

産業用無人ヘリコプター用静電散布装置による散布液滴の カンキツ樹における付着性評価

増井伸一¹⁾・山根俊²⁾・中山博典³⁾・溝口俊夫⁴⁾・河島和幸⁴⁾・

土田祐大¹⁾・中村浩一²⁾・牧田英一²⁾・影山智津子¹⁾

¹⁾農林技術研究所果樹研究センター, ²⁾農林技術研究所本所,
³⁾ヤマハ発動機株式会社, ⁴⁾静岡スカイテック株式会社

Evaluation of the Coverage Area of Sprayed Droplets on Citrus Trees by an Electrostatic Sprayer attached to an Unmanned Industrial Helicopter

Shinichi Masui¹⁾, Suguru Yamane²⁾, Hironori Nakayama³⁾, Toshio Mizoguchi⁴⁾,
Kazuyuki Kawashima⁴⁾, Yuta Tsuchida¹⁾, Koichi Nakamura²⁾, Eiichi Makita²⁾
and Chizuko Kageyama¹⁾

¹⁾Fruit Tree Res. Center, Shizuoka Res. Inst. Agric. and For., ²⁾Shizuoka Res. Inst. of Agric. and For.,
³⁾Yamaha Motor Co., Ltd., ⁴⁾Shizuoka Skytech. Co., Ltd.

Abstract

To establish a pesticide spraying technology paired with an unmanned industrial helicopter in citrus orchards, we developed and evaluated an electrostatic sprayer for the purpose of improving the coverage area ratio to the three-dimensional leaf layer. The electrostatic sprayer constituted of 'TVXK8' nozzles and a high-voltage power supply for applying +4 kV to the electrode, with a discharge of 0.55 L/min per nozzle at a pressure of 0.3 MPa. When the pesticide was sprayed downwards from 4.7 m above the ground in an indoor facility, the electrostatic sprayer improved the coverage area ratio of the water-sensitive test papers installed 1–2 m above the ground. This sprayer was mounted on the 'Fazer-R' helicopter (Yamaha Motor Co., Ltd.), and aerial application tests were performed from 3–4 m above the citrus trees to evaluate the coverage area rate. The results showed that the electrostatic spraying improved the coverage area ratio of the bottom and vertical sides of the test paper placed in the leaf layer of citrus trees. Since the other test conducted in citrus orchards did not show an improvement in the coverage area ratio by electrostatic spraying, it is considered necessary to set highly reproducible spraying conditions.

キーワード：カンキツ，病害虫防除，産業用無人ヘリコプター，静電散布，被覆面積率

I 結 言

農業就業人口の減少や基幹的農業従事者の高齢化⁷⁾に対応するために、果樹園地の基盤整備やスピードスプレーヤ（以下、SS）等による機械化が進められている⁸⁾。一方、静岡県の主要品目である温州ミカンの園地は斜度 5 度未満の緩傾斜地が 28%にとどまり、36%が斜度 15 度以上の急傾斜地に立地している⁹⁾。急傾斜地では、SS による農薬散布の機械化は不可能であり、省力化が可能な技術の開発が求められている。

産業用無人ヘリコプター（以下、無人ヘリ）は主に水稻防除を目的に全国で導入され、高い効率性を発揮している^{11,12)}。温州ミカンをはじめとするカンキツ類の急傾斜地園の防除に無人ヘリが導入できれば、作業の大幅な効率化が期待される。しかし、カンキツ園は平面的な水田と異なり、立体的な構造であり、不均一な農薬散布は防除効果の減退^{3, 4)}につながることから、カンキツ園における無人ヘリによる農薬散布は、立体的なカンキツ樹への散布均一性を高めた技術として確立する必要がある。無人ヘリによる薬剤散布は主回転翼が起す吹き降ろし下流（Downwash：ダウンウォッシュ）を利用して散布粒子が効率的に作物に付着するように各種条件設定がされており¹⁾、カンキツ園にあった条件を明らかにする必要がある。一方、2014 年の航空機製造法の一部改正により、100kg 以上の機体の製造や整備に掛けられていた規制が 150kg に緩和されたこと¹⁰⁾から、散布薬液の付着性向上に有効とされている静電散布装置^{2, 6, 9, 12)}の搭載による付着性向上を検討する環境が整ってきた。そこで本稿では、筆者らがこれまでカンキツ園において無人ヘリ散布による付着性向上対策を検討してきた内容のうち、静電散布による付着性向上について報告する。

II 材料及び方法

1 無人ヘリ用の静電散布装置

山根・宮崎⁹⁾により開発された静電散布装置をもとに、無人ヘリ（ヤマハ発動機社製 Fazer-R、製造型式 L31）に搭載可能な静電散布装置を試作した（Fig.1）。本試作機は、静電散布ノズルと高圧電源装置により構成され、諸元を Table 1 に示した。散布圧力 1.5MPa 時の散布粒径は 107.3 μ m、吐出量はノズルあたり毎分 1.1L であり、電極印加電圧 4kV（正極）で液滴帯電量は 0.34mC/kg である。本静電散布装置により無人ヘリの制御系等への影響がないことを台座試験、野外飛行試験により事前に確認した。



Fig.1 Prototype of electrostatic spraying system for unmanned industrial helicopter. a: Electrostatic spray nozzle, b: High voltage power supply

