

令和元年 8 月

平成30年度農林水産業におけるロボット技術安全性確保策検討事業の
事業実施結果(概要)について

一般社団法人 農林水産航空協会

一般社団法人農林水産航空協会は、平成 30 年度農林水産業におけるロボット事業安全性確保策検討事業(農林水産省補助事業)を実施しました。

この事業では、機体や散布装置の構造が異なるマルチローター式小型無人航空機を用いて、飛行精度の調査、落下分散状況の調査等を行い、①実圃場規模での自動操縦の正確性及び安全性、②自動操縦による果樹での効果的散布方法、③大粒肥料、水稻コーティング種子の散布性能に関する検討を行い、その結果を別添のとおり取りまとめました。

(注:この検討結果は、一般社団法人農林水産航空協会の見解であり、農林水産省の見解ではありません。)

(別添)

平成30年度農林水産業におけるロボット技術安全性確保策検討事業
事業実施結果(概要)

第1. 事業の目的

農林業用無人ヘリコプターの利用は、効率的防除方法として平成2年の実用化以降一貫して増加し、最近では水稲防除を中心に100万ヘクタールを越えている。一方で、無人航空機として、いわゆるドローンと呼ばれる小型無人航空機の農薬散布への利用が始まっており、自動操縦での利用も求められている。また、小型無人航空機は、肥料、種子等農薬以外の生産資材の散布への利用も関心を集めている。

このため、小型無人航空機のタイプ、性能を踏まえた運行基準を定めていく必要があることから、小型無人航空機を販売、開発している企業の参画・協力を得ながら、

- 1) 農薬散布用小型無人航空機の自動操縦システムの効率性、正確性、安全性
- 2) 野菜、果樹への適用など新分野開発
- 3) 遠隔操作による小型無人航空機での肥料、水稲種子の散布に関する作業性、正確性等を把握し、性能確認、運行基準の素案を策定するとともに、今後の課題や改善方向について検討する。これにより、小型無人航空機の農業分野での安全、効率的な利用の拡大に資する。

第2. 具体的な成果目標と調査項目

1 農薬散布用自動操縦無人航空機に必要な性能の基準および通信途絶時等の操縦者による強制介入の有効性を確認する基準の素案 《自動操縦の多様な利用場面での安全性、効率性に関する調査》

2 各種作物への利用拡大を図るため、自動操縦システムの適用と適正散布量の基準の素案 《自動操縦による果樹などの病虫害防除の省力化に関する調査》

3 肥料、種子散布システムの効率、正確性のための運行基準の素案 《大粒肥料、水稲コーティング種子の散布の正確性、作業性に関する調査》

第3. 安全性確保策の検討に向けた調査および分析評価等

1 自動操縦の多様な利用場面での安全性、効率性に関する調査

自動操縦により飛行する数種の小型無人航空機の病虫害防除について、散布精度、飛行位置の計画と実績の照合による精度、効率調査等を行う。

1) 自動操縦の機体による飛行精度調査

単独測位による飛行モードを用いて区画が整った圃場の病虫害防除、追肥などの精度調査を行う。RTK を用いて、棚田での水稲、野菜、果樹等各種作物に対する病虫害防除、追肥などの落下方散調査を行う。調査にあたってはA社、B社、C社の協力を得た。

(1)調査日時

【A社】

・平成30年9月6日 長野県小諸市 農林航空技術センター

・平成30年11月21日 長野県須坂市八重森圃場

【B社】平成30年11月27日 長野県須坂市八重森圃場

【C社】平成30年12月5日 A 県圃場

(2)調査方法

飛行精度の調査は、①各飛行コースにおけるスタートポイントに対するオーバーラン、ショートストップ、②各飛行コースにおけるエンドポイントに対するオーバーラン、ショートストップ、③各飛行コースに対する左右のはみだし(ずれ)を目視により確認した。

GPSは、単独GPSとRTKの2種類を使用した。

飛行方法は、各社機種ごとの仕様で飛行を行った。

圃場の形は、方形圃場と、片方の短辺が斜辺である変形圃場の2種類で行った。

(3)調査結果

【A社】

ア.平成30年9月6日 長野県小諸市農林航空技術センター

機種: I型

飛行諸元は、高度2m、飛行間隔4m、飛行速度15km/hでおこなった。

36m×100mの方形圃場 9コースを単独GPSでA点B点方式を使用して飛行した。

ア)それぞれA点、B点上(1コース目から2m離れた地点)に機体を遠隔操作でホバリングさせGPS位置情報を機体に記録した。

イ)その後A点、B点間を設定した飛行諸元で自動操縦させ、散布のON/OFFおよび次の飛行コースへの横移動は遠隔操作で行った。

ウ)飛行は、コース1からコース9の順番で行った。

その結果、単独GPSのみの調査であったが、左右ずれとスタートポイントのずれはなく、エンドポイントのずれも、最大0.3mであり、高い精度で飛行することを確認した。

表1 飛行・停止位置の精度

機種	設定速度 (km/h)	圃場形	飛行・GPS 方式	調査地点	測定数	測定数に対する経路のずれ比率				
						0	～0.5m	～1.0m	～1.5m	1.5m<
A社I型	20	方形	単独GPS AB方式	I:左右ずれ	18	100% (18)				
				II:スタート	18	100% (18)				
				III:エンド	18	88.9% (16)	11.1% (2)			

