研究論文

EMC 技術の高度化に関する研究
－不要放射ノイズが増大する主要因の調査－

福嶋　祐一*　石澤　賢太*

Study for Advanced Expertise of EMC Technology
-Investigation of Main Factors Increasing Unintentional Radiated Emission-

FUKUSHIMA Yuichi* and ISHIZAWA Kenta*

抄　　録

基板に起因した不要放射ノイズが発生する場合，その基板にはいくつかの特徴がある。こうした特徴を再現した基板を製作し，その不要放射ノイズ測定を試みた。信号線が基板内層を横断したり，電源層もしくはグラウンド層にできたスリットをまたいだりすることで，大きな不要放射ノイズにつながることを実験的に確認した。

1.　緒　　言

当支援センターに設置されている 10m 電波暗室（登録）は，広く県内企業から利用されている。VCCI の技術基準 [1)]をはじめとした国内外の EMC 規格に基づいた評価が可能で，中でも不要放射ノイズ測定の利用が多い。

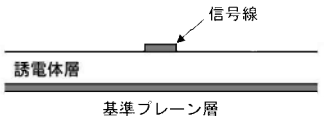
製品から発生する不要放射ノイズが規格を満たさない場合，製品で使用されている基板には不要放射ノイズの発生原因となる特徴的な基板設計が共通して見られる。

そこで本報告では，それらの特徴を再現した基板をいくつか製作し，不要放射ノイズを測定した。さらに，不要放射ノイズが理論上発生しにくい基板の測定結果と比較を行い，不要放射ノイズ増大につながる基板仕様について示す。

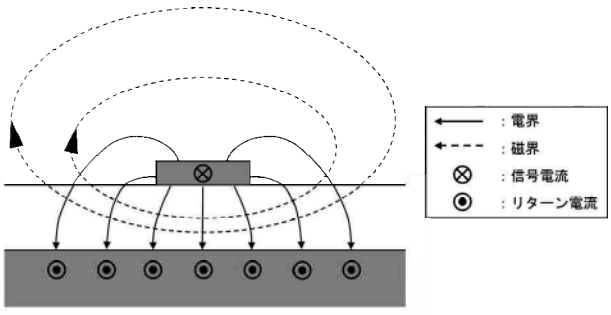
2.　理想基板と不要放射ノイズ増大モデル

2.1　理想的な基板仕様

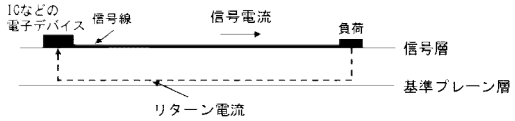
多層基板における信号線は，図 1(a)に示すような断面構造を持つマイクロストリップ伝送線路である。信号線に電流（以下，信号電流）が流れると図 1(b)のように磁界と電界が発生する。電界は基準プレーン層となる内層のグラウンド層もしくは電源層に向かって形成され，信号電



(a) 断面図



(b) 電磁界分布



(c) 信号電流とリターン電流による閉回路

図 1　マイクロストリップ伝送線路

*　中越技術支援センター

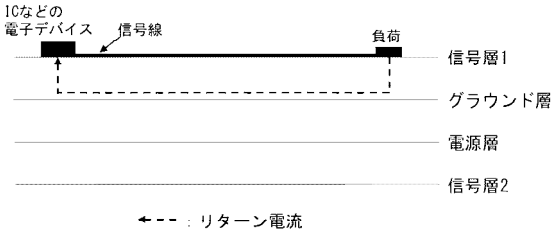
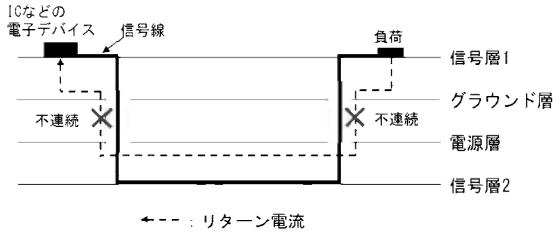
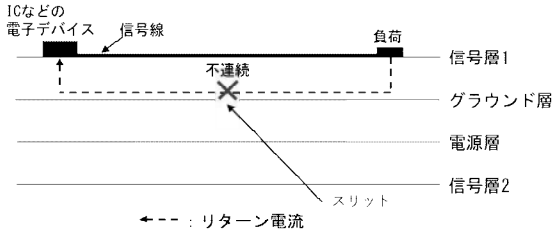
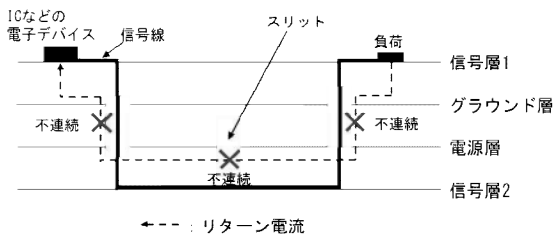
流と逆向きの電流（以下，リターン電流）を基準プレーン層に生成する。これを回路全体で見ると，信号電流とリターン電流による閉回路が図 1(c)のように形成されているように見ることができる。理想的なマイクロストリップ伝送線路であれば，信号電流がすべてリターン電流となり，外に漏れ出ないため，不要放射ノイズは発生しない。

