

# 湿潤土壌に対応した大豆用高速畝立て播種機の開発

## ディスクによる畝立てと播種機構の検討

|       |                                                                                         |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 誌名    | 農業食料工学会誌 = Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers |
| ISSN  | 2188224X                                                                                |
| 著者名   | 重松,健太<br>山田,祐一<br>後藤,隆志<br>難波,和彦                                                        |
| 発行元   | 農業食料工学会                                                                                 |
| 巻/号   | 81巻2号                                                                                   |
| 巻号補足  |                                                                                         |
| 掲載ページ | p. 104-111                                                                              |
| 発行年月  | 2019年3月                                                                                 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 湿潤土壌に対応した大豆用高速畝立て播種機の開発\*

— ディスクによる畝立てと播種機構の検討 —

重松健太<sup>\*1†</sup>・山田祐一<sup>\*1</sup>・後藤隆志<sup>\*2</sup>・難波和彦<sup>\*3</sup>

## 要 旨

近年我が国では、大豆の増産が奨励されているが、播種適期が2週間程度と短いことから、現場からは播種作業の高速化が求められている。加えて、大豆は水田転換畑への作付けが8割以上を占めることから、湿潤土壌への対応も必要である。既に耕うん同時畝立て播種機が開発されているが、畝立てにロータリを使用するため作業速度が0.3~0.6 m/sと遅く、湿潤土壌への対応も課題であった。そこで、本研究ではディスク式中耕培土機をベースとすることで、作業速度の向上と湿潤土壌への対応を企てた。その結果、最高2 m/sの速度で畝立て作業が可能で、さらに高速播種機構と組み合わせた基礎試験機では、1.5 m/sまでの速度で安定した播種が可能となった。

[キーワード] 大豆, 播種機, 畝立て播種, 高速化, 湿潤土壌

Development of High Speed Ridge Forming Seeder for Soybeans  
Adapting to Moist Soil Conditions\*

— Study of Disk Cultivation Ridging and Seeding Mechanism —

Kenta SHIGEMATSU<sup>\*1†</sup>, Yuichi YAMADA<sup>\*1</sup>,  
Takashi GOTOH<sup>\*2</sup>, Kazuhiko NAMBA<sup>\*3</sup>

## Abstract

In recent years, the Japanese government has encouraged soybean planting. However, the suitable seeding period is only for 2 weeks, and more than 80 % of soybean fields are converted from rice paddy. The purpose of this study was to improve existing seeding techniques for rapid and stable seeding of soybean in moist soil conditions. A machine that combines rotary cultivation, ridging, and seeding has previously been developed. However, operation speeds were as slow as 0.3-0.6 m/s, and seeding was not effective in the moist soil conditions. In this study, we tested an experimental machine with disk cultivation that achieved a maximum ridging speed of 2 m/s and a new, high seeding speed of 1.5 m/s, which ensured stable seeding.

[Keywords] soybeans, seeder, ridge forming-seeding, speeding up, moist soil conditions

## I 緒 言

大豆は日本人の食文化と密接な関係を持つ。国産大豆

は外観特性や品質の良さから加工業者からの需要が高い。また、消費者の食品に対する国産嗜好の高まりから、量販店で販売される豆腐、納豆において「国産」表示の

\* 2014年5月 第73回農業食料工学会年次大会（沖縄県中頭郡西原）にて一部講演

\*1 会員, (国研)農業・食品産業技術総合研究機構 農業技術革新工学研究センター（〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町1-40-2 TEL 048-654-7000）

NARO, Institute of Agricultural Machinery, 1-40-2, Nisshin-cho, Kita-ku, Saitama-shi, Saitama 331-8537, Japan

\*2 会員, 同上, 現在:退職

\*3 会員, 岡山大学大学院環境生命科学研究科（〒700-8530 岡山市北区津島中1-1-1 TEL 086-252-1111）

Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, 1-1-1 Tsumishima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530, Japan

† Corresponding author : sigematu@affrc.go.jp

商品の売上げが増加傾向である（農林水産省，2017）。

需要が高まっている国産大豆であるが，品目別の自給率ではわずか7%であり，生産の拡大が強く望まれている。そのため，政府は2015年に閣議決定された「食料・農業・農村基本計画」（農林水産省，2015）において，大豆の生産努力目標を生産量32万t，作付面積15万ha，単収215kg/10aに設定し，生産振興を図ることとしている。

国産大豆の作付面積は，最近10年は14万ha前後を推移しており，政府目標に近い水準となっている。国産大豆は米の転作作物の特徴を持つことから2017年には都府県では93%が田作（水田転換畑）である。一方，単収は，最近30年の全国平均で170kg/10a前後を推移し，向上する傾向が見られない。さらに，年次変動が大きく，単収が3割程度落ち込む年が見られる。

生産者にとって，単収が低く，収量の年次変動が大きいことは，所得が安定しないことにつながり，生産意欲が低下する原因となっている（増田，2011）。そのため，国産大豆の生産拡大のためには単収の向上と安定化が最も重要な課題である。