*ずれを確認した回数÷測定数×100で算出、かっこ内数字はずれを確認した回数を示す。

イ. 平成 30 年 11 月 21 日 長野県須坂市八重森圃場

ア) 飛行方法

機種: I 型、II 型(RTK 付属なし)

飛行諸元は、高度2m、飛行間隔4m、飛行速度 20km/h で行った。

48m×80mの方形圃場 12 コースを自動操縦およびAB方式の 2 種類で飛行した。

イ) 飛行方式

(自動操縦)

① 移動式測位装置で記録した複数基点の位置情報をもとに、上空からの撮影画像で補正しながら、PC 上のマップに圃場図を作成する。

② 飛行諸元等を決定した後、作成した圃場図から、はみ出さないように散布経路を決定

③ 離陸(手動)→設定されたポイントへ(自動)→散布→散布終了(自動)→着陸(手動)

(A点B点方式)

① 1 コース目は、それぞれ A 点、B 点上(1 コース目から 4m離れた地点)に機体を遠隔操作で移動させ GPS 位置情報を機体に記録する。

② その後 2 コース目から A 点 B 点間を設定した飛行諸元で飛行させ、散布の ON/OFF および次の飛行コースへの横移動は遠隔操作で行った。

③ 離陸(手動)→A点B点設定(手動)→散布A点B点間移動(自動)→次列移動・散布ON/OFF(手動)→着陸(手動)

その結果、方形圃場の機種 I 型の場合は単独 GPS でも 1 例を除き左右、スタート、エンドポイントで 0.5m以内のずれであり、高い精度で飛行することが確認できた。RTK (I 型)と単独 GPS (I 型、II 型)を比較すると、RTK がスタートポイントのずれでより高い精度であった。

A 点 B 点方式は、A 点 B 点の設定の際に目視による遠隔操作で行うため誤差が生じやすく、設定時のずれを修正しないで自動操縦を継続することがある。

変形圃場で RTK を使用した場合、スタートポイント、エンドポイントの飛行位置は正確であった。特に斜辺におけるエンドポイントでは、機種 I 型で単独 GPS の場合、最大 4.0mのずれがあったのに対し、RTK では 1.5m以内であった。

左右のずれは、機種 I 型で比較すると、単独 GPS で 0.5mまでのずれが 25%、1mまでのずれが 75%の頻度で生じたことに対して、RTK の方が 0.5mまでが 92%、1mまでが 8%の頻度であり、高い精度であった。機種 II 型の単独 GPS では、機種 I 型の RTK と同程度であった。

表2 飛行・停止位置の精度(方形圃場)

機種	設定速度 (km/h)	圃場形	飛行・GPS 方式	調査地点	測定数	測定数に対する経路のずれ比率				
						0	～0.5m	～1.0m	～1.5m	1.5m<
A社I型	20	方形	単独GPS 自動航行	I：左右ずれ	47	23.4% (11)	76.6% (36)			
				II：スタート	23	95.7% (22)	4.3% (1)			
				III：エンド	45	71.1% (32)	26.7% (12)	2.2% (1)		
A社I型	20	方形	RTK 自動航行	I：左右ずれ	24	45.8% (11)	54.2% (13)			
				II：スタート	12	100% (12)				
				III：エンド	24	70.8% (17)	29.2% (7)			
A社II型	20	方形	単独GPS 自動航行	I：左右ずれ	24		41.7% (10)	58.3% (14)		
				II：スタート	12	41.7% (5)	41.7% (5)	16.7% (2)		
				III：エンド	24	41.7% (10)	37.5% (9)	20.8% (5)		
A社II型	20	方形	単独GPS AB方式	I：左右ずれ	22	54.5% (12)	45.5% (10)			
				II：スタート	10	40.0% (4)	60.0% (6)			
				III：エンド	22	40.9% (9)	59.1% (13)			

*ずれを確認した回数÷測定数×100で算出、かつこ内数字はずれを確認した回数を示す。

表3 飛行・停止位置の精度(変形圃場)

