

氏名	門 田 充 司
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学位記番号	論農博第2243号
学位授与の日付	平成11年5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	農業用ロボットのマン・マシン協調システム

論文調査委員 (主査) 教授 梅田幹雄 教授 山崎 稔 教授 池田善郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

農業用ロボットは人間と同一の作業環境で共存して作業を行うことが要求される。本論文は、安全かつ効率的な人間協調型ロボットシステムを開発するため、人間のセンシング、危険性を数値化した危険度関数、及びマニピュレータ制御システムの3つの要素を開発し、このシステムの有効性を実証したものであり、以下の7章からなっている。

第1章では、研究の背景、つまりロボットの普及と農業分野でのロボットの研究状況、及びロボットの使用により発生する人身事故と危険の回避について検討している。

第2章では、本論文で対象としたブドウ収穫ロボットの作業の概要について述べ、安全かつ効率的なロボットシステムについて検討している。

第3章では、危険を回避するための基礎となる人間の識別及び検出法について検討している。識別及び検出のためのセンサとして超音波センサと焦電型赤外線センサを用いている。これは、超音波センサは対象物の距離を測定することは可能であるが、人間と背景の識別ができない、これに対して赤外線センサは距離の検出はできないが、人体からは9～10μm付近にピークを持つ赤外線が放出されることから、人間と背景の識別が可能であるためである。超音波センサによる検出では、センサをモータで旋回させて検出範囲を拡大し、得られた距離情報から人間の代表点を算出することで、半径4m程度の範囲内に存在する人間の位置や、移動速度と方向を検出できることを明らかにしている。つぎに、赤外線センサは定常的な赤外線の入射つまり静止している人間は検出できないので、センサをモータで旋回させて静止している人間を検出する旋回式と、センサを互いの検出範囲が重なり合うように配置することで静止している人間は検出できないが、進入してくる人間を検出する固定式の2種類について検討している。旋回式では背景の出力波形と比較することで、静止した人間の検出が可能であるが、構造とソフトウェアが複雑となること、また、固定式では半径3～5m程度の範囲内に進入してくる人間の検出が可能であり、構造も簡単であることから固定式を採用している。人間の検出は、赤外線センサが反応した時点で人間がロボットに接近したと判断して、超音波センサの検出した人間を含む距離情報から、人間の進入前の背景だけの距離情報を差し引いて人間を抽出することにより行っている。つまり、超音波センサと赤外線センサの情報を融合したシステムを採用することで、人間を検出できることを明らかにしている。

第4章では、危険性の程度を数値化するための危険度関数を設定し、危険度に応じてマニピュレータの速度を変化させ、安全性と作業効率という相反する2つの要因を両立させる制御法について検討している。危険度関数とは、人間とマニピュレータの近寄り相対速度の二乗に比例し、距離の二乗に反比例する連続関数を基本として、心理的要因を考慮するための係数と、マニピュレータの作動環境に関する危険度を考慮する係数を付加して設定したものである。各種の係数の設定を含めてシミュレーションにより検討を行い、危険度関数を用いることにより安全性の確保と作業効率の向上をはかることが可能となることを明らかにし、危険度関数の有効性を確認している。

第5章では、超音波センサと赤外センサからなるセンシングシステムによる人間の検出と、危険度関数に基づいた制御システムを組み込んだブドウ収穫ロボットを用いて、果樹園にて機能確認実験を行っている。この実験において、人間がロボットに近寄ったときマニピュレータは危険度の大きさに応じて加減速や停止を行い危険を回避すること、特に、人間がマ

ニピューレータの作業環境内に存在する場合でも、危険度が高くなければ減速しながらでも作業を継続し、不必要な停止を避けて作業効率の低下を防止できることを実証している。

第6章では、ロボットシステムの作業効率の評価をシミュレーションにより実施し、開発したシステムを装着したロボットは、安全性を無視した作業効率重視の制御方法と比較しても約95%の効率で作業を遂行でき、また、ロボットを柵で囲んだような場合と比べて2倍以上の作業効率を有することを明らかにしている。

最終章である第7章では、ロボットに安全システムを組み込む方法を総括的に検討している。

## 論文審査の結果の要旨

農作業は複雑であり農作業の自動化では今後技術が進歩しても、なお費用対効果の観点から、製造業で見られるようなロボットだけによる完全な自動化は行われず、ロボットと人間が同一の作業環境で共存して作業を行うことが要求される。このため、農業用ロボットの実用化のためには、作業効率を維持しながら危険を回避するシステムの開発が不可欠である。農業用ロボットの研究は各所で行われているが、ロボットの機能向上が優先課題であったため、これまで安全性に関する研究はほとんど行われていなかった。

本論文は、安全性と作業効率という相反する2つの要因を両立させるため、人間のセンシング、危険性の数値化、及び制御システムの3つの要素を開発し、シミュレーションと実験によって有効性を実証したものであり、評価すべき点は以下のとおりである。

(1) 超音波センサは対象物の距離の測定は可能であるが人間と背景の識別ができない。これに対して赤外線センサは距離の検出はできないが、人間と背景の識別が可能であることに着目して、超音波センサと赤外線センサの情報を融合したシステムを採用することで、人間と背景との識別を行い、ロボットに接近してくる人間の位置、速度及び移動方向が検出できるシステムを開発した。

(2) 危険性の程度を数値化するため、人間とマニピューレータの近寄り相対速度の二乗に比例し、距離の二乗に反比例する連続関数を基本として、心理的要因を考慮するための係数を含む危険度関数を設定し、危険度に応じてマニピューレータの速度を変化させ、安全性と作業効率という相反する2つの要因を両立させる制御法を開発し、シミュレーションにより危険度関数の有効性を確認した。

(3) 超音波センサと赤外線センサからなるセンシングシステムによる人間の検出と、危険度関数に基づいた制御システムを組み込んだブドウ収穫ロボットを用いて、果樹園にて機能確認実験を行い、人間がロボットの作業環境内に存在する場合でも、危険度が高くなければ減速しながらでも作業を継続し、不必要な停止を避けて作業効率の低下を防止できることを確認して、制御システムの有効性を実証した。

(4) シミュレーションにより、開発したシステムを装着したロボットは、安全性を無視した作業効率重視の制御方法と比較しても約95%の効率で作業を遂行でき、また、ロボットを柵で囲んだような場合と比べて2倍以上の作業効率を有することを明らかにした。

以上のように、本論文は、人間とロボットが協調して農作業を行うための安全かつ効率的な農業用ロボットのマン・マシン協調システムについて、必要な構成要素の開発と開発したシステムの有効性を実証したもので、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11年3月8日、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。