Table 1 Specifications of the prototype electrostatic spray nozzle

Main material	Polyamide
Size	Outer diameter 63mm × Maximum size 80mm
Charging method	Inductive charging
Electrode shape	Ring
Electrode polarity	Positive electrode
Electrode applied voltage	+4kV
Shape of the nozzle infection port	TXVK8
Spray particle diameter (VMD) *	107.3 μ m
Spray pattern	Hollow cone, apex angle 80 degree
Discharge amount*	1.1L/min.
Droplet charge amount*	0.34mC/kg

*Numerical value at discharge pressure of 1.5 MPa

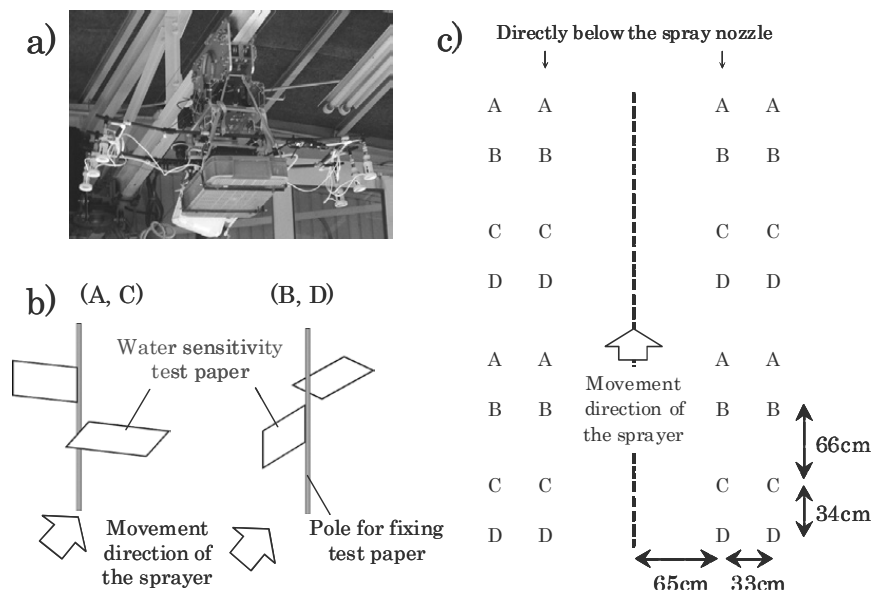


Fig. 2 Indoor evaluation method of electrostatic sprayer performance for unmanned industrial helicopter. a: Sprayer mounted in an insulated state on the rail 4.7m above the ground, b: Water sensitivity test papers fixed to the pole, c: Placement of the pole to fix the water sensitivity test papers. The test papers were fixed at 2 m above the ground on the pole of A and C, and 1m above on the pole B and D.

Table 2 Electorostatic spray nozzle combinations for indoor evaluation test

Plot	Charge of spray mist		Ground wire
	Left nozzle	Right nozzle	
A	(-) Negative	(+) Positive	No connected
B	(-) Negative	(-) Negative	No connected
C	(-) Negative	(-) Negative	Connected
D	No	No	No connected

Three nozzles were attached to each of the left and right sides, and spraying was performed under the conditions of a discharge amount of 2.7 L / min and a moving speed of the sprayer of 4 km / h.

2 屋内施設における評価

(1) 静電散布装置の設置

一般社団法人農林水産航空協会の屋内施設で、地上 4.7m の高さに設置されたレール上の走行機に静電散布装置を絶縁した状態で取り付けた (Fig. 2, a) .

(2) 散布条件

効果的な静電散布条件とともに、静電散布により飛行中の散布機が蓄電される影響を評価する目的で Table 2 に示した 4 つの異なる条件で散布を行った。すなわち、散布機の進行方向に向かって左側ノズルからマイナス、右側ノズルからプラスに帯電させた液滴を噴霧する A 区、左右ともマイナスに帯電させた液滴を噴霧する B 区、散布装置への蓄電を防止するためにアースを取り付けた上

で左右ともマイナスに帯電させた液滴を噴霧する C 区、および無帯電の D 区の 4 条件を設定した。3 つの静電散布区のうち、B 区は散布により散布装置がプラスに蓄電されるが、A 区と C 区の散布装置は蓄電されない。ノズルは片側 3 基 (左右合計 6 基) を装着し、散布圧力 0.3MPa、吐出量毎分 2.7L とし、時速 4km で移動させながら水散布を行った。

(3) 評価方法

上記 4 条件により散布した霧の附着性評価は感水試験紙 (Syngenta 社製 76×26mm) を用いて行った。感水試験紙 2 枚の裏面を合わせて、感水試験紙の面が水平および垂直に、また、2 通りの向きになるように支柱に固定した (Fig. 2, b) . この支柱を、移動する散布装置のノズル直下とその 33cm 外側の地上 1m と 2m に設置した (Fig. 2, c) . 各静電散布条件 (A~C 区) は 2 回、無帯電区 (D 区) は 3 回繰り返して、1 回の散布ごとに感水試験紙を設置・回収した。

3 カンキツ園における評価

(1) 散布条件

静電散布装置を搭載した無人ヘリからカンキツ園に以下の条件で散布を行い、附着性の評価を行った。16 年生の青島温州園 (樹間 3.5m, 列間 5.0m, 1 列あたり 27 樹) を供試し、無人ヘリの飛行高度は樹上 3~4m とした。

Table 3 Spraying conditions for evaluating the performance of electrostatic spraying by the unmanned industrial helicopter in the citrus field.

