

デジタル回路におけるノイズ対策手法の評価

小澤一郎*¹ 戸枝保*² 宗形隆史*²

Evaluation of Noise Measures Method in Digital Circuit

OZAWA Ichiro*¹, TOEDA Tamotsu*², MUNAKATA Takashi*²

抄録

効率的な EMC ノイズ対策が行える方法を検討する為に、簡易なデジタル回路を作成しバイパスコンデンサ、基板のパターン、電磁波シールド、フェライトコアといった様々なノイズ対策の効果と適用方法について検討した。高周波領域では電磁的に結合しやすく単独のノイズ対策では効果が見えにくかったが、組み合わせることにより効果が見え、それぞれの対策に効果があることがわかった。

キーワード：ノイズ対策， デジタル回路， 電磁結合， 放射ノイズ

1 はじめに

様々な機器の電子制御化、デジタル化や高速化に伴い、電子電気機器における電磁ノイズ対策の重要性が増している。また、EMC の JIS 化・法制化等が行われており、企業がノイズへの対応を迫られている。特に電気分野を専門としていない企業にとっては、ブラックボックス化している電子制御部から出るノイズが困難な課題となる。

かつて当センターが行ったアンケートにおいても、現状行われているノイズ対策はノウハウや試験後の試行錯誤による対策が多く効率的ではない事があげられている¹⁾。ノイズ対策の効果の傾向が把握できれば効率的なノイズ対策が可能になると考えられる。

本研究ではデジタル回路を対象に放射電界強度試験を行い、そのノイズ対策手法について検討した。

2 実験方法

2.1 測定方法

簡易なデジタル回路基板を作成し、電波暗室にて 10m 法で、30MHz ~ 1000MHz の周波数範囲の放射電界強度を測定した。

実験用に作成したデジタル回路基板（以下「基板」という）の一例を図 1 に示す。パターンは、基板加工機で銅張基板に溝を削り作成した。基板は全てサイズ 50mm × 50mm、線路幅 2mm、削った溝幅 0.5mm である。デジタル回路の電源は AC アダプタ(リニアアダプタ)を用いた。

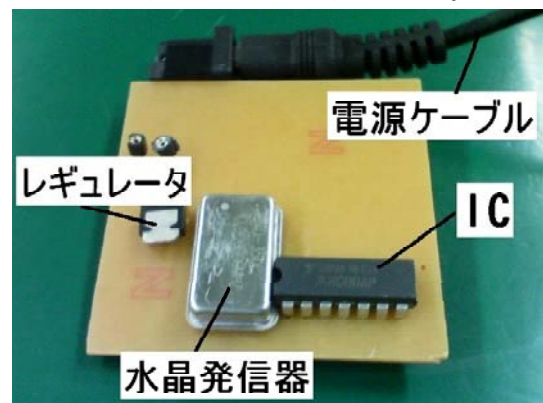


図 1 作成した基板

*¹ 水環境課

*² 電子情報技術部

2.2 実験条件

表1に測定に用いた素子等の条件を、図2に回路の概要を示す。実験条件として、以下のノイズ対策を行った。

(i)配線長、グラウンド等の基板パターン、(ii)パスコン(バイパスコンデンサ)の有無、(iii)金属による基板とケーブルのシールドの有無、(iv)フェライトコアの有無。これらの単体での効果、組み合わせた時の効果について測定した。

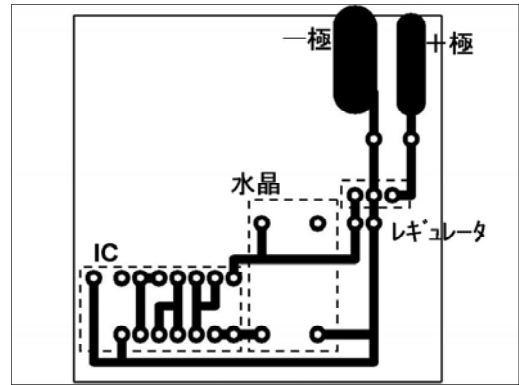


図3 水晶IC間の信号線の長さが5mmの基板の
パターン図

水晶発信器	IQXO-350C (10MHz,CMAC 製)
IC	74HC00 (TOSHIBA 製)
パスコン	10nF(チップ形積層セラミックコンデンサ), 470 μ F (電解コンデンサ)
フェライトコア	E04SR200932(星和電機製)
基板	片面紙フェノール銅張基板 (PF-1,厚さ1.6mm,銅箔厚35 μ m)
レギュレータ	TA7805F

