

精密播種機の開発に関する研究

誌名	野菜・茶業試験場研究報告. A = Bulletin of the National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea. Series A
ISSN	09146644
著者	大塚, 寛治 倉田, 久治 小堀, 乃
巻/号	1号
掲載ページ	p. 135-146
発行年月	1987年12月

精密播種機の開発に関する研究†

— ベルト式播種機の1粒繰出し精度について —

大塚 寛治*・倉田 久治*・小堀 乃*

I 緒 言

近年、露地野菜用の収穫機械が相次いで開発されるようになり (ADRIANら, 1975; BRAIDIら, 1983; 古谷, 1980; 後藤ら, 1976; 今園ら, 1979; 唐端ら, 1981; LENKERら, 1978; LENKERら, 1980; MISHOEら, 1977; PETERSONら, 1981; SHEPARDSONら, 1974; 山下, 1976), 生産性の飛躍的な向上を可能にする機械化一貫作業体系の確立が急速に現実化して来ている。このような状況の中で未だに機械化の見込みが立てられておらず、機械化一貫作業体系を組む上で大きな障害となっている作業に、間引きがある。現状の手間引き作業では、間引き能率の高いダイコンやハクサイでも、一人で一日のうちに間引ける面積は10a程度が限度である (農業技術体系)。このため、間引き以外の作業を機械化して作業時間を短縮しても、手間引き可能な範囲内でしか作付けることができないので、機械化による生産性の向上は望めないことになる。

間引き作業能率は、対象作物の違いだけでなく、播種の仕方やその精度によって大きく変わることが指摘されており (阿部, 1976), 間引き作業の省力化には、間引きやすい状態を作り出すための播種精度の向上が不可欠であると考えられている。しかし、現状の播種機では、設定通りの間隔に播種できないために、芽が密集しているところや設定播種間隔よりも相当に長い距離にわたって1本も芽がないところができ、たとえ手間引きを行ったとしても、欠株や生育むらを起こさせない間隔に間引くことすら難しい状況にある。

播種精度の向上に関する研究は早くから活発に進められてきており、古くは、回転円板式やベルト式等のセル

繰出し方式の播種機を対象とした研究が多く見られるが (BAINER, 1947; BARMINGTON, 1948; BARMINGTON, 1956; BARMINGTON, 1958; BRINKMAN, 1956; CAMERONら, 1967; FUTRAIら, 1951; GUELLE, 1947; INMAN, 1968; JAFARARIら, 1972; KHANら, 1971; ROTHら, 1960; WILKINSら, 1979), 最近では、吸引式播種機をはじめとして (COPP, 1961; GIANNINIら, 1967; HASSAN, 1981; 伊藤ら, 1976; KEMPら, 1962; 小林, 1981; 小中ら, 1974; 佐々木ら, 1976; SHORTら, 1970; SIELら, 1984; SWEETMAN, 1957; WANJURAら, 1969; WELLER, 1958), 新たな繰出し機構を考案する傾向が強く (GHATEら, 1981; LEPORIら, 1974; 前田ら, 1978; 松尾ら, 1976; 岡田ら, 1980; ROHRBACHら, 1972; SAKAUE, 1982; SEARCYら, 1982; SNYDERら, 1982; WARD, 1981; 山本ら, 1976), 播種精度と繰出し精度とが同じ意味で使われることが多くなっている。このため、筆者らは、まず、過去の研究成果から播種精度と繰出し精度との因果関係を見出だそうとしたが、どの繰出し方式をみても、その精度を正當に評価できるような幅広い実験や理論付けが成されていないために、吸引式等の最近提案された繰出し方式が旧来のセル繰出し方式よりも確かに高精度になっているかということすらも明らかにできなかった。

そこで、筆者らは、繰出し状況の観察が容易なベルト式播種機の繰出し精度について検討したところ、その繰出し精度は決して低くはなく、そればかりか、ベルト式のようなセル繰出し方式でも確実に1粒ずつ繰出せることを実証できたので、その検討結果について報告する。

* 施設生産部 (元野菜試験場栽培部)

† 本報告の一部は、第43回 (昭和59年) 及び第44回 (昭和60年) 農業機械学会年次大会において発表した。

II 実験方法及び材料

1983年に最初の実験を行い、翌年に、その結果に基づいて、第2回、第3回目の実験を行った。

初回の実験では、手押し用のベルト式播種機（向井工業：MG-6）をトラクタ（インプラメントキャリア：IC1800L）に装着できるように改造したものを供試（写真-1）して、ダイコン‘早太り大蔵’を実作業状



Phot. 1 A view of measurement for the metering accuracies in the first investigation

態下で播種したときの繰出し精度と播種精度とを以下のようにして調べた。繰出し精度の調査は、播種開始後約10m進んだ地点から30mの区間における繰出し状況を16ミリカメラ（キャノン、スクーピック16）を使ってトラクタ上から撮影する方法をとった。なお、種子を繰出した位置も後で判別できるようにするため、巻尺をうねの肩に張っておき、その目盛りも撮影画面に入るようにして繰出し状況を撮影した。そして、後日、その映像を1コマずつ送りながらベルト穴に入っている種子数と繰出したうね上の位置とを全てのベルト穴について調べた。

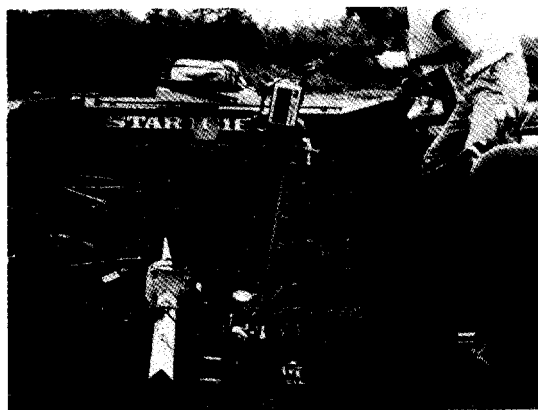
播種精度については、播種機の進行方向上の種子間距

離のみを調べることにし、横方向への変位や播種深さは調べなかった。調査は上述の撮影した30mの区間に播種された種子をピンセットで慎重に掘り出して行き、種子を見付けた位置を巻尺の目盛りに従って1cmの精度で記録する方法をとった。

