大区画埴土湿田における乾田直播作業体系

(第3報) 試作ロークロップ車輪 (スターホイール) を装着したトラクタによる圃場管理法

北倉芳忠・鹿子嶋 力・尾嶋 勉・岩田忠寿

The Work System for the direct sowing of rice on dry land on Clay Ill-drained Paddy Field of a Large Lot

(3) A method of plant husbandry for the rice by a tractor fitted with
experimented iron row crop tires (provisional name is star-wheel)

Yoshitada KITAKURA, Chikara KAGOSHIMA,
Thutomu OJIMA and Tadatoshi IWATA

1 緒 言

近年、水田農業の大幅な低コスト生産技術開発の必要性が高まっている。筆者らも、水稻の省力・低コスト生産技術として、大区画圃場における乾田直播栽培体系の研究を行ってきた。これまでに、北陸の湿潤な重粘土質条件下での播種に対して、耕耘後のローラ鎮圧の有効性を明らかにした⁶⁾。またローラ鎮圧をベースとした乾田直播と麦・大豆の転換畑作を組み合わせた大区画圃場における高性能機械化水田輪作体系の実証を試み、その低コスト省力効果等も明らかにした⁷⁾。

この体系では、ほとんどの高性能機械の実用性が確認できたが、大区画圃場に適した管理作業法についてはまだ検討の余地が残された。特に多量の資材を扱う施肥・除草・防除作業等の場合、従来の圃場区画に合わせた作業法では、散布能力や補給量に制限を受け、かえって、能率の低下や労働負担の増大を招く恐れがある⁸⁾。この対策として、大区画圃場での実証試験⁷⁾では、産業用無人ヘリコプター(ラジコンヘリコプター)、乗用管理機、大型多孔ホース付ダスター等を供試した。これらの調査では、高い能率や快適な作業性が確認された一方で、機械の利用コ

スト、搭載量、安全性、操作性、組作業人員の確保、所要出力等について問題点も提起された。

このため、試作ロークロップ車輪 (以下スターホイールと仮称) を装着したトラクタによる乗用管理作業法を考案し検討した。車輪は、重粘な水田内での走行性と稲株の損傷に配慮して試作された。この技術は、操作性、作業性、耐久性等で感度が高いトラクタの利用を特徴とし、水稻管理の一人作業化とともに、低コスト、高能率、快適作業化を狙ったものである。

トラクタによる圃場管理法は、圃場区画の大きい欧米の一部で導入が見られる。国内では、畑地の管理に使用する例はあるが、水田管理への実用的な使用例はあまり見られない。試験例としては、過去に中江⁹⁾らが狭幅のパイプ車輪を試作し、トラクタによる湛水直播や水田管理を試みた報告がある。最近では、普通タイヤを装着したままのトラクタによる直播や管理作業を試みている例¹⁴⁾がある。

本報では、試作のスターホイールを装着したトラクタによる圃場内走行性、作業性、立毛中の稲への損傷などについて報告する。

なお、本試験の車輪の試作にあたり、多大な協力をいただいた株式会社クボタに心から謝意を表します。

平成7年3月5日 受理

平成5年3月26日日本農作業学会第28回講演会及び平成6年4月2日日本農作業学会第29回講演会にて一部発表
福井県農業試験場 〒910 福井県福井市寮町52-21

Fukui Prefectural Agricultural Experiment Station, 52-21 Ryo-machi, Fukui 910

2 試験方法

1) 供試トラクタ及び試作スターホイール

供試トラクタ及び試作スターホイールの主要諸元を表1、概要を図1に示した。

(1) 供試したトラクタは出力23kw(30ps)、重量1225kg(タイヤを除く)のK杜式3001DTを用いた。

(2) 試作したスターホイールは、走行時の稲の損傷を少なくするため、車輪幅を90mmとした中空鉄製車輪である。軽量化のため中空としたが重量は前輪で約85kg、後輪で約150kgとなった。また、前輪外径1160mm、後輪外径1630mmとし、最低地上高550mmを確保した。さらに軟弱地盤でのスリップ防止のため前輪外周には高さ120mmの、後輪外周には165mmの鉄製三角ラグを付けた。

2) 供試作業機

供試作業機は、除草剤(液剤)散布にブームスプレーヤ(タンク容量400l、作業幅8m)、追肥、穂肥散布にブロードキャスタ(ホッパ容量250l、作業幅7.5~10m)、溝切り作業にはタイヤ跡に溝切りを行うように装着した2連(間隔150cm)の作溝機(幅150mm)を用いた。

3) 供試圃場及び栽培様式

供試圃場と栽培様式を表2に示した。1993年に、乾田直播圃場はNo.1の173a(85m×203m)とNo.2(農道ターン方式)の120a(100m×120m)を用い、さらに利用範囲の拡大のため、移植圃場のNo.3の96a(96m×100m)とNo.4の50a(50m×100m)でも試験した。土性は、乾田直播圃場のNo.1圃場が細粒グライ土、No.2圃場が細粒灰色低地土の半湿

表1 供試トラクタ及び試作ロックアップ車輪(以下スターホイール)の主要諸元

供 試 ト ラ ク タ	全 長	(mm)	2890
	全 幅	(mm)	1450
	全 高	(mm)	1925 (マフラー上端)
	重 量	(kg)	1225 (単体: 車輪を除く)
	最低地上高	(mm)	550
	総排気量	(cc)	1487
	エンジン出力 (PS/rpm)		30/2800
	動力取出軸回転数 (rpm)		1 段 622, 2 段 809, 3 段 1161, 4 段 1400
試 作 ロ ー ク ア ッ プ 車 輪	輪 距	(mm)	1500
	軸 距	(mm)	1765
	試作ロックアップ車輪	前輪	後輪
	最 外 径	(mm)	1160 1630
	幅	(mm)	90 90
	ラグ高さ	(mm)	120 165
	ラ グ 幅	(mm)	90 90
	重 量	(kg)	85 150

