

Chapter 1 Introduction

The Sonnet Design Suite

Sonnet の解析ツール群をまとめて 20 ページに示します。これらのツールを用いることで、Sonnet は多くの他社の設計やレイアウト用プログラムに対してオープンな環境をご提供しています。以下は、Sonnet のすべてのツールについての簡単な説明です。御社のシステムディストリビュータと一緒に、これらの製品のライセンスが得られているかをご確認ください。

Project Editor

Project editor はユーザーフレンドリーなグラフィカルインターフェイスで、*em* 解析用に設計した回路図または後に続く回路のネットリストを入力することができます。DXF と (または) GDS 変換ソフトをご購入の方は、project editor に変換のインターフェイスが用意されています。また、project editor では、ユーザーのプロジェクトの解析コントロールを設定します。

Program module: *xgeom*

Sonnet User's Guide

Analysis Engine *Em* は電磁界解析エンジンです。Maxwell の方程式に基づいたモーメント法を修正した方法を用い、プレーナ構造に卓越しており、正確な 3 次元電流を用いて解析します。*Em* は、S、Y、Z のパラメータや、伝送線路のパラメータ (Z_0 や E_{eff} 、VSWR、GMax、 Z_{in} 、Loss Factor)、SPICE の等価集中定数要素ネットワークを算出します。また、current density viewer や far field viewer による次の段階の処理をするためのファイルも作成します。*Em* の回路ネットワーク機能は、集中定数要素や理想的な伝送線路の要素、外部の S パラメータを使った電磁界解析の結果を縦続的につなぐことができます。

Program module: *em*

Analysis Monitor 解析モニターは *em* で実行されている解析の進行状況を観察したり、*em* のジョブ列を準備するためのバッチファイルの作成や編集ができます。

Program module: *emstatus*

Response Viewer Response viewer は表示用ツールで、このプログラムは他のシミュレーションツールと同等の直交座標のグラフやスミットといった *em* からの応答データを表示します。また、式 (equation) の結果を表示することもできます。

Program module: *emgraph*

Current Density Viewer Current density viewer は表示用ツールで、*em* のポストプロセッサとして、回路内で起こる電磁的結合を素早く定性的に表示します。電流も 3 次元で表示できます。

Program module: *emvu*

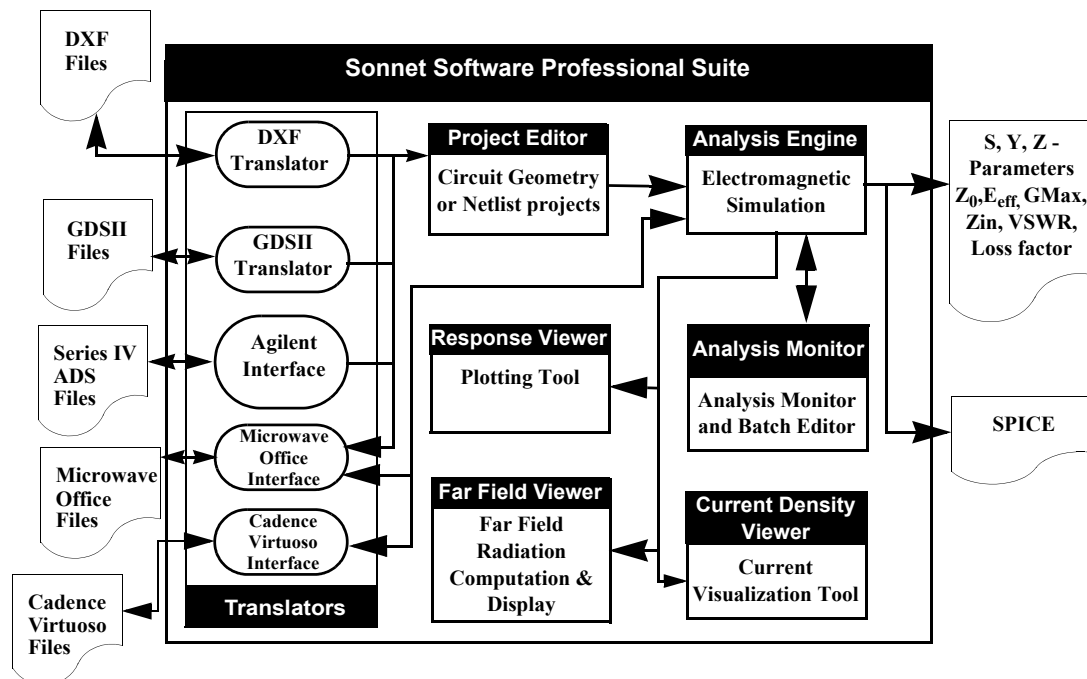
Far Field Viewer Far field viewer は放射パターンを計算し、表示するプログラムです。*Em* の電流密度の結果を用いて (パッチアンテナのような) 放射物からの遠方界放射パターンを計算し、3 種類のフォーマット: 直交、極、表面プロットのうちの 1 つで遠方界放射パターンを表示します。

