
リターンパスバイオレーションとデータ分析

Return Path Violation and Data Analysis Techniques

宮西 英司* 右ノ子 富士夫* 柳本 太加志*
Hideji MIYANISHI Fujio UNOKO Takashi YANAGIMOTO

要 旨

全ての電子機器は電波規格を満足することが世界的に要求されており、各機器の設計に携わるものはEMC認証を得るために多大な労力を費やしている。そこでこの問題の解決に取り組み、EMC設計支援として活用する目的でEMC測定データ分析ツールを開発し、試行を行った。その結果、不要輻射の原因の中で比較的大きな要因を占めている現象「リターンパスバイオレーション」の存在とその発生場所を突き止め、その対策法を確立し、労力削減に貢献した。

ABSTRACT

Analysis system for Electro Magnetic Compatibility(EMC) is developed so as to obtain the EMC confirmation for the world wide requirements without a lot of works and times for development of electrical products. The system has tools for analysing measured PCB data and design support activity. Using this system, it is found that the phenomenon "Return Path Violation" is the major causes of the EMC problems, and it becomes possible to clear the occurrence places. The system is also conspicuously effective for time reduction by the countermeasure establishment.

* 生産事業本部 生産統括センター 電子部品技術統括室
Electric components Technical Administration Office,
Product strategic Center
Production Enterprise Division

1. 背景と目的

今日、全ての電子機器は電波規格を満足することが世界的に要求されており、RICOHにおいても各機器の設計に携わるものはEMC認証を得るために多大な労力を費やしているのが現状である。この中でも特に不要輻射の規格を満たすためには、プリント回路基板周辺がEMC技術上、重要であることは周知のことである。

近年、電波規制に対する取り組みに対し、学会などでプリント回路基板周辺の不要電磁波放射に対する基礎研究が盛んになってきているが、リコーでは、比較的早くからこの問題に取り組んできており、その成果の一つとして開発した測定データ分析ツールによる原因系の定量的解析試行で、「リターンパスバイオレーション」と呼んでいる現象がプリント基板の数ある不要電磁波放射の原因の中でも比較的大きな要因になっていることが、判ってきた。

本稿ではこれらのツールの試行の2つの事例ではあるが、このツールを使用してこの現象の箇所を明らかにし、対策を施した例を報告する。

2. 分析技術

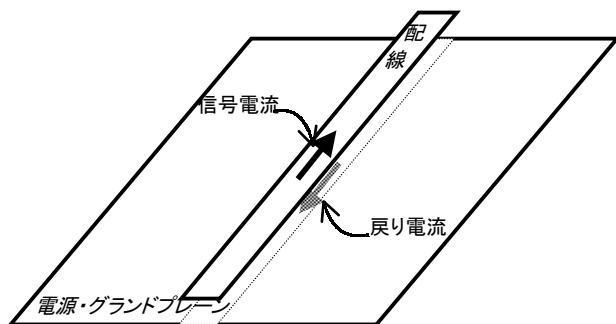


Fig.1 Transmission line structure of a PCB trace.

「リターンパスバイオレーション」という言葉は世間一般に通用する言葉ではない。最近では、RAMBUS技術で信号電流に対する戻り電流が正常な経路をたどらないことが信号波形を正常に伝達する上で問題になっている²⁾。この現象がEMIにおいても問題となる「リターンパスバイオレーション」現象と同根であり、密接な関係がある。正常な基板配線はFig.1に示す伝送線を形成し、戻り電流が信号電流直下に生じ、信

号の発生元に戻っていく課程が生じる。不要輻射は高周波電流ループの面積に比例して大きくなることから考えると、電流ループは非常に小さく押さえられており、不要輻射は極小であることになる。この状態が何らかの原因で乱されると不要輻射が大きくなる事が予想される¹⁾。この意味でこの乱れ現象を「リターンパスバイオレーション」と呼んでいる。また、この現象は基板配線のみならず、ハーネスなどを含んだ系にも当然発生する可能性がある。

