

学位論文題名

森林作業用ナックルブームの軌跡および
荷重制御に関する研究

学位論文内容の要旨

林業における機械化は伐出用機械を中心に導入が進み、一定の成果をおさめてきたが、植栽、下刈作業などの造林作業は手作業で行われている。本研究では、林業機械の標準的なマニピュレータであるナックルブームを伐倒、荷役作業以外の森林作業にも適用させることを目的として、ナックルブーム先端部の軌跡および荷重の制御装置を開発し、その制御装置による森林作業への適応性について検討を行った。

ナックルブーム先端部に草刈機などの作業機を装着して、植栽木間の下刈作業を行うには、地面の凹凸に応じて先端部の高さを調整しながら、ナックルブーム先端部を植栽列に沿って動かす必要がある。多関節型マニピュレータであるナックルブームに、このような運動をさせるには複数のアクチュエータの協調動作が必要であり、オペレータには高度な操作技術が要求される。さらに、造林地は傾斜地であり、わずかな操作の誤りで車両本体の安定性が損なわれる可能性があることから、オペレータは極度の緊張状態で作業を行うことになり、労働負担も大きい。

1. 制御装置の開発

下刈作業を容易に行うには、先端部の作業機を常に接地させた状態を保ちながら、先端部の移動方向を指示できる操作装置が必要である。これを実現するため、ナックルブームに軌跡制御機能と、先端部における接地荷重を制御する機能を持たせた。3次元型ジョイスティックによってナックルブーム先端部の移動方向と速度を入力することにより、先端部を目標荷重値で接地させた状態を保ちながら、移動操作を行う装置を開発した。制御装置は制御用コンピュータと各種センサによって構成されるが、林業機械として実機に搭載可能な制御装置を目標としたので、制御に必要なセンサには市販センサを用い、安価な制御装置を構成した。

荷重制御を行うには、先端部の荷重値を計測してフィードバック制御を行う必要がある。開発した制御装置では、ロードセルなどの精密な荷重計を装備せずに、各関節の駆動を行っている油圧シリンダに装備された油圧計および位置センサから荷重値を推測した。ナックルブームの運動方程式を算出し、ナックルブームを構成する各リンクの物理パラメータの同定結果および運動方程式から先端部荷重を推測する実験を行った結果、推測誤差は最大で1kN以下であった。特に、先端部荷重の推測精度が劣る時は、ナックルブームの動作開始時と動作停止時であった。ナックルブームが移動中もしくは静止中のときは、先端部荷重は500N以下の精度で検出可能であった。

2. 軌跡制御の精度

荷重制御を行わずに軌跡制御のみを用いて、水平面および垂直面内でナックルブームに直線と円を描かせる実験を行い、位置制御の基本となる軌跡制御の精度を検証した。ナックルブーム動作中の先端部の目標軌跡への追従誤差は 5mm 以内であったが、動作開始時と動作停止時には最大で約 20mm の追従誤差、静止時には 10mm 弱のふれが観測された。これらの誤差はナックルブーム先端部の位置に影響され、可動範囲端部で誤差が大きくなったが、作業領域と想定される中心部付近では、小さな誤差で制御が行えることが確認された。

3. 軌跡および荷重制御の精度

ナックルブーム先端部の軌跡および荷重制御を行い、先端部を接地させながらの移動操作について実験検討を行った。条件が悪い地表面上では、目標軌跡に対して約 50mm の軌跡制御誤差と 1kN の荷重制御誤差が確認されたが、平坦な地表面では、最大移動速度である 0.4m/s で先端部を移動させても、荷重制御誤差を 0.5kN 以内に保ちながら操作可能であった。このことから、ナックルブーム先端部を常に地面に接地させながら移動操作を行うには、地表面の状況に応じてナックルブームの移動速度を制限する機能を付加する必要があると考えられた。

ナックルブーム先端部に装備される作業機は一般に 100kg 以上の質量を有している。実験結果から得られた荷重制御誤差を考慮すると、先端部の接地荷重を作業機の質量以上とすることで、先端部を常に接地させながら移動操作することが可能と結論できた。また、植栽木の苗列間は 1.8m 程度であり、先端部の移動軌跡の誤差は 50mm 程度であることから、植栽木間の筋刈作業を行う実用的な精度を有することが確認できた。以上により、ナックルブーム装着の作業機によって下刈作業を行うには、開発した制御装置は必要十分な精度で動作可能であることが確認された。また、この制御装置を用いて下刈作業を行うことで、現行の刈払機による作業と比較すると、2 倍～5 倍の作業能率を期待できることが明らかとなった。