本供試機の播種間隔はベルト穴ピッチの約2倍の間隔になるように設計されているが、本実験では、直径5mm、深さ約3mmの丸穴を1.6cm間隔で千鳥に配列したベルトを使用したので、設定播種間隔は3cmとなった。

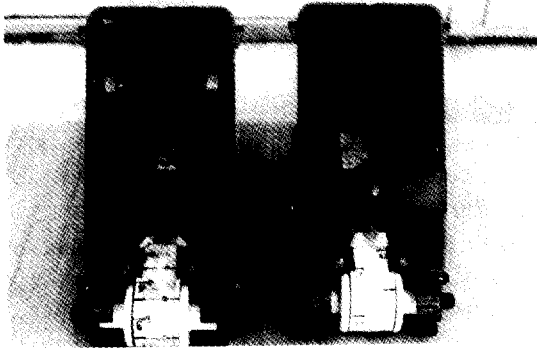
以上の調査を、トラクタのエンジン回転数を1,000rpmに固定して、H-1、H-2、H-3速の3段階の播種速度についてそれぞれ実施した。その場合の実際の播種速度はトラクタが上述の30mの区間を通過するのに要した時間をストップウォッチで計測して求めた。

第2回目の実験では、後述の繰出し理論を検証できるように改善した別の播種機を使ったが、第2回目も初回の実験とほぼ同様の方法をとったので、変更点のみを以下に記す。供試播種機は、ベルト式である点が変わらないが、繰出し精度を向上させるための大きな減速比（播種速度/ベルトを送る速度）がとれ、しかも、播種精度の覆土時における乱れが少ない翼形の翼土板を持つHS-110型（向井工業）に変更した（写真-2）。減速比はベルトを駆動するプーリーに動力を伝達する中間歯車とスプロケットを交換することによって種々の段階を選択できるが、本実験では、最大減速比の3.25を選択して、ベルト速度を初回の実験速度の1/1.625に落とした。ホッパーについても、写真-3-Aに示したように仕切り板

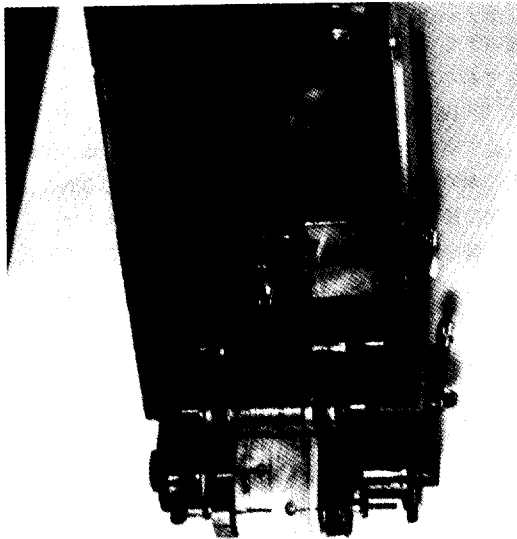


Phot. 2 A view of measurement in the second investigation

を取り付けて、ベルト穴が種子に接触できる距離を初回の実験の7 cm から12 cm に延長した。このベルト速度の低減と接触距離の延長によって繰出し精度の向上を図った。次に、複粒繰出しの主要な原因となるベルト穴に2粒以上入るような小さな種子を取り除くため、3.3～4.0 mm の範囲にふるい選別を行った。更に、余分な種



Phot. 3 Seed hoppers and scraping brushes
A : Expresses it after reformed.
B : Is one of origin.



Phot. 4 The roller brush used in the third investigation

子をかき落とすブラシの性能も繰出し精度に関係することから、市販のブラシ（写真-3-B）を偏平にして種子のホッパー内への戻り効率を高めるとともに、ブラシの弾力性を増してベルト穴に入っている種子までもかき出してしまわないようにするため、そのブラシの柄を二つ折りしたブリキ板で挟持するようにした（写真-3-A）。繰出し状況の撮影は、実験の迅速化を図るため、16ミリカメラからビデオカメラに変更した（写真-2）。

第3回目の実験では、上述のかき落とすブラシを回転力によって強制的に跳ね落とす形式のロール式ブラシ（写真-4）に変更した場合の繰出し精度を調べた。この場合、ロール式ブラシを取り付けたことによって、種子層の距離は前回の12 cm から10 cm に短縮された。また、減速比についても、繰出し後の播種精度を考慮して、前回の3.25から2.82に変更した。

III 繰出し理論

実際の繰出し粒数は、常に一定しているわけではなく、目標とする粒数の周辺に分散するため、その頻度分布図によって繰出し精度の良否を判断する場合が多い。そのような頻度分布を示す原因を確率論的にとらえることによって目標の粒数を繰出せる割合を高める方策が取られるが、その際、繰出し粒数が目標より多くなったり少なくなったりする理由の説明に、一つの確率モデルを当てはめるのが一般的である。しかし、1粒繰出しを考える場合には、欠粒繰出し（1粒も繰出せなかったこと）の場合と複粒繰出しの場合とを分けて考えた方が解決しやすい。すなわち、複粒繰出しを防止するには、大ききのそろった種子を使い1粒しか入らないセルで繰出すことが考えられ、それが最も簡単で確実な方策であるように思われる。したがって、欠粒繰出しを防止できる対策が立てられれば、100%の1粒繰出しが実現されることになるので、以下に欠粒繰出しのメカニズムについて述べることにする。