図1 試作ロックアップ車輪(スターホイール)を装着したトラクタ

田，移植圃場は，No. 3，No. 4 とともに細粒グライ土の湿田である。

4）作業方法

表3に圃場毎の管理作業の内容を示した。No. 1，No. 2，No. 3の圃場はブロードキャストによる施肥，ブームスプレーヤによる除草剤散布及び作溝機による溝切り作業等の実作業を行ったが，No. 4はブロードキャストを装着した空走行のみとした。また，合計の走行回数はNo. 1とNo. 4が3回，No. 2とNo. 3が2回であった。

5）調査項目

(1) 走行前：水深，土壤硬度等の圃場条件と稲の生育状況を調査した。土壤硬度の測定はSR-II型円錐貫入抵抗計（円錐の底面積2 cm²）を用いた。

(2) 走行中と走行後：作業能率，走行状態，轍の状態等を調査した。

(3) 稲の損傷：損傷程度別にA（完全埋没），B（中程度埋没：5割程度の回復が見込まれる），C（軽傷：8～9割程度の回復が見込まれる）にランク分

けて，作業一行程分（作業幅×一行程距離）を調査した。

(4) 収量：直進部では轍内側及び轍から外側へ隣接する行程の境界までを一条毎に1.5～3 m，また旋回部は作業一行程分相当の約15～25m²を全て刈り取って調べた。なお，作業区の収量はそれぞれが全面積に占める面積比から算出し，轍から2 m以上離れて作業の影響を受けないと判断された場所を対照区として比較した。

3 結 果

1) 土壤条件と走行性

各圃場での作業時の条件と，車輪による轍の状況を表4と図2，走行前後の走行部（轍）の土壤硬度の変化を図3～6に示した。

No. 1圃場の乾田直播圃場の場合，1回目の除草液剤散布作業は5月31日の入水前の乾田状態で，2回目の追肥作業は6月25日に水深2～3 cmの状態で，3回目の穂肥散布作業は8月6日に落水状態で

表2 栽培様式及び供試圃場

圃場No.	栽培様式	条間(cm)	品 種	圃場区画・土性	場 所	備 考
1	乾田直播	25	コシヒカリ	85m×203m=173a 細粒グライ土～灰色低地土	H集落	枕地ターン
2	乾田直播	24	キヌヒカリ	100m×120m=120a 細粒グライ土～灰色低地土	M集落	農道ターン
3	移 植	30	フクヒカリ	96m×100m=96a 細粒グライ土	T集落	枕地ターン
4	移 植	30	ハナエチゼン	50m×100m=50a 細粒グライ土	H集落	枕地ターン

表3 スターホイール装着トラクタによる管理作業の内容

圃場No.	作業年月日	作 業 機	作業幅 (m)	作 業 内 容
1	1993.5.31	ブームスプレーヤ	8	除草剤散布 DCPA 液剤 80 l / 10a
	1993.6.25	ブロードキャスト	8	追肥散布 粒 状 肥 料 15kg / 10a
	1993.8. 6	ブロードキャスト	8	穂肥散布 粒 状 肥 料 40kg / 10a
2	1993.5.29	ブームスプレーヤ	8	除草剤散布 DCPA 液剤 90 l / 10a
	1993.7.28	ブロードキャスト	8	穂肥散布 粒 状 肥 料 35kg / 10a
3	1993.6.15	作溝機	7.5	1行程2本の溝切り(轍跡)を7.5m間隔に作業
	1993.7. 5	ブロードキャスト	7.5	穂肥散布 粒 状 肥 料 30kg / 10a
4	1993.6.11	ブロードキャスト	10	空 走 行
	1993.6.25	ブロードキャスト	10	空 走 行
	1993.8. 6	ブロードキャスト	10	空 走 行

表4 スターホイール装着トラクタ走行時の条件と轍の形状

圃場No.	走行回	走行時の条件			轍の形状			
		草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	水深 (cm)	幅 (cm)	ラグ基部深 (cm)	ラグ先端部深 (cm)	盛り上がり (cm)
1	1回目	5.5	123	— ¹⁾	10.2	12.6	27.1	1.5
	2回目	21.5	115	2~3	19.0	21.0	31.0	1.0
	3回目	70.5	385	0	20.5	24.0	36.0	2.7
2	1回目	6.0	140	— ¹⁾	10.5	8.7	23.8	2.2
	2回目	64.5	448	4~5	12.5	16.5	27.0	2.9
3	1回目	25.8	272	0~1	9.5	18.0	29.5	2.8
	2回目	58.3	631	0	12.0	20.5	35.6	2.5
4	1回目	28.3	366	1~2	9.7	18.5	28.8	1.0
	2回目	46.2	515	0	10.7	21.4	33.0	1.5
	3回目	101 ²⁾	498	0	14.5	24.0	37.0	2.4

注1) 入水前 2) 傾穂期

図2 走行後の轍の形状 (No.1圃場 1回目)

(単位: cm)

図3 No.1圃場の走行路における土壌硬度の変化

行ったが、各作業ともに支障はなかった。

車輪の轍を調べた結果、1回目の作業後は幅10.2cm、ラグ基部跡の深さは12.6cm、ラグ先端部跡の深さは27.1cm、2回目の作業後はそれぞれ19cm、21cm、31cm、3回目の作業後は、それぞれ20.5cm、24cm、36cmと走行を重ねる毎に広く深くなった。

図3で走行前後の土壌硬度を見ると、1回目の作業前の未走部は車輪のラグ基部が安定した深さ12cm付近で0.3MPa（3 kg f/cm²）であった。作業後は、車輪のラグ基部跡の深さ25cmまで0.2～0.5MPa（2～5 kg f/cm²）軟らかくなり、ラグ先端部跡の深さ40cmまで0.2MPa（2 kg f/cm²）程度軟らかくなった。2回目の作業前の轍は、1回目の作業直後に比べ回復して0.2～0.5MPa硬くなり、ラグ基部が安定した深さ21cm付近で0.8MPa程度であった。しかし、作業後はラグ基部跡の20～30cmの土層で0.3～0.8MPa軟らかくなり、ラグ先端部跡の30～45cmの土層で0.2～0.6MPa軟らかくなった。3回目の作業前の轍は、2回目の作業直後に比べ回復し0.2～0.6MPa硬くなり、ラグ基部が安定した深さ24cm付近で0.6MPa程度であったが、作業後はラグ基部跡の土層全体で0.3～0.5MPa軟らかくなり、ラグ先端部跡で0.5～0.6MPa軟らかくなった。

