

S-NAP PCB Suite

解析サンプル&機能概要

2018年 10月発行

Release 3

株式会社エム・イー・エル

〒452-0808

名古屋市西区宝地町207

TEL +8152-504-6068

FAX +8152-504-6067

URL: <http://www.melinc.co.jp>

目次

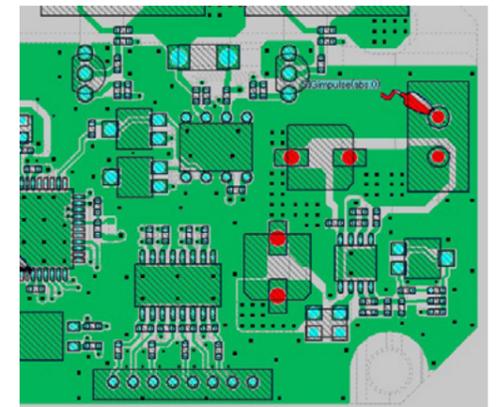
S-NAP PCB Suite 解析サンプル&機能概要	1
全端子を俯瞰する重要性	3
効率的なポート(端子)制御	3
ESD解析への適用例	3
ノイズ源設定と解析	4
リアルプローブによる波形観測	4
電圧シートによる全端子の観測	5
電圧シートを用いたその他の検討例	6
ノイズ侵入経路の考察	6
EMS (Electro Magnetic Susceptibility) 解析への適用例	7
サンプル基板への適用例	7
スイッチング動作の重要性	10
非線形定常応答解析	10
スイッチング動作に関する解析例	11
スイッチング時のパスコンの動作	11
同時スイッチングの解析	16
DCDCコンバータのスイッチング解析	19
基板内で動作しているDCDCコンバータのスイッチング解析	23
3次元結合の重要性	27
高速ロジック回路の解析	27
片面基板の解析や対向面のない両面基板解析	28
S-NAP Wireless Suiteのご紹介	29
静電ノイズ経路の解析例 (S-NAP Wireless Suite)	29
ICパッケージの特性解析 (S-NAP Wireless Suite)	30
ケーブルからの放射解析例 (S-NAP Wireless Suite)	31

全端子を俯瞰する重要性

静電ノイズ試験やRFノイズによる誤作動を調べる試験では、ノイズが印加された状態で、どの端子にノイズ電圧が誘起されているかを調べる必要があり、ノイズを印加したときの全素子端子の電圧電流特性を観測する必要があります。

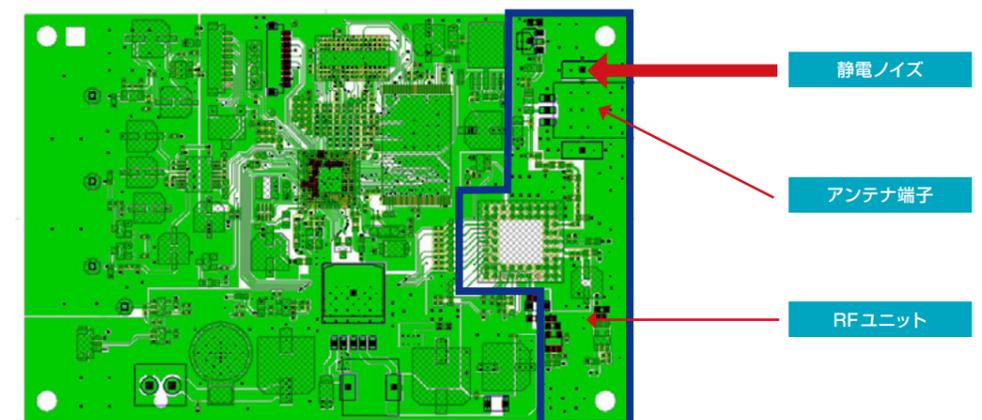
効率的なポート(端子)制御

S-NAP/PCBの解析手法の基本概念は、基板の全端子をポートに置き換え、基板全体のSパラメータを解析し、そのSパラメータボックスに素子を接続し、実装状態の基板特性を得るものです。基板全体をSパラメータのブラックボックスとすることで、任意の素子端子に信号を設定でき、任意の素子端子間に素子を追加するなどが容易に行うことができます。しかしながら、端子数が多くなると、全端子に対するSパラメータ計算は膨大な計算量になり、現実的には2000端子程度になります。この問題を解決するために、アクティブポートとパッシブポートに分類する手法を採用しています。アクティブポートは、信号の入力や素子の接続を行うことが可能な端子で、いわゆる入出力可能なポートです。一方、パッシブポートは、信号入力などのアクティブな操作はできず、電圧と電流を観測するのみのポートになります。このように2種類のポートに分類することで、10000端子を超えるような大規模基板においても全端子電圧電流の観測を実現することができます。図の赤いポートがアクティブポートで、青いポートがパッシブポートになります。



ESD解析への適用例

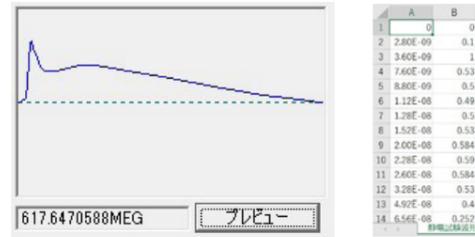
アクティブポート、パッシブポートを用いた静電ノイズ解析の例をご紹介します。以下の基板は、1400端子ほどの6層基板で、高周波信号処理部とシステム部に分かれています。図中の赤色の端子がアクティブポートで、それ以外の素子端子がパッシブポートに設定されています。



テスト基板(6層 1377ピン)

ノイズ源設定と解析

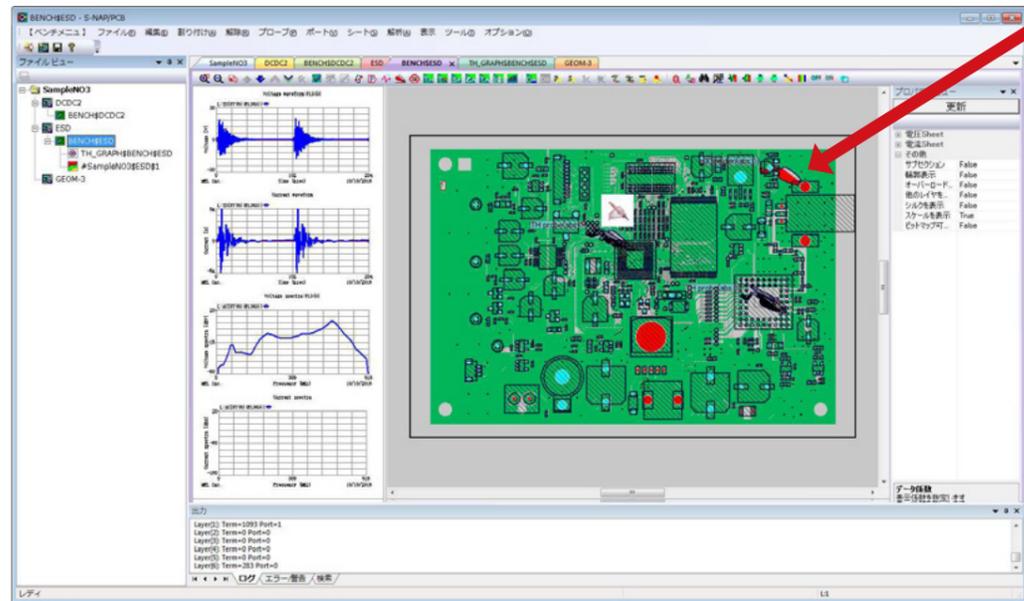
右上のアンテナコネクタのハウジング端子に静電ノイズを印加した場合、どこの端子にノイズが誘導されやすいかを調べてみます。ノイズ信号は、IEC61000-4-2規格の波形を設定しています。信号波形は、パルスやサイン波などの基本波形以外に、CSVファイルで任意の波形を定義することができます。今回はCSVファイルで定義した波形（折れ線グラフ）を用いています。



ノイズ波形とCSV ファイル

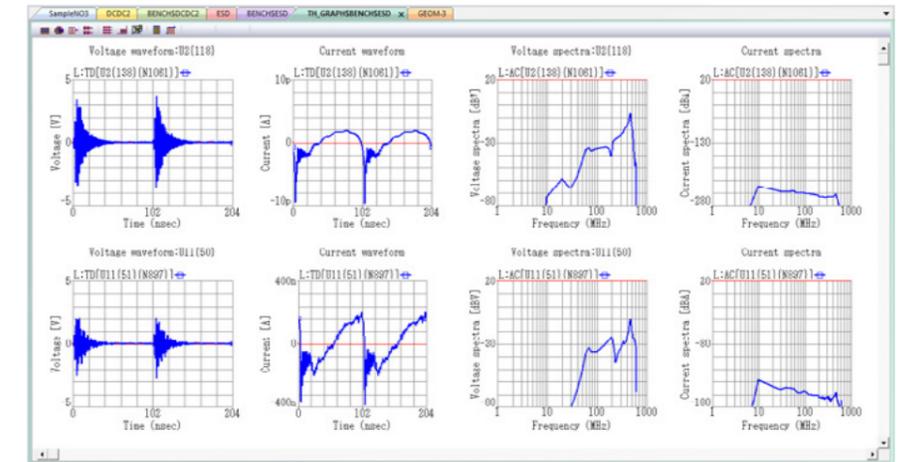
次に、図のようにFG 面とアンテナ端子間にノイズクリップをとりつけて解析を行います。15 秒ほどで全端子の電圧波形、電流波形、電圧スペクトル、電流スペクトルを計算します。

FG とアンテナ取り付け端子にノイズを印加する



リアルプローブによる波形観測

上図の図中にあるマウスプローブを端子に触れることで、その端子の波形やスペクトルが即座に左側のグラフに表示されます。CPUの電源端子やリセットラインなど必要な端子には、プローブを設定し次図のような固定グラフを作成します。この図から、470MHz付近におおきなスペクトルがあることがわかります。