大豆単収を向上させ，安定化させるには，生育初期の湿害回避が有効とされる（杉本ら，1988）。日本の大豆の播種適期は，地域，品種により異なるが，5月下旬から7月上旬のうち2週間程度と短い。また，生育初期には梅雨が重なり，土壌は乾燥条件になりにくい。また，大豆は水田転換畑で作付けされることから，水はけの悪いほ場が多く，生育初期に出芽不良などの湿害が発生しやすいと推察される。

生育初期の湿害回避技術では，独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構において研究・開発された「大豆300A技術」（有原，2007）がある。代表例としては，耕うん同時畝立て播種機（以下，URS機）による畝立て栽培がある。URS機は1工程で耕うん，畝立て，播種，元肥施用を行うことができ，アップカットロータリの耕うんによる高い碎土性，畝立てによる湿害低減と安定した出芽を実現する播種機である（細川，2004）。実証試験では畝立てしない慣行区と比較して7~12%の増収効果が得られている（細川，2014）。

このようにURS機は大豆播種に適した機械であるが，アップカットロータリを使うため，作業速度が0.3~0.6m/sであり，播種作業の能率が低いという問題がある。播種前に元肥散布後の混和や除草目的の耕うんなど複数回の耕うん作業を行う地域や近年増加が著しい大規模な経営体では，播種作業とは別に耕うん作業を行うことが多いため，作業体系のボトルネックになる作業速度が遅い作業機は敬遠されている。加えて，URS機は湿潤土壌では土の練り付けや畝の形成不良が発生するなどの問題が存在する。

このような背景から，畝立て播種による生育初期の湿害対策，湿潤土壌への対策および高速・高能率作業によ

る適期播種対策を目的とした，高速畝立て播種機を開発することとした。

まず，URS機の課題となっている作業速度の向上と湿潤土壌への対応について，ロータリ爪を用いず，ディスクによる畝立てを検討した。回転するディスクは，ロータリ爪と比較して，高水分の土壌において土を練る現象が発生しにくいことが報告されている（佐藤ら，1970）。一方で，ディスクはロータリ爪と比べて碎土作用が小さいため，安定した出芽を得るためには畝立て作業の前に十分な碎土作業を行う必要があると考えられる。そのため，ディスクによる畝立てが碎土状態に及ぼす影響を検証した。

次に，高速化のための播種機構の検討を行った。大豆の生産現場で最も普及している傾斜目皿式の播種機の作業速度は0.6~0.8m/sであり，これより作業速度を上げると，目皿の回転が速くなり，種子が目皿の穴に入りにくくなるため，必要な播種量を繰り出すことができない（岩渕ら，2004；皆川，2005）。そこで，本研究では，目皿プレートの穴の形状変更と低い位置からの種子放出を実現する放出プレートを追加し，組み合わせることにより，2.2m/sの高速作業が可能とされるダブルプレート式の播種機（橋ら，2014）を搭載した，飼料用トウモロコシ不耕起播種機（以下，不耕起高速播種機）に着目した。これらを組み合わせ，畝立て播種機を構成し，基本的な性能試験を行った結果を報告する。

## II ディスクによる畝立ての検討

### 1. 供試機

試験は市販の3条仕様のディスク式中耕培土機（小橋工業（株）社製，DC300）（以下，DC機）を供し，機関出力31kWのトラクタに装着して行った。畝立て作業は，株元へ土壌を移動させる中耕培土と土壌の移動方向が同じであり，これを用いた。また，DC機は本研究と同様の背景（作業の高速化，土壌水分過多のほ場への対応）で開発され，従来のロータリ式中耕培土機と比較して，作業速度を2倍程度に高速化（1.0~1.6m/s）し（後藤ら，2012a），湿潤条件下のほ場においても従来機と同等以上の培土効果を発揮できる（後藤ら，2012b）特長を持つ。

### 2. ほ場および物理特性測定方法

#### (1) ほ場

埼玉県鴻巣市の国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業技術革新工学研究センター（以下，革新工学センター）附属農場において，土粒子の粒径組成が異なるロータリ耕起後のほ場2筆（転換後1年目の水田転換畑，普通畑）で土壌の水分状態が異なる日（高水分，低水分）に分けて計4試験区で試験を行った。

#### (2) 土性，液性指数（塑性・液性限界），含水比の表示・算出・測定方法

土粒子の粒径組成（土性）の測定は，表層約10cmの土壌を数カ所から採取して混合し，土の粒度試験方法

(JIS A1204:2009)に従って行い、国際土壌学会法の土性で示した。含水比は、同様に採取した土壌を110℃-24時間法で乾燥して測定した。液性指数 $I_L$ は、土壌の含水比がどの程度液性限界に近いを示す指標であり、次式により求められる。

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P}$$

ここで、 $W$ :含水比(%),  $W_L$ :液性限界の含水比(%),  $W_P$ :塑性限界の含水比(%)である。土壌の性質により異なるものの、液性指数が0.3~0.4以上では湿った状態、0.2以下では土壌はさらさらした乾燥状態である場合が多い。塑性限界および液性限界の測定は、同様に採取した土壌(未風乾土)を混合し、前者については土の液性限界・塑性限界試験方法(JIS A1205:2009)に従い、後者についてはフォールコン式測定器((株)マルイ社製, MIS-214-0-04)で行った。

