

農用トラクタの自動作業機能に関する研究

I. 播種深さの制御システム

小松 實*・黄 茂森*

平成4年6月30日受付

Studies on the Automatic Working Mechanisms of Agricultural Tractor

I. A Control System for Seeding Depth

Minoru KOMATSU* and Mao-sen HUANG*

This paper report on the development of a new seeding system, to which the seeding depth was adjusted by soil moisture. Soil moisture was measured as electric resistance by a soil moisture sensor, and seeding depth was controlled by electric circuit. And the main performance factors of influence on seeding such as soil moisture, working speed, seeding depth and seeding rate were recorded in the meantime. The data obtained were treated and analysed by computer so as to set up high performance automatic seeding system.

I. 緒 言

種子の発芽に関連深い土壌含水比を電気抵抗法により連続的に計測し、その土壌含水比の多少に応じて、作物種に最適な播種深さを実現することを目的とする制御システムの開発研究を行った。

本報では、実作動下の土壌含水比の状態に対応した機械の作動関係を明確にするため、関連する主要データを同時に収集記録し、コンピュータ処理して描出させた基本性能線図に基づき、システムの作動性能を検討した結果について報告する。

II. 自動制御システム

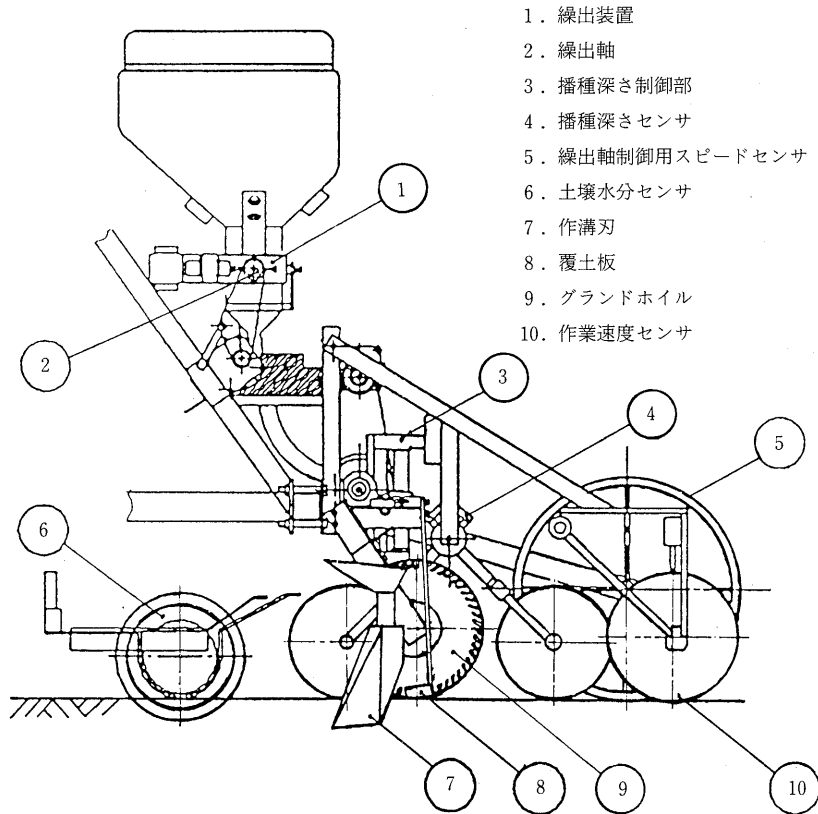
1) 概要

供試した播種システムを第1図に示した。本供試機はT社製TS240型トラクタ用播種機を改造したもので、三点リンクヒッチによりトラクタの後部に装着し、播種システムの自重の一部はグランドホイールによって支持されるセミマウント方式にしてある。

土壌水分センサリを播種部に取り付け、土中に貫入してけん引移動させ、土壌含水比を測定する。このセンサは直径230mm、厚さ3mmのアルミニウム材からなるディスク形電極を持つ。電極接地時の電極間の土壌の電気抵抗

