

# コロナ放電方式交流イオナイザにおける 金属グリッドを用いた誘導電位の抑制

山口 晋一<sup>\*,\*\*\*</sup>, 中田 江理子<sup>\*</sup>, 内御堂 駆<sup>\*</sup>, 高橋 克幸<sup>\*,1</sup>

高木 浩一<sup>\*</sup>, 竹内 希<sup>\*\*</sup>, 永田 秀海<sup>\*\*\*</sup>, 榎本 洋介<sup>\*\*\*</sup>

(2022年8月8日受付; 2023年3月2日受理)

## Suppression of Induced Voltage From Corona Discharge Type Ionizer Using Grid Electrodes

Shinichi YAMAGUCHI<sup>\*,\*\*\*</sup>, Eriko NAKATA<sup>\*</sup>, Kakeru UCHIMIDO<sup>\*</sup>

Katsuyuki TAKAHASHI<sup>\*,1</sup>, Koichi TAKAKI<sup>\*</sup>, Nozomi TAKEUCHI<sup>\*\*</sup>

Hidemi NAGATA<sup>\*\*\*</sup> and Yosuke ENOMOTO<sup>\*\*\*</sup>

(Received August 8, 2022; Accepted March 2, 2023)

A conductive grid electrode was placed in front of the discharge electrode of an AC-type corona ionizer to study the electrostatic induction of charged objects at a distance of about 10 cm from the electrode and its effect on ionization. A sinusoidal high voltage was applied to the corona electrode, and the frequency was varied between 10 Hz and 5000 Hz. The gap width between grid electrodes ranged from 1 to 7 mm, and the number of grid electrodes ranged from 2 to 18 pcs. The induced potential on the charged object was reduced by half when two grid electrodes with a gap width of 1 mm were used. The induced voltage decreased with increasing gap width and number of rods. The amount of charge flowing into the grid electrode was greater than the amount of charge flowing into the ground electrode. The half cycle discharge current increased with increasing frequency of the applied voltage. The charge decay time increased as the vertical direction width of the grid electrode, including the gap width, increases. The increase in charge decay time was greater at lower frequencies. It was found that the induced voltage suppression from the ionizer should be driven at 250 Hz or higher frequency condition.

### 1. 序論 (はじめに)

電子部品産業では、半導体素子や液晶パネルの高集積化、高速化、高精細化、動作電圧の低下に伴い、静電気による影響や損傷を受けやすい構造となっている。静電気の問題は、それにより引き寄せられる塵や埃の付着をはじめ、静電気放電 (Electrostatic Discharge: ESD) が IC の誤作動や内部回路の損傷などの静電気障害を引き起こすことがあ

り、電子デバイス製品の製造工程における歩留り低下の原因となる。そのため静電気障害を防ぐための様々な対策が行われている。また近年の電子機器の微細化により、絶縁耐性が低下し小さな帯電電位でもデバイスや製造装置が取り扱う電子部品に影響を及ぼす場合がある<sup>1,6)</sup>。静電気の除去にはさまざまな手法があり、コロナ放電方式イオナイザは安全性の高さと取り扱いの容易さから広く用いられている。中でも交流コロナ放電方式イオナイザは、コロナ放電によって生成した正負のイオンが静電気を帯びた対象物にあたることで静電気を除去あるいは中和する方式である。また、単一の電極から正負のイオンを供給することができるため、省スペースかつイオンの分布を比較的均一に生成することができる。さまざまな用途に広く用いられている<sup>7-20)</sup>。

交流方式を用いたイオナイザでは、対象物との距離や印加電圧によって変位電流が流れ、市販されているイオナイザの場合、数十~百 V 程度の誘導電位が発生する。この誘導電位によって、静電気対策が必要な電子デバイスにおいて、静電気障害 (ESD) が引き起こされる。特にハードディスク製造工程で、誘導帯電による障害の可能性が報告されている<sup>21)</sup>。今までの調査では、金属グリッドを使用した場合誘導帯電の緩和は可能となったが、除電能力が大

キーワード: イオナイザ, コロナ放電, 誘導電位, 導電性グリッド, 除電時間

\* 岩手大学理工学部

(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

Faculty of Science and Engineering / Iwate University. 4-3-5, Ueda, Morioka-City, Iwate 020-8551, Japan

\*\* 東京工業大学

(〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

Tokyo Institute of Technology / 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550 Japan

\*\*\* シシド静電気株式会社

(〒150-0012 東京都渋谷区広尾 5-8-14 いちご広尾ビル 9F) Shishido Electrostatic Ltd., / 9F Ichigo BDG, 5-8-14, Hiroo, Shibuya-Ku, Tokyo 150-0012, Japan

<sup>1</sup> ktaka@iwate-u.ac.jp

DOI: <https://doi.org/10.34342/iesj.2023.47.3.114>

大きく損なわれたため、除電能力の向上が課題となった<sup>22)</sup>。そのため、イオナイザで生成される正負イオンのバランス (イオンバランス) と除電性能を保ちつつ、誘導電位の抑制も重要な要求項目となっている。本研究では、対象物への静電誘導の影響の抑制を目的とし、導電性グリッド電極をコロナ放電電極前方に配置する手法に着目し、コロナ放電と除電の特性へ及ぼす影響を評価した<sup>23-25)</sup>。

