

# デジタル播種システムに関する研究

佐藤 邦夫・田尻 功郎・故伊佐 務

## Studies on Digital Planting System

Kunio SATO, Isao TAJIRI and Tsutomu ISA

### 1. はじめに

作溝、施肥、覆土、鎮圧などの副次的な機能を除くと、播種作業は、一定の規則性を持つ間隔で種子を播こうとする「位置決め」、一定量の種子を元の集団から分離する「定量繰出し」、種子を排出する「排種」の3つの機能から成り立っている。

一般に播種機の特性は以上の機能が有機的に結合して決定されるので、播種精度を向上させるためにはこれらの機能一つ一つの精度向上に努めなければならない。

たとえば位置決め機能の精度向上は、中耕除草等の管理作業及び収穫作業を機械で行うための必須条件である。また播種と同時に施肥を行う場合には、施肥の効果を最適なものとするために位置決めと同様、排種機構に依存する点播の精度も重要である<sup>1)</sup>。

これに対し定量繰出し機能の精度は播種密度に直接影響を与え、作物によっては生育状態を大きく左右する要因となる。たとえばとうもろこしや大豆では、一株の播種粒数が1~2粒と少ないため、定量繰出し機能にむらがある場合、欠株や過密播種の状態になりやすい。

近年、これを打開するために種々の繰出し機構が開発され、実用に供されるようになってきた。たとえば真空式や圧送式などのニューマチック播種機がそれである<sup>2), 3), 4)</sup>。

しかしこれらの適用例はとうもろこしや大豆など、比較的大型径の種子に対するものが多く、異形で小径の種子の高精度単粒繰出しは根本的に難しく<sup>5)</sup>、機械による精密播種を阻害する要因にもなっている。

これとは別に、覆土まで行う播種作業では後から播種粒数を直接確かめるところができないので、定量繰出し機

能には精度と同時に信頼性も要求される。この結果、大型の播種機においては、排種の状態を確認するためのモニタの付加が研究され<sup>6), 7)</sup>、一部には実用化されつつある。これにより、播種機に対し電気系の搭載、ひいてはマイクロエレクトロニクスの導入が現実の問題として検討すべき時期に入ったと考えることができる。

定量繰出し機能について、種子の検出以外にマイクロコンピュータなどを用いて補償を行おうとする研究はいくつか成されているが<sup>8), 9)</sup>、本研究では単に検出や補償にとどまらず、マイクロコンピュータを応用した点播システムにおける理想的な定量繰出し法の構築を試みる。本報では理論的な考察とモデル播種装置による実験を行い、一応の結論が得られたのでこれをデジタル播種システムと名付け報告する。

### 2. デジタル播種システム理論的考察

#### 2.1 基本的な考え方

図1はロール式および回転皿式等の繰出し機構における一般的な単粒繰出し特性で、繰出し率(曲線1)は機構の動作速度によって変化し、しかも動作速度の増加

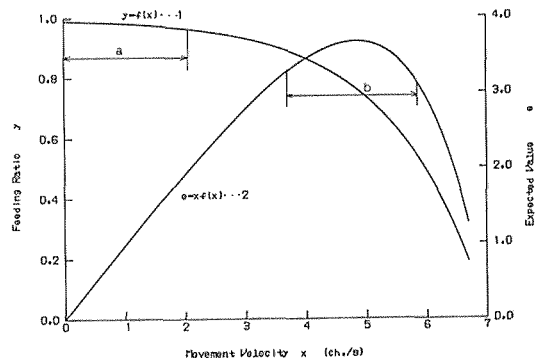


図1 一般的な単粒繰出し特性

にともない減少する。この傾向は連続的に動作速度を変化させうる繰出し機構に一般的で、真空式播種機などの繰出し機構に対しても当てはまる。ここで図中の単位(ch.)は種子が1粒繰出される機会を表す。

従来の繰出し機構はこの曲線において、動作速度が十分に小さく、繰出し率が1.0に近い部分(図中aの範囲)を利用しているのであるが、種子によっては、実用的な動作速度において1.0に近い繰出し率が得られないこともある。また曲線が1.0に漸近しない場合も起こりうるなど、この曲線の改良には限界がある。

