



農研機構

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

水稻の打込み式代かき同時土中点播技術の開発

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): rice, direct seeding, seed-shooting seeder, hill-seeding, sowing depth, pattern of hill-seeded spot 作成者: 富樫, 辰志 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001914

水稲の打込み式代かき同時 土中点播技術の開発

富樫辰志¹⁾

(2002年6月21日 受理)

要 旨

富樫辰志(2002)水稲の打込み式代かき同時土中点播技術の開発。九州沖縄農研報告 41:1-51。
水稲作の省力化・低コスト化・軽労化を進めるため、日本型直播稲作技術の開発が農林水産省を中心
に1990年代より始められた。著者等は、移植様式に近い安定した栽培管理が可能で、良食味品種
にも適用できる直播技術として打込み式代かき同時土中点播技術を開発した。本技術のキーテクノ
ロジーは打込み式代かき同時土中点播機である。本機の第1の特徴は、代かきハローで仕上げ代かきを
行いながら、開発した鋸歯形打込みディスクで数粒の種子を打撃・加速し、10m/s前後の速度で代か
き土壌中に打込むことである。それによって5～15mmの良好な播種深さが得られ、安定した出芽率
を確保することができる。第2の特徴は、開発した点播用播種ロールで数粒の種子を鋸歯ディスクに
間欠的に供給することにより楕円形状の多粒点播が可能となったことである。生育の中期・後期には
株形成が進み耐倒伏性が強化されるため、肥培管理等が容易になる。全国20の道県での実証試験ア
ンケート調査と現地実証試験(福岡県)による播種精度・生育管理・収量等のデータを収集した結果、
実用技術の見通しが得られ、軽労化と10～20%の省力・低コストが期待できると結論づけられた。
本機は1998年から3社の農業機械メーカーで市販化された。

キーワード：水稲直播、湛水直播、代かき同時土中点播、打込み点播、播種深さ、点播形状。

目 次	
I. 緒 言	5. 圃場試験の実例……………23
1. 日本における直播稲作の現状………… 2	6. 種子条件が播種深さに及ぼす影響…24
2. 湛水土中直播および点播………… 3	7. 播種作業条件の簡易計算法…………24
3. 供試種子条件…………… 4	8. 考察……………24
4. 研究の目的と手法…………… 4	IV. 播種作業性能の向上
謝辞…………… 5	1. はじめに……………26
II. 打込み式代かき同時土中点播機	2. 播種作業方法……………27
1. はじめに…………… 5	3. 代かきハロー等の改良……………28
2. 打込み点播機の概要…………… 6	4. 作業行程マーカ……………31
3. 鋸歯ディスク…………… 6	5. 作業能率……………31
4. 点播用播種ロール……………13	6. 考察……………32
5. 考察……………16	V. 出芽特性および耐倒伏性
III. 播種精度	1. はじめに……………34
1. はじめに……………17	2. 出芽率……………34
2. 播種深さ－室内試験……………17	3. 耐倒伏性……………35
3. 播種深さ－圃場試験……………19	4. 考察……………36
4. 点播精度……………21	VI. 現地実証試験結果および省力・ 低コストの可能性

1. はじめに……………37	3. 播種精度……………43
2. 全国実証試験……………38	4. 播種作業性能の向上……………43
3. 現地実証試験……………39	5. 出芽特性と耐倒伏性……………44
4. 省力・低コストの可能性……………40	6. 実証試験結果および省力・低コストの可能性……………44
Ⅶ. 摘要	引用文献……………44
1. 打込み式代かき同時土中点播技術……………42	Summary……………48
2. 打込み点播機の概要……………43	

I. 緒 言

1. 日本における直播稲作の現状

日本は1993年のガット・ウルグアイ・ラウンド農業合意を受け、1995年よりミニマムアクセスを導入してコメの部分輸入開放を行った。1999年からはミニマムアクセスを越える輸入米に対しては高率の関税をかけて市場開放に踏出そうとしているが、今後、アメリカやタイ等コメ輸出国からは関税引下げの要求が予想される。その対策には生産コストの一層の低減化を必要とするが、日本の生産コストを国際価格並に低下させることは容易ではない。しかし、より一層の低コスト化を目指した技術開発は今後とも絶えず進めなければならず、そのためのキーテクノロジーとして1990年代に入って農林水産省を中心に「日本型水稲直播栽培技術」の開発が進められた。

大規模で低コストな機械化稲作を行っている例としてはアメリカ・オーストラリア等がある。一例として、第1表に日本とアメリカ・カリフォルニア州³⁾の

第1表 日本と米国とのコメ生産費の比較(1996)^{a)}

区 分	日 本		アメリカ
10a当り生産費:円 ^{b)}	全国平均	作付10ha超	全国平均
種苗費	3,437	1,947	602
肥料・農薬費	15,728	12,549	3,332
光熱動力費	3,124	3,108	2,773
機械・建築物費	31,755	26,629	2,364
労働費	56,992	29,132	1,686
その他	25,620	21,627	1,548
費用合計	136,656	94,992	12,305
全算入生産費	169,204	125,291	16,464
10a当り収量(玄米kg) ^{c)}	534	521	545
1戸当り作付面積(ha)	1.02	13.26	113.0
60kg当り生産費	14,965	10,548	1,355
60kg全算入生産費	18,989	14,444	1,813

注) a) 資料:日本「平成8年産米生産費」、アメリカ「Economic Indicators of the Farm Sector, Cost of Production 1996」による。

b) 円レートは1ドル108.78円。

c) アメリカの生産物(籾)を玄米に換算した。

コメ生産コストの比較を示した。日本の10ha以上の作付面積経営との比較では、アメリカは日本に対して面積が8.5倍で60kg当たり生産費は約1/8となっている。アメリカにおける稲作は大規模経営と大型機械・施設に象徴されるが、日本と大きく異なっている栽培技術としては有人ヘリコプタまたは航空機による直播方式がある(カリフォルニア州)。その直播栽培技術の主な特徴として秋田¹⁾や後藤・宮原^{8,9)}は、①気象・土壌条件等の適地適作が行われている、②土地代が安く、経営規模と圃場一筆面積が大きい大型機械化が可能で、低コスト生産が可能である、③短程で出芽性・耐倒伏性・耐雑草性等が優れた直播適性の高い品種が開発され、収量も多い、④高能率散播に合致した作業技術体系を確立している、等の理由を挙げている。

また、同じコメ輸出国であるアジアモンスーン地帯のタイでは、賃金水準が、特に農村部のそれは日本よりもかなり低く、地代も安い。機械による直播⁴⁾の普及はまだ少なく移植が主流であるが、低コスト稲作生産のできる社会的・経済的環境にある。以上のような自然環境・社会環境・生産技術、さらには歴史的・文化的環境は日本と大きく異なるので、アメリカやタイの直播技術体系を日本で直接模倣することはできない。

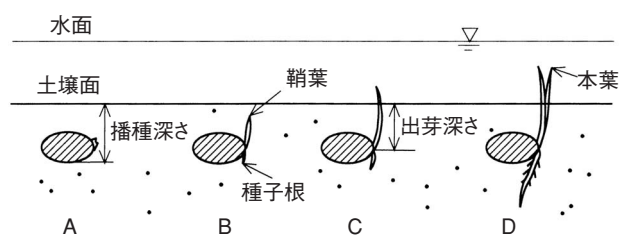
第二次大戦後の日本における水稲直播技術研究をみると、1950年頃には人手不足と食糧増産の目的で直播栽培に関心が高まり、全国的に研究が行われた。しかし、日本の経済成長が加速し始める1960年代には、農村部の労働力が急速に都市部に流出し始めて田植作業の機械化が緊急の課題となり、試験研究機関や農業機械メーカーの努力によって1965年には土付き箱苗方式の田植機が実用化された。1985年には田植機の普及面積は90%以上となり、世界でも類のない機械移植方式全盛時代を迎え、現在に至っている²⁰⁾。

この間、太田・中山⁴²⁾の研究を踏まえて1975～1980年に三石²⁵⁾・中村³⁰⁾は、酸素発生資材を催芽種子に被覆することにより、湛水土中で出芽率を大幅に向上させるという画期的な手法を開発し、さらに湛水土中直播機を開発したが、なお栽培上の不安定さが残り直播普及面積の増加に結びつくまでには至らなかった。

水稲の直播栽培を移植栽培と比較した場合、主に以下の問題点が挙げられる。①表面播種では浮苗の発生や強雨・強風などによる種子・苗の流亡が生じやすく、生育中期・後期には転び型倒伏の危険性が高くなる。②鳥害に対する有効な防御手段が無く、また、近年は西南暖地でスクミリングガイによる食害が問題となっている。③良食味で直播栽培に適する特性（湛水土壤中の出芽性が良い、耐倒伏性が大きい等）を持つ日本栽培品種が少ない。④散播では播種密度のばらつきが大きく、栽培管理作業がやりにくい。⑤雑草防除が移植栽培よりも難しい。以上の問題点が総合的に絡み、結果的に収量が不安定で、かつ低い。このような問題点があるために、2000年度の日本の直播栽培面積はわずか1万ha未満（水田面積全体の0.5%以下）に留まっているのが現状である。

日本の水稲直播技術および研究の現状については姫田の詳細な解説¹⁸⁾があり、播種方式の分類もなされている。直播方式は大きく湛水直播と乾田直播とに分かれ³⁹⁾、その特徴を比較すると、湛水直播の長所としては①播種作業が降雨に影響されにくい、②圃場の漏水程度に応じて代かき回数を加減して適正な日減水深20～30mmに調整しやすい、③雑草の生育を抑制する効果が比較的大きい、④栽培管理・水管理が移植と共通する点が多い、等が挙げられる。短所としては、①発芽・苗立が不安定になりやすい、②苗立率を向上させるため播種深さを小さくするので倒伏が生じやすい、③用水の確保が移植の時期よりも早くなる、等が挙げられる。乾田直播の特徴は湛水直播の長所・短所の裏返しとみて良い。最近では栗崎ら¹⁹⁾が乾田直播早期湛水技術を開発し北海道等で普及技術となっている。

著者等は以上の諸条件を総合的に考慮し、湛水直播の最大の問題である播種深さを安定化させることによって適正出芽率・苗立率が確保できれば、湛水土中直播の方が乾田直播よりも適用範囲の広い実用的な技術であると判断した。



第1図 湛水土中の種子の発芽推移（模式図）

2. 湛水土中直播および点播

湛水土中に播種された種子は以下の発芽推移をたどる（第1図）。土中に播種された状態（A）から、種子の胚部から鞘葉と種子根が伸び始め（B）、鞘葉の先端が土壌表面上に到達すると（C）、表面水（又は直接空気）からの酸素吸収が活発化し、本葉が伸び始めると同時に種子根の成長も活発化し（D）、正常な出芽ができる。ただし、播種深さが大きい場合や種子の出芽力が不十分な場合は鞘葉が土壌表面に到達する前に枯死する。したがって、湛水土中播種では種子に発芽力があるうちに鞘葉が土壌表面まで到達できるかどうか大きな問題となる。ここで、土壌中種子の周辺に酸素が一定量供給されていれば鞘葉の成長を促進することができ、結局、出芽率が大幅に向上することになる。このための酸素発生資材については過酸化カルシウム剤が効果的であることが確認され、実用的な種子被覆技術が新たに開発された。この酸素発生資材を被覆した種子（以下、被覆種子または単に種子と略）については、多様な気象条件で数多くの栽培試験例^{6, 16, 51)}があり普及技術として確立している。

現在、代かきを伴う湛水土中播種技術は次の3つに大別される。

①種子を自然落下させて土中播種させる方法：アメリカ型の超高能率を目指した有人ヘリコプタ散播方式¹¹⁾、近年、普及がめざましい無人ヘリコプタによる散播方式²²⁾、低コストな背負い式動力散粒機利用方式^{26, 28, 72)}、大型の動力散布機を乗用管理機に搭載した噴頭回転式広幅播種機¹⁵⁾、乗用管理機に装着した広幅の散粒機から種子を落下させる多孔パイプ噴頭利用方式⁴³⁾等がある。

②空気圧を利用し強制的に土中播種させる方法：ブローワを利用して種子を搬送し、作溝器で形成した溝底へ種子を陥入させ、覆土板で一定深さに覆土する方式²⁹⁾、種子そのものを高速空気流によって加

速・噴射し、代かき後の土中に打込む方式⁴⁵⁾、等がある。

③代かき後に開溝・播種し覆土する方法：代かき後、土壌が一定の硬さになった状態で、通常の種子繰出し装置で種子を開溝部に落下させ、深さ10mm程度に覆土する方式で、特に、異なる代かき土壌条件に適應できるような作溝・覆土機構に多くの研究蓄積^{31, 46)}がある。

これらの播種方式では、同一圃場内でも枕地部分の代かき土壌が極端に硬過ぎたり軟らか過ぎたり、あるいは麦わら・稲わら等が堆積している箇所では安定的な播種深さは得にくいという問題が残されている。一方、省力化を主な目的とした代かき同時播種作業の研究^{12, 23, 27, 34)}も行われたが、播種精度や作業の安定性に問題点が残されており、まだ普及技術には至っていない。

播種様式としては、散播・条播・点播の3様式がある。散播の主な特徴は作業能率が高いことである。条播は、散播よりは播種精度が高く生育管理作業の容易なことが特徴であり、フィリピンでの歩行型専用機の開発例¹³⁾もある。日本ではすでに専用の湛水土中条播機あるいは田植機の側条施肥部分を応用した条播機が市販化されている。

点播とは「一定間隔ごとに一定種子数の種子を播くこと」とされており³⁸⁾、作業能率では明らかに散播よりは劣るものの播種精度(播種量の均一性)は高く、移植に近い株状の生育となることが大きな特徴である(第2表)。点播直播技術に関してはこれまで

第2表 播種様式別特徴の比較

	散播	条播	点播
作業能率	◎	△	△
耐倒伏性	△	○	◎
栽培管理	△	○	○
収量性	△	○	○

注) a) ◎:非常に良い ○:良い △:問題あり

b) 表は日本型直播稲作導入指針³⁹⁾より作成。

にいくつかの研究報告^{33, 65)}が行われているものの、従来、湛水直播では適正播種深さの確保が最重要課題とされ、播種様式への関心はそれほど高くはなく、点播を中心とした播種様式の導入・普及はほとんどなかった。播種精度と栽培管理の面から見て、条播が出来れば十分であると考えられていた。

しかし、打込み点播技術を開発する過程での研究

では、湛水土中の散播・条播・点播栽培における乾物生産特性を生育時期別に比較し、収量確保の上で重要な出穂後のSLA(比葉面積)、群落下層部へのPAR(光合成有効放射)透過度・乾物増加速度等を比較し、各形質が点播条件で優れることを明らかにしている⁶⁷⁾。さらに、点播条件では転び型倒伏に対する抵抗性が散播に比較して顕著に大きいことを明らかにしている⁶⁸⁾。また、良食味品種に代表されるコシヒカリの栽培では、耐倒伏性の理由から点播の必要性が指摘されている¹⁰⁾。

3. 供試種子条件

本研究を推進するに当たっての重要な共通試験条件としては供試種子の物理性がある。湛水土中播種方式では、出芽率の向上を目的として被覆種子が用いられており、また本機の場合は種子質量を増すことにより一定の播種深さ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、通常は乾粒重の2倍量が標準であるが、北海道では播種量が多いために1倍量程度でも有効であることが示され⁵¹⁾、北海道に限り1倍量が基準であるとされている。酸素発生資材は過酸化石灰(CaO₂)を16%含む粉剤でカルパー16の商品名で市販化されており、皿型造粒機で加水噴霧しながら被覆する。

本研究においては、鳩胸状に催芽した水稻種子を、乾粒質量の2倍量のカルパー16を皿型造粒機で被覆した種子を用いた。また、被覆作業直後の質量を100として、質量95~96まで乾燥させた場合の破碎強度が最も大きいことなど、被覆種子の基本的な物理性については確認されている⁶²⁾。

その他の共通試験条件として、室内試験で代かき土壌の代りに用いた寒天ゲルは、0.6%濃度の寒天粉末けん濁液を加熱溶解させ、放冷後にミキサーでゲル状に攪拌したもので、粘度は約50dPa・s(20℃)である。また、以下の圃場試験において、特に断りのない限り、供試土壌は細粒灰色低地土、供試品種はヒノヒカリを使用した。

4. 研究の目的と手法

本研究は、水稻作の省力化・低コスト化・軽労化に貢献することを最終目的とし、現在の移植作業技術に代る新たな直播作業技術の開発を目指したものであり、直播機の試作・改良と作業性能の検討など、現場に適應できる普及技術の開発研究を中心として実

施した。したがってその手法としては、試験結果から問題点を摘出・考察し、問題点の解決（＝技術開発）を行う方法（帰納法）を採用した。研究開発項目は多岐に亘るが、各項目ともに実用性を確認した時点で一区切りとし、摘出された問題点についてはできるだけ説明を進め解決策についても提示し、本技術の特性と今後の発展性について考察した。

謝 辞

本論文をまとめるに際し、北海道大学大学院農学研究科生物資源生産学専攻・寺尾日出男教授には、論文全体についての基本的なまとめ方を含めて、終始適切なお助言・ご指導を頂いた。北海道大学大学院農学研究科・端俊一教授、北海道大学大学院農学研究科・岩間和人教授には、細部まで丁寧なご校閲とご指導を頂いた。独立行政法人農業技術研究機構東北農業研究センター副所長・下坪訓次氏には、各種試作機器の開発や試験方法等について直接ご指導を頂いた。九州沖縄農業研究センター水田作研究部長・脇本賢三氏、東北農業研究センター水田利用部栽培生理研究室長・吉永悟志氏には栽培関連データについてご指導を頂いた。九州沖縄農業研究センター業務第2

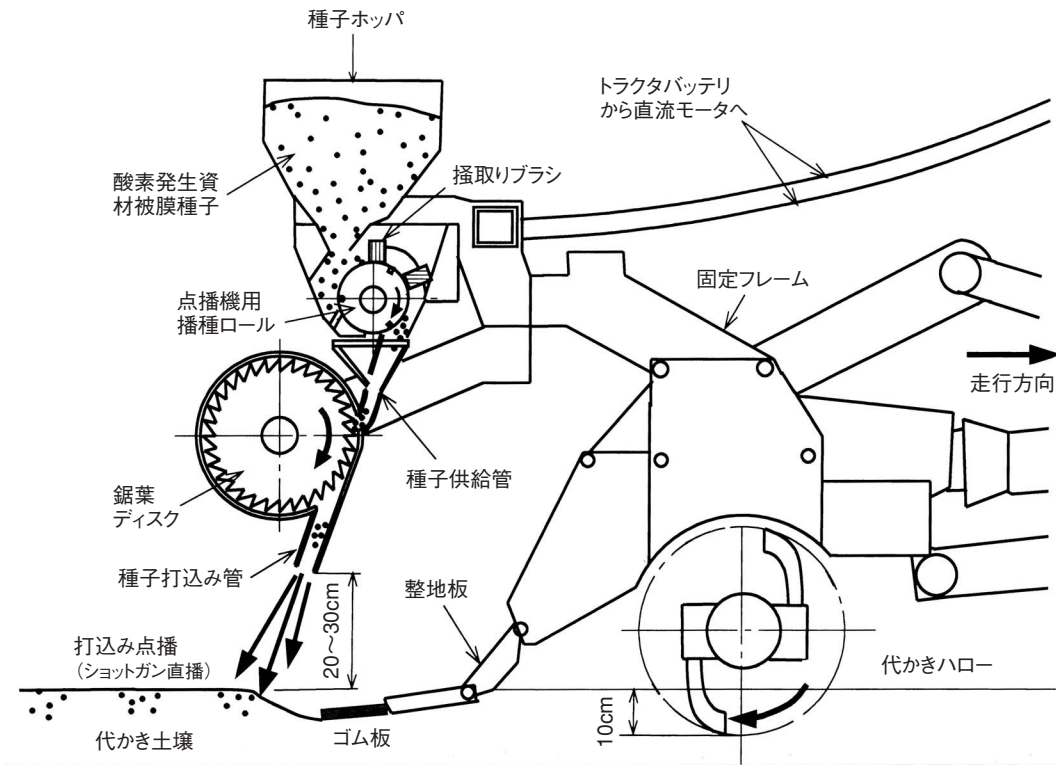
科・坂本和彦技官、同業務第3科・迫立祐治技官には実験補助および試験データの収集等でご協力を頂いた。打込み式代かき同時土中点播機の製作では、(株)サン機工代表取締役・相良豊氏に多大のご協力を頂いた。(株)小橋工業および(株)ササキコーポレーションには現地実証試験等で多大のご協力を頂いた。その他、水稲直播研究会会長・井上喬二郎氏、同じく鷲尾養氏、岡村省三氏にも多くのアドバイスを頂いた。ここに記して深く感謝の意を表する。

Ⅱ. 打込み式代かき同時土中点播機

1. はじめに

高精度で安定した湛水土中直播技術を開発するために、新たな水稲直播機「打込み式代かき同時土中点播機」⁵⁶⁾（以下、打込み点播機と略）を試作した。

本章では、本機の心臓部である鋸歯形打込みディスク^{49, 50)}（以下、鋸歯ディスクと略）、鋸歯ディスクを用いた種子打込み装置、点播を実現するために従来の横溝式種子繰出しロールを大幅に改良した点播用播種ロール^{60, 63)}、および種子繰出し精度等に関し、各々の開発経過と性能試験結果について述べる。



第2図 打込み点播機の概要（側面図）

第3表 試作機の主要諸元

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

2. 打込み点播機の概要

試作機の主な開発目標は次の3点である。

①代かき同時作業機とするため、播種機は代かきハローの後部に装着する。代かき作業と同時工程で播種作業を行うことによる省力化が期待できる。

②湛水土中直播では適正な播種深さを確保することが重要であるため、代かき直後の比較的軟らかい土中に種子を打込む装置として鋸歯ディスクを開発する。

③高精度な点播を実現するためには数粒の種子を間欠的に鋸歯ディスクに供給する必要がある、そのために、従来の横溝式播種ロールを大幅に改良した点播用播種ロールを開発する。

以上の目標に対して、試作された本機主要部の構成を説明する。第2図・第3表・写真1に示した打込み点播機は4輪駆動34kWトラクタに装着した10条用の試作1号機である。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。播種機は種子ホッパ・播種ロール・鋸歯ディスク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、トラクタバッテリーを電源とする40Wおよび130Wの可変速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。

播種機構は以下の通り(第2図参照)。種子ホッパの被覆種子は点播用播種ロールによって間欠的に数粒ずつ繰出され、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。供給された種子は高速回転(100~1,500rpm可変速)する鋸歯ディスクによって瞬時に打撃され、種子打込み管を介して、代かき直後の軟らかな土中に点播状に打込まれる。この時の点播形状は、通常、長径6~8cm、短径4~5cmの楕円形状を呈する。したがって、打込むタイミング(走行



写真1 打込み点播機 (鹿児島県出水市, 1996)

速度と種子繰出し時間から設定される)を仮に20cmとすれば、それが移植の株間に相当することになる。その打込み播種状況から、本技術をショットガン直播とも称する。

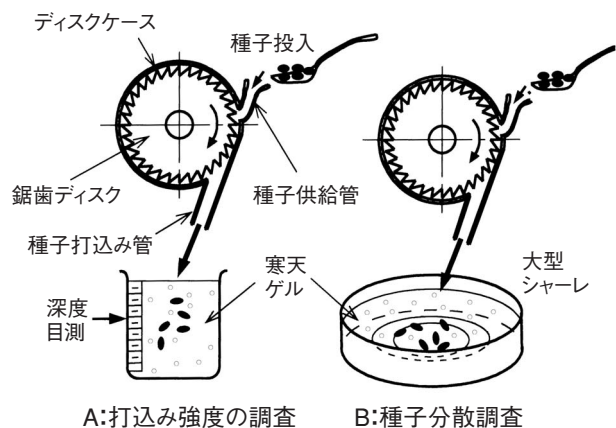
3. 鋸歯ディスク

1) 諸元の決定

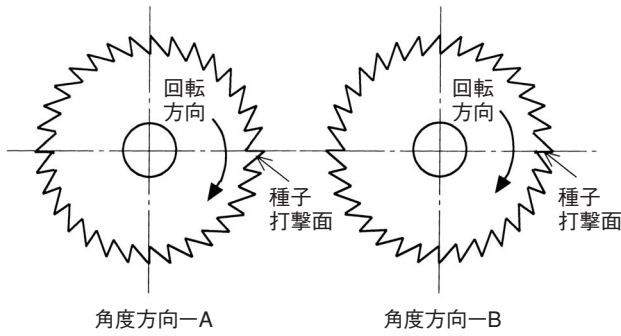
鋸歯ディスクは、市販されている厚さ20mmの発泡性スポンジゴムを直径約190mmの円盤状に整形し、その外周部に歯数が32枚になるよう鋸歯状に加工したものである。初めに、鋸歯ディスクの被覆種子に対する打撃作用について観察し、その実用性を評価した。

(1) 試験方法

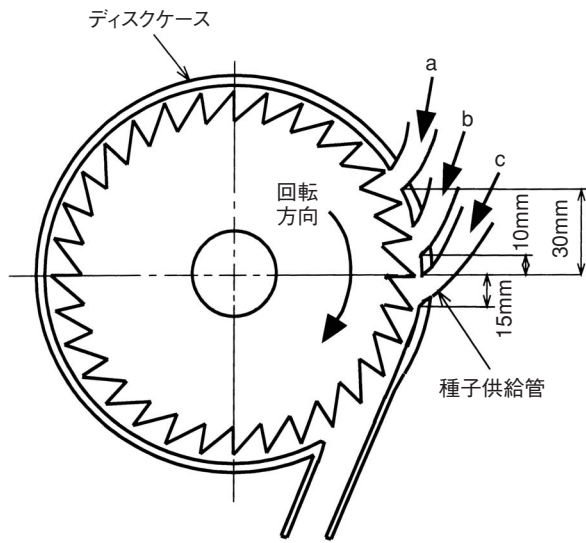
試験方法を第3図に示した。高速で回転する鋸歯ディスクの先端部で種子供給管(以下、供給管と略)から供給された種子を打撃し、種子打込み管(以下、打込み管と略)を通過して寒天ゲル中に打込む方法である。実用性の評価に当たっては、①供給管から落とし込まれた種子が滞りなく鋸歯ディスクで打撃され排出されるか、②打出し速度は一定の速度に達し



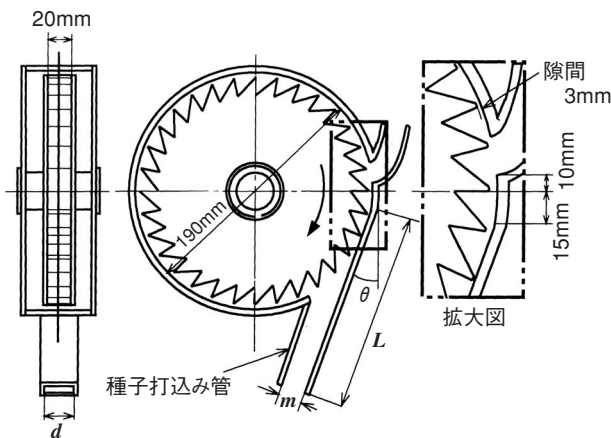
第3図 種子打込み試験方法 (模式図)



第4図 鋸歯ディスクの種子打撃面角度方向



第5図 種子供給管の取付け位置



第6図 種子打込み管の角度・寸法

ているか（寒天ゲルに打込まれた種子の深さで確認）、③鋸歯ディスクによる種子の持回り（ディスクケース内）程度、④酸素発生資材の剥離程度、の4点を重視し、観察・調査した。

