

平成19年度
生研センター研究報告会

平成20年3月6日

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

平成19年度 生研センター研究報告会

1. 開催日時 平成20年3月6日(木)
2. 場 所 大宮ソニックシティホール(小ホール)
(さいたま市大宮区桜木町1-7-5 TEL: 048-647-4111)
3. 日 程
 - 1) 開 会 10:00
 - 2) 挨 拶 10:00~10:15
 - (1)(独)農業・食品産業技術総合研究機構
 - (2)農林水産省
 - 3) 情勢報告 10:15~10:50
 - (1)農林水産省生産局
 - (2)農林水産省農林水産技術会議事務局
 - 4) 研究報告[第1部] 10:50~12:05
 - 野菜接ぎ木ロボット用自動給苗装置の開発
 - 低振動・低騒音型刈払機の開発
 - 農業機械運転支援技術の開発

《 昼 食 》
 - 5) 研究報告[第2部] 13:10~14:50
 - 環境保全型汎用薬液散布装置の開発
 - 中山間地域対応型防除機の開発
 - 植付け苗量制御技術の開発
 - 生体情報測定コンバインの開発

《 休 憩 》
 - 6) 研究報告[第3部] 15:05~16:45
 - せん定枝粉碎搬出機の開発
 - 汎用型飼料収穫機の開発
 - ITを活用した乳牛飼養管理システムの開発
 - 除菌効果の高い乳頭清拭装置の開発
 - 7) 総合討議 16:50~17:30
 - 8) 閉 会 17:30

目 次

1 .野菜接ぎ木ロボット用自動給苗装置の開発	1
2 . 低振動・低騒音型刈払機の開発	9
3 . 農業機械運転支援技術の開発	17
4 . 環境保全型汎用薬液散布装置の開発	29
5 . 中山間地域対応型防除機の開発	41
6 . 植付け苗量制御技術の開発	51
7 . 生体情報測定コンバインの開発	59
8 . せん定枝粉碎搬出機の開発	69
9 . 汎用型飼料収穫機の開発	79
10 . I Tを活用した乳牛飼養管理システムの開発	89
11 . 除菌効果の高い乳頭清拭装置の開発	99

野菜接ぎ木ロボット用自動給苗装置の開発

基礎技術研究部 小林 研、重松健太、石綿陽子、小倉昭男（現退職）、
後藤隆志、小野木 亮（現退職）、飯田有宣（現退職）
共同研究実施会社 井関農機（株）

はじめに	2
1. 開発目標	2
2. 開発機の構造と作用	2
3. 開発機の性能	4
1) 給苗精度試験	4
2) 接ぎ木ロボットと組み合わせた性能試験	4
(1) 試験方法	
(2) 試験結果	
おわりに	8
参考文献	8

はじめに

接ぎ木苗は、果菜類生産において不可欠なものとなっており、その利用割合は約60%、ウリ科のスイカとキュウリに限れば約80%に達している。近年では、農薬使用量を低減できる環境に負荷を与えない栽培技術として、接ぎ木栽培への関心が世界的に高まっている。また、平成6年に農業機械等緊急開発事業で、ウリ科野菜用接ぎ木ロボット（以下、「緊プロ機」という。）が実用化されて以降、ウリ科野菜類の栽培では接ぎ木苗を購入する農家が増加しており、現在では、接ぎ木栽培面積の35%で購入苗が利用されている¹⁾。現在、緊プロ機は、国内の接ぎ木装置の約80%のシェアを占めている²⁾が、苗を手で供給する半自動型であるため、装置の運転には、少なくとも元苗運搬等の補助者1名と装置への苗供給者2名の計3名が必要になる。購入苗の需要が増加する中、苗生産施設では接ぎ木装置への期待が高まっている一方で、緊プロ機を含めた既存の接ぎ木装置に対して、価格に比べ省力効果が不十分であるとの評価も多く、一層の性能向上の要望がある。そこで、緊プロ機の省力化を図るため自動給苗装置を開発することとした。

本開発研究は、次世代農業機械等緊急開発事業の課題として、平成16年度から井関農機（株）と共同で実施したものである。

1. 開発目標

接ぎ木苗生産者を対象に実施したアンケート調査および現地調査の結果も踏まえ、以下を開発目標として設定した。

- ① 緊プロ機に適応し、既に使用されている機械にも後付け可能な構造とする。
- ② 対象とする苗は、穂木はキュウリおよびスイカ、台木はカボチャおよびユウガオとする。
- ③ 育苗には72穴または128穴セルトレイを使用し、トレイごと装置に苗を供給することにより連続自動給苗を行う。
- ④ セルトレイから苗を取り出した後、子葉方向揃えおよび切断高さ揃えを行って接ぎ木装置に供給する。
- ⑤ 欠株スキップ機能を備える。
- ⑥ 接ぎ木装置と組み合わせたシステムの運転は、セルトレイ補給者1名で行う。
- ⑦ 給苗作業能率は、緊プロ機の接合作業能率に対応する毎時800本以上とする。
- ⑧ 緊プロ機本体にも改良を加え、自動接ぎ木システムとして高い作業精度を確保する。

2. 開発機の構造と作用

開発した自動給苗装置には、穂木用と台木用があるが、両者の構造および作用は基本的に同じであり、セルトレイから苗を1本ずつ取り出し、高さの子葉展開方向を揃えて接ぎ木装置に供給するものである。

開発機（図1）は、穂木用、台木用ともセルトレイ搬送部、苗取出し搬送部、制御部に大別される。苗取出し搬送部は、①苗を子葉展開基部で懸架するためのスリットを持つ保持ハンド（図2、

図3)、②対象とする苗のみを保持ハンドに分離・誘導するための分草桿(図2)、③セルトレイ中の苗を地際近傍で切り取るカッタ、④苗搬送スライダから構成される。装置に元苗が栽植されたセルトレイを装填すると、一連の給苗動作が自動で行われる。セルトレイからの苗取り出し時には、図2に示すように分草桿が保持ハンド側を除いたセル枠の3方を囲んだ状態で、胚軸を搔き上げながら保持ハンドに苗を誘導することで、倒伏した苗への適応性を高めている。苗の高さ揃えは、子葉展開基部を基準とし、同部を保持ハンド先端のスリットに吊り下げることで行う(図3(a))。台木および穂木のスイカの子葉方向揃えは、接ぎ木装置の苗受け部およびそれに対向する位置に設けられた一対の子葉方向揃えガイド間で、苗を保持した状態で保持ハンドを前後に揺動させ、ガイドに子葉を接触させることで、子葉展開方向が揺動方向と直角になるように行う(図3(a))。一方、キュウリでは、苗受け部のガイドを90°回転して取り付け、保持ハンドの揺動時に子葉がガイドに接触することで生じる摩擦により、子葉展開方向が揺動方向と平行になるように揃える(図3(b))。さらに、欠株への対応として、接ぎ木ロボットの苗受渡し部において、光電センサを用いた苗の有無検出を行い、欠株の場合は、再度給苗動作を行うようになっている。これらの動作は、PLCでシーケンス制御され、運転モード(セル数、作物)の切り替えは、操作盤(図1)のタッチパネル上で行えるようになっている。

表1 主要諸元

機体寸法 ¹⁾	全長：1,650mm、全幅：1,970mm、全高：1,030mm
動力源	電気、圧縮空気
所要人数	1人(セルトレイ補給)
適応作物	ウリ科野菜(キュウリ、スイカ)
適応セルトレイ ²⁾	72穴、128穴
適応胚軸長	穂木：40mm以上、台木45mm以上、胚軸長の変動範囲：30mm以内
適応出芽位置	セル中心から半径12mm以内
その他	欠株スキップ機能

1)接ぎ木ロボット接続時

2)アンダートレイ使用

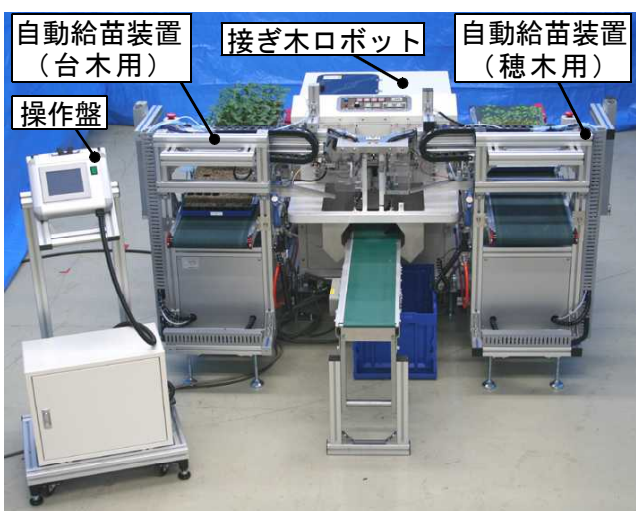


図1 自動給苗装置の外観

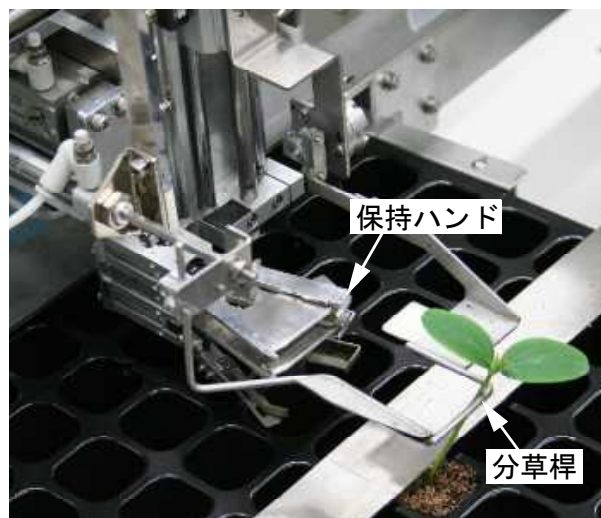


図2 分草桿による苗の引き起こし

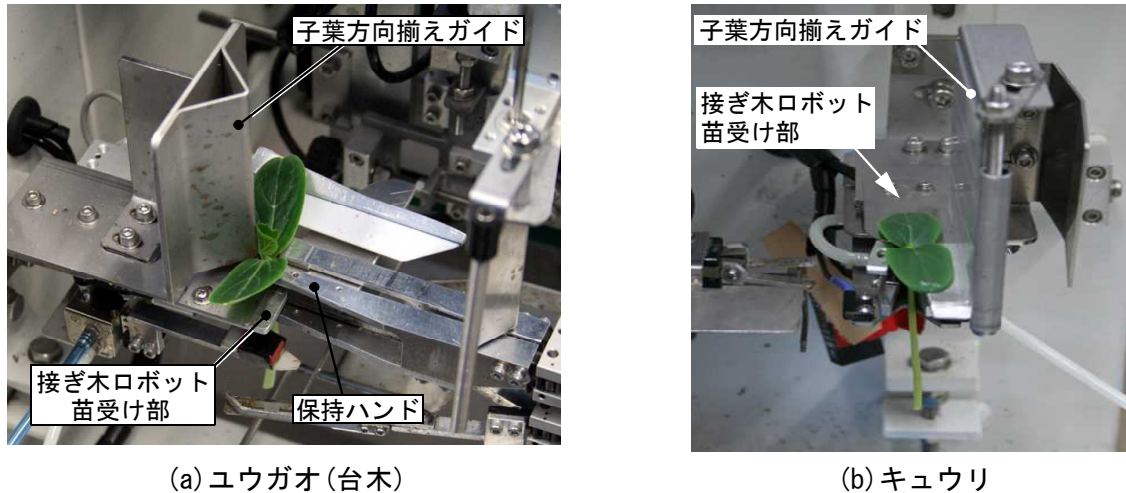


図3 接ぎ木ロボットへの苗供給

3. 開発機の性能

1) 給苗精度試験³⁾

台木用自動給苗装置を用いて給苗精度試験を実施した。試験では、72穴セルトレイ（□36mm）で育苗した接ぎ木適期のカボチャ‘ゆうゆう一輝’、‘ひかりパワー’およびユウガオ‘ドンK’、‘かちどき2号’を供し、1回の給苗動作を行う毎に運転を停止して、苗取出し、高さ揃えおよび子葉方向揃えの成否を調査した。

試験結果を表2に示す。総供試数212本に対して、作業失敗は高さ揃え不良と子葉方向揃え不良が各2回発生したが、作物、品種による偏りは見られず、いずれも作業成功率は95%以上となり、キュウリおよびスイカ接ぎ木の台木となる主要品種に適応できることを確認した。

表2 自動給苗装置（台木用）の作業精度試験結果

		カボチャ		ユウガオ	
		ゆうゆう 一輝	ひかり パワー	ドンK	かちどき 2号
サンプル数	(本)	51	54	53	54
作業成功数	(本)	49	54	52	53
作業成功率	(%)	96	100	98	98

作業失敗内訳 (本)					
高さ揃え不良 ¹⁾		1			1
子葉展開方向揃え不良 ²⁾		1		1	

1) 子葉展開基部が苗保持ハンド上面まで落下しなかった。

2) 子葉展開方向を、接ぎ木装置への適正受け渡し方向に対して±30°以内に修正できなかった。

2) 接ぎ木ロボットと組み合わせた性能試験⁴⁾

(1) 試験方法

開発機を緊プロ機と接続し、128穴セルトレイで育苗したスイカとユウガオおよびキュウリとカボチャを供して性能試験を実施し、作業能率ならびに作業精度を測定した。なお、スイカで

は半自動型接ぎ木装置（M社MST771-2、手供給区）との、キュウリでは手接ぎ木（片葉切断接ぎ）との作業能率を比較した。作業精度は接ぎ木成功率のほか、活着率、成苗率を調査した。試験条件を表3、表4に示す。

表3 試験条件（スイカ）

試験No.	1	2		3	
試験区	自動給苗	自動給苗	手供給 A	手供給 B	自動給苗
接ぎ木数	122	840	591	72	725
供試穂木条件					
品種			縞王		
平均胚軸長〔mm〕	63		82		51
欠株率〔%〕	2.3		1.5		2.8
供試台木条件					
品種			ドンK		
平均胚軸長〔mm〕	75		75		71
欠株率〔%〕	4.7		1.5		2.9

表4 試験条件（キュウリ）

試験No.	1	2		3	
試験区	自動給苗	自動給苗	手供給	手接ぎ木	自動給苗
接ぎ木数	128	858	72	702	765
供試穂木条件					
品種	シャープ1		北進	大望I	グリーンラックス
平均胚軸長〔mm〕	72		70		51
欠株率〔%〕	0		5.1		2.8
供試台木条件					
品種	ゆうゆう一輝	ゆうゆう一輝		ときわパワーZ	ゆうゆう一輝
平均胚軸長〔mm〕	71		60		71
欠株率〔%〕	0		1.9		2.9

(2) 試験結果

開発機の運転は、セルトレイ補給者1名で行え、接合された苗の手直し・挿し木のための要員を含め2名の作業員で接ぎ木作業が可能であった。6回の試験（接ぎ木総数：3438本）において、部品欠落や接がれた苗の持ち回り等により、延べ3回（合計6分55秒）の作業中断が発生した。中断原因となった不具合や試験で確認した問題点は、そのつど改良を加え、作業精度および作業能率の向上を図った。

①作業能率（表5、表6）

開発機の平均正味給苗作業能率は、穂木用、台木用とも830本/h以上であり、開発目標（800本/h）を達成できた。給苗後の接ぎ木までを含めた接合作業能率は、作業中断の有無やセルトレイ内の欠株数により変動し、スイカで764～871本/h、キュウリで787～827本/hであったが、いずれも平均で810本/h程度となった。スイカを供した試験における1人当たり接合作業能率は、手供給区の3倍、接合後の挿し木までを含めた1人当たり接ぎ木作業能率は355本/hであり、手供給区の2倍となった。キュウリを供した試験における1人当たり接合作業能率は、手接ぎ木区の5.5倍、接ぎ木作業能率は276本/hであり、手接ぎ木区の3.5倍となった。

表5 性能試験結果/作業能率（スイカ）

試験No. 試験区		試験1		試験2		試験3	自動給苗 平均
		自動給苗	自動給苗	手供給A	自動給苗		
作業員数	[人]	1 ¹⁾	2 ²⁾	4 ³⁾	1		
穂木取り出し動作数 ⁴⁾	[回]	127	853			746	
台木取り出し動作数 ⁴⁾	[回]	128	899			747	
接ぎ木数	[本]	122	840	591		725	
挿し木数	[本]		810	591			
接合作業時間	[秒]	536	3844	2760		3156	
中断回数	[回]	0	2	0		0	
延べ中断時間	[秒]	0	149	0		0	
正味接合作業時間	[秒]	536	3695	2760		3156	
総作業時間 ⁵⁾	[秒]		4110	2880			
接合作業能率	[本/h]	819	787	771		827	811
1人当たり接合作業能率	[本/h]	819	787	257		827	811
正味給苗作業能率・穂木	[本/h]	853	831			851	845
正味給苗作業能率・台木	[本/h]	859	876			852	862
1人当たり接ぎ木作業能率 ⁶⁾	[本/h]		355	185			

1)セルトレイ補給。

2)トレイ補給・手直し1人、手直し・挿し木1人。

3)元苗切り取り1人、苗供給2人、手直し・挿し木1人。

4)欠株セルへの取り出し動作含む。

5)接合後の手直し・挿し木を含む。

6)1人当たり接ぎ木作業能率=挿し木数/(総作業時間×作業員数)

表6 性能試験結果/作業能率（キュウリ）

試験No. 試験区		試験1		試験2		試験3	自動給苗 平均
		自動給苗	自動給苗	手接ぎ木	自動給苗		
作業員数	[人]	1 ¹⁾	2 ²⁾	4 ³⁾	1		
穂木取り出し動作数	[回]	129	904			769	
台木取り出し動作数	[回]	129	875			766	
接ぎ木数	[本]	128	858	702		765	
挿し木数	[本]		817	702			
接合作業時間	[秒]	574	4042			3162	
中断回数	[回]	0	1			0	
延べ中断時間	[秒]	0	266			0	
正味接合作業時間	[秒]	574	3776			3162	
総作業時間	[秒]		5328	7500			
接合作業能率	[本/h]	803	764			871	813
1人当たり接合作業能率	[本/h]	803	764	141 ⁴⁾		871	813
正味給苗作業能率・穂木	[本/h]	810	862			876	849
正味給苗作業能率・台木	[本/h]	810	834			872	839
1人当たり接ぎ木作業能率	[本/h]		276	80			

1)セルトレイ補給。

2)セルトレイ補給・手直し・挿し木1名、手直し・挿し木1名。

3)元苗切り取り、穂木切断、台木切断、接ぎ木、挿し木の各作業を分担。

4)作業中のタイムスタディ調査（作業員2名、延べ接ぎ木数476本）より算出。

②作業精度（表7、表8）

接ぎ木成功率は、作物間および試験間での変動が小さく、平均96%であり、実用的な作業精度を有していた。活着率は、接ぎ木後に接合状態の確認・手直しを行わなかった場合、スイカで95%、キュウリで92%であり、手直しをした場合は、いずれの作物でも95%を超えた。成苗率は、手直しの有無にかかわらずスイカで約80%、キュウリで約90%であった。

表7 性能試験結果/作業精度（スイカ）

試験No. 試験区 接ぎ木後の手直しの有無	試験1		試験2		試験3		自動給苗 平均		
	自動給苗		自動給苗	手供給B	自動給苗		なし	あり	
	なし		なし*1	あり*2	なし	なし*1	あり*3	なし	あり
作業精度調査									
調査数	[本]	121	840	72	724				
接ぎ木成功率	[%]	97	96	100	96			96	
活着率調査*4									
調査数	[本]	121	216	144	72	216	72		
活着率	[%]	95	95	93	96	94	99	95	96
成苗率調査*5									
調査数	[本]		214	143	71	49			
成苗率*6	[%]		79	80	92	84		82	80
成苗本葉数	[枚]		4.1	4.1	4.5	4.2		4.2	

*1:試験中の前、中、後半に各72本サンプリング。

*2:試験中の前、中半に各72本サンプリング。

*3:試験中の前半にサンプリング。

*4:接ぎ木後7日目に実施。

*5:試験2は接ぎ木後22日目、試験3は31日目に実施。

*6:本葉3.6枚以上で、根鉢形成及び生育が良好な株を成苗とカウント。

表8 性能試験結果/作業精度（キュウリ）

試験No. 試験区 接ぎ木後の手直しの有無	試験1		試験2		試験3		自動給苗 平均		
	自動給苗		自動給苗	手供給	自動給苗		なし	あり	
	なし		なし*1	あり*2	なし	なし*1	あり*2	なし	あり
作業精度調査									
調査数	[本]	122	858	72	764				
接ぎ木成功率	[%]	95	95	100	97			96	
活着率調査*3									
調査数	[本]		214	72	71	216	72		
活着率	[%]		89	95	94	95	99	92	98
成苗率調査*4									
調査数	[本]		214	72	71	50			
成苗率*5	[%]		85	91	91	94		89	91

*1:試験中の前、中、後半に各72本サンプリング。

*2:試験2は試験中半に、試験3は前半にサンプリング。

*3:試験2は接ぎ木後12日目、試験3は8日目に実施。

*4:試験2は接ぎ木後26日目、試験3は27日目に実施。

*5:対照手接ぎ木区の平均本葉数マイナス0.5枚以上の株を成苗とカウント。

③現地試験先での評価

現地試験を行った JA の苗センターの評価として、全体では肯定的な意見が出された一方、作業性や機能向上への改良要望が出された。主な意見および要望を以下に示す。

- ・順化が終了した段階の小苗を出荷する場合、播種量に対する最終的な成品割合をキュウリで約80%、スイカで約70%と見込んでいるので、作業精度は問題ない。
- ・半自動の緊プロ機よりも作業精度が向上している。
- ・1人当たり接ぎ木作業能率が、手供給の2倍あることは評価できる。接ぎ木後の挿し木まで含めて2ないし3人で十分に作業が行える。
- ・接がれた苗の穂木の本葉方向が揃っていないなど、手供給または手接ぎ木と比べ、接がれた苗の揃いが悪く、挿し木作業の能率が低下する。
- ・接がれた苗の台木胚軸長を揃える機能が必要。

- ・接ぎ木後の挿し木は机上で行うので、苗が手元に供給されるよう、接ぎ木苗搬送コンベアの高さを上げてほしい。

おわりに

開発した自動給苗装置は、ウリ科野菜の接ぎ木作業の省力化に貢献できると考えている。今後、1年間の開発促進評価試験に移行するが、ここでは、耐久性や取扱性の確認とともに、上述した意見・要望も含めた問題点への対応を行い、平成21年度からの実用化を図る予定である。

本研究の実施に当たっては、共同研究実施会社の井関農機（株）をはじめ、現地試験において、愛知県農業総合試験場、長野県南信農業試験場、JA あいち経済連苗生産センターならびに JA 全農長野野菜種苗センター等の関係各位に多大なるご協力を賜った。ここに記して改めて感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 農林水産省 野菜・茶業試験場：野菜の接ぎ木栽培の現状と課題、野菜・茶業試験場研究資料第9号、1-128、2001
- 2) 小林 研：野菜接ぎ木ロボット、農林水産技術研究ジャーナル、28(11)、15-20、(社)農林水産技術情報協会、2005
- 3) 生研センター：平成17年度事業報告、2006
- 4) 生研センター：平成19年度事業報告、2008

低振動・低騒音型刈払機の開発

基礎技術研究部 中野 丹、菊池 豊、岡田俊輔、後藤隆志、
石川文武（現退職）、津賀幸之介（現退職）、
小倉昭男（現退職）
委託研究実施会社 （株）丸山製作所

はじめに	10
1. ハンドル防振機構の概要	10
1) ハンドル防振機構の構造	10
2) 試験・評価	10
(1) 室内試験	
(2) 圃場試験	
(3) 振動感覚閾値試験	
(4) 市販刈払機との比較	
(5) 現地モニター調査	
2. 騒音低減技術の概要	13
1) 騒音低減構造	13
2) 音響インテンシティ法による音の可視化	14
3) 試験・評価	14
(1) 室内試験	
(2) 圃場試験	
(3) 市販刈払機との比較	
おわりに	16
参考文献	16

はじめに

刈払機は広範な場面で草刈作業用の機械として手軽に使われているが、そのハンドル振動および騒音によって手や指の血行障害、いわゆる手腕系の振動障害や、難聴になるなどの問題があるため、利用者や医療関係者からは振動および騒音の低減が望まれている。

このような背景のもと、次世代農業機械等緊急開発事業において、平成15年度から(株)丸山製作所とともに「低振動・低騒音型刈払機」の開発に取り組み、成果を得たので報告する。

1. ハンドル防振機構の概要

1) ハンドル防振機構の構造

グリップ内部の棒状バネと2個のウェイト、ウェイト入りハンドル取付け部から構成され、構造体を振動させたときに生じる振動の節(最も揺れない部分)を、ハンドル取付け部とグリップ部へ移動させる¹⁾とともに、ハンドルの剛性を増すことでグリップ部の振動低減を図っている(図1)。

なお、試作を1号機から4号機まで行ったため、それを組み込んだ刈払機を低振動1号機から低振動4号機と呼ぶ。

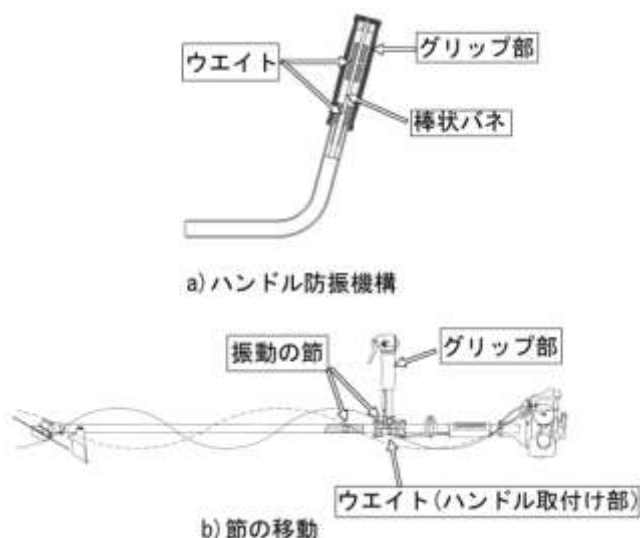


図1 ハンドル防振機構の構造

2) 試験・評価

(1) 室内試験

国内でも採用される情勢にあるISO22867(林業機械—内燃機関をもつ可搬形手持ち機械のための振動試験コード—ハンドルでの振動)に準拠する方法を用いた。刈払機では把持する力がハンドルの振動加速度に影響するので、加速度センサを操作の妨げにならないような形で、できるだけ把持部近傍に設置した。また、加速度センサは軽量なため、グリップ部を覆っている弾性体が共振して振動が大きくなると正確な測定の障害となるので、ゴムバンドでグリップ部にしっかり固定した。

エンジン回転速度はアイドリング(3,000rpm)、低速(5,000rpm)、定格(7,000rpm)、高速(8,000rpm*一部の刈払機で測定)、レーシング(9,300rpm)の5段階とし、負荷は無負荷とした。なお、アイドリングとレーシングは通常の作業では使用されないため参考値とすべきである。

EU指令では、ISO5349(機械振動—手腕系振動への人体暴露の測定および評価)の測定法にしたがって周波数補正加速度実効値の3軸合成値 a_{hv} から求めた振動加速度値 $A(8)$ を用いて、手腕振動の暴露限界値を 5 m/s^2 、暴露対策値を 2.5 m/s^2 と定めている。また、暴露限界値を超えてはならないとされ、暴露対策値を超えた場合、雇用者は振動低減の施策や労働者の健康管理をしな

なければならないとされている。

開発した低振動4号機は、定格エンジン回転速度（7,000rpm）における無負荷時に、等価振動加速度値が対照機（試作ベース機）より、左ハンドルで46%、右ハンドルで34%低くなった。また、EUにおいて定められている振動暴露対策値についてもクリアできた（図2）。

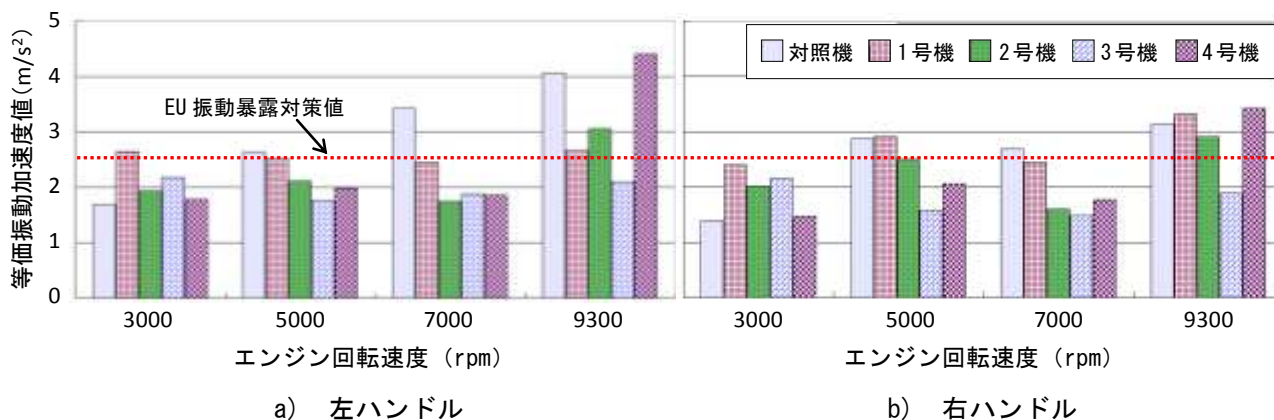


図2 室内試験時の振動（無負荷）

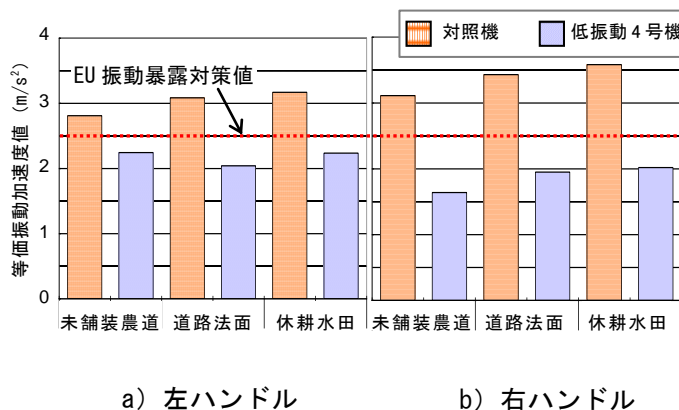
(2) 圃場試験

作業中の性能を確認するため、長野県農業総合試験場の協力を得て圃場試験を行った。試験条件は、供試機：低振動4号機と対照機、試験場所：未舗装農道、道路法面、休耕水田（図3）、エンジン回転速度：無負荷時に7,500~8,000rpmに設定し、作業時で約7,000rpmとなるようにした。作業時間は10分間程度とした。

低振動4号機の振動加速度値は1.6~2.2m/s²であり、1日8時間作業しても振動障害が生じないレベルであった（図4）。



図3 試験風景（休耕田での振動測定）



注) 7,000±200rpmでの平均値

図4 圃場試験時の振動

(3) 振動感覚閾値試験

振動の感覚を評価する方法として、振動感覚閾値を用いることにした。振動感覚閾値とは、人が感じることができる振動の一番小さい値で、指などが振動にさらされると感覚が鈍くなること、つまり供試機の振動が大きい方が振動感覚閾値も大きくなることを利用して振動の人体への影響を評価するものである。

被験者 5 名に対し、低振動 4 号機と対照機を供試して作業時のエンジン回転速度を約 7,000rpm、作業時間を 10 分間に設定して振動感覚閾値試験を行った。

振動感覚閾値の測定 (図 5) は、加振器の上に右手を置き、加振力を徐々に上げていき、振動を感じることができた時に応答用押しボタンを押すものであり、作業直前、作業直後、5 分後、10 分後に測定した。

振動感覚閾値は、作業直後、5 分後、10 分後とも低振動 4 号機が対照機より低かった (図 6)。振動感覚閾値の大きい方が、感覚が鈍くなっている。すなわち振動の影響が大きいことを示しており、低振動 4 号機の方が振動の影響が小さいことがわかる。なお、この傾向は低振動 1 号機から 4 号機まで同様であった。



図 5 振動感覚閾値の測定風景

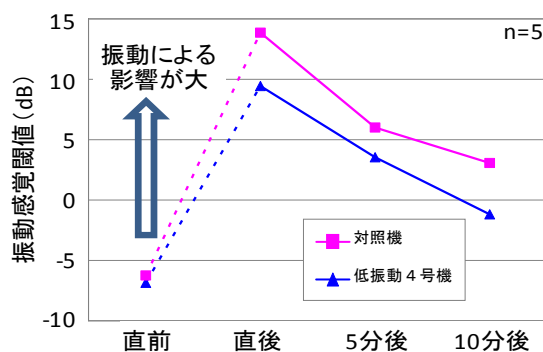


図 6 実作業前後の振動感覚閾値

(4) 市販刈払機との比較

ISO22867 に準拠し、市販刈払機の 44 機種 (排気量 21~26ml、U 型ハンドル) の無負荷時の振動加速度値 (左右ハンドル) を調査したところ、定格の 7,000rpm において振動加速値の範囲は、1.8~5.0m/s² と、EU 指令の暴露対策値 (2.5m/s²) を越えるものが多くあり、暴露限界値 (5 m/s²) を超えるものもあった。低振動 4 号機は、44 台の市販機と比べ、7,000rpm における振動加速度値が最も小さかった (図 7)。

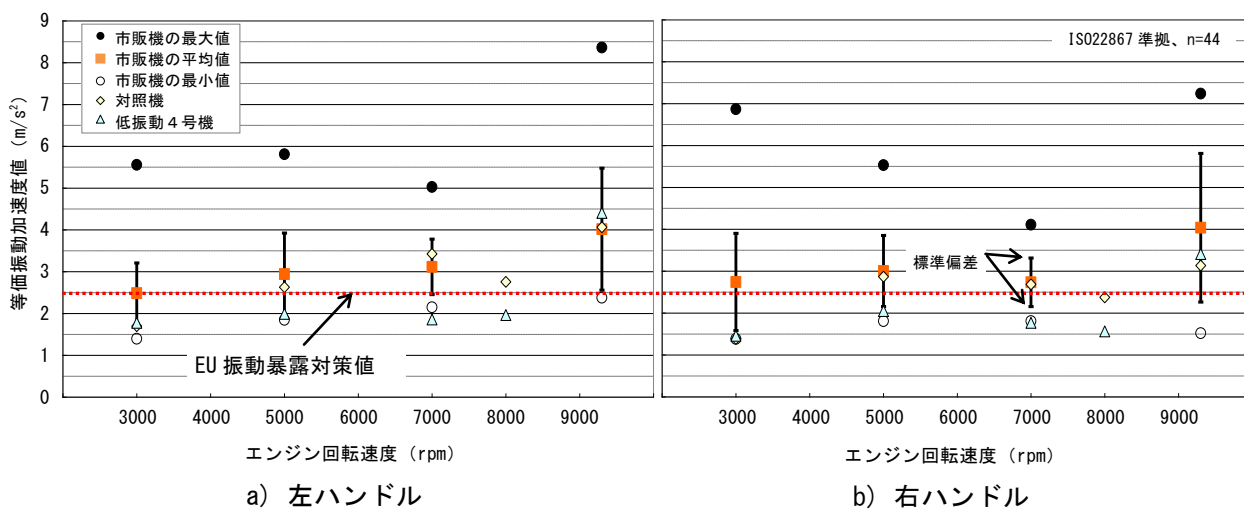


図 7 市販機と低振動 4 号機の振動

(5) 現地モニター調査

低振動4号機の振動低減効果や取扱性を評価するため、農業者30名に対して現地モニター調査を行った。振動に関しては、「小さい」が24名、しびれが「残らない」が19名と良好な回答が得られた。重さに関しては、「変わらない」が15名、「やや重い」が11名、「重い」が3名いた。しかし、「最初重いと思ったがバランスが良く、使用するうち感じなくなる」などの感想も挙げられた。また、操作性に関しては、「作業しにくい」が14名いたが、その多くがトリガー式スロットルのためであり、操作には慣れが必要と考えられた(表1)。

表1 現地モニター調査結果(抜粋)

設問(対照機と比較して)	回答と回答数[]内
1) 指先や手のひらの振動 ^{注1)}	①小さい[24]、②変わらない[5]、 ③大きい[0]
2) 手のしびれ ^{注2)}	①残らない[19]、②変わらない[9]、 ③大きい[0]
3) 重さ ^{注2)}	①変わらない[15]、②やや重い[11]、 ③重い[3]
4) 操作性 ^{注2)}	①作業しやすい[6]、②変わらない[9]、 ③作業しにくい[14]

注1) 未回答あり。注2) 重複があった回答を削除。

2. 騒音低減技術の概要

1) 騒音低減構造

形状を曲面にして後面および下面を開放したエンジン遮音カバー(内側に多孔質の吸音材を貼付)を、刈払機のエンジン部に防振ゴムを介して取付けたものである(図8)。遮音カバーは、固有振動数がエンジン回転速度3,000~9,300rpmの基本周波数と重ならず、防振ゴムを介して本体に取り付けることで共振を防ぐ構造となっている。また、曲面形状と後面の開放によりカバー内の音を後方へ逃がし、作業方向への音を低減できる。

放熱にも配慮し、運転中のエンジン温度はカバーが無い場合と同程度である。カバー内に貼付した吸音材(低反発ウレタン)は高音域を吸音できる。

なお、試作を2号機まで行ったので、それを組み込んだ刈払機を低騒音1号機と低騒音2号機と呼ぶ。



図8 低騒音2号機遮音カバーの外観

2) 音響インテンシティ法による音の可視化

試作した騒音低減構造を低振動 3 号機に組み込んだ低騒音 1 号機の音響インテンシティを測定 (図 9) したところ、キャブレタ側の遮音効果が低いことがわかった (図 10(b))。そこで、低騒音 2 号機で、カバー形状の変更を行った結果、問題を解消し、作業方向への音を低減できた (図 10(c))。



