水稲代かき同時打込み点播機の開発と播種深度特性

富樫辰志*・下坪訓次*・吉永悟志**

* 東北農業研究センター ** 九州・沖縄農業研究センター

Development of Seed-Shooting Seeder of Rice Combined with a Paddy Harrow and Characteristics of the Sowing Depth

Tatsushi TOGASHI*, Kunji SHIMOTSUBO* and Satoshi YOSHINAGA**

* National Agricultural Research Center for Tohoku Region

** National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region

1 緒言

水稲直播栽培技術は、移植栽培技術と比較して育苗と田植え作業が省略できる大きな利点があり、閉塞感のある省力・低コスト化の改善が期待できるため、従来より全国で開発研究が精力的に行われてきた。しかし日本の直播は、不安定な出芽率、鳥・虫害、生育後期の倒伏、雑草防除、さらには直播適性の良食味品種がないことや栽培管理の難しさ等、依然として技術普及上の多くの問題点を抱えている。

水稲直播は湛水直播と乾田直播とに大きく分けられ、湛水直播も播種法等の違いでさらに類別される(日本型直播稲作導入指針1997)。それらの中で、湛水土壤中直播は雑草防除や栽培管理、また作業時の降雨条件等で乾田直播方式よりも有利であり、普及性は高いと判断された。湛水土壤中直播の最大の問題点は出芽の安定性であり、それは播種深度の安定性と密接に関係している。

一方、代かき作業と同時に播種を行う方法が試みられている(伊藤ら1987, 西田ら1997)。同時工程作業による省力化と、代かき直後に好適な播種条件が得られる等の理由で有望な技術と考えられるが、普及技術までには至っていなかった。下坪ら(2001)は、代かき直後の土壤中に数粒の種子を打込むことによって、適正播種深度が得られやすく、かつ点播が可

能となる鋸歯形打込みディスク(以下、鋸歯ディスクと略)による種子打込み技術を新たに開発した。

以上の経過を踏まえて筆者らは、高精度播種と省力・低コストが期待でき、かつ普及しやすい新たな水稲直播技術として「代かき同時打込み点播機」を開発した。本報では、開発機の構成・機能および播種深度特性の基礎試験結果等について報告する。

本研究を推進するに当たっては、九州沖縄農業研究センター水田作研究部業務科の坂本和彦技官および迫立祐治技官(現作物機能開発部)に多大なご協力を頂いた。また、試作機の製作に当たってはサン機工株式会社(佐賀市)にご協力を頂いた。記して感謝の意を表する。

2 代かき同時打込み点播機の概要

1) 基本目標

本機の機能については以下の3点を開発の基本目標とした。

- (1) トラクタおよび代かきハローによる仕上げ(整地)代かき作業と同時工程で播種作業を行う。
- (2) 適正播種深度を安定的に確保するため、鋸歯ディスクによって種子を代かき土壤中へ打込む方式とする。
- (3) 種子の繰出しロールおよび鋸歯ディスクの駆動はトラクタバッテリーを電源とする可変速直流モータで行う。

2) 本機の全体構成

図1・表1・写真1に示した代かき同時打込み点播機は34kWトラクタに装着した10条用の試作機である。代かきハローは市販品で水平姿勢自動調整装置が付いている。播種機は代かきハロー後部に固定

平成12年 5月26日受付

平成13年11月10日受理

Corresponding author

富樫辰志 Tatsushi TOGASHI

〒020-0123 盛岡市下厨川赤平4

Akahira-4, Shimokuriyagawa, Morioka-shi, 020-0123, Japan

E-mail: ttogasi@affrc.go.jp

図1 代かき同時打込み点播機の概要

表1 試作機の主要諸元

〈代かきハロー〉	作業幅：2805mm
	質量：305kg
〈播種機〉	条数：10
	質量：6.7kg/1個
ハロー＋播種機の総質量：	405kg
〈駆動モータ〉	
鋸歯ディスク用	出力：130W
播種ロール用	出力：40W
〈使用トラクタ〉	質量：2250kg
	出力：34kW(46PS)

