot \pi \cdot \text{freq} \cdot C_p \cdot 1e-12) \cdot W/L$$

MCp: Planar General: Rdc:0 Rrf:0 Xdc:XCp Ls:0

#### 2.6.5 解析条件と結果の表示

##### 解析条件の設定





1. “Analysis”“Setup...”を選び“Analysis Setup”を開きます。
2. “Analysis Control”の一行目を“Adaptive Sweep (ABS)”に設定します。
3. “Start”を0.01, “Stop”を10に設定します。

4. “Analysis Setup”を“OK”で閉じます。

周波数を0.01GHzから10GHzまで解析するように設定できました。



##### 解析と結果の表示

では、解析してみましょう。

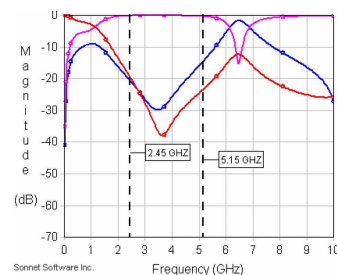
1. で保存しておきます。
2. を選ぶと解析が始まります。
3. 解析が終わったらを選ぶとが開きます。

##### 全パラメータの表示

このモデルは3つのポートを持っているので、dB|S<sub>11</sub>|だけでなくdB|S<sub>12</sub>|, dB|S<sub>13</sub>|も表示させましょう。

1. グラフの凡例の上で右クリックして“Edit Curve Group...”を選んでください。
2. “Edit Curve Group”が開きます。
3. 中ほどの“Unselected”リストの中でDB[S12]をダブルクリックしてください。
4. DB[S12]は右側の“Selected”リストに移動するはずですが。
5. 同様に“Unselected”リストの中でDB[S13]をダブルクリックしてください。
6. DB[S13]は右側の“Selected”のリストに移動するはずですが。
7. “OK”で閉じてください。

これで、dB|S<sub>11</sub>|, dB|S<sub>12</sub>|, dB|S<sub>13</sub>|が三つとも表示されるはずですが。



この回路は2.45 ~ 5.15GHzで

- dB|S<sub>11</sub>| = -∞, 整合している。
- dB|S<sub>12</sub>| = 0, 通過損失が無い。
- dB|S<sub>13</sub>| = -∞, バイアス端子に漏れない。

となることを期待して設計してあります。全てのポートが50Ωで終端された状態のグラフを観察するとこの回路は2.45 ~ 5.15GHzで

- dB|S<sub>11</sub>| < -15dB
- dB|S<sub>12</sub>| ≈ 0dB,



- $\text{dB}|S_{13}| < -20\text{dB}$

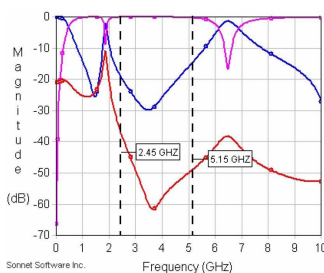
ですから、ほぼ設計意図にあっています。しかし設計目標は、ポート 3(バイアス端子)に何が接続されようとも保たねばなりません。<sup>\*131</sup> ポート 3 だけを別の条件にしてみましょう。

#### 終端インピーダンスの変更

1. **Graph** **Terminations...** を選びます。
2. “Termination Setup ダイアログ” が開きます。
3. 左上の “☒ Multiport” にチェックを入れてください。
4. “Resistance(Ohms)” の 3 行目の 50.0 を例えば 0.1 にします。

Multiport			
	Resistance (Ohms)	Reactance (Ohms)	Inductance (nH)
1	50.0	0.0	0.0
2	50.0	0.0	0.0
3	0.1	0.0	0.0

5. **OK** で閉じてください。
6. 図のグラフが表示されます。



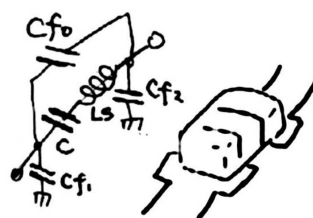
これが、ポート 3 だけを  $0.1\Omega$  で終端した場合のグラフです。2.45 ~ 5.15GHz で

- $\text{dB}|S_{11}| < -15\text{dB}$
- $\text{dB}|S_{12}| \approx 0\text{dB}$ ,
- $\text{dB}|S_{13}| < -35\text{dB}$  です。