機種	設定速度 (km/h)	圃場形	飛行・GPS 方式	調査地点	測定数	測定数に対する経路のずれ比率				
						0	～0.5m	～1.0m	～1.5m	1.5m<
A社I型	20	変形	単独GPS 自動航行	I：左右ずれ	24		25.0% (6)	75.0% (18)		
				II：スタート	12		100% (12)			
				III：エンド	24	37.5% (9)	12.5% (3)	8.3% (2)	25.0% (6)	41.7% (10)
A社I型	20	変形	RTK 自動航行	I：左右ずれ	24	8.3% (2)	83.3% (20)	8.3% (2)		
				II：スタート	12	91.7% (11)	8.3% (1)			
				III：エンド	24	41.7% (10)	33.3% (8)	4.2% (1)	20.8% (5)	
A社II型	20	変形	単独GPS 自動航行	I：左右ずれ	24	8.3% (2)	87.5% (21)	4.2% (1)		
				II：スタート	12		58.3% (7)	41.7% (5)		
				III：エンド	24		54.2% (13)	37.5% (9)	8.3% (2)	

*ずれを確認した回数÷測定数×100で算出、かつこ内数字はずれを確認した回数を示す。

【B社】

ア. 平成30年11月27日 長野県須坂市八重森圃場

機種: I型

飛行諸元は飛行高度2m、飛行間隔4m、飛行速度15km/hであった。

44m×80mの方形圃場 12コースをA点B点方式で飛行した。

イ. 飛行方式は、A点B点方式を使用

ア) 1コース目は、それぞれA点、B点上(2コース目から4m離れた地点)に機体を遠隔操作で移動させGPS位置情報を機体に記録する。

イ) その後2コース目からA点B点間を設定した飛行諸元で飛行させ、散布のON/OFFおよび次の飛行コースへの横移動は遠隔操作で行った。

ウ) 離陸(手動)→AB点設定(手動)→散布AB間移動(自動)→次列移動・散布ON/OFF(手動)→着陸(手動)

エ) 単独GPSの場合、左右ずれ及び、スタートポイントとエンドポイントに対するずれにおいて1.5mを超えるずれが見られた。RTKを使用した場合には、左右ずれはほとんどが0.5mに収まり、スタートおよびエンドでは、全て0.5m以内の高い精度で飛行することを確認した。

表4 飛行・停止位置の精度

機種	設定速度 (km/h)	圃場形	飛行・GPS 方式	調査地点	測定数	測定数に対する経路のずれ比率				
						0	～0.5m	～1.0m	～1.5m	1.5m<
B社I型	15	方形	単独GPS AB方式	I:左右ずれ	33	3.0% (1)	54.5% (18)	12.1% (4)	3.0% (1)	27.3% (9)
				II:スタート	15	20.0% (3)	26.7% (4)	33.3% (5)		20.0% (3)
				III:エンド	33	36.4% (12)	39.4% (13)	12.1% (4)	3.0% (1)	9.0% (3)
B社I型	15	方形	RTK AB方式	I:左右ずれ	33	15.2% (5)	63.6% (21)	21.2% (7)		
				II:スタート	15	60.0% (9)	40.0% (6)			
				III:エンド	33	48.5% (16)	51.5% (17)			

*ずれを確認した回数÷測定数×100で算出、かっこ内数字はずれを確認した回数を示す。



図1 飛行位置の記録の1例

【C社】

ア. 飛行方法

平成30年12月5日 A県圃場

機種: I型

飛行諸元は、高度2m、飛行間隔4m、飛行速度20km/hで行った。

40m×70mの方形圃場 10コースと40m×70m、50mの変形圃場 10コースにおいて、予め飛行コース等を入力して自動操縦を行った。

イ. 自動飛行の設定

ア) GPS 測量機を用いて、位置情報を測定し、基準となる4点を設定する。

イ) 基点の位置情報をもとに、PC上で圃場隅となる4点を設定し圃場図を作成

ウ) PC上で飛行諸元を設定すると、設定をもとに散布経路が自動で作成され、圃場の位置情報をもとに飛行経路をマップデータ上に表示する。

エ) RTKを使用しない場合、散布前に作成した圃場図の位置情報と、機体本体の位置情報を補正するため、実際の圃場の4点の内1点上で機体をホバリングさせる。

オ) 操作は、離陸から着陸まで全て自動で行う。

カ) 今回の試験では、離陸(自動)→設定されたポイントへ(自動)→飛行および散布 ON/OFF (自動)→ホームポイントへ(自動/手動)→着陸(自動/手動)

ウ. 調査結果

方形圃場では、RTK を用いないと 1.5m までのずれを生ずるが RTK を用いると 0.5m までのずれの頻度が 95%、最大で 1m までのずれであり、精度が上がることを確認した。

変形圃場では RTK を用いると左右のずれ 1m の出現頻度が 40% から 7%、スタートポイントずれ 20% が 10% に下がり、精度が上がることを確認した。エンドポイントのずれは、RTK と単独 GPS で同程度であった。