*鳥取大学農学部農林総合科学科生産環境工学講座

* Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University



第1図 供試播種システム構造図

値を測り、R-Vコンバータを介し、アナログ出力する。

第2図は、播種深さ制御部の構造を示すものである。フレームに固定されたラインベアリングで支えられた上下動桿に作溝刃が取り付けられている。土壌水分センサからの出力データに応じて、コントロールモータを回転させ、作溝刃を上下させる。播種機に装着したグランドホイールにより、基準となる作溝刃の土中貫入深さを設定する。

播種深さを検知するため、以前に開発した引張変換型耕深計²⁾を利用した。この播種深さセンサはアクチュエータに近い中央部に連結され、四節リンク機構を介して播種深さの垂直的な変化量を引張ゲージのひずみによって測定するものである。

各センサの概要を第1表に示す。

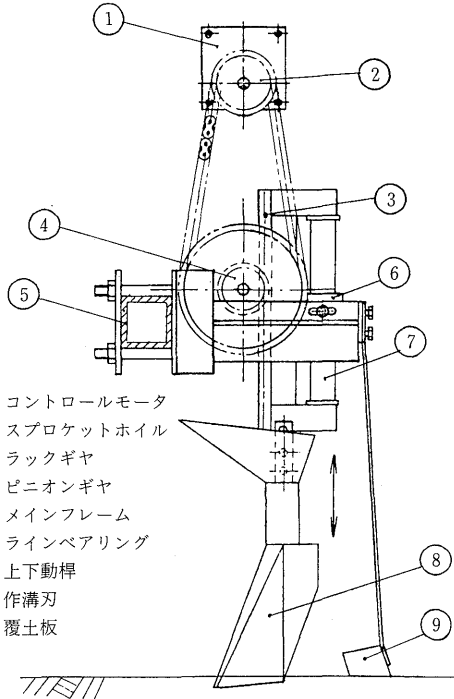
このシステムには、均一な播種率を保つために種子操出量制御部³⁾を利用している。作業速度の変化に応じた種子繰出軸の回転によって繰出量を制御し、播種率を一

定にするものである。

2) 計測方法

第3図は計測システムである。播種深さを制御するための主因子としての土壌含水比、従属因子としての播種深さ、更に付帯する機能の作動状態因子である作業速度、繰出軸の回転数及びコントロールモータのオン・オフの五つの因子について同時計測した。

各因子は、それぞれのセンサにより計測され、アナログ電圧としてデータレコーダに集録される。集録されたデータはA-Dコンバータ(32ch, データバッファ16Kデータ, サンプリグスピード $25\mu\text{s}$ (40KHz) $\sim 0.82\text{s}$ (1.2Hz), 分解能12bit)を経て、テクニカルコンピュータTEAC PS9816(CPU: モトローラMC6800, クロック周波数8MHz, メモリ容量2.5MB)によって処理され、基本性能線図として描出される。この線図は、原波形を主とするものであり、システム作動の同期的な傾向を把握するためのものである。



1. コントロールモータ
2. スプロケットホイール
3. ラックギヤ
4. ピニオンギヤ
5. メインフレーム
6. ラインベアリング
7. 上下動桿
8. 作溝刃
9. 覆土板

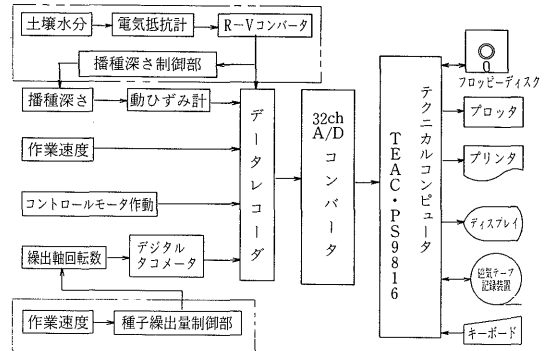
第2図 播種深さ制御部の構造

第1表 供試センサの概要

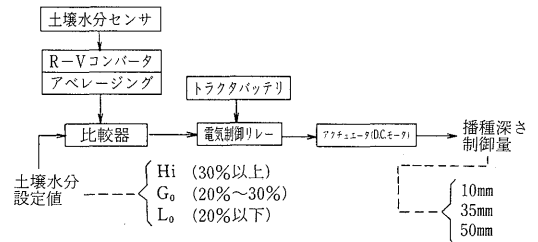
センサ (測定因子)	形式	概要
土壌水分センサ (土壌含水比)	回転円板電極	電気抵抗式 含水比測定域 12.0%~46.0%
播種深さセンサ (播種深さ)	ひずみゲージ	引張変位式 出力 1V/250mm
回転センサ (繰出軸回転数)	磁気式	感度 50mV/mT
作業速度センサ (作業速度)	タコメータ ゼネレータ	電圧発生式 出力 1.36(m/s)/V