鋸歯面の角度（打撃面）の異なる2種類のディスク

（第4図）を供試し、打込み管下端に取付けたスポンジゴム製の受け容器に被覆種子を回収し、打込みの際に生ずる酸素発生資材の剥離程度を調査した。関連して、鋸歯数を16および32枚としたディスクについても同様の検討を行った。打込み強度は、鋸歯ディスクの周速度を10m/s（ディスク回転数約1,000rpm）、15m/sの2段階とした。供給管取付け位置については、供給管の下端が、a：ディスクケース中心水平線位置より30mm上方、b：中心水平線より10mm上方、c：中心水平線より15mm下方とした（第5図）。打込み管の諸元については、第6図において取付け角度 θ 、長さ L 、内法横幅 d および内法縦幅 m とした打込み管を試作し、第3図-Bの方法によって寒天ゲル中に打込まれる種子の分散程度から、その良否を決定した。

試験では、シャーレに約30mmの厚さに寒天ゲルを充填し、これにスプーンによる6粒同時投入の打込みを30反復で行った。打込み管の長さ L については管断面が28×28mmで、長さが150、175、200mmの3種類を供試し、管断面については内法幅 d を28mmとし内法縦幅 m が18、21、23、28mmとした4種類を供試した。なお、各試験とも打込み管下端と寒天面との距離は170mmとした。

(2) 試験結果

鋸歯ディスクの材質については、予備試験的に硬質ゴム・アクリル樹脂・スポンジゴム製の3種類を供試して種子損傷程度を観察調査したが、明らかにスポンジゴム製が優ったので、以後の鋸歯ディスクにはスポンジゴム製を用いることとした。

ディスクの形状について、鋸歯面の角度と打込み性能との関係を見ると、種子打撃面が斜めのディスク（第4図-A）は、高速回転させることによって、供給管から落とし込まれた種子をディスクケース壁面（外方向）に跳ね返すことが多く、特に4～5粒以上の種子を一度に落とし込んだ場合にその頻度が高くなった。これに対し、種子打撃面をディスクの中心線と一致させたディスク（第4図-B）ではケース壁面への種子の跳ね返し量が少なく、ディスクによる種子の持回りも少なく、打込み管方向への打出し状況が良好であることが観察された。

本試験におけるディスクケースとは、鋸歯ディスクの収納ケースに種子供給管および打込み管を取付けた全体を指す。ディスクケースへの供給管の取付け位置との関係（第5図）をみると、取付け位置が最

第4表 種子打込管の長さや打込み種子の分散程度 (%)

打込管形状 (mm)			打込み中心円の直径 (mm)						
長さ L	内法幅 d	内法縦 m	30	40	50	60	70	80	80 <
150	28	28	38	50	63	78	88	94	100
175	28	28	46	70	85	95	98	100	—
200	28	28	55	71	86	98	100	—	—

第5表 打込管の内法寸法と打込み種子の分散程度

打込管形状 (mm)			管取付角	打込み種子の分散程度 (%)	
長さ L	内法幅 d	内法縦 m	θ (°)	直径 50 mm の円内 ^{a)}	直径 70 mm の円外 ^{b)}
200	28	28	11	85	8
190	28	23	11	89	3
190	28	21	8	77	13
190	28	18	10	71	16

注) a) : 打込み中心を通り直径 50 mm の円内に打込まれた種子の割合。

b) : 打込み中心を通り直径 70 mm の円外に打込まれた種子の割合。

第6表 ディスクケースへの打込管取付け角度と種子の分散程度

打込管形状 (mm)			管取付角	打込み種子の分散程度 (%)	
長さ L	内法幅 d	内法縦 m	θ (°)	直径 50 mm の円内 ^{a)}	直径 70 mm の円外 ^{b)}
200	28	28	5	73	15
200	28	28	15	89	9
200	30	28	3	73	18
200	30	28	11	85	8
190	28	23	11	89	3
190	28	23	20	68	21

注) a) : 打込み中心を通り直径 50 mm の円内に打込まれた種子の割合。

b) : 打込み中心を通り直径 70 mm の円外に打込まれた種子の割合。

下方の **c** では鋸歯先端部で供給管方向に跳返される種子が多く観察され、スムーズな導入ができなかった。この場合、供給管からの落とし込み種子数が多くなるほど発生頻度が高くなった。**a**、**b** の取付け位置では種子の跳ね返りに大差が認められなかったが、**a** からの導入ではディスクケース壁面と鋸歯先端部による摩擦で酸素発生資材の剥離量が多くなり、供給管の取付け位置としては **b** が最も望ましいと判断された。

打込み管の長さや打込み種子の分散程度との関係 (第4表) をみると、打込み管が長くなるほど種子の分散程度は小さくなった。この場合、150 mm と 175 mm の管では明瞭な差がみとめられたが、175 mm と 200 mm の管ではその差が小さく、200 mm 程度の長さで打込み種子の分散程度が一定程度に収束されるとみられた。

次に、管断面との関係 (第5表) をみると、内法幅 (d) が 28 mm で縦幅 (m) が 23 mm の管で打込み面積が最も取れんされる傾向が認められ、内法縦幅をこれより狭くしても分散程度が小さくなることはなかった。第6表には、打込み管の取付け角度が種子の分散程度に及ぼす影響を示した。打込み管の取付け角度とは中心垂直線に対する角度 θ を指す (第6図参照) ものであるが、同一種類の管で比較すると、種子の分散程度の小さくなる取付け角度は 10~15 度程度であり、角度を 3~5 度あるいは 20 度とした場合にはいずれも分散程度が大きくなった。

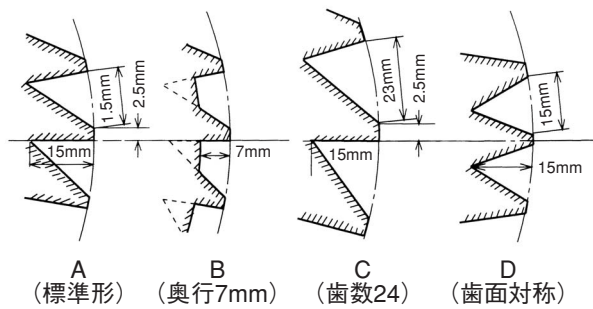
以上から、鋸歯ディスクの材質としてはスポンジゴムが適合し、鋸歯の種子打撃面はディスクの中心線と一致させるような形状が望ましいと判断された。また、ディスクケースへの種子供給管の取付け位置

は、その下端が鋸歯ディスクの中心水平線から10mm上部に位置させ、打込み管の寸法は、長さ L を200mm程度とし、内法横幅 d を28~30mm、内法縦幅 m を23~25mmとし、その取付け角度を10~15度にすることが望ましいと判断された。

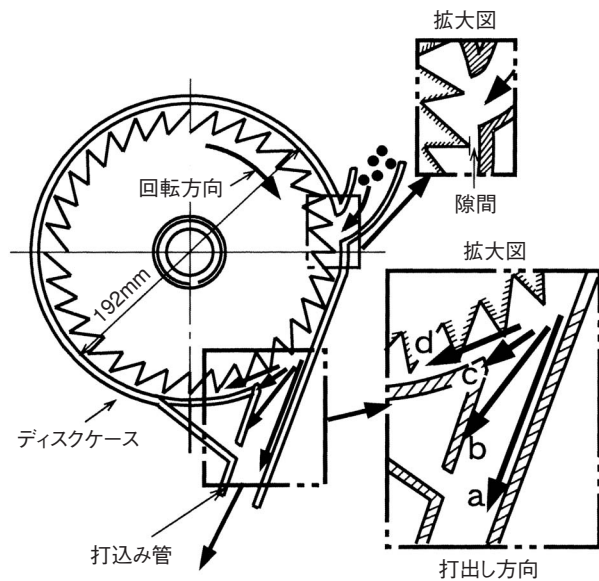
2) 種子打込み装置

(1) 試験方法

鋸歯ディスクの形状と打込み性能との関係について、第7図に示す4種類のディスクを供試して解析した⁶⁾。①ディスクA：標準形（第4図—角度方向Bの鋸歯形）。②ディスクB：標準形と同様の形状で奥行きが約1/2の歯形。③ディスクC：形状は標準形と同じで歯数が24枚。④ディスクD：中心線に対して対称な歯形。ディスクA, B, Dの鋸歯数は各32である。なお、鋸歯ディスク先端とケースとの間隙が3mmの場合の鋸歯ディスク直径は186mm、間隙1mmにおいては同190mmのものを供試した。



第7図 供試鋸歯ディスクの歯形



第8図 打撃種子の打出し方向

各ディスクによって打撃された種子の、打込み管内の打出し方向（第8図）および打出し速度を高速カメラで測定した。使用した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で撮影・解析した。高速カメラの撮影条件は、以後の試験においても同じである。

打撃後の打出し方向はa：正常，b：ある角度で打込み管に衝突するがほぼ正常とみとめられる，c：ケースと打込み管の境界部に衝突した，d：鋸歯で持回った，の4つに分類し，a + bを正常，c + dを異常とした。鋸歯ディスクに打撃されて酸素発生資材が破碎した種子については、方向別とは関係なく、すべて破碎粒として測定した。鋸歯ディスクの周速度は5m/s, 10m/s, 15m/sの3水準とした。その他、ディスクとケースとの隙間等の試験条件は第7表に示した。

(2) 試験結果

第8図のc, d方向に打出された割合と破碎粒の発生状況から、No1,2,3の平均, No7,8,9の平均, No11,12,13の平均, No15,16,17の平均、について、各々を比較すると、鋸歯ディスクの形状はB > A = C > Dの順に優れると判断された。すなわち、鋸歯の打撃面の角度・歯数は、当初の試験で得られたものと同一のもので、奥行き（溝の切込み）を1/2程度にした形が最も良いと判断されたが、その違いは小さかった。

ディスクA（試験No1~6）で打出し方向を比較すると、隙間1mmの方が3mmよりも異常方向への打出し割合が小さく、破碎粒割合は逆に大きく、正常方向への打出し割合はやや隙間1mmの方が勝った（第7表参照）。試験区全体では、正常なa方向への打出しが約80%以上、打込み管の内壁に接触してのb方向が約15%であり、ほぼ正常方向（a + b）への打出し割合が95%以上となることが確認された。以上より、鋸歯ディスクAまたはBを用いディスクケースとの隙間が1~3mmの範囲にある場合には正常方向への打出し割合が95%以上になると判断された。

種子に被覆した酸素発生資材の破碎割合は、ディスクの回転数を増すといずれのディスク形でも増加した。周速度との関係では、5m/sでは約5%未満で、10m/sで5~10%、15m/sで10~15%の値を示した。鋸歯ディスク形状との関連ではディスクDの破碎粒割合が高かったが、A, B, Cでは大差なかった。

第7表 鋸歯形状およびディスクケース間隙と種子の打込み性能

No	形状	隙間 (mm)	周速度 (m/s)	打出し方向 (%) a)						破砕 粒 (%)	速度増 加率 (%)
				a	b	c	d	a+b	c+d		
1	A	1	5	82.6	15.4	1.0	1.0	98.0	2.0	5.2	0.0
2	〃	〃	10	83.8	12.0	2.6	1.6	95.8	4.2	6.8	8.0
3	〃	〃	15	86.2	12.7	1.1	0.0	98.9	1.1	11.7	17.3
(No1, 2, 3の平均)				84.2	13.4	1.5	0.9	97.6	2.4	7.9	8.4
4	〃	3	5	80.0	15.0	1.5	3.5	95.0	5.0	2.4	10.2
5	〃	〃	10	84.7	9.1	1.6	4.6	93.8	6.2	3.9	2.1
6	〃	〃	15	75.8	16.5	2.6	5.1	92.3	7.7	6.3	8.2
(No4, 5, 6の平均)				80.1	13.6	1.9	4.4	93.7	6.3	4.2	6.8
7	B	1	5	90.0	10.0	0.0	0.0	100.0	0.0	3.4	8.0
8	〃	〃	10	85.0	14.0	0.5	0.5	99.0	1.0	7.7	12.0
9	〃	〃	15	89.6	10.4	0.0	0.0	100.0	0.0	12.9	8.0
(No7, 8, 9の平均)				88.1	11.5	0.2	0.2	99.6	0.4	8.0	9.3
10	〃	3	10	78.9	18.5	1.5	1.1	97.4	2.6	6.7	0.0
11	C	1	5	82.5	13.0	1.5	3.0	95.5	4.5	2.5	14.0
12	〃	〃	10	84.4	14.0	1.1	0.5	98.4	1.6	8.8	12.0
13	〃	〃	15	90.0	9.4	0.0	0.6	99.4	0.6	12.6	10.7
(No11, 12, 13の平均)				85.5	12.2	0.9	1.4	97.7	2.3	8.0	12.2
14	〃	3	10	72.6	23.4	2.0	2.0	96.0	4.0	6.8	6.2
15	D	1	5	79.8	17.1	2.6	0.5	96.9	3.1	2.5	12.0
16	〃	〃	10	79.8	17.5	2.1	0.6	97.3	2.7	11.2	6.0
17	〃	〃	15	85.9	12.3	1.2	0.6	98.2	1.8	13.9	3.3
(No15, 16, 17の平均)				81.7	15.7	2.0	0.6	97.4	2.6	9.2	7.1
18	〃	3	10	81.8	15.6	1.5	1.1	97.4	2.6	8.1	2.1
平均値				83.0	14.2	1.4	1.5	97.2	2.8	7.5	7.2
標準偏差				4.7	3.6	0.9	1.6	2.1	2.1	3.7	5.4

注) a) 打出し方向の数値は、(100 - 破砕粒%) を再計算して a + b + c + d = 100% とした。

b) N: 打出し方向・破砕粒 200点, 速度 100点。

種子の打出し初速度は鋸歯先端周速度に比較して0～15%程度大きい値となった。高速度カメラによる観察で、被覆種子が打撃される際にスポンジゴムがわずかに変形していることが確認され、スポンジゴムの弾性作用によって初速度が増加するものと考えられた(後述)。

3) 種子の打込み基本特性

鋸歯ディスクによる種子の打撃、播種深さおよび点播形状については第3章で詳述するが、ここでは、標準的な播種条件・出芽性を確認するための基本特性について調査した。

(1) 打込み種子数と播種深さとの関係

打込み種子数を1, 5, 8粒の3水準とし、鋸歯ディスク周速度を5m/s, 10m/s, 15m/sの3水準を設定し、播種深さを測定した(第3図-A)。対照区として1mの高さから自然落下させ、同様の調査を行った(第8表)。

打込み種子数と寒天ゲル中への播種深さとの関係

第8表 打込み種子数と播種深さ (mm)

打込み 種子数	ディスク周速度 (m/s)			自然落下 ^{a)}
	5	10	15	
1	17±5	29±5	35±7	10±2
5	17±5	29±9	38±11	—
8	16±3	30±6	41±12	—

注) a) 寒天表面より1mの高さから落下させた。

b) 0.6%寒天ゲルへの打込み。

をみると、5m/s および 10m/s の鋸歯ディスク周速度の打込み条件では、1粒、5粒、8粒区で大差ない播種深さとなったが、15m/sでは多粒になるほど播種深さが大きくなった。1粒打込み区と自然落下区との対比では、5m/sとした低速条件でも明らかに大きな播種深さを示し、打込み効果の大きいことが判明した。

(2) 打込み高さとの関係

打込み管の下端から寒天ゲル表面までの間隔を70, 120, 170, 220mmの4水準とし、打込み高さの違いが種子分散程度に及ぼす影響を調査した。打込み中心

第9表 打込み高さ と 種子の分散

打込み管形状 ^{a)}	打込み高さ (mm)	打込み種子の分散程度 ^{b)} (%)					
		< 30 mm	< 40 mm	< 50 mm	< 60 mm	< 70 mm	> 70 mm
A	70	79	86	92	94	96	100
	120	66	80	89	94	97	100
	170	58	74	79	86	91	100
	220	61	69	77	86	91	100
B	70	72	87	91	97	98	100
	120	62	77	87	93	94	100
	170	57	73	82	89	92	100
	220	54	65	71	75	83	100

注) a) : 打込み管形状 A 長さL:190 mm, 内法幅 d:28 mm, 内法縦 m:23 mm。

打込み管形状 B 長さL:265 mm, 内法幅 d:28 mm, 内法縦 m:23 mm。

b) : 打込み中心円直径 30, 40, 50, 60, 70 mmの円内および70 mmの円外に打込まれた種子の割合。

第10表 代かき土壌への打込み速度と出芽深さ

種子速度 (m/s)	加水 ^{a)} 量 (ml)	土壌含 ^{b)} 水率 (%)	土壌面 ^{c)} 沈下量 (mm)	出芽 ^{d)} 深さ (mm)	出芽率 (%)
5.0	800	38	21	5 ± 3	98
	1,000	41	24	13 ± 3	93
	1,200	43	32	26 ± 3	85
	1,400	56	42	47 ± 2	25
10.0	800	38	20	10 ± 4	91
	1,000	41	21	20 ± 5	98
	1,200	45	35	36 ± 4	90
	1,400	56	41	38 ± 4	30
15.0	800	37	18	10 ± 5	98
	1,000	40	25	18 ± 6	95
	1,200	44	38	36 ± 5	83
	1,400	49	40	48 ± 5	50

注) a) 3 kgの土壌を充填した 1/5,000a のポットに、代かき水として加えた量。

b) ポット上層 10 cmから採取した代かき土壌水分 wb。

c) 代かき後、落水管理に伴っての土壌面の沈下量。

d) 出芽個体の白化莖長。

からの直径 30, 40, 50, 60, 70 mm および 70 mm 以上の円内に分布した種子数を調査し、全体に占める割合を算出した。調査は各 30 反復で、1 回当たり 6 粒ずつの打込みを行った (第 9 表)。

打込み管の下端と寒天面の間隔が 70 mm と小さい場合は、打込んだ種子の約 90% 以上が直径 50 mm の円内に分布したが、寒天面までの間隔が 170 mm, 220 mm となると、直径 50 mm の円内に 79%, 77% の分布となり、種子打込みの収束程度が低下した。種子打込み管の長さを 190 mm と 265 mm とした条件では後者で若干低下する傾向がみとめられた。

(3) 代かき土中への打込み

水田から採取した土壌を風乾させた後に 5 mm 目の篩で篩い、これを 1/5,000a のポットに 2 kg 詰めた。これに水を各 800・1,000・1,200・1,400 ml 加えて攪拌し、

土壌硬度を 4 水準設定した。種子速度は 5m/s, 10m/s, 15m/s の 3 水準で、ポット当たり各 30 粒を 1 粒ずつ打込んだ。播種後は、ポット下端から水を抜き、飽水状態にして 27℃ の恒温器で出芽させ、播種後 10 日目に 出芽数、出芽深さを調査した (第 10 表)。

打込み強度および代かき土壌硬度の違いが出芽深さに及ぼす影響をみると、土壌硬度の影響がより大きいことが明らかになった。種子速度 5m/s と 10m/s では出芽深さに大きな違いが認められ、10m/s で播種深さが深くなったが、10m/s と 15m/s では出芽深さに差が認められなかった。代かき土壌の硬・軟との関係を見ると、代かき土壌含水率が 35~40% 程度の状態 (ヨーグルトよりやや硬め) であれば種子速度 5m/s ~ 15m/s に調整することでほぼ目的とする出芽深さが得られたが、土壌含水率が 50% を越す極端に軟らかい

状態では打込み速度を5m/sとしても播種深さは大きくなった。

4) 種子の打撃

(1) 種子の打撃モデル

種子供給管より供給された種子が鋸歯先端部で打撃されるメカニズムはかなり複雑であると考えられるが、実際には「種子供給→打撃→打込み」がスムーズに行われている。ここでは、種子が遅滞なく鋸歯の歯間に達して打撃される場合と、歯の先端部で停止してから種子が打撃される場合のモデルを仮定して、各々に種子が得る初速度について検討した。

i) 種子が遅滞なく歯間に達して打撃される場合

第9図において、初め高さ H の位置Aにあった種子が自然落下後に種子供給管壁面のB点に1回衝突し、跳ね返り、水平面に対して θ の角度で進み、鋸歯先端部C位置に達して打撃されたとする。

ここで、

V_h : 落下による種子速度ベクトル [m/s]

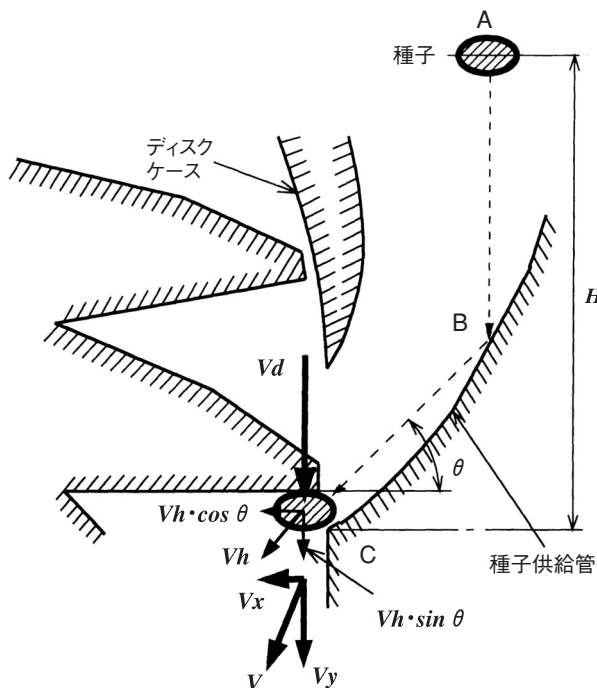
V_d : 鋸歯先端周速度ベクトル [m/s]

V : 鋸歯先端部で打撃された瞬間の種子速度ベクトル [m/s]

V_x : V の水平方向成分 [m/s]

V_y : V の垂直方向成分 [m/s]

とすると、



第9図 鋸歯ディスクによる種子の打撃モデル

$$V_h = C (2Hg)^{1/2}$$

$$V_x = V_h \cdot \cos \theta$$

$$e = (V_y - V_d) / (V_d - V_h \cdot \sin \theta)$$

$$V_y = V_d + e (V_d - V_h \cdot \sin \theta)$$

ここに、

g : 重力加速度 [m/s²]

C : 種子供給管跳返り後の減速比

e : 種子と鋸歯ディスクとの反発係数

(以下の $e=0.15$ の実験値は、高さ0.16mから種子をスポンジゴムに落下させ、跳ね返り後の高さを高速度カメラで測定した平均値であり、 $N=50$ 点、 $CV=46\%$ であった。)

空気抵抗を無視し、本機の標準的な機械・作業条件を前提とした計算例を示す。 $\theta=45$ 度、 $g=9.8$ m/s²、 $V_d=10.0$ m/s、 $e=0.15$ 、 $C=0.8$ (C の値は高速度カメラによる推定値)。なおC点とB点の垂直距離は20mm程度なので、ここでは $H=160$ mmとした。

$V_y = V_d + e (V_d - V_h \cdot \sin \theta) = 10 + 0.15 \times [10 - 0.8 \times (2 \times 0.16 \times 9.8)^{1/2} \times \sin 45 \text{度}] = 11.3$ m/sとなる。しかし、以下の理由で、種子が遅滞なく歯間に達して打撃されることはほとんど不可能である。

ii) 種子が一旦停止後に打撃される場合

鋸歯先端部の空隙部=歯間距離を D ($=15$ mm)とすると、 D の距離を進む鋸歯先端部の時間 t は、

$$t = D/V_d = 0.015/10 = 0.0015$$
s

この間に種子が水平方向に進むことのできる距離 d は、

$$d = t \cdot V_x = 0.0015 \text{ m} \times 0.8 \times (2 \times 0.16 \times 9.8)^{1/2} \times \cos 45^\circ = 0.0015 \text{ m} = 1.5 \text{ mm}$$

となり、被覆種子の最小寸法である厚さ3.5mmを考慮すると、歯と歯の間に種子が入り込むことは計算上は不可能となる。仮に鋸歯ディスクの歯数を少なくして D の値を大きく、かつ回転数を落としたとしても、1.5mmと3.5mmの比較から、ほとんどの種子が一旦鋸歯先端部で停止することは明らかである。種子は一旦停止後に鋸歯ディスク先端とディスクケースとの隙間(1~3mm)に、柔軟なスポンジゴムである鋸歯先端部の微小変形と摩擦によって引込まれて、ディスク歯先端部で打撃される。このことは高速度カメラによっても確認された。したがってこの場合の V の水平方向成分および垂直方向成分は、

$$V_x = 0 \text{ m/s}$$

$$V_y = V_d + e \cdot V_d = 11.5 \text{ m/s}$$

第11表 播種機通過が種子の出芽率に及ぼす影響^{a)}

播種機 処理	水管理	出芽率(%)		平均出芽 日数(日)
		5日目	14日目	
無処理 区	湛水	51	87	5.5
	落水	71	91	5.0
播種機 通過区	湛水	44	80	5.4
	落水	63	91	5.1

注) a) ポットに播種後代かき土壌を10mm覆土した。
20℃恒温条件、N:50粒×3反復とした。

となる。

以上から、種子の打撃直後の実際の速度は、鋸歯ディスク周速度よりわずかに増加するとみてよい。

(2) 鋸歯ディスクの打撃による種子出芽率への影響

被覆種子を鋸歯ディスクで打撃して種子に速度を与え、代かき土中に打込むという播種機構から、当然、打撃された種子の出芽率に対する影響が問題となる。

厳密に言えば、種子が播種ロールで繰出される際の損傷も考えられるが、過去の研究において被覆種子のロール繰出しで損傷が問題になった例はないので、その影響は無視した。第11表では、打込み播種機を通過しない無処理区と打込み播種機を通過した区(鋸歯ディスク周速度12m/s)との出芽率を比較し、各々について播種後落水試験区と湛水試験区を設定した。

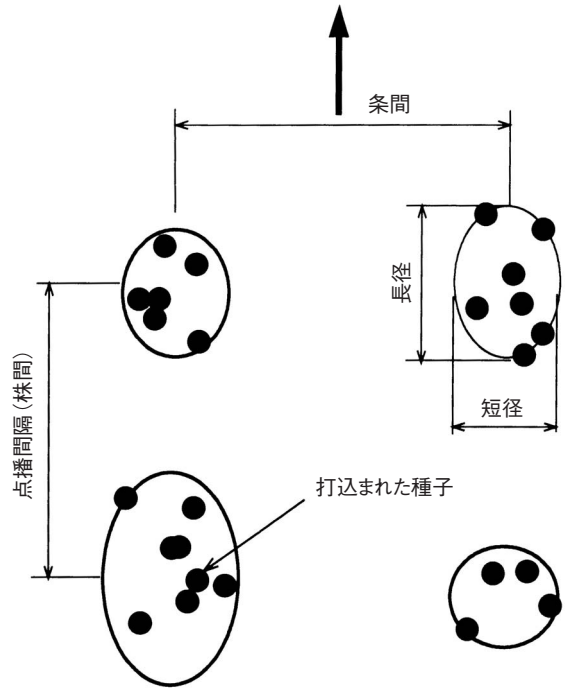
その結果、播種機通過の有・無については、播種後5日目までは若干の出芽遅れがみられるものの14日目では出芽率の差は無くなった。むしろ、播種後落水の影響がみられた。以上から、鋸歯ディスクの打撃による出芽率への影響は無視できると判断された。

