

サトウキビの安定的増収に向けた
機械化技術の開発

新里 良章

2015

目 次

博士論文：サトウキビの安定的増収に向けた機械化技術の開発

要旨（和文，英文）

図表一覧

第1章 緒論	1
1-1 沖縄県の概況と農業生産	1
(1) 沖縄県の位置	1
(2) 沖縄県の土壌	2
(3) 沖縄の農業生産	3
1-2 沖縄県のサトウキビ生産	4
(1) サトウキビ生産の現状	5
(2) 沖縄県のサトウキビ機械化の経緯	10
1-3 サトウキビ機械化体系	12
(1) 小型機械化体系	13
(2) 植付けと肥培管理	15
(3) 収穫作業	15
(4) 株出管理	16
第2章 サトウキビ機械化体系の課題と本研究について	19
2-1 サトウキビ収量構成要素と機械化体系	19
2-2 沖縄県のサトウキビ機械化体系の課題	20
(1) 稚茎の刈取り	21
(2) 土壌踏圧	23
(3) 大規模ほ場の耕土流出と排水不良	24
2-2 論文の目的と構成	26
(1) 目的	26
(2) 論文の構成	26
第3章 牽引型全茎式プランタの改良	33
3-1 緒言	33
3-2 牽引型全茎式プランタの改良方法	35
(1) 改良方針	35
(2) 排土板の改良	36
(3) 作溝部	37
(4) ロワリンク，トップリンク取付部の改良	38

(5) 改良の効果：牽引型プランタの小型機械化体系への組み込み	40
3-3 牽引型オフセットプランタの性能	43
(1) 改良機の植付け状況	43
(2) 作業性能調査	46
3-4 摘要	50
第4章 沖縄における小型ハーベスタの適応性	53
4-1 緒言	53
4-2 方法	54
(1) ハーベスタの区分	54
(2) 小型ハーベスタの性能試験	55
(3) 沖縄本島における小型ハーベスタの適応性	57
4-3 結果および考察	59
(1) 小型ハーベスタの作業性能	59
(2) 沖縄本島での小型ハーベスタの適応性	60
(3) 考察	62
4-4 摘要	64
第5章 心土破碎と暗渠によるサトウキビほ場の排水性改善効果	67
5-1 緒言	67
5-2 方法	69
(1) 試験項目と試験ほ場	69
(2) 排土型心土破碎機による心土耕の効果	69
(3) 暗渠と心土破碎機による排水性改善技術	70
5-3 結果と考察	73
(1) 排土型心土破碎機による耕起および心土の破碎の状況	73
(2) 暗渠と心土の破碎による排水性改善	77
5-4 摘要	81
第6章 サトウキビ新植およびハーベスタ収穫後の補植技術	84
6-1 緒言	84
6-2 材料および方法	84
(1) サトウキビセル成型苗の育苗方法	84
(2) 一芽苗補植による欠株対策技術	85
6-3 結果および考察	86
(1) サトウキビのセル成型苗の育苗方法	86
(2) 一芽苗補植による欠株対策技術	92
(3) セル成型苗補植の収益性	94
6-4 摘要	96

(1) サトウキビのセル成型苗の育苗方法	96
(2) 一芽苗補植による欠株対策技術	97
第7章 サトウキビ用3作業同時株出管理機の開発	98
7-1 緒言	98
7-2 3作業同時株出管理機	99
(1) 株出管理機の概要	99
(2) 株出管理機の構成	101
(3) 施肥機と施肥位置	105
(4) 除草剤散布機	108
7-3 株出管理機の作業性能	110
7-4 株出管理機とほ場試験	111
(1) 株揃の有無と収量および高培土の状況	111
(2) 株出管理機による株揃えと雑草管理	114
7-5 摘要	115
第8章 トラクタ装着型堆肥筋撒機	118
8-1 緒言	118
8-2 堆肥筋撒機の構造	119
8-3 堆肥筋撒機の作業性能	122
(1) 堆肥の水分と散布の可否	122
(2) 作業性能	123
(3) 植溝の踏圧調査	124
8-4 摘要	127
第9章 豚舎処理水散布機の開発とサトウキビへの施用効果	129
9-1 緒言	129
9-2 処理水散布機の開発	130
(1) 処理水散布機の概要	130
(2) 散布機の構成	132
(3) 散布機の基本性能	133
9-3 処理水のサトウキビほ場施用試験	136
(1) 材料および方法	139
(2) 結果および考察	142
9-4 処理水による増施試験	143
9-5 処理水利用の経済性	144
(1) 畜産処理水散布の経済性	144
(2) バキュームカーと散布機の経済性比較	145
9-6 処理水の散布時期と留意点	146
9-7 摘要	147

第 10 章	フラットホースを利用した豚舎処理水散布技術	150
10-1	緒言	150
10-2	方法	151
	(1) 処理水の肥料成分と散布量の目安	151
	(2) フラットホース法	152
	(3) フラットホースの各穴からの吐出量	154
	(4) 作業能率	155
10-3	結果および考察	155
	(1) 畜産処理水の肥料成分	155
	(2) フラットホースによる処理水散布システム	158
	(3) フラットホース法の作業能率	160
	(4) フラットホース巻取機と簡易タンク	161
	(5) コスト計算	164
10-4	フラットホース散布法の留意点	165
10-5	EC による散布量の目安と散布後の管理	166
10-6	摘要	167
第 11 章	サトウキビ機械化における省エネ・低炭素化技術	170
11-1	緒言	170
11-2	燃料消費量の測定	171
	(1) 満タン法の改良	171
	(2) 燃料消費量の直接測定	172
11-3	牽引型作業機と PTO 駆動作業機	174
	(1) 定置無負荷時の燃料消費量	174
	(2) 牽引型作業機と PTO 駆動作業機	175
	(3) 牽引型作業機の作業速度	176
	(4) プラウとプラソイラの燃料消費量	178
11-4	摘要	181
第 12 章	安定的増収に向けた機械化技術に関する総合考察	183
12-1	沖縄県における機械化の経緯と課題	183
12-2	機械化による生産性の向上	184
12-3	ロスとその軽減策	185
12-4	本研究で検討した機械化技術と増収との関係	187
12-5	小型機械化体系のまとめ	190
12-6	今後の課題	190
第 13 章	総括	193

謝辞

サトウキビの安定的増収に向けた機械化技術の開発

要 旨

沖縄県では、農家の高齢化と担い手減少の対策として、サトウキビ栽培の機械化が進められ、中でも最も時間を要する収穫作業の機械化のためハーベスタ導入が重点的に進められてきた。しかし、永年にわたって大型機械が稼働するほ場では、耕盤の形成などに相まって土作りの不十分さや栽培の粗放化によって、単収の低下傾向が見られるようになった。また、小形機械しか利用できない農家では株出管理の効率化や低コスト化などの課題がある。

本研究では、ハーベスタ収穫を前提に安定的に増収可能な機械化技術の確立に取組み、以下の結果を得た。

1. サトウキビの機械化における問題と課題の分析：沖縄県の生産の推移と現状および主要な機械化体系を整理し、解決すべき問題点について述べた。
2. サトウキビ全茎式プランタの改良：大型ハーベスタに適應する牽引型プランタは畦幅 140cm 以上に対応する仕様であるが、普及台数の多い小型ハーベスタの適應畦幅 130cm に対応できるように改良を行った。
3. 小型ハーベスタの性能と適應性：沖縄本島地域や宮古島地域で小型ハーベスタが有利に稼働できることを実証すると同時に、小型機械の性能調査などを行った。
4. 心土破碎と暗渠によるサトウキビほ場の排水性改善とその効果：ハーベスタ収穫ほ場で実施可能な低コストかつ簡便な排水性改善対策として、プラソイラによる心土の破碎や耕起の効果が高いことを示し、農家でも実施可能な暗渠の施工を検討した。
5. ハーベスタ収穫後のセル成型苗による補植：ハーベスタ収穫後の欠株対策として、一芽苗による効率的な育苗方法を確立し、セル成型苗補植の費用対効果を実証した。
6. 小型株出管理機の開発：小型ハーベスタ収穫後の株出管理用に、最近、15kW 程度の軽トラクタの導入が進んでいる。そこで市販の株揃機を 15kW 程度のトラクタに搭載し、株揃・施肥・農薬散布の 3 行程を同時に行える株出管理機の開発を行った。
7. トラクタ装着型堆肥条撒機および豚舎処理水の散布装置の開発：新植だけでなく株出でも散布できるトラクタ装着型の堆肥条撒機の開発を行った。養豚の盛んな沖縄県で豚舎からの処理水を有効利用するために、現行のバキュームカーより効率良く省力的に散布できるホース巻取式の散布機やフラットホース散布方法の開発を行った。

これらの結果と、牽引型作業機とロータリ型作業機の比較や同様な機種種の燃料消費を比較して、結論として、サトウキビ機械化体系のあり方や今後の大規模生産法人への機械導入などの方向性を提示した。

Development of mechanization technologies for stably high production of sugarcane Summary

In Okinawa Prefecture, the mechanization of the sugarcane cultivation is advanced as measures of aging and decrease of the farmers, especially, the use of harvesters has been advanced to reduce the labors and working time. However, there is a trend that the yield of sugarcane has been decreasing at the farmland that the large size machinery has been used for long time because of the formation of hard pan, the degradation of soil properties, inadequate cultivation and others. In addition, small size farmers limited to use of the large size machinery have issues of improvement of working efficiency of ratoon cultivation and cost reduction.

The purpose of this study is to establish the mechanization technologies capable of the stably high production. The results are summarized as follows.

1. The issues in the mechanization of sugarcane cultivation were grasped by the analyses of the trend and current status in Okinawa.

2. A traction-type cane planter was improved to adapt the row spacing of 130 cm for small-sized harvesters from the row spacing of 140 cm for large-sized harvesters.

3. Performance of a small-sized harvester was investigated, at the same time, it showed that the small one was able to operate advantageously more than large one in the Okinawa Island and the Miyako Island.

4. The effects of sub-soiling and tillage using a wide-chisel subsoiler called as "Pla-soiler" were enough as a simple measure for improvement of drainage at the mechanical harvesting fields by small-sized harvester. As a result, a simple method was developed for farmers to improve subsurface drainage ability.

5. An effective method to raise sugarcane seedlings by using one-node seedlings and examined the cost-performance of replanting for compensating the gaps after harvesting.

6. A commercial stubble-shaver was improved to adapt the small-sized tractors with 15 kW which was possible to the stubble shaving, fertilization and agrochemical application at the one operation for good management of ratooning.

7. A tractor attachment type compost application drill had developed for using not only new plant cane but ratoon cane. A hose-winding distributor and a flat-hose-sprayer had developed to apply the piggery-sewage effectively with power and labor saving way.

Finally, the guidance was proposed for the machine introduction into mechanization system concluding the above-mentioned results and the comparisons with fuel consumption and others. It will be useful for the large-sized agricultural production corporations.

図 表 一 覧

第 1 章 緒 論

- 図 1-1 沖縄県の位置
- 図 1-2 沖縄県の土壌分布
- 図 1-3 沖縄の主な農産物と生産額
- 図 1-4 沖縄県の島々と製糖工場の位置
- 図 1-5 図 1-1 サトウキビ生産量の推移
- 図 1-6 沖縄県におけるサトウキビ単位収量の推移
- 図 1-7 沖縄県におけるサトウキビ生産農家戸数の推移
- 図 1-8 沖縄県年代別農業者人数と割合（2010年農業センサス）
- 図 1-9 (a) 剥葉作業後のほ場 (b) スコップでの高培土ほ場
- 図 1-10 スコップによる株分け補植
- 図 1-11 手刈およびハーベスタ収穫後の欠株状況
- 図 1-12 沖縄県の型式別ハーベスタ導入累積台数の推移
- 図 1-13 沖縄県の機械収穫率の推移
- 図 1-14 沖縄県のサトウキビ機械化体系の例

第 2 章 サトウキビ機械化体系の課題と本研究について

- 図 2-1 茎径と 1m 当り重量
- 図 2-2 畦幅と収穫本数
- 図 2-3 ハーベスタ収穫後のほ場面
- 図 2-4 稚茎刈取りの影響
- 図 2-5 プラウ作業時の耕盤形成
- 図 2-6 土地改良地区での排水不良
- 図 2-7 研究のフロー図

第 3 章 牽引型全茎式プランタの改良

- 図 3-1 牽引型全茎式プランタ
- 図 3-2 ロータリ装着型側方サトウキビ植付機

- 図 3-3 レットプランタ
- 図 3-4 供試した牽引型プランタ
- 図 3-5 排土板の改良部分
- 図 3-6 改良後の排土板
- 図 3-7 (a) 開溝部 (b) 開溝部と排土板の段差
- 図 3-8 改良機による作溝の模式図
- 図 3-9 牽引型プランタによる作溝と畦プロフィール
- 図 3-10 (a) 浅植で生育不良 (b) 台風通過後の株の転倒
- 図 3-11 ロワリンクおよびトップリンクヒッチ部の改良
- 図 3-12 オフセットプランタの植付けの様子
- 図 3-13 植付作業時の走行の様子
- 図 3-14 植付方法
- 図 3-15 本島内での作業の様子：片道植付が多い
- 図 3-16 性能調査ほ場（一方向植付け作業）読谷村島尻マーシほ場
- 図 3-17 改良前後の畦の変化
- 図 3-18 改良前と改良後のプランタの植付け後の畦プロフィール
- 図 3-19 牽引型オフセットプランタ植付けの発芽状況
- 図 3-20 植付の様子
- (a)ロータリ装着型植付機 (b)牽引型オフセットプランタ
- 図 3-21 植付け後のほ場の様子
- (a)ロータリ装着型植付機 (b)牽引型オフセットプランタ
- 図 3-22 植付け後の畦のプロフィール
- (a)ロータリ装着型植付機 (b)牽引型オフセットプランタ
- 図 3-23 中耕・除草作業時の発芽状況
- 表 3-1 植付け速度の比較
- 表 3-2 2機種プランタの作業性能比較

第 4 章 沖縄における小型ハーベスタの適応性

- 図 4-1 ハーベスタのエンジン出力と質量の関係
- 図 4-2 宮古島で供試した小型ハーベスタと中型ハーベスタ

- 図 4-3 試験ほ場（沖縄本島南城市玉城）の概要
- 図 4-4 中型(MSH)および小型ハーベスタ(SSH)による
収穫前後の土壌貫入抵抗の変化
- 図 4-5 小型および大型ハーベスタの収穫後の土壌貫入抵抗と畦形状
変化の比較
- 図 4-6 立毛角
- 表 4-1 沖縄県におけるハーベスタの分類
- 表 4-2 宮古島の試験ほ場
- 表 4-3 供試した小型ハーベスタと中型ハーベスタの仕様（宮古島）
- 表 4-4 供試した小型ハーベスタと中型ハーベスタの仕様（南城市）
- 表 4-5 小型ハーベスタの作業性能（宮古島）
- 表 4-6 中型と小型ハーベスタの作業性能比較（南城市）
- 表 4-7 小型・中型ハーベスタ収穫後の生育調査報告

第 5 章 心土破碎と暗渠によるサトウキビほ場の排水性改善効果

- 図 5-1 農業機械による暗渠施工
- 図 5-2 トレンチャによる暗渠の配置図（八重瀬町 d ほ場）
- 図 5-3 心土耕区の砕土作業後の土壌硬度プロファイル(糸満市 A ほ場)
- 図 5-4 地表と地表下 30cm の土壌含水比
- 図 5-5 (a)心土耕と(b)プラウ耕の作業姿勢
- 図 5-6 サトウキビほ場の砕土回数と土塊径
- 図 5-7 降雨後の土壌水分の推移の比較（八重瀬町 d ほ場）
- 図 5-8 建設機械を用いた暗渠設置
- 表 5-1 試験項目とほ場
- 表 5-2 心土耕とプラウの耕起作業能率の比較
- 表 5-3 心土破碎の効果(ジャーガルほ場)
- 表 5-4 ジャーガル排水不良畑の暗渠の効果
- 表 5-5 10a 当り暗渠施工費用

第 6 章 サトウキビ新植およびハーベスタ収穫後の補植技術

- 図 6-1 一芽苗切断機
- 図 6-2 切断作業状況
- 図 6-3 サトウキビ用セルトレイ
- 図 6-4 既存および開発したセルトレイでの仮茎長の比較
- 図 6-5 (a)夏場の育成状況 (b)根鉢の状況
- 図 6-6 セル成型苗仮茎長の経過 (夏期)
- 図 6-7 硬化芽子
- 図 6-8 ハウス育苗の様子
- 図 6-9 ハウスと露地によるセル成型苗の仮茎長の比較
- 図 6-10 ブロックとエキスパンドメタルによる簡易な育苗床
- 図 6-11 植付け時の周辺株の目安
- 図 6-12 円筒型苗挿入植付器
- 図 6-13 移植苗：葉令 4～5 枚で仮茎長 15cm 程度
- 図 6-14 株揃えの有無と欠株の確認
- 図 6-15 補植苗の違いと生育の違い
- 図 6-16 収穫後の地下部の比較
- 表 6-1 セル成型苗の発芽率
- 表 6-2 サトウキビセル成型苗の育苗経費
- 表 6-3 補植株と周辺株の収量比較
- 表 6-4 セル成型苗による減収軽減効果と収益性

第 7 章 サトウキビ用 3 作業同時株出管理機の開発

- 図 7-1 (a)導入当時の株揃機 (b)改良前の小型株揃専用機
- 図 7-2 開発した株出管理機
- 図 7-3 (a)重心の調整 (b)枯葉絡まり防止金具
- 図 7-4 軸距の修正 (開発機)
- 図 7-5 株揃深さ調節装置の開発
- 図 7-6 重心の測定
- 図 7-7 薬液量と肥料積載量を変化させた場合の重心位置
- 図 7-8 12Vモータとモータコントローラの結線

- 図 7-9 供試したモータコントローラの実出力波形
- 図 7-10 株出管理時の施肥
- 図 7-11 (a)PWMコントローラ (b)コントローラボックス
- 図 7-12 ナタ式施肥器と施肥位置の概略図
- 図 7-13 (a)ビルジポンプと噴口と (b)ポンプのON-OFF回路
- 図 7-14 ハーベスタ収穫時の高刈り発生と株揃前後の畝形状
- 図 7-15 株揃の有無と高培土後の覆土の状況
- 図 7-16 ハーベスタ収穫後の供試ほ場と株出管理
- 図 7-17 株揃処理の有無と雑草繁茂状況
- 表 7-1 株出管理機と作業機仕様
- 表 7-2 肥料流量
- 表 7-3 ビルジポンプ耐用時間
- 表 7-4 小型サトウキビ株出管理機の作業性能
- 表 7-5 株揃の有無による収量の違い
- 表 7-6 株揃の有無による収量比較
- 表 7-7 雑草発生状況調査

第 8 章 トラクタ装着型堆肥筋撒機

- 図 8-1 マニュアルスプレッダ
- 図 8-2 人力による堆肥の株元散布
- 図 8-3 堆肥筋播機の概要
- 図 8-4 散布の様子
(a)高培土直前の 3 条散布 (b)植付け直後の植溝 2 条散布
- 図 8-5 散布跡 (a)3 条散布 (b)2 条散布
- 図 8-6 堆肥の積込み方法
- 図 8-7 踏圧前後の土壌耕土の変化
- 図 8-8 植溝踏圧後の畦プロフィールと苗の覆土厚の変化
- 表 8-1 堆肥筋撒機仕様
- 表 8-2 堆肥の水分と散布の可否
- 表 8-3 堆肥筋播機を用いた 10a 当り作業時間

第 9 章 豚舎処理水散布機の開発とサトウキビへの施用効果

- 図 9-1 豚舎処理水散布機
- 図 9-2 ポンプと三方弁による給水と吐出
- 図 9-3 リレーボックスとシーケンス回路
- 図 9-4 散布機のポンプの吸込揚程と吐出量
- 図 9-5 送信機(WT-02)と受信機(WT-01)および操作試験実施ほ場
- 図 9-6 豚舎処理水散布状況
- 図 9-7 ホースの延長距離と移動速度関係
- 表 9-1 ホースの牽引抵抗
- 表 9-2 散布機とバキュームカーの作業能率
- 表 9-3 各試験区の化学肥料および処理水の施用量
- 表 9-4 処理水の増施量
- 表 9-5 化学肥料代替試験における夏植の収量
- 表 9-6 処理水の増施とサトウキビ収量
- 表 9-7 化学肥料代替の経済性：ジャーガル夏植での経費
- 表 9-8 豚舎処理水増施用の経済性：
夏植+株出 2 回(ジャーガルほ場 糸満市)
- 表 9-9 バキュームカーと散布機のコストの比較

第 10 章 フラットホースを利用した豚舎処理水散布技術

- 図 10-1 フラットホース散布法の機器構成
- 図 10-2 ホース巻取り機
 - (a) 12V バッテリー用ウインチ利用,
 - (b) 2.6kW ガソリンエンジン利用
- 図 10-3 (a)曝気槽の様子と(b)全窒素-EC の関係
- 図 10-4 ほ場の散布状況
 - (a)散布用ハイデルスポンプと(b)フラットホース
- 図 10-5 フラットホース法の試験結果
 - (a)飛散の状況と(b)フラットホース各穴の流量, (c)片側飛散幅
- 図 10-6 フラットホース (φ 9mm) の散布結果

(a)吐出状況 (b)各穴の吐出量 (c)圧力と吐出量

図 10-7 バキュームカーでの散布状況(2人組作業)

図 10-8 巻取機リールハブの直径と巻取り時間

図 10-9 はめ込み式の簡易タンク：容量約 7 m³

表 10-1 沖縄本島および南部地区の処理水排出量と
サトウキビほ場への散布可能面積

表 10-2 フラットホース散布法とバキュームカーの作業時間比較

表 10-3 フラットホース散布法とバキュームカーの稼動経費の比較

第 11 章 サトウキビの安定的増収に向けた機械化技術

図 11-1 満タン法 (a)従来方式 (b)改良法：J字管法

図 11-2 補助タンク法による燃料消費量の測定

図 11-3 補助タンク法の燃料の流れ

図 11-4 無付加状態でのトラクタのエンジン回転数と燃料消費量

図 11-5 ツースハローとディスクハロー

図 11-6 小型牽引型管理機（平均培土）

図 11-7 牽引型中耕・除草機

(a)ボーンネル社 B59, (b)ボーンネル社カットアウェイカルチ

図 11-8 2連ロータリカルチ：中耕除草，高培土作業用

表 11-1 プラウ，プラソイラおよびロータリの燃料消費量

表 11-2 プラウとプラソイラの作業性能

表 11-3 J字管法による燃料消費量の実測

表 11-4 補助タンク測定法による燃料消費量の試算値

第 12 章 安定的増収に向けた機械化技術に関する総合考察

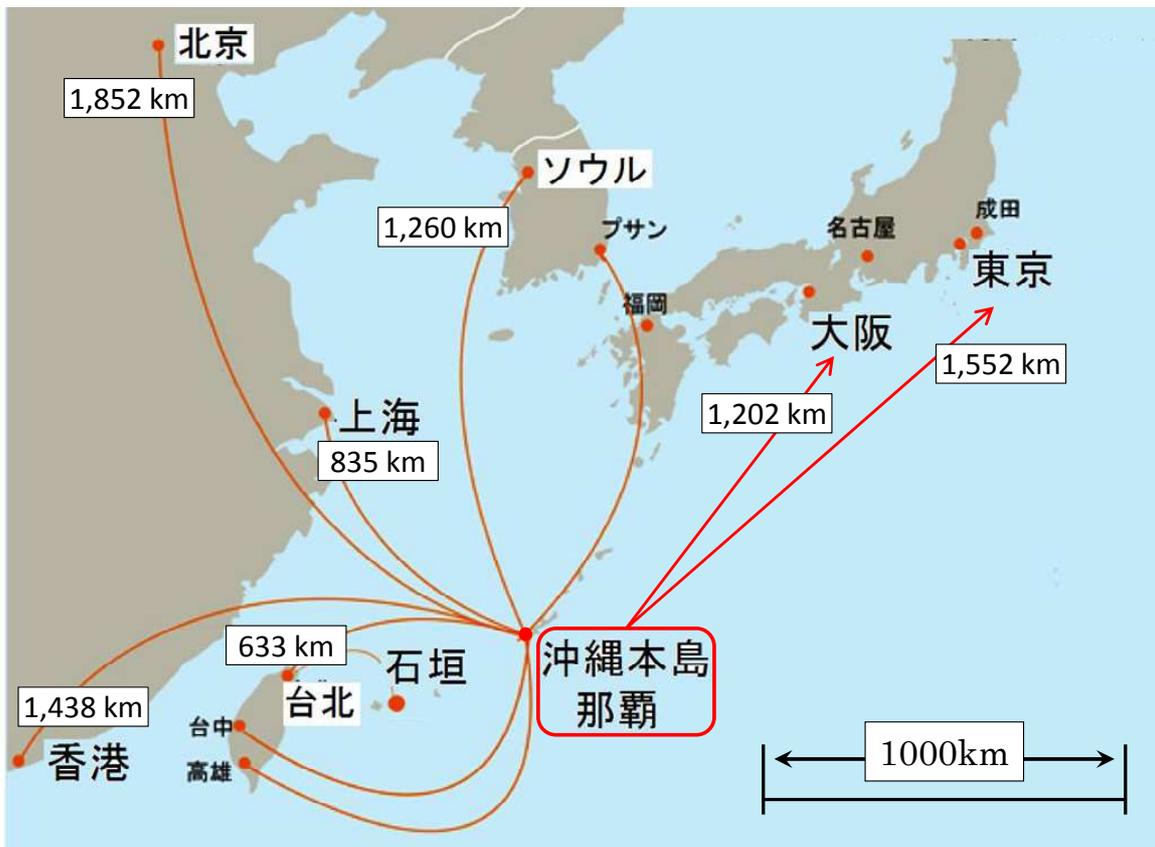
表 12-1 小型機械化体系の作業機とその性能

第 1 章 緒 論

1-1 沖縄県の概況と農業生産

(1) 沖縄県の位置

沖縄県は南西諸島に属しており，南北約 400km，東西約 1,000km に及ぶ広い海域に，大小 160 の島々（有人島 49 島）からなる島嶼県である。北緯 24~28 度，東経 122~132 度に位置し，気候は亜熱帯海洋性気候で県都である那覇市の平均気温は約 23℃と温暖で，降水量は年間約 2,000mm である。夏から秋にかけては台風の襲来で強風や塩害で農作物への被害が頻発する。また，冬場は曇天が多く日照時間が短い。日本本土と東南アジアの中央に位置する（図 1-1）地理的有利性を生かし近年，黒糖や紅イモ加工品，モズクなどの農水産物そして泡盛（沖縄焼酎）や海塩も輸出・移出されている。



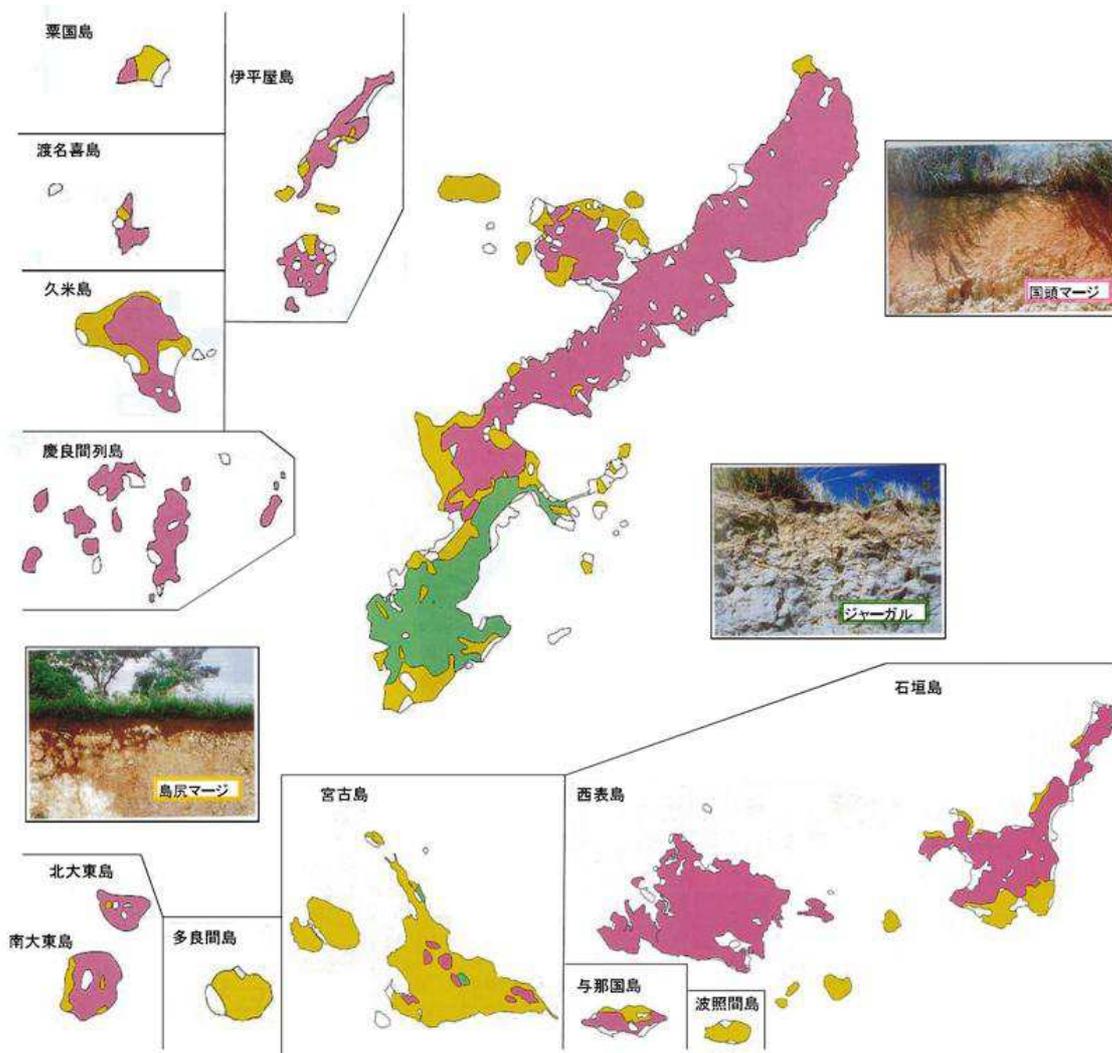
出典：「沖縄の農林水産業」（沖縄県農林水産部，2014）

図 1-1 沖縄県の位置

(2) 沖縄県の土壌

土壌は主に4種類分布する。通称、国頭マーヅと呼ばれる土壌が約55%、島尻マーヅと呼ばれる土壌が約27%、ジャーガルと呼ばれる土壌が約8%、そしてカニクと呼ばれる土壌が10%を占めている。

土 壤	土 性	分布割合	主 要 作 物
国頭マーヅ	酸性	55.1%	さとうきび・パインアップル・果樹
島尻マーヅ	弱アルカリ性	27.4%	さとうきび・野菜
ジャーガル	弱アルカリ性	8.0%	さとうきび・野菜
沖積土壌		9.5%	水稲



出典：「沖縄の農林水産業」（沖縄県農林水産部，2014）

図 1-2 沖縄県の土壌分布

国頭マージは赤色土や黄色土からなる土壌で県全体の半分以上を占めている。特徴として酸性が強く保肥力が弱く、強粘質である。土壌浸食しやすいので下層土への土壌浸透などによって耕土（赤土）流出防止に努める必要がある。次に多い土壌は島尻マージと呼ばれる琉球石灰岩を由来とする、暗い赤色土や黄色土である。pHは酸性からアルカリ性である。土性は粘土質であるが排水性は良好な反面、干ばつ害を受けやすく、養分含量は低い。ジャーガルは、土の色は灰色で、多量のカルシウムを含有しアルカリ性である。肥沃な土壌であるが粘土質が多く、排水不良である。カニクは沖積土壌で、組成は砂質から粘土質まで幅広く、組成により排水過多から排水不良まで性状は様々である。

(3) 沖縄の農業生産

沖縄県の2013年度の農業産出額は877億円で、耕種部門が492億円で畜産部門が385億円であった。この中で、野菜が128億円で農業産出額の15%を占めている。主な作物はゴーヤーやインゲンである（図1-3）。花きは約11%を占めており、主な作物はキクと切葉である。果樹は6%を占めており、そのうちパイナップルが13億円でマンゴーなど熱帯果樹が39億円であった。サトウキビは146億円で農業産出額の17%を占めている。

野菜:128億円



ゴーヤ

花卉:94億円



キク

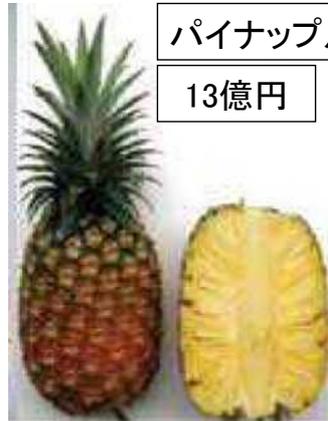
果樹:39億円



マンゴー

パイナップル

13億円



サトウキビ:146億円



図 1-3 沖縄の主な農産物と生産額

1-2 沖縄県のサトウキビ生産

図 1-4 に示すように、分蜜糖工場は沖縄本島(2工場)、久米島(1)、伊是名島(1)、北大東島(1)南大東島(1)、宮古島(2)、伊良部島(1)そして石垣島(1)に合計 10ヶ所に製糖工場があり、2013年度

は 74,549 トンの分蜜糖を生産し本土の精製糖工場へ出荷している。含蜜糖（黒糖）工場は伊平屋島（1 工場）、伊江島（1）粟国島（1）、多良間島（1）、西表島（1）、小浜島（1）、波照間島（1）そして与那国島（1）に合計 8 箇所製糖工場があり、2013 年度は 7,130 トンの含蜜糖（黒糖）を生産している。このようにサトウキビは各離島で生産されており島の重要な産業となっている。



図 1-4 沖縄県の島々と製糖工場の位置

(1) サトウキビ生産の現状

沖縄県の基幹作物であるサトウキビは、以前は人力による丁寧な

栽培が行われ、1960 年前後から始まる増産ブームを経て生産量は増加を続け、ピーク時には 200 万 t を超える生産量があった。しかし、1990 年前後から減産傾向が顕著となり、生産量が 100 万 t を下回って以来 20 年近く経過した（図 1-5）。1960 年代前半から 1990 年までの約 25 年間の年間生産量の平均は 160 万 t で、その後の 2014 年までの約 25 年間の年間生産量の平均は 80 万 t と 1/2 に減少した（沖縄県農林水産部，2014）。この間、生産量に大きな影響を及ぼす収穫面積は約 2 万 ha から 1.2 万 ha へと約 60% の減少となっている。これは 1960 年前後から 1990 年前後への担い手の世代交代が円滑に進まなかったことが大きな要因と思われる。

2013/14 年産のサトウキビ生産量は 68 万 t で収穫面積は 1.2 万 ha である。国、県および関係団体は増産に向けて様々な施策を展開しているが、沖縄本島北部・中部や南部では、単収の低下傾向も 1990 年前後から続いており（図 1-6）、同時にサトウキビ作農家の急激な減少が平行して進行している。実際には、1ha 以上の作付面積でサトウキビを精力的に生産している農家や生産法人の減少はそれほど進んでいない。一方、1ha 未満を労働集約的に生産する相対的に規模の小さな農家の減少は顕著で（図 1-7a）、生産量だけでなく単位面積当りの収量（以下、単収）の低下にも大きく影響していると考えられる（沖縄県農林水産部，2014）。

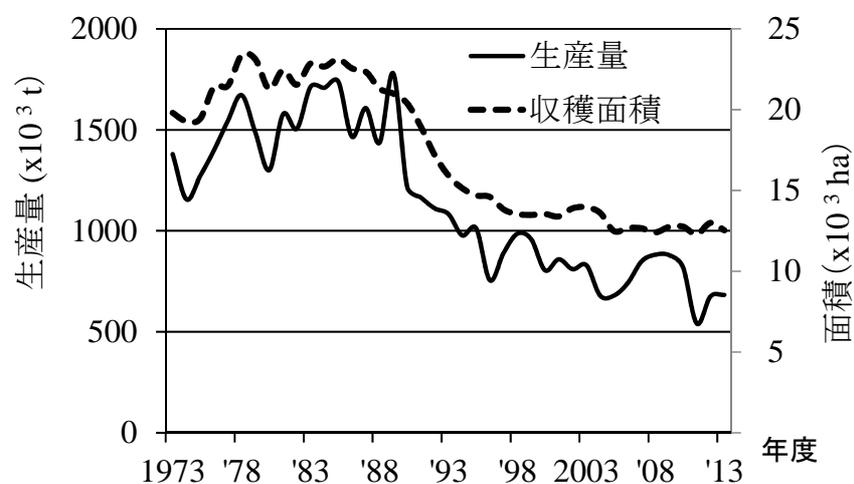


図 1-5 沖縄県におけるサトウキビ生産量の推移

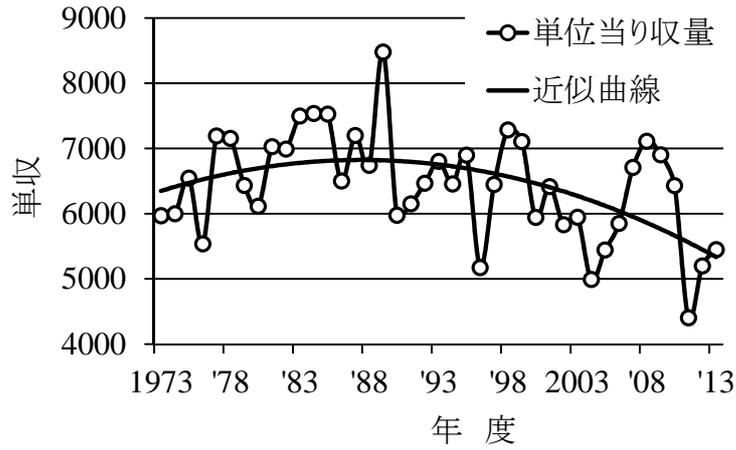


図 1-6 沖縄県におけるサトウキビ単位収量の推移

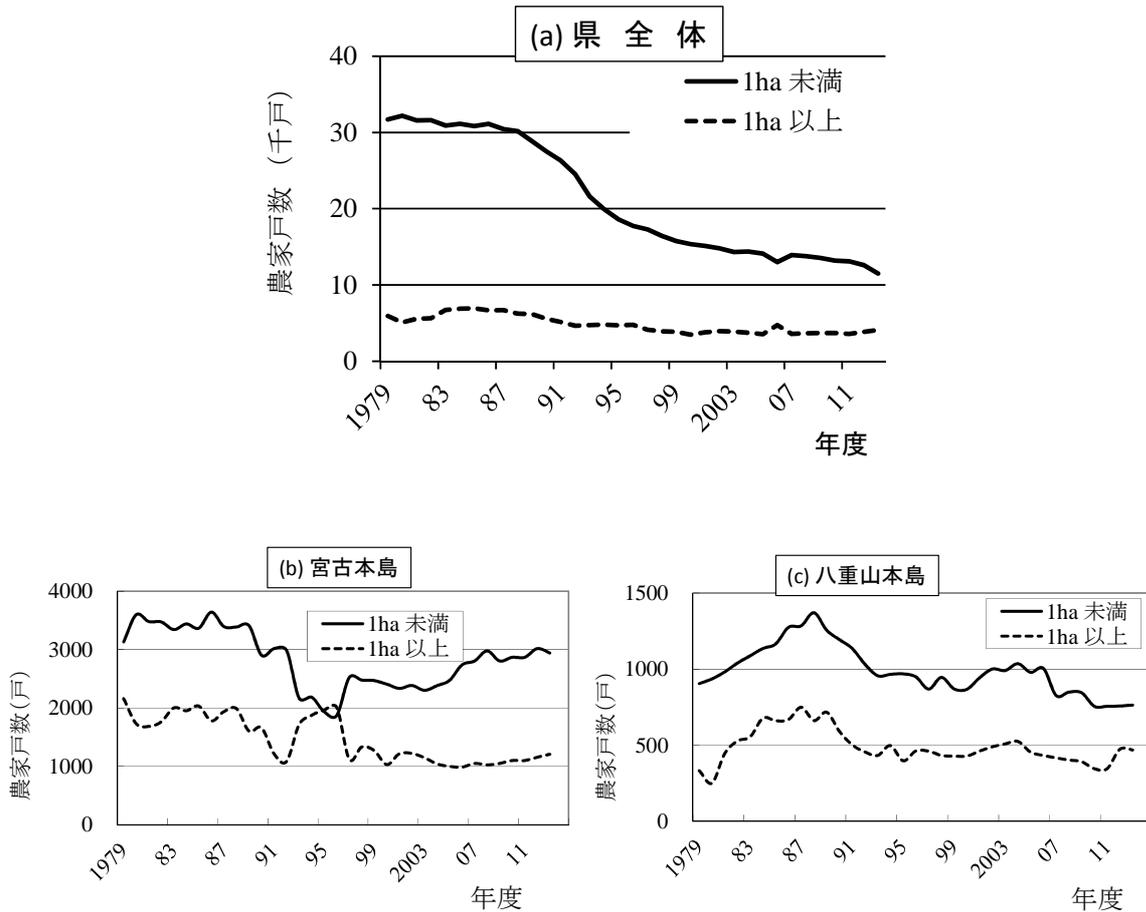


図 1-7 沖縄県におけるサトウキビ生産農家戸数の推移

(a) 県全体 (b) 宮古本島 (c) 八重山本島

本島地域に比べて宮古地域や八重山地域では農家戸数の減少の低下が緩慢である（図 1-7b,c）。農家所得および地域経済がサトウキビへの依存度が高い離島地域では、相対的ながら世代交代が継続的に行われていることが推測される。

2010年の農業センサス（農林水産省，2010）では，沖縄県の75才以上の農家人口は25%を超えている（図 1-8）。また，65歳以上の占める割合すなわち高齢化率は56%となっている。沖縄県内では，農家の高齢化と担い手不足は進行しており，これらが減産の第一義的な原因であると推察される。

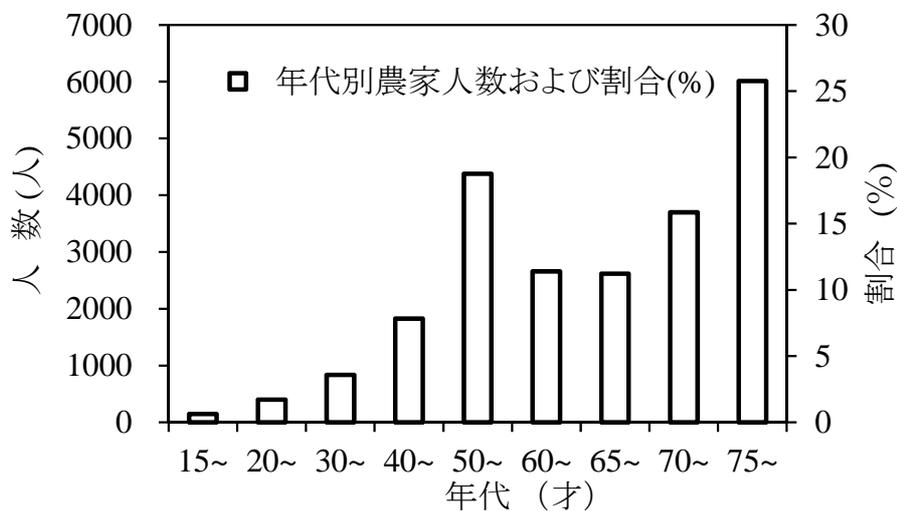


図 1-8 沖縄県の年代別農業者人数と割合（2010年農業センサス）

高齢化と担い手不足に起因するサトウキビほ場管理状況の変化は顕著である。30年前は，現在より丁寧にサトウキビを栽培していたのが見受けられた。例えば，剥葉作業が普通に行われ，ほ場内では50m先まで見通せるぐらい丁寧な管理を行っていた（図 1-9a）。培土作業は，枯葉を片方の畦に寄せて片側をスコップで培土し，次に枯葉を再び片方へ寄せて培土を行っていた（図 1-9b）。また，欠株対策については，スコップを使った株分けによる補植を行っていた（図 1-10）。ほ場では雑草はほとんど見られなかった。このような管理を行う比較的小規模で高単収をあげていた農家が減少し続けているこ

とが長期的な低収要因ではないかと考える。



図 1-9 (a) 剥葉作業後のほ場

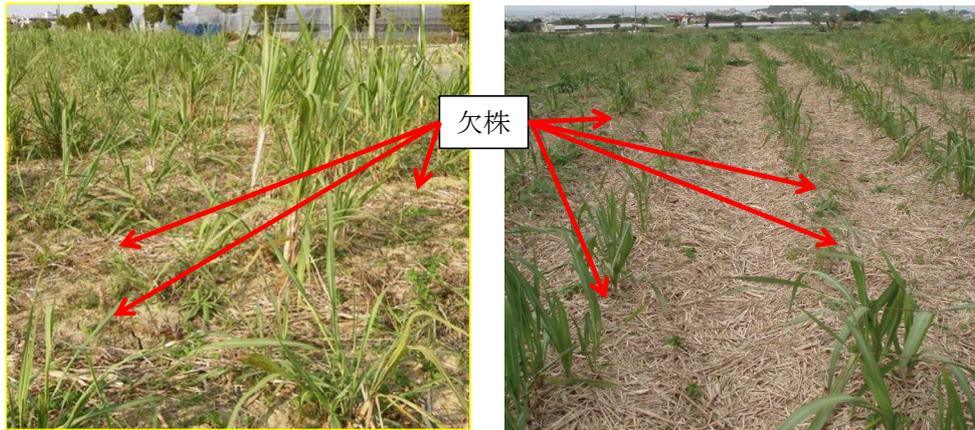


(b) スコップでの高培土ほ場



図 1-10 スコップによる株分け補植

現在では 30 年前のようなきめ細かな肥培管理を農家に求めることはできない。しかし，現状のほ場管理状況といえは，手刈後の畦間の肥培管理（株出管理）はほとんど行われておらず，欠株と雑草が目立つ。ハーベスタ収穫ほ場では，肥培管理の遅れと，植付け時からの欠株が顕著で（図 1-11），減収の要因のひとつとなっている。



(a) 手刈りほ場の欠株

(b) ハーベスタ収穫ほ場の欠株

図 1-11 手刈およびハーベスタ収穫後の欠株状況

(2) 沖縄県のサトウキビ機械化の経緯

1980年代後半以降は、世代交代が滞り高齢化と担い手不足が進み、南北大東島や石垣島と同様に沖縄本島地域などでも機械化が推進されるようになった。本島地域などでは大型機械の導入が困難なため、以前より刈取機と調整・運搬用の脱葉機などの開発・導入が試みられ一定の普及をみた。刈取機は様々なタイプが開発されてきたが、沖縄県農業試験場ではトラクタ装着型の機種が開発された（大城ら，1989）。また，歩行型の機種も導入に向けた適応性の調査（新里ら，1989）や肥培管理機を含めた機械化一貫体系の調査などが行われた（赤嶺ら，1987）。

1990年前半まではハーベスタの導入は南・北大東島と石垣島に限られ，大型または中型ハーベスタで一部以外は外国製であった。大型ハーベスタは出力が約170kW以上で重量は10t以上ある。中型ハーベスタは出力が約95~170kWで重量は約10t以下である。南・北大東島に当初導入された大型ハーベスタはサトウキビほ場に火入（バーニング）した後に収穫を行うバーンタイプであった。1990年頃によくグリーンケーンハーベスタが導入されたが，バーンタイプに比べてエンジン出力や重量が大きくなる傾向にあった。諸外国ではバーンタイプの収穫機類が今でも多く稼働するが，南米やオー

ストラリアなどでも大型グリーンハーベスタの評価が行われ（Morandini et al., 2005）、すでに定着しつつある。

沖縄本島では、重量やサイズの大きなハーベスタを導入することは困難であったので、まず中型グリーンケーンハーベスタが導入され、作業性能や適応性などに加え、肥培管理機を含めた機械化一貫体系の調査が行われた（大城ら，1990）。また、同時に国内農業機械メーカーによる 50kW 程度の小型ハーベスタの試験的な導入が始まった（新里ら，1991）。2000 年以降から本格的に小型ハーベスタの導入が進められ（図 1-12）、機械化推進の中心的役割を担うこととなった。2005 年には、小型ハーベスタの稼働台数が中型および大型ハーベスタよりも多くなった。ハーベスタ収穫が南北大東島と石垣島や宮古島に限られていた 1990 年前半では、機械収穫率（面積割合）は県全体で 20%程度であったが、1998 年には 30%を超えて、2013 年度のサトウキビ収穫面積の内では、機械収穫の割合は約 58%となっている（図 1-13）。機械収穫の割合の内、ハーベスタ収穫は約 56%でその他は乗用型の全形式刈取機が約 1.5%程度ある。

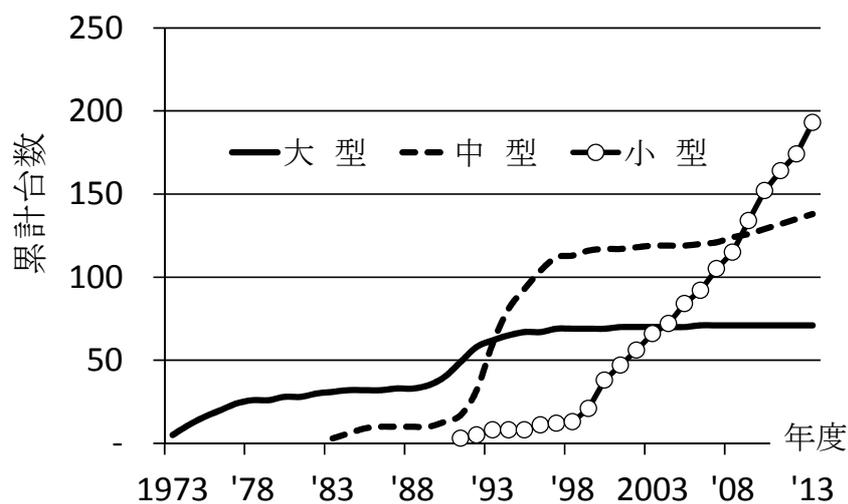


図 1-12 沖縄県の型式別ハーベスタ導入累積台数の推移

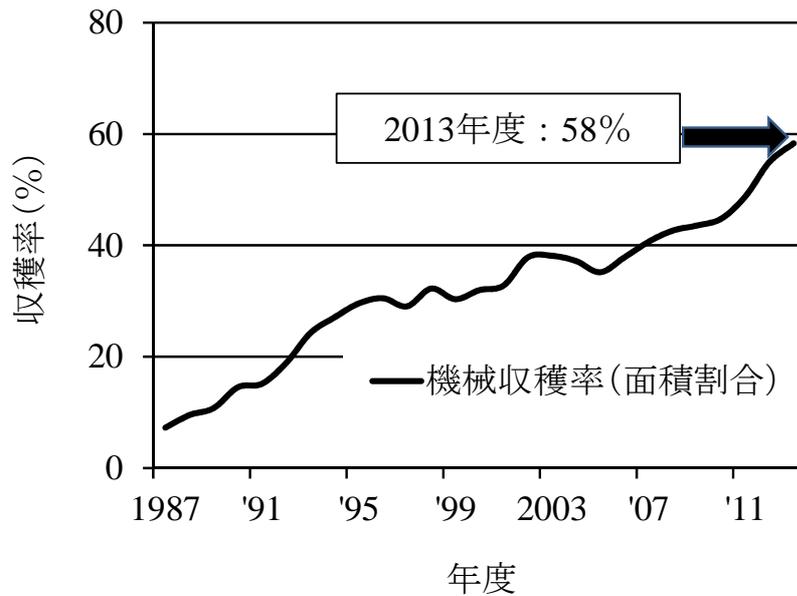


図 1-13 沖縄県の機械収穫率の推移

1-3 サトウキビ機械化体系

サトウキビの生産国ではオーストラリアやアメリカなどの先進国を除いて刈取作業は殆んど人力であるが，次第に収穫の機械化が進められている。オーストラリアやブラジルなどの先進国では，主として大型ハーベスタの体系である。収穫以外の機械化体系の問題点としてほ場内搬出やほ場から工場への搬送などの課題が研究されている（Hassan, et al., 2010）。近年は，人力収穫が主体のインド（Yadav, et al., 2007）や中国（Wegener, et al., 2013）などでも農村の労賃の上昇や人員不足などから，ハーベスタ導入の検討が始まっている。

沖縄県ではサトウキビの大型・中型・小型体系の分類としては主として利用するハーベスタの大きさと分類される。大型ハーベスタを利用する体系は適応する畦幅が約 150cm で，利用するトラクタは約 60kW 以上が利用され，南北大東島や石垣島では 75kW を超えるトラクタも導入されており，作業機も大型トラクタ用が用いられる。特に，植付け機はハーベスタで刈取られた蔗苗を用いるビレットプランタや中耕・除草では 2 連のカルチベータが用いられる。中型ハーベスタを利用する体系は適応する畦幅が約 140cm で，利用するトラクタは約 35~60kW 程度が利用される。小型ハーベスタを利用する

体系は、畦幅が 130cm 以下で、耕起や碎土は大型トラクタを用いるが、肥培管理は主として 15kW 級の軽トラクタが用いられている。しかし、これらの管理作業機に関しては、大型体系でも 15kW 級のトラクタを用いたり、小型体系でも大型のトラクタを用いたりする場合がある。

(1) 小型機械化体系

ここでは、沖縄県の小型ハーベスタを中心としたサトウキビ機械化体系について概述する。小型ハーベスタ体系が定着しているのは日本が大きく先行しており世界的にもあまり例がない。図 1-14 は沖縄県における小型ハーベスタを中心とした代表的なサトウキビ機械化体系である（赤地ら，2007）。

I 新植栽培



① 耕起: プラウ(左)、パワーショベル(右)



② 砕土: ロータリ



③ 植付(プランタ): 牽引型(左)、ロータリ装着型(右)



④ 中耕: 軽トラクタ(左1連)、大型トラクタ(右2連)



⑤ 高培土: 軽トラクタ



⑥ 病害虫防除: 動力噴霧機



⑦ 収穫: 小型ハーベスタ(左)
大型ハーベスタ(右)

II 株出栽培



⑧ 複合型(株揃・施肥・除草剤散布)
小型株出管理機



⑨ 心土破碎: サブソイラ、ハーフソイラ

株出栽培
3回程度繰返

その他の農業機械

水肥散布: バキュームカー

培土: 耕うん機

防除: ブームスプレーア

図 1-14 沖縄県のサトウキビ機械化体系の例

(2) 植付けと肥培管理

サトウキビの作型には新植栽培と株出栽培がある。新植は、1~3月に植付ける春植栽培と、8~9月に植付ける夏植栽培に分類される。図1-9⑦収穫に小型ハーベスタと大型ハーベスタが示してあるが、いずれを用いるかによってほ場の栽植様式すなわち畦幅が異なる。小型ハーベスタを使用するほ場の畦幅は130cm程度で、中型ハーベスタおよび大型ハーベスタでは140cm~150cmが適正な畦幅である。それぞれで使用する作業機などが異なるので、必要に応じて、小型体系および中型・大型体系に分けて記述する。

最初の作業である①耕起作業は一般的にはプラウが利用されている。南部地域のジャーガルほ場の一部では、パワーショベルを用いた天地返しが行われ、80cm程度まで深耕して雑草を埋没させることから、植付後の管理作業は省力的である。一般的にはプラウが利用されている。②ロータリで碎土作業を行った後、③プランタにより植付が行われる。プランタには牽引型とロータリ装着型がある。いずれも全茎のサトウキビが用いられ、切断部で25cm程度の長さに切断された苗が植溝に落下し、覆土されていく。施肥機および除草剤散布器が装着されたプランタが普及しており、植付と同時に植溝に肥料が施され、除草剤が散布される。植付後、仮茎長が25cm前後に成長した時に、④中耕（平均培土）を行う。

小型ハーベスタが利用されるほ場では、単軸ロータリを装着した15kWクラスの軽トラクタが畦間に進入し1畦ずつ中耕作業が行われる。中型・大型ハーベスタが利用されるほ場では、60kW級の大型トラクタに装着した2軸分離ロータリによって1工程2畦処理される。通常、施肥機も装着され中耕と同時に肥料が施肥される。仮茎長50cm前後になると最終施肥を兼ねた⑤高培土作業を行う。病虫害の発生には適宜⑥動力噴霧機などで防除作業が行われる。

(3) 収穫作業

沖縄県のサトウキビ収穫時期は、現在では主に1~3月である。含蜜糖（黒糖生産）地域では刈取機が利用される場合もあるが、機械

収穫の場合はほとんどが⑦ハーベスタ利用である。南北大東島と石垣島では、現在でも大型ハーベスタと中型ハーベスタが主流である。一方、沖縄本島や宮古島では小型ハーベスタが主流となりつつある。小型ハーベスタはワンマンタイプで、細断された収穫茎 0.8t 程度を収納する袋を機体後方に装着する構造となっている。収穫とほ場外への搬出は基本的にオペレータが行い、通常は補助者が 1 人ついて、収納袋の取付けや刈取りロスの拾い上げなどを行っている。大型ハーベスタでは、図 1-14 に示すように収穫された細断茎をハーベスタと並走するトラックやハイダンプ式の運搬車に収納する。収納されたサトウキビは、トラックの場合にはほ場からそのまま道路を走行して製糖工場へ搬入する仕組みである。ハイダンプ式の運搬車やトラクタ牽引型のハイダンプトレーラでは、ほ場外でトラックへ積み替えて製糖工場へ搬入される。いずれにしてもそれぞれの機械にオペレータが各 1 名の計 2 名が作業に当たり、加えて補助者を付けることが推奨されている。中型ハーベスタは小型と大型の中間タイプで、機体後方に収穫袋を装着するタイプと、伴走車で収穫茎を収納するタイプがある。

小型ハーベスタは重量が 8t 以下で、走行部は全てクローラで接地圧が小さいので土壌踏圧が軽減される。一方、大型および中型ハーベスタは、刈取能力は高いが、機体重量が 10t 程度あり、ホイールやセミクローラが多く接地圧が大きい。ハーベスタ本体および伴走トラックや運搬車による土壌踏圧や株の踏み潰しが大きな問題となっている。

(4) 株出管理

新植サトウキビを収穫した後、地中に残った親株からの萌芽による株出栽培が行われている。ハーベスタ収穫が終了したほ場では速やかに⑧複合型小型株出管理機により株出管理が行われる。複合型株出管理機は中型および大型トラクタ用と軽トラクタ用が開発されており、株揃、施肥および除草剤散布の 3 作業を 1 工程で行うことが可能である。株揃作業はハーベスタ収穫後直後に行い、ロータリ

カッタによって高刈された残茎を切除処理するが，畦が均平になるので，その後の適正な培土作業が可能になる。また，サトウキビが成長すると，特に株間の雑草処理に手間取るので収穫直後に行う株間への除草剤散布が不可欠な作業である。株揃作業によって株周辺の枯葉が除去されるので，直後に噴霧される除草剤を株間への確に作用させることができる。

複合型株出管理機による作業の後は心土破碎が行われる。ハーベスタが通過した後や，伴走車が通過した畦間は踏圧によって固く締め固められており，そのままでは排水不良や発芽および生育不良の原因となり，減産の原因となる。そこで，⑨サブソイラやハーフソイラによる心土破碎を行うが，これらは地表下 50cm 程度まで作用することができる。

その後の管理は④中耕に戻り新植栽培と同じ工程が繰返される。通常，株出栽培は 3 回程度行われる。

その他の管理作業として，堆肥散布にマニユアスプレッダ，水肥散布にバキュームカーが利用されている。大区画ほ場では動力噴霧器の代わりにブームスプレーが用いられ，小区画ほ場では肥培管理にトラクタ装着型の管理機の代わりに耕耘機（歩行型トラクタ）による管理が行われる。

参考文献

赤嶺文雄，大城健，新里良章，1987. サトウキビ作の機械化作業体系．昭和 62 年度サトウキビ試験成績概要集，沖縄県蔗作研究協会，16，420-421.

