複合材料の電磁波シールド性評価手法に関する検討

生産技術室　名和 礼成
プロジェクト推進室　足達 幹雄

A Study on Evaluation Method for
Electromagnetic Shielding Properties of Composite Materials

Yukinari NAWA and Mikio ADACHI

電子機器・部品から発生するノイズの影響（誤動作等）への対策として，電磁波シールド材が開発されているが，当所では「シールド材評価装置（KEC [1] 法）」を設置・開放しており，開発企業への評価ニーズに対応している。本来KEC法は導電性材料を想定しているが，近年は導電性が低い機能性材料や複合材料についての要望も増えていることから，それら複合材料の適用性や誤差要因について検証し，利便性及び測定データの信頼性向上を目的とした研究を実施した。

１．はじめに

電子機器・部品から発生するノイズの影響（誤動作等）への対策として，電磁波シールド材が開発されているが，当所では「シールド材評価装置（KEC法）」を設置・開放しており，開発企業への評価ニーズに対応している。本来，KEC法は導電性材料を想定しているが，　近年は，導電性が低い機能性材料や複合材料についての要望も増えていることから，それら複合材料の適用性や誤差要因について検証し，利便性及び測定データの信頼性向上を目的とした研究を実施した。

２．実験

使用したサンプルは，30Ω/□～150Ω/□まで表面抵抗制御された4種類のITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム（A～D）と，高磁性体をポリマーフィルムで挟んだ構造のノイズ抑制シート（E），高機能不織布の抵抗損を利用した非磁性のノイズ抑制シート（F）の6種類を用いた。表１に示す。

表１　使用したサンプル

サンプル名	種別	特徴
A	ITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム	ITO製膜による表面抵抗制御 30Ω/□
B	ITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム	ITO製膜による表面抵抗制御 50Ω/□
C	ITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム	ITO製膜による表面抵抗制御 80Ω/□
D	ITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム	ITO製膜による表面抵抗制御 150Ω/□
E	低周波ノイズ抑制シート	高磁性体をポリマーフィルムで挟んだ構造
F	非磁性ノイズ抑制シート	高機能不織布の抵抗損

２．１　KEC法測定における試料絶縁性の影響調査

6種類のサンプルについて，表面抵抗と，KEC法におけるシールド測定との比較を試みた。表面抵抗測定は，低抵抗のサンプル A～Dについては，ロレスタEPを用いて，JIS K7194に準拠した 4端子法のプローブにより，サンプル4角部分の表面抵抗を測定し，その平均値を測定値とした。なお中央部は，後のKEC法でのシールド測定において，4端子法プローブによる傷の影響を懸念し，省いている。サンプルE,Fについては，ハイレスタUXを用いて，JIS K6911に準拠した二重リング法のプローブにより，測定した。

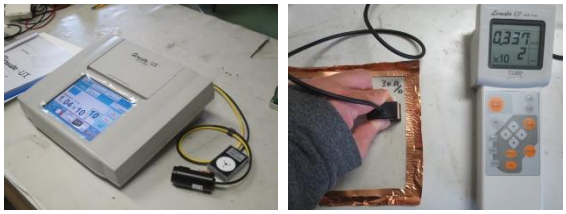

写真１ 高抵抗率計と低抵抗率計

次にKEC法による電界及び磁界シールド測定を行い，比較を行った。

写真２　シールド材評価装置（KEC法）

表２　使用機器

機器名	製造者	型番
低抵抗率計	三菱ケミカルアナリテック	MCP-T360
高抵抗率計	日東精工アナリテック	MCP-HT800
シールド材評価装置	テクノサイエンスジャパン	TSES-KEC

２．２　電波暗室における実装測定

KEC法では，写真２のように送信側と受信側で同じ形状の治具を対向させ，送受信特性を得た後，治具間に挟んだサンプルの送受信特性との差をとって，近傍界におけるシールド特性としている。近傍界なので，電界用と磁界用と，治具は2種類あるが，製品やシステムレベルでは，CISPR16等に準拠した遠方界での評価が行われている。そこで，製品のノイズ対策に使用されている状態のサンプルを想定したシールド特性の検証するため，KEC法治具の片側を用いて，治具開口部を開放アンテナと見立てて，受信アンテナ側に向け，治具裏側の給電部にあたるN型コネクタに発信器（コムジェネレータ）を装着し，その放射特性と治具開口部にサンプルを貼りつけた際の放射特性の差を，遠方界におけるシールド特性とし，評価を行った。