です。これならよさそうです。同様にポート 3 だけを  $1\text{m}\Omega$  や  $1\text{k}\Omega$  で終端した場合も試してください。

#### 2.6.6 部品のモデルについて

##### ■部品ライブラリと回路シミュレータ



上図はチップキャパシタの等価回路で、実装状態に依存する多くの寄生素子を含んでいます。

一般に流通している部品ライブラリの多くは“ある特定の測定条件”での測定結果を Touchstone 形式のファイル [1] に記録したもので、これらの寄生素子の影響は含まれていますし、回路シミュレータでの利用に非常に便利です。しかし、基板の厚さや材質、パッド寸法や形状による寄生素子の変化は完全には無視されます。

一部の部品ライブラリ製品では上記の寄生素子の効果を分離してある種の近似式で表現しているものもあります。この場合でも部品が他の部品や導体パターンと接近した場合の効果は無視されます。

どちらの形式の部品ライブラリも計算負荷は軽く、取り扱いも容易で、多数の部品を含む回路を回路シミュレータで解析することができます。

**■Sonnet での部品の扱い** SonnetProfessional 版では、**Tools** **Add Component** **Datafile** というメニューで上記の部品ライブラリを使う事ができます。しかも電磁界解析結果との厳密な融合により、基板の厚さや材質、パッド寸法や部品同士の結合によって寄生素子が増える効果も反映した高い精度の結果を得ることができます。しかし設定項目は非常に多く、部品ライブラリの“ある特定の測定条件<sup>\*132</sup>”を厳密に理解して設定する必要があり、取り扱いは容易ではありません。さらに解析負荷も重く、回路シミュレータほど多くの部品を使うことはできません

SonnetLite/LitePlus には、**Tools** **Add Component** **Ideal** を使った部品の入力方法があります。これは上記の SonnetProfessional の機能のサブセットで、市販の部品ライブラリは使用できず、理想的な L,C,R だけしか使う事ができません。また、モデルにたった 3 つしか部品を使う事ができません。しかも SonnetProfessional 版と同じく厳密な設定が求められます。

この例題で紹介した方法は、上記のどれとも異なる方法です。部品ライブラリを使わず、部品の物理的な形状にもとづいて電磁界解析しているので、実装時のあらゆる構造の効果を反映した結果が得られます。導体にリアクタンスを持たせる設定は難しいかもしれませんが、解析負荷は軽く、使用部品数の制限はありません。

<sup>\*131</sup> ポート 3 には直流回路や電源が接続されます。一般に直流回路や機器では高周波に対する特性は全く管理されておらず、したがってポート 3 の終端条件は  $50\Omega$  からかけ離れた極端な値になる可能性があります。たとえその場合でもバイアスティー回路がポート 3 に高周波信号を漏らせば不要放射や発振の要因となります。

<sup>\*132</sup> 往々にしてこの測定条件は公開されていません。

## 第 3 章

# これから

ここまで Sonnet の操作を説明してきました。さらに電磁界シミュレータを使いこなすには、コンピュータや高周波や電磁気の基礎、そして解析しようとする問題について知識も必要でしょう。そこでこの章ではそれらについて学んでいく上で誤解されたり、見落とされ易いトピックを紹介します [11]。

### 3.1 数値計算についての誤解

シミュレータについて誤解されがちなトピックを二点紹介します [12][13]。

#### 3.1.1 細かく計算しても精度は上がらない

■**簡単な例** 図 3.1 は  $\int_{-\pi}^{+\pi} \cos^2(x)dx$  の計算した結果で、\*<sup>1</sup> 縦軸は真値  $\pi$  に対する誤差率、横軸は積分区間を分割した要素数  $Nd$  です。\*<sup>2</sup> 細かく分割すればするほど誤差が増える様子が明確です。

■**有限な精度の計算機** 有限な精度の計算機では、

誤差が最小になる最適な分割数  $Nd_{opt}$ 、あるいは最適な刻み幅  $h_{opt}$  があります。

■**高周波電磁界シミュレータ** 高周波電磁界シミュレータの最適刻み幅  $h_{opt}$  は機械寸法と波長との比、つまり周波数に依存します。極端に低い周波数では刻み幅が波長

