ノート

EMC 技術の高度化に関する研究
－基板プレーン共振の影響の判別とその対策法－

福嶋　祐一*　石井　啓貴*

Study for Advanced Expertise of EMC Technology
- Identification of Influence of PCB Plane Resonance and Its Solution -

FUKUSHIMA Yuichi* and ISHII Hirotaka*

1.　緒　　言

製品からの不要放射ノイズが問題となる場合，製品に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。昨年度の報告では，その特徴を再現した基板を製作し，どのような基板設計が不要放射ノイズを増大させるかを示した [1)]。マイクロストリップ伝送線路構造を崩さず信号線を配線した基板は不要放射ノイズが発生しない理想的な基板であるが，同構造による基板設計にもかかわらず不要放射ノイズが確認されていた [1)]。これは，信号線の伝送線路構造によるものではなく，基板形状に起因して共振現象が発生する基板プレーン共振（以降，プレーン共振と呼ぶ）によるものであると考えられる。

そこで本報告では，その不要放射ノイズがプレーン共振によるものかを調査した結果を示すとともに，プレーン共振の対策効果を確認した結果について示す。

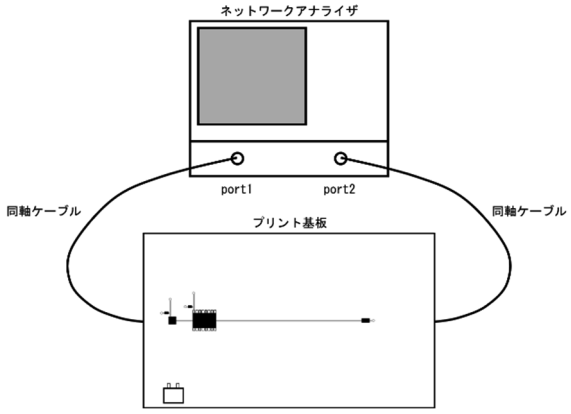
2.　プレーン共振の判別方法とその結果

2.1　プレーン共振

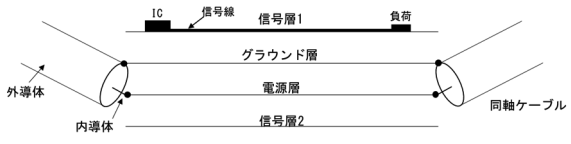
多層基板において電源層とグラウンド層は，その間に誘電体層を挟んだ平行平板を形成する。2 層からなる平行平板は共振器となり，固有周波数で共振現象が発生し，不要放射ノイズの原因となる。この現象をプレーン共振と呼ぶ。通常，プレーン共振によるノイズ成分は，2 つの平板間で 2 次元的に伝搬し，基板端部で反射することで定在波が発生し，基板外へ不要放射ノイズとして放射される [2)]。

2.2　プレーン共振の判別方法

基板のプレーン共振の有無は，高周波透過係数（S21 パラメータ）を測定することにより把握することができる [3, 4)]。S21 の振幅にピークが存在し，その時の位相が 0 もしくはπ（または -π）である場合，電源層とグラウンド層とが共振状態にあるといえる [4)]。



(a) ネットワークアナライザと基板との接続



(b) 基板端部における接続

図 1　S21 の測定セッティング

* 中越技術支援センター

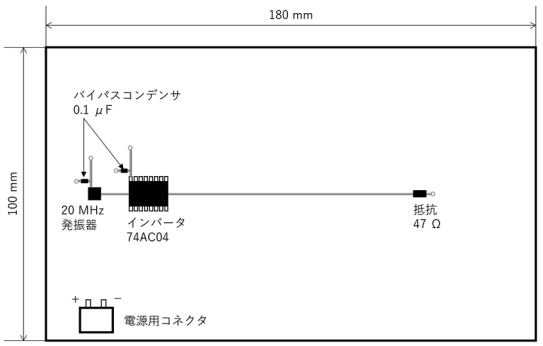
S21 は，図 1(a)に示すようにネットワークアナライザに基板を接続して測定する。基板と同軸ケーブルの接続については，図 1(b)のとおり，同軸ケーブルの内導体を電源層，外導体をグラウンド層のそれぞれの端部とする。得られた S21 のピークと，昨年度測定した理想的な基板の不要放射ノイズの測定結果とを比較することで，相関を確認する。

