

学位論文題名

Seeding Depth Control System for Zero Tillage Crop Cultivation

(不耕起ほ場のための播種深さ制御システムに関する研究)

学位論文内容の要旨

The main aim of this study was to design, develop, and evaluate a seeding depth control system that would allow selected conventional tillage seeders to place seeds at correct seeding depth in zero tillage systems. The specific objectives of the study were: (1) to assess the seeding performance of the conventional tillage seeder in order to formulate the different design models of the seeding depth control system; (2) to design and develop the prototypes of the design models; and (3) to evaluate the seeding depth performance and seedling emergence performance of the different prototypes.

A seeder (Tabata TJEV-4LR, Japan) with four seeder units commonly used for conventional tillage seeding in Hokkaido was tested. Each seeder unit has a furrow opener attached under it and the depth of the furrow opener specifies the actual seeding depth. The test seeder was evaluated based on the seeding depth and seed spacing performance in an intermixed plot of artificial zero tillage and conventional tillage treatments. The test field was composed of silt-clay loam soil (silt 50.5%, clay 28.9%, sand 19.7%). The test field was 160 × 3 m in area; divided into nine equal plots. Three tillage treatments with three replication each were applied, namely, conventional tillage (0.1 MPa, 32.8 %d.b.), artificial zero tillage low strength (0.4 MPa, 8.0 %d.b.), and artificial zero tillage high strength (0.7 MPa, 30.0%d.b.). The crop seeded was soybean (*Glycine max. L.*) at 100 mm target seeding depth and 200 mm seed spacing. The results showed that the seeding depth was significantly shallower on the artificial zero tillage plots with 92.7 ± 2.25 on the low strength plot and 58.3 ± 10.40 mm on the high strength plot compared to the 128.3 ± 16.07 mm of the conventional tillage plots. However, seed spacing was not affected by the different tillage treatments. The poor soil penetration by the furrow opener and the variability of the soil profile affected the seeding depth performance of the test seeder.

To improve soil penetration and handle soil profile variability, a hydraulics-based down-pressure control system that automatically adjusts the seeding depth based on the soil profile was installed on a single seeder unit. Two design models, namely seeder unit control and furrow opener control, were conceptualized. In seeder unit control, the control system regulates the entire vertical movement of a single seeder unit to adjust indirectly the depth of the furrow opener. In furrow opener control, the furrow opener was detached and isolated from the seeder unit and the control system adjusts directly its vertical movement. The design models were implemented by developing their prototypes. Each prototype is a single seeder unit equipped with the depth mechanism (mechanical parts of the system) and control module that consists of sensors, actuators, and controllers. A single prototype was developed for seeder unit control while two prototypes were developed for furrow opener control – namely twin rail type and monorail type. The three prototypes had similar

implementation of the control module but differed in the implementation of the depth mechanism.

The actuator of the prototypes is a hydraulic cylinder (35 mm piston diameter, 20 mm rod diameter, 145 mm stroke) coupled with an electro-hydraulic valve (12 L/min flow rate). The calculated push force of the cylinder at no load was 16 kN and 10 kN for the pull force. The calculated push speed was 208 mm/s while the pull speed was 309 mm/s. A cylinder stroke sensor (20 mm rod diameter, 145 mm stroke) attached in tandem with the cylinder measures the linear displacement of the cylinder stroke. The sensor for scanning the soil profile is an ultrasonic sensor (Keyence UD320) and the controller is a personal computer (IBM T40, 1.77 GHz) that connects the valve driver circuit and the ultrasonic sensor amplifier (Keyence UD300) by an 8-bit input-output and 16-bit analog-digital interface card. A control program written in C#.Net (Microsoft) monitors the soil profile on the field via the ultrasonic sensor at 100 ms sampling intervals. The control program applies a differential comparison of the soil profile on each sampling interval to generate the control signals for adjusting the target seeding depth via the valve and the cylinder.

The seeding performance of the prototypes was then evaluated based on the seeding depth and seedling emergence performance. Several tests were conducted involving the seeding of soybean and sugar beet (*Beta vulgaris L.*) on an intermixed plot of conventional tillage and zero tillage treatments from 2008 to 2011 at the Experiment Farm of Field Science Center for Northern Biosphere in Hokkaido University. The target seeding depth for soybean was 5 cm and 3 cm for sugar beet. For each prototype, the seeding depth and seedling emergence performance on the controlled row was compared with the uncontrolled row using *t*-tests and ANOVA with post-hoc tests at 0.05 significance level.