第2表 センサの校正式

測定因子	換算式	概要
土壌含水比	$Wc = 118.3V_o^{-0.307}$	Wc: 土壌含水比 (%) V _o : 出力電圧 (mV)
播種深さ	$Sd = 9.445 + 0.242V_o$	Sd: 播種深さ (mm) V _o : 出力電圧 (mV)
作業速度	$Ts = 0.022 + 0.001V_o$	Ts: 作業速度 (m/s) V _o : 出力電圧 (mV)
繰出軸回転数	$Fs = 0.007 + 0.048V_o$	Fs: 繰出軸回転 (rpm) V _o : 出力電圧 (mV)



第3図 計測システム図



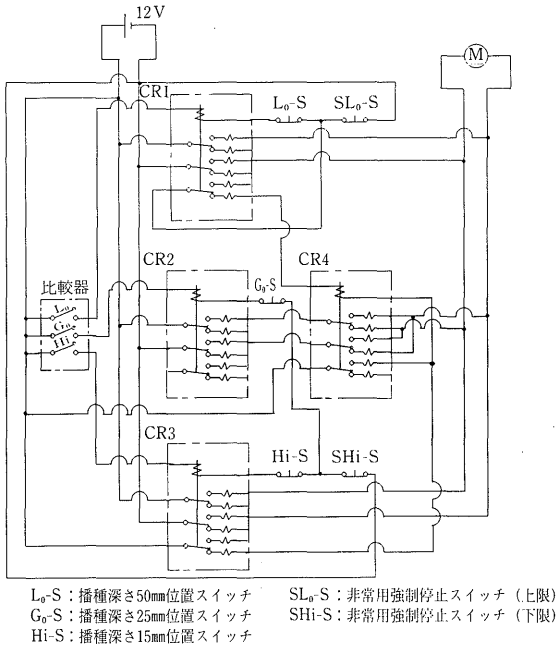
第4図 播種深さ制御システム図

センサの出力値と実際値の関係を第2表に示す。

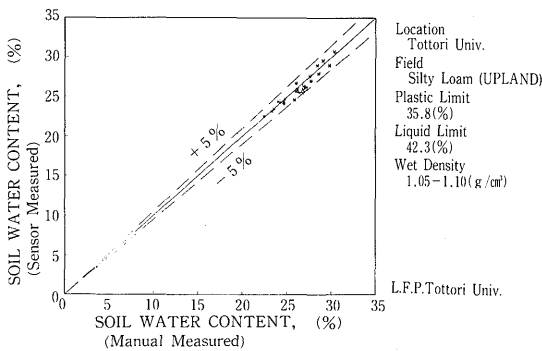
3) 播種深さの制御

第4図は播種深さ制御システム図である。土壌水分センサより得られたデータはアベレージングを施され、比較器に入力される。ここで予め入力された土壌含水比のHi, Go, Lo相当の設定値と比較され、該当する信号に対応した電気制御回路のリレー部を作動させ、コントロールモータを対応する回転方向に起動させる。ピニオンギヤとラックギヤによって直線的な上下運動を行うアクチュエータに伝導され、作溝刃が設定された対地深さを實現し、そこに播種される。土壌含水比並びに播種深さと種子の発芽率との関係は、事前の予備実験によって確認され、その結果から土壌含水比20%未満では、播種深さ50mm, 20%~30%では35mm, 30%以上では10mmの播種深さとし、このシステム実験に利用した。

アクチュエータの動力源であるコントロールモータの電気制御リレーを第5図に示す。比較器のLo, Go, Hiは、土壌含水比の設定値に対応したコンパレータの出力部接点で、常に三つの内の一つがONの状態となっており、回路に通電して対応したリレーを作動させ、播種深さコントロールモータを設定した播種位置 (Lo-S, Go-S, Hi



