

# 高周波ノイズ伝搬経路評価技術

渡邊陽介\* 岡 尚人\*  
安藤雄二\*\* 大橋英征\*\*  
内田 雄\*\*

Technology for Evaluating Propagation Path of High Frequency Noise

Yosuke Watanabe, Yuji Ando, Takeshi Uchida, Naoto Oka, Hideyuki Ohashi

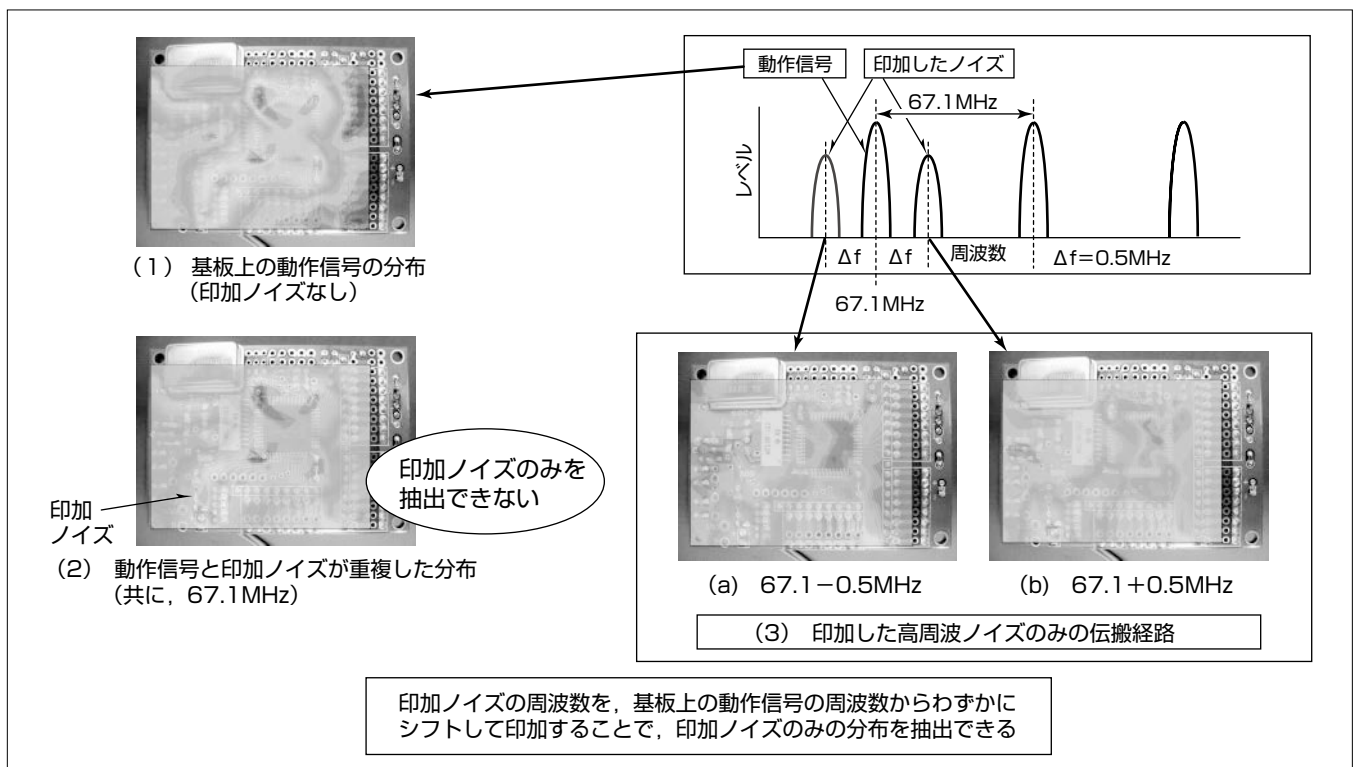
## 要 旨

近年の無線通信機器は、高速化だけでなく小型化と軽量化も求められており、高速・高周波で動作する回路部品が非常に高密度で実装される状況になっている。そのため、機器の内部モジュール間で起こる内部干渉や、外部の接続端子から混入するノイズ干渉等のEMC (Electro Magnetic Compatibility：電磁両立性)問題に対し、あらかじめEMCを考慮した設計を行うことが求められる。この場合、要求仕様と軽量化・低コスト化を両立させ、必要最小限の部品を効果的に配置するためには、機器の内部におけるノイズの伝搬経路を評価する技術が必要である。

