

農業機械化研究所研究報告

第 34 号

Technical Report
of
the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusyo)
Saitama-city, Saitama, Japan
No.34 February 2006

平成 18 年 2 月

農機研報

Tech. Rep.,
Inst. of Agric.
Mach.
34 : 1-107
Feb. 2006

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構
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・生物系特定産業技術研究機構
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)

編集委員会 Editorial Committee

相馬 厚司 (委員長)	Koushi SOUMA (Chief)
行本 修	Osamu YUKUMOTO
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	Nobuki YAMANA (～平成 17 年 12 月 31 日)
道宗 直昭	Naoaki DOSHU (平成 18 年 1 月 1 日～)
森本 國夫	Kunio MORIMOTO
高橋 正光	Masamitsu TAKAHASHI

目 次

後藤隆志・堀尾光広・市川友彦・小林智夫・長屋克成・久慈良治

水田耕うん整地用機械の高速化に関する開発研究

緒 言	-----	1
第1章 水田耕うん整地用機械の歴史、研究の背景と目的	-----	2
1.1 耕うん整地用機械の種類	-----	2
1.2 駆動式を中心とした耕うん整地用機械の歴史	-----	2
1.2.1 わが国における駆動式水田耕うん用機械の歴史	-----	3
1.2.2 わが国における代かき用機械の歴史	-----	6
1.3 研究の背景	-----	7
1.3.1 近年における水田ロータリ耕の実態と問題点	-----	7
1.3.2 近年における代かきの実態と問題点	-----	8
1.4 研究の目的	-----	9
1.4.1 高速耕うんロータリの開発目標	-----	9
1.4.2 高速代かきロータリの開発目標	-----	9
第2章 用語の定義と測定方法	-----	9
2.1 ロータリづめに関する用語の定義	-----	9
2.1.1 耕うん用ロータリづめ	-----	9
2.1.2 代かき用ロータリづめ	-----	9
2.2 ほ場条件の測定方法	-----	11
2.2.1 耕起時におけるほ場条件の測定方法	-----	11
2.2.2 碎土時におけるほ場条件の測定方法	-----	11
2.2.3 代かき時におけるほ場条件の測定方法	-----	12
2.2.4 田植時におけるほ場条件の測定方法	-----	12
2.3 作業性能の測定方法	-----	12
2.3.1 各試験に共通する項目の測定方法	-----	12
2.3.2 耕起・碎土時における作業精度の測定方法	-----	13
2.3.3 代かき時における作業精度の測定方法	-----	14
2.3.4 田植時における作業精度の測定方法	-----	15

2.3.5	耕起・代かき時における動力，エネルギー及び推進力の測定方法	15
2.3.6	耕起・砕土・代かき時における作業能率及び燃料消費量の測定方法	16
2.3.7	耕起時における座席振動の測定方法	17
第3章	高速耕うんロータリの開発	17
3.1	ロータリ耕の高速化に関する課題と要因	17
3.2	ロータリ耕の高速化に関する基礎試験	18
3.2.1	つめ切削回数が作業性能に及ぼす影響	18
3.2.2	つめ切削幅が作業性能に及ぼす影響	20
3.2.3	つめわん曲部の切削角及び曲率半径が作業性能に及ぼす影響	22
3.3	開発機と対照機の概要	24
3.3.1	全体構成	25
3.3.2	ロータリづめの形状と配列	26
3.3.3	固定刃	28
3.3.4	ロータリカバー	28
3.4	高速耕うんロータリの作業性能試験	29
3.4.1	最高作業速度試験	29
3.4.2	動力・作業精度試験	32
3.4.3	最大耕深試験	44
3.4.4	座席振動試験	47
3.4.5	作業能率試験	48
3.5	摘要	52
第4章	高速代かきロータリの開発	53
4.1	代かきの高速化に関する課題と要因	54
4.2	代かきの高速化に関する基礎試験	54
4.2.1	供試機の概要	54
4.2.2	大型レーキが作業性能に及ぼす影響	55
4.2.3	大型レーキの取付け位置が作業性能に及ぼす影響	57
4.2.4	つめ配列が作業性能に及ぼす影響	59
4.2.5	つめ形状が作業性能に及ぼす影響	61
4.2.6	つめ回転速度が作業性能に及ぼす影響	64
4.3	開発機と対照機の概要	66
4.3.1	全体構成	66
4.3.2	大型レーキ	67
4.3.3	ロータリづめの形状	67
4.3.4	ロータリづめの配列	69
4.3.5	つめ回転速度	69

4.3.6	リヤカバー	69
4.3.7	その他	69
4.4	高速代かきロータリの作業性能試験	69
4.4.1	作業精度試験	69
4.4.2	動力試験	77
4.4.3	作業能率試験	80
4.5	摘要	82
第5章	開発機を利用した作業体系	83
5.1	高速耕うんロータリによる耕起・碎土が後作業に及ぼす影響	83
5.1.1	試験の目的	83
5.1.2	試験の概要	83
5.1.3	耕起・碎土試験	83
5.1.4	代かき試験	87
5.1.5	田植試験	88
5.2	高速代かきロータリによる代かきが後作業に及ぼす影響	90
5.2.1	試験の目的	90
5.2.2	試験の概要	90
5.2.3	代かき試験	90
5.2.4	田植試験	92
5.3	総合考察	95
5.3.1	開発機の利用効果	95
5.3.2	作業面から見た開発機の利用法	95
5.3.3	栽培面から見た開発機の利用法	96
5.4	摘要	96
第6章	総括	97
6.1	高速耕うんロータリの開発	97
6.2	高速代かきロータリの開発	98
6.3	開発機を利用した作業体系	99
6.4	結論	99
謝辞		99
参考文献		100
Summary		104

Technical Report of the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusho)
No.34, Feb. 2006

Contents

Takashi GOTOH, Mitsuhiro HORIO, Tomohiko ICHIKAWA,
Tomoo KOBAYASHI, Katsunari NAGAYA, Yoshiharu KUJI

Development Research on High-speed Rotary Tillage
Equipment for Paddy Fields

Introduction	1
1. History of the Tillage Equipment for Paddy Fields, Background and Purpose of the Study	2
2. Definition of Terms and Measuring Methods	9
3. Development of High-speed Rotary Tiller	17
4. Development of High-speed Rotary Harrow for Puddling	53
5. Working System Utilizing High-speed Rotary Tiller and High-speed Rotary Harrow for Puddling	83
6. Conclusion	97
Acknowledgement	99
References	100
Summary in English	104

水田耕うん整地用機械の高速化に関する開発研究

後藤隆志*・堀尾光広**・市川友彦***・小林智夫****・長屋克成*****・久慈良治*****

2005-9-7 受理

- * 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
- *** 生産システム研究部（現：退職）
- **** ヤンマー農機株式会社
- ***** 小橋工業株式会社
- ***** 株式会社ササキコーポレーション

抄 録

水田における耕うん整地作業の高速化による作業能率の向上や燃料消費量の低減などを目的に、「高速耕うんロータリ」及び「高速代かきロータリ」の開発を行った。

本研究では、ロータリづめの形状と配列の変更、リヤカバーの構造の見直し、固定刃の新設を行った「高速耕うんロータリ」、並びにロータリづめ後方への大型レーキの新設、つめ配列とリヤカバー形状の変更を行った「高速代かきロータリ」を試作し、多くの水田において試験した。その結果、従来機に比べ「高速耕うんロータリ」では、所要動力及び推進力の低減と埋没性能、碎土性能などの作業精度の向上が、「高速代かきロータリ」では、埋没性能、碎土性能などの作業精度の向上が実現し、両機とも、作業精度を維持しつつ、従来機よりトラクタの走行速度段を1段高くして（20～30%高速で）作業できることが確認された。また、従来機より20～30%高速で作業しても、後作業である田植作業の精度が変わらないことも実証した。

本研究の成果をもとに、両機とも市販化され、水田における耕うん整地作業の効率化に貢献している。

緒 言

「耕うん」は、雑草や前作残さの埋没・除去、雑草の発芽抑制、病害虫の抑制、基肥の混和、通気性と土壤水分の維持、透水性の増大、土壤の団粒化の促進などの目的で、作土の反転移動、作土の破碎と孔隙及び表面積の拡大（乾燥）、作土の拡大（深耕）などを行うものである^{42) 74)}。水稻作においては、耕うん後に行われる代かきによって土壤の物理性が大きく変わる

ため、代かきを含めて耕うんの意義を考える必要性が指摘されている^{42) 74)}。「代かき」は、田植精度の向上、田面の均平、苗の活着促進、保水性の向上、基肥の混和、雑草発生の抑制、有機物の分解などの目的^{25) 96) 98)}で、耕うんされた土の踏圧、攪拌、碎土及び移動を行うものである⁵⁸⁾。耕うん及び代かきは、田植えや播種の精度、作物の発芽・出芽、活着、生育などに影響を及ぼす重要な作業である。

作業面から見ると、「耕うん整地」は、前作収穫後

の未耕起ほ場を耕す「耕起」、耕起後ほ場の表層の土塊を細かくする「砕土」、ほ場表面を平らにする「均平」、入水後に表層の土壌をかく拌する「代かき」を総称するものである。使用する作業機によっては、耕うんと砕土、砕土と均平、砕土と代かきと均平等は同時に行われることもある。「耕うん」は、耕起のみを指すこともあるが、一般的には耕起と砕土を指すことが多い。本論文においては耕起と砕土を総称する用語として「耕うん」を用いた。「整地」は、砕土、均平及び代かきを指すこともあるが、本論文では均平と代かきを「整地」と呼んだ。

わが国における水田の耕うんは、比較的小型のトラクタで作業が可能で、耕起と砕土を同時にでき、地表面及び耕盤の均平性能が高く、取扱いが容易な耕うんロータリにより行われることが多い。乗用トラクタ用の耕うんロータリは、日本農業機械工業会の調査によると、近年では年間7～8万台（トラクタに装着され

て出荷されるものを含む）出荷されている。この数はプラウの20倍以上であり、耕うんロータリはわが国における代表的な耕うん用機械と言える。

わが国における代かきは、近年では、表層のみ砕土でき、株やわらの埋没性能が良好でわらのからみつきが少なく、作業幅が広く能率が高いつめ式の代かきロータリで行われることが多い。ここ数年の代かきロータリの出荷台数は、同上の調査によると、年間2万5千台程度であり、水田での利用が多い30kW（40PS）級以下の乗用トラクタ出荷台数の約4割を占めている。

本研究は、耕うんロータリ及び代かきロータリの作業速度を高めることにより、水田における耕うん整地作業の能率を向上させる目的で、1993～2000年度に行ったものである。本研究により実用化された高速耕うんロータリは1995年から、高速代かきロータリは2002年から全国的に市販され、水田を中心に耕うん整地作業の高能率化に貢献している。

第1章 水田耕うん整地用機械の歴史、研究の背景と目的

本章では、1.1で耕うん整地用機械の種類を概説して耕うんロータリ及び代かきロータリの位置付けを整理し、1.2でわが国における水田耕うん用機械及び代かき用機械の歴史をとりまとめる。さらに、1.3及び1.4で研究の背景と目的を述べる。

1.1 耕うん整地用機械の種類

耕うん整地用機械の種類については木谷²⁰⁾が詳細な分類を試みているが、ここでは、わが国で実用化された主な耕うん整地用機械を対象に、駆動方式、作用部の動き、作用部の種類などで分類して表1-1に示す。駆動方式としては、トラクタが前進する力により耕うんを行う「けん引式」、トラクタPTO等の回転動力により作用部を動かして耕うんを行う「駆動式」、両者の組合わせで耕うんする「けん引・駆動式」に大別した。作用部の動きについては、作用部が作業機のフレームに固定された状態でトラクタにけん引されて耕うんを行う「固定式」、作用部が土壌反力により前後に振動しながら、あるいはトラクタPTO等の動力により振動しながらけん引されて耕うんを行う「振動

式」、作用部がけん引時の土壌反力により自転しながら、あるいはトラクタPTO等の動力で回転しながら耕うんする「回転式」に分類した。駆動式の耕うん整地用作業機では、ほ場表面に平行で進行方向と直角に交わる方向の軸（横軸）になたづめを取付けてダウンカット方向に回転する「耕うんロータリ」や「代かきロータリ」が大部分を占めている。

1.2 駆動式を中心とした耕うん整地用機械の歴史

耕うんロータリの発明考案は1850年頃、英国のホスキンス氏によるが、その後約50年間は実用化されなかったと言われている⁸⁷⁾。普通づめ系の耕うんロータリは、スイスのメイエンブルグ氏が1910年にバネ付きの弾性づめを考案し、なたづめ系の耕うんロータリは、英国のハワード氏が1922年にL型づめを考案し、それぞれ実用化された模様である⁸⁷⁾。その後欧米においては、普通づめ系、なたづめ系とも、様々な機種が出現したが⁸⁸⁾、現在のわが国では、なたづめ系の耕うんロータリが主流となっている。

表 1-1 耕うん整地用作業機の種類

駆動方式	作用部の動き	回転軸の方向 ¹⁾	切削方向 ¹⁾	作用部の種類	一般的な呼称
けん引式	固定式	—	進行方向	刃板・はつ土板 犁先・犁へら チゼル・シャンク	はつ土板プラウ 和すき, 和犁 サブソイラ
	振動式	—	進行方向	チゼル・シャンク	チゼルプラウ フィールドカルチベータ
	回転式	斜め軸	ダウンカット 斜め軸回転	ディスク	ディスクプラウ ディスクハロー
横軸		ダウンカット 横軸回転	円板刃	刃車式砕土機	
けん引・ 駆動式	固定・回転式	横軸	前方+ダウンカ ット横軸回転	はつ土板+回転づめ ロータリ+サブソイラ	砕土機付きプラウ サブソイラ付きロータリ
		縦軸	進行方向+縦軸 回転	はつ土板+スクリュ	砕土機付きプラウ
	振動式	進行軸等	進行方向	チゼル・シャンク	振動サブソイラ
駆動式	回転式	横軸	ダウンカット 横軸回転	普通づめ系	耕うんロータリ
				なたづめ系	耕うんロータリ 代かきロータリ
				カゴロータ	ロータ
				スクリュ	ロータリプラウ らせんロータ
		アップカット 横軸回転	なたづめ系	アップカットロータリ (逆転耕うんロータリ) アップカット代かきロー タリ	
			その他づめ	すくいづめ式アップカッ トロータリ	
		進行軸	進行軸回転	スクリュ	回転犁
		縦軸	縦軸回転	スクリュ	スクリュ式耕うん機 縦軸回転ハロー
斜め軸	ダウンカット 斜め軸回転	ディスク	駆動ディスク		
変形回転式	横軸	クランク回転	平づめ	クランク式耕うん機	

1) 横軸：ほ場表面に平行で進行方向と直角に交わる方向の軸，縦軸：ほ場表面に垂直な方向の軸，進行軸：ほ場表面に平行で進行方向と平行な方向の軸，斜め軸：ほ場表面に平行で進行方向と直角に交わらず平行でもない方向の軸，又はほ場表面に平行でなく進行方向と直角に交わらず平行でもない方向の軸

1.2.1 わが国における駆動式水田耕うん用機械の歴史

1) 歩行用耕うん機の歴史

わが国における耕うんロータリに関する最初の特許出願は、1909年にハンガリーのケスツェギー氏が行ったと言われている^{73) 87)}。わが国で初めて使われた耕うんロータリは、1920年頃にスイスから輸入された、普通づめ系の弾性づめを持つシマー式歩行トラクタ用耕うんロータリ(写真 1-1)であったが、わらや雑草が巻付くこと、硬い土壌ではつめが土中に入らな

いことなどから、広く普及するには至らなかった^{3) 7) 12) 19) 78) 90) 108)}。その後、シマー式耕うん機の実演が行われた岡山県において、固定式の普通づめを持つ国産



写真 1-1 弾性普通づめ式耕うんロータリ⁶⁶⁾

の耕うんロータリ (写真 1-2) が、1926 年頃に西崎氏により開発され、藤井・板野・矢吹などの諸氏もこれに続き、主に麦の中耕作業用として普及していった^{3) 7) 12) 67) 90) 108)}。

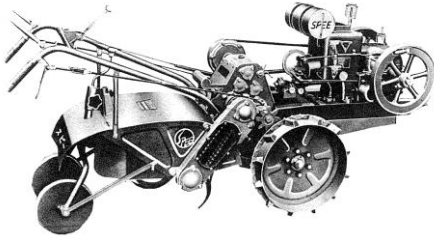


写真 1-2 普通づめ式耕うんロータリ⁴⁵⁾

クランク式の耕うん機 (写真 1-3) は 1850 年頃に英国で考案されていた⁸⁶⁾ が、わが国でも、水田の耕起用に 1935~1936 年頃に東京都の斎藤氏や石川県の広瀬氏により実用化され、普及した^{3) 86) 108)}。また、縦軸スクリュ式の耕うん機 (写真 1-4) は 1880 年代にドイツで考案されていた⁸³⁾ が、わが国では 1938~1939 年頃同じ石川県の古川氏により開発され、普及していった^{3) 84) 108)}。



写真 1-3 クランク式耕うん機

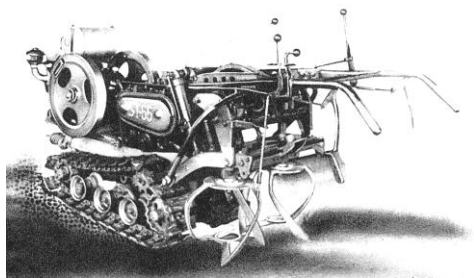


写真 1-4 スクリュ式耕うん機⁴⁵⁾

普通づめ式の耕うんロータリは、その後改良が進め

られ、水田の耕起用としても中心的な機械として普及していったが、わらや雑草がつめに巻付く問題があった。この問題に対処するため、1950 年頃になたづめが開発され³⁾、なたづめ式耕うんロータリ (写真 1-5) は、歩行用トラクタが急激に普及していった 1950 年代以降、わが国における中心的な耕うん用機械となった。ちなみに、1955 年頃までは普通づめ式が多かった⁸¹⁾ が、1964 年に市販されていた国営検査合格機を見ると、なたづめ式が 54 型式であるのに対し、普通づめ式は 3 型式のみであり⁴⁷⁾、この頃にはほとんどがなたづめ式に変わっていたようである。

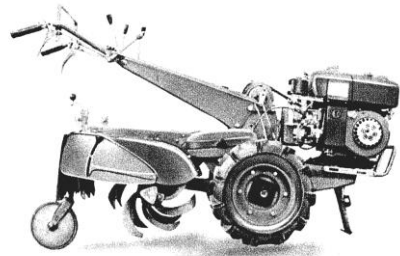


写真 1-5 なたづめ式耕うんロータリ⁴⁶⁾

クランク式は所要動力が低いこと^{51) 52)}、反転性能が良いこと、深耕が可能なこと、わらや雑草の巻付きが少ないこと⁵⁹⁾などの長所を持っており、北陸・東北地方を中心に普及していたが、構造が複雑で重いこと、高価なこと、故障が多いこと、代かきができないことなどから 1960 年代以降は生産されなくなった^{3) 67)}。しかし近年、茶園やハウス内の耕うん用に小型のクランク式耕うん機が利用されている。

スクリュ式は、碎土性能が良く、わらや雑草のからみつきが少ないものの、クランク式より反転性能は劣った^{55) 59) 85)}。また、所要動力は、ロータリ式に比べ、耕深が浅い時は大きい、耕深が深くなると小さくなる傾向があった^{51) 52)}。1955 年には、クランク式とスクリュ式を合わせた国内出荷台数は 8,000 台弱 (ロータリ式の約 30%) に達していた¹⁹⁾ が、その後なたづめ式耕うんロータリに押され、スクリュ式は 1985 年頃に生産中止となった。なお、1957 年の福井県における普及台数割合は、ロータリ式が 84%、スクリュ式が 12%、クランク式が 5%であった⁷⁷⁾。

2) 乗用トラクタ装着式耕うんロータリの歴史

乗用トラクタがわが国に初めて輸入されたのは1919年と言われている¹⁰⁸⁾が、本格的に普及が始まったのは1955年頃からである。乗用トラクタ用の耕うんロータリは、当初、欧米からの輸入機(写真1-6)が多かったが、1960年頃に純国産の乗用トラクタが開発され⁸¹⁾、その後、国産の耕うんロータリ(写真1-7)が利用されるようになった。乗用トラクタ用の耕うんロータリは当初からなたづめ式が主流であり、現在も変っていない。



写真1-6 L字づめ式乗用トラクタ用耕うんロータリ（輸入機）



写真1-7 なたづめ式乗用トラクタ用耕うんロータリ（国産機）

わが国で開発されて実用化された乗用トラクタ用耕うんロータリに関する技術について、製造企業4社に聞き取り調査を行い、表1-2にまとめた。

a) ロータリづめ

ロータリづめについては多くの新技術が開発された。普及開始当初の耕うんロータリは、つめが土を1回転当たり1回切削する方式であったが、1回切削式より切削幅を大きくしたつめを持つ、海外のなたづめ系ロータリ⁸⁹⁾に類似した2回切削式の耕うんロータリが1966年頃に市販された。その後、摩耗低減をねらい、

表1-2 乗用トラクタ用耕うんロータリの新開発技術

時 期	内 容
1960年頃	乗トラ用国産耕うんロータリ
1965年頃	特殊3点リンク
1966年頃	1回転2回切削式つめ
1974年頃	深耕ロータリ
1975年頃	合金溶着づめ
1977年頃	2Pオートヒッチ
1978年頃	砕土ロータリ
1981年頃	アップカットロータリ（逆転ロータリ）
1981年頃	カバー内へのゴム板取付け
1981年頃	3Pオートヒッチ
1981年頃	広幅緩曲づめ
1983年頃	正逆転ロータリ
1983年頃	2軸ロータリ
1985年頃	中深耕ロータリ
1986年頃	位置可変カバー
1986年頃	4Pオートヒッチ
1986年頃	小型チェーンケース（耕深維持用）
1987年頃	すくいづめ式深耕ロータリ
1988年頃	耕深維持用ディスク
1988年頃	ピン取付けづめ
1988年頃	カバー内への樹脂板取付け
1996年頃	からみつき防止バー
1999年頃	カバー内へのステンレス板取付け

特殊合金を溶着したつめが1975年頃に、摩耗の集中防止や埋没性能の向上等をねらい、わん曲部の曲率半径を従来につめより大きくした広幅緩曲づめが1981年頃に市販されたのをはじめ、さまざまな種類のつめが登場している。また、ロータリづめはボルト・ナットでつめ軸に固定されていたため、つめの交換は時間のかかる作業であったが、取付け用ホルダの断面をひし形状にしてガタつきを減らすとともに、つめをピンで取付ける固定方法が1988年頃に実用化された。

b) 深耕技術

従来の耕うんロータリは15cm程度までの耕深が一般的であったが、60cm程度まで耕うんできる深耕ロータリが1974年頃に実用化された。深耕ロータリは所要動力が高く低速作業を強いられるが、すくいづめにより高速化をねらった深耕ロータリが開発され⁴⁴⁾、1987年頃に市販された。これらの深耕ロータリは、主に畑作・野菜作用に利用されているが、主に水田用に18cm程度までの耕うんを行うことのできる中深耕ロータリが1985年頃に市販された。また、耕深維持

を目的とした技術として、サイドドライブ式耕うんロータリのチェーンケースを小型化したものが1986年頃に、チェーンケース前方の土を削り取るディスクが1988年頃にそれぞれ登場した。

c) 砕土・埋没性能向上技術

播種床造成時には、残さの埋没性能と表層の砕土性能が重要となる。ロータリづめの横方向取付け間隔を狭くし、砕土性能を向上させた砕土ロータリが1978年頃に市販された。また、ロータリづめを逆回転させるとともにリヤカバー前方にレーキを取付け、埋没性能と表層砕土性能を向上させたアップカットロータリ（逆転ロータリ）が開発され^{92) 95)}、1981年頃に市販された。その後、1台で正転と逆転の両方の耕うんが可能な正逆転ロータリが1983年頃に実用化された。また、アップカットロータリと同様の目的で開発された2軸ロータリが、1983年頃に登場した。さらに、ロータリカバーの位置の変更により、砕土状態を変更できる耕うんロータリが1986年頃に市販された。

d) 土付着・残さからみ低減技術

ロータリカバーへの土付着を低減するため、カバーの内側にゴム板を取付けたアップカットロータリが1981年頃に登場し、その後、このゴム板付きカバーは、ダウンカットロータリにも応用されるようになった。さらに同様の目的のため、カバー内に樹脂板を貼った耕うんロータリが1988年頃に、ステンレス板を貼った耕うんロータリが1999年頃に市販された。また、つめ軸へのわらや残さのからみつきを減らすため、つめ取付けホルダの先端付近にバーを取付けた耕うんロータリが1996年頃に実用化された。

e) 着脱装置

乗用トラクタ用の耕うんロータリは、当初標準3点リンクに装着されてトラクタに取付けられていたが、つめ軸を後方に位置させないと持ち上げ時の地上高が確保できなかった。そこで、特殊3点リンクが1965年頃実用化され、機体のコンパクト化が可能となった。また、トラクタを他の作業にも使用する場合は、耕うんロータリの脱着に時間がかかっていたが、1977年頃に下部リンク部の着脱を簡便に行うことができる2Pオートヒッチが、1981年頃に自動脱着が可能な3Pオートヒッチが実用化され、着脱の簡便化が図られ

た。その後、ドライブシャフトも自動着脱可能な4Pオートヒッチが1986年頃に市販され、作業機の着脱はさらに容易になった。

1.2.2 わが国における代かき用機械の歴史

わが国では、1960年代までは、歩行用のトラクタ車輪に取付けたカゴ車輪やレーキ（写真1-8）、代車（写真1-9）、耕うんロータリ、刃車式砕土機などにより、歩行用トラクタを中心とした代かきが行われていた^{97) 99) 100)}。乗用トラクタの普及が始まった1960年代は、刃車式砕土機（写真1-10）や耕うんロータリで代かきが行われていたが、1970年代に入り、乗用トラクタ用の代かき専用ロータリが開発された。開

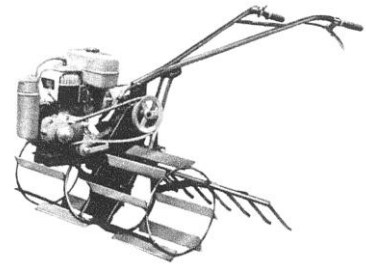


写真1-8 カゴ車輪と代かき用レーキ⁴⁶⁾

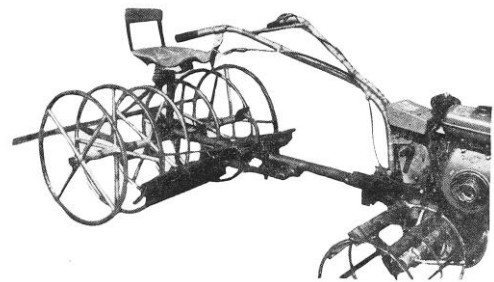


写真1-9 代車（乗用代かき機）⁴⁶⁾

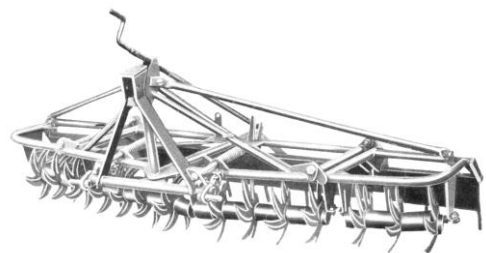


写真1-10 刃車式砕土機
（松山(株)カタログ, 1973)

発当初のこのロータリは、カゴロータ式（写真 1-11）であったが、1975 年頃につめ式の代かきロータリ（写真 1-12）が登場し、現在では、この代かきロータリが一般的に使用されている。

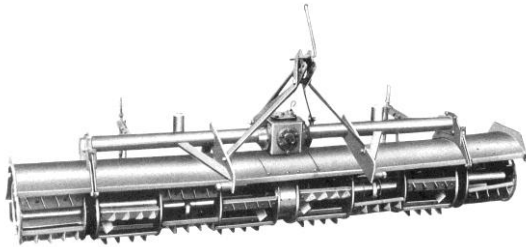


写真 1-11 カゴロータ式代かきロータリ
(松山(株)カタログ, 1973)

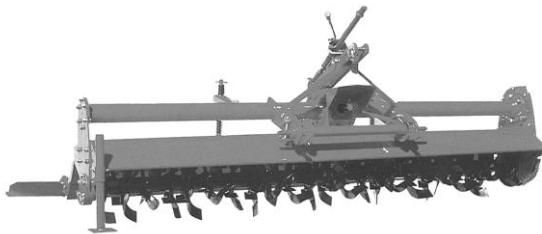


写真 1-12 つめ式代かきロータリ
(小橋工業(株)カタログ, 1979)

乗用トラクタ用の代かきロータリに関して実用化された新技術について製造企業 3 社に対し聞き取り調査を行い、表 1-3 にまとめた。

表 1-3 乗用トラクタ用代かきロータリの
新開発技術

時期	内容
1970 年頃	カゴロータ式代かきロータリ
1975 年頃	つめ式代かきロータリ
1977 年頃	2 P オートヒッチ
1980 年頃	ローリングリヤカバー
1981 年頃	3 P オートヒッチ
1981 年頃	切欠き付き整地板
1986 年頃	スプリングレーキ付き整地板
1986 年頃	4 P オートヒッチ
1989 年頃	折畳み式代かきロータリ
1994 年頃	直刀部わん曲・変形づめ

代かきロータリがカゴロータ式からつまみ式に変わり、わらや残さのからみつきが減るとともに、つまみ交換が容易になって保守性が向上した。その後、ローリング

リヤカバーが 1980 年頃に登場し、後に開発されたトラクタ 3 点リンクの水平制御と相まって均平性能が向上した。また、切欠付き整地板が 1981 年頃に、スプリングレーキ付き整地板が 1986 年頃に実用化され、わら等の埋没性能が向上した。1989 年頃には、折畳み式の代かきロータリが実用化され、作業幅の大幅な拡大も実現した。さらに、砕土・埋没性能の向上を目的に、直刀部をわん曲又は変形させたつまみが 1994 年頃に登場した。

1.3 研究の背景

1.3.1 近年における水田ロータリ耕の実態と問題点

水稲作における主要なほ場内作業のうち、田植作業と収穫作業については、1 m/s を越える高速作業がすでに実現している。それに対し、1.2.1 に記したような改良が行われて来たものの、22kW (30PS) 級以上のトラクタ利用時に限っても、ロータリ耕においては 0.4~0.7 m/s 程度の速度で作業が行われることが多く²⁾、作業能率は低い⁶⁵⁾ (表 1-4)。このような速度で作業が行われる理由としては、作業速度を高めると所要動力が大きくなり、トラクタの機関回転速度が変動して安定した作業が困難になること、砕土性能、反転性能、均平性能などの作業精度が低下すること、硬いほ場では耕深が浅くなることなどが挙げられる。

田植えや収穫に比べ、耕うん作業は比較的作業適期が長い場合が多いため、積雪地帯や二毛作地帯を除き、その高能率化を求める要望はさほど強くなかった。しかし、就農者の高齢化等による労力不足などを背景に、作業の受委託の増加等（わが国の水稲作において耕うん作業を受託している面積の割合は 1990 年で 4.4% であった⁷⁰⁾ が、2003 年には 6.7% に増加⁷¹⁾）による大規模作業の増加、他作業の高速化の進展などにより、耕うんについても高能率化が求められるようになってきている。このことは、1997 年に生研機構が経営面積 2 ha 以上の水田農家や法人を対象にして行った調査⁴⁸⁾ において、「エンジン出力が足りない（回答割合 16%）」、「作業速度が遅い（同 12%）」が、「土の付着（同 23%）」、「つまみの摩耗（同 23%）」と並んで、ロータリ耕作業における問題点の上位に挙げられている

表 1-4 水田ほ場内作業の作業能率と燃料消費量の測定例⁶⁵⁾

作業名	機械名	測定値 ¹⁾				
		作業速度 (m/s)	作業時間 ²⁾ (h/ha)	ほ場作業量 (ha/h)	有効作業効 率 ³⁾ (%)	燃料消費量 ⁴⁾ (L/ha)
耕 起	39kW トラクタ+ 2m 耕うんロータリ	0.63	2.63 (11.2%)	0.38	92	27.8 (28.6%)
砕 土	39kW トラクタ+ 2m 耕うんロータリ	0.69	2.62 (11.1%)	0.38	82	20.5 (21.1%)
代 か き (3回掛け)	29kW トラクタ+ 2.5m 代かきロータリ	0.88	4.83 (20.5%)	0.21	95	16.9 (17.4%)
基肥・田植え	6条植え施肥田植機	0.86	4.58 (19.4%)	0.22	40	5.5 (5.7%)*
除 草	多口ホース噴頭付き 背負動力散布機	0.50	0.34 (1.4%)	2.97	55	0.2 (0.2%)*
穂 肥	流し多口噴頭付き 背負動力散布機	0.78	1.12 (4.8%)	0.89	21	1.1 (1.1%)*
病虫害防除	畦畔ノズル付き 動力噴霧機	0.50	1.41×3回 (17.9%)	0.71/1回	26	1.6×3回 (5.0%)*
収 穫	4条刈り自脱コンバイン	1.16	3.22 (13.7%)	0.31	59	20.3 (20.9%)
計	—	—	23.57 (100%)	—	—	97.1 (100%)

1) 31.8a (30×106m) のシルト質粘土水田における測定値, 2) ほ場外での機械・資材・収穫物の運搬時間を除く, 3) ほ場作業量/有効作業量 (1行程当たり平均作業幅×実作業行程の平均作業速度), 4) *印はガソリン, 他は軽油

ことからわかる。

また、ロータリ耕作は、ほ場内作業の中で最もエネルギー消費量の多い作業であり、重粘土水田において耕起作業1回、砕土作業1回を行った場合、水稻作におけるほ場内作業全体で消費される燃料の約50%をロータリ耕作で消費することを明らかにした試験結果⁶⁵⁾も報告されている(表1-4)。このように、燃料を大量に消費するロータリ耕作においては、農作業の省エネルギー化を推進する側面からも、作業の高速化による作業時間の短縮が重要となる。

1.3.2 近年における代かきの実態と問題点

代かきは2回～3回掛けの作業が一般的であることから、水稻栽培の主要ほ場内作業の中では最も能率の低い作業の一つである⁶⁵⁾(表1-4)。しかし、水利慣行上の問題(水田への入水が可能となる時期から田植え時期までの期間が短い地域が多い)や雑草防除上の問題(代かきから田植えまでの期間が短いほど雑草防除が容易)から、代かきの作業適期は短い場合が多く⁹⁶⁾、その高能率化に対する要望は強い。現在、一般的

に利用されているつめ式の代かきロータリについては、1.2.2に記したような改良が行われてきたものの、作業速度を高めると作業精度が低下するため、高速化による作業能率の向上には限界があった。また、折畳み機構の開発に伴う作業幅拡大による作業能率の向上も図られたが、作業幅4mの代かきロータリを使用しても、3回掛け時のほ場作業量は40a/h程度に留まっている⁶⁵⁾。

また、代かき後のほ場表面に株やわらが多数露出していると、田植精度に悪影響を及ぼすとともに、水面に浮かんだ株やわらが風で流されて水田の隅にたまり、それらをほ場の外へ搬出する必要がある。さらに近年、稲麦二毛作栽培等でのわらの焼却による煙害が大きな問題となっており、野焼きを禁止する自治体も出てきている。そのため、前作残さの埋没性能が良好な代かき機の開発に対する要望は強く、代かきロータリのリヤカバー先端に取付けられている整地板等の改良により埋没性能の改善が図られてきたが、残さが多い条件では必ずしも十分な性能が得られないこともあった。

1.4 研究の目的

上記の背景を踏まえ、「より高速で作業を行うことのできる耕うんロータリと代かきロータリを開発し、水田における耕うん整地作業の能率を向上させること」などを本研究の目的とした。以下に、両ロータリの開発目標を示す。

1.4.1 高速耕うんロータリの開発目標

従来の市販機よりトラクタの走行速度段を1段高速にし、20～30%高速で作業できる耕うんロータリを開発するため、以下の事項の実現を目標とした。

- 1) 碎土性能、反転性能、均平性能などの作業精度を維持しつつ所要動力を低下させる。
- 2) 高速作業時に大きくなる推進力（トラクタを前方に押す力）を低減し、ダッシング現象を防止する

とともにトラクタ振動を減少させる。

- 3) 高速作業時でも、従来の市販機と同等以上の耕深を維持できるようにする。
- 4) 所要動力の低減と高速作業により、作業面積当たりの燃料消費量を減少させる。

1.4.2 高速代かきロータリの開発目標

従来の市販機よりトラクタの作業速度段を1段高速にし、20～30%高速で作業できる代かきロータリを開発するため、以下の事項の実現を目標とした。

- 1) 株やわらの埋没性能、碎土性能、均平性能などの作業精度を向上させる。
- 2) 所要動力の増加を抑制する。
- 3) 高速作業により、作業面積当たりの燃料消費量を低減させる。

第2章 用語の定義と測定方法

本章では、本論文で用いたロータリづめに関する用語の定義と第3章～第5章で報告した試験における測定方法を概説する。2.1にロータリづめに関する用語の定義、2.2にほ場条件の測定方法、2.3に作業性能の測定方法を示す。

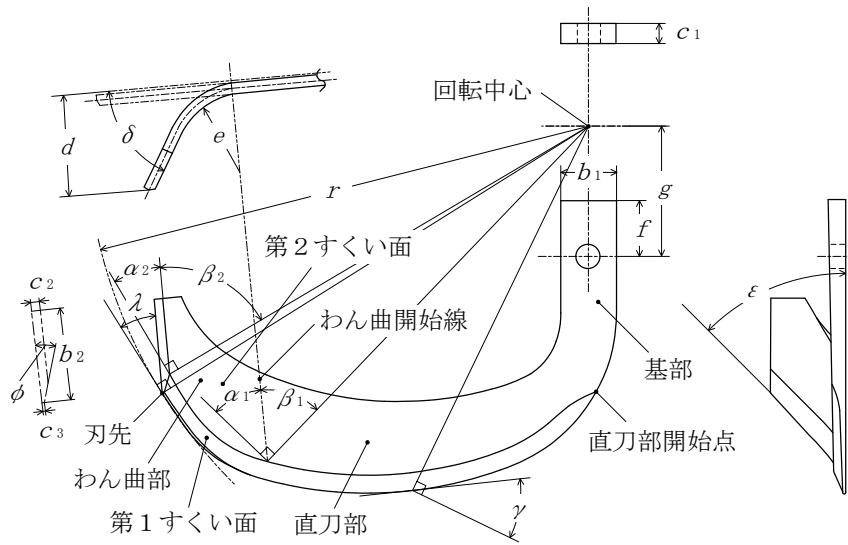
2.1 ロータリづめに関する用語の定義

2.1.1 耕うん用ロータリづめ

現在、わが国で製造されている耕うんロータリには、図2-1に示すような「なたづめ」が一般的に使われている。なたづめには様々な形状要素があるが、その主なものを図2-1にまとめた。中には統一されていない用語もあるが、本論文においては、ここに示す用語を用いることとした。なお、ここで「みかけ」を付した角度は、定置回転時の値を表わすものである。作業時におけるこれらの角度は、トロコイド曲線を描くつめ軌跡の接線となす角となるため、定置回転時の角度より小さな値となる¹¹⁶⁾。また、図2-1に示す「第1すくい面」とつめ軌跡接線とでなす角を「わん曲部切削角」とする定義³⁹⁾もあるが、本論文では、松尾の定義⁸²⁾に従い、より面積の広い「第2すくい面」とつめ軌跡接線とでなす角を「わん曲部切削角」と定義した。

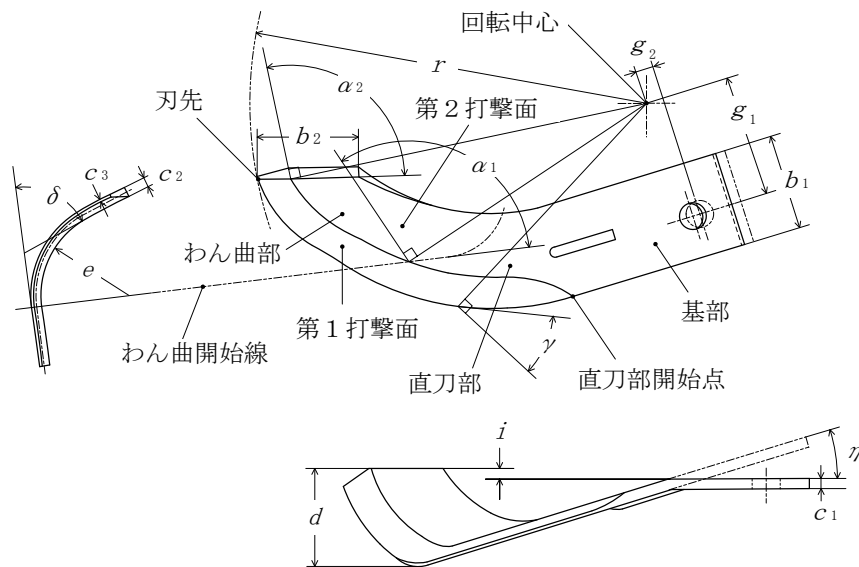
2.1.2 代かき用ロータリづめ

現在、わが国で製造される大半の代かきロータリには、耕うん用ロータリづめに比べわん曲部切削角が大きく、直刀部がわん曲している、図2-2に示すような形状に類似したつめが使用されている。耕うんロータリのつめに関しては、多くの基礎的な研究が実施され、用語の定義も行われている^{82) 106)}が、代かきロータリのつめについては、統一された定義はまだない。このような理由から、本論文においては、耕うんロータリの「なたづめ」に準じ、図2-2に示す用語を用いることとした。ただし、耕うん用ロータリづめの項で用いた「すくい面」については、わん曲部切削角の大きな代かき用ロータリづめでは、わん曲部で土を「すくう」と言うより、「叩く」と言った方が適切と思われたため、「打撃面」とした。なお、ここで「みかけ」を付した角度は、2.1.1に記したのと同様、定置回転時の値を表わすものである。また、「わん曲部切削角」については、耕うん用なたづめと同様、「第2打撃面」とつめ軌跡接線とでなす角とした。



- | | | |
|----------------------------------|----------------------|----------------|
| α_1 : わん曲部みかけ切削角 (わん曲開始部) | δ : わん曲部屈曲角 | d : 切削幅 |
| α_2 : わん曲部みかけ切削角 (刃先部) | ϵ : わん曲部切断角 | e : わん曲部曲率半径 |
| β_1 : わん曲部背角 (わん曲開始部) | b_1 : 基部幅 | f : 基部頭長 |
| β_2 : わん曲部背角 (刃先部) | b_2 : 刃先幅 | g : 穴位置 |
| γ : 直刀部みかけ切込角 | c_1 : 基部厚 | r : 回転半径 |
| λ : わん曲部みかけ逃げ角 (刃先部) | c_2 : 刃先峯部厚 | |
| ϕ : 刃先角 (刃先部) | c_3 : 刃先厚 | |

図 2-1 耕うん用ロータリなたづめの形状要素



- | | | |
|----------------------------------|---------------|----------------|
| α_1 : わん曲部みかけ切削角 (わん曲開始部) | b_1 : 基部幅 | d : 切削幅 |
| α_2 : わん曲部みかけ切削角 (刃先部) | b_2 : 刃先幅 | i : 先端オフセット幅 |
| γ : 直刀部みかけ切込角 | c_1 : 基部厚 | e : わん曲部曲率半径 |
| δ : わん曲部屈曲角 | c_2 : 刃先峯部厚 | g : 穴位置 |
| η : 直刀部曲げ角 | c_3 : 刃先厚 | r : 回転半径 |

図 2-2 代かき用ロータリづめの形状要素

2.2 ほ場条件の測定方法

2.2.1 耕起時におけるほ場条件の測定方法

1) 土壌の種類, 土性, 塑性・液性限界

供試ほ場の土壌統群については、「地力保全調査」の耕地土壌図又は関係者からの聞き取りにより調査し、「農耕地土壌分類（第3次案）⁶⁹⁾」により表示した。なお、耕地土壌図の土壌統群は同上分類の第2次案⁶⁸⁾で記載されているため、第3次案に書換えた。土粒子の粒径組成の測定は、1ほ場当たり3箇所から採取した作土を混合し、JIS A1204に従って行い、国際土壌学会法で土性を表示した。塑性限界及び液性限界の測定は、3～7cm程度の深さから1ほ場当たり3箇所採取した作土（未風乾土）を混合し、前者についてはJIS A1205に従い、後者についてはフォールコーン式測定器（大起理化工業（株）DIK-5700）によりそれぞれ3回行った。

2) 含水比, 三相分布及び湿潤・乾燥密度

含水比, 三相分布, 湿潤密度, 乾燥密度は, 高さ50mm, 体積100mlの試料円筒を採土器（大起理化工業（株）DIK-1600）に装着し, 深さ0～5cm及び5～10cmの土壌を1ほ場当たりそれぞれ5箇所採取して土壌三相計（大起理化工業（株）DIK-1120）で実容積を測定した後, 110℃-24時間法で乾燥して測定した。また, 耕うんロータリによる水田の耕うんでは, 液性指数が0～0.4程度で所要動力が最小になり, 砕土性能が最も良くなる報告例^{80) 94)}があるように, 土壌水分と耕うん性能の関係を論ずる場合は, コンシステンシーが用いられる。そこで, 塑性限界, 液性限界及び含水比の値をもとに液性指数を算出し, 含水比とともに併記した。

3) 円錐貫入抵抗, 粘着力及び内部摩擦角

円錐貫入抵抗は, 頂角30°・底面積2cm²の円錐を取付けた貫入式土壌硬度計（大起理化工業（株）DIK-5520）を用い, 1ほ場当たり10箇所程度測定し, 深さ0～12cmの平均値を表記した。また, 粘着力及び内部摩擦角は, SR-2型土壌抵抗測定器（大起理化工業（株）DIK-5500）で, 深さ約5cmにおけるリングせん断抵抗を1ほ場当たり5箇所測定して求めた。

2.2.2 砕土時におけるほ場条件の測定方法

1) 土性, 塑性・液性限界及び含水比

土粒子の粒径組成, 塑性限界及び液性限界の測定は耕起試験に準じて行った。含水比の測定は, 耕起した全層の土をビニール袋に採取し, 110℃-24時間法で乾燥して測定した。

2) 砕土状態

供試ほ場の砕土状態は, 直径50cm程度の耕うん全層の土塊を1ほ場当たり5箇所程度採取した後, 目開き3, 4, 5, 7, 10cmの篩で篩分けし, 篩ごとの土塊質量を計測して測定した。砕土状態の指標としては, 砕土率^{23) 80)}（特定の篩目以下の土塊質量割合）を用いることもあるが, 本研究では(2.1)式により計算した平均土塊径を採用した。

$$D = \sum_{i=1}^{n+1} d_i \cdot R_i \quad (2.1)$$

ただし,

$$R_i = \frac{m_i}{m_t} \quad (2.2)$$

なお, 代表径 d_i については, 7cm以下の篩を通過した土塊では, 当該篩の篩目と直近上位の篩目の中間値（例えば, 7cmの篩を通過し5cmの篩上に残った土塊では6cm, 最下の3cmの篩を通過した土塊では1.5cm）とした。篩目7cmと10cmの篩上に残った土塊では, (2.3)式により土塊を球に近似させた代表径を算出して用いた。

$$d_i = \left(\frac{6 m_i \cdot \mu}{\pi \cdot n_c} \right)^{-3} \quad (2.3)$$

ここで, D : 平均土塊径 (cm)

d_i : 篩ごとの代表径 (cm)

R_i : 篩ごとの篩分土塊質量比

m_i : 篩ごとの篩分土塊質量 (g)

m_t : 採取土塊質量 (g)

n : 使用した篩の個数

n_c : 篩ごとの篩分土塊個数

μ : 土壌の湿潤密度 (g/cm³)

π : 円周率

2.2.3 代かき時におけるほ場条件の測定方法

1) 土性

土粒子の粒径組成は耕起試験での方法に準じて行い、国際土壌学会法で土性を表示した。一部の試験では、触感法により土性を推定した。

2) 碎土状態

供試ほ場の碎土状態は、入水前に表層約 10cm の土塊を 1 ほ場当たり 3～5 箇所採取した後、目開き 3, 4, 5, 7 cm の篩で篩分けし、篩ごとの土塊質量を計測して測定した。碎土状態の指標には、(2.1)式により計算した平均土塊径を用いた。

3) 刈株の露出状態

供試ほ場の前作の刈株露出数は、1 m 四方の枠をほ場表面に置き、その中にある露出している株の数を、1 ほ場当たり 10～20 箇所測定して算出した。

4) 耕盤深さ及び耕盤貫入抵抗

耕盤深さは、1 ほ場当たり 10 箇所程度、竹尺を耕盤まで貫入させ測定した。耕盤貫入抵抗は、頂角 30°、底面積 2 cm² の円錐を付けた SR-2 型土壌抵抗測定器（大起理化工業(株) DIK-5501）で、厚さ約 10cm 間の最大抵抗を計測して測定した。

2.2.4 田植時におけるほ場条件の測定方法

水深及び耕盤深さは、竹尺で 1 区当たり 10 箇所測定した。下げ振り貫入深は、直径 36mm、高さ 44mm、質量 115g の下げ振りを高さ 1 m から落下させ、1 区当たり 10 箇所測定した。ほ場表面硬度は、土壌表面硬度計⁶⁴⁾（大起理化工業(株) DIK-5581）を使用し、1 試験区当たり 10 箇所測定した。耕盤貫入抵抗は、頂角 30°、底面積 2 cm² の円錐を取付けた SR-2 型土壌抵抗測定器（大起理化工業(株) DIK-5501）を用い、耕盤（厚さ約 10cm 間）の最大抵抗を 1 区当たり 10 箇所記録して測定した。

2.3 作業性能の測定方法

2.3.1 各試験に共通する項目の測定方法

1) 作業速度

高速耕うんロータリの基礎試験、最高作業速度試験、動力・作業精度試験、最大耕深試験及び座席振動試験における作業速度、高速代かきロータリの動力試験における作業速度は、反射型光電センサをトラクタに取付け、試験区の側方に 15m 間隔に立てた 2 本の反射板の間を通過する時間をタイマにより測定して求めた。高速代かきロータリの作業精度試験における作業速度は、試験区ごとに 15m 又は 20m 間の通過時間をストップウォッチで測定して求めた。高速耕うんロータリと高速代かきロータリの作業能率試験、後作業試験における耕起・碎土試験、代かき試験及び田植試験における作業速度は、試験区中央部 20m 間の作業時間を、行程ごとにストップウォッチで測定して算出した。

2) つめ回転速度、機関回転速度

耕うん試験における P T O 回転速度は、スリップリング（ミネベア(株) SR-3B）にトルク測定用の歪ゲージを貼付した試作軸を組込み、回転速度測定用歯車と磁電式検出器（(株)小野測器 MP981）を取付けた P T O トルク・回転速度測定装置（写真 2-1、最大トルク 1.2kN・m、最大回転速度 2,500rpm）で検出した。また、代かき試験における P T O 回転速度は、回転速度測定用歯車を内蔵した簡易防水型の試作スリップリングに同様な試作軸を組込み、同上の磁電式回転速度検出器を取付けた P T O トルク・回転速度測定装置（写真 2-2、最大トルク 1.2kN・m、最大回転速度 2,500rpm）で検出した。つめ回転速度は、P T O 回転速度にロータリの入力軸からつめ軸までの減速比をかけて算出した。また、高速耕うんロータリの最高速度試験にお

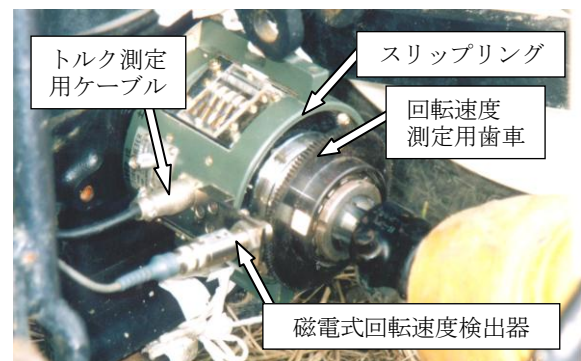


写真 2-1 耕うんロータリ用 P T O トルク・回転速度測定装置

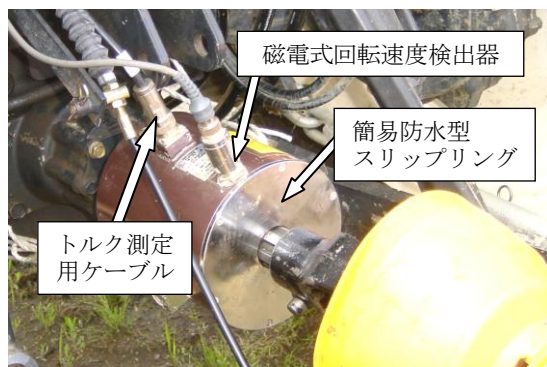


写真 2-2 代かきロータリ用 P T O トルク・回転速度測定装置

るトラクタ機関回転速度は、P T O 回転速度に機関出力軸から P T O 軸までの減速比をかけて算出した。

3) 耕うんピッチ, 作業ピッチ

耕うんピッチ（耕うんの場合）及び作業ピッチ（代かきの場合）は、作業速度をつめ回転速度と 1 回転当たり切削回数で除して求めた。

4) 耕深, 作業深

高速耕うんロータリの最高作業速度試験、耕起時動力・作業精度試験、最大耕深試験及び座席振動試験における耕深は、耕起した土塊を取除き、図 2-3 に示すように、外寸 50×50mm の角パイプを水準器で水平を確認して杭で支持し、角パイプの上面から耕盤までの高さ及び未耕起ほ場表面までの高さを測定して算出した。測定点数は、1 区当たり横方向に各 6 箇所×進行方向に 5 箇所とした。高速耕うんロータリによる耕起時の作業能率試験、後作業試験における耕起試験の

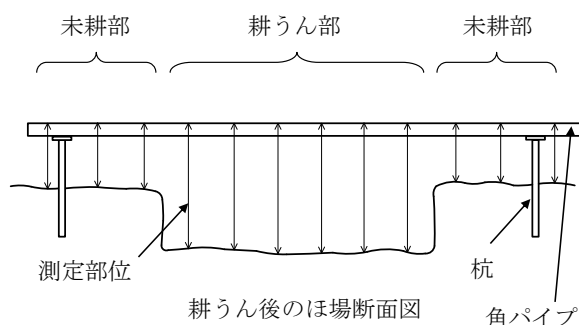


図 2-3 耕起試験における耕深の測定方法

耕深は、未耕起土壌と接する付近の耕起土壌を作業直後に取除き、未耕起土壌の表面から耕盤までの高さを、水準器とコンベックスで測定して求めた。

高速代かきロータリの動力試験における作業深は、田面を追従するそりからそり支持棒の支点までの高さを、巻取り式のポテンシオメータで検出する装置（写真 2-3）を供試機の左右に取り付け、ポテンシオメータの出力をデータロガー（共和電業(株) EDS-200A）にサンプリングタイム 1ms で記録して測定した。試験区中間部 10~15m 間の測定値をもとに、作業深の平均値を表計算ソフトで算出した。