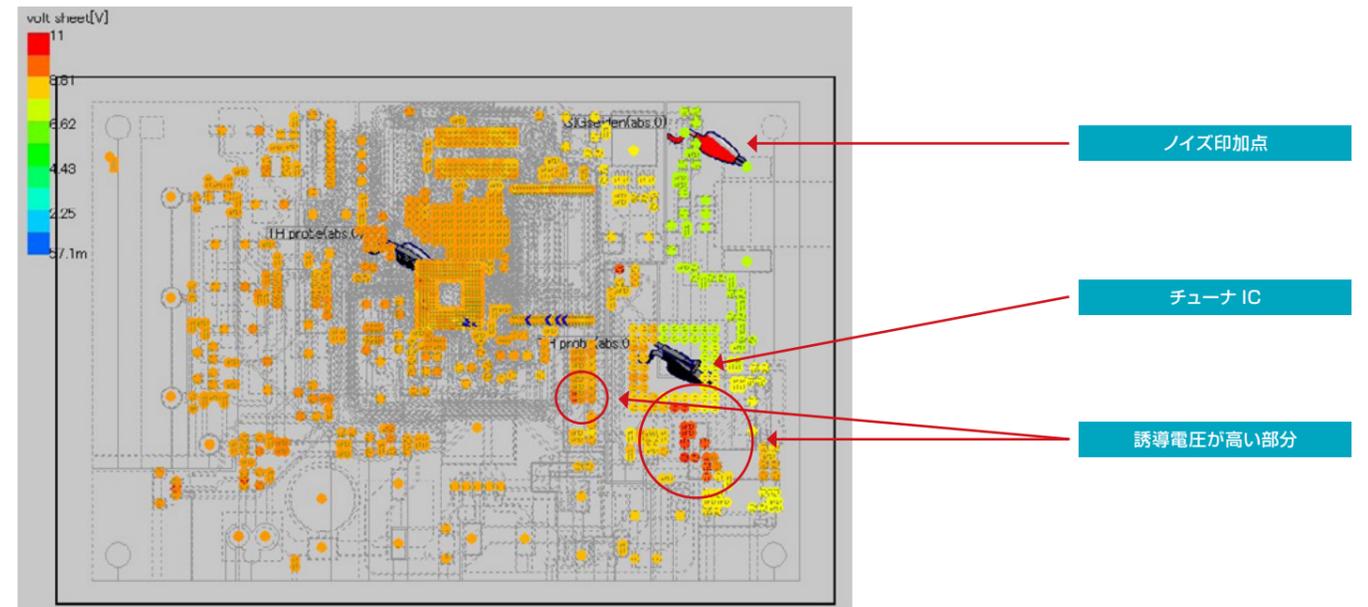


CPU 電源端子（上段）とチューナ IC の電源端子（下段）の波形とスペクトル

左から、電圧波形、電流波形、電圧スペクトル、電流スペクトル

電圧シートによる全端子の観測

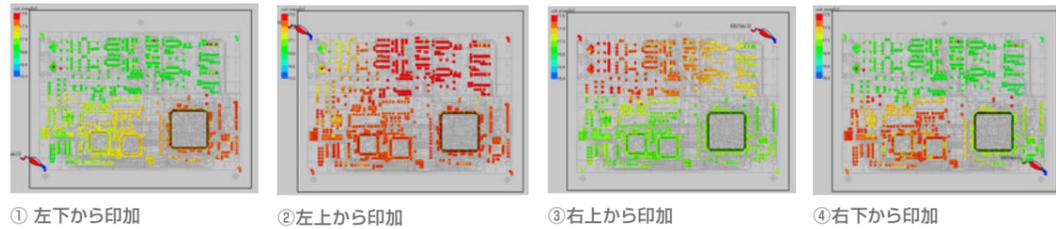
リアルプローブでは、端子毎にプローブを接触し波形やスペクトルをみることができますが、全端子を俯瞰した状態でどの部分に誘導されやすいかを調べたい場合もあります。このような場合は、電圧電流シートモードを用いることで、端子全体を色分布で表示することができます。下図は電圧シート表示です。ノイズ信号はRFコネクタに印加していますが、RF部よりもシステム部の方が、誘起電圧が高いことがわかります。また、チューナICの周りに数か所高電位の部分があることが確認できます。この結果は、全端子の電圧電流が観測できることにより得られるもので、アクティブパッシブポートの威力を表わしています。



電圧シートモードによる全端子の電圧分布

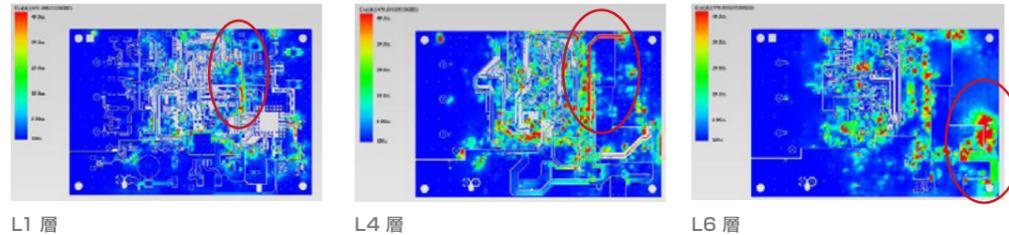
電圧シートを用いたその他の検討例

電圧シート機能を用いたさらなる検討方法としては、以下のようにノイズ印加点を変更することで、どのエリアにノイズ電圧が誘導しやすいかなどを一目で確認することができます。下図は基板の4隅からインパルスノイズを印加した例で、左上から印加した場合が最もノイズの影響を受けやすいことがわかります。



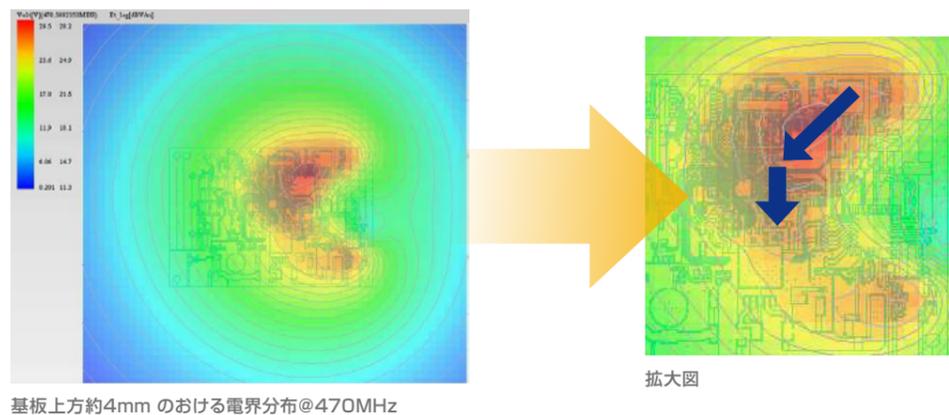
ノイズ侵入経路の考察

スペクトルを解析した結果470MHzのスペクトルが大きいことがわかりましたので、ノイズの侵入経路を探るために、470MHzでの電流分布を解析してみます。図はL1,L4,L6層の電流分布です。○で囲んだあたりの電流密度が高いのが見て取れます。L4層では、RF部に供給している電源ラインに電流が多く流れていることがわかります。



放射電磁界分布解析機能を用いる

電流分布からだけでは判別が難しい場合がありますので、そのような場合は、表面の電磁界分布を観測すると現象がつかめる場合があります。放射電磁界分布解析は、基板の周辺の任意のカット面での電磁界分布を表示する機能で、コモンモード電流が多く発生しているような場所を特定することができます。図は470MHzでの基板上方約4mmにおける電界分布です。赤い部分は、放射電界強度が高い部分ですので、その下に放射に寄与するコモンモードが多く流れていると推察できます。結果、電流経路はRF回路への電源供給ラインに添っていると考えられます。



EMS (Electro Magnetic Susceptibility) 解析への適用例

EMSは、他の電子機器から発生したノイズの影響をどれだけ受けやすいかという事ですが、この解析には、「入射波解析機能」を適用することができます。この機能は、空間的に離れた位置からRF信号を照射するもので、無線トランシーバなどの高周波発生機器を基板の近傍で動作させるイメージです。外来波信号として、基板に到来した電磁波は、パターンに電位を誘起します。入射波解析機能は、 θ 、 ϕ 方向から到来する平面波を設定できます。

電圧シートを用いたその他の検討例

電圧シート機能を用いたさらなる検討方法としては、以下のようにノイズ印加点を変更することで、どのエリアにノイズ電圧が誘導しやすいかなどを一目で確認することができます。下図は基板の4隅からインパルスノイズを印加した例で、左上から印加した場合が最もノイズの影響を受けやすいことがわかります。

入射波設定および解析

入射波解析

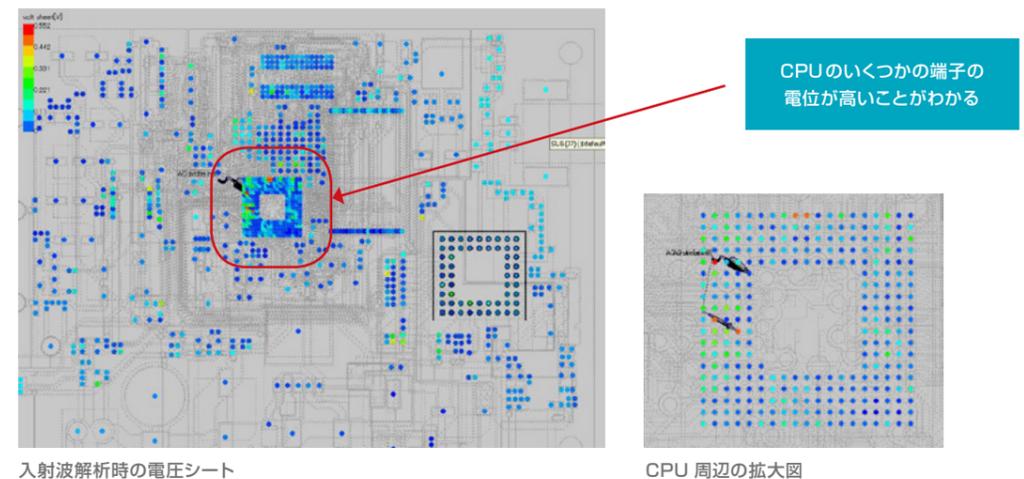
入射電界強度 入射角
 $E\theta$ [V/m] θ [deg]
 $E\phi$ [V/m] ϕ [deg]

周波数単位 [MHz] スタート ストップ ストップ数
 周波数スイープ 300 500 5
 指定周波数

実行 電界強度計算ツール OK キャンセル

<入射パラメータ>
 $E\theta$ [V/m]: θ 方向の電界強度
 $E\phi$ [V/m]: ϕ 方向の電界強度
 θ [deg]: θ 入射角
 ϕ [deg]: ϕ 入射角

入射波解析の設定

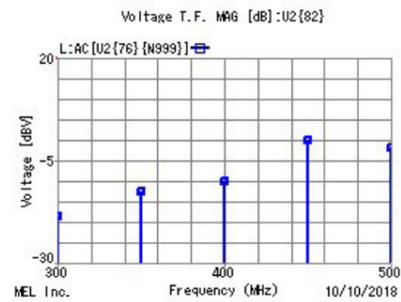


入射波解析時の電圧シート

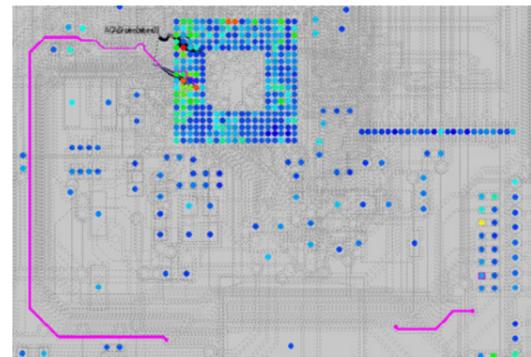
CPU周辺の拡大図

入射波のスペクトルの観測

電位が高くなっている端子の一つを見たグラフが下図の通りです。450MHz あたりがスペクトルのピークになっていることがわかります。この端子を探索機能で追いかけていくと、図のように結構長いパターンになっていることがわかります。この接続先はR506 ですが、この端子は先の静電ノイズ解析で高電圧になっていた端子と一致しています。



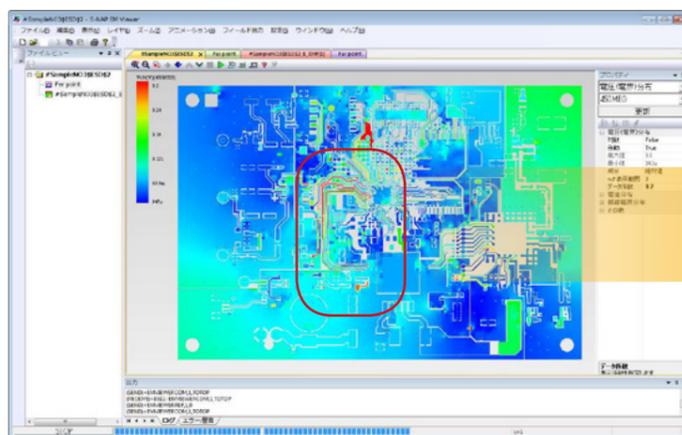
入射波解析時の端子スペクトル



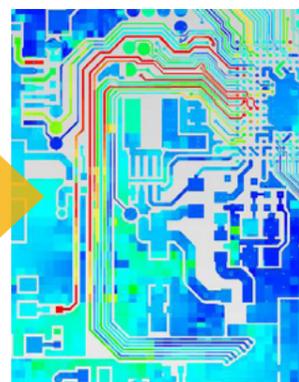
高電圧が発生している端子につながれているパターン

入射時の電圧分布表示

下図は、入射波解析時の450MHz での電圧分布を表示したものです。CPU 左側部分のパターンの電位が高くなっていることが確認できます。



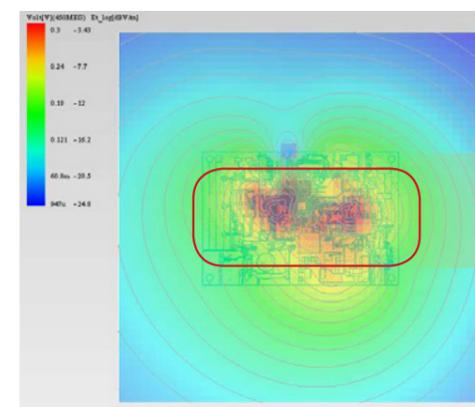
入射波印加時の450MHz での電圧分布



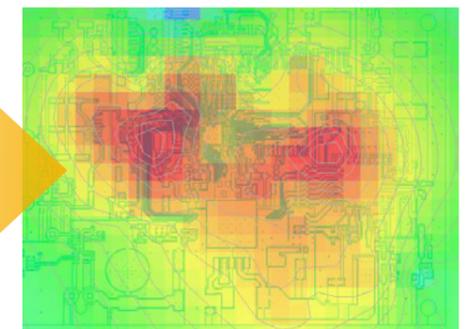
拡大図

2次輻射電界の観測

下図は、入射波によりパターンに誘導した電流によって再輻射した放射電界の分布を示したものです。CPU の左側付近とチューナ IC 付近から再輻射が発生していることが確認できますので、この付近のパターンを見直す必要があると考えられます。