No.1圃場と同じ乾田直播のNo.2圃場の場合も、入水前の1回目の除草液剤散布作業及び入水後の2回目の穂肥散布作業ともに支障はなかった。

車輪の轍も、1回目に比べ2回目の作業後は幅

12.5cm、ラグ基部跡の深さ16.5cm、ラグ先端部跡の深さ27cmとなり、No.1圃場と同様に広く深くなった。

図4で土壌硬度を見ると、1回目、2回目の作業前後の傾向は、No.1圃場とほぼ同様となり、作業後は次の作業までにやや回復する様子も見られたが、作業毎に徐々に軟らかくなった。

次に、No.3の移植圃場の場合、1回目の溝切り作業は6月15日の中干し始期に水深0～1cmで行い、2回目の穂肥散布作業は7月5日の中干し中期に落水状態で行ったが、ともに支障はなかった。

車輪の轍は1回目の作業後は9.5cm、ラグ基部跡の深さ19.5cm、ラグ先端部跡の深さ29.5cmであったが、2回目の作業後はそれぞれ12cm、20.5cm、35.6cmと広く深くなった。

図5で走行前後の土壌硬度を見ると、1回目の作業前の未走部は車輪のラグ基部が安定した深さ18cm付近で0.8MPa程度であった。作業後は車輪のラグ基部跡の土層全体で0.4～0.6MPa軟らかくなり、ラグ先端部跡でも0.6～0.7MPa軟らかくなった。2回目の作業前の轍は、1回目の作業直後に比べやや回復し硬くなり、ラグ基部が安定した深さ20cm付近で0.6MPa程度であった。しかし、作業後はラグ基部跡の深さ22.5cm付近の一部で硬くなった他は全体に0.2～0.3MPa軟らかくなり、ラグ先端部跡でも同様に0.2～0.5MPa軟らかくなった。

No.3圃場と同じ移植のNo.4圃場の場合も、中

図4 No.2圃場の走行路における土壌硬度の変化

干し前の1回目の走行, 中干し期間中の2回目の走行及び傾穂期の3回目の走行ともに支障はなかった。

車輪の轍は, 1回目, 2回目に比べ3回目の走行後は幅14.5cm, ラグ基部跡の深さ24cm, ラグ先端部跡の深さ37cmとなり, No.3圃場と同様に走行を重ねる毎に広く深くなった。

図6で土壤硬度を見ると, 1回目, 2回目及び3回目の走行前後の傾向は, No.3圃場とほぼ同様となり, 作業後は次の作業までにやや回復する様子

も見られたが, 作業毎に徐々に軟らかくなった。

以上, 走行を重ねる毎に轍は広く深くなり, 土壤硬度は徐々に軟らかくなったが, いずれの圃場においても轍を2~3回通る同一路走行は大きな支障はなく, ほぼスムーズに行われた。また, 栽培様式の影響について, 轍の形状と土壤硬度から判断すると, 1回目の作業の場合, No.1とNo.2の乾田直播圃場の走行は, No.3, No.4の移植圃場に比べてやや安定していた。

図5 No.3圃場の走行路における土壤硬度の変化

図6 No.4圃場の走行路における土壤硬度の変化

2) 作業性

各圃場における各種の管理作業能率を表5に示した。

ブームスプレーヤによる作業はNo.1とNo.2圃場の除草液剤散布で行った。各作業とも圃場内の散布作業は1人のオペレータで可能だった。薬液の準備と補給に1人の補助者が付いたが、必ずしも必要でなかった。No.1圃場では、作業速度0.5m/s、散布幅8m、散布量80l/10aを目標としたところ、実作業ではそれぞれ0.48m/s、8m、82l/10aとなり、ほぼ設定どおりとなった。圃場作業量は0.75ha/hで、この結果、圃場作業効率は54.3%となった。No.2圃場では作業速度0.5m/s、散布幅8m、散布量85l/10aを目標としたところ、実作業ではそれぞれ0.46m/s、8m、88l/10aとなり、ほぼ設定に近くなった。圃場作業量は0.75ha/hで、この結果、圃場作業効率は56.8%となった。

両作業とも、散布量が多いため、薬液の補給に時間を要し、やや圃場作業効率が低くなった。また、ブームスプレーヤと薬液の重量によって、トラクタのフロントがやや浮き気味の走行となったが、作業は大きな支障なくスムーズに行えた。

ブロードキャスタによる作業は、No.1、No.2、No.3圃場の粒状化成肥料の追肥と穂肥散布で行った。圃場内の散布作業はブームスプレーヤと同様に

1人のオペレータで可能だった。肥料の準備と補給に1人の補助者が付いたが、必ずしも必要でなかった。No.1圃場の追肥散布作業では、作業速度0.45m/s、散布幅8m、散布量15kg/10aを目標としたところ、実作業ではそれぞれ0.43m/s、8m、15kg/10aとなり、ほぼ設定どおりとなった。圃場作業量は0.98ha/hで、圃場作業効率は79.0%となった。緩効性肥料を使用した穂肥散布作業では、散布量が多く、作業速度0.75m/s、散布幅8m、散布量41kg/10aを目標としたところ、実作業ではそれぞれ0.72m/s、8m、44kg/10aとなった。作業速度がやや遅くなったため、穂肥量は7%程度多くなったが、栽培上は許容できる範囲であった。圃場作業量は1.53ha/hで、圃場作業効率は73.9%となった。両作業ともNo.1