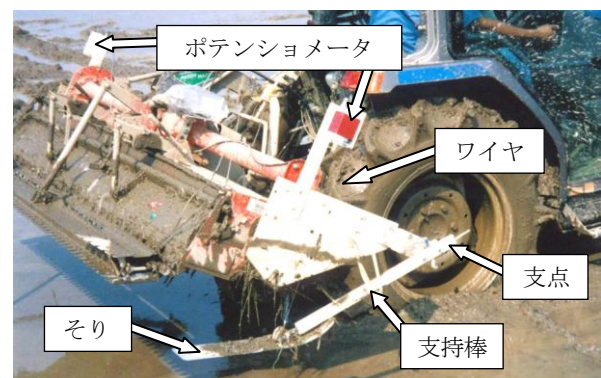


写真 2-3 代かき試験用作業深測定装置

5) 進行増加率

進行増加率は、ロータリを上げて路上を走行した時及び作業時におけるトラクタの左右後輪が 3 回転する間の距離を測定し、(2.4) 式により求めた。

$$I = \frac{100 (L_i - L_0)}{L_0} \quad (2.4)$$

ここで、 I : 進行増加率 (%)

L_i : 作業時におけるトラクタ後輪 3 回転間の進行距離の左右平均値 (m)

L_0 : 路上走行時におけるトラクタ後輪 3 回転間の進行距離の左右平均値 (m)

2.3.2 耕起・碎土時における作業精度の測定方法

1) 碎土性能

耕うん後の碎土状態は、代かき等の後作業の作業精

度や作物の出芽、活着及び生育に影響を及ぼすため、耕うん試験における主要な測定項目の一つである。砕土状態は、直径 50cm 程度の耕うん全層の土塊を 1 区当たり 3～5 箇所採取した後、2.2.2 の 2) に示した方法に準じて測定した。その標記方法としては、砕土率（特定の篩目以下の土塊質量割合）^{23) 80)} や土塊の総表面積⁵⁵⁾ で表わす方法もあるが、本研究では、前記した (2.1) 式により算出した平均土塊径を採用した。また、表層の砕土状態を観察し、5 点満点 (0.5 点単位、試験ごとの相対値で土塊が細かく均一なほど高得点) で評点を付して表層砕土状態を評価した。

2) 反転性能

耕うん後に前作の刈株やわら等が表面に残っていると、代かき等の後作業の精度が悪化して田植えや播種の作業精度に悪影響を及ぼすことから、反転性能も耕うん作業の評価項目として重要である。反転性能の評価法としては、チョーク片・木片・わらなどの埋没率を測定する方法^{15) 16) 57)}、硫酸¹⁷⁾ や塩化カリ^{72) 107)} 等の肥料を散布して比色分析や電気伝導度を測定する方法、小麦を播種して出芽させ、苗の分布を測定する方法⁵⁰⁾、放射性物質を使用する方法¹¹⁷⁾ も行われているが、本研究では、最も簡便かつ実用的な方法である稲株埋没率を採用した。稲株埋没率は、作業後の進行方向 10m×耕うん幅間に露出している稲株数、耕うんした稲株の条数、試験区付近の稲株の株間を測定し、(2.5) 式により算出した。なお、つめで切断される株もあるため、茎数 4 本以下の株は露出株数に含めなかった。

$$B = \frac{100 (n_r \cdot n_t - n_s)}{n_r \cdot n_t} \quad (2.5)$$

ここで、 B : 稲株埋没率 (%)

n_s : 進行方向 10m×作業幅間の露出稲株数

n_r : 耕うんした稲株の条数

n_t : 10m 間の 1 条当たり稲株数

3) 均平性能

耕うん後のほ場均平が悪いと、代かきや田植えの精

度低下、雑草発生が増大等を招くため、水田における耕うんでは均平性能が重要となる。耕うん後のほ場表面の凹凸を測定する方法としては、一定間隔に配置したスポークや細い板で測定する方法⁴⁾、転動輪の動きで測定する方法⁸⁾、レール上を移動するロッド（水平・垂直方向の動きをポテンシオメータで記録）で測定する方法¹⁴⁾などが試みられている。しかし、これらの方法は、測定精度は高いものの測定や解析に時間がかかるため、試験区の多い試験においては実用的ではない。本研究においては、作業後のほ場表面の凹凸を観察し、5 点満点 (0.5 点単位、試験ごとの相対値で凹凸が少ないほど高得点) で評点を付して均平状態を評価した。

4) その他

高速でロータリ耕を行うと、耕うんした土塊をリヤカバーで起こしたり、ねりつけたりすることがある。それにより、反転性能の悪化などを招くことがあることから、作業後に起こしやねりつけの状態を観察し、5 点満点 (0.5 点単位、試験ごとの相対値で起こし、ねりつけが少ないほど高得点) で評点を付した。

2.3.3 代かき時における作業精度の測定方法

1) 埋没性能

代かき後のほ場表面に前作の刈株が露出していると、浮苗の増加、植付け深さの変動による活着不良などの原因となる。また、表面にわらが露出していると、田植機のプロット前方にわらが溜まり、田植精度を悪化させることがある。そのため、刈株やわらの埋没性能は代かきロータリにとって最も重要な性能の一つである。埋没性能は、株露出数の測定及びわら露出状態の観察により評価した。株露出数は、作業後の進行方向 15～20m（一部の試験では 10m）×作業幅間に露出している株の数を 1 区当たり 2 箇所測定して算出した。わら露出状態は、作業後のほ場表面に露出しているわらの量を観察し、5 点満点 (0.5 点単位) で評点（わらの露出が少ないほど高得点、試験ごとの相対値）を付して評価した。

2) 碎土性能

代かき後の表層碎土が悪いと、浮苗の増加、植付け深さの変動による活着不良、肥料の混和むらの増大などの原因となるため、代かきロータリの表層碎土性能も重要である。碎土状態は、(1)表層5 cmの土を正確に採取する採土器(写真2-4)を用い1区当たり5箇所、1箇所当たり5~10kg採土し、(2)採取土壌を目開き2 mmの篩に投入して水を排除した後に全重を計量し、(3)目開き1, 2, 3, 4 cmの篩を用いて水中で篩分け、(4)各篩上の土塊質量を計測して測定した。碎土性能の指標には、直径2 cm未満の土塊質量割合を採用し、「碎土率」として表記した。



写真2-4 代かき後の表層土壌採土器

なお、高速耕うんロータリの「作業体系試験」における代かき試験では、表層約5 cmの土壌を1区当たり2~4箇所採取した後、目開き1, 2, 3, 4, 5 cmの篩で篩分けし、篩ごとの土塊質量を計測して碎土性能を測定した。碎土性能の指標には、平均土塊径を用いた。

3) 均平性能

代かき後の均平が悪いと、田植精度の低下や雑草発生の増大等を招くため、代かきロータリにとって均平性能も重要な性能の一つである。均平性能は、作業後のほ場表面の凹凸を水面を基準にして観察し、5点満点(0.5点単位)で評点(凹凸が少ないほど高得点、試験ごとの相対値)を付して評価した。

2.3.4 田植時における作業精度の測定方法

田植機の作業精度としては、水稻の活着、生育及び収量に影響する項目である、株間、植付け深さ、1株本数、欠株及び斜め植株を測定した。株間は、10株

間の距離を各区10箇所程度測定して求めた。植付け深さは、1行程当たり2条(最外条と中央条)を選び、各区200株程度、1株本数は、全植付け条を対象に、各区120株程度を測定して算出した。また、全植付け条を対象に、各区約4,000株について機械的欠株、埋没欠株、浮苗欠株及び斜め植株(株元と葉の先端を結ぶ線が鉛直線となす角が60度以上の株)を測定した。

2.3.5 耕起・代かき時における動力、エネルギー及び推進力の測定方法

1) PTO動力、PTOエネルギー

作業速度を高めるに従い、耕うんロータリや代かきロータリの所要動力は増大する。そのため、高速作業を安定して行うことができるか否かを評価するには、PTO動力の測定が不可欠である。PTO動力は、PTO回転速度とPTOトルクを測定して求めた。これらは、前述したPTOトルク・回転速度測定装置(写真2-1, 写真2-2)により検出し、データロガー(共和電業(株)EDS-200A)にサンプリングタイム1msで記録して測定した。PTO回転速度とPTOトルクの平均値については、試験区の間中部約15m間の測定値をもとに、表計算ソフトを用いて算出した。PTO動力は、(2.6)式により作業断面積当たりの動力(以下、「PTO比動力」とする。)に、PTOエネルギーは、(2.7)式により作業体積当たりのエネルギー(以下、「PTO比エネルギー」とする。)に換算して用いた。

$$P_s = \frac{P}{d_w \cdot w} = \frac{2\pi \cdot T \cdot N}{60 \cdot 10^3 \cdot d_w \cdot w} \quad (2.6)$$

$$E_s = \frac{P}{d_w \cdot w \cdot v} \quad (2.7)$$

ここで、 P_s : PTO比動力 (kW/m²)

E_s : PTO比エネルギー (kJ/m³)

P : PTO動力 (kW)

T : PTOトルク (N·m)

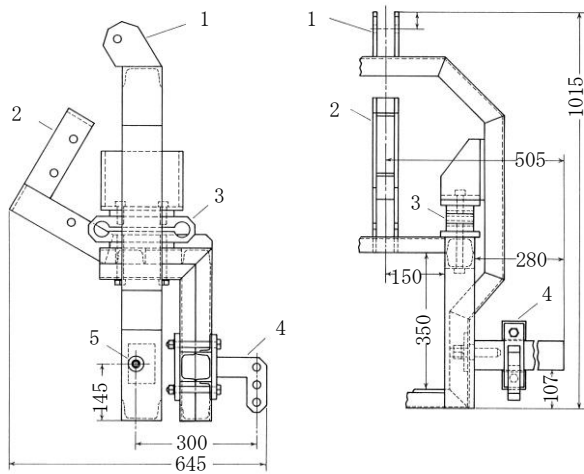
N : PTO回転速度 (rpm)

d_w : 耕深又は作業深 (m)
 w : 作業幅 (m)
 v : 作業速度 (m/s)
 π : 円周率

ここで, G_s : 比推進力 (kN/m²)
 G : 推進力 (kN)
 d_w : 耕深 (m)
 w : 作業幅 (m)

2) 推進力

ダウンカット式の耕うんロータリで硬いほ場を耕起する場合は、作業速度の増大にともない推進力(つめ反力でトラクタを前方へ押す力)が大きくなり、ダッシング(トラクタが前方へ押出される現象)が起こり作業不能となることもある。そのため、高速耕うんの評価には推進力の測定が必要となる。推進力は、図2-4に示す三点リンクダイナモメータ⁹³⁾で検出し、PTO回転速度及びPTOトルクとともに、データロガー(共和電業(株) EDS-200A)にサンプリングタイム1msで記録した後、試験区の中央部約15m間の平均値を表計算ソフトにより計算して求めた。



1 : トラクタ上部リンク接続部
 2 : 作業機上部リンク接続部
 3 : 八角分力計, 4 : 作業機下部リンク接続部
 5 : トラクタ下部リンク接続部
 左図 : 側面図, 右図 : 背面図

図2-4 三点リンクダイナモメータ⁹³⁾

推進力は、(2.8)式により作業断面積当たりの推進力(以下、「比推進力」とする。)に換算して用いた。

$$G_s = \frac{G}{d_w \cdot w} \quad (2.8)$$

2.3.6 耕起・砕土・代かき時における作業能率及び燃料消費量の測定方法

1) 作業能率

ほ場作業量は、(2.9)式により求めた。また、ほ場作業効率は(2.10)式により算出した。理論作業速度には、設定作業速度段における機関定格回転時、進行増加率0%時の速度を用いた。

$$C = \frac{A}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad (2.9)$$

$$E = \frac{100 C}{C_t} \quad (2.10)$$

ただし、

$$C_t = 36 w_t \cdot v_t \quad (2.11)$$

ここで, C : ほ場作業量 (a/h)
 C_t : 理論作業量 (a/h)
 E : ほ場作業効率 (%)
 A : 作業面積 (a)
 t_1 : 耕うん時間 (h)
 t_2 : 旋回時間 (h)
 t_3 : ほ場内移動時間 (h)
 t_4 : 停止時間 (h)
 w_t : 理論作業幅 (m)
 v_t : 理論作業速度 (m/s)

2) 燃料消費量

燃料消費量は満タン法により測定し、作業面積当たりの燃料消費量を(2.12)式で求め、「10a当たり燃料消費量」として示した。耕深を測定した耕起能率試験時では、耕うん体積当たりの燃料消費量を(2.13)式により求め、「比燃料消費量」として併記した。

$$F_a = \frac{10 F}{A} \quad (2.12)$$

$$F_s = \frac{10 F}{A \cdot d_w} \quad (2.13)$$

ここで、 F_a ：10 a 当たり燃料消費量 (L/10a)
 F_s ：比燃料消費量 (mL/m³)
 F ：燃料消費量 (L)
 A ：作業面積 (a)
 d_w ：耕深 (m)

2.3.7 耕起時における座席振動の測定方法

高速耕うんロータリによる耕起時のトラクタ座席振動の測定は、ISO5008 準拠の振動変換器⁵⁾をトラクタ座席に置き、振動レベル計 (リオン(株) VM-52) にデータを記録して行った。前後、左右及び上下方向の振動レベルを測定するとともに、合成振動レベルを算出して評価した。

第3章 高速耕うんロータリの開発

本章では、高速耕うんロータリの開発に先立ち、高速化のための課題である所要動力や作業精度に影響を及ぼす要因を取上げて実施した基礎試験²⁸⁾について報告するとともに、基礎試験等で得られた知見をもとに試作した2台 (中型機と大型機) の高速耕うんロータリ (以下「開発機」とする。) の概要²⁹⁾ 及びそれらの性能試験^{29) 30) 31)} について報告する。3.1で高速化のための課題とそれらに影響する要因を整理し、3.2で基礎試験について、3.3で開発機と市販対照機 (以下、「対照機」とする。) の概要について、3.4で開発機の作業性能試験について述べる。

3.1 ロータリ耕の高速化に関する課題と要因

ロータリ耕を高速化するには、所要動力及び推進力

の低減とともに、高速作業時に低下する傾向のある碎土・反転・均平などの作業精度の向上が必要となる。これらの課題に影響を及ぼす要因には、土壌条件のほか、ロータリづめの形状や配列、ロータリカバーの形状や取付け位置などの機械条件と、つめ回転速度 (耕うんピッチ)、耕深などの作業条件がある。これらの課題と要因の関係については、これまでの研究^{13) 37) 53) 54) 82) 106) 109) 110) 113) 114) 115) 116) 119) 120)} で明らかにされているものが多く、表3-1にそれらの関係を整理して示す。

開発に先立ち、高速化のための課題である所要動力や作業精度に影響を及ぼす上記の要因のうち、つめ配列に関しては「1回転当たりつめ切削回数」を、つめ形状に関しては「つめ切削幅 d 」, 「つめわん曲部みか

表 3-1 高速ロータリ耕うんのために解決すべき課題とそれらに影響する要因

課 題		各課題に影響を及ぼす要因 ¹⁾													作業条件	
		機 械 条 件											つめ回転速度 (耕うんピッチ)			
		つ め							カバ ー						つめ回転速度 (耕うんピッチ)	耕深
		形 状 ²⁾							配列	回転径	回転方向	形状	位置	材質		
α	γ	ϵ	δ	d	e											
動力	PTO動力低減	◎↓	○↑	○↓	○↓	◎↑	◎↑	◎	不定 ³⁾	◎	◎	◎	○	◎↓	◎↓	
	推進力の低減	◎↓	◎↓	○↓	○↓	○↑	○↑	○	○↓	◎	—	—	—	○↑	◎↓	
作業精度	碎土性能の向上	◎↑	—	—	○↑	◎↓	—	◎	不定 ³⁾	◎	○	◎	○	◎↑	○↓	
	反転性能の向上	◎↑	—	—	○↑	不明	不明	○	不明	◎	○	○	—	○↑	○↑	
	均平性能の向上	不明	不明	不明	不明	不明	不明	◎	不明	○	◎	○	—	○↑	○↑	
度	耕深の維持	◎↓	◎↑	—	—	○↑	○↑	○	◎	◎	—	—	—	○↑	△	

1) ◎：各課題に大きく影響するもの，○：各課題に影響するもの，—：影響の少ないもの
 ↑：当該要因の値の増加で課題を改善できる，↓：当該要因の値の減少で課題を改善できる
 2) α ：わん曲部切削角， γ ：直刀部切込角， ϵ ：わん曲部切断角， δ ：わん曲部屈曲角， d ：切削幅， e ：わん曲部曲率半径
 3) 土の抱込み状態により異なる

け切削角 α 」及び「つめわん曲部曲率半径 e 」を取上げ、以下のような基礎試験を実施した。

3.2 ロータリ耕の高速化に関する基礎試験

3.2.1 つめ切削回数が作業性能に及ぼす影響

1) 背景と目的

わが国で使用されている乗用トラクタ用の耕うんロータリは、ホルダにつめを取付けて固定するタイプ（以下、「ホルダ式」と呼ぶ。）と、フランジに爪を取付けるタイプ（以下、「フランジ式」と呼ぶ。）に大別される。ホルダ式は、大半が低速作業の多い小型トラクタ用であるため、同一回転面上の土を1回転当たり1回切削する配列（以下、「1回切削式」と呼ぶ。）となっている。一方、フランジ式は、より高速で作業することの多い大型トラクタ用が主流であり、高速作業時の耕うんピッチの増大を防ぐため、同一回転面上の土を1回転当たり2回切削する配列（以下、「2回切削式」と呼ぶ。）が多い。

耕うんピッチとつめ回転速度は、ロータリ耕の所要動力と作業精度に大きな影響を及ぼす。高速で耕うんを行う場合には、耕うんピッチの増大による碎土性能の低下や耕盤の凹凸発生などを防ぐため、つめ回転速度を高めて耕うんピッチの増大を抑制する必要があるが、つめ回転速度を増加させると、所要動力が大きくなる^{53) 82)} 問題がある。

そこで、つめ回転速度を増加することなく適切な耕うんピッチを維持するため、同一回転面上の土を1回転当たり3回切削する（以下、「3回切削式」と呼ぶ。）耕うんロータリの性能を2回切削式と比較する目的で本試験を行った。

2) 供試機

耕うん幅 1.8m の3回切削式と2回切削式の耕うんロータリを試作し、44kW の4輪駆動トラクタに取付けて試験した。3回切削式試作機のかつめの外観を写真3-1に、両試作機のかつめ等の仕様を表3-2に示す。2回切削式では4本（左向き2本、右向き2本）、3回切削式では6本（左向き3本、右向き3本）、取付け面上につめを取付けた。また3回切削式では、2回切削式の2/3のかつめ回転速度で、つめ1本当たりの切削



写真 3-1 3回切削式試作機のかつめ

表 3-2 つめ切削回数試験用試作機的主要仕様

種 類	3回切削	2回切削	
耕 う ん 幅 (cm)	180		
形状と取付け方式	なたづめ、ホルダ		
回 転 方 向	正転(ダウンカット)		
本 数	48	40	
横 方 向 取 付 間 隔 (mm)	225	180	
1 回 転 当 たり 切 削 回 数	3	2	
回 転 半 径 r (mm)	245	245	
切 削 幅 d (mm)	100	85	
直刀部みかけ切込角 ¹⁾ γ (°)	32~56	32~56	
わん曲部	わん曲開始部 α_1	44	44
みかけ切	刃 先 部 α_2	8	12
削角 ²⁾ (°)	概 略 平 均	26	28
わん曲部背角 ³⁾ β (°)	46~82	46~78	
わん曲部屈曲角 δ (°)	120	120	
わん曲部曲率半径 e (mm)	70	70	

- 1) 直刀部開始点からわん曲開始点までの値の範囲
- 2) 定置回転時の値
- 3) わん曲開始点から刃先までの値の範囲

体積が2回切削式と同じとなるが、つめ回転速度を下げすぎると、つめ間に土を抱込む恐れがある。そこで、3回切削式のかつめ切削幅を2回切削式の約1.2倍に拡大し、3回切削式のかつめ回転速度を2回切削式の約0.8倍とした時に両者のかつめ1本当たり切削体積が同程度になるようにした。

3) ほ場条件

やや湿潤な（液性指数 0.35）水稲収穫後の未耕起シルト質粘土水田において耕起試験を行った。表 3-3にほ場条件を示す。

4) 試験方法

写真 3-2 のように、隣接する行程間の未耕起部分の

表 3-3 つめ切削回数試験のほ場条件

試験番号	A 1	
試験年月	1994年4月	
試験場所	埼玉県川里町	
ほ場の履歴 稲わらの状態 稲株刈高さ (cm)	水稻収穫後の未耕起水田 自脱コンバインで切断散布 5~10	
土壌統群	細粒質グライ化灰色低地土	
作土の 物理性	土性 ¹⁾	シルト質埴土 (SiC)
	粒径組成 ²⁾ (%)	27, 51, 22, 0
	塑性・液性限界 (%)	32, 73
	含水比 (%)	46
	液性指数	0.35
	三相分布 ³⁾ (%)	39, 46, 15
	湿潤密度 (g/cm ³)	1.46
	乾燥密度 (g/cm ³)	1.00
	円錐貫入抵抗 (MPa)	0.63
	粘着力 (kPa)	54
内部摩擦角 (°)	20	

- 1) 国際土壌学会法 (粘土：~0.002mm, シルト：0.002~0.02mm, 砂：0.02~2.0mm, 礫：2.0mm~)
 2) 同上 (粘土, シルト, 砂, 礫の順)
 3) 固相率, 水分率, 空気率の順



写真 3-2 耕起試験の風景

幅を 1 m 程度残し、トラクタの機関回転速度を最大にして 1 区当たり約 20m 作業し、P T O 比動力、P T O 比エネルギー、全層平均土塊径、稲株埋没率等を測定した。表 3-4 に作業条件を示す。試験では、作業速度をそれぞれ 3 段階に変えるとともに、つめ 1 本当たりの切削体積が同程度の場合とつめ回転速度が同じ場合の比較を行うため、2 回切削式をつめ回転速度を 2 段階に変え、3 回切削式では 3 試験区 (2 反復)、2 回切削式では 6 試験区 (2 反復) を設けた。耕深は、12cm を目標に定規輪の高さを調節して設定した。

表 3-4 つめ切削回数試験の作業条件

試験番号	A 1			
試験区	同つめ切削体積の比較		同回転の比較	
	3 回切削	2 回切削	3 回切削	2 回切削
トラクタ機関出力 (kW)	44			
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	235	326	235	224
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	0.71, 1.04, 1.39			
試験区数	各 3 区 × 2 反復 × 1 ほ場			

- 1) 機関定格回転 (2,600rpm) 時
 2) 機関定格回転・進行増加率 0% 時

5) 試験結果と考察

つめ切削回数試験の結果を、各 3 試験区の平均値を算出して表 3-5 に示す。円錐貫入抵抗と粘着力が大きくなほ場条件であったため、平均耕深は目標の 12cm に比べ 2 回切削区で約 2 cm、3 回切削区で 4.5cm 浅くな

表 3-5 つめ切削回数試験の結果

試験番号	A 1			
試験区	同つめ切削体積の比較		同回転の比較	
	3 回切削	2 回切削	3 回切削	2 回切削
作業速度 (m/s)	1.05	1.00	1.05	1.07
つめ回転速度 (rpm)	228	304	228	223
耕うんピッチ (mm)	95	100	95	147
耕深 (cm)	7.6	9.5	7.6	10.2
P T O 比動力 (kW/m ²)	209 (1.32) ^a	158 ^b	209 (1.46) ^c	143 ^d
P T O 比エネルギー (kJ/m ³)	196 (1.20) ^a	163 ^b	196 (1.43) ^c	137 ^d
全層平均土塊径 (cm)	4.4 (0.96) ^a	4.6 ^a	4.4 (0.73) ^c	6.0 ^d
稲株埋没率 (%)	81 (1.05) ^a	77 ^a	81 (1.09) ^c	74 ^d

- 1) 各 3 試験区の平均値、2) () 内は「2 回切削づめ」に対する割合
 3) 危険率 5% で a と b, c と d の間に有意差あり、a と a の間に有意差なし

った。本試験の主な目的である「3回切削によりつめ回転速度を下げ、同程度のつめ切削体積で耕うんする」場合と比較すると、3回切削区的全層平均土塊径と稲株埋没率は2回切削区と同程度であった。しかし、P T O比動力及びP T O比エネルギーは2回切削区より約 20~30%高く、ねらいどおりの結果が得られなかった。この原因としては、供試ほ場（土性：シルト質粘土）のような比較的湿潤な強粘質水田では、同一面上へのつめ取付け本数の増加と回転速度の低下により、つめ間への土の抱込み（写真 3-3）が起りやすきことが挙げられる。



写真 3-3 3回切削式試作機の土抱込み状態

次に、同じ回転速度同士の区で比較すると、3回切削区はつめ切削体積が2回切削区の約 0.8 倍であるため、2回切削区に比べ、全層平均土塊径が約 30%小さく、稲株埋没率も約 10%高かった。また、P T O比動力及びP T O比エネルギーは 40%程度高かった。

以上の結果から、3回切削式は、土壌条件によってはつめ間への土の抱込みが発生するため、回転速度を2回切削式の約 0.75 倍に低下させても所要動力の低減は難しく、2回切削式の方が湿潤な水田への適応性は高いことが明らかになった。

3.2.2 つめ切削幅が作業性能に及ぼす影響

1) 背景と目的

わが国で使用されているホルダ式耕うんロータリをつめ切削幅は 35~50mm 程度が多く¹⁸⁾、フランジ式をつめ切削幅は 80~90mm 程度が主流である。1本づめを対象にした研究では、ロータリづめの全切削抵抗に占める直刀部の切削抵抗の割合が、耕うんピッチ 10cm の時に約 25%、耕うんピッチ 5 cm の時には約

40%に達するとして報告⁴⁰⁾や、つめ切削幅の増大が耕うん幅当たりの所要動力の低減に有効であるとの報告^{54) 82)}があり、単位幅当たりのつめ本数を減少させると所要動力が低下することが明らかにされている。しかし、ダウンカットロータリの所要動力は、1) 土の切削及び破碎に要する動力、2) 切削した土塊の後方放てきに要する動力、3) 切削した土塊をカバーに沿って前方へ運搬するのに要する動力に分けられる⁶¹⁾ため、カバーのない1本づめによる試験では、上記3)の動力は測定されない。

そこで、カバー付きの実機を供試し、つめ切削幅の増大による所要動力低減の効果がどの程度あるのかを、実ほ場において確認する目的で本試験を行った。

2) 供試機

つめ切削幅が過大になると碎土性能が悪化するため、切削幅 85mm のつめ（一般的なフランジ式耕うんロータリと同等、以下「狭幅づめ」とする。）と、それより約 35%広い切削幅 115mm のつめ（以下「広幅づめ」とする。）を持つ耕うん幅 1.64m の耕うんロータリを試作し、44kW の4輪駆動トラクタに取り付けて供試した。つめ等の仕様を表 3-6 に示す。切削幅以外のつめ形状は両者でほぼ同一としたが、切削幅が異なる

表 3-6 つめ切削幅試験用試作機的主要仕様

種	類	広幅	狭幅
耕	う	164	
	幅 (cm)		
ロータリづめ	形状と取付け方式	なたづめ、ホルダ正転(ダウンカット)	
	回転方向		
	本数	28	36
	横方向取付間隔 (mm)	232	180
	1回転当たり切削回数	2	2
	回転半径 r (mm)	275	275
	切削幅 d (mm)	115	85
	直刀部みかけ切込角 ¹⁾ γ (°)	31~47	31~47
	わん曲部みかけ切削角 ²⁾ (°)		
		わん曲開始部 α_1	46
	刃先部 α_2	13	22
	概略平均	30	34
	わん曲部背角 ³⁾ β (°)	44~77	45~68
	わん曲部屈曲角 δ (°)	120	120
	わん曲部曲率半径 e (mm)	70	70

- 1) 直刀部開始点からわん曲開始点までの値の範囲
- 2) 定置回転時の値
- 3) わん曲開始点から刃先までの値の範囲

ため、刃先部のわん曲部みかけ切削角と背角が約9°異なっている。

3) ほ場条件

湿潤な（液性指数 0.49）水稻収穫後の未耕起シルト質埴土水田において耕起試験を行った。表 3-7 にほ場条件を示す。

表 3-7 つめ切削幅試験のほ場条件

試験番号	B 1	
試験年月	1993年12月	
試験場所	埼玉県川里町	
ほ場の履歴 稲わらの状態 稲株刈高さ (cm)	水稻収穫後の未耕起水田 自脱コンバインで切断散布 5~10	
土壌統群	細粒質グライ化灰色低地土	
作土の物理性	土性 ¹⁾ 粒径組成 ²⁾ (%)	シルト質埴土 (SiC) 27, 51, 22, 0
	塑性・液性限界 (%)	33, 76
	含水比 (%)	54
	液性指数	0.49
	三相分布 ³⁾ (%)	37, 53, 10
	湿潤密度 (g/cm ³)	1.51
	乾燥密度 (g/cm ³)	0.98
	円錐貫入抵抗 (MPa)	0.50
	粘着力 (kPa)	32
	内部摩擦角 (°)	14

- 1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm，シルト：0.002～0.02mm，砂：0.02～2.0mm，礫：2.0mm～）
- 2) 同上（粘土，シルト，砂，礫の順）
- 3) 固相率，水分率，空気率の順

4) 試験方法

隣接する行程間の未耕起部分の幅を1m程度残し，トラクタの機関回転速度を最大にして1区当たり約20m作業し，P T O比動力，P T O比エネルギー，全層平均土塊径，稲株埋没率を測定した。表 3-8 に作業条件を示す。つめ回転速度を2段階に，作業速度を低回転時2段階，高回転時4段階に変え，6試験区を設けて試験を行った。耕深は，12cm を目標に定規輪の高さを調節して設定した。

5) 試験結果と考察

つめ切削幅試験の結果を，6試験区の平均値を算出して表 3-9 に示す。平均耕深は，切削幅 115mm の広幅

表 3-8 つめ切削幅試験の作業条件

試験番号	B 1	
	広幅	狭幅
トラクタ機関出力 (kW)	44	
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	167, 212	
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	0.71, 1.04, 1.39, 1.74	
試験区数	各6区×1ほ場	

- 1) 機関定格回転 (2, 600rpm) 時
- 2) 機関定格回転・進行増加率 0% 時

づめ区で約12cm，切削幅85mmの狭幅づめ区で約11cmであった。広幅づめ区では，狭幅づめ区に比べ，P T O比動力及びP T O比エネルギーが約10%低く，稲株埋没率は同程度であったが，全層平均土塊径が約10%大きかった。

広幅づめ区で比動力が減少したのは，単位耕うん幅当たりのつめ本数が減ったことにより，つめの切削抵抗，特に直刀部の切削抵抗が減少したためと考えられる。また，広幅づめ区で砕土性能が低下したのは，つめ切削幅の拡大により，つめ1本当当たりの切削体積が増加したことが主な原因と思われる。

以上の結果から，砕土性能の向上が課題として残ったものの，カバー付きの実機でも，つめ切削幅の増大により耕うん幅当たりの所要動力を低減できることがわかった。

表 3-9 つめ切削幅試験の結果

試験番号	B 1	
	広幅	狭幅
作業速度 (m/s)	1.08	1.04
つめ回転速度 (rpm)	192	183
耕うんピッチ (mm)	166	166
耕深 (cm)	11.9	11.1
P T O 比 動 力 (kW/m ²)	107 (0.91) ^a	117 ^b
P T O 比 エネルギー (kJ/m ³)	100 (0.87) ^a	115 ^b
全層平均土塊径 (cm)	10.1 (1.12) ^a	9.0 ^b
稲株埋没率 (%)	74 (1.03) ^a	72 ^a

- 1) 各6試験区の平均値
- 2) () 内は「狭幅づめ」に対する割合
- 3) 危険率5%でaとbの間に有意差あり，aとaの間に有意差なし

3.2.3 つめわん曲部の切削角及び曲率半径が作業性能に及ぼす影響

1) 背景と目的

つめわん曲部の切削角は、耕うんロータリの所要動力及び作業精度に大きな影響を及ぼす要素であり、切削角が約 45° を越えると所要動力が急増すること、切削角が大きくなるほど砕土・反転・放てき性能が高まることが明らかにされている^{82) 106)}。市販ロータリづめ(ホルダ式)のわん曲開始部におけるみかけ切削角は 30~60° と広範囲に分布しており¹⁸⁾、上記のような所要動力と作業精度の特性に応じ、みかけ切削角が使い分けられていることがわかる。

回転半径が 275mm で、刃先部のみかけ切削角が小さい(約 20°) つめと大きいつめ(約 40°) が、回転速度 220rpm、作業速度 0.5m/s と 1.5m/s で作業する時のつめ先端軌跡とつめ位置の関係を図 3-1 に示す。みかけ切削角が 20° 程度と小さくても、作業速度 0.5m/s 時では逃げ角が 15° 程度確保されるが、作業速度 1.5m/s 時には、逃げ角がほとんどない状態となり、つめわん曲部の背面が未耕起土壤に接触する恐れが出てくる。このことから、わん曲部切削角が小さいつめは高速作業に適さないことがわかる。

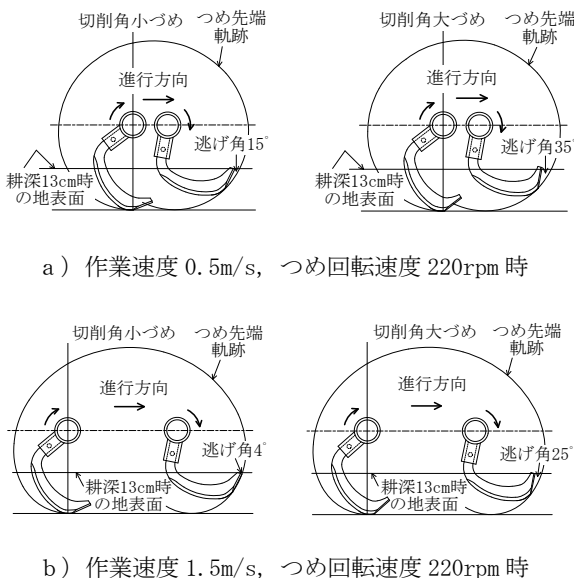


図 3-1 わん曲部切削角、作業速度と逃げ角の関係

わん曲部の曲率半径も耕うんロータリの所要動力に影響する要素であり、曲率半径が大きくなるほど、わ

ん曲部が土を切削する回転径の平均値が減少するため、所要動力が低下すると言われている^{37) 82)}。また、わん曲部曲率半径を大きくした「広幅緩曲づめ」の試験例⁹⁾で明らかにされているように、わん曲部曲率半径が大きくなると、わん曲開始部付近の切削角が大きくなるため、砕土性能や反転性能の向上も期待できる。

切削幅試験において、つめ切削幅を大きくすることで耕うん幅当たりの所要動力を低減できることが分かったが、砕土性能の向上が課題として残った。そこで、つめわん曲部切削角とわん曲部曲率半径の増大による砕土性能の向上効果を確認する目的で本試験を行った。

2) 供試機

前述したような所要動力と砕土性能のバランス、高速作業時における逃げ角確保の必要性を考慮し、つめわん曲部の概略平均みかけ切削角が 31° (以下「切削角小」とする。)と 46° (以下「切削角大」とする。)のつめを持つ耕うん幅 1.8m の耕うんロータリを試作し、44kW 又は 52kW の 4 輪駆動トラクタに取付けて供試した。つめ等の仕様を表 3-10 に示す。対照機には、

表 3-10 つめ切削角・曲率半径試験用試作機の主な仕様

種類	切削角 曲率半径	小 中	中 中	大 大
耕うん幅 (cm)		180		
形状		なたづめ		
取り付け方式		ホルダ	フランジ	ホルダ
回転方向		正転(ダウンカット)		
本数		40	40	40
横方向取付間隔 (mm)		180	180	200
1 回転当たり切削回数		2	2	2
回転半径 r (mm)		245	260	245
切削幅 d (mm)		85	88	95
直刀部みかけ切込角 ¹⁾ γ (°)		32~56	33~46	34~54
わん曲部	わん曲開始部 a ₁	46	46	62
	みかけ切刃先部 a ₂	16	31	29
	削角 ²⁾ (°)	31	39	46
	わん曲部背角 ²⁾ β (°)	44~74	44~59	28~61
	わん曲部屈曲角 δ (°)	120	120	120
	わん曲部曲率半径 e (mm)	70	70	120

- 1) 直刀部開始点からわん曲開始点までの値の範囲
- 2) 定置回転時の値
- 3) わん曲開始点から刃先までの値の範囲

同切削角 39°（以下「切削角中」とする。）の市販機（耕うん幅 1.8m）を供試した。わん曲部曲率半径は、「切削角小」づめと「切削角中」づめでは同じ 70mm としたが、「切削角大」づめでは 120mm に増加させた。また、「切削角大」機では、つめ切削幅及び横方向つめ取付け間隔が他機よりやや大きい。

3) ほ場条件

やや湿潤～湿潤な（液性指数 0.35～0.49）埴壤土、軽埴土及びシルト質埴土の水稲収穫後の未耕起水田において耕起試験を行い、「切削角小」と「切削角中」

の比較、「切削角大」と「切削角中」の比較を別々に行った。表 3-11 にほ場条件を示す。

4) 試験方法

隣接する行程間の未耕起部分の幅を 1 m 程度残し、トラクタの機関回転速度を最大にして 1 区当たり約 20m 作業し、P T O 比動力、P T O 比エネルギー、全層平均土塊径、稲株埋没率を測定した。表 3-12 に作業条件を示す。「切削角小」と「切削角中」の比較試験では、つめ回転速度を 2 段階、作業速度を 3 段階に変え、6 試験区（2 反復）を、「切削角大」と「切削角

表 3-11 つめ切削角・曲率半径試験のほ場条件

試験目的		切削角小づめと中づめの比較		切削角・曲率半径中づめと大づめの比較		
試験番号		C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
試験年月		1994 年 4 月	1994 年 4 月	1995 年 4 月	1995 年 4 月	1994 年 12 月
試験場所		新潟県長岡市	埼玉県川里町	新潟県長岡市	埼玉県川里町	
ほ場の履歴 稲わらの状態 稲株刈高さ (cm)		水稲収穫後の未耕起水田 自脱コンバインで切断散布 5～10		水稲収穫後の未耕起水田 自脱コンバインで切断散布 5～10		
土壌統群		細粒質還元型 グライ低地土	細粒質グライ化 灰色低地土	細粒質斑鉄型 グライ低地土	細粒質グライ化灰色低地土	
作土の 物理性	土性 ¹⁾ 粒径組成 ²⁾ (%)	埴壤土 (CL) 23, 32, 42, 3	シルト質埴土 (SiC) 27, 51, 22, 0	埴壤土 (CL) 20, 36, 40, 4	軽埴土 (LiC) 28, 33, 39, 0	シルト質埴土 (SiC) 27, 49, 24, 0
	塑性・液性限界 (%)	32, 72	32, 73	43, 112	36, 75	33, 73
	含水比 (%)	54	46	82	55	49
	液性指数	0.54	0.35	0.57	0.49	0.42
	三相分布 ³⁾ (%)	34, 48, 18	39, 46, 15	31, 62, 7	36, 51, 13	38, 49, 13
	湿潤密度 (g/cm ³)	1.37	1.46	1.38	1.44	1.49
	乾燥密度 (g/cm ³)	0.89	1.00	0.76	0.93	1.00
	円錐貫入抵抗 (Mpa) 粘着力 (kPa) 内部摩擦角 (°)	0.42 43 14	0.63 54 20	0.30 20 24	0.67 34 45	0.60 28 33

1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm，シルト：0.002～0.02mm，砂：0.02～2.0mm，礫：2.0mm～）

2) 同上（粘土，シルト，砂，礫の順），3) 固相率，水分率，空気率の順

表 3-12 つめ切削角・曲率半径試験の作業条件

試験目的	切削角小づめと中づめの比較		切削角・曲率半径中づめと大づめの比較	
試験番号	C 1, C 2		C 3～C 5	
試験区	切削角小づめ	切削角中づめ	切削角・曲率半径 大づめ	切削角・曲率半径 中づめ
トラクタ機関出力 (kW)	44		44, 52	
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	276, 326	267, 322	218, 229, 295	210, 220, 283
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	0.71, 1.04, 1.39		0.86, 0.89, 0.97, 1.17	
試験区数	各計 6 区×2 反復		各計 5 区×2 反復	

1) 機関定格回転（44kW：2,600rpm，52kW：2,200rpm）時，2) 機関定格回転・進行増加率 0% 時

中」の比較試験では、つめ回転速度を3段階、作業速度を4段階に変え、5試験区(2反復)をそれぞれ設けて試験を行った。耕深は、12cmを目標に定規輪の高さを調節して設定した。

5) 試験結果と考察

「切削角小」と「切削角中」の比較試験の結果を6試験区の平均値を算出し、「切削角大」と「切削角中」の比較試験の結果を5試験区の平均値を算出して表3-13に示す。

a) 切削角小と中の比較

平均耕深は、「切削角小」区で約11cm、「切削角中」区で約10cmであった。「切削角小」区では、「切削角中」区に比べ、P T O比動力及びP T O比エネルギーが約15%低く、稲株埋没率が同程度であったが、全層平均土塊径が約30%大きかった。この結果から、わん曲部切削角の減少により所要動力の低減が可能となるが、つめ切削幅を増大させた場合と同様、碎土性能が低下する問題が明らかになった。

b) 切削角、曲率半径大と中の比較

平均耕深は、「切削角・曲率半径大」区で約12cm、「切削角・曲率半径中」区で約11cmであった。「切削角・曲率半径大」区では、「切削角・曲率半径中」区に比べ、P T O比動力及びP T O比エネルギーが約10%低かった。これは、切削角の増加による所要動力の増大を、曲率半径と切削幅の増加による所要動力の

低減効果が上回ったことが原因と思われる。また、高速耕うん時には、ロータリカバー内を持回る土の量が増加し、所要動力増大の原因となるが、切削角の増大による後方への土放り性能の向上も、所要動力低減の一因と考えられる。

次に、「切削角・曲率半径中」区に対する「切削角・曲率半径大」区の作業精度を比べると、つめ1本当たりの土切削体積が12%増加しているにもかかわらず、稲株埋没率は同程度であり、全層平均土塊径も10%増に留まった。このような結果が得られたのは、わん曲部切削角の増加が主な原因と思われる。なお、曲率半径と切削幅の増大による耕盤の凹凸は、実用上問題にならない程度であった。

以上の結果から、つめ切削幅を増加させ、わん曲部の切削角と曲率半径を大きくすることにより、所要動力の低減と碎土性能の維持を両立できる可能性が見出された。

3.3 開発機と対照機の概要

基礎試験の結果をもとに、以下の2台の開発機を試作した。3.2.1に述べたように、わが国で使われている耕うんロータリには、小型～中型トラクタでの利用が多い1回切削式と、主に大型トラクタで利用される2回切削式がある。そこで、1回切削式の対照機と性能を比較するために中型開発機を、2回切削式の対照機と性能を比較するために大型開発機を製作した。

表 3-13 つめ切削角・曲率半径試験の結果

試 験 目 的 試 験 番 号	切削角小づめと中づめの比較		切削角・曲率半径中づめと大づめの比較	
	C 1, C 2		C 3 ~ C 5	
試 験 区	切削角小づめ	切削角中づめ	切削角・曲率半径 大づめ	切削角・曲率半径 中づめ
作 業 速 度 (m/s)	0.96	1.00	0.92	0.86
つ め 回 転 速 度 (rpm)	272	279	248	241
耕 う ん ピ ッ チ (mm)	110	113	113	112
耕 深 (cm)	10.9	9.5	11.5	10.9
P T O 比 動 力 (kW/m ²)	160 (0.83) ^a	193 ^b	189 (0.90) ^c	211 ^d
P T O 比 エ ネ ル ギ (kJ/m ³)	172 (0.85) ^a	203 ^b	218 (0.88) ^c	248 ^d
全 層 平 均 土 塊 径 (cm)	5.4 (1.32) ^a	4.1 ^b	7.6 (1.10) ^c	6.9 ^c
稲 株 埋 没 率 (%)	83 (0.99) ^a	84 ^a	82 (1.04) ^c	79 ^c

1) 各6試験区又は5試験区の平均値

2) ()内は「切削角中づめ」又は「切削角・曲率半径中づめ」に対する割合

3) 危険率5%でaとb, cとdの間に有意差あり, aとa, cとcの間に有意差なし

3.3.1 全体構成

図 3-2 に中型開発機の側面図と平面図，図 3-3 に大型開発機の側面図と平面図，写真 3-4 に中型開発機の外観，写真 3-5 に大型開発機の外観，表 3-14 に開発機と対照機的主要仕様をそれぞれ示す。

1) 中型開発機と中型対照機

中型開発機は乗用トラクタ直装式のサイドドライブ

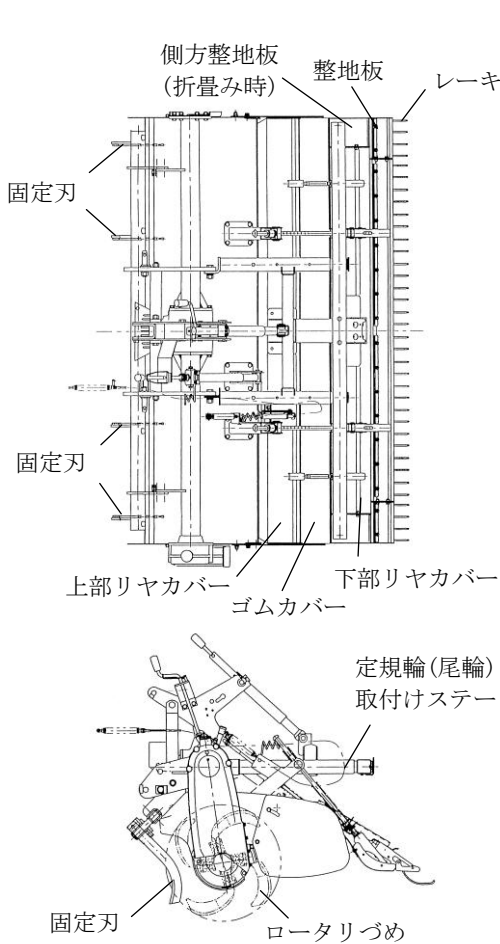


図 3-2 中型開発機の側面図と平面図



写真 3-4 中型開発機の外観

型耕うんロータリで，適用トラクタは 33～40kW である。耕うん幅は 1.8m で，写真 3-4 に示すように，機体後方に定規輪（尾輪）を取付けることができる。ロータリづめは回転半径 245mm のホルダ取付け式で，2 回切削式とした（図 3-2，写真 3-4，表 3-14）。

中型対照機には，小型～中型の乗用トラクタ用に使われることの多い，1 回切削・ホルダ取付け式のサイ

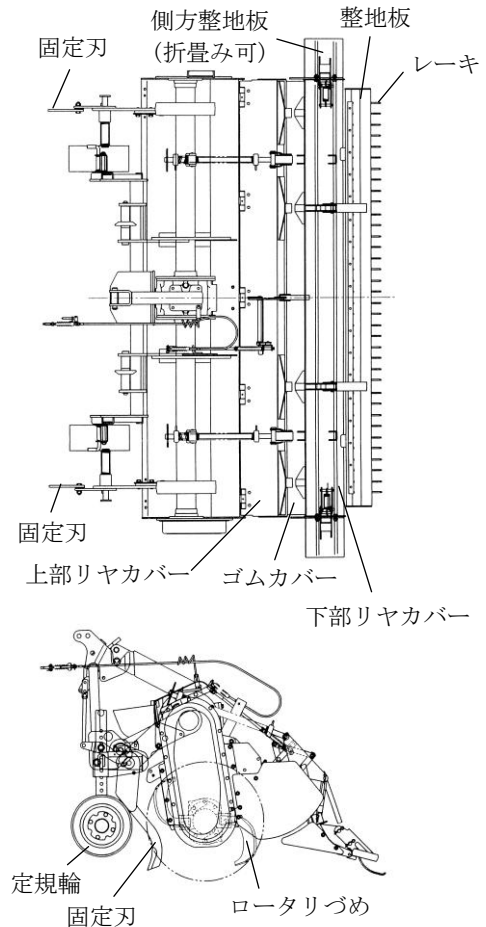


図 3-3 大型開発機の側面図と平面図



写真 3-5 大型開発機の外観

表 3-14 開発機と対照機の主な仕様

種類	中 型 機		大 型 機			
	開発機	対照機	開発機	対照機		
型式	—	ヤンマー USR1800	—	ニプロ LX2005		
耕うん幅 (cm)	180	180	200	200		
定規輪取り付け位置	後方	後方	前方	前方		
機体質量 (kg)	435	350	519	600		
適応トラクタ (kW)	33~40	29~40	37~44	37~55		
入力軸/つめ軸減速比	0.338	0.321	0.310	0.304		
ロータリ づめ	形状 取り付け方式	なたづめ ホルダ	なたづめ ホルダ	なたづめ ホルダ	なたづめ フランジ	
	回転方向	正転 (ダウンカット)		正転 (ダウンカット)		
	本数	36	40	40	44	
	横方向取付間隔 (mm)	200	50	200	182	
	1回転当たり切削回数	2	1	2	2	
	回転半径 r (mm)	245	245	275	275	
	切削幅 d (mm)	95	46	95	88	
	直刀部みかけ切込角 ¹⁾ γ (°)	34~54	29~47	27~51	33~47	
	わん曲部 みかけ切 削角 ²⁾ (°)	わん曲開始部 α_1 刃先 α_2 概略平均	61 26 44	39 23 31	60 33 47	42 19 31
	わん曲部背角 ³⁾ β (°)	29~64	51~67	30~57	47~71	
	わん曲部屈曲角 δ (°)	120	120	120	120	
	わん曲部切断角 ε (°)	60	45	53	55	
わん曲部曲率半径 e (mm)	120	40	120	60		
固定 刃	本数	4		2		
	幅 × 厚さ (mm)	40×8	なし	40×6	なし	
	作用深さ(耕深 13cm 時) (cm)	5		10		

1) 直刀部開始点からわん曲開始点までの値の範囲

2) 定置回転時の値, 3) わん曲開始点から刃先までの値の範囲

ドドライブ型耕うんロータリを供試した。適応トラクタは 29~40kW で、耕うん幅、定規輪の位置、ロータリづめの回転半径が中型開発機と同じものを選定した (表 3-14)。

2) 大型開発機と大型対照機

大型開発機は乗用トラクタ直装式のサイドドライブ型耕うんロータリで、適用トラクタは 37~44kW である。耕うん幅は 2m で、定規輪は機体前方に取付けられている。ロータリづめは回転半径 275mm のホルダ取付け式で、2回切削式とした (図 3-3, 写真 3-5, 表 3-14)。

大型対照機には、大型の乗用トラクタ用に使われることの多い 2回切削式 (フランジ取付け式) のサイドドライブ型耕うんロータリを供試した。適応トラクタ

は 37~55kW で、耕うん幅、定規輪の位置、ロータリづめの回転半径が大型開発機と同じものを選定した (表 3-14)。

3.3.2 ロータリづめの形状と配列

基礎試験等の結果を踏まえ、開発機のロータリづめを以下のような形状及び配列とした。図 3-4, 図 3-5 に中型開発機と中型対照機のロータリづめ形状とつめ配列を、図 3-6, 図 3-7 に大型開発機と大型対照機のロータリづめ形状を示す。

1) ロータリづめの形状

a) 開発機

開発機では、所要動力の低減をねらい、つめわん曲部曲率半径を一般的なホルダ式市販機の 3~4 倍、一

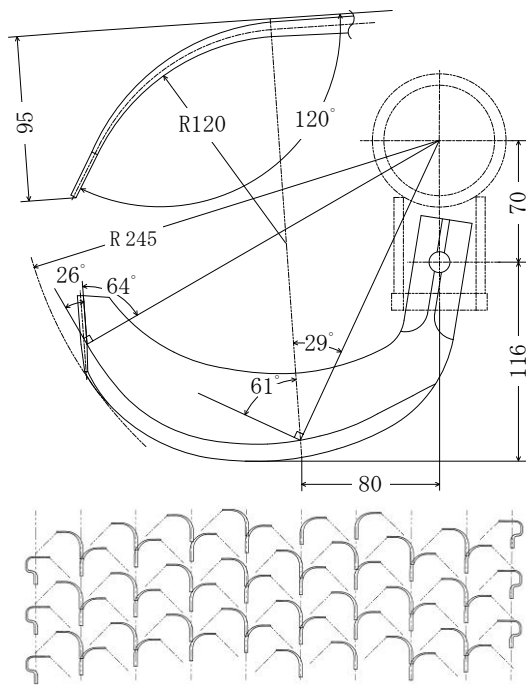


図 3-4 中型開発機のロータリづめと配列

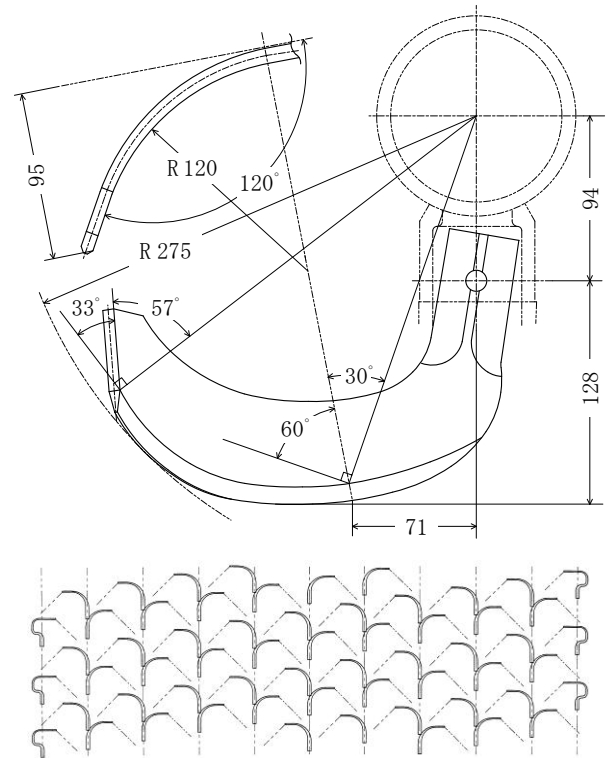


図 3-6 大型開発機のロータリづめと配列

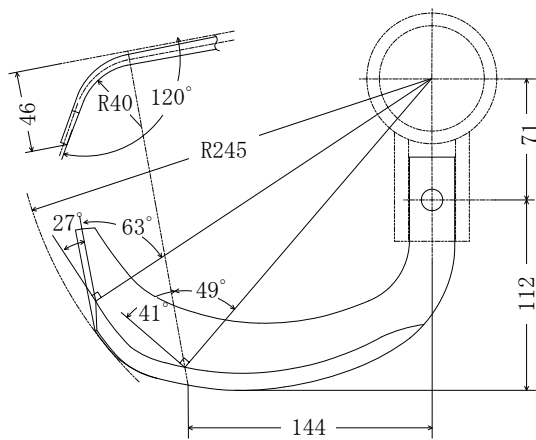


図 3-5 中型対照機のロータリづめ

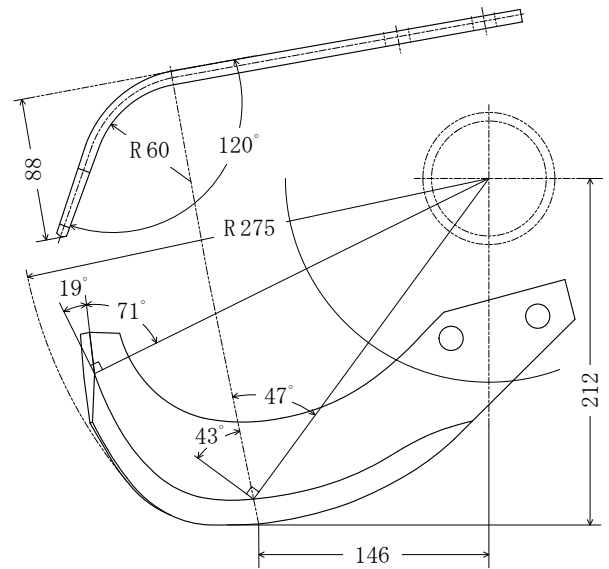


図 3-7 大型対照機のロータリづめ

一般的なフランジ式市販機の約2倍に相当する120mmとした。また、つめ切削幅を一般的なホルダ式市販機の約2倍、一般的なフランジ式市販機の約1.1倍に相当する95mmに拡大した。また、碎土性能や反転性能を向上させるため、わん曲部のみかけ切削角をわん曲開始部で 61° （中型機）及び 60° （大型機）、刃先部で 26° （中型機）及び 33° （大型機）とし、一般的な市販機よりも大きくした（図3-4、図3-6）。直刀部切込角、わん曲部屈曲角、わん曲部切断角は、一般的なフ

