博　士　論　文

# 寒地大規模直播稲作のための播種技術に関する研究

平成９年３月

大　谷　隆　二

(1)

# 寒地大規模直播稲作のための播種技術に関する研究

大谷隆二

# 目　次


Ⅰ章　緒　論　1

1節　北海道稲作の現状と問題点　1

2節　北海道における直播稲作の歴史と現状　4

3節　北海道における直播稲作の今日的必要性と背景　9

4節　本研究の目的と論文概要　14

Ⅱ章　寒地直播稲作確立のための条件解明　17

1節　はじめに　17

2節　試験方法　20

2・1　土壌の物理性と易耕性　20

2・2　最適播種深度　25

3節　結果および考察　26

3・1　土壌の物理性　26

3・2　融雪後の土壌水分の変化　29

3・3　融雪後のコーン指数の変化　32

3・4　易耕性　34

3・5　最適播種深度　41

3・6　考　察　42

4節　まとめ　44

Ⅲ章　施肥播種機の開発　47

1節　はじめに　47

2節　施肥播種機の開発　48

2・1　グレインドリルの播種精度調査　49

2・2　開発した施肥播種機の構造　52

3節　試験方法　56

３・１　開発した施肥播種機の播種精度・苗立ちおよび収量　56
３・２　開発した施肥播種機の現地実証試験　58
４節　結果および考察　60
４・１　開発した施肥播種機の播種精度・苗立ちおよび収量　60
４・２　開発した施肥播種機の現地実証試験　65
４・３　考　察　68
５節　まとめ　71

Ⅳ章　不耕起播種機の開発　73
１節　はじめに　73
２節　不耕起播種機の開発　76
２・１　不耕起播種機の構造　76
２・２　不耕起播種機の設定条件　80
３節　試験方法　81
３・１　圃場条件　81
３・２　試験区の設定　82
３・３　測定項目および測定方法　84
４節　結果および考察　85
４・１　供試圃場の土壌水分および土壌硬度　85
４・２　播種溝断面の形状　87
４・３　播種溝の砕土率　90
４・４　播種深度　95
４・５　苗立ち率　103
４・６　収量　109
４・７　考察　110
５節　まとめ　113

Ⅴ章　総　合　考　察　115
　1節　開発した施肥播種機による折衷直播栽培体系　115
　2節　寒地大規模稲作の発展方向　116
　　2・1　湛水直播と移植技術　116
　　2・2　直播普及拡大のための今後の課題　120
　3節　不耕起播種技術導入の効果と今後の課題　123

Ⅵ章　摘　要　128

謝辞　135

参考文献　137

# Ⅰ　章

# 緒　論

## 1節　北海道稲作の現状と問題点

北海道の1995年における水稲の作付面積は16.3万ha，生産量は85.2万tであり，わが国の作付面積の7.7%，生産量の7.9%を占める[1)]。北海道の稲作は，畜産，畑作とともに全国1位の生産量をあげている。1戸当たりの作付面積は4.7haで，都府県の0.7haに対し約7倍に相当する[1) 2)]。そのスケールメリットから，生産コストは都府県の約7割となっている[3)]。

北海道における稲作の始まりは，貞享2年（1685）にさかのぼり[4)]，道南に限定されていた稲作は，湛水直播の普及で，石狩，空知，上川地方に進展し，作付面積は1920年代に急増した。図1－1に示すように，作付面積は第2次世界大戦中から戦後にかけて労働力の減少から一時縮小するが，1955年頃から再び増加し，1969年には26.6万

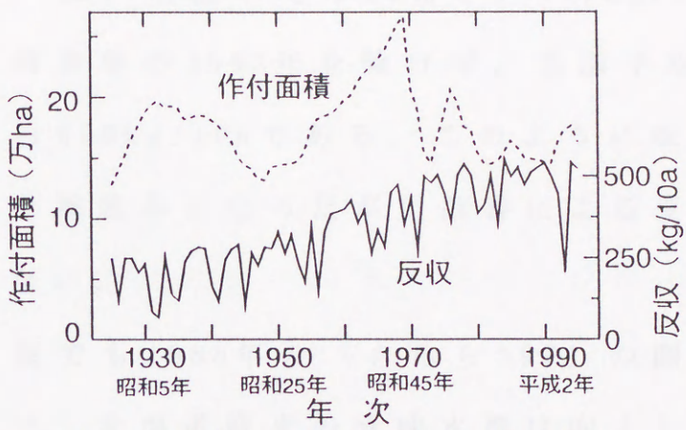



図1-1 北海道の水稲作付面積と反収の推移
（農林水産省「寒冷地農業調査」「北海道農業累年統計表」「作物統計」より作図）

haに達した。しかし，米の過剰基調から1970年より生産調整が行われ，現在の作付面積は1920年台の昭和初期の面積まで後退した。1995年の転作率は39.3%[5]であり，水田地帯の農業は，稲単作から野菜，花きを組み入れた複合経営に変化してきている。

10a当たりの収量は，図1－1に示すように，4年に1回程度の冷害による変動は避けられないが，基盤整備，品種改良，栽培技術の高度化と一

連の機械化によって向上し，この50年で1.8倍となっている。1986年から1995年の10年間の平均収量[1)5)6)]は，全国平均の98%で，479kg/10aであり，大冷害年の1993年を除けば，全国平均を1.6%上回る509kg/10aである。このように収量水準は全国水準並みとなったが，冷害による変動は避けられない。

品質面でも1988年の「きらら397」の開発とその普及で，北海道産米の食味水準は向上し，消費者・米流通業界で一定の評価を得るに至っている。しかし，新食糧法が1995年11月に施行されたことに伴い，産地間競争の激化が予想され，その対応が求められている。さらに，ガット・ウルグアイ・ラウンド農業合意に基づくミニマム・アクセス米の輸入が1995年より開始され，今後は国内だけでなく海外との競争にもさらされることになり，コスト，品質ともに競争力の向上が急務となっている。

1992年に農水省が取りまとめた「新しい食料・農業・農村政策の方向（新政策）」のなかでは，食料政策として食料自給率低下に歯止めをかける

ことを第一の基本としている。わが国の食料自給率は逐次減少し，先進国で異例に低い水準（1994年カロリーベースで46%[7]）となっており，世界の食糧需給のひっ迫が予想されるなかで，自給率の向上は極めて重要な課題とされている。全国一の水田面積を有する北海道において，競争力のある安定した米生産が，将来の食料自給率向上に果たす役割は大きいと考えられる。

## 2節　北海道における直播稲作の歴史と現状

北海道の稲作は都府県式の水苗代による移植栽培の導入で始まり，道南地域に限定されていた。水苗代栽培の技術は，収量水準が低く不安定であったため，明治初期から開拓使は，北海道では稲作は不適とし，農業の対象はあくまで畑作と畜産であり，稲の栽培を禁止したほどであった。しかし，農民の稲作への強い執着と努力によって品種「赤毛」の発見と増殖・配布で，道央地域での稲作が可能となった。その後は，耐寒性品種と湛水直播栽培の開発と普及により，石狩以北から稲作

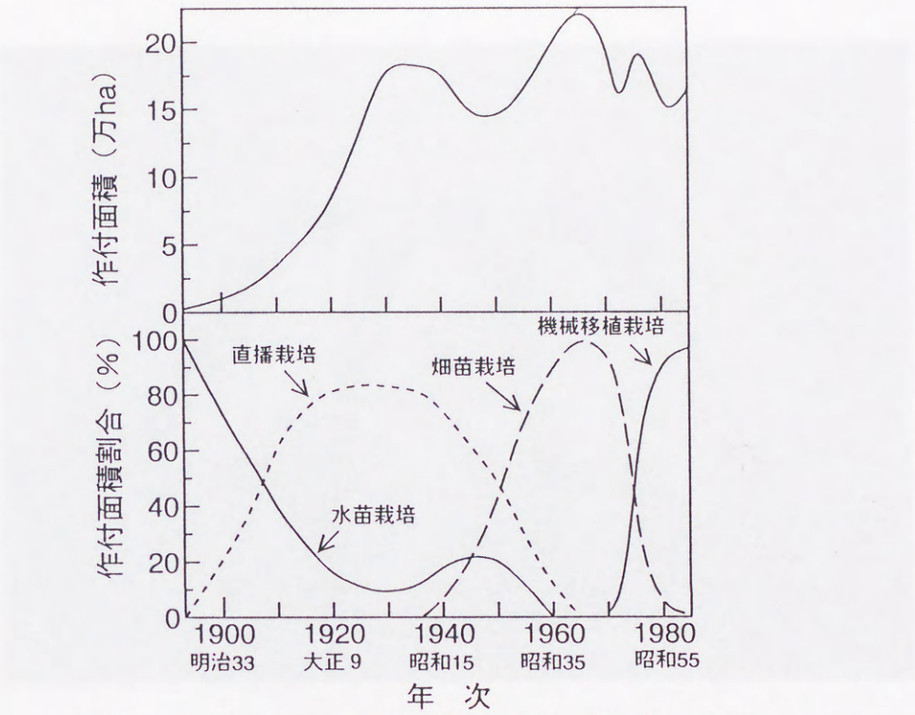



図1-2　北海道における水稲作付面積と栽培法の変遷
（「北海道農業技術研究史」，北海道農政部
「米に関する資料」より作図）

限界地帯まで進展した[4)8)]。図1－2に示すとおり，作付面積が急速に増加する1920年頃は，直播栽培面積が急増し，直播栽培によって開田が進んでいったことがうかがわれる。直播栽培の普及に大きな役割を果たしたのは，無芒品種「坊主」の育種と，たこ足式播種機の開発である。

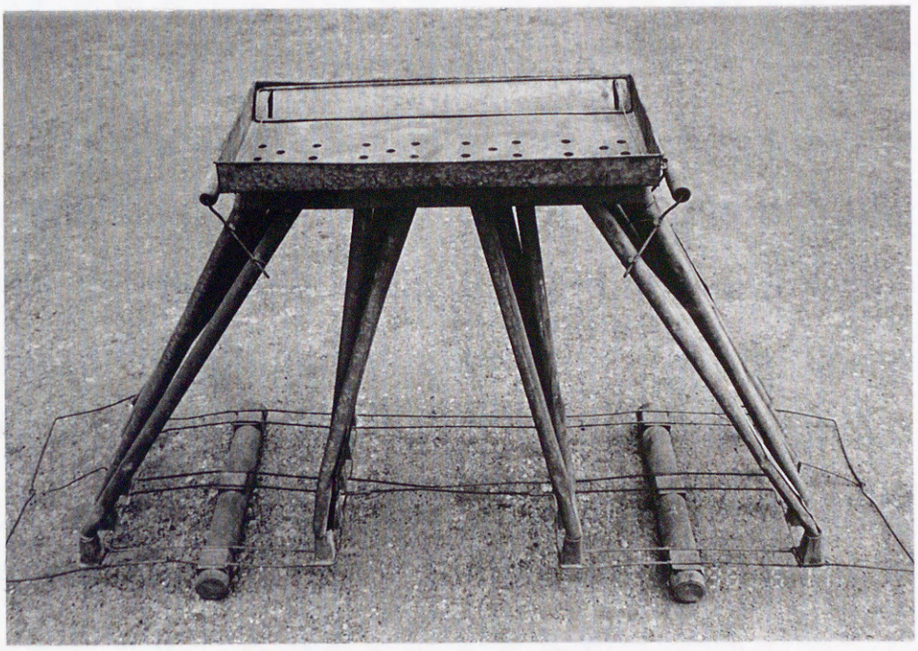


図1－3　たこ足式播種機

図１－３に代表的なたこ足式播種機を示す。前後４列に４本づつ，合計16本の導管があり，その上部に種子箱がある。種子箱の底部には20粒程度の種籾が入る窪みがあり，摺り切り板で種子箱の底部をならすと，種籾が窪みに充填される。次に，種子箱の片側に付いている落下板を引くと種籾は

導管をつたわって播種される。直播機の作業能率は，0.8～1.3h/10aで，人手による点播に比べ，10倍の能率であり，当時としては画期的であった[9)-11)]。

水苗代栽培が5月上・中旬播種，6月中・下旬に移植したのに対して，湛水直播の播種は5月中・下旬であり活着期間を必要とせず，生育期間が短縮し早熟化を図ることができた。すなわち，直播技術の方が水苗代栽培より，安定技術であったということも見逃せない。欠点は雑草が多く，除草作業に多くの労力を要すること，表面播種であるため倒伏し易かったことである[9)]。

湛水直播は，1932年には北海道全水稲作付面積の82%に達するが，1931～1935年の4回にわたる冷害が北海道の稲作に大打撃を与え，これを契機に湛水直播は，冷害克服技術として開発された保護畑苗代栽培に置き換わっていく。1935年頃開発された保護畑苗代は，畑状態で播種，育苗し，油紙等で被覆して床温を高めるため，早播きが可能となり4月下旬に播種され，5月下旬に移植された。そのため，中・晩生の多収品種の栽培が可能

となり，保護畑苗代栽培は，冷害克服技術であり多収技術であった[4)8)]。

1960年代の高度経済成長期には，農業労働力の農外流出が激しくなり，畑苗代は1970年に実用化された箱マット稚苗移植技術により稚苗機械移植へと置き換わる。その後，1981年の冷害を契機に中苗へ急速に移行し，さらに近年では成苗化技術が開発され，年々増加傾向にある。

直播が衰退していった1960年代以降は，機械移植の研究に研究勢力が投入されていったが，直播の研究も並行して続けられていた。直播の機械化研究は主に北海道農業試験場農業物理部で行われた。省力化が叫ばれた高度成長時代は，ヘリコプター利用による湛水直播の体系化試験が，1963年より大々的に行われた。しかし，不安定要因が大きく2年で打ち切られた[4)]。川崎ら[12)-15)]は，1971年より乾田直播と湛水直播の両者の長所を生かした無代かき直播湛水法を考案し，主に耕うん・鎮圧法と苗立ちについて研究を開始した。1977年には本庄ら[16)17)]が8条型砕土同時播種機を開発している。当時は，田植機の普及が急速に進展

しようとしていた時代であり，普及には至らなかった。これらの研究は，粟崎ら[18)19)]による栽培技術の確立を経て，現在美唄市を中心に88ha[20)]普及している乾田播種早期湛水栽培（以後，折衷直播とする）の原型となった。

湛水直播の栽培研究は，北海道立上川農試，北海道立中央農試稲作部で主に取り組まれた。1984年頃より湛水土壌中直播機による条播と，背負式動力散粒機（ミスト機）による散播が検討された。機械による条播では，安定した播種深度が得られないことから，現在ではミスト機による散播が主流となっており，普及面積は上川地区を中心に56ha[20)]となっている。

## 3節　北海道における直播稲作の今日的必要性と背景

1995年の北海道における水稲収穫農家戸数は3.4万戸である。表1－1に示した水稲収穫農家の経営規模別農家数の推移によると，1975年には5.7万戸あった農家は60%に減少している。減少

率が大きいのは１～５haの農家であり，10ha以上の農家は増加している。1975年には全体の6.5%であった10ha以上の農家が，1995年では28.7%占めるようになった。北海道の稲作は，急速に規模拡大が進行していることがうかがわれる。規模拡大が進行する一方では離農が並進している。若年層の流出による後継者不足の進展とともに高齢化による労働力の不足のため，離農するケースが多い。今後も，高齢化による離農増加が見込まれ，農地が過剰状況にある[21]，という指摘もある。