赤地徹，新里良章，上原数見，2007，さとうきびの機械化の必要性と利用．沖縄県糖業農産課編，さとうきび機械利用推進の手引き．沖縄県農林水産部，那覇，7-10.

Hassan, A. Abdel-Mawla, 2010. Efficiency of mechanical cane loading in Egypt. . Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists, 27, 1-13.

- Morandini, M., Figueroa, R., Perez Zamora, F., Scandalariis, J., 2005. The effects of green-cane trash blanket on soil temperature, soil moisture and sugarcane growth. *Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists*, 25, 231-237.
- 農林水産省, 2010. 平成 22 年農業センサス
- 沖縄県農林水産部, 2014, 平成 24/25 年さとうきびおよび甘蔗糖生産実績. 沖縄県, 那覇, 65-68.
- 大城健, 赤嶺文雄, 新里良章, 宮平守邦, 1989. サトウキビ小型刈取機の開発. 沖縄農林漁業技術開発協会, 那覇, 1-56.
- 大城健, 赤嶺文雄, 新里良章, 1990. ハーベスタ作業性能調査. 平成 2 年サトウキビ試験成績概要集, 沖縄県蔗作研究協会, 20, 440-441.
- 新里良章, 大城健, 赤嶺文雄, 1989. 歩行型サトウキビ刈取機の性能調査. 昭和 63 年度サトウキビ試験成績概要集, 沖縄県蔗作研究協会, 17, 428-429.
- 新里良章, 大城健, 赤嶺文雄, 1991. 小型さい断式サトウキビ小型収穫機性能調査報告書. 沖縄農林漁業技術開発協会, 那覇, 1-74.
- Yadav, R. N. S., 2007. Mechanisation of sugarcane production in India. *Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists*, 26, 161-167.
- Wegener, M., Ou, Y., Yang, D., Liu, Q., Zheng, D., 2013. Mechanising sugarcane harvesting in china : a review, *Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists*, 28, (CD-ROM).

第2章 サトウキビ機械化体系の課題と本研究について

2-1 サトウキビ収量構成要素と機械化体系

サトウキビは野菜のように直接食される作物ではなく、製糖工程を経て砂糖の製造によって付加価値が生まれる工芸作物である。サトウキビの搾汁に含まれる蔗糖を濃縮して結晶化させ、蜜と分離することによって分蜜糖（粗糖）さらには精製糖ができる。サトウキビは茎に糖を蓄積することから、収穫される茎の地上部重量（茎重）と本数（茎数）が高いほど収量は高くなる。茎数は面積に影響されるので面積を固定した単位面積当たり収量（以下、単収）が重要な項目となる。単収に加えて茎中の糖分濃度すなわち甘蔗糖度が高ほど理論的な砂糖の収量すなわち産糖量は多くなる。

サトウキビの収量構成要素は次のように表すことができる。

- ① 単収（単位当面積当たりのサトウキビ収量）(g/m²) =
単位面積当たり生育本数(1/m²) × 1本重(g)
- ② 1本重(g) = 茎長(m) × 1m当りの重さ(g/m)
- ③ 1m当りの重さ(g/m) = 密度(g/m³) × 茎の断面積(m²)

日本分蜜糖工業会（1979）が示すように、1m当りの重さはおおよそ茎径の2乗の関数で表される（図2-1）。

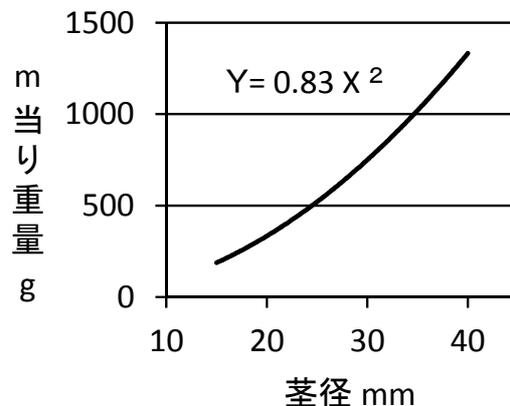


図2-1 茎径と1m当り重量

日本分蜜糖工業会（1979）表（P129）のデータより作成

沖縄県内では、サトウキビは畦幅 110～150cm で植付けられるが、畦幅と生育本数には負の相関が有り、畦幅が狭いほど茎数は増大する（日本分蜜糖工業会，1979）傾向にある（図 2-2）。

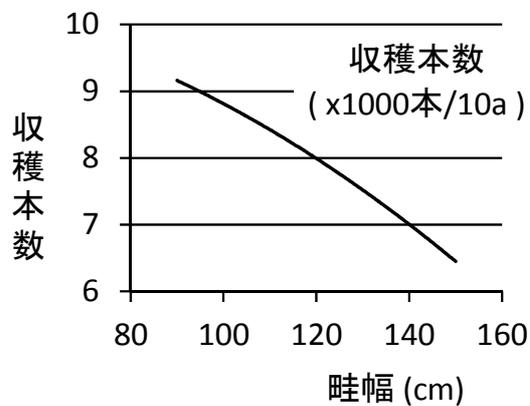


図 2-2 畦幅と収穫本数

日本分蜜糖工業会（1979）表（P39）のデータより作成

従来より指摘されているように、健全蔗苗の植付け、植付け後の補植や耕土の深耕など適正な栽培によって茎数、茎径や茎長を増大させることができる。また、堆肥散布などによって土作りを徹底すれば、1本重や糖度を高めて産糖量を増大させることが可能である。

機械化によってこれらの諸作業を適期に効率的に実施することが期待されている。沖縄県内ではハーベスタの導入に伴ってすでに多くの作業機が普及している。しかし、作業機の利用期間が制限され、外国製作業機が狭隘なほ場には適合しないまま利用されているなど問題点も指摘されている。本研究では、特に小型ハーベスタを用いた機械化体系において安定的な増収を可能とする技術の確立を目指して、それに伴う土壌踏圧などによる減産の解決や 15kW クラスの軽トラクタに適応可能な小型作業機の開発、改良などに取り組んだ。

2-2 沖縄県のサトウキビ機械化体系の課題

沖縄県内に導入されているハーベスタは、重量や出力などによって小型、中型および大型ハーベスタに分類され、収穫以外の作業に使用

する作業機や栽培方法に影響を与える。機械化体系の構築には、ハーベスタのサイズに適合する畦幅は最も重要で、さらにはサトウキビほ場のサイズや形状なども重要な因子と考えられる。これらに加えて、農家、生産法人の経営規模に適した機械化の構築が重要である。製糖期間中に収穫可能な面積（以下、負担面積）や導入経費などから試算される下限面積などが検討され、各地域にそれぞれにあった機種が導入されている（沖縄県，2009）。

小型ハーベスタは出力 95kW 以下で、適応畦幅は約 130cm，導入下限面積は 14ha である。中型ハーベスタは出力 95~170kW で、適応畦幅は約 140cm，導入下限面積は 21ha である。大型ハーベスタは出力 170kW 以上で、適応畦幅は約 150cm，導入下限面積は 23ha である。南・北大東島や石垣島などの大規模ほ場では一日の刈取量や製糖期間を通じた一台当りの収穫量の面から大型ハーベスタが効力を発揮している。特に、離島地域では担い手の不足からオペレータの確保も難しく、高効率機械が導入される傾向にある。一方、沖縄本島地域では、単収や産糖量に係る生育本数、ほ場サイズなどを考慮すると、狭い畦幅に適合できる小型ハーベスタが有利である（喜納ら，2006）。

小型ハーベスタの 8t 以下の重量に対して、大型ハーベスタは 10t 以上もあり、収穫作業では伴走車を伴ってほ場を移動する。そのため、株の機械的引抜きや踏潰しなどで、株出では小型ハーベスタよりも茎数が減少する。サトウキビ作では株出の単収と回数をいかに確保するかが重要な課題になるが、このようにハーベスタ収穫によって株出に悪影響を及ぼす問題が指摘されている。したがって、これらを適切に解決することが機械化体系の成否を握る重要技術となる。次にこれらの課題を整理する。

(1) 稚茎の刈取り

ハーベスタや刈取機による収穫では、収穫前に伸びた稚茎を刈り取ってしまう（図 2-3）。手刈においても近年増えている無脱葉収穫では省力化のために稚茎を残さずに刈り取るのが一般的である。

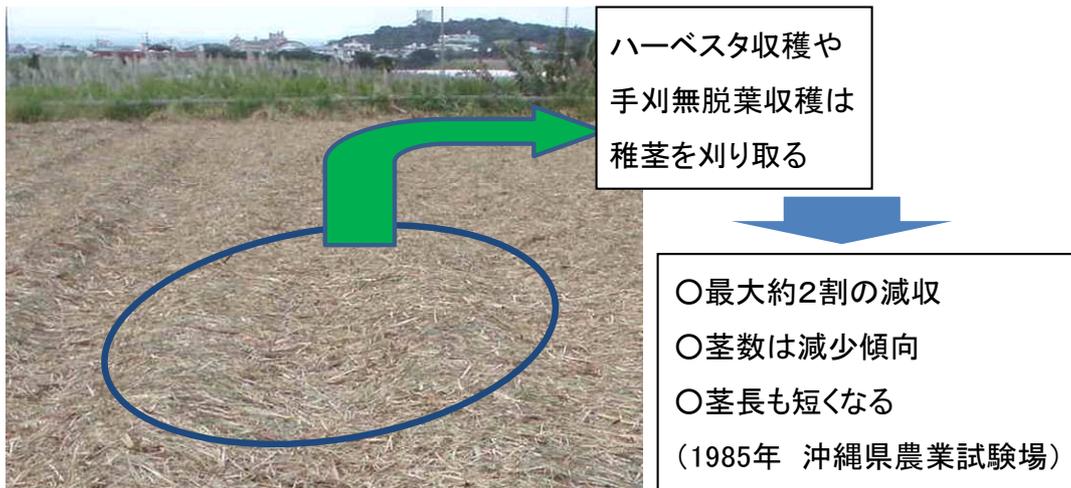


図 2-3 ハーベスタ収穫後のほ場面

このような稚茎切除による単収への影響として、沖縄県農業試験場（現：農業研究センター）の調査では減収となることが指摘されている（宮平，1983）。茎長が短縮し茎数も減少して最大で約2割の減収が生じた（図 2-4）。稚茎を刈り取る収穫作業後の株出栽培では、この減収をいかに抑えて、肥培管理を徹底し増収へと導くか必要となる。

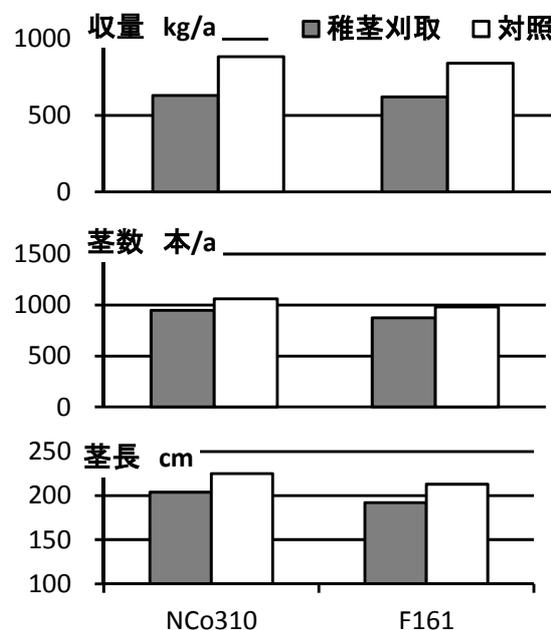


図 2-4 稚茎刈取りの影響

(2) 土壌踏圧

ハーベスタ収穫の先進地域では長年、大型トラクタとプラウによる耕起作業が行われてきた。プラウ耕起時には地表下 30cm 程度の犁床を前後の右タイヤが 2 回にわたって踏み固め耕盤層を形成する。ここではその様子を観察した。

a. 調査方法

沖縄本島南部地域の糸満市のジャーガルほ場においてプラウ作業を行った。58kW トラクタ（クボタ，M8300）とボトムプラウ（スガノ，18 インチ 1 連）を供試した。耕起作業終了時に右タイヤによる犁床の未踏圧，1 回踏圧，2 回踏圧部において，それらを覆ったれき土を除いて犁床を露出させた。90 日後にこれらの部分の土壌硬度を SR II 型土壌貫入抵抗計で測定した。

b. 調査結果

未踏圧の犁床はタイヤの轍が無く平坦で（図 2-5b），踏圧後の犁床にはトラクタの轍が残っている（図 2-5c）。未踏圧部の土壌硬度は約 1200kPa である。踏圧後の土壌硬度は 1700kPa まで上昇した（図 2-5d）。この程度の土壌硬度ではまだ根の伸張は可能である。

c. 機械化の進む地域の課題

長年にわたるサトウキビ単作ほ場では，この犁床の踏み固めは夏植や春植の植付け準備のたびに継続されている。さらに，収穫時にはハーベスタ，管理作業ではトラクタなどによる踏圧が繰り返される。小型ハーベスタで 6~7t，大型ハーベスタでは 10t 以上とトラクタ以上の重量があるため，南北大東島のような大型機械化の進むほ場では土壌は硬く締め固められている。しかし，他のハーベスタ稼動地域も含め，心土破碎による耕盤の膨軟化は十分に行われていない。硬盤層が形成されるほ場では，透水性が不良となって滞水する場合がある。排水対策として 70~90cm 下に暗渠を施工しても，その上に耕盤が形成されるので，サブソイラで毎年心土破碎を行わなければ効果は低いと思われる。

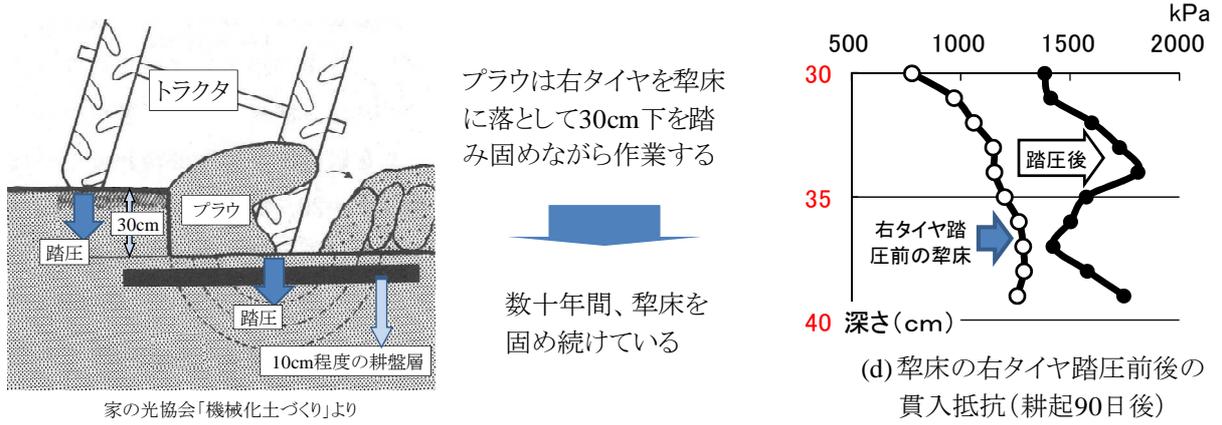


図 2-5 プラウ作業時の耕盤形成

(3) 大規模ほ場の耕土流出と排水不良

サトウキビの機械化を進める上で重要なことは、ほ場の形態が作業機の効率的な稼働に適していることである。2012年度時点のほ場整備率は58%で1990年に比較して1.5倍となっている(沖縄県農林水産部, 2013)。ほ場は大区画で均平になり、畦長は50~70m確保されてハーベスタなどの稼働性は大幅に向上した。ほ場整備とともに農道が整備され、ハーベスタが旋回する枕地が確保され、また、資材搬入や収穫原料の搬出などが容易になり、効率の良い機械作業が可能となった。

しかし、重量機械による耕盤の形成などで雨水の地下浸透が妨げられ、表層部の流出水による耕土の流亡が発生している。それに加えて、アスファルト農道や排水溝などの整備により、流出した耕土が直接、河川や海岸を汚染する環境問題を引き起こしている。肥沃な耕土の流出はサトウキビ生産の面からもマイナスの要因となる。その対策として減耕起栽培や不耕起栽培が試みられた(大城ら, 2000)が、普及に

は至っていない。また、ほ場が均平になった反面、ほ場の中央部分に窪地が発生して停滞水が発生しやすくなる問題も起こっている（図2-6）。このような部分は土壤水分が通常より高いため機械作業によって深い轍ができやすく、停滞水が生じやすい環境を作っている。長期の停滞水は根腐れなどを引き起こしやすく減収の要因のひとつとなるので改良が必要である。



図 2-6 土地改良地区での排水不良

元来、粘土質が多く排水不良になりやすいジャーガルや国頭マージなど沖縄の代表的な土壌ではサトウキビの機械化栽培では心土破碎などの排水対策を重視して植付け前の準備をする必要がある。

オーストラリアではサトウキビ単作による地力の低下や重量機械によるほ場や株の踏圧に起因する収量の低迷が問題となっている。そのため、大豆の輪間作を推奨して機械利用を最小限に抑えることや部分耕起作業などによる踏圧やコスト低減のガイドラインを設けて普及に取り組んでいる（Kidd et.al., 2007）。沖縄の製糖期間は比較的気温が低く日照時間が短い。さらに、降雨によって土壤水分が高い状態で機械収穫が行われることが多い。上述した機械化のロスに対する増収対策と同時に、株の損傷や土壌の踏圧による減収（ロス）をいかに回避・回復して増収させるかが重要なポイントである。このような海外の先進的なサトウキビ産地が取り組む低コスト化・省エネ化の事例についても研究し、各地域に適応する技術に変えて県内の機械化体系を確立

して普及させる必要がある。

2-3 論文の目的と構成

(1) 目的

農家の高齢化と担い手不足は、手刈りほ場だけでなくハーベスタによる機械化作業ほ場のいずれにおいても栽培の粗放化の問題を生じさせている。これまでの機械化への取組みは、最も時間を要する収穫作業の機械化すなわちハーベスタ導入に重点が置かれ、適切な肥培管理の機械化への取組みは遅れがちであった。大型ハーベスタ導入地域では、2軸ロータリによる中耕施肥や株出管理時の心土破碎などに大型トラクタが用いられ、一通りの機械化管理作業体系ができています。一方、他の地域では中・小型ハーベスタの導入が先行し、機械化管理作業に必要な大型トラクタや作業機の普及は大幅に遅れていた。また、耕耘機など一般に普及している機械に装着できる作業機の開発も遅れていた。これらの理由によって、心土破碎を含む株出管理のための諸作業は適正に実施されていないのが実情であった。1~3月の製糖期間が終わって、株出管理や春植準備の時期に農村地域を巡って見るとこの間の事情がよくわかる。本来は植付け前から対策すべき耕盤（心土）破碎、堆肥など有機肥料施用による土づくりの機械化、および、株出管理の適正化、効率化、低コスト化などに関する多くの課題が残されている。

本研究は、農家の高齢化と担い手の減少を克服するためにサトウキビ栽培の機械化が進行する中で、上述の諸課題を解決する機械化技術を検討し、安定的な増収技術の確立を目的とした。その概要は次の通りである。

(2) 論文の構成

上記の目的を達成するために、本研究では小型機械化体系の確立を目指して、次の内容について図2-7に示す流れで研究を行った。

第1章 緒論

沖縄県のサトウキビ生産の現状を概括し、高齢化の進展や農家戸

数減少による担い手不足がもたらす粗放的な栽培と大幅な減産傾向について述べた。その対策として進められている機械化とりわけ収穫機械化の現状と沖縄本島を中心に展開されている小型機械化体系を整理した。

第2章 サトウキビ機械化体系の課題と本研究について

本章では、サトウキビの収量構成要素を検討し、ハーベスタの利用がもたらす減収の要因および機械化体系の課題について整理した。これらの課題の解決を図る本研究の目的を述べ、内容と流れを略述した。

第3章 牽引型全茎式プランタの改良

沖縄県では南・北大東島や石垣島でハーベスタの導入が始まり、当初は収穫前にはほ場内で枯葉を焼却するバーニングタイプの外国製大型ハーベスタが主流であった。それに合わせて導入された牽引式のサトウキビプランターも大型で畦幅 140cm 以上に対応する仕様そのままで使用されてきた。これは、本島地域や宮古島で導入が盛んになった畦幅 130cm の小型ハーベスタには適合しないので、本プランタの改良を行い既存機の有効利用を図った。

第4章 沖縄における小型ハーベスタの適応性

沖縄県内の多くの地域において小型ハーベスタが導入されているが、その作業性能は十分には把握されていなかった。そこで、中型ハーベスタなどとの比較も行って、作業性能を把握するとともに、小区画で降雨後の高土壌水分ほ場など劣悪ほ場への適応性を検討した。さらに、小型ハーベスタ収穫後の株出管理において耕耘機や軽トラクタによる肥培管理が可能であることを示し、小型機械化技術の確立に関する研究を行った。

第5章 心土破碎と暗渠によるサトウキビほ場の排水性改善効果

ほ場整備を行ったジャーガルほ場では排水性不良による減収が生じやすく、ハーベスタなどに機械利用はそれに拍車をかける傾向がある。排水性不良を低コストかつ簡便に改善する対策として、排土型心土破碎機（プラソイラ）による心土破碎と耕起の効果を従来の

プラウなどと比較して検討を行った。また、心土破碎だけでは改善できない排水不良なジャーガルほ場に関して、農家でも実施可能な暗渠の施工法として35～60 kWクラスのトラクタ用のオーガ式トレンチャによる暗渠施工および心土破碎機による補助暗渠施工を組み合わせ排水性改善技術を検討した。

第6章 サトウキビ新植およびハーベスタ収穫後の補植技術

ハーベスタ収穫による株の引抜きや踏潰しなどによって発生する株出の欠株対策として、サトウキビの一芽苗による効率的な育苗方法を検討した。一芽苗育苗に適合するセルトレイの規格化および一芽苗切断機の開発を行った。また、セル成型苗の補植時期などの検討や周囲の株に対する補植株の生育の比較調査を行い、セル成型苗補植技術とその費用対効果を検討した。

第7章 サトウキビ用3作業同時株出管理機の開発

ハーベスタ収穫によって生じた高刈株を放置すると萌芽茎が台風により弱くなり、また生育の不均一などによって減収の原因となるため、地上露出部を切除する株揃作業が行われている。通常の株揃機は大型トラクタに装着されるため、小型ハーベスタ収穫地域では作業できない地域も少なくなかった。第4章で述べたように、小型ハーベスタによる収穫ほ場では、軽トラクタや耕耘機を用いた平均培土、高培土、除草剤散布などの株出管理が可能である。最近では個別農家で15kW程度の軽トラクタの導入が進んでいるので、市販の小型株揃機をベースに、15kW程度のトラクタに搭載して株揃、施肥、農薬散布の3行程を同時に行える株出管理機の開発を行った。

第8章 トラクタ装着型堆肥筋撒機

サトウキビは在ほ期間が長く連作（株出）を基本とするために、堆肥など有機肥料による土づくりが増収のための必須条件である。堆肥施用の効果は、新植のみでなく株出でも堆肥施用で増収することが実証されている。堆肥施用は、重労働で、かつ耕種農家と畜産農家への分業化が進んだためにかつてのようには行われなくなっている。南・北大東地域、宮古島地域などの比較的規模の大きい地域

の一部において、植付け前にマニユアスプレッダで堆肥散布が行われているものの、それ以外の地域では堆肥散布はほとんど行われていない。マニユアスプレッダは、比較的小区画ほ場や株出ほ場には適さないため、このようなほ場でも散布が可能な堆肥筋撒機の開発を行った。

第9章 豚舎処理水散布機の開発とサトウキビへの施用効果

沖縄県に多い養豚業から排出される雑排水の処理水は、ほ場還元が難しく、環境汚染の原因となる一方、養豚農家の経営に支障をきたすケースも少なくない。サトウキビほ場への処理水の有効利用が可能になれば、増収と環境保全につながる。散布作業は、バキュームカーで行っているが、散布ムラが多く、重労働でコスト的な課題がある。これらの課題を解決するために、ホース巻取式の効率的で省力的な処理水散布機の開発を行った。

第10章 フラットホースを利用した豚舎処理水散布技術

前述のホース散布機とは異なる豚舎処理水の散布技術として、長さ50mのフラットホースを畦に沿ってほ場内に設置し、ポンプで散布する方式を開発した。フラットホースおよびポンプは汎用的で安価なものを選択し、水道資材やローリータンクいずれも汎用的な資材を用いた。これらをトラックに搭載して処理水を給水、運搬および散布するシステムである。さらに、処理水を化学肥料代替の液肥としてサトウキビに効果的に施用するのに必要な肥料成分の簡易評価法について検討を行った。

第11章 サトウキビ機械化における省エネ・低炭素化技術

サトウキビ機械化体系における様々な作業機は、作業能率とは場作業効率が高く燃料消費量が低いほど、農家や生産法人の経営は有利になる。そこで牽引型作業機とロータリ型作業機の比較や同様な機種種の燃料消費量を比較した。これらの結果と前章までの結果を整理して、機械化体系のあり方や今後の担い手として期待される大規模生産法人への機械導入などの方向性について検討した。

第12章 安定的増収に向けた機械化技術に関する総合考察

沖縄県における機械化の経緯と課題を述べ、機械化による生産性の向上についての考察を行った。サトウキビの機械化栽培におけるロス低減および増収に必要な技術について考察し、次に本研究で検討した機械化技術と増収との関係を述べた。また、本研究で開発した機械や技術の活用状況、普及状況についても述べた。

第13章 総括

これらの成果を取りまとめ、本研究で開発した技術の有用性を示し、機械化体系技術開発の今後の展開方向について述べた。

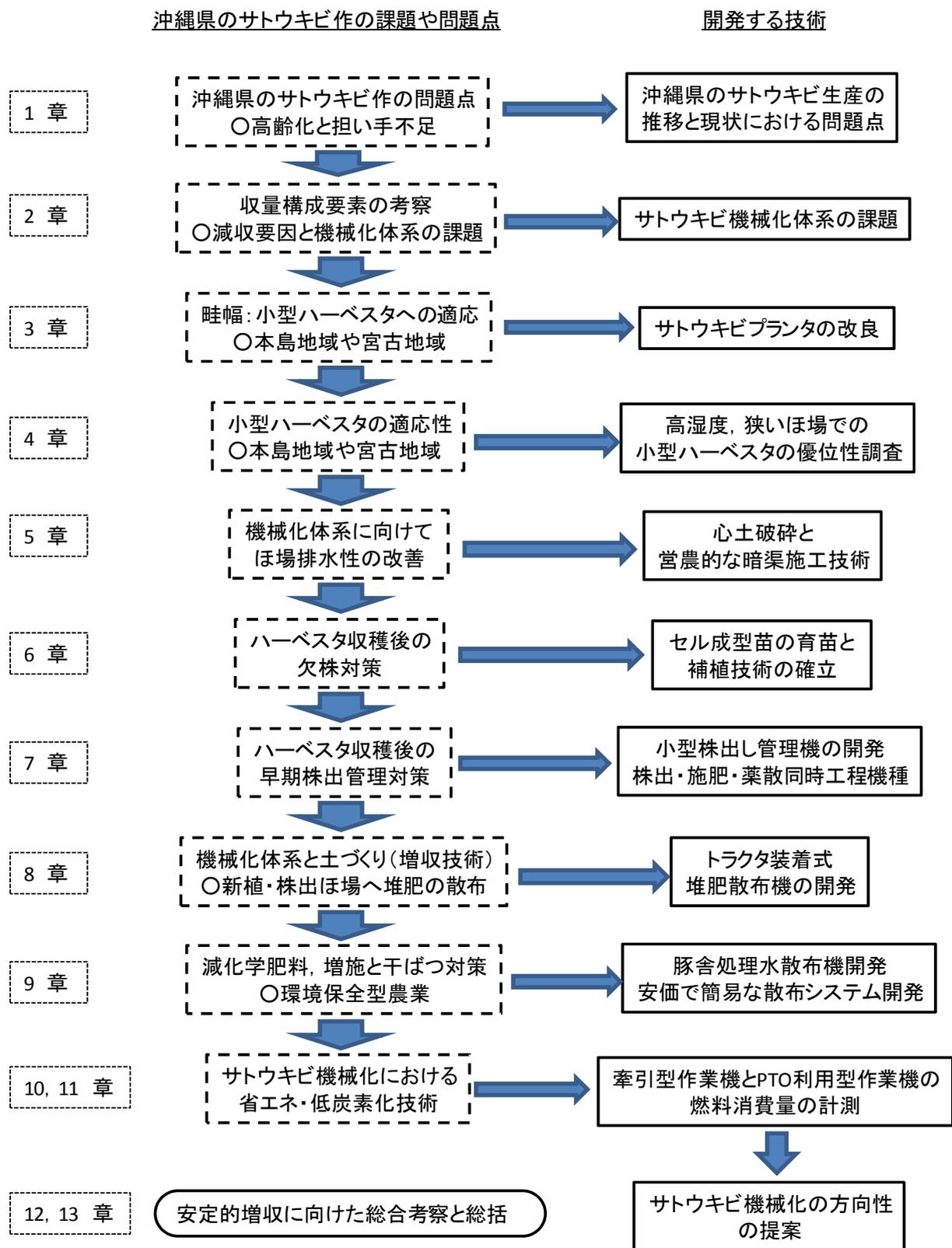


図 2-7 研究のフロー図

参考文献

- Kidd, J. G.; Robotham, B. G.; Whiteing, C., Garside, A. L., 2007. Development and modification of machinery for an improved farming system in the Australian sugar industry. Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists, 26, 103-113.
- 喜納兼二，比屋根真一，瑞慶覧みき，森田孟治，2006. 北大東さとうきび栽培管理改善マニュアル. 沖縄県農林水産試験研究推進会議編，平成18年度普及に移す技術の概要. 沖縄県，那覇，1-2.
- 宮平英憲，神谷寿幸，1983. 萌芽茎刈取りがサトウキビの生育・収量に及ぼす影響. 昭和58年度サトウキビ試験成績概要集，沖縄県蔗作研究協会，12，210-211.
- 日本分蜜糖工業会，1979，製糖工場農務必携. 日本分蜜糖工業会. 那覇，145-151.
- 沖縄県，2009. 沖縄県特定高性能農業機械導入利用計画，那覇，参22.
- 沖縄県農林水産部，2013，平成25年度ゆがふ「むら」づくり. 沖縄県. 那覇市，19-20.
- 大城正市，大田守也，屋良利次，2000. サトウキビ畑の減耕起更新法（春植）および不耕起管理法（株出）による土砂流出防止. 九州農業研究成果情報，15，75-76.

第3章 牽引型全茎式プランタの改良

3-1 緒言

2013年度現在，沖縄県内で稼働しているハ-ベスタは，大型18台，中型75台，小型174台である（沖縄県農林水産部，2014a）。南北大東島や石垣島で導入が始まり，当初，外国製の大型ハーベスタが主流であった。同時に機械化体系の一環として導入された牽引型全茎式プランタ（以下，牽引型プランタ）は，大型ハーベスタに適合する畦幅150cm程度のは場で利用され，その後もそのままの仕様で利用されてきた（図3-1）。



図 3-1 牽引型全茎式プランタ

小型ハーベスタは，2000年頃から導入が始まり，畦幅130cmに適応可能なため最近では導入の主流となっている。小型ハーベスタが中心の沖縄本島地域では，農家が保有する農業機械は15kW級トラクタや耕耘機が中心である。畦幅150cmのは場ではこれらの小型機械による中耕作業や高培土は困難である。牽引型プランタで植付けた畦幅150cmのは場の単収は，採植密度の関係で，畦幅130cmのは場より減収する可能性がある（上野ら，2005）。

沖縄県農業試験場（現，農業研究センター）では，畦幅130cmに適応するロータリ装着型側方サトウキビ植付機（以下，ロータリ装着型

植付機)が開発された(図 3-2)。これは、碎土、畦立、苗切断、施肥、農薬散布、覆土、填圧、除草剤散布の全作業を一工程で実施できる。このため、碎土作業などを含まない従来機種に比べて大幅に省力化できた(森田ら, 2004)。しかし、碎土作業はロータリによって行うため、作業速度は牽引型より遅く、ロータリの価格も加わるため高価である。



図 3-2 ロータリ装着型側方サトウキビ植付機

さらに、2005年頃からオーストラリア製のビレットプランタの導入が始まった(図 3-3)。この機種は、ハーベスタで収穫した細断茎(ビレット)をそのままプランタのホッパに投入して植付けることができる。あるいは、一昼夜水に浸漬した細断苗をホッパに投入して植付ける。牽引型プランタおよびロータリ装着型植付機では全茎苗の切断部への投入は人力で行われる。一方、ビレットプランタは、内蔵したコンベアによって細断苗が自動的に植溝へ落下する方式となっており、苗投入の作業者が不要で、省力的である。植付け時にはビレットプランタに座席を取付けるなどして苗の流れを整え、詰まりを防止する補助者が1人ついている。

また、植付機のコスト低減を目指して、碎土、畦間管理および植付けを一台で行う管理機が開発された(赤地ら, 1998)。碎土および植付けを同時に行う作業機でロータリ装着型植付機と類似の機種である。肥培管理には植付部を取り外して管理機として利用する。



図 3-3 ビレットプランタ

より省力的な植付機の開発を目指して、芽子の認識装置（末吉ら，2008）や苗の自動切断装置の開発（趙ら，1996）なども試みられている。通常の蔗苗ではなく，一定の大きさまで育苗した側枝苗を使用する植付機も開発された（玉城ら，2001）。人力による刈取り体系では新植の春植と夏植の平均作業時間の内，収穫作業に占める割合が約 45%，除けつ・剥葉に占める割合が約 25%そして植付作業は約 10%を占め，これらの 3 作業で 80%を占める（沖縄県，2010~2014）。ハーベスタ収穫を行うほ場では除けつ・剥葉は行わないので，植付作業はサトウキビ栽培の中でも大きな比重を占めており，さらなる省力化技術の開発が必要である。

上述のように，最近では，外国製の牽引型プランタに代ってロータリ装着型植付機やビレットプランタの導入が進められている。しかし，牽引型プランタは沖縄県内にすでに 170 台程度導入されている。また，作業速度が早く，構造が単純であるので，ロータリ装着型植付機やビレットプランタに比べて安価である。さらに，燃料消費量が少ないことも利点である。

本研究では，小型ハーベスタ向きの畦幅 125~130cm に植付けできるようにこの牽引型プランタの改良を行った。これによって，耕耘機や

15kW 級トラクタで管理作業ができるようになれば，大型ハーベスタ導入地域だけでなく，比較的小規模なほ場の多い本島地域などでも牽引型プランタの有効利用ができる。

3-2 牽引型プランタの改良方法

(1) 改良方針

牽引型プランタは 60kW 程度の大型トラクタを用いて植付け作業を行う。1~1.5m 程度の全茎苗を搭載する荷台が設置されており，作業者が 1 人搭乗して全茎苗を切断部へ投入する。すなわち，トラクタオペレータと植付け作業者の計 2 人作業が基本である。牽引型プランタには接地輪があり，その回転力はチェーンで苗切断部へ伝達され，全茎苗を切断しながら植付ける。同じくチェーン駆動の施肥機と農薬散布装置も装着されており，施肥，農薬散布および植付けが一工程で実施できる。チェーン駆動の代わりに 12V 電源で駆動する施肥機や除草剤散布機を搭載する機種もある。

トラクタの後方中心部の土壌を排土板で両側に排出して植溝を作り，その中に切断された苗を落とし，覆土・鎮圧して植付け作業を行う。全茎苗に加えて作業員 1 人が搭乗するので，適応トラクタは 60kW 級の大型トラクタである。問題点として，大型トラクタの後輪距は 140~150cm でタイヤ幅が約 40cm である。後輪の外側幅が 180~190cm 程度になるので畦幅を 140cm 以下に狭くするのは困難である。また，植溝幅を狭くして作溝を深くすると覆土が厚くなりやすく，発芽に支障をきたす。

通常，サトウキビ種苗（2 節苗）は，植溝深さ 20~30cm，覆土厚 3~5cm 程度に植付けるのが適正とされている（沖縄県農林水産部，2014）。供試した牽引型プランタ（図 3-4：ボーンネル社製）の改良は，畦幅を 125cm 程度に狭めても，適正な深さの植溝が作れ，それを崩さずかつ適正覆土厚を確保できる構造にすることを目標とした。



図 3-4 供試した牽引型プランタ

機体のサイズは、長さ 203cm、幅（鎮圧輪外側）170cm、高さ 205cm である。上記の目標を達成するために、ここでは、供試機の排土板、作溝部およびトラクタへの取付け 3 点ヒッチを改良した。

(2) 排土板の改良

牽引型プランタでは、①開溝部で作溝、②苗切断部で切断された 25cm 程度の 2~3 節苗が植溝へ落下、③覆土、鎮圧輪で土壌と苗が密着するように鎮圧の順序で、切断苗が 10a 当り 3000 本程度投入されるように植付ける。植付け時に、植溝の山が崩れると、覆土が厚くなり発芽不良の原因となる。従来の牽引型プランタは排土板の開き幅が 68cm と狭いため（図 3-5）溝を切るだけの作用しかない。そこで、植溝の幅を広くして、土が多少崩れても覆土が厚くならないようにした。

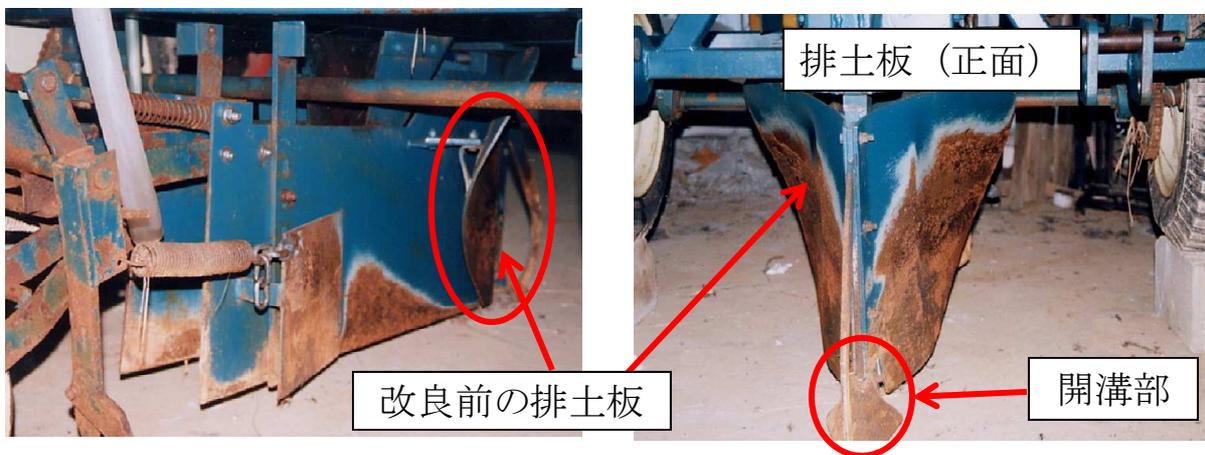


図 3-5 排土板の改良部分

排土板の開き幅を 105cm に広げることで排土量が多くなり，植溝の幅を広げることができるような構造になった（図 3-6a）。また，排出された土壌がタイヤとの間に詰まるのを防ぐために，タイヤの内側と排土板の端が 50mm 以上離れるように配置した（図 3-6b）。

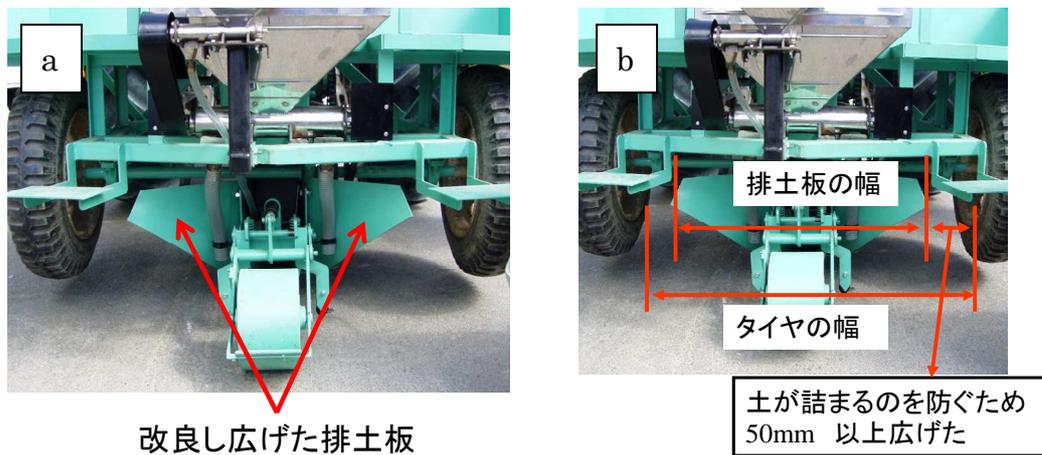


図 3-6 改良後の排土板（後方より）

(3) 作溝部

従来の牽引型プランタでは排土板の前に取り付けられた開溝部が小さく（図 3-5），さらに排土板が狭いので植溝斜面や山の部分の土壌が少しでも崩れると，覆土厚にムラが生じると考えた。まず，排土板が作用する前に，先行する開溝部を取付け（図 3-7a），開溝部と排土板に段差をつけた（図 3-7b）。



図 3-7 (a) 開溝部

(b) 開溝部と排土板の段差

これによって、①開溝部の作溝直後に落下した苗が、②溝の崩れで覆土されると同時に、鎮圧輪により填圧され、従来機より植溝が深くなる構造に変更することができた（図 3-8）。

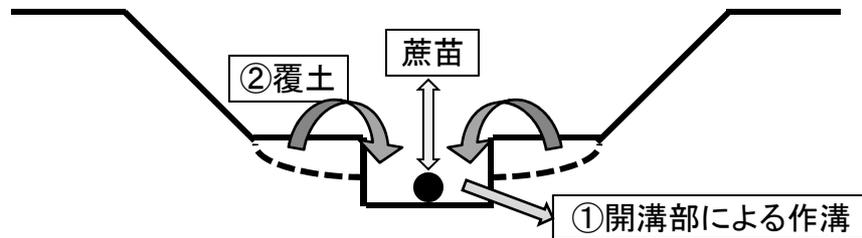
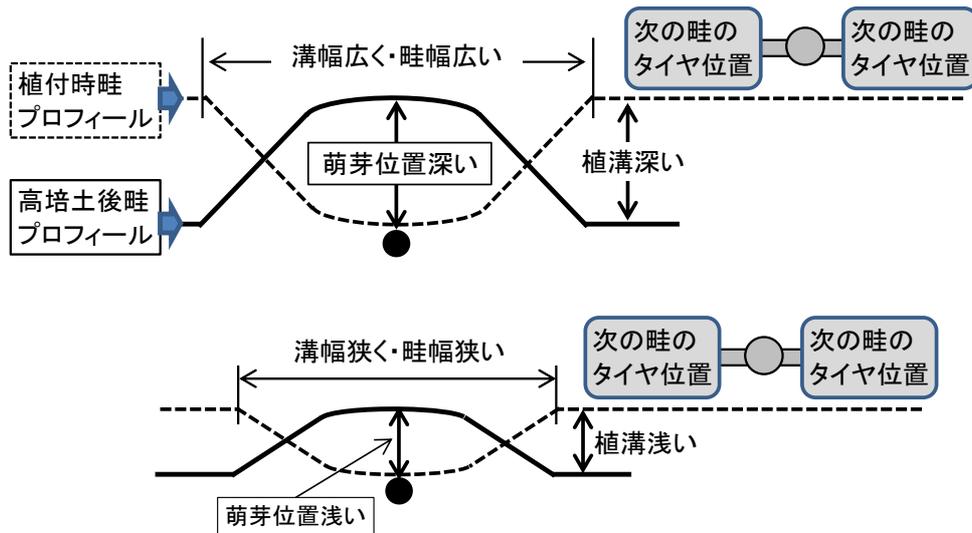


図 3-8 改良機による作溝の模式図

(4) ロワリンク、トップリンク取付部（3点ヒッチ）の改良

牽引型プランタは、中・大型ハーベスタが稼働する畦幅 140cm 以上に適応し、通常 145~150cm と広めに植付けられる。この場合には、前工程で形成された盛土部から離れた位置をトラクタのタイヤが通過するので山が崩れることはない。覆土を行う土量も多くあり、高培土も容易に行えて萌芽位置が深く設定できる（図 3-9 上）。しかし、畦幅を 140cm 以下に設定すると、前・後輪タイヤで盛土部を踏んで溝斜面を崩してしまうため、覆土が厚くなり発芽不良の原因となる。一方、溝幅を狭くすると盛土を崩さずに植付けが可能であるが、この場合は植溝が浅くなる（図 3-9 下）。植溝が浅くなると、高培土終了後にサトウキビの萌芽位置が浅くなり、根域が十分に発育していないので干ばつ時には影響を受けやすくなり、生育に悪影響を与える（図 3-10a）。台風や強風でサトウキビが容易に転倒し根部が露出して生育を阻害する（図 3-10b）。



