

静電農薬散布の電源極性による影響

飯 島 歩*

Effects of Polarity on Power Supply for Electrostatic Spraying Agricultural Chemicals

Ayumu IJIMA

Although many papers with regard to agricultural chemicals with electrostatic spraying have been reviewed, in those cases negative polarity is used electric charge. As a result, farm products become positive and streamer corona have frequently produced due to high electric stress at leaves. An observation by the author using an image intensifier discovered that on the crops with sharp edges, streamer corona discharge grows and spark discharge take place under even lower voltage; to the contrary, when positive corona is used, no streamer corona is produced from the edge of leaves, and it can be applied to higher voltage and more corona current can be gained. The characteristics of corona V-I and the amount of the residual agricultural chemicals are compared with for the both polarities.

1. まえがき

静電気を利用した農薬散布方法は、植物に対する農薬の付着効率が高く、かつ、葉の裏側にまで付着するので雨に対しても落ちにくいなどという、多くの利点を有している¹⁾。直流高電圧を使用するため液体よりの絶縁が簡単な粉体農薬に関する実験が多く発表されている。

静電粉体農薬の散布で、粉体を帯電させるためのコロナ放電の極性は負コロナであり、正コロナを使用した研究は発表されていない。また、表面が蠟質である植物に対する農薬付着や残留に対する実験は行われていない。一般にコロナ放電を利用した静電気応用の機器の大部分は、正コロナに比較して、火花発生電圧が高く、同一印加電圧でも安定した多くのコロナ放電電流が得られるという理由から負極コロナ放電を利用している。しかし、これらの特性が活かされるには、放電極の対向電極が尖った部分がない場合である。粉体農薬を散布する対象物は、稲やねぎのように尖ったもの、小松菜のような葉の端部に電界が集中するもの、および、キャベツのような球形に近く電界の集中しないものまで広範囲に分布している。

稲やねぎのように尖った植物に対しては、負コロナ放電を利用すると、ねぎなどの尖った先端から荷電部の噴出口に向かってストリーマコロナ放電を発生し易くなる。ストリーマを発生するとその部分で帯電した農薬粒子は除電され、農薬の付着率が低下するものと考えられる。正コロナ放電を利用した方が、対象植物の先端からストリーマコロナ放電の発生がないので、農薬の付着が良いのではないかと予想される。

*電気工学科

本研究は対象植物の形によって、コロナ放電の極性変化により、農薬付着がどのように影響されるかを実験的に検討したものである。

噴出口の荷電部に負および正の高電圧を印加したときのコロナV-I特性と植物と噴出口におけるコロナ発光の相違および作物への付着の相違について検討を行い、予想した結果を得た。

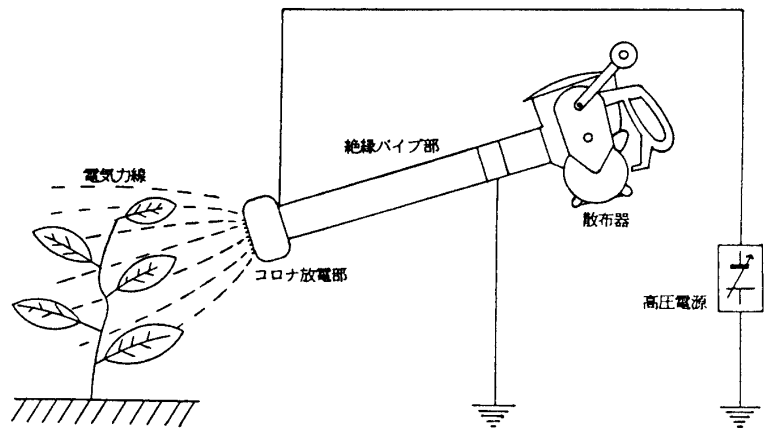


図1 実験装置の概要

2. 実験装置および方法

2.1 静電粉体農薬散布器

家庭用の粉体農薬散布器を改良して静電農薬散布器を試作し、その散布実験の概要を図1に示す。動作原理は、農薬の噴出口に設けられた直流高電圧によるコロナ放電部を通過するときに粉体農薬が荷電され、噴出されたときの慣性力と電気力線に沿ったクーロン力により移動し、対象植物に付着されるものである。

試作したコロナ放電を利用して粉体農薬に荷電させる静電粉体農薬散布器の外観を図2に示す。直流高電圧を印加するコロナ放電部を絶縁するために、外径 32mm、内径 26mm、長さ 500 mm の塩化ビニールパイプを使用し、その先端にコロナ放電部