4. 点播用播種ロール

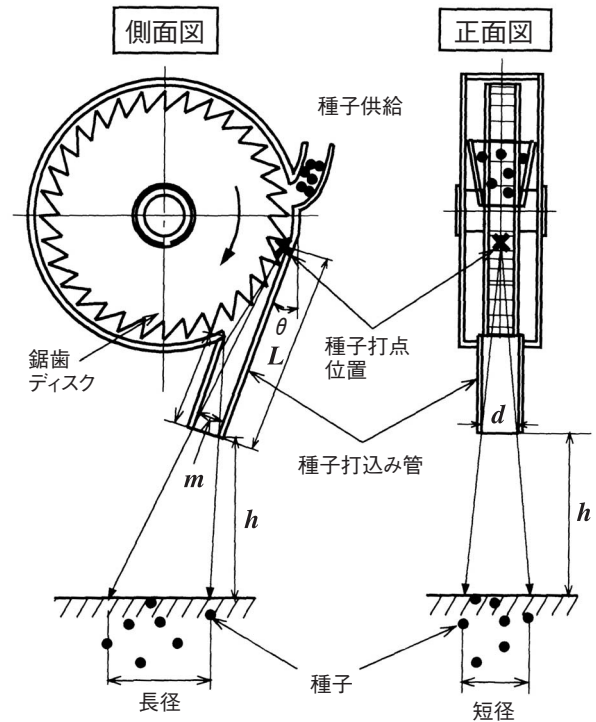
1) 点播形状

本機を用いて寒天に打込んだ点播形状の実例を第10図に示した。その形状は多様で、種子数のばらつきもあり、また通常の点播のイメージよりは大きな広がりを持つものが多いが、播種作業方向を長径、条間方向を短径とした楕円形とみなした。

点播形状の形成メカニズムについては、以下のように推定した。第11図に示した鋸歯ディスクにおいて、正面図の種子打点位置から打出される種子はほぼ打込み管の壁に沿って打込まれる(短径)。それに対して、側面図の種子打点位置から打出される種子



第10図 点播形状の実例



第11図 鋸歯ディスクによる点播形状形成のメカニズム

には、ある角度を持って打込み管の壁に当たり反射して打込まれるものがある(長径)。静的試験結果では、打込み管の内法幅 $d = 28 \text{ mm}$ 、内法縦 $m = 23 \text{ mm}$ 、

打込み管長さ $L=250\text{mm}$ が適正であった(第6表参照)。打込み管下端と田面との距離 h はトラクタ走行によって若干変動するが、通常は $20\sim 30\text{cm}$ 程度が播種精度を維持するために適正と思われた。以上により、点播形状の精度評価は、長径・短径データ、特に長径を小さくする視点から行うこととした。

2) 播種ロールの改良

点播を実現するための第1の要点は種子繰出し装置の繰出し間欠精度である。そこで、種子繰出しが間欠的になるように、横溝式播種ロールを点播用播種ロールに改良した。はじめに、12溝の条播用の横溝式ロール(市販品、材質:ポリアセタール)を、同じ溝形状で溝数を3個に減らした(第12図)。この時点で溝形状を固定したため、分類上は横溝式ではなく穴(セル)式ロールとみなされる。さらに、種子の放出時間を短くするためにセル深さを 9mm から 4mm と浅くし、その分面積を大きくして一定の種子数が入るようにした。この改良型播種ロールを自然落下式

ロールと称する。

(1) 試験方法

①セル深さを浅くした効果について、深い溝と浅いセルのロールを静的に回転させ、6粒の種子をセルから放出する場合、水平線位置を 0° として落下開始角度(+)と落下終了角度(-)との差を比較した。

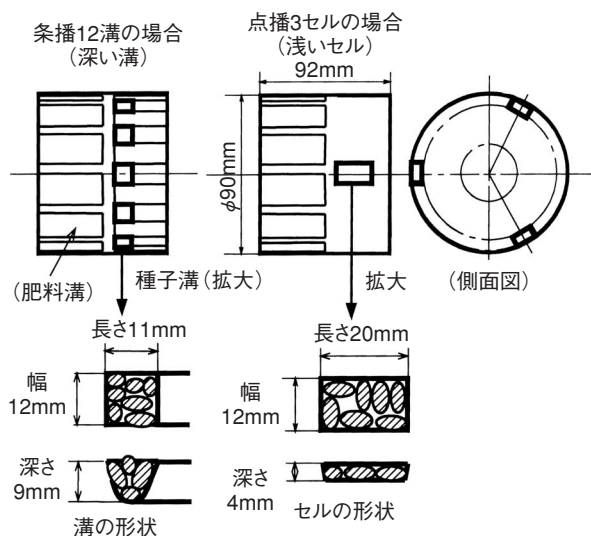
②改良した播種ロールを打込み点播機に装着して圃場播種試験を行い、播種後3週間目に出芽苗の長径・短径を調査した。走行速度 0.5m/s 、設定打込み間隔 20cm とした。

(2) 試験結果

①種子の落下開始角度と落下終了角度との差を 27.2° から 16.5° に減少することができ、所要時間にして約40%短縮できた(第12表)。

②圃場作業試験を行い出芽苗の分布形状を測定した結果、第13図に示した点播形状が得られた。長径分布を見ると、設定点播間隔 20cm に対して長径 12cm 以下が70%以上あり、点播ができたことは圃場観察でも確認された。

一方、圃場播種試験中に、被覆種子から剥離した酸素発生資材の粉末がセル底部に付着し、セルに入る種子数が大幅に減少する問題が発生した。これは被覆種子の含水率が比較的高い場合や雨天時などに発生する現象で、以前から懸念されていた問題であっ

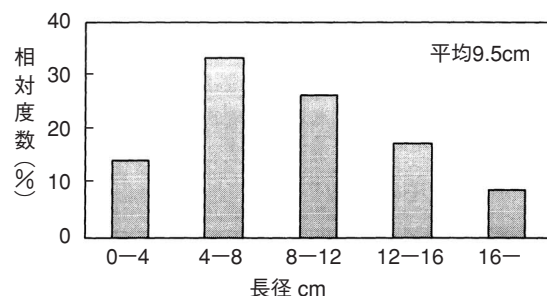
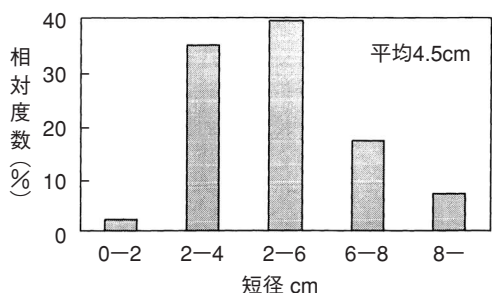


第12図 横溝式播種ロールの改良

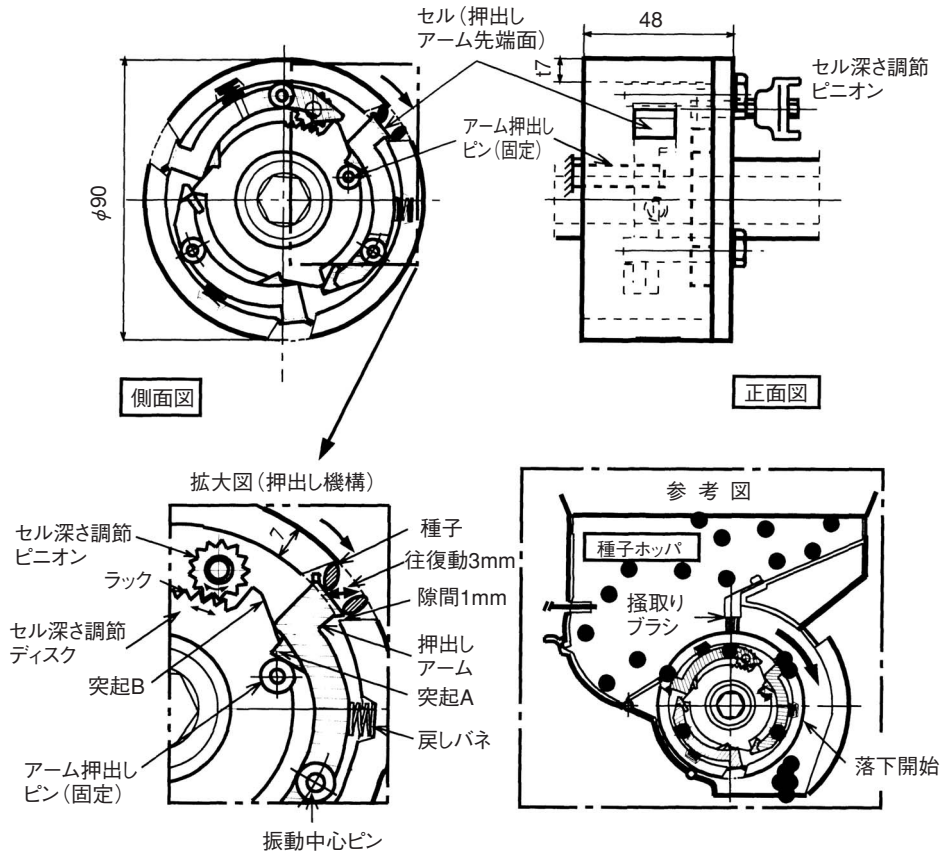
第12表 種子の落下角度間差(静的試験) a)

		落下開始角 ($^\circ$)	落下終止角 ($^\circ$)	角度間差 ($^\circ$)
深い溝	平均	8.8	-18.4	27.2
	SD	10.8	8.5	12.8
浅いセル	平均	4.8	-11.7	16.5
	SD	6.7	7.4	9.5

注) a) 被覆種子6粒を供試した。N:各々100点。



第13図 点播形状(1997, N:1,790点)



第 14 図 点播用（押し出し式）播種ロールの概要

たため、根本的な解決方法として新たに点播用（押し出し式）播種ロールを開発した。

3) 点播用播種ロールの開発

(1) 播種ロールの概要

開発した点播用播種ロールを第 14 図に示した。側面拡大図（押し出し機構）において、回転するロール外周部の厚さは7mmで、その部分に3個のセル穴を貫通させた。セルの底部はロールと一緒に回転する押し出しアームの先端面となっている。押し出しアームは振動中心ピンでロールに固定され戻しバネで常にセル深さ調節ディスクに押しつけられている。播種装置の非回転部にはアーム押し出しピンが1本固定されており、ロールが回転して押し出しアームの突起Aがそのピンに当たっている時間だけ（回転角にして約10度）、押し出しアーム先端部は振動中心ピンを中心として3mmほど円弧往復動する。したがって、剥離粉末は種子と一緒にセル底部である押し出しアーム先端部によってわずかに強制的に押し出される。また、セル壁と押し出しアーム先端との間には1mm程度の隙間があり、剥離粉末の一部はその隙間からロール内部に入って、

自然に外部に排出される構造となっている。以上により、剥離粉末のセルへの付着現象を解消することができた。

播種量調節は、セル深さ調節ディスクとセル深さ調節ピニオンによって行う。すなわち、セル深さ調節ディスクには突起Bがあって押し出しアーム先端部の底部を支持している。セル深さ調節ピニオンで調節ディスクのラック部を微小回転させて突起Bをずらすことによって、押し出しアーム先端部の底部位置を変化させてセル深さを調節する。

(2) 点播用播種ロールの種子繰出し精度

i) 試験方法

対照区は自然落下式ロールである。測定項目は、種子を1セル分繰出すのに要する時間と繰出される種子粒数で、測定位置は、播種ロール中心から180mm下であり、180mmは、鋸歯ディスクへの種子供給位置までとほぼ同じ距離である。測定には高速度カメラを用いた。その他、播種ロール回転数：47rpm、セル深さ：押し出し式は4、5、6mmの3水準、自然落下式は4mm、測定点数：各100点とした。

ii) 試験結果

試験結果(第13表)は以下の通りである。1回当たり繰出し時間は、押出し式の80~88msに対して自然落下式は108msであり、押出し式の繰出し時間が減少したことが確認された。また、セル深さを大きくして播種量を6粒から9粒へ増やしても繰出し時間は増加しなかった。1回の繰出し時間を90msとするとロール1周時間1,277msの7%であり、次の繰出し時間までの空白時間 $(1,280 - 90 \times 3) / 3 = 337\text{ms}$ (26.7%)と比較すると約1/4となり、間欠精度はほぼ良好であると判断された。

1回当たり繰出し種子数はセル深さを増すに従って増加し、深さを変えることによる播種量調節法の有効性が確認された。押出し式はセル深さ4mmで6.0粒、最大深さ6mmで8.9粒であった。繰出し種子数の変動係数CVは20%前後でほぼ満足できる値であるが、播種精度を向上するためにはこれをできるだけ小さくする必要がある。

5. 考察

1) 打込み播種

従来普及された湛水土中直播技術には、代かき後、時間をおかずに土壌表面から散播して一定の播種深さを得る方法と、代かき後比較的土壌が落ち着いた状態で機械的に開溝・播種・覆土することによって一定の播種深さを得る方法の2通りがあった。種子を代かき土中に打込む方式としては、空気噴射による澤田らの方法⁴⁵⁾の研究例がある。送風機とアキュムレーターで高速空気流を作り、その流れに種子を乗せて4.5~11.4m/sの範囲で任意一定の種子速度で打込むことが出来る。鋸歯ディスクによる打込み播種は、代かき同時作業のため良好な土壌硬度条件が得られやすいこと、種子の打込み装置が簡易であること等の理由で実用性が勝ると考えられるが、空気噴射方式と鋸歯ディスク方式との比較試験はまだなされていないため、今後より詳細な比較検討を行う必要があ

ろう。なお、本試験で決定された鋸歯ディスク諸元は、現時点での播種作業条件下における数値であり、今後、作業条件が異なったり、さらに詳細な検討が行われれば、変更されることも十分想定される。

2) 点播用播種ロール

一定数の被覆種子を間欠的に繰出す装置には、穴式ロールの他に、傾斜ベルト式、傾斜目皿式等が考えられるが、コンパクトで、比較的高速繰出しにも適している穴式ロールが、鋸歯ディスクへの種子供給という目的に対しては最も適していると思われる。ただし、作業の高速化を図る場合、繰出し精度が低下しない限界回転数が問題になるが、穴式播種ロールでは最大120rpm前後と考えられるので、セル数が3個ある点播用播種ロールでは、株間20cmとして6セル分、すなわち、1.2m/sが種子繰出し精度を低下させない限界走行速度と推定された。

残された主な問題点としては、播種量の設定幅を大きくすることが挙げられる。仮に条間30cm、点播間隔20cmとし、現在の1点播当たり6.0~9.0粒の播種量(乾籾千粒重28g)を計算すると、10a当たり2.8~4.2kgとなり、寒冷地での播種量を考慮すると十分な調節範囲とは言えない。対策はセル容積を大きくして設定播種量の上限を大きくすることであるが、そのためにはセル面積を大きくすることが簡易な方法と考えられる。セル深さを大きくする方法では、種子繰出し精度に影響する恐れがあり、また、押し出アームを含めた大幅な播種ロールの改造が必要と思われる。

3) 播種機とトラクタとの質量バランス

播種機は代かきハローの後部に位置しており、被覆種子を搭載すると質量がさらに増加するので(30a相当分で+約100kg)、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。普及機の主力となる作業幅2,400mmのハローに装着する8条用播種機を想定した場合、種子100kgを搭載すると代

第13表 種子繰出し精度試験結果

播種ロールの種類	セル寸法	セル容積 (cm^3)	1回当たり 繰出し時間(ms)	1回当たり 繰出し種子数
	深×幅×長(mm)			
押出し式	4×16×13	0.8	88 (57) **	6.0 (25)
〃	5 〃 〃	1.0	87 (57) **	7.2 (19)
〃	6 〃 〃	1.3	80 (57) **	8.9 (17)
自然落下式	4×21×10	0.8	108 (57)	7.0 (23)

注) a) 括弧内はCV%, N:各100点。

b) **は自然落下式に対して、各々1%水準で有意差有り(t検定)。

かきハローを加えた総質量は400kg以上で、重心は代かきハロー単体よりさらに後方に偏る。所要動力の面からの適応トラクタは22kW (30PS) 程度で十分であるが、質量バランスの関係からすると100kg以上のウエイトをトラクタ前部に付加する必要があると判断された。特に問題となるのは、水田圃場への出入りであり、圃場によっては十分留意する必要がある。

Ⅲ. 播種精度

1. はじめに

水稻湛水土中直播における播種精度の主な要因は、播種深さ、単位面積当たり播種量、および播種むらであり、打込み点播ではさらに点播形状が加わる。

本章では、適正播種深さおよび適正点播形状を実現する目的で室内基礎試験と圃場試験を行った。鋸歯ディスクによる種子の打込み条件と播種深さの関係については、水中および寒天ゲルへの打込み試験を行い、被覆種子の基本的な打込み特性を明らかにした。圃場試験では、打込み速度、土壌硬度等の諸要因と出芽深さとの関係を調査した⁵⁸⁾。点播形状精度については、簡易な移動槽を用いた室内基礎試験によって点播形状の特性を把握し、次に実際の圃場試験を行って、点播形状に与える要因特性を検証した。

2. 播種深さ一室内試験

1) 打撃種子の初速度

(1) 試験方法

200mmのスケール区間を打撃直後の種子が通過する間を撮影した高速度カメラのフレーム数を測定して速度を決定した。試験条件は、鋸歯ディスク周速度3水準、種子の被覆条件4水準、種子条件4水準である(第14表)。

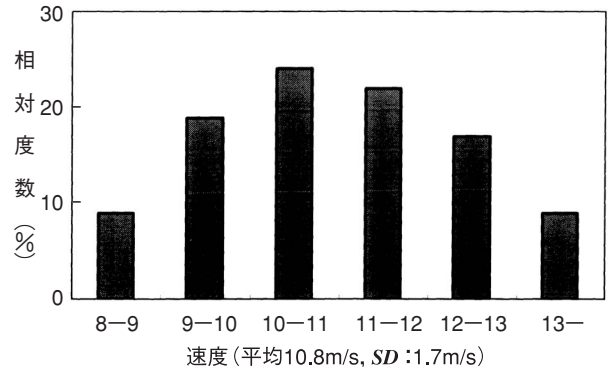
(2) 試験結果

第14表において、鋸歯ディスク周速度が増加する

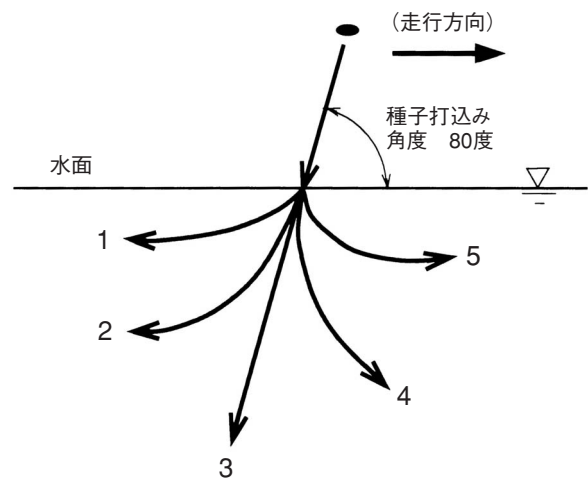
第14表 打撃種子の初速度

No	ディスク周速度(m/s)	種子条件	速度(m/s) (CV %)	速度増加率(%)
1	5.0	2倍被覆	5 (16)	0
2	10.0	〃	11 (16)	8
3	15.0	〃	18 (14)	17
4	9.7	催芽糲	10 (21)	2
5	〃	1倍被覆	10 (15)	1
6	〃	4倍被覆	10 (18)	1

注) a) No.1~3のディスク直径191mm, No.4~6のディスク直径186mm。N:各100点。



第15図 打撃種子の速度分布 (N:100点)



第16図 水中に打込まれた種子の移動方向

にしたがって種子の速度および速度増加率が大きくなることを確認した。速度分布例として試験No2の例を第15図に示した。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、CVは15.7%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、打撃された種子の速度には一定のばらつきがみとめられた。

種子条件の違いでは、催芽糲・1倍被覆・2倍被覆・4倍被覆の速度とCVとの明確な違いはみとめられなかった。また、試験区No4とNo5の速度増加率が小さかったのは、供試した鋸歯ディスク直径が小さくディスクケースとの隙間が大きくなり(3~5mm)、正常に打撃される種子の割合が少なくなったためと推察された。

2) 水中に打込まれた種子の挙動

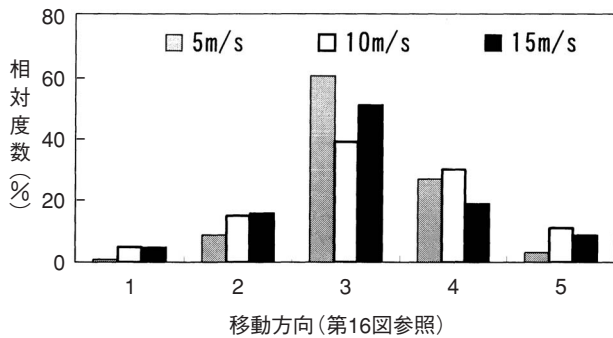
(1) 試験方法

JIS300mlビーカーに水を270ml入れ、種子を1粒ずつ供給してビーカーに打込み、打込まれた種子の水

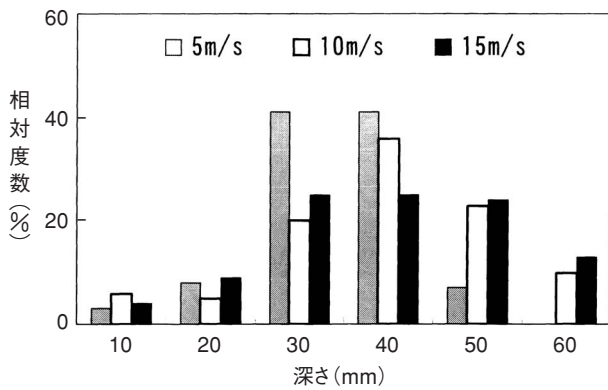
中での挙動を高速度カメラで撮影した。水の表面と種子の打撃位置との距離は40cmである。打込まれた種子は急激に速度が減少し、ほぼ一旦停止し、その後自然に水中沈下する。測定項目は、打込まれた種子の移動方向(第16図)、一旦停止状態になった時の種子位置の深さ、の2点である。試験条件は打撃直後の種子速度を、5,10,15m/sの3水準とし、供試種子は2倍量被覆種子の他に对照区として乾粕を用いた。

(2) 試験結果

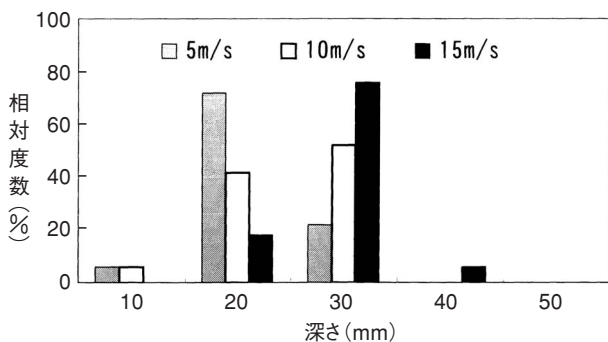
被覆種子の例を第17図に示した。水中での移動方



第17図 打込まれた種子の水中移動方向 (被覆種子, N:各100点)



第18図 水中打込み深さ (被覆種子, N:各100点)



第19図 水中打込み深さ (乾粕, N:各100点)

向は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の合計では80%以上を占めていた。1および5の方向は、各10%未満であった。以上より、水中での移動方向は3>4>2>5>1の順に多く、打込み速度差による移動方向の違いはほとんどないことが明らかになった。なお、乾粕の試験結果もほぼ同様の傾向を示した。

水中で種子が一旦停止状態となる位置(深さ)は、打込み速度と種子条件によって違いがみられた。被覆種子の場合(第18図)、CVは20~30%であった。速度の違いをみると、5m/sでは深さ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%ほどあった。10m/sと15m/sとの差は小さいともいえる。このことは10m/sと15m/sの土中播種深さの違いが、打込み速度の違いほどはないという現象の一つの根拠とみなされた。

乾粕では(第19図)、CVは15~22%であった。打込み速度5m/s区では深さ20mmが70%であるのに対し、15m/sでは30mmが70%以上となり、10m/sではその中間型となった。いずれも深さ40mm以上はほとんどなかった。このことから、酸素発生資材が播種深さに大きく影響していることが確認された。

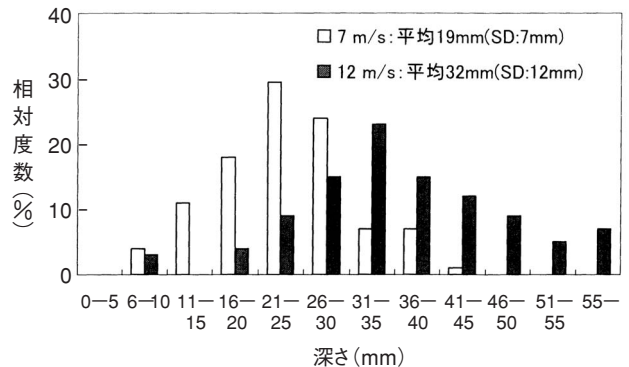
3) 寒天に打込まれた種子の深さ

(1) 試験方法

黒色に染めた2倍被覆種子を7粒ずつスプーンで供給し、寒天ゲルを入れたビーカーに打込み、深さ測定はスケールで目測した(第3図-A参照)。打込み種子速度は7m/sと12m/s、測定点数は30回×7粒=210点とした。

(2) 試験結果

打込まれた種子の深さは正規分布に近似しており(第20図)、CVは打込み速度7m/sの場合37%、12m/s



第20図 寒天への被覆種子打込み深さ (N:各210点)

で38%であった。7m/sではピークが15～20mmに、12m/sでは同じく25～30mmにあり、打込み速度が大きいほど深さも大きくなることが確認された。12m/sでは、深さが10mm～50mmと広範囲に分布した。

3. 播種深さ一圃場試験

圃場試験では、大量の播種深さデータを得ることは困難であるため、代りに出芽深さをを用いたが、播種深さと出芽深さとは定義が異なり（第1図参照）、また、代かき直後と出芽時期とでは土壌状態も異なることを十分考慮に入れる必要がある。圃場における播種深さには、代かき土壌硬度が大きな影響を及ぼすことが想定された。そこで、代かきハローによる代かき直後の軟らかい土壌条件を前提に、初めに土壌硬度測定法について、次に土壌硬度および種子速度と播種深さとの関係を検討した。

1) 土壌硬度測定法

1mの高さから下げ振りコーンを落下させる方式は、代かき直後の軟らかな土壌では全く使用できない。そこで、簡易土壌硬度測定器（土壌硬度計と略）と回転円筒形粘度計（粘度計と略）を供試し、その有効性について調査した（第21図）。

土壌硬度計は下げ振りコーン（底面直径36mm、高さ44mm、質量115g）を10cmの高さから落下させるもので、比較的軟らかな土壌硬度測定用にも応用できる³²⁾。粘度計は、本来土壌硬度測定用ではなく均質な試料に用いるべきものであるが、代かき土壌への

適応性について有効性が示されている⁴⁷⁾。

(1) 試験方法

幅30cm×長さ30cm×高さ20cmのポリ容器に、粘度計で測定・調整した3種類の代かき土壌（粘度50, 150, 250dPa・s）を用意し、そこで土壌硬度計による測定を行った。供試土壌はあらかじめ風乾後に5mmのふるいにかけて、加水後攪拌を丁寧に行ったもので、ほぼ均質な代かき土壌とみて良い。測定点数は各20点とした。

(2) 試験結果

供試土壌の粘度と土壌硬度計測定値とを比較した結果（第15表）、粘度150dPa・s前後が土壌硬度計による測定限界で、それ以下では軟らかすぎて測定は不可能であった。したがって、現時点で実際の代かき土壌硬度に適應できる測定法としては、土壌硬度計よりも粘度計の方が有効であると判断された。

