

2023年 ゴルフ場防除技術研究会 第2回研究会スケジュール

「ドローンによるきめ細かな
薬剤散布に係るガイドライン」
について（概要報告）

一般財団法人 日本緑化センター

専務理事 新島俊哉

■ 報告の流れ

1. 事業概要

- (1) 事業の目的
- (2) 実施方針
- (3) 試験設計

2. 試験状況(映像…3分)

3. 試験結果の概要

- (1) ドリフト検証
- (2) 薬剤の効果
- (3) コスト比較 (⇔対無人へリ)
- (4) 課題

4. ガイドラインの概要

5. 今後の展望

1. 事業概要

(1) 事業の目的 ①

■防除事業の問題点

- ① 無人ヘリによる防除において、市街地に近接し散布の困難な箇所があること。
 - ② その代替として実施した地上散布（動力噴霧機やスパウター）では、樹冠まで薬剤が届かない。
- ⇒ そのようなケースにおいて、**ドローンの有効な利活用の可能性を検討し、ガイドラインを作成**することが本事業の目的。

(1) 事業の目的 ②

■POINT

- ① ドローンを防除事業における無人ヘリを代替するものとして位置付けているわけではない点。
- ② ドローンを併用または補完的に活用することで、よりきめの細かい防除を実現していくことが目的。

(2) 実施方針 ①

■事業を実施する上での課題

ドローンを用いた松枯れ防除のための空中散布は、**過去に試験データの実績がなく、その有用性（実現性・有効性）が検証された資料・文献が皆無であった。**

参考文献

- 「ドローンの技術的側面－現状および課題と展望－」、下ノ村和弘、国際交通安全学会誌、Vol. 44、No. 2 (2019)
- 「小型マルチローターを用いた農薬散布の水稻病害虫に対する防除効果」新山徳光ら、北日本病虫研報、69：98-104 (2018)
- 「イネ出穂期の病害虫防除におけるマルチローター利用の実用性」、高橋良知、北日本病虫研報、68：134-139 (2017)
- 「静岡県で無人ヘリコプターで松林に散布されたフェニトロチオン乳剤の飛散状況ならびに健康影響評価」、本山直樹、市川有二郎、日本農薬学会誌33(3)、289-301 (2008)
- 「秋田県潟上市天王浜山地区で無人ヘリコプターにて松林に散布されたフェニトロチオンMCの飛散状況」、市川有二郎、佐々木碧、田畑勝洋、本山直樹、日本農薬学会誌34(1)、45-56(2009)
- 「群馬県で松林にスパウターを用いて散布されたアセタミプリド液剤の飛散状況」、市川有二郎、盛山充、本山直樹、日本農薬学会誌33(3)、281-288(2008)
- 「農業における無人ヘリコプター利用の現状」、関口洋一、農業機械学会誌、第66巻、第2号(2004)
- 「産業用無人ヘリコプターによる松くい虫被害予防のための空中散布の効果」齊藤正一、山形県森林研究研修センター、研究報告、第22号、11-22 (1999)
- 「サンケイ緑化製品ガイドブック」サンケイ化学株式会社 (2019)

(2) 実施方針 ② (抜粋)

項目	内容
① 試験の位置づけ	○ ドローンを無人ヘリ等を併用または補完する新たな技術としての活用の可能性について、その有用性（実現性・有効性）を検証するための基礎試験と位置付けた。
② 比較対象の設定	○ ドローンの試験地と同条件の場所で、散布農薬の影響を受けない距離（200m）に対照区を確保したうえで、ほぼ同時刻に無人ヘリの空中散布も併せて実施し、比較対象とした（1時間遅れの飛行・散布）。

(3) 試験設計 (一覽)

試験項目	実施内容ほか
① ドローンの機種	<ul style="list-style-type: none">・ ヤマハ製の中型ドローンYMR-08・ DJIジャパン製の中型ドローンMG-1、AGRAS-T30の3機種
② 試験地の選定条件	<ul style="list-style-type: none">・ 茨城県の海岸林(県有林)を複数箇所と、森林総研(本所)の一部を借用して実施。
③ 散布時の高さ(距離)	<ul style="list-style-type: none">・ 現場の状況と安全を考慮し、樹冠部より上空3mで実施。
④ 使用薬剤	<p>⇒ 剤形の異なる4種類(EC乳剤、SC水和剤、MC剤、LC液剤)で実施。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 有機リン系薬剤(フェニトロチオンEC及びMC)・ ネオニコチノイド系薬剤(アセタミプリドLC、クロチアニジンSC)。
⑤ ドリフトの検証方法	<ul style="list-style-type: none">・ ドリフト確認のため(A)気中濃度と(B)落下量を測定。
⑥ 薬剤の効果(付着量)の検証方法	<ul style="list-style-type: none">・ 松の枝の残留濃度と表面積当たりの付着量を測定。
⑦ 従来手法(無人ヘリ)とのコスト及び有効性の検証方法(参考)	<ul style="list-style-type: none">・ ほぼ同時刻に時間をずらして実施した無人ヘリによる散布状況を撮影し、その映像に基づき各種作業時間を比較・検証。

(3) 試験設計 ① (ドローン機種①)

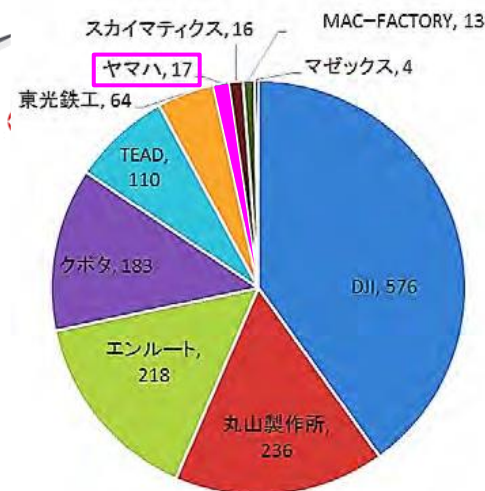
試験項目	実施内容ほか
① ドローンの機種	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヤマハ製の中型ドローンYMR-08 (参考) YMR-08の後継機⇒YMR-II



YMR-08



YMR-II

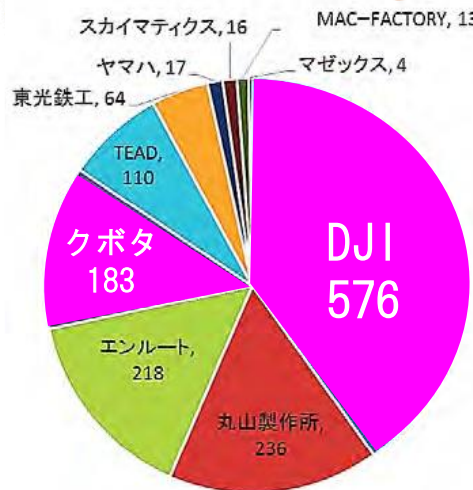


(3) 試験設計 ① (ドローン機種②)

試験項目	実施内容ほか
① ドローンの機種	<ul style="list-style-type: none">・ DJIジャパン製の中型ドローンMG-1・ DJIジャパン製の大型ドローンAGRAS-T30



MG-1(中型)



AGRAS-T30(大型)

(3) 試験設計 ② (試験地)

試験項目	実施内容ほか
② 試験地の選定条件	・ 茨城県の海岸の松林(県有林)と森林総合研究所本所内の松林を借用して実施。



試験地①(茨城県十王町)

樹高 5～7m

通常の防除にネオニコチノイド系の薬剤を使用していることから
有機リン系の薬剤の試験を実施



試験地②(茨城県東海村)

樹高：15～17m

通常の防除に有機リン系の薬剤を使用していることから
ネオニコチノイド系の薬剤の試験を実施



試験地③(森林総合研究所)

樹高：約20m

生物試験を実施するため、薬剤散布の実績のない箇所を選定

(3) 試験設計 ③ (散布高度)

試験項目	実施内容ほか
③ 散布時の高さ (距離)	・ 現場の状況と安全を考慮し、 樹冠部より上空3m で実施。



項目	ドローン	無人ヘリ
吐出量	0.8リットル/分	—
飛行高度	2m	3~4m
散布間隔	3~4m	5m、7.5m
飛行速度	15km/h (標準速度、上限20km/h)	10~20km/h
風速	3m/s以下 (地上高さ1.5mの位置)	3m/s以下 (地上高さ1.5mの位置)

出典:「マルチローター式小型無人機による農薬散布の暫定運行基準」



散布時の様子①(茨城県十王町)



散布時の様子②(森林総合研究所)

(3) 試験設計 ④ (剤形)

試験項目

実施内容ほか

④ 使用薬剤

⇒ 剤形の異なる4種類 (EC乳剤、MC剤、SC水和剤、LC液剤) で実施。
・ 有機リン系薬剤 (フェニトロチオンEC、MC)
・ ネオニコチノイド系薬剤 (クロチアニジンSC、アセタミプリドLC)



乳剤



マイクロカプセル剤



水和剤



液剤

(3) 試験設計 ⑤ (ドリフトの検証方法)

試験項目

実施内容ほか

⑤ ドリフトの検証方法

- ・ ドリフト確認のため(A)気中濃度と(B)落下量を測定。

※ ドリフトとは「農薬飛散」のことであり、散布区域外に薬剤が飛散すること



(A)気中濃度の測定

(エアーサンプラー(吸気量: 2リットル/min)を使用、1試験地4~6台設置、 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 単位で分析)

試験項目

実施内容ほか

⑤ ドリフトの検証方法

- ・ ドリフト確認のため(A)気中濃度と(B)落下量を測定。



(B)落下量の測定

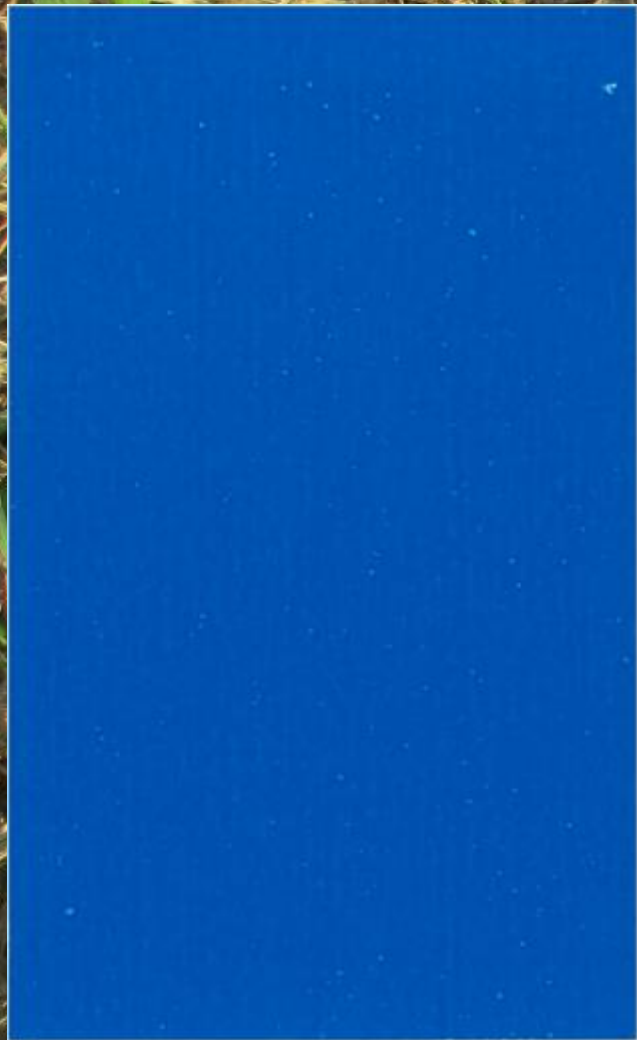
(ろ紙を使用、1試験地20~30箇所設置、 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 単位で測定)