## 2. 実験方法

図1に、実験装置の概略図を示す。電極にはタングステン製の針 (長さ: 16 mm, 半径: 0.75 mm, テーパー角: 20°, 曲率半径: 0.075 mm) をコロナ放電電極として、エアノズルの中央に埋め込み上方より高压出力ケーブルを接続した。ステンレス製のリング (内径: 25 mm, 外径: 26 mm) を対向電極として用いた。また放電電極の先端は、リング電極の中心となるよう設置した。針電極には、高电压アンプファイア (Trek INC, Model 20/20C-HS) とファンクションジェネレータ (NF 回路設計ブロック, WF1974) を用い任意の正弦波を印加した。また、除電測定後のイオン捕集プレートの電位 (イオンバランス) が 0 V となるように、交流印加電圧の中心電圧をオフセット (直流バイアス) させ調整した。振幅値は放電特性・除電特性では 8 kV<sub>p-p</sub> とし、誘導特性では 5 kV<sub>p-p</sub> とした。周波数は、10 Hz から 5000 Hz の範囲で変化させた。針の後方には、エアノズル (いけうち, 1/4MTF-R8-010PP-IN) を設置し、圧縮空気を注入することにより針前方に送風した。空気圧力は、7~21 kPa とした。リング電極は 100 kΩ の抵抗を介して接地し、抵抗における電圧降下をリング電流として計測した。静電誘導による誘導電位を除去するために、高压アンプ付近にリング電極と同様の金属棒からなるアンテナ (直径 3 mmφ, 全長 255 mm) を設置し、100 kΩ の抵抗 (R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>) を介して接地した。また、針電極から発生する電界の影響を抑制する目的で、100 kΩ を介して接地されたステンレス製の棒状グリッド (直径 3 mm, 全長 250 mm) を針電極の針

先から 20 mm の距離でグリッドの中心に合わせて設置した。グリッドは、幅 200 mm の距離に設置された銅プレート (縦 230 mm, 横 30 mm, 厚さ 1 mm) の設置用の穴に保持されている。リング電極と同様に変位電流成分は、金属棒からなるアンテナに流れる電流から算出し除去した。金属棒 (グリッド電極) は、平行に 1, 3, 5, 7 mm の間隔で配置し、2本ずつ増加し 18本まで変化させ、抵抗に流れる電流をグリッド電流とした。

除電時間の評価には、針電極前方に高インピーダンス・高速の電位測定回路と接続したイオン捕集プレート<sup>9)</sup>を設置した。イオン捕集プレートにはステンレス製の金属板 (150 × 150 mm<sup>2</sup>) を用い、誘導電位特性・除電特性では針電極の針先から 100 mm, 放電特性では針先から 300 mm の位置に設置した。電位測定回路は、コンデンサ C1 (WIMA, FKP2-33/1000/10, 3series, 33 pF), C2 (KEMET, PHE448SB4100JR06, 1 nF), オペアンプ (Texas Instruments, OPA454) を用いたバッファ回路で構成されている。イオン捕集プレートの電位は C1, C2 により分圧される。バッファ回路を用いて C2 の電位を測定することにより、イオン捕集プレートの電位を測定する。バッファ回路の出力電圧は捕集プレートの電位の 85分の1となる。本計測回路を開発した際、測定回路の校正を行った。校正の方法は、プレートに既知の電圧 (1,000 V) を印加した時の出力電圧を計測し、出力比を確認したところ 85倍となった。イオン捕集プレートと接地間の容量は、C1, C2 の静電容量および、配線の浮遊容量の合成容量となり、計算上 20.1 pF となる。プレートにおける静電容量を実測したところ、プレートの容量は、20.32 pF (誤差 1%程度) となった。測定方法は、春日電機製ナノクーロンメータ (NK-1001A) を使用し、プレートに 1,000 V を印加しそのプレートに溜まった電荷をナノクーロンメータで測定し、Q=CV より求めた。測定時における測定者が及ぼす誤差を考慮し、プレートの容量は計算から導き出された値を採用することとした。除電時間の測定には、直流電源 (シシド静電気, スタチラー 35S) を用い、イオン捕集プレートに ± 1.1 kV を帯電させた後に、放電針からのイオンによりプレート電圧が ± 1 kV から ± 100 V までの減衰に要する時間を除電時間と定義し評価した。電位測定回路からの出力、およびリング電極、グリッド電極に流れる電流はオシロスコープ (Tektronix, MSO46) によって同時に変化を測定した。

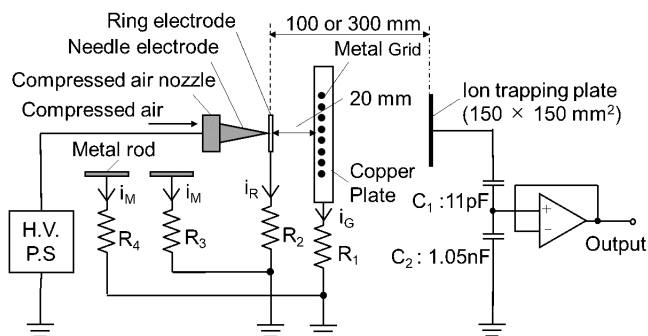


図1 実験装置概略図

Fig.1 Schematic of the experimental apparatus.

