

エアアシスト式静電防除機の開発

農研機構 農業技術革新工学研究センター ^{よし}吉 ^{なが}永 ^{けい}慶 ^た太

はじめに

野菜や花き類は、作物に最適な環境を整えることで高糖度などの付加価値を高めた栽培を行いやすい。そのため施設栽培が多く行われている。施設栽培は、密閉された空間で、灌水や防除作業、蒸発散や温度変化等により相対湿度が高くなりやすいため、病害虫が発生しやすい。また、いったん病害虫の被害を受けると施設全体へ短期間でまん延してしまう危険性がある。そのため、予防的な意味も含めて農薬散布作業が頻繁に行われているのが現状である。

一方、日本の基幹的農業従事者は平成26年で168万人と10年前と比べて24%も減少、さらに、65歳以上が63%と高齢化の一途をたどっており（農林水産省、2015）、一層の省力・軽労化が求められている。なかでも施設栽培における防除作業は、散布作業への農薬被曝の危険性を避けるために、真夏の暑熱環境下でレインコート、ゴーグル、マスク等を装着して散布作業を行わ

なければならないため、大変な作業となっている（図-1）。さらに、近年では太陽光利用型植物工場に代表されるようにハウスの大規模化、栽培の周年化が進んでおり、散布作業は長時間かつ長期間になる傾向が強くなり、作業者にとっては大きな労働負担となっていることが大きな課題となっている。

このため、近年では施設内における防除作業の負担軽減、安全性等の面から、施設内に立ち入らずに作業を行う散布法が普及している。これは、手散布による液剤散布が無人で作業可能な防除機であり、具体的には防除ロボットや細霧散布装置を利用する散布方法である。ただし、この方法では、繁茂した作物に対して手散布よりも群落内部への到達性が悪く、葉裏への付着性能が低下するなどの問題が指摘されている。

以上のような問題を解決するために、農研機構生研センター（現：農研機構 農業技術革新工学研究センター）では、施設栽培において、静電散布技術およびエアアシスト技術を組合せ、手散布並みの防除効果が得られる無人防除機を開発したので報告する。

I 開発の背景

付着性能を向上させる技術として、静電散布が広く普及している。これは、噴霧ノズルの近傍に電極を設置し、高電圧を印加することによって、ノズルから噴霧された液滴に電荷を帯電させる技術である。この方法ではノズルと作物の電気力線に乗って液滴が移動するため、ノズル付近の植物や先鋭部に液滴がよく付着する利点がある一方、凹部には付着しにくく、作物群落内への貫通性や到達性に乏しいといった問題が報告されている（松尾、1984）。こうした欠点を解決する手段として、農研機構生研センターでは2010年から2年間エアアシストを用いた静電散布における噴霧液滴の付着効果について風洞内にて基礎試験を行い、その効果を確認してきた。その結果、中空円錐ノズル（ホロコーンノズル）を供試した水平方向への噴霧の場合、①エアアシストを行わないと多くの噴霧液滴は対象物に到達せずに落下していることが明らかとなり、エアアシストを行うことで、落下する液滴が対象物に到達する割合が向上することが明らかとなった、②エアアシストを行わない静電散布の場合、ノズルから離れるほど、噴霧液滴は放電してしまい、静電



図-1 施設内における慣行手散布の様子

Development of Air-Assisted Electrostatic Sprayer. By Keita YOSHINAGA

（キーワード：施設内防除，エアアシスト，静電散布，防除効果，散布量）

の効果がほとんどなくなるが、エアアシストを行うことで静電の削減効果は小さくなったことが明らかとなった(吉永・山根, 2014)。

このように蓄積した技術をベースにして, 2011 年度から農業機械等緊急開発事業において, 株式会社やまびこ, みのる産業株式会社との共同研究を実施し, ①静電気の力で対象作物に薬液を効率よく付着させる, ②作物群落内にも薬液が届き, 散布ムラをより少なくさせるためエアアシストを行う, さらに, ③重量バランスなどを考慮した台車で農薬被曝を軽減するため自動走行させる, といった三つの技術を組合せたエアアシスト式静電防除機(以下, 開発機)の開発を進めてきた。ここでは, 開発機の概要, さらに開発機を用いた性能試験としてこれまでに, 静岡県農林技術研究所, 千葉県農林総合研究センター, 埼玉県農業技術研究センター, 宮崎大学の協力の下で行った, メロン, キュウリ, トマト栽培における防除試験結果および福島県, 千葉県, 広島県の栽培現場で行った現地実証試験結果を報告する。