写真1 穂肥散布作業（ブロードキャスタ装着）

表5 スターホイール装着トラクタの管理作業能率

圃場 No.	面積 (a)	作業名	作業機	資材 散布量	作業 幅 (m)	速度 (m/s)	理論 作業量 (ha/h)	圃場作業 効率 (%)	圃場 作業量 (ha/h)	圃場内 作業人員 (人)
1	173	除草剤散布	ブームスプレーヤ	DCPA 液剤 80 l/10a	8	0.48	1.38	54.3	0.75	1
		追肥	ブロードキャスタ	化成肥料 15kg/10a	8	0.43	1.24	79.0	0.98	1
		穂肥	ブロードキャスタ	化成肥料 40kg/10a	8	0.72	2.07	73.9	1.53	1
2	120	除草剤散布	ブームスプレーヤ	DCPA 液剤 80 l/10a	8	0.46	1.32	56.8	0.75	1
		穂肥	ブロードキャスタ	化成肥料 35kg/10a	8	0.77	2.22	58.1	1.29	1
3	96	溝切	作溝機	—	7.5	0.46	1.24	64.0	0.79	1
		穂肥	ブロードキャスタ	化成肥料 25kg/10a	7.5	0.54	1.46	84.0	1.23	1
4	50	空走行	ブロードキャスタ	—	—	0.56	—	—	—	1
		空走行	ブロードキャスタ	—	—	0.57	—	—	—	1
		空走行	ブロードキャスタ	—	—	0.60	—	—	—	1

圃場の長辺が203m と長いので圃場作業効率は高くなった。

No.2 圃場の穂肥散布作業では、緩効性肥料を用い、作業速度0.7m/s、散布幅 8 m、散布量38kg/10 a を目標としたところ、実作業ではそれぞれ0.77m/s、8 m、35kg/10a となった。作業速度がやや早くなったため、施肥量が8 %程度少なくなったが、栽培上は許容できる範囲であった。圃場作業量は1.29 ha/h で、圃場作業効率は58.1%となった。圃場作業効率が低いのはターン用農道の傾斜が強くターンに時間を要し、農道ターンのメリットが発揮されなかったことによる。

次に No.3 圃場の穂肥散布作業では、緩効性肥料を用い作業速度0.55m/s、散布幅7.5m、散布量25kg/10a を目標としたところ、実作業ではそれぞれ0.54 m/s、7.5m、25kg/10a となり、ほぼ設定どおりとなった。圃場作業量は1.23ha/h で、圃場作業効率は84 %となった。

以上、一部暗渠の直上を車輪が通った場面では、トラクタがやや傾き、バランスを崩しながらの走行となったが、ブロードキャストによる肥料散布作業は概して大きな支障は少なくスムーズに行えた。

また、作溝機による溝切り作業は、No.3 圃場でのみ行った。作業は支障なく順調に行え、轍跡を作溝し、作業速度は0.46m/s、作業間隔は7.5m で、圃場作業量は0.79ha/h、圃場作業効率は64%となった。

3) 作業による稲の生育・収量への影響

(1) 損傷株の発生程度

作業中に車輪によって受ける稲の損傷については表6に示した。

車輪のラグ部や側面に泥が付着することが少ないため、泥土の落下による稲株損傷は発生せず、車輪が直接稲体に接触して発生する機械的損傷がほとんどであった。

直進部では、No.1～No.4 圃場のいずれでの走行も完全埋没のAはほとんどなく、中程度埋没のBや軽傷のCも少なかった。また、走行回数が増えるにつれ、Aは少なくなった。1回の走行で発生した損傷株率は、いずれの走行でも0.4%未満と極僅かであった。

旋回部ではNo.1 圃場の1回目の作業区を除き、いずれの走行もA、B、Cともに同程度発生し、走行回数が増えるにつれ、Aは少なくなる傾向があった。1回の走行で発生した損傷株率は直進部より多

表6 スターホイール装着トラクタ走行による損傷株の発生

圃場 No.	作業幅 (m)	作業日 (月/日)	調査株数 ³⁾ 直進部 旋回部		発 生 株 数								作業面積に対する損傷株発生割合(%)								全体の面積に 対する割合 小計 ⁴⁾ 合計 ⁴⁾	
					直進部				施回部				直進部				施回部					
					A ¹⁾	B ²⁾	C ³⁾	計	A	B	C	計	A	B	C	計	A	B	C	計		
1	8	5/31	187944	11808	63	183	163	409	167	51	19	237	0.03	0.1	0.09	0.22	1.4	0.4	0.2	2.0	0.32	0.64
		6/25	187944	11808	4	113	207	324	47	65	55	167	0	0.06	0.1	0.16	0.4	0.6	0.5	1.5	0.25	
		8/ 6	187944	11808	2	36	35	73	18	30	25	73	0	0.02	0.02	0.04	0.2	0.3	0.2	0.7	0.07	
2	8	5/29	132000	——	25	61	53	139	——	——	——	——	0.02	0.05	0.04	0.11	——	——	——	——	0.11	0.23
		7/28	132000	——	3	47	105	155	——	——	——	——	0	0.04	0.08	0.12	——	——	——	——	0.12	
3 ²⁾	7.5	6/15	12210	1665	3	8	31	42	37	28	30	95	0.02	0.06	0.25	0.33	2.2	1.7	1.8	5.7	0.97	1.88
		7/ 5	12210	1665	0	0	6	6	19	41	60	120	0	0	0.05	0.05	1.1	2.5	3.6	7.2	0.91	
4	10	6/11	19536	2664	1	2	8	11	31	40	24	95	0	0	0.04	0.06	1.2	1.5	0.9	3.6	0.48	1.65
		6/25	19536	2664	2	6	50	58	25	38	40	103	0	0.03	0.26	0.30	0.9	1.4	1.5	3.9	0.73	
		8/ 6	19536	2664	0	12	17	29	28	28	14	70	0	0.06	0.09	0.15	1.1	1.1	0.5	2.6	0.44	

注1) A：完全埋没(回復不可能) B：中程度埋没(5割回復) C：軽傷(8～9割回復)
2) 溝切り、肥料補給時のδターンにより損傷が多くなった。
3) 調査株数はNo.1 圃場は出芽苗立数123本/m²、No.2 圃場は165本/m²、No.3 圃場は栽植密度18.5株/m²、No.4 圃場は22.2株/m²に基づいた。
4) 旋回部(枕地)の幅は6 mとした。
5) 直播の場合一まとまりの茎を一株とみなした。
6) 走行は、前回の轍跡を重ねて行った。

