

# 交流コロナ放電方式バー型イオナイザの誘導電圧抑制と除電能力向上の検討

## Investigation of Bar Type AC Corona Discharge Ionizer for Suppression of Induced Voltage and Improvement of Static Elimination Capability

山口 晋一\*, 中田江里子\*\*, 高橋 克幸\*\*, 高木 浩一\*\*  
永田 秀海\*, 榎本 洋介\*, 松本 頼興\*\*\*, 松本 亘弘\*\*\*

Shinichi Yamaguchi\*, Eriko Nakata\*\*, Katsuyuki Takahashi\*\*, Koichi Takaki\*\*

Hidemi Nagata\*, Yosuke Enomoto\*, Yorioki Matsumoto\*\*\* and Nobuhiro Matsumoto\*\*\*

シシド静電気\*, 岩手大学理工\*\*, 松本技研\*\*\*

Shishido Electrostatic, Ltd.\*, Faculty of Science and Engineering, Iwate University\*\*  
Matsumoto Giken co., Ltd. \*\*\*

### 【要旨】

コロナ放電式除電装置（イオナイザ）は、静電気対策に広く用いられている。一般的に、求められる性能は、除電速度やイオンバランスである。近年、電子デバイスの静電気放電耐性の低下に伴い、交流（AC）型イオナイザの高電圧部からの交流電界に起因する、誘導電位を低く抑える事が新たな要求事項となる事が想定されている。本稿では、交流（AC）型イオナイザに顕著にみられる、放電電極から放出される交流電界の影響で生じる誘導帯電現象を、静電気拡散性領域材料（表面抵抗値：4 乗～11 乗  $\Omega$ ）で構成されたグリッドを放電電極近傍に設置し、誘導電圧の緩和と、除電速度への影響についてその効果を観測した。

#### 1. はじめに

コロナ放電式除電装置（イオナイザ）は、扱いやすいことから、静電気対策用として広く用いられている<sup>(1)</sup>。また、除電装置の性能評価は、これまでは除電速度やイオンバランスが重視されてきた。一方、電子デバイス産業におけるプロセス技術の進歩により、回路の微細化や応答性の高速化、低電圧駆動等に伴いデバイスの静電気放電（ESD）耐性が低下している。最近では、10 nm 以下のプロセスが普及し、低いレベルの ESD 対策が必要と成っている<sup>(2)</sup>。特に、ハードディスクドライブ（HDD）に搭載されている磁気ヘッド（MR ヘッド）の製造工程では、 $\pm 5 \sim 10$  V の静電気対策が行われ

ている<sup>(3)</sup>。その為、除電速度が速くイオンバランスが良くとも、除電装置内の高圧発生部（放電電極を含む）から発生する交流電界によって、除電対象物にイオンの流入が無くとも電位が誘導されることが有り、新たな静電気起因の問題が生じる可能性がある。

誘導帯電を緩和するだけであれば、放電電極の前方に導電性の材料のグリッドを配置することで、容易に達成することが可能となるが、材料が導電性のため除電装置が発生したイオンも吸収し、生成されたイオンが除電対象物に届かず、除電性能が著しく低下することが報告されている<sup>(3)</sup>。

これを制御するために本研究では、イオ

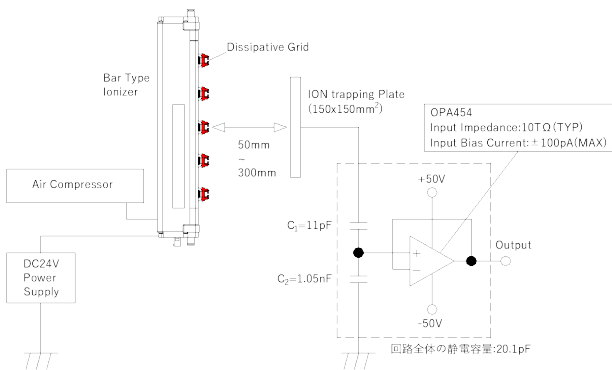
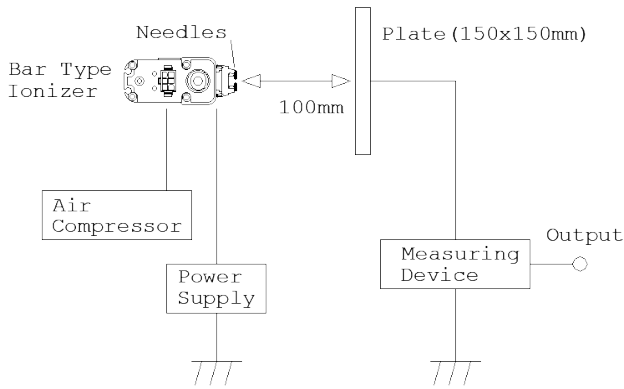