### (3) 円錐貫入抵抗の測定方法

円錐貫入抵抗は、貫入式土壌硬度計(大起理化工業株)社製, DIK-5500)で5カ所測定して求めた。

### (4) ほ場の碎土率の測定方法

ディスクが作用する表層から深さ15cmの範囲の土壌を3カ所から採取し、土壌を目開き2cmの篩で篩い分け、土塊質量を計測し、直径2cm以下の土塊が占める質量割合を求めた。

## 3. 畝立て試験方法

### (1) 畝立て方法

トラクタの速度を3段階(1.0, 1.5, 2.0 m/s)に設定して畝立て作業(50m, 2反復)を行った。作業時に作業速度を、作業後に畝高さ、畝上部の碎土率を測定した。

図1に3条仕様のDC機の平面図と側面図を示す。供試機の機械調節部分は、条間、前列ディスク角、後列ディスク角、後列ディスク取付間隔、ゲージ輪位置、チゼルの有無である。このうち、畝高さの調節に関係する部分は前後列ディスク角度、後列ディスク取付間隔、ゲージ輪位置である。

機械設定は条間を70cm、チゼルは上向きに固定させて不使用とした。畝高さの関係部分はURS機の作業目標と同じ畝高さ10~15cmとなるように予備試験により決定した。前列ディスク角は中耕培土作業の条間70cm設定時の標準角度(20°)、後列ディスク角は設定速度1.0, 1.5 m/sでは標準角度(20°)、2.0 m/sでは標準角度で畝高さが高くなり過ぎたことから1段階鋭角(12.5°)に、後列ディスク取付間隔は中耕培土の標準設定(40cm)とした。

### (2) 作業速度の測定方法

作業速度は、ほ場両端に20m間隔でポールを立て、その間を通過する時間をストップウォッチで測定して算出した。

### (3) 畝高さの測定方法

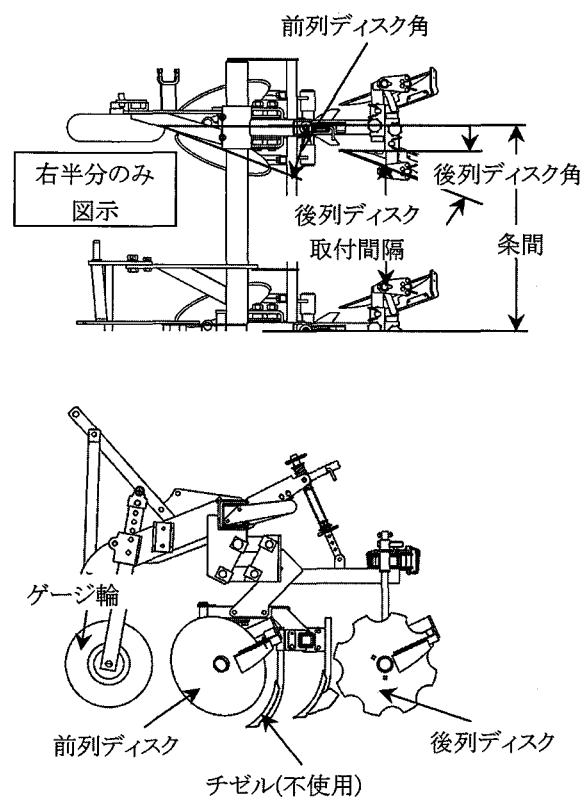


図1 ディスク式中耕培土機の平面図と側面図

Fig. 1 Front and side views of a disk cultivator-ridger

畝高さは、畝に対して直交方向にアルミ部材を杭で支持して水平に渡し、部材の上面から畝頂部と畝間のは場表面の高さを、レーザー距離計で1区当たり2カ所×2反復計測し、その差分から求めた。

### (4) 畝上部碎土率の測定方法、畝立て前後の碎土率の調査方法

畝上部碎土率は、畝の上部へ播種を行った場合に種子が位置する畝頂部から深さ5cmの範囲の土壌を3カ所から採取し、ほ場の碎土率測定と同様の方法で測定した。畝立て前後の碎土率は、畝上部の碎土率からほ場の碎土率を減算して求めた。

## 4. 結果と考察

ほ場条件を表1に示す。土壌水分(液性指数)は、水田転換畑の低水分条件では塑性限界付近であり、土壌がさらさらした乾燥状態であった。高水分条件では湿潤状態で土塊同士がくっつきやすい状態であった。普通畑の低水分条件では、水田転換畑と同様に土壌がさらさらした乾燥状態であった。高水分条件では水田転換畑より乾燥してやや湿潤で土塊同士が付着するほどではなかった。円錐貫入抵抗は深さ0~20cmの平均値で200kPa程度より低い場合にけん引作業が困難となるとの報告(八木, 1971)がある。本試験ではディスクが作用する深さ0~15cmの平均値で200kPaを超えており、さらに深い深さ20cmを加味した抵抗値はより大きな値とな

