

カーボンナノチューブを用いた 導電性複合樹脂の放電特性と放射電磁波

Study on discharge current and radiated electromagnetic wave
by electro static discharge of conductive composite resin
with carbon nano tube

大津孝佳¹、堂山英之¹、小林優作¹、今井省吾¹、鷺坂耕一²

Takayoshi Ohtsu¹, Hideyuki Doyama¹, Yusaku Kobayashi¹, Shogo Imai¹, Kouichi Sagiaka²

鈴鹿工業高等専門学校¹、油化電子(株)²

Suzuka National College of Technology¹, Yuka Denshi Co., Ltd²

【要旨】

電子デバイスの高性能化・高周波化にともない静電気耐力が低下しており、その対策が急務とされる。今後の電子デバイスの静電気対策に於いて、システムレベルでの対策が必要である。そこで、静電気耐力の低い電子デバイスの運搬用ケース、電子デバイスを搭載したシステムのケース等における材料の選定は非常に重要である。これらの新材料は、宇宙用機器の静電気対策に応用できるものと考えられる。本研究では、導電性ポリカーボネート樹脂 (carbon fiber、carbon nano fiber、carbon nano tube) の誘導帯電に伴う放電特性と放射電磁波の比較を行い、carbon nano tube が放電電流、放射電磁波強度の点から優れていることについて述べる。

1. はじめに

近年、電子デバイスの高性能化・高周波化にともない静電気耐力が低下しており、その対策が急務とされる[1-20]。2008年に米国アリゾナで開催された半導体デバイスの信頼性技術に関する国際会議である国際信頼性物理シンポジウム(IRPS: International Reliability Physics Symposium)において、Chrsvaka Duvvur氏(TI)を始めとする半導体製造グループから、ESD耐性レベル見直し提案がなされた。これは、半導体高機能化(微細化)とESD耐性はトレードオフ関係にあり、コン

ポーネントレベルでの静電気耐力を従来通りのレベルで維持することが困難であるとし、System Levelでの対策を行うとの重要性を掲げ、Industrial Councilや米国ESD Associationの中でWhite Paper 3 System Level ESD Part I: Common Misconceptions and Recommended Basic Approaches(2010)等を作成している。これより、今後の電子デバイスの静電気対策に於いて、システムレベルでの対策が重要とされる。そこで、そこで、静電気耐力の低い電子デバイスの運搬用ケース、電子デバイスを搭載したシステムのケース等

における材料の選定は非常に重要である。これらの新材料は、宇宙用機器の静電気対策に応用できるものと考えられる。本研究の目的は、各種導電性ポリカーボネート樹脂の誘導帯電に伴う放電特性と放射電磁波の測定を行い、静電気耐力の低いデバイスの運搬ケースや電子システムのケースに最適な材料の知見を得ることにある。

2. 実験方法

サンプルはカーボンファイバー (CF)、カーボンナノファイバー (CNF)、カーボンナノチューブ (CNT : 油化電子 HipersiteW2000) 3種類の導電性フィラーを練り込んだ導電性ポリカーボネート樹脂を用いた。繊維径はそれぞれ $8\mu\text{m}$ 、 140nm 、 10nm であり、表面抵抗は $1\text{E}+4.5\sim 1\text{E}+8.5\ \Omega$ である。図1に実験装置を示す。帯電プレート (150pF) にサンプルを置き、 1.3 kV に帯電させた後、カレントトランス (CT6) とモノポールアンテナ (5 mm) を組み合わせた自作プローブにて、放電電流波形と放射電磁波波形をオシロスコープ (WAVERUNNER 204XI-A 2GHz) で観察した。帯電電圧は表面電位計 TREK520 で測定した。また、ロボットアーム (近藤科学株) を用いて、サンプルとプローブとの接近速度を一定条件とした。

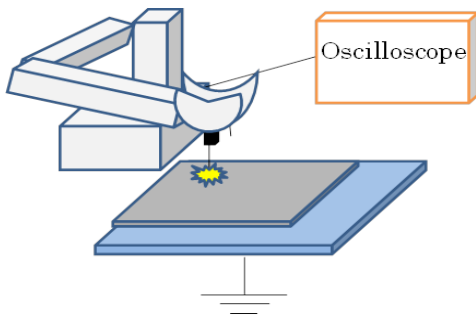


図1 実験装置

3 実験結果及び考察

3.1 表面抵抗と帯電電位

図1にティッシュペーパーで擦った際の帯電電圧を示す。導電性フィラーの入っていないポリカーボネート樹脂 PC の帯電電圧は 1474 V と非常に高いが、導電性フィラー (CF、CNF、CNT) の入ったポリカー

