電磁界シミュレーションを用いたEMI設計

EMI Design Using Electromagnetic Field Simulation

野村毅* Nomura, Takeshi

要旨

情報機器の開発において重要な課題である不要輻射への対応設計に電磁界シミュレータを活用している。情報 機器の不要輻射発生のメカニズム、不要輻射量の制御パ ラメータを明らかにした。この制御パラメータを設計 ルールとして管理することで、対策時間を従来の1/3に削 減することが出来た。さらに、実機の設計段階での電磁 界シミュレータの活用についても述べる。

Abstract

We have utilized an electromagnetic field simulator for a counter design to undesirable radiation that is an important subject in the development of information apparatus. We figured out the generation mechanism of the undesirable radiation of the information apparatus, and control parameters of the amount of undesirable radiation. Usual time period for countermeasures can be reduced to 1/3 by managing these control parameters as a design rule.

Further, we hereby report utilization of an electromagnetic field simulator in the design stage of the information apparatus.

1 はじめに

プリンタやMFP (Multifunctional Peripheral)をはじ めとする情報機器の開発において、最も重要な課題の一 つとして電磁波の不要輻射問題への対応いわゆるEMI (Electromagnetic Interference)対応が挙げられる。

EMI対応とは、機器が発生する不要輻射量を、日本の VCCI、米国のFCC、EUのEMC指令など各国法規の規制 限度値内に適合させることをいう。

機器のデジタル化や、高機能化に伴う動作周波数の上 昇は、不要輻射の発生量を増加させてきた。この発生量 の増加に対抗するための一方策として取組んでいる電磁 界シミュレータの有効な活用について説明する。

2 EMI対応の課題

開発期間短縮への課題

従来、情報機器のEMI対応は、製品がある程度完成した後に実機を使っての輻射量評価や対策を始めるという 進め方を行っていた。必然的に対策の選択肢は狭くなり、効果的な対策を打てない場合が少なくなかった。また、経験則に基づいた対策を試行錯誤で実施するため対 策時間が膨らんでいた。

一方、市場での製品寿命はどんどん短くなっており、 開発期間短縮への要求が高まっている。

開発期間の短縮は、EMI評価および対策ステージを前 段階である設計ステージにシフトすること、すなわち、 EMI設計を行うことで実現できる。

情報機器特有のEMI対応の課題

情報機器は、高速で動作する制御基板や、複雑かつ大 きな金属筐体、それぞれの基板間を接続するハーネスと いった要素から構成されている。

制御基板は、輻射ノイズの発生源として働き、筐体や ハーネスは輻射ノイズの伝播要素、二次的ノイズ発生源 として働く。ゆえに、情報機器では、基板への対応と並 んで、筐体やハーネスへの対応が不可欠である。

これらの課題へ対応する具体的な取り組みとして、電 磁界シミュレータを活用しながら筐体やハーネスを中心 とした設計ルールの構築を行ってきた。以下に検討の実 例を示す。

また、電磁界シミュレータの活用方法として次に取組 んでいる実機筐体の放射特性の評価と対策の事前検討に ついても実例を挙げて説明する。

3 電磁界シミュレータの活用

3.1 設計ルールの構築

3. 1. 1 輻射ノイズの発生メカニズム

Fig.1に我々の扱う情報機器のノイズ発生の系統図を示 す。情報機器を構成する基本要素である基板、それを覆 うシールド、ハーネス、筐体は6つの単純なアンテナつ まり、ノイズ発生要素に分類できると考えている。この

^{*} コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株 機器開発本部 機器第3開発センター 第33開発部



Fig.1 Antennas composed in the machine

6つの単純アンテナとは、基板内の信号パターンに代表 される「1:ループアンテナ」、基板内の電源/グランド パターンが構成する「2:平行平板共振」、基板のグラン ドパターンが有限であることに起因する「3:有限グラ ンド」、シールドボックスが構成する「4:空洞共振」、 シールドの開口が構成する「5:スロットアンテナ」、 ハーネスに代表される「6:モノポールアンテナ」であ る。ハーネスは、筐体に近接したときは「1:ループア ンテナ」として働く。筐体の不連続は「5:スロットア ンテナ」に代表される。そして、これらのアンテナから の放射は順番に結合し合い、最終的に装置から輻射され るノイズは、複雑なプロフィールを持つことになる。

しかし、この複雑な放射の発生メカニズムは、単純な アンテナとして分解することができる訳であるから、そ のアンテナの放射効率を左右するパラメータをコント ロールすればノイズが抑制できることを意味する。