そこで三菱電機EMC技術センターでは回路基板の外部から混入する高周波ノイズの伝搬経路のみを可視化する技術を開発した。これは一般的な放射ノイズ可視化システムに加えて、評価する機器の外部端子にノイズを印加するカプラを装着することで、外来のノイズの分布を測定する構成となっている。さらに、印加ノイズの周波数が、内部回

路や通信回路の動作信号の周波数と重複し、それぞれの分布を識別できない場合には、重複する動作信号の周波数から上側と下側の両方にわずかにシフトした周波数の印加ノイズの分布を測定する。この手法によって、動作信号と重複する周波数の印加ノイズの分布を両側の周波数の分布から推定することが可能になる。

この技術をダイレクトデジタルシンセサイザの回路基板に適用した。基板上の水晶発振器から出力されるクロック信号と重複する周波数に対して、電源線から高周波ノイズを印加したところ、そのままの測定データでは印加ノイズの分布を抽出できなかったが、この技術を適用することで印加した高周波ノイズのみの分布を抽出することができ、その有効性が確認できた。今後はこの技術をEMC設計・対策における有用なツールとして、様々な電子機器に展開する予定である。



## 機器外部から印加される高周波ノイズの伝搬経路評価技術と適用例

電子機器の内部の回路を動作させた状態で、エラーが発生した特定の周波数におけるノイズ分布を観測しようとする時、外部から印加したノイズの周波数と、内部回路や通信回路の動作信号の周波数が重複してしまい、それぞれの分布を識別することができない。そこで、印加ノイズの周波数を、内部の動作信号と重複する周波数から、上側と下側にわずかにシフトさせることで、スペクトラムアナライザでノイズと動作信号の重複を避けて検波することができ、印加ノイズの分布を推定することが可能になる。上図はこの技術と適用例を示す。

## 1. ま え が き

近年の無線通信機器は、高速化だけでなく小型化と軽量化も求められており、高速・高周波で動作する回路部品が非常に高密度で実装される状況になっている。そのため、機器の内部モジュール間で起こる内部干渉や、外部の接続端子から混入するノイズ干渉等、EMCに関する問題は複雑化する傾向にある。

しかし、EMCに対応して、対策部品やシールドケースを過剰に配置すると、要求仕様に対してオーバースペックとなる。要求仕様と軽量化・低コスト化を両立させた上で、必要最小限の対策部品を最も効果がある箇所に配置することが望ましい。そのためには、機器の内部でノイズが伝搬する経路を評価する技術やツールを開発し、対策部品等の適切な配置場所を絞り込む必要がある。

以上を踏まえ、当社EMC技術センターでは、機器の内部における高周波ノイズ伝搬経路評価技術を開発した。本稿ではその技術と効果について述べる。

## 2. EMC設計の基本要素と開発の位置付け

### 2.1 EMC設計の基本要素

無線通信機器のEMC問題は、図1に示す3要素(①ノイズ発生源、②ノイズ発生源から被妨害回路までのノイズ伝搬経路、③ノイズの影響を受ける被妨害回路)を経由して発生する。

このため、EMC問題の回避には、最終的に被妨害回路が放射又は伝導で受けるノイズのレベルが、性能劣化を生じる誤動作レベル(ノイズ許容値やマージン)よりも低くなるように設計する必要がある。したがって、対象となる機器に応じて、ノイズ発生源の発生レベルの抑制、ノイズ伝搬の伝搬抑制、被妨害回路のノイズ耐性の向上と、それぞれの要素でのEMCを考慮することで、結果として被経路妨害回路で受信するレベルを抑制することができる。

