

プリント配線板及びUSBケーブルのEMIへの影響について

About the influence to EMI of a printed circuit board and USB cable.

- シミュレーション活用によるノイズ低減技術の研究 第二報 -

The research of noise reduction technology by the simulation utilization.

大力 賢次*

飯村 成洋*

1. はじめに

本報告は地域ものづくり対策事業費補助金をうけた「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（EMI）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、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検討を行った。

本報告では両面基板を用いて、メッシュパターン、厚み、誘電率の違いによるEMIへの影響、USBケーブルのツイスト及びシールドのEMIへの影響について、実験・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。

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

$$k = \sqrt{\{(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2\}} \\ (m = 0, 1, 2, \dots, n = 0, 1, 2, \dots)$$

ただし、cは自由空間中の光速

ϵ_r は誘電体の誘電率

この場合基板が、

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

f₁₀ = 247MHz, f₂₀ = 494MHz, f₃₀ = 741MHzとなる。

3. 実 験

3.1 プリント基板

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Vcc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。

図1に示した実験基板1にて、誘電体の厚みの変化、誘電体の誘電率の変化、図2のように電源パターンをメッシュパターンとして変化させたもの、図3のように伝送線路 - Vcc間距離を変化させたものについて、EMIデータへの影響について検討した。

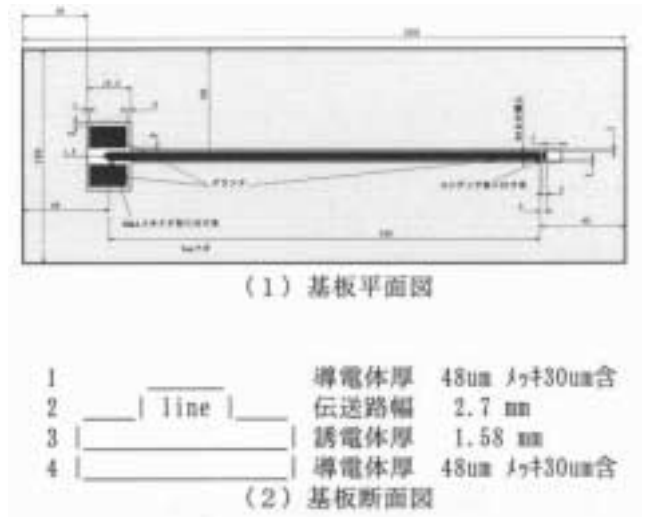


図1 プリント基板の平面及び断面図

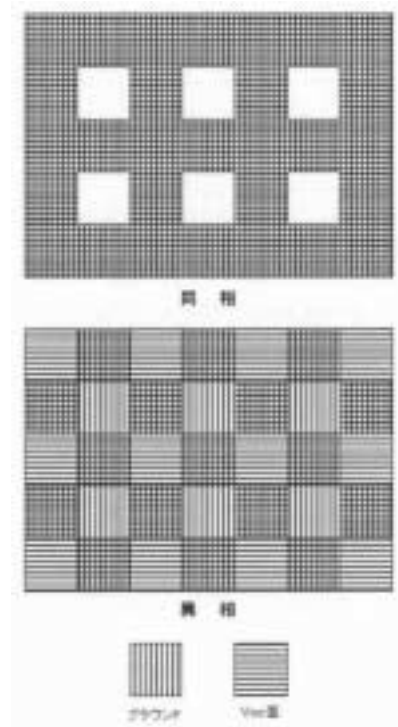


図2 メッシュパターンの概略図

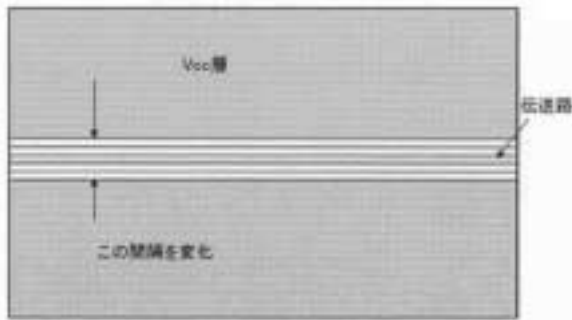


図3 伝送線路 - V c c 間距離実験基板の概略図

3.2 USBケーブル

最近PC等のインターフェースとして用いられるようになったUSBケーブルについて、ケーブルの構造がEMIに与える影響について検討した。

図4はUSBケーブルの概略図を示す。電源線2本、データ線2本、ドレイン、アルミマイラー、編組シールド、被覆からなる。2本のデータ線は差動モード線路としてツイストされている。編組シールドとアルミマイラーによる2重構造となっている。

