

Chapter 4 Subsectioning

Sonnet のサブセクション (分割) は project editor の画面に小さなドット (点) で表示される均一なメッシュからできています。小さなドットは 1 つの “セル” の四隅に置かれます。1 つ以上のセルを自動的に結合してサブセクションを作ります。セルは正方形か長方形 (縦横比は自由) ですが、回路全体に渡って同じでなくてはなりません。セルサイズは project editor の Box Settings ダイアログボックス (これは Circuit \Rightarrow Box を選択すると表示されます) の中で設定されます。解析はそれぞれのサブセクションの電流を解きます。複数のセルはまとめて 1 つのサブセクションになるので、サブセクションの数はふつうセルの数より相当少なくなります。これは重要なことです。というのは解析では $N \times N$ の行列 (ここで N はサブセクションの数) を解くからです。 N の値が小さければ解析時間とメモリが大幅に少なくて済みます。

正確さが損なわれないようにするため、セルをサブセクションにまとめることに注意が必要です。 E_m は自動的に電流密度が急峻に変わるクリティカルな領域には小さなサブセクションを配置します。しかし、電流密度がなめらかで変化がゆるやかなあまりクリティカルでない領域には大きなサブセクションを配置します。

しかし場合によっては、自動アルゴリズムを修正したくなるでしょう。というのは、より速く、つまり精度を要求されない場合や、より遅く、つまり精度の高い場合には自動アルゴリズムで与えられる以上のことを行ないたくなるからです。また、回路について作成者が知識を持っていても、プログラムの方にはこれがないこともあるでしょう。例えば、金属導体のある領域には電流はほとんど流れないということを、作成者の方はわかっている時などです。または、回路で寸法が小さいので小さいセルを指定したが、その回路に大きな構造体があって、正確な小さなセルは必要ないという時もあるでしょう。そうした場合には、*em* がセルをまとめてサブセクションにする方法を変えることができます。

この章では *em* がセルをまとめてサブセクションにする方法と、必要とする解析時間や精度のレベルを得るためにどのようにコントロールできるかを説明します。セルサイズの選び方やそれが *em* の解析にどう影響するかについても述べます。

コンフォーマルメッシュは長い斜め線や縁部が曲線の図形を行リングするのに使われるサブセクションの特別な例です。コンフォーマルメッシュ機能を使用する時のサブセクションングについての詳細は、69 ページの “Conformal Mesh Subsectioning” をご覧ください。

Tips for Selecting A Good Cell Size

ご存知のように *em* は、project editor でつくられる基本のブロックである “セル” によってできているサブセクション単位に回路を小さく分割します。次にセルサイズの決め方について説明します。また、Sonnet の Cell Size Calculator を使用すれば、要求される精度を提供する最も効率のよいセルサイズを計算するために重要な寸法を入力することができます。Cell Size Calculator は project editor のメニューから Circuit ⇒ Box を選択した時にオープンする Box Settings ダイアログボックスから利用します。



TIP

セルサイズは波長の 1/20 より小さくします。

セルサイズを計算する前に最高の解析周波数の波長を計算することが大切です。正確な数が大切なのではありません。もし、作成した回路の有効な比誘電率を知っていれば、それを波長の計算に使用してください。もし知らなければ作成した構造体の最も高い比誘電率を使用してください。

多くの回路では波長の 1/20 以下のセルサイズを必要とします。より大きなセルサイズを選んでも、大抵、セルに渡って分布する効果が不正確にエッジングされてしまうので、容認できないエラーとなってしまいます。波長の 1/20 以下のセルサイズは少し精度が上がりますが、大抵はサブセクションの数の総数が増え、そのために解析時間と必要メモリが増えてしまいます。



TIP

可能な時は、回路の寸法を丸めてください。そうすればより大きい公倍数がとれます。

回路の図形が一番近いセルにラップされるので、回路の全寸法がこのセルサイズの倍数になるようにセルサイズを決めなくてはなりません。例えば回路の寸法が 30 ミクロン、40 ミクロン、60 ミクロンだとすると、考えられるセルサイズは 10 ミクロン、5 ミクロン、2.5 ミクロン、2 ミクロンなどです。セルサイズが大きいとより効率的な解析ができるのでここでは 10 ミクロンが一番よいセルサイズとなるでしょう。