写真1 開発した代かき同時打込み点播機
(九州農試圃場 1996)

フレームを介して装着され、各ユニットは種子ホッパ(容量12リットル)、点播機用播種ロール、鋸歯ディスク(スポンジゴム製)等によって構成される。播

種ロールおよび鋸歯ディスクは、各々、40Wおよび130Wの直流モータで駆動され、トラクタ運転席で回転数設定ができる。播種ロール用モータは播種ユニット間の駆動軸に、また鋸歯ディスク用モータは駆動軸左端に固定した。

播種機構(図1)は以下の通りである。種子ホッパに入っている酸素発生資材被覆種子(以下、被覆種子または単に種子と略す)は播種ロールの回転(30～120rpm可変)によって数粒ずつ繰出され、種子供給管中を落下して鋸歯ディスク側方に供給される。供給された種子は回転(100～1500rpm可変)する鋸歯ディスクの鋸歯先端部で瞬時に打撃・加速され、種子打込み管を介して、代かき直後の軟らかな土壤中に打込まれる。鋸歯ディスクへの種子の供給が間欠的であれば点播形状となる。この際、種子の打込み地点での代かき土壤硬度が重要であり、ヨーグルトよりやや硬めであれば適正播種深度が得やすく、点播形状も良好となる。なお、鋸歯ディスクによる種子の打込み状況から本技術をショットガン直播とも称する。

3 被覆種子の物理性

湛水土壤中播種方式では、出芽率の向上を目的として被覆種子が用いられている。本機の場合は、出芽率向上の他に、催芽種子を物理的な衝撃・打撃から保護するため、また質量を増して一定の播種深度を確保するためにも被覆種子を用いることが必要条

件となる。被覆量についてはすでに多くの検討がなされ、通常は乾籾重の2倍が標準であるが、北海道のみは播種量が多いために1倍が基準であると結論づけられている。被覆資材は過酸化石灰（CaO₂）を16%含む粉剤でカルパー16の商品名で市販化されている。被覆作業は皿型造粒機を用いて水を噴霧しながら行う。供試被覆種子の基本物性を確認するため、以下の調査を行った。

1）試験方法

- (1) 被覆種子の基本物性として寸法・含水率を測定した。
- (2) 被覆資材の強度を調査するため、被覆種子の静的圧縮破砕試験を行った。圧縮試験装置を用いて10mm/sの速度で被覆種子を圧縮し、被覆資材の破砕が目視された時点での荷重をX・Y・Zの3軸方向から測定した（図2）。

被覆量は乾籾質量に対して1倍・2倍・4倍の3種類とした。4倍の試験区を採用したのは、将来、農薬や肥料等を酸素発生資材とともに混入して被覆量が増加する可能性があるためである。被覆種子の乾燥条件（風乾）は、被覆作業直後の質量を100とし、乾燥後の質量に応じて、被覆直後

図2 被覆種子の静的圧縮破砕試験方法

(100)、乾燥後(96)、乾燥後(90)の3区を設定した。

2）試験結果

表2の被覆種子寸法において、被覆量が多くなるに従って最も増加したのは厚さ（図2のZ軸方向に相当）、次に幅（同Y軸方向）であり、長さ（同X軸方向）の増加はほとんどなかった。含水率の変化を、一例として2倍被覆種子でみると、全質量の減少は約10%であるが、含水率は20.5%から11.8%まで減少し、その多くが被覆資材からの水分減少であると推定されるので、剥離現象に影響を及ぼすと判断された。なお、2倍被覆種子の真比重は1.82（被覆種子全体の含水率14.9%時）であった。

