

# 機械学習に基づく中山間地域向け農業用散布ドローン群 一蜂を機械化する Agriswarm の開発一

## 1. 背景

日本の農業は近年ようやく機械化が進み始め、農薬散布ドローンや貨物運搬ロボットなどの導入により競争力のある食農産業が生まれつつある。しかし、中山間地域の果樹栽培においては、その地形の険しさから従来の大型機械による自動化が困難であり、特に受粉作業は今なお大きな労働負荷となっている。

キウイなどの果樹の受粉は、ミツバチによる「虫媒授粉」と人の手による「人工授粉」が主流だが、花粉媒介昆虫の減少や気象変動により、人工授粉への依存度が高まっている。一方で人工授粉は労働集約的であり、例えば一般的なキウイ農園では受粉時期に月 1000 時間を超える労働需要が発生する。さらに、病気の接触感染リスクからスプレーによる吹き付け授粉への移行が進んでいるが、これを効率的に行う手段は限られている。

また、果樹栽培において「樹冠占有面積率」（棚面における樹冠の占める割合）は実質的な耕地面積として農業的・経営的に重要な指標であるが、これを測定する実用的な手法はまだ確立されていない。このように、中山間地域の果樹栽培には多くの課題が山積している。

## 2. 目的

本プロジェクトは、果樹園、不整地、中山間地域など、これまで機械化が進行してこなかった過酷環境において、小型ドローンを用いた機械化を模索することを目的とする。第一の具体的課題として、棚下を飛行できるドローンを開発し、キウイ栽培における労働負荷の大きい授粉作業を自動化する。福島県の果樹農園を実証フィールドとして、「Agriswarm」と名付けたドローンシステムにより、受粉その他の蜂の働きを機械で代替することを試みる。

## 3. 開発の内容

本プロジェクトでは、目的別に 2 種類のドローン実機を開発した。一つは圃場監視を目的としたプロトタイプ、もう一つは授粉機能を追加したモデルである。

### ■ ハードウェア構成

開発したドローンの主要構成は以下の通りである。

#### 圃場監視用プロトタイプ（図 1）：

- 高性能エッジコンピューティングデバイス
- 深度カメラセンサ
- 小型・軽量フレーム（総重量約 450g）
- 自律飛行のための各種センサ類

### 授粉機能追加モデル (図 2) :

- 基本プロトタイプ構成に加え、授粉用の拡張として小型タンク、小型モータ、マイクロポンプ、ミストノズルを装備
- 授粉機構開発には様々なノズル径を試験し、吹き付け距離と面積のトレードオフを考慮して最適なものを選定

両モデルともフレームは3Dプリンタとカーボン素材を組み合わせることで製作し、最小限の重量で必要な強度を確保している。



図 1 : 圃場監視用プロトタイプ



図 2 : 授粉機能追加モデル

### ■ ソフトウェア構成

開発した Agriswarm システムのソフトウェアは、以下の主要モジュールで構成される。

**花検知アルゴリズム** : 最新の物体検出技術と姿勢推定技術を組み合わせ、果樹の花の位置と向きを高精度に特定する (図 3)。アノテーションコストを削減するため、3D モデル化技術を活用し、一度のアノテーションで多視点からの学習データを生成している。

**自己位置推定アルゴリズム** : ステレオカメラと慣性センサの情報を統合し、GPS に依存しない高精度な自己位置推定を実現。特徴点抽出と追跡により、果樹棚下という複雑環境でも安定した位置把握が可能となっている。

**経路計画・追従アルゴリズム** : 3次元空間における障害物認識と最適経路計画を行い、授粉対象の花に安全かつ効率的にアプローチする。滑らかな軌道生成により、安定した飛行と精密な位置制御を両立させている。

**飛行制御アルゴリズム** : オープンソースの飛行制御技術をベースに、果樹栽培環境に最適化した制御パラメータを設定。状態推定と制御を統合し、全体の安定性と応答性を確保している。



図 3 : 学習モデルによる花検知の様子

さらに、圃場の 3D モデル化システムとして、ドローンのカメラデータから圃場を 3 次元再構成するパイプラインを構築した (図 4)。これにより樹冠占有面積率の測定が可能となる。

