

17 電磁波のシールド材・吸収材としての適用検討

千葉県産業支援技術研究所生産技術部

1. はじめに

サンブスギ木炭の有効利用を目的に、電波吸収体にも利用されている炭素の誘電体の性質に着目し、サンブスギ木炭の電磁波シールド特性・吸収特性の基礎データの測定を平成17年から平成18年に行った。これを踏まえ平成19年から平成20年度は、近年 EMC¹⁾対策部品のひとつとして注目されている「ノイズ抑制シート」(Noise suppression sheet:以下NSS)への適用を試み、一定の効果があることを確認した。

2. 理論

(1) 電磁波の近傍界・遠方界

電磁波は、空間の電界と磁界の変化によって形成された波のことである。アンテナなど電磁波発生源近傍の空間においては、準静電界や誘導磁界成分が支配的であり電磁界の挙動が複雑である。このような領域を近傍界と呼んでおり、測定においても電界と磁界を別々に図る必要がある。また波源から十分離れた空間では図-1に示すように電界と磁界がお互いの電磁誘導によって交互に相手を発生させあい電界・磁界と直行する方向に空間を進む。このような領域を遠方界と呼んでおり、いわゆる平面波として伝播していく。近傍界と遠方界の境界は波源からの距離を D 、波長を λ とすると一般に $D = \lambda / 2\pi$ とされている。例えば 1GHz の電磁波の波長は 30cm であるので ($\lambda = c/f$ 、 c :光速、 f :周波数) 波源からおよそ 5cm が近傍界と遠方界の境界となる。

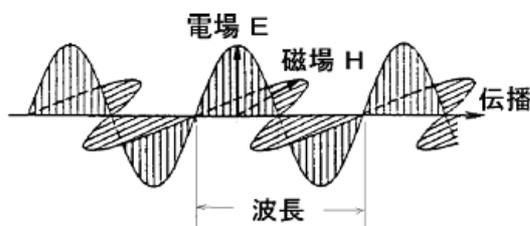


図-1 電磁波の伝播

(2) 電磁波のシールドと吸収

電磁波のシールド特性や吸収特性を測定する際は、ネットワークアナライザを使用する場合が多い。ネットワークアナライザは、被測定物の透過・反射電力の周波数特性を測定する測定器であり、Sパラメータ²⁾として測定される。具体的には反射特性は S_{11} として透過特性は S_{21} として表現される。図-2に光での類推図を図-3に測定器の写真を示す。

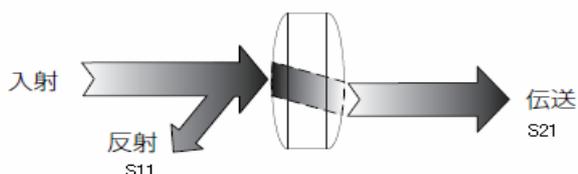


図-2 光によるイメージ図



図-3 ネットワークアナライザ

シールド特性は S21 そのものである。吸収特性については吸収エネルギー $=1-|S11|^2-|S21|^2$ であらわされる。全入射エネルギーから反射と透過で観測されたエネルギーの残りが吸収量として熱変換されたと考える。実際の測定においてはサンプルを取りつける治具を含めた系全体で考え、測定器とサンプルを取りつけない状態の治具を基準として取り付け状態との差を測定することになる。

3. 実験方法

平成 17 年度は、サンブスギ木炭粉と樹脂を混合させ紙板に塗布したシート状のサンプルを用いての近傍界（KEC 法・MSL 法）でのシールド性能・電波吸収率の評価を行った。比較のため備長炭入り塗料サンプルや、銅板を用いたサンプルでの測定も行った。平成 18 年度は、同様のサンプルをドーナツ状に加工し、遠方界（同軸管透過法・同軸管反射法）でのシールド性能・電波吸収率の評価を行った。平成 19 年度と平成 20 年度は、これらを踏まえニトリルゴム（NBR）にサンブスギ木炭を各種割合で練りこんだサンプルシートを作成し、標準化された評価法である IEC62333³⁾で規定される伝送減衰率と輻射抑制率の測定を行った。