「リターンパスバイオレーション」によって増大する不要輻射はプリント基板においては多くの場合、電波暗室などで不要輻射スペクトルを測定すると、かなり広い範囲の周波数帯域で大幅に電波規格を満足しない、いわゆる規格割れ、を起こすことが経験的に判っている。この現象を以下に述べる分析ツールを通じて、定量的に掴むことが出来る。

2-1 分析ツール及び方法

分析手法を高速にこなす目的で、我々は2つの分析ツールを開発した。電波暗室でのスペクトルアナライザによる測定データの分析ツールと近磁界マップ測定装置による測定データの分析ツールである。

これらのツールはEMC設計支援の試行時の成果を継承すると共に、拡大展開を目指して、新たに私どもの部署(生産統括センター 電子部品技術統括室)に組織された「EMC技術SG」によってEMC設計支援に活用されている。以下にこれらのツールの内容を説明する。

2-1-1 電波暗室測定データ分析ツール

電波暗室で測定される不要輻射スペクトルは複数の基板の複数のクロックによるものが雑然と混ざった状態になっている。従来はこのデータに何も分析を行わずに、そのままこのスペクトルピークの中から問題となるものをピックアップして、測定対象の機器に使用している数多くのクロック信号周波数の中のどのクロック信号の高調波であるかを計算で求めていた。

データ分析ツールは原理的にこの計算に相当する分析を全てのスペクトルピークに対し高速に行い、各クロック周波数に分別し、主流となる分周比を自動的に判定する事が出来る。分周比の分析によってクロック信号線が問題なのか、それと同期して不規則に変化する他の信号線が問題なのかを区

別する目安となる。

更に、クロック信号毎にスペクトルを分解することも出来る。これによって、クロック信号毎にどのようなスペクトル分布であるかを的確に掴むことが出来、差分を取る機能を利用して対策部品などがどのように作用するかをスペクトル全体として監視することが容易になる。また、クロック信号毎にどの辺りで何本規格を満足しないピークがあるかを出力することも出来る。

次にクロック信号毎に統計処理し、どのクロック信号線が他と比して不要輻射に寄与しているか、あるいは差分を取ってどの対策が最も効果的かをグラフ表示して定量的に評価することが出来るようになっていく。

最後に、分析結果を総合的に表示すると共に、分析結果は自動的にレポート書式に変換される。

2-1-2 近磁界マップ測定データ分析ツール

近磁界マップ測定装置について先ず説明する。これは数社から市販されているものだが、我々はEMSCAN社のものを使用している。理由は自動測定が出来るためである。構成は外部コントロールできるアンテナアレイと受信機と全体をコントロールするソフトがインストールされたパソコンから成っている。このマトリックス上に配置されたアレイアンテナの上に基板を動作状態で載せて近磁界分布を測定する。

測定の際には、クロック信号の各高調波毎に行うことになるが、測定に時間がかかるために以前は電波暗室で問題になっている2、3の周波数だけ測定しており、対策が必要な場所の判断や、効果の全体的な把握が的確に出来ておらず、あまり良い測定とはいえない。(その周波数では効果があっても他の周波数では逆効果なことがよくある。)EMSCAN社の装置は測定周波数のリストに従って自動測定させることが出来るので、この機能を利用して全高調波を自動測定させている。クロック周波数にもよるが、だいたい1時間程度で測定が終わる。

データ分析ツールはこの測定データを二つの方向で分析する。一つは周波数方向で分析を行い基板全体の近磁界を各高調波毎に分析し、スペクトルとして出力する。これは遠方界でのスペクトルの目安となるデータとして利用する。もう一つは各アレイアンテナの要素毎に全高調波に渡って分析し、一つの分析された近磁界マップとして出力する。これは問題