入射波が再輻射した電界分布



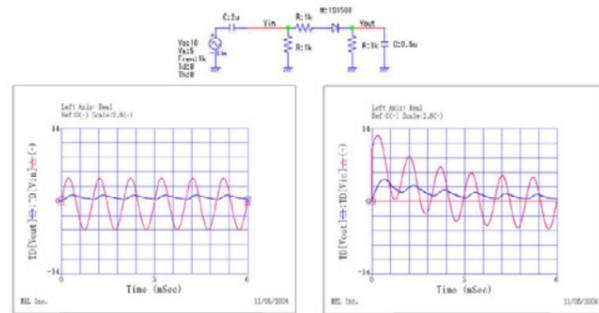
拡大図

スイッチング動作の重要性

ESD やEMS 解析などでは、外部からの信号源により発生するノイズ電圧電流を解析しますが、CPU やDCDC コンバータが、基板上で動作する場合のノイズ解析はどのように行うべきでしょうか。スイッチング動作を行っている素子の場合、基板上でスイッチング動作をさせることが重要になります。

非線形定常応答解析

SPICE など一般的な回路シミュレータでは、スイッチング素子やダイオードなどの非線形素子を含む解析は、トランジェント解析が用いられます。図はダイオードを一つ用いた整流回路ですが、トランジェント解は図のように過渡解と定常解の合成となり、定常解を得たい場合、過渡解が収束するまで待つ必要があります。回路の時定数が多い場合、過渡解が収束時間は非常に長くなり、またどの時点で過渡解が収束しているのかの判断も難しくなります。また、基板上でトランジェント解析を行う場合は、例えば基板のSパラメータ情報のインパルス応答を求め、畳み込み積分法などを用いて回路素子と混在解析を行う必要があり、1ステップあたりのCPU時間が必要になります。このような問題から、基板上でスイッチング動作を再現させることは容易ではなく、あまり積極的には行われていません。一方で、ハーモニック・バランス法は周波数ドメインでの非線形解析法で、定常解を直接得ることができます。基板部分のSパラメータを時間軸応答に変更する必要はなく、Sパラメータをそのまま使用することができます。結果は、定常解が出力されますので、回路時定数により解析時間が左右されることはありません。また、時間軸の応答波形は2次解として得られます。ハーモニック・バランスを大規模ノードで解析するのは、収束性や変数の増加の問題で工夫が必要ですが、S-NAP/PCBでは、独自のハーモニック・バランス法により基板上での定常応答解析を実現しています。この機能により、スイッチング動作の定常応答を高速に計算することができます。今回のサンプルは、この手法を用いて計算を行っています。



ハーモニック・バランス解析とトランジェント解析の相違
 トランジェント解析では、過渡項と定常項の合成解になる。

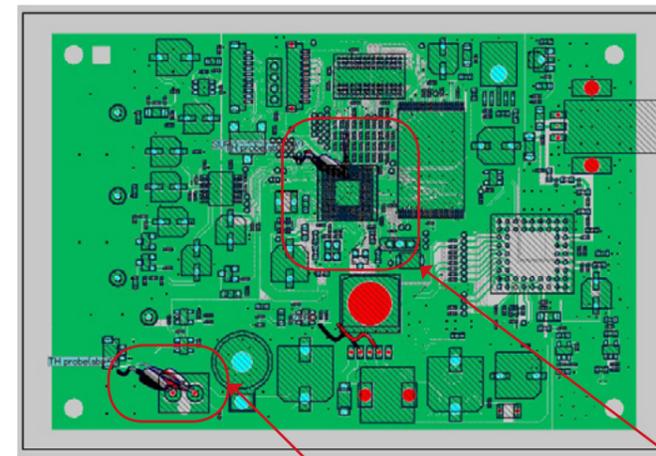
スイッチング動作に関する解析例

スイッチング動作に関する例として、以下のような例があります。

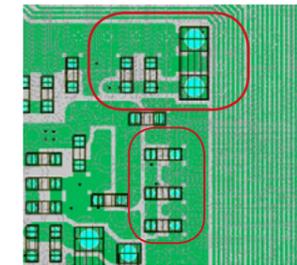
- ・CPUの出力バッファがスイッチング動作している場合の電源電圧変動とパスコンの挙動
- ・DCDCコンバータのスイッチングノイズ
- ・パルスモータのスイッチングノイズ

スイッチング時のパスコンの動作

CPU (U2) の出力バッファがスイッチング動作している場合の電源電圧変動とパスコンの挙動を解析します。CN1 にDC 5V を印加し、CPU (U2) の電源、グラウンド間にスイッチングモデルを設定します。

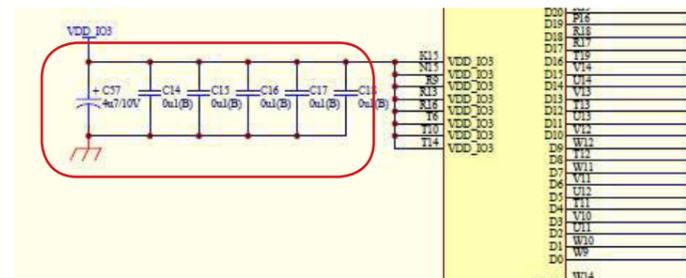


CN1



L6層に実装されたパスコン
 U2のほぼ裏側

U2

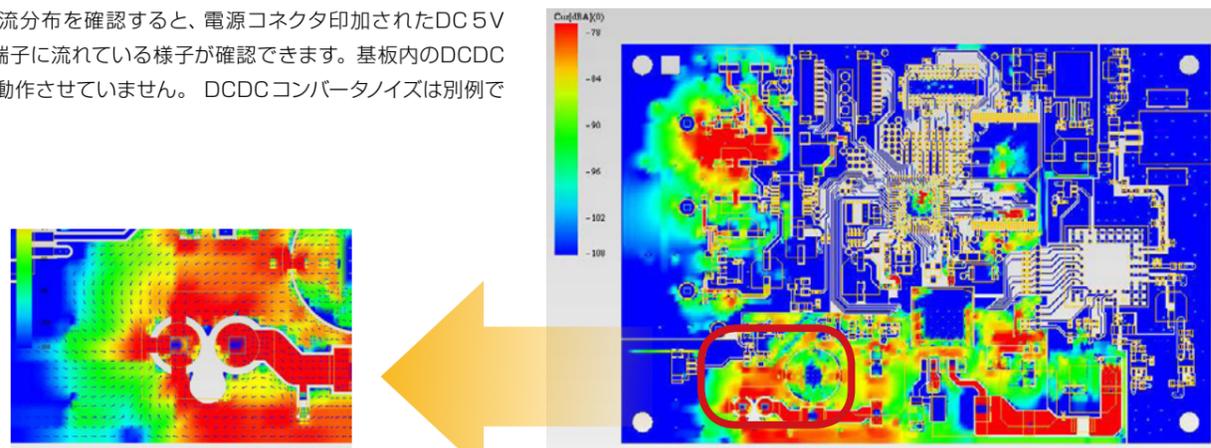


回路上のパスコン

非線形定常応答解析により、スイッチング時のパスコンの電圧・電流をシミュレーションにより解析してみます。ベンチにおける応答解析は、20秒程度で、全端子の電流電圧波形とスペクトルを得ることができます。

DC 電流の確認

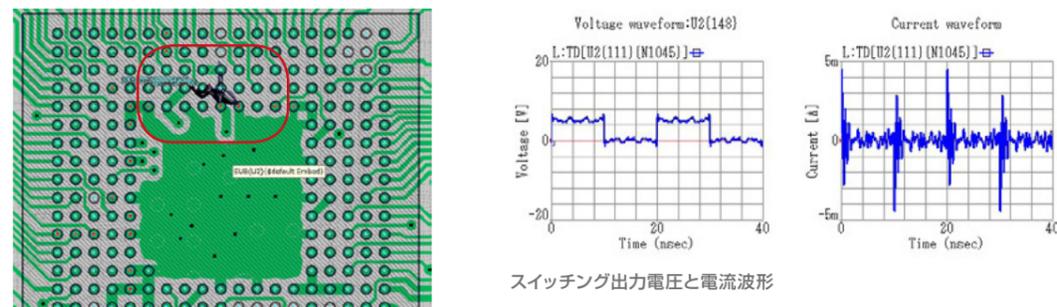
DC 電流の電流分布を確認すると、電源コネクタ印加されたDC 5V がCPU電源端子に流れている様子が確認できます。基板内のDCDC コンバータは動作させていません。DCDC コンバータノイズは別例で検討します。



