

論文

導電材料を用いた電磁波抑制シートの試作

上野 武司*¹⁾ 佐々木 秀勝*¹⁾ 大森 学*¹⁾

Preparation of the electromagnetic wave suppressing sheet using a conductive material

Takeshi Ueno*¹⁾, Hidekatsu Sasaki*¹⁾, Manabu Oomori*¹⁾

Electromagnetic wave suppression sheet used to suppress electromagnetic compatibility of gigahertz region were prepared. Coating calligraphy liquid filter paper, is intended to impart conductivity to the sheet and dried, it was possible to achieve suppression sheet inexpensive and can be produced easily. Measurement of the coaxial tube method and a four-probe method, the conductivity of the sheet is increased by raising the concentration of the solution calligraphy. The measurement of the micro-strip line method, the effect of suppressing the transmission signal is higher sheet has high conductivity. The measurement results of the similar, there is the effect of suppressing the harmonics derived from the signal has the characteristics of the low-pass filter, and transmits a signal of several hundred MHz to suppression sheet.

キーワード：電磁両立性, 電磁波抑制シート

Keywords : EMC, Electromagnetic wave suppressing sheet

1. はじめに

電子回路の動作周波数の上昇により, 高い周波数の放射妨害波の問題がある。特に, 電子機器の電磁両立性 (ElectroMagnetic Compatibility, 以下, EMC という。) の要求があり, この動作周波数に対し, 機器から放出される放射妨害波の測定が義務となっている。電子機器を流通させる場合, EMC 指令が適用される電子機器は EMC の測定及び試験が義務となっている。

EMC における放射妨害波の測定方法は, 国際規格により定められている。情報機器を EUT とした場合, 国際規格として CISPR22, 欧州の規格として EN55022 等があり, 日本国内の規制として VCCI 規程がある。また, 米国では FCC 規格がある。各測定規格及び規制における上限周波数は, CISPR22, EN55022 及び VCCI 規程では 6GHz, FCC/Part15 は, 40GHz となっている。

放射妨害波のノイズ源としては, 電子回路基板の配線を通るクロック信号の高調波が考えられる⁽¹⁾。この場合, 高調波電流を抑えるために, 電子回路基板の配線上に電磁波抑制シートを貼付する方法がある。この電磁波抑制シートとしては, 主に以下の3つに分類される⁽²⁾。

(1) 導電性粉末混合体: 導電性材料をシート化したもの。電子回路の配線とシートとの間の比誘電率の虚数項を大きくすることにより, 配線を通る電流を減衰させる。誘電損失を利用したものである。

(2) 磁性体粉末混合体: フェライト等の磁性体を, 樹脂に

混合したもの。電磁波のエネルギーを熱に変換することで, 放射妨害波を減衰させる。

(3) $\lambda/4$ 型電波吸収体: 抵抗皮膜における放射妨害波の反射を用いたものであり, 表面反射波と内部反射波が逆位相になることで, 放射妨害波が減衰するものである。

(2) の磁性体粉末混合体は, 磁性体の透磁率の特性から, ギガヘルツオーダーの周波数帯の抑制効果は, 期待できない。また (3) の $\lambda/4$ 型電波吸収体は, 抑制したい妨害波の周波数に合わせてシートの膜厚を制御する必要がある。そのため, 狭帯域の電磁波を抑制することを目的としているため, 試験品から周波数が決められていない妨害波の抑制には向いていない。そこで, 本研究では (1) に分類される導電性粉末混合体に着目し, 簡単に入手できる材料で電磁波の抑制効果が高いシートの作製を試みた。導電材料には, 書道液を用いた。基材には濾紙を用い, 濾紙に導電材料を塗布しシート化することで, 電磁波抑制効果があることを見出した。

更に濾紙に導電材料を塗布, 乾燥することで電磁波抑制シートを実現した。シートの評価方法は, 導電性を測定するために四探針法を用いた。また, シートの材料特性は, 同軸管法を用いて測定した。更に, 電磁波抑制効果は, マイクロストリップライン法により評価した。これらの評価は都産技研多摩テクノプラザで所有する機器を用いて実施した。

2. 電磁波抑制シートの作製方法

電磁波抑制シートの工程を図1に示す。濾紙には, 2種類 (1種, 5種C) を使用した。日本工業規格では, これらの濾

事業名 平成24年度 基盤研究

*¹⁾ 電子・機械グループ

紙の濾水時間は、1種で80秒以下、5種Cは720秒以下と規定されている。

導電材料は、書道液（株式会社サンフレイムジャパン製）、カーボンブラック（和光純薬工業株式会社製）を使用し、希釈して調整した。

濾紙への導電材料の付着方法は、書道液を純水で薄めた水溶液を調整し、濾紙に塗布した。書道液の濃度は、20, 40, 60, 80, 100 vol/vol%の5種類である。