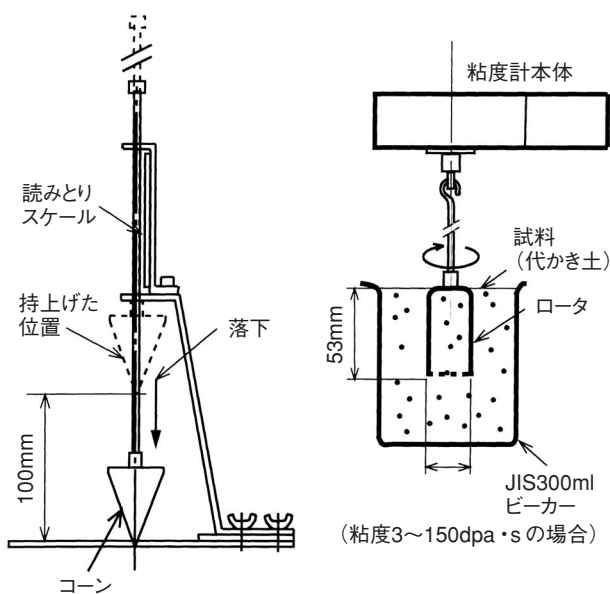
2) 圃場における出芽深さ

種子の打込み深さには代かき土壌の物理性が大きく影響すると想定される。第22図には、耕うん・湛水後に代かきを1回行った直後の土壌をふるい分けした結果を示した（サンプリング深さ：150mm、飽和状態の土壌10kg×3回の平均値）。直径4.8mm以下の液状の土壌が質量割合で50%以上あったが、中・小土塊も少なからず含まれていた。

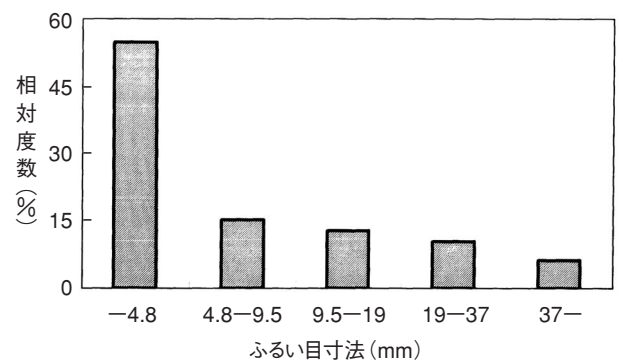
第15表 土壌硬度計と粘度計との関係

設定粘度 (dPa・s)	土壌硬度計 (mm)	SD (mm)
50	不可能	—
150	95	5
250	75	2

注) a) N：各20点。



第21図 簡易土壌硬度計および回転円筒形粘度計

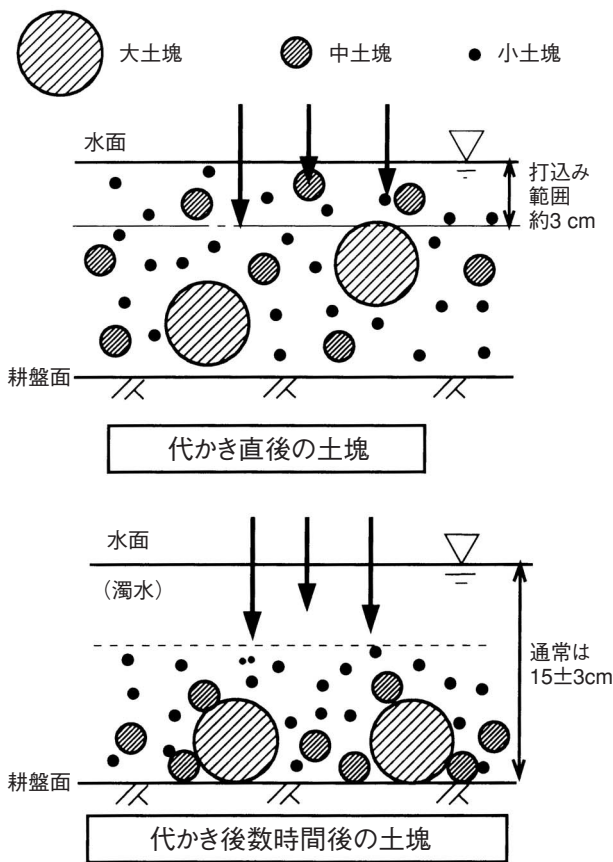


第22図 代かき直後の土塊の大きさ

第23図は、代かき直後(1~2秒後)と代かき後数時間以上経過後の、想定される代かき土塊分布模式図である。図中で大・中・小の土塊間には液状の土壌が満たされている。代かき直後の土壌では、播種深さ(打込み範囲)に大きな影響を及ぼす深さ30mmまでは中・小の土塊の割合がより大きいと推察された。

(1) 試験方法

出芽深さに影響を及ぼす要因のうち、ここでは種子条件、打込み速度、代かき土壌硬度の3要因に絞って検討した(第16表)。土壌硬度の大体の目安は軟(粘



第23図 代かき土中の土塊分布模式図

第16表 出芽深さ圃場試験区の構成

No	種子条件	打込速度 (m/s)	硬度条件 ^{a)}	データ数
1	催芽種子	12	標準	103
2	2倍被覆	〃	〃	80
3	2倍被覆	5	軟	100
4	〃	10	〃	〃
5	〃	15	〃	〃
6	2倍被覆	10	軟	100
7	〃	〃	標準	〃
8	〃	〃	硬	〃

注) a) 軟:~50dPa・s, 標準:50~250, 硬:250~。

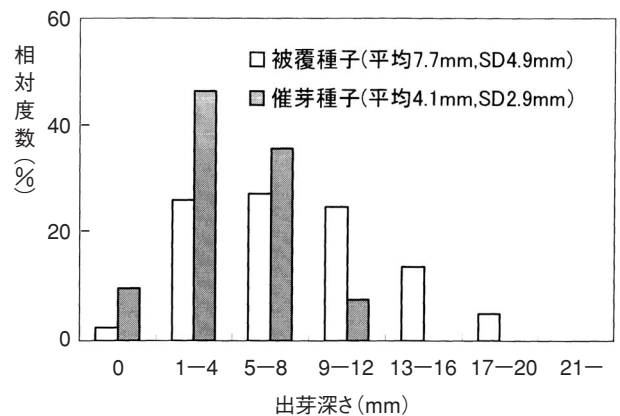
度 50dPa・s 以下), 標準 (同 50~250), 硬 (同 250 以上) の3水準とした。土壌硬度の測定は、代かき直後の位置に、50cm角で15cm深さの木杵を置いて表面水の流入を防ぎ、素早く行った。代かきは2回行った。

なお、播種深さと出芽深さの関係についての圃場観察では、播種直後の代かき土壌深さと、落水して2週間経過した時の土壌深さの比は約3:2であったことから、播種時の播種深さはおよそ出芽深さ×1.5と判断された。例えば、出芽深さ10mmであれば代かき直後土壌の播種深さは15mm前後であったと推定される。本試験では、播種試験後、出芽促進のために落水管理し、出芽が出揃った20日後に調査した。

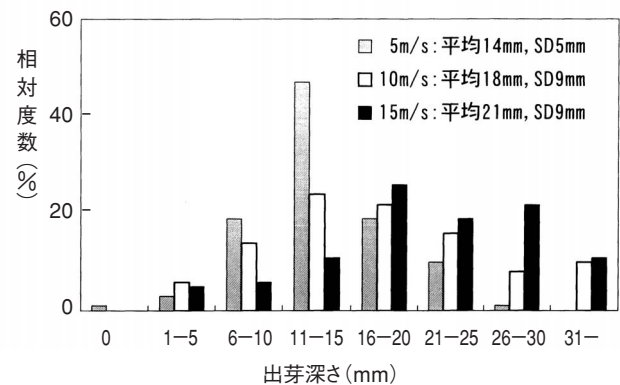
(2) 試験結果

被覆種子と催芽種子との比較では(第24図)、明らかに被覆種子の出芽深さが大きかったが、催芽種子は0mmが予想よりも少なく、1~8mmの範囲に80%あった。

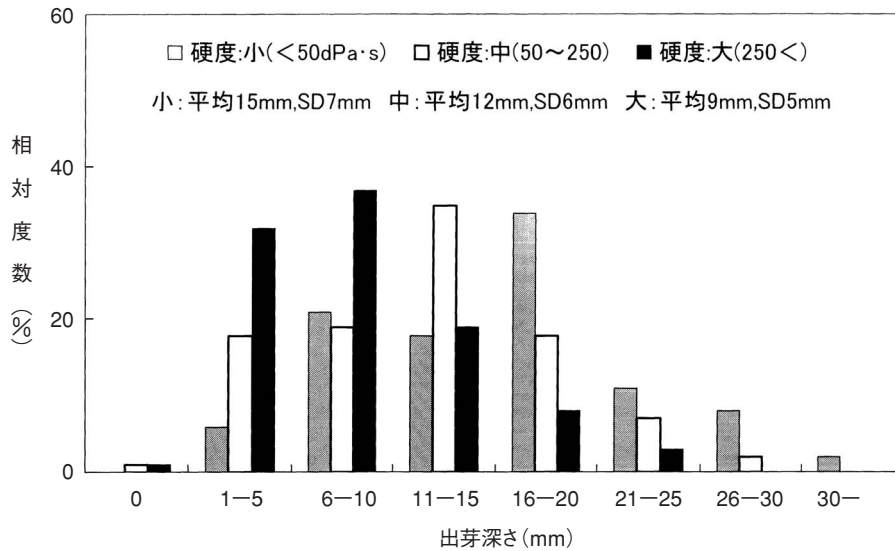
打込み速度が出芽深さに及ぼす影響(第25図)は明らかであったが、10m/sと15m/sとの差は、5m/sと



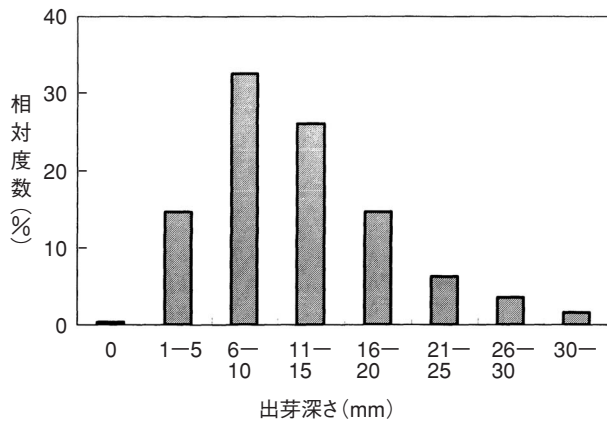
第24図 種子条件が出芽深さに及ぼす影響 (N:被覆種子80点、催芽種子103点)



第25図 打込み速度が出芽深さに及ぼす影響 (土壌粘度:50~250dPa・s, N:各100点)



第26図 土壤硬度が出芽深さに及ぼす影響 (打込み速度：12m/s, N：各100点)



第27図 1996年度試験区全体の出芽深さ (平均 12 mm, SD : 7 mm, N : 2,680 点)

10m/s との差よりも若干小さかった。このことは、打込み速度が15m/s未満(鋸歯ディスク回転数:1,500rpm未満)でも効果が十分であることを示している。

圃場での代かき土壤硬度が播種深さに及ぼす影響は必ずしも一定の傾向を示すとは限らないが、第26図には影響が典型的に現れた例を示した。すなわち、土壤硬度が軟→標準→硬と硬度が大きくなるに従って出芽深さが小さくなった試験例である。

第27図は1996年に九州農試内試験圃場で行われた多くの試験条件を含むデータである。種子の打込み速度は7~13m/s, 土壤条件は粘度計による目安で50~500dPa·s, 測定点数は2,680点。平均出芽深さは12.1 mm, CVは56%であった。

4. 点播精度

本技術における播種精度のもう一つの要点は点播

精度である。点播精度とは、適正な播種量・点播形状・点播株率を意味する。播種量については、江原ら⁵⁾の試験例では、湛水散播でm²当たり播種粒数を①32, ②64, ③96, ④160粒の4水準を設定して収量を調査した結果、収量は①>②>③>④の順に多かった。このように適正播種粒数は気象・土壌・品種・栽培条件、および播種様式(散播・条播・点播)等によって異なるため一律に決定することは出来ない。打込み点播の場合は1点播当たりの播種粒数がばらつかずに安定していることが重要である。

点播形状については、栽培上適正とされる形状がまだ結論づけられていない段階であるが、今までの移植栽培の考え方を基に判断すれば直径5~6cm前後の円形状が想定される。なお、ここで用いられる点播株率とは、打込んだ種子が条播のようには連続せず、明確に(移植のように)株が形成されている割合で、打込んだ回数と株数との比を意味し、これが100%に近いほど高精度といえる。

1) 室内試験

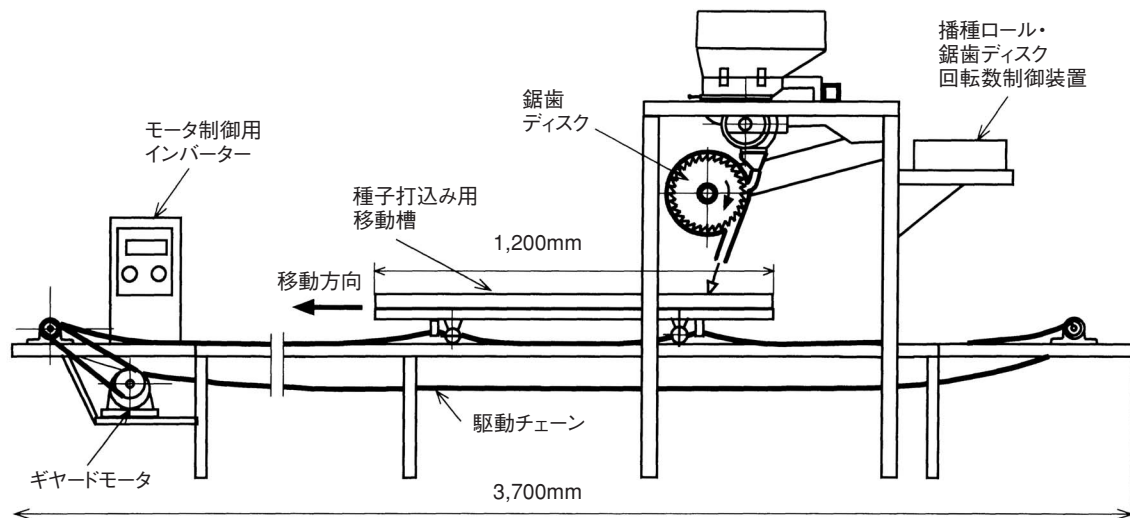
開発した点播用(押出し式)播種ロールと鋸歯ディスクによる点播精度について、実際の圃場試験で精密な解析を行うことは困難である。そこで、実作業の代わりに移動槽を用いた室内試験を行い、点播精度と種子の繰出し方式、走行速度、種子の打込み速度、播種ロールの押出しアーム動作点、との関係について検討した。

試験方法は以下の通りである。室内試験用に製作した点播形状解析試験装置(第28図)を用いた。ア

クリル製移動槽は幅300mm, 長さ1,200mm, 移動槽速度は無段変速可能であり, 槽内には寒天ゲルを入れた。寒天の深さは40mmで, 打込まれた種子が槽の底面に到達したとしても, 水平方向に再度動くことはないと判断された。打込まれた白色の被覆種子は寒天中では目視確認できるので, スケールで長径・短径を測定した。第17表に試験区の構成を示した。種子の繰出し方式は①スプーン供給, ②自然落下式播種ロール, ③押し出し式播種ロールの3種類とした。走行速度の影響については, 種子繰出しのばらつきを排

除するためにスプーン供給区(6粒の種子をスプーンで同時投入)で静止, 0.3m/s, 0.5m/sの3水準を設定した。種子打込み速度は, 自然落下式区において10m/s, 13m/s, 16m/sの3水準を設定した。その他, 押し出し式では, セル底部の押し出しアーム動作点(種子押し出しタイミング)の適正位置を調査するために押し出しピン位置を上・中・下の3箇所設定した(第29図)。なお, 第17表における押し出し式の押し出しピン位置は, 第29図に示した。

試験結果は以下の通りである。



第28図 点播形状解析試験装置

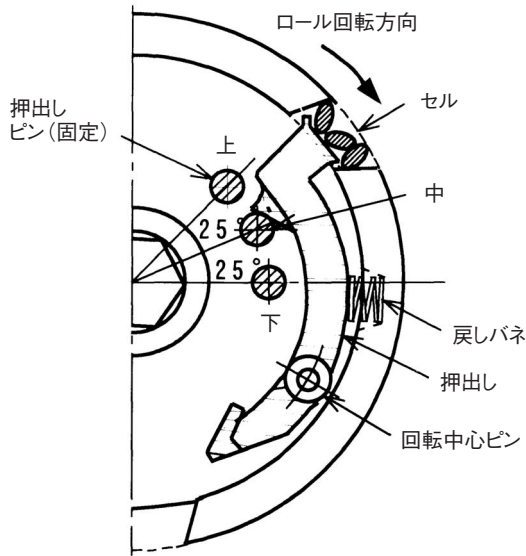
第17表 点播形状試験条件・試験結果(室内試験)

試験No	種子繰出方式	試験区の構成			試験結果		
		走行速度(m/s)	打込速度(m/s)	押し出しピン位置 ^{a)}	長径 cm(CV%)	短径 cm(CV%)	1点播当り 種子数 (CV%)
1	スプーン供給	静止	13		5.8(24)*	2.8(21)	6.0(0)
2		0.30	〃		5.9(44)	2.7(33)	〃
3		0.50	〃		6.7(28)*	3.5(40)	〃
平均					6.1(32)	3.0(31)	〃
4	自然落下式	0.50	10		7.4(30)	3.1(48)	5.0(28)
5		〃	13		7.3(53)	3.4(38)	6.1(36)
6		〃	16		8.2(49)	2.8(43)	4.9(35)
平均					7.6(44)	3.1(43)	5.3(33)
7	押し出し式	0.50	12	上	9.8(32)	4.0(33)	6.9(29)
8		〃	〃	中	9.1(39)	4.4(32)	7.4(28)
9		〃	〃	下	9.0(34)	4.3(35)	7.2(26)
平均					9.3(35)	4.2(33)	7.2(28)

注) a) 押し出しピン位置は図29参照。

b) *: No1とNo3の長径は5%水準で有意差が認められた(*t*検定)。

c) N: No1, 2, 3, 5, 6が22~25点, No4, 7, 8, 9が50~55点。



第29図 押しピンの固定位置

(1) 種子線出し方式の影響

第17表の試験No1は、スプーンで6粒の種子を鋸歯ディスクに供給し移動槽を静止させた状態での結果であり、第11図における点播形状を実測した場合に相当する。No1の長径5.8cmは短径の2倍以上の値であり、供試打込み管(内法寸法の幅27mm, 縦24mm)を用いた場合、走行速度に関係なく長径は短径よりも大きな値となることが確認された。

次に、走行速度と種子打込み速度がほぼ同一の試験No3・No5・No8の長径を比較すると、各々、6.7cm・7.3cm・9.1cmであった。すなわち、今回の試験範囲では、スプーン供給<自然落下式<押し式順に長径が大きかった。なお、1点播当たりの播種粒数と長径との間には一定の比例関係はみとめられたものの、相関係数は0.5前後であり、高い相関はなかった。

(2) 走行速度の影響

No2とNo3は、数粒の種子が鋸歯ディスクへの供給口付近で生ずるばらつきに走行速度の影響を加えたものとみて良い。今回の試験結果において、静止 (No1) と0.5m/s (No3) とでは5%水準で有意差が認められたものの、静止と0.3m/sの比較、0.3m/sと0.5m/sの比較での有意差はみとめられなかった。

(3) 打込み速度の影響

種子の自然落下式試験区 (No4 ~ No6) において、今回の試験範囲 (10, 13, 16m/s) では、種子打込み速度の違いによる長径の有意差は確認されなかった。

(4) 押しシーム動作点の影響

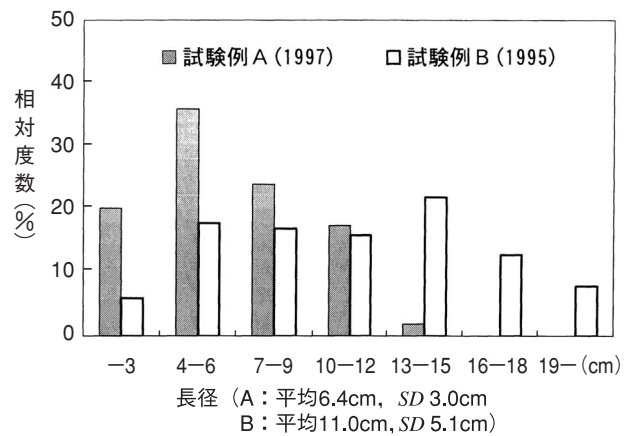
押しピン上位置 (No7), 中位置 (No8) および下位置 (No9) との比較で、長径の有意差は認められなかった。したがって、セル底部の押し動作点は中位置付近であれば問題ないと判断された。なお、短径については、No1 ~ No6 (打込み種子数が5 ~ 6) で約3cm, No7 ~ No9 (同7粒程度) では4.2cmであった。

5. 圃場試験の実例

1995 ~ 1997年に行った圃場試験の結果、点播形状の長径は7 ~ 12cm, 短径は3 ~ 6cmの範囲内に70%以上が分布することが確認された。以下に、長径分布の例として典型的な2つの試験例を示した。試験条件はいずれも、鋸歯ディスク周速度10 ~ 12m/s, 走行速度約0.5m/sである。

第30図-試験例Aは、1997年に行われた現地実証試験結果(福岡県夜須町)で、長径が小さかった試験例であり、長径は平均6.4cmで10cm以下には全体の80%が入っていた。その後の生育も移植に近い草姿となった(写真2)。

第30図-試験例Bは、1995年に行われた圃場試験結果(九州農試内)で、長径が大きかった試験例であ



第30図 点播形状の圃場試験結果 (N: 各100点)



写真2 長径が小さく移植に近い点播形状の苗 (試験例-A, 福岡県夜須町, 1997)

り、長径の平均11.0cmで13cm以上に全体の50%近くが入っていた。まだ播種ロールの改善が不十分な時点での試験結果であり、種子の繰出し時のばらつきが大きく影響したものと推定された。水稻の生育は点播よりは条播に近い草姿であった。

6. 種子条件が播種深さに及ぼす影響

省力・低コストのために酸素発生資材による種子被覆が省略できるかどうかはよく問題にされる。そこで、乾糶および催芽糶を供試して、通常の被覆種子との播種精度比較試験を圃場で行った。

1) 試験方法

乾糶及び鳩胸状の催芽糶を供試して対照区の被覆種子(酸素発生資材2倍量被覆種子)と、播種精度について圃場試験で比較した。その他の播種条件は第18表に示した。

2) 試験結果

乾糶・催芽糶の場合の出芽深さは酸素発生資材2倍量区よりも明らかに小さく、このことは観察(表面播種の割合)でも確認された。点播形状に大きな違いはみられなかった。苗立率が小さかったのは乾糶であるが、表面流出種子が多く、一部はスズメ害にあったためである。現時点の技術レベルでは、酸素発生資材被覆は安定播種深さの確保や鳥害回避、苗立の安定性のために省略できないと判断された。しかし、省力・低コストの理由から、酸素発生資材被覆作業の省略は直播栽培実践農家から強く要望されている。今後、軟らかい代かき土壌(粘度50dPa・s以下)を作成し、そこに催芽糶を打込むことによって0~5mmの播種深さとし、出芽率を70%程度確保できる可能性は考えられる。そのためには軟らかい代かき土壌でも泥流を発生しないような代かき作業方法が前提として必要となる。

7. 播種作業条件の簡易計算法

本機による圃場作業時に適正な走行速度・播種ロール回転数・点播種子数等を設定するための簡易計算方法を以下に示した。条間は30cm一定とする。

R: ロール回転数 [回転/s]

N: セル数 [通常は3]

V: 走行速度 [cm/s]

D: 点播間隔 [cm]

X: 点播種子数 [1回繰出し種子数]

Y: 乾糶千粒重 [g]

W: 播種量 [乾糶重, kg/10a]

一般式は以下の通りである。

走行速度: $V = D \cdot N \cdot R$

ロール回転数: $R = V / (D \cdot N)$

点播種子数: $X = 3 \cdot W \cdot D / Y$

なお、乾糶に対して2倍量の酸素発生資材を被覆すると質量は水分を合わせて約3.6倍になり、2~3時間の陰干しで4%の水分を蒸発させたとして約3.46倍になるので、3kgの乾糶は被覆種子として最終的に約10kgとなる。

8. 考察

1) 播種深さ

代かき土中への播種深さに大きな影響を及ぼす要因としては、打込まれる瞬間の①種子速度、②種子姿勢、③土壌硬度条件の3点であることは容易に推測される。以下、鋸歯ディスク周速度10m/s、2倍量被覆種子を前提に、各々について検討する。

鋸歯ディスクによる被覆種子の打出し作用では、鋸歯ディスク周速度より若干大きい種子初速度が得られ、30~40cm下方の代かき土中に打込まれる。打込まれる数粒の種子速度は、第15図のばらつき(CV17%)を有する。土中に打込まれる瞬間の種子姿

第18表 種子条件が播種精度に及ぼす影響 (1997)

試験 No	種子条件	打込速度 (m/s)	出芽深さ (mm)	点播形状		推定苗 ^{a)} 立率(%)
				長径(cm)	短径(cm)	
1	乾糶	7.0	6 (5)	5 (4.8)	3.8 (2.4)	44
2	催芽糶	〃	6 (4)	11 (4.5)	4.9 (2.6)	45
3	被覆種子	〃	6 (6)	18 (3.7)	4.3 (2.5)	76
4	乾糶	12.0	6 (5)	10 (4.1)	3.5 (2.2)	39
5	催芽糶	〃	6 (4)	10 (3.6)	4.0 (2.3)	47
6	被覆種子	〃	6 (8)	10 (4.5)	4.0 (3.4)	59

注) a) 推定苗立率は、推定播種量から計算した。

b) 走行速度は0.5m/s、括弧内の数値はSD。

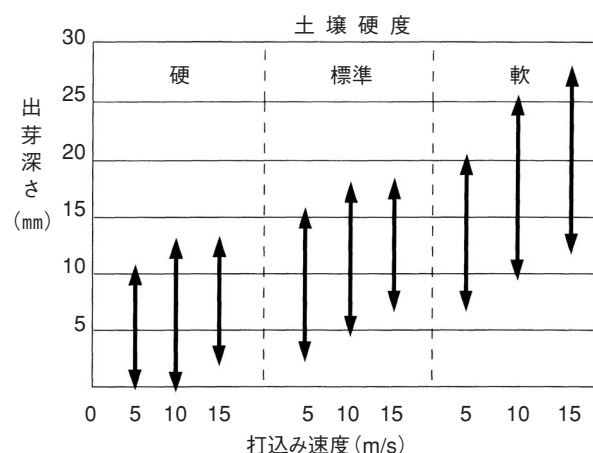
勢については、今回用いた高速度カメラの場合、解像度の限界から打込む瞬間の姿勢は確認できなかった。播種深さに及ぼす打込み速度の影響には、速度に加えて種子姿勢の影響も含まれていると推察されたが、その影響割合の解明は今後の課題として残された。土壌等に打込まれる直前の種子速度については、打撃位置と打込み面との距離が最大でも50cm以内であることから重力加速度と空気抵抗の影響を相殺し、打撃速度と同一速度であると仮定した。

水中での打込み深さは、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倍量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）でありその差が第18図と第19図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さ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さにはより大きな影響を及ぼすと考えられるため、酸素発生資材以外の種子の比重増加法は効果的ではないと推察された。

均質な代かき土壌の類似物質（硬度は適正代かき土壌よりも若干軟らかめ）として利用し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。CVは約37%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た。また、打込み速度が大きいと播種深さ範囲が大きくなることも確認された。この場合、10m/s以上の速度では1粒種子の打込みよりも5粒以上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（第8表参照）。

