

ドローン散布時は、対照区と無処理区にFPRポール（商品名 ダンポール®）で支柱をした後農業用ポリエチレンフィルムで覆いをして、薬液がかからないようにした。試験区全体を1圃場とみなして薬液を調整し、散布を行った。薬液は殺虫剤と殺菌剤を混用して散布した。

3) 調査項目及び方法

(1) 生育調査及び飛散状況調査

ア. 調査日：生育調査；4月21日、5月6日、5月19日 飛散状況調査；5月8日、22日

イ. 調査項目：生育調査；茎長（cm）

飛散状況調査；液滴1個当たりの大きさ（mm³/個）、単位面積当たりの個数（個/cm²）、感水紙に占める変色部分の被覆率（%）、実散布量（L）

(2) 病害虫防除効果調査

ア. 調査日：4月21日、4月30日、5月6日、5月13日、5月19日、5月25日

イ. 調査項目：アブラムシ類；個体数（有翅、無翅）

疫病：下記の発病程度調査基準に基づいて記録。

<発病程度調査基準>

1：1/4 程度の葉が発病

2：ほぼ1/2 程度の葉が発病、時には一部の葉が枯死する

3：ほとんどの葉(3/4 程度)が発病、枯死葉がかなり多く(1/2 程度)みられる

4：葉はほとんど(3/4 以上)が枯死、時には茎部も枯死する

発病度 = { Σ (各発病指数 × 発病程度別株数) / 4 × 調査株数 } × 100

(3) ドリフト調査

ア. 調査日：5月19日

イ. 調査項目：

感水紙；液滴1個当たりの大きさ（mm³/個）、単位面積当たりの個数（個/cm²）、感水紙に占める変色部分の被覆率（%）

ろ紙；薬剤成分の付着量（ μ g）

ウ. 農薬の分析方法；LC/MS/MS（定量下限0.1 μ g）

エ. 設置方法：試験はドローン散布区のR3区で行った。感水紙とろ紙（ADVANTEC社製、 ϕ 70mm、No.2）は、試験区のドローンの飛跡から直角に、ドローンの直下を0mとして2m、4mの位置に、地上0.6mの高さに設置した。反復は1mおきに3反復とった。ろ紙と感水紙は散布直前に圃場に設置し、散布終了後には速やかに回収した。

(4) 残留農薬調査

ア. 調査日：5月26日

イ. 農薬の分析方法；LC/MS/MS（定量下限0.1 μ g）

ウ. 分析成分；イミダクロプリド（アドマイヤー顆粒水和剤）

シアゾファミド（ランマンフロアブル）

エ. サンプルング方法

サンプルの茎葉部は、ドローン散布区と地上散布区の反復R2から同程度の茎長のものを生

体重で1 kg 以上になるように6株回収し、ビニール袋に梱包後低温条件で分析機関に送付した。

(5) 塊茎えそ病調査及び収量調査

ア. 掘り取り日：6月2日 調査日：7月14日（収穫42日後）

イ. 調査株数：24株/区

ウ. 調査項目：塊茎えそ症状(陥没、黒目、ミミズ腫れ)のある上いも個数、全塊茎数

(6) その他

疫病は場内圃場および近隣圃場において自然発生が見られなかったことから、5月12日にあらかじめ用意していた罹病塊茎を、同一圃場の隣接した馬鈴薯圃場内に設置して間接接種を行い、感染および発生を促した。

3回目のドローン散布時に、地上散布区のR3区を覆っていたポリフィルムがはがれ、ドローンの薬液が付着したため、以降のデータを欠測値として調査対象から除外した。

3 . 試験結果

1) 生育調査及び飛散状況調査

茎長は1回目の散布時には22 cmあり、やや生育が進んだ時点での散布になった。10aあたり散布量は、全ての散布日で想定量よりもやや多く散布した（表2）。

感水紙の画像分析の結果について統計解析を行った結果、有意差があったのは散布日間で比較した液滴1個当たりの大きさだけであり、各散布日においてドローンは圃場内に均一に薬液を散布していることが分かった（表3）。

2) 病害虫防除効果

アブラムシ類は、馬鈴薯寄生性アブラムシ4種が発生し、いずれの種も区当たり50頭未満の少発生だった。3回目散布の5月19日には、天敵類の捕食により無処理区でも個体数が減少した。疫病は、5月13日に地上散布区で初発が確認された。

ドローン散布区でのアブラムシ類の防除効果は、散布1回目では地上散布区と同等の防除効果を示した。散布2回目はモモアカアブラムシ（表4）とチューリップヒゲナガアブラムシ（表5）で、地上散布区と比較して効果がやや劣った。ワタアブラムシでは散布2回目の防除効果は地上散布区よりも高かった（表6）。ジャガイモヒゲナガアブラムシは期間を通して発生量が少なく、効果は判然としなかった（データ省略）。いずれの区も3回目散布では、散布後の無処理区の虫数が減少したため、効果は判然としなかった。

ドローン散布区での疫病の防除効果は、地上散布区と比較して発病株率と発病度ともに5月19日には低く、5月25日には高く推移した。発病株率、発病度共に有意差はなかった（表7）。