Plot	Charge of spray mist	Sprayed material	Spray volume L/10a	Number of nozzle	Discharge ¹⁾ L/min.	Flight speed km/h	Number of flight stroke	Wind condition	Temperature degree
Test1									
A	(-) Negative	Water	20	2	1.1	8	12	SE, 2-3m	28.7-29.4
B	(-) Negative	Water	10	2	1.1	8	6	SE, 0-3m	29.0-29.2
C	No	Water	20	2	1.1	8	12	SE, 2-3m	29.8-30.2
D	No	Water	10	2	1.1	8	6	SE, 0-3m	29.3-29.9
Test2									
W	(-) Negative	Fungicide ²⁾	20	6	3.3	8	4	SE, 2-4m	11.7-12.2
X	(-) Negative	Water	20	6	3.3	8	4	SE, 2-4m	13.4-13.7
Y	No	Fungicide ²⁾	20	6	3.3	8	4	SE, 2-3m	11.1
Z	No	Water	20	6	3.3	8	4	SE, 4-5m	13.7

1) The value at discharge pressure of 0.3MPa with the helicopter

2) Thiophanate-methyl aqueous solution 8000ppm

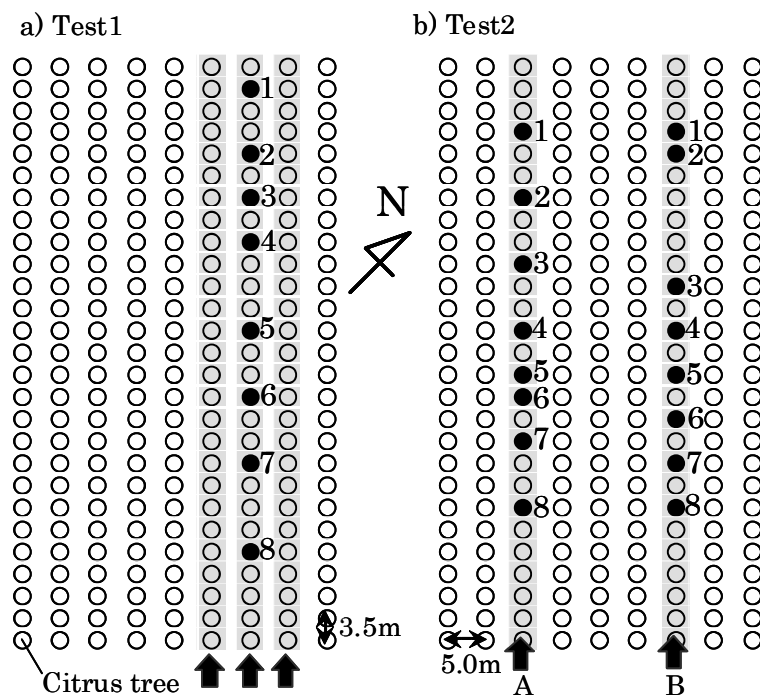


Fig. 3 Placement of survey trees in the experimental field.. Arrows in the figure show planting row sprayed with fungicide or water, and closed circles with number show citrus trees for survey. In the X and the Y plot in the test 2 (Table 3), spraying was performed on the A row, and in the W and the Z plot, spraying was performed on the B row.

1) 試験 1

散布霧のマイナス帯電の有無、および10aあたり散布水量20Lまたは10Lを組み合わせた4条件の設定を行った (Table 3) . ノズルは左右1基 (合計2基) で、吐出量毎分1.1L (散布圧力0.3MPa) , 飛行速度時速8kmとし、感水試験紙を設置する植栽列と隣接する列の合計3列に水散布を行った (Fig. 3, a) . なお、20L散布では1

列あたり12行程 (6往復) , 10L散布では6行程 (3往復) を散布し、設定散布水量を確保した. 散布時の風向、風速、気温条件はTable 3に示したとおりであった.

2) 試験 2

散布霧のマイナス帯電の有無、および散布物が水またはチオファネートメチル8000ppm (トップジンMノズル50倍) を組み合わせた4条件の設定を行った (Table 3) .