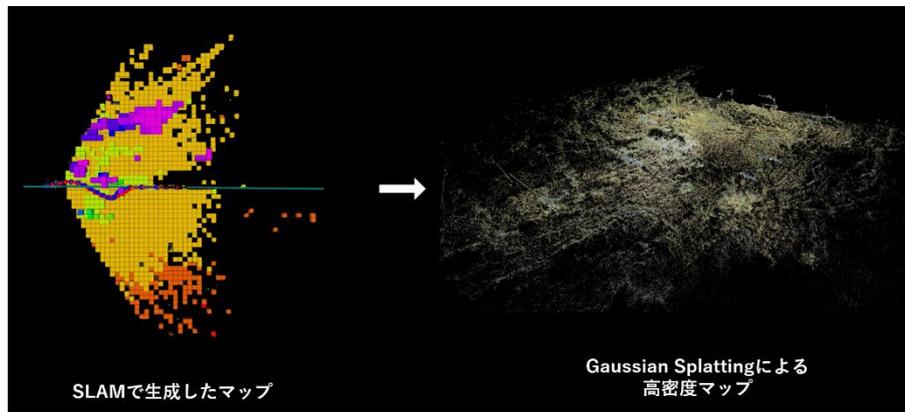


図 4 : 圃場の 3D モデル概要図

#### 4. 従来の技術 (または機能) との相違

本システムは 2 つの観点から従来技術と比較した場合、顕著な優位性を持つ。

まず、制御システムの観点では、既存の屋外ドローン技術と比較して、特定タスク (授粉) に特化した機能実装と機械学習による高精度化を実現している。具体的には、授粉のためのハードウェア拡張を実装するとともに、エッジコンピューティングの計算能力を活用して機械学習モデルをオンボードに実装し、視覚情報処理や花認識システムの高精度化を実現した。

次に、授粉ドローンとしての観点では、既存の授粉用ドローンが特殊な位置計測システムに依存しているのに対し、Agriswarm はカメラと慣性センサのみによる自己位置推定を実現している。これにより、GPS に依存せず、山間部や半屋内環境でも安定した動作が可能となり、中山間地域の果樹栽培における実用性が大幅に向上している。

このように、Agriswarm は特定用途に最適化された機械学習モデルと GPS に依存しない自律飛行技術を統合することで、これまで機械化が困難だった中山間地域の果樹栽培において画期的なソリューションを提供している。

#### 5. 期待される効果

Agriswarm の実現により、中山間地域の果樹栽培において以下の効果が期待される。

**授粉作業の自動化による労働負荷軽減** : 実証実験の結果、Agriswarm は 1 花あたり平均約 12 秒で授粉を行えることが確認された (図 5)。この処理速度により、一般的な開花期間と日照時間の条件下で、1 台のドローンが約 2 万個の花を授粉できる計算となる。このシステムを複数台導入することで、中規模のキウイ農園における授粉作業の大半をカバーできる可能性がある。



図 5：圃場での受粉実験の様子

**樹冠占有面積率の定量的測定：**開発した圃場の 3D モデル化システムにより、短時間の飛行で広範囲の圃場モデルを生成できることが確認された。これにより、これまで測定が困難だった樹冠占有面積率を定量的に把握できるようになり、より効率的な栽培管理と経営判断が可能となる。

**中山間地域における機械化推進：**GPS に依存しない自律飛行技術により、中山間地域特有の複雑な地形環境でも安定して動作するドローンシステムを実現。これは単なる授粉作業の自動化を超え、中山間地域全体の農業機械化を促進する重要な一歩となる。

## 6. 普及（または活用）の見通し

Agriswarm システムの普及については、実証フィールドである福島県の果樹農園での使用を皮切りに、段階的な展開を計画している。

**短期的活用：**近い将来に予定されている初回商業目的での授粉作業に向け、複数台のドローンを配備し実地検証を行う。これにより、システムの運用性と経済性について実践的な知見を蓄積する。

**長期的普及：**技術的課題である自動給電システムの開発と複数ドローンの協調制御を実現し、より大規模な圃場での運用を目指す。成熟した栽培環境では 1 農園あたり多数のドローンが必要との試算もあるが、量産効果による製造コスト削減と機能拡張によって経済性を向上させる。

現時点での課題としては、ドローン 1 台あたりの製作費を人工授粉の人件費以下にするための技術開発が必要であるが、量産化や部品の標準化によるコスト削減、複数機能の統合による付加価値向上などにより解決を図る。

また、本プロジェクトの意義は単なる商業的価値にとどまらず、工業的技術を農業現場に接続するプロセスそのものにある。「蜂の機械化」というコンセプトを通じて、持続可能な農業のあり方を示すモデルケースとなることを目指している。

## 7. クリエータ名（所属）

- 有田 朋樹（慶應義塾大学 理工学研究科 滑川研究室）
- 和田 唯我（慶應義塾大学 理工学研究科 杉浦研究室）