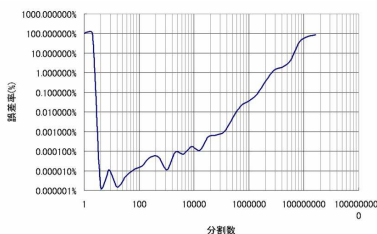


図 3.1  $\int_{-\pi}^{+\pi} \cos^2(x)dx$  の分割数と誤差率の関係  
細かく分割すると誤差が増える

\*<sup>1</sup> アルゴリズムは台形則、コンパイラは g90

\*<sup>2</sup> 数値計算の教科書では刻み幅  $h = (+\pi - (-\pi))/Nd$  で表現している場合も多いと思います。

に対して細かすぎて誤差が増大する危険があります。\*<sup>3</sup>

#### 3.1.2 コンピュータが進歩しても解析規模はほとんど増えない

■**シミュレータの計算量** 多くのシミュレータは解析空間中に  $N$  個\*<sup>4</sup> の未知数を置いて

- $N$  元連立方程式をたて、
- $N$  元連立方程式を解く

ことを繰り返します。 $N$  元連立方程式を解くためには  $N^2$  に比例したメモリと  $N^3$  に比例した計算時間が必要ながよく知られています。

■**コンピュータの進歩と解析規模** 計算速度が 100 倍\*<sup>5</sup> になれば同じ時間で解けるモデルの未知数の数  $N$  を  $\sqrt[3]{100} = 4.6$  倍にできます。未知数が三次元に配置されているとすると解析空間の一辺あたりの未知数の数を  $\sqrt[3]{4.6} = 1.67$  倍にできるわけです。計算速度が 100 倍になってもたった 1.67 倍です。意外なほど小さいですね。\*<sup>6</sup>

■**シミュレータはコンピュータより早く進歩している** Sonnet の解析速度は、2010 年までの 10 年間で少なくとも 240 倍になりました [14]。これは新しい解析手法やプログラミングコードの最適化とコンピュータの進歩の相乗効果です。

■**適したシミュレータとモデルが大切** このことは同時に、コンピュータの進歩より解析手法の選択や改良の重要性を示しています。問題に適さない解析手法のシミュレータを使うと膨大なメモリと計算時間を消費しながら大きな誤差を生じたり、重要なパラメータを無視した結果を得ることになります。

どうやってそれを見抜けば良いのでしょうか？

\*<sup>3</sup> Sonnet は刻み幅に対する誤差の変化が緩やかなので、13MHz の RFID でも使用することができます。

\*<sup>4</sup> 同じ精度を得るために必要な未知数の数  $N$  は計算手法によって違うので、異なる計算手法のシミュレータで未知数の数  $N$  とか要素数を単純に比較することはできません。

\*<sup>5</sup> Moore の法則によれば、たかが 10 年かそこらで達成されます。

\*<sup>6</sup> Sonnet の解析手法では 2 次元平面にだけ未知数を配置して 3 次元空間の電磁界を再現するのでコンピュータの性能を 100 倍にすると一辺あたりの未知数は  $\sqrt[3]{4.6} = 2.15$  倍にできます。少しマシです。

## 3.2 高周波の基礎の基礎 [5]

### 3.2.1 波長によるシミュレータの選択

次は“高周波”と呼ばれる電気回路をその大きさと波長の関係で分類した表です [15].

回路分類	一般的な呼名	波長との関係
第一分類	集中定数系	$x, y, z \ll \lambda$
第二分類	分布定数系	$x, y \ll \lambda, z \sim \lambda$
第三分類	平面回路系	$x \ll \lambda, y, z \sim \lambda$
第四分類	立体回路系	$x, y, z \sim \lambda$

それぞれの分類ごとに理論体系と、その概念があります。

回路分類	理論体系
第一分類	オームの法則, キルヒホッフの法則
第二分類	電信方程式, 伝送線路理論
第三分類	Maxwell の方程式
第四分類	Maxwell の方程式

そしてそれぞれの理論体系に基づいたシミュレータがあります。たとえば Sonnet は Maxwell の方程式を第三分類の問題に適した解析手法で解きます [16].