表１－１　北海道の水稲収穫農家の経営規模別農家数

（単位：戸，%）

| 年次 | 計 | 1ha以下 | 1～3ha | 3～5ha | 5～10ha | 10～20ha | 20ha以上 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1975 | 57,118<br>(100) | 2,919<br>(5.1) | 11,812<br>(20.7) | 17,553<br>(30.7) | 21,131<br>(37.0) | 3,480<br>(6.1) | 223<br>(0.4) |
| 1985 | 47,097<br>(100) | 2,492<br>(5.3) | 7,585<br>(16.1) | 11,246<br>(23.9) | 19,291<br>(41.0) | 5,992<br>(12.7) | 491<br>(1.0) |
| 1995 | 34,153<br>(100) | 1,388<br>(4.1) | 4,388<br>(12.8) | 5,969<br>(17.5) | 12,604<br>(36.9) | 8,346<br>(24.4) | 1,458<br>(4.3) |

資料：農林水産省「農業センサス」（販売農家）

規模拡大が進んできた背景には，高能率な機械化体系の形成による投下労働時間の短縮がある。表１－２に示した作業別投下労働時間の推移によると，1965年の118.2hに比べ1994年には24.2hと1/5に減少し，都府県の2/3の水準である。除草剤の利用や田植機・コンバインに代表される農業機械の発展・普及と圃場区画が大きいことを含めたスケールメリットの結果であろう。このようにほとんどの作業の省力化が大幅に進んだが，育苗作業だけ，7.9hから6.2hと大きな変化がみられない。1994年における育苗と田植え作業の合計は10.5hであり，全体の43%を占めている。

表１－２　北海道の水稲栽培における作業別投下労働時間の推移

（単位：h/10a）

| 年次 | 投下労働時間 | 作業別労働時間 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 耕起施肥 | 育苗 | 田植え | 除草 | 栽培管理 | 稲刈り | 乾燥調製 | 生産管理 |
| 1965 | 118.2 | 11.8 | 7.9 | 23.3 | 24.4 | 10.5 | 38.5 | 3.1 | － |
| 1975 | 56.2 | 5.1 | 7.9 | 10.4 | 9.4 | 7.9 | 12.5 | 3.3 | － |
| 1985 | 36.2 | 4.0 | 7.6 | 6.4 | 3.4 | 7.2 | 5.1 | 2.5 | － |
| 1994 | 24.2 | 3.1 | 6.2 | 4.3 | 1.0 | 4.5 | 2.7 | 1.7 | 0.7 |
| （都府県） | 38.9 | 6.3 | 5.1 | 5.5 | 1.9 | 10.0 | 7.2 | 2.2 | 0.7 |

資料：農林水産省「米及び麦類の生産費」

4月の融雪を待って，各種夏作物の作業が一斉に始まる寒地の土地利用型農業の生産環境は，都府県に比べて厳しい。稲の播種開始時期は4月中・下旬で，5月中・下旬に移植する。寒地の水稲栽培では，移植作業が少しでも遅れると，夏の気象条件によっては収量・品質に影響するため，移植作業適期は10日間ほどしかない。現行の移植技術では短い移植適期に制限されるため，自家労力での作付け面積は20haが上限[22]といわれている。一方，転換畑の主要作物は，小麦，豆類，飼料作物等で，近年は野菜，花き等の園芸作物が急速に増加している。これらの転作作物の播種および移植は4月下旬から5月中旬であり，稲作との競合で著しい労働ピークが生じている。

このように，規模拡大が急速に進行する北海道の稲作では，田植機の負担面積の限界を越える規模の農家が出現し始めている。一方，経営の複合化では，春作業時の労働競合が顕在化している。育苗と田植えには組作業を必要とする場合が多く，雇用労働力の確保が難しい現状では，これらを省略できる直播栽培の省力効果は大きい。現在の直

播栽培では，苗立ちや初期生育などに解決すべき不安定要素が多いが，労力不足から部分的に直播栽培を導入する農家が増えている。

北海道の移植栽培の反収は世界的にみても，また都府県と比較しても決して見劣りしない。品質についても，良質米の育種が各方面の努力で行われている。しかし生産費に関しては，アメリカ合衆国に比べると7倍であり，その差はあまりにも大きい。この差は，経営規模や省力栽培法によるばかりでなく，地代，労賃，物価など社会経済的条件の影響が大きい[23]。しかし，高い生産性を誇るアメリカ合衆国においても，タイ国等の生産費の安い国々との市場競争に対抗するため，低コスト化，高品質化，高付加価値化へ向けた技術開発が行われている[24]。

本来，直播は規模の大きい水田を対象としたときに，その省力効果が大きい技術である。北海道は，大規模化の素地ができており，今後も耕地の集積が進むと予想されている。大規模な直播稲作によるコストダウンを進めるうえでは，日本国内では北海道が最も有利な条件にある。逆にいえば，

北海道は直播栽培の最も必要性の高い地域であるといえる。

## 4節　本研究の目的と論文概要

寒地の直播栽培では，発芽・苗立ちが限界に近い温度で行われるため，良好な苗立ちを確保するためには，精密な播種深度の確保が求められる。また，寒地では初期生育の安定が収量に影響するため，適期に播種することが重要である。このため，寒地で大規模に直播栽培を行うための播種技術は，高精度で，かつ高能率なものでなければならない。本研究は，寒地の直播栽培において，大規模化に対応し得る高能率で高精度な播種技術を確立することを目的とする。

本論文で述べる研究は，1990年度から1996年度までの7ヵ年にわたって北海道農業試験場において行った「無代かき水稲直播栽培に関する研究」[25)-27)]をとりまとめたものである。

本研究で開発した，高能率・高精度播種技術は，寒地の水稲直播だけでなく，他の地域の水稲直播，

または畑作にも適応できるものである。

この論文は，本章を含め6章より構成されている。

II章では，現在北海道で行われている湛水直播と折衷直播のどちらが，寒地に適する方法であるかを明らかにしようとした。両栽培法の大きな違いである代かきの有無に着目し，両栽培圃場を対象に，土壌の諸特質を検討している。無代かきを特徴とする折衷直播が，融雪後の土壌の乾燥特性，土壌の物理性，易耕性の面から寒地の水稲栽培に適する方法であることを実証している。また，寒地の直播稲作において，出芽・苗立ちに影響する播種深度について検討し，良好な苗立ちが得られる深度を明らかにしている。

III章では，適正な播種深度に安定して播種可能な折衷直播用の施肥播種機の開発について述べる。ここでは，畑作でみられる高能率な播種作業体系の高精度化という視点で，折衷直播の施肥播種機の開発を進めている。初めに，畑作用のグレインドリルの播種深度の精度を検討し，その高精度化のための要件を明らかにし，深度規定輪方式を基

本構造とした施肥播種機を開発している。開発機の播種深度は播種床の砕土率が高いほど安定し，苗立ち率も高くなることを明らかにしている。開発機の現地試験では，高能率作業が可能であり，良好な苗立ちが得られたことについて述べている。

IV章では，鋸刃で作溝しながら播種する，不耕起播種技術の開発について述べる。III章で開発した耕起・播種体系では，良好な苗立ち率を確保するためには高い砕土率の播種床が要求され，かつ，通常の乾田直播同様，播種作業は天候に左右され易い。これらのことから，ここでは播種する極く限られた部分を鋸刃で作溝し，砕土率の高い播種床を造成することにより，一定深度に播種する不耕起播種機の開発について述べている。土壌水分に応じて，鋸刃の歯数，回転数等を適正値に設定することで，耕起・播種体系を上回る播種精度と苗立ち率が得られることを明らかにしている。

V章では，本研究で開発した播種技術の総合的な評価を行い，今後の寒地大規模稲作の展開方向について言及している。

VI章は，本論文の摘要である。

# Ⅱ　章
# 寒地直播稲作確立のための条件解明

## 1節　はじめに

寒地の直播栽培では，出芽・苗立ちを確保するための水による保温が前提となり，純粋な乾田直播は成立しない。そのため，湛水直播と折衷直播が一部農家の間で行われている。折衷直播は，乾田直播と湛水直播の両者の長所を兼ね備えた寒地向きの栽培技術[19]であり，北海道農業試験場で開発された。折衷直播は，図2－1に示すように耕起，砕土後乾田状態の圃場に播種し，日平均気温が12°C以上になってから湛水する方法である。現在，美唄市を中心に90ha程度普及し，増加傾向にある。

寒地の作物栽培では，短い適期に播種できるかどうかが苗立ち・収量に大きく影響する。積雪あるいは融雪水の影響を受ける北海道では，圃場の

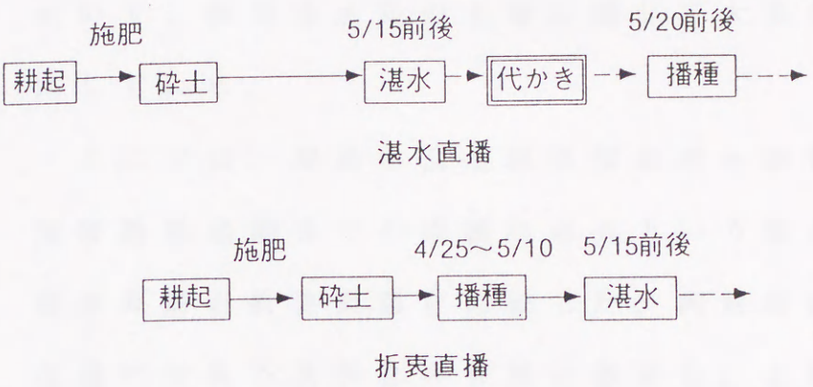



図2-1　湛水直播と折衷直播の栽培様式

乾燥度合いによっては，耕起・砕土作業時期が大幅に制約される。特に畑転換初年目に春播き小麦を播種する場合，砕土性の問題が指摘されている。融雪後の迅速な圃場排水により，早期にトラクタ作業が可能になり，播種適期までに播種床の準備が完了していることが重要である。

折衷直播は湛水直播と異なり，無代かきである。折衷直播の場合，無代かきという特徴によって，土壌の物理性，排水性および易耕性の改善が行われ，その結果として，耕起・播種等の春作業の早期化が可能となることが期待されている。代かきの有無が土壌の物理性，易耕性に及ぼす影響については，川崎[28)-30)]が愛媛県農業試験場圃場に

おいて，秋期落水後の土壌に関して大要を明らかにしている。

ここでは，寒地の大規模直播栽培を前提に，融雪後播種適期までの播種床造成という視点から，湛水直播と折衷直播を比較した。両栽培法の大きな違いである代かきの有無に着目し，土壌の物理性，融雪から播種期までの土壌水分の変化，排水性，易耕性および地耐力等を調査し，無代かきの有効性を明らかにした。

また，湛水直播では，たとえカルパー（過酸化カルシウム）を粉衣しても５mm以上の深播きでは苗立ち率が急激に低下する[31]。このため，土壌表面から５mm以内のごく浅いところに播種するよう指導されている[32]。しかし，気象条件や養分条件によっては，倒伏の問題が出てくる。これに比べ，折衷直播では２週間程度の乾田期間があり，この期間中から発芽が始まるため，播種深度はある程度深くすることができ，耐倒伏性が高いといわれている[19]。折衷直播用の播種機に求められる播種精度を明らかにするため，実規模圃場において出芽・苗立ちに最適な播種深度を検討した。

## 2節　試験方法

### 2・1　土壌の物理性と易耕性

#### 1）圃場条件

供試圃場は，1990年より4年間折衷直播栽培を行った無代かき区圃場と乳苗移植栽培を行った代かき区圃場である。どちらの試験区も1989年に造成された北海道農業試験場内の水田であり，区画は30m×115mの34.5aの多湿黒ボク土である。無代かき区圃場は，造成以来一度も代かきを行っていない。暗渠は圃場長辺方向に2本埋設されており，毎年収穫後に圃場長辺斜め方向に2～3m間隔でサブソイラによる心土破砕を行い，稲わらは全て圃場外へ搬出した。試験は，1994年4月16日の融雪直後から5月中旬の間に行った。

#### 2）測定項目と測定方法

(1)融雪後の土壌水分の変化

無代かき区および代かき区圃場それぞれにつき，深さ5,10，20cmにテンシオメータを3ヶ所づつ合計18本設置した。設置場所は，図2－2に示すと

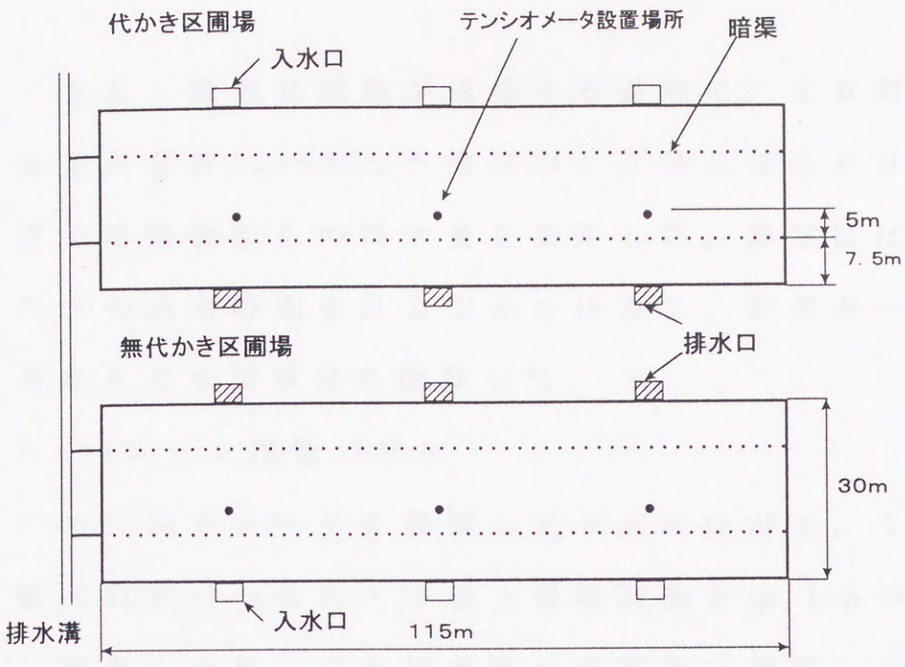



図2－2　試験圃場の暗渠配置とテンシオメータ設置場所

おり，暗渠埋設場所から圃場中央方向に5m離れたサブソイラ施工間の中央とし，圃場全体を代表し得る3点とした。融雪後3日目から播種日まで，pF値を毎日定時計測した。計測した3点の平均pF値を，後述するpF～水分特性曲線の回帰曲線に代入して，深さ別に含水比を求めた。

深さ5～10cmの土壌を100cm³土壌サンプラーで3個づつ採取し，pF1.0～1.5を砂柱法で，pF1.8～3.0を加圧板法でpF値と含水比の関係を求め，pF～水分特性曲線を作成した。

また，融雪後圃場が乾燥する過程で，２日間の雨量が合計23mmあった直後の，５月５日と６日に各々暗渠管からの排水量を測定した。測定にはバケツの満水時間を計る方法を採用し，結果を一日当たりの水深単位に換算した。

(2)コーン指数の変化

テンシオメータを設置した３点の付近で，１試験区30点づつＳＲ－２型土壌抵抗測定器（小コーン使用）を用いて土壌硬度を経時的に測定した。深さ0，5，10，15cmの平均値をコーン指数とした。