第5図 電気制御リレー



第6図 土壌含水比のセンサ測定値と人手測定値との比較

-S)まで回転させる。CR1, CR2, CR3は比較器設定値Lo, Go, Hi対応作動リレーで, CR4はGo状態になった時のコントロールモータの回転方向を切り換えるためのリレーである。なお, コントロールモータの誤動作の発生に対しての非常用強制停止スイッチ (SL₀-S, SHi-S) を設置してある。

土壌水分センサからの直接データには, 圃場の形状や大きさ, 土壌の状態, 均一度などを考えるとかなりの外乱変動が予測される。データに含まれる瞬時変動の影響

を少なくし, より安定したデータを得るため, アベレージング処理を行った。

入力データが制限回数に達しない場合は, アベレージング開始からその時点までの入力データ数で平均化がなされる。入力データ数が設定回数以上になると, 古いデータを順次に消去し, 最新の入力データが取り込まれ移動平均値が出力される。入力データが先の測定範囲を超えた時, それまでの測定データを消去し, 新たな水準範囲で平均の取り直しが行われるものである。

土壌水分センサ測定値と人手測定値の比較を第6図に示す。この結果によるとセンサ測定値と人手測定値の差がおよそ±5%の範囲で計測されていることが分かる。

III. システム作動実験

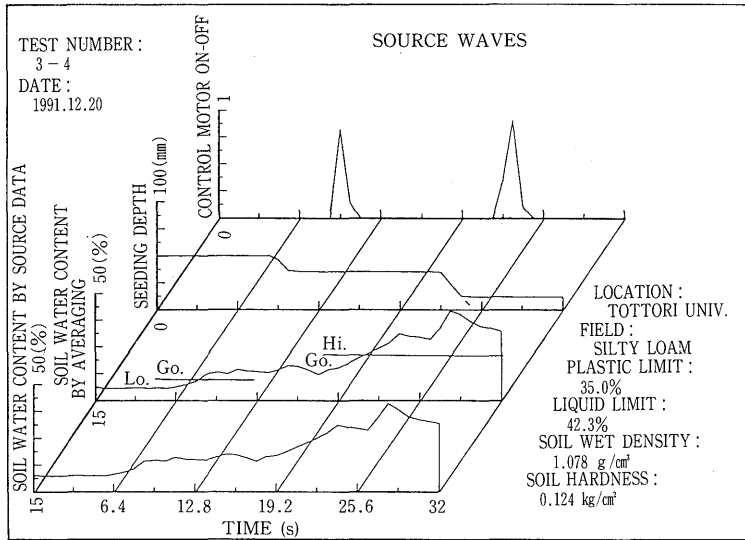
本システムの基本性能を知るために室内における作動実験を行った。

膨軟化したシルト質土壌(粘土分15.0%, 塑性指数9.2, 塑性限界35.8%, 液性限界42.3%, 比重1.40, 単位容積重1.05~1.10g/cm³)からなる長さ300cm, 幅60cmの土槽を用いて, 土壌含水比を19%, 24%, 30%の三つの水分区に設定し, その土槽内で土壌水分センサを走らせ, 作溝刃の作動状態を検討した。

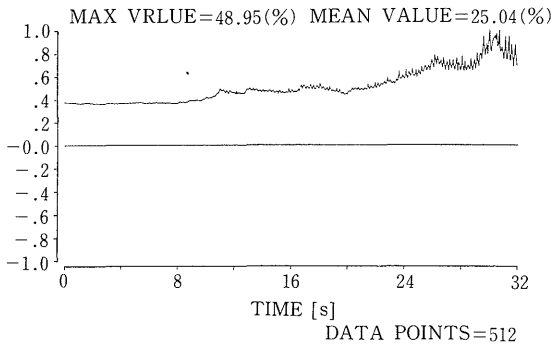
作溝刃の上下運動とその制御を確実に計測するため, 作溝刃が上下運動する時の下限には, 特に作溝刃の作動に過大な抵抗が加わらないよう配慮した。この実験では, 土壌水分の生データとアベレージングデータ (50ms毎にサンプリングし, 20個のデータを平均化する), コントロールモータのオン・オフ, 播種深さなどを計測した。

