

大気圧プラズマ照射による制電材料の 帯電・放電特性

Charging and discharging characteristics of the antistatic material after irradiating the atmospheric pressure plasma

大津孝佳¹, ○大石晋平¹, 鷺坂功一²

Takayoshi OHTSU¹, ○Shimpei OHISHI¹, Kouichi SAGISAKA²

沼津工業高等専門学校¹,
(株)油化電子²

National Institute of Technology, Numazu College¹,
Yuka Denshi Co., Ltd²

【要旨】

低軌道宇宙環境にはプラズマ状態の酸素や窒素が存在し、制電材料を用いる場合その影響を検討する必要がある。そこで、本研究では誤動作防止のため使用される静電気対策材料の帯電特性、放電特性の評価を行うと共に、大気圧プラズマ照射による放電特性の変化を観察し、下記のことことが明らかとなった。①周りより表面電圧の高い Hot spot と、表面電位は高くないが放電電流の大きな Cold spot が存在する。②大気圧プラズマ照射によって、放電電流が低減する。

1. はじめに

電子デバイスの高性能化・高密度化に伴い、配線の実装密度の増加、高周波数化、高帯域化が進んでいる。それにより静電気耐力が低下しており、その対策が必要とされている。また、デバイスを小さくできるという利点の反面、静電気に弱くなるという欠点をもつ。よって、静電気破壊による重要な情報の損失や、誤動作による安全の欠如など、電子機器へ信頼性の要求はより一層高まってきている [1-8]。2008 年米国アリゾナで開催された半導体国際会議 (IRPS : International Reliability Physics Symposium) において、Chravaka Duvvur 氏 (TI) を始めとする半導体製造グループより、今後、保護素子のみでの継続的対応は不可能であることが報告された [9]。それに基づき、組立工程における静電気対策とシス

テムレベルでの対応が急務とされ、国内外に於いて取り組みが始まっている。例えば、半導体の高機能化 (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として、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 [10]。また、宇宙機においても放電現象が主な原因とみられる人工衛星の故障は、2012 年までの 15 年間に世界で 36 件報告されているなど、宇宙環境での帯電や放電特性の検討が行われている [23]。電子機器の静電気放電の対策方法の一つとして、導電性をもった材料が用いられ

ており、カーボンファイバー(以下:CF)とカーボンナノチューブ(以下:CNT)を用いた導電性材料では放電特性の比較結果から、同じ表面抵抗でもCFの放電電流がCNTより大きいことや、ばらつきが大きいことが報告されている[24]。本研究の目的は、CFやCNTの導電性複合材料について、帯電特性と放電特性の詳細を調査すること。また、高度200-300 km程度の低地球軌道における地球大気の主成分は原子状酸素であることから、空気の大気圧プラズマ照射による放電特性の変化を調査し、放電電流低減の指針を得ることである。

2. 実験方法

2.1 各種複合材料の静電気放電特性の位置依存性

CFとCNTを用いた導電性複合材料の放電特性の測定を行った。表面抵抗値はそれぞれ、 $10^8 \Omega$ 、 $10^5 \Omega$ とした。サンプルを帯電プレート(TREK Model1159HH)の上に置き、1.2 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を組み合わせたプローブをロボットアームにより、測定点に接近させて放電電圧、放電電流、放射電磁波の測定を行った(図1)。測定点は図2に示すように区分し、静電気放電特性の位置依存性を調べた。