表 5 飛行・停止位置の精度

機種	設定速度 (km/h)	圃場形	飛行・GPS 方式	調査地点	測定数	測定数に対する経路のずれ比率				
						0	～0.5m	～1.0m	～1.5m	1.5m<
C社 I 型	20	方形	単独GPS 自動航行	I：左右ずれ	30	13.3% (4)	36.7% (11)	40.0% (12)	10.0% (3)	
				II：スタート	30	36.7% (11)	30.0% (9)	30.0% (9)	3.3% (1)	
				III：エンド	30	46.7% (14)	40.0% (12)	13.3% (4)		
C社 I 型	20	方形	RTK 自動航行	I：左右ずれ	40	40.0% (16)	55.0% (22)	5.0% (2)		
				II：スタート	39	33.3% (13)	61.5% (24)	5.1% (2)		
				III：エンド	40	42.5% (17)	57.5% (23)			
C社 I 型	20	変形	単独GPS 自動航行	I：左右ずれ	30	20.0% (6)	40.0% (12)	40.0% (12)		
				II：スタート	30	20.0% (6)	60.0% (18)	20.0% (6)		
				III：エンド	30	36.7% (11)	63.3% (19)			
C社 I 型	20	変形	RTK 自動航行	I：左右ずれ	30	26.7% (8)	66.7% (20)	6.7% (2)		
				II：スタート	30	36.7% (11)	53.3% (16)	10.0% (3)		
				III：エンド	30	36.7% (11)	63.3% (19)			

*ずれを確認した回数÷測定数×100で算出、かつこ内数字はずれを確認した回数を示す。

【強制介入について】

ア. 調査方法

A 社 (II 型)、B 社 (I 型) の機体の自動操縦中に合図音をだし、オペレーターの遠隔操作により強制介入を行う。合図音から散布が停止し、ホバリングするまでの時間を計測する。

イ. 調査結果

B 社のホバリングに移行するまでの時間は 3 反復して①3.6 秒、②2.8 秒、③3.4 秒であった。A 社のホバリングに移行するまでの時間は①1.5 秒、②2.2 秒、③1.4 秒であった。

C 社 (I 型) の時間計測による調査は行っていないが、平成 30 年 12 月 5 日のフライトにおいて、

最大 6m/sを超える突風が発生したことにより、自動操縦中にオペレーターが強制介入して散布を停止、ホバリング後、機体を着陸させるまでの動作を行ったことを確認した。

【まとめ】

ア. 方形圃場では、単独GPSにおいても正確な飛行が可能であった。

イ. RTKを使用した場合には左右、スタートポイント、エンドポイントのずれが小さくなり、精度が向上することを確認した。

ウ. AB方式は、A点B点の設定を目視による遠隔操作で行うため小さい誤差を生じやすい。

エ. エンドポイントが斜辺の変形圃場の場合、単独GPSとRTKではずれに顕著な差が認められた。

オ. 自動操縦時の強制介入による遠隔操作への切り替えは可能であることを確認した。

2 自動操縦による果樹などの病虫害防除の省力化に関する調査

1) 調査方法

自動操縦の運用を検討するために、かんきつ園において自動飛行と散布量を検討する。調査にあたっては A 社、B 社の協力を得た。

ア. 日時 平成 31 年 2 月 14、15 日、27 日

イ. 場所 広島県三原市木原 レモン栽培園(品種:ピアフランカ、樹齢:18 年)
うんしゅうみかん栽培園(品種:石地、樹齢:13 年)

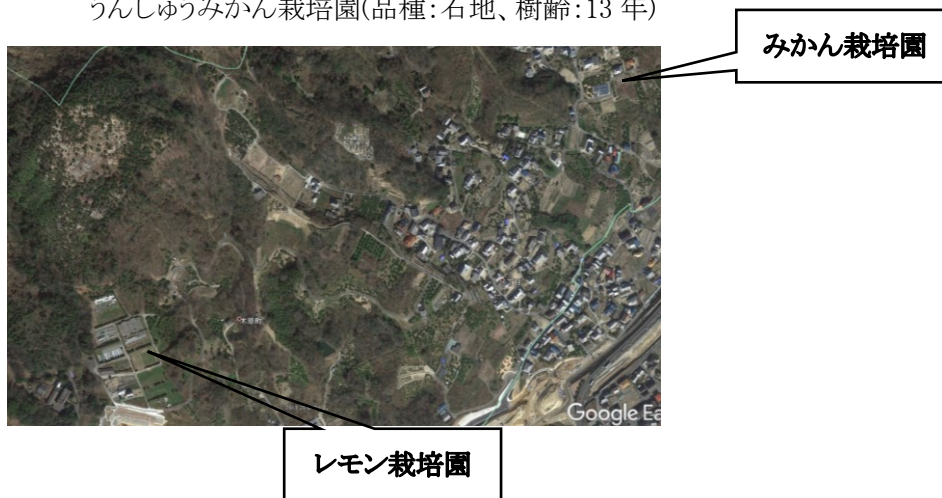


図 2 圃場位置図



図 3 圃場の状況

上段:レモン栽培園 下段:みかん栽培園

ウ. 使用機体および飛行方法

ア) A社: II型

イ) B社: I型

エ. 調査方法

ア) 遠隔操作による1ラインの散布飛行による散布幅(飛行間隔の目安)の確認(実施場所はレモン栽培園)