図 9 音響インテンシティの測定風景

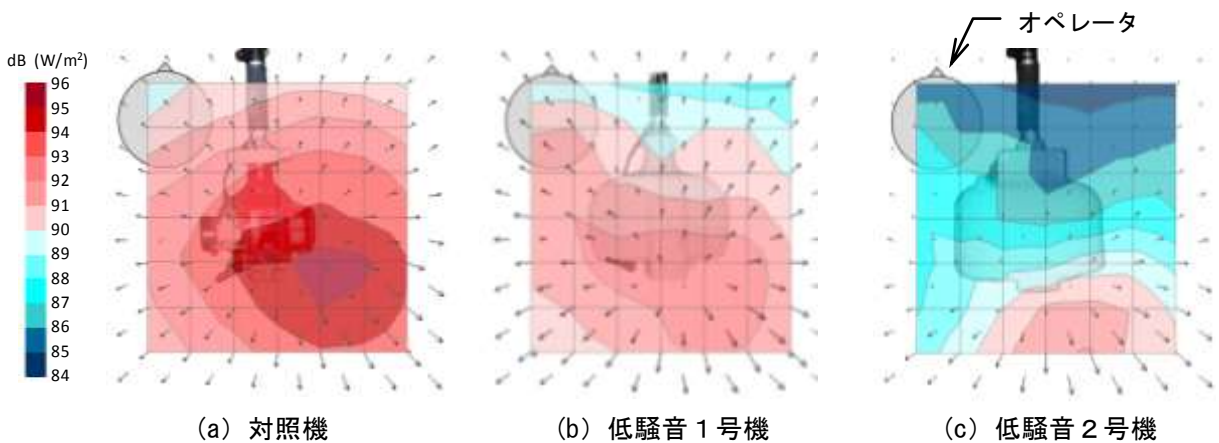


図 10 音響インテンシティ測定結果 (7,000rpm)

3) 試験・評価

(1) 室内試験

無響室で ISO22868 (林業機械-内燃機関をもつ可搬形手持ち機械の騒音試験基準) に準拠した方法で無負荷時の騒音を測定した。刈刃高さは 300 ± 25 mm、つり下げポイントを 775 ± 10 mm、マイクロフォンをその上 875 ± 10 mm とした (図 11)。エンジン回転速度は、アイドリング (3,000rpm)、

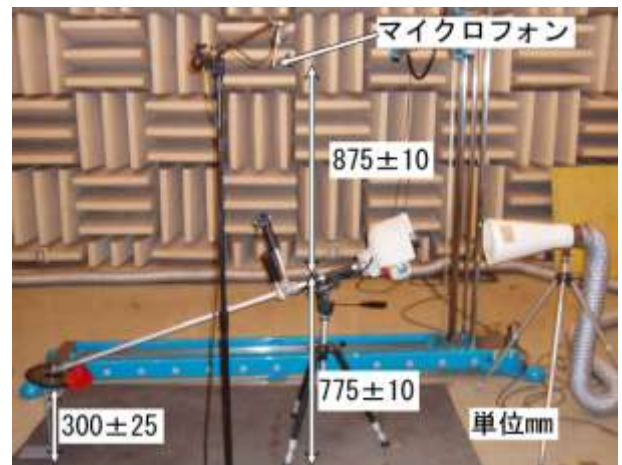


図 11 供試機とマイクロフォンの設置

低速 (5,000rpm)、定格 (7,000rpm)、高速 (8,000rpm*一部の刈払機で測定)、レーシング (9,300rpm) の5段階とした。

低騒音2号機の無負荷時の騒音は、対照機に比べ、すべてのエンジン回転速度域 (3,000~9,300rpm) で約 3dBA 低減した (図 12 左)。また、作業中の騒音は、対照機と比較して約 3dBA 減少した (図 12 右)。

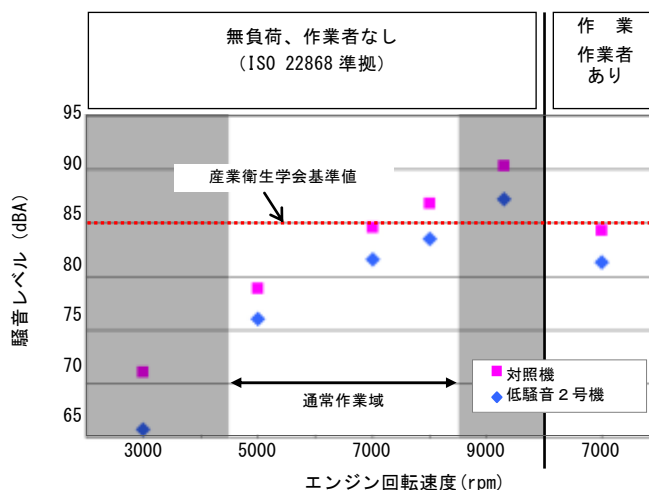


図 12 無負荷および作業時の騒音

(2) 圃場試験

作業中の騒音を確認するため、牧草地で圃場試験を行った。

試験条件は、供試機:低騒音2号機と対照機、エンジン回転速度:無負荷時に7,500~8,000rpmに設定し、作業時で約7,000rpmとなるようにした。作業時間は10分間程度とした。

作業を行った時 (図 13) の低騒音2号機の騒音は81 dBAであり、1日8時間作業しても聴力障害が生じないレベルであった (図 12 右)。



図 13 試験風景 (牧草地での騒音測定)

(3) 市販刈払機との比較

無響室で市販刈払機 60 機種別の作業者耳元騒音を ISO22868 に準拠して測定したところ、低騒音2号機の騒音レベルは、供試市販機の中では最低であった (図 14)。

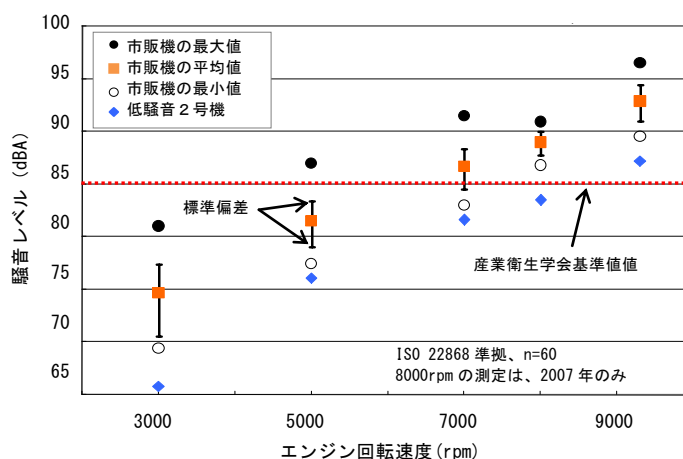


図 14 市販刈払機と低騒音2号機の騒音

おわりに

産業の分野では、労働災害の防止と作業環境の向上への取り組みが着実な成果をあげている。本稿で取り上げた振動と騒音の低減は、作業環境の向上に関するもので、農業では取り組みが弱い分野であるが、農業者からの要望が常に高い順位で出てくる課題である。

今後は、社会全体として作業環境の見直しも強化されることが予想され、農業においても雇用が増える中、作業環境の向上は重要な課題となっていくと考えられるため、本研究が農業の作業環境の向上に少しでも役立っていくことを期待している。

本開発に当たっては、宇都宮大学附属農場、長野県農業総合試験場等の関係者に多大なるご協力を賜った。ここに記して深甚なる感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 大黒正道：歩行型・可搬型農業機械の手腕系振動軽減に関する研究、農機研報告 27、1-74、1991
- 2) 生研センター：平成 15 年度事業報告、2004
- 3) 生研センター：平成 16 年度事業報告、2005
- 4) 生研センター：平成 17 年度事業報告、2006
- 5) 生研センター：平成 18 年度事業報告、2007
- 6) 生研センター：平成 19 年度事業報告、2008

農業機械運転支援技術の開発

基礎技術研究部 松尾陽介、濱田安之、山下貴史、塙圭二
後藤隆志、津賀幸之介（現退職）
小倉昭男（現退職）

共同研究実施会社 井関農機（株）、富士重工業（株）
ヤンマー農機（株）

はじめに	18
1. 開発目標	18
2. ステレオ画像処理システム（SIPS）とトラクタ車両システム	19
1) ステレオ画像処理システム（SIPS）の適用	19
(1) トラクタ用 SIPS の開発	
(2) SIPS による対象検出	
2) トラクタ車両システムの開発	20
(1) ホイールトラクタ車両システム「WTS」	
(2) クローラトラクタ車両システム「CTS」	
3. SIPS による各種対象・目標の検出と車両システムによる自動追従運転	20
1) SIPS 組込みソフトウェアの開発	22
2) 車両システムによる自動追従運転・作業	23
(1) 車両システム WTS による作業試験	
(2) 車両システム CTS による作業試験	
3) 障害物や作業行程端の検出とアラーム・非常停止	25
4. 開発技術の適用作業などに関する調査	25
5. 遠目標・直進誘導技術の開発	26
1) 遠目標と SIPS による検出	26
2) 遠目標に向かう直進誘導とその性能	27
3) 遠目標・直進誘導と自動追従運転を組み合わせた作業試験	27
おわりに	28
参考文献	28

はじめに

近年農業分野では、農業従事者の高齢化や後継者不足、その結果生じる農家当たり、従事者1人当たりの経営面積や作業面積の増加などから、トラクタや田植機、管理ビークルなどの農用車両作業におけるオペレータの負担軽減や、熟練者でなくても高能率・高精度な作業を可能とする「運転支援技術」へのニーズが高まってきている。

自動車分野では、主に安全運転の支援や事故防止を目的に、ビジョンシステムなどを用いた運転支援システムが開発・商品化されてきている。

このような背景の下、自動車分野で用いられているビジョンシステムを導入・適用して、トラクタ等農用車両の運転・操作を自動化する「農業機械運転支援技術の開発」に取り組んだ。開発する技術内容は、トラクタ等の農用車両に適用し、畝列や作物列などを自動検出して、それらに沿って走行・作業する場合の運転操作、あるいは作業機の位置調節を自動化する技術であり、農用車両の有人運転・作業を支援する技術の開発が目的である。

本開発は、次世代農業機械等緊急開発事業の要素技術課題として、平成15～19年度（2003～2007年度）の5年間実施したものである。開発では、主に自動車用のビジョンシステムの改良・適用に関する部分で富士重工業株式会社スバル技術研究所に、主にトラクタの自動運転化や走行制御に関する部分で井関農機株式会社とヤンマー農機株式会社に参画、協力いただいた。また、平成18年度からは、ビジョンシステムの高度化に関して北海道大学大学院情報学研究科システム制御情報学研究室(金子俊一教授)に協力いただいた。

1. 開発目標

本開発ではトラクタ等の農用車両に適用する運転支援技術の開発を目的としたが、具体的な開発はトラクタを対象として行った。以下、トラクタに適用する運転支援技術の開発として報告する。

開発技術は、その導入効果を、オペレータの負担軽減や高能率・高精度作業の支援、複数の補助者が必要な機械作業の省力化とし、これらの効果へのニーズが大きいと考えられる比較的大規模な畑作への適用を目標とした。また、野菜作での畝立てや播種、移植といった「まっすぐ」で「平行・等間隔」に作業することが求められる作業や、水田の畦塗りのように「キレイに仕上げる」ことが求められる作業への適用も目標とした。表1に想定した主な適用作業と検出・追従対象等を示す。

表1 トラクター作業への運転支援技術の適用（主に畑作を対象）

作業	作物	作業機	検出対象	適用効果
深耕	各種畑作物、水稻	プラウ	作業溝	作業精度向上、労働負担軽減
耕うん・碎土	各種畑作物、水稻	ロータリ	作業境界、表面凹凸	作業精度・能率向上、労働負担軽減
施肥・播種	各種畑作物、野菜	施肥・播種機、ポテトプランタ	作業境界、表面凹凸 作業マーカ跡	作業精度・能率向上、労働負担軽減、補助者削減
移植	ビート、野菜	ビート移植機	作物列、表面凹凸	作業精度・能率向上、補助者削減
管理、除草	各種畑作物、野菜	カルチベータ	畝列、作物列	作業精度・能率向上、労働負担軽減
収穫	バレイショ、ビート	ハーベスタ	畝列、作物列	作業精度・能率向上、補助者削減

畝列や作物列などの作業対象や目標への自動追従運転、また作業機の位置調節自動化の性能目標としては、作業速度 1.5m/s 程度までのトラクタ作業において、対象・目標そのもの、または同対象等から一定間隔を隔てた走行・作業経路に対する横偏差（ズレ）がトラクタ後車輪位置、または

作業機位置で± 5 cm 以下とすることを目標とした。

2. ステレオ画像処理システム (SIPS) とトラクタ車両システム

1) ステレオ画像処理システム (SIPS) の適用

自動追従運転の対象となる畝列や作物列などの位置を自動検出するセンサやセンサシステムとして、超音波センサや反射型レーザセンサ、レーザスキャナ、CCD カメラ+画像処理システムなどの適用が考えられる。これらのセンサ、センサシステムの中から、本開発の前に実施した要素技術研究¹⁾の成果を参考に、また、屋外車両での実用化の実績を考慮して、富士重工業(株)開発の自動車用ビジョンシステムを、本技術開発に適用することとした。そのビジョンシステムは、スバル ADA System という運転支援システムに適用されているステレオ画像処理システム²⁾であり、そのシステムを略して **SIPS** (**Stereo Image Processing System**) と呼ぶ。

(1) トラクタ用 SIPS の開発

自動車用の SIPS は図 1 のように、画像処理部とカメラユニット部から構成されている。この自動車用 SIPS をトラクタに搭載して畝列や作物列等を検出するために改造を加えた。トラクタ用 SIPS として、①トラクタ前部に搭載するタイプ (タイプ A) と、②比較的大型のトラクタのキャブ前部に搭載するタイプ (タイプ B、図 2) を用意した。図 3 はタイプ A とタイプ B の搭載位置及び視野範囲等を示す図であり、両タイプとも正面・下向きでトラクタの前方約 1 m 先から地面上に 1.5m 四方程度をカバーするようにした。

管理や収穫作業のようにトラクタが畝列や作物列を跨いで作業する場合は、検出対象はほぼトラクタ正面に位置し SIPS は正面・下向きで用いる。耕うんや畝立て作業などのように前行程の作業跡や形成畝などをトラクタの前・側方に見て作業する場合は、SIPS は左/右に首を振って下向きで用いることとなる。

タイプ A はカメラレンズの焦点距離 4.38mm、ステレオカメラ (2 台) の基線長 150mm であり、取付け高さが 1.1m 程度で俯角 (図 3 の θ_f) が 27° 程度、タイプ B はカメラレンズの焦点距離 8.20mm、ステレオカメラ (2 台) の基線長 350mm であり、取付け高さが 2.7m 程度で俯角 36° 程度となる。タイプ B のカメラユニット部の仕様は図 1 の自動車用と同じである。

画像処理部は 2 台のカメラから画像信号を入力し、カメラから対象までの 3 次元距離画像の生成や対象の認識アルゴリズム (画像処理)



図 2 トラクタ用 SIPS-タイプ B

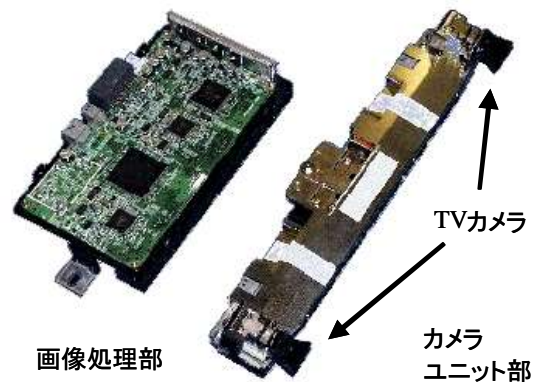


図 1 自動車用 SIPS

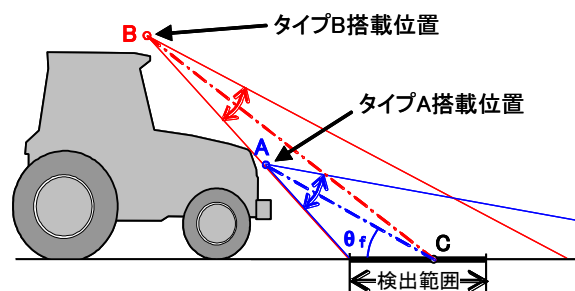


図 3 SIPS の搭載位置とその視野範囲

の実行をリアルタイムで行う。画像処理部のハードウェアは自動車用のものをそのまま使い、距離画像生成までの処理プロセスも自動車用と同じとした。認識アルゴリズムは画像処理部上の RISC マイコンで実行され、アルゴリズム（ソフトウェア）はトラクタ用のものを新規に製作、組み込んだ。SIPS の動作時間は 0.1 s 周期である。

(2) SIPS による対象検出³⁾

SIPS を用いて作物列や畝列を検出する方法については、本開発の前に行った要素技術研究の中で、ある程度の検討、試験を行っており、本開発においては、その方法に基づいて各種対象の検出を行った。以下、畝列を例に、その検出方法を紹介する。

図 4 (a) は試験用に形成した蒲鉾状の畝であり、ステレオ画像処理を行って取得した対象までの距離画像が図 4 (b) である。その距離画像の遠近方向 (Y 方向) で適当な幅を持つ帯部分の区分内のデータを XZ 平面に投影すると図 4 (c) の畝を含む断面の画像が得られ、このデータに対し、細線化や穴埋め、平滑化などを行って地表面の輪郭線 (図 4 (d)) を生成して、畝の抽出を行う。畝の抽出は、想定される畝幅を設定した上で、その幅の範囲内で上に凸の形状で左右対称であることを評価関数として、畝らしさが最大となる位置 (図中の白棒グラフ位置) を中心とする図の矩形枠内を抽出し、畝パターンを設定する。ここまでの畝の検出を行うための畝パターンの抽出・設定方法であり、畝検出を始める前に、また検出する畝の形状が変わった場合や光条件が変わった場合などに現場で適宜実行して、畝検出の精度を上げる。

この抽出・設定した畝パターンに基づいて畝を検出するプロセスは、その時の畝を含む原画像データから図 4 (d) のような地表面の輪郭線画像を生成し (断面画像を取得する際の Y 方向の帯区分の幅は約 25cm 毎)、その輪郭線に対して畝パターンを当てはめるマッチング計算を行い、畝の中心点を抽出 (検出) する。畝列の検出は、Y 方向の帯区分幅約 25cm 毎の畝検出を画像の手前側から遠方方向に向かって進め、抽出した畝中心点の点列に対しハフ変換を施して、畝列を直線で検出する。

畝列以外の検出対象・目標の検出方法については、3 の 1) の表 2 に概要を示す。

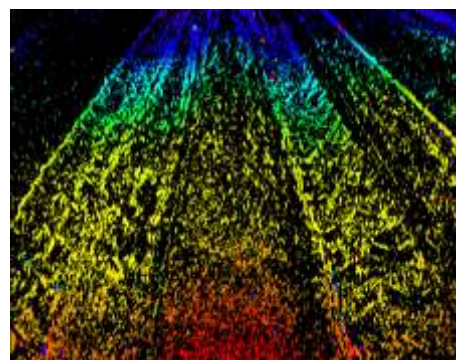
2) トラクタ車両システムの開発

SIPS を搭載・装備して自動運転を行うトラクタとして、比較的大型の市販ホイールトラクタおよび比較的小型の市販クローラトラクタをベースに、試験用のトラクタ車両システムを製作した。

トラクタ車両システムは、ベーストラクタと自動制御用のコントローラ、自動操舵機構などから構成し、コン



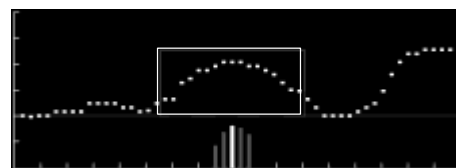
(a) 蒲鉾状の畝の原画像



(b) 畝の距離画像



(c) 畝を含む断面画像



(d) 地表面の輪郭線

図 4 SIPS による畝の検出方法

トラクタ（以下、「車両コントローラ」という。）は SIPS から情報を得て、車両のスペックや作業内容等に応じて操舵制御指令などを出力する機能を持つ。また、トラクタ車両システムは非常時などにアラームを出し、非常停止するなどの安全装備も備えることとした。

(1) ホイールトラクタ車両システム「WTS」

市販の機関出力 44.1kW のホイールトラクタをベースに、Wheel Tractor System（以下、「WTS」という。）を製作した。WTS は、耕うんから管理、収穫作業までの低速から高速までの広い速度範囲で行う作業において、各種対象・目標に自動追従運転・作業することを想定している。その制御システムでは、ベーストラクタの全油圧操舵機構に自動操舵バルブユニットを製作・組み込み、車両コントローラからの制御信号により自動操舵が行われるようにした。

SIPS は、当初トラクタ前方・ボンネット前に上記タイプ A を装備したが、その後、キャブ上・前部にタイプ B を装備した。SIPS は、運転席の表示・操作パネルからの操作により、左右方向の回動（パン）ができる台に搭載した。

自動追従運転における操舵制御は、SIPS が直線で検出した対象（列）のオフセット量、傾きと、制御の目標オフセット量（追従対象とトラクタ左右方向中心線のオフセット量）とを比較して目標操舵角を求め、現舵角との差分の操舵が行われるアルゴリズムにより行われる。制御の目標オフセット量は SIPS の向き（左右）別に設定され、ほ場において現在の追従対象とトラクタの位置関係（現時点の SIPS データ）を検出して設定することや、車両コントローラに PC を接続して任意に変更・設定することができる。

安全装備については、SIPS からのデータに基づき、ホーンとパトライトによるアラームと、機関停止を行う 2 段階の対応が行えるようにした。

(2) クローラトラクタ車両システム「CTS」

市販の機関出力 13.2kW（当初は 11.0kW）のクローラトラクタをベースに、Crawler Tractor System（以下、「CTS」という。）を製作した（図 5）。CTS は、畝立てや畦塗り作業などの比較的低速で行う作業において、各種対象・目標に自動追従運転・作業することを想定している。その制御システムでは、ベーストラクタの操舵コントローラに車両コントローラから制御信号を出力して自動操向が行われるようにした。車両コントローラは表示・操作パネル一体型の専用コントローラを製作して用いた。

SIPS はボンネット前にタイプ A を装備し、運転席横の表示・操作パネルからの操作により、

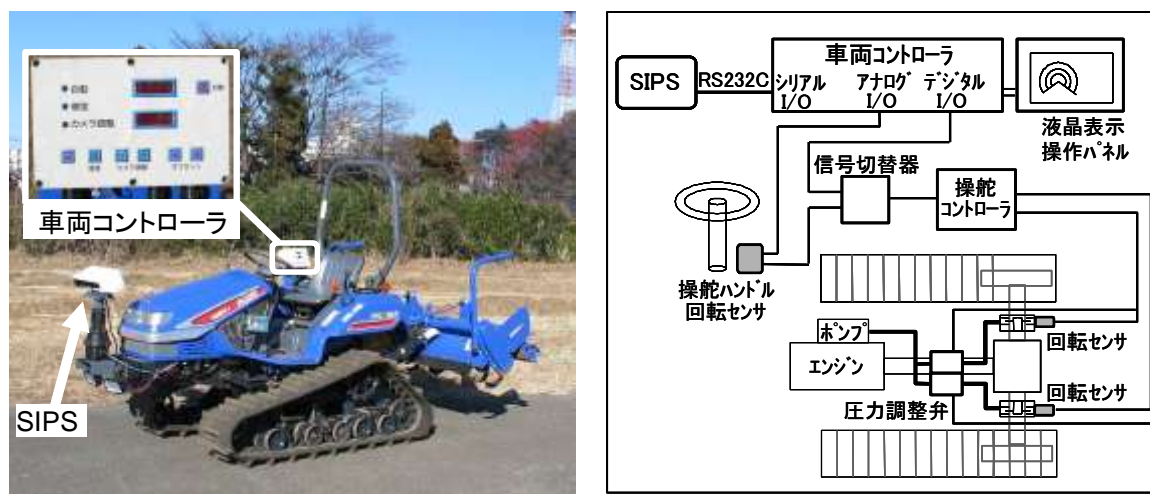


図 5 トラクタ車両システム CTS とその制御ブロック図

角度を設定して左右方向の回動（パン）ができる台に搭載した。

自動追従運転における操舵制御は、SIPS が直線で検出した対象（列）のオフセット量、傾きと、制御の目標オフセット量（追従対象とトラクタ左右方向中心線のオフセット量）に不感帯を加えた分とを比較して左右旋回指令を出力するアルゴリズムとした。同旋回（操向）制御における目標オフセット量と左右操向ゲインの調整を表示操作パネルから任意に行うことができ、自動運転中に変更することもできる。ほ場において現在の追従対象とトラクタの位置関係（現時点のSIPS データ）を目標オフセット量として設定することもできる。

安全装備については、SIPS からのデータに基づき、ホーンによるアラームと、走行停止を行う2段階の対応が行えるようにした。

3. SIPS による各種対象・目標の検出と車両システムによる自動追従運転

1) SIPS 組込みソフトウェアの開発

SIPS により各種の対象・目標を検出、認識する方法は以下のとおりとした。

- ① 作物列：設定高さ以上の画素（作物点）を抽出、ハフ変換により直線近似する。
- ② 畝（列）：畝形状パターンが当てはまる部分の中央点を抽出、直線近似する。
- ③ 段差・畦（列）：段差パターンが当てはまる部分の段差中央点を抽出、直線近似する。
- ④ 作業跡マーカー跡：隆起形状パターンが当てはまる部分の特徴部位を抽出、直線近似する。

①の作物列は設定高さ以上の画素（作物点）を抽出、検出する方法であり、その他は、2の1)の(2)で述べた畝列の検出方法と同様に、形状パターンを抽出し、設定した形状パターンを当てはめるパターン・マッチング手法を用いた。形状パターンの設定については、事前に任意に作成・設定する方法と、現場での検出データに基づき形状パターンを抽出・設定（学習）する方法を使い分けることができる。

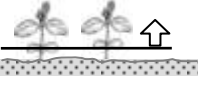
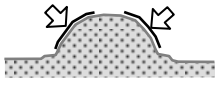
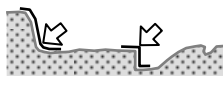
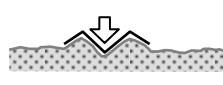
これらの対象・目標の検出方法は、SIPS の画像処理部に組込むソフトウェアにより実行され、検出対象や適用作業などに分類した組込みソフトウェアの特徴等を表2に示す。

対象・目標の検出において、SIPS の向きは適用作業により対象をトラクタ正面に見る向き（向き：0°）の場合と、車両の左右前方を見る向き（向き：左／右前 N°）の場合があり、その向きに応じて、SIPS 取得画像の画像処理において座標変換を行う。カメラの向きに応じた座標変換や、対象・目標に応じて適用するソフトウェアの切替え、形状パターンの学習は外部スイッチ盤により簡便に行えるようにした。

表2に検出対象として挙げた作業マーカー跡は、比較的広幅の播種作業のようにトラクタの走行経路付近に明確な作業跡ができない場合に用いるマーカーの跡である。開発では、当初、ほ場面に明確な隆起が残るマーカーを試作・適用して、SIPS による検出試験と車両システムによる自動追従試験を行ったが、市販の作業マーカーの跡でも、検出時に当てはめる形状パターンの工夫により、自動追従運転の目標に用いることが可能であった。

SIPS による各種対象・目標の検出では、地上高や検出部の高低差が5～10cm以上あれば、対象・目標をほぼ安定的に検出することが可能であった。しかし、晴天時で太陽高が低い逆光状態で、段差やマーカー跡の検出部分に陰が多い場合は、当てはめる形状パターンを往行程と復行程で別々に学習することや、時間の経過により対象の見え方が変わった場合には適宜形状パターンを学習・更新することが、安定的な対象・目標の検出には必要であった。

表 2 SIPS の画像処理方法（組込みソフトウェアによる）の特徴等

検出対象	作物（列）	畝（列）	段 差	作業マーカ跡
適用作業	・ビートの移植 ・畑・野菜作の管理	・各種作物の畝立て ・馬鈴薯の収穫	・ロータリ(荒起し) ・水田畦塗り, ・プラウ	・ロータリ(砕土) ・畑作の播種(+施肥)
検出部分	・設定高さ以上部分 	・右/左の肩部分 	・立上り/肩部分 	・左右隆起間の溝 
検出・認識方法	①設定高さ以上の作物点抽出(検出) ②検出点を直線近似※ ③検出直線の追跡と妥当性評価	①畝形状 ^ハ ターンの地表面断面との ^ハ ターンマッチング ^グ ②検出点を直線近似※ ③検出直線の追跡と妥当性評価	①段差形状 ^ハ ターンの地表面断面との ^ハ ターンマッチング ^グ ②検出点を直線近似※ ③検出直線の追跡と妥当性評価	①隆起形状 ^ハ ターンの地表面断面との ^ハ ターンマッチング ^グ ②検出点を直線近似※ ③検出直線の追跡と妥当性評価

※：直線近似ではハフ変換を適用。

2) 車両システムによる自動追従運転・作業

表 2 に特徴等を示した画像処理方法（組込みソフトウェアによる）を SIPS に適用して、トラクタ車両システム WTS、CTS による自動追従運転・作業の試験を行った。

(1) 車両システム WTS による作業試験

図 6 に稲収穫後の水田の荒起し作業（ロータリ耕）試験の様子を示す。作業速度を変えてロータリ耕の作業境界を自動検出・追従運転する試験を行った結果、速度 1.3m/s 程度までは安定した自動追従運転が行えることを確認した。本試験は生研センター附属農場で実施した。

同じく生研センター附属農場で行った水田の砕土ロータリ耕作業試験（図 7）では、ロータリ耕うん作業機の両端に試作した作業マーカを付け、前行程で付けたマーカ跡を自動検出・追従走行する試験を行った。第 1 行程は手動操舵運転で作業を行い、2 行程目以降は前行程で付けたマーカ跡に自動追従・作業する連続往復作業試験を行った結果、隣接行程の間隔を行程始めから終わりまで一定に保つ性能は、進行方向約 40cm 毎の間隔の標準偏差（全行程の平均値）が 5.1cm（作業幅：200cm）であり、前行程の作業跡に対して一定間隔を保つ良好な自



図 6 荒起し作業（ロータリ耕）試験

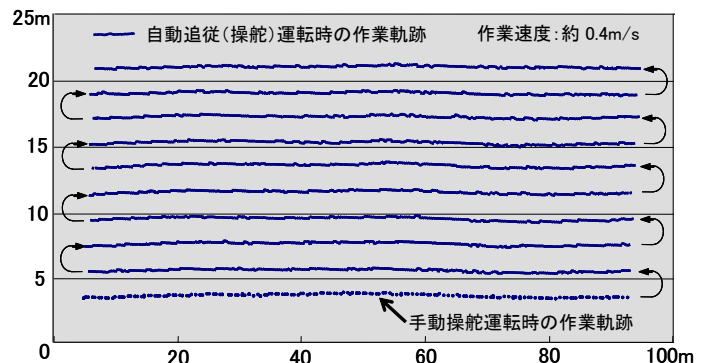


図 7 砕土ロータリ耕作業試験とその作業軌跡

動追従を行うことができた(図7)。しかし、行程毎の間隔(作業ピッチ)にはバラツキがある結果となり、自動追従における目標オフセット量の設定方法と作業開始時のトラクタの位置合わせに工夫が必要であると考えられた。

図8は北海道帯広市の農家ほ場で行ったバレイショ収穫試験である。ポテトハーベスタの適用トラクタとしてWTSは機体重量や機関出力が不十分であったため、作業速度を落として作業を行ったが、収穫畝を確実に検出・自動追従することができ、収穫作業を問題なく行うことができた。また、作業行程端への接近検出とアラーム発生も良好に機能することが確認された。農家からは、バレイショ収穫だけではなく、バレイショの播種やビートの移植作業などにも開発技術を使いたいとの意見、要望が聞かれた。



図8 バレイショ収穫試験

(2) 車両システム CTS による作業試験

CTSにより水田の畦塗り作業試験を行った(図9)。SIPSにより元畦の表面プロフィールを検出して、畦表面に沿う畦塗り作業を自動追従運転により行うことができた。ただし、雑草が多い箇所では、雑草表面を畦表面と認識する場合があった。

CTSによる畝立て作業試験は、上記WTSによる碎土ロータリ耕作業試験と同様、第1行程を手動操向運転で作業し、2行程目以降は前行程で形成した畝列に自動追従・作業する連続往復作業試験を行った。試験の様子と作業軌跡を図10に示すが、自動追従・作業の結果として、隣接行程の間隔を行程始めから終わりまで一定に保つ性能は、進行方向約40cm毎の間隔の標準偏差(全行程の平均値)が3.4cm(作業幅:195cm)であり、前行程での既成畝に平行で、一定間隔を保つ良好な畝立て作業を行うことができた。しかし、各行程の作業開始後数mは、前行程での形成畝に平行・等間隔でない作業が行われる場合があ



図9 水田の畦塗り作業試験

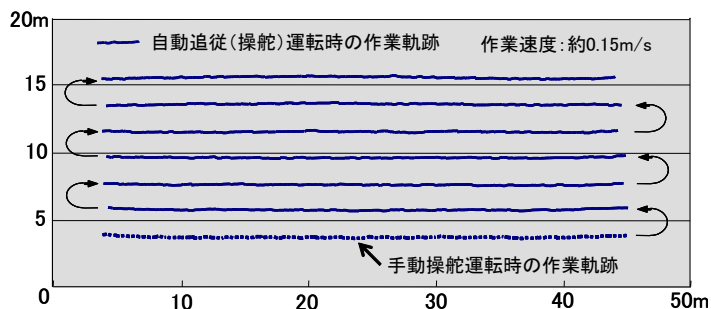


図10 畝立て作業試験とその作業軌跡

り、図7のWTSによるロータリ耕作業の場合と同様、旋回後の作業開始時の位置合わせに工夫が必要であると考えられた。

3) 障害物や作業行程端の検出とアラーム・非常停止

自動運転中でもオペレータは運転席から周囲の安全や作業行程端への接近に留意する必要がある。しかし、オペレータが作業状況の確認でしばらく後ろを見ている状況や、万一運転席から離れてしまうことを想定して、障害物や作業行程端への接近を検出し、アラームを発生、場合によっては非常停止する機能が必要である。

障害物や作業行程端の検出を、SIPSによる作業対象や目標の検出と同時に行うことを前提に、まず、経路上の人やコンテナの検出ソフトウェアを作成し、検出試験を行った。その結果、人やコンテナのように明らかに作業対象や目標と区別できる大きさ、形状のものは、作業対象や目標を検出しながら検出・認識することが可能であった。

作業行程端については、検出すべき作業対象や目標がSIPSの検出視野から無くなり、例えば、10回以上連続して（1秒以上）対象等を正常検出できない場合を作業行程端と判断することにより、畝や段差の終端は検出が可能であった。

障害物や作業行程端を検出した場合の対応について、SIPSにより障害物を検出する場合は、2の1)の(1)で述べたSIPSの検出視野の大きさから、2m程度の距離に接近してからの検出となるため、即非常停止を行う必要がある。機関停止による非常停止では、SIPSが障害物を検出してから機関停止が行われるまでに1秒程度の時間遅れがあるので、走行速度が速い（1m/s以上程度）場合は、検出範囲を大きく取れる障害物検出センサを別に装備する必要があると考える。

作業行程端の検出・対応を含むSIPSによる対象検出と車両システムの制御については、図11のフローを実行することが望ましいと考える。このフローは、作物列の欠株や畝の一部崩れなどによる一時的な非検出の場合は自動運転を継続し、作業行程端で1秒程度以上非検出が続く場合は手動運転モードへの移行をアラーム音によりオペレータに喚起し、手動運転への移行が行われなかった場合は走行・作業を強制停止することを意図したものである。このフローによる車両システムの動作試験をCTSにより行い、所期の動作が行われることを確認した。

4. 開発技術の適用作業などに関する調査

開発技術の適用作業や望まれる機能等について、北海道の畑作農家への聞き取り調査や、経営規模の大きい畑作農家等347戸へのアンケート調査を実施した。調査は開発3年目に、それまでの開発成果を提示して行った。

アンケート調査は、(社)日本農業機械化協会の協力を得て、北海道の比較的規模の大きい畑作農家213戸および北海道以外の比較的規模が大きい農家（水稲作など）134戸の計347戸を選定して行い、主に、トラクタにTVカメラを装備して作物列等の対象を自動検出し、①トラクタが対象に

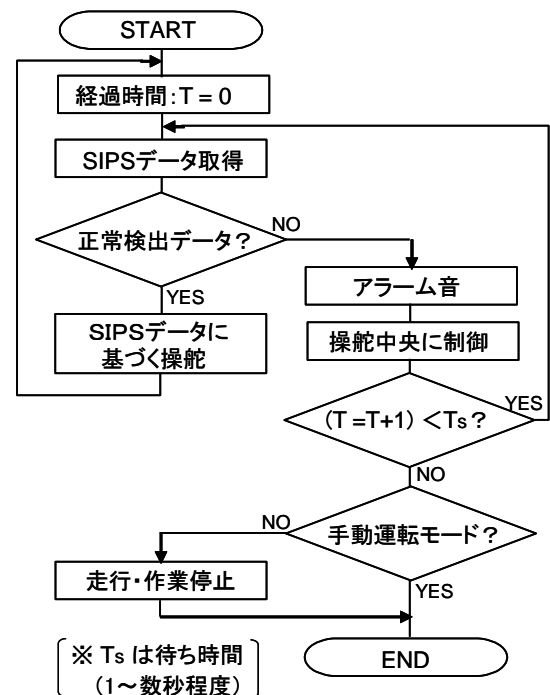


図11 作業行程端対応を含む制御フロー

自動追従する、または②作業部（作業機）が対象に自動追従する技術のニーズと有効な適用作業について、③明確な目標が無い最初の作業行程を自動運転で直進作業する技術のニーズについて、④トラクタの自動追従技術の導入コストについて、調査した。