塗布材料をシャーレに移し、そこに濾紙を浸した。更にその濾紙を垂直に立て、余分な塗布材料を取り除いた。その濾紙を、60℃に設定した恒温層に1時間放置した。

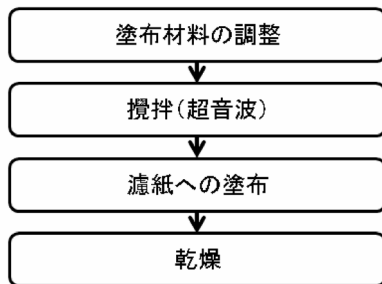


図1. シートの作製工程

3. 電磁波抑制シートの電氣的評価方法

シート材料の電氣的特性の評価として、以下の3点を実施した。

- (1) 四探針法による導電率の測定
- (2) 同軸管法によるシートの複素誘電率の測定
- (3) マイクロストリップライン法における電磁波抑制効果の測定

3.1 四探針法による導電率評価 四探針法は、シート材料の固有の抵抗率を測定する方法である。使用した機器は、低抵抗率計（株式会社三菱ケミカルアナリティック製、MCP-T610、プローブESP）である。4本のピンを持つプローブ（概略を図2に示す）をシートに押し当てて抵抗率を測定する。外側2本のピンに電流を流し、内側2本のピンで電圧を測定することで、抵抗率を測定する。抵抗率は、体積抵抗率（単位Ω・cm）を測定した。

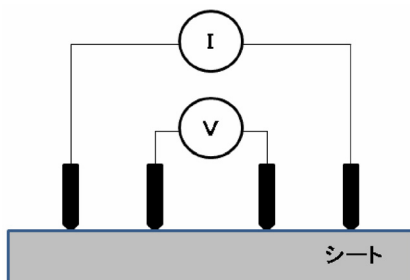


図2. 四探針法の概略図

3.2 同軸管法による材料の周波数特性測定 同軸管法は、材料の複素誘電率及び複素透磁率を測定する方法であ

る。この方法は、同軸管に試料を挿入し、ネットワークアナライザでSパラメータを測定し、更に複素誘電率及び複素透磁率を算出するものである。

測定には同軸管（関東電子応用開発製、CSH2-APC7、ホルダー長5mm）及びネットワークアナライザ（アジレント・テクノロジー株式会社製、E5071C）を使用した。測定の概略を図3に示す。

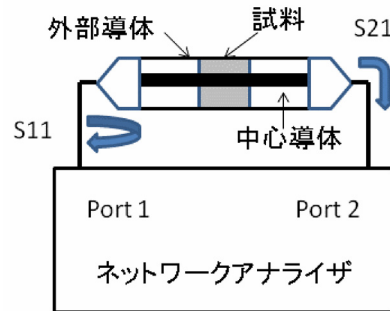


図3. 同軸管測定概略

Sパラメータを測定後、以下の順序（(1)式から（8）式まで）で複素誘電率を算出した。以下の式は、文献⁽³⁾を引用・修正したものである。これらの複素数計算は、Microsoft Excelを用いて実施した。

- (1) 出力電圧 V_1, V_2

$$V_1 = S_{21} + S_{11} \tag{1}$$

$$V_2 = S_{21} - S_{11} \tag{2}$$

- (2) 交換係数： X

$$X = \frac{1 - V_1 V_2}{V_1 - V_2} \tag{3}$$

- (3) 反射係数： Γ

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \tag{4}$$

- (4) 伝達係数： z

$$z = \frac{V_1 - \Gamma}{1 - V_1 \Gamma} \tag{5}$$

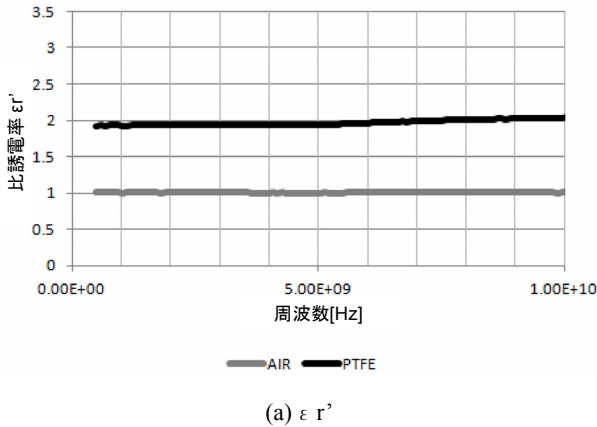
- (5) 複素比誘電率： ϵ_R 、複素比透磁率： μ_{Rm} 、定数： C_1, C_2

$$\frac{\mu_R}{\epsilon_R} = \left(\frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \right)^2 = c_1 \tag{6}$$