そのためマイクロストリップ伝送線路は，多層基板において理想的な基板仕様と言える。

2.2　不要放射ノイズ増大モデル

表 1 に理想的な基板および不要放射ノイズが大きい場合に共通して見られる基板仕様の代表的なモデルを示す。ここで基板の層構成は，信号層 1－グラウンド層－電源層－信号層 2 の 4 層基板とする。

表 1　理想基板モデルと不要放射ノイズ増大モデル（4 層基板）

基板モデル No.	モデルの詳細	リターン電流の経路
1	・信号層 1 のみにマイクロストリップ伝送線路が形成された基板モデル。 ・信号電流がすべてリターン電流となり，不要放射ノイズが発生しない。	
2	・部品配置の都合などによって信号線が内層を横断する状態を模擬した基板モデル。 ・内層を横断する部分でリターン電流の経路が分断されるため，リターン電流が不連続となる。帰還できない電流が不要放射ノイズ増大につながると考えられる。	
3	・アナログ回路とデジタル回路のグラウンドを区分けするなどのために設けたスリット上に，信号線が配線された状態を模擬した基板モデル。 ・グラウンド層にできたスリットによって，リターン電流の経路が分断され，不連続となる。帰還できない電流が不要放射ノイズ増大につながると考えられる。	
4	・電源層に設けた複数の電源を区分けするために作られたスリット上に，信号線が配線された状態を模擬した基板モデル。 ・内層を横断している部分，スリット部分でリターン電流が分断され，不連続となる。帰還できない電流が不要放射ノイズ増大につながると考えられる。	