表 1 畝立て試験のほ場条件  
Table 1 Field conditions in bed forming tests

| 試験場所       | ほ場履歴          | 土性 <sup>1)</sup> | 水分状態 | 土壌の物理性  |       |                            |                       |
|------------|---------------|------------------|------|---------|-------|----------------------------|-----------------------|
|            |               |                  |      | 含水比 (%) | 液性指数  | 円錐貫入抵抗 <sup>2)</sup> (kPa) | 碎土率 <sup>3)</sup> (%) |
| 埼玉県<br>鴻巣市 | ロータリ耕起後の水田転換畑 | 砂質植壤土            | 低水分  | 31.0    | 0.09  | 650                        | 91                    |
|            |               |                  | 高水分  | 37.5    | 0.45  | 770                        | 93                    |
|            | ロータリ耕起後の普通畑   | 植壤土              | 低水分  | 37.5    | -0.14 | 360                        | 83                    |
|            |               |                  | 高水分  | 42.7    | 0.22  | 480                        | 82                    |

1) 国際土壌学会法による分類, 2) 頂角 30°・底面積 2cm<sup>2</sup> の円錐で測定,

3) 深さ 0~15cm の平均値で直径 2cm 以下の土塊の占める質量割合

表 2 畝立て試験の結果  
Table 2 Results of bed forming tests

| ほ場履歴              | 土壌の水分状態 | 作業速度 (m/s) | 畝高さ (cm) | 畝頂部の碎土率 <sup>1)</sup> (%) |
|-------------------|---------|------------|----------|---------------------------|
| ロータリ耕起後<br>の水田転換畑 | 低水分     | 1.02       | 12.8     | 86                        |
|                   |         | 1.47       | 14.6     | 85                        |
|                   |         | 1.91       | 14.4     | 90                        |
|                   | 高水分     | 0.92       | 15.5     | 83                        |
|                   |         | 1.30       | 16.8     | 80                        |
|                   |         | 1.85       | 16.0     | 82                        |
| ロータリ耕起後<br>の普通畑   | 低水分     | 1.01       | 15.5     | 79                        |
|                   |         | 1.45       | 15.9     | 80                        |
|                   |         | 1.96       | 14.8     | 78                        |
|                   | 高水分     | 1.00       | 15.4     | 81                        |
|                   |         | 1.47       | 13.4     | 78                        |
|                   |         | 1.92       | 13.4     | 83                        |

1) 畝頂部から 5cm の範囲の採取土壌の直径 2cm 以下の土塊の占める質量割合

ることから、すべての条件で試験が可能と判断された。碎土率はすべての条件で 80% を超えており、大豆の播種に適するとされる碎土率 70% 以上 (中村, 2015) を確保できていた。

畝立て試験の結果を表 2 に示す。作業速度は水田転換畑の高水分条件で設定速度に対して 10% 程度の速度低下があった。この条件は土壌が湿潤状態であったことからタイヤのスリップによるものと考えられた。これ以外の条件では 5% 程度の速度低下に収まり、スリップが小さかったと推察された。いずれの条件においてもスリップによる急激な速度低下、トラクタタイヤによる過度な土壌の掘取りは観察されず、ロータリ爪を用いた畝立てでは対応困難な 1.0~2.0m/s の速度範囲でも円滑な畝立て作業ができた。畝高さはほ場の水分状態、作業速度にかかわらず、目標高さ 10~15cm を確保することができた。なお、畝の断面は概ね三角形の形状で、畝の天幅はほとんどなかった。

作業速度と畝立て前後の碎土率の変化を図 2 に示す。ほとんどの試験条件において、畝立て作業により作業後の碎土率は作業前と比較して低下していた。低下した要因は、土壌を反転、混合させた場合に小さい土塊が下に、大きな土塊が上に移動する現象によるものと考えられた。また、碎土率の変化は、作業速度の変化に比べて試験条件の違いの影響が大きいことが推察された。例えば、転換畑・高水分条件では作業速度 0.9m/s から 1.9

m/s に増加しても、碎土率の低下は 2.5 ポイントの幅に収まり、傾向が見られなかった。このことは、DC 機で作業速度にかかわらず作業後の碎土率が同水準となるという研究例 (後藤ら, 2012a) と一致しており、畝立て作業の速度増加がもたらす碎土率低下の影響は小さいことが明らかになった。

土壌水分 (液性指数) と畝立て前後の碎土率の変化を図 3 に示す。液性指数 -0.14~0.22 では畝立て後の碎土率が 7 ポイント以下の低下に収まっていたが、液性指数 0.45 では 10 ポイント程度低下し、低下が大きかった。後藤ら (2012b) は液性指数 0.35 以上を湿潤土壌と定義し、DC 機による中耕培土作業において、湿潤土壌では非湿潤土壌に比べて平均土塊径が 1.5 倍程度になることを報告しており、本研究と同様の傾向であった。観察により、水田転換畑の高水分条件ではディスクに付着した土塊が剥がれて地面に落下したことで碎土率が低下したと推察された。

以上のことから、供試機は湿潤状態において URS 機では対応困難な 1.0~2.0m/s の速度範囲でも畝立て作業が可能であること、作業速度に依らず、同機の畝立て作業により碎土率が低下する可能性が高いこと、さらに、土塊同士が接着するような湿潤条件において碎土率の低下が大きくなることが明らかとなった。

