

## 傾斜草地用自動走行施肥機の開発に関する研究

### 学位論文内容の要旨

草地の利用は、採草地と放牧地とに分けられ、トラクタ等の作業困難な傾斜地は放牧地に利用するというのが一般的な利用体系であるが、機械走行が困難なるが故に、その管理は疎かになり、草地自体が老朽化していく。本研究は、省力的で安全な施肥作業を実現すべく、傾斜草地用の自動走行施肥機を開発することを目的とした。

#### 1. 傾斜草地用無線操縦施肥機の開発

自動走行施肥機開発の前段階として、車輪形トラクタが走行困難な傾斜草地において、安全で省力的な施肥作業を行うため、無線操縦による施肥機を開発した。傾斜草地での施肥作業を想定して、走行部並びに施肥装置を検討し、既存のゴム履帯式無線操縦車両に両側散布可能な空気搬送式の施肥装置を搭載することにより傾斜草地用無線操縦施肥機を構成した。斜度 $15^\circ$ の草地においては、 $0.5\text{m/s}$ の速度で十分な余裕を持って作業可能であり、 $30^\circ$ の草地の登坂作業では、 $0.5\text{m/s}$ 以下の走行速度を選ぶことにより適応可能であった。市販化成肥料を用いた場合、散布分布の変動係数の目標値を25%、30%にした場合、有効散布幅は20.4m、25.2mで、変動係数40%以上の目標設定では全散布距離の27mが有効散布幅となった。最大斜度 $27^\circ$ の2.7haの傾斜草地で施肥作業を行った場合、 $0.25\sim 0.30\text{m/s}$ の作業速度で $1.9\text{ha/h}$ の作業能率が得られた。牧区編成、肥料補給等の改善により作業能率が向上する可能性があった。また、延べ24.6haの草地で本機を用いて施肥作業を行った結果、人力作業より省力・高能率で作業でき、実用に供しうると判断できた。

#### 2. 傾斜草地におけるトラクタを用いた広幅施肥作業の精度

自動走行で施肥を行うための作業精度等の目標値を知るために、実際のオペレータが施肥作業を行った場合の作業精度を調査した。トランシットと光波距離計を組み合わせ、手でトラクタに設置した標識を追尾することにより、走行軌跡を計測する装置を構成した。計測誤差は約36cmである。トラクタに装着した作業幅15mのブロードキャストで経験25年のオペレータが作業した結果、平均作業幅はほぼ設定値に等しかったが、その標準偏差は2.2m、最大偏差は5.7mで平均作業幅の38%であった。また、旋回部分では、オーバーラップのため、設定の2倍以上の施肥量が見込まれた。測定精度を考慮し、開発すべき傾斜草地での自動走行の目標精度は偏差2.6m以内とすることとした。

#### 3. 傾斜草地の施肥を目指した自動走行技術の開発

傾斜草地において、安全かつ能率的で省力的、高精度な施肥作業を行うことを目標とし

て、自動走行技術を開発した。自動走行手法としては、日陰林、山の影響を考慮して、現在広く用いられているGPSではなく、進行方向と速度の内界情報から自己位置を推定する手法を採用した。傾斜草地用無線操縦施肥機の走行部である履帯車両に、地磁気方位センサ、レーダドップラ速度計、傾斜センサ、並びに制御装置を搭載し、各種センサから計算した自己位置により自動走行制御を行った。走行経路は複数の目標座標として与え、目標座標間は直線走行を行う方式とした。平均 $11^{\circ}$ の傾斜不規則地形の草地において広幅施肥を前提にした走行経路を設定して自動走行を行った結果、設定経路に対して左右方向の偏差は2.5m以内で、かつ設定終点に対して総走行距離の1%程度の誤差で走行可能であった。この精度は、予め設定した人の行う慣行作業の精度（経路に対する偏差2.6m）と遜色のない走行精度であった。

#### 4. 傾斜草地における誤差要因の改善

傾斜草地における広幅施肥作業を前提とし、内界情報のみでの自動走行における誤差要因の改善を目的に、作業速度検出精度の向上、実走行速度の制御並びに累積誤差補正等を行った。自動走行車両の前後に速度センサを設置することにより、 $10^{\circ}$ 程度の傾斜では誤差0.2%で走行速度を検出する事ができた。面積あたりの施肥量を制御するために重要な要素となる実走行速度は、走行速度を制御パラメータとしてPI制御を行うことにより傾斜草地においても0.5m/sを維持することが可能であった。さらに横滑り等進行方向横方向の速度を検出できないため、走行位置の検出に累積誤差が生じるが、これを補正するため、草地内に数点設置した光反射標識をレーザ距離計で検出することにより車両の自己位置を補正でき、精度よく設定経路を自動走行できた。

#### 5. 傾斜草地における施肥の自動化

傾斜草地における可変施肥作業を実現するための技術として、自動走行施肥機による広幅散布での施肥量制御、施肥幅制御並びに傾斜草地での広幅施肥作業の経路計画について検討を行った。

走行速度0.5m/s、片側肥料散布幅20mで肥料散布量10~25kg/10aを設定作業条件すると、肥料繰り出しは100~250g/sの範囲での制御が必要となる。肥料の繰り出し用ロータリフューダ駆動モータの回転数をPWM制御を行うことにより送風機駆動時においても80~230g/sの制御が可能であった。繰り出し量をさらに増加させるには空気流の影響等細部の検討が必要であった。

