

1. はじめに

金属筐体はノイズを抑えるのに有効であるが、接合部や開口部があり、完全な密閉状態を作ることは難しい。ノイズ低減化において、電磁界シミュレータは有効と考えられているが、パラメータの設定等まだ難しい部分が多い。そこで、比較的簡単な設定で、実測と相関を確保しつつ筐体設計の目安となるデータを得られるか、実測と電磁界シミュレーションにより検討する。昨年は、筐体の接合部および開口部と放射ノイズについて検討し、電磁界シミュレータにより放射ノイズ状態を可視化した。

本年は、筐体の開口部寸法および材質の違いと放射ノイズの関係について、ピーク周波数が実測とシミュレーションで一致するか検討したので報告する。

2. 方法

2.1 実測

実験に用いた筐体は X:260mm,Y:280mm,Z:300mm, 厚さ 1.6mm である。図 1 のように、開口部（スリット）が中央にある。筐体内部にノイズ発生用のアンテナを筐体隅に垂直に設置し、シグナルジェネレータ（SG）を用いて給電を行った。放射電界強度の測定は、当センターの電波暗室で行い、ターンテーブルは固定、アンテナ距離 3m, 高さ 1m, 測定周波数は 30MHz ~ 1000MHz, 1000MHz ~ 3000MHz とした。

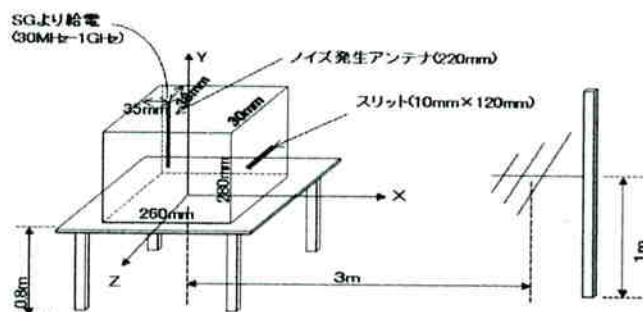


図 1 実験概要

2.2 解析

電磁界シミュレータ（MAGNA/TDM：㈱ CRC ソリューションズ）を用い、FDTD 法により筐体のスリットから放射されるノイズについて解析した。ターンテーブルに筐体を載せた状態を参考にして、解析空間の原点を筐体底面の中心とし、解析空間のサイズを、X:-200mm ~ 1000mm,Y:-80mm ~ 360mm,Z:-220mm ~ 220mm にした。筐体は電壁（完全導体）とした。メッシュは最大 10mm

とする自動メッシュを用い、スリットの縦方向（10mm）の部分は 2mm とした。励振波形は帯域幅 2GHz のガウシアンパルスとし、モデル内の導体に 1V/m の電界を設定した。筐体中心から 1m の距離、高さ約 20 mm（電波暗室内の 1 m に相当）に観測点を設け、観測点で得られた時間領域の電界強度データを、距離 3m における 1MHz ステップの周波数領域のデータに変換した。

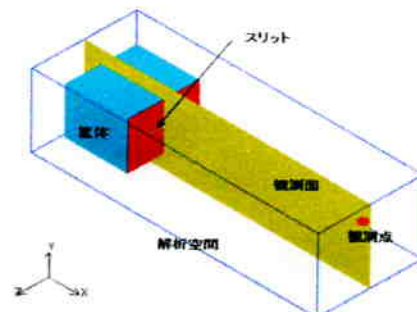


図 2 解析モデル

3. 実験

3.1 筐体のスリットと放射ノイズ

スリットの寸法を、縦 10mm（Y 方向）×横 50mm,80mm,120mm,160mm,180mm（X 方向）の 5 つの状態について実測と解析を行った。筐体の材質はステンレス（SUS304）とした。

3.2 筐体の材質と放射ノイズ

ステンレス（SUS304）、アルミ、銅の 3 つの材質の筐体について、実測と解析とを行った。導電率 σ はそれぞれ 1.39×10^7 , 3.96×10^7 , 5.76×10^7 とした。スリットの寸法は、縦 10mm × 横 120mm とした。ノイズ発生用のアンテナは給電コネクタの都合で筐体下部に図 1 の X 軸と平行に設置した。解析モデルもこれに合わせ、最大メッシュを 15mm とした。厚み方向は 0.2mm メッシュとした。

4. 結果および考察

4.1 筐体のスリットと放射ノイズ

スリット長 120mm,160mm,180mm, 周波数 500MHz ~ 1500MHz の実測結果を図 3 に示す。1000MHz でデータが不連続なのは測定機器切り替えのためである。同様に、解析結果を図 4 に示す。いずれのスリット長でも 760MHz 付近にピークが確認できる。直方体モデルの各辺 x, y, z の寸法を a, b, c, 各辺方向のモード次数を m,n,q 光速を C_0 とすると、筐体固有の共振周波数 f (mnq) は式 1 で算出される[1]。