図5はシールド（編組及びマイラー等）のEMIへの影響についての実験を行うときに用いた検討用ケーブルの概略図である。

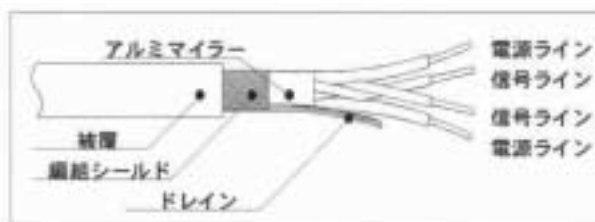


図4 USBケーブルの構造

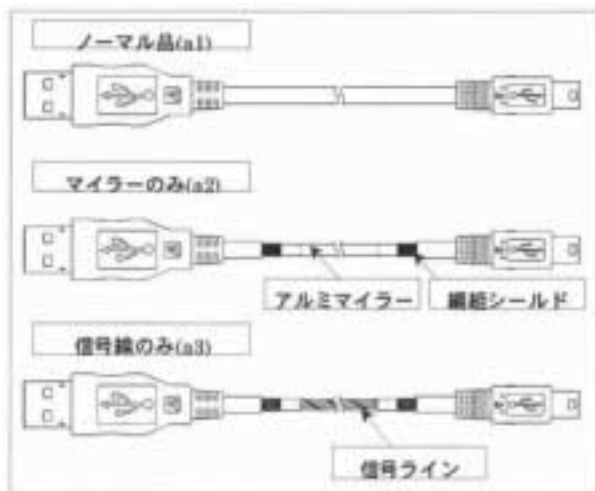


図5 検討用USBケーブル

4. 結果及び考察

以下の実験結果について、放射電界強度は電波暗室内での測定データである。

4.1 誘電体の厚みがEMIへ及ぼす影響

まず図6、図7に誘電体の厚みによる影響及び共振点でのそれぞれの厚みにおけるEMIデータを示す

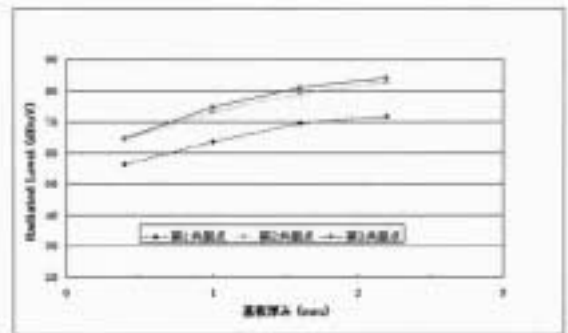
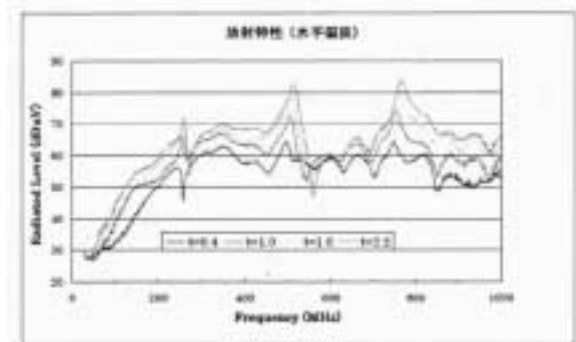


図6 厚みのEMIへの影響(線路幅一定)

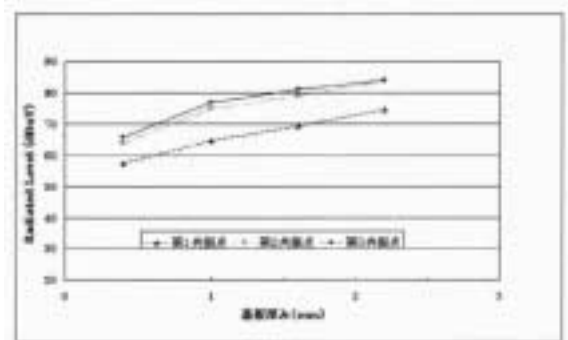
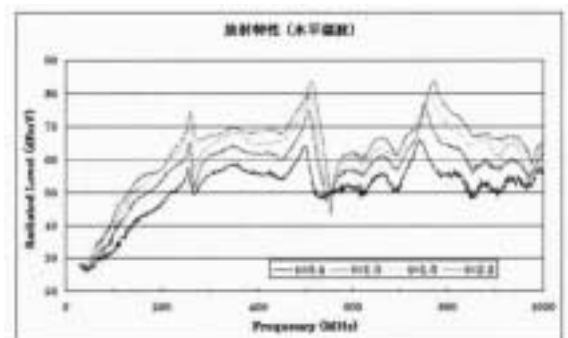