ランジ式市販機と同程度とした（表3-14）。

対照機につめに対する開発機につめ寸法の割合は、わん曲部曲率半径が中型機で3倍、大型機で2倍、つめ切削幅が中型機で約2倍、大型機で約1.1倍、わん

曲部の平均みかけ切削角が中型機で約 1.4 倍、大型機で約 1.5 倍である。

b) 対照機

中型対照機にはホルダ式市販機に、大型対照機にはフランジ式市販機にそれぞれ一般的に使われているつめを供試した (図 3-5, 図 3-7, 表 3-14)。

2) ロータリづめの配列

a) 開発機

耕うんトルクの変動を小さくし、耕うん後の土塊の大きさを均一にするには、つめの打込み展開図におけるつめ 1 本ごとの切削面積のばらつきを小さくすることが望ましい^{40) 120)}。開発機のロータリづめは、左向きと右向きのつめを対向して取付け、リード角を中型機で 30° 、大型機で 27° としてそれぞれ二重らせん状 (2 回切削式) に配列し、つめ 1 本当たりの土切削面積が均一になるようにした (図 3-4, 図 3-6)。

図 3-8 に、開発機における対向ロータリづめ先端部の相対位置を示す。所要動力の低減をねらい、開発機ではロータリづめの横方向取付け間隔を、つめ切削幅 95mm の 2 倍以上の 200mm (一般的なフランジ式市販機の約 1.1 倍) にするとともに、対向するロータリづめ先端軌跡の間隔が約 20mm となる配列とした。

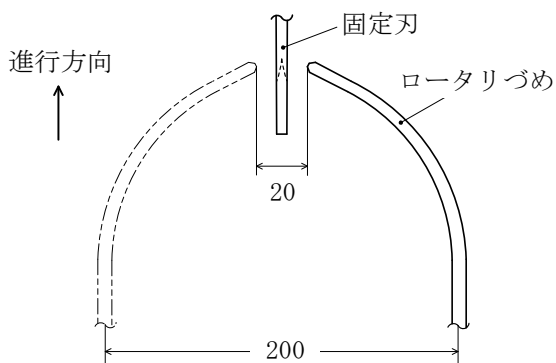


図 3-8 開発機におけるロータリづめ先端部と固定刃との相対位置 (平面図)

b) 対照機

対照機のロータリづめは、中型機では横方向取付け間隔 50mm の左右 3 本対向配列、大型機では横方向取付け間隔 182mm の左右対向らせん配列である。

3.3.3 固定刃

ダウンカットロータリでは、ロータリづめへの耕うん反力により推進力が発生する。この推進力は作業速度が高まるほど大きくなり、硬いほ場ではダッシングが起これ、作業不能となることがある。また、ダッシングにまでは至らなくても、推進力の変動によりトラクタが前方へ押される力が変わるため、トラクタの前後振動が増加することもある。

これらの問題を改善するため、開発機では機体前方へ固定刃を取付けた。固定刃の本数は、軽量のトラクタでダッシングが起これやすいため、中型機では 4 本、大型機では 2 本とし、刃の先端位置を、中型機ではロータリづめ先端軌跡の最下端より約 8 cm 上方、大型機では約 3 cm 上方とした (図 3-2, 図 3-3)。この固定刃は、軟らかいほ場での耕起作業や砕土作業では不要となるため、上方へ格納可能な構造とし、作用させない状態でも作業できるようにした。また、対向するロータリづめ先端軌跡の間隔が約 20mm あるので、その間に固定刃を配置し (図 3-2, 図 3-3, 図 3-8)、ロータリづめの回転により固定刃へのわら等の付着を防ぐ構造とした。

3.3.4 ロータリカバー

高速耕うん時には、単位時間当たりの耕うん土量が多くなり、ロータリカバー内の土の量が増大する。そのため、カバー内で土の持回りが増加し、所要動力増大の一因となる。この問題に対処するため、開発機ではリヤカバーの位置を従来機より 10cm 程度後方に移動し、ロータリづめ後方のカバー内スペースを大きくした。

次に、高速で耕うんを行うと、ほ場表面の凹凸に起因するトラクタとロータリの振動が増加すること、ロータリづめへの耕うん反力が増大することから、ロータリのローリングが大きくなる。そのため、従来のロータリではリヤカバーもロータリ本体とともに揺動して耕うん後の地表面の均平が悪化する傾向があった。この問題を改善するため、リヤカバーを上部と下部に 2 分割し、その間にゴム板を取付けることにより、ロータリ本体がローリングしてもリヤカバーは水平を保つようにした (図 3-2, 図 3-3, 写真 3-4, 写真 3-5)。

また、作業速度が高くなると、耕うん後の土塊をリヤカバーの先端で引きこし、反転性能や均平性能が低下することがある。この問題に対応するため、下部リヤカバーの先端に、着脱可能なレーキ付き整地板を取付けた（図 3-2、図 3-3、写真 3-4、写真 3-5）。

3.4 高速耕うんロータリの作業性能試験

3.4.1 最高作業速度試験

1) 試験の目的

耕うんロータリの作業速度を上げて行くと、所要動力がトラクタの最大出力に近づき、機関回転速度が低下して碎土性能や反転性能などの作業精度が悪化する。また、ロータリづめへの耕うん反力による推進力が増大し、トラクタ車輪の進行増加率が高まって作業が不安定になる。耕起作業時における作業速度とトラクタの機関回転速度及び進行増加率の関係を調査し、開発機の作業可能な最高作業速度を対照機と比較する目的で本試験を行った。

2) 供試機

中型開発機と中型対照機を 39kW（適応トラクタの範囲内）の 4 輪駆動トラクタに、大型開発機と大型

対照機を 39kW 又は 44kW（適応トラクタの範囲内）の 4 輪駆動トラクタに取付けて供試した。所要動力の増加による機関回転速度の低下が現われやすいように、負荷変動があっても機関回転速度を一定に保とうとするトラクタの定回転制御を切って試験した。

3) ほ場条件

中型機では、やや湿潤な（液性指数 0.33）水稲収穫後の未耕起軽埴土水田において、大型機では、広範囲な土壤水分（液性指数 0.08～0.56）の壤土、軽埴土及びシルト質埴土の水稲収穫後の未耕起水田 4 箇所において耕起試験を行った。表 3-15 にほ場条件を示す。

4) 試験方法

隣接する行程間の未耕起部分の幅を 1 m 程度残し、トラクタの機関回転速度を最大にして 1 区当たり約 20m 作業し、作業速度、機関回転速度、進行増加率等を測定した。表 3-16 に作業条件を示す。つめ回転速度（PTO 回転速度）を開発機及び大型対照機では 1 段階、中型対照機では 2 段階に設定し、作業速度を 3～6 段階に変え、各区 2 反復で試験を行った。

表 3-15 最高速度試験のほ場条件

試験番号	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	
供試機	中型機	大型機				
試験年月	1995 年 4 月	1995 年 8 月		1995 年 12 月	1996 年 3 月	
試験場所	埼玉県川里町	高知県香我美町		埼玉県川里町		
履歴（稲わらの状態）	水稲収穫後の未耕起水田（自脱コンバインで切断散布）					
土壌統群	細粒質グライ化灰色低地土	中粒質普通灰色低地土	細粒質普通灰色低地土	細粒質グライ化灰色低地土		
作土の物理性	土性 ¹⁾	軽埴土	壤土（L）	軽埴土	シルト質埴土（SiC）	
	粒径組成 ²⁾ （%）	29, 36, 35, 0	11, 25, 63, 1	30, 44, 26, 0	32, 50, 18, 0	32, 50, 18, 0
	塑性・液性限界（%）	36, 75	20, 41	27, 65	34, 78	30, 73
	含水比（%）	49	28	30	50	54
	液性指数	0.33	0.38	0.08	0.37	0.56
	三相分布 ³⁾ （%）	32, 42, 26	47, 40, 13	45, 37, 18	39, 51, 10	31, 47, 22
	湿潤密度（g/cm ³ ）	1.28	1.82	1.62	1.52	1.34
	乾燥密度（g/cm ³ ）	0.86	1.42	1.26	1.01	0.87
円錐貫入抵抗（MPa）	0.93	0.81	0.71	0.89	1.00	
粘着力（kPa）	34	16	25	44	30	
内部摩擦角（°）	45	31	45	45	38	

1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm，シルト：0.002～0.02mm，砂：0.02～2.0mm，礫：2.0mm～）

2) 同上（左から粘土，シルト，砂，礫の順），3) 左から固相率，水分率，空気率の順

表 3-16 最高速度試験の作業条件

試 験 番 号		D 1	D 2	D 3	D 4	D 5
供 試 機		中型機	大型機			
トラクタ機関出力 (kW)		39	39			44
トラクタ機関定格回転速度 (rpm)		2,600	2,600			2,800
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	開発機	229	210			182
	対照機	217, 256	207			179
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	開発機	0.71~1.01 (4段階)	0.62~1.39 (6段階)	0.62~1.39 (6段階)	0.70~0.89 (3段階)	0.68~1.11 (3段階)
	対照機	0.62~1.01 (3~4段階)	0.49~1.13 (6段階)	0.49~1.39 (6段階)	0.62~0.77 (4段階)	0.34~0.68 (4段階)
試 験 区 数	開発機	4区×2反復	6区×2反復	6区×2反復	3区×2反復	3区×2反復
	対照機	7区×2反復	6区×2反復	6区×2反復	4区×2反復	4区×2反復

1) 機関定格回転時, 2) 機関定格回転・進行増加率 0%時

開発機による作業は、固定刃を作用させて行った。耕深は、12cm を目標に定規輪の高さを調節して設定した。

5) 試験結果と考察

中型機の作業速度と機関回転速度、進行増加率の関係を図 3-9 に、大型機と同関係を図 3-10 及び図 3-11 に示す。ほ場条件のばらつきにより、これらの値の変動が大きかったため、図には近似線を記載した。耕深は、同程度の作業速度の試験区同士で比べると、開発機区、対照区ともほぼ同じであった。

a) 機関回転速度

最大出力付近の高負荷作業において安定した作業が可能でトラクタの機関回転速度の下限は、負荷変動などの作業条件によって異なるため厳密に定義することは難しい。ここでは、トラクタの機関回転速度が定格回転速度の 95% 付近以上であれば安定した作業が可能であると判断し、定格回転速度の 95% の機関回転速度における作業速度を実用的な最高作業速度と見なした。以下、この最高作業速度を基準に考察を進める。

(1) 中型機におけるトラクタ機関回転速度

開発機が 2 回切削式であるのに対し、対照機が 1 回切削式である中型機では、つめ回転速度 210rpm 程度での作業において、作業速度 0.75m/s 以上で対照機の耕うんピッチが 200mm を越え、耕盤の均平や碎土性能に問題があった。そのため、PTO 速度段を高速にした対照機との比較が妥当と思われた。つめ回転速度が

開発機より約 15% 高い対照機の軽埴土水田での最高作業速度は、供試トラクタが適応トラクタの上限付近の機関出力であったにもかかわらず 0.6m/s 程度であった。これに対し、開発機の最高作業速度は 0.85m/s 程度で、対照機より約 40% 高かった (図 3-9)。

対照機に供試した 1 回切削式の耕うんロータリは、PTO 速度段 2 速以下の作業では、高速作業を行うと

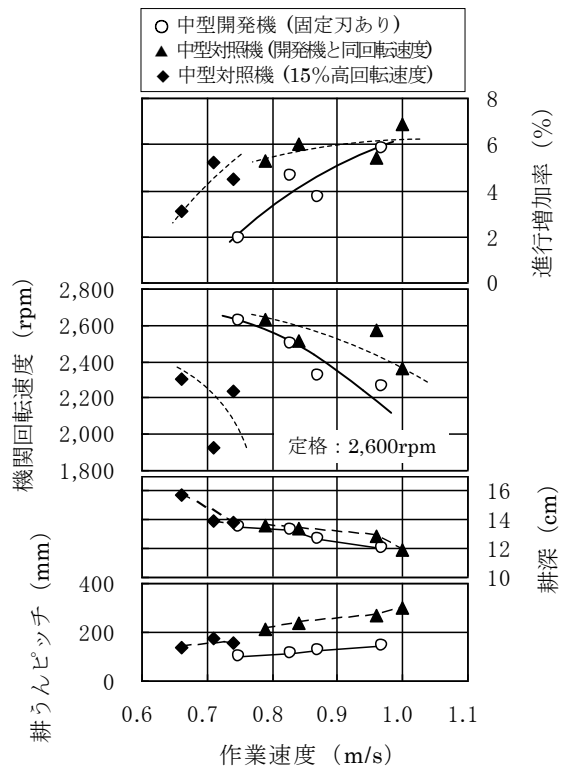


図 3-9 軽埴土水田における中型機の作業速度と機関回転速度及び進行増加率との関係 (試験番号 D 1)

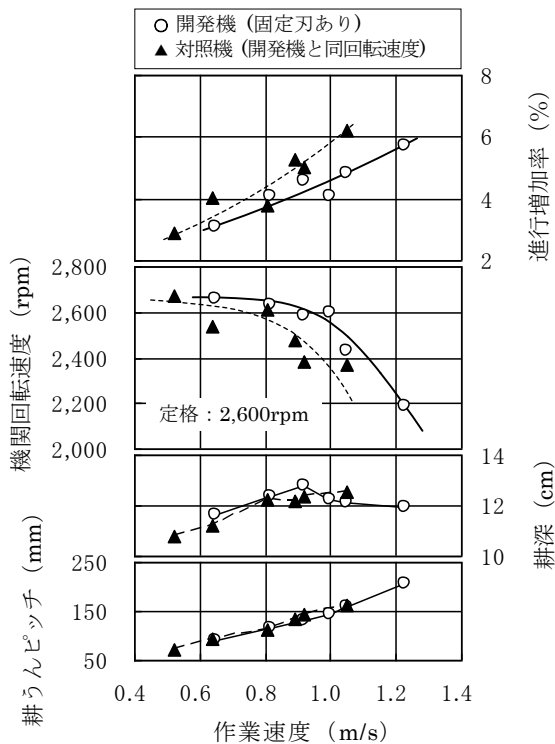


図 3-10 壤土及び軽埴土水田における大型機の作業速度と機関回転速度及び進行増加率との関係 (試験番号D 2 及びD 3 の平均)

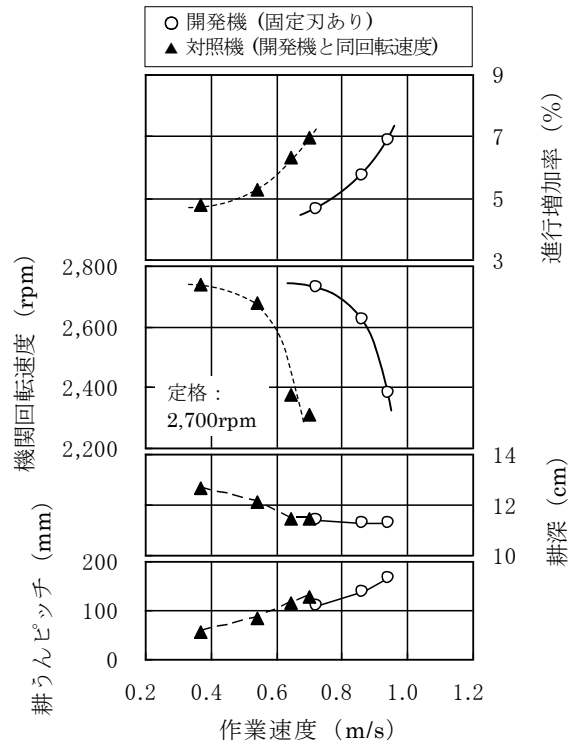


図 3-11 シルト質埴土水田における大型機の作業速度と機関回転速度及び進行増加率との関係 (試験番号D 4 及びD 5 の平均)

前述したような作業精度面の問題が出てくる。この問題を避けるには、PTO速度段を3速以上にしなければならないが、つめ回転速度の増大により所要動力の増加が避けられない。このような特性を持つ1回切削式の耕うんロータリは、高速作業への適応性が低いと言える。

(2) 大型機におけるトラクタ機関回転速度

開発機、対照機ともに2回切削式の大型機では、同じつめ回転速度で比較を行った。壤土水田と軽埴土水田での結果を平均すると、大型機の最高作業速度は、対照機で0.95m/s程度であったのに対し、開発機では1.1m/s程度と約15%高かった(図3-10)。また、より所要動力が大きかったシルト質埴土ほ場では、D4試験における供試トラクタが適応トラクタの下限付近の機関出力であったこともあり、対照機の最高作業速度は0.65m/s程度であった。これに対し、開発機の最高作業速度は0.9m/s程度であり、対照機より約40%高かった(図3-11)。このような結果が得られたのは、

つめ形状やつめ配列などの変更により、開発機の所要動力が低減されたためである。

b) 進行増加率

(1) 中型機の進行増加率

中型機では、作業速度1m/s付近の同じ回転速度の対照機は、進行増加率が開発機と同程度であったが、それ以外の試験区では開発機の方が進行増加率が低かった(図3-9)。これは、開発機において、固定刃のけん引抵抗が推進力を相殺したこと、つめわん曲部の曲率半径を大きくして平均切削半径を減少させるとともに、相対するつめの先端に間隙を設け単位幅当たりの切削抵抗を下げたことにより推進力が低下したことが原因と考えられる。

(2) 大型機の進行増加率

大型機の進行増加率は、壤土及び軽埴土水田では1m/s以上の高速域で、シルト質埴土水田では0.7m/s程度の作業速度域でも開発機の方が低い傾向があった(図3-10, 図3-11)。これは、開発機において固定刃

の新設でけん引抵抗が付加されたこと、つめわん曲部の曲率半径を大きくして平均切削半径を減少させたこと、相対するつめの先端に間隙を設け単位幅当たりの切削抵抗を下げたことが原因と考えられる。また、ほ場別に見ると、壤土や軽埴土水田 (図 3-10) に比べ、土壌の粘着力や貫入抵抗の大きなシルト質埴土水田 (図 3-11) で、開発機と対照機の進行増加率の差が大きかった。なお、固定刃の有無による推進力の比較は 3.4.2 の「動力・作業精度試験」で行った。

3.4.2 動力・作業精度試験

1) 試験の目的

3.4.1 の「最高作業速度試験」において、作業速度と機関回転速度、進行増加率の関係を調査したが、これらの測定だけでは所要動力や推進力がどの程度であるかはわからない。また、開発目標に掲げた「作業精度を維持しつつ、所要動力を低下させる」ことができたかを確認するには、作業精度の測定が必要となる。そこで、耕起作業時における作業速度と PTO 比動力や比推進力、砕土性能、稲株埋没性能、均平性能など

の関係を調査し、開発機の所要動力や作業精度を対照機と比較する目的で本試験を行った。

2) 供試機

中型開発機と中型対照機を 44, 52 又は 53kW の 4 輪駆動トラクタに、大型開発機と大型対照機を 52 又は 53kW の 4 輪駆動トラクタに取付けて供試した。供試トラクタには、高速作業時のトラクタ機関回転速度の低下をできるだけ抑制するために、適応トラクタより大型のトラクタを使用し、トラクタの定回転制御を作動させて作業を行った。

3) ほ場条件

中型機では、広範な水分条件 (液性指数 0.00~0.57) であった壤土、埴壤土、軽埴土及びシルト質埴土の水稲収穫後未耕起水田 7 箇所において、大型機では、やや湿潤~湿潤 (液性指数 0.25~0.44) な壤土、埴壤土、軽埴土及びシルト質埴土の水稲収穫後未耕起水田 5 箇所において耕起試験を行った。表 3-17 に中型機の、表 3-18 に大型機のほ場条件を示す。

表 3-17 中型機の動力・作業精度試験のほ場条件

試験番号	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	
試験年月	1994年12月	1995年4月	1995年8月		1995年4月	1994年12月	1995年12月	
試験場所	滋賀県安土町	新潟県長岡市	高知県香我美町		埼玉県川里町			
履歴 (稲わらの状態)	水稲収穫後の未耕起水田 (自脱コンバインで切断散布)							
稲株刈高さ (cm)	5~10	5~10	5~10		5~10	5~10	5~10	
ひこばえ高さ (cm)	約 30	なし	約 25		約 20	なし	約 15	
土壌統群	粗粒質表層灰色グライ低地土	細粒質還元型グライ低地土	細粒質普通灰色低地土		細粒質グライ化灰色低地土			
作土の物理性	土性 ¹⁾	壤土 (L)	埴壤土 (CL)	埴壤土 (CL)	軽埴土 (LiC)	軽埴土 (LiC)	シルト質埴土 (SiC)	
	粒径組成 ²⁾ (%)	14, 24, 58, 4	20, 36, 40, 4	20, 30, 46, 4	25, 32, 35, 8	28, 33, 39, 0	27, 49, 24, 0	28, 50, 22, 0
	塑性・液性限界 (%)	26, 58	43, 112	23, 50	28, 64	36, 75	33, 73	31, 74
	含水比 (%)	39	82	30	28	55	49	47
	液性指数	0.41	0.57	0.25	0.00	0.49	0.42	0.38
	三相分布 ³⁾ (%)	40, 42, 18	31, 62, 7	40, 34, 26	44, 33, 23	36, 51, 13	38, 49, 13	43, 52, 5
	湿潤密度 (g/cm ³)	1.50	1.38	1.51	1.51	1.44	1.49	1.64
	乾燥密度 (g/cm ³)	1.08	0.76	1.17	1.18	0.93	1.00	1.11
	円錐貫入抵抗 (MPa)	0.74	0.30	0.81	0.40	0.67	0.60	0.84
粘着力 (kPa)	45	20	20	16	34	28	65	
内部摩擦角 (°)	35	24	32	26	45	33	67	

1) 国際土壌学会法 (粘土: ~0.002mm, シルト: 0.002~0.02mm, 砂: 0.02~2.0mm, 礫: 2.0mm~)

2) 同上 (左から粘土, シルト, 砂, 礫の順), 3) 左から固相率, 水分率, 空気率の順

表 3-18 大型機の動力・作業精度試験のほ場条件

試験番号	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	
試験年月	1995年8月		1995年11月	1995年12月	1996年3月	
試験場所	高知県香我美町		滋賀県安土町	埼玉県川里町		
履歴（稲わらの状態）	水稻収穫後の未耕起水田（自脱コンバインで切断散布）					
稲株刈高さ（cm）	5～10		5～10	5～15		
ひこばえ高さ（cm）	約25		約20	なし		
土壌統群	細粒質普通灰色低地土		粗粒質表層灰色 グライ低地土	細粒質グライ化灰色低地土		
作土の 物理性	土性 ¹⁾	埴壤土（CL）	軽埴土（LiC）	壤土（L）	シルト質埴土（SiC）	
	粒径組成 ²⁾ （%）	20, 30, 46, 4	28, 39, 31, 2	14, 24, 58, 4	28, 50, 22, 0	35, 46, 19, 0
	塑性・液性限界（%）	23, 50	24, 56	26, 57	31, 74	31, 72
	含水比（%）	30	33	39	50	49
	液性指数	0.25	0.28	0.42	0.43	0.44
	三相分布 ³⁾ （%）	40, 34, 26	39, 37, 24	38, 40, 22	41, 52, 7	39, 51, 10
	湿潤密度（g/cm ³ ）	1.51	1.50	1.41	1.57	1.58
	乾燥密度（g/cm ³ ）	1.17	1.13	1.02	1.05	1.04
	円錐貫入抵抗（MPa）	0.81	0.76	0.47	0.93	1.16
	粘着力（kPa）	20	13	17	68	55
内部摩擦角（°）	32	26	54	53	35	

1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm, シルト：0.002～0.02mm, 砂：0.02～2.0mm, 礫：2.0mm～）

2) 同上（左から粘土, シルト, 砂, 礫の順）, 3) 左から固相率, 水分率, 空気率の順

4) 試験方法

隣接する行程間の未耕起部分の幅を1m程度残し、トラクタの機関回転速度を最大にして1区当たり約20m作業し、作業速度、PTO動力、推進力、碎土性能、反転性能、均平性能等を測定した。表3-19に中型機の、表3-20に大型機の作業条件を示す。つめ回転速度（PTO回転速度）は、開発機及び大型対照機では1段階、中型対照機では2段階に設定し、作業速度を2～4段階に変えて各区2反復で試験を行った。

開発機では、固定刃を作用させた区とさせない区を設けた。耕深は、12cmを目標に定規輪の高さを調節して設定した。

5) 試験結果と考察

3.4.1の「最高速度試験」で報告したように、1回切削式の中型対照機では、耕うんピッチの増大による耕盤の均平や碎土性能の低下を防ぐため、高速域ではPTO速度段を高速にして作業する必要があった。

表 3-19 中型機の動力・作業精度試験の作業条件

試験番号	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	
トラクタ機関出力（kW）	44		53		52			
トラクタ機関定格回転速度（rpm）	2,600		2,500		2,200			
設定つめ回転速度 ¹⁾ （rpm）	開発機	270	229	262		295		
	対照機	256, 324	217, 324	249, 424		280, 375		
設定作業速度 ²⁾ （m/s）	開発機	1.01～1.39 （2段階）	0.86	0.62～1.20 （4段階）	0.62～1.20 （4段階）	0.86	0.70～1.17 （3段階）	0.48～0.70 （3段階）
	対照機	0.70～1.01 （2段階）	0.86	0.49～1.20 （3段階）	0.49～1.20 （3段階）	0.86	0.59～0.97 （2段階）	0.48～0.70 （3段階）
試験区数	開発機	2区×2	1区×2	4区×2	4区×2	1区×2	3区×2	3区×2
	対照機	4区×2	1区×2	6区×2	6区×2	1区×2	4区×2	6区×2

1) 機関定格回転時, 2) 機関定格回転・進行増加率0%時

表 3-20 大型機の動力・作業精度試験の作業条件

試 験 番 号	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	
トラクタ機関出力 (kW)	53				52	
トラクタ機関定格回転速度 (rpm)	2,500				2,200	
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	開発機	240			200	
	対照機	235			196	
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	開発機	0.78~1.51 (4段階)	0.78~1.51 (4段階)	0.78~1.51 (4段階)	0.38~0.78 (4段階)	0.59~0.86 (3段階)
	対照機	0.62~1.20 (4段階)	0.62~1.20 (4段階)	0.62~1.20 (4段階)	0.38~0.78 (4段階)	0.48~0.70 (3段階)
試 験 区 数	各 4 区×2	各 4 区×2	各 4 区×2	各 4 区×2	各 3 区×2	

1) 機関定格回転時, 2) 機関定格回転・進行増加率 0%時

そのため, 中型機では, P T O速度段が 1~2 段高速の対照機と比較した結果を中心に報告する。図 3-12 に, P T O速度段が 1~2 段高速で, 作業速度段が同

じ対照機に対する中型開発機の作業精度と動力等の比を, 図 3-13 に, P T O速度段が 1~2 段高速で, 作業速度段が 1 段低速の対照機に対する中型開発機の作業

項 目	開発機		対照機
	固定刃あり	固定刃なし	
平均作業速度 (m/s)	0.78	0.77	0.78
平均つめ回転速度 (rpm)	278	272	352
平均耕うんピッチ (mm)	86	86	136
平均耕深 (cm)	11.4	12.1	11.4

上: 固定刃あり * 危険率 5% で対照機と有意差あり
下: 固定刃なし ** 危険率 1% で対照機と有意差あり

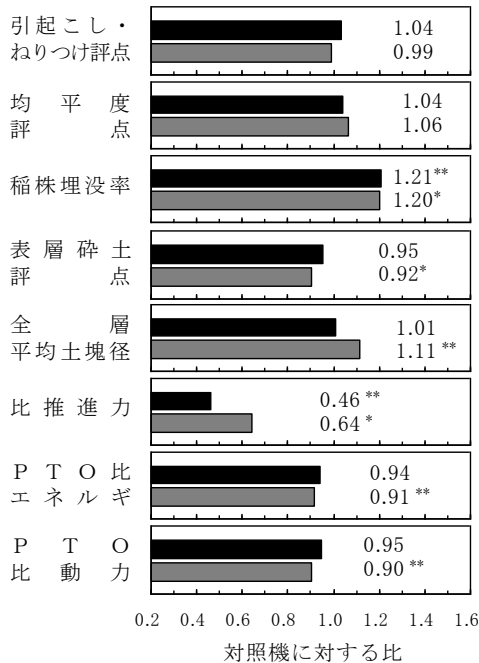


図 3-12 つめ回転速度が 1 段又は 2 段高速, 作業速度段が同速の対照機に対する中型開発機の作業精度と動力等の比 (全ほ場・全試験区の平均)

項 目	開発機		対照機
	固定刃あり	固定刃なし	
平均作業速度 (m/s)	0.84	0.80	0.74
平均つめ回転速度 (rpm)	259	251	349
平均耕うんピッチ (mm)	101	101	130
平均耕深 (cm)	11.0	11.9	11.0

上: 固定刃あり * 危険率 5% で対照機と有意差あり
下: 固定刃なし ** 危険率 1% で対照機と有意差あり

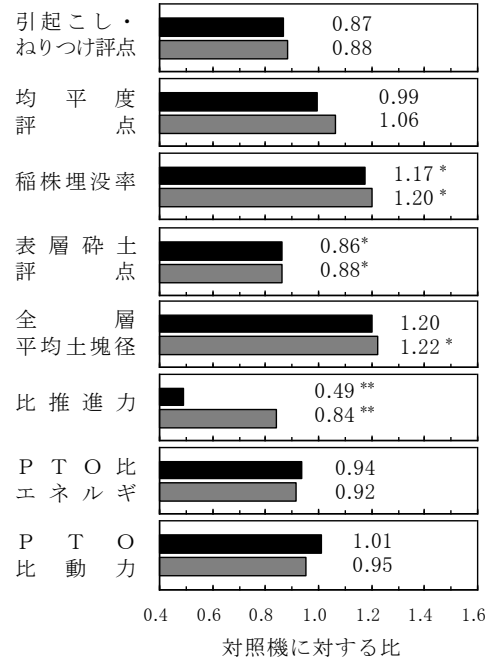


図 3-13 つめ回転速度が 1 段又は 2 段高速, 作業速度段が 1 段低速の対照機に対する中型開発機の作業精度と動力等の比 (全ほ場・全試験区の平均)

精度と動力等の比を、全ほ場の試験結果を平均して示す。平均耕深は、開発機区、対照区ともに 11~12cm であった。

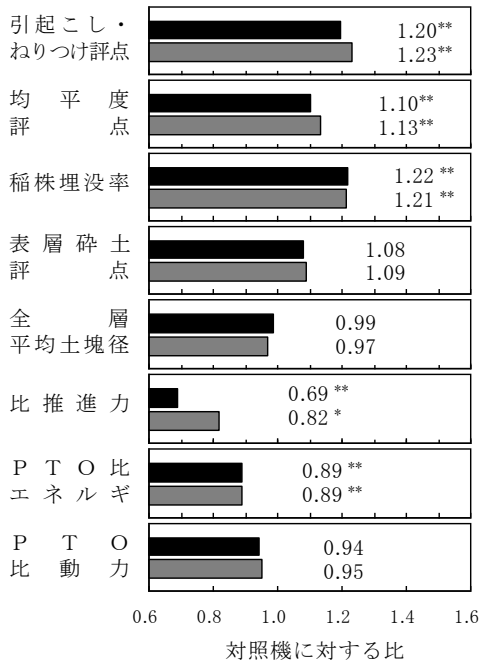
開発機、対照機ともに 2 回切削式の大型機では、同じつめ回転速度で比較を行った。図 3-14 に、P T O 速度段及び作業速度段が同じ対照機に対する大型開発機の作業精度と動力等の比を、図 3-15 に、P T O 速度段が同じで、作業速度が 1 段低速の対照機に対する大型開発機の作業精度と動力等の比を、全ほ場の高速域での試験結果を平均して示す。平均耕深は、開発機区、対照区ともに約 12cm であった。

a) 所要動力と所要エネルギー

(1) 中型機の所要動力と所要エネルギー

項 目	開発機		対照機
	固定刃あり	固定刃なし	
平均作業速度 (m/s)	0.94	0.94	0.88
平均つめ回転速度 (rpm)	222	223	204
平均耕うんピッチ (mm)	126	126	129
平均耕深 (cm)	11.9	12.0	12.0

上：固定刃あり
下：固定刃なし
* 危険率 5% で対照機と有意差あり
** 危険率 1% で対照機と有意差あり



シルト質埴土ほ場は 0.6m/s 以上、その他ほ場は 1.0m/s 以上の作業速度の区を集計

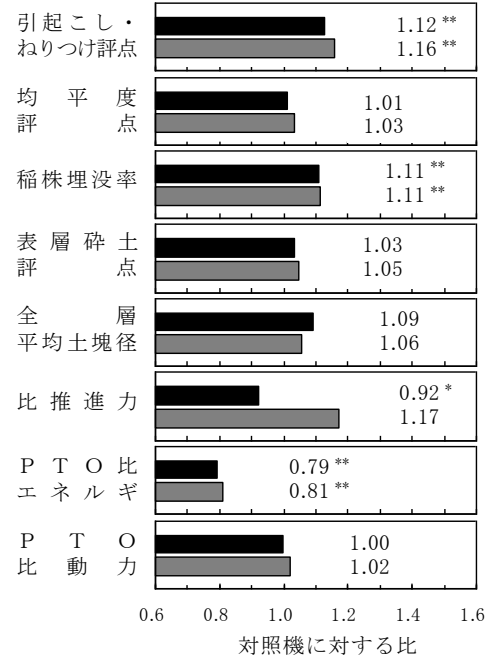
図 3-14 つめ回転速度及び作業速度段が同速の対照機に対する大型開発機の作業精度と動力等の比 (全ほ場の高速区の平均)

全試験区を平均すると、つめ回転速度が 28% 高く作業速度段が同じ中型対照機に比べ、中型開発機の P T O 比動力は約 5~10% 少なかった (図 3-12)。また、作業速度が 1 段低速の対照機に比べても、開発機の P T O 比動力は 5% 減~同程度であった (図 3-13)。固定刃を作用させた時の開発機の P T O 比動力は、作用させない時より約 5% 高い傾向があった (図 3-12)。

耕うんロータリの所要動力は土壌の種類^{91) 112)} や土壌水分^{80) 94)} などにより大きく異なることが知られている。作業速度 0.88~0.98m/s 時における開発機の P T O 比動力を供試ほ場別に図 3-16 に示すが、P T O 比動力は、粘着力が大きくモンモリロナイト系の粘土を含む埼玉の軽埴土水田やシルト質埴土水田では高く、

項 目	開発機		対照機
	固定刃あり	固定刃なし	
平均作業速度 (m/s)	1.05	1.05	0.83
平均つめ回転速度 (rpm)	218	217	212
平均耕うんピッチ (mm)	145	145	117
平均耕深 (cm)	12.0	12.0	12.0

上：固定刃あり
下：固定刃なし
* 危険率 5% で対照機と有意差あり
** 危険率 1% で対照機と有意差あり



シルト質埴土ほ場は 0.6m/s 以上、その他ほ場は 1.0m/s 以上の作業速度の区を集計

図 3-15 つめ回転速度が同速、作業速度段が 1 段低速の対照機に対する大型開発機の作業精度と動力等の比 (全ほ場の高速区の平均)

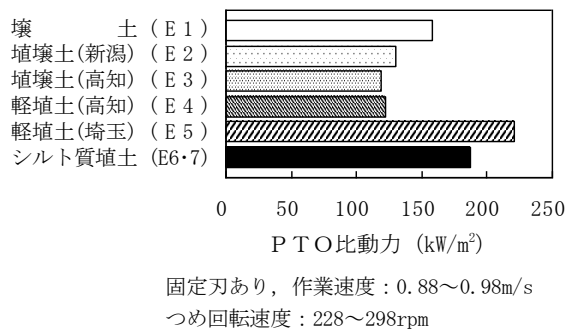


図 3-16 供試ほ場別の中型開発機の所要動力

粘着力の小さな埴壤土水田や高知の軽埴土水田では低かった。この結果をもとに、PTO比動力が低かった高知の埴壤土及び軽埴土水田での作業速度と所要動力等の関係(2ほ場の平均値)を図 3-17 に、PTO比動力が高かったシルト質埴土水田での作業速度と所要動力等の関係を図 3-18 に示す。

高知の埴壤土及び軽埴土水田における開発機の固定

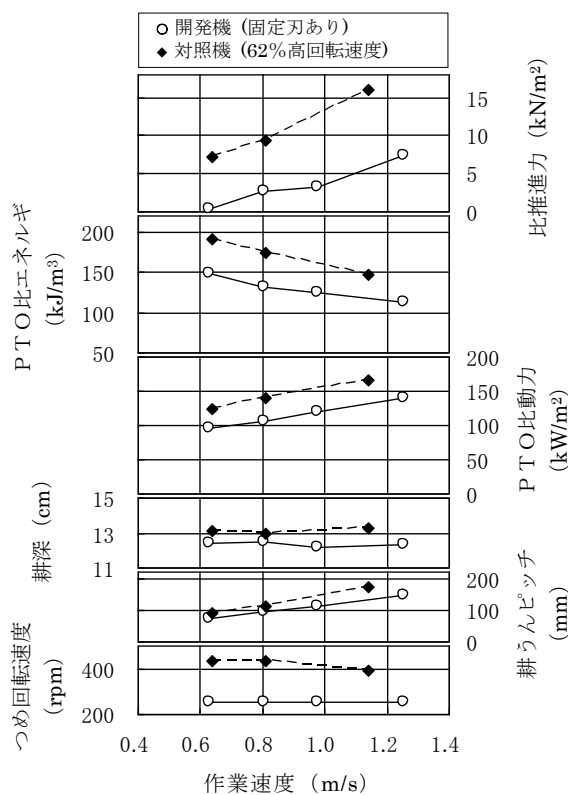


図 3-17 埴壤土及び軽埴土水田 (試験番号E 3, E 4) における中型機の作業速度と所要動力等との関係 (2ほ場の平均値)

刃作用時の P T O比動力は 96~121kW/m² であり、つめ回転速度が 62%高い同じ作業速度段の対照機に比べ約 25%低く、作業速度段が 2 段低速の対照機と同程度であった。また、シルト質埴土水田における開発機の P T O比動力は、固定刃ありで 216~253kW/m²、固定刃なしで 190~229kW/m² であり、つめ回転速度が 27%高い同じ作業速度段の対照機に比べ、固定刃ありで約 5%、固定刃なしで約 15%それぞれ低く、作業速度段が 1 段低速の対照機と同程度であった (図 3-17, 図 3-18)。

PTO比エネルギーは、高知の埴壤土及び軽埴土水田の固定刃ありで 113~149kJ/m³、シルト質埴土水田の固定刃ありで 357~436kJ/m³、固定刃なしで 326~380kJ/m³ であった (図 3-17, 図 3-18)。

(2) 大型機の所要動力と所要エネルギー

全ほ場における高速域での結果を平均すると、つめ回転速度 (PTO速度段) と作業速度段が同じ大型対照機に比べ、大型開発機の P T O比動力は約 5%, P

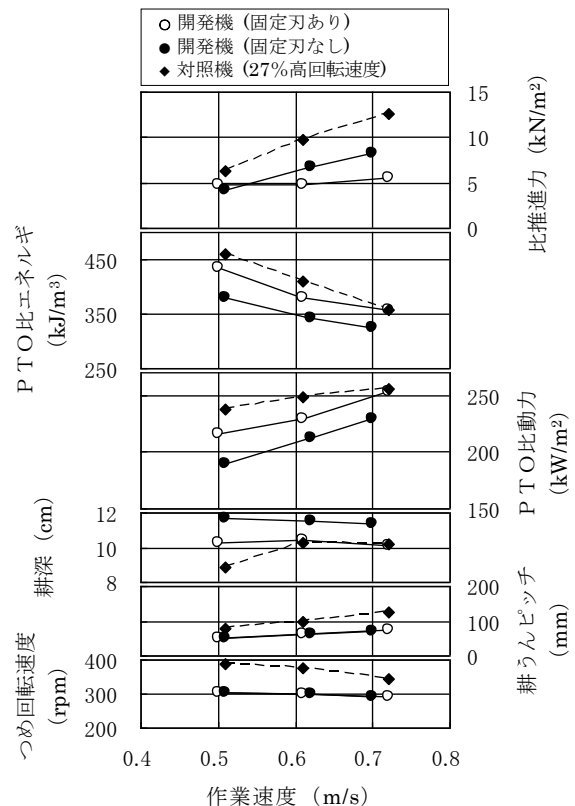


図 3-18 シルト質埴土水田 (試験番号E 7) における中型機の作業速度と所要動力等との関係

TO比エネルギーは約10%少なかった(図3-14)。PTO比動力に比べ、PTO比エネルギーの低減割合が高かったのは、対照機の高速区において機関回転速度が低下し、開発機に比べ作業速度が低かったためである。また、作業速度が1段低速の対照機に比べても、開発機のPTO比動力は同程度であった(図3-15)。固定刃を作用させた時の開発機のPTO比動力は、作用させない時と同程度であった(図3-14)。

作業速度0.82~0.87m/s時における開発機のPTO比動力と比推進力を供試ほ場別に図3-19に示すが、貫入抵抗や粘着力の大きいシルト質埴土水田では、他のほ場に比べPTO比動力や比推進力が高かった。そのため、他のほ場では1.3m/s以上の速度まで作業できたが、シルト質埴土水田では0.85m/s程度までしか試験できなかった。この結果をもとに、図3-20に埴土、埴壤土及び軽埴土水田における作業速度と所要動力等の関係(3ほ場の平均値)を、図3-21にシルト

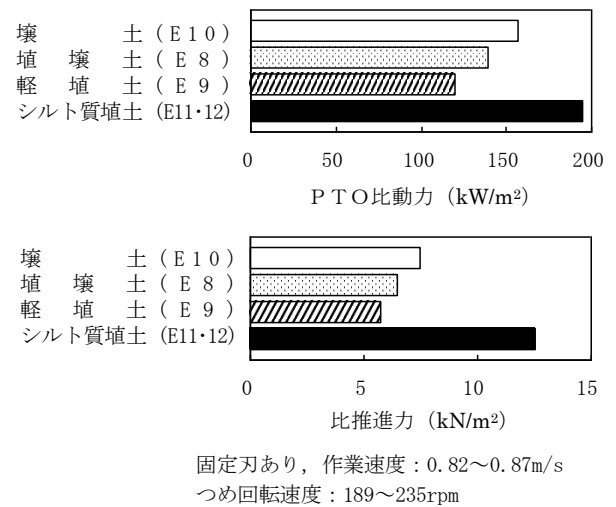


図3-19 供試ほ場別の大型開発機の所要動力と推進力

質埴土水田における作業速度と所要動力等の関係(2ほ場の平均値)を示す。埴土、埴壤土及び軽埴土水田

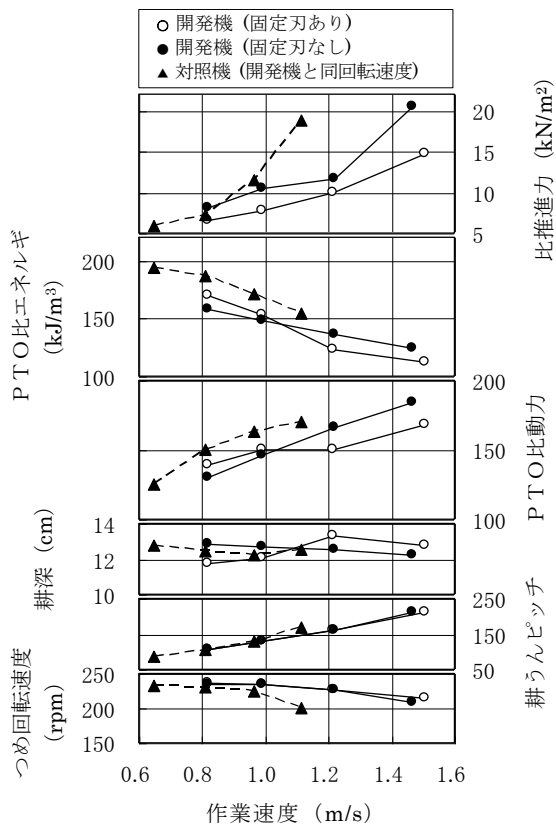


図3-20 埴土、埴壤土及び軽埴土水田(試験番号E8~E10)における大型機の作業速度と所要動力等との関係(3ほ場の平均値)

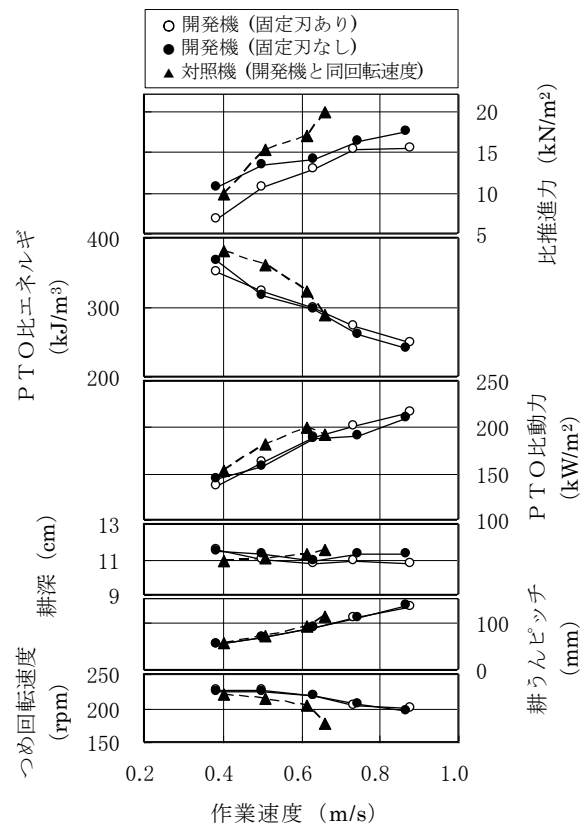


図3-21 シルト質埴土水田(試験番号E11, E12)における大型機の作業速度と所要動力等との関係(2ほ場の平均値)

における開発機の P T O 比動力は、固定刃ありで 139～168kW/m²、固定刃なしで 130～184kW/m² であり、同じ作業速度で比べると対照機より約 10% 低く、1 段低速の対照機に比べても同程度であった。シルト質埴土水田における開発機の P T O 比動力は、固定刃ありで 136～216kW/m²、固定刃なしで 143～210kW/m² であり、同じ作業速度で比べると対照機より約 10% 低かった (図 3-20, 図 3-21)。

P T O 比エネルギーは、埴土、埴壤土及び軽埴土水田の固定刃ありで 112～169kJ/m³、固定刃なしで 124～157kJ/m³、シルト質埴土水田の固定刃ありで 249～350kJ/m³、固定刃なしで 240～367kJ/m³ であった (図 3-20, 図 3-21)。

(3) 所要動力と所要エネルギーの考察

開発機の P T O 比動力が対照機より低かったのは、つめの切削幅と横方向取付け間隔の拡大、対向するつめの先端を開けた配列、つめわん曲部曲率半径の増大、つめ後方のロータリカバー内スペースの拡大等による複合的な効果のためと思われる。固定刃を作用させた時の中型開発機の P T O 比動力が、作用させない時より高い傾向があったのは、固定刃を 4 本持つ中型開発機では固定刃の土壤破碎作用により土塊が細かくなり (図 3-12)、土壤の持ち回りの増加などによって動力が高まったためと推定される。一方、大型開発機の P T O 比動力が固定刃の有無によらず同程度であった (図 3-14) のは、大型開発機の固定刃が 2 本であるため、固定刃による土壤の破碎作用が小さかったためと思われる。しかし、固定刃ありとなしで差が見られた中型開発機においてもそれらの差は 5% 程度と小さく、耕うんロータリの前方に垂直固定刃を 10cm 間隔で取付け、ロータリ耕後にローラ鎮圧したほ場で行った研究⁴³⁾ (ロータリ軸トルクを、固定刃なしに比べ 50～60% に低減) のような大幅な動力の軽減は、比較的湿潤な未耕起水田では期待できないものと思われる。なお、大型対照機の最高速区で比動力と比エネルギーが低かった (図 3-21) のは、過負荷でつめ回転速度が下がり、切削抵抗が減少したためと考えられる。

b) 推進力

(1) 中型機の推進力

埴土、埴壤土及び高知の軽埴土水田における中型機

の推進力 (耕深 12cm 換算値) は、作業速度 1.0～1.25m/s の固定刃作用時の開発機で -0.4～1.8kN、同じ作業速度の固定刃非作用時の開発機で 1.2～1.9kN、開発機より約 60% 高速回転させた作業速度 1.0～1.2m/s の対照機で 1.9～4.1kN であった。また、シルト質埴土水田における中型機の推進力 (同上換算値) は、作業速度 0.6～0.7m/s の固定刃作用時の開発機で 1.0～1.2kN、同じ作業速度の固定刃非作用時の開発機で 1.8～2.0kN、開発機より約 30% 高速回転させた作業速度 0.6m/s の対照機で 2.7kN であった。図 3-22 に、中型対照機の推進力が最も大きかった試験例を示す。

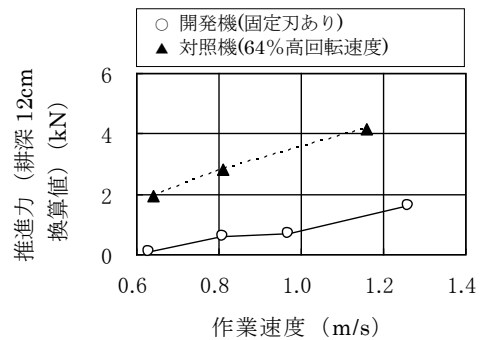


図 3-22 軽埴土水田 (試験番号 E 4) における中型機の作業速度と推進力との関係

全試験区を平均した中型開発機の比推進力は、つめ回転速度が 28% 高く作業速度段が同じ中型対照機に比べ、固定刃ありで約 55%、固定刃なしで約 35% 少なかった (図 3-12)。また、作業速度が 1 段低速の対照機に比べても、開発機の比推進力は、固定刃ありで約 50%、固定刃なしで約 15% 少なかった (図 3-13)。

高知の埴壤土及び軽埴土水田では、つめ回転速度が高い同じ作業速度段の対照機に比べ、固定刃あり時の開発機の比推進力は 60～80% 少なく、作業速度段が 3 段低速の対照機と同程度であった (図 3-17)。また、シルト質埴土水田では、つめ回転速度が 27% 高い同じ作業速度段の対照機に比べ、開発機の比推進力は固定刃ありで 20～50%、固定刃なしで 20～35% それぞれ低く、前者では作業速度段が 2 段低速の対照機と、後者では作業速度段が 1 段低速の対照機とそれぞれ同程度であった (図 3-18)。

(2) 大型機の推進力

壤土、埴壤土及び軽埴土水田における大型機の推進力（耕深 12cm 換算値）は、作業速度 1.0～1.6m/s の固定刃作用時の開発機で 1.4～4.1kN、同じ作業速度の固定刃非作用時の開発機で 2.1～5.1kN、作業速度 1.0～1.2m/s の開発機と同じ回転速度の対照機で 2.5～5.5kN であった。また、シルト質埴土水田における大型機の推進力（同上）は、作業速度 0.6～0.9m/s の固定刃作用時の開発機で 2.7～4.5kN、同じ作業速度の固定刃非作用時の開発機で 2.4～5.4kN、開発機と同じ回転速度の作業速度 0.6～0.75m/s の対照機で 3.7～5.2kN であった。図 3-23 に、大型対照機の推進力が最も大きかった試験例を示す。

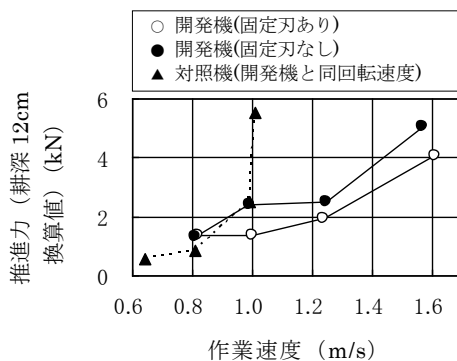


図 3-23 軽埴土水田（試験番号E9）における大型機の作業速度と推進力との関係

全ほ場における高速域での結果を平均すると、つめ回転速度（PTO速度段）と作業速度段が同じ大型対照機に比べ、大型開発機の比推進力は、固定刃ありで約 30%、固定刃なしで約 20%小さかった（図 3-14）。また、作業速度が 1 段低速の対照機と比較した開発機の比推進力は、固定刃ありでは約 10%小さかったが、固定刃なしでは約 15%大きかった（図 3-15）。

シルト質埴土水田、その他水田とも、作業速度の上昇に伴い対照機の比推進力は上昇したが、開発機の比推進力はさほど上昇せず、固定刃なしでも作業速度段が 1 段低速の対照機と同程度であった。固定刃作用時の開発機の比推進力は、作業速度段が 2 段低速の対照機と同程度であった（図 3-20、図 3-21）。固定刃作用時の比推進力は、土壌水分の低い（液性指数 0.25、

0.28）埴壤土及び軽埴土水田では非作用時より 25～30%低かったのに対し、高水分（液性指数 0.43、0.44）で粘土含量の高いシルト質埴土水田では非作用時より 10%程度低いだけであった。この結果から、固定刃の推進力低減効果は低水分の中粗粒質土壌で高いことがわかった。

(3) 推進力の考察

本試験では、過負荷による機関回転速度の低下を抑制する目的で、適応トラクタより大型のトラクタを使用したため、ダッシングが発生することはなかった。しかし、中型対照機では最大推進力が 4.1kN（図 3-22）であったことから、適応トラクタの下限に近い質量約 1.6t の 30kW 級トラクタで作業した場合には、けん引係数が 0.25 程度以下の土壌条件でダッシングが発生する可能性がある。同様に、大型対照機では最大推進力が 5.5kN（図 3-23）であったことから、適応トラクタの下限に近い質量約 2t の 40kW 級トラクタで作業した場合には、けん引係数が 0.3 程度以下の土壌条件でダッシングが発生する可能性がある。これに対し、開発機の推進力は対照機より 20～55%低かったため、ダッシングの恐れは少ないと思われる。

固定刃を作用させなくても推進力を低減できたのは、1 本づめによる試験⁸²⁾で明らかにされているように、つめわん曲部曲率半径の増大によるわん曲部平均切削半径の減少等により、ロータリづめへの耕うん反力が減少したことが原因と考えられる。固定刃作用時に推進力をさらに低減できたのは、固定刃によるけん引抵抗が加わり、推進力を相殺したためである。また、固定刃非作用時に対する固定刃作用時の推進力の割合が、大型開発機に比べ中型開発機で高かったのは、固定刃の本数が大型開発機では 2 本であったのに対し、中型開発機では 4 本であったためである。

c) 碎土性能

(1) 中型機の碎土性能

全試験区を平均すると、つめ回転速度が 28%高く作業速度段が同じ中型対照機に比べ、中型開発機の全層平均土塊径は同程度～10%程度大きく、表層碎土の評点は 10%程度低かった（図 3-12）。また、作業速度が 1 段低速の対照機に比べると、全層平均土塊径は約 20%大きく、表層碎土の評点は約 20%低かった（図