代かき土壌条件が播種深さに与える影響については、第23図から判断して、代かき直後の土塊の大小や分布状態が最も大きい要因であろうと推察される。実際の圃場における出芽深さのCVは約60%であった。他の圃場試験の出芽深さデータをみても、CVは40～60%が多かった。ただし、このことは代かき回数等の条件によっても異なり、回数が多いほど大・中の土塊は少なくなるため、播種深さに及ぼす影響も異なってくる。一般に、代かき回数が多いほど適正播種深さは得やすくなるが、作業時間の増加や重粘土圃場などでは代かき回数は出来るだけ少ない方が好ましいため、この点で問題が残されている。

第31図に、これまでの多くの圃場条件下で得られた試験データを基に筆者が予測した、打込み速度と



第31図 土壌硬度・打込み速度別の出芽深さ (大まかな予測値の概念図)

土壌硬度別の出芽深さ範囲を示した。土壌硬度はおおよそ軟（粘度50dPa・s以下）、標準（同50～250dPa・s）、硬（同250dPa・s以上）とした。図からも明らかなように、各々の範囲は相当に広いものとなっている。ただし、出芽深さは結果として5～15mmの範囲に50%以上含まれる例が多く、本方式のように1点播当たり7粒前後播種する多粒点播では、少なくとも2～3本の苗立ちは期待でき、欠株率の少ない理由になっている。第30図一試験例Aに示された現地圃場での連続欠株率は2%以下であった。

2) 土壌硬度測定方法

本機による種子の打込みに適した代かき土壌硬度は観察結果からヨーグルトよりやや硬めと表現しており、ヨーグルトの粘度50dPa・s（10℃）からすると、適正土壌硬度付近の測定は、コーン式土壌硬度計では不適切と判断された。しかし、種子を代かき土中に打込むという本方式の特徴を考慮すると、コーン貫入方式の計測法が基本的には適合すると考えられる。今回供試した土壌硬度計ではコーン質量が大きすぎて、測定に限界があった。今後の改良方向としては、現在の土壌硬度計のコーンを軽量化する方法と、軽量で小型のコーンを複数（例えば10個）貫入させる方法等が考えられる。コーン式では、より軟らかい土壌に適応できるとみられる測定装置³⁵⁾が最近、市販化され、また、代かき直後の土壌硬度測定を目的としたゴルフボールの応用も検討されている⁴⁸⁾。

一方、粘度計は本来均質な物性を対象とするもので、代かき土壌の粘度を測定しても第23図の濁水部分のみを測定することになる。実際に、代かき土壌の

粘度が50dPa・s程度でも中・土塊が混じっていればその部分に種子が衝突するためにヨーグルトの場合よりも播種深さは小さくなる。したがって、打込み播種時に作出される代かき直後の軟らかい土壌条件を考慮すると、粘度計と硬度計を併用することが望ましいが、現時点では粘度計がより有効な測定器と判断された。

3) 点播形状

水稻の生育にとって適正な点播形状は、苗立ち本数・栽植密度・圃場条件・気象条件などによって異なり今後の研究課題であるが、栽培管理技術からみて当面の研究目標としては、長径6~7cmで短径4~5cm程度の楕円形状と想定される。ただし、これは条間30cm, 点播株間20cm, 苗立本数4~5本を前提にしての数値であり、地域・気象条件ごとに点播直播栽培にふさわしい条間・株間・苗立本数が新たに設定されれば、適正な点播形状も異なる可能性がある。点播形状では短径が3~5cmと安定しているのに対して長径は5~12cmと大きな幅があり、これを6~7cm程度以内とすることが点播形状精度の当面の目標となる。さらに、条件の悪い圃場条件においても適正点播形状の株率を100%に近づけることが目標となる。

点播形状に及ぼす走行速度の影響は、播種ロール1セル分の種子を打込むのにかかる時間を T , 走行速度を V とすると、その長径増加分は TV となる。仮に $T=0.1s$, $V=0.5m/s$ とすると、長径増加分は $0.1 \times 0.5=0.05m=5cm$ となり、理論的には静止状態の長径にこれだけの数値が加わることになる。第17表において同じスプーン供給であるNo1(静止)とNo3(0.5m/s)をみると、長径は0.9cmの増加となっているのに対して、No1と播種ロールからの種子供給であるNo8(0.5m/s)との比較では3.3cmと大幅な増加となっている。このことは、鋸歯ディスクへの種子供給時間が少ないほど走行速度の影響は小さくなることを示している。例えば、播種ロールより繰出された種子は1~2回、供給管の内壁に衝突して鋸歯ディスクへの供給口へ到達する(第9図参照)ため鋸歯ディスクへの供給時間が長くなっていたが、この部分を改良することによって点播精度が向上されたことが最近の研究成果で確認されている⁵³⁾。

上述のような高い点播精度を確保するためには、圃場側の条件として、土壌表面の高低差を少なくし、特に枕地部の均平に留意し、かつ麦わら等が過度に

浮遊しない程度に代かき水を調整して作業することが必要である。圃場の代かき土壌硬度が極端に軟らかい場合は、打込み管から点播状に種子を打込んでも土壌が流動して点播形状が乱れ、かつ播種深さにも悪影響を及ぼす。このような場合には、とりあえず走行速度・代かきハロー回転数・鋸歯ディスク回転数を、各々、通常よりも低下させて対処するしかない。

4) 耐久性

鋸歯ディスクの材質は、市販の軟らかなスポンジゴムであったためその摩耗が懸念された。耐久性試験の結果⁵⁹⁾, 1ユニット当たり総量100kg程度までの処理量(約1haの播種量に相当)であれば播種精度への影響はわずかであり、ディスクケースとの隙間調整等である程度までは対応できると判断されたが、200kg以上となれば鋸歯ディスクの交換が必要と推察された。しかし、スポンジゴム以外で、安価でより耐久性のある材質は現在のところみあたらない。

その他、播種ロール部では、搔取りブラシの摩耗が問題となった。実際に被覆種子を数ha分(60kg程度)処理した後の搔取りブラシは、明らかに摩耗状態が確認され、播種量の増加と間欠繰出し精度に影響を及ぼした。原因は、種子の酸素発生資材に対して、ブラシ材質である豚毛の耐久性が低いためと推定された。根本的な対策としては、摩耗に強い材質のブラシを開発することであるが、当面はブラシの摩耗が確認された時点で新品と交換することで対処する必要がある。

IV. 播種作業性能の向上

1. はじめに

高精度な代かき同時打込み播種を行うための要点は、適正な硬度の代かき土壌(粘度:50~250dPa・s)を代かきハローによって作出し、その部分に被覆種子を適正速度で打込むことにある。

本章では、より高精度・高能率な打込み点播を行うための播種作業方法、代かきハローの改良等について、各々、現地圃場試験での観察データ等を加えて検討した⁶⁴⁾。加えて、現場からの強い要請であるマーカの試作など、圃場での播種作業性能を向上させるための技術開発を行った。播種作業能率試験は現地実証圃場で行ったが、ここでは、種子の準備に要する時間は考慮せず、圃場内での播種作業、種子補給等の項目に絞って調査した。

なお、同時施肥作業については、粒状の化成肥料を鋸歯形ディスクに種子と一緒に供給して同時に打込むことを試みたが、有効性は認められなかった。

2. 播種作業方法

1) 耕深、代かき水量

播種作業の前作業工程であるロータリ耕うんの耕深が小さ過ぎる（5cm未満）と、打込み播種作業時に代かきハロー作用深さを調節する場合に深めの設定ができない。逆に、耕深が大き過ぎる（約15cm以上）と、トラクタ車輪のわだち跡が大きくなり、代かきハローによる車輪跡の攪拌均平が不十分になる。このため、適正な耕深は10cm程度と判断された。

代かき水量は、土壌条件の違いにもよるが慣行よりはやや少なめが良い。代かき水量が多めの場合、代かき土壌が泥流となって後方に流れる危険性があり、その場合は適正な播種精度は得られにくい。写真3には適正な土壌硬度条件が得られた例を、写真4には代かき土壌が泥流となった例を示した。逆に代かき水量が少な過ぎる場合は、代かき土壌が硬くなり（写真5）播種深さが浅くなり過ぎたり、トラクタ車輪跡が代かきハローで攪拌・整地されずに残ったり、また、代かきの効果そのものが低下するという問題が生ずる。しかし、適正な代かき水量の確認方法はまだ確立されておらず、1996～1998年に行った現地実証圃場での観察データから、目安となる代かき水量の調整方法は、①慣行よりも少なめとすること、②荒代かきを圃場の一部で行って水量の多少を判断し、給水・排水を行う、③播種作業直前に当該圃場で代かき土壌硬度を確認して調整すること、等の方法で対処せざるを得ない。代かき水量が多過ぎる場合、一旦濁水となった代かき水を落すことは良くないことから、当初の代かき水量を少なめにする必要がある。ただし、同一圃場で2～3年、打込み播種作業を行えば、当該圃場の代かき特性が把握でき、適正な代かき水量の判断ができるようになる。

2) 代かき作業方法

荒代かきは圃場の透水性や圃場均平等を考慮して必要回数だけ行い、最後の仕上げ代かき時に同時播種作業を行うことが原則である。しかし実際には、各農家独自の作業手順やトラクタ等の利用計画から、荒代かきを播種日の前日あるいは前々日に済ませておく場合が少なくない。その場合は播種日当日の土壌硬度状態に合わせて代かき水量を決定する。透水



写真3 適正な代かき土壌硬度の例
(九州農試, 1997)



写真4 泥流となった代かき土壌
(九州農試, 1997)

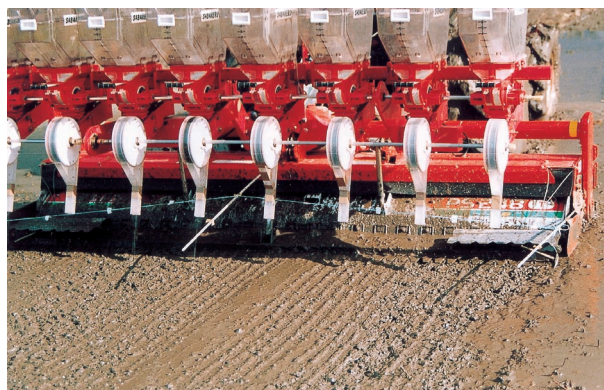


写真5 代かき土壌が硬すぎた例
(九州農試, 1997)

性が小さい泥炭地域・重粘土地域などで1回の代かきで済ます場合は、耕うん時の碎土を丁寧に行う必要がある。なお、適正代かき土壌硬度の作出に及ぼす土質（主に物理性）の影響については、本研究において検討しなかったため、今後の課題として残された。

3) 打込み管高さ

室内基礎試験では、打込み管下端と寒天ゲル表面

との距離が170 mm以上では種子の分散程度が大きくなった(第9表参照)。打込み管下端と代かき土壌表面との距離は、実際の播種作業中には圃場耕盤の凹凸で播種機の上下運動が生じ、打込み管が土壌に埋没する危険性があるため20~30cmが適正な高さとして推定された。圃場試験の観察からは、約40 cm以下では播種精度に及ぼす悪影響は小さいと推定された。打込み管の長さ、打出し速度等との関連があるため限界高さはまだ不明であるが、約50 cm以上では点播形状が大きくなり過ぎるという影響が出る。

4) 代かきハロー作用深さ

一筆圃場内で、ハロー作用深さを全く変更せずに作業を行うことはほとんどない。圃場耕盤の深さや圃場表面の凹凸(水深)等が影響するため、オペレータは状況に応じてハローの上下操作を行う必要がある。また、トラクタ後車輪のわだちが明確に残るような時にはハロー作用深さをやや深めに調整し、できるだけわだちをハロー爪で均平にする必要がある。

5) 枕地作業

トラクタの旋回等により、枕地では耕盤の凹凸が大きく、また土壌の均平も不十分となりやすいため、代かき土壌条件が悪化して播種精度が低下し出芽率に悪影響を及ぼす場合が多い。したがって、走行速度・ハロー爪回転数・種子打込み速度を、各々、通常よりも約20%程度低下させて作業を行う必要がある。軟らかめの場合は走行速度0.3~0.4m/s、ハロー回転数200rpm、種子速度6m/s(鋸歯ディスク回転数600rpm)が目安となる。

第19表に代かき土壌硬度に対応する作業条件を示した。土壌は細粒灰色低地土を前提にしたものであり、全国各地での適応条件は若干異なることが予想される。要点は、土壌硬度が硬めの場合は走行速度・ハロー回転数・打込み種子速度ともにやや高めに設定すること、軟らかめの場合は逆の設定となる。

以上は麦わらを鋤込んでいない圃場における試験結果であるが、麦わらを鋤込んだ圃場においても通常の作業方法で播種精度等に影響のないことは確認されている。

3. 代かきハロー等の改良

市販の代かきハローでは、ハロー真後ろ位置(種子の打込み地点)で安定した代かき土壌条件が得られる仕様・使用方法にはなっていない。そこで、より高水準の播種作業性能を得るため代かきハロー等の改良を試みた。1点目は播種作業の高速化(1.0m/s以上)のための改良であり、高速作業条件下でも一定水準以上の播種精度を確保する必要がある。2点目は1工程代かき作業のための改良である。すなわち、重粘土帯など圃場透水性の小さい圃場では代かき回数ができるだけ少ない方が良いので、荒代かき1回と同時に播種作業を行う必要がある。この場合は耕うん時の碎土状態が大きな影響を及ぼすと考えられるので、碎土率との関連についても調査した。3点目はトラクタのわだち跡が播種精度に及ぼす悪影響を少なくするための車輪跡消し装置、隣接播種行程への泥流入を防ぐ泥流阻止板の製作であり、圃場試験の観察でその効果を調査した。

1) 高速播種作業のための改良

(1) 試験方法

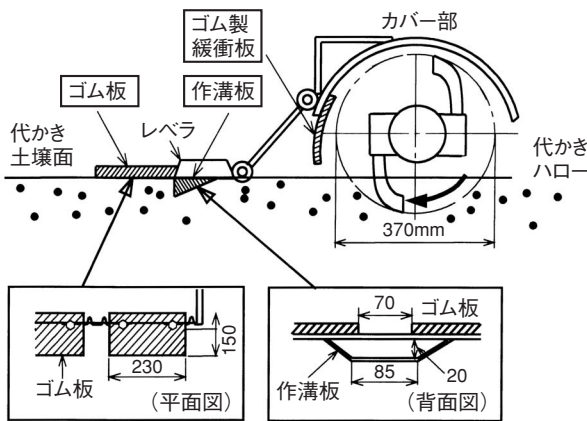
第32図に示したように、ゴム製緩衝板・ゴム板8枚・作溝板7枚を代かきハローに固定し代かき土壌の安定化を図った。また、圃場試験においては代かきハロー条件、走行速度、ハロー回転数を変え(第20表)、試験時の観察と試験後のビデオ・写真判定から総合判断した。なお判定の基準は、○:全体的に良好、△:土壌水分の多い地点で泥流が発生したが他は良好、×:土壌水分が少なめでも泥流が発生した、の3区分とした。対照機種としては改良前の同型代かきハロー(作業幅2,460 mm)を供試した。

第19表 代かき土壌硬度に対する作業条件

土壌硬度	最大走行速度(m/s)	代かきハロー回転数(rpm)	種子速度(m/s)	その他
硬め	0.75 (2.7km/h)	250~300 (PTO: 500~600)	12~15	車輪わだち跡の影響に注意。
適正(ヨーグルトよりやや硬め)	0.75 (2.7km/h)	200~220 (PTO: 400~440)	8~12	走行速度0.5m/sの場合、ハロー回転数は250~300rpm.
軟らかめ	0.50 (1.8km/h)	200~220 (PTO: 400~440)	6~8	枕地等、悪条件では作業速度は0.3~0.4m/s.

第20表 高速作業のための代かきハロー圃場試験結果

試験 No	ハロー条件	走行速度 (m/s)	ハロー回転数 (rpm)	打込み位置での代かき土壌状態等の観察結果	判定結果
1	ゴム緩衝板のみ	0.54	200	土壌水分の多い地点で点播形状が少し乱れ	○
2	〃	0.50	300	同上	○
3	〃	0.79	200	ほぼ良好であるが、均平度が少し不均一	○
4	〃	0.74	300	一部地点で泥流発生	×
5	〃	0.93	200	ほぼ良好	○
6	〃	0.91	300	土壌水分の多い地点で泥流発生	△
7	ゴム緩衝板+作溝板	0.50	〃	土壌水分が少なめでほぼ良好	○
8	〃	0.77	〃	土壌水分は少なめだが中央部で少し泥流発生	△
9	〃	0.97	〃	土壌水分普通の地点でも一部泥流発生	×
10	ゴム緩衝板+作溝板+ゴム板	0.52	〃	土壌水分が少な目でほぼ良好	○
11	〃	0.76	〃	同上 (ゴム板の効果有り)	○
12	〃	0.96	〃	土壌水分の多い地点で泥流発生	△
13	従来型ハロー	0.48	〃	土壌水分が少なめでほぼ良好	○
14	〃	0.70	〃	同上	○
15	〃	1.00	〃	ハロー中央部で泥流発生	×



第32図 高速播種作業のための代かきハローの改良

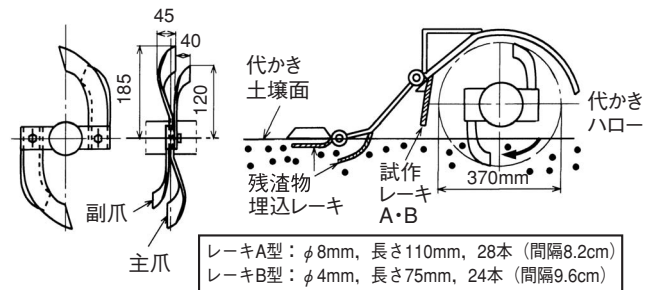
(2) 試験結果

試験区全体を通じて、走行速度が大きいほど、また、ハロー回転数が大きいほど泥流は発生しやすい傾向が確認された。走行速度0.90m/s以上は、土壌水分を適正に調整した上で、さらに、ハロー回転数を200rpm程度に落とすことで可能となると推察された (No5とNo6との比較)。また、ゴム製緩衝板および作溝板の効果はみとめられなかったがゴム板の効果は確認された。

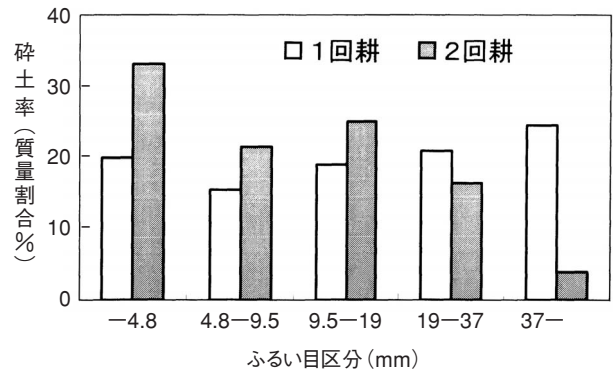
2) 1工程代かき作業のための改良

(1) 試験方法

通常ハロー爪である主爪の他に副爪を用いた。本数は主爪と同じ64本。ハローは市販品で作業幅2,400mmとした。カバー部 (エプロン) にA型・B型の試作レーキを右半分・左半分ずつ装着した (第33図)。圃場試験方法は第21表に示した。耕うん碎土性



第33図 1工程代かきハローの2段爪およびレーキ等の改造



第34図 耕うん土壌の碎土率

は第34図に示した。

(2) 試験結果

試験区全体を通じて、1工程代かきでは耕うん条件の影響が最も大きく、耕うん1回区に比べて2回区では明らかに安定した代かき土壌条件が得られた (第22表)。耕うん1回区において2段爪の代かき後の碎土性は僅かに向上したが、2回区での効果はみられな

第21表 1工程代かき同時播種作業のための代かきハロー圃場試験結果

試験No	耕うん回数	ハロー条件	ハロー回転数(rpm)	打込み位置での代かき土壤状態等の観察結果	判定結果
1	1回	2段爪のみ	300	土壤水分の多い地点(枕地等)以外は良好	△
2	2回	〃	〃	ほぼ良好	○
3	1回	〃	400	土壤水分の多い地点以外はほぼ良好	△
4	2回	〃	〃	ほぼ良好	○
5	1回	2段爪+レーキ	300	ほぼ良好(レーキ効果は認められず)	○
6	2回	〃	〃	同上	○
7	1回	〃	400	ハロー爪作用深さが浅い地点(5~7cm)で泥流発生	×
8	2回	〃	〃	通常ハロー作用深さ10~12cmではほぼ良好	△
9	1回	〃	500	土壤水分多めの地点以外は良好	△
10	2回	〃	〃	同上	△
11	1回	従来型ハロー	400	土壤水分多めの地点以外は良好	△
12	2回	〃	〃	同上(ただしNo11よりはやや良好)	△

第22表 1工程代かき後の碎土性

試験No ^{a)}	試験条件			碎土性(%, ふるい目区分)				
	耕うん回数	ハロー条件	ハロー回転数(rpm)	4.8mm以下	4.8~9.5	9.5~19	19~37	37mm以上
5	1回	2段爪+レーキ	300	60.7	5.2	8.3	12.5	13.3
6	2回	〃	〃	84.3	5.0	6.0	4.7	0.0
7	1回	〃	400	67.3	3.5	8.7	14.0	6.5
8	2回	〃	〃	79.6	5.1	9.1	6.2	0.0
11	1回	従来型ハロー	400	54.9	15.3	13.0	10.4	6.4
12	2回	〃	〃	81.5	4.9	8.4	5.2	0.0

注) a) 試験Noは表21による。

かった。今回の試験区範囲では2段爪及びレーキ効果は不明と判断された。

代かきハロー回転数は、通常の土壤硬度であれば400rpm程度までは可能と判断されたが、これは走行速度が0.5m/sのためであり、0.75m/s以上の高速走行速度では300rpm以下に落とす必要がある。

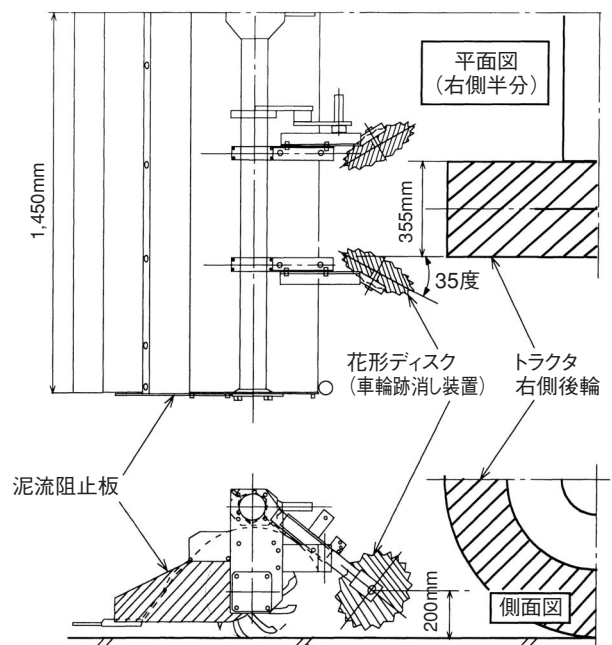
3) 車輪跡消し装置および泥流阻止板

(1) 試験方法

車輪跡消し装置をトラクタ後車輪用に2枚ずつ計4枚を代かきハロー前部に固定し、取付け角度と取付け高さを変えられるようにした。泥流阻止板は、代かきハローの両端に取付けた(第35図)。トラクタ後車輪幅355mm, 直径1,250mm, 輪距1,410mmである。

(2) 圃場試験結果(観察)

車輪跡消し装置の効果は、土壤が硬めの場合には車輪両端に盛上がった土壤の2/3程度が花形ディスクによって埋戻され、その効果が確認された。ディスクの取付け角度は、トーインに相当する角度は35度が、キャンバ角に相当する角度は約20度前後が、各々、最適角と判断された。作用深さは、ディスク中心の高さ



第35図 トラクタ車輪跡消し装置および泥流阻止板

を車輪接地面(耕盤面)より200mm前後とするのが良いと判断された。ただし、土壤が軟らかめの場合に

は、その効果は不明であった。

泥流阻止板の効果は、特に軟らかめの代かき土壌の場合に有効であることが確認され、市販機にも延長サイドカバーとして装着されている。

4. 作業行程マーカ

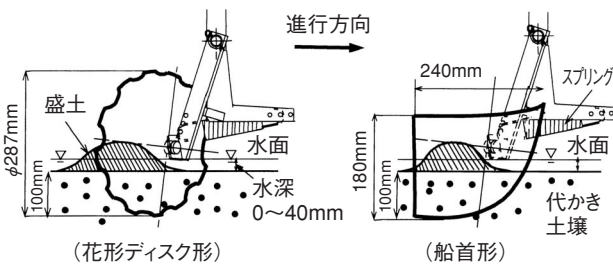
打込み点播機は仕上げ代かき時に播種作業を行うので、土壌が軟らかく、また、泥流水が田面を覆う状態になりやすく、隣接する前作業行程の確認が困難の場合が多い。そこで、代かき土壌を大きく盛上げることのできるマーカを試作し(第36図, 第37図), その有効性について検討した。

1) 圃場試験方法

トラクタ走行速度：0.5m/s, 試験走行距離：20m, マーカ設定作用深さ：100mm, 代かき作業時期：前日2回, 当日2回とした。調査項目は、水深、溝幅、溝深さ、盛土幅、盛土高さである。調査方法は、試験後に1試験区当たり10地点の盛土高さをスケールで直接測定した。土壌硬度の測定は、簡易土壌硬度計を用いた。

2) 試験結果

マーカ形状の違いでは、盛土高さに大きな差はなかったが、観察ではディスク型の方が船首型よりも麦わらや土塊を引きずる現象が少なく、圃場適応性が高いと判断された(第23表)。代かき時期では、前



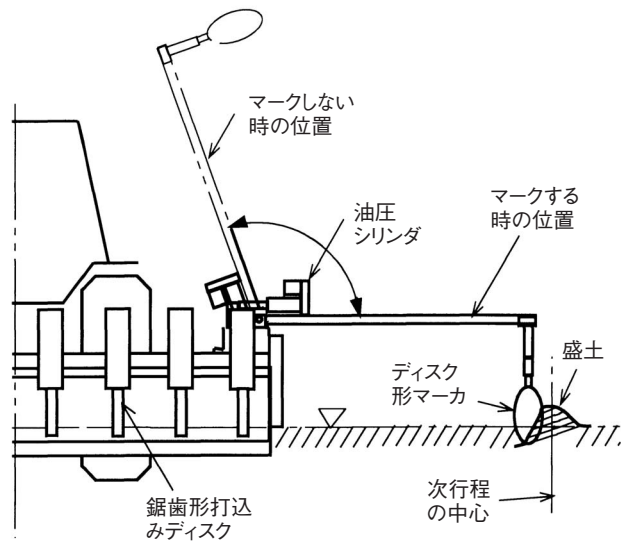
第36図 供試マーカ (側面図)

日代かき区 (No1, No4) で2.7~3.2cmの明確な盛土が確認され、判定は「有効」であったのに対し、当日代かき区では若干劣り、「ほぼ有効」となった。ほぼ有効とは、オペレータが作業行程を確認できたことを意味する。以上から、供試したマーカのうちディスク形の有効性が確認できた。本方式のマーカは1998年の市販機にオプションとして実用化され、その効果が実証されている(写真6)。

5. 作業能率

1) 試験方法

走行速度は、2.52 km/h (0.7m/s) とした。作業幅は播種条数によって決まる。ここでは30cmの播種条間を前提とし、市販機の平均的な条数である8条、すなわち作業幅2.4mとした。以上より、理論作業量は2.4 × 2.52/10 = 0.60ha/h (10min/10a) となる。圃場作業効率(圃場作業量に対する理論作業量の割合)は作業条件・圃場条件などによって大きく異なる。生物生産ハンドブックのデータ例³⁷⁾によれば、施肥播種の圃