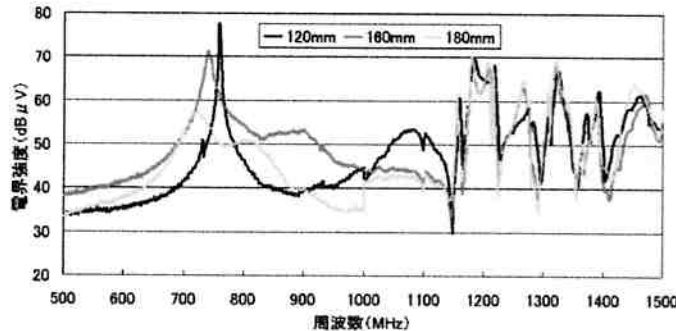


図3 実測結果

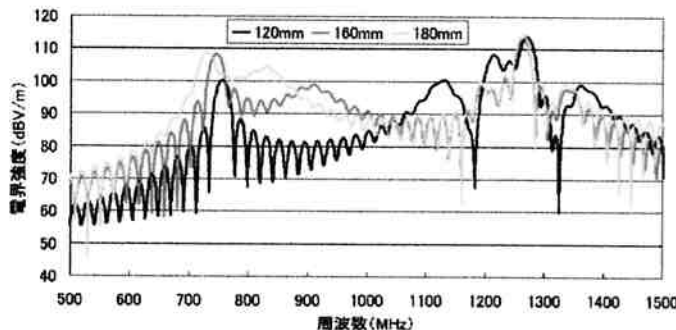


図4 解析結果

式1から計算される筐体共振周波数は表1に示す。実測および解析結果で確認された760MHz付近のピークは、筐体の空洞共振によるものと考えられる。

$$f_m = c \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{2a}\right)^2 + \left(\frac{n}{2b}\right)^2 + \left(\frac{q}{2c}\right)^2} \quad (1)$$

表1 筐体の空洞共振周波数(理論値)

モード(m,n,q)	共振周波数
1 0 1	762MHz
1 1 1	932MHz
1 2 0	1.21GHz
1 1 1, 2 1 0	1.27GHz

解析結果では、スリット長120mmの1.21GHz, 1.27GHzにもピークが確認できるが、これも表1より筐体の空洞共振によるものである。これらの結果から、筐体の空洞共振周波数に関して、計算式、実測、解析結果はほぼ一致していると考えられる。

スリット長と空洞共振周波数の実測値と解析値の関係を図5に示す。スリット長が長くなると周波数が低くなる傾向にあることが分かった。この結果は、実測値と解析値で同様の傾向を示した。

解析結果ではスリット長160mmの900MHz, 120mmの1130MHz付近にピークと見られる山があるが、筐体の空洞共振周波数に該当するものではなく、これはスリットによるものと考えられる。スリットの大きさとノイズの関係は幾つか報告されている[2][3]。スリットの周囲長が1波長に相当するアンテナとしてノイズを放射すると考えると、10mm×160mm, 10mm×120mmのスリットの周囲長はそれぞれ340mm, 260mmとなるので、算出される放射ノイズの周波数は880MHz, 1150MHzとなり、

解析結果はほぼ一致していると考えられる。

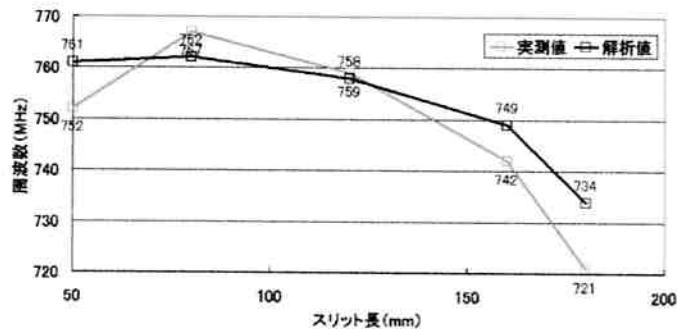


図5 スリット長と空洞共振周波数

4.2 筐体の材質と放射ノイズ

実測、解析とも材質による明らかな放射ノイズの差は確認できなかった。図6に解析結果を示す。筐体材質を考慮しても、電壁として解析しても同様の傾向であることが確認できた。材質を考慮すると材料の厚みをモデル化する必要があるが、電壁とすれば厚みを無視することができ、計算時間の短縮が可能となる。放射ノイズの周波数を把握するには、筐体を電壁として取り扱っても十分であると考えられる。電界強度の違いは、メッシュの大きさに起因するものと考えられる。

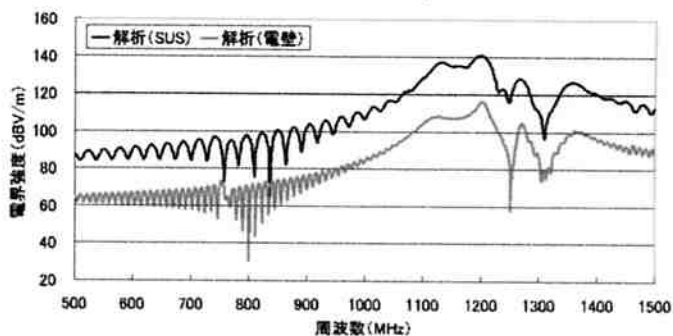


図6 SUSと電壁の解析結果

5. まとめ

スリットを持つ筐体の放射ノイズについて、そのピーク周波数の実測値、解析値、理論値がほぼ一致することが確認できた。材質による違いはあまり無いことが確認でき、放射ノイズの周波数を把握するには、材質を電壁とする簡単な設定で、実測とある程度相関のある結果が得られることが確認できた。

参考文献

- [1] 浜田祐介, 中野英樹, 越地耕二, 周英明: 開口部を有する電子機器きょう体の固有モード, EMCJ98-36 (1998)
- [2] 浜田祐介, 中野英樹, 越地耕二, 周英明: 装置筐体開口部の入力インピーダンスと筐体内部への結合レベル予測, EMCJ97-29 (1997)
- [3] Michel Mardiguan, 羽鳥光俊 監修, 小林岳彦 訳: EMC設計の実際, 丸善 (2000)