For seeder unit control, the controlled row for the sugar beet crop had a mean seeding depth of 2.3 ± 0.66 cm in 2008, 2.9 ± 0.07 in 2009 and 3.15 ± 0.06 cm in 2010 on the zero tillage plots and were significantly different compared to their uncontrolled row counterparts. The same was achieved with soybean in 2010 (3.9 ± 0.62 cm) and 2011 (3.1 ± 0.55 cm) on the zero tillage plots. For the twin rail type, the zero tillage plots of both crops showed that, the controlled row of sugar beet in 2011 was 2.6 ± 0.36 cm and for soybean in 2010 was 5.2 ± 0.83 cm and 3.7 ± 0.93 cm in 2011 had a more uniform seeding depth along the seeding row compared to the uncontrolled row. For the monorail type under both tillage treatments of soybean, the controlled rows were significantly closer to the target seeding depth of 5 cm compared to the uncontrolled rows, with conventional tillage having a mean seeding depth of 5.3 ± 0.53 cm and 3.6 ± 0.97 cm for zero tillage.

The seedling emergence performance of seeder unit control from 2008 to 2011, twin rail type in 2010 and 2011, and monorail type in 2011 all showed higher emergence on the zero tillage treatments as compared to the uncontrolled row. The application of the control system implemented by each prototype ensured that the seeds were correctly placed at the desired seeding depth and that uniform seeding depth was achieved based on the soil profile. In effect, seeds were able to germinate properly resulting in higher emergence rate compared to the uncontrolled row.

Henceforth, the study had successfully designed, developed, and evaluated two design models and three prototypes of the control system, which may be installed on a conventional tillage seeder. The monorail type of furrow opener control showed the best seeding performance in terms of stability of depth mechanism, faster response time, and accuracy in placing the seeds at the correct seeding depth.

学位論文審査の要旨

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 査 | 准教授 | 片 岡 | 崇 |
| 副 査 | 教 授 | 柴 田 | 洋 一 |
| 副 査 | 教 授 | 野 口 | 伸 |
| 副 査 | 准教授 | 石 井 | 一 暢 |
| 副 査 | 講 師 | 岡 本 | 博 史 |

学 位 論 文 題 名

Seeding Depth Control System for Zero Tillage Crop Cultivation

(不耕起ほ場のための播種深さ制御システムに関する研究)

本論文は、全7章からなる総頁数186の英文論文である。論文には、図76、表25、引用文献104が含まれている。別に参考論文2編が添えられている。

本研究の目的は、耕うん整地後に使用される慣行型の施肥・播種機を不耕起用播種機として適用できるように播種深さ制御システムを追加装備させ、その播種性能を評価することである。実際、外国製の不耕起用播種機が市販されているが、110kW以上のトラクタが必要とされ、我が国の農業生産規模に適合しているとは言い難い。ここでは、播種深さ制御システムのプロトタイプを3タイプ開発し、その播種性能を評価した。

北海道で一般的に使用されている4畦真空式施肥・播種機を供試機とした。これは、耕うん整地後に使用することを前提としており、播種深さは播種ユニットと鎮圧輪の相対的な高さ関係から調節される。供試機の基本性能を把握するため、北海道大学生物生産研究農場（粘土ローム土壌）に、(1)碎土整地ほ場（プラウとロータリ、土壌硬度0.1MPa）、(2)(1)のほ場を心土ローラで締固めたほ場（土壌硬度0.4MPa）、(3)不耕起ほ場（土壌硬度0.7MPa）を準備して大豆の播種実験を行った。播種深さを10cmに設定した結果、(1)ほ場では 12.8 ± 16.1 cm、(2)ほ場では 9.3 ± 2.25 cm、(3)ほ場では 5.8 ± 1.0 cmの播種深さとなった。土壌硬度が播種深さ、つまり播種溝形成に影響を及ぼし、供試機は、不耕起ほ場では安定した播種深さが得られないことが確認された。播種間隔については、いずれのほ場でも設定値の15cmに対して有意な差はなかった。