3-13)。開発機の固定刃作用時と非作用時を比べると、固定刃作用時の方が全層平均土塊径が約 10%小さく、砕土性能がやや良好であった (図 3-12)。

耕うんロータリの砕土性能等の作業精度も、土性等の土壌の種類^{22) 79)}、土壌の水分^{23) 24) 80) 94)}及びその他の物理性^{22) 27) 63)}により大きく異なる。供試ほ場別の中型開発機の全層平均土塊径、稲株埋没率及び均平度を図 3-24 に示す。全層平均土塊径は、液性指数が高く、モンモリロナイト系の粘土を含むシルト質埴土水田と埼玉の軽埴土水田、及び新潟の埴土水田で大きく、液性指数の低い高知の埴土水田や軽埴土水田では小さかった。この結果をもとに、比較的容易に砕土できた高知の埴土及び軽埴土水田における作業速度と作業精度の関係 (2ほ場の平均値) を図 3-25 に、砕土が難しかったシルト質埴土水田における作業速度と作業精度の関係を図 3-26 に示す。

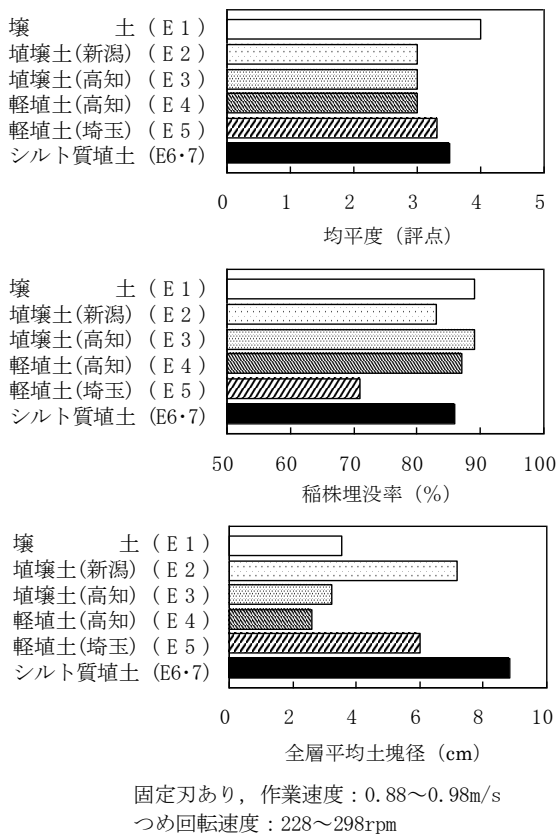


図 3-24 供試ほ場別の中型開発機の作業精度

埴土及び軽埴土水田では、つめ回転速度が高い対照機的全層平均土塊径が 2~2.5cm 程度となり、水田

の荒起こし作業としては過剰な砕土が行われた。これに対し、開発機的全層平均土塊径は 3~4 cm であり、過剰砕土状態は改善された。一方、砕土の難しいシルト質埴土水田においては砕土性能が良好な方が好ましいことが多い。同水田での開発機的全層平均土塊径は、つめ回転速度が 28%高い同じ作業速度段の対照機と比較すると、作業速度 0.6m/s 以上の高速域では同程度であった。また、表層砕土の評点は、埴土及び軽埴土水田、シルト質埴土水田ともに、つめ回転速度が高い同じ作業速度段の対照機より開発機の方が低かったが、高速域ではその差は小さくなった。なお、つめ回転速度を開発機と同じにした対照機の砕土性能は悪く、シルト質埴土水田における全層平均土塊径が、作業速度 0.75m/s で 9 cm を越えた (図 3-25, 図 3-26)。

開発機の固定刃作用時と非作用時を比較すると、作用時の方が全層平均土塊径が約 10%小さく、砕土性能が良好な傾向があった (図 3-12)。

(2) 大型機の砕土性能

供試ほ場別の大型開発機的全層平均土塊径、稲株埋没率及び均平度を図 3-27 に示す。大型機の砕土性能は、モンモリロナイト系の粘土を含むシルト質埴土水田とその他の水田で傾向が異なったため、図 3-28 に埴土、埴土及び軽埴土水田における作業速度と作業精度の関係 (3ほ場の平均値) を、図 3-29 にシルト質埴土水田における作業速度と作業精度の関係 (2ほ場の平均値) を示す。

埴土及び軽埴土水田では、開発機的全層平均土塊径は、高速域において同じ作業速度の対照機より約 10%小さくなり、作業速度段が 1 段低速の対照機と同程度であった。また、開発機の表層砕土の評点も同速度の対照機より良好で、2 段低速の対照機と同程度であった (図 3-28)。一方、シルト質埴土水田では、同じ作業速度で比較すると、開発機的全層平均土塊径は対照機とほぼ同じであり、表層砕土の評点は対照機よりやや良好な程度であった (図 3-29)。開発機で固定刃ありの時となしの時を比べると、全層砕土性能の差は少なかった。

開発機の固定刃作用時と非作用時を比較すると、中型開発機では固定刃作用時の方が全層平均土塊径が小さい傾向があったが、大型開発機では同程度であった

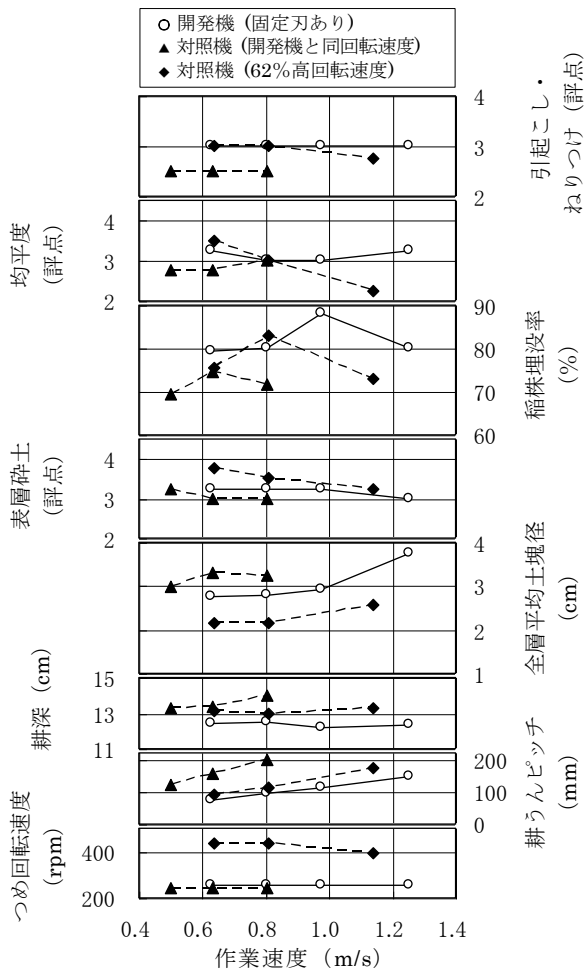


図 3-25 埴壤土及び軽埴土水田（試験番号E 3, E 4）における中型機の作業速度と作業精度との関係（2ほ場の平均値）

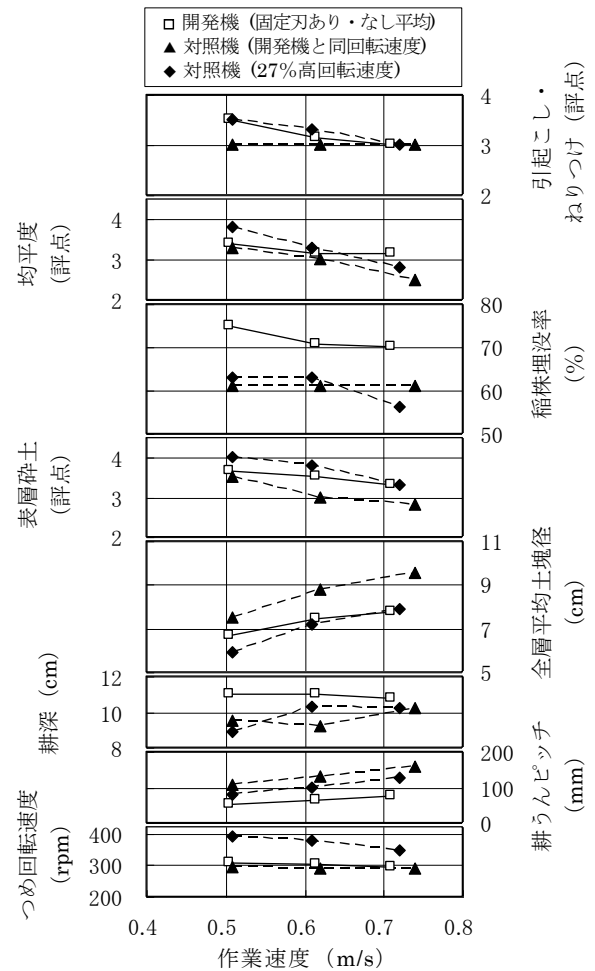


図 3-26 シルト質埴土水田（試験番号E 7）における中型機の作業速度と作業精度との関係

(図 3-14)。

(3) 砕土性能の考察

一般に、つめ回転速度を高めるか、作業速度を低くして耕うんピッチを小さくすると砕土性能が向上する^{11) 55)}。しかし、夏期の気温が高い地域で土塊を細かくすると作土が還元状態になりやすく、水稻が減収することがある⁶⁾。そのため、砕土が容易な水田で水稻栽培のための耕うんを行う場合は、つめ回転速度を高めた作業は避ける必要がある。中型対照機のように1回転当たり1回土を切削する耕うんロータリは、つめ回転速度を低く保って高速作業を行うと、耕盤の凹凸の発生が避けられないため、砕土が容易な水田においては高速作業に適さないと考えられる。

図 3-30 に大型機における全層平均土塊径と P T O

比エネルギーの関係を示す。両水田とも、開発機は対照機より少ないエネルギーで同程度の砕土状態が得られており、効率的に砕土を行っていることがわかる。図 3-31 に大型機をつめ1本当たり土切削体積と全層平均土塊径の関係を示す。「つめ1本当たりの土切削体積」は、「横方向つめ取付け間隔/2」×「耕うんピッチ」×「耕深」で算出される値であり、砕土性能との相関が高い。壤土、埴壤土及び軽埴土水田では、同じつめ切削体積における全層平均土塊径は開発機の方が小さく、切削体積が大きくなるほど対照機との差は広がった。一方、シルト質埴土水田では、同じ切削体積における全層平均土塊径は開発機と対照機で同程度であった。

耕うんロータリによる砕土は、ロータリづめによる

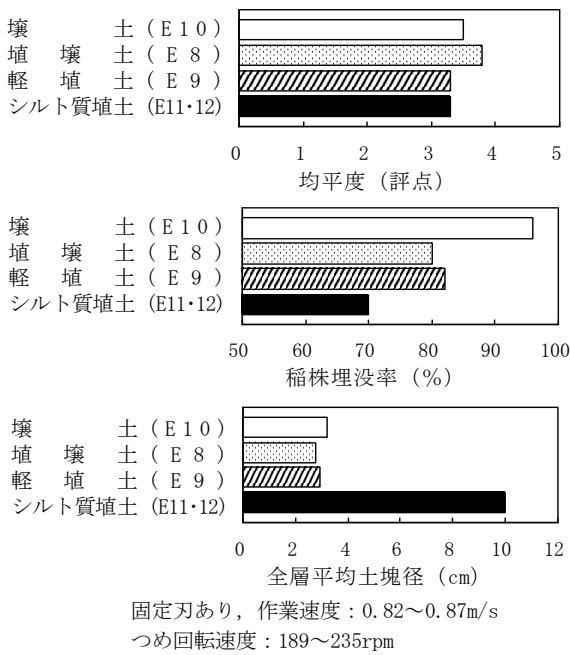


図 3-27 供試ほ場別の大型開発機の作業精度

土の切断，ロータリづめわん曲部の土壤せん断作用による亀裂の発生^{10) 82)}，放てきされた土塊がリヤカバーに当たる時の衝撃，ロータリカバー内の持回りによる再切断などにより行われるものと考えられる。壊土、埴壤土及び軽埴土水田では対照機に比べ開発機の碎土性能が良好であったのに対し、シルト質埴土水田では対照機と差がなかったのは、粘着力が小さく、せん断破壊が起こりやすい前者の水田では、開発機においてつめわん曲部切削角を増大した効果により土壤の破碎が良好になったのに対し、粘着力が大きく土壤水分の高い後者の水田では土壤が変形しやすく、つめわん曲部の切削角を大きくしても、せん断による土壤破碎効果が高まらなかったためと考えられる。また、水分の低い土壤ではつめ回転速度の低下により碎土性能が悪化するが、高水分水田土壤における碎土性能はつめ回

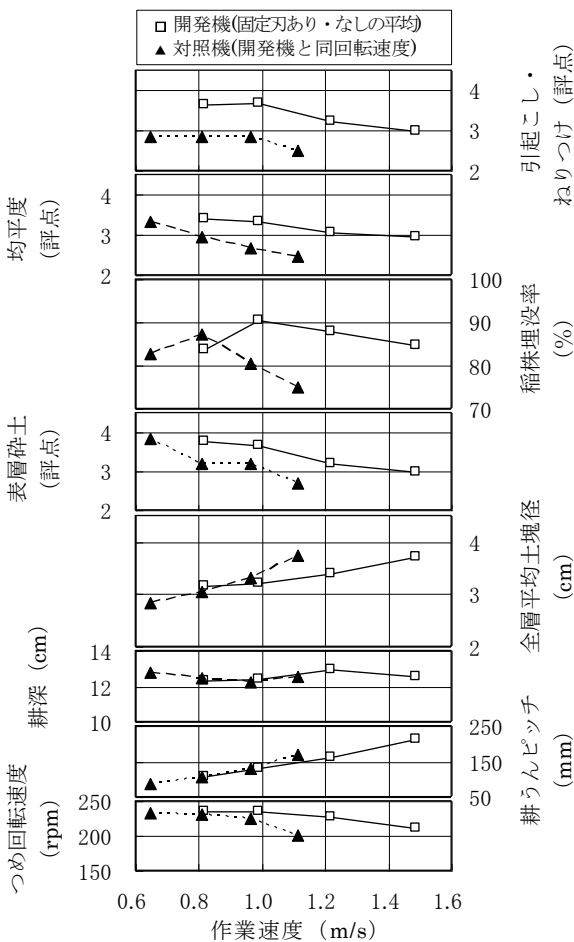


図 3-28 壊土、埴壤土及び軽埴土水田 (試験番号 E 8~E10) における大型機の作業速度と作業精度との関係 (3ほ場の平均値)

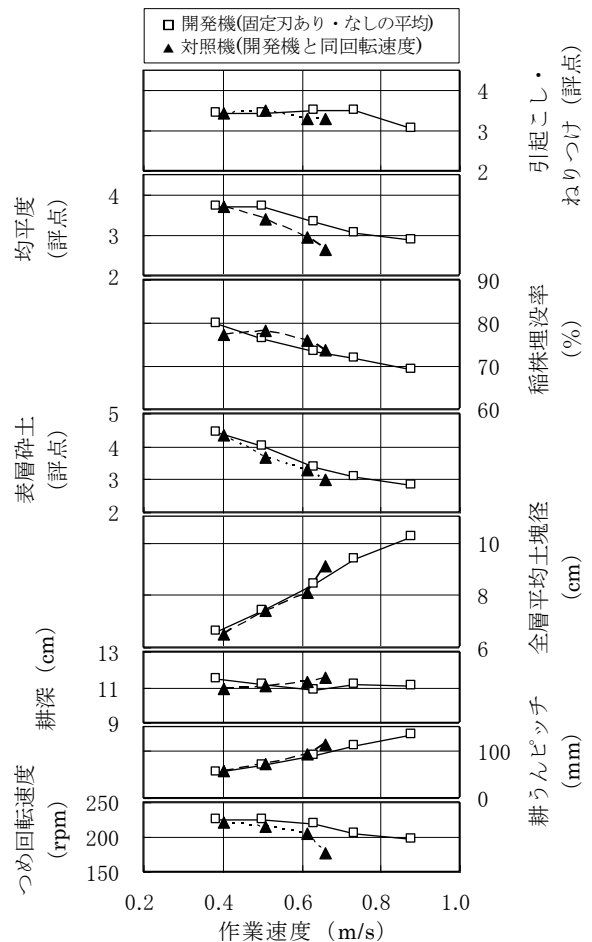
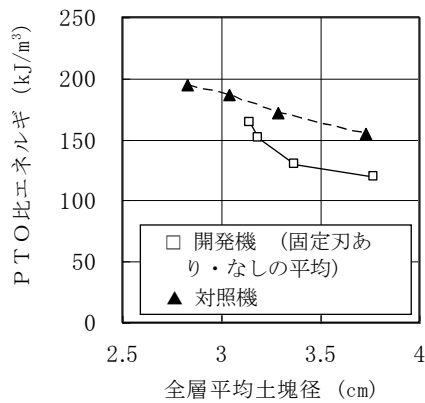
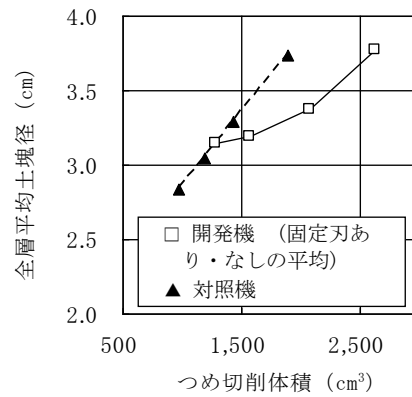


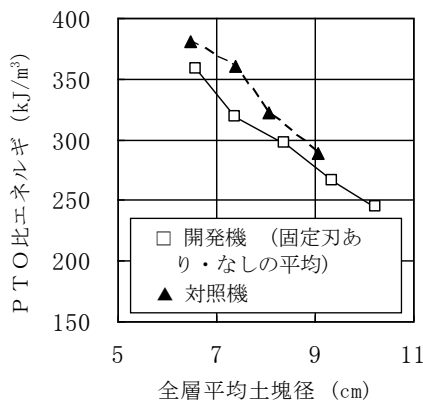
図 3-29 シルト質埴土水田 (試験番号E11, E12) における大型機の作業速度と作業精度との関係 (2ほ場の平均値)



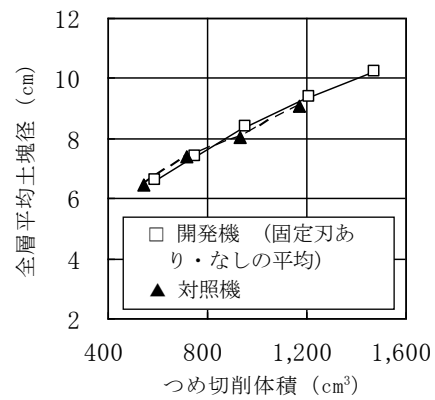
a) 壤土、埴壤土及び軽埴土水田 (試験番号 E 8～E10) (3ほ場の平均)



a) 壤土、埴壤土及び軽埴土水田 (試験番号 E 8～E10) (3ほ場の平均)



b) シルト質埴土水田 (試験番号 E 11, E 12) (2ほ場の平均)



b) シルト質埴土水田 (試験番号 E 11, E 12) (2ほ場の平均)

図 3-30 大型機の平均土塊径と P T O 比エネルギーとの関係

図 3-31 大型機のつめ 1 本当たり切削体積と平均土塊径との関係

転速度の影響を受けにくいことが報告されている⁶⁰⁾。対照機は開発機より所要動力が高いため、高速作業時に機関回転速度が大きく低下した(図 3-28, 図 3-29)が、これが、比較的土壌水分が低かった壤土、埴壤土及び軽埴土水田において高速域の対照機の碎土性能を低下させた一因となったものと思われる。一方、土壌水分の高かったシルト質埴土水田では、対照機をつめ回転速度が高速域で低下したものの、碎土性能を悪化させる原因とはならなかったと考えられる。これらのことから、湿潤な粘質水田において開発機の碎土性能を向上させるには、所要動力が低い特性を活かし、P T O速度段を上げてつめ回転速度を高める(耕うんピッチを小さくする)ことが有効であろう。

シルト質埴土水田における大型機の試験において、

全層の平均土塊径が同程度でも、表層の碎土状態が開発機で良好な傾向があった(図 3-29)のは、「広幅緩曲づめ」の試験⁹⁾において下層より上層の碎土が良好な結果が得られていることから、わん曲部曲率半径とわん曲部切削角の増大によるところが大きいものと考えられる。

中型開発機で固定刃を作用させた方が碎土性能が良好であったのは、ロータリ前方に垂直固定刃を 10cm 間隔で取付けた研究⁴³⁾でも報告されているように、固定刃による土壌破碎効果によるものと思われる。一方、大型開発機でその傾向が見られなかったのは、中型開発機の固定刃が 4 本であるのに対し、大型開発機では 2 本であるため、土壌破碎効果が小さかったためと思われる。

d) 反転性能

(1) 中型機の反転性能

全試験区を平均すると、つめ回転速度が 28% 高く作業速度段が同じ中型対照機に対する中型開発機の稲株埋没率の比は 1.2 であった (図 3-12)。また、作業速度が 1 段低速の対照機に対する開発機の稲株埋没率の比は 1.15~1.2 であり (図 3-13)、開発機の固定刃作用時と非作用時で、稲株埋没率に差はなかった (図 3-12)。土壌条件別に見ると、開発機の稲株埋没率は、埴壤土及び軽埴土水田では高速域で対照機より約 10% 高く (図 3-25)、シルト質埴土水田では全ての速度域において 10% 程度対照機より高かった (図 3-26)。

(2) 大型機の反転性能

大型開発機の稲株埋没率は、埴壤土、埴壤土及び軽埴土水田では、高速域で同じ作業速度の大型対照機より 10% 以上高い結果が得られ、作業速度段が 2 段低速の対照機と同程度であった (図 3-28)。一方、シルト質埴土水田では、同速度の対照機と同程度であった (図 3-29)。開発機において固定刃作用時と非作用時を比べると、稲株埋没率の差は少なかった。

(3) 反転性能の考察

開発機において稲株埋没率が高かったのは、従来の基礎研究^{82) 106)}において明らかにされているように、つめわん曲部切削角の増大が主な原因と考えられる。また、リヤカバーの改造による土塊引起こしの減少もこの結果に寄与しているものと思われる。シルト質埴土水田で、大型開発機の稲株埋没率が大型対照機と同程度であった原因は不明である。

e) 均平性能

(1) 中型機の均平性能

全試験区を平均すると、つめ回転速度が 28% 高く作業速度段が同じ中型対照機に対する中型開発機の均平度評点は 5% 程度高かった (図 3-12)。また、作業速度が 1 段低速の対照機に対する開発機の均平度評点も同程度~5% 高かった (図 3-13)。土壌条件別に見ると、埴壤土及び軽埴土水田においては、高速域で同じ作業速度段の対照機より 0.5 点程度高く (図 3-25)、シルト質埴土水田においては、低速域で同じ作業速度段の対照機よりやや低かったものの、高速域ではやや高かった (図 3-26)。

(2) 大型機の均平性能

大型開発機の均平度評点は、同じ作業速度の大型対照機に比べ、埴壤土、埴壤土及び軽埴土水田では 0.3~0.5 点程度、シルト質埴土水田では 0~0.4 点程度それぞれ高く、高速になるほどその差が大きくなった (図 3-28, 図 3-29)。

(3) 均平性能の考察

高速作業時に対照機より開発機の均平性能が良好であったのは、ロータリのローリングによる均平の悪化を改善するため、下部リヤカバーをロータリ本体に対してローリング可能な構造としたこと、つめ 1 本当たりの切削面積のばらつきを小さくするつめ配列としたこと (図 3-4, 図 3-6) が原因と考えられる。

f) 引起こし・ねりつけ

(1) 中型機の引起こし・ねりつけ

全試験区を平均すると、中型開発機の引起こし・ねりつけの評点は、つめ回転速度が 28% 高く作業速度段が同じ中型対照機と比べ同程度であった (図 3-12) が、作業速度段が 1 段低速の対照機に比べ約 10% 低かった (図 3-13)。土壌条件別に見ると、開発機の引起こし・ねりつけの評点は、埴壤土及び軽埴土水田では、同じ作業速度段の対照機に比べ高速域で 0.5 点程度高く (図 3-25)、シルト質埴土水田では、低速域では同じ作業速度段の対照機よりやや低かったものの、高速域ではやや高かった (図 3-26)。

(2) 大型機の引起こし・ねりつけ

埴壤土、埴壤土及び軽埴土水田とシルト質埴土水田における引起こし・ねりつけの評点は、それぞれ約 0.8 点と 0.3 点对照機より開発機の方が高かった (図 3-28, 図 3-29)。

(3) 引起こし・ねりつけの考察

高速作業時に、対照機に比べ開発機の引起こし・ねりつけが少なかった理由は、下部リヤカバーをロータリ本体に対してローリング可能な構造とし、その先端にレーキを取付けたためと考えられる。

3.4.3 最大耕深試験

1) 試験の目的

耕深が浅くなると、一般に水稻が減収する傾向のあることが知られており^{49) 75) 76) 105)}、水田の作土深の

減少傾向^{1) 38)}も報告されている。水稻の安定多収のためには、耕深の確保が重要である。

ロータリ耕においては、作業速度を高めると耕うんピッチが大きくなり、ロータリづめへの垂直方向の耕うん反力が増大する⁵⁶⁾。そのため、ロータリ耕の作業速度を高めると耕深が浅くなる問題が発生する。そこで、耕起時の最大耕深を作業速度別に調査し、開発機の耕深維持性能を対照機と比較する目的で本試験を行った。

2) 供試機

中型開発機と中型対照機を 52kW の、大型開発機と大型対照機を 52 又は 53kW の 4 輪駆動トラクタに取り付けて供試した。供試トラクタには、高速作業時におけるトラクタ機関回転速度の低下をできるだけ抑制するため、適応トラクタより大型のトラクタを使用し、トラクタの定回転制御を作動させて作業した。

3) ほ場条件

中型機はシルト質埴土の、大型機は埴壤土とシルト質埴土の水稻収穫後の未耕起水田において耕起試験を行った。供試ほ場は、3箇所とも土壌硬度の高い(円錐貫入抵抗 0.92~1.13MPa)条件であった。表 3-21 にほ場条件を示す。

4) 試験方法

隣接する行程間の未耕起部分の幅を 1 m 程度残し、定規輪を最高位置まで上げてトラクタの三点リンク調節レバーを最低位置に設定し、1区当たり約 20m 作業して作業速度と耕深を測定した。表 3-22 に作業条件を示す。試験は、トラクタの機関回転速度を最大にし、つめ回転速度(P T O 回転速度)を、開発機及び大型対照機では 1 段階、中型対照機では 2 段階に設定するとともに、作業速度を 3~6 段階に変えて各区 2 反復で行った。開発機では、固定刃を作用させた区とさせない区を設けた。

5) 試験結果と考察

a) 中型機の最大耕深

図 3-32 に中型機における作業速度と最大耕深の関係を示す。開発機、対照機とも、作業速度の増加に伴い耕深が浅くなったが、開発機の最大耕深は、全ての作業速度域において対照機と同程度であった。開発機において固定刃を作用させた場合と作用させない場合の最大耕深に差はなかった。

b) 大型機の最大耕深

図 3-33 に大型機における作業速度と最大耕深の関係を示す。中型機と同じく、作業速度の増加に伴い耕深が浅くなったが、埴壤土水田及びシルト質埴土水田

表 3-21 最大耕深試験のほ場条件

試験番号	F 1	F 2	F 3	
供試機	中型機	大型機		
試験年月	1995年12月	1995年11月	1996年3月	
試験場所	埼玉県川里町	滋賀県安土町	埼玉県川里町	
履歴(稲わらの状態)	水稻収穫後の未耕起水田(自脱コンバインで切断散布)			
土壌統群	細粒質グライ化灰色低地土	細粒質表層灰色グライ低地土	細粒質グライ化灰色低地土	
作土の物理性	土性 ¹⁾	シルト質埴土(SiC)	埴壤土(CL)	シルト質埴土(SiC)
	粒径組成 ²⁾ (%)	27, 51, 22, 0	22, 36, 42, 0	32, 50, 18, 0
	塑性・液性限界(%)	35, 75	29, 67	30, 73
	含水比(%)	49	41	54
	液性指数	0.34	0.32	0.56
	三相分布 ³⁾ (%)	39, 50, 11	39, 43, 18	31, 47, 22
	湿潤密度(g/cm ³)	1.52	1.47	1.34
乾燥密度(g/cm ³)	1.03	1.04	0.87	
円錐貫入抵抗(MPa)	1.13	0.92	1.00	

1) 国際土壌学会法(粘土:~0.002mm, シルト:0.002~0.02mm, 砂:0.02~2.0mm, 礫:2.0mm~)

2) 同上(左から粘土, シルト, 砂, 礫の順), 3) 左から固相率, 水分率, 空気率の順

表 3-22 最大耕深試験の作業条件

試験番号		F 1	F 2	F 3
供試機		中型機	大型機	
トラクタ機関出力 (kW)		52	53	52
トラクタ機関定格回転速度 (rpm)		2,200	2,500	2,200
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	開発機	295	182	200
	対照機	280, 375	179	196
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	開発機	0.48~1.17 (6段階)	0.76~1.54 (4段階)	0.70~0.96 (3段階)
	対照機	0.35~0.96 (5~6段階)	0.61~1.17 (4段階)	0.59~0.86 (3段階)
試験区数	開発機	6区×2反復	4区×2反復	3区×2反復
	対照機	11区×2反復	4区×2反復	3区×2反復

1) 機関定格回転時, 2) 機関定格回転・進行増加率0%時

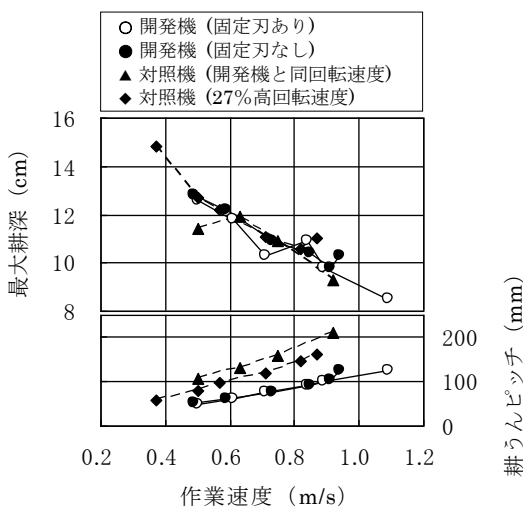
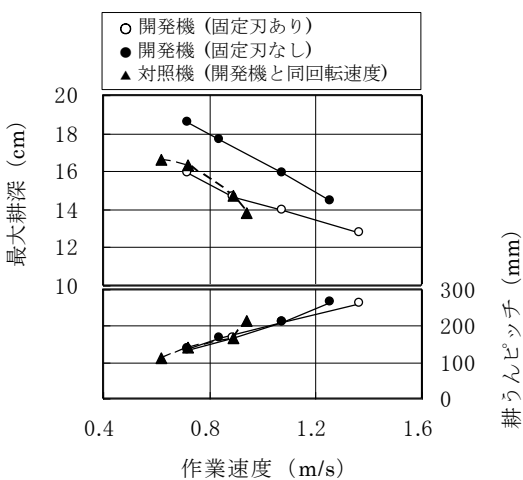


図 3-32 シルト質埴土水田 (試験番号 F 1) における中型機の作業速度と最大耕深との関係

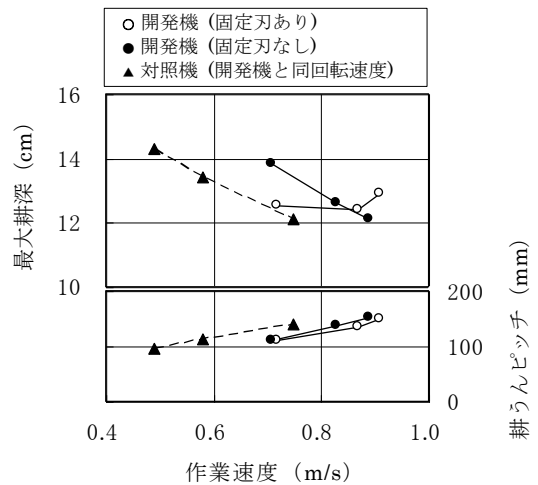
とも、固定刃を作用させない場合の開発機の最大耕深は、対照機より約 2~3 cm 深かった。固定刃を作用させた時の最大耕深は、埴壤土水田では約 1 m/s 以下、シルト質埴土水田では約 0.8 m/s 以下の作業速度では対照機と同程度であったが、それ以上の高速域では対照機より深くなる傾向が見られた。

c) 最大耕深の考察

以上の結果から、中型開発機は中型対照機と同程度の耕深を確保できること、大型開発機は大型対照機より約 80kg 軽いにもかかわらず、固定刃非作用時には低速域から高速域まで対照機より耕深を深くでき、固定刃作用時でも高速域では対照機より深い耕深を確保できることが明らかになった。高速作業時に耕深が浅くなる原因は、垂直方向の耕うん反力の増大にある。



a) 埴壤土水田 (試験番号 F 2)



b) シルト質埴土水田 (試験番号 F 3)

図 3-33 大型機の作業速度と最大耕深との関係

つめわん曲部の切削角を大きくすると垂直方向の耕うん反力が増大する⁸²⁾ため、対照機より切削角が大きい開発機は、耕深の維持が難しいはずである。それにもかかわらず、対照機と同程度の耕深を維持できたのは、つめわん曲部の曲率半径を大きくして平均切削半径を減少させたこと、相対するつめの先端に間隙を設けたことにより、単位作業幅当たりの耕うん反力を低減させたことが原因と考えられる。

大型開発機で、固定刃作用時の耕深が非作用時より低速域においてやや浅くなったのは、固定刃が板状のシャンクのみで構成されているため、サクション（下へ引込む力）がさほど発生せず、固定刃底面が抵抗になったためと考えられる。また、中型開発機の耕深が中型対照機と同程度に留まったのは、中型対照機のつめ切削幅が開発機の約半分と狭いため、中型対照機の耕うん反力が小さかったためと推定される。開発機の固定刃作用時と非作用時の耕深が、大型開発機では差があったのに対し、中型開発機では同程度であったのは、中型開発機の固定刃作用深が大型開発機より約5 cm浅いためではないかと思われる。

3.4.4 座席振動試験

1) 試験の目的

ダウンカッターロータリでは、ロータリづめへの耕うん反力により推進力が発生する。この推進力は作業速度が高速になるほど大きくなり、その変動によってトラクタの振動が増加することがある。そこで、耕起時における作業速度とトラクタ座席振動の関係を調査し、開発機による作業時の振動特性を対照機と比較する目的で本試験を行った。

2) 供試機

コイルバネ懸架式の座席を持つ35kWの4輪駆動トラクタに、大型開発機と大型対照機を装着して試験した。

3) ほ場条件

土壤硬度が比較的低い（円錐貫入抵抗約0.63MPa）壤土と、土壤硬度の高い（同約1.2MPa）シルト質埴土の水稲収穫後未耕起水田において試験を行った。表

3-23にはほ場条件を示す。

表 3-23 座席振動試験のほ場条件

試験番号	G 1	G 2	
試験年月	1996年3月		
試験場所	埼玉県川里町		
履歴（稲わらの状態）	稲収穫後の未耕起水田 （自脱コンバインで切断散布）		
土壌統群	低地造成土 （黒ボク土客土）	細粒質グライ 化灰色低地土	
作土の物理性	土性 ¹⁾	壤土（L）	シルト質埴土（SiC）
	粒径組成 ²⁾ （%）	12, 32, 56, 0	27, 51, 22, 0
	塑性・液性限界（%）	71, 108	33, 74
	含水比（%）	89	44
	液性指数	0.49	0.27
	三相分布 ³⁾ （%）	27, 63, 10	34, 44, 22
	湿潤密度（g/cm ³ ）	1.34	1.45
乾燥密度（g/cm ³ ）	0.71	0.93	
円錐貫入抵抗（MPa）	0.63	1.22	

1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm，シルト：

0.002～0.02mm，砂：0.02～2.0mm，礫：2.0mm～）

2) 同上（左から粘土，シルト，砂，礫の順）

3) 左から固相率，水分率，空気率の順

4) 試験方法

隣接する行程間の未耕起部の幅を1 m程度残し、トラクタの機関回転速度を最大にして1区当たり約30 m作業し、作業速度とトラクタ座席振動を測定した。表3-24に作業条件を示す。試験は、つめ回転速度（PTO回転速度）を1段階とし、作業速度を4～5

表 3-24 座席振動試験の作業条件

試験番号	G 1	G 2
トラクタ機関出力（kW）	35	
トラクタ機関定格回転速度（rpm）	2,600	
設定つめ回転速度 ¹⁾ （rpm）	開発機	170
	対照機	169
設定作業速度 ²⁾ （m/s）	開発機	0.36～0.89 （4段階）
	対照機	0.28～0.89 （5段階）
試験区数	開発機	4区
	対照機	5区

1) 機関定格回転時

2) 機関定格回転・進行増加率0%時

段階に変えて行い、開発機では固定刃作用時と非作用時の測定を実施した。運転者の体重は 65kg で、体重に合わせてトラクタ座席のバネ強度を調節した。耕深は、12cm を目標に定規輪の高さを調節して設定した。

5) 試験結果と考察

作業速度とトラクタ座席振動の関係を図 3-34、図 3-35 に示す。平均耕深は、開発機区、対照区ともに壤土水田で約 12cm、シルト質埴土水田で約 13cm であった。左右方向の振動レベルは小さく、開発機と対照機間で差が少なかったため図示しなかった。

座席の振動レベルは作業速度の増加に伴って増大し、作業速度が倍になると合成振動レベルで 5~7 dB 高くなった。作業速度 0.4~0.5m/s 時の振動レベルをほ場別に比較すると、上下方向は同程度であったが、前後方向の振動レベルと合成振動レベルは、土壌が硬いシルト質埴土水田の方が 5 dB 程度高かった。

開発機の合成振動レベルは、固定刃作用時と非作用時を平均すると、土壌が軟らかい壤土水田では対照機と同程度であったが、土壌が硬いシルト質埴土水田で

は約 3 dB 対照機より低かった。また、上下方向と前後方向を比較すると、前後方向の振動レベルの差が大きい傾向があった。これは、開発機では、主に推進力の変動により起こる前後方向の振動が減少したためと考えられる。開発機の合成振動レベルを、固定刃作用時と非作用時と比較すると、壤土水田では同程度であったが、シルト質埴土水田では固定刃作用時の方がやや高い傾向があった。

以上の結果から、作業時の振動が高くなる硬いほ場においては、開発機の利用により座席振動の低い、快適な作業ができることが明らかになった。

3.4.5 作業能率試験

1) 試験の目的

連続作業時の作業状態の観察、作業能率及び燃料消費量の調査を行う目的で作業能率試験を実施した。

2) 供試機

耕起作業能率試験では、中型開発機と中型対照機を 44kW の 4 輪駆動トラクタ (所要動力の大きな細粒

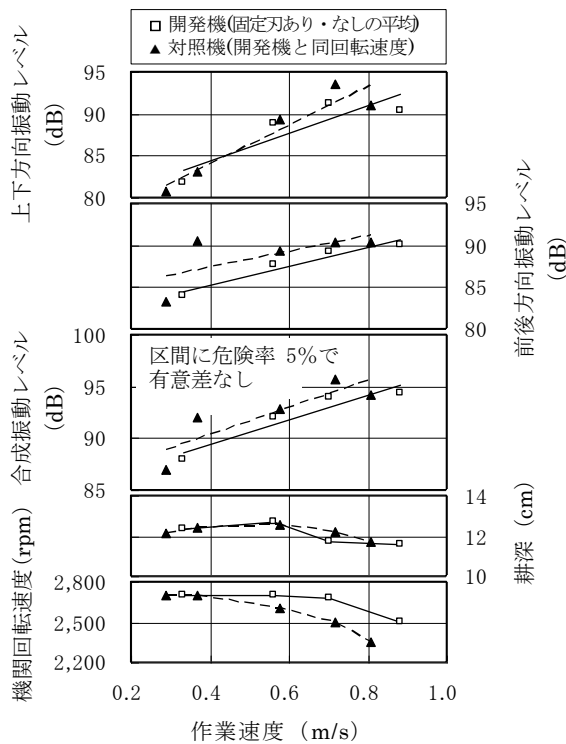


図 3-34 壤土水田 (試験番号G 1) における大型機の作業速度とトラクタ座席振動との関係

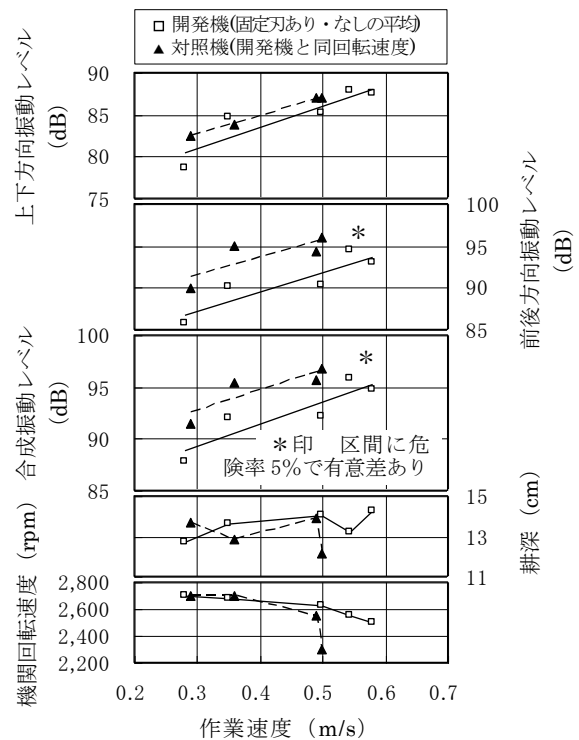


図 3-35 シルト質埴土水田 (試験番号G 2) における大型機の作業速度とトラクタ座席振動との関係

質ほ場において高速域で試験するため、適応トラクタの範囲よりやや大きなものを供試した。)に、大型開発機と大型対照機を 39kW の 4 輪駆動トラクタに取付けて供試した。砕土能率試験では、大型開発機と大型対照機を 35kW の 4 輪駆動トラクタに取付けて供試した。トラクタ機関回転速度の低下を抑制するため、トラクタの定回転制御を作動させて作業した。

3) ほ場条件

a) 耕起作業のほ場条件

中型機では、液性指数約 0.5 の湿潤な水稲収穫後の未耕起シルト質埴土水田において、大型機では液性指数 0.29~0.33 のやや湿潤な砂壤土及びシルト質埴土の水稲収穫後の未耕起水田において耕起作業時の作業能率試験を行った。表 3-25 には場条件を示す。

b) 砕土作業のほ場条件

大型機の試験を行った上記シルト質埴土の耕起試験後の水田において、砕土作業の作業能率試験を行った。供試ほ場の液性指数は-0.29 及び 0.02 であり、比較的乾燥した土壤条件での試験であった。表 3-26 には場条件を示す。

表 3-26 砕土作業能率試験のほ場条件

試験番号		I 1	
供試機		大型開発機	大型対照機
試験年月		1996年4月	
試験場所		埼玉県川里町	
履歴(稲わらの状態)		1)	2)
ほ場面積(a)		222.6	30.0
ほ場長辺長さ(m)		192.0, 228.0	100.0
ほ場短辺長さ(m)		106.0	30.0
土壌統群		細粒質グライ化灰色低地土	
作土の物理性	土性 ¹⁾	シルト質埴土(SiC)	
	粒径組成 ²⁾ (%)	30, 46, 24, 0	27, 51, 22, 0
	塑性・液性限界(%)	32, 73	33, 79
	含水比 ⁵⁾ (%)	20	34
	液性指数 ⁵⁾	-0.29	0.02
	平均土塊径 ⁵⁾ (cm)	9.4	8.2

- 1) 前年12月大型開発機で耕起(表3-25 試験番号H3参照)
- 2) 前年12月大型対照機で耕起(表3-25 試験番号H4参照)
- 3) 国際土壌学会法(粘土:~0.002mm, シルト:0.002~0.02mm, 砂:0.02~2.0mm, 礫:2.0mm~)
- 4) 同上(左から粘土, シルト, 砂, 礫の順)
- 5) 耕起全層の平均値

表 3-25 耕起作業能率試験のほ場条件

試験番号		H 1		H 2		H 3	H 4	
供試機		中型開発機	中型対照機	大型開発機	大型対照機	大型開発機	大型開発機	大型対照機
試験年月		1994年12月		1995年8月		1995年12月		
試験場所		埼玉県川里町		高知県香我美町		埼玉県川里町		
履歴(稲わらの状態)		水稲収穫後の未耕起水田(自脱コンバインで切断散布)						
ほ場面積(a)		30.0	30.0	29.6	30.2	201.4	30.0	30.0
ほ場長辺長さ(m)		80.0	80.0	100.6	100.6	190.0	100.0	100.0
ほ場短辺長さ(m)		37.5	37.5	29.4	30.0	106.0	30.0	30.0
土壌統群		細粒質グライ化灰色低地土		中粒質普通灰色低地土		細粒質グライ化灰色低地土		
作土の物理性	土性 ¹⁾	シルト質埴土(SiC)		砂壤土(SL)		シルト質埴土(SiC)		
	粒径組成 ²⁾ (%)	27, 51, 22, 0		14, 16, 68, 2		30, 46, 24, 0		27, 51, 22, 0
	塑性・液性限界(%)	30, 71	30, 71	23, 44	21, 41	32, 73	33, 79	33, 79
	含水比(%)	50	51	30	27	47	48	49
	液性指数	0.49	0.50	0.33	0.29	0.29	0.33	0.35
	三相分布 ³⁾ (%)	37, 49, 14	37, 50, 13	40, 34, 26	47, 36, 17	43, 51, 6	41, 52, 7	43, 52, 5
	湿潤密度(g/cm ³)	1.47	1.47	1.47	1.70	1.59	1.59	1.61
	乾燥密度(g/cm ³)	0.98	0.98	1.13	1.34	1.09	1.07	1.08
円錐貫入抵抗(MPa)	0.93	0.84	0.94	0.68	0.94	0.66	0.95	

- 1) 国際土壌学会法(粘土:~0.002mm, シルト:0.002~0.02mm, 砂:0.02~2.0mm, 礫:2.0mm~)
- 2) 同上(左から粘土, シルト, 砂, 礫の順), 3) 左から固相率, 水分率, 空気率の順

4) 試験方法

a) 耕起作業の方法

表 3-27 に耕起作業時の作業条件を示す。大型機では開発機と対照機をつめ回転速度を同程度に設定したが、中型機では、1 回切式である対照機の耕うんピッチが大きくなるのを防ぐため、対照機をつめ回転速度を開発機より約 20% 高く設定した。作業速度段は、安定した作業が可能な最高の位置を選択した。また、大型開発機では固定刃を作用させて作業したが、中型開発機では湿潤な土壌条件であったため、固定刃を作用させなかった。

試験は、約 30 a のほ場において、ほ場中央部を往復作業した後、外周を 3 行程回り作業して行った。大型機の試験を行ったシルト質埴土水田では、開発機のみ約 2 ha のほ場でも試験（短辺に沿って作業）した。耕深は、12cm を目標に定規輪の高さを調節して設定した。

b) 砕土作業の方法

耕起作業と同様、安定した作業が可能な最高作業速度段を選択し、開発機と対照機をつめ回転速度を同程

度に設定した。表 3-28 に作業条件を示す。開発機の固定刃は作用させなかった。試験は、ほ場中央部を往復作業した後、外周を 3 行程回り作業して行った。開発機区に使用した 2 ha ほ場では、長辺に沿って作業した。耕深は、12cm を目標に定規輪の高さを調節して設定した。

表 3-28 砕土作業能率試験の作業条件

試験番号	I 1	
	大型開発機	大型対照機
トラクタ機関出力 (kW)	35	
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	210	205
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	0.89	0.69
設定耕うんピッチ ²⁾ (mm)	127	101
固定刃	なし	—

1) 機関定格回転 (2,600rpm) 時

2) 機関定格回転 (2,600rpm) ・進行増加率 0 % 時

5) 試験結果と考察

a) 耕起作業能率試験の結果

表 3-29 に耕起作業能率試験の結果を示す。耕起作

表 3-27 耕起作業能率試験の作業条件

試験番号	H 1		H 2		H 3	H 4	
	中型開発機	中型対照機	大型開発機	大型対照機	大型開発機	大型開発機	大型対照機
トラクタ機関出力 (kW)	44		39		39		
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	229	256	182	179	210	210	207
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	1.01	0.80	0.99	0.78	0.78	0.78	0.63
設定耕うんピッチ ²⁾ (mm)	133	165	174	129	112	112	92
固定刃	なし	—	あり	—	あり	あり	—

1) 機関定格回転 (2,600rpm) 時, 2) 機関定格回転 (2,600rpm) ・進行増加率 0 % 時

表 3-29 耕起作業能率試験の結果

試験番号	H 1		H 2		H 3	H 4	
	中型開発機	中型対照機	大型開発機	大型対照機	大型開発機	大型開発機	大型対照機
ほ場面積 (a)	30.0	30.0	29.6	30.2	201.4	30.0	30.0
土性	シルト質埴土 (SiC)		砂壤土 (SL)		シルト質埴土 (SiC)		
作業速度 (m/s)	0.94	0.79	1.05	0.78	0.76	0.75	0.63
耕深 (cm)	11.9	11.3	11.5	11.6	11.0	11.4	11.0
進行増加率 (%)	4.4	1.1	—	—	6.5	5.9	7.5
ほ場作業量 (a/h)	50.4	41.3	58.7	44.5	48.0	45.2	38.0
ほ場作業効率 (%)	77	80	79	82	85	80	84
10 a 当たり燃料消費量 (L/10a)	2.39	2.45	1.78	2.23	2.30	2.36	2.78
比燃料消費量 (mL/m ³)	20.1	21.7	15.5	19.2	20.9	20.7	25.3

業において安定した作業が可能な最高速度段は、砂壌土水田、シルト質埴土水田ともに、PTO所要動力が低い開発機の方が1段高速であった。

(1) 中型機の作業能率と燃料消費量

中型開発機、中型対照機ともに機関回転速度がやや低下することがあったものの、円滑な作業が可能であった。平均耕深は、開発機区で約12cm、対照区で約11cmであった。開発機の平均作業速度は0.94m/sであり、対照機より19%高速で作業できた。開発機のは場作業量は50a/hであり、対照機より22%大きかった。また、開発機のは場作業効率は77%で、対照機より3%低かった。開発機の比燃料消費量は約20mL/m³であり、対照機より約8%少なかった。

(2) 大型機の作業能率と燃料消費量

砂壌土水田では、大型開発機、大型対照機ともに円滑な作業が可能であった。平均耕深は、11～11.5cmであり、開発機区と対照区の差は小さかった。シルト質埴土水田では、大型開発機、大型対照機ともに機関回転速度がやや低下することがあり、対照機では過負荷で機関が停止したため走行速度段を1段下げて作業したところもあった。

開発機の平均作業速度は、砂壌土水田で1.05m/s、シルト質埴土水田で0.75～0.76m/sであり、対照機より19～35%高速で作業できた。対照機より高速であるにもかかわらず、開発機の進行増加率は対照機より1～1.5%低かった。30aほ場における開発機のは場作業量は、砂壌土水田で59a/h、シルト質埴土水田で45a/hであり、対照機より19～32%大きかった。30aほ場におけるほ場作業効率は77～80%で、対照機より3～4%低かった。シルト質埴土の2haほ場では、

30aほ場に比べほ場作業量が約3a/h、ほ場作業効率が5%程度それぞれ高かった。開発機の比燃料消費量は、砂壌土水田で約16mL/m³、シルト質埴土水田で約21mL/m³であり、対照機より約20%少なかった。

(3) 耕起作業における作業能率と燃料消費量の考察

開発機が対照機より1段高速で作業できたのは、3.4.2の「動力・作業精度試験」で報告したように、ロータリづめの形状や配列、ロータリカバー内のスペース拡大等により、対照機に比べPTO動力が減少したためである。また、大型機に比べ、中型機で開発機と対照機の比燃料消費量の差が小さかったのは、PTO動力に影響する耕うんピッチが、大型機では、開発機が対照機より20～35%大きかったのに対し、中型機では対照機が1回切削式のため、開発機が対照機より約20%小さかったためと考えられる。

中型開発機の進行増加率が中型対照機より高かったのに対し、大型開発機の進行増加率が1段低速の大型対照機より低かったのは、大型開発機では固定刃を作用させたためと考えられる。

b) 砕土作業能率試験の結果と考察

表3-30に砕土作業能率試験の結果を示す。砕土作業においても、安定した作業が可能な最高速度段は、開発機の方が1段高速であり、大型開発機、大型対照機ともに円滑な作業が可能であった。開発機の作業速度は0.88m/sであり、対照機より28%高速で作業できた。開発機のは場作業量及びほ場作業効率はそれぞれ57a/h、89%であった。対照機と同じ30aほ場に換算すると、開発機のは場作業量は45a/hで対照機より20%大きく、ほ場作業効率は71%で対照機より5%小さかった。開発機の10a当たり燃料消費量は

表3-30 砕土作業能率試験の結果

試 験 番 号	I 1		
	大型開発機		大型対照機
ほ 場 面 積 (a)	222.6	30.0 換算値	30.0
土 性	シルト質埴土 (SiC)		
作 業 速 度 (m/s)	0.88	0.88	0.69
平 均 土 塊 径 (%)	3.4	—	2.8
ほ 場 作 業 量 (a/h)	57.3	45.4	37.7
ほ 場 作 業 効 率 (%)	89	71	76
10 a 当たり燃料消費量 (L/10a)	1.32	—	2.18

1. 3L/10a であり、対照機より約 40%少なかった。

対照機に対する開発機の 10 a 当たり燃料消費量の低下割合が、耕起試験時より碎土試験時の方が高かったのは、供試ほ場の大きさの違い（開発機 223a, 対照機 30a）が主な原因と考えられる。

3.5 摘要

1) より高速で作業できる耕うんロータリを開発するため、つめ配列とつめ形状に関する基礎試験を行い、以下の結果を得た。

(1) つめ回転速度の低下による所要動力の低減をねらい、1 回転当たりのつめ切削回数が 3 回（3 回切削式）の耕うんロータリを試作し、2 回切削式との比較試験をシルト質埴土の未耕起水田において行った。その結果、3 回切削式は、つめ間への土の抱込みが発生するため、低回転で作業しても所要動力の低減に繋がらず、2 回切削式の方が水田への適応性が高いことが明らかになった。

(2) 所要動力の低減をねらい、つめ切削幅の異なる耕うんロータリを試作し、シルト質埴土の未耕起水田において試験した。その結果、碎土性能の向上が必要ではあるが、つめ切削幅の増大により所要動力を低減できることがわかった。

(3) 所要動力の低減と碎土性能の向上をねらい、つめわん曲部の切削角と曲率半径及び切削幅の異なる耕うんロータリを試作し、埴土及びシルト質埴土の未耕起水田において試験した。その結果、つめ切削幅を増加させるとともに、わん曲部の切削角と曲率半径を大きくすることにより、所要動力の低減と碎土性能の維持を両立できる可能性が見出された。

2) 基礎試験の結果を踏まえ、以下に示す構造の高速耕うんロータリ（開発機）を 2 台（中型機と大型機）試作し、以下の 2 台の市販機（対照機）とともに作業性能試験に供した。

(1) 開発機は、ホルダ式のロータリづめで 1 回転当たり土を 2 回切削する方式（2 回切削式）とし、つめ回転半径を中型機で 245mm、大型機で 275mm とした。ロータリづめのわん曲部曲率半径、わん曲部切削角、切削幅、ロータリづめの横方向取付け