となっている箇所が強調されるように処理されているので、先に述べた「リターンパスバイオレーション」現象が起っている箇所も分析結果としてより鮮明に表示されることになる。

ツールは、差分分析も含め、分析結果を自動的にレポート書式に変換する機能だけでなく、各高調波毎の近磁界マップの表示と基板形状データをセットすると基板の問題箇所を自動表示するビューを備えている。

3. 成果

開発中の何機種かに対し試行を行ってきた中で上記の分析ツールのプロトタイプ開発を行い、「リターンパスバイオレーション」現象を発見すると同時に対策の方向を指し示すことが出来た。

以下にその幾つかの例を説明する。

3-1 基板測定例(1)

この基板は試作完了後、動作チェックを行い、機器本体に実装状態での電波暗室測定をする前に近磁界マップを測定・分析した結果に従って、対策を実施し、その後に行った電波暗室測定でも対策の効果を確認出来たものである。

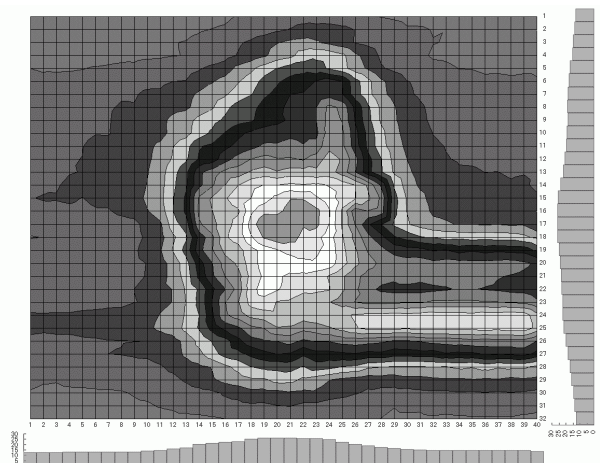


Fig.2 Result of analysis on the measured magnetic near field map data.(PCB example No.1)

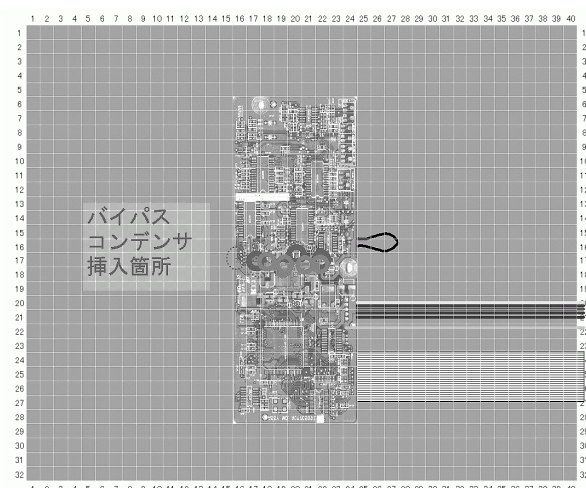


Fig.3 Set-up figure on array antennas.(PCB example No.1)

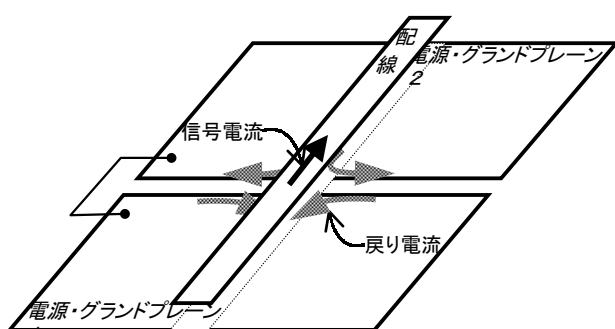


Fig.4 Structure of Split Power Plane.

