

[ 別紙 2 ]

## 論文審査の結果の要旨

申請者氏名 許 永偉

---

イチゴはトマトやキュウリと同等の大きな市場規模を持ち、卸売価格も安定しているため、生産者にとっては経営の安定化が図れる作物である。しかし作業時間が長く、このうち約 25%が収穫作業に費やされており、生産者の労働環境の改善と生産規模拡大のために収穫作業の省力化が求められている。

イチゴ収穫ロボットの研究では、画像により果実の位置を特定し、果実または果柄を把持する方法が主流であるが、三次元の位置が正確に特定できない場合がある。本研究は果柄位置の高精度な測定と、果実の 3 次元形状の取得を目的として、マシンビジョンによるステレオ視を検討した。果実の 3 次元形状を取得することで、果実どうしの重なりや、果実と葉の重なりも認識して対応できるビジョンシステムの作成を目指して実施した。

以下に論文の各章の概要を述べる。

第 1 章では研究背景と研究目的について述べた。

第 2 章では実験装置の構成とキャリブレーションについて述べた。ビジョンシステムを 2 台のカラーカメラと 1 台のパーソナルコンピュータで構成した。カメラキャリブレーションは 46 対の左右対応の格子点画像を用いて行った。実験には 3 月、4 月に撮影したイチゴ品種「紅ほっぺ」の画像を供試した。

第 3 章では果実色、エッジ、形状情報から適熟果を認識する方法を提案した。色情報から果実領域を抽出した後、果実個体を輝度勾配ヒストグラムによる特徴量を用いて、教師あり学習法により認識した。果実の重なり状態を区別して、果実画像の領域を 5 つの関心領域に分けた。これにより軽度に重なっている果実の場合は、高精度（成功率：87%）に認識できた。認識に失敗した果実の多くは、重度に重なっていた。重度に重なっていると判断された果実の認識には、第 6 章の 3 次元点群からの果実認識のアルゴリズムを用いた。

第 4 章では収穫時に把持・切断する果柄の検出と位置測定法を提案した。認識に成功した果実の左右画像を対応させてから、果実との位置関係により果柄領域を検出し、確率ハフ変換により果柄を直線として検出した。果柄の左右画像を対応させ、把持位置を決めて、その 3 次元位置を測定した。また各果実の果柄の位置情報より収穫順序を決定した。

第 5 章ではステレオ画像から果実形状の 3 次元復元を行った。イチゴは収穫後に色、形状、大きさによって選別され、等級、階級に分けられる。収穫時にこれらの情報を取得できれば、後段の選別作業を省略あるいは高速化できる。そこで、ステレオ画像より得られた 3 次元点群からテンプレートマッチングにより果実の三次元形状を測定する実験を行った。レーザスキャナによる測定を同時に行って、マシンビジョンによる測定結果と比較した結果、ほとんどの差は±1mm以内で、最大誤差は+4.4mmであり、ステレオ視による果実の 3 次元形状測定が可能であると判断された。

第 6 章ではステレオ視で測定された果実表面の位置データを用いて、果実個体を認識し

た。計算には、3次元点群のユークリッド距離、果実表面の法線方向および曲率の値を用いた。重度に重なっている果実の最終的な認識成功率は52%であった。

二つの認識法（第3章と第6章）を組み合わせ、ステレオ視による果実の3次元認識とイチゴ収穫ロボットへの適用が可能であると考えられた。既往の研究では、果実認識の難度を五つのレベル（①適熟果があり他の果実と重なっていない場合、②適熟果の後に未熟果があり、重なっている場合、③見える果実面積が半分以上でありあまり重なっていない場合、④見える果実面積が半分以上で重なっている場合、⑤見える果実面積が半分以下で重なっている場合）に分けて実験を行い、全体の認識成功率は約60%と報告されている。この研究開発は農水省の事業として行われ、市販化されている唯一のイチゴ収穫ロボットに適用されている。比較のために、本研究でも難易度を五つのレベルに分けて実験を行った。複数の果実と葉と果柄が混雑し、既往の研究より認識しにくいと考えらる事例を対象としたが、全体の認識成功率は71%であり既往の研究より改善された。

第7章では本論文のまとめと今後の展望と課題を述べた。

以上のように、本研究ではイチゴ収穫ロボットの性能を向上させるため、ステレオ視による果実個体の認識と果柄の認識および位置測定技術を開発した。その結果、従来の研究より認識の成功率が大幅に向上した。ステレオ視の研究は長い歴史を持つが、本研究は随所に高い独創性を持ち、実用上および学術上貢献するところが少なくないと考えられる。よって審査委員一同は、本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。