アンケートの回収数は北海道が103戸（回収率48%）、北海道以外（府県）が46戸（同34%）であり、大半が規模の大きい専業農家であった。主な調査結果を表3に示す。

農家への聞き取り調査も含めた調査結果から、本技術はトラクタによる「プラウ耕・ロータリ耕」、「各種作物の畝立て作業」、「畑作における播種作業」、「ビートの移植作業」、「馬鈴薯の収穫作業」、「水田の畦塗り作業」を主な適用作業とし、対象に沿ってトラクタを自動運転（自動操舵）する機能を開発することを、この時点で改めて確認とした。当初の目標のひとつであった作業部の位置制御を行う技術もニーズは高かったが、海外の技術（製品）が市販・活用されているため、当面開発対象としないこととした。また、明確な追従対象・目標がない最初の作業行程でトラクタを自動運転により直進させる技術も開発対象とした。

表3 アンケート調査の主な結果

No.	設 問	回 答 と 回 答 数 () 内	
		北海道—回答数計：103	府県—回答数計：46
1	トラクタが畝列や作物列、作業跡などに自動追従する機能が欲しい作業は？ (選択肢から複数回答)	1. プラウ耕・ロータリ耕 (70) ※ 2. ビートなどの移植作業 (65) 3. 馬鈴薯などの収穫作業 (63) 4. 畑作での播種作業 (53)	1. プラウ耕・ロータリ耕 (33) ※ 2. 畑作での播種作業 (29) 2. 水田の畦塗り (29) 4. 各種の畝立て作業 (19)
2	管理作業等で作業機が作物列等に自動追従する機能は？	1. あれば便利 (64), 2. 是非欲しい (29), 3. 特に必要ではない (5)	1. あれば便利 (38), 2. 是非欲しい (6), 3. 特に必要ではない (2)
3	最初の作業行程を自動運転で直進走行・作業する機能は？	1. あれば便利 (69), 2. 是非欲しい (23), 3. 特に必要ではない (10)	1. あれば便利 (30), 2. 是非欲しい (6), 3. 特に必要ではない (10)
4	No. 1 の機能(装置)の導入コストは？ (選択肢から回答)	1. ~50万円 (82), 2. ~100万円 (14) 3. ~150万円 (1)	1. ~50万円 (38), 2. ~100万円 (7) 3. ~150万円 (0)

※ 回答数の多い順に4位まで記載。選択肢には他に「大豆・野菜の管理作業」「長芋掘りなどのトレンチャ作業」等を挙げた。

5. 遠目標・直進誘導技術の開発

上記の調査結果から新たに開発対象とした技術—明確な追従対象などがない最初の作業行程でトラクタを自動直進運転させる技術について検討を行った。自動直進運転の方法は、作業経路上の遠方に特徴のある目標を設置し、その目標をSIPSにより検出してトラクタを同目標へ直進誘導する方法を適用することとした。以下、この方法を「遠目標・直進誘導」という。

1) 遠目標とSIPSによる検出

遠目標・直進誘導に用いる遠目標には、屋外環境での日光や自動車のライトなどのノイズと区別できるものとして点滅するランプを用いることとした。ランプは、LEDを横8×縦25個配列して100×300mmの点灯面積を確保し、その点滅時間間隔はSIPSのTVカメラの撮像周期の2倍とした。この点滅ランプに黒色の背景板を設け、電源のDC12Vバッテリーと点滅用の回路とともにコンテナに納めて遠目標を製作した(図12)。

この点滅ランプのSIPSによる検出可能距離は100m以上を目標とし、検出のためのSIPS組込みソフトウェアを開発した。ランプの検出では、トラクタの揺動による画像位置の変化を補正する、現フレーム画像と前フレームの画像および前々フレームの画像との差分を取る、また、ランプ候補画素の位置や輝度の変化を過去に遡って「らしさ」の評価を行うなどの画像処理上の工夫を行い、

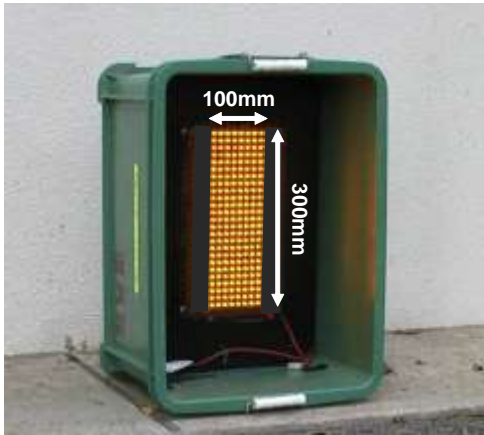


図 12 製作した遠目標（点滅ランプ）

ランプとその位置の検出を確実にできるようにした。開発した組込みソフトウェアの画像処理の流れを図 13 に示す。

2) 遠目標に向かう直進誘導とその性能

遠目標に向かう直進誘導は、ランプの画像上位置と予め設定したトラクタの正面方向との差に基づき、ランプ方向にトラクタ正面を向ける操舵制御により行い、100mの走行で直進経路に対する進行横方向偏差が 10cm 以下の自動直進が行えることを目標とした。

この誘導方法を車両システム WTS と CTS に適用して作業試験を行った。WTS によりロータリ耕を行った試験の結果（図 14）、約 220m 遠方のランプに向け、直進経路から約 20cm の膨らみはあったものの良好な直進誘導が行えた。CTS による直進畦塗り作業（図 15）では元畦の細かな凹凸を均す作業が行われたが、畦塗り時の作業抵抗により約 100m の作業で最大 20cm 程度の膨らみが残る作業結果となった。

他にも空走での試験や晴天下、曇天下での試験を行った結果、遠目標・直進誘導における SIPS のランプ検出距離は晴天下では目標の 100m を達成でき、曇天下や夕方ではランプの像の膨張により 400m 程度まで検出が可能であった。直進誘導の性能は、100m の走行で直進経路に対して横方向に 10~20cm の偏差=目標までの距離の 0.1~0.2% の横偏差が生じる程度であり、概ね良好な直進誘導を行うことができた。

3) 遠目標・直進誘導と自動追従運転を組み合わせた作業試験

最初の第 1 行程では遠目標・直進誘導による作業を行い、第 2 行程以降は前行程での作業跡や形成畝列に自動追従する作業試験を、WTS による水田プラウ耕と碎土ロータリ

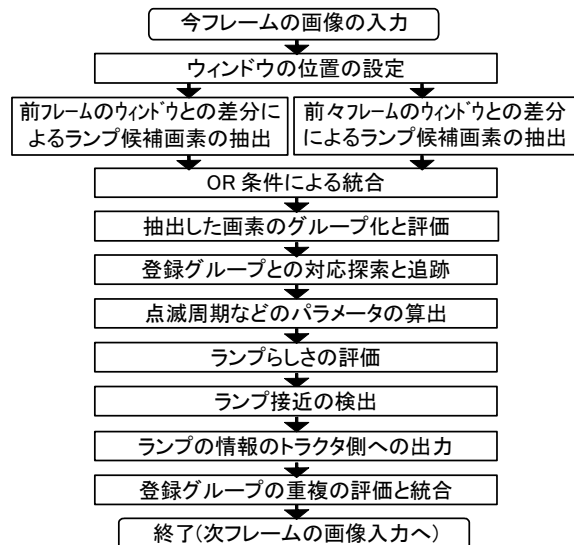


図 13 遠目標の検出ソフトウェアの流れ

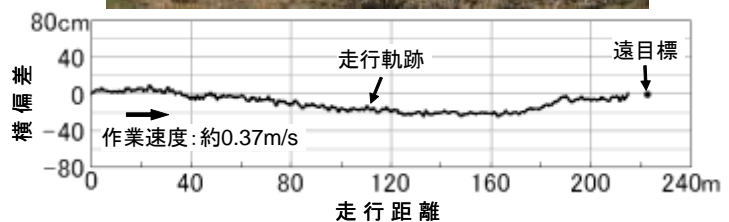


図 14 遠目標・直進誘導によるロータリ耕作業試験とその走行軌跡

耕、CTSによる畝立て作業により行った。

CTSによる畝立て作業試験の結果を図16に示す。いずれの作業試験でも、第1行程の直進精度は直進経路からの横偏差が20cm以下であり、第2行程以降の自動追従運転の精度は、追従対象行程との間隔の標準偏差が全行程で5cm以下であった。

この作業方法により、第1行程から「まっすぐ」で、「平行・等間隔」な往復作業を続けて履行することができる。



図15 遠目標・直進誘導による畦塗り作業試験

おわりに

以上、次世代緊プロの要素技術課題「農業機械運転支援技術の開発」の成果を報告した。5年間の開発により、トラクタにステレオ画像処理システムSIPSを搭載して、畝列や作物列、作業跡などの作業対象や目標に自動追従運転が行える技術、また、遠方に設置した目標に向かって自動直進運転が行える技術を開発することができた。

自動追従運転の技術は、自動車用SIPSの一部改造・適用が前提の技術であり、その自動車用SIPSは現在モデルチェンジがなされ、まもなく自動車への適用、普及が進められる予定である。従って、自動追従運転の技術については、その普及を待って実用化への取り組みを行うことになる。一方、自動直進運転の技術については、遠目標の検出を単眼カメラと画像処理によって行うことも可能であり、その実用化への展開に次年度から取り組む予定である。

最後に、研究・開発を進めるに当たり、井関農機(株)、富士重工業(株)、ヤンマー農機(株)および(社)日本農業機械化協会の関係諸氏、北海道大学大学院情報学研究科の金子俊一教授、東洋農機(株)の宮下行雄氏、帯広市の農家安田勝宏氏、音更町農業協同組合の松浦良一氏、音更町農業試験研究センターの日野春二氏に多大なご協力を頂いた。ここに記して、謝意を表す。

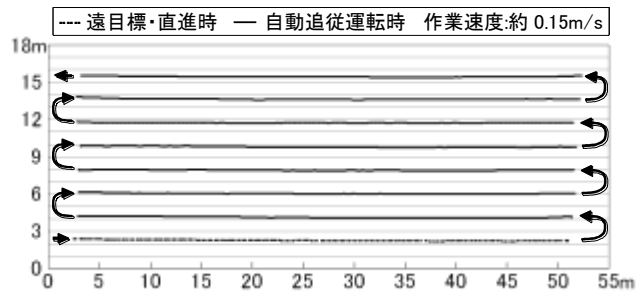


図16 遠目標・直進誘導と自動追従運転による畝立て作業試験とその作業軌跡

参考文献

- 1) 松尾ら：農用車両のメカトロ化・自動化のための要素技術、平成16年度生研センター研究報告会資料、2005
- 2) 塙ら：農業トラクタ用のステレオ画像装置の開発、画像ラボ Vol. 18 No. 11、日本工業出版、2007
- 3) 塙ら：農用車両の運転支援用のステレオ画像処理手法の研究、電気学会論文誌C Vol. 127 No. 4、2007

環境保全型汎用薬液散布装置の開発

特別研究チーム（ドリフト）	宮原佳彦、牧野英二、臼井善彦、安食恵治、 市来秀之、吉永慶太
生産システム研究部	杉山隆夫、大西明日見、 市川友彦（現退職）、鈴木理敏（現退職）
園芸工学研究部	久保田興太郎、藤岡修（現企画部）
共同研究実施会社	（株）共立、（株）丸山製作所、ヤマホ工業（株）

はじめに	30
1. 研究のねらい	30
1) 研究の背景	30
2) 開発目標	30
2. 開発機の構造および特徴	31
1) 開発した機械・装置の構成	31
2) ドリフト低減型ノズル	31
(1) ノズルの構造および主な仕様	
(2) 付着性能	
(3) ドリフト低減効果	
(4) 作業被爆低減効果	
(5) 防除効果	
3) トラクタ搭載式散布装置	36
(1) 開発機の構造および主な仕様	
(2) 作業性能	
4) 乗用管理機搭載式散布装置	37
(1) 開発機の構造および主な仕様	
(2) 作業性能	
5) 作業履歴情報記録装置	38
(1) 開発装置の構造および主な仕様	
(2) 開発装置の機能確認	
3. 開発成果の活用面と留意点	39
おわりに	39
参考文献	39

はじめに

農業生産の現場においては、農薬の適正かつ安全な使用の徹底とともに、農薬散布時の飛散（すなわち、「ドリフト」）の防止が強く求められている。平成18年5月からポジティブリスト制が施行されたことにより、近接して栽培される他作物等にドリフトにより農薬成分が付着した場合に、残留基準値の超過の可能性があると考えられている。このため、国や都道府県等の農薬および防除機に関係する公的機関を中心に、ポジティブリスト制施行前後から、ドリフトの実態調査やその防止や抑制に係わる試験研究が精力的に行われてきた。その結果、これまでに得られた成果を基に策定された農作業現場におけるドリフト防止対策が徐々に現場においても実行に移されつつある¹⁾。

当生研センターでは、このような状況を踏まえて、本研究課題である「環境保全型汎用薬液散布装置の開発」を次世代農業機械等緊急開発事業の下で平成15年度から実施してきた。特に、ポジティブリスト制の施行を2ヶ月後に控えた2006年3月には、ドリフト対策の必要性や緊急性を踏まえて、本課題の成果を活かした「ドリフト低減型ノズル」の実用化を図った。同ノズルは、主要防除機メーカーより市販化され、現在普及が進んでおり、ドリフト防止対策の一助になっている。本課題では、その後もドリフト低減型ノズルの改良、同ノズルを標準で装備した散布装置ならびに作業履歴情報を容易に記録・保存する装置等の開発を進めてきたが今回最終年度を迎えた。そこで、本稿では、これまでの研究開発の成果について取りまとめ、ここに報告するものである。

1. 研究のねらい

1) 研究の背景

農薬散布時のドリフトの実態調査によれば、現行のブームスプレーヤーやスピードスプレーヤーによる散布作業において、ほ場境界から数m～十数mの範囲に農薬成分の落下・付着（すなわち、ドリフト）した事例が報告されている¹⁾。一方、ポジティブリスト制度の下では、国内外に採用し得る残留基準値がない農薬成分に対しては0.01ppmが基準値として採用される（一律基準）。そして両者の関係からは、ドリフトした農薬分量は条件により一律基準を超過し得ることが示唆される。すなわち、ほ場内で使用方法等に十分配慮した農薬散布を行っても、現状の散布機を使用している場合は、ほ場に近接して栽培されている他作物に対してドリフトに起因する残留基準超過が生ずる可能性は否定できない。したがって、農薬を使用する農業現場においては、ドリフトに起因する危被害を回避するために、ドリフト防止対策がもはや不可欠となっている。

このような状況を踏まえて、生研センターでは、防除機等の開発・改良研究を進める公的研究機関としての責務を果たすため、農薬散布時のドリフトを低減する技術あるいは機械・装置の開発に積極的に取り組むこととし、その具体的な取り組みの一つとして本研究を実施した。

2) 開発目標

水田作、畑作等で汎用的に利用できる防除機として、今後の普及拡大が期待される乗用管理機、あるいは、畑作、野菜作等で高性能化や大型化が必要とされるトラクタ搭載式ブームスプレーヤーなどは、先のドリフト実態調査の結果等から見て、ドリフト防止対策の必要性が高い防除機の一

つと考えられる。そこで、本研究では、トラクタまたは乗用管理機（水田用、野菜栽培管理ビークル等）に搭載する方式で、ドリフトおよび作業被曝を低減しつつ、効率的な散布作業が可能な薬液散布装置を開発することを目的とした。

2. 開発機の構造および特徴

1) 開発した機械・装置の構成

本研究課題で開発した機械・装置を大まかに整理すると表1に示すように、①ドリフト低減型ノズル、②トラクタ搭載式散布装置、③乗用管理機搭載式散布装置、④作業履歴情報記録装置の4種類となる。次項以降では、それらの構造および特徴等について説明する。

表1 環境保全型汎用薬液散布装置の構成

開発した機械・装置	機能・特徴
ドリフト低減型ノズル	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリフトを大幅に低減、作業被曝低減効果あり ・慣行並みの防除効果、慣行と同等の作業能率 ・一般のブームスプレーヤに装着可能
トラクタ搭載式散布装置	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリフト低減型ノズルを標準装備 ・ドリフト低減型ノズル使用時に作業速度に連動して定量散布が可能（作業速度連動装置） ・作業履歴情報記録装置を搭載
乗用管理機搭載式散布装置	<ul style="list-style-type: none"> ・ドリフト低減型ノズルを標準装備 ・ドリフト低減型ノズル使用時に作業速度に連動して定量散布が可能（作業速度連動装置） ・作業履歴情報記録装置を搭載 ・ドリフト低減型ノズルの付着性能を向上させるブーム機構
作業履歴情報記録装置	<ul style="list-style-type: none"> ・散布開始から終了まで、実散布量等の情報を自動保存 ・一般のブームスプレーヤにも装着可能（流量センサ等が別途必要）

2) ドリフト低減型ノズル

(1) ノズルの構造および主な仕様

液剤散布機等においては、噴霧粒径がドリフト発生の最大要因とされ、ドリフト防止および低減のためには100 μ m以下の粒子を極力発生させないことが効果的と考えられる。既存のブームスプレーヤで使用されている標準的なノズル（以下「慣行ノズル」という。）は、噴霧平均粒径（体積中位径、Volume Median Diameter、VMD）は60～80 μ m程度であり、粒径100 μ m以下の粒子体積割合は65～90%程度となっている（表1）。そこで、慣行ノズルと同じ圧力で同程度の噴霧量が得られ、100 μ mよりも十分大きい噴霧粒子を発生することにより、慣行ノズルに比べて大幅にドリフトを低減しつつ、殺菌剤や殺虫剤等の薬液散布による防除作業に適したノズル、すなわち「ドリフト低減型ノズル」の開発を行った。表2に開発したドリフト低減型ノズルの外観と主な仕様を示す。

表2 開発したドリフト低減型ノズルの主な仕様

種類	Ⅱ型(φ 0.8)	Ⅲ型(φ 0.8)	(参考) 慣行(コーン) (φ 1.3)
		 (平成18年3月市販化:「緊プロDL」)	
装着可能散布機	トラクタまたは乗用管理機搭載式ブームスプレーヤ(ノズル取付間隔30cm)		
装着部の規格(管用ネジ)	W20, SW13.8(アダプタ付加)		W20
噴霧形状	扇形	扇形(2頭口)	中空円錐形
噴霧角(2頭口間の角度)	100度	100度(45度)	80度
噴霧生成方式	空気混入	空気混入(2頭口)	空気非混入
噴霧圧力(常用) (MPa)	1.0~2.0		1.0~2.0
噴霧量(常用) (L/min)	0.8~1.2		0.8~1.2
粒径 (体積中位径:VMD) (μm)	240~330	前側(細):190~300 後側(粗):250~360	60~80
100μm以下体積割合 (%)	5~15	前側(細):3~8 後側(粗):5~11	65~90
散布量(適応範囲) (L/10a)	75(作業速度0.7m/s)~300(同0.2m/s)		

ドリフト低減型ノズルⅡ型は、空気混入式噴霧生成機構を内装した単頭ノズル（噴霧パターンは扇形）であり、粒径は慣行の3~4倍、100μm以下の粒子割合は慣行の1/4~1/10程度であるが、常用圧力、噴霧量等は慣行ノズルとほぼ同等であり、試作散布装置だけでなく、既存の国産トラクタ搭載式および乗用管理機搭載式ブームスプレーヤに装着可能な仕様である。同ノズルについては、平成17年度中に基本性能の把握を概ね完了していたが、翌年5月のポジティブリストの施行を控えて、農業現場における積極的なドリフト防止対策に寄与できると判断されたことから、平成18年初頭に実用化され、同年3月初旬よりノズルメーカーおよび主要防除機メーカーより市販された。その後、現在までに約34万個が製造され主に北海道を中心に普及が進んでいる。

一方、ドリフト低減型ノズルⅢ型は、空気混入式噴霧生成機構を内装したY型2頭口ノズルであり、ノズル中心から進行方向前方および後方にそれぞれ扇形の噴霧パターンで噴霧する方式（2頭口の成す角度は45度）である。同ノズルは、2つの噴口を総合すれば噴霧粒径及び100μm以下の粒子割合は概ねⅡ型と同程度であるが、前方への噴霧粒子は後方よりもやや細かい仕様である。これは、やや細かい粒子を前方の噴口から発生して作物体への付着性能を高めるとともに、ドリフトしにくい粗い粒子を後方の噴口から噴霧することにより、ドリフト低減効果も発揮させることを意図した構造である。同ノズルもⅡ型と同様に、常用圧力、噴霧量等は慣行ノズルとほぼ同等であり、試作散布装置だけでなく、既存の国産トラクタ搭載式および乗用管理機搭載式ブームスプレーヤに装着可能な仕様である。

(2) 付着性能

開発したノズルの付着性能を把握するため、以下の方法で付着性能試験を実施した。

- ① 供試ほ場：群馬県農業技術センター・高冷地野菜研究センター・キャベツ栽培ほ場（30m×21m）内に次項のような試験区を設けた。

- ② 供試機：ドリフト低減型ノズルⅡ型（平成18年3月緊プロ市販化、以下「緊プロDL」）、同Ⅲ型、慣行ノズル（中空円錐形噴霧、以下「慣行」）の3種類のノズルをトラクタ搭載式ブームスプレーヤ（最大散布幅15m）に装着し、所定の設定で清水を散布した（図1）。



図1 防除効果試験ほ場における散布状況（群馬高冷地セ、平成19年8月）

- ③ 付着性能の評価：試験区内のキャベツ3株を選定し、各株の近傍で地上10cmから株上端までの高さ3段階（上部、中央、下部）に水平・表裏と垂直・内側（散布機本体側の面）と外側向き（本体と反対側向きの面）に感水紙（76×26mm）を設置し、付着測定点とした。散布後、測定点から回収した感水紙を標準付着度指標²⁾に基づいて指数化し、集計した。
- ④ 試験結果を表2に示す。

表2 キャベツほ場における付着試験結果

供試ノズル	散布量 L/10a	風向	風速 m/s	感水紙面の設置方向及び高さ別の付着度指数 ¹⁾												指数 合計
				水平・上面			水平・下面			垂直・内側 ²⁾			垂直・外側 ²⁾			
				上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
緊プロDL	200	追	1.2	9.7	8.7	7.0	1.3	1.0	1.3	3.3	2.0	1.7	4.7	2.7	2.3	45.7
Ⅲ型	200	追	1.2	10	10	9.0	1.3	1.0	1.0	7.0	3.3	2.7	5.3	3.3	2.3	56.2
	150	向	1.2	9.3	9.0	5.0	1.0	1.0	1.0	5.3	2.3	2.3	4.0	2.0	1.7	43.9
慣行	200	追	1.3	10	10	9.7	1.3	1.3	1.0	9.0	3.3	2.7	4.7	5.3	3.0	61.3

注1)各試験区における調査株(3箇所)の平均値、2)内側:散布機本体側向きの面、外側:本体と反対向きの面

3)付着の評価(色分け): 指数5以上 指数4~3 指数2以下

散布量200L/10aの場合、Ⅲ型ノズルは、作物の上部から下部の水平・上面への付着は指数9以上あり、慣行ノズルと同程度の付着であった。また、水平・下面の付着はいずれの高さも指数2未満であったが、他ノズルも同程度で大きな差は無かった。一方、垂直面は、Ⅲ型では上部の内・外両面で指数5以上であったが、緊プロDLは両面とも5未満となった。以上から、Ⅲ型は緊プロDLに比べて、作物上部の水平・上面と垂直内面および外面への付着向上が認められた。なお、Ⅲ型で散布量150L/10aの場合も、作物の上部および中央の水平・上面への付着は指数8以上となり、散布量が少ない条件でもある程度の付着確保は可能と推察された。

(3) ドリフト低減効果

開発したノズルのドリフト低減効果を把握するため、以下の方法により、ドリフト低減効果試験を実施した。なお、供試ほ場および供試機は前記の付着性能試験と同一である。

- ① ドリフト測定点：風下側試験区境界から距離3～20m地点（同距離毎に5 m間隔で3列）の地表面に感水紙（76×52mm）を水平に設置し、散布後回収した感水紙上の付着液斑被覆面積率をイメージスキャナとPC（画像解析ソフト稼働）³⁾を用いて測定した。
- ② ドリフト低減効果試験結果：図3に示すように、緊プロDLノズルおよびⅢ型を散布量200L/10a、追風1～2 m/s程度の条件下で用いた場合、風下3～20mに設置した感水紙上の液斑被覆面積率でドリフト程度を比較すると、慣行ノズルを用いた場合に比べて1/10程度に抑制されることが確認された。なお、散布量150L/10a（200L/10aから25%減）とすると当然ながらドリフトはさらに抑制傾向を示す。

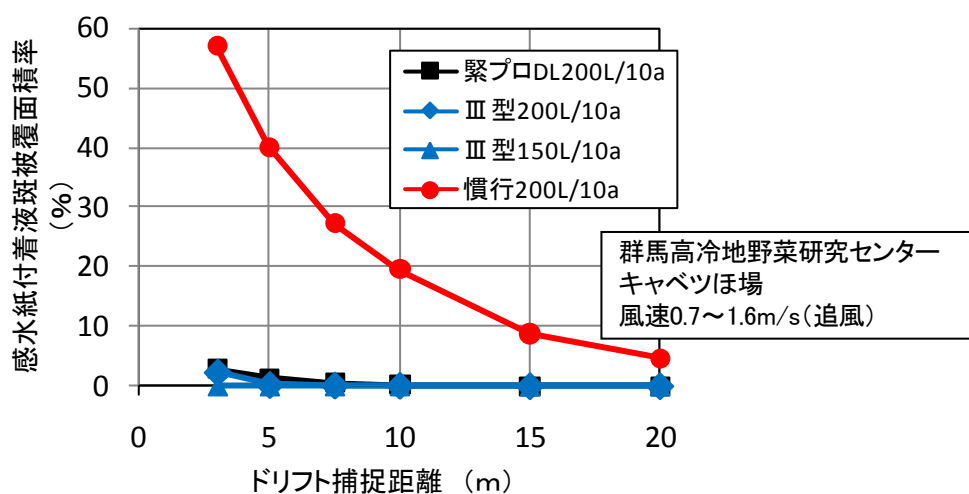


図3 ドリフト低減効果試験結果

(4) 作業員被曝低減効果

開発したノズルの作業員被曝低減効果を把握するため、以下の方法により、供試トラクタ・キャビンへの薬液被曝程度を調査した。供試ほ場および供試機は前記の付着性能試験と同一である。

- ① 調査方法：ドリフト低減効果試験の試験区への散布直前に、供試トラクタ（ドリフト低減効果試験の供試ブームスプレーヤを搭載）キャビンの背面ガラス中央、左ドア上方、右ドア上方（オペレータの頭の高さ付近）、左ドア下方、右ドア下方（オペレータのひざの高さ相当）の計5箇所感水紙（76×26mm）を貼付し、散布が終了した後、回収した感水紙への付着液斑の被覆面積率を測定し³⁾、評価した。
- ② 調査結果：供試トラクタのキャビンへの薬液付着状況（感水紙付着液斑被覆面積率）は、緊プロDLおよびⅢ型ノズルで0.1%以下となり、慣行（右ドア上0.6%）の1/6に抑制された（表3）。

表3 供試トラクタ・キャビンへの薬液付着状況

供試ノズル (散布量)	感水紙被覆面積率(%)				
	背面中央	左ドア上	左ドア下	右ドア上	右ドア下
緊プロDL (200L/10a)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Ⅲ型 (200L/10a)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ⅲ型 (150L/10a)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
慣行 (200L/10a)	0.1	0.1	0.0	0.6	0.0



図4 供試boomスプレーヤ
(片boom式：本体右側に延長)

(5) 防除効果

開発したノズルを薬剤散布に用いた場合の防除効果を把握するため、以下の方法で防除効果試験を実施した。

- ① 供試ほ場および作物：長野県農業総合試験場（長野市）内ハクサイほ場（品種「CR清雅65」、定植9/4、試験区5m×10m/区、反復なし）
- ② 散布日および使用薬剤：表4に示す日程で、同表の薬剤を各試験区に散布した。

表4 ハクサイ体系防除試験における散布日および使用薬剤

散布日	9/4	9/26	10/3	10/10	10/16	10/24
散布薬剤	ガゼット粒剤 (苗箱施用)	アフーム乳 剤 2000倍	スピノエース 顆粒水和剤 5000倍	コテツフロア ブル 2000倍	アフーム乳 剤 2000倍	スピノエース 顆粒水和剤 5000倍

- ③ 供試機およびノズル：前記の付着性能試験と同一とした。
- ④ 散布条件：散布量300L/10a（Ⅲ型及び慣行ノズルでは200L/10a区も設定）。
- ⑤ 防除効果の調査：収穫時（11/9）に各試験内の100株について被害度を調査し、集計した。
- ⑥ 試験結果：緊プロDLおよびⅢ型ノズルの防除効果は、慣行散布量300L/10aにおいて慣行ノズルと概ね同等と考えられた。また、散布量200L/10a区（慣行散布量30%減）でもほぼ同等の効果が示され、散布量低減の可能性が示唆された（表5）。

表5 ハクサイの体系防除試験結果

試験区	散布量 (L/10a)	収穫時の害虫食害被害程度による評価		
		被害度 ¹⁾	防除価 ²⁾	可販率 ³⁾
緊プロDL	300	10.7	88.4	92
Ⅲ型	300	17.3	81.1	94
	200	17.7	80.7	96
慣行コーン	300	18.0	80.4	90
	200	15.7	82.9	94
無処理	-	91.7	0	9

注1) 被害度=100×(小×1+中×2+大×3)/(調査株数×3)、ここで、小=外葉に食害痕あり、中=結球葉に軽微な食害痕あり、大=結球内部に大きな食害痕あり、被害なし、の4段階から選択(長野農総試)、

2) 防除価=100-(試験区被害度/無処理区被害度×100)、大きいほど効果が高い(最大100)

3) 可販率: 現地基準で判定



⑦ 防除効果のまとめ：以上のように、緊プロDLおよびⅢ型ノズルは、概ね慣行と同等の防除効果が期待できることが確認された。また、小麦、ジャガイモ、タマネギの病害虫を対象に行った防除効果試験（平成18～19年度に北海道中央農試、十勝農試、北見農試で実施）では、慣行ノズル（カニ目2頭口、中空円錐形噴霧）と同一条件（薬剤の種類、希釈濃度、散布量）において、緊プロDLおよびⅢ型は概ね慣行と同等との傾向が得られた。今後も異なる条件下あるいは他の作物や病害虫に対する適応性や防除効果について引き続き検証が望まれる。

3) トラクタ搭載式散布装置

(1) 開発機の構造および主な仕様

開発した散布装置は、表6に示すように、乗用トラクタに搭載する方式の液剤散布装置（ブームスプレーヤ）であり、前記のドリフト低減型ノズルを標準で装備し、これを用いて所定の散布量となるよう噴霧量を作業速度に連動して制御する機能を備えている。

表6 トラクタ搭載式散布装置の概要

機 種	A機	B機
		
本機(機関出力)	トラクタ(45kW級以上)	同(65kW級以上)
薬液タンク容量	650L	800L
ブーム形式	片ブーム式(3段伸縮、180度旋回可能)	
散布幅(最大)	15.3m	15.9m
ブーム高さ	0.5～1.3m	0.5～2.5m
装着ノズル	ドリフト低減型ノズル(緊プロDL、Ⅲ型)、他1種	
散布量設定(L/10a)	自動 150、200、300、手動 75～300	
作業速度(速度連動)	0.20(300L/10a)～0.70m/s(150L/10a)	
その他の機能	作業履歴情報記録装置搭載可能	作業履歴情報記録装置を搭載(速度連動制御装置の流量検出部に接続)

(2) 作業性能

開発機はキャベツおよびハクサイほ場等において散布作業を行った結果、慣行と同等の付着性能および作業能率であった。また、同ほ場等において薬剤防除作業を行った結果、慣行と同等の防除効果が得られた。さらに、開発機を用いて作業を行う場合、ほ場の境界から距離3～20mに設置した感水紙液斑被覆面積率でドリフト程度を比較すると、散布量200L/10a、追風1～2m/sの条件で慣行ノズルを用いた既存機を使用する場合に比べて1/10程度に抑制可能であった。こ

の時、作業被曝は、感水紙液斑被覆面積率で慣行ノズルを用いた既存機に比べて約1/6に抑制された。

4) 乗用管理機搭載式散布装置

(1) 開発機の構造および主な仕様

開発した散布装置は、表7に示すように、水田内走行が可能なタイプの乗用管理機に搭載する方式の液剤散布装置（ブームスプレーヤ）であり、前記のドリフト低減型ノズルを標準で装備し、これを用いて所定の散布量となるよう噴霧量を作業速度に連動して制御する機能を備えている。

表7 乗用管理機搭載式散布装置の概要

機 種	C機	D機
本機(機関出力)	乗用管理機(13kW)	同(13kW)
薬液タンク容量	600L	500L
ブーム形式	両ブーム式(3分割、片側2段伸縮)	
散布幅(最大)	15.6m	
ブーム高さ	0.3~1.4m	0.5~1.3m
装着ノズル	ドリフト低減型ノズル(緊プロDL、Ⅲ型)*、他1種	
散布量設定(L/10a)	自動 25、75、100、手動 75~200	
作業速度(速度連動)	0.20(100L/10a)~0.70m/s(25L/10a)	
その他の機能	噴霧角度調節ブーム機構(最大角度前・後向き10°)、ブーム高さ300mm 作業履歴情報記録装置搭載可能	作業履歴情報記録装置を搭載(速度連動制御装置の流量検出部に接続)

(2) 作業性能

乗用管理機搭載式散布装置の付着性能を把握するため、乗用管理機搭載式散布装置C機を供試機として、同機の噴霧角度調節ブーム機構（噴霧前向き10°～後向き10°に変更可能な機構）を用いた付着性能試験を実施した（表7、C機）。供試ノズルは、緊プロDL、慣行（扇形噴霧、以下「慣行扇形」）の2種類である。供試ほ場は北海道空知郡南幌町農家の水稲栽培ほ場で、同ほ場内に40m×15m程度の散布区を設け、付着測定点は散布区内の稲3株の近傍とし、各測定点の地上10cmから穂までの高さ3段階（上部、中央、下部）のそれぞれ水平・表裏と垂直・内向き（供試機本体側向き）と外向き（ほ場外側向き）に感水紙（76×26mm）を固定した。付着程度の評価は、回収した感水紙への薬液付着液斑を標準付着度指標²⁾に基づいて指数化し、集計した。

表 8 乗用管理機搭載式散布装置（C機）の付着試験結果（散布量100L/10a）

使用ノズル (ブーム傾斜)	風向	風速 m/s	感水紙面の設置方向及び高さ別の付着度指数 ¹⁾											
			水平(上面)			水平(下面)			垂直(内側) ²⁾			垂直(外側) ²⁾		
			上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
緊 DL(なし)	横	1.1	10	10	9.3	1.0	1.0	1.0	4.7	4.0	4.3	6.3	3.7	1.7
緊 DL(前向き 10°)	横	1.1	10	10	9.7	1.0	1.3	1.0	7.7	4.3	3.3	5.3	4.3	3.0
緊 DL(後向き 10°)	横	1.0	9.7	9.3	9.0	0.7	2.0	2.3	7.0	3.3	2.3	9.0	5.7	3.7
慣行扇形(なし)	横	0.4	10	9.3	9.3	1.0	1.0	1.3	5.7	4.3	3.3	4.7	4.3	3.7

注1)各試験区における調査株(3箇所)の平均値、2)内側:散布機本体側向き面、外側:ブーム先端側向き面

3)付着の評価(色分け): 指数5以上 指数4~3 指数2以下

試験の結果を表8に示す。緊プロDLの稲株上部から下部の水平・上面への付着は慣行扇形と同じく指数9以上の良好な付着となった。また、水平・下面への付着はいずれの高さも指数3未満であったが、慣行扇形も同程度の付着であり、大きな差は無かった。一方、噴霧角度調節ブーム機構を用いて噴霧の方向を変更する場合、後向き10°の設定において、前向き10°および垂直(標準)に比べて、稲株上部および中央の垂直内・外側への付着が向上する傾向が認められた。

5) 作業履歴情報記録装置

(1) 開発装置の構造および主な仕様

開発した装置は、開発した散布装置（ブームスプレーヤ）の流量検出部に接続して、農薬散布作業時において、散布開始から終了まで、実散布量等の情報をUSBメモリにテキストデータとして自動的に収集・記録する装置である（図5）。同データは一般のPCに転送して利用できる。なお、流量センサ等が別途必要ではあるが、一般のブームスプレーヤにも装着は可能である。

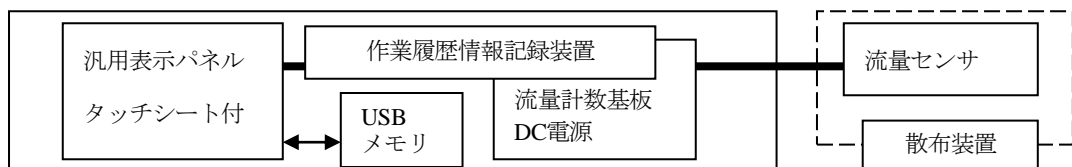


図5 作業履歴情報表示・記録装置の構成、外観および搭載状況

(2) 開発装置の機能確認

開発した作業履歴情報記録装置を乗用管理機搭載式散布装置に搭載し、前記付着試験ほ場において、清水を散布する模擬散布（散布量100L/10a、散布幅15.6m）を行い、装置の動作確認を行った（図5）。その結果、作業履歴情報記録装置は散布開始時から終了まで円滑に作動し、散布終了時には所定の情報が自動的に記録・保存された。この時のデータは、USBメモリに記録され、

同カードの読み書きが可能なスロットをもつPC上の集計ソフト等へ、データ（テキストファイル）を転送することが可能であった（図6）。

年月日	開始時間	終了時間	場所	薬種	風向	風力	散布量*
07/08/03	11:40	11:41	02	01	08	01	40.8
07/08/03	11:16	11:17	02	01	08	01	52.6
07/08/03	11:07	11:07	02	01	08	01	42.0
07/08/03	10:22	10:24	02	01	08	01	55.2
07/08/02	15:03	15:05	02	01	05	03	44.3
07/08/02	14:46	14:47	02	01	05	03	42.4
07/08/02	14:28	14:29	02	01	05	03	55.5