ボネート樹脂では表面抵抗が低くなるほど、帯電電圧は低い。 $1\text{E}+4.5\ \Omega$ で比較すると CNT の帯電電圧は他と比べて低く、帯電電圧の低いものから CNT (1V)、CNF (2V)、CF (10V) の順となる。

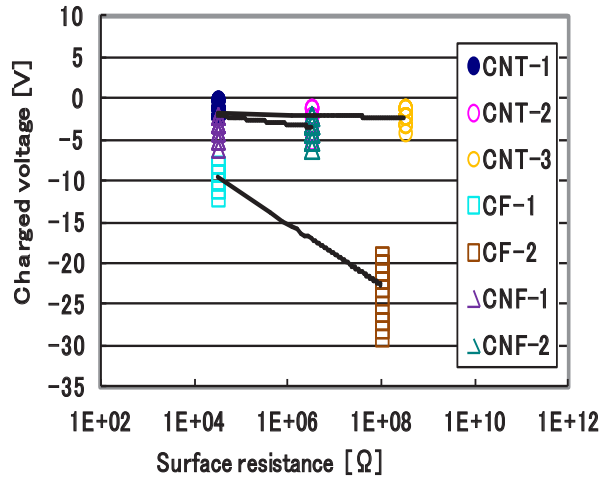


図2 表面抵抗と帯電電圧

3.2 放電電流の観察

図3に放電電流の表面抵抗依存性を示す。放電電流値は表面抵抗が大きくなるほど小さくなる。CNTの放電電流は他と比べて低く、同じ表面抵抗率でもCFよりCNTは約1桁小さい。放電電流の低いものからCNT、CNF、CFの順となる。