(3)易耕性

転換畑や折衷直播栽培での播種床造成では，最初に荒起こしを行い，その後代かきロータリ等を用いた表層砕土を行って播種床を仕上げる。そのため，本報の易耕性の評価では，荒起こし作業と，荒起こし直後の表層砕土作業について検討した。易耕性の試験は，融雪後５日目の４月21日より播種作業直前の５月10日までの間で，設置したテンシオメータの計測値を参考に土壌水分の異なる日を選んで実施した。供試トラクタは，機関出力70kW(95PS)の４輪駆動車を用いた。荒起こしはロー

タリを用い（耕幅2.0m，なた刃，爪本数44本，回転直径53cm），荒起こし後の表層砕土は代かきロータリ（耕幅3.1m，なた刃，爪本数82本，回転直径34cm）を使用した。耕深の設定は，荒起こしで13cm，荒起こし後の表層砕土は５cmとした。作業速度は，荒起こしを0.78m/s（耕うんピッチ14.8cm），荒起こし後の表層砕土を0.78m/s（耕うんピッチ10.1cm）とした。

砕土率の調査のため，表層から５cmまでの面積0.25m$^2$（0.5m×0.5m）内の土壌を，５以上，４～５，３～４，２～３，１～２，１cm以下の６段階にふるい分けし，径２cm以下の土塊が全重量に対して占める割合を砕土率と呼ぶこととした[33)34)]。サンプリングはそれぞれの試験につき３点行い，その平均値で表示した。また，前年の刈り株が埋没されずにそのままの形で播種床に露出していると，播種精度に影響するため，前年刈り株の露出度合いを砕土作業後に調査した。調査方法は次のとおりである。原型がそのまま残っていて播種精度に影響すると思われる刈り株の数を，面積１m$^2$（１m×1m）の調査点３ヶ所で調査し，その平均

値を刈り株露出個数とした。

耕うん作業時のPTO軸トルクと回転数を計測し，平均トルクと耕うん断面積（耕うん後左右それぞれ7点の耕深測定より算出）から，耕うん比トルクを算出した。

無代かき区，代かき区ともに易耕性試験の直前に，100cm$^3$の土壌サンプラーで深さ0～5，5～10cmの土壌を3個づつ採取し，含水比を測定するとともに，飽和からpF1.5に相当する粗孔隙を砂柱法と実容積測定器で求めた。同じく易耕性試験の前にSR－2型土壌抵抗測定器でコーン指数と粘着力および内部摩擦角を測定した。コーン指数（小コーン使用）は5点測定し，粘着力と内部摩擦角は，深さ3cmの部分で垂直応力を9.8，19.6，29.4kPaの3水準として3点測定し，それぞれ平均値で示した。

土壌のコンシステンシーは，風乾土を420$\mu$mのふるいでふるい分けし，塑性限界，液性限界を測定した[35]。

## ２・２　最適播種深度

折衷直播の最適播種深度を明らかにするため，播種深度と苗立ちの関係を検討した。供試圃場は前述した北海道農業試験場内の多湿ボク土で，土性ＬｉＣ，面積34.5a（30m×115m）の無代かき区圃場である。苗立ちは，実際の圃場では風による波立ちの影響を受けるため，波立ちが起こることが想定される圃場の中心部に手播き試験区を設定した。

試験区の播種床は，荒起こしを行った後，代かきロータリを用いて，砕土率（表層から５cmまでの，土塊径２cm以下の土塊が全重量に対して占める割合）を90%程度とした。播種深度は，播種した種籾の中心から土壌表面までの距離とし，設定播種深度を，0，5，10，15，20，25，30mmの７水準とした。作溝深さの異なる７つの溝切り板を用いて播種溝を作り，手作業で設定播種深度に正確に播種し，覆土した。試験区は，１m区間に100粒播きの２反復とした。品種は，「きたいぶき」とし，カルパー粉衣区と無粉衣区を設けた。カルパー粉衣区は，積算温度70℃で浸漬した後，カルパ

ー（過酸化カルシウム16%）を浸漬籾重に対して50%，殺菌剤タチガレン粉剤（ヒドロキシイソキサゾール）を同じく２%粉衣した。無粉衣区は，前述した浸漬処理のみである。播種日は1993，1994年ともに５月初旬，播種２週間後に湛水，苗立ち調査は６月20日前後に行った。苗立ち調査では，浮き苗となっているものを除外し，１葉以上の正常な苗の苗立ち本数を播種粒数で除して苗立ち率を求めた。

## ３節　結果および考察

### ３・１　土壌の物理性

作土の粒径組成とコンシステンシーを表２－１に示す。無代かき区，代かき区の粒径組成には大きな違いはなく，土性は軽埴土ＬｉＣであった。コンシステンシーにおいても，塑性限界，液性限界ともに試験区間で大きな違いは認められなかった。

表２－２に４月28日にサンプリングした土壌の粗孔隙，乾燥密度，含水比を試験区別に示した。

表２－１　作土層の粒径組成とコンシステンシー

| 試験区 | 砂 (%) | シルト (%) | 粘土 (%) | 土性 | 塑性限界 (% d.b.) | 液性限界 (% d.b.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 無代かき区 | 41.3 | 26.3 | 32.4 | 軽埴土（ＬｉＣ） | 45.8 | 64.3 |
| 代かき区 | 41.2 | 25.7 | 33.0 | 軽埴土（ＬｉＣ） | 47.0 | 64.8 |

注）国際法による

表２－２　無代かき区と代かき区の粗孔隙量、乾燥密度および含水比

| | 深さ (cm) | 粗孔隙量 (% vol.) | 乾燥密度 ($g/cm^3$) | 含水比 (% d.b.) |
|---|---|---|---|---|
| 無代かき区 | 0～5 | 15.2 | 0.96 | 42.7 |
| | 5～10 | 22.0 | 0.87 | 45.4 |
| | 平均 | 18.6 | 0.92 | 44.1 |
| 代かき区 | 0～5 | 11.6 | 0.95 | 47.7 |
| | 5～10 | 15.2 | 0.93 | 50.8 |
| | 平均 | 13.4 | 0.94 | 49.3 |

注１）粗孔隙量は，飽和からpF1.5に相当する
注２）サンプリングは，1994年４月28日

代かき区では，飽和からpF1.5に相当する粗孔隙が無代かき区に比べ4～7%程度少ない。これは，代かきによって団粒構造が破壊され，土壌が単粒化し，粗孔隙の少ない緻密な土壌構造となったものと考えられる。含水比は，代かき区がいずれの深さにおいても5%程度高い値であった。

pF～水分特性曲線を図2－3に示す。両試験区の粒径組成が同じであっても，pF～水分特性曲線

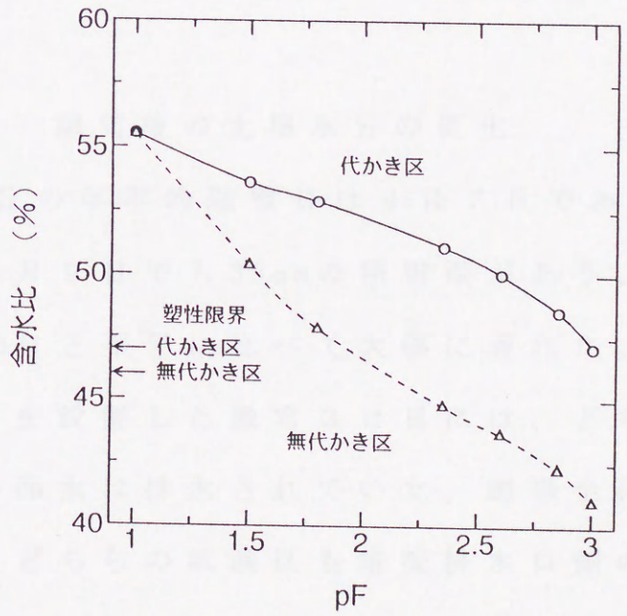



図2－3　pF～水分特性曲線

は大きく異なった。すなわち，同一pF値に対し，無代かき区の含水比は代かき区に比べ低い。この結果は，無代かき区では，粗孔隙が多く存在するため，同一の脱水エネルギーを加えた場合，水が抜け易く、空気が入り易い土壌構造であることを示している。塑性限界は無代かき区でpF2.2前後，代かき区でpF3.0前後であった。有効水分量（pF1.5～3.0）は，無代かき区で8.4%（vol.），代かき区が5.4%（vol.）であり，無代かき区が代かき区に比べ植物の生育に適した土壌構造を持っている。

## ３・２　融雪後の土壌水分の変化

羊ヶ丘の年平均融雪日は４月７日であるが，1994年は４月９日でも33cmの積雪深があり，融雪日は４月16日と平年に比べて大幅に遅れた。テンシオメータを設置した融雪３日目には，どちらの試験区も表面水は排水されていた。圃場全体の乾燥経過は，どちらの試験区も暗渠排水口側の乾燥が速い傾向にあったが，ここでは計測地点の平均値を試験区の代表値とした。図２－４に融雪後の土壌水分の変化を示す。融雪後から無代かき区が，い

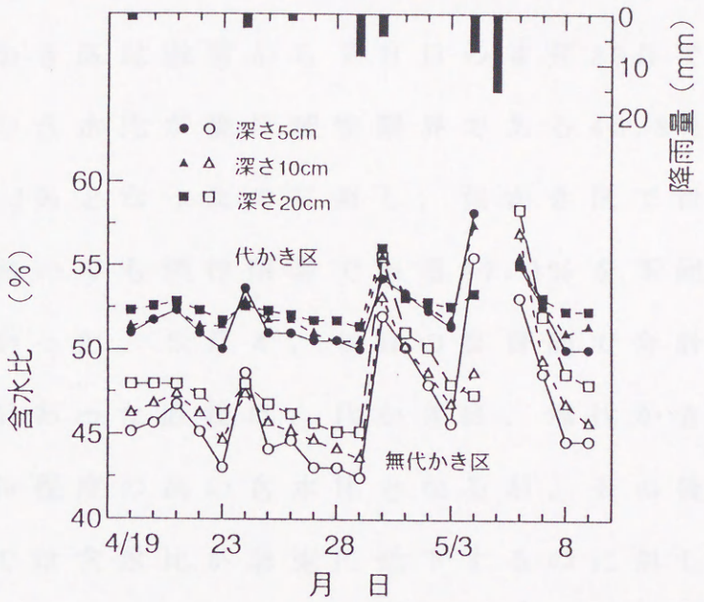



図２－４　融雪後の土壌水分の変化

表２－３　暗渠からの排水量

（単位：mm／日）

| 日時 | 無代かき区 | 代かき区 |
|---|---|---|
| 5/5　15:00 | 7.9 | 4.3 |
| 5/6　11:00 | 3.2 | 1.5 |

ずれの深さにおいても，低い含水比で推移した。無代かき区は融雪から７日目の４月23日で，深さ10cmの含水比が既に塑性限界である45.8%を下回る44.1%となったのに対し，代かき区では深さ５cmにおいても塑性限界である47.0%を下回ることはなかった。５月４，５日の２日間で合計23mmの降雨があった直後は，代かき区，無代かき区ともに55%程度の高い含水比となるが，その後無代かき区では含水比が急速に低下するのに対し，代かき区では，その低下は緩やかであった。

表２－３では降雨後の暗渠からの排水量を示した。無代かき区の排水量は，いずれの測定時においても代かき区の２倍程度であった。このことは，図２－４で示した降雨後の無代かき区の乾燥が，代かき区に比べて速かったことを，排水性の面から裏付ける結果となった。すなわち，代かき区は代かきを繰り返すことにより，土壌構造が微細化し，透水性が低下して，過剰水の排水性が低下したものと考えられる。

## ３・３　融雪後のコーン指数の変化

図２－５に融雪後のコーン指数の変化を降雨量とともに示す。無代かき区では，コーン指数は，代かき区に比べ融雪後から一貫して高く推移した。降雨があった場合，コーン指数は，土壌水分の増加によって急激に低下した。降雨後の５月１日と７日の代かき区のコーン指数は1.1MPa前後となり，70kWトラクタの２輪駆動では耕うん作業が不可能であった。

図２－６に土壌水分とコーン指数の関係を示す。無代かき区，代かき区ともに，土壌水分が低くなるほどコーン指数は高くなっている。換言すれば，作土層の地耐力は土壌の乾燥とほぼ対応した関係を示し，乾燥の進行が速い無代かき区で地耐力の向上が認められた。同一土壌水分で比較すれば，無代かき区のコーン指数は代かき区に比べて低い傾向にある。これは，無代かき区の粗孔隙が多いからであり，土の間隙が多いほどコーン指数が低くなるというCamp C.R.[36]らの試験結果に一致する。

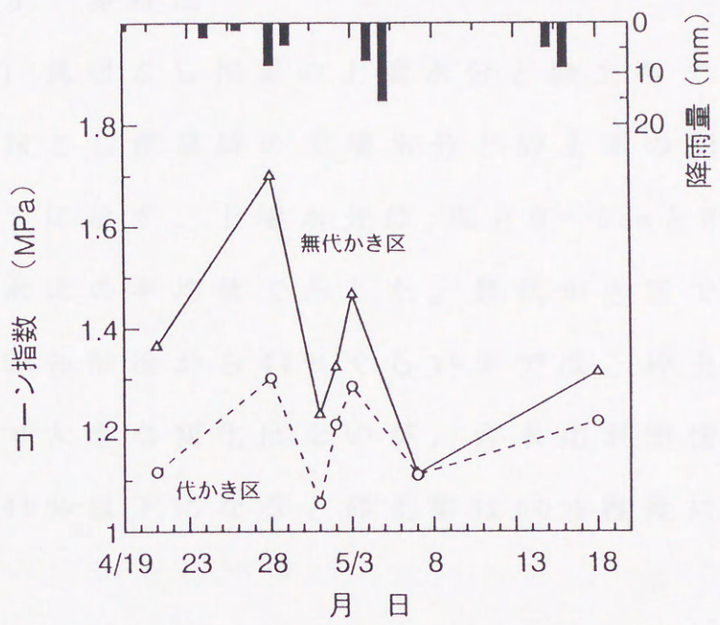



図２－５　融雪後のコーン指数の変化

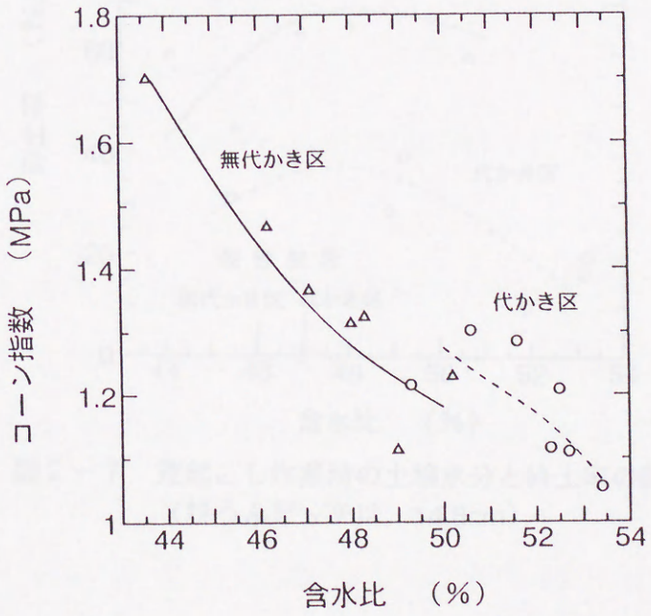



図２－６　土壌水分とコーン指数の関係

## ３・４　易耕性

### １）荒起こし作業の土壌水分と砕土率

荒起こし作業時の土壌水分と砕土率の関係を図２－７に示す。土壌水分は，深さ０～５cmと５～10cmの含水比の平均値で示した。無代かき区では，含水比51%前後から47%くらいまでは，砕土率70%程度で大きな変化はないが，含水比が塑性限界である46%以下になると砕土率は50%程度に低下し