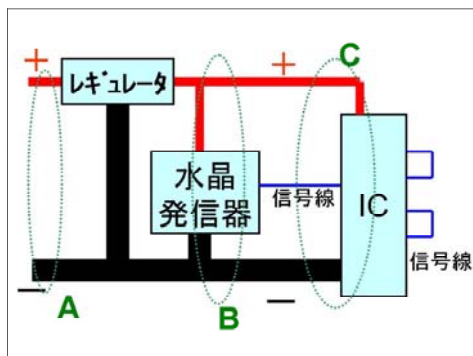


図2 作成した基板の回路

3 結果及び考察

3.1 デジタル回路のノイズ

水晶発信器とIC間の信号線(以下「水晶IC間の信号線」という)の長さが5mmの基板のパターンを図3に、ノイズ測定結果を図4に示す。この基板はノイズ対策は特に行っていない。図5の電波暗室に何も置かなかった時に比べ、ノイズが放射されているのが見られた。

デジタル回路のノイズは、信号そのものと負荷変動による電源の変動²⁾により発生する。ここで測定に使用した基板を、オシロスコープを用いて基板の電圧変化を測定した。

図6が基板の水晶IC間の信号線の信号の周波

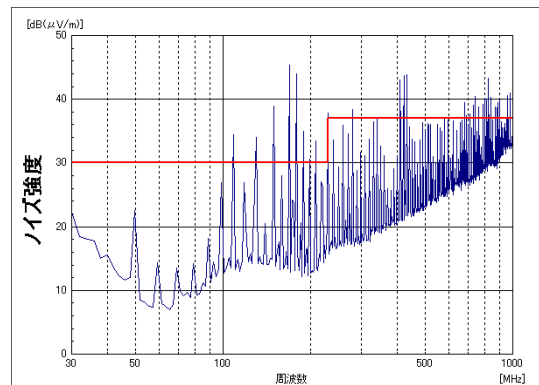


図4 水晶IC間の信号線の長さが5mmの基板

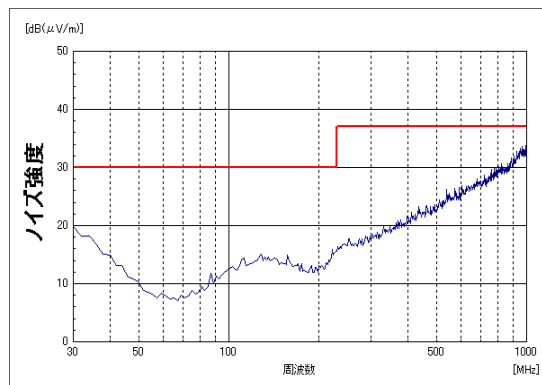


図5 電波暗室に何も無い時(ノイズフロア)