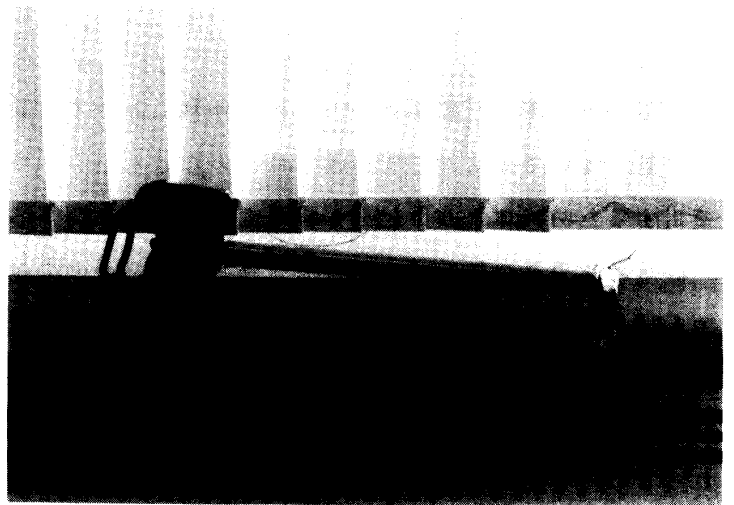


図2 試作した静電散布器の外観

を設置し、散布器を操作する人に感電を防止するためにコロナ放電部から 400 mm の距離に接地リングを設けた。コロナ放電部は、図3に示すように直径 1 mm、長さ 8 mm の針を 3 mm 間隔で取り付け枠に固定し、電界を緩和するためのガード電極を外側に設けた²⁾。

2.2 コロナ放電V-I特性の測定

(a) コロナ放電部を備えた噴出口と平面板を対向させ、正および負について、農薬を噴霧するときに植物との距離が一定でないため、距離の変化による場合として 50, 100, 150 mm について、コロナ放電電圧・電流特性（コロナ放電V-I特性）を測定した。

実際の植物に対して、比較的丸い葉としてキャベツの苗および尖った植物としてねぎを噴出口

と対向させて正および負のコロナ放電 V-I 特性を測定した。

(b) 葉の尖った植物を金属で模擬したもの、ねぎを噴出口と対向させ、暗室でイメージインテンシファイア (ナイトビュー c 3100) を使用してコロナ放電の発光状態を観測した。

2.3 植物に農薬散布後の残留農薬の測定

大型のプランタで栽培したした植物に試作した静電農薬散布器を使用して、粉体農薬を負コロナと正コロナ放電による荷電によって散布し、付着農薬を分析専門業者に依頼し、残留農薬として測定比較をした。

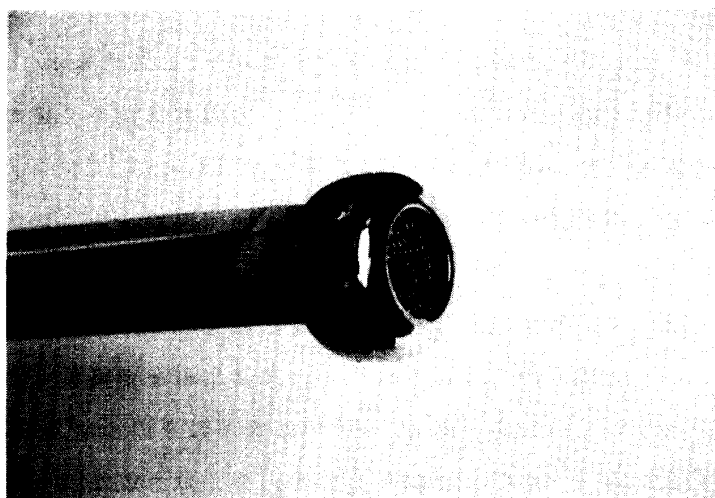


図3 噴出口のコロナ放電部

3. 測定結果と考察

3.1 コロナ放電 V-I 特性

図4に噴出口と平板の距離を 50, 100, 150 mm について、それぞれの負のコロナ放電 V-I 特性を示す。5 cm の場合の最大印加電圧は 49 kV でコロナ電流は 400 μ A であり、これ以上電圧を上昇すると火花放電が発生する。10, 15 cm の場合の最大印加電圧と電流は、それぞれ 50 kV, 120 μ A, 55 kV, 80 μ A である。