小嶋ら（1967）は、格子状に区画分けしたガラス板を底に取り付けたホッパーを利用することにより、ホッパー底における種子の分布を調べ、セルに落下可能な種子が少なくとも1粒は含まれる領域の大きさを割出している。その1区画には、どの区画にも含まれる一定粒数と、区画によってランダムに変動する粒数とが含まれるが、そのような区画を1粒しか含むことができない大きさに細分割した場合を想定すると、細分割された小区画には、どの区画にも含まれていた一定粒数分を含めなくなり、

0か1かのランダムな粒数しか含めなくなる。このような小区画を1粒しか保持できない大きさのセルの通過経路上にとると、セルは落下可能な種子にランダムな間隔をおいて出会うことになる。このことは、種子がホッパー内で静止している場合に想定されることであるが、実際には、種子はセルの移動によって常に攪拌されており、静止しているわけではない。ところが、種子が攪拌されていても、上記の小区画列を通して種子が入り出ると考えれば、セルはランダムな時間間隔をおいて落下可能な種子に出会うことになる。したがって、セルがホッパー底を通過する間に種子を捕捉する状況は、客（種子）が窓口（セル）にランダムな時間間隔をおいて到着し、サービス（セルへの種子の落下）を受ける待ち行列のモデルに置き換えられる。種子がセル上に到着してからセルに落下するまでの時間Tはわずかであるが、セルがTよりも短い時間にその場を通過してしまうほど高速で移動しておれば、種子はセルに落下できないので、セルが種子層を通過するのに要する時間Tから落下に要する時間T₀を差し引いたT-T₀がサービス可能（窓口が開いている）時間となる。このモデルでは、欠粒繰出し率はセルが種子層を通過する間に1粒も捕捉できない確率が表されることになり、次式で与えられる。

$$q = \exp \{-K (T - T_0)\} \\ = A \exp (-KT) \quad (1)$$

ここに、K：種子の平均到着率〔S〕

(1)式により、欠粒繰出し率qはセルが種子層を通過するのに要する時間Tに対して指数関数的に減少することから、Tを少し長くするだけで、欠粒繰出し率を大幅に減少させることができ、現実に取り得るTの範囲内で欠粒繰出し率を0と見なせる値にまで小さくできるものと

考えられる。

なお、種子の攪拌がない場合の欠粒繰出し率は、(1)式のTを種子層の長さLに変換した形となり、一見すると、種子の攪拌の有無による相違はないように錯覚されるかも知れないが、この場合には、セルが種子層を通過する時間の長短に関係しなくなるので、播種速度の影響は受けない。

IV 結果及び考察

初回の実験における繰出し精度を表-1に示した。表中のSeed per cell欄の0, 1, 2はベルト穴に入っていた種子数を示し、0は欠粒繰出しを意味する。スリップ率は繰出しベルトを駆動する動力伝達系におけるスリップ率で、後述する種子層通過時間（Passage time of cell）を正確に求めるのに使われる。表-1より、供試した直径5mmのベルト穴には、最高でも2粒しか入っておらず、しかも、2粒を繰出した割合は、H-1, H-2, H-3の播種速度の順に、5.0, 0.2, 1.0%と極めて低いことから、複粒繰出しは大きさのそろった種子を使うようにすれば防止できると考えられた。1粒繰出し率は、H-1速（0.25m/s）で93.3%と精密播種機と称せられるものと比較してもそんな色ないほど高く、最も低いH-3速（0.63m/s）でも80.4%もあることから、ベルト穴（セル）による繰出し精度は決して低くはないと言える。欠粒繰出し率は、H-1速では1.7%とわずかであるが、H-2, 3速と播種速度が高くなるに従って、10.3, 18.5%と急激に増加していることから、H-3速付近で高い1粒繰出し精度を維持するためには、欠粒繰出し率の急激な増加を防止すれば良いと考えられた。

欠粒繰出し率は、(1)式より、ベルト穴がホッパー内の種子層を通過するのに要する時間Tに対して、片対数グ

Table 1 Metering accuracies of the inclined belt type planter used in the first investigation

Planting velocity (m/s)	H-1 0.25	H-2 0.42	H-3 0.63
Seeds per cell (%)	0 1.7 (15)	10.3 (93)	18.5 (142)
	1 93.3 (840)	89.5 (806)	80.4 (614)
	2 5.0 (45)	0.2 (2)	1.0 (8)
Total number of cells	900	901	764
Slip ratio (%)	10.0	9.9	23.6
Passage time of cell (s)	0.62	0.37	0.29

Cell size : Diameter 5mm, depth 3mm, Pitch of cells: 16mm,
Seed : Japanese radish.

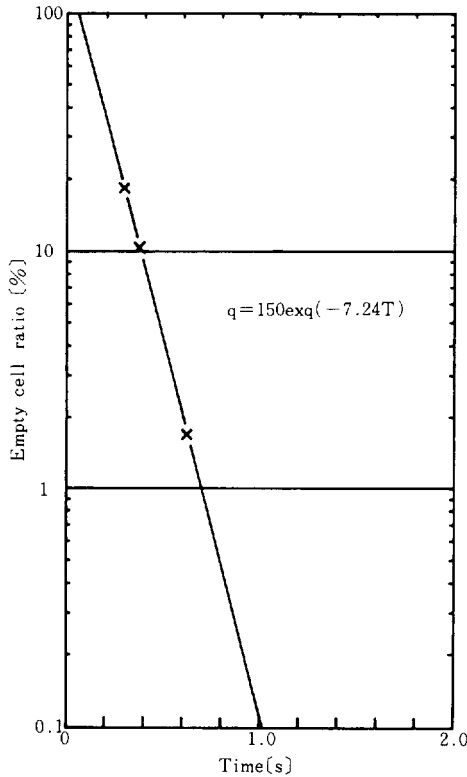


Fig. 1 Relationship between the frequencies (q) of making cells empty and the time (T) elapsed for a cell to pass through the seed layer in the bottom of a hopper