く、0.7～7.2%だった。

また、生育後期に草丈が50cm程度以上になると、トラクタの腹部によって一時的に倒される状態の稲が見られたが、数日後にはほとんど回復した。

この結果、全作業後の直進部と旋回部を合わせた圃場全体の損傷株率は、No. 1 圃場は0.64%、No. 2 圃場は0.23%、No. 3 圃場は1.88%、No. 4 圃場は1.65%であった。

栽培様式による差を見ると栽植株数の少ない移植栽培における損傷株発生率が乾田直播栽培に比べやや高くなり、旋回方式の違いでは圃場内での旋回部のない農道ターン方式を取り入れた No. 2 圃場で低かった。走行回数による差はあまり見られなかった。

(2) 穂数及び収量への影響

走行が収量に及ぼす影響を詳しく見るため、図7に、轍部から隣接行程までの直進部における各条毎の精玄米重を示した。さらに、直進部と旋回部を含めた走行が穂数及び収量に及ぼす影響を、対照区と対比して調べた結果を表7に示した。

図7では、轍の内側や轍に近い部分の精玄米重が概して少なくなっている傾向が見られた。しかし、

No. 1、No. 2、No. 3 圃場の轍付近の条を見ると、精玄米重の少ない条に対し、それに隣接する条がかなり多くなっていて、生育に補償作用が働いている様子がうかがえた。

また、表7によると、直進部では、轍の隣接部や内側及び外側に轍に近い部分の穂数が損傷の影響を受け、No. 1 圃場で1.6%、No. 2 圃場で2.4%、No. 3 圃場で5.1%、No. 4 圃場で1.4%減少した。各圃場の収量も同様な傾向となり、1.5～3.7%減収した。一方、旋回部は踏圧の影響が大きく、穂数がNo. 1 圃場で7.5%、No. 3 圃場で7.1%、No. 4 圃場で8.0%と直進部よりかなり多く減少した。この結果、各圃場の収量も同様に2.1～6.4%減収した。

しかし、直進部と旋回部を合わせた圃場全体で見ると影響は小さく、対照区に対する穂数はNo. 1 圃場で98.1%、No. 2 圃場で97.6%、No. 3 圃場で94.7%、No. 4 圃場で97.8%となった。この結果、収量は、No. 1 圃場で98.0%、No. 2 圃場で98.1%、No. 3 圃場で96.1%、No. 4 圃場で97.8%となり、減収率はそれぞれ2%、1.9%、3.9%、2.2%であった。なお、旋回部のない No. 2 圃場では、僅かに少ない傾向

表7 スターホイール装着トラクタ走行による穂数及び収量への影響

圃場 項 目		直 進 部					旋 回 部			圃場全体	
		作 業 区				対照区 ⁴⁾	対照区			対照区	
		轍内部 ¹⁾	轍隣接部 ²⁾	轍外部 ³⁾	全体平均 ⁵⁾		作業区	対照区	全体平均 ⁵⁾	作業区	対照区
穂数への影響	1 穂 数(本/m ²)	363	384	347	368	362	294	347	321	360	367
	対対照区指数(%)	98.6	104	94.3	100	98.4	84.7	100	92.5	98.1	100
	2 穂 数(本/m ²)	317	325	350	352	344				344	352
	対対照区指数(%)	89.9	92.3	99.4	100	97.6				97.6	100
	3 穂 数(本/m ²)	452	453	476	494	469	388	453	421	463	489
	対対照区指数(%)	91.5	91.7	96.4	100	94.9	85.7	100	92.9	94.7	100
	4 穂 数(本/m ²)	478	469	481	493	486	433	515	474	485	496
	対対照区指数(%)	97.0	95.1	97.6	100	98.6	84.1	100	92.0	97.8	100
収量への影響	1 収 量(kg/10a)	369	375	402	402	396	410	465	438	398	406
	対対照区指数(%)	91.8	93.3	100	100	98.5	88.2	100	93.6	98.0	100
	2 収 量(kg/10a)	471	449	521	521	511				511	521
	対対照区指数(%)	90.4	86.2	100	100	98.1				98.1	100
	3 収 量(kg/10a)	426	425	434	454	437	469	511	490	443	461
	対対照区指数(%)	93.8	93.6	95.6	100	96.3	91.8	100	95.9	96.1	100
	4 収 量(kg/10a)	560	565	567	588	575	593	620	607	579	592
	対対照区指数(%)	95.2	96.1	96.4	100	97.8	95.6	100	97.9	97.8	100

注1) 轍の内側の部分で幅1.5m 2) 轍に隣接する条 3) 轍から外側へ約2 m までの部分
4) 轍から外側へ2 m 以上離れた部分 5) 作業区を含めた全体の平均

図7 直進走行部の各条1m当りの精玄米重
注1) ▲印はスターホイールトラクタの轍部

が見られたが、損傷株発生率で見られたような栽培様式や作業様式による明確な違いはなかった。また、走行回数による差もほとんど見られなかった。

4 考 察

ここ数年来、水田圃場の大区画化が、大型機械の導入や作業効率の向上を可能にし、ひいては、規模拡大、コストダウンにつながる対策として注目されたきた。これと併行して、大区画圃場の管理作業法が問題提起され、現在、各種の作業法が提案されて研究調査の対象となっている。

大別して、圃場外からのヘリコプター²⁾¹¹⁾¹²⁾¹⁵⁾(有人、無人)、大型ダスター⁷⁾等による作業と圃場内での乗用型管理機¹⁾⁵⁾¹⁰⁾¹¹⁾、トラクタ¹⁴⁾等による作業に分けられる。

本試験の対象としているのは後者の圃場内作業に属するトラクタによる管理作業法である。圃場外や空中からの作業法に比べ、作業能率はやや劣るものの、反面、操作性、安定性、安全性、環境保全、トラクタの汎用利用、1人作業の可能性の面で有望視される技術と考えられる。