畦幅を狭くすると浅くなる

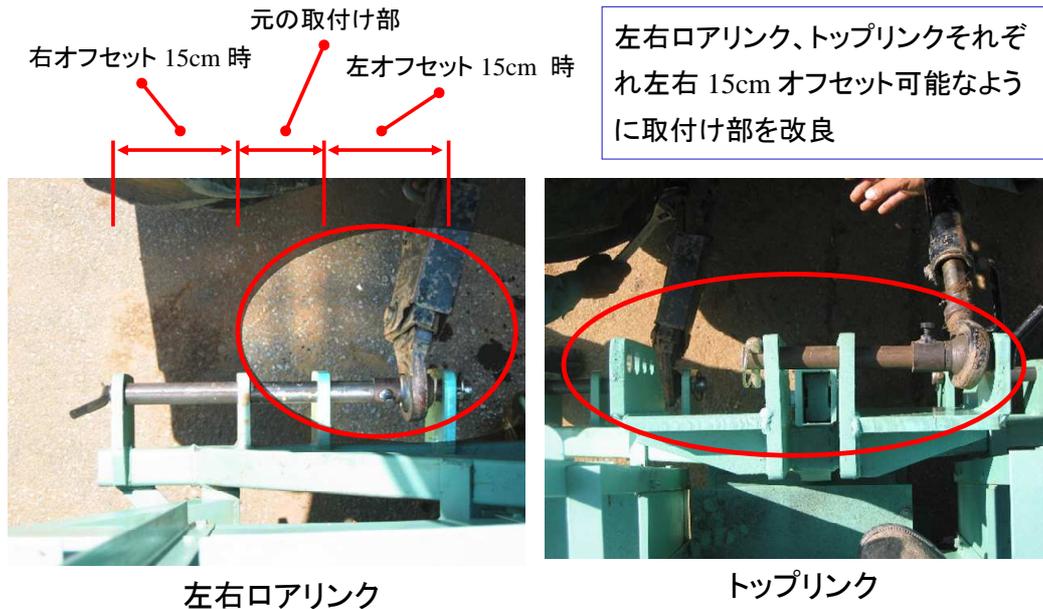
図 3-9 牽引型プランタによる作溝と畦プロフィール



図 3-10 (a) 浅植で生育不良

(b) 台風通過後の株の転倒

畦幅を 125cm 程度に狭くして植付けても、植溝の盛山を崩さないで深植えが可能な構造にするために、プランタを左または右にオフセットできるように 3 点ヒッチを改良した。すなわち、トップリンクと左右ロアリンクが従来の取付けヒッチ部から 15cm ずつ左または右に移動して取付け可能なように植付機のヒッチ部に幅をもたせた(図 3-11)。畦幅 140cm 用の取付けヒッチを 15cm のオフセットにより 125cm の畦幅に適応させることによって、今回の改良の主目的である小型ハーベスタの適応畦幅である 130cm 幅の植付けが可能となった。



植付機をトラクタに対して左に 15cm オフセットする仕様
 図 3-11 ロアリンクおよびトップリンクヒッチ部の改良

(5) 改良の効果：牽引型プランタの小型機械化体系への組み込み

畦幅 130cm で植付けできれば、本機を小型機械化体系に組み混むことができ、軽トラクタなどでも管理作業が適正に行える。この時、所定の植付け深さを保つことができれば、ハーベスタ収穫で問題となる株の引抜きは少なくなる。適正な平培土や高培土は欠株を防ぐ茎数確保の基本技術として重要である。

図 3-12 は、トラクタの中心線に対して植付け部がセンターにある状態(a)と、左に 15cm オフセットした状態(b)を示したものである。この作業機は基本畦幅 140cm から 15 cm のオフセットによって畦幅 125cm の植付けが可能となる。

図 3-13 に改良前後(オフセットの有無)の植付け作業の様子を示す。改良前(図 3-13a)ではトラクタの中心に合わせてセットされ、畦幅を 140cm 以下に設定するとトラクタのタイヤで植溝を崩し覆土が厚くなる。改良した牽引型プランタ(以下、牽引型オフセットプランタ)は右に 15cm オフセットしており(図 3-13b)、トラクタは前工程の盛山から 15cm 左へ離れて走行が可能である。このため、植溝を崩さない植付

けが可能であった。



(a) センターへの取付け



(b) 左へ 15cm オフセット

図 3-12 オフセットプランタの植付けの様子



(a) 改良前のプランタ



(b) 改良後のプランタ

図 3-13 植付作業時の走行の様子

プラウ耕などでは、図 3-14 に示すような作業方法を左から順次耕，往復耕および片道耕などと呼んでいる。同様に植付作業においても順次植付，往復植付および片道植付と呼ぶこととする。従来の牽引型プランタはトラクタの後方中心部を作溝して植付け作業を行うため，順次植付（図 3-14a）ができる。改良した牽引型プランタをオフセットして植付け作業を行う場合，ほ場の両端に農道もしくは枕地がありトラクタが旋回もしくは回行できる場合には往復植付（図 3-14b）となる。南・北大東地域や石垣島では大区画の面整備が進み，ほ場の周囲には

大型ハーベスタなどの旋回に利用できる農道が配置されている。その場合には，改良した牽引型プランタをオフセットして往復植が可能であるが，本島地域や周辺離島では，ほ場の片端にしか農道が設置されていない場合が多く，耕起，砕土，畦間管理，収穫などは片道（一方）作業が行われている（図 3-14c）。そのため，これらの地域ではプランタも片道植付となる（図 3-15）。

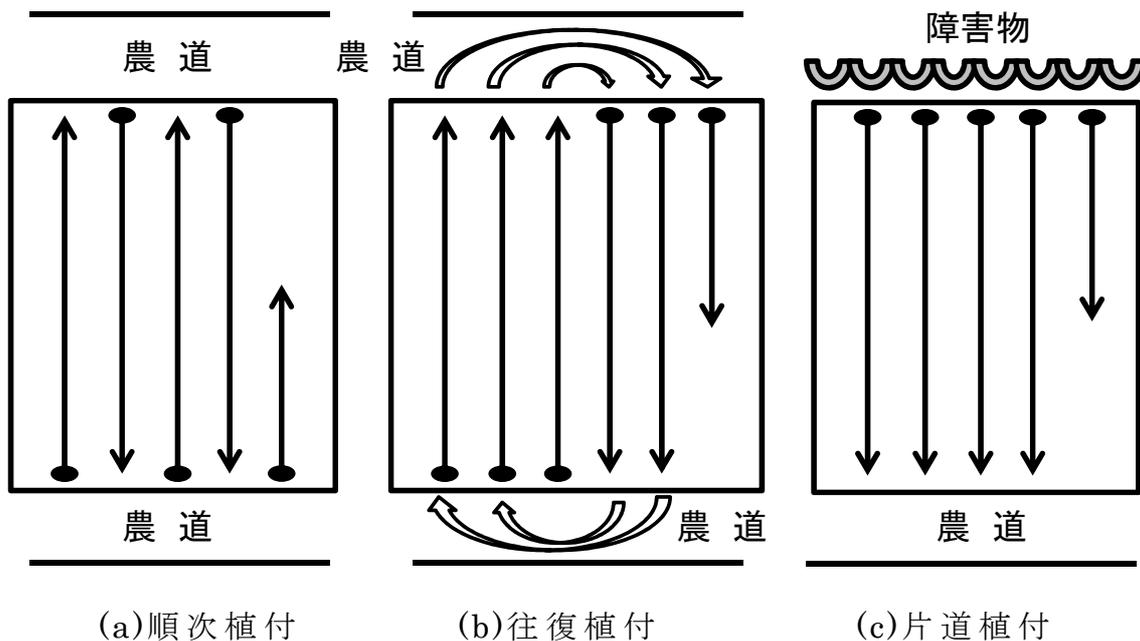


図 3-14 植付方法



図-3-15 本島内での作業の様子：片道植付が多い

牽引型プランタの利点は、植溝と植溝の間（畦間）の盛山がトラクタとプランタのタイヤで踏まれて平坦になることである。これによって、植付け後に 15kW 級の軽トラクタや耕耘機による平均培土作業が容易にできるようになり、小型機械化体系に組みやすくなった。既存の牽引型プランタの改良のみで手刈体系と小型ハーベスタ体系のいずれへも活用範囲が広がり、改良費用も 10~30 万円前後と牽引型プランタの新規購入より安価である。

3-3 牽引型オフセットプランタの性能（結果と考察）

(1) 改良機の植付け状況

2003 年 10 月 3 日に、改良した牽引型オフセットプランタを用いて植付けを行い、畦の形状や覆土の様子など調査した。調査場所は読谷村土地改良区内の平坦なほ場を供試した（図 3-16）。片側にしか農道が設置されていないので片道作業となった。土壌は島尻マーヅで、面積は 1225 m²であった。比較に用いた対照機種はボーネル社製の牽引型プランタである。

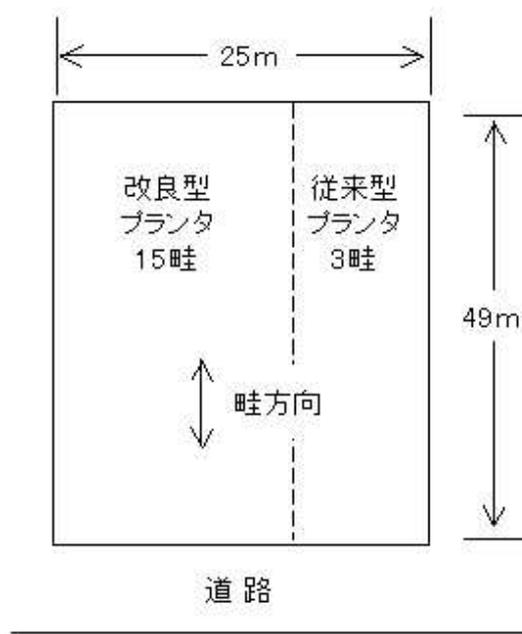


図 3-16 性能試験ほ場（片道植付作業）
読谷村島尻マーヅほ場

牽引型オフセットプランタの作業速度は 0.43m/s, 時速 1.53km/h であった。2014 年現在で 90 以上あるサトウキビ生産法人のほとんどで導入されているロータリ装着型植付機の作業速度は 1.22km/h (森田ら, 2004) で牽引型オフセットプランタはその約 1.3 倍の速度である。

実作業時の作業幅と作業速度から求めた有効作業量 C_e (ha/h) は、後進、回行や資材補給などが無いと仮定した場合の単位時間当たり作業量である (佐々木泰弘, 1987)。

$$C_e = 0.36w \times v \quad 3-(1)$$

ここで、 w : 作業幅(m), v : 作業速度 (m/s) である。作業幅は 1.31m, 作業速度は 0.43m/s で C_e は 0.20ha/h となった。

また、作業機がほ場などにおいて実際に行う 1 時間当たり作業量はほ場作業量とよばれ (佐々木泰弘, 1987), 今回の植付作業調査では次式で表わした。

$$C = 0.36 A/t \quad 3-(2)$$

$$t = t_a + t_b + t_c \quad 3-(3)$$

ここで、 C : ほ場作業量 (ha/h), A : ほ場作業面積 (m^2), t : ほ場全作業時間(s), t_a : 実作業 (植付) 時間(s), t_b : 旋回・後退・停止時間(s), t_c : 蔗苗, 肥料および農薬補給時間(s)とした。牽引型オフセットプランタを用いた調査では, $A=963 m^2$, $t_a=1621(s)$, $t_b=1326(s)$ および $t_c=1218(s)$ であった。よって、 C は 0.08ha/h となった。

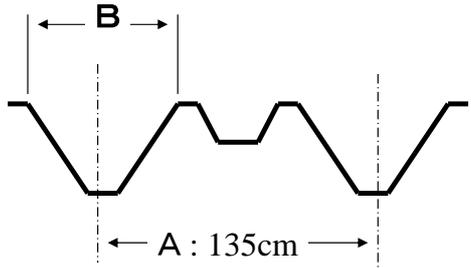
ほ場作業量と有効作業量の比は作業効率とよばれ次式で表わされる。

$$E_e = C/C_e \times 100 (\%) \quad 3-(4)$$

本調査においては、ほ場作業効率 E_e は 40% となった。沖縄県の代表的な土壌でのロータリによる耕うん作業で往復耕の場合は、約 80% 程度と高い値であるが、片道植付作業で蔗苗・肥料・農薬の補給時間が加算されたことにより作業効率は低くなった。

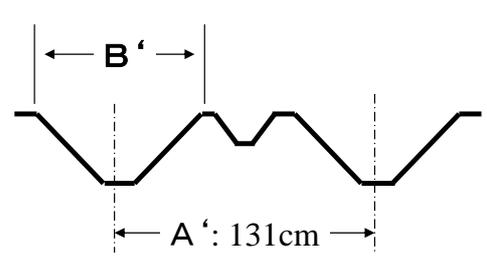
対照機種 (改良前) の植溝の幅は 75cm で、改良機は 85cm と 10cm 広がった (図 3-17)。畦間の盛山の幅は狭くすることができた。その結果、改良前の牽引型プランタの規定畦幅 140cm より約 10cm 狭くなり、131cm で植付けできた。

改良前

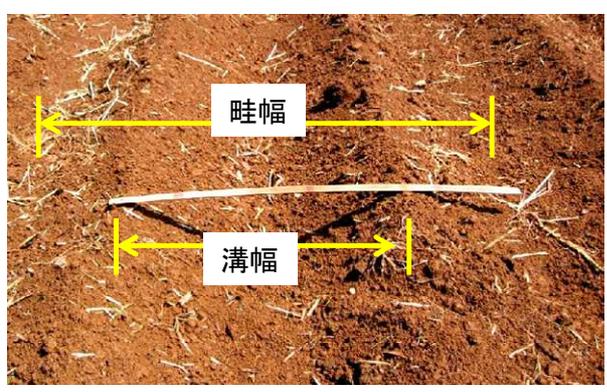


改良前は、畦間の山を崩すことなく植付作業を行うために、140cm以上の畦幅が必要であった。

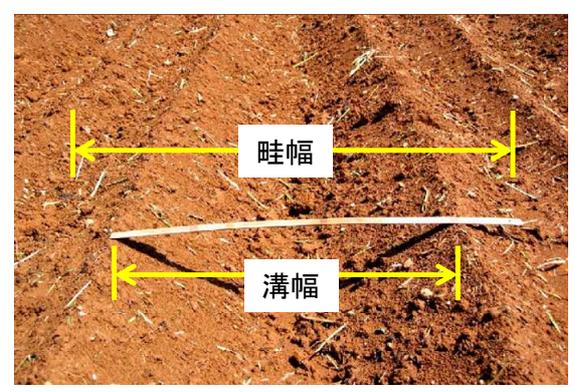
改良後



改良後は、谷の幅が $B \Rightarrow B'$ と広くなり、畦幅は、 $A \Rightarrow A'$ に狭くできた



溝幅 75cm
畦幅 135cm
覆土厚 3.5cm



溝幅 85cm
畦幅 131cm
覆土厚 2.0cm

図 3-17 改良前後の畦の変化

一方、対照機種では、畦幅は 135cm となり、規定畦幅より狭い植付けとなった。しかし、トラクタのタイヤが植溝を崩しながら走行するのが観察され、植溝の幅が狭くなって覆土は改良機より厚くなった。覆土は、対照機種の 35mm に対して、改良機は 20mm と発芽には問題のない厚さとなった。今回、開溝部の底部から排土板の位置を 50mm 上に取り付けることによって、植溝を約 5cm 深くすることができた (図 3-18)。植溝が深いと、平均培土と高培土によって種苗位置が深くなり、強風による倒伏が抑制される。また、種苗位置が深いと茎長も長く、茎径や 1 本重も大きくなる (仲宗根, 1984)。

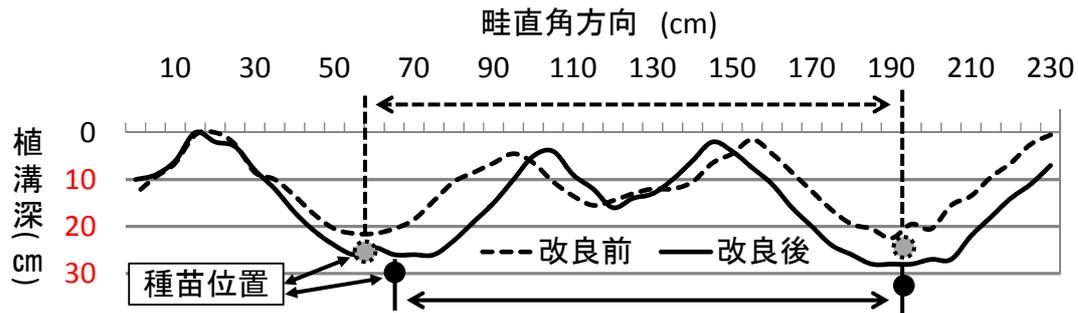


図 3-18 改良前と改良後のプランタによる植付け後の畦プロフィール

各畦幅の測定結果は 125~130cm で、畦の崩れは見られなかった。改良機では 15cm 左右にオフセットする場合は、順次植付作業はできず、片道植付作業または往復植付作業となる。前述のように沖縄本島や周辺離島などは土地改良区でもほ場両端に農道がある場合は少ないので、片道植付作業でよい。沖縄県内には傾斜のあるほ場も多いが、等高線植えをする場合はつねに傾斜の上方向から作業ができるように左右にオフセットが可能である。

中耕・除草および施肥を 2003 年 11 月 28 日に行った。植付け後から中耕までの 40~50 日間は適度に降雨があり、生育は順調で欠株もほとんど見られなかった (図 3-19)。



図 3-19 牽引型オフセットプランタ植付けの発芽状況

(2) 作業性能調査

今帰仁村の島尻マーヅほ場 20a を供試し、2005 年 9 月 26 日に性能試験を行った。作業性能の他に畦の形状や覆土の様子などを調査した。

供試トラクタは58kWの大型トラクタである。サトウキビの品種はNiF8を用いた。備付けの施肥機を用いて、「サトウキビ配合 699」肥料を植付けと同時に41.2kg/10a施肥した。また、土壌害虫防除のために植付けと同時に備付けの粒剤農薬施用器を用いて「アドバンテージ粒剤」5.91kg/10aを散布した。片側にしか農道が設置されていないので片道作業となった。対照機種としてロータリ装着型植付機を使用して比較を行った。

その結果、植付け速度は、ロータリ装着型植付機 1.21km/h、牽引型オフセットプランタ 1.70km/hであった（表 3-1）。読谷村で行った試験結果も考慮すると牽引型オフセットプランタはロータリ装着型植付機の1.3~1.4倍の作業速度となった。

表 3-1 植付け速度の比較

供試機種名	植付け速度	
	km/h	m/s
A ロータリ装着型植付機	1.21	0.33
B 牽引型オフセットプランタ	1.70	0.46
B/A	1.41	

単位時間当りの作業量（ほ場作業量）は、牽引型オフセットプランタ 6.4a/h、ロータリ装着型植付機 5.8a/h となり、作業速度の影響が表れた（表 3-2）。単位面積当りの所要作業時間をみると、牽引型オフセットプランタはロータリ装着型植付機の90%程度となった。牽引型オフセットプランタの作業時間の内訳は、植付作業が29.5%、移動・後退などが21.0%で、苗の積込みや肥料の補填などの作業が約50%であった。今回の調査では、作業作業効率 E_e は約30%となった。後述するが、燃料消費量をみると、牽引型作業機はPTO駆動ロータリ作業機の約70%となり、20~30%程度の節約が可能と考えられる。

表 3-2 2機種のプロランタの作業性能比較

	ほ場作業量 (a/h)	植付 (%)	移動 (%)	後進 (%)	畝端 調整(%)	苗・資材 積込(%)	計
牽引型オフセット プランタ	6.4	29.5%	10.4%	4.6%	6.0%	49.5%	100.0%
ロータリ装着型 植付機	5.8	36.7%	9.3%	4.2%	5.4%	44.4%	100.0%

ロータリ装着型植付機の場合には、トラクタの右側方へ植付けるので全茎苗の挿入口は右側に配置されている。また、施肥機や農薬タンクも右側に配置する関係上、右側のスペースに余裕がないため、立ち姿勢での作業となる（図 3-20a）。一方、牽引型オフセットプランタは作業機の中心に苗の挿入口があり、左右両手で投入が可能で、座り姿勢で楽に作業ができる（図 3-20b）。

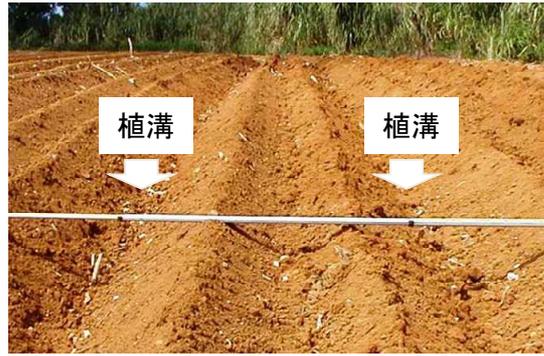


(a) ロータリ装着型植付機

(b) 牽引型オフセットプランタ

図 3-20 植付けの様子

図 3-21 に示すように、ロータリ装着型植付機はなだらかなかまぼこ状の畦を形成(a)し、牽引型オフセットプランタは畦間をトラクタのタイヤと接地輪が踏圧するため窪みができる(b)。



(a) ロータリ装着型植付機

(b)牽引型オフセットプランタ

図 3-21 植付け後のほ場の様子

畦幅と覆土の厚さは、牽引型オフセットプランタでそれぞれ 130cm と 1.6cm、ロータリ装着型植付機は 135cm と 7.6cm であった。

植付けから中耕までの期間に、強風や降雨などによって溝の斜面が崩れると植溝を埋没させ発芽不良の原因となる。図 3-18 に示すように、溝幅や底の幅によって傾斜角度が変化して土壌の崩れ易さがことなる。ロータリ装着型植付機の溝幅は 83cm で底の幅は 24cm であった（図 3-22a）。また、牽引型オフセットプランタではそれぞれ 88cm および 16cm であった（図 3-22b）。

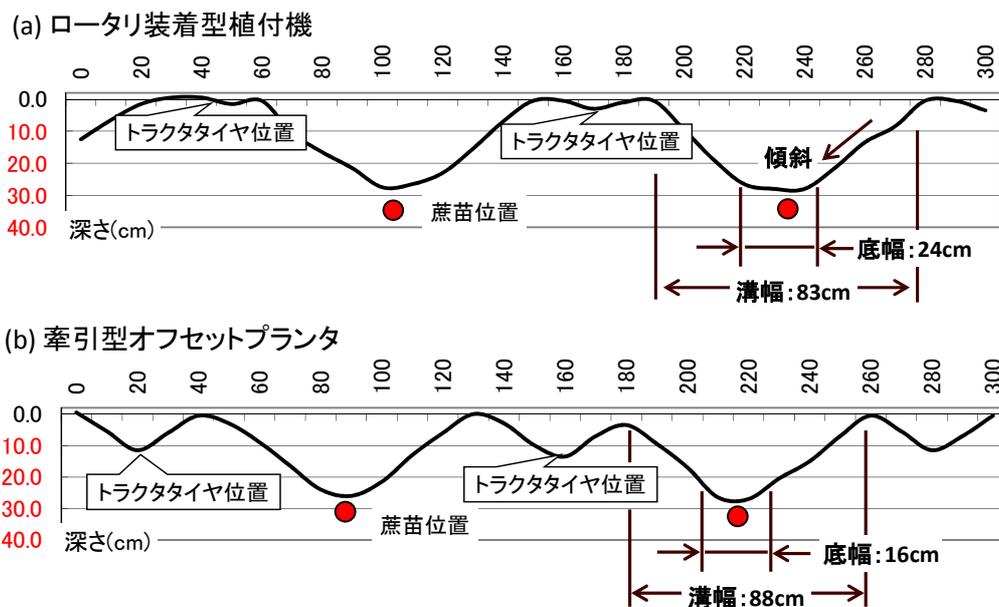


図 3-22 植付け後の畦のプロフィール

(a) ロータリ装着型植付機

(b) 牽引型オフセットプランタ

溝の斜面の水平に対する傾斜角は、ロータリ装着型植付機の 41° に対して、牽引型オフセットプランタでは 38° と緩めであった。しかし、植付け 40 日後では、前者は 35° と緩くなったが、後者は 37° と変わらなかった。前者はロータリで碎土しながら植溝を形成するので土壌密度が低く、その後の降雨や日数の経過で盛山が沈下・崩壊してなだらかになったと思われる。

2005 年 12 月 8 日に 15kW 級トラクタで中耕・除草を行い、同時に施肥を行った(図 3-23)。その際の発芽率は、ロータリ装着型植付機 63%、牽引型オフセットプランタ 61%で両者に差はなかった。また、覆土厚さは、前者が 7.0cm で後者は 2.7cm となっていた。発芽率に差がないことから、牽引型オフセットプランタの覆土厚、植溝の傾斜角度、植溝の形状および溝の深さは適正で、ロータリ装着型植付機と同程度の植付精度と考えられる。



(a) ロータリ装着型植付機使用 (b) 牽引型オフセットプランタ使用

図 3-23 中耕・除草作業時の発芽状況

3-4 摘 要

全茎式プランタは大半が外国製の牽引タイプであり作業能率が高い。畦幅は 140cm~150cm に設定されており、大型および中型ハーベスタによる収穫を前提とする大型機械化体系で利用されている。本研究では、牽引型プランタを畦幅 125cm 程度まで狭められるように改良し、小型

機械化体系にも使用できるようにした。植溝を崩さずに適正覆土厚で深植えできるように、3点ヒッチを左右に15cmオフセットする改良を行った。これは、畦幅130cmで片道植付または往復植付が可能で、ほ場に傾斜がある場合は傾斜の上から左右どちらかにオフセットし植付け作業ができる。改良機はロータリ装着型植付機の約1.4倍の植付け速度で作業ができた。また、改良前より溝幅が10cm広くなり、溝斜面の崩壊による溝の埋没が抑制された。これによって、広範に普及している牽引型プランタは、小型ハーベスタ体系だけでなく慣行の人力作業体系でも利用でき、改良費用も10~30万円と牽引型プランタの新規購入より安価である。

参考文献

- 赤地徹，宮平守邦，森田孟治，正田守幸，1998. サトウキビの植付，培土，株出管理作業に適合する汎用管理機．九州農業研究成果情報，13，161-162.
- 沖縄県農林水産部，2014a，平成24/25年さとうきびおよび甘蔗糖生産実績．沖縄県，那覇，65-68.
- 沖縄県農林水産部，2014b，さとうきび栽培指針．沖縄県，那覇，9-10.
- 森田孟治，屋良利次，伊佐真純，仲里富雄，友寄隆仙，喜納兼二，2004. ロータリ装着型側方サトウキビ植付機．九州農業研究，19，83-84.
- 仲宗根盛男，大城幸尚，1984. サトウキビ株出しの研究．昭和59年度サトウキビ試験成績概要集，沖縄県蔗作研究協会，13，218-219.
- 佐々木泰弘，1987. 機械の調査試験法．浅川正彦編，農作業試験法（第1版）．農業技術協会，東京，17-21.
- 末吉武志，岩崎浩一，2008. サトウキビ種苗生産装置の開発に関する研究－レーザーセンサを用いた苗選別法の検討－．農業生産技術管理学会誌，15(1)，17-22.
- 玉城麿，赤地徹，宮平守邦，2001. サトウキビ側枝苗移植機．九州農業研究成果情報，16，567-568.
- 趙春山，岡本嗣男，鳥居徹，實山安英，1996. サトウキビ組織培養苗

裁断移植ロボットに関する研究．第 55 回農業機械学会講演要旨，
美唄，251-252．

上野正実，川満芳信，菊地香，森田孟治，喜納兼二，比屋根真一，
新里良章，有我徹，大底隆哉，富名腰哲，2005．NIR と GIS を利用
したサトウキビ営農支援情報支援システムの実用化・定着化．沖縄
県農林水産部，那覇，169-170．

第4章 沖縄における小型ハーベスタの適応性

4-1 緒言

沖縄県では16の島々でサトウキビが栽培されている。沖縄本島におけるハーベスタ収穫は他の離島より遅れて1990年から始まった（沖縄県，2011）。農家の高齢化と担い手の減少により，収穫の機械化が促進され，当初，エンジン出力150kW級の中型ハーベスタが導入された（当時は大型ハーベスタと呼称）。グリーン方式のハーベスタが30年前に開発され，大東地域などに普及していたバーンタイプのハーベスタに代わるとともに，他の地域で導入されるようになった。グリーン収穫の普及に伴って，ハーベスタの機体重量とエンジン出力は，次第に大きくなる傾向が見られる。

中型グリーンハーベスタは本島やいくつかの離島で採用され導入された。しかし，多くのほ場が0.3ha未満と狭小で畦幅も110cm程度と狭かったため作業作業効率が低いことや，機械の耐久性などに問題があり，機械化はそれほど進まなかった。狭小なほ場に適応させるために，国内の農業機械メーカーがグリーン方式の小形ハーベスタの開発に取り組んだ。

外国では，トラッシュ率を減らすために，大型ハーベスタによる収穫作業の指針が作成されている（Whiteing et al., 2001）。さらには，サトウキビの根や土砂の混入を軽減するような改良が加えられてきた（Davis and Norris, 2005 ; Davis et al., 2005）。しかしながら，開発初期の小型ハーベスタは構造的な不具合が多く，また作業能率は低かった。

小型ハーベスタには多くの課題があったが，特にトラッシュの問題，収穫茎や株の損傷，小出力故のロスなどが大きな問題であった。また，詰まりなどで，刈取り作業がたびたび中断され，そのため，最初の段階では普及には至らなかった。国内農業機械メーカー3社は，数多くの試行錯誤を繰り返し，作業能率の向上などに努め，広く普及可能な小型ハーベスタを開発した。一方，中型ハーベスタの重量とエンジン出力はさらに増大しており，これを有効に利用できる地域は，県内では依然として限られている。

大型収穫機による親株の踏潰しは，次年度の株出の大きな減産要因となるので，海外では1.75m程度まで畦間を広げ，走行路を固定する制限走行によって減収の最小化を図っている（Torres and Pantoja, 2005）。これに対して，小型ハーベスタは，機体重

量が軽く機体幅も狭いので、株の損傷や土壌踏圧は軽減できる。畦幅が狭く土壌踏圧が小さいことで、手刈収穫と同程度の収量か、それより増収することが期待できる。また、小型ハーベスタは走行装置に履帯を用い、さらに軽量のため、高水分ほ場における稼働性も優れている。前日に 20mm の降雨があった場合でも問題なく稼働するが、中型ハーベスタは走行できなくなる (Akachi et al., 1994)。一方、小型ハーベスタは、大型や中型ハーベスタに比べて作業能率が低いことから、ランニングコストや委託料は割高である。しかし、導入価格が中型、大型ハーベスタに比べて安価なのでイニシャルコストは多少割引される。

小型ハーベスタは、小型機械化体系を構成する主要機械のひとつであるが、沖縄県のは場条件下での作業性能は必ずしも把握されていないのが実状であった。特に、収穫の機械化を進める上で避けては通れない狭小、高水分および高単収の機械にとっての悪条件ほ場における可動性や適応性などは解明されていない。そこで、これらを明らかにすることによって、適正な小型機械化体系構築の基礎資料を得ることを目的とした

4-2 方法

(1) ハーベスタの区分

沖縄県では、エンジン出力、適応畦幅、負担面積によってハーベスタのサイズが分類されている。県内に導入されているハーベスタの重量とエンジン出力の関係を図 4-1 に示す。同図のように、エンジン出力によって分類すると、小型ハーベスタは重量約 8 トン以下、中型ハーベスタは 8~11 トン、そして大型ハーベスタは 11 トン以上に区分される。その他の特性は表 4-1 のとおりである。

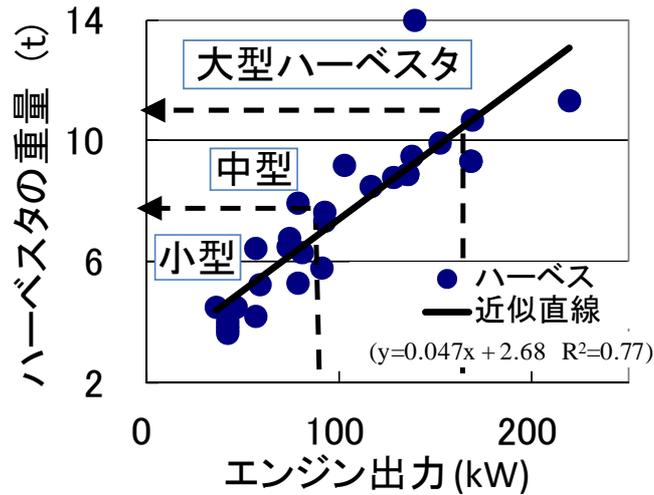


図 4-1 ハーベスタのエンジン出力と質量の関係

表 4-1 沖縄県におけるハーベスタの分類

項目	小型ハーベスタ	中型	大型
エンジン出力 (kW)	< 95	95-170	> 170
適応畦幅 (cm)	< 130	< 140	> 150
負担面積 (ha)	> 14	> 21	> 23

(2) 小型ハーベスタの性能試験

宮古島の3箇所のほ場（表 4-2；ほ場 1～3）において、小型ハーベスタの性能試験を行った。宮古島では夏植が中心で、18ヶ月間の生育期間があるため、収量は企画的に高い。生育期間 12ヶ月の春植についても追加的に調査を行った。小型ハーベスタ 2機種（図 4-2；小型 1，小型 2）を供試して、作業性能や適応性について試験を行った。各機種の仕様を表 4-3 に示す。試験項目は、作業速度、作業性能および作業精度（トラッシュ率）である。ほ場 3 において、小型 1 はトラッシュ率のみ調査した。なお、比較のために中型ハーベスタ（以下、中型 1）も準備し、試験を試みたが、ほ場水分が高くて作業に支障が出たため、作業中止となった。

表 4-2 宮古島の試験ほ場

項目	ほ場1	ほ場2	ほ場3
調査月日(2004年)	1月19日	1月20日	1月20日
作型	夏植	夏植	春植
畦幅 (m)	1.34	1.22	1.38
品種	NiF8	NiF8	NiF8
単収 (t/ha)	66	122	68

小型ハーベスタは、収穫した細断茎を約 1t 収納する袋を後方に積載している（ナップザック型）。このため、収穫原料を積み込む伴走車は不要で、オペレーター1人で収穫作業が行い、補助者は主として収納袋の交換などを行っている。



松元：MCH-30-W-E
小型 1



魚谷：UT-120K
小型 2



魚谷：UT-170-A
中型 1

図 4-2 宮古島で供試した小型ハーベスタと中型ハーベスタ

表 4-3 供試した小型ハーベスタと中型ハーベスタの仕様（宮古島）

項 目	小型 1：松元	小型 2：魚谷	中型 1
	MCH-30-W-E	UT-120K	魚谷 UT-170-A
長さ (m)	6.96	6.05	7.80
幅 (m)	2.25	2.80	2.50
高さ (m)	3.70	4.15	4.35
重量(t)	6.20	7.95	8.90
エンジン出力 (kW/定格回転)	71.3/2200	78/2200	135/2200
接地面積 (m ²)	1.60	1.93	0.92
走行装置	クローラ	クローラ	車輪
接地圧 (kPa)	38	40	96

(3) 沖縄本島における小型ハーベスタの適応性

沖縄県では、収穫期間の天候は一般的に降雨や曇天が多く気温は比較的低い。また、沖縄本島のサトウキビほ場は不正形のものが多く、大半は枕地がないか、もしくはハーベスタの旋回には不十分な枕地しか設置されていないため、中型ハーベスタでは作業が難航する場合が多い。

沖縄本島南部の南城市玉城において、表 4 に示す小型ハーベスタ（小型 3）と中型ハーベスタ（中型 2）の作業性能試験を行い、比較した。

表 4-4 供試小型ハーベスタおよび中型ハーベスタの仕様（南城市）

項 目	小型ハーベスタ	中型ハーベスタ
	UT-120KW (小型 3)	TS3500 (中型 2)
長さ (m)	5.60	7.15
幅 (m)	1.70	2.60
高さ (m)	4.30	3.62
重量 (t)	6.85	9.34
エンジン出力 (kW/rpm)	78/2200	170/2400
走行装置	クローラ	ハーフトラック

小型3は2004年3月2日に、中型2は3月6日にそれぞれ試験を行った。試験ほ場（図3）は、ジャーガルと呼ばれる重粘土壤中、株出ほ場で畦幅は1.4mであった。サトウキビ品種はNi11で、単収は83t/haであった。

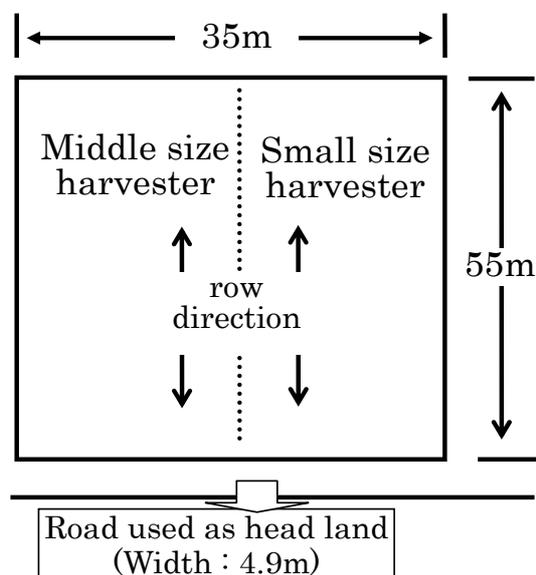


図4-3 試験ほ場（沖縄本島南城市玉城）の概要：幅4.9mの農道は枕地に使用
左側が中型ハーベスタで右側が小型ハーベスタ供試ほ場

なお、中型2はオーストラリアからの輸入機種で、沖縄仕様に改良されている。機体後方に収穫した細断茎の収納袋を積載している。

ほ場の3ヶ所で直径51mm、容量100mLのステンレス製円筒サンプル容器を用いて、小型3、中型2の試験ほ場からそれぞれ土壌を採取した。土壌は深さ2-7cmの位置から採取し、24時間105°C法で乾燥して含水比を測定した。SR-II型土壌貫入抵抗測定器（DIK-5502、大起理化工業）で収穫前後の土壌硬度を測定した。心土破碎、中耕・除草、高培土などの株出管理は沖縄県栽培指針に基づいて行った。小型3による収穫後のほ場では、心土破碎区と非破碎区（対照区）を設けて、心土破碎の効果を調査した。収穫2ヶ月後の5月2日に生育調査を行い、次の製糖期のハーベスタ収穫時に生育および収量を測定した。

4-3 結果および考察

(1) 小型ハーベスタの作業性能

2003年に宮古島に接近し通過した台風によりで乱倒伏したほ場で、小型ハーベスタの性能調査を行った。2004年1月19日に最初のハーベスタの性能調査を行ったが、調査の3日前に16mmの降雨があった。試験当日も、ほ場1と2では8mmの降雨があった。ほ場3での試験は1月20日に行ったが、当日に4mmの降雨があった。

試験圃場は、単収120t/haで、曲がって絡まった状態であったが、いずれの小型ハーベスタでも収穫は可能であった。前述のように、降雨によって高水分状態であったが、小型ハーベスタによる収穫が可能であった。しかし、作業性能を比較する予定の中型ハーベスタは、車輪式走行装置のため大きく沈下して稼働不能となった。

サトウキビは乱倒状態であったので収穫は一方向刈で行った。小型1の平均刈取速度は0.35m/s、時間当り収穫量は5.5tおよび1ha当りの作業時間は16.8hであった(表4-5)。作業時間の内訳は、収穫作業(前進)51.8%、後退14.6%および収納袋の交換23%、作業停止10.8%であった。作業停止はハーベスタの調整などに要した時間である。収穫作業とほ場内移動はオペレーターが1人で行い、収納袋の交換は補助者と2人で行った。ほ場作業効率は51.8%であった。小型2は、平均作業速度0.40m/s、時間当り収穫量7.0tおよび1ha当りの作業時間は12.1hであった(表5)。作業時間全体に占める割合は、刈取時間46.5%、ほ場内移動(後退)20.3%、収納袋の交換31.1%であった。作業停止時間は2.1%であった。ほ場作業効率は46.5%である。小型2の方が作業能率は優れているが、エンジン出力が小型1よりも大きいためと考えられる。

表 4-5 小型ハーベスタの作業性能 (宮古島)

調査ほ場	機種名	作業速度 (m/s)	作業能率 (h/ha)	時間当り 収穫量 (t/h)	トラッシュ率 (%)
ほ場1	小型1	0.39	12.7	5.1	15.1
	小型2	0.44	10.6	6.1	22.7
ほ場2	小型1	0.30	20.8	5.9	11.6
	小型2	0.27	16.9	7.2	17.5
ほ場3	小型1	-	-	-	12.5
	小型2	0.50	8.8	7.8	16.8

ほ場3での時間当り収穫量および1ha当りの作業時間は、中型ハーベスタの性能調査(赤地ら, 1998)で得られた測定値に対して、それぞれ75%および80%であった。良好なほ場条件では、小型ハーベスタの刈取速度や作業能率は中型や大型ハーベスタよりも低い。しかし、今回のように中型ハーベスタが沈下して稼働できない高水分ほ場における作業では優れた性能を発揮することがわかった。宮古島では、降雨への適応性の高い小型ハーベスタは収穫可能日数が長いため、同一製糖期間内の総収穫量は、中型ハーベスタと同程度となる(沖縄県農林水産部, 2005)。

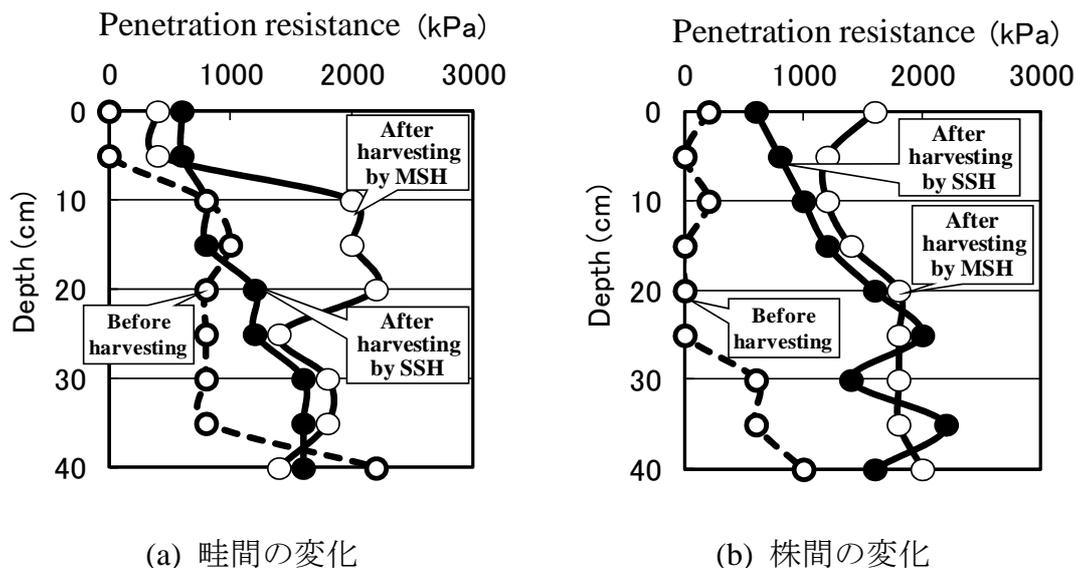
宮古島において、今回のような高水分ほ場では、中型ハーベスタのトラッシュ率は20%を超える。また、製糖期間を通じた平均トラッシュ率は15~16%である(沖縄製糖, 2006, 2008-09)。小型ハーベスタ2機種のトラッシュ率は中型ハーベスタのトラッシュ率より低く(表4-5)、小型1のそれは小型2よりも低かった。これらのことから、車輪型中型ハーベスタはクローラ型の小型ハーベスタに代替した方が有利と考えられる。

(2) 沖縄本島での小型ハーベスタの適応性

2005年3月2日の試験では、当日、降雨があり、2日前にも10mmの降雨があったので、小型ハーベスタのみの試験となった。中型ハーベスタの試験は4日後に行った。土壌含水比は小型ハーベスタの試験時に43%、中型ハーベスタでは39%であった。

それぞれのハーベスタは一方向刈で作業を行った。小型ハーベスタは、ほ場の隣接農道を枕地として使用し、スムーズに旋回できた。しかし、農道が狭かったので中型ハーベスタは旋回に手間取った。このため、中型ハーベスタの作業能率は小型ハーベスタの約50%程度となった(表4-6)。1ha当りの刈取り所要時間は、小型ハーベスタが4.8hで、中型ハーベスタは10.1hであった。また、収納袋の荷下ろしと交換では、小型ハーベスタは1ha当り3.3hであったが、中型ハーベスタは7.3hを要した。収穫ロスに関しては、高土壌水分状態でも小型ハーベスタと中型ハーベスタの差は見られなかった。しかし、トラッシュ率は中型ハーベスタの方が高い結果となった。中型ハーベスタは、沖縄本島のような狭小で土壌水分の高いほ場では作業能率が低下し、作業精度も小型ハーベスタに劣る結果となった(表4-6)。

収穫後の土壌貫入抵抗は小型ハーベスタの方が、中型ハーベスタより小さくなり、特に、この傾向は深さ20cmまで顕著であった(図4-4)。収穫時の土壌等圧は、小型ハーベスタの方が軽減される結果が得られた。



(a) 畦間の変化 (b) 株間の変化
 図 4-4 中型(MSH)および小型ハーベスタ(SSH)による
 収穫前後の土壌貫入抵抗の変化

表 4-6 中型と小型ハーベスタの作業性能比較 (南城市)

機種	刈取速度 (m/s)	作業能率 (h/ha)	時間当収穫量 (t/h)	トラッシュ率 (%)	収穫損失 (%)
小型 3 (UT-120KW)	0.43±0.03	11.5±1.9	7.2±1.2	8.1	7.1
中型 2 (TS3500)	0.45±0.06	20.8±1.5	4.0±0.3	23.7	5.5

作業速度，作業能率および時間当収穫量はそれぞれ5回ずつ調査した。

数値は平均 ± 標準偏差

トラッシュ率と収穫ロスは3カ所を合計し，まとめて計量した

さらに，ワゴンやダンパーなどの大型の搬出・運搬機が，株の上を走行すると踏圧によって土壌を著しく締固め，次年度の収穫に及ぼす影響は大きい(Torres et al., 1989)。株の損傷と次期収穫の減収は，中型ハーベスタの方が小型ハーベスタより大きくなる結果が得られた(表 4-7)。

枕地として利用する農道が狭く，中型ハーベスタは車輪型ながらほ場への進入を円滑に行えなかった。その結果，ほ場進入してから 10m 程度の範囲では，サトウキビを

引起すクロープリフタによる株の引抜きや、ベースカッタから切断茎が飛散するケースが多く見られた。クローラ型小型ハーベスタは、農道とほ場の高低差や排水用の溝があっても円滑なほ場進入が可能であった。中型ハーベスタによる収穫ほ場では、上述のように農道の間際からほ場進入した後、作業が安定するまでの間に収穫ロスが多く発生した。後続の収穫では、茎径や茎長にはそれほどの差はなかったが、茎数は小型ハーベスタ区 7400 本/10a, 中型ハーベスタ区 6300 本/10a であった。その結果, 2005 年 1 月 21 日の収量調査では, 小型ハーベスタ区の収量が高くなった。なお, 小型ハーベスタ区では, 心土破碎区の株出収量が対照区より高くなった (表 4-7)。

表 4-7 小型・中型ハーベスタ収穫後の生育調査報告

項 目	中型 2 (TS3500)	小型 3 (UT-120KW)	小型 3
	心土破碎		(UT-120KW)
茎 数 ($\times 10^3/\text{ha}$)	63 \pm 10	74 \pm 12	73 \pm 11
茎 長 (m)	2.2 \pm 0.1	2.1 \pm 0.1	2.0 \pm 0.0
茎 径 (mm)	21 \pm 0.4	21 \pm 0.4	21 \pm 0.4
収量 (t/ha)	58 \pm 10	78 \pm 12	65 \pm 8

数値は 平均値 \pm 標準偏差 (3 カ所平均)

(3) 考 察

大型ハーベスタが長期間にわたって稼働している北大東島では図 4-5c に示すように, 収穫後の畦間の土壌貫入抵抗は 3.0MPa に達している(新里ら, 2012)。三好(1972)は, 主な作物で土壌硬度計の数値が 22~23mm の硬さになると, 根の伸長が阻害されることを示した。また, 石川ら(1999)はサトウキビの根は 20~30mm で土壌への進入が困難となるという試験結果を得ている。山中式土壌硬度計の数値は SR-2 型土壌貫入抵抗計の数値 (MPa) へ変換できる (AFFRC, 1968)。北大東における大型ハーベスタ収穫後の土壌硬度 3.0 MPa は山中式土壌硬度計の 26.5mm に相当し, 根が土壌に進入できる限界の数値である。一方, 小型ハーベスタ収穫後の踏圧された畦間表面近くは, 大きいところで 2.0MPa 程度であった(図 4-5b)。また, 畦プロフィールでは, 小型ハーベスタ(図 4-5d)と大型ハーベスタ(図 4-5e)を比較すると大型ハーベスタ

で収穫後の窪みが大きく、より大きな踏圧を受けている事が分かる。

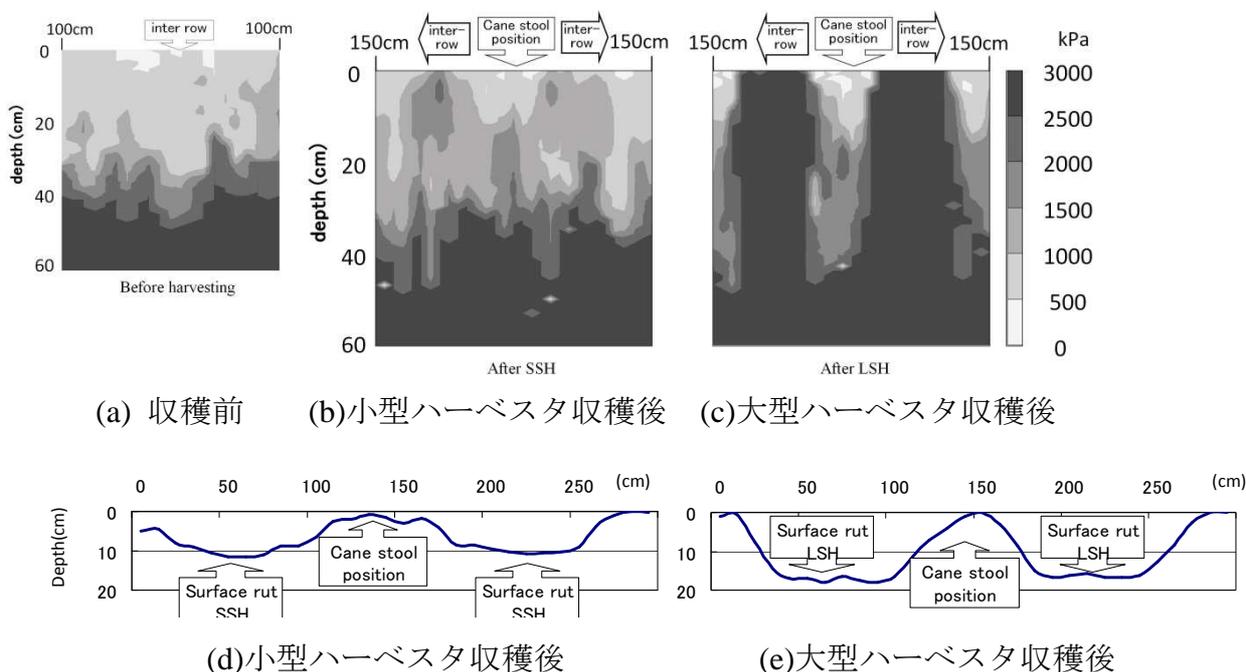


図 4-5 小型および大型ハーベスタの収穫後の土壌貫入抵抗と畦形状変化の比較

高水分状態で作業機やハーベスタが稼働すると、車輪などの沈下によってほ場表面にくぼみができて、土壌が締め固まる。通常、大型ハーベスタ収穫後の株揃えや畦間管理では、90kW以上の大型トラクタが必要である (Davis et al., 2005)。沖縄県では所有面積 1ha 以下の農家が多く、小型機械による管理作業が要望される。一般的に、歩行型 2 輪トラクタは大半の農家が所有している。大型ハーベスタ収穫後のほ場では 15kW 級の軽トラクタによる管理作業は難しく、耕耘機では作業ができない。小型ハーベスタ収穫でも、高水分ほ場では窪地ができるが、大型ハーベスタよりはダメージが小さい。耕耘機や、株揃機またはロータリなどを装着した 15kW 級軽トラクタは小型ハーベスタ収穫後の株出管理が可能で、図 4-3 のほ場では問題なく作業ができた。

一方、高培土は春植、夏植および株出で収穫作業を適切に行うために重要な作業である。収穫損失 (ロス) は、デバイダによる折損・取りこぼし、ベースカッタによる破碎・高刈・刈残し、引き込み・搬送ローラからのこぼれ・落下、チョッピングナイフによる破碎、風選ファンからの飛散、収納袋からの落下などで発生する。これらの損失の内、デバイダやベースカッタ周りで発生する損失は、サトウキビの立毛角に関連している。新里 (2006) は、小型ハーベスタの収穫作業では立毛角と収穫損失の間

に次の相関があることを示した。

$$Y = -0.09 X + 5.8 \quad 4-(1)$$

$$R^2 = 0.577* (P < 0.05)$$

4-(1)式で Y は収穫損失 (%), X は立毛角 (°) である (図 4-6)。(1)式においてサトウキビは直立するほど損失が少なくなる。高培土により倒伏を防ぎ, 立毛角が大きくなれば, ハーベスタ収穫が容易となり損失が少なくなる。

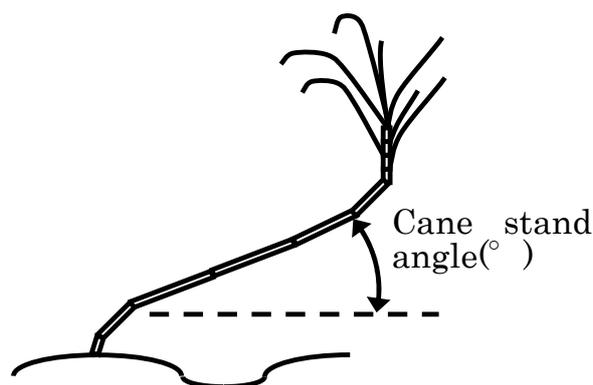


図 4-6 立毛角 (Cane stand angle)

また, 高培土による深い位置からの萌芽は, サトウキビの倒伏を防ぐだけでなく, 一本重を重くし, 茎長を長く茎径を太くする傾向がある (仲宗根ら, 1984)。

4-4 摘要

小型ハーベスタは, 乱倒伏で単収 12t/10a で高水分の悪条件ほ場でも収穫可能であった。さらに, 狭小で高水分ほ場でも作業能率, 時間当りの収穫量を落とすことなく, 作業が出来た, 一方, 中型ハーベスタではこのような悪条件ほ場では収穫できなかった。

土壌踏圧とほ場表面の踏潰しは小型ハーベスタの方が中型ハーベスタより少ない。加えて, 株出収量は小型ハーベスタ収穫ほ場が中型ハーベスタ収穫ほ場より高くなった。小型ハーベスタ収穫ほ場では, 心土破碎を行うと非破碎区より増収し, 中型ハーベスタ収穫後, 心土破碎を行った場合よりも増収した。

小型ハーベスタ収穫ほ場では, 耕耘機による畦間管理や 15kW 級のトラクタによる

株揃えや畦間管理が問題なく実施できた。

結果として、小型ハーベスタは沖縄のような収穫期間に降雨が多く、小規模ほ場では優れた作業性能を示した。沖縄本島のようなほ場条件の地域では、車輪型の中型・大型ハーベスタに代って小型ハーベスタの導入を促進する必要がある。

参考文献

- 赤地徹, 伊敷源光, 大城健, 宮平守邦, 1994. ハーベスタの降雨特性. 平成6年度サトウキビ試験成績概要集. 沖縄蔗作研究協会, 24, 558-559.
- 赤地徹, 森田孟治, 宮平守邦, 正田正明, 1998. 沖縄県に導入された主なハーベスタの作業性能. 沖縄県農業試験場, 那覇, 9-20.
- Davis, H.B., Friday, N.W. and Dey, A.D. (2005). Progress with mechanising field operations in the Guyana sugar industry. Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists, 25(2): 364-370.
- Davis, R.J. and Norris, C.P. (2005). An investigation of the feeding characteristics of the forward-feeding zone of chopper harvesters: development of a research harvester. Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists, 25(2): 316-325.
- Davis, R.J., Schembri, M.G. and Kingston, G. (2005). Optimising machine component layout for enhanced harvester feeding performance in lodged crops. Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists, 25(2): 326-331.
- 沖縄県農林水産部. 2005. 沖縄県さとうキビ生産実績 2004/2005. 沖縄県, 那覇. 63-64.
- 沖縄県農林水産部. 2011. 沖縄県さとうキビ生産実績 2010/2011. 沖縄県, 那覇. 73.
- 石川隆之, 松本成夫, 川島知之, 杉本明, 1999. 東北タイの作物の根と硬盤層に関して (硬盤層と根の戦い), 根の研究, 8, 35-38.
- 三好洋, 1972. 根群発達の良好な土壌条件からみた畑地の有効土層の検討. 日本土壌肥料学会誌, 43(3), 92-97.
- 仲宗根盛勇, 大城幸尚, 1984. サトウキビ株出に関する研究. 昭和59年度サトウキビ関係試験成績概要書, 沖縄蔗作研究協会, 13, 218-219.
- 農林水産省農林水産技術会議, 1972. 土壌物理生の測定. 養賢堂, 東京, 312.
- 沖縄製糖(株), 2006. 2008-09. さとうキビ収穫日報および年報. 沖縄製糖(株), 宮古.