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 誘導電位特性

図2に、グリッド電極を 14本とし、グリッド間隔を変化させたときの典型的な誘導電位波形を示す。電位測定回路の出力は、空間中のキャパシタンスと測定回路のキャパ

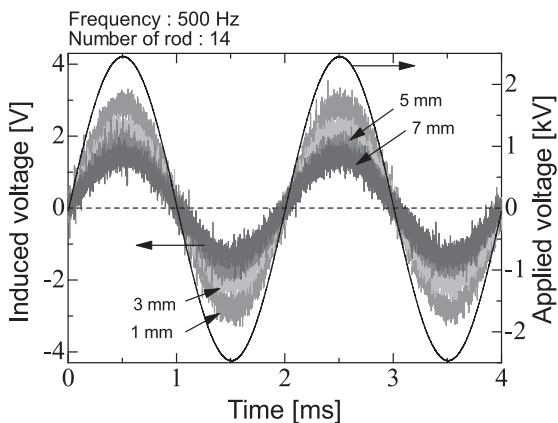


図2 典型的な誘導電位波形  
Fig.2 Typical waveforms of the induced voltage.

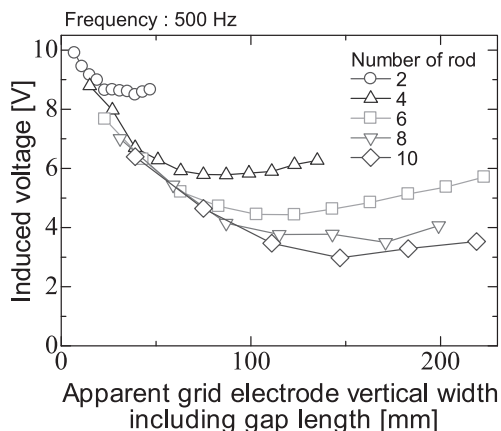


図3 本数を変化させた場合のグリッド間隔を含む見かけのグリッド電極幅における誘導電位  
Fig.3 Induced voltage as a function of the grid electrode vertical width including gap length.

シタンスの直列となっているため、誘導電位波形は印加電圧波形と同様の正弦波が観測される。各グリッド間隔における誘導電位波形を比較すると、グリッド間隔が7 mm のときが最も誘導電位が小さくなり、グリッド間隔が小さくなるほど誘導電位が大きくなることわかる。

図3に、グリッド電極の本数をそれぞれ2~10本に変化させた場合のグリッド間隔を含む見かけのグリッド電極幅における誘導電位を示す。図4に、導電性グリッド外観。図5に、本数固定でのギャップ幅を変化させた場合のグリッド電極を示す。図のように、本数を固定しグリッド間のギャップ幅を広げると、見かけ上のグリッド縦方向の長さが長くなってゆく。グラフの横軸は、グリッド間隔および電極を加算した見かけ上の垂直方向の幅としている。図より、グリッド電極本数が多いほど誘導電位の値は減少する。また、見かけのグリッド電極幅が広がるにつれて誘導電位は減少するが、あるグリッド電極幅で最小値となりその後増加することがわかる。見かけのグリッド電極幅が広がるにつれて誘導電位が減少する要因として、針電極とイオン捕集プレート

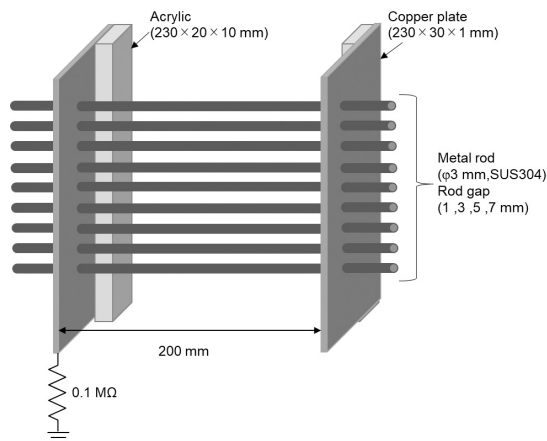


図4 導電性グリッド外観  
Fig.4 Appearance of conductive grids.

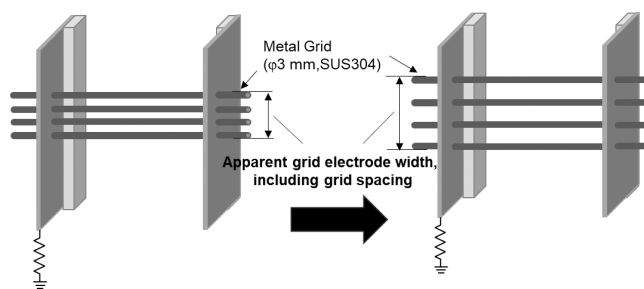


図5 本数固定でのギャップ幅を変化させた場合のグリッド電極  
Fig.5 Grid electrodes with varying gap width with fixed number of grids.