注*) 散布開始から終了までの積算噴霧量(L)

図6 作業履歴情報記録装置2号機での作業履歴データ取得例（前記の付着性能試験時）

3. 開発成果の活用面と留意点

- ① 開発機を使用することにより、慣行と同等の散布作業を行いつつ、ドリフトによる近隣への危被害発生リスクを軽減できる。
- ② 開発した散布装置の作業速度連動装置は、本課題で開発したドリフト低減型ノズルを標準のノズルとしており、他のノズルでは散布量の制御精度は保証できない。なお、他のノズルの使用が必要な場合は、メーカー出荷の時点で初期設定を変更することで対応可能である。
- ③ 今回の開発機を使用する場合でも、風が強い条件あるいは散布地点から至近距離に別のほ場や栽培中の他の作物がある場合等には、ドリフトによる危被害防止のため、作業経路や散布計画・日程の変更、遮蔽物（シート、ネット等）の設置等の対策が求められる。

おわりに

以上、今回開発が完了したドリフト低減型ノズルⅢ型、トラクタ搭載式および乗用管理機搭載式散布装置ならびに作業履歴情報記録装置は、開発目標を達成したと判断された。今後は、開発機の作業性、現地適応性あるいは取扱性等について、複数の普及対象地域において評価を得る試験を実施する予定である。それらの試験を通じて得られた課題については、開発機に改良を加える等の対応を行い、早急に市販化へ移行する予定としている。

本研究の実施においては、共同研究実施会社、北海道中央農試、十勝農試、北見農試、群馬農技センター、長野農総試および（社）日植防等、各方面の方々に多大なるご協力を賜った。ここに改めて感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) (社)日本植物防疫協会：地上防除ドリフト対策マニュアル、2005
参照URL：<http://www.jppn.ne.jp/jpp/public/sanp.html>
- 2) 生研機構（現生研センター）：平成3年度事業報告、1991
- 3) 生研センター：平成19年度事業報告、2008

中山間地域対応型防除機の開発

生産システム研究部 牧野英二、宮原佳彦、臼井善彦、杉山隆夫、大西明日見、
市川友彦（現退職）、鈴木理敏（現退職）
共同研究実施会社 ヤンマー農機（株）、ニューデルタ工業（株）

はじめに	42
1. 中山間地域の調査	42
1) 調査方法	42
2) 調査結果	42
3) 調査のまとめ	44
2. 開発機の構造と特徴	46
1) 開発指針	46
2) 開発機の構造	46
3. 散布性能	47
1) 室内落下分布試験	47
2) 水田における落下分布試験	48
4. 作業負担および騒音	50
おわりに	50
参考文献	50

はじめに

中山間地域は、国土の約 70%、全耕地の約 40%を占めており、水源涵養、洪水の防止、土壌の侵食や崩壊の防止などの多面的役割は大きい。しかし、中山間地域では農業従事者の高齢化や労働力不足が深刻化しており、耕作放棄田が増加している。平地地域における水稲作の 10a あたりの作業労働時間は全国平均で年間 30 時間を下回っているが、中山間地域では小区画で不定形な水田が多いことなどの諸条件により機械導入が困難な場合や、効率的な機械作業ができない場合が多いため、水稲作の 10a あたりの作業労働時間は年間 80 時間を上回るとの調査事例もある。そのため、農作業の省力化、軽労化および安全性の向上、作業環境の改善のため中山間地域農業に対応した機械開発が要望されている。そうした要望に応じて、次世代農業機械等緊急開発事業（以下、「次世代緊プロ」という。）において、中山間地域の水稲作における農薬散布作業の省力化を図るため、小区画・不定形ほ場の畦畔上を走行あるいは歩行しながら農薬散布作業を行うことができる小型・軽量の粒剤散布機の開発をヤンマー農機（株）、ニューデルタ工業（株）と共同で行った。本報では、中山間地域における水稲栽培管理作業、特に病虫害防除や水田内および畦畔の雑草管理等の実態調査と、開発機の構造ならびに性能などについて報告する。

1. 中山間地域の調査

開発を進めるにあたり、まず、中山間地域における水稲栽培管理作業について、とくに小型粒剤散布機の開発に必要と考えられる、病虫害防除、水田内および畦畔の雑草管理に関わる事項を中心として、現地調査を実施した。

1) 調査方法

中山間地域における現地調査を以下のように行った。

- ① 調査対象：中山間地域における水稲栽培農家および生産者組合
- ② 主な調査場所：新潟県小国町および新潟県川西町
- ③ 調査時期：平成 15 年 12 月 12 日～13 日
- ④ 調査方法：現地営農指導担当者および農家（オペレータ等）からの聞き取り。
- ⑤ 調査項目：経営概要、ほ場立地条件、作業環境、各種管理作業用機械の性能、取扱性、耐久性、高付加価値米生産への取組状況、その他農業機械による作業上の問題点、要望事項など。

2) 調査結果

(1) 新潟県小国町

水田面積が約 1100ha（水稲 800ha、転作大豆 300ha）で、そのうち 300ha が中山間地域である。また、65 歳以上の人口割合が 30%を超え、高齢化が進んでいた。ほ場について、平地地域は 1ha 区画に整備されているのに対して、中山間地域は一筆が 7～10a 程度であり、不定形な水田も多い。

また、畦畔のほとんどが土羽であった。病虫害防除は、育苗箱施用剤によって初期防除（いもち病）を行っている。中期防除は、平地地域での航空散布利用に対し中山間地域は背負形動力散布機で行うが、重労働のため行わない（あるいは行えない）場合があるとのことであった。雑草管理は、平地地域、中山間地域ともに初期防除はフロワブル剤の散布で、中期防除は背負形動力散布機や前掛式散粒機などによる粒剤散布を行っている。また、中山間地域では刈払い機による畦畔の雑草管理が重労働で、そのことが原因で耕作放棄する場合もあるとのことであった。また、小国町の森光地区の水田は、平地地域 16ha に対し中山間地域も 16ha と両地域で同じ面積の水田が存在している。平地地域では、以前から生産組合が地区の作業受託を行っているとのことだったが、年々、中山間地域の農家からの委託が増加しており、今後さらに中山間地域からの委託が増加する見通しとのことだったが、平地地域で利用している現行の機械体系では、中山間地域における受託作業を効率的に実施することができないことが問題とのことであった。そのため、中山間地域で利用可能で、かつ効率的な機械体系を必要としており、その中でも、とくに防除作業の効率化が課題となっているとのことだった。森光地区における中山間地域と平地地域の機械利用についての比較を表 1 に示す。この表から防除作業が作業受託の課題となっていることが見て取れる。また法末地区(水田面積 30ha)では全体が中山間地域であり、65 歳以上が 70%を超えており、道路や水等の条件が不利であるため耕作放棄傾向が顕著とのことだった。

表 1 中山間地域の機械利用の一例（新潟県小国町森光地区）

		中山間地域	平地地域
水田面積(ha)		16ha（水稻、放棄地増加傾向）	16ha（水稻、一部転作大豆）
区画		約 7～10a 程度（不整形）	1ha(125m×80m)
機 械 体 系	耕うん	トラクタ 18.4kW 級（25PS 級）	トラクタ 29.4kW 級（40PS 級）
	施肥	手散布	ブロードキャスト、マニュアルレクタ
	田植え	歩行田植機（4 条）	乗用田植機（6 条）
	病虫害防除	背負形動力散布機	航空散布
	収穫	自脱コンバイン（3 条）	自脱コンバイン（4 条）
	乾燥調製	個人所有の乾燥・調製機	カントリーエレベータ

(2) 新潟県川西町

川西町では、水田面積の約 180ha のうち、約 100ha が中山間地域である。水田の多くが不定形田であり、この地域の畦畔のほとんどが土羽であった。病虫害防除は、育苗箱施用剤によって初期防除（いもち病）を行っている。中期防除は、前掛式散粒機や背負形動力散布機などによる粒剤や粉剤の散布を行っているが、作業負担が大きいとのことだった。雑草については、天水田のため降雪前に次年度の代かきまでを済ませる田も多いため、平地地域で行われる田植え直前の代かきによる抑草効果というものが期待できないために、雑草が多く発生する場合があるとのことだった。また、川西町の岩瀬地区では、生産組合が作業受託（オペレータ 3 名）を行っており、中山間地域対応の機械（クローラトラクタ、畦塗り機等）を導入しているとのことだった。平地地域に比べて中山間地域での受託作業で困難なこととして、水田区画が小さく作業能率が著しく悪いこと、収穫時期が平地地域より 1～2 週間遅れるため、平地地域のように共同乾燥施設の利用ができないため、乾燥調製が個人対応にならざるを得ないこと等が挙げられた。

3) 調査のまとめ

以上、中山間地域の水稲栽培農家の調査はあくまでも事例調査に過ぎないが、調査地のいずれも非常に高齢化が進み、耕作放棄傾向が顕著であった。中山間地域のほ場条件については、上記調査地の新潟県のほか、長野県、愛知県、大阪府、奈良県、鳥取県等においても調査を実施した。その結果、ほ場の大きさ、形状、傾斜の程度は、地域ごとに相違があり、例えば、畦畔についても土羽の地域もあれば、石垣の地域もあった。ほ場の幅も、約 2～15m 程度と変化しており、中山間地域の水田の多様性が明らかになった。また、中山間地域の農業生産を継続するために、生産組合が作業受託に取り組んでいる地区が多いが、小区画で不定形であるということ等の理由で、平地地域に比べて効率的な機械作業ができないという場合が多かった。特に防除作業は、水田の中を歩行して薬剤散布することが多く、中山間地域のように分散している小区画不定形水田においては特に作業負担が大きいものとなっているため、中山間地域に対応した効率的な機械開発が要望されていた。



図 1 中山間地域の水田（左：鳥取県岩美町、右：長野県福島町）



図2 中山間地機の水田（左：幅が変化する水田の例、右：畦畔の例）



図3 前掛式散粒機による粒剤散布作業



図4 背負形動力散布機による粒剤散布作業



図5 背負形動力散布機による粉剤散布作業

2. 開発機の構造と特徴

1) 開発指針

中間地域の現地調査結果を踏まえて、以下の開発指針を設定した。

- ① 小区画・不定形ほ場の畦畔上から安定かつ作業負担の少ない姿勢で散布できる小型・軽量の散布機であること。
- ② 小区画・不定形ほ場に対応し作業中でも散布幅の調整が容易であること。
- ③ 中山間地域の作業条件の多様性を考慮して、「自走式」の方式と、「携帯式」の2方式で使用できること。
- ④ 騒音や振動を低減するため、送風機のない構造とすること。

2) 開発機の構造

開発機の主要諸元と概要を、それぞれ表2、図6に示す。

開発機は、歩行用の自走式走行部に粒剤散布装置を搭載した電動の粒剤散布機である。縦置きにした6枚の羽根を有する円板を高速回転させ、遠心力で粒剤を散布するスピナ式散布機構の回転速度と吐出量を連動して制御するため、畦畔上を歩行しながら手元ダイヤルで散布幅を調節することで、小区画・不定形水田の幅に合わせた粒剤散布作業を行うことができる。散布方向は左右に切り替えることができる。また、畦畔上からの散布を基本とすることで水田内の歩行作業の頻度を低減できるため、作業負担を軽減できる。また、自走が困難な畦畔上からの散布や幅の広い水田での補助散布を行う際に、散布部を走行部から分離して携帯用の粒剤散布機としても利用可能である(図7)。また、開発機は、エンジンや送風機がないため、小型・軽量で排気ガスもなく、低騒音である。さらに、電動の自走式走行部は、運搬車としても利用可能な構造とした(図8)。

表2 主要諸元

機体	寸法	全長925mm×全幅575×全高950mm
	質量	30kg（散布部のみ3.5kg）
走行部	モータ	直流モータ（40W）
	動力伝達方式	チェーン（前進2駆、後進1駆）
	走行速度	0.2~0.5m/s（散布時標準0.4m/s）
	電源	自動車用鉛蓄電池（12V）
散布部	モータ	直流モータ（13W）
	散布方式	スピナ式散布機構
	散布幅調整	手元ダイヤルによる
	散布方向	片側、左右切替式
	送粒方式	自然落下式
	調量方式	繰出しローラ回転速度制御式
	薬剤タンク容量	3.2L
	吐出量	最大0.25kg/min（1キロ粒剤散布時） 最大0.54kg/min（3キロ粒剤散布時）
	最大散布幅	最大7.5m（1キロ粒剤散布時） 最大6.0m（3キロ粒剤散布時）
電源	アルカリ乾電池単1形（1.5V×6ヶ）	



図6 開発機



図7 取り外し可能な散布部



図8 運搬車として利用

3. 散布性能

1) 室内落下分布試験

開発機を供試して、室内の無風条件下で散布作業を行い、落下分布を調査した。試験は、屋内実験室の床面に回収箱（長さ1m×幅0.3m）を横向きに30個並べ、開発機の散布幅を調整する手元ダイヤル目盛を、「遠」、「中」、「近」の3段階でそれぞれ、実際に1キロ粒剤白試料および3キロ粒剤白試料を3回散布した。それぞれの試験区において、散布後に各回収箱から散布された粒剤を回収し、その質量を計測して平均落下量に対する比によって落下分布を測定した（日時：平成19年8月7日、場所：生研センター散布実験棟）。なお、有効到達距離を仮に平均落下量の25%以上が回収された箱の最遠位置とし、その範囲における変動係数＝（落下量の標準偏差÷平均落下量×100）を算出して評価した。

1キロ剤散布時の試験結果を図9に、3キロ剤散布時の試験結果を図10に示す。前述した方法で求めた有効到達距離／変動係数は、1キロ剤散布時に「近」「中」「遠」でそれぞれ3.4m/43、5.2m/41、7.7m/53で、3キロ剤散布時に「近」「中」「遠」でそれぞれ3.3m/63、5.2m/58、5.3m/66であった。3キロ剤は1キロ剤に比べてやや到達距離が短くなるものの、1キロ剤と同様に、

散布幅の調整が可能であり、またそのときの分布も均一であった。

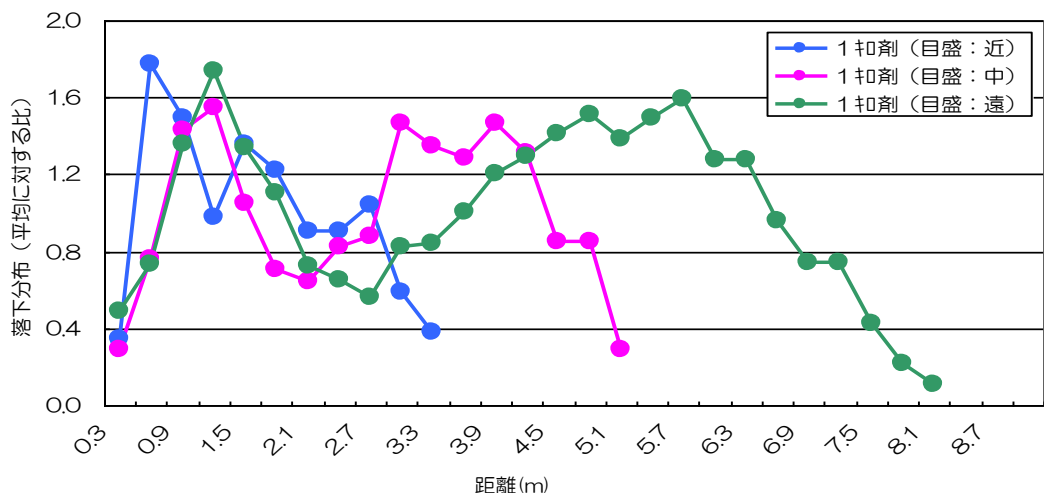


図9 落下分布（1キロ剤散布）

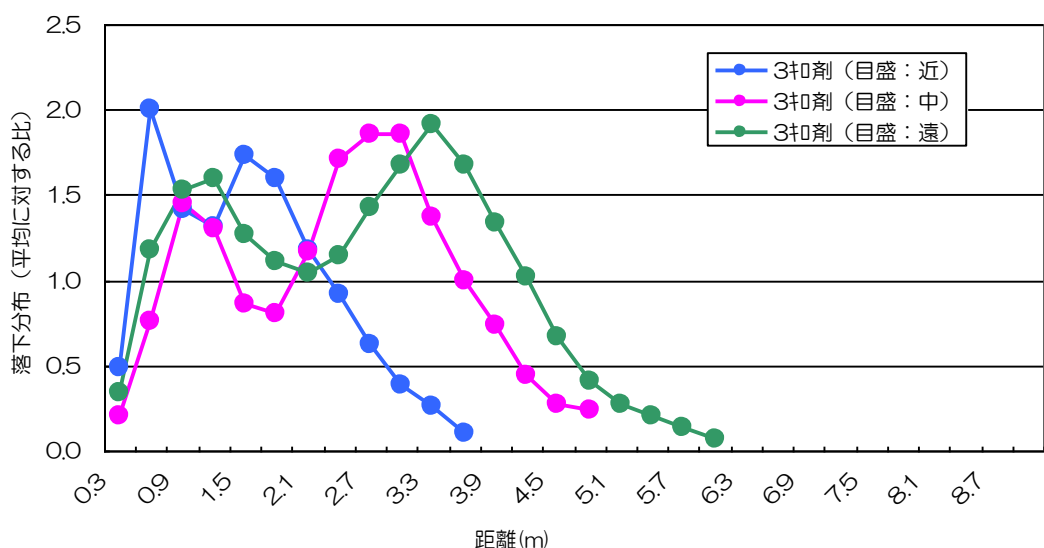


図10 落下分布（3キロ剤散布）

2) 水田における落下分布試験

畦畔から水田内に 50cm 間隔で容器を並べ、1 キロ粒剤白試料及び3 キロ粒剤白試料を散布して各容器への落下量を計測した。対照機は、市販の電動前掛式散粒機（K社製）とした。開発機は畦畔から歩行散布と、散布部を携帯しての携帯散布を想定し、対照機は水田内の歩行散布を想定して試験を行った（図 11）。開発機の散布幅設定は手元付近のダイヤルで容易に調整可能であり、今回は目盛 1 と目盛 6 のときの落下分布を調査した。対照機は「狭」と「広」の 2 段階のガイド設定で散布した（場所：長野県農業総合試験場水田、日時：平成 19 年 11 月 12 日～11 月 14 日）。なお、各容器への落下量は 10a 当り散布量に換算し、散布性能評価値として最大到達距離および落下量の変動係数を求めた。変動係数は、設定散布量の 25%以上が回収された範囲で、変動係数＝落下量の標準偏差÷平均落下量×100 とした。



(A) 開発機（歩行散布）

(B) 開発機（携帯散布）

(C) 対照機

図 11 散布性能試験風景

散布性能試験結果を表 3、図 12 に示す。作業速度 0.3~0.4m/s で、風速は開発機で 1.0m 以下、対照機で 1.8~2.0m/s であった。おおむね追風の試験条件下において、開発機の最大到達距離は 1 キロ粒剤で 6.0~11.0m、3 キロ粒剤で 6.0~9.0m であり、変動係数は 34.4~52.4 であった。また、対照機は最大到達距離が 10m 程度で、散布幅調整ガイドの効果認められず、さらに変動係数が 75.4~100.4 と大きかった。開発機は対照機に比べて小区画・不定形水田での作業に適すると考えられた。

表 3 水田における落下分布試験結果

	散布幅設定	散布方向	1キロ粒剤				3キロ粒剤			
			作業速度 (m/s)	風向風速 (m/s)	最大到達距離 (m)	落下量の変動係数*	作業速度 (m/s)	風向風速 (m/s)	最大到達距離 (m)	落下量の変動係数*
開発機	近(目盛1)	右	0.38	横風、0.7	6.0	51.3	0.36	追風、1.3	6.0	34.4
	遠(目盛6)	右	0.33	横風、0.6	11.0	52.4	0.38	追風、1.2	9.0	45.2
対照機 (電動前掛式散粒機)	近(ガイド狭)	両側	0.35	追風、2.0	-3.5~7.0	100.4	0.35	追風、1.8	-3.0~7.0	83.7
	遠(ガイド広)	両側	0.39	追風、1.8	-3.0~7.0	75.4	0.36	追風、2.0	-3.0~7.0	76.0

※変動係数は、設定散布量の25%以上が回収された範囲で、変動係数=落下量の標準偏差÷平均落下量×100とした。

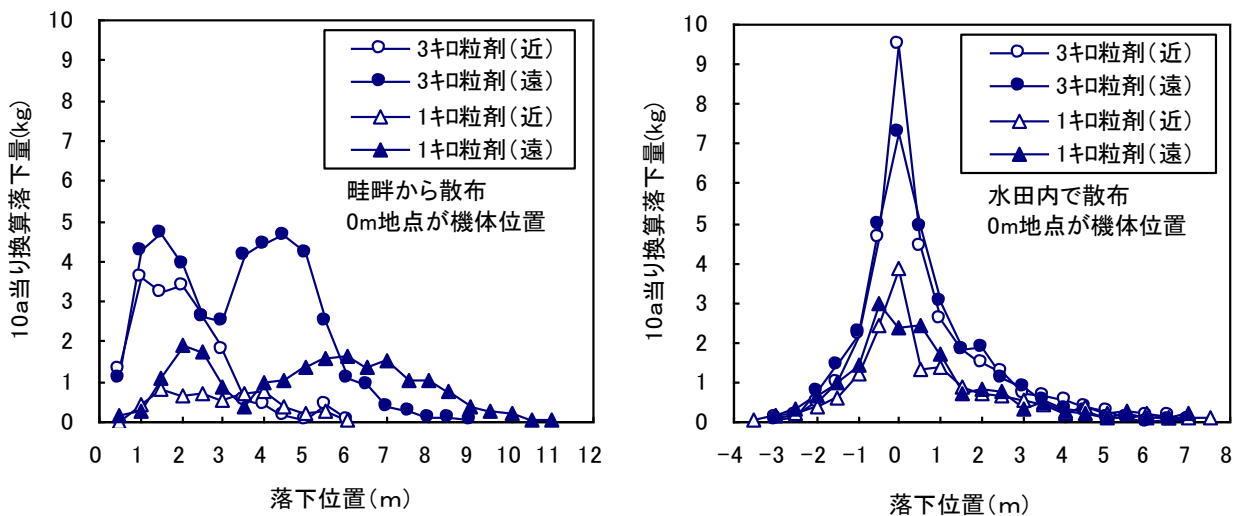


図 12 水田における落下分布試験結果（左：自走式、右：対照機）

4. 作業負担および騒音

畦畔歩行や水田内歩行による模擬散布作業（50mを2往復）時の作業者（20代男性4人）の心拍数増加率により作業負担を評価した。また、空転時の騒音を測定した。開発機は、自走が困難な畦畔上からの散布や幅の広い水田での補助散布を行う際に、散布部を走行部から分離して携帯用の粒剤散布機としても利用可能であるため、自走による歩行散布時と携帯散布時のそれぞれについて測定した。なお、対照機は、市販の電動前掛式散粒機（M社製）とした。

試験結果を、表4に示す。心拍数増加率は、畦畔歩行の模擬作業では開発機（歩行散布）：9～15%、開発機（携帯散布）：10～17%、対照機：14～23%であり軽作業に分類された。対照機はブリッジ防止のハンドル操作の影響で負担がやや大きかった。また、開発機（携帯散布）と対照機による水田内歩行作業は心拍数増加率が49～65と大きく、中～重作業と分類された。両側散布の対照機は、実際の作業では水田内歩行作業となる頻度が多いため、作業負担が大きくなると考えられた。騒音は、開発機（歩行散布）54～67 dB(A)、開発機（携帯散布）60～71 dB(A)と低騒音であった。

表4 作業負担試験結果（心拍数増加率：単位%）

想定作業	開発機		対照機
	歩行作業	携帯散布	
畦畔歩行作業	9～15（軽作業）	10～17（軽作業）	14～23（軽作業）
水田内歩行作業	—	49～65（中～重作業）	51～65（中～重作業）

心拍数増加率：0以上30未満（軽作業）、31以上60未満（中作業）、60以上（重作業）

おわりに

中山間地域ほ場への適応性および取扱性等をさらに改善して、より実用性の高いものにするために、次年度以降、開発促進評価試験において、中山間地域の現地農家ほ場において実際の散布作業を行い、さらなる改良を進め実用化を目指す予定である。

参考文献

- 1) 生研センター：平成15年度事業報告、2004
- 2) 生研センター：平成16年度事業報告、2005
- 3) 生研センター：平成17年度事業報告、2006
- 4) 生研センター：平成18年度事業報告、2007
- 5) 生研センター：平成19年度事業報告、2008

植付け苗量制御技術の開発

生産システム研究部 小西達也、大西明日見、杉山隆夫、
土屋史紀（現九州沖縄農研）、
市川友彦（現退職）
共同研究実施会社 井関農機（株）、（株）クボタ

はじめに	52
1. 研究のねらいと背景	52
2. 研究の経過	52
1) 技術の構成	52
2) 研究の流れ	53
3. 苗使用量センサ	53
4. 苗送り制御装置	54
1) 駆動部分	54
2) 制御装置	55
5. 試作機の性能	55
1) 試作機の諸元	56
2) 性能試験	56
6. 総合評価	57
1) 苗送り安定による植え過ぎ抑制効果	57
2) 欠株増加抑制効果	58
3) 収量に及ぼす影響	58
おわりに	58
参考文献	58

はじめに

稲作の低コスト化を図るにあたって、植付けに要する苗の量を減らすことは、種苗費の低減だけでなく育苗や運搬労力の節減の意味でも重要なである。これまで生研センターで進めてきた植付け苗量制御に関する研究の蓄積をもとに、参画メーカ2社との共同研究を実施した。これは田植機の苗載台において、残っている苗の量や質によらず、掻取り量が常に一定になるように、苗送りベルトの動きを制御する技術で、この技術により苗を過不足なく植付けられ、効率的な苗生産が可能になるとともに、必要な苗枚数を減らせるようになる。以下にこの研究の概要を報告する。

1. 研究のねらいと背景

通常の田植機では、苗載台に残った苗の量やマットの水分、根張り具合などによって、掻取り口に送られる苗の量が変化する傾向が見られる¹⁾。このため苗の減少に伴って植付けの途中から本数が減少して欠株が増え、こ

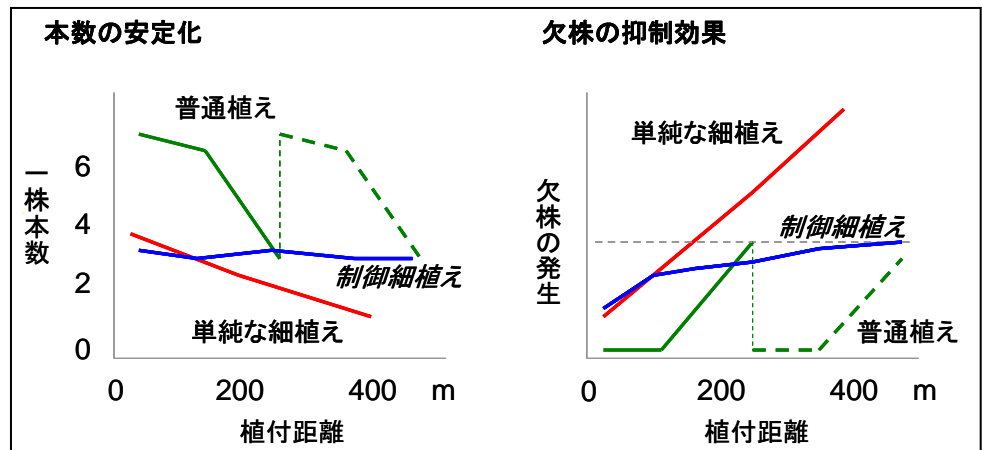


図1 苗量制御のねらい

れを避けるために植付け本数を少なく設定することができなかった。また、予定より多くの苗を消費したために苗が不足するなどの不都合も生じ、これに備えて余分の苗を準備する必要も生じていた。そこで稲作の省資材化の一環として、ほ場に植付ける苗の量を削減することを目的とし、苗載台上で送られる苗の量が一定になるように苗送り装置を制御する技術を開発した（図1）。

2. 研究の経過

この技術は苗載台を通して実際に使用された苗の量を検出して、常に設定された量だけ苗を植付けるように、苗送り機構を自動的に制御する技術である。

1) 技術の構成

苗の底部にあって、苗載台を通過してほ場に植付けられた苗の量（以下、「苗使用量」という。）を検出する苗使用量センサと、苗送りベルトの作動量を制御する苗送り制御機構、制御部からなっている（図2）。

苗使用量の検出は、苗載台の下方で、苗マット底部に

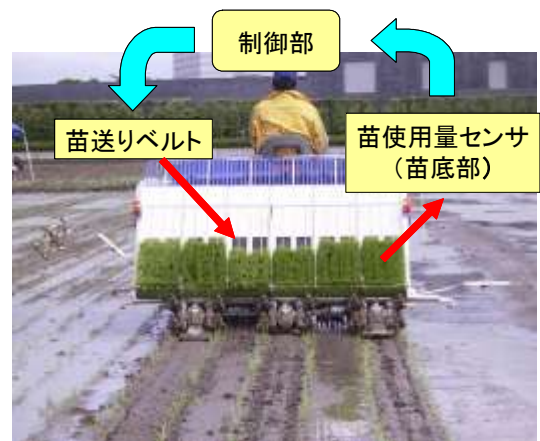


図2 技術の構成

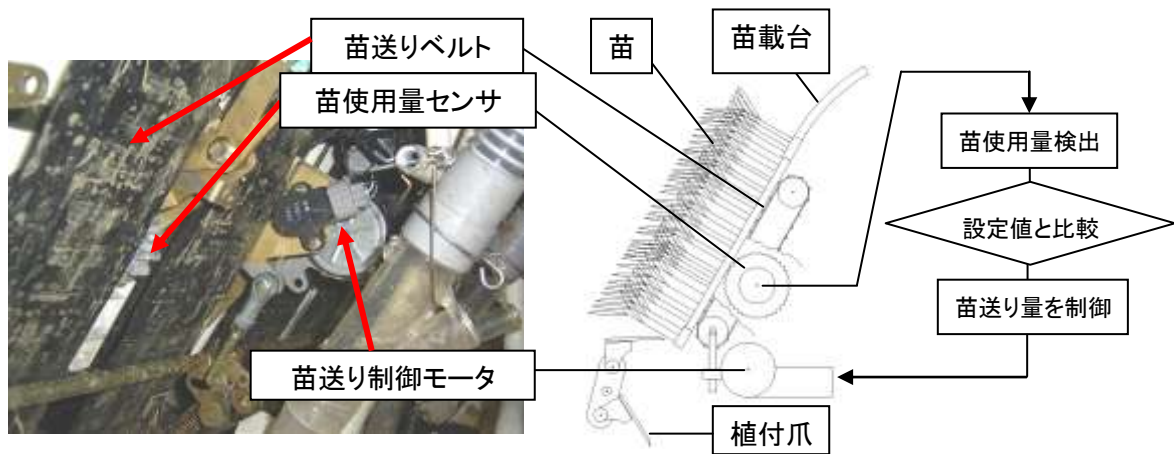


図3 制御のしくみ

向けてバネで押し付けた歯車状のローラをマットに接触させ、その回転をポテンシオメータ（A機）またはロータリエンコーダ（B機）で検出することにより行う。また、苗送りベルトは苗載台の横送り終端にて機械的に駆動されるが、掻取り量設定に連動して苗送り量が増減する通常の機構に加えて、苗送り制御モータでベルトの駆動量を変更できるようになっている。田植機に組み込まれたコントローラは、検出した苗使用量を予め設定された値と比較し、その差分に比例して苗送りベルトの作動量を増減させている（図3）。

2) 研究の流れ

市販田植機をベースとして、苗使用量検出と苗送り制御のための実験装置を試作し、順次これに改良を加えて研究を進めた。もとになったモデルは農機研式植付苗量制御システム²⁾である。苗使用量の検出法として光学式とレーザ式による非接触のものとロータリエンコーダやポテンシオメータによる接触式のもの、苗

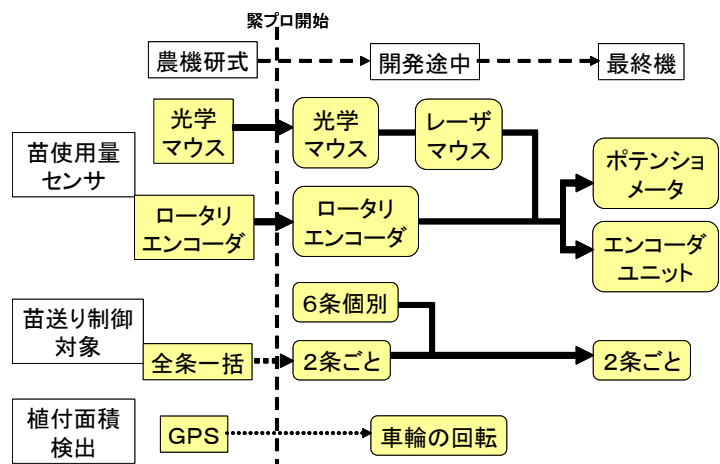


図4 研究の流れ

送り機構としてはモータによる各条駆動とメカによる2条ごとの駆動、苗送り量の制御法としてはモータ制御とメカ駆動+電動リンク制御による方式を、それぞれ検討・試作・改良し、最終的に接触式のセンサとメカ駆動電動リンク制御が採用された（図4）。開発の過程で随時ほ場試験を行い、制御効果を検証した。その結果、苗載台に残った苗の多少による植付け苗量（10a 当りに換算した植付けレート）の変動が抑えられ、苗が多いときでも余計に消費することがなく、苗の減少に伴って欠株が増加する傾向も抑えられるようになった。構成部位ごとの研究の流れを以下に述べる。

3. 苗使用量センサ

苗使用量を検出する手段としては以下の方法を検討した。

- ① 苗マット側面の移動量をロータリエンコーダを用いて検出する方法。
- ② 同様に苗マット底面の移動量を検出する方法。
- ③ 光学センサを使用して底面の移動量を検出する方法。
- ④ 複数のリミットスイッチによる方法。

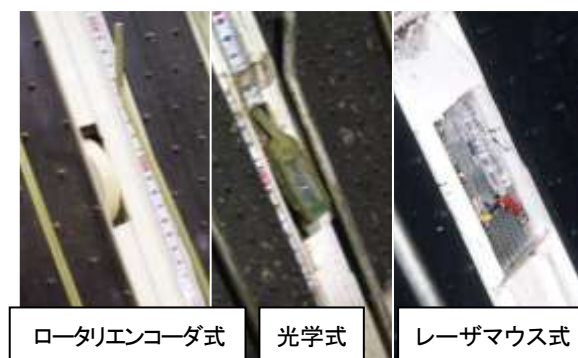


図5 苗使用量センサ

このうちマット側面を検出する方法は、苗の横送り方向によって検出量の違いが見られた。これは実際に苗の右側面と左側面は交互に変形しながらずれ落ちるためであり、横送り1往復分をもって苗使用量とする必要があり、制御の反応遅れを招くため、採用を見送った。また、複数のリミットスイッチによる方法は、簡便法としては有効かと思われたが細かい制御には不向きであるため採用しなかった。実際に試作したセンサは苗載台底面中央部に設けてマット底面に接した樹脂歯車の回転を、ロータリエンコーダで検出するものと、パソコン等で用いられる光マウスの受発光部を切り出し、苗底面に押し当てたものである。固定式の場合苗検出が不安定になったため、いずれの方式もバネで苗底面に押し付けるようにした。また光マウス型は一定時間経過すると減光してしまうため、強制的にこれを回避するパーツ等も試作した。この方式はのちにレーザ光マウス式へと発展したが、感度・分解能が高いために細かい動きや根部のからみを読み取ってしまい、誤動作を招きがちであった。また可動部を持たないため耐久性に優れる利点はあるものの、部品の製品寿命が短い点が心配され、最終的に歯車接触式となった。歯車の回転はロータリエンコーダで検出したが、設置位置の関係で防水仕様のものが必要であり、コストアップにつながるため、これに代わるものとして安価に構成できるエンコーダユニットやポテンショメータを使用した。これらのセンサはいずれも苗載台下部、2本の苗送りベルトの間に配置してある（図5）。

4. 苗送り制御装置

ベース機の苗送りはいずれも突起つきベルトによっており、苗送り量は爪の搔取り量と連動しているが、過去の研究結果から苗送り量のみを変更することによって細かい苗量制御が可能であることがわかっていたので、今回もこの連動に加えて外部からの信号により苗送り量を微調整できるようにした。

1) 駆動部分

苗送りを制御する方式として以下の3とおりを検討した。

- ① 全条を一括して制御する方式。
- ② 2条ごとに制御する方式。
- ③ 各条を個別に制御する方式。

全条一括方式は制御機構（モータ）が1個でいいという利点はあるものの、左右のばらつきについては無防備である。そこで、条止



図6 モータ駆動式

めクラッチの入り切り単位である2条ごとに制御する方式と、全条の駆動を独立したモータで行う方式を試作・試験した。モータ駆動方式（図6）は、極めて短時間に作動しなければならないため多くのパワーを必要とし、モータのパワーアップを図ったが、かなりのコスト増を招くため、途中から2条ごとに制御する方式に絞られた。安価で小型の制御モータ（自動車のウィンドレギュレータ用）での制御を行うため、苗送りベルトの駆動力そのものは現行機どおり機械的に伝達し、送りレバーの戻り位置を規制するストッパをモータで動かし、レバーの作動範囲を変更することにより苗送り量を変更することとした（図7）。この方式によれば同時に駆動される2条の間のばらつきには対応できないものの、2条単位で左右方向の苗使用量のばらつき調整も可能である。