### 2.2 開発の位置付け

当社EMC技術センターでは、上記のそれぞれの要素に対するEMC技術を開発しており、ノイズ発生源の解析や、高速差動線路・被妨害回路の耐ノイズ評価など、様々な検討を行ってきた。今回の開発はこのうちの伝搬経路に関する研究開発にあたる。以下に事例とともに、開発の位置付けを示す。

例えば、アンテナ端子から高周波のノイズが無線通信機器に混入した場合には、外来の高周波ノイズに起因した通信エラーや、無線機器の性能劣化が起こる可能性がある。

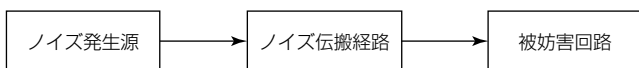


図1. EMC問題の基本要素

しかし、高密度で実装された無線通信機器では、通信のためのRF(Radio Frequency)回路以外にも様々な回路が混在しているため、どの回路でエラーや誤動作が発生したかを分析することは非常に困難である。このため、無線機器内で、高周波ノイズが伝搬する経路を特定する技術が求められる。ノイズ伝搬経路の特定ができれば、エラーの原因究明や、ノイズ伝搬抑制のための対策箇所の抽出が可能となり、設計時に非常に有用なデータを入手できる。

以上を踏まえ、無線通信機器の外部から混入する高周波ノイズの伝搬経路を可視化するための技術を開発した。

## 3. 高周波ノイズ伝搬経路可視化システム

### 3.1 一般的なノイズ可視化システム

一般的なノイズ可視化システムは、対象となる機器から発生するノイズに対する対策用ツールとして使われる。これは、対象となる機器内部に存在する不要なノイズの発生源を特定することによって、機器上で対策が必要となる箇所を絞り込むことを目的としている。

このノイズ可視化システムは、検出プローブと、検出プローブを走査する機構、スペクトラムアナライザなどの測定器、及び分布表示用のパソコン上のソフトウェアで構成している。対象機器の内部のプリント基板を流れるノイズ電流(電圧、電磁界)のレベルを、検出プローブとスペクトラムアナライザで観測し、基板上の一定のエリアを走査させることでノイズ分布を表示する。

### 3.2 開発した高周波ノイズ伝搬経路可視化システム

前節で示した一般的なノイズ可視化システムに対し、外部から印加した高周波ノイズの伝搬経路可視化システムを開発した。これは、先に述べたシステムで評価する機器の外部端子に対し、ノイズを印加するカブラを装着することで、外来ノイズの分布を測定するシステムを構成している。このシステムの構成を図2に示す。