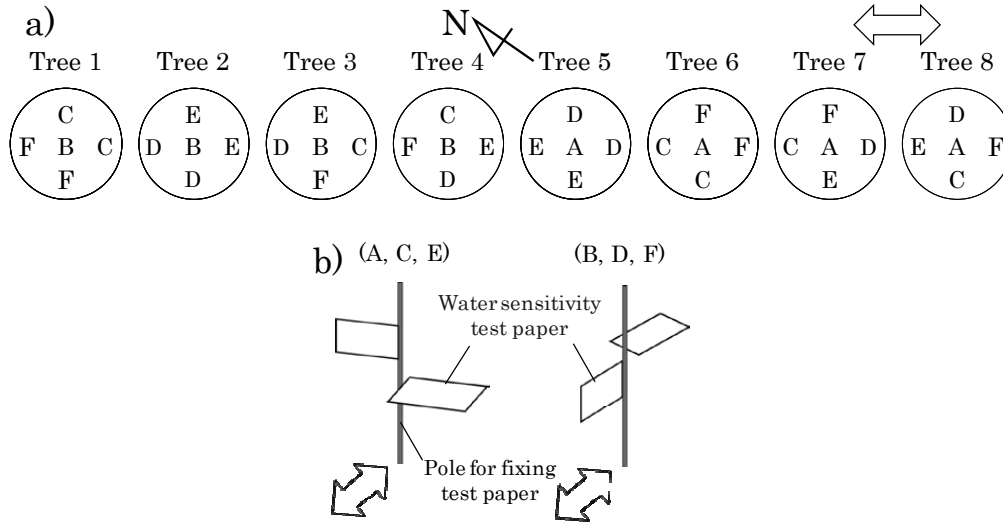


Fig. 4 Setting of the water sensitivity test paper for field evaluation of electrostatic sprayer performance on unmanned industrial helicopter. a: Placement of the pole to fix the water sensitivity test papers in the leaf layer of citrus trees, b: water sensitivity test papers fixed to the pole. The test papers were fixed at 2 m above the ground on the pole of A and B, 1 m above on the pole C and D, 0.5 m above on the pole E and F. Circles in the figure show the citrus trees for survey (see Fig. 3). The arrows show the movement direction of unmanned industrial helicopter.

ノズルは左右3基（合計6基）で、吐出量毎分3.3L（散布圧力0.3MPa）、飛行速度時速8kmとし、感水試験紙を設置する植栽列のみ1列に散布を行った（Fig. 3, b）。なお、散布水量は10aあたり20Lとし4行程（2往復）の散布により設定散布水量を確保した。散布時の風向、風速、気温条件はTable 3に示したとおりであった。

(2) 評価方法

無人ヘリ散布を行った1列の27樹のうち、樹高が2.0～2.4mの8樹を調査樹に設定した（Fig. 3）。調査樹の中央の2m、樹冠4方向の20～30cm内側の1mまたは0.5mの高さに感水試験紙を設置し（Fig. 4, a）、各高さでは感水試験紙2枚の裏面を合わせて、感水試験紙の面が水平および垂直に、また、2通りの向きになるように支柱に固定した（Fig. 4, b）。各散布条件（Table 3のA～D区およびW～Z区）では1回ずつ散布を行い、その都度、感水試験紙を設置・回収した。

4 感水試験紙のデータ数値化

感水試験紙はスキャナー（HP社製PSC2355）を用いBMP形式の画像データ（600dpi, 42.3μm/ピクセル）を取得した。これをAdobe社製Photoshopにより1枚ごとに周縁部を除いた1200×450ピクセルの画像に切り出

した。次に画像解析ソフトImageJを用いて8bit変換後に閾値140で2値化し、着色したピクセル数（x）を計数した。被覆面積率は $100 \times x / (1200 \times 450)$ により求めた。

5 統計解析

被覆面積率はアークサイン変換を行った上で目的変数として統計解析を行った。屋内施設における評価試験については静電（帯電方法）、感水試験紙面の方向、感水試験紙の設置高を主要因とする三元配置分散分析を行った。カンキツ園における試験1については、感水試験紙面の方向別に静電（帯電の有無）、散布水量、感水試験紙の設置高を主要因とする三元配置分散分析を行った。試験2については、感水試験紙面の方向別に静電（帯電の有無）、散布物、感水試験紙の設置高を主要因とする三元配置分散分析を行った。統計ソフトはJMP ver.12.1を用いた。

III 結果

1 屋内施設における評価

分散分析結果をTable 4に示した。被覆面積率に対し、静電散布（帯電方法：A）、感水試験紙面の方向（B）の効果が認められ（ $p < 0.01$ ）、感水試験紙の設置高（C）

の効果は認められなかった ($p>0.05$)。A×B, B×C の交互作用が認められ ($p<0.01$)、A×C, A×B×C の交互作用は認められなかった ($p>0.05$)。A×B の交互作用が認められたことから、Tukey の HSD 検定により感水試験紙面の方向別に静电散布 (帯電方法) の比較を行った (Fig. 5)。その結果、垂直面のうち、散布機の進行方向に向かって左右面 (Fig. 5, a) では、両ノズルともにマイナス帯電させた霧を噴霧した B 区で最も被覆面積率が高くなり、左右でマイナスとプラスを分けて帯電させた霧を噴霧した A 区、およびアースを設置した上で両ノズ

ルともマイナス帯電させた霧を噴霧した C 区がこれに次ぎ、無帯電区 (D 区) よりも被覆面積率が高かった ($p<0.05$)。散布機の進行方向に向かって前方面 (Fig. 5, b) では、B 区で最も被覆面積率が高くなり、C 区がこれに次ぎ、B 区、C 区とも無帯電区 (D 区) よりも被覆面積率が高かった ($p<0.05$) が、A 区では無帯電区 (D 区) との間に有意差が見られなかった ($p>0.05$)。散布機の進行方向に向かって後方面 (Fig. 5, c) では、B 区と C 区で、無帯電区 (D 区) よりも被覆面積率が高かった ($p<0.05$) が、A 区では無帯電区 (D 区) との間に有意差がみ

Table 4 Effects of three factors on the coverage area rate of test paper by spray water (Indoor test)

Factor	df	MS	F-value	p-value
Charge of spray mist (A)	3	0.074	32.46	< 0.01
Direction of test paper surface (B)	4	13.743	6021.13	< 0.01
Height of test paper (C)	1	0.004	1.84	0.18
A×B	12	0.019	8.15	< 0.01
A×C	3	0.000	0.19	0.90
B×C	4	0.026	11.33	< 0.01
A×B×C	12	0.002	1.03	0.42
Residuals	1112	0.002		

