

移植用ポット苗の精密間引きの自動化に関する研究

学位論文内容の要旨

野菜の高品質化と労力削減への要求が高まり、移植機用型枠・ポット苗に加えて、プラグ苗・セル苗といった成型苗による栽培が急速に普及し始めた。しかし、1株1本立てが求められる野菜の成型苗は、ポット毎に複数粒を播種し、人力間引きによる健苗選抜を慣習としているが、露地栽培とは違って発芽後数日の幼苗を間引くことと、一般に1ha当たり5万株ものポット数を処理するため、多大の労力を要して機械化の隘路になっている。

本研究は、機械移植用型枠ポット苗を対象にして、健苗を1本立てにする精密間引き作業の自動化・ロボット化技術の開発を行った。まず、間引き期における幼苗の苗諸元を定義して栽培上の生育評価法との関連を追求し、多変量解析によって苗諸元を用いた苗の評価法を解明するとともに、自動化に適した画像処理法・画像特徴値・画像解像度を明確にして、ロボットによるポット苗の認識・評価技術を明らかにした。次いで、これらの結果を応用した苗センサとポット苗認識装置を試作して実際的な性能を確認し、それらを並列配置した実用性のある自動間引きロボットの開発仕様を提案した。

本研究で得られた成果の概要は、次のようである。

1. 野菜苗の性状と評価・分類の実態

苗の外観形状を表す苗諸元を定義すると、野菜の幼苗はⅠ～Ⅳ型に分類され、ポット苗で機械移植されている野菜はⅠとⅢ型に属した。Ⅰ型のキャベツとハクサイおよびⅢ型のレタスの苗諸元は、展開する2枚の子葉は同型と見なすことができるなど、8項目の「主要苗諸元」で表現でき、それらの相関によって、①子葉長・子葉幅・子葉面積・苗幅、②苗高・胚軸長、③胚軸径、④子葉角の四つにグループ分けできた。

栽培上の生育診断法による評価は、主要苗諸元の中で前分類による①子葉の型と大きさおよび④子葉角、次いで②胚軸長を重視していると考えられた。さらに生育診断法では「良い苗は生育が良く、形態的なバランスのよいもの」と定義しているが、生育の良否は子葉の大小で評価でき、

形態的なバランスは胚軸長などから算出できる徒長性と2枚の子葉寸法から求められる対称・異常性の2要素で評価できた。生育診断法で5段階に評価された苗は、各階級の苗諸元の大小および苗諸元レーダ図の形態が類似したから、苗の評価要素としては主要苗諸元が利用できる。

2. 多変量解析を利用した苗の分類と評価

評価に必要な苗諸元は、5段階に評価された苗を用いてクラスター分析を行い、先にグループ分けしたと同様に①の子葉に関する苗諸元の内の一つ、②の胚軸長または胚軸高、③胚軸径、④子葉角の4項目が抽出された。また、2階級間の判別分析によって、最も評価の低い不良苗では奇形などがあるため複数の苗諸元が階級判別に係わっているが、他の階級間の判別には子葉面積・子葉角、胚軸長のいずれか一つが大きく寄与すると判断できた。

さらに、分類した4種類の苗諸元で主成分分析を行い、第1・第2主成分スコアの2次元分布が苗の評価毎にグループ分けが出来ることを示し、標準的なキャベツの苗諸元を用いて健苗の評価法を開発した。1ポットに2本の苗があると仮定した場合に、キャベツ苗をランダムに2本組合わせた選抜シミュレーションでは、95%の組合せにおいて実用上問題のない判定が下され、主成分分析による評価法の有効性を確認した。

3. 画像処理を利用した苗の計測と評価

苗諸元を自動計測するために、ポット苗の上面と横方向から撮影した画像から計測する方法を検討し、苗諸元は画像値と高い相関を示し、画像から苗諸元を推定出来ることを示した。ただし胚軸径のみは、苗の全姿を写す画像上では細すぎて測定誤差が多いため、特別の配慮が必要になった。また、90度ずれた二つの横方向画像を用いれば、上面画像がなくても苗諸元が推定できた。

さらに、26万余の画素で構成される画像から画像値を求めるには多くの演算時間を要するため、処理時間短縮を目的として、画素数を減らした圧縮画像を使う方法を検討した。これから、1536画素の画像と原画像による苗評価の結果は、胚軸を除いてほとんど一致することを証明し、瞬時に処理できて自動化が容易となる低解像度画像センサの利用による高能率化を可能にした。

4. 透過型光センサを利用した苗センサの開発

ポット苗を認識する透過型苗センサを考察し、レーザ光によって基本認識特性を確認した。次いで散乱光の赤外発光ダイオードを使ったセンサによる基礎実験を行って、ほぼ理論値に近い認識特性を得る機構を開発すると共に、その検出限界を0.2mmまで確保し、1mm程度の胚軸径でも

識別できるようにした。

基礎実験に基づいて16個の赤外発光ダイオードを使った実用苗センサを試作し、走査手法の改善によって試験片およびセンサの認識寸法の相関係数は、0.98以上になる良好な認識機構を開発した。これを用いてハクサイとキャベツ苗を認識し、3項に述べた圧縮画像と同程度の画像を得て、画像計測値と実測値の相関が高いことを示した。

5. ポット苗認識装置の試作と間引きロボットの提案

ポット苗認識装置は型枠苗箱の上面の前後・左右に走行する台車と、この台車に搭載した5自由度のロボットハンド型マニピュレータおよびハンド先端部に装着した苗センサで構成され、型枠上面を順次移動しながらポット苗を認識・評価するシステムであり、16ビットのマイクロコンピュータ1台で制御する。このシステムのポット苗認識実験では、主成分分析評価法による評価と栽培分野での評価はほぼ一致した。さらに、センサの平行・斜行検出手法を開発し、苗の胚軸が重なって見える場合でも、それぞれの苗立ち位置を特定出来る能力を付加した。