先に述べた可視化システムとの構成要素に対して、機器の端子から外来のノイズを印加する機構を追加しただけで

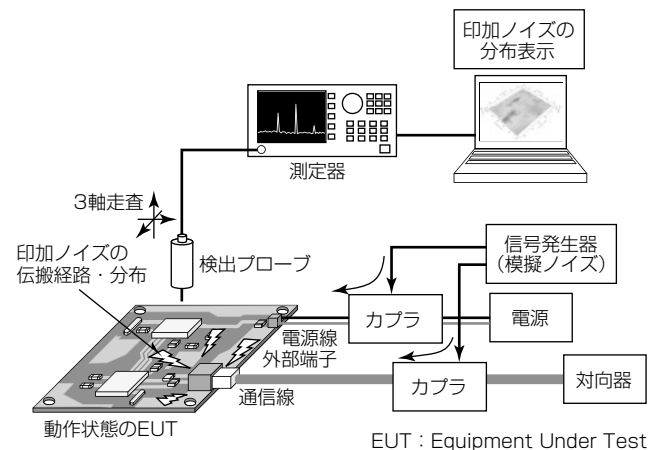


図2. 高周波ノイズ伝搬経路可視化システムの構成

あるが、ノイズの分布を抽出する手法は大きく異なる。

無線通信機器に対して外部からノイズを注入した際のエラーや誤動作の多くは、内部の回路で使用する信号の周波数と同一の周波数のノイズを重畳した際に発生することが多い。また、内部の回路の動作状態によっては、回路のインピーダンスが異なることが多いため、動作状態では停止状態と別のノイズ伝搬経路が現れることもある。したがって、実際の機器の誤動作に対応した評価を行うためには、回路が動作した状態で、印加ノイズの伝搬経路を可視化しなければならない。

しかし、内部の回路を動作させた状態で、エラーが発生した特定の周波数におけるノイズ分布を観測しようとする、内部の動作信号の通信回路の動作信号と、周波数が重複してしまい、それぞれを識別できないケースが多発する。この問題に対し、無線通信機器の内部の動作信号と印加ノイズを分離して検出する技術を検討した。その分離方法を図3に示す。

図3の上図は、対象となる機器の基板上の、ある一点の観測点における動作信号のスペクトラムを示している。今回の対象となる機器は、正弦波発生器のダイレクトデジタルシンセサイザ(Direct Digital Synthesizer : DDS)としたが、このグラフから機器内の各回路の動作信号を集積したスペクトラムは、非常に広い帯域の成分を持つことが分かる。図3の下図に、この動作信号のスペクトラムの一部を拡大して示す。この図はクロック発信器の基本周波数周辺の帯域のスペクトラムを拡大した。図中の $f_s$ を対象基板から発生する信号の基本周波数とすると、この周波数に対して整数 $N$ 倍の高調波が発生する。このとき、 $f_s$ に対して同

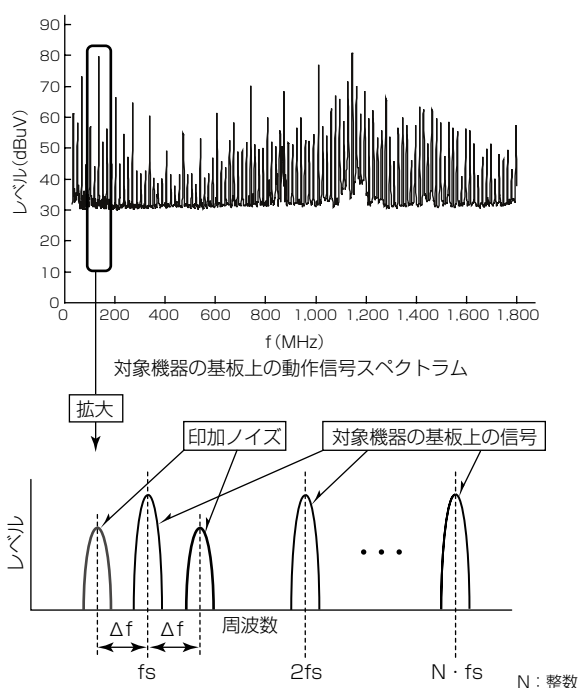


図3. 動作信号と重複した印加ノイズの分離方法

じ周波数のノイズを外部から注入してしまうと、動作信号と外部印加ノイズが混ざってしまい、混合したレベル分布が観測されてしまう。これに対し、 $f_s$ から $\Delta f$ の周波数だけシフトした周波数のノイズを外部から印加する手法を考案した。この印加ノイズの周波数は、 $f_s$ の上側と下側に対して $\Delta f$ だけシフトした値となるため、測定器であるスペクトラムアナライザでは、動作信号と外部印加ノイズが混ざることなく検波でき、独立したノイズ分布を取得できる<sup>(1)</sup>。