2.3　評価基板

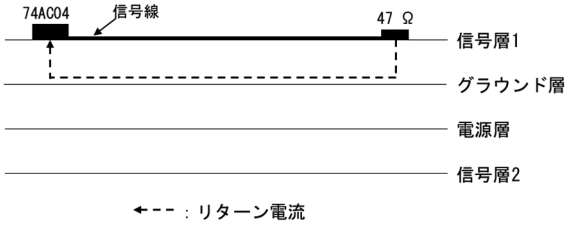
評価基板には，昨年度製作した信号層 1 のみにマイクロストリップ伝送線路が形成された図 2 および表 1 に示す仕様の基板 No.1 を用いる。この基板は図 2(b)に示すように信号電流がすべてリターン電流となることから理想的には不要放射ノイズが発生しないが，実測においては不要放射ノイズが確認されていたものである。

2.4　測定結果および考察

図 3 に基板 No.1 の S21 を測定した結果，図 4 に昨年度測定した基板 No.1 の不要放射ノイズの測定結果[1)]を示す。図 3 に示すように，位相が 0 もしくは π（または-π）の部分で S21 の振幅がピークとなる周波数があることが分かる。図 4 の不要放射ノイズの測定結果と比べると，不要放射ノイズスペクトラムのピークと S21 のピークとがよく一致していることが分かる。このことから，基板 No.1 で確認されていた不要放射ノイズは，プレーン共振によるものであると判断できる。



(a) 基板外観図

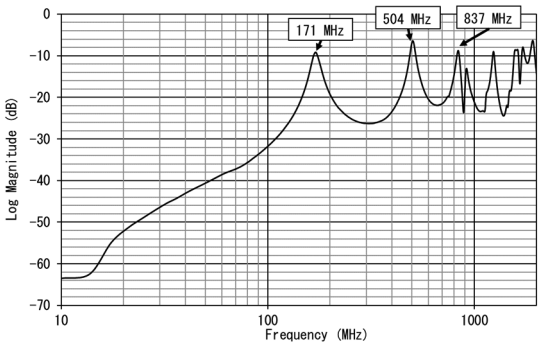


(b) 基板断面図

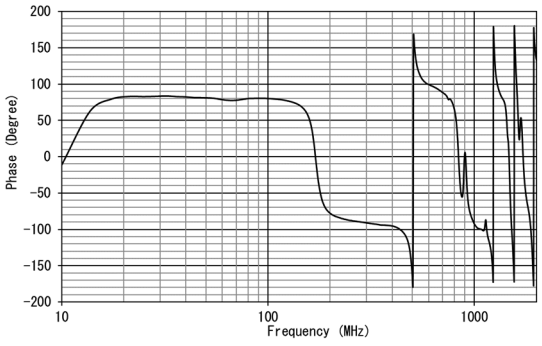
図 2　評価基板　基板 No.1

表 1　基板 No.1 の仕様

基板サイズ	長さ 180 mm，幅 100 mm
基板厚	1.6 mm (電源-グラウンド間：1 mm)
基板層構成	・信号層 1-グラウンド層-電源層-信号層 2 の 4 層 ・電源層，グラウンド層は全領域を導体層
信号源	周波数 20 MHz の発振器
信号増幅	CMOS インバータ（74AC04）
信号負荷	47 Ω 抵抗
信号線長さ	100 mm
信号線の特性インピーダンス	50 Ω