図7 厚みのEMIへの影響(インピーダンス一定)

共振周波数は、(1)式の計算結果より $f_{10} = 247\text{MHz}$ 、 $f_{20} = 494\text{MHz}$ 、 $f_{30} = 741\text{MHz}$ となり、実測値とおおよそ一致した。図中のデータは、伝送線路のインピーダンスを基板厚み1.6mm時に 50Ω となるように伝送線路幅(2.7mm)を一定にした場合、伝送路のインピーダンスを 50Ω 一定とした場合それぞれに、実験基板の厚みを0.4mm、1.0mm、1.6mm、2.2mmと変化させたときの放射電界強度のグラフである。

この実験からは、誘電体の厚みを変化させても、共振

周波数は大きく変化しないことがわかる。しかしながら、共振点での放射電界強度は、誘電体の厚みが増すほど大きくなっている。このことから、誘電体の厚みにより放射電界強度が変化する。回路で使用する誘電体の厚みをできるだけ薄くすることがEMI対策では有効である。

4.2 誘電率のEMIへの影響

基板製作に使用する誘電体の誘電率を変化させ、放射電界強度のデータ測定を行った。基準状態の基板において、誘電率がそれぞれ、3.6、4.7、10.5と変化したものを使用して実験を行った。図8には各誘電率での放射電界強度測定の結果を、また、各共振点における誘電率の違いによるEMIの傾向をグラフにしたものを示す。

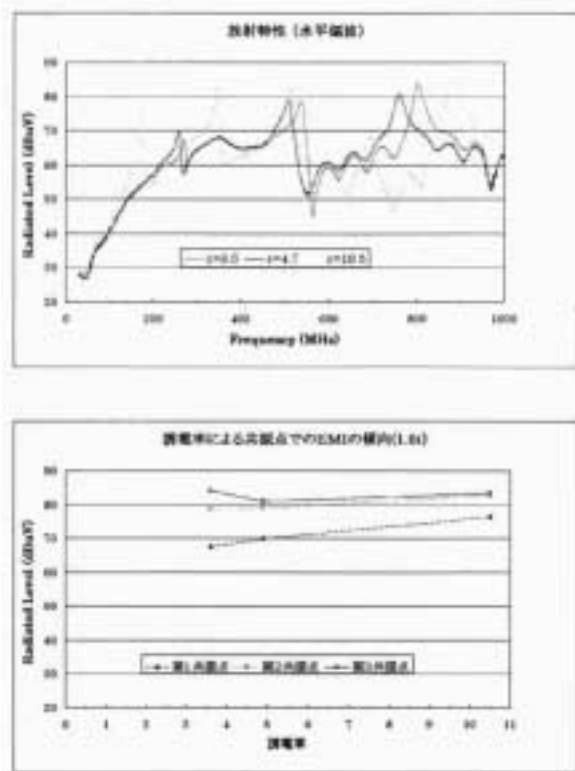


図8 誘電率のEMIへの影響

(1)式や図8からわかるように、誘電率が高くなると共振周波数は低い方向へ移動する

但し、放射電界強度は共振点での規則性は見られず、基板設計のうえで、放射電界強度の変化を誘電率から予測することは難しい。

4.3 メッシュパターンのEMIへの影響

メッシュパターンが放射電磁界に及ぼす影響についての測定結果を図9に示す。電源パターンをメッシュパターンでピッチ2mmにしたものを測定した。これは、電源層とグランドが同相のものと半ピッチずらした異相のもの2種類について(図2)測定した。また、メッシュピッチを1mmとした基板についても同様の測定を行い、その結果を示す。

さらには、エッジの処理の違いによるEMIへの影響を調べるため実験を行ったので結果を図10に示す。図10はメッシュピッチが2mmのものをを用い、電源層及びグランド層のエッジをそれぞれ銅箔テープで2mm貼