図7 メカ駆動
+モータ制御式

2) 制御装置

制御を行う中枢部には、PLC（シーケンサ）および組み込みコントローラを使用した。PLCのものにはタッチパネルを取りつけ、制御パラメータの設定や動作確認、制御ログの記録などを行った。組み込みコントローラのは外付けのPDAにより同様の操作を行えるようにした。制御機器の改良により動作が安定した後はどちらも組み込みコントローラによる制御とした。制御則は設定値と検出した苗使用量とを比較し、その差に比例して苗送り量の増減を行う比例制御を基本とし、基準量に対して増減を行う一種のオープンループ的な制御や、比例・積分制御、移動平均処理の併用などの制御法を検討した。その結果、単純な比例制御を行う方式に落ち着いた。比例制御のゲインは0.4~0.7程度で、それぞれ変更可能としてある。

5. 試作機の性能

生研センター本部（さいたま市）および附属農場（川里町、のちに鴻巣市）のほ場において、試作機の性能確認試験を行った（図8、図9）。試験の多くは6条のうちの2条を無制御として同時に植付けを行い、苗条件やほ場条件による影響を回避した。また、疎植のできる1機種（A型）については、疎植の併用により、さらに苗を節減する試験も行った。



図8 試作機（A型）



図9 試作機（B型）

1) 試作機の諸元

表に最終的な試作機の仕様と、研究の過程で試作・検討された仕様を示す。

	最終試作機の仕様	その他最終機以前に試作された仕様
制御方式	比例制御	比例・積分制御、オープンループ制御
制御装置	組み込みコントローラ	シーケンサ
苗送り方式	強制ベルト送り	
苗送り駆動方式	機械駆動+電動リンク制御	ステップモータによる直接駆動 DCモータによる直接駆動
制御単位	2条	1条
苗押さえ装置	無段階調節式	有段調節式、駆動式
苗使用量センサ	ロータリエンコーダユニット	光学マウス式センサ、レーザマウス式センサ
センサ保持方式	可動式	市販ロータリエンコーダ 固定式

2) 性能試験

生研センター附属農場において、行程長さ50mおよび100mのほ場で目標植付け苗量や苗条件等を変更して植付けを行い、制御効果を確認した。また行程の両端で苗載台上に残った苗の長さを測り、1行程毎の植付け苗量を算出するとともに欠株、一株本数等についても調査を行った。

植付け苗量制御を行った装置のログの一例を図10に示す。無制御の場合には苗の減少に伴い段々に減っていく植付け苗量が、この制御を行うことによりほぼ一定に保たれていること、そのために苗の減少に対抗して制御モータの作動量（ベルト送り増減に対応）が増加していることがわかる。

次にこの機械を用いて、慣行比2割減の苗節約を狙った試験の行程ごとの植付け苗量を図11に示す。この図から、無制御の場合は苗補給直後の苗が多いときは苗を多く使用し、植付けが進むに従って植付け苗量が減り、補給によってまた増加することや、もともと無制御の場合は苗を多く植えがちなことが見て取れる。これに対し、自動制御を行った区は行程ごとの苗送り量の変動がなく、低い数値で安定している。同じ

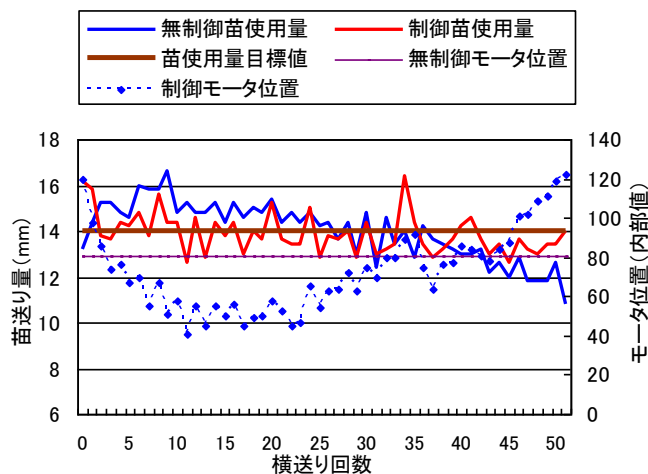


図10 自動制御のログ例

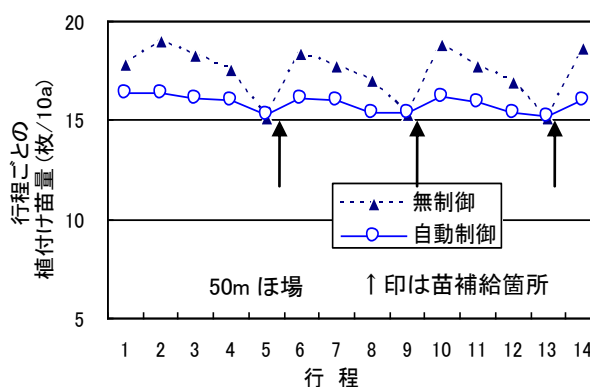


図11 植付け苗量の推移 (12mm)

試験での各行程の総欠株率を図 12 に示す。制御により植付け苗量が低く推移したため、欠株の最低値は 0 ではないが、2 割の植付け苗量節減によっても欠株を低く抑えることができた。

次にさらに植付け苗量を減らし、慣行比約 3 割減とした試験の結果を図 13、図 14 に示す。

1 条あたり 2 枚の苗を載せて開始し、7 行程を過ぎて補給するまでの間、無制御の場合は植付け苗量が 2/3 程度まで減少し、これに伴って、特に補給前の行程では欠株が急増するが、この場合も制御により安定した苗量の植付けを行うことができた。

ここに示した制御効果は、軟弱な苗やロックウール苗等の植付けにおいて、より顕著に発揮された。また、苗押さえ装置の押付け具合によって、制御効果の特性が変化したので、以降は押付け力 = 0 となるように調整して試験を行った。さらに密播苗との組み合わせによる一層の苗枚数節減を狙った試験では、掻取り量が極端に少なくなるため、植付け爪の掻取りミスによる欠株が多く発生し、制御効果が十分に発揮できなかった。本研究の苗送り制御とは別に、少量掻取りについての技術開発が待たれる所以である。

6. 総合評価

最後に 2004 年から 2007 年の 4 カ年に実施した植付け・栽培試験結果から、この技術の有効性を検証する。

1) 苗送り安定による、植え過ぎ抑制効果

上に述べたように、苗補給後の苗が多く載っているときは、現行の田植え機では苗を多く消費するが、この技術により多く植え過ぎることが回避される。先に挙げた図 11 の場合、5 行程の平均で 12% 程度苗の消費が抑えられている。

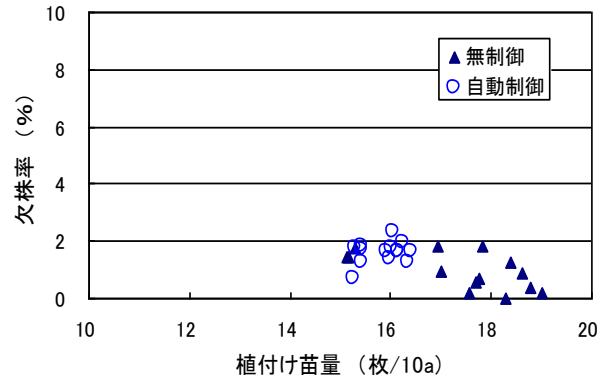


図 12 植付け苗量と欠株率

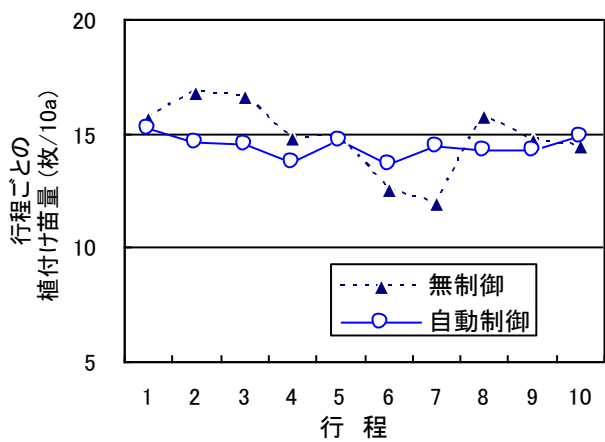


図 13 植付け苗量の推移 (11mm)

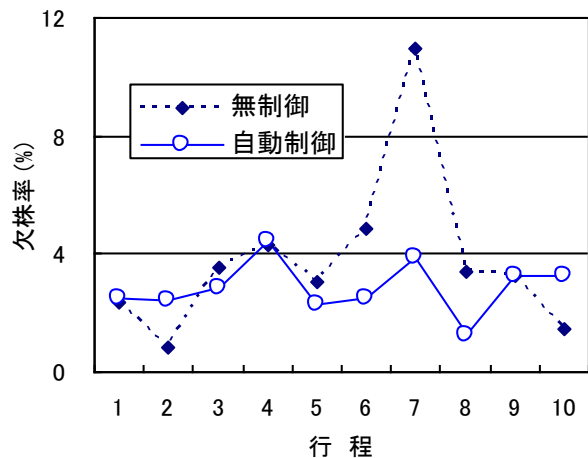


図 14 欠株率の推移 (11mm)

2) 欠株増加抑制効果

図 15 は同じほ場、同じ苗条件で前後して慣行苗量と節減した苗量で植付けを行ったほ場での欠株率の対比を示している。慣行区、節減区とも面積は1区約15aで、欠株の調査は試験区全体について行っている。

この結果から細植えにより苗量節減を図っても、苗送り自動制御により欠株率の上昇を抑えることができている。慣行比2割減程度までは十分に実用性があると考えられる。

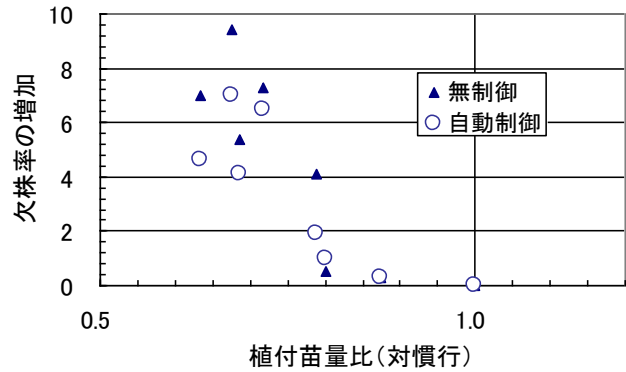
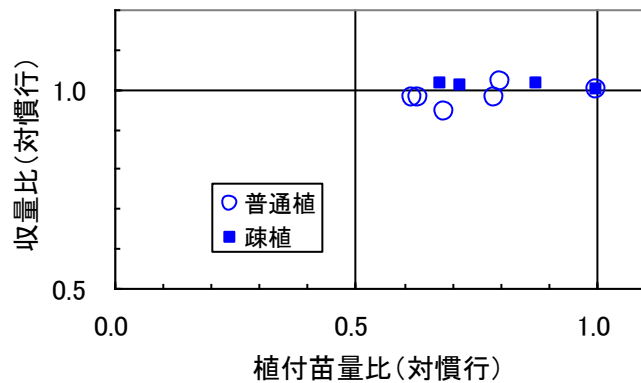


図 15 苗の節減と欠株率の増加

3) 収量に及ぼす影響

最後に、本技術による苗節減と収量の関係について述べる。図 16 は、先の図 15 に示した植付試験のほ場で行った4年間の収量調査結果で、慣行苗量との比で表してある。埼玉県での普通期栽培に限っていえば、2割程度の苗節減による減収は見られなかった。



平成 16～19 年、埼玉県、コシヒカリ（一部あかね空）

図 16 苗の節減と収量

おわりに

以上、本研究の経過と技術の到達点について簡単に述べたが、この技術が有効に活用され、より高性能で低コスト稲作に寄与できるような田植機として実用化することが期待されている。そのためには、さらに苗載台周辺の改良を含めたより深い研究が必要であり、今後も取り組んでゆく所存である。

参考文献

- 1) 窪田ら：田植機の植付苗量制御技術の研究（第2報）、農機誌 65(1)、136-142
- 2) 土屋ら：田植機の植付苗量制御技術の研究（第3報）、農機誌 67(4)、132-139
- 3) 牧ら：植付け苗量制御田植機の開発（第1報）、農業環境工学関連学会 2006 年合同大会講演要旨
- 4) 牧ら：植付け苗量制御田植機の開発（第2報）、農業環境工学関連学会 2006 年合同大会講演要旨
- 5) 大西ら：植付け苗量制御田植機の開発（第3報）、農業環境工学関連学会 2007 年合同大会講演要旨

生体情報測定コンバインの開発

生産システム研究部 日高靖之、栗原英治、西村 洋、林 和信、
堀尾光広、紺屋秀之、梅田直円、杉山隆夫、
松野更和、澁谷幸憲(現東北農研)、
内間亜希子(現退職)、市川友彦(現退職)
共同研究実施会社 (株)荏原電産、静岡製機(株)、
ヤンマー農機(株)、(株)相馬光学

はじめに	60
1. 開発の背景とねらい	60
2. 生体情報測定コンバインの構造	61
1) 全体構成	61
2) 品質測定部	62
(1) 反射式近赤外分光装置	
(2) モニタ	
3) 生体量測定部	63
(1) 光学式センサ	
(2) 機械式センサ	
(3) モニタ	
3. 開発機の性能	64
1) 品質測定部	64
2) 生体量測定部	65
4. まとめ	66
おわりに	67
参考文献	67

はじめに

高品質な米生産を推進するためには、より高度な収穫技術の開発が求められている。収穫時において事前に生体情報を把握できれば、その情報はコンバインの制御、共乾施設の仕分け乾燥等に利用可能であり、さらには高精度な施肥設計への活用によって高品質米生産に寄与できる。そこで本研究では、収穫と同時に水稻の生体量や品質等の生体情報を測定できるコンバインを開発することを目的として、2003年より(株)荏原電産、静岡製機(株)、ヤンマー農機(株)、相馬光学(株)の4社の参画を得て共同研究を開始した。ここでは5ヶ年の研究で得られた結果について報告する。

1. 開発のねらいと背景

稲の生体情報を図1のとおり定義する。稲に関する生体情報は大まかに、穀物に関する情報と稲体に関する情報に分けられる。さらに、穀物については、重量、水分、玄米タンパク質含量のような品質に関する情報に分類でき、稲体については、わら質量やわら水分のような生体量情報として分類できる。

籾の質量と水分については、緊プロ事業で開発した収量コンバイン¹⁾で測定可能である。そのため生体情報測定コンバインは、収量コンバインの機能に加えて、タンパク含量を測定する装置と生体量を測定する機能を追加したものであり、収量コンバインの発展形と位置づけできるものである。

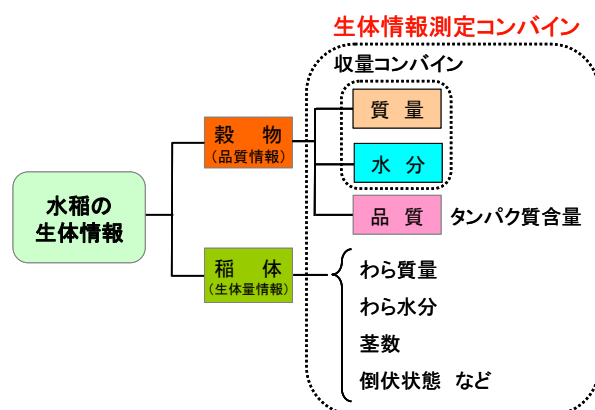


図1 水稻の生体情報の定義

米品質のうち、タンパク含量は特に食味と高い負の相関を示しているため²⁾、生産現場では細かい施肥管理を行いタンパク含量の低い米作りを行っている。タンパク含量が低いと高値で販売できる場合もあるため、稲作経営体において約60%がタンパク含量別の乾燥調製を希望している³⁾(図2)。実際に酒米においては酒造会社によりタンパク含量別に値段設定し取引されている例もあり、米のタンパク含量は生産現場では非常に関心の高い項目である。

穀類のタンパク含量を測定する簡便な方法として近赤外分光法⁴⁾があり、食品分析の公定法として認定されている。海外では、麦類についてコンバイン搭載型の近赤外分光を利用したセンサが開発されており⁵⁾、収穫モニタ付きのコンバインの次のセンサとして広く研究が行われている⁶⁾。実際に小麦で相関係数0.8、予測標準誤差0.9の精度で測定し、ほ場における小麦タンパクの分布を測定した例もある⁷⁾。日本国内では、帖佐らが自脱コンバインに取り付ける試料採取装置⁸⁾を開発

しており、手動ではあるもののほ場内の小麦を小区画毎に採取し、市販のタンパク計で測定しほ場内の小麦タンパク含量分布マップを作成している⁹⁾。

米のタンパク含量を近赤外分光装置で測定する場合には、乾燥調製した玄米が対象となり、高水分の粳の状態乾燥調製前に測定することは望まれているものの行われていないのが現状である。また、既存の装置は、室内測定を原則とし非常に質量があるため、ほ場に運べるような可搬型の装置の開発も望まれている⁴⁾。

生体量については、特にわら質量とわら水分の情報が重要となってくることが考えられる。海外では、春小麦のわらについて収量を測定しほ場での分布を捉えることにより、灌漑、施肥、クロープローションの基礎データとして利用した研究事例がある¹⁰⁾。国内でも李らによって粳質量の代用データとしてわらの収量を測定した研究もある¹¹⁾。一方で、バイオマス利用促進で稲わらからエタノールを作る研究も盛んに行われており、ほ場内のバイオマス量としての稲わらの情報を把握することは今後重要になってくると思われる。別の視点からいえば、現在コンバインでは、脱穀された後で揺動選別上にある粳量を検知し機関出力等を制御しているが、刈取り前にわらの質量や水分を把握できれば予測制御にも応用できる可能性があり、コンバインの効率的な作業に寄与できると考えられる。

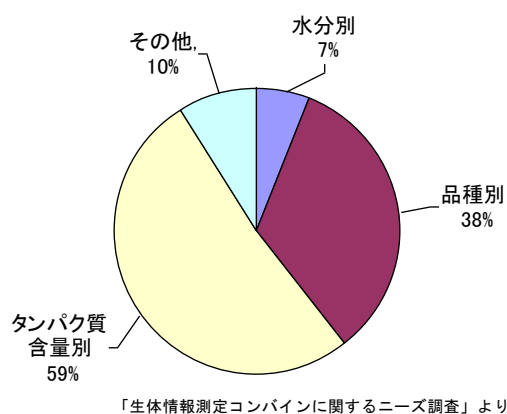


図2 今後希望する分別乾燥方法

2. 生体情報測定コンバインの構造

1) 全体構成

開発した生体情報測定コンバイン（図3）は4条刈自脱コンバインをベースとしており、穀物の質量、水分の測定については、先に開発した収量コンバインの基本構造であるロードセル方式の質量計と電気抵抗式的水分計を取り入れている¹²⁾¹³⁾。さらに、玄米タンパク含量を測定できる品質測定部と生体量測定部を追加しており、以下に追加した測定部の特徴を記す。



図3 生体情報測定コンバイン外観

2) 品質測定部

(1) 反射式近赤外分光装置

本装置は近赤外分光法を利用した装置である。一般的な近赤外分光装置ではセルの中に穀物を詰めて透過光により分析するものが主流であるが、高水分粒を対象としたときセルに安定して充填できないため測定値に再現性がない問題があったこと、またコンバイン搭載という振動の多い条件ではさらにセル内の充填状況が刻々と変化することから、反射光による測定方式とした。図4に装置内部構造を示す。測定部は、計測部に充填した粒に人工光を照射しその時の反射光を分析することにより玄米タンパク含量を測定する。光源はハロゲンランプを使用しており、光が粒に均質に当たるように光反射筒を設け光の拡散を防いでいる。検出器には回折格子が備えられており、後分光により730～1090nmのスペクトルを測定する。この波長域にはタンパク質分析が行えるC-H基の3倍音が含まれている⁴⁾。装置内の演算処理部には粒を投入したときのスペクトルより玄米タンパク含量を推定できる検量線を有する。この検量線は、室内試験により測定した粒のスペクトルを独立変数、ケルダール法による化学分析したタンパク含量を従属変数としてPLS (Partial Least Squares) 回帰分析により作成した。なお、PLS回帰分析にはアンスクランブラ (CAMO社製) を使用した。



図4 反射式近赤外分光装置の測定部内部構造

測定部はコンバインのグレンタンクに装着する(図5)。測定手順は、穀粒口より放出された粒をサンプリングし、計測部に粒が充填されたら測定を行い、測定後はグレンタンク内に返還する手順である(図6)。測定周期は、計測部における粒充填に要する時間から30秒に設定されている。



図5 コンバイン取付け位置

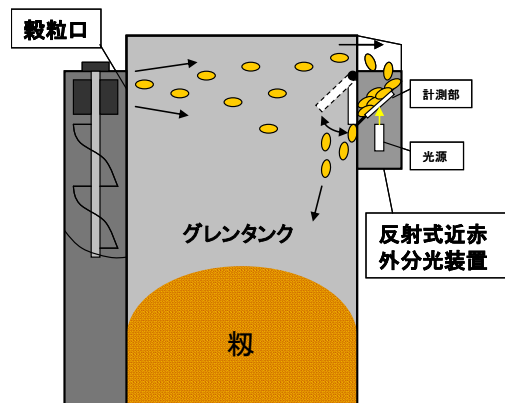


図6 コンバインでの測定手順

(2) モニタ

モニタには作業モニタリング装置を用いている。作業モニタリング装置と質量計、水分計、反射式近赤外分光装置はRS-232Cで通信を行っている。コンパクトでコンバイン内に設置でき、タッチパネルで操作できる。収穫中は質量、水分、タンパク含量がリアルタイムに表示され、作業終了後は一筆毎の平均値、標準偏差を計算し表示することができる。図7に表示例を示す。

(作業モニタリング装置に関する詳細は生研センター平成19年度事業報告参照)

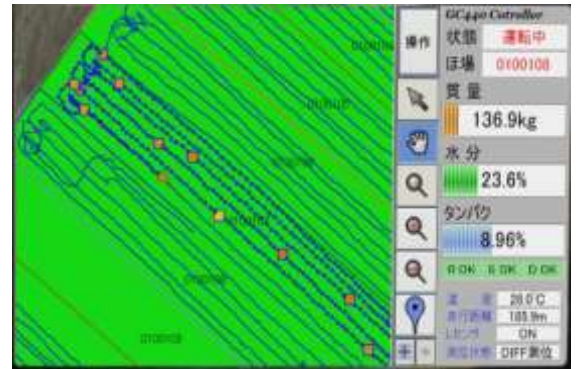


図7 モニタ画面表示例

3) 生体量測定部

生体量センサとしては、非接触方式の光学式センサと接触式の機械式センサを考案した。

(1) 光学式センサ

光学式センサは立毛中稲体の分光反射率を測定し生体量を推定するものである(図8)。21 緊プロ事業で開発した作物生育情報測定装置¹⁴⁾をベースとして、収穫適期時の稲に合わせ、1260 nm、900 nm、650 nm、550nm の4つの波長を測定するフォトダイオードを有している。本装置は稲体の反射を受光する反射光受光部と反射率計算のための太陽光受光部および制御・演算部より構成される(図9)。

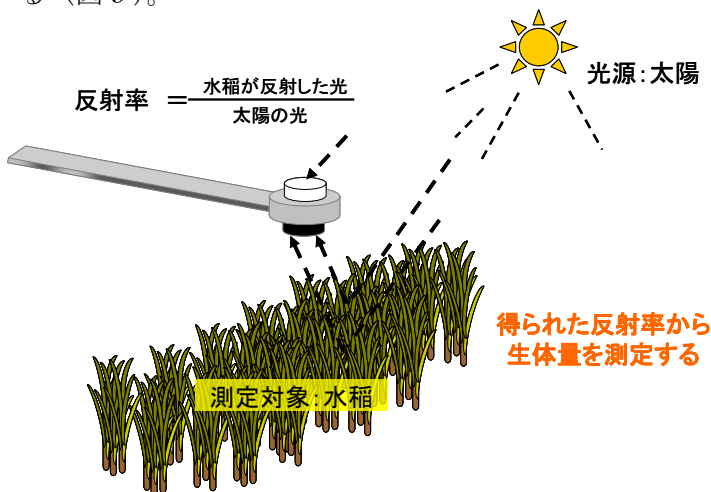


図8 光学式センサの原理

自脱コンバインに設置する位置は、収穫時の埃等の影響を考慮しコンバインのキャビン上部とした。反射光受光部は刈取部前方の稲体の反射光を感知するために下方45°に傾けた。太陽光受光部は真上に設置した。測定範囲はコンバイン刈取部前方約2mで、測定周期は1秒である(図10)。



図9 光学式センサの概要

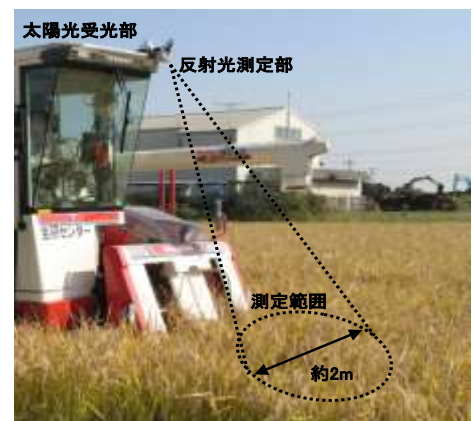


図10 光学式センサの取付け

(2) 機械式センサ

機械式センサは、コンバインの刈取り部から脱穀部までの稲わら搬送経路中にポテンシオメータを取り付け、脱穀直前にわら層の厚さを計測する方式である（図 11）。図 12 にコンバインに取付けた様子を示す。

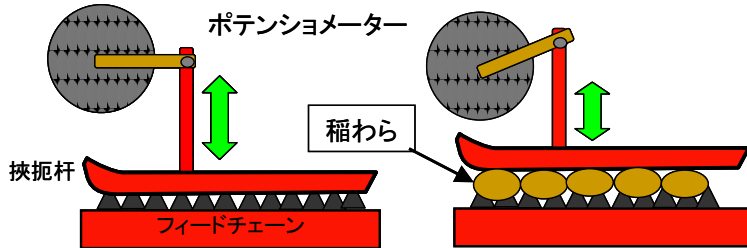


図 11 機械式センサの測定原理



図 12 機械式センサ取付け様子

(3) モニタ

生体量のモニタリング装置は、光学式センサの制御・演算部と、ポテンシオメータやこぎ胴トルクのデータをロギングしているデータロガー（NR-600；Keyence 製）と RS-232C によって通信を行っている。コンバイン内に設置でき、タッチパネルで操作できる。ほ場番号毎にデータ整理が行え、一ほ場あたり最長 1 時間のデータを保存できる。収穫作業に連動してリアルタイムに各信号の状態を表示でき、作成した回帰式等を登録し表示することもできる（図 13）。



図 13 生体量センサの接続およびモニタ表示例

3 開発機の性能

1) 品質測定部

粃品質を測定するために、施肥量の異なる試験区に供試し、収穫作業と同時行程で玄米タンパク含量を測定できるかを検討した。測定した粃サンプルは回収し、ケルダール法にて化学分析を行いその値を基準値とした。なお、玄米タンパク含量の化学分析は（財）日本穀物検定協会に依頼した。

その結果、品質測定部の反射式近赤外分光装置は収穫作業という振動や埃の多い過酷な条件でも玄米タンパク含量の測定が可能であり、モニタ画面には穀物質量、穀物水分、玄米タンパク含量を表示することができた。玄米タンパクの測定精度は、水分計で測定した水分値で水分補正を行った条件で、相関係数 0.65、予測標準誤差 0.22 であった（図 14）。しかし、倒伏して表面が汚れた試料については、測定誤差が大きくなることを確認した。今後、全国であらゆる品種に対応するためには、堅牢な検量線作成が必要である。

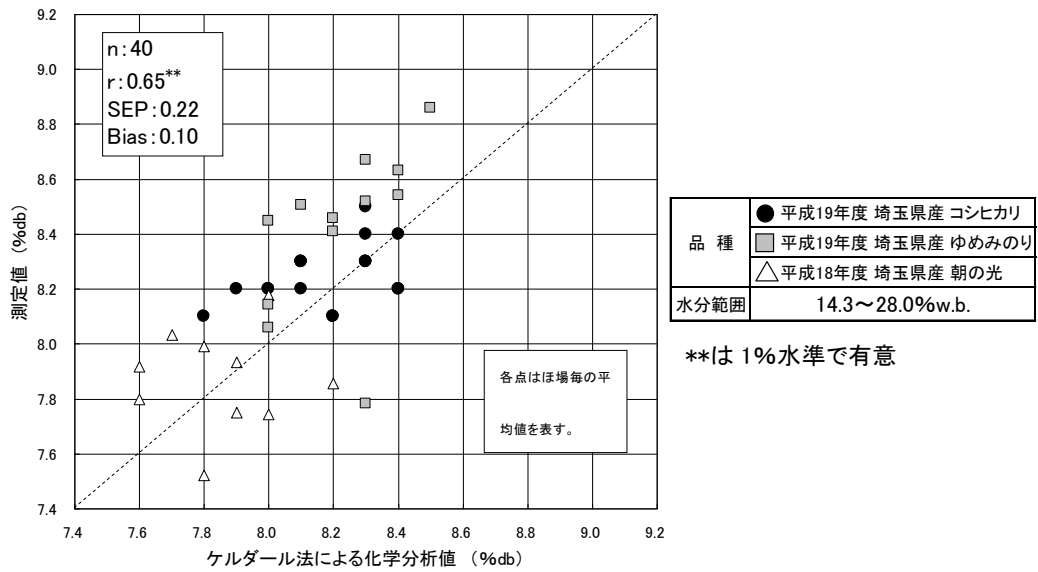


図 14 コンバインに搭載したときの玄米タンパク含量測定結果

2) 生体量測定部

わら量等の生体量を測定するため、刈取時の条数が異なる試験区および稲が倒伏した試験区に供試し、その時の各センサの出力値より検討を行った。試験中の車速は一定とした。また、生体量については、わら水分とわら質量等を測定した。

試験の結果、単位面積当たりのわら質量およびわら水分は、光学センサの各波長の出力の重回帰分析により高い相関で推定可能であることを確認した（図 15、図 16）。機械式センサについてはわら厚を直接測っているため単位面積当たりのわら質量と高い相関があることを確認した。

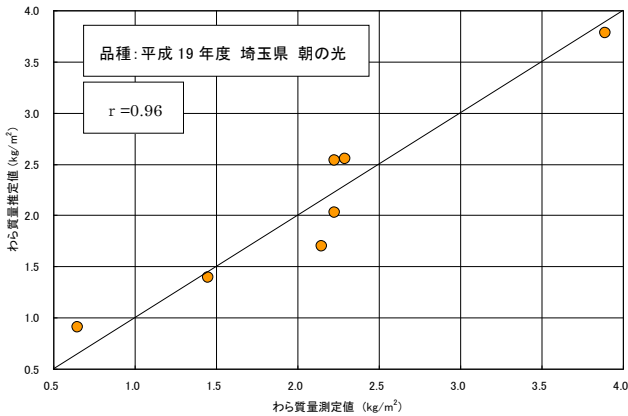


図 15 光学式センサによるわら質量推定

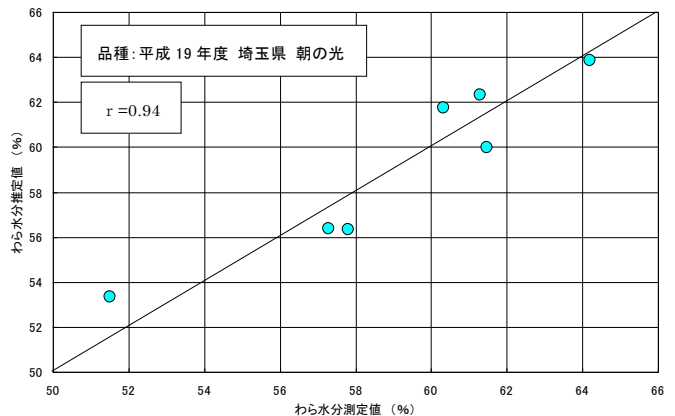


図 16 光学式センサによるわら水分推定

また、収穫作業中、光学式センサと機械式センサの出力信号とこぎ胴トルクについては図 17 のような順番で観測された。こぎ胴トルクに対する光学式および機械式センサの信号について相互相関分析を行った結果、光学式および機械式センサの信号はこぎ胴トルクに対し常に先行して現れ、さらに両センサの信号とこぎ胴トルクとの相互相関係数も高いことが確認された（図 18）。

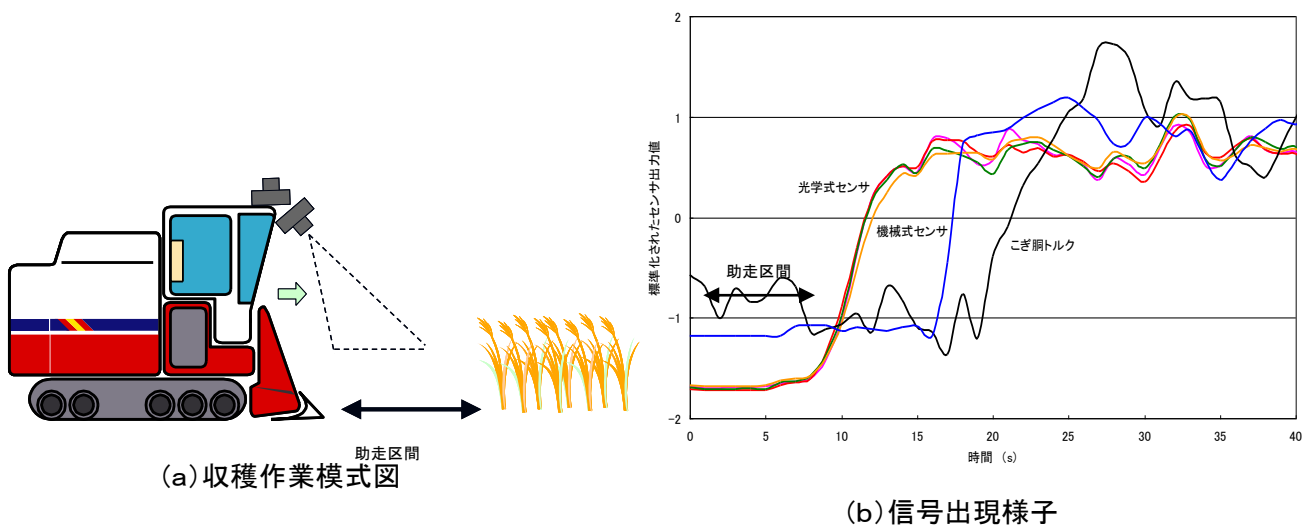


図 17 収穫作業中の光学式および機械式センサ信号出現様子

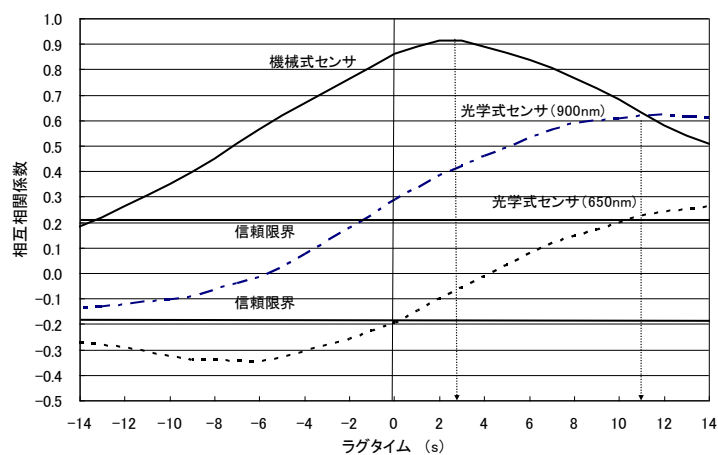


図 18 光学式および機械式センサ出力値とこぎ胴トルクとの相互相関分析結果

自脱コンバインの脱穀所要動力は、こぎ室で処理する量すなわちわらの量によって直線的に増加し、同じ処理量であってもわら水分が高くなると二次曲線的に増加する傾向がある¹⁵⁾。そのため光学式および機械式センサにより脱穀前にわら量やわら水分を推定できると、その推定値はこぎ胴トルクに対し常に先行した推定値となるため、脱穀前にコンバイン側で事前に機関出力を上げたり、作業速度を落とす等の予測制御の可能性が考えられる。また、オペレータに対しモニタ画面に注意喚起の表示をするような方法も考えられる。しかし、あらゆる草型の品種に対応するためには更なるデータの蓄積が必要である。光学式センサについては誤差を少なくするため照度に注意する必要がある。

4 まとめ

以上、生体情報測定コンバインの開発を行った。本コンバインは収穫作業と同時に籾の質量、水分、玄米タンパク含量の品質情報と稲わらの質量、水分である生体量を測定することが可能でそのデータを保存できることを確認した。

