

(1) 研究開発の目的

そこで本研究では、近年のスマート農業で利用されるドローン技術を活用し、これらの課題を解決する新たなスマートイチゴ栽培管理手法の開発を行う。具体的には①これまで実現が難しかった施設内でのドローン飛行を可能にし、イチゴの栽培管理をスマート化する。特にドローンのダウンウォッシュを活用することで、②群落内に隠れている重要な生育指標を観測可能にするほか、③ミツバチ等を利用せずとも人工的にイチゴの受粉を実現する、画期的な技術などを開発する。2025年度までにイチゴ栽培農家にて実証試験を行い、開発した各種技術の情報公開を進めながら、研究成果の社会実装を目指す。

令和5年度から令和7年度（3年間）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構＜代表研究者＞
国立大学法人岡山大学
独立行政法人国立高等専門学校 阿南工業高等専門学校
徳島県 農林水産総合技術支援センター
エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社
株式会社NTTドコモ

令和５年度から令和６年度までの総額 24 百万円（令和６年度 12 百万円）
※百万円未満切り上げ

研究開発項目 1 施設内でのドローン活用のための飛行技術の確立

- 1-1 狭所・非 GNSS 下での飛行システムの開発 (NTT コム)
- 1-2 作物へのダウンウォッシュ量の推定・制御 (農研機構)
- 1-3 ドローン画像認識技術を活用した作物把握 (NTT ドコモ)

研究開発項目 2 ドローンによる生育モニタリングシステムの開発

- 2-1 ドローン取得画像からの基本生育情報の抽出 (農研機構)
- 2-2 群落内の新葉・花蕾の自動検出システムの開発 (農研機構)
- 2-3 計測・解析・提示の一連作業のシステム化 (NTT コム)

研究開発項目 3 ドローンによる受粉の安定化手法の解明

- 3-1 環境・作物状態を考慮した受粉最適送風条件の解明 (阿南高専)
- 3-2 送風受粉における受粉効果のモデル化 (岡山大)

研究開発項目4 スマートイチゴ栽培管理手法の実証

4-1 実栽培環境下での提案手法の長期試験評価（徳島農総技セ）

4-2 ドローン栽培管理実現に向けた運用手法の構築（農研機構）

（6）特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	4	4
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	3	3
	展示会	1	1
	受賞・表彰	0	0

（7）具体的な実施内容と成果

研究開発項目1：施設内でのドローン活用のための飛行技術の確立

1-1. 施設内の非GNSS下でのドローン飛行技術を確立させるため、受粉及び生育管理を想定した、いちご栽培棚に沿った一定高度の直線飛行ルートを作成し、自動飛行を実現した。また異なる高度や飛行速度など、複数の飛行条件を設定し、設定したルートからの誤差（飛行精度）の検証を行った。その結果、利用したドローン(Skydio2+)では10cm程度の左右方向の誤差が発生し、飛行ルート付近にある障害物(遮光カーテンなど)の回避で誤差が大きくなる可能性が判明した。障害物が飛行ルート付近にない試験でも約1cm～8cmの誤差が確認され、機体の特性としてこの誤差を考慮した受粉及び生育管理の仕組みを検討する必要があると判断した。（NTTコム）

1-2. 作物へのダウンウォッシュ量の推定・制御を行うため、模擬実験系においてダウンウォッシュの気流速の分布や、飛行速度と気流速の関係、及び、ダウンウォッシュの作用角と飛行速度の関係を調べた。これらの結果、高度・飛行速度・作用角などでダウンウォッシュ量を制御できることが示唆され、これを基にモニタリングや受粉に適したドローンの飛行方法を設計した。また、設計した飛行方法でドローンを実栽培ほ場で飛行させデータ収集を現在行っており、結果を解析・評価中である。（農研機構）

1-3. Skydio（ドローン）のダウンウォッシュの影響を考慮し、個体識別に用いるデータ仕様を実圃場（徳島県）の飛行試験を基に動画で行うこととした。実圃場でドローンを飛行させ撮影した動画を用いて、株領域を基にした個体識別のアルゴリズムの構築と評価を行った。評価にはいくつかの条件下（ドローンが一定の飛行速度で移動方向が作物列に沿ってカメラが真下を向いていること。単一のベッドのみ写っている、作物の間隔が一定）で撮影した動画を用いた結果、誤差2フレーム一致率は最大9割で個体識別が可能であることを確認した。（NTTドコモ）

研究開発項目2：ドローンによる生育モニタリングシステムの開発

2-1. ドローン取得画像からの基本生育情報の抽出を行うため、イチゴ株の上方から異なるダウンウォッシュ（気流速）を加えた画像データを収集し、葉面積の計測に適する気流条件を検討した結果、気流速6m未満程度が良いことが見込まれた。また、気流の影響で変形する葉の面積を計測する画像処理手法・推定方法についての基本構想を構築した。実栽培条件で上記条件となる飛行設計に基づく画像データ収集を実施中である。（農研機構）