電源コネクタ周りのDC 電流

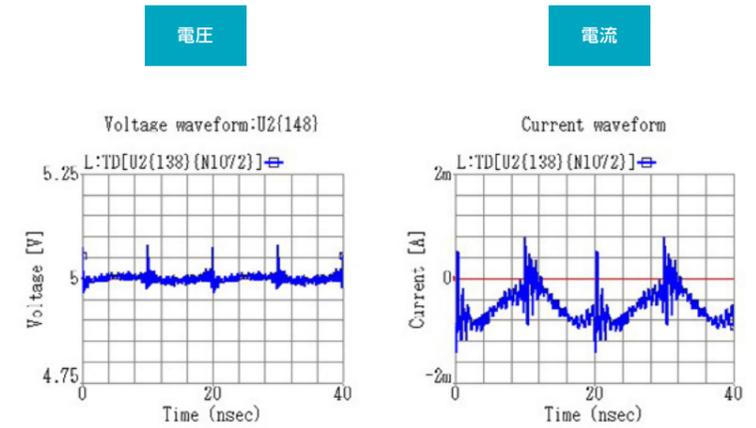
CPU (U2) 電源端子の特性

「同時スイッチングなし」でシミュレーションを行った場合のCPUの電源とグランド間特性を示します。80mほどのスイッチングノイズが確認できます。

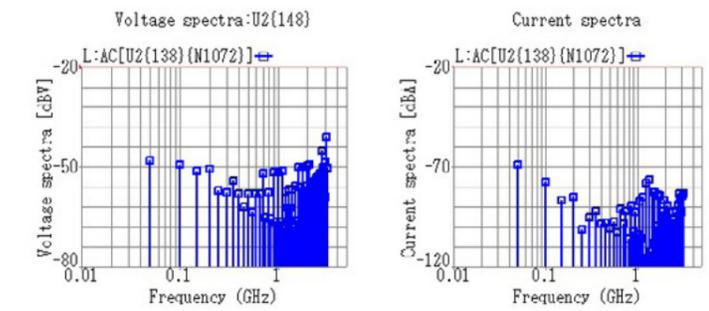


スイッチング出力電圧と電流波形

波形

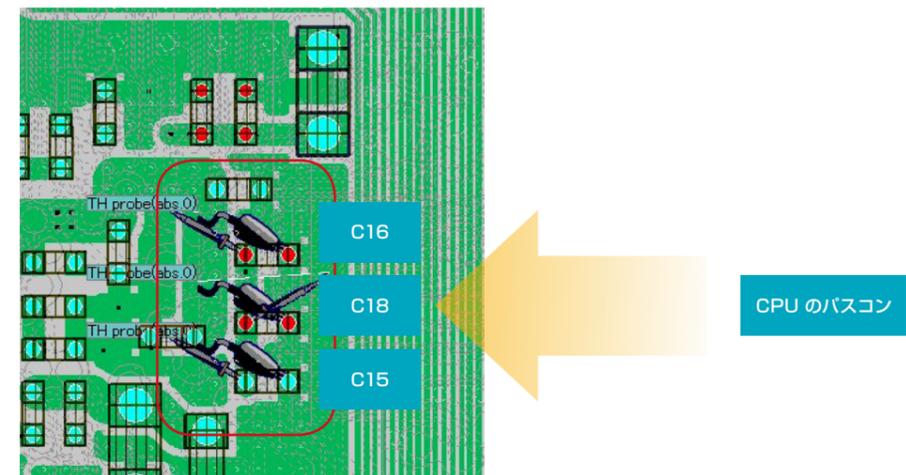


スペクトル



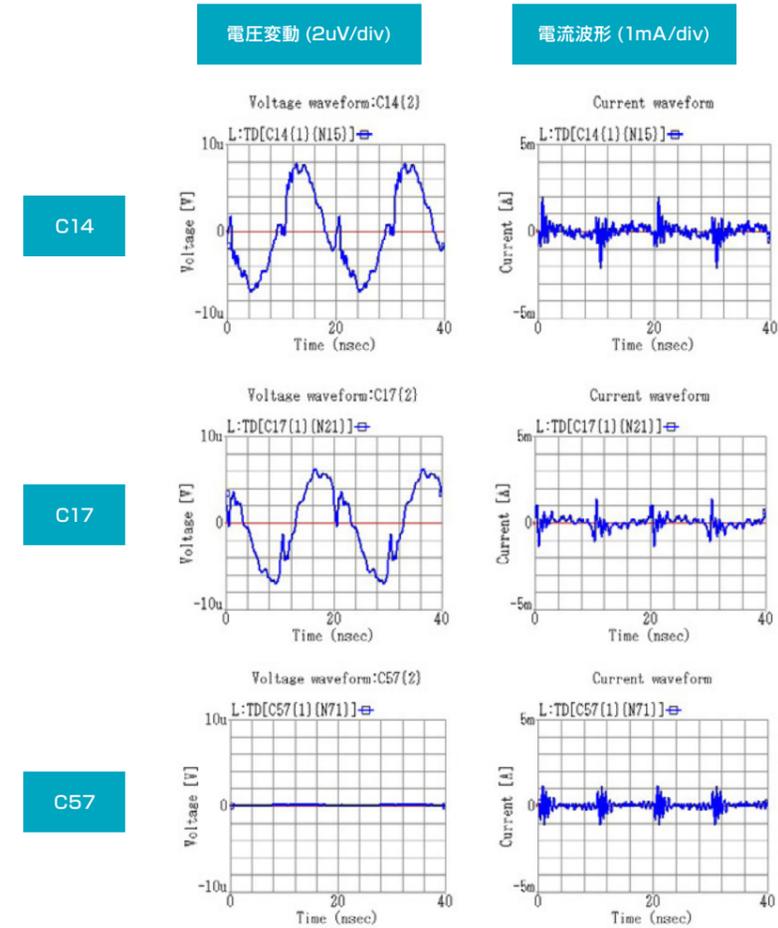
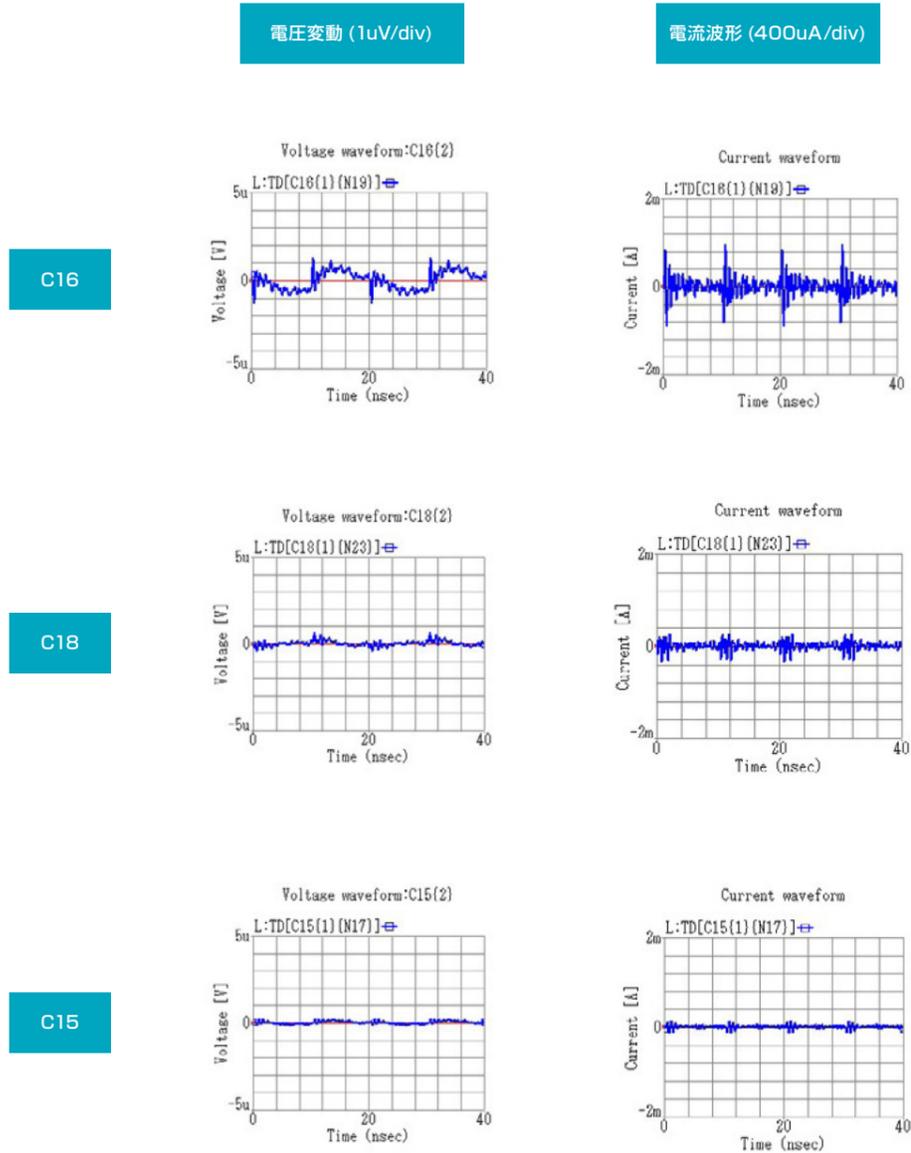
パソコンの電圧と電流 (C16,C18,C15)

「同時スイッチングなし」でシミュレーションを行った場合の、CPUのバスコン C16C18,C15の電圧波形と電流波形です。これらのバスコンの電圧は、どれもほぼ5Vですので、AC プローブを用いて変動分だけを表示しています。電流波形は、バスコンの充放電電流になり、この中ではC16が最も大きいことがわかります。



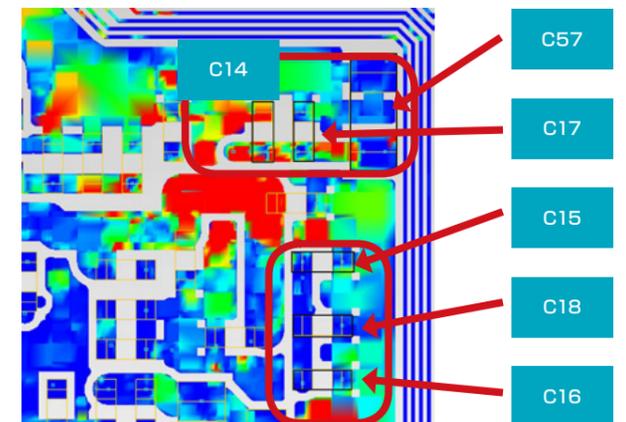
パソコンの電圧と電流 (C14,C17,C57)

C14,C17,C57 の電圧波形と電流波形です。C57 は4.7uF の電解コンデンサです。前ページのC16,C18,C15 とはスケールが異なっていることに注意してください。6 個のパソコンの中で、C14 に最も電流が流れていることがわかります。



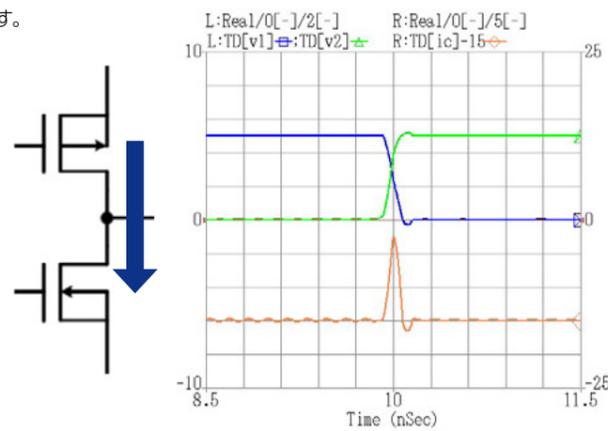
パソコン近傍分布 (50MHz)

パソコン周辺の50MHz の電流分布を示します。C14 に最も電流が流れていることが、電流分布からも確認できます。



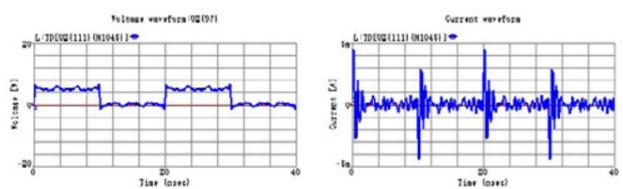
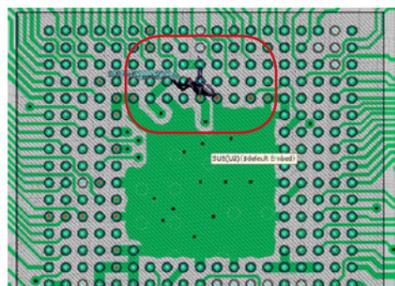
同時スイッチングの解析

スイッチング素子に0.5 度位相ずれの状態を設定し、貫通電流を再現させてみます。
 スwitching特性は、下図のように貫通電流を確認できます。
 (回路シミュレータで確認)
 (Ic1.ic2 はそれぞれのFET 電流。わかりやすいように反転させている)



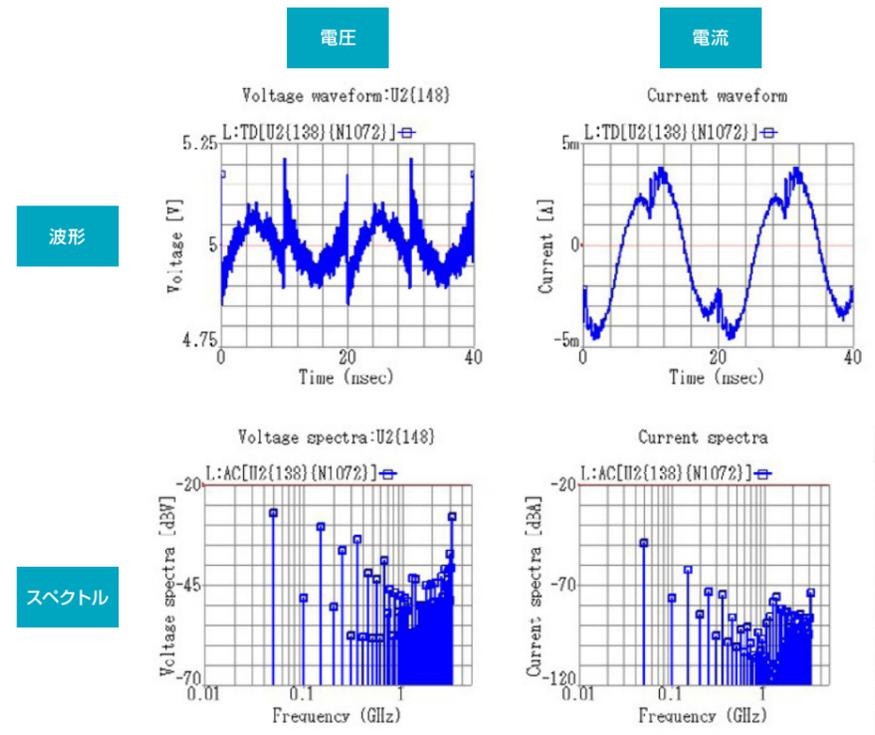
CPU (U2) 電源端子 (同時スイッチングあり)

