

学 位 論 文 題 名

耕うん作業を行う自律移動ロボットに関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は 6 章で構成され、表 38、図 78、引用文献 133 編を含む 198 頁の和文論文であり、別に 10 編の参考論文が添えられている。

将来の日本農業は、経営規模の拡大による生産コスト低減、農産物の高付加価値化による収益性向上、といった方向に向かうものと考えられる。大規模経営における生産コストの低減には、農業機械の自動化・無人化による労働コストの圧縮が不可欠である。これらの前提から本研究は、作業機操作の自動化を意図して、1 枚の圃場に対する作業経路計画のような企画・管理の一部を併せて自動化し、かつ車両操作の完全無人化を図り、飛躍的な労働コストの圧縮と快適な農作業の実現を目標としたものである。得られた成果は次のように要約される。

1. 無人作業システム

これまでに行われた車両系農業機械の自動化は、主に作業機の調整を自動化したものであり、走行操作の自動化例は極めて少なく、作業経路計画などの自動化は例を見ない。また既往の無人走行研究においても、作業経路計画や枕地の処理までを含めた無人作業システムを試作・供試して、実際の圃場一面を全て処理した例は見られない。そこで改めて作業経路計画や枕地の処理までを含めた無人作業を実行する際の条件を検討した結果、環境変化の激しい条件下で柔軟に対応しうるシステムの構築が必須である点が確認された。

2. ロボット車両

無人作業を実行する自律移動ロボットには、人間に近い全ての機能要素が必要である。農業分野は単に作業の場が環境変化の激しい屋外であるばかりでなく、コスト面や使用者の専門度合など他の産業分野とは異なる使用条件があり、ロボット車両の開発に際しては当初より低コスト化や信頼性・取扱い性に対して十分な配慮を行う必要がある。これらに配慮して設計を行った結果、試作したロボット車両は、重大なトラブルが発生することなく百数十時間にわたって航法装置や作業ソフトの試験、システムの評価などに供試され、制御性能、耐候性、信頼性の点で十分に満足できる性能を発揮することを実証した。

3. 航法システム

自律移動ロボットの基幹構成要素である航法装置は、100m×100m 以上の区画で車両方位検出誤差 0.1° 以下、位置検出誤差 5cm 以下を目標とする必要があることを示した。航法システムには各種の方式が考えられるが、車両のロールやピッチに対する誤差補正を前提に、

- 1) 安価でドリフト誤差の少ない地磁気方位センサによる車両方位検出システム、

2) 累積誤差の心配がない外部標識方式による車両位置検出システム、
が適当であることを見いだした。

試作した車両方位検出システムでは、適切な磁気環境補正および傾斜補正法を開発し、再現性精度約 0.3° を確保し、自律移動ロボットに適用可能との結論を得た。

同じく試作した位置検出システムでは、データサンプリング周期 0.52 秒、位置検出誤差 4.6cm を確保し、ターゲットの追尾性能に改良の余地が見られたが、外部標識トラバース方式が適切であることを実証した。最終的には、市販の自動追尾機能を有するトータルステーションを利用してシステムを構成した。このシステムは、約 500m 離れた地点から所定の軌道に対して $\pm 5\text{cm}$ 以内の誤差で、約 0.5s の周期で車両位置計測とロボット車両へのデータ伝送が可能であり、自律移動ロボットに充分適用可能であるとの結論を得た。

4. 車両制御アルゴリズム

車両方位検出システムのみを用いた圃場全面作業ソフトを開発した結果、0.5m/s 程度の走行速度で一応の無人作業が可能であり、位置情報が得られる他の航法装置を併用したシステムにおける補完システム、有人運転の際の部分的自動直進制御、といった場面でこの方法が実用化できることを示した。

さらに車両方位検出システムと位置検出システムを併用した圃場全面作業ソフトを開発した。このソフトでは、

- 1) 1 枚の圃場について導入時に 1 回、ティーチング走行によって圃場区画情報を得る、
- 2) これをもとに往復作業と周り作業を組み合わせた作業経路を自律的に生成する、
- 3) この経路に沿って無人走行するよう車両各部を制御するが、この制御部分では、タスクを直進制御、 180° 旋回制御、 90° 旋回制御、幅寄せ制御などに分割する、

こととした。最終的に適切な制御アルゴリズムを構築することによって、0.1~1.1m/s の速度範囲内で枕地の処理を含めた完全無人耕うん作業が行えることを実証した。

5. 自己診断機能

開発した自律移動ロボットシステムが、変化の激しい圃場内で機器の故障や車両のすべり、ダッシングなど不測の事態に至っても安全にかつ安定的に高い信頼性のもとで柔軟に作業を続行できるよう、作業前に行う自己診断機能や無人作業中に機能する異常時対応機能を提案・開発した。各種圃場における実証試験を通じてこれらの機能が、作業の円滑な遂行に有効であることを確認した。