散布時は2種類の薬剤を混用して散布したが、各調査回において生育遅延や薬斑などの薬害は認められなかった。

3) ドリフト及び残留農薬調査

ろ紙の残留農薬分析の結果、散布した農薬の成分は機体直下である0mでの値に対し、散布域の端である2mでは30%、散布域から2m離れた4mでは4～5%に減少した（表8）。

感水紙の画像分析の結果、液滴の飛散量は、機体直下から離れるほど減少し、被覆率では2

mの位置で約20%、4mで約3%になった(表8)。

ろ紙の残留分析値と感水紙の被覆率の間には強い相関があり、感水紙の被覆率から、飛散した農薬の量を推定できる可能性がある(図1)。

4) 残留農薬分析

馬鈴薯茎葉の残留農薬分析は、両成分ともドローン散布区で多い結果となり、イミダクロプリドは約5.5倍、シアゾファミドは約8.5倍多く残留した(表9)。

5) 塊茎えそ病発生状況及び収量調査

塊茎えそ病はアブラムシ類が媒介するウイルスが塊茎部に移行することによって複数の症状を発生する。塊茎えそ症状を呈する塊茎は、ドローン散布区で有意に少なかった。最も発症が多かったのは陥没症状だった。また発症は反復R1で多い傾向にあり、ウイルス保毒虫が圃場へ飛び込む方向と関係していると推察された(表10)。

収量調査の結果、株あたり個数ではドローン区で少なく、重量では反復R3で軽い傾向にあったがいずれも有意差はなかった(表11)。

表2. 茎長調査とドローン散布結果

散布日	茎長 (cm±SD)	生育段階	平均風速 (m/s)	風向	実散布量 (L)	散布面積 (㎡)	散布量 (L/10a)
4月21日	22±3.2	茎葉伸長～着蕾期	0.6	北北西	0.55		4.02
5月6日	39±4.7	開花期	0.4	南南西	0.48	136.8	3.51
5月19日	43±8.1	伸長停止期	0.3	南南西	0.49		3.58

平均風速は実測値。風向は気象観測装置の記録。

表3. 散布時の感水紙の分析結果

散布日	液滴面積 (mm ²)	1 cm ² 当たり液滴個 数(個/cm ²)	被覆率 (%)	
4月21日	0.17±0.05	ab	133±29.8	22.9±8.0
5月6日	0.11±0.06	ab	110±67.0	14.5±13.7
5月19日	0.18±0.06	b	109±25.8	19.8±8.3
統計処理	*	n.s.	n.s.	
検定方法	Tukey-HSD検定	Friedman検定	two-wayANOVA	

ドローン散布時に各区の対角線上に3枚、茎頂の位置に感水紙(Syngenta製、76×52mm)を設置した。感水紙は回収後画像解析ソフト‘ImageJ’を用いて画像分析を行った。

液滴面積は、反復と散布日を水準としてTwo-way ANOVAで検定したのち、有意差があった水準の散布日間でTukey-HSD検定を行った。液滴面積の数値の後の同列異符号間には有意差がある。被覆率(%)は逆正弦変換した値をTwo-way ANOVAで検定した。

表4. モモアカアブラムシに対する防除効果

区	反復	1回目散布			2回目散布			3回目散布											
		散布前(4月21日)			散布7日後(4月30日)			散布前(5月6日)			散布7日後(5月13日)			散布前(5月19日)			散布6日後(5月25日)		
		無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計
ドローン体系区	R1	3	5	8	0	0	0	1	2	3	10	1	11	1	0	1	0	0	0
	R2	9	2	11	0	0	0	1	2	3	0	2	2	1	1	2	0	0	0
	R3	7	2	9	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	0	2	0	0	0
	合計	19	9	28	0	0	0	2	5	7	11	4	15	4	1	5	0	0	0
	補正密度指数				0			32.7			37.2			121			-		
地上散布区	R1	6	3	9	1	0	1	0	0	0	3	1	4	0	1	1	1	1	2
	R2	10	2	12	1	0	1	2	1	3	0	3	3	1	0	1	0	1	1
	R3	5	1	6	1	1	2	3	1	4	0	3	3	2	0	2			
	合計	21	6	27	3	1	4	5	2	7	3	7	10	3	1	4	1	2	3
	補正密度指数				12.9			33.9			25.7			101			-		
無散布区	R1	9	2	11	8	1	9	9	0	9	18	0	18	2	0	2	0	0	0
	R2	16	2	18	19	2	21	12	3	15	15	4	19	1	0	1	0	0	0
	R3	4	1	5	7	2	9	1	1	2	9	3	12	2	0	2	0	0	0
	合計	29	5	34	34	5	39	22	4	26	42	7	49	5	0	5	0	0	0
	補正密度指数				100			100			100			100			-		