ったものと、そうでないものの比較を行った。

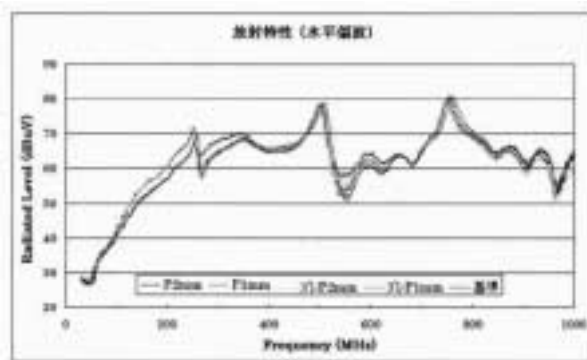


図9 メッシュパターンのEMIへの影響

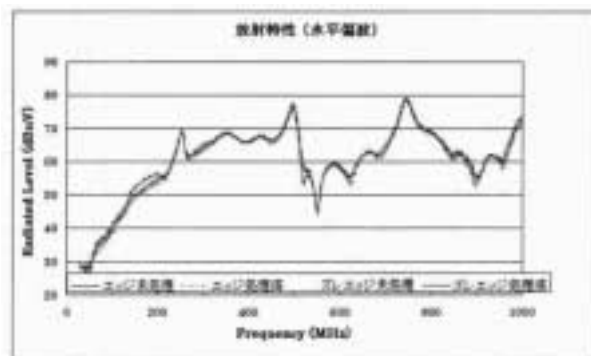


図10 エッジ処理のEMIへの影響

実験は、メッシュピッチ及びメッシュの相を変化させた時のEMIに与える影響について行った。メッシュピッチが細かいせいか、大きな差異は認められない。但し、メッシュピッチを大きくした方が、共振周波数での放射電界強度が幾分か大きい事が分かる。

エッジの処理については、今回の実験では、ほとんど差異は見られない。

4.4 伝送線路 - Vcc間距離の影響

伝送線路 - Vcc間距離の影響についてのEMIデータを図11に示す。

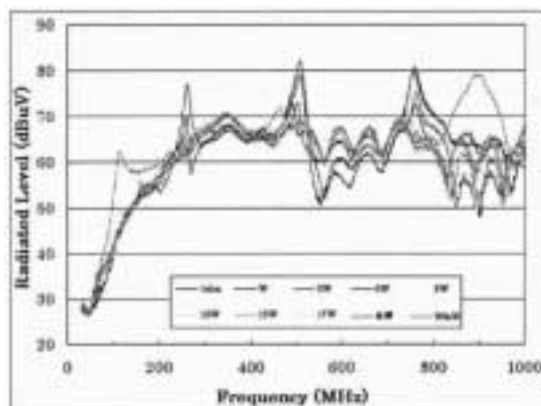


図11 伝送線路 - Vcc間距離のEMIへの影響

図中のwとは、伝送線路幅(2.7mm)を示す。実験は基準基板に対して、図3のように伝送線路とVcc間距離をw~全部(端)まで電源層をはぎ取り、その時の放射電界強度を測定してグラフにしたものである。