第7図は, 実験で集録したデータを二次的にコンピュータ処理し, 全測定データを時間経過について立体線図として描出したものである。土壌水分センサからのデータが比較器に達し出力された時, 即座にコントロールモータが起動し, 対応した播種深さに制御されていることが認められる。

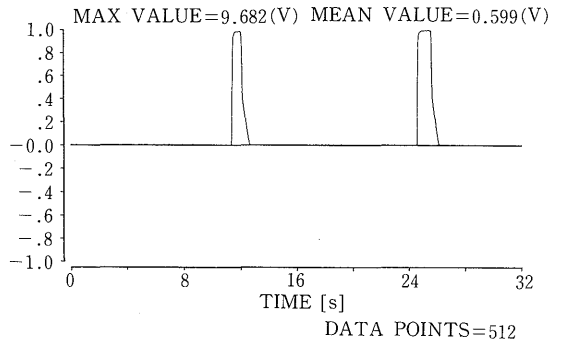
第8図は, 土壌含水比のアベレージングを施したデータを描出したものである。土壌含水比の波形変動が小さければ, アベレージングの効果は明らかではないが, 波形変動が大きくなるにしたがい, その効果が表れ, 全体の水準を比較的滑らかな変化として取得することができた。アベレージングにより圃場内の土塊の大小, 雑物の多少, 土壌の単位容積重差などからくる変動要因の影響を少なくし, より高い精度で, 確実な制御を実現することができた。土壌水分センサからの出力は18.52%, 22.49%, 33.07%である。



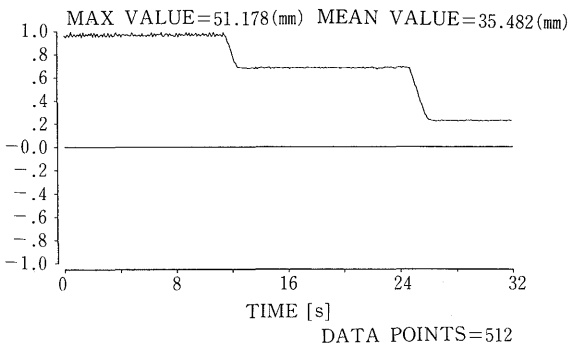
第7図 システム作動線図



第8図 土壌水分センサによる土壌含水比の測定線図



第10図 コントロールモータのオンオフ作動線図



第9図 制御播種深さ線図

第9図は、前第8図によるデータによって制御された播種深さの作動変化を示したものである。3段階の平均播種深さはそれぞれ49.7mm, 34.8mm, 11.4mmであり、設定値との誤差はそれぞれ-0.6%, -0.6%, +14%である。

第10図は、コントロールモータのオンオフ状態の記録である。土壌含水比データが変化してから、実動まで0.41秒から0.53秒の遅延時間がある。これらのほとんどは電気制御回路における損失時間である。また、コントロールモータへの通電時間は、15mm移動では1.271秒、25mm移動で1.537秒程度であり、作溝刃の上下速度はおよそ11.8~16.3mm/sである。

IV. 摘 要

農用トラクタの自動作業機能として、土壌水分を制御因子とする播種深さの自動制御システムについて開発研究を行った。本報では、システムの構成と作動状態について報告した。連続計測できる土壌水分センサを使用し、制御データのアベレージングによって、かなり高い精度の播種深さ制御を行うことのできる可能性を見出すことができた。実用における制御システムの作動範囲や、作業速度並びに圃場条件に対応したデータ取り込みなどについては逐次報告の予定である。

終わりに、本研究に御協力いただいた当時の専攻学生

井原基安、松本明広、西村彰浩の各氏に深甚の謝意を表す。

文 献

- 1) 小松 實・井原基安：ソイルパラメータの自動計測。農業機械学会関西支部報, 71 5～8 (1992)
- 2) 小松 實・田中 孝：ロータリ耕うん機による整地耕うん(4)。農業機械学会誌, 35 21～24 (1973)
- 3) 小松 實・大塚浩史：走行速度対応の施肥システムの開発。農業機械学会関西支部報, 64 132～133 (1988)