静的破砕強度については、表3に示したデータか

表2 供試種子の物理性

項 目		催芽籾	1 倍被覆	2 倍被覆	4 倍被覆
寸 法 mm	長さ(X軸方向)	7.2	7.2(0)	7.3(1)	7.6(6)
	幅 (Y軸方向)	3.5	4.0(14)	4.2(20)	5.3(51)
	厚さ(Z軸方向)	2.5	3.3(32)	3.5(40)	4.8(92)
含水率 %	被覆直後(100)	32.8	22.9	20.5	18.2
	乾 燥 後(96)	—	20.5	17.2	15.4
	乾 燥 後(90)	—	15.4	11.8	10.0

注1) 寸法の括弧内は催芽籾寸法に対する増加割合%。

2) 催芽籾は被覆直前のデータ。測定点数各50点。

表3 供試種子の静的破砕荷重(kg)

乾燥程度	圧縮方向	1 倍被覆	2 倍被覆	4 倍被覆
被覆直後 (100)	X	0.9(0.1)	1.0(0.2)	1.2(0.1)
	Y	2.1(0.3)	1.0(0.4)	1.0(0.2)
	Z	4.6(0.9)	1.7(1.0)	2.2(0.8)
乾 燥 後 (96)	X	1.0(0.2)	1.0(0.1)	1.5(0.2)
	Y	2.0(0.3)	1.4(0.5)	1.1(0.2)
	Z	3.6(0.8)	2.9(0.7)	2.5(0.9)
乾 燥 後 (90)	X	1.0(0.2)	1.1(0.3)	1.4(0.2)
	Y	1.6(0.6)	1.0(0.4)	1.1(0.2)
	Z	2.3(0.5)	2.4(0.3)	2.2(0.5)

注) 括弧内は標準偏差。測定点数20点。

らいくつかの傾向が明らかになったが、実用上の要点は以下の通りである。①圧縮方向では、Z軸方向が最も大きな強度を示したが、これは表2の厚さ方向であり被覆量が大きいと推定された、②乾燥程度では、被覆量による違いがみられたが、2倍被覆では乾燥後(96)が最も大きな強度を示した。③被覆量では、1倍被覆の強度が大きかったが、乾燥程度(96)と(90)の場合では、1倍と2倍・4倍との差は小さかった。

なお、この調査範囲での最小破碎荷重は0.9kg(1倍被覆、乾燥程度100、圧縮方向X軸)の値であったが、打込み播種で破碎が問題となる値ではなかった。また、乾燥程度は播種ロール等への剥離粉末の付着を少なくするためにも一定の乾燥が必要であることから乾燥程度(96)が良いと思われた。

以上から総合的に判断し、以後の試験では断りがない限り、2倍被覆種子を、被覆直後の質量から4～5%乾燥した状態で用いることとした。

4 播種深度に影響を及ぼす諸要因

代かき土壤中に打込まれた種子の動きを直接観察することはできないので、室内において基礎的な試験を行った。初めに打撃種子の速度特性と水中に打込まれた種子の挙動を高速度カメラで調査し、次に、代かき土壌硬度に類似させて調整することができる物質で、かつ播種深度がスケールで目測できる寒天ゲルを供試し、播種深度分布について検討した。

1) 打撃種子の速度

(1) 試験方法

200mmの測定区間を打撃直後の種子が通過する時間を測定して速度を決定した(図3)。使用した高速度カメラはフォトロン社製のFASTCAM-Rabbitで、シャッタースピード0.1ms、撮影フレーム数400枚/sで

図3 高速度カメラによる打撃種子の速度測定

撮影し解析した。試験区の構成は、鋸歯ディスク周速度3区、鋸歯ディスク直径2区、および種子の被覆条件4区とした(表4)。

(2) 試験結果

表4の試験No1～3において、鋸歯ディスク周速度が増加するにしたがって種子の速度は大きくなり、速度増加率(ディスク周速度に対する種子速度の増加割合)も若干増加することが確認された。鋸歯ディスク直径が5mm小さい場合(No4～No6)の比較では、催芽粉・1倍被覆・4倍被覆の速度とCVの明確な違いはみとめられなかった。速度増加率は1%程度であり、ケースとの隙間が大きくなったことが影響したと考えられるが、詳細な説明は今後の課題として残された。