4. 結果及び考察

サンブスギ木炭入り塗料を塗布した紙シートの KEC 法による電界シールド特性を図-4 に磁界シールド特性を図-5 に示す。紙シートは周波数が低いほど塗料が厚いほどシールド効果があることがわかる。また備長炭入り塗料サンプルとの比較ではサンブスギ木炭より電界シールド効果は大きくなったが、これは炭素含有率が高いためと思われる。一方いずれのサンプルも磁界に対するシールド効果は小さいということがわかる。銅板塗布サンプルについてはシールド効果が大きく向上したが、これは銅の影響による。また MSL 法において少量ではあるが木炭入り塗料の吸収性を確認できた。

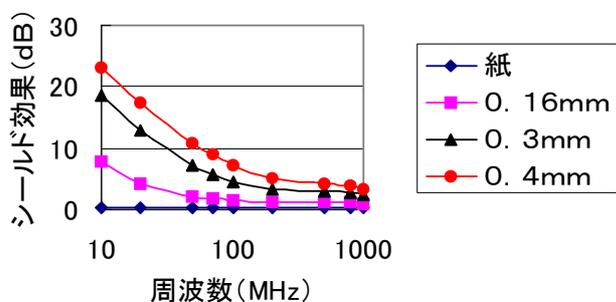


図-4 電界シールド特性(KEC 法)

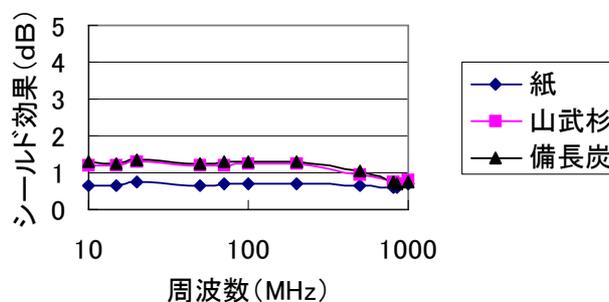


図-5 磁界シールド特性(KEC 法)

次に同軸管透過法による遠方界シールド特性を図-6 に、同軸管反射法による遠方界電波吸収特性を図-7 に示す。なおこのときのサンプル厚さは 0.4mm である。遠方界におけるシールド効果は周波数が高くなるほど増加することがわかる。

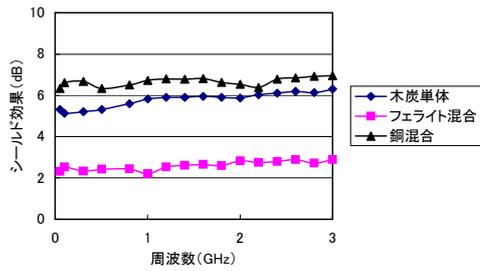


図-6 シールド特性（遠方界）

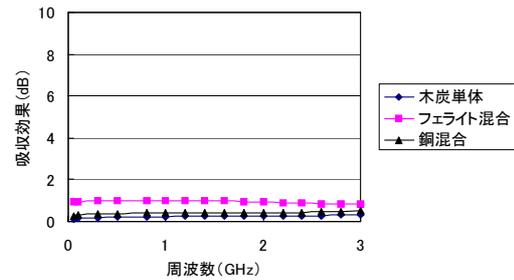


図-7 電波吸収特性（遠方界）

最後に、サンブスギ木炭をゴム樹脂に練りこんだNSSシートのサンプル（厚さ2mm）の伝送減衰率と輻射抑制率の測定結果を図-8と図-9に示す。伝送減衰率は木炭充填率が高くなるほど、また周波数が高くなるほど効果があらわれることがわかる。輻射抑制率は1GHzまでの測定であり、測定帯域内での効果は確認できなかった。これは伝送減衰率も3GHz以下では効果があらわれないことも一致するが、測定結果を見ると周波数帯によっては増幅しているようにも見える。輻射抑制率測定については電波暗室やアンテナの特性、アンテナ高さやテーブル角度の位置決めも誤差要因になりうるので正確な測定は容易ではないと思われる。