Program module: *patvu*

GDSII Translator	<p>GDSII 変換ソフトは GDSII レアウトファイルを project editor geometry フォーマットへ / から、双方向に変換します。</p> <p>Program module: <i>gds</i></p>
DXF Translator	<p>DXF 変換ソフトは DXF レアウトファイル(例えば AutoCAD のファイル)を project editor geometry フォーマットへ / から、双方向に変換します。</p> <p>Program module: <i>dxfgeo</i></p>
Agilent Interface	<p>Agilent Interface は Sonnet と Agilent のシリーズ IV または Agilent EEsof の ADS の間のシームレスな変換を行います。シリーズ IV または ADS レアウトのソフトウェアパッケージの中にいながら、スムーズに Sonnet 用のシミュレーションファイルを作れます。<i>Em</i> のシミュレーションが起動され、その結果をシリーズ IV または ADS の環境から抜け出さなくても設計図に組み入れることができます。</p> <p>Program module: <i>ebridge</i></p>
Microwave Office Interface	<p>Microwave Office Interface は、Microwave Office の EM Socket を使って、Microwave Office の環境の中に Sonnet の国際的なレベルの電磁界シミュレーションエンジン <i>em</i> を組み込むことを可能にします。ユーザは Sonnet のインターフェースを習得しなくても、Sonnet の高精度な解析をご利用になれます。統合された環境としてはまだサポートされていませんが、強力で高度な機能を利用されたい上級のユーザのために、AWR 社と Sonnet 社は連携して、電磁界プロジェクトファイルを、Microwave Office と Sonnet で行き来できるように、プロセスを簡素化しています。</p> <p>Program Module: <i>sonntawr</i></p>
Cadence Virtuoso Interface	<p>Cadence Virtuoso suite 用の Sonnet の plug-in によって、RFIC の設計者はレイアウトから EM の解析を設定し実行して、正確な電氣的なモデルを抽出し、Analog Artist と RFDE シミュレーションの回路シミュレーションを作ることができます。</p> <p>Program Module: <i>sonntcds</i></p>
Broadband Spice Extractor	<p>新しい Broadband Spice extraction モジュールで、高位の Spice モデルが作れます。広い範囲に渡って有効な Spice モデルを生成するために、Sonnet の broadband SPICE Extractor 機能はパラメータに“適した”有理多項式をみつけます。この多項式は、PSpice または Spectre で等価集中定数素子の回</p>

Sonnet User's Guide

路を生成するために使用されます。この S パラメータは広い周波数帯域に渡って適合するので、生成されたモデルは AC スイプの回路シミュレータと非定常シミュレータで使えます。



Em は任意の 3 次元 (立体) 構造 [54] を持つプレーナ回路 (マイクロストリップ 線路、共平面線路、ストリップ 線路等) を高周波領域において高精度で解析する電磁界解析ソフトウェア ([79, 80, 82]) です。*Em* は考えられるすべての結合を考慮に入れた上で “全波 (フルウェーブ)” 解析を行ないます。解析は本質的に分散や漂遊結合、不連続性、表面波、モード、導体損、誘電損、放射損等が考慮されています。つまり完全な電磁界解析ができるのです。*Em* は表面メッシュ法 (回路の金属導体の表面のみをメッシュする) を使用しています。そのため *em* は体積メッシュ法に比べより高速にプレーナ回路を解析することができます。