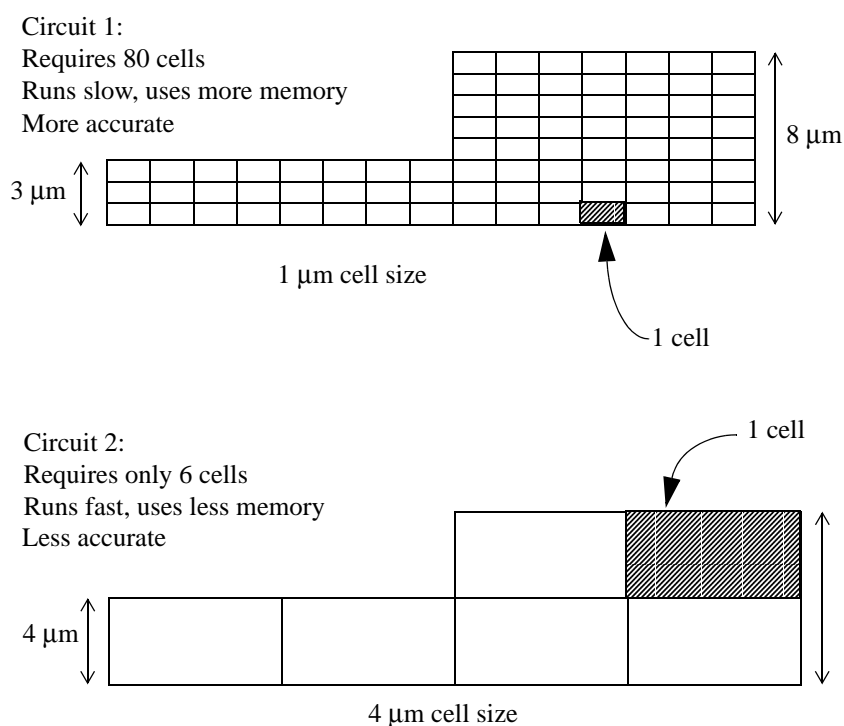
TIP

X 方向のセルサイズと Y 方向のセルサイズは別々に計算します。

X 方向のセルサイズと Y 方向のセルサイズは同じ大きさである必要はありません。回路の X 方向の寸法に基づいて X 方向のセルサイズを、Y 方向の寸法に基づいて Y 方向のセルサイズを計算します。例えば幅が 3 ミクロン、線間が 8 ミクロンの

Sonnet User's Guide

メッシュサイズが 3 μm の場合、3 μm を 4 μm に直してください。ここで 8 のかわりに 2 を使うと回路の性能には少しも影響を与えずに解析速度を数倍上げることができます。この考え方を下図に示します。



2つの回路は金属導体の量は同じにもかかわらず、回路1の方が回路2よりも解析時間が多くかかり、メモリも多く必要です。これは、回路2では寸法を4で割っているため、メッシュサイズは4 μm が使われます。回路1には1 μm のメッシュサイズが必要となります。寸法を変えることによる回路への響

や製作上の許容誤差について考えてください。回路がもし1ミクロン変えても問題ないとか、許容誤差は +/- 1ミクロンだけというのなら、回路1の3ミクロンをとって回路2のように4ミクロンにすることができます。

Cell Size Calculator

Sonnet にはまた Cell size calculator という機能があり、ユーザの回路のクリエイティブな寸法をもとに最適なセルサイズを計算します。(Circuit ⇒ Box を選択した時にオープンする) Box Settings ダイアログボックスの Cell Size Calculator で使用できます。Cell Size Calculator の使用方法は **Sonnet Tutorial** の第4章 "Determining Cell Size" で説明されています。Cell Size Calculator のすべての入力項目については、[オンラインヘルプ](#) をご覧ください。

Viewing the Subsections

以下の指示に従うと、Sonnet で使用されているサブセクションを見ることができます。Estimate Memory コマンドを使用する前に、誘電体層が定義され、少なくとも1つのポートが回路になくなくてはならないことをご承知おきください。

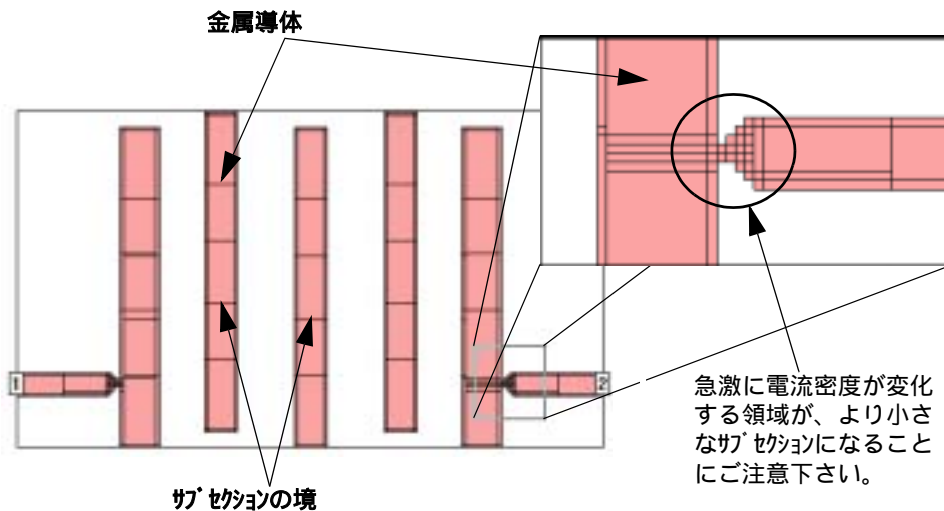
サブセクションを表示するには、以下のようにします。

- 1 **Project editor から Analysis => Estimate Memory を選択します。**

これで解析に必要なメモリ数が計算されます。

2 View Subsections ボタンをクリックします。

回路の図が表示されます。下図のように、金属は赤色、サブセクションの境が黒い線で表示されます。



Subsectioning and Simulation Error

上述したように、Sonnet は一定の分解能のグリッドを使い、所定の金属導体のパターンを、ベースとなるグリッドで離散化します。Sonnet はグリッド上にある金属の充填部だけシミュレートしますが、設計物の金属パターンの縁は、グリッドに位置合わせする必要はありません。グリッドから離れた金属導体は、グリッドと金属パターンとのずれの度合いによっては充填がはみ出たり、少なかったりするかもしれません。Sonnet のシミュレーションでは、ずれがあると誤差を生じる可能性があることを表示して知らされますが、どのプレーナ (平面) モーメント法 (MoM) のシミュレーションにも誤差の要因は複数含まれています。

