

プリント配線板のEMIへの影響について

- About the influence to EMI of a printed circuit board. -
- シミュレーション活用によるノイズ低減技術の研究 第一報 -

The research of noise reduction technology by the simulation utilization.

大力 賢次*

1. はじめに

本報告は地域活性化連携促進事業費補助金を中小企業庁からうけた「EMI適合設計技法の開発に関する研究」の技術開発研究事業について、当県が実施した分担課題についての中間報告である。

デジタル回路基板の不要輻射ノイズは信号伝送路及び電源パターン(電源層・GND層)が主たる放射源となっている。電源パターンについては、平行平板となる時の共振が着目され、その解析と対策について報告が多々ある[1][2]。

本研究では、これらの基板から発生するノイズを基板設計時において予測し、設計段階からノイズの発生を抑えたプリントパターンを設計するために必要な技術として、大きさ・形状が様々であり、部分的なパターン欠如等も発生する予測が難しい電源パターンからのEMI放射に注目し、電源パターンのノイズ低減化技術についての検討を行った。

本報告では両面基板を用いて電源パターンの基板形状及び切り込みが入った時の共振について実測とシミュレーションから検討を行ったので述べる。

2. 理 論

長さ a ・幅 b の両面基板において平行平板共振器が形成されると、共振周波数 f_{mn} は式(1)のように表すことができる。

$$f_{mn} = c \cdot k / (2\pi \sqrt{\epsilon_r}) \quad \dots \dots (1)$$

$$\text{ここで } k = \sqrt{\{(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2\}}$$

$$(m = 0, 1, 2, \dots, n = 0, 1, 2, \dots)$$

ただし、 c は自由空間中の光速

ϵ_r 誘電体の誘電率

この場合基板が、

$a = 280\text{mm}$, $b = 100\text{mm}$, $\epsilon_r = 4.7$ では

$f_{10} = 247\text{MHz}$, $f_{20} = 494\text{MHz}$, $f_{30} = 741\text{MHz}$ となる。

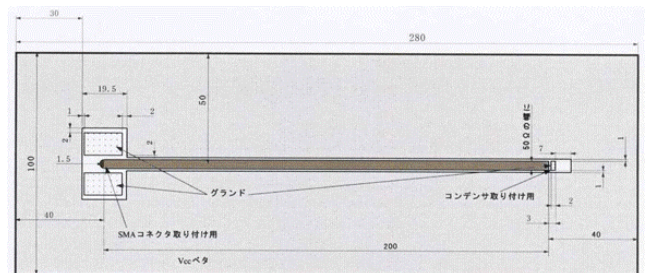
3. 実 験

図1は一般の電子機器に使用されるガラエポ基材に銅のメッキを施した、両面基板の伝送路側である(表側)。裏側は全てグラウンドのベタパターンである。また、図1の伝送路とグラウンド以外の表側のパターン(うすい灰色の部分)は V_{cc} を模擬したベタパターンとなっている。この状態を実験基板1(基準状態)とする。実験に際して、電池を実際に取り付けた状態とのデータ比較によりデータに差がないことを確かめてある。

図1に示した実験基板1にて電源層の共振現象と、基板短手方向(基板幅)の大きさを変化させることによるEMIデータの影響について検討した。この際に伝送路位置を基板の中心にしたものや、伝送路位置を基板のどちらかの端面に偏らせたものを作成し、EMIに対する基板幅の影