表5. チューリップヒゲナガアブラムシに対する防除効果

区	反復	1回目散布			2回目散布			3回目散布											
		散布前(4月21日)			散布7日後(4月30日)			散布前(5月6日)			散布7日後(5月13日)			散布前(5月19日)			散布6日後(5月25日)		
		無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計
ドローン体系区	R1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	3	4	0	0	0	0	0	0
	R2	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R3	0	1	1	0	0	0	1	1	2	6	0	6	0	1	1	0	0	0
	合計	2	3	5	0	0	0	1	2	3	7	3	10	0	1	1	0	0	0
	補正密度指数				0			3.3			7.4			-			0		
地上散布区	R1	2	1	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	R2	5	1	6	0	1	1	0	0	0	2	0	2	0	1	1	0	0	0
	R3	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	合計	7	2	9	0	4	4	0	0	0	2	0	2	0	2	2	0	0	0
	補正密度指数				1.4			0.0			0.8			-			0		
無散布区	R1	0	0	0	7	3	10	1	0	1	13	0	13	0	0	0	1	0	1
	R2	0	0	0	14	1	15	9	1	10	12	0	12	0	0	0	0	0	0
	R3	1	0	1	5	1	6	7	0	7	1	1	2	0	0	0	0	0	0
	合計	1	0	1	26	5	31	17	1	18	26	1	27	0	0	0	1	0	1
	補正密度指数				100			100			100			-			100		

表6. ワタアブラムシに対する防除効果

区	反復	1回目散布			2回目散布			3回目散布											
		散布前(4月21日)			散布7日後(4月30日)			散布前(5月6日)			散布7日後(5月13日)			散布前(5月19日)			散布6日後(5月25日)		
		無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計
ドローン体系区	R1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
	合計	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
	補正密度指数				0			0.0			50.0			0			0		
地上散布区	R1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0
	R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
	R3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
	合計	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	3	0	3	3	0	0	0
	密度指数				33.3			0.0			15.0			150			0		
無散布区	R1	3	0	3	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	R2	0	2	2	0	2	2	4	2	6	11	4	15	0	0	0	1	0	1
	R3	0	0	0	4	0	4	1	1	2	3	1	4	2	0	2	0	0	0
	合計	3	2	5	4	2	6	6	3	9	14	6	20	2	0	2	1	0	1
	補正密度指数				100			100			100			100			100		

表7. 疫病に対する防除効果

試験区	反復	4月21日 4月30日 5月6日			5月13日				5月19日				5月25日											
		発病株数	発病株数	発病株数	程度別株数				発病株率 (%)	発病度	程度別株数				発病株率 (%)	発病度								
					0	1	2	3			4	0	1	2			3	4						
ドローン散布区	R1	0	0	0	10	0	0	0	0	0	8	2	0	0	0	20	5.0	7	3	0	0	0	30	7.5
	R2	0	0	0	10	0	0	0	0	0	8	2	0	0	0	20	5.0	6	4	0	0	0	40	10.0
	R3	0	0	0	10	0	0	0	0	0	8	2	0	0	0	20	5.0	7	3	0	0	0	30	7.5
	Ave	0	0	0					0.0	0.0						20.0	5.0						33.3	8.3
地上散布区	R1	0	0	0	9	1	0	0	0	10	2.5	8	2	0	0	20	5.0	6	4	0	0	0	40	10.0
	R2	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0.0	8	2	0	0	20	5.0	9	1	0	0	0	10	2.5
	R3	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0.0	7	3	0	0	30	7.5							
	Ave	0	0	0					3.3	0.8						23.3	5.8						25.0	6.3
無散布区	R1	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0.0	8	2	0	0	20	5.0	8	2	0	0	0	20	5.0
	R2	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0.0	6	4	0	0	40	10.0	2	8	0	0	0	80	20.0
	R3	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0.0	7	3	0	0	30	7.5	6	4	0	0	0	40	10.0
	Ave	0	0	0					0.0	0.0						30.0	7.5						46.7	11.7
統計解析								n.s.	n.s.						n.s.	n.s.						n.s.※	n.s.	

発病株率は逆正弦変換した値を用いて、5月25日※では Tukey -の HSD 検定、他は Kruskal-Wallis 検定を行った。

表8. ドリフト調査時のろ紙と感水紙の分析結果

調査項目	ろ紙 (38.5cm ²)				感水紙		
	イミダクロプリド (μg/枚)		シアゾファミド (μg/枚)		液滴1個当たり面積 (mm ²)	単位面積当たり個数 (個/cm ²)	被覆率 (%)
0 m	44.7±9.0	(100)	45.3±8.5	(100)	0.21±0.07	132±7.1	27.9±8.5 a
2 m	13.3±11.9	(30)	13.8±11.4	(30)	0.07±0.02	72±31	5.6±4.1 b
4 m	1.8±0.36	(4)	2.4±0.45	(5)	0.04±0.004	20±3.9	0.8±0.2 b
統計解析	*		*		*	*	*

() 内は0m地点を100とした時の各成分の平均値の指数
 イミダクロプリド、シアゾファミド、液滴1個当たり面積及び単位面積当たり個数は Kruskal-Wallis 検定、被覆率 (%) は逆正弦変換し one-way ANOVA を行った後、事後検定として Tukey の HSD 検定を行った。
 ※は5%水準で有意差があることを示す。また、被覆率のアルファベットは、異符号間で有意差があることを示している。