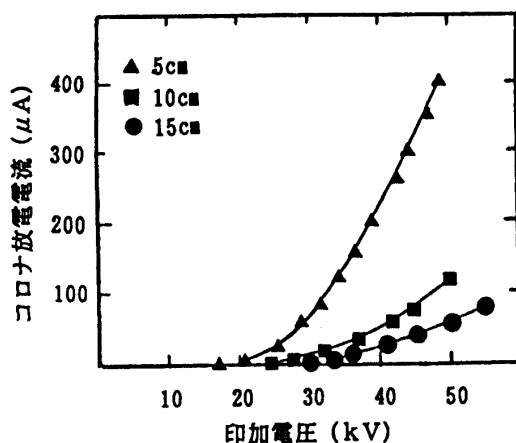


図4 距離の変化と負コロナ V-I 特性

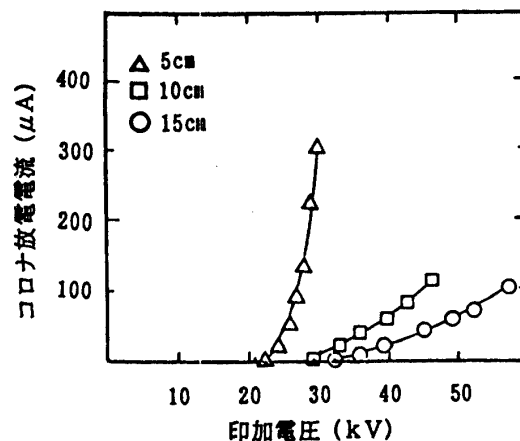


図5 距離の変化と正コロナ V-I 特性

図5は同じ間隔での正のコロナ V-I 特性を示す。5 cm の場合の最大印加電圧は 30 kV でコロナ電流は 300 μ A であり、これ以上電圧を上昇すると火花放電が発生する。距離が 5 cm のときのコロナ V-I 特性は電圧の僅かな増加に対して電流が急激に増加している原因は、噴出口に設置されている多数の針端からストリーマが平板まで伸びたほっすコロナ放電の状態になっているためである。10, 15 cm の場合の印加可能な最大電圧と電流は、それぞれ 46 kV, 110 μ A およ

び 56.5 kV, 104 μ A である。

図6はキャベツの苗より少し成長した丸い葉にたいして、葉の先端から噴出口までの距離を約5 cm にした場合の負と正のコロナ放電V-I特性を示す。同図から明らかなように、同一印加電圧に対しては、負コロナの方がコロナ放電電流が多く流れる。負の印加電圧の最大値は、46 kV で電流は 490 μ A であり、正の場合は 53.5 kV でコロナ電流は 600 μ Aである。いずれの極性でも最大印加電圧を越すと火花放電を発生する。正コロナの火花発生電圧は 7.5 kV 高く、コロナ電流も 110 μ A 多くなっている。負コロナの火花発生電圧が低くなる理由は、植物の葉が薄いため端部に電界が集中して電界強度が高くなり、葉が正極になるため端部よりストリーマコロナが伸びるためである。正コロナの火花発生電圧が高くなるのは、葉が負極のため葉からストリーマを発生しないためである。図7は葉がねぎのよな先端が尖った植物の葉の先端から噴出口までの距離を約5 cm にした場合の負と正のコロナ放電V-I特性を示す。同図から明らかなように、負の印加電圧の最大値は、40.5 kV で電流は 200 μ Aであり、正の場合は 53.5 kVでコロナ電流は 880 μ A である。負および正コロナ放電V-I特性は途中まで殆ど同一の特性を示しているが、正コロナの火花発生電圧は約 32 % も高くなる。葉の先端は針端に近いので、正極に比較して低い印加電圧で、植物の先端からストリーマが伸びるためである²⁾。