2-2. 群落内の新葉・花蕾を自動検出するシステムを開発するため、模擬実験環境下でイチゴ株の上方から複数の気流速を加えて画像データを収集し、基本生育情報と群落内死角の新葉等の重要生育情報を同時に効率よく観測できることを確認した。また、これまでに収集してきた新葉や花蕾の時系列観測データを用いてこれらの発生日を判定する画像処理手法の基本構想を構築した。実栽培条件で上記条件となる飛行設計に基づき画像データ収集を行っている。開発項目1-3における株の識別手法の開発が進み次第、実データでの検証を進める予定である。（農研機構）

2-3. 計測・解析・提示の一連作業のシステム化では各機能の統合をし、一連作業を人手を介さず自動で行うために、1-3 および 2-1、2-2 の実証機能や機能間のインターフェース仕様の検討・調整を行った。1-3 では、個体識別における課題が発生し、その技術的解決方法を検討、実施を繰り返すと共に、解決が難しい部分はコンソーシアム全体で対策を検討しつつ、本実証内で対応可能な研究内容を検討した。個体識別結果の提示のためにプロトタイプ作成の準備に取りかかると共に、計測・解析についての結果向上に向けたデータを蓄積し学習を実施した。(NTT コム)

研究開発項目 3：ドローンによる受粉の安定化手法の解明

3-1. ドローンのダウンウォッシュを利用した送風受粉は、花房を振動させ、雌ずいに花粉が付着することで受粉する。そのため、ダウンウォッシュの強さ・距離・向きなどによって振動する花房の振動特性(向き・振幅・周期など)を求め、その振動特性と受粉への影響を明らかにする必要がある。そのため、各送風受粉時の動画像から、作物部位の振動特性を解析・抽出するアルゴリズムを構築した。構築したアルゴリズムを用いて様々な送風条件による振動特性を明らかにした。さらに明らかになった振動特性と受粉状況との関係について検討を行った。ただし、同じ送風条件であっても花粉飛散量が異なることが分かっており、この点も考慮して検討を行う準備を進めた。(阿南高専)

3-2. ドローンを台車に固定した実験装置を用いて、送風受粉を行った時の受精不良果発生に関する要因を調査した。送風処理を行わなかった場合、柱頭への花粉付着率は 10%程度であったのに対し、強風で処理した場合には 40%程度となった。花粉付着率が 40%以上で奇形果の発生が抑制され始め、60%程度を超えると奇形度がかなり抑制される傾向が確認された。‘ゆめのか’は‘紅ほっぺ’に比べて花頂部付近の花粉の付着率が同送風条件でも低く、送風受粉による効果は品種間差があることが確認された。(岡山大)

研究開発項目 4：スマートイチゴ栽培管理手法の実証

4-1. 試験圃場(徳島県)にて、ダウンウォッシュ生成実験装置を用いて検証した結果、風速は約 8m/s 以上、頻度は 1 日 2 回以上で受粉効果が向上した。また、11 月下旬からドローンの長期自動飛行試験を行い、長期的なモニタリング観測データを蓄積し、受粉効果の季節変動を確認した。当初の現地実証ハウス(JA 全農、のぞみふぁーむ)は、施設内のワイヤー等によりドローンの自動飛行が難しいことが明らかになった。そこで新たに生産者の小池農園(高設栽培)・久米農園(土耕栽培)の協力を得て、現地実証ハウスとして栽培情報の取得やハウス寸法測定、ドローンのテスト飛行等を行い、実証試験を実施する準備を整えた。(徳島農総技セ)

4-2. ドローン栽培管理実現に向けた運用手法を構築するにあたり、全農とくしま、のぞみふぁーむ、小池農園、久米農園の 4 生産者のハウスを調査するとともに、ドローン飛行に適した環境条件を調査し、小池農園と久米農園での実証に向けて準備を進めた。また、徳島農総技セに基礎実験環境を整備し、送風受粉に適する気流速を明らかにするとともに、今年度作では受粉に適した送風タイミングにかかるデータ収集を実施中である。徳島農総技セにおいてドローン受粉の効果を確認した結果、可販果率は無処理区より高くハチ受粉より低かった。今年度作では上記基礎データに基づいて飛行方法を改良し、効果の検証を実施している。(農研機構)

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1：施設内でのドローン活用のための飛行技術の確立

1-1. 飛行精度の低下及び安全飛行を阻害する要因について、原因の追究・改善を行うとともに、運用時の飛行条件、機体仕様の改善項目などを集約してマニュアルを作成する。生産者での運用も視野に入れ、ドローン運用可能なハウス要件も合わせて明らかにし、普及に向けた条件を整理する。(NTT コム)

