

1. 担当 PM

落合 陽一（メディアアーティスト／
筑波大学 デジタルネイチャー開発研究センター センター長）

2. クリエータ氏名

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）

3. 委託金支払額

2,880,000 円

4. テーマ名

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

5. 関連 Web サイト

なし

6. テーマ概要

本プロジェクトは、日本の中山間地域における農業機械化の課題解決に焦点を当てたプロジェクトである。特に、果樹栽培における受粉作業という労働集約的な作業を自律飛行ドローンによって自動化することを目指している。

日本の中山間地域は国内耕作面積の 4 割以上を占める重要な農業地帯だが、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、人口減少・高齢化の影響を受けやすい。特に果樹栽培における受粉作業は、開花時期に短期間で集中的な労働力を必要とし、農業経営における大きなボトルネックとなっている。

クリエイタ自身が福島県双葉郡大熊町でキウイ栽培に取り組む中で直面した課題から着想された本プロジェクトは、実際のユースケースに基づいた実践的アプローチを特徴としている。開発されたドローンシステム「Agriswarm」は、花の認識、自己位置推定、経路計画と追従、飛行制御などの技術要素を統合し、GPS に依存せずに果樹棚下での自律飛行と受粉作業を可能にした。

本プロジェクトは、テクノロジーと農業という伝統的な営みの融合を通じて、地域社会の持続可能性という社会的課題に挑戦するものであり、デジタルネイ

チャーが現実社会に実装される一例として位置づけられる。

7. 採択理由

現場の声を反映した需要調査と当事者意識の高さ、ハードウェア、ソフトウェア、シミュレーションなど、多角的な技術開発へのアプローチが農業分野における機械学習の実践として魅力的な提案である。中山間地域の農業課題に対する深い理解と、ドローンや AI 技術に関する知見が融合した点を高く評価した。不整地環境における小型ドローン群の自律制御は実装の難易度の高さ、受粉作業における課題はさらなる挑戦が必要だろうと考えられるが、持ち前の機転の良さで突破していこう。大熊町でのキウイ栽培を皮切りに、中山間地域への展開を見据えたライフワーク性を重視し採択とした。

8. 開発目標

本プロジェクトの開発目標は以下のとおりである：

1. 果樹棚下を飛行できる小型ドローンの開発
 - ・ 自己位置推定、経路計画、飛行制御などの統合
 - ・ GPS に依存しない屋外・半屋内環境での安定した自律飛行
2. 受粉作業を自動化するシステムの構築
 - ・ 花検知アルゴリズムの開発
 - ・ 花への接近と適切な授粉を行う機構の実装
3. 実際の農園環境での実証実験の実施
 - ・ 福島県の果樹農園をフィールドとした検証
 - ・ システムの実用性と有効性の確認
4. 解決可能な新たな農業課題の探索
 - ・ 受粉作業以外の応用可能性の検討
 - ・ 中山間地域における農業機械化の新たな方向性の提示

これらの目標は、中山間地域における農業自動化という社会的課題に対して、最新のロボティクスと機械学習技術を応用して解決策を提示するという、極めて実践的かつ社会的意義の高いものである。テクノロジーを通じた「農耕民の市民開発」という視点は、計算機環境と地域社会の新たな関係性を模索する重要な試みといえる。

9. 進捗概要

プロジェクトの進捗は以下のとおりである：

1. ドローンハードウェアの開発
 - モデル「cu_i」：圃場監視用ドローンの開発完了
 - モデル「cu_i+bee」：cu_i に授粉機能を追加したドローンの開発完了
 - 両モデルとも 3D プリンタとカーボン素材を組み合わせた軽量で丈夫なフレーム設計
2. ソフトウェアシステムの構築
 - 花検知アルゴリズム：YOLOv8 による花位置の推定と 6DRepNet による花姿勢の推定を実装
 - タスクプランナ：機体のモード制御とナビゲーションのモード制御機能の実装
 - 自己位置推定アルゴリズム：D2SLAM をベースにした実装
 - 経路計画・追従アルゴリズム：EGO_Planner_v2 をベースにした実装
 - 飛行制御アルゴリズム：Ardupilot を用いた制御系の実装
 - 圃場の 3D モデル化システム：ドローンのカメラデータから Gaussian Splatting を用いた 3D モデル生成機能の実装
3. 実証実験の実施
 - 福島県の借用農地にて「cu_i+bee」による授粉の実証実験を実施
 - 1 花あたり平均約 12 秒での授粉処理能力を確認
 - 圃場の 3D モデル化機能の検証も実施し、短時間の飛行で広範囲の圃場モデル生成に成功
4. 経済性評価
 - 2026 年の福島圃場での初回商業利用を想定した試算を実施
 - ドローン 3 台で初年度の授粉需要をカバー可能であることを確認
 - 長期的には量産効果や機能拡張によるコスト削減が必要との結論

これらの進捗により、当初の開発目標をほぼ達成し、一部の項目では期待以上の成果を上げることができた。特に圃場の 3D モデル化機能は当初計画になかった付加価値として評価できる。現実空間のデジタル化という観点からも、計算機自然と物理環境の接続という意味でも重要な成果である。

10. プロジェクト評価

本プロジェクトは、技術的革新性と社会的意義の両面から評価できる点が多い一方、批判的に見るべき側面も存在する。本プロジェクトは「デジタルネイチャー」の概念を現実社会に実装しようとする野心的な試みだが、テクノロジーの社会実装に伴う複雑な課題も同時に浮き彫りにしている。