(a) S21 の振幅



(b) S21 の位相

図 3　基板 No.1 の S21 測定結果

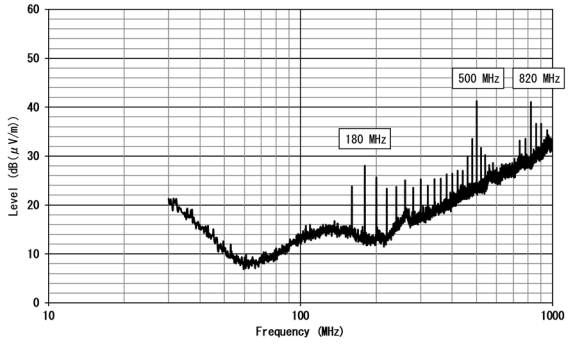


図 4　基板 No.1 の不要放射ノイズ測定結果
（水平偏波）

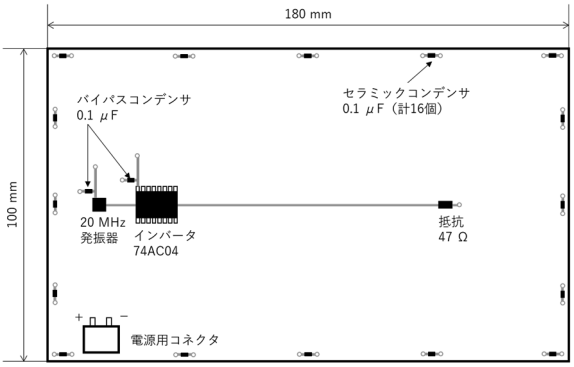


図 5　プレーン共振　対策基板（基板 No.1-2）

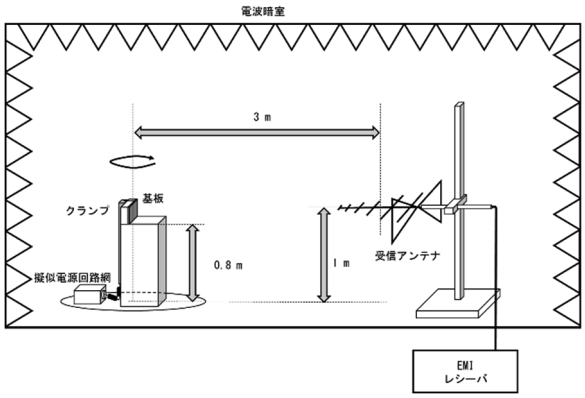


図 6　不要放射ノイズ測定セッティング
（30 MHz～1 GHz）

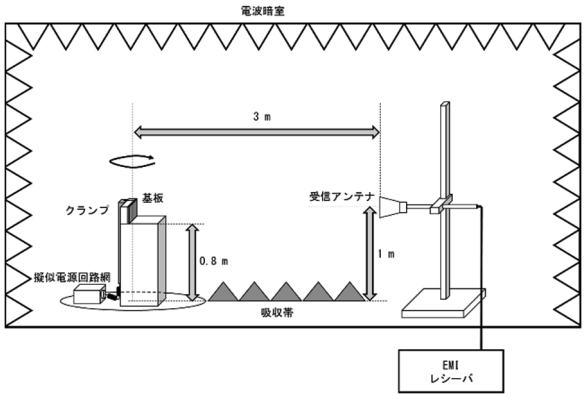


図 7　不要放射ノイズ測定セッティング
（1～6 GHz）

3.　プレーン共振対策とその効果

3.1　プレーン共振対策および評価基板

共振周波数をなくすことを目的として，共振の要素である基板の静電容量の変更を試みることとした。基板の静電容量を増やすために，図 5 に示すように，0.1μF のセラミックコンデンサを基板端部の電源層－グラウンド層間に計 16 個実装した基板（基板 No.1-2）を用意した。そのほかの仕様は，基板 No.1 と同様である。

3.2　測定方法

基板 No.1-2 の対策効果の確認のために，基板からの不要放射ノイズの測定と， S21 の測定を行う。

不要放射ノイズの測定は，昨年度の報告 [1] と同じように VCCI 協会が定める技術基準 VCCI - CISPR32 [5] に準拠し，測定を行った。基板は高さ 0.8 m の発泡性の台の上に置き，基板面からアンテナの基準位置までの距離を 3 m とした。測定周波数範囲は 30 MHz～6 GHz とした。図 6 に 1 GHz 以下の測定セッティング，図 7 に 1 GHz 以上の測定セッティングを示す。

S21 は，2.2 節で述べた方法と同様な手順で測定を行った。

3.3　測定結果および考察

図 8，図 9 に基板 No.1-2 の不要放射ノイズの測定結果を示す。図 8 は 1 GHz 以下，図 9 は 1 GHz 以上の結果である。また図 10 に S21 の測定結果を示す。2 章で示した基板 No.1 に比べ，基板 No.1-2 のほうが不要放射ノイズが大きく低下した。また S21 の測定結果から分かるようにプレーン共振の周波数は高周波側に大きく移動しており，一部は GHz 帯まで移動した。しかしながら，1 GHz 以上の不要放射ノイズの測定結果

