J. Inst. Electrostat. Jpn.

文

論

Effects of Frequency of AC Air Ionizer on

Static Neutralization Performance

Kengou YOSHIMIZU,* Takashi IKEHATA,* Nana IWAMOTO** and Kazuo OKANO**.1

(Received July 10, 2012; Accepted August 21, 2012)

In this report, we deal with effects of frequency of an AC air ionizer on the static neutralization performance. The air ionizer was operated at 7 kV (square wave) in the frequency range of 1–1,000 Hz. The emitter of the air ionizer was located right onto the center of the working area. The current density was measured by using a charged plate monitor as a function of the distance from the center of the working area. The effects of frequency of the air ionizer on the performance were evaluated by measuring the following 3 methods; the current density at the center of working area (J_{NMC}), the total current path through the moving area (I_L), and the total current path through the working area (I_S). The static neutralization performance (J_{NMC} , I_L and I_S) at low frequency operation were higher than that at high frequency operation.

1. はじめに

電子デバイスや電子機器の製造工程,組立工程,実装工程 において製品が帯電すると,製品が塵埃を吸引する静電吸引 や製品と周囲との物体間での静電気放電等が発生する.これ らの現象は,製品に特性劣化,破壊,誤動作等の静電気障害 を発生させ,製品の歩留低下の原因となる¹⁴⁾.このような問 題を解決するために,除電器として,AC コロナ放電型イオ ナイザが広く使用されている.このイオナイザは,エミッタと 呼ばれる針状電極に高電圧を印加し,エミッタの先端部にコ ロナ放電を発生させ,空気中の分子をイオン化する装置であ る.一般に,イオナイザの特性は動作条件に大きく依存する. したがって,イオナイザで最適除電を行うためには,動作条 件と除電特性との関係を明確にしておく必要がある⁵⁻⁸⁾.ここ で,動作条件としては,

キーワード:静電気障害,電子デバイス,除電技術,イオナ イザ,イオン分布

*茨城大学大学院理工学研究科応用粒子線科学専攻 (316-8511茨城県日立市中成沢町4-12-1)

Department of Institute of Applied Beam Science, Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi, Ibaraki 316, Japan

** 職業能力開発総合大学校電気システム工学科(252-5196 神奈川県相模原市緑区橋本台4-1-1)

Department of Electrical engineering, Polytechnic University, 4-1-1, Hashimotodai, Midori-ku, Sagamihara, Kanagawa 252, Japan

¹ okano@uitec.ac.jp

- ① イオナイザのエミッタへの印加電圧,
- ② エミッタへの印加電圧の周波数,
- ③ イオナイザのエミッタから被除電物までの距離
- 等がある.また、除電特性には、
 - 除電能力:除電速度や除電時間等、イオナイザが被除電 物を除電する速さに関する特性、
 - ② 最終到達電位:イオナイザで十分長い時間除電を行った後,最終的に収束する被除電物の電位,
 - ③ ゆらぎ電圧:除電が終了し、被除電物の電位が収束した後の電圧振幅

等がある.

本研究では,動作条件としてエミッタへの印加電圧の周波 数,除電特性として除電能力を選び,これらの関係について 検討した.なお,本研究では除電能力を,

- 作業領域の中心(イオナイザ直下)に置かれたデバイ スに対する除電能力,
- ② 作業領域の中心(イオナイザ直下)を搬送されている デバイスに対する除電能力,
- ③ イオナイザ下方の作業領域全体に対する除電能力

の3 種類に分類し、それぞれの除電能力に及ぼす周波数の影響を検討した.

2. 除電電流と除電電流密度の周波数依存性

2.1 実験方法

イオナイザの除電能力は、図1 に示す実験装置で測定した. この図において、高電圧発生源とこの電源に接続したエミッ タがイオナイザに相当する部分である. エミッタの下方に接 地した金属製の網状作業台を設け,この作業台上にチャージ ドプレートモニタ (CPM) のプレートをセットして,イオナ イザの除電能力を測定した.