不耕起播種の場合、播種ユニットは不整地な土壌表面の凹凸で飛び跳ねずに、常に表面に沿って走行すること、播種溝切器に十分な土壌貫入力を与えることが必要である。そこで、油圧シリンダ（ピストン径35mm、ストローク145mm）を播種ユニットに取り付けて、トラクタの油圧によって播種ユニットを強制的に押し下げ／引き上げ

るシステムを開発した（これを、1号機とする）。超音波センサを用いて土壌表面の凹凸をリアルタイムで計測し、播種ユニットが常に土壌表面と一定の間隔を保つ制御システムを構築した。機械的な応答特性は、トラクタの外部油圧の流量 12L/min において、押し下げ時及び引き上げ時の速度はそれぞれ 208mm/s, 309mm/s であった。これは、通常の播種作業速度 1.5m/s に十分対応できる。しかしながら、供試播種機の 4 つの播種ユニット（質量 約 45kg）を同時に操作するには、供試播種機の適応サイズのトラクタ（38kW）では油圧流量が不十分であった。このため、播種溝切器部分のみを油圧システムで押し下げ／引き上げるシステムに改良した。

基本的なシステム構成は同じである。播種溝切器部は 1 つ 4kg 程度なので、4 畦分同時に駆動させることは供試トラクタサイズで十分対応できる。播種溝切器部を播種機のフレームに取り付ける際、ツインレール方式（2 号機）とモノレール方式（3 号機）を採用して比較した。このふたつの違いはレール部分の剛性で、土壌硬度の大きい不耕起ほ場への播種溝切器の貫入性能について検討した。

播種溝切器には、ホータイプを採用した。ダブルディスク、タイン、ホーの 3 種類の溝切器による溝切り状態及び溝の形状を高速度カメラで検討したところ、ホータイプが土分け量および後方の土の戻り量も少なく安定した播種溝を形成することが分かった。

3 つの開発機について、播種試験を北海道大学生物生産研究農場にて繰り返し行った。試験は、1 号機は 2008 年から 2011 年、2 号機は 2010 年および 2011 年、3 号機については 2011 年に実施した。ほ場条件は上記の(1)から(3)で、大豆とテンサイを設定は播種深さ 5cm, 3cm で播種した。この時、供試播種機の 1 畦分の播種ユニットは比較のために制御機構のないオリジナルセッティングのままとした。(3)の不耕起ほ場における播種試験のみ、ここに示す。1 号機の結果は、テンサイについて $2.3 \pm 0.66\text{cm}$ (2008 年), $2.9 \pm 0.07\text{cm}$ (2009 年), $3.2 \pm 0.06\text{cm}$ (2010 年), 大豆について $3.9 \pm 0.62\text{cm}$ (2010 年), $3.1 \pm 0.55\text{cm}$ (2011 年), 2 号機は、テンサイについては $2.6 \pm 0.36\text{cm}$ (2011 年), 大豆については $5.2 \pm 0.83\text{cm}$ (2010 年), $3.7 \pm 0.93\text{cm}$ (2011 年), 3 号機はテンサイについては $5.3 \pm 0.53\text{cm}$, 大豆については $3.6 \pm 0.97\text{cm}$ であった。全く制御を行っていないオリジナルセッティングの播種ユニットと比べ、いずれの制御システムも設定値に近い安定した播種深さであり、両者の間に有意な差があった。また、全ての試験において出芽状態を観察すると、いずれの制御システムも制御なしと比べて有意な差があり、良好な出芽を示した。不耕起ほ場で、制御なしで播種した場合は極端に出芽数が少なかった。各開発機間の出芽状態を検討すると、高剛性であるモノレール方式で播種溝切器を取り付けた 3 号機で高い出芽傾向があった。播種溝切器を播種機のフレームに高剛性で取り付けることによって、より安定した播種溝形状が得られたと言える。

以上のように、本研究では、我が国で広く普及している耕うん整地後用の施肥・播種機の播種溝切器を油圧により上下動させる機能を付加することにより、不耕起播種機として適用できることを示した。同時に、不耕起播種に求められる要件を見出した。

よって、審査員一同は、MARLOWE EDGAR CORTES BURCE が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。