そこで本研究では図2に示すようなデジタル播種システムを考える。以下にシステムの各段階に沿って説明する。

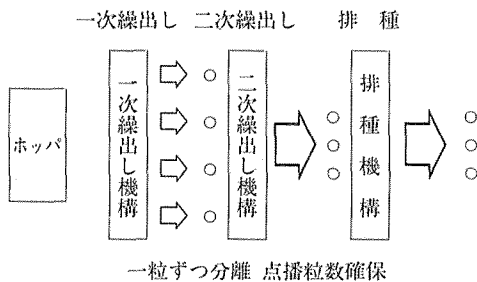


図2 デジタル播種システムの概要

### (1) 1次繰出し

元の集団から定量の種子を分離するため、まず1粒を繰出す。本研究では特定の繰出し機構を想定していないが、たとえばロール式繰出し機構において、セル(cell)の直径を変化させると単粒繰出し特性は図3のようになる。図において繰出し率が1.0を超える場合があるのは1つのセルに2粒以上の種子が入るからである。

逆にセルを小さくすることにより、その種子が必ず1粒しか入らないようにすることが可能で、このとき繰出し率は低下するかもしれないが、これは大きな問題とはならない。このように1粒の種子が入るようなセルの形状を決めることは、正確に複数粒の種子が入るセルの形状を決めることよりも容易である。

### (2) 2次繰出し

1次繰出しによって繰出された種子は1粒であるから、任意に設定した数だけ正確に計量することができる。ただし2次繰出しの完了が最小播種間隔(時間)以内に行われるように、種子の1次繰出し数は十分多くしておくなければならない。

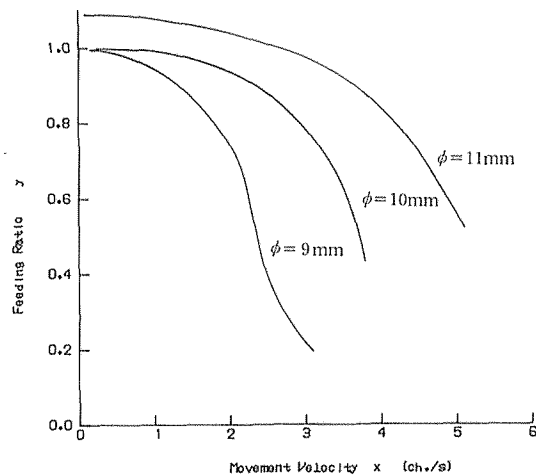


図3 セルの直径 $\phi$ による大豆(直径約7mm)の繰出し特性(文献11)などを参照

このとき1次繰出しにおいて問題になるのは繰出し率ではなく、単位時間あたりの繰出し数である。図1の曲線2は繰出し数の期待値であるが、デジタル播種システムの2次繰出しでは図のaの範囲よりもbの範囲の方に注目する必要がある。

### (3) 排種

この場合の排種においては、機構よりタイミングが問題となる。(2)により排種のタイミングが1次繰出し機構の動作速度と同期する必要がないので、理想的に絶対位置または作業速度を基にして排種を行うことができる。

### 2.2 2次繰出し率の算出

デジタル播種システムの最終的な繰出し率は2次繰出し率であるが、これを算出するためには具体的な播種作業を想定しなければならない。播種作業に必要なパラメータを表1に列挙する。

ここで最高作業速度とは播種機が移動する最大の速度で、この最も厳しい条件のもとで2次繰出し率を計算する。次に2次繰出し余裕時間とは、点播シャッタの開閉

表1 播種作業のパラメータ

点播間隔	$l$ (cm)
最高作業速度	$V_M$ (cm/s)
2次繰出し余裕時間	$t_a$ (s)
点播粒数	$M$ (1以上の整数)
最高機会通過速度	$X_M$ (ch./s)
並列運転装置数	$m$

時間など、2次繰出しに用いることのできない時間の総和でこれは短い方がよい。また最高機会通過速度は1次繰出し機構の能力や種子の物理的な強度に依存する。

前述したようにこの理論は1次繰出し機構の種類によらないが、ここではセルが  $m$  列のロール式繰出し機構を具体例として考える。

上の条件において、1回の2次繰出しに割り当てられた時間は

$$t_p = l/V_M \quad \dots(1)$$

そのうち有効な時間は

$$t_m = t_p - t_d \quad \dots(2)$$

となる。さらに1回の2次繰出しに用いることのできる1列当たりの機会通過数を  $X(\text{ch})$ 、 $m$  列の機会通過数を  $N(\text{ch})$  とすると

$$N = m \cdot X \quad \dots(3)$$

となる。

いま、 $m$  列全ての1次繰出し特性が、図1の曲線1のように

$$y = f(x) \quad \dots(4)$$

と表せるものとする、1株  $M$  粒の定量繰出しが行われる確率は

$$q = \sum_{i=0}^M N C_i f(x)^i \{1 - f(x)\}^{N-i} \quad \dots(5)$$

となる。ここで  $X$  は

$$X = [x \cdot t_m] \quad \dots(6)$$

([ ] はガウスの記号)