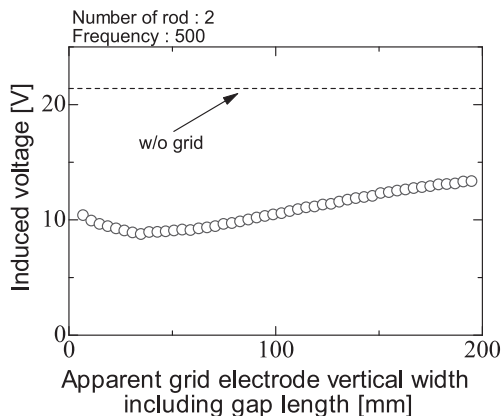


図6 本数2本の場合のグリッド間隔を含む見かけのグリッド電極幅における誘導電位  
Fig.6 Induced voltage as a function of the grid electrode vertical width including gap length.

間の電界が遮蔽されて行くことが考えられる。一方、見かけのグリッド電極幅が大きすぎる場合は、グリッド間のギャップ幅が広がることにより電界がギャップ間を貫くことで、誘導電位が増加すると考えられる。このことから、それぞれのグリッド電極本数において適切なグリッド間隔を設定することで誘導電位の抑制を最適化できると考えられる。

図6に、グリッド電極の本数が2本の場合のグリッド間隔を含む見かけのグリッド電極幅における誘導電位を示



す. 図より, グリッド電極の本数が2本の場合でも最小の誘導電位が約 8.7 V<sub>pp</sub> となり, グリッド電極なしの場合と比較し, 半分以上誘導電位が抑制されていることがわかる. また, グリッド間隔が最大となる 185 mm のとき, 誘導電位も最大の約 13.3 V<sub>pp</sub> となるが, グリッド電極がない場合の誘導電位は約 21.4 V<sub>pp</sub> であるので, グリッド電極本数が2本でも針先に接地されたグリッド電極を配置することで誘導電位の抑制効果があるといえる.

3.2 放電特性

図7に, 周波数を変化させた場合の半周期あたりのリングならびにグリッドに流入する電荷量および流入する電流を示す. 流入電荷量の図より, 正周期においては, ほとんどの電荷がグリッド電極に流入していることがわかる. これは, 低周波数において顕著であり, 10 Hz のときグリッド電荷量が 16 nC であるのに対して, リング電荷量は 1 ~ 2 nC であった. また, 負周期においても, グリッド電極に流入する電荷量が多いことがわかる. しかし, その割合は, 正周期に比べて低い. これは, 負イオンの移動度 ( $2.4 \times 10^4 \text{ m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})^{(10)}$ ) は正イオンの移動度 ( $1.69 \times 10^4 \text{ m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})^{(10)}$ ) よりも高く, 電界に沿ってよりリング電極へ電荷が流入しやすいことが要因として考えられる. また, 放電の極性効果により, 負周期の場合コロナ放電がパルス状になるため局所的な電界強度が強く, 放電領域, 電離領域ともに広くな

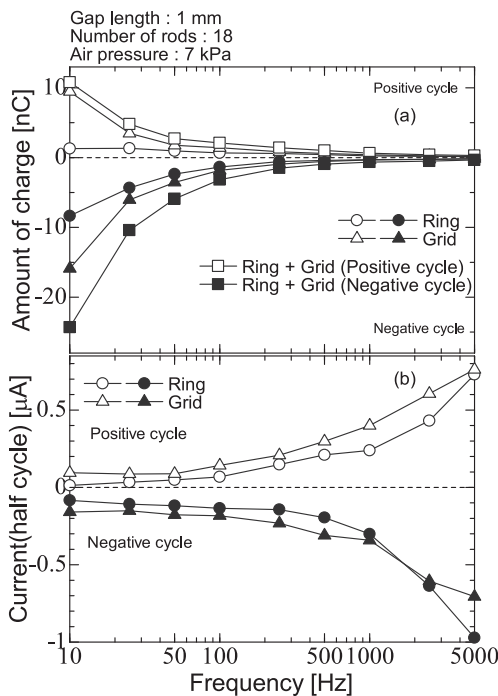


図7 周波数を変化させた場合の (a) リングとグリッドへの流入電荷量 (b) リングとグリッドへの流入電流  
Fig.7 (a) Amount of charges flow into ring electrode and grid electrode in one cycle (b) Discharge currents flow into ring electrode and grid electrode in one cycle as a function of the frequency.

り, ドリフトの影響がより顕著になるためだと考えられる.