図1 測定回路図

ンの吸収が少なくなる拡散性材料のグリッドを用いることにより、電子デバイス製造装置内部や静電気管理の厳しい工程に於いて、イオナイザ本体を電子デバイスに近接させる状況での運用を可能とする、コロナ放電式バー型除電装置の開発を行った。本稿では、グリッドによるイオナイザ近傍界における誘導電圧と、除電速度への影響について調べた。

## 2. 装置構成

図1に、測定回路図を図2に外観を示す。除電装置には5本の針状放電電極がある。放電電極には静電容量を介し、高压交流電圧(±7kV, 250Hz)を印加することでコロナ放電を発生させる。図3に、電極への印加電圧波形を示す。ここで、パルスの印加タイミング(Pulse duty ratio)を変化させることによって、除電後のプレート電位が0Vとなるように調整した。放電電極近傍には、高压空気を注入除電装置前方に設置した、イオン捕集プレート(以降プレート)方向

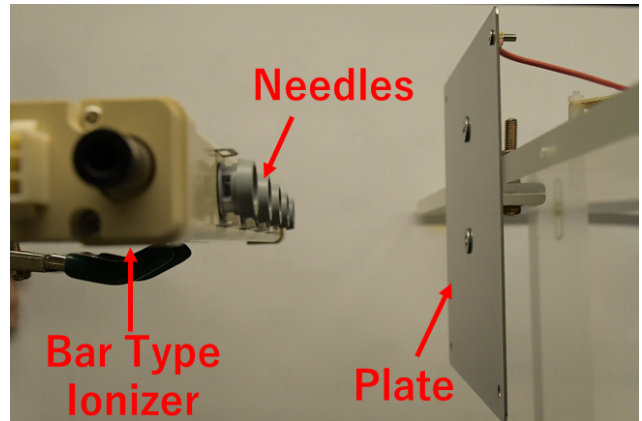


図2 測定状況

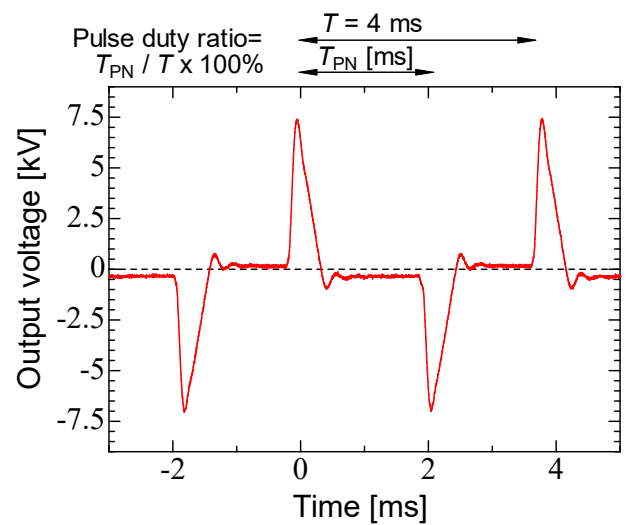


図3 印加電圧波形と Pulse Duty Ratio

へ噴出させることで、発生したイオンをプレート運搬する。プレート面積は、150×150 mm<sup>2</sup>であり、コンデンサーとオペアンプで構成された電位計測デバイスを接続することにより、金属板の電位を計測する。このデバイスの応答特性は、5 kHz以上となる。この、プレートと測定器部を合わせて高速応答型チャージドプレートモニター(以降 CPM)とする<sup>(4)</sup>。測定器は、除電装置からの影響を避けるため、プレートの後方に配置した。なお、除電装置からの誘導帯電を測定する場合は、高压空気の投入は行わなかった。

