

大気圧グロー放電を用いた除電器の開発*

大澤 敦**

Development of a Static Charge Neutralizer using an Atmospheric Pressure Glow Discharge*

by Atsushi OHSAWA**

Abstract: The management of static charge is very important for preventing electrostatic hazards in many industries. Charge elimination using neutralizers (sometimes referred to as charge eliminators or ionizers) is one way to reduce the risk of static charge, and it is often necessary especially for electrification on electrically insulated materials. However an imbalance between the currents of positive and negative charged carriers from the neutralizer itself leads to a charging potential on the object to be neutralized. In particular the static potential for small devices becomes higher because of the low stray capacitance of the devices, and the required level of the static potential to protect ESD (electrostatic discharge) sensitive devices becomes lower, e.g., 10 V. In practice, ESD sensitive devices have had serious problems caused by static charges even when an ionizer is used. Therefore, a balanced neutralizer is intensively required to increase the production rate of ESD sensitive devices.

At present, there are some types of bipolar ion source used in the ionizers, e.g., a corona discharge, a soft X-ray, an ultraviolet and an alpha ray from radioisotope. The corona discharges, however, are widely used because they can easily, economically, and safely (without radiation hazards) produce bipolar ions including electrons in air at atmospheric pressure. On the other hand, atmospheric pressure glow discharges (APGDs) have been well established. Because APGDs having attractive properties, such as no use of a vacuum system and a lower discharge sustaining voltage of several hundred volts, some applications have been sought. Therefore, we have predicted that by using the APGDs, a different type of neutralizer could be developed in terms of a lower source voltage and easily electronic control of the discharge owing to low discharge sustaining voltages. The other merit of the utilization of the glow discharges for a neutralizer is that there is no polarity dependence, while the feature of corona discharge is significantly different in terms of polarity known as positive and negative corona discharges.

In this paper we report the development of our neutralizer using APGD in air. We have succeeded in precisely controlling the ion balance of the glow neutralizer by controlling the discharge itself or the ion flow extracted from the discharge.

Keywords; Ionizer, Atmospheric pressure glow discharge, Ion balance, Offset voltage, Charge decay time

* IEJ-ESA Joint Meeting 2002および第26回静電気学会全国大会にて一部発表

** 物理工学安全研究グループ Physical Engineering Safety Research Division

1. はじめに

静電気の除電は種々の生産工程において必要とされる。たとえば、静電気放電に因る災害の防止、生産効率の向上、静電気放電に敏感な電子デバイスの保護などのため用いられている。導電性の物体は接地により帯電防止が可能であるので、除電は特に絶縁物の帯電防止に有効な方法である。

接地などによって帯電を抑制するのが困難な物体の除電には一般に除電器が用いられており、何らかの方法により正・負のイオンを発生させ、帯電物体の電荷と反極性のイオンがその物体に衝突することによって物体の帯電電荷を中和させ除電している。最近では、電荷発生的手段(イオン源)として紫外線¹⁾、軟X線^{1)・3)}、放射性物質⁴⁾などを用いた除電器もあるが、安全性と経済性からコロナ放電除電器が多く用いられている。コロナ放電除電器は十分に確立された技術であるので、最近ではイオンバランス、電極材料の蒸発によるコンタミネーションや窒素などの特殊雰囲気での研究などがなされている^{5)・10)}。しかしながら、グロー放電を用いた除電器の報告はない。

さらに、最近の製造技術の進歩にともない、デバイス等の破壊電圧が小さくなったため、許容される静電気の帯電レベルが10V以下という小さな値となってきている。除電器自体が持つ正・負イオンの除電電流のアンバランスから、この程度の電位になることが頻繁にある。したがって、イオンバランスが優れた除電器が要求されてきているが、現状では除電速度を犠牲にして、除電器の位置を離したり、コロナ放電電流を低くするなどによって、このアンバランスに由来する電位を押さえている。

