

イチゴハウス栽培管理作業向け遠隔操作ロボットの開発

AIによる自律化を目指したハウス栽培管理作業向けフィールドロボットの開発
(令和2~4年度)

産業システム部 ○浦池隆文、伊藤壮生、全 慶樹 本部研究事業部 堤 大祐、技術支援部 今岡広一
加茂川啓明電機(株)、かもけいアグリ(株)

1. はじめに

イチゴのハウス栽培における日常的な管理作業（不要な葉やランナーの除去など）は、その全てが手作業により行われているが、高温多湿な環境での単調作業のため機械化・自動化が求められている。

そこで本研究では、管理作業の将来的な完全自動化に先立ち、人と同様な作業を可能とする遠隔操作型フィールドロボットの開発に取り組んだ。管理作業自体は人にとっては単純な作業であるものの、自動化に向けては、手作業に準じた複雑な動作が可能な機構の開発、さらにAI等を活用した、作物の生育状態に応じた的確な作業判断の実現が必要となる。以下本研究で開発したロボットの詳細について報告する。

2. 遠隔操作ロボットシステムの概要

ロボット本体は、四輪駆動・四輪独立操舵方式の移動台車に6自由度のロボットアームを2機搭載する構成とした。作業者は、ロボットに搭載したステレオカメラの映像を三次元ディスプレイで立体的に視認しながらロボットアームと台車の操作を行うことが可能となっている。図1に開発したロボットと遠隔操作システムの概観を示す。ロボットと遠隔操作システムの通信は、無線LANの最新規格であるWi-Fi 6Eの6GHz帯で行うことで安定性の向上を図っている。

3. ロボットアームの開発

イチゴの管理作業では、軸部直径1~5mmの不要な葉やランナーを確実に把持し、株元から引抜く必要がある。このため、図2に示す2指タイプのロボットハンドを開発し、ロボットアーム先端に設置した。本ロボットハンドの指先部は、シリコン相当の柔軟な素材を使用し、表面に波型の凹凸を有することと、ひし形の空隙を有することを特徴としている。これにより、

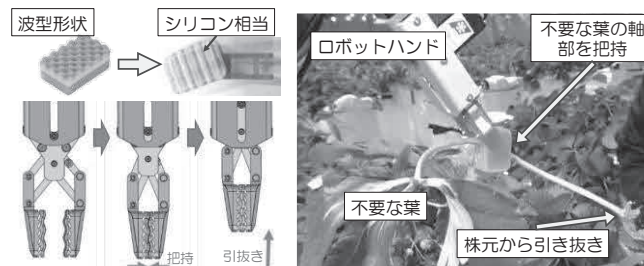


図2 開発したロボットハンド

対象物を柔軟に把持しながら、確実に不要な葉やランナーを引き抜くことを可能とした。また、独自に考案したリンク機構を内蔵することにより、把持と引抜きの2段階の動作を1個のモーターで行うことが可能である。

4. 移動台車の開発

高設栽培と呼ばれる方法でイチゴ栽培がおこなわれているハウス内（図3）を既設の構造物に接触することなく円滑に走行するため、四輪独立操舵方式の移動台車を開発した（図4）。前後の車輪を、図示のように操舵することで、限られたスペースのハウス内通路を自在に移動することが可能となっている。走行制御は、路盤に敷設した走行経路ラインをカメラで認識しながら自動で追従走行する方式（ライントレース）と

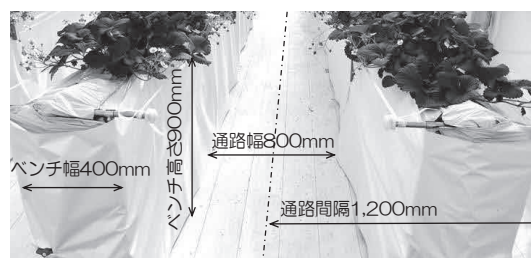


図3 ハウス内代表寸法

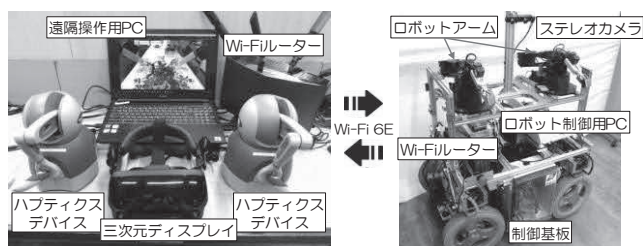


図1 遠隔操作ロボットシステムの概観

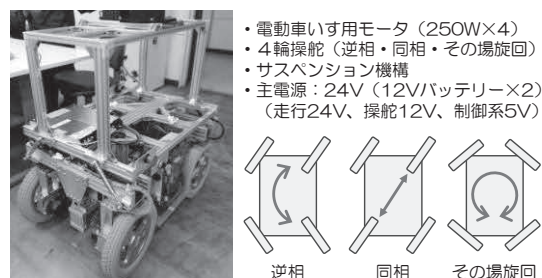


図4 開発した移動台車

- 電動車いす用モータ (250W×4)
- 4輪操舵 (逆相・同相・その場旋回)
- サスペンション機構
- 主電源：24V (12Vバッテリー×2)
(走行24V、操舵12V、制御系5V)