と表すことができ、 $q$  は式(3)、(5)に式(6)を代入して求める。

### 3. モデル播種システム

#### 3.1 播種装置

本研究では、精密播種に関する研究のために製作した定置型播種装置に、センサおよび種子の経路を変更する制御機構を付加して実験装置とした。

図4は装置の概要であるが、繰出し機構は1列10個のセル列が3列あるロール①を用いた丸穴ロール式で、透過型フォトセンサ②により種子の検出を、また反射型

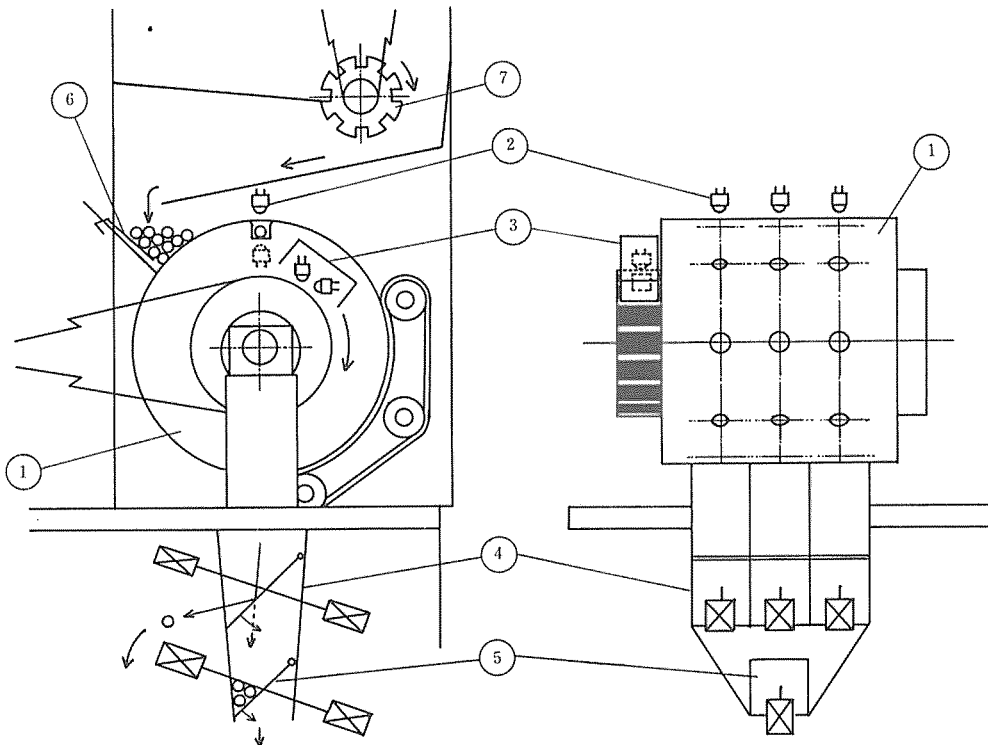


図4 モデル播種装置概要

フォトセンサ③によりロールの回転数を検出する。

ロールは1次繰出し機構として動作し、④の経路変更装置により必要な種子のみを選択して2次繰出しとする。経路変更装置は図のように1組2個のDCソレノイドにより経路変更板を操作するもので、本装置では各セル列に対応して同じものが3組あるが、マイクロコンピュータにより別々に制御することができる。

このように単なる補償制御と異なり、デジタル播種システムでは全ての繰出し機構（ここでは各セル列）に対して制御装置を必要とする。

⑤は点播シャッタで、④と同様のソレノイド機構であるが、ロールや2次繰出し用経路変更装置とは独立に動作する。

そのほかマイクロスイッチ⑥および種子供給ロール⑦により、種子溜りに一定の種子が存在するように制御し1次繰出しの安定化を図った。

### 3.2 演算装置

デジタル播種システムでは装置の制御にマイクロコンピュータなどの演算機能を必要とする。図5は本研究で採用したマイクロコンピュータ・システムの概要で、CPUはi8080、実装メモリはROM, RAM それぞれ1Kバイトである。

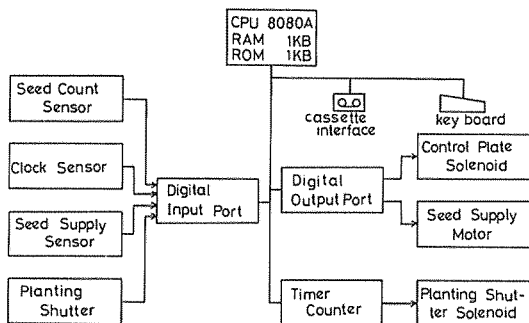


図5 マイクロコンピュータ・システムの概要

入力装置としては種子検出センサ（3回路）、ロール回転数検出センサ（1回路）、種子供給センサ（1回路）、および点播シャッタ閉閉センサ（1回路）によるデジタル入力、また出力装置としては経路変更板駆動用ソレノイド（3回路）、および種子供給ロール回転用モータ（1回路）のためのデジタル出力が接続されている。