The Analysis Engine, *em*

Em は 3 次元電磁界と 3 次元電流の両方がその解析において考慮されている完全な 3 次元解析を行ないます。これは 3 次元電磁界は考慮されているが 2 次元電流しか許されていない 2.5 次元解析とは対照的です。従って 2.5 次元解析においては via やその他垂直方向の電流を考慮に入れることができません。

Em は固定したグリッドに基づき、プレーナ多層誘電体に組み込まれた 3 次元構造を解析できます。このクラスの回路に対し、*em* はそれぞれの誘電体表面間や誘電体表面上の電磁界結合を効果的に計算するのに FFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) 解析の技術を使用します。これによって、*em* の解析速度は体積メッシュ法や、他の FFT を用いない方法に比べ格段に向上しています。

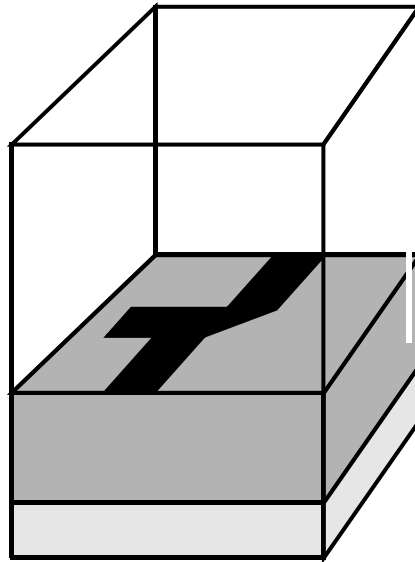
Em は、例えば分散や損失、漂遊結合などすべての電磁界効果を含めた完璧な電磁界解析を行ないます。*Em* では 2 つの近似方法しか用いていません。1 つめは、コンピュータが本来持っている有限の数値精度です。2 つめは *em* が金属導体を小さなサブセクションに分割することです。

メッシュサイズは精度を決定する上で非常に重要な要素です。小さなメッシュを使用すると、金属端はより正確に定義され、電流分布もより正確に表現されます。精度をとると実行時間が増加します。メッシュサイズに対する精度についての定量的な表現については、401 ページの第 26 章 "Accuracy Benchmarking" を参照してください。

実行時間をとるか、精度をとるかを選ぶことができるので設計技術者にとっては、自由度が増えたといえます。

A Simple Outline of the Theory

Em はマイクロストリップ 線路やストリップ 線路、共平面線路、3 次元（立体）構造を持つプレーナ回路をモーメント法を用いて回路の金属導体部分の電流分布を求めることで電磁界解析を行ないます。金属導体は、誘電体層の間に厚さ h の金属としてモデリングされます。

