

農業機械化研究所研究報告

第 36 号

Technical Report
of
the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusyo)
Saitama-city, Saitama, Japan
No.36 March 2007

平成 19 年 3 月

農機研報

Tech. Rep.,
Inst. of Agric.
Mach.
36 : 1-71
Mar. 2007

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農 業 機 械 化 研 究 所
埼玉県さいたま市北区日進町 1 丁目

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery
Bio-oriented Technology Research Advancement Institution
National Agriculture and Food Research Organization

編集委員会
Editorial Committee

相馬 厚司（委員長） （～H18.3.31）	Koshi SOMA (Chief)
行本 修（委員長） （委員：～H18.3.31） （委員長：H18.4.1～）	Osamu YUKUMOTO (Chief)
小倉 昭男	Akio OGURA
杉山 隆夫	Takao SUGIYAMA
安食 恵治	Keiji AJIKI
久保田興太郎	Kotaro KUBOTA
山名 伸樹 （～H17.12.31）	Nobuki YAMANA
森本 國夫	Kunio MORIMOTO
高橋 正光	Masamitsu TAKAHASHI

目 次

西村 洋・林 和信・後藤隆志・堀尾光広・市川友彦
浅野士郎・上田吉弘・福間英明・中尾敏夫

高精度水稻湛水条播技術に関する研究

緒 言	1
第 1 章 水稻直播の現状, 背景, 目的	3
1. 1 海外の水稻直播	3
1. 1. 1 オーストラリアにおける水稻直播の現状	3
1. 1. 2 韓国における水稻直播の現状	7
1. 2 我が国の水稻直播	10
1. 2. 1 播種用機械の分類	11
1. 2. 2 乾田直播用機械	12
1. 2. 3 湛水直播用機械	14
1. 3 研究の範囲, 目的	16
1. 3. 1 直播用式の選択	16
1. 3. 2 条播技術の既往研究	16
1. 3. 3 既往研究の問題点, 目的	17
第 2 章 土壌表面硬度測定機器の開発	18
2. 1 土壌表面硬度計の開発	18
2. 1. 1 土壌表面硬度測定の必要性和慣行測定方法の問題	18
2. 1. 2 試作した土壌表面硬度計の構造と作用	18
2. 1. 3 試験方法	18
2. 1. 4 結果と考察	19
2. 2 リアルタイム土壌表面硬度センサの開発	22
2. 2. 1 センサの構造と作用	22
2. 2. 2 試験方法	23
2. 2. 3 結果と考察	24
2. 3 まとめ	26

第3章 高精度水稻湛水条播機と覆土量制御	27
3. 1 開発機の設計と試作	27
3. 1. 1 開発目標	27
3. 1. 2 開発機の概要	27
3. 2 作溝・覆土部の基礎試験	30
3. 2. 1 試験装置	30
3. 2. 2 試験方法	30
3. 2. 3 結果と考察	30
3. 3 覆土板角度制御アルゴリズムの開発	33
3. 3. 1 覆土板角度の制御アルゴリズム	33
3. 3. 2 覆土板制御の性能確認	33
3. 4 ほ場土壌硬度マップの作成	35
3. 4. 1 試験方法	35
3. 4. 2 結果と考察	36
3. 5 まとめ	36
第4章 作業性能, 水稻の出芽・苗立ちと収量	37
4. 1 播種性能	37
4. 1. 1 試験方法	37
4. 1. 2 結果と考察	40
4. 2 播種後の出芽・苗立ちと収量	42
4. 2. 1 試験方法	42
4. 2. 2 結果と考察	46
4. 3 まとめ	47
第5章 地域適応性と普及	48
5. 1 地域適応性試験	48
5. 1. 1 試験方法	49
5. 1. 2 結果と考察	51
5. 2 普及	56
5. 2. 1 自動コーティング装置の普及	57
5. 2. 2 高精度水稻湛水条播機の普及と研究の展開	59
5. 3 まとめ	61
第6章 摘 要	61
6. 1 土壌表面硬度測定機器の開発	62

6. 2	高精度水稻湛水条播機と覆土量制御	62
6. 3	作業性能, 水稻の出芽・苗立ちと収量	63
6. 4	地域適応性と普及	63
謝 辞		64
引用文献		64
SUMMARY		68

Technical Report for the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusho)
No. 36 March 2007

CONTENTS

Yoh NISHIMURA, Kazunobu HAYASHI, Takashi GOTOH,
Mitsuhiro HORIO, Tomohiko ICHIKAWA, Shiro ASANO,
Yoshihiro UEDA, Hideaki FUKUMA, Toshio NAKAO

Studies on Precision Drilling for Direct Sowing of Rice
on Flooded Paddy Field

Introduction	1
1. Prospects of the Rice Direct Sowing on Flooded Paddy Field, Background and Aim of Research	3
2. Development of Measuring Devices for Soil Surface Hardness	18
3. Principal Components of Precision Direct Drill Seeder and Seed Depth Control	27
4. Performance of Experimental Seeder; Emergence, Establishment and Yield of Direct Sown Rice	37
5. Regional Adaptability of Prototype Seeders	48
6. Generalization	61
Acknowledgement	64
References	64
Summary in English	68

高精度水稻湛水条播技術に関する研究

西村 洋*・林 和信*・後藤隆志**・堀尾光広*・市川友彦***
浅野士郎****・上田吉弘*****・福岡英明*****・中尾敏夫*****

2005-3-25 受理

* 生産システム研究部
** 生産システム研究部（現 基礎技術研究部）
*** 生産システム研究部（現 退職）
**** 井関農機(株)（現 退職）
***** (株)クボタ
***** 三菱農機(株)
***** ヤンマー農機(株)

抄 録

水稻直播栽培の安定化に寄与する播種機開発のため、変動要因としてもっとも大きな土壌表面硬度に着目し、土壌表面硬度計とそれに基づく播種深さ制御に関する要素技術開発を行った後、播種機の試作、実験、改良を重ね、幅広い土壌条件で目標とする播種深さ精度に播種する高精度水稻湛水条播機を開発した。

本播種機開発のポイントは、作溝器、覆土器など播種用器具が取り付けられているフロートの土壌表面追従性を高めたこと、品種、播種時期の気温などに応じて作溝深さを2段階に調整可能としたこと、土壌表面硬度に応じて覆土量を自動制御する機構を装備したことにある。その結果、従来の条播機に比べて播種深さ精度が向上し、出芽・苗立ちの安定性を高めることができた。

生産現場での実証試験に供試した高精度水稻湛水条播機は、0.4～0.5ha/hの高い作業能率で、従来機に比べて4割ほど表面出芽種子割合が少ない安定した性能を発揮し、2000年春「高精度水稻湛水条播機」として市販化された。

緒 言

本研究が開始される前年の1993年、ガットウルグアイラウンドが最終的な合意に達した。段階的な米の関税率引き下げによる事実上の米輸入の自由化であり、聖域とされてきた日本の米政策が一大転機を迎えた年である。米が国際的な競争にさらされる上で、もっとも大きな問題は米価をいかに下げるか、ひいては生産コストをいかに削減するかにあった。しかし、アメリカ、オーストラリア、タイなど、米輸出国との価格格差は10倍以上とも言われ、生産技術だけでこの差を縮めるのは難しい。いずれにしても、政府はウル

グアイラウンドの合意を受け、米生産に関して、生産から流通まで含めた総合的な見直しを行うことを決定した。このことが本研究の出発となった背景である。

同年の大冷害は農業者に大きな打撃を加え、かつウルグアイラウンド交渉に最終的な影響を与えたと言われるが、一方で、我が国消費者の米に対する認識を再確認する契機となった。この年の米収量は平年の7割程度となり、備蓄も底をついていたことから、店頭から米袋が消えてしまい、大きな社会問題となったのは記憶に新しい。このとき、オーストラリア、タイなどから米の緊急輸入が行われ、一般のスーパーの展示棚に外国産米が積み上げられた。減収分を補うだけの

量が確保され、さらには価格も国内産米の十分の一とは言わないまでも半値以下であったにもかかわらず、外国産米はあまり売れなかった。消費者が価格よりも質を重視したということで、質の高い米の供給によって、多少の価格差はあっても日本のコメが外国産米に比べて優位性を保つことが証明されたとも言える。

一方、零細・小規模・兼業という言葉に代表される我が国農業も、農業者の高齢化や後継者不足の加速から、今後劇的に農業構造が変化するとの見方が強まっている。農林水産省が 1998 年に発表した「新農業基本法」においても、今後予想される農業構造として、水稻作においては 10~20ha 規模の個別経営体もしくは法人組織が中核を担い、全体の 2 割程度を占めるとしている。高齢化や後継者不足による農地の流動化は、地域的な差異はあるものの顕著な流れとなっているのはもちろんであるが、より大きな動きとしては、作業受委託の増加が上げられる。規模の大きな農家が、導入した乾燥機的能力を最大限に活用するため、近隣の小規模農家の作業を請け負うようになったのが始まりであるが、現在では規模拡大の一つの方法として定着しつつある。農地の流動化促進が叫ばれるようになったとは言え、規模拡大を指向する農家に潤沢に農地が集約する状態ではなく、農業を維持できなくなった農家の作業を受託することでいわゆる「作業規模拡大」が図られており、ほとんど全ての作業が対象となっている。

さらに、食糧制度が 1995 年に廃止されて以降、米価は急激に下落し、これまでのように米さえ作っていれば農業を維持できた時代は終わりを迎えた。特に農業収入を主とする経営体においては、より換金性の高いいわゆる高付加価値農産物生産への移行、もしくは危険分散も含めた複合経営にシフトする傾向を強めている。このような流れは経営内における米作の占める地位を低下させ、より省力的な作業体系を望む要因となっている。

以上述べてきたように、日本の農業は外圧だけでなく、内部構造の変化による内圧も強くなっており、大きな変曲点にさしかかっている。しかし、日本農業の根幹をなす水稻作は移植栽培がほとんどを占め、長年にわたる技術蓄積の中で安定した生産基盤を築いて

きた。曲がり角に差しかったとは言え、安定した移植栽培から、まだ不安定要素の多い直播栽培に切り替えるには、相応の動機が必要となる。もちろん低コスト化、省力化が基本であるが、それを例えば 30a 程度の限られたほ場内での移植栽培との比較においては、その意味が半減する。「平成 13 年度新技術・新品種導入対策事業（超低コスト・省力化技術導入実証）成績報告書」^{1),2)}をもとに、農林水産省が直播の現時点での技術レベルを取りまとめている。移植栽培との比較で表されているが、省力性では移植の 7 割、収量で 1 割減、コストとしては 10~15%減となっている。この結果だけを単純に見ると、移植に代えて直播を導入するために必要な様々な投資（資材、機械、技術）と引き替えるには、相当の覚悟が必要である。

しかし、前述した受託作業による作業規模拡大や複合化による経営規模の拡大など、農業構造の変化に対応した新しい農業の担い手にとって、直播の導入が数値以上の恩恵を与える可能性がある。その多くは省力性がもたらすものであり、小規模農家においては省力性が収入に直結しないのに対し、規模によっては他作業への労力再配分による全作業量の増加をもたらすことが想定され、この場合は収益性を向上させるからである。

我が国が歩んできた稲作機械化の歴史は、経営規模にかかわらずトラクタ・コンバイン・田植機を取り揃え、個別農家内で完結する体系として発展してきた。それによって成り立ってきた「兼業」が、米価の低迷によって苦しくなっている。そのような農家をターゲットに、ここ 4~5 年、低価格農業機械の市販化が相次いでおり、部分的に市場を活性化させている。反対に、経営規模・作業規模の拡大に伴い、大型機械の販売も堅調で、これまで売れていた、田植機では 4~6 条植え、コンバインでは 2~3 条刈りにあたる中間規模の機械の販売が落ち込み、両極に分化し始めているとの分析もある。直播用機械に求められるのは、単に育苗や田植え作業時の苗補給をなくした田植機に代わる作業機としての役割だけではない。直播用機械は、集落営農、コントラクタなど、模索をはじめた新しい農業もしくは農作業に貢献できる、次世代を担うような農業機械として開発を進める必要がある。

第1章 水稻直播の現状、背景、目的

1. 1 海外の水稻直播

本研究を遂行する中で、オーストラリア^{3),4)}と韓国^{5),6)}の直播稲作を調査する機会を得た。オーストラリアはカリフォルニアと並ぶ世界有数の灌漑農業地帯を有し⁷⁾、平均 230ha という大規模経営の中で航空機を利用した湛水直播を中心とした水稻直播栽培が行われている。一方隣国の韓国は、日本と同様の零細小規模農家が中心を占め、1990 年代前半までは移植栽培が主流となっていた。しかし、急速な近代化の波の中で農村の労働力が都会に流れ、官民一体となった技術開発と普及政策によって、短期間で水稻作付面積の1割以上を直播が占めるまでになった。本項では直播技術体系を中心に2国の水稻直播の現状を紹介する。

1. 1. 1 オーストラリアにおける水稻直播の現状

オーストラリアの稲作は、面積・生産量で世界の1%以下程度の割合を占めるに過ぎないが、日本においては、1993年の冷害をきっかけにカリフォルニアにつぐ世界の米作地帯としてクローズアップされた。

この国の稲作の特徴は、高い水準にある収量と英国から引き継いだ有畜の輪作農業にあり、平均 8t/ha を越えるもみ収量はカリフォルニアと並んで世界のトップクラスの収量水準である。これが有畜の輪作体系の中で維持されていること、カリフォルニアにはない「草生不耕起乾田直播体系」などユニークな栽培方法があることなど、極めて興味深い農業が営まれている。

1) 稲作の概要

オーストラリアの灌漑農地面積は201万haで、図1-1に示すように45%程度がオーストラリア南東部に位置するNew South Wales (NSW) 州に集中している⁸⁻¹⁰⁾。ここでは、牧草、穀物、飼料用穀物、園芸作物、稲等が栽培されており、牧草（永年、輪作合わせて）が2/3、稲作は9%程度を占めている。この地帯の年間平均気温は19℃と、ほぼ東京と同気温であるが、冬は暖かく、夏は冷涼である。しかし、乾燥地帯で日較差が大きく、低温・高温害も報告されている。

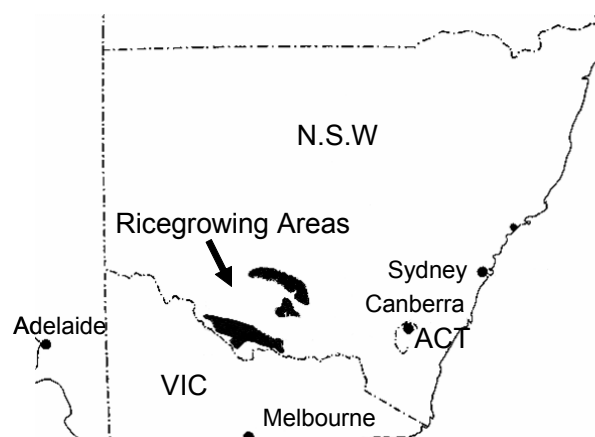


図1-1 オーストラリア灌漑農業地帯

オーストラリア灌漑農業のキーワードとなっている輪作は、イギリスの三圃農業が基本になっていると言われている。輪作を取り入れている灌漑農地は複数の大区画ほ場からなっている。この大区画ほ場（ほ区）はパドック（Paddock）と呼ばれ、用排水路に添うような形で配置されていることから多くは矩形である。パドックは20ha以上の面積で、水のレベルを合わせるためにさらに細かく畦畔で区切られてベイ（Bay）と呼ばれ、作業の基本単位となる¹¹⁾。畦畔の造成は輪作体系の中で水稻が作付けされる初年度に行われる。レーザレベルが登場した近年では、パドックの均平精度が向上していることから、直線の畦畔が造成されることが多くなったが、造成前の湛水によってほ区内の高低差を確認して、等高線状に複雑に湾曲した畦畔を造成する従来法も見られた。

輪作の対象となる作物は米、牧草、麦類、大豆等があり、牧草は多くの場合羊を飼養するための飼料生産用であり、休閒と兼ねて放牧地として利用している例も多い。輪作の形態は、経営規模や土地の条件などにより、個々の農家で異なっている。表1-1は、NSW州農業省が発行した「Rice Growing in New South Wales」¹²⁾に掲載された、比較的小規模の肥沃な土地を持つ農家の事例である。

2) 直播稲作機械化の現状

3つの播種方法があり、図1-2に示すようにそれぞれの場合で作業体系は大きく異なる。

表 1-1 小規模農家における典型的な輪作例¹⁾

Paddock	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1982	水稻 牧草	水稻	水稻	休耕	麦	麦	牧草	牧草	牧草
1983	水稻	水稻	休耕	麦	麦	牧草	牧草	牧草	水稻 牧草
1984	水稻	休耕	麦	麦	牧草	牧草	牧草	水稻 牧草	水稻
1985	休耕	麦	麦	牧草	牧草	牧草	水稻 牧草	水稻	水稻

1)作付面積 水稻:60ha(不耕起草生直播栽培), 麦:40ha, 牧草:60ha

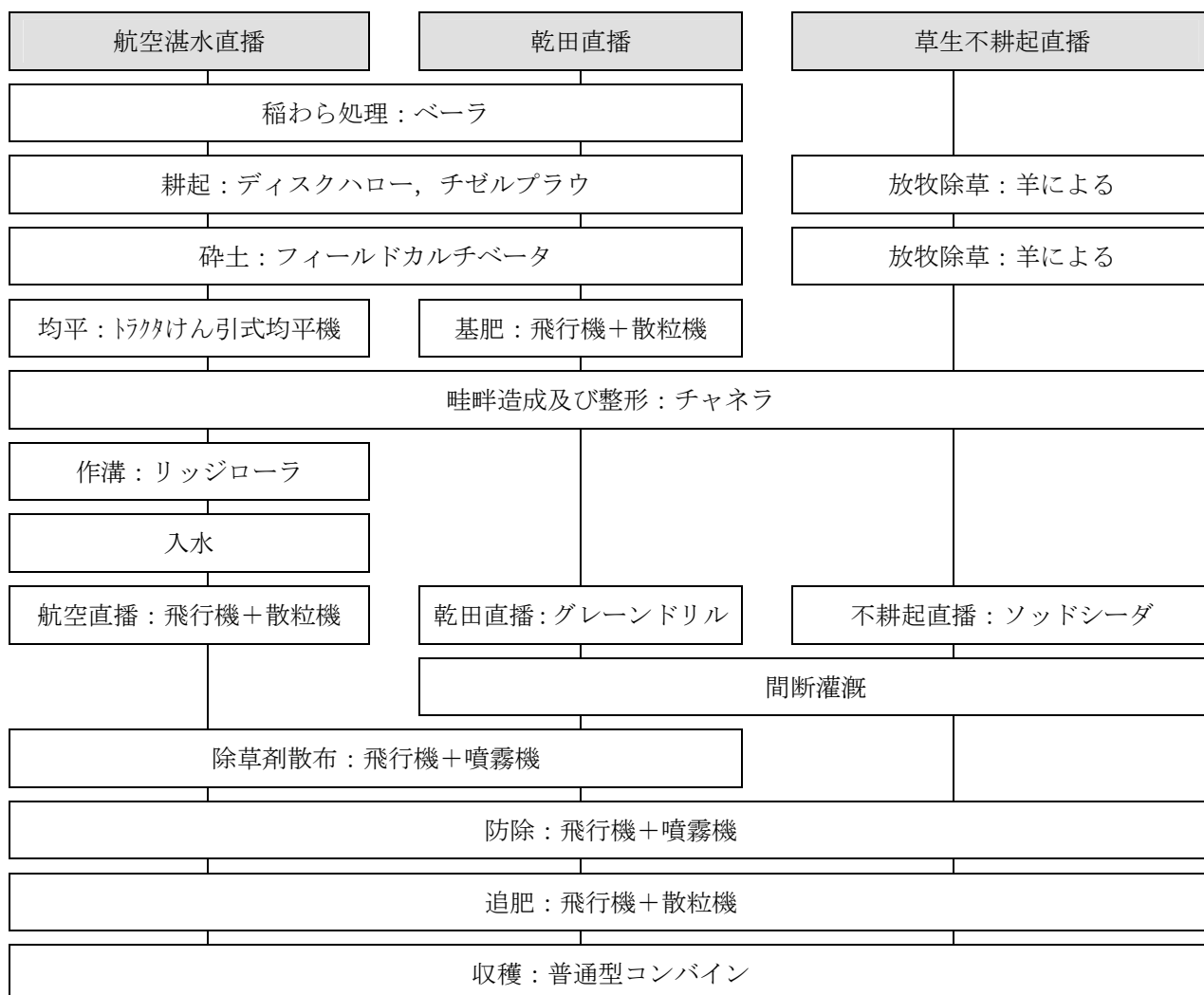


図 1-2 播種方法と作業体系



写真 1-1 砕土機



写真 1-2 作溝器



写真 1-3 粒状肥料運搬車からローダへの投入



写真 1-4 ロータから飛行機胴体タンクへの投入

a) 航空湛水直播 (Aerial Sowing)

航空湛水直播が全体の9割を占めている。この方式では、オフセットディスクハローやスweep付のチゼルプラウによる一次耕うん後に、カルチベータ（写真1-1）で二次耕うん作業が行われることが多い。前作が稲の場合、耕深は数cm程度と浅く、稲株についても埋没させるというより、地際で切り取り表層と混和する程度の処理を施しているにすぎない。この理由としては、深耕が漏水を助長することや、土壌表面が乾燥して硬いため、高速作業、十分な播種床の確保という点で浅耕による砕土が適していることなどがあげられている。その後、湛水状態での風波による種子の吹き寄せ防止や種子の埋没などを目的に、作溝ローラをかけ、ほ場表面に浅い溝をつけた後、湛水して播種する。この作業機は重さが約6t（作業機本体が約3t、ドラム内に注入した油3t）あり、1m径のドラム周囲にアングルが斜めに取り付けてある（写真1-2）。このアングルの高さが約5cm、ピッチが15cm程度で、

出芽時の状態は条播されているように見える。航空直播は委託作業となっており、24時間浸種した後、24時間水切りした種籾は農家が持ち込む。実際の播種作業時は、排出装置（スクリーンオーガ）を持った粒状物運搬車（写真1-3）から、ローダ（写真1-4）に移し換え、さらに飛行機のコクピット前方にあるタンクに投入する。またコクピットからは、種籾の残量が確認できるようになっている（写真1-5）。一回の投入



写真 1-5 コクピット前方の籾タンク

量は飛行機の型式によって異なるが、一般的なペイロードは500kgで、約5haを播種することができる。播種量は乾物換算で平均100～120 kg/haであり、1ha当たりの種子代を含むコストは17～20 A\$（約1,300～1,500円）となっている。

同じ湛水直播といっても、代かき作業は行われていないのがオーストラリアやアメリカでの湛水直播の特徴である。しかし、漏水が著しく大きなほ場においては、代かきも検討されつつある¹³⁾。

b) 乾田耕起播種 (Combine Seeding)

乾田耕起播種では、畑作物の播種機として一般的なグレーンドリルが利用されるが、英名にあるとおり、前出の碎土機との同時工程作業が行われることが多い（写真1-6）。播種量は航空湛水直播と同程度である。



写真1-6 乾田耕起用播種機

c) 草生不耕起播種 (Sod Seeding)

草生不耕起直播の場合には当然耕起作業は行われず、播種前に牧草を処理するために、羊を1～2回放牧するグレージングと呼ばれるこの作業は、牧草処理と有機物供給の一石二鳥の効果を期待するもので、オーストラリア稲作の特徴的な作業といえる。播種機は、牧草の播種機としても利用されている不耕起播種機（写真1-7）が利用されている。種籾は、航空湛水直播と同様粒状物運搬車でハンドリングされ、種子補給はほ場の外から、運搬車に装備されている搬送装置で播種機のタンクに供給される。以上の乾田直播方法では、前作の牧草処理や種籾発芽促進のために、間断灌漑が実施されている。これは播種後すぐに実施され、1～2週間にわたって数回行われる。

d) その他の作業

基肥散布や追肥散布は前作、播種様式、生育状況に応じて肥料の種類、量が決定され、多くは航空機散布



写真1-7 草生不耕起播種機

による委託作業で行われる。また、レーザ均平装置を装備したトレーラ＋グレーダ（写真1-8）による均平作業も委託作業が中心となる。しかし、営農的に実施される均平はトラクタけん引式の均平機（レーザを利用しない：写真1-9）を用いることが多く、これらの委託作業経費は、基盤整備としての均平の場合40 A\$/ha程度、営農的な均平作業では20 A\$/ha程度とのものであった。さらに防除用農薬散布も委託作業で、15～50 A\$/ha程度となっている。近年はコンバインによる収穫作業も委託に頼る割合が上昇している。

3) 我が国水稻作との比較

オーストラリアにおける水稻作は、次の2点で日本と大きな差異を示している。

ひとつは、気候の違いであり、降水量が少なく乾燥している気候は、除草や病虫害防除などの作業量、穀物乾燥に要するエネルギーを少なくし、降雨が作業に支障を来すことも少ない。降雨による作業適期の制限、高温・多湿環境下での雑草・病虫害等に悩まされる日本農業との栽培面での大きな違いがここにある。

もうひとつは、経営規模にかかわらず、委託作業が農作業の多くを占めていることである。飛行機を利用した播種、防除、施肥作業に加え、レーザ均平機による均平作業、収穫でも委託作業が行われている。いずれの作業も、高価な機械を利用した作業であり、作業適期が幅広くとれることも委託作業を多くしているものと思われるが、作業を受託する組織も日本とは異

なり、専門の会社組織として成り立っている。一方我が国では、委託する側は兼業農家が主体であり、受託する側は専業農家が主体となっている。どちらも現実

的な選択であろうが、同じ受委託作業でも内容は大きく異なっている。



写真 1-8 レーザ均平機



写真 1-9 トラクタけん引式均平機

1. 1. 2 韓国における水稻直播の現状

1) 直播稲作の概要

a) 普及の経緯と栽培面積等

韓国においても、水稻の直播栽培は 1970 年代の後半まで、用水の不足する水田を中心に一定の普及が見られていた¹⁴⁻¹⁷⁾ (1968 年で約 7 万 ha¹⁸⁾)。しかし、その後は田植機や灌漑設備の普及により、ほとんど姿を消した。その後、農業者の高齢化と労働力不足を背景に、1985 年頃より水稻直播に関する研究が再度開始され、1990 年代に入ると、実証ほ場 (1994 年には全国で約 1,300 箇所設置) において技術研修が盛んに行われるなど、行政、研究、普及が一体となって直播を推進してきた。これらの動きを受け、直播水稻の栽培面積は 1994 年から急激に増大し、1995 年には水稻作付面積の約 11%にあたる 11 万 7 千 ha に達した。しかし、1995 年の水稻が不作で米の備蓄量が減少したことを受け、1996 年には直播の奨励を行わず、農業者の自主性にまかせることから、1999 年では 7%以下にまで減少している。

b) 栽培地域と栽培方式

水稻直播の盛んな地域は、南西部の全羅南道及び全羅北道であり、1995 年には栽培面積の 15~20%で直播が行われている。これに対し、北部の直播面積割合は低い (図 1-3)。

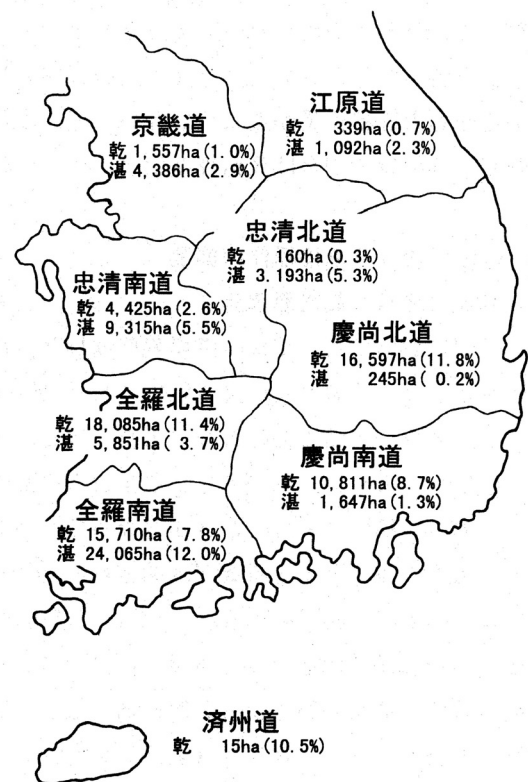


図 1-3 地域別の直播水稻栽培面積と全栽培面積に対する割合 (1995)

乾田直播と湛水直播が行われており、1994 年には両者の面積割合は半々であったが、1996 年には乾田直播が増加し約 60%となっている。韓国では、播種

時期の 4 月下旬から 5 月上旬にかけて、比較的雨が少ないため、気象的には乾田直播に適している。地域別に見ると、全羅南道を除く南部では乾田直播が多く、北部では湛水直播が多い。

c) 収量と技術的問題点

直播水稻の収量は、普及が始まった 1991～1992 年当時は移植栽培に比べ、平均で 5% 程度低収であったが、近年では同程度にまで高まってきている。しかし、その安定性は移植栽培のレベルに達しておらず、問題として残されている。

技術的な問題点は日本と類似しており、苗立ち不良（特に湛水直播）、雑草防除（特に乾田直播）及び倒伏（特に湛水散播）が最も大きな問題となっている。湛水直播ではカモやスズメの鳥害があるが、乾田直播が比較的多く、直播面積も広いためか、わが国ほどは問題にされていない。

2) 直播稲作機械化の現状

韓国の水稻移植栽培における作業体系は、耕うん作業において水田プラウが幅広く使用されている点を除き、わが国とほぼ同じである。直播稲作の作業体系も、日本とほぼ同じであり、湛水直播栽培においては、播種作業や水管理作業等以外は移植栽培と同じである。

a) 乾田直播

乾田直播は、乗用トラクタ装着式又は歩行用トラクタ装着式の条播機で行われており、前者ではトラクタの車輪跡を消すためロータリシーダが使われている。ロータリには、①通常のロータリ（写真 1-10）又は代かき用ロータリ、②中央に作溝用の逆転爪とその側方に碎土整地用の横軸スクリュを持つロータリの 2 種類がある¹⁹⁾。また、通常のロータリに畦立ディスクを付けた機種もある（写真 1-11）。これらの播種機は麦の播種にも使われる。

①の播種機では平畦播種となるが、②の播種機で作業したほ場は、1.5～1.8m 間隔に、幅 30～40cm、深さ 5～10cm 程度の溝が成形され、幅 120cm 程度の畦を立てたような形となる（写真 1-12）。また、①の機械で播種したほ場でも、播種後に 10m 程度の間隔で、同様な溝を付ける場合がある。これらは、天候に応じて

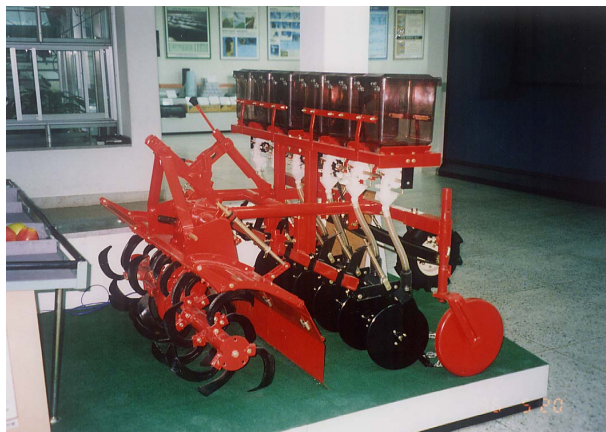


写真 1-10 乗用トラクタ装着式
乾田条播機（平畦 6 条）

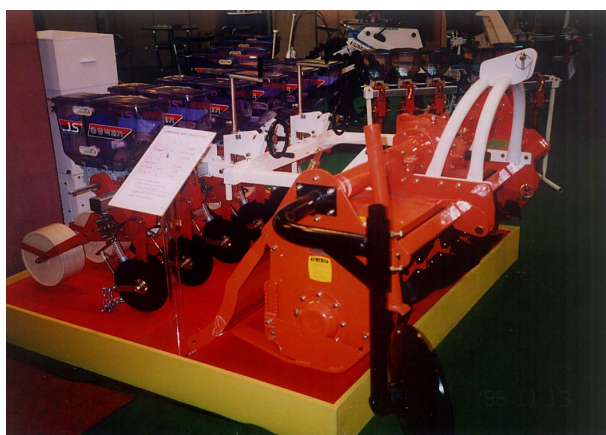


写真 1-11 乗用トラクタ装着式
乾田条播機（畦立て 6 条）

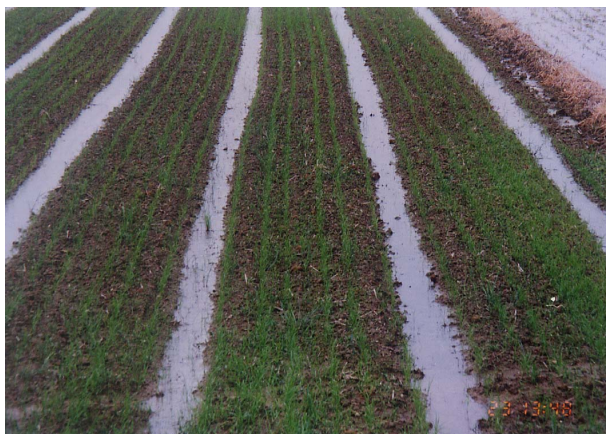


写真 1-12 畦立乾田条播の苗立ち状態

灌漑用もしくは排水用の溝としての役目を果たし、発芽に適した土壤水分を保つのに役立つ。

播種部については、1 条当たり 5～14L のホップ、横溝ロール式の繰出部（接地輪駆動）、ダブルディスク式の作溝器を持ち、覆土はチェーンで行うものが多い。播種量の調節はロールの溝幅を変えて行う。6, 8,

12 条播きのものがあり、条間は、上記①の機械では 30cm, ②の機械では 25cm が多いようであるが、いずれも若干の調節は可能である。歩行用トラクタ装着式の条播機には、シュー式の作溝器を持つ機種もある。これらの乾田直播機は、1995 年までに約 5,700 台が出荷されている。

種子には乾籾が使われることが多く、乾籾播種量は畦立播種方式で 4~5kg/10a, 平畦播種方式で 5~6kg/10a が、播種深さは、鳥害や倒伏を防ぐため 3~4cm が推奨されており、目標苗立ち数は 110~150 本/m²である。また、播種床の碎土状態としては、直径 3 cm 未満の土塊質量割合が 60%以上となるように指導されている。

推奨播種時期は、中部地域の中生種で 4 月 20 日から 5 月 15 日までであり、地域及び品種によって、播種終了時期が 10 日程度前後する。

b) 湛水直播

湛水直播の方式としては、条播と散播が行われている。いずれも日本と同様の耕起・代かき後に播種作業が行われる。ただし、一次耕うんに利用される韓国の水田プラウ（イランジャンギ：写真 1-13）が幅広く使われている。条播機が開発される以前は、畦畔多口噴頭付き動力散布機、手動式散粒機や手播きなどによる散播が多かったが、1993 年以降に条播機の普及が進み、1995 年では 80%程度が条播となった。しかし、1996 年には、全羅南道において湛水散播が約 3 倍に増加したため、条播の割合は約 55%に低下した。