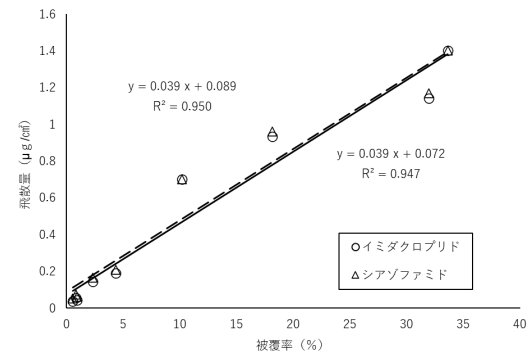


図1. 感水紙の被覆率と飛散量の関係

表9. 植物地上部の農薬残留量

	(ppm)	
	イミダクロプリド	シアゾファミド
ドローン散布区	0.11	2.30
地上散布区	0.02	0.27

表 10. 塊茎えそ病の発病状況

区	ドローン散布区				地上散布区				無散布区				
	反復	R1	R2	R3	合計	R1	R2	R3	合計	R1	R2	R3	合計
全塊茎数	147	155	147	449	189	167	356	203	167	160	530		
発病塊茎数	陥没	10	1	3	14	51	4	55	51	0	2	53	
	黒目	0	2	4	6	0	2	2	0	0	0	0	
	ミミズ腫	5	1	4	10	4	5	9	7	6	6	19	
	うち陥没+ミミズ腫	0	0	0	0	2	0	2	1	0	1	2	
発病塊茎数	15	4	11	30	53	11	64	57	6	7	70		
健全塊茎数				419			292				460		
発病塊茎率(%)				6.7			18.0				13.2		
χ^2 二乗検定	$\chi^2=24.208, df=2, p=0.000005537$												

表 11. 収量調査結果

項目	区	各区平均値 (各区24株調査)						
		2S	S	M	L	2L	3L	合計
個数(個)	ドローン散布区	10.7±7.5	30.3±4.2	41.7±0.6	38±2.6	23.7±9.1	5.3±1.2	149.7±4.6
	地上散布区	8.0±4.2	44±12.7	56±2.8	49.5±2.1	17.5±3.5	3.0±1.4	178±15.6
	無散布区	22.3±9.1	42.3±5.7	48±1.0	44.7±7.4	16.3±1.2	3.0±2.0	176.7±23.1
重量(kg)	ドローン散布区	0.5±0.1	1.8±0.2	3.7±0.3	5.6±0.5	4.9±1.8	1.6±0.4	18.1±2.2
	地上散布区	0.3±0.1	2.4±0.8	5.3±0.2	7.2±0.3	3.6±0.6	1.0±0.6	19.8±0.9
	無散布区	0.6±0.3	2.4±0.1	4.5±0.1	6.5±1.1	3.3±0.3	0.9±0.6	18.2±2.0

【障壁のドリフト防止効果、ダウンウォッシュの茎葉折損、圃場作業性調査】

1. 試験場所

長崎県雲仙市愛野町 農林技術開発センター中山間営農研究室圃場

2. 試験方法

現在広く普及が進んでいる機体の MG-1 と、大型機体である T20 について、同一条件下で散布作業を行い、ダウンウォッシュが茎葉へ与える影響や圃場作業性について比較検討した。

1) 供試機械名

試験機：防除用ドローン(MG-1 P、AGRAS T20)

対照機：セット動噴(KAAZ ウルトラキャリースプレーヤ SX500)

2) 栽培等概要

(1) 品 種：馬鈴薯；アイマサリ、さんじゅう丸

障壁作物；つちたろう（ソルゴー）

(2) 植付日：2021年9月10日、出芽期：9月18日、収穫日：11月26日

障壁作物も同日に播種

(3) 植栽様式：馬鈴薯；うね幅60cm、株間25cm、秋作普通栽培

障壁作物；条間30cm、2条植え。播種量20g/10m、施肥量N:P:K=各5kg/10a

(4) 圃場条件：褐色森林土

(5) 区制・面積：1区制：T20区、MG-1区

ア. 植付面積62.4㎡（さんじゅう丸31.2㎡、アイマサリ31.2㎡）

イ.ドリフト調査 T20区、MG-1区共通

障壁有区 132.6 m² (17m×7.8m)、障壁無区 156 m² (20m×7.8m)

ウ.茎葉折損調査：調査面積 地上散布区・MG-1区：62.4 m²、T20区：49.9 m²

エ.作業能率調査：散布面積：MG-1区：156 m²、T20区：280.8 m²、地上散布区：64 m²

上記に加えて、共通の別圃場（全面積 566 m²）を散布。

(6) 処理方法

各処理方法及び機体で水を散布した。散布時の液剤タンクは最大量、すなわち MG-1 は 10L, T20 は 16L を搭載し、ダウンウォッシュを最大にした。

3) 調査方法及び方法

(1) ドリフト調査

ア.調査日：MG-1区；11月2日、T20区；11月9日

イ.調査項目：液滴1個当たりの大きさ(mm³/個)、単位面積当たりの個数(個/cm²)、感水紙に占める変色部分の被覆率(%)

ウ.調査方法；機体の直下を0mとし、散布方向に直角に2m、4m及び6mの位置に感水紙を設置した。

(2) 茎葉折損調査

ア.調査日：地上散布区；10月29日、MG-1区；11月2日、T20区；11月9日

イ.調査項目：折損株数(茎葉、茎)、茎長、茎数

(3) 作業能率調査

ア.調査日：MG-1：11月2日、T20：11月9日、セット動噴：10月29日

イ.調査項目：作業時間(ハンディカメラで記録)