「同時スイッチングあり」でシミュレーションを行った場合のCPU の電源-グランド間特性を示します。300mV 以上のスイッチングノイズが確認でき、正常時と比較すると3 倍以上になっていることがわかります。スイッチング出力については、目視での変化はほとんど認められません。



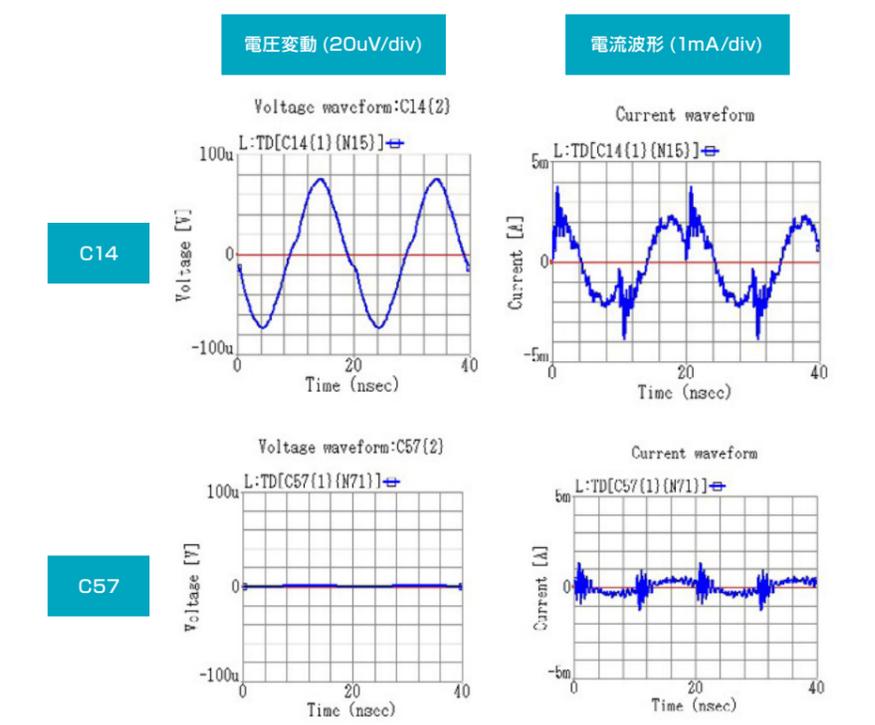
スイッチング出力電圧と電流波形

同時スイッチングあり、の時 CPU (U2) 電源端子



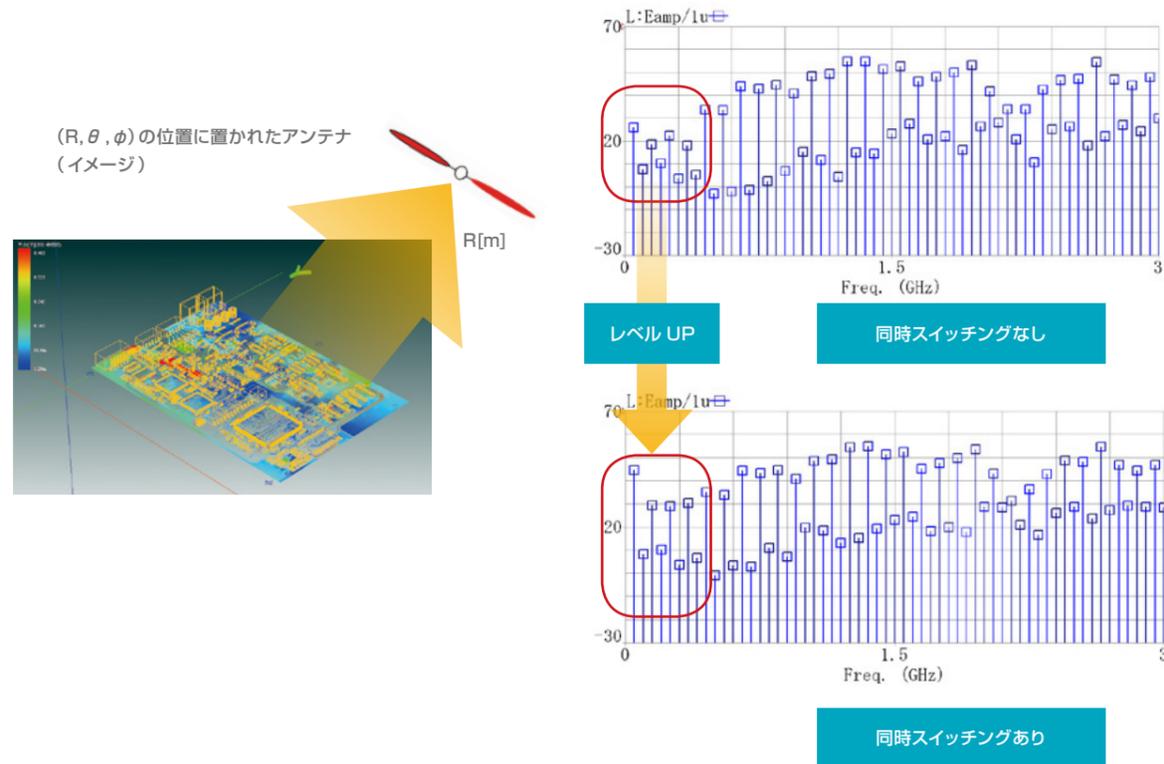
パソコンの電圧と電流 (C14,C57) (同時スイッチングあり)

C14 とC57 の電圧変動と電流波形を示します。同時スイッチングなしの場合と比較し、C14は電圧変動が大きくなり電流の変化も大きくなっています。一方、C57 は全体的に50MHz のゆらぎは見えるものの、同時スイッチングなしの場合と比較しさほど変化がないことがわかります。



同時スイッチングがある場合とそうでない場合の3m地点電界強度の比較

スイッチング動作時のパターンの電流分布から、R[m]における電界強度を計算できます。この機能により、同時スイッチングが発生した場合とそうでない場合の放射ノイズの差を知ることができます。右図から、同時スイッチングが発生した場合、50MHz～350MHzまでのノイズスペクトルが10dB以上上がっていることが確認できます。

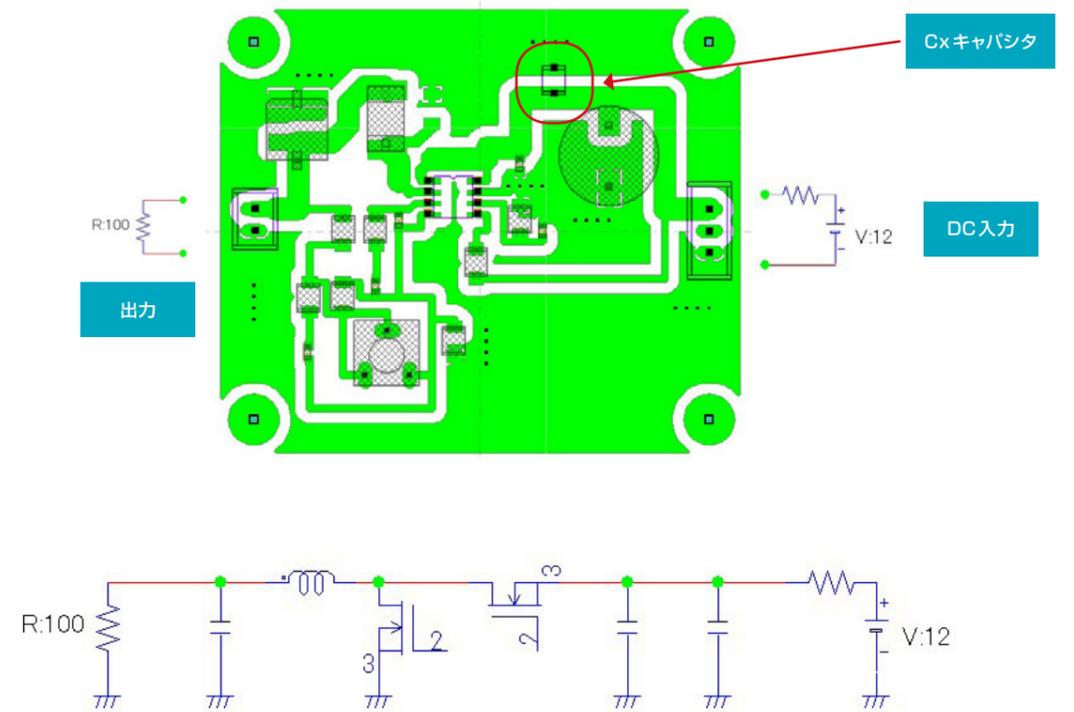


DCDC コンバータのスイッチング解析

DCDC コンバータの伝導ノイズは重要な問題です。この問題においても、基板内でスイッチングを再現させることは非常に重要です。

サンプル基板

図のようなDCDCコンバータを、非線形定常応答解析を用いて解析を行います。入力側のキャパシタは中央部のグラウンドの島に接続されているので、異なるグラウンド位置に落としたCxキャパシタの効果を解析してみます。



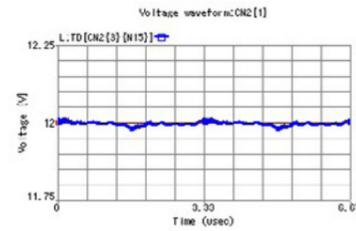
等価回路 スwitching周波数：300KHz

入出力端子の波形とスペクトル (Cx キャパシタなし)

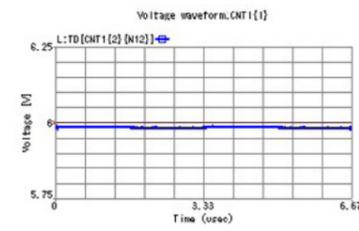
63.6MHz にノイズスペクトルが見える。

Cx キャパシタなし

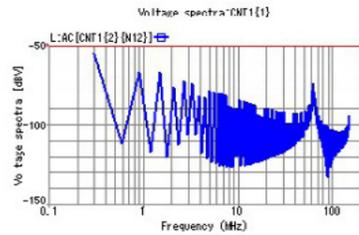
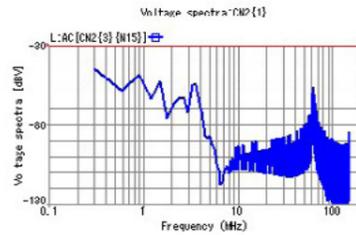
電圧波形



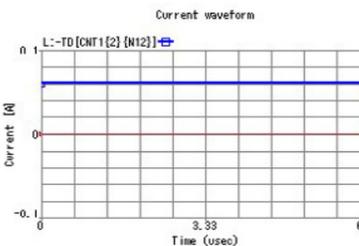
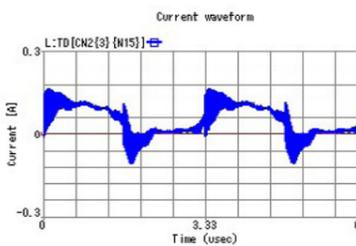
出力端子



