博士（農学）　佐　藤　禎　稔

学 位 論 文 題 名

トラクタ直装式スプレーヤのブーム高さ制御に関する研究

学位論文内容の要旨

畑作地帯の防除作業に利用されるブームスプレーヤは，近年，散布幅が14～26mにも拡大されたため，圃場の起状やトラクタのローリングによってブーム高さが変動し，散布むらやブームが作物に接触するなど作業精度を低下させたり，この調節のために運転操作を煩雑にしている。

本研究はトラクタ直装式ブームスプレーヤによる防除作業の精度向上と操縦性向上を目的として，超音波センサ，マイクロコンピュータおよび高さ調節機構によるブーム高さ自動制御装置を開発した。特に，トラクタ前輪の上下動から後輪の通過時に起きる機体のローリングを事前に感知し，機体が傾くと同時にブーム高さを修正する予測制御法を備えているところに特色がある。本論文は，まず防除作業時のブーム高さの実態および超音波センサの作物検出特性を明らかにし，ブーム高さの変動に対処できる制御装置を試作して高さ制御特性を述べる。次に，トラクタのローリング予測法の原理確認実験とそれによる制御精度の実験を行い，実用性を実証する。

本研究で得られた結果の大要は，次のようである。

1．ブーム高さに関する調査および実験

スプレーヤ作業の調査により，作業者は約8 sec間隔に左右後方を交互に振り向いてブームの高さを監視し，進行距離20mごとにブーム高さを手で調節していて，かなりの労力と熟練を要することを明らかにした。機体のローリングはブーム高さを変動させる主因となるが，散布幅15m以上のブームでは頻繁に手動調節しても，ブーム両端での高さは目標高さから±50cm以上になった。

2．超音波センサによるブーム高さの検出特性実験

ブーム高さを非接触で検出するために，40kHzの2素子反射形超音波センサを採用し，パルス反射法で作物の高さを検出した。センサが検出できる高さは葉面直径に比例し，センサ高さに対する葉面直径の比が0.05以上であれば検出できた。バレイショ，菜豆，テンサイ，小麦の葉の超音波反射率は0.84～0.94となり，ブーム高さを計測する上で十分な反射波が得られた。しかし，

センサは作物頂部の小葉の検出し難いため，作物の草高をやや低く検出し，バレイショなど葉面積が広い作物では6㎝以内の誤差で検出できたが，小麦では穂長相当の誤差を生じて補正を要する。また，センサの移動速度は0.5～1.5m／sの実験範囲で検出特性に影響を与えなかった。

3．ブーム高さの制御装置の開発

散布幅15mのトラクタ直装式スプレーヤを対象にして，超音波センサによるブーム高さの自動制御装置を開発した。供試機は左右第1・第2および中央の5本ブームで構成される両竿形であり，油圧シリンダによってブームごとに高さ調節ができる。制御のための改造点は，油圧回路の左右独立化，油圧ポンプの吐出量増大および手動油圧操作弁を電磁弁に交換したことであり，これに5組の超音波センサと制御装置を追加した。制御装置は8ビットのCPUと3枚の入出力基板で構成され，プログラムは機械語で約4kバイトである。ブーム高さの制御方法は，あらかじめ制御する変化量と油圧シリンダの伸縮量の関係を求めておき，設定目標の高さとの偏差に応じ，電磁弁の作動時間を演算して制御出力を決める方法を採用した。

4．ブーム高さの制御装置の動特性実験

高さセンサを変化させる外乱が急激に変化する場合となめらかに変化する場合について制御装置の動特性を求めた。前者に相当するステップ状応答実験において，入力の高さ変化量を20～80㎝にした場合，第1・第2ブームは立ち上り時間2sec以内で応答し，ブームは3～4sec後に整定した。入力の高さが正弦波状に変化する後者の場合，ブームは階段状の高さ変化を連続的に繰り返して追従した。第1・第2ブームの応答周波数はほぼ0.3Hzとなり，圃場作業調査で明らかにしたブーム高さの変動を低減させる周波数と一致し，制御条件を満たした。

圃場実験においては，機体のローリングがブーム高さを変化させたが，作業速度0.5～1.5m／sの実験範囲で，ブーム高さ制御法は無制御に比べて誤差を25～45％低下させた。特に，標準速度1m／sの条件ではブームをほぼ設定高さに維持することができ，制御効果は十分に実証された。しかし，標準速度以上では，機体に作用するロール角速度が0.05rad／s以上になるため，超音波センサでブーム高さを検出して制御する方式だけでは制御遅れの現象を回避できない。

5．トラクタのローリング予測とブーム高さ制御

前項のブーム高さ制御の遅れを解消するために，トラクタ前車軸の上下動から機体のローリングを予測し，機体がローリングする直前にブーム高さを修正する予測制御法を考察した。前車軸

のロール角を検出する方法は，前車軸に傾斜計を取付ける傾斜角方式並びに機体と前車軸の相対角の変位計によって求める相対角方式の２種類を採用した。振り子懸架式前車軸は機体とほぼ独立して動き，機体のロール角は後輪によって規定されるため，二つの計測方式で得た前車軸のロール角と機体のロール角は軸距通過時間に相当する位相差と合致し，ローリング発生前にロール角が予測できることを実証した。

本論文で用いた予測制御法は，傾斜角または相対角方式で検出した前車軸のロール角から，後輪通過時に起きるブーム高さの変化量を算出し，これと超音波センサによって検出されるブーム高さを加算して，後輪が起伏に入る直前にブーム制御出力を出すものである。