①中央1列の上の往復散布飛行による約2m範囲(2m間隔2列)の付着状況を調査する。

②散布液量は80/ha 散布を基本として、速度連動などを組み合わせて1往復散布とした。

③1樹あたり、感水紙を上下2部位×4方位×葉の表裏2=16枚を設置した。

イ) 自動操縦による2ラインの散布飛行による散布幅(飛行間隔の目安)の確認(実施場所はみかん栽培園)

①左右2列の上の散布飛行による約5m範囲(2.5m間隔3列)の付着状況を調査する

かんきつ樹冠の飛行方向および直交する4方位の上下の葉表・葉裏にスプレーイングシステム社の黄色感水紙を付けた台紙を取り付け、所定の飛行諸元で水の往復散布を行い、画像処理により散布液の痕跡を被覆面積率として計測した。

②自動操縦は、A点B点方式で行った。

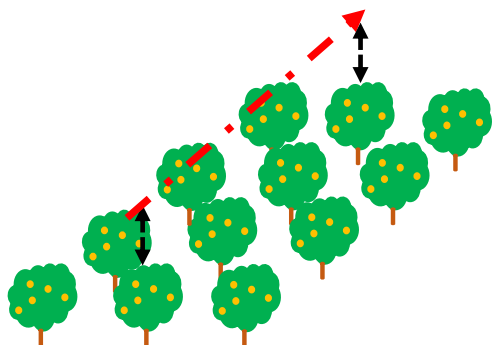


図4 1コースによる調査

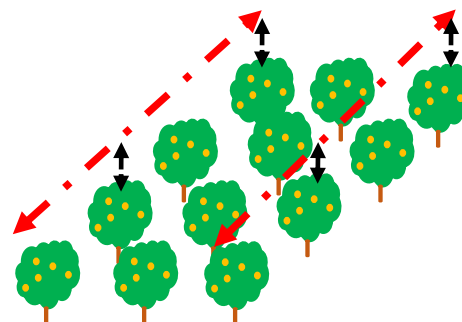


図5 2コースによる調査

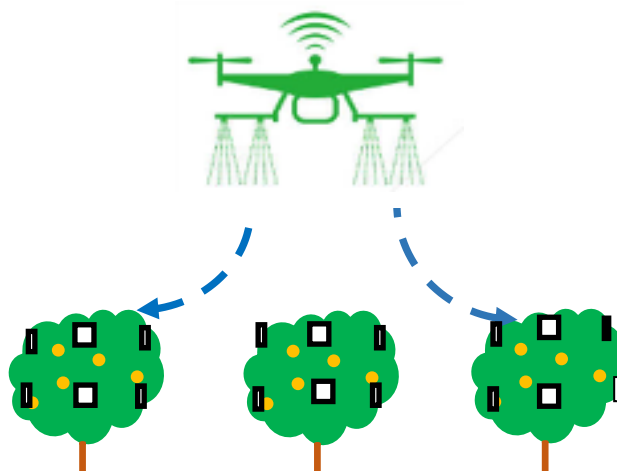


図6 調査方法



図7 感水紙の取り付け方法(左:レモン 右:みかん)

2) 調査結果

ア. A社 II型

ア)レモン栽培圃場で散布液が付着しやすいと思われる機体直下上部と付着しにくいと思われる隣の樹列の下部を比較した。全般に葉裏の付着量が少ないので葉表の被覆面積率により比較した。

表6 飛行諸元と被覆面積率

飛行高度 (m)	飛行速度 (km/h)	散布量 (L/ha)	直下上部 被覆面積率%	離れた下部 被覆面積率%
2	20	16	1.198	0.03
	15	16	0.798	0.199
	10	24	0.958	1.061
	8.6	42	3.090	1.927
4	20	16	0.369	0.087
	15	16	0.086	0.309
	10	24	1.249	0.373

飛行高度 2m では飛行速度 20km/h から 10km/h(散布量 16L/ha から 24L/ha)の範囲で、速度を遅くするほど付着量は、飛行直下は同程度、離れた樹列の下部では増加する傾向である。