電圧スペクトル

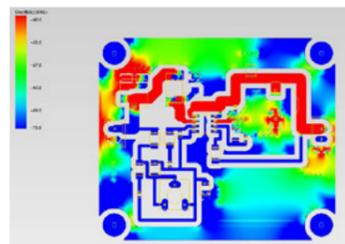


電流波形



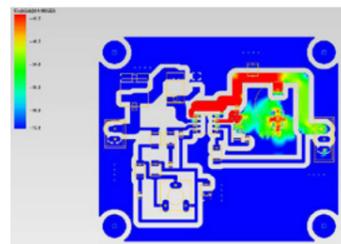
電流分布特性

300KHz

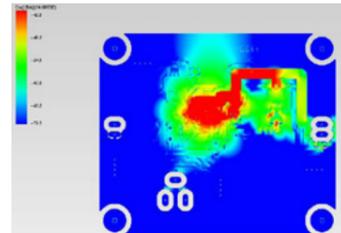
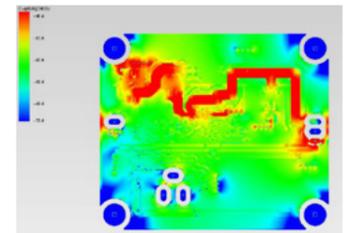


L1 層

63.6MHz



L2t 層

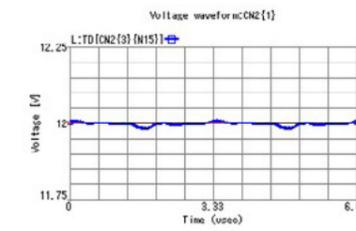


入出力端子の波形とスペクトル (Cx キャパシタあり)

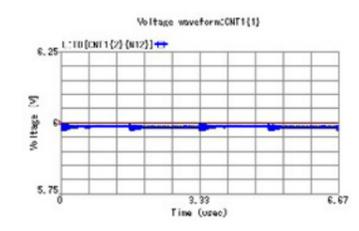
入力端子側のノイズレベルは減少したが、出力側のノイズスペクトルが上がっていることがわかる。

Cx キャパシタあり

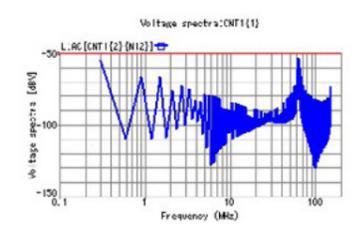
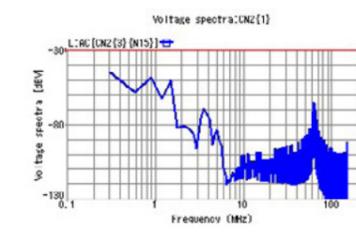
電圧波形



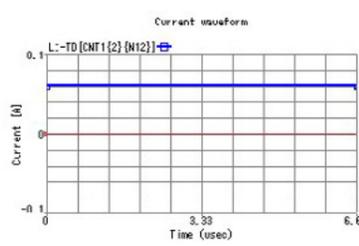
出力端子



電圧スペクトル

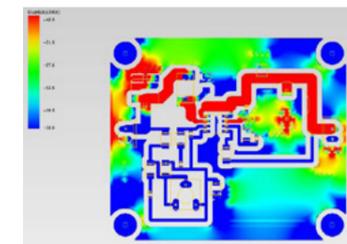


電流波形



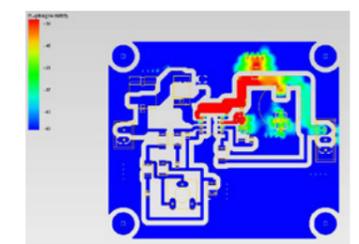
電流分布特性

300KHz

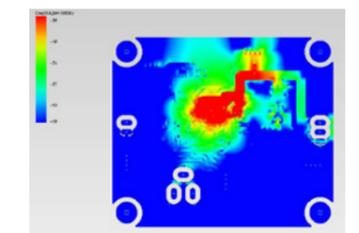
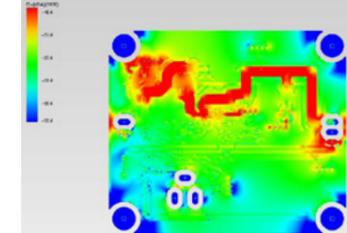


L1 層

63.6MHz

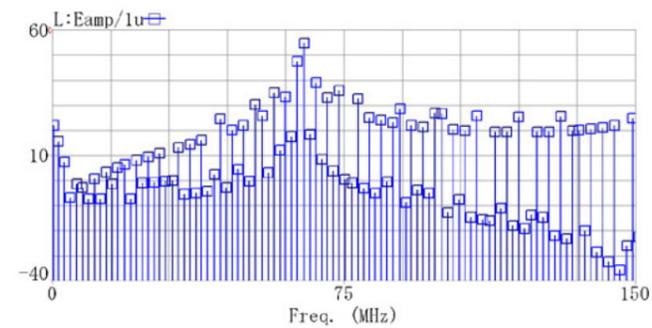


L2t 層



3m電界強度

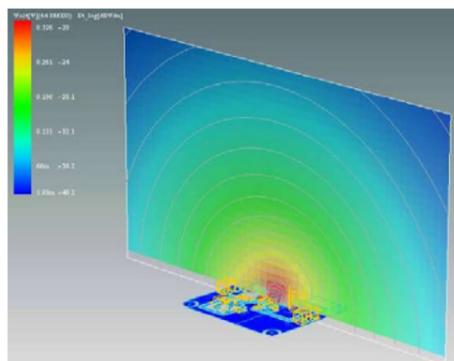
追加キャパシタがある場合の、近傍の電磁界分布と3m地点での電界強度を示します。64.8MHzで大きな放射があることが確認できます。偶数時のスペクトルが下がっているのは、クロックのDutyが50%のためです。



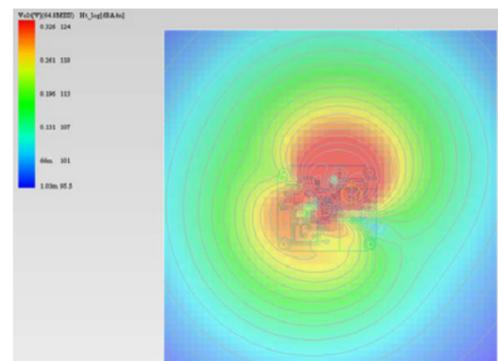
3m地点電界強度

近傍電磁界分布

以下に64.8MHzの時の近傍電界分布と、近傍磁界分布を示します。近傍電界は、観測用カット面を基板に垂直に置いていますので、放射の様子がわかります。近傍磁界は、基板上方2mmの位置での磁界分布です。



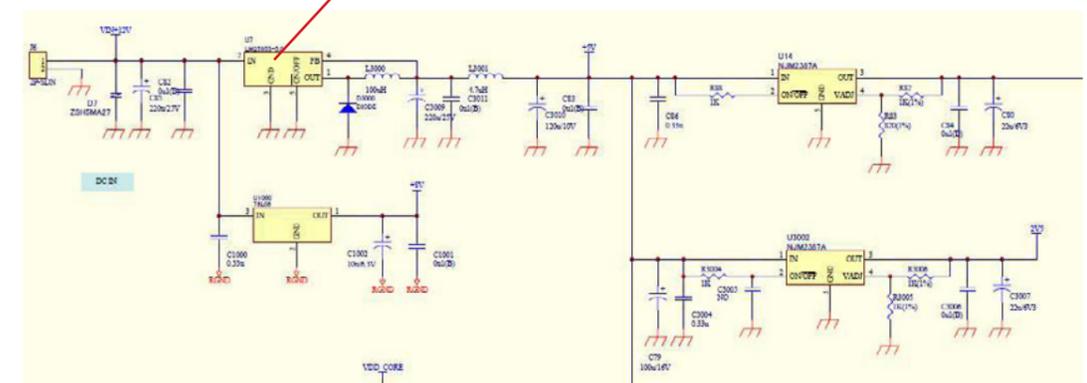
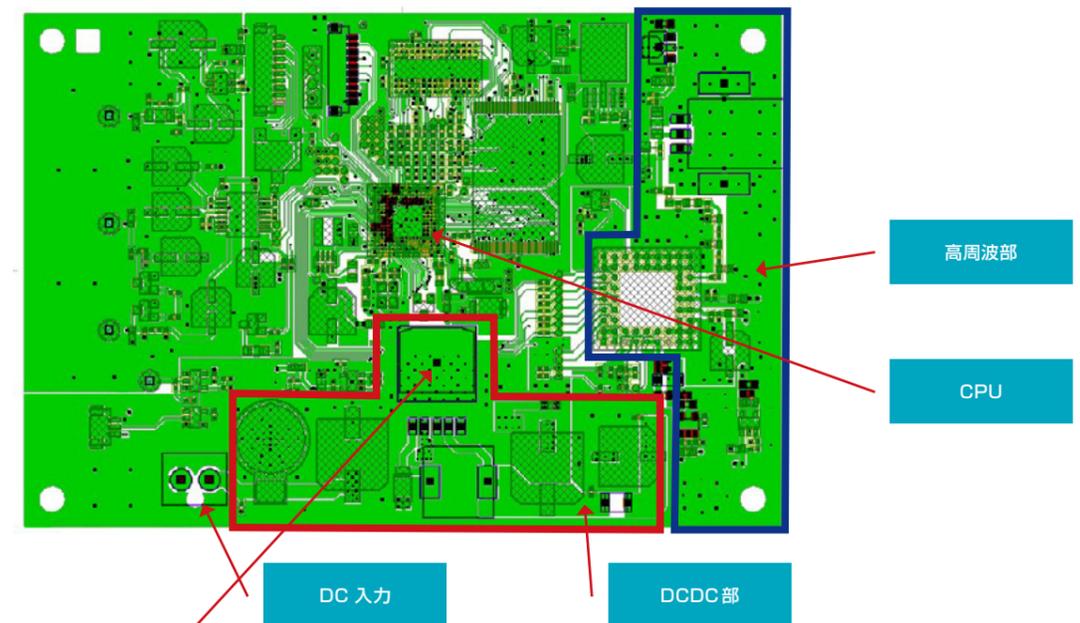
近傍電界



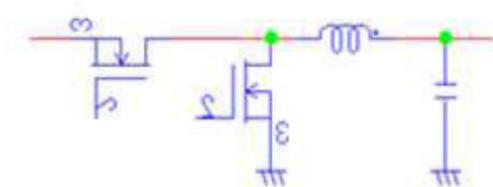
64.8MHz

基板内で動作しているDCDCコンバータのスイッチング解析

図の基板において、赤い枠内はDCDCコンバータ部分で、黒い枠内が高周波ユニットになっています。DCDCコンバータ出力は、1) シリズレギュレータを経由し高周波ブロックに供給されている。2) 外部アンプへのDC供給として、シリズレギュレータを経由しアンテナ端子に供給されている。という構造になっています。



DCDCコンバータ部分の回路図



DCDCコンバータ設定 2.2MHzスイッチング

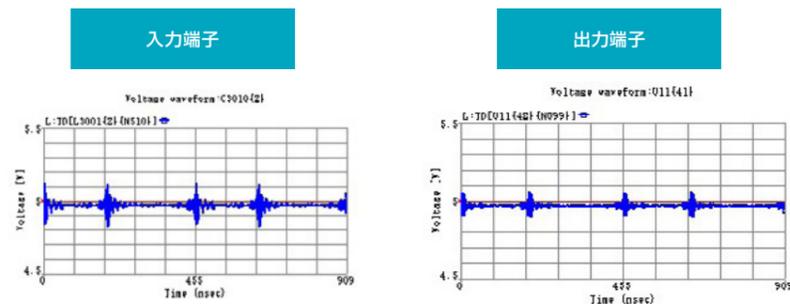
各部の電源スペクトル

DCDC コンバータ出力は、シリースレギュレータを経由し高周波ブロックに供給されています。

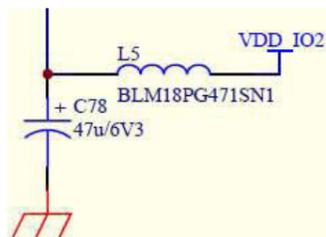
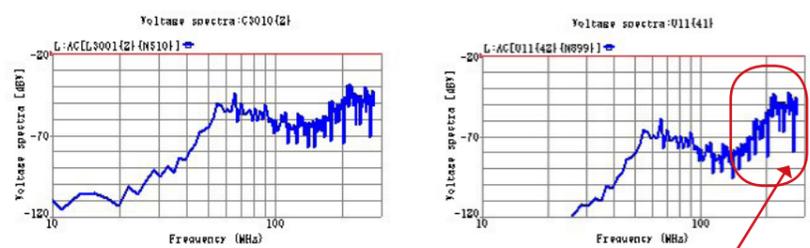
(1)のスペクトルは、高周波ブロックの入り口での5V ラインです。66MHz と200MHz 付近にノイズスペクトルが確認できます。