Sonnet とは違って、大抵の電磁界ソフトウェアのベンダーは、誤差の要因についてはあまり語りません。(401 ページの "Accuracy Benchmarking" をご覧ください)。Sonnet では、所望の金属パターンとシミュレーションのグリッドにずれがある

という事実は必ずしも Sonnet のシミュレーションが、無限の分解能でメッシュを行う、競合のシミュレータよりも精度が劣ることを意味するものではありません。どのシミュレーションパッケージも誤差を生じる可能性をすべて（使用される MoM 技法によって異なります）調べ、十分収束したテータットに達しているか確かめるべきです。

Changing the Subsectioning of a Polygon

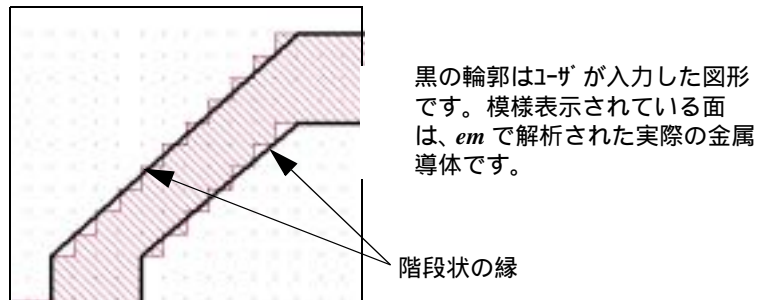
Sonnet では、図形毎に何の分割される方法をコントロールすることができます。それにはパラメータ “X Min”、“Y Min”、“X Max”、“Y Max” を使います。これらのパラメータは図形毎に変えることができますので、ある図形には粗いサブセクション、ある図形には細かいサブセクションができます。このパラメータの変更方については、project editor のオンラインヘルプの “Modify - Metal Properties” をご覧ください。

これらのパラメータをどのように利用するかについて述べる前に、*em* ではデフォルトのパラメータ値で図形が自動的に分割されることをまず理解しなくてはなりません。

Default Subsectioning of a Polygon

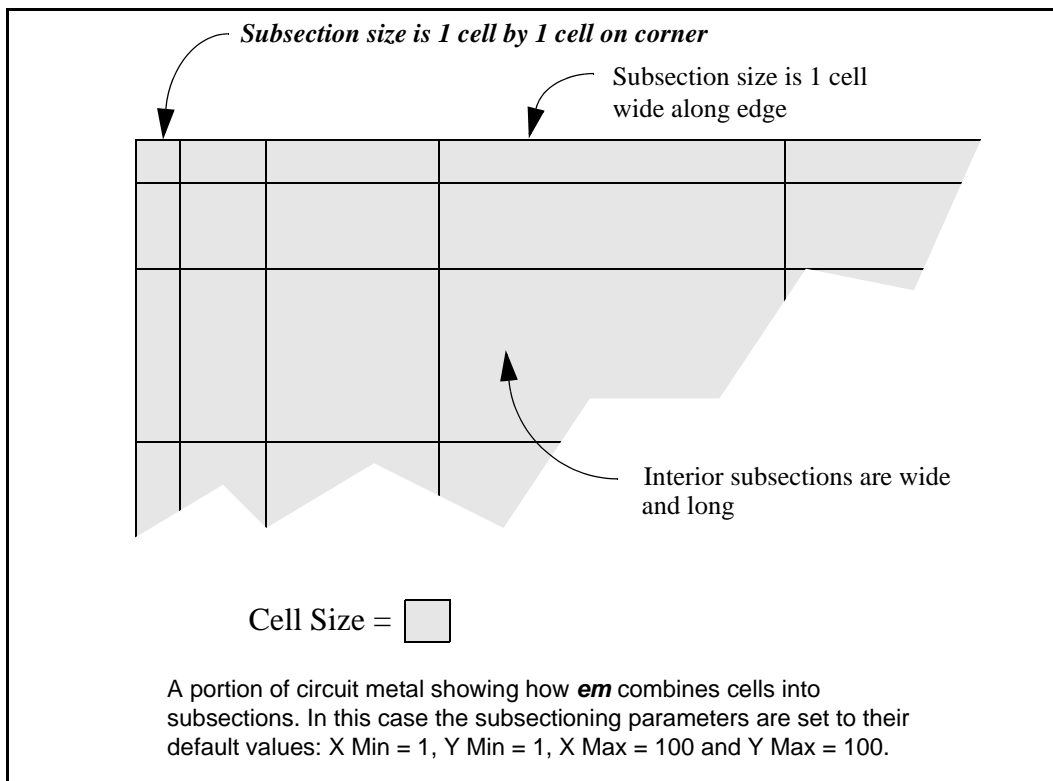
デフォルトでは、Sonnet は “階段状” サブセクションで図形を充填します。他には、より上級な充填の種類（斜め線とコンフォーマル）がこのマニュアルの他の章で説明されています。斜め線状のサブセクションについては 297 ページの第 17 章 “Using Diagonal Fill” をご覧下さい。コンフォーマルメッシュについては 169 ページの第 11 章 “Conformal Mesh” をご覧下さい。この章ではもっぱら階段状サブセクションについてのみ説明します。