苗認識装置の実験結果から間引きロボットの基本設計を行った。キャベツ栽培で作付面積3ha(必要苗数165,000本,8×10型枠で約2,000箱)を想定したロボットは、次のような仕様である。

- ① 構造：台車搭載型（ラック・ピニオン式レール走行方式）
- ② 苗センサ：透過型苗センサ8基並列・同時旋回駆動型
- ③ 間引き部：間引き苗位置記憶型、揺動式電熱カッタ9基並列型
- ④ 制御システム：制御用ホストコンピュータ1台、苗センサ専用ワンチップマイコン8台
- ⑤ 1日処理能力：11,000ポット（8×10型枠で140箱）

ここに提案する間引きロボットは、基礎実験で開発した苗センサをロボットハンドに並列配置した間引きシステムであり、経営規模の比較的大きい野菜専業農家では1台、育苗センターにおける間引きサブシステムとしては複数台を配置して利用できる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 南 部 悟
副 査 教 授 伊 藤 和 彦
副 査 教 授 八 畝 利 郎
副 査 助 教 授 高 井 宗 宏

本論文はその成果を6章、図・写真129、表24、引用文献などを含む総頁210の和文論文にまとめられている。別に参考論文16編が添えられている。

野菜のポット育苗には、機械移植用として、プラグ苗・セル苗と呼ばれるものが含まれるが、いずれも間引き労力が問題となっている。本研究は機械移植用型枠ポット苗を1本立てにする精密間引き作業の自動化・ロボット化を目標とし、苗諸元の認識と評価方法への技術的表現と間引きロボット開発の可能性を見出すことを目的としている。結果の概要を以下に述べる。

1. 野菜苗の性状と評価・分類の実態

著者は幼苗の形状をI～IV型に分類し、形状を定量化する苗諸元を定義した。I型のキャベツ・ハクサイおよびIV型のレタスの苗形状は、8項目の苗諸元で表現可能となり、子葉2枚の諸元は相関が高く、①子葉長・子葉幅・子葉面積・苗幅、②苗高・胚軸長、③胚軸径、④子葉角の順に分けられる。生育診断法によれば、「よい苗とは、生育が良好かつ形態的バランスの良いもの」であり、生育の良否は子葉の大小で評価でき、形態的バランスは苗諸元の徒長と子葉の対称・異常性によって評価できると判断した。栽培分野での生育診断法から5段階に評価した苗は、苗諸元の大小とレーダ図の形が類似したので、苗諸元は苗評価の要素として利用できることを明らかにした。

2. 多変量解析を利用した苗の分類と評価

上の5段階評価の苗をクラスター分析することによって、苗評価に必要な苗諸元としては、前項①の子葉関係、②の胚軸長または胚軸高、③の胚軸径、④の子葉角であることを指摘し、2段階ごとの判別分析によって、評価の低い不良苗は奇形などのため、複数の苗諸元が階級判別に係わり、他の階級間の判別には、子葉面積・子葉角・胚軸長のうち一つが寄与すると判断した。上の4項目の苗諸元で主成分分析を行い、第1・第2主成分スコアの2次元分布が苗評価ごとに

グループ分けできることを示し、キャベツ苗を用いた場合の健苗評価法を開発した。

3. 画像処理を利用した苗の計測と評価

キャベツ・ハクサイ・レタス苗の形状を平面および側面から画像計測した結果、これらの苗諸元は画像計測値と高い相関のあることを明示した。側面画像では90度ずれた二つの画像から判別できた。処理時間の短縮を目的として、画素数を減らした低解像度の圧縮画像による計測値でも十分な苗評価が得られ、画像処理が高効率化できることを実証した。

4. 透過型光センサを利用した苗センサの開発

ポット苗を認識する透過型苗センサを考案し、レーザ光による基本認識特性を確認した。ついで、赤外発光ダイオード使用のセンサによる基礎実験の結果から、検出限界は0.2mmまでであり、1mm程度の胚軸径でも計測可能とした。応用実験としては、実用的苗センサを試作し、走査手法の改善によって、試験片およびセンサの認識寸法の相関係数が0.98以上となる良好な認識機構を開発した。これを用いてキャベツ苗とハクサイ苗を認識させ、前項の圧縮画像と同程度の画像を得ることにより、実測値との相関の高いことを確認した。

5. ポット苗認識装置の試作と間引きロボットの提案

ポット苗認識装置には、苗枠上面をX・Y方向に走行する台車と、この台車に搭載した5自由度を持つロボットハンド型マイピュレータおよびハンド先端部に装着した苗センサで構成され、これを16ビットのマイクロコンピュータ1台で制御する。この装置は苗枠上面を順次移動しながら、ポット苗を認識・評価するシステムである。まず、ポット苗の認識に必要な位置制御の精度を確認し、つぎに認識実験では、複数苗の検出システムを開発し、主成分分析評価法による苗評価と栽培分野での評価とがほぼ一致することを確認した。

間引きロボットの構想としては、50×50mmのポット苗で8×10個の型枠の上面を走行する8基並列の苗センサの後方に間引き苗位置記憶型間引き作業部と揺動式電熱カッタ9基を並列したものである。台車の駆動、苗センサおよび間引き作業部の駆動には、それぞれ独立したステップモータを使用する。1日処理能力は140箱(11,200ポット)であり、作付面積3ha(必要苗数165,000)規模の野菜専業農家向けに利用され、あるいは育苗センターの間引きサブシステムとして利用できる。

以上のように、本研究は学術上斬新な知見を取り入れたものであり、野菜苗移植技術面からも

高く評価される。

よって、審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者小林由喜也は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。