これとは別に点播シャッタ駆動用ソレノイドを、CPU

によって設定可能なタイマ・カウンタのデジタル出力に接続した。デジタル播種システムでは点播シャッタの閉閉を繰出し機構に対して独立に行うことができるので、この特性を生かすため先ず初めに外的要因（走行速度など）により点播シャッタ閉閉のタイミングが決定されることを想定し、CPUによる直接制御を行わず一定の時間間隔で閉閉させ、CPUはその状態を感知して他の制御を行うようにした。

### 3.3 制御プログラム

モデル播種装置の制御プログラム概要を図6に示す。

①では入出力ポートやタイマ・カウンタなどの初期設定を行う。初めは2次繰出し用経路（以後単に経路と呼ぶ）を種子繰出し側としておき、これを経路が開いた状態とする。

②においてはロール位置を検出し、制御のタイミングを待つ。③では3列のセルにおける種子の捕捉状態を調

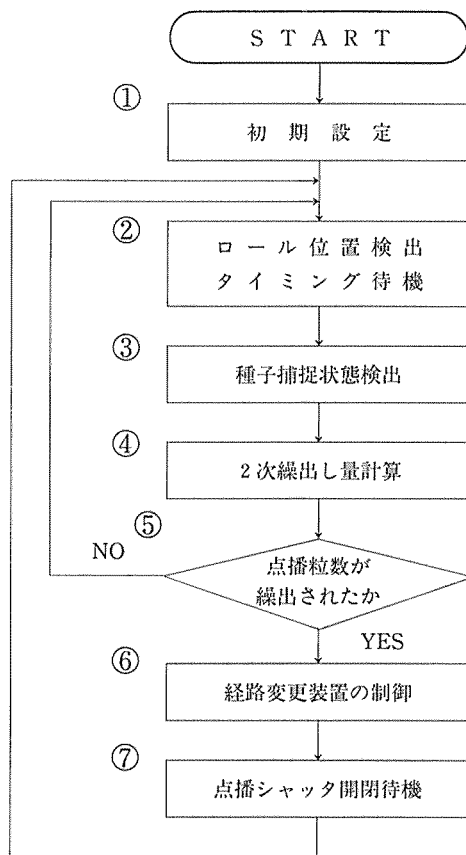


図6 制御プログラム概要

べ、これをビットの模様として記憶しておく。さらに現時点における2次繰出し量を計算し(④)、既に規定の点播粒数が繰出されたか調べる(⑤)。繰出されたと判断したならば③のビット模様を考慮して必要な経路を、さらには全ての経路を閉じ(⑥)、点播シャッタが開き再び閉じられるのを待ってから経路を全て開け(⑦)、②に戻る。まだ点播粒数が満たされていない場合は、経路を開けたまま②に戻る。

ただし⑦の動作中でも適宜ロールの位置を調べ、必要があれば種子の捕捉状態を検出しておく。

また、点播シャッタの開閉状態も常にモニタしておき、⑦以外でシャッタが開かれた場合は再び閉じられるのを待ち、点播粒数を新たに0から計数し始める。

4. モデル播種実験および結果の検討

4.1 1次繰出し特性

本研究で種子の代わりに用いた供試粒は、均一なガラス球に塗料を塗布したもので、直径および重量の平均はそれぞれ8.7(mm), 0.84(g)であった。

これを前述のロール式繰出し機構により、その回転数を変化させながら繰出させ、デジタル播種システムとしての1次繰出し特性を求めたのが図7である。

これはセル1列当たりの特性で、図中の実線および式は実験値(○印)を指数関数で近似したものであるが、 $x=3.67$ (ch./s)を境として2つの式を用いた。

大豆など実際の種子を用いる実験では、種子の物理的強度の限界などから繰出しロールの回転数にも限界を生じ、本研究で用いているロールは通常は4(ch./s)を限度としているが、ここではガラス球を用いて限界的な特性も調べた。