湛水条播（点播）機（写真 1-14）は、乗用又は歩行用田植機の車輛部に装着され、底面幅 3~6cm, 上

面幅 7~11cm, 高さ 3.5~4.5cm（いずれも機種によって異なり、土壌条件によって複数の作溝器が用意されている機種もある）の作溝器（写真 1-15）をフロート底面に持ち、この作溝器で播種溝を付けた後、種子を溝の中に条播する。覆土は行わない構造になっているが、種子の移動を防ぐため、播種後の種子を溝の底面にすり込んで行く鎮圧板を、作溝器後方に持つ機種（写真 1-16）もある。



写真 1-14 乗用湛水条播機(8 条)



写真 1-15 乗用湛水点播機の作溝器



写真 1-13 水田プラウ



写真 1-16 乗用湛水条播機の鎮圧板

ホoppa容量は、1 条あたり 5～6L 又は 14L、繰出部はグランド PTO 駆動の横溝ロール式が多く、条間は 30cm である。播種量の調節はロール溝幅の変更により行うものが多いが、アジテータとかき出しロールの中間にあるシャッタの開度により行う機種もある。また、中には点播用ロールで点播が可能な機種もある。播種条数は、乗用では 6, 8 条、歩行用では 6 条が多い。これらの湛水条播機は、1995 年までに約 3,400 台が出荷されている。

湛水直播では、ハトムネ状に催芽した種子が使われることが多く、発芽促進剤のコーティングは行わない。乾籾播種量は条播で 3～5kg/10a、散播で 3～4kg/10a とするよう指導されており、目標苗立ち数は 80～120 本/m²である。湛水条播では、溝が浅いと鳥害や倒伏が増加し、深いと出芽が悪くなるため、溝の深さを 3～4cm とするよう指導されている。

推奨播種時期は、中部地域の中生種で 5 月 1 日から 5 月 25 日までであり、地域及び品種によって、播種終了時期が 10 日程度前後する。

c) その他の作業

基肥は、碎土あるいは代かき前にブロードキャスト又は手播き等で行われることが多い。乾田条播機、湛水条播機ともに、播種と同時に側条施肥が可能な機種もある。追肥は、畦畔多口噴頭付き背負動力散布機や手動式散粒機、あるいは手播きで、窒素を中心に行われることが多い。

乾田直播における乾田期間の雑草防除は、播種直後～出芽前の土壌処理剤、出芽後の選択性除草剤の組み合わせで行われており、わが国と類似している。雑草の多いほ場では、播種前に茎葉処理剤を散布することもある。湛水直播においても、わが国と同様な除草体系がとられているようである²⁰⁾。液剤は主に動力噴霧機で、粒剤は畦畔多口噴頭あるいは多口ホース噴頭付きの背負動力散布機で散布されることが多い。

日本と夏期の気象条件が比較的似ていることもあり、病虫害防除もわが国と同様の方法がとられている。液剤は畦畔散布ノズル付きの動力噴霧機で、粉剤及び粒剤は畦畔多口噴頭あるいは多口ホース噴頭付きの背負動力散布機で散布されることが多い。

収穫は、移植栽培と同様に、自脱コンバイン又はバ

インダで行われている。コンバイン収穫時のわら処理法としては、以前は、カッタで細断してほ場へ散布する方法が多かったが、近年では稲わらの畜産への利用が増えたため、ドロppaではほ場へ落とし、ベアラで収集する方法が増加している。

乾燥は、収穫時期の天候が良好なこともあり、現在でも天日乾燥で行われる割合が多く、乾燥機の利用は少ない。また、出荷は精米で行われることが多い。

3) 我が国水稲作との比較

稲作を取り巻く状況がわが国と類似している韓国で、水稲直播の研究が開始されてから 10 年ほどの短期間に水稲作付面積の 1 割を超える普及を見せている背景は、以下のように整理できる。

その第 1 は、水稲直播栽培への国をあげての取組みの姿勢である。急速に普及が伸びた 1994 年には、千箇所を上回る合計約 6 千 ha の実証ほ場において技術研修が行われたことからわかるように、研究と普及が一体となって直播栽培を推進した結果、急速な普及につながったものと思われる。

第 2 は、わが国に比べ気象条件が直播に適していることである。主要稲作地域が北緯 34 度から 38 度に位置する韓国においては、気温の地域較差がわが国ほど大きくない。また、大陸性の気候のため、播種時期の 4～5 月と登熟～収穫時期の 9 月中旬～10 月に雨が少なく、日照が多い。これらの気象条件は、発芽・苗立ち、倒伏、乾田直播の作業性などの面で有利と考えられる。

韓国では、1996 年当時、2004 年までに、稲作の 50% を直播栽培とする普及目標が掲げられていたが、政府が直播の奨励を行わず、農業者の自主性に任せるに至ってからは、徐々に直播面積が減少し、現在は 7%程度に落ち着いている。

1. 2 我が国の水稲直播

低湿地や谷津田(谷地にある水気の多い湿田)では、粗放的な直播栽培が戦後まで残っていたとされているが、現在の直播の目的の一つでもある「省力化」を目指した近代的な直播技術確立への取り組みは、大正時代から 4 度の歴史がある。古くは大正時代末期

(1920 年代) の労働力不足解消のために、次いで農業近代化を目指した第二次大戦前後 (1940 年代), さらに 1962 年に始まる農業構造改善を支える労働生産性向上技術として、最後が 1980 年代の貿易自由化対応策としての取り組みである。1993 年のウルグアイラウンドにおける米の段階的自由化合意は、日本農業に様々な波紋を投げかけ、ある意味での構造改革の流れを作り出したわけだが、5 度目の直播への取り組みは、まさにここから始まっている。過去 4 度の取り組みについては、他書²¹⁻²³⁾に詳しいので割愛するが、これまでと同様に作物、栽培、農薬、機械、経営の専門家はもちろん、普及機関等も加わって、より実証的なレベルで技術開発が進められた点に、これまでとの違いがある²⁴⁾。

一方で、アメリカ、オーストラリアなど世界の米作地帯の直播が、航空湛水直播を中心として、非常に単純化された機械化体系が構築されているのとは対照的に、我が国では多様な播種様式、播種方法が提唱される中で、実に多くの機械開発が行われ、本研究が開始されるに当たっても、想定する播種方法を絞りにくい混沌とした状況にあった。播種様式や播種方法の呼称が統一されていなかったことも、混迷を深めた大きな原因と見なされ、1997 年には現在の独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 (当時の農林水産省農業研究センター) を中心に、表 1-2 に示した分類が提唱された²⁵⁾。この分類は、播種前の湛水の有無によって直播様式を湛水直播と乾田直播に分け、さらに播種法の特徴によって 8 つの基本類型に区分したものである。

ここで、詳細な検討に入る前に、この研究が開始される 1994 年頃までの直播普及状況を図 1-4 に示す²⁶⁾ (以降については図 5-5)。年次毎の乾田直播面積と

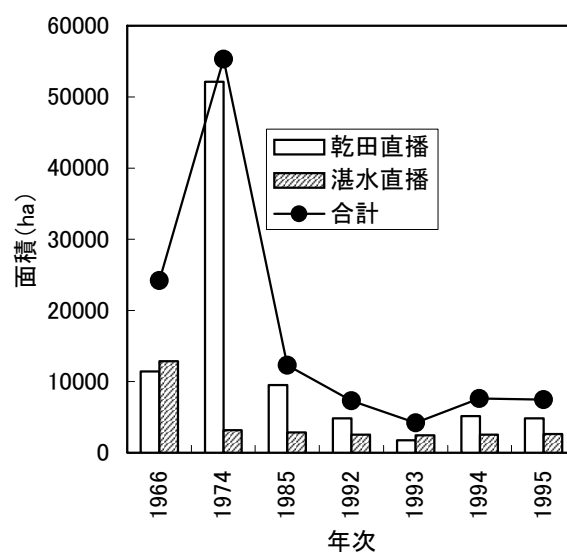


図 1-4 直播普及面積

湛水直播面積が棒グラフで、両者の合計面積が折れ線グラフで示されている。近年では 1974 年の 5 万 5 千 ha をピークに急激に直播面積が減少し、8 千 ha を割り込むまでになった。田植機の普及によって、過酷な田植え作業から解放されたのが大きな契機となったことは間違いないが、田植え作業の省力化にとどまらず、品種、農薬や肥料等の資材、肥培管理など、稲作技術の基盤は、移植を中心に積み上げられ、直播の付け入る隙を作ってこなかったということであろう。

1. 2. 1 播種用機械の分類

前項でも述べたように、播種様式は 8 つに区分される。しかしこれらも、それぞれが幅広い技術内容を包括している。極論すれば、出芽・苗立ちが安定しない理由が、様々な条件の組み合わせによるため、そのどこに着目するかによって、播種様式に多様性が生じたものである。さらに、機械側の特性を加味すれば、播種用機械は図 1-5 のように分類される^{27), 28)}。

表 1-2 直播様式の分類

直播様式	定義	播種法に基づく種類
湛水直播	播種前に湛水を伴う播種様式	①不耕起播種, ②耕起代かき作溝播種, ③耕起代かき土中播種, ④耕起代かき表層播種, ⑤耕起無代かき播種
乾田直播	播種前に湛水を伴わない播種様式	⑥不耕起播種, ⑦耕起播種, ⑧耕起作溝播種

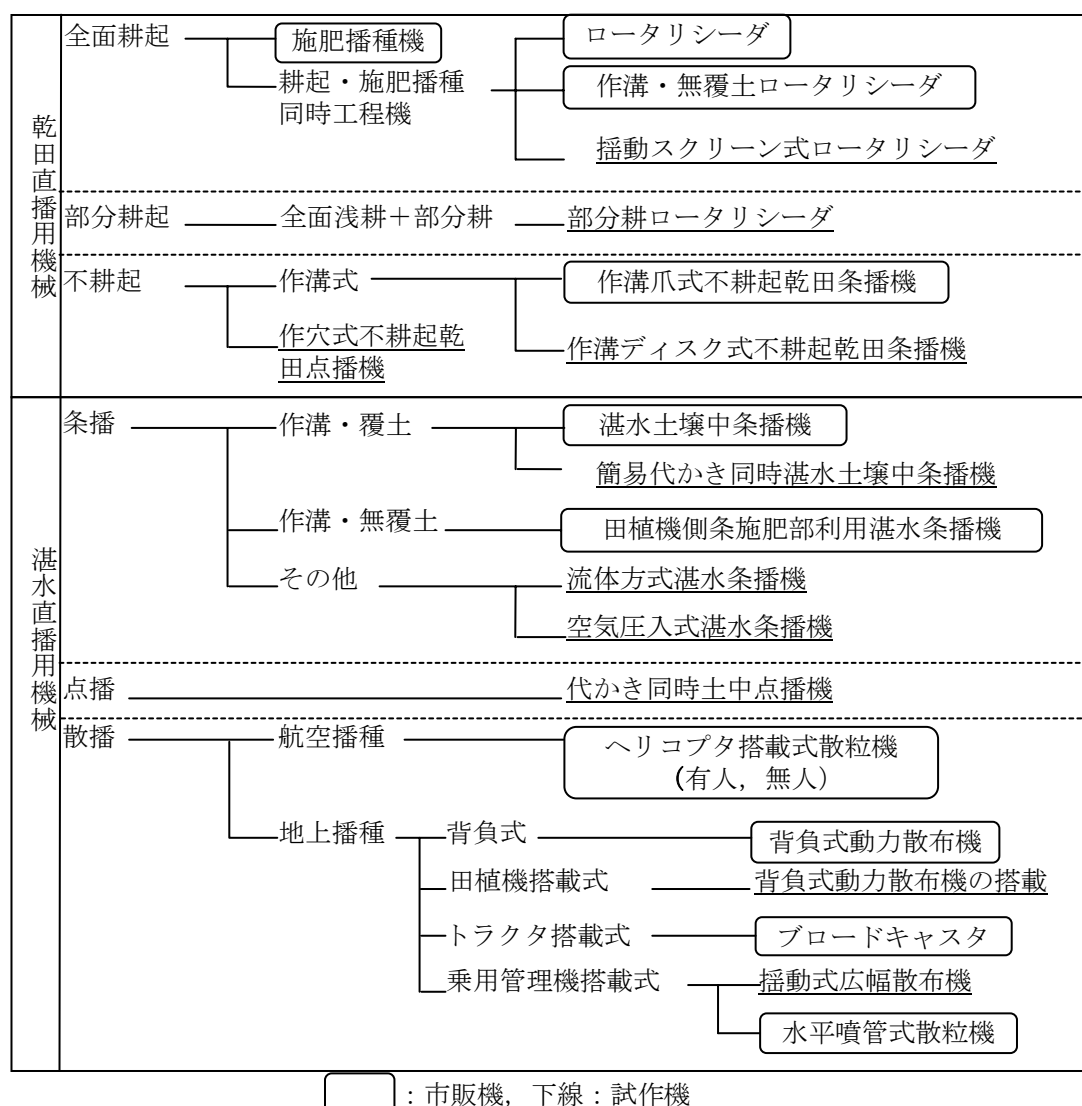


図 1-5 直播用機械の分類

これまで、様々な播種用機械が試作され試験に供されてきた。その開発の主たる目標は当然のことながら、出芽・苗立ちの安定、耐倒伏性の向上にあり、これらを眺めることによって、播種用機械、引いては直播の問題点も浮かび上がってくる。

1. 2. 2 乾田直播用機械

乾田直播は代かき作業を省略でき、基本的には後程紹介する発芽促進剤のコーティングも不要であり、低コスト、省力のメリットは湛水直播に比べて高く、播種深さを 2~3cm 程度にすることができることから、耐倒伏性に優れる利点を有する。また、トラクタ作業機が中心となることから、効率的な機械化体系を構築

できる。しかし、耕うんや作溝・覆土等、土壌を操作する作業が必要となることから、播種作業が天候の影響（特に降雨）を受けやすい。また、播種後についても、降雨等によって出芽・苗立ちが不安定になりやすく、気候や土壌条件が適した地域に限定される^{29), 30)}。

播種機としては耕起の有無によって、耕起乾田直播と不耕起乾田直播に分類され、前者の碎土・施肥播種同時工程機（ロータリシーダ）がもっとも普及している。

1) 耕起乾田条播機

碎土用ロータリに播種機が装着されたトラクタ作業機が主流となっている。ロータリで碎土して播種床を



写真 1-17 揺動スクリーン式アップカットロータリシーダ(左)とチゼルプラウ

形成し、作溝後溝内に施肥・播種し覆土鎮圧する。ロータリによる砕土の精度が播種深さやその後の出芽・苗立ちに影響を与えることから、アップカットロータリを利用したり、国内ではこれまであまり利用されていなかったバーチカルハローと組み合わせたり、ロータリ後方に揺動スクリーンを設置して播種床となる表面土壌の粒度を細かくするなど、砕土精度を高めた機械の開発が行われている。

また、播種作業が降雨の影響を強く受けることから、降雨の影響を受けにくいほ場の耕起方法についてもさまざまな研究が行われてきた。美咲市周辺に（独）農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センターが開発した乾田直播が普及したのは、揺動スクリーン式アップカットロータリシーダを用いて播種精度を高めていることはもちろん、レーザ均平機によるほ場の均平精度の向上、チゼルプラウ（ソイルクランブル）を利用した耕起による土壌水分低減が、作業の安定化に寄与した結果といえよう^{31), 32)}（写真 1-17）。

2) 耕起乾田作溝条播機

一方、播種後の降雨に影響される出芽・苗立ちを安定化させるため、乾田状態で播種直後に入水する方法も行われている。この場合、湛水直播と同様にコーティング種子の利用が前提となることが多く、前掲の揺動スクリーン式アップカットロータリシーダも同じ手法をとっている。この他、砕土作業と同時に強制駆動のそろばん玉状のローラを用いて 5～8cm の作溝を行って施肥播種し、覆土を行わない作溝乾田直播機及び直播方法が開発された。当初は入水後の土壌の自然

崩壊による覆土を想定していたが、作業時の土壌水分条件や土性によって大きく変わること、溝が深いため入水方法によっては種子が条方向に移動してしまうなどの問題も指摘された。そのため、生育期間中に培土を行って耐倒伏性を向上させる試みもなされた。

3) 不耕起播種機

不耕起播種機は、耕起も省略する省力播種法であるが、前作の残さなどによって安定した播種精度を確保しにくい。これまでは、大豆や牧草の不耕起播種機を改造して利用する研究などが行われていたが、安定した性能を発揮するにはいたっていない。そのような中で、岡山県立農業試験場と愛知県農業総合試験場が開発した機械が、相次いでメーカーから市販され、注目されている。

岡山県農業試験場とみのる産業(株)が共同開発したトラクタ作業機は、不耕起ほ場で作溝―播種（及び施肥・農薬施用）―覆土を同時工程で行う機械である。回転爪をアップカット方向に高速回転させ、土を削りながら覆土用ガイド板によって後方に放てきする方式となっている。種子繰出し（施肥も）は接地輪駆動方式で、作溝直後に溝内に落下させ、放てきされた土が溝を埋め戻す。また、2条毎に作溝覆土部を独立懸架させ、土壌表面への追従性を高めて精度の高い播種を可能とし、岡山県内はもとより全国的に普及を伸ばしている。（写真 1-18）

愛知式不耕起播種機も、同じ作溝―播種・施肥―覆土を同時行程で行うトラクタ作業機であるが、V字条の細い溝を作る方式であることが異なる。しかし、最



写真 1-18 作溝爪式不耕起播種機

も大きい差異は、冬季代かきを行って、ほ場の均平性の確保、初期雑草の抑制を行う前作業にあり、前作残さのないきわめて良好な土壌条件で播種作業を行うことができる。現在、愛知県内を中心に冬季代かきが可能な地域のコシヒカリ栽培で普及している。

1. 2. 3 湛水直播用機械

湛水直播は、播種の前後を通じて移植とほぼ同様の作業体系となること、一部の強還元ほ場（有機物等の分解が激しいなど、酸素が著しく欠乏したほ場）を除き、移植可能な水田であれば適用できること、天候の影響を受け難いこと、などから、適地は全国にまんべんなく存在する。しかし、ほとんどの場合代かき作業が必要であること、出芽までを土中もしくは水中の酸素が十分でない環境におかれることから、発芽促進剤（商品名：カルパー）をコーティングした種子を利用することが多く、低コスト、省力の面では乾田直播に劣る^{27), 29)}。

栽植様式によって、条播、散播、点播に分類される。条播機は、代かき後の土壌表面に 30cm 条間で作溝してすじ播きする機械で、田植機等を台車とする作業機が主である。散播機は、条播機と同様代かき後のほ場にいわゆるばらまきする機械で、多くは肥料・粒剤などを散布する機械を汎用的に利用している。点播機は移植と同様の株を形成させることを目的として最近開発された機械であり、詳細は後段で述べる。

湛水直播に関する研究の歴史は長く、昭和 40 年代に湛水土壤中でも種子に酸素を供給できる発芽促進剤の利用技術が確立したことから³³⁾、湛水土壤中直播の方式が可能となり、発芽促進剤コーティング種子を利

用した「湛水土壤中条播機」が田植機メーカーを中心に開発された³⁴⁻³⁶⁾。またこの技術を利用して、有人ヘリコプターによる空中散播が全国各地で試験的に導入された。平成に入ってから、さらに様々なバリエーションの機械が試験的に開発されたが、現在は以下の 3 方式に集約されつつある。

1) 条播機

既存の機械としては、ヤンマー農機(株)と三菱農機(株)から市販されている湛水土壤中条播機がある。代かき後の水田における発芽促進剤コーティング種子の播種を前提とした作業機であり、走行部、油圧制御部などは、田植機とほぼ同じ仕様で構成されている。前者の機械では、フロート底部に取り付けられたそり状の作溝器で溝を切り、播種後に覆土板で溝を埋め戻す、作溝・覆土方式の直播機で、現在は側条施肥（粒状肥料）にも対応している。土壌表面から 10～15mm 程度の播種深さが推奨されている（低温条件では 10mm 以下）が、ほ場の均平性、代かき後の水管理などによって田面の硬さにむらがある場合には、設定した播種深さを常に得ることは難しい。また、土壌表面の硬さなどによって各条毎に覆土板の角度（進行方向に対する角度）を手動で変更できるが、同一ほ場内の土壌硬度むらに対応させることはできない（写真 1-19）。



写真 1-19 湛水土壤中条播機

一方、普及している田植機を有効に利用する安価な製品が(株)クボタより市販されている。田植機の側条施肥部を利用して条播を行う方式で、このアタッチメントは 30cm 間隔に取り付けられた作溝器とその後方に種子を落下させるための落下口からなり、フロート後方に作溝器が配置されるように田植機に取り付け

られる。コーティング種子の繰出しには側条施肥部の繰出部を利用し、基本的に覆土は行わない播種方法を取る。新たな機械導入を伴わないことから、コスト低減に寄与できるが、湛水後の土の自然崩落によって覆土するこの方式は、土壌条件の調整やその後の天候によって覆土の早さや厚さが左右され、安定した出芽・苗立ちの確保が難しいことが指摘され、現在種々の覆土機構が試みられている（写真 1-20）。



写真 1-20 田植機アタッチメント式条播機

以上の他に、研究段階の試作機としては、ゲルの中に催芽種子を混入し、ペースト肥料の繰出しに用いられているチューブポンプを利用して播種する、流体条播機や、代かき後のほ場に作溝しつつ播種する作溝条播機などがあり、いずれも田植機を本機とした乗用型播種機として試験された。

2) 点播機

(独)農業・生物系特定産業技術研究機構九州・沖縄農業研究センター、小橋工業(株)、(株)ササキコーポレーション、(株)サン機工が共同で開発した、代かき同時土中点播機で、代かきと同時に発芽促進剤コーティング種子を機械的に土中に打ち込む、トラクタ用作業機である（写真 1-21）。代かき用ロータリの後部に取り付けられた播種機は、種子ホッパー、繰出装置、鋸歯型打込みディスクで構成され、5～8粒の発芽促進剤コーティング種子を間欠的に繰り出して高速回転するディスクで打撃・加速して代かき直後の田面に一定の力で打ち込むことで、播種深さを確保している。また、間欠繰出によって点播状に播種できることも大きな特徴である³⁷⁻⁴⁰⁾。点播形状は、走行速度、打込み



写真 1-21 代かき同時土中点播機

管高さによって変化するが、これまでの試験では、進行方向に約 9.5cm、幅 4.5cm 程度の楕円形の点播形状となっている。このように出芽深さが確保され、点播状の播種が可能なることから耐倒伏性の向上効果も確認されている⁴¹⁻⁴³⁾。

株形状を維持するため作業速度を高速化しにくい、土壌条件によって播種深さが変動する、次行程用のマーカがなく作業しにくい、などの問題点はあるが、移植栽培に近い播種様式であることもあって現在普及を伸ばしており、高速化、マーカの設置、土壌条件の把握等積極的に改良を重ねている。

3) 散播機

湛水散播では、播種深さをできるだけ確保するために代かき直後のほ場に散播することが多く、一般に粒状肥料や粒剤を散布する機械を利用して播種作業が行われる。もっとも普及している機械が背負式動力散布機であり、安価で汎用性があること、かつ散布幅が 15～20m 程度と広いことなどの利点を有する。しかし、重量物を背負っての作業であること、風の影響を受け強風時には片側散布を余儀なくされることなど、労働負担や散布精度の面で問題を残している。そのため、乗用タイプの播種機⁴⁴⁾や無人ヘリコプターを利用した散播⁴⁵⁾が各地で試験されてきた。

近年開発された乗用管理機に搭載できる水平噴管式散粒機は、粒状肥料や除草剤の散布を目的に開発された機械で、繰出部から繰出された種子は空気によって搬送され、吐出口に設けられた突起に衝突して散播される。作業幅は 10m 程度の機種が多く、トラクタに搭載した試験も実施されている。作業能率が高く、下

方落下方式であることから風の影響を受けにくい、横方向の播種むらがあること、作業幅を細かく変更できないこと、粒状肥料等を想定した繰出部であることから、発芽促進剤の剥離などの問題がある。また、吐出口での種子落下速度が低いため表面播きになりやすく、倒伏の問題も指摘されている。

有人ヘリコプターを利用した発芽促進剤コーティング種子の直播方式に代わって、近年防除用に普及が進んでいる産業用無人ヘリコプターに搭載した散粒機による湛水散播が導入されつつあり、1998 年の実績では有人ヘリ 311ha に対して無人ヘリ 479ha となっている⁴⁶⁾。散粒機はホップとその下部に取り付けられた高速回転するスピナからなり、ホップから落下した種子は遠心力で遠方に飛ばされる。実際には飛行高度 3~4m、速度約 6m/s、散布幅 5m 程度で作業されることが多い。作業はラジコンの操縦者、ほ場の他端側での播種の開始と終了を知らせる補助者、および種子補給のための補助者の計 3 名程度で行われる。播種そのものの能率は非常に高いが、複数名の作業者が必要なこと、現状では積載できる重量が 10~20kg 程度と少ないことから、頻繁な離着陸と補給が必要となり、3 名の組作業で 1ha/h 程度の能率にとどまっている⁴⁵⁾。また、風の影響、隣接ほ場への種子の飛散などの問題が指摘されている。

1. 3 研究の範囲、目的

1. 3. 1 直播様式の選択

これまで述べてきたように、本研究を開始する時点で、すでに多くの播種様式が検討され^{47), 48)}、それに応じた機械開発が盛んに行われていた。特に、乾田直播が普及面積の 7 割を占めていた時期であり、乾田直播と湛水直播のいずれの直播様式をターゲットにするかについては、様々な意見があった。しかし、我が国の気候条件、これまでの稲作機械化体系などを総合的に考慮すると、トラクタ体系による乾田直播が、地域を選ばず全国的に普及することは非常に困難であると思われる。もちろん、乾田直播の省力性や低コスト性が湛水直播を大幅に上回ることは容易に予測し得たが、直播をこれから導入しようとする農家にとって、これまで培ってきた移植栽培技術から乾田直播に

切り替えることは栽培技術的な面で飛躍が大きく、仮に移行段階の技術と位置づけられたにしても、湛水直播を中心として直播の安定化を図ることが第一のステップだと考えた。

湛水直播においては、出芽・苗立ちの安定化と耐倒伏性の向上が課題といわれ、開発途上にある様々な播種用機械の多くは、出芽・苗立ち安定のためには種子を表面近くに播きたいが、耐倒伏性の面からは土中に確実に埋没させたいという、二律背反的な技術開発のため、試行錯誤を繰り返している段階であった。その背景には、発芽促進剤を被覆した種子の播種深さ限界が、それまでの室内試験やほ場試験から 15mm 程度と言われ、被覆種子が地表面に露出しないことも条件に入れると、3~15mm の狭い範囲に播種することが求められていたことがある。散播という省力的な播種法では、このような精度の高い播種深さを、機械側もしくは播種前後の土壌管理で実現することは困難であり、機械側から主体的に土壌に働きかけることのできる播種方法を選択する必要があるとの観点から、湛水土壌中条播機をベース機として、この播種深さ精度を向上させるための高精度条播技術の開発を行うことに決定した。

1. 3. 2 条播技術の既往研究

水田代かき後の土壌中に水稻種子をすじ播きする機械は、発芽促進剤コーティング技術の普及を背景として、1980 年代前半に田植機メーカーを中心に精力的に開発が進められ、現在も数機種の中条播機が市販されている。これらの機械は、繰出部と作溝・覆土部からなる機械で、いずれも作溝後溝内に種子を落下させ、覆土部によって強制的に溝を埋め戻して種子を土中に埋設する方式である。

このような方式では、覆土板は形状の違いはあるものの、溝の側方から土を寄せ戻す作用をするため、土壌の流動性 (= 土壌の硬さ) によって、土の寄り具合が変化する。このため、機体進行方向に対する覆土板の水平角度 (以下、「覆土板角度」とする) を調整できるようにしているが、機械から降りて条毎に覆土板角度を調節しなければならない、実作業では、ほ場条件に合わせて覆土板角度を調節することは少ない。ま

た、ほ場毎に調節を行ったとしても、ほ場内の土壤硬度の変化には対応できなかった。

そこで吉田ら⁴⁹⁾は、ほ場状態を検出して、作溝・覆土部を制御する技術開発を行った。ほ場状態（ほ場表面の凹凸や土壤硬度の変化）の検出は塩ビ製のコロ型フロート式で行い、電動シリンダで可動式の溝切り器及び覆土板を作動させる構成で、溝切り器は上下方向に、覆土板は左右方向に動く。具体的には、土壤が軟らかい場合は溝切り器の深さを深くし、土壤が硬い場合は覆土板角度を調整して覆土量を抑え、ほ場全体を通して安定した播種深度を狙った。市販6条播きの条播機の1条分を改造して試作された機械を供試したほ場試験結果は、土壤が軟らかい条件で対照区（市販機）に比べて適播割合が高い傾向を示した。

ほぼ同時期に石郷岡ら⁵⁰⁾は、土壤硬度を検出して覆土部を制御する技術開発を行った。土壤硬度センサについては、一定の荷重を与えた抵抗棒及びディスクの地表面からの貫入深の検出方法について検討し、夾雑物の引きずりなどもなく貫入深の変化も大きいディスク式を採用した。さらに地表面を検出する接地ローラを追加して、ディスクアームと接地ローラアームの相対的な角度差をポテンショメータで検出可能とした。覆土部は作溝器で作った溝に対して両側から土を寄せる方式で、電動シリンダによって上下方向に稼働する。これらの機構を乗用型6条播き条播機に搭載してほ場試験を実施し、対照機（乗用型6条播き条播機、歩行型4条播き条播機）に比べて、播種深さのバラツキが少ない結果を得た。この機械はその後10台程度パイロット販売された。

1. 3. 3 既往研究の問題点、研究の目的

土壤条件に応じて覆土量を制御し、適正な播種深度を得る前項の技術開発に共通する構成要素は、土壤硬度センサと作溝・覆土部制御である。土壤硬度センサについては、吉田らがコロ型フロート式のセンサを用いているが、この方式ではセンサが搭載されている機体の対地高さや傾きの変化によっても出力が変化し、土壤表面の凹凸や土壤硬度の変化だけを捉えることが難しい。その点、石郷岡らの考案した土壤表面を追従する接地ローラを基準として、土壤硬度に応じて貫

入深が変化する薄い鉄板で作られたディスクとの相対的な高低差を検出する方式は、センサが搭載される機体の動的な変化をキャンセルして土壤硬度情報だけを取り出すことができる点で優れている。しかし、センサを構成する接地ローラやディスクのディメンジョンについてはさらに検討する余地があるものと思われる。例えば接地ローラについては、沈まないこと、跳ねないことが要求されるし、ディスクについては、土壤下層の土塊の影響を受けないこと、土壤表面下30mm程度までの薄い層の硬度を検出できること、が求められる。

また覆土部について、吉田らは作溝器深さと覆土板角度を同時に制御する方法であるし、石郷岡らの方法は覆土板の押さえつけ力を制御する方法であり、それぞれ一長一短があるが、それらが取り付けられているフロート及びその周辺の部材が播種深さ精度に与える影響も大きい。これらの研究のベースとなった市販機は、いずれもフロート及びその周辺部材に作溝器と覆土部が取り付けられ、フロートが地表面に対して水平であるときに、作溝器と覆土部の高さ方向の位置関係が適切になるように設計されているが、両研究ともにフロートに対する検討がなされていない。

以上のことから、農作業受委託や集落営農など、我が国の新しい農業形態を視野に入れた水稻直播栽培の拡大普及を目標として、移植栽培からの移行が比較的容易である湛水条播の安定化を目指して、3～15mm程度の狭い播種深さに安定して播種できる高精度水稻湛水条播技術の開発に着手した。

第2章 土壌表面硬度測定機器の開発

2. 1 土壌表面硬度計の開発

2. 1. 1 土壌表面硬度測定の必要性と慣行測定方法の問題

作溝・覆土を行う湛水条播や、代かき後のきわめて柔らかい土壌条件で播種する湛水散播においては、極浅い（深度 0～50mm 程度）土壌表面の硬さの状態によって播種深さが変化する。そのため、それぞれの播種方法に適した土壌硬度条件を定量的に明らかにするために、土壌表面硬度は重要な測定項目である。また、現場で簡便に測定できることも要求されている。

すでに、下げ振り⁵¹⁻⁵⁴⁾やゴルフボール^{54), 55)}などを用いた種々の方式が利用されているが、下げ振りを用い 10cm の高さから落下させる方式では、土壌硬度が軟らかい条件下では貫入深が大きくなり、必要とする表面近傍の硬度をとらえることが難しいという問題があった。またゴルフボールを用いる方法では、水が深い場合の測定精度、貫入深の読取精度、さらには測定者の手に泥が付くなどの問題があった。これらの問題を解決するため、新たに土壌表面硬度計を開発した。

2. 1. 2 試作した土壌表面硬度計の構造と作用

開発した土壌表面硬度計は、土壌の下げ振り貫入深測定に使われているコーンを利用した装置で、落下位置を下げ振り先端が土壌表面に接する位置とし、そこ

から自由落下させて貫入深を計測する方式の計器である⁵⁶⁾。

装置は図 2-1 に示すように、コーンとその上方に伸びる支柱からなる下げ振り、この下げ振りの高さ方向の位置を固定するための保持部、保持部を開放するためのボタンとワイヤからなる開放部、下げ振りの沈下量を表示する目盛、及びこれらを固定し、軟らかい土壌でも装置全体が沈むことのないフレームから構成される、全長は 200mm、全幅は 150mm、全高は 295mm、全重は 930g である。

コーンは、頂角 44.5°、高さ 55mm のアルミ製で、ステンレス製パイプ（φ8mm）の支柱が付き、総質量は 115g である。これは、従来の下げ振りと同じ頂角及び質量である。下げ振りは、保持部により通常は上下動をロックされており、開放ボタンが押された状態でのみ、ロックが解除されて、上下に自由に移動することができる構造となっている。

フレームはステンレス製で、測定範囲内の最も軟らかい条件（沈下量 55mm）でも装置全体が土中に沈下しない接地圧（0.5kPa）以下となるような底面積を持っている。

2. 1. 3 試験方法

1) 対照測定法

代かき後の土壌硬度を測定する方法としては、数種

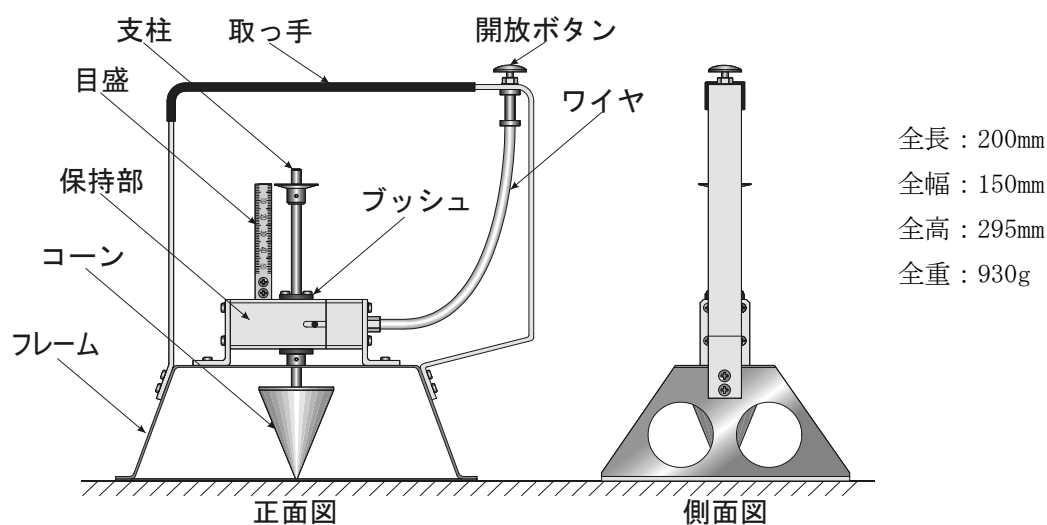


図 2-1 土壌表面硬度計

表 2-1 試験ほ場

測定時期：1997 年 5～6 月			測定時期：1998 年 5～6 月		
測定地区	土性	代かき後日数	測定地区	土性	代かき後日数
山形	L	6～8 日	北海道	CL	3 日
富山	CL	3 日	山形	L	5 日
埼玉	SiC	6～8 日	福島	SiCL	4 日
滋賀 1	CL	11 日	栃木	CL	3 日
滋賀 2	SiC	11 日	埼玉	SiC	7 日
愛知	L	4 日	滋賀	CL	8 日
島根	SiL	3 日	兵庫	CL	5 日