試験項目

実施内容ほか

⑤ ドリフトの検証方法
(参考)

- ・ 散布直後に視覚的に落下量を把握するため、**空**
散調査用紙 (落下板) を設置して実施



(B) 落下量の測定(補足)

(令和4年度の試験でのみ実施)

(3) 試験設計 ⑥ (薬効検証)

試験項目

実施内容ほか

⑥ 薬剤の効果(付着量)の検証方法

- ・ 松の枝の残留濃度と表面積当たりの付着量を測定。





試料採取の様子

D-正味上



残留濃度測定のために採取・調整した松の枝

(3) 試験設計 ⑦ (コスト比較)

試験項目	実施内容ほか
⑦ 従来手法(無人ヘリ)とのコスト及び有効性の検証方法	・ ほぼ同時刻に時間をずらして実施した無人ヘリによる散布状況を撮影し、その映像に基づき各種作業時間を比較・検証。



ドローンによる散布



無人ヘリによる散布

2. 散布状況(映像)



MG-1(DJIジャパン製)2021/9/8



20m

50m

10a



海



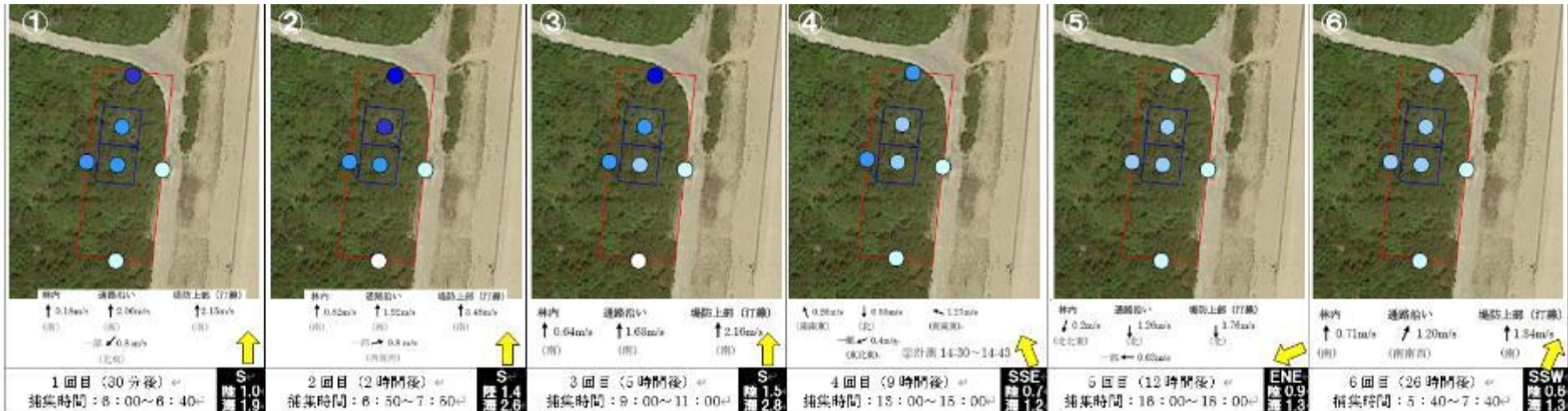
- ・ 試験地10aに対し2往復半を2セット実施
(1回で散布するには飛行速度が遅くなり散布が不安定になるため)
- ・ 飛行速度は約11km/h

2. 散布状況(映像3分)

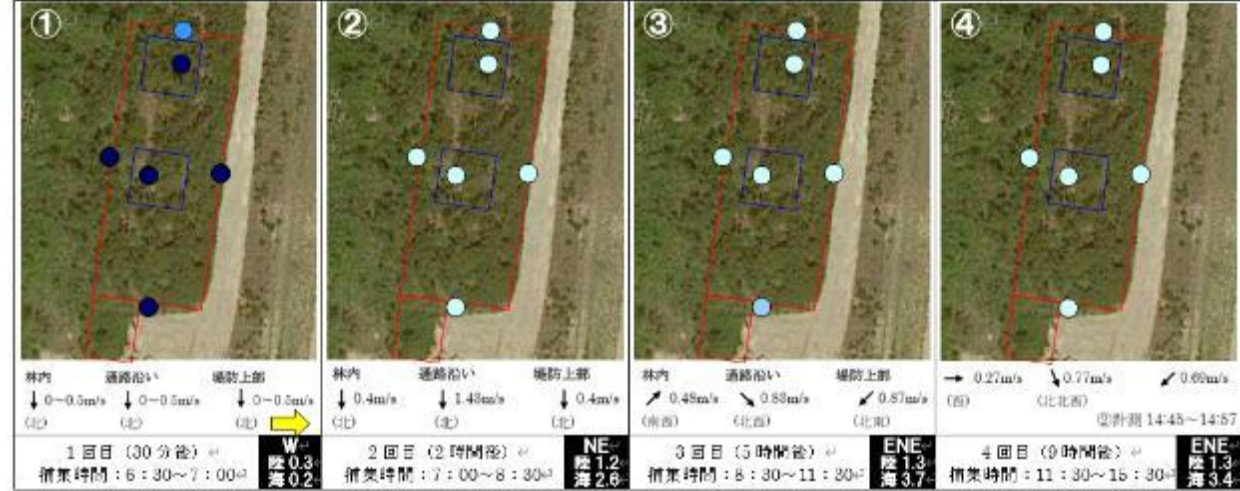
3. 試験の結果

(1) ドリフト検証 (気中濃度の推移①)

① フェニトロチオンEC

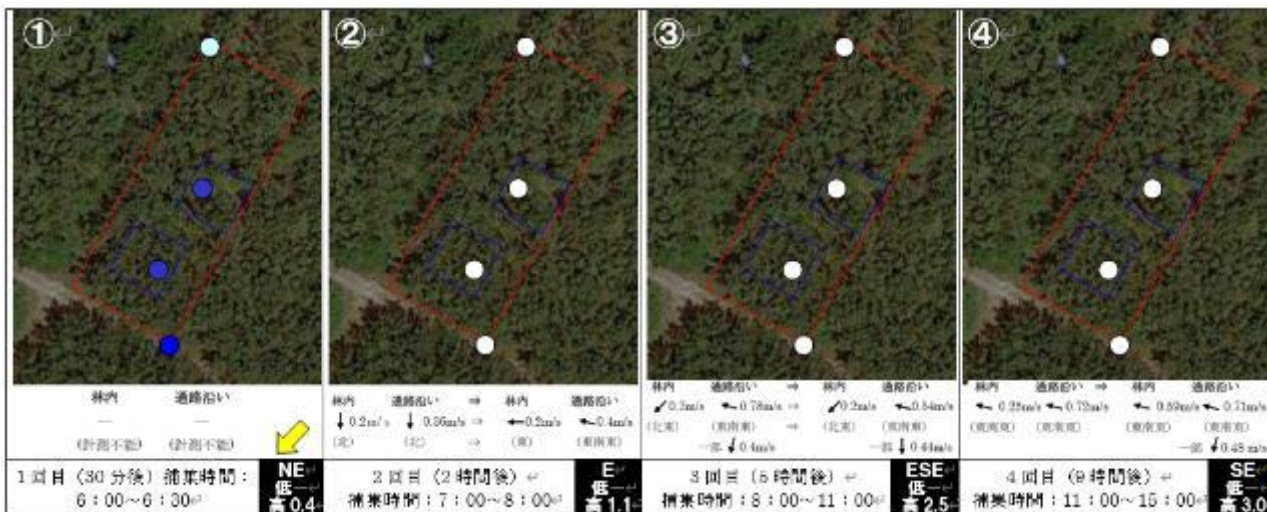


② フェニトロチオンMC

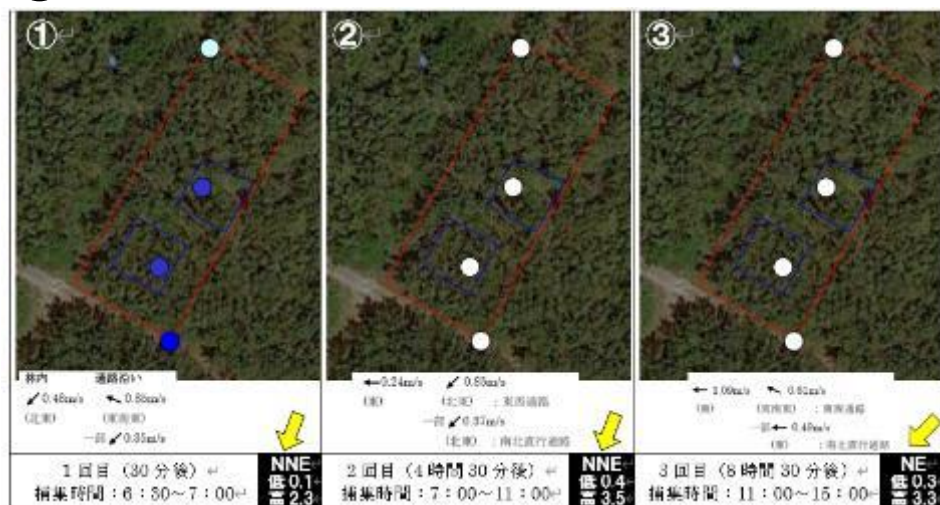


(1) ドリフト検証 (気中濃度の推移②)