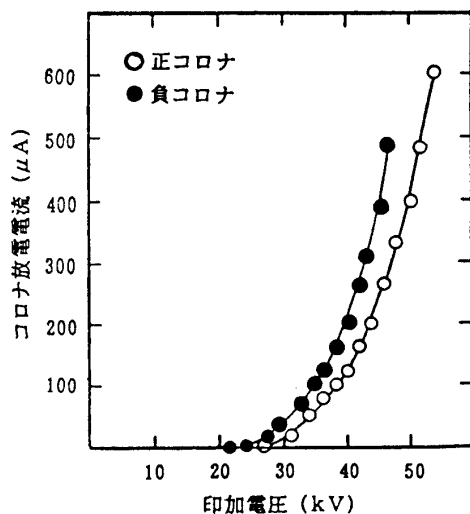


図6 丸い葉のコロナV-I特性

(2) 図8に葉の尖った植物を金属で模擬した物と噴出口との距離を約5 cm にし、暗室でコロナ放電の発光状態をナイトビューアを使用してカメラで撮影したものである。同図 (a) は噴出口に負極の印

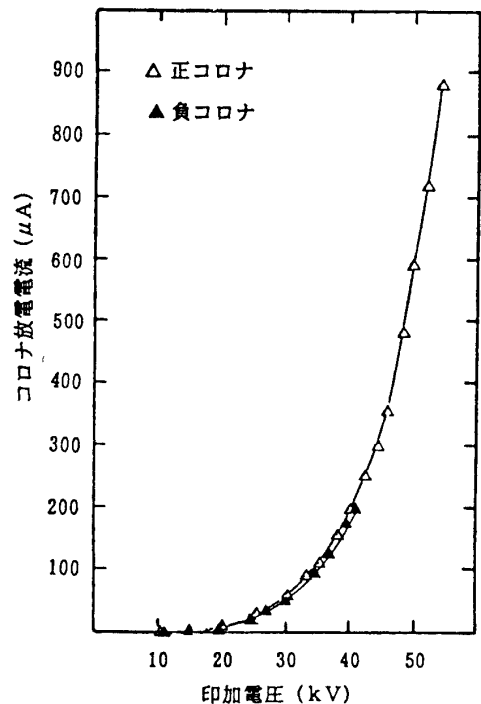
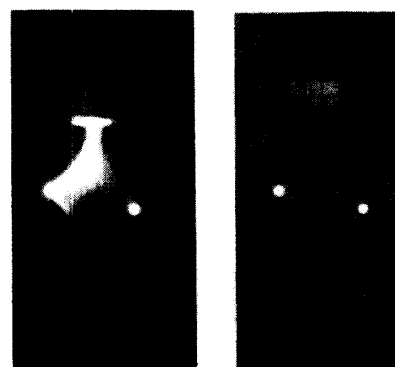


図7 尖った葉のコロナV-I特性

加電圧36 kV, コロナ電流70 μ Aのものであり、葉の先端からストリーマが発生して噴出口までとどいていることがわかる。同図 (b)は正極を印加したもので、36 kV, 85 μ Aのものであり、葉は負極のためストリーマを発生できないのでグロー状に似たコロナ放電になっている。図8から明らかなように噴出口に負極を印加すると葉の先端からストリーマが伸びるため火花放電電圧

が正極に比較して低くなることがわかる²⁾。

図9はプランタで栽培したねぎを暗室で、正コロナと負コロナ放電の状態をイメージインテンシファイアで観測したものである。同図(a)は、 -40 kV を印加し、コロナ電流が $45\text{ }\mu\text{A}$ の放電の様子で、尖った葉を模擬した金属と同様に、ねぎの先端部からストリーマが発生し、噴出口まで伸びていることが分かる。同図(b)は、 $+44\text{ kV}$ で、 $15\text{ }\mu\text{A}$ のコロナ放電の様子で、ストリーマが発生していないことが分かる。



(a) (b)

図8 噴出口と対象物間のコロナ放電

3.2 粉体農薬散布の付着状況

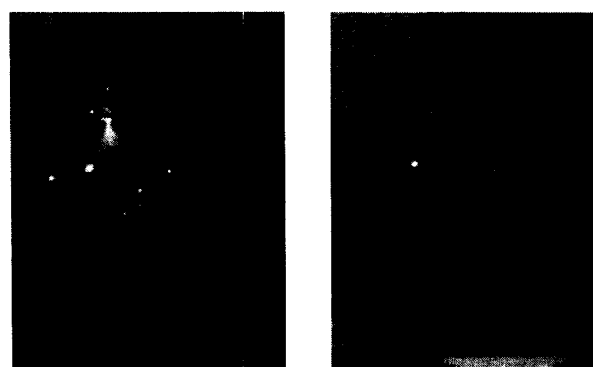
対象植物として、小松菜、葉大根、およびねぎ、粉体農薬は、ディップテレックスとモンカットを静電散布し、(財)北陸公衆衛生研究所に依頼して植物に付着している農薬の量を残留農薬として測定をし、比較検討をした。