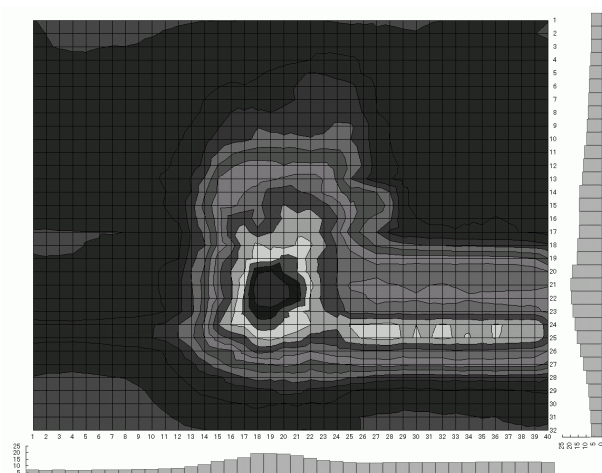


Fig.5 Result of analysis on the magnetic near field map data after insertion of by-passes.(PCB example No.1)

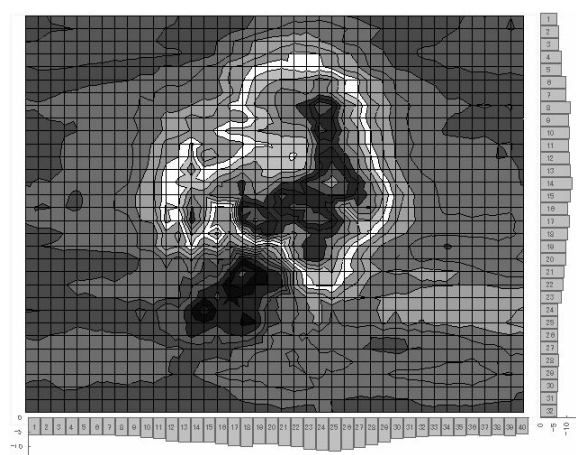


Fig.6 Result of differential analysis on the magnetic near field map data after insertion of by-passes.(PCB example No.1)

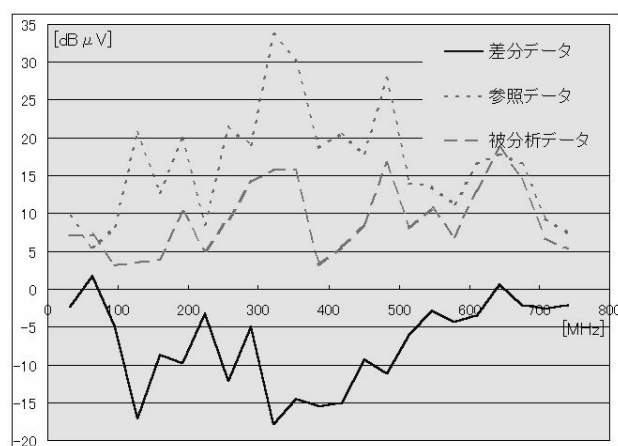


Fig.7 Result of Spectrum analysis on the measured magnetic near field map data.(PCB example No.1)

先ず、近磁界マップ測定データの分析結果をFig.2に示す。
 これによると中央に近磁界強度の大きな山があることが判る。
 測定はアレーアンテナにFig.3に示す位置に基板を設置して
 行っている。この基板は4層基板であるが、実は、磁界強度の
 大きな山のある箇所(基板の中央付近)で内層の電源とグランド
 のプレーンが複雑に切れており、その上をクロック信号線
 が通っている構造になっている。いわゆる、Fig.4に示すよう
 な、スプリットパワープレーンと呼ばれる構造になっている。
 この構造は、図に示されているように、戻り電流を著しく乱
 す。この結果、アンテナという見方からは「リターンパスバ
 イオレーション」を起こしている箇所であってアンテナを励起する
 ことになる。アンテナは基板全体である。また電流ループと
 いう観点からは、当然、電流ループが増大している。これを
 確認するために、戻り電流経路を人工的に正常な状態に近い