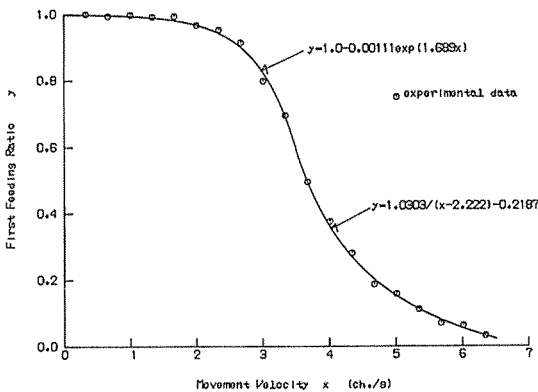


図7 モデル播種装置1次繰出し特性

4.2 2次繰出し特性

3.で述べた装置およびプログラムを使用し、いくつかの条件を設定して2次繰出し実験を行った。以下、点播間隔(時間)を $t_p$ 、シャッタ開閉時間を $t_s$ で表すものとする。

図8および図9は点播粒数 $M$ を3とし、 $t_p$ をそれぞれ1.5および2.0(s)としたときの実験結果である。なお、以下の全ての実験において $t_s$ は常に0.25(s)とする。

このようにデジタル播種システムでは、機構の動作速度に対し台形の繰出し特性を示し、図1の曲線1のような特性を示す通常の播種機とは明らかに異なる。この特性はむしろ曲線2の、繰出し数に依存した特性に近いと言える。

通常の播種機では規定の作業の仕様を満たそうとすると繰出し機構の動作点が1点に固定し、それによって繰

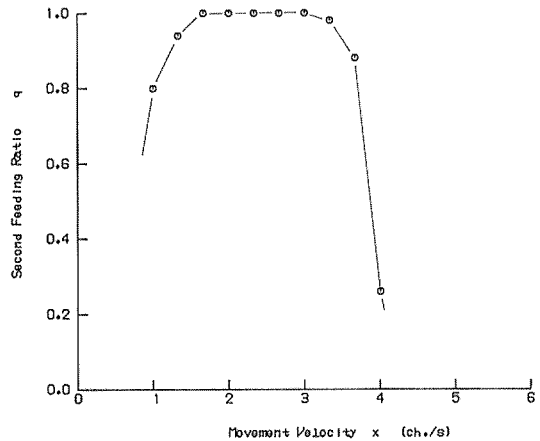


図8 実験結果(1)  $M=3, t_p=1.5$

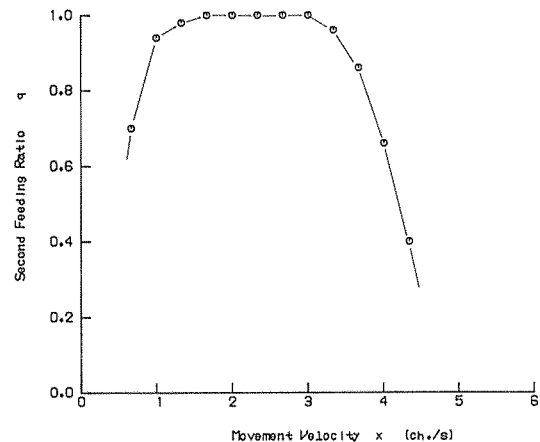


図9 実験結果(2)  $M=3, t_p=2.0$

出し精度も決定するが、デジタル播種システムでは図8のように広い範囲の動作速度に渡って1.0に近い精度が得られる。

次に、図10および図11は点播粒数  $M$  を4とし、図8および図9と同様の実験を行って得た結果である。 $M=3$  のときと全く同じシステムを用いているため、点播粒数が増せば当然高精度領域は狭まる。またこのとき  $t_p$  の増加は、 $M=3$  の場合よりも顕著に、高精度領域の拡大

に寄与していることが分かる。

なお仮に点播間隔を30(cm)としたとき、 $t_p=1.5$  および2.0(s)は最高作業速度がそれぞれ20.0および15.0(cm/s)の場合に相当する。

次に、4.1で求めた1次繰出し特性を用いて2次繰出し特性を予測する方法を図12に示す。簡単のため、点播粒数  $M$  がセル列の数と等しい数3、式(2)による2次繰出しに用いることのできる有効時間  $t_m$  が1(s)の場合

