

| | | |
|-------------|---|---------------|
| 氏 名 | ちえん 崔 | うおんふあん 源 煥 |
| 学 位 の 種 類 | 博士（農学） | |
| 学 位 記 番 号 | 甲第325号 | |
| 学位授与年月日 | 平成16年 3月12日 | |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 | |
| 学 位 論 文 題 目 | 花卉・野菜苗精密管理ロボットの開発 | |
| 学位論文審査委員 | (主査) 石 東 宣 明 (副査) 土 肥 誠 谷 野 章 喜多威知郎 三 竿 善 明 | |

学 位 論 文 の 内 容 の 要 旨

本研究では、画像処理による花卉・野菜苗の精密管理ロボットの開発研究を行った。研究に用いた苗は、鑑別過程において人間の熟練を最も要する、また高度な判断基準が要求されると言われるストックである。ストック苗を対象とした高度な鑑別技術を確立することで、他の花卉・野菜においても適用可能性が広がると期待される。

第1章は緒言である。日本農業の特性による農業機械化の基本目的とその発展の現状を紹介した。機械化一貫体系が完成している稲作関連分野では一斉に作業可能な特性があるため機械化が進んできた。花卉・野菜などの園芸作物の生産は、対象とする作物の生長に個体差が多かったり、果菜類のように対象の位置がまちまちであったりするため、選択的作業となることが多い。農産物に傷が付くなど損傷があると市場での商品価値が低下することから人力作業が多く残されている。このような状況の中で、花卉・野菜苗精密管理ロボットは、高度なセンシングが可能で多様性や複雑系に柔軟に対応できる農業用ロボットの開発をめざしたものであることを紹介した。

第2章では、研究の背景として花卉・野菜苗生産の現状と研究動向及びこれらの機械化と農業用ロボットの経緯について述べた。最近の花卉・野菜苗産業は大規模ガラス温室などによる工場的生産による苗生産の分業化が進んできている。苗生産工程の中での花卉・野菜苗生産における精密管理ロボットの役割とその必要性、社会への貢献度について説明した。

第3章では、花卉・野菜苗鑑別のための画像処理技術について新たな画像入力方法、鑑別アルゴリズムを導入・開発した。画像入力装置として、CCD カメラを用いた従来の方法とデジタルカメラを用いた構成とを比較した。その結果、後者の方がより安価であり、より鮮明な画像が入力可能であるので、今後の画像処理システムとして適切であると判断した。そして、本章が提示したデジタルカメラによる苗画像の入力方法においては、200 穴セルトレイも2回のみでトレイの

全体の画像を入力することが可能となり、画像入力時間を大幅短縮させることに成功した。また、入力画像から仮想セルに分けラベリング処理を行う方法を導入することにより、処理速度の向上を図るとともに、セルと苗の位置関係などをより正確に把握することも可能となった。

第4章では、開発した画像処理プログラムとアルゴリズムによってストック苗の鑑別を行い、その鑑別結果を検討した。子葉の形態特徴量と色特徴量を複数鑑別基準として取り入れ、関係を総合比較することで、苗の子葉が完全葉（双葉）もしくは不完全葉（単葉）であるかを問わず、八重咲き苗の約89%を八重咲きとして鑑別するなど、正解率を高めることができた。さらに、特徴量の相対値化により、品種や撮影環境に影響を受けず鑑別基準の普遍化を可能とした。そして、第3章で紹介した、デジタルカメラで構成した画像入力システムにより、画像処理時間が1株当たり0.13sに大幅短縮できた。

第5章では、根鉢が未形成なセル成型苗を鉢上げ・移植するロボットを試作するため、苗の物理的特性と形態について調査した。その結果、既存の床土による育苗では移植は困難と判断された。このためにウレタンキューブを育苗資材とする方式を検討し、第3章で述べた画像処理システムと、第4章で述べた鑑別アルゴリズムで鑑別した苗をセルトレイから鉢上げ・移植するロボットを試作した。ロボットは3軸直角座標マニピュレータを持ち、その先端に取り付けたエンドエフェクタはウレタンキューブを取り出すピンセット形把持部と開孔・覆土部で構成した。移植実験の結果、91%の移植成功率が得られた。

第6章では、セルトレイ中の苗・床土の状態にかかわらず効率的に除去可能な吸引除去方式について検討した。不良苗除去の方法として一般に吸引除去方式が採用されている。このため、従来の密着型吸引方式の問題点を抽出し、吸引時の物理的特性や吸引除去率について検討した。さらに新たに挿入式のものを試作し、以下の結果が得られた。①吸引除去は床土を吸い込むために十分な吸気が必要である。②密着式では排水穴からの吸気のみで除去するので高い吸引圧力が必要であった。③挿入式はセルトレイ壁面と吸引口の隙間から吸気して床土を効率的、高精度に除去できた。④吸入口の上下運動を組み合わせることで表面が固まった床土でも除去可能となった。

