

氏名	むら かのり ゆき 村 上 則 幸
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	論農博第 2314 号
学位授与の日付	平成 12 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	結球野菜収穫ロボットに関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 梅田 幹雄 教授 笈田 昭 教授 矢澤 進

### 論文内容の要旨

キャベツのような結球野菜の収穫作業は、作業負荷が大きいため機械化が望まれている。しかし、収穫適期にあわせて選択収穫を行うことが、広く行われており、これまで機械化は困難であった。本論文は、この選択収穫作業の機械化を目的として、画像により収穫適期のキャベツを識別して、マニピュレータに取り付けたハンドによって、選択収穫することのできる結球野菜収穫ロボットの開発を行い、これに関する一連の研究をまとめたものであり、以下の6章からなっている。

第1章では、日本の結球野菜生産の現状から、結球野菜の選択収穫作業省力化の必要性を示し、収穫ロボット開発の意義について述べ、農業分野でのロボット研究の現状、状況について述べている。

第2章では、キャベツの収穫適期の判断指標を明らかにするため、適期球の球径、質量並びに結球葉と外葉の葉色の違いについて調べて、収穫適期のキャベツを判別するための画像処理手法を開発した。開発した手法は、キャベツのカラー画像のデータを色彩座標系データに変換した後、入力と出力の関連を明らかにできるニューラルネットワークを用いて結球部を抽出し、テンプレートマッチングによって適期球のモデルとの相関より球径と位置を推定して適期キャベツを判別する。これにより、収穫適期を判定するデータの絞り込みを行った。さらに、コンピュータの8個の処理装置を並列に接続し、処理の並列化により実用機として十分な処理速度を確保した。これにより、70%のキャベツについて適否の判断を行えることを示した。また、結球部を精度良く抽出するための視覚認識装置を開発した。開発した装置は、結球葉と外葉で分光反射率の差異の大きい波長 550 nm 付近の光を透過するバンドパスフィルターを装着したカメラと、反射率の差異の小さい近赤外光を透過するフィルタを装着したカメラから構成され、野外の照度変動に対応できるように外部信号によるシャッター速度の制御回路を付加している。ほ場実験によって結球部抽出を試み、簡便なアルゴリズムで結球部を抽出できる可能性を示した。

第3章では、キャベツの栽培様式に基づいて収穫ロボットの設計仕様について検討し、油圧駆動の5自由度の多関節型マニピュレータに3指のグリップ装着し、このマニピュレータを、キャベツ2畝をまたいで走行できるクローラ型車両に搭載した収穫ロボット1号機を試作し、ほ場実験によりその性能を明らかにした。試作したロボットは、質量が重すぎること、1個あたりの収穫に100s以上を要するなど改善点は多いものの、ロボットによってキャベツが収穫できる可能性を示した。

第4章では、第3章で述べた試作ロボットのマニピュレータ質量の軽量化、作業速度、及び茎葉処理の問題を改良した3自由度極座標型軽量マニピュレータと、茎葉切断機構を持つ収穫用ハンドを開発し、これらから構成される収穫ロボット2号機とその制御手法を開発した。収穫用軽量マニピュレータは、計算によって運動学的、動力学的特性を解析し、実験を行った結果、収穫時間はキャベツ1個あたり平均22sまで短縮できることを明らかにした。つぎに、収穫適期の茎の切断力を調べた結果、切断力は最大で420Nであることを明らかにし、この結果をもとに切断用2指、把持用2指をもつ4指の収穫用グリップを設計・試作し、さらにこのグリップを制御するための結球センシング方法としてプローブ形スイッチと超音波センサによる2つの方法を開発した。

第5章では、この収穫ロボット2号機によって収穫試験を行い、グリップの結球検出方法別に、収穫性能を明らかにした。その結果、収穫適期球の収穫率は40~70%で、その内適切な位置で茎葉を切断できたものは60~71%であった。また、作業

速度は1個あたり平均32.1sであり、1号機に比較して作業速度を向上させることができた。キャベツの姿勢が画像認識の精度に大きく影響し、これが収穫の成否の原因となることを明らかにしている。

最終章である第6章では、本研究により得られた知見を総括し、開発したロボットの特徴を示すとともに、今後のロボット収穫技術の実用化に向けた研究の方向について述べている。

### 論文審査の結果の要旨

キャベツ等の結球野菜は収穫作業の負担が大きく機械化が望まれているが、適期球の選択収穫が広く行われており機械化が困難である。この選択収穫作業機械化のためには、人間と同様の収穫適期球の判断を行う知覚と知能、及び個別にキャベツを収穫するメカニズムを要するボディからなるロボットが必要である。本研究は、これまで機械化の困難であったキャベツ選択収穫作業の省力化を目的として、テレビカメラにより、視覚認識によってキャベツの収穫適否を判断し、ハンドによって個別に収穫することのできるキャベツ収穫ロボットの開発を行ったものである。

本論文は、キャベツの視覚認識手法、収穫用マニピュレータ、収穫用ハンド及び車両のロボットの構成要素を開発し、その有用性を実験によって明らかにしたものであり、評価すべき点は以下のとおりである。

(1) キャベツの色と形から収穫適期球を判定する手法として、キャベツのカラー画像をHSI変換した後、ニューラルネットワークによって結球部を抽出し、テンプレートマッチングによってキャベツの球径と位置を推定する画像処理手法を開発し、さらに作業に十分な処理速度を得るためのアルゴリズムの最適化、CPUの並列設置による並列処理を行った。

(2) キャベツの外葉と結球葉の分光反射特性より特徴的な2つの波長域をとらえることのできる結球野菜認識装置を開発した。本装置では電子シャッタ速度の制御が可能であり、ハレーションを起こした部分についてはシャッタ速度を速めて再度撮影した複数枚の画像を用いて処理することができる。本装置による2値化手法を開発し、実験によって本手法による結球抽出の可能性を示した。

(3) キャベツの栽培様式に適合できるよう、油圧、駆動方式でキャベツの畝に沿って作業を行う収穫ロボット1号機を試作した。収穫実験の結果により茎葉処理機構の必要性等、収穫ロボットの必要条件を明らかにした。

(4) 1号機と同じ油圧駆動方式による軽量化を図った3自由度極座標型マニピュレータを試作して、その性能を計算とは場実験によって明らかにした。この結果、キャベツ収穫用マニピュレータに求められる性能条件と、同形式のマニピュレータを開発する場合の設計要件を明らかにした。(5) 茎葉を切断して処理できる収穫用ハンドを開発し、軽量でかつ茎葉切断機能を備えた収穫用ハンドの仕様を示すとともに、超音波センサとブローズ形スイッチの2種類の結球センシング方法とそのハンド制御方法を開発した。

(6) 開発したマニピュレータとハンドを搭載した収穫ロボット2号機を試作し、収穫実験によってロボットの適期球収穫精度、茎葉の切断精度及び作業速度を調べ、開発した技術の特徴と性能向上のための方策を示すとともに、将来のロボット収穫技術実用化にむけた研究推進方向について述べた。

以上のように、本論文は結球野菜収穫ロボットの基礎となる構成要素を開発し、開発したロボットの有用性を実験によって明らかにしたもので、農業生産制御工学及び農業システム工学の発展、並びに農業用ロボットの実用化に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成12年4月17日に論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。