図4に、誘導電圧を低減させる目的で、拡散性材料グリッドを装着した除電装置の外観を示す。上は対策前の除電装置、下は対策後(グリッド装着)の除電装置となる。

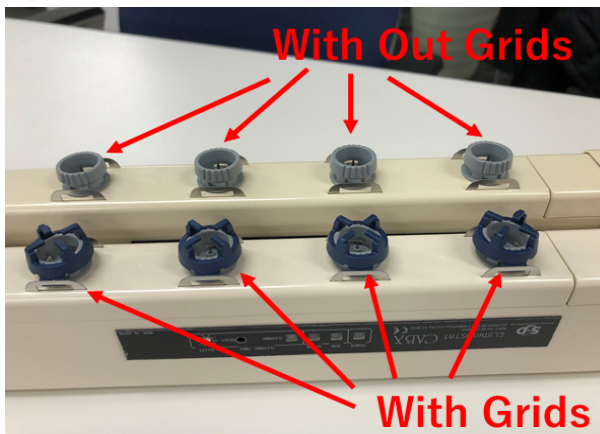


図4 除電装置外観

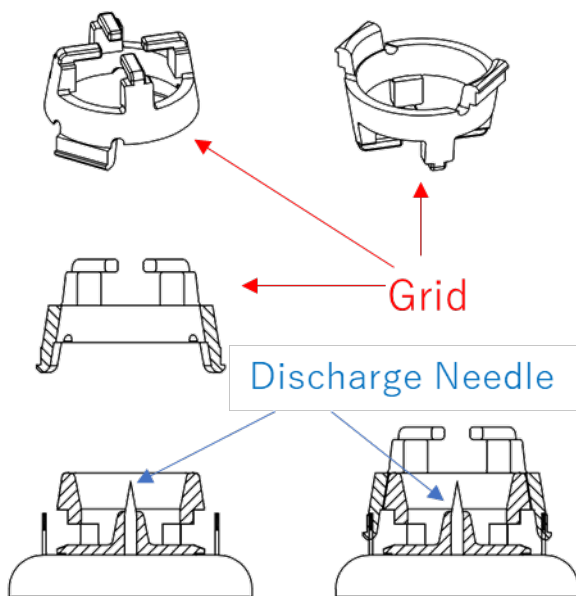


図5 放電電極とグリッド外観

図5にグリッドの外観と、グリッドを装着した場合の形状を示す。放電電極を含めノズル全体を覆う様な形状で配置し、放電に影響が出ない様、グリッドと放電電極の距離と材料の拡散性領域におけるグリッドの表面抵抗値を6乗Ω(±2乗Ω)とした。

### 3. 誘導帯電電位の緩和

図6に、100mmの距離、高電圧印加周波数250HzにおいてCPMプレートに誘起される誘導電位波形を示す。図より、グリッドを設置することによって誘導帯電のピーク値が減少しており、対策用グリッドを

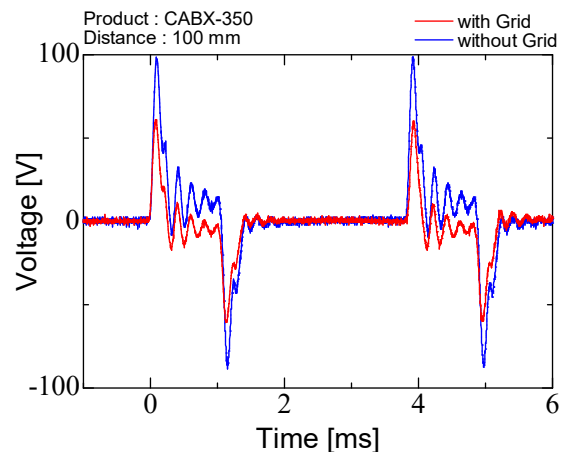


図6 除電装置からの誘導帯電波形

配置することにより、誘導帯電のピーク値を大きく緩和されることがわかる。また、グリッドの設置によって誘導電位の位相に影響が無いことがわかった。

図7に、CPMプレートを除電装置から50mmから300mmまで変化させた時の誘導帯電電位の値を示す。温度湿度は成り行きとし、温度は15~25℃、相対湿度は、20~55%RHの範囲で変化している。イオナイザの動作は、印加電圧の波高値を±7kVとし圧縮空気は投入していない条件で測定を行った。図より、CPMプレートに誘起される電位は、距離とともに減少することがわかる。100mmの距離では、グリッドを設置しない場合、約±105Vの誘導電位が観測された。グリッドの設置した場合は、誘導電圧の波高値は約±62Vに抑制されることが観測され、40%程度の誘導帯電が抑制されることが確認された。

これにより、種々の製造装置の装置内部やデバイスの近傍にイオナイザを設置しても、静電気対策エリア(EPA)と同等レベルの環境を整えることが可能となることが期待できる。イオンバランス再調整の際、グリッドを装着することにより装着前に比べ、グリッドがコロナ放電で発生したイオンの整流や除電環境を改善している可能性がある。