回路分類	代表的なシミュレータ
第一分類	SPICE[17] [18]
第二分類	高周波回路シミュレータ
第三分類	Sonnet
第四分類	有限要素法, FDTD 法 [19] など

### 3.2.2 特性インピーダンスが定義できる場合

たとえば“特性インピーダンス”は第二分類の伝送線路理論の概念で,  $x, y \ll \lambda, z \sim \lambda$  の回路に対して定義できます。ところが第二分類の多くのプログラム [20] や測定器は, その限界を考慮せず第三分類の回路に対しても“特性インピーダンス”を表示します。一方, 第三分類, 第四分類の電磁界シミュレータは, “特性インピーダンス”の計算に独自の定義を使ったり [21][22], 定義自体が使用者が指示しなければならなかったりします。

### 3.2.3 導体損失と誘電体損失の解析手法

第二分類, 第三分類では微細な導体パターンを使うことが多く導体損失が重要な場合が多いです。導体損失の再現には導体中の電流密度分布が重要です。第三分類の電磁界シミュレータは電流を未知数として解析するので導体損失の解析に適しています。とはいえ導体損失の解析精度はまだ不十分で, 損失の評価には測定との併用が必要です。また, 公表されている導体の導電率は高周波で信頼出来るとは限りません [3][4][23][24]。

一方, 第四分類の回路構造では誘電体損失が重要な場合が多いです。第四分類の電磁界シミュレータは電界を

未知数とし, 誘電体中の損失の解析に適しています。また高周波用の磁性体, 誘電体材料のパラメータは極めて精密に測定されたデータが公表されていることが多いです。

### 3.2.4 波長と不要放射とアンテナとノイズの関係

図 3.2 には, 半径  $a = 3(\text{mm})$  のリング状導体に  $3(\text{mA})$  の電流が流れた場合の  $3\text{m}$  離れた点での電界強度の計算値を示しています\*7。

いわゆる放射の強さは, 電流ループの大きさと波長の比 ( $a/\lambda$ ) に強く依存します。

■  $a/\lambda < 1$  の領域 放射レベルは小さく, しかも電流ループを小さくすると放射エネルギーの大きさも単調かつ急激に減少します。放射方向は電流ループの大きさにかかわらず一定です。シールドだのリターンパスだの直感的なノイズ対策が効果的に働きます。

■  $a/\lambda \approx 1$  付近 放射レベルは大きく, 電流ループの大きさや形で放射方向は変化します。アンテナとして効果的に使うことができますが不要放射を減らすことは難しいです。

■  $a/\lambda > 1$  の領域 放射レベルは大きいですが, 放射方向は複雑且つ急激に変化します。この領域でのノイズや不要放射対策はほとんど不可能でしょう。適切に設計すれば鋭い指向性のアンテナを実現できます。

## 3.3 より詳しい資料

より詳しく知るための資料をまとめました。

### 3.3.1 ソネット技研で用意している資料

ほとんどの方が一度は回路論や電磁気学を勉強なさって, そして忘れてしまっているでしょう。それらの知識なしにシミュレータや測定器を闇雲に触っても時間を浪

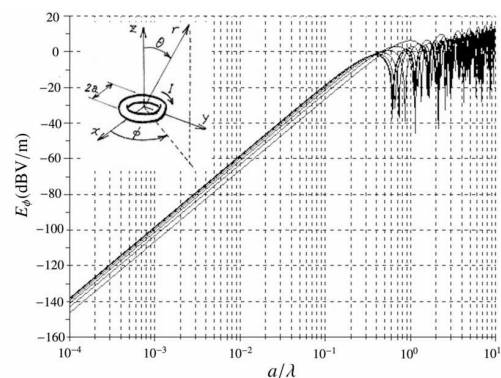


図 3.2 電流ループの大きさ  $a/\lambda$  と放射電界の関係  $a/\lambda$  により概ね 3 つの領域に分かれる。

\*7 文献 [25]  $E_\phi = \frac{60\pi C_\lambda}{r} I J_1(C_\lambda \sin(\theta))$ , ここに  $C_\lambda = \frac{2\pi a}{\lambda}$ ,  $r$  は観測点までの距離,  $I$  はループ電流,  $J_1$  は一種ベッセル関数,  $\theta$  は観測点の方向.  $E_\phi$  は遠方界のみで,  $C_\lambda \geq 1$  の領域でも  $I$  は一様と仮定している [25].

費することになります。次の資料はその思い出していただきたい最低限の基礎をなるべく実務に即して説明してあります。

■波長による高周波の分類とそれぞれの性質 Sonnet を使う全ての人に最低限知っておいていただきたい高周波やシミュレーションの知識をまとめてあります [5].