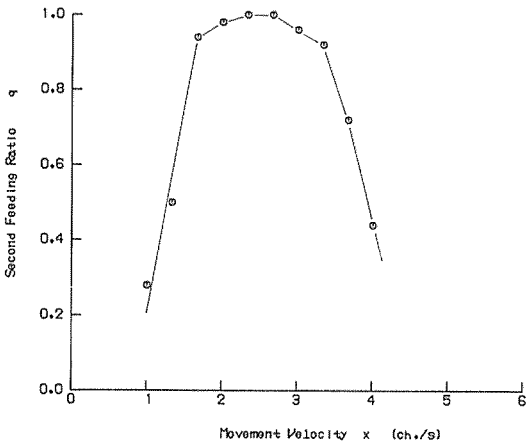


図10 実験結果(3)  $M=4, t_p=1.5$

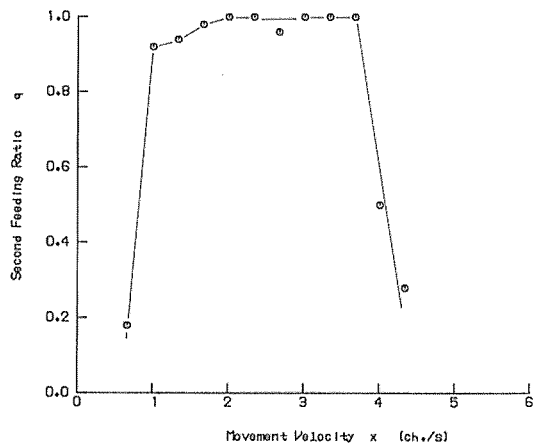


図11 実験結果(4)  $M=4, t_p=2.0$

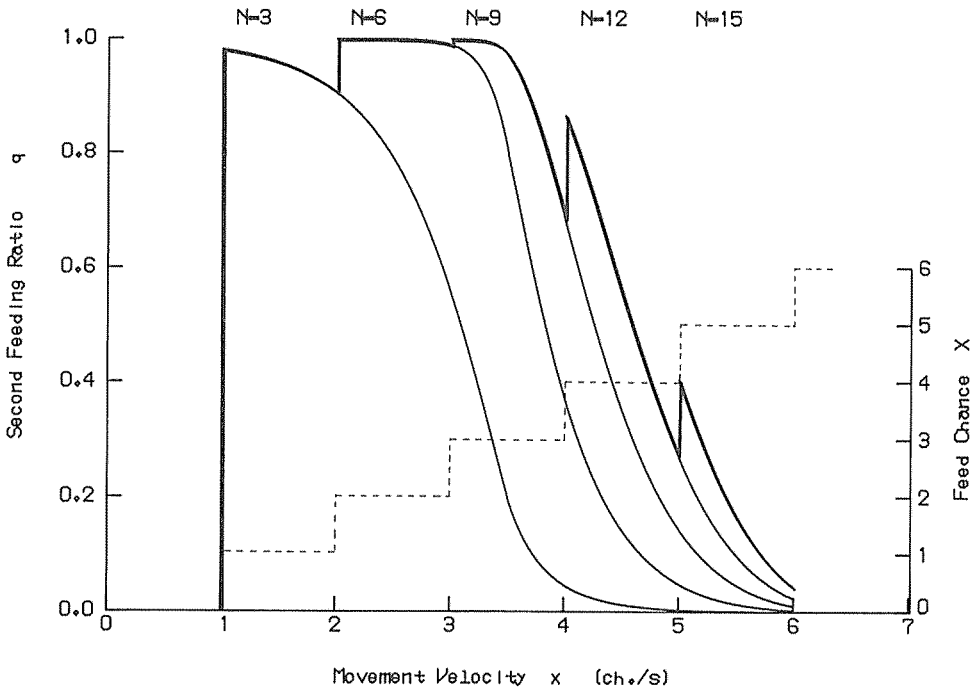


図12 2次繰出し特性の計算

について考える。このとき1回の2次繰出しに用いることのできる機会  $X$  は、式(6)により図中の破線のようになる。さらに全機会通過数  $N$  は図に示した値となり、これを用いて式(5)を計算すると太線で示されるように複数の関数の部分からなる不連続な関数が構成される。

この例において  $t_d$  を 0.5(s) とし、点播間隔  $t_p$  を 1.5(s) とすると 図 8 の実験と同じ条件となるので、実験結果を重ねると 図 13 のようになる。図中の細線は同一の点播間隔で  $t_m=1.25$ ,  $t_d=0.25$ (s) として計算したものである。同様に 図 9 から 図 11 の実験値に計算値を重ねたものを 図 14 から 図 16 に示す。1次繰出し特性(図 7)が等しいのであるから、計算による曲線はいずれも同じ曲線群の部分に適宜組み合わせさせたものとなる。