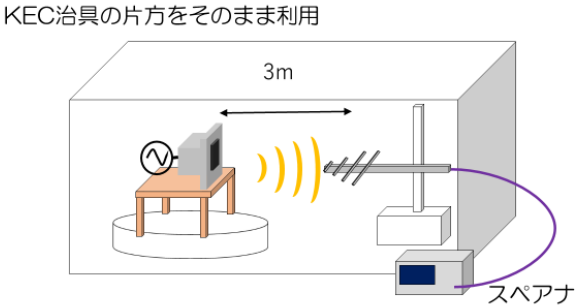

図１　電波暗室を用いた遠方界測定

写真３　実際の測定風景

なお，コムジェネレータ単独では，受信レベルが十分ではなく，サンプルを貼ると周波数によっては，受信レベルが小さすぎノイズフロアに埋もれてしまうので，KEC法治具とコムジェネレータの間にRFパワーアンプを挿入し，発信側の出力を大きくした状態で行った。測定環境及び条件は，床面が金属反射面の5面簡易暗室で，発信側（KEC法治具+RFパワーアンプ+コムジェネレータ）は床面からの高さ80cmで固定，受信アンテナとの距離は3m，受信アンテナは，高さ1mで固定の垂直偏波を評価した。

表３　使用機器

機器名	製造者	型番
3m 法簡易電波暗室	TDK	CAC-R
EMI レシーバ	Rohde&Scwarz	ESPI7
プリアンプ	SONOMA	310
受信アンテナ	Schwarzbeck	VULB9168
シールド材評価装置	テクノサイエンスジャパン	TSES-KEC
コムジェネレータ	都立産業技術研究センター	-
RF パワーアンプ	-	-

２．３　KEC法測定における精度向上に係る検討

KEC法の測定においては，送受信間の二つの治具の間の導通が重要とされ，当所では，サンプルがmm単位の比較的厚い材料の場合は，慣習的にサンプル周囲に金属たわしを配置し，治具間の導通を確保する方法をとっている。測定精度の向上に向け，銅テープやガスケット，パンチングメタル等，様々な導通用の部材を試し，測定精度の安定化の検討を行った。

３．結果及び考察

３．１　KEC法測定における試料絶縁性の影響調査

表４に各サンプルの表面抵抗を示し，図２，図３にKEC法による電界と磁界のシールド測定結果を示す。

表４　表面抵抗測定結果

サンプル名	種別	表面抵抗
A	ITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム	34.3Ω/□（ロレスタ使用）
B	ITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム	48.5Ω/□（ロレスタ使用）
C	ITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム	94.7Ω/□（ロレスタ使用）
D	ITO（Indium-Tin-Oxide）フィルム	163.4Ω/□（ロレスタ使用）
E	低周波ノイズ抑制シート	1*10^15 Ω/□（ハイレスタ使用）
F	非磁性ノイズ抑制シート	2*10^14 Ω/□（ハイレスタ使用）

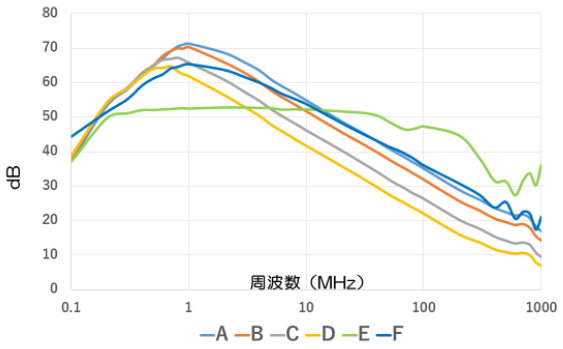

図２　各サンプルの近傍界電界シールド

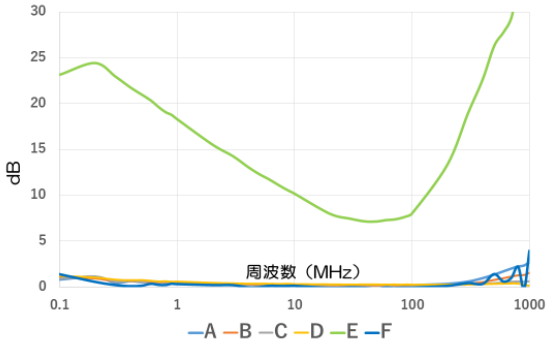

図３　各サンプルの近傍界磁界シールド

表面抵抗測定結果について，サンプルEとFについては，TΩ/□オーダーの非常に高い結果となった。しかも測定値が安定せず，台座への固定や，二重リングプローブの押付圧を一定に保持するなど，再現性高い測定環境の構築が課題として残った。