ラフ上で直線的に変化することが予測されるので、H-1～3速に対応する種子層通過時間（表-1）を求めて片対数グラフ上にプロットした（図-1）。図-1より、プロットした3点は一直線上に並んでおり、種子がセルに落下するのに要する時間 T 。（100%の欠粒繰出し率を示す線とプロットした3点を結ぶ直線とが交差する位置における時間）についても、種子が深さ3mmのベルト穴に自由落下するとして概算される0.025秒に近い0.056秒であることから、欠粒繰出し率は(1)式の関係に従って変化するものと考えられた。したがって、種子層通過時間を延長しさえすれば、播種速度を高めた場合の欠粒繰出し率の急激な増加を防止できるだけでなく、欠粒繰出し率を常に0%と見なせる水準に保つことも可能であると考えられた。

種子層通過時間を延長するには、ベルトの送り速度を落として相対的に長くする方法と、種子層の距離を長くして絶対的に長くする方法の二つがある。前者の方法は、播種機の速度とベルトの速度との間の減速比を大きくするように調整するだけで済むため、改造を要しない場合が多く簡単であるが、ベルト速度を必要以上に低下させると、種子をベルト穴から放出する際の放出精度が低下するため、この方法だけでは限界がある。後者の方法では、確実であるが、繰出し部分の寸法を変更しなければならぬため、播種機の本体までも新たに設計し直さねばならないほどの改造を要する。

このため、第2回目以降の実験では、種子層の延長はホッパーの全域を有効に利用する範囲に止どめることとし、その不足分を減速比を大きくすることで対処することにした。これに適する播種機として、向井工業社のHS-110型を当てることにし、ベルトの速度を1/1.625に落とすとともに、種子層の長さを7cmから12cmに延長した。

図-2は、種子層通過時間を上述のように延長して欠粒繰出し率が0%の近辺にまで下がるようにするとともに、ふるい選別した種子を使って複粒繰出しを生じないようにした第2回目の実験結果を示したものである。複粒繰出し率については、初回の実験結果と大きな違いはなくふるい選別した種子を使った効果が見られないが、欠粒繰出し率については、どの播種速度区においても大幅に低下しており、実用上は全く問題にならない値となっている。そして、この欠粒繰出し率の大幅な低下により、95%以上の1粒繰出し率が実現されており、従来は、繰出し精度が低いと考えられていたセル繰出し方式でも、高精度の1粒繰出しが可能であることが分かった。図-3は、欠粒繰出し率の変化を○印で図-1の上に重ねてプロットすることにより、(1)式の適合性を見たものである。○印は種子層通過時間が長くなるに従って直線上から大きく外れて行き、0.36%以下には下らないため、欠粒繰出し率がほぼ1%以下の範囲では、(1)式の関係が成り立たなくなるように見える。しかし、○印を結ぶ破線と直線との関係をよく見ると、その落差は種子層通過時間のどの位置をとってみても一定しているように見えることから、わずかではあるが、欠粒繰出し率に一定して影響する要因が(1)式の関係の上に付加されているものと考えられた。そこで、○印及び×印（初回の試験で得られた欠粒繰出し率）から一定値を差し引いた値を●印及び*印で示すことにして、●と*印が片対数グラフ上で最も直線性を示す場合を最少2乗法により求めたとこ

Planting condition	Empty cell ratio [%,(N)]	
	0	10 20 30 40 50 60 70 80 90
H - 1 Planting velocity [m/s] 0.255 Slip ratio [%] 9.80 Belt velocity [m/s] 0.071 Passage time [s] 1.69	Number of seeds (-) 0 1 2	0.36(2) 94.95(527) 4.68(26)
H - 2 Planting velocity [m/s] 0.450 Slip ratio [%] 9.10 Belt velocity [m/s] 0.126 Passage time [s] 0.95	Number of seeds (-) 0 1 2	0.54(3) 96.06(537) 3.40(19)
H - 3 Planting velocity [m/s] 0.622 Slip ratio [%] 9.40 Belt velocity [m/s] 0.173 Passage time [s] 0.69	Number of seeds (-) 0 1 2	1.08(6) 95.51(532) 3.41(19)
H - 4 Planting velocity [m/s] 0.824 Slip ratio [%] 16.3 Belt velocity [m/s] 0.212 Passage time [s] 0.57	Number of seeds (-) 0 1 2	2.14(11) 96.31(496) 1.55(8)

Fig. 2 Metering accuracies in the second investigation

Reduction ratio : 3.25, Seed size : 3.0-4.0 mm.

ろ、差し引く一定値が欠粒繰出し率の最も低い場合の0.36%に極めて近い値となるときに、初回の実験で得られた直線と全く見分けが付かないところに直線が引け、●と*印もその一直線上に並ぶことが分かった。このように、欠粒繰出し率が(1)式で計算される値よりも常に0.36%だけ高くなる理由として、ベルトに付着してその上端にまで運び上げられて来る余分な種子をかき落とすブラシのかき落し精度が関係しているものと考えられた。すなわち、余分な種子をかき落とす際にベルト穴に入っていた種子までもブラシでかき出してしまう危険性が0.36%あると考えられた。一方、ふるい選別した種子を使ったにもかかわらず、複粒繰出し率が初回の実験結果と大差なかったことについても、ブラシのかき落し

強度が低く、一つのベルト穴に2粒が上下に重なるように入っている場合の上の1粒をかき落せないことが多かったためと考えられた。

このため、供試したような固定のブラシでは、これ以上のかき落し精度を得ることが難しいと判断されたので、固定ブラシを回転するスポンジのロールで強制的に跳ね飛ばす方式に変更して、第3回目の繰出し実験を行った。回転ロールを使った場合に、ロールがベルトに接触するようにして回転させると、ベルト穴に入っている種子をかき出す割合が固定ブラシを使った場合よりも大幅に増加したが、ロールとベルトとの間に種子の厚み程度のすき間を持たせることにより、ベルト穴に入っている種子をかき出す現象が観察されなくなるとともに、2粒入っ