■Sonnet による磁気トランスの解析 主に 13MHz RFID やワイヤレス給電に Sonnet をお使いの方に、インダクタンスや結合係数を抽出する手法をまとめてあります [26].

■Sonnet によるアンテナ解析のガイドライン 主に UHF から 5GHz 程度のアンテナ設計に Sonnet をお使いの方に、Sonnet でアンテナを解析する場合の詳しい注意点と、誤解されやすいトピックを紹介してあります [2].

### 3.3.2 SPICE に関して

最近では高周波分野だけで仕事が完結する事はほとんどないでしょう。多くの方が高周波用シミュレータと SPICE 系のシミュレータを併用なさるはずです。文献 [27] は無料の LT-spice について深く解説した本です。この内容は、おそらく市販の全ての SPICE 系シミュレータを使用するうえで有益です。

### 3.3.3 アンテナについて

文献 [28] はアンテナの測定だけでなく、設計や高周波の実務まで近代的なトピックを扱った本です。

文献 [25] は本格的にアンテナの仕事をする方が読むべき古典です。英文ですが具体的なアンテナに関して解りやすい数式や図表が豊富です。

### 3.3.4 数値計算について

シミュレータとまでは言わなくても、技術者であれば測定データやシミュレーション結果を加工したり、整理するために自分でプログラムを書くことがあるでしょう。文献 [13] はそのような技術者や研究者が書く数値計算プログラムで陥りやすいミスを解説してあります。

高周波電磁界シミュレータの中でも FDTD 法は解りやすくプログラムの自作も可能な解析手法です。文献 [19] では自分でシミュレータを作れるレベルまで解説してあります。

## 3.4 Webでの情報提供

有限会社ソネット技研は、米国ソネット社の電磁界シミュレータ Sonnet を日本国内で販売しサポートする代理店です。多くの方に Sonnet をご利用いただけるようお願いの多いご質問についてその背景も含めて Web にまとめてあります。

特にお問合せの多いトピックは、PDF ファイルにまとめてあります。 <https://www.Sonnet.Site/support/tips/>

更新情報は facebook にあります。 <https://www.facebook.com/Sonnet.Japan>

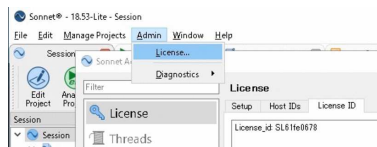


図 3.3 LicenseID の表示は “Session [タブ]” - [Admin] - [License...] , “License ID [タブ]”

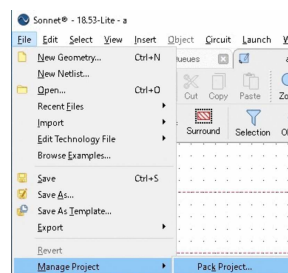


図 3.4 zon ファイルの生成は “Edit [タブ]” - [File] - [Manage Project] - [Packed Project...]



図 3.5 sondiag ファイルの生成は “Session [タブ]” - [Admin] - [Diagnostics] - [Trouble Report]

[facebook.com/Sonnet.Japan](https://www.facebook.com/Sonnet.Japan)

米国ソネット社のサイトにも多くの資料や質問集、問い合わせ窓口があります。 <https://www.sonnetsoftware.com/support/>

## 3.5 お問い合わせの際のお願い

**LicenseID を御知らせください** LicenseID から、お客様の SonnetLite が未登録なのか、あるいは製品版なのかを判別します。(図 3.3)

**zon ファイルを送ってください** zon ファイルにはモデルと解析条件、結果が含まれているので、お客様の状況と問題点をこちらで再現できます。(図 3.4)

**sondiag ファイルを送ってください** sondiag ファイルには、お客様の PC の環境や Sonnet のバージョンやライセンスの状態を調べるテストプログラムの結果が記録されています。プログラムの異常終了やライセンスが得られない等の原因をこのファイルから調べます。(図 3.5)

**リアルタイムに会話できる手段をお知らせください** お客様の状況目的背景などをこちらで把握できない場合は、お役に立てる情報を差し上げることは難しいのですが、メールのやりとりだけでそらを把握できることは稀です。skype, zoom, teams などのメッセージでなく画面共有しながら会話できる連絡手段