(2)のスペクトルは、チューナ IC の電源端子である。電源端子入り口には簡単なLPF が挿入されています。150MHz あたりまではノイズレベルは良く減少しているが、それ以上では効果はあまり確認できないことがわかります。

電圧波形



電圧スペクトル



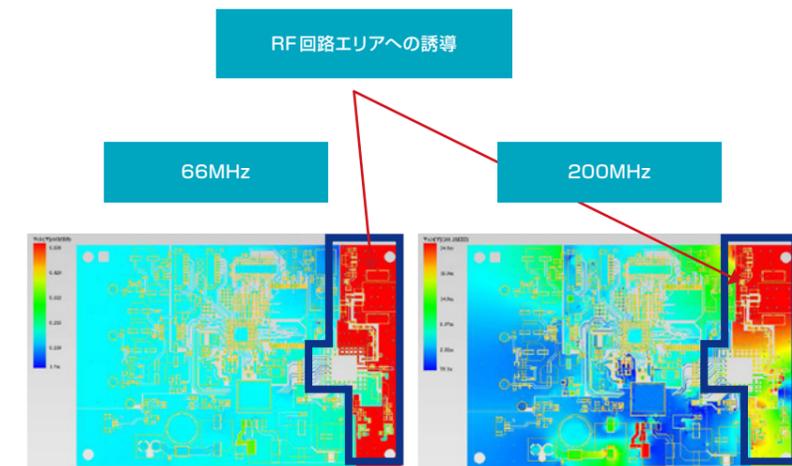
チューナ電源端子に設けられたフィルタ

この帯域ではフィルタの効果が少ない

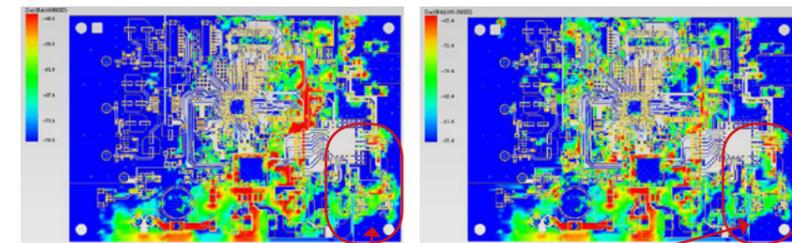
RF 回路エリアへの電源供給部分電圧電流分布 @ 66MHz/200MHz L1 層

DCDC コンバータ動作状態でのDC電源周りの電圧電流分布です。66MHzと200MHzにおけるL1層だけ表示しています。2周波数共にRF回路部分は電位が高いことがわかります。また、電流分布からはノイズ成分がチューナの電源周りに入り込んでいる様子が確認できます。

電圧分布



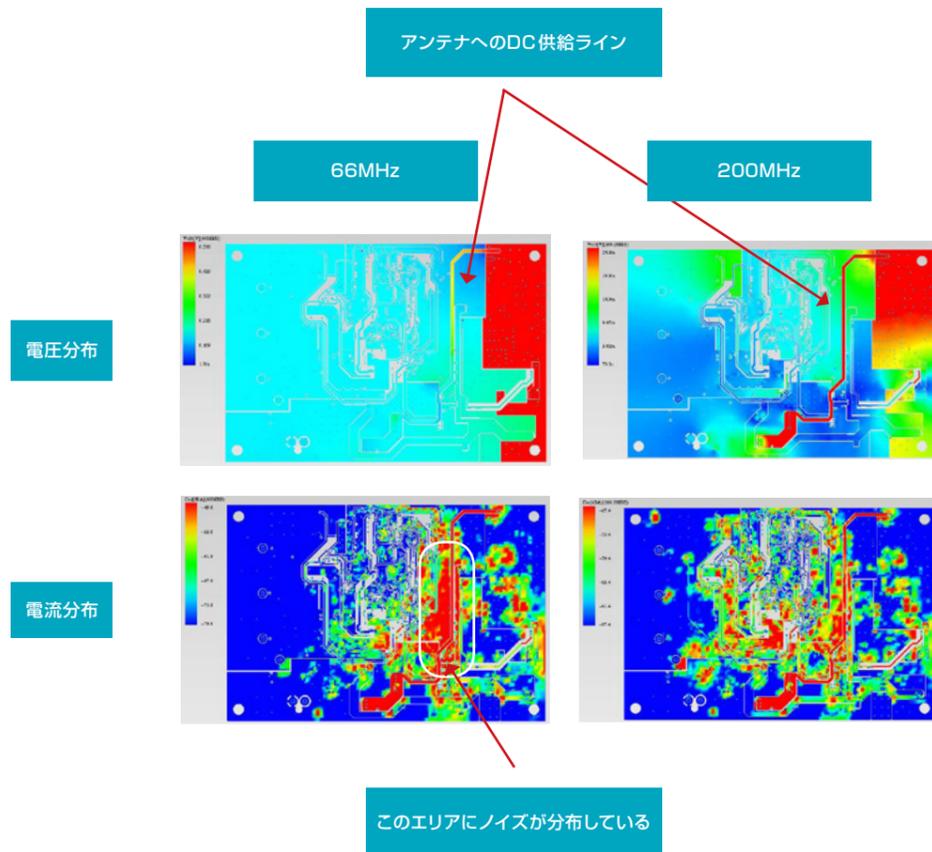
電流分布



RF回路エリアへのノイズ混入

アンテナ電源供給部分 電圧電流分布 @ 66MHz/200MHz L4層

DCDC コンバータ出力は、外部アンプへの電源として、シリーズレギュレータを経由しアンテナ端子に供給されています。グラフは、アンテナ端子での電圧スペクトルです。66MHz と200MHz 帯のノイズレベルが大きいことが確認できます。アンテナへのDC 供給ラインにノイズ成分が重畳していることがわかります。66MHz の電流分布からは、DC 供給ライン上への分布も確認できます。



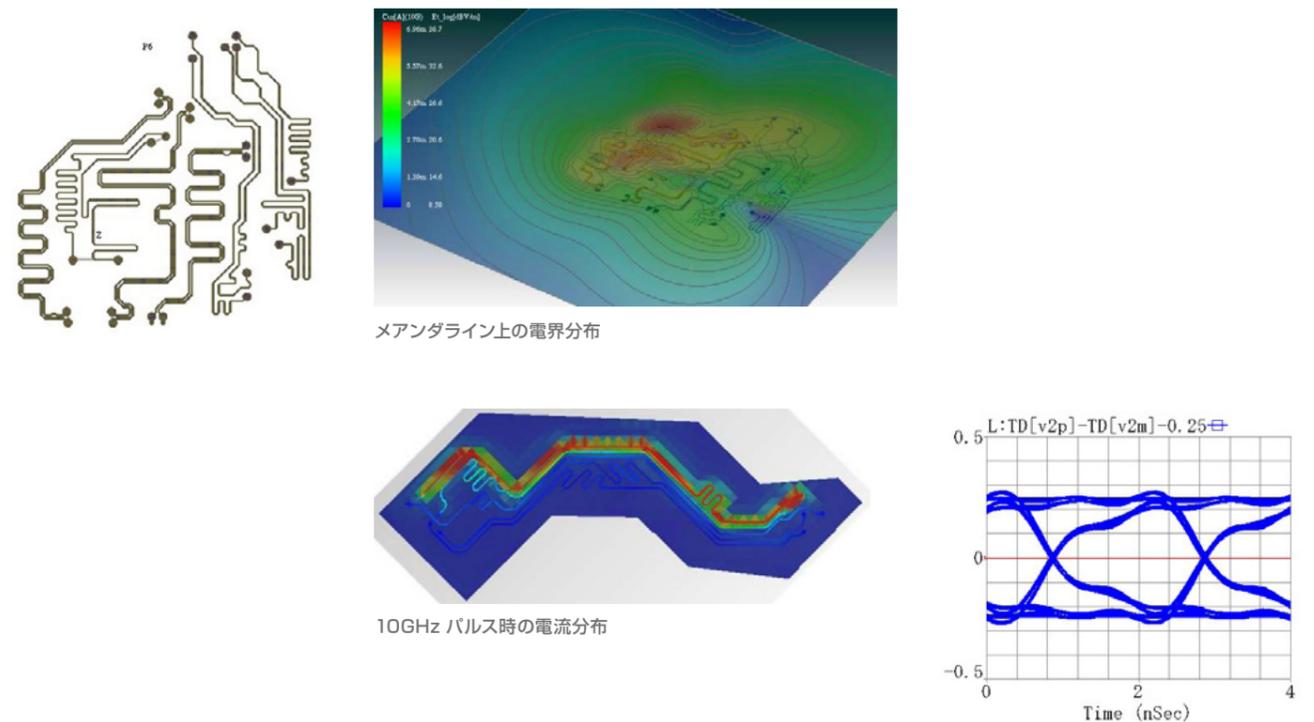
アンテナコネクタ端子のスペクトル

3次元結合の重要性

S-NAP/PCB は、3 種類の電磁界エンジンを実装しています。基本のエンジンは、平行平板モードを用いた2.5 次元のMFD エンジンです。このエンジンは、対抗する平板に対しては高速に高精度で共振特性を計算できますが、左右の結合に対しては十分ではありません。この問題のために、3 次元境界要素エンジンを実装しており、MFD エンジンと組み合わせて使用することができます。MFD 法の問題点は、対向している平板間のTM モードについて解析しており、対向しているものが必要になる点です。このため、自由空間に浮かんでいる金属プレートや片面基板などが解析困難になります。また、GHz オーダーの伝送特性などのように、3 次元的な結合計算を必要とする場合も困難になります。このために、S-NAP/PCB は、オプションでMPIE-PEEC 法 (Mixed Potential Integral Equations - Partial Element Equivalent Circuit) を実装することができます。このエンジンは3 次元のフルウェーブ電磁界解析ソルバで、3 次元問題も高精度に解析が行えます。

高速ロジック回路の解析

メアンダラインを含むような差動線路の特性は、隣接結合が重要で、3 次元の電磁界解析が必要になります。3 次元ソルバオプションが導入されているれば、Q-DATA 作成時に電磁界エンジンを選択することができます。以下は、メアンダラインを含む差動線路の解析例です。

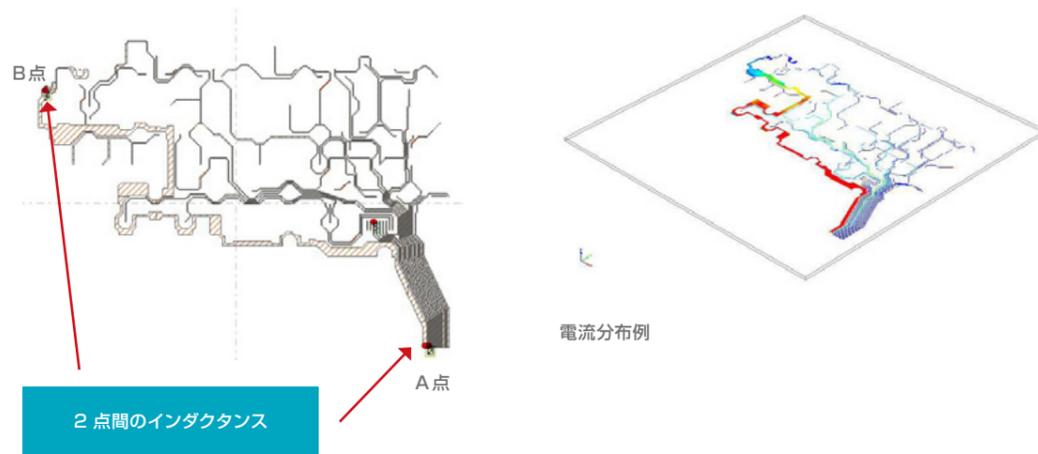


片面基板の解析や対向面のない両面基板解析

例えば、以下のように片面にしかパターンが存在しないような特殊な基板や、対向面がほとんどない両面基板の解析は、平行平板解析が最も不得手とする問題です。このような問題においては、3次元MPIEソルバが威力を発揮します。