③ クロチアニジンSC

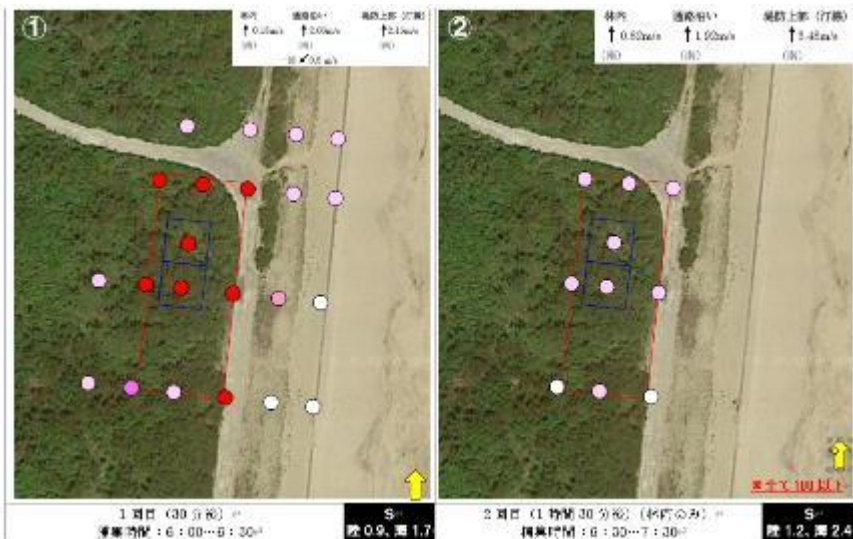


④ アセタミプリドLC

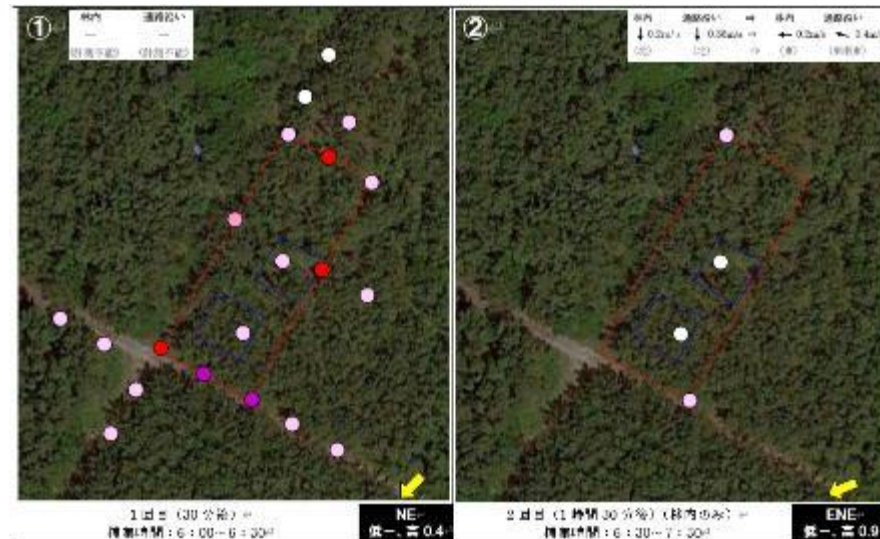


(1) ドリフト検証 (落下量の推移)

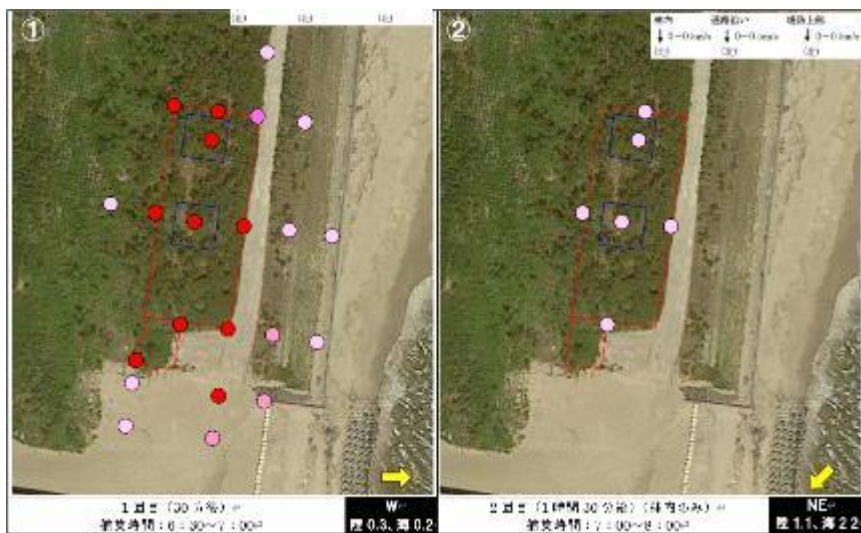
① フェニトロチオンEC



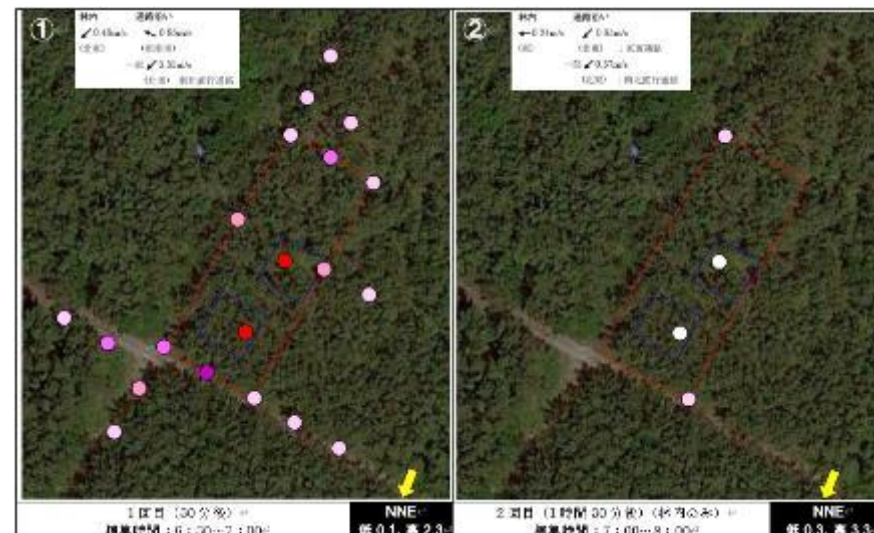
③ クロチアニジンSC



② フェニトロチオンMC



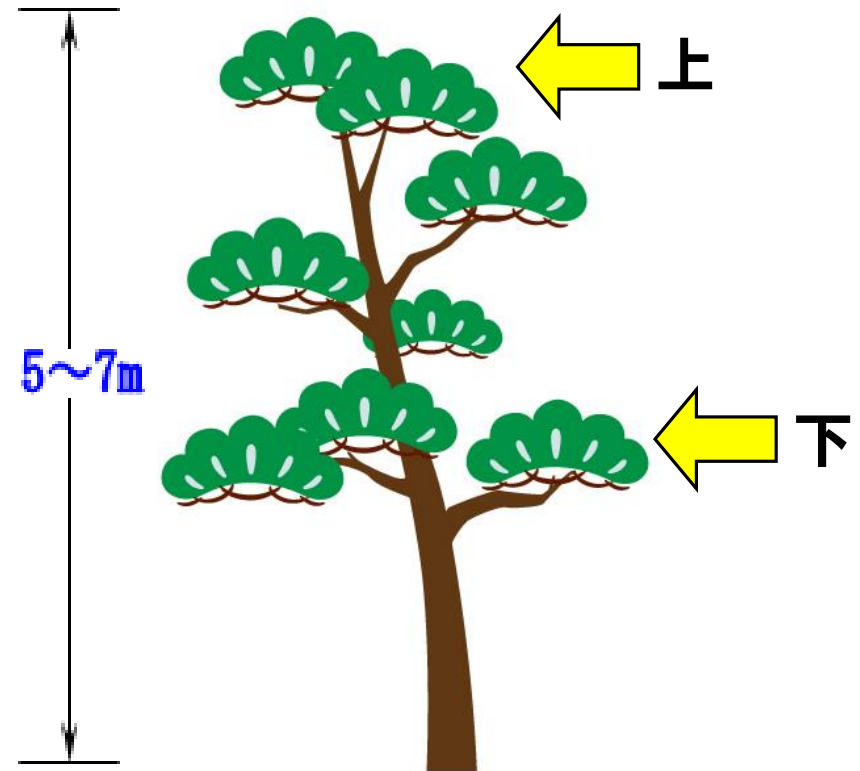
④ アセタミプリドLC



(1) ドリフト検証 (まとめ)

薬剤	検証結果
① MEP乳剤 (EC)	<ul style="list-style-type: none">・ 散布6時間後まで4~5$\mu\text{g}/\text{m}^3$程度残留するが、散布10時間以降は4$\mu\text{g}/\text{m}^3$以下で推移した。・ フェニトロチオンEC剤は揮発性が高く、ガス化しやすいため、翌日まで残留した。
② MEPマイクロカプセル剤 (MC)	<ul style="list-style-type: none">・ 散布2時間後は、おおむね1.0$\mu\text{g}/\text{m}^3$で推移した。・ フェニトロチオンMC剤は蒸気圧が低く、薬剤の大気中への移行は非常に少なかった。
③ クロチアニジン水和 (SC)	<ul style="list-style-type: none">・ 散布2時間後の時点で検出限界以下またはゼロとなった。・ クロチアニジンSCは蒸気圧が低く、薬剤の大気中への移行は非常に少なかった。
④ アセタミプリド液剤 (LC)	<ul style="list-style-type: none">・ 散布4時間30後の時点で検出限界以下またはゼロとなった。・ アセタミプリドLC剤は蒸気圧が低く、薬剤の大気中への移行は非常に少なかった。

(2) 薬剤の効果の検証 (付着量の比較①)

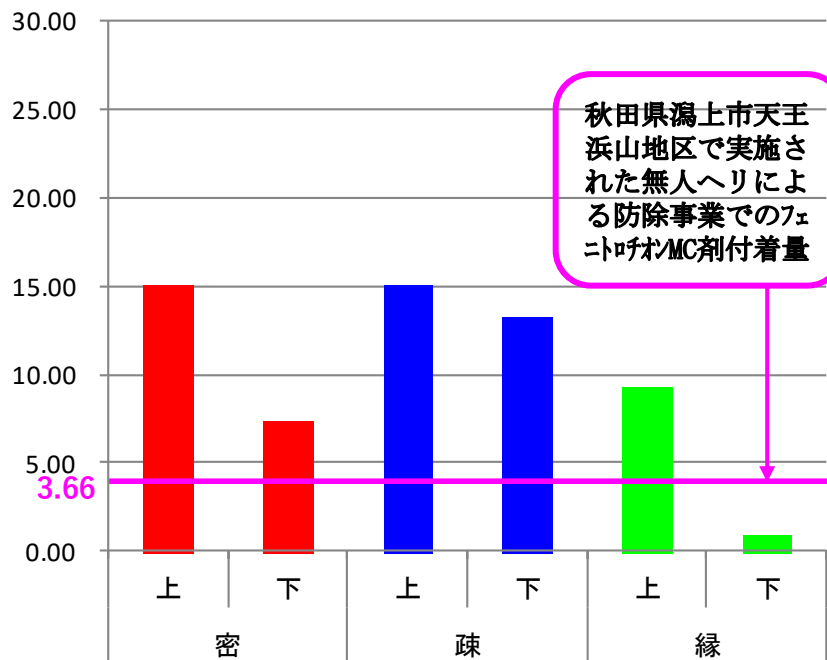


枝葉の採取箇所(樹高が低いマツ林のケース)