間隔を一般的な市販機より大きくし、対向するロータリづめ先端の間隔を 20mm 開ける配列とした。また、格納可能な構造の固定刃を機体前方へ取付けた。さらに、ロータリづめ後方のカバー内スペースを大きくするとともに、リヤカバーを上下に 2 分割して下部リヤカバーをローリング可能な構造にし、下部リヤカバーの先端に着脱可能なレーキ付き整地板を取付けた。

(2) 中型対照機には、耕うん幅、ロータリづめ回転半径が中型開発機と同じで、1 回転当たりのつめ切削回数が 1 回（1 回切削式）のホルダ式市販機を供試した。大型対照機には、耕うん幅、ロータリづめ回転半径が大型開発機と同じ 2 回切削式のフランジ式市販機を供試した。

3) 上記の開発機と対照機を供試して作業性能試験を行い、以下の結果を得た。なお、大型機の試験においては開発機と対照機の P T O 速度段を同じにして試験したが、1 回切削式の中型対照機では、高速作業を行うと耕うんピッチの増大により耕盤の均平性能と碎土性能に問題があったため、対照機の P T O 速度段を 2 回切削式の開発機より 1 ~ 2 段高速にして試験した。

(1) トラクタの機関回転速度を測定することにより、作業可能な最高作業速度を調査した結果、軽埴土の未耕起水田において試験した中型開発機は、中型対照機より約 40%、埴土、軽埴土及びシルト質埴土の未耕起水田において試験した大型開発機は、大型対照機より約 15~40%それぞれ高速で作業が可能であった。

(2) 埴土、埴土、軽埴土及びシルト質埴土の未耕起水田において計 7 回試験した結果、作業速度段が同じ中型対照機に比べ、高速域における中型開発機の P T O 比動力と P T O 比エネルギーは約 5 ~ 10%、比推進力は固定刃作用時で約 55%、非作用時でも約 35%それぞれ少なかった。作業速度が 1 段（20~30%）低速の中型対照機に比べても、中型開発機の P T O 比動力は同程度であり、比推進力は固定刃作用時で約 50%、非作用時でも約 15%それぞれ少なかった。埴土、埴土、軽埴土及びシルト質埴土の未耕起水田において計 5 回試

験した結果、作業速度段が同じ大型対照機に比べ、高速域における大型開発機のP T O比動力とP T O比エネルギーは約 10%、比推進力は固定刃作用時で約 30~50%、非作用時で約 20~30%それぞれ少なかった。作業速度が 1 段 (20~30%) 低速の大型対照機に比べても、高速域における大型開発機のP T O比動力は同程度であり、比推進力は固定刃作用時で約 15%低く、非作用時でも同程度であった。

(3) 埴壤土及び軽埴土の水田における全層平均土塊径は、中型対照機では 2~2.5cm と過剰砕土の傾向があったが、中型開発機では 3~4 cm と改善された。シルト質埴土水田における中型開発機的全層平均土塊径は、低速域では同じ作業速度段の中型対照機よりやや大きかったが、高速域では同程度であった。作業速度が同じ大型対照機に比べ、高速域における大型開発機的全層平均土塊径は、埴土、埴壤土及び軽埴土の水田では約 10%小さく、シルト質埴土水田では同程度であった。

(4) 高速域における中型開発機の稲株埋没率と均平度評点は、埴壤土及び軽埴土水田、シルト質埴土水田ともに同じ作業速度段の対照機より良好で、作業速度が 1 段 (20~30%) 低速の対照機と比べても同等以上であった。作業速度が同じ大型対照機に比べ、高速域における大型開発機の稲株埋没率は、埴土、埴壤土及び軽埴土の水田では約 10%高かったが、シルト質埴土水田では同程度であった。高速域における大型開発機の均平度評点は、作業速度が同じ大型対照機に比べ、0.3~0.5 点高かった。

(5) シルト質埴土の未耕起水田において試験した結果、中型開発機の最大耕深は全ての作業速度域において

中型対照機と同程度で、固定刃を作用させた場合と作用させない場合の最大耕深に差はなかった。埴壤土及びシルト質埴土の未耕起水田において試験した結果、大型開発機の最大耕深は、固定刃を作用させない時は、作業速度によらず大型対照機より約 2~3 cm 深く、固定刃を作用させた時は、低速域では大型対照機と同程度であったが、高速域では大型対照機より深くなる傾向があった。

(6) 2 箇所の未耕起水田において試験した結果、大型開発機で作業した時のトラクタ座席の合成振動レベルは、大型対照機作業時に比べ、土壌が硬いシルト質埴土水田で約 3 dB 低かった。

(7) シルト質埴土の未耕起水田において試験した結果、中型対照機より約 20%高速で作業できた中型開発機は、対照機に比べ耕起時のほ場作業量が 22%大きく、比燃料消費量が 7%少なかった。砂壤土及びシルト質埴土の未耕起水田において試験した結果、大型対照機より約 20~35%高速で作業できた大型開発機は、対照機に比べ耕起時のほ場作業量が 19~32%大きく、比燃料消費量が 17~19%少なかった。

(8) 開発機の固定刃の効果としては、推進力の低減 (固定刃 4 本の中型機で平均 30%、固定刃 2 本の大型機で平均 15%固定刃非作用時よりそれぞれ低かった。)、砕土性能の向上 (中型機で平均土塊径が約 10%小さかった。)) があった。これらの効果は土壌水分が低い土壌において高かったことから、高水分土壌では固定刃を持上げ、低水分土壌で固定刃を作用させると良いことがわかった。また、耕深を深くしたい時も、固定刃を作用させない方が良いことが明らかになった。

第 4 章 高速代かきロータリの開発

本章では、高速代かきロータリ (以下、「開発機」とする。) の開発に先立ち、高速化のための課題である作業精度に影響する要因を取上げて実施した基礎試験³³⁾³⁴⁾ について報告するとともに、基礎試験等で得られた知見をもとに試作した 2 種類 (一体式と折畳み式) の開発機の概要³⁴⁾ 及びそれらの性能試験³⁵⁾³⁶⁾

について報告する。4.1 で高速化のための課題とそれらに影響する要因を整理し、4.2 で基礎試験について、4.3 で開発機と市販対照機 (以下、「対照機」とする。) の概要について、4.4 で開発機の作業性能試験について述べる。

4.1 代かきの高速化に関する課題と要因

耕うんロータリと同様、代かきロータリにおいても作業速度の増大に伴い作業精度が低下する傾向がある。そのため、代かき作業を高速化するには、刈株やわらの埋没性能、砕土性能、均平性能などの作業精度の向上が必要となる。所要動力に関しては、代かき時のPTO比動力が耕うん時の1/3程度以下と小さいため、高速化を制限する大きな要因とはならないが、省エネルギーの観点からはできるだけ小さいことが望ましい。

耕うんロータリに比べ、代かき機に関する研究は少なく、カゴ車輪の代かき特性を調査した研究^{101) 102) 103)}、歩行用トラクタ装着式耕うんロータリの代かき負荷特性を調査した研究¹³⁾、L型つめとなつめの代かき負荷特性などを調べた研究^{111) 118)}等が行われているにすぎない。本研究の対象であるつめ式の代かきロータリに関する研究はほとんど発表されていないものの、代かきロータリの作業精度や所要動力に影響を及ぼす要因としては、構造が類似している耕うんロータリと同様、土壌条件のほか、つめの形状や配列、

レーキ、ロータリカバー及び整地板の形状や取付け位置などの機械条件と、つめ回転速度（作業ピッチ）、作業深などの作業条件があるものと推定される。

開発に先立ち、高速化のための課題である作業精度等に影響すると思われる上記の要因のうち、「レーキの仕様と取付け位置」、「つめ配列」、わん曲部切削角を中心とした「つめ形状」及び「つめ回転速度」を取上げ、以下のような基礎試験を行った。

4.2 代かきの高速化に関する基礎試験

4.2.1 供試機の概要

作業精度に影響を及ぼす要因の検討を行うため、7種類の一体式試作機を製作し、対照機（試作機のベースとなった機械）とともに基礎試験に供試した。これらの機械の主な仕様を表4-1に示す。以下に、試作機において仕様を変更した点を示す。

1) レーキ

埋没性能を向上させるため、従来から整地板下方に

表 4-1 基礎試験供試機の主な仕様

種 類	試作機						対照機 (市販機)		
	A	B	C	D	E	F		G	
作 業 幅 (cm)	240		240			240	240	240	
入 力 軸 / つ め 軸 減 速 比	0.480		0.480	0.520	0.656	0.48	0.480	0.480	
つ め	本 数	64					78	64	
	配 列	図 4-4 a)					図 4-4 b)	図 4-4 c)	
	1 回 転 当 たり 切 削 回 数	1 又は 2		1 又は 2			1 又は 2	1 又は 2	
	回 転 半 径 r (mm)	185		185			185	185	
	切 削 幅 d (mm)	54	46	46			46	46	
	先 端 オ フ セ ッ ト 幅 f (mm)	14	5.5	5.5			5.5	5.5	
	直 刀 部 み か け 切 込 角 γ ($^{\circ}$)	29~37		29~37			29~37	29~37	
	直 刀 部 曲 げ 角 η ($^{\circ}$)	17, 0 ²⁾		17, 0 ²⁾			17, 0 ²⁾	17, 0 ²⁾	
	わん 曲 部	わん 曲 開 始 部 α_1	112		100			79	112
	み か け 切 刃 先 α_2	98		90			70	98	
削 角 α ($^{\circ}$)	概 略 平 均		105			75	105		
わん 曲 部 屈 曲 角 δ ($^{\circ}$)	110		110			110	110		
わん 曲 部 曲 率 半 径 e (mm)	45		45			45	45		
レ キ	大 型 レーキ 線 径 (mm)	6	5, 6	5			5	6	
	大 型 レーキ 平 均 ピ ッ チ (mm)	50	38, 42, 50	42			42	50	
	大 型 レーキ 位 置 調 節 段 数	3	3	3			3	3	
	整 地 板 レーキ 線 径 (mm)	4		4			4	4	
	整 地 板 レーキ ピ ッ チ (mm)	100		100			100	100	

1) 直刀部開始点からわん曲開始点までの値の範囲, 2) 0° のつめは最外側及びトラクタ車輪通過部に取付け, 3) 定置回転時の値

設けられている「整地板レーキ」に加え、リヤカバーの前方に、写真 4-1 及び図 4-1 に示す「大型レーキ」を新設した。埋没性能を安定させるため、大型レーキはリヤカバーの上下動に追従する構造とし、作業深が変動しても、大型レーキ先端から水田表面（整地板の下面）までの高さが常に同程度となるようにした。また、大型レーキの先端がほ場表面より上に出ると埋没性能が低下するため、大型レーキの位置を3段階に変更できる構造とした。

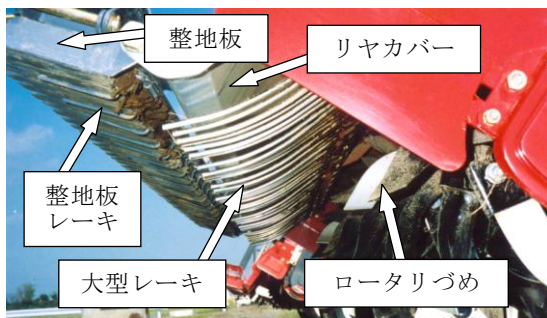


写真 4-1 試作機の構造

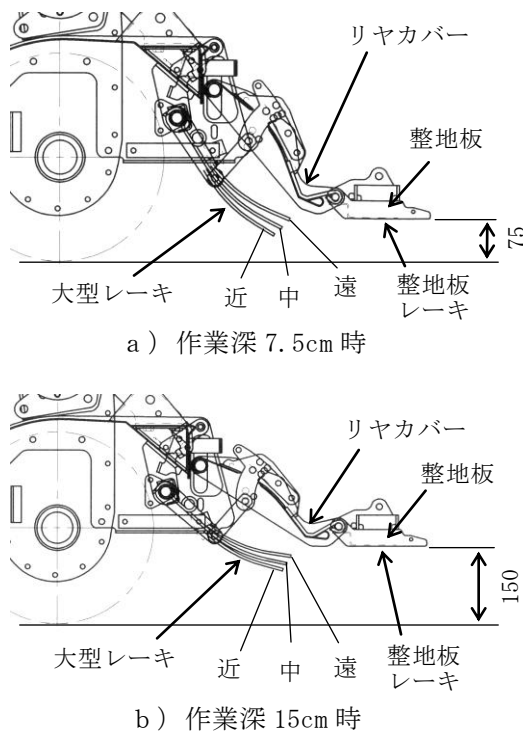


図 4-1 レーキの概要

2) ロータリづめの配列

碎土性能と埋没性能を向上させるため、一般的な従

来機に比べ、つめが1回転当たり2回作用する部分の位置と幅を変えたつめ軸を2種類（表 4-1 のA～FとG）試作した。

3) ロータリづめの形状

整地板からの泥土の吐出しを減らし、均平性能を向上させること、高速作業時の所要動力を減らすことなどを目的に、わん曲部の平均みかけ切削角（以下、「切削角」とする。）が 105° である従来づめに対し、同角を 95° （表 4-1 のC～E）及び 75° （表 4-1 のF）に減少させたつめを試作した。

4) ロータリづめの回転速度

高速作業時における作業ピッチの増大を防ぐことにより、碎土性能と埋没性能を向上させるため、つめ回転速度を8%（表 4-1 のD）及び37%（表 4-1 のE）高めた試作機を製作した。

4.2.2 大型レーキが作業性能に及ぼす影響

1) 背景と目的

従来の代かきロータリでは、1980年代の後半から、リヤカバーの先端に取付けられた整地板の下面に、写真 4-1 に示すような「整地板レーキ」が設けられている。これにより、わら等の埋没性能が向上したが、高速作業時における刈株やわらの埋没性能は必ずしも十分ではなかった。耕うんロータリにおいては、これらの埋没性能を向上させるため、リヤカバーの前方にレーキを取付けたアップカットロータリ^{92) 95)}が実用化されているが、このようなレーキを代かきロータリに応用した製品はなかった。そこで、リヤカバーの前方に、写真 4-1 及び図 4-1 に示すような「大型レーキ」を設けた試作機を製作し、大型レーキの効果及び仕様を検討する目的で本試験を行った。

2) 供試機

表 4-1 の試作機Bに、横方向ピッチを50mmにした一対のレーキの取付け間隔を変えた3種類の大型レーキ（図 4-2）を取付け、大型レーキのない対照機とともに供試した。ピッチを不等間隔にしたのは、隣接ピッチが小さい時に株やわらがレーキ前方にたまるのを

防ぐためである。出力 19kW の 4 輪駆動トラクタに供試機を装着して試験した。

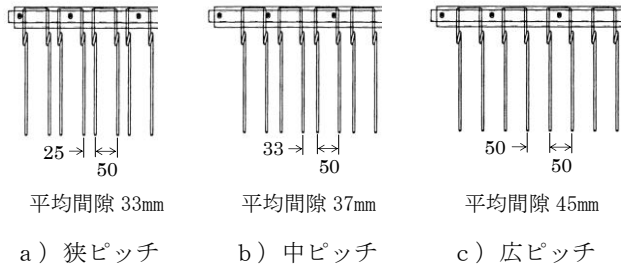


図 4-2 レーキ間隙試験における供試大型レーキ

3) ほ場条件

水稻収穫後にロータリ耕を行い、試験前に入水した壤質土水田において試験を行った。表 4-2 にほ場条件を示す。

表 4-2 レーキ間隙作業精度試験のほ場条件

試験番号	J 1
試験年月	1999年10月
試験場所	岡山県賀陽町
ほ場の履歴 稲わらの状態	水稻収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布
耕うん方法	ロータリ耕
土壌群 土性 ¹⁾	灰色台地土 壤質

1) 触感法により判定

4) 試験方法

写真 4-2 のように、隣接する行程間の未作業部分の幅を 1 m 程度残し、トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を約 12cm に設定するとともにトラクタの機関回転速度を最大にして 1 区当たり約 20m 作業した。表 4-3 に作業条件を示す。つめ回転速度は 2 段階、作業速度は 2 段階に変えた。作業中にトラクタの回転計を読取り、機関の負荷状態を調査するとともに、リヤカバー及び整地板の浮き上がり状態を観察した。作業後には、稲株やわらの露出状態及び均平状態の観察を行った。



写真 4-2 代かき作業精度試験の風景

表 4-3 レーキ間隙作業精度試験の作業条件

試験番号	J 1	
	試作機	対照機
トラクタ機関出力 (kW)	19	
つめの種類	切削角 105°	
大型レーキの位置	中	—
作業回数	1 回掛け	
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	273, 385	
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	0.69, 1.14	
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	54, 76, 89, 125	
試験区数	各 1 区	

1) 機関定格回転 (2,600rpm) 時

2) 機関定格回転・進行低下率 0% 時

3) 機関定格回転・進行低下率 0% 時、1 回転当たりつめ 2 回作用部の値

5) 試験結果と考察

大型レーキを取付けた試作機区では、対照区より稲株やわらの埋没が良好な傾向があり、機関の負荷状態は対照機と同程度であった。試作機区の中で比較すると、平均間隙 33mm (図 4-2 の a) の大型レーキを取付けた区では、わらの多いところで埋没性能や均平性能が劣った。平均間隙 37mm (図 4-2 の b) 区と同 45mm (図 4-2 の c) 区については、均平性能は同程度であったが、埋没性能は 37mm 区が若干良好な傾向があった。機関の負荷状態は、3 区とも同程度であった。33mm 区で埋没性能と均平性能が劣ったのは、大型レーキ前方にわらがたまってリヤカバーが持ち上がり、整地板が後傾状態となったためと思われる。

以上の結果から、大型レーキの効果を確認でき、平均間隙が 33mm の大型レーキは横方向のピッチが狭すぎる事が明らかになった。大型レーキは、主に刈株

やわらの埋没性能を向上させるために設けたものであり、刈株の大きさやわらの長さにより、適切な間隙が決まってくる。土壤条件が異なっても、刈株の大きさやわらの長さが大きく変わることは少ないと考えられるため、本試験結果を踏まえ、一体式開発機に装着する大型レーキの平均間隙を37mmとした。

4.2.3 大型レーキの取付け位置が作業性能に及ぼす影響

1) 背景と目的

試作機では、図4-1に示すように、大型レーキの位置を3段階に変更できるようにした。レーキ位置を調節するための参考データを得る目的で、本試験を行った。

2) 供試機

表4-1に示す試作機B（大型レーキの線径6mm，平均ピッチ42mm）を供試し，大型レーキの取付け位置を3段階に変えて試験を行った。高速作業時の機関回転速度の低下を抑制するため，適応トラクタより大型の出力53kWの4輪駆動トラクタに供試機を装着した。

3) ほ場条件

作業精度試験は，水稻収穫後にロータリ耕を2回又は1回行い，試験前に入水した壤質砂土，壤土及びシ

ルト質埴土の水田において行った。ほ場条件を表4-4に示す。壤質砂土水田（試験番号K1）及び壤土水田（K2）は土壤が軟らかく，土塊が小さい条件であり，ロータリ耕を2回行ったシルト質埴土水田（K3）は比較的硬い土壤ではあるものの，土塊は小さいほ場条件であった。一方，ロータリ耕1回のシルト質埴土水田（K4）は，比較的水が少なく土壌が硬く，土塊が大きい条件であった。

動力試験は，水稻収穫後にロータリ耕を2回行い，試験前に入水した壤質砂土及びシルト質埴土の水田において行った。ほ場条件を表4-5に示す。2ほ場とも，土塊が小さい土壤条件であった。

4) 試験方法

a) 作業精度試験の方法

写真4-2のように，隣接する行程間の未作業部分の幅を1m程度残し，トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を12cm程度に設定するとともにトラクタの機関回転速度を最大にして，壤質砂土及び壤土水田では2回掛け（荒代，仕上げ代），シルト質埴土水田では3回掛け（荒代，中代，仕上げ代）で，1区当たり約40m作業した。表4-6に作業条件を示す。荒代，中代では，トラクタのPTO速度段を2速に設定した。仕上げ代では，PTO速度段を1速にし，作業速度段を荒代や中代より1段低速に設定した。作業中にリヤ

表4-4 レーキ位置作業精度試験のほ場条件

試験番号	K1	K2	K3	K4
試験年月	2000年4月	2000年5月	2000年5月	2000年11月
試験場所	千葉県佐倉市	埼玉県川里町		
履歴（稲わらの状態）	水稻収穫後の水田（自脱コンバインで切断散布）			
耕うん方法	ロータリ耕2回			ロータリ耕1回
土壤統群	低地造成土	低地造成土 （黒ボク土客土）	細粒質グライ化灰色低地土	
土性 ¹⁾	壤質砂土（LS）	壤土（L）	シルト質埴土（SiC）	
粒径組成 ²⁾ （%）	4, 8, 88, 0	12, 32, 56, 0	34, 47, 19, 0	34, 47, 19, 0
表層平均土塊径 ³⁾ （cm）	2.3	1.9	1.7	5.7
稲株露出数（個/m ² ）	8.9	9.2	7.2	5.1
耕盤深さ（cm）	16.6	18.6	17.2	17.6
耕盤貫入抵抗（MPa）	0.78	1.10	1.65	1.37
入水時期	3日前	3日前	3日前	2日前

1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm，シルト：0.002～0.02mm，砂：0.02～2.0mm，礫：2.0mm～）

2) 同上（粘土，シルト，砂，礫の順），3) 表層約10cmの値

表 4-5 レーキ位置動力試験のほ場条件

試験番号	L 1	L 2
試験年月	2000年4月	2000年5月
試験場所	千葉県佐倉市	埼玉県川里町
履歴(稲わらの状態)	水稻収穫後の水田(自脱コンバインで切断散布)	
耕うん方法	ロータリ耕2回	
土壌統群	低地造成土	細粒質グライ化灰色低地土
土性 ¹⁾	壤質砂土(LS)	シルト質埴土(SiC)
粒径組成 ²⁾ (%)	4, 8, 88, 0	28, 50, 22, 0
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	2.2	2.4
稲株露出数(個/m ²)	9.1	2.2
耕盤深さ(cm)	15.5	18.6
耕盤貫入抵抗(MPa)	0.98	0.93
入水時期	4日前	5日前

1) 国際土壌学会法(粘土: ~0.002mm, シルト: 0.002~0.02mm, 砂: 0.02~2.0mm, 礫: 2.0mm~) 2) 同上(粘土, シルト, 砂, 礫の順), 3) 表層約10cmの値

表 4-6 レーキ位置作業精度試験の作業条件

試験番号	K 1, K 2	K 3, K 4
トラクタ機関出力(kW)	53	53
つめの種類	切削角 105°	切削角 105°
作業回数	2回掛け	3回掛け
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	荒代	371
	中代	—
	仕上げ代	282
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	荒代	0.95
	中代	—
	仕上げ代	0.75
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	荒代	77
	中代	—
	仕上げ代	80
試験区数	各1区×2反復×2ほ場	

1) 機関定格回転(2,500rpm)時, 2) 機関定格回転・進行低下率0%時, 3) 機関定格回転・進行低下率0%時, 1回転当たりつめ2回作用部の値

カバー及び整地板の浮き上がり状態を観察するとともに、作業後には、稲株やわらの露出状態及び均平状態の観察を行った。

b) 動力試験の方法

トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を12cm程度に設定するとともにトラクタの機関回転速度を最大にし、1区当たり約20m作業して荒代時のPTO動力等を、2.3.5に示す方法で測定した。また、壤質砂土水田では1回掛け(荒代)、シルト質埴土水田では2回掛け(荒代, 中代)を行った後に上記と同様

の作業を行い、仕上げ代時のPTO動力等を測定した。表4-7に作業条件を示す。

表 4-7 レーキ位置動力試験の作業条件

試験番号	L 1	L 2
トラクタ機関出力(kW)	53	53
つめの種類	切削角 105°	切削角 105°
作業回数	2回掛け目	3回掛け目
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	荒代	371
	中代	—
	仕上げ代	282
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	荒代	0.75, 0.95, 1.20
	中代	—
	仕上げ代	0.62, 0.75, 0.95
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	荒代	61, 77, 97
	中代	—
	仕上げ代	66, 80, 101
試験区数	各3区×2反復×1ほ場	

1) 機関定格回転(2,500rpm)時, 2) 機関定格回転・進行低下率0%時, 3) 機関定格回転・進行低下率0%時, 1回転当たりつめ2回作用部の値

5) 試験結果と考察

a) 作業精度

土塊が小さかったK1~K3水田では、大型レーキの位置を変えても整地板の姿勢は余り変わらず、本試験の条件下では、稲株やわらの露出状態及び均平状態もほとんど差がなかった。土壌が硬く、土塊が大きかったK4水田では、大型レーキの位置をつめに近づけ

るとリヤカバーが持ち上がり、整地板が後傾して浮いてしまう状態が観察された。そのため、稲株やわらの露出が増加し、均平状態が悪化する傾向が見られた。

b) 所要動力と所要エネルギー

2ほ場の平均値を算出した動力試験の結果を図 4-3 に示す。作業深は、荒代時で 12~14cm、仕上げ代時で 10~11.5cm であり、大型レーキの位置を変えても、荒代時及び仕上げ代時の P T O 比動力及び P T O 比エネルギーは同程度であった。

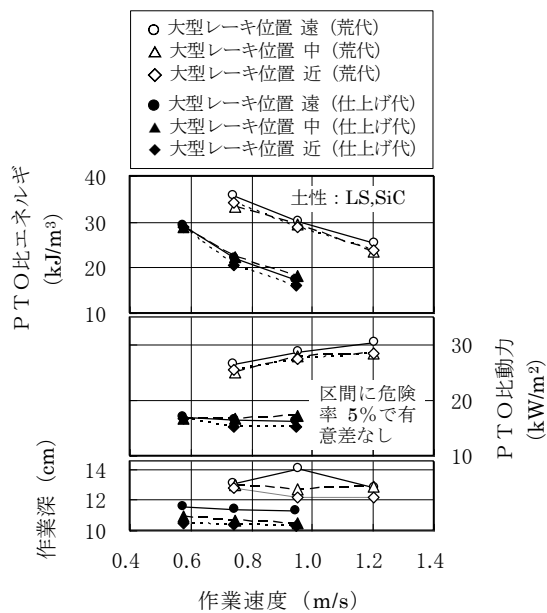


図 4-3 レーキ位置動力試験の結果 (試験番号 L 1, L 2, 2ほ場の平均値)

c) レーキ位置試験の考察

以上の結果から、水が少なく土壌が固く、土塊が大きいほ場では大型レーキ位置をつめから遠い位置に設定すると良いことがわかった。これらの結果を、利用上の留意点として挙げることにした。

4.2.4 つめ配列が作業性能に及ぼす影響

1) 背景と目的

従来の代かきロータリでは、図 4-4 の c) に示すように、つめ軸の同一面に、位相を 180° ずらせて 2 個のつめホルダを配置し、左右逆向きのつめをそれぞれらせん状に取付ける配列が一般的であった。そのため、つめ先端部分でつめ軸 1 回転間に 2 回打込む (作業ピ

ッチが 1/2 になる) 配列 (図 4-4 の c 下図) が多かった。一般に、作業ピッチが小さくなるほど作業精度は良好になるものの、所要動力が増加する傾向があるため、所要動力が増大しない範囲でどこまで 2 回打込みの幅を広げられるかは重要なポイントである。また、代かきつめのわん曲部が打込まれると、土が横方向へも移動するため、2 回打込まれる部分がつめ先端部である場合とわん曲開始部である場合で、作業性能が異なる可能性がある。

そこで、横方向のつめ配列 (2 回打込む部分の幅と位置) が代かきロータリの作業性能及び所要動力に及ぼす影響を確認する目的で本試験を行った。

2) 供試機

表 4-1 に示す、同じ形状のつめを取付けた試作機 A、試作機 G 及びこの 2 機種に比べ切削幅がやや狭いつめを持つ対照機を供試した。試作機 A は対照機と同じつめ本数 (64 本) で、180° 対向するつめホルダの横方向取付け位置を 15mm ずらし、つめ先端部とわん曲開始部の両方で 1 回転当たり 2 回打込む配列とした (図 4-4 の a)。2 回打込み部分の幅は、つめ先端部で 21mm、わん曲開始部で 12mm であり、作業幅の 44% の部分で 2 回打込みを行う。試作機 G は、つめ本数を対照機より約 20% 多い 78 本とし、180° 対向するつめホルダの横方向取付け位置を半ピッチずらす配列とした (図 4-4 の b)。2 回打込み部分の幅は、つめ先端部で 5mm、わん曲開始部で 42mm であり、作業幅の 76% の部分で 2 回打込みを行う。対照機は、2 回打込み部分の幅がつめ先端部で 19mm、わん曲開始部で 0mm であり、作業幅の 25% で 2 回打込みを行う。機関出力 24kW の 4 輪駆動トラクタに供試機を取付けて試験した。

3) ほ場条件

試験は、水稻収穫後にロータリ耕を行った強粘質水田において、入水せずに行った。表 4-8 にほ場条件を示す。

4) 試験方法

隣接する行程間の未作業部分の幅を 1 m 程度残し、

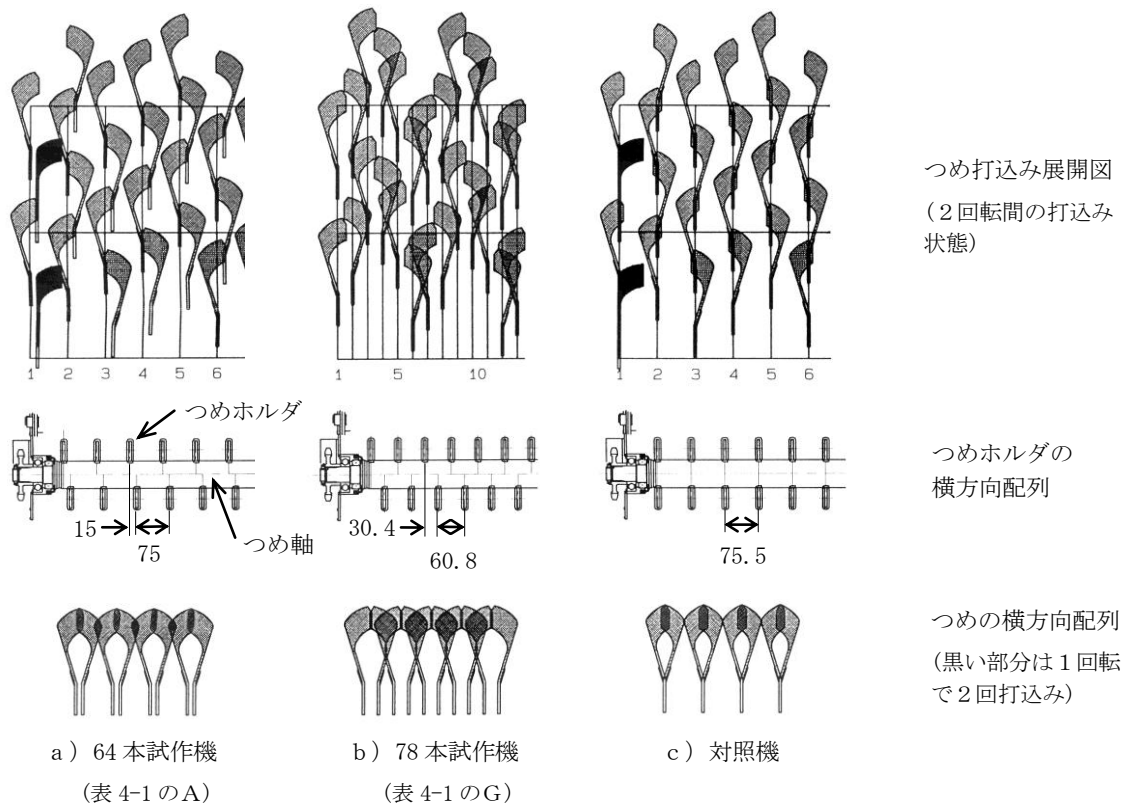


図 4-4 供試機をつめ配列

トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を 12cm 程度に設定するとともに、トラクタの機関回転速度を最大にして1区当たり約 20m作業した。表 4-9 に作業条件を示す。78 本づめ試作機では、大型レーキを外した区も設けた。作業後に、表層砕土率、刈株露出数、わら埋没状態、均平度を測定した。また、トラクタの回転計を読取り、負荷状態を調査した。

表 4-8 つめ配列試験のほ場条件

試験番号	M1
試験年月	1998年12月
試験場所	岡山県岡山市
ほ場の履歴 稲わらの状態 耕うん方法	水稻収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布 ロータリ耕1回
土壌統群性 ¹⁾	細粒質表層灰色グライ低地土 強粘質
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	3.4
稲株露出数 (個/m ²)	7.2
耕盤深さ (cm)	19.0

1) 触感法により判定, 2) 表層約 10cm の値

5) 試験結果と考察

表 4-10 に、4 試験区の平均値を算出した試験結果を示す。

a) 作業精度

表層砕土率は 64 本づめ試作機区が最も高く、対照区が最も低かった。稲株露出数は対照区に比べ試作機区で少なく、均平度は試作機区の方が良好であった。

表 4-9 つめ配列試験の作業条件

試験番号	M1	
試験区	試作機	対照機
トラクタ機関出力 (kW)	24	
つめの種類	切削角 105°	
大型レーキの位置	中	—
作業回数	1回掛け	
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	264, 324	
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	0.45, 0.64	
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	42, 51, 59, 73	
試験区数	各4区×2反復×1ほ場	

1) 機関定格回転 (2,800rpm) 時, 2) 機関定格回転・進行低下率 0%時, 3) 機関定格回転・進行低下率 0%時, 1回転あたりつめ2回作用部の値

表 4-10 つめ配列試験の結果

試験番号	M1				
	供試機	64本試作機	78本試作機	対照機	
試験区	大型レーキ	有り	有り	有り	無し
平均作業速度 (m/s)		0.53	0.49	0.52	0.53
表層砕土率 ²⁾ (%)		42.9 ^a	36.6 ^b	35.3 ^{bc}	30.6 ^c
稲株露出数 (個/m ²)		2.6 ^a	2.2 ^a	2.6 ^a	3.4 ^b
均平度 (評点)		3.4 ^a	3.3 ^a	3.3 ^a	3.0 ^b
平均機関回転速度 (rpm)		2,665	2,425	2,600	2,620

1) 4区の平均値, 2) 表層5cmにおける直径2cm未満の土塊質量割合, 3) 危険率5%でaとbとcの間に有意差あり, aとa, bとb, cとcの間に有意差なし

78本づめでの大型レーキ有り区と無し区を比べると、表層砕土率、稲株露出数及び均平度に差はなかった。対照機に比べ試作機の砕土性能、埋没性能及び均平性能が良好であったのは、大型レーキの新設に加え、対照機のつめが先端部で2回打込まれるのに対し、64本づめ試作機ではわん曲開始部でも2回打込まれるため、78本づめ試作機では2回打込みの幅が広がったためと考えられる。

b) 負荷状態

トラクタの機関回転速度は、64本づめ試作機区では対照区と同程度であったが、78本づめ試作機のレーキ有り区では定格回転速度より10~15%低くなった。単位作業幅当たりのつめ打込み回数が増加したこと、大型レーキ設置によりカバー内の土塊持回り量が増大したことがこの原因と考えられる。

c) つめ配列試験の考察

以上の結果から、180°対向して取付けられる一対のつめの横方向取付け位置を15mmずらす配列(64本づめ試作機)、あるいは、横方向取付けピッチを約20%小さくし、一対のつめの横方向取付け位置を半ピッチずらす配列(78本づめ試作機)とすることで、砕土性能や埋没性能を向上させ得る可能性があることが見出された。しかし、後者の配列では所要動力が増加する傾向があったため、一体式開発機では前者の配列を採用した。

4.2.5 つめ形状が作業性能に及ぼす影響

1) 背景と目的

耕うんロータリにおいては、なたづめのわん曲部切

削角が大きくなるほど、砕土性能、埋没性能及び放てき性能が高まり、所要動力が増加することが明らかにされている^{82) 106)}。代かき機については、カゴロータに関する研究は行われている¹⁰⁴⁾ものの、つめ式代かきロータリのつめ形状に関する研究発表事例はない。代かきづめでも、基本的には耕うん用なたづめと同様の傾向があるものと推定されるが、耕うん用なたづめのみかけ切削角が30~60°程度である¹⁸⁾のに対し、代かきロータリのみかけ切削角は90~105°程度と大きいこと、対象土壌の物性が違うことなどにより、異なった結果が出ることもあり得る。また、切削角の大きいつめで高速作業を行うと、後方への泥土の放てきが強まり、均平性能が悪化する恐れがある。

そこで、つめの切削角が代かきロータリの作業性能に及ぼす影響を明らかにする目的で本試験を行った。

2) 供試機

切削角以外の仕様が同じつめを同じ配列とし、同じ減速比を持つ、表4-1に示す試作機B、C及びFを供試した。つめのみかけ切削角は、試作機Bが105°、試作機Cが95°、試作機Fが75°である。試作機Bの大型レーキには、試作機C、Fと同じものを使用した。高速作業時の機関回転速度の低下を抑制するため、適応トラクタより大型の出力53kWの4輪駆動トラクタに供試機を装着して試験した。

3) ほ場条件

予備試験は、水稻収穫後にロータリ耕を行い、試験前に入水した壤質土水田において行った。作業精度試

験はロータリ耕を2回行った後に入水した壤質砂土、壤土、シルト質埴土（2箇所）の水稲収穫後の水田で、動力試験は水稲収穫後にロータリ耕を2回行い、試験前に入水したシルト質埴土水田で行った。予備試験のほ場条件を表 4-11 に、作業精度試験のほ場条件を表 4-12 に、動力試験のほ場条件を表 4-13 に示す。

表 4-11 つめ形状予備試験のほ場条件

試験番号	N 1
試験年月	1999年10月
試験場所	岡山県賀陽町
ほ場の履歴 稲わらの状態	水稲収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布
耕うん方法	ロータリ耕
土壌群 土性 ¹⁾	灰色台地土 壤質

1) 触感法により判定

4) 試験方法

上記3種類の試作機を供試し、つめ回転速度を2段階（273, 385rpm）、作業速度を2段階（0.69, 1.14m/s）に変えて予備試験を行った結果、切削角75°のつめは、他のつめに比べ、砕土性能及び稲株やわらの埋没性能が劣る傾向が観察された。そのため、作業精度試験及び動力試験では、切削角95°と105°のつめを取付けた試作機を供試した。

表 4-13 つめ形状動力試験のほ場条件

試験番号	O 1
試験年月	2000年5月
試験場所	埼玉県川里町
ほ場の履歴 稲わらの状態	水稲収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布
耕うん方法	ロータリ耕2回
土壌群	細粒質グライ化灰色低地土
土性 ¹⁾	シルト質埴土(SiC)
粒径組成 ²⁾ (%)	28, 50, 22, 0
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	2.4
稲株露出数(個/m ²)	2.2
耕盤深さ(cm)	18.6
耕盤貫入抵抗(MPa)	0.93
入水時期	5日前

1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm, シルト：0.002～0.02mm, 砂：0.02～2.0mm, 礫：2.0mm～）

2) 同上（粘土, シルト, 砂, 礫の順）

3) 表層約10cmの値

a) 作業精度試験の方法

予備試験において、埋没性能が悪かった切削角75°のつめを除く2種類のつめを供試し、作業精度試験を行った。表 4-14 に作業条件を示す。試験は、写真 4-2 に示すように、隣接する行程間の未作業部分の幅を1m程度残し、トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を約12cmに設定するとともにトラクタの機関回転速度を最大にして、同じ場所を中粗粒質水田

表 4-12 つめ形状作業精度試験のほ場条件

試験番号	N 2	N 3	N 4	N 5
試験年月	2000年4月	2000年3月	2000年3月	2000年5月
試験場所	千葉県佐倉市	埼玉県川里町	埼玉県川里町	埼玉県川里町
履歴（稲わらの状態） 耕うん方法	水稲収穫後の水田（自脱コンバインで切断散布） ロータリ耕2回			
土壌群	低地造成土	低地造成土 （黒ボク土客土）	細粒質グライ化灰色低地土	細粒質グライ化灰色低地土
土性 ¹⁾ 粒径組成 ²⁾ (%)	壤質砂土(LS) 4, 8, 88, 0	壤土(L) 12, 32, 56, 0	シルト質埴土(SiC) 26, 48, 26, 0	シルト質埴土(SiC) 26, 48, 26, 0
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	2.3	1.9	2.6	1.7
稲株露出数(個/m ²)	8.9	6.8	6.0	7.2
耕盤深さ(cm)	16.6	20.7	20.9	17.2
耕盤貫入抵抗(MPa)	0.78	1.29	1.20	1.65
入水時期	3日前	4日前	4日前	3日前

1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm, シルト：0.002～0.02mm, 砂：0.02～2.0mm, 礫：2.0mm～）

2) 同上（粘土, シルト, 砂, 礫の順）, 3) 表層約10cmの値

表 4-14 つめ形状作業精度試験の作業条件

試 験 番 号		N 2	N 3	N 4	N 5
トラクタ機関出力(kW)		53	53	53	53
大型レーキの位置		近	中	中	中
作業回数		2回掛け	2回掛け	3回掛け	3回掛け
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	荒代	371	371	371	371
	中代	—	—	371	371
	仕上げ代	282	282	282	282
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	荒代	0.75, 0.95, 1.20	0.95	0.95	0.75, 0.95, 1.20
	中代	—	—	0.95	0.75, 0.95, 1.20
	仕上げ代	0.62, 0.75, 0.95	0.75	0.75	0.62, 0.75, 0.95
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	荒代	61, 77, 97	77	77	61, 77, 97
	中代	—	—	77	61, 77, 97
	仕上げ代	66, 80, 101	80	80	66, 80, 101
試 験 区 数		各1区×2反復	各3区×2反復	各1区×2反復	各3区×2反復

- 1) 機関定格回転 (2,500rpm) 時, 2) 機関定格回転・進行低下率0%時
3) 機関定格回転・進行低下率0%時, 1回転あたりつめ2回作用部の値

(壤質砂土, 壤土) では2回掛け (荒代, 仕上げ代), 細粒質水田 (シルト質埴土) では3回掛け (荒代, 中代, 仕上げ代) で, 1区当たり約 40m作業して行った。荒代, 中代では, トラクタのPTO速度段を2速に設定した。仕上げ代では, PTO速度段を1速にし, 作業速度段を荒代及び中代より1段低速に設定した。仕上げ代後に, 表層砕土率, 株露出数, わら埋没状態, 均平度を測定した。

b) 動力試験の方法

埋没性能が悪かった切削角 75° のつめを除く2種類をつめを供試し, トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を約 12cm に設定するとともにトラクタの機関回転速度を最大にし, 1区当たり約 20m作業して荒代時のPTO動力等を, 2.3.5に示した方法で測定した。また, 2回掛け (荒代, 中代) を行った後に上記と同様の作業を行い, 仕上げ代時のPTO動力等を測定した。表 4-15 に作業条件を示す。

5) 試験結果と考察

a) 作業精度

作業精度試験の結果を8試験区の平均値を算出して表 4-16 に示す。表層砕土率は切削角が異なっても同程度であったが, 稲株露出数は切削角 105° 区の方が少なかった。高速作業時における整地板からの泥土の吐出しは大差なく, 均平度は両区とも同程度であった。

表 4-15 つめ形状動力試験の作業条件

試 験 番 号		O 1
トラクタ機関出力 (kW)		53
大型レーキの位置		中
作業回数		3回掛け目
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	荒代・中代	371
	仕上げ代	282
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	荒代・中代	0.75, 0.95, 1.20
	仕上げ代	0.62, 0.75, 0.95
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	荒代・中代	61~97
	仕上げ代	66~101
試 験 区 数		各3区×2反復×1ほ場

- 1) 機関定格回転 (2,500rpm) 時, 2) 機関定格回転・進行低下率0%時, 3) 機関定格回転・進行低下率0%時, 1回転あたりつめ2回作用部の値

表 4-16 つめ形状作業精度試験の結果

試 験 番 号	N 2 ~ N 5	
試 験 区	切削角 95°	切削角 105°
荒代・中代作業速度 (m/s)	0.96	0.96
仕上げ代作業速度 (m/s)	0.75	0.75
表層砕土率 ²⁾ (%)	90.2 ^a	90.3 ^a
稲株露出数 (個/m ²)	5.8 ^a	4.6 ^b
稲わら埋没状態 (評点)	3.4 ^a	3.5 ^a
均 平 度 (評点)	3.6 ^a	3.6 ^a

- 1) 4ほ場, 計8区の平均値
2) 表層5cmにおける直径2cm未満の土塊質量割合
3) 危険率5%でaとbの間に有意差あり, aとaの間に有意差なし

切削角 105° 区で埋没性能が良好であったのは、わん曲部が土中を通過する過程の前半において、105° づめの方が稲株やわらを下方へ押し込む作用が強く、同過程の後半において、稲株やわらを上方へ持ち上げる作用が弱いことが原因と考えられる。また、切削角が異なっても整地板からの泥土の吐出しが同程度であったのは、大型レーキの設置により後方への泥土の放てきが弱まったためと思われる。

b) 所要動力と所要エネルギー

動力試験の結果を図 4-5 に示す。作業深は、荒代時で 11~12cm、仕上げ代時で約 11cm であった。切削角 95° 区は、105° 区に比べ、P T O 比動力及び P T O 比エネルギーが荒代で約 5%，仕上げ代で約 10% それぞれ低かった。95° 区の比動力が低かったのは、わん曲部切削角が小さくなるほど土壌かく拌時の抵抗が減少するためと思われる。

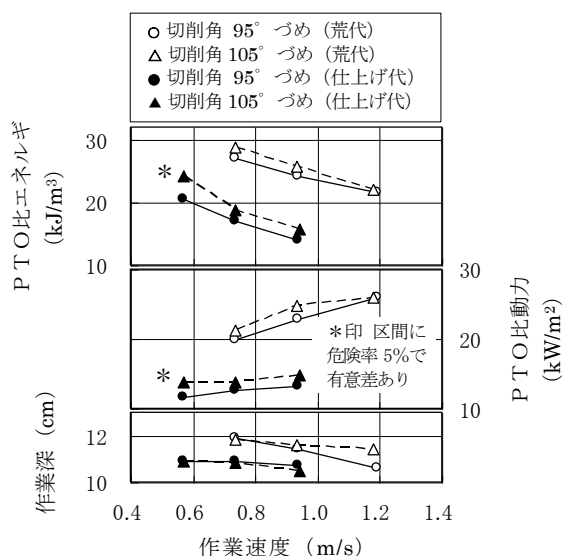


図 4-5 つめ形状動力試験の結果
(試験番号 O 1)

c) つめ形状試験の考察

以上の結果から、切削角 75° のつめは砕土性能と埋没性能が劣ること、切削角 105° のつめは 95° のつめに比べ埋没性能が良好な傾向があり、P T O 比動力が 5~10% 高いことがわかった。代かきロータリでは、所要動力の増加よりも作業精度の低下により高速作業ができないことが多いことから、この結果を踏まえ、

一体式開発機には埋没性能の良好な切削角 105° のつめを採用することとした。

4.2.6 つめ回転速度が作業性能に及ぼす影響

1) 背景と目的

耕うんロータリにおいては、つめ回転速度を高めて耕うんピッチを小さくすることにより、砕土性能や埋没性能が良好となること、所要動力が増大することが明らかにされている⁸²⁾。代かきロータリにおいても同じ傾向があるものと推定され、つめ回転速度の増大により高速作業時の作業精度の低下を抑制できる可能性がある。

そこで、つめ回転速度が代かきロータリの作業性能に及ぼす影響を明らかにする目的で本試験を行った。

2) 供試機

表 4-1 に示す試作機 C (以下、「低回転機」とする。), D (以下、「中回転機」とする。), E (以下、「高回転機」とする。) を供試した。これらの供試機はつめ形状とつめ配列が同じで、つめ軸駆動スプロケットの歯数変更により、中回転機は 8%, 高回転機は 37%, それぞれ低回転機よりつめ回転速度が高い。低回転機をつめ回転速度は市販対照機と同じである。適応トラクタより大型の 53kW の 4 輪駆動トラクタに供試機を取付け、試験した。

3) ほ場条件

予備試験は、水稻収穫後にロータリ耕を行い、試験前に入水した壤質土水田において行った。作業精度試験は水稻収穫後にロータリ耕を 2 回行い、試験前に入水した壤質砂土及びシルト質埴土水田で、動力試験は水稻収穫後にロータリ耕を 2 回行い、試験前に入水したシルト質埴土水田で行った。予備試験のほ場条件を表 4-17 に、作業精度試験のほ場条件を表 4-18 に、動力試験のほ場条件を表 4-19 に示す。

4) 試験方法

3 種類の上記試作機を供試し、つめ回転速度を 2 段階 (273, 385rpm), 作業速度を 2 段階 (0.69, 1.14m/s) に変えて予備試験を行った結果、高回転機

表 4-17 つめ回転速度予備試験のほ場条件

試験番号	P 1
試験年月	1999年10月
試験場所	岡山県賀陽町
ほ場の履歴 稲わらの状態	水稻収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布
耕うん方法	ロータリ耕
土壌群 土性 ¹⁾	灰色台地土 壤質

1) 触感法により判定

表 4-18 つめ回転速度作業精度試験のほ場条件

試験番号	P 2	P 3
試験年月	2000年4月	2000年3月
試験場所	千葉県佐倉市	埼玉県川里町
ほ場の履歴 稲わらの状態	水稻収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布	
耕うん方法	ロータリ耕2回	
土壌群	低地造成土	細粒質グライ 化灰色低地土
土性 ¹⁾	壤質砂土 (LS)	シルト質埴土 (SiC)
粒径組成 ²⁾ (%)	4, 8, 88, 0	26, 48, 26, 0
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	2.2	2.6
稲株露出数(個/m ²)	9.1	6.0
耕盤深さ(cm)	15.5	20.9
耕盤貫入抵抗(MPa)	0.98	1.20
入水時期	3日前	4日前

1) 国際土壌学会法(粘土: ~0.002mm, シルト:
0.002~0.02mm, 砂: 0.02~2.0mm, 礫: 2.0mm~)

2) 同上(粘土, シルト, 砂, 礫の順)

3) 表層約10cmの値

は機関の負荷が大きく、後方への泥土吐出し量が多いため均平性能が劣る傾向が見られた。そのため、作業精度試験及び動力試験においては、低回転機と中回転機を供試することとした。

a) 作業精度試験の方法

予備試験において、負荷が高く均平性能に問題があることがわかった高回転機を除く2台の供試機を供試し、「つめ形状試験」に準じた方法で作業精度試験を行った。表4-20に作業条件を示す。

b) 動力試験の方法

負荷が高く均平性能が劣った高回転機を除く2種類の供試機を供試し、トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を12cm程度に設定するとともにトラクタの

表 4-19 つめ回転速度動力試験のほ場条件

試験番号	Q 1
試験年月	2000年3月
試験場所	埼玉県川里町
ほ場の履歴 稲わらの状態	水稻収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布
耕うん方法	ロータリ耕2回
土壌群	細粒質グライ化灰色低地土
土性 ¹⁾ 粒径組成 ²⁾ (%)	シルト質埴土(SiC) 26, 48, 26, 0
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	2.5
稲株露出数(個/m ²)	6.0
耕盤深さ(cm)	20.9
耕盤貫入抵抗(MPa)	1.20
入水時期	5日前

1) 国際土壌学会法(粘土: ~0.002mm, シルト:
0.002~0.02mm, 砂: 0.02~2.0mm, 礫: 2.0mm~)

2) 同上(粘土, シルト, 砂, 礫の順)

3) 表層約10cmの値

表 4-20 つめ回転速度作業精度試験の作業条件

試験番号	P 2		P 3		
試験区	低回転	中回転	低回転	中回転	
トラクタ機関出力(kW)	53		53		
つめの種類	切削角105°		切削角95°		
大型レーキの位置	遠		近		
作業回数	2回掛け		3回掛け		
設定つめ回転 速度 ¹⁾ (rpm)	荒代	371	403	371	403
	中代	—	—	371	403
	仕上げ代	282	306	282	306
設定作業速 度 ²⁾ (m/s)	荒代	0.95		0.95	
	中代	—		0.95	
	仕上げ代	0.75		0.75	
設定作業ピ ッチ ³⁾ (mm)	荒代	77	71	77	71
	中代	—	—	77	71
	仕上げ代	80	73	80	73
試験区数	各1区×2反復×2ほ場				

1) 機関定格回転(2,500rpm)時, 2) 機関定格回
転・進行低下率0%時, 3) 機関定格回転・進行低下
率0%時, 1回転当たりつめ2回作用部の値

機関回転速度を最大にして1区当たり約20m作業し、PTO速度段を2段階に変えて仕上げ代時のPTO動力等を測定した。表4-21に作業条件を示す。

5) 試験結果と考察

a) 作業精度

作業精度試験の結果を2ほ場の平均値を算出して表

表 4-21 つめ回転速度動力試験の作業条件

試験番号	Q 1		
	低回転	中回転	高回転
トラクタ機関出力 (kW)	53		
つめの種類	切削角 95°		
大型レーキの位置	近		
作業回数	3回掛け(仕上げ代のみ測定)		
P T O 速度段	1速		2速
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	282	306	402
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	0.75, 0.95	0.75, 0.95	0.75, 0.95
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	80, 101	74, 93	56, 71
試験区数	各 2 区 × 2 反復 × 1 ほ場		

1) 機関定格回転 (2,500rpm) 時, 2) 機関定格回転・進行低下率 0% 時, 3) 機関定格回転・進行低下率 0% 時, 1 回転当たりつめ 2 回作用部の値

4-22 に示す。稲株露出数は低回転機区の方が少なかったが、表層砕土率、わら埋没状態及び均平度の評点は、両区で同程度であった。つめ回転速度を高速にすることにより埋没性能が悪化したのは、回転が高まるほど土塊の破碎効果が高まる反面、つめが土中を通過する過程の後半において、稲株やわらを上方へ持ち上げる作用が強くなることと原因と考えられる。

表 4-22 つめ回転速度作業精度試験の結果

試験番号	P 2, P 3	
	低回転	中回転
荒代・中代作業速度 (m/s)	0.96	0.96
仕上げ代作業速度 (m/s)	0.74	0.74
表層砕土率 ²⁾ (%)	88.4 ^a	90.0 ^a
稲株露出数 (個/m ²)	4.6 ^a	5.9 ^b
稲わら埋没状態 (評点)	3.7 ^a	3.8 ^a
均平度 (評点)	3.6 ^a	3.5 ^a

1) 2 ほ場, 計 2 区の平均値, 2) 表層 5 cm における直径 2 cm 未満の土塊質量割合, 3) 危険率 5% で a と b の間に有意差あり, a と a の間に有意差なし

b) 所要動力と所要エネルギー

動力試験の結果を図 4-6 に示す。作業深は、12~13cm であった。P T O 比動力及び P T O 比エネルギーは、つめ回転速度にほぼ比例して増加し、中回転時 (310rpm) には、低回転時 (280rpm) より約 15% 高くなった。つめ回転速度が高まると比動力が増加したのは、かく拌抵抗の増加、カバー内の泥土持回り量の

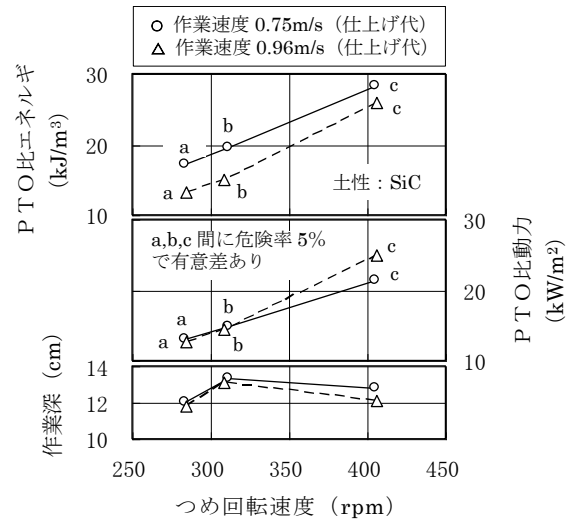


図 4-6 つめ回転速度動力試験の結果 (試験番号 Q 1)