本論文はイオン源としてグロー放電を用いて開発し

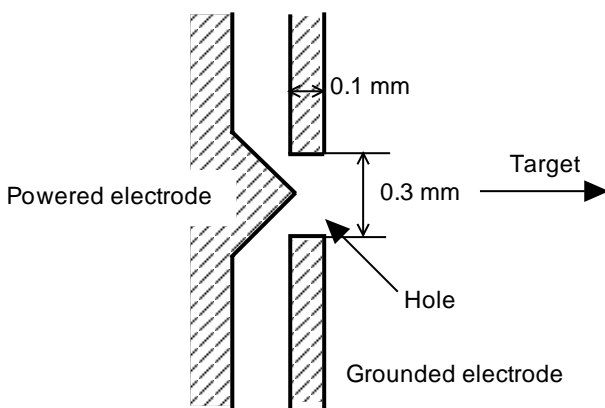


Fig. 1 Cross section of electrode structure.
Powered electrode : molybdenum, grounded electrode : copper.
電極断面図

た除電器について報告する。グロー放電はコロナ放電に比較して放電維持電圧が低いいため、電源電圧の低電圧化、予期しないスパーク放電の発生やそれに伴うノイズの発生リスクなどがなく、自続放電のため安定していること、正・負コロナ放電のような極性による特性の相違がない、オゾン生成がほとんどないことなどの利点があげられる。したがって、これらの利点を活かした除電器が開発できることが期待された。

開発された大気圧グロー放電除電器は正・負のイオンバランスが優れており、さらに、低電圧でこのイオンバランスを精密に制御することに成功した。

2. 大気圧グロー放電

一般にグロー放電は数Torr(数百Pa)以下の低気圧で安定であり、低気圧グロー放電の応用は半導体などの材料加工プロセス、レーザ、照明など多岐にわたっている。大気圧のように高いガス圧になるとプラズマが電極の径方向に広がることなく収縮することが知られている¹¹⁾。この収縮によって放電が集中して陰極加熱が誘引される。この陰極加熱によってグロー-アーク遷移が起こり、放電が不安定になることも知られている¹²⁾。

本研究の予備実験で行った平行平板の大気圧グロー放電は、この局所的な放電がしばしば移動することが観測された。この局所的な放電の安定な生成と除電するためのイオン流と放電のための電界のそれぞれの方向を平行にするために、Fig. 1のような突起-ホロー電極が用いられている。この電極を採用し、放電が生成する場所を固定し、除電効率が向上した。

Fig. 2に放電電圧・電流波形を示す。放電維持電圧(320V)のオーダーは典型的なグロー放電の維持電圧に相当する。交流駆動を用いることによる交互の陰極と放電開始・維持電圧以下では放電が消える放電休止時間によって陰極加熱を抑制して放電不安定性を誘起

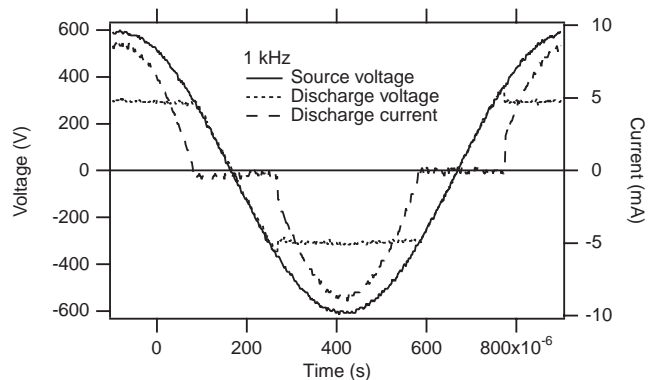


Fig. 2 Discharge voltage and current waveforms.
放電電圧・電流波形

するグロー - アーク遷移を防止している。

このような突起 - ホロー電極と交流駆動によってフィラメント状のかなり安定した大気圧グロー放電を発生することができた^{13), 14)}。

3. 除電器への応用^{13), 14)}

この大気圧グロー放電を両極性イオン源とする除電器に応用した。一般に除電器の性能はイオンバランスと除電に要する時間によって決定されるので^{4), 15)}，以下で示すようないくつかの方法を用いてグロー放電除電器の性能を調べた。

なお，現段階ではコロナ除電器でよく用いられているエアフローを用いていないが，これを採用すると電極の冷却，新鮮なガスの連続導入による放電のさらなる安定化と除電イオン流輸送の効率化による除電時間の短縮が期待される。

3.1 除電イオン電流

除電イオン電流はFig. 3のような測定装置を用いて測定した。ターゲット電極のサイズは2 × 5 cm²である。Fig. 4は測定された除電イオン電流の電流 - 電圧