基板モデル No.1 は 2.1 で述べたような理想的な基板で，リターン電流が正しく帰還するノーマルモード伝送を形成した，不要放射ノイズが小さいモデルである。

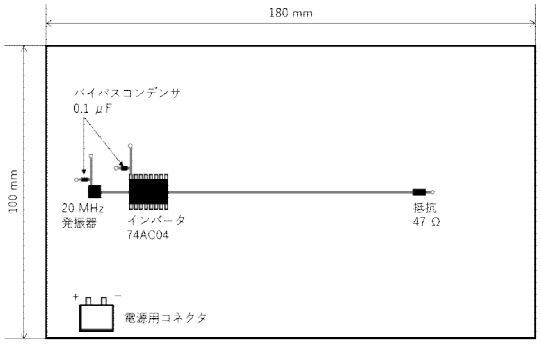


図 2　基板モデル No. 1 の基板外観図

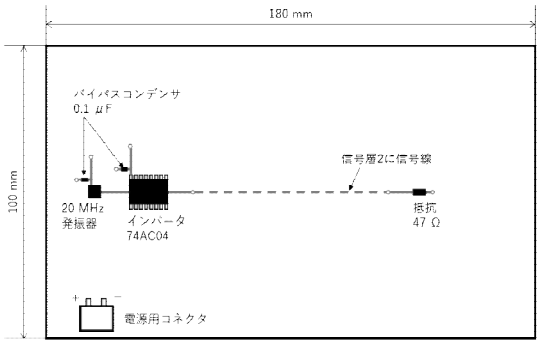


図 3　基板モデル No. 2 の基板外観図

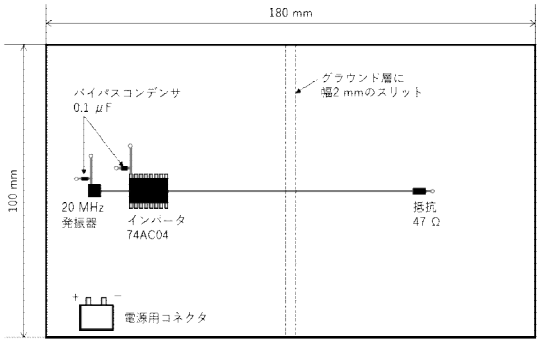


図 4　基板モデル No. 3 の基板外観図

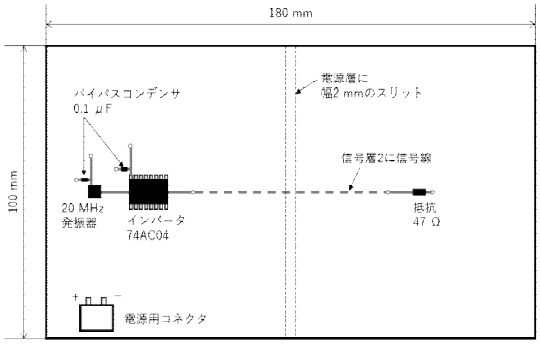


図 5　基板モデル No. 4 の基板外観図

これに対し，基板モデル No.2，3，4 は，不要放射ノイズが大きい場合に共通して見られる基板仕様をモデル化したものである。いずれも，リターン電流が不連続となるため，リターン電流が信号源に帰還しない。こうした電流は迷走電流と呼ばれ，ノーマルモード伝送を逸脱し，コモンモード伝送に変換され，基板内を迷走することによって空間へと放射される。このようにして，リターン電流の不連続は，不要放射ノイズ増大につながっていると考えられる。

3.　基板仕様および測定方法

今回は，2 章で述べたマイクロストリップ伝送線路を信号層 1 のみに配線し理想状態に近づけた基板（基板モデル No.1）および不要放射ノイズが大きい場合に共通して見られる基板仕様（基板モデル No.2，3，4）の不要放射ノイズを測定し比較する。

3.1　基板仕様

各基板モデルは信号層 1－グラウンド層－電源層－信号層 2 の 4 層基板とし，グラウンド層および電源層はともに全領域を導体層とした。信号層 1 には，信号源として周波数 20 MHz の発振器，信号を増幅するための CMOS インバータ（74AC04），信号受信のための 47 Ω 終端抵抗を配置した。CMOS インバータから終端抵抗までの信号線長さは約 100 mm とし，特性インピーダンスは 50 Ω とした。基板外形は，幅 100 mm，長さ 180 mm である。図 2，3，4，5 に基板モデル No.1，2，3，4 の基板外観図を示す。