類の方法がある。直径 36mm、高さ 44mm、質量 115g、頂角 44.5° の下げ振りを、土壌表面より 1m の高さから落下させ、そのときの下げ振りの貫入深を測定する方法は、代かき土壌における田植機などの車両の走行性の指標として利用されている（以下、「下げ振り 1m」とする）。この測定方法では、耕盤近くまでの厚い作土領域を測定対象としていることから、中村ら⁵²⁾は 10cm の高さからこの下げ振りを落下させ、より土壌表面近傍の硬さを測定する装置を開発し、湛水直播に必要な土壌硬度について研究を行っている（以下、「下げ振り 10cm」とする）。一方、ゴルフボールを 1m の高さから落下させ、その沈下量から土壌の硬度を測定する方法⁵⁷⁾は、現場で簡易に測定可能な方法として提唱されたものであり（以下、「ゴルフボール 1m」とする）、比較のために 10cm の高さから落下させる区を設けた（以下、「ゴルフボール 10cm」とする）。なお、本研究で用いたゴルフボールは、直径 42.7mm、質量 42.9g のラージサイズである。

以上の測定方法の他に、代かき土壌の表面硬度を測定する方法としてペーン式土壌硬度計があり、田植機の国営検査などで利用されている。この測定方法では、常に一定深さの土壌を対象とした測定が可能であり、測定原理も土壌の粘弾性と深い関わりを持つことから、最も目的に適う測定方法であるが、土塊や夾雑物が存在する条件では再現性のあるデータを得にくく、構造が複雑で安価な価格で実用化することが難しいと判断されたため、室内試験での定性的な比較を行うにとどめた。

一方、開発した土壌表面硬度計の測定は、次の手順

で行った。

- ①下げ振りを当て止め位置まで引き上げた状態にして、土壌表面に静置する。
- ②開放ボタンを押し、下げ振りを自由落下させる。
- ③下げ振りが停止した状態（ほぼ 1 秒後）で、ボタンを離し、下げ振りを固定する。
- ④装置を目の高さに引き上げ、貫入深を読み取る。

なお、開発した土壌表面硬度計は、3 カ年にわたる研究の中で改造を繰り返したが、測定の基本となる下げ振りの仕様及び落下高さは変更せず、主に取扱性を中心とした改良を図ったものであることから、以下の試験方法及び結果の考察においては同一のものとして取扱った。

2) 供試ほ場及び測定項目

表 2-1 に示すように 1997 年 5 月から 11 月にかけて、7 ヲ所の代かき後ほ場において、開発した土壌表面硬度計、下げ振り 1m 及び 10cm 及びゴルフボール 1m 及び 10cm の貫入深を同一地点付近で測定して比較した。また、1998 年 5 月から 6 月にかけては、7 ヲ所の代かき後ほ場において、1997 年と同様に比較試験を実施した。

いずれのほ場においても、ほ場面積の半分程度が水面から露出する、播種作業の直前に測定を実施した。

2. 1. 4 結果と考察

1) 従来法との比較

1997 年及び 1998 年の代かきほ場における測定結果を図 2-2 に示す。この図は横軸に開発した土壌表面硬

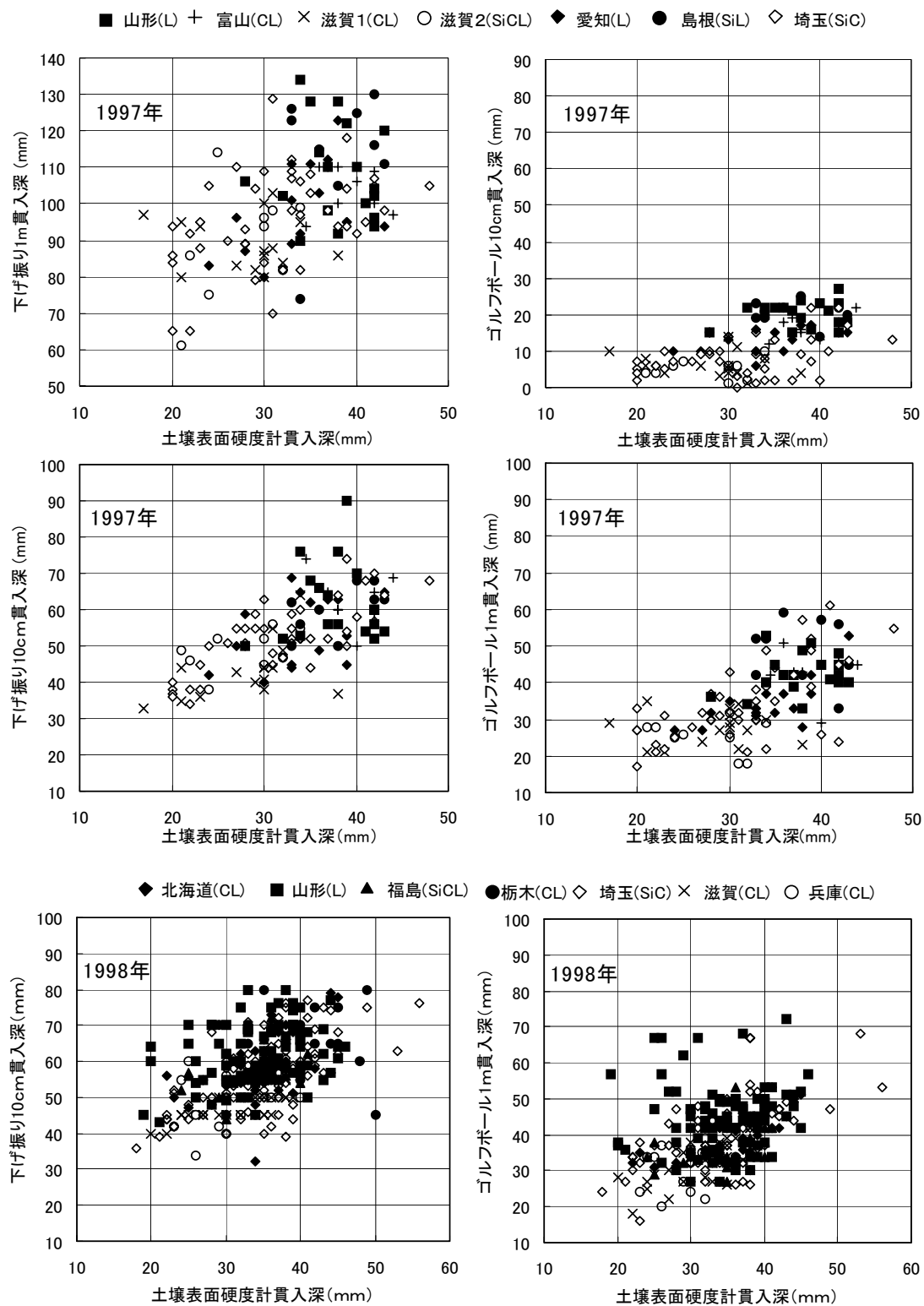


図 2-2 従来法と開発した硬度計の測定値の比較

度計の貫入深を取り、縦軸に同一地点付近の対照測定法による測定値をプロットしたものである。下げ振り 1m 及び 10cm の貫入深の測定範囲はそれぞれ 61～

134mm, 32～90mm, 土壌表面硬度計による貫入深の測定範囲は 18～49mm であり、土壌表面硬度計貫入深は下げ振り 1m に比べて約 7cm, 下げ振り 10cm に比較し

て約 2cm 低い値を示した。このように、測定範囲が湛水直播にとって重要となる深度 0～50mm となること、落下高さの設定が確実にできること、読みとり精度が高いこと、などから、開発した土壌表面硬度計は、既存の測定手法に比べて、湛水直播機の精度に及ぼす土壌表面の硬度をより確実に測定していると考えられる。一方、ゴルフボール 1m 及び 10cm の貫入深範囲はそれぞれ 18～61mm、0～29mm で、ゴルフボール 1m については土壌表面硬度計貫入深と同程度の貫入深であった。これらの傾向は、1997 年と 1998 年で同様であり、土性による違いも見られなかった。

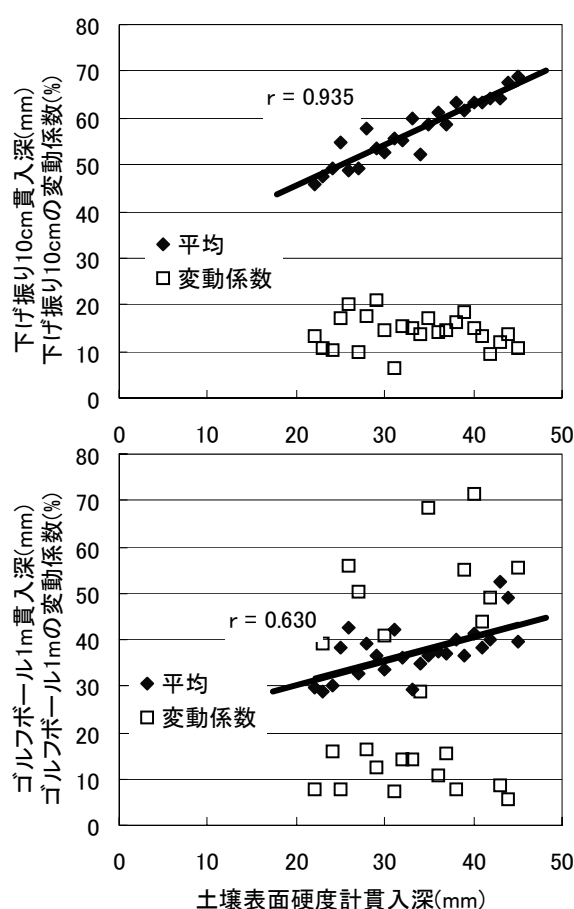


図 2-3 土壌表面硬度計を基準とした従来法の特徴

図 2-3 は、図 2-2 に示した下げ振り 10cm 及びゴルフボール 1m の両年の全データについて、土壌表面硬度計の貫入深 22mm から 45mm までの 1mm 刻みのデータに対応する（横軸）、対照測定法による貫入深の平均値及び変動係数（縦軸）をプロットしたものである。下げ振り 10cm と土壌表面硬度計では、落下高さが異

なるが、測定に利用する下げ振りがほぼ同様の仕様であるため、両方式は高い相関を示し、また変動係数も 15% 程度で安定している。ただし、下げ振り 10cm では最大 90mm 程度まで貫入しており、目標としている深度 0～50mm 程度の土壌表面近傍の硬度を測定しているとは言い難い。

一方ゴルフボール 1m は、土壌表面硬度計との相関が低く、変動係数も大きくばらつく傾向を示した。これはゴルフボールが土壌表面と衝突する際に受ける反力が下げ振りに比べて大きいことによるものと推測され、土壌表面の水深の影響を受ける可能性が高いものと思われた。

なお、ベーン式土壌硬度計については、一連のほ場試験とは別に、人為的に硬度を調整した土槽を準備して土壌表面硬度計と比較した。両者は高い相関を示し、土壌表面硬度計がベーン式と同様に土壌表面の粘弾性を測定できているものと推測された。

以上の結果から、開発した土壌表面硬度計は、下げ振り 10cm 高さ及びゴルフボール 1m 高さから落下させる慣行方法に比べて土壌表面近傍の硬度を高い再現性で測定できる装置であると認められた。なお、コーン高さが 55mm であることから、貫入深がこれを超えた場合の精度は 0～55mm までの貫入深とは異なる傾向を持つものと推測され、この範囲内での測定を推奨するものである。

2) 取扱性と能率

従来法の下げ振りやゴルフボールを用いた方法では、竹尺やスケールを組み合わせ、基準となる土壌表面位置を目視等によって確認しつつ、貫入深や露出高さを測定する必要がある。例えばゴルフボールの場合は、2 本のスケール（15cm 程度）を用いて、1 本のスケールを土中に貫入したボール頂部に地面に水平になるように接触させ、もう 1 本のスケールでスケールから地面までの距離を測定する方法が一般的である。そのため、精密な測定が困難で、補完的な測定器具が公立農業試験場などで利用されている例もある⁵⁷⁾。開発した土壌表面硬度計では、ほ場表面への静置、下げ振りの落下、貫入深の読み取り、下げ振りの初期位置への移動、という一連の測定をすべて片手で行うこと

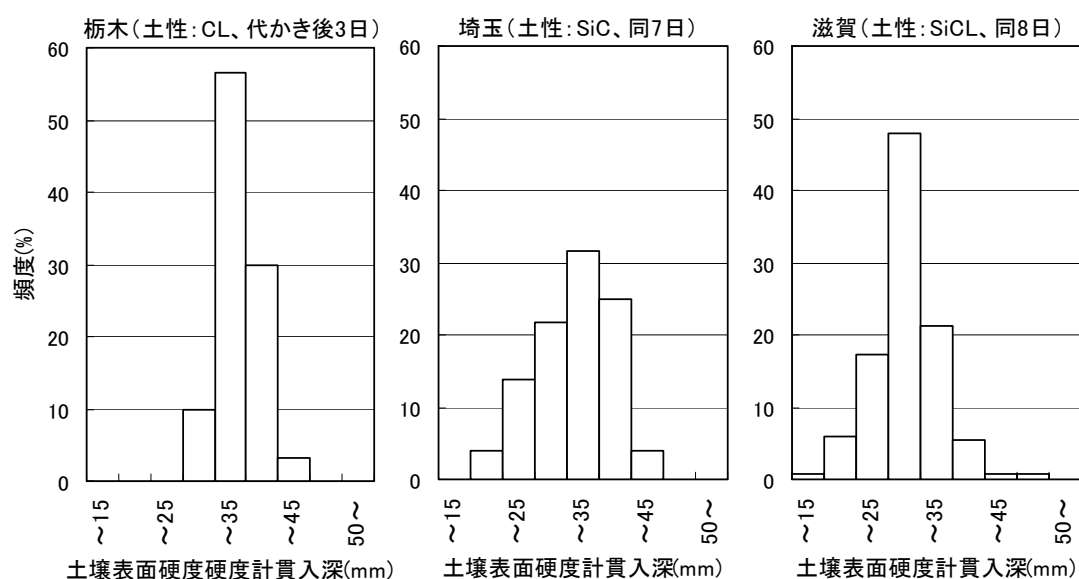


図 2-4 試験ほ場の土壌表面硬度計貫入深の分布例(1998 年)

ができることから、上記方法でのゴルフボールによる測定では同一地点での 10 点の測定に 180 秒を要したのに対し、99 秒と約 2 倍の能率で測定可能となった。また、ゴルフボール法のように手が汚れず、一人で記帳も行うことができた。

3) ほ場における土壌表面硬度のむら

図 2-4 は、開発した土壌表面硬度計を用いて播種時のほ場をランダムに測定した結果を示したものである(1998 年)。横軸に土壌表面硬度計貫入深範囲(5mm 刻み)を、縦軸にその頻度をプロットした。土性や代かき程度などの異なる、栃木(土性: CL, 代かき後 3 日)、埼玉(土性: SiC, 同 7 日)及び滋賀(土性: SiCL, 同 8 日)の 3 ほ場において、ほ場全体の半分程度の土壌が露出している条件で測定を行った。この図から、土性、均平度や代かき程度によって、ほ場内の土壌表面硬度のばらつきの程度に差があることがわかる。栃木のほ場のように、土壌表面硬度計貫入深 30~40mm の狭い範囲に 9 割近くが集中する均一なほ場の場合は、機械側の設定を単純にしても高い播種精度を確保できるものと予想されるが、このような条件のほ場は少ない。多くのほ場は、埼玉や滋賀のほ場のように、土壌表面硬度がほ場内でばらつき、作溝や覆土といった機械側の設定条件を一定にした場合は、十分な精度を得られないことが容易に想像される。また、栃木の

ように土壌表面硬度が均一なほ場でも、晴天などの蒸散効果が高い天候条件では、播種作業中に硬度が変化する場合もある。

2.2 リアルタイム土壌表面硬度センサの開発

湛水直播においては、土質、代かきの程度などによって播種作業時の土壌条件は大きく異なり、また、均平程度によって、同一ほ場内で土壌硬度にばらつきが生じる。特に、土壌の表層(深度 0~30mm 程度)を対象として作溝・覆土を行う条播では、土壌表面硬度が播種深さの精度に大きく影響を与えることから、ほ場の均平性の向上と均質化が望まれているが、現状では限界がある。

前章の土壌表面硬度計は、代かき土壌で作業を行う田植機、湛水直播機などのための適正な土壌条件の設定や試験条件把握用の測定装置として有効であるものの、土壌の表面硬度に応じて播種深さを制御することに応用することは難しい。そこで、土壌表面硬度計との相関が高く、播種機に搭載してリアルタイムで土壌表面硬度を測定するセンサを開発した。

2.2.1 センサの構造と作用

試作したリアルタイム土壌表面硬度センサは、図 2-5 に示すように、基準輪、センサ輪とポテンシオメータで構成されている。

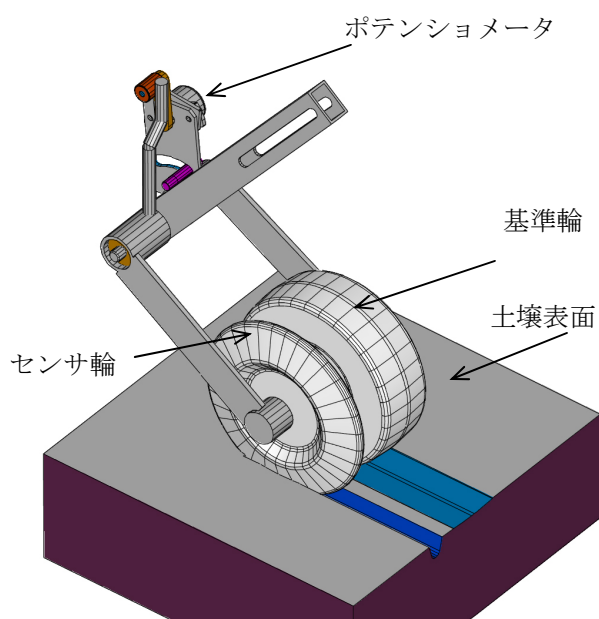


図 2-5 試作リアルタイム土壌表面硬度センサ

円筒形の基準輪は回転しながら土壌表面に接地追従し、基準表面を検出することができるもので、軟らかい土壌条件でも沈みにくく、土壌の付着が少ないプラスチック（PE）を利用した。一方、そろばん玉状のセンサ輪は、土壌表面硬度に応じて沈下量が変化する。これらは同一軸を中心として上下する構造となっていることから、センサ輪の沈下量に応じて、センサ輪と基準輪の支持軸の間に角度差を生じる。この角度差をポテンシオメータによって検出して土壌表面硬度を測定するものである。

なお、基準輪は自重で土壌に接地するが、センサ輪は写真 2-1 に示すように、バネによって荷重を減ずることができる構造とし、バネ長さの調整によって荷重を段階的に変化させることができる。

2. 2. 2 試験方法

1) 回転土槽における試験

生研センター附属農場の水田土壌（土性：SiC）を充填した、外径 5m、幅 50cm のドーナツ型の回転土槽に、写真 2-1 に示すように供試センサを取り付けて実験を行った。なお、回転土槽内の土壌は、円周方向（進行方向）に 3 分割して異なる表面硬度に調整し（硬区、中区、軟区）、基準輪、センサ輪ともに、重複して同じ場所を通過しないように通過位置を調整しながら

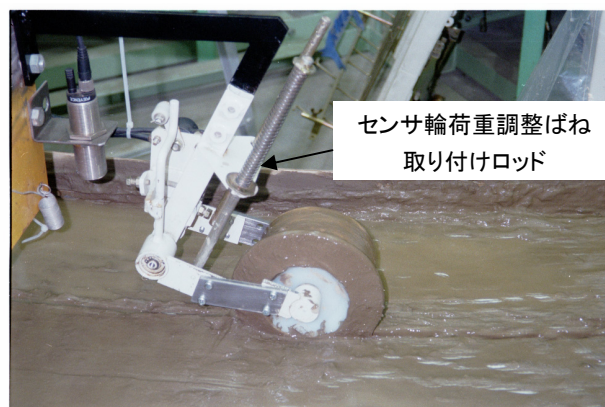


写真 2-1 回転土槽に設置したリアルタイム土壌表面硬度センサ



写真 2-2 条播機に搭載したリアルタイム土壌表面硬度センサ

試験を実施した。

土壌表面硬度計による測定範囲は、田植機では植付爪が土壌に作用する深さ（植付深さに相当）であり、湛水直播機などでは作溝器や覆土板が作用する深さ（30mm 程度まで）となることから、0～45mm 程度を想定する必要がある。この範囲でリニアな変化を示すセンサ輪の直径及び荷重の適正な仕様を求めるため、センサ輪直径についてはφ120mm（小径：5.4N）、150mm（中径：5.9N）、180mm（大径：7.6N）の 3 種類を供試し、荷重については、自重（バネ無し）を基本としたが、バネによる荷重調整を行って、荷重の影響を観察した。また、速度の影響を調べるため、回転土槽の上がりの程度を確認するため、別途基準輪にポテンシオメータを取り付けて地表面と基準輪取り付けアームのなす角度を検出して、基準輪高さを算出するとともに、超音波センサを用いて土壌表面のプロファイルを測定して比較した。

基準輪とセンサ輪の角度差検出用ポテンシオメー

タ出力, 基準輪高さ測定用ポテンシオメータ及び超音波センサ出力については, サンプリングインターバルを 50ms として測定した。基準となる土壌表面硬度は, 調整した異なる土壌硬度区毎に土壌表面硬度計により 50 点を測定してその平均値とした。

2) ほ場における試験

写真 2-2 に示すように, 供試センサを試作高精度水稻湛水条播機に取り付け, 生研機構附属農場の代かき水田(土性: SiC)内を走行して, 基準輪とセンサ輪の角度差検出用ポテンシオメータの出力を測定した。また, センサ通過近傍の土壌表面硬度を土壌表面硬度計で測定し, 比較した。なお, ポテンシオメータの出力は 50ms のサンプリングインターバルで測定し, 20 点毎に平均した値を 1 データとした。試作高精度水稻湛水条播機の作業速度がおおよそ 1m/s であることから, この方法は 1m 間の平均土壌硬度を示すことになり, 基準とする土壌表面硬度計による測定も, 1m 内で 5 点を測定してその平均値とした。

2. 2. 3 結果と考察

1) 回転土槽試験

図 2-6 は, 3 段階に土壌硬度を調整した回転土槽 1 周をリアルタイム硬度センサで測定した時の試験例で, 横軸に経過時間, 縦軸に基準輪とセンサ輪支持軸の角度差検出用ポテンシオメータの出力値, 基準輪高さ測定用ポテンシオメータ及び超音波センサ出力値をプロットした。図中①, ②, ③はそれぞれ硬区, 軟区, 中区に相当する。また, ポテンシオメータ出力値については, 10 個ずつ 0.5s 間のデータを移動平均して平滑化したデータもプロットした。

基準輪については, いずれの条件の試験においても, 土壌表面に若干の段差がある場合でもバウンド等の現象は見られず, 土壌表面に追従して作動した。また超音波センサによる土壌表面プロフィールと基準輪高さを比較した結果, 土壌表面硬度 8~30mm の硬区及び中区では沈下は認められなかったが, 土壌表面硬度 30mm を越える軟区では最大 5mm 程度の沈下が見られた。またこれらの傾向は, 走行速度の影響を受けることはなかった。

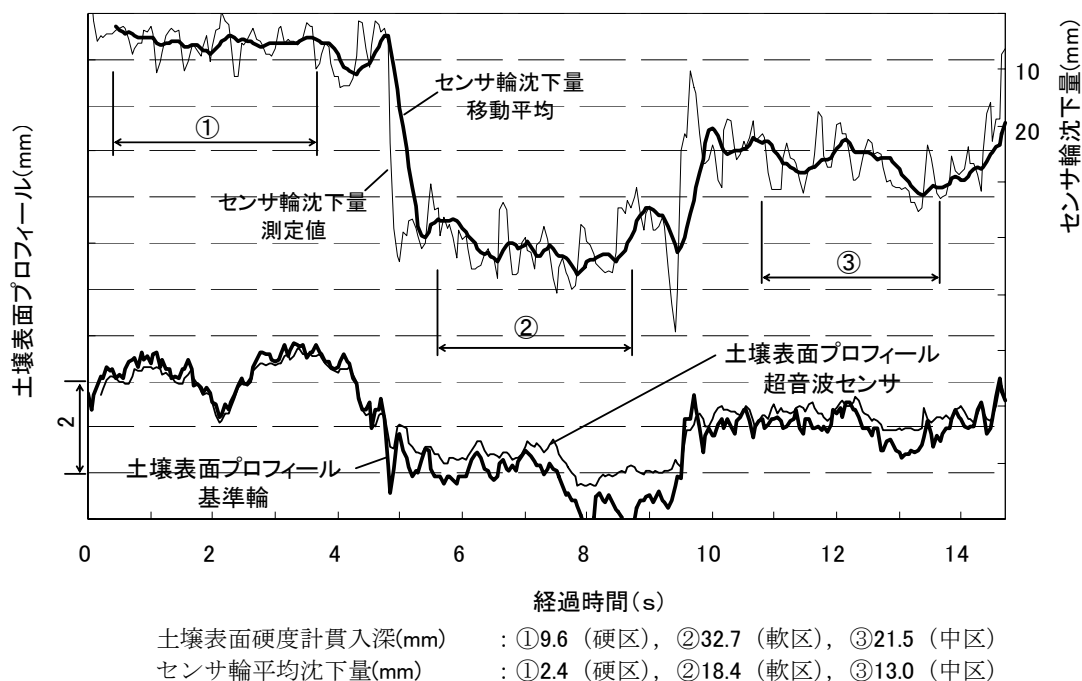


図 2-6 回転土槽試験におけるリアルタイム土壌表面硬度センサの計測例
(作業速度 1.0m/s 相当)

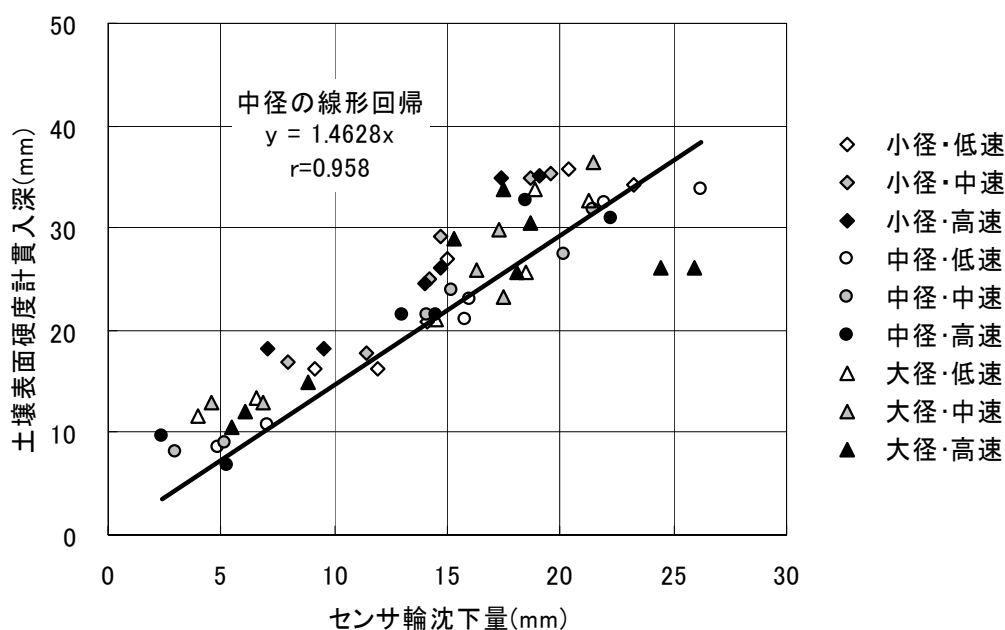


図 2-7 回転土槽試験における土壌表面硬度計の測定値とリアルタイム土壌硬度センサのセンサ輪沈下量の関係

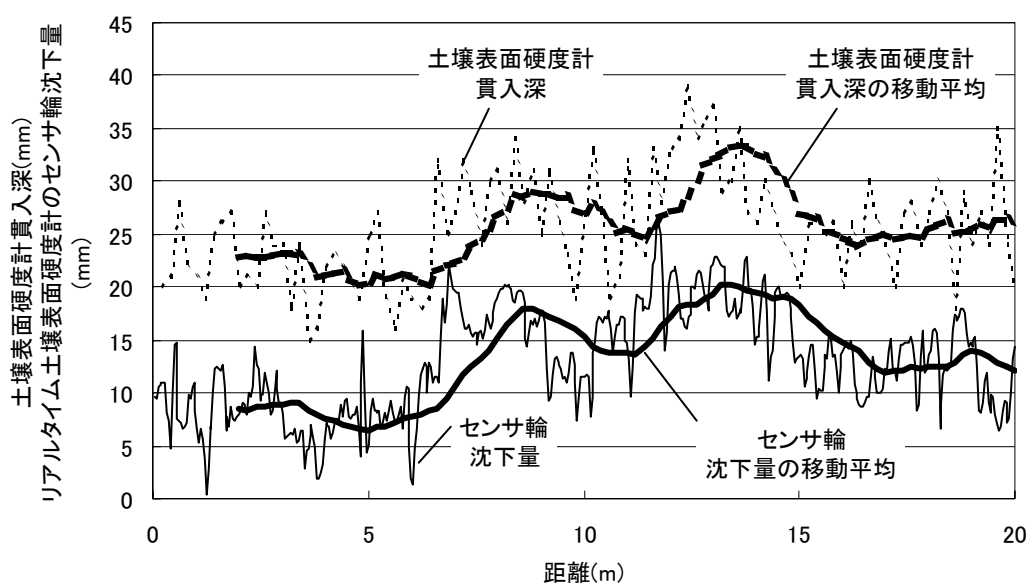


図 2-8 ほ場試験における土壌表面硬度計の測定値とリアルタイム土壌硬度センサのセンサ輪沈下量の計測例

図 2-7 は、土壌表面硬度計で測定した硬度とセンサ輪沈下量との関係をプロットしたものであるが、バネによる荷重調整を行っていない試験区のみとした。いずれの径のセンサ輪も土壌表面硬度計の測定値との相関が高く、実用に供しうるものと思われた。またバネで荷重を減少させた場合は、いずれのセンサ輪径でも、出力値が不安定になる傾向を示した。3 種の径のうちでは、中径が走行速度の影響を受けにくく安定し

ており、基準輪と同外径であることから、最終的に荷重 5.9N の中径センサ輪を選定することとした。このときの土壌表面硬度計測定値との相関係数は、切片を 0 としたとき、 $r = 0.958$ となった。

2) ほ場試験

図 2-8 は、土壌表面硬度計貫入深及びリアルタイム土壌表面硬度センサのセンサ輪沈下量を、同一地点で

比較したものである。いずれの測定値も、短い距離の間では土塊や夾雑物の影響を受けて大きな変動を示したが、土壌表面硬度計については 5 個、すなわち 1m 毎の移動平均で、またリアルタイム土壌表面硬度センサについては 20 個、すなわち 1m/s の作業速度であれば 1m 毎のデータについて移動平均することにより平準化され、両測定装置の測定値間に一定の傾向が認められた。

図 2-9 にリアルタイム土壌表面硬度センサの測定データ 20 個の平均値（進行距離で 1m に対応）とその近傍で測定した土壌表面硬度計測定値 5 個の平均値（1m 間に対応）の関係をプロットした。図 2-7 と比較すると、土壌表面硬度が硬い条件で、リアルタイム土壌表面硬度センサ沈下量に比べて土壌表面硬度計貫入深が大きく、軟らかい条件で逆の傾向を示した。原因は特定できないが、実際のは場では、表面にわら等の夾雑物が露出していたり、土塊が表層付近に局所的に分布していること、さらには両測定器が厳密には同一地点を測定していないこと、などが影響しているものと推測された。回転土槽試験結果に比べると相関は劣るが、移動平均などを利用してデータを平準化させることにより、土壌表面硬度に応じた各種機械制御を行うためのセンサとしては、十分に実用的な範囲で利用可能であると思われる。

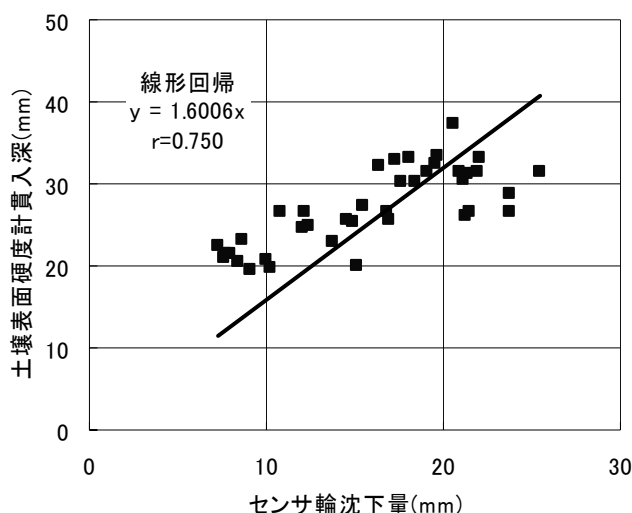


図 2-9 は場試験における土壌表面硬度計の測定値とリアルタイム土壌硬度センサのセンサ輪沈下量の関係

2. 3 まとめ

安定した播種深さで作業できる湛水土壌中条播機を開発するため、播種機の性能に大きく影響を及ぼすと考えられる土壌表面硬度を正確に測定又は検出する機器として、土壌表面硬度計とリアルタイム土壌硬度センサを試作し、試験を実施した結果、以下の結論を得た。

① 試作した土壌表面硬度計は、頂角 44.5° 、高さ 55mm、質量 115g（支柱を含む）の下げ振り先端を地表面に接する位置から自由落下させて、そのときの貫入深を読み取る方式である。通常は下げ振りが固定され、開放ボタンを押したときだけ上下動が自由となる機構、土壌表面に静置するだけで正確な位置決めができる装置構成などによって、測定者が手を汚すことなく片手で操作でき、下げ振りやゴルフボールを用いる従来法に比べて土壌表面近傍（深度 0～55mm）の土壌硬度を高い再現性のもとで能率的に測定することができた。

② 土壌表面を追従する基準輪と土壌硬度に応じて沈下量に変化するセンサ輪のそれぞれの支持軸の角度差を検出して、連続的に土壌表面硬度を検出するリアルタイム土壌表面硬度センサは、基準輪、センサ輪の外径を 150mm、それぞれの荷重を 9.8N、5.9N とすることで、速度によらず安定した検出が可能となり、室内基礎試験においては土壌表面硬度計と高い相関を示した。また、は場における使用においても、問題なく作動することを確認した。