響と共に基板上の伝送路位置の影響についても検討を実施した。

また、以下の実験結果については放射電界強度は電波暗室内での測定データ、近傍磁界測定データはEMSCANによるものである。



(1) 基板平面図

1	導電体厚	48um	メッキ30um含
2	伝送路幅	2.7 mm	
3	誘電体厚	1.58 mm	
4	導電体厚	48um	メッキ30um含

(2) 基板断面図

図1 プリント基板の平面及び断面図

3.1 電源層の共振がEMIへ及ぼす影響

まず図2に電源層共振現象(V_{cc} 層とグラウンド層の共振)の影響についてのEMIデータを示す。

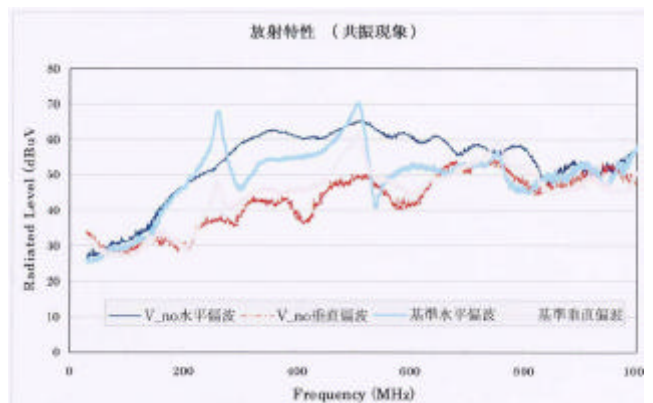


図2 電源層共振のEMIへの影響

図中のデータは、実験基板1の状態、及び実験基板1の V_{cc} 層を剥ぎ取ってマイクロストリップ線路の状態にしたものの放射電界強度の測定データである。それぞれの状態における放射電界強度の、垂直偏波及び水平偏波の強度を示してある。

図3には、図2と同様の条件における基板2種類の共振現象確認のために、それぞれの基板の伝送線路とグラウンド間の反射特性を測定結果として、ネットワークア

ナライザにより基板の S11 のデータを測定した結果を示す。

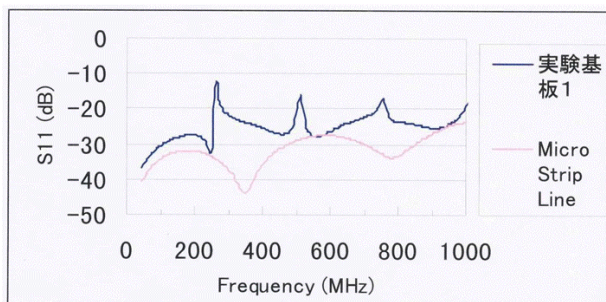
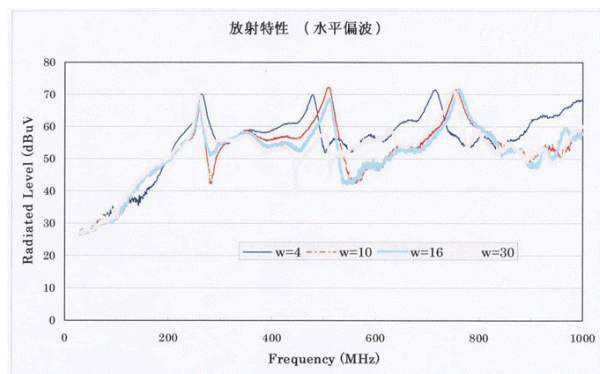


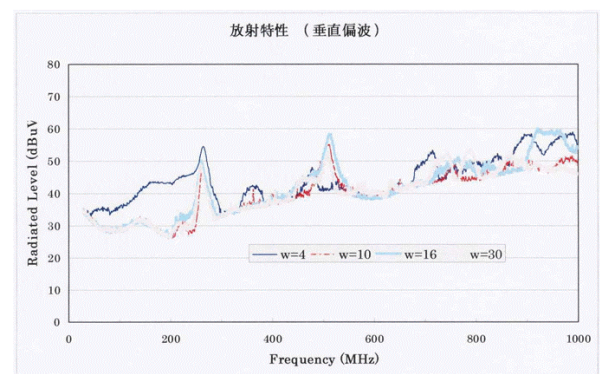
図3 実験基板1の共振 (S11) 測定値

3.2 基板幅及び伝送路位置のEMIへの影響

基板幅の違いによる放射電界強度の変化を表した実験データを図4に示す。基板幅は基板の短手方向の長さを4cmから30cmまでの範囲で変化させ実験を行った。図には4cm, 10cm, 16cm, 30cmの状態の水平偏波, 垂直偏波それぞれの電界強度測定結果を示す。