COMSOL Multiphysics® を用いた有限要素法によって解析した電界強度の空間分布を図8に, 針先からの距離による電界強度の変化を図9にそれぞれ示す. グリッド本数は2本, 間隔を 1 mm にしている. この結果から, 針-リング電極における電界強度は  $10^5 \text{ V/m}$  程度であり, リング電極方向へのドリフト速度は負イオンの場合 24 m/s, 正イオンの場合 17 m/s 程度となる. イオン捕集プレート方向への風速は約 10 m/s であり, ドリフト速度は2倍程度高く, グリッド方向への電界の影響は大きいと考えられる. 流入電流については, 周波数の増加に伴って, リング電極, グリッド電極ともに流入する電流が増加している. これは, 周波数増加とともに針電極とリング電極間の電界の時間変化が増加する. これは, 交流電界において周波数が上昇して行くと, 放電電極付近での極性の切り替え速度が増すことで, 前周期の電界 (電荷) が残留し見かけの電位差が大

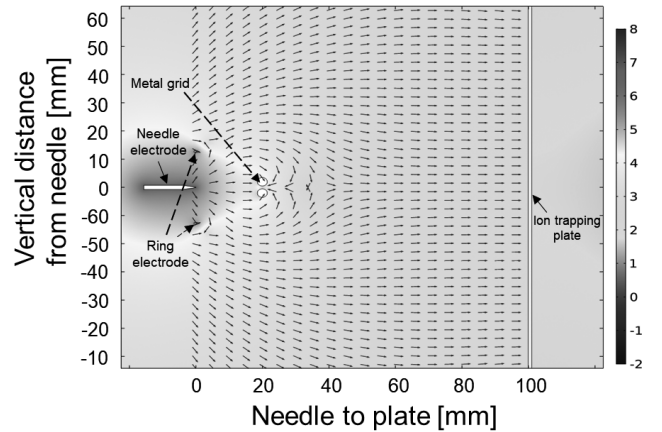


図8 グリッド2本, 間隔 1 mm の場合の針 - プレート間距離変化における有限要素解析による電界強度の空間分布  
Fig.8 Spatial distribution of electric field intensity by finite element analysis for varying needle-plate distance for two grids at 1 mm spacing.

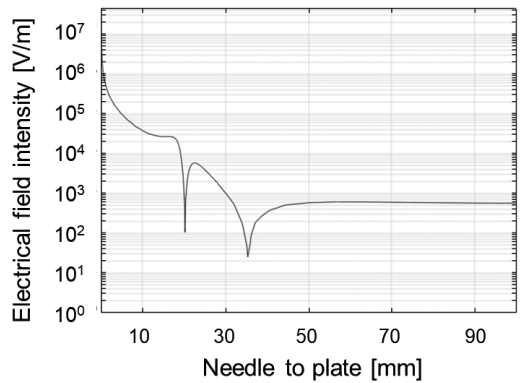


図9 グリッド2本, 間隔 1 mm の場合の針 - プレート間距離変化における有限要素解析による電界強度グラフ  
Fig.9 Electric field intensity graph by finite element analysis for the variation of the distance between the needle and the plate in the case of 2 grids and 1 mm spacing.

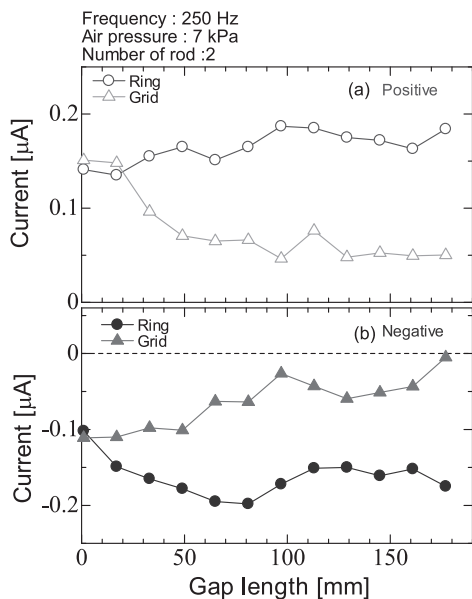


図 10 グリッド間隔を変化させた場合のリング・グリッド流入電流 (a) 正周期, (b) 負周期

Fig.10 Discharge currents flow into ring electrode and grid electrode in one cycle as a function of gap length. (a) positive and (b) negative phases.

きくなり、電界強度が増すと考えられる。そのため、針電極近傍の電界強度が高く保たれる。よって、放電が起りやすくなり放電電流が増加すると考えられる。

風速の測定は、ノズルの吹き出し口からの距離を 100 mm まで変化させた時の流速を、テスト社製 (Testo 512 差圧計) と L 型ピトー管を使用計測し、同時に圧力も 7 kPa, 14 kPa, 21 kPa と変化させて測定した。

図 10 に、グリッド電極本数を 2 本としてグリッド間隔を変化させた場合におけるリングとグリッド流入電流を示す。図より、グリッド間隔を広げると正、負の周期いずれもグリッド電極に流入する電流が減少し、リング電極に流入する電荷量が増加する。これは、グリッド間隔が広がることでグリッド電極方向への電界が弱まり、グリッド電極に引き寄せられるイオンが減少することで、リング電極に引き寄せられるイオンが増加したと考えられる。

### 3.3 除電特性

図 11 に、グリッド電極本数を 18 本として、グリッド間隔を変化させた場合の除電時間の周波数特性を示す。図より、すべての周波数でグリッド間隔が狭いほど除電時間が長いことがわかる。これは、空間を輸送されるイオンがグリッド上で捕集されたことが大きな要因であるといえる。また、低周波数で、グリッド間隔ごとの除電時間の影響が最も大きく、周波数が増加するほどグリッド間隔の変化による除電時間への影響は小さくなる。これは、周波数が低いほどイオン輸送空間において、単一極性のイオンの領域が大きく形成されるため、イオン領域空間の電位が増加し、グリッド電