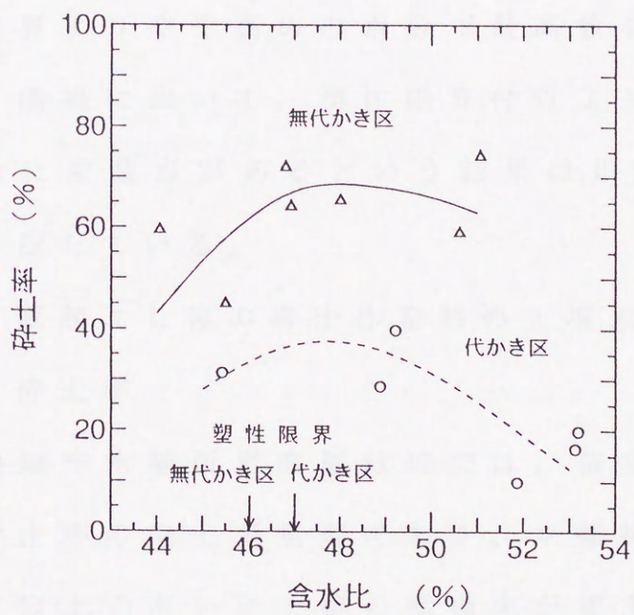



図２－７　荒起こし作業時の土壌水分と砕土率の関係
（耕うんピッチは，14.8cm）

た。代かき区では，含水比53%ぐらいでは20%以下の砕土率であるが，含水比が49%まで乾くと35%前後まで向上し，塑性限界の含水比47%以下に乾燥すると砕土率に大きな差はみられなかった。無代かき区は，いずれの含水比においても代かき区より砕土率が高く，特に高水分域で両者の差は30%以上となり，無代かき区の易耕性が優っている。このように，無代かき区の砕土率は，塑性限界より高い水分域で最高値を示し，代かき区では塑性限界よりやや高めの水分で最高値を示した。代かき圃場において，塑性限界付近よりやや高めの水分に変曲点があるという結果は川崎[33]の報告と一致している。

2）荒起こし後の砕土作業時の土壌水分と砕土率

転換畑や水稲折衷直播栽培では，苗立ち確保のため砕土率の向上が重要であり，水稲折衷直播では85%以上の高い砕土率の播種床が要求される。苗立ちと砕土率の関係については，Ⅲ章で論ずる。図2－8に荒起こし後の砕土作業時の土壌水分と砕土率の関係を示す。砕土作業は，荒起こし直後

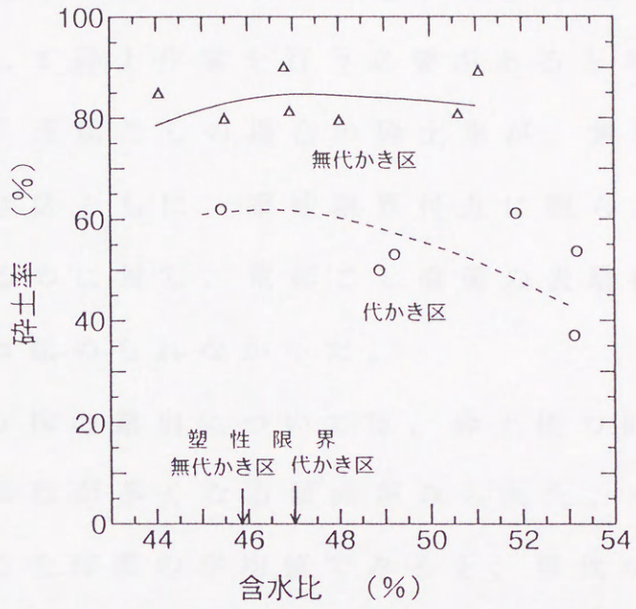



図２－８　荒起こし後の砕土作業時の土壌水分と砕土率の関係（耕うんピッチは，10.1cm）

に代かきロータリを用いて行った。土壌水分は荒起こし直前の含水比で示した。無代かき区では，いずれの含水比においても80%以上の砕土率であり，代かき区に比べ砕土率が高く，良好な播種床が造成された。代かき区では，含水比48%以上で，砕土率は50%前後であり，含水比が塑性限界の47%より低くなると，60%程度の砕土率となっている。代かき区の砕土率は，播種床としては不十分

であり，実際に播種作業を行うためには，砕土作業をもう１度行うか，あるいは耕うんピッチを小さくして砕土作業を行う必要があると考えられる。また，荒起こしの場合の砕土率が，無代かき区，代かき区ともに，塑性限界付近に明らかな変曲点があるのに対し，荒起こし直後の表層砕土では変曲点は認められなかった。

刈り株の露出については，砕土性の低い場合で，露出個数が多くなる傾向がみられた。各試験区における全作業の平均値でみると，無代かき区では，2.1個/$m^2$，代かき区で4.9個/$m^2$となった。砕土性の優る無代かき区の方が，刈り株の露出が少ない。

３）負荷特性

荒起こし作業時のPTO軸回転数は，520～530rpmであり，試験区間の差は認められなかった。荒起こし作業時の土壌水分と耕うん比トルクの関係を図２－９に示す。無代かき区のデータにはバラツキが大きいが，いずれの水分域においても，無代かき区の耕うん比トルクは，代かき区より10～30％低い傾向にあった。耕うん比トルクは，無代かき区，代かき区ともに塑性限界付近までは土壌水

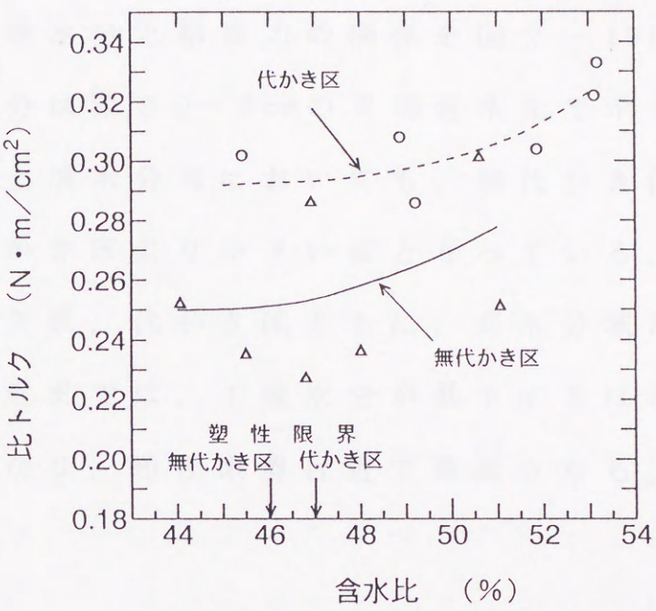



図２－９　荒起こし作業時の土壌水分と耕うん比トルクの関係（耕うんピッチは，14.8cm）

分が低くなると，漸減する傾向が認められる。塑性限界付近までは土壌水分が低くなるほど，耕うん比トルクが小さくなるという結果は，川崎[33]が行った代かき水田での試験結果と一致している。川崎[33]，本庄[37]が報告している，塑性限界より土壌水分が低くなると耕うん比トルクが大きくなるという傾向については，播種時を想定した春作業の試験で，塑性限界以下の水分域について充分なデータが取れなかったため確認できなかった。

４）土壌水分と粘着力

土壌水分と粘着力の関係を図２－10に示す。土壌水分は深さ0～5cmの平均含水比で示した。いずれの土壌水分域においても，無代かき区の粘着力は代かき区より小さい値となっている。また，無代かき区，代かき区ともに，高水分域から塑性限界付近までは，土壌水分が低下するほど粘着力は高くなり，塑性限界付近で最高となる。さらに，

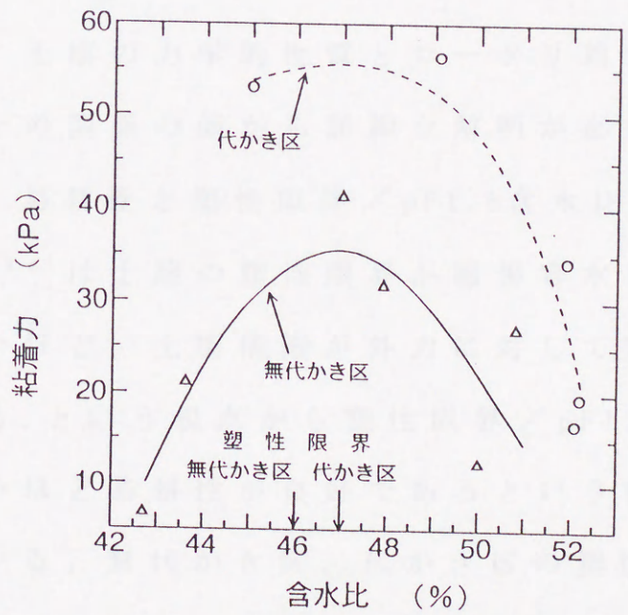



図２－１０　土壌水分と粘着力の関係

塑性限界以下に乾燥すると減少する傾向にある。内部摩擦角の測定ではデータのバラツキが大きく明らかな傾向は確認できなかった。粘着力，内部摩擦角等の土壌の力学的パラメータは易耕性，負荷特性に影響すると思われるが[38)-42)]，未撹乱土の粘着力，内部摩擦角のデータは非常に少ない。また，ロータリ耕うんのような土壌の高速切削・破壊においては，応力波の伝播による破壊が起こり得るため，破壊の原理はまだ解明されていない[43)]。試験結果の砕土のメカニズムを解析するためには，土壌の力学的性質とロータリ耕うんによる破壊との関係の面から詳細な解明が必要である。

5）易耕性と塑性限界／pF1.8含水比

中野[44)]は土壌の塑性限界が圃場容水量に対して大きいほど，土壌構造が外力に対して安定な状態にある，という視点から塑性限界／pF1.8含水比が大きいほど易耕性が良好であるという指標を提案している。無代かき区，代かき区の塑性限界／pF1.8含水比をそれぞれ求めると0.96，0.89となる。この結果は，無代かき区の易耕性が代かき区より優ることを裏付けるものであろう。

## ３・５　最適播種深度

手播き試験による播種深度と苗立ち率の関係について，1993，1994年のデータの平均値を図２－11に示す。５月11日から６月20日までの日平均気温の平均値は，1993，1994年でそれぞれ，13.0，14.4℃であった。カルパー粉衣区では，播種深度５mm付近で苗立ち率が65%程度のピークとなり，播種深度が15mmより深くなると，30%以下の苗立

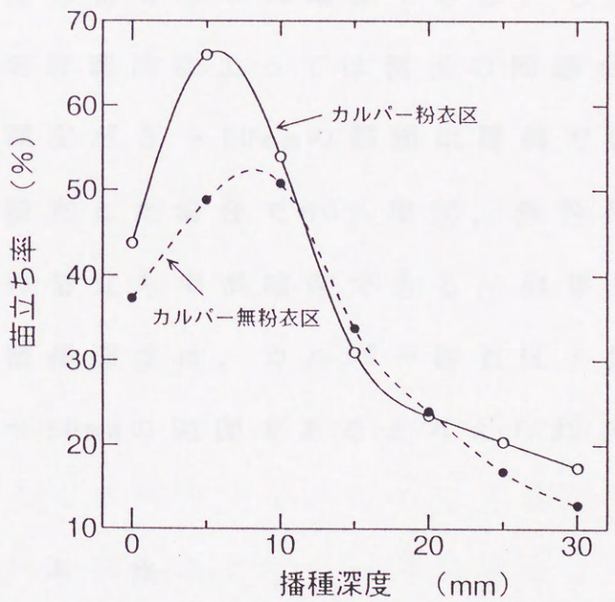



図２－１１．手播き区の播種深度と苗立ち率
（1993,1994年の平均値，砕土率90%）

ち率となる。これは，深く播種された種籾は出芽・苗立ちに要する時間が長くかかり，土壌還元の進行とともに，種籾の生理機能の低下から，土壌微生物の害作用[45]で枯死する確率が高くなるためと考えられる。また，播種深度５mmのときカルパー粉衣の効果が最大となり，カルパー粉衣区と無粉衣区では15%程度の違いとなった。

表面播きの播種深度０mmでは，風による波立ちの影響で浮き苗となり相当数の苗が流されるが，40%程度の苗立ち率は確保できる。しかし，その後の肥培管理法によっては倒伏の問題が残される。

播種深度が５～10mmの範囲に播種できれば，カルパー粉衣した場合で60%程度，無粉衣の場合50%程度の苗立ち率が確保できる。出芽・苗立ちに最適な播種深度は，カルパー粉衣区・無粉衣区ともに５～10mmの範囲であると考えられる。

## ３・６　考　察

無代かきを特徴とする折衷直播は，代かきを行う水稲栽培法に比べ土壌の物理性，排水性，融雪後の土壌の乾燥特性，地耐力，易耕性の面で良好

となることを実証した。これらのうち，排水性，地耐力に関する改善効果は，積雪のある北海道においては，耕うん作業の早期化を可能とし，また，土壌の易耕性の改善効果は，大規模化に対応した耕うん作業の高速化と播種精度の向上に寄与するものと考えられる。また，無代かきは有効水分域の保水性，粗孔隙，砕土性の面でも優れ，転換畑とした場合には，種子への水分と酸素供給，播種精度に好影響を与え，良好な出芽・苗立ちが確保されるものと期待できる。

本試験では，無代かきによる漏水や地力の消耗の問題は発生しなかったが，圃場によってはこれらが大きな問題となる場合も想定される。漏水の対策として，前年の秋のうちに畦畔に近い所を部分的に代かきして，畦畔漏水を防ぐ方法が有効と考えられる。これは緊急的な対策であり，将来的には地力の消耗などの土壌の化学性の問題を含めて，無代かきを前提とした圃場整備技術の開発が望まれる。

カルパーの粉衣に関しては，粉衣することで10%程度苗立ち率の向上効果が期待できる。一方で，

粉衣作業の能率は，50a/h（播種量10kg/10a，浸漬籾重に対し50%粉衣）程度と低く，資材費も種籾代と同程度である。このように，カルパー粉衣による苗立ち率の向上効果は認められるものの，その効果が，粉衣によるコストの増加分以上の増収につながっているかどうかも今後検討する必要がある。

## 4節　まとめ

代かきして水稲栽培を4年間続けた圃場と代かきせずに4年間水稲栽培を続けた圃場において，土壌の物理性，融雪から播種期までの土壌水分の変化，排水性，易耕性，地耐力を播種適期までの播種床造成という視点から比較検討した。折衷直播栽培で良好な苗立ちが得られる最適な播種深度を実規模水田において明らかにした。その結果，次のことが明らかになった。