- 新里良章, 2006. 小型ハーベスタ収穫後の適正な株出管理. 第 33 回サトウキビ試験成績発表会シンポジウム, 那覇, 38-45.
- Torres, J. and Pantoja, J.E. (2005). Soil compaction due to mechanical harvesting in wet soil. Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists, 25(2): 332-339.
- Torres, J., Yang, S. and Villegas, F. (1989) . Soil compaction and sugarcane stool damage due to semi-mechanized harvesting in the wet season. Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists, 20(2): 992-1000.
- Whiteing, C., Norris, C.P. and Paton, D.C. (2001). Extraneous matter versus cane loss: finding a balance in chopper harvested green cane. Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists, 24(2): 276-282.

第5章 心土破碎と暗渠によるサトウキビほ場の排水性改善効果

5-1 緒言

沖縄県では、サトウキビ生産農家の高齢化や担い手の減少が続き、それを補うために収穫作業を中心に機械化が進んでいる。現在、生産量の約40%がハーベスタ収穫となっており（沖縄県農林水産部，2011），収穫機械化率は年々増加している。ハーベスタ収穫や大型トラクタによる整地や肥培管理の普及に加えて、沖縄県では本土復帰以降、農作業の効率化のためにはほ場整備が急ピッチで進められてきた。これによって、ほ場1区画のサイズは大きくなり、農業機械の作業効率は著しく向上してきた。しかしながら、それに伴って局所的に窪地ができて滞水するケースも見られ、湿害や機械作業に起因する土壌硬化による減収が懸念されている。

沖縄本島や宮古島に分布する島尻マーヅ（珊瑚石灰岩土壌）は排水性が比較的良好で、油圧式ショベルによる深耕やブルドーザのリッパによる心土破碎で顕著な増収効果が確認され（大城ら，1988），株出栽培では畦間の心土破碎によって透水性が改善されることが報告されている（赤地，1999；薬師堂，1999）。しかし、沖縄本島中南部に広く分布するジャーガルは、機械化や排水性の面で問題の多い土壌である。これは、粘土を40～60%含み、液性限界60～75%、塑性限界25～30%、塑性指数40%程度で、透水係数は $10^{-7} \sim 10^{-5}$ mm/sと非常に小さく、保水性に富む一方で排水性は不良で（泉ら，1981）ある。農業機械の走行による土壌踏圧や乾燥収縮による緻密化に加えて、プラウ耕による鋤き床が形成しやすい土壌である。台湾での研究では植付け後、停滞水などに蔗苗が浸漬すると発芽不良となるので、降雨後は過剰水を速やかに排水する必要があると報告されている（Yang and Chen，1980）。そのため、ジャーガルの排水性の改善には、サトウキビ植付け前に油圧式ショベルによる0.6～1.0mの深耕・天地返しが行われ、増収効果も確認されている（仲宗根ら，1991）が、農家ほ場では心土の破碎のみでは改善されない場合も見られる。また、物理性の改善を目的にニービと呼ばれる砂質土の客

土が試みられたが、実際のは場では均一な混合は困難で、トラクタのけん引性能や走行性に対する効果はわずかであった（上野ら，1982）。

サトウキビハーベスタによる収穫作業は大きな土壌踏圧を引き起こすので、耕起や株出管理には心土破碎が重要な作業となる。しかし、ジャーガルの新植ほ場において、油圧式ショベルにより深層まで攪拌する方法は、機械装備の面から実施できる農家は限られている。さらに、沖縄県では、暗渠や明渠の施工に建設用機械を利用するケースが多いが、改善効果の持続性やコスト面の問題がある。黒ボク土では心土破碎後に透水性が改善されるが、その後の農業機械の踏圧により、透水性は無処理と同程度まで低下する（林ら，2005）。したがって、毎年ハーベスタで収穫するほ場においては、継続的な効果があり、営農レベルで実施可能な低コストで効率のよい排水性改善対策が求められる。

心土破碎に関しては、従来のサブソイラを改良し心土の破碎と耕起の併用(以下、心土耕)が可能な排土型心土破碎機(スガノ農機：商品名プラソイラ)の普及が進み、北海道のテンサイなどで増収効果が認められている（中津ら，2004）。また、沖縄本島や宮古島および石垣島などにも導入されており、筆者らは、ジャーガル土壌においてけん引力の測定（深見ら，2012）や作業可能日数の拡大に関する調査を実施した（深見ら，2009）。この機械は耕起作業にも利用されるが、プラウに劣らない性能があれば、耕起と心土の破碎および排水性改善を同時に行う方法として有効であると思われる。

本研究では、ジャーガルほ場の低コストかつ簡便な排水性改善対策として、排土型心土破碎機による心土の破碎や耕起としての効果を検討した。また、心土の破碎だけでは改善されない排水不良ほ場の場合について、農家でも実施可能な暗渠の施工試験を実施した。具体的には 35～60kWクラスのトラクタ用のオーガ式トレンチャ（以下、トレンチャ）による暗渠施工および心土破碎機による補助暗渠施工を組み合わせた排水性改善技術を検討した。

5-2 方法

(1) 試験項目と試験ほ場

心土の破碎や暗渠設置による排水性改善試験および作業機の性能試験などを沖縄県南部の糸満市，八重瀬町，南城市のジャーガルほ場で行った。試験項目と試験ほ場は表 5-1 に示す通りである。

表 5-1 試験項目とほ場

試験項目	場所とほ場	
1-(1) プラウと排土型心土破碎機の作業性能調査 (作業適ほ場)	糸満市	A
	(高水分ほ場) 八重瀬町	a
1-(2) プラウと排土型心土破碎機の砕土率調査	八重瀬町	b
プラウと排土型心土破碎機の発芽率調査	糸満市	B, C, D
1-(3) 心土破碎機の作物への効果試験 (夏植)	糸満市	E
	(株出) 糸満市	F, G
	(株出) 南城市	
2-(1) 暗渠を設置しない場合の排水性試験	八重瀬町	c
2-(2) トレンチャによる暗渠施工とその効果試験	八重瀬町	d

(2) 排土型心土破碎機による心土耕の効果

a プラウと排土型心土破碎機の作業性能の比較

耕起作業に適した土壌含水比 28%(db)のほ場と，31%(db)の相対的に高い土壌含水比のほ場（高水分ほ場）で，プラウ耕と排土型心土破碎機による心土耕の作業性能を比較した。

耕起作業に適したほ場(作業適ほ場)として，沖縄県糸満市のジャーガルほ場 13.6a を供試した。プラウ区にはオフセット型 18 インチプラウ(規定耕深 30cm，耕幅 45cm)を，心土耕区には幅 75mm，長さ 650mmの樹脂性はつ土板を取付けたナイフを 2 本装着(間隔 130cm)しチゼル幅が上部 95mmで底部 110mm，規定耕深 30～50cmの排土型心土破碎機を供試した。これらの作業には 60.7kWのトラクタを使用した。測定項目は，作業速度，耕深，単位時間当たりのほ場作業量および土壌貫入抵抗値である。心土耕区では，最初に 130cm幅の等間隔でほ場全面を耕起し，2 回目にそれぞれの破碎箇所から 65cmオフセットして間隔 65cmの耕起作業を行った。

高水分ほ場として、沖縄県八重瀬町のサトウキビ収穫後のジャーガルほ場 4.6aを用い、2004年9月に同様の作業と測定を行った。トラクタは前者よりやや小さい58.5kWの機種を利用した。

b 平均土塊径および発芽率の調査

プラウ区と心土耕区ともに、耕起後、ロータリによる砕土作業を2回行い、さらにロータリ装着型全茎式サトウキビ植付機で3回目の砕土と植付けを行った。砕土には耕幅2.2mロータリを73.5kWのトラクタに装着して供試した。1回目の砕土は2004年10月、2回目は11月、3回目は同じく11月に行った。3回目に平均土塊径を100mm、70mm、50mm、33mm、20mmおよび10mmの篩による篩別法で測定した。平均土塊径 D (mm)は次式で与えられる。

$$D = (\sum w(i) \times d(i)) / \sum w(i) \quad 5-(1)$$

ここに、 $w(i)$ ：各篩に残った土塊質量(kg)、 $d(i)$ ：篩目径の中央値(mm)である。

発芽率については、糸満市のジャーガル土壌でプラウ区と心土耕区の各3ほ場で調査を行った。品種はNiF8(2ほ場)とNi15で、2004年9月と10月にロータリ装着型全茎式サトウキビ植付機で植付けた。

c 心土の破碎と作物への効果

プラウ区および心土耕区にサトウキビを植付け、生育と収量の比較を行った。糸満市のジャーガルほ場を供試し2006年7月に耕起作業を行った。畦長25m×畦幅1.3mとして同年10月に夏植を行った。品種はNi17を用い、肥培管理は「沖縄県さとうきび栽培指針」に準じて行った。2007年7月に茎数と茎長について生育調査を行い、2008年1月に茎数、茎長、茎径、ブリックスおよび収量調査を行った。

排土型心土破碎機は樹脂板を装着したブレードを除去すると、従来のサブソイラよりチゼル部分の土壌破碎面積が大きな心土破碎機として利用できる(スガノ農機：商品名ハーフソイラ、規定耕深30~50cm)。上記の心土破碎機を供試してハーベスタ収穫後のジャーガルほ場3ヶ所で、株出管理時に畦間の心土破碎を行い、サトウキビの生育と収量を調査した。心土破碎は畦間に合わせてナイフ間隔130cmで一方向作業を行った。

駆動用トラクタは 58.5kW の機種を供試した。

(3) 暗渠と心土破碎機による排水性改善技術

心土の破碎を行っただけでは排水性の改善が困難なほ場の場合、暗渠もしくは明渠の施工が必要となる。まず、そのようなほ場で心土の破碎のみを施した場合の排水性とサトウキビの生育や収量について調査を行った。次に暗渠を設置したほ場の場合について調査を行った。

a 暗渠を設置しない場合の排水性

2003 年 8 月中旬に、ジャーガルの排水不良ほ場をプラウで耕起し、排土型心土破碎機で心土の破碎を行った後にロータリで碎土したプラウ・心土破碎区と、心土の破碎を省いた対照区を設けた。9 月上旬に畦長 40m×畦幅 1.3m で夏植を行った。植付けはロータリ装着型全茎式サトウキビ植付機で行った。品種は Ni15 で、肥培管理は「沖縄県さとうきび栽培指針」に準じて行い、生育、収量と土壌水分の推移を比較した。土壌水分(体積含水率)は、土壌水分センサ(ウイジン: UIZ-ECH10 およびプレヒート付き電圧ロガー UIZ3635)を供試し、株間の地表下 10cm の部分で計測した。

プラウ・心土破碎区では、夏植サトウキビ収穫後の 2 月上旬に、畦間の心土破碎を行い、株出栽培を行った。心土破碎区、対照区とも肥培管理は「沖縄県さとうきび栽培指針」に準じて行い、生育と土壌水分の推移を比較した。

b トレンチャによる暗渠施工とその効果

農家でも実施可能な対策としてトレンチャによる暗渠施工と補助暗渠としての役割を果たすハーフソイラによる心土の破碎を合わせて実施し(以下、暗渠区、図 5-1)、暗渠と心土破碎を行わない無処理区を設けて比較を行った。また、暗渠施工の作業時間と経費を調査し、導入の可能性を検討した。

沖縄県八重瀬町の夏植収穫後のジャーガルほ場に暗渠区と無処理区を設置した。畦長 40m×畦幅 1.3m×16 畦のサトウキビ(品種 Ni15)ほ場に 1 本の暗渠を施工し、沖縄県における暗渠施工の間隔 10m に準じて両側 5m を暗渠区として調査した。暗渠施工は 58.5kW のトラクタとトレンチャ(松山株式会社: OM1000 作業深さ 60~100cm 上溝幅 26cm, 下溝幅

15cm) を用いて勾配 1/400, 深さ 90cm, 幅約 20cm, 長さ 40m の溝を畦と直角に掘削し, 底部に $\phi 75\text{mm}$ の有孔管を人力で設置した後, 疎水材で埋め戻す方法を採用した。心土破碎は畦方向に, 畦間を幅 130cm, 深さ 50~55cm で施工し補助暗渠とした (図 5-2)。

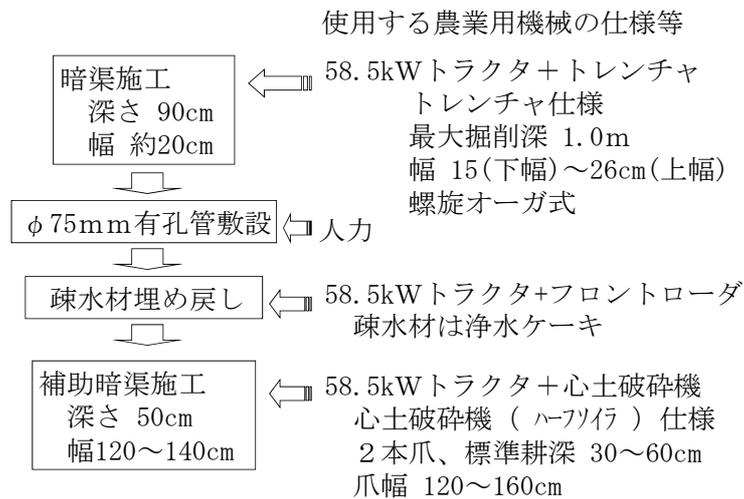


図 5-1 農業機械による暗渠施工

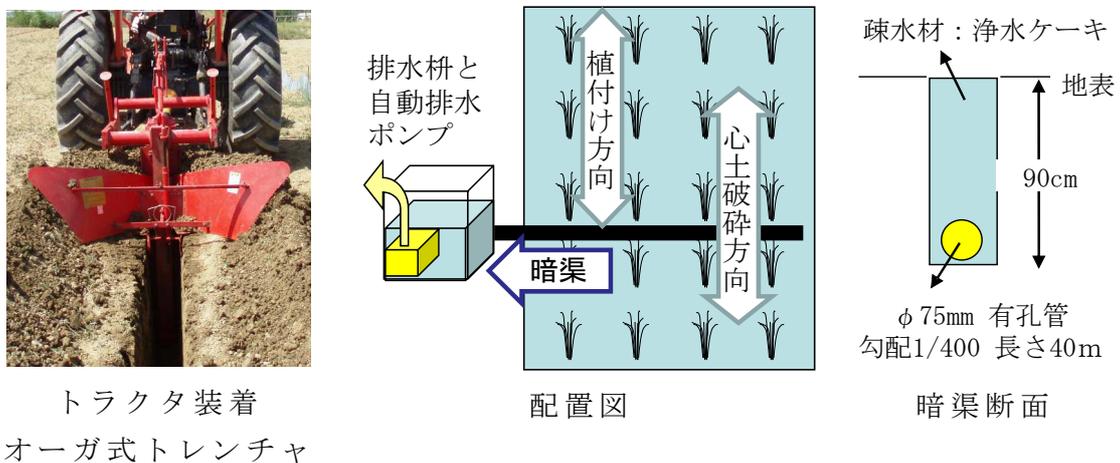


図 5-2 トレンチャによる暗渠の配置図 (八重瀬町 d ほ場)

暗渠排水の出口に排水枡 (深さ 110cm, 縦 140cm, 横 100cm) を設置し排水用ポンプ (工進: PSK65010A 最大吐出量 5L/s) で暗渠から排出される余剰水を自動排水した。暗渠の効果の持続性を検討するために, 水位と排水時間を測定した。水位は超音波距離計 (キーエンス: UD-320)

を排水柵の上部に設置し計測した。また，排水時間は超小型クランプ型電流センサ（ユ一・アール・ディー：CTL-10-CLS）とブリッジダイオード（新電元工業：S1WB(A)80）で構成した貫通型電流計を作製し，自動排水ポンプの稼動時間を計測した。

株出 1 回（2005 年度），同 2 回（2006 年度），同 3 回（2007 年度）と栽培を継続し，生育，収量および欠株について調査を行った。収穫は小型ハーベスタ（松元機工：MCH30WE 41.9kW）で行った。トレンチャ暗渠区は各回の株出管理時にハーフソイラにより畦間の心土の破碎を行った。肥培管理はトレンチャ暗渠区，無処理区とも「沖縄県さとうきび栽培指針」に準じて行った。土壌水分は，土壌水分センサ（ウイジン:UIZ-ECH10 およびプレヒート付き電圧ロガーUIZ3635）を使用し，株間の地表下 10cm の部分で計測した。

5-3 結果と考察

(1) 排土型心土破碎機による耕起および心土の破碎の状況

a 作業性能と心土の破碎による作物への効果

土壌硬度のプロファイルを見ると，プラウ区では，規定耕深 30cm 程度まで均一に膨軟な層が確認できる。一方，心土耕区では，ロータリ耕による 25cm 付近までの均一な膨軟層に加えて，55cm 程度の深さまで心土が破碎された作用跡が確認できる（図 5-3）。

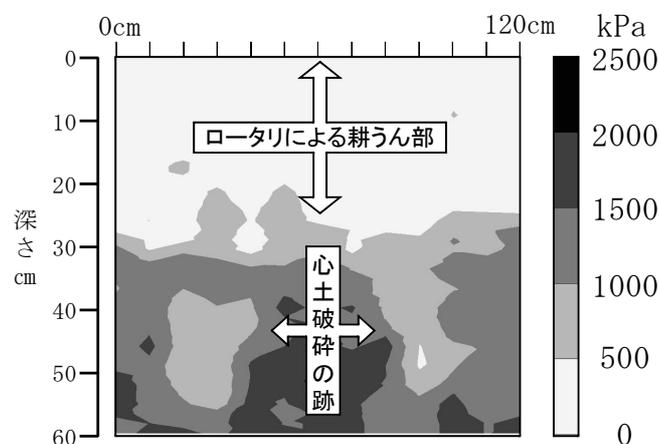


図 5-3 心土耕区の砕土作業後の土壌硬度プロファイル（糸満市 Aほ場）

耕起した土層断面の観察では、プラウ区は土壌の反転が良好で雑草を埋没させていた。心土耕区は、局部耕起のため土壌の反転性や雑草などの埋没性はプラウ区には劣っていた。今回の調査に使用したロータリ装着型全茎式植付け機は除草剤散布器を装着しているので、雑草は問題なく処理できた。通常、生産法人やコントラクタでも同様の植付け機を使用するので、心土耕でも雑草は問題なく処理できると考える。

作業適ほ場におけるほ場作業量は、心土耕区 16a/h、プラウ区 9a/hとなり、約 1.8 倍の作業量を処理できることが明らかになった。また、高水分ほ場では、心土耕区 8.7a/h、プラウ区 3.8a/hとなり、2.3 倍の作業量となった。1 時間当り作業量は、心土耕区はプラウ区のほぼ 2 倍となった（表 5-2）。間隔 130cm の 2 連ナイフで 2 行程行う心土耕は、作業幅 65cm の 2 連作業に相当し、プラウの 1 行程作業幅 45cm に比べて作業能率が大幅に向上したものと考ええる。

表 5-2 心土耕とプラウの耕起作業能率の比較

条件	土壌 含水比(%)	供試 トラクタ(kw)	作業機	作業方法	走行速度 (m/s)	耕深 (cm)	ほ場作業量 (a/h)
作業適ほ場 糸満市Aほ場	28	60.7	心土耕(プラウ)	一方向 65cm間隔	0.57	47	15.9
			プラウ(18inch)	一方向 耕幅45cm	0.58	35	8.9
高水分ほ場 八重瀬aほ場	31	58.5	心土耕(プラウ)	一方向 65cm間隔	0.54	45	8.7
			プラウ(18inch)	一方向 耕幅45cm	0.41	36	3.8

注) プラソイラは 2 連

耕起作業の能率や走行性は土壌水分に大きく影響される。心土耕による耕起作業ではトラクタの 4 輪とも未耕起ほ場面を走行するため地表付近の含水比に影響され、プラウによる耕起作業では右側の前後輪が鋤き床を傾斜して走行するため地表下 30cm の含水比に影響される。一般に、同一ほ場では地表下 30cm の含水比は地表近くのそれより高い（図 5-4）ので、プラウの作業性能は低下しやすいと考えられる。耕起作業では、排土型心土破碎機の作業能率が高くなるだけでなく、オペレータは良好な姿勢で作業が可能である（図 5-5）。また、トラクタは未耕起ほ場面を走行するので、プラウの鋤き床のような硬盤の形成は少ない。

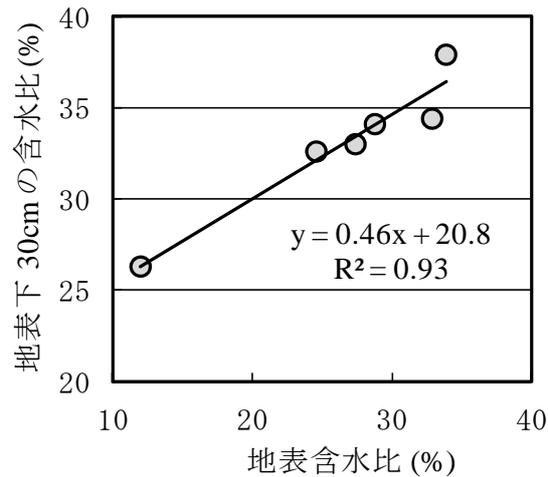


図 5-4 地表と地表下 30cmの土壤含水比
調査したジャーガルほ場における土壤水分分布

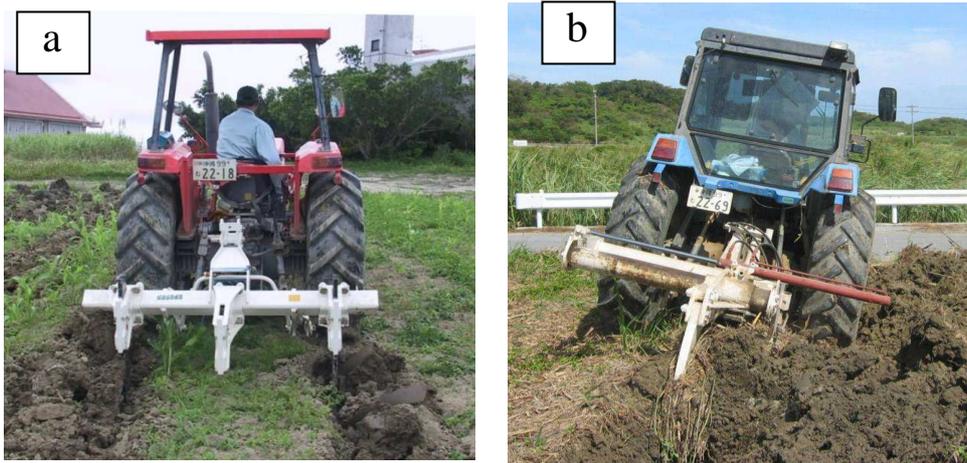


図 5-5 (a)心土耕と(b)プラウ耕の作業姿勢

心土耕区では，生育初期から茎長が長くなる傾向があり，収量調査ではプラウ区より茎長が長くなり収量は 14%高くなった(表 5-3)。これは，心土の破碎作用が深さ 50cmまで達して根の伸長が促進されたためと考えられる。

株出栽培でも心土破碎を行った方が茎長は長くなり収量が増加する傾向がみられた。台風の影響や気象条件にもよるが，心土破碎効果は株出で平均 11%程度の増収効果がある(表 5-3)。なお，株出ほ場の 10a当りの平均作業時間は 1.0 時間(1 方向作業)，ほ場作業効率は 49.0%であっ

た。また、畦間の心土破碎深さは平均 54cmであった。

b 平均土塊径と発芽率

平均土塊径はサトウキビの発芽などに影響する。耕起作業にプラウを利用している農家は、通常 2 回程度砕土を行っている。心土耕区の砕土 2 回目では土塊径は 37.4mm で、プラウ区の砕土 2 回目の土塊径 23.7mm に比べて粗く、2 回の砕土では不十分と思われる。沖縄県内の多くのサトウキビ生産法人やコントラクターはロータリ装着型全茎式植付機を保有しており、砕土・植付け同時作業を通常行っている。砕土 1 回目と 2 回目の土塊径はプラウ区の方が小さい傾向にあったが、植付け時の 3 回目の砕土による最終土塊径は心土耕区で 20.4mm、プラウ区で 18.5mm と同程度であった(図 5-6)。発芽率調査では 3 ほ場の平均値で、心土耕区 57%、プラウ区 61% で、心土耕区はプラウ区の 94% で有意な差はなかった。これよりロータリ装着型全茎式植付け機を併用すれば、心土耕による耕起で実用上の問題はないと思われた。

表 5-3 心土破碎の効果 (ジャーガルほ場)

作型	処理区	ほ場名	茎 長		茎径	茎 数		収 量		Brix (%)
			cm	比(%)	mm	本/10a	比(%)	kg/10a	比(%)	
夏植	心土耕区	糸満市	277	115	24.3	7,380	103	10,520	114	22.5
	プラウ区	Eほ場	240	100	24.1	7,180	100	9,220	100	23.5
	心土破碎区	糸満市	260	110	24.7	11,150	112	8,970	113	21.5
	対照区	Fほ場	236	100	25.2	10,000	100	7,920	100	22.7
株出	心土破碎区	糸満市	241	106	24.8	11,150	93	8,510	97	21.8
	対照区	Gほ場	226	100	23.7	12,000	100	8,790	100	21.6
1回目	心土破碎区	南城市	208	103	21.4	7,370	101	7,230	111	—
	対照区		201	100	20.8	7,330	100	6,500	100	—
株出	心土破碎区	糸満市	212	120	23.0	10,154	102	7,479	123	22.6
2回目	対照区	Fほ場	176	100	22.1	9,949	100	6,068	100	22.9

夏植時の心土耕はプラソイラを使用

株出管理時の畦間の心土破碎はハーフソイラを使用

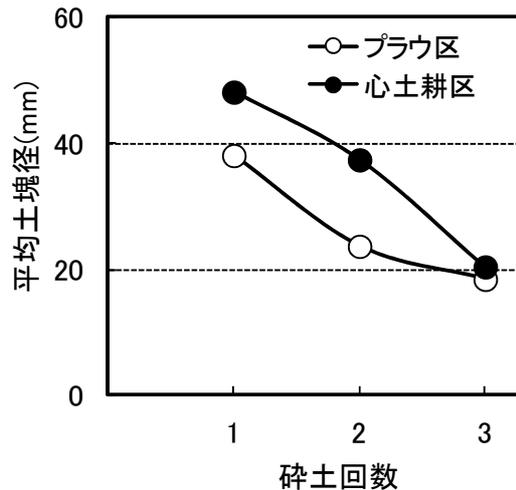


図 5-6 サトウキビほ場の碎土回数と土塊径
八重瀬町ジャーガルbほ場

(2) 暗渠と心土の破碎による排水性改善

a 暗渠を設置しない場合の排水性

ジャーガルの排水不良ほ場では台風や降雨後、心土破碎区と無処理区いずれも余剰水や地表水が長時間停滞する状況が続いた。ジャーガルほ場では、トラクタなどにより適正に耕起や碎土作業ができる土壤水分は30%(db)以下である(深見ら, 2009)。心土破碎区と無処理区における土壤水分の経時変化は、2004年9月の台風(降雨量61mm)通過後および10月の台風(降雨量56mm)の通過後ともに約20日以上経過してようやく土壤含水比30%程度に低下した。また、11月中旬に降雨が続いたケースでは、両区とも30日以上経過しても30%を下回ることがなかった。農業機械により適正な作業ができる期間は、両区とも10/1~12/31の3ヶ月間で10日程度しかなかった。また、このような湿度の高い状態では作業を行っても精度がかなり低下することが予想された。全体的に心土破碎区の含水比が高く推移しており、ジャーガルの排水不良ほ場では心土の破碎による排水性の改善効果は見られなかった。

収量調査では心土破碎区の茎数が少なくなる傾向が見られた。心土破碎区の収量は、夏植で無処理区に比べて102%、株出で97%となり心土の破碎による効果は判然としなかった(表5-4)。ジャーガルの排水

不良ほ場では心土が破碎されても必ずしも増収につながらず，暗渠や明渠などで余剰水をほ場外へ排出する必要があることが確認できた。

b 暗渠と心土破碎施工による排水性の改善

調査日の前々日に 35mm，前日に 7mm の降雨があった事例では，無処理区の畦間は滞水していたが，暗渠区では滞水は見られず，雨水の浸透性が良くなったと考えられる。暗渠区は降雨後も総じて低水分で推移し，土壌水分 30% 以下に達するまでの日数が 5 日間ほど短縮され，早期の作業が期待できる（図 5-7）。

排水不良ほ場では茎数が減少する傾向が報告されている（Camp and Carter, 1983）が，本調査においても無処理区では萌芽不良による欠株が多くなり，茎数も減少した。暗渠区は，無処理区より茎長が 15% 程度長くなり，株出 1 回目で 10%，2 回目で 25% 増収した。無処理区の株出 3 回目では茎長が短くなり，茎径も細く，収量は暗渠区の 60% 程度となった（表 5-4）。株出 3 回の合計収量では，排水性改善により 30% の増収効果が認められた。

表 5-4 ジャーガル排水不良畑の暗渠の効果

暗渠を設置しない場合の排水性（八重瀬町 c ほ場）

品種		茎長		茎径	茎数		収量	
		cm	比(%)		本/10a	比(%)	kg/10a	比(%)
Ni15	夏植							
	心土破碎区	210	101	21	10,600	95	13,430	102
	無処理区	208	100	21	11,120	100	13,180	100
株出	心土破碎区	176	91	24	7,560	95	5,290	97
	1 回目 無処理区	193	100	23	8,000	100	5,470	100

注) 心土破碎区の夏植はプラソイラ、株出はハーフソイラによる心土破碎

トレンチャによる暗渠の効果（八重瀬町 d ほ場）

		茎長		茎径	茎数		収量		欠株率(%)
		cm	比(%)		本/10a	比(%)	kg/10a	比(%)	
株出	暗渠区	192	103	24	8,250	103	5,800	109	—
1 回目	無処理区	186	100	24	8,000	100	5,350	100	—
株出	暗渠区	208	119	22	8,690	103	6,260	124	26
2 回目	無処理区	175	100	23	8,440	100	5,030	100	49
株出	暗渠区	169	127	20	11,230	111	6,540	169	15
3 回目	無処理区	133	100	18	10,150	100	3,880	100	24

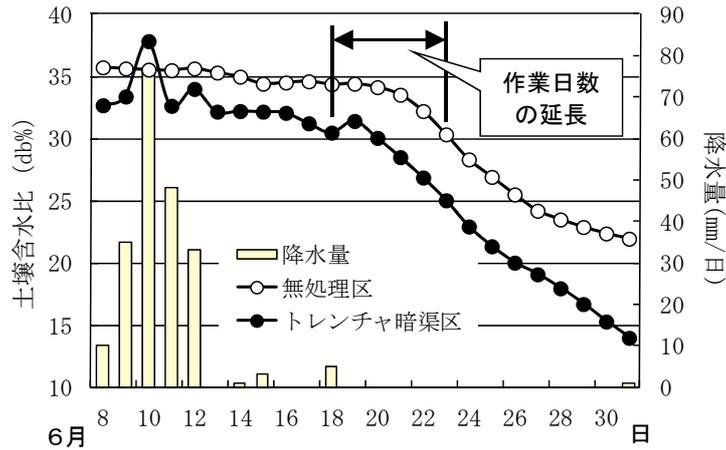


図 5-7 降雨後の土壤水分の推移の比較（八重瀬町dほ場）

暗渠区で、本暗渠と補助暗渠（心土の破砕跡）が持続的に機能しているかどうかを、排水枡に設置した自動排水ポンプの吐出量（2L/s）から推定した。ポンプの稼働時間から排水量を算出し、排水量を排水時間で除して暗渠からの排水流量とした。降雨後、ほ場内余剰水の暗渠から排水流量は、1.1～1.2L/sで、2年経過しても同程度で推移しており、本暗渠、補助暗渠とも機能していることが確認された。ハーベスタ収穫後の株出には心土破砕が不可欠と考えるが、土壤貫入抵抗の調査で暗渠区は、サトウキビ収穫8カ月後でも地表下50～55cmまで膨軟な溝跡が確認され、雨水は主にこの部分を浸透していくと考えられる。その結果、暗渠からの排水能力は維持され、本暗渠と補助暗渠が効果的に機能したと考えられる。

表 5-5 10a 当り暗渠施工費用

自然排水 10a 当り積算 資材費	単価 円	数量	単位	金額 円
浄水ケーキ	4,000	25.2	m ³	100,800
有孔管φ75mm	350	140	m	49,000
作業委託料				
トレンチャ作溝	5,000	10	a	5,000
機械賃借料等				
ローダ使用料	10,000	1	日	10,000
人件費				
3人×14時間	1,400	42	人・時間	58,800
合計				223,600

注1) トレンチャ掘削作業はロータリ作業請負料金に準じた

注2) ローダによる充填作業は7時間で、使用料は
ホイールローダ賃借料1日分に準じた



図 5-8 建設機械を用いた暗渠設置

トレンチャによる暗渠の施工経費は、疎水材（浄水ケーキ）、有孔管 PEパイプなどの資材費とトレンチャ掘削、有孔管設置、疎水材充填などの機械利用、および人件費で、10a 当り合計 224 千円であった（表 5-5）。一方、ほぼ同じ時期に糸満市で行われた従来暗渠の施工（図 5-8）についての聞き取り調査では 546 千円/10a の経費を要した。トレンチャによる

作溝作業は、作業速度 0.20km/h、ほ場作業効率 98%であった。畦長 40m の供試ほ場において 10m間隔で作溝を行う場合、作業能率は 19.6a/hである。沖縄県内における従来暗渠の施工は、建設機械を用いた農業土木事業で行われることが殆どであるが、トレンチャによる暗渠は生産法人などのオペレータでも自力での施工が可能である。

明渠や暗渠の掘削にはトレンチャが必要であるが、沖縄県内では普及していない。ジャーガルほ場には、心土の破碎のみでは改善できない排水不良ほ場が多いので、今後、生産法人やコントラクタへの普及が望まれる農業機械である。また、土地改良区の整備ほ場の周囲には排水溝があり農道はアスファルトで固められている。その結果、排水不良ほ場では余剰水の自然排出は困難となっている。このため、排水溝をくり抜くなど、ほ場外に排水できる工夫が必要で、暗渠の設置は現場に合わせて施工しなければならない。ポンプでの強制排水は、排水溝などもなく、落差が確保できないほ場や園芸施設などで有効である。その際は、10a 当りの所要経費として、排水柁施工費 10 万円、自動排水ポンプ 7 万円の固定費や年間 5000 円程度（2 年間平均）の電気料金などが必要である。

5-4 摘 要

ジャーガル土壌のサトウキビ栽培で懸念される機械化と土地改良に伴う土壌硬化や排水不良による減収対策として、本研究では、営農レベルでも施工可能な心土の破碎と暗渠による改善効果を検証し、次の結果を得た。

- (a) 心土耕では、55cm程度の深さまで心土が破碎された跡が確認され、プラウで耕起作業を行った慣行ほ場より茎長が長くなり増収する。
- (b) 心土耕はプラウのほぼ 2 倍の作業能率でエネルギー効率に優れている。
- (c) ジャーガルほ場では心土耕後、砕土を 3 回行えばプラウによる慣行作業の砕土率と同程度となり、発芽率にも差はなかった。
- (d) 心土の破碎を行っても改善されないジャーガルほ場において停滞した地表水や余剰水をほ場外へ排出する暗渠と心土の破碎を組み合わせた暗渠区は、無処理区より茎長が長くなり、発芽不良による欠株が抑

えられ茎数が増加した。その結果，サトウキビ株出 3 回で 30%の増収効果が得られた。

- (e) 建設用機械などを利用して行う従来暗渠の施工費は10a当り 546千円であるが，トラクタに装着するオーガ式トレンチャ等の農業機械による暗渠の施工費は 224 千円で，法人やコントラクタのオペレータでも施工が可能な技術である。

参考文献

- 赤地徹，1999. 南西諸島における海洋への土砂流出発生機構の解明と防止技術に関する研究. 農林水産省農林水産技術会議，339，63-71.
- Camp , C.R.,Carter,C.E.,1983.Sugarcane yield response of subsurface drainage for an Alluvial soil. Transaction of the ASAE,26(4),1112-1116.
- 深見公一郎，杉本光穂，新里良章，赤地徹，2009. サトウキビ栽培における作業可能日数拡大のための圃場排水性改善技術. 農作業研究. 44(2)，73-80.
- 深見公一郎，杉本光穂，新里良章，赤地徹，2012. 沖縄の重粘土壌における排土型心土破碎機の適正作業条件の解明. 農業機械学会誌，74(2)，115-122.
- 林和男，村田公夫，2005. 広幅型心土破碎機による土壌透水性の改善効果. 群馬県農業技術センター研究報告，41(2)，145-150.
- 泉裕巳，秋永孝義，國府田佳弘，上野正実，1981. ジャーガル地帯における農業の機械化に関する研究：ジャーガルの物理的性質. 琉球大学農学部学術報告，28，163-171.
- 仲宗根盛徳，赤地徹，大城健，宮平守邦，1991. サトウキビほ場における心土破碎の効果. 平成11年度サトウキビ関係試験成績概要書，沖縄県農作研究協会，29，476-477.
- 中津智史，東田修司，沢崎明弘，2004. 硬盤層の簡易判定法と広幅型心土破碎による対策. 日本土壌肥料学雑誌，75(2)，265-268.
- 沖縄県農林水産部. 2011. 沖縄県さとうきび生産実績 2010/2011. 沖縄県，那覇. 67.

- 大城健，赤嶺文夫，1988. 深耕による経済効果. 第15回サトウキビ試験成績発表会要旨，那覇，21.
- 上野正実，泉祐巳，國府田佳弘，秋永孝義，呉屋昭，1982. 客土によるジャーガル畑の走行性向上に関する研究. 琉球大学農学部学術報告. 29, 169-175.
- 薬師堂兼一，1999. 南西諸島における海洋への土砂流出発生機構の解明と防止技術に関する研究. 農林水産省農林水産技術会議，339, 44-50.
- Yang,S.J.,Chen.J.B.,1980.Germination response of sugarcane cultivars to soil moisture and temperature. Proceedings of International Society of Sugarcane Technologists,17,30-37.

第 6 章 サトウキビ新植およびハーベスタ収穫後の補植技術

6-1 緒 言

サトウキビ新植後およびハーベスタ収穫後の株出ほ場では 5%～30%程度の欠株が発生することがある。欠株補植の方法としては、欠株近くの株を分けて移植する方法が行われているが、重労働のため最近では実施している農家は少ない。これに対して、一芽苗をセルトレイに伏込んで育苗したセル成型苗は補植苗として有望であると思われる。そこで、セル成型苗の育苗方法と育苗に要する経費について検討を行った。

ハーベスタ収穫後のほ場では、株揃後の萌芽を観察すると欠株は容易に確認できる。ハーベスタ収穫後の株出栽培において、セル成型苗補植による欠株対策技術を確立する。また、新植後の補植についても検討を行った。

6-2 材料および方法

(1) サトウキビセル成型苗の育苗方法

a 一芽苗切断器の開発

農家で利用されている市販のサトウキビ苗切断器は一枚刃で、セルトレイに適した長さの一芽苗切断に用いると、節の両側を 2 回切断する必要があり、かつ長さは不揃いとなる。そこで、セルトレイに伏込むために、1 回の操作で 50mm または 70mm の長さに正確に切断できる一芽苗切断器を開発した。

b サトウキビ一芽苗用セルトレイの開発

50mm 程度のサトウキビ一芽苗が収まる市販のセルトレイは容量が小さく、また、耐久性にも問題があった。φ 30～40mm、長さ 50mm 程度の一芽苗が収まり、十分な覆土ができるセルトレイを開発した。開発したセルトレイと市販のセルトレイで一芽苗を育苗し生育を比較した。

c 夏場の一芽苗育苗

NiF8, Ni15, Ni17, Ni21 の 4 品種を露地でセルトレイ育苗し，発芽率，根鉢の状況，仮茎長を調査した。また，従来廃棄していた硬化芽子の発芽率，仮茎長についても測定した。

d 秋冬期の一芽苗育苗

秋冬期の温度の低い時期に NiF8, Ni15, Ni17, Ni21 の 4 品種を露地とハウス，従来型セルトレイ（セル深さ 55mm×45mm，50 穴）と改良型セルトレイ（セル深さ 65mm×55mm，50 穴）で育苗し仮茎長を測定した。

e セル成型苗育苗に要する経費の試算

セルトレイに伏込む一芽苗用のサトウキビの刈取，切断および伏込みの所要時間を測定した。その他に資材費，器材費を加えたセル成型苗一苗当りの育苗コストを試算した。

(2) 一芽苗補植による欠株対策技術

a 補植苗植付け時期

ハーベスタ収穫後のほ場で株揃えの有無による萌芽の観察および沖縄県内における春植の発芽状況の調査結果を参考に補植苗移植時期を検討した。

b 補植苗の違いと生育，収量

下記のハーベスタ収穫後の株出ほ場および夏植ほ場において，それぞれセル成型苗（一芽苗伏込み），梢頭部苗，2 節苗を補植用の苗として供試した。補植苗の株と隣接する株のそれぞれ 10 株を生育，収量調査して比較を行った。

- ① 八重瀬町富盛，ジャーガル，株出 2 回目
- ② 糸満市与座，ジャーガル，株出 1 回目
- ③ 久米島町奥武，島尻マージ，株出 1 回目
- ④ 久米島町奥武，島尻マージ，夏植

c セル成型苗補植の収益性

セル成型苗の欠株位置への移植に要する時間，単位面積当りのセル成型苗移植本数などから収益性を試算した。移植は苗挿入植付器を用いて人力で行った。

6-3 結果および考察

(1) サトウキビのセル成型苗の育苗方法

a 一芽苗切断器の開発

サトウキビの芽子や肥厚帯の大きさと切断精度を考慮し，苗の長さは 50mm 程度とした。50mm 以下では苗の割れ，誤切断が発生する。効率的に苗を切断するために一芽苗切断器を沖縄県内のH工作所と共同で開発し，製品化した。開発したサトウキビ一芽苗切断器（図 6-1）はガルバリウムメッキにより防錆効果が高く，軽量である。本器は平行に配置した 2 枚刃によって一動作で一芽苗を正確に 50mm または 70mm の長さに切断できる。



図 6-1 一芽苗切断器 切断長は 50mm または 70mm
幅:200mm, 長さ:600mm, 高さ:150mm (格納時), 重さ:5kg



図 6-2 切断作業状況

また、図 6-2 に示すように 20L コンテナにセットできるように製作されている。切断された一芽苗はコンテナの中に落下し、不良芽や節間はコンテナの外のガーデバンに落下するので後の選別が不要となった（図 6-2）。これは市販されている。

b サトウキビ一芽苗用セルトレイの開発

T 社と共同で開発したセルトレイ（図 6-3）は、切断長 50mm で径の大きい一芽苗も収まり、十分な覆土厚が得られる。セルの容量は一芽苗に利用できる既存のセルトレイの 1.7 倍で、このセルトレイで育苗した苗は仮茎長が大きくなる（図 6-4）。また、材質が厚く耐久性があり複数回反復利用できる。現在、市販されている。



図 6-3 サトウキビ用セルトレイ

横 300mm，縦:590mm，セル:口径 55mm，深さ:65mm，セル数：50 穴

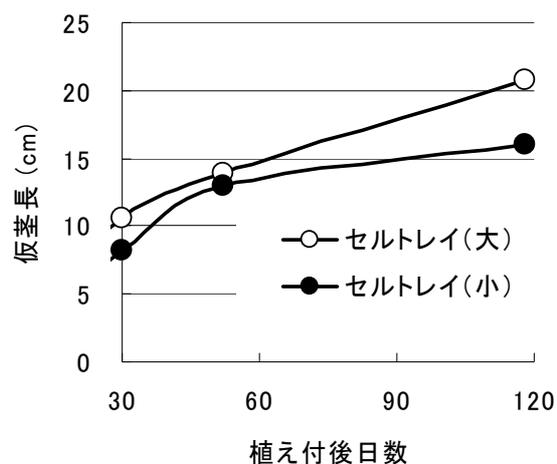


図 6-4 既存および開発したセルトレイでの仮茎長の比較

育苗条件：NiF8，10/17～2/12，ハウス内

培地：腐熟フィルターケーキ，無肥料で朝夕 2 回自動灌水

c 夏場の一芽苗育苗

7月27日に一芽苗をセルトレイに伏込み，9月7日まで育苗した結果，NiF8，Ni15，Ni17，Ni21の4品種とも発芽率は90%を超え，良好な発芽率を示した（表6-1）。

表 6-1 セル成型苗の発芽率

品 種	NiF8	Ni15	Ni17	Ni21
発芽率(%)	90.4	98.0	96.0	90.0

植付日：7月27日

調査日：9月7日

補植苗として供用できるまで根鉢が形成された苗は，仮茎長が15cm以上（図6-5）で，夏季では45日～55日程度で育苗できる（図6-6）。



図 6-5 (a)夏場の育成状況

(b)根鉢の状況

根鉢形成で土壌が崩れない時に移植可能

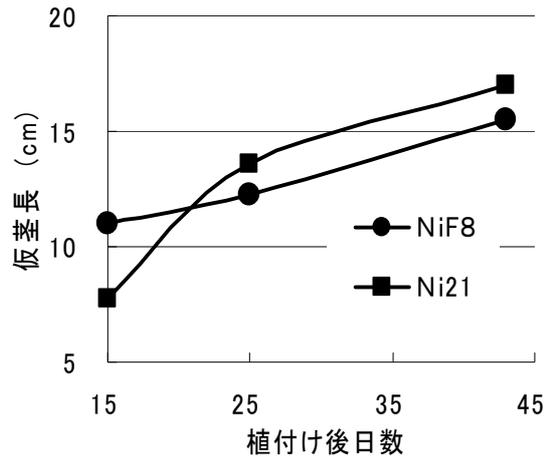


図 6-6 セル成型苗仮茎長の経過（夏期）

培地は腐熟フィルターケーキ，無肥料で朝夕 2 回自動灌水

また，従来は廃棄されていた褐変・硬化した芽子（図 6-7）でも，生育は不揃いながら，発芽率は 70%以上あり，一芽苗として利用できることがわかった。最近では相次ぐ台風で，苗が不足するケースが多々見られるが，これによって苗不足を緩和できると思われる。



図 6-7 硬化芽子

硬化，老化の判定はサトウキビ専門の技術補佐員による

d 秋冬期の一芽苗育苗

10 月 17 日に一芽苗を容量の大きいセルトレイに伏込み，2 月 12 日まで育苗した結果，パイプハウス（ ϕ 25mm パイプ，間口 3m，高さ 2m）内で育苗した苗（図 6-8）は，露地育苗に比べて，仮茎長で 1.5 倍程度の伸びを示した。特に，12 月中旬以降は，露地では生長

が止まるが，ハウス育苗では伸長を続ける。パイプハウスを利用すれば，仮茎長 15cm 以上で根鉢が形成された移植可能な苗を 70～90 日程度で育苗できる（図 6-9）。



図 6-8 ハウス育苗の様子

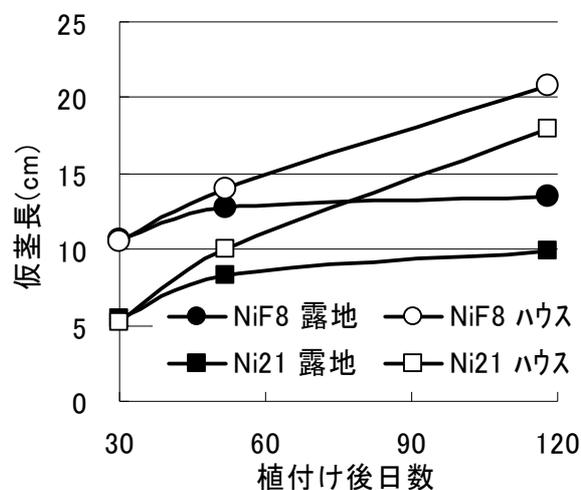


図 6-9 ハウスと露地によるセル成型苗の仮茎長の比較

秋冬期 10/17～2/12，培地は腐熟フィルターケーキ

無肥料で朝夕 2 回自動灌水

e セル成型苗の育苗経費の試算

開発した 50 穴のセルトレイを利用した場合，サトウキビの刈取り，一芽苗切断，セルトレイへ伏込みまでの作業時間は，一苗当り，7.8s

を要する。育苗床はブロックなどの上にエキスパンドメタルを載せた簡易な構造とし（図 6-10）、灌水はタイマで行い，人件費を節減した。その結果，資材費は 1 苗当り 4.0 円となった。秋冬季，育苗ハウスを利用する場合は，表 6-2 の下段に示すように，1 苗当り 4.4 円が加算される。それらを合計すると，露地育苗では 1 苗当り 8.6 円，冬季のハウス育苗では 13.0 円となる（表 6-2）。上記の器材があれば，セル成型苗の育苗は農家の庭先でできる技術である。