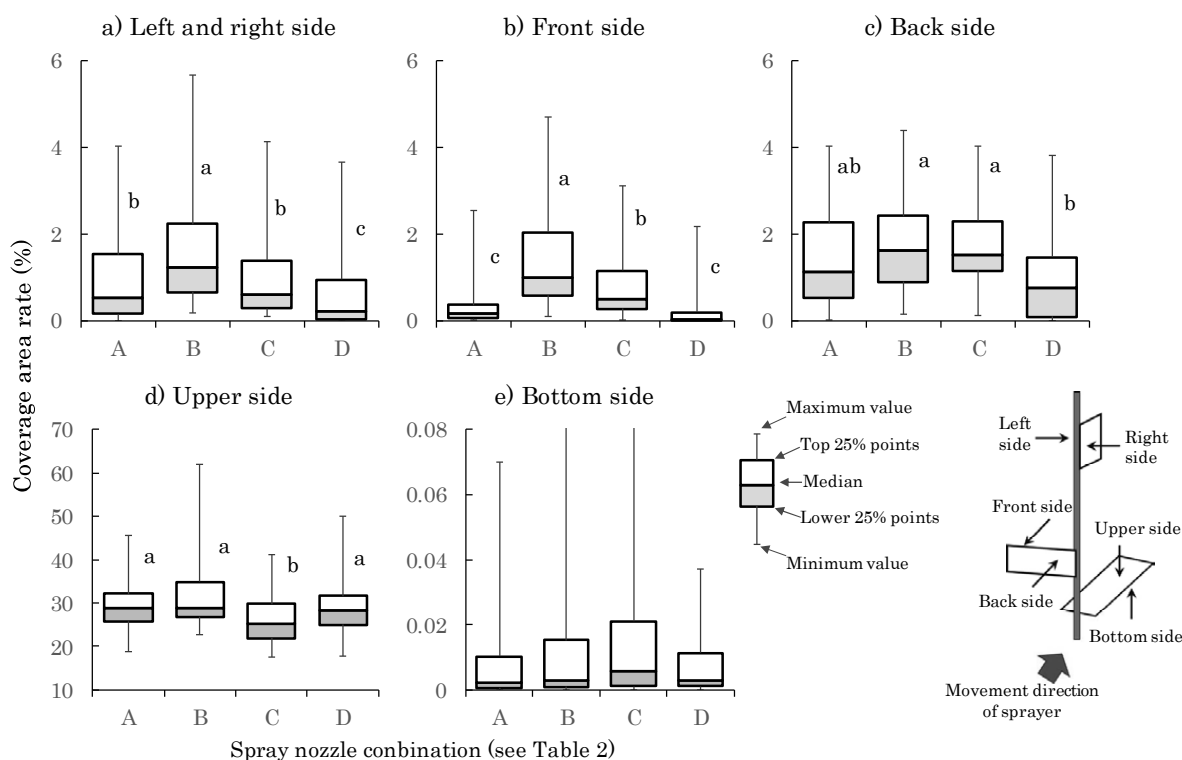


Fig. 5 Distribution of coverage area rate by electrostatically sprayed mist in each side of test paper (Indoor evaluation test). Values with different letter are significantly different by Tukey's HSD test ($p < 0.05$) following ANOVA.

られなかった ($p>0.05$)。水平面では上方面 (Fig. 5, d), 下方面 (Fig. 5, e) とともに静電による被覆面積率の向上は確認されなかった。

2 カンキツ園における評価

(1) 試験 1

分散分析結果を Table 5 に示した。感水試験紙の上方面

では、被覆面積率に対し静電散布の効果 (A) は認められず ($p>0.05$)、散布水量 (B) と設置高 (C) の効果が認められた ($p<0.01$)。B×C の交互作用が認められた ($p<0.01$) が、A×B, A×C, A×B×C の交互作用は認められなかった ($p>0.05$)。水量は 10a あたり 10L 散布よりも 20L 散布で被覆面積率が高く (Fig. 6, a : Dunnett の検定 $p<0.01$)、設置位置が高いほど被覆面積率が高くなった

Table 5 Effects of three factors on the coverage area rate in each side of test paper by sprayed water (Field test 1)

Factor	Upper side				Bottom side				Vertical side			
	df	MS	F-value	p-value	df	MS	F-value	p-value	df	MS	F-value	p-value
Charge of spray mist (A)	1	0.072	2.39	0.12	1	0.068	2.24	<0.01	1	0.065	2.13	0.02
Sprayed water volume (B)	1	2.822	93.19	<0.01	1	0.118	3.91	<0.01	1	1.084	35.80	<0.01
Height of test paper (C)	2	2.328	76.88	<0.01	2	0.051	1.68	<0.01	2	0.449	14.81	<0.01
A×B	1	0.049	1.62	0.21	1	0.003	0.09	0.52	1	0.010	0.32	0.38
A×C	2	0.012	0.38	0.68	2	0.017	0.57	0.07	2	0.015	0.51	0.29
B×C	2	0.194	6.41	<0.01	2	0.019	0.62	0.06	2	0.024	0.79	0.15
A×B×C	2	0.001	0.03	0.97	2	0.013	0.42	0.15	2	0.001	0.03	0.93
Residuals	148	0.030			148	0.007			308	0.012		