Fig.1中に示しているアンテナ個々の解析事例として ハーネスと筐体(板金)が構成する放射モデルの事例を 説明する。

3.1.2 筐体とハーネスが形成する放射モデル

基板から放射される電磁界は、ハーネスへ結合しハー ネスは自らの放射特性に従って輻射ノイズを放出する。 これをモデル化すると**Fig.2**に示すごとく表現できる。基 板からハーネスに結合したノイズ源をVnとしてハーネス に接続する。ここで、ハーネスは1本のワイヤとして簡 易表現している。

ハーネスの長さL=0.6mとしてハーネスと板金の距離 Hを1mm、5mm、20mmと変化させたときの10m遠方放射 電界のシミュレーション結果をFig.3に示す。



Fig.2 The radiation model formed with harness and sheet metal

ハーネスにノイズが結合したモデルは、一般的にはモ ノポールアンテナと考えることができる。しかし、ハー ネスが板金に沿って配置された場合Fig.4に示すように板 金にはリターン電流が流れる。この電流経路はループを 形成しておりループアンテナとして扱うべきである。 ループアンテナの放射電界の特徴は、次式で表すことが できる。

 $E \propto L \times H \times I = S \times I$

ここでEは放射電界、S(=L×H)はループ面積、I はループ電流を表す。また、ループアンテナの共振周波 数は、

$$f = \frac{2 n - 1}{4 L} c$$
 (n = 1, 2.....)

で計算できる。fは共振周波数、nは自然数、Lはハー ネス長、cは光速を表す。L=0.6mの場合は、f= 125MHz、375MHz、625MHz・・・である。Fig.3に示す 放射電界の平均値はループ面積に比例し、かつ上式で計 算される共振周波数での電界の増加つまりループアンテ ナの特徴が再現できている。



Fig.3 Simulation result



Fig.4 The occurrence mechanism of radiation

この検討結果より板金に近接するハーネスの放射量制 御パラメータは、①ハーネスの長さL、②ハーネスと板 金の距離H、③電流Iつまりハーネスに結合するノイズ 量Vnということになる。

この中でハーネスの配置に関する設計ルールとして 「高速で動作する基板に接続されるハーネスと板金の距 離は近接させること」というルールを設けるべきであ る。

我々の扱う情報機器内の板金は複雑な形状の板金を複 数結合して形成されるという特徴をもっている。必然的 にハーネスの対向する板金が一様であるという場合はほ とんど無い。Fig.5に示すようにハーネスの対向する板金



Fig.5 Sheet metal composition in the device



Fig.6 The radiation model formed with harness and sheet metal



Fig.7 Simulation result

が分断されている事例は、装置内のいたるところで見出 すことができる。つまり、ハーネスに対向する板金が不 連続であるというのが我々の扱う情報機器の特徴だとい える。

板金が不連続である場合の代表的なモデルとしてFig.6 に示すようにハーネスの対向する板金にスロットがある モデルを解析した。

Fig.7に、スロットの無い理想板金に対してハーネスが

H=20mmの高さに配置された場合、スロットのある板金 でH=20mmの場合およびスロットのある板金でH=5mm の場合、それぞれの10m遠方電界のシミュレーション結 果を示す。

スロットが付加されることで放射強度が10dB程度増加 する。理想板金であればハーネスと板金の距離を近接さ せることで放射強度は一様に低減できる。しかし、ス ロットのある板金とハーネスを5mmまで近接させた場合 には殆どの周波数で逆に放射強度が増加してしまってい る。

理想的な板金における設計ルールは、不連続な板金の 場合には必ずしも適用できない。このようなノイズの振 る舞いは、我々がEMI対策を行っている際にしばしば遭 遇する現象であり、ノイズの振る舞いを複雑視し、ルー ルや理論を疑問視してしまう原因の一つになっていると 考える。



Fig.8 Electric current distribution in sheet metal with slot structure

Fig. 8 には、板金にスロットを設けた場合の板金に流れ る電流の分布を示す。ここに示す矢印は電流ベクトルを 表している。ハーネスの直下に電流の集中がみられ、こ の電流によりスロットアンテナが駆動されている状態が 見て取れる。Fig. 9 には板金を横から見た電界分布を示 す。スロット部からの放射が上下方向に発生し電界が広 がっている様子がわかる。



Fig.9 Electric field distribution that the sheet metal with slot structure radiates