6. 自律移動ロボットシステム

自律移動ロボットシステムの性能を的確に評価するために、省力効果と車両制御性能を評価しうる無人作業機械の試験・評価方法を策定し、実証試験を行った。その結果、作業能率、及び残耕や既耕地への踏み込みなどの作業精度は慣行作業並であるが、直進時の平行度や蛇行に関しては自律移動ロボットは有人運転による慣行作業を上回る能力を示すことを実証した。

以上、本論文は、農業現場の特性に配慮し、安定的な作業を遂行するための機能を有する車両系農業機械のロボット化によって、耕うん作業の完全無人化が、慣行作業と同等以上のレベルで可能であることを実証したものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 寺 尾 日出男

副 査 教 授 高 井 宗 宏

副 査 教 授 嘉 数 侑 昇 (工学研究科)

副 査 助教授 野 口 伸

学 位 論 文 題 名

耕うん作業を行う自律移動ロボットに関する研究

本論文は6章で構成され、表38、図78、引用文献133編を含む198頁の和文論文であり、別に10編の参考論文が添えられている。

将来の日本農業は、経営規模の拡大による生産コスト低減、農産物の高付加価値化による収益性向上などの方向をめざすものと考えられる。大規模経営における生産コストの低減には、農業機械の自動化・無人化による労働コストの圧縮が不可欠である。これらの前提から、本研究は作業機操作の自動化を意図して、1枚の圃場に対する作業経路計画のような企画・管理の一部を併せて自動化し、かつ車両操作の完全無人化を図り、飛躍的な労働コストの圧縮を目標としたものである。得られた成果は次のように要約される。

1. 無人作業システムの構築

既往の研究では、無人作業システムを試作・供試してシステムとして作業経路計画や枕地の処理までを含めた、実際の圃場一面を全て処理した例が見られないことを示し、これらを実行するためには環境変化の激しい条件下で柔軟に対応しうる無人作業システムの構築が必須であることを提案した。

2. ロボット車両

無人作業を実行する自律移動ロボットには、人間に近い全ての機能要素を必要とするが、農業分野では他産業分野とは異なる使用条件があり、開発に際しては当初から低コスト化や信頼性・取扱い性に対する十分な配慮を行った。その結果、試作したロボット車両は(試作機は)重大なトラブルが発生することなく航法装置や作業ソフトの試験、システムの評価などに供試され、制御性能、耐候性、信頼性の点で十分に満足できる性能を発揮することを実証した。

3. 航法システム

自律移動ロボットの基幹構成要素である航法装置には各種の方式が考えられるが、車両のローリング挙動やピッチング挙動に対する誤差補正を前提に、①安価でドリフト誤差の少ない地磁気方位センサによる車両方位検出システム、②累積誤差の心配がない外部標識方式による車両位置検出システムが適当であることを見いだした。

試作した車両方位検出システムでは、適切な磁気環境補正および傾斜補正法を開発し、再現性の精度は約 0.3° を確保した。また、同じく試作した車両位置検出システムでは、最終的に約 500m 離れた地点から所定の軌道に対し ± 5 cm 以内の誤差で、約 0.5s の周期で車両位置計測を行うことが可能であり、自律移動ロボットに適用可能との結論を得た。

4. 車両制御アルゴリズム

車両方位検出システムのみを用いた圃場全面作業ソフトを開発した結果、0.5m/s 程度の走行速度で一応の無人作業が可能であり、位置情報が得られる他の航法装置を併用したシステムにおける補完システム、有人運転の際の部分的自動直進制御、といった作業面でこの方法が実用化できることを提示した。

さらに、車両方位検出システムと車両位置検出システムを併用した圃場全面作業ソフトを開発した。このソフトでは、ティーチングによって得られた圃場区画情報をもとに往復作業と周り作業を組み合わせた作業経路を自律的に生成し、かつ適切な車両制御アルゴリズムを構築して 0.1~1.1m/s の速度範囲内で枕地の処理を含めた完全無人耕うん作業が行えることを実証した。

5. 自己診断機能

開発した自律移動ロボットシステムが、変化の激しい圃場内で機器の故障や車両のすべり、ダッシングなど不測の事態においても安全にかつ安定的に高い信頼性のもとで柔軟に作業を続行できるよう、自己診断機能や異常時対応機能を開発し、その機能が有効であることを確認した。

6. 自律移動ロボットシステム

自律移動ロボットシステムの性能を的確に評価するために、無人作業機械の試験・評価方法を策定し、耕うん作業による実証試験を行った。その結果、作業能率および残耕などの作業精度は有人運転による慣行作業なみであるが、直進時の平行度や蛇行に関しては自律移動ロボットは有人運転による慣行作業を上回る性能を有することを実証した。

以上のように、農業現場の特性を考慮し、車両系農業機械のロボット化によって完全無人耕うん作業が従来の有人運転による慣行作業と同等以上の作業性能を確保できることを実証した本研究は、学術的にも高く評価され、また実用面にも貢献するところが大きであると評価された。よって、審査委員一同は、行本 修が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。