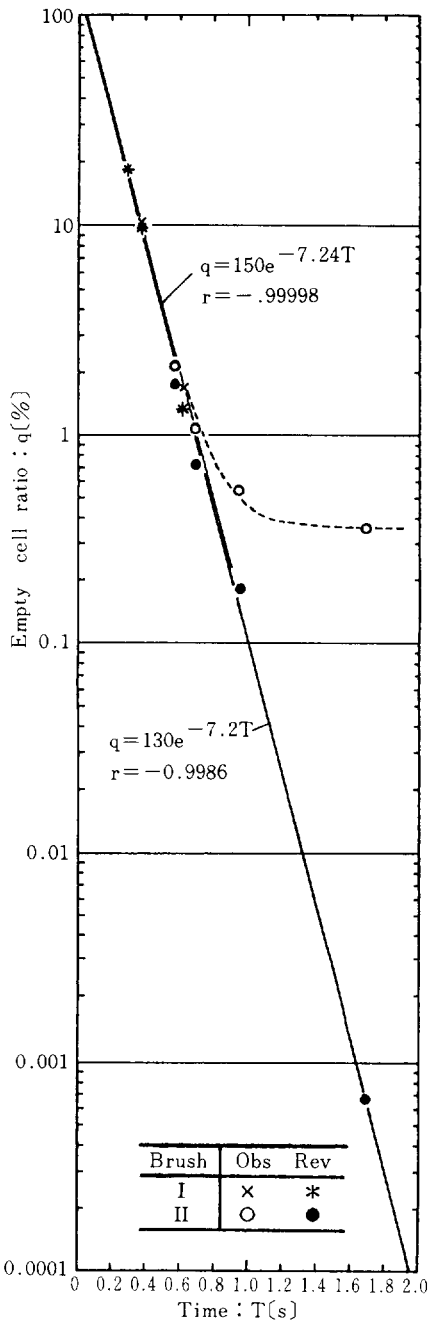


Fig. 3 Change of empty cells in the second investigation

I : Origin, II : Reformed.

ている場合でも下の1粒を残して上の1粒だけを跳ね飛ばせるようになり、図-4に示した繰出し精度が得られた。図-4より、2粒繰出し率は1%以下となり、2粒繰出し率が低下した分だけ1粒繰出し率が高まって、H-1速で99.2%、H-2速で97.9%とほぼ完璧な1粒繰出し精度を実現できた。なお、H-3速では、欠粒繰出し率が4.77%と第2回目の実験よりも高くなって1粒繰出し率が1%ほど低くなっているが、このように欠粒繰出し率が高くなった理由として、減速比を第2回目の3.25から2.82に小さくして繰出し後における播種精度の低下を小さくしようとしたことと、ロール式のブラシを取り付けるために種子層の距離を第2回目の12 cmから10 cmに短縮したことによって、種子層通過時間を第2回目の0.57秒に対して0.47秒しか取れなかったことが原因していると考えられた。H-4速の場合についても実験したが、ベルトの速度がビデオの解像能力を越してしまうほどに高くなったために、ベルト穴に入っている種子数を確認できなかった。

図-5は、回転ロールブラシを使った場合の欠粒繰出し率(Δ)の変化を図-3上にプロットしたもので、先に行ったのと同様の補正を行った結果(▲)を同時に示している。回転ロールブラシにおいても、ベルト穴に入っている種子をかき出してしまふ危険率(ε)を考慮してΔを▲で補正すれば図のように一直線上に並ぶことが分った。そして、これまでの3回の実験データを総合して、欠粒繰出し率q(%)は、

$$q = 130 \exp(-7.2T) + \epsilon \quad (2)$$

で求められるようになった。

かき出しの危険率εは、回転ロールブラシを使った場合には、0.2%と見積もられ、固定ブラシの0.36%に比べて約半分になったに過ぎないが、2粒繰出し率を1%以下に低減でき、ほぼ完璧な1粒繰出しを実現できたことから、回転ロールのような強制的にかき落とす方式を採用した方が高精度の1粒繰出しを安定的に確保できるものと思われた。また、回転ロールブラシを使ってもεを大幅に低減できなかった原因として、回転ロールブラシの製作精度に問題があったことも原因しており、今後製作精度を高めれば、εは本実験結果よりも低減できると考えられた。図-5の破線は、εを1、0.1、0.05、0.01%とした場合の欠粒繰出し率の変化を(2)式により求めて、それが片対数グラフ上で直線性を失う様子を見たものである。εが1%以上もあると、欠粒繰出し率が10%付近から直線性が崩れ始めて、それ以

Planting condition	Empty cell ratio(% , (N))											
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
H - 1 Planting velocity (m/s) 0.269 Slip ratio (%) 4.26 Belt velocity (m/s) 0.091 Passage time (s) 1.10	Number of seeds(-)	0	0.26(2)									
		1	99.21(758)									
		2	0.52(4)									
H - 2 Planting velocity (m/s) 0.454 Slip ratio (%) 4.65 Belt velocity (m/s) 0.144 Passage time (s) 0.69	Number of seeds(-)	0	1.10(7)									
		1	97.95(623)									
		2	0.94(6)									
H - 3 Planting velocity (m/s) 0.641 Slip ratio (%) 5.51 Belt velocity (m/s) 0.215 Passage time (s) 0.47	Number of seeds(-)	0	4.77(36)									
		1	94.43(712)									
		2	0.80(6)									

Fig. 4 Metering accuracies in the third investigation

Reduction ratio : 2.82.