II 開発機の概要

1 開発機の構成

開発機は, 自動走行台車, 静電噴口部, およびエアアシスト部の三つの技術を組合せた構成となっている(表-1, 図-2)。作物列の間(畦間または栽培ベッド間)を 0.2 ~ 0.8 m/s で前進し, 作物列の端まで到達すると, あらかじめ設置してある金属板を感知し, 自動で後進に切り替わることで散布作業の畝間の往復散布作業を自動化している。なお, 機械の次の畝間への移動は, 散布を行わず, 農



図-2 開発機の構成

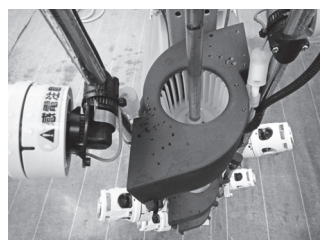
薬被曝の心配がないため, 自動化せずに作業者が人力で行うことで安価な機械を目指している。静電噴口部は, 噴霧粒子に静電気を付加する機能を有した静電噴口を片側 5 頭口ずつ装備しており, 自動走行台車に搭載して, 機体両側から作物に向けて薬液を散布できる。エアアシスト部は, 自動走行台車に搭載したエアポンプからの圧縮空気が, 各静電噴口の間に設置してあるエアアシストノズルから吐出することで, 静電噴口から噴霧された薬液の作物群落内への到達力をアシスト可能な構造とした。

2 エアアシスト方法の検討

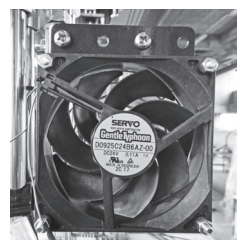
エアアシストする方法として, 比較的簡易な方法で大

表-1 開発機の仕様

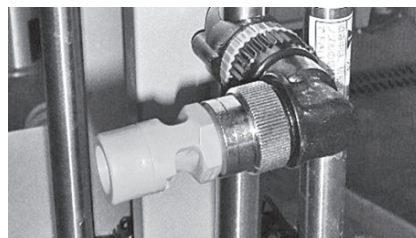
走行部	全長×全幅 (mm)	1,300 × 450	
	搭載バッテリー	鉛蓄電池 × 2 24 V × 36 Ah	
噴頭部	電極の種類	環状電極	
	印加電圧 (kV)	6.0	
	噴頭数	10	
エアアシスト部	エアアシスト方式	圧縮空気	
	エアアシストノズル	流量増幅ノズル	
		定格風量 (l/min)	120
	エアコンプレッサ	定格圧力 (kPa)	20
		消費電力 (W)	130
	質量 (kg)	125	
	適応動力噴霧器	使用圧力 5.0 MPa 以下のもの	
	中間ホース	使用圧力 5.0 MPa の耐性があるもの	



遠心ファン



軸流ファン



圧縮エア

図-3 各エアアシスト方式

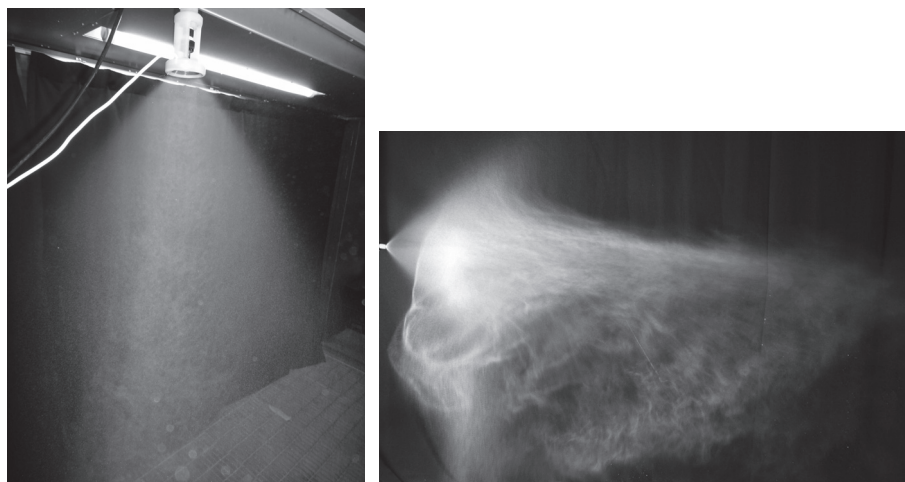


図-4 中空円錐ノズルのスプレーパターン
(左：垂直下向き，右：水平方向)

きな風量を得られるが静圧が低いと抵抗があると極度に風量が減少する軸流ファン，風量は軸流ファンと比べて少ないが静圧が高い遠心ファン，エア吐出部が小さく静電ノズルを搭載する噴頭部の形状が最も簡易化できる圧縮エアを利用した3種類の方法を考案し，そのメリット・デメリットを検討した（図-3）。