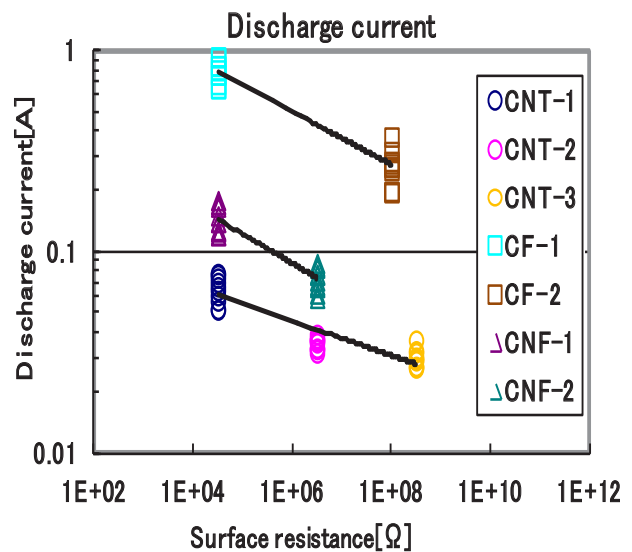


図3 表面抵抗と放電電流

図4に表面抵抗と立ち上がり時間の関係を示す。CFではばらつきが大きい。

図5に表面抵抗と残留電圧の関係を示す。CFは残留電圧のばらつきが非常に大きい。

3.3 放射電磁波の観察

図6に放射電磁波強度の表面抵抗依存性を示す。放射電磁波強度は表面抵抗が大きくなるほど小さくなる。CNTは全ての中でいちばん放射電磁波強度が低い。

図7に放射電磁波の立ち上がり時間の表面抵抗依存性を示す。立ち上がり時間に大きな差は無い。

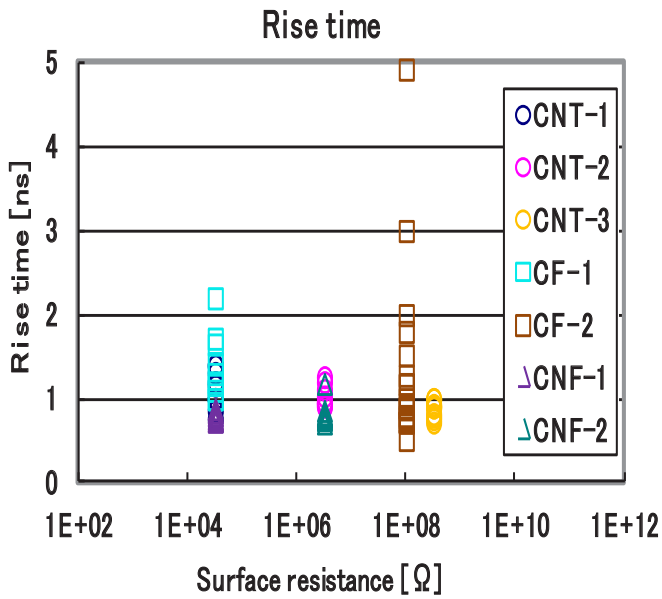


図4 放電電流の立ち上がり時間

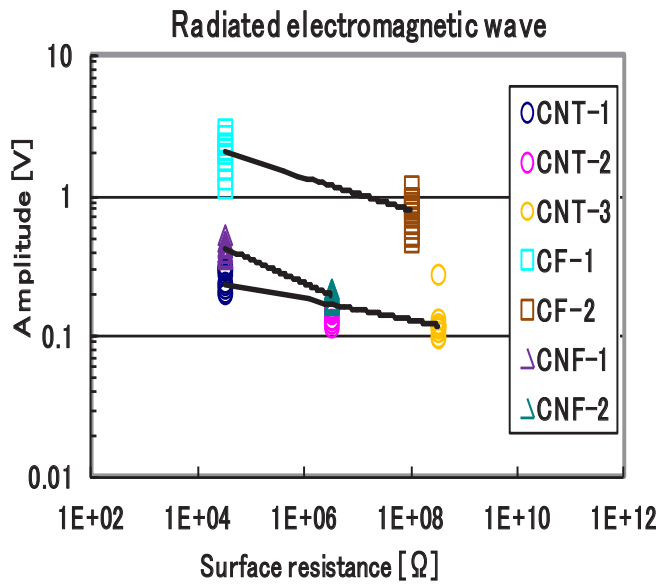


図6 表面抵抗と放射電磁波強度

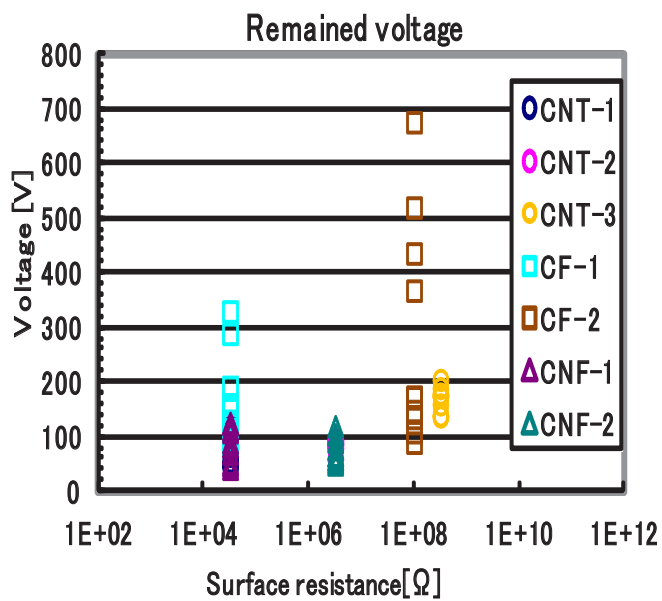


図5 表面抵抗と残留電圧

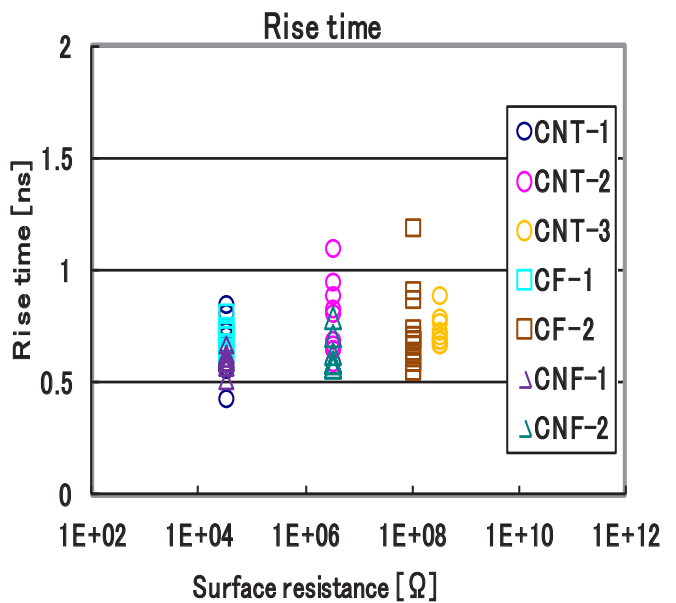


図7 放射電磁波の立ち上がり時間

3.4 SPICE シミュレーション

図8にSPICEシミュレーションに用いた等価回路を示す。赤枠が導電性複合材料である。導電性複合材料の放電点での抵抗、体積抵抗、静電容量、及び放電経路のインダクタンスを変化させ、放電電流値との関係を調べた。