4. 傾斜地走破性改善への応用

最後に、この軌跡および荷重制御可能なナックルブームを用いることにより、傾斜地における車両の走行に使用する方法について検討した。等高線方向走行時には、ナックルブームを斜面谷側に接地させながら走行することにより、走行路面の凹凸変化による車体ロール軸回りの揺れを減少させる効果があり、転倒防止に有効であると考えられた。また、登坂走行時、斜面谷側にナックルブームを接地させながら走行することにより、履帯接地圧の不均衡によって生じるけん引力の減少を抑え、登坂可能な傾斜面を増やす効果があった。さらに、この方法でも登坂不可能な場合、ナックルブーム先端部を地面に固定し、ナックルブームを伸縮させて推力を加えることにより、30 度の斜面でも登坂可能であった。これらの結果より、等高線方向走行および登坂走行時とも、ナックルブームを利用することにより、傾斜地における車両の走破性向上に有効であった。

以上により、ナックルブームに軌跡および荷重制御機能を付加することによって、高度な操作技量を要せずに、下刈作業などの困難な操作を必要とする作業にも利用可能となることが確認できた。また、傾斜地における車両の走破性の向上にもナックルブームを利用できることから、ナ

ックルブーム先端部の作業機の移動に使用するだけでなく、他の用途にも軌跡および荷重制御機能を有するナックルブームを利用できることが確認できた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 端 俊 一
副 査 教 授 寺 尾 日出男
副 査 教 授 平 井 卓 郎
副 査 助 教 授 片 岡 崇

学 位 論 文 題 名

森林作業用ナックルブームの軌跡および 荷重制御に関する研究

本論文は5章からなり、図77、表16、引用文献78を含む、総ページ数153の和文論文であり、他に参考論文3編が添えられている。

林業における機械化はナックルブームを有する伐出用機械を中心に導入が進んでいるが、植栽、下刈作業などの造林作業は未だ手作業で行われている。ナックルブームを植栽木間の下刈作業に使うためには、地面の凹凸に応じて高さを調整しながら、ナックルブーム先端部を植栽列に沿って動かす必要があり、オペレータには高度な操作技術が要求される。本研究は、ナックルブームを伐倒、荷役作業以外の森林作業にも適用させることを目的として、ナックルブーム先端部の軌跡および荷重を制御する装置を開発し、造林作業等への適応性について検討を行ったものである。本研究の内容は以下のように要約される。

1. ナックルブーム制御機構および制御法の開発

ナックルブームに装着した作業機を常に接地させた状態を保ちながら、先端部の移動方向を指示するため、コンピュータ制御のナックルブームと、容易にブームを操作できるユーザーインターフェースを開発した。

荷重制御は、ロードセルで計測した荷重値によってフィードバック制御を構成するのが通常であるが、本研究では、各関節を駆動する油圧シリンダの油圧とストロークから荷重値を推測して制御を行う方法を考案した。ナックルブーム各リンクの物理パラメータを同定し、運動方程式を導出して先端部荷重を推測する手法により、ナックルブーム移動中でも、0.5kN以下の精度で先端部荷重の検出が可能であることを実証した。

2. 軌跡制御の特性

位置制御の基本となる軌跡制御の精度を検証するため、荷重制御を行わずに軌跡制御のみを用いて、ナックルブームに基本図形を描かせる実験を行った。先端部の目標軌跡への追従誤差はナックルブーム動作中で5mm以内、動作開始時と動作停止時で最大20mmであり、十分な基本的制御性能が得られることを明らかにした。また、制御誤差の発現特性を調べ、ナックルブーム先端部の位置との関係を明らかにしている。

3. 軌跡および荷重制御の特性

ナックルブーム先端部を接地させながら軌跡および荷重制御を行い、条件の悪い地表面上では、目標軌跡に対して約50mmの軌跡制御誤差と1kNの荷重制御誤差を確認したが、平坦な地表面では、最大移動速度(0.4m/s)で先端部を移動させても、荷重制御誤差を0.5kN以内に保ちながら操作可能であることを実証した。ナックルブーム先端部に装備される作業機は一般に100kg以上の質量を有するので、先端部の接地荷重を作業機の質量以上とすることで、先端部を常に接地させながら移動操作することが可能と結論している。以上により、ナックルブーム装着の作業機によって下刈作業を行うには、開発した制御装置は必要十分な精度で動作可能であることが確認され、現行の刈払機による作業と比較すると、2倍～5倍の作業能率を期待できることを明らかにした。

4. 傾斜地走破性改善への応用

最後に、この軌跡および荷重制御可能なナックルブームを用いて傾斜地における車両の走破性を改善する方法について理論解析と実験により検討し、等高線方向走行時には、ナックルブームを斜面谷側に接地させながら走行することにより、転倒防止に有効であること、登坂走行時には、車体後方にナックルブームを接地させながら走行することにより、履帯の接地圧分布を均等化してけん引力を増加できること、さらに、この方法でも登坂不可能な場合、ナックルブーム先端部を接地させてブームを伸縮し、推力を加えることにより、30度の斜面でも登坂可能になることを実証している。

以上の研究成果は造林作業の機械化の進展に資するのみならず、建設機械のナックルブームにも応用可能であり、本研究で開発したナックルブームの新しい制御法は実用的にはもちろんのこと学術的にも高く評価できる。よって審査員一同は、毛綱昌弘が博士(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。