施設内の無人防除機に軸流ファン，遠心ファンを組み込んだ場合，噴頭部の質量が10 kg程度増加することにより，防除機の質量バランスや取り回しが悪化した一方，圧縮エア方式を用いることにより，噴頭部の質量増加を抑えることができた。また，軸流ファンおよび遠心ファン方式は，進行方向および噴霧方向に対して，各ファン設置部分の寸法が大きくなり，噴霧中に作物への接触や畦移りの際に施設へ接触が生じる可能性が生じた。他方，軸流ファンおよび遠心ファンは風の向きを調整することが困難である一方，圧縮エア吐出ノズルは，散布ノズルと同様に仰俯角に対して自由に調整することが可能であることがわかった。

また，通常中空円錐ノズルは，ブームスプレーヤーのように下向きに散布すると円錐型のスプレーパターンとなるが，開発機が想定している水平方向への噴霧の場合，空気抵抗による巻き戻りや重力落下によって，スプレーパターン中心部以外の噴霧液滴は到達距離が著しく短くなる（図-4）。そこで，各エアアシスト方式の風速分布を調査し（図-5），指向性の高いノズルを選定して噴口と噴口の中間点に設置することで（図-6），ノズル中心部の渦流から外れ，到達距離の短い液滴に効果的にエアアシストを行うことができた。

以上の結果から，施設栽培のための無人防除機を想定

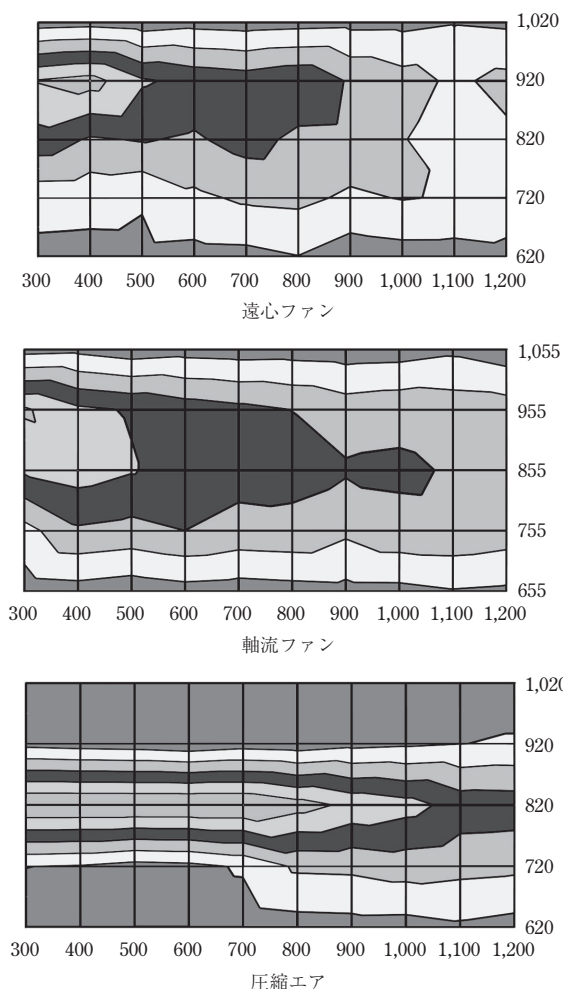


図-5 各エアアシスト方式の風速分布（m/s）

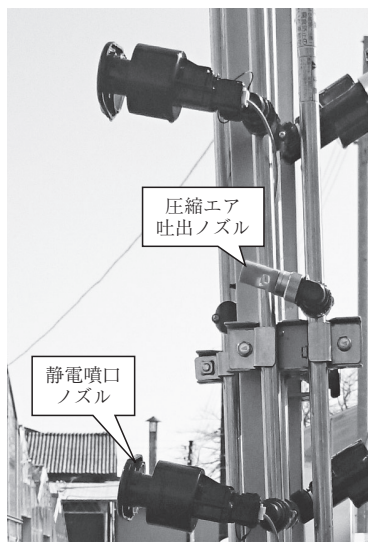


図-6 圧縮エア吐出ノズルの位置

した場合、軽量かつ噴頭部に設置しても寸法が大きくなりえない圧縮エア方式を用いることとした。

III 開発機の性能

以上のような基礎試験を元に試作、改良を行った開発機を用い、静岡県農林技術研究所、千葉県農林総合研究センター、埼玉県農業技術研究センター、宮崎大学の栽培温室内で、慣行手散布を対照区として、機械静電散布のうちエアアシストの有無および反当散布量による散布性能の違いを検証するため、防除効果試験を行った。また、開発機を実際の栽培現場で継続的に利用し、付着性能、作業能率および心拍数・歩数計測、開発機の取扱性等の問題点を調査した。