下図のように小さな矩形のサブセクションを使って、斜め線状の縁を近似させると、実際の金属導体は階段の形に見えるので、この充填の種類を階段とといいます。



サブセクションのパラメータ値はデフォルト設定では、 $X_{Min} = 1$ 、 $Y_{Min} = 1$ 、 $X_{Max} = 100$ 、 $Y_{Max} = 100$ になっています。この数字は、図形で可能なサブセクションの最小及び最大の寸法を表わします。 $X_{Min} = 1$ にすると、 X 方向の最小サブセクションサイズは 1 セルの大きさになります。 $X_{Max} = 100$ にすると、サブセクションの長さが 100 以上というのは許されません。

下図では、デフォルト設定されているサブセクションのパラメータ値がどのように使われているかを示しています。角部ではサブセクションのサイズがたった 1 セルになっていることにご注意ください。電流密度がここでは最も早く変わりますので、可能な限り小さいサブセクションサイズが使われています。



回路の縁に沿って、角部から離れるに従ってサブセクションのサイズは長くなります。例えば角部から2個めのサブセクションは2セル分の長さでその次のサブセクションは4セル分の長さになります。もし、回路の端の長さが十分長ければサブセクションの長さは、X方向のセルの最大数 Max (100) または、サブセクションサイズの最大値になるまで長くなり、この両者のどちらかはじめに該当した値がもう一方の角や不連続部に近づくまで、その長さのまま使われます。

しかし、縁部のサブセクションがどんなに長くても、それは必ず1セル分の幅であることを覚えていてください。これは縁から金属導体の内側へいくに従い、電流密度が急峻に変化するからです（これはエッジの特異性と呼ばれています）。

縁部に非常に高い電流が流れることを正確に表現するために、縁部のサブセクションを1セル分の幅にしてあります。しかし、電流密度は金属導体の内側にいくに従い、ゆるやかなものになるので、内側のサブセクションはだんだん広がっています。前述のように、サブセクションの幅は1セルから2セル分、そして4セル分と広がっていきます。



TIP

2つの図形の接合部や小さい重なり部があると、エッジの特異性を行リソングするために、2つの図形の境界に多くのサブセクションは必要となります。Mergeコマンド (Edit ⇒ Merge Polygons) を使って2つの図形を1つにつなげると、必要とされるサブセクション数を減らし、解析時間は短くなります。

反対に、回路により高精度にしたい領域がある場合、Divideコマンド (Edit ⇒ Divide Polygons) を当該の点で使用して2つの図形を作成すると、エッジの特異性を行リソングするために、強制的に解析により小さなサブセクションを使うようになります。

X Min and Y Min with Edge Mesh Off

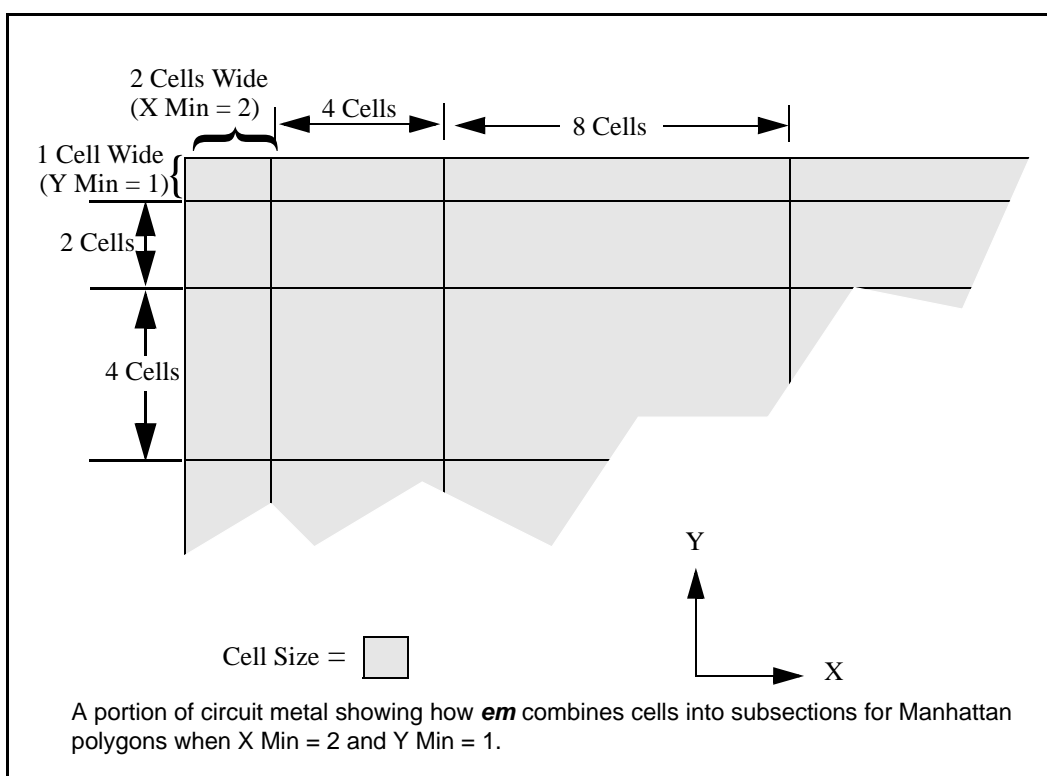
エッジメッシュオプションを“on”にしておくことは、Sonnetのプロシミュレートではデフォルトの状態ですが、初めにエッジメッシュを“off”にした場合を調べると、このコンセプトが理解しやすいでしょう。ここでは、斜め線状の縁部のない図形であるマンハッタン型図形についてのみ説明します。マンハッタン型でない図形に対してメッシュを“off”にしても何の影響もありません。