速度分布例として試験No.2の例を図4に示した。鋸歯ディスク周速度10m/sに対する種子の平均速度は10.8m/s、CV15.7%であった。分布形状は10～11m/sを中心とした山形となっており、打撃された種子

表4 打撃種子の速度

No	ディスク周速度 m/s	種子被覆 条件	種子速度 m/s(CV %)	速度増加率 %
1	5.0	2倍被覆	5.0(16.0)	0.0
2	10.0	〃	10.8(15.7)	8.0
3	15.0	〃	17.6(13.6)	17.3
4	9.7	催芽粉	9.9(21.2)	2.1
5	〃	1倍被覆	9.8(15.3)	1.0
6	〃	4倍被覆	9.8(18.4)	1.0

注) 測定点数は各100点。No1～3のディスク直径191mm、No4～6は直径186mm。

図4 打撃種子の速度分布

図6 水中に打込まれた種子の進行方向

の速度には一定のばらつきがみとめられた。

2) 水中に打込まれた種子の挙動

(1) 試験方法

JIS300ml ビーカーに水を270ml入れ、図5に示した方法で、種子を1粒ずつ薬匙で供給し、ビーカーに打込まれた種子の挙動を高速度カメラで撮影した。水の表面と種子の打撃位置との距離は40cm。水中に打込まれた種子は急激に速度が減少し、ほぼ停止した状態になり、その後自然に沈下する。測定項目は、①打込まれた種子の進行方向(図6)、②停止状態になった時の種子位置の深さの2点である。試験条件は打撃直後の種子速度を、5・10・15m/sの3区とし、供試種子は被覆種子の他に对照区として乾籾を用いた。

(2) 試験結果

① 打込まれた種子の進行方向

被覆種子の例を図7に示した。水中での進行方向

図7 水中進行方向(被覆種子)

は3が最も多くて全体の50%前後を占め、次いで4が多く、2・3・4では80%以上を占めていた。1および5の方向は、10%未満であった。以上より、水中での進行方向は3>4>2>5>1の順に多く、打込み速度差による進行方向の違いはほとんどないことが明らかになった。乾籾の試験結果もほぼ同様であった。

② 打込み種子の深度

水中で種子が一旦停止状態となる位置(深度)は、打込み速度と種子条件によって違いがみられた。被覆種子(図8)のCVは20~30%であった。速度の違いをみると、5m/sでは深度30~40mmが多いのに対して10m/sおよび15m/sでは30~50mmが多く60mmも10%ほどであった。打込み速度10m/sと15m/sとは深度にあまり差がなかった。

乾籾の打込み深度(図9)は、打込み速度5m/sでは20mm前後に、同15m/sでは30mm前後にあり、10m/sはその中間深さであった。CVは15~22%であった。

図5 種子の打込み試験方法

図8 水中打込み深度（被覆種子）

図9 水中打込み深度（乾粒）

3) 寒天に打込まれた種子の深度

(1) 試験方法

黒色に染めた被覆種子を7粒ずつ薬匙で供給し、寒天ゲル（粘度約50dPa・s，ヨーグルト状）を入れたHIS300ml ビーカーに打込み，深度測定はスケールで目

測した(図5参照)．打込み種子速度は7m/sと12m/s，測定点数は7粒×30回＝210点とした．

(2) 試験結果

打込まれた種子の深度は正規分布に近似しており(図10)，CVは36～38%であった．打込み速度7m/sでは深度ピークが21～25mmに，同12m/sでは同31～35mmにあり，打込み速度が大きいほど深度も大きくなることが確認された．12m/sでは，深度が10mm～50mmと広範囲に分布した．