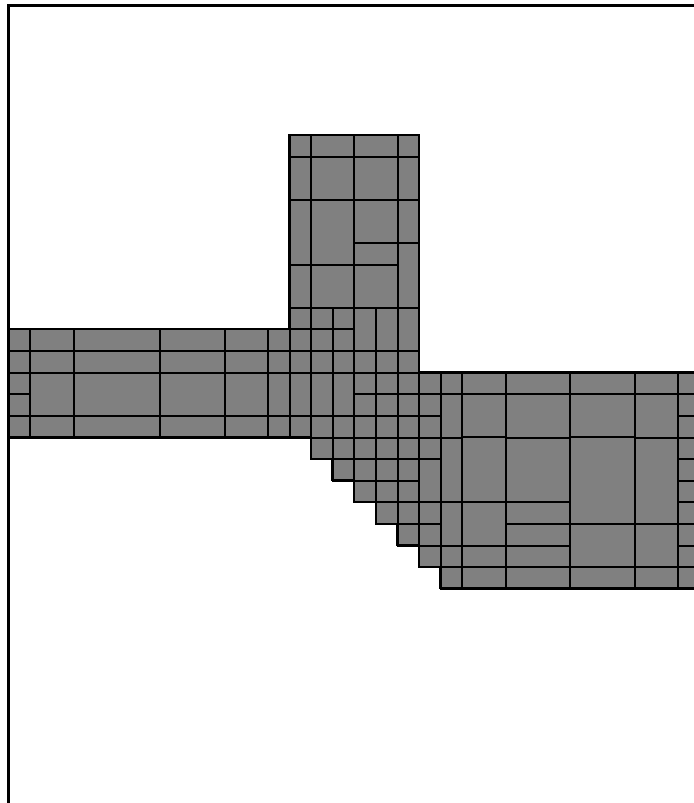


Em はシールドされたボックスの中にあるプレーナ構造の基板群を解析します。ポートの接続は通常ボックスの側壁に対して行なわれます。

Subsectioning the Circuit

解析を行なうには、まず回路の金属部分を小さい矩形（サブセクション）に分割します。実際の分割では（23 ページ 参照）、必要なところは小さいサブセクションを用いますが、また逆に分割数が解析時間に影響しますので、小さくなくてもよいところは大きいサブセクションを用います。またユーザの選択で斜めになった“階段状”の部分に、三角形のサブセクションを当てはめることもできます。この三角形のサブセクションは、正確さを損なわずに大きいサブセクションを使えます。

次に、1つのサブセクションによって生じるすべての場所の電界が *em* によって計算されます。それから *em* によって回路上のすべてのサブセクションについて、同様の計算が一度に繰り返して計算されます。そして、すべての対になっているサブセクション間の正確な結合を、*em* によって効率的に計算します。



1つのサブセクションに与えられる電流により、すべてのサブセクションの接線方向にかかる電界を *em* によって計算します。この図は、例の回路において実際の分割状態を示しています。

Zero Voltage Across a Conductor

すべてのサグセクションは、基板表面のいたるところに電界を生じさせますが、ご存知のように、無損失のどんな導体面においても接線方向の電界の和は0にならなくてはなりません（これは、境界条件と呼ばれるもので、これより完全導体に渡って電位差は発生しません）。

この問題はすべてのサグセクションにおける電流を同時に仮定して求めます。すべての接線方向の電界が（つまり、1つ1つ計算して求めた電界の和が）導体のすべてで0になるように *em* がこれらの電流を調節します。このように電流を求めることによって、金属表面上の電流分布が求められます。そして、一度電流分布を求めれば *S*（又は *Y*、*Z* など...）パラメータはすぐに求められます。

金属表面に損失がある場合は、境界条件を修正します。接線方向の電解が0（電位差なし）ではなくて、サグセクションの電流に比例した電解が存在する（各々のサグセクションに電位差がある）と考えます。その比例係数は金属の表面抵抗（ Ω/sq ）と呼ばれるものです。つまり Ω の法則です。

The Sonnet Project

各回路は、ネットリストでも、回路図形でも、1つのプロジェクトの中に収められます。このプロジェクトには、回路図形またはネットリストの仕様と、解析コントロール、そして、解析出力データが含まれます。プロジェクトに収められている解析データの種類の、そのプロジェクトで実行される解析の種類によって異なります。

SonnetSuite の各プログラムは、同じプロジェクトを使用します。新しいプロジェクトは project editor の中でオープンします。Project editor は回路図形を定義するためのグラフィカルインターフェイスまたは、他のプロジェクトを関連づけることのできるネットリストを入力するためのネットリストエディタを提供します。

Sonnet の変換ソフトである Agilent、DXF、GDSII のいずれかのライブラリをお持ちのユーザは、これらのファイルを project editor の中に入力し、変換した後、ファイルを Sonnet のプロジェクトとして保存することができます。

回路が完成すると、project editor の中で解析コントロールが使えるようになります。次にこの解析コントロールを使って、電磁界シミュレーションを、回路上で実施します。解析で得られたデータの出力はプロジェクトの中に格納されます。その図形が変更されない限り、このデータには複数の解析から得られた結果が収められます。

回路が project editor の中で変更された場合は、メッセージが表示され、保存する前に応答データを削除するか、または Save As を実行して別のプロジェクト名にするように促されます。この方法によって、プロジェクトの応答データは、図形又はネットリストと一貫性を保ちます。

この規則の例外は、電流密度のデータです。もし、ユーザが定義されたパラメータの図形の電流密度のデータを生成し、その後で回路のパラメータの名目値を変更した場合は、その新たな名目値に設定されたパラメータには、電流密度のデータは存在しないので、current density viewer にはエラーメッセージが表示されます。パラメータの名目値を変更しても、プロジェクトにある応答データを空にしまうきっかけにはなりません。