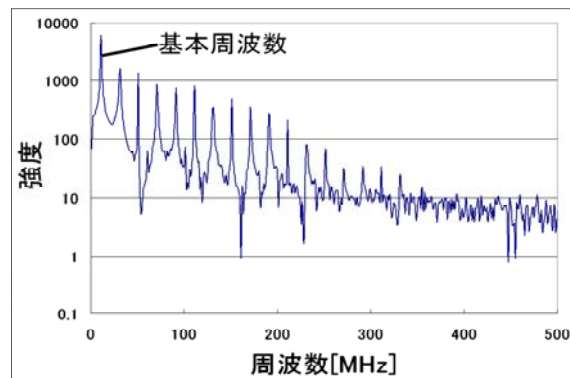


図6 クロックの高調波

数成分である。クロックの基本周波数以外にも高調波成分が含まれていることが観測できた。

図7に電源電圧の変動を観測した波形、図8に図7の周波数成分を示す。実験用の基板においても電源ラインで高周波が発生していた。

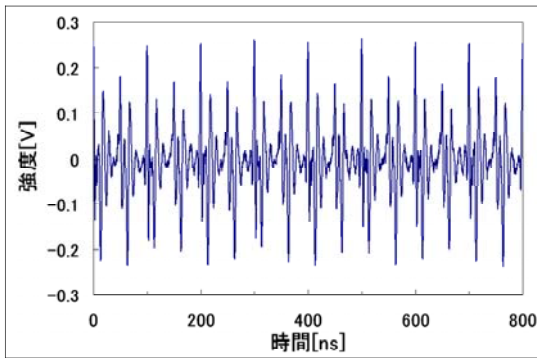


図7 電源の変動

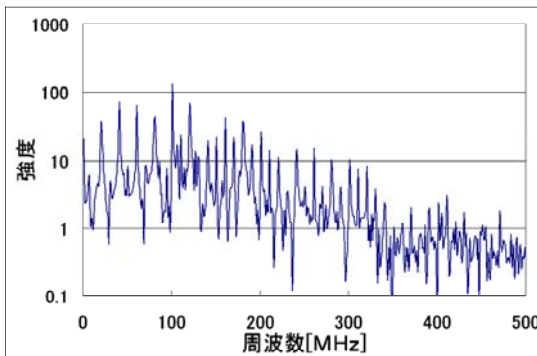


図8 電源の変動のスペクトラム

3.2 配線と放射ノイズの関係

図9に水晶 IC 間の信号線の長さが 100mm の基板のノイズ測定結果を示す。図4の水晶-IC 間の信号線の長さが 5mm と比べ、水晶-IC 間の信号線の長さが 100mm の基板のほうがノイズの放射がより強かった。

ここでこれらの基板の近傍の電磁界をスペクトラムアナライザで測定したところ、水晶のリード線、水晶-IC 間の信号線、IC 近傍の電磁界が強かった。水晶-IC 間の信号線は電磁界が強いことから、長くすると放射ノイズが増えたと考えられる。

またノイズの放射パターンから、特に低周波では基板までの電源ケーブルからも放射されており、アンテナとして作用していた。スペクトラムアナライザで電源ケーブルの近傍の電磁界を測定しても、基板上の IC 等ほどは強い電界は観測されなかった。コモンモード電流による遠方界での

電界 E [V/m] は

$$E = 1.257 \times 10^{-6} \frac{i_c f L}{d} \quad (1)$$

の式で示される³⁾。 i_c はコモンモード電流 [A]、 d は観測点までの距離 [m]、 f が周波数 [Hz]、 L が線長 [m] である。この関係式より、 L の長い電源ケーブルが、近傍電磁界がそれほど強くないわりに強いノイズ放射される原因と考えられる。又この関係式より、遠方界においては周波数に比例して電界が強くなるのがわかる。図6では周波数が高くなると強度が弱まるのに対して、図4ではある程度の周波数まで強く出ているのはこのためであると考えられる。

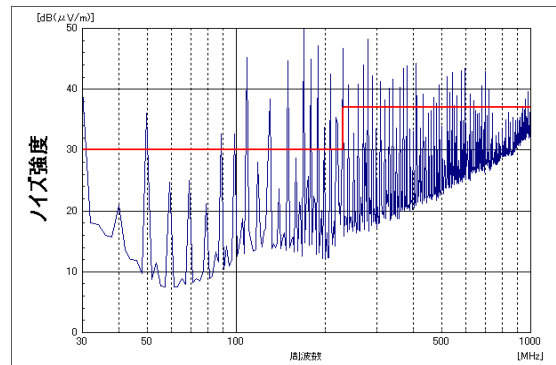


図9 信号線の長さが100mmの基板

3.3 電磁結合と再放射

基板上にどこにも接続されていないパターン部分がある場合と無い場合で放射ノイズがどの程度変わるか測定した。図10は、図4の水晶と IC の間が 5mm の条件の基板に対してそれぞれ、どこにも接続されていないパターンを取り除いた場合、どこにも接続されていないパターンをグランドにした場合（以下「グランドの広い基板」という）の測定結果である。

基板上にどこにも接続されていないパターンを取り除いたりグランドの広い基板にすると放射されるノイズが減少した。理由として、基板上で信号線や電源ラインからどこにも接続されていないパターン部分に電磁結合しノイズが伝播していると考えられる。導体同士は互いに結合し、よりア

