

1. 担当 PM

五十嵐 悠紀

(明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科 専任准教授)

2. クリエータ氏名

市川 友貴 (千葉工業大学 情報工学科)

3. 委託金支払額

2,304,000 円

4. テーマ名

虫媒に代わるいちごの自動受粉ロボットシステムの開発

5. 関連 Web サイト

HarvestX : <https://harvestx.jp/>

6. テーマ概要

本プロジェクトではミツバチに代わって授粉作業を行うロボットシステムを開発した。本システムはカメラから取得した RGB・深度情報を用いて適切な受粉時期を判断し、ロボットアームに取り付けられた専用アタッチメントによる受粉作業を行う。いちご農家の負担とリスクの軽減、植物工場における果実の安定生産を可能にすることを目指している。世界初、ロボットによる自動授粉でイチゴの果実を実らせることに成功した。

7. 採択理由

イチゴ農家における受粉のための課題をうまくとらえ、それをロボットで自動的に行うシステムを開発するという提案であった。実際に栽培状態の可視化やロボットシステムもすべて自身で行っており、イチゴ農家との連携体制も十分であった。受粉が均等でないと育ったイチゴの形が崩れるといった視点や、毎月需要があるといった点、単価が高いといった点からイチゴに着目して取り組んだ。提案システムができた暁にはイチゴ以外の食物における受粉問題等の手

助けとなるなど、農業の分野を支える技術になる可能性があった。

プロジェクト期間中にやるべきことが明確であり、開発計画およびアルゴリズムの提案についても具体性があり、期待できると判断した。

8. 開発目標

本プロジェクトではミツバチに代わって授粉作業を行うロボットシステムを開発することを目標とした。自動授粉ロボットの実現には大きくわけて、

- (1) カメラから取得した RGB・深度情報を用いて適切な受粉時期を判定するアルゴリズムの構築
- (2) ロボットアームに取り付けられた専用アタッチメントの開発
- (3) アタッチメント交換が可能なロボットアームの開発

の工程が必要であり、これらを検討・開発することを目標とした。

9. 進捗概要

本プロジェクトでは(1)カメラから取得した RGB・深度情報を用いて適切な受粉時期を判定するアルゴリズムの構築、(2)ロボットアームに取り付けられた専用アタッチメントの開発、(3)アタッチメント交換が可能なロボットアームの開発、の3つの工程が必要であり、これらを検討・開発していった。

まず、画像処理による花の検出アルゴリズムでは、深度センサ付きカメラを利用して、RGB 情報を用いて花の検出を行った後、深度情報を用いて3次元的な花の位置の算出を行った(図 1)。実際にはイチゴの花が咲く時期と異なる時期での開発であったため、イチゴの造花を入手して検出アルゴリズムの構築を行った。苗の植え付けの向きで花の咲く向きが決まるなど、イチゴの特性を利用していたが、花が重なった際の検出についてうまくいかないなどの試行錯誤があった。白い花、およびその内部に黄色いおしべ・めしべがあることを利用するなどして、花の画像を検出していった。また、背景を黒い布など単色にしておくことやライトの設定などで画像認識をしやすくする工夫も行っていった。

次に、花の花粉に接触し、授粉作業を行うための専用アタッチメントを作成した(図 2)。実際のミツバチの運動や人手で授粉させるときの筆の動きを参考に再現する動きにした結果、直動・回転といった3軸で構成したアタッチメントとなった。先端の媒体には着色用の筆を用いた。また、先端の媒体は変更が可能とした。



図 1. 花の検出および座標の算出結果

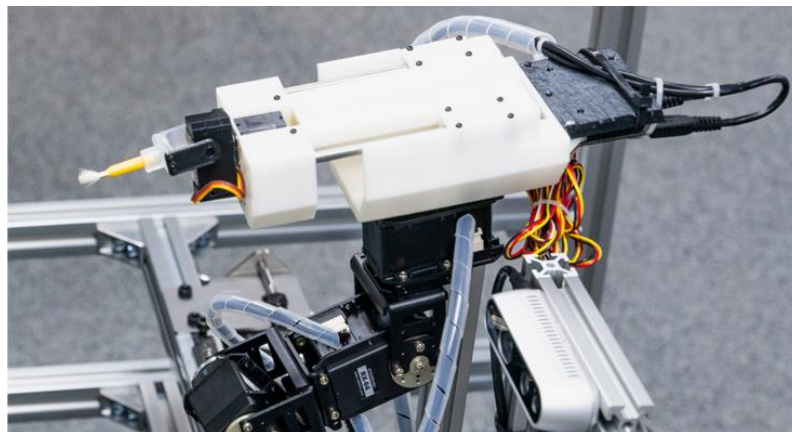


図 2. 授粉アタッチメント

また、これと並行して、授粉アタッチメントを接続し、対象である花までアタッチメントを運ぶロボットアームを作成した（図 3）。デジタルサーボモータを用いた 4 軸構成であり、市販のサーボモータを利用して、安価に構築することを心掛けた。これにより農家側の導入コストを低くすることができ、手軽に自動授粉へ移行可能と考えた。先端のアタッチメントは交換が可能である。