第37図 作業行程マーカの作用 (背面図)

第23表 マーカ試験結果

試験No	溝幅 (cm)	溝深さ (cm)	盛土幅 (cm)	盛土高さ (cm)	土壌硬度 ^{a)} (cm)	判定
1	8.9	4.2	7.0	2.7	6.0	有効
2	8.9(4) ^{b)}	1.8(4)	13.5(4)	1.3(4)	7.3	ほぼ有効
3	8.6	2.9	5.7(2)	2.4(2)	5.9	有効
4	9.7	3.7	6.7	3.2	5.7	有効
5	9.2(4)	2.3(4)	9.1(5)	1.6(5)	7.3	ほぼ有効
6	10.0(4)	2.9(4)	10.9(2)	1.8(2)	7.6	ほぼ有効

注) a) 土壌硬度は、簡易土壌硬度計の深さ。
 b) 括弧内の数値は測定10点の内の測定不可能点数。
 c) 各データはN:10点の平均値。



写真6 作業工程マーカを装着した代かき同時打込み点播機 (九州農試, 1998)

第24表 作業能率 (10a 当たり作業時間)

圃場	A	B	C	平均 (%)
面積 (a)	19.9	34.6	19.2	24.6
走行速度 (m/s)	0.77	0.80	0.77	0.78
播種時間 (min)	11.6	9.4	10.3	10.4 (63)
旋回	3.5	2.9	3.6	3.3 (20)
マーカ等上下	0.0	0.1	0.1	0.0 (0)
資材補給	1.4	1.4	1.4	1.4 (8)
機械調整	0.4	0.0	0.0	0.4 (2)
進入脱出	1.5	0.4	1.3	1.1 (7)
計	18.4	14.2	16.7	16.6 (100)

注) a) 作業幅は全て2.4m, 使用トラクタは24kW。

場作業効率は直装型ドリルで平均45%とされているので、この数値を採用すると理論作業能率は0.27ha/h (22min/10a) となる。供試圃場は福岡県夜須町の農家圃場で、面積が約20a 圃場2箇所 (A・C) および35a 圃場 (B) の3箇所である (第24表)。

2) 試験結果

①走行速度0.7m/sと仮定した理論作業量10min/10a に対して、実際は平均走行速度0.78m/sで10.4min/10a となり、ほぼ予測通りの値を示した。

②圃場作業効率は、平均的なデータ例45%に対して、試験結果は63%であり、かなり高い数値を示した。その主な理由は、播種作業に熟練したオペレータであったこと、資材の補給時間が小さいこと、等が挙げられる。

③一筆圃場面積が大きくなれば作業能率が向上するという一般論は、ここでも実証された。A圃場の18.4min/10a およびC圃場の16.5min/10a に対して、B圃場では14.2min/10a であり、播種時間・旋回時間・進入脱出時間で、B圃場ではより小さな値であった。

以上より、圃場条件が良好で、熟練したオペレータ

であれば、走行速度は0.8m/s程度まで可能であり、圃場作業効率は60%程度を見込むことができ、作業能率は17min/10a (15~20min/10a) と判断された。

6. 考察

1) 代かき土壌硬度

代かきハローによる代かき直後の土壌硬度には、土壌条件・代かき水量・作業条件等、多くの要因が関係するので、現時点では、諸条件を観察によって定性的に把握し、最終的に一定範囲の適正土壌硬度条件となるように調整してゆく方法をとらざるを得ない。

一方、播種時の土壌硬度を直接センシングし、得た情報を播種深さにフィードバックさせる吉田らの研究例⁶⁶⁾、西村らの実用化例³⁶⁾がみられる。これは、代かき後1~3日経過して水と土壌とが分離して土壌硬度が落ち着いた状態 (ほぼ移植に適正な土壌硬度) への適応技術であり、代かき直後の軟らかい土壌に対する適応性は不十分と推察される。しかし、そのセンシング技術が軟らかい土壌でも可能となれば、鋸歯ディスク回転数制御による種子打込み速度制御への応用が考えられる。特に、複雑な様相を呈する枕地において、土壌硬度条件に応じた打込み速度が自動設定できれば、播種深さの安定化につながり、圃場適応性の向上などその効果は大きい。今後の重要な検討課題と思われる。

2) 代かきハローの改良等

従来の代かきハローを打込み点播機用に改良する場合の必要条件としては、ハロー爪の回転数が150~250rpmを選択できること、泥流の強度を緩和するように整地板を改良すること、1工程で仕上げ代かきができる構造のハローの開発と作業方法の確立等が挙げられる。国産の22kW (30PS) 級トラクタの最低速PTO回転数は、550~600rpmとなっている。エンジン回転数を落すことによってPTO回転数を400rpm前後とし、代かきハロー爪回転数を200rpm前後に設定することはできるが、代かきハロー側に回転数切替え装置を組込んで、現在、爪回転数/PTO回転数=0.5となっている比率を、0.3前後にも切替えられることが望ましい。代かきハロー整地板の改良については、本研究における改良の試みは十分ではなかったが、ハロー爪によって攪拌された代かき土壌が整地板に衝突し整地板後方に押流される過程で、衝突時の衝撃を小さくする装置の開発が考えられ、それは今後の課題である。

荒代かきを含めて1工程で仕上げ代かきができる代かきハローの開発も残された課題である。そのためには、ハロー回転数を上げることによって土壤攪拌効果を高めることが有効と考えられるが、ハロー回転数を上げると泥流の発生が懸念されるので、ハロー爪の諸元および整地板の改良が必要と想定される。

車輪跡消し装置について一定の効果が確認されたが以下の問題が残されている。すなわち、代かきハロー作用深さを大きくとれば、わだちは代かき土壤攪拌によって均平になりやすく、作用深さが小さければわだちを均平化しきれない。しかし、作用深さを大きくとると土壤と水分の攪拌比率が変わり、種子打込みの際の土壤硬度にまで影響を及ぼすので、適正な代かきハロー作用深さを状況に応じて設定する必要がある。ハロー爪回転数を上げてわだちを均一にする方法については、打込む地点の土壤が泥流となって播種精度に影響を及ぼす恐れがあり、留意する必要がある。

3) マーカ

作業行程マーカの使用により播種作業精度のみならずオペレータの心理的な負担も大幅に改善されることから、同一諸元のマーカが市販化され、現地にも一部導入された。今回実用化された盛土式マーカでは、軟らかい流動状態の代かき土壤では効果は期待できないが、そのような軟らかい土壤硬度は打込み播種に対しても軟らか過ぎると判断された。

なお、市販のマーカで風車タイプについての適応性試験は行わなかったが、適応できる可能性はあると思われた。

4) 作業能率

我が国における水稲湛水直播技術で、実用化され

た(開発された)主な播種機の作業能率を高い順に比較すると、第25表のようになっている。これらの中で、上位の有人ヘリコプタ～ブロードキャストは散播方式であるため作業能率が高いのは当然といえる。打込み点播機と類似の直播方式である市販の湛水土中条播機との比較では、同じ作業幅であれば走行速度の差で決まる。現時点では、走行速度は湛水土中条播機が0.8～1.0m/sなので、作業能率は10～20%程度湛水土中条播機が上回ると想定されるが、実際には打込み点播機の標準型(8条用)の作業幅が2.4mであるのに対して湛水土中条播機は6条用の1.8mであり、全体的に見ればほぼ同じ作業能率(15～20min/10a)と判断された。ただし、本技術は仕上げ代かきと同時工程で播種作業を行うため、仕上げ代かき後に別工程で行われる他の播種機よりは高能率であると考えられる。

負担面積は、作業能率と適期期間中の作業可能日数で決る。本機は、風速10m/sの条件下でも作業精度等に問題ないことが確認されており、また、小雨であれば播種機に雨よけ用のビニルカバーを用いることで作業は可能となるため、気象条件に対する適応性は非常に大きい。負担面積 H (ha)、1日の圃場作業量 Cd (ha/day)、作業可能日数 D (day)、作業回数 N とすると、

$$H = Cd \cdot D/N$$

適期期間10日中70%の確率で作業可能であると仮定すると $D = 7$ (day)、作業能率を20min/10aとすると $Cd = 2.4\text{ha/day}$ (1日8時間として)、 $N = 1$ とすると、負担面積 $H = 18.9\text{ha}$ となる。我が国における水田経営面積、および水田輪作の導入等を考慮すれば、少なくとも1戸の農家経営上、約20haは十分可能な負担面積と判断された。

第25表 湛水直播機械の作業能率比較^{a)}

機種名	能率 (min/10a)	備考
有人ヘリコプタ	0.6	作業員2名
噴頭回転式広幅散布機	2.0	作業員2名
無人ヘリコプタ	3.2	作業員2名
制限走行路・定幅散布機	5.4	トラクタ(幅10m)
背負い式動力散粒機	6.6	作業員2名
ブロードキャスト	12.0	トラクタ
湛水土中条播機	16.8	作業幅1.8m
打込み点播機	18.0	作業幅2.4m

注) a) 日本型直播稲作導入指針」農林水産省農業研究センター(1997.6)より作成した。得られたデータの圃場面積は0.5～1.0haと推定される。

V. 出芽特性および耐倒伏性

1. はじめに

打込み点播方式では、標準的な播種作業条件下での播種深さ範囲はおおよそ0～20mmとなる。播種深さ15mm以内は九州など暖地での出芽には問題ないとされるが、東北・北海道などの寒冷地では出芽率はかなり低下するため播種深さ10mm以内が望ましい。また、湛水土中直播において播種後落水管理方式が出芽率向上に有効であるとの研究例が最近温暖地・寒冷地を問わず報告されている^{7, 44, 52, 69)}。湛水土中直播における出芽率低下の要因については、播種された種子近傍の土壌化学的分析を行った荻原の詳細な報告⁴⁾があり、播種深さ以外にもいくつかの阻害要因が考えられる。ここでは、打込み点播方式の出芽特性について最も重要な播種深さと温度の影響について、また落水出芽方式の効果について、各々、ポットを用いた室内試験で調査した。

耐倒伏性に関して、転び型倒伏に対する評価指標としては押しし抵抗値が用いられている。トウモロコシの測定例²⁾もあるが、水稻で上村ら¹⁴⁾は、稲株の地上20cmの位置に測器を押当て、押当て部に輪ゴムをかけて軽く固定し、茎に対する角度を直角に維持しながら45度の傾きになるまで押して、このときに生じる最大応力を読みとる簡易な測定方法を考案した。上村らの報告では、測定体の大きさ、強度などにより押しし高さを適宜に決めるべきであろうとしており、その後これを基に寺島ら⁵⁴⁾、尾形・松江⁴⁰⁾は10cmの高さで、松村ら²¹⁾は20cmの高さでの測定を行っている。しかし、打込み点播方式では、稲株基部の面積が移植水稻に比べて広く、また株当たりの茎数が多いことから、従来の方法では高精度な測定ができないと判断された。そこで、打込み点播水稻について安定して測定するための簡易・高精度な方法を考案した⁵⁷⁾ので、特徴と使用方法について述べる。

2. 出芽率

播種深さと温度(積算地温)は出芽率に密接に関連している。播種深さが10mm以内でも地温が13℃未満であれば出芽はかなり困難であり、逆に播種深さが20mm以上でも地温が20℃以上であれば、出芽する可能性は大きい。

1) 播種深さ・温度と出芽率

出芽率が70%の場合、何らかの原因で最終的に出

芽に至らなかったと判断される30%の原因として第一に考えられるのは播種深さおよび温度であり、その影響についてポット試験を行って調査した。

(1) 試験方法

播種深さ：5mm・10mm・15mm・20mmの4水準、貯蔵温度：10℃・25℃の2水準を設け、品種：ヒノヒカリを供試した。土壌は九州農試圃場採取の細粒灰色低地土で、ポットに代かき土壌とほぼ同じ条件に加水・攪拌した土壌を詰め、被覆種子を所定の深さに押込み、インキュベータ内に置き、出芽率を調査した。

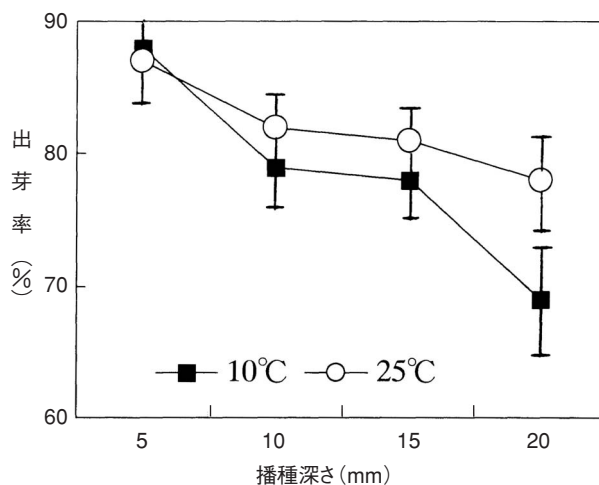
(2) 試験結果

第38図において、播種深さ5mmでは温度条件10℃・25℃に関わらず約90%の出芽率であるのに対して、10mmでは10℃で79%、25℃では82%となり、それは15mmでも同様であった。播種深さ20mmでは温度差による影響が出て、10℃では69%まで低下したのに対して25℃では79%であった。実際の寒冷地における播種深さが出芽率に及ぼす影響は、これらポット試験結果よりもさらに厳しい値であり、播種深さは10mm以内とされている。以上から、データのばらつきを考慮すれば、九州など温暖地では打込み点播でも平均播種深さを10～15mm、東北など寒冷地では5～10mmに設定することが必要と確認された。

2) 落水出芽法

打込み点播を行ったあとに、湛水状態で経過した場合と播種直後から落水した場合の出芽率の違いを第26表に示した。以下の4点が結論づけられた。

①いずれの試験区でも明らかに落水区では湛水区よりも出芽率が高い。



第38図 播種深さおよび貯留温度が出芽率に及ぼす影響 (ポット試験)

第26表 播種後水管理が出芽率に及ぼす影響^{a)}

品種	播種深さ(mm)	水管理条件	出芽率(%)			草丈(cm) 14日目
			7日	10日	14日	
ヒノヒカリ	10	湛水	7	50	73	6.1
	〃	落水	15	64	79	11.8
	20	湛水	1	22	58	7.7
	〃	落水	0	34	74	9.8
ユメヒカリ	10	湛水	26	71	88	9.5
	〃	落水	45	83	89	16.9
	20	湛水	1	39	74	8.9
	〃	落水	11	57	85	13.8

注) a) ポット試験, 温度条件は20℃。

②播種深さ10mmと20mmでは、10日目でも約2倍の差があり、第38図を裏付ける結果となった。

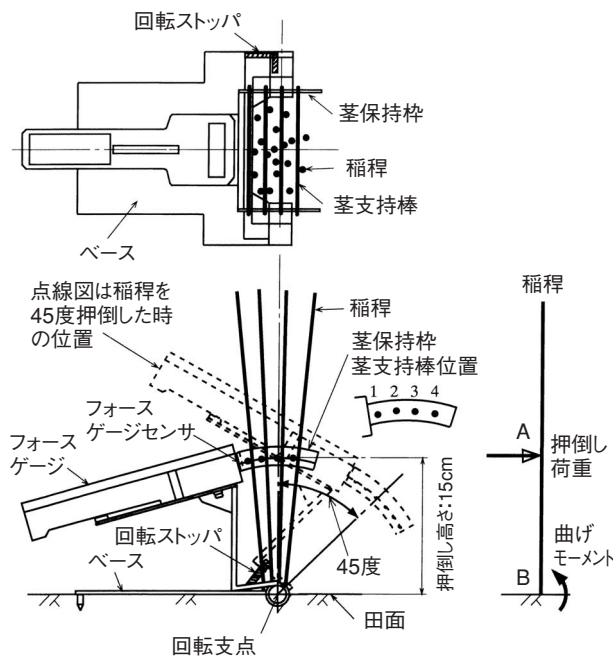
③品種間差では、ユメヒカリは明らかにヒノヒカリよりも出芽率は高く、14日目の草丈まで影響した。

④播種後14日目ではいずれの試験区でも出芽率50%を越えたが、土壌温度が20℃での結果であること、実際の圃場では不安定な気象条件があること等を考慮すれば、播種後10日以内の出芽率が重要であり、湛水区よりも落水区の有利性は明かである。

なお、打込み点播による播種深さのばらつきがあることを考慮すると、1株の種子が各々の出芽に要する時間差は1～4日と推定される。しかし、そのことが出穂遅れ等に及ぼす影響は小さいと判断された。

3. 耐倒伏性

打込み点播では5～15mmの播種深さが確保でき、か



第39図 点播稲株の押し倒し抵抗測定方法

つ移植に近い株状の生育となるため、本技術開発当初より耐倒伏性の改善が期待された。

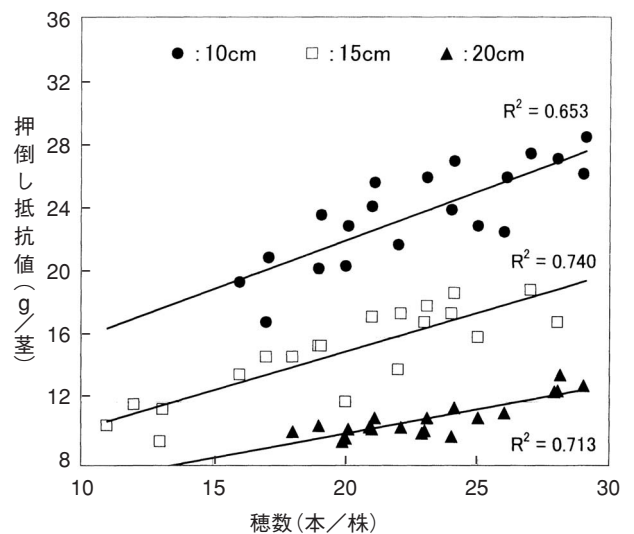
1) 点播株用押し倒し抵抗測定装置

第39図に示した押し倒し抵抗測定器の特徴としては、①押し倒し抵抗を感知するフォースゲージが回転支点を中心に45度だけ回転するようになっており、常に茎の一定の高さ位置にゲージセンサを直角に押当てることができる、②フォースゲージセンサに固定されている稲株保持棒には4本の串状の茎支持棒があり、全ての茎がほぼ均一に押し倒される、の2点である。もし茎支持棒がなければ、フォースゲージセンサと反対側の茎は、測定開始後一定角度回転してから押し倒し抵抗が測定され始めるので、45度よりも少ない移動距離となってしまう、各茎の押し倒し抵抗にばらつきが生じると考えられる。荷重の方向については、片持梁(Cantilever)の原理であるが、この場合は茎のたわみが大きいため、茎の応力は一定ではないと推察された。

押し倒し高さと押し倒し抵抗の関係をみると(第40図)、押し倒し高さ20cmの場合はたわみ量が多すぎて茎数の増加に対する抵抗値の増加傾向は明確ではなかった。10cmと15cmとの比較では、①寄与率(R^2)は15cm区の方が高かった、②稲株断面積が大きく押し倒し高さが低過ぎると測定しにくい場合が多い、等の理由から15cmの押し倒し高さが最もよいと判断された。なお、押し倒し加重時間は3～5秒程度がよいと思われた。

2) 点播と散播との比較

(1) 試験方法



第40図 押し倒し高さと押し倒し抵抗の関係

第27表 播種法および苗立ち密度が収量および倒伏関連形質に及ぼす影響

播種法	苗立ち数 (本/m ²)	精玄米重 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	稈長 (cm)	地上部モーメント ^{a)} (cm・g/本)	倒伏指数 ^{b)}	倒伏程度 ^{c)} (0-4)
散播	40	545	342	80	801	0.85	0.3
	80	540	343	78	809	0.96	0.8
	160	537	376	76	708	1.54	1.2
点播	40	550	348	84	876	0.63	0.0
	80	551	358	84	879	0.64	0.0
	160	542	387	82	781	0.66	0.0

注) a) 地上部モーメント=稈長×地上部/穂数。
 b) 倒伏指数=(稈長×地上部重)/(押し抵抗値×15)。
 c) 倒伏程度は0(無倒伏)～4(完全倒伏)。
 d) 出芽深さは点播11mm, 散播9mm。

試験場所は九州農試圃場(1997), 供試品種はヒノヒカリ, 播種時期は6月9日である。施肥方法(N施用量/10a)は基肥6kg, 穂肥①3kg, 穂肥②2kgとした。なお, 押し抵抗は, 点播株用押し抵抗測定装置を用いて測定した。

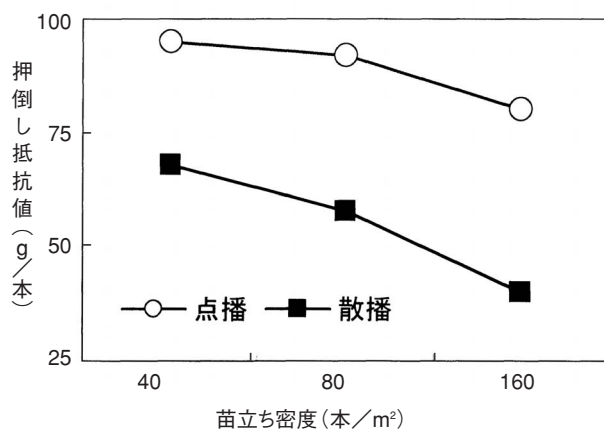
(2) 試験結果

i) 播種法の比較

点播水稻は散播水稻に比較して, 各苗立ち密度とも稈長が長いこと地上部モーメントが大きく, 草型としては耐倒伏性の劣ることが示された(第27表)。しかし, 点播水稻は散播水稻に比較して押し抵抗が顕著に大きかった。このため, 地上部モーメントおよび押し抵抗値から算出する耐倒伏性の総合的な評価指標である倒伏指数は小さくなった。なお, 倒伏指数は実際の倒伏程度との関連が強く, この値が0.8程度であれば倒伏の可能性は低いと考えられた。

ii) 押し抵抗と苗立ち密度との関係

散播では苗立ち密度が高くなると, 押し抵抗値が大きく低下するため, 倒伏の危険性が増大した(第41図)。一方, 点播では苗立ち密度が高まっても, 押



第41図 播種法・苗立ち数と押し抵抗

し抵抗値の低下幅が小さいため, 倒伏の危険性は小さいと推察された。

4. 考察

1) 苗立ち率と播種むら

湛水土中直播で10mm前後の播種深さを前提とした場合, 出芽率を90%以上にすることは, 特に寒冷地域では容易ではないが, 70%以上とすることは可能である。一方, 50%以下の苗立ち率でもその分播種量を多くすれば, 重要な指標である単位面積当たり苗立本数は目標値を達成することはできるが, この場合は苗立ちむらの問題が生ずる。すなわち, 目標苗立本数の確保と, 苗立ちむらが一定値以下(生育・収量等に悪影響を及ぼさない値)であることが両立して, 初めて適正な苗立であったと評価される。播種むらは, 散播では苗のない空白部が, 条播では欠株に相当する30cm以上の空白部が増加し, 雑草の繁茂や収量減などの悪影響を及ぼす。

打込み点播では, 通常7粒前後の種子を打込み, 3～4本以上出芽する確率が高く, それは分けつ期を経て, 最終的には適正穂数を確保できる可能性が大きい。したがって, 苗立ち率がやや低めでも播種むらの悪影響は他の直播技術よりも小さいと考えられる。ただし, 寒冷地では, 低温のために分けつ本数が温暖地に比べて少ないため, 苗立ち本数を多めに設定する必要がある。東北北部では100～120本/m², 北海道では約200本/m²前後は確保したいので1回で10粒前後以上を打込めるように播種量を多くする必要がある。播種量と打込み種子数との関係は, 現時点での点播用播種ロールの繰出し部(第14図参照)では, セル部から最大でも8～9粒程度しか繰出せないため, 九州等の暖地と北海道・東北北部等の寒冷地とは繰出しロールを変える方式が考えられる。

2) 耐倒伏性

直播は移植に比べて耐倒伏性が小さく、転び型倒伏が生じやすい傾向にある⁵⁵⁾。特に表面播種の場合には播種深さが小さいため、発芽後にいわゆる「タコ足状態」になる危険性が三石・藤田²⁴⁾により指摘されている。また、生育初・中期で倒伏しなくとも、生育後期に転び型倒伏が発生する場合が多い。これに対して、湛水土中条播では、播種深さが10mm程度確保されるために、転び型倒伏の危険性は大幅に減少する。打込み点播では、5～15mmの播種深さが確保でき、かつ移植に近い株状の生育となることから、技術開発当初より耐倒伏性の改善が期待された。耐倒伏性に大きな影響を及ぼすのは、品種(稈長等の特性を含む)、出芽深さ、過繁茂(播種むら)、穂重(収量性)、土壤硬度等である。これらのうち、打込み点播では、出芽深さと過繁茂(播種むら)の影響が大きく軽減される。しかし、打込み点播方式であっても倒伏は発生しており、施肥技術、土壤硬度管理については十分留意する必要がある。

耐倒伏性の測定方法については、本研究で開発した打込み点播用の測定方法がより高精度の測定が出来る点で有利と考えられるが、通常行われている、フォースゲージを押当てるだけの方法に比べて、時間がかかり、測定が煩雑であるという欠点がある。したがって、打込み点播のように一定の面積の中に多粒点播し大きな株形状になる様式に対しては有効であると結論づけられよう。なお、いずれもフォースゲージを押当てて茎の細胞壁の一部を破壊しながら、押倒し抵抗力を測定する方法を採用しているものの、

その物理的メカニズムの解析については、今後、より詳細な検討が必要と思われた。

点播栽培と散播栽培の押倒し抵抗の比較については、今回の試験結果において点播は散播よりも明らかに大きな値を示した。点播と散播との耐倒伏性の比較については吉永ら^{70, 71)}が詳細な検討を行っており、打込み点播様式の有利性が明らかにされている。今後は、さらに条播および移植栽培との比較を行って点播栽培の耐倒伏特性をより明確にしてゆく必要がある。

VI. 現地実証試験結果および省力・低コストの可能性

1. はじめに

実用的な技術開発を進める上で、現地実証試験は必要不可欠であり、公的試験研究機関、農業改良普及センター等を介した実証試験を行うことが、信頼できるデータを収集し問題点をより正確に把握するための効果的な方法である。

本章では、1997年に行われた全国40箇所での実証試験アンケート結果について検討した。主な調査項目は、播種作業条件の他に播種量・出芽深さ・出芽率(苗立率)・雑草害・鳥虫害・生育量・倒伏程度・収量等である。また、福岡県夜須町で行われた現地栽培実証試験結果について考察した。さらに、本技術を生産農家に導入した場合の省力・低コストに対する貢献度について、福岡県および山形県での農家事例等を基に検証した。

第28表 全国実証試験アンケート結果(抜粋, 1997)

No	実施場所	試験条件						試験結果				
		播種日 (月/日)	面積 (a)	播種量 (kg/10a)	走行速度 (m/s)	打込速度 (m/s)	落水期間 (日)	苗立率 推定(%)	出芽深さ (mm)	点播形状 長径×短径(cm)	株間 (cm)	点播株率 (%)
1	北海道旭川市	5/16	160	11.4	0.33	3,5,7	10	68~87	4~14	(ほぼ条播状)	—	—
2	青森県十和田市	5/9	25	3.7	0.52~0.85	8~10	5	36~47	4,6	—	16~19	67~93
3	山形県遊佐町	5/4	143(5筆)	3.3	0.52~0.85	8~10	10	50	10	—	23~34	—
4	福島県須賀川市	5/1	100	3.7	0.52~0.85	8~12	7	63	5~6	6.6×6.2	19~26	61
5	長野県飯山市	5/13	30	2.6	0.42	8~15	8	88	7~12	8.3×6.1	15	80
6	富山県滑川市	5/15	75(5枚)	3.2	0.5	11	10	85	9~12	6.9×3.5	22	85
7	滋賀県安土町	5/20	16	3.5	0.36	10	5	27	5	3.0×2.5	—	86
8	兵庫県稲美町	6/1	350	3.0	0.50	14(10)	5	75	5	9.2×5.7	24	80
9	岡山県作東町	5/26	30×3筆	2.8	0.50	13	3	良・良・悪	2~3	(ほぼ条播状)	—	—
10	山口県油谷町	5/15	102	3.0	0.60	15	0	69	10	(ほぼ条播状)	—	—
11	福岡県筑紫野市	6/11	9	4.1	0.50	12	6	87	15	(ほぼ条播状)	—	—
12	大分県久住町	4/24	8,12,12	2.7	0.50	12	3	57	11	5.7×3.4	—	82
13	熊本県合志町	6/3	20	3.7	0.50	12	24	85	2	8.5×4.3	21	67
14	鹿児島県輝北町	5/30	29,53,18	3.0	0.50	10	5	80	10~15	7.0×4.0	18~19	90