場合によっては、図形のサブセクションのデフォルト設定を変えたい時もあるでしょう。これはサブセクションパラメータのX Min、Y Min、X Max、Y Max を使えばできます。

縁部のメッシュを“off”にしたマンハッタン型図形の場合、パラメータX MinとY Minは、縁部のサブセクションサイズを設定します。デフォルト設定では、X MinとY Minは1になっています。これは、縁部のサブセクションサイズが1セル分の幅であることを意味します。X Minが2に設定されると、垂直の縁に沿った

Chapter 4 Subsectioning

サブセクションが X 方向に 2 細胞分の幅になります (61 ページの図)。これによりサブセクションの数が減り、行列のサイズも小さくなり、より速く解析できます。しかし構造体の縁や不連続部に近いところでは、電流密度は粗くサンプリングされるので、精度も低くなってしまいます。



X min または Y min が図形の大きさより大きい場合、*em* は図形に合うようにできるだけ大きなサブセクションを使用します。

NOTE:

サブセクションのパラメータ X Min、Y Min、X Max、Y Max は細胞の単位で設定されます (mil でも mm でも micron でもありません)。例えば X Min = 5 というのは X 方向の最小サブセクションサイズが 5 細胞分の大きさであるということです。

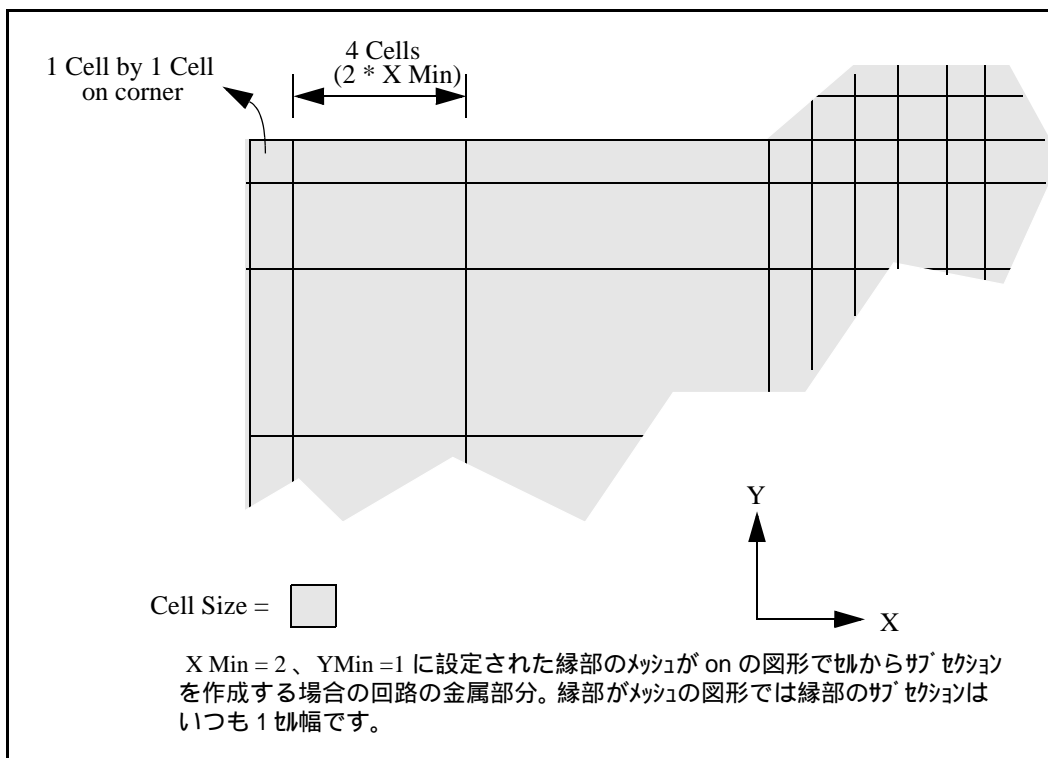
X Min と Y Min のパラメータは大変便利なオプションですがもっと大きなセルサイズを使う時には便利とはいえません。例えばセルサイズが 10 ミクロン x 10 ミクロンで、X Min = 1、Y Min = 1 と設定された回路はセルサイズが 5 ミクロン x 5 ミクロンで、X Min = 2、Y Min = 2 と設定された同じ回路よりも解析時間は速くなります。両方とも、サブセクションの総数は同じですが *em* では小さなサイズのセルを使った各サブセクションの値を計算することに非常に多くの時間をかけなくてはならないからです。