図 6-10 ブロックとエキスパンドメタルによる簡易な育苗床

表 6-2 サトウキビセル成型苗の育苗経費

項 目	金額換算
刈取り、苗切断、植付け等の労賃	2.6円/苗
サトウキビ 一芽苗	2.0円/節
トレイ、ブロック等資材費	4.0円/苗
夏期合計	8.6円/苗
ハウス（間口6m、長さ30m）	4.4円/苗
冬期ハウス利用の場合の合計	13.0円/苗

積算根拠は，

- ①サトウキビ刈取，一芽苗切断，セルトレイへの伏込みに要する経費は人力による労賃換算
- ②一芽苗代金：沖縄県農試経営調査

③資材は耐用年数 3 年で計算

④ハウス利用：φ25 のパイプハウスで 23000 苗生産した場合で試算

⑤参考：側枝苗 15 円/本 として。

(2) 一芽苗補植による欠株対策技術

a セル成型苗植付け

サトウキビの幼芽の伸長は 20℃以下では極めて緩慢で、沖縄県では株出ほ場の萌芽が活発になるのは 2 月中・下旬以降である。ハーベスタ収穫後 2 月中旬以前に株揃えしたほ場では、稚茎の伸長は株揃え直後から観察されるが、地中からの萌芽は 2 月下旬以降でないと確認が難しい。このため、ほ場での欠株位置(セル成型苗移植場所)の確定は 2 月下旬頃が適当と思われる。欠株を確認しないで植付けてその後、萌芽茎が出現した場合には成長は抑制された。2 月中下旬以降にハーベスタ収穫・株揃えしたほ場では、セル成型苗移植時期は、株揃え後 3～4 週間を目処に地中からの萌芽を確認してから行うことを目安とする。

上述の時期に補植試験を行った株出ほ場では、地中からの萌芽茎仮茎長は 4.0～10.1cm (図 6-11)であった。株揃え後の地中からの萌芽茎が 10cm 程度までの時期が補植適期と考えられる。

また、供試ほ場では、欠株間隔 40cm に 1 本の割合で補植を行った。円筒型苗挿入植付器を利用し 15cm 程度の植穴を人力で開けて (図 6-12)、補植を行った (図 6-13)。



図 6-11 植付け時の周辺株の生育の目安
仮茎長 10cm 程度



図 6-12 円筒型苗挿入植付器

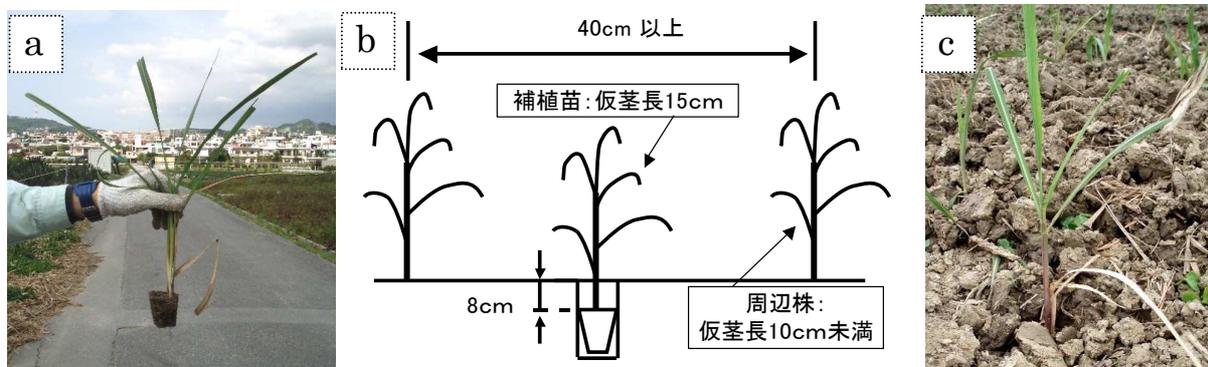


図 6-13 移植苗：葉令 4~5 枚で仮茎長 15cm 程度(a)
セル成型苗の植付け方法(b)と移植苗(c)
移植の時期の目安は周辺株仮茎長 10cm 程度

さらに、株揃え実施ほ場に比べて株揃えしないほ場では欠株の確認が1ヶ月以上遅れ、補植苗の生育が周辺の株によって抑制された。この意味でも株揃えはハーベスタ収穫後の株出管理作業として直ちに行う必要がある（図 6-14）。

夏植ほ場の補植については、発芽揃いが植付けから2~3週間後であり、それ以降のできるだけ早い時期に行う。



図 6-14 株揃えの有無と欠株の確認

b 補植苗の違いと生育，収量調査

一芽苗補植による欠株対策実証ほを設置した。株出で単収が6.0t/10a程度，夏植で7.5t/10a程度のほ場において，補植株は周辺の株に対して生育重量で80%程度を示した（表 6-3，図 6-15）。補植苗としては，初期生育が旺盛な NiF8 や Ni21 を利用した方が有利である。対照用に2節苗と梢頭部苗を補植に供試したが，周辺株に対する生育量は20%程度しかなく，収穫まで残る株は少なかった（表 6-3，図 6-15）。また，初期生育の旺盛な株出や夏植ほ場では，セル成型苗も周辺の株に生育が抑制される傾向が見られた。

(3) セル成型苗補植の収益性

40cm以上の株間がある場合を欠株として補植を行った。補植作業は，植穴開けと補植苗投入要員の2人組み作業で行った。6t/10aのほ場で欠株率15%を想定すると，必要補植苗数は280本で，セル成型苗の費用は約3000円（冬季育苗）。補植による収量回復は

530kg/10a(約 1 万円/10a)程度であり，補植を行うと 5000 円/10a 程度の収益向上が見込まれる（表 6-4）。セル成型苗育成や移植の自家労賃を差引いた場合は 2500 円/10a 程度の収益向上となる。

ハーベスタ収穫後，株揃えしたセル成型苗の株と隣接株を比較した（図 6-16）。補植した主茎の萌芽位置は地表から深さ 11.4cm であった。収穫茎の平均分けつ出現位置はセル成型苗で地表から深さ 7.6cm，隣接株では 5.0cm であった。収穫後の残存株の状況から，セル成型苗による補植株は次期株出に対しても欠株の軽減が期待できる。

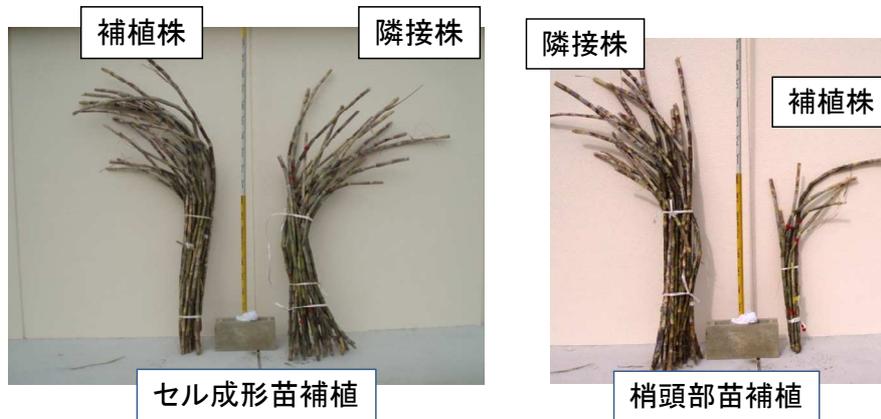


図 6-15 補植苗の違いと生育の違い



図 6-16 収穫後の地下部の比較

(a)セル成型苗株 (b)隣接株

表 6-3 補植株と周辺株の収量比較

場所	栽培条件等	株の種類	茎 長		茎数/株		茎重/株	
			cm	比(%)	本/株	比(%)	kg	比(%)
Y町T	株出し2回目(ジャーガル) 単収：5,800kg/10a 収穫日：06/1/13 補植日：06/02/06 収量調査日：06/12/11	セル成型苗株(NiF8)	238	103	2.3	66	2.3	86
		隣接株(Ni15)	232	100	3.4	100	2.6	100
		梢頭部苗株(NiF8)	113	61	1.3	36	0.4	19
		隣接株(Ni15)	184	100	3.4	100	1.9	100
		二節苗株(NiF8)	102	57	1.3	29	0.3	13
		隣接株(Ni15)	178	100	4.7	100	2.2	100
K町O	株出し1回目(島尻マーヅ) 単収：5,500kg/10a 収穫日：06/03/04 補植日：06/03/23 収量調査日：07/01/11	セル成型苗株(Ni17)	161	84	2.6	84	1.6	71
		隣接株(Ni17)	191	100	3.1	100	2.2	100
		梢頭部苗株(Ni17)	139	77	1.7	61	0.8	43
		隣接株(Ni17)	181	100	2.8	100	1.7	100
		二節苗株(Ni17)	107	63	1.2	35	0.5	22
		隣接株(Ni17)	169	100	3.4	100	2.3	100
K町O	夏植え(島尻マーヅ) 単収：7,500kg/10a 植付け：05/09/20 補植：05/10/31	セル成型苗株(Ni17)	282	101	3.0	81	3.3	84
		隣接株(Ni17)	280	100	3.7	100	3.9	100
Y町T	株出し3回目(ジャーガル)	梢頭部苗株(NiF8)	97	58	3.8	18	0.4	21
		隣接株(Ni15)	167	100	21	100	1.8	100

表 6-4 セル成型苗による減収軽減効果と収益性

単位収量(想定) (ト/10a)	欠株率(想定)	補植による減収 回復割合	補植率	補植による収量回復 (ト/10a)
6	0.15	0.8	0.63	0.53
補植による 粗収益(円/10a)	必要補植本数	セル成型苗金額 (円)	増収分の ハーベスタ収穫賃	
10,816	281	2,925	2,647	

補植による収益(5,244円/10a) = 増収分(10,816円) - セル成型苗代金(2,925円)
- 増収分ハーベスタ収穫賃(2,647円)

6-4 摘 要

(1) サトウキビのセル成型苗の育苗方法

- a 補植用のセル成型苗の育苗に必要な一芽苗切断器とセルトレイを開発した。
- b 夏期および秋冬期ともにセル成型苗は、発芽率 90%以上で良好な成績を示した。
- c 仮茎長 15cm以上で移植可能な根鉢ができたセル成型苗は、夏期には露地において 40日程度で育苗できる。秋冬期はパイプハウ

スの育苗で 70～90 日程度を要した。

d セル成型苗の 1 苗当り経費は露地では，8.6 円，秋冬期ハウス育苗では 13.0 円で，側枝苗などに比べると安価である。

(2) 一芽苗補植による欠株対策技術

a 株出ほ場では，欠株周囲の萌芽茎が 10cm 程度に成長する時期当りが補植適期で，欠株間隔 40cm に 1 本の割合でセル成型苗を補植する。

b セル成型苗の補植株は，周辺株に対して茎重で 80% 程度の成長量であった。2 節苗と梢頭部苗を補植した場に合はずかに 20% 程度の茎重となり枯死するものも多く，補植には適さない。

c セル成型苗の補植は 5,000 円/10a 程度の収益向上が見込まれ，次期株出に対しても欠株の軽減が期待できる。

参考文献

大城正市，知念潤，1992. ジャーガル地域の奨励品種の発芽率，平成 4 年度サトウキビ関係試験成績概要書，沖縄蔗作研究協会，22，374-375.

新崎正雄，唐真彦，大浜当八，1996. 側枝苗を利用したサトウキビ生産体系の実証．平成 8 年度サトウキビ関係試験成績概要書，26，334-335.

屋良利次・森田孟治・大田守也，2000. サトウキビの品種別発芽率（春植），平成 12 年度サトウキビ関係試験成績概要書，30，268-269.

宮里清松，1986. さとうきびとその栽培．日本分蜜糖工業会，那覇，364.

第7章 サトウキビ用3作業同時株出管理機の開発

7-1 緒言

沖縄県では、サトウキビ生産農家の高齢化や担い手の減少により収穫作業を中心に機械化が進んでいる。2013年現在、生産量の約54%がハーベスタ収穫となっており（沖縄県農林水産部，2014）、機械収穫率は年々増加している。

ハーベスタ収穫では原料への土砂の混入を避けるために地際部から刈取っている。しかし、培土が十分ではないほ場や、畦形状が均一ではないほ場が多く、中型、大型ハーベスタ（95kW以上）収穫では、多少の深刈を許容しており、土砂混入による工場の機械部品の損耗などが懸念される。一方、沖縄県における主要な導入機種である小型ハーベスタ（約60～95kW）は、エンジン出力が小さいので深刈を避けるため高刈の発生が多くなる傾向にある。サトウキビは新植ほ場の収穫後、2～3回の株出栽培が行われている。高刈茎は株出管理の妨げとなるだけでなく、頂芽優勢で残茎上部から萌芽した茎はいずれ枯死する。このため、ハーベスタ収穫直後の株出管理の一環として株揃えが行われる。また、ハーベスタ収穫後、深さ5cm程度の株揃えを速やかに実施することによって萌芽が揃って増収効果が期待できる（白澤，2007）。外国でも土壌害虫の防除と増収を目的に株揃えを行う地域もある（Nadeem et al., 2013）。

逆に、株出管理が遅れると、次期収量は13%減収し、可製糖量が13%減少する。そのため、ハーベスタ収穫後は早期に株出管理を行う必要がある（竹牟禮稔，2005）。しかし、株出管理の時期は、収穫、植付けおよび施肥や除草剤散布が重なり、農家にとっては最も多忙な時期であるため、適期作業が遅れることも少なくない。その改善策としていくつかの作業を1台のトラクタで同時作業する方法が考えられる。小型ハーベスタの普及に伴って、農業生産法人や個別農家に11～15kW級トラクタ（軽トラクタ）の導入が進んでいる。従来の小型株揃機は軽トラクタに搭載し、株揃作業のみを行っている。本研究では、小型株揃機をベースに、施肥、除草剤散布を同時に行う効率的な3作業同時株出管理機（以

下、株出管理機)の開発を行った。

ハーベスタ収穫後の株出ほ場では高刈や欠株の他に、雑草の繁茂が低収量の原因となる。株周辺にトラッシュ(枯葉類)のマットを放置したまま株間に除草剤を散布しても雑草抑制効果は減少する(中山ら, 2004)。高培土を適正に行い、開発した3作業同時株出管理機を用いて株出の減収軽減効果を確認する試験を行った。

7-2 3作業同時株出管理機

株揃機は、2本の円筒に4枚の刃を取付けたディスクカッタを装着して、PTOからの動力で回転させ、高刈株を刈揃える装置である(図7-1)。沖縄県には、1990年前後に機械化体系の一環として導入された。当初の株揃機は、円筒1本にディスクカッタを取付けたもので、適応トラクタは中型(30kW)以上であった(図7-1a)。現在普及している株揃機は、ハーベスタのベースカッタと同じ2軸仕様となっている。株揃専用機として普及し、軽トラクタに適応する機種もある(図7-1b)。



図7-1 (a) 導入当時の株揃機



(b) 改良前の小型株揃専用機

(1) 小型株出管理機の概要

サトウキビ生産農家が数多く所有している軽トラクタに装着できるように、従来の小型株揃専用機の軽量化を図った。3作業同時株出管理機は、軽量化された株揃部のフレームに肥料タンク、施肥機および除草剤散布ノズルよりなる作業機をトラクタの3点ヒッチに装着し、さらに

トラクタ前方に搭載した農薬タンクから構成されている（図 7-2）。

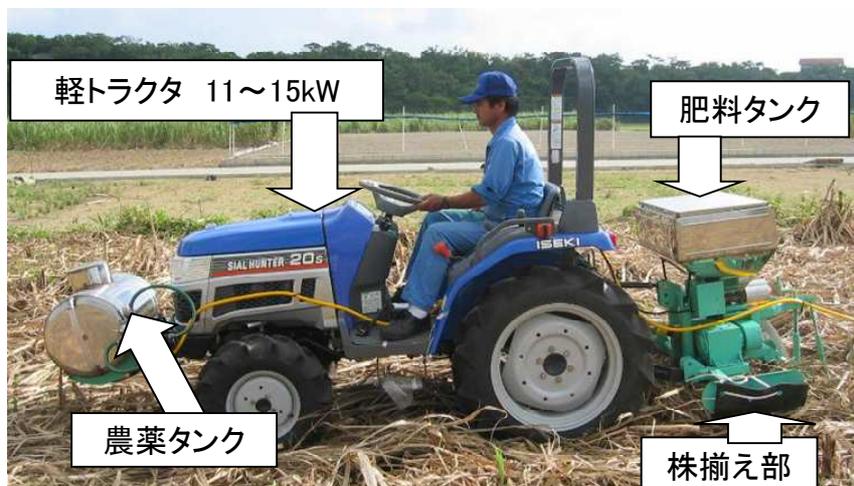


図 7-2 開発した株出管理機

サトウキビ専用B.B.肥料（N-P-K 16-9-9）は 1 袋 20kgの製品が多く出回っているが，肥料タンクには 5 袋，100kgが充填できる。最初の株出管理で 10a当り基肥 3 袋施肥するが，これは約 17a分に相当する。また，製作した薬液タンクは容量 80Lのステンレス製円筒とした。沖縄県内では収穫直後の株出管理に主にDCMU水和剤が使われている。除草剤の散布量は 10a当り 100～150g，希釈水量約 80Lであるので 8a相当の量を積載できる。

この作業機は，軽トラクタに装着し，株揃え，施肥および除草剤散布の 3 行程が同時に作業可能である。3 点ヒッチに装着する株揃機と施肥機および農薬タンク部を合わせた総重量は 214kgである（表 7-1）。後述するように，主として従来の株揃専用機の小型軽量化を図り，株揃部のみで 34kg，約 18%軽量化することができた（表 7-1）。

表 7-1 株出管理機と作業機の仕様

項 目	小型株出し管理機	
	改良前	改良後
作業機高さ	830mm	700mm
作業機幅	1,300mm	1,150mm
奥行き	1,200mm	1,150mm
株揃え部	PTO駆動	
適応トラクタ	11～15kW	
株揃え部重量	190kg	156kg
総重量	190kg	214kg ^{注)}
薬液タンク容量	装着不可	80リットル
施肥タンク容量	装着不可	100 kg
ベースカッタ軸距	485mm	400mm
ロアリンク		
ボールジョイントから ベースカッタ軸までの距離	400mm	200mm

注) 薬液タンク、肥料タンクを含んだ重量

(2) 株出管理機の構成

ロアリンクのボールジョイント穴中心から、株揃カッタ軸中心までの水平距離（図 7-3 左：距離A）を、従来機の 400mmから 200mmに短くしたため、作業機がトラクタに近づき安定性を増した。また、詰まり防止器具を取付けて枯葉の絡まりや詰まりを抑えた（図 7-3 右）。



図 7-3 (a) 重心の調整



(b) 枯葉絡まり防止金具

また、株揃カッタの2本の円筒軸距を485mmから400mmに狭くした。カッタ駆動用チェーンケースを一ヶ所にまとめ小型軽量化した。

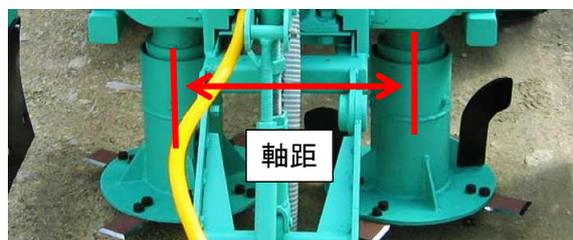


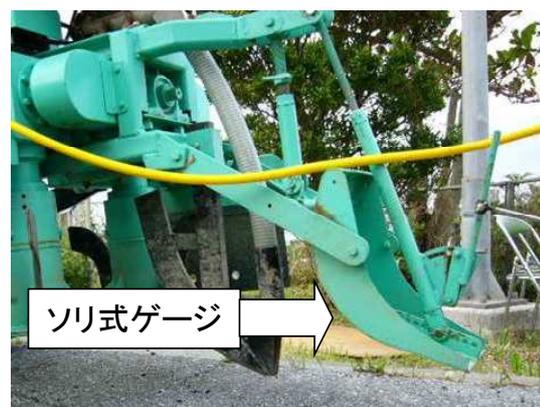
図 7-4 軸距の修正（開発機）

従来機：485mm ⇒改良機：400mm

株揃深さを調節するデプスゲージをホイール式からソリ式に変更して小型軽量化した（図 7-5）。



(a) 従来機のデプスゲージ



(b) 開発機のソリ式ゲージ

図 7-5 株揃深さ調節装置の開発

3 作業同時株出管理機は上記のように数カ所の改良で小型軽量化できた。前方に設置した農薬タンクは機体のバランスには影響しないが、株揃部の上部に設置する肥料タンクには最大 100kg を搭載するので、後方に重心が偏ると作業時に前輪が浮いてしまうため、作業時の前後のバランスが重要である。これを確認するため、M社 15kW 級トラクタ（三菱農機，MTZ200）を供試して従来型株揃機および改良型株出管理機を装着した場合の重心位置を計測した。薬液タンクと肥料タンクの重量をそれぞれ変

化させて、携帯型トラックスケール（ブリジストン、HANDY SCALE HMO4E8 最大 3000kg：分解能 1kg）を用いて 4 個のタイヤの分担荷重を測定した（図 7-6）。

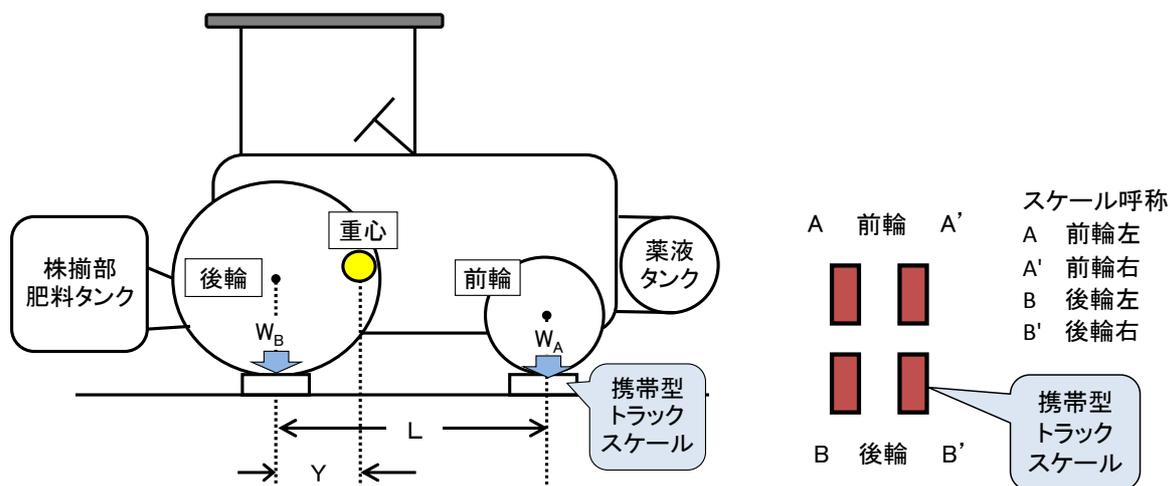


図 7-6 重心の測定

前輪分担重量 $W_A=A+A'$ と後輪分担 $W_B=B+B'$ より、前後の重心位置 Y はモーメントの釣り合い式によって次のように表される（図 7-6）。

$$W_A \times (L - Y) = W_B \times Y \quad 7-(1)$$

これより前後の重心位置は、

$$Y = L \times W_A / (W_A + W_B) \quad 7-(2)$$

で求められる。ここで、 L は前後輪の軸距で 135cm、 Y は後輪からの重心までの距離で図 7-6 では後輪軸より右方向で+となる。

最初にM社 15kW級トラクタの重量を測定すると、920kgであった。従来の株摘機は 190kgであるが、開発機は株摘部(156kg)と肥料タンク(23kg)で計 179kg、農薬タンク部 35kgであった。

株摘部の肥料タンクに、0～100kgの肥料を 20kgずつの 6段階で搭載し、薬液タンクには 0～80kgの水を 20L(kg)ずつの 5水準で充填して、水平方向の重心位置 Y を求めた。

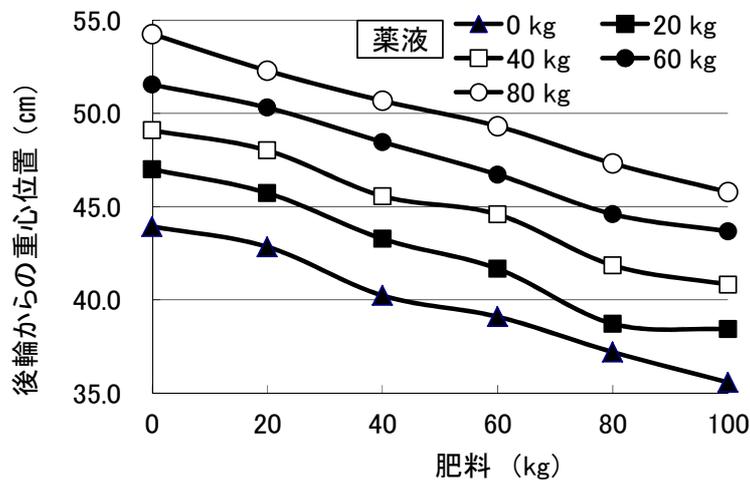
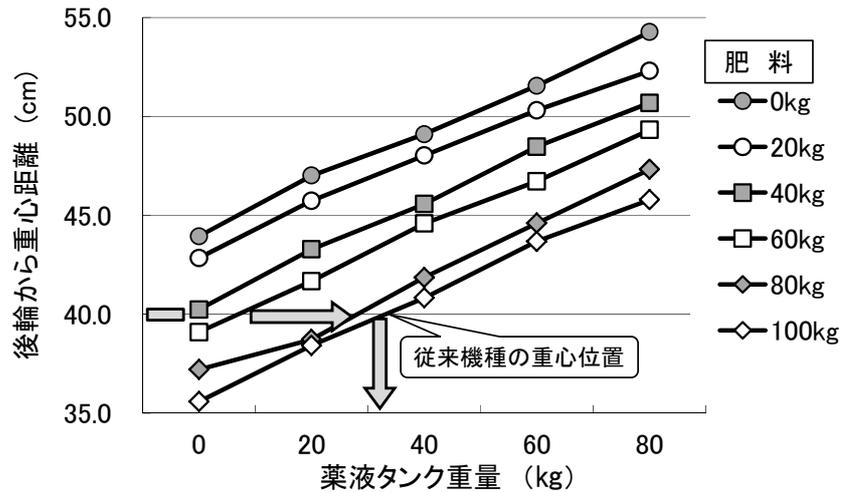


図 7-7 薬液量と肥料積載量を変化させた場合の重心位置

上記のグラフを整理すると

$$Y \doteq 0.12X_1 - 0.09X_2 + 44.4 \quad 7-(3)$$

となり、ここで、 X_1 は搭載薬液容量 $L (=質量 (kg))$ 、 X_2 は搭載肥料質量 kg である。

また、従来株揃機を M 社 15kW 級トラクタにセットして重心位置 $Y(cm)$ を求めたところ

$$Y = 41.3cm \quad 7-(4)$$

となった。

(3)式において、薬液量 $X_1=0kg$ 、肥料重量 $X_2=100kg$ の場合に Y は約 35cm で最小となり、従来機種より後方へ重心が移動する。この時、前方に 40kg

程度のウェイトを搭載すれば、(3)式より重心位置 $Y \approx 40\text{cm}$ となる。これより、従来機種と同程度の前後方向の安定性を保つには開発機に加えて40kgのウェイトを前方に搭載すれば良い（図 7-7）。

(3) 施肥機と施肥位置

ハーベスタ収穫後の株出管理における施肥は、使用肥料の種類や土壌の違いによって散布量が異なる（沖縄県農林水産部，2014a）。また、株揃えについては、高刈茎の切除やトラッシュ除去程度の負荷で、作業中に大きな負荷変動はないが、前作の作型や畦プロフィールの違いに応じて作業速度を変える場合もある。

これらのことから、DCモータとPWM制御（Pulse Width Modulation：パルス幅変調制御）基板を組合せて散布量の無段変速制御ができる施肥機を試作した。PWM制御は電圧の高さではなく、パルスを発生させてモータ速度を変化させる回路である。バッテリー電源はトラクタの12V電源を利用し、安価な乗用車のワイパ用モータを利用した。施肥機はタンク出口に取付けたスクリーコンベアの回転数で施肥量を調整する構造である。

PWM方式DCモータコントローラ（共立電子産業，BOSO-8KIT）を供試し、上記モータでの肥料の散布状況を調査した（図 7-8）。なお、モータそのものにも高速、低速の切り替え端子が備えてある。

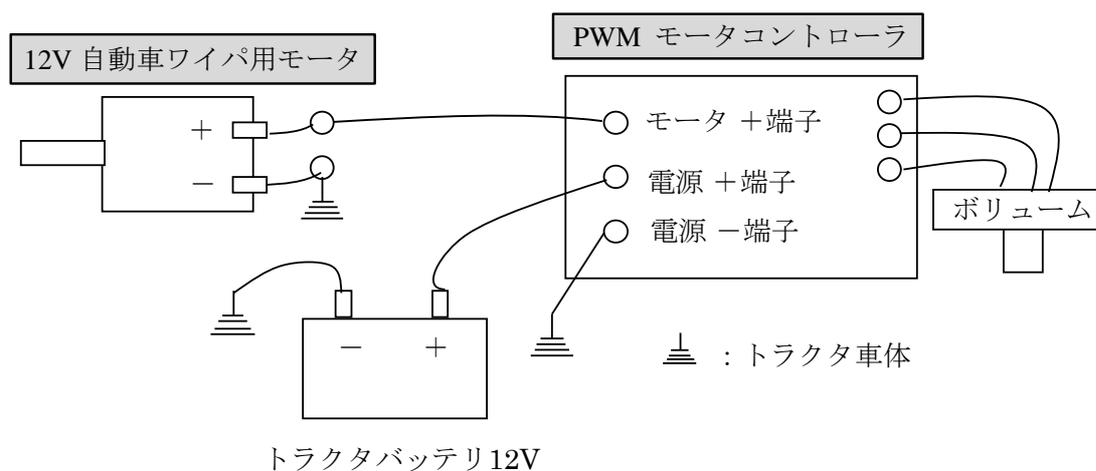


図 7-8 12Vモータとモータコントローラの結線

最初に無負荷のモータでコントローラの波形を測定したところ、ボリュームの最高値および最低値のデューティ比（周期 T とパルス幅 t の比： t/T ）はそれぞれ 0.7 および 0.15 であった（図 7-9）。PWM制御を使わない散布時の散布量を 100%とすると、PWM制御では理論的に 15~70%の範囲で散布量の無段調整が可能となる。

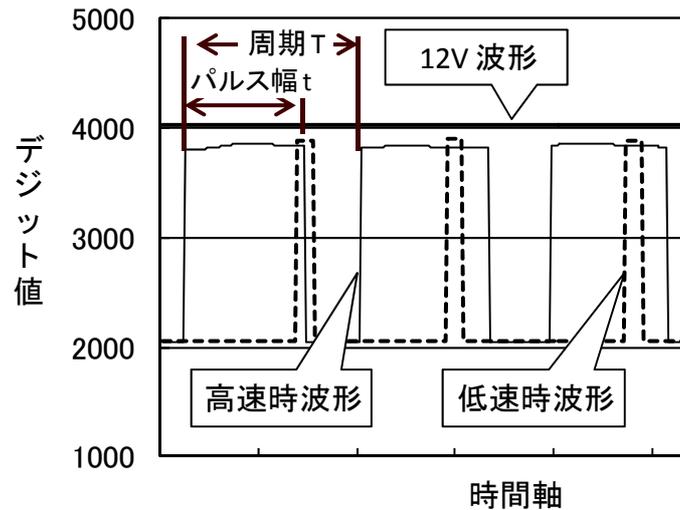


図 7-9 供試したモータコントローラの実出力波形

実際の散布流量は、トラクタを定置して排出量を容器に受けて質量を測定した。コントローラを使用しない場合の高速での排出量を基準散布量とした。モータの高・低速スイッチを切り替えてボリュームの開度を変化させると、基準散布量に対して 30~80%の範囲で無段調整が可能であった（表 7-2）。作業速度を 1.2km/hとして 10a当りの散布量に換算すると約 20~75kgとなり、トラクタ機種や作業速度が変化しても、適度な施肥量に調節できた（図 7-10）。上記の結果から、供試コントローラの仕様に合わせてPWM制御基板を製作依頼（昭和電子産業、モータコントローラ）して開発機のコントロールボックスに納めた（図 7-11）。

表 7-2 肥料流量

モータコントローラ ON			
	ボリューム開度	施肥量 kg/10a	比率
高速時	1.00	59	81%
	0.75	56	77%
	0.50	48	66%
低速時	1.00	49	67%
	0.75	49	67%
	0.50	46	63%
	0.25	40	54%
	0.10	22	31%

モータコントローラ OFF		
高速時	73.0	100%
低速時	49.3	67%

注) 作業速度を 1.2km/hとする



(a) 施肥量少



(b) 施肥量大

図 7-10 株出管理時の施肥

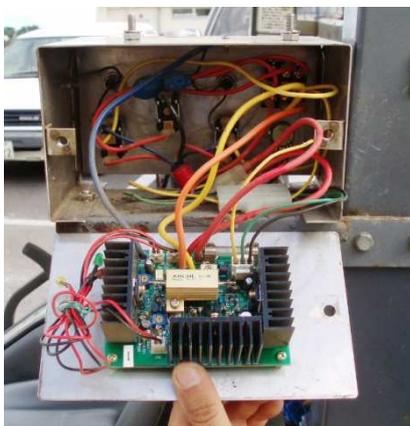


図 7-11 (a) PWMコントローラ



(b) コントローラボックス

開発機の施肥器は、ナタ式施肥器と前述のソリ式ゲージを併用することによって土中局所施用が可能である（図 7-12）。株揃作業に加えてナタ式施肥器で株を割りながら肥料を落としていく、その跡をソリ式のデプスゲージが土を押さえていく構造となっている。これによって、散布肥料は株揃位置から深さ 5~10cmの土中の位置に封入され、降雨による流亡が防げる。

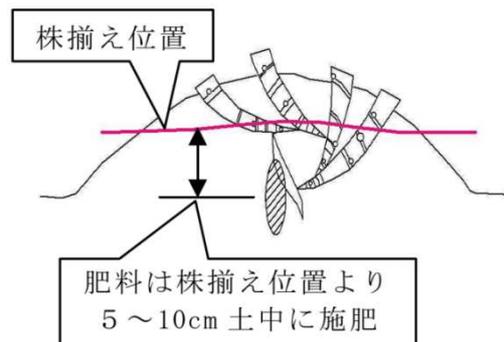


図 7-12 ナタ式施肥器と施肥位置の概略図

(4) 除草剤散布機

サトウキビの病虫害防除には、動力噴霧器や高効率ブームスプレーヤーで殺虫剤や殺菌剤散布などが散布される（沖縄県農林水産部，2007）。いずれも高圧スプレータイプでポンプやノズルは高価である。沖縄県では、株出管理で散布する土壌処理剤として主にDCMU剤が使用されている。土壌処理剤は、株間を中心に単位面積当りの所定量を散布すればよいとされており、高価な高圧タイプの噴霧機を搭載する必要はないと考えられる。そこで、開発機の除草剤散布機は、塩ビパイプに灌水用ノズルを

取付けビルジポンプ（RULE，ビルジポンプ 500-25D）で散布する安価な構造とした。ビルジポンプ（電源 12V）は海水を排出するポンプで安価で耐久性がある。

海水の代わりに除草剤DCMU薬液を使用する場合の耐用時間を確認するために、プラスチック容器に薬液を入れて耐久性試験を行った。通常の使用条件として午前 4 時間，休憩 1 時間，午後 4 時間を設定した試験では 70 日間，560 時間稼働できた。また過酷な使用条件として，10 日間連続使用し，続けて日中 8 時間で 15 日間使用して，合計 360 時間の稼働が可能であった。2 台の平均値 460 時間を耐用時間とした（表 7-3）。毎年 10haの株出管理作業を行うと仮定すると，株出管理時にビルジポンプが稼働している時間は 0.8h/10aとなり，供試ビルジポンプの耐用年数は約 6 年となる。毎年 20haの株出管理作業を行うと耐用年数は 3 年程度となる。

表 7-3 ビルジポンプ耐用時間

	ノズル全開	平均
耐用時間	460	時間
	8	時間/ha
株揃え面積	10	ha/年
	80	時間/年
耐用年数	5.75	年
農薬散布量		
	ノズル全開	150 L/10a

（2 台供試し平均した）

作業中に農薬散布を行う時間：8h/ha

農薬散布機は，開閉バルブを閉めると同時にリミットスイッチの作用でモータが停止する構造となっており，液ダレを防止することができる（図 7-13）。

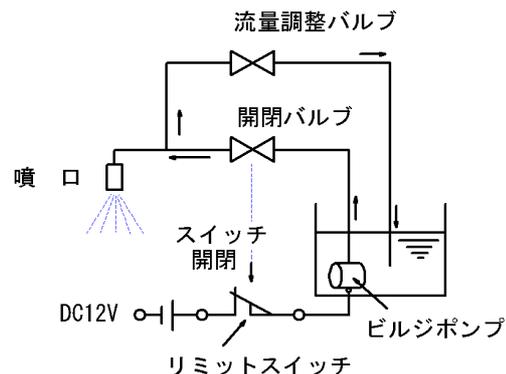
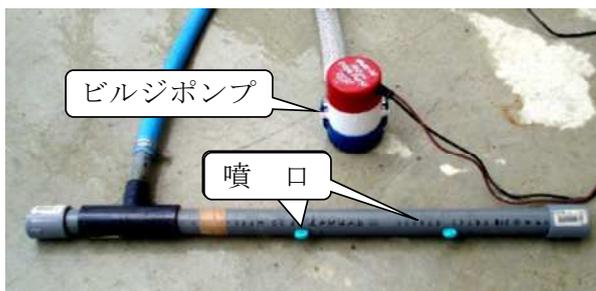


図 7-13 (a) ビルジポンプと噴口

(b) ポンプのON-OFF回路

農薬散布機の散布量は、約 100~150L/10a (DCMU粉剤:100~150g/10a) で、散布幅は 70cmまで設定可能であり、実際の散布作業に十分対応できる。開閉バルブ以外に流量調整バルブが取り付け、図 7-13bに示すような管路を構成して流量調整を行えるようにした。噴口の種類や個数を変えるとさらに散布幅や散布量を調節できる。

7-3 株出管理機の作業性能

開発機の作業性能試験を行った。供試トラクタは、I社 15kW (20PS) で、試験日は 2007 年 2 月 6 日であった。試験ほ場として、八重瀬町字富盛で、品種 ; Ni15, 作型 ; 株出 (3 回目), 畦長さ 30m, 畦幅 1.3m, 面積 2,000 m² (内調査面積 1,000 m²) を供試した。

測定項目は、5m 作業走行時間 (s), 前進作業, 畦進入時後進, 旋回の作業時間内訳および農薬, 肥料充填などの時間である。

小型株出管理機の作業速度は、0.32m/sで、10a当り作業時間は 1.48hであった。ほ場作業効率は 56%であった。また、農薬, 肥料充填などの作業時間 31%, 調整などによる停止 3%, 旋回と後進 10%であった。株揃専用機と開発機の作業速度は同程度であった。中型・大型トラクタ (33kW 以上) に装着する機種は 0.57km/sで、小型の機種より速い。

表 7-4 小型サトウキビ株出管理機の作業性能

項目	単位	小型
作業速度 1	m/s	0.32
作業速度 2	km/h	1.17
理論作業量	a/h	15.0
10a当り作業時間	h/10a	1.48
時間当り作業能率	a/h	6.8
ほ場作業効率	%	56.6

7-4 株出管理機とほ場試験

株揃えが収量や管理作業に及ぼす影響などについて検討した。大規模経営を対象とする機械化体系では雑草管理が重要で、その良否は収量に大きく影響する。ハーベスタ収穫後はトラッシュがほ場一面を被覆している（トラッシュブランケット）が、前述のように除草剤のうち土壌処理剤は、土壌表面に散布しなければ効果は低い。そこで、収穫後の株揃えと土壌処理剤の効果について調査を行った。

(1) 株揃の有無と収量および高培土の状況

株揃の有無と収量調査は 4 カ所のほ場（圃場 1～4）で行った。ほ場 1 は、八重瀬町字富盛の株出ほ場で、土壌はジャーガルである。ほ場 2 は、糸満市与座のジャーガル土壌で、前作が夏植の株出 1 回目と 2 回目である。ほ場 3 は、久米島町宇根の島尻マージ土壌で前作が春植の株出 1 回目と株出 2 回目である。ほ場 4 は、久米島町兼城の島尻マージ土壌で、品種、作型などは表 7-4 に示す。なお、ほ場 4 では収穫時に茎長、茎数を調査したが収量調査は行わなかった。

表 7-5 株揃の有無による収量の違い

ほ場名	場所	土壌	品種	作型	株揃年月日	収穫年月日
ほ場1	Y町 T	ジャーガル	Ni15	株出2回目	06/01/16	07/01/24
ほ場2	I市 Y	ジャーガル	NiF8	夏植株出1回目	06/01/12	07/01/23
				株出2回目	07/01/29	08/01/07
ほ場3	K町 U	島尻マージ	Ni17	春植株出1回目	06/02/16	07/02/09
				株出し2回目	07/02/14	08/02/13
ほ場4	K町 K	島尻マージ	Ni17	春植株出1回目	06/02/08	07/02/14

4ほ場6作の調査結果では、全体的に茎数が増加する傾向が見られた。ジャーガルほ場では、収量による差は見られなかった。島尻マージほ場では茎長、茎数および収量において増加傾向が見られた。ハーベスタ収穫後の高刈茎の切除やトラッシュ除去など株揃作業自体が収量に及ぼす効果は判然としないが、後述のように、株揃によって高培土時に適切な覆土厚が確保できる。また、次に述べる雑草による減収の軽減、さらには6章で述べた効果的な補植など後続の作業が適正に実施できるので、その増収効果が期待できる。

表 7-6 株揃の有無による収量比較

ほ場名	作型	株揃の有無	茎長		茎数		収量	
			cm	比(%)	本/10a	比(%)	kg/10a	比(%)
ほ場1	株出2回目	有	198	99	9,850	99	6,450	101
		無	200	100	10,000	100	6,390	100
ほ場2	夏植株出1回目	有	235	94	9,270	107	8,970	97
		無	251	100	8,690	100	9,225	100
	株出2回目	有	212	95	10,150	109	7,480	101
		無	224	100	9,280	100	7,400	100
ほ場3	春植株出1回目	有	232	112	9,230	106	7,020	112
		無	207	100	8,690	100	6,260	100
	株出し2回目	有	240	95	7,040	98	8,730	102
		無	252	100	7,150	100	8,570	100
ほ場4	春植株出1回目	有	204	111	7,460	113	—	—
		無	185	100	6,620	100	—	—

株揃えの有無による高培土の状況を把握するため、両方でそれぞれ高

培土を行って土壌が落ち着いた後に，畦形状と覆土の状況を調査した。ほ場 2 で図 7-14（左）のように株揃えを行った。株揃前後の畦プロフィールを図 7-14 右に示す。収穫直後の畦高さは約 25cm で，そのままでは高培土作業は困難であると思われた。

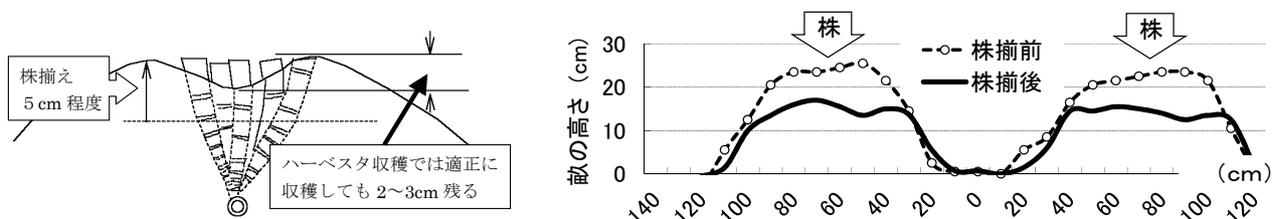


図 7-14 ハーベスタ収穫時の高刈り発生と株揃前後の畝形状

株揃えほ場の高培土による覆土厚は 9.4cm となった。株揃を行わない場合は 1.9cm でほとんど覆土されていない状況であった（図 7-15）。深い位置からの萌芽は，倒伏を防ぐだけでなく，茎長を長く茎径を太くして一本重を重くする傾向がある（仲宗根ら，1982）。高培土で適切な覆土厚が確保できない状況では減収が懸念される。特に株出回数が増えると萌芽位置は浅くなって生育は抑制される（宮平ら，1986）。



株揃え無：覆土厚 1.9cm



株揃えほ場：覆土厚 9.4cm

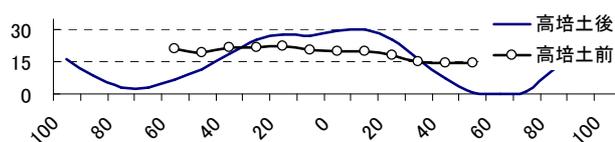
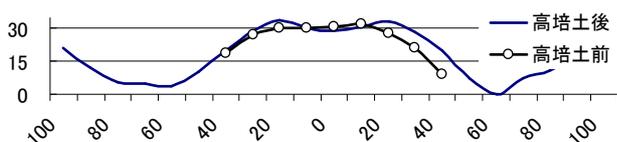


図 7-15 株揃の有無と高培土後の覆土の状況

留意点として、株揃位置が深すぎると減収の要因となるので、図 7-14 に示すように地際から 5cm以内とする必要がある。

(2) 株出管理機による株揃えと雑草管理

前述のように、株揃えを行わないほ場では、ほ場全面を被覆したトラッシュによってDCMU薬剤処理効果が低下する。トラッシュ被覆の有無による除草剤（DCMU）の効果を調査した（図 7-16）。ハーベスタ収穫後の3 ほ場においてそれぞれ 0.1a×3 ヶ所で調査を行った。肥培管理についてはサトウキビ栽培指針によった（沖縄県農林水産部，2014b）。



図 7-16 ハーベスタ収穫後の供試ほ場と株出管理

(a) ハーベスタ収穫後トラッシュに被覆されたほ場 1

(b) トラッシュ除去しながらの株揃えおよび除草剤散布

株揃えなしで除草剤を散布した場合は、株間に雑草が繁茂しサトウキビを覆う状態になった。畦間は心土破碎や畦間管理など中耕・除草作業を行うので雑草の生育は少ない（図 7-17）。



(a) 株揃えを行わず DCMU 散布

(b) 株揃え同時散布

いずれも 2008 年 1 月 30 日に散布し 46 日後の様子（糸満市与座）

図 7-17 株揃え処理の有無と雑草繁茂状況

DCMU 土壌処理剤散布 40~80 日後に各試験ほ場で雑草の生育量調査を行った。株揃えなしで除草剤を散布した区は雑草の被覆度は高くなり、株揃え同時除草剤散布区に比べて 10 倍以上の生育量であった（表 7-7）。

表 7-7 雑草発生状況調査

	株揃え有無	除草剤散布日	散布後日数	雑草生重(g)	被覆度(%)	主な雑草種類
ほ場 1	有	07/02/05	40	34.6	5以下	ムラサキカタバミ多
Y町 T	無			871.5	15	オニタビラコ
ほ場 2	有	07/01/30	46	75.4	5以下	ツルムラサキ、ヨモギ
I市 Y	無			686.2	20	
ほ場 3	有	06/12/26	81	61.5	5以下	オニタビラコ、エノコログサ
H町 M	無			863.1	18.3	ベニバナポロギク

（各ほ場とも株揃えと同時に DCMU 散布）

以上より、高刈の刈揃えや雑草の抑制、および、株上り抑制のための適正高培土を行うには株揃えが有効であることが明らかになった。

7-5 摘 要

(a) 軽トラクタ用の小型株揃機をベースに開発した 3 工程同時株出管理機は、仮揃えと同時に施肥、除草剤散布を行う効率的な作業機で、ハーベスタ収穫後に早期株出管理を行うことによって増収効果が期待できる。

- (b) 開発した3作業同時作業機は薬液タンクをトラクタ前方に搭載し、株揃部と施肥器を後方に装着する構造で、株揃作業幅の縮小（50cm⇒40cm）やフレームの軽量化によって株揃部は18%軽量化されている（表7-1）。
- (c) 開発機はナタ式施肥器とソリ式ゲージを併用しており、土中への局所施用によって肥料の流亡が抑制できる（図7-12）。
- (d) 施肥器は、安価なモータとPulse Width Modulation（PWM）を用いて肥料排出量を30~80%の範囲で無段コントロールできた。PWM制御なしの場合も含めて作業速度では20~75kg/10aとなり、ほぼ栽培指針の範囲内に収まった。
- (e) 塩ビパイプ、安価なビルジポンプなど構成した農薬散布機は、薬液バルブとリミットスイッチの作用で、液ダレを防止することができる（図7-13）。散布量は流量調節バルブを操作し、規定速度で作業では100~150L/10aの散布量になった。防除効果は既存の動力噴霧機と変わらない結果を得た。
- (f) 開発機の10a当り作業時間は1.48hである（表7-4）。
- (g) 株揃前の畦高さは25cm程度で、そのままでは高培土作業は困難であった。株揃後の高培土によって9cm程度の覆土厚が確保された（図7-15）が、株揃えなしでは覆土厚が2cm以下で、適正な高培土が行えなかった。
- (h) 株揃えをしないほ場では、トラッシュが株間を被覆し、DCMU剤の土壤処理効果が低下し、雑草量が多く植被率が高くなった（表7-7）。
- (i) 島尻マージほ場では株揃えによって収量が増加する傾向が見られた（表7-6）。これは、後続の高培土などの効果が有効に表れた結果であると考えられる。

参考文献

赤地徹，新里良章，上原数見，2007，機械化を前提とした栽培法について．沖縄県糖業農産課編，さとうきび機械利用推進の手引き．沖縄県農林水産部，那覇，11-23．

宮平英憲，神谷寿幸，1986. サトウキビ株出し回数試験. 昭和 61 年度サ
トウキビ関係試験成績概要書，15，192-193.

Nadeem A. , Shabbir A. K. , Liaqat A. , S. , Tanveer A. , 2013.
Towards sustainable agricultural mechanization in Pakistan. The Ninth
Session of Technical Committee (TC) of the United Nations Centre for
Sustainable Agricultural Mechanization. Pakistan Agricultural Research
Council, Bhopal, 16.

仲宗根盛雄，大城幸尚，1982. 萌芽茎の発生位置および発生深度と生育
量. 昭和 57 年度サトウキビ関係試験成績概要書，沖縄蔗作研究協会，
11，172-173.

中山壮一，浜口秀生，2004. 麦わら被覆条件下における大豆用土壌処理
除草剤の効果，平成 16 年度関東東海北陸農業研究成果情報，
沖縄県農林水産部，2013，平成 24/25 年さとうきびおよび甘蔗糖生産実
績. 沖縄県，那覇，66.

沖縄県農林水産部，2014a，沖縄県さとうきび栽培指針. 沖縄県，那覇，
10-12.

沖縄県農林水産部，2014b，沖縄県さとうきび栽培指針. 沖縄県，那覇，
63-68.

白澤繁清，黒木栄一，溜池雄志，2007. サトウキビ株出管理作業機にお
ける株揃え深度，第 61 回農業機械学会九州支部例会講演要旨集，福
岡，7.