(2) 薬剤の効果の検証 (付着量の比較③)

ヤマハ製/YMR-08

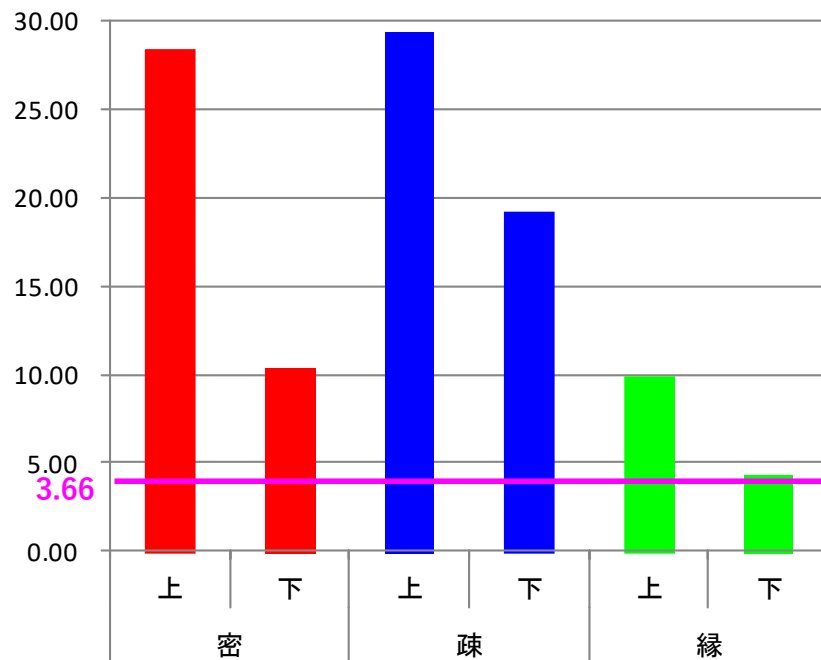
①付着濃度(植物体重量あたり)(mg/kg)



二重反転ローター搭載

ヤマハ製/FAZER-R

①付着濃度(植物体重量あたり)(mg/kg)



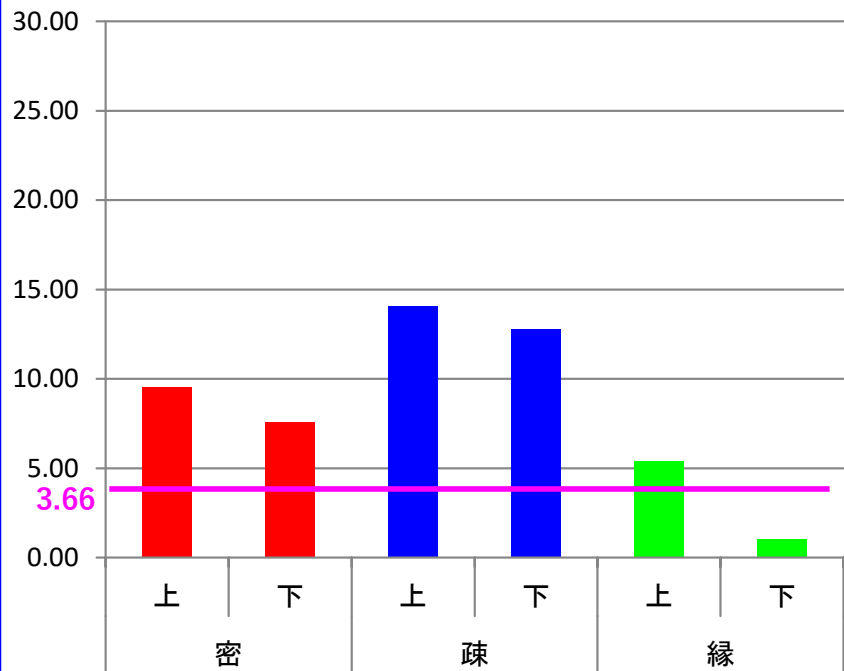
無人ヘリ

(フェニトロチオンMC剤試験区)

(2) 薬剤の効果の検証 (付着量の比較③)

DJIジャパン社製/MG-1

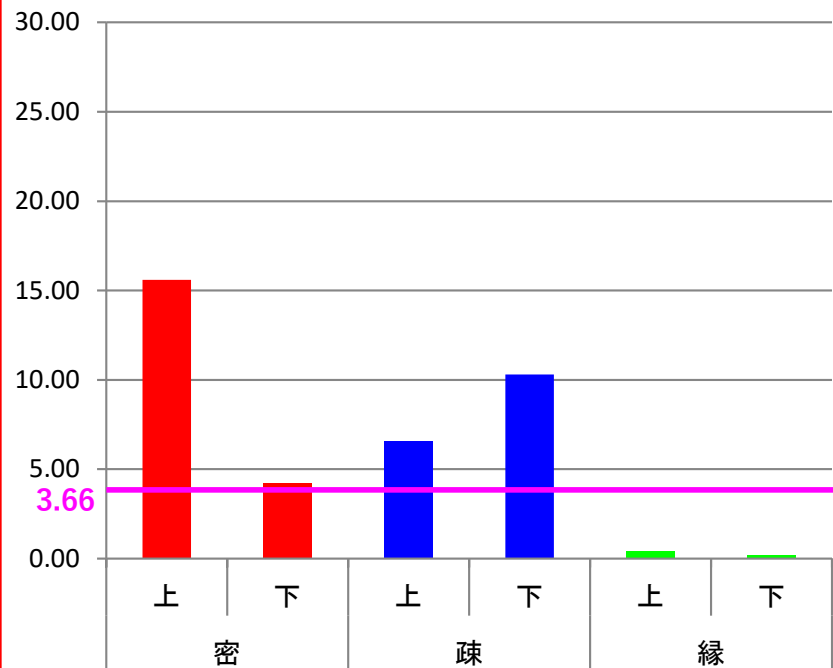
①付着濃度(植物体重量あたり)(mg/kg)



一般的な機種

DJIジャパン/Agras-T30(大型 DR)

①付着濃度(植物体重量あたり)(mg/kg)

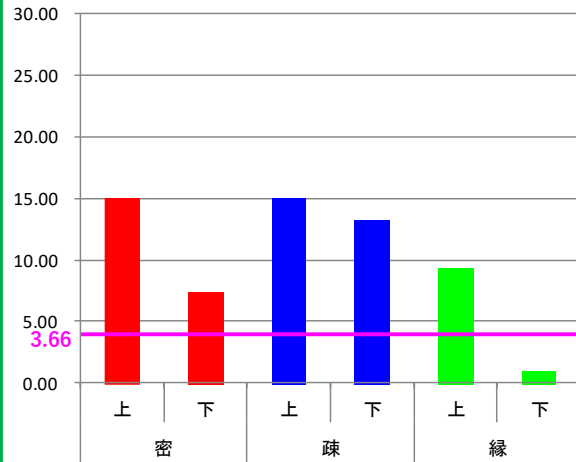


樹木対応型、自動散布装

(フェニトロチオンMC剤試験区)

ヤマハ製/YMR-08

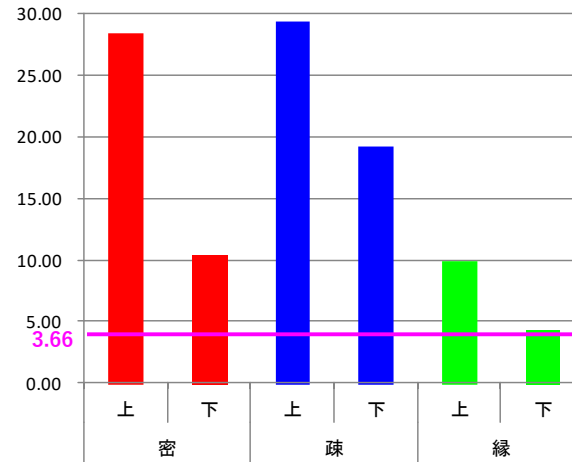
①付着濃度(植物体重量あたり)(mg/kg)



二重反転ローター搭載

ヤマハ製/FAZER-R

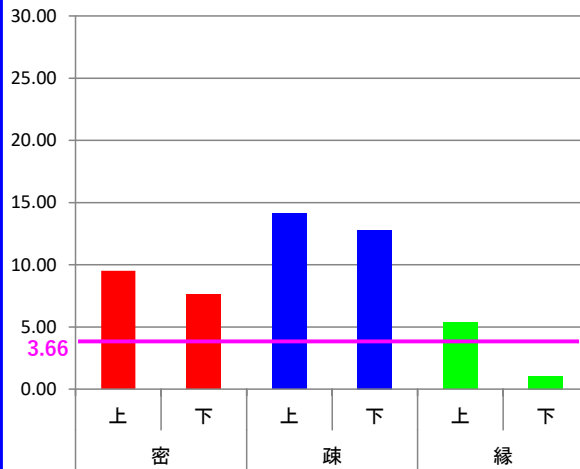
①付着濃度(植物体重量あたり)(mg/kg)



無人ヘリ

DJIジャパン社製/MG-1

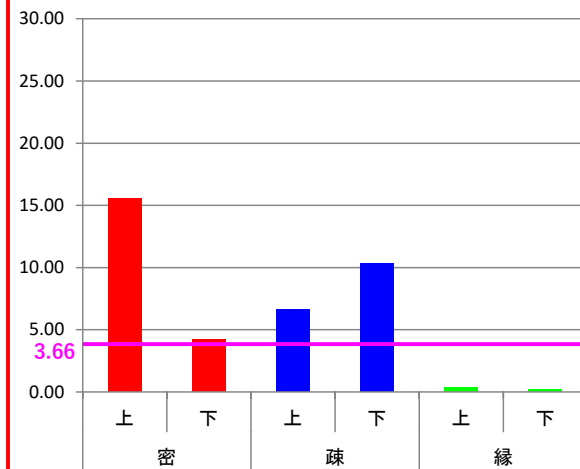
①付着濃度(植物体重量あたり)(mg/kg)



一般的な機種

DJIジャパン/Agras-T30(大型 DR)

①付着濃度(植物体重量あたり)(mg/kg)



樹木対応型、自動散布装

散布直後：放飼24時間後の供試虫の状態 (A)