第3章 高精度水稻湛水条播機と覆土量制御

3. 1 開発機の設計と試作

3. 1. 1 開発目標

以下に示す開発目標を定め、開発機の設計と試作を行った。

- ① 田植機本機もしくは水田用栽培管理ビークル（以下、「水田ビークル」とする）に搭載し、従来機（6条）以上の能率向上を達成するため播種条数を8条以上とする。
- ② 対象種子は発芽促進剤コーティング種子とし、幅広い播種量に対応して、かつ均一な密度で繰り出すことができるようにする。
- ③ 播種深さ精度の向上を図るため、土壌表面への追従性を高めたフロートを装着するとともに、覆土板角度制御機構を持たせる。
- ④ 地域や品種に応じて、2段階に播種深さを変更できるようにする。
- ⑤ 播種と同時に側条施肥を行うことのできる作業機とする。

3. 1. 2 開発機の概要

開発機は、水田ビークル直装式の、播種条数8又は10条の条播機4機種で、播種部と側条施肥部からなる。播種精度に大きく影響を与える、播種部の作溝・覆土機構を中心に開発を進め、側条施肥部については、市販機の性能が高水準に達していることや実用化時点での低廉化等に配慮し、各社の市販品を利用することとした。開発機の仕様を表3-1に、側面図を図3-1に示す。

1) 播種部

播種部は種子繰出部と作溝・覆土部からなる。

a) 種子繰出部

種子繰出部は種子ホップ、繰出装置、種子導管で構成されている。種子ホップは、1条当たりの容量が7～10L程度で、2倍重コーティング種子（発芽促進剤と種粕の乾物質量比が2:1）を3kg/10a（乾物換算）の播種量で、補給なしでほぼ50a以上を播種すること

表 3-1 開発機の仕様

機体の 大きさ	全 長(mm)	3,140～3,650
	全 幅(mm)	2,200～2,290
	全 高(mm)	1,490～1,560
	質 量(kg)	868～1,050
播種部	対 象 種 子	コーティング種子
	ホッパ容量(L)	35～75
	繰出部形式	ブラシ付き横溝ロール式 傾斜目皿式
	繰出部個数	8 又は 10
	ロングフロート 全長(mm)	900
	ショートフロート 全長(mm)	750
	作溝部形式	シュー式 (フロート下面取付け)
	作 溝 深 さ 調 節 方 式	作溝器底面への プレート取り付けによる 2段階調節式
	覆土部形式	回転ブレード式 (フロート取付け)
	覆土板角度 調 節 方 式	土壌表面硬度に応じた 角度自動制御式
	条間・条数	30cm, 8条又は10条
側 条 施肥部	播 種 量 (kg/10a)	1.5～11 (乾物換算)
	ホッパ容量(L)	80～100
	繰出部形式	横溝ロール式、傾斜目皿式、ねじポンプ式
	施 肥 量 (kg/10a)	10～70

ができる。繰出装置には、ブラシ付き横溝ロール式と傾斜目皿式があり、いずれもロール回転数もしくは目皿回転数に比例して高精度の繰出しが可能で、2倍重コーティング種子で1.5～7kg/10a（乾物）、1倍重コーティング種子で2～11kg/10a（乾物）の範囲で播種量を調節できる。種子導管は1機種を除いて繰出装置直下にはほぼ垂直に伸び、自然落下によって作溝・覆土部に供給される方式が多いが、全体のレイアウトの関係から繰出部と作溝・播種部までの距離が長い1機種（図3-1(a)）については、電動ブローによる空気搬送方式が採用されている。いずれの機種も、種子導管と作溝・覆土部の接合部付近に、種子詰まりを検出する衝撃センサ等が取り付けられ、種子詰まりが生じた場合に警報を発する方式となっている。

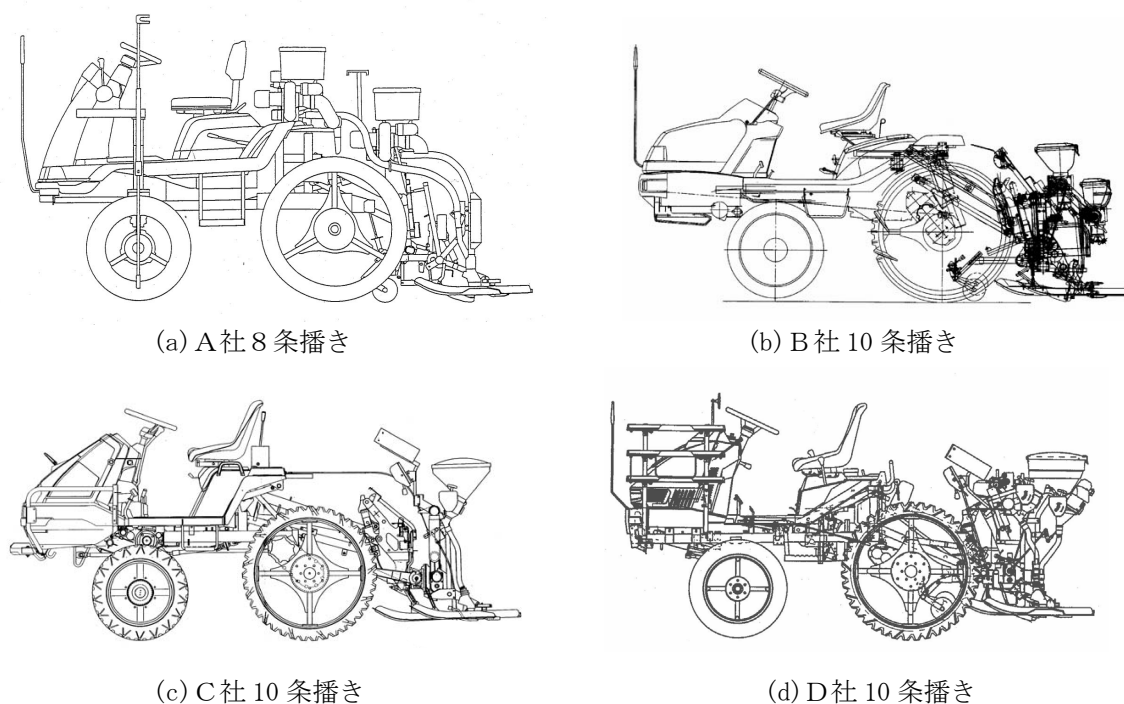


図 3-1 開発機の側面図

b) 作溝・覆土部

作溝・覆土部はフロートとフロートに装着される作溝器、覆土板角度制御機構及び土壌硬度センサで構成される。

フロートには、写真 3-1 に示すようにロングフロートとショートフロートの 2 種類があり、幅及び作溝器

などの主要部品の取付け位置は共通で、長さのみがロングフロートで 900mm、ショートフロートで 750mm と異なる。センサフロートは、田植機において作業機の対地高さを一定にするためのセンサの役割をするフロートで、フロートの進行方向の傾きが一定となるように作業機高さを制御しており、苗の植付深さ精度を

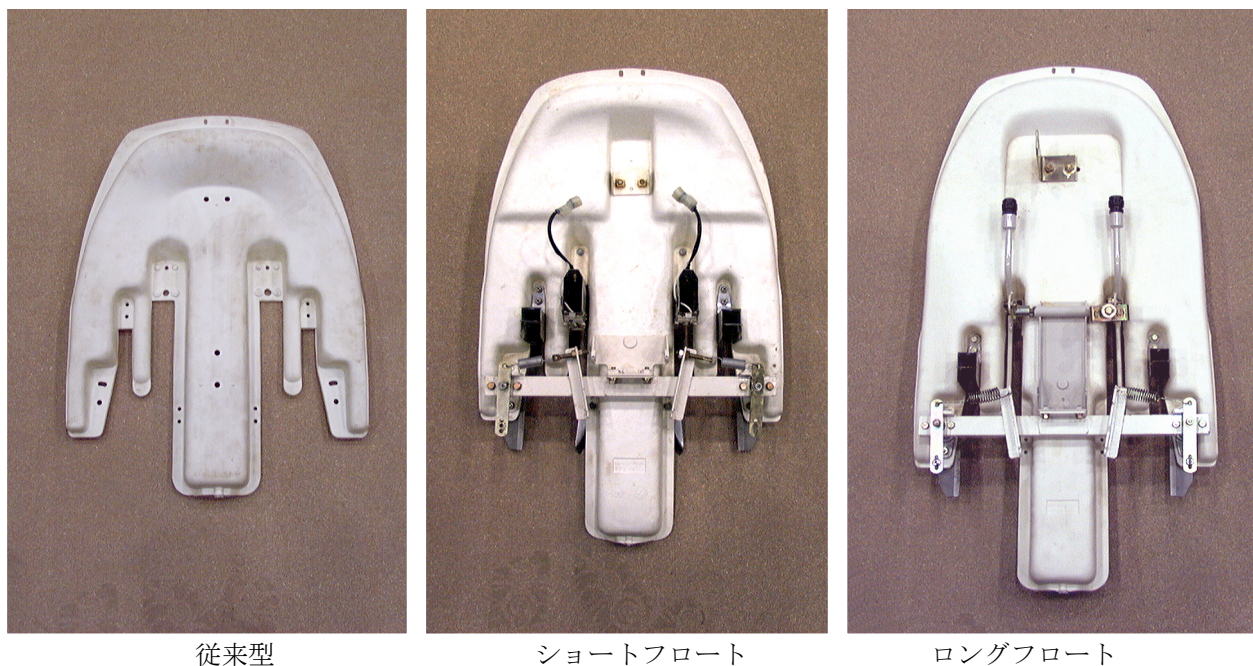


写真 3-1 開発したフロート

高めるための重要な要素となっている。しかし、苗の植付深さに要求される精度は cm 単位であるのに対して、播種機に求められる精度は数 mm 単位であり、田植機と同様のフロートで高さ制御を行っても、要求する精度を得ることは非常に難しい。特に、作溝器と覆土板は進行方向にある程度離して取り付けの必要があり、土壌表面に対してフロートに角度がつくと、作溝器と覆土板の対地高さが変化して作溝・覆土精度を低下させる。そこで、開発機のカブフロートについては、作業状態でフロート角度がほぼ水平を保ち、ほ場の細かな凹凸に対してあまり敏感に反応しないように、従来型に比べて全長を、ショートフロートで 150mm、ロングフロートで 300mm 長くして接地面積を拡大した。また、センサフロートとしてロングフロートを利用したが、図 3-1(a)のみショートフロートを利用した。さらに、従来のフロートでは、土壌が硬い場合に覆土板が浮き上がったため、覆土板取付部を中心に肉厚を厚くして剛性を向上させた。

播種溝作溝器は、写真 3-2 に示すようにナイロン製の幅約 21mm、全長 86mm のシュー式で、高さは 21mm（フロート底面からの高さ 16mm）である。播種時の気温や品種などの地域性に応じて、播種深さを簡単に調節できる仕様とするため、厚さ 6mm のプレートねじ一本で底面に取り付けることができる構造とし（写真 3-2 矢印の部分が延長プレート）、播種深さを 2 段階に設定することが可能となっている。

覆土板はフロート後端部に取り付けられたアルミ合金製のプレートで、溝の片側から土を寄せて埋め戻す機能を持つ。開発機の覆土板は、覆土性能を向上さ

せるために、市販のものより全長を 40mm 長くするとともに形状にも変更を加え（図 3-4 のⅢ型を使用）、角度を簡単に調節できる機構とした。覆土板角度制御機構は図 3-2 に示すように構成され、リアルタイム土壌表面硬度センサ⁵⁸⁾の出力値をもとに電動シリンダを制御して覆土板駆動軸を回転させる。この駆動軸にはワイヤが取り付けられ、駆動軸の回転に合わせてワイヤが移動する。一方、覆土板は、覆土板回転軸を介してフロート側に取り付けられたブラケットに装着され、バネで覆土板角度が小さくなる方向（覆土板角度が 0°）に引っ張られている。ワイヤの他端は回転アームに接続され、バネに抗して覆土板角度を大きくする方向に働く構造となっている。

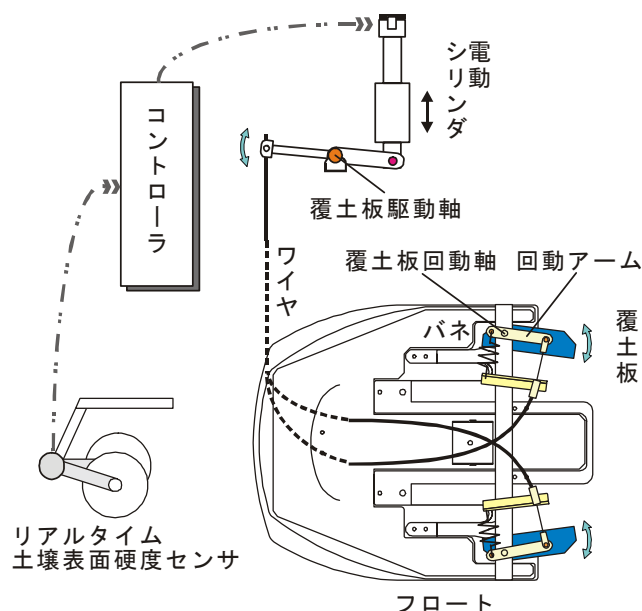


図 3-2 覆土板制御機構の構成

2) 側条施肥部

前述したように、側条施肥部は、田植機に装着されているものと基本的に同一であり、ホップ容量 80～100 L で、繰出部には、粒状肥料については横溝ロー式及び傾斜目皿式の 2 種類、ペースト肥料についてはねじポンプ式が用いられている。粒状肥料対応の開発機のカブフロートに取り付けられている施肥溝作溝器は、Y 社製湛水土壌中条播機に採用されているプラスチック製の、最大幅 22mm、最大深さ 45mm が利用されている。



写真 3-2 作溝器

3) 機体構成

全体の構成は側条施肥田植機に類似しており、作業機の昇降、作業の開始・停止、さらには種子や肥料の調量など、基本的な操作や取り扱いは側条施肥田植機に準じて行うことができる。

3. 2 作溝・覆土部の基礎試験

開発機の最も大きな特徴は、追従性の高いフロートに搭載した覆土板角度制御機構にある。これは、開発したリアルタイム土壌硬度センサの出力値をもとに覆土板角度を自動制御して、常に適正な覆土状態を得ることを目的としている。そのためには、良好な覆土状態を得ることのできる覆土板形状及び土壌表面硬度に対応した適正な覆土板角度を明らかにする必要がある、以下の基礎的な試験を実施した。

3. 2. 1 試験装置

試験装置の構成を写真 3-3 に示す。図 3-3 に示す模擬フロートは、開発機のカートを模した金属製で、作溝器及び覆土板の取付け位置は、市販機の仕様に準じた。作溝器は市販機の部品を用い、覆土板については市販機の部品より全長を 40mm 長くした、図 3-4 に示す 3 種類のものを試作して供試した。この模擬フロートを生研機構附属農場の水田土壌（土性：SiC）を充填した、外径 5m、幅 50cm の回転土槽の外側にある定置フレームに取り付け、位置の調整を行った後に試験を実施した。



写真 3-3 模擬フロートを用いた覆土試験風景

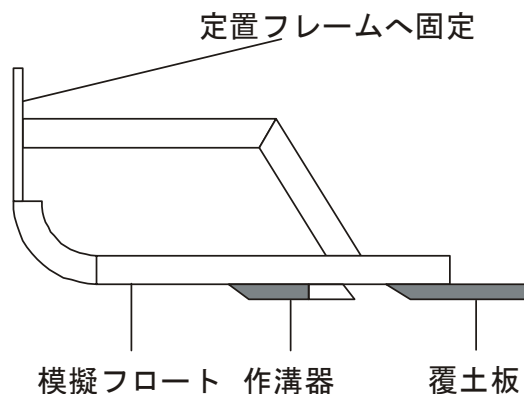


図 3-3 模擬フロート

3. 2. 2 試験方法

試験は、土壌の表面硬度を数段階に調整し、覆土板角度（機体進行方向に対する覆土板の水平角度：図 3-4 参照）を数段階に変えて行った。

土壌の硬さ調整は、表層 4~5cm 程度を適当量の水と混合かく拌して、土槽全体が均一になるようにして行った。その後均平板を用いて、土槽全体の高さが一定になるように調整した。同一土壌条件の試験が終了すると、再度水を加えて土壌表面硬度を調整し、均平作業を行った。模擬フロートは、底面が土槽表面に密着するように接地することを基本としたが、フロートを土槽表面より浮かせた場合、及び沈ませた場合の土の挙動も観察した。土槽の速度は、通常の播種作業速度の範囲である 0.7 及び 1.0m/s に設定した。

各試験時の土壌表面硬度を土壌表面硬度計で測定し、覆土状態については目視を中心に観察評価するとともに、高速度ビデオカメラで溝に落下した種子（人力供給）の動きと覆土板による土の流れを観察した。

3. 2. 3 結果と考察

土壌表面硬度の設定範囲は、土壌表面硬度計の測定値で 8~50mm と、直播作業時の実際の土壌硬度に比べて、広い範囲の設定とした。試験結果を表 3-2 に示す。

1) 覆土板形状の影響

I 型の覆土板を供試した、土壌表面硬度が硬い条件の試験（試験番号 1~3）では、覆土板角度を増加させると覆土が良好となる傾向を示すものの、覆土板角度が約 25° を超えると、図 3-4(a) に示す覆土板後端部のエッジ（図中○印部）が、作溝器によって作られ

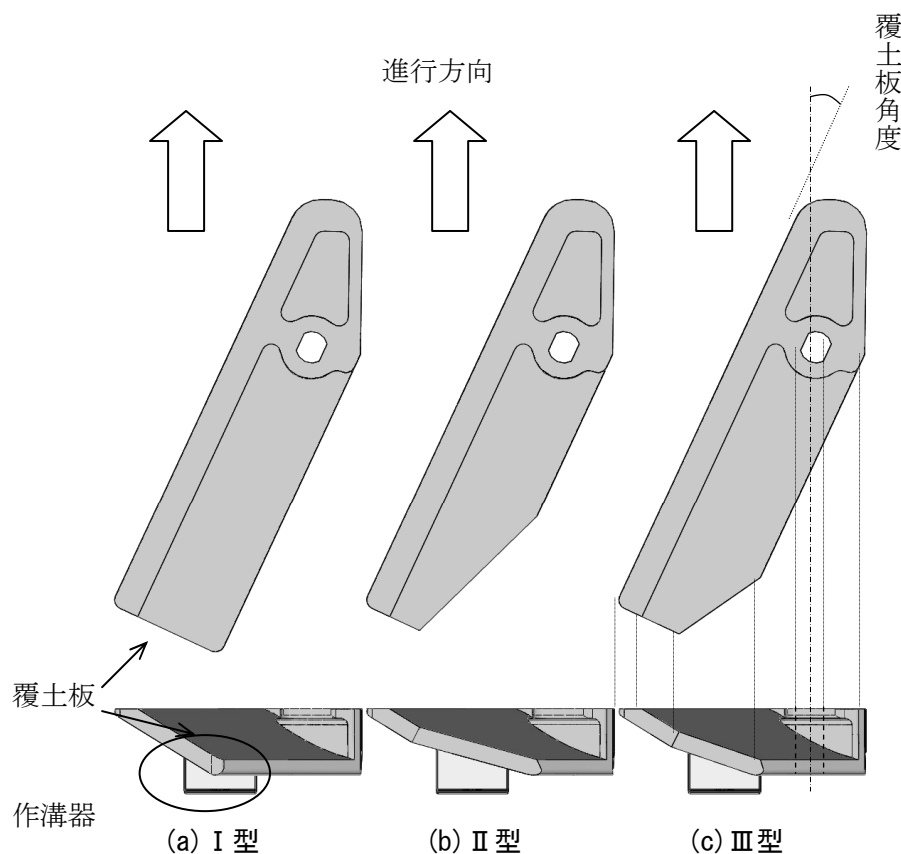


図 3-4 供試覆土板の平面図(上)と背面図(下)

た溝と重なることが明らかとなった。作溝器と覆土板のこのような位置関係では、溝内に播種された種子が覆土板の作用で溝外に移動させられる可能性があることから、後端部を斜めに削ったⅡ型に代えてその後の試験を行った。これによって覆土板角度が大きい場合の作溝部への影響が軽減され、硬いほ場条件でも安定した覆土を確保することが可能となった。またⅢ型でも、ほぼⅡ型と同様の覆土傾向を示した。

2) 速度の影響

速度の影響を評価した試験(表 3-2 中:試験番号 9・10, 12・13, 20・21, 25・26, 30・31)の結果からは、同一覆土板角度で速度を変化させても、覆土状態に差異は認められなかった。しかし、基本的には覆土板の土への作用速度が変化すれば土の移動量は変化すると推測されることから、0.7~1.0m/s 程度の速度範囲では影響の度合いが少ないと考えるべきであろう。ただし、作業開始時や枕地作業時は低速作業を余儀なくされることもあり、覆土状態に影響を及ぼす可能性は高いものと思われた。

3) 滞水の影響

土壌表面に 10mm 程度滞水して水の影響を調べた試験(試験番号 16・17)では、滞水していない条件(試験番号 12)と変わらない結果となった。むしろ硬いほ場条件では、表面水によってフロートが滑りやすくなり、フロートの追随性も向上して作溝、覆土も安定するものと考えられる。

4) フロート高さの影響

フロートを、基準となる土壌表面より浮かせた場合と逆に沈み込ませた場合について、覆土の様子を観察した(試験番号 19~24)。沈めた場合は、8mm 程度でも、標準(試験番号 19・20)とほとんど変わらないが、幾分覆土過剰となる傾向を示したが、浮かせた場合には、8mm 程度でもほとんど溝が閉じない状態となり、覆土に大きな影響を与えることが明らかとなった。以上の結果からも、フロートの土壌表面追従性が播種精度に大きく影響することが推測された。

表 3-2 回転土槽における覆土試験結果

試験 番号	覆土板 種類	土壌表面硬度		覆土板 角度 (°)	回転土 槽速度 (m/s)	覆土 評価	備考
		平均 (mm)	標準偏差 (mm)				
1	I 型	8.1	1.8	20	0.4	×	フロート底面と覆土 板取付面のクリアラ ンス4mmに設定
2		9.0	1.4	20	0.7	×	
3		9.0	1.2	31	0.7	×	
4	II 型	8.4	2.2	26	0.7	○	
5		8.5	1.1	20	0.7	×	以降1mm
6		9.2	1.1	26	0.7	×	
7	III 型	15.3	3.2	20	0.7	○	
8		13.9	1.2	14	0.7	×	
9		16.6	2.9	14	1.0	×	
10		14.2	2.0	14	0.7	×	
11		18.0	5.1	14	0.7	○	
12		17.6	3.0	14	1.0	○	
13		16.3	3.7	14	0.7	×	
14		19.5	2.1	20	0.7	×	
15		19.4	2.6	8.5	0.7	×	
16		18.7	2.6	14	0.7	○	表面滞水10mm
17		18.7	2.6	14	0.7	○	表面滞水10mm
18		24.6	5.1	8.5	0.7	×	
19		28.7	3.3	14	0.7	○	
20		29.0	2.6	14	1.0	○	
21		26.9	3.7	14	0.7	○	
22		31.1	1.0	14	0.7	×	フロートを8mm浮かす
23		27.3	3.5	14	0.7	○	フロートを8mm沈める
24		31.9	2.2	14	1.0	×	
25		39.5	2.7	2.5	0.7	×	
26		39.5	2.7	2.5	1.0	○	
27		39.5	2.7	8.5	0.7	○	
28		39.5	2.7	14	0.7	×	
29		50.0	—	2.5	0.7	○	
30		50.0	—	-3.3	0.7	○	
31		50.0	—	-3.3	1.0	○	
32		50.0	—	8.5	1.0	×	

○：覆土良 ×：覆土不良

5) 土壌表面硬度と覆土板角度の関係

図 3-5 に、土壌表面硬度と覆土板角度の関係をプロットし、そのときの覆土状態を 2 段階に評価した結果を示した。図中の○印は覆土が良好と判断されたもので、①回転土槽 1 周分の溝が 7 割以上閉じていること（局所的な土壌条件の違い等によって土の流動性が変動することから、7 割程度を目標とした）、②また過剰覆土による盛り上がりが少ないことを評価の基準とした。×印はこの基準に当てはまらなかったものである。全体の傾向としては、土壌表面硬度が硬い場合は覆土板角度を大きくすることによって、また軟ら

かい条件では逆に覆土板角度を小さくすることによって良好な覆土量となる傾向を示した。

この図をさらに細かく見ると、土壌表面硬度計貫入深 10～50mm に対応する、良好な覆土状態を得ることができる覆土板角度は 25～0° 程度となり、覆土板角度の調整はこの角度範囲で行えばよいことが明らかとなった。また、土壌硬度と覆土板角度はほぼリニアな関係を示すものの、図中で標準と示した土壌表面硬度 15～30mm では、覆土板角度を 15° 程度に固定した方が良好な覆土状態を得られる傾向を示した。

3. 3 覆土板角度制御アルゴリズムの開発

覆土試験の結果を踏まえ、リアルタイム土壌表面硬度センサの出力に応じた覆土板角度の制御方法を検討した。

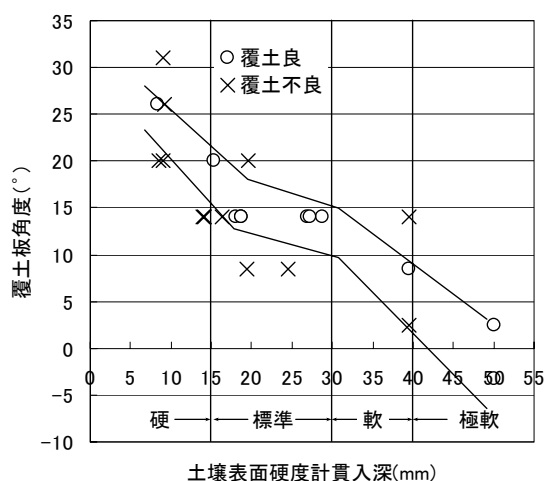


図 3-5 土壌表面硬度と適正覆土板角度の関係

3. 3. 1 覆土板角度の制御アルゴリズム

図 3-5 に示した回転土槽試験の結果を踏まえると、土壌表面硬度に応じてリニアに覆土板角度を制御する方法も考えられる。しかし 3 章でも述べたように、ほ場試験における土壌表面硬度データを精査すると、50ms 毎のデータはかなり大きな変動を示した。そのため、それらに対応して覆土板角度を制御すると、角度の変動が大き過ぎたり、応答遅れによりかえって追従性を悪化させることが懸念された。そこで、表 3-3 に示すように土壌表面硬度を 4 つに区分し、それぞれに対応した覆土板角度をあらかじめ設定し、段階的に制御する方式とした。すでに述べたように、図 3-5 から、「標準」として区分した土壌表面硬度 15～30mm においては覆土板角度を 15° に保つことによって良好な覆土状態を得られることから、「標準の土壌表面硬

表 3-3 覆土板角度の制御方法

区分	土壌表面硬度計測定値 (mm)	リアルタイム土壌表面硬度センサ沈下量 (mm)	覆土板角度 (°)
硬	15 以下	10 以下	20
標準	15～30	10～20	15
軟	30～40	20～30	10
極軟	40 以上	30 以上	5

度に対して 15° の覆土板角度を対応させる」ことをベースとして、その他の領域の覆土板角度を決定した。土壌表面硬度が 40mm 以上の「極軟」では当初 0° の設定としたが、枕地旋回後の播きははじめにおいて、枕地部分が概して軟らかいこと、作業速度が遅く、覆土が不十分となる傾向があったことから、緩い角度 5° を持たせることとした。また、土壌表面硬度 15mm 以下の「硬」では、25° を超える覆土板角度で抵抗が増大し、覆土板が取り付けられているフロート後端が浮き上がり、覆土板が作用しない現象が見られたことから、最大角度を 20° に制限することとした。図 3-6 に開発したアルゴリズムのフローチャートを示す。

リアルタイム土壌表面硬度センサのサンプリングインターバルは 50ms である。3 章において述べた、土壌表面硬度計とリアルタイム土壌表面硬度センサの関係を調べたほ場試験では、センサ出力を 20 個毎に移動平均（作業速度 1.0m/s の条件で、1m 間の平均となる）して、20cm 毎に行った土壌表面硬度計測定値 5 個の移動平均（1m 間の平均）と比較し、平滑化したデータ間で相関が高いことを示した。一方、制御装置側では制御信号を送出してから電動シリンダが作動し終わるまでには約 500ms を要している。そこで、センサ出力の移動平均に用いる個数を 10 個とし、電動シリンダの制御時間と制御に用いるデータの時間をマッチングさせた。また、センサを覆土板作用点から 75cm 以上前方に取り付けることにより、応答遅れの問題を解消するような制御アルゴリズムとした。

3. 3. 2 覆土板制御の性能確認

1) 試験方法

写真 3-3 に示した試験装置の前方に、図 3-7 のようにリアルタイム土壌表面硬度センサを取り付け、前述した制御アルゴリズムで覆土板角度を制御する試験を回転土槽で行った。土槽の速度は、0.4、0.7、1.0m/s の 3 段階に設定して試験を実施した。

土壌硬度の調整は前章と同様、水を加えてかく拌混合後均平して行った。また、覆土の評価についても前章と同様の評価基準で行った。

試験中は、リアルタイム土壌表面硬度センサの出力、実際の覆土板角度を測定するとともに、目標覆土板

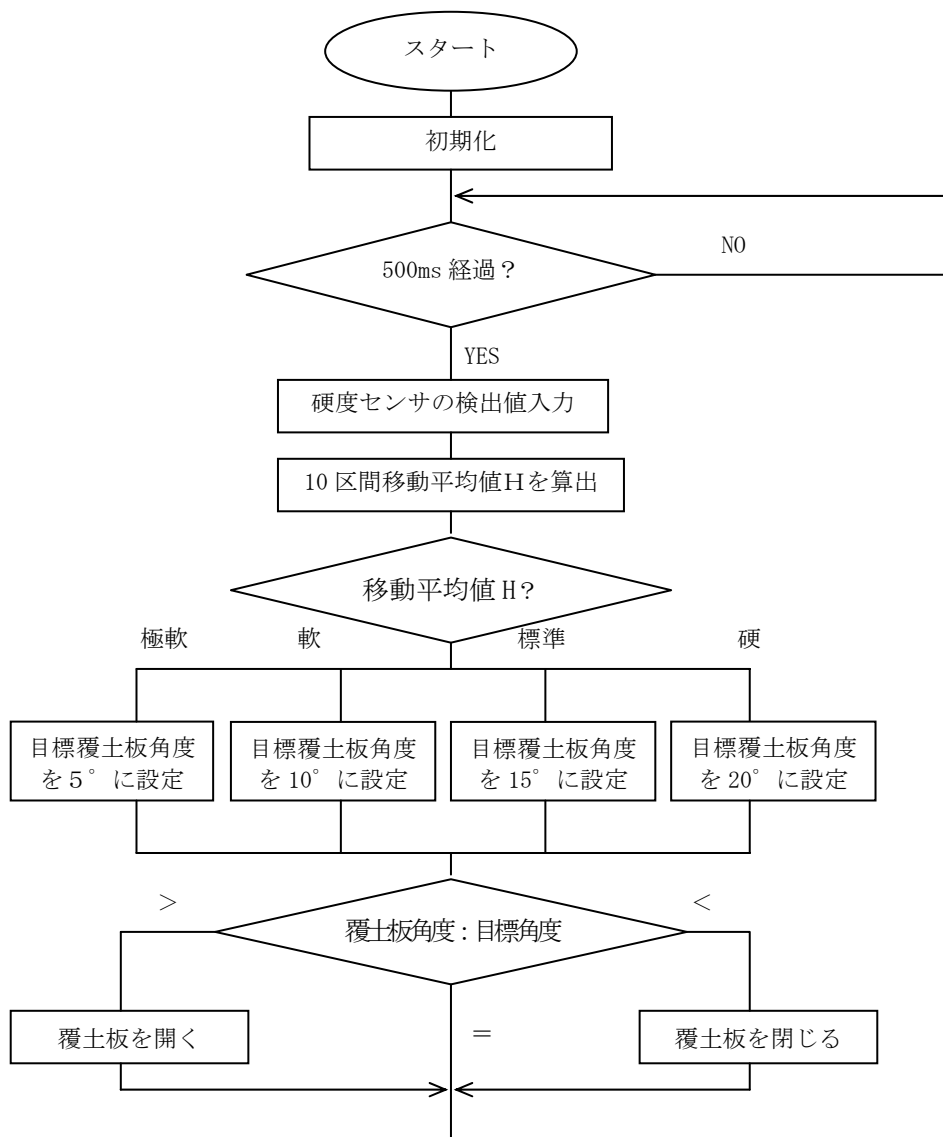
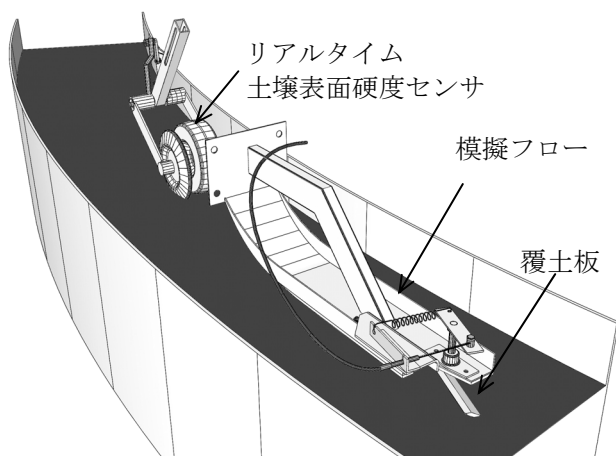


図 3-6 覆土板角度の制御フローチャート

図 3-7 回転土槽における
覆土板角度制御試験装置の構成

角度及び電動シリンダ制御信号 (+1: 伸ばす方向の制御, -1: 縮ませる方向の制御) を測定データと連動して記録した。

2) 試験結果

土槽速度 1.0m/s の試験結果を図 3-8 に示す。リアルタイム土壌表面硬度センサ沈下量は、センサ輪の土壌への沈下量を示し、沈下量が多いと土壌が軟らかく、少ないと硬いことを表している。目標覆土板角度は、表 3-3 に示した土壌表面硬度範囲に対応した覆土板角度をもとに、移動平均をとった土壌硬度から導き出されたもので、この目標値と実際の覆土板角度を比較して、目標値に近づけるように電動シリンダを制御している。

リアルタイム土壌表面硬度センサの値を移動平均することによって、瞬間的な極端な変化や、細かい振動を消去でき、なめらかな土壌硬度のプロフィールを得ることができた。また、この値をもとにした目標覆土板角度も、制御アルゴリズムに従って設定され、過剰な制御がなされていないことが明らかとなった。なお、実際の覆土板角度の変化は設定覆土板角度に比べて遅れがある。これは、演算、電動シリンダ制御に要す