場所に誘導する目的でバイパスを形成してみた。Fig.3の丸で囲んだ箇所がそれである。この状態で再度測定し分析を行った結果、近磁界強度マップはFig.5のようになった。Fig.2と比較してみても判る様に、先ほど見られた近磁界強度の大きな山が完全に無くなり、近磁界分布状況が改善されていることが判る。まだもう一つある山はグラウンドプレーン層に信号線が配線されている部分であることが判っている。この部分も問題だが、今回は触れない。バイパスを設ける前後の差分を取った分析マップがFig.6である。最高約12dBの差が出ており、「リターンパスバイオレーション」現象のバイオレーション電流による磁界が、問題の箇所で減少したと判断できる。Fig.7のスペクトルの分析結果を見ても、かなり広い周波数範囲で最高約17dB減少していることが判る。切れたプレーンを高周波的にバイパスでつないだだけなのだが、回路上問題なければ、対策としては電源／グラウンドのどちらか又は両方のプレーンを切らずに一枚にすることがよいと思われる。

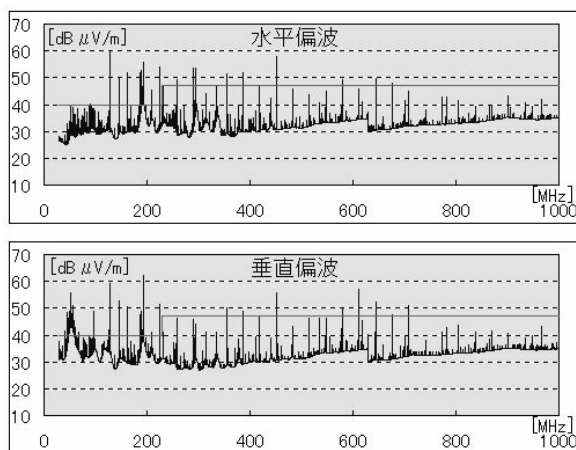


Fig.8 The original data measured in anechoic chamber. (PCB example No.1)

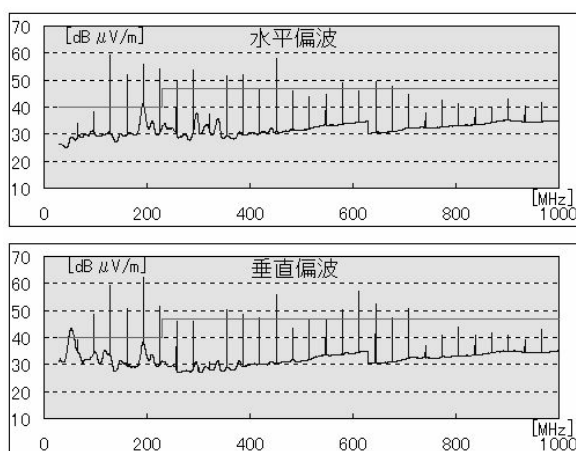


Fig.9 Analyzed data of the measurement in anechoic chamber. (PCB example No.1)

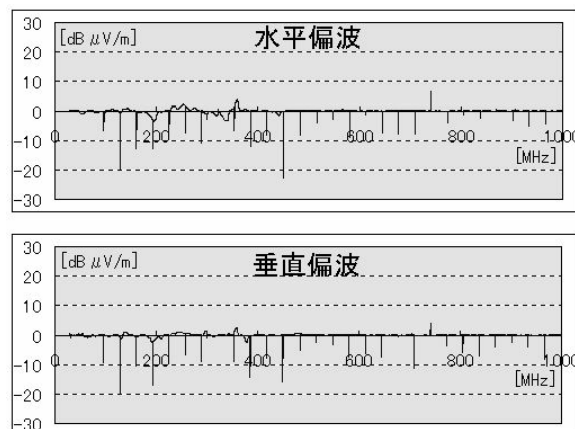


Fig.10 Result of differential analysis on the anechoic chamber measurement data. (PCB example No.1)