伝送線路とVcc間の距離を離すと、共振周波数が幾分低い方向へ移動する傾向がある。また、共振周波数での放射電界強度は、距離を広げるに連れて、下がる傾向にある。

図12は、それぞれの共振点（第1，第2，第3）での放射電界強度を抽出し、グラフにしたものである。

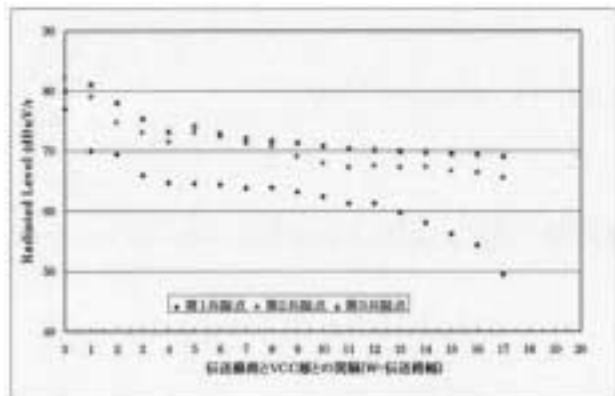


図12 伝送線路 - Vcc間距離と共振周波数との関係

距離が離れるに従って、放射電界強度が下がっていくことが分かる。伝送線路とVccの距離は、線路幅の3倍程度あった方がEMI対策には効果的である。

4.5 USBケーブルツイストのEMIへの影響

図13は、USBケーブルのツイストの回数と、EMIへの影響についての測定結果である。

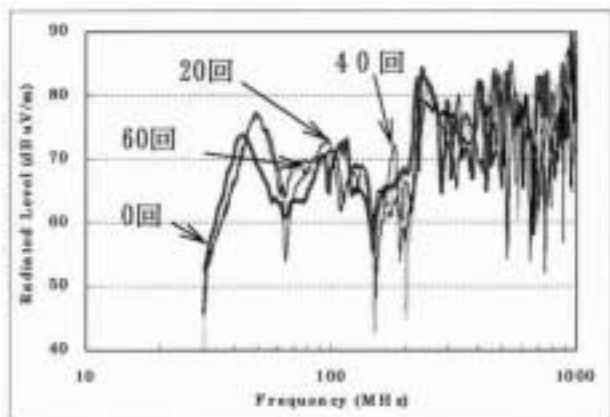


図13 USBケーブルツイストのEMIへの影響

図13からは、ツイストの回数と放射電界強度の規則性は見られない。すなわち、ケーブルツイストはEMI対策として行われているわけではなく、ケーブルの差動インピーダンスの安定を目的に行われているようである。USBケーブルの仕様上、ツイストがEMIの低減を目的として行われていないので、同軸ケーブルのようなツイストによるEMIへの効果が期待できない。

4.6 USBケーブルシールドのEMIへの影響

図14には、USBケーブルシールドのEMIへの影響についての測定結果を示す。

図14からは、USBケーブルのアルミマイラーおよび編組シールドの不要輻射ノイズに対する効果が確認できる。周波数帯によっては、40dB以上の低減がみられる。

USBあるいは同様の方式のインターフェースにおいては、アルミマイラーおよび編組シールドは十分にノイズ低減効果が高いことが確認された。

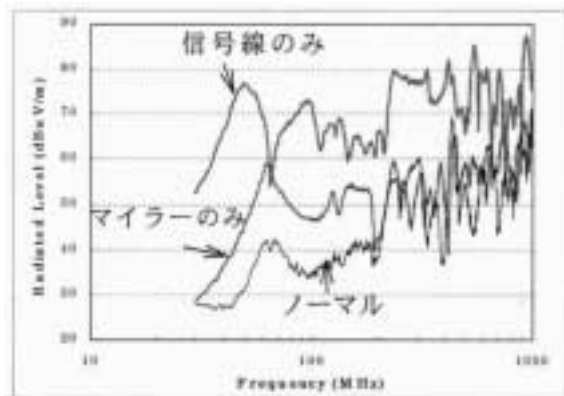


図14 USBケーブルシールドのEMIへの影響

5. まとめ

本年度の研究結果を以下に示す。

・誘電体の厚みがEMIへ及ぼす影響

基板誘電体の厚みが薄いほど、放射電界強度が低くなる傾向がある。

設計の段階において、基板の誘電体の厚みを薄くできればEMI対策には効果的である。

・誘電率のEMIへの影響

誘電率の変化による放射電界強度の規則性は見られず、EMI対策の面から見ると、誘電率の変化による放射電界強度の予測は難しい。

・メッシュパターンのEMIへの影響

メッシュのピッチについては、ピッチの大きさにより、放射電界強度が多少変化する。今後は、もっとピッチの大きな基板について実験を行い、EMI対策における有効性を検討したい。

・伝送線路 - Vcc間距離の影響

伝送線路とVccの距離は、伝送線路幅の約3倍程度の距離を置くことがEMI対策においては有効である。従って、設計段階でこのことを考慮して回路の設計をすることが、EMI対策の上で有効な手段となる。

・USBケーブルツイストのEMIへの影響

USBケーブルのツイストは、差動インピーダンスの安定を図ることを目的として行われており、EMI対策にはあまり効果がないことが確認できた。

・USBケーブルシールドのEMIへの影響

USBケーブルのシールド（編組及びマイラー等）がEMI対策としてかなり有効なことが確認できた。

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] 坂巻佳壽美：ノイズの試験法と対策
- [4] Michel mardiguian：EMC設計の実際
- [5] Henly W.Ott：実践ノイズ低減技法
- [6] Mark I.Montrose：プリント基板のEMC設計