る時間遅れであり、これらを加味して、前述したように、センサを覆土板作用点より 75cm 前方に取り付けた。

3. 4 ほ場土壌硬度マップの作成

3. 4. 1 試験方法

1998 年 5 月 6 日に播種試験を実施した、滋賀県葛籠郡の農家ほ場（土性：SiL）において、開発機のリ

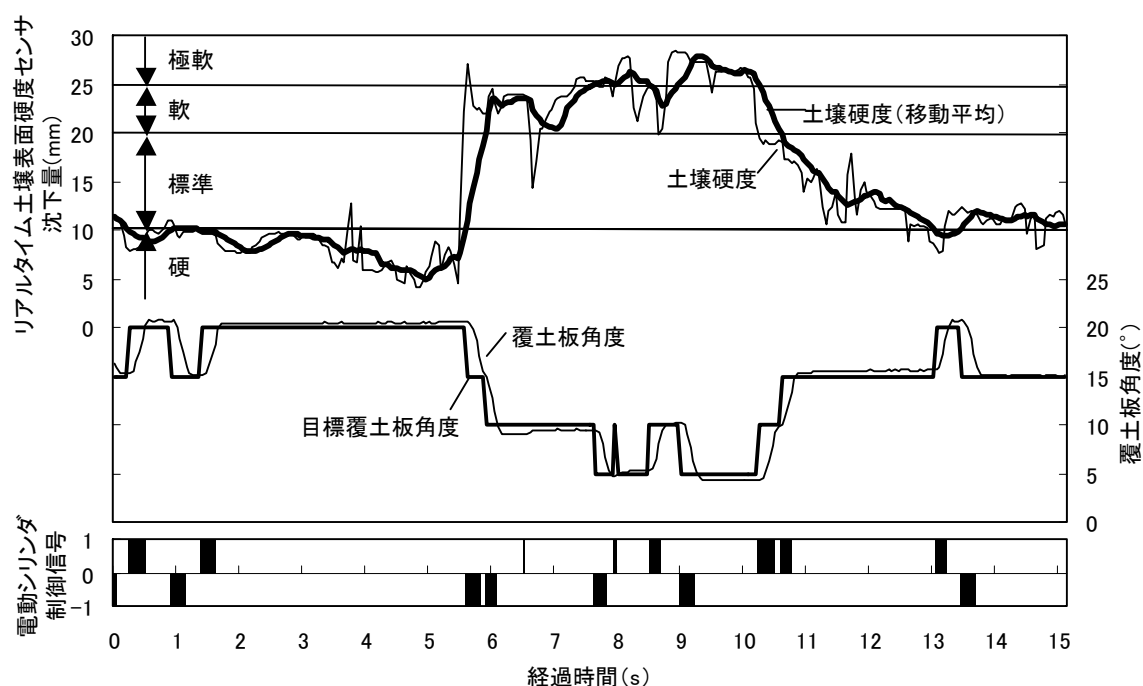


図 3-8 回転土槽での覆土板角度制御の確認試験結果例

作業幅方向：68m

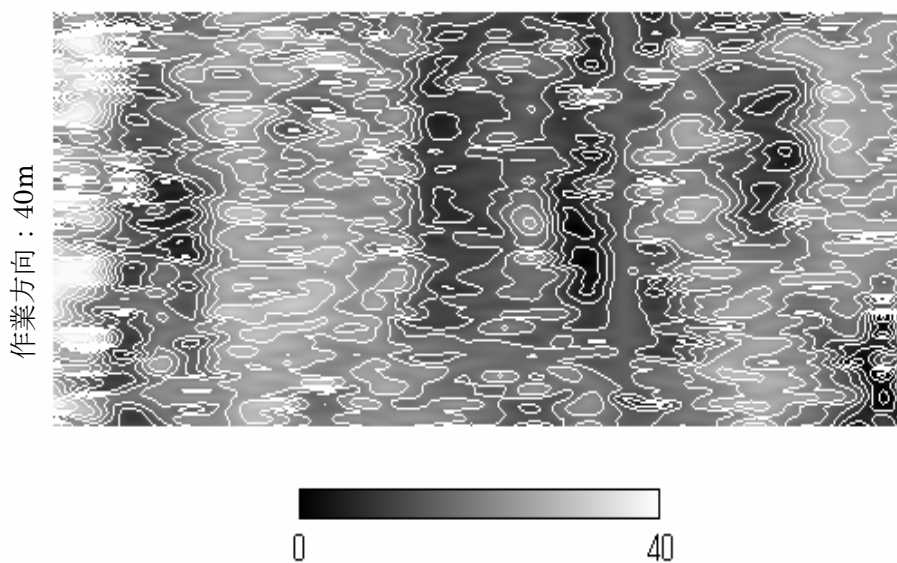


図 3-9 リアルタイム土壌表面硬度センサのセンサ輪沈下量をもとに作成した土壌表面硬度マップ

リアルタイム土壌表面硬度センサ出力を記録して解析し、作業を行ったほ場の土壌硬度マップを作成した。記録したデータは、枕地作業を除く作業時のもので、作業方向に 40m、幅方向に 68m の区画を、作業方向に 40 分割、幅方向に 26 分割したメッシュデータとして解析した。

3. 4. 2 結果と考察

図 3-9 は、メッシュ毎の土壌表面硬度データを等高線表示したものである。リアルタイム土壌表面硬度センサのセンサ輪沈下量の値で 0~40mm の広い範囲に分布し、同一ほ場の中でも土壌硬度が大きく変動していることがわかる。これだけ土壌硬度が変動していると、同一の覆土板角度で適正覆土を行うことは難しく、播種深さ精度を向上させるためには、ここで報告した覆土板角度制御機構を装備した装置が必要となる。

3. 5 まとめ

湛水条播機の播種深さ精度の向上を目的として、高精度水稲湛水条播機を設計試作した。また、播種精度に大きく影響する、覆土板角度制御機構について、覆土板の形状及び覆土板角度が覆土性能に及ぼす影響を土壌表面硬度を変えて調査するとともに、2 章で論じたリアルタイム土壌表面硬度センサの出力値に基づく覆土板角度制御方法を検討した。

①水田ビークルに直装する 8 又は 10 条播きの条播機

を設計試作した。従来機からの主な改良点は、ア) 全長を長くして土壌表面への追従性を向上させ、強度を増すことによって覆土板の作用を確実にしたフロート、イ) 下面へのプレートの取付け・取り外しにより播種深さを 2 段階に変えられる作溝器、ウ) 土壌表面硬度に応じた覆土板角度制御機構の付加などである。②回転土槽を用い、覆土板角度が覆土性能に及ぼす影響を土壌表面硬度を変えて調べた結果、土壌硬度が 8~50mm の間では、覆土板角度（進行方向に対する覆土板側面の角度）を、硬い場合に大きく（土の移動量を多く：最大 25°）、軟らかい場合に小さく（土の移動量を少なく：最低 0°）することによって、良好な覆土状態を得ることができた。

③土壌表面硬度に応じて覆土板角度を制御するアルゴリズムの検討を行い、ほ場の土壌表面硬度は瞬間的に大きく変動することがあるため、土壌表面硬度を 4 段階に区分して、それぞれに覆土板角度を割り当てる段階制御方式とした。また、制御装置及び電動シリンダの特性を考慮し、制御のインターバルは 0.5s とした。回転土槽において制御状態を調査し、安定した覆土板制御が可能であることを確認した。

④開発機に取付けたリアルタイム土壌表面硬度センサにより、直播作業時のほ場の硬度マップを作成し、同一ほ場の中で土壌硬度が大きく変動していることを明らかにした。

第4章 作業性能、水稻の出芽・苗立ちと収量

4. 1 播種性能

4. 1. 1 試験方法

1) 供試機

供試機械は、前章で述べた高精度水稻湛水条播機である⁵⁹⁾。いずれの機械も、土壌表面への追従性を高めたフロート、土壌表面の硬度に応じて覆土板角度を制御する機構、作溝深さを2段階に調節できる作溝器など、新たに開発した機能・部品を持つものである。対照機として、6条播きの市販湛水土壌中条播機（以下「対照機1」とする：写真1-19）を播種精度試験と作業能率試験に供試した。また播種精度試験では、田植機の側条施肥部を利用した6条播きの作溝・無覆土式市販条播機（以下「対照機2」とする：写真1-20）も対照機として供試した。

対照機1は、開発機のベース機となった湛水直播機であり、試験当時、市販条播機で最も広く使われている機械である。機械の構成は開発機とほぼ同様であるが、フロート、作溝器、覆土板などの主要部品が異なる

とともに、覆土板の角度調整を覆土板取付部で個別に行う方式である。一方、対照機2は側条施肥田植機を汎用的に利用するもので、肥料ホッパに種子を投入し、播種用ブラシを追加した繰出ロールでコーティング種子を繰出す構成となっている。また、田植機苗載せ台の後端部に作溝深さを調節できるシュー式の作溝器をアタッチメントとして装着し、この作溝器で作った溝に播種する。なお、この機械はすでに市販され、最新のタイプは側条施肥部を本機側にマウントし、側条施肥を同時に行うことが可能な機械となっている。

2) 供試ほ場

a) 播種精度試験

1997年に山形県天童市の農家ほ場（30a×2）、富山県富山市の農家ほ場（30a）、栃木県宇都宮市の栃木農試のほ場（20a）、埼玉県川里村の生研機構附属農場のほ場（50a）、愛知県海部郡十四山村の農家ほ場（88a）、滋賀県彦根市の農家ほ場（45a, 30a）、島根県出雲市の島根農試のほ場（22a, 11a）の7地区10ほ場において、1998年に北海道岩見沢市の道立中央農試のほ場（26a, 11a）、山形県天童市の農家ほ場（30a×2, 20a×2）、福島県郡山市の農家ほ場（30a×2）、埼玉県川里村の生研機構附属農場のほ場（50a）、栃木県宇都宮市の栃木農試ほ場（20a）、滋賀県彦根市の農家ほ場（45a, 30a）、兵庫県加西市の兵庫農技セのほ場（30a）の7地区11ほ場において播種精度試験を実施した。

表4-1、表4-2に播種精度試験の試験区とほ場条件を示す。代かきから播種までの日数はほ場によって異なり、3～10日であった。この日数は移植に比べて同等か若干長目であった。また播種時の土壌表面硬度計貫入深は、1997年が15～49mm（平均の範囲27～39mm）、1998年が20～49mm（平均の範囲30～39mm）と、1998年の方がやや軟らかい条件であった。

表4-1 播種精度試験の条件(1997年)

試験条件			ほ場条件				
試験地域	供試機 ¹⁾	作溝器	土性	後代日かき数 (日)	水深 (cm)	土壌表面硬度計指示値	
						平均 (mm)	範囲 (mm)
山形	開発機	浅め	L	3	0.4	33	20-41
	対照機1					36	27-44
富山	開発機	深め	CL	3	0.5	39	35-44
	対照機1	浅め					
栃木	開発機	深め	CL	5	1.0	33	26-41
	対照機2	-		5		-	-
埼玉	開発機	浅め	SiC	7	1.2	28	20-38
		深め				31	17-43
	対照機1	浅め				34	26-41
愛知	開発機	浅め	L	4	0.2	32	24-40
	対照機1					33	26-36
滋賀	開発機	深め	CL	10	1.9	27	16-38
	対照機1	浅め				30	15-49
島根	開発機	深め	SiL	3	1.6	36	28-47

1) 対照機1：市販湛水条播機（作溝覆土式）

対照機2：市販湛水条播機（作溝無覆土式）

表 4-2 播種精度試験の条件(1998 年)

試験条件			ほ場条件					
試験 地域	供試機 1)	作溝器	土性	後代 日かき 数	水深	土壌表面硬度 計指示値		
				(日)		(cm)	平均 (mm)	範囲 (mm)
北海道	開発機	深め	CL	3	0.5	39	39-45	
		浅め				31	23-38	
		浅め						
山形	開発機	深め	L	5	0.5	34	21-43	
		浅め						
	対照機1	浅め						
福島	開発機	浅め	SiC L	4	0.5	35	25-41	
	対照機1	浅め						
栃木	開発機	深め	CL	3	0.9	39	29-49	
	対照機2	-						
埼玉	開発機	深め	SiC	7	0.9	37	31-42	
	対照機1	浅め			1.1			
	対照機2	-						
滋賀	開発機	浅め	CL	8	0.7	32	20-39	
		深め						
		深め						
		深め						
	対照機1	浅め						
兵庫	開発機	深め	CL	5	1.4	30	23-40	
	対照機1	浅め						

1)対照機1:市販湛水条播機(作溝覆土式)

対照機2:市販湛水条播機(作溝無覆土式)

b) 作業能率試験

1998 年に、埼玉県川里村の生研機構附属農場のほ場 (30a×5)、兵庫県上郡町の農家ほ場 (20a×2, 30a×2) の、播種精度試験ほ場とは異なる 2 地区 9 ほ場 (開発機が 6 ほ場、対照機 1 が 3 ほ場) で作業能率試験を実施した。ほ場の形状は全て矩形であった。表 4-3 に作業能率試験のほ場条件を示す。

表 4-3 作業能率試験のほ場条件(1998 年)

試験 地域	供試機	播種 条数 × 機種数	長辺× 短辺 (m)	面積 (a)	土性	代かき 後日数 (日)	水深 (cm)	土壌表面 硬度計 指示値 (mm)
埼玉	開発機	8 条	106×31	33	SiC	5	1.1	33
		10 条× 3	106×33	35				
	対照機 1	6 条	106×28	30				
兵庫	開発機	10 条	104×27	28	CL	1	0.7	38
			104×29	30			0.7	31
	対照機 1	6 条	96×23	22			1.2	36
			79×24	19			0.7	36

3) 品種、供試種子、設定播種量

表 4-4 に播種精度試験及び作業能率試験の供試品種、設定播種量とコーティング方法を示す。コーティング方法としては、北海道と栃木を除き 2 倍重 (乾粕と発芽促進剤の質量比が 1:2) の種子を用いた。乾粕播種量は、北海道で約 10kg/10a と多いのを除いて、2.7~5.5kg/10a であった。

4) 作業・測定方法

a) 播種精度試験

開発機及び対照機を同一ほ場内で同じ行程数 (3~6 行程×2 反復) 作業させた。作業前に播種量及び施肥量の調量を行い、あらかじめ質量を測定したコーティング種子及び肥料をホッパに投入して作業を行った。作業中には走行速度を測定し、作業終了後にはホッパ内のコーティング種子及び肥料の残量、総作業距離を測定した。また、出芽揃いの時期に、全ての条を網羅するように、1 試験区当たり、10 条及び 6 条播きでは 15 カ所×2 反復、8 条播きでは 16 カ所×2 反復の測定点を設け、1ヶ所当たり 2 条×20 本の測定を行い、合計で 10 条及び 6 条播きでは 1,200 本、8 条播きでは 1,280 本の出芽深さを測定した。出芽深さは、地表面から種子の中心までの距離を測定して求めた。

b) 作業能率試験

作業時間の計測については、ほ場入り口付近に待機

している供試機に、あらかじめ用意したコーティング種子及び肥料を投入する時点で計測を始め、播種作業を終了してほ場外に供試機が出た時点で計測を終了した。この間、空走行、直進作業、旋回、停止などの時間を計測するとともに、コーティング種子と肥料の投入量、燃料消費量 (満タン法) を測定した。

表 4-4 供試品種、播種量とコーティング方法(1997 年)

試験地域	品種	1997 年 ¹⁾		品種	1998 年 ²⁾	
		設定乾籾 播種量 (kg/10a)	乾籾:被覆 剤比		設定乾籾 播種量 (kg/10a)	乾籾:被覆 剤比
北海道	-	-	-	ゆきまる	10.0	1:1
山形	はえぬき	5.0	1:2	はえぬき	5.0	1:2
福島	-	-	-	コシヒカリ	4.0	1:2
富山	コシヒカリ	3.0	1:2	-	-	-
栃木	コシヒカリ	5.5	1:1	コシヒカリ	5.5	1:1
埼玉	どんとこい	3.5	1:2	どんとこい	4.0	1:2
愛知	あいちの かおり	3.5	1:2	-	-	-
滋賀	キヌヒカリ	4.5	1:2	キヌヒカリ	4.5	1:2
兵庫	-	-	-	どんとこい	2.7	1:2
島根	祭り晴	4.0	1:2	-	-	-

1)表 5-1 に対応

2)表 5-2, 表 5-3 に対応

表 4-5 播種精度試験の結果(1997 年)

試験地域	試験条件			ほ場条件					播種精度					
	供試機 ¹⁾	作溝器	土性	代かき後 日数	水深	土壌表面硬度計指示値		作業速度	出芽深さ			出芽深さ範囲		
						平均	範囲		平均	標準偏差	変動係数	0mm割合	3-12mm割合	5-15mm割合
(日)	(cm)	(mm)	(mm)	(m/s)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(%)	(%)				
山形	開発機	浅め	L	3	0.4	33	20-41	0.81	6.5	4.7	72	11	70	
	対照機1					36	27-44	0.66	6.8	5.0	73	11	68	-
富山	開発機	深め	CL	3	0.5	39	35-44	0.80	6.9	4.0	58	12	-	73
	対照機1	浅め						0.90	4.5	3.5	77	13	67	45
栃木	開発機	深め	CL	5	1.0	33	26-41	0.82	11.3	2.9	26	0	-	89
	対照機2	-		5		-	-	-	5.3	5.8	109	28	-	66
埼玉	開発機	浅め	SiC	7	1.2	28	20-38	0.82	4.2	4.9	118	31	58	-
	対照機1	深め				31	17-43	0.80	7.2	4.4	62	19		65
		対照機1				浅め	34	26-41	0.87	3.3	4.0	121	44	44
愛知	開発機	浅め	L	4	0.2	32	24-40	0.86	6.1	4.0	66	15	74	-
	対照機1					33	26-36	0.88	6.4	4.1	64	12	73	-
滋賀	開発機	深め	CL	10	1.9	27	16-38	0.83	10.3	4.8	48	6		70
	対照機1	浅め				30	15-49	0.87	6.6	4.4	66	12	69	59
島根	開発機	深め	SiL	3	1.6	36	28-47	0.76	15.5	6.3	40	0	-	52

1)対照機1:市販湛水条播機(作溝覆土式)

2)対照機2:市販湛水条播機(作溝無覆土式)

播種後 7~14 日後の出芽揃い時に、ランダムに選定した 3~4 行程について、それぞれの行程の全条を測定対象として、出芽本数については 1 条当たり 50cm 間×2 カ所の本数を計数し、出芽深さについては同様に

1 条当たり連続して 10 本を測定した。

表 4-6 播種精度試験の結果(1998 年)

試験地域	試験条件		ほ場条件					播種精度						
	供試機 ¹⁾	作溝器	土性	代かき後日数 (日)	水深 (cm)	土壌表面硬度計指示値		作業速度 (m/s)	出芽深さ			出芽深さ範囲 ²⁾		
						平均 (mm)	範囲 (mm)		平均 (mm)	標準偏差 (mm)	変動係数 (%)	0mm割合 (%)	3-12mm割合 (%)	5-15mm割合 (%)
北海道	開発機	深め 浅め	CL	3	0.5	39 31	39-45 23-38	0.76 0.76	6.3 5.6	4.6 4.4	73 79	9 11	- 81	63 -
山形	開発機	深め 浅め	L	5	0.5	34	21-43	0.83 0.83	10.7 8.5	4.5 4.5	42 54	2 6	- 72	73 -
	対照機1	浅め						0.92	8.2	4.9	59	8	69	-
福島	開発機	浅め	SiCL	4	0.5	35	25-41	0.88 0.77	9.3 7.2	4.5 4.8	49 66	8 18	66 65	- -
	対照機1	浅め						0.77	7.2	4.8	66	18	65	-
栃木	開発機	深め	CL	3	0.9	39	29-49	0.84 0.74	7.0 6.5	4.6 6.9	70 105	17 32	- 45	63 40
	対照機2	-						0.74	6.5	6.9	105	32	45	40
埼玉	開発機	深め	SiC	7	0.9	37	31-42	0.81 0.85 0.78	9.4 3.7 7.1	4.1 3.6 6.9	44 98 97	6 38 34	- 55 40	83 - 45
	対照機1	浅め						0.85	3.7	3.6	98	38	55	-
	対照機2	-			1.1			0.78	7.1	6.9	97	34	40	45
滋賀	開発機	浅め 深め	CL	8	0.7	32	20-39	0.82 0.82 0.88	13.6 11.5 9.2	5.4 5.5 5.6	40 52 61	2 9 10	39 - 61	- 59 -
	対照機1	浅め						0.88	9.2	5.6	61	10	61	-
	兵庫	開発機						深め	CL	5	1.4	30	23-40	0.90 1.04
庫	対照機1	浅め	1.04	5.6	5.0	88	29	55						-

1)対照機1:市販湛水条播機(作溝覆土式)

対照機2:市販湛水条播機(作溝無覆土式)

2)3-12mm 割合と5-15mm 割合は重複あり

4. 1. 2 結果と考察

1) 播種精度

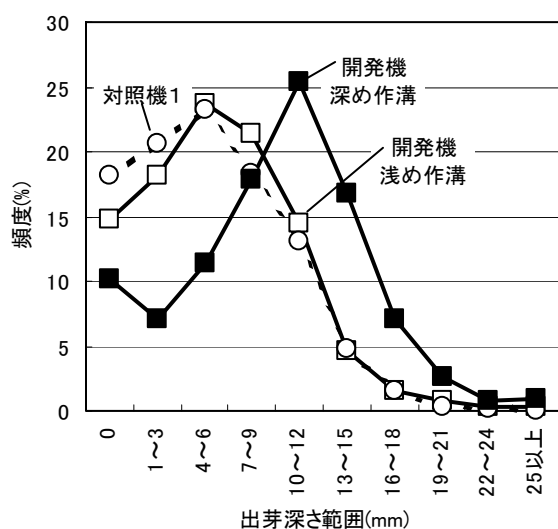


図 4-1 出芽深さの分布(1997 年)

表 4-5 及び表 4-6 に、それぞれ 1997 年と 1998 年の播種精度試験結果を示した。播種作業時の土壌表面硬度は、いずれの年も「標準」から「極軟」(表 3-3 参照)まで幅広く分布し、土壌硬度に応じて覆土板角度を調節する覆土装置は、全ての試験で問題なく作動した。

播種深さは、出芽揃い時に測定した出芽深さをもとに、主に出芽種子露出割合(種子が地表に露出している苗の割合=0mm 割合)、適正深さにある種子の割合

表 4-7 播種精度のまとめ(1997 年)

供試機	開発機	開発機	対照機1
作溝器	深め作溝	浅め作溝	浅め作溝
試験カ所数	5	3	5
出芽種子露出割合	6%	7%	24%
平均	9.3mm	8.0mm	5.7mm
出芽深さ			
3~12mm の割合	—	72%	65%
5~15mm の割合	74%	—	—

により評価した。なお「適正深さ」とは、浅めの作溝器を用いた場合の目標出芽深さを 7mm、深めの作溝器を用いた場合の目標出芽深さを 10mm とし、機械的な精度上の限界点も考慮してそれぞれの平均出芽深さの±5mm の範囲とした。ただし、コーティング種子が土中に完全に埋没するためには、種子中心から土壌表面までの距離が 3mm 以上あることが望ましいため、浅め作溝の適正深さ範囲は 3～12mm とした。

図 4-1 及び表 4-7 は、開発機と対照機 1 を供試して行った 1997 年の試験のすべてを平均した結果である。1997 年の試験では、開発機の浅め作溝で出芽種子露出割合が 15%、平均出芽深さが 6.1mm、深さ 3～12mm の割合が 69% となり（開発機の浅め作溝と同じ作溝器を持つ対照機 1 ではそれぞれ、18%、5.5mm、64%）、深め作溝で出芽種子露出割合が 10%、平均出芽深さが 9.5mm、深さ 5～15mm の割合が 69% となった。これらの結果から、開発機は対照機 1 に比べて出芽種子露出割合が少なく、平均出芽深さも目標とする値（浅め作溝で 7mm、深め作溝で 10mm）に近く、また適正深さに播種された割合もそれぞれ 7 割程度であり、良好な播種精度であった。

しかし、条毎の出芽深さを精査すると、特定の条の出芽深さ精度が劣っている場合があった。この原因としては、土壌表面が硬い場合（土壌表面硬度計貫入深で 15mm 以下）、車輪通過後の土壌表面が盛り上がり、その跡を通過するフロートが浮き気味となってフロート全体の土壌表面追従性を低下させたこと、5 個のフロート（10 条用の場合）のフレームに対する取付け位置の精度（高さ方向）が十分でなく、フロートによって土壌表面追従性に差があったこと、が考えられた。そのため、1998 年に試験する機械については、フロート取付け位置の精度を高めるとともに、播種時の土壌条件をより軟らかくかつ土壌表面が乾きすぎないようにしてフロートの滑りを良くすることに留意した。

図 4-2 及び表 4-8 は 1997 年と同様、複数の試験データを平均化した 1998 年の結果である。1998 年の試験では、開発機の浅め作溝で、出芽種子露出割合が 7%、平均出芽深さが 8.0mm、深さ 3～12mm の割合が 72% となり（対照機 1 ではそれぞれ、24%、5.7mm、65%）、

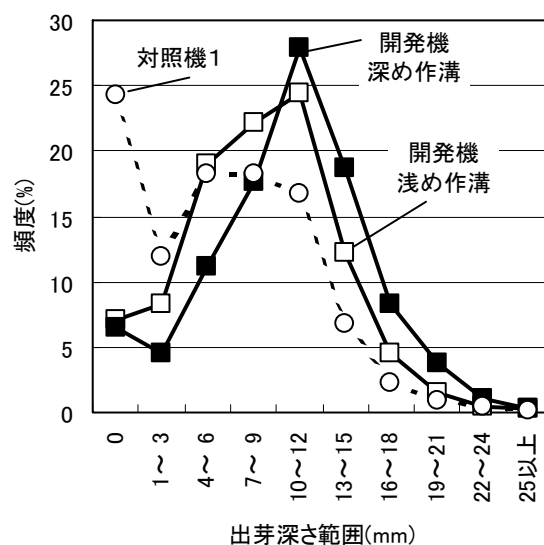


図 4-2 出芽深さの分布(1998 年)

表 4-8 播種精度のまとめ(1998 年)

	供試機 作溝器 試験カ所数	開発機 深め作溝 5	開発機 浅め作溝 3	対照機1 浅め作溝 4
出芽種子露出割合		10%	15%	18%
出芽深さ	平均	9.5mm	6.1mm	5.5mm
	3～12mm の割合	—	69%	64%
	5～15mm の割合	69%	—	—

深め作溝で出芽種子露出割合が 6%、平均出芽深さが 9.3mm、深さ 5～15mm の割合が 74% となった。開発機では浅め作溝、深め作溝ともに 1997 年に比べて出芽種子露出割合が小さく、適正深さ範囲への播種割合も大きくなっており、機械の改良効果と土壌条件設定の適正化によって、さらに播種深さ精度が向上したことが明らかとなった。

2) 作業能率

表 4-9 に、1998 年に実施した播種作業の能率試験結果を示す。開発機の平均ほ場作業量は 0.45ha/h であり、対照機 1 より 3 割程度高い能率を示した。これは作業幅が拡大したことによる、直進作業回数及び枕地作業行程数の減少が大きく影響している。ただし、枕地を除く直進部播種時間及び枕地作業時間が減少したため作業効率が低下し、種子・肥料投入時間の割合が全体の 1/4 以上となった。

表 4-9 作業能率試験結果

供試機械		開発機 ¹⁾		対照機 ¹⁾	
		範囲	平均	範囲	平均
乾籾播種量(kg/10a)		2.3 ~ 3.5	3.0	2.3 ~ 3.1	2.5
施肥量(N-kg/10a)		3.9 ~ 7.8	5.3	4.3 ~ 8.2	6.5
ほ場面積(a)		28.3 ~ 35.0	32.7	19.2 ~ 30.5	24.0
作業 時間 割合 (%)	種子・肥料投入	24.3 ~ 29.9	26.9	16.1 ~ 19.9	18.2
	直進部播種 ²⁾	36.8 ~ 46.9	41.9	44.9 ~ 54.1	49.9
	枕地播種	2.5 ~ 4.9	3.4	3.7 ~ 7.1	5.6
	旋回・移動	14.7 ~ 20.2	18.7	18.2 ~ 29.4	22.8
	空走行	0.0 ~ 4.0	2.4	0.0 ~ 4.0	2.2
	停止・調整	2.5 ~ 15.3	6.6	0.0 ~ 3.0	1.3
	作業速度(m/s)	0.96 ~ 1.22	1.08	1.06 ~ 1.13	1.08
ほ場作業量(a/h)		41.2 ~ 53.1	45.1	30.9 ~ 39.4	35.0
ほ場作業効率(%)		40.4 ~ 50.5	45.3	52.0 ~ 60.1	55.6
燃料消費量(L/10a)		0.34 ~ 0.64	0.47	0.55 ~ 0.67	0.59

1)開発機は6箇所(8条:1箇所, 10条:5箇所), 対照機1(6条)は3箇所の平均。

2)枕地を除く直進部

表 4-10 施肥・播種条件, 播種後の水管理方法(1997 年)

試験地域	品種	供試機	作溝器	播種日	乾籾播種量	N 基肥量	N 追肥量	コーティング [*] 種子 シャーレ発芽率	播種後の水管理	深さ1cmの平均地温
					(kg/10a)			(%)		(°C)
山形	はえぬき	開発機	浅め	5/12	5.2	4.3	2.8	92	浅水	18.1
		対照機1	浅め		4.6	4.1				
富山	コシヒカリ	開発機	深め	5/8	3.3	2.0	1.6	98	浅水	18.7
		対照機1	浅め		2.7	2.1				
栃木	コシヒカリ	開発機	深め	5/19	5.4	2.0	4.0	85	浅水	19.3
		対照機2	—	5/12	5.5	—	—			—
埼玉	どんとこい	開発機	深め	5/17	3.5	3.1	2.0	96	浅水	22.5
		対照機1	浅め		3.3	3.0				
愛知	あいちのかおり	開発機	浅め	5/16	3.7	7.3	0.0	52	浅水	19.1
		対照機1	浅め		3.1	7.0				
滋賀	キヌヒカリ	開発機	深め	5/5	4.7	5.5	5.3	90	浅水	19.9
		対照機1	浅め		4.1	6.8				
島根	祭り晴	開発機	深め	5/9	4.0	3.5	0.0	—	浅水	20.0

その多くを肥料補給が占め, 田植作業と同様に, 側条施肥作業を行う場合の肥料補給の効率化が重要であることが示唆された。また, この時の出芽深さ精度は, 精度試験結果とほぼ同等であった。

4. 2 播種後の出芽・苗立ちと収量

4. 2. 1 試験方法

播種精度試験後の出芽・苗立ち, 生育状況及び収量を調査した。供試機, 供試ほ場, 播種条件は播種精度試験と同じである。なお, 播種後の生育管理は各地域

表 4-11 施肥・播種条件、播種後の水管理方法(1998 年)

試験地域	品種	供試機	作溝器	播種日	乾粒播種量	N 基肥量 (kg/10a)	N 追肥量	コーティング [※] 種子 シャーレ発芽率 (%)	播種後の水管理	深さ1cmの 平均地温 (°C)
北海道	ゆきまる	開発機	深め	5/6	9.6	8.5	0.0	98	落水	-
山形	はえぬき	開発機 対照機1	浅め 浅め	5/14	5.1 5.0	4.6 4.4	4.0	95	落水	-
福島	コシヒカリ	開発機 対照機1	浅め 浅め	5/17	4.0 4.2	- -	- -	92	落水	-
栃木	コシヒカリ	開発機 対照機2	深め -	5/11	5.1 5.6	2.0	4.0	93	落水	-
埼玉	どんとこい	開発機 対照機1 対照機2	深め 浅め -	5/27	3.9 3.6 3.9	4.2 4.3 4.1	2.0	97	落水	-
滋賀	キヌヒカリ	開発機 対照機1	深め 浅め	5/6	4.6 4.3	4.3	4.9	69	浅水	21.6
兵庫	どんとこい	開発機 対照機1	深め 浅め	5/22	2.7 2.7	3.6 3.9	0.0	96	落水	-

における標準的な方法によって行われたが、播種後の水管理については 1997 年が浅水湛水管理であるのに対し、1998 年は落水管理が多かった。

表 4-10 に 1997 年の、表 4-11 に 1998 年の施肥・播種条件、播種後の水管理方法などを示す。

1) 出芽・苗立ち調査

出芽揃い時期及び苗立ち時期（2～3 葉期）に、2

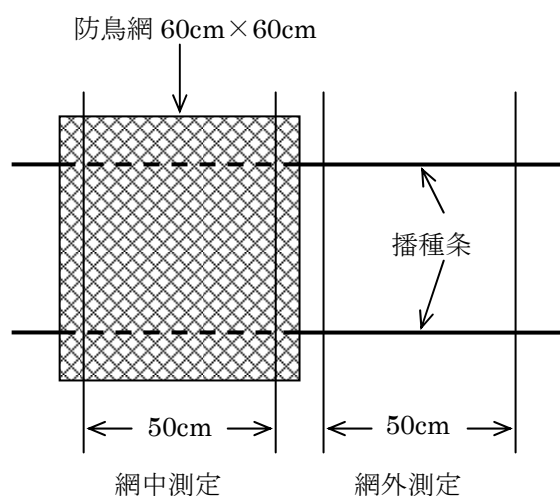


図 4-3 出芽本数と苗立ち本数の測定方法

条×50cm×2 カ所の測定点を試験区毎に 10 条及び 6 条播きで 15 カ所、8 条播きで 16 カ所（2 反復で 30 カ所又は 32 カ所）設定し、出芽本数及び苗立ち本数を測定した。測定は図 4-3 に示すように、60cm 四方の防鳥網（金網）を 2 条またぐように播種後に設置し、出芽調査時に取り外して、網中と網外に分けて 50cm 間の出芽本数を数える方法で行った。苗立ち本数も同一地点で測定した。なお、苗立ち調査時には、浮き苗及び転び苗も同時に測定した。全体が表面に露出している種子で、微弱な力で引き抜くことができるものを浮き苗、根は土中に伸長しているが地面に対して 30°以下に倒れているものを転び苗として数えた。

出芽率及び苗立率は、繰出したコーティング種子量と播種作業距離から、1m 当たりのコーティング種子の播種量を求め、次いで播種量とコーティング種子の千粒重から 1m 当たりの播種粒数を算出してこれを分母とし、1m 当たりの出芽本数及び苗立ち本数を除して求めた。

2) 生育調査

生育期間中に 1～4 回、草丈と茎数を測定した。

表 4-12 生育収量調査結果(1997 年)

試験 地域	品 種	供試機	作溝器	播種 日	試験条件					出芽調査結果				苗立調査結果				精玄米 収量 (kg/10a)	倒伏 程度 ³⁾
					乾籾 播種 量	N基肥 量	N追肥 量	コーテン ¹⁾ 種子 発芽率 (%)	播種後 の水管理	深さ1cm の平均 地温 (°C)	調 査 日	本数 (本/m ²)	率 (%)	深さ (mm)	調 査 日	本数 (本/m ²)	率 (%)	転び・ 浮苗 率 (%)	欠 株 率 ¹⁾ (%)
山 形	はえぬ き	開発機	浅め	5/12	5.2	4.3	2.8	92	浅水	18.1	5/29	139	73	6.5	6/13	132	69	0.4	0.7
		対照機1	浅め		4.6	4.1													
富 山	コシヒカ リ	開発機	深め	5/8	3.3	2.0	1.6	98	浅水	18.7	5/21	68	54	6.9	5/28	75	59	7.5	0.0
		対照機1	浅め		2.7	2.1						72	66	4.5		80	74	11.2	0.0
栃 木	コシヒカ リ	開発機	深め	5/19	5.4	2.0	4.0	85	浅水	19.3	6/2	133	62	11.3	6/19	118	54	0.3	1.3
		対照機2	—		5.5	—						154	70	5.3		—	—	—	10.2
埼 玉	どんとこ い	開発機	深め	5/17	3.5	3.1	2.0	96	浅水	22.5	6/5	115	87	6.6	6/23	111	84	1.0	0.3
		対照機1	浅め		3.3	3.0						112	88	3.3		110	86	2.0	0.0
愛 知	めいり のかお り	開発機	浅め	5/16	3.7	7.3	0.0	52	浅水	19.1	5/30	33	28	6.1	6/8	26	22	2.8	—
		対照機1	—		3.1	7.0						30	29	6.4		24	24	1.1	—
滋 賀	キヌヒカ リ	開発機	深め	5/5	4.7	5.5	5.3	90	浅水	19.9	5/21	93	52	10.3	5/30	89	50	8.5	1.1
		対照機1	浅め		4.1	6.8						104	67	6.6		103	66	11.3	0.6
島 根	祭り晴	開発機	深め	5/9	4.0	3.5	0.0	—	浅水	20.0	6/3	85	59	15.5	—	—	—	0.0	0.4
Σ (30cm以上の苗立ち間隔-15cm)										× 100									