しかしながら、多くの品種に対応するためには検量線等のさらなる精度向上を図る必要がある。

また、光学式センサについては曇天時等の照度不足時の対応が必要である。

おわりに

収量コンバインの発展形という位置づけで生体情報測定コンバインの開発を行い、ひとつのモデルが完成した。実用化を図るためには、操作性や測定精度の面さらにコストの点でさらに改良の必要性がある。生産現場でのタンパク含量を測定したいという要望に対しては、開発した反射式近赤外分光装置を小型化し適用範囲を広げることによって広く普及する可能性が高い。そのため、次年度以降、反射式近赤外分光装置について装置の小型化や検量線の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 日高靖之ら：収量コンバインによる収穫情報の取得とその利用法、農機誌 69 (5)、17-20、2007
- 2) 牧野英二ら：国産水稲うるち米の品質（第2報）－食味に関する米品質、農機誌 67 (4)、166-172、2005
- 3) 新農業機械実用化促進（株）：生体情報測定コンバインに関するニーズ調査、1-43、2006
- 4) 岩本睦夫ら：近赤外分光法入門、(株)幸書房、1-151、1994
- 5) <http://www.zeltex.com/accuharvest.html>
- 6) K.Maertens et al : On-Line Measurement of Grain Quality with NIR Technology, Trans. ASAE, (4), 1135-1140, 2004
- 7) James Taylor et al : Monitoring Wheat Protein Content On Harvester: Australian Express., 5th European Conference on Precision Agriculture, 2005
- 8) 帖佐直ら：穀粒品質モニタリングのための試料採取装置の開発、農機誌 69 (6)、91-97、2007
- 9) 帖佐直ら：収穫作業を通じた小麦の収量と品質の圃場内変動調査、農機誌 70 (1)、92-96、2008
- 10) R. E. Engel et al : Predict Straw Yield of Hard Red Spring Wheat., AGRONOMY JOURNAL, Vol. 95, 1454-1460, 2003
- 11) 李忠根ら：水田におけるモミとワラの収量マップ、農機誌 61(4)、133-140、1999
- 12) 牧野英二ら：収量モニタリング機能付きコンバインの開発（第1報）－システムの基本設計および質量と水分の連続測定、農機誌 69 (4)、78-88、2007
- 13) 牧野英二ら：収量モニタリング機能付きコンバインの開発（第2報）－測定システムとマップ作成－、農機誌 69 (5)、88-94、2007
- 14) 堀尾光広ら：水稲の生育・栄養診断への携帯式生育情報測定装置の利用、農機誌 69(5)、8-11、2007
- 15) 江崎春雄：穀類収穫機 グレーン・ハーベスタ、(株)イセブ、115-116、1986

せん定枝粉碎搬出機の開発

園芸工学研究部 金光幹雄、太田智彦、齋藤貞文、山本聡史、
久保田興太郎、安食恵治(現特別研究チーム)
共同研究実施会社 (株)IHIシバウラ、(株)氏家製作所、
文明農機(株)

はじめに	70
1. 開発の背景とねらい	70
1) せん定枝処理の現状	70
2) 開発目標	71
2. 自走拾上げ式せん定枝粉碎搬出機の開発	71
1) 開発経過	71
(1) 拾上げ前処理部の検討	
(2) 拾上げ部の検討	
(3) 粉碎部の検討	
(4) 収容部の検討	
2) 自走拾上げ式2号機の概要	72
(1) 構造と作用	
(2) 作業性能	
3. 投入式せん定枝粉碎搬出機の開発	74
1) 開発経過	74
(1) 2軸せん断カッタの形状・寸法の検討	
(2) 供給部の検討	
(3) 搬送・収容部の検討	
2) トラクタ装着投入式2号機の概要	76
(1) 構成と作業方法	
(2) 駆動方式	
(3) 作用性能	
3) 自走投入式3号機の概要	77
4. せん定枝チップの利用	77
おわりに	78
参考文献	78

はじめに

リンゴ園やナシ園で発生するせん定枝を効率的にチップ化する「せん定枝粉碎搬出機」を開発した。せん定枝は、園内に放置すると草刈り作業の邪魔となり、また、白紋羽病などの発生要因となるため、ほ場から除去する必要があるが、その収集・運搬には多大な労力を要しているのが現状である。また、混住化等に伴う野焼きの抑制への対応やバイオマスの有効利用の観点から、除去したせん定枝は、チップ化した上で堆肥等として再利用・再資源化することが望まれている。このため、次世代農業機械等緊急開発事業のもとで、(株)IHIシバウラ、(株)氏家製作所、文明農機(株)と共同で開発した。

1. 開発の背景とねらい

1) せん定枝処理の現状

リンゴ園やナシ園では、樹種(図1)、樹齢(図2)、品種、仕立て方、せん定の方法等によってせん定枝の発生量は異なるが、年間約200~800kg/10aのせん定枝が発生する¹⁾。リンゴやナシのせん定枝を、園内に放置したり土中に埋め込むと白紋羽病の原因²⁾となると考えられており、予防のため焼却処分が推奨されてきた。せん定枝の園外への搬出作業では、長く曲がった枝や分かれた枝を一定の長さに切り結束して搬出され、20h・人/10a程度と多くの労力を要している(図3)。

平成13年4月には産業廃棄物処理法が改定され、野焼きが禁止された。果樹のせん定枝の焼却処分については、農業者が営農上やむを得ず焼却することは例外規定として認められている。しかし、近年、焼却処分が困難な情勢にあり、特に都市近郊においては、条例により焼却処分が禁止されている県もある³⁾。このような地域では、せん定枝を細かく粉碎するチップやシュレッダの利用が見られる。果樹のせん定枝用として市販されているチップ等の粉碎機は作用部が3,000rpm程度で高速回転する機種が多く、それらは作業時の耳元騒音が110dB程度と大きく(図4)、作業者の大きなストレス要因となるとともに、付近の住民への影響

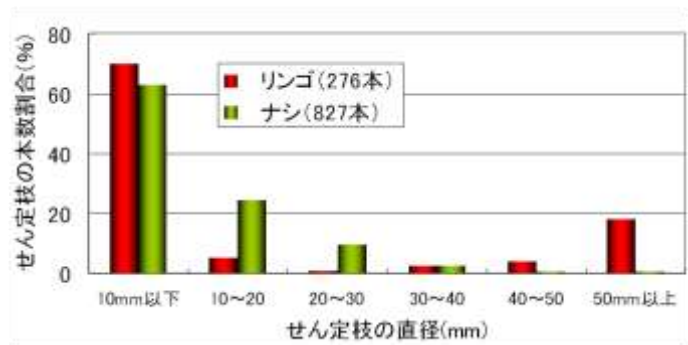


図1 リンゴ(青森)・ナシ(埼玉)せん定枝径割合

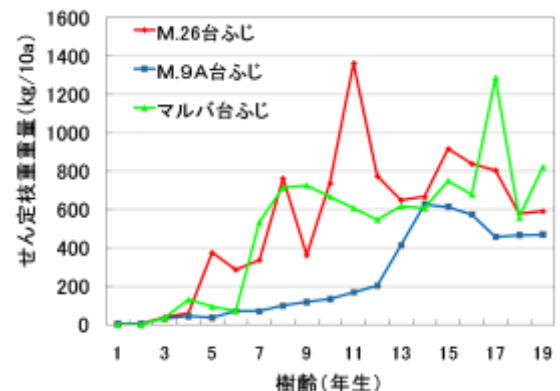


図2 リンゴ樹齢別せん定枝量(青森)



図3 搬出されたせん定枝の状態

も危惧されている。また、作業者がせん定枝を供給する時に、供給ローラの隙間から粉碎された枝の破片が飛び出して危険な場合があり、改善が要望されている。

一方、産業廃棄物処理場や木材ペレット製造プラント、せん定枝堆肥化センター等では大型定置式電動2軸せん断粉碎機等が利用されている。また、街路樹や公園の管理業者等を対象に、ゴミ収集車に似た外観で、トラックに2軸せん断式粉碎装置、収容装置を搭載したせん定枝粉碎処理車が市販されている⁴⁾。しかし、果樹園内作業に使える仕様のものは市販されていない。

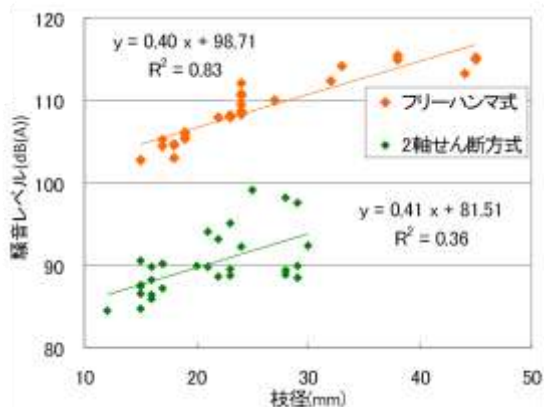


図4 せん定枝粉碎時の作業者耳元騒音

2) 開発目標

果樹のせん定枝を拾い上げて、粉碎し、収容および搬出ができるせん定枝粉碎搬出機の開発を目標とし、わい化リンゴ園と棚栽培ナシ園を主な対象として、効率的に拾い上げて粉碎する自走拾上げ式と、生産者が所有するトラクタに装着する方式により高能率で従来機に比べ低騒音で粉碎できる投入式の2方式を開発した。

2. 自走拾上げ式せん定枝粉碎搬出機の開発

せん定作業時に園内の樹列間に幅1m程度の列状に置いたせん定枝を、拾い上げ、粉碎し、網袋に収容して搬出する自走拾上げ式せん定枝粉碎搬出機を開発した。

1) 開発経過

図5に示す機能試験機、機能試験改良機、試作1号機、試作2号機を試作し、青森県りんご試験場と岩手県農業研究センターのわい化栽培リンゴ園と埼玉県園芸研究所の棚栽培ナシ園で試験と改良を繰り返した。



図5 自走拾上げ式の開発経過

(1) 拾上げ前処理部の検討

試作機には幅1m程度の列状に置いたせん定枝を機体中央に集めて整列させるための前処理部を装備した。機能試験機の前処理部は、上下動自在に懸架し、せん定枝を上から押さえ、後方に掻込む作用を持つ、硬質ゴム製羽根付きローラとした(図5①)。試験の結果、せん定枝を列中央へ掻寄せ作用が必要であり、スクリュ式掻寄せ装置に改良した(図5②)。押さえ付けて掻寄せ作用を高めるよう外径を大きくし(図5③)、さらにスクリュの羽根を高くすることにより、十分な掻寄せが可能となった(図5④)。

(2) 拾上げ部の検討

スクリュで中央に集めたせん定枝を拾上げる横ローラ式(図6)を試作したが拾上げ作用が不足した。そこで水平2軸で内向きに回転し、円盤先端には4枚の刃を備え、円筒部には掻込み作用を持つよう先端を鋸刃状に加工した板(以下、「掻込み羽根」という。)を備え、水平面に対して前傾した水平円盤式を試作した(図7)。枝の形状が



図6 横ローラ式拾上げ部

曲がったり、枝分かれしたり、同時に多量の枝が入った時に、掻込み羽根で枝を持ち回り、サイドカバーと掻込み羽根の間隙に枝が挟み込まれたり、横方向に排出される現象が観察された。そこで、長さの短い掻込み羽根を円筒外周に4枚と円盤の外周上に4枚の跳ね上げ板を取付けることで、詰まりを解消した(図8)。

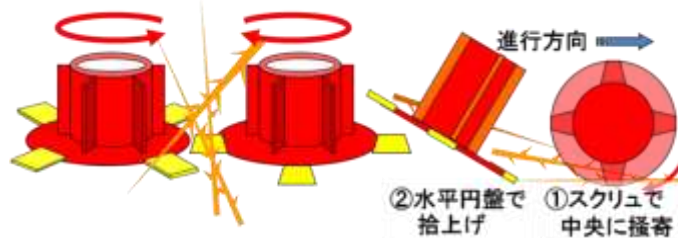


図7 水平円盤式拾上げ部

曲がったり、枝分かれしたり、同時に多量の枝が入った時に、掻込み羽根で枝を持ち回り、サイドカバーと掻込み羽根の間隙に枝が挟み込まれたり、横方向に排出される現象が観察された。そこで、長さの短い掻込み羽根を円筒外周に4枚と円盤の外周上に4枚の跳ね上げ板を取付けることで、詰まりを解消した(図8)。



図8 水平円盤式拾上げ部の改良

(3) 粉碎部の検討

市販シリンダカッタ(機能試験機)と試作2軸せん断カッタ(試作1号機)を検討した。シリンダカッタは2,000rpm程度の高速で回転してせん定枝をナイフと受刃で切断する方式のチップであり、試作機のエンジンからVベルト駆動し、駆動軸端にフライホイールを設けた。せん定枝の水分によって異なるが、最大処理径は30mm程度であった。作業時の作業者耳元騒音は99dB(A)程度であった。せん定枝チップは、カッタの放てき作用を利用しシュートを経由して網袋に收容した。低騒音の試作2軸せん断カッタ(図12参照)は30rpmと低速で回転するので、チップはカッタ出口から自然落下する。これを網袋に收容できるように、カッタを高い位置に設け、その搬送はローラ方式とした。試験の結果、長い枝が搬送ローラの間から外に排出されること、2軸せん断カッタ入り口で滞留するなどの問題が発生した。所要動力が大きいこともあり、試作2号機ではシリンダカッタを採用することとした。

(4) 收容部の検討

チップは容量180L(60kg)程度の網袋へ收容する方式とした(図5①・②)。チップの收容は円滑であったが網袋に満杯にすると、2人でも持ち運びが難しく、容量60L(20kg)程度のコンバイン粉袋に変更し、交換用網袋の収納部も設けた。

2) 自走拾上げ式2号機の概要

(1) 構造と作用

自走拾上げ式2号機の構造を図9に、主要諸元を表1に示す。自走拾上げ式2号機は、掻寄せ部、拾上

げ部、搬送部、粉碎部、収容部等からなる。本機はまず、事前に作業者が園内の樹列間に幅1m程度の列状に置いたせん定枝をスクリュ式掻寄せ

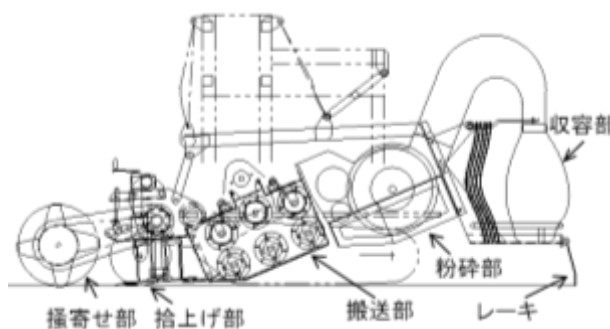


図9 自走拾上げ式2号機の構造

装置で機体中央方向に集め、2軸水平円盤式拾上げ装置で拾上げる。その後、搬送ローラで搬送し、作用幅255mmのシリンダカッタで粉碎してスロワで排出し、粉碎したチップを容量約60Lの網袋に収容して搬出する。なお、機体前部で拾い残したせん定枝は、機体後部に備えたレーキでほ場端まで掻き集める。レーキでほ場端に掻き集めたせん定枝は再度拾上げチップ化して袋に収容する作業を行う。走行速度はHSTにより無段階で調節できる。掻寄せ部、拾上げ部、搬送部は油圧モータで駆動しており、過負荷時には自動停止し、レバー操作で容易に正逆転できる⁵⁾。

(2) 作業性能

ナシ園で、せん定枝を園内に列状に1.8~3.3kg/m²の密度で並べ、作業速度0.03~0.09m/sで作業を行った結果、拾上げ率は81~91%であり、作業能率はせん定枝量454kg/10aの条件で2.2h/10aであった(図10)。

リンゴ園で、園内で集めて樹列間に列状に0.6~1.8kg/m²の密度で並べ、作業速度0.03~0.07m/sで作業した結果、拾上げ率は60~83%であった。また、全せん定枝量に対する網袋収容チップとレーキでほ場端まで掻き集めたせん定枝の合計質量割合(収集率)は90~98%であった(表2)。リンゴ園での作業能率は、せん定枝量214~767kg/10aの条件で、1.1~2.9h/10aであった(図10)。チップの形状は幅19mm、長さ15mmで容積重420kg/m³程度であった。なお、作業時

表1 自走拾上げ式2号機の主要諸元

方式	自走式、歩行型
大きさ	長2750×幅1340×高1480mm
質量	1060kg
機関	ガソリンエンジン(出力7.5kW)
駆動部	油圧式、(粉碎部:Vベルト式)
走行部	クローラ、走行速度0~0.9m/s
掻寄せ部	スクリュオーガ、作用幅980mm
拾上げ部	2軸水平円盤式、軸間400mm
搬送部	ローラ式、作用幅255mm
粉碎部	シリンダカッタ、作用幅255mm
排出部	スロワ式
収容部	網袋(容量約60L)
適用枝径	30mm以下

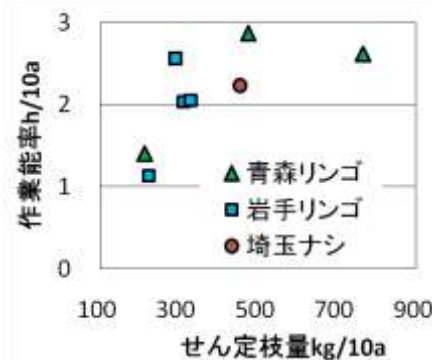


図10 自走拾上げ式の作業能率

表2 掻込み速度とせん定枝量を変えた場合の作業精度

掻込み速度	せん定枝量 kg/10a	作業速度 m/s	作業能率 kg/h	拾上げ率 %	収集率 %
高速	192	0.07	224	83	92
	196	0.05	161	60	90
	395	0.04	285	74	92
	414	0.05	312	83	94
	504	0.03	240	68	93
	619	0.03	309	72	91
低速	233	0.05	184	77	94
	280	0.04	168	69	93
	318	0.08	392	82	98
	355	0.05	301	82	98
	547	0.03	274	75	97

の作業時耳元騒音は、フリーハンマー式従来機の110dB(A)に対し99dB(A)程度であった。

3. 投入式せん定枝粉碎搬出機の開発

園内で間欠的に移動しながら、作業者が周りのせん定枝を収集してホッパに供給すると、せん定枝は供給部で前処理し、粉碎部でチップ化して、排出部で搬送し、収容部で網袋に収容して搬出する投入式せん定枝粉碎搬出機を開発した。

1) 開発経過

図 11 に示す機能試験機、機能試験改良機、試作 1 号機、試作 2 号機を試作し、青森県りんご試験場と岩手県農業研究センターのわい化栽培りんご園と埼玉県園芸研究所の棚栽培ナシ園で試験と改良を繰返した。



図 11 トラクタ装着投入式せん定枝粉碎搬出機の開発経過

(1) 2 軸せん断カッタの形状・寸法の検討

2 軸せん断カッタは、図 12 に示すように互いに内向きに回転する 2 軸に取り付けた回転刃の爪刃によりせん定枝を内部に引き込み、回転する刃の外周エッジ間に連続的に作用するせん断力および爪刃の先端と軸の間に断続的に作用する圧縮力により切断し、2 軸間に断続的に作用する圧縮力によって押し潰す作用がある。2 軸せん断カッタ形状についてせん定枝の引き込み具合や粉碎所要動力、せん定枝チップの粉碎具合等が異なることから、外径 158mm で爪刃のすくい角および背面角が異なる 3 タイプの形状のカッタを試作し(図 13)、ウメのせん定枝(含水率 15~21%)を供試して粉碎時の瞬間所要動力を測定した。測定結果を図 14 に示す。すくい角 30° 背面角 30° では、爪刃が鋭角すぎ、引き込み作用が不足した。直径 2.5cm 以上の枝では、切断抵抗が大きく、過負荷状態となり粉碎できなかった。

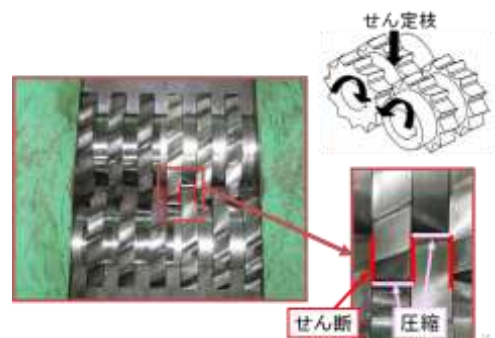


図 12 2 軸せん断カッタの構造・作用

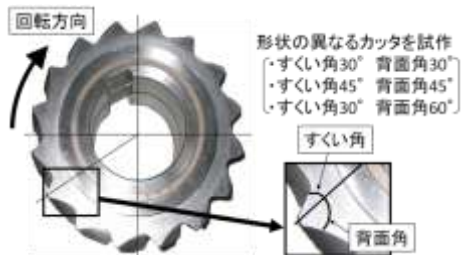


図 13 試作カッタ刃の形状

すくい角 45° 背面角 45° 及びすくい角 30° 背面角 60° では、引き込みは良好で、2 軸間の圧縮力によるせん定枝チップの組織破碎が観察され、直径 2.5cm 以上の枝もほとんど粉碎できた。太さ 30mm×24mm の角材(スギ)を 2 本ずつ用いて、粉碎所要動力を比較した結果、すくい角 30° 背面角 60° では 4.4kW、すくい角 45° 背面角 45° では、6.0kW であった。さらに動力の

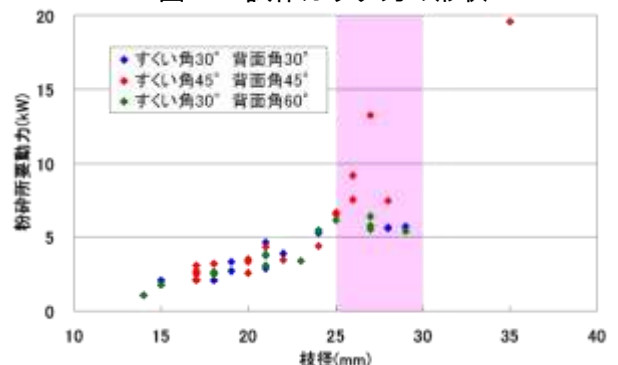


図 14 粉碎時の瞬間最大動力

軽減を図るには2軸間でせん定枝が圧縮される作用を弱めることが有効と考えられ、2軸せん断カッタの刃幅を20mmから40mm、刃数を16枚から12枚、刃の枚数を4枚/軸から2枚/軸、刃高を9mmから15mmに改造した(図15)。なお、刃の外径158mm、開口幅160mmは同じである。改良前後の2軸せん断刃について、1本のリンゴの枝を粉砕する時の瞬間最大動力測定結果を図16に示す。改良により粉砕時の瞬間最大動力は、例えば枝径40mmで見ると、11kWから7kWへと35%程度減少した。枝径40mm程度までは円滑に粉砕され、枝径が大きくなるに従い所要動力が増加した。なお、枝径60mm以上の太い枝はせん断刃を正・逆転させる操作が必要であった。

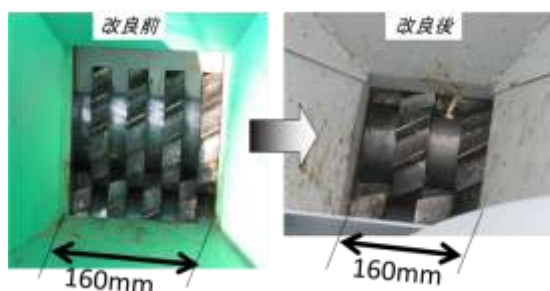


図15 2軸せん断カッタの改良

(2) 供給部の検討

2軸せん断カッタはせん定枝の枝径が50mm以上の太い枝は爪刃の引き込み作用不足で滑って処理できないことが観察された。そこで2軸せん断カッタ入り口部に供給部を設けた。供給部は2軸ローラ式で、供給上ローラと供給下ローラ

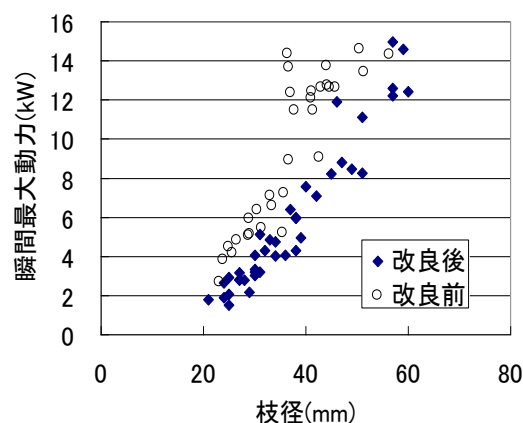


図16 2軸せん断カッタのせん定枝粉砕動力

で構成され、供給上ローラの外周には割裂き刃と搔込み歯を備えており(図17)、割裂き刃は太いせん定枝を縦方向に割る作用があり、搔込み歯はせん定枝を機内に引き込む作用がある。この前処理により、太い枝や枝分かれした枝の2軸カッタへの噛み込みが円滑に行われる⁶⁾。

(3) 搬送・収容部の検討

機能試験機(図11①)では、2軸せん断カッタで粉砕したチップを自然落下させ、コンテナに収容したが、コンテナ容量が小さく頻繁に交換が必要であり、ホップ投入口位置が高くせん定枝投入が難しかった。そこで、チップをスクリュオーガで横搬送し、スローワで放出し、断面形状が4角形で湾曲した管を経由して、容量180L(60kg)程度の網袋へ収容する構成とした(図11②)。ホップ投入口を真上に配置したため、ナシ園では長いせん定枝をホップに投入する時に、せん定枝が棚に当たるがあった。そこで、2軸せん断カッタを斜めに配置し、スクリュオーガとスローワで排出する構成とした(図11③)。スローワについては、スローワから放出されたチップが、袋へ収容する前で、管の湾曲した部分の壁面に当たり、その衝撃音が大きいことと、せん定枝を多量に処理した時にスローワ部分へチップが詰まるがあった。そこで2軸せん断カッタ下部にスクリュオーガ式排出装置を設けることにより、円滑な搬送が可能となった(図11④)。なお、180Lの網袋は2人でも運ぶのが難しく、容量60L(20kg)程度のコンバイン糞袋に変更し、自走拾上げ式と同様に交換用網袋の収納部を設けた。

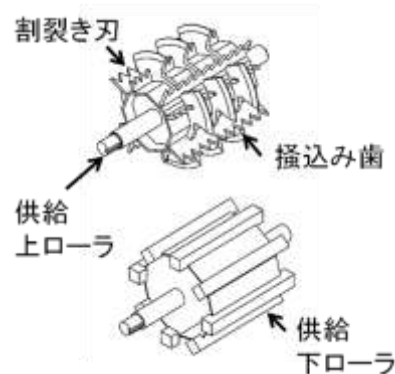


図17 2軸ローラ式供給部

2) トラクタ装着投入式2号機の概要

(1) 構成と作業方法

トラクタ装着投入式2号機は、作業者が供給したせん定枝を一時的に貯留するホッパ、ホッパ内のせん定枝を一定量掻込みながら搬送すると同時に、30mm以上の太い枝や枝分かれした枝を割る作用を備えた2軸供給ローラからなる供給部、せん定枝を粉砕する2軸せん断カタからなる粉砕部、粉砕されたせん定枝チップを網袋口まで搬送するスクリューオーガ式搬送装置からなる排出部、せん定枝チップを

収容する袋(コンバイン用籾袋)を装着する収容部、これらを駆動する油圧装置等で構成されている(図18、表3)。

せん定枝の粉砕搬出作業は、園内をトラクタが間欠移動しながら行う。せん定後に園内に散らばっているせん定枝を、作業者が拾い集め、せん定枝粉砕搬出機の供給ホッパへ投入すると、粉砕処理し、袋に収容する。

(2) 駆動方式

実際のせん定枝粉砕作業場面では、多量に処理する枝の中に、対象とする50mmより太い枝が混入することは避けられない。そのような場合は作用部に太い枝が詰まり機械が停止してしまうこととなるが、その時でも機械が破損することなく、しかも、作用部を逆回転させて容易に詰まった枝を排出できるよう、トラクタPTO駆動油圧式とした。主要諸元を表3に示す。油圧ポンプは、可変容量式アキシシャルピストンポンプ(最大圧力322kPa)としてトラクタPTO軸からVプーリ、Vベルトを経由して駆動した。油圧モータはラジアルピストンモータ(出力トルク17.4N・m)とし2軸せん断式カタを駆動した。

(3) 作用性能

園内を移動しながらの作業能率は、ナシ園でせん定枝量1185kg/10aの時、3.3h/10aであり、リンゴ園では209~822kg/10aのせん定枝量の条件で0.9~3.2h/10aであった(図19)。トラクタ

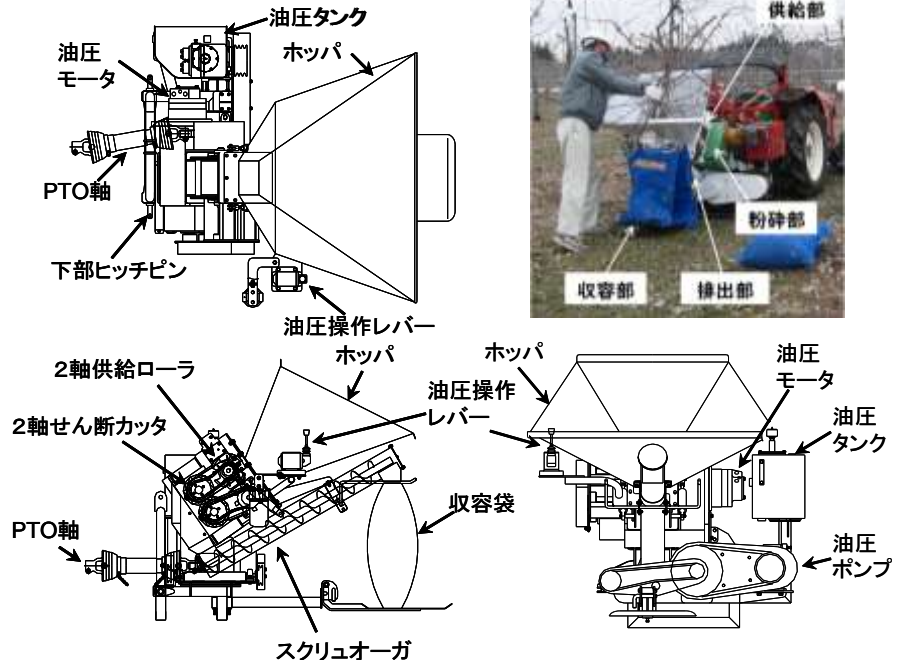


図18 トラクタ装着投入式試作2号機の構造

表3 トラクタ装着投入式2号機の主要諸元

方式	トラクタ装着式
大きさ	長1500×幅1340×高1360mm
質量	560kg
駆動部	PTO駆動(14.5kW以上)
搬送部	ローラ式(割裂き刃付き)、作用幅160mm
粉砕部	2軸カタ式(カタ4枚、外径158mm、刃幅40mm/枚、歯数12/枚、作用幅160mm)
排出部	スクリューオーガ式
収容部	網袋(容量約60L)
適用枝径	50mm以下

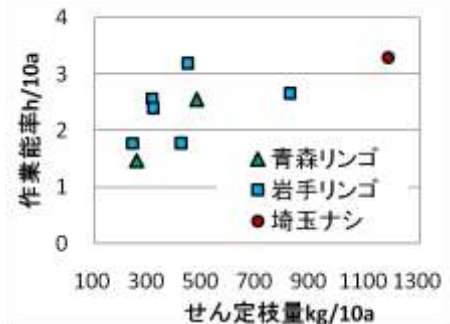


図19 トラクタ装着投入式の作業能率

装着投入式について、せん定枝を集めて、ホッパに投入する作業人数を1～4人とした場合の作業能率を表4に示す。作業人数が4人の場合、せん定枝をホッパに投入する際の待ち時間が多くなり、2名の組作業が能率的と考えられる。

予め収集した枝の定置作業での処理能力は、ナシ園で最大640kg/h、リンゴ園で最大440kg/h程度であった。チップの形状は幅21mm、長さ32mmで容積重が340 kg/m³程度であった。また、24kWトラクタに装着し、エンジン回転2500rpmで作業時の作業員耳元騒音は、フリーハンマー式従来機の110dB(A)に対し92dB(A)程度であった。

表4 トラクタ装着投入式の作業能率

せん定枝量 kg/10a	作業能率 h/10a	備考
444	3.20	リンゴ1人
239	1.78	
239	1.50	
255	1.47	
273	2.00	
311	2.57	
316	2.41	リンゴ2人
419	1.78	
476	2.55	
526	1.90	
533	2.80	
592	2.20	
822	2.67	
209	0.90	リンゴ4人
1185	3.30	ナシ2人

3) 自走投入式3号機の概要

粉碎したチップの運搬を容易にすることをねらいとして、リフトダンプ式バケットへチップを収容する自走投入式3号機を試作した。エ



図20 自走投入式の外観及び荷下しの様子

ンジンは18kW(24.5PS)、全高1.3m、全幅1.5m、全長

3.2mとし、バケット収容量は270L(90kg)で、リフト高さ1.4m、荷下し高さを地上高1.2mとし、棚栽培ナシ園内で動力運搬車の荷台に荷下しできた(図20)。



図21 チップの形状

4. せん定枝チップの利用

リンゴせん定枝チップの形状を図

21に示す。シリンダカッタ(拾上げ式)による

チップは幅19mm、長さ15mm、容積重420kg/m³程度である。一方、2軸せん断カッタ(投入式)によるチップの形状は幅21mm、長さ32mm、容積重が340kg/m³程度でチップは圧縮され割られた状態である。

チップの利用については堆肥化・炭化して園地に還元、マルチ資材としての利用等が考えられる。図22に炭化装置⁷⁾を示す。容量150Lの金網製容器に乾燥したナシのせん定枝チップを



図22 炭化装置

30kg 入れ 4h 燃焼させ、消火 16h 後に 8.3kg の炭ができた。

なお、燃焼時には消煙装置により煙が出ることはない。

チップのマルチ利用については、青森県りんご試験場、岩手県農業研究センターでの試験結果によると、リンゴせん定枝チップをリンゴの樹冠下に 5cm の厚さに生長や果実品質への影響は明らかでなかったものの、抑草効果(図 23)、水分保持効果が認められた⁸⁾。また、山形県農業生産技術試験



図 23 リンゴ樹冠下マルチの様子

場ではリンゴせん定枝チップをリンゴ樹冠下(フジ/M9 10

年生)に 6 年間、マルチ的に連年施用しており、紋羽病による被害は見られていないことが報告されている。

おわりに

せん定した枝を短く切り揃えて束ね、運び出す慣行作業は、多くの労力を要しているが、開発した拾上げ式および投入式せん定枝粉碎搬出機を利用することにより、大幅な軽労化、省力化を図ることができる。拾上げ式せん定枝粉碎搬出機を使う際には、せん定作業時に処理できない直径 3cm 以上の太い枝は主幹周り等に落とすなどして除外し、処理する枝を樹列間の通路に置いておくと、改めて腰を曲げて拾い集める作業が不要となり効率的である。一方、投入式は、直径 5cm 程度まで、正逆転操作をすれば 7cm 程度までの枝を処理でき、せん定枝以外のものとして、直径 7cm 程度までの竹が長いままでも処理可能である。2 軸せん断カッタを採用している投入式は低騒音であるため、住宅地に隣接した園地のほか、街路樹や庭木のせん定枝処理にも利用できる。

今後は、さらに現地での利用試験を行い、各タイプのコストパフォーマンスを比較・検討した上で、農機メーカーより実用化の予定である。

参考文献

- 1) 山谷秀明ら：農業機械開発改良試験研究打合せ会議資料 No. 4、果樹関係平成 16 年度成績概要、2-3、2005
- 2) 加藤晋朗ら：平成 14 年度関東東海北陸農業研究成果情報、果樹等せん定枝堆肥のイチジク株枯病及びナシ等白紋羽病に対する安全性、2002
- 3) 群馬県の生活環境を保全する条例第 9 1 条第 2 項
- 4) KYB 株式会社 <http://www.kyb.co.jp/products/category/11.html#04> (2008 年 1 月 24 日参照)
- 5) 特開 2007-98359：剪定枝破碎作業機
- 6) 特開 2007-301527：剪定枝破碎機
- 7) 株式会社サーマル <http://www.eco-thermal.com/products4.htm> (2008 年 1 月 24 日参照)
- 8) 山谷秀明ら：農業機械開発改良試験研究打合せ会議資料 No. 4、果樹関係平成 18 年度成績概要、2-3、2007

汎用型飼料収穫機の開発

畜産工学研究部 志藤博克、橘 保宏、川出哲生、
高橋仁康（現近中四農研セ）

はじめに	80
1. 試作1号機の開発	80
1) 開発構想の検討	80
2) 試作1号機の概要	81
3) 試作1号機の課題	82
(1) トウモロコシ収穫	
(2) 予乾牧草収穫	
(3) 飼料イネ収穫	
2. 試作2号機の開発	83
1) 試作2号機の概要	83
2) トウモロコシ収穫機能の改良	84
3) 予乾牧草収穫機能の改良	84
4) 飼料イネ収穫機能の改良	85
3. 増加試作機の開発と作業性能	85
1) 増加試作機の概要	85
2) 収穫試験の実施	86
3) 作業性能	86
おわりに	88
参考文献	88

はじめに

生産調整水田等は府県の重要な飼料生産基盤として位置付けられているが、降雨の影響を受け易くトラクタ作業が困難になる等により作付が伸び悩んでいる。また、近年、コントラクタが飼料作の担い手として府県でも一層の普及を期待されているが、飼料作物別に機械体系が必要となり初期投資がかさむことが普及の大きな阻害要因となっている。そこで、生研センターは府県における水田飼料作ならびにコントラクタの普及を推進するため、青刈りトウモロコシ、予乾牧草、飼料イネ等をトラクタ作業が困難な圃場条件下でも1台で収穫・細断・ロール成形できる「汎用型飼料収穫機」を開発することとした。

1. 試作1号機の開発

1) 開発構想の検討

平成15年度に全国のコントラクタ169組織（うち北海道108、都府県61）に対し、アンケート調査を実施した（回収率33%）。北海道のコントラクタの収穫調製作業は大型の自走式ハーベスタを基軸とした体系で行われているが、都府県のコントラクタではトラクタを基軸とした体系であることが確認された。コントラクタ運営上の問題点としては、「作業時期の集中化」や「オペレータの確保」と並んで「機械への投資額が大きいこと」が挙げられた。都府県のコントラクタが作業を行う上での問題としている点は、「降雨後の圃場条件回復の遅れによる影響」、「圃場間移動の効率化」、「小区画圃場での能率向上」が挙げられた。また、開発機に対して期待する点として、「自走式ハーベスタが入れない圃場でも作業可能であること」、「高密度で高品質なサイレージ生産が可能なこと」が挙げられた。

都府県における圃場一枚当たりの面積については、トウモロコシで30a未満および30～50aがそれぞれ33.3%であり、50a未満が大半を占めた。牧草では、1ha以上および30a未満がいずれも40%を占めており、面積の広い河川敷や永年草地と、転換畑などでの冬作とに分かれているものと考えられた。飼料イネでは、30a未満が66.7%を占めており、比較的小区画が多いことが分かった。