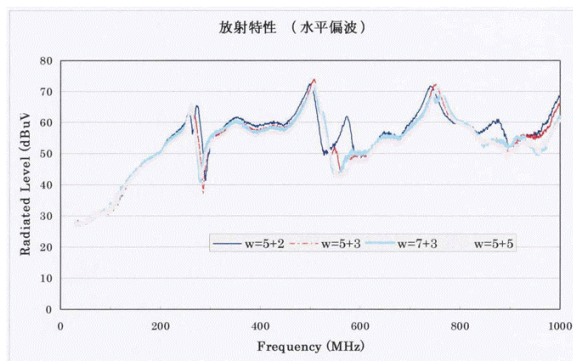
(1) 水平偏波



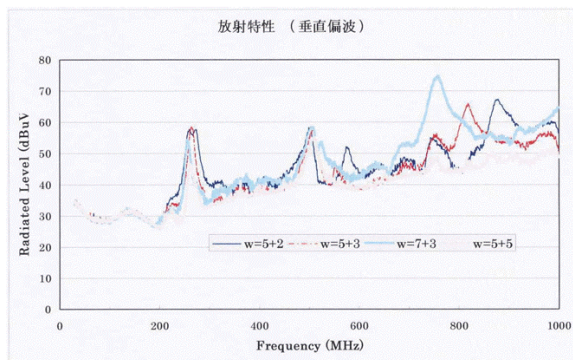
(2) 垂直偏波

図4 基板幅のEMIへの影響

伝送路位置の違いによる放射電界強度についてのデータを図5に示す。今回の実験では実際の基板パターンを想定して最も基板エッジに近いパターンでも基板のエッジから2cm内側とした。ここでは伝送線路の位置を中心として基板エッジまで5cmと2cm, 5cmと3cm, 7cmと3cm, 及び実験基板1の(5cmと5cm)データを示す。



(1) 水平偏波



(2) 垂直偏波

図5 伝送路位置のEMIへの影響

3.3 基板からの放射EMIパターン

プリント基板からの放射電磁界を計測する際の基板の置き方についての検討を行い基板からの放射パターンと放射メカニズムについて解析を実施した。また, 基板へ信号を注入するためのケーブルの影響についても確認実験を実施した。EMI測定方法としては, ターンテーブル及びアンテナは固定の状態でピークホールドとした。

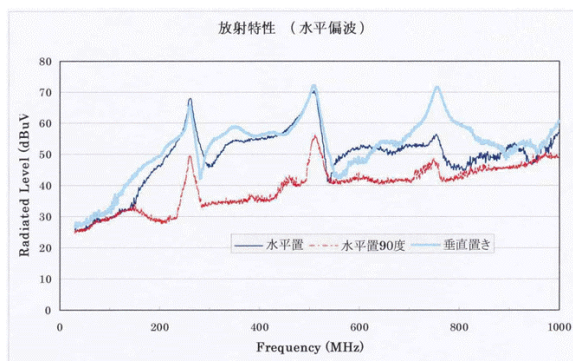
また, 測定は検討の結果下記に示した3種類の基板セッティングにて実施することとした。図6にセッティングの違いによる, EMI測定データの影響に関する実験結果を示す。

A: 長手方向を床面と平行に基板を配置し, 床に対して基板を垂直に立ててグラウンド面をアンテナに向けた状態での測定結果。(垂直置き)

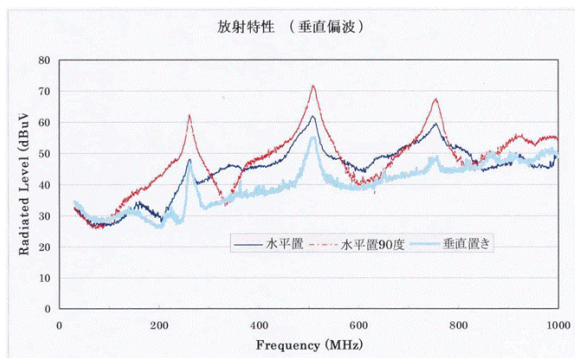
B: 基板を床に対し水平にし長手方向のエッジをアンテナに向けた状態での測定結果。(水平置き)

C: Bの状態で時計回りに90度回転し短手方向のエッジをアンテナに向けた状態での測定結果。

(水平置90度)



(1) 水平偏波



(2) 垂直偏波

図6 基板からの放射パターン

3.4 電源層の共振と切り込みの影響について

両面基板について、電源パターンの一部に幅1mmの切り込みを入れた時の信号入力部における基板の電流分布・放射電界の測定を行った。電源パターンの切り込みは図7に示すような位置及び大きさとした。