1)欠株率=

2)苗立ち悪いため低収

3)0～5までの6段階評価(0:倒伏なし)

表 4-13 生育収量調査結果(1998 年)

試験条件													出芽調査結果				苗立調査結果				精玄米 収量 (kg/10a)	倒伏 程度 ³⁾
試験 地域	品種	供試機	作溝器	播種 日	乾籾 播種 量	N基肥 量	N追肥 量	コーティング 種子 シャーレ発 芽率 (%)	播種後 の水管 理	深さ 1cmの 平均地 温 (°C)	調 査 日	本数 (本/㎡)	率 (%)	深さ (mm)	調 査 日	本数 (本/㎡)	率 (%)	転び・ 浮苗 率 ¹⁾ (%)	欠 率 ¹⁾ (%)			
																				(kg/10a)		
北海道	ゆきまる	開発機	深め	5/6	9.6	8.5	0.0	98	落水	-	6/11	266	73	5.6	-	-	-	-	-	0.5		
山形	はえぬ き	開発機	浅め	5/14	5.1	4.6	4.0	95	落水	-	6/2	119	64	9.5	6/11	112	59	2.1	0.1	484	0	
		対照機1	浅め		5.0	4.4						114	62	8.2		102	74	11.1	0.1	447	1	
福島	コシヒカ リ	開発機	浅め	5/17	4.0	-	-	92	落水	-	5/29	128	76	10.1	6/19	104	61	0.2	0.0	342	4	
		対照機1	浅め		4.2	-	136					78	7.2	106		61	1.0	0.0	321	4		
栃木	コシヒカ リ	開発機	深め	5/11	5.1	2.0	4.0	93	落水	-	5/28	147	74	5.5	-	175	89	2.7	-	474	3	
		対照機2	-		5.6	-	126					58	6.5	126		60	3.1	-	475	3		
埼玉	どんとこ い	開発機	深め	5/27	3.9	4.2	2.0	97	落水	-	6/4	133	85	9.3	6/19	120	78	1.5	0.2	445	4	
		対照機1	浅め		3.6	4.3						129	90	3.7		117	81	5.4	0.1	490	4	
		対照機2	-		3.9	4.1						128	81	7.1		116	74	5.5	0.8	425	3	
滋賀	キヌヒカ リ	開発機	深め	5/6	4.6	4.3	4.9	69	浅水	21.6	5/22	41	22	11.3	6/4	43	24	6.2	-	525 ²⁾	-	
		対照機1	浅め		4.3	4.3						41	24	9.2		50	32	2.9	-	580 ²⁾	-	
兵庫	どんとこ い	開発機	深め	5/22	2.7	3.6	0.0	96	落水	-	6/2	81	82	12.1	6/10	78	61	0.3	-	552	-	
		対照機1	浅め		2.7	3.9						89	87	5.6		81	75	1.1	-	556	-	

1)表5-12の欠株率と同じ

2)苗立調査後補植したため、参考値

3)漢字表記は、微～甚大までの5段階評価。数字表記は、0～5までの6段階評価(0:倒伏なし)。

3) 収量調査

1997年の富山、栃木、島根及び1998年の北海道、福島、栃木は部分刈り調査を行った。その他の試験では、自脱コンバインによる全刈調査を行った。

収量調査は、試験ほ場だけでなく、標準的な時期に同じ品種を移植した近隣のほ場についても行い、移植栽培の収量と比較した。

4. 2. 2 結果と考察

表4-8に1997年の、表4-9に1998年の出芽・苗立ち調査、収量調査の結果を示す。

1) 出芽・苗立ち

表中の「出芽本数」と「苗立ち本数」は同一地点で測定しているにもかかわらず、試験区によっては出芽本数よりも苗立ち本数が多くなっている。これは出芽調査時期に完全に全ての種子が地表に出揃っておらず、苗立ち調査時期までの約10～20日間に遅れて芽を出した種子があったためである。一方、苗立ち本数が少なくなっているのは、表面播種された種子の活着が悪く、湛水状態で浮遊してしまうことが原因と推測される。

両年ともに、いずれの地域においても春先の好天に恵まれ、安定した出芽・苗立ちを得ることができた。しかし、1997年の愛知及び1998年の滋賀については出芽・苗立ち率が30%以下となり、その後の生育に大きく影響を及ぼした。この原因の一つとして、表中に示した「コーティング種子のシャーレ内発芽率」が低いことがあげられる。他の試験地での同発芽率は両年ともに8割以上（多くは9割以上）を示したのに対して、愛知では52%、滋賀では69%と極端に低く、種子の品質もしくは浸種・コーティングから播種までの期間中の管理方法などに問題があったものと推測される。この他に、滋賀では播種後の深水管理、藻類の大量発生により使用した除草剤の薬害の影響も指摘された。

浮き苗・転び苗率は、1997年の開発機が0.0～8.5%（平均3.2%）、対照機1が0.3～11.3%（平均5.2%）、同様に1998年はそれぞれ0.2～6.2%（平均2.8%）、1.1～11.1%（平均4.3%）となり、両年とも対照機に比べて開発機が少なかった。浮き苗・転び苗は出芽

種子露出割合が高くなると増加する傾向を示しており、開発機の出芽種子露出割合が減少して播種深さが安定した結果と評価された。

さらに、播種精度のもう一つの指標として、面的な均一性がある。この面的な均一性の指標として、30cm以上にわたって出芽していない区間が全体にどれくらいの割合で存在するかを測定した「欠株率」を用いた。その結果、1998年には開発機の欠株率が0.5%以下となっており、生育に影響を及ぼすような欠株が発生していないことが確認できた。なお、作溝・無覆土方式の対照機2の1997年の欠株率は約10%であり、苗立ちが不安定なことが分かる。

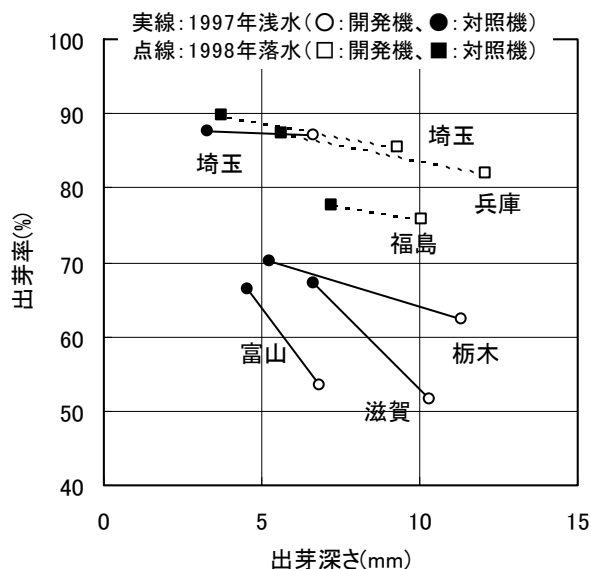


図4-4 出芽深さと出芽率の関係

図4-4に各試験における平均出芽深さと出芽率の関係を示す。播種後に浅水の管理を行った1997年の試験では、播種時の気温が高かった埼玉の試験を除いて、出芽深さが深めとなった開発機の方が出芽率が低い値を示し、出芽深さが出芽率に影響を及ぼしている傾向が見られた。しかし、落水管理を実施した1998年の試験では、出芽深さが深くなっても出芽率の低下はわずかであった。また、出芽率の値も浅水管理を行った1997年より高かった。このことは、落水管理が種子周辺の環境（温度、水分、酸素濃度、酸化還元状態など）を、出芽に好適な条件に改善した結果と推測された。落水管理が出芽・苗立ちを安定させることについては、これまでも多く報告されており⁶⁰⁻⁶²⁾、本試験においても同様の結果を得た。

表 4-14 対移植栽培収量比較

試験地域	品種	1997 年		1998 年	
		開発機	対照機1	開発機	対照機1
山形	はえぬき	86	89	76	72
福島	コシヒカリ	—	—	80	75
富山	コシヒカリ	75	68	—	—
栃木	コシヒカリ	85	81	90	90
埼玉	どんとこい	121	130	105	102
滋賀	キヌヒカリ	106	108	—	—
兵庫	どんとこい	—	—	111	112
平均		95	95	92	90

1) 移植精玄米収量を 100 としたときの比率(%)

2) 生育・収量

1997 年は東日本において夏季～秋季の多雨・日照不足によって低収となったが、その他の地域では平年並みの収量となり、倒伏程度は「コシヒカリ」を除いて軽微であった。また、1998 年は苗立ちの悪かった愛知を除いて順調な生育となったが、収穫前の台風による強風や落水遅れによる軟弱な土壌条件などが原因となって、耐倒伏性に劣る「コシヒカリ」を中心に倒伏が目立った。

2 カ年の収量を同一地域、同一品種の移植栽培と比較した結果を表 4-14 に示す。開発機で播種したほ場の収量の平均を対照機 1 と比べると、両年ともほぼ同程度の収量を示し、播種精度が収量に直結する結果は

得られなかった。これは、1997 年、1998 年は両年とも春先の気候条件が良好に推移し、気候条件が出芽・苗立ちの不安定要因にならなかったことによるものと思われる。

水稻種子の出芽・苗立ちには様々な要因が関与すると考えられるが、種子そのものに問題がなければ、外的な要因としては水分、酸化還元状態、温度及び鳥害が想定される。これらの外的な要因を制御する技術として、発芽促進剤のコーティングと落水出芽法が開発された。発芽促進剤のコーティングは還元状態となりやすい水田で、土中出芽を促進させる効果を持たせる技術であり、土中での出芽安定に寄与している。しかしその深さには限界があり、播種深さによって出芽速度、出芽率変動する。また、落水出芽法による初期水管理は浅水管理に比べて一日の気温変動は大きいものの、晴天時の種子近傍温度は浅水管理に比べて高

くなって出芽に有効に働くほか、土壌還元の抑制効果があるとされる⁶³⁾。しかし過度の落水管理によって表層が乾燥し、表面播きとなった種子が水分不足で出芽しなかったり、鳥害を受けやすいことも指摘されている。そのため、湛水直播の出芽・苗立ちに有効とされるこれらの技術も、安定した播種深さが確保されることによって生きる技術であり、気温やほ場水分などが大きく変動した場合、播種深さの変動が少ない開発機による直播が効果を発揮すると期待できる。

地域別では、東北、北陸、北関東の比較的気温の低い地域の「コシヒカリ」及び「はえぬき」の収量が、移植に比べてそれぞれ 10～32%、11～28%低い傾向があり、南関東以西の温暖な地域で「コシヒカリ」以外の「どんとこい」及び「キヌヒカリ」を栽培した場合は、移植収量に比べてそれぞれ 2～30%、6～8%高い傾向があった。この原因としては、直播栽培においては成熟期が移植栽培に比べ 7～10 日程度遅れるため、気温の低い地域では登熟が遅くなる傾向のあること⁵⁾、「コシヒカリ」の直播栽培では、倒伏させないために、移植に比べ施肥量を減らす傾向があることが考えられる。

4. 3 まとめ

播種精度の向上を目的として開発した、8～10 条播きの高精度水稻湛水条播機を供試し、播種作業性能試験及びその後の生育・収量調査等を、1997 年及び 1998 年の 2 カ年にわたって延べ 14 地域で実施した⁶⁴⁾。

① 播種作業は、代かき後 3～10 日目、平均土壌表面硬度計貫入深が 27～39mm の条件下で行い、作業速度 0.8～1.0m/s で円滑に作業できた。

② 土壌硬度に応じて覆土板角度を調節する覆土装置は、全ての試験で問題なく作動した。

③ 開発機は 2 年間にわたり高い播種深さ精度を示し、1998 年の試験結果を平均すると、浅め作溝区では、出芽種子露出割合（出芽深さ 0mm）が 7%、出芽深さが 8.0mm、深さ 3～12mm の割合が 72%となり（対照機 1 はそれぞれ、24%、5.7mm、65%）、深め作溝区では、出芽種子露出割合が 6%、出芽深さが 9.3mm、深さ 5～15mm の割合が 74%となった。この結果から、表面播種が減少して、播種深さの安定化が図られて

いることが確認できた。

④ 1997 年, 1998 年の試験における浮き苗・転び苗率の平均は 3.2%, 2.8% (対照機 1 はそれぞれ 5.2%, 4.3%) であり, 開発機では表面播種が減少して一定播種深度を確保できる効果が認められた。

⑤ 1998 年の収量は, 対照機 1 で播種したほ場とは

ほぼ同等であった。2 年間の収量を移植ほ場と比べると, 比較的気温の低い地域並びにコシヒカリ栽培地域では, 平均で 20% 低く, 温暖な地域でコシヒカリ以外の品種を栽培した場合は平均で 12% 高かった。

⑥ 開発機のは場作業量は平均で 0.45ha/h であった。

第 5 章 地域適応性と普及

5. 1 地域適応性試験

これまで, 播種深さ精度の向上を主眼とした基礎研究の概要及び試作した高精度水稻湛水条播機の概要とその機能, さらに全国 14 カ所での播種試験について述べ, 開発機の高い播種精度を明らかにした。

しかし, 湛水直播機には, 気候やは場条件に限定されず, 安定した性能を発揮することが求められ, より多くの地域において実証的な試験を継続する必要がある。また, 実用化を念頭に置いた開発研究では, 最大負担面積に相当するような大面積の播種作業を行

って, 繰出部, 作溝・覆土部など開発機の主要部がその機能を十分に発揮できるか, 取扱性, 耐久性の問題がないかなどを検証する必要がある。さらに, その評価には開発者のみならず, 実際に機械を利用するユーザの声が反映されることが望ましい。

そこで, 直播栽培農家, 普及センター, J A, 農業試験場などから構成される研究会もしくは協議会に委託して, 1999 年度に地域適応性試験を実施した。以下, 試験の概要とその結果について述べる。



a) 石川・川北での試験風景 (I 社 8 条)



b) 栃木・鹿沼での試験風景 (K 社 10 条)



c) 山形・酒田での試験風景 (M 社 8 条)



d) 滋賀・八日市での試験風景 (Y 社 8 条)

写真 5-1 供試機

表 5-1 委託試験先と試験の概要

地域名	委託先	供試機	品種	播種日	ほ場面積
					ha
山形県 酒田市	酒田地区直播部会	8 条条播機	はえぬき、ひとめぼれ	4/24～5/3	10.7
福島県 会津板下町	21八木沢稲作組合	10条条播機	コシヒカリ、ひとめぼれ	4/26～4/27	5.6
石川県 寺井町 川北町	能美地区直播研究会	8 条条播機 带状播種機	どんとこい、カグラモチ、 ほほほの穂、コシヒカリ	4/26～4/29	7.7
福井県 鯖江市	さばえ直播研究会	8 条条播機	コシヒカリ、キヌヒカリ	4/26～5/15	18.8
栃木県 鹿沼市	鹿沼地区水稻直播 研究会	10条条播機 带状播種機	どんとこい、月の光、 ひとめぼれ、コシヒカリ	5/8～5/25	38.3
滋賀県 長浜市等	湖北直播種研究会	8 条条播機	コシヒカリ、日本晴、キヌヒカリ、 どんとこい、ゆめおうみ	5/6～5/15	12.5
滋賀県 八日市市等	東近江水稻直播栽培 推進協議会	8 条条播機 10条条播機	キヌヒカリ、ゆめおうみ、日本晴、 どんとこい、コシヒカリ	4/22～5/11	16.0
愛媛県 東宇和町	宇和水稻直播研究会	10条条播機	あきたこまち、コシヒカリ、 キヌヒカリ	5/17～5/20	5.9
総作業面積					115.5

5. 1. 1 試験方法

1) 供試機

供試機は 8 条又は 10 条播きの高精度水稻湛水条播機で、「浅め」と「深め」の 2 種類の深さを使い分けられる作溝器、覆土性能の高い覆土板、土壌表面追従性を向上したフロートに加え、土壌表面硬度に応じて覆土板角度を制御する新機構を装備している。ただし、

これまでの試験結果から、「深め作溝」の出芽深さが目標に比べて一部地域で深めとなる傾向があったことから、作溝器に取り付けるスペーサの厚さを 6mm から 4mm に変更した。また、各部品の強度アップや作業時の表示ランプの再構成、種子詰まり時の警報音量増大、種子・肥料投入補助台設置、手元スイッチによる繰出操作方式の採用など、取扱性向上のための改良を加えた。供試した 4 機種を写真 5-1 に示す。

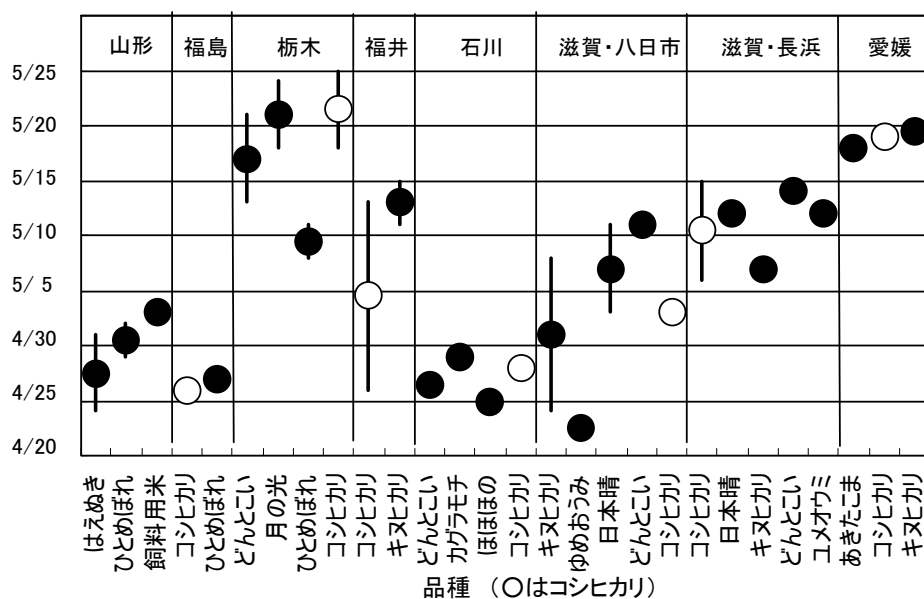


図 5-1 品種と播種日(地区別)

2) 試験地区と播種条件

表 5-1 に示す山形、福島、石川、福井、栃木、滋賀（長浜）、滋賀（八日市）、愛媛、計 8 地区の研究会もしくは協議会に委託して試験を実施した。試験に際しては、各地区に供試機を搬入した後、担当メーカーが操作方法等について説明を行い、その後の播種作業は委託先が主体となって行った。

供試品種は、表5-1、図5-1に示すように、各地区における地域適応性及び直播特性を考慮して選定されているが、8地区のうち7地区が「コシヒカリ」を採用（そのうち3地区が主要品種として供試）している。当初「コシヒカリ」は、耐倒伏性の面から敬遠されていたが、直播栽培においても、良食味米を中心とした品種構成を指向する傾向にあることが伺われた。

播種期は4月下旬から5月下旬までの1ヶ月間におつたが、品種構成の変化に伴って年々早まる傾向にあり、4月下旬から5月連休期間に集中した。品種毎の播種期間を比較すると、大面積を作業した福井及び滋賀（長浜）のコシヒカリを除いて、最大でも1週間内に収まっていた。

また設定播種量は、地域間差、品種間差が大きいものの、年々減少する傾向にあることが伺われた。

3) 調査方法

試験は、供試機による直播作業だけではなく、直播栽培全体を把握することを目的として行い、以下の項目について事前に野帳を作成し、委託試験実施主体がその都度記入した。

- ① ほ場の配置及びその概要
- ② 耕種概要（作業日、管理作業内容等）
- ③ 播種作業時のほ場条件、種子・肥料・機械条件、作業状況等
- ④ 機械の故障等
- ⑤ 機械の評価、改善点等の要望事項

また、供試機の作業性能及び播種後の生育収量等を把握するため、各地区に1～3カ所の詳細調査ほ場を設置し、出芽・苗立ち調査、生育調査、収穫時調査を実施した。出芽・苗立ち調査では、各ほ場毎に30地点で、出芽深さ（連続して20本）、苗立ち数及び浮き・転び苗数（50cm間）を測定した。なお、全体が表面に露出している種子で、微弱な力で簡単に引き抜くことができるものを「浮き苗」、根は土中に伸張しているが、平面基準で30°以下に倒れているものを「転び苗」としてカウントした。生育調査は播種後の生育期間中1～3回程度行い、草丈、茎数（地区によっては葉色も含む）を測定した。収穫時調査では、倒伏程度及び坪刈り収量を収穫前に調査した。なお、倒伏程度については、委託調査とは別に、供試機を用いた条播と代かき同時打込み点播機を用いた点播の耐倒伏性の比較試験を、石川及び地域適応性試験以外に試験した埼玉（埼玉県川里村）の2カ所で予備的に行った。

測定は、松尾ら⁶⁵⁾が提唱した押し倒し抵抗を測定する方法をもとにして、次のように実施した。石川では、条播・点播ともに稈10本をまとめて押し倒し抵抗を測定し、埼玉では1～1.14mにある全ての稈（点播では4株単位114cm、条播では1m）を押し倒す道具を用いて押し倒し抵抗を測定した。いずれの測定においても、稈の地際から20cmの位置にフォースゲージを常に垂直に押しつけるようにして、ほぼ45度に傾くまでの最大値をもって押し倒し抵抗とした。

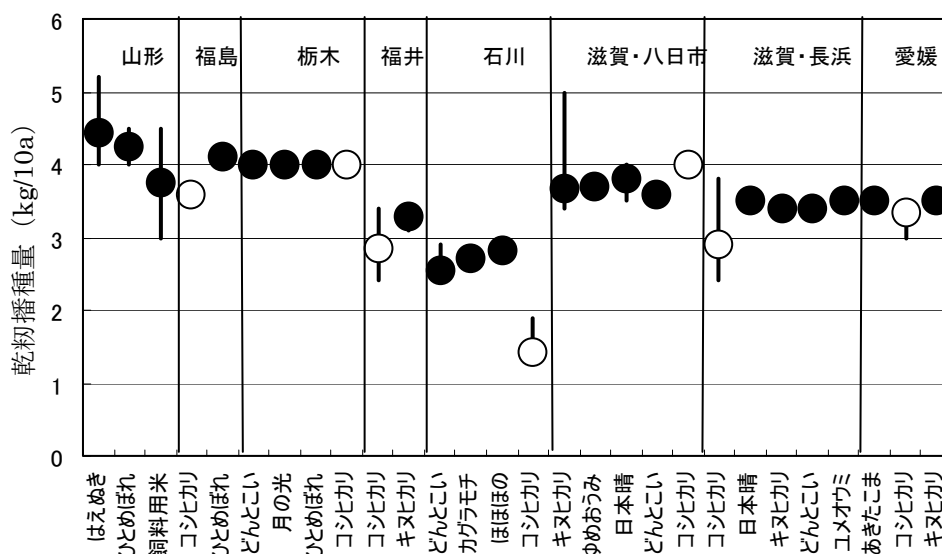


図5-2 品種と播種量(地区別)

5. 1. 2 結果と考察

1) 供試品種と播種量

各試験地区の乾粒播種量は、図 5-2 のとおり石川「コシヒカリ」の 1.3kg/10a から山形「はえぬき」の 5.2kg/10a まで、地域、品種によって幅広く分布していたが、落水出芽法（溜まり水がなく、かつ乾きすぎない、出芽にとって良好な湿潤状態を保つ管理法）の導入によって出芽・苗立率が安定してきたことから、全体として播種量が減少する傾向にあった。供試機は、コーティング種子の播種量で、1 倍重コーティング種子（乾粒：発芽促進剤＝1：1）の 3kg/10a から 2 倍重コーティング種子（乾粒：発芽促進剤＝1：2）の 18kg/10a 程度までの幅広い播種量に対応して、ほぼ目標通りの播種量で作業することができた。なお、播種量は、農道上を作業時の速度で種子を繰出しながら走行し、1m もしくは 2m 間の繰出粒数を計測し、播種量に換算して調整した。

2) 供試機の播種精度

表 5-2 に各地区の詳細調査ほ場における出芽・苗立ち調査結果を示した。試験地区の土性は砂質から粘質

まで幅広いが、「移植時と同程度の代かき状態」を目標として代かき日及び代かき程度を調整した結果、ほぼ目標通りの土壌条件が設定でき、順調な作業を行うことができた。

供試機は、地域の播種時の気温や品種などを考慮して、2 段階に作溝深さを調節できる機能を有しており、委託先が総合的に判断して作溝器深さを選択し、山形、福島、石川、滋賀（八日市）では浅め作溝で、福井、栃木、滋賀（長浜）、愛媛では深め作溝で試験を実施した。その結果、浅め作溝では、平均出芽深さが 5.4mm（4.1～7.1mm）、出芽種子露出割合が平均 7.2%（0.3～13.8%）、深め作溝では、平均出芽深さが 9.7mm（6.0～12.4mm）、出芽種子露出割合が平均 1.8%（0.0～5.0%）と、いずれの作溝器でも 1998 年の試験結果（図 4-2、表 4-8）と同等の播種深さとなった。また、出芽深さの頻度分布を示した図 5-3 から明らかなように、いずれの作溝器についても表面出芽が少なく、浅め作溝では 4～6mm、深め作溝では 10～12mm にピークを持ち、安定した深さ範囲に播種できていることが確認できた。ただし、浮き・転び苗の割合については、福島・栃木・愛媛で表面出芽割合に比べて高い値を示してお

表 5-2 播種精度試験結果

地区名	作溝 深さ	土性	品種	代か き後 日数	播種日	播種 後水 管理	出芽・苗立ち調査			
							調査日	平均出 芽深さ mm	表面出芽 の割合 %	浮き・転び 苗の割合 %
山 形	浅め	壤質	は え ぬ き	4	4/28	落水	5/21	4.9	9.5	9.6
				3	4/29			7.1	3.3	
				2	5/3		5/28	5.3	15.0	
福 島	浅め	砂質	コシヒカリ	2	4/26	落水	5/18	5.1	13.8	20.4
				2	4/26			4.1	5.3	
			ひとめぼれ	3	4/27			5.5	10.5	
石 川	浅め	壤質	どんとこい	5	4/27	落水	5/20	5.4	0.3	1.3
			コシヒカリ	2	4/28		5/24	5.6	0.3	
福 井	深め	粘質	コシヒカリ	6	5/6	落水	5/27	12.4	0.0	0.2
				5	5/8		5/29	12.6	0.0	
栃 木	深め	壤質	コシヒカリ	2	5/18	落水	6/1	11.0	0.0	13.8
				2	5/18	湛水		12.0	0.0	
			どんとこい	2	5/18	落水		6.0	0.0	
滋 賀 長 浜	深め	砂質	コシヒカリ	2	5/8	落水	5/25	9.4	5.0	0.9
		粘質		1	5/9			9.2	5.0	
滋 賀 八日市	浅め	壤質	ゆめおうみ	2	4/24	落水	5/17	5.0	3.3	5.9
			キヌヒカリ	3	4/24			6.0	10.8	
愛 媛	深め	壤質	あきたこまち	1	5/17	落水	6/8	7.7	2.8	9.2
		粘質	キヌヒカリ	1	5/19			7.3	3.5	
平 均	浅め	—						5.4	7.2	9.3
	深め	—						9.7	2.8	6.0

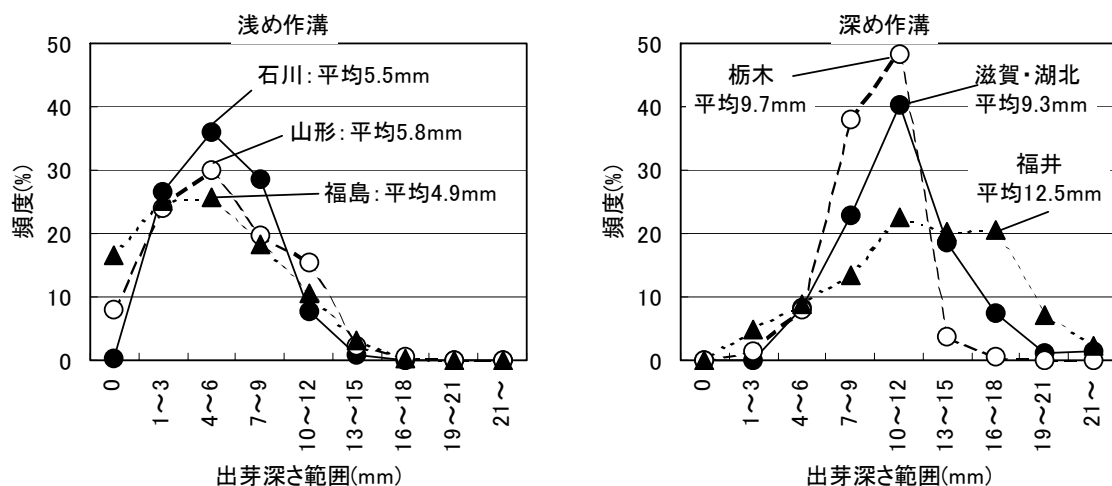


図 5-3 出芽深さの分布

り、調査時の評価基準が地区によって異なったものと類推された。

ところで、区画が1haを超える大規模ほ場や晴天日で作業前の落水が早すぎた場合など、ほ場表面が目標に比べて硬くなることがあった。このような硬い部分ではフロートの抑えが十分に効かず、フロートの姿勢が乱れるため、作溝が浅かったり覆土板が浮いてしまい、十分な覆土状態を得ることができない場合があった。播種精度を保つためにはほ場均平の確保、適切な播種時の水深管理が必要であるが、機械装備や天候が絡む問題であり全てのほ場で満足のいく条件を設定することは現実的に困難である。これまでの試験結果から、極端に深くなければ、滞水深は播種深さ精度に影響を与えないことが明らかであり、硬い条件より

はむしろ若干軟らかめの条件での作業を行うことを提唱したい。

3) 供試機の作業能率

表 5-3 に各試験地区における作業能率の平均を示した。ほ場作業量はほ場毎に記載した作業開始時間及び作業終了時間（その間の休憩時間は除く）とほ場面積から計算したもので、基本的には初回の種子・肥料の供給時間も含まれている。日作業面積は、ほ場間の移動や休憩等を含む1日当たりの実作業面積であり、1日8時間以上稼働したデータについてとりまとめた。

ほ場作業量は0.36~0.48ha/hの範囲で、平均0.41ha/hとなり、1998年の試験に比べるとやや低い能率となった。この原因としては、初めて利用する機械であることから、オペレータの熟練度や作業手順等が影響したものと推測された。また1日当たりの作業面積は、1日の作業時間やほ場の分散程度などの影響を受けて、1.8~3.8haと地区により大きく異なった。ほ場作業量と1日の実質作業時間を考慮すると、1日最大2.5ha程度が無理のない妥当な負担面積と考えられた。

また、地域適応性試験以外の地区でも、実演などの目的で播種作業を行っており、12台の供試機を用いた総作業面積は190haとなった。少ない機械で3.5ha、多い機械では26haの播種作業を行った。1台当たりの平均作業面積は16haとなり、取扱性、耐久性などを評価するに十分な稼働面積であった。

表 5-3 供試機械の作業能率

試験地区	供試機械 条数 (条)	作業能率	
		ほ場作業量 ha/h	日作業面積 ¹⁾ ha/日
山形	8	0.40	2.5
福島	10	0.50	3.7
石川	8	0.36	1.8
福井	8	—	2.7
栃木	10	0.44	2.1
	10	0.41	2.0
	10	0.41	—
滋賀・八日市	8	—	2.3
滋賀・長浜	8	0.35	2.0
愛媛	10	0.48	3.8
平均		0.42	2.55

1) ほ場間の移動・休憩を含む

4) 播種後の水管理と出芽・苗立ち

表 5-4 に生育・収量調査結果を示す。ほとんどの地区が播種後 3 日から 1 週間程度入水しない「落水出芽法」(表中「落水」)を導入し、播種時期の天候にも恵まれて安定した出芽・苗立ちが得られた。しかし、山形「はえぬき」の一部ほ場、福島、石川「どんとこい」、栃木「どんとこい」及び滋賀など、播種時期に低温にさらされた地区では、品種やほ場によって 41～57% の低い苗立率となった。栃木では、長年にわたって播種後浅水湛水管理を実施してきたことから、同一機種、同一品種の隣接するほ場で、初期水管理法の違い(「落水」と「湛水」)による出芽・苗立ちへの影響を観察したが、播種時期が遅く比較的高い温度で推移したことから、出芽・苗立ちの顕著な違いは見られず、両方

式とも順調な生育を示した。また、低い苗立率を示した、山形、福島、石川、滋賀(八日市)においては、開発した条播機による安定した播種精度や落水出芽によって、必要とされる苗立ち数は確保され、生育・収量に大きな影響を与えなかった。

5) 雑草の状況

滋賀の一部ほ場を除いて、初期及び中期除草剤散布による体系処理を行い、ほぼ雑草を抑えることができた。ただし、初期の落水期間やその間の天候によっては土壌に大きな亀裂を生じ、漏水などによって除草剤の効果が持続せず、結果的に中期以降に雑草が発生した例が報告され、ほ場条件や天候条件に合わせた「落水出芽」管理法の検討が必要と思われた。

表 5-4 生育・収量調査結果

地区名	品種	播種日	播種後水管理	施肥量		苗立調査		収穫調査				
				基肥 ¹⁾	追肥・穂肥 ²⁾	苗立本数	苗立率	倒伏程度 ³⁾	直播精玄米収量	移植精玄米収量	移植栽培との比較	
											収量比	品質
				N-kg/10a		本/m ²	%		kg/10a			
山形	はえぬき	4/28	落水	4.0	5.5(3)	71.3	41.0	平均0	535	600	0.89	・生育ステージのずれから、直播は乳白粒少
		4/29		5.6	5.9(4)	109.4	75.0	平均0	557	580	0.96	
		5/3		3.0	6.0(3)	109.8	100.0	平均0	500	550	0.91	
福島	コシヒカリ	4/26	落水	3.2	6.3(2)	60.8	47.0	200/400	614	685	0.90	・直播は試験ほ場の85%が1等 ・品質評価値は移植と変わらず
		4/26		4.0	3.7(4)	73.6	57.0	180/400	584	685	0.85	
	ひとめぼれ	4/27		6.0	1.9(2)	74.9	52.0	120/400	529	645	0.82	
石川	どんとこい	4/27	落水	3.0(側)	7.74(4)	46.8	47.7	0	609	—	—	・コシヒカリは移植と比べ乳白少 ・その他は移植と変わらず
	コシヒカリ	4/28		0.0	5.47(3)	36.5	75.7	小:10% 中:10%	482	556	0.87	
福井	コシヒカリ	5/6	落水	1.0(側)	3.65(3)	85.6	77.0	平均2 (3:30%)	493	510-540	0.94	・生育ステージのずれから、移植に比べて乳白粒少
		5/8		1.5(側)	5.4(3)	86.9	75.8	0～1	410	540	0.76	
栃木	コシヒカリ	5/18	落水	2.0	0.9(1)	125.0	91.2	平均3.5 3～4	469	475	0.99	・直播は一部ほ場を除いて、1等
		5/18	湛水	2.0	0.9(1)	128.0	93.4	平均4 4～4.5	486	475	1.02	
	どんとこい	5/18	落水	4.0	1.4(1)	83.9	53.1	平均0 0	480	—	—	
滋賀 長浜	コシヒカリ	5/8	落水	4.3(側)	4.9(2)	90.8	83.3	平均1.5 全体の5割が倒伏なし	513	480	1.07	・生育ステージのずれから、移植に比べて乳白粒少 ・1等比率88%(移植64%)
		5/9		3.0(側)	2.8(1)	96.4	85.9	平均1 全体の8割が倒伏なし	521	570	0.91	
滋賀 八日市	ゆめおうみ	4/24	落水	2.6(側)	7.0(3)	55.3	41.7	平均0 0	529	552	0.96	・生育ステージのずれから、移植に比べて乳白粒少 ・直播は1等
	キヌヒカリ			3.4(側)	4.9(2)	57.3	41.5	平均0 0	541	559	0.97	
愛媛	あきたこまち	5/17	落水	5.1(側)	0.0	95.8	71.2	平均1 0～1	480	542	0.89	・移植に比べ、品質良好
	キヌヒカリ	5/19		5.1(側)	0.0	100.6	74.7	平均0	480	500	0.96	