5 考察

1) 水稻代かき同時打込み点播機

本機の最大の特徴は，代かきハローで仕上げ代かきを行いながら，鋸歯ディスクで被覆種子を10m/s前後の高速で打込み，5～15mmの良好な播種深度を確保することにある．すなわち，代かきハローによって表面水・土壌・夾雑物等を攪拌してヨーグルトよりやや硬めの土壌条件を安定的に作出することと，その地点に鋸歯ディスクで種子を打込むことは，セットになって初めてその特性を発揮することができる．このことは，従来にない新しい播種方式と位置づけられる．土壌に接触する開溝・覆土装置のないことも安定的な播種深度が得られる要因の一つである．

播種機は代かきハローの後部に位置しているため，被覆種子を搭載すると質量がさらに増加するので，トラクタにフロントウエイトを付加して質量バランスを取る必要がある．例えば，作業幅2400mmのハローに装着する8条用播種機の場合，適応トラクタは22kW（30PS）前後と想定されるが，100kg程度のウエイトを付加することが望ましいと判断された．

図10 寒天への被覆種子打込み深度

播種機の適正条数は圃場の大きさ等によって異なるが、6条～10条が実用的と考えられ、条数に合わせて適正な大きさのトラクタを選定する必要がある。ただし、条間を通常の30cmから変更する場合は、コンバインの刈取り幅も考慮にいれて条数とトラクタの大きさを選定する必要がある。

なお、同時施肥作業に対する生産農家の要望は少なくないが、質量バランスに関係する肥料ホッパの位置と、施肥効果に関係する施肥位置（施肥方法）とを考慮する必要がある、今後の研究課題として残された。

2) 鋸歯ディスクによる種子の打撃

数粒の種子が鋸歯ディスクの鋸歯先端部で打撃される現象を高速度カメラで確認したところ、種子は鋸歯先端とディスクケースとの隙間（1～3 mm）に挟まれ鋸歯先端部のわずかな変形によって引き込まれながら、結果として鋸歯先端部で打撃・加速される様相であった。したがって、1つの鋸歯で2～3粒と一緒に打撃される場合や1粒のみが打撃される場合など多くのケースが想定された。このことから、打撃の時点で初速度のばらつきが予想され、図4の速度分布が裏付けられた。以上から、種子の打撃速度は一定のばらつきを有し、平均値としてはほぼ鋸歯ディスク周速度と同等であり、打撃速度が大きくなるとディスク周速度より10%前後大きい打撃速度が得られると結論づけられた。

水中等に打込まれる直前の種子速度については、①実測できなかったこと、②飛散中の扁平形状の種子に動き（回転）があり空気抵抗の計算は困難であること、③打撃位置と打込み面との距離が最大でも50cm以内であること、等の理由で重力加速度と空気抵抗の影響を無視し、打撃速度と同一速度であると仮定した。

3) 水中に打込まれた種子の挙動

今回用いた高速度カメラの場合、解像能力の限界から水中に打込まれる瞬間の種子姿勢は確認できなかった。高速度カメラで観察した打撃直後の種子は、複雑な回転運動をしながら飛散することが確認されたことから、打込まれる瞬間の種子姿勢は多様であると推定され、このことが播種深度のばらつきにも影響を及ぼしていると思われた。

水中での打込み深度は、打込み時の種子速度と姿勢の他に比重の違いにも影響される。すなわち、2倍被覆種子の比重が約1.8であるのに対して乾籾は約1.2（催芽籾は約1.3）でありその差が図8と図9との

違いと推定された。したがって種子の比重を大きくすれば、より小さな打込み速度でより大きな播種深度が得られると予想されるが、実際には代かき土壌硬度条件の方が播種深度にはより大きな影響を及ぼすと考えられるため、種子の比重増加法は効果的ではないと判断された。また、10m/sと15m/sの水中播種深度の違いが種子速度の違いほどはないという現象については、物理的・数学的な解析は行わなかったが、実用性からみて、この範囲での打撃速度増加は、播種深度に大きな影響は与えないと判断された。