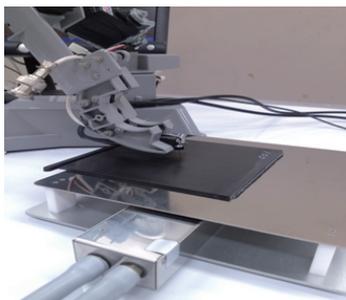


図1 実験装置

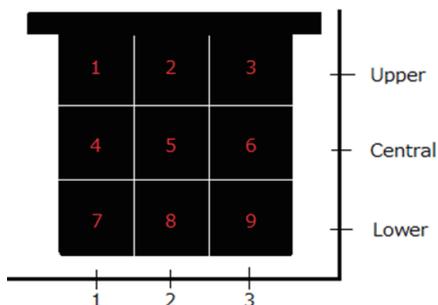


図2. 測定点の配置

2.2 各種複合材料の面内表面電位分布

放電電流と帯電電圧との関係を詳細に調べるため、面内の帯電電位分布をe-Scope((株)阪和電子工業)を用いて測定した(図3)。サンプルを帯電プレートの上に置き、帯電させるのと同時にe-Scopeでの測定を開始し、チャージプレートモニターが0Vを示した後に測定を終了した。測定のスパンを0.1sとし測定を行った。測定点は図4に示す通りである。

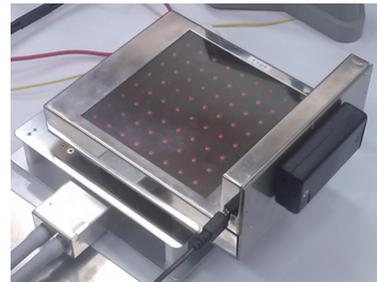


図3 e-Scopeの外観

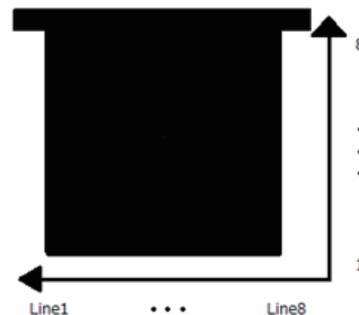


図4. 測定点

2.3 静電気放電に伴う帯電電位減衰特性

帯電電位と放電電流との相関を調査した。静電気放電による表面電位の減衰をe-scopeにより観測し、帯電位置から放電点までの移動の速さを調べた。その結果と放電電流の結果を比較することにより、放電電流を決定する要因を理解することを目的とした。サンプルを帯電プレートの上に置き、図5に示すように右上の放電点で放電をさせたときのサンプル上の四隅の点において電位が0Vまで減衰するのに有する時間を求めた。

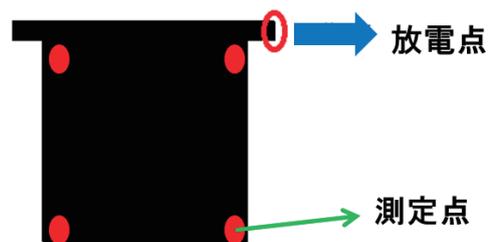


図5 放電点と測定点

2. 4 大気圧プラズマの照射による静電気放電特性の変化

CFについて、大気圧プラズマを照射し、照射後の放電特性を測定した。照射条件は、空気200[L/min]、高周波電源出力 0.3kW として、照射距離は 5[mm]、照射時間は 10[s]、20[s]、30[s]とした。

3. 実験結果及び考察

3. 1 各種複合材料の放電特性の位置依存性

図6と図7にCF及びCNTを用いた導電性複合材料の放電電流の面内分布をそれぞれ示す。放電電流の分布は一様ではないことが分かる。また、表面抵抗 $10^8 \Omega$ のCFの方が、 $10^5 \Omega$ のCNTよりも放電電流が大きく、ばらつきも大きい。これは、繊維の大きさに起因し、表面での繊維の露出や、繊維を覆っている樹脂厚のばらつきにより、放電点での抵抗（ポイント抵抗）が低い為である。