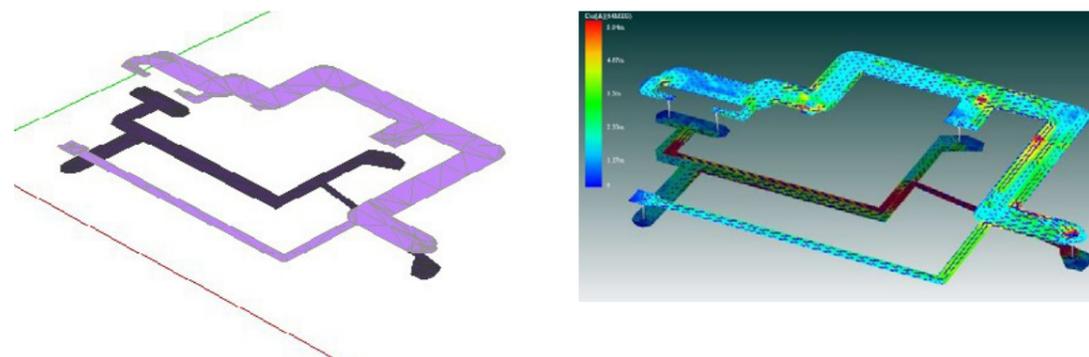
片面基板の例

以下は特殊な用途の片面基板ですが、例えばA-B間のインダクタンスを知りたい場合や、隣接結合を計算したい場合などにこのソルバが有効です。



対向面のない両面基板

両面基板などでパターンが対向していない場合の特性解析は、平行平板モードを用いているような電磁界シミュレータでは正確な計算が困難になります。3Dソルバは、このような条件でもストレスなく解析が可能です。図は横幅が約40mmの大電流パターンで、グランド面は殆ど対向していません。

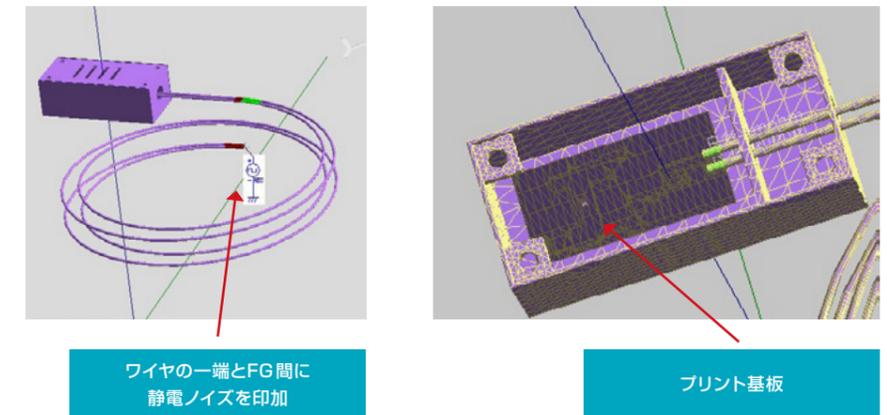


S-NAP Wireless Suiteのご紹介

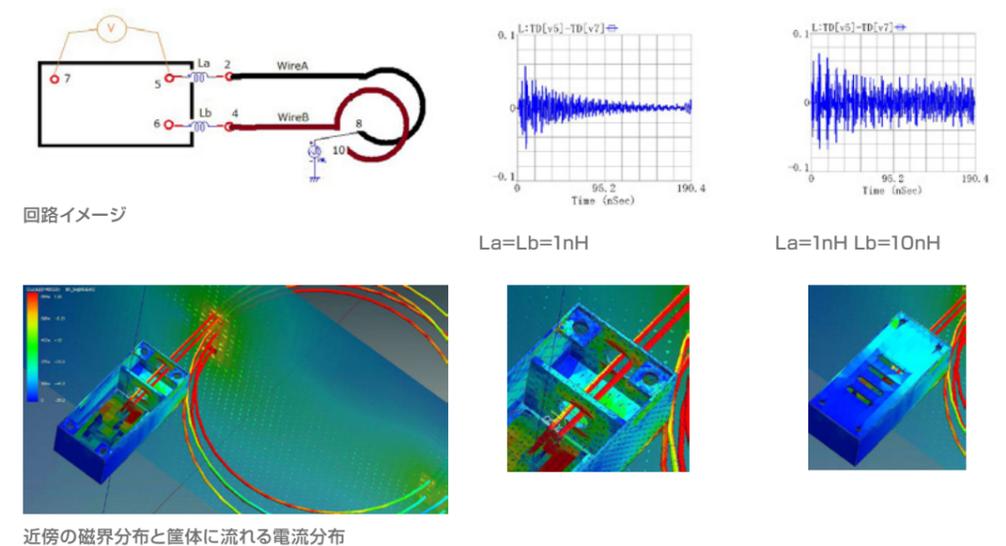
S-NAP PCB Suiteはプリント基板を対象にしたシミュレーションソフトウェアですので、筐体やワイヤなどの3次元構造物を含む解析を行うことはできません。ここで紹介するS-NAP Wireless Suiteは、高周波回路用のシミュレーションソフトウェアですが、3次元電磁界を実装しており、3次元のEMC問題を解析することができます。

静電ノイズ経路の解析例 (S-NAP Wireless Suite)

図のようにプリント板が内蔵されたケースから約30cmのケーブルが丸められて出ている場合に、ケーブルの先端とグランドの間に静電ノイズを印加した場合の内部のプリント基板上のノイズレベルなどを解析しています。

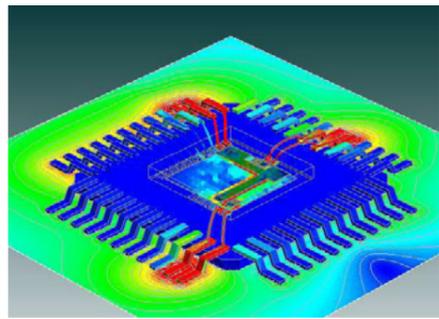
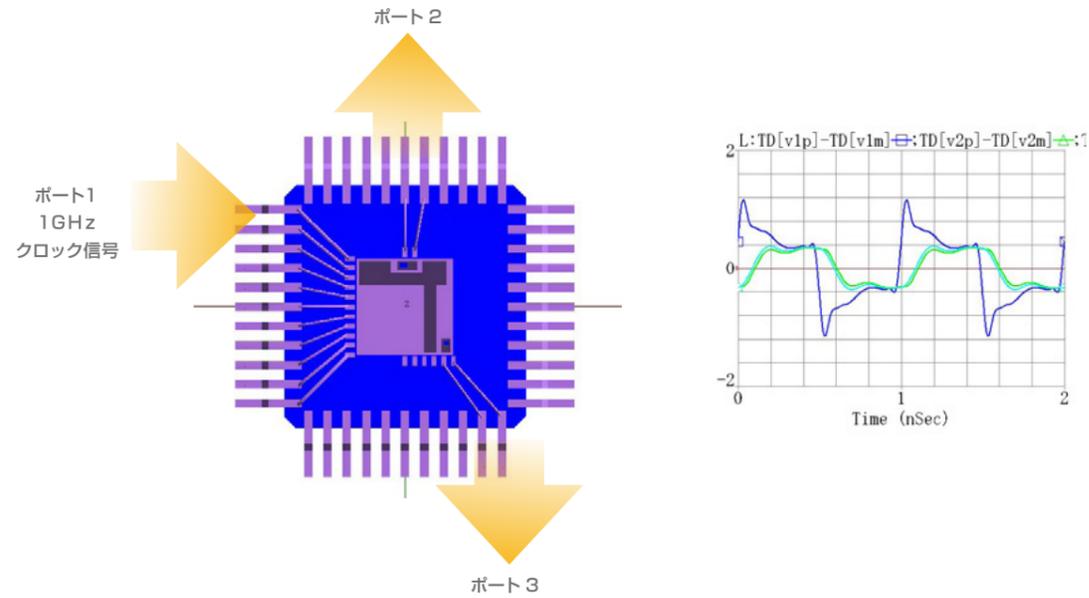


この回路は下図のとおり、ワイヤと基板の接続はインダクタLaとLbを介して行っています。グラフは、La、Lbの値がともに1nHの場合とLbを10nHにした場合の基板内の電圧波形とスペクトルを示しています。Lbが大きい場合にノイズ電圧が大きくなっていることから、静電ノイズは、WireBからFGに逃げていると考えられます。

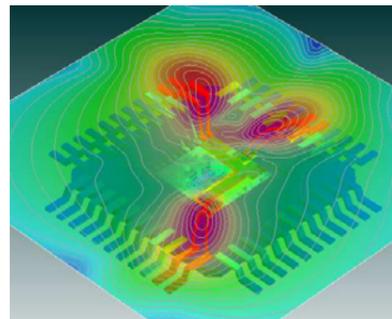


IC パッケージの特性解析 (S-NAP Wireless Suite)

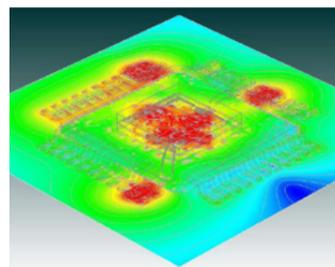
IC パッケージのリード端子やボンディングワイヤなどの解析は、3次元構造で設定することで、リードインダクタンスやクロストーク、チップとの結合などを解析することが可能です。以下の解析サンプルは、QFP44ピンパッケージで、リード端子、ボンディングワイヤ、パッケージ誘電体、チップの代わりのプリント板で構成されています。



パッケージ下部の電界分布



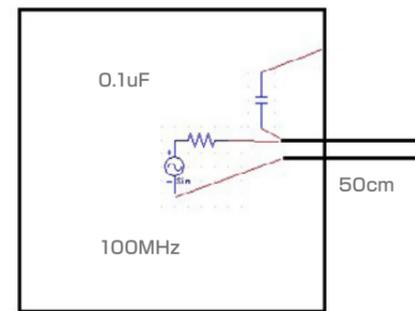
端子近傍の電界磁界ベクトル



パッケージ内部の電界分布

ケーブルからの放射解析例 (S-NAP Wireless Suite)

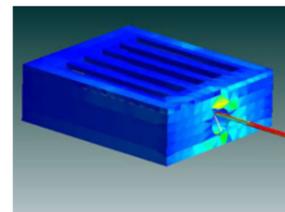
シールドケースからケーブルが出ている場合の放射電界を解析しています。図のように、ケーブルの片方は0.1uF でケースに接続されており、ケーブルには100MHz,1V が励振されています。ケーブルを、平行線、ツイストペア線、シールド線の場合の近傍電界を解析しています。平行線とツイストペア線では、ツイストペア線がわずかにレベルが小さいが、ほとんど変化はない。シールドをかぶせた場合は、10m 地点で約8dB ほどレベルが下がっていることが確認できます。



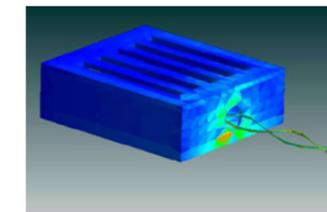
	近傍最大値 dBV/m	10m地点 dBV/m
平行ケーブル	41.2	-56.0
ツイストペア	42.6	-55.6
シールド付	28.0	-63.8

10m 地点の放射電界強度

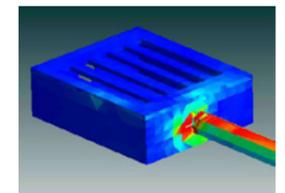
筐体の電流分布



平行線



ツイストペア線



シールド線

MEMO