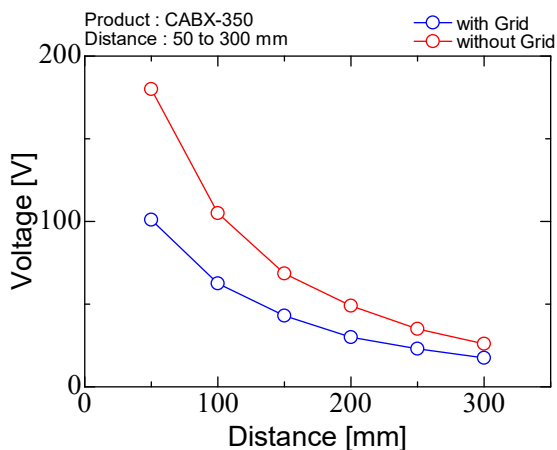


図7 誘導帯電電位

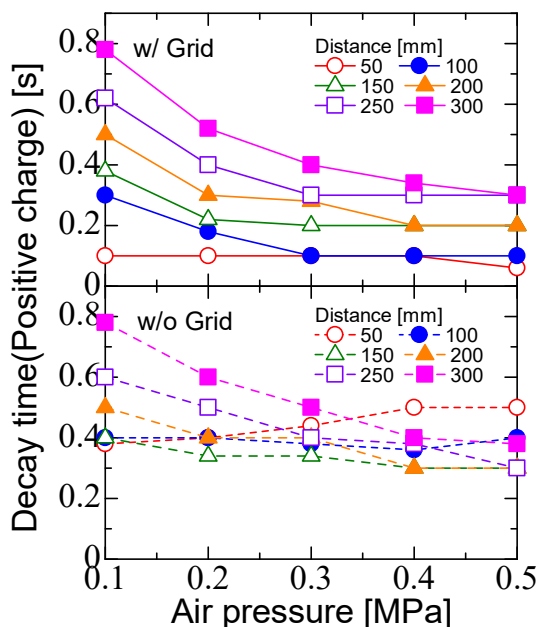


図8 正除電・グリッド有無

#### 4. 除電能力の評価

図8に正除電時の、グリッド設置の有無における、除電時間の圧縮空気圧力の依存性を示す。図9に負正除電時の、グリッド設置の有無における、除電時間の圧縮空気圧力の依存性を示す。グリッド設置の有無による圧縮空気圧力の依存性を示す。ここで、CPMの設置距離を50mm～300mmとして変化させている。図より、グリッドの有無に依らず、CPMの設置距離が小さくなる

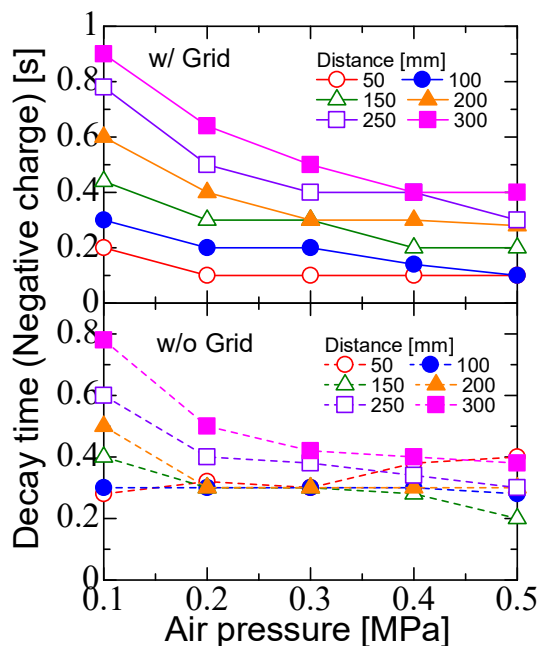


図9 負除電・グリッド有無

ほど、また、圧縮空気圧力が大きくなるほど除電時間が短くなることがわかる。ここで、グリッドを設置しない場合、設置距離を200mmより近づけた場合、圧縮空気の圧力を増加しても、除電時間は、正除電は0.4秒、負除電は0.3秒前後で飽和することがわかる。一方、グリッドを装着した場合には、200mmより近づけた場合や圧縮空気圧力の増加より、除電時間の減少は飽和せず、50mm、0.2MPaで、除電時間は0.1秒以下と成った。交流型除電装置の場合、イオンの搬送は主に空気流によって行われる。ここで、除電対象物に帯電電位と同局のイオンは除電に寄与しないが、除電装置と除電対象物との間に滞留することが考えられる。これらのイオンは除電に寄与する対極のイオンと再結合することによって、除電効率の低下を引き起こしてしてしまうことが考えられる。拡散性グリッドを設置することによって、これらの除電に寄与しないイオンをグリッドが吸収、除去することによって、除電時間の飽和を制御していることが考えられる。機構の詳細については、今後検討が必要となる。