竹牟禮穰，緒方寿明，神門達也，末川修，西裕之，2005. サトウキビの
ハーベスタ収穫後の速やかな株出管理で単収が向上する. 平成 17 年
度普及に移す研究成果，鹿児島県，

第 8 章 トラクタ装着型堆肥筋撒機

8-1 緒 言

沖縄県内のサトウキビ栽培では、南北大東地域や宮古島地域などの比較的規模の大きいほ場の一部で、植付前にマニユアスプレッダで堆肥散布が行われている。それ以外の地域では、以前は人力散布を行っていたが、重労働のため現在ではほとんど行われていない。従来から推奨されているように、堆肥施用の効果は高く、9年間連年施用すると年平均で約1割の増収となる（宮丸ら，2005）。また、ポット試験では牛ふん堆肥 4.5t/10a 散布区と緑肥＋牛ふん堆肥 0.5t/10a 散布区は収量は変わらず（宮丸ら，2009）、緑肥と堆肥散布を組合せによってさらなる増収効果が期待できる。

「沖縄県さとうきび栽培指針」（以下、栽培指針）によると、牛ふん堆肥区（4.5t/10a 施用）での栽培における最初の作業は、植付前の土作りに係る堆肥施用や深耕である（沖縄県農林水産部，2014）。

図 8-1a に示すトラクタ牽引式マニユアスプレッダは、旋回にはほ場内の広い枕地を必要とする。あるいは、ほ場に隣接した幅員の広い農道などが必要である。図 8-1b に示す自走式マニユアスプレッダは、南・北大東地域、宮古島、石垣島など土地改良区の比較的規模の大きなほ場を対象に導入されている。しかし、沖縄本島や周辺離島のように小区画ほ場が多い地域や、広い枕地が確保できないほ場には適さない。



(a) トラクタ牽引式 (b) 自走式マニユアスプレッダ

図 8-1 マニユアスプレッダ

栽培指針では、堆肥施用は春植で 3t/10a、夏植で 4.5t/10a となっている。新植時に一度散布すれば次の株更新（3~5 年後）まで堆肥の散布は行われぬ。しかし、堆肥の効果については、新植だけではなく株出でも増収することが実証されている（宮丸ら，2005）。また、散布方法としてほ場全面への散布ではなく、株元への局所施用を行う農家も見られる（図 8-2）。これは沖縄県内の園芸作物ではすでに定着している技術である。完熟堆肥は、サトウキビの発芽や萌芽を阻害することはないので連年施用も可能で、株元への局所散布が有効である。しかし、一輪車などを利用して全ての畦に散布するのは重労働である。新植前のほ場、植付け直後の植溝さらには株出管理時の株元に筋撒きする散布機が必要になる。

現在、トラクタ装着型の 1 条堆肥散布機が市販されている。これは、接地輪の回転力を動力として各部を駆動する構造で、新植ほ場や株出ほ場のような畦や植溝の起伏が大きい場合には不向きである。そこで、那覇市内の Y 社と共同で、植溝でも畦間でも散布可能なトラクタ装着型の 2 条・3 条可変筋撒機（以下、堆肥筋撒機）を開発し、その適応性試験を行った。



図 8-2 人力による堆肥の株元散布

8-2 堆肥筋撒機の構造

堆肥筋撒機は 33kW 以上の中型トラクタに装着する構造とした。接地輪駆動ではなく PTO 駆動方式によって、畦や植溝の起伏の大きい新植

や株出ほ場で散布作業を行えるようにした。

本機はトラクタの3点ヒッチに装着して堆肥を散布するので、牽引型とは異なりスムーズに移動できる。堆肥積込タンクの積込み重量は450kg、容量は1.03m³とした。その他の仕様を表8-1に示す。沖縄県内では、主に15kg袋詰の堆肥が流通しており、30袋積載することが可能である。

表 8-1 堆肥筋撒機仕様

堆肥筋撒機仕様	
堆肥積み込み重量	450kg
堆肥積み込み容量	1.03m ³
各部の駆動	PTO駆動方式
散布条数	2または3条散布
作業機高さ	1450mm
作業機幅	1930mm
奥行き	1050mm
適応トラクタ	33kW（45PS）以上
適応畝幅	120～145cm

散布機構は、PTOからの動力でスクリーコンベアを回転させ、タンクから落下した堆肥を進行方向に対して直角方向に移送し、放出シュートから畦間または株元に散布する。タンク内には堆肥を攪拌するスクリーが取り付けられている（図8-3）。タンク底部にある中央放出口の開閉スライド開口時は3条散布、閉口時は2条散布と2通りの散布法が選択できる。

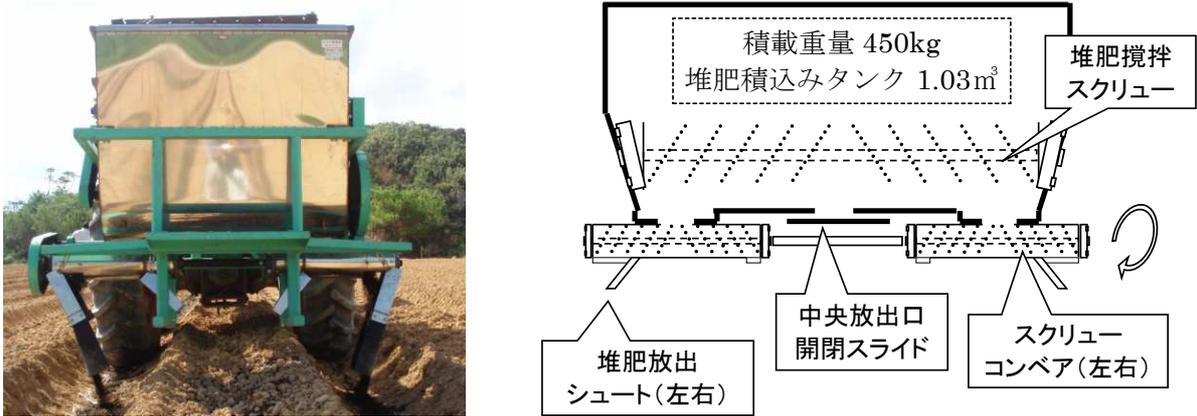


図 8-3 堆肥筋撒機の概要

散布方法や時期は、植付け直後に 2 条の植溝内の覆土された蔗苗をタイヤで踏んで散布する方法と（図 8-4b）、平均培土前または高培土前に畦間を走行しながら 3 条の株元に散布する方法がある（図 8-4a）。散布後は直ちに平均培土や高培土を行って堆肥を覆土する。シュートからの堆肥の散布幅は 30cm～45cm で、畦幅 130～160cm のほ場に適應できる（図 8-5）。マニュアルスプレッダによる散布時期は植付け前に限定されるが、堆肥筋撒機は、新植では植付け直後から高培土前まで、株出でも高培土前まで可能で、散布期間と散布のタイミングに幅を持たせることができる。



図 8-4 散布の様子

(a) 高培土直前の 3 条散布

(b) 植付け直後の植溝 2 条散布

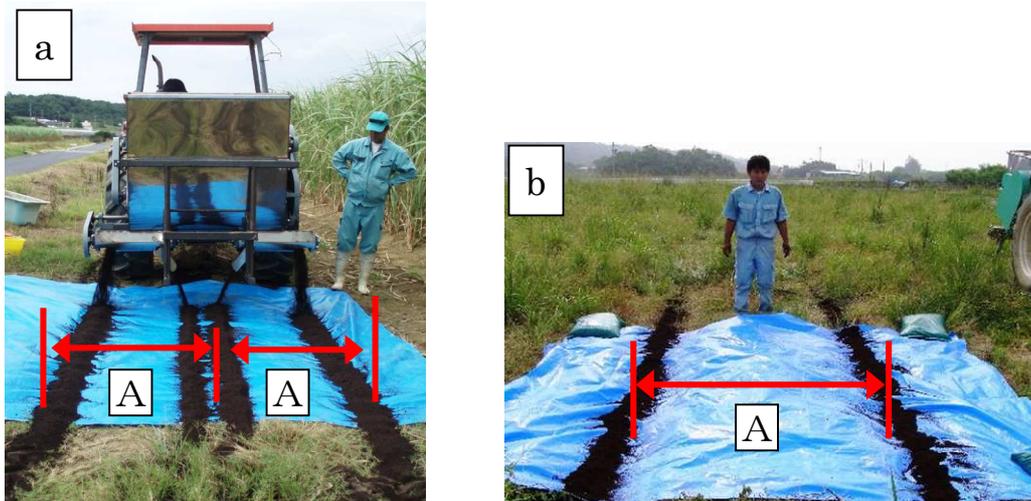


図 8-5 散布跡 (a) 3 条散布 (b) 2 条散布
 条間 A : 130~160cm 散布幅 30~45cm)

8-3 堆肥筋撒機の作業性能

(1) 堆肥の水分と散布の可否

取扱い易い適正な堆肥の水分は 40~50% 程度である(熊本県, 2009)。堆肥は製造販売する業者によって含水率に差異がある。そこで, 2006 年 10 月に堆肥筋撒機が稼働可能な日において, 沖縄県内で堆肥を製造販売している 4 社 6 銘柄について含水率(% w.b.) の異なる堆肥を用いては場での散布状況を調査した。糸満市の 1.3m 幅で作溝したジャーガルほ場で堆肥積み込みタンクへそれぞれ 450kg を積載し散布した。トラクタは 58kW の大型トラクタを用いて, 溝部を走行し 2 条散布を行った。使用した堆肥の水分と散布の結果を表 8-2 に示す。

表 8-2 堆肥の水分と散布の可否

製造所	堆肥の含水率	適 応
OY 社	39%	支障なく散布
T 社	33%, 36%, 48%	支障なく散布
I 社	48%	支障なく散布するが, 堆肥積み込みタンクの壁面に堆肥が付着
OS 社	59%	散布不能

含水率 40%の堆肥は、風の強い時は多少舞い上がるが、支障なく散布できた。含水率 48%の堆肥は、支障なく散布できる場合と、散布には支障ないが堆肥積込タンク壁面に堆肥が付着する場合があった。これは牛ふんとオガクズなどの副資材の比率の違いによるものと考えられる。壁面に堆肥が付着した場合には補充のたびに堆肥を落とす作業を行った。含水率 59%では、タンク底へのブリッジ形成や堆肥積込タンク壁面への付着が発生し、散布作業には適さなかった。これより、堆肥筋撒機は含水率 50%以下の堆肥を使用する必要があることが明らかになった。それ以上の高水分堆肥は、コンベアおよび攪拌装置の詰まりの原因になるので使用しない。

(2) 作業性能

作業性能試験は、名護市天仁屋の国頭マージほ場と南城市のジャールほ場で行った。堆肥散布作業は、堆肥を積込む作業と散布や旋回および後退作業に分類した。堆肥積込み作業としては堆肥置場（運搬車など）までの移動と積込みがある。堆肥 2t/10a 程度を 2 条撒きする場合、移動時間は 0.21h/10a、バケット容量 0.15 m³のバックホーを利用する（図 8-6a）と積込み時間は 0.25h/10a となり、移動時間と合わせた積込作業時間は 0.46h/10a となった。クレーン車を利用して 1 袋 450kg のフレコンから積込む場合（図 8-6b）の積込作業時間は 0.41h/10a であった。



(a) バックホーによる積込
バックホー出力 29.4kw
バケット容量 0.15 m³



(b) ユニック車による積込
フレコン 450kg/袋

図 8-6 堆肥の積込み方法

表 8-3 はバックホー積込みにおける散布作業時間である。堆肥約 2t/10a を 2 条散布する場合、散布、後退や旋回の作業時間は 0.38h/10a で堆肥積込作業時間を合わせると計 0.84h/10a であった。堆肥を約 4t/10a 散布の場合は、散布、後退や旋回の作業時間は 0.49h/10a、堆肥積込作業 0.77h/10a で合計 1.26h/10a であった。トラクタのエンジンと PTO 軸の回転速度は連動するので、速度段（ギア）が同じであればエンジン回転速度に関係なく堆肥の散布量は一定となる。すなわち、堆肥筋撒機の散布量はトラクタの速度段で決定される。本機は、植溝や株元への散布に加えて株出栽培への利用を目的としているので、約 1~2.5t/10a が実用的なサイズと考える。作業速度は 0.7~1.4m/s、速度段は L1~3（クボタ M8030, 59kW）程度で使用する。それ以上の散布量幅にするには、チェーンのスプロケットを容易に交換できる構造に改良する必要があるが、今後の課題として残った。

表 8-3 堆肥筋撒機を用いた 10a 当り作業時間

散布方法	2条		3条	
	1.9	3.7	1.9	3.7
散布量 (t/10a)				
作業速度 m/s	0.72	0.51	0.72	0.51
散布, 後退, 旋回作業 (h/10a)	0.38	0.49	0.22	0.30
堆肥積込作業 (h/10a)	0.46	0.77	0.46	0.84
合計作業 (h/10a)	0.84	1.26	0.68	1.14

(注) 供試トラクタ : 59kW

積込みはバックホーの場合

(3) 植溝の踏圧調査

30kW 級 (45PS 級) 中型トラクタで植付け直後に植溝を踏圧すると、苗茎と土壌の密着性が良くなるなどの理由で茎数が増加して増収する (瑞慶覧ら, 2005)。堆肥筋撒機を利用する場合、植付後で高培土直前であれば畦間を走行し 3 条散布を行った後に高培土を行えば良いが、植付直後は畦間を走行すると盛山が崩れ、植溝の覆土が厚くなり発芽不良となる。植付直後は植溝を走行しながら 2 条散布する必要がある。

本調査では、堆肥散布を行う 60kW 級の大型トラクタが、植溝を走行する場合のサトウキビの生育への影響を調査した。供試ほ場は糸満市のジャーガルほ場で面積 15a に 2006 年 10 月 16 日にサトウキビ (品種 NiF8) を植付けた。その直後に 59kW のトラクタに堆肥散布機と 450kg のウエイトを搭載し、植付直後の覆土された植溝を走行して踏圧した (図 8-4b)。試験区は、枕地旋回による往復散布による 1 回踏圧区、一方向散布による 2 回踏圧区および対照区 (踏圧無区) を設けた。踏圧前後の土壌硬度 (貫入抵抗) の変化と畦形状の変化を調査し、2007 年 3 月に仮茎長、欠株率および茎数を調査した。

踏圧の影響は、深さ 15cm 程度まで達しており、蔗苗周辺の土壌の硬化が観察された (図 8-7)。また、植溝は踏固められて約 5cm 沈下し、溝幅は 6~9cm 広くなった (図 8-8)。また、植溝が踏固められ、幅も広くなるので、強雨時の斜面の崩れによる植溝の埋没を防ぐことが期待

できる。

植付け 5 ヶ月後の茎数は、2 回踏圧区、1 回踏圧区、対照区（踏圧無区）の順に多かった。仮茎長はいずれも 21~24cm で差はなかった。欠株率は 2 回踏圧区、1 回踏圧区、対照区の順に少なかった（表 8-4）。

以上のことから、60kW 級の大型トラクタによる植溝の踏圧でも蔗苗と土壌が密着して欠株率は少なくなることが分かった。植付け直後に 60kW 級トラクタ堆肥筋撒機を装着して散布すれば、植溝の踏固めによる欠株の低減と堆肥による成長促進が期待できる。また、条撒きによって新植時と株出管理時に堆肥の連年施用ができる。

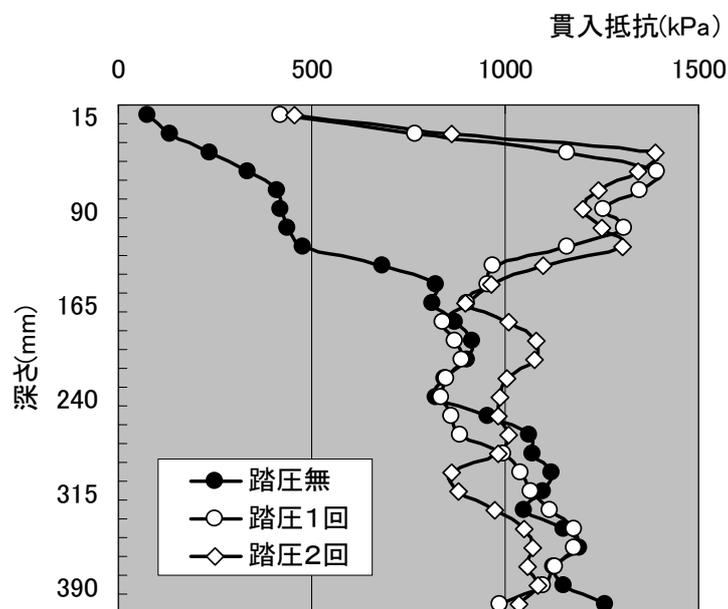
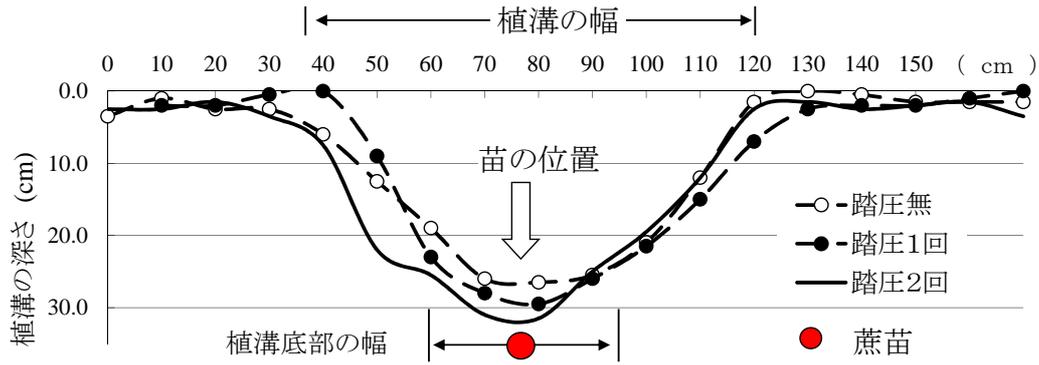


図 8-7 踏圧前後の土壌硬度の変化



植溝の幅 (cm)			植溝底部の幅 (cm)		
踏圧無	踏圧1回	踏圧2回	踏圧無	踏圧1回	踏圧2回
79.3	80.3	81.0	22.3	28.3	31.0

苗の覆土 (cm)		
踏圧無	踏圧1回	踏圧2回
9.7	7.4	6.1

図 8-8 植溝踏圧後の畦プロフィールと苗の覆土厚の変化

表 8-4 踏圧後の仮茎長，欠株率，茎数

品種: NiF8	対照区	踏圧1回	踏圧2回
茎数(本/0.1a)	83.1	85.1	117.9
仮茎長(cm)	22.6	24.3	21.1
欠株率 (%)	11.0	6.0	5.2

使用トラクタ 60kW (質量約 3t)

植付年月 2006年10月16日，調査年月 2007年3月

8-4 摘要

植付け前の大区画ほ場へのマニユアスプレッダ散布に限定されていた堆肥施用を，小区画ほ場へも拡大して土づくりによる増収を図るために，トラクタ装着型堆肥筋撒機を開発した。これによって，新植のみでなく株出でも状況に応じて2条または3条で堆肥を散布することが可能になった。散布時期は，新植で植付け直後から高培土前まで，

さらに、株出でも高培土前まで散布可能で、散布期間に幅を持たせることができた。速度段の切替えによる作業速度の変化によって 2~4t/10a の散布が可能で、作業能率は 2 条散布時に 2t~4t/10a 散布に 0.8~1.2h/10a で、3 条散布時では 0.7~1.1h/10a であった。また、植付け直後に植溝を踏固めながら堆肥散布を行えば欠株が低減され茎数が確保できることを確認した。

参考文献

JA 熊本中央会，2006. 堆肥作りのポイント.

<http://kouchiku.aso.ne.jp/point/index.html>

Accessed Nov. 21, 2015.

沖縄県農林水産部，2014. さとうきび栽培指針. 沖縄県，那覇，10-12.

宮丸直子，儀間靖，比嘉明美，桃原弘，国吉清，濱川薫，亀谷茂，2005.

サトウキビ栽培における牛ふん堆肥施用が収量および土壌に及ぼす影響. 九州農業研究成果情報，17，269-270.

宮丸直子・儀間靖・與那嶺介功・亀谷茂，2009. 緑肥と牛ふん堆肥の併用がサトウキビと土壌化学性・生物性に及ぼす影響. 沖縄県農林水産試験研究推進会議編，平成 20 年度普及に移す技術の概要. 沖縄県，那覇，45-46.

瑞慶覧みき，屋良利次，比屋根真一，喜納兼二，森田孟治，2005. 夏植えサトウキビ栽培における植付け後の填圧が発芽に及ぼす影響. 日本作物学会九州支部会報，71，73-74.

第 9 章 豚舎処理水散布機の開発とサトウキビへの施用効果

9-1 緒 言

家畜排せつ物の処理施設の構造設備に関する基準や施設内における管理などについて定めた「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が平成 16 年 11 月 1 日から本格施行された。主な内容は、堆肥・尿の野積み・素堀投棄など不適正処理の防止，耕種農家の堆肥などの利用促進と減化学肥料による環境負荷の軽減，有機質資源の有効活用と資源循環による農業の持続性の確保を図ることが謳われている（農林水産省生産局，2013）。

沖縄県における家畜排せつ物の肥料としての利用方法では，肉用牛排せつ物は堆肥に変換され野菜やサトウキビほ場に還元され，乳用牛畜舎からの雑排水は主に草地に還元される。一方，豚舎からの雑排水は，固液分離され，固体部分は堆肥として利用され，液体部分は貯留槽や酸化溝型回分式活性汚泥槽で曝気処理によって浄化している（以下，処理水）。この浄化処理は，設備コストに加え電気代などのランニングコストを要するため養豚経営に大きな負担となっている。その上，養豚農家は草地などを保有していないので，浄化処理水は排水処理をするか，サトウキビ生産法人などにバキュームカーによる散布を作業委託し，その経費を負担している。沖縄県内の豚の飼養頭数は 24 万頭前後でほとんどが沖縄本島に集中している。豚 1 頭当りの雑排水の排出量は 15L /d（沖縄県農林水産部，2011）で，年間およそ 130 万 t に達している。養豚農家のうち浄化処理施設の整備率は 40 %，液肥処理施設の整備率は 30 %程度である（沖縄県農林水産部畜産課，2012）。その他は，家畜排せつ物の管理基準外の小規模な農家（飼養頭数 100 頭未満）と考えられる。処理水の利用率は現状では低いですが，これを改善して全体の 3 割程度を利用すれば，サトウキビなどの耕種農家は年間約 40 万 t の液肥を利用でき，養豚農家は処理コストの軽減が図れる。

堆肥は土層改良を目的として化学肥料と併用した利用が主であるが，酒造会社から排出される蒸留カスなども含め液状の牛尿や豚舎からの

処理水は、肥料効果そのものに着目し、化学肥料の代替として利用されている。例えば、採草地に対する牛尿の液状きゅう肥は年 2 回の施用で、効果的に化学肥料と代替できる（松中ら、1988）。井上ら（2003）は飼料用トウモロコシ畑やイタリアンライグラス畑における豚ふん尿の施用量を調査し、環境への影響を考慮に入れながら化学肥料と同程度の収量になる施用量を設定した。カンショ畑では豚舎からの処理水を利用すればリン酸施肥のみで栽培が可能である（荒川ら、2005）。沖縄県内では、豚舎からの処理水施用によるニガウリ栽培で、化学肥料施肥に比べて品質や収量については劣らないことが確認されている（吉田ら、2004）。このように、処理水は耕種部門にとっては化学肥料の代替となり生産コストの抑制が期待できる。加えて減化学肥料栽培として付加価値を高めることも可能である。

散布方法については、外国の大規模サトウキビほ場では、深層の根域を改善し増収効果が期待できるとして、ウイスキー蒸留カスなどの液状副産物の散布作業を大型のタンク車やパイプラインを利用した大型高性能スプリンクラにより効率的に行っている（Penatti et al.,2005）。稲作では、豚舎からの雑排水 1 t 当りに、悪臭防止と肥料バランスの調整を兼ねてリン酸 2.5 L を加え、消泡材としてシリコン 50 mL を添加し灌漑用水と一緒に施用すると、慣行栽培とほぼ同等の収量が得られる（中村ら、2002）。しかし、沖縄本島内ではサトウキビほ場は住宅地に近いことや、畑作でしかも一筆の規模が小さい。そのため、処理水は主としてバキュームカーで吸水運搬し、ほ場内にホースを伸ばして人力によってサトウキビの株元に散布するか、ほ場外から畦の傾斜に沿ってかけ流しを行っている。しかしながら、現状のバキュームカーによる散布作業は重労働で改善が求められている。さらに沖縄県内の養豚農家のバキュームカーの所有率は 20 % 程度と低く（沖縄県農林水産部畜産課、2012）、処理水を有効に、かつ省力的に散布するのは難しい状況である。したがって、処理水を有効利用するためには、低コストで高能率かつ省力的な散布装置の開発が求められている。

そこで、本研究ではこれらの要望に応えるため、豚舎処理水散布機

(以下、散布機)の開発を行うとともに、サトウキビ栽培への処理水利用技術について検討した。処理水の適正利用によって耕畜連携を推進できれば、未利用処理水を養豚農家と耕種農家のいずれにも有利な経営資源に変えることができる。

9-2 処理水散布機の開発

(1) 処理水散布機の概要

前述のように、バキュームカーを所有している養豚農家やサトウキビ生産法人は少ない。バキュームカーは積載量 3.5 t 程度で 900 万円程度と高額であるが、4 t トラックは半額程度で購入できる。現在、4 t トラックは処理水散布作業には利用されていないが、本研究では新たに導入する場合、汎用性や価格を考慮し、4t トラック+散布機のシステムにより低コスト化を図ることを目標とした。散布機は、ホース、巻取りドラム、散布・吸水用ポンプおよびエンジンで構成されている(図 9-1)。また、一人で散布作業が実施可能であることも開発目標とした。このため、散布機本体はほ場外に置き、サトウキビの畝に沿って、人力でホースをほ場端まで伸ばした後、ラジコン操作でホースを巻取りながら散布する方式とした。

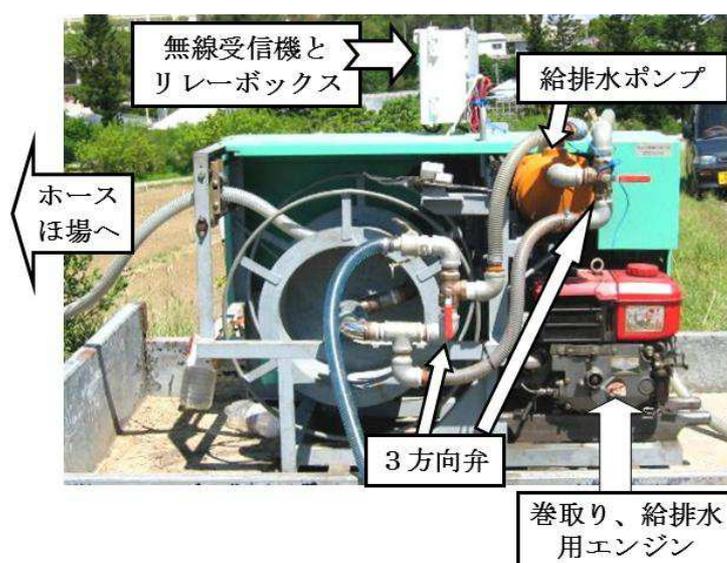


図 9-1 豚舎処理水散布機

散布機のポンプ(共立エコー物産, 最大吐出量 400 L/min)は, 処理水の散布と吸水にも利用できるように吸排水回路を組み立てた。また, ホース内に処理水が残留していると, ホースのけん引抵抗が増加して繰出しが困難となるので, ホース内の処理水を吸引してタンクへ戻す回路を形成した。処理水の充滿した 50~75 m のホース (クラレ, ネオライト ϕ 32 mm) を巻取るので, ホースに大きな負荷がかかる恐れがある。そこで, ホースの中に ϕ 2 mm のワイヤーを通してこれをけん引し, ホースには負荷が直接働かないように工夫した。ホースは, 総延長の調整と途中で破損部が生じても交換できるように, 単位長さ 10 m のホースを接続する方式とした。ワイヤーフック内臓の金具製の継手部を自作し 10 m のワイヤーで繋ぎ, ホースと継手金具は巻取りに支障がないようにフープバンドを使用して締付けた。

(2) 散布機の構成

散布機は高さ 90 cm, 幅 80 cm, 横 130 cm および質量 275 kg で, 2 m³ または 3 m³ のローリータンクと一緒に 4 t トラックの荷台に積載できる大きさである。散布と吸水, ホースの巻取りには 2.6 kW の単気筒エンジン (ヤンマー, NSA40C 定格 2.6 kW/2000 rpm) が利用できるように構成した。

処理水の吸水, 散布およびホース内の処理水吸引操作は, 3 方弁の切替えで行う (図 9-2)。散布の場合は B ⇒ ① ⇒ ② ⇒ PW ⇒ ④ ⇒ ⑤ ⇒ ほ場への順に処理水は流れる。散布停止してタンク内へ戻す場合は B ⇒ ① ⇒ ② ⇒ PW ⇒ ④ ⇒ ⑥ ⇒ A と流れる。50 m のサクションホース内の処理水吸引時は, 散布用ホース ⇒ ③ ⇒ ② ⇒ PD ⇒ ④ ⇒ ⑥ ⇒ A の順である。また, 豚舎では C ⇒ ① ⇒ ② ⇒ PW ⇒ ④ ⇒ ⑥ ⇒ A の順に吸水 (汲上) される。

ホースの巻取りと同時に散布できるように, ラジコン操作で巻取りのオン・オフ制御ができるように受信機を内蔵したリレー回路を自作した。これは, 散布機に取付けても支障のないように, 防水型のボックスに収納した (図 9-3)。

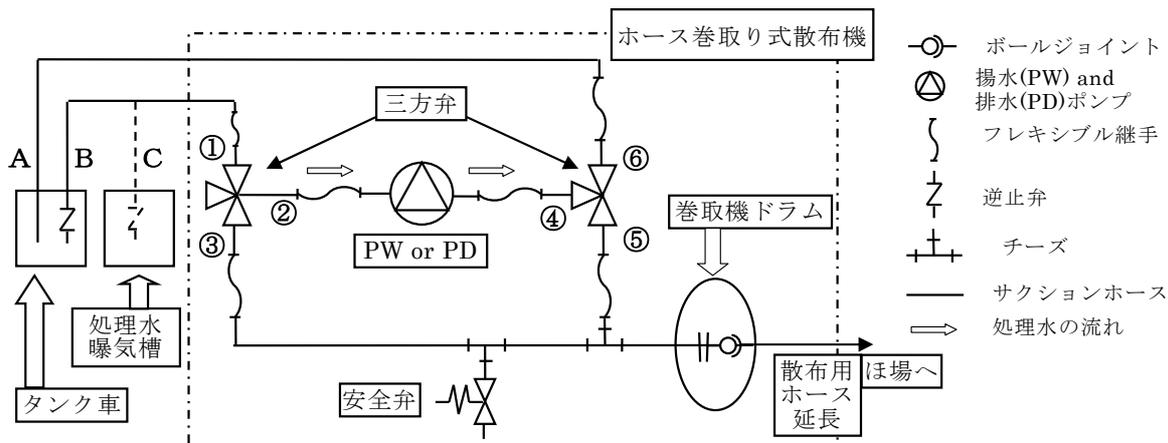


図 9-2 ポンプと三方弁による給水と吐出

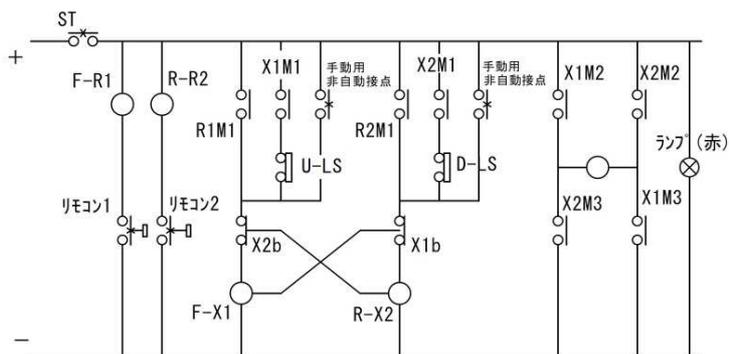
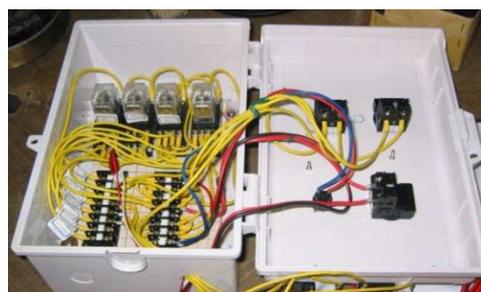


図 9-3 リレーボックスとシーケンス回路

(3) 散布機の基本性能

a ポンプ吐出量

吸水から吐出まで 1 台のエンジンとポンプで行うためには、ポンプの性能を把握する必要がある。散布機を使用してサトウキビ植付直後の種苗近くや、培土の直前または直後に株元へ処理水を散布する場合、吐出時の水圧で種苗が流出したり、畦が崩れたりしないように、ポンプの吐出量を調整する必要がある。トラックの荷台に散布機と水タンクを置いてホースを水平に 50 m 延長し吐出量を測定すると、約 120 L/分であった。このとき、ほ場では作物に支障なく散布できたので、適

切な吐出量と考えられた。吐出量はポンプのプーリ径やエンジンスロットルの開度で調整した。

一方、豚舎貯留槽の水面はトラックに搭載した散布機のポンプより通常高い位置にあるが、地下式の貯留槽もある。そのため散布機を用いて、吸込の揚程を0～3.6 mに変化させたときの吐出量を測定した。長さ10 mのホースを用いて、散布機に隣接して設置したタンクに処理水の代わりに水を一定時間吐出し、容量を測定した。吐出量は100～125 L/min(図9-4)であったが、3 m³の処理水を吸水するには30分程度要し、十分な吸水速度ではないと判断した。散布時の吐出量を120 L/min程度に設定するためには、豚舎での吸水作業に500 L/min程度の能力を持つポンプを使用し、時間を短縮する必要があると考えた。

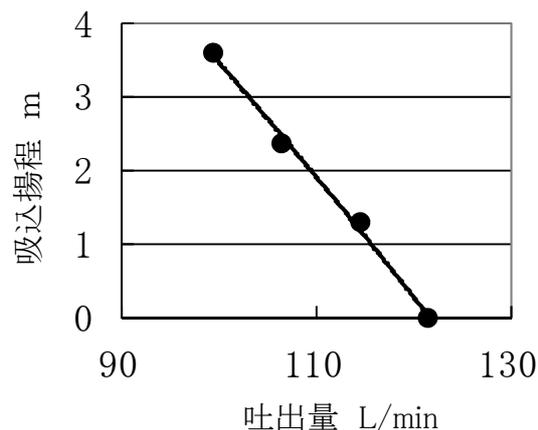


図9-4 散布機のポンプの吸込揚程と吐出量

b ラジコン操作

ラジコン操作による巻取りの動作確認は、ほ場(図9-5)内で送信機(サーキットデザイン, WT02)を持ち、受信機(サーキットデザイン, WR01)内蔵リレーボックスをサトウキビほ場外に設置し、送受信感度をモータの駆動で確認した。

送信機はライター程度の大きさで、ラジコンで制御するのは、ホース巻取りクラッチ用モータのオン・オフである。草丈220 cmのサトウキビが障害物となるほど繁茂したほ場の中からも電波は十分に届き、

受信機まで 100 m の距離でもモータの操作が可能であった。

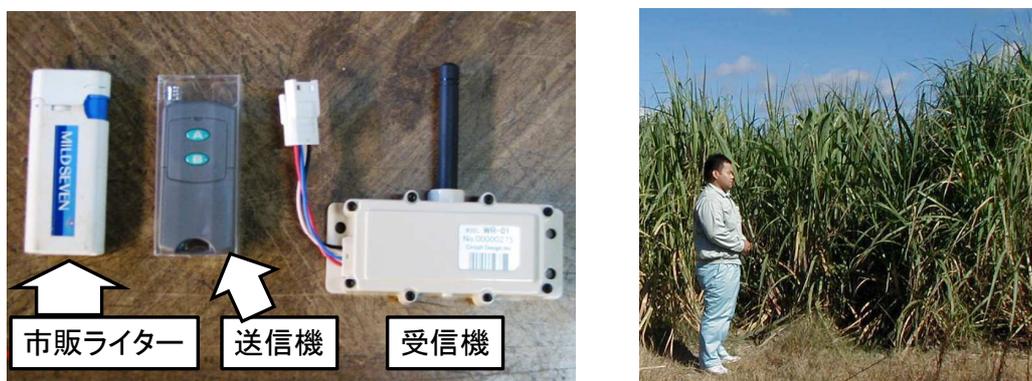


図 9-5 送信機(WT-02)と受信機(WT-01)および操作試験実施ほ場

c ホースのけん引抵抗

バキュームカー用の $\phi 50$ mm ホースと散布機の $\phi 32$ mm ホースをそれぞれ 30 m サトウキビほ場に敷設し人力でけん引した。サトウキビほ場の土壌はジャーガル（島尻層群泥岩由来）である。ホースのけん引抵抗をけん引力計（NEC/Avio, LOAD CELL9E01-L22-10kN）と動歪計（NEC, AC STRAIN AMPLIFIER AS1302）を用いて測定した。その結果、空のホースとジャーガル土壌との摩擦係数は平均 0.7 であった。サクションホースとバキュームカーの衛生車用ホースに処理水（比重 1.0）が充填された時のけん引抵抗 F [kN]は次式で表される。

$$W_h = w_h \times l \quad 9-(1)$$

$$W_w = a \times l / g \quad 9-(2)$$

$$F \doteq (W_h + W_w) \times \mu / 100 \quad 9-(3)$$

ここで、 W_h [kg]はけん引する長さのホース質量、 w_h [kg/m]はホースの単位長さ質量、 l [m]はけん引するホースの長さ、 W_w [kg]はホースに充填される処理水の質量、 a [c m²]はホース内径の断面積、 μ は摩擦係数および F [kN]はけん引抵抗である。なお、重力加速度 g は近似的に 10 m/s^2 とした。

バキュームカーで利用する長さおよそ 50 m（直径 50 mm）の衛生車用ホースの場合、全長を一旦ほ場内へ繰り伸ばして、戻りながら散布

する。そのため、0 m から最大 25 m 程度の処理水が充填したホースをけん引しながらの散布作業となる（図 9-6）。 $\phi 50$ mm のホースに処理水が充填され 20 m を引く場合には約 0.45 kN のけん引抵抗が発生し、重労働となる（表 9-1）。これに対して、開発機では巻取りながら散布するのでけん引に人力はほとんど要しない。ラジコン操作による巻取りながらの散布は省力効果大きい。



(a) バキュームカー

(b) 散布機

図 9-6 豚舎処理水散布状況

表 9-1 ホースの牽引抵抗

長さ (m)	サクシオンホース		衛生車用ホース	
	$\phi 32$ mm	$\phi 50$ mm	$\phi 50$ mm	$\phi 65$ mm
10	0.09	0.20	0.23	0.37
15	0.13	0.30	0.35	0.56
20	0.17	0.40	0.46	0.75
25	0.22	0.50	0.58	0.93
30	0.26	0.60	0.69	1.12

注) 数値はホース内に処理水が充填の状態

サトウキビ畑内、ジャーガル土壌の摩擦係数 $\mu = 0.7$

d 散布方法とホースの巻取り速度

巻取り機能を利用しながら $\phi 32$ mm 程度の軽いホースで散布する作

業では、連続的にホースに引かれるように散布・移動するより、数畦を10 m程度散布してから間欠的に素早く巻取る作業の方が容易である。そのような作業方法に対して必要な巻取り速度が確保されているか否かを調べた。

畦幅 1.3 m, 4 畦の幅で散布移動速度 v [m/min]により散布すると、毎分処理面積は $1.3 \times 4 \times v$ [m²/min]となる。散布量 5 t/10 a を基準に、120 L/分で散布すると次のような関係式となる。

$$120 \times 1000 \text{ m}^3 / (1.3 \times 4 \times v) = 5000 \text{ L} \quad 9-(4)$$

よって散布移動速度 v [m/min]については、約 4.6m/minとなる。一方、散布機の巻取り速度はホースの延長距離で変化する。ホースが延長されてリールの巻取り半径が小さい時には移動速度が遅く、巻取り半径が大きくなれば速度は増加する。ほ場内での実測から巻取り時のホース先端の移動速度は 15~27 m/min 程度となった(図 9-7)。この移動速度で、処理水は支障なく散布できた。

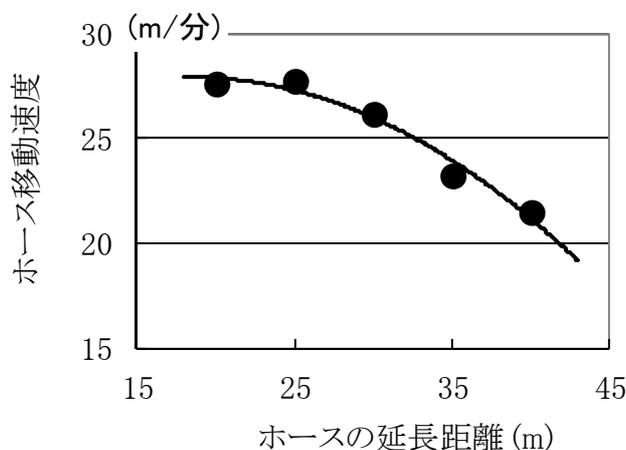


図 9-7 ホースの延長距離と移動速度関係

e 散布作業能率

散布機およびバキュームカーによる散布作業能率の比較を行った。試験には、散布機とローリータンク 2 基 (合計 3 t) を搭載した 4 t トラック、および、南城市のサトウキビ農業生産法人所有の最大積載量 3.7 t のバキュームカー (MORITA, 3.7 t) を利用した。

測定項目は豚舎とほ場間の往復時間，豚舎での吸水時間，散布時のほ場内での作業時間，ほ場外で行うレバーの操作時間，バキュームカーや散布機を搭載するトラックの定置場所間の移動時間などである。バキュームカーと散布機搭載の4t車には処理水をそれぞれ3t積載し，10a当り散布量が5tになるように設定した。

バキュームカーの作業は，ほ場内では2人組作業，豚舎からの吸水と往復は1人作業で行った。これに対して散布機の作業は全て1人作業で行った。ほ場は南城市佐敷の土地改良区内の農道整備済みほ場を供試した。バキュームカーの作業能率は10a当り5t散布するのに延3.07hで，散布作業が延2.61hで85%，吸水や豚舎往復などほ場外作業が0.47hで15%を占めている（表9-2）。バキュームカーでは，表9-2に示すように，ほ場内作業を2人で行うので5t散布するのに，所要時間は1.78hとなり，1日約7台分の散布作業が可能である。実際でも，積載量3tのバキュームカーの最大散布量は1日当り7台程度である。一方，散布機の作業能率は10a当り5t散布するのに2.08hでバキュームカーの作業能率より高く（表9-2），ほ場内作業が1.08hで52%，吸水や豚舎往復などが1.01hで48%を占めた。しかも，重労働であるほ場内散布作業が省力・軽労化され1人作業が可能となった。

表 9-2 散布機とバキュームカーの作業能率

	ほ場内作業時間(h)			ほ場外作業時間(h)			合計 (h)	比率 (%)
	散布	散布以外	小計	往復	給水	小計		
散布機	0.69	0.39	1.08	0.32	0.69	1.01	2.08	100
バキュームカー	1.65	0.96	2.61	0.32	0.15	0.47	3.07	148

注) 表は 5t/10a 散布の場合

バキュームカーのほ場内での散布作業は2人組の延時間

バキュームカー所要時間=ほ場内時間(2.61/2)+ほ場外時間(0.47)≒1.78

f 吸水時間

吸水時間を短縮するために2.6kWのガソリンエンジン付ポンプ（丸山，BP504，最大吐出量500L/min）を利用すると，曝気槽から246L/min（揚程3m）の吸水が可能であった。表9-2の散布機の吸水作業に

については，このポンプを利用すると，0.69hが0.34hに短縮されて10a当りの全作業時間は，2.08hが1.73hとなり，バキュームカーの所要時間1.78hより短くなった。同様な構造のガソリンエンジン付ポンプは処理水を利用するサトウキビ農家で5年以上使用されており，処理水の夾雑物による詰まりや不具合はなく，支障なく利用可能である。また，価格も350～600 L/minの能力で，3～5万円程度と安価で重さが20 kg程度なので1人でもトラックへの積下しが可能である。

9-3 処理水のサトウキビほ場施用試験

(1) 材料および方法

a 化学肥料代替試験

春植および株出栽培では，化学肥料とほぼ同量の窒素成分を有する処理水の施用により，同程度の品質（ブリックスや可製糖量など），収量が得られ，代替肥料として利用できる（玉城ら，2003）。今回，糸満市真壁のジャーガルほ場で生育期間の長い夏植に対して散布機で処理水を施用して生育および収量調査を行った。化学肥料のみの区（化学肥料区），化学肥料を施用し灌水を行う区（化学肥料+灌水区），および，施肥全量を処理水で代替した区（処理水区）を設けた。化学肥料区はBB699（20 kg/袋；N 16%，P 9%，K 9%）を植付時に基肥として3袋/10 a，平均培土時に一回目の追肥3袋/10 aおよび高培土時に2回目の追肥2袋/10 a，合計8袋/10 aを施用した。糸満市の豚舎より取水した処理水の平均的な肥料成分は，全窒素990 ppm，リン酸263 ppm，カリ1329 ppmであった。処理水区は慣行区の窒素施用量25.6 kg/10 aと同量になるように，処理水を植付時の基肥と3回の追肥に分けて等量ずつ計4回，合計25.4 t/10 aを開発した散布機を用いて散布した。化学肥料+灌水区は処理水の灌水効果を考慮して設置し，処理水を散布するのに合わせて2回，同量の灌水を行った。

試験ほ場は2006年7月に耕起，碎土を行い，9月20日に植付けた。畦幅1.31 m，品種はNiF8で病害虫防除と肥培管理は「さと

うきび栽培指針（沖縄県農林水産部 2006 年 3 月）」（以下，栽培指針）に準じて行った。各処理区それぞれ 250 m²で，各処理区内 0.1 a×3ヶ所で生育調査および収量調査を行った。各処理区は 2007 年 4 月 4 日に追肥 1 回目を行うと同時に平均培土を行い，6 月 1 日に追肥 2 回目と高培土を行った。2008 年 1 月に収量調査を行った（表 9-3）。

表 9-3 各試験区の化学肥料および処理水の施用量
（サトウキビ夏植）

日時(年/月/日)	06/9/20	07/4/4	07/6/1	07/7/10	08/1/20	合計施用量		
作業	植付 基肥	平均培土 追肥 1	高培土 追肥 2	処理水散布 と灌水	収穫	(kg / 10 a)		
	●	×	×	(X)	□	N	P	K
処理水区	6.4 t/10 a	6.4 t/10 a	6.4 t/10 a	6.4 t/10 a		25.3	6.7	34.0
化学肥料 + 灌水	3袋	3袋 6.4 t/10 a	2袋	6.4 t/10 a		25.6	14.4	14.4
化学肥料区	3袋	3袋	2袋			25.6	14.4	14.4

注) ● : 植付 × : 追肥 □ : 収穫

化学肥料はサトウキビ専用肥料 : 1 袋 20 kg N・P・K 16-9-9

b 処理水による増施試験

豚舎からの処理水の利用促進や環境問題の解消のためにはほ場還元が効果的な手法であるが，県内では対策が遅れており急務である。散布機の開発と利用により散布の作業量軽減が可能で，処理水を増施用すると増収効果も期待できる。春植や株出栽培では 7 月以降に固形の化学肥料を施肥すると，収穫期（12 月～翌年 3 月）において甘蔗糖度など品質が低下する（前出，栽培指針）。一方，処理水は水稻などでは液肥として扱われ，肥切れが良いことが利点である（吉岡，2001）。これらのことから，処理水の散布期間を延長して施用量を増やす増施によってサトウキビの増収をねらった施用試験を行った。

試験ほ場は 2004 年 9 月 2 日に沖縄県糸満市与座のジャーガルほ場に品種 NiF8 を畦長 50 m，畦幅 1.3 m で夏植し，株出 2 回まで栽培した。化学肥料施用のみの慣行区では，BB699（20 kg/袋；N 16%，P 9%，K 9%）を夏植植時に基肥として 3 袋/10 a，平均培土時に一回目の追肥 3 袋/10 a および高培土時に 2 回目の追肥 2 袋/10 a，合計 8 袋/10 a を施用した。株出では前作の収穫後に基肥 3 袋/10 a，平均培土時に一回目の追肥 2 袋/10 a および高培土時に 2 回目の追肥 2 袋/10 a，合計 7 袋/10 a 施肥した。一方，処理水増施区では慣行区と同量の化学肥料を施肥した後，7～9 月の間に開発した散布機を用いて処理水を散布した（表 9-4）。

表 9-4 処理水の増施量

夏植散布試験		植付 (基肥)	平均培土 (追肥)	高培土 (追肥)	処理水散布 (追肥)	処理水散布 (追肥)	収穫	合計施肥量 (kg / 10a)		
作業と日付 (年/月/日)		04/9/2	05/1/11	05/4/13	05/7/5	05/8/3	06/1/10	N	P	K
		●	×	×	(×)	(×)	□			
10 a 当り	処理水増施区	3袋 (化)	3袋 (化)	2袋 (化)	7.7 t (処)	7.7 t (処)		41.2	17.2	37.6
施肥量	慣行区	3袋 (化)	3袋 (化)	2袋 (化)				25.6	14.6	14.6

株出散布試験		株出管理 (基肥)	平均培土 (追肥)	高培土 (追肥)	処理水散布 (追肥)	処理水散布 (追肥)	収穫	合計施肥量 (kg / 10a)		
作業		●	×	×	(×)	(×)	□	N	P	K
株出 1	日付(年/月/日)	06/1/11	06/4/25	06/7/3	06/8/4	06/9/25	07/1/5			
10 a 当り	処理水増施区	3袋 (化)	2袋 (化)	2袋 (化)	7.7 t (処)	7.7 t (処)		37.2	15.2	35.6
施肥量	慣行区	3袋 (化)	2袋 (化)	2袋 (化)				22.4	12.6	12.6
株出 2	日付(年/月/日)	07/1/29	07/4/4	07/6/28	07/7/10	07/9/5	08/1/4			
10 a 当り	処理水増施区	3袋 (化)	2袋 (化)	2袋 (化)	7.7 t (処)	7.7 t (処)		37.2	15.2	35.6
施肥量	慣行区	3袋 (化)	2袋 (化)	2袋 (化)				22.4	12.6	12.6

注) (化) は化学肥料施肥，(処) は処理水散布，●：植付 ×：追肥 □：収穫
化学肥料はサトウキビ専用肥料：1 袋 20 kg N・P・K 16-9-9

その他の病虫害，肥培管理は栽培指針による。処理水は八重瀬町の豚舎より取水した。平均的な肥料成分は，窒素 1033 ppm，リン酸 167 ppm，カリ 1496 ppm であった。各処理区それぞれ 700 m² で，各処理区内 0.1 a×3 ヶ所で生育調査および収量調査を行った。収量調査は，夏植を 2006 年 1 月，1 回目株出を 2007 年 1 月，2 回目の

株出を 2008 年 1 月に行った。

(2) 結果および考察

a 化学肥料代替試験

化学肥料代替試験を行った夏植では，化学肥料＋灌水区および処理水区はともに化学肥料区の収量を上回った（表 9-5）。これは，刈取った収穫茎から搾汁に適さない梢頭部や葉などを除去した原料部分の茎長（原料茎長）が長くなったことが主な要因である。可製糖率（％）は原料サトウキビから計算上回収可能な蔗糖の割合であり，品質を評価する一つの指標である。収量（原料茎重）に可製糖率を乗じると，産糖量となる。各区とも可製糖率に差異はなかったが，処理水散布区と化学肥料＋灌水区では収量が増加した分，産糖量が増加した（表 9-5）。

表 9-5 化学肥料代替試験における夏植の収量

項目	原料茎長		茎数		収量		可製糖率		産糖量	
	cm	比(%)	本/10a	比(%)	kg/10a	比(%)	%	比(%)	kg/10a	比(%)
処理水区	302	110	7282	107	13023	112	15.31	99	1994	111
化学肥料＋灌水区	298	108	6769	99	12803	110	15.86	102	2030	113
化学肥料区	275	100	6821	100	11610	100	15.54	100	1804	100

処理水は窒素を基準に散布するとリン酸分が少なくジャーガルでのサトウキビの施肥基準を下回る。しかし，熟畑のサトウキビ作ではリン酸を施用しなくても，ほ場に賦存する量で 5 年程度まかなえるので，収量への影響は少ない（久場，2004）。したがって，処理水のリン酸が少なくても収量や品質への影響はなかったと思われる。処理水のカリ含量については窒素と同程度かそれ以上の濃度である。このことから，ジャーガルでは春植や株出と同様に夏植においても，処理水は化学肥料と代替が可能であると考えられる。県内の他の土壌でも，慣行施肥における窒素の施用量を基準に処理水を散布すれば，化学肥料と代替するサトウキビ栽培体系が可能である。化学肥料＋灌水区での増収は灌水の効果と考えられ，処理水散布でも灌水効果が表れたものと考えられる。

9-4 処理水による増施試験

処理水増施区では，化学肥料と処理水増施による窒素施用量は慣行の1.6～1.7倍であったが，処理水を9月まで増施しても夏植，株出とも可製糖率などの品質の低下は見られなかった。

夏植調査ほ場を設置した2004年は台風の発生が多く，植付後に直撃や接近した台風のため，伸長初期のサトウキビにかなりの折損が生じた。折損後の分けつで茎数は回復したものの伸長が遅れ，その後の生育にも影響した。最終的に処理水散布区も慣行区も収穫時には，夏植収量や産糖量などに差がない結果となった（表9-6）。