イオナイザのエミッタへの印加電圧 VE は矩形波とした. 一般に, 正の印加電圧 VE+ と負の印加電圧 VE- を同じ値に すると、単位時間当たりの正と負のイオン生成量が異なるた め、イオンバランスが崩れることがある. また、このイオン バランスは周波数 f に依存するため, 周波数 f を変化させる ごとに調整しなければならない. そこで, 正の電圧 VE+は7 kV とし, それぞれの周波数 f において, イオンバランスが 良好になるような負の電圧 VE をエミッタに印加した.この イオンバランスの測定は、エミッタの直下に設置した CPM のプレート電位 Vp を測定することで行った. すなわち, イ オナイザを長時間動作させ、定常状態になったときの CPM のプレート電位 Vp が 0 V になるように負の電圧 VE をエ ミッタに印加して実験を行った. 今回の実験において, 周波 数 f は 1 Hz, 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 1,000 Hz とした. なお, これらの周波数 fにおける負の電圧 VE-は, それぞれ -6.54 kV, −6.77 kV, −6.79 kV, −6.80 kV, −6.80 kV であった.

エミッタから被除電物までの距離 D_{EP} は 500 mm 一定と し,作業領域の送風の速度 U_F は,エミッタから被除電物方 向に 0.3 m/s 一定とした.このような条件下でイオナイザを 動作させ,作業台上に設置した CPM のプレートが除電され るようすを測定した.なお,測定位置の範囲は,作業領域の 中心 (イオナイザ直下) から水平方向の距離 rP が 0-500 mm の位置とした.また,本実験で使用した CPM のプレー トの静電容量 C_P は20 pF である.

実際の測定では、まず、CPM のプレートを -1,100 V で 充電し、イオナイザによってプレートが除電される際のプレ ート電位 V_P と時間 t との関係を求めた.次に、プレートを +1100 V で充電し、同様にプレート電位 V_P と時間 t との関 係を求めた.

このようにして測定したプレート電位 V_P と時間 t との 関係の一例を 図2 に示す.この図において,プレート電位 V_P と時間 t との関係を示す曲線の接線の傾き ($\partial V_P / \partial t$),すな わち除電速度は,

$$\frac{\partial V_P}{\partial t} = \frac{\partial (Q_P/C_P)}{\partial t} = \frac{1}{C_P} \times \frac{\partial Q_P}{\partial t} = \frac{1}{C_P} \times I_N \tag{1}$$

となる. ここで, Q_P はプレートに蓄えられた電気量である. また,式 (1)の ($\partial Q_P / \partial t$) は単位時間あたりにプレートに流 入する電気量であるから,プレートに流入する電流,すなわ ち除電電流 I_N を意味することになる. したがって,除電電



図1 イオナイザの除電電流密度の分布を測定するための 実験装置





図2 プレート電位と時間との関係の一例

Fig. 2 One example of a plate voltage as a function of time.

流 IN は,式(1)から,

$$I_N = \frac{\partial V_P}{\partial t} \times C_P \tag{2}$$

となる. この除電電流 *I*_N は, プレート電位 *V*_P の変化に伴って変化するので,本研究では, プレート電位が 1,000 V の ときの除電電流 *I*_Nを使って除電能力を評価することにした. プレートを -1,100 V で充電した場合, プレートを除電する ために吸引されるイオンは正イオンとなる. この正イオンの 移動に基づく除電電流 *I*_N を正の除電電流 *I*_{N+} と呼ぶことに した. 一方, プレートを +1,100 V で充電した場合, プレー トに吸引されるイオンは負イオンとなるので, この電流を負 の除電電流 *I*_N と呼ぶことにした.