なお、本研究では畝立て前の碎土率が 80% 以上の条件で試験を実施した。生産現場では降雨や土壌条件によ

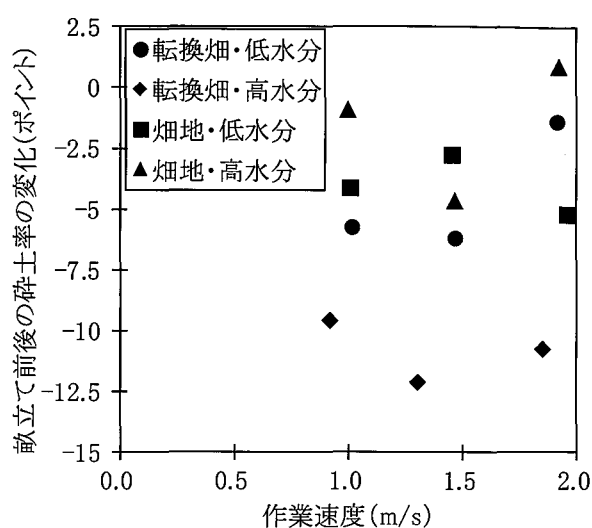


図2 作業速度と畝立て前後の碎土率の変化

Fig. 2 Relationship between working speed and changing of break clod rate before and after bed forming

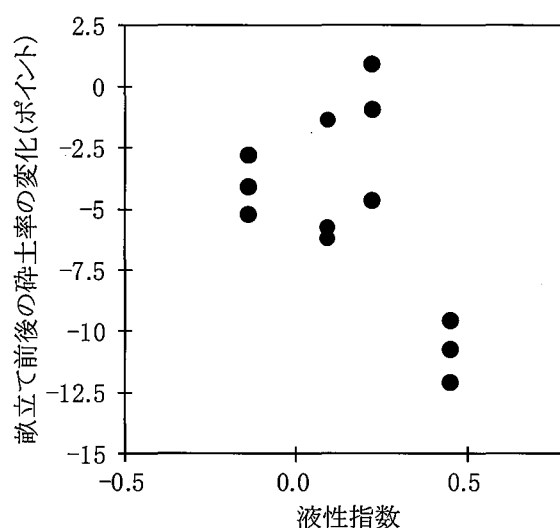


図3 土壌水分と畝立て前後の碎土率の変化

Fig. 3 Relationship between soil moisture and changing of break clod rate before and after bed forming

り十分な碎土率を確保できない場合があるため、今後は碎土率のより低い条件における検討も行いたい。

### III 播種機構の検討

#### 1. 基礎試験機の構成

図4に基礎試験機の平面図と側面図を示す。基礎試験機は市販の2条仕様のDC機(小橋工業(株)社製, DC201), 不耕起高速播種機(アグリテクノ矢崎(株)社製, NTP-2), 播種機ヒッチ(アグリテクノ矢崎(株)社製, TH-DH), 試作したスライドフレーム, 速度検出輪およびコントローラにより構成される。スライドフレームは前後方向, 播種機ヒッチは高さ方向の調整機能を有する。

不耕起高速播種機は市販機から以下の点を変更した。同機は, 表面の硬い場合での動作を前提にした重厚な構造であり, 予備試験により垂直荷重(鎮圧力)が大きく, 形成した畝が崩れることが明らかとなった。そのため, 播種機の平行リンクに引張バネとアイボルトを組み込み, 播種機の垂直荷重を小さく調節できるようにした。

次に, 動力伝達を簡素化するため, 接地輪駆動, 動力伝達軸等を取り外し, 播種機の駆動方法をモータ駆動に改造・変更した。モータには中空軸のブラシレスモータ(オリエンタルモーター(株)社製, BLH230K-30FR)を使用し, 新たに設けた軸を介して種子操出部へ動力を伝達するものとした。株間設定にはコントローラに設置した可変抵抗を使用し, コントローラ内のマイコン(Atmel社製, ATmega88)のA/D変換器に接続した。

播種機をモータ駆動とした場合, 株間を一定に維持するためには車速連動制御システムが不可欠である。モータによる車速連動制御システムは, 田植機に関するものが報告(山田ら, 2015)されている。これは, 植付機構

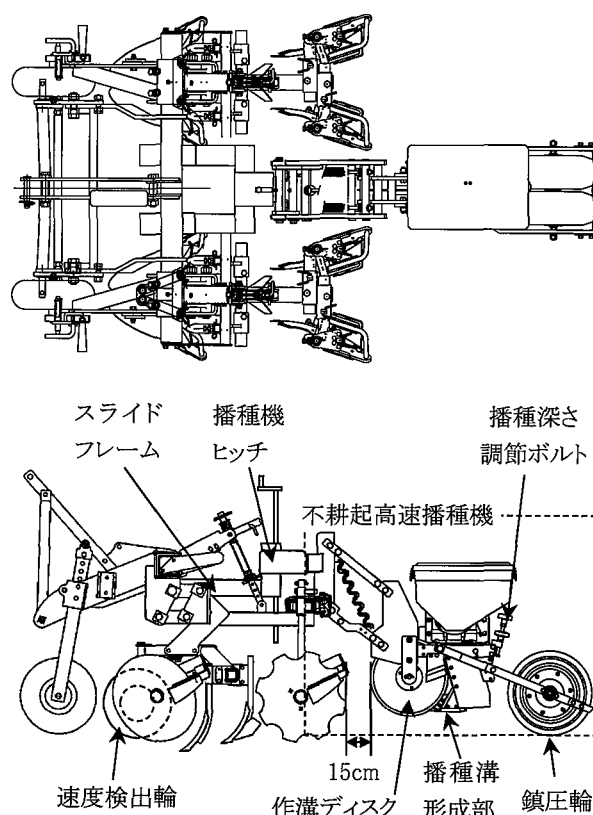


図4 基礎試験機の平面図と側面図

Fig. 4 Front and side views of a basic testing machine

の目標角度に対して実際の角度を制御することで, 車速によらず一定の株間を維持する方式となっている。また, 低コスト化のためにモータの電気角を積算して植付機構の角度を求めている。