表 9-6 処理水の増施とサトウキビ収量

作型	試験区	原料茎長		茎 数		収 量		可製糖率		産糖量	
		cm	比 (%)	本/10 a	比 (%)	kg/10 a	比 (%)	%	比 (%)	kg/10 a	比 (%)
夏植	処理水増施区	241	93	9259	95	10796	104	13.49	95	1456	99
	慣行区	260	100	9759	100	10397	100	14.13	100	1469	100
株出1	処理水増施区	226	96	12000	120	8790	111	15.09	106	1330	118
	慣行区	236	100	10000	100	7920	100	14.28	100	1130	100
株出2	処理水増施区	212	104	10150	121	7479	129	15.10	102	1129	132
	慣行区	203	100	8360	100	5815	100	14.75	100	858	100

サトウキビ栽培では通常，株出回数が増えると単収が低下していくので，両区とも株出1回目より，2回目のほうが収量は低下した。しかし，2回の株出栽培において，処理水散布区は慣行区に対して10～30%増収し，20～30%の産糖量増加となった（表9-6）。

沖縄地方は例年，サトウキビの生育旺盛期である6～9月頃および生育後期の11月までは少雨傾向である。しかし，灌水施設が整備されたほ場は少なく，ポンプタンカなどで散水する農家も僅かで，特に梅雨の終わる6月中旬以降の夏場は干ばつの影響が現れる。この時期に処理水の増施を行うことで肥料効果と灌水の効果も加わり増収が期待できる。

9-5 処理水利用の経済性

(1) 畜産処理水散布の経済性

沖縄県内では、養豚農家がバキュームカーなどの機械類を無償で貸出し、農業生産法人が処理水を散布する事例や、吸水と運搬、散布作業の補助を養豚農家が行い、生産法人や農家と協働して処理水を散布するなどの事例が主である。そこで、処理水を利用した化学肥料代替および増施用の経済性の検討については、それぞれ機械代や器具代は含めずランニングコストのみの試算を行った。ここで通常、処理水は養豚農家から無償で提供される。化学肥料代替試験では、処理水散布区は散布作業の労賃、トラックと散布機の油脂燃料費を合計すると10 a 当たり 11300 円程度となる。化学肥料区は化学肥料代と肥料散布作業労賃を合計し 18200 円となり、表 9-7 に示すように、処理水を化学肥料に代替して散布することで 6,900 円/10 a 程度のコスト低減となる。また、春植、株出では 10 a 当たり化学肥料を 7 袋散布するので、同様な計算で処理水と代替すると 5000 円/10 a 程度のコスト低減となる。処理水増施用については増収による収益と散布費用を比較した（表 9-8）。

表 9-7 化学肥料代替の経済性：ジャーガル夏植での経費

豚舎処理水 散布区	散布量 t/10 a	散布時間 時間	時給 円/時	労働費 円/10 a	トラック,散布機 燃油費(円/10 a)	合計 11315 円/10 a
	25	8.65	1000	8650	2665	

化学肥料区 (サウキビ肥料699)	肥料単価 円/袋	散布量 袋/10 a	肥料代 円/10 a	散布時間 時間 ^{注)}	時給 円/時	労働費 円/10 a	合計 18200 円/10 a
	1900	8	15200	3	1000	3000	

化学肥料代替のコスト低減 = 18200 - 11315 = 6885 円/10a

注) 化学肥料区の散布法は背負式肥料散布器（タンク容量 24L）による人力散布

処理水増施用による夏植、株出 2 作合計の収入増加は 10 a 当たり 63000 円程度である。一方、散布経費は 24000 円程度で、増収益は 10 a 当たり約 39000 円/10 a（夏植+株出 2 作）となった。沖縄県内の代表的な土壌は今回の調査で用いたジャーガルの他に島尻マーヅおよび国頭マーヅ

である。ジャーガル土壌は他の2土壌に比較して生産力が比較的高く、増収効果も大きいと考えられる。他の2土壌のほ場でもジャーガルほ場ほど増収益とならなくても、処理水増施用の効果は期待できる。処理水散布は、化学肥料代替（減化学肥料）、および、増収を目的とする増施用のいずれにおいても、農家経営にとっては有利な作業である。

表 9-8 豚舎処理水増施用の経済性
夏植+株出2回（ジャーガルほ場 糸満市）
畜産処理水増施の増収

処理区	収量 (t/10 a)	増施用による 増収分 (t/10 a)	サトウキビ 単価 (円/t)	増収 (円/10a)
処理水増施区	27.1	2.9	21495	63045
慣行区	24.1			-

畜産処理水増施のコスト

合計散布量 t/10 a	散布時間 h	時給 円/h	労働費 円/10 a	トラック, 散布機 燃油費 (円/10 a)
53.9	18.6	1000	18649	5746

畜産処理水増施用による増収益 = 63045 - 24395 = 38649 円/10 a (3作)

(2) バキュームカーと散布機の経済性比較

サトウキビほ場への処理水散布は、春植、夏植および株出栽培で、梅雨時期や製糖期の1~3月を除いてほぼ年間を通じて需要がある。また、露地の花キと野菜でも植付け前の夏秋期に需要がある。このことから、各月の作業可能日数率や10a当り散布時間などから試算すると、バキュームカーと4tトラック車載散布機利用の負担面積はともに13ha程度である（表9-9）。散布作業時の労賃や燃油費など変動費は表9に示すように、バキュームカー利用では18,500円/10aで、4tトラック+散布機利用の場合に比べ1.6倍と割高である。また、バキュームカーの新調価格は900万円程度、平ボディの4tトラックは500万円程度で、散布機は補助用ポンプやホースを含め100万円以内で製作できる。

これらを勘案すると，機械類の減価償却費について，バキュームカー利用は4tトラック+散布機利用の1.5倍程度になる（表9-9）。化学肥料施用にかかる費用は新植，株出で平均18000円/10a程度で，サトウキビ農家がトラック+散布機を新たに導入して処理水を散布する場合は，減価償却費と変動費を合わせ約19000円/10aとほぼ同額になる。しかし，灌水効果や，増施による増収効果が期待できることや，未利用資源の有効利用で減化学肥料栽培が可能なことからサトウキビ生産法人のように規模の大きな農家にとっては導入するメリットはある。なお，バキュームカーの場合は約35000円/10aとかなり割高となる。また県内には，貯留槽や回分式活性汚泥槽の底に貯まる余剰汚泥は凝固剤を用いて廃棄処分する事例もあるが費用が高いため，7～10日毎に養豚農家自身では場に散布することが多い。サトウキビ複合の養豚農家もあり，処理水や余剰汚泥の散布にかかる経費はバキュームカーよりトラック+散布機で安価となり養豚農家の経費も削減される。

表 9-9 バキュームカーと散布機のコストの比較

減価償却/10a	散布量 t/10a	作業時間 h/10a	負担面積 ha/年	減価償却費 円/10a
4t車+散布機	25	8.65	12.9	8148
バキュームカー	25	8.90	12.6	16283

注)4t車の耐用年数は5年，バキュームカーは4年

注)散布機の耐用年数は7年,その他は3年

変動費/10a	燃油費 円/10a	作業延時間 h/10a	人件費 円/10a	変動費 円/10a
4t車+散布機	2665	8.65	8650	11315
バキュームカー	3177	15.35 ^{注)}	15350	18527

バキュームカーの作業延時間は，ほ場内作業を2人組作業で計算した

9-6 処理水の散布時期と留意点

夏植では，植付けから9ヶ月後の7月時点の3回目の散布では，作業が見えない程に草丈が高く繁茂していたが，台風の襲来前で倒伏もなく，畦幅も130cmと広いために，散布作業に支障はなかった。サ

トウキビが多少倒伏していても，畦間を歩行しながら作業可能であれば，処理水は液状なのでホースでの確に株元散布ができる。

株出では，1回目，2回目とも7月時点の仮茎長は115 cm前後で，散布作業者がほ場外から確認できる程度に低く，作業はスムーズにできた。しかし，台風襲来後の9月ではサトウキビの仮茎長は株出1回目が205 cm，株出2回目は195 cmと繁茂しており，外気温が28～30℃あるため，倒伏したサトウキビを避けながらのほ場内作業は過酷であった。

開発した散布機による作業期間については，処理水は液肥として肥切れが良いので固形の化学肥料より遅い時期まで施用できる。夏場の生育条件，倒伏状態，作業条件などを考慮すると，夏植では植付けから，翌年の台風の襲来が少ない8月頃まで，春植では植付けから8月頃まで，また株出では前作収穫後から8月頃までが適期と考えられる。

化学肥料の代替としての処理水散布も，増施も連年施用については，畑の肥料分の残存量を観察しながら散布する必要がある。窒素を基準に散布すると慣行施肥よりカリが多く施用されることになるが，サトウキビは露地栽培なので，亜熱帯地域の沖縄県では過剰なカリはある程度，降雨で流亡すると考えられる。しかし，土壌分析結果などを考慮して，年次によっては処理水施用を控え，無カリで窒素とリン酸肥料を施用するなどの利用方法の工夫が必要である。

9-7 摘要

豚舎から排出される処理水を有効利用するためにトラック搭載型の散布機を開発した。

- (a) 開発した散布機は高さ90 cm，幅80 cm，長さ130 cmおよび質量275 kgで，運搬用タンクと一緒に4 tトラックに搭載可能で，トラック，タンクおよび散布機の費用はバキュームカーより安価である。
- (b) 散布機は，吸水，散布，ホース内の吸引作業を2つの3方向弁の切り替えで行えるように回路を組み合わせ，取扱い性を高めた。
- (c) 散布方法は，50～70 mのホースをほ場に伸ばした後，ラジコン操

作でホースを巻取りながら一人でも散布を行え，軽労化が図れた。ほ場内でのホースの移動速度は 15～27 m/分で，10 m 程度の散布とホース巻取りを交互に繰り返す作業で支障なく散布できる。

(d) サトウキビほ場へ 10 a 当り 5 t 散布する場合，バキュームカーの所要時間は 1.78h であったが，ほ場内散布は 2 人作業となり延 3.07 h/10a であった。散布機では 1 人作業で 2.08h/10 a で，作業能率は散布機の方が高い。

(e) 吸水については，散布機に搭載されているポンプとは別に，吐出量 500 L/ min のハイデルスポンプを利用すると，作業時間は 1.73h/10 a となり，バキュームカーの所要時間よりも短くなった。

(f) 窒素含有量が平均 990 ppm 程度の処理水を，夏植のサトウキビほ場に 25 t 散布することで化学肥料施用以上の収量が得られ，処理水は化学肥料と代替可能であることを示した。

(g) 慣行施肥のほ場に処理水を増肥すると，ジャーガルほ場での株出では 10～30 % の増収効果が得られた。また，散布機を利用した作業は，いずれの作型でも台風襲来前の 8 月頃までの長期施用が可能であった。

(h) 処理水を利用した化学肥料代替では，6900 円/10 a の散布コスト低減となり，処理水を増施用すると増収により，夏植+株出 2 回で 39600 円/10 a の増益となった。

(i) 4 t トラックと散布機を利用した処理水散布作業はコストが安く，減価償却を含めた全体的なコストもバキュームカー利用よりは安価である。

以上より，開発した散布機によって処理水を低コストかつ効果的に利用できることを示した。

参考文献

荒川祐介, 正岡淑邦, 倉田裕文, 山本克巳, 2005. 曝気豚尿の利用によるカンショの減化学肥料栽培. 日本土壤肥料学会誌, 76(2), 193-197.

井上健一, 脇門英美, 小玉泰生, 上村幸廣, 2003. 飼料畑における豚ふん尿

- の施用限界量.鹿児島県農業試験場研究報告, 31, 39-48.
- 久場峯子, 2004. サトウキビの適正施用量. 九州・沖縄の農業と土壌肥料 2004, 120-123.
- 松中照夫, 小関純一, 近藤熙, 1988. 北海道根釧地方の採草地に対する液状きゅう肥の効率的施用法. 日本土壌肥料学雑誌, 59(4), 419-422.
- 中村修, 佐藤剛史, 2002. 佐賀県杵島地域における家畜尿有効利用の取り組みと課題.長崎大学総合環境研究, 4(2), 1-9.
- 農林水産省生産局, 2013. 家畜排せつ物法とは.
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/03_about/index.html. Accessed Oct.27, 2013.
- 沖縄県農林水産部, 2011. 沖縄県畜産経営指標. 沖縄県. 那覇, 141-143.
- 沖縄県農林水産部畜産課, 2012. 平成23年度環境保全型畜産確立指導事業実施調査等結果報告書. 沖縄県, 那覇, 25-30.
- Penatti,C.P.,De Araujo,J.V.,Donzelli,J.L.,De Souza,S.A.V.,Forti,J.A.,Ribeiro,R.,2005.Vinasse:A liquid fertilizer. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, 25, 403-411.
- 玉城不二美, 森田孟治, 吉田晃一, 当真嗣尊, 比嘉明美, 恩田聡, 東恩納良徳, 2004. サトウキビ栽培における豚ふん尿スラリーの代替肥料としての利用, 沖縄県農林水産試験研究推進会議編, 平成15年度普及に移す技術の概要. 沖縄県, 那覇, 11-12.
- 吉田晃一, 当間嗣尊, 比嘉明美, 國吉清, 恩田聡, 2004. ニガウリ栽培における豚ふん尿処理上澄み液の施用効果. 九州沖縄農業研究成果情報, 19, 589-590.
- 吉岡秀樹, 2001. 佐賀県における家畜尿の有効利用について. 畜産環境情報, 13, 7-15.

第10章 フラットホースを利用した豚舎処理水散布技術

10-1 緒言

沖縄県内の養豚農家数は361戸，飼養頭数は約25万頭で，ほとんどが沖縄本島に集中している（沖縄県農林水産部畜産課，2013a）。豚1頭当りの雑排水の排出量は15L/d（沖縄県農林水産部，2011）で，県全体で年間およそ140万 m^3 となる。この雑排水は固液分離され，固体部分は堆肥として利用され，液体部分は曝気処理され放流もしくはほ場へ散布される。曝気処理水（以下，処理水）には肥料成分が含まれ，耕種農家にとって有用な液肥となり得る（玉城ら，2004）が，現状では十分に利用されているとは言い難い。基準値内に収まっているとは言え，大量の処理水を限られた範囲に放流すれば環境汚染の原因となる恐れもある。養豚業で問題となっている環境汚染のうち水質汚染が約3割を占めている（沖縄県農林水産部畜産課，2013b）。

処理水を液肥として適正に利用促進すれば，環境汚染の縮減とともに，化学肥料代替利用または減化学肥料栽培が可能となる。すなわち，耕畜連携によるバイオマスを有効活用した循環型農業の確立に貢献できる。特に，沖縄県の主要な土地利用型作物であるサトウキビへの散布は利用規模の大きさや化学肥料代替の観点から有効である。一方，養豚農家にとっては作業負荷の軽減よって養豚農家の規模拡大にもつながる可能性がある。

ところで，作物にとって有効な窒素，リン酸およびカリウムの成分は一般に各豚舎によって異なる。このため，処理水を液肥利用するには，肥料成分を簡易な方法で把握する必要がある。小柳（1998）は，貯留牛尿の窒素およびカリウム含量を，EC値（電気伝導度（ mScm^{-1} ））による回帰モデルで簡便に推定できることを示した。サトウキビ生産法人が地域内の複数豚舎からの処理水を利用する場合には，同様な手法で，豚舎別処理水の肥料成分の目安を作成しておく必要がある。沖縄本島南部地域では都市化によって豚舎の周囲に住宅増えて，悪臭など環境問題への

苦情が多い。それを防ぐためには、作物への散布量を速やかに推定して、適正量を効率よく運搬・散布することが望まれる。

現在、養豚農家がサトウキビ生産法人にバキュームカーを貸出し、ほ場へ散布するケースが見られる。しかし、バキュームカーによる散布作業は重労働で作業能率が低い（新里ら,2014）。また、養豚農家のバキュームカー所有は44台（所有率：18%）と低いので（沖縄県農林水産部畜産課,2013b），利用農家は限られている。このようなことから、処理水の液肥利用は限定的であり、それを可能とする安価で簡便な散布法が求められている。

これを解決するために、第9章で述べたようなトラックと散布機を利用した散布システム（新里ら,2014）を開発した。トラックは、バキュームカーより安価でリースも容易で処理水の給水、運搬および散布に利用できる。ここではフラットホースを用いてより簡便な散布法の検討を行った。具体的には、長さ50mのフラットホースを畦に沿ってほ場内に配置し、ポンプで散布する。フラットホースやポンプは汎用的で安価に入手できるものを利用し、その他の水道資材やローリータンクなども汎用的な資材を用いた。これらをトラックに搭載して処理水を給水、運搬および散布するシステムを開発した（以下、フラットホース法）。さらに、サトウキビへの効果的な液肥施用に必要な肥料成分の簡易評価法に関する検討を行った。

10-2 方法

(1) 処理水の肥料成分と散布量の目安

処理水の液肥利用には、まず、適正散布量の目安を決める必要がある。そこで、2006～2007年にかけて、沖縄本島南部地域の16養豚農家を対象に、処理水貯留槽から取水可能性も含めて、利用上の問題点などに関する聞き取り調査を行った。また、サトウキビへの適正散布量を知るために、糸満市、八重瀬町および南城市の豚舎10ヶ所の処理水をサンプリングして肥料成分の分析を行った。調査項目はpH、EC値、窒素、リン酸、カリ

ウムとした。

(2) フラットホース法

a 機器構成

前章でも述べたように、バキュームカーでの処理水散布は、ほ場内で50～65mmの衛生用ホースを人力で引回して散布するので重労働である。そのため、より簡便・軽労でコスト低減を図るためにトラックや散布機などから構成される散布システムを開発した（新里ら,2014）。本章ではこれらの方法とは異なり、作業者がほ場に入らずに作業が可能なフラットホースを用いた省力的な散布システムを開発した。

使用機材は、ほ場に設置するフラットホース（クラレ、PVC製φ50mm）、ポンプを接続するバルブとカップラ及びフラットホースよりなるアタッチメント部（図10-1b）、タンク車および車載用ハイデルスポンプ（工進、ハイデルスポンプKH-50G:2.1kW 吐出量600L/min）2台で構成した（図10-1a）。なお、ほ場に設置するフラットホースは図10-1cに示すように、自前でφ4mmとφ9mmの穴を開けた。

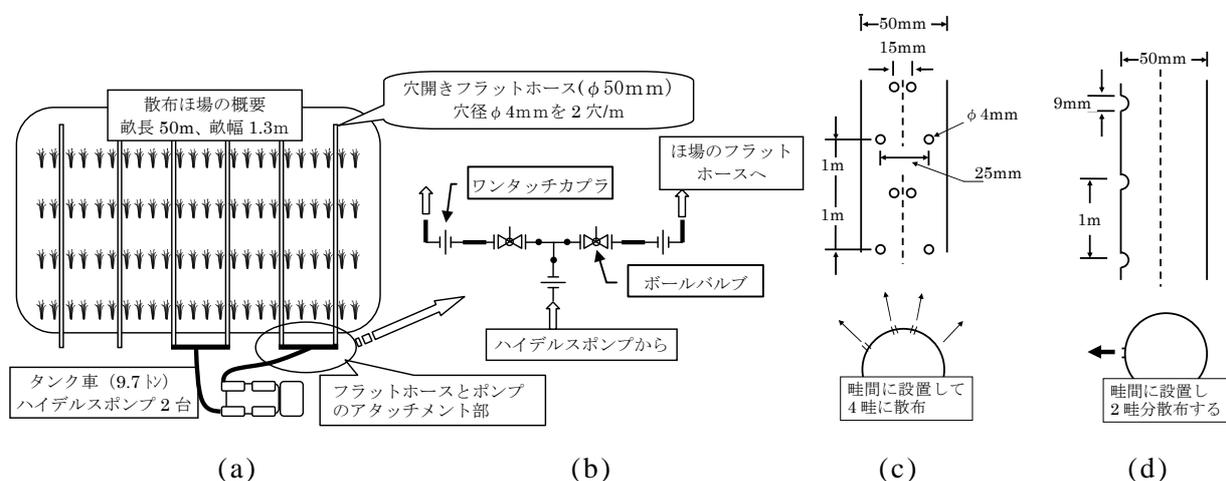


図10-1 フラットホース法の機器構成

- (a) ほ場での配置 (b) ポンプとホースのアタッチメント部
(c) φ4mmフラットホース (d) φ9mmフラットホース

曝気後に貯留槽に貯留された処理水は、貯留槽内の深さによって性状が

大きく異なる。飼養規模にもよるが、貯留槽上部の多少浮遊物を含んだ処理水は、ほぼ毎日放流するか、バキュームカーを用いてほ場に散布される。一方、貯留槽底部の活性汚泥の一部（以下、底部汚泥）は1週間～10日に1回の割合で給水してほ場に散布されている。このように上澄み液と底部汚泥は区別して利用するケースが多い。フラットホース法では、上澄み処理水散布用としてφ50mm、長さ50mのフラットホースにφ4mmの孔を1mに2ヶ所穿孔したものを用意した。底部汚泥の散布ではφ4mm孔では詰まりが懸念されるのでφ9mm孔を1m毎に1個設けた。

アタッチメント部は流量調整バルブ、ワンタッチカプラおよびチーズなどで組立てた。2台のハイデルスポンプを使用するが、1台のポンプで2本同時（8畦/本；約10m幅に相当）に散布できるので、上澄み処理水散布の作業面積は一回で50m×16畦の約10aになる。一方、底部汚泥散布では2畦に1本の割合で2台のポンプを用いて一度に約5aの作業ができる（図10-1a）。

上澄み処理水散布用フラットホースから吐出した処理水は、情報へ飛散した後、地表に衝突して飛沫となりサトウキビの株元へ広がる。ほ場に傾斜があれば表面を流れながら地中に浸透する。また、底部汚泥散布用フラットホースでは飛散するほどの水圧はないが、φ9mm孔から流出した処理水は畦に沿って流れてサトウキビの株元に浸透していく。

所定量を散布後、フラットホースを効率的に回収するために、巻取機を2機種試作した（図10-2）。

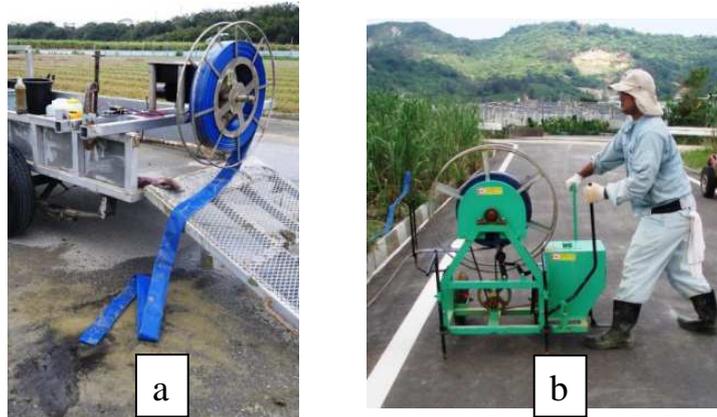


図10-2 ホース巻取機

(a) 12Vバッテリー用ウインチ利用 (b) 2.6kWガソリンエンジン利用

1機種は、トラックの12Vバッテリーを利用したウインチ（SIS株式会社、電動ウインチSL3000 最大牽引力1,361kgf）にリールを取付けて巻取る方式（図10-2a）で、ほ場にトラックが横付け可能な場合用である。トラックが横付けできない場合に使用する機種として、ガソリンエンジン（KAWASAKI,FG150G 2.6kW/3600rpm）を利用する方式である（図10-2b）。また、フラットホースをほ場に設置する際は、巻取機のリール固定金具を外すと、リールは自由に回転するので、人力で容易にほ場へ延長できる。

さらに、ほ場付近に上澄み処理水や底部汚泥を一旦貯留し散布する場合のために、ほ場の一角に設置する簡易タンクを製作した。ボルトやクランプなどを使わず工具なしで組立てられるはめ込み式で、容量約7^mのタンクである。

(3) フラットホースの各穴からの吐出量

ポンプに近い畦端部とホースの末端では圧力差によって吐出量に差が生じる。上澄み処理水散布用のφ50mm、長さ50mのフラットホースについて、各φ4mm孔からの吐出量と飛散距離を測定し、実用性を検討した。測定は処理水の代わりに灌漑水を用い、散布用ポンプとフラットホース2本を接続して各孔から30秒間の吐出量をバケツに受けて計量した。底部汚泥散布用にφ9mm孔を1m毎に開けたフラットホースについては、散布

用ポンプとフラットホース2本を接続して灌漑水を用いて、各孔の吐出量と水圧を測定した。水圧測定については、各孔に圧力計（右下精器製造株式会社、一般圧力計B型0～0.06MPa）をネジ込みできるプラスチック製の器具を取付けた。次に、灌漑水を吐出させながら順次各孔に圧力計をねじ込んで圧力を測定した。

(4) 作業能率

調査は、2006年10～12月に、南城市の土地改良区内の夏植植付後の3ほ場約9500m²を供試して行った。

タンク車を利用した上澄み処理水の散布作業性能について、フラットホース法とバキュームカー散布法を比較した。N生産法人が使用しているバキュームカー（モリタエコノス、最大積載量3.7m³）を従来法に、S生産法人の容量9.7m³のタンク車をフラットホース法に供試した。バキュームカー散布法はバキュームカーの操作と散布を行う2人組作業である。まず、1本約10mのサクシオンホースを、畦方向に6本配置し、ワンタッチカプラでそれぞれを繋ぎ合わせると、50m程度の長さとなる。次に、ほ場の奥、ホース先端を人力で持ち上げてから散布を始め、10m分の散布が終わればカプラを分離して次の10mを散布する。これを繰返せば50mの長さのホースを引回さずに散布できるので軽労化できる。これに対してフラットホース法ではほ場へのホースの延長、散布やホースの回収まで作業員1人で行った。調査項目は、給水時間、ほ場往復時間およびほ場内散布時間であった。

10-3 結果および考察

(1) 畜産処理水の肥料成分

適切に曝気された処理水は悪臭が軽減され、液肥として作物に施用できる（鈴木ら、2006）。100頭未満で貯留槽や曝気槽が不要な豚舎や、豚の伝染病を懸念する農家を除くと、調査した16養豚農家の内、約1/3に当たる6農家は処理水の畑地還元を積極的に促進したいと考えている。豚の伝染病を懸念する農家でも、送水ホースを利用して豚房から離れた場所

または豚舎敷地外であれば停車させたトラックに給水可能と答えている。沖縄県全体の養豚農家の約70%は浄化处理または液肥化处理施設を所有している。南部地区でも状況は同じで、これらの農家からは液肥として取水可能と思われる。

柳田ら（2004）は曝気処理した牛尿について、EC（ mScm^{-1} ）値（ EC ）による下記の簡易な式で、窒素成分（ $T-N\%$ ）を推定できることを示唆した。

$$\text{牛尿 } T-N(\%) = 0.017 \times EC - 0.3157 \quad (R^2 = 0.938) \quad 10-(1)$$

また、吉尾ら（2005）は曝気処理した豚糞尿は窒素成分（ $T-N \text{ ppm}$ ）とEC値について高い相関があることを次式で報告している。

$$\text{豚糞尿 } T-N(\text{ppm}) = 0.266 \times EC - 975 \quad (R^2 = 0.78) \quad 10-(2)$$

今回の調査では、南部地区の糸満市、南城市および八重瀬町の豚舎10ヶ所の曝気処理水の全窒素（ $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ）含有量（ $T-N \text{ ppm}$ ）とEC値（ EC ）との関係を分析した。散布に実用的な2000ppm以下（ $EC = 5 \sim 15$ ）の処理水の場合は次式で表された（図10-3b）。

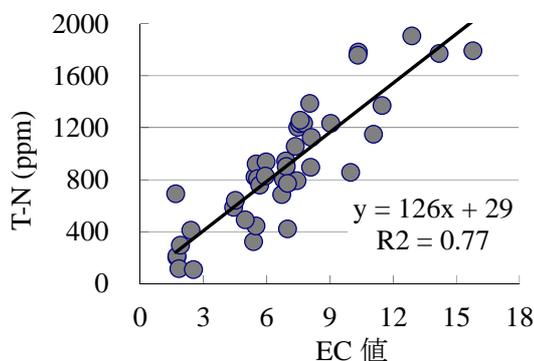
$$T-N(\text{ppm}) = 126 \times EC + 29 \quad (R^2 = 0.77) \quad 10-(3)$$

同じく沖縄県内の豚舎で調査した恵比須ら（1997）も窒素、リン酸およびカリウム濃度はEC値によって推定できることを示している。それによると全窒素（ $T-N \text{ ppm}$ ）の値は次式で示されている。

$$T-N(\text{ppm}) = 157.86 \times EC \quad (R^2 = 0.96) \quad 10-(4)$$

これは、曝気していない糞尿混合サンプルも含めて全窒素の含有量が推定されており、EC値が5~15の範囲では全窒素の含有量は、今回調査による式10-(3)の80~90%程度となっている。また、前述した柳田らの牛尿での全窒素の推定や吉尾らの豚糞尿の窒素成分の推定では、EC値が 60mScm^{-1} 程度までと広範囲で推定している。そのため、EC値による全窒素含有量の推定値は、式10-(3)と比較して、EC値が高い領域ではさほど差異は少ないが、低い場合は誤差が大きくなっている。各推定値の差異の原因は明らかではない。本研究ではサトウキビとの耕畜連携を目指しており、取水可能な県内の主要な豚舎では曝気処理が行われている。EC値による全窒素、リン酸およびカリ含有量の推定モデルは、実際の散布を想定し

て取水可能な範囲に限定し，曝気や固液分離の有無などに応じて個別に作成すれば必要な推定精度は確保できる。



(a)

(b)

図10-3 (a)曝気槽の様子と(b)全窒素-EC値の関係

本調査地域における処理水の肥料成分の平均値は，全窒素988ppm，リン酸263ppm，カリウム1329ppmであった。サトウキビには春植，夏植および株出の3作型があり，窒素の基準施肥量は22kg/10aで，約3ヶ月に1回の割合で3回実施し，1回当たり約8kgの量を施用する（沖縄県農林水産部，2006）。処理水の窒素含有量を約1000ppmとし，窒素基準では場への全散布量を試算すると，約22m³/10aの処理水が必要である。

豚の飼養頭数は，沖縄本島全体で約20万頭，南部地区は約7万頭である（沖縄県農林水産部畜産課,2013a）。本島全体の養豚農家からは年間約140万m³の処理水が排出され，その内，南部地区の養豚農家からの量は約40万m³となる。サトウキビへの散布期間を約9ヶ月とし，半数の養豚農家から給水可能とすると，南部地区では約11万m³が利用できる。これは約500haのサトウキビほ場に散布できる量である（表10-1）。

表10-1 沖縄本島および南部地区の処理水排出量とサトウキビほ場への散布可能面積

	戸数	頭数	処理水量 (m ³ /d)*1	年間排出量 (×10 ³ m ³ /y)	左記3割 (×10 ³ m ³ /y)	サトウキビ 収穫面積(ha)	散布可能 面積(ha)*2	割合
沖縄本島	342	217429	3261	1190	357	3357	1623	48%
南部地区	88	68994	1035	378	113	1519	515	34%

*1：1日排出量を15L/(頭・d)とする， *2：3ヶ月毎に計3回，220m³/ha 散布する場合

(2) フラットホースによる処理水散布システム

a フラットホース法

処理水の利用を促進するには、1日当りの処理水の運搬・散布量が従来のバキュームカーと同程度以上の能力を発揮することに加え、省力的かつ安価なシステムが必要である。言い換えると、開発するシステムはこれらの条件を備える必要がある。活性汚泥が沈殿した貯留槽上部の上澄み処理水は、多少の浮遊物があったが、ハイデルスポンプとφ4mm孔のフラットホースで散布可能であった（図10-4）。

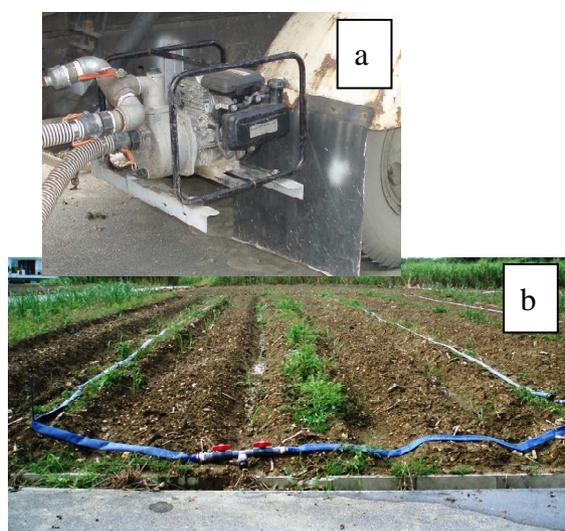


図10-4 ほ場の散布状況

(a)散布用ハイデルスポンプと(b)フラットホース

管内流体の単位質量当りの総エネルギーは、運動エネルギー、圧力エネルギーおよび位置エネルギーの和であり、慣例的に全ヘッド（水頭）で表される。フラットホースの1m間隔の穴から処理水を吐出するので、ポンプに近い畦端部からホースの終端へ向けて、摩擦損失により圧力エネルギーは低下し、運動エネルギー（流速）も低下する。ホースはほぼ水平に設置されるので位置エネルギーの変化は無視できる。このためホースのポンプ側と終端部では吐出量に多少の差が生じる。吐出量の実測ではポンプ側の畦端部から約10mまではその先より2～3割程度多く吐出するが、10m～

50m程度まではほぼ一定であった（図10-5b）。飛散幅の実測値より，供試ポンプでは畦幅1.3mに対して4畦にホース1本を配置すれば良いことが確認された（図10-5c）。散布量を均一にするには，吐出孔の径をポンプ側から次第に大きくすればいいが，そこまでの必要はないと判断した。

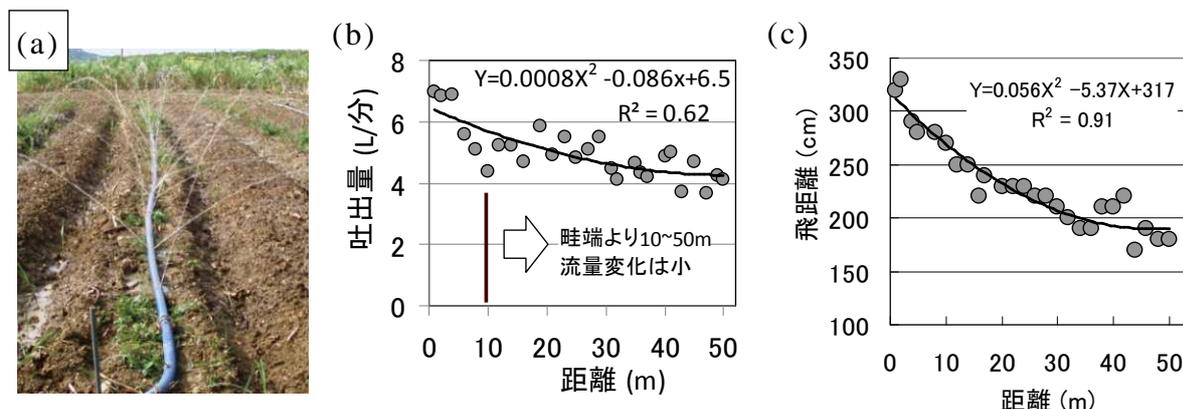


図10-5 フラットホース法の試験結果

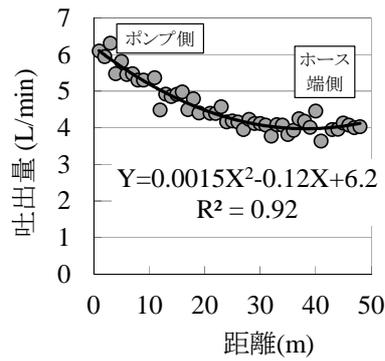
飛散の状況(a)とフラットホース各φ4mm穴の流量(b)，片側飛散幅(c)

底部汚泥散布用のφ9mm孔フラットホースでは，ホース端に向けて水圧降下と吐出量の減少が懸念される。一般に吐出量は水圧の平方根に比例する。ホース内の圧力はホース末端で0.013MPa，ポンプ側で0.026MPaと2倍の差が見られた（図10-6c）。この使用条件下では，末端の吐出量はポンプ側の約 $1/2^{1/2}$ ，すなわち約70%になると予測され，実測値（L/min）も4.0：6.1となり，ほぼ近い値を得た（図10-6b）。また，φ4mm孔フラットホースの場合と同じく，ポンプ側から約10mまでの各孔の吐出量はホース末端に近い位置より約2~3割多く吐出し，10~50mまではほぼ一定量となった（図10-6b）。

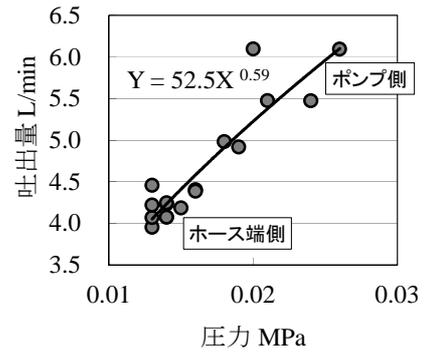
窒素施用量を基準に処理水を6~7割多めに施用すると，収量は2~3割程度増収した（新里ら，2014）。これより上澄み処理水や底部汚泥の施用量を2~3割増減させて施用しても，生育ムラはそれほど大きくなく，肥培管理や収穫作業への支障もなく，実用的に利用可能であると判断した。



(a)



(b)



(c)

図10-6 フラットホース（φ9mm）の散布結果
吐出状況(a)，各穴の吐出量(b)，圧力と吐出量(c)

(3) フラットホース法の作業能率

サトウキビの施肥は、春植、夏植および株出の3作型とも基肥、1回目の追肥および最終施肥と約3ヶ月に一度、計3回施用する。処理水散布量の目安を1回当たり約8m³/10a、合計24m³/10aとして、それぞれの作型に適した時期への散布を想定して作業時間を測定した。

バキュームカーでは、作業員がほ場に進入しての人力散布作業が主で、10a当り24m³散布する所要時間は4.6hであった。散布は2人組作業を行ったので10a当り9.2人・hであった（表10-2）。作業の軽労化を図るためにホースはワンタッチカプラで区切って10m毎に分離して作業するが、それでもφ50mmのサクシオンホースを引きずりながらの散布は重労働である（図10-7）。

今回調査したフラットホース法では、運搬に関して2台のハイデルスポンプを備えた9.7m³のタンク車を利用した。ただし、バキュームカーとの比較では、この地域で旱魃時の灌水用としてよく利用されている2m³のタンクローリ2基を搭載したトラックを使用する場合を想定して試算した。10a当り24m³散布に要する作業時間は4.0人・h(1人作業)であった(表10-2)。また、作業員のほ場進入はフラットホースを延長する時だけで、散布時は不要であるので軽労化が図れた。ほ場内のみの10a散布当りの所要時間はバキュームカー2.3h、フラットホース法2.1hで後者が0.2h短くできた。

また，1人当たりの1ha作業時間は40%程度で省力化が図れた。1日の作業時間を8.0h，実作業率をおおよそ0.8とすると1日の実作業時間は6.4hとなり，フラットホース法の散布可能量は1日約40m³である。

表10-2 フラットホース散布とバキュームカー散布の作業時間の比較
(豚舎 - ほ場間距離：2.5kmとする)

散布方法	吸水時間 (h/10a)	豚舎往復 (h/10a)	散布時間(h/10a)			所要時間 (h/10a)	作業量 (h/10a)
			ホース設置	散布	ホース回収		
フラットホース散布法	0.7	1.2	0.7	0.6	0.8	4.0	4.0
バキュームカー	1.0	1.2	0.2	1.9	0.2	4.6	9.2

10 当り処理水を 24m³ 散布した場合
バキュームカーの作業量は2人組作業の時間



図10-7 バキュームカーでの散布状況（2人組作業）

(4) フラットホース巻取機と簡易タンク

散布後，50mのフラットホースを適度な速度で巻取り，容易に運搬できるリール形状を検討した。巻取機に使用するエンジンと12V用モータは回転数が決まっている。巻取時間 $T(s)$ ，ハブ直径 $D(cm)$ ，巻取機の回転速度

$N(\text{rpm})$ およびフラットホースの巻取時の厚さ $t(\text{cm})$ 、長さ $L(\text{m})$ とすると、次の関係式が得られる。

$$\sum_{k=0}^{n-1} \pi(D+2tk) = 100 \times L \quad 10-(5)$$

ここで、(2)式を展開すると

$$\Sigma \pi(D+2tk) = \pi \{ n(2D+(n-1)2t) \} / 2 = 100 \times L \quad 10-(6)$$

となる。また、

$$n = N \times T / 60 \quad 10-(7)$$

である。12Vの車載バッテリーとウインチを利用する巻取機の場合（図10-2a），回転速度 N は実測値で22rpm， $L=50\text{m}$ ， $t=0.27\text{cm}$ である。これらを代入すると、

$$T \doteq 5((D^2+1736)^{1/2}-D) \quad 10-(8)$$

となる。巻取時間 T は巻取機リールのハブの直径 D に依存する。巻取時間 T を実用的に60～120sと設定すると、ハブの直径 D は25cm～67cmとなる。

沖縄本島南部の代表的な土壌であるジャーガルほ場で、長さ50mのフラットホース巻取機用リールのハブ直径を20～50cmまで10cmずつに変えて巻取り、その時間を測定した（図10-8）。 $T=90\text{s}$ 程度にするためには、 D は約40cmとなり、10-(8)式と実測値はほぼ一致した。そこで $D=40\text{cm}$ のリールを製作し、フラットホースの巻取時間を測定した。散布直後の湿潤状態のほ場では摩擦負荷が増えるため約120sを要し、処理水がある程度地中に浸透した数時間後には約90sで巻取れた。50mのフラットホースをハブ直径40cmのリールで巻取ると、厚さは約10cmとなるのでリール全体の直径は70cm、幅は10cmとした。ホースとステンレス製リールの合計質量は19kgとなり、人力で運搬可能で実用に供することができる。

ガソリンエンジン利用の巻取機はプーリによって2段階に減速され、減速比は1/32となっている。テンションプーリの緊張の調節で回転のON/OFFと速度調整が可能な構造である（図10-2b）。スロットルとテンションプーリの加減で回転数を約60rpmに調整し、リールのハブ直径を約20cmにすることによって、巻取り時間は50～70s程度となり実用に供する

ことができた。

サトウキビなどの灌水に利用する人力の巻取器が市販されている。これは、 $\phi 25\sim 40\text{mm}$ で約50mのホースを巻取るのに、開発した巻取機と同様なリールを備えている。この装置は2人組作業で使用するが、灌水作業終了後、巻取りに要する時間は14min・人であった。開発した巻取機は1人作業が可能で、所用時間は最大で約120s (2min・人)であるので、人力巻取器の15%の時間で作業ができる。

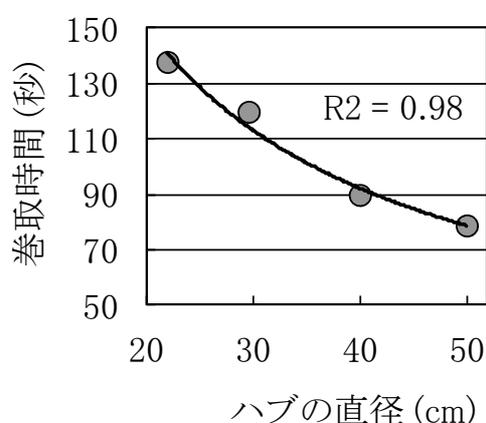


図10-8 巻取機リールハブの直径と巻取時間

簡易タンクは、50mm角鋼を用いた水平梁12本と四隅の柱4本で製作した。サイズは縦2.4m、横2.4m、深さ1.2mで、容量は約7 m^3 である。水平梁1本の質量は約10kg、四隅の柱は1本約8kgで、一人で組立可能である。貯水用には安価なブルーシートと合板（縦×横×厚さ $\div 120\text{cm}\times 120\text{cm}\times 1.2\text{cm}$ ）8枚使用した（図10-9）。組立時間は13.5min、片付け時間が7minと組立・分解が容易で、移動性に優れた簡易タンクである。

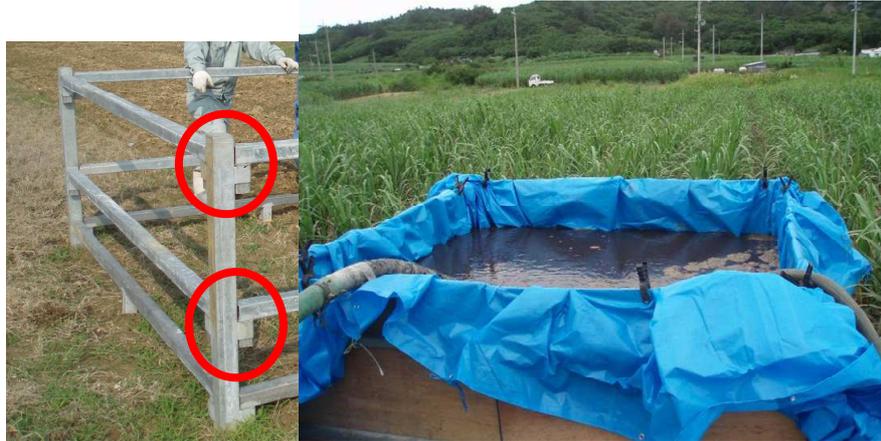


図10-9 はめ込み式の簡易タンク：容量約7m³

ここで開発した装置類は他の作業などにも利用できる。例えば、ホース巻取装置は点滴灌漑ホースや灌水ホースの回収にも利用できる。また、簡易タンクは干ばつ時に灌水用の貯水タンクとして利用できる。

(5) コスト計算

減価償却費（イニシャルコスト）について，サトウキビ春植と株出への処理水散布は，梅雨時期を除いた3～8月に処理水の需要がある。夏植では植付け時の8月から翌年5月頃まで需要があり，3作型を合わせると，梅雨時期を除く年間を通じて需要がある。また，露地栽培の花キと野菜では，植付け前の夏秋期に需要がある。これらを含めて各月の作業可能日数，10a当り散布時間などから試算すると，年間の負担面積はバキュームカー散布で24ha，フラットホース散布で28ha程度である。バキュームカーの新調価格は900万円程度で耐用年数は4年である。一方，フラットホース散布では，平ボディー4tトラックは500万円程度で耐用年数は5年，ローリータンク，ポンプは耐用年数8年，ホースは使用年数3年として合計約40万円程度である。これらのイニシャルコストと負担面積を勘案すると，フラットホース法の減価償却費はバキュームカー散布法の4割程度になる（表10-3a）。

散布作業時の労賃や燃料費などの変動費（ランニングコスト）はバキュームカー散布では11340円/10aで，フラットホース法に比べると約2倍と割

高である（表10-3b）。これは、バキュームカー散布は2人組作業を行うので人件費が高くなるからである。

表10-3 フラットホース法とバキュームカーの稼動経費の比較

(a) 10a当りイニシャルコスト（減価償却費）

項目	散布量 t/10a	散布時間 h/10a	年間負担 面積 ha/y	計 円/10a
フラットホース散布法	24	4.0	28	3572
バキュームカー	24	4.6	24	8469

注) 耐用年数：4t車は5年，バキュームカーは4年
フラットホース法で用いるポンプは8年，ローリータンクは5年

(b) 10a当りランニングコスト（変動費）

項目	燃油費 円/10a	作業時間 人*h/10a	人件費 円/10a	計 円/10a
フラットホース散布法	1490	4.0	3979	5469
バキュームカー	2091	9.6	9249	11340

なお，表10-3bの変動費は，フラットホース法では約4600m²散布時の作業時間を測定して求めた。作業時間から4tトラック，ポンプの燃油費を試算した。バキュームカーでの散布は約4900m²の散布を行って作業時間から燃油費を試算した。人件費は時間当たり1000円とした。

10-4 フラットホース法の留意点

豚舎処理水を放流する場合，沖縄県の浮遊物量（SS）濃度の基準は200 mg/ L以下で，曝気処理と希釈水の利用で80 mg/ L程度が推奨されており（沖縄県農林水産部，2011b），通常の養豚農家では80～200 mg/ L程度と思われる。そのため，曝気処理水の上澄液には多少の固形物があり，これが散布後のホースなどに残留すると固化して詰まりの原因となる恐れがある。開発した巻取方式ではホース端を開放して巻取ると残留物を効果的に排出することができる。また，底部汚泥もφ4mm孔のフラットホー

スで散布可能であったが，その際は多少の手間を要した。散布終了間際にポンプ側のアタッチメント部のフラットホースを数回踏んで吐出を脈動させて，夾雑物が詰らないようにする。また，1本当たり約6m³散布する毎（2m³タンク3回分散布終了間際）にホース末端を20～30s開放して底部汚泥を流しながらホース内の夾雑物の吐出作業を行うと問題はなかった。

フラットホースをほ場に常設する場合には，サトウキビの草丈が高くなり，台風などで倒伏しても処理水の散布は可能である。ホース常設によって散布期間の延長が可能となるとともに，干ばつ時は灌水用にも利用できる。

10-5 ECによる散布量の目安と散布後の管理

生産法人がいくつかの豚舎から取水する場合，EC値を測定して豚舎別の肥料成分データを蓄積する必要がある。豚舎周辺のサトウキビの作型，面積，栽培暦などの基本情報が整備されればタンク車の効率的な稼動が可能となる。

サトウキビ栽培において窒素を基準に散布する場合，処理水にはカリウムが多めに含まれている。甘蔗糖度（茎中の糖分濃度）と搾汁液中に含まれるカリウム含有量との間には負の相関が見られる（川満ら，1996）ので，処理水施用とカリウム減肥化学肥料の施肥を交互に行うなどの工夫が必要である。

トウモロコシほ場において，スプリンクラで豚尿を散布しても葉焼けなどは発生しないという報告がある（Al-Kaisi and Waskorn, 2002）。フラットホース散布においても，生育中のサトウキビの葉焼けや茎葉の障害は見られなかった。

ほ場に施用された豚糞尿の原水に含まれる窒素は，2日間で35%がアンモニアとして地表面から揮散した報告がある（Chatigny et al., 2004）。牛尿の場合，アンモニア揮散を最小限に抑えるために土壌注入または散布後の土壌被覆が有効である（松村，1988）。また，予め処理水にリン酸を添加してpHを下げると揮散が軽減されて作物が増収する例が報告されて

いる（斎藤元也ら, 1989）。サトウキビ栽培においても、散布方法としては植付、平均培土および高培土の直前に散布し、それぞれで速やかに土壌被覆する必要がある。また、処理水だけではサトウキビ肥料としてリン酸分が不足する時は、散布前にリン酸を加えて肥料成分の調整と揮散抑制を図る方法も有効である。

10-6 摘 要

フラットホース法は、トラック、ローリータンク、エンジンポンプおよびフラットホースで構築でき、従来のバキュームカー散布法に比べて安価で省力的なシステムである。作業は、タンク車による豚舎処理水の取水・運搬、ほ場端の農道を利用したワンタッチカプラの接続程度で、作業員がほ場に進入しての散布作業は不要である。

- (a) 容量 3.7m^3 のバキュームカー散布は10a当り2人で4.6h、フラットホース法は1人で4.0hであった。前者は、作業員がほ場に進入して人力による散布を行うため重労働で効率が悪い。
- (b) フラットホース法は、ポンプ側の約10～15mまでは2～3割多く吐出するが、その先はほぼ同じ吐出量で、大きな生育ムラの原因になるとは考えられない範囲であった。
- (c) 50mのフラットホースを移動または格納する場合、開発した巻取機を利用すると70～120sで巻取りができる。
- (d) 沖縄本島南部地区の処理水の成分分析の結果、全窒素含有量はEC値で推定できた。EC値5～15の範囲では、 $T-N=126\times EC+29$ で簡便に推定できる。
- (e) 当該地域で取水可能な豚舎処理水を11万 m^3 と想定すると、当該地区のサトウキビでは500ha、3割程度のほ場に散布可能である。

参考文献

Al-Kaisi, M.M., Waskom, R.M., 2002. Utilizing swine effluent for sprinkler-irrigated corn production. Journal of Soil and Water

Conservation, 57(2), 111-120

Chantigny, M.H., Rochette, P., Angers, D.A., Masse, D., Cote, D., 2004.

Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 306-312.

川満芳信, 上野正実, 渡嘉敷義浩, 永江哲也, 大見のりこ, 孫麗亜, 浅沼康清, 入嵩西正治, 1996. サトウキビ茎中の糖度と各種元素との関係-南大東島および石垣島の場合-. *沖縄農業*, 31, 1-8.

松村昭治, 1988. 畑土壌への家畜尿施用にともなう窒素揮散. *日本土壌肥料学雑誌*, 59(6), 568-572.

沖縄県農林水産部, 2006. さとうきび栽培指針(総合監修 大城正市). 沖縄県農林水産部糖業農産課, 沖縄, 19-21.

沖縄県農林水産部, 2011a. 沖縄県畜産経営指標. 沖縄県, 那覇, 141-143.