X Min and Y Min with Edge Mesh On

エッジメッシュを “on” にするとより正確な解析が得られるので、Sonnet のプロシミュレータ外ではこのオプションが “on” というのがデフォルトの状態です。ある図形にエッジメッシュを “on” にすると、最も外側よりのサブセクションの扱い方が変わります。エッジメッシュを “off” にして、前の例題の左から右へ進むと、

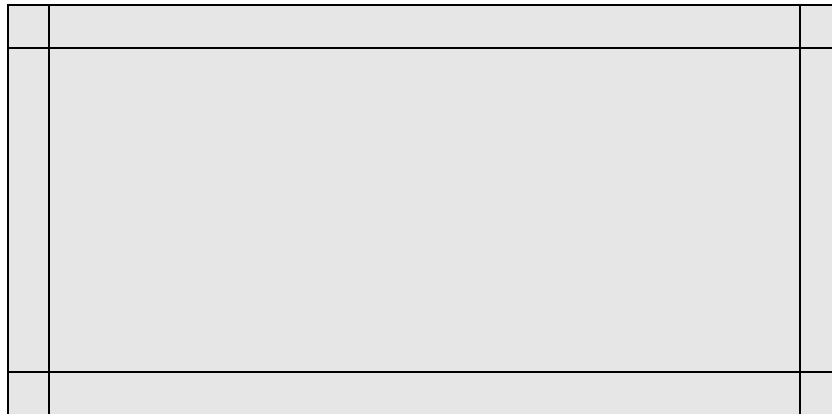
Chapter 4 Subsectioning

サブセクションは2セル、4セル、8セルの幅になっています。エッジメッシュを“on”にすると、同じ図形のサブセクションは下図のように1セル、4セル、8セルとなります。最も外側の縁部だけが影響を受けていることにご注目ください。



前の節で述べたように、エッジメッシュの設定はマンハッタン型図形（つまり斜め線や曲線状の縁がないもの）にのみ影響します。マンハッタン型でない図形のエッジメッシュは、その図形のエッジメッシュの設定が何であろうと、いつも“on”です。

大きな X Min や Y Min の値と一緒に使われるとこのオプションは、サブセクション数を減らしてもなおインジックの特異性はそのまま維持したい時に大変有効です(下図参照)。これは多くの場合、精度と解析の速さの折衷案としてよいオプションです。



上図の場合、X Min と Y Min は非常に大きな値に設定されており、周波数は十分低いので、サブセクションサイズに対応した Max. Subsection size パラメータはこの図形よりも大きくなっています。

Using X Max and Y Max for an Individual Polygon

X Max と Y Max のパラメータを使うと、個々の図形の最大のサブセクションサイズを調整することができます。例えば、X Max と Y Max が 1 に下げられると、すべてのサブセクションは 1 辺となります。この結果、非常に多くのサブセクション数と非常に大きな行列となり、解析時間が長くなる原因となります。従って、これは非常に高い精度が求められているか、かなりスムーズな電流密度表示が必要な小規模な回路でのみ行うべきです。

NOTE: X Max または Y Max で指定された最大のサブセクションサイズは、Max. Subsection Size パラメータで計算されたサイズよりも大きい場合、Max. Subsection Size パラメータが優先されます。最大サブセクションサイズについては、68ページの "Setting the Maximum Subsection Size Parameter" で説明されています。

Using the Speed/Memory Control

Speed/Memory Control 機能は回路のサブセクションングを調整することによって、解析で使用するメモリを調整することができます。メモリを多く設定すると、より正確な答えが算出されますが、大抵は計算時間が長くなります。反対に、メモリを少なく設定すると計算は早くなりますが、精度は劣ります。

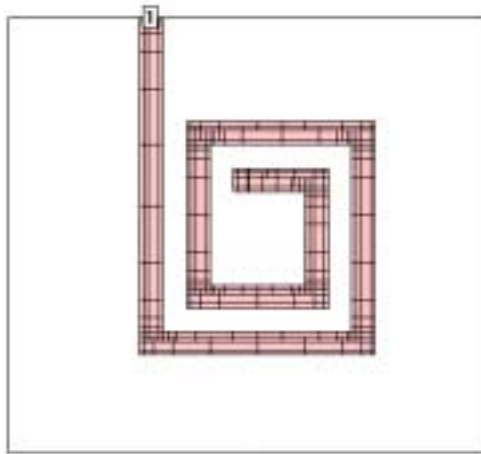
Speed/Memory Control 機能を使うには次のようにします。

- 1 Project editor のメニューから Analysis ⇒ Setup を選択します。
- 2 表示された Analysis Setup ダイアログボックスで、Speed/Memory ボタンをクリックします。
- 3 表示された Analysis Speed/Memory Control dialog ダイアログボックスで、所望の設定を選びます。