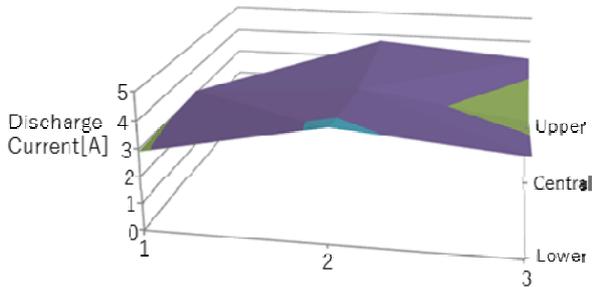


図6 カーボンファイバーの放電電流分布

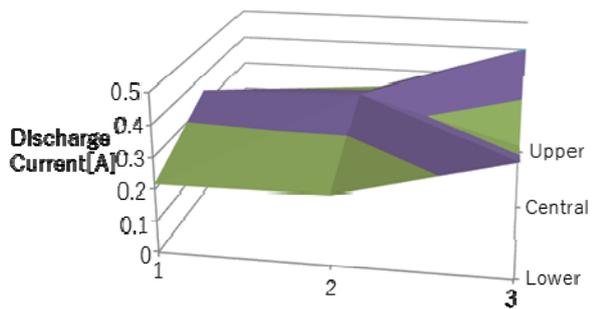


図7 カーボンナノチューブの放電電流分布

3. 2 各種複合材料の帯電電位分布

図8と図9にCF及びCNTを用いた複合材料の帯電電位の面内分布をそれぞれ示す。いずれの材料も表面電位の位置によるばらつきが観測された。つまり、同一材料の表面上には、帯電電位が高い点(以後、Hot Spot と呼ぶ)が存在することが確認された。これと各材料の

放電電流の面内分布を表す図6と図7を合わせて検討を行うと、帯電電位が高くないでも、放電電流が大きい点(以後、Cold Spot と呼ぶ)が存在することが明らかとなった。すなわち、帯電電位が高い点である Hot Spot では、放電電流が小さいのに対し、Cold Spot では、放電電流が大きく、静電気放電による障害の原因となってしまう可能性があることが分かった。

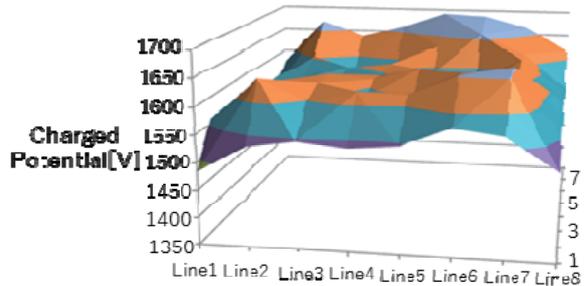


図8 カーボンファイバーの帯電電位分布

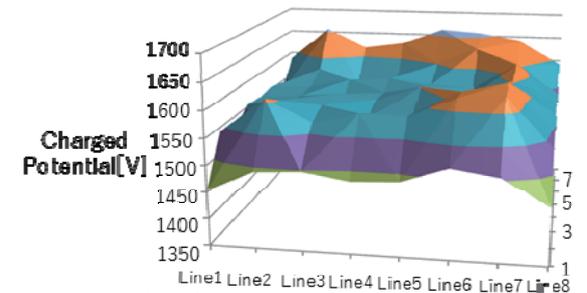


図9 カーボンナノチューブの帯電電位分布

3. 3 静電気放電に伴う面内電位減衰特性

表1と表2にCF及びCNTの各点における静電気放電に伴う電位変化率をそれぞれ示す。電位変化率の絶対値としてはCNTの方がCFよりも大きいことは、表面抵抗値によるものと考えられる。CFとCNTの表面抵抗値はそれぞれ、 $10^8 \Omega$ 、 $10^5 \Omega$ である。また、測定位置に於ける電位変化率のばらつきがCFの方が大きいことが分かった。

