

### 銅箔と樹脂の多層構造体における 磁気シールドに関する研究

秋山, 竜太 / Akiyama, Tatsuhiko

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014204>

# 銅箔と樹脂の多層構造体における 磁気シールドに関する研究

MAGNETIC SHIELD WITH MULTILAYER OF CU FILM AND RESIN

秋山竜大

Tatsuhiko AKIYAMA

指導教員 品川満

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

This paper describes the shielding effectiveness ( $SE$ ) of a multilayer of Cu film and polyethylene terephthalate (PET) from magnetic interference.  $SE$  was evaluated from the  $S$  parameter through electromagnetic field simulations. The  $SE$  of a multilayer with three Cu films and two PET films, Cu/PET/Cu/PET/Cu, was nearly equal to that of five Cu films, Cu/Cu/Cu/Cu/Cu.

**Key Words** : Shielding effectiveness,  $S$  parameter, electromagnetic filed simulation

## 1. 序論

近年, IoT(Internet of Things[1])の進展で, これまでにない革新的なサービスが提供され, 生活がより便利に, より環境に優しい未来が近づいている. そして, モノ同士が繋がることでセンサなどからビックデータが生み出され, そのビックデータは人工知能に活用され IoT 機器が自動化されるなど, より活躍のフィールドが拡大している.

一方, カーエレクトロニクス化による自動車の電子化・高精細化により, 図1に示すような磁気ノイズによる影響は避けられない問題となっている[2]. 自動車内に搭載されているインバータやモータ間を繋ぐワイヤーハーネスには, 高電圧・大電流が流れる. その時に発生する磁気ノイズ(10 kHz ~ 100 MHz)は ECU(Engine Control Unit)などの周辺機器に対して影響を及ぼす可能性があるため, 磁気ノイズを抑えるような磁気シールド材の研究開発が各方面において急速に進められている.

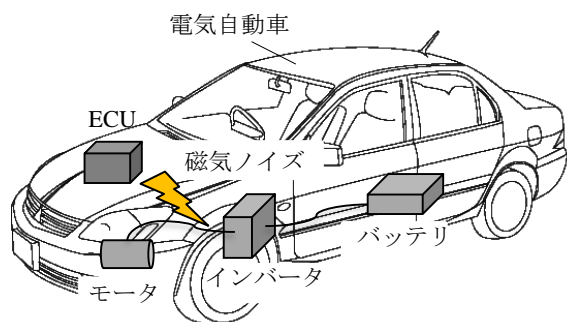


図1 電気自動車の磁気ノイズ問題

現在, シールド材として一般的に銅箔(Cu)が多く使用されているが, 高価・重い・硬いなどの欠点がある. そこで, 我々は加工がしやすく比較的安価な樹脂である Polyethylene terephthalate(PET)に着目し, Cu と PET の多層構造体を用いることで, 安価・軽い・柔軟な車載電装部品用のシールド材開発のための研究を進めている. 本研究は 3D フルウェーブ電磁界解析による評価を行い, Cu と PET の多層構造体の優位性を示すこと, そして, 薄型化かつシールド性能の高いシールド材開発のための指針を示すことを目的としている. また, シールド材の目的とする周波数は, ワイヤハーネスからの磁気ノイズを想定し 10 kHz ~ 100 MHz, シールド材の厚さは, コストや軽さ, 柔軟性を考慮し 100  $\mu\text{m}$  以下, シールド効果( $SE$ : Shielding Effectiveness[3])は 40 dB(シールド率 99%)以上とする.

## 2. シールド効果

図2に  $SE$  原理を示した. 電磁波の伝搬経路中に媒質の異なる境界面が存在するとき, 電磁波の一部がその境界で反射され, 侵入する電磁波のエネルギーが減少する. この減少量を反射損という.

シールド材内では伝搬する経路中で誘導電流が流れ温度が上昇し, 電磁波のエネルギーが減少する. この減少量を減衰損という.