6) 施肥

表5-4には施肥量も示してあるが、基肥については、3地区で代かき前の全面全層施肥が行われ、残り5地区は供試機の側条施肥装置を利用した基肥施用が行われた。ただし、石川「コシヒカリ」については、倒伏防止のため少量播種・無基肥の栽培方法がとられ、中期以降の分蘖中心の施肥法であった。また、追肥・穂肥については、愛媛が全量基肥施用のため無施用、栃木、滋賀（長浜）の「コシヒカリ」が1回の穂肥、それ以外は2～4回行われた。

7) 生育の状況

全体としては、生育期間中の天候が順調であり、早期播種の影響もあって例年に比べて移植栽培との生育差が小さかった。しかし、播種時の低温によって苗立ち数が少なかった福島では、稈長は移植並であったものの穂数が十分確保できなかった。また、播種量が極端に少ない石川「コシヒカリ」は、初・中期の分けつが移植に比べて少なく推移した。福井では平年以上の苗立ちのもと、旺盛な生育を示したが、株状になっている移植の稲姿と異なることから、中干しなどの管

理作業時期を適正に把握することが難しいとの指摘がなされた。

8) 倒伏程度

表5-4に示すように、山形の「はえぬき」、石川、栃木の「どんとこい」など、耐倒伏性が高い品種の倒伏はほとんど見られなかった。倒伏に弱いとされる「コシヒカリ」で比較すると、施肥量、天候などによって大きく異なるが、福島、福井、栃木、滋賀（長浜）などで、他の品種に比べて倒伏が目立ったものの、激しい倒伏は少なかった。ただし、愛媛では局地的豪雨や2度の台風の影響を受け、直播、移植にかかわらず

表5-5 条播と点播の押し倒し抵抗値の比較

地区名	播種様式	押し倒し抵抗		
		N/m	N/m ²	N/本
石川 ¹⁾	条播	—	—	0.53
	点播	—	—	0.43
埼玉 ²⁾	条播	38.8	129	0.37
	点播	36.4	122	0.39

1) 10本単位で押し倒し抵抗を測定

2) 条播では1m単位、点播では4株単位（114cm相当）で押し倒し抵抗を測定

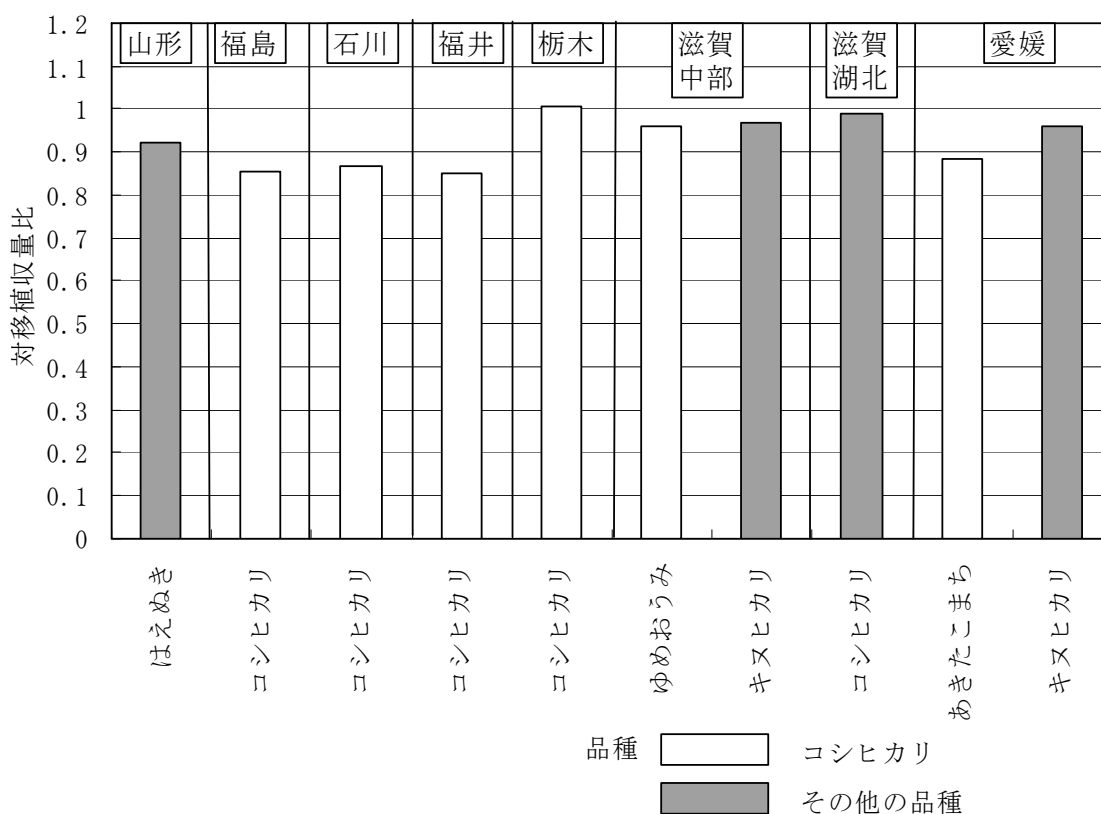


図5-4 対移植収量比(精玄米ベース)

全面倒伏となるほ場が多発した。移植栽培と比較すると、全体的な施肥量が移植に比べて少なかったこともあり、倒伏程度に大きな違いはなかった。

石川、埼玉における押し倒し抵抗は、表 5-5 に示すように条播、点播とも、ほぼ同様の数値を示した。しかし、直播水稻の耐倒伏性については、代かき同時土中点播機の開発によって、直播でも移植類似の株形成が可能となったことから、様々な方面で研究が行われるようになってきた⁶⁶⁻⁷⁰⁾。点播では移植水稻と変わらない耐倒伏性を示す試験例も報告されており、収量性や品質も含めた総合的な評価が今後必要となろう。

9) 収量

詳細調査ほ場における収量調査結果を見ると、表 5-4、図 5-4 に示すように対移植収量比は 76~107% の範囲で、平均 96% であり、ほぼ各地区が目標とする収量が確保できた。農家からの聞き取りによると、山形では移植の 80~90% と昨年比べて高い収量(昨年は 80%)、福島では移植並から 60kg 程度の減収、石川では目標収量を達成、福井では早期播種(4 月下旬)で目標の 8 俵を超えたが、5 月初旬の播種では 0.5~1.5 俵減、栃木は移植と同程度、滋賀(長浜)では「コシヒカリ」21kg 減、「キヌヒカリ」60kg 減、その他は移植と同等で当初の目標を達成、滋賀(八日市)では移植の 3~4% 減で目標を達成、愛媛では移植の 12% 減となり、ほとんどの地区で概ね満足できる収量が得られた。

10) 品質

1999 年は全国的に、7 月下旬から 8 月上旬にかけて

夜間温度が高く推移したため、乳白粒が多発し、品質が劣化した。このような気候条件の中で、移植に比べ 5~10 日ほど出穂期が遅れた直播栽培においては、乳白粒の発生が少なく、表 5-4 に示すように高い品質を確保できた。

12) 開発機の総合評価と改善要望

a) 総合評価

表 5-6 に委託先による供試機の総合評価結果を示す。作業性能にかかわる「仕様」、「播種精度」、「繰出し」の項目で平均以上の評価を得たが、「取扱性」、「その他」の、機械の取扱性や耐久性にかかわる部分で「不満」とする評価が多くなり、次項に示す改善要望も、これらの評価に直結する内容となった。

b) 改善要望と対応

今回の地域適応性試験において、供試機に対する取扱性、耐久性向上を中心とした改善要望が出された。以下に共通的な改善要望とそれに対する対応を示す。

① 播種状況の警告方法及びモニターの改善

条播機は田植機とほぼ同様の操作性を有するが、播種後の状況が田植機のように目視で確認できないことから、作業モード(主に種子繰出しが行われているか否か)の状態、種子詰まりの有無の状態をフロントパネルへの表示や警告音でオペレータに知らせる方式を取っている。しかし、「視認にくい」、「肥料と種子の警告音が類似している」などの指摘があり、市販機ではこれらの点への配慮を十分に加えることとした。また、「現在の播種量やホップ内残量などがわかるようにしてほしい」との要望もあったが、短期間で対応することが困難な問題であることから、今後の検

表5-6 供試機の総合評価

播 種 機	評 価	仕様		播種精度		繰出し		取扱性				その他		
		重 量	作業幅	播種深さ	播種量のばらつき	の詰まり	カルパーの詰まり	種子・肥料の繰出調整量	油圧調整	資材補給	操作性	ほ場適応性	耐久性	作業能率
条播	満足	5	6	5	5	8	6	4	4	3	4	4	4	8
	普通	5	4	5	4	1	3	4	4	5	5	4	4	1
	不満	0	0	0	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1

注) 数字は回答数。なお回答数が委託試験の数よりも多いのは、2 地域で複数回答があったため。

討課題とした。

② 走行開始・終了と種子の落下開始・終了のタイムラグの改善

種子が繰出されてからほ場に落下するまでに若干のタイムラグがあることから、走行開始直後に未播種部分が生じることがあった。タイムラグ解消は困難であることから、枕地線より手前から作業を開始することをマニュアルなどに記載して対応することとした。

③ 種子・肥料繰出量設定の簡易化・高精度化

発芽促進剤コーティング種子は、発芽促進剤の混合割合やコーティング方法の違いによって比重が異なり、種子の千粒重の違いもあって、単位容積当たりの種子粒数は一定しない。そのため、繰出量の調整が必要となるが、煩雑であることから、より簡易で高精度な方法が要望された。この問題も機械側ですぐに対応することが困難であり、農道などの平らな路面上で作業時の速度で 5m ほど走行しながら種子を繰出し、1～2m 間の粒数を計測して調量する方法を、マニュアルに記載することとした。

④ 覆土板制御部の改善

部品の錆や機構上の問題などから、回動式覆土板の動作時に過負荷となって制御系のヒューズが飛ぶなどのトラブルが発生した。市販機では、動力伝達部の構成、部品の材質などを変更して対応することとした。

⑤ 播種同時溝切器の装備

落水出芽法の普及に伴い、初期の細かな水管理に対応するために、播種後の溝切り作業を行う地区が増加している。現状では、播種後 2～3 日目に歩行用の溝切機を利用して作業しているが、溝の両側の条に土が寄り、出芽苗立ちが悪くなる場合があること、種々の作業が競合する時期であること、播種後間もないほ場内を歩くことの肉体的・精神的な負担が大きいことから、播種同時溝切器の装備が要望された。

5. 2 普及

図 1-4 において、本研究を開始する時期までの直播栽培面積の推移をグラフで示した。その後の推移を示したのが、図 5-5 である。1995 年の段階で 7,500ha を割っていた直播面積は、ここに来て増加傾向を示し始めた。この増加分のほとんどが湛水直播である。こ

れまで日本の直播をリードしてきた岡山県の乾田直播が減少傾向にあることが大きく影響しているが、愛知県で不耕起播種が急増しており、岡山県のマイナス分を補完したため、横這い状態で推移している。増加傾向にある湛水直播は、当初北陸を中心とした「コシヒカリ」直播がけん引役を担っていたが、最近では東北地域も大幅に面積を伸ばしており、日本の主要な米産地において湛水直播が普及している。

湛水直播をさらに播種様式別に見ると、図 5-6 となる。これまで湛水直播の主流を占めていた散播が急速に栽培面積を減らし、条播及び点播が大きく面積を伸ばしている。1993 年のウルグアイラウンド合意を契機として始まった水稻直播への取り組みは、当初、直播適応性品種の開発による、アメリカやオーストラリアのような省力的な栽培システムを描いていたように思われる。実際、「どんとこい」をはじめ、「つくし早生」、「味こだま」、「いただき」、「ミレニシキ」など、

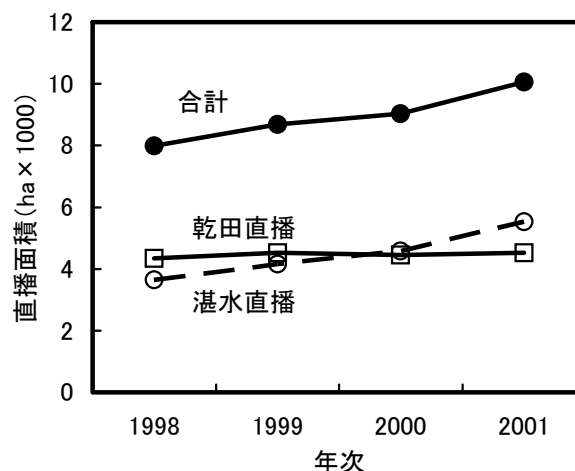


図 5-5 直播面積の推移

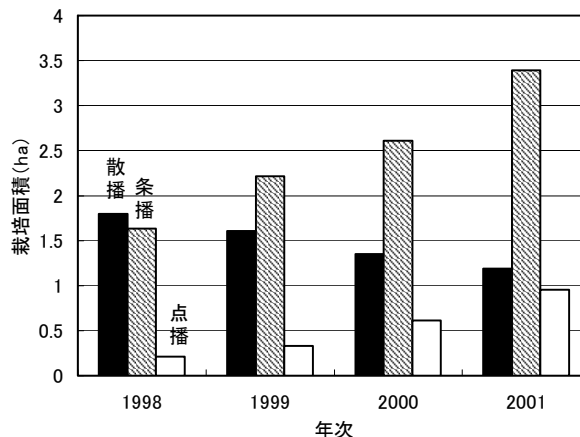


図 5-6 湛水直播の播種様式別栽培面積

国公立試験場の育種研究者の手で、多くの直播適応性品種が世に出された。しかし、1998年の時点で直播栽培面積の1割を少し超える程度であったコシヒカリは、2001年で全体の25%を占めるまでに増加している。特に、湛水直播を早くから取り入れた、「コシヒカリ」の本場、北陸地域が「コシヒカリ」による直播を目指したことが、全国的にも大きな影響を与えたものと思われる。

1980年代には、すでに現在の湛水直播技術の基本は完成していた。発芽促進剤粉衣による土中出芽の安定とそのために必要なコーティング装置及び湛水土中条播機の開発がそれである⁷¹⁾。しかし、それによってもなお、出芽・苗立ちは安定せず、雑草に悩まされ、移植栽培並の安定した収量を得ることができなかった⁷²⁾。北陸地域をコシヒカリ直播に向かわせた今回の技術開発が、農林水産省によって総括されている^{1), 2)}。それによれば、①落水出芽法の確立、②播種機等関連機械の開発、③除草技術の確立、そして④品種開発の4つがあげられている。

この中で、「播種機等関連機械」とは、高精度水稻湛水条播機や代かき同時点播機などの播種機の他に、自動コーティング装置、レーザ均平装置がある。特に自動コーティング装置は、これまで熟練を要するとともに、粉塵の舞う劣悪な作業条件で行ってきたコーティング作業から作業者を解放し、新たに湛水直播に取

り組もうとする農業者が、容易に導入できる環境を整えた意味で、湛水直播面積拡大の大きな立て役者となった。自動コーティング装置の開発には、生研センターに所属する著者も直接携わっており、本論文を締めくくるにあたって、自動コーティング装置及び高精度水稻湛水条播機の普及状況を紹介する。なお後者については、市販化され普及の緒についた高精度水稻湛水直播機の、その後の技術的な対応や他の優れた播種機との比較についても論じたい。

5. 2. 1 自動コーティング装置の普及

1) 自動コーティング装置の概要

これまでの水稻種子コーティング作業は、回転する傾斜ドラムの中で種粒を渦状に流し、そこへコーティング資材（発芽促進剤）を手動で供給するとともに

水を噴霧して供給する方法で行われるが、手作業のため仕上がりが作業者の熟練度に左右されることや、塵埃の多い環境下で作業しなければならない問題もある。そのため、コーティング装置の本体価格は安価ではあるが、はじめて湛水直播を導入しようとする農業者にとっては、敬遠される作業となっていた。

開発した自動コーティング装置は、傾斜ドラム、発芽促進剤繰出部、水噴霧部及びコントローラで構成され（写真5-2、図5-7）、シーケンスコントローラに記憶されたプログラムによって、傾斜ドラムの回転、ホ



写真 5-2 自動コーティング装置の外観

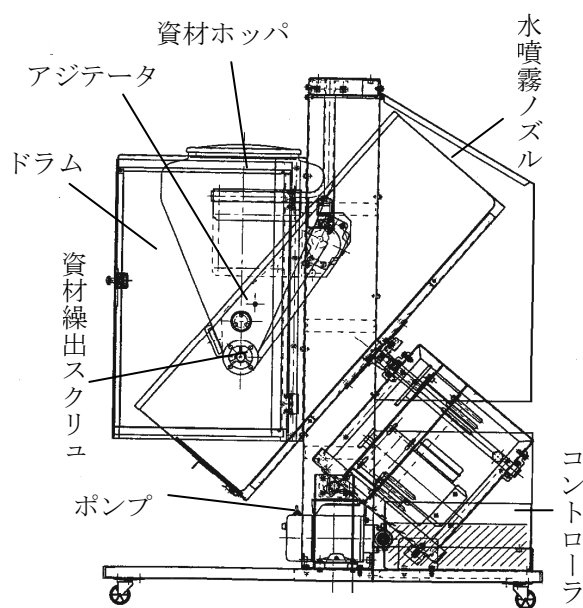


図 5-7 自動コーティング装置の側面図

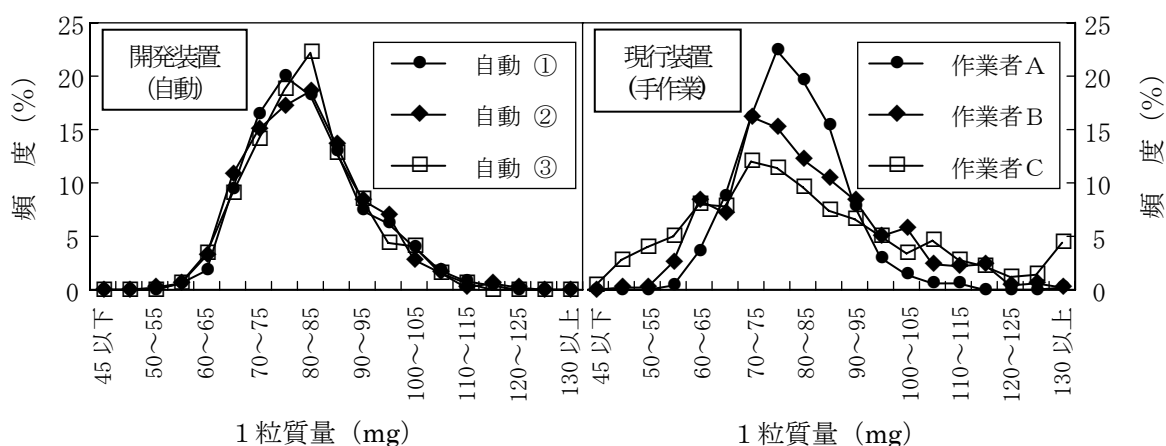


図 5-8 コーティング種子1粒質量の頻度分布(2倍重)

表 5-7 作業能率測定結果(2倍重)

供試装置	乾 粉 投入量 (kg/回)	各作業の平均所要時間 (min/回) (8回の平均値)								連続作業時の 作業時間 (min/ 乾粉 10kg)
		脱水	水補給	資材準備	コーティング (粉投入含む)	排出	陰干し	袋詰め	付着資材 除去	
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
現行装置	10	4.8	—	2.9	17.0		2.2	4.0	0.9	31.8
開発装置	15	5.5	0.6	6.4	21.1	1.5	2.1	5.8	0.6	15.4 ¹⁾

ッパ下方のスクリュコンベヤによるコーティング資材の間欠的定量繰出し、水の定圧噴霧を自動的に行う。その特徴は、以下の通りである^{73), 74)}。

① 図 5-8 に示すように、コーティング種子 1 粒質量のばらつきは、現行装置では作業者の熟練度によって大きく異なるが、開発装置ではばらつきが小さく、3 回の反復試験でもほぼ安定した高精度な作業結果を得ることができる。

② 一人作業時の乾粉 10 kg 当たり作業時間（浸漬種粉の脱水、コーティング種子の陰干し、袋詰め等の付帯作業を含む）は、2 倍重（乾粉と発芽促進剤の質量比、1:2）で 15 分、1 倍重（1:1）で 11 分で、付帯作業をコーティング作業と並行して行えること、乾粉投入量が現行装置より多いことから、現行装置の約半分となる（表 5-7）。

③ ドラム側面に設けたシャッタ式排出口が排出しやすい位置で自動停止するので、コーティングの終了した種子を速やかにかつ楽に排出できる。

④ 装置をカバーで被ったため、装置周辺への塵埃の飛散が少ない（写真 5-2）。

⑤ 運転モードを切替えることにより、1 回のコーティング量を、2 倍重で乾粉 15kg 又は 10kg、1 倍重で乾粉 20kg 又は 15kg の 4 通りに変えることができる。

2) 自動コーティング装置の普及

自動コーティング装置は 1998 年度の研究成果情報（総合農業）⁷⁵⁾ として取り上げられるとともに、1999 年から市販された。初年度の十数台を皮切りに、これまでに 360 台程度が、地域の直播研究会や農協などの組織を中心に普及が進んでいる。その理由は価格にもあるが、処理能力が高く、熟練を要しないことから、1 台で 100ha 以上の面積のコーティングを、アルバイトなどの雇用によって行うことができることによる。実際、地域適応性試験の委託先である、滋賀・長浜では、約 1 ヶ月の直播期間に、女性 2 名を雇用して対応している。また石川では、農協に自動コーティング装置を設置し、管内の直播栽培農家からの要望があれば、

機械を貸し出して作業を行わせている。このような処理能力の高さを活かして、コーティング種子を販売する動きも広がってきており、苗マットの半額程度(10a当たりの費用)で取り引きされている。

初期には、水噴霧ノズルへの異物の詰まりなどが問題として報告されたが、フィルタ容積の増大などで対処し、熟練を要しないで精度の高い種子コーティングを可能とすることや能率が高いことが評価されている。

5. 2. 2 高精度水稻湛水条播機の普及と研究の展開

1) 高精度水稻湛水条播機の普及

高精度水稻湛水条播機は、1998年度の研究成果情報(総合農業)⁷⁶⁾に取り上げられるとともに、2000年春から市販された。これまでに約400台程度が、機械共同利用組合、農協、大規模農家に導入されている。機械の利用形態は様々で、集落営農組織に2台導入された滋賀・長浜では、20日間程度の作業期間中に約35haの播種を行っている。田植機と操作や取り扱いが同じであることから、数人のオペレータが交互に出役して、補助者との2名作業で行われている。この地区が直播を導入したのは、本章で述べた地域適応性試験が皮切りとなっており、当初18haだった直播面積はすでに100haまで増加し、ほぼ定着したと言える段階になっている。

また、1台を機械の共同利用組合で導入した石川では、約20ha程度を専任オペレータ1名と出役の補助者1名で播種している。地区内の直播面積としては大きく増加してはいないが、近隣地区への波及効果が大き

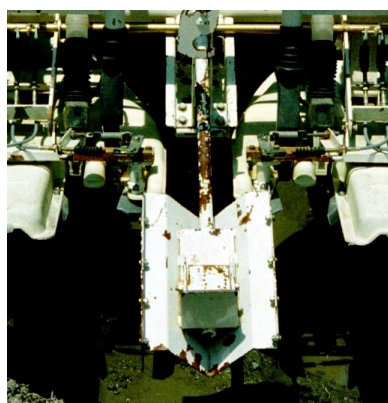
く、直播を導入する地区が増えるとともに、新たな機械導入が進められている。この地区では従来から、播種後溝切りによって落水出芽管理を徹底して行っていたことから、播種作業と同時に溝切りを行う機能の追加が強く要望された。落水出芽法が出芽・苗立ちの安定に寄与していることは明らかでも、降雨が続いたり、ほ場の均平が取れていない場合は、ほ場全体を速やかに落水状態とすることが困難となる。そのため、地域によっては手押し式の溝切機によって播種後のほ場に溝を切る作業を行う場合がある。まだ出芽しないほ場内を歩行し、溝を切ることは、精神的にも肉体的にも作業者への負担が多く、また播種作業と競合する作業となることから全体の能率低下にもつながる。そこで高精度水稻湛水条播機に装着可能な溝切機を試作し、播種作業と同時に溝を切ることによって、前述の問題を解決することを試みた。

2) 普及後の研究の展開(播種同時溝切り技術)

石川県能美地区の農家ほ場(土性の異なる2ヵ所)、滋賀県長浜地区の農家ほ場及び埼玉県川里村の生研機構附属農場において、3種類(写真5-3)の異なる溝切機による性能試験を実施した。全ての試験において、通常の播種作業時に同時溝切りを実施し、作業後の溝形状を測定した。また、溝切機の影響を受ける条と受けない条の出芽深さを計測し比較した。さらに石川では、慣行の手押し溝切機による作業も実施し、播種同時溝切機と比較した。

試験の結果は、以下のように集約される。

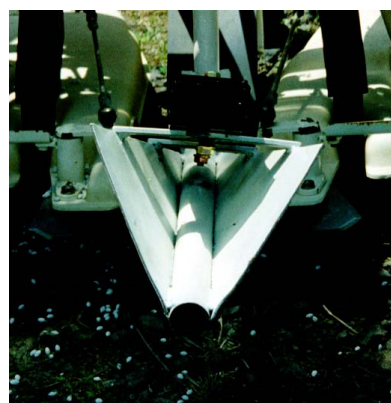
① ほ場表面が滞水して軟らかすぎる土壌条件以外



a) 溝切機A



b) 溝切機B



c) 溝切機

写真 5-3 供試溝切機

の部分では、いずれの溝切機でも溝が形成され、すぐに埋め戻すことはなかった。また、溝切り機は隣接条への影響がない範囲で溝幅を広くすることが有効と考えられた。(表5-8、図5-9)

表5-8 溝形状(埼玉)

	A社 条播機 +溝切機 A	B社 条播機 +溝切機 B	C社 条播機 +溝切機 A	D社 条播機 +溝切機 C
全幅(mm)	209	193	172	176
高さ(mm)	8	14	8	10
深さ(mm)	35	29	35	33
幅(mm)	139	95	107	115

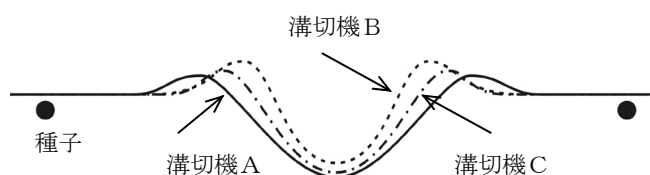


図5-9 溝形状比較(埼玉)

② 石川、滋賀の試験結果から、隣接条への泥寄せの現象が確認され、播種深さが深くなったり、出芽率が低下した。しかし、石川の試験結果からも、手押し式の溝切機に比べその影響の程度は低く、実用上の問題はないものと推測された。(表5-9、図5-10)

③ 石川、滋賀においては、溝切り後に枕地の溝を排水口までつなぐことによって、落水出芽など初期水管理に効果が認められた。

④ 播種作業上同一箇所を走行するため、運転席で溝切機の昇降が可能となるよう、改善要望が出された。

これらの試験の結果、オプションとして条播機に取

り付ける「溝切機」が2001年から市販され、2002年度に北陸地域に出荷された10数台は、全て「溝切機」とセットで販売され、条播機の播種精度とともに高い評価を得ている。

3) 高精度水稻湛水条播機と他方式との比較

図5-6で示したように、ここ数年の湛水直播面積の拡大には、高精度水稻湛水条播機とともに代かき同時点播機が大きく貢献している。これらの機械はほぼ同時期に開発が開始され、代かき同時点播機は高精度水稻湛水条播機が市場に出る1年前に市販化された。生育中の稲姿が移植と似ている、耐倒伏性が強い、など点播という栽植様式を持つ利点と、代かきと同時行程で行うことのできる省力性、さらには水稻作をトラクタ体系で行うことのできる低コスト性や機械的に種子を土中に打ち込む斬新な機構が高く評価され、発売開始後普及が進んでいる⁷⁾。これら代かき同時点播機の特徴は、移植栽培から直播への技術的な切り替

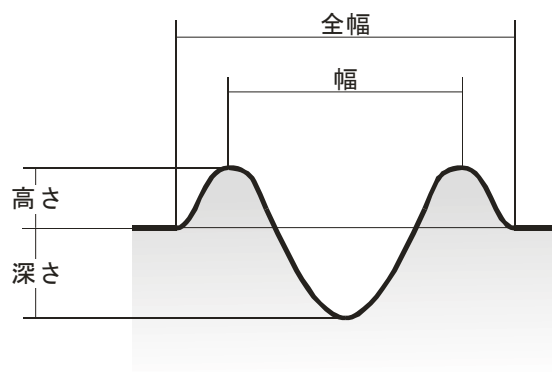


図5-10 溝形状の測定方法

表5-9 溝切機の播種精度への影響

場所	埼玉(粘質)								石川(砂質)		石川(粘質)		滋賀(砂質)	
機種	A社条播機+溝切機A		B社条播機+溝切機B		C社条播機+溝切機A		D社条播機+溝切機C		A社条播機+溝切機A	手押し	A社条播機+溝切機A	手押し	D社条播機+溝切機C	
溝切機の影響の有無*	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	あり	なし	あり
出芽	Ave (mm)	5.0 5.6	3.2 4.7	4.1 3.6	4.5 4.6	9.9 8.1	9.4	11.0 10.5	13.1	4.7 3.8	4.6	5.4 4.1	8.3	2.7 2.3
深さ	SD (mm)	4.4 4.7	3.6 4.8	4.1 4.0	4.1 4.2	3.6 3.8	4.6	5.4 4.1	8.3	2.7 2.3	4.6	5.4 4.1	8.3	2.7 2.3
	CV (%)	88 85	113 101	101 111	89 92	36 47	49	49 39	63	56 60	49	49 39	63	56 60
出芽	Ave (本/m ²)	70.4 68.6	74.3 80.3	84.4 82.5	75.1 75.1	29.4 35.6	23.6	28.2 31.6	25.6	79.9 76.0	23.6	28.2 31.6	25.6	79.9 76.0
本数	SD (本/m ²)	23.3 21.2	24.2 23.5	31.2 32.8	19.4 15.9	18.0 21.1	18.3	14.8 14.6	13.3	19.6 20.4	18.3	14.8 14.6	13.3	19.6 20.4
	CV (%)	33 31	33 29	37 40	26 21	61 59	78	52 46	52	25 27	78	52 46	52	25 27
出芽率	Ave (%)	81 79	84 91	82 80	83 83	57 69	46	43 48	39	70 67	46	43 48	39	70 67

*「あり」は溝切機近傍の2条、「なし」はそれ以外の条。

えを容易にする利点も有しており、倒伏を嫌う「コシヒカリ」栽培農家に支持されている。

しかし、種子繰出装置の機構的な制約から、点播形状を維持するためには田植え作業の半分程度（0.5～0.7m/s）の低速作業を余儀なくされ、直播に求められる高能率を維持することがきわめて難しい。また、播種深さ精度を高めるためには、ほぼ仕上げ代かきに近い土壌条件での代かき同時播種作業が必要で、かつ土性によって異なる適正な代かき時の水深を維持することが必要となる。そのため、作業体系上、播種作業と並行して代かき作業を行う必要があり、新たにトラクタを導入する必要が生じたり、土性に合わせた水管理など熟練した技術が要求される。さらに、機械的な打ち込みによるコーティング種子の剥離、田植機のような次行程マーカが装備されていないことによる直進作業性の低下、さらには直播栽培に有効とされる同時側条施肥が装備されない、など様々な問題も指摘されている。

開発した高精度水稻湛水条播機は、点播という栽植様式には対応していないが、播種作業時の土壌条件、作業速度、操作性、同時側条施肥機能などは田植機とほぼ同じであり、特別な技術を要しない、苗ハンドリングを省いた高能率な作業を行うことができる。また、土壌表面硬度に応じて覆土量を制御する機構の搭載によって、土性や土壌硬度の幅広い条件に対応して、高い播種精度を達成できる。

以上のように、両機ともに利点欠点を有しており、「播種精度と能率」の高精度水稻湛水条播機、「点播」の代かき同時点播機として、今後とも、我が国の湛水直播面積拡大に寄与していくものと期待している。

5. 3 まとめ

播種精度の向上を目的として開発した、8～10条播きの高精度水稻湛水条播機を供試し、全国8地区で地域適応性試験を実施した⁷⁸⁾。

① 8地区中7地区が「コシヒカリ」を栽培し、3地区では主要な栽培品種であった。播種時期は年々早まる傾向にあり、4月下旬から5月連休期間に集中した。乾粒播種量は、「コシヒカリ」だけで見ても1.3～4kg/10aと、地域によって差があったが、全体としては減少傾向にあった。総作業面積約115haにおいて順調に作業を行い、利用農家から高い評価を得た。

② 播種深さ精度は、「浅め作溝」で平均出芽深さ5.4mm、平均表面出芽割合7.2%、「深め作溝」で平均出芽深さ9.7mm、平均表面出芽割合1.8%となり、1998年度の試験結果と同等の、安定した播種深さを確保できた。ほ場作業量は平均0.42ha/h、1日当たりの作業面積は平均2.55haとなった。

③ 落水出芽法の導入や好天により、安定した出芽苗立ちを確保して順調に生育し、倒伏程度も移植栽培と差がなかった。全地域、全品種を平均した対移植収量比は約90%程度と安定した収量となり、品質も移植に比べておおむね良好となった。

④ 利用農家から、取扱性、耐久性を中心とした供試機への改良要望が出された。この結果を反映させて開発機に改良を加え、2000年春から市販化された。

⑤ 市販された高精度水稻湛水条播機は、機械共同利用組合、農協、大規模農家を中心に、約120台が導入され、自動コーティング装置の普及と相俟って、湛水直播栽培面積の拡大に寄与している。