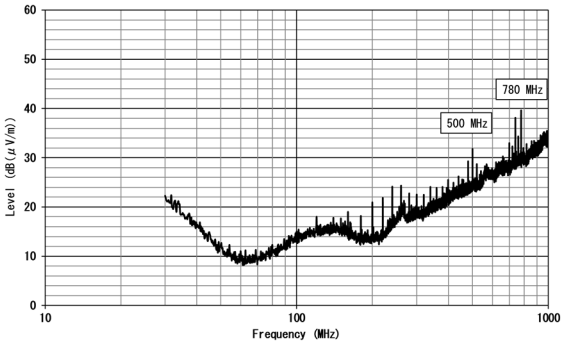


図 8　基板 No.1-2 の不要放射ノイズ測定結果（30 MHz～1 GHz，水平偏波）

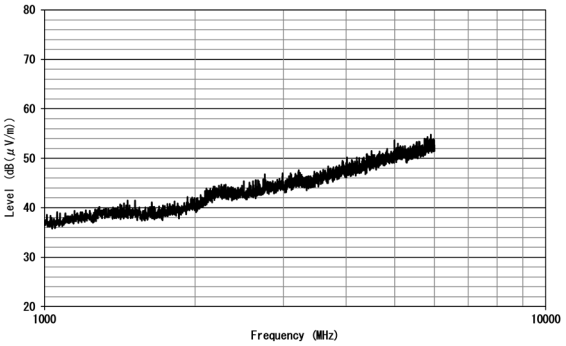


図 9　基板 No.1-2 の不要放射ノイズ測定結果（1～6 GHz，水平偏波）

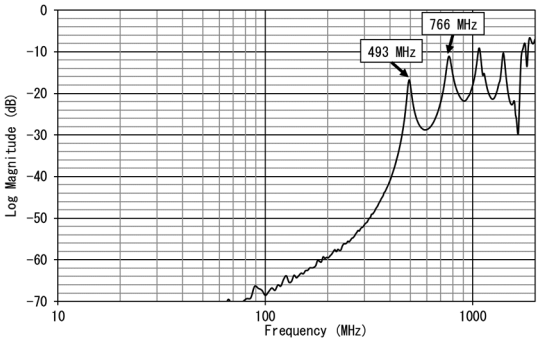


図 10　基板 No.1-2 の S21 測定結果

では，プレーン共振による不要放射ノイズは確認されなかった。

GHz 帯にプレーン共振が移動したにもかかわらず不要放射ノイズとして確認されなかったのは，信号周波数 20 MHz に対して高次数の周波数であるために不要放射ノイズにつながるエネルギーが少なかったこと，また GHz 帯での空間減衰が大きいことなどが要因としてあげられる。このことから，信号周波数がそれほど高くない場合，プレーン共振の影響は 1 GHz 以上の帯域で現れにくいものと考えられる。

4. 結　　言

(1) 昨年度理想基板として製作したマイクロストリップ伝送線路構造を崩さずに信号線を配線した基板 No.1 で確認されていた不要放射ノイズは，プレーン共振によるものであることが分かった。

(2) 電源層－グラウンド層の高周波透過係数を測定することで，その平行平板のプレーン共振周波数を特定できることが分かった。

(3) 基板端部にセラミックコンデンサを実装した基板では，プレーン共振による不要放射ノイズを低減できることが分かった。

(4) 信号周波数が低い場合，プレーン共振の影響は 1 GHz 以上の帯域で現れにくいと考えられる。

参考文献

1) 福嶋祐一ほか，“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－”，工業技術研究報告書，No.50，2021，pp.57-61.

2) 和田修己，“プリント回路版からの電磁波放射（その 2）”，エレクトロニクス実装学会誌，Vol.4，No.4，2001，pp.322-327.

3) T. H. Hubing et al.，“Power Bus Decoupling on Multilayer Printed Circuit Borads”，*IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*，Vol.37，No.2，1995，pp.155-166.

4) T. Harada et al.，“Investigation on Radiated Emission Characteristics of Multilayer Printed Circuit Boards”，*IEICE Transactions on Communications*，Vol.E80-B，No.11，1997，pp.1645-1651.

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