また, シールド材内において両境界面での反射の繰り返しを多重反射といい, 多重反射を考慮すると, シールド材を突き抜ける量は多くなり  $SE$  は弱まる.

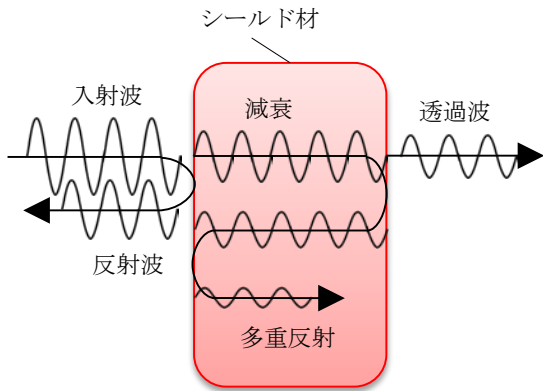


図2 SE原理

### 3. シールド効果測定系

#### (1) 実機構成

現在 SE の測定法として広く用いられている方法の一つである KEC 法[4]を使用した。KEC 治具(図3)は2つの金属管体と2つのループアンテナで構成され、各ループアンテナはスリットを有している。電磁波の送受信の流れを簡潔に説明すると、Port 1 に接続された信号源から送信ループアンテナへ電流を流すと、電磁誘導により電磁波がスリットから放射され、その電磁波がシールド材を介して受信ループアンテナによって受信される仕組みとなっている。また、シールド材有無の伝送特性の差から SE を測定する。

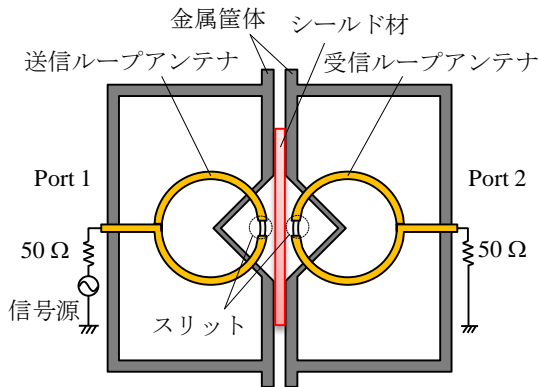
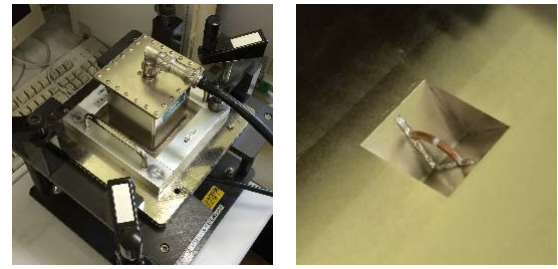


図3 KEC 治具の構成

SE 測定時は図4の(a)のように2つの金属管体をボルト締めして密着させる。KEC 治具の特徴は図4の(b)から分かるように、90度角の金属板と組み合わせループアンテナの1/4の部分を外に出すことで、ループアンテナの指向性を良くしている。

実測では、ネットワークアナライザの感度限界のため雑音が発生してしまい、SE を測定することができなかった。そのため、3Dフルウェーブ電磁界解析を用いて SE を測定することにした。



(a)外観

(b)内部ループアンテナ

図4 KEC 治具の外観と内部ループアンテナ

#### (2) 電磁界シミュレーションモデル

図5はKEC 治具を電磁界シミュレータにてモデリングした一部である。信号源の内部インピーダンスは  $50 \Omega$  とし、AC 電圧は  $1 \text{ V}$  とした。金属管体の物性はステンレスで  $100 \times 80 \times 80 \text{ mm}$  の寸法とした。ループアンテナには同軸ケーブルを使用し、直線部と直径  $50 \text{ mm}$  のループ部、 $2 \text{ mm}$  のスリットにより形成した。また、同軸ケーブルの特性インピーダンスを  $50 \Omega$ 、終端に  $50 \Omega$  抵抗を接続しインピーダンス整合させた。