前項のブーム高さ制御では，機体がローリングしてブーム高さが変化してから，超音波センサの信号によって制御を開始したが，予測制御法ではこのような制御遅れは起きず，前者に比べて制御精度は第１ブームで46～62％，第２ブームで11～49％向上した。標準速度１ｍ／ｓ，機体のロール角速度が0.05rad／ｓ以上になる圃場実験の結果を見ると，前者の高さ制御方式の第２ブームは制御目標の許容範囲±15cm以内に全測定点の87％が入ることにとどまったが，予測制御法では全測定点が許容範囲に収まった。かりに，全ブームの高さ測定点が上の許容範囲に85％入ることを想定するならば，予測制御法は作業速度を約２ｍ／ｓまで増加できると推定された。

本研究で開発したブーム高さ制御方式は若干の制御遅れが見られるものの，作業者の手動調節を不要とし，簡便な高さ制御法としての効果が期待できる。また，トラクタのローリングを予測してブームを制御する予測制御法は，制御遅れがほとんど見られず，高い作業精度と操作性を示し，作業速度を高め，能率を向上させることも可能にした。したがって，本研究のブーム高さ制御法は一般トラクタに応用でき，防除作業改善のための有効な技術手段となる。

学位論文審査の要旨

主　査　　教　授　　南　部　　悟

副　査　　教　授　　寺　尾　日出男

副　査　　助教授　　高　井　宗　宏

本論文はその成果を７章，図76，表24，引用文献などを含む総頁202の和文論文にまとめている。別に参考論文７編が添えられている。

本研究はトラクタ直装式ブームスプレーヤによる防除作業の精度向上と操作の省力化を目的とし，超音波センサ，マイクロコンピュータ及び高さ調節機構によるブーム高さ自動制御装置を開発したものである。

畑作地帯に普及しているブームスプレーヤは，その大型化に伴い，トラクタのローリングによりブーム高さが変動することから，これが薬液の散布むらの原因となっている。本論文は，まず，農家におけるブーム高さの変動を実測調査し，高さ検出センサの作物別特性を明らかにして，このための制御装置を試作した。次に，トラクタのローリング予測法を考案し，その原理及び制御の確認実験を行い，その有効性と実用性について実証した。

第１章は緒論であり，この種の防除機の発達経過，ブーム高さ調節に関する研究の経緯，研究の目的について述べている。

第２章はブーム高さの圃場調査と計測値分析であり，作業者は常に左右のブームを振り向き，ほぼ20m進行ごとに手動で調節している実態を調査分析し，その調節高さの変動幅は±50cm以上にも達していることを指摘した。

第３章は市販の超音波センサによるブーム高さの検出特性実験であり，その検出高さは植物葉面直径にほぼ比例し，センサ高さに対する葉面直径の比は５／100以上あれば検出可能となった。植物葉の超音波反射率は0.84～0.94となることから，ブーム高さの計測に十分な値が得られた。作業速度は，0.5～1.5m／ｓの範囲でセンサの検出に支障のないことを確認した。

第４章はブーム高さ制御装置の開発実験で，供試機械は中央及び左右各２本の５本ブームで構成する全長15mの両竿型である。ブーム高さは専用油圧シリンダによってブームごとに調節できる。制御のため，油圧回路の左右独立化，油圧ポンプの吐出量増加，電磁弁を採用し，上の５本ブームに超音波センサと制御装置を追加した。ブーム高さの制御方法は，設定高さと実測値との偏差に応じて，電磁弁の制御出力を決める方法を採用し，自動化が容易となった。

第５章はブーム高さ制御装置の動特性実験で，高さセンサを変化させる外乱が急激に変化する場合と，なめらかに変化する場合について制御装置の動特性を求めた。前者に相当するステップ状応答実験では，入力高さ20～80cmに対し，ブームの立ち上がり時間は２秒以内で応答し，３～４秒後に整定した。整定時間は入力高さの変化に比例して増減した。後者では，入力高さ変化に対し良好に追従した。第１・第２ブームの応答周波数は，圃場作業調査での周波数0.3Hzとほぼ一致し，この値がブーム高さ変動を低減させる周波数と一致した。

圃場実験においては，0.5～1.5m／ｓの作業速度で，無制御に比べて誤差を25～45％低下させた。特に標準速度１m／ｓの条件下では，この自動制御法の制御効果は十分に実証された。しか

し，標準速度以上では，機体に作用するロール角速度が0.05rad／s以上になるため，超音波センサで高さを検出する制御方式のみでは制御遅れの現象は回避できない。

第6章ではトラクタのローリング予測とブーム高さ制御の実験で，トラクタ前車軸の上下動からローリングを感知し，後者軸の通過直前に高さを修正する予測制御法を考案した。前車軸のロール角検出には，傾斜角方式と相対角方式を採用した。双方による前車軸のロール角と機体のロール角は，前後車軸の通過時間に相当する位相差と合致し，ロール角が予測できることを実証した。

本章の予測制御法によれば，前章のような制御遅れはなく，制御精度は第1ブームで46～62%，第2ブームで11～49%向上した。標準作業速度による圃場実験の結果，全測定点が許容範囲の±15cm以内に収まった。すなわち，第5章の高さセンサのみで制御した場合では，機体がローリングを始めてブーム高さが変化してから，センサの信号によって制御が開始されたのに対し，この予測制御の場合は，この制御遅れは著しく改善され，さらに作業速度を上げ得る有利性が期待できる。

本研究で開発したブーム高さ制御方式は，作業者の繁雑さと熟練による手動調節を全く不要とし，予測制御法は一般のトラクタに応用でき，制御遅れがなく，高精度でかつ作業速度を上げ得ることを実証したものである。これらの成果は，学術上重要な新知見を加えたものであり，畑作物の防除作業技術の改善に対し高く評価される。

よって，審査員一同は，別に行った学力確認試験の結果と合わせて，本論文の提出者佐藤禎稔は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。