トラクタによる管理法としては、過去には中江⁸⁾、最近では沢村¹⁴⁾らも直播栽培体系の試験の中で提案している。中江⁸⁾は、幅17cmの鉄製パイプ車輪を試作し、それを装着したトラクタによる直播や立毛中の走行を試みた。報告では、ガードル付タイヤによる走行に比べ、代かき後の播種や立毛中の管理走行での実用の可能性は認められたが、耕起条件での走行抵抗、耕土のラグ付着と稲株の埋没、耕盤硬度について解決すべき課題が指摘された。一方、沢村¹⁴⁾は、車輪は通常のタイヤのまま使用し、予め定めた走行路に特殊な硬化処理を行っている。試験では、播種、施肥、防除作業において、高能率、快適な作業性が認められているが、走行による稲株の損傷及び減収程度や走行路の造成方法、耐久性等については、今後の研究が待たれる。これに対し、本研究は、トラクタの本体車輪の開発・改良を中心としている点で後者とは異なるが、前者とは一部共通した点がある。

1) 土壌条件とトラクタの走行性

トラクタの圃場内における作業では、土性、土壌水分の他、地耐力と接地圧が走行性を大きく左右す

る。このため、安定した作業を行うための各種の土壤条件を示すことは重要である。新村¹⁰⁾らもトラクタの作業走行限界と地耐力の関連について調査し、適正な作業を行うための土壤硬度に関する指針を明らかにしている。

本試験では、地耐力、接地圧及び走行性との関連について詳細な調査を行っていないため、走行可能な土壤硬度の限界値を明確化することは難しいが、関連データから走行状態をある程度把握できた。すなわち、1回目の走行時の沈下量を見るとNo.1, No.2 圃場の場合、車輪のラグ基部では約10~13 cm, ラグ先端部で24~27cm となっている。No.3, No.4 圃場はそれぞれ19~20cm と29~30cm となっている。この値と走行前の土壤硬度から判断して、走行時の車輪のラグ基部は、乾田直播では0.3~0.5 MPa, 移植圃場では0.6~0.8MPa 程度の土層上で安定し、先端部がその土層にくい込む形になったと考えられる。同様に各圃場の2回目, 3回目のデータから、ラグ基部の沈下が安定する土層の走行前の土壤硬度を判断すると、1回目走行の乾田状態では0.5MPa 程度で、入水後及び移植圃場で0.7MPa 程度と推定される。

走行限界の地耐力については、中江⁹⁾らは35PS トラクタに幅17cmの鉄製パイプ車輪を装着した作業の場合、推定値として10kg f/cm²程度の耕盤硬度を必要としている。一方、川崎³⁾¹¹⁾も作業時の総重量500kg 程度の3輪の乗用型管理機に関する研究の中で、その導入の可能な条件をほぼ深さ10~30cmの平均貫入抵抗値が4kg f/cm²以上等と定めている。さらに、後藤¹⁾らは600~700kg 程度の車体の場合、耕盤の貫入抵抗値が4~5 kg f/cm²以下では走行に注意が必要があるとしている。これらと本研究のトラクタ管理機との差は、作業時の総重量に起因したものと思われる。

走行後の輻の土壤硬度を見ると、今回の走行までに回復し硬化する傾向や乾田直播入水前の走行後にやや硬くなる場合も一部見られた。しかし、概して走行を重ねる毎に軟らかくなった。これは、車輪のラグが土壤を練り返すことに加え、輻内が常に湛水状態にあるためと考えられた。今回、3回の走行を行ったNo.1, No.4の圃場では、走行後の土壤硬度が深さ40cmのラグ基部と先端部の平均値で0.6 MPa 程度に低下した。この直後に、もし、今回の作業を行う場合はかなり困難になると想定される。したがって、今回の圃場条件では、輻の重複走行は3

回程度が限界と思われる。管理作業が4回以上に及ぶ場合、軽量のトラクタの採用や車輪のダブル化・改良あるいは走行路をずらす等の対策が必要であろう。

さらに、沈下量の限界は、トラクタの最低地上高とも深く関わる。腹部が田面に接したり、極端な稲の押し倒しを防止するためには、車輪が沈下しても25~30cm 程度は地上高を確保できる構造が望まれる。

また、本試験で乾田直播圃場と移植圃場での走行を比較すると、乾田直播の1回目の作業は入水前にあたるため、沈下量が少なく走行後の土壤硬度の低下も小さいなど、移植圃場に比べて良好な走行性が得られた。しかし、入水後の2回目, 3回目は栽培様式による走行性の差はほとんど見られず同様な傾向であった。

2) 作業性

本試験のトラクタ管理作業法は、高能率作業、快適作業、1人作業を狙いとしている。

ブロードキャストによる肥料散布作業は、散布幅8~10m で約1~1.5ha/hの圃場作業量が確保できた。したがって、実作業時間を6時間/日とすると1日当たり6~9 haを処理可能となる。一方、慣行の手散布及び背負動力散布機による作業の圃場作業量は、それぞれ0.2~0.3ha/h, 0.7~0.8ha/h 程度であるが、労働負担は極めて大きい⁹⁾。特に今回使用した緩効性肥料は、散布量が30~40kg/10aと多量で、しかも大区画圃場での作業となるため、人力や動力散布機では耐え難い作業となる。このため、トラクタ+ブロードキャストによる肥料散布法は省力性と快適性の点で大いに期待される作業法である。

近年、大区画圃場用の管理作業機として注目されている産業用無人ヘリコプター²⁾¹²⁾と比べると、操作が容易であること、積載量が多く補給回数が少ないこと、作業人員が1人でも可能である等の点で優り高能率となる。また、田植機をベースとした乗用管理機¹⁾³⁾⁴⁾¹¹⁾と比べると、ほぼ同程度の能率と考えられるが、積載量、出力の点で安定している。

次にブームスプレーヤによる除草剤散布については、散布幅8 m で0.75ha/hの圃場作業量が確保できた。この作業量では、1日当たり4.5ha 程度が処理可能となる。ブロードキャストに比べて少ないのは、約80l/10aもの液剤を散布するため、薬液の補給に多くの時間を要し、作業効率が低下したためである。能率は、乗用型管理機と同程度であるが、少量の液

剤防除で高能率な性能を発揮する産業用無人ヘリコプター²⁾(¹²⁾(¹⁵⁾)や粉剤・微粒剤防除用のトラクタマウント型の多孔ホース噴頭⁷⁾等と比べると1/2～1/3程度である。しかし、操作性や作業人員が1人でも可能で、複数の作業人員を要しない点で優っている。現在、散布液剤量を20～25l/10a程度に少量化する技術が検討されており、実用化された場合の能率は大きく向上すると考えられる。