アンテナとなりやすい部分からノイズが放射されると考えられる。

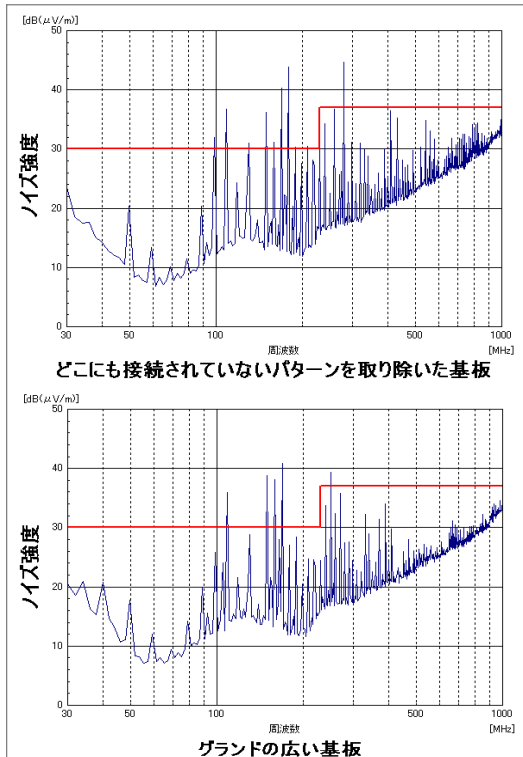


図 10 電磁結合に関する対策を行った基板

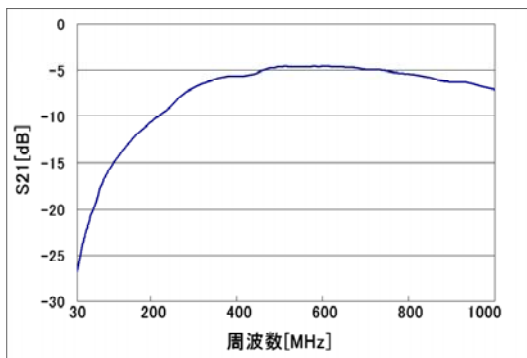


図 11 ネットワークアナライザでの結合の測定

そこでパターンの溝をはさんで向き合った金属同士がどのくらい結合するかを、ネットワークアナライザで測定した。長さ 45mm のパターンを 0.5mm の間隔をあけて向かい合わせて測定した結果を、図 11 に示す。300MHz 以上では-5dB 程度で結合していた。図 10 の結果においても 400MHz 以上の放射が特に低減されており、同様の傾向が観測された。

ノイズ対策をする上で、高周波においては電磁結合が起きやすいことに考慮する必要があるといえる。

3.4 組み合わせることによるノイズ対策

図 12 に、グラウンドの広い基板に対して、基板と電源ケーブルをシールドで覆った時、電源ケーブルにフェライトコアをつけたとき、パソコンを図 2 の回路図の A には 470 μ F と 10nF を B と C には 10nF をつけたときの、それぞれの放射の測定結果を示す。