4) 寒天中に打込まれた種子の深度

均質な代かき土壌に類似な物質として取上げた寒天ゲル中への打込み試験では、打込み速度の影響が明確に現れた（図10）。CVは36～38%であり、それは打込み速度と種子姿勢のばらつきに起因すると推定される。また、打込み速度が大きいと播種深度範囲が大きくなることも確認された。この場合、1粒種子の打込みよりも5～6粒まとめて打込んだ方が全体としてより深くなることは確認されている（下坪ら2001）。図10では、打込み速度7 m/sで深度平均19mm（±7mm）、同12m/sでは同じく32mm（±12mm）が得られているが、実際の代かき土壌条件における播種深度との違いについては、土壌硬度測定法まで含めた詳細な検討が必要と思われた。

6 摘 要

トラクタによる代かき作業と同時工程で水稲直播を行う「代かき同時打込み点播機」を開発し、その播種深度特性について室内基礎試験を行った。

- 1) 播種ユニットは、市販の代かきハロー後部に取り付けられ、播種ロールより繰出された数粒の過酸化石灰被覆種子を回転（100～1500rpm可変）する鋸歯形打込みディスクによって代かき土壌中に打込むものである。
- 2) 播種ロールと鋸歯ディスクはトラクタバッテリーを電源とする可変速直流モータ（40W・130W）で駆動される。
- 3) 鋸歯ディスクによる打撃種子の速度（高速度カメラ測定）は、鋸歯ディスク周速度とほぼ同一であり、CV15%程度のばらつきを有する。
- 4) 水中に打込まれた被覆種子が一旦停止状態となる位置（深度）は、打込み速度10m/sでは40mmが多く、打込み速度10m/sと15m/sとの播種深度差は少ないと推定された。
- 5) 寒天ゲル（粘度約50dPa・s）に打込まれた被覆種

子の深度は正規分布に近似しており (図10), CVは36~38%であり, 打込み速度が大きいほど深度も大きくなることが確認された。

キーワード

水稻, 湛水直播, 代かき同時打込み点播機, 播種深度

引用文献

- 伊藤信雄・今園支和・菊池宏彰・木村勝一・坂上修 (1987): 水稻の低コスト生産作業技術の確立ー代かき同時播種作業技術の開発ー, 農機学会東北支部報34; 73-76
- 西田初生・富樫辰志・関 正裕 (1997): 水稻の湛水耕耘同時施肥・播種機の試作, 九州農業研究59; 136
- 日本型直播稲作導入指針 (1997): 農林水産省農業研究センター編; 2-45
- 下坪訓次・富樫辰志 (2001): 水稻代かき同時打込み点播機のための鋸歯形ディスクの開発, 農作業研究 (36) 2; 49-58

Summary

We developed a seed-shooting seeder of rice combined

with a tractor-mounted paddy harrow. Seeding is carried out simultaneously with the last puddling operation in a paddy field.

The seeder unit has a saw-toothed disc which revolves 100 to 1500 rpm. The disc shoots seeds coated with calcium peroxide (CaO_2) onto the soil surface of a paddy field. The seeds are fed by the seed roller. Disc and the roller are driven by direct current motor (40W and 130W) with tractor battery. Using high speed camera, some basic room tests related to seeding depth was performed. The results were as follows:

- 1) The seeds velocity (CV=15%) right after shooting was about 0% to 10% higher than the peripheral velocity of the saw-toothed disc.
- 2) When the coated seed was shot into water, the seed velocity rapidly decreased and seed motion virtually came to a stop. The distance of the stopping point from the water surface was about 40mm (CV=27%).
- 3) When the seed was shot into agar (its viscosity was 50dPa·s), the sowing depth was in proportion to the seeds velocity, and CV of the sowing depth was 36% to 38%.

Key Words

rice, direct seeding, seed-shooting seeder, sowing depth