作溝機による溝切り作業については、轍跡を2条ずつ7.5m間隔で行い、0.79ha/hの圃場作業量となった。この作業量では1日当たり5ha程度が処理可能となる。歩行の溝切り作業と比べて能率は同程度であるが、労働負担は非常に小さい。しかも、車輪による轍跡が走行後も明確に残ることから、空走行だけでも作溝の効果は確保できると判断できた。

今回の試験では、走行性に重点を置いたため、全作業とも作業幅や作業速度については十分な検討をしなかった(オペレータが扱い易い範囲での試験を行った)。本試験の管理法は本体が安定した出力と走行性を備えたトラクタである。今後、作業機の改良・開発に伴ない作業性能面で大きな可能性が期待できよう。

(3) 稲の生育・収量への影響

本試験では、作業性能の安定化とともに1人作業、高能率作業の他に、作業中に稲の損傷を極力少なく抑えるという狙いもある。

直進走行部では、乾田直播の条間24～25cm、移植の条間30cmともに2～3回の走行で損傷した株は、僅か0.23～0.5%程度でほとんど損傷なしに走行してきた。これは車輪の幅が10cm足らずと狭いことと、形状が比較的シンプルであるために土壤水分に関わらずラグ部やディスク状の側面への泥土の付着が少ないことによると思われる。これに対し、中江¹⁵⁾らの報告では、鉄製パイプ車輪はラグに土塊が付着して持ち上げられるため泥土の落下が多く、車輪幅も17cmとやや広い影響を及ぼす範囲も幅50cm程度となることを指摘している。特に、土壤水分が低下してくる立毛中の管理では、形状検討の必要性を述べている。今回の試験では同一の轍跡を2～3回重複走行させた結果、回数を重ねる毎に轍の幅は広がったが、20cm以上には及ばず隣接条への影響は少なかった。これは轍幅の広がりとともに、稲株が押されて、条間がやや広がったことにもよる。

一方、旋回部では、全て条間を走行することは困難であるため、4.2～12.9%と多くなった。しかし、

旋回部の面積の占める割合がNo.1圃場で約5.8%、No.2、No.4圃場で約12%と少ないため、直進部も含めた全体の減収率は4圃場の平均で2.5%に収まった。

また、轍部から行程の隣接部まで一条毎に精玄米重を調査した結果では、轍の内側や轍の外側付近がやや少ない傾向が見られた。これは隣接条が車輪による損傷を受けたことや、終減速装置やトラクタ腹部による押倒しの影響によるものと考えられる。ただ、隣接する稲が損傷を受けた場合、生育の密度が緩和されて、残った稲の生育が旺盛になる補償作用が働いている傾向も認められた。

走行の時期と減収との関連について、後藤¹⁾らは乗用管理作業車の調査で、時期が遅くなる程、その回復は遅れ、減収する可能性が大きいことを述べている。本試験では出穂期前後以降の走行で損傷を受けた株は回復せず、同様な傾向が観察された。現状では、幼穂形成期から出穂期にかけても防除、追肥等の管理作業は避けられず、今後、走行による減収率を低下させるためには、後藤¹⁾らも指摘しているように、緩効性肥料や長期持続型の防除剤、除草剤等の開発、改良が望まれる。さらに作業面からは、作業幅を広くとったり、圃場区画を広げて長辺を長く、あるいは農道ターン方式も取り入れる等の対策が有効であると考えられる。

本試験での減収率は、乗用管理機による管理作業に関する研究で報告されている例¹¹⁾(¹¹⁾(¹³⁾)と比べると、走行回数の違いはあるものの、大差ない程度である。

4) 今後の見通しと課題

スターホイール車輪によるトラクタ管理法を提案し、圃場内走行性、作業能率、稲の生育への影響の面から検討した。その結果、大区画圃場における乾田直播栽培体系を前提とした管理作業について、ある程度の見通しが得られた。しかし、コストや走行による減収を考慮した場合、導入場面では、①労働時間や労力の節減によって、経営規模拡大を図る、または、②軽労働化によって、担い手を重労働から解放する、さらに、③手作業の散布では困難な有機質資材等の投入により、生産物に付加価値をつける、等の方向づけが必要である。こういった意味では、本試験の機械化体系が対象としている大区画圃場を有する乾田直播経営では導入の効果が高いと考えられる。

今後は、圃場条件と走行限界の解明、路上走行性の改善、各種作業機の高性能化と作業の効率化、適

用トラクタの型式と馬力等、残された課題について、実用化に向けた検討を行う必要がある。

5 摘 要

大区画圃場における乾田直播栽培作業体系の圃場管理法について、試作のロークロップ車輪（スターホイールと仮称）を装着したトラクタによる作業法を考案し検討した。この結果、いくつかの課題はあるが、乾田直播圃場及び移植圃場ともに圃場内走行性及び施肥・除草剤散布作業性能の面で安定し、走行による稲の生育への影響も少ない等、実用技術としてある程度の見通しが得られた。

1) 試作のロークロップ車輪（スターホイール）を装着した30PSトラクタ（作業時総重量1745kg）の細粒質水田における管理作業では、乾田直播圃場の入水前の場合、土壌硬度0.4MPa（4 kg f/cm²）程度、入水後及び移植圃場の場合、0.7MPa（7 kg f/cm²）程度の土層を深さ10～30cmに有していれば、走行が可能と判断された。

2) トラクタによる轍跡の管理走行を重ねる毎に、轍の土壌硬度は軟らかく、轍は広く深くなった。3回目の走行後では幅が15～20cm、沈下量はラグ基部で24～25cm、ラグ先端部で36～37cmとなった。