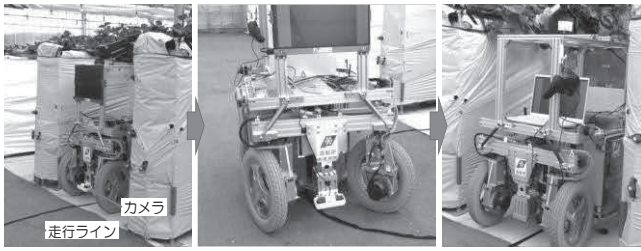


図5 ハウス内走行の様子

した。ハウス内走行の様子を図5に示す。また、カメラ画像から通路分岐点の形状（T字、十字など）を認識のうえ作業者へ提示し、作業者が指示した方向へ自動で旋回する機能を組み込んだ。以上の走行操作（前後進・旋回）は作業者の足元に設置したフットスイッチで行うようにするなど、簡便な操作で自動的に走行することを可能とした。

5. 遠隔操作システムの開発

遠隔操作システムの構成を図6に示す。作業者は、作業対象となる作物列の周辺を、三次元ディスプレイで立体的に視認しながらロボットの操作を行う。

三次元ディスプレイは、ヘッドマウントディスプレイ、もしくは裸眼立体視ディスプレイを選択的に使用可能とした。両者には視認性や没入感に異なる特徴があることから、作業者が選択できるようにしている。

ロボットアームの操作は、ハプティクスデバイスと呼ばれる入力装置を用いて行う（図7）。ハプティクスデバイスは、デバイスの先端に取り付けられたペンの空間的な位置と姿勢を取得可能であり、これを遠隔操作対象となるロボットアーム先端の位置と姿勢の指令値として出力する（リーダー・フォロワー制御）。

また、ロボットアームに作用する外力を推定し、作業者が操作するデバイスへ反力として伝達する機能（力覚フィードバック）を組み込むことで操作性の向上を図った。

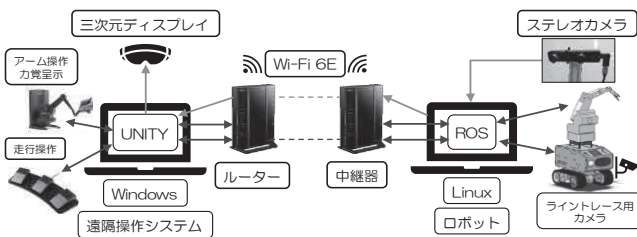


図6 遠隔操作システムの構成



図7 ロボットアームの操作



図8 実作業試験の様子

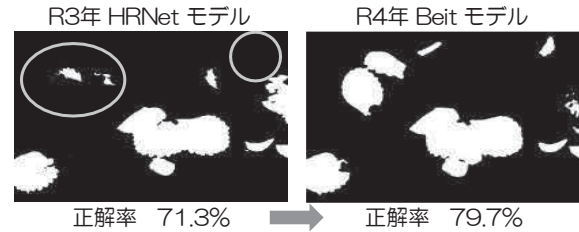


図9 AIによる不要な葉の認識の例

遠隔操作システムとロボット間の通信は、新たに利用可能となった Wi-Fi 6E の 6GHz 帯で行うこととした。既存の 2.4GHz・5GHz 帯で問題となる、他機器との干渉などによる通信速度の低下・切断が発生することなく、安定かつ高速なデータ通信が可能となった。

6. 実作業試験

以上のように構成した遠隔操作ロボットシステムにより、イチゴハウス内において実作業試験を行った。試験の様子を図8に示す。ハプティクスデバイスの操作や、三次元ディスプレイへの適応性に個人差はあるものの、未経験者でも比較的短時間の試行で一連の操作が可能となることを確認した。

7. AI の構築

将来的な完全自動化へ向けた AI 構築の一例として、AI の一手法であるセマンティックセグメンテーションによる不要部（不要な葉とランナー）の認識を試みた。「人手でアノテーション（教示）した不要部」に対する「AI が抽出した不用部」の割合（正解率）は 64～80% となった。一例として不要な葉の認識結果を図9に示す。R3 年モデルでは正解率 71.3% であったのに対し、R4 年モデルでは正解率 79.7% に向上した。以上より、不用部認識 AI の構築が可能であること、また、適切なモデルを選択して学習を行うことで認識精度が向上することを確認した。

8. おわりに

本研究で開発したロボットをベースとして、今後も実地での試験運用を継続しながら実用化へ向けた課題の抽出と改良を行う。また、実現の可能性を見極めながら、他の作業や栽培品目への応用展開を進める。

(連絡先：uraike-takafumi@hro.or.jp)