技術的側面では、複数の先端技術を統合し、実用的なシステムを構築した点は評価できる。後述する今後の課題で示すとおり、同時にいくつかの限界も認められる。しかしながら、評価できる点で特に注目すべきは以下のとおりである：

1. GPS に依存しない自己位置推定技術の実装：中山間地域特有の複雑な環境下でも安定して動作する自律飛行を実現した点は技術的に価値が高い。ステレオビジョンカメラと IMU を組み合わせた Visual-Inertial Odometry により、半屋内環境である果樹棚下でも正確な位置把握を可能にした。これは、様々な環境条件下でも機能する頑健なテクノロジーの開発という点で、計算機自然の範囲を拡張する取り組みといえる。
2. 花検知システムの高度な実装：機械学習モデルを用いた花の位置・姿勢推定において、アノテーションコスト削減のための工夫（Gaussian Splatting による 3D モデル化と多視点からの学習データ生成）が見られる。実用的な課題に対する創意工夫と、物理世界と情報世界を接続する新たな手法として評価できる。
3. 全体システムの統合：自己位置推定、花検知、経路計画、飛行制御という複数のサブシステムを統合し、実用レベルのシステムに仕上げた点は高く評価できる。特に、小型・軽量のハードウェア制約の中でこれらを実現した技術力は特筆に値する。これは単なる個別技術の集積ではなく、全体として有機的に機能するシステムを構築する能力を示している。

社会的側面では、日本の中山間地域における農業の持続可能性という重要課題に対して、実践的なアプローチで挑んだ点が評価できる。有田・和田両氏が自身で農業に携わり、現場の課題からプロジェクトを発想した点も、技術と社会の接点を重視する私の PM 方針に合致している。特に以下の点が注目される：

1. 明確な社会課題への焦点：果樹栽培における受粉作業という具体的なボトルネックに焦点を当て、それを解決するための技術開発を行った点は、社会実装を見据えた実践的なアプローチとして評価できる。計算機自然の概念が空想的な領域にとどまらず、実社会の具体的な課題解決に寄与するという方向性を示している。
2. 経済性の検討：開発したシステムの実用化に向けて、具体的な農園での利用シナリオに基づいた経済性試算を行っている点は、技術開発だけでなく事業化も視野に入れた包括的な取り組みとして評価できる。テクノロジーが社会に定着するためには経済的な持続可能性が不可欠であり、この視点を持つことは重要である。
3. 発展可能性：受粉作業に加えて、圃場の 3D モデル化による樹冠占有面積率の測定など、当初目標を超えた機能も実装しており、システムの応用範囲の広さが示されている。これは、一度構築されたテクノロジーが新たな文脈で価値を創出しうる可能性を示している。

総合的に見て、本プロジェクトは技術的な完成度の高さと社会的意義の明確さを兼ね備えており、未踏 IT 人材発掘・育成事業の理念に合致する優れた成果を挙げたと評価できる。特に、単なる技術開発に留まらず、計算機と自然環境・地域社会が交差する新たな関係性や体験をデザインしている点で、デジタルネイチャーの思想を体現した素晴らしい実践例といえる。

11. 今後の課題

本プロジェクトの今後の課題として、以下の点が挙げられる：

1. 自動給電システムの開発：現状のドローンの飛行可能時間は約 10 分であり、広範囲の圃場をカバーするためには自動給電システムの開発が不可欠である。バッテリー交換ステーションや無線給電など、実用的な給電ソリューションの開発が求められる。これは、計算機自然の持続性と安定性を向上させるための重要な課題である。
2. 複数ドローンの協調制御：大規模な圃場での実用化には複数のドローンを同時運用する必要があり、それらを効率的に連携させる協調制御アルゴリズムの開発が課題となる。特に、限られた時間内に圃場全体をカバーするための最適な経路計画や作業分担の方法論が求められる。これは、スウォーム（群れ）としての知性を持つシステムの開発という、デジタルネイチャーの新たな発展方向を示す挑戦である。
3. 製造コストの削減：長期的な実用化に向けて、現状のドローン製作費を人工授粉の人件費以下に抑える技術開発が必要である。量産化や部品の標準化、複数機能の統合による付加価値向上などを通じたコスト削減が課題となる。技術の社会実装には経済的な持続可能性が不可欠であり、この点での革新が求められる。
4. 実運用データの蓄積と分析：2026 年に予定されている初回商業利用に向けて、より多くの実運用データを蓄積し、システムの信頼性や効率性を向上させることが重要である。特に、様々な気象条件や栽培環境下でのシステム挙動を分析し、汎用性を高める必要がある。これは、計算機と環境の相互作用に関する深い理解を促進し、より柔軟で適応的なシステムへの発展につながる。
5. 防水・防塵性能の向上：屋外環境、特に農業現場での運用を考えると、雨天時や粉塵の多い環境での動作安定性を確保するための防水・防塵設計の向上が課題となる。これは、デジタルネイチャーが実際の自然環境と融合する上で克服すべき重要な工学的課題である。

これらの課題に取り組むことで、本プロジェクトの社会実装がさらに加速し、中山間地域における農業機械化の先駆的事例として広く普及することが期待さ

れる。特に、有田・和田両氏自身の農業経営という実践の場があることは、継続的な技術改良と実証の機会として大きな強みとなるだろう。技術が実社会と交わる境界面での経験を蓄積することで、より洗練された「農耕民による市民開発」の形が見えてくることを期待している。