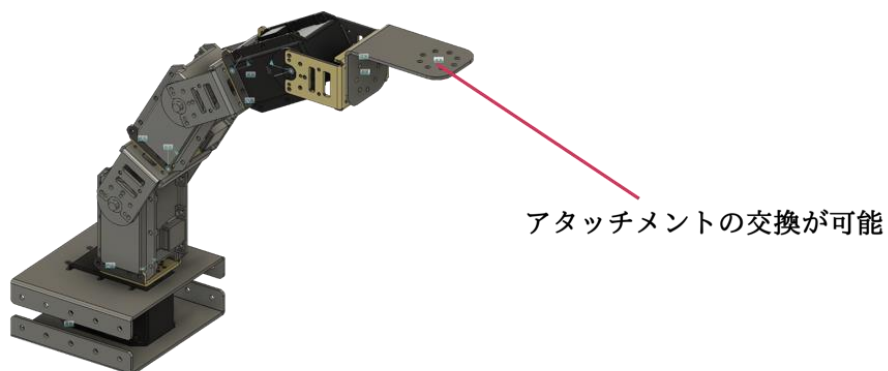


図 3. ロボットアーム

これら 3 項目についてそれぞれ開発をしていき、造花での実験、早咲きのイチゴでの実験などを経ていった。実際にはつくばにある農園で実験を行う予定だったが、開発拠点と実験拠点が離れていることが原因となって実験と開発のサイクルが滞ることを避けるために、実験拠点を東京に構築することとした。具体的には、図 4 のようなラックを構築して水耕栽培でイチゴを育てることとした。この中でも、なかなか花が咲かず、茎ばかりがのびていってしまうといったことに悩まされた。

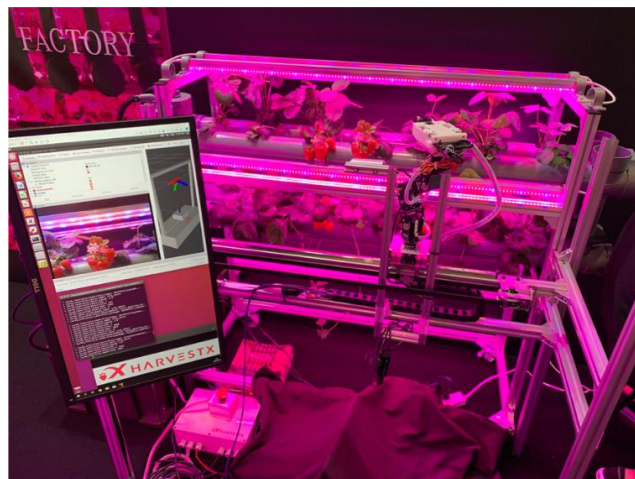


図 4. 開発した自動授粉ロボットシステム

農園でのインタビューの結果、適切な温度管理ができていないのではないかということになり、サーバールームに設置したり、クーラーを使ったりしながら温度管理も行っていった結果、花を咲かせることができた。実際に育てた花を使って、花検出アルゴリズムを適用し、位置推定を行い、3次元座標を取得してイチゴの授粉を自動で行うことに成功した。

その結果、図 5 のようにイチゴの果実を実らせることに成功した。ロボットを用いて全自動でイチゴの果実を実らせたことは世界で初めてであると考えられる。



図 5. 自動授粉ロボットで実ったイチゴ

10. プロジェクト評価

本プロジェクトではミツバチに代わっていちごの授粉作業を行うロボットシステムを開発した。従来、いちご農家ではミツバチや人手で行っている授粉作業に着目をして、これを解決するロボットを開発するという本提案は、当初の明確な課題設定も評価していたが、実際に開発したロボットは未来の農業をITで解決する可能性を切り拓いたといえる。

本プロジェクトを進めるにあたっては、いちご農家へのインタビューを何度も繰り返しながら、実際に農家で導入してもらえる技術を考案し、ロボット開発をしてきた。その際、いちごの花の座標位置を決定し、適切な受粉時期の判定をする必要があったが、本プロジェクト期間の前半はいちごの季節ではなかったため、造花を用いたり、早咲きのいちごを入手したりしながらアルゴリズムの検討・検証を進め、実際にいちごの花が咲く時期には花のセンシングのためのアルゴリズムを適用するだけで済むようになっていたなど、プロジェクトの進め方についても順調であった。ロボットアームについても、低コストで実現するために既存のモーターを使用するなどの工夫を凝らした。特に先端に取りつけたアタッチメントの筆では、どのような種類の筆を使うと良いかの検討に加え、ミツバチが行う動作を模範し、直動と円形運動を行いながら花粉の媒介作業をするなど、実際のミツバチや花の観察も重視したプロジェクトの進め方であった。この結果、本プロジェクト期間内に開発したロボットシステムを用いて自動で授粉作業を行い、世界で初めてロボットでイチゴの果実を実らせることに成功した。このように、システム全体の設計、およびプロジェクトの進め方、実際にイチゴの果実を実らせることに成功した点を評価する。また、低コストで実現し、小規模農園でも導入できることを目指した点も評価する。

11. 今後の課題

本プロジェクトで開発したロボットを用いることで自動授粉ができる可能性が示せた。花の検出から授粉まで自動で制御できることで、授粉させる間隔を一定間隔で行ったり、授粉させる花の数を制御したりするなど、果実の量や位置を調整することが可能になる。これにより、味の良いイチゴの果実を収穫する、自動収穫ロボットで収穫しやすい配置にする、収穫量や時期の調整する、といったことが可能になる。

また、ロボットでの作業で行うことで、夜間作業や24時間運用といった、ミツバチでの受粉や人手による授粉では実現できなかった作業をロボットで解決できる。これらのためには屋内の適正な環境の中での実験だけではなく、実際の農場での実験やそれに向けての課題の洗い出し、ロボットの調整やブラッシュアップなどが必要になってくると考える。現場での実験およびそれに向けた調整を行うことで広くつかわれる技術になっていくことを期待する。