飛行高度 4mでは飛行速度 20km/h から 10km/h(散布量 16L/ha から 24L/ha)の範囲で、速度を遅くするほど付着量は、飛行直下および離れた樹列の下部で増加する傾向である。

以上から飛行速度 20km/hから 10km/hの範囲では、遅い方の付着量が増加する傾向であった。風速 1.4m/s以下、風向は機体の左右からであり、離れた樹列が風上であった条件もあるが、飛行高度 2m と 4m では明瞭な差がない。

イ)みかん栽培圃場では飛行高度 2mで飛行速度、散布量を変えて調査した。レモンの葉が水平であったことと比較して、葉が斜めであったために葉裏への付着も認められた。

表7 飛行諸元と被覆面積率

飛行速度 (km/h)	散布量 (L/ha)	直下上部表 被覆面積率%	直下上部裏 被覆面積率%	離れた下部表 被覆面積率%	離れた下部裏 被覆面積率%
20	16	0.965	0.011	0.429	0.002
15	16	2.083	0.022	1.088	0.025
8.6	42	3.797	0.120	1.559	0.188

同じ散布量では飛行速度 15km/h が 20km/h より付着量が多く、飛行速度を 8.6km/h に下げて、最大吐出量により散布量を増やしたことにより葉裏への付着量が増加することが認められた。

イ. B 社 I 型

ア)レモン栽培圃場で散布液が付着しやすいと思われる機体直下上部と付着しにくいと思われる隣の樹列の下部を比較した。全般に葉裏の付着量が少ないので葉表の被覆面積率により比較した。試験前に枝の剪定が行われたことから、葉裏への付着も認められたが、量としては少ないので葉表の被覆面積率により比較した。

表8 飛行諸元と被覆面積率

飛行高度 (m)	飛行速度 (km/h)	散布量 (L/ha)	直下上部 被覆面積率%	離れた下部 被覆面積率%
2	20	6	0.332	0.297
	10	12	2.340	0.152
4	20	6	0.430	0.252
	10	12	2.551	0.141

飛行高度 2m では飛行速度 20km/h から 10km/h (散布量 6L/ha から 12L/ha) の範囲で、速度を遅くすると飛行直下は増加、離れた樹列の下部では減少する傾向である。飛行高度 4m でも同様の傾向であり、飛行高度に関係なく直下の落下量が多い。

以上から風速 2m/s 以下、風向は機体の正面からの条件で、飛行高度 2m と 4m では明瞭な差がなく、飛行速度によって散布幅(拡がり)が異なるものと思われる。

イ)みかん栽培圃場では飛行高度 2m で飛行速度、散布量を変えて調査した。レモンの葉が水平であったことと比較して、葉が斜めであったために葉裏への付着も認められた。

表9 飛行諸元と被覆面積率

飛行速度 (km/h)	散布量 (L/ha)	直下上部表 被覆面積率%	直下上部裏 被覆面積率%	離れた下部表 被覆面積率%	離れた下部裏 被覆面積率%
20	6	1.537	0.123	0.589	0.038
15	8	0.940	0.060	0.525	0.026
10	12	1.313	0.165	0.599	0.037

飛行速度 15km/h(散布量 8L/ha)において調査紙の付着量が少ないが、その他の飛行速度および散布量と調査紙の付着状況に差は認められなかった。

3)まとめ

ア. 自動操縦の方式は機種ごとに異なり、一部に RTK を補助として用いて A 点 B 点方式により行い、葉への散布液の付着状況から遠隔操縦にも共通する標準的な飛行諸元の検証を行った。RTK の有無の比較は行わなかった。

イ. 自動操縦の散布装置の最大吐出量を2.4L/分、飛行速度 8.6km/時の設定により、現行の無人ヘリコプター用農薬のかんきつへの適用にほぼ相当する面積当たり最大散布量 42L/ha 散布を行った。

ウ. A 社、B 社とも自動飛行において、離陸は手動で行い、自動操縦を開始後、強制介入に必要な自動と遠隔操作の切り替えが可能であることを確認した。

エ. 飛行高度 2m と 4m で付着量の差は認められなかったのも、ある程度起伏がある地形でも平面とみなして飛行することが可能である。

オ. A 社 II 型は飛行速度の遅い方が付着量の増える傾向であった。

カ. B 社 I 型は飛行速度 20km/h と 10km/h で大きな差は認められなかった。

キ. 以上から、飛行高度 2m から 4m、飛行速度 20km/h から 10km/h (A 社 II 型は 8.6km/h) の飛行諸元は適用できるものと考えられる。

ク. 本調査では、樹列間隔 4m、5m の樹冠上を往復飛行する方式であったが、飛行コース間の葉においても付着は認められており、水平面とみなして樹列上の散布飛行は有効であるものと思われた。

ケ. 散布量は最大 1 飛行あたり 420L/ha に相当する性能が得られたが、地上散布並みに散布量を多くするためにはポンプの吐出能力を上げるなどの装置改造が必要である。