表1 カーボンファイバーの電位変化率

座標	電位変化率 [kV/s]
最近点	9.806
最遠点	7.516
左上点	9.804
右下点	7.518

表 2 カーボンナノチューブの電位変化率

座標	電位変化率 [kV/s]
最近点	10.89
最遠点	9.616
左上点	10.74
右下点	9.620

3. 4 大気圧プラズマの照射による静電気放電特性の変化

カーボンファイバーのプラズマ照射前とプラズマ照射後の放電電流との関係を図 8 に示す。また、大気圧プラズマ照射の前後での電流の変動率を Table 3 に示す。放電電流は 10[s] 照射では変動はないが、20[s]以降は時間が増えるにつれ減少することが分かった。大気圧プラズマの照射によって、表面の炭素(C)と酸素(O)で酸化、窒素(N)による窒化、あるいは、化学的に表面のCFが除去されたことによって、ポイント抵抗が上昇したことになると思われる。

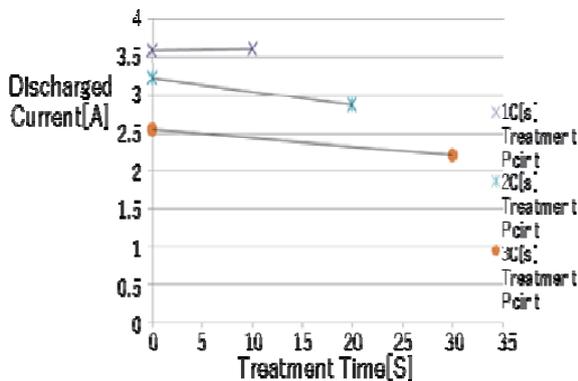


図 10 大気圧プラズマ照射による電流変化

表 3 大気圧プラズマ照射による電流変動率

照射時間 [s]	電流変動率 [%]
10	0.445
20	-11.3
30	-12.9

4. まとめ

導電性複合材料の帯電特性と放電特性について、静電気特性評価装置と e-scope による観察を行い、下記のこと明らかとなった。

1. 表面抵抗 $10^8 \Omega$ の CF を用いた導電性複合材料の放電電流は、表面抵抗 $10^5 \Omega$ の CNT を用いたものより大きい。
2. 同一材料の表面上には、表面電位が高い点

(Hot Spot)が存在する。

3. 同一材料の表面上には、表面電位が高くないが放電電流が大きい点 (Cold Spot) が存在する。
4. 電位変化率の測定結果から、CNT を用いた導電性複合材料の電荷の移動速度は、CF よりも速い。
5. CF に大気圧プラズマを照射すると放電電流が低減する。

参考文献

- 1) H. Tian and J. K. Lee: IEEE Trans. Magn., Vol. 31, No. 5, 2624, 1995.
- 3) Takayoshi Ohtsu, Hitoshi Yoshida and Noriaki Hat-anaka: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-23, 173, 2001.
- 4) Takehiko Hamaguchi, Takayuki Ichihara and Takayoshi Ohtsu: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-24, 119, 2002.
- 5) A. Wallash and M. Honda: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-19, pp. 382-385. 1997.
- 6) M. Honda and Y. Nakamura: EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-9, pp. 96-103. 1987.
- 7) Takayoshi Ohtsu, "Study on ESD/EMI Phenomena for Magnetic Reproducing Head", IEEJ Trans. FM, Vol. 130, No5, 473-478 (2010)
- 8) Takayoshi Ohtsu, "Study on ESD Phenomena of Magnetic Head by Ins Pulse ESD", APEMC, Beijing, China (2010)
- 9) C. Duvvury, "Paradigm Shift in ESD Qualification" Reliability Physics Symposium, Phoenix, AZ, 27April - 1 May 2008.
- 10) White Paper 3: System Level ESD. Part I: Common Misconceptions and Recommended Basic Approaches, Industry Council on ESD Target Levels, Dec 2010.
- 11) 松本 晴久: "宇宙機の設計のための宇宙環境", 宇宙航空研究開発機構第 3 回宇宙学セミナー 京都大学 (2015)
- 12) 大津孝佳: "導電性ポリカーボネート複合樹脂の接触過程での放電特性", 電気学会誌, Vol. 136 No. 6 (2016)