2. 全国実証試験

1) 実施箇所

全国20の道県(計40箇所)の内訳は北海道(4箇所)、青森県(3)、山形県(2)、福島県(1)、栃木県(1)、長野県(4)、富山県(2)、滋賀県(1)、三重県(1)、兵庫県(3)、鳥取県(1)、岡山県(2)、広島県(1)、山口県(2)、福岡県(5)、佐賀県(1)、大分県(2)、熊本県(1)、宮崎県(1)、鹿児島県(2)であった。

第28表には、代表的な14箇所を抜粋し、アンケート集約結果を示した。特徴的なことは、北海道・東北などの寒冷地と近畿以西の西南暖地とに2分していることで、関東～中部地域は少なかった。なお、1998年度以降の調査では、上記地域に北陸と近畿の一部が加わったものの、地域別傾向は同様であった。

2) 品種および播種量

出芽性が良く耐倒伏性が大きい、直播適応性の高い品種を用いた試験地と、直播適性よりも良食味性を重視した品種を用いた試験地とがみられた。前者の例は、北海道の「ゆきまる」や青森県の「かけはし」等であり、後者の例は長野県や富山県等の「コシヒカリ」、福岡県や大分県の「ヒノヒカリ」である。両者を兼ね備えた山形県の品種「はえぬき」は特殊な例であり、直播適応性と良食味性を兼ね備えた品種を用いた試験地は少ない。しかし特徴的なことは、良食味品種の代表格である「コシヒカリ」を直播で栽培する試みが積極的に行われ、特に耐倒伏性の改善策として打込み点播技術を採用する例が多かったことである。

播種量は、北海道は10 kg/10a以上、その他の地域は3～4 kg/10aであった。全国平均値は3.9 kg/10aであるが、北海道を除く県の平均値は3.2 kg/10aとなる。一方、設定播種量よりも実際の播種量が大きな値となった例がいくつかみられた。原因は、掻取りブラシと播種ロールとの隙間が大きすぎたこと、あるいは掻取りブラシの摩耗が考えられる。この場合は播種量が増加するだけでなく、点播形状の長径の値が大きくなって条播に近い状態となるため、播種作業前の種子繰出し部の事前チェックが重要である。

本技術は九州農試で開発した経過があるため、当初の設定播種量は乾粒で2～4 kg/10aの範囲となっており、北海道や東北など寒冷地で必要とする5～10 kg/10aの播種量が設定できなかった。したがって、北海道では条間25 cmとし、走行速度を遅くして(点播間隔は無視して)10 kg/10a分を播種した。今後、2～

5 kg/10a用と5～10 kg/10a用の2種類の播種ロールを開発するのが合理的と思われた。

3) 走行速度

走行速度の平均は0.5 m/sであるが、北海道が0.3～0.4 m/sと小さいのは、単位面積当たりの播種量を増加させたためである。最高速度は兵庫県の0.8 m/sで、この場合の点播株率は33%と低いことから、0.5～0.7 m/sの走行速度が、作業精度と作業能率の両面から考慮して妥当であると判断された。しかし、その後の播種装置の改良で、点播形状を一定の水準に保ちながら、0.7～0.8 m/sの走行速度が実現できる見通しが得られている。

4) 打込み速度と土壤硬度

種子打込み速度は5～15 m/sと非常に広い範囲で行われた。北海道や青森県など寒冷地では播種深さを小さくするために打込み速度を小さくしたと推察された。他の地域は10～12 m/sが標準的であった。その後の調査では、打込み速度はやや小さくなる傾向がみられて、寒地では6～8 m/s、暖地で8～12 m/sが標準値と推定された。なお、同一圃場でも、特に枕地など条件の悪いところでは、代かき土壤条件によって打込み速度は変更されている。

種子打込み速度と代かき土壤硬度との関係については、温暖地域と寒冷地域とで、播種深さに対する考え方の違いが明らかになった。すなわち、適正苗立率を確保するために、寒冷地では、打込んだ種子の一部が表面播種となることもやむなしとして播種深さが5～10 mmとなるように、代かき土壤硬度を硬めに、かつ種子打込み速度を小さめに設定されている。温暖地では、播種深さ10～15 mmに設定すればほぼ適正苗立率が得られ、かつ打込んだ種子のほとんどは埋没し、鳥害・浮き苗・耐倒伏性に関して有利な状況が得られる。

5) 出芽深さおよび苗立率

出芽深さの平均7.3 mm (CV43%)は、予想よりもやや小さめの値であったが、苗立率には好影響を及ぼしたと考えられる。苗立率の平均は62%であり、ほぼ予想通り寒冷地では低めの、温暖地では高めの値であった。出芽深さが5 mm前後と小さく、かつ苗立率も50%以下の例は北海道や青森県等の寒冷地でみられ、10 mm以上の播種深さでは出芽率は極端に低下すると推定された。したがって、寒冷地で苗立率を70%以上確保するためには、代かき土壤硬度を硬めに、

かつ打込み速度を小さめに設定し、播種深さを10mm以内にする必要がある。

6) 点播形状および点播株率

点播形状の長径8.1cm (CV31%)、短径4.7cm (同31%)、及び点播株率75% (同22%)は予想通りであった。長径では一部に10cm以上となったり、目視による観察で条播となった例があったのは、前述したように播種ロールの掻取りブラシが原因と推察された。

7) 収量 (全刈りデータ、一部は坪刈りデータ)

全国平均は481kg/10a、最大値638kg/10a (山形県)、最小値300kg/10a (岡山県)であった。移植に比較して、平均して約10%程度少ない収量と判断された。地域別の平均は、北海道498kg/10a、東北533kg/10a、北陸甲信越445kg/10a、近畿中国475kg/10a、九州492kg/10aであった。北陸甲信越の収量が少ないのは品種コシヒカリを採用していることが主な原因と思われた。収量については、その他の情報も総合して判断すれば、湛水土中直播技術である条播方式と比較して、必ずしも打込み点播技術の方が多いいとはいえない。本技術は直播でありながら移植に近い栽培管理を指向することから、収量は移植に近いレベルで安定的に確保する必要がある。

8) その他

倒伏は、無しが全体の47%、圃場の一部に発生したのが53%であった。倒伏程度の内訳は、軽度が33%、中度が29%、重度が33%、非常に重度が4%であった。倒伏の主な原因は、①過繁茂、②播種深さが浅過ぎる、③土壌硬度が小さ過ぎる、と推定された。

播種後落水については、落水しなかった、出来なかったは2箇所(5%)のみで、他の38箇所では最少期間3日から最大期間24日(熊本県)まで多様であった。いずれも、落水方式の効果(出芽率向上等)は認めているが、除草剤散布時期とのタイミングが今後の課題とされた県がいくつかみられた。

代かき同時土中点播技術自体がまだ未完成の段階での実証試験であり、アンケートデータの全てが厳正・精密な調査で得られたとは断定できないが、多様な気象・土壌・圃場条件への本技術の適応性については、おおよその推定が可能となった。代かき同時作業および土中点播によって、移植に近い生育が可能となるという特性は、従来にない新しい直播方式であり、農家側は心理的にも導入しやすい技術であることが裏付けられた。

3. 現地実証試験

九州北部平坦地帯に位置する福岡県夜須町では、土地利用型水田作営農を活性化するため、省力・低コストで安定した稲麦二毛作技術の確立が急務となっており、1997年度に稲麦二毛作農家の現地圃場において、本技術の実証試験を行った。ここでは、標準播種作業条件下においての窒素施肥法、麦わら施用の有無、点播株密度等の条件が苗立・収量・耐倒伏性等に及ぼす影響等について調査した。

1) 試験方法 (以下は共通試験条件)

①試験場所：福岡県朝倉郡夜須町曾根田地区農家圃場

②作付体系：稲麦二毛作 (1996年夏作は大豆、その後の冬作は大麦を栽培)

③土壌：中粗粒灰色低地土

④品種：ヒノヒカリ

⑤標準播種作業条件

耕起深さ：10cm、代かき：3回 (3回目が同時播種作業)、点播株密度：30cm×20cm、走行速度：0.5m/s、打込み速度：12m/s、播種量：乾籾3.0kg/10a、酸素発生資材被覆量：乾籾重の2倍量。

⑥窒素施肥法：速効N分施 (3+2+2+2、基肥+中間追肥+穂肥I+穂肥II)、緩効N全量基肥 (硫酸-N：LP50N：LPSS100N=3:2:5)。

⑦窒素施用量：速効N分施区では9.0kg/10a、緩効N全量基肥区では7.5kg/10a。

2) 試験結果の概要

(1) 苗立状況 (第29表)

播種時の土壌硬度は通常のヨーグルト状より硬めとなったので、打込み速度を12m/s (鋸歯ディスク回転数1,200rpm)とした結果、出芽深さは、いずれの試験区でも約10mmで安定しておりほぼ良好であった。点播形状は、長径7.1cm、短径3.5cm、長径：短径比=約2の楕円形であった。苗立率はほぼ80%以上と良好であり、1株苗立数5.2本も問題なかった。

(2) 収量および収量構成要素 (第30表)

収量は速効分施区と緩効全基肥区 (I-B) でほぼ同等となった。麦わら無区に比べ麦わら施用区 (III-B) では8%減収した。登熟歩合の低下が主な減収要因と推定された。点播株密度を疎 (条間×株間=30cm×30cm、II-B)にした場合、他の試験区に比べ穂数および1穂籾数 (データ省略)の増加で総籾数の増加が大きかったが、登熟歩合が約64%と低くなり、

5%減収した。

収量は麦わら無区の場合、平均で495 kg/10a (播種密度30 cm×20 cm) となり、隣接圃場の移植水稻と比べて5%減収した。試験圃場は大豆跡であったこと、家畜ふん堆肥を施用されていたこと等、水稻・麦作付け体系の場合より土壌からの窒素供給量が多く、施肥窒素9.0g/10aでは窒素施用量が多めとなったため、生育は過繁茂状態に近くなり、9月15日の台風の影響も重なり一部倒伏した。なお、隣接している移植圃場での倒伏はなかった。

本実証試験では窒素施用量を9.0 kg/10aとしたが、窒素過剰となり、全体的に稈長が長くなった(88.2 cm)。耐倒伏性を強化するには窒素施用適量を把握す

ること、初期生育を過剰にしないこと、また出穂以降、間断かんがい等の水管理により土壌硬度を高めること等が有効な手段になると思われた。

なお、九州等西南暖地で問題となっているスクミリンガイの食害については、直播技術の普及に大きな悪影響を及ぼしている。打込み点播方式では、1株当たり5~6本の苗立ちが見込めるのでスクミリンガイに食べられても2~3本残って被害程度が軽減できる可能性はあるが、これもスクミリンガイの頭数が一定値以下という条件での話であり、抜本的な解決策が必要である。

4. 省力・低コストの可能性

ここでは、労働時間およびコストの調査事例につ

第29表 現地直播圃場実証試験結果 (福岡県夜須町, 1997)

圃場	面積 (a)	麦わら の有無	出芽深さ (mm)	苗立率 (%)	点播形状	1株苗 本数
					長径×短径(cm)	
I - A	14.2	無	11	82	6.8×3.5	5.2
I - B ^{a)}	14.2	無	—	—	—	—
II - A	15.5	無	11	90	7.0×3.4	5.5
II - B ^{b)}	9.5	無	11	86	8.3×3.7	5.3
III - A	13.6	有	9	79	6.9×3.6	4.9
III - B ^{c)}	12.7	無	10	80	6.5×3.3	5.0
平均	—	—	10	84	7.1×3.5	5.2

- 注) a) 圃場 I - B のみ緩効全量基肥 (N7.5 kg/10a), 他は速効分施 (N9.0 kg/10a)。
 b) 圃場 II - B のみ条間×株間=30×30 cm (播種量: 乾籾 2.0 kg/10a), 他は 30×20 cm。
 c) 圃場 III - B のみ麦わら約 500 kg/10a 全量すき込み, 他は麦わら持出し。
 d) 調査結果は 1 区当たり 3 地点 (1 地点 50~60 株) の平均値。

第30表 現地圃場の収量及び主な収量構成要素 (福岡県夜須町, 1997)

圃場	倒伏の 有無 ^{a)}	穂数 (本/m ²)	総籾数 (x10/m ²)	登熟歩 合(%)	屑米重 ^{b)} (g/m ²)	精玄米 ^{b)} 重(g/m ²)	全刈り 収量(g/m ²)
I - A	無	371	29.2	82	40	495	549
	有	380	34.6	65	71	488	—
I - B	無	386	30.4	82	47	532	535
	有	389	34.9	70	73	526	—
II - A	無	395	32.5	74	63	500	475
	有	456	34.6	60	114	429	—
II - B	無	419	36.8	64	103	475	—
III - A	無	371	30.8	72	73	461	400 ^{c)}
	有	383	36.0	59	112	440	—
III - B	無	418	35.3	68	82	501	400 ^{c)}
	有	419	36.5	60	103	457	—
平均 (SD)		399 (26)	33.8 (3)	69 (8)	80 (25)	486 (38)	
麦わら無の平均		403	33.9	69	77	495	490
移植 ^{d)}	無	332	31.3	76	53	521	—

- 注) a) 倒伏判定の基準は、約 60 度以下に傾いたときを有とした。
 b) 屑米重精・玄米重は含水率 15%wb 換算値。
 c) III 圃場の全刈り収量は、雨天時収穫のため籾の一部が排出した。
 d) 移植区は直播圃場の隣接圃場で、精玄米重は 521 kg/10a, 品種は全てヒノヒカリ。
 e) 窒素施肥法: 速効 N 分施 (3+2+2+2, 基肥+中間追肥+穂肥 I +穂肥 II), 緩効 N 全量基肥 (硫安 - N : LP50N : LPSS100N=3:2:5)

いて、打込み点播方式と移植方式を比較して、打込み点播技術についての評価を経営的視点から試みた。

1) 省力効果

第31表には10a当たり労働時間の、打込み点播と移植の比較例について、福岡県I農家（水稲栽培面積9.0ha，うち点播面積0.8ha）の調査結果を示した。

特徴的なことは、移植に対する点播の労働時間比が92%であること、移植・点播ともに全体に占める畦畔除草時間の大きいことが挙げられる。さらに詳

第31表 福岡県I農家の10a当たり労働時間(1998)^{a)}

作業名 ^{b)}	作業人数	打込み点播(%)	移植(%)
種子予措	2	0.28(3.4)	0.28(3.1)
種子被覆	1	0.14(1.7)	—
箱苗播種	4	—	0.38(4.2)
育苗管理	1	—	0.36(4.0)
堆肥散布	1	0.64(7.8)	0.64(7.1)
耕起	1	0.34(4.2)	0.34(3.8)
基肥散布	1	0.36(4.3)	—
代かき	1	0.52(6.3)	0.52(5.8)
打込み播種	1	0.79(9.5)	—
苗運搬	2	—	0.42(4.6)
移植	2	—	0.98(10.9)
薬剤散布 ^{c)}	3	0.48(5.8)	0.36(4.0)
畦畔除草	2	3.75(45.4)	3.75(41.6)
刈取・運搬	2	0.97(11.7)	0.97(10.8)
労働時間計		8.27(100)	9.00(100)
労働時間(移植比%)		92	(100)

注) a) 九州農試・経営管理研(笹原和也氏)による。
 b) 水管理時間および乾燥調製(共乾施設利用)を除く。
 c) 薬剤散布は除草剤・病虫害防除作業で無人ヘリを使用した。

第32表 山形県K農家の10a当たり労働時間

作業名	打込み点播(%)	条播(%)	移植(%,参考)
種子・育苗	—	—	3.63(22.4)
耕起整地	—	—	1.56(9.6)
基肥	—	—	0.11(0.7)
直播	2.30(18.9)	2.04(14.0)	—
移植	—	—	1.58(9.8)
追肥	0.56(4.6)	0.56(3.8)	0.28(1.7)
除草	0.22(1.8)	0.22(1.5)	0.22(1.4)
管理	4.81(39.5)	7.47(51.2)	4.49(27.8)
防除	0.92(7.5)	0.92(6.3)	0.92(5.7)
刈取脱穀	0.50(4.1)	0.50(3.4)	0.50(3.1)
乾燥	2.88(23.6)	2.88(19.7)	2.88(17.8)
合計	12.2(100)	14.6(100)	16.2(100)
移植比(%)	75	90 ^{a)}	(100)

注) a) 播種精度が良好であれば労働時間は11.92h(移植の74%)となる。
 b) 直播機・移植機とも6条用播種機を使用し、走行速度は点播が0.51m/s、条播が0.74m/sであった。
 c) 圃場面積は点播区が30a、条播区が60a。
 d) 表は「新稲作研究会編：平成10年度委託試験・現地実証圃成績，41-44，1997，山形県鶴岡農業改良普及センター」による。

しくみると、点播独自の項目である②酸素発生資材の種子被覆+⑦基肥散布+⑨打込み播種=1.29h(16%)に対し、移植独自の項目である③箱苗播種+④育苗管理+⑩苗運搬+⑪移植=2.14h(24%)となっており、移植よりは点播の方が少ないが、その差はわずかに0.85hであった。

第32表には、同じく山形県K農家の調査事例で、打込み点播と移植の他に条播直播の項目が入っている。条播の播種精度が不十分で補植を行ったため、労働時間が移植に比べて90%となったが、良好であれば74%となるから、点播・条播とも移植の75%前後となり、点播・条播では未調査の耕起整地時間(1.56h)を点播に加えると13.8h(移植比85%)となる。以上から、移植に比べて点播直播は85%前後の労働時間と判断された。なお、第32表では移植作業よりも播種作業時間が大きくなっているが、特に打込み点播の場合は高速田植機よりも走行速度が遅く、移植作業と同等の走行速度が必要と考えられる。

2) コスト低減効果

第33表に、10a当たり生産費および玄米60kg生産費について山形県K農家の事例で、点播・条播と移植との比較を示した。点播のコストは移植のそれに比較して種苗費では76%、肥料費では98%、農機具費では81%、労働費では75%となっているが、農薬等の薬剤費は137%となって全体では94%となり、コストダウンがおおよそ10%前後という結論を裏付ける一つのデータと言える。

小室¹⁷⁾の直播栽培農家へのアンケート調査結果によれば、「移植よりもコストダウンしている」が75%で、「移植と同等」が12.5%、「移植よりもコストは大きい」が6.3%であった。以上より、本技術の移植方式に対する現時点での省力性は、水稲作作業全体では10~20%程度、コストダウンは10%程度と判断される。今後の技術向上を前提としても、省力性は最大30%程度、コストダウンは同じく20%程度と推定された。その主な原因としては、①一筆水田圃場面積が移植栽培体系を前提に10~50aとなっており作業能率の大幅なアップが望めないこと、②移植作業の苗準備が省略される直播作業のメリットは小さくないが、他の水田管理作業(畦畔除草、各種防除や水管理)、収穫・調製作業は移植栽培体系とほとんど同じであること、③収量は約10%直播栽培が低下すること(将来は移植並みの収量が期待できる)、④コスト

第33表 山形県K農家の10a当たりコスト (単位:円, 1998)

区 分	打込み点播 (%)	条播 (%)	移植 (%、参考)
種苗費	1,589 (2.2)	1,831 (2.4)	2,103 (2.6)
肥料費	5,678 (7.9)	5,272 (7.0)	6,355 (8.0)
農薬薬剤費	13,662 (18.9)	13,471 (17.9)	9,997 (12.5)
光熱労力費	1,778 (2.5)	1,769 (2.3)	1,783 (2.3)
その他諸材料費	3,060 (4.2)	3,036 (4.1)	3,373 (4.2)
土地改良・水利費	9,180 (12.7)	9,180 (12.2)	9,180 (11.5)
賃借料及び料金	357 (0.5)	336 (0.4)	472 (0.6)
物件税・公課諸負担	2,264 (3.1)	2,264 (3.0)	2,264 (2.8)
建物費	1,395 (1.9)	1,395 (1.8)	1,395 (1.8)
農機具費	15,736 (21.8)	15,736 (20.9)	19,433 (24.4)
労働費 ^{a)}	17,627 (24.4)	21,097 (28.0)	23,382 (29.3)
費用合計 (移植比%)	72,326 (91)	75,411 (95)	79,732 (100)
生産費 (移植比%)	67,678 (89)	73,917 (97)	76,417 (100)
玄米収量 (kg/10a)	509	573	540
60kg生産費 (移植比%)	7,971 (94)	7,736 (91)	8,491 (100)

注) a) 労働費は労働省毎月労働統計 (平9, 山形県, 男女平均) による。

b) 表は「新稲作研究会編:平成10年度委託試験・現地実証圃成績, 41-44, 1997, 山形県鶴岡農業改良普及センター」による。

については種苗費・農機具費・労働費等で直播の方が若干低下するが、逆に資材費 (除草剤・酸素発生資材等) は増加し全体としてはわずかな低下幅になること、等が挙げられる。

しかし、一方で米価の低迷や米消費量の低下などから、少しでも省力・低コストを望む声が多いことも事実であり、積極的に直播栽培に取り組み始めている生産農家は全国各地で徐々に増えている。

3) 軽労化

打込み点播技術に限ったことではなく、直播技術全体にいえることであるが、移植作業に比較して、労働負担が大きく軽減されることは大きな特徴である。特に苗箱運搬時の労働強度は、奈良部の発言⁷³⁾にもみられるように、規模拡大を指向する実際の生産農家では無視できない大きな問題である。女性労働力の労働強度が軽減され、機械化一貫作業体系による1人作業が可能となるため、その意義は小さくない。湛水直播の場合、単純計算で10a当たり乾籾3.0kgの播種量とすると、酸素発生資材を2倍量被覆しても計10kgとなるのに対して、移植では10a当たり約7kgの苗箱を20箱、計140kgを運搬する必要がある。10haでは、直播が1トンであるの対して、移植では2,000箱分、計14トンの運搬量となる。ほとんどが手作業であり、場合によっては育苗箱への播種後と催芽後と2回行わなければならない、苗箱洗浄作業の省略も含め労働強度の点では直播のメリットは小さくない。また、複合農業経営の場合、春季繁忙期の

労働ピークを緩和するためという利用方法も考えられる。

VII. 摘 要

1. 打込み式代かき同時土中点播技術

水稻直播栽培技術には多くの様式があるが、以下の主な理由で「打込み式代かき同時土中点播技術」を開発することとした。①代かきを伴う湛水土中直播方式が、降雨に左右されない播種作業、雑草防除、漏水対策等で乾田直播方式よりも利点が多い。②湛水土中直播の主要な問題点である播種深さの適正化は、代かき同時打込み方式により安定して確保できる。③点播 (多粒点播) 方式により移植に近い株状生育が可能となる。

播種作業時には、代かきハローで仕上げ代かきを行いながら、開発した鋸歯ディスクで数粒の被覆種子を10m/s前後の速度で土中に打込むことにより、10mm前後の良好な播種深さが確保される。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し、その地点に同時に鋸歯ディスクで種子を打込むことによって適正播種深さを得ることができる。

鋸歯ディスクに供給された種子が瞬時に土中に打込まれることを利用し、数粒の種子を鋸歯ディスクに間欠的に供給することにより、楕円形状の多粒点播が可能となった。その結果、生育の中期・後期には株形成が進み、移植栽培に近い生育が期待できる。

また、株形成により耐倒伏性が強化されるため肥培管理が容易になる。加えて、移植水稲の草姿に類似することから、移植栽培から直播栽培への移行に当たり農家の抵抗感を少なくすることが期待できる。

2. 打込み点播機の概要

播種機は、トラクタに装着した市販の代かきハロー後部に固定され、種子ホoppa・播種ロール・鋸歯ディスク等よりなる播種ユニット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、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、回転数の無段設定ができる。種子ホoppaの被覆種子は播種ロールによって間欠的に数粒ずつ繰出され、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。供給された種子は高速回転（100～1,500rpm可変速）する鋸歯ディスクによって瞬時に打撃され、種子打込み管を介して、代かき直後の軟らかな土中に点播状に打込まれる。

鋸歯ディスクの材質はスポンジゴムが適合すること、ディスクケースへの種子供給管の取付け位置は、その下端が鋸歯ディスクの中心水平線から10mm程度上部にすること、打込み管の形状は長さを200mm程度、内法幅を28～30mm、内法縦を23～25mmとし、その取付け角度を10～15度にする、等が明らかになり、鋸歯ディスクおよびディスクケースの諸元が決定された。

点播精度を向上させるため、従来の条播用の横溝式播種ロールを穴式播種ロールに改良した結果、点播を実現するのに必要な種子繰出し間欠精度が確保された。さらに、過酸化石灰資材の剥離粉末がセル底部に付着する問題に対処するため、セル底部が微小往復動する構造の新たな点播用（押し出し式）播種ロールを開発した結果、剥離粉末の付着はみとめられず、種子の間欠繰出し精度も十分であることが確認された。点播用播種ロールは従来型に比べると複雑な機構であり、耐久性の面で開発当初は問題を残したが、その後改良されて現在では全国多数箇所でも現地試験等に供せられ、市販化された。

3. 播種精度

播種深さの室内試験では、初めに被覆種子の打出し初速度を測定し、次に水中に打込んだ状態を高速カメラで撮影し、水中での方向および深さを調査した。その結果、種子の打撃速度は鋸歯ディスクの周速度よりもわずかに大きく、そのCVは約15%である

こと、水中への打込み深さのCVは20～30%であること、等が明らかになった。次に、被覆種子を代かき土壌硬度と類似した寒天ゲルに打込み、播種深さを測定した結果、CVが35～40%であり、打込み速度が大きいほど、また、1粒よりも数粒同時に打込む方が播種深さは大きくなること等が確認された。圃場試験における土壌硬度は、粘度計による測定値（粘度：dPa・s）を用いて検討を進めた。打込み速度は、軟らかめの土壌では5～8m/sで、硬めの場合は10～12m/sで対応することが望ましいとの結論を得た。出芽深さのCVは50%前後あり、実際には1点播当たり種子数6～8粒のうち、適正出芽深さ範囲5～15mmには70%以上、4～5粒が取るものと推定された。

点播形状は数粒の種子が長径6～8cm、短径4～5cmの楕円形状であること、播種量は1点播当たり種子数が5～8の範囲にあること、等が目安となっている。開発した点播用播種ロールによって間欠的な種子繰出しが実現でき、室内試験及び圃場試験の結果、長径6～8cm、短径4～5cmの点播形状を得ることができた。

4. 播種作業性能の向上

適正な播種精度の確保には、代かきハロー整地板の真後ろ位置（種子の打込み位置）でヨーグルトよりやや硬めの代かき土壌状態が安定的に作出されることが最も大事な要件であり、そのためには、走行速度、代かきハロー回転数、代かきハロー作用深さ、鋸歯ディスク回転数等を土壌条件に合わせて設定する必要がある。