(4) 生育状況調査

障壁作物は出芽後約1～2週間おきに草高を調査した。

3. 試験結果

1) 散布設定及び散布結果

MG-1 P 32L/ha、散布幅4m、高度2m

散布速度4.1km/h、散布量0.86L/min、2噴口散布

T20 32L/ha、散布幅圃場1；6m、圃場2；5m、高度3m

散布速度11.2km/h、散布量3.6L/min、8噴口散布

2) ドリフト結果

感水紙の画像分析の結果、液滴の平均面積では、0mのMG-1の障壁無区で有意に大きくなったが、その他の距離では有意差はなかった(表12)。

cm²当たり個数は、0m及び4mで機種に関わらず障壁があると有意に少ない(表13)。

被覆面積率は、MG-1の障壁無区で、0mと4mの位置で有意に高かった(表14)。

散布される液滴の一粒当たりの大きさに差はないが、障壁があると飛散する液滴の個数が減る傾向があることが分かった

3) 茎折れ調査

茎葉の折損は地上散布区で多い傾向があり、検定の結果、地上散布区のアイマサリの複葉の折損が有意に多かった(表 15)。品種間で差が出たのは、秋季の干ばつ傾向の影響でアイマサリの茎葉が早期に倒伏し、移動時に作業者の足に接触しやすくなったためと考えられる。

ドローンによる空中散布は、地上散布よりも茎葉部の折損は少ないが、地面との擦れによる擦過傷がみられたため、春作での高温下での軟腐病の発生について調査が必要である。

4) 圃場作業性調査

圃場での実証の結果、1 ha あたり作業時間は MG-1 で 0.35 時間、T20 で 0.21 時間となり、セット動噴の 2.3 時間よりも大幅な短縮になった(表 16)。この結果から、春作での防除可能面積を計算すると、疫病を対象としたスケジュール散布を行う場合には、MG-1 で 10.6ha、T20 で 17.9ha が散布可能な面積であることが試算された(表 17)。さらに、ドローンの導入にかかる経費を積算し(表 18)、これらをもとに、経営評価(表 19)及び経営試算(表 20)を行った。

5) 生育調査

秋作の生育初期は干ばつ傾向で推移し、馬鈴薯の生育に影響を及ぼした。アイマサリでは茎葉の倒れ、さんじゅう丸では出芽の遅れによる出芽の不ぞろいなどがみられた。

試験区間で、茎長及び茎数に差は見られなかったが、品種間では差が見られ、アイマサリで長い結果になった(表 21)。

障壁作物は、馬鈴薯の防除が始まる 9 月下旬では 40 cm 前後、最終散布が行われる 10 月下旬では約 100 cm だった。その後生育は緩慢になり、ドリフト調査を行った 11 月上旬には 115 cm 前後だった(表 22)。

4. 主要成果の具体的データ

表 12. 液滴の平均面積 (mm²)

機体	障壁	距離 (m)			
		0	2	4	6
T20	有	0.07±0.03 a	0.03±0.002	0.04±0.02	0.05±0.04
	無	0.07±0.01 a	0.04±0.003	0.03±0.001	0.02±0.01
MG-1	有	0.11±0.01 a	0.06±0.02	0.05±0.03	0.05±0.01
	無	0.17±0.03 b	0.06±0.02	0.05±0.01	0.05±0.02

two-way ANOVA または Kruskal-Wallis の順位和検定を行い、事後検定として Tukey の HSD 検定または Steel Dwass の検定を行った。同列異符号間には有意差あり。

表 13. 単位面積あたり個数(個/cm²)

機種	障壁	距離 (m)			
		0	2	4	6
T20	有	0.85±114.13 a	0.31±9.47	0.03±1.38 a	0.02±1.43
	無	3.13±182.33 b	1.38±48.32	0.04±2.61 b	0.13±5.84
MG-1	有	3.9±67.82 a	0.69±8.79	0.05±1.19 a	0.02±1.82
	無	5.15±182.68 b	0.24±8.75	0.07±4.81 b	0.21±8.92

two-way ANOVA または Kruskal-Wallis の順位和検定を行い、事後検定として Tukey の HSD 検定を行った。0m と 4m では障壁の有無で差があるが、機種間で差はなかった。

表 14. 平均被覆率 (%)

機種	障壁	距離 (m)			
		0	2	4	6
T20	有	7.49±0.85 a	0.32±0.31	0.05±0.03 a	0.05±0.02 a
	無	12.69±3.13 a	1.72±1.38	0.07±0.04 a	0.16±0.13 a
MG-1	有	6.73±3.9 a	0.63±0.69	0.07±0.05 a	0.08±0.02 a
	無	29.93±5.15 b	0.48±0.24	0.22±0.07 b	0.40±0.21 a

two-way ANOVA または Kruskal-Wallis の順位和検定を行い、事後検定として Tukey の-HSD 検定または Steel Dwass の検定を行った。同列異符号間には有意差あり。

表 15. 馬鈴薯茎葉折損調査

調査区	調査日	調査		茎		複葉			
		株数 (株)	株数 (株)	アイマサリ 無 有 %	さんじゅう丸 無 有 %	アイマサリ 無 有 %	さんじゅう丸 無 有 %		
MG-1	11月2日	64	64	0 0.0	64 0 0.0	63 1 1.6	63 1 1.6		
T20	11月9日	50	50	0 0.0	50 0 0.0	49 1 2.0	50 0 0.0		
地上散布	10月29日	64	62	2 3.2	63 1 1.6	54 10 18.5	61 3 4.9		
χ ² 二乗検定		n.s.		n.s.		**		n.s.	