増大等が原因と考えられる。

c) つめ回転速度試験の考察

以上の結果から、つめ回転速度を従来に比べ 37% 増加させると、P T O 比動力が 60% 以上高くなり、均平性能等の作業精度が劣ること、8% 増加させると稲株埋没性能が低下し、P T O 比動力も約 15% 高まることが明らかになった。これらの結果を踏まえ、開発機の入力軸とつめ軸間の減速比は低回転機と同じにした。

4.3 開発機と対照機の概要

上記基礎試験の結果をもとに、以下に示す一体式開発機を試作した。また、わが国で使われている代かきロータリには、基礎試験で供試したつめと直刀部の曲げ方やわん曲部切削角が大きく異なるものや、路上走行時に機体を折畳むことができる構造となっているものがある。そこで、形状の異なるつめを持つ代かきロータリにおいて大型レーキの効果を確認すること、折畳みに支障のない大型レーキの構造を検討することなどを目的に、一体式と形状の異なるつめを持つ折畳み式開発機も試作した。

4.3.1 全体構成

図 4-7 に一体式開発機の、図 4-8 に折畳み式開発機

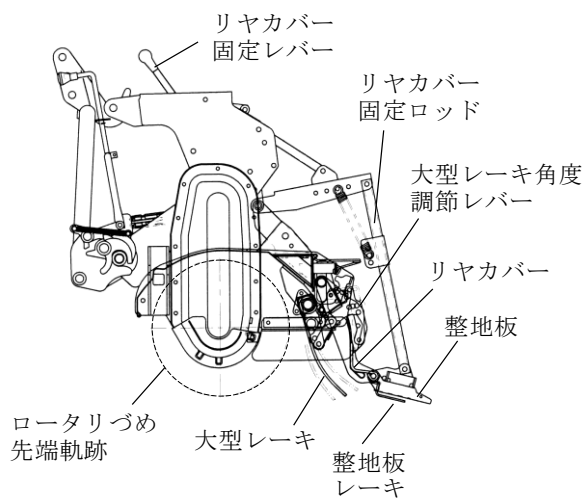


図 4-7 一体式開発機の側面図

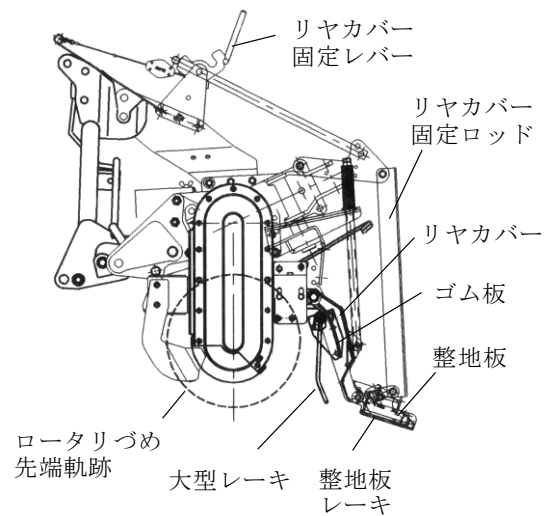


図 4-8 折畳み式開発機の側面図

の側面図を、写真 4-3 に一体式開発機の、写真 4-4 に折畳み式開発機の外観をそれぞれ示す。

を持つ市販の代かきロータリを供試した。表 4-23 に開発機と対照機の主な仕様を示す。

1) 一体式の開発機と対照機

一体式開発機は乗用トラクタ直装式のサイドドライブ型代かきロータリで、適用トラクタは 18~34kW である。作業幅は 2.4m、ロータリづめの回転半径は 185mm である。一体式対照機には、一体式開発機のベースとなった、同じ作業幅と同じ回転半径を持つ市販の代かきロータリを供試した。表 4-23 に開発機と対照機の主な仕様を示す。

2) 折畳み式の開発機と対照機

折畳み式開発機は乗用トラクタ直装式の両側サイドドライブ型代かきロータリで、適用トラクタは 24~46kW である。作業幅は 3.1m、ロータリづめの回転半径は 180mm である。折畳み式対照機には、折畳み式開発機のベースとなった同じ作業幅と同じ回転半径

4.3.2 大型レーキ

基礎試験の結果を踏まえ、開発機ではリヤカバー前方に大型レーキを新設した。大型レーキの線径、平均ピッチ、平均間隔は、一体式開発機ではそれぞれ 6mm, 42mm, 37mm, 折畳み式開発機ではそれぞれ 8mm, 50mm, 42mm とした。ほ場表面への追従性を持たせるため、一体式開発機ではレーキの取付け部付近をコイル状に 2 巻きし、折畳み式開発機ではレーキ全体をバネで下方へ押付ける構造とした。また、一体式開発機では、ほ場条件に合わせ、レーキ位置を 3 段階に調節できるようにした。

4.3.3 ロータリづめの形状

図 4-9 に一体式開発機と対照機の、図 4-10 に折畳み式開発機と対照機のロータリづめの形状を示す。一



写真 4-3 一体式開発機の外観



写真 4-4 折畳み式開発機の外観

表 4-23 開発機と対照機の主な仕様

種類	一体式		折畳み式			
	開発機	対照機	開発機	対照機		
型式	—	コバシ PS248T-4S	—	ササキ SW306TL-3S		
作業幅 (cm)	240	240	308	308		
機体質量 ¹⁾ (kg)	309	293	410	425		
適応トラクタ (kW)	18~34	18~34	24~46	24~46		
入力軸/つめ軸減速比	0.480	0.480	0.481	0.481		
つめ	本数	64	64	80	80	
	横方向取り付け間隔 (mm)	60 及び 15	75.5	72	72	
	1 回転当たり切削回数	1 又は 2	1 又は 2	2	2	
	回転半径 r (mm)	185	185	180	180	
	切削幅 d (mm)	46	46	55	55	
	先端オフセット幅 f (mm)	5.5	5.5	20	20	
	直刀部みかけ切込角 ²⁾ γ (°)	29~37	29~37	19~32	19~32	
	直刀部曲げ角 η (°)	17, 0 ³⁾	17, 0 ³⁾	55 と 5, 0 ³⁾	55 と 5, 0 ³⁾	
	わん曲部 みかけ切 削角 ⁴⁾ (°)	わん曲開始部 先 α_1 概略平均	112 98 105	112 98 105	95 81 88	95 81 88
	わん曲部 屈曲角 δ (°)	70	70	65	65	
わん曲部 曲率半径 e (mm)	45	45	30	30		
レーキ	大型レーキ線径 (mm)	6	—	8	—	
	大型レーキ平均ピッチ (mm)	42	—	50	—	
	大型レーキ位置調節段数	3	—	—	—	
	整地板レーキ線径 (mm)	4	4	4	4	
	整地板レーキピッチ (mm)	100	100	60	60	
整地板長さ (mm)	150	150	150	130		
ゴム板厚さ (mm)	—	—	4	—		
ゴム板長さ (mm)	—	—	70	—		

1) オートヒッチ及びドライブシャフトを含む, 2) 直刀部開始点からわん曲開始点までの値の範囲, 3) 0° のつめは最外側及びトラクタ車輪通過部に取付け, 4) 定置回転時の値

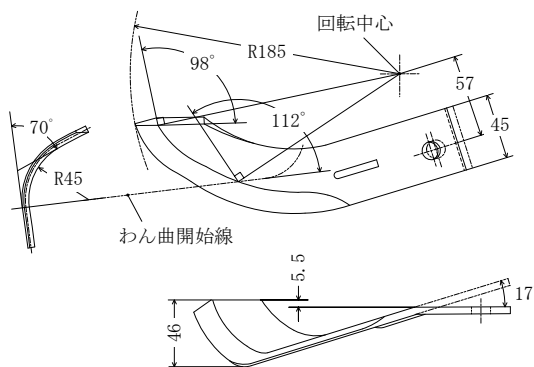


図 4-9 一体式の開発機と対照機のロータリづめ

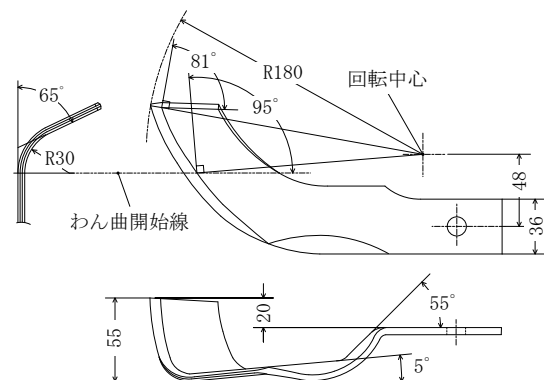


図 4-10 折畳み式の開発機と対照機のロータリづめ

体式開発機には、基礎試験においてみかけ切削角 105° のつめが良好な作業精度であったこと、実用化

時のコストを抑制できることから、一体式対照機と同じつめを採用した。折畳み式でも、コストを考慮して

開発機のためには対照機と同じものを採用した。わん曲部の平均みかけ切削角は、一体式で 105° ，折畳み式で 88° ，わん曲部屈曲角は一体式で 70° ，折畳み式で 65° ，わん曲部曲率半径は一体式で 45mm ，折畳み式で 65mm ，直刀部曲げ角は一体式で 17° ，折畳み式で 55° と 5° （2段曲げ）である。なお、一体式に比べ折畳み式のつめのみかけ切削角が小さいが、4.3.4で述べるように、折畳み式のつめは作業精度を低下させないように、つめ軸が1回転する間に2回打込みを行う部分の幅を一体式よりも大きくしている。

4.3.4 ロータリづめの配列

開発機，対照機とも，左向きと右向きのつめを円周方向に 180° 対向して取付け，リード角を一体式，折畳み式とも 72° として，それぞれらせん状に配列した。一体式対照機，折畳み式開発機及び折畳み式対照機では，対向したつめホルダが横方向の同一面上に取付けられている（図4-4のc）が，一体式開発機では，基礎試験の結果を踏まえ，同ホルダを横へ 15mm ずらして取付けた（図4-4のa）。一体式開発機では，2回打込み部分の幅がつめ先端部で 4mm ，わん曲開始部で 13mm であり，作業幅の23%の部分で2回打込みを行う。一体式対照機では，2回打込み部分の幅がつめ先端部で 19mm ，わん曲開始部で 0mm であり，作業幅の25%の部分で2回打込みを行う。折畳み式開発機及び対照機では，2回打込み部分の幅がつめ先端部で 48mm ，わん曲開始部で 0mm であり，作業幅の62%の部分で2回打込みを行う。一体式の開発機と対照機の横方向つめ配列を図4-11に，折畳み式の開発機と対照機の横方向つめ配列を図4-12に示す。

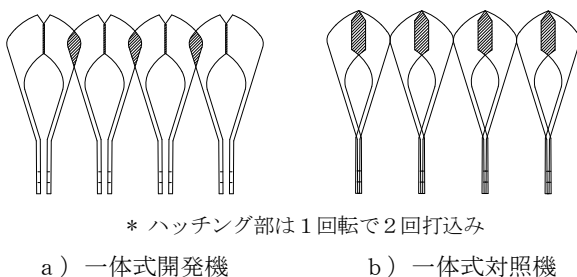
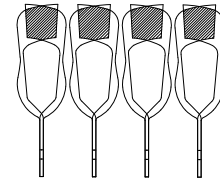


図4-11 一体式の開発機と対照機の横方向つめ配列



* ハッチング部は1回転で2回打込み

図4-12 折畳み式の開発機と対照機の横方向つめ配列

4.3.5 つめ回転速度

基礎試験の結果に基づき，入力軸からつめ軸までの開発機の減速比は対照機と同一の 0.480 （一体式）又は 0.481 （折畳み式）とした。

4.3.6 リヤカバー

高速作業時には，単位時間当たりの代かき土量が多くなるため，ロータリカバーの内側に存在する泥土の量が増大する。そのため，カバー内で持回わる土の量が増加し，所要動力増大の一因となる。また，高速作業時には，後方への泥土吐出し量が増加して均平性能が悪化する傾向がある。

これらの問題に対処するため，一体式開発機及び折畳み式開発機では，リヤカバーを対照機より後方に膨らませ，カバー内の容積を大きくした（図4-7，図4-8）。また，一体式開発機ではリヤカバーの取付け位置を 5cm 後方に移動した。

4.3.7 その他

均平性能を向上させるため，折畳み式開発機では整地板の長さを対照機より 15% 長くした。また，碎土性能の向上をねらい，折畳み式開発機では大型レーキ取付け部の後方に長さ 7cm のゴム板を取付けた。

4.4 高速代かきロータリの作業性能試験

4.4.1 作業精度試験

1) 試験の目的

作業速度と碎土性能，刈株やわらの埋没性能及び均平性能の関係を調査し，開発機の作業精度を対照機と比較する目的で本試験を行った。

2) 供試機

高速作業時の機関回転速度の低下を抑制するため、適応トラクタより大型の 53kW の 4 輪駆動トラクタに一体式及び折畳み式の開発機と対照機を取付けて試験した。

3) ほ場条件

ロータリ耕を行い、試験前に入水した壤質砂土、壤土及びシルト質埴土（3箇所）の水稲収穫後の水田、並びにシルト質埴土の小麦収穫後の水田において試験を行った。ほ場条件を表 4-24 に示す。

4) 試験方法

隣接する行程間の未作業部分の幅を 1 m 程度残し、トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を 12cm 程度に設定するとともにトラクタの機関回転速度を最大にして、同じ場所を壤質砂土及び壤土の水田では 2 回掛け（荒代、仕上げ代）、シルト質埴土の水田では 3 回掛け（荒代、中代、仕上げ代）で、1 区当たり約 40m 作業した。表 4-25 に作業条件を示す。シルト質埴土水田では、開発機を 2 回掛けとする区も設けた。トラクタの P T O 速度段は、荒代、中代では 2 速に、仕上げ代では 1 速に設定した。作業速度は 3 段階とし、

仕上げ代では荒代や中代より 1 段低速に設定した。仕上げ代後に、表層砕土率、株露出数、わら埋没状態、均平度を測定した。

5) 試験結果と考察

a) ほ場（土性）別の作業精度

図 4-13 及び図 4-14 に開発機のほ場別の表層砕土率、株露出数、わら埋没状態の評点及び均平度の評点について、機種別に算出して示す。

表層砕土率（表層 5 cm における直径 2 cm 未満の土塊質量割合）は代かき前の土塊が小さなほ場ほど高くなり、株露出数は粘土含量の高いほ場ほど少なくなる傾向が見られた。一方、わら埋没評点は小麦収穫後のほ場や粘土含量の少ないほ場で低くなり、均平度評点は小麦収穫後のほ場で低い傾向があった。

b) 機種別の作業精度

1 機種のみ試験した R 4, R 5 試験を除いて機種別に比較すると、壤質砂土水田以外で折畳み式の方が株露出数がやや少なく、わら埋没評点がやや良好な傾向があった。均平度評点は一体式の方がやや高く、表層砕土率は両機種で同程度であった。

c) 同じ作業回数時の作業精度

水稲収穫後の水田で 2 回掛け又は 3 回掛けした開発

表 4-24 作業精度試験のほ場条件

試験番号	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6
試験年月	2000年4月	2000年5月	2000年5月	2000年11月	2000年12月	2000年6月
試験場所	千葉県佐倉市	埼玉県川里	埼玉県川里町	埼玉県川里町	埼玉県川里町	埼玉県川里町
供試機	一体式・折畳み式			一体式	折畳み式	一体式・折畳み式
ほ場の履歴 わらの状態	水稲収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布					小麦収穫後の水田 同左
耕うん方法	ロータリ耕 2 回			ロータリ耕 1 回		ロータリ耕 1 回
土壌統群	低地造成土	低地造成土 (黒ボク土客土)	細粒質グライ化灰色低地土			細粒質グライ化 灰色低地土
土性 ¹⁾	壤質砂土 (LS)	壤土 (L)	シルト質埴土 (SiC)			シルト質埴土 (SiC)
粒径組成 ²⁾ (%)	4, 8, 88, 0	12, 32, 56, 0	34, 47, 19, 0	34, 47, 19, 0	34, 47, 19, 0	28, 50, 22, 0
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	2.3	1.9	1.7	5.7	6.1	2.1
稲株露出数 (個/m ²)	8.9	9.2	7.2	5.1	6.8	6.7
耕盤深さ (cm)	16.6	18.6	17.2	17.6	19.0	21.2
耕盤貫入抵抗 (MPa)	0.78	1.10	1.65	1.37	1.36	1.15
入水時期	3日前	3日前	3日前	2日前	4日前	1日前

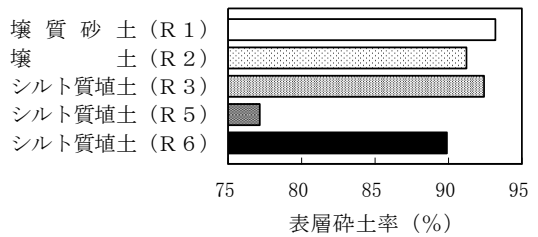
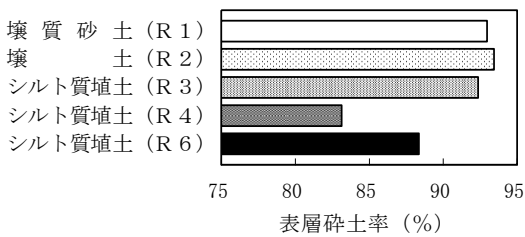
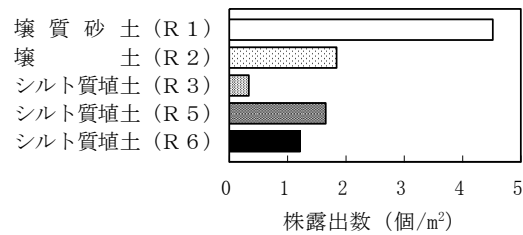
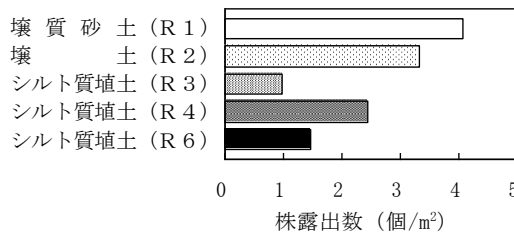
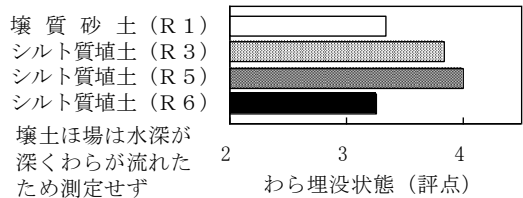
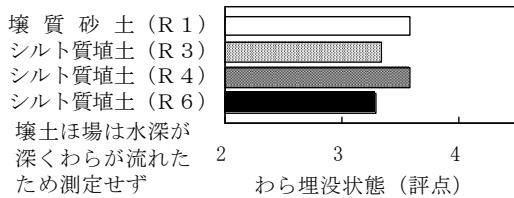
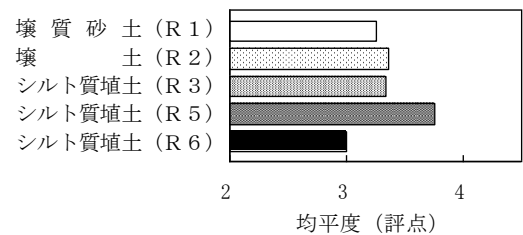
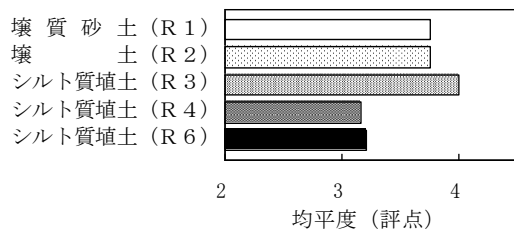
1) 国際土壌学会法（粘土：～0.002mm，シルト：0.002～0.02mm，砂：0.02～2.0mm，礫：2.0mm～）

2) 同上（粘土，シルト，砂，礫の順），3) 表層約 10cm の値

表 4-25 作業精度試験の作業条件

試験番号		R 1, R 2		R 3~R 5		R 6	
供試機		一体式	折畳み式	一体式	折畳み式	一体式	折畳み式
トラクタ機関出力(kW)		53		53		53	
作業回数		2回掛け		3回掛け又は2回掛け		3回掛け	
開発機大型レーキ位置		中	—	中	—	中	—
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	荒代	371	373	371	373	371	373
	中代	—	—	371	373	371	373
	仕上げ代	282	283	282	283	282	283
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	荒代	0.75, 0.95, 1.20		0.75, 0.95, 1.20		0.62, 0.75, 0.95	
	中代	—		0.75, 0.95, 1.20		0.62, 0.75, 0.95	
	仕上げ代	0.62, 0.75, 0.95		0.62, 0.75, 0.95		0.49, 0.62, 0.75	
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	荒代	61, 77, 97	60, 76, 97	61, 77, 97	60, 76, 97	50, 61, 77	50, 60, 76
	中代	—	—	61, 77, 97	60, 76, 97	50, 61, 77	50, 60, 76
	仕上げ代	66, 80, 101	66, 80, 101	66, 80, 101	66, 80, 101	52, 66, 80	52, 66, 80
試験区数		各3区×2反復×4ほ場				各3区×2反復×1ほ場	

1) 機関定格回転(2,500rpm)時, 2) 機関定格回転・進行増加率0%時
 3) 機関定格回転・進行増加率0%時, 1回転当たりつめ2回作用部の値



作業速度3段階の平均

作業速度3段階の平均

図 4-13 一体式開発機の供試ほ場別作業精度

図 4-14 折畳み式開発機の供試ほ場別作業精度

機区と対照区の作業速度と作業精度の関係について、
 水稻収穫後の 4 ほ場の平均値を図 4-15 及び図 4-16 に、
 粘土含量の低い 2 ほ場（壤質砂土及び壤土水田）での
 平均値を図 4-17 及び図 4-18 に、粘土含量の高い 2 ほ
 場（シルト質埴土水田）での平均値を図 4-19 及び図
 4-20 にそれぞれ機種別に示す。また、小麦収穫後の
 水田で 3 回掛けした開発機区と対照区の作業速度と作
 業精度の関係を、機種別に図 4-21 及び図 4-22 に示す。
 開発機、対照機とも作業速度の増加に伴い、埋没性能、
 碎土性能及び均平性能が低下する傾向があった。

(1) 埋没性能

水稻収穫後の水田における 4 ほ場を平均した稲株露
 出数は、一体式で開発機区 1.9~3.2 (平均 2.7) 株
 /m²、対照区 2.5~4.0 (平均 3.3) 株/m²、折畳み式で
 開発機区 1.6~2.8 (平均 2.1) 株/m²、対照区 2.1~
 3.4 (平均 2.7) 株/m² であり、一体式及び折畳み式と
 も開発機区の方が対照区より約 20% 少なかった。ま

た、平均わら埋没評点も一体式では開発機区の方が約
 0.5 点高かった。開発機区の稲株露出数及びわら埋没
 評点は、作業速度が 1 段 (20~30%) 低速の対照区と
 同程度であった (図 4-15, 図 4-16)。

壤質砂土及び壤土水田においては、対照区に比べ、
 開発機区の平均稲株露出数が一体式で約 30%、折畳
 み式で約 20% 少なく、開発機区の平均わら埋没評点
 が一体式で約 0.7 点、折畳み式で約 0.2 点高かった
 (図 4-17, 図 4-18)。シルト質埴土水田では、対照区
 に比べ、開発機区の平均稲株露出数が一体式で約
 10%、折畳み式で約 30% 少なく、開発機区の平均わ
 ら埋没評点は一体式では約 0.3 点高かったが、折畳み
 式では対照区と危険率 5% で有意差がなかった (図
 4-19, 図 4-20)。

小麦収穫後の水田における株露出数は、一体式で開
 発機区 1.1~2.0 (平均 1.5) 株/m²、対照区 1.5~2.1
 (平均 1.8) 株/m²、折畳み式で開発機区 1.0~1.3

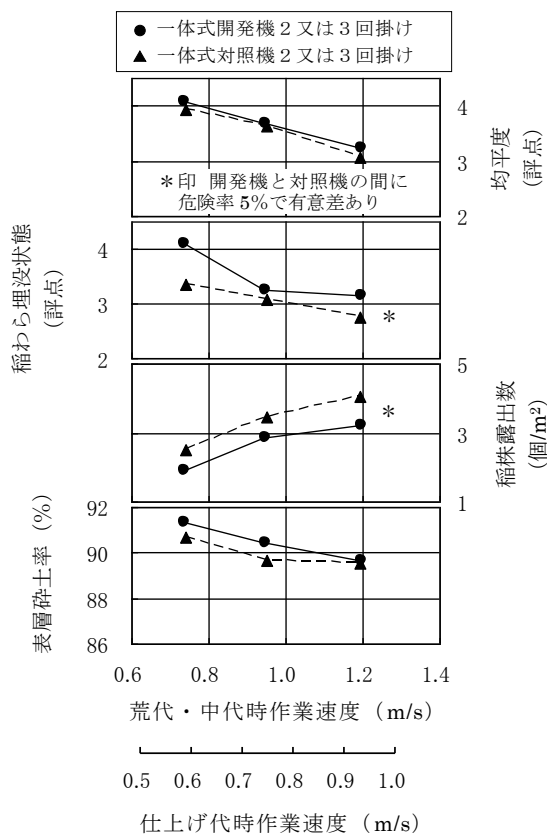


図 4-15 水稻収穫後の水田 (試験番号 R 1 ~ R 4) における一体式供試機の作業速度と作業精度との関係 (4 ほ場の平均値)

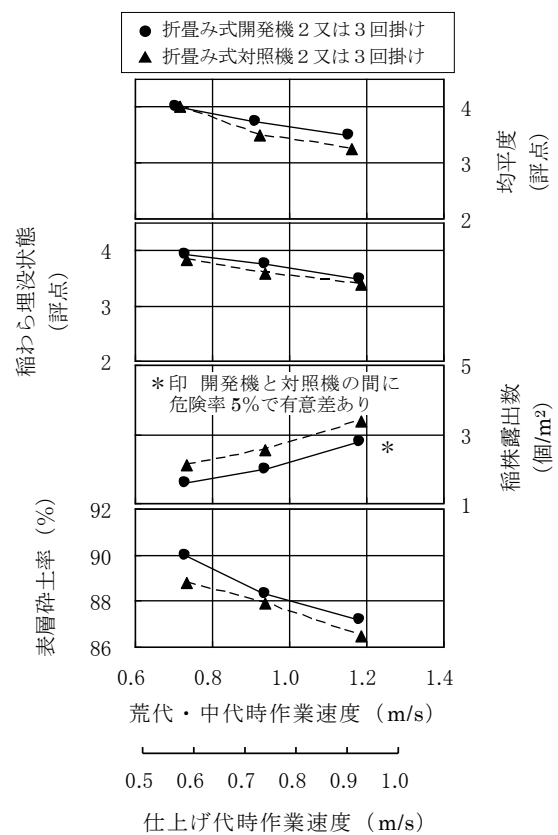


図 4-16 水稻収穫後の水田 (試験番号 R 1 ~ R 3, R 5) における折畳み式供試機の作業速度と作業精度との関係 (4 ほ場の平均値)

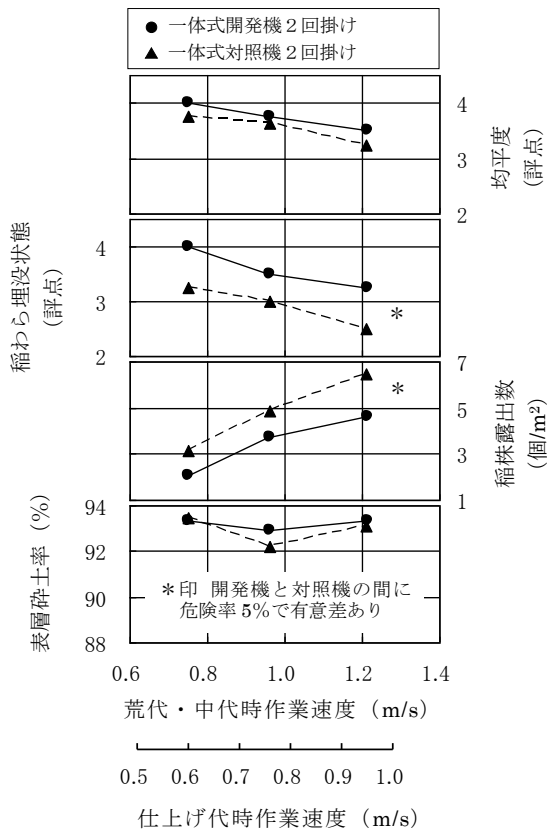


図 4-17 壤質砂土及び壤土の水稲収穫後水田 (試験番号R1, R2) における一体式供試機の作業速度と作業精度との関係 (2ほ場の平均値)

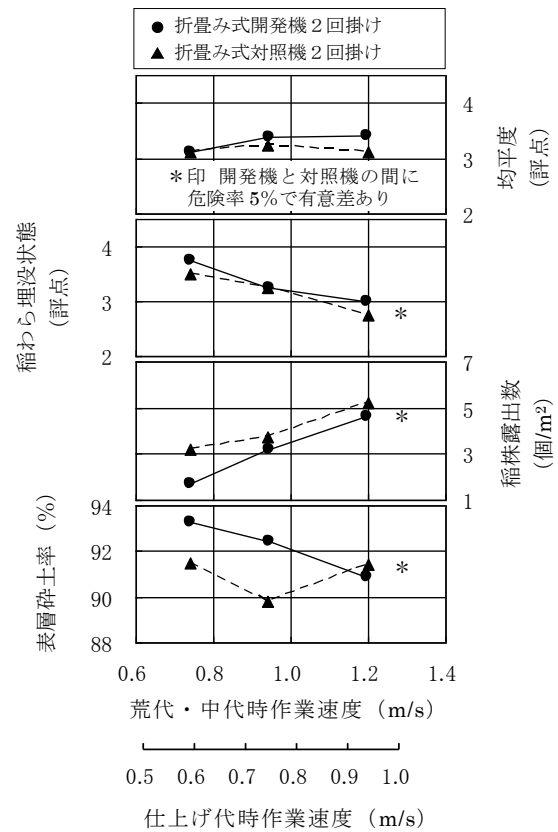


図 4-18 壤質砂土及び壤土の水稲収穫後水田 (試験番号R1, R2) における折畳み式供試機の作業速度と作業精度との関係 (2ほ場の平均値)

(平均 1.2) 株/m², 対照区 1.3~1.9 (平均 1.6) 株/m² であり, 両機種とも開発機区の方が対照区より約 20% 少なかった。また, 平均稲わら埋没評点は, 一体式では開発機区の方が約 0.4 点高かったが, 折畳み式では開発機区と対照区の間には危険率 5% で有意差がなかった (図 4-21, 図 4-22)。

(2) 砕土性能

水稲収穫後水田における 4 ほ場を平均した表層砕土率は, 一体式で開発機区 89.7~91.3 (平均 90.5) %, 対照区 89.5~90.7 (平均 90.0) %, 折畳み式で開発機区 87.2~90.0 (平均 88.5) %, 対照区 86.5~88.8 (平均 87.7) % であり, 危険率 5% で有意差はなかったものの, 開発機区の平均表層砕土率は, 作業速度が 1 段 (20~30%) 低速の対照区と同程度であった (図 4-15, 図 4-16)。

供試ほ場別に見ると, 開発機区の平均表層砕土率は,

壤質砂土及び壤土水田の折畳み式では対照機より高い傾向があった (図 4-18) が, それ以外の試験では対照区と有意差がなかった (図 4-17, 図 4-19, 図 4-20)。

小麦収穫後の水田における表層砕土率は, 一体式で開発機区 87.4~88.9 (平均 88.4) %, 対照区 86.7~89.1 (平均 87.8) %, 折畳み式で開発機区 88.1~91.1 (平均 89.9) %, 対照区 88.2~90.7 (平均 89.5) % であり, 開発機区と対照区の間には有意差はなかった (図 4-21, 図 4-22)。

(3) 均平性能

水稲収穫後の水田における 4 ほ場を平均した均平度評点は, 一体式, 折畳み式とも開発機区と対照区の間には危険率 5% で有意差はなかった (図 4-15, 図 4-16)。供試ほ場別に見ても, 開発機区と対照区の間には有意差はなかった (図 4-17~図 4-20)。

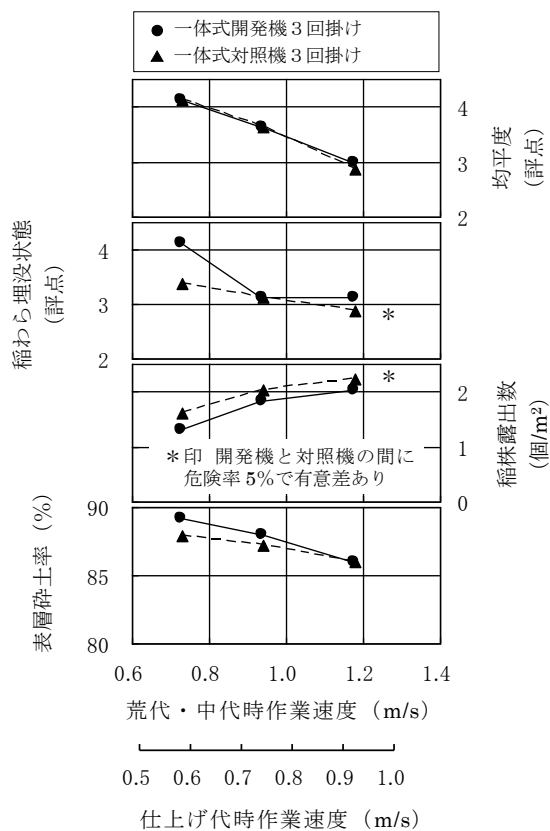


図 4-19 シルト質埴土の水稲収穫後水田（試験番号 R 3, R 4）における一体式供試機の作業速度と作業精度との関係（2ほ場の平均値）

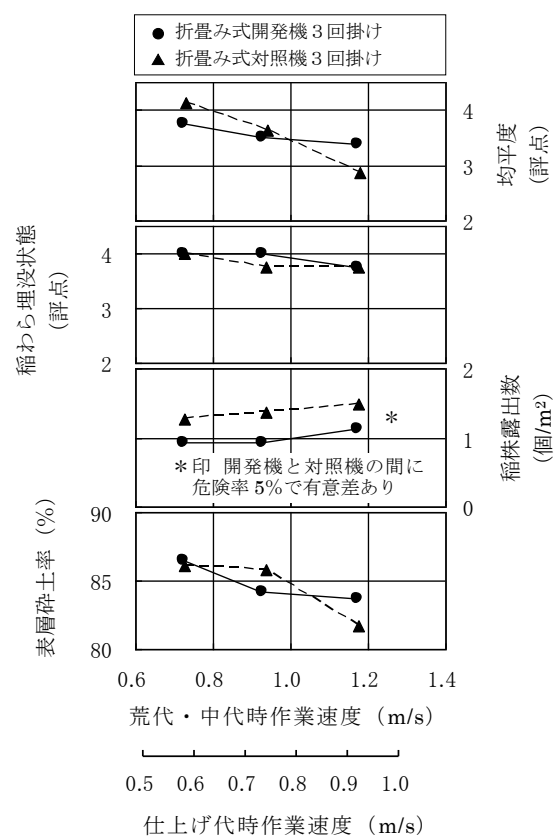


図 4-20 シルト質埴土の水稲収穫後水田（試験番号 R 3, R 5）における折畳み式供試機の作業速度と作業精度との関係（2ほ場の平均値）

小麦収穫後の水田における均平度評点は、一体式の低速区で開発機区の方がやや高い傾向があったものの、開発機区と対照区の間には有意差はなかった（図 4-21, 図 4-22）。

d) 作業回数減少時の作業精度

シルト質埴土の水稲収穫後の水田において、2回掛けした開発機区と3回掛けした対照区の作業精度を図 4-23 及び図 4-24 に示す。

(1) 埋没性能

開発機の2回掛け中速区における稲株露出数は、一体式、折畳み式ともに対照機の3回掛け中速区と危険率5%で有意差がなかった。開発機の2回掛け中速区におけるわら埋没評点は、一体式では対照機の3回掛け中速区と有意差がなかったが、折畳み式では対照機中速区より低い傾向があった。

(2) 砕土性能

開発機の2回掛け中速区における平均表層砕土率は、一体式、折畳み式ともに対照機の3回掛け中速区と危険率5%で有意差がなかった。

(3) 均平性能

均平度の評点は、一体式、折畳み式ともに対照機の3回掛け中速区より開発機の2回掛け中速区の方が低い傾向があった。

e) 作業精度の考察

以上の結果から、対照機と同じ作業回数の開発機区における稲株露出数、わら埋没評点及び表層砕土率については、作業速度が1段（20～30%）低速の対照区と差がなく、開発方針を満たす性能が得られていると判断された。また、2回掛けを行った開発機区の稲株露出数及び表層砕土率は、同じ作業速度で3回掛けを行った対照区と差がなく、条件の良いほ場では、3回

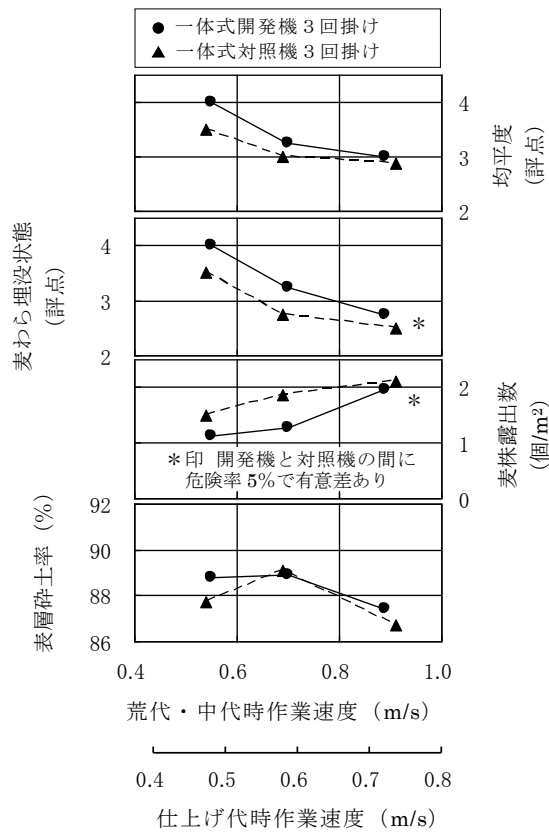


図 4-21 小麦収穫後の水田（試験番号R6）における一体式供試機の作業速度と作業精度との関係

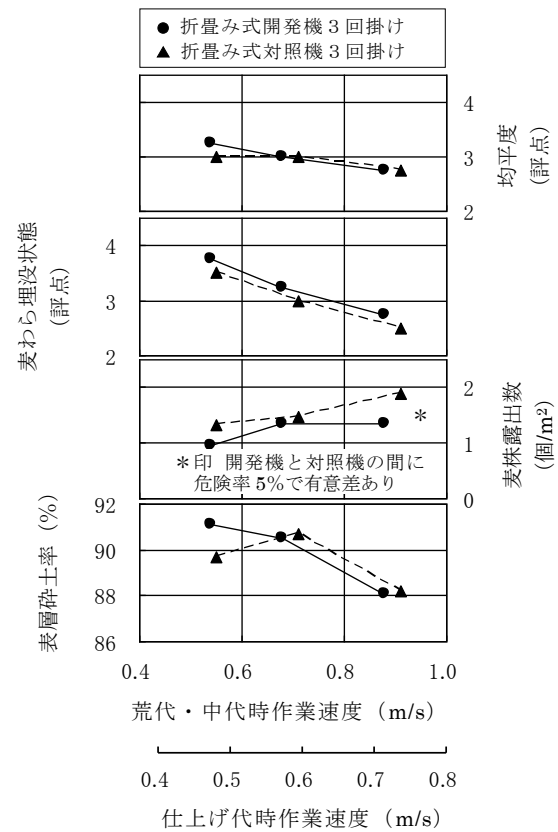


図 4-22 小麦収穫後の水田（試験番号R6）における折畳み式供試機の作業速度と作業精度との関係

掛けを2回掛けにできる可能性も見出された。

同じ作業速度同士で比較すると、開発機区は対照区より m^2 当たりの株露出数が 0.5~1 個少なかった。株が露出している位置に植付けを行うと、かなり高い確率で浮苗となる。株が1個露出している面積は5cm四方程度なので、露出株の位置に植付けられた苗の80%が浮苗になると仮定すると、露出株が0.5~1個/ m^2 減った場合には浮苗欠株が0.1~0.2%減少する。これを株数に換算すると、21株/ m^2 植え（坪当たり70株植え）の場合で、30a当たり60~120株の欠株を減少できる計算となり、欠株の補植が広く行われている現状から見て、労力の軽減に役立つものと思われる。また、写真4-5に示すように、代かき後に風で水田の端に吹き寄せられた株やわらをほ場外へかき出す作業が広く行われているが、露出株が0.5~1個/ m^2 増え、それらの半分が吹き寄せられたとすると、30aほ場では、持ち出さなければならない株が750~1,500



写真 4-5 水田の端に吹き寄せられた株やわらのかき出し作業

個増加することになる。わらの露出量の減少による効果も合わせ、開発機はこれらの作業の労力低減にも効果を発揮するであろう。

図4-13及び図4-14に示したように、粘土含量の低い壤質砂土や壤土で埋没性能が低い傾向があったのは、

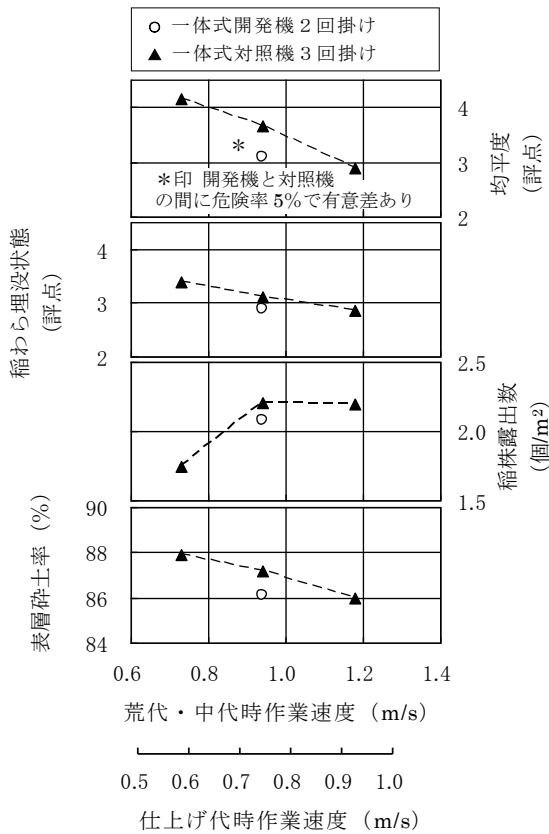


図 4-23 水稲収穫後の水田における 2 回掛けの一体式開発機と 3 回掛けの一体式対照機の作業精度 (試験番号 R 3, R 4, 2 ほ場の平均値)

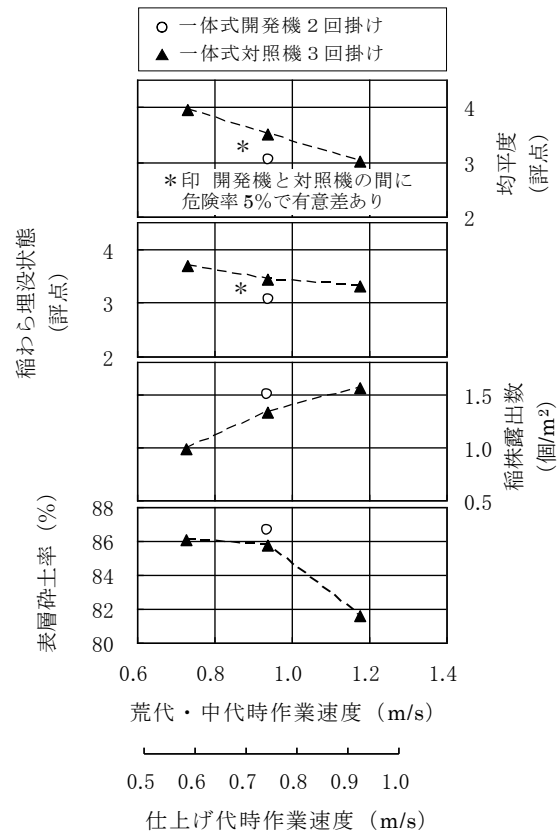


図 4-24 水稲収穫後の水田における 2 回掛けの折畳み式開発機と 3 回掛けの折畳み式対照機の作業精度 (試験番号 R 3, R 5, 2 ほ場の平均値)

粘性の低い土では株やわらが浮き上がりやすいためと思われる。また、粘土含量が高く代かき前の砕土が荒い土で代かき後の表層砕土率が低くなったのは、これらの土壌の砕土性が悪いためである。また、一体式開発機に比べ、折畳み式開発機の株埋没性能とわら埋没性能がやや良好であったのは、図 4-11 の a 及び図 4-12 に示したように、つめわん曲部が 1 回転当たり 2 回打込む面積が折畳み式の方が広いこと、折畳み式ではつめ直刀部の一部を变形させ、直刀部でも残さを埋没させる機能を持たせているためと推定される。

図 4-15～図 4-22 に示したように、一体式、折畳み式ともに、対照機に比べ開発機の株埋没性能が良好であったのは、大型レーキの新設により下層へ埋込まれる株の割合が増加したためと推定される。また、折畳み式に比べ一体式で開発機のわら埋没性能の向上効果が高かったのは、つめ配列の変更により下層へ埋込ま

れるわらの割合が増加したためと推定される。これらの結果から、株の埋没性能向上には大型レーキの新設が、わらの埋没性能向上にはつめ配列の変更が寄与したものと考えられた。なお、折畳み式高速代かきロータリの市販機では、単位幅当たりのつめ本数を約 1 割増加させ²¹⁾、わら埋没性能等を向上させるための対応を行っている。

壤質砂土及び壤土水田で、折畳み式開発機の表層砕土性能が対照機より良好な傾向があったのは、大型レーキの新設によりカバー内における土の持回り量が増加したことにより、土塊破碎効果が高まったためと推定される。また、図 4-17～図 4-22 において、開発機と対照機の表層砕土率の比が作業速度によって変動したのは、他の項目に比べ表層砕土率の測定対象面積が狭く、水深をはじめとするほ場条件のばらつきの影響を受けやすかったためである。

なお、稲麦二毛作地帯において麦わらをほ場へすき込む場合は、代かき時のわら浮き上がりによる田植精度の悪化が問題となっていた。群馬県農業試験場が開発機を供試して行った試験では、開発機区の浮きわら質量が市販機区の半分以下であったことが報告されている²⁶⁾。

4.4.2 動力試験

1) 試験の目的

作業速度とP T O比動力、P T O比エネルギーの関係を調査し、開発機の所要動力を対照機と比較する目的で本試験を行った。

2) 供試機

高速作業時の機関回転速度の低下を抑制するため、適応トラクタより大型の53kWの4輪駆動トラクタに一体式及び折畳み式の開発機と対照機を取付けて試験した。

3) ほ場条件

ロータリ耕を行った後に入水した壤質砂土及びシルト質埴土(2箇所)の水稲収穫後の水田、並びにシルト質埴土の小麦収穫後の水田において動力試験を行った。ほ場条件を表4-26に示す。

4) 試験方法

隣接する行程間の未作業部分の幅を1m程度残し、トラクタの耕深設定ダイヤルにより耕深を12cm程度に設定するとともにトラクタの機関回転速度を最大にして1区当たり約20m作業し、荒代時のP T O動力等を測定した。また、壤質砂土の水田では1回掛け(荒代)、シルト質埴土の水田では2回掛け(荒代、中代)の後に上記と同様の作業を行い、仕上げ代時のP T O動力等を測定した。表4-27に作業条件を示す。

5) 試験結果と考察

試験では、走行速度1.2m/s程度までの作業を、機関回転速度の低下なしに円滑に行うことができた。

a) 水稲収穫後の壤質砂土水田における所要動力と所要エネルギー

図4-25に水稲収穫後の壤質砂土水田における折畳み式の動力試験結果を示す。作業深は、荒代時で10~12cmであり、開発機区がやや深い傾向があったが、仕上げ代時では11~12cmであり、両区の差は少なかった。壤質砂土水田における折畳み式開発機のP T O動力(作業深12cm換算値)は、最も高かった荒代の高速作業時(1.2m/s)でも9kW程度であった。開発機のP T O比動力は、荒代で24~26kW/m²、仕上げ代で11~14kW/m²であり、対照機に比べ、荒代では約15%高かったが、仕上げ代では同程度であった。また、

表4-26 動力試験のほ場条件

試験番号	S1	S2	S3	S4
試験年月	2000年4月	2000年5月	2000年11月	2000年6月
試験場所	千葉県佐倉市	埼玉県川里町	埼玉県川里町	埼玉県川里町
供試機	折畳み式	一体式・折畳み式		一体式・折畳み式
ほ場の履歴 わらの状態	水稲収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布			小麦収穫後の水田 同左
耕うん方法	ロータリ耕2回		ロータリ耕1回	ロータリ耕1回
土壌統群	低地造成土	細粒質グライ化灰色低地土		細粒質グライ化灰色低地土
土性 ¹⁾	壤質砂土(LS)	シルト質埴土(SiC)	シルト質埴土(SiC)	シルト質埴土(SiC)
粒径組成 ²⁾ (%)	4, 8, 88, 0	28, 50, 22, 0	34, 47, 19, 0	28, 50, 22, 0
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	2.2	2.4	6.8	2.1
稲株露出数(個/m ²)	9.1	2.2	5.1	6.7
耕盤深さ(cm)	15.5	18.6	17.6	21.2
耕盤貫入抵抗(MPa)	0.98	0.93	1.37	1.15
入水時期	4日前	5日前	3日前	2日前

1) 国際土壌学会法(粘土:~0.002mm, シルト:0.002~0.02mm, 砂:0.02~2.0mm, 礫:2.0mm~)

2) 同上(粘土, シルト, 砂, 礫の順), 3) 表層約10cmの値

表 4-27 動力試験の作業条件

試験番号		S 1	S 2, S 3		S 4	
供試機		折畳み式	一体式	折畳み式	一体式	折畳み式
トラクタ機関出力 (kW)		53	53		53	
作業回数		2回掛け目	3回掛け目		— (荒代のみ)	
開発機大型レーキ位置		—	中	—	中	—
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	荒代	373	371	373	371	373
	中代	—	371	373	371	373
	仕上げ代	283	282	283	282	283
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	荒代	0.75, 0.95, 1.20	0.75, 0.95, 1.20		0.75, 0.95, 1.20	
	中代	—	0.95		—	
	仕上げ代	0.62, 0.75, 0.95	0.62, 0.75, 0.95		—	
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	荒代	60, 76, 97	61, 77, 97	60, 76, 97	61, 77, 97	60, 76, 97
	中代	—	77	76	—	—
	仕上げ代	66, 80, 101	66, 80, 101	66, 80, 101	—	—
試験区数		各3区×2反復×4ほ場				

- 1) 機関定格回転 (2,500rpm) 時, 2) 機関定格回転・進行増加率 0% 時
3) 機関定格回転・進行増加率 0% 時, 1 回転当たりつめ 2 回作用部の値

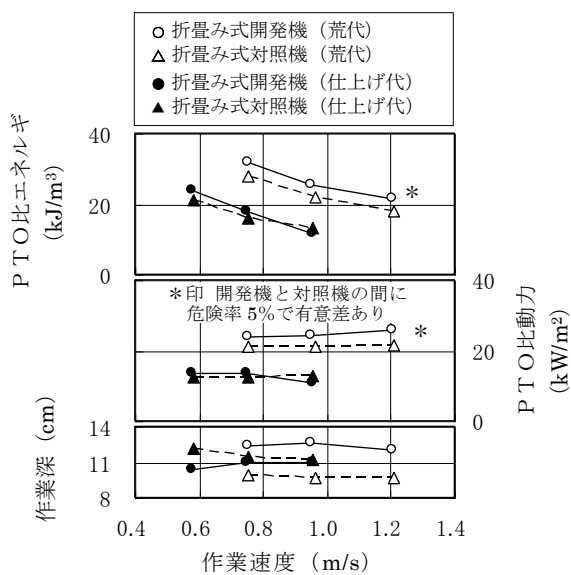


図 4-25 水稲収穫後の壤質砂土水田 (試験番号 S 1) における折畳み式供試機の作業速度と所要動力等との関係

開発機, 対照機ともに, 作業速度を高めても P T O 比動力はほとんど変わらない傾向が見られた (図 4-25)。

また, 折畳み式開発機の P T O 比エネルギーは荒代で 21~32kJ/m³, 仕上げ代で 11~24 kJ/m³であった。P T O 比エネルギーは作業速度の増加に伴い減少する傾向があり, 高速時の P T O 比エネルギーは低速時に比べ, 荒代で約 30~35%, 仕上げ代で約 40~50%低かった

(図 4-25)。

b) 水稲収穫後のシルト質埴土水田における所要動力と所要エネルギー

図 4-26 に水稲収穫後のシルト質埴土水田 2 ほ場における一体式の, 図 4-27 に同水田 2 ほ場における折畳み式の動力試験結果をそれぞれ示す。作業深は, 一体式が荒代時で 12~13cm, 仕上げ代時で 11~13cm, 折畳み式が荒代時で 10~15cm, 仕上げ代時で 11~14cm であった。シルト質埴土水田における開発機の荒代高速作業時 (1.2m/s) の P T O 動力 (作業深 12cm 換算値) は, 砕土の細かかったほ場 (試験番号 S 2) では, 一体式が約 8kW, 折畳み式が約 13kW であったが, 砕土が荒く, 耕起直後に代かきを行ったほ場 (試験番号 S 3) では, 一体式が約 22kW, 折畳み式が約 29kW と高かった。

S 2 試験における開発機の P T O 比動力は, 荒代では一体式 21~26kW/m², 折畳み式 29~37kW/m², 同試験の仕上げ代では一体式 14~15 kW/m², 折畳み式 16~17kW/m² であり, 壤質砂土水田と同程度であった。また, S 3 試験における開発機の P T O 比動力は, 荒代では一体式 72~76kW/m², 折畳み式 68~80kW/m², 同試験の仕上げ代では一体式 48~50 kW/m², 折畳み式 47~49kW/m² であり, 壤質砂土水田の約 3~4 倍であった。この値を対照機と比べると, 一体式では, S