Sonnet User's Guide

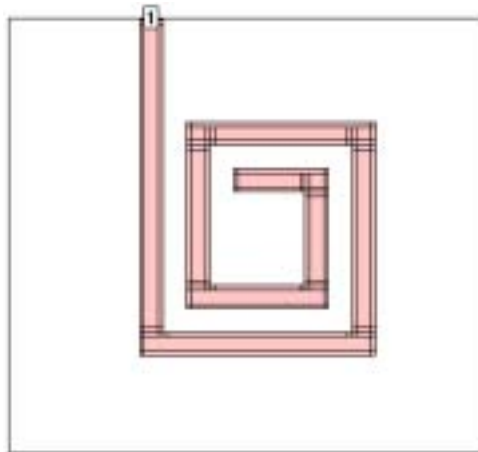
Speed/Memory Control 機能には3つの設定が用意されています。Fine/Edge Meshing、Coarse/Edge Mesh、Coarse/No Edge Meshing です。Fine/Edge Meshing はデフォルトの設定で、57ページの "Default Subsectioning of a Polygon" にその説明があります。以下に例題を示します。ここで再び、この設定が最も精度のある答えとはなりませんが、それには最高のメモリと計算時間がかかることにご注目下さい。



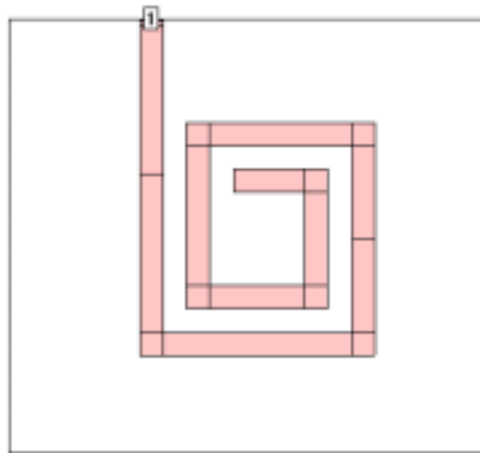
2つめのオプションは Coarse/Edge Mesh です。この設定はしばしば計算速度と精度のバランスが取れています。この設定が使用される時にはすべての図形の Xmin と Ymin は大きな数に設定されます。たいてい、50の値が使われ、Edge Meshing は on に設定されます。下図はこの設定を行った典型的な

Chapter 4 Subsectioning

回路です。図形の縁は小さいサブセクション、図形の内側部分は非常に大きなサブセクションになっていることにご注目ください。これは、大きな Xmin と Ymin が設定されているからです。



最後の設定は Coarse/No Edge Meshing です。この設定では、すべての図形に大きな Xmin/Ymin が設定され、エッジメッシュは “off” です。これは最も早い解析時間となりますが、精度が一番悪くなります。下図はこのオプションを使った典型的な回路のサブセクションングです。



Setting the Maximum Subsection Size Parameter

Max. Subsection Size パラメータは波長あたりのサブセクションに換算した最大サブセクションサイズを設定することができますが、ここで波長とは近似的に解析を始める周波数を指します。解析の最高周波数は波長の計算に使用されます。この値はモデル全体に対する設定で、回路のすべての図形のサブセクションングに適用されます。

デフォルトの波長あたり 20 サブセクションがどの解析にもよいでしょう。これはつまり、最も大きいサブセクションサイズで、解析の最高周波数において 18 度にあたるという意味です。この数を大きくすると最大サブセクションが 1 サブセクション = 1 セルという限界にまで減ります。

より正確な解析を求めるためにこのパラメータ値を小さくしたいと思われるかもしれませんが。例えば、サブセクションサイズを 20 から 40 に変えると、最大サブセクションサイズが 1/2 になり、その結果より正確な（しかし解析時間は長くなります）解析となります。クリティカルでない領域でより小さなサイズのサブセクションを使うと、解析時間は長くなりますが精度にはあまり影響はないということを念頭に置いてください。

このパラメータを使用するもう 1 つの場合は、current density viewer を使ってかなりスムーズな電流分布を求めたい時です。デフォルト値の 20 を使うと内部の大きなサブセクションは電流分布を“変化の見やすい”状態にします。このパラメータを大きな値にすると、サブセクションは皆、たった 1 セルの大きさになってしまい、スムーズな電流分布になります。これによっても解析時間に大きく影響してきます。

Max. Subsection Size パラメータは project editor で Analysis ⇒ Advanced Subsectioning を選択すると Advanced Subsectioning Controls が出てきますのでそのダイアログボックスの中で設定します。

Defining the Subsectioning Frequency

サブセクションングのパラメータ Max. Subsection Size は、回路のすべての図形に適用され、これは波長あたりのサブセクション数として定義されます。通常は、最高解析周波数とその波長の決定に使用されます。しかし最高周波数は、

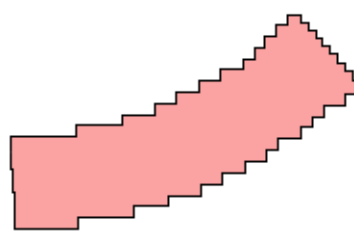
project editor の Advanced Subsectioning Control ダイアログボックスの中で Subsectioning Frequency オプションを使用して変更することができます。このダイアログボックスは project editor のメニューから Analysis ⇒ Advanced Subsectioning を選択してオープンします。サブセクションの周波数の定義にどのオプションが使用されているかについては、Advanced Subsectioning Control ダイアログボックスの Help ボタンをクリックしてご覧ください。