1）有効水分量，粗孔隙量，降雨後の暗渠からの排水量を測定した結果，無代かき区は，代かき区に比べ，有効水分域での保水性が高く，なおかつ

過剰水の排水が迅速に行われることが明らかとなった。そのため，無代かき区の融雪後の土壌水分は，代かき区に比べ一貫して低く推移した。

2）作土層の地耐力は，圃場の乾燥とほぼ対応した関係を示し，乾燥の進行が速い無代かき区で，融雪後から一貫して高い値を示した。そのため，無代かき区では，安定したトラクタ作業が可能であったが，乾燥の遅い代かき区では，降雨後には，耕うん作業が不可能となる場合があった。

3）荒起こしの砕土率は，無代かき区がいずれの土壌水分においても，代かき区より高く，特に高水分条件で両者の差は30%以上となり，無代かき区が優った。無代かき区の砕土率は，塑性限界より高い水分域で最高値を示し，代かき区では塑性限界よりやや高めの水分で最高値を示した。

4）播種床造成のため，荒起こし後に代かきロータリを用いた表層砕土では，無代かき区がいずれの土壌水分においても，80%以上の砕土率となり，良好な播種床が造成された。代かき区では50～60%の砕土率となり，播種床としては不十分であった。

５）荒起こしの耕うん比トルクは，いずれの土壌水分においても無代かき区が，代かき区に比べ10～30％低かった。

６）粘着力は，いずれの土壌水分においても無代かき区が，代かき区に比べて小さくなった。粘着力は無代かき区，代かき区ともに，塑性限界付近で最高値となる上に凸の曲線となった。

７）水稲折衷直播栽培で，良好な苗立ちが確保できる最適な播種深度は５～10mmである。カルパー粉衣の効果は，播種深度５mmで最大となり，無粉衣に比べ15％程度苗立ち率が向上した。

# Ⅲ　章

# 施肥播種機の開発

## 1節　はじめに

北海道で現在行われいる折衷直播栽培の研究の端緒は，1971年に開始された「無代かき湛水直播法に関する研究」[12)-15)]であることはⅠ章で述べた。その当時の条播の湛水直播では，能率，精度ともに高く維持することが難しく，条播を前提とした場合，乾田状態で播種作業を行う方が有利であった。このようなことから，播種後に入水するという方法が取られた。

寒地の直播栽培では播種深度の深浅が出芽・苗立ちに大きく影響し，Ⅱ章で明らかにしたように良好な苗立ちが得られる播種深度の許容範囲は，5～10mmと狭い。また，播種適期が限られる寒地の直播栽培は，適期に大面積を播種できる高能率な作業システムでなければならない。このように寒地の大規模直播稲作では，播種作業の高精度化

と高能率化が同時に要求される。折衷直播栽培は，耕起・砕土，播種，鎮圧作業後，入水するため，播種作業体系は畑作に近い。本章では，北海道の大規模畑作地帯でみられる高能率な播種作業体系の高精度化という視点で，畑作との汎用利用ができ安定した播種深度が得られる施肥播種機の開発をめざした。そのためには，最初に畑作用のグレインドリルの播種深度の精度を検討し，次いでその高精度化のための要件を明らかにし，それらを基にして深度規定輪方式を基本構造とした施肥播種機を開発した。開発機の現地試験を1992年より4年間に亘り美唄市農家圃場で行い，実用性を検討した。

## 2節　施肥播種機の開発

畑作用グレインドリルの折衷直播への適応性を検討した後，最適播種深度に安定して播種でき，かつ高能率播種が行える施肥播種機の開発を試みた。

## ２・１　グレインドリルの播種精度調査

畑作で麦等の播種に用いられ，高速作業が可能なグレインドリルを用いて播種した場合の播種深度を調査した。

１）供試グレインドリルの構造

供試したグレインドリルを図３－１に示す。供

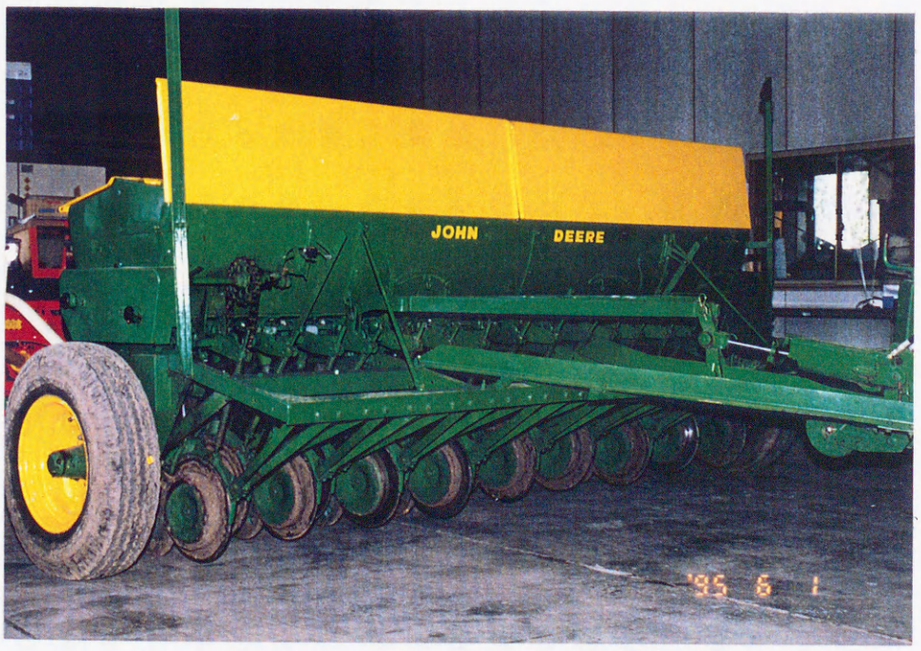



図３－１　供試したグレインドリル

試機械は，播種深度安定機構を持つジョンディア製ドリルFB177Bである。播種深度の安定化のため，直径340mmの播種ダブルディスクオープナの真横に直径240mm，幅43mmの深度規定輪が，それぞれ装着されている。このため，播種オープナは作溝深50mmで，一定深さの播種溝を作溝する。種子を播種した後は，くさび型の覆土器の自重で播種溝に土が寄せられ覆土する構造である。

２）播種深度の測定法

砕土率90%の播種床を用い，作業速度1.5m/sで播種作業を行った後，質量1086kgのケンブリッジローラで１回の鎮圧作業を行った。種籾は，カルパー粉衣処理した品種「きたいぶき」である。１m区間を３ヶ所任意に選び，土中の種籾の中心から土壌表面までの距離を測定し，播種深度を求めた。

３）播種深度精度の検討

グレインドリルの播種深度分布を図３－２に示す。播種深度の平均値は33.6mm，標準偏差は12.8mmであり，折衷直播の最適播種深度に比べ深く，バラツキも大きい。苗立ち率は，播種深度の影響

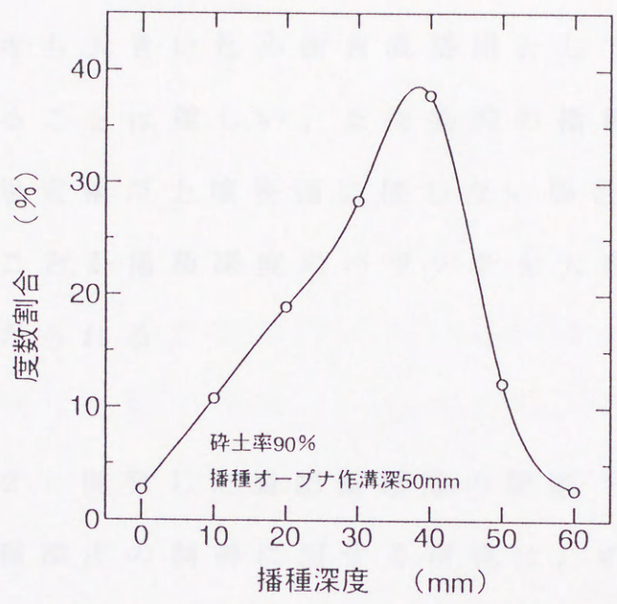



図３－２　グレインドリルの播種深度分布

以外に年毎の気象条件，防風林等による微気象の影響，土壌水分，土壌の酸化還元状態にも影響される。そのため，一概に播種深度のみで苗立ち率を推定できないが，Ⅱ章図２－11で示した播種深度と苗立ち率の関係と，図３－２の播種深度分布から苗立ち率を推定することができる。本グレインドリルの場合の推定苗立ち率は，23%程度にしかならない。この例でも見られるように既存のグ

レインドリルは，１ha/h程度の高能率な播種作業が可能であるが，播種深度が３～４cmと深く，バラツキも大きいため折衷直播用としてそのまま使用することは難しい。また実際の播種作業では，深度規定輪が土壌表面に接しない場合がみられた。このことが播種深度のバラツキを大きくした原因と考えられる。

## ２・２　開発した施肥播種機の構造

播種深度の制御に関する研究は，Morrisonらが不耕起栽培で数種の播種深度安定機構について研究を行っている[46]。シミュレーション実験の結果，播種深度と小麦，大豆の苗立ち率に関して，播種オープナの真横に深度規定輪を設けるサイドホイールタイプの優位性を明らかにしている。また，サイドホイールへの垂直荷重を900N程度に設定すれば，播種深度標準偏差を6mm程度にできることを報告している[47]。

２・１で供試したグレインドリルの播種深度安定化機構は，サイドホイールタイプに分類される。供試機の深度規定輪の垂直荷重は280N程度であり，

前述したとおり深度規定輪が土壌表面に接しない場合がみられた。耕起圃場の場合であっても深度規定輪の効果を発揮させるためには，垂直荷重の増大が必要である。

これらのことを踏まえ本研究では，深度規定輪を用いた播種深度安定化機構を基本に，普通畑作でも使用可能な汎用型の施肥播種機を開発した。

開発した施肥播種機の概略図を図３－３に，写真を図３－４に示す。開発機の施肥播種ユニットは，幅60mmの深度規定輪を装備した施肥オープナと播種オープナおよび鎮圧輪から構成される。施肥播種ユニットは，並行リンクおよび圧縮バネ（バネ定数 6.9N/mm）を介して施肥播種機の主フレームに装着され，122mmの上下移動が可能である。播種深度は任意に設定ができ，麦等の一般畑作にも汎用利用できる。本機は，条間25cm，10条型であり，施肥播種機本体を支える車輪を装備していない。このため，本体の自重および肥料・種子の荷重は，すべて施肥オープナに装備した深度規定輪と鎮圧輪で支持される。機体質量は634kgであり，１条ごとの深度規定輪と鎮圧輪には630N以上

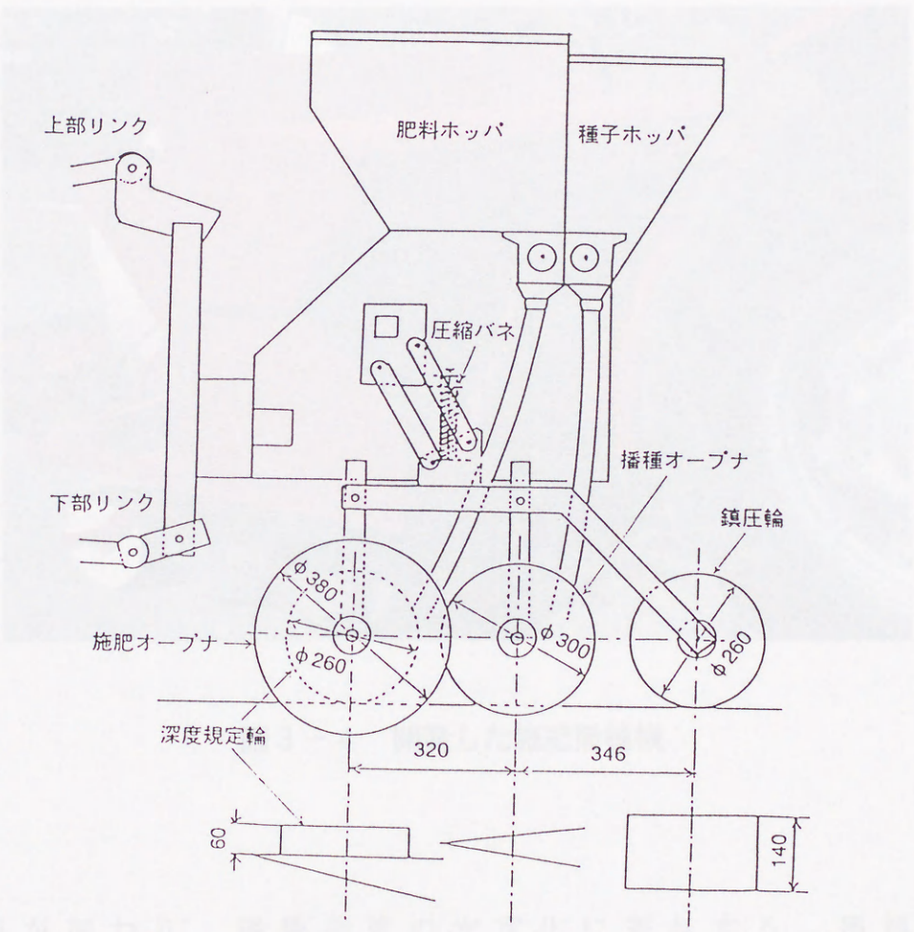



図３－３　開発した施肥播種機の概略図



図３－４　開発した施肥播種機

重が加わり，播種深度の安定化に寄与する。播種の過程では，深度規定輪で一度平らに鎮圧された播種床に，播種ディスクオープナが正確な深さで播種溝を作溝し，播種後鎮圧輪によって播種溝が閉じられる。また，施肥播種機は，トラクタ３点リンクへの直装式であるが，下部リンクと作業機

と施肥播種機はリンク機構を介して連結する。このため施肥播種機本体は，作業時には自由リンク状態で牽引される。これらの作用によって，10条すべての播種ユニットが正確に圃場の凹凸に追従し，安定した播種深度が得られる機構となっている。また，トラクタに装着して播種作業を行う場合，タイヤの轍が，播種精度を低下させる。このため，轍の深さに応じて作用深さを任意に調整できるショベル型のタイヤ跡消しを装着した。

## 3節　試験方法

### 3・1　開発機した施肥播種機の播種精度・苗立ちおよび収量

開発機の，砕土率に対する播種深度のバラツキおよび苗立ち・収量を検討した。

1）播種条件

供試圃場は，II章2節で述べた無代かき圃場である。播種床の砕土率を66，82，88，93%の4試験区に設定した。機関出力49kW（65PS）のトラクタを用い，速度1.5m/sで播種作業を行った。その

後，ケンブリッジローラを１回掛け，播種深度を調査した。播種深度の調査法は，１試験区３反復で，１ｍ区間を任意に選び，土中の種籾の中心から土壌表面までの距離を測定した。

種籾の品種は，「きたいぶき」で，前述のカルパー粉衣処理を行った。1994年５月10日に播種作業を行い，８日後の５月18日に湛水，６月20日に苗立ち率を調査した。全面全層基肥はLP肥料を用いＮ 4.6kg/10a，側条基肥はＮ 4.4kg/10a，播種量は乾籾で11.1kg/10aとした。

２）苗立ち率および収量調査

苗立ち率の調査は各試験区につき3.75m²（３ｍ×５条）を３地点任意に選び，１条ずつ（0.75m²，各試験区15ヶ所）の苗立ち本数を播種粒数で除して苗立ち率を求めた。