各調査部位と調査区を水準として、品種ごとにχ² 二乗検定を行った。

表 16. 実証結果

項目		散布方法		
		MG-1	T20	セット動噴
薬液搭載量	L	8	16	500
薬剤散布量	L/10a	3.2	3.2	200
作業人員	人	2	2	2
作業幅	m	4	5.5	8
作業速度	m/s	2.0	2.8	0.16
調査面積	a	7.8	8.5	7.0
作業時間	min			
実作業		1.7	1.1	9.7
補給		1.0	1.0	5.3
その他		8.2	4.5	5.5
圃場間移動		0.4	0.6	0.6
合計		10.9	6.6	18.5
圃場作業量	ha/時	2.82	4.76	0.43
1haあたり作業時間	時/ha	0.35	0.21	2.3

圃場作業量＝調査面積/実作業時間*60/100
1haあたり作業時間＝1/圃場作業量

表 17. 防除可能面積の試算

散布方法	圃場作業量 (ha/時)	作業時間 (時/日)	実作業率 (%)	1日の作業 可能面積 (ha/日)	作業可能 日数 (日)	期間中作業 可能面積 (ha)	防除 回数 (回)	期間中 散布面積 (ha)	30時間散布 可能面積 (ha)
ドローン (MG-1)	2.82	2.5	70.0	4.9	2.1	10.6	3	31.8	84.7
ドローン (T20)	4.76	2.5	70.0	8.3	2.1	17.9	3	53.6	142.9
セット動噴	0.43	8.0	70.0	2.4	2.1	5.2	3	15.5	-

ドローンの作業時間は、2016年から2021年の4月から6月の研究室の気象観測データ（10分間隔測定値）から、日の出から日没までの間で降雨がなく平均風速3.0m/s以下の時間を日別に積算したものを平均した値。作業可能日数はFLABSを用いた疫病の初回散布予定日の日数（3日）に4月下旬から6月上旬の晴天率（71%）を乗じたもので、防除回数はその後の2回のスケジュール散布を合計した値。

表 18. ドローン導入にかかる経費(初年～7年)

項目	MG-1	T20
	価格 (千円)	価格 (千円)
機体 (本体)	990	1,450
バッテリー	280	520
機体導入費		
充電器	130	183
その他	151	151
小計	1,551	2,303
機体点検料		
7年計	1,729	1,729
機体保険7年合計	411	637
保険料		
賠償保険	12	12
小計	423	649
合計	4,114	4,682
その他		
講習料	250	250
7年総計	4,364	4,932
税込み	4,800	5,425
年間経費	686	775

機体価格及び機体点検料: ヤンマーHP 産業用マルチローター
機体保険及び賠償保険: ヤンマーHP 総合保障制度の案内
2021年版

表 19. 経営評価

	価格 (千円)	MG-1	T20	セット動噴
耐用年数 (年)		7	7	7
負担率 (%)		50	50	50
減価償却費 (円)		110,779	164,529	35,714
修繕費 (円)		123,521	123,521	10,000
保険 (円)		30,194	46,364	625
固定費計		264,494	334,414	46,339
流動費				
動力光熱費 (円/ha)		56	73	271
労働費 (円/ha)		1,275	750	6,640
流動費計		1,331	823	6,911

負担率: 50%他品目との共同利用とする。
修繕費: 機体点検料の年間平均額
保険料: 機体保険の年間平均額
動力光熱費: バッテリー容量 (mAh) × 電圧 × 電気料金 × ha 当たり使用本数
労働費: オペレーター賃金 1500 円/h、補助員 1000 円/h

表 20. 経営試算

		1ha	5ha	11ha	18ha	40ha	48ha	84.7ha	142.9ha
MG-1	固定費	264,494	264,494	264,494	264,494	264,494	264,494	264,494	264,494
	流動費	1,331	6,654	14,639	23,954	53,231	63,878	112,718	190,169
	経費合計	265,825	271,148	279,133	288,448	317,726	328,372	377,212	454,664
	セット動噴との差	212,575	190,254	156,772	117,711	-5,055	-49,697	-254,491	-579,261
	労働時間	0.5	2.5	5.6	9.1	20	24	42.9	72
T20	固定費	334,414	334,414	334,414	334,414	334,414	334,414	334,414	334,414
	流動費	823	4,116	9,055	14,818	32,929	39,515	69,727	117,638
	経費合計	335,237	338,530	343,470	349,232	367,343	373,929	404,141	452,052
	セット動噴との差	281,987	257,636	221,109	178,494	44,563	-4,140	-227,562	-581,873
	労働時間	0.3	1.5	3.3	5.4	12.0	14.4	25.4	42.9
セット動噴	固定費	46,339	46,339	46,339	46,339	46,339	46,339	46,339	46,339
	流動費	6,911	34,555	76,021	124,398	276,441	331,729	585,364	987,586
	経費合計	53,250	80,894	122,361	170,738	322,780	378,069	631,703	1,033,925
	労働時間	3.0	15.2	33.4	54.7	121.6	145.9	257.4	434.3