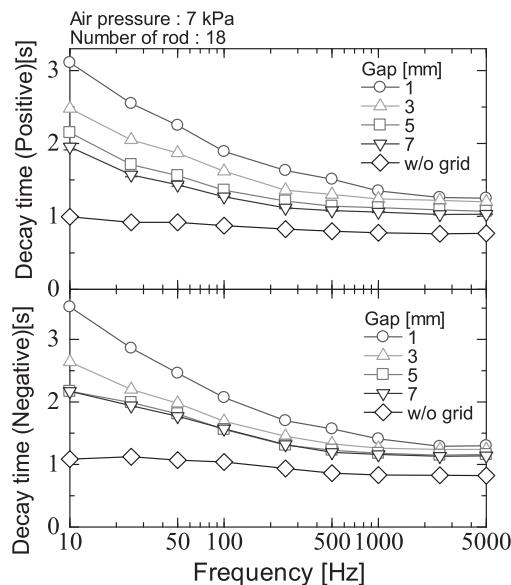


図 11 グリッド間隔を変化させた場合の除電時間の周波数特性 (a) 正帯電時, (b) 負帯電時

Fig.11 The decay time for (a) positive and (b) negative charge as a function of the frequency.

極とイオン間の電界が強まり、イオンがグリッド電極に捕集されやすくなったことが要因であると考えられる。また、高周波数の領域では、低周波数の領域よりも単位時間当たり生成されるイオン量が増加し、周波数増加に伴い除電時間が短くなったと考えられる。500~5000 Hz では周波数増加に伴う除電時間の差はほぼない。これは、生成される電荷量は増加するが、極性が異なるイオン領域が近接しているため生じる、イオンの再結合の割合の変化が少ない影響により、除電時間の差がみられなくなったと考えられる。また、負帯電時よりも正帯電時の除電時間が長い。これは、正負イオンの移動度の差が要因であると考えられる。

図 12 に、グリッド間隔を含む見かけのグリッド電極幅における除電時間を示す。図より、見かけのグリッド電極幅の増加に伴い、除電時間は増加していることがわかる。これは、グリッド間隔を一定にし、グリッド本数を増加させたことにより、イオンが通過する空間における金属グリッドの面積が広くなり、より多くのイオンがグリッド電極に流入することが要因であると考えられる。いずれの極性においても、特に周波数が低いほど見かけのグリッド電極幅の影響を強く受けることがわかる。これは、低周波数領域では、単一極性のイオンの領域が形成されることにより空間の電位が増加し、グリッド電極に捕集されやすくなるためだと考えられる。また、グリッド間隔を 7 mm とした場合は見かけのグリッド電極幅の影響は少ない。これは針電極近傍におけるイオン輸送経路において、十分なグリッド間隔となっているため、グリッド電極の本数を増やしても除電時間の変動があまりなかったと考えられる。また、

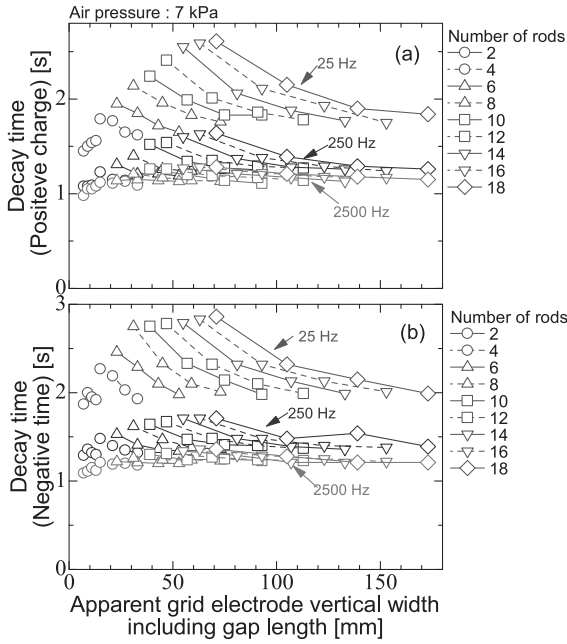


図 12 グリッド間隔を含む見かけのグリッド電極幅における除電時間 (a) 正帯電時, (b) 負帯電時  
Fig.12 The decay time for (a) positive and (b) negative charge as a function of the grid electrode vertical width including gap length.

負極性の除電の場合, 見かけのグリッド電極幅が 40~50 mm 以上広がると除電時間はほとんど変化しない. 一方で, 正極性除電の場合には, 見かけのグリッド電極幅が 60 mm 以上で除電時間の変化が小さくなっている. この結果から, 正帯電の除電に寄与する負イオンは正イオンより広い領域に拡散し, 除電空間を輸送されている可能性がある.