ネオニコチノイド系薬剤(アセタミプリドLC)の効果の検証

		阿部氏担当分			吉岡氏担当分					死亡率/中毒率	所見
散布直後	樹冠上部	No.1 ♂6/20 ①21.2mm ②2時間後、仰天 ③7時間後、死 ④1.5x7mm	No.2 ♂6/22 ①16.8mm ②9時間後、痙攣・異常歩行、回復 ③生 ④ほぼ全量 4x77mm	No.3 ♀6/20 ①23.2mm ②異常歩行 ③8時間後、死 ④2.5x3mm	No.10 ♀6/15~23 ①19.8mm ②1時間後、麻痺 ③死 ④無し	No.11. ♂6/15~23 ①21.6mm ②10時間後、異常歩行・痙攣 ③生 ④2x22mm	No.12 ♀6/15~23 ①20.1mm ②10時間後、異常歩行・痙攣 ③生 ④1.5x3.2mm	No.13 ♂6/15~23 ①18.5mm ②1.5時間後、痙攣・仰天 ③2時間後、死 ④1.8x8mm	No.14 ♂6/15~23 ①20.5mm ②1時間後、麻痺 ③1時間後、死 ④無し	62.5% 100.0%	⇒全供試虫(8頭)に中毒症状が見られ、5頭は回復せず48時間以内に死亡し、後食防止効果が認められた。
	樹幹中部	No.4 ♂6/17 ①21.5mm ②異常歩行⇒回復 ③生 ④ほぼ全量	No.5 ♀6/17 ①19.0mm ②仰天⇒回復、麻痺 ③20時間後、死 ④1.8x4.9mm	No.6 ♀6/20 ①23.0mm ②痙攣⇒回復 ③40時間後、死 ④ほぼ全量	No.15 ♂6/15~23 ①17.3mm ②4時間、痙攣・仰天、 ③12時間後、死 ④1.5x6.5mm	No.16 ♂6/15~23 ①21.5mm ②30時間後、異常歩行⇒回復 ③生 ④ほぼ全量	No.17 ♀6/15~23 ①22.5mm ②31時間後、異常歩行⇒回復 ③生 ④ほぼ全量	No.18 ♂6/15~23 ①21.2mm ②30時間後、異常歩行⇒回復 ③生 ④全量	No.19 ♂6/15~23 ①20.1mm ②30時間後、異常歩行⇒回復 ③生 ④全量	37.5% 100.0%	⇒全供試虫(8頭)のうち、3頭に後食防止効果が認められた。 ⇒5頭は中毒症状が見られた時点で供試枝をほぼ全量後食しており、その後も生存した。
	樹冠下部	No.7 ♂6/17 ①20.3mm ②無し ③生 ④全量	No.8 ♀6/17 ①23.3mm ②無し ③生 ④全量	No.9 ♀6/21 ①19.1mm ②無し ③生 ④部分的	No.20 ♂6/15~23 ①19.6mm ②無し ③生 ④ほぼ全量	No.21 ♂6/15~23 ①21.4mm ②無し ③生 ④ほぼ全量	No.22 ♂6/15~23 ①19.0mm ②無し ③生 ④ほぼ全量	No.23 ♀6/15~23 ①19.5mm ②無し ③生 ④ほぼ全量	No.24 ♂6/15~23 ①22.0mm ②無し ③死(供試虫、不健全) ④ほぼ全量	0.0% 0.0%	⇒全供試虫(8頭)に中毒症状は見られず、後食防止効果は認められなかった。 ⇒1頭は後食せずに死亡した。

散布2週間後	樹冠上部	No.25 ♂7/2 ①19.0mm ②35時間後、痙攣⇒回復 ③生 ④部分的	No.26 ♂6/17 ①20.1mm ②無し ③生 ④全量	No.27 ♂7/5 ①21.5mm ②34時間後、麻痺 ③死 ④無し	No.28 ♀6/17 ①22.5mm ②16時間後、麻痺 ③死 ④無し	No.29 ♀7/6 ①17.9mm ②無し ③生 ④部分的	No.40 ♀6/15~23 ①19.9mm ②3.5時間後、異常歩行・痙攣 ③64時間後、死 ④部分的	No.41 ♀6/15~23 ①19.0mm ②4時間後、痙攣、異常歩行 ③死 ④部分的	No.42 ♂6/15~23 ①19.1mm ②12時間後、異常歩行、痙攣 ③死 ④部分的	No.43 ♂6/15~23 ①18.8mm ②6.5時間後、痙攣⇒回復 ③生 ④全量	No.44 ♀6/15~23 ①21.5mm ②無し ③42時間後、死 ④無し	60.0% 80.0%	⇒全供試虫(10頭)のうち6頭に後食防止効果が認められた。 ⇒2頭は中毒から回復し後食を再開し、2頭は中毒が見られず後食した。
	樹幹中部	No.30 ♂7/5 ①20.9mm ②48時間後、仰天⇒回復 ③生 ④部分的	No.31 ♂7/7 ①20.0mm ②45時間後、麻痺 ③死 ④部分的	No.32 ♂7/6 ①19.0mm ②10時間後、仰天⇒回復 ③生 ④部分的	No.33 ♀7/6 ①20.1mm ②49時間後、異常歩行 ③生 ④部分的	No.34 ♀7/5 ①13.0mm ②無し ③生 ④部分的	No.45 ♀6/15~23 ①23.0mm ②21時間後、痙攣 ③死 ④部分的	No.46 ♂6/15~23 ①18.1mm ②26時間後、痙攣⇒回復 ③死 ④部分的	No.47 ♀6/15~23 ①20.5mm ②2.5時間後、異常歩行⇒回復 ③生 ④部分的	No.48 ♀6/15~23 ①19.3mm ②4時間後、異常歩行⇒回復 ③生 ④ほぼ全量	No.49 ♀6/15~23 ①19.5mm ②9時間後、異常歩行⇒回復 ③生 ④全量	30.0% 90.0%	⇒全供試虫(10頭)のうち9頭に中毒症状が見られ、うち3頭に後食防止効果が認められた。 ⇒6頭は中毒から回復し後食を再開した。
	樹冠下部	No.35 ♂7/5 ①20.0mm ②45時間後、仰天⇒回復 ③生 ④部分的	No.36 ♂7/7 ①19.9mm ②無し ③生 ④全量	No.37 ♂7/6 ①21.7mm ②無し ③生 ④ほぼ全量	No.38 ♀7/6 ①18.1mm ②無し ③生 ④ほぼ全量	No.39 ♀7/5 ①20.5mm ②無し ③生 ④全量	No.50 ♂6/15~23 ①22.9mm ②無し ③生 ④ほぼ全量	No.51 ♀6/15~23 ①19.0mm ②無し ③生 ④全量	No.52 ♀6/15~23 ①20.0mm ②無し ③生 ④全量	No.53 ♀6/15~23 ①21.9mm ②無し ③生 ④全量	No.54 ♀6/15~23 ①22.2mm ②無し ③生 ④ほぼ全量	0.0% 10.0%	⇒1全供試虫(10頭)のうち1頭のみ中毒症状が見られた。

散布4週間後	樹冠上部	No.55 ♂7/6 ①21.2mm ②無し ③生、④全量	No.56 ♀7/21 ①18.6mm ②11.5時間後、仰天・回復 ③生、④全量	No.57 ♀7/13 ①20.5mm ②11.5時間後、仰天・回復 ③生、④ほぼ全量	No.64 ♀7/10~22 ①19.3mm ②無し ③生、④ほぼ全量	No.65 ♀7/10~22 ①23.2mm ②無し ③生、④全量	No.66 ♂7/10~22 ①15.0mm ②無し ③生、④部分的	0.0% 16.7%	⇒全供試虫(6頭)のうち1頭のみ中毒症状が見られたが、まもなく回復し供試枝をほぼ全量後食した。
	樹幹中部	No.58 ♂7/16 ①19.0mm ②無し ③生 ④全量	No.59 ♀7/6 ①19.2mm ②6.5時間後に異常歩行 ③37時間後、死○ ④部分的	No.60 ♀7/14 ①21.1mm ②無し ③生 ④全量	No.67 ♀7/10~22 ①18.3mm ②無し ③生 ④全量	No.68 ♂7/10~22 ①16.1mm ②無し ③生 ④全量	No.69 ♀7/10~22 ①16.9mm ②無し ③生 ④全量	16.7% 16.7%	⇒全供試虫(6頭)のうち1頭のみ軽度の中毒が2回認められ、37時間後に死亡した。
	樹冠下部	No.61 ♂7/6 ①23.8mm ②無し、③生、④全量	No.62 ♀7/13 ①20.2mm ②無し、③生、④全量	No.63 ♀7/6 ①18.8mm ②無し、③生、④ほぼ全量	No.70 ♀7/10~22 ①19.1mm ②無し、③生、④全量	No.71 ♀7/10~22 ①25.1mm ②無し、③生、④全量	No.72 ♀7/10~22 ①20.1mm ②無し、③生、④全量	0.0% 0.0%	⇒全供試虫(6頭)に中毒症状は認められず、放虫48時間以内に供試枝を全量後食した。



: 死亡



: 痙攣、異常歩行

(3) コストの検証 ① (参考)

機種名	YMR-08	FAZER R
タンク容量 (目安)	8L	32L (16L×2)
製造メーカー	ヤマハ発動機(株)	ヤマハ発動機(株)
積載能力目安	1ha	4ha
散布幅	4.0m	7.5m
離陸最大重量	24.9kg	100kg未満
飛行時間目安	15~20分 (散布時)	45~50分 (散布時)