適正代かき土壌条件の作出を前提に、①高速播種作業、②1工程代かき同時播種作業（代かき回数を減らすため）を行うために代かきハローを改造した結果、高速播種作業は、約1.0m/sの走行速度の可能性はみとめられたが、1工程播種作業については、ハロー改良の効果は明確ではなく、耕うん時の碎土率の影響がより大きかった。

圃場での播種作業性能を向上するために大型ディスクマーカ、トラクタ車輪跡消し装置、泥流阻止板を各々に試作し、その有効性を圃場試験で確認した。

本機の作業能率は、散播方式である無人ヘリや定幅散布機（散布幅約10m）よりは低水準にあるが、市販機である湛水土中条播機とほぼ同等の17min/10a（15～20min/10a）と判断された。ただし、代かき作業を含めた作業能率では、仕上げ代かきと同時播種

作業という特徴から判断して、本技術の方が優ると推察される。現時点で0.7m/s程度である限界走行速度を向上させること、播種条数を10条以上に増やすこと等によって、さらに作業能率を向上させることが可能と思われた。

5. 出芽特性と耐倒伏性

播種深さおよび温度条件が出芽率に及ぼす影響についてポット試験を行った結果、播種深さが増すほど、また温度条件が低いほど出芽率は低下することが確認された。したがって、九州など温暖地では打込み点播でも平均播種深さを10～15mm、東北など寒冷地では5～10mmに設定することが必要と結論づけられた。また、落水出芽法の有効性も確認された。

新たに点播株用の押倒し抵抗測定装置を試作し、圃場における栽培試験で点播と散播の押倒し抵抗性を比較・検討した結果、点播の耐倒伏性が勝ることが実証された。押倒し抵抗測定装置については多粒点播によって大きな面積となる稲株に対して、より高精度な測定ができることが確認された。

6. 実証試験結果および省力・低コストの可能性

実証試験は1997年度に全国20の道県、計40箇所の公立試験場、農業改良普及センター等で行われ、アンケート調査を行った。播種量は乾籾換算で、北海道は10kg/10a前後、その他の地域は3～4kg/10aであった。走行速度は0.5～0.7m/sが作業精度と作業能率の両面を考慮すると妥当であると判断された。種子の打込み速度は、寒冷地では6～8m/s、暖地で8～12m/sが標準値と推定された。出芽深さは平均7.3mm(CV43%)であり、苗立率は平均62%であった。点播形状の長径は8.1cm(同31%)、短径4.7cm(同31%)、及び点播株率75%(同22%)は予想通りであった。収量の全国平均は481g/m²で、移植に比較して約10%程度少ない収量が標準と判断された。倒伏は、無しが全体の47%、圃場の一部に発生したのが53%であり、主な原因は①過繁茂、②播種深さ、③土壌硬度と推定された。

福岡県夜須町で行った現地栽培実証試験では、暖地での標準的な播種作業条件である、走行速度：0.5m/s、種子打込み速度：12m/s、条間×株間：30×20cm、播種量：3.0kg/10a(乾籾換算)を設定した。その結果、出芽深さは約10mm、点播形状長径は7.1cm、苗立率は80%以上、1株苗立本数は5.2本と、良好な苗立状態であった。収量は平均520kgとなり同地域の移植収量とほぼ同等の結果を得た。

福岡県および山形県の実証試験農家の調査データを基に省力性・コスト低減効果について検討した。その結果、種子の準備から収穫調製までの作業体系では、省力効果は10～20%、コスト低減効果は10%程度と推定された。

引用文献

- 1) 秋田重誠(1990) アメリカ合衆国の稲作を支える技術と研究—わが国の稲作研究へのインパクト—。農業技術 45:8 - 11.
- 2) ALAIN FOUERE, SYLVAIN PELLERIN, AND ANNIE DUPARQUE (1995) A Portable Electronic Device for Evaluating Root Lodging Resistance in Maize. *AgloNo.my Journal.* (87):1020 - 1024.
- 3) Cooperative Extension University of California Division of Agriculture and Natural Resources (1992) Rice Production in California:1 - 22.
- 4) C.P.Gupta, Totok.Herwanto (1992) Design and development of a Direct Paddy Seeder. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* (23 - 1): 23 - 27.
- 5) 江原宏, 森田脩, 金子忠相, 藤山堯然(1998) 異なる苗立ち密度条件における散播水稻個体の生育と収量の補償作用. *日作紀* 67 (1):11 - 19.
- 6) 藤井薫, 氏家一義, 加藤健二(1989) 水稻湛水直播における播種方法(第1報) 粉衣種子の播種法と播種深さ. *東北農業研究* 42:3 - 4.
- 7) 古畑昌己, 楠田宰, 三原実(1998) 湛水直播における播種後の落水が出芽, 苗立ちに及ぼす影響. *日作紀* 67 (別1):256 - 257.
- 8) 後藤隆志, 宮原佳彦(1996) 米国における稲作機械化の現状(第1報)—米国稲作の概要と作業体系—. *農業機械学会誌* 58 (3):115 - 118.
- 9) 後藤隆志, 宮原佳彦(1996) 米国における稲作機械化の現状(第2報)—耕うん整地作業から施肥播種作業まで—. *農業機械学会誌* 58 (4):115 - 118.
- 10) 姫田正美, 今井秀昭, 井村光夫編著(1999) コシヒカリの直播栽培. *農山漁村文化協会*:64 - 73.
- 11) 井村光夫, 荻原素之, 三石昭三(1985) ヘリコプターによる水稻の湛水土中散播(1) 播種量分布および播種深さと苗立ちとの関係. *日作紀* 54 (別1):30 - 31.

- 12) 伊藤信雄, 今園支和, 菊池宏彰, 木村勝一, 坂上修(1987)水稲の低コスト生産作業技術の確立—代かき同時播種作業技術の開発. 農機東北支部報 **34**:73 - 76.
- 13) J.A.Damian, R.F.Orge, N.Sawamura, M. Daikoku, and R.Otani (1999) The PhilRice Hand Tractor Drawn Paddy Seeder. PhilRice technical Bulletin (4): 47 - 53.
- 14) 上村幸正, 松尾喜義, 小松良行(1985)湛水直播水稲の倒伏抵抗性について. 日作紀四国支報 **22**:25 - 31.
- 15) 木村勝一, 今園支和(1991)大区画圃場に対応した超省力水稲散播作業法の開発(第1報)噴頭回転式広幅散布機の開発. 農機学会東北支部会報 **38**:15 - 18.
- 16) 小久江信芳, 西尾隆雄(1974)湛水直播の苗立安定に関する研究—CaO₂剤の種子粉衣の方法, 効果について. 鳥取県農試研究報告(第14号): 1 - 5.
- 17) 小室重雄編(1999)水稲直播の経営効果と定着条件. 総合農業研究叢書第36号, 農林水産省農業研究センター:43 - 45.
- 18) 櫛淵欽也監修(1995)直播稲作への挑戦(第1巻)直播稲作研究四半世紀のあゆみ. 農林水産技術情報協会:1 - 292.
- 19) 櫛淵欽也監修(1954)直播稲作への挑戦(第2巻)新しい日本型直播稲作の戦略. 農林水産技術情報協会:61 - 73.
- 20) 櫛淵欽也監修(1995)直播稲作への挑戦(第3巻)新しい日本型直播稲作の戦略. 農林水産技術情報協会:2 - 3.
- 21) 松村修, 澤村篤, 岩田俊昭, 古川嗣彦(1994)水稲の無代かき作溝直播培土栽培(作溝培土直播)について(2)培土方法の違いと培土の倒伏軽減・除草効果. 日作紀 **63**(別):20 - 21.
- 22) 三原実, 雪竹照信他(1992)水稲散播直播栽培における無人ヘリコプターの作業性能. 九州農業研究 **54**:11.
- 23) 三原実, 田中清, 天本真登, 小森辰己, 田中龍臣(1998)スクミリングガイ生息圃場における麦用播種機を利用した水稲の簡易代かき同時直播による栽培体系. 九州農業研究成果情報, 第14号, 上巻:13 - 14.
- 24) 三石昭三, 藤田時雄(1974)水稲の湛水直播に関する研究(第4報)湛水土壌表層直播における苗立ち不良について. 日作紀 **43**(別1):17 - 18.
- 25) 三石昭三(1975)水稲の湛水直播における土中埋没播種に関する作物学的研究. 石川県農業短期大学特別研究報告(第4号):1 - 59.
- 26) 三石昭三, 井村光夫(1981)水稲の湛水土中散播栽培におけるペレット状種籾の利用について. 石川農短大研報 **11**:5 - 11.
- 27) 長浜勇, 日高昭彦(1986)低コスト稲作代かき同時播種機の試作(第1報). 九州農業研究 **48**: 219.
- 28) 長島正, 渡部富男(1992)早期栽培地帯における背負い動力散布機を用いた湛水散播栽培. 日作関東支部会報 **7**:17 - 18.
- 29) 中村喜彰(1977)湛水土中直播機に関する研究(1)播種機の開発に関する基礎研究. 農機学会誌 (**39**) 3:306 - 311.
- 30) 中村喜彰(1978)湛水土中直播機に関する研究. 石川県農業短期大学特別研究報告 **7**:1 - 137.
- 31) 中村喜彰(1979)湛水土中直播機に関する研究(4)作溝器と覆土板の形状. 石川農短大研報 **9**: 1 - 6.
- 32) 中村喜彰(1980)新しい代かき土壌硬度試験法. 農機学会誌 **47**(3):360 - 362.
- 33) 中谷治夫, 畠山武(1975)水稲の埋没直播栽培に関する研究(第5報)田植機を利用した埋没播種方法と出芽について—. 作紀(別2):144 - 145.
- 34) 西田初生, 富樫辰志, 関正裕(1997)水稲の湛水耕耘同時施肥—播種機の試作—. 九州農業研究 **59**:136.
- 35) 西村洋, 林和信, 後藤隆志, 堀尾光広(1998)代かき土壌表面硬度計. 農林水産省農業研究センター編, 平成9年度研究成果情報(総合農業): 294 - 295.
- 36) 西村洋, 林和信, 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 澤野寿彦, 仲弘和, 上田吉弘, 福岡英明, 佐藤巖(1999)高精度水稲湛水条播機の開発(第1報)開発機の概要と作業精度. 農業機械学会第58回大会講演要旨:5 - 6.
- 37) 農業機械学会編(1996)生物生産機械ハンドブック(コロナ社):30 - 31
- 38) 農業機械学会編(1996)生物生産機械ハンドブック

- ク (コロナ社):471.
- 39) 農林水産省農業研究センター編(1997) 日本型直播稲作導入指針:2 - 45.
- 40) 尾形武文, 松江勇次(1996) 北部九州における水稲湛水直播栽培に関する研究 (第1報) 耐倒伏性の評価方法. 日作紀 **65**:87 - 92.
- 41) 荻原素之(1993) 水稲の湛水土壌中直播における出芽・苗立ちに関する研究—種子近傍の土壌の酸化還元との関係に特に注目して—. 石川県農業短大特別研究報告 **20**:1 - 103.
- 42) 太田保夫, 中山正義(1970) 湛水条件における水稲種子への発芽におよぼす過酸化石灰粉衣処理の影響. 日作紀 **39** (4):535 - 536.
- 43) 佐々木豊, 澤村宣志, 大黒正道, 小林恭, 帖佐直(1996) 定幅散布機. 平成7年度研究成果情報 (総合農業, 農業研究センター):223 - 224.
- 44) 佐藤徹, 丸山幸夫(2000) 出芽苗立期の落水管理による湛水直播水稲の生長促進機構. 日作紀 **69** (別1):108 - 109.
- 45) 澤田恭彦, 中嶋泰則, 野々山利博(1991) ニューマテック湛水直播機の開発 (第2報). 愛知農総試研報 **23**:123 - 128.
- 46) 澤村篤, 吉田智一, 宮澤福治, 池永昇(1985) 土壌条件と湛水土中直播機の性能. 農機学会講演要旨 **44**:101.
- 47) 澤村篤・石東宣明・下名迫寛(1988) 代かき土壌の物理性と発芽・苗立ちとの関係. 農機学会47回大会講演要旨:80.
- 48) 嶋津誠, 後藤克典, 三沢民男(2001) 代かき同時打込み点播機の打込みディスク回転数調整基準. 独立行政法人東北農研センター編 (平成12年度研究成果情報):55 - 56.
- 49) 下坪訓次(1996) 代かき同時土中直播技術の開発 (第1報) —種子打込み用鋸歯形ディスクの試作. 農作業学会平成8年度春季大会講演要旨:71 - 72.
- 50) 下坪訓次, 富樫辰志(2001) 水稲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. 農業研究 **36** (2):49 - 58.
- 51) 田中英彦, 山崎信弘, 天野高久(1986) 直播水稲の苗立率に及ぼす播種深さと過酸化石灰被覆量の影響. 日作紀 **55** (別2):29 - 30
- 52) 田中英彦(2000) 寒冷地における直播栽培技術の現状と展望. 4 (1) 出芽・苗立ち安定化技術, 北農 **67**:132 - 134.
- 53) 田坂幸平, 脇本賢三, 吉永悟志, 松島憲一(2000) 水稲直播用代かき同時土中点播機の改良による点播形状・点播株率の向上. 研究成果情報 (平成11年度・総合農業):328 - 329.
- 54) 寺島一男, 秋田重誠, 酒井長雄(1992) 直播水稲の耐倒伏性に関与する生理生態的形質 (第1報) 押し倒し抵抗測定による耐ころび型倒伏性の品種間比較. 日作紀 **61** (3):380 - 387.
- 55) 寺島一男, 荻原均, 梅本貴之, 亀川健一(1997) 直播水稲の耐ころび型倒伏性に対する栽培条件の影響の定量的解析. 日作紀 **66** (別1):42 - 43.
- 56) 富樫辰志, 下坪訓次(1996) 代かき同時土中直播技術の開発 (第2報) —打込み式土中点播機の試作—. 農作業学会平成8年度春季大会講演要旨:73 - 74.
- 57) 富樫辰志, 吉永悟志, 下坪訓次(1997) 土中点播水稲の押倒し抵抗簡易測定法. 日作紀九支報 **63**:7 - 9.
- 58) 富樫辰志, 下坪訓次, 吉永悟志(1997) 代かき同時土中直播技術の開発 (第3報) —代かき同時土中点播機の播種深さ—. 農作業学会平成9年度春季大会講演要旨:15 - 16.
- 59) 富樫辰志, 下坪訓次, 吉永悟志(1997) 代かき同時土中直播技術の開発 (4報) —打込みディスクの摩耗が播種精度に及ぼす影響—. 農作業学会平成9年度春季大会講演要旨:17 - 18.
- 60) 富樫辰志, 脇元賢三, 吉永悟志(1998) 代かき同時土中直播技術の開発 (第5報) —水稲点播機用播種ロールの開発—. 農作業学会平成10年度春季大会講演要旨:17 - 18.
- 61) 富樫辰志, 脇元賢三, 吉永悟志(1998) 代かき同時土中直播技術の開発 (第6報) —鋸歯形打込みディスクの改良—. 農作業学会平成10年度春季大会講演要旨:19 - 20.
- 62) 富樫辰志, 下坪訓次, 吉永悟志(2001) 水稲代かき同時打込み点播機の開発と播種深度特性. 農業研究 **36** (4):179 - 186.
- 63) 富樫辰志, 下坪訓次, 吉永悟志(2001) 水稲代かき同時打込み点播機の点播特性. 農業研究 **36** (4):187 - 194.
- 64) 富樫辰志, 下坪訓次, 吉永悟志(2001) 水稲代かき同時打込み点播機の作業性能および栽培特性.

- 農作業研究 36 (4):195 - 203.
- 65) 山下勝男 (1991) 種子マットによる湛水土中直播. 機械化農業 3月号:23 - 27.
- 66) 吉田智一, 宮澤福治, 谷脇憲(1988) 湛水直播機の播種深さ制御技術 (第1報) 播種深さ制御装置の試作. 農業機械学会第47回大会講演要旨:81.
- 67) 吉永悟志, 下坪訓次, 富樫辰志(1997) 水稲の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究 (3) - 一点播水稲の生育特性 -. 日作紀 66 (別1):14-15.
- 68) 吉永悟志, 富樫辰志, 脇本賢三(1998) 水稲の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究 (6) - 一点播水稲の苗立密度が耐倒伏性に及ぼす影響 -. 日作紀 67 (別1):226 - 227.
- 69) 吉永悟志, 西田瑞彦, 脇本賢三, 田坂幸平, 松島憲一, 富樫辰志, 下坪訓次 (2000) 湛水直播における播種後の落水管理が施肥窒素の動態および水稲の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 69 (4):481 - 486.
- 70) 吉永悟志, 脇本賢三, 田坂幸平, 松島憲一, 富樫辰志, 下坪訓次 (2001) 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稲の耐倒伏性向上 - 播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響 -. 日作紀 70 (2):186 - 193.
- 71) 吉永悟志, 脇本賢三, 田坂幸平, 松島憲一, 富樫辰志, 下坪訓次 (2001) 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稲の耐倒伏性向上 - 耐倒伏性向上および安定化のための点播条件 -. 日作紀 70 (2):194 - 201.
- 72) 結城和博, 遠藤昌幸, 神保恵志郎 (1988) 湛水土中直播栽培の出芽, 苗立ちの安定化 - 播種様式と出芽, 苗立ち -. 東北農業研究 41:45 - 46.
- 73) 座談会「水稲直播の振興を考える」.(2000) 農業技術 55 (2):6.

Development of a New Technology for Direct-Seeding of Rice Using a Seed-Shooting Seeder Combined with a Paddy Harrow

Tatsushi TOGASHI

Summary

1. Introduction

Rice production cost in Japan is at the highest level in the world. After the GATT Uruguay Round of Agriculture (1993), Japan accepted the minimum access of rice and will accept the customs rule in the near future. Japanese rice farmers must reduce their costs and advance labor-saving work practices in order to deal with the world free-trade system.

The technology of direct-seeding of rice has been adopted in the United States and other countries with low rice-production cost. In Japan, rice transplanting technology was established at the end of the 1960's because it was suited to the conditions of the Japanese culture, economy, and society at that time. Since it is very difficult to reduce the cost and advance the labor-saving work practices in the current transplanting culture, a direct-seeding system should be introduced to Japanese rice farmers. However, the area of rice production under direct-seeding in Japan has been decreasing in the last 25 years after a 1974 maximum of 55,280 ha. That area was 8,911 ha in 2000, just 0.5% of the whole area of rice cultivation. Therefore, in the 1990's the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan started developing some new technologies of direct-seeding system, with the aim of reducing rice-production cost.

There are many types of known and available types of technology for direct-seeding of rice, but we decided to develop a new technology, a "seed-shooting seeder of rice combined with a paddy harrow," in short, "the seed-shooting seeder" or "the seed-shooting technology" as described in this paper. The reasons for this development are as follows.

1) A submerged direct-seeding system with puddling has the advantages of higher feasibility in rainy weather, effective weed control, and less leakage of water, over the direct-seeding system on dry land.

2) The most important factor in submerged direct-seeding is improving the unstable seeding depth of rice. However, the depth is stabilized in the proper range for seed germination (5 to 15mm) by the seed-shooting seeder.

3) Seed-shooting technology can produce a pattern of growing rice similar to the one produced in the transplanting method.

2. Seed-shooting technology features

The seed-shooting seeder is composed mainly of a seed hopper, a seed roll, and a saw-toothed disc. The seeder is fitted on the rear of a paddy harrow that is mounted on a tractor. The seed roll and the saw-toothed disc are driven by direct-current motors (40W, 130W) powered by the tractor's battery. The revolutions of the motors are continuously changed and are set by a manual dial. The rice seeds used in this technology are

coated with calcium peroxide (CaO_2), which assists seed germination in puddled soil. Several coated seeds are fed intermittently by the seed roll to the edge of the saw-toothed disc through a seed-supply tube. The seeds are hit by the rotating saw-toothed disc (varying from 100 to 1500rpm), and then shot from the seed-shooting tube into the puddled soil. The seeder is called a "shotgun seeder" because of its seed-shooting performance.

Specifications of the seeder were determined by laboratory tests. Its main features are as follows.

1) The saw-toothed disc is 190mm in diameter and 20mm in thickness, and has 32 surrounding teeth. Elastic foamrubber is the most suitable material for the disc.

2) The space between the disc case and the tip of the saw-tooth should be adjusted from 1 to 3mm.

3) Both the seed-supply tube and seed-shooting tube are fitted on the disc case. The lowest position of the seed-supply tube should be 10 mm above the horizontal centerline of the disc.

4) The seed-shooting tube should be 200mm in length, 30mm in internal width, and 25mm in internal depth. The fitting angle of the tube to the disc case should be 10 to 15 degrees.

In order to measure the performance of the saw-toothed disc, we shot coated seeds into agar (viscosity: $50\text{dPa} \cdot \text{s}$). The seeds depth in agar was proportional to the seed velocity (i.e., disc revolution). This linear relationship was also observed when testing puddled soil.

We improved the ordinary fluted roll, producing a new cell roll with three cells that achieved a more accurate seed-feeding interval, an essential for hill-seeding. The new cell roll has another feature in that the bottom of the cell vibrates a slightly to remove adhering CaO_2 powder.

3. Seeding performance

Important factors in the seed-shooting technology were both the seeding depth and the pattern of seeds within the seeding spot.

1) Seeding depth

Seeding depth influences not only the seed emergence rate, which is the most important factor in direct-seeding culture, but it also affects lodging tolerance. The seed velocity right after being hit by the disc was measured by a high-speed camera in a laboratory test. The relation between seed velocity and the seeding depth in agar was investigated as well. The viscosity ($\text{dPa} \cdot \text{s}$) of puddled soil was measured, instead of its hardness. Instead of seeding depth, we measured germination depth, which is easier to measure in real paddy fields. The results were as follows.

(1) The coefficient of variation (*CV*) of the seed velocity was 15%, and this velocity was generally equal to the peripheral velocity of the disc.

(2) When seeds were shot into agar (viscosity $50\text{dPa} \cdot \text{s}$), the seeding depth was proportional to the seed velocity. The average depth was 32mm (seed velocity 12m/s) and its *CV* was 37%.

(3) Seeding depth in the paddy field was influenced by the seed velocity and the hardness of the puddled soil. The hardness influenced seeding depth more than the seed velocity. Seed velocities of 6 to 8m/s for soft soil (under $150\text{dPa} \cdot \text{s}$) and 10 to 12m/s for harder soil (above $150\text{dPa} \cdot \text{s}$) gave good results of proper seeding depth.

(4) The *CV* of germination depth was about 50% in the hill-seeded spot. There were four to five seeds in the proper depth range (5 to 15mm) in the soil, or about 70% of all shot seeds.

2) Pattern of seeds in the hill-seeded spot

The dimensions of the elliptical hill-seeded spots were 6 to 8 cm (major axis) and 4 to 5cm (minor axis). These were measured in both the paddy field tests and the laboratory tests. The minor axis was fixed by the width of the seed-shooting tube. The major axis was influenced by both the time needed to release several

seeds from the cell, and the period of time needed to feed the seeds to the saw-toothed disc. In this case, a shorter time is preferable because it leads to a smaller major axis. In addition, the major axis was influenced by the work speed (the traveling speed of the tractor) and soil conditions (hardness, etc.). We confirmed that the average major axis ranged from 5 to 10cm in standard working conditions.

4. Seeding in a paddy field

In order to improve the farm operation and the performance of the seeder, we investigated the puddling method and the work efficiency of the seeder in paddy field tests. Some parts of the paddy harrow were redesigned, and a marker and several other devices were fabricated. The highest performance of the seeding operation was achieved when the puddled soil was prepared with proper hardness at the point right after the paddy harrow. Certain operating conditions such as work speed, harrow revolution, puddling depth of the harrow, revolution of the saw-toothed disc needed to be set in the proper range.

The paddy harrow was redesigned to increase the work speed and to provide puddling to reduce labor. Consequently, it was possible to realize the maximum work speed (1.0m/s) with a proper settings of paddy harrow revolution and hardness of puddled soil.

We fabricated a big disc-type marker (287mm in diameter) because the existing markers were not effective in the soft puddling soil for the seed-shooting technology. The marker performance was confirmed in a paddy field test. The new marker has been on the market as a seeder option since 1998.

Two operators with different skill levels carried out work efficiency testing in two paddy fields. Their average efficiency was 2.8h/ha. This was similar to that of the drill-seeder available on the market but inferior to the broadcast type seeder (such as a radio-controlled helicopter). The efficiency may be improved by increasing the work speed and the workwidth of the seeder.

5. Characteristics of seed germination and lodging tolerance

1) Seed emergence rate

Seed emergence rate in this technology was influenced by factors such as the variety of rice, water -control management of the paddy field, the seeding depth, and the temperature. Seeding depth and temperature greatly influenced the seed-emergence rate of the submerged direct seeding of rice. Therefore, seed emergence tests were carried out using pots in an incubator to eliminate the influence of seeding depth (5 to 20mm) and temperature. Seeding depth was varied from 5 to 20mm in the seed-shooting technology.

We concluded that the seeding depth should be 10 to 15mm in a warm area (like Kyushu) and 5 to 10mm in a cool area (like Tohoku and Hokkaido). The main target rate of seed emergence is more than 70% in submerged direct-seeding. It was clearly shown that the seed-shooting technology is able to achieve the target with the proper seeding conditions.

Increased lodging tolerance of rice was one of the biggest advantages of seed-shooting technology. We developed a device for measuring the lodging tolerance of hill-seeded rice and compared it with the lodging tolerance of broadcast rice and hill-seeded rice. It was shown that the new device was superior to the existing device, although the measuring procedure was rather complicated.

Comparison tests of lodging tolerance (dyn/stalk) of broadcast rice and hill-seeded rice were performed in a paddy field. The results clearly showed that the hill-seeded rice was superior to the broadcast rice.

6. Practical tests in paddy fields

1) Questionnaire distributed throughout Japan

Practical tests of the seed-shooting technology were carried out in 1997 at 40 prefectural agricultural experiment stations throughout Japan. We gathered data concerning the seeding performance in different types of paddy fields using a questionnaire. The results were as follows.

(1) Varieties of rice used for the seed-shooting technology were those with good taste such as Koshihikari, whose germination characteristics were inferior in direct-seeding culture.

(2) The planting rate of dry seeds was about 10g/m² in Hokkaido, and 3 to 4g/m² in other areas.

(3) The average work speed was 0.52m/s, and the maximum was 0.8m/s. We concluded that the speed range of 0.5 to 0.7m/s was appropriate considering both work efficiency and work accuracy.

(4) Normal seed velocity was 6 to 8m/s in cool areas, and 8 to 12m/s in warm areas. The average germination depth was 7.3mm (CV=43%).

(5) The seed-shooting spots major axis was 8.1cm (CV=31%), and the minor axis was 4.7cm (CV=31%).

(6) Average yield of rice (brown rice) was 481g/m², which was about 10% less than that of the transplanting method.

The results of the questionnaire proved that the seed-shooting technology was practical for rice farmers in Japan.

2) Practical test in Fukuoka-Ken

We carried out a practical test of seed-shooting technology in Fukuoka-Ken. The conditions of the seeding were: work speed, 0.5m/s; seed velocity, 12m/s; and planting rate for dry seed, 3.0g/m²; following the standard conditions for a warm area. The results were: germination depth, 10mm; major axis of hill-seeded spot, 7.1cm; rate of established seedling, more than 80%; yield of rice, 520g/m² (nearly equal to that of the transplanting method).

The possibility of reducing costs and labor in rice production with the seed-shooting technology was studied using the data from practical field tests in Fukuoka-Ken and Yamagata-Ken. We demonstrated that the cost was reduced to about 90% and the labor to 80 to 90% compared to that of the transplanting method.

Keywords : rice, direct seeding, seed-shooting seeder, hill-seeding, sowing depth, pattern of hill-seeded spot