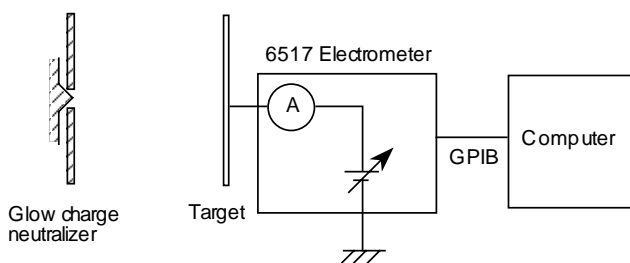


Fig. 3 Experimental apparatus of neutralization ion current for neutralization.
除電イオン電流測定装置

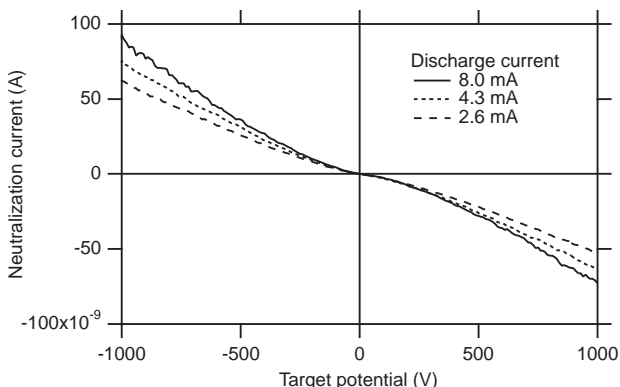


Fig. 4 Neutralization ion current to target at frequency 1 kHz and at separation of 2 cm between the neutralizer and target.
除電イオン電流

特性の例を示す。この特性は正側の電流がわずかに大きい正・負のイオン電流はほとんど対称であり，ほぼ原点で交わっていることから，開発したグロー除電器はイオンバランスに優れていることを示している。除電イオン電流はグロー放電電流の増加，ターゲットまでの距離の減少とともに増加した。また，放電周波数の増加に対してわずかに増加し，1 kHzでほぼ飽和した。

3.2 除電時間

Fig. 5の測定装置によって測定された除電時間（絶対値で1000Vから100Vに減衰する時間¹⁵⁾）はFig. 6に示すように間隔2 cmで正・負の帯電ともに2秒以内であり，コロナ放電除電器と同程度であった。この時間はグロー放電電流の増加によってさらに短くすることもできる。ここで測定に用いている市販のチャージドプレートモニタのターゲット電極のサイズは2 × 4 cm²で，容量は約10pFである。

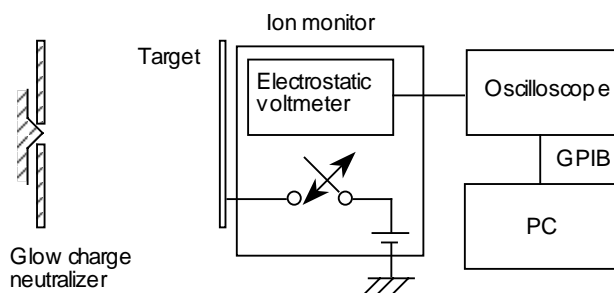


Fig. 5 Experimental setup for measuring decay time and offset voltage.
除電時間およびオフセット電圧測定装置

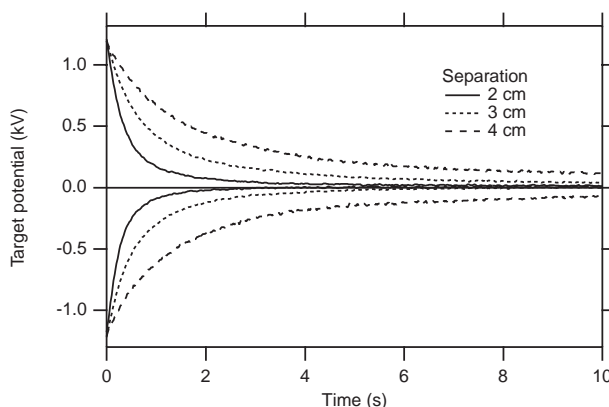


Fig. 6 Charge decay time at discharge current 4.3 mA and frequency 1 kHz for different separations between the neutralizer and target.
除電時間