切り込みに関する主な実験内容としては、

切り込みを図7のような3箇所として位置の影響

グラウンド層、電源層に設けた切り込みの影響

切り込み長さの影響

切り込みの基板端におけるパターンの有無の影響について検討を行った。

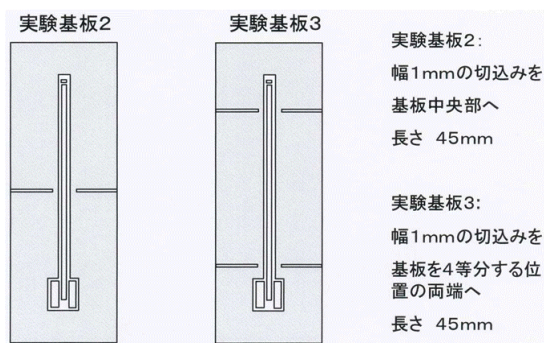


図7 切り込みを入れた基板

測定結果の一部として、図8に切り込み位置の違いによるデータを示す。また、図9に切り込みを入れない状態と端を残して切り込みを施した状態、及び端まで切り込みを入れた状態での、放射電界強度の測定結果を示す。更に図10には切り込み長さの影響についての実験結果を示す。実験基板2を使用して、切り込み長さを基板端面を起点として中央へ延ばしていった状態で放射特性の違いを示した。

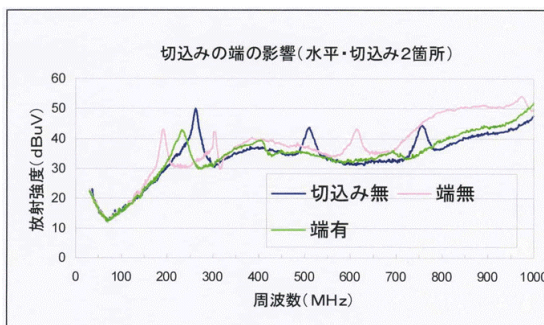


図8 切り込みと放射電界強度（切り込み位置）

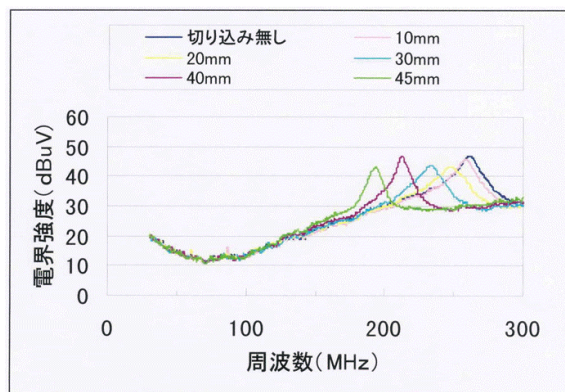


図9 切り込みと放射電界強度（端面処理）

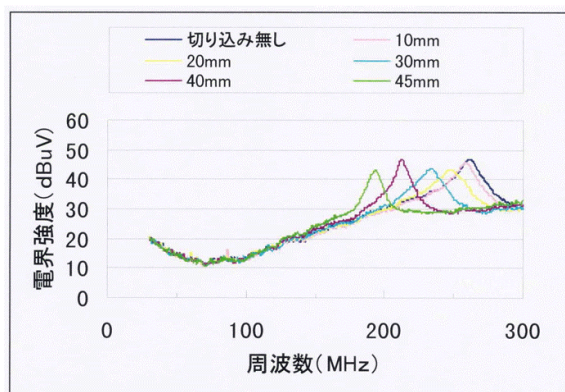


図10 切り込みと放射電界強度（切り込み長）

4. 結果及び考察

4.1 基板幅及び伝送路位置のEMIへの影響

基板の電源層とグラウンド層の共振による放射電界強度のピークが、図2のVcc層をなくした状態（マイクロストリップ線路）のものと、基準の実験基板1との比較から明確に判別できる。共振周波数は1GHz以下の周波数帯では250MHz (f10), 500MHz (f20), 750MHz (f30)付近で確認された。これは式(1)の計算結果

$f_{10} = 247\text{MHz}$, $f_{20} = 494\text{MHz}$, $f_{30} = 741\text{MHz}$ とほぼ一致する。式(1)によると f_{01} , f_{11} , f_{21} の共振点も1GHz以下であるはずであるが、今回は励振点が電圧分布の節の部分と重なるため共振は起こっていない[3]。

このことから、単純な基板の寸法より放射電界強度の強くなる周波数を予測が可能であり、回路で使用する周波数の高調波成分が発生しないような寸法を選択することが有効である。

図4に示した結果の通り、基板幅の変化については、はっきりとした傾向は現れなかった。図中のwは基板幅であり、ここには基板幅4, 10, 16, 30cmの結果を挙げてある。一般には電源層の面積を増加させることがノイズ対策に有効であるといわれるが、その有効性は今回の実験では認められなかった。