この除電電流 *I*_{N+}, *I*_N および CPM のプレートの面積 *S*_P か ら除電電流密度 *J*_{N+}, *J*_N を算出した.また,除電電流密度 *J*_{N+}, *J*_N の絶対値の代数平均から平均除電電流密度 *J*_{NM} を求めた.

2.2 実験結果

図3-6 は、周波数 f を 1-1,000 Hz の範囲で変化させ、プ

レート電位 *VP* と時間 *t* との関係を測定した結果である. 図 3-6 の測定位置は,それぞれ距離 *rP* が 0 mm, 100 mm, 200 mm, 500 mm の場合である. これらの図において,プレート



図3 プレート電位と時間との関係 ($r_P = 0 \text{ mm}$)





図4 プレート電位と時間との関係 ($r_P = 100 \text{ mm}$) Fig.4 Plate voltage as a function of time ($r_P = 100 \text{ mm}$).



図5 プレート電位と時間との関係 ($r_P = 200 \text{ mm}$) Fig.5 Plate voltage as a function of time ($r_P = 200 \text{ mm}$).

電位 V_P の減衰の傾き, すなわち除電電流 I_N は, 周波数 f が 高くなるに従って小さくなっている.また,これらの図を比 較すると,距離 r_P が大きくなるに従って,除電電流 I_N が小 さくなっていることがわかる.また,図6 に示した距離 r_P が 500 mm の場合,周波数 f が 10-1,000 Hz では,プレートが ほとんど除電されていないことがわかる.

前述の方法で、それぞれの距離 r_P 、それぞれの周波数 f に おける正イオンに基づく除電電流 I_{N+} 、および負イオンに基 づく除電電流 I_N を求めた.次に、これらの結果から、それ ぞれの除電電流密度 J_{N+} 、 J_N および平均除電電流密度 J_{NM} を 算出した.

図7-9 は、イオナイザ直下からの水平方向の距離 rp と除 電電流密度との関係を示した結果である. 図7 は正の除電 電流密度 JN+, 図8 は負の除電電流密度 JN-, 図9 は平均除 電電流密度 JNM の分布である. これらの結果において、除 電電流密度の絶対値は、正イオン、負イオン、平均値の種類 に関係なく、イオナイザ直下で最大値を示し、距離 rP が大



図6 プレート電位と時間との関係 ($r_P = 500 \text{ mm}$) Fig.6 Plate voltage as a function of time ($r_P = 500 \text{ mm}$).



図7 正の除電電流密度と水平方向の距離との関係

Fig.7 Positive current densities as a function of the plate position.



図8 負の除電電流密度と水平方向の距離との関係

Fig.8 Negative current densities as a function of the plate position.



図9 平均除電電流密度と水平方向の距離との関係

Fig.9 Mean current densities as a function of the plate position.



図10 平均除電電流密度と周波数との関係

Fig.10 Mean current densities as a function of the frequency.

きくなるに従って低くなっている.また,除電電流密度の広がり幅は,周波数 *f* が高くなるに従って狭くなっている.さ

らに、これらの除電電流密度の絶対値は、周波数 f が高くなるに従って低くなっている.

図9 に示したデータから,平均除電電流密度 JAM の周波数 依存性を求めた結果が図10 である.この図において,平均除 電電流密度 JAM は,距離 rP に関係なく,周波数 f が高くな るに従って低くなっている.

3. 除電能力の周波数依存性

3.1 評価方法

- 本研究では、除電能力を 図11 に示すように、
- ① 作業領域中心の平均除電電流密度 JNMC,
- 搬送領域の除電電流 IL,
- ③ 作業領域の全除電電流 Is
- の3種類に分類して検討する.

「作業領域中心の平均除電電流密度 JMMC」は、「1.はじめ に」で述べた「① 作業領域の中心 (イオナイザ直下) に置か れたデバイスに対する除電能力」を意味し、イオナイザ直下 の平均除電電流密度を意味する.