後は緩やかに低下するようになることから、欠粒繰出し率を0%と見なせる水準に保つためには、 ε を十分に小さくしなければならないことが分かった。そこで、 ε を0.05%以下となるようにブラシのかき落とし精度を高めた場合を見ると、欠粒繰出し率は種子層通過時間を少し延長するだけで0.2%付近まで急激に低下させられることが分かった。このことから、播種機の長大化につながるような非常に長い種子層を作らなくても、99%以上の1粒繰出し率を安定して得られるように改善できると考えられた。

以上の3回にわたる実験から、ベルト式播種機の繰出し精度は、一般市販機を実際に使用した場合でも80%以上もあり決して低くはないが、ベルト穴が種子層を通過するのに要する時間を長くして欠粒繰出しを防止する対策を施すとともに大きさのそろった種子を用いてベルト穴に複数粒が入らないようにすれば、完璧と言っても過言でない精度で1粒ずつ繰出せることが分かった。しかし、そのように高精度に繰出しても、播種精度は図-6に示したように極めて低いことから、1粒ずつ精密に

播種できない大きな原因は、従来から半ば常織とされていた種子繰出し過程にあるのではなく、繰出し後の過程にあることが明らかになった。したがって、今後は、種子を繰出した後のどの過程で、播種精度が低下しているかを明らかにする必要がある。

V 摘 要

1) 間引き作業の省力化に不可欠な高精度の1粒播種機を開発する上で、従来から最大の関心事であった1粒繰出し精度の向上策を見出すため、ベルト式播種機を供試した繰出し実験を行った。

2) 供試したベルト式播種機によるダイコン種子の1粒繰出し精度は、常用播種速度の0.5 m/s以下では、90%以上もあり、一般に考えられていたよりもはるかに高いことが明らかになった。

3) 1粒繰出し精度を支配している欠粒繰出し現象について、理論的な検討を行った結果、欠粒繰出し率は繰出しセル(ベルト穴)がホッパー内で種子と接触できる

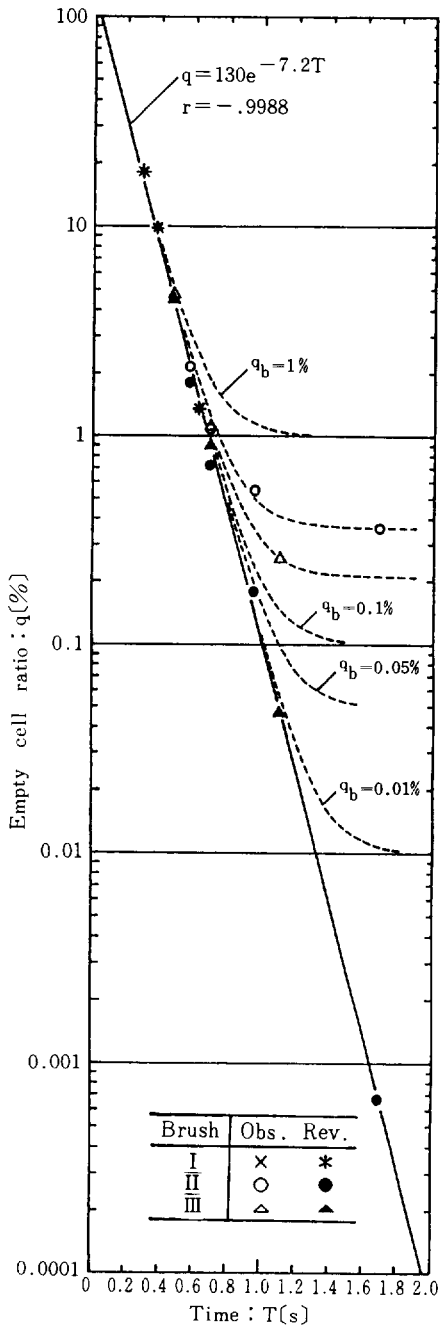


Fig. 5 Change of empty cells in the third investigation
I : Orinin, II : Reformed, III : Roller.

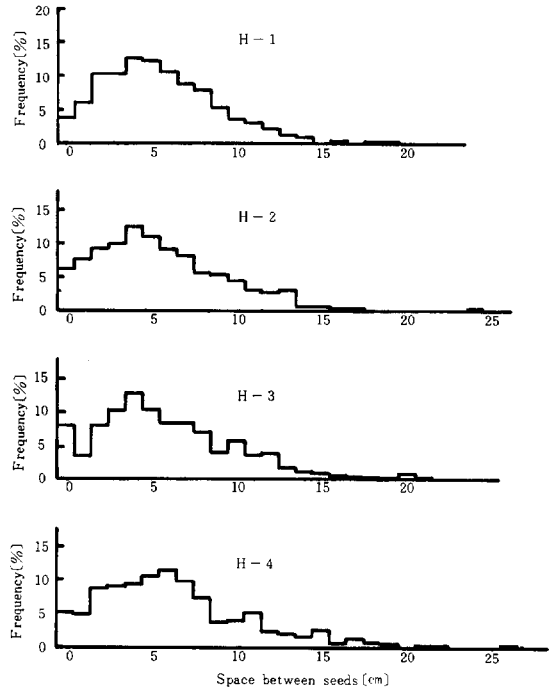


Fig.6 Planting accuracies in the second investigation
Planting interval : 45 cm.