図 13 に, グリッド電極の本数 2 本の場合のグリッド間隔変化における除電時間を示す. 図より, グリッド間隔が広がるにつれて徐々にグリッドなしの除電時間に近づいていく. これは, グリッドの本数を 2 本と固定した条件で, グリッドの間隔を広げてゆくことにより, イオンが通過する空間における金属グリッドの面積が小さくなり, 多くのイオンがグリッドに吸収されず通過して行くためと考えられる. また, 正帯電時よりも負帯電時のほうが, よりグリッドなしの除電時間に近づく. これは, 負イオンよりも正イオンのほうが移動度が低いという, 空気圧力が 7 kPa であるため風速の影響を受けやすいことが要因であると考えられる.

図 14 に, グリッド電極の本数を 2 から 16 本まで増やし, エアー圧力を 0 から 21 kPa まで増加させたときの減衰時間の変化を示す. 図から, グリッド本数が増加するに従って減衰時間が増加して行くことがわかる. また, 空気圧力を増加して行くことで, 除電時間が短くなっていくことがわかる. その際, 空気圧力が 5 kPa まではグリッド本数による除電時間の違いが確認できていたが, 6 kPa 以上になるとほぼ同じ除電時間で推移していく.

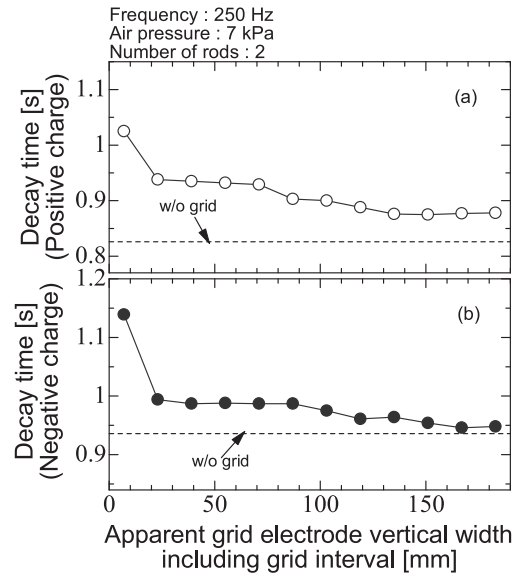


図 13 本数 2 本の場合のグリッド間隔を含む見かけのグリッド電極幅における除電時間 (a) 正帯電時, (b) 負帯電時  
Fig.13 The decay time for (a) positive and (b) negative as a function of the grid electrode vertical widths including grid interval.

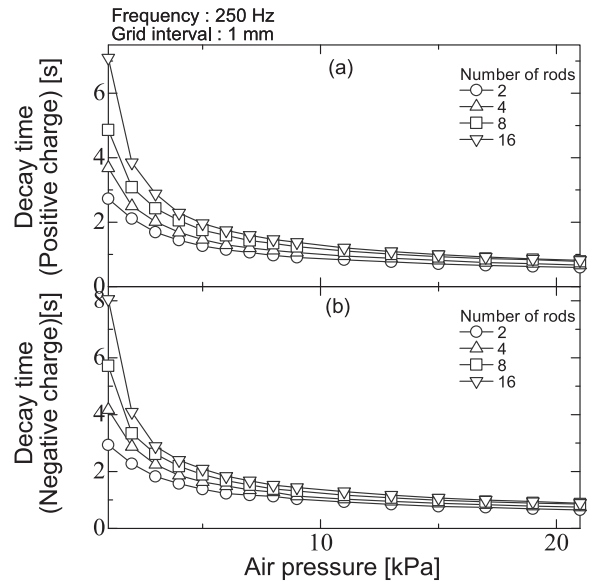


図 14 空気圧力変化における除電時間電極間隔を固定し電極本数変化 (a) 正帯電時, (b) 負帯電時  
Fig.14 The decay time for (a) positive and (b) negative at same grid interval with function of number of grids.

#### 4. まとめ

本研究では, イオナイザからの誘導電位の抑制を目的として, 放電電極前方に接地された金属グリッド電極を用いて, 誘導電位特性, 放電特性および除電特性を調べた.

誘導電位特性では, グリッド電極本数が 14 本において最もグリッド間隔の広い 7 mm で全体の幅が 133 mm のときに誘導電位は最小の 5.15 V となりグリッドのない状態から比べると約 4 分の 1 となった. また, グリッド電極本数を固定し, グリッド間隔を徐々に広げた場合には, 見かけのグリッ



ド電極幅の増加に伴い誘導電位は減少していくが、その後増加する。グリッド電極本数が2本の場合、グリッド間隔を最小の1 mmとし、全体の幅が7 mmの場合、誘導電位は約10.4 Vとなりグリッドなしの状態から半分近く抑制されている。また同じグリッド2本の条件で、グリッド間隔を29 mmとし、全体の幅が35 mmの場合、誘導電位が約8.7 V<sub>pp</sub>と最小値を取り、半分以上誘導電位が抑制することができた。

放電特性では、ほとんどの電荷がグリッド電極に流入することがわかった。また、高周波領域では、低周波とは異なり両極性においてリング電極にも流入する電流が多く見られた。除電特性では、周波数が高く、グリッド間隔が広いほど除電時間が早いことがわかった。また、本数を増加すると除電時間が遅くなり、低周波数においてグリッド間隔による除電時間への影響が大きく、高周波数ではグリッド間隔による影響が小さいことがわかった。グリッド本数を増やすことで、除電時間が長くなる影響を確認できたが、空気圧力を増加することで、影響を低減できることもわかった。