収量調査は，苗立ち調査を行った同じ場所で，１試験区３ヶ所づつ３m²で坪刈りし，0.75m²で収量構成要素の調査を行った。測定法は常法によった。

## ３・２　開発した施肥播種機の現地実証試験

開発機の性能試験を数戸の美唄市農家圃場で，1992年から1994年まで，延べ面積429aで行った。1995年には大区画圃場でグレインドリル改造機との比較試験を行った。

・１）開発機の性能試験

1994年の供試圃場は，前年度まで水稲移植栽培を行っていた無機質表層高位泥炭土で，土性はＬｉＣ，面積は30a（30m×100m）である。種籾はカルパー粉衣処理した品種「ゆきひかり125」であり，５月14日播種，５月19日湛水，６月24日に苗立ち率の調査を行った。全面全層基肥はセラコートＮ4.0kg/10a，側条基肥はＮ3.0kg/10a，播種量は乾籾で11.0kg/10aとした。播種深度，苗立ち率，収量等の調査法は，場内試験に準じた。

２）グレインドリル改造機との比較試験

表面播種した場合でも，40%程度の苗立ち率は確保できるが，倒伏の問題が残されることをⅡ章３節で述べた。このため，播種床の砕土率をあまり高めずに，表面播種した後鎮圧すれば，適度な播種深が得られるのではないかと考えられる。こ

の方法を用いて，既存のグレインドリルを表面播種できるように改造して，播種作業を行っている農家がある。そこで，その農家の大区画水田２枚を用いて，開発機とグレインドリル改造機の比較試験を1995年に行った。グレインドリル改造機を図３－５に示す。グレインドリル改造機は，条間34cm，８条の石狩造機（株）製グレインドリルの播種オープナを取り外し，幅65mmの船底型のシューを装着し，表面播種できるようにしている。このため各条の播き幅は，８cm程度となる。

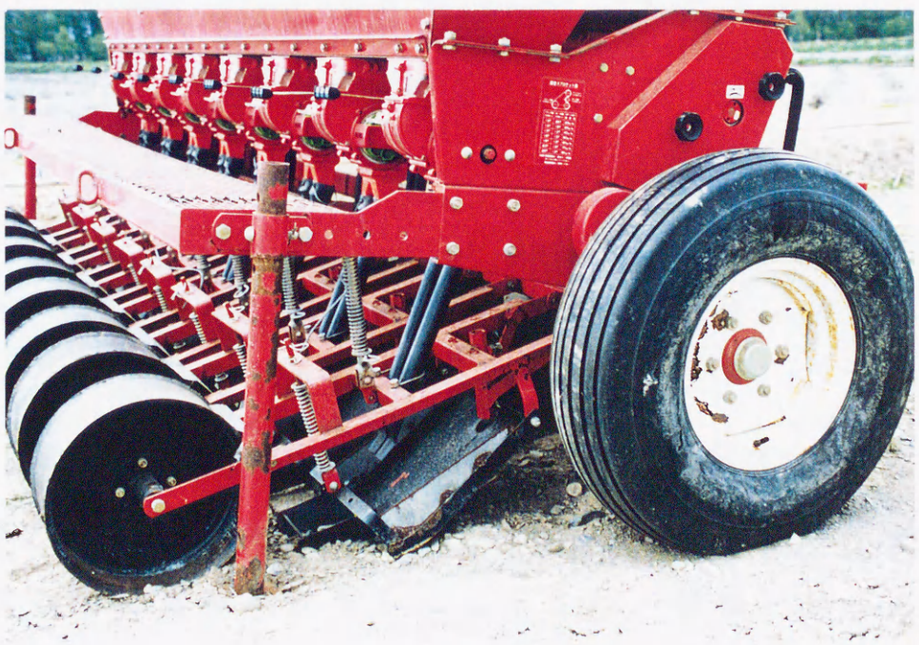


図３－５　グレインドリル改造機

供試圃場は，無機質表層高位泥炭土，土性ＬｉＣの１ｈａ（60ｍ×170ｍ）大区画水田である。開発機で播種する圃場は，ロータリで耕起後，代かきロータリで表層砕土した。グレインドリル改造機で播種する圃場は，ロータリ耕起のみとした。種籾はカルパー粉衣処理した品種「ゆきひかり125」であり，開発機の播種を５月13日に，グレインドリル改造機の播種を５月19日に行った。５月23日に湛水，６月19日に苗立ち率の調査を行った。基肥は側条基肥 Ｎ 2.8kg/10aのみで，播種量は乾籾で8kg/10aに設定した。播種深度，苗立ち率等の調査法は，場内試験に準じた。

## ４節　結果および考察

### ４・１　開発した施肥播種機の播種精度・苗立ちおよび収量

開発機の播種作業では，図３－６に示すとおり，深度規定輪は確実に土壌の凹凸に追従し，その鎮圧効果で播種床は平らにならされ，播種・鎮圧されていることが観察された。



図３－６　開発した施肥播種機の播種作業の様子

１）播種精度および苗立ち

開発した施肥播種機の設定播種深度を10mmに調整し，異なる砕土率の播種床に播種したときの播種深度の分布を図３－７に示す。いずれの砕土率においても，設定深度10mmをピークとした分布となり，砕土率が高いほど播種深度10mmの度数割合が高くなった。すなわち，播種床の土塊の大きさが播種深度の分布に影響し，砕土率が高くなるほど播種深度が安定することを示している。

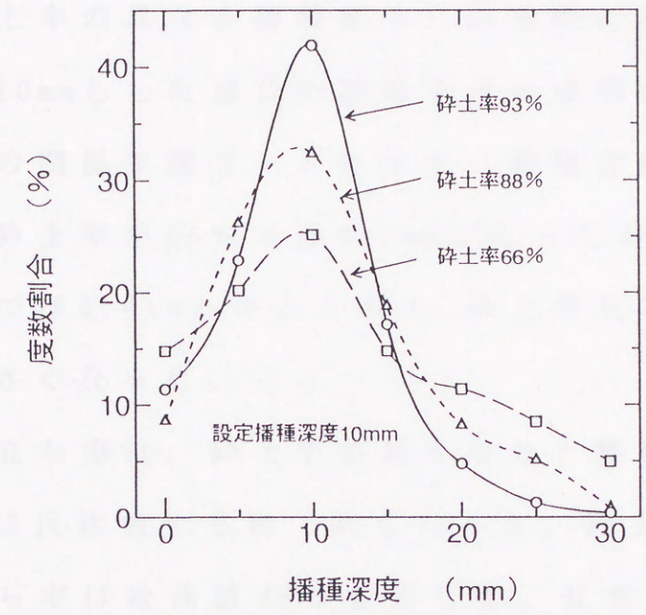



図３－７　開発した施肥播種機の播種深度分布

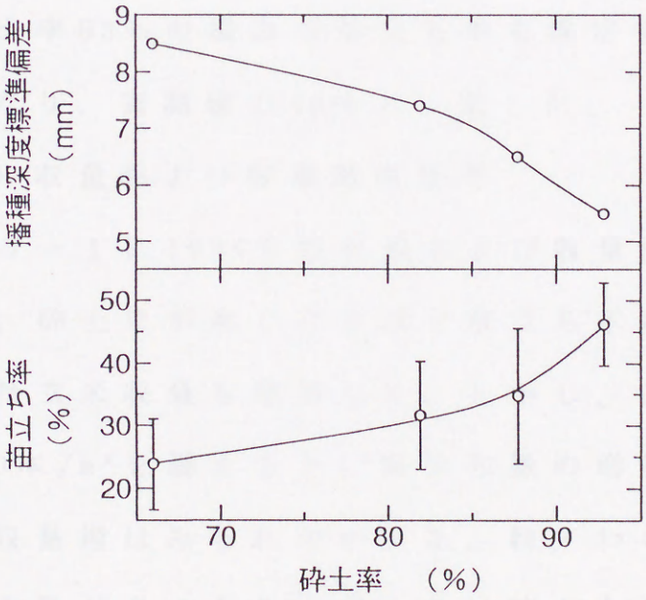



図３－８　砕土率と播種深度標準偏差および苗立ち率
（１９９４年）

砕土率の異なる播種床で，開発機の設定播種深度を10mmとした場合の播種深度の標準偏差と苗立ち率の関係を図３－８に示す。播種深度標準偏差は，砕土率が66%では8.5mmであったが，砕土率が93%では5.6mmと小さくなり，砕土率が高くなるほど小さくなった。

苗立ち率は，砕土率が高くなると播種深度標準偏差に反比例する形で高くなった。砕土率93%で，苗立ち率は最高値46%を示した。Ⅱ章の図２-11の手播きによる播種深度と苗立ち率の関係と，図３－７の開発機の播種深度の分布のデータを用いて砕土率93%の場合の苗立ち率を推定すると，46%となり，実測値の46%と一致した。

２）収量および収量構成要素

表３－１に1994年の収量および収量構成要素を示す。砕土率が高くなるほど苗立ち本数は多くなり，精玄米収量も増加した。しかし，苗立ち本数が150本/$m^2$を越えると，苗立ち数の増加分ほど精玄米収量増はみられなかった。籾／わら比は，苗立ち本数が多くなるほど小さい値となり，面積当たりのわらの生産量に対し，籾の生産量が低くな

ることを示している。総籾数と穂数は，砕土率88%で苗立ち本数147本/m²の試験区が最高値を示した。苗立ち本数が150本/m²を越えると，一穂籾数が減る傾向にあり，登熟歩合は，総籾数の少ない試験区で高くなる傾向にあった。天候に恵まれた1994年は，苗立ち本数150本/m²（苗立ち率34%）以上で，570kg/10aの収量を得ることができた。

表3－1　収量および収量構成要素（1994年）

| 試験場所 | 砕土率 | 苗立本数 | 精玄米重 水分15% >1.9mm | 籾／わら比 水分14.5% | 千粒重 水分15% >1.8mm | 総籾数 | 穂数 | 一穂籾数 | 登熟歩合 比重1.06 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | 本/m² | kg/10a | － | g | 粒/m² | 本/m² | 粒 | % |
| 場内 | 66 | 101 | 532 | 1.26 | 22.78 | 26461 | 575 | 46.0 | 89.2 |
| | 82 | 134 | 536 | 1.22 | 22.90 | 29198 | 590 | 49.5 | 86.8 |
| | 88 | 147 | 571 | 1.19 | 22.80 | 32298 | 682 | 47.4 | 86.8 |
| | 93 | 196 | 574 | 1.14 | 22.62 | 26124 | 637 | 41.0 | 92.1 |
| 美唄 | 87 | 167 | 557 | 1.25 | 23.42 | 27925 | 617 | 45.2 | 89.0 |

注）　美唄は6/21にN 1.8kg/10a追肥

## ４・２　開発した施肥播種機の現地実証試験

### １）開発機の性能試験

1992年に３戸の農家圃場で行った現地試験の平均収量は，417kg/10aであった。1993年は，北海道の作況指数が42という記録的な冷害年だったため，平均収量は203kg/10aであった。

現地試験の播種作業風景を図３－９に示す。1994年の試験では，機関出力33.1kW（45PS）の４



図３－９　開発した施肥播種機の美唄での播種作業風景

輪駆動トラクタを用いて播種作業を行った結果，作業能率は，84a/hであった。

表３－１に示すとおり播種床の砕土率は87％で，播種深度の平均値が11.3mm，標準偏差は6.7mmであり，苗立ち率は40％（167本/m²）となった。美唄の1994年５月11日から６月20日までの日平均気温の平均値は，14.8℃であった。現地水田の苗立ち率は，場内水田での砕土率と苗立ち率の関係を示した図３－８の同一砕土率の値とほぼ一致した。収量は表３－１に示すとおり，557kg/10aであった。

２）グレインドリル改造機との比較試験

開発機およびグレインドリル改造機で播種し，ケンブリッジローラで鎮圧した後の播種深度分布を図３－10に示す。開発機は，播種床の砕土率が80％を下回ったことから若干浅めに播種深度を調整したため，播種深度５mmにピークのある分布となり，平均播種深度は8.2mmであった。グレインドリル改造機は，表面に播種された割合が42％で，土塊の隙間を通り深さ35mmまで分布していた。平均播種深度は，7.3mmであった。

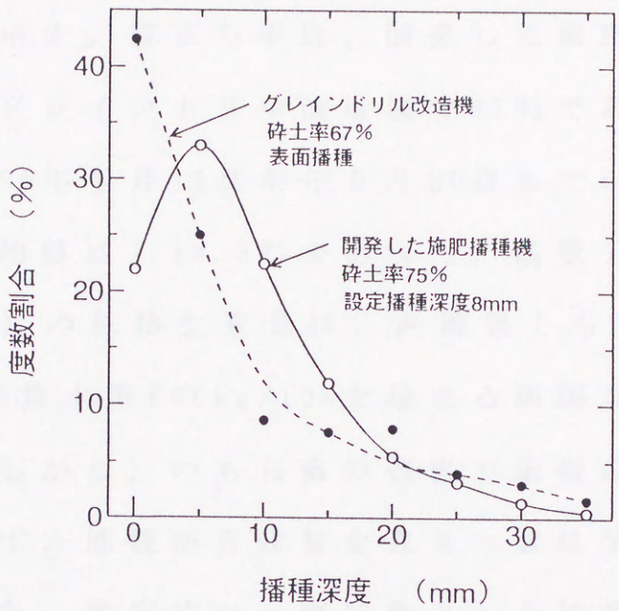



図３－１０　現地試験での播種深度分布

表３－２　播種精度と苗立ちおよび収量(1995年)

| | 砕土率 | 播種量 | 播種深度 AVG. | 播種深度 S.D. | 苗立数 | 苗立率 | 穂数 | 推定収量* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | kg/10a | mm | mm | 本／m² | % | 本／m² | kg/10a |
| 開発した施肥播種機 | 75 | 7.8 | 8.2 | 7.2 | 155 | 52.3 | 710 | 552 |
| ｸﾞﾚｲﾝﾄﾞﾘﾙ改造機 | 67 | 8.1 | 7.3 | 9.1 | 126 | 40.9 | 606 | 471 |

注）推定収量は次式で算出した。

推定収量＝穂数×一穂籾数（43）×千粒重（22.6）÷1000×登熟歩合（80%）

表３－２に各播種機の播種精度と苗立ちおよび収量を示す。苗立ち率は，開発した施肥播種機が52%，グレインドリル改造機で41%であった。美唄の1995年５月11日から６月20日までの日平均気温の平均値は，14.3℃であった。減数分裂期（７月27日）の乾物生産量は，両圃場とも390g/m²を越え，収量水準600kg/10aを越える順調な生育であった。しかし，いもち病の被害で正規の収量調査が行えず，穂数から収量を表３－２に示した式で推定した。推定式の一穂籾数と，千粒重は，同年に折衷直播栽培を行い，いもち病の発生のなかった圃場のデータの平均値を用いた。推定収量は，苗立ち数と穂数の多い開発機が優った。

## ４・３　考　察

播種量を10kg/10a（約400粒/m²）とした場合，150本/m²以上の苗立ち数を得るためには，37%以上の苗立ち率を確保しなければならない。苗立ち率が，播種深度以外の多くの要因で変動することは，既に述べたが，1994年と1995年の場内および現地試験の結果から，播種床の砕土率を85%以上