をお知らせください。

連絡先

電話 03-6811-7153

Web <https://www.facebook.com/Sonnet.Japan>

E-mail [info@Sonnet.Site](mailto:info@Sonnet.Site)



# 参考文献

- [1] , “Touchstone(r) file format specification version 2.0,” Apr. 24 2009. [https://ibis.org/touchstone\\_ver2.0/touchstone\\_ver2\\_0.pdf](https://ibis.org/touchstone_ver2.0/touchstone_ver2_0.pdf)
- [2] 石飛徳昌, “Sonnet によるアンテナ解析のガイドライン,” 2012. <http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/antenna.pdf>
- [3] 石飛徳昌, “単一の製法で製作した試料による基板材料の誘電体損失と導体損失の測定 (マイクロ波シミュレータ, マイクロ波シミュレータ, ミリ波技術, 一般),” 電子情報通信学会技術研究報告. MW, マイクロ波, vol.107, no.208, pp.35–38, 2007-08-29. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110006421158/>
- [4] 吉富了平, 小林禧夫, 馬 哲旺, “C-2-122 ar1000 基板を用いたマイクロストリップ線路の伝搬定数の実験的検討 (c-2. マイクロ波 c(マイクロ波・ミリ波応用装置), 一般セッション),” 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, vol.2009, no.1, p.150, 2009-09-01.
- [5] 石飛徳昌, “波長による高周波の分類とそれぞれの性質,” 2010. <http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/rfbasics.pdf>
- [6] 石飛徳昌, “小型アンテナの帯域幅から放射効率を抽出する手法,” 2015. <http://www.SonnetSoftware.co.jp/product/seminar/ceatec2015/ceatec2015.pdf>
- [7] 石飛徳昌, “単板コンデンサの誘電体の複素比誘電率の周波数依存性の抽出,” 2012. [http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/freq\\_dep\\_dielectric/freq\\_dep\\_dielectric.pdf](http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/freq_dep_dielectric/freq_dep_dielectric.pdf)
- [8] 石飛徳昌, “Sonnet における周波数依存磁性体のモデリングの例,” 2011. [http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/freq\\_dep\\_dielectric/magmat.pdf](http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/freq_dep_dielectric/magmat.pdf)
- [9] R. Markus J, Development of lumped element kinetic inductance detectors for mm-wave astronomy at the IRAM 30m telescope, Karlsruher Institut for Technologie Scientific Publishing, 2013.
- [10] 大沼俊朗, 超伝導電磁気学, コロナ社, 1995.
- [11] 石飛徳昌, “Th1b-2 ゼロから始める電磁界シミュレーション-高周波回路の動作を理解する 4 つのステップ-,” 電子情報通信学会 MWE2016 ダイジェスト, vol.mwe2016, no.1, pp.TH1B–2, 2016-11-30. <http://apmc-mwe.org/mwe2016/TH1B-2.pdf>
- [12] 石飛徳昌, “数値計算シミュレータ常識のウソ,” 2010. <http://www.SonnetSoftware.co.jp/product/seminar/tsy2010/tsy2010.pdf>
- [13] 伊理正夫, 藤野和建, 数値計算の常識, 共立出版, 1985.
- [14] 石飛徳昌, R.J. C., “Cs-1-5 電磁界シミュレータ sonnet の最近の改良 (cs-1. 高精度電磁界解析の最近の進展, シンポジウムセッション),” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol.2010, no.1, pp.S–24–S–25, 2010-03-02.
- [15] 三好旦六, 大越孝敬, 平面回路, オーム社, 1975.
- [16] J.C. Rautio and R.F. Harrington, “An electromagnetic time-harmonic analysis of shielded microstrip circuits,” Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, vol.35, no.8, pp.726–730, aug 1987. <http://www.sonnetsoftware.com/resources/technical-references-sonnet.html>
- [17] A. Nakabayashi, “Spice3f5 マニュアル,” 2002. <http://ayumi.cava.jp/audio/spiceman.pdf>
- [18] L.W. Nagel, “Spice2: A computer program to simulate semiconductor circuits,” PhD thesis, EECS Department, University of California, Berkeley, 1975. <http://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1975/9602.html>
- [19] 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.
- [20] H.A. Wheeler, “Transmission-line properties of a strip on a dielectric sheet on a plane,” Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, vol.25, no.8, pp.631–647, aug 1977.
- [21] J.C. Rautio, “A de-embedding algorithm for electromagnetics,” International Journal of Microwave and Millimeter-Wave Computer-Aided Engineering, vol.1, no.3, pp.282–287, 1991. Sonnet のポート補正とそれとともなう特性インピーダンスの計算手法の基本となる論文. <http://www.sonnetsoftware.com/resources/technical-references-sonnet.html>