写真



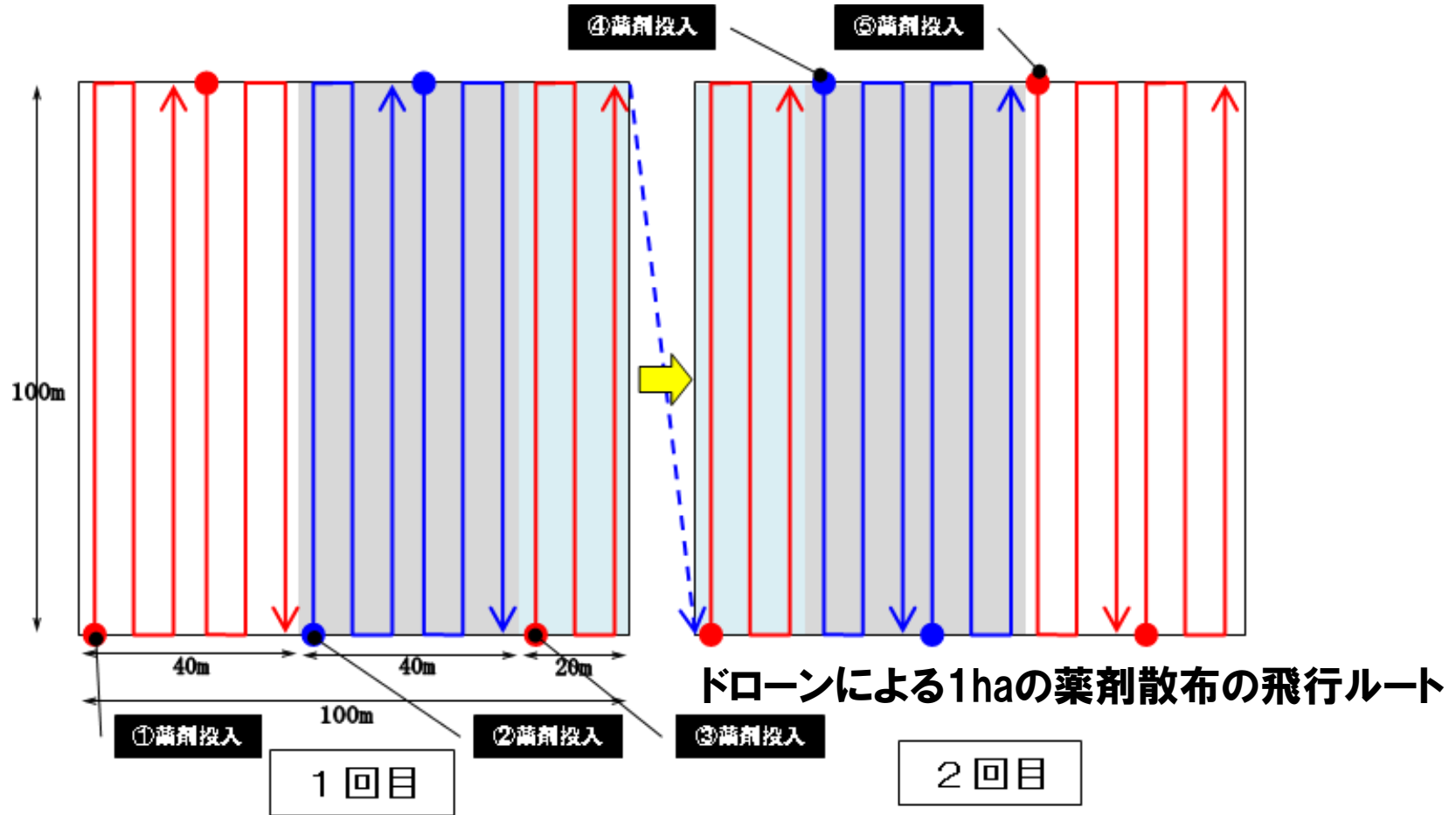
(3) コストの検証 ② (参考)

無人ヘリの薬剤散布における 農業利用 と 松枯れ防除利用 の 違い (YAMAHA製FAZER-Rの場合)

		農業利用	松枯れ防除事業
農薬搭載量 (ℓ) (タンク容量32ℓ (16ℓ×2))		32ℓ ⇒ 飛行高度が低いため、 薬剤をフルに搭載することが可能。	16ℓ (1/2~2/3程度) ⇒ 標高や飛行高度の都合上、 薬剤をフルに搭載して散布することは稀。 おおむね制御しやすい重量 (1/2~2/3) 程度で散布するのが一般的。
散布量		8ℓ/ha (0.8ℓ/10a=1反)	30ℓ/ha (3ℓ/10a)
1フライトでの散布 可能面積		4.0ha	0.5ha
作業量	1日あたり	20ha以上	10ha (5時間/5:00~10:00)
	1時間あたり	6~10ha	2ha
	1haあたり	6分	30分

(3) コストの検証 ② (参考)

機種名	1haの散布
無人ヘリ (FAZER R)	2回のフライトで実施することが可能。
ドローン (YMR-08)	6㍓搭載し、40aずつ5回散布が現実的 (8㍓搭載すると、26.6aの散布で中途半端)



(3) コストの検証 ③ (参考)

表② 10a散布 (簡略版)

	事前準備 薬剤投入ほか	飛行準備 高所作業車準備ほか	散布作業		
			散布起点到達時間	散布時間平均	離着陸点到達時間
(DR) 平均	03:18	02:24	01:03	01:50	01:04
H	03:18	02:24	01:01	01:16	00:46

表③ 無人ヘリ (H) 1ha散布 (必要回数・所要時間)

H	事前準備 薬剤投入 ほか	飛行準備 高所作業車 準備ほか	散布作業			①合計時間	聞き取り		④作業ロス (③-②)
			散布起点 到達時間	散布時間 平均	離着陸点 到達時間		②10ha換算 (①×10倍)	③1日作業 時間	
必要回数	2	2	2	10	2	-	-	-	-
所要時間	06:36	04:48	02:02	12:40	01:32	0:27:38	4:36:20	5:00:00	0:23:40

注. 表3-2に必要回数を乗じて算出

表④ ドローン(DR)40a散布 (必要回数・所要時間)

DR	事前準備 薬剤投入ほか	飛行準備 高所作業車 準備ほか	散布作業		
			散布起点到達時間	散布時間平均	離着陸点到達時間
必要回数	1	1	1	4	1
所要時間	03:18	02:24	01:03	07:18	01:04

注. 表3-2に必要回数を乗じて算出

表⑤ ドローン (DR) 1ha散布 (必要回数・所要時間) (40a×5セット)

DR	事前準備 薬剤投入 ほか	飛行準備 高所作業車 準備ほか	散布作業			①合計時間	④作業ロス 無人ヘリ準用	③作業時間 (無人ヘリ準用)	④実質 作業時間 (③-②)	⑤作業可能 面積 (ha) (⑤÷①)	
			散布起点 到達時間	散布時間 平均	離着陸点 到達時間						
必要回数	5	5	5	5	5	-	-	-	-		
所要時間	16:30	11:58	05:13	36:30	05:22	1:15:33	0:23:40	5:00:00	4:36:20	3.7	
								注. 表3-4に必要回数を乗じて算出	作業時間5:00~8:00の場合⇒	3:00:00	2.1
									平均値⇒	2.9	

実態が不明なので無人ヘリを準用

(4) 課題 ①

① ドローンによる散布の場合、松の枝葉への薬剤の付着量が、無人ヘリに比べ少ない。

ただし、適切な散布を行えば防除に必要な薬剤付着量を確保することは可能

■想定される要因

- ・ ドローンは無人ヘリに比べ、ダウンウォッシュ(下降気流)が弱いため、風で薬剤が流されやすい。
- ・ 中型ドローンには「多量散布装置」が搭載されていないため、薬剤が霧状になりやすく(粒径が細かい)、風の影響を受けやすい。

(4) 課題 ②

② ドローンによる散布の場合、その使用は限定的にならざるを得ない（場所を選ぶ）。

■想定される要因

- ・ コスト比較でも明らかなおおり、現状のバッテリー容量では、大面積の散布は、特に森林を対象とした場合には困難。
- ・ タンク容量の大きい大型ドローンの場合でも、飛行時間は10～15分程度にすぎない。

(4) 課題 ③

③ ドローンによる散布の場合、マツ林は樹高が高いため、難易度が高い。

■想定される要因

- ・ 農業用ドローンの利用は、特に平地を対象とした農業分野（農薬散布、肥料散布、播種）で顕著。
- ・ 高さのある森林等を対象とした薬剤散布は、今なお発展途上である。

4. ガイドラインの概要

林野庁補助事業

このガイドラインは、令和2～4年度林野庁「森林病虫害等被害対策強化・促進事業」において一般財団法人日本緑化センターが実施主体となり、作成したものです。

ドローンによるきめ細かな 薬剤散布に係るガイドライン

第一版

令和5年3月

一般財団法人 日本緑化センター

<目次>

本編	1
1. はじめに	1
2. 想定される用途	2
(1) 活用のフロー	2
(2) 活用可能な場面	3
(3) 活用のメリット・デメリット	4
3. 松枯れ防除事業におけるドローンの散布効率	5
(1) ドローン（中型）の1飛行当たりの散布可能面積	5
(2) ドローン（中型）の1日当たりの散布可能面積	7
4. 松枯れ防除事業に活用可能なドローンの機体	8
5. 松枯れ防除事業における薬剤の特徴	9
(1) 主な薬剤の特徴	9
(2) 薬剤のドリフトについて	11
6. 散布（飛行）方法	12
(1) 散布（飛行）の準備	13
(2) ドローンによる散布時の申請（届出）	14
(3) 散布（飛行）の方法	15
7. 安全対策マニュアル	18
8. ガイドライン活用時の留意点	20
9. おわりに	22
解説編	23

※本ガイドラインの作成にあたっては、主として下記の資料を参考とした

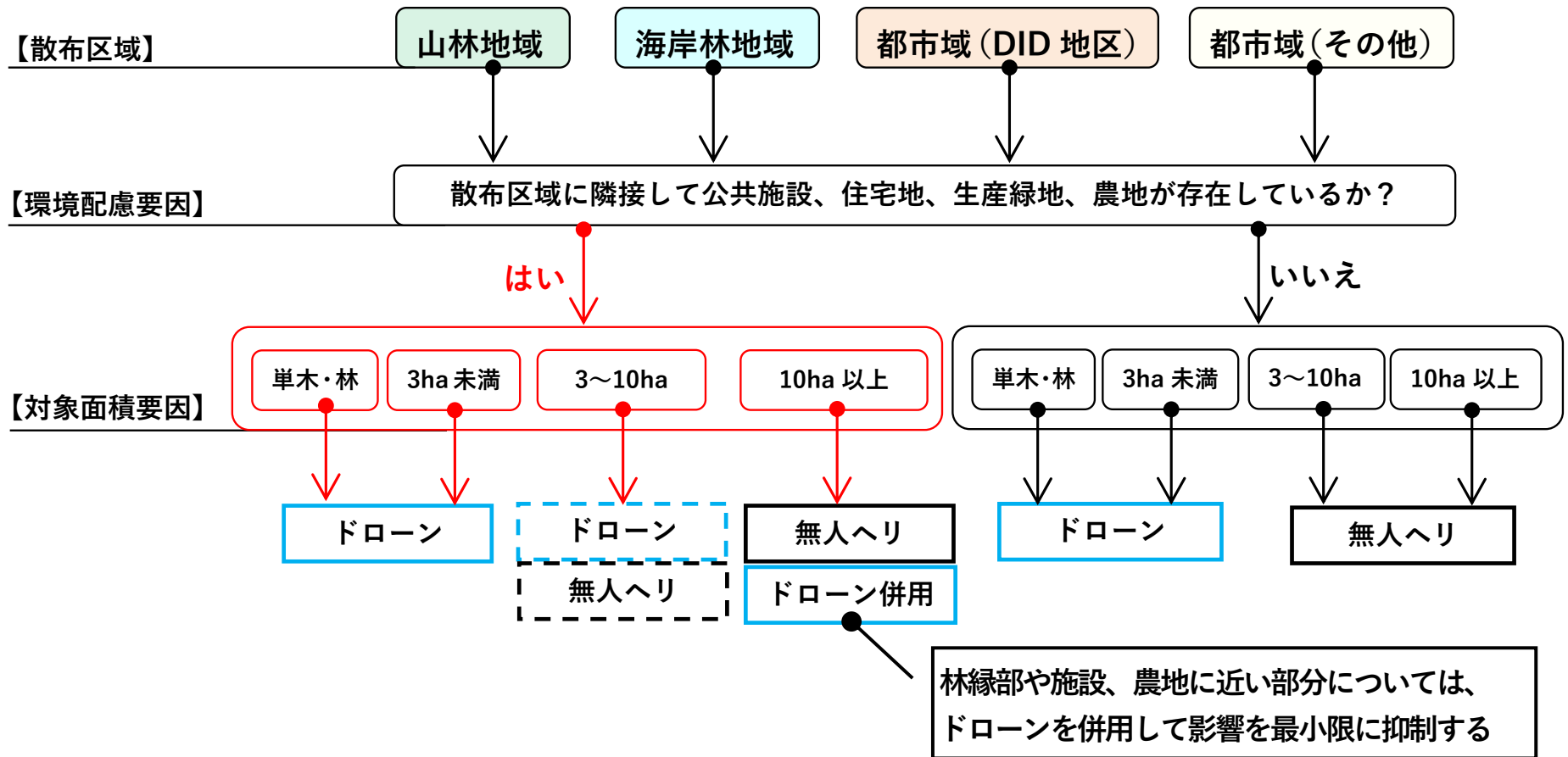
資料名	発行元
①『無人マルチローターによる農業の空中散布ガイドライン』	令和元年7月30日付け、元消安第1388号農林水産省消費・安全局長通知
②『マルチローター式小型無人機による農業散布の暫定運行基準取りまとめ』	平成28年3月、マルチローター式小型無人機の暫定運行基準策定検討会
③『産業用マルチローター安全対策マニュアル（令和4年版）』	一般社団法人農林水産航空協会
④『無人ヘリコプターによる農業の空中散布ガイドライン』	令和元年7月30日付け元消安第1388号農林水産省消費・安全局長通知
⑤『産業用無人ヘリコプターによる病虫害防除実施者のための安全対策マニュアル（令和4年版）』	一般社団法人農林水産航空協会、全国農林航空事業推進協議会