しかしながら基板幅30cm時のf20モードのデータに大きな変化が現れ、この解析により新たな設計技法が期待できる。

図5に示した伝送路位置と放射電界強度のデータにおける5 + 2等の表示は伝送路を中心としてそれぞれ5cmと2cmの基板幅の基板という意味である。これより、伝送路を基板中心からずらすことにより、 f_{01} ・ f_{11} ・ f_{21} 等のモードが発生する事が明らかである。しかしながらこれによる変化は規格試験の面からはほとんど

ど無視できる。設計の際においては、極端に基板端に線路を配置しなければ大きな問題とはならないようである。

図3にはネットワークアナライザによる伝送線路とグラウンド間の反射(S_{11})の測定結果であるが、このように放射電界の測定を実施しなくとも、十分に共振周波数とレベルを推測することが可能である。

4.2 基板からの放射EMIパターン

図6からわかるように基板の置き方により放射電界強度のデータは大きな違いが発生する。実際の規格測定の際にはアンテナマスト、ターンテーブルをそれぞれ稼働させその最大値を測定するため、これほどの差は発生しないが被試験装置からどのように電界が発生し伝搬するかを理解せずにはノイズを低減することはできない。

垂直置きデータの放射はグラウンド面からの放射が主に観測されている。また、水平置きの水平偏波は、伝送路からの放射、GND、Vcc面の放射、長手方向のエッジに流れる電流による放射等をとらえている。

また、垂直置きの垂直偏波と水平置き90度の水平偏波は同じモードの放射電界を測定しており、水平置き90度の垂直偏波については基板長手方向の共振による放射電界を測定している。このような放射の状態を推測するためにこのほかにもアジマスパターン、ハイトパターンの取得による評価もある。

また、信号注入のためのケーブルの影響や、基板への注入状態の影響を評価するための実験も実施し、測定上ほとんど無視できる状態であることを確認した。

4.3 電源層の共振と切り込みの影響について

1) 切り込みを入れた場合の位置による相違: 中央の切り込み位置では f_{20} の共振周波数は変化しない。この位置は f_{20} では電流分布の節に当たるためであると考えられる。また、この位置での f_{10} 、両端の切り込み位置の f_{20} に相当する共振周波数では電流分布の腹にあたる部分であるが、この場合、放射電界強度が小さくなる傾向がみられた。

2) 切り込み方法の相違: 切り込み長さを長くすると共振周波数は低い方へシフトする。基板端のパターンを切り取ると、切り取らない場合に比べて共振周波数は大きく低い方向へシフトする。また、放射強度は共振周波数のみならず全体的に増大する傾向となる。電流分布の測定・シミュレーション結果によると、基板端で電流分布は密となるためその線路を遮ることの影響が大きいと考えられる。[4]

全体的に測定とシミュレーションとはほぼ同等の結果が得られ、この解析におけるシミュレータの妥当性も確認することができた。また、幾つかのノイズ低減手法と有効なノイズの予測手法を確認できた。

5. まとめ

本年度の研究結果を以下に示す。

・基板幅及び伝送路位置のEMIへの影響

基板の寸法より放射電界強度の強くなる周波数を予測可能、回路で使用する周波数の高調波成分が発生しないような寸法を選択することが有効である。

基板幅の変化については、一般には電源層の面積を増加

させることがノイズ対策に有効であるといわれるが、その有効性は今回の実験では認められなかった。

伝送路位置と放射電界強度のデータにおける関係としては、設計の際において極端に基板端に線路を配置しなければ大きな問題とはならないようである。

ネットワークアナライザによる伝送線路とグラウンド間の反射(S_{11})の測定結果より放射電界の測定を実施しなくとも、十分に共振周波数とレベルを推測することが可能である。

・基板からの放射EMIパターン

基板の置き方による放射電界強度のデータの差より基板から放射しているノイズの予測ができた。

・電源層の共振と切り込みの影響について

電流分布の節に当たる部分の切り込みは影響が余りないが、電流分布の腹に当たる部分では、放射電界強度が小さくなる傾向がみられた。

切り込み長さを長くすると共振周波数は低い方へシフトする。基板端のパターンを切り取ると、共振周波数は大きく低い方向へシフトし、放射強度は共振周波数のみならず全体的に増大する傾向となる。これは基板端で電流分布は密となるためその線路を遮ることの影響が大きいと考えられる。

参考文献

- [1] 襟川, 他: 信学技法, EMCJ 98-7(1998-4).
- [2] 上野, 他: 信学技法, EMCJ 99-21(1999-7).
- [3] 跡治, 他: 信学技法, EMCJ 96-17(1996-7).
- [4] 輕部, 他: 2000大会予稿集, p366(2000-3).