播種機の場合, 田植機の植付機構ほどの負荷変動はな

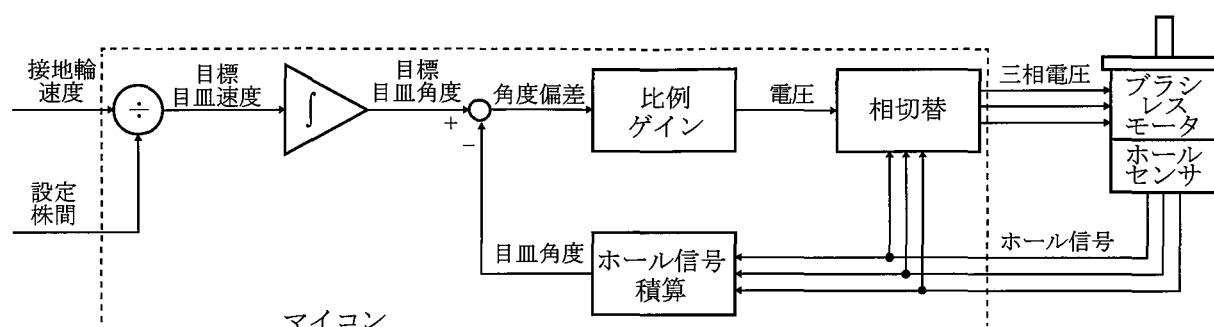


図 5 播種機の制御システム

Fig. 5 Seeder control system

く絶対的な角度制御も不要なため、より簡素化した制御システムを構築した(図5)。制御システムはマイコン上に実装し、フィードバック方式は播種機の見皿プレート角度の比例制御方式とした。角度を制御するため、目標値との速度のずれが生じず、速度制御方式と比較して株間誤差を小さくできる。見皿プレートの角度は電気角積算を行って求める方式とし、電気角の検出にはブラシレスモータの相切替に使用するホールセンサの信号を利用した。見皿プレートの角度信号はある時点から積算した相対角度で十分なため原点検出は省略した。

## 2. ほ場および物理特性測定方法

### (1) ほ場

革新工学センター附属農場において、ロータリ耕起後のほ場(普通畑)で土壌の水分状態が異なる日(高水分、低水分)に分けて2試験区で試験を行った。

### (2) ほ場の物理特性測定方法

土壌の種類の表示方法、塑性・液性限界、含水比、円錐貫入抵抗、碎土状態については、Ⅱ章の2.に記した方法で測定を行った。

## 3. 試験方法

### (1) 播種方法

試験は基礎試験機を機関出力23kWのトラクタに装着し、速度を3段階(1.0, 1.5, 2.0m/s)に設定して、大豆の畝立て播種作業(50m, 反復なし)を行った。その際の作業速度、畝高さ、畝上面幅、畝上部の碎土率、播種深さ、播種間隔を測定した。

基礎試験機のうちDC機の機械設定はⅡ章の3.の設定と同じとした。播種機の機械設定は播種用目皿(分離プレート)をφ8.5番、播種間隔を12.5cmとした。φは種子が入る目皿の切り欠きの大きさであり、切り欠き内の内接円直径を表す。播種機のDC機に対する前後位置、播種機の垂直荷重および播種深さは予備試験により決定した。播種機の前後位置は、播種機前方の土壌の滞留具合からDC機の後列ディスク後端と播種機作溝ディスク前端の距離を約15cmとした。播種機の垂直荷重は、形成した畝が崩れないことを目安に350Nに調整した。播種深さは、調節ボルトにより播種溝形成部底面に

対する鎮圧輪の相対深さを調節し、3~4cmを目標とした。

### (2) 作業速度、畝高さ、畝上面の幅、畝上部の碎土率の測定方法

作業速度、畝高さ、畝上部の碎土率については、Ⅱ章の3.に記した方法で測定を行った。畝上面の幅は金尺により測定した。

### (3) 播種深さ、播種間隔の測定方法

畝の頂部を掘り起こし、試験条件あたり21粒の種子を露出させた。播種深さは20粒の露出種子について、掘り起こしていない畝頂部を支点として畝の進行方向にアルミ部材を渡し、部材下面から種子上部までの距離を金尺で測定した。播種間隔は21粒の露出種子について、その間隔(20点)を巻き尺で測定した。

## 4. 結果と考察

ほ場条件を表3に示す。土壌水分(液性指数)は、低水分条件で塑性限界以下であり、土壌がさらさらした乾燥状態であった。一方、高水分条件では液性指数0.8と明らかな湿潤状態であり、土塊同士がくっつきやすい状態であった。(供試ほ場に黒ボク土が混ざっているため、液性限界に近いようなドロドロした状態ではなかった。)碎土率は、大豆の播種に適する70%以上であった。円錐貫入抵抗から両条件ともにトラクタがけん引可能な200kPaに達していた。

