

(第5号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏名	加納 多佳留
審査委員	主査 高山 弘太郎 副査 羽藤 堅治 副査 和田 博史 副査 奥田 延幸 副査 河野 俊夫

論文名 つり下げ型多元的植物生体画像情報計測ロボットの開発

審査結果の要旨

太陽光植物工場などの先端的な施設園芸では、気温・湿度・CO₂濃度等の環境要因を高度に制御することにより作物の安定生産を実現しつつある。ただし、高度化した環境制御技術の性能を十分に発揮させるためには、植物の生育状態に合わせて環境制御の設定値を適切に更新し続ける必要がある。近年の画像計測デバイスの低廉化、および、IoT 技術とロボット技術の普及によって、植物生体情報計測技術の農業生産現場への実装が進んでいる。一方で、既往の研究で開発された植物生体情報計測装置では、1 台の装置で作物個体群全体を対象とした複数種類の生体画像情報を同時に取得することができなかつたり、小型・土耕温室への導入が困難であったりなど、当該技術の普及拡大を阻害する要因が残されたままであった。そこで本研究では、太陽光植物工場、小型・土耕温室、人工光植物工場に導入可能であり、かつ、植物個体群の茎頂部から基部までの全植物体領域を対象としたカラー画像・クロロフィル(Chl)蛍光画像・NDVI 画像の計測を全自動で行うことができるつり下げ型植物生体画像情報計測ロボットの開発を行っている。

第1章では、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、トマト栽培を行う高軒高ガラス温室に実装することを念頭においたつり下げ型ロボットの開発を行っている。つり下げ型ロボットは、画像計測部、垂直移動部、水平移動部で構成され、これらの移動部をプログラムで制御することで画像計測部を水平方向と垂直方向の任意の位置に移動させることができる。画像計測部には、白色光、青色光、赤色光、近赤外光を発するLED光源を配置し、シングルボードコンピュータとCMOSカメラ2台を用いて、カラー画像・Chl 蛍光画像・NDVI 画像の計測が可能である。本装置を国内有数の商業的

トマト生産太陽光植物工場（2 圃場）に設置して計測試験を実施し、トマト個体群の茎頂部から基部までの全植物体領域のカラー画像・Ch1 蛍光画像・NDVI 画像の日次計測が可能であることを確認した。

第 3 章では、キュウリ栽培を行う小型土耕温室に実装することを念頭においたつり下げ型ロボットの開発を行っている。走行用レールを温室補強用部材(ブレース)に設置したが、ブレースを超えるキュウリの茎頂部を撮像するために、画像計測部をブレースより上に移動させる機構を開発した。さらに、リミットスイッチを用いてブレースを検知し、ブレースを回避しながら温室内を移動することにも成功した。毎日の連続計測により、キュウリ個体群の成長と栽培管理作業による茎頂部の移動のモニタリングが可能であることを確認した。

第 4 章では、高設水耕栽培イチゴを対象としたつり下げ型ロボットの開発を行っている。計測試験で得られたカラーパノラマ画像を用いて、AI（ディープラーニング）により赤色果実・未成熟果実・花の自動検出が可能であることを確認した。また、約 3 ヶ月半の連続計測では、草高・葉量（植物体投影面積）の季節変化についても確認した。

第 5 章では、コンテナ型人工光植物工場に実装することを念頭においたつり下げ型ロボットを開発し、レタスを対象とした計測を行っている。つり下げ型ロボットの画像計測部は、栽培棚の向きに合わせて長辺を水平に設置した。レタス個体群を対象として、定植から出荷までの 20 日間連続計測を行った結果、レタス個体群を側方から画像計測することで、個体群上方からの俯瞰画像計測では困難な栽培終盤の成長量の変化の把握が可能であることを確認した。

以上の結果から、本研究において、太陽光植物工場、小型・土耕温室、人工光植物工場に導入可能なつり下げ型多元的植物生体画像情報計測ロボットを開発するに至ったと認められた。なお、本ロボットを様々な栽培形式・品目に広く適用することで、施設栽培される農作物を対象とした高精度な生体情報計測が広く普及するものと期待される。

本論文に関する公開審査会は、令和 4 年 2 月 1 日にリモートシステムを利用して開催され、申請者の論文発表と質疑応答が行われた。引き続き開催された学位論文審査会で、本論文の内容を慎重に審議した結果、審査委員全員一致して博士（農学）の学位を授与するものと判定した。