Far field viewer は、プロジェクトから電流密度のデータを入力し、遠方界放射パターンを計算します。ユーザはこれらの計算を“.pat" ファイルに保存し、それを far field viewer への入力ファイルとしても使用することができます。

更に、project editor での解析の設定時において、追加の応答ファイルをプロジェクトとは別の出力として定義できます。以下の表は、どの形式が使用可能かを示しています。

Table 1 Optional Output Files

Format	Default File Extension	Descriptions
Touchstone	.s<n>p .s<mm>	Touchstone response file n = number of ports < 10. mm= number of ports > 10.
Databank	.s<n>p .s<mm>	Databank format frequency sorted response file. n = number of ports < 10. mm= number of ports > 10.
SCompact	.flp	SCompact format response file
Spreadsheet	.csv	Comma separated value data for a spreadsheet such as Excel.
Spectre	.scs	Cadence format Spice file - all models
PSpice	.lib	PSpice file - all models
Agilent MDF	.mdf	Agilent's Microwave Data Interchange Format

Sonnet Applications

Sonnet は広範囲の 3 次元 構造を持つ回路を解析するのに適しています。Via を使用することによって、エブリッジやワイヤボンディング、スパイラルインダクタ、ウェルプローブ、内部ポートなどがゲラウンドと同じくらい簡単な設定で解析できます。

次のものが Sonnet を使用するのに適しています。

- 3次元プレーナ回路の設計を支援するための特定の不連続部または相互

不連続部の集合の評価。 : Em は不連続部に対して設計者が十分信頼できる極めて精密な S パラメータを算出します。また em は即座に不連続部に等価な集中回路を合成できます。この集中回路は回路理論プログラムで直接用いられます。

- **設計の検証。** : 検証に em を使うと、回路の受動部分や平面部分に、費用のかかる設計の繰り返し (言い換えれば微調整、再構築など) を効果的に排除します。現時点では em は精度に妥協することがないので、単独の電磁界解析で、例えば増幅器全体の解析を実行することは中規模ワークステーションや PC では困難です。しかし、増幅器設計のかなりの部分の検証は十分できます。

回路の設計が電磁界解析を念頭に行なわれたのなら、かなり大きな回路も解析することができるでしょう。例えば、回路が密に詰め込まれていて一般的な次元のグリッド上に設計されている長方形の回路であるならば解析はうまくいくでしょう。

- **マイクロ波パッケージの評価。** : 回路がパッケージ環境の中でどのように作用するかを評価することが大切です。 Em は導体ボックスの内部にある回路を解析します。もしボックス (誘電体を装荷した共振器として動作する) が回路のゲインが得られる周波数で発振すると、まずいことになります。 Em は実際の製作よりも前にパッケージの解析をします。ですから発振については、そのベンチテストというよりも、むしろコンピュータ上の事柄として扱われます。
- **マイクロストリップアンテナ。** : Em が扱うボックスの “ 上部のキャップ ” を効果的に取り去ることができます。放射というものは em の本来押し進める範囲外ではありますが、多くの種類のマイクロストリップアンテナや不連続部からの放射が評価できます。
- **高速デジタル相互接続。** : 近似回路では十分でないという場合は、 em は遅延や結合を含めた SPICE 集中定数回路を合成することもできます。この集中定数回路は電磁界データから直接合成されます。

Sonnet は初期設計をするのには向いていません。初期の設計には、むしろもっと速い回路理論に基づくシミュレータ (大抵漂遊結合などが考慮されていない) を用いるべきです。 Em は、その後で使うと、ユーザ特有の超精密な不連続部のデータを与え、漂遊結合などの作用を含めた最終的な回路の大部分を検証するシミュレータの性能を向上できます。

Sonnet はお手持ちの CAE ソフトウェアと共に働くように設計されています。加えて、出力データは Touchstone または Compact フォーマット (ユーザーが自由に選べます) となっているので *em* はお使いの CAE ツールへシームレスなインターフェースを提供します。