表4に畝立て播種試験の結果を示す。低水分条件では作業速度は設定速度に対して5%程度の速度低下に収まっており、土壌が乾燥していたことからスリップが小さかったと推察された。いずれの設定速度においてもトラクタタイヤの沈み込みは観察されず、円滑な畝立て播種作業ができていた。一方、高水分条件では設定速度が高くなるに従い速度低下が大きくなり、1.5m/s以上の設定速度で20%を超える速度低下となった。

畝高さはすべての試験条件で目標高さを確保できていた。畝上面の幅は低水分条件では22.3~25.7cm、高水分条件では23.0~27.7cmであった。また、畝頂部の碎土率は、低水分条件では作業前と同程度、高水分条件では作業前より7ポイント程度低下した。

表 3 畝立て播種試験のは場条件

Table 3 Field conditions in bed forming seeding tests

| 試験場所   | は場履歴            | 土性 <sup>1)</sup> | 土壌の<br>水分状態 | 土壌の物理性  |       |                            |                       |
|--------|-----------------|------------------|-------------|---------|-------|----------------------------|-----------------------|
|        |                 |                  |             | 含水比 (%) | 液性指数  | 円錐貫入抵抗 <sup>2)</sup> (kPa) | 碎土率 <sup>3)</sup> (%) |
| 埼玉県鴻巣市 | ロータリ耕起後<br>の普通畑 | 壤土               | 低水分         | 28.3    | -0.74 | 820                        | 83                    |
|        |                 |                  | 高水分         | 71.9    | 0.80  | 350                        | 73                    |

1) 国際土壌学会法による分類, 2) 頂角 30°・底面積 2cm<sup>2</sup> の円錐で測定, 深さ 0 ~ 15 cm の平均値, 3) 直径 2 cm 以下の土塊の占める質量割合

表 4 畝立て播種試験の結果

Table 4 Results of bed forming seeding tests

| 土壌の<br>水分状態 | 作業速度<br>(m/s) | 畝高さ<br>(cm) | 畝上面の幅<br>(cm) | 畝頂部の<br>碎土率 <sup>1)</sup> (%) | 播種深さ<br>(cm) | 播種間隔<br>(cm) |
|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| 低水分         | 0.95          | 15.9        | 22.3          | 83                            | 4.4±0.5      | 12.7±1.9     |
|             | 1.41          | 15.1        | 25.7          | 84                            | 4.0±0.5      | 13.1±3.1     |
|             | 1.95          | 13.4        | 23.0          | 85                            | 4.0±0.5      | 12.6±2.3     |
| 高水分         | 0.81          | 15.1        | 23.0          | 65                            | 3.6±0.7      | 12.4±3.5     |
|             | 1.20          | 13.3        | 27.3          | 67                            | 3.5±0.8      | 13.0±3.9     |
|             | 1.49          | 15.0        | 27.7          | 66                            | 2.9±0.8      | 14.5±3.9     |

1) 畝頂部から 5 cm の範囲の採取土壌の直径 2 cm 以下の土塊の占める質量割合

播種深さは低水分条件では作業速度に依らず, 概ね目標とする深さ 3~4 cm であり, ばらつきは同程度であった。高水分条件では作業速度が高くなると, 播種深さが浅くなる傾向であった。原因としてはディスクによりかき寄せた土の抵抗が播種機の垂直方向の荷重より大きくなり, 播種機が浮き上がったためと考えられる。播種機の平行リンクに取り付けた引張バネを調整し, 播種機の垂直荷重を増加させることで浮き上がりが抑制されると考えられる。また, 播種深さのばらつきはロータリ爪を用いた従来の畝立て播種機の播種深さが作業速度 0.6 m/s の時に 2.4±0.6 cm との報告 (及川ら, 2007) があり, 基礎試験機は湿潤状態のは場において, 従来機よりも作業速度が高い場合でも同程度のばらつきに収まると推測された。

播種間隔は低水分条件では作業速度に依らず, 目標とする播種間隔 12.5 cm に近くなり, ばらつきも同程度であった。一方, 高水分条件では作業速度が高くなると, 播種間隔が広がる傾向があった。原因としては, 速度検出輪に垂直方向に押しつける機構がなく, 車輪の自重のみで土壌表面に接しているため, 検出輪がスリップしたことが考えられた。そのため, バネ等で車輪の垂直方向の荷重を増加させることで, スリップが抑制されることが考えられる。

なお, 本研究では基礎試験機を供した畝立て播種試験までの報告であり, 出芽状況など播種後の生育についての検討が残されている。また, 製作した基礎試験機は機能確認を前提とした 1 条仕様の播種機であり, トラクタの輪距より作業幅が小さく, 畝を隣接させた往復行程の作業ができないため, 栽培試験には不向きである。そのため, 2 条仕様の試験機を製作し, 出芽等を確認する播