コ. 現状の散布装置は 8L/ha 散布を標準としているために、40L/ha から 50L/ha のかんきつの散布量に対して飛行速度を遅くする、飛行間隔を狭める、重ね散布を行うことが必要であり、飛行回数が多き場合には散布効率が劣ることからオペレータの負担軽減のため自動操縦が有用である。

3 大粒肥料、水稻コーティング種子の散布の正確性、作業性に関する調査

粒剤散布装置による大粒肥料、水稻コーティング種子の吐出性、散布能力を調査して、適正な飛行高度、速度から飛行諸元(案)を検討する。調査にあたっては A 社、D 社の協力を得た。

1) 実施場所 長野県小諸市 一般社団法人農林水産航空協会農林航空技術センター

2) 調査日時

【A 社】 平成 30 年 9 月 6 日、7 日

【D 社】 平成 31 年 3 月 19 日

3) 使用機種

【A 社】 I 型

【D 社】 I 型

遠隔操作により散布飛行を行う。

4) 調査対象資材 粒径の異なる尿素肥料 2 種類、鉄コーティング水稻種子(種籾 100% に対して鉄被覆材 50%比率)

5) 調査方法

ア. 散布装置の性能調査

メータリング開度と吐出量との関係を調査して、吐出量および面積当たり散布量の調整範囲を確認する。飛行速度 15km/h による飛行間隔を計算する。

イ. 落下分散調査

飛行方向に対して直行する調査ライン左右 10m に 0.5m 間隔で最大 41 点の調査点を設け、調査点に捕集箱を設置して落下重量の調査を行い、散布幅、均一性を確認する。飛行高度は捕集箱から 2m、3m、飛行速度は 15km/h に設定する。散布試験時の風向、風速、気温、湿度を記録する。

6) 調査結果

ア. 散布装置の性能調査

【A 社】

尿素肥料は径の大きさにかかわらず安定した吐出を確認した。メータリング開度 100 における最大吐出量はそれぞれ尿素小粒で 4.08kg/分、尿素大粒で 2.62kg/分であり、試験に供試した大粒肥料を含むすべての肥料で詰まりなく安定した吐出を確認した。

鉄コーティング種子においては、吐出量は一定したものが得られたが、メータリング開度 100 および 50 においても吐出量はほぼ変わらず、また吐出中モーター部分に鉄コーティング種子の詰まりが確認されたことから、現状の粒剤散布装置では鉄コーティング種籾を安定的に吐出できないことを確認した。

【D 社】

供試したすべての対象資材で詰まることなく吐出することを確認した。メータリング開度 100 における最大吐出量は尿素小粒で 1.53kg/分、尿素大粒で 1.06kg/分、鉄コーティング種子で 0.84kg/分であった。反復したデータは安定した吐出量であった。

イ. 落下分散試験

【A社】

試験に供試した尿素肥料の散布幅 2、3、4m を想定したCV値は、ほぼすべてのフライトにおいて 30%以内で良好な結果となった。前進、後進散布において落下量およびCV値に大きな違いはないために均一な散布を行うことができると考えられる。なお、鉄コーティング種子では、散布幅 4m を想定したCV値は 30%を超えており、詰まりも生ずることが想定されるため、現状では鉄コーティング種子の散布は困難であると考ええる。

50kg/ha の粒状資材を飛行速度 15km/h、飛行間隔 4m で散布するためには、6.25kg/分の吐出量が必要であるために、今回供試した粒剤散布装置では散布効率に問題が残る結果であった。

【D社】

全般に吐出量が不足し、改善の余地がなかった条件で試験を実施した。

飛行間隔 2~5m を想定した尿素小粒肥料における CV 値は良好であった。散布幅 5m であっても CV 値は 30%を超えていないものが多く、広い散布幅で均一な散布が可能であると考えられた。

尿素大粒肥料および鉄コーティング種子においては、落下量が少なく、散布幅 4m まででほとんどの CV 値は 30%を超え、均一な散布を行うことができなかつた。吐出量・落下量を増やすことで、均一かつ安定的な散布が可能になると思われるが、現状の散布装置では大粒の粒状資材等の散布は困難であると考ええる。