各図の太線と細線を比較すると太線、すなわち  $t_d=0.5$ (s) のほうが実験値に近い。実験においては  $t_s=0.25$ (s) であるから

$$t_s < t_d \quad \dots(7)$$

の関係が予想され、計算の結果もそれを示している。

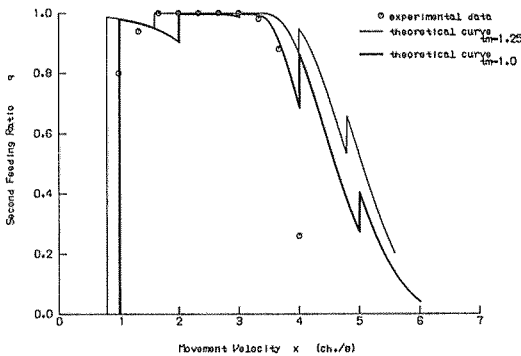


図13 理論曲線と実験結果(1)  $M=3$ ,  $t_p=1.5$

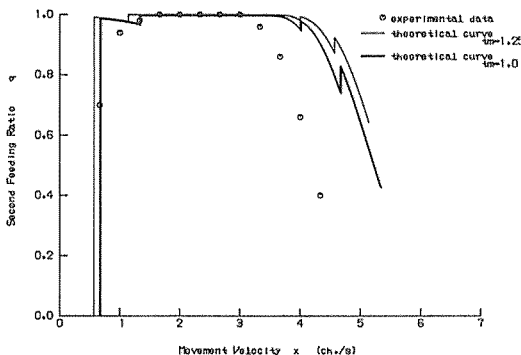


図14 理論曲線と実験結果(2)  $M=3$ ,  $t_p=2.0$

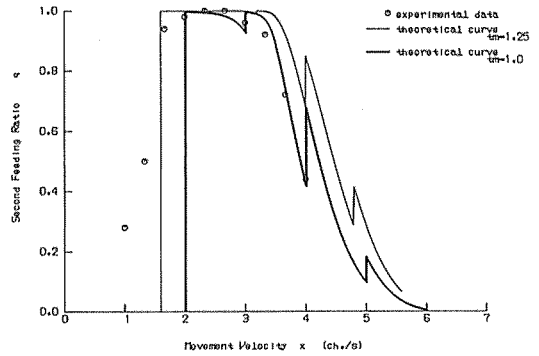


図15 理論曲線と実験結果(3)  $M=4$ ,  $t_p=1.5$

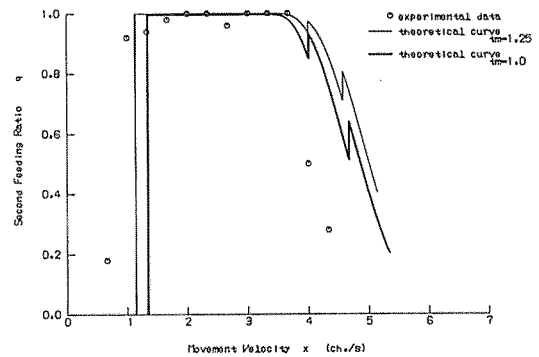


図16 理論曲線と実験結果(4)  $M=4$ ,  $t_p=2.0$

さらに、図15から図16の低速域で実験値の精度が計算値のそれを上回る原因は、計算に用いた式(5)が確率の最小値を与えることにありと考えることができる。

逆に高速域で実験値が計算値を下回るのは、明らかに2次繰出し機構のハードウェア、およびソフトウェア上の障害によるものと思われる。なぜならば最終的に点播された粒数を数えると、高速域では1粒の多少により規定外となる場合が多いにもかかわらず、時間的な平均では規定値に近い値が得られたからである。ロールの高速回転時において経路変更機構のタイミングを一致させることは注意を要する作業である。

また本研究で使用した装置では、種子の検出部と経路変更装置が物理的に離れているため、時間遅れのための配慮などでプログラムが複雑となった。両者の距離はできるだけ近いほうが好ましい。

### 5. 考 察

前章の実験により、特に精度が高い部分では計算値が実験値に良く合うことが示され、2.で構築した理論が実

験的に確認されたものと考えられる。

ここで、デジタル播種システムの特徴を列挙すると次のようになる。

(1) 精密な1次繰出しが期待できない異形な種子でも、理論的に1.0に限りなく近い繰出し精度を実現することができる。

(2) 1次繰出し機構の動作速度を比較的広い範囲に設定することができ、しかも動作速度の制御が高精度である必要はない。従ってトラクタのPTO出力を使用することもできる。

(3) 排種動作が繰出し機構と同期する必要がないので播種位置を理想的に設定することができる。

(4) 1株あたりの点播粒数や点播間隔をソフトウェアによって決めることができる。

そのほか播種機にマイクロコンピュータなどの演算装置が搭載されることによって、種々のモニタ機能を付加しやすくなるなどの付帯的メリットも期待できる。

なおここで行ったのはモデル実験であり、実際に行われているものと比較すると作業速度が遅いが、これは本システムのために製作される専用機では特に問題にならない。一般にロール式や回転皿式、さらには真空式に至るまで、セルの間隔が短くなるほど単粒繰出し精度が悪くなる傾向があるため、従来の播種機では繰出し量を増そうとしてもセルの間隔を短くすることに限界があった。しかし本システムでは単位時間当たりの繰出し量が増加すれば1次繰出し率は悪くても構わないため、セル間隔を可能な限り近付けることにより繰出し量を増やすことができ、実験装置と同様の機構でも作業速度を増すことができる。