時間（種子層通過時間）に対して指数関数的に変化するという関係式が得られた。

4) 上記の関係式が得られたことから、ベルト式のようなセル繰出し方式の播種機でも、完璧に1粒ずつ繰出せることが明らかになり、その実証実験を行った。

5) しかし、完璧な精度の1粒繰出しを実現するには、ベルトに付着して上がって来る余分な種子をかき落とすブラシのかき落とし精度も高めねばならないことが分かり、固定式のブラシを回転ロール式に変更して余分な種子を強制的に跳ね飛ばすようにしたところ、99.2%というほぼ完璧な精度の1粒繰出しを実現できた。

6) 以上のように極めて高精度の1粒繰出しを実現しても、なお、播種精度は非常に低い状態にあることから、播種精度を大きく低下させている真の原因は繰出し後のいずれかの過程にあることが明白となり、今後は、その原因を明らかにする必要がある。

引用文献

- 1) 阿部 勇 (1976) : わが国における野菜栽培機械化の現状と将来. 農機誌, 38, 256 ~ 260.
- 2) ADRIAN, P. A., D. H. LENKER & D. NASIMENTO (1975) : A mechanical trimmer for crisphead lettuce-refinements, field test, & performance. *Trans. ASAE*, 19, 835 ~ 839.
- 3) BAINER, R. (1947) : Precision planting equipment. *Agric. Eng.*, 28, 45 ~ 54.
- 4) BARALDI, G. & M. BENTINI (1983) : Harvest of green asparagus in Italy. *Trans. ASAE*, 26, 1355 ~ 1360.
- 5) BARMINGTON, R. D. (1948) : The relation of seed, cell size and speed to beet planter performance. *Agric. Eng.*, 27, 530 ~ 532.
- 6) _____ (1956) : Metering devices and test results of some foreign and domestic sugar beet planters. *J. Am. Soc. Sugar Beet Tech.*, 9, 44 ~ 50.
- 7) _____ (1958) : Planting equipment mono-germ seed. *Ibid.*, 10, 48 ~ 52.
- 8) BRINKMAN, W. (1956) : Einzelkornablage von aufbereiteten Rubensaatzgut. *Landtech. Forsch.*, 6, 125 ~ 132.
- 9) CAMERON, D., J. B. MILNER & J. CARRUTHERS (1967) : An automatic self-propelled seed drill for cereal plots. *J. Agric. Eng. Res.*, 12, 142 ~ 146.
- 10) COPP, L. G. L. (1961) : Precision seeder operated by suction. *N. Z. J. Agric. Res.*, 4, 441 ~ 447.
- 11) 古谷 正 (1980) : 根菜収穫機構に関する研究 (第4報) - 開発した根菜収穫機 - . 農機誌, 42, 355 ~ 361.
- 12) FUTRAL, J. G. & R. L. ALLEN (1951) : Development of a high speed planter. *Agric. Eng.*, 32, 215 ~ 216.
- 13) GHATE, S. R., S. C. PHATAK & C. JAWORSKI (1981) : Seeding pre-germinated vegetable. *Trans. ASAE*, 24, 1099 ~ 1102, 1107.
- 14) GIANNINI, C. R., W. J. CHANCELLOR & R. E. GARRET (1967) : Precision planter using vacuum for seed pickup. *Ibid.*, 10, 607 ~ 610.
- 15) 後藤美明・山本健司・金光幹雄 (1976) : キャベツ収穫機の試作研究. 農機誌, 38, 285.
- 16) GUELLE, C. E. (1947) : Precision planting of beets and corn. *Agric. Eng.*, 28, 56 ~ 57.
- 17) HASSAN, A. E. (1981) : Precision drum seeder for uniform spacing. *Trans. ASAE*, 24, 879 ~ 883.
- 18) 今園支和・我妻幸雄・矢治幸夫・雁野勝宣 (1979) : 根菜類の収穫機構に関する研究. 農事試験報, 29, 95 ~ 130.
- 19) INMAN, J. W. (1968) : Precision planting-a reality vegetables. *Agric. Eng.*, 49, 344 ~ 345.
- 20) 伊藤道秋・端 俊一・岡村俊民 (1976) 吸引式播種機に関する研究. 農機誌, 37, 526 ~ 532.
- 21) JAFARARI, J. V. & K. J. FORNSTRON (1976) : A precision punch-planter for sugar beets. *Trans. ASAE*, 15, 569 ~ 571.
- 22) 唐橋 需・井上喬二郎・沢村宣志 (1981) : 結球野菜収穫機の開発研究. 農事試験報, 33, 19 ~ 56.
- 23) KEMP, J. G. & W. KALBFLEISCH (1962) : Note on the evaluation of the new zealand space-plant seeder. *Can. J. Plant Sci.*, 42, 554 ~ 557.
- 24) KHAN, A. U. & H. F. MCCOLLY (1971) : High speed precision centrifugal seed planting. *Trans. ASAE*, 14, 972 ~ 980.
- 25) 小林由起也 (1981) : 吸引式播種機の研究 第2報 小粒不整形な種子の吸着特性. 秋田農短大研報, 7, 61 ~ 74.
- 26) 小嶋和雄・村田 敏・大久保淳一 (1967) : 回転目皿式排種装置の研究 (第1報) - 播種板上の種子の分布について. 農機誌, 28, 208 ~ 211, 203.
- 27) 小中俊雄・堀部和雄・長谷川雅博 (1974) : 穀粒の空気吸着特性について. 農機誌, 36, 433 ~ 439.
- 28) LENKER, D. H., P. A. ADRIAN, M. B. ZAHARA & D. E. WILKINS (1978) : Development and performance of a selective cauliflower harvester. *Trans. ASAE*, 21, 6 ~ 11.
- 29) _____ & _____ (1980) : Field model of an X-ray system for selecting mature head of crisphead lettuce. *Ibid.*, 23, 14 ~ 19, 24.
- 30) LEPORI, W. A., J. G. PORTERFIELD & E. C. FITCH, Jr. (1974) : Fluidic control of seed metering *Ibid.*, 17, 463 ~ 467.
- 31) 前田 拓・細野満典・横山幸徳 (1978) : 磁気利用による育苗用播種機の開発. 三重農技研報, 7, 37 ~ 49.
- 32) 松尾昌樹・石川勝美 (1979) 空気式精密播種機に関する研究 (第2報) - 圧送式による輸送管内における種子分布の数学的モデル表示について. 農機誌, 41, 221 ~ 223.
- 33) MISHOE, J. W. & Sun-Fu SHIH (1977) : A mechanized system to harvest celery seedlings. *Trans. ASAE*, 20, 613 ~ 616.
- 34) 岡田芳一・石川勝美・永田雅輝 (1980) : 精密播種に関する研究 (第3報) - ボウル型振動フィーダを利用した種子の繰出し方式について. 農機誌, 44, 431 ~ 437.
- 35) PETERSON, D. L., G. K. BROWN & A. K. STRIVASTAVA (1981) : Mechanical harvester for leafy green vegetables. *Trans. ASAE*, 24, 312 ~ 314, 318.
- 36) ROTH, L. O. & J. G. PORTERFIELD (1960) : Some basic performance characteristics of a horizontal plate seed metering device. *Ibid.*, 3, 105 ~ 107.
- 37) ROHRBACH, R. P. & K. H. KIM (1972) : A fluidic seed meter?. *Ibid.*, 15, 1003 ~ 1004, 1009.
- 38) SAKAUE, O. (1982) : Precision planter equipment using static electricity for seed pickup. *Bull. Veg. Ornam. Crops. Res. Strn.*, A, 10, 47 ~ 56.
- 39) 佐々木泰弘・入江道男 (1976) : 吸引式播種機の試作. 農機誌, 38, 266.
- 40) SEARCY, S. W. & L. O. ROTH (1982) : Precision metering of fluid drilled seeds. *Trans. ASAE*, 25, 1563 ~ 1566.
- 41) SHEPARDSON, E. S., J. G. POLLOCK & G. E. REHKUGLER (1974) : Research and development of a lettuce harvesting. *Ibid.*, 17, 212 ~ 216.
- 42) SHORT, T. H. & G. H. SAMUEL (1970) : The development of a planetary-vacuum seed metering device. *Ibid.*, 13, 803 ~ 805.
- 43) SIEL, F. S. & S. P. E. PERSON (1984) : Vacuum nozzle design for seed metering. *Ibid.*, 27, 688 ~ 696.
- 44) SNYDER, K. A. & E. H. WIENS (1982) : Low pressure air jet seed selection for planters. *ASAE paper*, 82 ~ 1017, 24pp.
- 45) SWEETMAN, I. C. (1957) : A suction-operated precision seeder. *N. Z. J. Sci. Tech. Sec. A.*, 38, 576 ~ 582.
- 46) WANJURA, D. F. & E. B. HUDSPETH (1969) : Performance of vacuum wheels metering individual cotton seed. *Trans. ASAE*, 12, 775 ~ 777.
- 47) WARD, S. M. (1981) : Performance of a prototype