5ha: セット動噴の作業可能面積、11ha: MG-1 の作業可能面積、18ha: T20 の作業可能面積、40ha: MG-1 の経費がセット動噴の経費を下回る面積、48ha: T20 の経費がセット動噴の経費を下回る面積、84.7ha: MG-1 が 30 時間で散布可能な面積、142.9ha: T20 が 30 時間で散布可能な面積

表 21. 馬鈴薯の生育調査

調査区	調査日	茎長(cm)		茎数(本)	
		アイマサリ	さんじゅう丸	アイマサリ	さんじゅう丸
MG-1	11月2日	37.8±5.4	26.5±4.3	3.4±1.3	1.6±0.7
T20	11月9日	43.3±4.8	23.6±4.5	2.5±1.3	2.3±1.4
地上散布	10月30日	40.8±1.8	27.1±3.0	3.4±1.2	2.4±1.0
one-way ANOVAまたは Kruskal-Wallis検定*		n.s*	n.s	n.s	n.s

表 22. 障壁作物の生育調査

調査日	9月24日	9月29日	10月5日	10月8日	10月22日	10月26日	11月2日	11月9日
播種からの日数	14	19	25	28	42	46	53	60
草高	17.5±2.7	33.4±4.8	54.5±5.2	68.8±5.2	99.3±12.1	105±10.6	116±10.8	118.8±13.3

【秋作残留調査】

1. 試験場所

長崎県雲仙市愛野町 農林技術開発センター中山間営農研究室圃場

2. 試験方法

1) 供試機械名

試験機：防除用ドローン(MG-1 P)

2) 栽培等概要

(1) 品 種：アイマサリ

(2) 植付日：2021年9月10日、出芽期：9月18日、収穫日：11月26日

(3) 植栽様式：うね幅60cm、株間25cm、秋作普通栽培

(4) 圃場条件：褐色森林土

(5) 区制・面積：1区制 ドローン散布区：140㎡、地上散布区3.0㎡

ドローン散布区の中に地上散布区を設けた。

(6) 散布体系及び処理方法

表 23. 散布農薬

試験区	倍率		散布量	
	モスピラン SL液剤	ランマン フロアブル	散布量 (L)	実散布量 (L/10a)
ドローン区	64	32	3.2	2.45
地上散布区	4000	1000	200	200

散布日：11月17日

散布設定：32L/ha、散布幅4m、高度2m、散布量0.86L/min、2噴口散布

ドローン散布時は、地上散布区にFPRポール(商品名 ダンポール®)で支柱をした後ポリフィルムで覆いをして、薬液がかからないようにした。試験区全体を1圃場とみなして薬液を調整し、散布を行った。薬液は混用して散布した。

3) 調査項目及び方法

(1) 生育調査

ア. 調査日：11月18日、11月24日

イ. 調査項目：茎長、茎数(サンプルとして採集予定の株列に隣接した畦の10株)

株ごとの茎重、塊茎重、塊茎個数(サンプル採集時)

(2) 残留農薬調査

ア. 採集日：11月24日

イ. 分析方法：LC/MS-SRM(定量下限0.01ppm)

ウ. 対象成分：アセタミプリド(モスピラン SL 液剤)、シアゾファミド(ランマンフロアブル)
 エ. 採取方法：分析用の馬鈴薯茎葉は、ドローン散布区及び地上散布区から同程度の茎長の株を生体重で1 kg 以上になるように5～6株回収し、ビニール袋に梱包後低温条件下で分析機関に送付した。茎葉と塊茎は11月26日、茎を除いた複葉部は12月1日に分析が実施された。

3. 試験結果

1) 生育調査

茎葉及び茎数は試験区間で差はなかった（データ省略）。茎葉重及び塊茎個数に差はなく、塊茎重ではドローン散布区で重くなった。ただし、1個重に換算すると差はなかった（表24）。

2) 残留農薬分析

地上部に残留した農薬は、茎葉部では地上散布区のほうが多かった。しかし、茎を除いた複葉部を分析するとシアゾファミドでドローン区の方が多くなった。これは、ドローン区では複葉の萎れ及び枯れがあり、これらを茎葉分析時に除外したため複葉の割合が低くなり、農薬の分析値に影響したものと考えられた（表25）。

塊茎部の分析結果は、いずれも検出限界以下であり、ドローンによる散布を行っても馬鈴薯塊茎部への農薬残留は基準値以下であった（表25）。

表 24. 生育調査

	供試株数	調査日 11月24日			一個重 (g/個)
		茎葉重 (kg/株)	塊茎重 (kg/株)	塊茎数 (個/株)	
ドローン散布区	5	0.23	0.51	5.2	100.1
地上散布区	6	0.20	0.38	4.5	97.8
Welchのt検定	n.s.	n.s.	p < 0.05	n.s.	n.s.