3.3 オフセット電圧

イオンバランスの測定にフローティング電極の電位（オフセット電圧とよばれる）の時間変化を調べる方法がある¹⁵⁾。イオンバランスが良好でないとき除電器自身によって帯電されるので、オフセット電圧が0ボルトに近いほどイオンバランスが良いことになる。3.2節と同様にチャージドプレートモニターを用いて測定したオフセット電圧をFig. 7に示す。最近の静電気敏感

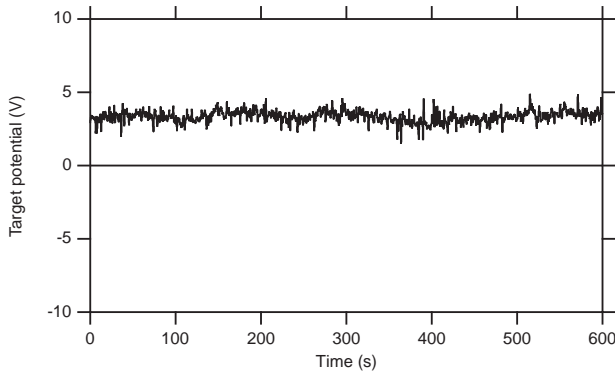


Fig. 7 Offset voltage
オフセット電圧

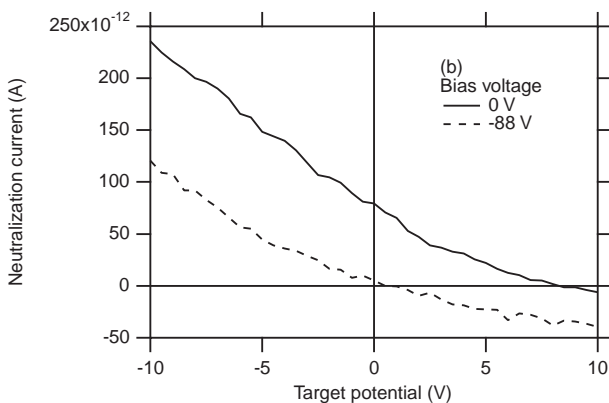
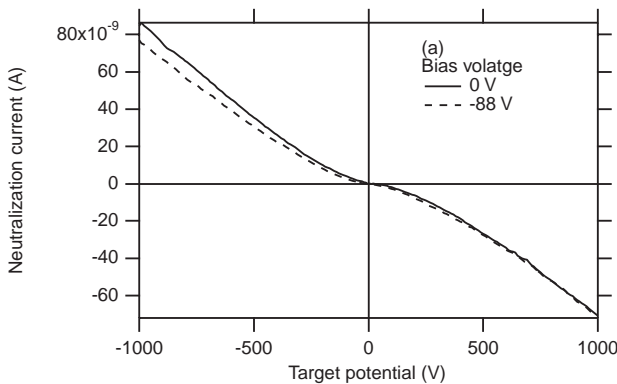


Fig. 8 Ion current balanced by a dc bias. b) Zoomed in around the origin point.
直流バイアスによってバランスされた除電イオン電流 b) 拡大図

デバイスでは破壊電圧が低くなり、このフローティング電位が $\pm 10V$ 以下になることが要求されているが、このグロー放電除電器はこれを十分に満足している。

4 イオンバランスの制御

電源電圧の直流バイアスにより、放電自体を制御するとFig. 8に示すように、正負の除電イオン電流がほぼ完全に対称となり、また、フローティング（オフセット）電位がほぼゼロに近づくことから、さらに精密なイオンバランス制御ができ、精密除電が可能であることを確認した。

また、Fig. 9のようにグリッド電極（タングステン、80mesh/in.）を配置し、これに電圧を印加することによって除電イオン流を制御することによってもオフセット電圧をゼロにすることに成功した（Fig. 10）。ここで、グリッド電極による除電時間の増加は1.5倍以下と小さいものである。このグリッド電極はコロナ除電器においてコンタミネーションの問題となっている電極材料の蒸発金属のトラップとしても機能すると