KEC法によるシールド測定結果について，電界については，表面抵抗が既知のA～Dは，低抵抗な程シールド効果が大きいことがわかり，これは理屈通りの結果が得られた。また磁性体を含むEについては，他サンプルと違い，周波数に対しフラットな傾向をもつ結果となった。 磁界については，磁性体を含むEが，圧倒的に効果があることが分かる。他サンプルは非磁性材料のサンプルなので，磁界シールドについては，ほとんど効果がないことがわかるが，電界と同様にA～Dについては，わずかながら低抵抗な程効果のあることが，GHzに近い領域で確認できる。表皮効果による導体損の効果が現れていると考えられる。

３．２　電波暗室における実装測定

図４に電界治具を用いた際の，図５に磁界治具を用いた際の遠方界シールド特性を示す。RFパワーアンプ無しの状態では，測定感度の低い低周波側は，ノイズフロアに埋もれ評価不能となったが，RFパワーアンプを通すことにより，受信レベルがノイズフロアに埋もれることなく，20dB程のダイナミックレンジを確保できた。電界治具は，周波数に対してかなり凸凹な結果ではありながらも，RFパワーアンプを挿入することにより，30MHz～1GHzまで一応測定できていることがわかる。

磁界治具もやや凸凹した結果となったが，磁性体が含まれるEの効果が高い結果は，図3におけるKEC法での測定結果に準ずる結果となった。

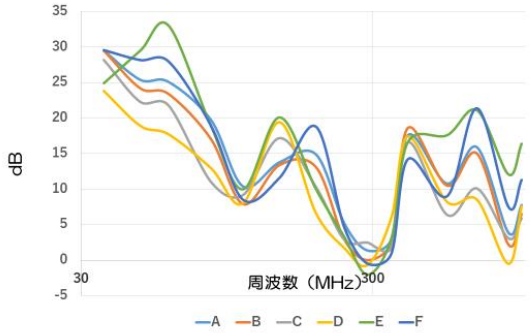

図４　各サンプルの遠方界電界シールド

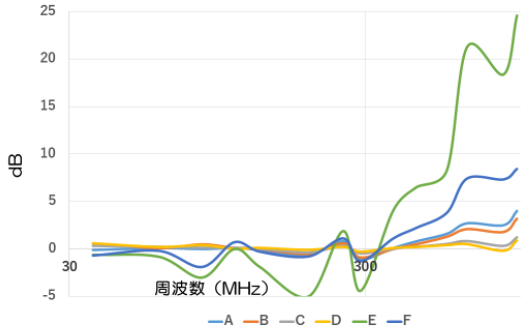

図５　各サンプルの遠方界磁界シールド

凸凹や，0dB以下で観測される原因としては，床面が反射面となっている5面の電波暗室であるため，直接波と床反射の干渉，また，KEC法治具開口部から沿う治具平面部を伝った高周波電流成分が端面で乱反射している可能性，そして，KEC法治具へのサンプルの貼付け方も銅箔テープを繰返し使用していたことも，電磁波の漏れや，導通上の問題があった可能性がある。

次に近傍界と遠方界の比較で，電界の図２と図４，磁界の図３と図５を合わせて示す。図では，近傍界シールドに該当するKEC法での測定結果を点線で，サンプル名は大文字で，遠方界シールドに該当する電波暗室での測定結果は実線で，サンプル名は小文字で表記している。さらに図７の磁界高周波帯については赤枠部分を図８に拡大して示す。