不規則地形である傾斜草地の広幅施肥に対応するため、片側散布、両側散布に加え、施肥導管の角度を左右独立に2段階に制御する事により、作業幅のみの選択では4通り、機体との左右の関係を含めると8通りの作業パターンを選択することができ、実用上十分と考えられた。

傾斜不規則地形での広幅施肥作業では作業経路の設定が重要であり、圃場形状を与えることにより作業経路を自動生成するプログラムを開発した。さらに肥料散布精度を向上させるため、手動で作業経路、作業幅、肥料散布量を変更するルーチンを追加して、実際の作業経路を出力した。この出力経路により自動走行施肥機で模擬作業を行い、4.2ha/hの能率で精度良く自動施肥作業が行えることを確認した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 端 俊 一  
副 査 教 授 野 口 伸  
副 査 教 授 松 田 従 三  
副 査 助 教 授 片 岡 崇

## 学位論文題名

### 傾斜草地用自動走行施肥機の開発に関する研究

本論文は7章からなり、図93、表24、引用文献109を含む、総ページ数162の和文論文であり、他に参考論文4編が添えられている。

一般に、放牧地はトラクタ作業が困難な傾斜地であることが多く、機械走行が困難なるが故に管理が疎かになり、草地自体が老朽化する。本研究は、傾斜草地において省力的かつ安全な施肥作業実現のための自動走行施肥機を開発することを目的としたものである。

#### 1. 傾斜草地用無線操縦施肥機の開発

傾斜草地に適応可能な施肥作業機の基本構成を検討するため、ゴム履带式走行部と空気搬送式の施肥装置を有する無線操縦自走施肥機を開発した。走行性と肥料散布性能を検討した結果、斜度30°までの草地で、0.5m/s以下の実用走行速度が可能であり、化成肥料を用いた時の散布量の変動係数が25%、30%、40%のとき、有効散布幅は、それぞれ20.4m、25.2m、27mであることを明らかにした。さらに、最大斜度27°、2.4haの傾斜草地で施肥作業を行って、1.9ha/hの作業能率を得、作業能率0.6ha/hの人力作業より省力・高能率な作業が可能であり、本基本構成は実用に供しうることを明らかにしている。

#### 2. 傾斜草地におけるトラクタ作業の施肥精度

自動走行で施肥を行うための作業精度等の目標値を知るために、トラクタによる慣行の施肥作業の走行軌跡を計測し、作業精度を調査した。有効作業幅15mのブロードキャストで経験25年のオペレータが作業した結果、平均作業幅は15.4m、標準偏差は2.2m、最大偏差は5.7mであった。この結果を考慮し、開発すべき自動走行の目標精度は偏差2.6m以内とした。

### 3. 傾斜草地用自動走行技術の開発

急傾斜草地の特性を考慮して、進行方向と速度の内界情報から自己位置を推定する自動走行手法を採用した。前述の無線操縦施肥機に、地磁気方位センサ、レーダドップラ速度計、傾斜センサ、並びに制御装置を搭載し、これらセンサによって自己位置を推定しながら、複数の目標座標として与えた走行経路に従う自動走行制御を行った。平均11°の傾斜不規則地形の草地において自動走行を行った結果、設定経路に対しての偏差は2.5m以内、かつ総走行距離の誤差1%程度で、慣行作業と遜色ない走行精度が可能なことを実証したが、さらなる精度向上のため、作業速度検出精度の向上、実走行速度の制御および累積誤差補正等について検討を行った。車両の前後に速度センサを設置して、ピッチングの影響を取り除くことにより、走行速度検出誤差を0.2%に抑え、走行速度をPI制御することにより傾斜や起伏にかかわらず一定速度を維持することが可能なことを明らかにした。さらに傾斜による横滑りに起因する累積誤差を補正するため、草地内に数点設置した光反射標識とレーザ距離計により車両の自己位置を補正する方法を開発し、精度よく自動走行できることを実証している。内界センサを主体とした自動走行制御を実用化レベルで実現した本研究における手法は、一般圃場の走行制御に対しても多くの示唆を含んでいる。

### 4. 施肥自動化技術の開発

不整形な傾斜草地における可変施肥作業を実現するため、施肥量制御、散布幅制御並びに自動経路生成について、走行速度0.5m/s、肥料散布量10~25kg/10aを設定作業条件として検討を行った。肥料繰り出し用ロータリフィーダの駆動モータ回転数をPWM制御し、施肥導管の開閉と角度を左右独立に制御する事により、散布幅8~32mで、8通りの散布幅パターンでの散布量制御を実現した。作業経路の作成法については、圃場形状を与えることにより作業経路を自動生成するプログラムを開発した。生成した経路を自動走行施肥機に入力し、4.2ha/hの能率で自動施肥作業を行い、実用性を確認している。これらの自動化技術は、不整形草地における施肥自動化を実用に導くものと評価できる。

以上のように、本研究は、人力に頼らざるをえなかった傾斜草地施肥作業の自動化を目指して、非線形性が顕著な条件下での各種の制御特性を明らかにし、走行と肥料散布の自動制御を実現した研究であり、学術的・実用的価値が高いものである。

よって審査員一同は、玉城勝彦が博士（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。