今回の実験結果から、高電圧の印加は周波数を250 Hz以上で駆動させることが有効である事がわかった。また、金属体での対策では誘導電位の抑制には効果があることがわかった。一方、除電能力の維持はかなり難しい事が判明した。

今後の予定として、誘導帯電の抑制と除電効果を向上させてゆくために、金属棒(グリッド)の直径、形状、電極に対しての距離や有効な最大幅の検証などを行い、一般的な電極構造に対しても適応可能なモデルの構築を行う。

## 謝辞

本研究の一部は「令和元年度科学研究費助成事業(基盤研究S:19H05611)」のための支援事業の補助を受けて行われた。

## 参考文献

- 1) J. E. Vinson, J. J. Liou: Electrostatic discharge in semiconductor devices an overview. Proceeding of the IEEE, **86**, Issue.2 (1998)
- 2) L. Baril, M. Nichols, A. Wallash: Degradation of GMR and TMR Recording Heads Using very short duration ESD Transients. IEEE Transaction on Magnetics, **38** (2002) Issue.5
- 3) K. Takahashi: Selection and Use of Ionizers as Anti-Static Technology. Monthly EMC, **317** (2014) 119
- 4) Y. Murata: Static Electricity Eliminator and Static Elimination Technology. CMC Publishing (2004)
- 5) 藤江明雄: ESD/誘導ノイズによる電子デバイスの障害-LSIのESD耐性強化を支援する背景知識. 静電気学会誌, **36** [5] (2012) 256
- 6) L. Levit, A. Wallash: Measurement of the Effects of Ionizer Imbalance and Proximity to Ground in MR Head Handling. Proceeding of EOS/ESD Association Symposium 98, 4B.7.1, p.375 (1998)
- 7) Y. Murata: Static Electricity Eliminator and Static Elimination Technology. CMC Publishing (2004)
- 8) A. Steinman: Static Control Issues for Disk Drive Production Using MR Heads. Proceedings of 18 EOS/ESD Association Symposium, p.22 (1996)
- 9) S. Cooray, T. Sato, and K. Okano: Basic Characteristics of the Field Assisted Air Ionizer. EOS/ESD Association Symposium, 1B.2 (2013)
- 10) S. Sato, T. Ikehata, T. Terashige and K. Okano: Basic Characteristics of Self-control Discharge Air Ionizer. IEEJ Trans. Electrical and Electronic Engineering, **11** [S1] (2016) S29
- 11) K. Takahashi: Selection and Use of Ionizers as Anti-Static Technology. Monthly EMC, **317** (2014) 119
- 12) Y. Murata: Static Electricity Eliminator and Static Elimination Technology. CMC Publishing (2004)
- 13) A. Ohsawa: 2-Delectrohydrodynamic simulations towards zero offset voltage with corona ionizers. J. Electrostat, **71** (2013) 116
- 14) A. Ohsawa: Computational comparison of charge neutralizations of conductors and insulators with corona ionizers. J. Electrostat, **71** (2013) 801
- 15) A. Ohsawa: Computer simulations of insulator charge neutralizations with a corona ionizer e Influence of initial surface charge distribution. J. Electrostat, **71** (2013) 287
- 16) A. Ohsawa: Efficient charge neutralization with an ac corona ionizer. J. Electrostat, **65** (2007) 598
- 17) A. Ohsawa: Modeling of charge neutralization by ionizer. J. Electrostat, **63** (2005) 767
- 18) K. Yoshimizu: Effects of Frequency of AC Air Ionizer on Static Neutralization Performance. J. Electrostat, **36** (2013-05) 297
- 19) M. A. Noras, B. T. Williams, J. Kieres: A novel ion monitoring device. J. Electrostat, **63** (2005) 533
- 20) M.A. Noras, D. Pritchard: Ion imbalances on an ionizer-controlled work surface. J. Electrostat, **64** (2006) 310
- 21) Carl Newberg and Larry Levit: A Study of the Short-Term Balance Properties of Ionizers of Various Technologies. ESD Journal
- 22) S. Yamaguchi, K. Takahashi, K. Takaki, H. Kubo and H. Nagata: Control of Electric Field Radiation from Corona Discharge Type Electrostatic Eliminator using Grounded Grid Electrodes. 静電気学会全国大会 (2019)
- 23) K. Takahashi, H. Kaga, K. Kubo, K. Takaki, S. Yamaguchi and H. Nagata: Development of ion measuring system for AC corona discharge. 電気学会論文誌 基礎・材料・共通部門 (A部門), **138** [11] (2018)
- 24) K. Nagato and T. Ogawa: Atmospheric Ion Mobility Spectra near the Ground. Planet Space Science, **36** [2] (1988) 163
- 25) J. D. Brown and S. M. Satoh: Using static charge on crystals to produce electron and ion beams. J. Electrostat, **61** (2003) 149