3) 轍跡の走行は3回程度が限界と考えられ、それ以上に及ぶ管理を想定する場合、新たな車輪の改良、あるいは、同じ走行路を避けた管理法を検討する必要がある。

4) 大区画圃場における各種管理作業ともに1人のオペレータによる作業が可能であった。能率はブロードキャストを装着した施肥作業では、速度0.43～0.77m/s、散布幅8mで圃場作業量は0.98～1.53ha/h、ブームスプレーヤを装着した除草剤散布作業では、速度0.46～0.48m/s、散布幅8mで、圃場作業量は0.75ha/h、作溝機を装着した溝切り作業では、速度0.46m/s、作業間隔7.5mで、圃場作業量は0.79ha/hとなった。

5) 轍跡を2～3回走行する管理作業による稲の損傷株の発生率は、直進部は0.23～0.51%と僅かで、旋回部で4.2～12.9%と多くなった。しかし、圃場全体に換算した発生率は、0.23～2.1%と少なく、この結果、穂数の減少率は1.9～5.3%となり、減収率も1.9～3.9%程度であった。

6 引用文献

- 1) 後藤隆志（1993），水田汎用管理作業車の研究，生物系特定産業技術研究推進機構平成4年度研究報告資料：39～56。
- 2) 市川良平（1990），農業におけるヘリコプターの利用とRCヘリコプターの開発実用化，農業及び園芸第65巻第1号：169～176。
- 3) 川崎 健・笹倉修司・平松猷三・小林 恭・澤村 篤・石田 実・松村 修（1992），乗用散粒機の性能の限界と利用法〔1〕，農業及び園芸第67巻第1号：46～54。
- 4) 川崎 健・笹倉修司・平松猷三・小林 恭・澤村 篤・石田 実・松村 修（1992），乗用散粒機の性能の限界と利用法〔2〕，農業及び園芸第67巻第2号：294～300。
- 5) 木村勝一・今園支和（1991），大区画圃場に対応した超省力水稻散播作業法の開発（第一報）噴頭回転式広幅散布機の開発，農業機械学会東北支部報38：15～18。
- 6) 北倉芳忠・林 恒夫・岩田忠寿・鹿子嶋 力（1993），大区画埴土湿田における乾田直播のための作業体系（第1報）播種作業に対するローラ鎮圧の効果について，農作業研究28(1)：19～26。
- 7) 北倉芳忠・岩田忠寿・佐藤 勉・井上健一・田中英典・鹿子嶋 力（1994），大区画埴土湿田における乾田直播作業体系（第2報）ローラ鎮圧による乾田直播と高性能機械化輪作体系の実証，農作業研究29(3)：219～229。
- 8) 中江克己・藤尾福蔵・黒沢 健（1969），大型トラクタ水稻湛水直播作業へのパイプ車輪の適用について，農作業研究8：27～30。
- 9) 農業研究センター・プロ研3チーム（1988），区画の大きさと各種管理用作業機，プロ3資料－大区画生産技術－：87～99。
- 10) 農業研究センタープロジェクト第3チーム（1991），乗用管理機の利用実態調査（秋田県），プロ3資料－大区画水田生産技術－（第3集）：15～28。
- 11) 農業研究センタープロジェクト第3チーム（1992），大区画水田における省力管理技術の開発方向，プロ3資料－大区画水田生産技術－（第4集）：5～24。
- 12) 農林水産航空協会（1991～1993），航空播種によ

る水稻湛水土壌中直播栽培事業成績書（平成3年～5年）。

- 13) 澤村 篤・中山正義・川崎 健・秋田重誠・笹倉修司(1992), 乗用散粒機による水稻代かき湛水散播栽培, 農作業研究27(3): 234~241.
- 14) 澤村宣志(1991) 溝型制限走行路による潤土直播栽培技術, 北陸農業新技術4: 22~30.
- 15) 生物系特定産業技術研究推進機構(1992), 農業機械用開発改良試験研究打合せ会議, 水田作・畑関係平成3年度成績概要.
- 16) 新村善男(1991), 水田土層の硬度測定による機械の作業性判定基準の設定, 農業技術46(1): 6~9.

Summary

1. In order to establish a method of plant hasbandry for the direct sowing of rice on dry land, the use of a tractor fitted with experimented iron row crop tires (provisional name is star-wheel) was investigated.

It was found that vehicle mobility, fertilization and herbicide application were stablized on both the dry sown and the wet transplanting field.

1. It was found that a tractor(22kw) fitted with the star-wheels could run stably on the dry sown field, when the corn index of soil layers at a depth of 10~30cm was more than about 0.5MPa(5kg f/cm²) before flooding, about 0.6~0.7MPa(6~7 kg f/cm²) after flooding, and on the wet transplanting field, when the born index of soil layers at a depth of 10~30cm was about 0.6~0.7MPa(6~7kg f/cm²).

2. The more the tractor fitted with the star-wheels run on the wheel ruts, the more the corn index on the wheel rut decreased and the more the wheel ruts width increased.

After the tractor ran three times on the wheel ruts, the width of the wheel rut increased to

15~20cm, the lug root of the star-wheel sank to 24~20cm, and the lug top of that sunk to 36~37 cm.

3. The tractor could run until three times on the wheel ruts. But if the tractor has to run more than four times on the wheel ruts, it would be necessary to do farther study on tire design and running methods.

4. Fertilization and herbicide application on a large lot could be worked by one-man operation used the tractor fitted with the star-wheels.

When fertilizer was applied by a broadcaster mounted on tractor, work width was 8m, ver-locity of work was 0.43~0.77m/s, effective field capacity was 0.98~1.53ha/h.

When herbicide was applied by a boom sprayer mounted on tractor, width work was 8m, velocity of work was 0.46~0.48m/s, and effective field capacity was 0.75ha/h.

When ditch was trenched with furrow opener mounted on tractor, the working interval was 7.5 m, velocity of work was 0.46m/s, and rate of work capacity was 0.79ha/h.

5. In order to experiment on rice stubble damage by running of the tractor fitted with star-wheels, a control area where no tractor ran was established for the purpose of comparison.

The percentage of rice stubble damaged by running of the tractor fitted with star-wheels two or three times was 0.23~0.55% in the straight-away area, and was 4.2~12.9% in the turning area.

The damade rate of rice stubble for the total area of a large lot was 0.23~2.1%.

6. Then decrease in the rate of ear numbers of 1.9~5.3% and that in the rate of yield of 1.9~3.9% was noted.