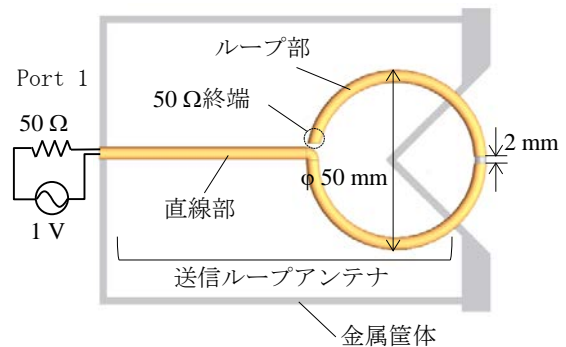


図5 KEC 治具のシミュレーションモデル

シミュレーション解析手法には FDTD[5]によるインパルス波解析を用いた。インパルス波解析では、パルス幅  $2 \text{ ns}$  のインパルス波を印加後、Port 1 と Port 2 で得られた時間波形をフーリエ変換することで広帯域の周波数特性を得た。

### 4. シミュレーション結果

まず、Cu/PET/Cu/PET/Cu に対し、PET 厚さ依存性をシミュレーションした。ここで、Cu 厚さは  $17 \mu\text{m}$  で一定とし、PET 厚さを  $0, 17, 100, 200 \mu\text{m}$  と変化させた。

図6はCu/PET/Cu/PET/Cu の PET 厚さ依存性グラフである。横軸は周波数、縦軸は SE を表している。また、青色の実線は  $0 \mu\text{m}$ 、赤色の実線は  $17 \mu\text{m}$ 、緑色の実線は  $100 \mu\text{m}$ 、紫色の実線は  $200 \mu\text{m}$  を示している。図6のグラフから、PET を厚くするほど SE が増加する傾向にあることを確認できた。

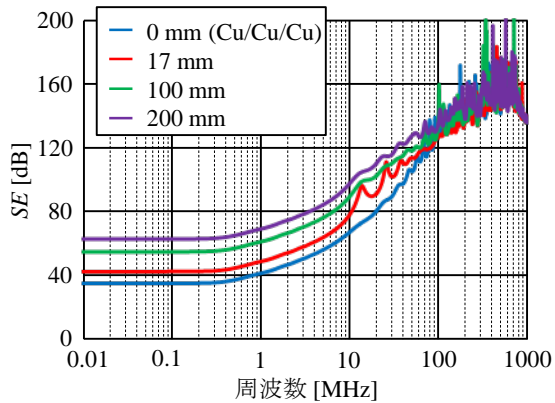


図6 Cu/PET/Cu/PET/CuのPET厚さ依存性

図7は図6のグラフ結果において、周波数 $f = 10$  kHzにおけるPET厚さとSEの関係を示した両対数グラフである。横軸はPET厚さ(2枚を合わせた厚さ)、縦軸はSEを表している。図7の累乗近似した実線により、目的とする40 dB以上のSEを得るためには1枚のPET厚さは最低12  $\mu\text{m}$  あればよいと予測できる。また、このときの全体厚さは75  $\mu\text{m}$  となり、目的とする厚さ100  $\mu\text{m}$  以下も満たしている。

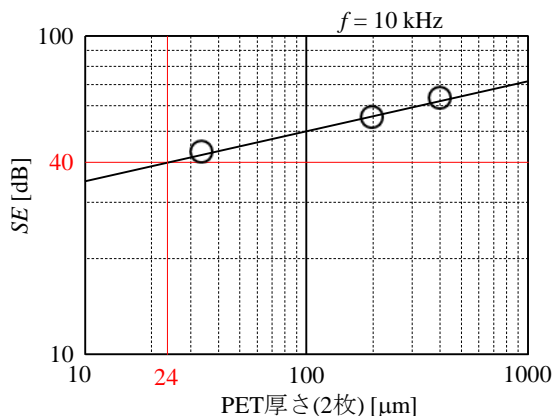


図7 PET厚さとSEの関係(10 kHz)