種・栽培試験を行う予定である。

#### IV 結 言

大豆の高速播種, ならびに湿潤土壌への対応を目的として, 畝立て播種機を開発した。ロータリを用いた URS 機では, 播種前の耕うんと畝立て播種ができる複合作業のメリットがあるが, 作業速度が 0.3~0.6 m/s と遅く, 別途耕うん作業を行う時間的余裕がある地域からは高速化が求められている。また, アップカットロータリは, 湿潤土壌での土の練り付けや, 畝の形成不良が発生するなどの問題が存在する。そこで, 本研究ではロータリ爪を用いないディスクによる畝立てとして, DC 機による畝立てを検討した。次に, 高速の種子放出が可能な不耕起高速播種機と DC 機を組み合わせた基礎試験機を製作し, 畝立て播種作業の高速化を検討した。

DC 機を用いて畝立て試験を行った結果, 水田転換畑で液性指数 0.45 の湿潤条件において, URS 機では対応困難な作業速度 1.9 m/s 程度で目標とする 12~15 cm の高さの畝が成形された。また, 畝立て前のは場の碎土率が 80% 以上確保されている場合には, 畝立て後も大豆播種に求められる碎土率 70% 以上が確保された。また, 基礎試験機を用いた播種試験では, 低水分の水田転換畑では 2.0 m/s でも, 播種深さや播種間隔のばらつきが小さく, 安定した作業が可能であった。高水分では走行輪のスリップの影響で 1.5 m/s に留まったが, それでも従来機に比べて十分高速な播種が可能であった。今後は栽培試験も交えながらさらなる評価を行っていく予定である。

## References

- 有原文二, 2007. 大豆 300 A 研究センターの目指したもの. 第 223 回日本作物学会講演会要旨集, 茨城, 382-383.
- 後藤隆志, 手島 司, 藤井幸人, 大西正洋, 遠藤 準, 越智健市, 鋤柄忠良, 2012a. ディスク式中耕培土機の開発と基礎試験 (第 1 報). 農業機械学会誌, 74 (1), 56-65.
- 後藤隆志, 手島 司, 藤井幸人, 長澤教夫, 大西正洋, 遠藤 準, 越智健市, 鋤柄忠良, 2012b. ディスク式中耕培土機の作業性能と大豆栽培への影響 (第 2 報). 農業機械学会誌, 74(2), 131-139.
- 細川 寿, 2004. 大豆の耕うん同時畝立作業機による重粘土転換畑の湿害回避技術. 農業機械学会誌, 66 (5), 14-16.
- 細川 寿, 2014. 大豆の耕うん同時畝立て播種栽培技術の開発と普及. 特産種苗, 18, 64-67.
- 岩渕哲也, 田中浩平, 尾形武文, 2004. 大豆の 3 粒点播における播種機の改良と最適栽植密度. 平成 15 年度九州沖縄農業研究成果情報. <http://farc.pref.fukuoka.jp/farc/seika/h14a/3-3.pdf>. Accessed Jul. 27, 2018.
- 増田亮一, 2011. 品質成分からみた国産大豆の特徴と利用. 日本食品科学工学会誌, 58 (11), 548-551.
- 皆川 博, 2005. 傾斜回転目皿式播種機による大豆の定間隔播種技術. 平成 16 年度茨城県農業総合研究所農業研究所主要成果. <https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/noken/seika/h16pdf/documents/32.pdf>. Accessed Jul. 27, 2018.
- 中村一要, 2015. 改良型アップカットロータリによるオオムギ跡ダイズの耕うん同時うね立て狭畦栽培. 農業技術大系作物編, 第 6 巻, 農山漁村文化協会, 東京, 枝 255-263.
- 農林水産省, 2015. 食料・農業・農村基本計画. [http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k\\_aratana/pdf/l\\_27keikaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/l_27keikaku.pdf). Accessed Jul. 27, 2018.
- 農林水産省, 2017. 大豆をめぐる事情. <http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/attach/pdf/index-63.pdf>. Accessed Jul. 27, 2018.
- 及川一也, 井村裕一, 2007. 浅耕碎土・小畦立て播種栽培による大豆の生育および収量の向上. 第 223 回日本作物学会講演会要旨集, 茨城, 96-97.
- 佐藤雄夫, 湯村義男, 1970. 耕耘の立場からみた重粘性土壌の物理性に関する研究. 東海近畿農業試験場報告, 19, 127-149.
- 杉本秀樹, 雨宮 昭, 佐藤 亨, 竹之内篤, 1988. 水田転換畑におけるダイズの過湿障害—土壌の過湿処理が出液, 気孔開度ならびに無機成分の吸収に及ぼす影響—. 日本作物学会記事, 57 (1), 77-82.
- 橋 保宏, 川出哲生, 志藤博克, 平田 晃, 2014. 不耕起対応トウモロコシ高速播種機の開発—高速高精度種子繰出装置の性能—. 日本草地学会誌, 60 (3), 206-212.
- 八木 茂, 1971. 農業機械と土壌水分量の関連について. 土壌の物理性, 24, 27-31.
- 山田祐一, 藤岡 修, 小西達也, 2015. 永久磁石同期モータによるロータリ式植付機構の車速連動制御. 農業食料工学会誌, 77 (6), 456-463.

(受付: 2018 年 8 月 7 日・受理: 2019 年 1 月 12 日・  
質問期限: 2019 年 5 月 31 日)