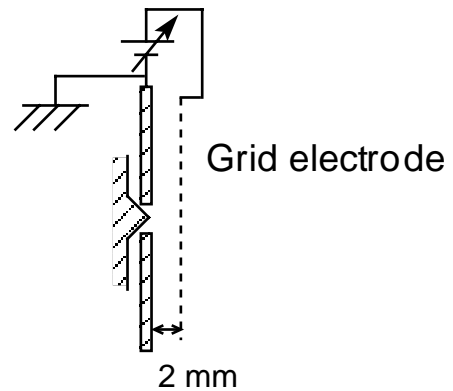


Fig. 9 Schematic diagram of grid electrode.
グリッド電極

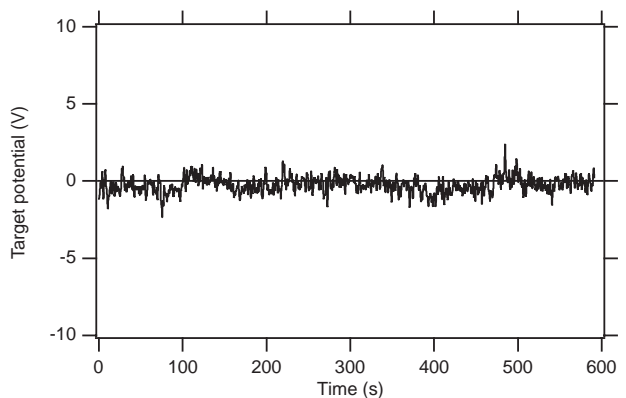


Fig. 10 Offset voltage balanced by grid potential of 7.7V.
グリッド電位（7.7V）によってバランスされたオフセット電圧

考えられる。

これらのイオンバランスの制御は直流バイアスでは100V以下，グリッド電位では10V以下という低電圧で可能である。

イオンバランスの精密な制御が可能であるため，この除電器は精密なチャージャとしても有用と考えられる。

4. 結論

大気圧グロー放電を安定して発生させる電極構造を考案し，これを除電器に応用した。このグロー放電除電器はイオンバランスに優れていた。さらに，直流バイアスまたはグリッド電極により放電あるいは除電イオン流を制御することによって精密なイオンバランス制御が可能であることを示した。

この除電器は特に静電気に敏感なデバイスなどイオンバランスが厳しく要求される製造工程において有用と考えられる。

現段階では，バックグラウンドのエアフローを用いていないが，今後，エアフローを採用することにより，さらなる放電の安定化と除電イオンの効率的な輸送の改良が期待されるであろう。

参考文献

- 1) Inaba, H., Ohmi, T., Yoshida, T. and Okada, T., J. Electrostat. 33, pp.15-42 (1994)
- 2) Goshō, Y., Yamada, M. and Saeki, M., Jpn. J. Appl. Phys. 29, pp.950-951 (1990)
- 3) Inaba, H., Ohmi, T., Morita, M., Nakamura, M., Yoshida, T. and Okada, T., IEEE Trans. Semi-conduct. Manufact. 5, pp.359-367 (1992)
- 4) Noll, C.G., Handbook of Electrostatic Processes, ed. J-S. Chang, A.J. Kerry and J.M. Crowley, Marcel Dekker, New York, pp.733-78 (1995)
- 5) Noll, C.G. and Lawless, P.A., J. Electrostat. 44, pp.221-238 (1998)
- 6) Noll, C.G., J. Electrostat. 49, pp.169-94 (1998)
- 7) Levit, L. and Wallash, A., J. Electrostat. 47, pp.305-313 (1999)
- 8) Chang, J-S., IEEE Trans. Ind. Applicat. 37, 6, pp.1641-1645 (2001)
- 9) Chang, J-S., Harasym, K.G., Looy, O.C. and Berezin, A.A., Electrostatics 1999, IOP Conference Series No. 163, Institute of Physics, Bristol, 1999.
- 10) Chang, J-S. and Berezin, A.A., J. Electrostat. pp.51-52, pp.64-70 (2001)
- 11) Raizer, Y.P., Gas Discharge Physics, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- 12) E.E. Kunhardt, IEEE Trans. Plasma Sci. 28, pp.189-200 (2000)
- 13) Ohsawa, A., Proc. ESA-IEJ Joint meeting 2002, ed. by J. M. Crowley, M. Zaretsky and G. Kazkaz, Northwestern Univ. Evanston, IL (Laplacian Press, Morgan Hill, CA) pp.395-402, (2002)
- 14) 大澤敦, 静電気学会講演論文集'02, pp.229-230 (2002)
- 15) IEC61340-5-1 Electrostatics-Part 5-1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena - General requirements (1998)

(平成15年12月26日受理)