次に、Cu/Cu/Cu/Cu/Cu、Cu/PET/Cu/PET/Cu、Cu/PET/PET/PET/Cuの5層構造体によるシミュレーションをした。ここで、Cu厚さを17  $\mu\text{m}$ 、PET厚さを17  $\mu\text{m}$  とし、全体の厚さを85  $\mu\text{m}$  で一定とした。

図8は5層構造体における層変更時のSE比較をしたグラフである。横軸は周波数、縦軸はSEを表している。また、青色の実線はCu/Cu/Cu/Cu/Cu、赤色の実線はCu/PET/Cu/PET/Cu、緑色の実線はCu/PET/PET/PET/Cuを示している。図8のグラフから、Cu/Cu/Cu/Cu/CuとCu/PET/Cu/PET/CuのSEは、10 kHz ~ 1 GHzにおいてほとんど変わらないが、Cu/PET/PET/PET/CuのSEは、10 kHz ~ 10 MHzにおいて約5 dB劣化してしまった。この結果は、5層構造体においてCu/PET/Cu/PET/Cuが優位であることを示している。

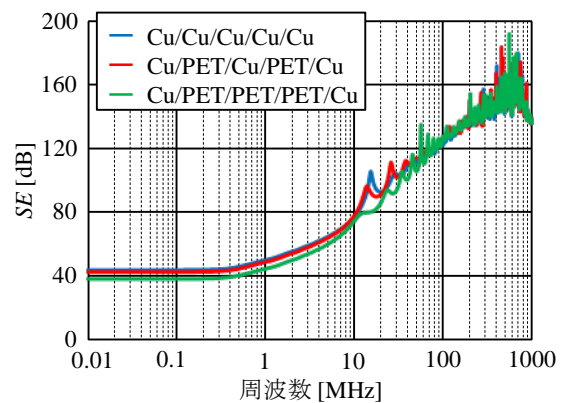


図8 5層構造体における層変更時のSE比較

## 5. 結論

本研究では、3Dフルウェーブ電磁界解析による評価を行うことで、CuとPETの多層構造体は厚さを75  $\mu\text{m}$  まで薄型化かつ10 kHz ~ 100 MHzにおいて40 dB以上のSEを有する見通しがついた。よって、このCuとPETの多層構造体は車載電装部品用のシールド材としての適用可能性を秘めている。

今後、本研究のシールド材実用化に向けるためには実測によるデータは必要不可欠になると考えられる。そのため、受信側にプリアンプを設けダイナミックレンジの向上を図ることで実測値を出し、今回得られたシミュレーション値との整合性を確認したい。

## 参考文献

- 1) J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future generation computer systems*, Vol. 29, No. 7, pp.1645–1660, 2013.
- 2) N. Mutoh and M. Kanasaki, "A suitable method for ecovehicles to control surge voltage occurring at motor terminals connected to PWM inverters and to control induced EMI noise," *IEEE transactions on vehicular technology*, Vol. 57, No. 4, pp. 2089–2098, 2008.
- 3) W. Yuan and E. P. Li, "A systematic coupled approach for electromagnetic susceptibility analysis of a shielded device with multilayer circuitry," *IEEE transactions on electromagnetic compatibility*, Vol. 47, No. 4, pp. 692–700, 2005.
- 4) E. Hariya and M. Umamo, "Measuring instrument for testing the shielding effectiveness," *IEICE technical report*, Vol. 83, pp. 25–32, 1994.
- 5) K. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Transactions on antenna and propagation*, Vol. 14, No. 5, pp. 302–307, 1966.