表 25. 残留農薬値

分析日	調査項目	散布方法	残留農薬値 (ppm)	
			アセタミプリド	シアゾファミド
11月26日	地上部(茎葉)	ドローン	0.2	1.6
		地上散布	1.2	2.3
	塊茎部	ドローン	0.01未満	0.01未満
		地上散布	0.01未満	0.01未満
12月1日	地上部(複葉)	ドローン	1.2	12.0
		地上散布	2.4	8.8

馬鈴薯塊茎における残留農薬基準値：アセタミプリド 0.3ppm シアゾファミド 0.05ppm
 (公益財団法人 日本食品化学研究振興財団 HP より)

5. 経営評価

ドローン散布での圃場への投下薬量は地上散布と等しいため、経営上の差は散布に係る人件費と機械の運用コストになる。ドローンの導入時に関する経費を積算したところ、減価償却期間を7年とすると年間でMG-1では686千円、T20では775千円がかかる（表18）。これに流動費を加えて経営試算を行ったところ、MG-1では積算で40ha、T20では積算で48haの圃場で散

布を行うと、セット動噴の経費よりも低くなると試算された（表 20）。春作馬鈴薯においてドローンで防除可能な面積は、MG-1 で約 11ha、T20 で約 18ha と算出され、T20 は疫病を対象とした 3 回防除、MG-1 はさらに臨機防除を含めた 4 回以上の防除でセット動噴よりも経費が低くなる計算になった（表 20）。長崎県の目指す経営モデルとして、4～5 ha の春作馬鈴薯栽培を想定しており、MG-1 で 2～3 戸、T20 で 4～6 戸の共同防除を行うと導入するメリットがある。

ただし、固定費の負担率を 50% で計算しているため、他品目での利用は必須となる。定期点検の目安である飛行時間 30 時間を超えるのは、MG-1 で 84.7ha、T20 では 142.9ha となり、春作馬鈴薯以外の品目におけるドローンの導入が必要である（表 20）。空中散布に登録のある薬剤の散布量は、馬鈴薯では 3.2L/10a での登録が多いが、その他の露地野菜では 1.6L/10a での登録が半数以上を占め、水稻は 0.8L/10a が多い。散布量は散布速度と密接に関係し、馬鈴薯以外の品目での導入では、散布量が少ないためより管理面積が増加することが予想される。

6. 利用機械評価

ドローンによる馬鈴薯の防除は、地上散布と同等の防除効果が期待でき、作期後半の植物体が繁茂した時期の防除時に圃場内へ侵入しなくてもよいことから、省力的かつ労力の負担軽減を見込むことができる。ただし、利用の際は管理する圃場が集約される必要があり、中山間地での利用時には団地単位での導入になることが予想される。

7. 成果の普及

病害虫試験結果については、九病虫での発表及び県の成果情報として発表予定。その他の成績は長崎県の成果情報として発表予定。

8. 考察

全ての防除をドローンで行う散布体系は、アブラムシ類の個体数では地上散布体系よりも防除効果が劣る結果となったが、2 回目に散布したモベントフロアブルの効果の発現が 7 日以上かかることと、アブラムシ類が媒介する塊茎えそ病の発症が有意に少ないことから、防除効果はあると考えられた。疫病については、最終調査日である 5 月 25 日に地上散布区よりも発病株率・発病度共に大きい結果となったが、発病度が低く小発生条件で収量等への影響はなかった。疫病については、近年自然発生条件下での試験が困難であり、接種試験を行っている。今後は自然発生条件下で、多発生条件下での試験を行う必要がある。

ドローン区で茎葉に残留する農薬が多くなった要因は、地面に滴下する薬液がほとんどないことが考えられる。地上散布では薬液が葉から滴り落ちる程度の散布が行われ、一部の薬液は植物体表面から地面に滴下する。ドローン散布では、高濃度の液滴は葉に付着後すぐに乾き、地面へ滴下することはない。単位面積当たりの薬液の投下量はドローン散布と地上散布で同じであるため、地上への滴下がない分ドローン区で農薬成分の残留量が多くなったと考えられる。一方で、塊茎部分には地上散布と同程度の定量限界以下の薬剤成分しか移行しないため、可食部への残留農薬の問題は発生しなかった。

薬剤の飛散量と被覆率の間には強い相関があり、被覆率から飛散量を推定できる可能性があることが分かった。一方で、ドローンから散布された薬液は、空気中で水分がぬける“やせ”の現象が起こるため、散布域から離れた位置では実際の薬剤量よりも少なく見積もる可能性がある。散布位置からの距離と薬液の”やせ“については、薬剤の性質や濃度、気温、湿度といった多くの条件が関係するため、さらに実験が必要になる。

従来農薬の空中散布で問題視されていたダウンウォッシュによる茎葉の折損については、地上散布と同等か少ない結果になった。ただし、ダウンウォッシュによって茎葉と地面が擦れる状態が確認された。特に生育後期に茎葉が倒れ、かつ地上部の生育量が少なく隣接株との間に隙間があると、ダウンウォッシュによってかき回されやすくなり、擦れが生じやすくなる。擦れと病害の発生については追加調査が必要である。ドリフトと障壁作物による防止効果については、散布機種によらず障壁により飛散する液滴の個数が減少する結果になったため、有効性が示された。

9. 問題点と次年度の計画

疫病の自然発生かつ多発生条件下での防除試験が必要である。薬液の”やせ“については、薬剤の性質や濃度、気温、湿度といった条件が関係するため、多くの事例が必要になる。ドローン散布時の茎葉と地面の擦れが軟腐病に与える影響は不明のため、春作後半の高温条件で試験を行う必要がある。なお、本試験は今年度で終了である。

10. 参考写真



春作試験風景

地上散布区と無散布区には被覆をしている



ドリフトと農薬飛散量の測定試験

ろ紙と感水紙の設置状況



T-20 の散布風景と障壁作物



T-20 の車への積み込み
移動は2人がかり