第7章では上記研究内容のまとめと今後の課題について提案した。

以上の研究を通じて、花卉・野菜苗を精密管理するロボットを要素毎に研究開発し、実用化のための基本的なシステムを完成することができた。特に、デジタルカメラを用いた安価の画像処理装置を構成し、簡単に利用することが可能となり、外の関連分野への応用が期待される。そして、これらにより鑑別の所要時間が短縮でき、全体的な作業速度を向上できることにより、実用的なシステムの開発となった。

論文審査の結果の要旨

花卉・野菜などの園芸作物は、対象とする作物体の生長の個体差が大きく、存在位置もまちまちであり、対象があまりにも軟弱であったり、わずかな損傷をも嫌うことから、作業の機械化が遅れている。

そのような中であって、近年、花卉・野菜苗の生産については、大規模ガラス温室などによる工場的生産が進んでいる。そこでは、培土調製・土入れ、播種、環境制御・灌水等育苗管理についての機械化・自動化は進んでいるものの、発芽試験、生育診断・良質苗識別などの品質管理作業、不良苗除去・補填・鉢上げなどの苗調製作業については、機械化・自動化は勿論のこと人力作業でも十分な精度で実施されておらず、出荷される苗品質の低下や生産コスト上昇をまねいている。

そこで、本研究では、花卉・野菜苗の生育診断、良質苗識別、不良苗除去、苗補填、必要に応じた良質苗のみの鉢上げ等の工程について、大小のセル成型苗を汎用的に取り扱うことができる精密管理ロボットを開発することで、これら作業の機械化・自動化を実現し、作業精度を格段に向上させることを目標としている。

まず、花卉・野菜苗識別を実施するための画像処理技術に関連した、新たな画像入力方法、鑑別アルゴリズムを開発している。画像入力方法では、一般に使われている CCD カメラによる方法とデジタルカメラを用いた方法とを比較検討することにより、デジタルカメラを駆使することによって画像入力時間を大幅に短縮することに成功するとともに、より鮮明な画像の入力が可能であることを明らかにしている。また、入力画像から仮想セルに分けてラベリング処理する方法を導入することにより処理速度の向上を図り、セルと苗の位置関係をより正確に把握することを可能としている。

続いて、画像処理アルゴリズムとそのプログラムを開発し、ストック苗の鑑別実験を実施している。その鑑別結果を検討することにより、子葉の形態特徴量と色特徴量を複数鑑別基準として採用し、これらの関係を総合比較することで、苗の子葉が完全葉（双葉）もしくは不完全葉（単葉）を問わず八重咲き苗の約 89% を八重咲きとして識別するなど、正解率を高め得ることを実証している。さらに、特徴量を相対値化することにより、品種や撮影環境に影響されることのない鑑別基準の普遍化に成功している。なお、画像処理時間は 1 株当たり 0.13 秒と極めて短時間であり、実用性の高さを示している。

次に、根鉢が未形成なセル成型苗を鉢上げ・移植するロボットを開発するため、苗の物理的特性と形態について克明な調査を実施している。その結果、既存の床土による育苗ではロボットによる鉢植え・移植は困難であると結論づけ、ウレタンキューブを育苗資材とする方式を提案している。この方式により育苗した苗に、すでに開発済みの画像処理システム、苗鑑別アルゴリズムを適用し、鑑別した苗をセルトレイから鉢上げ・移植するロボットを試作している。試作ロボットは 3 軸直角座標マニピュレータを持ち、その先端に取り付けたエンドエフェクタは、ウレタン

キューブを取り出すピンセット形把持部と開孔・覆土部で構成されている。試作したロボットによる移植実験を行い、移植成功率 91%を得て、実用の可能性を明確にしている。

さらに、鑑別により不良とされた苗をセルトレイから除去する方法として、吸引除去方式に注目し、先ず、従来の密着型吸引方式の問題点抽出のため、吸引時の物理的特性や吸引除去率について調査検討を実施するとともに、新たに挿入式のものを試作し同様の調査を行って、吸引除去は床土まで吸引するため十分な吸気が必要であること、密着式では排水穴からの吸気のみで除去することから高い吸引圧力が必要であること、挿入式はセルトレイ壁面と吸引口の隙間から吸引することで床土を効率的に高精度で除去できること、挿入式に吸引口の上下運動を組み込むことで表面が硬化した床土でも除去できること等の知見を得ている。

以上のように本研究では、花卉・野菜苗の性状特性解析を基盤として、苗を精密に鑑別・管理するための画像入力方式、画像処理システム、鑑別アルゴリズム、プログラム、鉢上げ・移植方式、さらには不良苗除去方式までの一連の要素技術を開発し、それらをロボットとして統合しており、花卉・野菜苗精密管理作業の機械化・自動化の発展に寄与するものである。特に、デジタルカメラを用いた安価な画像入力・処理技術の開発は、今後農業用ロボット研究分野への応用が期待される成果として高く評価できる。これら一連の研究まとめた本論文は、学位論文として十分な価値を有するものと判定した。