実際に、この基板を開発中の機器に取り付けて電波暗室での測定を行った。測定結果は、他の基板も取り付けた状態であるから、Fig.8の様に、他の部分からの不要輻射も含まれたスペクトルになっている。これは分析ツールにかける事によって必要なスペクトルを簡単に分離できるので、これを利用してこの基板のクロック信号だけにしたもののがFig.9である。かなり広い範囲で大幅に電波規格を満足していないことが判る。一方、先ほどのバイパスを設けた基板に取り替えて測定し、差分分析をかけた結果がFig.10である。この様に広い周波数範囲で、最高約20dB以上減少している事が判る。

以上から近磁界マップ測定データの分析により「リターンパスバイオレーション」箇所を特定する事が出来、これが電波暗室測定でも大きな要因となっていることが判った。また、対策効果の検証としての測定結果が近磁界マップと電波暗室測定の両者ともほぼ同様傾向を示すことが判った。

3-2 基板測定例(2)

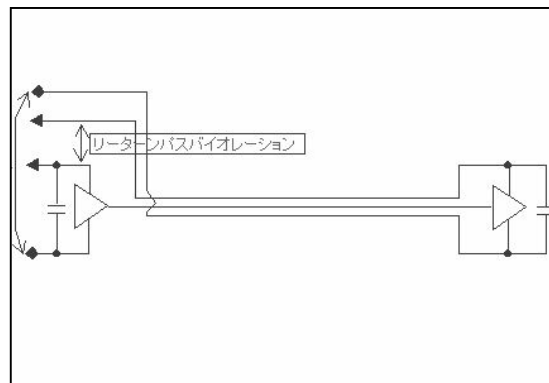


Fig.11 Return Path Violation between PCBs. (PCB example No.2)

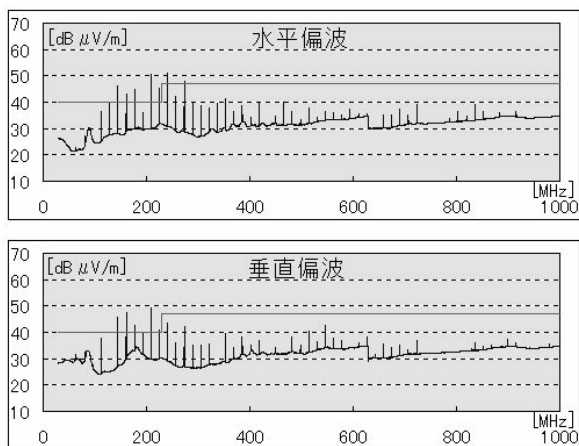


Fig.12 Result of analysis on the anechoic chamber measurement data.(PCB example No.2)

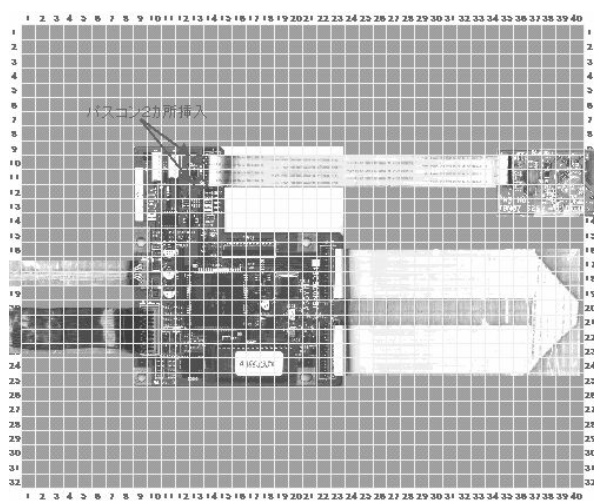


Fig.13 Set-up figure on array antennas.(PCB example No.2)