1 防除効果試験

うどんこ病を対象とした防除効果試験の結果を表-2に示す。静岡県農林技術研究所のメロン隔離ベッド栽培では、エアアシストのある機械散布区が、発病葉率で45、防除価で66といずれも慣行手散布と同等以上となった。埼玉県のトマト栽培では、反当散布量を通常より20%削減して試験を行った結果、エアアシストのある機械散布区は、反当散布量が20%削減されても、発病葉率は慣行手散布より抑えることが可能で、さらに慣行手散布以上の防除価を得ることができた。宮崎大学のキュウリ栽培では、エアアシストのある機械散布区が慣行手散布区と同等の防除効果を得ることができた。

さらに、千葉県農林総合研究センターのキュウリ栽培では、ワタアブラムシを対象とした防除効果試験を行っ

ており、開発機を用いた場合、死虫程度は最大で3.4倍程度となり、いずれの条件においても慣行手散布と同等かそれ以上の防除効果を示した(表-3)。

2 現地実証試験

福島県、千葉県、広島県のトマトハイワイヤ栽培、千葉県のキュウリ土耕栽培での現地実証試験における付着性能試験結果を表-4に示す。栽培ベッド間に温湯管などをレールとして使用するために安定した走行が可能なトマトハイワイヤ栽培においては(図-7)、薬液の付着は、散布量が同程度(A菜園)であれば、開発機は慣行機以上となり、開発機の散布量を慣行機の約34%まで削減した場合(B菜園)でも同程度であった。また、開発機では片道散布を行っても手散布以上の付着を得ることができた(C菜園)。

一方、土耕キュウリ栽培では、一般に畝間の走行路が軟弱状態である。灌水や農薬散布により路面が濡れることでさらに軟弱となり、開発機が走行するたびに車輪により轍をつくり、レール上を走行するような安定した走行は不可能であった。この結果、農薬の付着性能が手散布に比べ劣り、さらに、取扱性、耐久性等にも課題が残った。このような条件へ開発機を導入する場合、走行が安定し回行などが円滑に行われるように、走行路、畝、枕路等を設置することが望ましいと考える。

トマトハイワイヤ栽培の防除作業において、開発機は慣行手散布に比べ、作業時間で約1/4、歩数で約1/50となり、省力的な作業に寄与できた(表-5)。また、本条件下で3時間40分(走行距離:約6km)の散布作業



図-7 開発機による散布の様子

表-2 防除効果試験条件および結果

1) メロン (通常散布量: 300 l/10 a, 最終散布後 21 日目)

	静電	エアアシスト	反当散布量 (l/10 a)	発病葉率 (%)	防除価
手散布区	なし	なし	300	53	60
機械散布区	あり	なし	300	65	45
		あり	300	45	66

2) トマト (通常散布量: 200 l/10 a, 最終散布後 8 日目)

	静電	エアアシスト	反当散布量 (l/10 a)	発病葉率 (%)	防除価
手散布区	なし	なし	160	27	82
機械散布区	あり	なし	160	21	87
		あり	160	10	95
		なし	120	33	79
		あり	120	25	80

3) キュウリ (通常散布量: 300 l/10 a, 最終散布後 28 日目)

	静電	エアアシスト	反当散布量 (l/10 a)	発病葉率 (%)	防除価
手散布区	なし	なし	240	8	93
機械散布区	あり	なし	240	14	86
		あり	240	5	95
		なし	180	53	47
		あり	180	21	79

注1) うどんこ病を対象とし、散布薬剤はキュウリ:ダコニール 1,000 倍 (調査期間: H26. 10. 21 ~ 11. 25), メロン:モレスタン水和剤 3,000 倍 (調査期間: H25. 6. 27 ~ 7. 18), トマト:カリグリーン 800 倍 (調査期間: H26. 10. 31 ~ 12. 12).

注2) 栽培様式 キュウリ:株間 80 cm, 条間 60 cm (千鳥植え), 草丈 180 cm の土耕養液栽培, メロン:株間 35 cm, ベッド間 120 cm, 草丈 180 cm のベッド溶液栽培, トマト:株間 30 cm, ベッド間 120 cm, 草丈 240 cm のベッド養液栽培.

注3) 防除価 = 100 - 試験区の発病度/無処理区の発病度 × 100, 100 が最もよい. 無処理区は農薬散布なし.