そのほかここで用いた繰出し機構は、種子経路変更装置において on-off 動作が頻繁であり、2次繰出しに用いない種子を再びホッパーへ戻す必要があるなどの問題があるが、これらは異なる繰出し機構を用いるなど、ハードウェアを見直すことで解決することができる。

## 6. 摘 要

マイクロコンピュータなどの演算装置の使用を前提とした、デジタル播種システムと呼ぶ点播システムの理論を構築した。さらにモデル播種装置による実験を行い、理論を検証した。

デジタル播種システムの概要は以下のとおりである。

(1) 正確に1粒の種子を繰出し、これを1次繰出しと

する。

(2) 1粒ずつに分離された種子を設定された数だけ集め、2次繰出しとする。

(3) 2次繰出しされた種子を理想的なタイミングで排種する。

次に、デジタル播種システムの特徴を挙げると以下のようなになる。

(1) 異形な種子であっても次に示す式に沿って精密に繰出すことができる。

$$q = \sum_{i=M}^N N C_i f(x)^i [1-f(x)]^{N-i}$$

ただし  $M$  は点播粒数、 $N$  は1回の2次繰出しに利用することのできる機会、 $x$  は機構動作速度、 $f(x)$  は1次繰出し特性である。

(2) 1次繰出し装置の動作速度を高精度に制御する必要がない。

(3) 最も理想的な排種タイミングを採用することができる。

(4) 点播間隔および点播粒数をソフトウェアで設定することができる。

本研究の実験を遂行するにあたり、昭和56年度本学大学院生林豊氏に御援助いただいた。また作図に使用したXYプロッタは岩崎通信機K.K.から貸与されたものである。以上ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 永田雅輝他：耕うん播種機の研究(第6報～第10報), 宮崎大農学報, 25, 111-159 (1978)
- 2) 伊佐 務：ニューマチック播種装置の性能に関する基礎研究, 農機学会関西支部報, 46, 56 (1979)
- 3) 松尾昌樹他：空気式精密播種に関する研究(第1報), 農機誌, 41(1), 43-49 (1979)
- 4) 村井信二：真空精密播種機(ニューマチックプランター)の性能, 機械化農業, 2744, 59-62 (1980)
- 5) 矢田貞美：野菜種子の被覆整形に関する研究(第1報), 農機誌, 45(2), 191-198 (1983)
- 6) W. S. Reid, D. J. Buckley, W. Mason: A Photoelectric Seed Counting Detector, JAER, 21, 213 (1976)
- 7) 岡田芳一他：精密播種に関する研究(第1報), 農機誌, 42(3), 347-353 (1980)
- 8) V. Wrobel: A Microcomputer-Controlled Seeder, Computer Design, 6, 184 (1977)
- 9) 伊佐 務他：播種装置のマイコン制御, 農機学会



- 10) 関西支部報, 48, 48 (1980)  
 伊佐 務他: 播種機へのマイクロコンピュータの  
 応用, 農機学会技術講習会資料, 32-40 (1981)
- 11) 矢治幸夫: 転作大豆の播種精度の向上, 農業機械  
 技術情報, 228, 1-6 (1980)

### Summary

A theory of the digital planting system was constructed. Then some experiments with a model planter were executed, and the theory was confirmed.

Summary of the digital planting system is as follows;

- (1) At the beginning, the system feeds precisely one seed as the first feed.
- (2) Then it gathers scattered seeds together in a set number for the second feed.
- (3) Finally, the system exhausts seeds which are gathered in the second feed, in an ideal timing.

The features of the digital planting system are as follows;

- (1) Even though the seeds have irregular forms, the system feeds them precisely by the following equation,

$$q = \sum_{i=M}^N {}_N C_i f(x)^i \{1 - f(x)\}^{N-i}$$

where  $M$  is the number of seeds to be planted,  $N$  is the number of chances which can be available in one cycle of the second feed,  $x$  is the movement velocity of the first feeder and  $f(x)$  is the specific of the first feed.

- (2) It is not necessary to control the movement velocity of the first feeder so precisely.
- (3) The system can exhausts seeds in the most ideal timing.
- (4) The planting interval and the number of seeds to be planted can be set by the software.