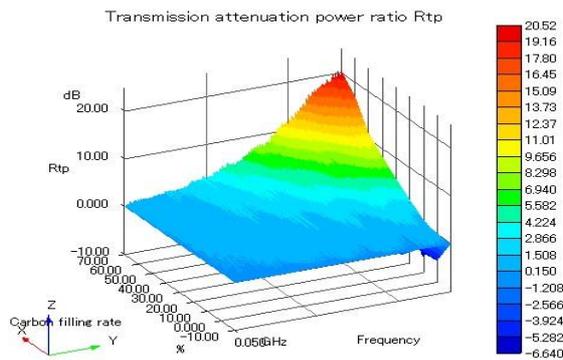


図-8 伝送減衰率特性

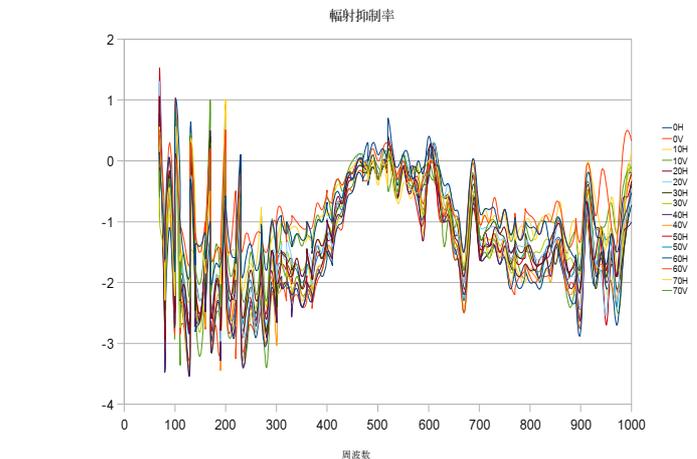


図-9 輻射抑制率特性

5. まとめ

サンブスギ木炭の有効活用を目的に、木炭粉を混ぜた各種サンプルを試作し特性評価を行った。これより100MHz以下の低周波で大きな電界シールド効果があること、遠方界でのシールド性能が5dB程度あること、NSSの評価からは3GHz以上の高周波で効果が期待できること、磁性体との混合で100MHz-1GHz程度の帯域の改善の可能性があること、NSSの市場調査からサンブスギ木炭を使用した場合の消費量が約3t/年、CO2固定量で10t/年との試算がだせた。建材向けの電波吸収壁・パーティションなどへの適用ができれば飛躍的にサンブスギ消費が期待できるとも思われる。

参考文献

- 1) 足達幹雄：木炭微粉入り塗料の電磁波シールド・吸収性への利用検討. 平成17年度木質バイオマス利活用実用化促進事業木炭新用途研究成果（中間）報告書）：95-97
- 2) 足達幹雄：木炭微粉入り塗料の電磁波シールド・吸収性への利用検討. 平成18年度木質バイオマス

利活用実用化促進事業木炭新用途研究成果（中間）報告書）：66-67

- 3) 「電磁遮蔽&電波吸収実践技術マニュアル」, 三松, ISBN:4-903242-13-7, (2006)
- 4) IEC62333 : Noise suppression sheet for digital devices and equipment(2006-05)
- 5) Brian C. Wadell, Transmission Line Design Handbook, Artech House, ISBN:0-89006-436-9, (1991)

用語解説

1) EMC (Electro-Magnetic Compatibility)

日本語で電磁環境両立性と訳される。電気・電子機器が発する不要電磁妨害が他の機器、システムに対しても影響を与えず、また他の機器、システムからの電磁妨害を受けても自身も満足に動作する耐性のこと。