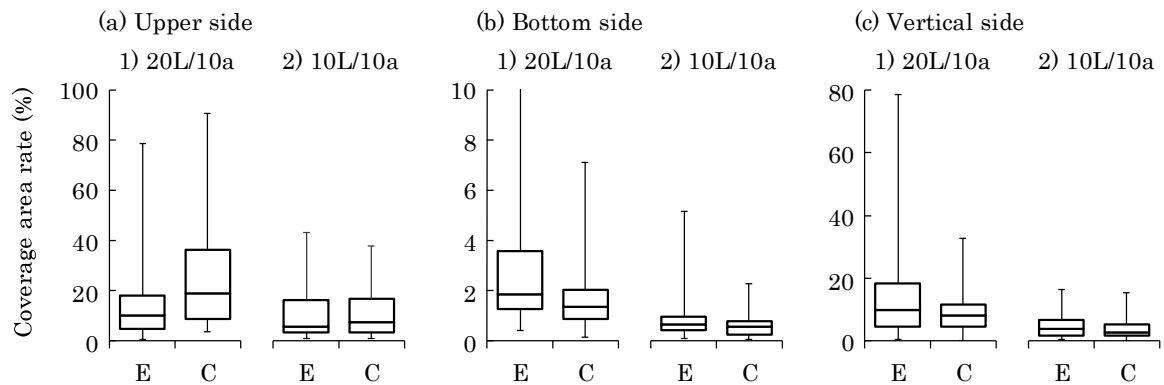


Fig. 6 Distribution of coverage area rate by electrostatically sprayed mist in each side of the test paper (Field test 1).

E: Electrostatical spray, C: Control

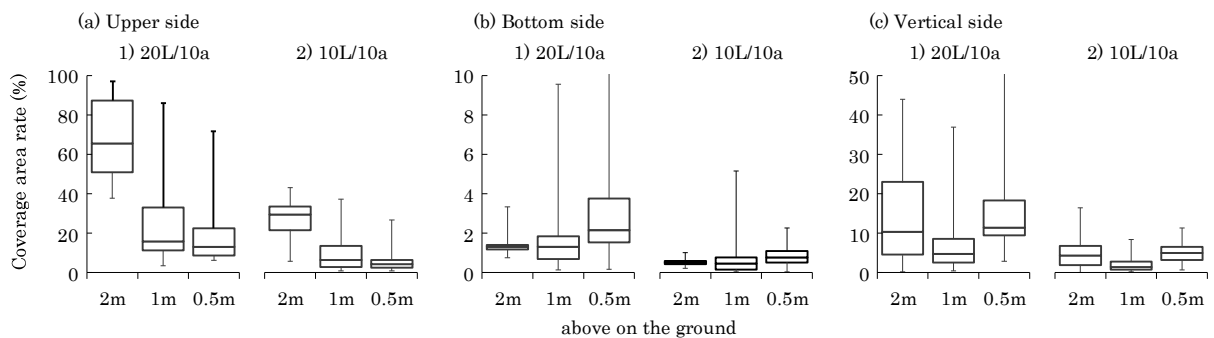


Fig. 7 Distribution of coverage area rate by aerial sprayed mist in each side of the test paper by installation height (Field test 1).

(Fig. 7, a : Tukey の HSD 検定 $p < 0.05$) .

下方面では、被覆面積率に対し静電散布の効果 (A) , 散布水量 (B) と設置高 (C) の効果が認められ ($p < 0.01$) , 交互作用 (A×B, A×C, B×C, A×B×C) は認められなかった ($p > 0.05$) . 下方面では静電散布の被覆面積率が高く、10L よりも 20L 散布で被覆面積率が高かった (Fig. 6, b : Dunnett の検定 $p < 0.01$) . また、0.5m の位置の被覆面積率が 1~2m よりも高かった (Fig. 7, b : Tukey の HSD 検定 $p < 0.05$) .

垂直面では、被覆面積率に対し静電散布の効果 (A) , 散布水量 (B) と設置高 (C) の効果が認められ ($p < 0.05$) , 交互作用 (A×B, A×C, B×C, A×B×C) は認められなかった ($p > 0.05$) . 垂直面では下方面と同様に静電散布の被覆面積率が高く、10L よりも 20L 散布で被覆面積率が高かった (Fig. 6, c : Dunnett の検定 $p < 0.01$) . 一方、垂直面では高さ 1m の位置の被覆面積率が 0.5m や 2m よりも低かった (Fig. 7, c : Tukey の HSD 検定 $p < 0.05$) .

(2) 試験 2

分散分析結果を Table 6 に示した. 感水試験紙の上方面、

下方面、垂直面ともに、被覆面積率に対し静電散布の効果 (A) は認められず ($p > 0.05$) , 散布物 (B) と設置高 (C) の効果が認められた ($p < 0.01$) . 交互作用は上方面の B×C, A×B×C を除き、認められなかった ($p > 0.05$) . 散布時の帯電の有無ごとに、散布溶液別の被覆面積率を Fig. 8 に示した. 感水試験紙の上方面、下方面、垂直面ともに水散布よりもチオファネートメチル散布時の被覆面積率が高くなり (Dunnett の検定 : $p < 0.01$) , 試験 1 で確認された静電散布の効果は再現されなかった. なお、感水試験紙の設置高さの影響については、上方面は 2m が 1m や 0.5m よりも被覆面積が高く、下方面は低い位置ほど高く、垂直面は 1m が最も低いなど、試験 1 とほぼ同じ結果だった (Tukey の HSD 検定 : $p < 0.05$) .