とすれば概ね37%以上の苗立ち率は確保できるものと判断される。

開発した施肥播種機の作業能率は84a/hであり，畑作並の高能率播種が行え，適期播種と大規模化に対応できるものと考えられる。また，秋播き小麦およびソバの播種作業に使用したところ，高精度な播種作業を行うことができ，良好な出芽・苗立ちが確保された。開発した施肥播種機は，播種深度を任意に調整できるため畑作との汎用利用が可能である。

開発した施肥播種機では，播種精度を向上させるためには砕土率の高い播種床を造成しておく必要がある。ロータリによる荒起こしの後，代かきロータリで播種床を仕上げるという現在の体系で，砕土率85%以上の播種床が造成できるような易耕性の良好な水田は，あまり多くはない。アップカットロータリを用い，低速作業を行えば，一般の水田においても良好な播種床造成は可能である。しかし，播種作業システムとしての能率が低くなるため，適期播種，大規模化という目的にはそぐわなくなる。作業能率を重視するという意味では，

ロータリ1回掛けで，60～70%程度の播種床を造成し，グレインドリル改造機で表面播種するという方法は，苗立ち率は低くなるが，播種量を多めにすれば現実的で高能率な播種法であると考えることもできる。

ここでは，播種深度の安定化を目標として施肥播種機を開発し，砕土率と播種深度の関係を中心に検討して，現地での実用化をめざした。開発機は，高い砕土率の播種床で作業すると，播種深度標準偏差を，最高で 5.6mmまで小さくすることができた。播種深度の安定化技術は，播種溝の作溝深，種籾の落下位置，覆土量等，本来これらの要因が全て安定して達成される。これらの要因の詳細な解析は必要であるが，本研究での圃場試験と既往の研究報告[48)49)]から推察して，播種深度標準偏差5.6mmは，播種床をディスクオープナを用いて作溝する播種法の限界値と考えられる。これ以上の播種精度を得るためには，播種溝のみ100%に近い砕土率にして播種する方法等，既存の体系とは違った視点から播種法を開発する必要があると考える。

また，開発した施肥播種機を用いた試験では倒伏の問題は起こらなかった。湛水土壌中直播で倒伏を回避するための播種深度について中村[50]と村瀬[51]は，それぞれ実験とシミュレーションから，播種深度が8～15mmの範囲であれば倒伏を回避できると報告している。中村と村瀬の報告は，代かき圃場での結果であり，また北海道の稲の草型とは異なる。今後は，倒伏回避のための限界播種深度も明らかにする必要がある。

## 5節　まとめ

最適播種深度に播種可能な施肥播種機の開発を行った。開発した施肥播種機の，播種床条件と苗立ち，収量を検討し，美唄市農家圃場で現地実証試験を行った。その結果，以下のことが明らかとなった。

1）一定播種深度に播種することを目的として，施肥オープナに深度規定輪を設けた条間25cm，10条型の施肥播種機を開発した。

2）開発した施肥播種機は，砕土率66～93%の播

種床において，目標とした設定播種深度にピークがある分布となった。播種深度の標準偏差は，砕土率が高くなるほど小さくなり，砕土率93%で最小値5.6mmであった。

3）気象条件が良好な年では，苗立ち数150本/$m^2$（苗立ち率34%）以上あれば，570kg/10aの収量を得ることが可能であった。

4）1994年に行った，機関出力33.1kW（45PS）のトラクタを用いた現地実証試験では，砕土率87%の播種床で，作業能率84a/h，苗立ち率40%，収量557kg/10aであった。

5）1995年の現地圃場での，グレインドリル表面播種改造機との比較試験では，開発した施肥播種機の苗立ち率が52%，グレインドリル改造機で41%であり，推定収量も開発機が優った。

6）開発した施肥播種機は，播種深度の調節により麦，ソバ等の播種作業が可能であり通常のグレインドリルとして畑作での汎用利用が可能である。

# Ⅳ　章

# 不耕起播種機の開発

## 1節　はじめに

Ⅲ章では，折衷直播において目標とする播種深度に安定して播種でき，高速作業が可能な施肥播種機を開発し，播種床の砕土率の違いによる播種精度，苗立ち，生育・収量の評価を行った。その結果，播種床の砕土率が高いほど播種深度のバラツキが小さくなり，苗立ち率が向上した。このため良好な苗立ちを得るためには播種床の砕土率（表層5cmまでに，土塊径2cm以下の土塊が占める重量割合）を85%以上にする必要があることを指摘した。しかし，現実には85%以上の砕土率の播種床を高能率に造成できる圃場は少なく，砕土作業は低速作業を強いられる。このため耕うん・砕土を含めた播種作業のシステム能率は高いとはいえない。

また，折衷直播は通常の乾田直播同様，播種作

業は天候に左右され易く，降雨の多い年には適期に大面積を播種することが困難である。降雨の問題を解決し，作業期間を拡大する方法としては，不耕起栽培をはじめ，不耕起状態から耕うん・砕土同時播種する方法[52)-55)]や耕起後播種前に鎮圧処理を行って播種する方法等[56)]が検討されている。なかでも耕うん作業を行わない不耕起播種が最も省力的な技術である[57)]。

不耕起栽培の狭義の定義としては，作付け期間を通して，地表面における耕うん面積の割合が10%以下で，前作物残さが地表面を一様に被覆した状態で作物を栽培する方法[58)]，とされている。欧米の畑作地帯では，土壌浸食の防止と省力化を目的に保護耕作と呼ばれる，不耕起あるいは簡易耕栽培が急速に普及しており[59)]，ディスクオープナ式の不耕起播種機[46)47)59)]が用いられている。

国内での水稲の不耕起栽培は中国地方に研究事例が多く[60)-62)]，不耕起直播水稲の生育と土壌の特性が明らかにされている。1995年から専用播種機が市販され，岡山県を中心に普及し始めている。不耕起播種機の開発研究では，作溝ディスク

[63][64]，穴開け爪[65]，逆転ロータリ爪[66]を用いたものがある。しかし，これら府県で用いられる不耕起播種機は，設定播種深度が20～30mmで，播種深度のバラツキも大きい[63]。北海道のような寒地の折衷直播では，最適播種深度は5～10mmと範囲が狭く，より高精度な播種機構の開発が望まれる。

このようなことから作業期間の拡大と播種床の砕土性向上を目的に，播種する極く限られた部分を高速回転する鋸刃で作溝し，高い砕土率の播種床を作りながら，一定深度に播種する不耕起播種機を開発した。本方式においては，種籾の覆土は，鋸刃による飛散土を用いる。飛散土を用いて覆土する方法としては，これまでロータリの後方に播種導管を設ける耕うん播種機[67][68]が検討されており，爪本数が多く，回転数が高いほど飛散距離が長くなることが明らかにされている。ここでは，異なる土壌水分の圃場において，試作した不耕起播種機の鋸刃の歯数，回転数，および作溝深を変えて実験し，播種深度の精度と苗立ち率について検討した。

## 2節　不耕起播種機の開発

播種する極く限られた部分を作溝して砕土率を高め，高精度に播種する不耕起播種機の開発を試みた。

### 2・1　不耕起播種機の構造

一般の耕起栽培では，作業速度を低下させずに播種床の砕土率を向上させるには，ロータリの爪本数を多くする，あるいは耕うん軸の回転数を上げて[69]耕うんピッチを小さくする方法が考えられる。特に荒起こしを行わず，未耕土を代かきハロー等を用いて浅耕すると，砕土率の高い播種床の造成が可能である。しかし，小ピッチで浅耕するこの方法は，高能率に高い砕土率が得られる一方で，切削面を境に不透水層を作り易く，秋期の排水性に問題が残る。このため，小ピッチで浅耕する場合は，耕うんする場所を播種する部分に限定すれば排水性の低下は抑えられる，と考えることができる。

そこで，小ピッチで播種部分のみ耕うんする方

法として，高速回転する鋸刃の採用を検討した。開発した不耕起播種機の概略図を図４－１に，写真を図４－２に示す。開発機は，PTO軸駆動で正転

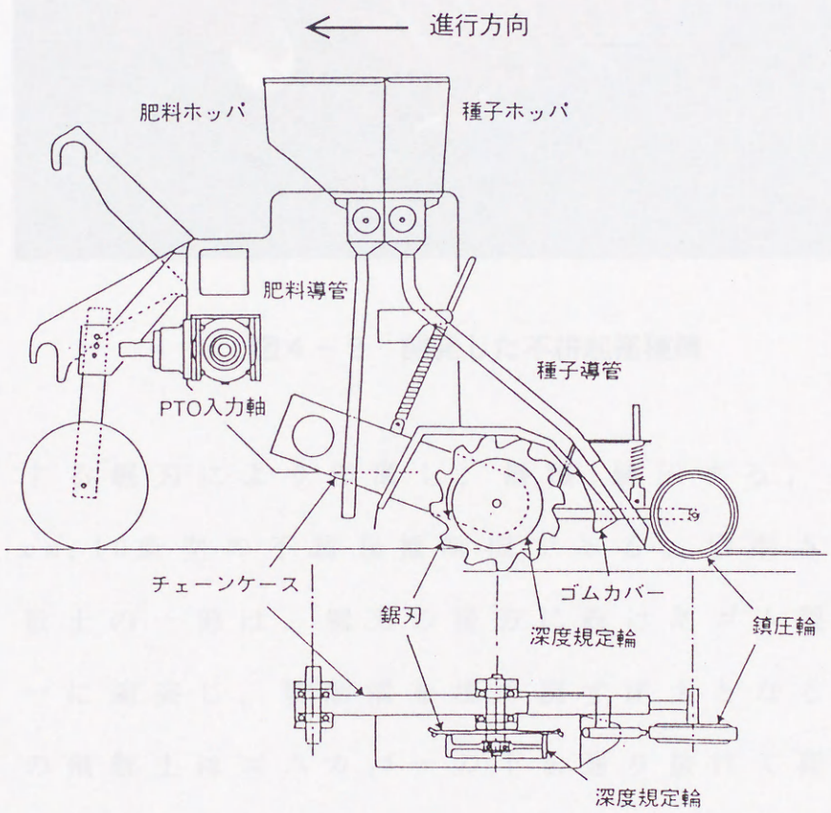



図４－１　開発した不耕起播種機の概略図

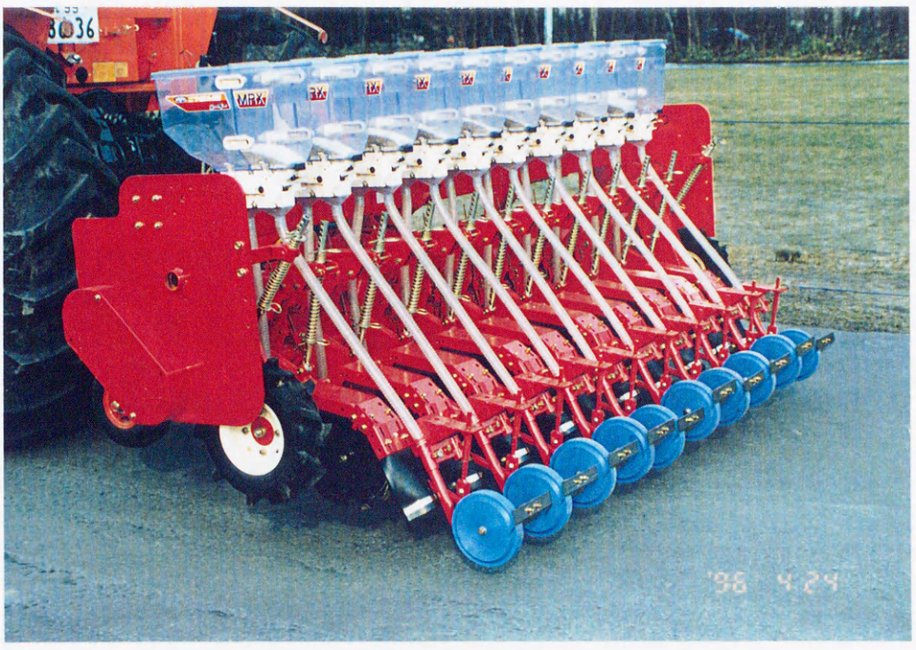



図４－２　開発した不耕起播種機

する鋸刃により作溝し，播種，鎮圧する，条間25cm，10条型の不耕起播種機である。切削された飛散土の一部は，鋸刃の後方に設けたゴム製のカバーに衝突し，切削溝を埋め戻す床土となる。残りの飛散土はゴムカバーの下を通り抜けて種籾の覆土となる。したがって，種籾はゴムカバーに衝突して切削溝に落下した床土の上に播種され，ゴムカバーの下を通り抜ける飛散土で覆土された後，鎮圧輪で鎮圧される。施肥位置は，鋸刃の直前と

した。

鋸刃の作溝深を一定にするため，鋸刃を装着する駆動軸にベアリングを介して幅60mmの深度規定輪を装備した。機体質量は902kgで，各深度規定輪には515～697Nの垂直荷重が加わり，10条全ての鋸刃が圃場の凹凸に追従し，一定の深さで作溝する構造とした。作溝深度は，径の異なる深度規定輪の交換により，30，40，50mmの3段階に調整できる。

供試した鋸刃を図4－3に示す。鋸刃の直径は310mm，刃幅18mmである。鋸刃の材料は，厚さ6mmの機械構造用炭素鋼S45Cとし，歯の部分に高周波焼き入れ処理を施した。当初，刃幅30mmと18mmを試作し，比較検討した結果，刃幅18mmでも播種溝中に播種でき，刃幅30mmは砕土性，所要動力の面で劣ることから刃幅18mmに決定した。鋸刃の歯数は，12，18，24枚の3種類とした。歯の深さは，12枚歯が30mm，18枚歯が20mm，24枚歯が22.5mmである。




図4－3　試作した鋸刃

２・２　不耕起播種機の設定条件

鋸刃による飛散土を床土と覆土に用いる本方式で，最適播種深度である５～10mmに安定的に播種するためには，鋸刃の歯数，回転数，作溝深以外にもゴムカバーの開度，播種導管の位置，鎮圧輪の鎮圧強度を最適な設定に調整しておく必要がある。そのため，あらかじめ予備試験において最適値を求め，以下のとおり調整した。

種籾を播種溝内に正確に落下させるため，播種導管の下端を土壌表面の高さに設定した。鎮圧輪の垂直荷重は，播種溝の表面に播種された種籾がある程度土中に埋没するように31Nに決定した。ゴムカバーは，全閉にすると飛散土は全て床土となり，種籾は覆土されない。また，ゴムカバーが稲わらを引きずるという現象も生じた。ゴムカバーを開き過ぎると播種溝以外に飛散する土が多くなり，覆土はされるが床土が極端に少なくなり，播種溝に大きな窪みができた。このようなことから，ゴムカバーの先端中央と土壌表面の距離が6cmとなるように開度を調整した。

## 3節　試験方法

土壌水分の異なる圃場を用いて，鋸刃の歯数，回転数および作溝深をそれぞれ変化させた場合の播種精度，苗立ち率の関連を検討した。

### 3・1　圃場条件

供試圃場はII章で述べた北海道農業試験場内の

多湿黒ボク土で，土性ＬｉＣ，面積34.5a（30m×115m）の無代かき圃場とした。供試圃場は，1990年から1994年まで折衷直播栽培を行い，1994年秋に耕深25cmでプラウ耕を行った後，均平化処理を行い，1995年から不耕起直播を行っており，不耕起２年目の圃場である。稲わらは全て圃場外に搬出している。５月７日に非選択性・接触型除草剤（ラウンドアップ）を全面散布した。