ドローンによるきめ細かな薬剤散布に係るガイドライン

4. ガイドラインの概要 ①

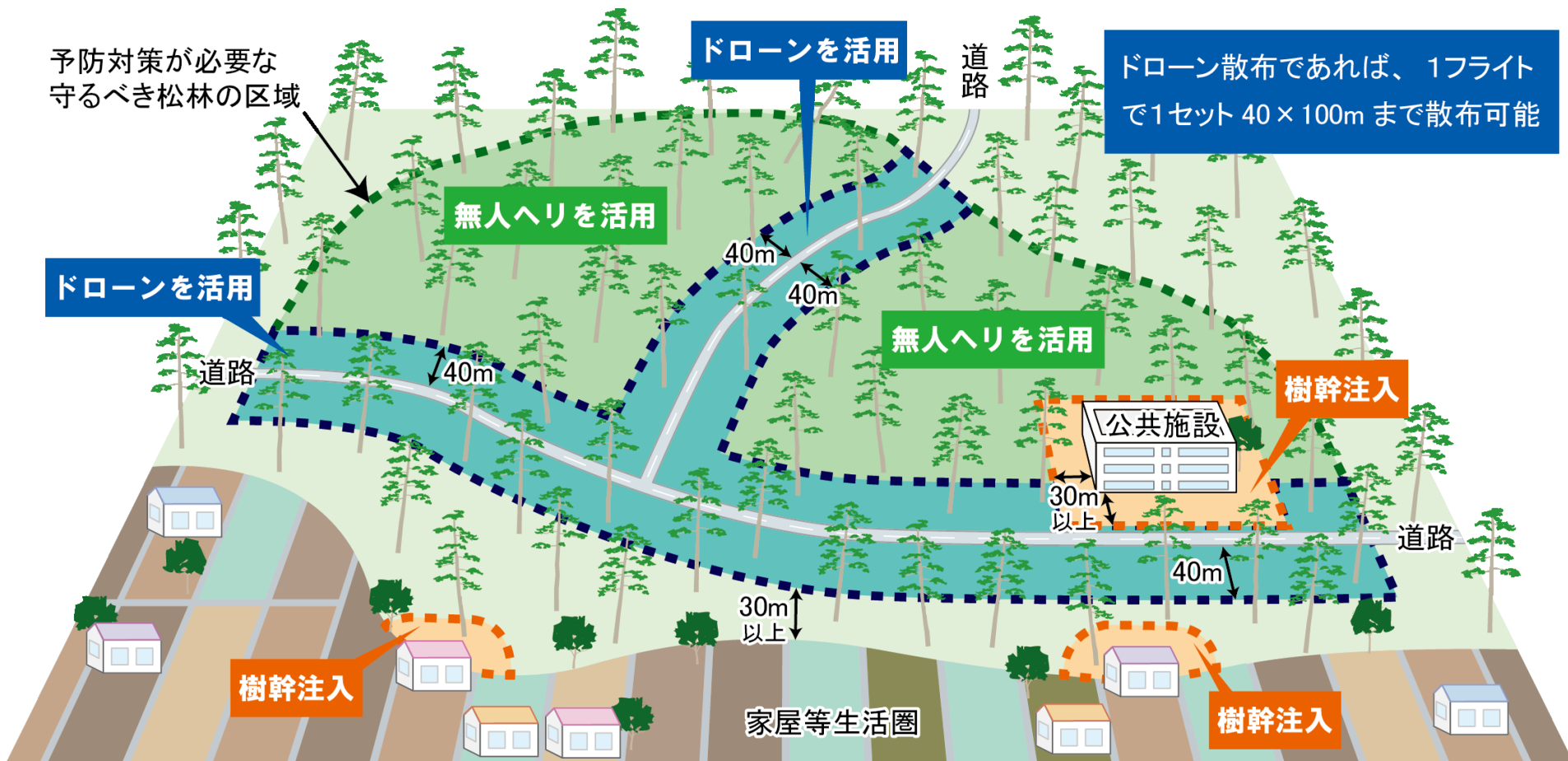
区分	メリット
① 無人ヘリと比較した場合のメリット	<ul style="list-style-type: none">・ 機体が小型かつ機動性が高い。・ 狭く複雑な地形の散布も可能。・ 飛行騒音が小さい。・ 機体の導入費用が無人ヘリと比べると安価である。・ 重量が軽いため、取扱いが容易。・ 操縦が無人ヘリよりも容易で、安全性が高い。
② 動力噴霧機やスパーター等の地上散布と比較した場合のメリット	<ul style="list-style-type: none">・ 地上散布に比べ、<u>計算上は薬剤の有効成分散布量を4分の1程度までに低減することができる。</u>・ 地上散布に比べ、<u>作業効率が1.7倍程度に向上する</u>ことが推定された。・ 地上散布に比べ、<u>直接的な防除経費（作業料金）は、樹高の高さによって差はあるものの、地上散布の4割程度の費用で実施することができる</u>ことが推定された。・ 地上散布に比べ、防除作業に従事する者の薬剤への暴露や身体への労働負担が軽減できる。

4. ガイドラインの概要 ②



ドローン活用のフロー

4. ガイドラインの概要 ③



ドローン活用のイメージ

(「松くい虫防除のための農薬の空中散布のあり方(平成23年11月、長野県)を参考に作成)

4. ガイドラインの概要 ④

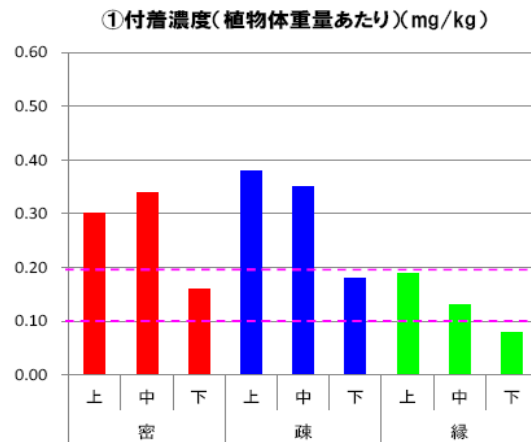
デメリット

① 無人ヘリと比べ、ダウンウォッシュ(下降気流)が弱く、風の影響を受けやすい。

⇒対応策 散布時の風速は、**散布高度の位置で3 m/s以下**とする。併せて、ダウンウォッシュの能力を強化した機種の利用を検討する。

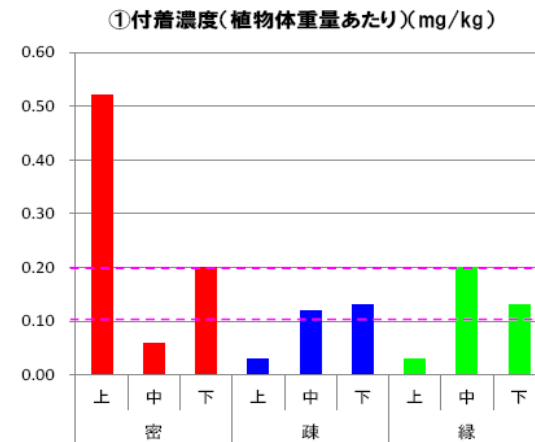
その他、**マツは食用作物ではないので、使用基準の見直しについても検討が期待される。**

【今年度】薬剤2倍量投下(YMR-08)



2往復半×4セット

【R02年度】規定量投下(YMR-08)