IV 考 察

屋内施設における試験では、横風やダウンウォッシュの影響がないことから、散布された液滴が自然落下して

Table 6 Effects of three factors on the coverage area rate in each side of test paper by sprayed water (Field test 2)

Factor	Upper side				Bottom side				Vertical side			
	df	MS	F-value	p-value	df	MS	F-value	p-value	df	MS	F-value	p-value
Charge of spray mist (A)	1	0.011	0.22	0.64	1	0.000	0.51	0.48	1	0.001	0.07	0.79
Sprayed solution (B)	1	1.249	24.04	<0.01	1	0.010	31.02	<0.01	1	0.176	20.96	<0.01
Height of test paper (C)	2	4.208	80.98	<0.01	2	0.043	129.63	<0.01	2	0.354	42.14	<0.01
A×B	1	0.096	1.84	0.18	1	0.001	2.31	0.13	1	0.024	2.84	0.09
A×C	2	0.009	0.18	0.84	2	0.000	0.82	0.44	2	0.001	0.11	0.89
B×C	2	0.319	6.14	<0.01	2	0.000	0.35	0.70	2	0.018	2.18	0.12
A×B×C	2	0.267	5.14	<0.01	2	0.001	2.81	0.06	2	0.006	0.69	0.50
Residuals	180	0.052			180	0.000			308	0.008		

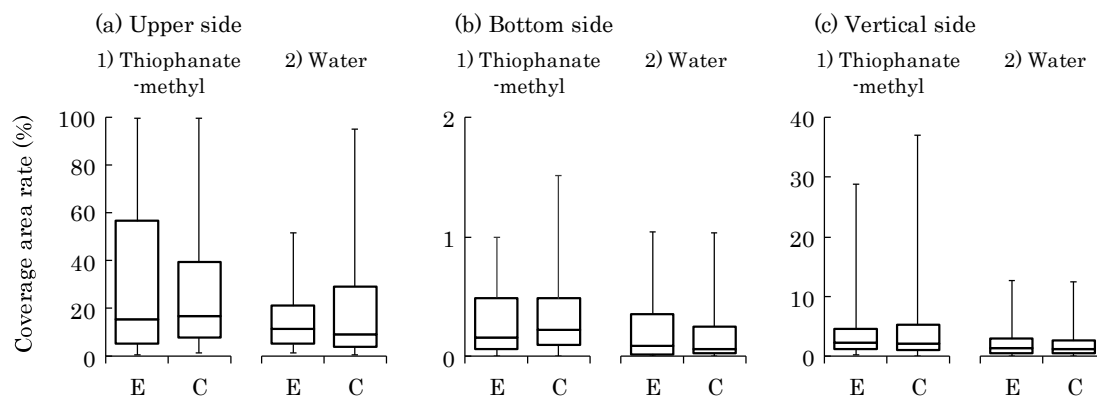


Fig. 8 Distribution of coverage area rate by electrostatically sprayed mist in each side of the test paper (Field test 2).

E: Electrostatical spray, C: Control

いく状態での付着性の評価になると考えられる。この条件では、感水試験紙の3種の垂直面（進行方向に対して左右面、前方面、後方面）ともに、静電散布により被覆面積率の向上が認められた一方で、2種の水平面（上方面、下方面）は静電散布による被覆面積率の向上はみられなかった（Fig. 5）。これらの結果は、帯電させた散布粒子が空中を浮遊している状態では物体に誘引される一定の効果があるが、帯電により物体に誘引される効果は粒子が自然落下する力よりも弱かったことを示している。垂直面の被覆面積率向上効果については、左右のノズルともにマイナスに帯電させた霧を噴霧した方が、左右でプラスとマイナスに分けて帯電させた場合よりも被覆面積率が安定して高くなり、アースを付けない試験区で静電の効果安定していた（Fig. 5, a, b, c）。これらの結果から、静電散布は散布粒子にマイナス帯電させると効果が高く、静電散布により飛行中の散布装置がプラスに蓄電されていくことによる悪影響は小さいと考えられた。

カンキツ園における試験では横風とともに気温や湿度等の環境条件が変動し、無人ヘリの飛行によるダウンウォッシュがある条件での評価となる。試験1では静電散布により垂直面の被覆面積率向上がみられ、上方面の被覆面積率向上はみられなかった結果（Fig. 6, a, c）は屋内試験結果と一致した。その一方で、下方面は静電散布により被覆面積率が向上し（Fig. 6, b）、屋内試験結果と異なった。これはダウンウォッシュの地面から跳ね返った気流により空中を浮遊する散布粒子が多くなった結果、帯電した散布粒子の物体への誘引効果が発揮されたためと考えられる。ダウンウォッシュの跳ね返りの気流によると考えられる被覆面積率向上効果については、感水試験紙の設置面の方向と設置高度ごとに被覆面積率が異なる結果（Fig. 7）から、下方面とともに垂直面において地上0.5m付近で認められる結果であった。地上散布における水平方向への噴霧では、3m/秒程度の風を付加するエアアシストを行うことで、作物群落内への散布液滴の到達が向上し、静電散布の効果が高まることが推定されている¹¹⁾。無人ヘリによるダウンウォッシュは垂直方向（下方）のエアアシストと捉えることが可能だが、適切な風の強度、すなわち飛行高度についての検討が必要なのかもしれない。