- fluid drill. *J. Agric. Eng. Res.*, 26, 321 ~ 331.
- 48) WELLER, K. (1958) : Die rein pneumatische gleichstandsamt. *Landtech. Forsch.*, 8, 1 ~ 9.
- 49) WIRKINS, D. E., P. A. ADRIAN & CONLEY, W. J. (1979) : Punch planting of vegetable seeds-A progress report. *Trans. ASAE*, 22, 746 ~ 749.
- 50) 山本由泰・大島秀雄・増田治策 (1976) : レタスの育苗作業の機械化. *農機誌*, 38, 272.
- 51) 山下勝男 (1976) : キャベツ収穫の機械化に関する研究-試作2号機の製作と性能-. *農機誌*, 38, 284.
- 52) 農山漁村文化協会 : 農業技術体系 野菜編 7, 9巻. 農山漁村文化協会, 東京.

Study on the Development of Precision Planter
- Metering Accuracy of Inclined Belt Type Planter -

Kanji OTSUKA, Hisaharu KURATA and Osamu KOBORI

Summary

The metering accuracy of inclined belt type planters was investigated to develop a precision planter which might be useful for the improvement of the thinning work in vegetable farming. The investigations were carried out three times, using Japanese radish seeds under the same conditions as those in farmers' fields. The metering accuracy was measured by taking photographs of seeds within the belt cells coming out of the seed-hopper when the belt circulated according to the movement of the planter.

In the first investigation, the planter without any improvement was tested. The metering accuracy was so high that the ratio of single seed within a cell was 93.3 %, for a planting velocity of 0.25 m/s which was within the normal range of the planter. The metering accuracy mainly depended upon the frequency of the empty cells which rapidly increased with the increase of the planting velocity. The reasons for the occurrence of empty cells were analyzed by the application of the Queue model to the process by which the cells were passing through the seed layer at the bottom of the hopper. It was shown that the probability (q) of occurrence of empty cells depended on the time (T) required for a cell to pass through the seed layer in the bottom of the hopper, as expressed in eq.(1),

$$q = A \exp(-KT) \quad (1)$$

where, A & K are constants

In the second investigation, an inclined belt type planter was used in which the metering device was improved so as to prevent the occurrence of empty cells, based on eq.(1). In addition, sieved seeds were used so as to prevent a cell from containing more than one seed. Eq.(1) was verified although it was necessary to improve the scraping accuracy of the brush installed at the top of the hopper in order to scrape the extra seeds which adhered to the belt surface and came up together with the seeds metered by the cells.

In the third investigation, the brush was replaced by a roller brush so designed as to scrape only extra seeds by the rotary motion.

The metering accuracy of the inclined belt type planter was increased by these successive improvements. The ratio of cells with single seed reached a value of 99.2 % and 98.0 % for the planting velocities of 0.25 m/s and 0.45 m/s respectively.

Although the metering accuracy was very high, the planting accuracy remained unsatisfactory as the distance between the seeds planted in a field was uneven. Therefore, it was considered that the factors responsible for the low planting accuracy after metering should be analyzed.