このとき、上側にシフトした周波数 $f_s + \Delta f$ を印加した際に観測されるノイズ分布と、下側にシフトした周波数 $f_s - \Delta f$ を印加した際に観測されるノイズ分布が一致する場合は、その間にある周波数 $f_s$ の分布も同等になると判定する。以上の方法によって、 $f_s$ におけるノイズ分布を間接的に取得することができる。ただし、 $\Delta f$ の決め方には条件があり、 $f_s$ よりも小さく、かつスペクトラムアナライザの分解能帯域幅(Resolution BandWidth : RBW)よりも大きくする必要がある<sup>(2)(3)</sup>。

#### 4. 高周波ノイズ伝搬経路可視化システムの効果

開発したシステムによって採用した高周波ノイズ伝搬経路可視化技術を用いて、ノイズの伝搬経路を可視化した事例を示す。図4に先に述べたDDS基板の外観を示す。図の基板の左下に直流電源端子があり、左上に67.1MHzのクロックを生成する水晶発振器が配置されている。また、基板中央にはDDSのICチップがあり、発振器とDDSチップの間にD/Aコンバータが置かれている。よって、この基板の回路動作する際には、発振器の基本周波数67.1MHzからの高調波成分とDDSチップの動作周波数が発生することが予想される。今回は67.1MHzの発振器の基本周波数に着目し、その周波数で動作信号と外来の高周波ノイズの切り分けが可能かを検証した。

まず、図5にDDS基板の動作信号のみの分布を測定した結果を示す。この図の基板の写真に重なる白黒の濃淡がノイズのレベルを示しており、白い箇所が高いノイズレベル、黒い箇所が低いノイズレベルを持つ部分となっている。この図から、発振器から出力された動作信号は、D/Aコ

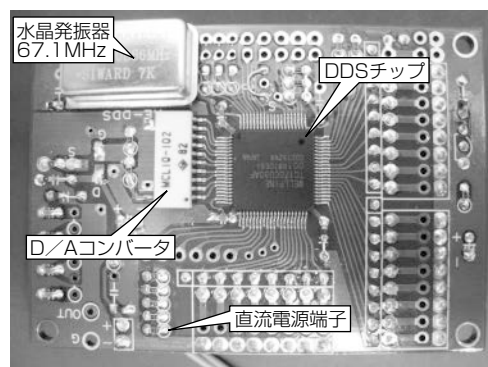


図4. 可視化の対象とするDDS基板の外観

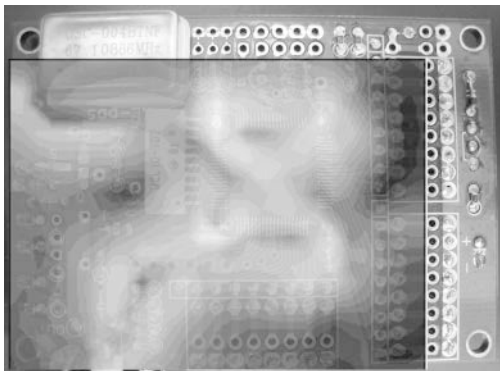
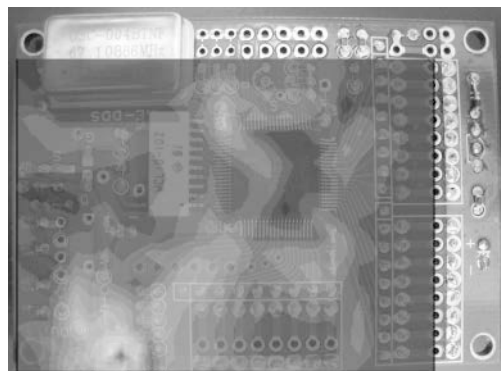