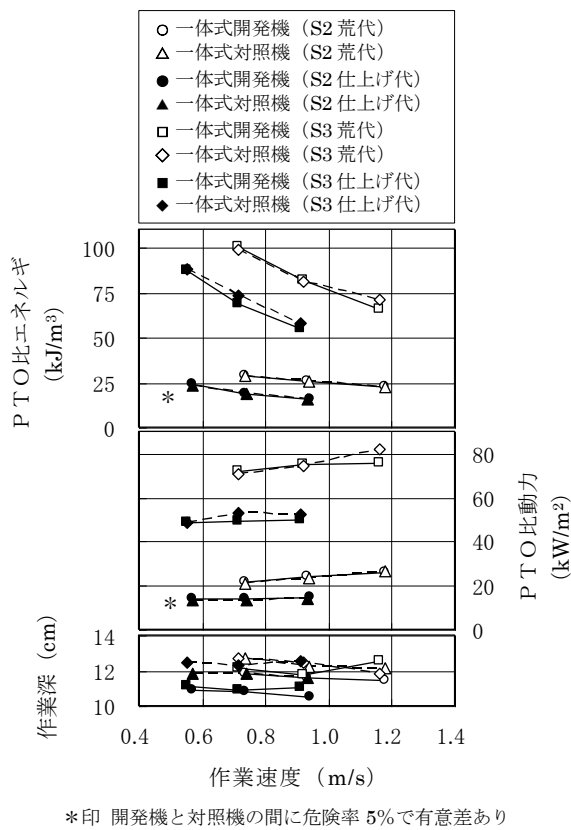


図 4-26 水稻収穫後のシルト質埴土水田（試験番号 S 2, S 3）における一体式供試機の作業速度と所要動力等との関係

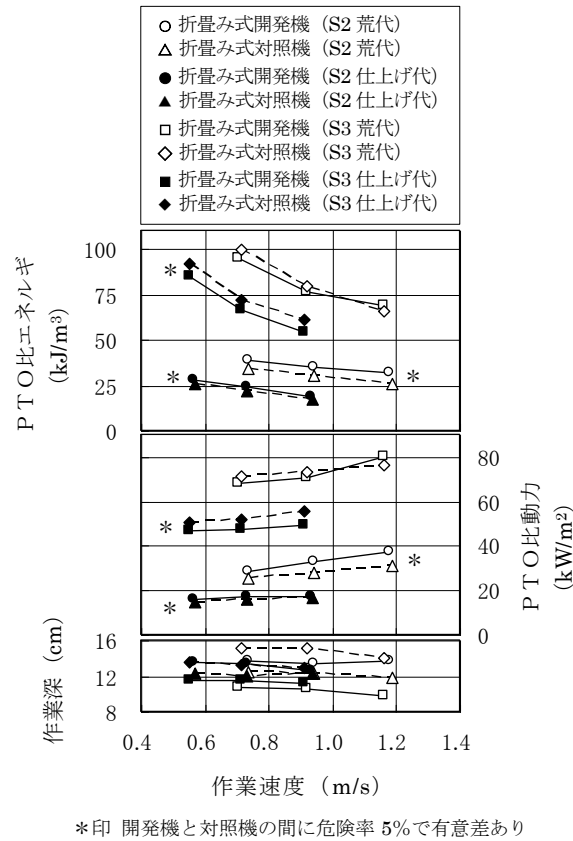


図 4-27 水稻収穫後のシルト質埴土水田（試験番号 S 2, S 3）における折畳み式供試機の作業速度と所要動力等との関係

2 試験の仕上げ代時に開発機が約 4% 高かった以外は同程度であった。折畳み式では、S 2 試験での荒代で約 17%、仕上げ代で約 7% 開発機が高かったが、S 3 試験での仕上げ代では約 9% 開発機が低かった。また、開発機、対照機ともに、荒代では作業速度の増大に伴い P T O 比動力が増加する傾向があったが、仕上げ代では微増にとどまった (図 4-26, 図 4-27)。

S 2 試験における開発機の P T O 比エネルギーは荒代では一体式 22~29kJ/m³、折畳み式 31~39kJ/m³、仕上げ代では一体式 16~24 kJ/m³、折畳み式 18~28kJ/m³ であり、S 3 試験における開発機の P T O 比エネルギーは荒代では一体式 65~100kJ/m³、折畳み式 69~95kJ/m³、仕上げ代では一体式 55~87 kJ/m³、折畳み式 54~85kJ/m³ であった。P T O 比エネルギーは作業速度の増加に伴い減少する傾向があり、高速時の P T O 比エネルギーは低速時に比べ、荒代で約 25~35%、

仕上げ代で約 35% 低かった (図 4-26, 図 4-27)。

c) 小麦収穫後のシルト質埴土水田における所要動力と所要エネルギー

図 4-28 に小麦収穫後のシルト質埴土水田における一体式の、図 4-29 に同水田における折畳み式の動力試験結果をそれぞれ示す。作業深は、一体式が 11~13cm、折畳み式が 12~15cm であった。小麦収穫後のシルト質埴土水田における開発機の荒代高速作業時 (1.2m/s) の P T O 動力 (作業深 12cm 換算値) は、一体式が約 17kW、折畳み式が約 20kW であった。開発機の荒代時 P T O 比動力は、一体式で 58~59kW/m²、折畳み式で 50~54kW/m² であり、対照機より 5% 程度低かった。また、開発機、対照機ともに、作業速度を高めても P T O 比動力は変わらない傾向があった (図 4-28, 図 4-29)。

開発機の荒代時 P T O 比エネルギーは、一体式で 51

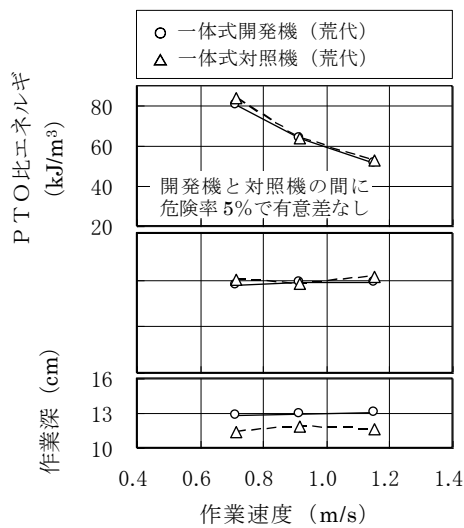


図 4-28 小麦収穫後のシルト質埴土水田 (試験番号 S 4) における一体式供試機の作業速度と所要動力等との関係

～80kJ/m³, 折畳み式で 47～70 kJ/m³ であった。PTO比エネルギーは作業速度の増加に伴い減少する傾向があり、高速時の PTO比エネルギーは、低速時に比べ約 35%低かった (図 4-28, 図 4-29)。

d) 所要動力と所要エネルギーの考察

以上の結果から、所要動力の面からは、開発機は碎土の悪いシルト質埴土水田を除き、24kW 級のトラクタで作業速度 1.2m/s 程度まで作業が可能になった。また、開発機の PTO比動力は、全試験区を平均すると、荒代、仕上げ代とも対照機と同程度であった。

ほ場により PTO比動力、PTO比エネルギーが大きく異なったのは、土性、碎土状態、入水時期などのほ場条件の違いのためである。水稻収穫後の水田において、折畳み式の PTO比動力が一体式に比べやや高い傾向があったのは、図 4-11, 図 4-12 に示したように、つめが 1 回転当たり 2 回打込む部位の幅が、折畳み式の方が大きいためと考えられる。また、代かき前の土塊が小さいほ場での試験において、折畳み式開発機の PTO比動力が対照機よりやや高い傾向があったのは、開発機において大型レーキ後方にゴム板を設けたことにより、カバー内の持回り土量が増加したためではないかと思われる。なお、折畳み式高速代かきロータリ

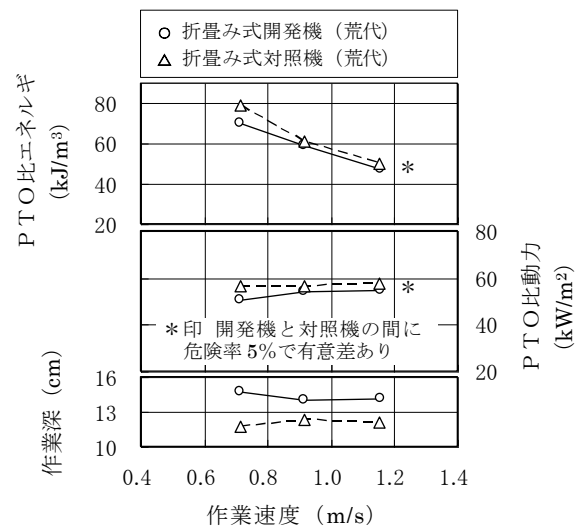


図 4-29 小麦収穫後のシルト質埴土水田 (試験番号 S 4) における折畳み式供試機の作業速度と所要動力等との関係

の市販機では、このゴム板は取付けられていない²¹⁾。

なお、今回の供試ほ場と同じシルト質埴土水田において、耕うんロータリの耕起試験も行っている (3.4.2 参照) が、その時の PTO比動力は、作業速度 0.7m/s 時で約 200～250 kW/m² であった。これに対し、今回のシルト質埴土水田での代かき時の PTO比動力は、作業速度 0.7m/s の荒代で約 20～70 kW/m², 仕上げ代で約 13～50kW/m² であった。この結果から、代かきの PTO比動力は、荒代でロータリ耕起時の 10～35%程度、仕上げ代でロータリ耕起時の 5～25%程度であることがわかった。

4.4.3 作業能率試験

1) 試験の目的

連続作業時の作業状態の観察、作業能率及び燃料消費量の調査を行う目的で、作業能率試験を実施した。

2) 供試機

機関出力 23kW の 4 輪駆動トラクタに一体式の開発機と対照機を、24kW の 4 輪駆動トラクタに折畳み式の開発機と対照機をそれぞれ装着して試験を行った。

3) ほ場条件

水稻収穫後にロータリ耕を行い、試験前に入水したシルト質粘土水田において作業能率試験を行った。作業行程数を同じにするため、一体式では短辺 25.5m×長辺 108m、面積 27.5a の、折畳み式では短辺 32.7m×長辺 108m、面積 35.3a のほ場を供試した。ほ場条件を表 4-28 に示す。

表 4-28 作業能率試験のほ場条件

試験番号	T 1			
試験年月	2000年11月			
試験場所	埼玉県川里町			
供試機	一体式		折畳み式	
	開発機	対照機	開発機	対照機
ほ場の履歴 わらの状態 耕うん方法	水稻収穫後の水田 自脱コンバインで切断散布 ロータリ耕1回			
ほ場面積 (a)	27.5	27.5	35.3	35.3
ほ場長辺長 (m)	108	108	108	108
ほ場短辺長 (m)	25.5	25.5	32.7	32.7
土壌統群 土性 ¹⁾ 粒径組成 ²⁾ (%)	細粒質グライ化灰色低地土 シルト質粘土 (SiC) 32, 50, 18, 0			
表層平均土塊径 ³⁾ (cm)	5.9			
稲株露出数 (個/m ²)	6.4			
耕盤深さ (cm)	17.6			
耕盤貫入抵抗 (MPa)	1.41			
入水時期	2日前			

- 1) 国際土壌学会法 (粘土：～0.002mm, シルト：0.002～0.02mm, 砂：0.02～2.0mm, 礫：2.0mm～)
2) 同上 (粘土, シルト, 砂, 礫の順)
3) 表層約 10cm の値

4) 試験方法

写真 4-6 に一体式開発機の、写真 4-7 に折畳み式開発機の作業状況を示す。試験は、ほ場中央部を 8 行程往復作業した後、外周を 2 行程回り作業する方法 (旋



写真 4-6 一体式開発機の作業状況

回は作業機を上げて行った。) で、3 回掛け (荒代, 中代, 仕上げ代) で行った。表 4-29 に作業条件を示す。トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を約 12cm に設定し、トラクタの機関回転速度を最大にして作業した。トラクタの P T O 速度段は、荒代, 中代では 2 速に、仕上げ代では 1 速に設定した。作業精度試験で報告したように、開発機の碎土性能及び埋没性能は、作業速度が 1 段低速の対照機と同程度であったため、開発機の作業速度段は対照機より 1 段高速にした。また、開発機, 対照機ともに、仕上げ代では荒代や中代より作業速度段を 1 段低速に設定した。供試ほ場が細粒質で碎土が荒く、所要動力の高い条件であったため、開発機の荒代時設定作業速度を 0.86～0.88m/s とした。

表 4-29 作業能率試験の作業条件

試験番号	T 1			
供試機	一体式		折畳み式	
	開発機	対照機	開発機	対照機
トラクタ機関出力 (kW)	23		24	
作業回数	3 回掛け		3 回掛け	
作業幅 (cm)	240	240	308	308
開発機大型レーキ位置	中	—	—	—
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	荒代・中代 仕上げ代	372 280	372 280	393 286
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	荒代・中代 仕上げ代	0.86 0.71	0.71 0.53	0.88 0.69 0.69 0.51
設定作業ピッチ ³⁾ (mm)	荒代・中代 仕上げ代	69 76	57 57	67 72 53 53

- 1) 機関定格回転 (2,800rpm), 2) 機関定格回転・進行増加率 0% 時, 3) 機関定格回転・進行増加率 0% 時, 1 回転あたりつめ 2 回作用部の値

5) 試験結果と考察

表 4-30 に作業能率試験の結果を示す。開発機の作



写真 4-7 折畳み式開発機の作業状況

表 4-30 作業能率試験の結果

試 験 番 号		T 1			
		一体式		折畳み式	
		開発機	対照機	開発機	対照機
作業速度 ¹⁾ (m/s)	荒代	0.79 (121%)	0.65 (100%)	0.81 (125%)	0.65 (100%)
	中代	0.79 (121%)	0.66 (100%)	0.82 (124%)	0.66 (100%)
	仕上げ代	0.66 (131%)	0.51 (100%)	0.66 (141%)	0.47 (100%)
ほ場作業量 ¹⁾ (a/h)		16.3 (121%)	13.5 (100%)	20.3 (122%)	16.6 (100%)
ほ場作業効率 ¹⁾ (%)		70 (97%)	72 (100%)	67 (94%)	71 (100%)
10a 当たり燃料消費量 ¹⁾ (L/10a)		3.3 (85%)	3.9 (100%)	2.6 (87%)	3.0 (100%)

1) カッコ内は対照機に対する割合

業速度は、荒代及び中代で 0.79 m/s 又は 0.81m/s、仕上げ代で 0.66m/s と対照機より 21~41%高速であったが、円滑な作業が可能であった。開発機のはほ場作業量は、作業幅 2.4m の一体式で約 16a/h、作業幅 3.1m の折畳み式で約 20a/h であり、対照機よりそれぞれ 21%又は 22%大きかった。開発機の燃料消費量は、一体式で 3.3L/10a、折畳み式で 2.6L/10a であり、対照機よりそれぞれ 13%又は 15%少なかった。開発機の 10a 当たり燃料消費量が対照機より少なかったのは、開発機の方が作業時間が短かったためである。

4.5 摘要

1) より高速で作業できる代かきロータリを開発するため、大型レーキ及びロータリづめに関する基礎試験を行い、以下の結果を得た。

(1) 大型レーキをリヤカバー前方に取付けることにより、刈株やわらの埋没性能が良好になる傾向があった。横方向の平均間隙が 33mm, 37mm, 45mm の大型レーキを取付けた試作機を供試し、壤質水田において試験した結果、33mm 区では整地板が後傾して浮き上がり気味となり、埋没性能や均平性能が劣る傾向があった。

(2) 大型レーキの取付け位置を3段階に変え、壤質砂土、壤土及びシルト質埴土の水田において試験した結果、土壌が固く、土塊が大きいほ場では大型レーキの位置をつめから遠く設定すると良いことがわかった。

(3) 横方向のつめ配列を変えた試作機を製作し、強粘質水田において市販対照機（対照機）と比較した。

その結果、180° 対向するつめホルダの横方向取付け位置を 15mm ずらす配列とすることにより、対照機に比べ、作業負荷を増加させずに、埋没性能と砕土性能を向上させ得る可能性が見出された。

(4) 対照機より切削角が約 10° 小さいつめを試作し、壤質砂土、壤土、シルト質埴土の水田において試験した結果、試作づめは、対照づめに比べ 5~10%程度所要動力が低いものの、刈株の埋没性能が劣ることがわかった。

(5) 対照機よりつめ回転速度が約 8%高い試作機を製作し、壤質砂土、シルト質埴土の水田において試験した結果、試作機は砕土性能がやや向上する傾向が見られたものの、刈株の埋没性能が悪化し、所要動力が約 15%増加した。

2) 基礎試験の結果を踏まえ、以下に示す構造の高速代かきロータリ（開発機）を 2 台試作し、以下の 2 台の市販機（対照機）とともに作業性能試験に供試した。

(1) 基礎試験に供試したつめを取付けた作業幅 2.4m の一体式開発機と、一体式と異なる形状のつめを持つ作業幅 3.1m の折畳み式開発機を試作した。一体式開発機では線径 6mm、平均間隙 37mm の、折畳み式開発機では線径 8mm、平均間隙 42mm の大型レーキをリヤカバーの前方に取付けた。開発機のロータリづめは、ベース機として用いた対照機と同じものを使用した。つめの横方向配列については、折畳み式開発機では、180° 対向した一对のつめホルダを対照機と同様に同一面上に取付けたが、一体式開発機では、同ホルダを 15mm 横にずらして取付けた。

開発機の入力軸からつめ軸までの減速比は対照機と同じとした。均平性能等を向上させるため、開発機のリヤカバーを対照機より後方に膨らませ、カバー内の容積を大きくした。

(2) 対照機には、一体式開発機及び折畳み式開発機のベース機として使用した市販機を供試した。

3) 上記の開発機と対照機を供試して作業性能試験を行い、以下の結果を得た。

(1) 壤質砂土、壤土及びシルト質埴土の水田で計6回試験した結果、同じ作業回数（2回掛け又は3回掛け）、同じ作業速度の区で比較すると、開発機区の株露出数は一体式、折畳み式ともに対照区より少なく、一体式開発機区のわら埋没評点も対照区より高い傾向があった。開発機区の表層砕土率と均平度評点は対照区と有意差がなかった。対照機と同じ作業回数の開発機区における株露出数、わら埋没評点及び表層砕土率は、作業速度が1段（20～30%）低速の対照区と同程度であった。

(2) シルト質埴土の水田で計3回試験した結果、同じ作業速度で2回掛けした開発機区と3回掛けした対照区を比較すると、一体式及び折畳み式開発機区の均平度評点と折畳み式開発機区のわら埋没評点は対照区より劣ったが、一体式及び折畳み式開発機の株露出数と表層砕土率、一体式開発機区のわら埋没評点は対照区と同程度であった。

(3) 壤質砂土及びシルト質埴土の水田で計4回試験した結果、作業速度 1.2m/s における荒代時P T O動力（作業深 12cm 換算）は、ほ場条件により大きく異なり、作業幅 2.4m の一体式開発機で8～22kW、作業幅 3.1m の折畳み式開発機で7～29kWであった。開発機のP T O比動力は、全試験区を平均すると、荒代、仕上げ代とも対照機とほぼ同じであった。

(4) シルト質埴土の水田で試験した結果、対照機より約20～40%高速で作業した開発機は、対照機に比べ、ほ場作業量が21～22%大きく、燃料消費量が13～15%少なかった。

第5章 開発機を利用した作業体系

本章では、開発した高速耕うんロータリ及び高速代かきロータリを利用した作業体系試験について報告する。5.1で高速耕うんロータリによる耕起・砕土が代かき・田植えの作業精度に及ぼす影響³²⁾について、5.2で高速代かきロータリによる代かきが田植えの作業精度に及ぼす影響³⁶⁾について報告し、5.3でこれらの開発機を利用した作業体系に考察を加える。

5.1 高速耕うんロータリによる耕起・砕土が後作業に及ぼす影響

5.1.1 試験の目的

第3章において、高速耕うんロータリ（以下、「開発機」とする。）はトラクタの作業速度を1段（20～30%）高速にして作業しても、市販対照機（以下、「対照機」とする。）に比べP T O動力や推進力が同程度以下で、土壌条件により差があったものの、作業精度も同程度であったことを報告した。しかし、開発機の特徴を活かすには、ある程度の作業精度の低下を承知の上、より高速で作業を行うことにより、さらに

能率を向上させる利用法も考えられる。そこで、開発機の作業速度を対照機の約1.5～2倍にして耕起・砕土作業を行い、代かきや田植えの作業精度に及ぼす影響を調査する目的で本試験を行った。

5.1.2 試験の概要

表5-1に示す新潟県（埴埴土）、滋賀県（埴埴土）及び埼玉県（シルト質埴土）の3箇所の水田において、耕起試験及び砕土試験を行った後、代かき試験及び田植試験を行い、開発機区と対照区における代かきや田植えの作業精度を調査した。表5-2に、試験の概要を示す。なお、耕起・砕土作業は、各地の一般的な作業体系に準じたため、滋賀と埼玉では秋に耕起した後、春に砕土を行ったのに対し、新潟の試験では、春の耕起のみとした。

5.1.3 耕起・砕土試験

1) 供試機

3.3で報告した中型開発機と中型対照機を、44kW

表 5-1 供試ほ場の概要

試験場所 栽培履歴	新潟県長岡市 大豆3作後, 水稲3作目	滋賀県安土町 水稲連作	埼玉県川里町 水稲連作
土壌統群 作土の土性 ¹⁾ 粒径組成 ²⁾ (%)	細粒質還元型グライ低地土 埴壤土 (CL) 20, 36, 40, 4	細粒質表層灰色グライ低地土 埴壤土 (CL) 20, 28, 48, 4	細粒質グライ化灰色低地土 シルト質埴土 (SiC) 32, 50, 18, 0
ほ場面積 (a)	30	8	23
ほ場長辺長さ (m)	100	80	51
ほ場短辺長さ (m)	30	10	45

1) 国際土壌学会法 (粘土: ~0.002mm, シルト: 0.002~0.02mm, 砂: 0.02~2.0mm, 礫: 2.0mm~)

2) 同上 (左から粘土, シルト, 砂, 礫の順)

表 5-2 試験の概要

供試ほ場	実施試験			
新潟県長岡市 埴壤土水田	耕起試験 ¹⁾	→	代かき試験	→ 田植試験
滋賀県安土町 埴壤土水田	耕起試験	→	砕土試験	→ 代かき試験 → 田植試験
埼玉県川里町 シルト質埴土水田	耕起試験	→	砕土試験	→ 代かき試験 → 田植試験

1) 新潟県での一般的な作業体系である「春耕起」のみで実施

の4輪駆動トラクタに装着して供試し, トラクタの定回転制御を作動させて作業を行った。

土作業を行った。砕土試験における試験区は耕起作業と同じとした。表 5-4 に砕土試験のほ場条件を示す。

2) ほ場条件

耕起作業は, 3ほ場とも湿潤な (液性指数 0.43~0.59) 土壌条件で行った。表 5-3 に耕起試験のほ場条件を示す。12月に耕起作業を行った滋賀の埴壤土水田及び埼玉のシルト質埴土水田では, 翌年の4月に砕

3) 試験方法

a) 耕起試験の方法

表 5-5 に耕起試験の作業条件を示す。目標の耕深を定規輪により 12cm 程度に設定し, トラクタの機関回転速度を最大にして試験した。埴壤土水田 (新潟, 滋

表 5-3 耕起試験のほ場条件

試験番号と供試ほ場	U1 (新潟)	U2 (滋賀)	U3 (埼玉)	
試験年月日 土性	1995年4月27日 埴壤土 (CL)	1994年12月13日 埴壤土 (CL)	1994年12月22日 シルト質埴土 (SiC)	
履歴 (わらの状態)	水稲収穫後の未耕起水田 (自脱コンバインで切断散布)			
作土の物理性	塑性・液性限界 (%)	43, 112	25, 54	33, 76
	含水比 (%)	82	37	56
	液性指数	0.57	0.43	0.53
	三相分布 ¹⁾ (%)	31, 62, 7	42, 43, 15	36, 54, 10
	湿潤密度 (g/cm ³)	1.38	1.56	1.50
	乾燥密度 (g/cm ³)	0.76	1.14	0.96
円錐貫入抵抗 (MPa)	0.30	0.60	0.55	

1) 左から固相率, 水分率, 空気率の順

表 5-4 砕土試験のほ場条件

試験番号と供試ほ場	U 2 (滋賀)	U 3 (埼玉)
試験年月日	1995年4月20日	1995年4月25日
土性	埴壤土 (CL)	シルト質埴土 (SiC)
ほ場の履歴	前年12月に耕起した水田	
塑性・液性限界 (%)	25, 54	33, 76
含水比 ¹⁾ (%)	39	44
液性指数 ¹⁾	0.48	0.26

1) 耕起土全層の平均値

質) では、作業速度を開発機 2 段階、対照機 1 段階とし、3 区×2 反復の試験区を設けた。シルト質埴土水田 (埼玉) では、作業速度を開発機、対照機とも 1 段階とし、2 区×2 反復の試験区を設けた。

対照機の作業速度は、土壤条件に合わせ 0.5～0.7m/s 程度に設定し、開発機の作業速度を、対照区の約 1.9～2.2 倍とした区 (以下、「2 倍速区」とする。) 及び対照区の約 1.5 又は 1.7 倍とした区 (以下、「1.5 倍速区」とする。) を設けた。つめ回転速度は、埴壤土水田では、開発機を対照機の約 1.05 倍に、シルト質埴土水田では、開発機を対照機の約 0.9 倍に設定した。その結果、開発機の耕うんピッチ及びつめ切

削体積は、2 倍速区でそれぞれ対照区の約 0.9～1.2 倍と 1.8～2.5 倍、1.5 倍速区でそれぞれ対照区の約 0.7 又は 0.9 倍と 1.4 又は 1.8 倍となった。また、開発機は固定刃を作用させて作業した。

b) 砕土試験の方法

表 5-6 に砕土試験の作業条件を示す。対照機の作業速度は土壤条件に合わせ 0.5～0.7m/s 程度に、開発機の作業速度は 2 倍速区で対照区の約 1.9 又は 2.2 倍、1.5 倍速区で対照区の約 1.5 倍に設定し、定規輪により目標耕深を 12cm に設定してトラクタの機関回転速度最大で試験した。開発機のつめ回転速度は、埴壤土水田では対照機の約 1.05 倍に、シルト質埴土水田では対照機の約 0.9 倍に設定した。その結果、開発機の耕うんピッチ及びつめ切削体積は、2 倍速区でそれぞれ対照区の約 0.9 又は 1.2 倍と 1.8 又は 2.5 倍、1.5 倍速区でそれぞれ対照区の約 0.7 倍と 1.4 倍となった。開発機の固定刃は作用させなかった。

4) 試験結果と考察

a) 耕起試験の結果

表 5-7 に耕起試験の結果を示す。耕深は、新潟の埴

表 5-5 耕起試験の作業条件

試験番号と供試ほ場	U 1 (新潟, CL)			U 2 (滋賀, CL)			U 3 (埼玉, SiC)	
	開発機 2 倍速	開発機 1.5 倍速	対照機	開発機 2 倍速	開発機 1.5 倍速	対照機	開発機 2 倍速	対照機
トラクタ機関出力 (kW)	44			44			44	
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	229	229	221	229	229	217	229	256
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	1.33	1.04	0.60	1.33	1.04	0.71	1.04	0.47
設定耕うんピッチ ²⁾ (mm)	174	136	155	174	136	196	136	110
固定刃	あり	あり	—	あり	あり	—	あり	—

1) 機関定格回転 (2,600rpm) 時、2) 機関定格回転・進行増加率 0% 時

表 5-6 砕土試験の作業条件

試験番号と供試ほ場	U 2 (滋賀, CL)			U 3 (埼玉, SiC)	
	開発機 2 倍速	開発機 1.5 倍速	対照機	開発機 2 倍速	対照機
トラクタ機関出力 (kW)	44			44	
設定つめ回転速度 ¹⁾ (rpm)	229	229	217	229	256
設定作業速度 ²⁾ (m/s)	1.33	1.04	0.71	1.04	0.47
設定耕うんピッチ ²⁾ (mm)	174	136	196	136	110
固定刃	なし	なし	—	なし	—

1) 機関定格回転 (2,600rpm) 時、2) 機関定格回転・進行増加率 0% 時

表 5-7 耕起試験の結果

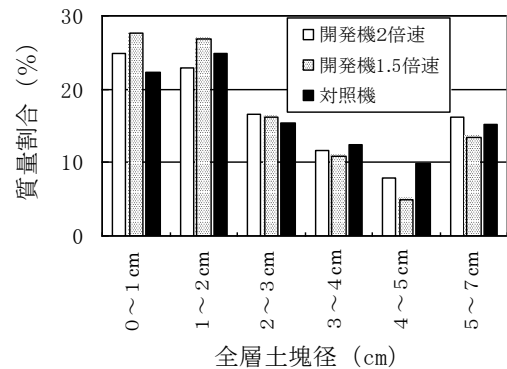
試験番号と供試ほ場		U 1 (新潟, CL)			U 2 (滋賀, CL)			U 3 (埼玉, SiC)	
		開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	対照機
作業速度 (m/s)		1.31	0.96	0.58	1.29	1.06	0.66	0.97	0.47
耕 深 (cm)	平均	11.2 ^a	13.2 ^b	12.1 ^c	11.2 ^d	12.9 ^e	13.8 ^e	11.3 ^f	11.9 ^f
	標準偏差	1.4	1.4	1.0	1.7	0.8	0.8	1.1	1.0
全層平均土塊径 (cm)	平均	7.4 ^a	6.0 ^b	6.0 ^b	4.6 ^d	4.3 ^d	3.9 ^d	10.1 ^f	8.1 ^f
	標準偏差	0.9	1.3	1.1	1.6	0.5	0.6	1.8	1.0
稲株埋没率 (%)	平均	63 ^a	80 ^b	69 ^a	86 ^d	90 ^d	76 ^e	76 ^f	58 ^g
	標準偏差	8	6	5	2	1	12	7	6

1) 危険率5%でaとb又はc, bとc, dとe, fとgの間に有意差あり, aとa, bとb, dとd, eとe, fとfの間に有意差なし

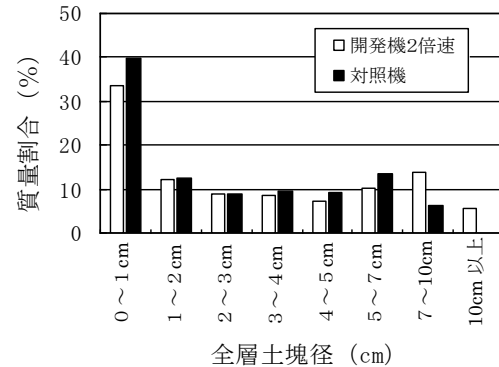
壤土水田で 11~13cm, 滋賀の埴壤土水田で 11~14cm, シルト質埴土水田で 11~12cm であり, 開発機 2倍速区でやや浅い傾向があったが, 開発機 1.5倍速区と対照区の耕深は同程度であった。開発機 2倍速区的全層平均土塊径は, 埴壤土水田で対照区の 1.18~1.23 倍 (平均 1.21 倍), シルト質埴土水田で対照区の 1.25 倍であった。埴壤土水田における開発機 1.5倍速区的全層平均土塊径は対照区の 1.0~1.1 倍であり, 作業速度を対照機の 1.6 倍にしても開発機の碎土性能は対照機と余り変わらなかった。開発機区の稲株埋没率は, 2倍速区で対照区の 0.9~1.3 倍 (平均 1.1 倍), 1.5倍速区で対照区の約 1.2 倍であり, 作業速度を対照機の 1.6~2.2 倍にしても, 開発機の反転性能は対照機より良好であった。

b) 碎土試験の結果

碎土試験の結果を表 5-8 に, 碎土作業後の全層の土塊分布を図 5-1 に示す。開発機 2倍速区的全層平均土塊径は, 埴壤土水田では対照区と同等であり, 土塊分布も同程度であったのに対し, シルト質埴土水田では対照区の約 1.5 倍となり, 1cm 未満の小さな土塊が



a) 滋賀県の埴壤土水田 (試験番号U 2)



b) 埼玉県のシルト質埴土水田 (試験番号U 3)

図 5-1 碎土作業後の全層土塊分布

表 5-8 碎土試験の結果

試験番号と供試ほ場		U 2 (滋賀, CL)			U 3 (埼玉, SiC)	
		開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	対照機
作業速度 (m/s)		1.50	1.13	0.69	1.00	0.47
全層平均土塊径 (cm)	平均	2.6 ^a	2.4 ^a	2.6 ^a	4.3 ^b	2.8 ^c
	標準偏差	0.6	0.1	0.3	1.3	0.4

1) 危険率5%でbとcの間に有意差あり, aとaの間に有意差なし

少なく、7 cm 以上の大きな土塊の割合が多い分布を示した。また、埴壤土水田における開発機 1.5 倍速区の全層平均土塊径は対照区の約 0.9 倍であり、作業速度を対照機の 1.6 倍にしても、開発機の碎土性能は対照機と同程度であった。

耕起後の全層平均土塊径に対する碎土後の全層平均土塊径の比を見ると、埴壤土水田においては、開発機では 2 倍速区・1.5 倍速区ともに 0.56~0.57 であったのに対し、対照区では 0.67 であり、開発機区の方が効率的な碎土が行われていた。一方、シルト質埴土水田では、開発機 2 倍速区で 0.43 であったのに対し、対照区では 0.35 となっており、対照区で碎土効率が高かった。

c) 耕起・碎土試験の考察

耕起時における対照機に対する開発機の全層平均土塊径の比が、埴壤土水田とシルト質埴土水田で異なっていたのは、粘着力が比較的小さく、塑性破壊が起こりやすい埴壤土では、ロータリづめのわん曲部切削角の違いにより土壌せん断作用が異なり、碎土性能の差が出やすかったのに対し、水分を含むと変形しやすいシルト質埴土では、せん断作用の差が出にくかったためと考えられる。

また、埴壤土水田における碎土効率が開発機区で高かったのは、供試ほ場が土塊をたたくことによる破碎効果の高い土壌であったことから、つめわん曲部切削角の大きい開発機の碎土効率が良かったためと推定される。一方、シルト質埴土水田における碎土効率が対照区で高かったのは、対照区に対する開発機 2 倍速区をつめ切削体積の比が、埴壤土水田では 1.78 であったのに対し、シルト質埴土水田では 2.47 と大きかつ

たこと、つめわん曲部で土塊をたたくことによる破碎効果の低い土壌であったことが原因と思われる。

5.1.4 代かき試験

1) 供試機

作業幅 2.0、2.2 及び 4.1m の代かきロータリを 17 又は 29kW の 4 輪駆動トラクタに装着して供試した。

2) ほ場条件と試験方法

表 5-9 に代かき試験の条件を示す。新潟の埴壤土水田では 4 月の耕起作業後に、滋賀の埴壤土水田及び埼玉のシルト質埴土水田では 4 月の碎土作業後に、代かきロータリを供試して 2 回又は 3 回掛けで代かきを行った。代かき作業は、トラクタの耕深設定ダイヤルにより作業深を 12cm 程度に設定し、開発機区、対照区とも同じ作業条件で行った。

3) 試験結果と考察

代かき試験の結果を表 5-10 に、代かき作業後の表層 5 cm の土塊分布を図 5-2 に示す。

a) 碎土状態

開発機区の表層平均土塊径は、対照区に対し、埴壤土水田の 2 倍速区で 1.04 倍、シルト質埴土水田の 2 倍速区で 0.92 倍、埴壤土水田の 1.5 倍速区で 1.12 倍となり、対照区と同程度であった。また、土塊分布も各区で同程度となり、5 cm 以上の大土塊はほとんどなかった。

b) 耕盤深さ

開発機区の平均耕盤深さは、対照区に対し、2 倍速区で 0.97 倍、1.5 倍速区で 0.98 倍であり、試験区

表 5-9 代かき試験の条件

試験番号と供試ほ場	U1 (新潟)			U2 (滋賀)			U3 (埼玉)				
	開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	対照機			
試験年月日	1995年5月1日			1995年5月23日			1995年6月9日				
土性	埴壤土 (CL)			埴壤土 (CL)			シルト質埴土 (SiC)				
入水時期	2日前			3日前			5日前				
作業条件	トラクタ機関出力 (kW) 代かきロータリ作業幅 (cm) 設定 P T O 速度段 代かき回数			17 200 2速 2回掛け			17 220 1回目2速, 2回目3速 2回掛け			29 410 2速 3回掛け	

表 5-10 代かき試験の結果

試験番号と供試ほ場		U 1 (新潟, CL)			U 2 (滋賀, CL)			U 3 (埼玉, SiC)	
		開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	対照機
作業速度 (m/s)		0.6~0.7			0.3~0.4			0.5~0.7	
表層平均土塊 径 ¹⁾ (cm)	平均	1.30 ^a	1.34 ^a	1.26 ^a	0.74 ^c	0.83 ^c	0.71 ^c	1.1 ^d	1.2 ^d
	標準偏差	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0
耕盤深さ ²⁾ (cm)	平均	13.3 ^a	14.5 ^b	13.3 ^a	13.4	13.0	14.8	12.2 ^d	12.2 ^d
	標準偏差	1.1	1.2	1.0	—	—	—	1.0	0.9

1) 表層 5cm の値, 2) 田植前の値

3) 危険率 5% で a と b の間に有意差あり, a と a, c と c, d と d の間に有意差なし

間の差は 2cm 以内であった。耕盤深さの標準偏差も、開発機区と対照区で同程度であった。

c) 代かき試験の考察

以上の結果から、代かき前の全層平均土塊径が最大で約 50% 異なっても、代かき後の表層平均土塊径の差は少ないことなどが確認された。砕土作業後の開発機区的全層平均土塊径が対照区より大きかったシルト質粘土水田において、代かき後の表層平均土塊径の差がなかったのは、(1) 一定の含水比（崩壊限界）以下になった土塊を水中に置くと自然崩壊する¹⁰⁴⁾ ことが確認されているが、冬季に雨の少ない条件下（埼玉県）で土塊周辺の土が乾燥して「崩壊限界」以下になったこと、(2) 供試した代かきロータリは、わん曲部切削角の大きなつめを持ち、土塊の大きな粘質土壌でも砕土性能が良好なことが原因と思われる。また、新潟の埴塚土水田において代かき後の表層平均土塊径がやや大きかったのは、耕うんを 1 回しか行っていないために代かき前の土塊が大きかったこと、耕うん 4 日後に代かきを行ったために土塊周辺の乾燥が進まなかったことが原因と思われる。

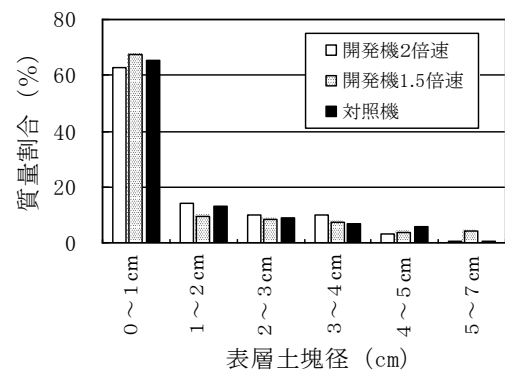
5. 1. 5 田植試験

1) 供試機

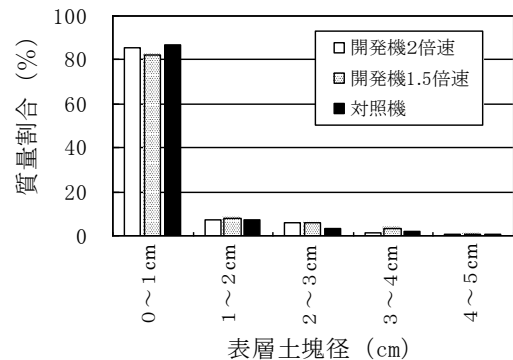
ロータリ式植付け機構を有する、5 条又は 6 条植えの側条施肥機付き乗用田植機を供試した。

2) ほ場・苗条件と試験方法

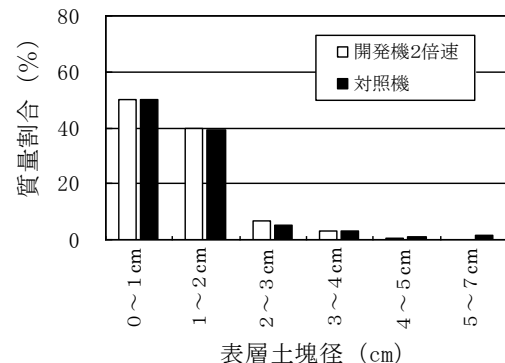
表 5-11 に田植試験のほ場条件、苗条件及び作業条



a) 新潟県の埴塚土水田 (試験番号U1)



b) 滋賀県の埴塚土水田 (試験番号U2)



c) 埼玉県のシルト質粘土水田 (試験番号U3)

図 5-2 代かき作業後の表層 5 cm の土塊分布

表 5-11 田植試験の条件

試験番号と供試ほ場 試験区		U 1 (新潟)			U 2 (滋賀)			U 3 (埼玉)	
		開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	対照機
試験年月日 代かき後日数 土性		1995年5月3日 3日 埴壤土 (CL)			1995年5月26日 3日 埴壤土 (CL)			1995年6月13日 4日 シルト質埴土 (SiC)	
ほ場 条件	水深 (cm)	2.7	2.6	2.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.7
	耕盤深さ (cm)	13.3	14.5	13.3	13.4	13.0	14.8	12.2	12.2
	下振り貫入深 (cm)	10.1	10.3	10.2	7.2	8.3	9.0	10.1	9.2
	耕盤貫入抵抗 (MPa)	0.53	0.48	0.43	0.88	0.90	0.86	1.10	1.10
苗 条件	品種	わせじまん			日本晴			朝の光	
	乾籾播種量 (g/箱)	150			160			120	
	葉令, 草丈 (cm)	2.5葉, 12.0			2.1葉, 17.1			2.2葉, 16.7	
	苗立数 (本/cm ²)	2.6			3.9			4.0	
作 業 条 件	田植機型式	クボタ GL-23			ヤンマー ARP5GX			クボタ s1-600	
	植付け条数等	6条 (側条施肥機付き)			5条 (側条施肥機付き)			6条 (側条施肥機付き)	
	設定株数 (株/3.3m ²)	70			70			60	
	植付け深さ調節	浅い方から 3/5			浅い方から 4/6			浅い方から 3/5	
	苗横送り量 (mm)	14			11			14	
苗縦かき取り量調節	少ない方から 5/10			少ない方から 6/10			少ない方から 3/10		

件を示す。3箇所の供試水田において、代かき作業後に往復作業で田植えを行った。田植作業は、開発機区、対照区とも同じ作業条件で行った。

3) 試験結果と考察

田植試験の結果を表 5-12 に示す。

a) 株間と植付け深さ

株間は、主に田植機の進行低下率によって変わる。株間の測定値の区間差は少なく、この値から田植機の進行低下率は各試験区で同程度であったものと推定される。

代かき後の水深や土壌表面硬度の変動、ほ場表面の

わらの存在などにより、田植機フロートのほ場面への追従性が悪化すると、植付け深さが変動する。また、ほ場表面付近に大土塊や株が存在すると、植付け深さが浅くなることもある。同じ試験ほ場内で比較すると、植付け深さの試験区間差は小さく、開発機区で植付け深さが浅くなる傾向は見られなかった。

b) 一株本数と機械的欠株

一株本数や機械的欠株は、苗マット内での苗立数の変動やマットの送り状態などの影響を受ける。機械的欠株率は、新潟の埴壤土水田で 0.1~1.0%、滋賀の埴壤土水田で 0.7~1.5%と試験区間差がややあったが、ほ場条件よりも苗条件の影響が大きいと考えられ

表 5-12 田植試験の結果

試験番号と供試ほ場 試験区		U 1 (新潟, CL)			U 2 (滋賀, CL)			U 3 (埼玉, SiC)	
		開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	開発機 1.5倍速	対照機	開発機 2倍速	対照機
作業速度 (m/s)		0.6~0.8			0.7~0.9			0.85~1.0	
株間 (cm)		15.9	16.1	16.0	15.6	15.8	15.9	19.1	19.3
植付け深さ (cm)		2.4	2.7	2.5	3.6	3.6	3.7	3.5	3.1
一株本数 (本)		4.7	4.8	4.9	5.1	5.3	5.0	5.9	5.6
機械的欠株率 (%)		1.0	0.1	1.0	0.7	1.4	1.5	0.5	0.4
浮苗株率 (%)		0.5	1.1	1.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1
埋没株率 (%)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0

る。一株本数の区間差は小さかった。

c) 浮苗株率, 埋没株率

浮苗は田植機フロートの浮き上がり, 代かき後のほ場表面付近での大土塊や株の存在などにより, 埋没株は土壌表面硬度の低いところで田植機フロートが沈下した場合などに発生する。浮苗率及び埋没株率は, 全ての試験区で1%程度以下と少なかった。

d) 田植試験の考察

以上の結果から, 本試験の条件下では, 開発機を用いて高速で耕起・砕土作業を行っても, 田植えの植付け精度は対照機と同程度であることが確認された。田植精度は, ほ場条件と苗条件に影響されるが, 供試ほ場においては代かき精度の区間差がほとんどなかったことから, 田植精度の差も少なかったものと考えられる。

5.2 高速代かきロータリによる代かきが後作業に及ぼす影響

5.2.1 試験の目的

第4章において, 同じ作業回数(2回掛け又は3回掛け)で比較すると, 高速代かきロータリ(以下, 「開発機」とする。)の埋没性能及び砕土性能は, 作業速度が20~30%低い(走行速度段が1段低速の)市販対照機(以下, 「対照機」とする。)と同程度であったことを報告した。また, 作業回数を3回掛けから2回掛けに減らしても, 開発機の株埋没性能や砕土性能は同じ作業速度の対照機と同程度であり, ほ場条件によっては, 開発機の利用で作業回数を減らすことができる可能性もあることを見出した。

そこで, 開発機の作業速度を20~30%対照機より高め, 同じ回数で作業した場合, あるいは同じ作業速度で, 対照機より開発機の作業回数を減らした場合の田植精度に及ぼす影響を確認する目的で, 本試験を実施した。

5.2.2 試験の概要

表5-13に示す茨城県(砂壤土)及び埼玉県(壤土)の水田において, 開発機と対照機を供試して代かき試験を行い, 同じほ場で田植え試験を実施した。

表 5-13 供試ほ場の概要

試験場所 栽培履歴	茨城県東村 水稲連作	埼玉県川里町 水稲連作
土壌統群 作土の土性 ¹⁾	低地造成土 砂壤土(SL)	低地造成土 壤土(L)
ほ場面積(a)	25~34/区	7~9/区

1) 国際土壌学会法(粘土: ~0.002mm, シルト: 0.002~0.02mm, 砂: 0.02~2.0mm, 礫: 2.0mm~)

5.2.3 代かき試験

1) 供試機

4.3で報告した一体式及び折畳み式の開発機と対照機を供試し, 機関出力23kW又は24kWの4輪駆動トラクタに装着して代かきを行った。

2) ほ場条件

水稲収穫後にロータリ耕を行い, 試験前に入水した砂壤土及び壤土の水田において代かき作業を行った。砂壤土水田の代かき前のほ場条件を表5-14に, 壤土水田の代かき前のほ場条件を表5-15に示す。砂壤土水田における供試面積は, 1試験区当たり25~34a(長辺約100m×短辺約25~34mの1筆のほ場)であった。また, 壤土水田では, 63a(長辺121m×短辺52m)のほ場を1試験区7a(一体式, 長辺52m×短辺13.4m)又は9a(折畳み式, 長辺52m×短辺16.8m)に分割して供試した。

3) 試験方法

試験は, 試験区中央部を2~8行程往復作業した後, 外周を2行程回り作業する方法(旋回時は作業機を上げた。)で, 砂壤土水田では2回掛け(荒代, 仕上げ代), 壤土水田では3回掛け(荒代, 中代, 仕上げ代)を標準作業回数として行った。表5-16に砂壤土水田における代かきの作業条件を, 表5-17に壤土水田における代かきの作業条件を示す。作業深はトラクタの耕深設定ダイヤルにより約12cmに設定し, トラクタの機関回転速度を最大にして作業した。トラクタのPTO速度段は, 荒代, 中代では2速に, 仕上げ代では1速に設定した。

開発機の試験区は, (1)作業速度段を対照機より1段高速にし, 同じ作業回数(2回掛け又は3回掛け)

表 5-14 砂壤土水田における代かき試験のほ場条件

試験番号と供試ほ場	V 1, 砂壤土水田 (茨城県東村)							
試験区	一体式開発機			一体式 対照機 2回	折畳み式開発機			折畳み式 対照機 2回
	高速 2回	同速 2回	同速 1回		高速 2回	同速 2回	同速 1回	
履歴 (わらの状態) 耕うん整地方法	水稲収穫後の水田 (自脱コンバインで切断散布) ロータリ耕 2回							
土壌統群と土性 ¹⁾	低地造成土, 砂壤土 (SL)							
面積 (a)	30	25	26	30	34	30	29	33
表層平均土塊径 ²⁾ (cm)	2.1	2.4	2.2	2.2	2.9	2.2	1.7	2.4
稲株露出数 (個/m ²)	6.3	5.2	9.1	8.8	7.0	8.4	5.4	6.5
耕盤深さ (cm)	16.6	17.0	16.9	16.4	17.2	16.8	17.8	16.2
耕盤貫入抵抗 (MPa)	1.90	1.96	2.07	2.01	1.91	2.06	2.09	1.84
入水時期	3～5日前							

1) 国際土壌学会法 (粘土: ~0.002mm, シルト: 0.002~0.02mm, 砂: 0.02~2.0mm, 礫: 2.0mm~)

2) 表層約 10cm の値

表 5-15 壤土水田における代かき試験のほ場条件

試験番号と供試ほ場	V 2, 壤土水田 (埼玉県川里町)							
試験区	一体式開発機			一体式 対照機 3回	折畳み式開発機			折畳み式 対照機 3回
	高速 3回	同速 3回	同速 2回		高速 3回	同速 3回	同速 2回	
履歴 (わらの状態) 耕うん整地方法	水稲収穫後の水田 (自脱コンバインで切断散布) ロータリ耕 2回							
土壌統群と土性 ¹⁾	低地造成土, 壤土 (L)							
面積 (a)	7	7	7	7	9	9	9	9
表層平均土塊径 ²⁾ (cm)	3.1	3.1	3.3	3.6	3.7	3.8	4.1	4.1
稲株露出数 (個/m ²)	7.8							
耕盤深さ (cm)	18.5							
耕盤貫入抵抗 (MPa)	1.67							
入水時期	2日前							

1) 国際土壌学会法 (粘土: ~0.002mm, シルト: 0.002~0.02mm, 砂: 0.02~2.0mm, 礫: 2.0mm~)

2) 表層約 10cm の値

表 5-16 砂壤土水田における代かき試験の作業条件

試験番号と供試ほ場	V 1, 砂壤土水田 (茨城県東村)							
試験区	一体式開発機			一体式 対照機 2回	折畳み式開発機			折畳み式 対照機 2回
	高速 2回	同速 2回	同速 1回		高速 2回	同速 2回	同速 1回	
トラクタ機関出力 (kW)	23				24			
作業幅 (cm)	240				308			
作業回数	2回掛け		1回掛け	2回掛け	2回掛け		1回掛け	2回掛け
設定つめ回転 速度 ¹⁾ (rpm)	荒代 372	代 372	上げ代 —	荒代 372	代 379	上げ代 379	—	379
設定作業速 度 ²⁾ (m/s)	荒代 280	代 280	上げ代 280	荒代 280	代 268	上げ代 268	—	268
設定作業ピ ッチ ³⁾ (mm)	荒代 96	代 69	上げ代 —	荒代 69	代 91	上げ代 69	—	69
	92	76	76	76	97	79	79	79

1) 機関定格回転 (2,800rpm) 時, 2) 機関定格回転・進行増加率 0%時

3) 機関定格回転・進行増加率 0%時, 1回転当たりつめ 2回作用部の値

表 5-17 壤土水田における代かき試験の作業条件

試験番号と供試ほ場		V 2, 壤土水田 (埼玉県川里町)							
試験区		一体式開発機			一体式 対照機 3 回	折畳み式開発機			折畳み式 対照機 3 回
		高速 3 回	同速 3 回	同速 2 回		高速 3 回	同速 3 回	同速 2 回	
トラクタ機関出力 (kW)		24				24			
作業幅 (cm)		240				308			
作業回数		3 回掛け		2 回掛け	3 回掛け	3 回掛け		2 回掛け	3 回掛け
設定つめ回転 速度 ¹⁾ (rpm)	荒代	378	378	378	378	393	393	393	393
	中代	378	378	—	378	393	393	—	393
	仕上げ代	267	267	267	267	286	286	286	286
設定作業速 度 ²⁾ (m/s)	荒代	0.87	0.71	0.71	0.71	0.88	0.69	0.69	0.69
	中代	0.87	0.71	—	0.71	0.88	0.69	—	0.69
	仕上げ代	0.71	0.50	0.50	0.50	0.69	0.51	0.51	0.51
設定作業ピ ッチ ³⁾ (mm)	荒代	69	56	56	56	67	53	53	53
	中代	69	56	—	56	67	53	—	53
	仕上げ代	80	56	56	56	72	53	53	53

1) 機関定格回転 (2,800rpm) 時, 2) 機関定格回転・進行増加率 0% 時

3) 機関定格回転・進行増加率 0% 時, 1 回転あたりつめ 2 回作用部の値

とした区 (以下, 「高速区」とする。), (2) 作業速度段と作業回数を対照機と同じにした区 (以下, 「同速区」とする。), (3) 作業速度段を対照機と同じにし, 作業回数を 1 回減らした区 (以下, 「同速 1 回減区」とする。) とした。砂壤土水田では, 粗粒質で砕土しやすく, 代かき前の砕土が細かい条件であったため, 開発機の荒代時作業速度を, 高速区で約 1.1~1.2m/s, 同速区で約 0.85m/s に設定した。壤土水田では, 中粒質で代かき前の砕土が比較的荒い条件であったため, 開発機の荒代時作業速度を, 高速区で約 0.85m/s, 同速区で約 0.7m/s に設定した。

4) 試験結果と考察

一体式及び折畳み式供試機の代かき精度を平均して表 5-18 に示す。

a) 埋没状態

砂壤土水田での稲株露出数は, 同速区, 高速区, 対照区, 同速 1 回減区の順に少なかった。壤土水田での稲株露出数は, 同速区で少なかった。また, わら埋没評点は, 砂壤土水田では区間差がなく, 壤土水田では高速区及び同速区に比べ同速 1 回減区で低い傾向があった。

b) 砕土状態

表層砕土率は, 砂壤土水田, 壤土水田ともに区間差

がなかった。

c) 均平状態

均平度評点は, 砂壤土水田では高速区及び同速区に比べ同速 1 回減区で低く, 壤土水田では高速区に比べ対照区で低い傾向があった。

d) 代かき試験の考察

以上の結果を試験区別にまとめると, 作業速度を対照機より 20~30% 高めた高速区, 対照機と同じ作業速度で作業回数を 1 回減少した同速 1 回減区の埋没状態, 表層砕土状態及び均平状態は対照区と同程度であった。対照機と同じ作業速度で代かきを行った同速区では, 対照区に比べ稲株埋没状態が良好で, 他の作業精度は同程度であった。

5.2.4 田植試験

1) 供試機

田植作業には, 6 条又は 8 条植えの側条施肥機付き乗用田植機を供試した。

2) ほ場条件

代かき試験を行った上記の砂壤土及び壤土水田において, 田植作業を行った。砂壤土水田の田植前のほ場条件を表 5-19 に, 壤土水田の田植前のほ場条件を表 5-20 に示す。