- [22] J.C. Rautio, “A new definition of characteristic impedance,” Microwave Symposium Digest, 1991., IEEE MTT-S International, pp.761–764vol.2, jul 1991. <http://www.sonnetsoftware.com/resources/technical-references-sonnet.html>
- [23] S.P. Morgan, “Effect of surface roughness on eddy current losses at microwave frequencies,” Journal of Applied Physics, vol.20, no.4, pp.352–362, apr 1949.
- [24] A.F. Horn, J.W. Reynolds, and J.C. Rautio, “Conductor profile effects on the propagation constant of microstrip transmission lines,” Microwave Symposium Digest (MTT), 2010 IEEE MTT-S International, pp.868–871, may 2010. <http://www.sonnetsoftware.com/resources/technical-references-sonnet.html>
- [25] J.D. Kraus, R.J. Marhefka, and B.A. Munk, Antennas : for all applications, 3rd edition, McGraw-Hill, 2002.
- [26] 石飛徳昌, “Sonnet による磁気トランスの解析,” 2010. [http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/magnetic\\_transformer.pdf](http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/magnetic_transformer.pdf)
- [27] 渋谷道雄, 回路シミュレータ LTspice で学ぶ電子回路, オーム社, 2011.
- [28] 石井 望, アンテナ基本測定法, コロナ社, 2011.



## Task Barと各モジュールの役割



## Project Editor (xgeom) での作業の流れ

- 1. 単位の設定**  
[ Circuit ] ⇒ [ Units ]
- 2. ボックスパラメータの設定**  
[ Circuit ] ⇒ [ Box ] ⇒ 解析空間と解析要素の大きさ、解析空間の上下面の材質の設定
- 3. 層構造の設定**  
[ Circuit ] ⇒ [ Dielectric layers ] ⇒ 誘電体層の追加・削除  
⇒ Edit ⇒ 材質・厚さの設定
- 4. 導体の定義**  
[ Circuit ] ⇒ [ Metal Types ]
- 5. パターンの入力**  
Toolboxのボタンなどを使ってパターンやviaの入力
- 6. 解析の設定**  
[ Analysis ] ⇒ [ Setup ]
- 7. 解析**  
[ Project ] ⇒ [ Analyze ]

## よく使う操作

### 長方形の入力

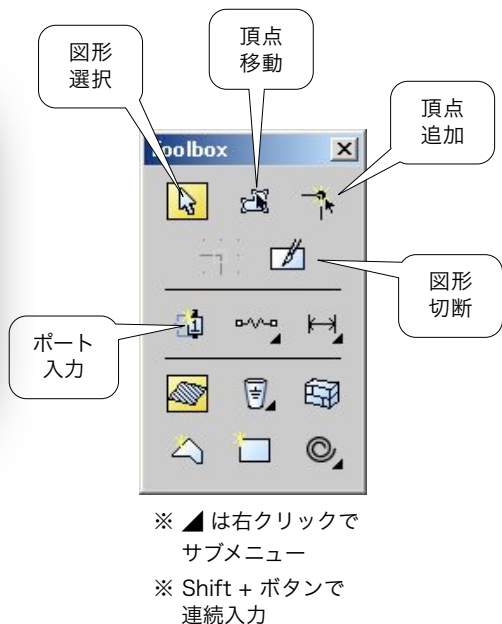
1. Ctrl+Rで  
入力モードに
2. 基点となる1点をクリック
3. @ X座標, Y座標と入力
4. Enter で 確定

### 拡大・縮小

1. Space キーか  
マウスの中ボタンで  
拡大モードに
2. 拡大したい範囲をドラッグ
3. Ctrl + F で全体表示  
(Full View) に戻る

### 多角形の入力

1. Ctrl + Pで入力モードに
2. 頂点を順にクリック
3. 最初の頂点に戻ると確定



## Project Editor (xgeom) のメニューバー