このように都府県では軟弱圃場や小区画圃場で高い機動性を持ち、高品質なサイレージ生産が可能で汎用性に優れた機械が望まれている。宮崎ら¹⁾は、小規模農家を対象として、8輪左右独立駆動方式の多輪型収穫機に材料こぼれ防止のための改良を加えた直径50cmの成形室と1条刈コーンハーベスタを装備した自走式ロールベアラを開発した。この開発機によりトウモロコシを収穫・細断してロールベール（以下、「ベール」という。）に成形することに成功したが、切断長を3cm以下にするとトワインによる結束では成形性の維持が困難になり、ベール放出時の衝撃による崩れも合わせたロス合計がおおよそ10%程度に達したと報告している。また天野²⁾は、多輪型収穫機は履带式作業機より最低地上高が低いため、軟弱圃場での作業には不向きであると指摘している。軟弱圃場での作業性に優れている自脱コンバイン並の作業性を目標とするならば、接地圧は20～49kPa³⁾である必要がある。浦川ら⁴⁾は、自脱コンバインに直径1mの成形室を搭載した飼料イネ用ロールベアラを開発・市販化した。湿田での作業性にも優れ、飼料イネ作付け拡大の推進役として果たした功績は大きい。しかし、トウモロコシや予乾牧草への適用拡大は不可能であった。生研センターは、ベール放出時のロスが2%以下で、垂直式サイロに4～5m詰込んだ時の底部の乾物密度に相当する高密度なベール成形が可能な細断型ロールベアラを開発し⁵⁾、⁶⁾、トウモロコシの省力的で高品質なサイレージ生産を可能にした。細断型ロールベアラとともに作業を行うフォレージハーベスタのアタッチメントをピックアップ装置に交換することにより、牧草や飼料イネへも適用可能となることから、これらのサイレージの高品質

化についても期待された。しかし、細断型ロールベアラはトラクタけん引式であり、トラクタを含めた全長が10m以上となるため、小区画圃場では定置作業に限られた。また、飼料イネ圃場に多い軟弱圃場ではトラクタ作業は困難であった。

これらの前例を踏まえ、開発機はトラクタによる作業が困難な軟弱圃場や小区画圃場でも高い機動性を持つクローラ式走行部、収穫アタッチメントの交換により多様な飼料作物に対して1台で対応可能で汎用性の高い収穫部、細断型ロールベアラで培われた「高密度でロスの少ないべールに成形できる」成形室から構成するものとした。目標とする作業能率は府県におけるトラクタ作業および市販飼料イネ専用収穫機と同等以上とすることとし、30a 圃場での作業能率をトウモロコシ収穫で 30a/h、予乾牧草で 40a/h、飼料イネで 27a/h とし、年間 50ha を作業可能であることとした。また機体全長は 59kW (80PS) トラクタの後にコーンハーベスタを装着した時と同様とすることとした。図 1 に概念図を示す。

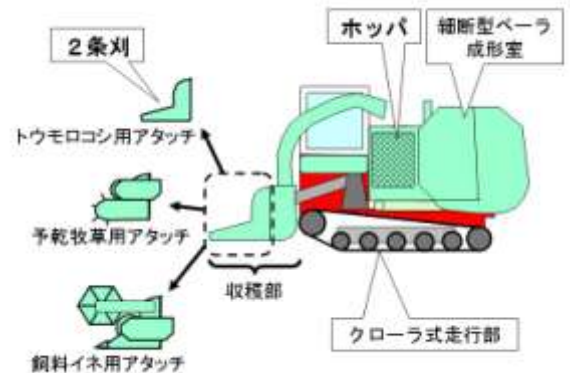


図 1 汎用型飼料収穫機概念図

2) 試作 1 号機の概要

開発構想に基づき、試作 1 号機を製作した。試作 1 号機の収穫部はシリンダ型 cutter head (直径 445mm、幅 340mm) を有するユニット型フォレンジハーベスタをベースにしており、刈取りあるいは拾い上げを行う部分である収穫アタッチメント (以下、「アタッチ」という。) を着脱交換できる構造とした。アタッチは、青刈り収穫時の中割作業を可能とするため、トウモロコシ用を 2 条刈ロックロップ式、飼料イネ青刈り用を作業幅 2m のリール式 (普通型コンバインのリールヘッダをベース) とし、予乾牧草用は拾い上げ幅 1.6m のピックアップ式とした。切断長は、トウモロコシで 10mm、牧草と飼料イネで 30mm とした。成形室は細断型ロールベアラのもの (直径 0.8m、幅 0.85m) を流用し、その前方に容量 1m³ の小型ホッパを設けた。クローラ式走行部は、6 条刈自脱コンバイン (機関出力 69.9kW) の走行台車をベースにした。

試作 1 号機は、①収穫部で飼料作物を収穫・細断しホッパに投入、②ホッパ底部のコンベアで材料を成形室に搬送、③成形室が満量になった時点でコンベアが停止し、材料をホッパに貯留する一方、ネットでべールを結束、④ロールベアラを放出、⑤コンベアが再始動してホッパ内の材料を成形室に搬送、の動作を自動的に行う。従来のロールベアラのようにネット結束時に収穫作業を中断する必要がない。トウモロコシ用アタッチ装着時の試作 1 号機の外観と主要諸元を図 2 と表 1 に示す。また、図 3 にトウモロコシ用アタッチ、図 4 に予乾牧草用アタッチ、図 5 に飼料イネ用アタッチを示す。



図 2 試作 1 号機の外観

表 1 試作 1 号機の主要諸元 (設計値)

全長(mm)	6,965
全幅(mm)	1,900
全高(mm)	3,440 (作業時)
質量(kg)	4,500
成形室寸法(m)	φ0.8×0.85
収穫部形式・寸法(mm)	シリンダ式・φ445×340
機関出力(kW)	69.9
平均接地圧(kPa)	25

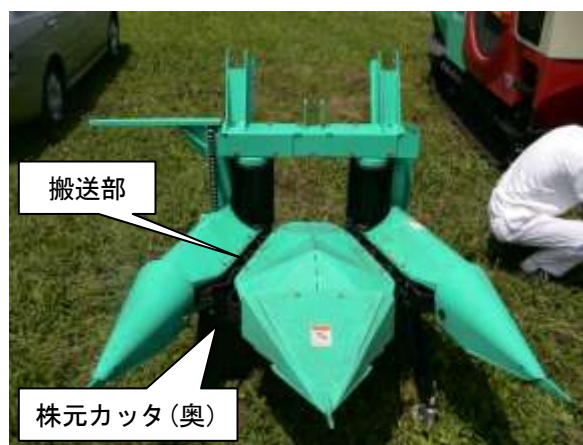


図 3 トウモロコシ用アタッチ

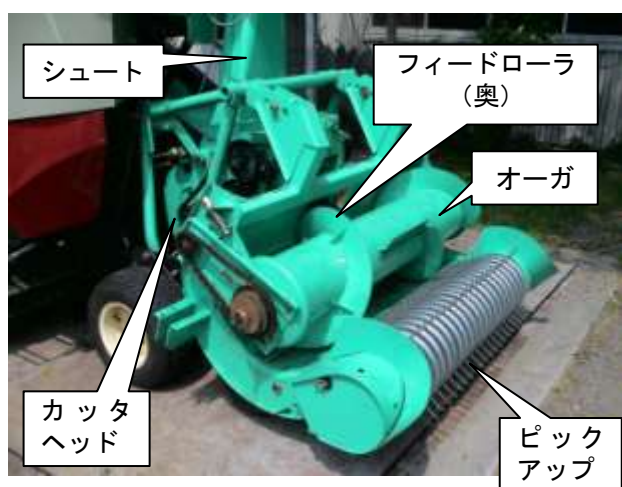


図 4 予乾牧草用アタッチ

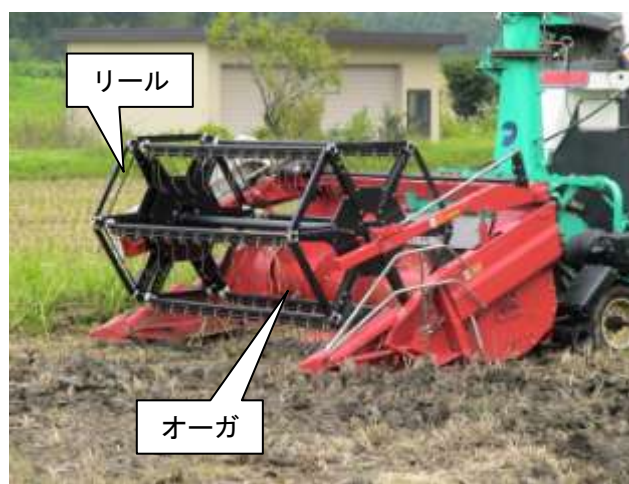


図 5 飼料イネ用アタッチ

3) 試作 1 号機の課題

(1) トウモロコシ収穫

試作 1 号機は、機体前面に配置した収穫部により中割作業が可能であり、圃場への進入と同時に収穫作業ができた。また、その場旋回により圃場隅の狭いスペースでも速やかな作業が可能であった。ベール放出時に生じるロスは、約 2% と細断型ロールベアラと同様であった。作業能率は、収量 6.0t/10a、含水率 69% のトウモロコシ 40a を収穫した場合（枕地処理を除く）で 34a/h であったが、作業速度を 0.8m/s 以上になると、ホップ内に一時貯留された材料がブリッジを形成し、成形室への材料搬送が滞って作業が中断する問題があった。そこで、ホップ内のアジテータの形状や回転方法および取り付け位置を検討した結果、材料搬送の円滑化が図られた。また、雑草が多い圃場では、トウモロコシ用アタッチの刈り取ったトウモロコシを搬送する部分に雑草が詰まって作業できなくなるといった問題や、最低刈高さが一般的なコーンハーベスタよりも高い、といった課題が明らかになった。さらに、試作 1 号機で作るベールの数は 10a あたり 13~15 個となり、組作業を行う市販自走式ベールラップ(以下、「自走ラップ」という。)の密封作業が追いつかず、試作機 1 台に対して自走ラップが 2 台必要になったため、両者の作業能力のバランス改善を検討する必要がある。

(2) 予乾牧草収穫

モアで刈取った後、圃場で予乾してレーキで集草した牧草（イタリアンライグラス、エン麦、ス

ーダングラス、収穫時の含水率 38～71%) を、予乾牧草用アタッチを装着した試作 1 号機で収穫した。予乾した牧草は、立毛状態で収穫するトウモロコシや飼料イネよりも材料含水率や量の変動が大きいため、収穫機への負荷変動も大きくなった。草量が多い箇所では、拾い上げた草がシュートの中やオーガとフィードローラ（以下、「FR」という。）の間にしばしば詰まった。そこでシュート内の詰まりを解決するため、シュート全長を短縮化し、出口断面積を拡大した結果、改良前に比較してシュート詰まりの頻度は大幅に低下した。また、オーガと FR の間の詰まりを解決するため、この部分での材料草の流れを促進するため、オーガ中央部に掻き込みパドルを 2 個取り付け付けた。改良前に比較して材料草の流れは改善されたように観察されたが、転草・集草時に塊状になった草を拾い上げると、収穫部がこれを処理しきれず、草が FR やカッターヘッドに詰まった。転集草作業で草が塊状になることは避け難い問題であり、欧米のフォレージハーベスタは大型化・パワーアップを図ることにより、こうした問題に対処してきた。しかし、本開発機では搭載するエンジンを大型化すると機体寸法の拡大に直結するため、府県に多く見られる中山間地の転換畑での作業が可能な機体寸法にまとめることができなくなる。別の角度からの対策を検討する必要が認められた。

(3) 飼料イネ収穫

飼料イネ収穫作業は概ね順調であったが、収穫部を昇降する時にシュートがキャビンに干渉する問題があった。元々普通型コンバイン用に製作されたリールヘッドをフォレージハーベスタのカッターヘッド部に適用したために、収穫部の支持部の強度が不十分となり、収穫部が傾いたためにシュートがキャビンに干渉した。支持部の強度向上を図る必要があった。また、飼料イネにはケイ酸が含まれており、収穫部カッターヘッドの切断刃の磨耗が懸念されたため、高硬度材質の切断刃を採用した。3ha を作業した後の切断刃の様子を観察した結果、特に目立った損耗は確認されなかった。

2. 試作 2 号機の開発

1) 試作 2 号機の概要

本機の作業能力を犠牲にすることなく、トウモロコシ収穫における自走ラッパとの作業能力バランスの改善を図ることをねらいとし、単位面積当たりに作られるベールの数を減らすため、成形室直径を 1m に拡大した試作 2 号機を製作した。試作 2 号機では、10a 当たりに作られるベールの数は 10 個前後と試作 1 号機より 23～33%減った。試作 2 号機は成形室直径が 150mm 拡大したが、機体全長は 470mm 短くなった。また、走行部の機関出力が 72kW に向上した。試作 2 号機は、ベンチテストによる耐久試験への供試機である 2 号機 A と、耐久試験と平行して行う圃場試験用の 2 号機 B の 2 台を製作した。

また、ベール寸法の拡大に伴い、積載可能質量とベール積み下ろし作業時の機体安定性向上を図った改良を加えた自走ラッパ（以下、「試作ラッパ」という。）を製作した。試作ラッパは、これまでよりも重いベールを安定して積み下ろしするため、履帯接地長を機体前方に約 200mm 延長し、適応ベール直径を拡大するため、ベール積込みアームの形状を改良した。図 6 に試作ラッパの側面図、表 2 に市販機との主要諸元比較を示す。試作ラッパは、市販品では不可能であった 500kg のトウモロコシベールを機体前後方向の安定性を損なうことなく積み下ろしすることができることを確認した。

なお、試作 2 号機 A を供試した耐久試験は、トレッドミル走行試験、収穫部昇降試験、蛇行試験、作業機駆動クラッチ断続試験から構成し、それぞれ年間 50ha で対応年数を耐えることを目標に行った。

強度向上を図った部分については、逐次、試作2号機Bに反映させた。

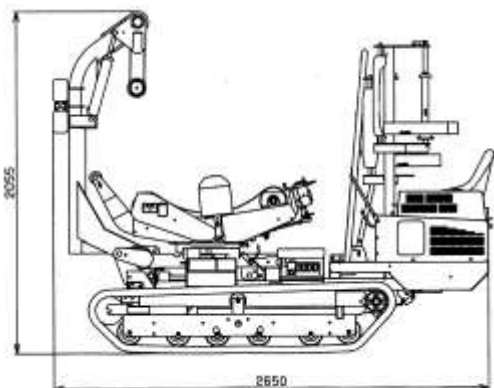


図6 試作ラッパの側面図

表2 試作ラッパと市販機の主要諸元比較

		試作ラッパ	市販機
全長	(mm)	2,650	2,660
全幅	(mm)	1,655	1,520
全高	(mm)	2,055	1,940
質量	(kg)	1,145	1,100
履帯接地長	(mm)	1,335	1,122
接地圧	(kPa)	15	17
適応バール直径	(cm)	80~110	90~100
最大積載可能バール質量	(kg)	600	400

2) トウモロコシ収穫機能の改良

アタッチの株元カッタと搬送機構に改良を加えた結果、刈高さを50mm程度低くでき、搬送部への雑草の詰まりが低減した。搬送部の刈り取ったトウモロコシを把持する能力が向上したため、刈り取ったトウモロコシを取り損なって圃場に落とすことがなくなった。アタッチの機構の簡素化を図ったため、改良前よりも40kg弱の軽量化を図ることができた。また、圃場の長辺距離が100m以上になると、ネット結束時にホッパに溜まる材料量が増え、そのままの作業速度で続行するとホッパから溢れることがあった。そのため、ホッパ内壁にセンサを取り付け、ホッパの貯留量が一定以上になると警報音を発してオペレータに作業速度を落とすよう注意を喚起する機能を設けた。

3) 予乾牧草収穫機能の改良

塊状の草を拾い上げた時の詰まりを回避するため、拾い上げ草量規制装置(図7)をアタッチに取り付けた。これは、ピックアップが拾い上げた草のうち、櫛状に配置した搔き落とし爪で一定量以上の草を集草列の前方に搔き落とす仕組みとなっている。草詰まりが起きやすい含水率60%以上の条件で確認作業を行った結果、オーガ等での草詰まりによる停止時間が改良前の47%に低減し、平均作業能率が約2倍に向上した(図8)。

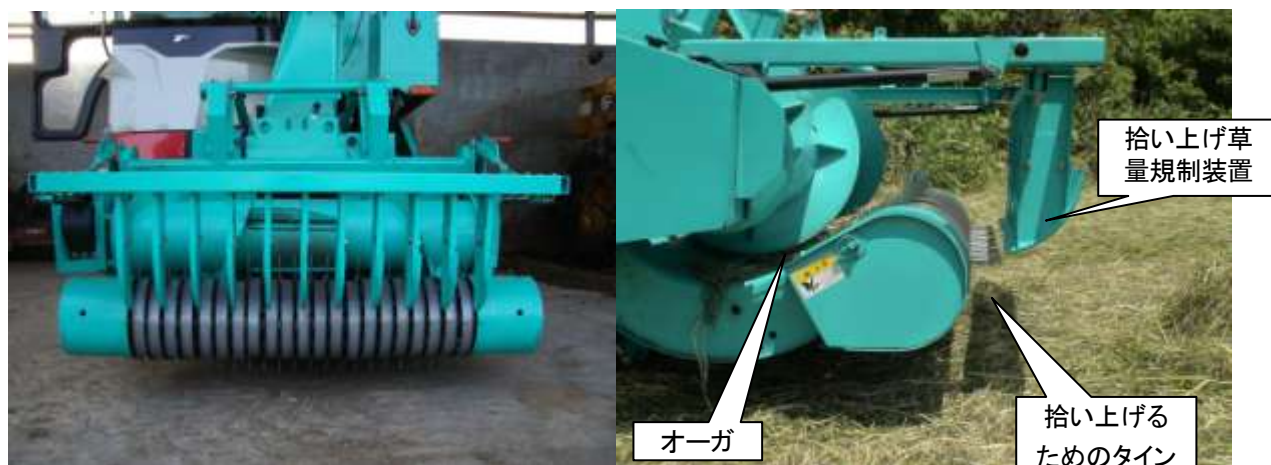


図7 拾い上げ草量規制装置を装着した予乾牧草用アタッチメント(左:正面図、右:側面図)

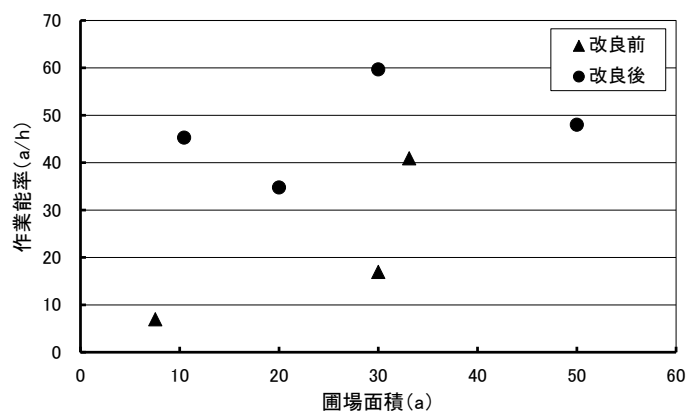


図8 改良前後の牧草収穫作業能率の比較

4) 飼料イネ収穫機能の改良

草丈 130cm 以上の品種を収穫すると、オーガと FR の間で材料が滞留し、これが一定量以上溜まるとオーガに巻き付いて詰まる問題が生じた。普通型コンバインでは搬送コンベアの間口が 500~600mm と広く、高刈りするため、こうした問題は起こりにくい。本開発機では、収穫部 FR の間口が 340mm と普通型コンバインの搬送コンベアよりも狭く、FR が取り込み口からやや奥まった位置にあるうえに、材料を全量取り込むため、材料の滞留が起こるものと考えられた。FR の間口を拡大すると、その分だけ収穫部の所要動力が増大するため、搭載機関の出力向上の必要が生じてしまう。そこで、FR を取り込み口の近くに出すとともに取り込み口両側の角を削り落とすことにより、この部分でのイネの搬送性を改善した結果、平均草丈 130cm の条件でも円滑な収穫作業が可能であることを確認した。

3. 増加試作機の開発と作業性能

1) 増加試作機の概要

試作 2 号機 A による耐久試験結果を踏まえた強度向上と取扱性向上を図った増加試作機を製作した (図 9、表 3)。増加試作機は、主に動力伝達部の強度向上を図り、取扱性については、ネット交換作業がやり易いようにネット取り付け高さを下げ、繰出しユニットを引き出し可能としたほか、給油作業を容易にするためのステップを機体左前方に設ける等の改良を加えた。

なお、強度向上については、試作 2 号機 B にも増加試作機と同様の改良を加えた。

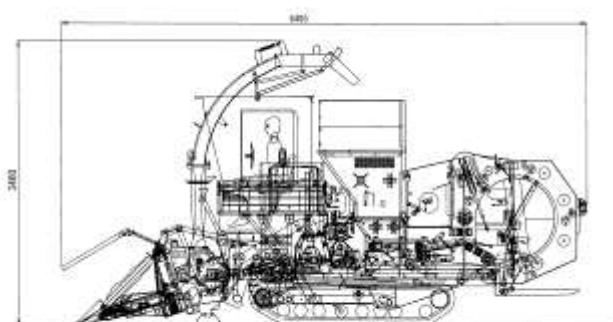


図9 増加試作機の側面図
(トウモロコシ用アタッチ装着時)

表3 増加試作機の主要諸元

アタッチ種類	トウモロコシ	牧草	飼料イネ
機体全長(mm)*	6,495	6,170	6,850
機体全幅(mm)*	2,000	2,000	2,340
機体全高(mm)*	3,460	3,460	3,460
機体質量(kg)*	4,920	4,960	5,220
接地圧(kPa)*	28.4	28.6	30.1
作業幅(m)	1.5 (2条)	1.6	2.0 (6条)
切断長(mm)	10	30	30
機関出力(kW)		72	
ホッパ容量(m ³)		1.0	
成形室寸法(m)		φ1.0×0.85	

*各アタッチ装着時の作業状態での値

2) 収穫試験の実施

増加試作機と試作2号機 B、試作ラップを供試して、トウモロコシ、予乾牧草、飼料イネのそれぞれについて公的試験研究機関の協力の下、収穫試験を実施し、作業能率、ベール放出時のロス、ベールの乾物密度、サイレージの発酵品質について調査した。能率試験は、中山間地の転換畑や飼料イネ圃場を想定した3~20a区画と、団地化飼料畑を想定した30~60a区画を設定し、実際の現地圃場およびそれを想定して区割りした試験研究機関の圃場で行い、試作機と試作ラップの作業能率を比較して、組作業として成立するかどうかを検討した。試作機の作業方法は、トウモロコシと予乾牧草では、試作ラップの移動時間を少なくするため、回り刈りをせず、枕地を空けた後に圃場の片側から往復作業で収穫することとした。飼料イネでは、圃場面積が比較的小さく、試作ラップの移動距離も短いと判断したため、原則として反時計回りの回り刈りでを行った。試作ラップは、密封後のラップサイロを圃場脇（畦の外側）に順次置くこととした。試験には、現地のコントラクターや試験研究機関の技術員に立ち会って頂き、作業性能等についての評価を頂いた。トウモロコシ収穫試験は合計15haの収穫作業を行い、供試したトウモロコシの平均乾物収量は1.0~1.7t/10a、平均含水率は70~80%であった。牧草収穫試験は合計8.8ha行い、供試した牧草はイタリアンライグラス、リードカナリーグラス、エン麦等で、平均乾物収量は0.4~1.2t/10a、集草列含水率は41~68%であった。飼料イネ収穫試験は合計6.7haの作業を行い、供試した飼料イネの平均乾物収量は0.8~2.0t/10a、平均含水率は48~72%であった。作業風景を図10~12に示す。



図10 トウモロコシ収穫作業風景



図11 予乾牧草収穫作業風景



図12 飼料イネ収穫作業風景

3) 作業性能

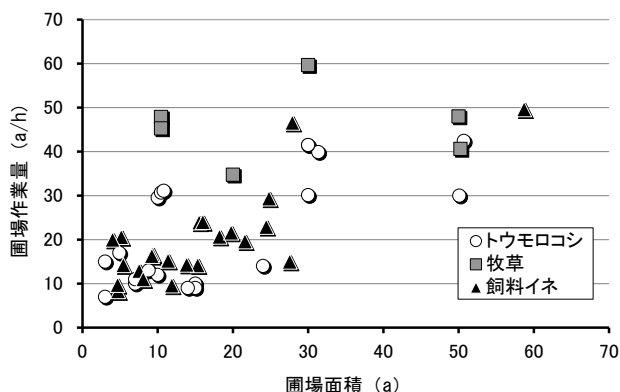
圃場面積30a、乾物収量1.6t/10a、含水率70%のトウモロコシ収穫時の作業能率は42a/h、圃場面積50a、乾物収量0.5t/10a、集草列含水率61%の予乾牧草収穫時の作業能率は48a/h、圃場面積25a、

乾物収量 0.8t/10a、含水率 57%の飼料イネ収穫時の作業能率は 29a/h であり、それぞれ目標値（トウモロコシで 30a/h、予乾牧草で 40a/h、飼料イネで 27a/h）を上回った。作業能率は圃場面積が小さくなるに連れて低下した（図 13）が、5a 以下の狭小圃場での作業能率は平均 14a/h であり、試験に協力頂いたコントラクタ等からはトラクタで作業を行った場合以上の性能であるとの評価を得た。また、貫入抵抗値が 0.36MPa の軟弱圃場でも作業速度 0.76m/s で飼料イネを収穫可能であり、2.4MPa の圃場での作業速度 0.83m/s と比較しても十分な作業性であった。一方で、点検整備などの取扱性の向上や実際に現地でコントラクタ等から評価を得てブラッシュアップを図る必要性を確認した。

試作ラップの作業時間は、30a 以上のトウモロコシでは、試作機の作業時間より 30%以上多くかかった。しかし、都府県で多く見られる 30a 以下の圃場においては、試作ラップは試作機と同等の作業ペースあるいは試作ラップがある程度の余裕を持って作業することが可能だったことから（図 14）、この組み合わせによる作業体系の妥当性が認められた。

ベール放出時のロスは、いずれの作物でも 2%未満で細断型ロールベアラと同等であった。ベールの平均質量および平均乾物密度は、トウモロコシで 488kg、197kg/m³（平均含水率 71%）、予乾牧草で 414kg、235 kg/m³（平均含水率 55%）、飼料イネで 314kg、177 kg/m³（平均含水率 59%）であった。図 15 にベールの外観、図 16 にベール質量の測定結果、図 17 にベールの乾物密度測定結果を示す。

貯蔵期間が 12 カ月のトウモロコシ、7 カ月のイタリアンライグラス、8 カ月の飼料イネのサイレージ発酵品質を表 4 に示す。長期間の貯蔵を経た後でも V-score（発酵品質を 100 点満点で評価する指標で、80 点以上が「良」となる）が 90 点以上の良好な品質であった（表 4）。



トウモロコシ	乾物収量 1.0~1.7t/10a	含水率 70~80%
牧草	乾物収量 0.4~1.2t/10a	含水率 41~68%
飼料イネ	乾物収量 0.8~2.0t/10a	含水率 48~72%

図 13 圃場面積と試作機の作業能率の関係

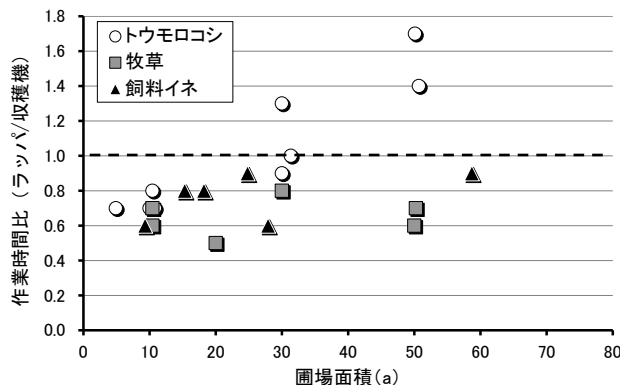


図 14 試作ラップと試作機の作業時間比*

* 試作ラップの作業時間を試作機の作業時間で除した値で、1 を超えると試作ラップが試作機に追いつけないことを意味する。



図 15 ベールの外観（左からトウモロコシ、牧草、飼料イネ）

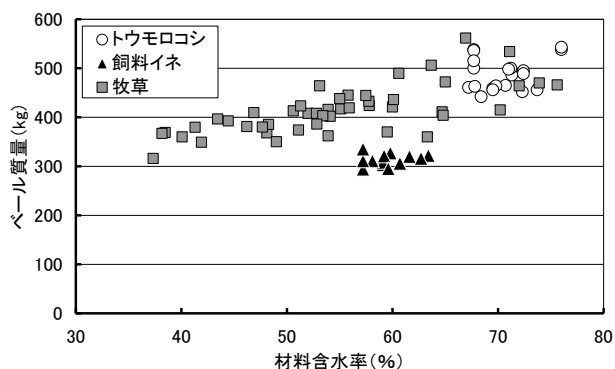


図 16 含水率とバール質量の関係

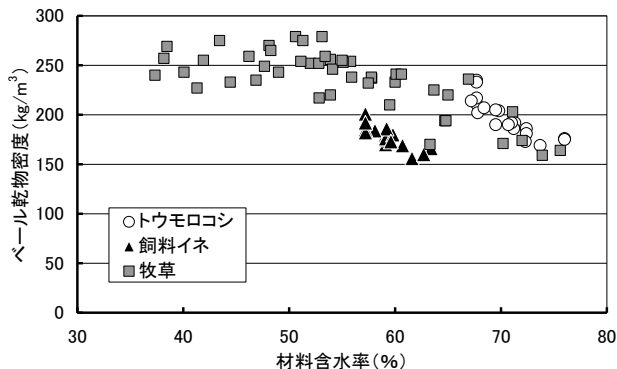


図 17 含水率とバール乾物密度の関係

表 4 試作機で調製したサイレージの発酵品質の一例

貯蔵期間	含水率 (%)	pH	有機酸含量 (%FM)			VBN/TN (%)	V-score	
			乳酸	酢酸	酪酸			
トウモロコシ	12 カ月	73.5	3.7	1.49	0.30	0.00	6.00	97.2
イタリアンライグラス	7 カ月	54.4	5.1	0.26	0.00	0.00	8.00	99.0
飼料イネ	8 カ月	62.2	3.8	1.30	0.19	0.00	4.30	100

注) トウモロコシの品種は「P3470」、イタリアンライグラスの品種は「イナズマ」、飼料イネの品種は「はまさり」である。

おわりに

開発開始時の平成 15 年度の都府県におけるコントラクタ組織数は 195 件、全国で 317 件であったが、平成 17 年度の都府県の組織数は 43% 増の 278 件、全国で 38% 増の 437 件と、都府県での伸びが著しい (平成 19 年 3 月農林水産省畜産振興課調べ)。また、バイオエタノール需要の急増に伴う飼料価格の急激な高騰と、酪農畜産経営およびコントラクタを取り巻く状況は、開発期間の 5 年間で急速に変化し、本開発機の担うべき役割の重要性は益々増すばかりである。来年度は、コントラクタや営農法人等において現地での評価試験を行い、現地適応性や取扱性等の向上を図るとともに、生産費を試算して開発機の導入条件の基礎データを提示する予定である。開発機は、この試験を経た後の平成 21 年度に市販化する予定である。

参考文献

- 1) 宮崎昌宏ら：ミニロールラッピング処理装置の開発 (第 1 報)、農作業研究、28(2)、109-114、1993
- 2) 天野憲典：多輪型万能作業車の効果的利用、畜産の研究、41(1)、39-44、1987
- 3) 農業機械学会編：生物生産機械ハンドブック、コロナ社、p354
- 4) 浦川修司ら：飼料イネ用カッティングロールベアラの開発、日本草地学会誌、49(1)、43-48、2003
- 5) 志藤博克ら：青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発 (第 3 報) - 試作 2 号機の開発と実用化試験、農機誌、67(3)、106-113、2005
- 6) 志藤博克ら：細断型ロールベアラで調製したサイレージの発酵品質、日草誌、51(1)、87-92、2005

I T を活用した乳牛飼養管理システムの開発

畜産工学研究部 平田 晃、後藤 裕、川出哲生、阿部洋平、道宗直昭
共同研究実施会社 オリオン機械(株)、北原電牧(株)、富士平工業(株)

はじめに	90
1. 開発システムのコンセプト	90
1) 開発システムの適用条件	90
2) 適用条件を満たす牧場の現状	90
3) 開発の基本コンセプト	91
2. 開発システムの概要	92
3. 各部の機能	93
1) 搾乳前の乳牛情報表示と乳量データ収集	93
2) 乳量データからの給餌データ表作成(牛舎PC)	93
3) 自動給餌機(電子個体識別装置搭載)	94
4) 牛舎PC(飼養管理データベース)	94
4. モニター牧場での運用試験	96
1) モニター牧場の概要	96
2) 導入前後の作業分担の変化	96
3) 導入前後の生乳生産の推移	96
4) モニター農家の評価(聞き取り)	97
おわりに	97
参考文献	97

はじめに

飼養規模拡大と高泌乳化が進む中、搾乳ユニット自動搬送装置や自動給餌機が開発され、繋ぎ飼いで省力的多頭飼養が可能となった。北海道では、100頭規模まで繋ぎ飼いで対応できるということで、搾乳ユニット自動搬送装置を導入する牧場の約80%は自動給餌機をあわせて導入しており、「繋ぎ飼いの高度化」という選択肢は、酪農現場において定着してきたといえる。繋ぎ飼いの長所は、個体観察によるきめ細かな管理である。しかし、記憶によって、「酪農家の頭の中にある牛舎イメージ」に収容できる乳牛の数には限りがあり、飼養規模が大きくなるに従い、緻密さが失われ、不確かさが増大する。そこで斉一性を前提とした牛群分けにより給餌管理を簡略化するという対応がなされている。しかし、50頭～100頭程度の飼養規模は、記憶するには大きい、斉一な能力を持つ牛群に分けるには小さく、労力的にも1群管理や2群管理となりがちである。高泌乳側に揃えれば、全体としては、無駄が生じることになろう。今後とも飼料価格の高止まりが想定される中で、乳牛の能力に応じた適切かつ効率的な給餌によるコスト削減が求められている。また、一方では食の安全性への関心の高まりから、トレーサビリティを確保することは当然のこととされている。こうした背景から、繋ぎ飼いの牛舎においても、これまでの経験と勘から電子記録等による信頼性の高いデータを活用した合理的な飼養管理への展開が期待され、それを支援する技術開発が要望される。

そこで、搾乳ユニット自動搬送装置と自動給餌機を装備する繋ぎ飼いの牛舎に、ITを活用することによって、日常的に自動収集・電子記録される乳牛の個体情報に基づく乳牛飼養管理システムを開発し、モニター牧場で運用試験効果を調査したので報告する。

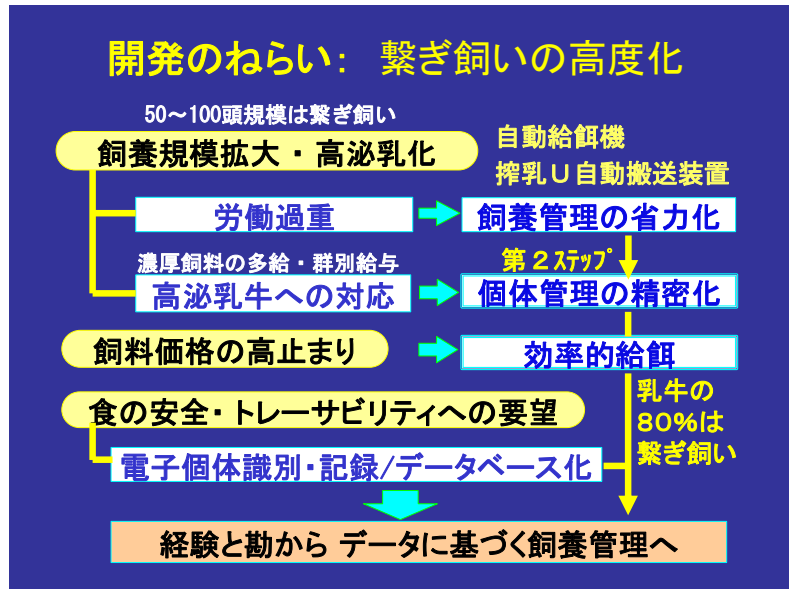


図1 開発システムのねらい

1. 開発システムのコンセプト

1) 開発システムの適用条件

システムの適用条件は、搾乳ユニット自動搬送装置と自動給餌機を装備する繋ぎ飼いの牛舎に限定される。この省力化システムをベースとして、データ収集・通信機能を付加し、繋ぎ飼いの牛舎における飼養管理のIT化を図ることとした。

2) 適用条件を満たす牧場の現状

搾乳ユニット自動搬送装置（商品名：キャリロボ）（図2）は、搾乳ユニットを左右に搭載して、乳牛間を自律移動し、2頭同時搾乳を行うことで、搾乳作業を大幅に省力化することができる装置

である。乳量データは、搾乳ユニット操作パネルに簡易表示されるが、搾乳作業者が参照できるだけである。自動給餌機（商品名：MAXフィーダ）（図3）は、粗飼料と数種類の濃厚飼料等を牛床識別しながら1日に多数回、自動給餌することで、給餌作業の大幅な省力化を図ることができる装置である。ただし、現状では、濃厚飼料の給与レベルは、牛群を初産牛と2産牛以上の2群に分け、月1回の乳検データを参考に各種飼料の配合割合と給与量を決め、自動給餌機コントロールパネルから給餌データを手入力している。牛の入れ替わりがあれば、その都度、データ入力が必要となるし、繁忙期などにデータ更新の余裕がなければ、古いデータで給餌されていく。