図 5. DDS基板の動作信号(67.1MHz)のレベル分布



(a) 印加ノイズ周波数：67.1+0.5MHz

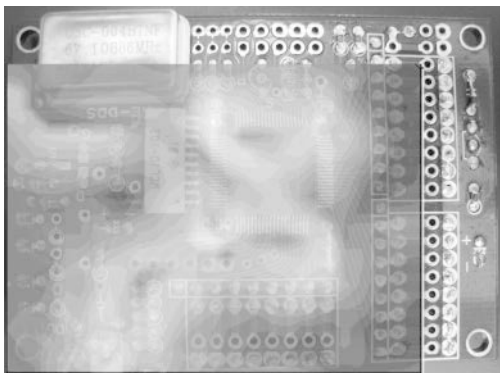
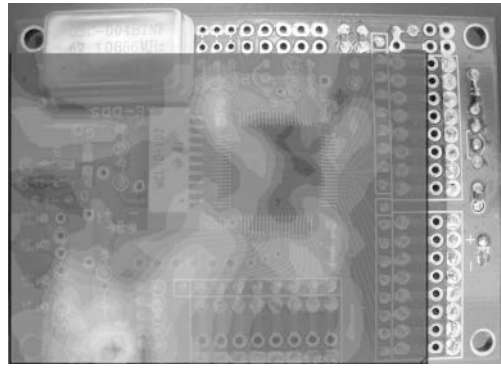


図 6. 動作信号と同じ周波数(67.1MHz)のノイズを印加したときの分布



(b) 印加ノイズ周波数：67.1-0.5MHz

図 7. 印加ノイズのみのノイズレベルの分布

ンバータを経由してDDSチップに入り、さらにDDSチップから直流電源端子に流れていることが分かる。

次に、DDS基板を動作させた状態で、動作信号と同じ周波数(67.1MHz)の高周波ノイズを直流電源端子から印加した。図6にそのノイズレベルの分布を示す。この図を見ると、左下の端子から印加した高周波ノイズと、発振器から流れる動作信号が混合されてしまうことが分かる。したがって、印加した高周波ノイズがDDSチップやD/Aコンバータにいたる経路を分析することは不可能である。

一方、先に述べた印加ノイズの周波数をシフトする手法を適用し、ノイズの周波数を67.1MHzから±0.5MHzシフトさせて印加し、ノイズ分布を測定した。図7(a)に67.1+0.5MHzのノイズレベルの分布を、図7(b)に67.1-0.5MHzのノイズレベルの分布を示す。これらの図から、電源端子に印加したノイズはDDSチップまではパターンを経由して到達するものの、D/Aコンバータや発振器までは至っていないことが分かる。よって、基板が動作状態であっても、動作信号の影響を受けずに印加した高周波ノイズのみの伝搬経路が抽出できている。また、図7(a)と(b)の比較から、上下の周波数のシフトによって得られるノイズの分布は同等であるため、間の周波数の67.1MHzでも同様の伝搬経路を示すと推測できる。

以上によって、印加ノイズの周波数をシフトして、高周

波ノイズのみの伝搬経路を抽出する手法が有効であることが分かった。印加ノイズの周波数シフト量 $\Delta f$ の最適な設定方法や、広帯域な動作信号への適用等が今後の課題である。

## 5. む す び

電子機器内部の動作信号と印加ノイズを分離して測定する技術を開発し、無線通信機器の外部から混入する高周波ノイズのみの伝搬経路を可視化する手法を構築した。開発成果であるこの技術をEMC設計・対策における有用なツールとして、様々な電子機器に展開する予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 安藤雄二, ほか: プリント基板上の印加ノイズ伝搬経路測定評価法の一検討, エレクトロニクス実装学会第25回講演大会, 9A-20 (2011)
- (2) 安藤雄二, ほか: 基板上のノイズ伝搬経路可視化に用いる印加ノイズ周波数依存性の一検討, 電子情報通信学会ソサエティ大会, B-4-63 (2011)
- (3) 安藤雄二, ほか: 基板のノイズ伝搬経路可視化における印加ノイズの検討, 電子情報通信学会技術研究報告, EMCJ2012-13 (2012)