図10は負の電圧を印加して、ディップテレックスを小松菜に散布したもので、

約 $70\text{ kV} \sim 73\text{ kV}$, $50\text{ }\mu\text{A} \sim 80\text{ }\mu\text{A}$

であり、葉全体に農薬が一樣に薄く付着し、かつ、葉の裏側と茎にも付着していることがわかる。図11は正の電圧を印加して散布したもので、約 $67\text{ kV} \sim 70\text{ kV}$, $50\text{ }\mu\text{A} \sim 70\text{ }\mu\text{A}$ であり、負を印加したものと同様に葉全体に一樣に薄く付着し、かつ、葉の裏側と茎にも付着していることがわかる。目視の範囲では、負および正の印加電圧による植物への付着状態に変化がないようである。

表1は小松菜と葉大根およびねぎについて、従来の散布法(印加電圧を0とした場合)、負コロナを使用した静電散布法および正コロナを使用した散布法の3種類における散布後の粉末農薬の残留分を検出したのものである。農薬は散布後紫外線に当たると2日ぐらいで分解してしまい、残留分を検出できなくなるため散布した翌日に植物を



(a) (b)

図9 噴出口とねぎとの間のコロナ放電



図10 小松菜に負コロナによる散布

採取して検査したものである。従って、散布したときの付着量に近いものと思われる。小松菜は、従来の散布法に対して、負コロナを使用したものは 3.2 倍、正コロナを利用したものは 2.8 倍多く残留している。葉大根は、負コロナが 1.8 倍、正コロナが 1.5 倍多く残留している。正および負コロナの比較において、それぞれの電源の種類と方式が異なるため正確な比較は出来ないが、従来法に比較して静電散布法が非常によく付着している²⁾。



図 1.1 小松菜に正コロナによる散布

表 1 各種散布法の残留農薬

対 象 物	農 薬 名	残 留 農 薬 (m g / k g)		
		無 静 電 散 布	負 極 静 電 散 布	正 極 静 電 散 布
小 松 菜 (大)	ディップ・テレックス	1 0 2 . 0	3 2 2 . 0	2 8 6 . 0
葉 大 根	ディップ・テレックス	9 5 6 . 0	1 , 7 3 0 . 0	1 , 4 7 0 . 0
小 松 菜 (小)	モンカット	0 . 2 3	2 . 5 0	1 . 1 0
小 松 菜 (小)	ディップ・テレックス	1 5 6 . 0 0	2 2 8 . 0	3 5 6 . 0
ね ぎ	ディップ・テレックス	0 . 0 0	1 2 5 . 0	2 8 1 . 0

表 1 で小松菜の (大) [小松菜の高さが約 300 mm に成長したもの] , 小松菜の (小) [小松菜の高さが約 100 mm] およびねぎに対して、従来の散布法 (印加電圧を 0 とした場合) , 負コロナを使用した静電散布法および正コロナを使用した散布法の 3 種類の散布法における散布後の粉末殺虫剤の残留分を検出したのものである。散布剤はモンカットおよびディップ・テレックスであり、散布した翌日に植物を採取して残留農薬量を検査したものである。



図 1.2 ねぎに正コロナで散布

図 1.2 は正の電圧を印加してディップ・テレックスをねぎに散布したもので、約 70 kV ~ 73 kV , 50 μ A ~ 70 μ A であり、全体に農薬が一様に薄く付着していることがわかる。電圧を印加しない従来の方法で散布すると、農薬はね

ねぎに殆ど付着されない。ねぎのような表面が銅質で覆われている植物に対しては、従来の方法で粉体農薬を散布した場合に付着しないが、静電散布方によれば良く付着することがわかる。