図 尿素大粒肥料



図 尿素小粒肥料



図 50%コーティング種子

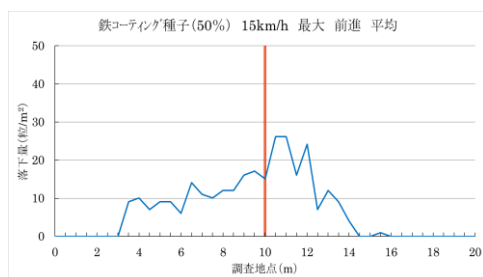
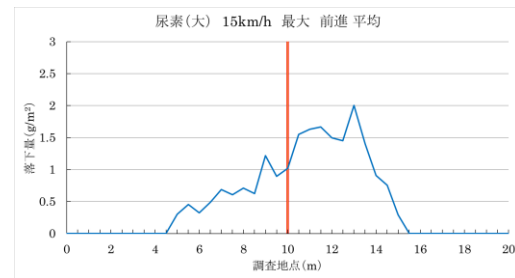
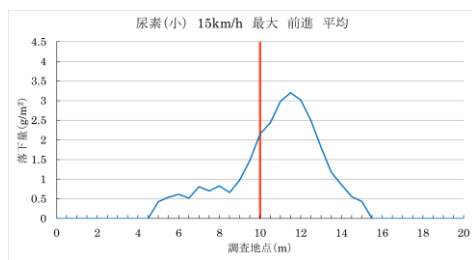


図 A 社落下分散

第 4. ロボット技術の改良・設計

1. 自動操縦では

1) 自動操縦(遠隔操作を組み合わせた方式を含む)は RTK を追加することにより飛行位置の精度向上が図られるが、機器の取り扱いの手間、費用の負担が増加する。今回の調査では単独 GPS でも性能の向上が確認されたことから、今後の GNSS の進展により、単独 GPS でもさらに測位精度が向上するものと考えられる。これにより、方形、変形の圃場の形状、面積、費用などを考慮し、測位システムを使い分けることができるような技術開発が望まれる。

2) A 点、B 点方式はオペレーターとナビゲーターにより機体を誘導してポイントを定めるが、A 点及び B 点の上で機体をホバリングすることの精度の向上を図る必要があり、省力化を図るためにも機体直下の位置を定めるための工夫などが求められる。

2. 果樹園の防除では

1) 果樹(かんきつ)では、葉の表に対しては、一定の飛行間隔で散布飛行することにより均一な散布が可能である。葉の裏に発生する病害虫に対しては付着量が少ないので、ダウンウォッシュを効果的に利用するための低速飛行、適正噴霧粒子径の検討が必要である。

2) 自動操縦では、地形の起伏、傾斜に応じた散布のための対象作物との距離センサー、座標入力等の検討が必要である。

3) 飛行速度を遅くすることによる電力消費と効率的な飛行速度の関係を考慮した飛行諸元を求める必要がある。

3. 肥料等粒状資材散布では

- 1) 粒剤散布装置は種子、肥料等の多様な形状の資材が円滑に吐出される構造への改良が求められる。
- 2) 面積あたり散布量の多い種子、肥料は積載量から1飛行あたりの処理面積が小さい。そのため、速度を遅くする、飛行間隔を狭くする、重ね散布による飛行が考えられるので、自動操縦の飛行諸元を定めるに当たり、幅広い設定が可能な機能を有することが望まれる。

第5. 安全性確保策の検討

今回の調査において、C社の離着陸を含めた自動飛行の方式では、強風により機体の安定性が確保できない場合にオペレーター、監視者(補助者)の目視による判断により、強制介入としてオペレーターが遠隔操作に切り替え、機体を戻し着陸させることが可能であることを確認した。他の2社では、遠隔操作による離着陸と自動操縦の切り替えを問題なく行うことができること、および自動操縦中に遠隔操作に切り替えることができることを確認した。なお、機体が静止状態になるまでに1.4秒から3.6秒の時間を要することから、遠隔操作に切り替えたタイミングで散布を停止する機能は、必須の機能であるものと考えられる。

第6. 自動操縦、果樹園の防除及び肥料等粒状資材散布での性能確認並びに運行基準における項目案の提案

1. 自動操縦では

- 1) 自動飛行ルート作成又は、RTK 地上局及び移動式測位装置を使用場面により使い分けて、飛行精度として(遠隔操作と同じ)±50cm以内の機能
- 2) 変形の圃場に対しては、遠隔操作と同じ飛行基準による飛行、散布機能
- 3) 障害物、除外地へのドリフト防止を考慮した精度の高い飛行経路設定が確実にできる機能
- 4) 実際の飛行経路、散布実績を記録でき、農業者が確認できる機能
- 5) 機体の異常、突風・第三者の侵入を発見した場合に、強制介入を行い、直ちに散布を停止する機能

2. 果樹園の防除では

- 1) 対象とする圃地は多様な形態であるために、水稻などの平面的な作物と同様の飛行諸元と、立体的な作物に対して遠隔操作同様の均一な付着が可能となる飛行諸元について、使用する目的に応じて使い分けて経路設定、散布ができる機能

3. 肥料等粒状資材散布では

- 1) 物理性、粒子径が異なる粒状資材を確実に吐出できる機能
- 2) 幅広い散布量に対応した吐出量及び均一散布が得られる機能