2) Sパラメータ

高周波電子回路や高周波電子部品の特性を表すために使用される回路網パラメータのひとつ、散乱行列（S行列）または散乱パラメータとも呼ばれる。回路網の通過・反射電力特性を表現する。

3) IEC62333

IEC (International Electrotechnical Commission) とは、国際電気標準会議のことであり、電気電子の技術分野における標準化のすべての問題及び規格適合性評価のような関連事項に関する国際協力を促進することを目的とした国際機関、IEC62333 はノイズ抑制シートの評価方法についての国際標準規格の番号。

各種測定方法について

(1) KEC 法

KEC とは関西電子工業振興センターの略でその KEC が開発した近傍界の電界シールド効果および磁界のシールド効果測定方法である。電界測定用の TEM セル型治具と、磁界測定用のシールド型 1/4 円形ループアンテナ治具を使い分ける。図-11 に測定システム図を示す。

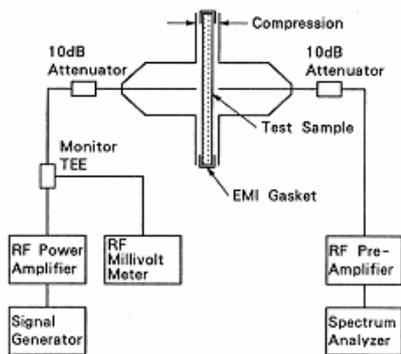


図-10 KEC 法測定システム

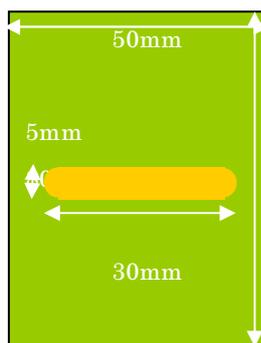


図-11 マイクロストリップライン治具

(2) マイクロストリップライン（以下 MSL）法

MSL は片面がベタグラウンド、上面が信号ラインとなっているプリント基板上の構造、信号ライン幅と基板母材の比誘電率から特性インピーダンスが決まることを利用し、入出力ポートを設けた MSL 治具上にサンプルを置いたときの反射量と透過量から吸収性の評価を行う。図-11 に使用したテフロン基板 MSL 治具を示す。

(3) 同軸管透過法

同軸ケーブルをテーパ状に開いて大きさ（太さ）を持たせた構造の図-12のような同軸管治具2個を用いて、内導体と外導体の間にドーナツ状に加工したサンプルを取りつけ、ネットワークアナライザを用いて透過特性（S21）を測定する方法、この透過特性がシールド特性となる。

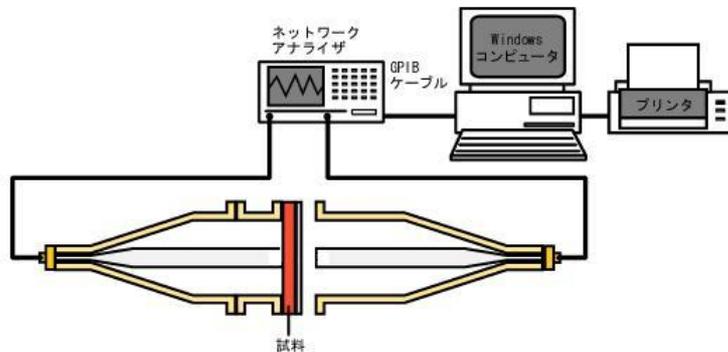


図-12 同軸管透過法測定システム図

(4) 同軸管反射法

図-12の同軸管1個を用いる。同軸管終端部に短絡板（金属板）を取りつけ、サンプルなしのときに対するサンプルを取りつけたときの反射量（S11）の差を吸収特性とする測定方法。