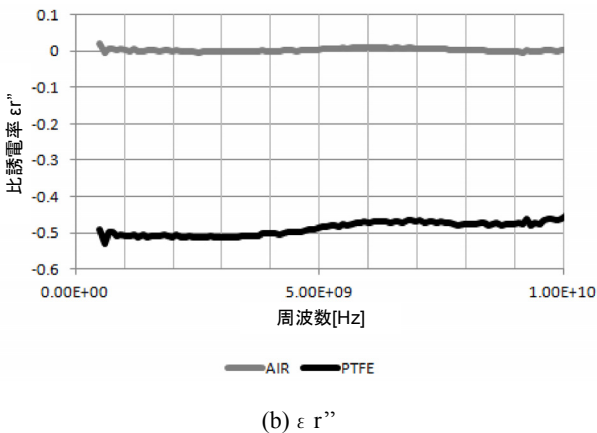
$$\mu_R \epsilon_R = - \left[\frac{c}{wd} \ln(z) \right]^2 = c_2 \tag{7}$$

$$\epsilon_R = \sqrt{\frac{c_2}{c_1}} \tag{8}$$

同軸管に試料を挿入しない状態及びPTFE（フッ素樹脂、厚さ3.1mm）を挿入した状態における比誘電率の計算結果を図4に示す。比誘電率の実数部が、 ϵ_r' （空気）=1、 ϵ_r' （PTFE）=2.1と一致した。



(a) ϵ_r'



(b) ϵ_r''

図4. 空気及びPTFEの比誘電率

3.3 マイクロストリップラインによる評価 マイクロストリップライン法は、電子回路基板を模擬したマイクロストリップラインに信号を流し、その時の信号の減衰量から電磁波抑制効果の評価するものである。ある周波数の信号が伝達しない場合、その周波数に由来する電磁波が発生しないことから、電磁波抑制がなされる。試験規格は、IEC62333-2、4.3項で評価方法が示されている。この方法の概要を図4に示す。マイクロストリップラインを、ケーブルによりネットワークアナライザに接続する。ネットワークアナライザの2ポートを使用し、ポート1からポート2に信号を伝達させ、その時のSパラメータS11及びS21を測定して以下の式で抑制効果の評価し、電磁波抑制シートの有無による伝送を評価した。

$$R_p = -10 \lg \left[\frac{10^{S_{21M}/10}}{1 - 10^{S_{11M}/10}} \right] \quad (9)$$

使用した機器は、マイクロストリップライン（キョコム株式会社製，TF-18F）及びネットワークアナライザ（アジレント・テクノロジー株式会社製，E5071C）である。シートをマイクロストリップライン上に配置し、SパラメータS11及びS21を測定した。測定周波数は500MHz～10GHzとした。この減衰から抑制効果の評価した。

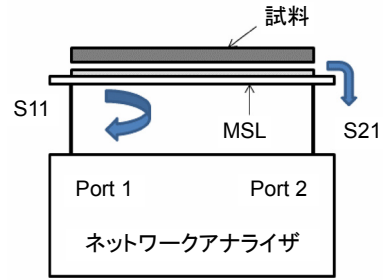


図5. マイクロストリップライン法の概要

4. 実験結果

作製工程にしたがい、シートを作製した。シートの例を図6に示す。



図6. 試作したシート

4.1 シートの体積抵抗率 書道液濃度と体積抵抗率との関係を図7に示す。書道液の濃度が高くなると、体積抵抗率が低下した。

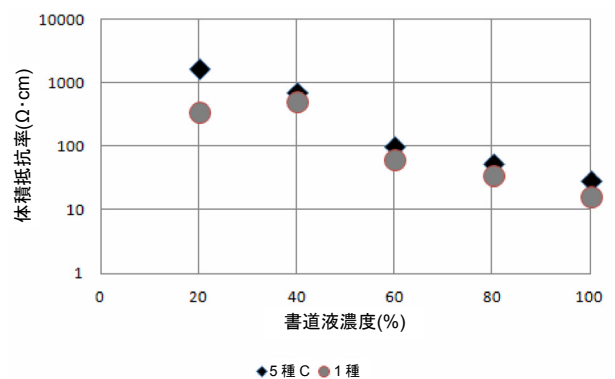


図7. 書道液濃度に対する体積抵抗率

4.2 シートの比誘電率 同軸管法によるシートの比誘電率の計算結果を図8に示す。書道液の濃度が高くなると、比誘電率の実数部は高くなった。また虚数部は、高くなっている。この虚数部は、 $\tan \delta$ と同意であり、大きいと導電性と高まる。