表 5-18 代かき試験の結果（一体式と折畳み式の平均）

供 試 ほ 場 試 験 区		砂壤土水田				壤土水田				砂壤土と壤土水田の平均			
		開発機			対照機 2回	開発機			対照機 3回	開発機			対照機 2・3回
		高速 2回	同速 2回	同速 1回		高速 3回	同速 3回	同速 2回		高速 2・3回	同速 2・3回	同速 1・2回	
作業速度 (m/s)	荒代 中代 仕上げ代	1.03 — 0.79	0.78 — 0.67	— — 0.65	0.79 — 0.66	0.75 0.78 0.64	0.61 0.62 0.46	0.62 — 0.46	0.60 0.63 0.46	0.89 0.78 0.72	0.70 0.62 0.57	0.62 — 0.56	0.70 0.63 0.56
表層砕土率 ¹⁾ (%)	平均 標準偏差	92 ^a 4.5	92 ^a 3.4	89 ^a 5.8	92 ^a 5.7	85 ^e 3.5	85 ^e 4.7	86 ^e 5.8	88 ^e 5.9	88 ⁱ 5.4	89 ⁱ 4.7	87 ⁱ 6.7	90 ⁱ 6.0
稲株露出数 (個/m ²)	平均 標準偏差	3.5 ^{ac} 1.6	2.7 ^a 1.8	5.0 ^b 2.2	4.4 ^{bc} 2.2	4.8 ^e 1.4	3.7 ^f 2.5	4.4 ^e 1.5	4.4 ^e 2.2	4.1 ⁱ 1.6	3.2 ^j 2.0	4.7 ⁱ 2.6	4.4 ⁱ 2.2
稲わら埋没 状態(評点)	平均 標準偏差	3.6 ^a 0.7	3.9 ^a 0.9	3.6 ^a 1.2	3.8 ^a 0.5	3.7 ^e 0.3	3.7 ^e 0.4	3.2 ^f 0.5	3.5 ^{ef} 0.5	3.7 ⁱ 0.3	3.8 ⁱ 0.6	3.4 ⁱ 0.8	3.6 ⁱ 0.5
均 平 度 (評点)	平均 標準偏差	3.4 ^a 0.5	3.6 ^a 0.7	2.6 ^b 0.5	3.3 ^{ab} 0.3	3.6 ^e 0.2	3.5 ^{ef} 0.4	3.3 ^{ef} 0.4	3.3 ^f 0.3	3.5 ⁱ 0.3	3.6 ⁱ 0.5	3.0 ^j 0.5	3.3 ^{ij} 0.3

1) 表層5cmにおける直径2cm未満の土塊質量割合, 2) 危険率5%でaとb又はbc, bとac, eとf, iとjの間に有意差あり, aとa又はab又はac, bとb又はab又はbc, acとbc, eとe又はef, fとef, iとi又はij, jとj又はijの間に有意差なし

表 5-19 砂壤土水田における田植試験のほ場条件

試験番号と供試ほ場		W1, 砂壤土水田(茨城県東村)						
試 験 区	一体式開発機			一体式 対照機2回	折畳み式開発機			折畳み式 対照機2回
	高速2回	同速2回	同速1回		高速2回	同速2回	同速1回	
面 積 (a)	30	25	26	30	34	30	29	33
水 深 (cm)	1.4	2.0	0.8	1.7	2.1	1.4	1.8	0.9
耕 盤 深 さ (cm)	14.8	15.2	14.7	14.3	15.6	15.2	16.9	14.6
表 面 硬 度 ¹⁾ (mm)	36	37	36	36	37	35	36	36
耕盤貫入抵抗 (MPa)	1.45	1.52	1.59	1.50	1.39	1.64	1.62	1.42
代かき後日数	4日	6日	5日	4日	5日	6日	5日	5日

1) 土壌表面硬度計 DIK-5581 で測定

表 5-20 壤土水田における田植試験のほ場条件

試験番号と供試ほ場		W2, 壤土水田(埼玉県川里町)						
試 験 区	一体式開発機			一体式 対照機3回	折畳み式開発機			折畳み式 対照機3回
	高速3回	同速3回	同速2回		高速3回	同速3回	同速2回	
面 積 (a)	7	7	7	7	9	9	9	9
水 深 (cm)	0.8	1.3	1.9	0.5	1.4	1.8	1.4	1.6
耕 盤 深 さ (cm)	15.9	18.4	16.4	17.4	18.0	17.3	17.2	17.7
表 面 硬 度 ¹⁾ (mm)	29	30	27	33	31	26	26	27
耕盤貫入抵抗 (MPa)								1.49
代かき後日数								6日

1) 土壌表面硬度計 DIK-5581 で測定

3) 試験方法

供試ほ場ごとに, 全試験区同じ作業条件及び苗条件 業条件を示す。
で田植えを行った。表 5-21 に田植作業の苗条件と作

表 5-21 田植試験の苗条件と作業条件

試験番号と供試ほ場		W1, 砂壤土水田	W2, 壤土水田
苗 条 件	品 種 と 葉 令	あきたこまち, 2.5 葉	どんとこい, 2.2 葉
	草 丈 (cm)	13.0	18.9
	苗 立 数 (本/cm ²)	3.0	2.6
作 業 条 件	田 植 機 型 式	ヤンマー GP8	クボタ s1-600
	植 付 け 条 数	8 条 (側条施肥機付き)	6 条 (側条施肥機付き)
	設 定 株 数	70 株/3.3m ²	70 株/3.3m ²
	植 付 け 深 さ 調 節	浅い方から 4/6	浅い方から 3/5
	設 定 苗 送 り 量	14mm	11mm
設 定 苗 縦 か き 取 り 量	少ない方から 5/10	少ない方から 3/10	

4) 試験結果と考察

田植作業の結果を一体式の区と折畳み式の区を平均して表 5-22 に示す。

a) 植付け深さ

代かき後の水深や土壌表面硬度の変動、ほ場表面のわらの存在などにより、田植機フロートのほ場面への追従性が悪化すると植付け深さが変動する。また、ほ場表面付近に大土塊や株が存在すると、植付け深さが浅くなることもある。砂壤土水田では対照区、同速 1 回減区で、壤土水田では同速 1 回減区と高速区で植付け深さがやや浅かった。両ほ場での結果を平均すると、同速 1 回減区と対照区で植付け深さがやや浅くなる傾

向があった。また、植付け深さの標準偏差の試験区間差は、最大で 2 mm と小さかった。

b) 一株本数, 機械的欠株

一株本数は、ほ場条件よりもマット内での苗立数の変動や苗マットの縦送り状態など、苗条件の影響が大きいと考えられる。このため、同速区の一株本数がやや少ない傾向であったのは、苗条件の違いが原因と思われる。機械的欠株は、一株本数と同様に代かき精度の影響は少なく、砂壤土水田で 1% 以内、壤土水田で 3% 以内であった。

c) 浮苗株率, 埋没株率, 斜め植株率

浮苗は、田植機フロートの浮き上がり、代かき後の

表 5-22 田植試験の結果 (一体式と折畳み式の平均)

試験番号と供試ほ場		W1, 砂壤土水田				W2, 壤土水田				砂壤土水田と壤土水田の平均			
試 験 区		開発機			対照機 2 回	開発機			対照機 3 回	開発機			対照機 2・3 回
		高速 2 回	同速 2 回	同速 1 回		高速 3 回	同速 3 回	同速 2 回		高速 2・3 回	同速 2・3 回	同速 1・2 回	
作 業 速 度 (m/s)		0.8~0.9				0.9~1.0				0.8~1.0			
一株本数 (本)	平 均 標準偏差	5.4 ^a 2.2	5.2 ^a 2.0	5.5 ^a 2.2	5.6 ^a 2.0	3.6 ^e 1.8	3.3 ^f 1.7	3.7 ^e 1.8	3.7 ^e 2.0	4.5 ^{ij} 2.2	4.2 ⁱ 2.0	4.6 ^j 2.2	4.6 ^j 2.2
植付け深さ (cm)	平 均 標準偏差	3.5 ^a 0.9	3.2 ^b 0.7	3.0 ^c 0.8	2.7 ^d 0.8	2.7 ^e 0.9	2.9 ^f 0.8	2.6 ^g 0.8	2.9 ^f 1.0	3.1 ⁱ 1.0	3.1 ⁱ 0.8	2.8 ^j 0.8	2.8 ^j 0.9
機械的欠株 率 (%)	平 均 標準偏差	0.71 ^a 0.3	0.60 ^a 0.3	0.68 ^a 0.1	0.83 ^a 0.5	2.8 ^e 0.8	2.4 ^e 0.6	2.9 ^e 0.4	2.8 ^e 0.7	1.8 ⁱ 1.3	1.5 ⁱ 1.1	1.8 ⁱ 1.2	1.8 ⁱ 1.3
浮苗株率 (%)	平 均 標準偏差	0.06 ^{ab} 0.1	0.04 ^a 0.1	0.22 ^b 0.1	0.22 ^b 0.3	0.44 ^e 0.5	0.34 ^e 0.3	0.20 ^e 0.2	0.30 ^e 0.3	0.24 ⁱ 0.4	0.19 ⁱ 0.3	0.21 ⁱ 0.2	0.26 ⁱ 0.3
埋没株率 (%)	平 均 標準偏差	0.31 ^{ab} 0.3	0.15 ^a 0.2	0.16 ^a 0.2	0.39 ^b 0.3	0.00 ^e 0.0	0.00 ^e 0.0	0.00 ^e 0.0	0.00 ^e 0.0	0.16 ^{ij} 0.2	0.07 ⁱ 0.1	0.08 ⁱ 0.1	0.20 ^j 0.3
斜め植株率 (%)	平 均 標準偏差	0.32 ^{ab} 0.3	0.21 ^a 0.2	0.40 ^{ab} 0.4	0.80 ^b 0.6	1.5 ^e 0.9	1.3 ^{ef} 1.0	1.1 ^{ef} 0.8	0.71 ^f 0.6	0.91 ⁱ 0.9	0.76 ⁱ 0.9	0.75 ⁱ 0.7	0.76 ⁱ 0.6

1) 危険率 5% で a と b 又は c 又は d, b と c 又は d, c と d, e と f 又は g, f と g, i と j の間に有意差あり, a と a 又は ab, b と b 又は ab, e と e 又は ef, f と f 又は ef, i と i 又は ij, j と j 又は ij の間に有意差なし

ほ場表面付近での大土塊や株の存在などにより発生する。砂壤土水田における浮苗株率は同速区で少なく、同速1回減区と対照区で多かった。壤土水田では、各試験区間に差はなかった。埋没株は、土壤表面硬度の低いところで田植機フロートが沈下した場合などに発生する。砂壤土水田における埋没株率は、同速区及び同速1回減区で少なく、対照区で多かった。壤土水田では、埋没株はなかった。斜め植株は、植付け深さが浅いところ、土壤表面硬度の低いところなどで発生する。砂壤土水田での斜め植株率は同速区で低く、対照区で高かった。壤土水田の斜め植株率は対照区で低く、高速区で高かった。両ほ場での結果を平均すると、浮苗株率と斜め植株率は試験区間で差がなかったが、埋没株率は同速区、同速1回減区に比べ対照区で高い傾向があった。

d) 田植試験の考察

以上の結果から、開発機で対照機より20~30%高速で代かき作業を行った場合、あるいは対照機と同じ作業速度で開発機の作業回数を1回減らした場合でも、田植えの作業精度は対照区と同程度であることが見出された。すなわち、開発した高速代かきロータリで、従来よりも高速で代かきを行ったり、あるいは作業回数を減らす作業を行っても、試験条件下ではこれまでと同等な精度で田植作業が可能であることを実作業で確認することができた。

砂壤土水田において、同速1回減区と対照区で植付け深さが浅く、浮苗株率や斜め植株率が高い傾向があったことの一因としては、これらの区の稲株露出数が多かったことが考えられる。また、壤土水田に比べ、砂壤土水田で田植え精度の区間差が大きかったのは、砂壤土水田では土壤の粘性や表面硬度が低いため、植付け深さや苗の姿勢が変わりやすかったことが原因と思われる。

5.3 総合考察

5.3.1 開発機の利用効果

1) 適期作業

わが国の水田における耕うんの作業時期は、地域、栽培体系、ほ場排水の良否などにより大きく異なる。太平洋側の温暖地や暖地における水稻単作水田では、

土壤が乾燥する冬期に耕うん作業を行うことが可能なため、作業適期が長い。一方、冬期の積雪や降雨のため、春にならないと耕うんができない寒地や日本海側の地域、あるいは前作の収穫から後作の作付けまでの日数が少ない二毛作地帯では、一般に耕うんの作業適期が短い。また、代かきにおいては、水田への入水が可能となる時期が作業適期に大きく影響する。水利慣行上、灌漑水が利用できるようになる時期から田植時期までの日数が少ない地域では、代かきの作業可能期間が短くなる。

このように、耕うんや代かきの作業適期が短い地域においては、作業能率の高い開発機を利用することにより、適期作業を行いやすくなる。

2) 低コスト化

受託作業などで大面積作業を行う場合は、適期作業を実現するために複数台の機械で作業することがある。開発機の利用により、1台当たりの作業負担面積を拡大することができるため、面積当たりの機械費と人件費の低減による低コスト化が可能となる。

3) 省エネルギー化

近年、原油の価格高騰や地球温暖化の進行を背景に、省エネルギー化の重要性が増している。開発機で高速作業を行うと、面積当たりの燃料消費量を10~20%低減でき、ほ場内作業で最もエネルギー消費量の大きい耕うん整地作業の省エネルギー化に貢献できる。

4) 作業の快適化

ロータリ耕作は0.7m/s程度以下の低速で作業することが多かったため、大面積作業時では長時間にわたって単調作業を強いられていた。開発機による高速作業を行うことで、適度な緊張感を持って作業できるようになり、精神的負担の軽減が期待できる。さらに、硬いほ場での耕起作業におけるトラクタの座席振動が減少するため、作業の快適性向上につながる。

5.3.2 作業面から見た開発機の利用法

5.1で報告したように、開発した高速耕うんロータリにより、対照機の1.6~2.2倍程度の作業速度で

高速作業を行うと、耕起・砕土後の全層平均土塊径が対照区より大きくなることがあったものの、供試ほ場条件下では、代かき後の表層砕土状態及び田植精度は対照区とほとんど差がないことが確認された。この結果から、代かき作業が行われる水稻栽培体系では、耕起・砕土後の砕土状態には、ある程度の許容範囲があるものと思われる。そのため、耕起・砕土作業において高い作業能率が求められる場合には、代かきや田植の作業精度に悪影響を及ぼさない範囲で高速作業を行うことが可能と考えられる。

水稻作における耕うん整地作業においては、代かき後のほ場の表層を、田植え又は直播を精度良く行うことが可能な状態に仕上げるのが重要である（下層の土塊の状態については、5.3.3で考察する。）。そのためのアプローチは単一ではなく、上記のように耕うんを高速で荒く行っても、代かきを低速で精密に行うことによりカバーでき、耕うんを精密にしておけば、代かきは少々荒くても必要な精度を確保できることもある。

5.3.1で述べたように、水田における耕うんと代かきの作業適期については、代かきに比べ耕うんの方が長い場合もあれば、逆の場合や両者とも短い場合もある。また、耕うんは天候（土壌条件）に左右されるが、代かきは降雨による影響が少なく、作業計画を立てやすい。これらの背景に応じ、(1) 耕うんを能率優先で、代かきを精度優先で行うのか、(2) 耕うんを精度優先で、代かきを能率優先で行うのかを選択することで、より効率的な耕うん整地作業を行うことができるものと考えられる。

開発機は、同程度の精度で従来機より高速作業ができ、同じ速度で作業すれば従来機より高精度な作業ができる。上記の選択を行う場合、開発機の利用により、運転条件の選択の幅が広がるものと思われる。

5.3.3 栽培面から見た開発機の利用法

水田の作土の土塊が小さいほど、水稻の分けつ中期から後期に土中のアンモニア態窒素が多くなるため、低温で作土が還元状態になりにくい条件では水稻が増収し、高温で作土が還元状態になりやすい条件では、還元による障害のため、茎数や穂数が減少したり登熟

歩合が低下したりして減収する傾向があると言われて⁶⁾いる。そのため、温暖地や暖地の排水の悪い水田においては、作土下層の土塊を大きくすることが望ましい。このような土塊の状態を得るには、ロータリをつめ回転速度を下げ、ある程度高速で作業する必要があるが、高速で作業すると、従来機では所要動力の増大と反転性能等の低下により安定した作業を行うことが難しい場合があった。所要動力が低く、反転性能の良好な高速耕うんロータリの利用により、大きな土塊を発生させる荒起こし作業を安定して行うことができるものと思われる。また、このような荒起こしを行っても、代かき後のほ場表層を、田植精度に悪影響を及ぼさない状態とする必要があるが、高速代かきロータリ⁷⁾の利用により、高精度な代かきが可能になると考えられる。

一方、寒冷地や寒地における排水の良い水田では、作土の土塊を小さくすることによって水稻の増収が期待できる。そのためには、耕うんロータリをつめ回転速度を高めるか、低速で作業する必要があるが、つめ回転速度を高めると所要動力が増加する問題が、低速で作業すると作業能率が低下する問題があった。高速耕うんロータリは、排水の良い水田に多い中粗粒質土壌では高速作業時の砕土性能が良好で、作業速度をさほど落とさずに細かな土塊とすることができる。また、所要動力が低いため、つめ回転速度を高めて作業しても従来機より高速で作業でき、作業能率の低下が少ない。

開発機を以上のように利用することにより、作業能率の向上と水稻の安定多収に貢献できるものと考えられる。

5.4 摘要

1) 高速耕うんロータリによる耕起・砕土が後作業に及ぼす影響を調査するため、同一回転面上の土を1回転当たり2回切削する高速耕うんロータリ（中型開発機）と1回切削する中型対照機を供試し、埴壤土2箇所及びシルト質埴土1箇所の水田で、(a)対照機の約2.1倍の作業速度とした開発機区（2倍速区）、(b)対照機の約1.6倍の作業速度とした開発機区（1.5倍速区）、(c)対照区を設けた

耕起・砕土作業を行った後、代かき及び田植えの作業精度を調査し、以下の結果を得た。

- (1) 耕起作業後の全層平均土塊径は、2倍速区で約22%、1.5倍速区で約5%対照区より大きかった。稲株埋没率は、2倍速区で約7%、1.5倍速区で約13%対照区より高かった。
 - (2) 砕土作業後の2倍速区的全層平均土塊径は、埴壤土水田では対照区と同程度であったのに対し、シルト質埴土水田では約54%大きかった。埴壤土水田における1.5倍速区的全層平均土塊径は、対照区より約8%小さかった。
 - (3) 代かき後の2倍速区及び1.5倍速区の表層平均土塊径は、埴壤土水田、シルト質埴土水田とも対照区と同程度であった。この結果から、代かき前の全層平均土塊径が最大で約50%異なっているにもかかわらず、耕起から代かきまでの間に土壌が十分に乾燥する条件下では、代かき後の表層平均土塊径の差は少ないことが確認された。平均耕盤深さ及びその変動も、試験区間で大きな差はなかった。
 - (4) 田植作業後に植付け精度を測定した結果、株間、植付け深さ、機械的欠株率、浮苗率及び埋没株率は、試験区間で大きな差がなかった。この結果から、供試条件下では、開発機により1.5~2倍の高速で耕起・砕土作業を行っても、田植えの植付け精度は対照区と同程度であることが確認された。
- 2) 高速代かきロータリによる代かきが後作業に及ぼす影響を調べるため、高速代かきロータリ（開発

機）と市販対照機（対照機）を供試し、砂壤土及び埴土の水田で、(a)同じ作業回数（2回掛け又は3回掛け）で対照機より20~30%高速作業した開発機区（高速区）、(b)作業回数と作業速度を対照機と同じにした開発機区（同速区）、(c)同じ作業速度で作業回数を対照機より1回減らした開発機区（同速1回減区）、(d)対照区を設けて代かきを行った後に田植えの作業精度を調査し、以下の結果を得た。

- (1) 開発機の代かき精度を対照機と比較すると、同速区では稲株露出数が少ない傾向があり、表層砕土率、稲わら埋没評点、均平度評点は同程度であった。高速区及び同速1回減区のこれらの作業精度は、対照区と同程度であった。
- (2) 開発機の田植精度を対照区と比較すると、同速区では、砂壤土水田において植付け深さがやや深く、浮苗株率と埋没株率が少ない傾向があった。高速区では、砂壤土水田、埴土水田とも植付け深さがやや深い傾向があったほかは、同程度であった。同速1回減区では、砂壤土水田において埋没株率が少ない傾向があった以外、同程度であった。この結果から、供試条件下では、開発機により20~30%高速で代かきを行っても、あるいは対照機と同じ作業速度で開発機の作業回数を1回減らしても、田植えの植付け精度は対照区と同程度であることが確認された。

第6章 総括

本研究は、水田における耕うん整地作業の能率向上を図ることを目的に、耕うんロータリ及び代かきロータリの作業速度を高速化するための基礎研究、その結果を踏まえた高速耕うんロータリ及び高速代かきロータリの開発と性能試験、これらの開発機による作業が田植え等の後作業に及ぼす影響の調査などを行ったものである。本研究の成果をもとに、高速耕うんロータリ及び高速代かきロータリが市販化され、水田を中心とした耕うん整地作業に利用されている。以下に、本研究の内容を総括して述べる。

6.1 高速耕うんロータリの開発

- 1) ロータリ耕の高速化に関する課題と要因を整理し、つめの切削回数、つめ切削幅及びつめわん曲部切削角等に関する基礎試験を行い、以下の結果を見出した。
 - (1) 1回転当たり3回切削するつめ配列より2回切削するつめ配列の方が土の抱込みが少なく、水田の耕うんに適することがわかった。
 - (2) つめ切削幅の増大により所要動力の低減が可能であるが、砕土性能の向上が課題であることが明らか

かになった。

- (3) つめわん曲部の曲率半径と切削角を大きくすることにより、つめ切削幅を広げた場合の碎土性能を向上させ得る可能性があることがわかった。
- 2) 基礎試験の結果を踏まえ、中型と大型の2台の高速耕うんロータリ（開発機）を試作した。開発機は、ロータリづめわん曲部の曲率半径と切削角を大きくしたこと、ロータリづめの横方向取付け間隔を広げ、1回転当たり土を2回切削する配列としたこと、カバー内後方のスペースを広くするとともにリヤカバーをロータリ本体に対してローリング可能な構造とし、その先端にレーキを付けたこと、機体前方へ固定刃を取付けたことなどを特徴とする。2台の開発機と2台の対照機を供試し、性能試験を行って以下の結果を得た。
- (1) 中型開発機を供試し、1回転当たり1回切削を行う市販機を対照機として所要動力、作業精度等を計9箇所の水田で調査した。対照機は高速作業を行うと耕うんピッチの増大により、耕盤の均平に問題があったため、PTO速度段を開発機より1～2段高速にして比較した。その結果、作業可能な最高作業速度は開発機が対照機より約40%高いこと、開発機は対照機に比べ、平均でPTO比動力が5～10%少なく、比推進力が35～55%小さいこと、中粗粒質の水田で対照機を高速回転すると過剰碎土となるが、開発機ではそれを改善できること、高速域における開発機の反転性能や均平性能は良好で、作業速度が1段（20～30%）低い対照機と同程度以上であることなどがわかった。
- (2) 大型開発機を供試し、つめ軸1回転当たり2回切削を行う市販機を対照機として所要動力、作業精度等を計13箇所の水田で調査した。その結果、作業可能な最高作業速度は、開発機が対照機より15～40%高いこと、開発機は対照機に比べ、平均でPTO比動力が約10%少なく、比推進力が20～50%小さいこと、硬い水田でトラクタ座席の振動レベルが約3dB低いことがわかった。開発機の碎土性能は湿潤な細粒質水田では対照機と同程度であったが、その他の水田では対照機より良好であった。開発機の反転性能や均平性能は良好で、作

業速度が20～30%低い対照機と同程度であった。

- (3) 作業能率と燃料消費量を3箇所の水田で調査した結果、開発機は対照機より20～30%高速で作業できるため、対照機に比べ耕起時の作業能率が19～32%高く、耕うん体積当たりの燃料消費量が7～19%少なかった。

6.2 高速代かきロータリの開発

1) 代かき作業の高速化に関する課題と要因を整理し、大型レーキ及びロータリづめに関する基礎試験を行って以下の結果を見出した。

- (1) 大型レーキの新設により、埋没性能が向上する傾向があった。良好な性能を示す大型レーキの横方向平均間隙は37mm～45mmであった。
- (2) 土壌条件に応じ、大型レーキの取付け位置を調節すると良いことがわかった。
- (3) 一対のつめを同じ横方向位置に取付ける従来のつめ配列より、15mm横へずらす配列の方が埋没性能や碎土性能が良好であった。
- (4) わん曲部切削角が95°のつめでは、同角が105°のつめに比べPTO比動力が5～10%低かったが、埋没性能が劣った。
- (5) つめ回転速度を8%高めると碎土性能がやや向上したが、埋没性能が低下し、PTO比動力が約14%増加した。

2) 基礎試験の結果を踏まえ、一体式及び折畳み式の2台の高速代かきロータリ（開発機）を試作した。開発機は、リヤカバーの前方に大型レーキを新設したこと、つめ配列を変更したこと、リヤカバー内の容積を大きくしたことなどを特徴とする。2台の開発機と2台の市販対照機（対照機）を供試し、性能試験を行って以下の結果を得た。

- (1) 6箇所の水田で作業精度を、4箇所の水田で所要動力を調査した。その結果、開発機の株やわらの埋没性能及び碎土性能は同じ作業速度の対照機に比べ良好であったこと、開発機の株やわらの埋没性能及び碎土性能は作業速度が1段（20～30%）低い対照機とほぼ同じであったこと、2回掛けした開発機の株埋没性能及び碎土性能は同じ作業速度で3回掛けした対照機と同程度であったことが明らかになった。

開発機のPTO比動力は、荒代、仕上げ代時とも、平均すると対照機とほぼ同じであった。

- (2) 作業能率と燃料消費量を調査した結果、対照機より約24～30%高速で作業した開発機の作業能率は対照機より21～22%高く、開発機の作業面積当たりの燃料消費量は対照機より13～15%少なかった。

6.3 開発機を利用した作業体系

1) 高速耕うんロータリによる耕起・砕土が後作業に及ぼす影響を明らかにするため、試作した中型高速耕うんロータリ（開発機）を供試して市販対照機（対照機）の1.6～2.2倍の作業速度で耕起・砕土を行った区を設け、代かき作業や田植作業の精度に及ぼす影響を3箇所の水田で調査し、以下の結果を得た。

- (1) 開発機区の耕起後の全層平均土塊径は対照区より0～40%大きかった。
(2) しかし、代かき後の表層砕土状態は対照区と同程度であった。
(3) 田植えの作業精度も、対照区と同程度であった。

2) 高速代かきロータリによる代かきが後作業に及ぼす影響を明らかにするため、試作した2台の高速代かきロータリ（開発機）と2台の市販対照機（対照機）を供試し、代かき後の田植精度を2箇所の水田で調査して以下の結果を得た。

- (1) 対照機と同じ作業速度の開発機区では、代かき後の稲株露出数、砂壤土水田における田植時の浮苗株率及び埋没株率が対照区より少なかった。
(2) 対照機より20～30%高速作業した開発機区及び作業回数を対照機より1回減らした開発機区の代かき精度と田植精度は、対照区と同程度であった。

6.4 結論

開発した高速耕うんロータリは、市販対照機に比べ、所要動力や推進力が低く作業精度が良好であった。そのため、トラクタの作業速度段を1段高速に（作業速度を20～30%高速に）設定でき、作業能率の向上、燃料消費量の低減、ダッシングの防止、トラクタ座席振動の低減などを実現できることが確認された。また、開発した高速代かきロータリは、市販対照機に比べ株

やわらの埋没性能などの作業精度が良好で、所要動力も対照機と同程度であった。そのため、トラクタの作業速度段を1段高速に設定しても、対照機と同程度の作業精度を確保でき、作業能率の向上と燃料消費量の低減が実現できた。これらの結果から、高速耕うんロータリ及び高速代かきロータリは、開発目標を満たす性能を有することが確認された。

開発した高速耕うんロータリと高速代かきロータリの利用により、適期作業の実現、作業負担面積の拡大、作業の省エネルギー化（ひいては地球温暖化の抑制）、振動の少ない快適な耕うん作業の実現などが期待できる。中型機をベースにした高速耕うんロータリは1995年に市販化され、約5,000台製造された。また、大型機をベースにした高速耕うんロータリは1996年に市販化され、2005年12月までに3社で約900台製造された。高速代かきロータリは、2002年に2社から販売が開始された^{21) 62)}。その後、作業幅1.8mから5mまでの機種シリーズ化が図られ、2005年12月までに、3社で約11,500台を製造するに至っている。これらの機械は、水田を中心とした耕うん整地作業の効率化に広く貢献している。

謝 辞

本研究の推進と取りまとめにあたっては、多くの方々からご指導、ご助言、ご協力をいただいた。

本研究の実施にあたっては、生物系特定産業技術研究推進機構（生研機構、現：生研センター）の菅原敏夫元理事、木田滋樹前理事に暖かいご支援をいただいた。また、同機構生産システム研究部の西村洋主任研究員、林和信主任研究員、岡安泉元特別研究員、阿部浩行元特別研究員、澤野寿彦元特別研究員、盛山勝一郎元特別研究員及び関係各位、同機構附属農場の千葉哲朗元場長、柿沼昭次氏、藤田耕一氏には、ほ場試験などご協力をいただいた。さらに、本研究の取りまとめにあたっては、農業・生物系特定産業技術研究機構の大森昭彦理事、生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）の津賀幸之介前所長、小倉昭男基礎技術研究部長に暖かい励ましをいただいた。記して深甚の謝意を表します。

高速耕うんロータリの研究推進にあたっては、ヤンマー農機株式会社の山本泰夫氏、瀧澤保男氏、仁尾征夫氏、須藤孝明氏、中川治氏他の関係各位、ヤンマーディーゼル株式会社（現：ヤンマー株式会社）の高橋東光氏、平野隆司氏他の関係各位、石川島芝浦機械株式会社の山本勝氏、宮崎光登志氏、滝沢哲也氏他の関係各位、株式会社神崎高級工機製作所の関係各位、太陽鍛工株式会社（現：株式会社太陽）の五藤星三氏、松本俊吾氏他の関係各位、松山株式会社の竹内愛国氏他の関係各位に、高速代かきロータリの研究推進にあたっては、小橋工業株式会社の小橋健志氏、安倉敏行氏、太田万喜氏、岡本孝志氏他の関係各位、株式会社ササキコーポレーションの野上健治氏、天間修一氏他の関係各位に多大なご協力をいただいた。また、両機のは場試験では、前記各社の関係各位及び井関農機株式会社の上路仁志氏他の関係各位、株式会社クボタの林哲昭氏他の関係各位、並びに新潟県農業試験場（現：新潟県農業総合研究所）の諸橋準之助氏、田村良浩氏、樋口泰浩氏、滋賀県農業試験場の山下勝男氏、伊藤久司氏、中井譲氏、千葉県農業試験場の鶴岡康夫氏にご協力をいただいた。さらに、耕うんロータリ及び代かきロータリの新技術調査に関し、株式会社クボタ、小橋工業株式会社、株式会社ササキコーポレーション、松山株式会社、ヤンマー農機株式会社の関係各位にご協力いただいた。ここに記して、心よりお礼申し上げます。

また、本論文の取りまとめにあたり、懇切なご指導を賜った北海道大学大学院農学研究科の端俊一教授に謹んで感謝の意を表します。また、本論文をご校閲いただき、貴重なご指摘を賜った北海道大学大学院農学研究科の野口伸教授、長谷川周一教授、片岡崇助教授に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 足立嗣雄：土壌断面からみた耕深と作土層の変化，耕耘作業の変遷と技術開発の方向，農林水産技術情報協会，1-8，1988
- 2) 安達眞道，児玉憲司，小南 力，深沢昭吾，神保憲雄，後藤清三，榎屋精治：山形県の水田における耕うん作業の実態，山形農試研報 22，163-176，1987
- 3) 新井健助：最新小型トラクターの図解講座—わが国における発達史と分類，機械化農業 2514 号，新農林社，42-46，1961
- 4) 荒牧利武，岡添 彬：自動制御系による畦形状描写装置の研究（第 1 報），農機誌 18(4)，160-163，1956
- 5) 石川文武，小林 恭：IS05008 準抛座席振動変換器の試作，農機研研究成績 56-2，5-10，1982
- 6) 泉 清一：水田における耕耘の栽培技術的研究，農事試研報 1，1-45，1962
- 7) 稲本志良：動力耕耘機の発達と農機産業の発展，稲作の機械化，農業信用保険協会，32-54，1976
- 8) 近江谷和彦，松居勝広：ほ場面のプロフィールに関する研究（第 1 報），農機誌 44(1)，17-22，1982
- 9) 岡部正昭，上原洋一，増田俊博，坂井 純，金 基大：耕うん刃形状要素の性能比較と設計論的検討，福岡総農試研報 A-5，85-90，1985
- 10) 片岡 崇：高速回転切削過程における形成土塊の運動学的考察，北海道大学農学研究科邦文紀要 23(1)，1-59，2000
- 11) 金谷 豊，倉田 勇：重粘土壌の耕うん方法に関する研究（第 2 報），農機誌 51(1)，45-53，1989
- 12) 鏑木豪夫：ガーデントラクター発達小史（2），機械化農業 2365 号，10-15，1950
- 13) 鏑木豪夫：トラクタの牽引性能及び作業負荷特性に関する研究，農事試験場報告 4 号，1-78，1963
- 14) 唐橋 需，森本國夫，藤井幸人，瀬山健次，西村洋：アナログプロフィールメータの開発，農機研研究成績 60-2，35-40，1986
- 15) 川嶋通義，小森 盛：動力耕耘機における土壌の変位について（第 1 報），農機誌 24(2)，56-60，1962a
- 16) 川嶋通義，小森 盛：動力耕耘機における土壌の変位について（第 2 報），農機誌 24(3)，118-212，1962b
- 17) 川嶋通義，小森 盛：動力耕耘機における土壌の変位について（第 3 報），農機誌 24(4)，194-198，1962c
- 18) 川村 登，梅田重夫，坂井 純：耕うんづめの形状の分類，農機誌 41(1)，125-128，1979
- 19) 金須正幸：耕うん機の初歩から応用まで（その 1），機械化農業 2448 号，新農林社，60-63，1956
- 20) 木谷 収：各種耕耘装置比較のための基礎的研究

- (第1報), 農機誌 24(3), 107-113, 1962
- 21) 久慈良治：高速代かき機, 農機誌 65(2), 23-25, 2003
- 22) 久津那浩三, 上森 晃, 新村善男, 飯田周治：耕耘方法と碎土効率に関する研究, 富山農試研報 2, 33-47, 1967
- 23) 久津那浩三, 新村善男, 上森 晃：耕耘碎土に関する研究(第1報), 土肥誌 45(1), 37-41, 1974
- 24) 久津那浩三, 新村善男：耕耘碎土に関する研究(第3報), 土肥誌 46(10), 447-452, 1975
- 25) 熊野誠一, 関 寛三, 金 忠男：水稻の機械移植栽培における代掻きに関する研究, 東北農試研報 72, 1-53, 1985
- 26) 群馬県農業試験場：むぎわらすき込みにおける高速代かき機の適応性, 農業機械および作業技術に関する試験成績書, 27-29, 2002
- 27) 後藤隆志：耕うんと土の性質, 生物生産機械ハンドブック, 農機学会, 389-393, 1996
- 28) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 小林智夫, 仁尾征夫, 須藤孝明：高速耕うんロータリを開発(第1報), 農機誌 66(3), 111-120, 2004
- 29) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 小林智夫, 仁尾征夫, 須藤孝明：高速耕うんロータリを開発(第2報), 農機誌 66(4), 102-110, 2004
- 30) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 小林智夫, 仁尾征夫, 須藤孝明：高速耕うんロータリを開発(第3報), 農機誌 66(4), 111-120, 2004
- 31) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 小林智夫, 仁尾征夫, 須藤孝明：高速耕うんロータリを開発(第4報), 農機誌 66(4), 121-131, 2004
- 32) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦：高速耕うんロータリによる耕起・碎土が代かき・田植作業に及ぼす影響, 農機誌 67(1), 81-88, 2005
- 33) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 長屋克成：高速代かきロータリを開発(第1報), 農機誌 67(1), 97-104, 2005
- 34) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 長屋克成, 久慈良治：高速代かきロータリを開発(第2報), 農機誌 67(1), 105-114, 2005
- 35) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 長屋克成, 久慈良治：高速代かきロータリを開発(第3報), 農機誌 67(1), 115-123, 2005
- 36) 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 長屋克成, 久慈良治：高速代かきロータリを開発(第4報), 農機誌 67(2), 121-129, 2005
- 37) 小松 実, 川口靖敬, 田中 孝：ロータリ耕うん機による整地耕うん(第2報), 農機誌 34(1), 19-27, 1972
- 38) 小南 力：山形県における耕深変化の実態, 耕耘作業の変遷と技術開発の方向, 農林水産技術情報協会, 17-22, 1988
- 39) 坂井 純, 柴田安雄：トラクタ用ロータリ耕うんなた刃先端わん曲部のすくい面設計について, 農機誌 39(1), 11-20, 1977
- 40) 坂井 純, 柴田安雄：トラクタ用ロータリ耕うんなた刃の配列設計理論, 農機誌 40(1), 29-40, 1978
- 41) 坂井 純, ラム・バン・ハイ, 岩崎浩一, 柴田安雄：ロータリ耕うんなた刃の耕うん抵抗特性, 農機誌 46(1), 21-26, 1984
- 42) 坂井 純：耕うん整地の目的と種類, 新版農業機械ハンドブック, 農機学会, 405-407, 1984
- 43) 芝野得徳：ロータリ耕うん刃とけん引切削刃との組合せ耕うんに関する研究(第2報), 農機誌 33(4), 332-337, 1971
- 44) 澁澤 栄：深耕ロータリ耕うんの研究, 石川県農業短期大学特別研究報告 10, 1-85, 1985
- 45) 新農林社：農業機械図鑑第3集, 1-176, 1955
- 46) 新農林社：農業機械図鑑第6集, 1-162, 1961
- 47) 新農林社：国営検査合格機写真集, 機械化農業新年号付録, 1-93, 1964
- 48) 生研機構(農業機械化研究所)：稲作機械化に関する調査, 1-48, 1998
- 49) 龍野得三, 向井三雄：水田の深耕の効果に関する研究のとりまとめ, 関東東山農試研報 5, 1-9, 1954
- 50) 陳 鈞, 南部 悟, 寺尾日出男：ロータリ耕うん刃の反転性能向上に関する研究(第1報), 農機誌 47(4), 459-467, 1986
- 51) 土屋功位, 小松幸雄：動力耕耘機の型式別負荷特性(第1報), 農機誌 13(3・4), 42-47, 1952
- 52) 土屋功位, 小松幸雄：動力耕耘機の型式別負荷特性

- (第 2 報), 農機誌 14(1・2), 32-38, 1952
- 53) 土屋功位: 動力耕耘機耕耘刀の切削速度に関する研究, 山形大学紀要(農学) 2(1), 35-46, 1954
- 54) 土屋功位, 穂波信雄: ロータリ式の耕耘動力軽減に関する研究(第 1 報), 農機誌 24(4), 207-214, 1962
- 55) 土屋功位: 動力耕耘機の碎土性能(碎土率)について, 農機誌 15(2), 59-62, 1964
- 56) 土屋功位: ロータリ式の耕うん特性に関する研究, 農機誌 29(2), 70-72, 1967
- 57) 常松 栄, 吉田富穂, 奥田教海: 自動耕耘機に於ける土壌の変位について(第 1 報), 農機誌 17(1), 11-16, 1955
- 58) 中江克巳: 代かき(碎土)作業, 水田農作業の理論と実際, 農文協, 72-101, 1958
- 59) 中村忠次郎, 伴野達也: 動力耕耘機に関する研究(第 1 報), 四国農試報 2, 235-244, 1955
- 60) 長廣仁蔵: 農用作業機とエンジンの作業時関連負荷特性に関する研究, 農機北海道支部報 4, 1-101, 1957
- 61) 長廣仁蔵: ロータリートラクタの基本設計理論の研究, (株)農機産業調査研究所, 1-194, 1973
- 62) 長屋克成: 高速代かき機, 農機誌 65(2), 20-22, 2003
- 63) 新村善男, 上森 晃, 久津那浩三: 耕耘碎土に関する研究(第 2 報), 土肥誌 45(1), 42-46, 1974
- 64) 西村 洋, 林 和信, 後藤隆志, 堀尾光広, 市川友彦, 上田吉弘: 高精度水稻湛水直播機の開発(第 1 報), 農機誌 63(6), 107-113, 2001
- 65) 西村 洋ら: 大規模稲作機械化システムの研究(第 1 報) 区画・機械化体系別作業能率の比較(移植体系), 農作業研究 32(別号 1), 37-38, 1997
- 66) 農業機械化研究所: 資料館陳列品目録, p10, 1969
- 67) 農業機械学会: ロータリ式動力耕うん機, 日本農業機械・器具図譜, 33, 1979
- 68) 農業技術研究所化学部土壌第 3 科: 農耕地土壌の分類(第 2 次案改訂版), 1-75, 1983
- 69) 農耕地土壌分類委員会: 農耕地土壌分類(第 3 次改訂版), 農業環境技術研究所資料第 17 号, 1-79, 1995
- 70) 農林水産省統計部: 平成 3 年農業調査報告書, 170-171, 1992
- 71) 農林水産省統計部: 平成 16 年農業構造動態調査報告書-基本構造, 150-151, 1992
- 72) 林 尚孝, 森泉昭治: 耕うん土壌の物理性評価に関する基礎的研究, 昭和 61~62 年度科学研究費補助金(一般 C) 研究成果報告書, 1-97, 1988
- 73) 日置健治郎: 発明考案から見たトラクタ用和犁とロータリ耕耘装置, 機械化農業 2561 号, 新農林社, 53-57, 1965
- 74) 姫田正美: 耕起作業, 水田農作業の理論と実際, 農文協, 10-60, 1958
- 75) 姫田正美: 機械深耕による水稻増収効果(1), 農業及び園芸 39(3), 541-544, 1963
- 76) 姫田正美: 機械深耕による水稻増収効果(2), 農業及び園芸 39(4), 691-694, 1964
- 77) 福井県農業機械化協会: ふくいの農機, 15-19, 1987
- 78) 藤井正治: 国産耕運機の誕生, 新人物往来社, 1-234, 1990
- 79) 古池寿夫, 御手洗正文: 土性を異にした耕地の耕うん特性について(第 1 報), 宮崎大報 28, 39-52, 1981
- 80) 本庄弘幸, 富田 貢, 澤村宣志: 水田転換畑における耕うん・碎土作業について, 北農 51(1), 113, 1984
- 81) 前田耕一: 農業機械化発展史, 農業機械化協会, 79-81, 1994
- 82) 松尾昌樹: ロータリ耕耘に関する基礎的研究, 山形大学紀要(農学) 3(4), 1-197, 1961
- 83) 松尾昌樹: 回転を伴う耕うん機器の発達史(第 4 回), 機械化農業 2508 号, 新農林社, 53-57, 1961
- 84) 松尾昌樹: 回転を伴う耕うん機器の発達史(第 5 回), 機械化農業 2509 号, 新農林社, 68-71, 1961
- 85) 松尾昌樹: 回転を伴う耕うん機器の発達史(第 6 回), 機械化農業 2510 号, 新農林社, 62-66, 1961
- 86) 松尾昌樹: 回転を伴う耕うん機器の発達史(第 7 回), 機械化農業 2511 号, 新農林社, 53-57, 1961
- 87) 松尾昌樹: 回転を伴う耕うん機器の発達史(第 8 回), 機械化農業 2512 号, 新農林社, 52-56, 1961
- 88) 松尾昌樹: 回転を伴う耕うん機器の発達史(第 9 回), 機械化農業 2514 号, 新農林社, 58-62, 1961

- 89) 松尾昌樹：回転を伴う耕うん機器の発達史（第10回），機械化農業 2515号，新農林社，68-74，1961
- 90) 松尾昌樹：回転を伴う耕うん機器の発達史（第11回），機械化農業 2516号，新農林社，64-67，1961
- 91) 御手洗正文，古池寿夫：土性を異にした耕地の耕うん特性について（第2報），宮崎大報 28，53-69，1981
- 92) 森本國夫，三浦恭志郎，八木 茂，唐橋 需：レーキ付きアップカット・ロータリの作業性能，農機誌 45(3)，375-378，1983
- 93) 森本國夫，唐橋 需：三点リンクダイナモメータの開発，農機誌 47(1)，104-106，1985
- 94) 八木 茂：農業機械と土壤水分量の関連について，土壤の物理性 24，27-31，1971
- 95) 八木 茂，瀬山健次：レーキ付きアップカットロータリの開発，農機研研究成績 54-4，27-36，1981
- 96) 山崎不二夫 編：シロカキの目的，シロカキの研究，金原出版，9-16，1959
- 97) 山沢新吾：上手な代かき作業，機械化農業 2469号，新農林社，16-22，1958
- 98) 山沢新吾：代掻技術の解剖（上），機械化農業 2481号，新農林社，46-49，1959
- 99) 山沢新吾：代掻技術の解剖（下），機械化農業 2482号，新農林社，34-36，1959
- 100) 山沢新吾：作業能率を高める代かき機，機械化農業 2495号，新農林社，19-23，1960
- 101) 山沢新吾：代かき機の負荷性と砕土性に関する実験的研究（第4報），農機誌 24(1)，10-14，1962
- 102) 山沢新吾：代かき機の負荷性と砕土性に関する実験的研究（第5報），農機誌 24(2)，61-65，1962
- 103) 山沢新吾：代かき機の負荷性と砕土性に関する実験的研究（第7報），農機誌 25(4)，227-234，1963
- 104) 山沢新吾：代かきにおける土塊の崩壊機構とその作業機の諸特性に関する実験的研究，東京教育大学農学部紀要 11号，1-275，1964
- 105) 山沢新吾：水稻増収のための耕耘（1），機械化農業 2587号，新農林社，36-39，1967
- 106) 吉田富穂：動力耕耘機用鉋刃耕耘刀の形態に関する実験的研究，北海道大学農学部附属農場報告 13，41-213，1965
- 107) 吉田由之佐，伊藤正吾：ロータリ耕耘機の反転性能試験，農機東北支部報 1，17-18，1957
- 108) 和田一雄：耕耘機誕生，富民協会，1979
- 109) Beeny, J.M., Greig, D.J. : The Efficiency of a Rotary Cultivator, J. Agric. Engng Res. 10(1), 5-9, 1965
- 110) Beeny, J.M., Khoo, D.C.P. : Preliminary Investigations into the Performance of Different Shaped Blades for the Rotary Tillage of Wet Rice Soil, J. Agric. Engng Res. 15(1), 27-33, 1970
- 111) Beeny, J.M. : Rotary Cultivation of Wet Rice Land - Comparison of Blade Shape, J. Agric. Engng Res. 18, 249-251, 1973
- 112) Ghosh, B.N. : The Power Requirement of a Rotary Cultivator, J. Agric. Engng Res. 12(1), 5-12, 1967
- 113) Hendrick, J.G., Gill, W.R. : Rotary Tiller Design Parameters (Part 1), Trans. ASAE, 669-674, 1971
- 114) Hendrick, J.G., Gill, W.R. : Rotary Tiller Design Parameters (Part 2), Trans. ASAE, 675-678, 1971
- 115) Hendrick, J.G., Gill, W.R. : Rotary Tiller Design Parameters (Part 3), Trans. ASAE, 679-683, 1971
- 116) Hendrick, J.G., Gill, W.R. : Rotary Tiller Design Parameters (Part 4), Trans. ASAE, 4-7, 1974
- 117) Hulburt, W.C., Menzel, R.G. : Soil Mixing Characteristics of Tillage Implements, Agric. Engineering 34, 702-708, 1953
- 118) Salokhe, V.M., Miah, M.H., Hoki, M. : Effect of Blade Type on Power Requirement and Puddling Quality of a Rotavator in Wet Clay Soil, J. Terramechanics 30(5), 337-350, 1993
- 119) Söhne, V.W., Thiel, R. : Technische Probleme bei Bodenfräsen, Grundlg. d. Landtechn. Heft 9, 39-49, 1957
- 120) Söhne, V.W. : Einfluß von Form und Anordnung der Werkzeuge auf die Antriebsmomente von Ackerfräsen, Grundlg. d. Landtechn. Heft 9, 69-87, 1957

Summary

Development of High-speed Rotary Tillage Equipment for Paddy Fields

Takashi GOTOH, Mitsuhiro HORIO, Tomohiko ICHIKAWA,
Tomoo KOBAYASHI, Katsunari NAGAYA, Yoshiharu KUJI

To improve the work rate of tillage in paddy fields, we conducted fundamental tests for increasing the forward speeds of rotary tillers and rotary harrows for puddling, performance tests on the tillers and harrows that were prototyped based on the results of the fundamental tests, and surveys on the influences of using these developed machines on subsequent works such as rice transplanting. Based on the results of this study, high-speed rotary tillers and high-speed rotary harrows for puddling have been commercialized and are utilized for tillage mainly in paddy fields.

1. Development of High-speed Rotary Tiller

The problems to be solved and the factors related to high-speed rotary tilling were discussed. Next, fundamental tests on cutting times, cutting width and cutting angle of rotary blades were conducted, and the following results were found. (1) The arrangement of blades for two cuttings per rotation was suitable for tilling paddy fields compared to three cuttings due to the low accumulation and holding of soil. (2) Although increasing the cutting width of a blade reduced the power requirement, the soil pulverizing performance was a major issue to be improved. (3) The soil pulverizing performance with wider cutting width was improved by increasing the cutting angle of the rotary blades.

Two prototypes of high-speed rotary tillers were manufactured based on the fundamental test results. The prototype tillers had the following features. (1) The radius of curvature and the cutting angle of the curved portion of the rotary blades were increased. (2) The lateral spaces between rotary blades were increased and the blades cut the soil twice per rotation. (3) The rear space in the cover was expanded, the rear cover was made rollable, and a rake was attached to its tip. (4) Shanks were installed in front of the rotary.

We investigated the power requirement and the accuracy of tilling of the developed medium-sized high-speed rotary tiller in nine paddy fields in comparison with a conventional

rotary tiller that performs one cut per rotation. Because the conventional tiller had a problem in leveling the sole pan and poor soil pulverizing performance due to the excessively long tilling pitch during high-speed work, tests were done by increasing the PTO speed stage of the conventional tiller by one to two steps, as compared with the developed tiller. The following results were found. (1) The maximum forward speed of the developed tiller was 40% higher than that of the conventional tiller. (2) The developed tiller required 5 to 10% less PTO specific power, and showed 35 to 55% less specific thrust force than did the conventional tiller. (3) The conventional tiller caused excessive soil pulverization when operated at a high rotating speed on a medium- or coarse-textured field, but the developed tiller improved this. (4) The developed tiller performed soil turning and leveling well at higher ranges of forward speed and showed almost the same level of performance as the conventional tiller showed at one step slower forward speeds.

The power requirement, accuracy of tilling, etc. of the large-sized high-speed rotary tiller were investigated in thirteen paddy fields, and results were compared with those of a conventional rotary tiller that performs two cuts per rotation. The following results were found. (1) The maximum forward speed of the developed tiller was 15 to 40% higher than those of the conventional tiller. (2) The developed tiller required 10% less PTO specific power, showed 20 to 50% less specific thrust force, and in a hard paddy field the tractor seat vibration level was 3 dB lower than that with the conventional tiller. (3) The soil pulverizing performance of the developed tiller was nearly the same as that of the conventional tiller on wet and fine-textured paddy fields, but was superior to that of the conventional tiller on other paddy fields. (4) The soil turning performance and leveling performance of the developed tiller were good, and almost the same level as the conventional tiller that worked at one step slower in forward speed.

Tests on three paddy fields revealed that the developed tillers could work one step faster in forward speed than the conventional tillers. Therefore, work rates of the developed tillers were 19 to 32% higher than that of the conventional tillers, and the specific fuel consumption of the developed tillers was 7 to 19% less than that of the conventional tillers.

2. Development of High-speed Rotary Harrow for Puddling

We discussed the problems to be solved and the factors related to high-speed rotary puddling and then conducted fundamental tests on the blades and the large rake of puddling harrows, obtaining the following results. (1) The stubble- and residue-burying performance was improved by installing a large rake. The good average lateral clearance of the large rake teeth was 37 to 45 mm. (2) It was better to adjust the mounting positions of the large rake according to the soil conditions. (3) The blade arrangement in which a pair of blades

was installed 15 mm apart laterally yielded higher stubble- and residue-burying and soil-pulverizing performance than the conventional blade arrangement. (4) The PTO specific power of the harrow with rotary blades at a cutting angle of 95° was 5 to 10% less than that of the harrow having 105° cutting angle blades. However, the stubble- and residue-burying performance of the 95° cutting angle blades was worse than that of the 105° cutting angle blades. (5) Increasing the blade rotating speed 8% improved the soil-pulverizing performance slightly but degraded the stubble- and residue-burying performance and increased the PTO specific power by 14%.

Two prototypes of high-speed rotary harrows were manufactured based on the fundamental test results. These harrows had the following features. (1) A new large rake was installed in front of the rear cover. (2) The arrangement of the blades was changed. (3) The inner volume of the rear cover was larger than that of conventional harrows.

Two prototypes of high-speed rotary harrows and two conventional rotary harrows were employed to investigate the accuracy of puddling in six paddy fields and power requirement in four paddy fields. The following results were obtained. (1) The stubble- and residue-burying performance and the soil-pulverizing performance of the developed harrows exceeded that of the conventional harrows at the same forward speed as the developed harrows. (2) The stubble- and residue-burying performance and the soil-pulverizing performance of the developed harrows were nearly the same as those of conventional harrows working at 20 to 30% slower forward speed. (3) The stubble-burying performance and the soil-pulverizing performance of the developed harrows after two passes were almost equal to those of the conventional harrows at the same forward speed after three passes. (4) The average PTO specific power of the developed harrows was almost equal to that of the conventional harrows in the primary puddling and the last puddling.

When the developed harrows worked at 24 to 30% higher forward speed than the conventional harrows, work rates of the developed harrows were 21 to 22% larger, and the fuel consumption of the developed harrows was 13 to 15% less than that of the conventional harrows.

3. Working System Utilizing High-speed Rotary Tiller and High-speed Rotary Harrow for Puddling

We used a prototype of the medium-sized high-speed rotary tiller to investigate the influences on the accuracy of puddling and rice transplanting in three paddy fields by performing primary tillage and secondary tillage at speeds 1.6 times and 2.2 times higher than that of the conventional tiller. The following results were obtained. (1) The average clod diameter over the whole layers in the section for the developed tiller was 0 to 40% larger

after the primary tillage than that in the section for the conventional tiller. (2) However, the state of the pulverized soil in the surface layer after puddling was almost the same as that in the section for the conventional tiller. (3) The accuracy of rice transplanting between the three sections was nearly equal.

Two prototypes of high-speed rotary harrows and two conventional rotary harrows were employed to investigate the accuracy of rice transplanting after puddling, and the following results were obtained. (1) The amount of exposed stubble after puddling and the rate of surfaced- and buried-seedlings after rice transplanting produced by the developed harrows operating at the same forward speed as the conventional harrows in sandy loam paddy field were fewer than those produced by the conventional harrows. (2) The accuracy of puddling and rice transplanting that was produced by the developed harrows operating at 20 to 30% higher forward speed, and at one less pass than the conventional harrows was nearly the same as that produced by the conventional harrows.

4. Conclusion

New high-speed rotary tillers were designed to consume less power and to generate less thrust force, resulting in higher performance than conventional models. Accordingly, the forward speed can be increased, thus increasing the work rate, reducing the fuel consumption, eliminating dashing, and reducing vibration. Also, new high-speed rotary harrows for puddling were more accurate for stubble- and residue-burying etc. than conventional models. Power requirement of the developed harrows were similar to those of conventional models. As a result, even when the forward speed was increased, the performance of the developed harrows was still similar to that of conventional models with higher work rate and less fuel consumption. The new equipment adequately achieved the developmental goals.

We now expect to manage larger work areas more timely, reduce energy consumption (global warming), and provide comfortable tilling work by using these high-speed rotary tillers and rotary harrows for puddling. Since its market launched in 1995, 5,000 medium-sized high-speed rotary tillers have been sold. Large-sized high-speed rotary tillers first appeared in 1996, and 900 of them had been manufactured by Dec. 2005. High-speed rotary harrows for puddling have been sold since 2002, and three companies had manufactured 11,500 rotary harrows by Dec. 2005. Development of these machines has highly promoted tillage efficiency in paddy fields.