2往復半×2セット

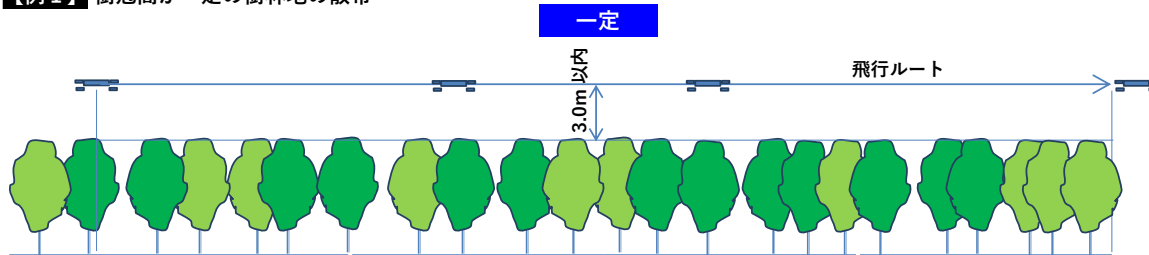
4. ガイドラインの概要 ⑤

デメリット

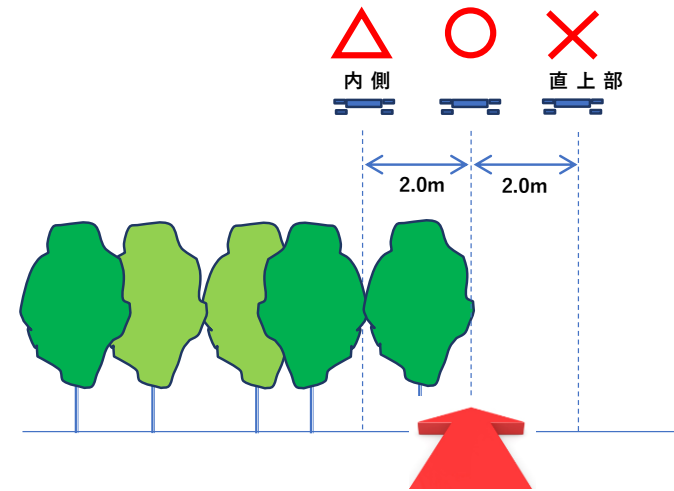
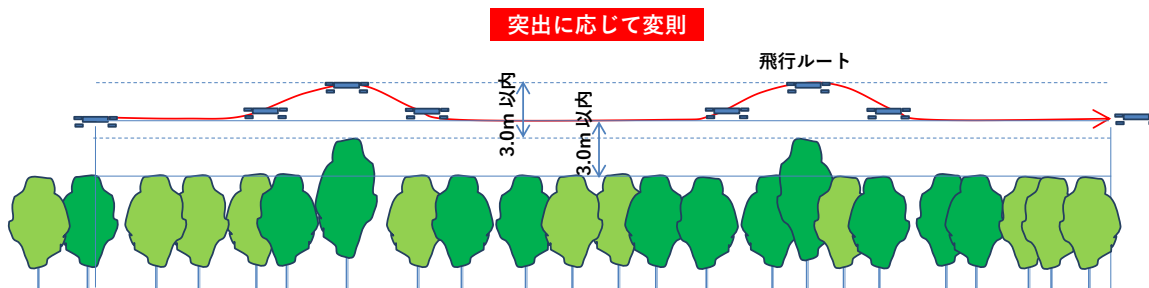
② 防除に有効な薬剤の付着量は確保できるが、無人ヘリと比べ、マツの枝葉への付着量が少ない。

⇒対応策 散布高度は、マツの樹冠部より3m以内とする。散布区域の林縁部の散布むらは、境界線上を飛行・散布することで防ぐことができる。

【例1】 樹冠高が一定の樹林地の散布



【例2】 樹冠の一部が突出した箇所がある場合の散布



4. ガイドラインの概要 ⑥

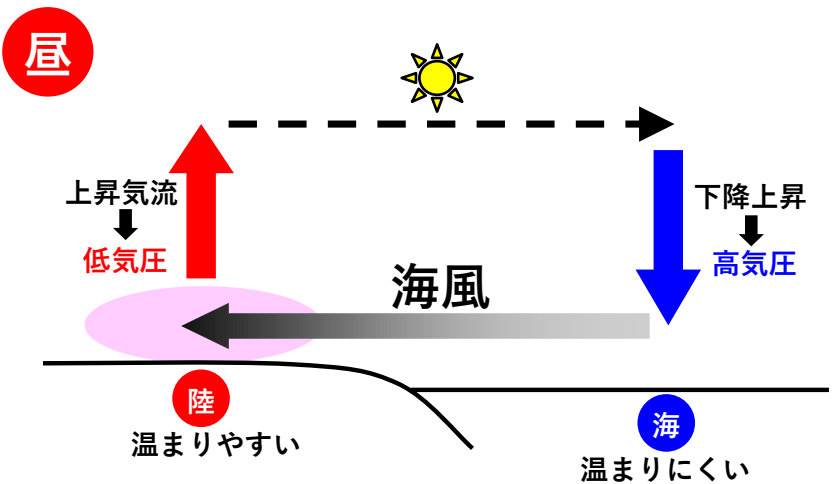
デメリット

③ 無人ヘリと比べ、散布高度での風速に左右されるため、散布できる時間帯が実質的に少ない。

⇒対応策 気象情報等を事前に確認し、綿密な散布計画を立てる。

④ 無人ヘリと比べ、一度のフライトで散布できる面積が小さい。

⇒対応策 散布チーム（機体担当者、薬剤担当者、輸送担当者）の連携による効率的な散布を行う。



令和3年度実証実験結果(固定風向風速計による測定値)

散布年月日 散布地点 (地上高)	令和3年7月10日 高所作業車(森林総研)			令和3年8月19日 堤防上部(十王町)			令和3年9月8日 堤防上部(十王町)		
	17.0m程度			5.0m程度			5.0m程度		
	平均風速	最大風速	最小風速	平均風速	最大風速	最小風速	平均風速	最大風速	最小風速
5:00~5:09:59									
5:10~5:19	0.32	1.61	0.00	0.01	0.04	0.00			
5:20~5:29	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00			
5:30~5:39	0.00	0.03	0.00	0.14	0.61	0.00	0.02	0.06	0.00
5:40~5:49	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5:50~5:59	0.02	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6:00~6:09	0.01	0.04	0.00	0.11	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00
6:10~6:19	0.01	0.09	0.00	0.12	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00
6:20~6:29	0.35	1.14	0.00	0.07	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
6:30~6:39	0.26	0.55	0.00	0.14	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00
6:40~6:49	0.38	0.83	0.00	0.25	1.47	0.01	0.00	0.00	0.00
6:50~6:59	0.07	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.26	0.00
7:00~7:09	0.46	1.49	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.18	0.00
7:10~7:19	0.03	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00
7:20~7:29	0.44	0.98	0.07	0.00	0.00	0.00	0.05	0.37	0.00
7:30~7:39	0.35	0.61	0.18	0.11	0.88	0.00	0.04	0.42	0.00
7:40~7:49	0.28	0.88	0.00	0.85	3.40	0.00	0.01	0.04	0.00
7:50~7:59	0.21	0.55	0.00	3.94	4.60	2.29	0.00	0.00	0.00
8:00~8:09	0.30	0.86	0.00	3.85	4.82	3.33	0.15	0.72	0.00
8:10~8:19	0.25	0.45	0.01	4.05	4.85	3.43	0.20	0.64	0.00
8:20~8:29	0.24	0.61	0.01	4.22	4.76	3.56	0.21	0.50	0.00
8:30~8:39	0.55	1.23	0.03	5.80	6.67	4.60	0.31	0.69	0.00
8:40~8:49	0.12	0.86	0.00	6.28	6.91	5.23	0.20	0.58	0.00
8:50~8:59	0.41	1.30	0.00	5.73	6.25	5.24	0.36	0.82	0.00
9:00~9:09	0.38	1.01	0.00	5.13	5.80	1.74	0.80	1.91	0.00
9:10~9:19	0.11	0.58	0.00	0.79	1.12	0.32	0.96	1.31	0.45
9:20~9:29	0.52	1.04	0.10	1.02	1.18	0.74	1.27	1.66	0.77
9:30~9:39	0.08	0.34	0.00				0.55	1.42	0.00

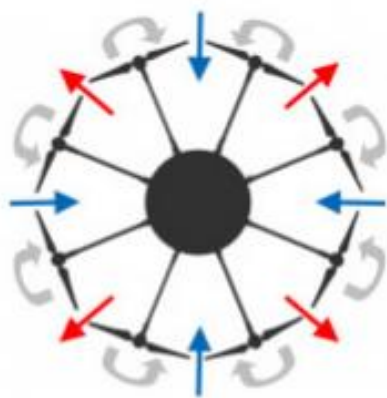
5. 今後の展望

課題	対応の可能性
① ドローンによる散布の場合、松の枝葉への薬剤の付着量が、無人ヘリに比べ少ない。	⇒ 現在、中型ドローンの中で、ダウンウォッシュ(下降気流)を強める機能の開発が進んでおり、これにより、農薬の松の枝葉への付着量の向上が期待できる。
② ドローンによる散布の場合、その使用は限定的にならざるを得ない(場所を選ぶ)。	⇒ 現時点では、あくまでも無人ヘリの代替利用は想定していないが、無人ヘリの普及の黎明期においても、そのようなことが言われていた。 今後の技術革新次第といえる。
③ ドローンによる散布の場合、マツ林は樹高が高いため、難易度が高い。	⇒ DJIジャパンの大型ドローンTシリーズ(T10, 20, 30)では、すでに高さのある果樹等を対象とした自動散布の技術が実用化されており、今後のさらなる進歩により、オペレーターの負担軽減が期待される。

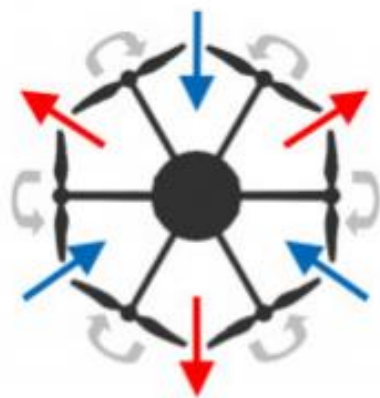
性能に関するデータ

1. 4枚プロペラのメリット

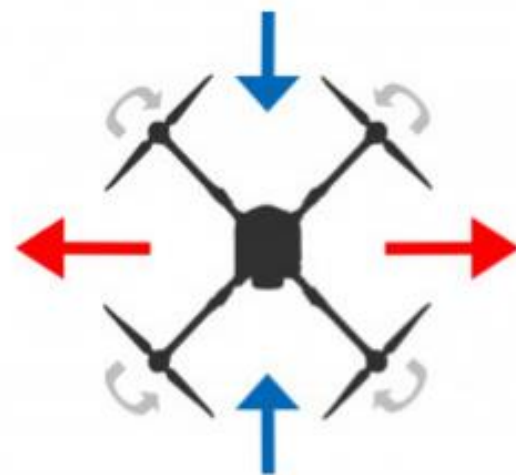
4枚プロペラは「強いダウンウォッシュ」を発生させることができる



8枚 21inch



6枚 26inch



4枚 30inch

ドローンは軽量のため、なかなか強いダウンウォッシュが発生させにくいとされている。しかし、大きなプロペラだと強いダウンウォッシュが発生させやすく、大きなプロペラを搭載するにはプロペラ数を少なくする必要がある。

お世話になった方々

実証試験総括：千葉大学名誉教授 本山直樹 様
副総括（農業手配、生物試験ほか）：NPO法人松くい虫研究センター代表 阿部豊 様
試験計画策定：元千葉県森林研究センター次長 松原功 様
散布アドバイザー（高所作業車運転ほか）：松保護士（元ヤマハリ&アグリ株） 齋藤次男 様
試料採取、生物試験：樹木医（株）吉岡緑地代表取締役 吉岡賢人 様
無人ヘリ・ドローン操縦：西日本スカイテック株 様、栃木スカイテック株 様
試料分析：株）化学分析コンサルタント 様
試験地の提供：茨城県農林水産部林業課林地保全チーム 様
〃：国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 様