注4) 対照区の手散布は, 各試験地の熟練作業員により実施.

注5) 発病葉率 = 発病葉数/調査葉数 × 100 (%), 0 が最もよい. 調査葉数, キュウリ:200 枚, メロン:320 枚, トマト:100 枚.

表-3 試作静電防除機の散布方法がキュウリのワタアブラムシの防除効果に及ぼす影響

試験区名	散布方法		ブロックごとの死虫程度					調査葉の平均寄生程度	
	静電	エアアシスト	1	2	3	4	平均	死虫 + 生虫	生虫
機械 1	×	×	40.0	50.0	48.5	34.0	43.1	3.9	3.4
機械 2	○	○	84.5	78.0	62.0	75.5	75.0	4.0	2.9
無散布 (参考値)			0.0	0.0			0.0	3.7	3.7
手散布 (参考値)			19.0	9.0	30.0	30.0	22.0	3.4	3.1

注1) 品種: 'マジカル 2 号', 定植: 10 月 8 日.

注2) 使用薬剤: トルフェンビラド乳剤 1,000 倍 180 l/10 a, 散布日: 2 月 10 日の 1 回.

注3) 散布 9 日後に地上高 150 cm 程度のワタアブラムシ寄生葉 (1 区当たり 10 葉) を採取し, 1 葉当たりの成幼虫数を寄生程度 (0:0 頭, 1:1 ~ 10 頭, 2:11 ~ 50 頭, 3:51 ~ 200 頭, 4:201 頭以上) ごとに調査し, さらに調査葉ごとに死虫率を 0 ~ 90% は 10% 刻み, 90% 以上は 5% 刻みで調査し, この方法で得られた死虫率の平均を死虫程度とした.

注4) 参考値は試験温室と同様な栽培管理を行った別温室での調査結果, 手散布の散布量は 240 l/10 a.

表-4 実証試験における付着性能試験結果

		トマトハイワイヤ栽培				土耕キュウリ栽培
		A 菜園	B 菜園	C 菜園		
				往復散布	片道散布	
慣行機	散布量 (l/列)	40	6	25	14	－
	付着	39	44	4	2	－
開発機	散布量 (l/列)	35	2	21	10	16
	付着	100	46	69	51	26
手散布	散布量 (l/列)	－	－	17	－	22
	付着	－	－	38	－	54

注1) 付着は葉裏に設置した感水紙の被覆面積率。

注2) 土耕キュウリ栽培の手散布区は手押しカート。

注3) 作目：大玉トマト。

A 菜園：調査日：H27.10.2，株間 50 cm，ベッド間 1.6 m，1 ベッド 64 m，128 株，草丈 4.1 m。

B 菜園：調査日：H27.10.6，株間 25 cm，ベッド間 1.6 m，1 ベッド 56 m，226 株，草丈 3 m。

葉欠きの切断部のみへの散布のため片側 1 頭口（両側 2 頭口）のみ利用。

C 菜園：調査日：H27.11.20，株間 25 cm，ベッド間 1.6 m，1 ベッド 42 m，160 株，草丈 2.6 m。

表-5 1 列（160 株，40 m）当たりの作業時間および歩数

試験区	作業時間（分：秒）				歩数
	前進	後進	取り回し	合計	
慣行機	1：23	1：22	0：43	3：30	4
開発機	1：24	1：35	0：45	3：40	5
手散布				15：34	230

注1) 試験は表-4 の C 菜園の結果。

注2) 手散布は 80 株（20 m）のデータを 1 列分（往復 80 m）に換算。

を行ってもバッテリーの電圧低下による不具合は起こらなかった。

お わ り に

施設園芸においては，開発したエアアシスト式静電防

除機を用いることで，慣行の手散布並みの防除効果を維持しつつ，無人で防除作業が可能となるため，手散布では難しい農薬被曝の回避や軽労化につながる事が期待される。また，現在行っている現地実証試験の結果，走行路が安定したトマトハイワイヤのような栽培条件などでは，散布量の削減につながる結果も得られている。

現在，福島，千葉，広島等の園芸施設の栽培現場において，開発機の実用性を検証する実証試験を終え，それらの結果をまとめ，開発機の取扱性や耐久性等の問題点を整理・改良し，早期の実用化を図りたい。

引 用 文 献

- 1) 平成 26 年農業構造動態調査 農林水産省，大臣官房統計部 (2015) : <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukou/index.html> (2016 年 3 月 23 日閲覧)
- 2) 松尾昌樹 (1984) : 農機学会シンポジウム精密防除，17～27。
- 3) 吉永慶太・山根 俊 (2014) : 農業食料工学会 76(3) : 261～270。