３・２　試験区の設定

開発機の１条目から３条目までの鋸刃を，12枚歯に，４条目から６条目までを18枚歯，７条目から９条目までを24枚歯に設定した。さらに，鋸刃の作溝深をそれぞれの歯数の鋸刃に対し，30，40，50mmの３水準に設定し，一度に９水準の試験が行えるようにした。作業速度は0.8m/sで一定とし，鋸刃の回転数をギヤの交換によって203rpmと313rpmの２水準とした。供試トラクタは機関出力70kW（95PS）の４輪駆動車とした。

本方式の適応土壌水分を検討するため，一般的に耕うん作業が行われる水分域として低水分条件，

降雨後でトラクタが圃場に入れる限界水分として高水分条件，その中間の中水分条件の３水準を設定した。試験区の数は合計54ヶ所となった。

対照区として耕起播種区を同じ圃場内に設けた。ロータリで耕深13cmに荒起こしを行った後，代かきロータリを用いて，砕土率88%の播種床を造成した。Ⅲ章で開発した施肥播種機で作業速度1.4m/sで播種し，ケンブリッジローラで鎮圧した。

不耕起区は，被覆尿素入り複合肥料を基肥でN 9.3kg/10a播種溝に施肥した。耕起播種区は，全面全層基肥を被覆尿素肥料でN 5.0kg/10a，側条基肥を速効性肥料でN 4.8kg/10aとした。種籾の品種は「きたいぶき」で，Ⅲ章と同様カルパー粉衣処理をした。播種量は，乾籾換算で不耕起区が8.2kg/10a，耕起播種区が9.9kg/10aである。

不耕起区の低水分条件と耕起播種区は，５月８日（1996年）に播種した。不耕起区の高水分条件の播種は，４日間の合計雨量が43.5mmであった直後の５月13日の午前に行った。中水分条件は，５月13日の午後に行った。５月25日から湛水を開始した。苗立ちまでの水管理法は，土壌還元を防ぐ

ため３日に１回程度，70%程度田面が露出した段階で入水する方法とした。このため，水管理法はIII章で行った常時浅水湛水とは異なる。苗立ち調査は６月20日に行った。

## ３・３　測定項目および測定方法

### １）播種深度および播種溝の形状

播種深度の調査法は，１m区間を任意に選び，土中の種籾の中心から土壌表面までの距離を測定した。播種直後の播種溝の断面形状を２反復で計測し，湛水直前に，播種溝の窪み深さ（図４－６参照），作溝深，作溝幅を各試験区５反復で測定した。

耕起播種区の播種深度は，ケンブリッジローラで１回の鎮圧作業後，任意の１m区間を２反復で土中の種籾の中心から土壌表面までの距離を測定した。

### ２）播種溝の砕土率

各試験区の播種溝を任意に60cm区間を選び，播種溝中の床土，覆土全ての土をサンプリングし，20以上，10～20，５～10，２～５，２mm以下の５

段階にふるい分けした。

対照区の耕起播種区は，表層５cmまでに土塊径２cm以下の土塊が占める重量割合を砕土率とし，３反復の平均値を求めた。

３）苗立ち率

苗立ち率の調査は各試験区につき４m区間（１$m^2$）を３地点任意に選び，浮き苗となっているものを除外し，１葉以上の正常な苗の苗立ち本数を播種粒数で除して苗立ち率を求めた。

耕起播種区は，４m区間で５条（５$m^2$）を３地点任意に選び，１条ずつ（１$m^2$）の苗立本数を播種粒数で除して苗立ち率を求めた。

## ４節　結果および考察

### ４・１　供試圃場の土壌水分および土壌硬度

播種試験の様子を図４－４に示す。深さ０～５cmの含水比は低水分条件39.8%，中水分条件46.6%，高水分条件49.3%であった。中・高水分条件は，塑性限界45.8%を越えている。高水分条件では，テンシオメータによる深さ10cmのpF値が1.3

であり，一般的に耕うん等のトラクタ作業は行わない水分条件である。このためトラクタのタイヤラグと鋸刃への土の付着が著しかった。高水分条件で行った当日の午後に実施した中水分条件でも，鋸刃への土の付着がみられた。SR－２型土壌抵抗測定器（小コーン使用）で測定した，深さ０cmと５cmの土壌硬度の平均値は，低・中・高水分条件でそれぞれ，2.0，1.4，1.2MPaだった。



図４－４　播種試験の様子
（低水分条件）

## ４・２　播種溝断面の形状

播種直後の土壌表面の様子を図４－５に示す。不耕起圃場の刈り株は，鋸刃で容易に切断されている。播種溝断面形状の測定例を図４－６に示す。切削土の一部は，播種溝の外に飛散し，播種溝の進行方向左右に盛り上がりができた。作溝深は，どの試験区も設定作溝深に近い値となった。作溝幅は，低・中水分条件で30mm程度であるが，高水分条件ではやや狭くなる傾向がみられた。



図4－5　播種直後の土壌表面
（低水分条件）

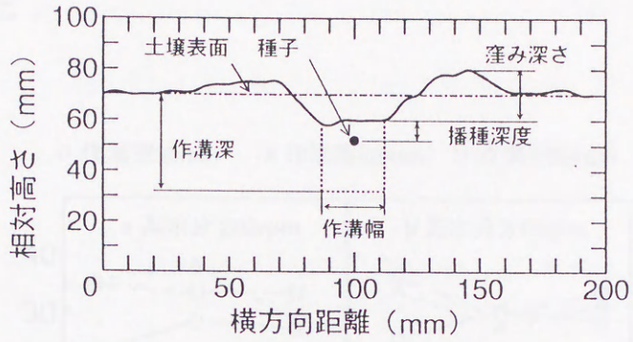



図４－６　播種直後の播種溝断面の形状
（低水分,18枚歯,313rpm,作溝深40mm）

窪み深さが深すぎる場合は，湛水後土壌の崩壊により播種溝が埋め戻されることで，覆土深が深くなり苗立ちの低下が予想される。図４－７に各試験区の窪み深さを示す。窪み深さは歯数，回転数の違いよりも土壌水分の違いによる影響が大きい。窪み深さは，低水分条件で10mm前後，中水分条件では20～35mm，高水分条件で25～40mmと，水分が高いほど深くなった。これは，水分が高くなるほど切削土の土塊径が大きくなるため，ゴムカバーが慣性力の大きい飛散土を十分に切削溝に戻

すことができなかったためと考えられる。また，作溝深が深い方が，窪み深さが深くなる傾向が認められた。

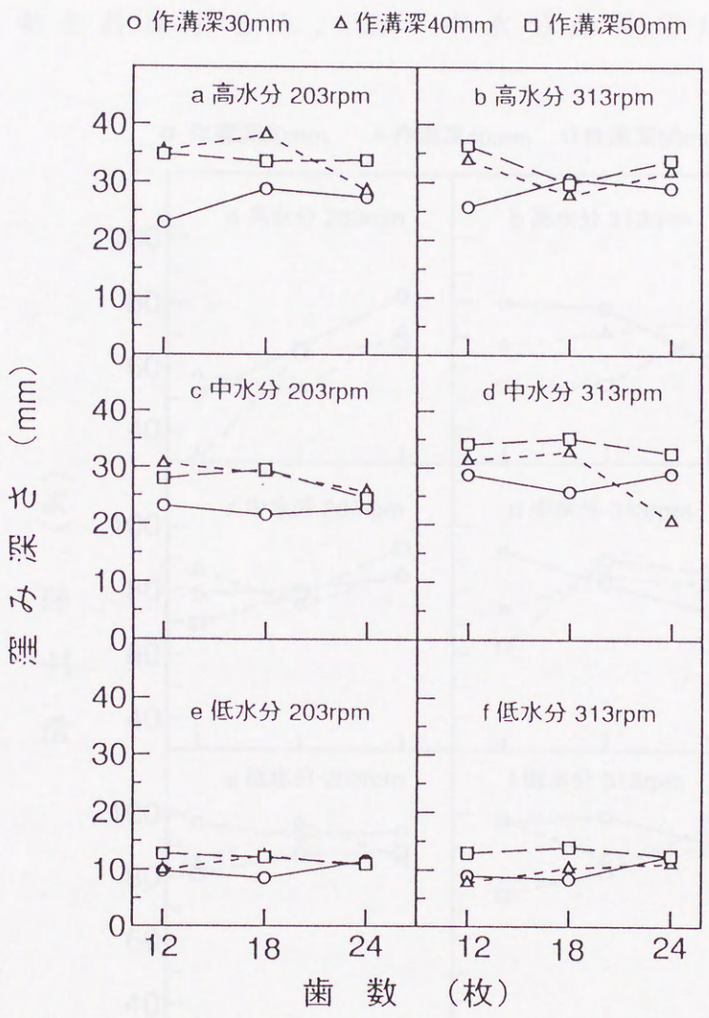



図4－7 各試験区の窪み深さ

## ４・３　播種溝の砕土率

### １）各試験区の砕土率

水稲直播の播種床の砕土率として一般的に用いられる，直径２cm以下の土塊が占める重量割合で砕土率を計算すると，低・中水分条件では，中水

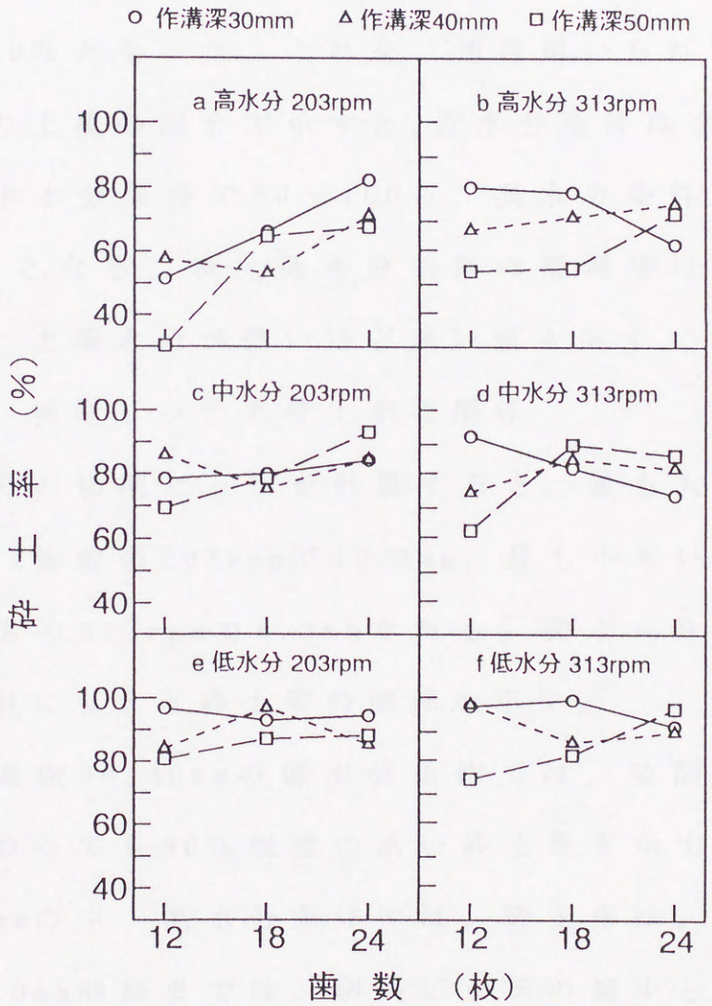



図４－８　各試験区の砕土率
（砕土率は，土塊径1cm以下の重量割合）

分条件の12枚歯の一部の試験区を除き100%となった。このため，ここではさらに詳細に検討するため直径1cm以下の土塊の重量割合を砕土率として求めた。各試験区の砕土率を図4－8に示す。

土壌水分別に砕土率をみると，低水分条件で80～100%，中水分条件で70～90%，高水分条件では35～80%となった。これを，通常用いられる2cm以下の土塊の割合で示すと，低水分条件は全て100%，中水分条件で90～100%，高水分条件で50～100%となる。特に低水分条件の播種溝は粉状となり，土壌水分が低いほど高い値を示す。

2）切削ピッチと砕土率の関係

鋸刃の切削ピッチを計算すると，最も大きい場合が12枚歯の203rpmで19.2mm，最も小さい場合が24枚歯の313rpmで6.2mmである。図4－9に鋸刃の切削ピッチと砕土率の関係を示す。

作溝深30,40mmの低水分条件では，切削ピッチが変わっても90%程度の高い砕土率を示す。作溝深30mmの中・高水分条件では，砕土率は，切削ピッチ10mm前後までは，切削ピッチの減少とともに向上するが，切削ピッチ10mm前後の80%をピー

クに低下した。作溝深40mmの中水分条件では，80%程度の砕土率で大きな変化はないが，高水分条件では，切削ピッチの減少とともに砕土率は70%前後まで向上している。作溝深50mmでは，いずれの水分条件でも，切削ピッチの減少とともに砕土

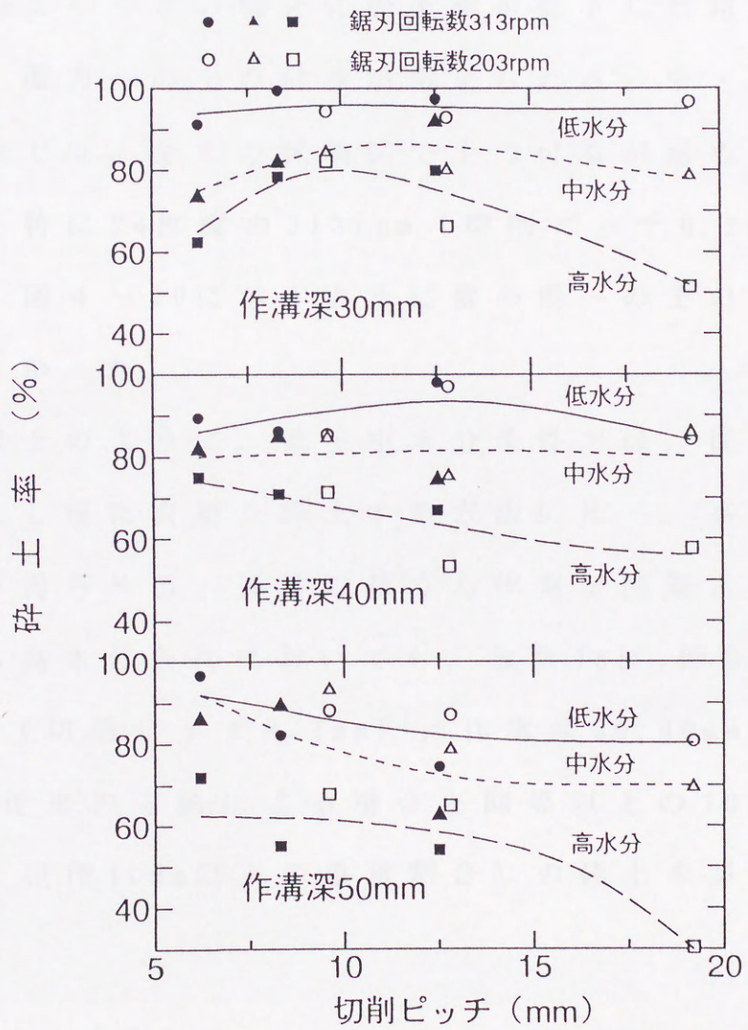



図4－9　切削ピッチと砕土率の関係
(砕土率は，土塊径10mm以下の重量割合)