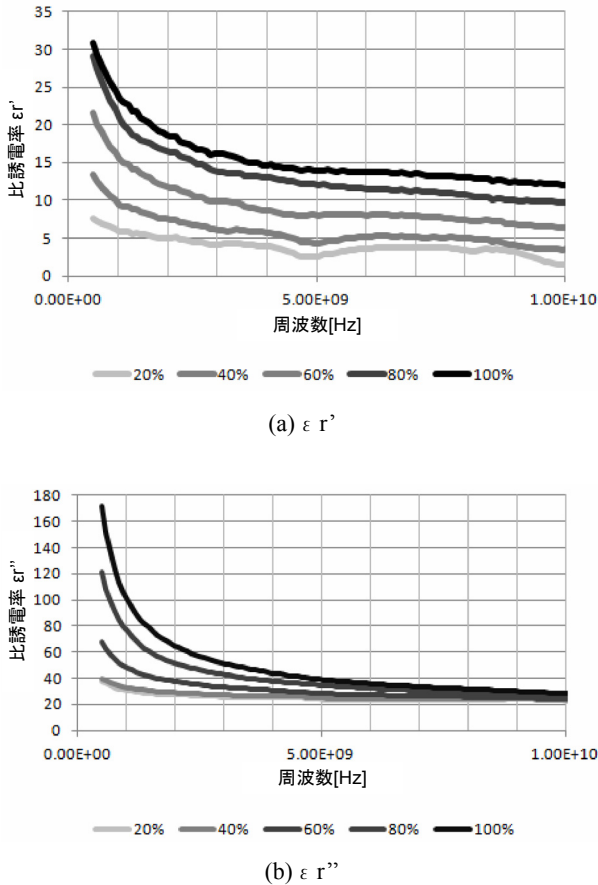


図 8. シートの比誘電率

4.3 シートの抑制効果 マイクロストリップラインによる測定結果を図 9 に示す。書道液濃度が高くなると、抑制効果が大きくなっている。等価回路を図 10 に示す。

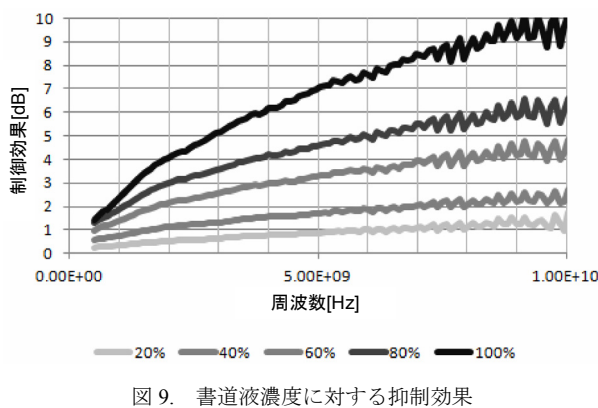


図 9. 書道液濃度に対する抑制効果

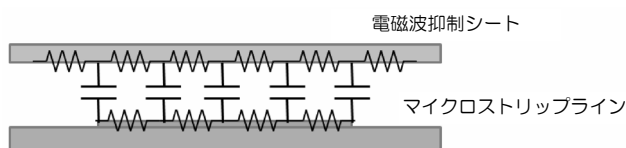


図 10. 電磁波抑制シートにおける等価回路

マイクロストリップラインと抑制シート間に生じる静電容量から、ローパスフィルタとして機能することが考えられる。書道液濃度を高めると、抑制効果が向上しているが、誘電率及び導電率の上昇が関係していることが推測される。

5. まとめ

濾紙に書道液等、簡単に入手できる導電材料を塗布することで電磁波抑制シートが実現できた。シートの作製方法は濾紙に塗布し乾燥するだけであり、簡易的な方法である。また、導電性の評価として四探針法による測定を行った。シートの材料特性は、同軸管法を用いて評価した。電磁波抑制効果の評価はマイクロストリップライン法で実施した。

書道液の濃度を変えた場合、濃度が高くなると体積抵抗率が下がった。それに対して、抑制効果が向上していた。書道液の成分と抑制効果との関係を明確にすることが、今後必要になると考えられる。

多摩テクノプラザで所有する機器を用いてこれらが評価できた。電磁波抑制効果の評価に関する技術支援に役立てることが可能となった。

(平成 26 年 7 月 7 日受付, 平成 26 年 8 月 12 日再受付)

文 献

- (1)ヘンリーW オットー：「EMC 工学実践ノイズ低減技法」, 東京電機大学出版, p.288 (2013)
- (2)橋本修：「電波吸収体の技術と応用」, CMC 出版, pp.7-47 (2004)
- (3)A. M. Nicolson, G. F. Ross : “Measurement of the Intrinsic Properties of Materials by Time-Domain Techniques”, IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol.IM-19, No.4, pp.377-382 (1970)