カンキツ園における試験1と異なる時期に実施した試験2では静電散布の効果が認められず（Table 6, Fig. 8）、試験1の結果が再現されなかった。両試験の試験条件（Table 3）を比較すると、散布条件では試験1と比較し、試験2ではノズル数の増加により吐出能力を向上させ、散布行程数を減らして散布水量を調整した。また気象条

件では試験2の実施日は気温が低く風が強い条件であった。これらの条件が静電散布の効果に影響を及ぼした可能性があり、今後検証を行う必要がある。なお、水散布よりもチオファネートメチル散布のほうで被覆面積率が高くなった（Fig. 8）ことから、殺菌剤成分や展着剤成分によって被覆面積率が向上する可能性がある。

航空防除における静電散布は、固定翼機²⁾や回転翼機¹²⁾において報告があり、それぞれ対象作物（ワタ、トウモロコシ、ポプラ）が異なる中で、効果がみられた散布方法（ノズル機種、加電圧）や散布条件（飛行高度、速度、散布水量、散布間隔）なども異なっている。本研究では、静電散布に一定の付着性向上効果があることを明らかにした一方で、効果の再現性の課題も明らかになった。この課題を解決するためには、さらに細かな条件設定が必要と考えられる。その上で、静岡県のカンキツ園の薬剤散布における無人ヘリの実用化については、対象病害虫、園地の立地にあわせて、散布条件の設定や防除効果の検証が必要と考えられる。

V 摘 要

カンキツ園において産業用無人ヘリコプターによる農薬散布技術を確立するための課題である立体的構造をした葉層部への被覆面積率向上を目的に静電散布機を試作し、評価を行った。静電散布機はノズル TVXK8 と電極に+4kVを加電する高圧電源装置で構成され、散布圧力0.3MPaにおける吐出量は1ノズルあたり0.55L/minであった。屋内施設で地上4.7mから下方に向けて散布した試験では、静電散布により地上1~2mに垂直に設置した感水試験紙の被覆面積率が向上した。この散布機を産業用無人ヘリコプターFazer-R（ヤマハ発動機株式会社製）に搭載し、カンキツ園において樹上3~4m上空から散布し、被覆面積率を評価した。その結果、カンキツ樹の葉層内に設置した感水試験紙の垂直面とともに下方面の被覆面積率も静電散布により向上した。カンキツ園で実施した他の試験では静電散布による被覆面積率の向上がみられない事例もあったことから、再現性の高い散布条件の設定が課題と考えられた。

謝 辞

静電散布装置の屋内施設における評価については、一般社団法人農林水産航空協会の施設で、カンキツ園における評価は静岡市清水区の現地圃場で実施した。試験実施にご協力いただいた同協会農林航空技術センターの中島満センター長、JA しみずの関係諸氏に厚くお礼申し上げます。本研究は静岡県経済産業部の新成長戦略研究「無人航空機を活用した樹園地の超省力・精密化管理システムの開発」2016～2018により実施した。

引 用 文 献

- 1) 芳賀俊郎 (2013) 航空 (有人ヘリ) 防除及び無人ヘリ防除の歩みと今後の展望. 日本農薬学会誌 38, 224～228.
- 2) Kirk, I. W., W. C. Hoffmann and J. B. Carlton (2001) Aerial electrostatic spray system performance. *Trans. ASAE* 44, 1089～1092.
- 3) 國本佳範・井上雅央 (1997) 感水紙の農薬付着指標と殺虫効果の関係について. 応動昆 41, 51～54.
- 4) 中野智彦・谷川元一・萩原敏弘・岡山健夫 (1991) イチゴうどんこ病 (*Sphaerotheca humuli*) に対する薬剤の防除効果と葉面の農薬付着量. 関西病虫害研報 33, 71～78.
- 5) 農林水産省生産局 (2006) 果樹農業に関する資料. 278pp.
- 6) Ru, Y., H. Zhou, and C. Shu (2014) Deposition evaluation of aerial electrostatic spraying system assembled in fixed-wing. *Applied Eng. in Agric.* 30, 751～757.
- 7) 静岡県 (2018) 静岡県の産業ハンドブック. 264pp.
- 8) 静岡県 (2019) 静岡県果樹園芸の生産と流通. 68pp.
- 9) 山根 俊・宮崎昌宏 (2008) 低濃度多量散布における静電散布装置の帯電性能. 農業機械学会誌 70, 115～122.
- 10) 柳 真一 (2017) 農薬製剤・施用技術の最新動向⑩, 航空防除 (有人・無人航空機) ～その特徴と展望～. 植物防疫 71, 745～748.
- 11) 吉永慶太・山根 俊・宮崎昌宏・中山夏希・窪田陽介・小林 研 (2014) エアアシスト静電散布における噴霧液滴の物理的特性に関する研究. 農業食料工学会誌 76, 261～270.
- 12) Zhou, H. Y. Ru, C. Shu, J. Zheng and H. Zhu (2009) Design and experiments of aerial electrostatic spraying system assembled in helicopter. *ASABE Meeting* 097378.