1-2. 作物へのダウンウォッシュ量の推定・制御を実現するため、これまでに明らかにした飛行方法と作物に与えるダウンウォッシュの関係(飛行高度、移動速度、カメラ角度など)や、施設内の飛行可能空間やドローンの飛行精度などから、モニタリングや受粉に適した飛行方法を設計・展開し、実飛行条件下における実現性・効果などを検証する。また得られた結果に応じて改良を行い、これらの情報をドローンの施設飛行方法マニュアルの作成に組み込む。(農研機構)

1-3. ドローン画像認識技術を活用した作物把握を行うため、他の研究開発項目の実験にて取得されたドローン撮影データに基づいて作物の生育状態を把握できる技術を開発する。具体的には、ドローン飛行時に取得した動画または静止画データを用いて作物株を個体ごとに認識し各株に対して作物株番号の付与を行う個体識別技術を開発する。また、個体識別技術によって個体ごとに分離された各株に対して、花蕾や新葉を認識する画像認識技術を適用し評価を行う。加えて、開発した技術を研究開発項目 2-3 で構築するシステムに搭載するための開発を行う。(NTT ドコモ)

研究開発項目 2：ドローンによる生育モニタリングシステムの開発

2-1. ドローン取得画像から基本生育情報を抽出するにあたり、研究開発項目 1-2 で設計したドローン飛行手法を用い、実栽培環境下(徳島試験場)で葉面積等の基本生育情報の画像情報を 5 月まで取得する。研究開発項目 1-3 の株の個体識別技術や画像認識技術を利用して 9 月までを目標に画像から葉面積等を抽出する手法の評価・改良を行う。その後、さらに実栽培環境下での精度評価と改良を行いながら、開発技術のとりまとめを行う。(農研機構)

2-2. 群落内の新葉・花蕾を自動検出するシステムを開発するにあたり、研究開発項目 1-2 で設計したドローン飛行手法を用い、実栽培環境下(生産者ハウス、徳島試験場)で新葉等の群落内生育情報の画像情報を 4 月頃まで取得する。研究開発項目 1-3 の株の個体識別技術や画像認識技術を利用して 9 月までを目標に新葉や花蕾を検出するシステムの評価・改良を行う。その後、生育情報の処理システム(2-3)と連携し、実栽培環境下での精度評価を行う。(農研機構)

2-3. ドローン撮影データに対して、生産者の栽培管理の判断材料となる生育情報を提供できるシステムの機能検証を目標とする。具体的には、ドローン撮影によって収集した画像や動画データ内の花蕾や新葉といった生育評価指標を解析し、結果を提示する生育モニタリングシステムの試作システムを開発し、機能検証を行う。(NTT コム)

研究開発項目 3：ドローンによる受粉の安定化手法の解明

3-1. これまでは停止した状態での送風による花房の振動解析及び花粉の付着状況などの関係について調査を実施してきた。今後は、より現実に近い状態となるよう送風を移動させた状態における花房の振動解析及び花粉の付着量への影響を明らかにする。既に送風を移動させた状態における花房の振動及び受粉状況のデータはあり、花房の振動解析により受粉に最適な振動条件などを明確にする予定である。(阿南高専)

3-2. 昨年度の実験結果をもとに、柱頭への花粉付着率と奇形果の発生に関してさらに詳細に明らかにすることを目的として実験を行う。具体的には、送風受粉による受粉効果が、イチゴの品種間や栽培時期(初期・中期・後期)、生育状態(草丈・花房位置・茎葉)、送風条件(風量)、環境条件などでどのように異なるかについて R6 年度から継続するイチゴ栽培実験で明らかにする。また受粉が行われても障害果が多く発生しては生産に結びつかないため、花粉付着量と受精不良による障害果発生程度についての関係性を解明する。R7 年度秋からの試験は R6 年度から継続している試験結果を踏まえて、送風条件、品種等の選定を行う。(岡山大)

研究開発項目 4：スマートイチゴ栽培管理手法の実証

4-1. 研究開発項目 1~3 で開発される個別要素技術について、実栽培に近い試験圃場にて長期試験評価を実施し、その効果と課題を評価し改善を行う。また、実際の生産現場(高設栽培ハウス・土耕栽培ハウス)で実証試験を実施し、実用化に向けた課題・改善点などを明らかにする。(徳島農総技セ)

4-2. ドローン栽培管理実現に向けた運用手法を構築するにあたり、現地実証地(生産者ハウス)での受粉、モニタリングの実証試験を実施し、実証結果を評価するとともに提案手法を既存の生産現場に導入する場合の課題や注意点などを明らかにする。実証試験の評価状況に応じて今秋~に再実証を行う。現地実証で不足する詳細なデータについては徳島県試験場ハウスで収集を行い、生産者と意見交換を進めながら結果を取りまとめてドローンを用いたイチゴスマート栽培管理手法の導入・運用に向けた判断材料を示すマニュアル類を作成する。(農研機構)