(5) 伝送減衰率測定

(2)のMSL法と全く同じ測定であるが、(2)とは寸法の異なる図-13のような構成のMSL治具を用いる。基板厚みが1.6mmのテフロン基板を用い、入出力ポートをネットワークアナライザに接続し、反射量（S11）と透過量（S21）を測定する。伝送減衰率 R_{tp} は IEC62333 より式（I）で定義される。

$$R_{tp} = -10 \log \frac{10^{S21/10}}{1 - 10^{S11/10}} \quad (I)$$

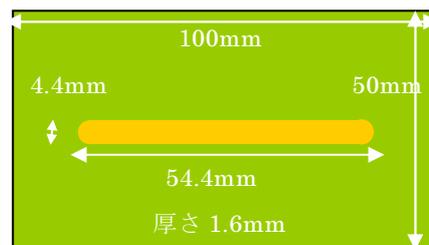


図-13 IEC62333 規定のMSL 治具

(6) 輻射抑制率測定

(5)と同様のストリップライン治具を用いて行うが、MSLの入力ポートに信号源、出力ポートを 50Ω で終端し、 $55.2\text{mm} \times 4.7\text{mm}$ の短冊状にしたサンプルをMSLの真上に乗せ、3m離れた受信アンテナでの輻射電力を測定する。サンプル無装荷の測定電力を P_0 、装荷時の測定電力を P_1 とすると、輻射抑制率 R_{rs} は IEC62333 より式（II）で定義される。

$$R_{rs} = -10 \log \frac{P_1}{P_0} \quad (\text{II})$$

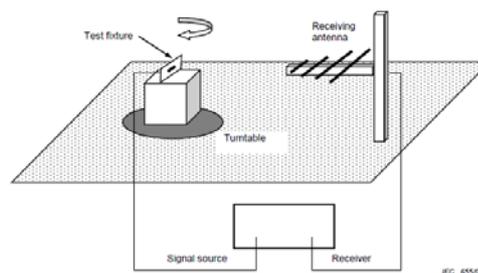


図-14 輻射抑制率測定システム図

サンブスギ木炭消費量について

NSS 市場規模からサンブスギの消費量を見積もってみる。他のノイズ対策部品の存在やプリント基板の回路設計技術の向上による対策部品削減の努力という点も考慮して 2010 年以降、最終的に 150 億円市場と仮定する。現在は磁性材料の NSS がメインだが、市場の半分を誘電材料（炭素系）が占めると仮定して業界大手の NEC トーキン WEBSHOP (<https://www.elisasp.net/nec-token/index.html>) では 80 (mm) × 80 (mm) × 0.2 (mm) のシート 2 枚が 1500 円で販売されているので、150 億円/2/1500 円/2=1000 万枚が国内年間消費枚数と推定される。この体積内にサンブスギ木炭が 50%含有されていると仮定（ゴムに対する充填率 100%）すると 80 (mm) × 80 (mm) × 0.2 (mm) × 1000 万枚 × 0.5=6.4m³ となる。炭素の比重は 2.2 なので木炭の乾燥質量では 6.4/2.2=約 3t 分消費できる計算となる（CO2 固定量としては 3×3.3=約 10t）。このことから、サンブスギ（20 年生程度）1 本から 5kg の木炭が生産されると仮定すると、3,000kg/5kg=600 本程度の年間消費ができる計算となる。

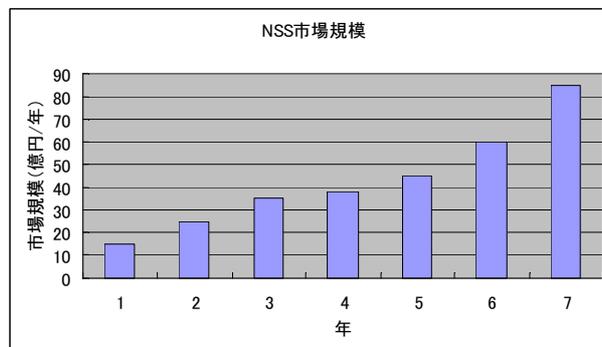


図-15 NSSの市場規模予測 (By Dr. S. Yoshida NEC-Tokin. Co)