3.3 粉体農薬の帯電

コロナ放電を利用した粉体の帯電は、コロナ放電によって発生したイオンと微粒子との衝突帯電であり、帯電量は Pauthenier の理論で明らかにされている³⁾。飽和帯電量は次式が使用されている^{3,4)}。

$$Q_m = 4\pi r^2 \varepsilon_0 E [3\varepsilon_s / (\varepsilon_s + 2)]$$

ただし、 Q_m ：最大帯電量， ε_s ：粒子の比誘電率， E ：電界の強さ
 r ：粒子の半径， ε_0 ：真空中の誘電率

粒子帯電の時間 t に対する依存度は次式となる。

$$Q = Q_m [t / (t + \tau)]$$

$$\tau = 4\varepsilon_0 / \mu_i \rho_i = 4\varepsilon_0 E / J$$

ただし、 τ ：帯電時定数， μ_i ：イオンの移動度
 J ：電流密度， ρ_i ：イオン空間の電荷密度

標準的な大気中のコロナ放電状態における平均電界の強さ、粒子半径、イオンの移動度と帯電時定数の関係を表 2 に示す³⁾。

表 2 一般的な大気中のコロナ放電における帯電時定数

E (kV/cm)	μ_i (m/sec/V/m)	r (μ m)	τ (sec)
1.0	1×10^{-4}	1.0	0.02
10.0	1×10^{-4}	10.0	0.002
1.0	1×10^{-4}	1.0	0.002
10.0	1×10^{-4}	10.0	0.0002

家庭用農薬散布器を改良した静電散布器の出口の風速は 0.5~1.5 m/s であり、噴出口と植物との平均距離を 100 mm として、粒子の帯電時間は 50~150 ms となる。使用した農薬の平均粒径は 40 μ m、散布時の平均電界強度は 5~7 kV/m である。表 2 から明らかなように荷電時定数は 2 m/s 以下であるから、帯電は十分であると推定される。散布した粉体農薬は葉の裏側や茎に十分付着したことから帯電は十分であると判定される。

ねぎや稲のように尖った形をしている植物に対しては、正のコロナ放電を使用した方が、負のコロナ放電を使用したときのような植物の先端部から発生するストリーマがないため、火花発生電圧が高いので、負よりも正コロナの方がより高い電圧を印加できる。実際の散布結果からねぎに対する農薬付着量は、正コロナを利用した方が約 2 倍多くなっている。これらの結果から、尖った形の植物に対する散布は、正のコロナ放電を利用した方が有効であることが分かった。しかし、尖っていない植物に対しては、負のコロナ放電を利用した方が有効であることが分かる。

また、ねぎやキャベツのような表面が蠟質の植物に対しては、粉体農薬や液体農薬が付着しないため、現在の農薬散布では、植物に付着させるため液体農薬に展着剤を混入してしている。従来の静電農薬散布に関する研究報告でも、表面が蠟質の植物に対する散布実験がなかったようである。今回の実験では、静電気を応用した粉体農薬散布で、従来付着しなかった表面が蠟質の植物に付着することが明らかになった。したがって、展着剤が不要で、粉体農薬をそのまま使用することが可能で省力化にも寄与できる。

多少の風に対しても電界による力で、電気力線に沿って飛翔して対象植物によく付着する。印加電圧を停止すると、少しの風でも粉体農薬は対象植物に付着するよりも風に乗って飛散して行く農薬が非常に多くなる。静電散布を利用すれば、農薬が良く植物に付着するため、農薬の節約と環境汚染の防止に有効である。

静電散布によると、植物から僅かのコロナ放電を発生するので、短時間に移動するように散布することが必要であることと、植物の成長に対するコロナ放電の影響を調査する必要がある。

5. む す び

本研究で次のようなことが明らかになった。

- (1) 静電農薬散布をする場合、対象植物が尖った形のものや成長が浅く葉が小さく、葉の先端に電界が集中するようなものに対しては、負コロナよりも正コロナを使用した方が良い。
- (2) 表面が蠟質の植物に対して、静電散布法で粉体農薬を散布すれば、展着のない普通の粉体農薬で十分に良く付着する。
- (3) 静電散布方法は、農薬の節約と環境汚染の防止に有効である。
- (4) 植物よりコロナ放電が発生した場合、その後の植物の成長に影響しないかを今後調査する必要がある。

本研究は、福井工業大学特別研究費制度で行われたものであることを明記し、深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 浅野和俊：静電散布の現状，静電気学会誌8巻3号，pp.182-191（昭和59年）
- 2) 飯島 歩：静電農薬散布の電源極性による影響，静電気学会講演論文集（平成6年），pp.341-343
- 3) H.J.White: Industrial Electrostatic Precipitation, PP.143-146, Addison-Wesley, Pub. Inc., USA (1963), pp.133-145
- 4) 飯島 歩：強制帯電と電荷測定法，静電気学会誌12巻2号，pp.141-144（昭和63年）

（平成7年12月4日受理）