図9に導電性複合材料の放電点での抵抗と放電電流値との関係を示す。放電電流値は放電点での抵抗 (Point resistance) に大きく依存していることが分かる。

図10に導電性複合材料の体積抵抗と放電電流値との関係を示す。放電電流値は体積抵抗には依存していない。

図11に導電性複合材料の静電容量と放電電流値との関係を示す。放電電流値は静電容量が大きくなると依存性は小さくなる。

図12に放電経路のインダクタンスと放電電流値との関係を示す。インダクタンスが小さくなると依存性は小さくなる。

これらのことから、CFの放電電流値が大きいのは、静電気対策としての体積抵抗がCNTと同等であっても、表面へのファイラーの露出があり、放電点での抵抗 (Point resistance) が小さい箇所が多く存在するためであると考えられる。

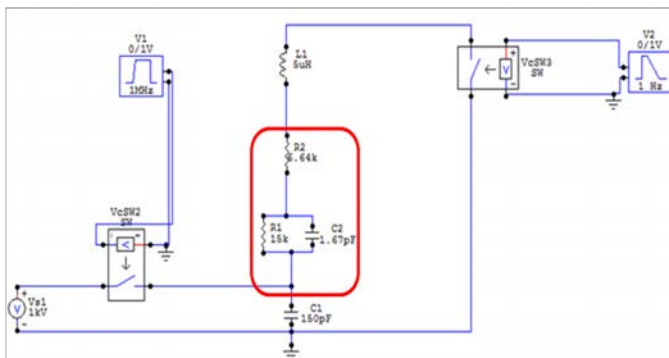


図8 SPICEシミュレーションの等価回路

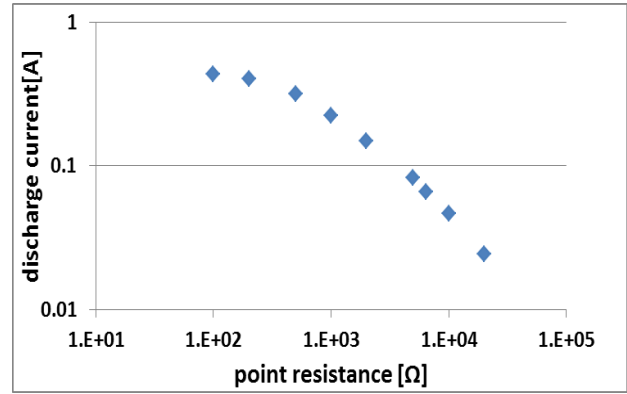


図9 放電点での抵抗と放電電流値

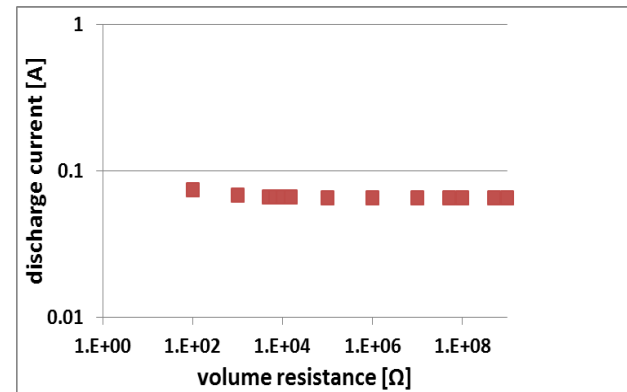


図10 体積抵抗と放電電流値

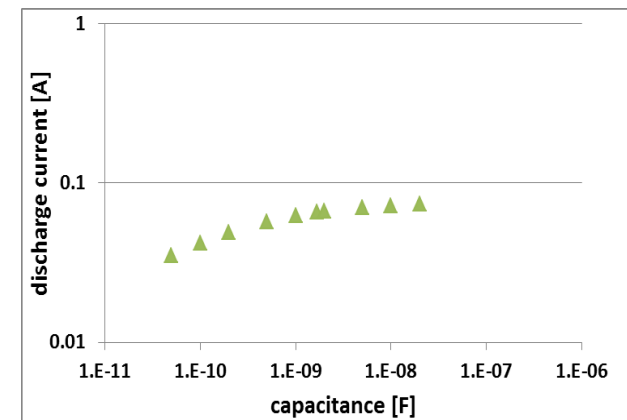


図11 静電容量と放電電流値

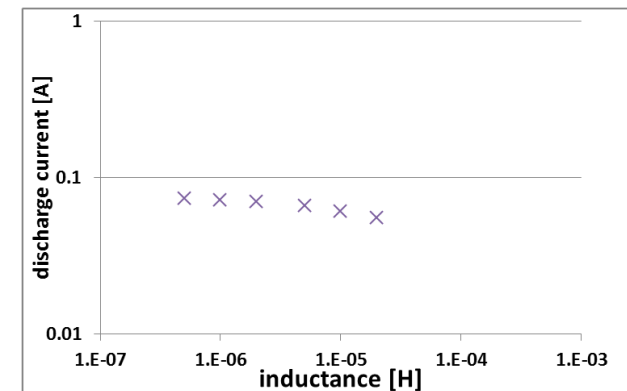


図12 インダクタンスと放電電流値

4. まとめ

導電性ポリカーボネート樹脂の誘導帯電に伴う放電特性と放射電磁波の測定を行い以下のことが明らかとなった。

- (1) CNT(油化電子 HipersiteW2000)は、CFやCNFと比較し、放電電流値が小さい。
- (2) CNTは残留電圧も低く、ばらつきも小さい。
- (3) CNTは放射電磁波強度も小さい。
- (4) CNTの放電電流値が小さいのは、静電気対策としての体積抵抗がCNTと同等であっても、放電点での抵抗(Point resistance)が大きいためである。

参考文献

- 1) H.Tian and J.K.Lee: IEEE Trans. Magn., Vol.31, No.5, 2624, 1995.
- 2) A.Wallash: IEEE Trans. Magn., Vol.33, No.5, 2911, 1997.
- 3) Lam C., Salhi E., and Chim S.: EOS-19 , 386 , 1997.
- 4) A. Wallash and Y.K.Kim: IEEE Trans. Magn., Vol.34, No.4, 1519, 1998.
- 5) M. Takahashi, T. Maeda, M. Sakai, H. Morita, and M. Matsuzaki: IEEE Trans. Magn., Vol.34, No.4, 1522, 1998.
- 6) Chung F.Lam, Caleb Chang, and Rahmat Karimi: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-20, 360, 1998.