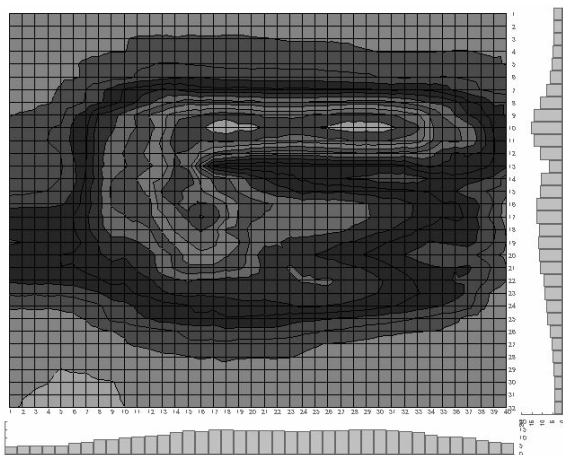


Fig.14 Result of analysis on the magnetic near field map data. (PCB example No.2)

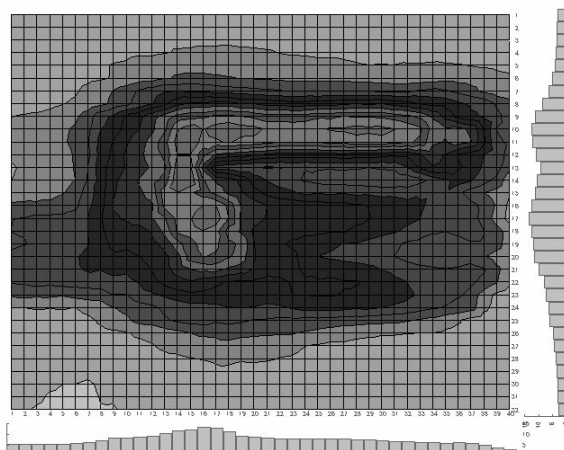


Fig.15 Result of analysis on the measured magnetic near field map data after insertion of by-passes.(PCB example No.2)

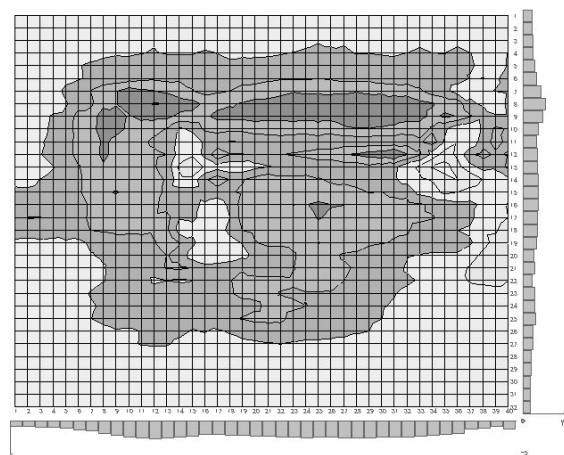


Fig.16 Result of differential analysis on the measured magnetic near field map data after insertion of by-passes.(PCB example No.2)

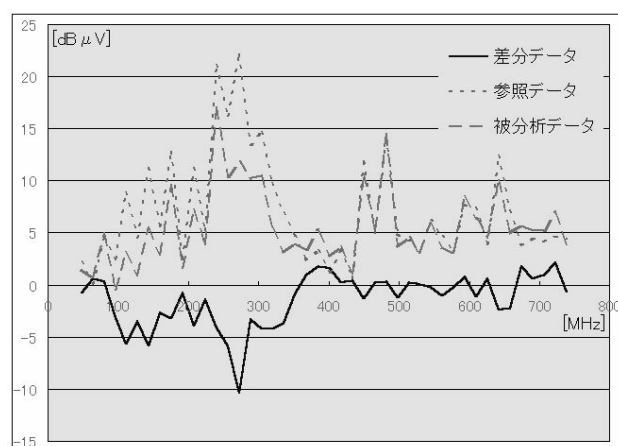


Fig.17 Result of spectrum analysis on the measured magnetic near field map data.(PCB example No.2)