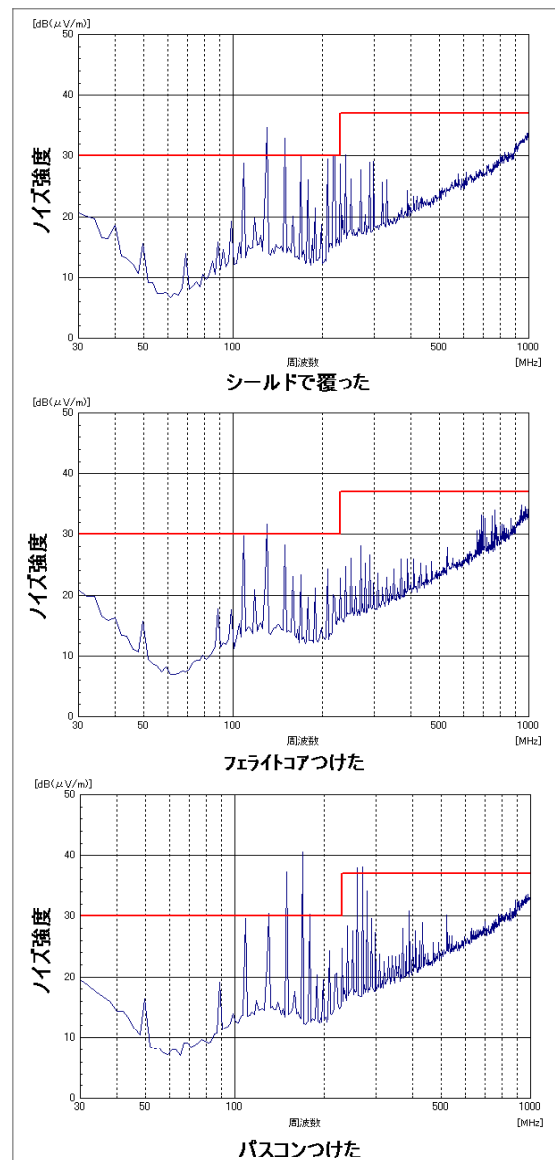


図 12 シールド、フェライトコア、パソコン、それぞれの対策

ここに挙げた対策は、十分に効果を発揮できるように以下のことに注意して行った。

シールドは金属の材質、厚さ、透磁率よりも開口部の処理の方が問題となる事が多い⁴⁾ので、

適宜ガasket、銅箔テープ等を用いた。パソコンは、リード線や内部のインダクタンスが影響する⁵⁾ので、チップ状のもので内部インダクタンスが少ない物を選んだ。

図10と比較して、これらの対策は、それぞれ単独では大きな効果は見られない。

図13は、グラウンドの広い基板に対してフェライトコアとパソコンの両方の対策をした時の測定結果である。パソコンやフェライトコアのみの対策ではそれほど効果がみられなかった周波数においても、足し合わせることで対策効果がみられるようになった。

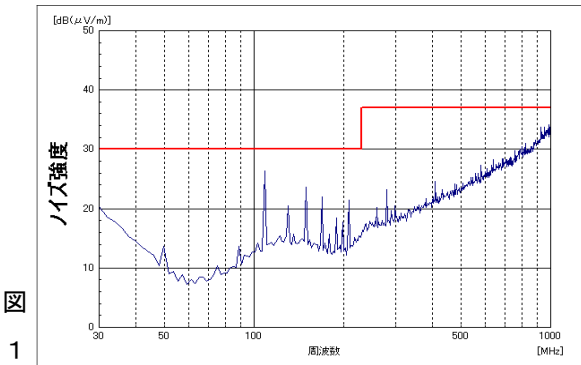


図1

3 フェライトコアとパソコンによる対策

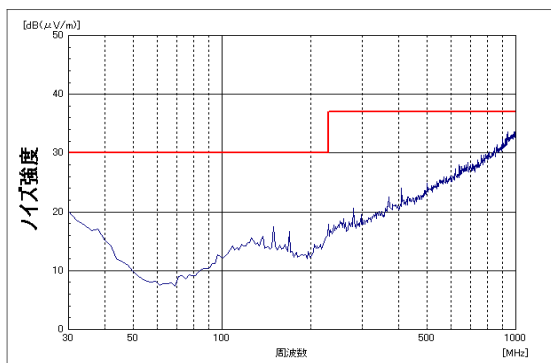


図14 フェライトコアとパソコンとシールドによる対策

図14は、グラウンドの広い基板に対してフェライトコアとパソコンを付けシールドで覆った時の測定結果であり、図5のノイズフロアに近い結果となった。フェライトコアとパソコンとシールドによる対策を組み合わせることにより、単独での放射ノイズの減少量を足し合わせた以上に放射が

低減していた。

対策を組み合わせるとより効果がみられるようになる理由として、他との結合や流入があり様々な箇所からそれなりの強さのノイズが放射されていて、一箇所対策しただけでは不十分であるためと考えられる。

ノイズ対策は、十分に対策が効く条件で行うこと、なるべく多くのノイズ対策を施しておいて手間やコストの兼ね合いを考えながら測定と対策の除去を行っていく方法が良いのではないかと考えられる。

4 まとめ

(1)高周波では導体同士が容易に電磁結合を起こすことがわかった。高周波を必要が無いところに流さないようにする事、配線の長さに注意する必要があることがわかった。

(2)ノイズ対策は、単独だと効果が見えにくいことがある。原因として複数箇所からそれなりの強度でノイズが放射されていることであった。十分な対策を組み合わせる必要があることがわかった。

今後、本研究を活用して当センター利用企業の支援を行っていく。

参考文献

- 1) 戸枝保, 能戸崇行: 電磁波障害対策の効果的適用方法に関する研究, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 1(2003)55
- 2) 坂本幸夫: よくわかるデジタル信号のEMC・ノイズ対策設計, 日刊工業新聞社, (2007) 26
- 3) 杉浦伸明: 電子装置設計用配布線技術読本, 現代図書, (2002) 60
- 4) HENRY W.OTT, 出口博一: 増補改訂版 実践ノイズ通減技法, ジャテック出版, (1990)
- 5) 坂本幸夫: ノイズ対策部品とEMC設計, 工業調査会, (2005) 90