これより，電界については，遠方界においては凸凹であるが，全体的に周波数が高くなるにつれ，シールド特性が低下していく傾向は共通している

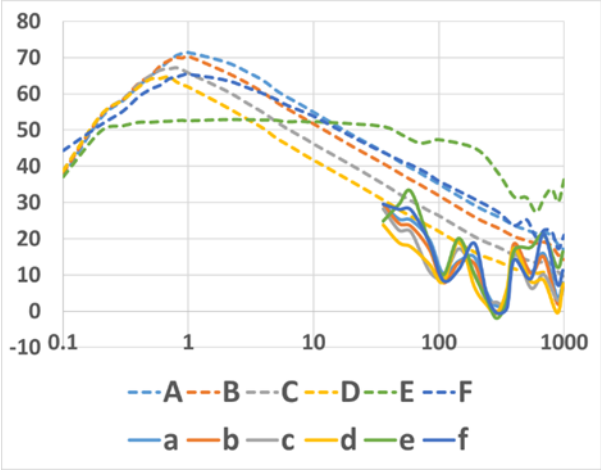

図６　各サンプルの近傍・遠方電界シールド

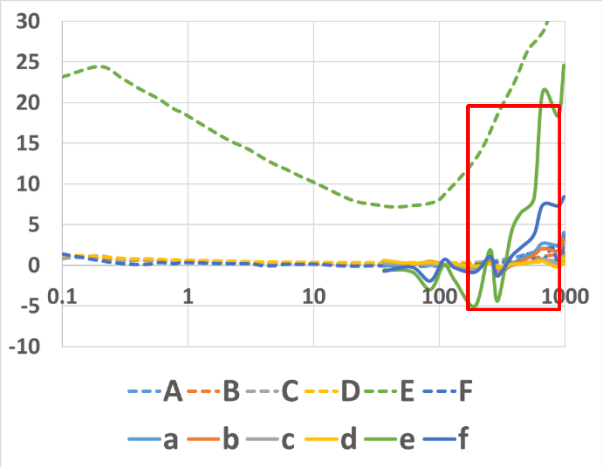

図７　各サンプルの近傍・遠方磁界シールド

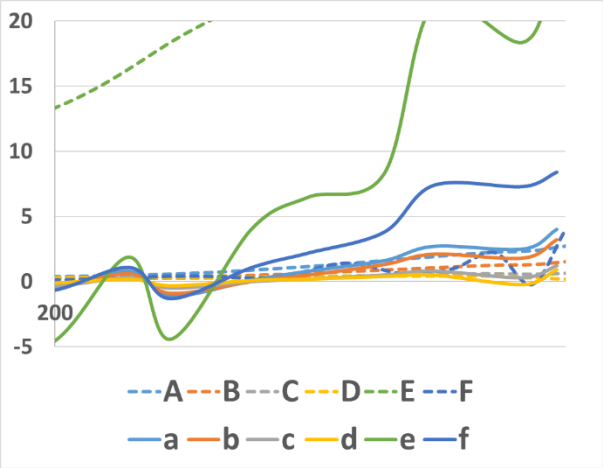

図８　図７の赤枠部分拡大

ようだ。磁界については，磁性体サンプルEの効果が高いことが分かるが，近傍界では低周波帯でも効果が高いが，遠方界では数100MHz以上から効果が現れるようだ。低抵抗のA～Dについても近傍界同様，遠方界においても低抵抗な程，効果が高いことを示していることがわかる。

３．３　KEC法測定における精度向上に係る検討

当初の計画においては，点接触・線接触・面接触を考慮した銅テープやガスケット，パンチングメタル等の各種部材を試す計画であったが，ロレスタによる表面抵抗測定をKEC法治具自体に試みたところ，表面抵抗が高いことが判明したため，「導通」について再検討することとした。なお成分の定性分析の結果，治具本体部分は鉄で，表面が亜鉛メッキだったので，長年の使用においてメッキ表面に酸化膜が形成されたことによる高抵抗化と推察される。このため適切なクリーニングを施し，導通確保をした上で，精度向上に関わる再検討を継続していく予定である。

４．まとめ

低導電性のものから絶縁性に近い種々の複合材料のサンプル6種類について，表面抵抗と電磁波シールド測定における関係を示した。しかしながら，誤差要因やその対処法については，上下治具間の導通，材料の表面抵抗との関係について，更なる検討が必要であることも判明した。

また，本研究を通じて電波暗室を用いた遠方界での評価においてKEC法治具の片側を用いた方法を構築・検証し，KEC法測定と比較ができるようになった。遠方界測定方法においては，なお改善の余地があるが，新たな測定方法としての可能性も見出した。

KEC [1] 一般社団法人 KEC関西電子工業振興センターは，元々は関西地域24社が発起人となり，設立された社団法人で，電子工業に関する技術と生産性と品質の向上を図る活動をおこなうことにより，電子工業の振興を図り，日本経済の発展に寄与することを目的としている。KEC法もここで開発された近傍界のシールド材評価法で，国内ではスタンダードな測定法となっている。

参考文献

1) シールド材試験-一般社団法人 KEC関西電子工業振興センター　https://www.kec.jp/testing-division/kec-method/
2) 針谷 栄蔵，電磁波シールド特性評価技術，繊維製品消費科学，1999年40巻，2号，p100-108 https://www.jstage.jst.go.jp/article/senshoshi1960/40/2/40_2_100/_pdf/-char/ja