「搬送領域の除電電流 L」は、「1.はじめに」で述べた「② 作業領域の中心(イオナイザ直下)を搬送されているデバイ スに対する除電能力」を意味する. 1,000 V に帯電した幅 W のデバイスがイオナイザ直下を通過した場合,除電電流 L の値がデバイスの除電能力を決定する. この除電電流 L は、 平均除電電流密度 JNM の分布の積分値、すなわち、

$$I_L = W \int J_{NM} dr_P \tag{3}$$

となる.

「作業領域の全除電電流 Is」は、「1.はじめに」で述べた「③ イオナイザ周辺の作業領域全体に対する除電能力」を意味す る. 1,000 V に帯電したデバイスが作業領域全体に広がって



図11 除電能力の評価方法

Fig.11 Evaluation methods for the static neutralizing performance.





Fig.12 Normalized current density and current as a function of frequency.

存在した場合,除電電流 Is の値が除電能力となる.この除 電電流 Is は,平均除電電流密度 JMM の分布の積分値,すな わち,

$$Is = \int J_{NM} ds \tag{4}$$

となる.

3.2 評価結果

3 種類の除電能力, すなわち作業領域中心の平均除電電流 密度 JAMC, 搬送領域の除電電流 L, 作業領域の全除電電流 Ls の周波数依存性を比較検討する. これらを比較するために, それぞれの除電能力の最大値(1 Hz の JAMC, L, Ls) で除電 能力を規格化した. この結果を 図 12 に示す. この図におい て, エミッタへの印加電圧の周波数 f が高くなるに従って, 作業領域中心の平均除電電流密度 JAMC, 搬送領域の除電電流 L, 作業領域の全除電電流 Ls はすべて小さくなる傾向を示し ている. イオナイザを 1 Hz で動作させた場合の作業領域中 心の平均除電電流密度 JAMC の値は, 1,000 Hz に比べて 5 倍 程度になっている. また, 搬送領域の除電電流 L の 1 Hz と 1,000 Hz を比較すると, 1 Hz の値は 1,000 Hz の 8 倍程度に なっている. さらに, 作業領域の全除電電流 Ls 場合は, 1 Hz の値は 1,000 Hz の 13 倍程度になっている.

従来の除電能力の評価では、作業領域中心の平均除電電流 密度 JMAC を用いる方法が一般的であった.しかし、今回の 結果からもわかるように、搬送中の製品を除電する場合等、 除電すべき製品の状態によって評価結果に差が現れることが 明らかになった.すなわち、製品の除電特性を評価する場合、 評価方法の妥当性も検討する必要があることが明らかになった. 4. 除電能力の周波数依存性に関する考察

4.1 生成したイオンの移動方向

コロナ放電型イオナイザのエミッタの先端で生成されたイ オンに働く力は,

- ① エミッタからの電界に基づく力 FE,
- ② イオン間の斥力 FI,
- ③ 送風に基づく力 FF

の3 種類に大別できる.図1 に示した実験装置図のエミッ タに高電圧を印加すると,接地した金属製作業台とエミッタ との間に電界が発生し,この電界によってイオンに力 F_E が 働く.この力 F_E はエミッタから作業台に向かう力となる. また,イオン間の斥力 F_I は,エミッタ先端で生成されてい るイオン間の反発力であるから,エミッタ先端から放射状に 広がる方向に働く.さらに,作業領域には 0.3 m/s の送風が 存在するため,この送風に基づく力 F_F はエミッタから作業 台に向かう垂直方向の力となる.これらの力に基づいて,イ オンは,図 13 に示すように下方に輸送されながら,水平方 向に広がることになる.

4.2 イオンの移動に及ぼす周波数の影響

イオンの移動に及ぼすエミッタへの印加電圧の周波数 fの 影響について考える.イオナイザのエミッタに交流電圧 VE を印加した場合,エミッタには半周期毎に正と負の電圧が印 加され,正と負のイオンが交互に生成される.したがって, エミッタ周辺の空間は,半周期毎に正または負の単極性イオ ンが分布した領域(単極領域)となる.また,この単極領域 の外側は,正イオンと負イオンが混合状態となった領域(混 合領域)となる.