この基板は電波暗室測定で電波規格を越えていることが

判ったので、その後に近磁界測定データ分析で原因を調べたものである。結論的には、等価回路がFig.11に示すように、ハーネスでつながれた2つの基板間で「リターンパスバイオレーション」が起こっているのが原因であることが判ったものである。電波暗室測定データの分析結果はFig.12の様にハーネスにかかわる周波数域で問題となっているようである。基板をFig.13の様に設置して近磁界マップ測定後、分析した結果がFig.14である。この様に基板部分の磁界強度に比べてハーネス部分の磁界強度が大きいことが判る。そこでよりループ面積の小さい戻り電流経路を確保する目的で、バイパスコンデンサを追加(Fig.13矢印部)した状態で近磁界マップを測定分析した結果がFig.15である。ハーネス部分の磁界強度がかなり減少しているのが判る。差分分析を行った結果がFig.16である。効果としては約3dBの減少と少なく見えるが、Fig.17のスペクトルで見ると最高約10.4dBと効果が見られ、電波暗室測定でもかなり効果が期待出来るレベルである。基板上にはまだ近磁界の強いところがあるが、これは基板上のデバイスが2電源で、内層で電源層が分離されているためであろうと思われる。今回はこの辺りは調べていない。

電波暗室でこの対策効果を確認した結果、Fig.18の差分分析結果を見ても判るように、最高約13dBの効果が得られた。

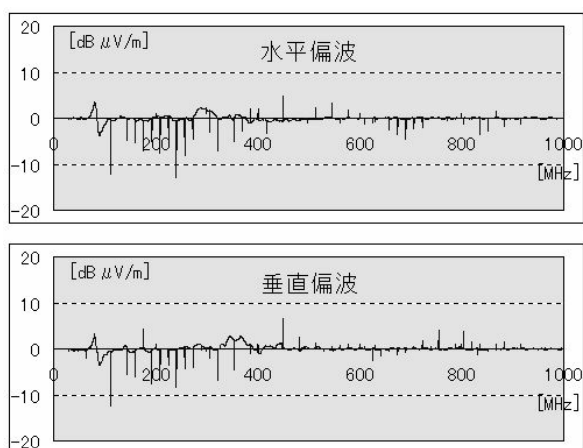


Fig.18 Result of differential analysis on the anechoic chamber measurement data. (PCB example No.2)

4. 今後の展開

幾つかの試行を通じ、これらの分析ツールを使って「リターンパスバイオレーション」に関する現象のパターンを、例に示した以外にも幾つか掴んでおり、これらの対策法を対

策処方という書式で取りまとめ、EMC設計支援を通じて設計区にフィードバックしている。しかし、不要輻射問題ではこれ以外にも多くの現象論的要因が多く存在し、これらに対しても同様の対策技術を確立しておく必要があると実感している。例えば、共振問題や、筐体やハーネスのアンテナ効果などである。これらは今後のEMI設計支援を通じて確立して行くべきであろう。

また、予防的な意味でも、「リターンパスバイオレーション」現象をEMIシミュレーションで再現できるようにする必要があると考えている。しかし、現時点ではこれを再現できるシミュレータの処理時間が実用的範囲ではないので、どういうやり方で設計支援していくか検討中である。

謝辞

分析ツールの試行に協力いただいた方々、分析ツールの業務展開の段で、試行にご協力いただいた方々に感謝いたします。これらの方々のご協力無しには、「リターンパスバイオレーション」現象の発見や分析ツール群の確立はなかったことと思います。

参考文献

- 1) “Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance”
Mark. I. Montrose p.122 Chapter5.2.2, Fig5.4
- 2) ラムバス技術セミナー資料1999年3月1日 日経エレクトロニクス・日経マイクロデバイス・ラムバス株式会社pp.54-62

注1) RAMBUSはラムバス株式会社の米国及びその他の国の登録商標です。