選択されたオプションで定義された周波数は、ここでは、解析の最高周波数の代わりに最大サブセクションサイズを決定します。従って、いくつかの解析では、最高周波数とは違う周波数で、同じサブセクションが使われることもあります。

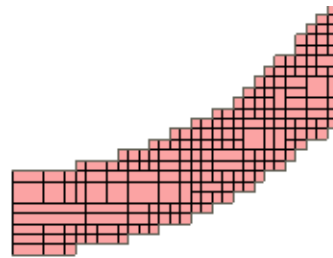
Conformal Mesh Subsectioning

コンフォーマルメッシュは、斜め線または曲線状の図形の縁部を持つ回路の解析に必要なメモリと時間を大幅に減らすことのできる技法です。コンフォーマルメッシュについての説明と、その使用方法については 169 ページの "Conformal Mesh" をご覧ください。この章では、サブセクションに与えるコンフォーマルメッシュの効果についてのみ説明します。

この技法は、斜め線や曲部の輪郭を持つ行列をまとめ、その輪郭に沿って長いサブセクションを作ります。階段状の充填は X 方向と Y 方向には非常に小さなサブセクションとなるのに対し、コンフォーマルメッシュは図形に沿ったわずかなサブセクションとなります。下図はコンフォーマルセクションの実際の金属導体と、階段状充填を使った同じセクションを示しています。



Conformal section



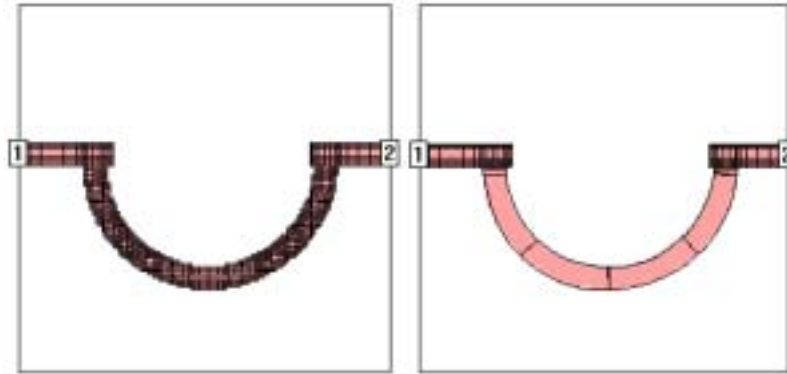
Staircase Fill

Sonnet User's Guide

コンフォーマルなセクションは、標準のサブセクション同様、セルから構成されているので、実際の金属導体は下図のように、図がスムーズな縁の時には依然 " ギザギザ " した縁があります。しかし、このセクションはコンフォーマルメッシュのおかげでかなり大きくすることができます。基礎となるグリッドを十分に小さくして余分なメモリと解析時間を生じさせずに、正確に回路の寸法を変更することができます。この大きなセクションでは、解析時間が早くなり、メモリも少なくて済みます。

標準のサブセクションは、線路幅に渡って正確な電流分布を再リングするために、多くのサブセクションが必要です。コンフォーマルなサブセクションはこの分布をサブセクションの中に内蔵します。Sonnetのコンフォーマルメッシュは自動的にコンフォーマルな各セクションの縁部の高い電流を含みます。特許を得た Sonnet のこの機能はユニークなものです (U.S. Patent No. 6,163,762 issued December 19, 2000.)

標準のサブセクションとコンフォーマルメッシュを使った回路の例を以下に示します。左の回路は標準のサブセクション (階段状充填) を使って表示されています。回路の曲部がある部分へのコンフォーマルメッシュが右に表示されています。図形の曲部に対しては、コンフォーマルメッシュは標準のサブセクションが使用された時よりも、かなり少ないサブセクションを使います。



Conformal Mesh Subsectioning Control

ある図形にコンフォーマルメッシュを適用する時、より正確なシミュレーションを行うために、コンフォーマルなセクションの最大の大きさを制限することができます。コンフォーマルなセクションのデフォルトの長さは、サブセクションングの周波数で波長の 1/20 です。サブセクションングの周波数については、68 ページの "Defining the Subsectioning Frequency" をご覧ください。

コンフォーマルなセクションに最大の長さを設定するには、次のようにします。

1 所望の図形を選択します。

選択された図形が強調表示されます。

2 Modify ⇒ Metal Properties を選択します。

Metalization Properties ダイアログボックスがオープンします。

3 ダイアログボックスの Conformal Mesh Subsectioning Controls 欄の Maximum Length チェックボックスをクリックします。

右側の Length text 入力ボックスが選択可能になります。Fill Type に Conformal が選択された時にのみこのチェックボックスは選択可能になることに注意してください。

4 テキスト入力ボックスに所望の Maximum Length (最大の長さ) を入力します。

OK ボタンをクリックしてダイアログボックスをクローズし、変更事項を適用します。

Conformal Mesh についての詳しい説明は 169 ページの第 11 章 "Conformal Mesh" をご覧ください。Conformal Mesh のチュートリアルは Sonnet Supplemental Tutorials の 63 ページの第 4 章 "Conformal Mesh Tutorial" にあります。