沖縄県農林水産部, 2011b. 沖縄県畜産経営指標. 沖縄県, 那覇, 161-202.

沖縄県農林水産部畜産課, 2013a. 平成24年12月末家畜・家きん等の飼養状況調査結果.

http://www.pref.okinawa.lg.jp/site/norin/chikusan/chikusei/documents/hp_h24touhasu.xls

Accessed Jan.10,2014.

沖縄県農林水産部畜産課, 2013b. 平成24年度環境保全型畜産確立指導事業実態調査等結果報告書. 沖縄県, 沖縄, 25-30.

小柳渉, 1998. 貯留牛尿の成分と簡易測定法. *新潟県畜産試験場報告*, 12, 49-51.

斎藤元也, 木村武, 倉島健次, 1989. 圃場還元液状きゅう肥からのアンモニア揮散量の推定と酸添加による揮散の低減法. *草地試験場研究報告*, 41, 1-9.

新里良章, 比屋根真一, 嘉数耕哉, 金城大介, 西表敏克, 渡久山盛久, 与那嶺介功, 2008. サトウキビ栽培ほ場における新栽培管理体系の構築ーサトウキビほ場への畜産処理水散布技術ー. 第35回サトウキビ試験成績

発表会要旨，那覇，260-261.

鈴木直人，稲嶺修，与古田稔，2006. 豚ふん尿液肥化技術の確立(1)豚舎排水のばっ気処理強度の違いによる肥料成分濃度推移. 沖縄県畜産研究センター研究報告, 44, 59-64.

玉城不二美，森田孟治，吉田晃一，当真嗣尊，比嘉明美，恩田聡，東恩納良徳，2004. サトウキビ栽培における豚ふん尿スラリーの代替肥料としての利用，沖縄県農林水産試験研究推進会議編，平成15年度普及に移す技術の概要. 沖縄県，那覇，11-12.

柳田和弘，吉田衛史，2004. 草地等への還元利用のための尿汚水液状物の処理・利用技術の確立. 福島県畜産試験場研究報告, 12, 54-58.

吉尾卓宏，井上雅美，岡村英明，羽成勤，2005. 家畜糞尿のリサイクルに関する研究 処理形態による液状コンポスト成分の特徴. 茨城県畜産研究センター報告, 38, 71-78.

第 11 章 サトウキビ機械化における省エネ・低炭素化技術

11-1 緒 言

サトウキビ作において様々な作業機が開発され導入されている。農家や生産法人に有利な作業機は、作業速度が速くて作業時間を短縮でき、燃料消費量を抑制できる作業機である。また、減収せずに従来の作業を一部省力することも経営には有利である。春原ら（1985）はデントコーン、コムギやオオムギを 7 年間 14 作の連続不耕起栽培実験を行い、エネルギー消費や収量の面から詳細に分析して不耕起栽培の有利性を実証した。赤地ら（2000）は、開発したサトウキビ減耕起植付機を用いると植付け前の耕起作業と砕土作業が省略可能で、さらに耕土流出を防止し、収量も慣行法と差がないことを確認している。また、Torres et al.（2007）は、土壌条件などを考慮して慣行作業を見直すことによって、植付け前の 8 回の作業を 4 回まで減らしても収量差がなかったことを確認した。

作業時間や燃料コストが節約できる農業機械や農作業方法の導入は、生産法人にとって、時間の余裕が生まれ、経費の削減となり経営の向上が期待できる。また、余剰時間で他の農家の受託作業が可能となり、地域全体の生産向上が可能となる。さらに、過剰な燃料消費は地球温暖化の原因である大気中 CO_2 の大本でもあり、極力これを縮減することが求められている。すなわち、省エネ化・低炭素化は、農家経営はもとより環境保全の観点からも重要な案件である。

安定的増収に向けた機械化技術の確立に向けて、各種作業機の燃料消費量に関するデータベースの構築が求められる。そこで、燃料消費量の簡便な測定法を開発し、牽引型作業機とロータリ型作業機について比較実験を行った。それぞれの作業性能の比較および同様な機種 of 燃料消費量を比較し、サトウキビ機械化体系のあり方や今後の大規模生産法人への機械導入の方向性などについて検討を行った。

11-2 燃料消費量の測定

(1) 満タン法の改良

満タン法は、燃料をタンクを目印まで充填し、ある作業における使用量を測定して燃料消費量を測定する方法で、消費した燃料の体積を求める（図 11-1a）。この方法は、比較的大面積を供する場合には有効である（坂井ら，1986）が、タンクの形状によって燃料を充填する際の気泡の排出に留意しなくてはならない。特に、満タン時にタンク内上部の空気の占める割合が大きい場合、測定が不安定になる（図 11-1a）。通常、トラクタの燃料タンクは液ダレなどを防ぐために燃料給油口の円筒部分がタンクへ入り込む構造（図 11-1a）となっている。燃料キャップ付近まで燃料を満タンにした後に、エンジンを始動した時や移動中の振動で、図 11-1 の A 中の燃料は B のタンク本体へ流れ込んでキャップから吹き出すことはない。供試トラクタの燃料タンクも同様の形状であった。そのため、従来の満タン法では作業前に車体を揺するなどして満タンにし、なるべく空気部分を減らす必要がある。作業終了後、再び車体を揺すって満タンにして消費分を測定するが、それでも誤差が大きい。

そこで、図 11-1b のようなアクリル製の J 字管を用いて空隙を少なくする測定法（以下、J 字管法）を考案し、従来の満タン法との精度を比較した。J 字管の先端を燃料タンクの上壁に接しながら給油するとタンク内の空気が少なくなり、満タン法の誤差を小さくすることができた。J 字管法により満タンにしたタンクから 5000ml を抜取り、再度満タンにする時に注入される燃料の体積を測定した。この作業を、従来法と J 字管法でそれぞれ 10 回繰返し、抜取り量と注入量の誤差を測定した。その結果、従来法は誤差が $4.00 \pm 1.40\%$ で J 字管法は $0.71 \pm 0.36\%$ で、従来法の 1/5 以下であった。また、J 字管法の誤差は最大でも 1% 程度の精度なので、十分に実用的であると判断した。ほ場試験では、液ダレを防ぐために J 字管を使用して満タンとし、次に 1000ml 抜いてからほ場作業を行った。作業終了後は最初に燃料を 1000ml 加えた後、J 字管を用いて満タンになるまで燃料を注入して実際の消費量の測定

を行った。

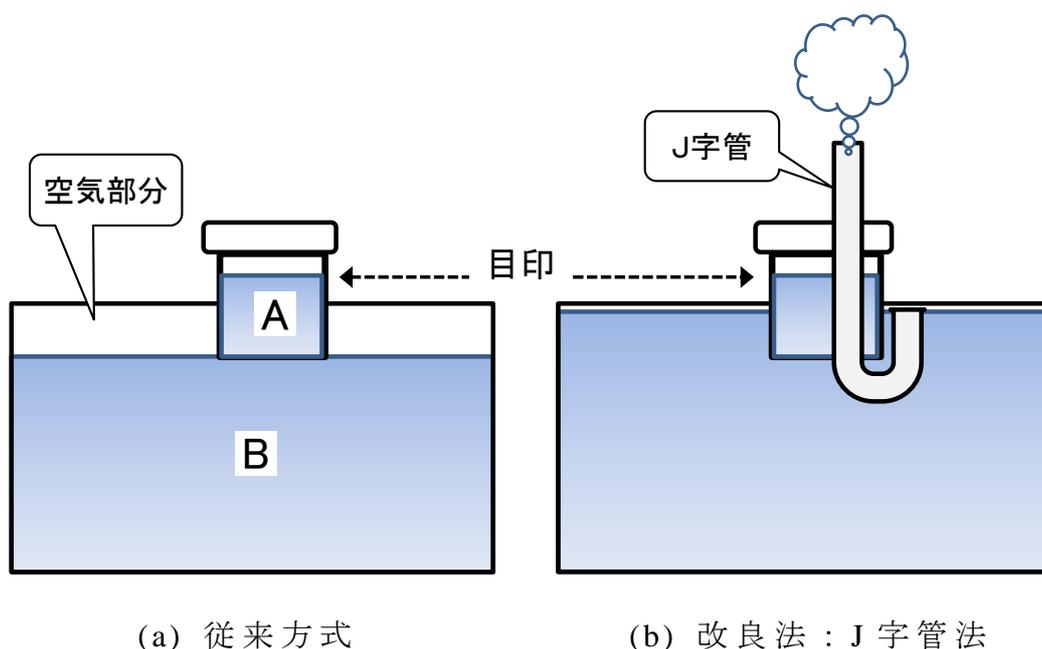


図 11-1 満タン法

(2) 燃料消費量の直接測定

前進作業のみ、あるいは、後退のみの燃料消費量測定では、距離が短いため満タン法は利用が難しい。また、トラクタやほ場の傾斜があると測定ができない。坂井ら（1981）は、製作と操作が簡易な測定用タンク（容量 3400mL 透明アクリルパイプ）を試作し、比較的高精度にいくつかの作業機の燃料流量を測定している。また、Jose et al. (1992) もトラクタに同様な装置を設置して燃料消費量を測定している。しかし、ディーゼル燃料は温度で密度が変化するので、燃料消費量の測定には質量を計量する方が適している。坂井ら（1986）は 4000ml 容量のオイル缶を測定タンクとして燃料消費量を測定する安価な装置を試作し、普通型コンバインに取付けた。作業後に測定タンクを取りはずし、最小読取值 1g の上皿ばかりで秤量した測定前後の質量差から求めている。これを参考に、測定用タンクを用いて安価で製作が容易な測定装置を製作した。燃料消費量の測定は、タンクを取外さなくても、測定できるように工夫し、30~40m 程度の作業距離があれば測定ができる。

装置は、2000ml の透明容器を利用した補助タンク（図 11-2b）をトラクタに取付け、燃料の質量をほ場で測定できるように小型の電子吊秤も取付けた（以下、補助タンク法）。電子吊秤（PORTABLE ELECTRONIC SCALE, 天衡商事）は 2000ml の透明容器に充填した燃料を計量するために分解能 1g, 計量範囲 5g~5kg のものを用いた（図 11-2c）。



(a)補助タンク装備のトラクタ (b)補助タンク (c)電子吊秤

図 11-2 補助タンク法による燃料消費量の測定

ディーゼルエンジンの場合、燃焼しなかった燃料はエンジンからタンクへ戻される回路となっている。そのため、メインタンクには燃料を送る管と、未消費燃料を戻す管の 2 本が取付けられている。補助タンク法の回路は、この 2 本の管に 3 方弁を装着し、どちらのタンクへも切替え可能とした（図 11-3）。

燃料消費量を測定するときは ① → ③ → ④ → ⑤ と燃料が流れるように 3 方弁を作用させる。また、戻りも含めてエンジンへ流れる燃料全量を測定するときは ① → ③ → ④ → ⑥ と燃料が流れるように 3 方弁を設定する。測定以外で、通常の作業を行う時は ② → ③ → ④ → ⑥ のように 3 方弁を設定する。

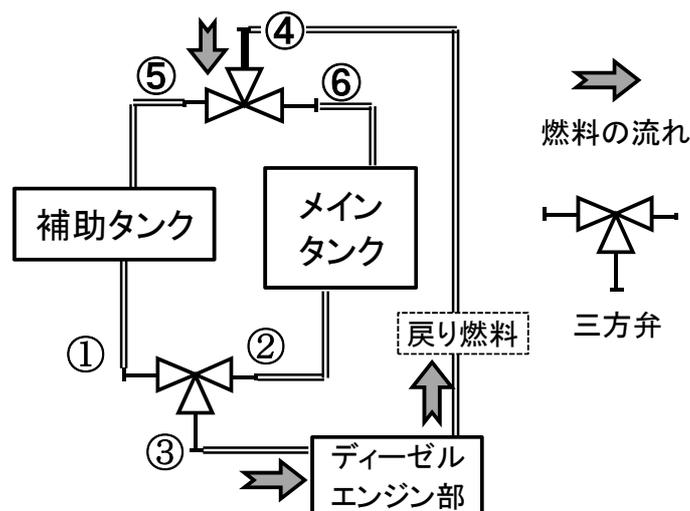


図 11-3 補助タンク法の燃料の流れ

11-3 牽引型作業機と PTO 利用型作業機

(1) 定置無負荷時の燃料消費量

室内でトラクタを定置状態にし、エンジン回転数と燃料消費量の関係を補助タンク法で測定した。供試トラクタは 58kW (クボタ, M8300) を用い、設定回転数で 5 分間無負荷状態のままエンジンを駆動させ、燃料消費量を測定した。なお、測定は、低回転数で 5 分程度駆動して暖機状態になってから始め、各回転数で 3~5 回繰返した。

供試トラクタの特性として、燃料の流量は、図 11-4a に示すように回転数が増加に伴って補助タンクからの流量が増加する。一方、戻りの流量は回転数にかかわらず 100~120g/min と一定量を保った。作業機のエンジン回転数の目安は、牽引型で約 1500rpm, PTO 駆動型作業機で 2000rpm である。牽引型作業機の使用時にはタンクからの供給量は燃料消費量の 3 倍近くあり、2/3 が過剰供給されている。PTO を利用する作業機では約 1/2 が過剰供給されている。

図 11-4b に示すように、PTO を利用するロータリ型作業機よりも、牽引型作業機の方が、エンジン回転数が低く燃料消費が少なくなる。

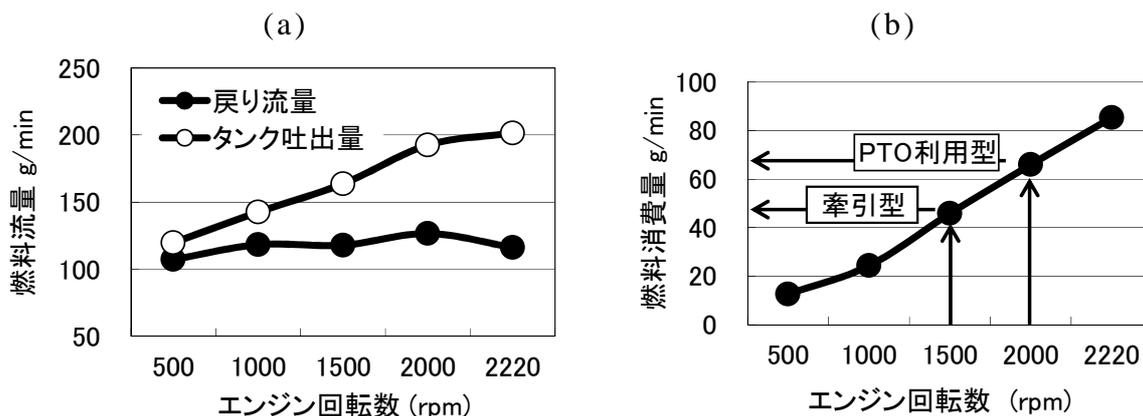


図 11-4 無付加状態でのトラクタのエンジン回転数と燃料消費量
 (a) エンジン回転数と燃料タンクからの流量，タンクへの戻り流量
 (b) エンジン回転数と無負荷定置時の燃料消費量 (g/min)

(2) 牽引型作業機と PTO 駆動作業機

補助タンク法を用いて，58kW トラクタでロータリ耕（耕幅 180cm，定格エンジン回転数 2000rpm），18 インチプラウ耕（規定耕深 30cm，耕幅 45cm，定格エンジン回転数 1500rpm），および，プラソイラ耕（規定耕深 30~50cm，耕幅 65cm 2 連，定格エンジン回転数 1500rpm）について燃料消費量を測定した。

糸満市のジャーガルほ場（縦 35m×横 46m）において作業を数工程行い，その 1 工程毎に，燃料消費量を測定した。走行距離当りの消費量はプラウで約 2.5g/m，プラソイラで約 4.1g/m，ロータリ耕で約 12.0g/m であった。また，単位面積当りの燃料消費量は，ロータリ 6.7g/m²，プラウ 5.6g/m²およびプラソイラ 3.2g/m²となった（表 11-1）。

表 11-1 プラウ，プラソイラおよびロータリの燃料消費量

作業機	耕幅 (m)	連	m 当り消費量 (g/m)	m ² 当り消費量 (g/m ²)
プラウ	0.45	1	2.52	5.6
プラソイラ	0.65	2	4.12	3.2
ロータリ	1.8	1	11.97	6.7

牽引型作業機は PTO 駆動作業に比べて燃料消費量が大幅に少なくなった。ロータリによる碎土作業を図 11-5 のようなディスクハローやツースハローで代替すれば燃料消費量およびエネルギーコストが少なくなる。また、牽引型の作業機はロータリに比べて価格も安い。普及台数の多いロータリとの代替には、発芽率や収量が低下しないことの確認も含めて、経済的検討を行う必要がある。



図 11-5 ツースハローとディスクハロー

(3) 牽引型作業機の作業速度

一般に、作業速度が速いほど作業時間は短くなるので燃料消費量が少なくて済み、農業経営には有利である。沖縄県では、多数普及している軽トラクタ（15kW 級）のロータリで中耕・（高）培土を行うか、もしくは、耕耘機のロータリで培土作業を行っている。ロータリに替る作業機として牽引型小型管理機が開発され、すでに石垣島と伊平屋島で利用されている（図 11-6）。除草剤散布や施肥機を取付ければ複合管理機としても利用可能である。

沖縄県名護市のサトウキビ夏植ほ場において、牽引型小型管理機で平培土・除草作業を行って作業速度の調査を行った。土壌は国頭マーヅで、供試したトラクタは 15kW 軽トラクタである。ロータリ作業として、今帰仁村の島尻マーヅ夏植ほ場において平培土・除草作業を行って作業速度を調査した。供試トラクタは同じく 15kW 軽トラクタを用いた。牽引型小型管理機の作業速度は 0.89m/s、ロータリ型は 0.42m/s で、単位時間当たり作業量は約 2 倍であった。これより燃料消費量は 1/2 以下

になると期待できる。



図 11-6 小型牽引型管理機（平均培土）

これは、普及台数はまだ少ないが、島尻マージの伊平屋島や石垣島で利用され、農業改良普及センターや農家の実感としても中耕・培土と高培土に問題はない。石垣島では国頭マージでも利用されていて、両土壌への適用性があることから、今後の導入が期待される。

また、中型トラクタ用の中耕・除草機としてカットアウェイカルチが使用されているが、1工程2畦作業が可能である。沖縄県内では2機種が市販されており（図 11-7a,b）、畦間と株間の除草を兼ねるタインやスプリングツース、さらに培土を行うディスクやボードを備えている。



(a) ボーネル社 B59

(b) ボーネル社カットアウェイカルチ

図 11-7 牽引型中耕・除草機

南城市佐敷のサトウキビ生産法人の春植ほ場（ジャーガル）において性能試験を行った（図 11-7a：ボーネル社）。供試した 33.8kW 中型トラクタを用いて、作業速度 0.88m/s で試験を行った。生育初期の雑草については高い除草効果が得られた。栗国島で行った雑草防除の調査でも生育初期については除草効果が高かった。蔗苗が活着する植付け後 3 週間位（仮茎長が 7.5cm 位）から高培土直前の 3~4 ヶ月位（仮茎長 50cm 位）までの作業が可能である。その間 2~3 回程度作業することによって新植では除草剤の使用を極力減らすことができる。

畦間管理用に 2 連ロータリカルチ（図 11-8）があるが、カットアウェイカルチと同じく中耕・除草および高培土を行う作業機である。作業速度は、0.33~0.53m/s である（沖縄県，2009）。中型トラクタ適応の培土機においても、牽引型はロータリ型の約 2 倍の作業速度で燃料消費量も 1/2 以下と考えられる。



図 11-8 2 連ロータリカルチ：中耕除草，高培土作業用

(4) プラウとプラソイラの燃料消費量

この他の類似作業においても、作業時間の短い作業機が単位面積当りの燃料消費量は少なく省エネであると思われる。そこで、類似の牽引型作業機であるプラウとプラソイラを供試して、作業時間および満タン法による燃料消費量を測定した。トラクタは 58kW の大型を供試した。

最初に、ほ場端の平坦な道路で J 字管法により燃料タンクを満タン

にしてから液ダレを防ぐために燃料 1000ml を抜いて，調査を始めた。ほ場は糸満市のジャーガルほ場である。作業終了後は，燃料 1000mL を戻してから再び J 字管法で燃料タンクを満タンにしながらか消費量をメスシリンダで計量した。

畦長約 35m のほ場で，作業はどちらも 1 方向作業で，前進作業と後退の工程を繰り返した。プラソイラの作業速度はプラウ耕の 63%であった（表 11-2）。58kW トラクタ用のプラソイラは耕幅 65cm，2 連と同等で，プラウは 1 連で耕幅は 45cm である。そのことから，プラソイラの方が作業速度は遅いが，10a 当りの作業時間はプラウの 57%（表 11-2）で，時間当たりの作業量はプラウの 1.8 倍となった。耕深はプラウが 34.7cm，プラソイラが 48.8cm であった。

表 11-2 プラウとプラソイラの作業性能
糸満市ジャーガルほ場 10a 当り作業時間内訳

	(単位 min/10a)					平均作業速度	作業速度比率	作業時間比率
	前進作業	後退準備	後退	停止	合計			
プラソイラ	42.3	3.4	9.9	0.3	56.0	0.40m/s	1.00	0.57
	76%	6%	18%	1%	100%			
プラウ	50.3	2.1	44.9	1.1	98.3	0.64m/s	1.60	1.00
	51%	2%	46%	1%	100%			

単位面積当り燃料消費量をみると，プラソイラはプラウの 57%と省エネであった（表 11-3）。

一方，10a 当り燃料消費量の推定するため，同一ほ場内において補助タンク法でプラウとプラソイラ作業の燃料消費量を測定した。プラウの平均作業速度がプラソイラの 1.60 倍であった（表 11-2）ことから，プラソイラの 1m 当り燃料消費量はプラウの 1.62 倍となった。プラソイラは耕幅の関係で作業工程数はプラウの 1/2 以下となり，単位面積当り燃料消費量の実測値はプラウの 57%と小さい値を示した（表 11-3）。

表 11-3 J 字管法による燃料消費量の実測

実測値		A プラウ	B プラソイラ	B/A
畦長	m	35.1	34.8	
作業工程数		54	24	
実測消費量	ml/10a	7850	4467	
ディーゼル比重		0.84		
実測消費量	g/10a	6602	3757	0.57

同一ほ場で、補助タンク法による後進時の燃料消費量は 0.87g/m であった。補助タンク測定法による作業時と後退時の燃料消費量の実測値を用いた試算値は満タン法とよく一致した（表 11-4）。実測値/試算値はプラウで 103%，プラソイラが 93%で、おおむね一致した。

表 11-4 補助タンク測定法による燃料消費量の試算値

試算値		A プラウ	B プラソイラ	B/A
作業時燃料消費	g/m	2.52	4.07	1.62
後進時燃料消費	g/m	0.87		
試算燃料消費	g/10a	6400	4061	0.63
実測消費量	g/10a	6602	3757	0.57
実測/試算 (%)		103%	93%	

供試したトラクタの無負荷前進時の燃料消費量は 0.98g/m で、停止時の燃料消費量は図 11-4a に示すとおりである。このように、補助タンク法を用いて様々な作業機で作業時の燃料消費量（30~50m 程度）を求めることができた。より詳細に、トラクタの無付加前・後進や停止時などの燃料消費量を測定してデータベース化すれば、1 方向作業や往復作業、様々な形状のほ場での燃料消費量の算定が可能である。これらを組み合わせれば、生産法人などの経営体全体あるいは地域全体の燃料消費量の算定、CO₂ 排出量の評価を行うことができる。

11-4 摘 要

本章では，ロータリ型作業機の代替として牽引型作業機の作業速度や燃料消費量の比較を行って省エネ技術の検討を行った。牽引型作業機のメリットは次の通りである。

- ・速度が速く作業時間が短縮できる。
- ・エンジン回転数の低い作業で燃料消費量が抑えられる。
- ・機械の構造が簡単で安価である。

これより，農業生産法人のような中・大規模経営では，減収にならないのであれば，牽引型作業機の利用が有利である。外国では，PTO 駆動作業機はほとんど使用されていない。株揃作業を行う小型牽引複合型株出管理機が徳之島で利用されているが，沖縄県でも，今後さらに牽引型作業機の導入または開発について検討する必要がある。生産法人や多量生産農家の経営安定化には，省力化によって作業時間を短縮させ，燃料消費量を抑えた省エネ機械化技術の確立が重要である。機械利用経費を小さくするよう農作業計画の最適化を図る必要がある（小中，1989）。

地球温暖化抑制が世界規模で重要課題となっている今日，農業機械の分野でも低炭素化技術が求められている。補助タンク法で多種多様な作業における燃料消費量のデータベース化を行うとともに，一定規模のサトウキビ生産法人において検証が必要になる。経営規模に応じた様々な作業機の組合せとその台数を考慮した作業シミュレーションとエネルギー消費および省エネに関するシミュレーションが効果的である。

参考文献

赤地徹，玉城麿，森田孟治，宮平守邦，2000. サトウキビ畑からの土砂流出を軽減する減耕起植付機と不耕起株出管理機．九州農業研究成果情報，15，555-556.

Jose, V.G.M., ILA, M.C., Yanai, K., Joaof F., 1992. An Equipment for measuring tractor fuel consumption in agricultural experiments.

Bragantia Campinas, 51(2), 197-202.

沖縄県, 2009. 沖縄県特定高性能農業機械導入利用計画, 那覇, 参-10.

坂井直樹, 春原亘, 高塚清一, 衛藤邦男, 角田公正, 1981. 圃場実験
用のトラクタ燃料計の試作. 農作業研究, 42, 51-55.

坂井直樹, 春原亘, 高塚清一, 衛藤邦男, 角田公正, 1986. 圃場にお
ける燃消費量の測定と簡易型燃料計の試作. 農作業研究, 21 卷 2
号, 12-17.

Torres, J.S., Criollo G.A. Franco R., 2007. Sequence of tillage practices and
reduction of land preparation costs on Mollisol of the Cauca Valley,
Colombia. Proceedings of International Society of Sugar Cane
Technologists, 26, 74-81.

春原亘, 坂井直樹, 高塚清一, 衛藤邦男, 角田公正, 1985. 不耕起栽
培の評価. 作業研究 54, 37-50.

小中俊雄, 1989. 農業システム工学. 朝倉書店, 東京, 124-132.

第12章 安定的増収に向けた機械化技術に関する総合考察

12-1 沖縄県における機械化の経緯と課題

古い歴史をもつ沖縄県のサトウキビ作は、1960年前後から栽培ブームが始まったが、この時代には人力による集約的な栽培が行われていた。しかし、1990年代以降は、高齢化と担い手不足が進行し、継続的な減産が続いてきた。労力不足を補うために機械化が推進されたものの、手作業を機械作業に置き換えただけの状況が続き、機械の利用技術および機械化に対応した適正な栽培技術は確立していなかった。

このため、栽培の粗放化に陥るケースも少なくなく、現在では、畦間の肥培管理はほとんど行われず欠株と雑草が目立つ。加えて、機械化は各種のロスを引き起こし、減産の直接の原因の一部となっている。このような今日の状況下において、サトウキビを安定的に生産するには、地域の特性に適した機械化の一層の推進とともに、適正な機械化栽培技術を確立する必要がある。

沖縄県の機械化は、労力不足が深刻な南・北大東島および石垣島を皮切りに進められてきた。これらの地域は、機械化に比較的適した条件であったが、当時は外国製の大型機械しかなかったため、大型機械化体系が整備されてきた。それ以外の地域ではかなり遅れて機械化が進められるようになったが、小区画ほ場、傾斜ほ場、不整形ほ場、住宅地や道路および多様な作物の混在したモザイク状サトウキビほ場など、大型機械化体系には不向きで、関係者の意識も機械化を志向するものではなかった。ほ場整備が積極的に推進されたものの、農家の所有面積が小さいため、整備後に個別農家のほ場区画は小さく区切られ、ほ場整備本来の役割を果たせない状態に止まっている。沖縄本島および伊江島などで機械化が具体的なプログラムにあがったのは、1985年頃より実用に供し得る中型グリーンハーベスタが普及に移されてからである。

多くの紆余曲折を経て、1990年頃より、これらの地域に国産およ

び外国製中型ハーベスタが急速に導入されるようになった（第 1 章参照）。沖縄本島などでは中型でも不適合な条件が多く，より小型なハーベスタが要望され，国内の 3 メーカーが開発を進めてきた。2000 年代に入ると，機械の性能が飛躍的に向上し，小型ハーベスタが急速に導入されてきた。しかしながら，小型ハーベスタの導入は進んだものの，植付け，管理作業，土づくりなどに必要な機械の開発は遅れ，さらに，機械の踏圧による土壌の硬化，排水性の悪化や土壌流亡など，適正な機械化体系の確立には多くの課題が残され，それらが減産の主要な要因と見なされてきた。

12-2 機械化による生産性の向上

機械化は生産性の向上を最大のねらいとしている。生産性には，労働生産性と土地生産性があり，機械化は一義的には労働生産性の向上にあると言われている。すなわち，省力化および重労働からの解放があげられ，農家の高齢化や担い手不足の解消に機械化が期待される理由である。しかしながら，機械化のもう一つの役割は土地生産性の向上すなわち増産にあり，これができて始めて機械化体系が完成したことになる。現在の問題は，まさしくこれが十分に達成されていないことに起因している。

機械には人間と違って細かい作業はできない。その一方で，均一な作業，一定強度と品質の作業，例えば深耕や心土破碎などを長時間継続できる。複雑な作業を除けば機械の方が高精度の作業が可能である。このような特性を適切に活用すれば，土地生産性の向上も可能であり，労働生産性の向上も含めて，大きな可能性を秘めている。その実現には機械および機械化体系の特性を十分に把握した上で取り組む必要がある。すなわち，機械化はうまくいけば絶大な威力を発揮するが，その一方で，手抜きと機械的ロスによる大幅な減産に陥る危険性を孕んでいる。現在は農家の高齢化と担い手不足によって，本来の作業を十分に実施できない手抜き状態に陥っており，見かけ上，機械化がそれに拍車をかけている。さらに，機械装備に

は大きな資本を必要とし、俗に「機械化貧乏」といわれるように、経営的危機を招く恐れもある。すなわち、機械化は「諸刃の剣」的な性格を有しているなのでその取扱いには十分な注意が必要である。

12-3 ロスとその軽減策

第 2 章ではサトウキビの収量構成要素と機械化に伴う減産の原因について述べたが、本研究では減産分を「ロス」とみなしてその軽減技術の検討を行ってきた。サトウキビの単収は、単位面積当りの茎数と 1 茎重によって決定される。これらは、ロジスティック曲線の平坦部で表される成長が止まった時点のサイズに相当し、1 本当り、群落当り、圃場当り、地域当りの収量も同じ成長曲線で分析できる (Sun and Ueno, 2013)。

ロス *Loss* は、サトウキビが本来もっている遺伝的特質を最大限発揮した時に得られる最大収量 Y_{max} に対して実際に得られた収量 Y_{actual} の差と考えることができる (Ueno and Izumi, 1993, 上野・泉, 1993)。

$$Loss = Y_{max} - Y_{actual}$$

成長曲線がいつの時点でも最大の値を示すように成長すれば、最大収量 Y_{max} が得られる。ロジスティック曲線が高い値を示すのは、初期値と伸長期の勾配が大きく、最大値への収束が遅い場合である。 Y_{max} については一般に正確な値はわからず、栽培地域の気象や土壌、品種、肥培管理などによって大きな影響を受ける。

ここでは、その地域において期待される最大値を最大収量とみなす。しかしながら、「その地域において期待される最大値」も正確な値はわからない。ブラジルでは 38.2t/10a とされている例もあるようだが、その根拠は不明である (ISSCT サンパウロ大会 PPT, 2013)。そこで、便宜的に、

- ・その地域で過去に得られた収量の最大値
- ・その地域の分析対象年度の収量の最大値

などを使用する。場合によっては品種別に最大収量を設定する。

$$Loss = y_{max} - Y_{actual}$$

ここに y_{max} は地域・年度・品種別に設定された最大収量である。

ロスには様々な要因によって発生する。個々の発生要因に対して、それによってもたらされるロスはそれぞれ独立していると仮定すると、おおまかに

$$Loss = \text{肥培管理によるロス} + \text{機械作業に伴う直接的なロス} + \text{収穫後のハンドリングによるロス}$$

と表すことができる。機械化体系が直接係るロスは右辺の第 1 項および第 2 項である。第 2 項および第 3 項は機械作業中に発生するロスで比較的わかりやすい。肥培管理によるロスは、施肥や防除のようにすべてが機械作業に係るわけではないが、機械化体系を構築するに当たっては最も考慮すべき項目である。したがって、これらのロスをどこまで縮減できるかを追求する必要がある。

サトウキビの栽培において、新しい技術を適用するに当たってはポットやほ場において栽培試験を行い、従来技術で得られる対照値との比較によって「増収率」を算出して評価を行ってきた。複数の栽培試験で得られた増収率を単純に加算しても、現実にはそれに見合った収量は得られない。本研究でもそれぞれの課題で開発した技術による増収率を算出してきた。このため、すべての技術を総合化して得られる増収率については今後の研究を必要とする。機械化では増収よりむしろ減収、すなわちロスが目立つので、ロスの評価およびその削減技術の検討が重要である。

サトウキビの機械化栽培におけるロス低減および増収に必要な技術はおよそ次の通りである。

- ・土づくり：有機分に富み、作土が深く、通気性、保水性・排水性、保肥性などが優れていること
 - 心土が破碎されて深層への透水性が優れていること
- ・整地：投入エネルギーをできるだけ抑えて適切な耕深と碎土性を確保すること
- ・施肥：サトウキビに適した肥料成分が過不足なくバランスよく存

在すること、ほ場内での肥料成分のむらが少ないこと、また有機物（腐植）によって団粒構造が形成されていること

- ・良質種苗の確保と適正植付け：無病な健全苗を確保して、適正な時期・密度・深さ・覆土厚による植付けを行うこと
- ・地域および経営に合わせた品種を選定すること
- ・雑草抑制：機械作業などによって過剰な除草剤を使用することなく、特にサトウキビの初期生育を阻害しないこと
- ・適正培土：平培土と高培土を適切な時期に必要な精度を保つこと
- ・中耕：除草を兼ねて土壌を膨軟化し通気性を改善すること
- ・病虫害防除：各種病虫害の発生初期に適切に防除すること
- ・灌水：サトウキビの生育に必要な水分を適正に与えること
- ・収穫：ハーベスタを適切に整備した状態で、刈取速度、刈高さなどを適正に保って作業すること
- ・オペレータの技術を向上させ、圃場条件に合わせて丁寧な作業を行うこと
- ・株揃えなどの管理作業：株出後に必要な管理作業を収穫後、速やかに実施すること
- ・心土破碎：株出後に適正な深さで心土を破碎して透水性を改善すること
- ・補植：ハーベスタ収穫により発生する欠株を補植し、安定的な茎数を確保する
- ・未利用資源の活用：耕畜連携により、豚舎処理水などの未利用資源を有効利用すると干ばつの対策にもなり増収に繋がる

これらの作業は適期に行うことが肝要で、気象条件、作物条件を的確に把握して、正確な作業が必要である。そのためには、ICT（情報通信技術）の活用などが威力を発揮すると思われる。

12-4 本研究で検討した機械化技術と増収との関係

小型機械化体系の確立とロスの削減に必要な技術を主な対象として、本研究での扱った検討項目は次の通りである。（ ）内にそれぞれ

れの項目のねらいと増収との係わりを整理した。

- ・ 課題 1：小型ハーベスタの性能・適用性・優位性の評価
（ロス軽減・低コスト・機械化適応地域の拡大）
- ・ 課題 2：牽引型プランタ（150 cm 畦幅）の 130cm 畦幅への改良
（既存機械の有効利用）
- ・ 課題 3：3 作業同時小型株出管理機の開発
（省力・低コスト・ロス軽減）
- ・ 課題 4：プラソイラによる耕起
（低コスト・増収・省エネ）
- ・ 課題 5：セル成形苗の補植
（増収）
- ・ 課題 6：堆肥筋撒き機による土づくり
（増収）
- ・ 課題 7：畜産処理水の散布技術と有効利用
（増収・環境対策・耕畜連携）
- ・ 課題 8：機械利用の省エネ化
（低コスト化・低炭素化）

本研究で開発した機械や技術の活用状況，普及状況および今後の普及見込みは次の通りである。

- ・ 課題 1：小型ハーベスタの性能・適用性・優位性の評価
2004 年の宮古島の調査以来，当該地域での小型ハーベスタ導入が始まり，中型ハーベスタ中心の機械収穫（機械収穫率約 20%）が，2014 年現在では小型ハーベスタが中心となった（機械収穫率約 50%）
- ・ 課題 2：牽引型プランタ（150cm 畦幅）の 130cm 畦幅への改良
改良機は，糸満市のさとうきび生産法人で稼働している。多くの生産法人が牽引型プランタを所有しており，小型ハーベスタを導入する場合，オフセットへの改良だけで利用できるの
普及見込みは大きい。
- ・ 課題 3：3 作業同時小型株出管理機の開発

共同で開発した沖縄県南城市の農機具製作会社が積極的に製造販売を行っており、初期の型式の機種は各地区へ15台程度普及した。15kW級の軽トラクタ用の複合株出し作業機は他のメーカーも製造販売に力を入れている。

・課題4：プラソイラによる耕起

プラソイラは、すでに定着した作業機である。サトウキビ植付け前のほ場準備ではプラウの代替として広く利用されている。株出管理の重要性が謳われ、ハーフソイラによる心土破碎が各地区で行われている。

・課題5：セル成形苗の補植

サトウキビ一芽苗切断器と一芽苗用セルトレイの開発により、補植苗の生産が大幅に省力化された。各地域のサトウキビ関係機関、製糖工場や生産法人で補植苗が生産されるようになった。宮古地域で株出栽培が可能になったことから、今後さらに普及が見込まれる。

・課題6：堆肥筋撒機による土づくり

開発機は八重山地域に2台導入され稼働している。堆肥の筋撒きの有効性の理解が広がりつつある。本機への堆肥積込みの省力化装置などの開発が望まれている。

・課題7：畜産処理水の散布技術と有効利用

耕畜連携の重要性が謳われ、沖縄県でも豚舎処理水のほ場還元のための検討会が継続して開催されている。沖縄県南部地区の普及センターで開発技術を用いた処理水利用の展示ほが設置されており普及が見込まれる。

・課題8：機械利用の省エネ化

すでに販売されているカットアウェイカルチなどの展示ほ設置や実演会を行う予定である。15kW級の軽トラクタ使用の牽引型管理機についてはさらなる改良開発が必要である。サトウキビ生産法人は年々結成されており、コントラクタも増えている。作業スケジュール管理や、省エネ作業機の導入が重要に

なっており，機械利用の省エネ化は今後の大きな課題である。

12-5 小型機械化体系のまとめ

本研究の成果を加えた小型機械化体系を表 12-1 に整理した。

12-6 今後の課題

2014 年現在，サトウキビ生産法人は沖縄県内に約 90 法人設立されている。それぞれの法人は自作地と借地でサトウキビを生産しながら，他の農家や法人の作業を受託して農業経営を行っている。高齢化と後継者不在という課題を抱えた農家は、労働時間の中で最も高い比率を占めて重労働である収穫作業を委託するケースが多い。収穫作業を委託しない農家は，サトウキビ作からリタイヤしていくか，他の農家に畑を貸し出すことになる。前者の場合には耕作放棄地となって社会問題となっている場合も少なくない。

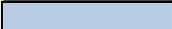
サトウキビ作には多くの作業があり，数種類の作業機が必要である。大型機械化体系では，すべてを新調すると 1 億円近い初期投資が必要になる。一方，小型機械化体系では小型ハーベスタを除くと，自己所有している耕耘機や軽トラクタなどが効果的に活用できるので，初期コスト削減に大きな効果がある。また，それぞれの農家が機械を操作できるので，広い面積を作業するのに極めて有効である。収穫は法人などに委託しても他の作業は可能な限りそれぞれで行い，また，作業できない農家の補完を行えば，地域全体でサトウキビ作を継続できる。沖縄県においては，生産法人などによる規模拡大，受委託の推進，農地の集積などを図りつつ，大規模経営から小規模経営までを地域で組み合わせた「地域機械化生産システム」の構築が必要である。個々の経営体およびシステム全体に関して，合理的作業計画の立案，経営・経済分析，低炭素生産技術の検討などが今後の課題となる。

表 12-1 小型機械化体系の作業機とその性能

作業名	動力機械	作業機	作業能率 (a/h)	作業効率 (%)	負担面積 (ha)	増収効果	本研究との係わり	備考
新植栽培								
耕起	大型トラクタ	プラソイラ	16.0	59.2	37	14%	性能試験	
	大型トラクタ	プラウ	9.0	35.7	21		性能試験	
整地	大型トラクタ	ロータリ	25.7	75.0	56			
植付け	中, 大型トラクタ	牽引型オフセットプランタ	8.0	40.0	42	10% ※	改良	※ 畦幅狭くする場合
	大型トラクタ	ロータリ装着型植付機	5.4	36.7	28		性能試験	
堆肥散布	中, 大型トラクタ	トラクタ装着堆肥筋撒機	11.9	35.3	64	10%	開発	植え溝 2条散布
中耕・除草	軽トラクタ	ロータリ	6.8	78.3	27		性能試験	
	耕運機		6.1	93.0	27		性能試験	
高培土	軽トラクタ	ロータリ	6.8	78.3	24			
	耕運機		6.1	93.0	24			
豚舎処理水散布	単気筒ディーゼルエンジン	豚舎処理水散布機	1.2	64.0	13	10%	開発	増施用で 20%
	単気筒ガソリンエンジン	フラットホース法	2.5	40.0	28	増収	開発	
病虫害防除			-	-	-			適宜作業
収穫		小型ハーベスタ	6.9	40.3	26		性能試験	1/5~3/25

株出栽培

株出管理: 株揃え・施肥 農薬散布	軽トラクタ	3作業同時 株出管理機	6.8	56.6	30	増収 ※	開発	※ 早期 株出管理 の効果
心土破碎	大型トラクタ	ハーフソイラ	10.0	49.0	52	11%	性能試験	収穫後 ~5月上旬
補植	人力	一芽苗切断機 補植器具	6.6	-	29	9%	開発	2人組作業
堆肥散布	中, 大型トラクタ	トラクタ装着 堆肥筋撒機	14.7	43.6	88	10%	開発	畦間 3条散布
中耕・除草	 新植栽培に同じ				-			
高培土					-			
豚舎 処理水散布					-			
病虫害防除					-			
収穫					-			

 は開発, 改良機

参考文献

Liya Sun, Masami Ueno, Eizo Taira and Yoshinobu Kawamitsu, 2013.

A model of yield and sugar content of sugarcane and its application to harvest optimization, Proceedings of International Society of Sugarcane Technologists, 28, (USB).

M. Ueno, H. Izumi, 1993. Sugar loss due to the mechanical harvesting, International Sugar Journal, 95 (No.1131), 75-78.

上野正実, 泉裕巳, 1993. 機械化による新たな生産システムの構築とその課題, 沖縄甘蔗糖年報, 27, 7-61.

第13章 総 括

本研究では、サトウキビ栽培の小型機械化体系の確立を目指して、機械化に伴うロスを削減して増収を確保する作業機・技術開発を行った。得られた主要な成果は次の通りである。

1. サトウキビ全茎式プランタの改良

牽引型プランタは畦幅 140cm 以上の大型ハーベスタ導入地域を中心に、沖縄県内にすでに 170 台程度導入されている。この状態では小型ハーベスタの適応畦幅 125～130cm では植付けできないので、その改良を行った。これにより、小型ハーベスタ向けに牽引型プランタが有効利用でき、畦幅の関係で、耕耘機や 15kW 級トラクタでは困難であった培土などの管理作業もできるようになった。本島地域に多い小区画ほ場でも作業が可能で、小型機械化体系の構築に有効に利用できるようになった。

2. 小型ハーベスタの作業性能と悪条件下での適応性

最近、急速に普及している小型ハーベスタは、高単収ほ場などには適応性が低いと思われ、導入をためらうケースも見られた。そこで、厳しい条件下における小型ハーベスタの作業性能を確認するために、夏植で単収 12t/10a の乱倒伏したほ場で性能試験を行った。収穫は十分に可能で小型ハーベスタの適合性が高いことを示した。本島地域のほ場に見られる小区画、枕地の不備、降雨による高水分などで収穫機の稼動には劣悪なほ場において、小型ハーベスタの方が中型ハーベスタより良好な作業能率や収穫精度を示した。これより、小型ハーベスタは沖縄県のほぼ全域で高い適応性があることがわかり、小型機械化体系の確立に大きな可能性があることを示した。

次に、小型ハーベスタ収穫後の株出管理でも心土破碎を行うことによって増収することを明らかにした。大型ハーベスタの畦幅では困難な耕耘機や軽トラクタなどによる管理作業が実施でき、個別の農家にも小型機械化体系を利用できることを実証した。

3. 心土破碎と暗渠によるサトウキビほ場の排水性改善とその効果

プラウに替わる耕起作業機として普及しつつあるプラソイラは、2連のナイフ（間隔 130cm）に幅 11cm のはつ土板を取付け、耕起と同時に耕盤破碎を行う（心土耕）ことができる。県内では十文字がけまたは 65cm 間隔で耕起するが、心土破碎の効果は深さ 50～55cm まで達する。プラソイラによる心土耕によって、茎長が長くなり 14%の増収となった。プラウ耕と異なり、れきを形成しないプラソイラ耕では、トラクタは地表面を走行して後輪跡を心土破碎するので耕盤形成はなく、地表面と地中の土壌水分の違いによって作業可能日数も長くなる。さらに、作業姿勢は水平で、プラウ耕に比べて楽な姿勢で作業が可能である。

ハーベスタ収穫後の土壌硬度は、畦間を中心に硬くなるプロファイルが観察される。ハーベスタ収穫後の心土破碎では、深さ 45～50cm 程度まで作用効果があり硬化部位を膨軟化できた。心土破碎区は対照区に比べて 10～20%の増収となった。

心土破碎を行っても改善効果の小さいジャーガルほ場において停滞した地表水や余剰水をほ場外へ排出する暗渠と心土の破碎を組合せた暗渠区は、無処理区より茎長が長くなり、発芽不良による欠株が抑えられ茎数が増加した。その結果、株出 3 回で 30%の増収効果が得られた。トラクタに装着するオーガ式トレンチャなどの農業機械による暗渠の施工費は 224 千円で、法人やコントラクタのオペレータでも施工可能である。

4. ハーベスタ収穫後のセル成型苗による補植

ハーベスタ収穫ほ場では土壌踏圧や機械的な引抜きなどによるロスが発生し、株出回数が増えると欠株が 15%程度に達することもある。以前は、スコップによる株分けによって補植する例が見られたが、重労働のため最近では行われていない。補植対策として、均一で効率的な一芽苗の切断器とセルトレイの開発によって、効率的で経済的なセル成型苗育苗システムを開発した。この苗を用いて、株揃え後、萌芽茎仮茎長が 10cm 程度で欠株の有無が判別できる時期に、欠株 40cm の間隔に 1 本の割合で補植試験を行ったところ、

セル成型苗の補植株は周辺株に対して 80%の生育を示す良好な結果を得た。2 節苗や梢頭部苗の補植に比べると、これは極めて良好な成績であった。

5. 3 作業同時株出管理機の開発

株揃作業は、ハーベスタ収穫直後に切株を刈揃えるものであるが、同時に除草剤散布や施肥を並行する小型管理機を開発した。15kW級の軽トラクタに装着可能な小型株揃作業機が市販されているので、これをベースに施肥機と除草剤散布機を加えて改良した。株揃えによって地表面が平坦に切削されるので、除草剤が有効に作用し、また高培土や補植作業が適正に行えることを実証した。

6. トラクタ装着型堆肥条撒機の開発

堆肥散布による増収効果は約 10%と見積られているが、沖縄県内では宮古島地域などの一部地域において植付け前のマニユアスプレッダ散布に限定されている。高温・高湿の亜熱帯気候のため、ほ場での分解が早いので、春・夏植時に約 4t/10a を約 5 年に 1 度投入することが推奨されているが、堆肥は基本的に不足する。そこで、マニユアスプレッダに不向きな小規模ほ場や株出ほ場でも散布可能な堆肥筋撒機を開発した。開発機は、トラクタ搭載型でホッパに堆肥を充填し、ほ場進入して株元や植溝などに筋撒きする方式である。夏植や株出ほ場でも投入でき、マニユアスプレッダと異なり連年散布が可能である。また、植溝を踏圧しながら走行（散布）すると、発芽率が向上して欠株が減少することが実証できた。

7. 豚舎処理水散布機の開発およびフラットホースによる散布法

豚舎から排出される曝気処理水をサトウキビほ場に散布すると、処理水の耕畜連携利用と減化学肥料栽培が促進できる。しかしながら、バキュームカー散布は重労働で作業能率が低く、作業時期も限定されていた。そこで、処理水を簡便に低コストで散布可能な、サクシオンホースをリモコン式で巻上げる散布機を開発した。サクシオンホースは直径 32mm で、バキュームカーの直径 50mm 以上のホースより軽量のため作業が楽で、株元へ適切に散布できた。散布機

を利用した栽培試験を行って、豚舎処理水で化学肥料代替栽培が可能であることを示した。株出では、通常の施肥と処理水の増施を合わせて10～30%の増収効果が得られた。

さらに、安価なフラットホース、ハイデルスポンプ2台、2tローリータンク2基を搭載した4tトラックを利用して、作業者がほ場の外から1日約50t散布可能なシステムを開発した。軽トラック用バッテリー駆動の12Vモータ駆動タイプとエンジン駆動タイプの2機種 of ホース巻取機も同時に開発した。豚舎処理水の上澄み液と汚泥いずれもこのフラットホースで問題なく散布可能であった。

8. 機械化における省エネ・低炭素化技術

様々な作業機の燃料消費量を測定するために、補助燃料タンクを用いた簡易測定装置（補助タンク法）を自作し、トラクタのエンジン回転数と燃料消費量の関係を測定した。PTO 駆動ロータリ型作業機に比べて、牽引型作業機はエンジン回転数が低く、燃料消費量は低いことを示した。砕土作業の作業速度は、軽トラクタ用ロータリの0.20m/s程度に対して、牽引型作業機は0.6m/sであった。58kWトラクタ用のプラソイラは耕幅65cmの2連プラウと同等で、1時間当たり作業量はプラウの1.8倍になり、単位面積当り燃料消費量は57%と省エネである。単位面積当り燃料消費量の測定では、ロータリ耕（耕幅1.8m）で6.7g/m²、プラウ耕（耕幅0.45m）で5.1g/m²、プラソイラ耕（耕幅0.65m 2連）で3.2g/m²となり、牽引型作業機は燃料消費量が少ないことを示した。

9. 安定的増収に向けた機械化技術に関する総合考察

本研究の成果をまとめて、小型機械化体系の組立てを行い、機械化による減収をロスと見なして増収に必要な事項について整理を行った。本研究の成果を増収もしくはロスの低減とその他の観点から検討し、それらを取り入れた機械化作業体系を整理した。さらに、成果の普及の程度とその見込みについて整理し、今後の課題として「地域機械化生産システム」の必要性について述べた。

謝 辞

社会人入学で平成 23 年 10 月に入学してから、多くの先生方と学生の皆様に助けられて本研究を遂行してまいりました。主指導教官としてご指導いただいた琉球大学農学部教授の上野正実先生に心からお礼申し上げます。社会人として 30 年間勤め、再び大学で勉学に接することができたのは、入学前からの先生の厚いご指導のおかげさまと感謝いたします。本研究の検討会などでは遠く鹿児島からお見えになり、懇切丁寧にご助言下さった指導教官の鹿児島大学農学部教授の岩崎浩一先生ありがとうございました。身近にいて激励の言葉と懇切丁寧なご助言を頂きました指導教官の琉球大学准教授の鹿内健志先生、ありがとうございました。

大学人の研究姿勢や若者指導の心意気などを肌で教えていただきました琉球大学教授の川満芳信先生ありがとうございました。研究室で行き詰まった時や悩んだ時などに一息入れる懇親の場を数多く参加させていただき、皆様に溶けこむことが出来ました。琉球大学の平良英三先生には、研究方法や事務的な細かなことまで様々な面でお世話になりました、ありがとうございました。また、論文審査に副査を務めていただいた佐賀大学教授・田中宗浩先生、審査協力いただいた九州大学大学院准教授・岡安崇史先生ありがとうございました。

本研究を進めるにあたり、共同研究して頂いた皆様、ありがとうございました。特に、サトウキビの機械化について研究の先輩でありませ、上原数見様、赤地徹様、ありがとうございました。深見公一郎様ありがとうございました。故人となりましたが大城正市様、山本真靖様ありがとうございました。大城正市様には常に、サトウキビ栽培についてのご助言を頂きました。山本真靖様にはサトウキビの調査には様々な面でご協力いただきました。

最後に家族の激励と援助には深く感謝致します。