

(第5号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏名	SHINDE DHANASHRI BALASO
審査委員	主査 有馬 誠一 副査 疋田 慶夫 副査 河野 俊夫 副査 奥田 延幸 副査 上加 裕子

論文名

Development of a Multi-operation System for an Intelligent Greenhouse
(太陽光植物工場におけるマルチオペレーションシステムの開発)

審査結果の要旨

太陽光植物工場では、栽培の光源に自然光（太陽光）を利用しているため、植物の生育状態に変動が生じることを避けることができない。この生育状態の変動に対応して収穫量増大、品質向上を実現するためには、植物生体情報（生育情報・収穫物情報）計測→植物生育診断→環境制御・栽培管理という一連のプロセスは必要不可欠な技術となる。また、生育診断結果に基づいてどのような環境制御を行うか、判断に必要なものが、さまざまな知識、データ、ノウハウが蓄積されている「知識ベース」である。すなわち、各種情報と知識ベースを組み合わせることによって、生育状態の変動に対応した収穫量増大、品質向上が可能となる。これらを実現するには、膨大な栽培環境情報・生育情報・収穫物情報を収集、解析し、適切な環境制御と各種作業を実施する必要がある。そこで本研究では、ICT およびロボット技術を活用し、植物工場内を自律走行しながら、栽培ブロックごとの環境状況や作物に関わる情報を収集すると共に、受粉や収穫など各種作業を行うマルチオペレーションシステムを開発した。本システムは、走行ユニット、生育診断ユニット、受粉ユニット、害虫検知ユニット、収穫ユニットから構成され、この内、学位申請者 SHINDE DHANASHRI BALASO は、走行・受粉・害虫検知・収穫のユニットについて試作し、実用化に向けた基礎実験を行っている。

走行ユニットの基本機構は、パイプレール走行と、枕地（コンクリート上）走行の二系統の走行機構を有している。駆動輪は車体前方と中央に配置し、前方車輪はパイプレール走行用、中央車輪は枕地走行用である。パイプレール走行時は前輪および後輪がパイプに接地し、パイプレールをガイドとして走行する。一方、枕地走行時は、中央輪を駆動輪とし、車体前後のキャスタとセットで走行する。駆動輪は、左右独立して正・逆転、停止、スピードコントロールが可能であり、これらを制御してステアリングする。また、走行制御は小型レーザスキャナー(KEYENCE SZ-04M)を用い、栽培ベッド側面までの距離を一定に保ちながら直進制御、栽培ベッド側面の検出・カウントする事によって、パイプレール進入口の検出を行う。走行実験では、本制御システムにより、枕地の片面が壁面、または両面が栽培ベッド

の場合でも同じアルゴリズムで自律走行が可能であることを示した。

受粉ユニットでは、走行ユニットに小型超音波集束装置を搭載し、受粉作業の自動化を図っている。超音波、マルハナバチ、ホルモンの各処理区において、着果率および形状（円径度）による評価を行った結果、超音波による受粉はマルハナバチと同等の評価となり、実用性が高いことが示された。

害虫検知ユニットでは、害虫発生マップを作成するため、愛媛大学植物工場に設置した黄色粘着シートを CCD カメラで撮影し、この画像から害虫数をカウントする画像処理ソフトを開発している。基本的な害虫カウントアルゴリズムは以下の通りである。まず、シート色をキーとした領域抽出を行うため、色空間を YCrCb に変換し、Cb 画像に対して判別分析法を用いて最大領域を取り、シート領域を検出した。次に、シート領域内に対して判別分析法によって虫領域を分離し、Connected Component Analysis による Blob のラベリング処理を行い、害虫数をカウントした。また、害虫の発生数が多い時期になると、捕虫シートに捕獲された害虫が重なってしまうことも多くなる。そこで、各 Blob が何匹で構成されているかを識別するべく、各 Blob の構成匹数毎にヒストグラムを作成の上、判別分析法を用いて、1～3 匹の各 Blob を示す画素数を算出した。その結果、1 匹の対象面積を 60～790 画素、2 匹の対象面積を 791～1370 画素、3 匹の対象面積を 1371～2000 画素と設定し、害虫数をカウントした。なお、0～59 画素および 2001 画素以上は、捕虫シート内の破線や文字、異物として識別させた。

手動で集計した各捕虫シートの害虫数との比較を行った結果、決定係数 $R^2=0.806$ 、正解データと画像計数結果の差を母集団とする標準偏差は 9.26 となり、絶対的な精度は高くないが、計測の手軽さをもって多地点での時系列計測を実現し、相対的な傾向を見るには有効であることが示された。

収穫ユニットは、マニピュレータ、エンドエフェクタおよび果実認識部からなる収穫ユニットと走行ユニットで構成される。果実認識部には果実下端を検出する超音波距離センサと、果実長および果実上部位置を検出するレーザ距離センサを用いており、距離情報から果実認識を行う。このレーザ距離センサによる果実認識の方法は、①距離の差による方法、②距離の大小比較による方法、③距離の差および大小比較による方法の 3 パターンを考案し、検証している。

まず、170～230mm の果実の模型を用いて収穫基礎実験を行っている。方法①についてはレーザ距離センサを上側 abc、下側 def の 6 つを使用し、a-b、b-c、d-e、e-f の間隔を 27mm に配置した。また、上側と下側でそれぞれ 180mm 間隔になるよう a-d、b-e、c-f が対になっており、その測定値の差により果実認識を行った。この果実認識アルゴリズムでは果実を検出するものの、果実上部の把持位置を適切に検出できなかった。また、収穫対象外の 170mm の果実についても高い確率で検出した。方法②についてはレーザ距離センサを上側 abc、下側 de の 5 つを使用して、a-b、b-c、d-e の間隔を 27mm、b-d、c-e の間隔を 180mm に配置し、距離の大小を比較することにより果実認識を行った。このアルゴリズムでは果実の検出率は低いものの、果実上部位置はほぼ正確に検出した。方法③についてはレーザ距離センサの数と配置は②と同様とし、距離の差および大小比較により果実認識を行った。このアルゴリズムでは収穫対象の果実検出、果実上部の位置検出共に最も良い結果が得られた。そこで、方法③のアルゴリズムで実際の果実で収穫実験を行ったところ、90.5%と既往の研究の中でも最も高い収穫成功率が得られている。

以上から、太陽光植物工場におけるマルチオペレーションシステムの有用性および実用化のための重要な基本仕様が明らかになった。

学位論文公開審査会は、平成 28 年 2 月 6 日愛媛大学農学部で実施され、口頭発表と質疑応答が行われた。引き続き学位論文審査委員会を開催して本論文の内容を審査し、審査委員全員一致して本論文が博士（学術）の学位を授与するに値するものと判定した。