周波数 f が低い場合,半周期の時間が長くなるため,図13 (a) に示すように,単極領域は大きくなる.一方,周波数 f が 高い場合には,図13(b) に示すように,単極領域は小さくな る. この結果,周波数 f が高くなるに従って,除電電流密度 の水平方向への広がり幅は,狭くなったと考えられる.



図13 イオン分布モデル

Fig.13 Ion distribution models. (a) : at low frequency, (b) : at high frequency.

4.3 イオンの到達率の周波数依存性

水平方向と同様に垂直方向の単極領域の大きさも,周波数 f が高くなるに従って小さくなる.したがって,周波数 f が 高くなるに従って,混合領域は大きくなる.この混合領域で は正と負のイオンは再結合しながら輸送されるので,この領 域が大きくなると再結合で消滅するイオンが増加し,作業領 域へのイオンの到達率は低下する.すなわち,周波数 f が高 くなると,混合領域が大きくなり,イオンの到達率は低下す る.この結果,作業領域の除電電流密度が低くなったと考え られる.

5. まとめ

本研究では、AC コロナ放電型イオナイザの動作条件であ るエミッタへの印加電圧の周波数が除電能力に及ぼす影響を 検討した.この結果は、以下のようにまとめられる.

- (1)エミッタへの印加電圧の周波数が高くなるに従って、 作業領域中心の平均除電電流密度は低くなる.
- (2) エミッタへの印加電圧の周波数が高くなるに従って,除 電が可能な作業領域の範囲は狭くなる.
- (3) エミッタへの印加電圧の周波数が 1 Hz の除電能力の 値は 1,000 Hz の除電能力の値と比較して,
 - ① 作業領域中心の平均除電電流密度の場合は5倍,
 - ② 搬送領域の除電電流の場合は8倍,
 - ③ 作業領域の全除電電流の場合は 13 倍
 - となり,評価方法によって除電能力の周波数依存性に 大きな差が現れる.
- (4)除電能力の評価方法に関係なく,エミッタへの印加電圧

の周波数が高くなるに従って、除電能力は低くなる.

参考文献

- 藤江明雄:電子デバイスにおける ESD 対策の推移.静電 気学会誌, 29 (2005) 92
- 大津孝佳: GMR ヘッドの ESD コントロール. 静電気学会 誌, 29 (2005) 98
- 福田保裕:半導体デバイスの静電気対策.静電気学会誌, 29 (2005) 104
- 4) 仲野 陽: TFT 液晶パネルの ESD ソリューション・テク ノロジー 進化し続ける TFT 液晶パネルのための静電気 制御・管理技術への期待. 静電気学会誌, 29 (2005) 110
- H. Imazono, T. Terashige and K. Okano : The Double Jet Ionier for ULSI Manufacturing Processes. IEEE Trans. Semiconduct. Manuf. 15 (2002) 189
- 6) 吉岡ひさよ,依田安基,岡野一雄:AC コロナ放電型イ オナイザの除電速度に及ぼす周波数と風速の効果(I)—実 験的検討—.第15回 RCJ 信頼性シンポジウム発表論 文集, p.153,日本電子部品信頼性センター (2005)
- 7) 依田安基,吉岡ひさよ,岡野一雄:ACコロナ放電型イ オナイザの除電速度に及ぼす周波数と風速の効果(II)-シミュレーションによる検討-.第15回 RCJ 信頼性 シンポジウム発表論文集, p.157,日本電子部品信頼性セ ンター (2005)
- 8) 清水 渡,永田秀海,和泉健吉,児玉 勉:高周波コロ ナ放電式ノズル型イオナイザの除電特性.静電気学会誌,
 29 (2005) 62