

氏 名	いい だ みち ひさ 飯 田 訓 久
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学位記番号	論 農 博 第 2122 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 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	農 業 用 ロ ボ ッ ト の た め の 油 圧 マ ニ ュ レ ー タ と ハ ン ド の 研 究

論文調査委員 (主 査)  
教授 並 河 清 教授 山 崎 稔 教授 池 田 善 郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、重量野菜の収穫や肥料袋の取扱いなど、ほ場での重量物ハンドリングを対象とした移動型農業用ロボットのためのもので、可搬荷重が大きい油圧マニピュレータとハンドの開発を目的としている。得られた成果は以下のように要約できる。

1. ほ場で重量物を取扱う農作業を対象とし、可搬荷重/質量比が高く、原動機からの動力変換が容易な油圧マニピュレータを開発した。このマニピュレータは5自由度を有し、1つの手首関節を除き油圧シリンダで駆動した。腰、肩及び肘の3関節は油圧サーボ弁で、残りの手首の2関節は油圧比例弁で制御した。このマニピュレータの運動学的解析をもとに、シリンダ変位と関節角の関係を計算したマップを利用して非線形性を補償した位置制御を考案した。この位置制御を適用した腰、肩及び肘の3つの関節により実時間での軌道追従運動実験を行った。その結果、マニピュレータ本体質量 95kg で可搬荷重 212N がある場合でも、目標軌道との最大誤差は 32.8mm、目標終端での最大誤差は 7.8mm で、軌道追従運動が可能であることを明らかにした。これにより、重量物を取扱う農業用ロボットとして、油圧マニピュレータは有効であることを確認した。
2. 異なる油圧弁による制御性能を比較するため、開発した油圧マニピュレータの手首の2関節は油圧比例弁で制御した。油圧サーボ弁と比較して制御性能の劣る油圧比例弁によって正確な位置決め動作を行うため、弁の動作遅れと負荷の重力の影響を補償した位置サーボ系を考案し、これを油圧比例弁で制御される手首関節の位置制御に適用した。この制御系により、一般に油圧比例弁では困難な繰り返し位置決め動作と軌道追従運動を実現し、マニピュレータ先端に負荷がある場合でも油圧サーボ弁制御関節とほぼ同等な制御性能が得られることを確認した。この結果、単機能で安価な油圧比例弁を用いた油圧サーボシステムで、高精度での位置決め動作が可能になった。これにより、農業用油圧ロボットのより低価格化を実現する可能性が高まった。
3. 重量物ハンドリングを目的に開発した油圧マニピュレータを実際に農作業へ応用するため、スイカ収穫グリッパを開発した。まず、グリッパの設計仕様を決めるため、品種「甘泉」の果実形状と力学特性を

求め、この計測結果をもとにグリッパを試作した。グリッパは4本の不等長リンク形フィンガで構成され、把持動作のためのアクチュエータを必要としないセルフ・ロック方式を採用した。このセルフ・ロック方式グリッパは、構造が単純で複雑な位置制御や力制御を必要とせず、屋外使用を前提とするグリッパに重要な耐環境性やメンテナンス性で優れている。グリッパ単体の把持性能を評価するため、収穫時のグリッパとスイカ果実の許容位置偏差を求め、次にフィンガの力学的解析を行い、スイカ果皮に生じる接触応力について考察と実験を行った。この結果、グリッパとスイカの位置偏差40mmが存在しても、果実を傷めることなく収穫できることを実機により確認した。

4. スイカ収穫グリッパを装着した油圧マニピュレータを走行車両に搭載し、スイカ収穫ロボットを開発した。このロボットは、触覚センサとしてグリッパを利用することにより、把持位置の検出、果実の直径及びグリッパと果実の位置偏差の測定を行うことが可能である。ほ場でのスイカ収穫実験を実施し、開発した収穫ロボットの作業性能を明らかにした。マニピュレータは、車両に搭載した状態でもマニピュレータ単体の場合と同程度の制御性能が得られ、重いスイカ果実の取扱いが容易に行えた。この結果、スイカのような重量野菜の収穫作業には可搬荷重の大きな油圧マニピュレータが有効であることを実証した。また、グリッパに形状及び質量センサを組み合わせ、果実の形状と質量を測定したが、直径と質量の最大誤差はそれぞれ約2%であり、今後収穫と同時に果実の形状によって行う初段の現場選果の可能性が確認できた。

## 論文審査の結果の要旨

これまで農業用収穫ロボットに関する研究は国内外で数多く行われ、多くの研究成果が得られているが、柑橘類、リンゴ、トマトのように比較的軽い果実を対象としているため、ロボットに要求される可搬荷重は小さい。一方、近年日本では農業従事者の高齢化や婦女子化により、ほ場における重量物の運搬や力仕事は過重な労働となっている。そのため、使用者に優しく力仕事をこなしてくれる農業用ロボットの開発が望まれている。

本研究は、ほ場での農作業における重量物のハンドリング作業をより快適かつ安全に行うため、高出力な農業用ロボットのための油圧マニピュレータとハンドの開発を行い、その制御性能と有効性を解析と屋内におけるマニピュレータ単体での実験で確認し、併せてスイカ収穫作業によって実証したものである。評価すべき主要な点は次のとおりである。

1. 電気駆動ロボットは位置決め精度や作業速度の面で優れているが、可搬荷重とロボット本体質量の比が小さく、また原動機を搭載してほ場で移動することを前提とした場合、安価で良質の電力を確保することが困難と考え、油圧駆動マニピュレータの開発を試みた。この際本体質量に対する可搬荷重の大きさと経済性に留意した。
2. 重量物のハンドリング性能を実証するため、先端に負荷のある状態で軌道追従運動と繰り返し位置決め動作の実験を行った。ここで、一般に油圧駆動では困難とされている軌道追従運動を行うため、油圧サーボ弁制御関節と油圧比例弁制御関節のそれぞれについて、油圧弁の特性を考慮した位置制御系を考案し、その有効性を実験で実証した。
3. 実作業への応用例としてスイカ収穫作業を試みた。ほ場実験に先立ち、スイカ収穫のためのセルフ・

ロック方式グリップを開発し、グリップの把持性能に関して力学的解析と実験を行った。このグリップを装着したマニピュレータと油圧ユニットを走行車両に搭載し、スイカ収穫ロボットを開発した。このロボットによる収穫では、グリップを接触センサとして活用することにより、収穫性能を向上した。また、この実験の結果、油圧マニピュレータは、動力源を搭載してほ場で移動することができ、重量物のハンドリングに有効であることを実証した。

以上のように、本研究はほ場で重量物のハンドリングを行うための低価格の油圧マニピュレータとハンドを試作し、解析と実験によりその実用性を明らかにしたもので、農用作業機械学、農業ロボティクス及び農作業の軽労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9年1月23日、論文なら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。