第6章 摘 要

わが国における水稻直播の歴史を振り返ると、「省力化」を目指した近代的な直播技術確立への取り組みは、大正時代から4度の歴史がある。古くは大正時代末期（1920年代）第一次世界大戦前後の労働力不足解消のために、次いで農業近代化を目指した第二次大戦前後（1940年代）、さらに1962年に始まる農業構

造改善を支える労働生産性向上技術として、最後が1980年代の貿易自由化対応策としての取り組みであるが、これらの技術開発は本格的な定着に至らなかった。しかし、ここ数年の官民を挙げての機械開発（均平機、自動コーティング装置、新型播種機など）、直播用の除草剤、落水出芽法などの開発により、直播稲

作安定化のための基本技術がほぼ出揃った。このような技術的な背景をもとに、微増ではあるものの直播に取り組む農家も増えつつある。

全国レベルで実施された直播を導入している営農現場へのアンケート調査⁷⁹⁾によれば、試行的に直播を導入している農家が多い中で、普及拡大に向かうためのポイントとして、収量の安定性、栽培技術の習熟、水利条件やほ場条件の整備をあげている。また、北陸地域における湛水直播への取り組み状況を調査した結果⁸⁰⁾でも、同様のことが指摘されている。安定したとは言え、条件によって変動する苗立ち、倒伏と収量のジレンマなど、全国一律のマニュアルでは対応できない難しさを直播栽培が抱えているのは事実である。しかし、いまだ篤農家レベルの技術とされながら、優れたリーダーを中心として集団的な直播栽培も成立しており、面的普及拡大の萌芽が見られるとの意見もある^{81), 82)}。本研究の委託試験地区も、当初は試行的に取り組みを始めた地区がほとんどであるが、全ての地区がその後も直播を継続し、福島、栃木、石川、福井、滋賀(2カ所)においては、定着しさらなる拡大を遂げていると言っても過言ではない。

日本における直播を技術的にサポートしてきた水稻湛水直播研究会から、新たな技術を組み入れた「水稻湛水直播の手引き」⁸³⁾が刊行され、新たな直播導入に広く利用される一方、直播の過去の反省と未来を見据えた幅広い研究者間の交流も活発に行われている⁸⁰⁾。さらには、田植機を汎用的に活用して、精度の高い直播を目指す研究⁸⁴⁾や低コスト化を阻む要因の一つとなっている発芽促進剤を利用しない直播法の評価に取り組む事例⁸⁵⁾も増えている。開発した高精度水稻湛水条播機が、湛水直播の基幹となる播種機として、日本における直播栽培の定着に寄与できれば幸いである。

最後に、本研究を以下に総括する。

6. 1 土壌表面硬度測定機器の開発

安定した播種深さで作業できる湛水土壌中条播機を開発するため、播種機の性能に大きく影響を及ぼすと考えられる土壌表面硬度を正確に測定又は検出する機器として、土壌表面硬度計とリアルタイム土壌硬度センサを試作し、試験を実施した結果、以下の結論

を得た。

- 1) 試作した土壌表面硬度計は、頂角 44.5° 、高さ 55mm、質量 115g (支柱を含む) の下げ振り先端を地表面に接する位置から自由落下させて、そのときの貫入深を読み取る方式である。通常は下げ振りが固定され、開放ボタンを押したときだけ上下動が自由となる機構、土壌表面に静置するだけで正確な位置決めができる装置構成などによって、測定者が片手で操作でき、下げ振りやゴルフボールを用いる従来法に比べて土壌表面近傍(深度 0~55mm)の土壌硬度を精度よく能率的に測定することができた。
- 2) 土壌表面を追従する基準輪と土壌硬度に応じて沈下量に変化するセンサ輪のそれぞれの支持軸の角度差を検出して、連続的に土壌表面硬度を検出するリアルタイム土壌硬度センサは、基準輪、センサ輪の外径を 150mm、それぞれの荷重を 9.8N、5.9N とすることで、速度によらず安定した検出が可能となり、室内基礎試験においては試作土壌表面硬度計と高い相関を示した。また、ほ場における使用においても、問題なく作動することを確認した。
- 3) 土壌表面硬度計は、1998 年度研究成果情報(総合農業)⁸⁶⁾として取り上げられ、同年より大起理化工業(株)から市販された。すでに 10 数台が国公立研究機関ならびに大学で利用され、湛水直播作業時の試験条件測定用機器として活用されている。

6. 2 高精度水稻湛水条播機と覆土量制御

湛水条播機の播種深さ精度の向上を目的として、高精度水稻湛水条播機を設計試作した。また、播種精度に大きく影響する、覆土板角度制御機構について、覆土板の形状及び覆土板角度が覆土性能に及ぼす影響を土壌表面硬度を変えて調査するとともに、5. 1 で述べたリアルタイム土壌表面硬度センサの出力値に基づく覆土板角度制御方法を検討した。

- 1) 水田ビークルに直装する 8~10 条播きの条播機を設計試作した。従来機からの主な改良点は、①全長を長くして土壌表面への追従性を向上させ、強度アップによって覆土板の作用を確実にしたフロート、②下面へのプレートの取付け・取り外しにより播種深さを 2 段階に変えられる作溝器、③土壌表面硬度

に応じた覆土板角度制御機構の付加などである。

- 2) 回転土槽を用い、覆土板角度が覆土性能に及ぼす影響を土壌表面硬度を変えて調べた結果、土壌硬度が8~50mmの間では、覆土板角度（進行方向に対する覆土板側面の角度）を、硬い場合に大きく（土の移動量を多く）、軟らかい場合に小さく（土の移動量を少なく）することによって、良好な覆土状態を得ることができた。
- 3) 土壌表面硬度に応じて覆土板角度を制御するアルゴリズムの検討を行い、リアルタイム土壌表面硬度センサの出力値は、土壌表面の土塊や夾雑物の影響を受けて瞬間的に大きく変動することがあるため、土壌表面硬度を4段階に区分して、それぞれに覆土板角度を割り当てる段階制御方式とした。また、制御用マイコン及び電動シリンダの特性を考慮し、制御のインターバルは0.5sとした。回転土槽において制御状態を調査し、安定した覆土板制御が可能であることを確認した。
- 4) 開発機に取付けたリアルタイム土壌表面硬度センサにより、直播作業時のほ場の硬度マップを作成し、同一ほ場の中で土壌硬度が大きく変動していることを明らかにした。

6. 3 作業性能、水稻の出芽・苗立ちと収量

播種精度の向上を目的として開発した、8~10条播きの高精度水稻湛水条播機を供試し、播種作業性能試験及びその後の生育・収量調査等を、1997年及び1998年の2カ年にわたって延べ14地域で実施した。

- 1) 播種作業は、代かき後3~10日目、平均土壌表面硬度計貫入深が27~39mmの条件下で行い、作業速度0.8~1.0m/sで円滑に作業できた。
- 2) 土壌硬度に応じて覆土板角度を調節する覆土装置は、全ての試験で問題なく作動した。
- 3) 開発機は2年間にわたり高い播種深さ精度を示し、1998年の試験結果を平均すると、浅め作溝区では、出芽種子露出割合（出芽深さ0mm）が7%、出芽深さが8.0mm、深さ3~12mmの割合が72%となり（対照機1はそれぞれ、24%、5.7mm、65%）、深め作溝区では、出芽種子露出割合が6%、出芽深さが9.3mm、深さ5~15mmの割合が74%となった。この結果か

ら、表面播種が減少して、播種深さの安定化が図られていることが確認できた。

- 4) 1997年、1998年の試験における浮き苗・転び苗率を平均するとそれぞれ3.2%、2.8%（対照機1はそれぞれ5.2%、4.3%）であり、開発機の表面播種が減少して一定播種深度の確保による効果が認められた。
- 5) 1998年の収量は、対照機1で播種したほ場より約2%高かった。2年間の収量を移植ほ場と比べると、比較的気温の低い地域並びに「コシヒカリ」栽培地域では、平均で20%低く、温暖な地域で「コシヒカリ」以外の品種を栽培した場合は平均で12%高かった。
- 6) 開発機のほ場作業量は平均で45a/hであった。

6. 4 地域適応性と普及

播種精度の向上を目的として開発した、8~10条播きの高精度水稻湛水条播機を供試し、全国8地区で開発促進評価試験を実施した。

- 1) 8地区中7地区が「コシヒカリ」を栽培し、3地区では主要な栽培品種であった。播種時期は年々早まる傾向にあり、4月下旬から5月連休期間に集中した。乾初播種量は、「コシヒカリ」だけで見ても1.3~4kg/10aと、地域によって差があったが、全体としては減少傾向にあった。総作業面積約115haにおいて順調に作業を行い、利用農家から高い評価を得た。
- 2) 播種深さ精度は、「浅め作溝」で平均出芽深さ5.4mm、平均表面出芽割合7.2%、「深め作溝」で平均出芽深さ9.7mm、平均表面出芽割合1.8%となり、1998年度の試験結果と同等の、安定した播種深さを確保できた。ほ場作業量は平均0.42ha/h、1日当たりの作業面積は平均2.55haとなった。
- 3) 落水出芽法の導入や好天により、安定した出芽苗立ちを確保して順調に生育し、倒伏程度も移植栽培と差がなかった。全地域、全品種を平均した対移植収量比は約90%程度と安定した収量となり、品質も移植に比べておおむね良好となった。
- 4) 利用農家から、取扱性、耐久性を中心とした供試機への改良要望が出された。この結果を反映させて

開発機に改良を加え、2000年春から市販された。

5) 市販された高精度水稻湛水条播機は、機械共同利用組合、農協、大規模農家を中心に、120台程度が導入され、自動コーティング装置の普及と相俟って、湛水直播栽培面積の拡大に寄与している。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、研究環境を整えていただいた旧生物系特定産業技術研究推進機構菅原敏夫元理事、木田滋樹元理事、生物系特定産業技術研究支援センター大森昭彦前理事、また研究報告のとりまとめの機会を与えていただいた竹原敏郎理事に心より感謝を表す。

本論文の取りまとめにあたり、北海道大学大学院農学研究科 端俊一教授、同研究科 片岡崇助教授には、懇切なご指導と適切なご助言を賜ったことに深甚の謝意を表す。

土壌表面硬度センサの試作にあたっては大起理化工業(株)に、高精度水稻湛水条播機の試作にあたっては井関農機(株)、(株)クボタ、三菱農機(株)、ヤンマー農機(株)にご協力いただいた。また、委託試験の実施に当たっては、北海道立中央農業試験場、山形県立農業試験場、福島県農業試験場、富山県農業技術センター、栃木県農業試験場、愛知県農業総合試験場、滋賀県農業試験場、兵庫県立農業技術センター、酒田地区直播研究会、21 八木沢稲作組合、能美地区直播研究会、さばえ直播研究会、鹿沼地区水稻直播研究会、湖北地区水稻直播研究会、東近江水稻直播栽培推進協議会、宇和水稻直播研究会にご協力いただいた。ここに、改めて深甚の謝意を表すものである。

引用文献

- 1) 農林水産省生産局：平成13年度新技術・新品種導入対策事業（超低コスト・省力化技術導入実証）成績報告書（その1）、2002
- 2) 農林水産省生産局：平成13年度新技術・新品種導入対策事業（超低コスト・省力化技術導入実証）成績報告書（その2）、2002
- 3) 西村洋，戸崎紘一，堀尾光広：オーストラリアにおける稲作機械化の現状（第1報）－オーストラリア稲作の概要，農業機械学会誌 58(4)，119-122，1996
- 4) 西村洋，戸崎紘一，堀尾光広：オーストラリアにおける稲作機械化の現状（第2報）－作業方法と利用機械，農業機械学会誌 58(5)，83-87，1996
- 5) 後藤 隆志・西村 洋：韓国における直播稲作の機械化（第1報），農業機械学会誌 59(6)，P117～120，1997
- 6) 後藤 隆志・西村 洋：韓国における直播稲作の機械化（第2報），農業機械学会誌 60(1)，P115～120，1998
- 7) 八木宏典：カリフォルニアの米産業，財団法人東京大学出版会，1992
- 8) 信岡誠治：オーストラリアの稲作と米産業（1），農業および園芸 69(7)，35-39，1994
- 9) 信岡誠治：オーストラリアの稲作と米産業（2），農業および園芸 69(8)，15-20，1994
- 10) 信岡誠治：オーストラリアの稲作と米産業（3），農業および園芸 69(9)，25-29，1994
- 11) 田淵俊雄，山路永司，石川雅也：オーストラリアの大区画水田と巨大蒸発池，農業土木学会誌 62(2)，103-108，1994
- 12) Department of Agricultural New South Wales and the Rice Research Committee: Rice Growing in New South Wales, 1984
- 13) Elizabeth Humphreys, Warren Muirhead: Agronomic Options for Reducing under Rice, Australian Journal of Soil and Water Conservation Vol.4 No. 4, 1991
- 14) 韓国農機具工業協同組合：1996年度農業機械年鑑
- 15) 農村振興廳：韓国の農村振興事業，1996
- 16) 鷺尾 養：韓国の稲作，農業および園芸 62(1)，55-61，1987
- 17) 鷺尾 養：急速な普及拡大を見せる韓国の水稻直播栽培，直播稲作への挑戦，農林水産技術情報協会，1995
- 18) Lee, S.Y. : Development of Rice Direct Seeding Cultivation in Korea, Korea-Japan Seminar on Direct Seeded Rice, 1995
- 19) Lee, C.H. : Development of Direct Seeder in Rice

- Cultivation, Korea-Japan Seminar on Direct Seeded Rice, 1995
- 20) Kim, S. C., Oh, Y. J. : Weed Control Technology of Direct Seeded Rice in Korea, Korea-Japan Seminar on Direct Seeded Rice, 1995
- 21) 農林水産省農林水産農林水産技術会議事務局昭和農業技術発達史編纂委員会：昭和農業技術発達史第2巻水田作編，社団法人農業水産技術情報協会，146-162，1993
- 22) 櫛渕欽也監修：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」，社団法人農林水産技術情報協会，1995
- 23) 櫛渕欽也：日本型直播稲作の未来像と課題，農業技術 52(6)，27 -
- 24) 日本型直播稲作の確立・普及に関する研究会：新しい直播稲作システムへの挑戦，農林水産省農産園芸局，199633，1997
- 25) 日本型直播稲作導入指針，農林水産省農業研究センター，1999
- 26) 稲作に関する資料，水稻直播研究会，1995～2001
- 27) 西村洋：稲作機械化の新技术（1）－水稻湛水直播の新技术，農機誌，59(3)，138-142，1997
- 28) 西村洋・市川友彦：(2) 直播用機械開発にかける夢，研究ジャーナル，20(1)，34-39，1997
- 29) 櫛渕欽也監修：直播稲作への挑戦第2巻「直播稲作研究の最前線」，社団法人農林水産技術情報協会，1995
- 30) 屋代幹雄：稲作機械化の新技术(1)－水稻乾田直播の新技术，農業機械学会誌 59(3)，133-137，1997
- 31) 栗崎弘利他：北の国の直播－乾田直播の技術開発と挑戦，北海道農業試験場，1999
- 32) 栗崎弘利：寒冷地における乾田直播水稻栽培体系の開発，日本土壤肥料学会誌 68(3)，237-240，1997
- 33) 中村喜彰：湛水土壌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第7号，1-41，1978
- 34) Yoshiaki Nakamura, Haruhiko Murase, Sakae Shibusawa: Direct Seeding with Coated Rice in Submerged Paddy Field (1), AMA, Vol. 14No. 3, 11-14, 1983
- 35) Yoshiaki Nakamura, Haruhiko Murase, Sakae Shibusawa: Direct Seeding with Coated Rice in Submerged Paddy Field (2), AMA, Vol. 14No. 4, 11-14, 1983
- 36) Yoshiaki Nakamura, Haruhiko Murase, Sakae Shibusawa: Direct Seeding with Coated Rice in Submerged Paddy Field (3), AMA, Vol. 15No. 1, 11-13, 1984
- 37) 下坪訓次・富樫辰志：水稻代かき同時打込み点播機のための鋸歯形ディスクの開発，農作業研究 36(2)，49-58，2001
- 38) 富樫辰志・下坪訓次・吉永悟志：水稻代かき同時打込み点播機の開発と播種深度特性，農作業研究 36(4)，176-186，2001
- 39) 富樫辰志・下坪訓次・吉永悟志：水稻代かき同時打込み点播機の点播特性，農作業研究 36(4)，187-194，2001
- 40) 富樫辰志・下坪訓次・吉永悟志：水稻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)，195-203，2001
- 41) 吉永悟志・下坪訓次・富樫辰志：水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究－3. 点播水稻の生育特性，日作紀 66(別1)，14-15，1997
- 42) 吉永悟志・富樫辰志・脇本賢三：水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究－6. 点播水稻の苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響，日作紀 67(別1)，226-227，1997
- 43) 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次：打ち込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上－直播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)，186-193，2001
- 44) 今園支和：水田大区画化と直播栽培，東北農業研究 4，5-19，1991
- 45) 長野県：平成 3～5 年ヘリコプター利用による水稻湛水土壌中直播栽培現地実証試験成績概要，長野県農政部，1994
- 46) 稲作関係資料，農林水産省生産局農産振興課，1994～2003
- 47) 櫛渕欽也監修：直播稲作への挑戦第3巻「新しい日本型直播稲作の戦略」，社団法人農林水産技術情報協会，1995

- 48) 稲作省力化技術 (直播栽培導入事例集), 社団法人 農業改良資金協会, 1999
- 49) 湛水直播機の播種深度制御技術, 昭和 62 年度研究成果情報 (総合農業), 農林水産省農業研究センター, 181-182, 1988
- 50) 石郷岡康男・溝田秀昭・折本正樹・原田選也・奥山幹夫: 湛水ほ場における直播作業の制御技術, クボタ技報, 第 20 号, 39-45, 1988
- 51) 農業機械学会: 農業機械・施設試験方法便覧, 225, 1977
- 52) 中村喜彰, 村瀬治比古: 新しい代かき土壌硬度試験法, 農機誌, 47(3), 359-362, 1985
- 53) 農業機械学会: 農業機械・施設試験方法便覧, 280, 1977
- 54) 伊藤清一: 代かき土壌の硬度測定法に関する力学的一考察, 愛知農総試研報, 20, 99-104, 1988
- 55) 澤村篤, 宮澤福治, 池永昇, 吉田智一: 代かき土壌硬度の簡易測定法, 農業および園芸 61(9), 1109-1110, 1986
- 56) 西村洋: 軟弱土壌の硬さ測定法, 農機誌, 60(5), 130-133, 1998
- 57) 橋本 進, 影山義春, 和田山安信: 農作業試験における簡易なほ場条件調査法について, 農機誌東北支部報, 37, 93-96, 1990
- 58) 西村洋, 林和信, 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 上田吉弘: 高精度水稻湛水条播機の開発 (第 1 報) - 土壌表面硬度測定機器の開発, 農機誌,
- 59) 西村 洋, 林和信, 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 浅野士郎, 上田吉弘, 福岡英明, 中尾敏夫: 高精度水稻湛水条播機の開発 (第 2 報) - 開発機の概要と覆土量制御 -, 農機誌, 63(6), 114-121, 2001
- 60) 大場茂明: 落水出芽法の由来, 農業技術 52(1), 33-34, 1997
- 61) 北海道立中央農業試験場・北海道立上川農業試験場: 湛水直播栽培・落水出芽法, 北海道農業試験会議 (成績会議資料) 平成 9 年度, 1997
- 62) 丸山 幸夫: 水稻の湛水直播栽培における出芽苗立期の落水管理の指標, 農業技術, 54(8), 374-376, 1999
- 63) 田中英彦: 4. 湛水直播栽培技術 (1) 出芽・苗立ち安定化技術, 北農, 第 67 巻第 2 号, 22-24, 2000
- 64) 西村 洋, 林和信, 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 浅野士郎, 上田吉弘, 福岡英明, 中尾敏夫: 高精度水稻湛水条播機の開発 (第 3 報) - 開発機の作業性能, 水稻の出芽・苗立ちと収量 -, 農機誌, 63(6), 122-130, 2001
- 65) 松尾喜義, 小松良行, 上村幸正: 簡易な水稻倒伏抵抗性測定装置 - その試作と湛水直播試験への応用例, 農業技術 41(5), 31-33, 1986
- 66) 国立卓生, 澁澤栄, 宮下高夫, 笹尾彰: 潤土直播水稻の株倒伏抵抗の評価法, 農業機械学会誌 61(2), 111-117, 1999
- 67) 国立卓生, 澁澤栄, 宮下高夫, 笹尾彰: 潤土直播水稻の作溝による耐倒伏性の向上, 農業機械学会誌 62(1), 83-87, 2000
- 68) 国立卓生, 澁澤栄, 宮下高夫, 笹尾彰: 潤土直播水稻における苗立ちの局所ばらつきと耐倒伏性, 農業機械学会誌 62(2), 137-143, 2000
- 69) 姫田正美: 押し倒して以降の表示は稈 (穂) 当たりか, 株当たりか - 直播水稻の栽植密度と倒伏性に関する若干の考察, 農業技術 56(8), 32-25, 2001
- 70) 寺島一男: 稲における転び型倒伏抵抗性品種の生理・生態特性, 農業技術 51(4), 1996
- 71) 農業機械学会: 水稻の湛水土壌中直播栽培とその機械化技術, 第 8 回農業機械化技術研修会, 77-106, 1983
- 72) 三石昭三・井村光夫: 水稻の湛水直播における諸問題 [3] - 湛水土壌中直播法を中心にして -, 農業及び園芸, 57(12), 43-48, 1982
- 73) 後藤隆志, 堀尾光広, 西村洋, 林和信, 市川友彦, 出野俊次, 佐藤巖: 水稻種子自動コーティング装置の開発 (第 1 報) - 基礎試験, 農業機械学会誌 63(5), 100-108, 2001
- 74) 後藤隆志, 堀尾光広, 西村洋, 林和信, 市川友彦, 出野俊次, 佐藤巖: 水稻種子自動コーティング装置の開発 (第 2 報) - 作業性能試験と実用化, 農業機械学会誌 63(6), 95-101, 2001
- 75) 後藤隆志, 堀尾光広, 西村洋, 林和信, 市川友彦, 澤野寿彦, 初田工業 (株), ヤンマー農機 (株): 水稻種子自動コーティング装置, 平成 10 年度研究成果情報 (総合農業), 農林水産省農業研究センター, 302-303, 1999

- 76) 西村洋, 林和信, 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 井関農機(株), (株)クボタ, 三菱農機(株), ヤンマー農機(株): 覆土量を制御できる湛水土中条播機, 平成10年度研究成果情報(総合農業), 農林水産省農業研究センター, 304-305, 1999
- 77) 脇本賢三: ショットガン直播機を用いた稲・麦の省力安定栽培技術, 農業および園芸, 第76巻第10号, 53-60, 2001
- 78) 西村 洋, 林和信, 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦: 高精度水稻湛水条播機の開発(第4報)ー開発機の地域適応性試験ー, 農機誌, 65(1), 122-130, 2001
- 79) 土田志郎, 長野間宏, 小柳敦史: 営農現場における水稻直播栽培の実態と普及・定着条件ーアンケート調査結果の分析, 農業研究センター研究資料, No. 38, 37-94, 1999
- 80) 斎藤仁蔵, 澤村宣志, 佐々木良治, 鳥山和伸, 大矢慎吾, 藤田佳克, 山路良寛: 北陸地域における水稻湛水直播栽培の現状と生産者の評価, 北陸農業研究資料, No. 41, 1999
- 81) 農業技術協会: 水稻直播の振興を考える<座談会・特集号>, 農業技術 55(2), 2000
- 82) 秋田 重誠: 最近の直播水稻の研究をめぐって, 農業技術, 54(8), 360-365, 1999
- 83) 水稻直播研究会: 水稻湛水直播栽培の手引き, 水稻直播研究会事務局, 4-11, 1999
- 84) 上野秀人: 再生紙マルチ直播栽培の開発とこれからの課題, 農業および園芸 72(10), 65-71, 1997
- 85) 内村要介, 佐藤大和, 松江勇次: 酸素発生剤を用いない湛水土壌表面直播栽培の出芽苗立ち評価, 日作紀 70(3), 393-399, 2001
- 86) 西村洋, 林和信, 後藤隆志, 堀尾光広: 代かき土壌表面硬度計, 平成9年度研究成果情報(総合農業), 農林水産省農業研究センター, 294-295, 1998

SUMMARY

Studies on Precision Drilling for Direct Sowing of Rice
on Flooded Paddy Field

Yoh NISHIMURA, Kazunobu HAYASHI, Takashi GOTOH,
Mitsuhiro HORIO, Tomohiko ICHIKAWA, Shiro ASANO,
Yoshihiro UEDA, Hideaki FUKUMA, Toshio NAKAO

When we look back upon the fairly long history of direct sowing of rice in Japan, we can hardly see that development projects successfully attributed to extension of direct sowing in spite of huge amount of efforts paid in those projects. But recently, through joint efforts of the governmental and industrial sectors, new basic key technologies to secure stable growth of direct sown rice have been developed, such as new machines (laser leveler, automatic coating machine for paddy seeds), weed-control chemicals and technique of draining just after seeding to improve germination. With these technologies, the harvested area of direct sown rice is gradually increasing. According to a nationwide questionnaire investigation on opinions of farmers who have introduced direct sowing, they pointed out that, for wider extension of rice direct sowing, it is necessary to secure much more stable yield, to improve their cultivation skill and to ameliorate water and field conditions. Much the same results are shown in another investigation carried out in Hokuriku region.

Meanwhile, even if stable establishment of seedlings is obtained, there remain some problems such as variance of establishment rate caused by conditions of soils and climate, and the prevailing dilemma between yield and prevention of lodging. Therefore it is the case that a single one series of direct sowing techniques cannot be employed everywhere in Japan. Though it was often said that direct sowing is a technology suited to individual skilled farmers, experienced leaders have proven that cooperative direct sowing work is possible, and some researchers insist that the cooperative work is crucial for extension of direct sowing and increase of direct sowing area. For all the farms where we conducted our experiments of direct sowing, it was the first experience of direct sowing, but their success provoked the increase of direct sown area in their prefectures, namely in Fukushima, Tochigi, Ishikawa, Fukui and Shiga.

As for publishing activities concerned, we would like to note here only two typical publications. The Society for Direct Sowing of Paddy Rice, which supports the direct sowing technology, published "Manual for the direct sowing of flooded paddy field" that covers a wide range of recent technologies. Another report is the record of a forum held by researchers with more sophisticated and scientific discussions on the reconsideration of past technologies and future prospects of direct sowing culture in Japan.

As a new development tendency, we should pay due attention to some recent trials such as modification of riding rice transplanters for direct sowing or selection of non-chemical materials for coating seeds.

Our study was carried out to develop precision direct drill seeder which secures appropriate seeding depth for direct sowing of rice in flooded paddy fields. We highly anticipate that the developed precision

drill seeder for rice direct sowing will contribute to farther extension of rice direct sowing culture in Japan.

A summary of our report follows.

1. Development of Measuring Devices for Soil Surface Hardness

The development of two devices to measure soil surface hardness (SSH) which affects delicately to seeding accuracy is discussed. One is a soil surface hardness meter (SSH-meter) that detects the penetrating depth of a cone-type sensor from the ground level with the accuracy of 0.55mm. Another is a soil hardness sensor (SSH-sensor) that can attain electrical values in proportion to SSH continuously, while running in paddy fields.

- 1) The developed SSH-meter comprises cone unit, cone release unit, scale unit and frame. The cone with a vertical angle of 44.5° is made of aluminum, and its height is 55mm and weight is 115g (including its supporting rod). This cone unit is normally fixed in the cone release unit, and only when the release button is pushed, it can slide freely up and down. If the cone is pulled upwards till the stopper and fixed, the height of the top of the cone gets at the same height of the lower end of the frame, so if the meter is placed on soil surface, the top of the cone is accurately placed at the soil surface. Then the release button is pushed, and the cone begins to penetrate into soil with its own weight. When its penetration stops (after about 1 second), the cone is fixed again and penetration depth is measured by the scale. A series of such handlings can be done one-handed, so much more efficient and accurate measurements were realized compared to conventional methods.
- 2) The developed SSH-sensor has two arms of a same length, and each arm has a disk on one end and another end is hinged to a bar that is at the aft end of paddy-field chassis across the traveling direction. These arms are allowed to swing separately around the hinge. The disk on an arm is thick as a roller (named 'gauge wheel'), and the disk on another arm is thin with rather sharp peripheral edge (named 'sensor wheel'). These arms are set so that the disks are located side by side. When the paddy-field chassis travels, the arm with the gauge wheel swings according to ups and downs of the wheel which follows the undulation of soil surface without penetration. The arm with the sensor wheel swings too, but the sensor wheel not only follows the undulation of soil surface but sinks a little according to the hardness of soil at that point. Thus some difference in the swing angle of the arms occurs, which correlates to hardness/softness of soil at that point. This difference is detected by a potentiometer and recorded.

The specifications of the two wheels were determined by preliminary studies using a rotary soil bin. The diameter of both wheels is 150mm, and the load is 9.8N for gauge wheel and 5.9N for sensor wheel. The angle difference detected had a strong correlation to the SSH-meter results. In field tests on a paddy-field chassis, the sensor worked well.

- 3) The SSH-meter was selected as one of the noticeable achievements in 1998 by a national agricultural research conference, and its report in English appeared in "JIRCAS Research Highlights 1998". In the same year, Daiki Rika Kogyo Co., Ltd. put the SSH-meter on market, and over ten units have been in use so far at universities and experimental institutes as a practicable device to measure soil conditions in research on direct sowing in paddy fields.

2. Principal Components of Precision Direct Drill Seeder and Seed Depth Control

An experimental model of drill seeder for direct sowing in paddy fields was designed and manufactured with which to find out best specifications of working units to improve the accuracy of seeding depth. Varying the soil surface hardness, the influence of the shape and angle of the covering plate (closer) upon the soil covering performance was investigated. Algorithm for the control of the angle of covering plate was also explored making the most of the data obtained by the SSH-sensor described above.

- 1) The developed seeder (8 or 10 rows) is mounted on a paddy-field chassis, and it consists of a feeding unit and a furrow opener-closer unit. The latter has a float shoe that follows the undulation of soil surface smoothly, a two-stage adjustable furrow opener, a non-step adjustable closer and a seeding depth controller with a SSH-sensor.
- 2) Preliminary tests were conducted with several shapes of closer under adjusted conditions of soil hardness in a rotary soil bin and covering performance was observed. Within the range of 8 to 50mm of soil surface hardness measured by SSH-meter, proper soil coverage was obtained by adjusting the closer angle (the angle between the long side line of the closer and the traveling direction) so as wider angle for hard soil and narrower angle for soft soil irrespective of the shape of closer.
- 3) Algorithm for the control of the closer angle was designed. Since the soil surface hardness varies rapidly from time to time, stepping control method was selected. In this control method, the soil surface hardness is classified into 4 ranges and a proper closer angle was assigned to each hardness range. The control interval is set at 0.5s taking into consideration the characteristics of on-board computer and electric cylinder. Stable control was confirmed in tests in a rotary soil bin.

3. Performance of Experimental Seeder: Emergence, Establishment and Yield of Direct Sown Rice

The seeding performance of the experimental model (8 or 10 rows) was offered for regional adaptability studies in farmers' and experiment stations' fields at 14 sites spreading over 10 prefectures for two years (1997, 1998). The rice growth process was also traced in each of these sites. At every site, a commercially available 6-row drill seeder was tested as a control.

- 1) Direct sowing was conducted under the condition of 3 to 10 days after paddling and of 27 to 39mm average soil surface hardness(measured by SSH-meter), and the seeder worked smoothly at traveling speed of 0.8 to 1.0 m/s.
- 2) The closer-angle control system worked without any problems in all examinations.
- 3) The machine offered demonstrated accurate seeding in all examinations for two years. In case of 1998 tests with shallow furrow opener, the occurrence of surface seedlings was 7%, the average seedling depth was 8.0mm and the rate of seedling depth between 3 to 12mm was 72%, while the control seeder showed 24%, 5.7mm and 65% respectively. In the tests with deep opener, the occurrence of surface seedlings was 6%, the average seeding depth was 9.3mm and the rate of seeding depth between 5 to 15mm was 74%. Thus, the seeder offered gave appropriate seeding depth with less uncovered seeds.
- 4) The rate of lodging and floating seedlings in examinations in 1997 and 1998 was 3.2% and 2.8% respectively on average (the control seeder showed 5.2% and 4.3%). Decrease of uncovered seeds led to less floating and floating seedlings.
- 5) The yield of rice sown by the experimental model was higher than that sown by the control seeder in

1998. As compared to the transplanted rice, the yield of direct sown rice was 20% less than that of transplanted rice in cold and cool regions and/or KOSHIHIKARI-cultivars rising zones, but was 12% higher in warm regions and cultivating zones of other cultivars.

- 6) The working rate of the experimental model was about 45a/h on the average.

4. Regional Adaptability of Prototype Seeders

Two prototype 8-row and 10-row seeders were manufactured adding due improvements to the experimental model and offered to regional adaptability tests at 8 sites in 7 prefectures in 1999 to gain useful opinions which will support practical improvements for commercial production of the machine. Seeders were evaluated by user-farmers about maneuverability and durability.

- 1) Seven of ten examination farms raise KOSHIHIKARI, and three among them adopt it as the main cultivars. There is a trend that the seeding term is getting earlier from year to year and concentrating to a shorter period from the end of April to early May. Though the seeding rate of KOSHIHIKARI shows rather wide regional difference such as from 1.3 to 4.0kg/10a, the difference is getting smaller year by year as a whole. The seeders offered worked on about 115ha in total, and the user-farmers rated the machines highly.
- 2) Cited in averaged values, seeding depth was 5.4mm and occurrence of surface seedlings was 7.2% in the case with shallow furrow openers, while seeding depth was 9.7mm and occurrence of surface seedlings was 1.8% in the case with deep furrow openers. These results showed the same stable accuracy as was gained in the examinations in 1998. The working rate was 0.42ha/h and the working area was 2.55ha/day.
- 3) The direct sown rice grew satisfactorily; emerged stably by virtue of draining just after seeding and fine weather. No differences were seen between the growth of direct sown and transplanted rice. The ratio of yield of direct sown rice to that of transplanted rice was 90% on the average of all sites and cultivars, while the quality of direct sown rice was satisfactorily better than that of transplanted rice owing to later earing which helped to escape from high temperature damages of that year.
- 4) The user-farmers proposed several practicable suggestions for better maneuverability and durability. Incorporating some of their proposals, an improved model was put on market in the spring of 2000.
- 5) About 120 commercial direct seeders have been introduced so far by joint machinery utilization cooperatives, Japan Agricultural Cooperatives and individual large farmers. They contribute to the extension of the area of direct sown rice accompanied with distribution of automatic coating machines for paddy seeds.

本報告の取扱いについて

本報告の全部又は一部を無断で転載・複製
(コピー) することを禁じます。
転載・複製に当たっては必ず原著者の許諾
を得て下さい。

農業機械化研究所研究報告 第 36 号

平成 19 年 3 月 印刷・発行
頒価 1,307 円(本体価格 1,245 円)

Technical Report of the Institute
of Agricultural Machinery No.36

〒331-8537

埼玉県さいたま市北区日進町 1 丁目 40 番地 2

1-40-2, Nisshin, Kita, Saitama-city, Saitama

331-8537 JAPAN

URL: <http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/>

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

生物系特定産業技術研究支援センター

農 業 機 械 化 研 究 所

Institute of Agricultural Machinery

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

National Agriculture and Food Research Organization

印刷・製本 / ニッセイエブロ株式会社