## 5. まとめ今後の課題

本実験に於いて、除電装置の放電電極前方に拡散性材料で製作されたグリッドを設置することにより、除電装置から発生する誘導帯電現象を約 40 %抑制することができた。将来的には、更なる誘導帯電対策の要求が出てくることが考えられる。そのためには、本体内部の高電圧発生器及び回路からの影響について検討する必要がある。対策の方向性としては、除電対象物に面している筐体表面、除電装置内高圧部品等への対策で、更なる誘導帯電の抑制が可能と考えられる。除電装置本体表面を導電化する場合、放電条件が変化し除電能力の低下、放電針や高圧部からのリーク電流、絶縁が必要とされる部位の導電化に伴う耐久性能の低下が懸念される。

測定において、除電装置放電電極への印加電圧は、 $\pm 7$  kVであったことから、放電針からコロナ放電が生じコロナ電流が発生していたと考えられる。この為、CPMプレートに誘起される電位にこのコロナ電流の影響が出ている可能性を否定できない。より正確な誘導帯電現象の測定のためには、このコロナ電流の影響を除く為の検討が必要である。

近距離における除電能力の向上が確認された。従来の除電装置では、近距離における除電能力の飽和が生じ、能力の限界を呈していた。拡散性材料で製作されたグリッドを放電電極の前面に装着することにより、対象物に近づけて除電装置を設置した場合、従来以上の除電能力を発揮し除電時間が従来の半分以下の時間（約 0.1 秒）まで能力が向上することがわかった。

除電装置からの距離が 100 mm の条件の場合、誘導帯電電位を $\pm 100$  V以下に抑制することが出来た。これにより、ESD 対策規格（IEC-61340）が要求する $\pm 100$  V以下の帯電に抑えられることが可能と成り、装置内部における ESD 対策の取り組みが可能と成った。半導体製造装置全般において、装置の小型化が求められている。小型化と

共に装置内部における除電装置の設置スペースが限られてくるため、除電装置とデバイスとの距離が更に短くなって行くことが想定される。今後は、100 mm 以下の設置距離における誘導帯電対策も、必要となる。

拡散性材料で製作されたグリッドを装着した場合、イオンバランスがプラス側に大きく変化した。これを補正するために、高電圧波形のパルスデューティレシオを調整し、イオンバランスが 0 V 付近になるよう調整した。この現象は、装着したグリッドがモビリティの早いマイナスイオンを捕集してしまう為と考えられる。捕集率の低減と誘導帯電の抑制は相反する課題であることがわかった。今後は、最適値を求める為グリッドの表面抵抗値に関する更なる検証が必要と考える。

グリッドの表面抵抗値が、 $6 \times \Omega$  ( $\pm 2 \times \Omega$ ) とばらつきがある。今後は、表面抵抗値の均一性向上の検討が必要と考える。

## 参考文献

- 1) 高橋克幸:「静電気対策技術としてのイオナイザの選定とその使用方法」, 月刊 EMC, No. 317, pp. 119-128 (2014)
- 2) L. Levit, A. Wallash: “Measurement of the Effects of Ionizer Imbalance and Proximity to Ground in MR Head Handling”, Proc. Of EOS/ESD SYMPOSIUM 98, 4B.7.1, pp.375-382 (1998)
- 3) 山口晋一:「グリッド電極を用いたコロナ放電式除電装置における交流電界制御」, 静電気学会全国大会 (2019)
- 4) K. Takahashi, H. Kaga, K. Kubo, K. Takaki, S. Yamaguchi and H. Nagata: “Development of an ion measuring system for AC corona discharge”, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, Letter, Vol. 138, No.11, pp.551-552 (2018. 11)
- 5) 高橋克幸, 日吉功, 榎本陽介, 永田秀海:「PMW 制御小型交流高圧電源を用いた除電装置の開発」, 静電気学会誌, Vol.38, No.3, pp.124-129, 2014 年