Em Origins

Em で使用されている技法は 1986 年に Rautio、Harrington 両氏によって Syracuse 大学で開発されました [79, 80, 82]。これは導波管内の平面状プロパゲーションの解析 [84] の拡張として開発されました。また、この技法はボックス内部の電界を導波管モードの和として表現しており、従って周波数領域法に密接に関係します。

理論に関する詳細は論文で公開されています。参考文献はすべて Appendix II, "Sonnet References" で紹介しています。

Sonnet User's Guide Layout

このマニュアルの第 2 章では、リリース 10 に新しく追加された機能と、リリース 9 から大きく変わった点について説明します。第 3 章から第 8 章では、Sonnet を使った設計上の重要な考察を説明します。多くの説明の中には、今検討している要点を図示した例題があります。第 9 章から第 11 章では、Adaptive Band Synthesis (ABS)、最適化メソッド、コンフォーマルメッシュなどの解析のオプションについて詳しく説明します。第 12 章ではネストリストの使用方を説明します。第 13 章では回路のサージシミュレーションのモードの使用方を説明します。第 14 章から第 16 章では各種の Sonnet の変換ソフトについて述べます。その後続く第 17 章から第 27 章ではより高度な設計について説明します。Appendix I ではパッチファイルの *em* コマンドラインについて説明します。Appendix II では Sonnet の理論や Sonnet を使用した論文を紹介します。

Describing Menu Bar Accesses

このマニュアルでは、Sonnet のプログラムのメニューバーのアクセスを“ポイント (⇒)”を使い、所望のメニューの選択を説明しています。例えば、File ⇒ Print はメニューバーにある File の上をクリックし、次に現れたプルダウンメニューから Print を選択する、ということの意味します。

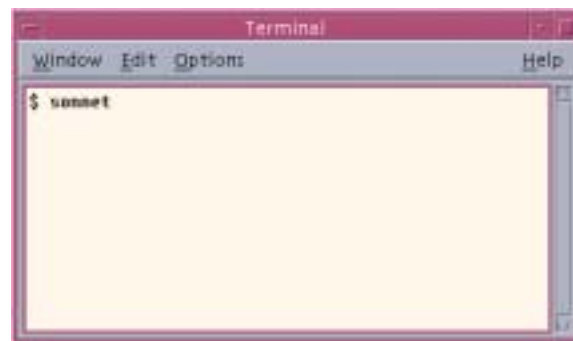
Invoking Sonnet

以下に示すような Sonnet タスク - を用いて、Sonnet の *em* Suite のすべてのモジュールにアクセスします。Windows と UNIX システムで Sonnet タスク - を開く方法を以下に示します。

UNIX

- 1 Terminal(ウィンドウ) をオープンします。

この方法をご存知でなければ、システムアドミニストレータにお尋ねください。



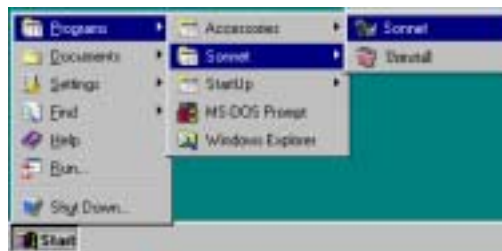
- 2 プromptに “sonnet” と入力します。

Sonnet タスク - が画面に表示されます。



Windows

- 1 Windows のデスクトップ スタートメニューから、スタート⇒プログラム⇒Sonnet⇒Sonnet を選択します。









Sonnet タスクバーが画面に表示されます。



UNIX または Windows システムで Sonnet タスクバーをオープンし、表示されているボタンをクリックすると該当のモジュールがオープンします。以下の表では、各ボタンでどのモジュールが起動されているかを示しています。

Table 2: Sonnet Task Bar Buttons

Button	Button Name	Sonnet Program
	Edit Project	Project Editor
	Analyze Project	Analysis Monitor
	View Response	Response Viewer
	View Current	Current Density Viewer
	View Far Field	Far Field Viewer
	Manuals in PDF format	Adobe Acrobat

DXF と GDSII ファイルを変換するプログラムは、project editor の File メニューからアクセスされます。各プログラムの詳細については、該当のユーザーズマニュアルまたはオンラインヘルプをご覧ください。