- 7) A. Wallash: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-22, 349, 2000.
- 8) Yong Shen, RingoLeung, and Jennifer ZF Sun: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-22, 355, 2000.
- 9) Takayoshi Ohtsu, Hitoshi Yoshida and Noriaki Hatanaka: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-23, 173, 2001.
- 10) Takehiko Hamaguchi, Takayuki Ichihara and Takayoshi Ohtsu: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-24, 119, 2002.
- 11) Chris Moore and Albert Wallash: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-21, 309, 1999.
- 12) A.Wallash: IDEMA Symp.,1998.
- 13) A. Wallash and M. Honda: EOS/ESD Proceedings,EOS-19,pp.382-385. 1997.
- 14) M. Honda and Y. Nakamura: EOS/ESD Proceedings, EOS-9, pp.96-103. 1987.
- 15) Akira Morinaga, Chiaki Ishikawa, Takayoshi Ohtsu, Norifumi Miyamoto and Shinji Narishige: IEEE Trans. Magn., Vol.38, No.5, 2262, 2000.
- 16) Takayoshi Ohtsu,"Study on ESD/EMI Phenomena for Magnetic Reproducing Head", IEEJ Trans.FM, Vol.130 , No5, 473-478 (2010)
- 17) Takayoshi Ohtsu," Study on ESD Phenomena of Magnetic Head by 1ns Pulse ESD", APEMC, Beijing, China (2010)
- 18) Ken Kawamata et al," Influence of the Surface Condition of Electrodes on Radiated EM Field Intensity due to Micro Gap Discharge", APEMC , Beijing, China (2010)
- 19) Takahiro Yoshida et al," Effect of the Shapes of Metal Electrodes on ESD Current and Radiation Noise" APEMC, Beijing, China (2010)
- 20) EMC 電磁環境学ハンドブック,佐藤利三郎氏監修