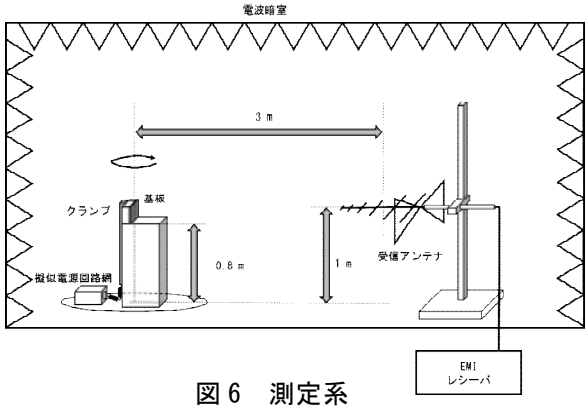


図 6　測定系

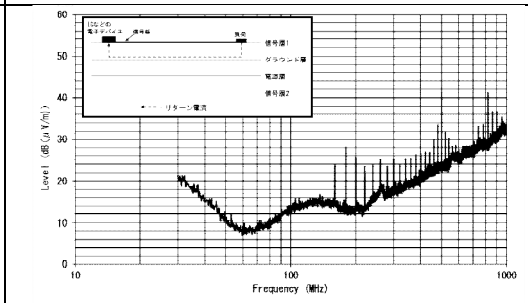
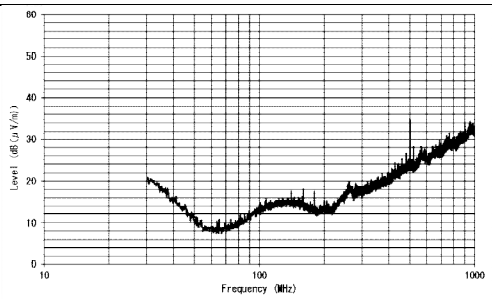
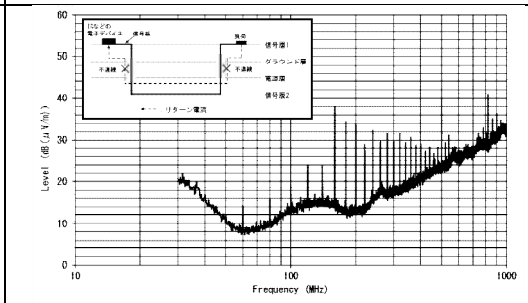
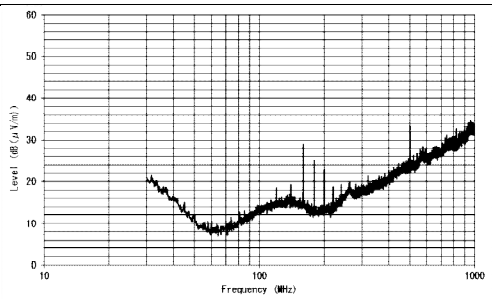
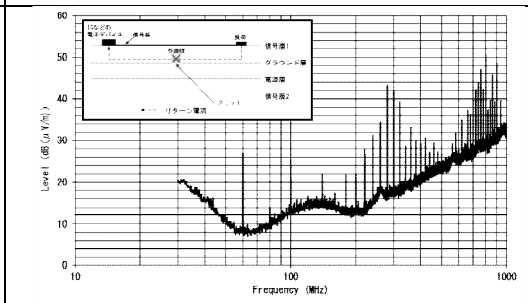
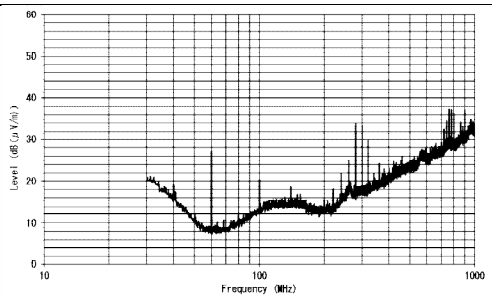
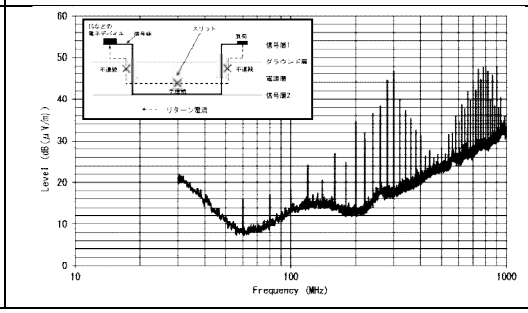
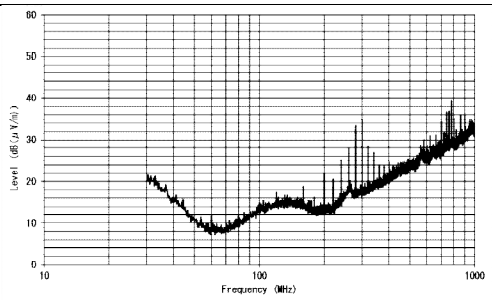
3.2　測定方法

本調査では，図 6 に示す測定系において，不要放射ノイズの最大値を周波数 30 ～ 1000 MHz の範囲で測定し，比較した。基板モデルからの不要放射ノイズの測定方法は VCCI の技術基準[1)]に準拠した。基板モデルは 0.8 m の高さに設置し，その部品実装面が受信アンテナと正対するように固定した。測定距離は，基板モデルと受信アンテナの基準点との間が 3 m になるように設定した。

4.　測定結果および考察

表 2 に各基板モデルの不要放射ノイズ測定結果を示す。理想状態に近い基板モデル No.1 の不要放射ノイズが最も小さかった。信号線が内層を横断している基板モデル No.2 は，基板モ

表 2　各基板モデルの不要放射ノイズ測定結果

基板モデル No.	不要放射ノイズ（30 ～ 1000 MHz）	
	水平偏波	垂直偏波
1		
2		
3		
4		

デル No.1 に比べ， 60～400 MHz 付近で不要放射ノイズが増大した。信号線がグラウンド層にあるスリットをまたいでいる基板モデル No.3 は，基板モデル No.1 に比べ，全域で不要放射ノイズが増大した。信号線が電源層にあるスリットをまたいでいる基板モデル No.4 も，全域で不要放射ノイズが増大した。

基板モデル No.2，3，4 については，基板モデル No.1 に対して，大きな不要放射ノイズが確認された。これは 2 章で想定していたとおり，リターン電流が不連続になることで，不要放射ノイズ増大につながった。

5. 結　　言

(1) 理想状態に近い基板モデルおよび不要放射ノイズが大きい場合に共通して見かける基板モデルにおいて，不要放射ノイズ測定を行った。

(2) マイクロストリップ伝送線路構造の信号線を信号層 1 にのみ配線した理想状態に近い基板モデルが最も不要放射ノイズが小さかった。

(3) 信号線が内層を横断する場合，その部分でリターン電流が不連続となり，不要放射ノイズが増大する。

(4) 電源層およびグラウンド層にあるスリットを信号線がまたぐ場合，その部分でリターン電流が不連続となり，不要放射ノイズが増大する。

(5) 基板設計を行う際には，今回示した不要放射ノイズ増大モデルを避けて設計すべきである。

参考文献

1)（一財）VCCI 協会，“VCCI 技術基準 VCCI-CISPR32:2016”，2016.