ハーネスと板金の距離を近接させるとハーネスと板金 が構成する伝導線路の特性インピーダンスが小さくな る。これに伴いハーネスに駆動される電流が上昇、板金 に流れるリターン電流も上昇する。このリターン電流が スロットアンテナを駆動するため、リターン電流の上昇 はスロット放射の上昇となって現れる。これが、スロッ トを含む板金へハーネスを近接させたときの放射が上昇 するメカニズムである。スロットアンテナは一般的に長 さによって共振周波数が決まることが知られている。ス ロット長が長くなると低周波へ共振周波数が移動してく るため低周波域の放射強度は大きくなる。



Fig.10 Electric current distribution in sheet metal with bridge structure

Fig.10には、ハーネスが対向する位置の板金の分断する 部分にブリッジを付加した場合の板金の電流分布を示 す。スロット構造が解消され電流はハーネスの真下に集 中できていることがわかる。

また、**Fig.11**にはこの時の放射電界を示す。スロットからの放射が消滅していることがわかる。



Fig.11 Electric field distribution that the sheet metal with bridge structure radiates

以上の検討結果から「高速で動作する基板に接続され るハーネスの対向する板金に不連続が存在する場合は、 ブリッジ構造を付加する」という設計ルールを導くこと ができた。

このブリッジは、ハーネスに対向する位置からずれる

ことなく、十分な幅で設けられる必要があり、この付加 位置や付加幅が輻射ノイズの制御パラメータとなる。

ここに説明したような解析、つまりシミュレーション での再現確認をFig.1に示した機器内に構成されるアンテ ナ要素すべてに対し実施し、アンテナの放射効率を左右 するパラメータを管理できるように設計ルールを決定し た。ルールに準拠した設計を実践することでEMI対策時 間を従来機種の1/3に低減することができた。

3.2 実機の解析

基板やハーネスまで含んだ装置全体でのシミュレー ションは無理であるが、ユニット単位での放射傾向の予 測及び対策の検討を事前に行うことに電磁界シミュレー タを活用した例を示す。

Fig.12に示すようなイメージリーダーユニット、特に CCD周辺板金は、位置調節機能を持ち複雑な構成となっ ている。放射低減設計として開口長を規定値以下とする ことはEMI設計においては必須要件であるがCCD読み取 りのための開口は機能上ふさぐことはできない。



Fig.12 Image reader unit

放射効率や共振特性を設計時に見積もり、効果的な共 振の低減対策を用意しておくことは、評価工数の削減や 金型の破棄を防ぐ効果を期待できる。



Fig.13 Simulation model of image reader unit

対策検討前の板金構成をモデリングした様子をFig.13に 示す。シールド内には、CCD基板を模擬したノイズ源を 配置している。このときの板金の放射特性をFig.14に示 す。420MHz、760MHz、960MHzに共振が生じているこ とがわかる。Fig.15には、共振周波数にあたる420MHzの 電界分布を示す。CCDの読み取り開口から放射が前方に 放出されていることから、開口への対策が効果的である と予測できる。



Fig.14 The radiation character of the image reader unit



Fig.15 Electric field distribution that is radiated from image reader unit

a)対策A 開口の板バネによる分割





Fig.16 Countermeasure examples

位置調整機構を構成するためCCD読み取り用の開口を 小さくすることはできないが、Fig.16のa)に示すよう に、読み取りの光路を遮らない位置に板バネを使用した 柔らかな接続を追加することで開口を分割する対策が実 現可能である。これを対策Aとする。

また、同図b)に示すような調整機構を含め不安定な板 金全てを被うシールドを取り付ける対策を対策Bとす る。対策前、対策A、対策Bによる放射特性の解析結果 をFig.17に示す。



Fig.17 The effect of the countermeasure

対策Aは対策Bほどの効果は期待できないが、420MHz、 760MHzのノイズ低減量はそれぞれ11dB,7dBであり輻射ノ イズの低減効果としては大きいことがわかる。960MHzの 共振については、開口が直接の原因となってはいないの で効果が出ていない。この周波数については別途対策手 段が必要である。

このように、筐体の放射特性を比較することで試作前 に対策手段の効果を明らかにし、評価の戦略を立てるこ とができる。

4 おわりに

電磁界シミュレーションを活用することで、情報機器 に内在するノイズ発生源やアンテナ要素、その輻射量の 制御パラメータを明らかにしてきた。

今後は、機器の設計プロセスでの定量的なEMI評価手 段として電磁界シミュレータを活用し、シミュレータの 活用範囲を拡大するとともに、モデリング手法やEMI設 計手法の知識構築を行っていく。