図2 搾乳ユニット自動搬送装置による
2頭同時搾乳の様子



図3 自動給餌機による牛床識別給餌の様子

3) 開発の基本コンセプト

従来どおり、搾乳ユニット自動搬送装置を使った2頭同時搾乳の中で、各個体の乳量データを自動収集し、データを統合管理するパソコン（牛舎PC）に送信する。牛舎PCでは、収集乳量データに応じた給餌表を作成し自動給餌機に送信する。自動給餌機は、乳牛を個体識別して、乳量に応じて給餌する。この時の飼料給与メニューは、経営主の了解を得て、基本的に導入牧場で使われているものを個体別給餌モデルとして踏襲する。また、牛舎PCでは、酪農家の頭の中にあるような牛舎イメージでデータを自動的に統合管理する。牛舎イメージのデータベースには、飼養管理に必要なデータ（繁殖管理データなど）を入力して統合管理でき、乳牛アイコンをクリックすれば、詳細な飼養管理データに展開でき、また元の牛舎イメージには簡単に復帰できる。牛舎-乳牛（飼養管理・地図）のナビゲーションシステムとして、第三者も分かり易くデータを参照し、飼養管理状況に対する理解を共有できるシステムとする。これをベースに、今後、有用な機能を組み込んでいく。これが、開発の基本コンセプトである。

2. 開発システムの概要

開発システムの全体構成を図4に、また、システム構成要素の相互間の通信方向と機能を表1に示す。本システムは、牛床識別タグを取り付けた牛舎、電子耳標を装着した乳牛（データ管理用牛舎PCに登録）、搾乳ユニット自動搬送装置（牛床識別機能、乳量データ収集機能、牛舎PCとの双方向通信機能を搭載）と自動給餌機（電子耳標読み取りアンテナ、牛舎PCとの双方向通信機能を搭載）および両者と双方向に通信してデータを統合管理する牛舎PCとで構成される。

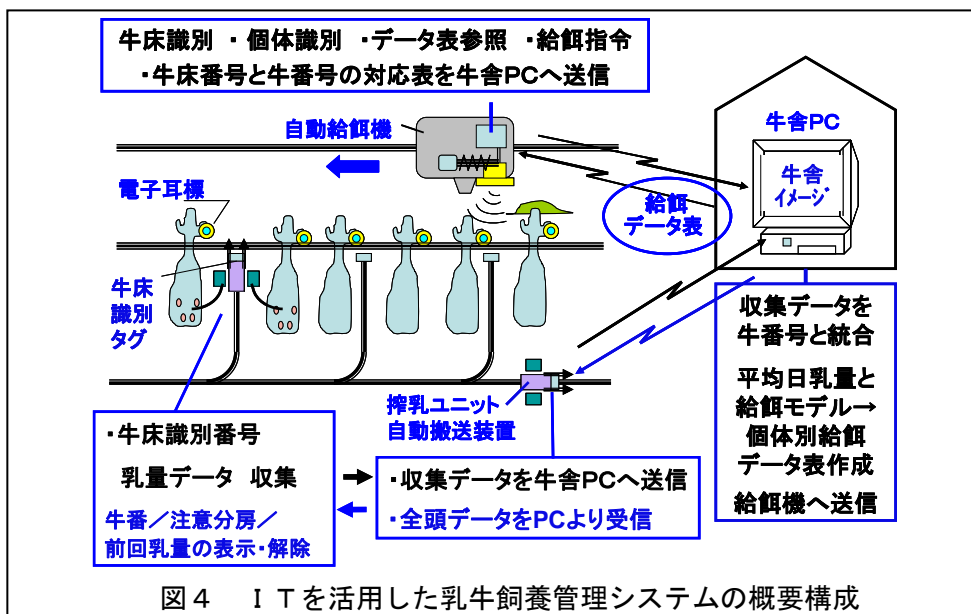


表1 システム構成要素と相互間通信方向および機能			
システム構成要素と通信方向（矢印）		機能	通信方式
搾乳ユニット自動搬送装置 （データ収集／送受信部）	← 牛床識別タグ	牛床番号読み取り	電磁誘導 Bluetooth Bluetooth
	↔ 搾乳ユニット	各牛床で左右2頭の乳量データ収集	
	↔ 牛舎PC	（牛床番号・乳量データ）セット送信	
搾乳ユニット自動離脱装置 簡易乳量計	↔ 搬送装置	牛番・注意分房・前回乳量受信・表示 個体乳量データ計測・送信	Bluetooth
自動給餌機 （制御部）	↔ 牛舎PC	給餌データ表送受信／牛床・耳標番号データ送信	無線 近接センサ RS-232C
	← 牛床識別タグ	牛床識別	
	← 個体識別装置	耳標番号・牛体確認データの受信	
	→ 乳牛	給餌データ表の参照給餌	
電子個体識別装置 （自動給餌機に搭載）	→ 自動給餌機	耳標番号・牛体確認データの送信	RS-232C
	← 電子耳標	乳牛装着の電子耳標番号の読み取り	電磁誘導
	← 乳牛（牛体）	牛体検出（乳牛の存在確認）	焦電センサ
牛舎PC （飼養管理データベース）	↔ 搬送装置	乳量データ収集／牛番・注意分房・前回乳量送信	Bluetooth
	↔ 自動給餌機	給餌データ表作成送信／牛床・耳標番号データ収集 データ統合管理（牛舎イメージ表示）	無線

3. 各部の機能

1) 搾乳前の乳牛情報表示と乳量データ収集

搾乳前に作業者が電源を入れると、搾乳ユニット自動搬送装置は、牛舎内乳牛全頭のデータを牛舎PCより受信し、牛舎内を移動して牛床識別すると、牛床・牛番データを参照して、該当する乳牛の牛番、注意分房、前回収量データを搾乳前情報として搾乳ユニット自動離脱装置の操作パネルに表示することができる(図5)。作業者は、搾乳開始ボタンを押してそのまま搾乳することもできるし、確認して操作パネルからの修正入力も可能である。

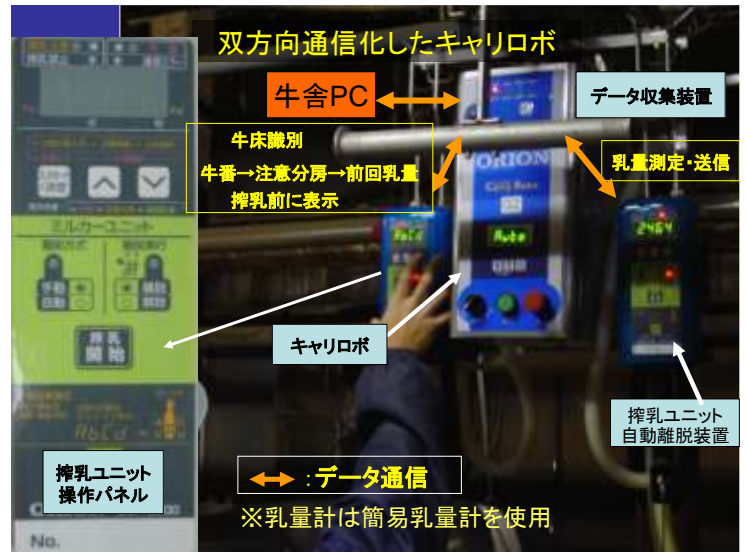


図5 搾乳前の乳牛情報表示と乳量データ収集

なお、注意分房設定は、牛舎PCからも入力可能であるし、搾乳禁止として、搾乳開始ボタン操作を無効にすることもできる。

作業者が、左右の乳牛にティートカップを取り付けると乳量測定が始まる。両方の搾乳が終わってティートカップが離脱すると搾乳ユニット側から搬送装置に乳量データが収集される(図6)。これを順次繰り返し、全て搾乳が終わると牛舎PCへ(牛床番号・乳量データ)セットを送信する。



図6 本システムでの搾乳(乳量データ収集)

2) 乳量データから給餌データ表作成(牛舎PC)

牛舎PCでは、収集された日の乳量データを含む過去10日間の乳量データから最大値1個と最小値3個を除いて各個体の平均日乳量を求め、給餌モデル(図7)を介して個体別給餌データ表を作成し、自動給餌機へ送信する。

なお、給餌モデルは、従来より初産牛と2産以上牛に分けてモニター牧場で採用していた自動給餌機の給餌メニューを踏襲してサイレージと6種類の濃厚飼料について、分娩後から泌乳ピークまでの泌乳前期牛に対しては、乳量に係わらず設定量を与え、泌乳中後期牛には(維持+増体+乳量比例)分を与える設定としている。



図7 給餌モデル(初産牛)の例

3) 自動給餌機（電子個体識別装置搭載）

電子個体識別装置を搭載した自動給餌機（図9）は、設定された時刻に給餌を開始し、牛床識別してから乳牛の電子耳標番号（図8）を読み取り、給餌データ表を参照して、各種飼料を計量給餌する。同時に（牛床番号・電子耳標番号）データを収集し、給餌終了後、対応表を牛舎PCに送信する。



図8 乳牛に装着したボタン型電子耳標



図9 電子個体識別による自動給餌の様子

乳牛に取り付けたボタン型電子耳標は、ISO11785に準拠した動物用電子タグ（134.2kHz）で、乳牛には給餌方向と反対側の片耳にだけ取り付けている。電子個体識別装置は、自動給餌機の飼料排出口より見て給餌方向と反対側に、給餌乳牛に向けて設置・搭載しており、未給餌側の乳牛が給与される方向に首を伸ばしても、識別されないよう工夫している。この識別装置の電子耳標検出範囲は、図10に示すとおり、装置中心より半径約640mmにある。なお、この識別装置には、焦電型赤外線センサが牛体検出用に併設されており、耳標脱落や馴れない牛が後退するなどで読み取れない場合にも、乳牛がいた場合には必ず給餌できるよう、前回その牛床にいた乳牛のデータで給餌するようにしている。

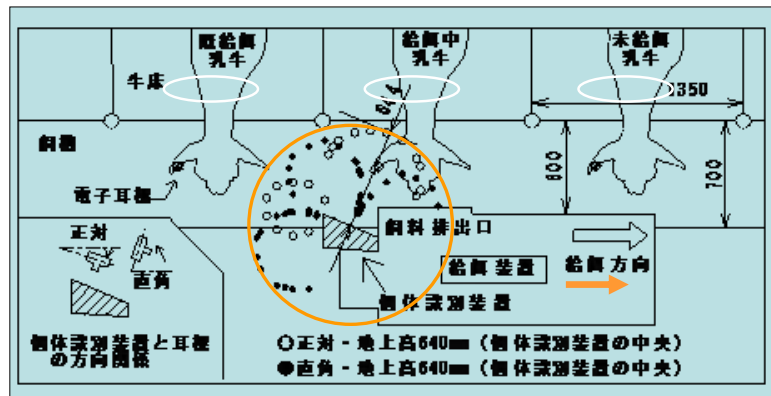


図10 電子個体識別装置の取り付け位置と電子耳標検出範囲

4) 牛舎PC（飼養管理データベース）

牛舎PCでは、（牛床番号・電子耳標番号・乳量データ）を自動的に統合し、牛舎イメージに表示する。牛舎イメージでは、牛床番号の順に乳牛アイコンが並んでおり、乳牛アイコン内は、（牛床番

号・繁殖管理・前回乳量／注意分房・乳期類別・牛番号) に別れている。1 番下の牛番号をクリックすると画面右下に乳牛の基本情報入力画面が開き (牛床番号、個体番号、電子耳標番号、産次、分娩日・・・)、現在の基本情報が示される。乳期類別は、(泌乳前期牛・乳中後期牛・乾乳牛・分娩準備牛・・・) の設定を示す。前回乳量／注意分房をクリックすると搾乳に必要な情報が示され (図 11)、また、設定できる。画面の4つ〇印は乳牛を真上から見た分房位置を示し、その位置をクリックして注意分房を設定すると赤くなる。4つとも赤くすると搾乳禁止牛の設定となり、搾乳開始ボタンを無効にすることもできる。



図 11 乳牛アイコンから注意分房入力画面への展開

繁殖管理は、例えば初回発情待ち等の現時点の状態を示し、クリックすると (発情日、種付け回数、発情状態・・・) を入力できる。さらに、図 12 に示すように、知りたい牛の『乳牛アイコン』を選択して、『プロパティシート』をクリックすると該当牛の繁殖予定や繁殖履歴等が表示される。



図 12 乳牛アイコンから詳細な飼養管理データへの展開 (例)

4. モニター牧場での運用試験

1) モニター牧場の概要

本牧場は、北海道北広島市にある。酪農畑作複合経営（秋まき小麦 6ha、馬鈴薯 2ha）を實踐し、飼養規模は経産牛約 60 頭である。たい肥の有効活用と敷き料（麦稈）を確保しており、牧草収穫（採草地 47ha）については、ほぼ自家労働でまかなっている。H15. 11. 1 に牛舎（対尻式 64 牛床＋育成牛バーン）を新築するにあわせて、搾乳ユニット自動搬送装置 4 台（8 ユニット）と自動給餌機 MAX フィーダ（粗飼料・濃厚飼料同時給与）を設備し、搾乳作業および給餌作業の負担軽減を図っている。H17. 11 月末より、「IT を活用した乳牛飼養管理システム」のモニター牧場として本システムを導入し、試験に協力している。

2) 導入前後の作業分担の変化

開発システム導入にともなう作業分担の変化は、表 2 のとおりであるが、導入後の酪農作業についての家族分担は、軽減されたと判断される。牛舎 PC 利用の様子を図 13 に示す。

表 2 本システム導入に伴う作業分担の変化

	導入前	導入後
本人	酪農研修後、H17. 4. 1 より就農	牛舎システム管理
父	畑作業、牛舎管理	畑作業
母	搾乳作業他	家事
実習生	搾乳作業他	搾乳作業他
参考	搾乳作業時間 65 分前後	作業能率は、導入前と変化なし



図 13 牛舎 PC 利用の様子

3) 導入前後の生乳生産の推移

本システムを H17. 11 月末から試験導入を開始し、現在まで運用試験を継続して実施している。これまでの乳牛の個体識別性能を表 3 にとりまとめた。延べ供試頭数は、16 万頭を超えて、牛体検出率は 97.6%、個体識別率は 96.7%であった。さらに、個体識別性能の向上を図る必要が認められた。

表 4 に本システム導入前後の生乳生産の推移を示した。

表 3 個体識別性能

牛体検出率	97.6%
延べ供試頭数	166,492
個体識別率	96.7%
延べ供試頭数	162,556
集計：H17.11.22～H19.10.16	

表 4 本システム導入（H17. 11 月末）前後の生乳生産の推移（モニター牧場の事例）

調査時期	経産牛（頭）	出荷乳量（t）	生乳 100kg に要した濃厚飼料費（円）	飼料効果	乳成分（%）			生乳中の体細胞数 × 10 ⁴ /ml	
					乳脂	蛋白	SNF		
導入前	H17.02 月	48	391	1,282	2.8	3.96	3.25	8.78	24
	.06 月	53	453	1,288	2.8	4.01	3.25	8.78	19
導入後	H18.05 月	52	485	1,184	2.9	4.02	3.28	8.71	21
	.12 月	55	429	1,197	2.9	4.00	3.23	8.60	25
	H19.08 月	58	401	1,109	3.1	3.87	3.24	8.68	18
	.09 月	58	409	1,102	3.1	3.87	3.25	8.69	18

★濃厚飼料費（35 円/kg 換算）の年間削減経費：180 円/100kg^{注1} × 400 t^{注2}/年 = 72 万円/年

注 1：導入前と H19. 09 時点の差、注 2：年間出荷乳量、飼料効果：乳代/濃厚飼料費、SNF：無脂固形分

生乳 100kg に要した濃厚飼料費は、導入前の 1,282 円から導入後の H19.09 月の時点では 1,102 円と 180 円低下しており、これに年間出荷乳量 400 t を乗じると、濃厚飼料費 (35 円/kg 換算) の年間削減経費は、72 万円と算定された。

4) モニター農家の評価 (聞き取り)

本試験システムがあることを前提に経営をしている。

導入前は、乳検データを見ながら月に 1 回、データ入力シートで 1 頭ずつ、直接 MAX フィーダに入力していた。従来の給餌機では設定どおりの餌はやるが、1 頭 1 頭、数値を入れなければならない。これに対し、このシステムでは給餌モデルを設定すれば、機械が 1 頭毎に、乳量、分娩後日数、産次等を勘案して自動的に給餌量を計算し給餌する。日々、1 頭ずつ数字を変えることなく設定した数値で餌が自動給餌できるメリットがある。給餌モデルの基本は、普及指導員が作成し、グラスサイレージの水分を見て経営主本人が調整している。濃厚飼料レベルは、導入前後で変えていない。単味の 1 部は、牛を観察しながら手給与している。乳牛への電子耳標装着と新規登録は、必ず行う。登録しないとキチンと給餌されない。導入前の群分け給与では、牛をよく見ないと太る牛が出るし、エサ代がもっとかかる。このシステムは高泌乳牛群に適用した方がもっと効果があると思う。いずれは、そうしたいと考えている。

このシステムの特徴として 3 つある。1 つ目は、1 度給餌モデルを設定すれば日々の給餌量が自動的に決定されること。2 つ目に、個体識別給餌。3 つ目に、牛舎の中をリアルに表示できることである。どういう牛がどのような状態にあるかが一目でわかる。パソコンの扱いが苦手な者にも操作しやすいし、見ただけで家族全員が情報を共有できるようになる。

おわりに

今後の計画であるが、次年度より、開発促進評価試験に移行し、導入事例を重ねて実用上の課題を解決し、市販化を図っていく予定である。

本システムは、平成 15 年度に市販化した搾乳ユニット自動搬送装置から、繋ぎ飼いの一層の高度化を企図して、次世代繋プロ事業として取り組んだものである。共同研究実施会社の努力はもとより、北海道と長野県のモニター農家の方々、北海道大学ほか、関係各位の多大なご協力を得て、開発に至ったものである。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 平田 晃：繋ぎ飼い方式に対応した搾乳システム、第 1 回搾乳システム高度化研究会、畜産草地研究所、平 13-14 資料、20-27、2001
- 2) 生研機構：欧州における乳牛の生体情報モニタリングシステムの研究開発動向、生研報告、2003. 3
- 3) 平田 晃：家族経営の大規模化と搾乳システムの選択肢、農林水産研究ジャーナル、28(8)、16-20、2005
- 4) 北原慎一郎：自動給餌機、農機誌 65(6)、14-17、2003

- 5) 平田 晃：繋ぎ飼い式牛舎と搾乳、農機誌 65(6)、22-25、2003
- 6) 後藤 裕、平田 晃、川出哲生（生研センター）、岡谷利幸（オリオン機械㈱）、北原慎一郎（北原電牧㈱）、麻生 博（富士平工業㈱）、水越清美（(有) トッケン）：牛体情報モニタリングシステムの開発（第1報）、農機学会講要、471、2005
- 7) 阿部洋平、平田 晃、川出哲生、後藤 裕（生研センター）、井上浩一（富士平工業㈱）、北原慎一郎（北原電牧㈱）、岡谷利幸（オリオン機械㈱）、水越清美（(有) トッケン）：牛体情報モニタリングシステムの開発（第2報）、農機学会講要、2007
- 8) 平田 晃、後藤 裕、川出哲生、阿部洋平、道宗直昭、オリオン機械㈱、北原電牧㈱、富士平工業㈱：ITを活用した乳牛飼養管理システム、平成19年度研究成果情報、農研機構、2008

除菌効果の高い乳頭清拭装置の開発

畜産工学研究部 平田 晃、後藤 裕、川出哲生、
阿部洋平、道宗直昭
共同研究実施会社 オリオン機械(株)

はじめに	100
1. 乳頭洗浄・清拭の従来技術の課題	101
1) 基本的洗浄メカニズム	101
2) 従来の清拭と汚れ除去メカニズム	101
3) 従来法の問題点	102
2. 乳頭清拭(洗浄)装置に求める機能	102
3. 開発装置の構造・機構	103
1) 清拭機構の選択	103
2) 構造・機構	103
4. 開発装置の洗浄・清拭作用と効果	105
1) 洗浄・清拭作用	105
2) 清拭効果	105
5. 酪農現場での利用試験	105
1) 試作4号機	105
(1) 改良の概要	
(2) モニター試験	
(3) 試験結果	
2) 実用化原型機	107
(1) 改良の概要	
(2) モニター試験	
(3) モニター試験(途中経過)	
3) 今後の計画	108
おわりに	108
参考文献	108

はじめに

乳頭清拭は、図1に示すように搾乳作業において、ティートカップを装着して搾乳する前に、前搾りの後、清拭布を用いて乳頭の汚れを拭き取る行う作業である。その目的は、乳房炎防除と衛生的搾乳をねらいとして、乳頭表面に付着した環境性の乳房炎原因菌や糞等を除去するとともに、適切な乳頭刺激を与えることによって、催乳ホルモンであるオキシトシンの分泌を促すことにある。

牛の乳房炎は、原因菌が乳頭口から侵入し、乳腺に炎症を起こす病気である。乳頭口は乳汁の出口であり、原因菌の入口でもある。感染の原因菌は、①糞尿等に汚染された牛床から付着した牛体（後肢、乳房）、②乳頭の傷、③作業者の手指、④直前に搾乳した乳房炎牛のティートカップライナに残った乳汁、⑤搾乳中に別の乳房炎感染乳房から排出される乳汁、⑥搾乳中に乳頭表面から溶け出す付着汚れによって汚染された乳汁等に存在することが知られている。これらの侵入機会を減らすために、乳牛の居住環境の改善（牛床の乾燥、換気）、牛体を清潔に保つこと、搾乳機器の清潔な管理、搾乳作業時の手袋着用および乳頭清拭や乳頭消毒の確実な実施が推奨されている。

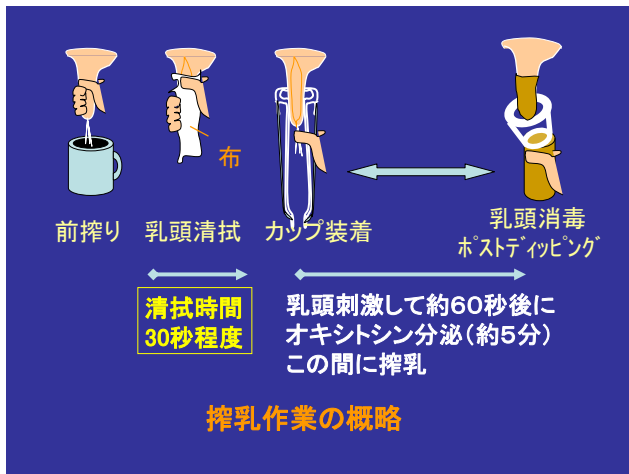


図1 搾乳作業における乳頭清拭作業



図2 搾乳中の汚染乳汁逆流による乳房炎感染

搾乳後の乳頭消毒は、搾乳中に開いた乳頭口と乳頭表面から付着した乳汁を洗い流すと同時に付着した菌を殺菌するために行われる。これに対し乳頭清拭は、搾乳後の乳頭消毒では対応できない前述⑥に起因する搾乳中の汚染乳汁による新規感染防止を主眼としている。搾乳中に汚染乳汁が乳頭口から侵入するメカニズムとして良く知られているのが、ライナースリップに代表されるティートカップライナ内への急激な空気流入に伴う乳頭先端への汚染乳汁の衝突（ドロップレット）による逆流現象である（図2）。このほか、ティートカップ装着時のエア吸込みや陰圧残留下での無理なカップ離脱も逆流の原因となり得る。これらは、注意して作業すれば回避することができ、そのように指導されている。しかし、正常搾乳において回避できない逆流現象がある。搾乳中のライナ内の乳汁逆流は、ライナ拡張期に乳頭端側とミルクロー側との真空度逆転によって頻繁に発生し、乳頭口への吸入に至る危険性が高いことが報告され¹⁾、また、実際の搾乳現場において頻繁に逆流が生じていることも報告されている²⁾。

したがって、その対策としての乳頭清拭は、乳汁汚染の原因となる乳頭表面に付着した原因菌を徹

底して除去すること、乳頭口から乳頭内部に損傷を与える可能性のある過搾乳防止に寄与することが重要となる。そのためには、清潔な資材を用いた丹念な清拭と乳頭刺激が不可欠であり、推奨清拭方法や作業手順が示されている。しかし、個人技量によって作業に違いが生じ、清拭が不十分である場合も多々見受けられる。そこで、農家での一般的な適用技術として、どんな乳頭にも適用でき、誰にでも高い清拭効果が安定して得られることをねらいとして、乳頭清拭装置を開発したので概要を報告する。

1. 乳頭洗浄・清拭の従来技術の課題

1) 基本的洗浄メカニズム³⁾

洗浄は、「基質界面（被洗浄物表面）に付着している汚れを、外部から必要なエネルギーを加えることによって懸濁・溶解状態に移行させて取り除く操作」である。乳頭の洗浄・清拭においては、基質表面とは乳頭（皮膚）表面である。洗浄力を汚れと基質の接触界面に伝達するのが洗浄液である。洗浄液に添加される界面活性剤には水の表面張力を下げる働きがあり、水だけではなかなか染み込まない汚れや繊維の中まで洗浄液を入り込ませることができる。汚れの付着層内部および汚れと基質の接触界面に洗浄液が浸透することにより、汚れ物質の膨潤や溶解が起これ、さらには汚れと基質表面との間に静電的斥力が生じるなどして、汚れが離脱しやすくなる。この時、洗浄液の温度は常温より高い方が、ほとんどの汚れ物質の溶解度や溶解速度を高めると同時に、汚れ層の膨潤による洗浄液の浸透や拡散速度を一層促進させる。ここに機械的・物理的作用を加えることにより、汚れの離脱と分散が促進され、新たな境界面が更新される。

また、基質表面では一度離脱した汚れが再び吸着する現象（再汚染）が起これやすい。洗浄液は、懸濁・溶解した汚れを安定的に分散保持する役割もあわせ持つ。洗浄の最終工程では、汚れの懸濁・溶解した洗浄液を排出する操作が必要となる。

実際の場合では、いかに短い時間で洗浄を行うかが問題となり、一般的に洗浄作用の約70～80%は、ブラシなどの摩擦力や高圧噴射による衝撃力といった機械的・物理的作用に頼っているといわれている。洗浄液の界面活性作用は、汚れを剥がれやすくして機械的・物理的作用を助け、同時に汚れを分解し再付着を防止する。

2) 従来の清拭と汚れ除去メカニズム

温湯ですすぎ絞った布による乳頭清拭における汚れ除去のメカニズムを考察すると、汚れ（有機物や微生物）は、布の水分（洗剤など界面活性剤を含む）によって乳頭皮膚表面で膨軟化され、布との摩擦力によって布の繊維の間に絡め取られる。汚れの程度によって拭き取る回数は多少変化するが、推奨される1頭1布以上を基本としても、清拭面が更新されなければ、清拭中に付着した汚れにより再汚染が生じる。

プレディッピング法は、乳頭消毒液に乳頭を浸漬し、30秒以上感作させてから薬液を拭き取るという方法であり、殺菌作用が期待できる有機物の付着の少ない比較的きれいな乳頭に適用される。搾乳前に乳頭をシャワー洗浄後に湿った布タオルで清拭して十分に有機物を落としてからプレディ

ッピングを行い、ティートカップ装着前の乳頭表面細菌数を徹底して下げれば、環境性乳房炎の新規発症を低減できることが試験的に実証されている⁴⁾。変法ミネソタ法は、汚れた乳頭にも適用できる方法で、プレディッピング法の変法であるが、薬液の界面活性剤としての効果を利用する。乳頭消毒液に乳頭を浸漬してから前搾りと乳頭マッサージによって薬液を馴染ませ汚れを溶解させた後、ペーパータオルや脱水タオルで汚れを拭き取る方法である。

3) 従来法の問題点

乳頭口を含む乳頭先端は、乳房内部に最も近く、新規感染を引き起こす原因菌が最も付着しやすく、また、短時間で清拭するのが難しい部位である。先端については両手を使い片手で乳頭を保持し、先端の汚れ落ちを確認しながら、もう一方の手でタオルの清拭面を変えて拭き取ることが望ましい。しかし、乳頭は4本有り、前搾りを含めティートカップ装着までの前処理時間は約60秒ほどである。限られたタイミングで次々と搾乳していく必要があるため、通常、作業者は、乳頭側面を片手で握って根元から先端へ向かって何度か拭き下ろし、最後に先端をひねるように清拭する。

1頭1布以上を基本とするプレディッピング法や変法ミネソタ法であっても用いる資材や作業方法によって、清拭効果は異なる(表1)。

表1 清拭方法による清拭後の乳頭表面細菌数(乳頭側面)測定例**			
清拭方法	①湯洗浄+布タオル 1頭1布	②変法ミネソタ法 (ペーパータオル)	③変法ミネソタ法 (脱水タオル)
log(CFU/cm ²) 表面細菌数	平均値 4.3~3.5±0.3	平均値 3.2~2.6±0.3	50%タイル値 <u>1.91</u>
調査乳頭数	48	36	38

** ①, ②: 畜草研⁵⁾、③変法ミネソタ法(根釧農試, 2004)
③: 薬液(0.1%ヨ一素)浸漬後、感作30秒間に前搾りと乳頭をマッサージして汚れを溶解させ、1頭に脱水タオルを2枚使い、乳頭先端まで丹念に清拭した(70~90秒/頭)。

変法ミネソタ法は、汚れた乳頭にも適用でき、優れた方法と考えられるが、高い汚れ除去効果を得るには、作業手順を守り時間をかけて丹念に行う必要がある。この清拭効果が、誰にでも安定して得られる機器開発が望まれる。

2. 乳頭清拭(洗浄)装置に求める機能

目標性能は、1頭当たり30~40秒の機械清拭で、1本ずつ乳頭先端まで丹念に清拭した場合の変法ミネソタ法と同等の清拭効果を得ることである。乳頭に搾乳刺激(前搾り:10~15秒)を与えてから、オキシトシンが分泌され乳房内圧が高まる60秒後にティートカップを装着するとすれば、正味の清拭時間は30~40秒となる。対象乳頭は、ティートカップを装着できる乳頭すべてを対象とする。清拭範囲は、搾乳中、ティートカップライナが接触する範囲(クリーピングアップ時に接触する乳頭の根元径50mm以下から先端まで)を洗浄・清拭する。初めて搾乳される初産の乳牛に対しても、乳頭清拭がストレスとならないよう、乳頭に痛みを与えないで、心地よい乳頭刺激を加えながら洗浄(清拭)する。乳頭間隔の狭い牛に使用できるようにティートカップマウス部外径を目標

にできるだけ小さくする。乳頭の再汚染防止のために、また、清拭作用部の接触によって伝染性乳房炎を媒介しないよう、新鮮な洗浄液を供給しながら洗浄し、洗浄污水は回収する。清拭後の乳頭は、そのまま、ティートカップを装着できる程度に水切り乾燥する。装置の分解、交換保守と衛生管理が容易にできる構造とする。以上を要約して表2にまとめた。

表2 乳頭清拭装置（ブラシ+洗浄水）の要件	
<ul style="list-style-type: none"> ● 操作が簡単、誰でも使える。 ● どんな乳頭にも対応できる。 ● 適切に乳頭を刺激し、痛めない。 ● 根元から先端までライナとの接触範囲を清拭できる。 ● 30秒程度の作用で十分清拭可能。 ● 再汚染、伝染の可能性が低い。 ● 水切り（乾燥）ができる。 ● 保守管理（清掃、交換）が簡単。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全体設計のコンセプト ・ 清拭カップ外径の制約 ・ 回転ブラシ形状、材質、硬さ ・ 回転数、パワー ・ 反転インターバル ・ 洗浄水量、噴射位置 ・ 洗浄污水の常時吸引排出 ・ 挿入口の工夫、吸引乾燥 ・ 清拭ブラシ組み立て構造

3. 開発装置の構造・機構

1) 清拭機構の選択⁶⁾

乳頭に洗浄液を噴射し、乳頭を包囲して縦軸回りに正逆転するブラシによって乳頭表面を擦りながら、汚れや細菌を洗い流す方式とした。1頭（4乳頭）あたり30～40秒程度の短時間で効果的な洗浄・清拭を行うためには、物理的作用の選択が重要である。乳頭の洗浄・清拭に縦軸回転ブラシによる洗浄方式を選択・考案した理由は、大きく分けて2つある。1つは、洗浄液の噴射水流だけでは汚れの溶解・隔離に多量の用水と時間を必要とし、固着した汚れは高圧噴射によっても落ちにくく、乳頭先端に効果的な噴射方向は乳頭口の損傷が懸念されたからである。2つ目は、対向する横軸回転ブラシで乳頭を挟んで擦り洗う方式は、構造・機構はシンプルにできるが、著者らの試作による検証では、乳頭先端にブラシが作用しない部分が残るやすく、小型化の限界から乳頭間隔の狭い牛には適用が難しいと判断されたためである。

2) 構造・機構^{7) 8)}

開発装置（試作3号機改良型）の清拭作用に関する基本構造・機構を以下に示す。

- ① 開発装置は、清拭カップ、洗浄水供給部、污水回収ケース及び制御部で構成した（図3）。
- ② 清拭カップは（図4）、円筒型の洗浄ケース（φ57×110）外周に挿入口を境に上下2層に分かれた洗浄水噴射口を備え、洗浄ケース内のブラシホルダーに取り付けた清拭ブラシセットは、底部に設けた清拭ブラシ用モータにより縦中心軸回りに正逆転し、洗浄污水は吸引ファンにより洗浄ケース底部から污水回収部に吸引排出される。



図3 乳頭清拭装置の構成

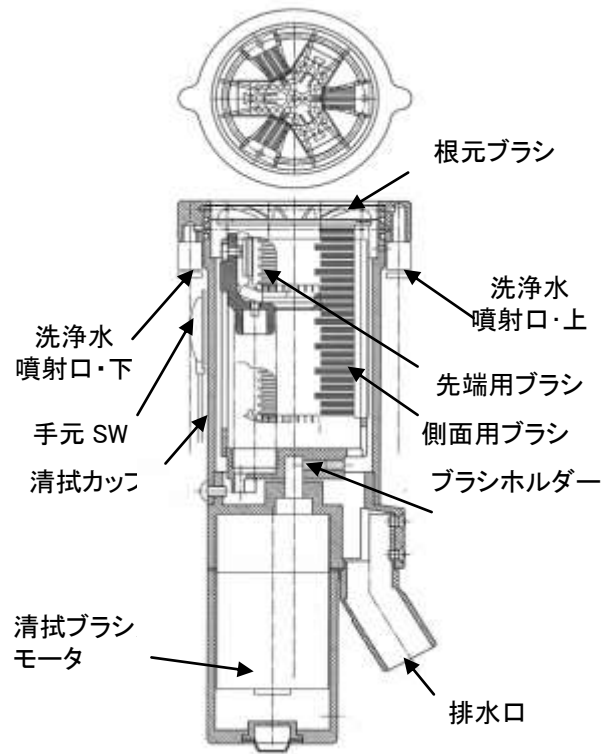


図4 清拭カップの構造

③ 制清拭ブラシセットは、乳頭挿入口となる根元ブラシ（フィン付きシリコン膜 0.5mm 厚）、側面ブラシ（外周 3 分割位置に配置）及び先端ブラシによって構成されている。根元ブラシは、3本の側面ブラシを保持しているリングに3点でピン固定され、乳頭基部にフィットできるように根元・側面ブラシを構成している。先端用ブラシは、乳頭と接する軟質シリコンブラシとその柔軟な変形を逃がすように支える外殻の2重構造となっている。様々な先端形状に適應できる深さと柔軟性を有し、また、コイルバネに支持され、挿入口より深さ 25～80mm まで乳頭長さに応じて上下スライドし、乳頭挿入時から抜き取る直前まで乳頭先端に 40～140gf の範囲で押圧力を与えている。このように、清拭ブラシセットは、乳頭の大きさ形状に応じて変形・密着して包み込み、汚れをかき落とす構造となっている。

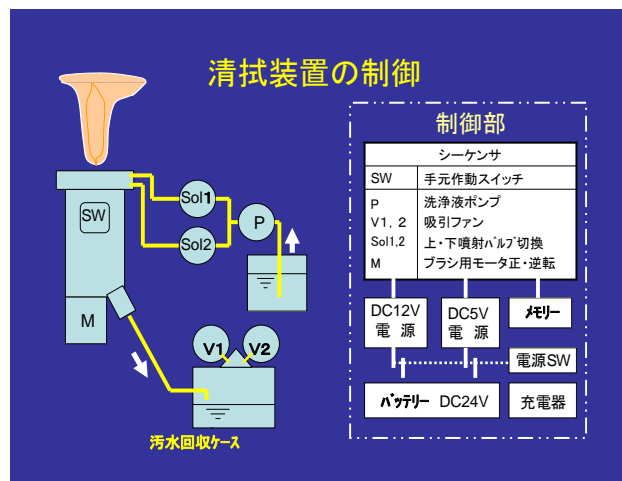


図5 制御部の概要

④ 制御部の概要を図5に示す。制御部は充電 DC24V バッテリーを電源とし、乳頭清拭作用部の手元 SW 操作により清拭ブラシ用モータ 7.5WDC24V、洗浄水供給ポンプ（1200mL/min）および汚水吸引ファンモータ 30W DC24V の駆動インターバルを制御する。

4. 開発装置の洗浄・清拭作用と効果

1) 洗浄・清拭作用

乳頭を挿入し、手元 SW を押し、挿入口上面を乳房に押し当てると、正逆転する根元用ブラシのフィン 12 枚と、挿入口上面に噴射される洗浄水とによって根元接触部分の汚れが除去され、挿入口より引き込まれる空気流により乾燥される。同時に、根元以下から先端は、挿入口下層より噴射される洗浄水と正逆転する側面用ブラシおよび先端用ブラシにより清拭され、抜取時に挿入口のシリコン膜によるかき取り作用と汚水吸引空気流により水切り乾燥される。試作 3 号機改良型の清拭試験の様子を図 6 に示す。



図 6 清拭の様子（3号機改良型）

2) 清拭効果

清拭ブラシ用モータの正逆転インターバル 1 回につき 0.6 秒回転－0.2 秒停止とし、4 分房各乳頭を 1 巡目に 2 回清拭（予備洗浄）し、2 巡目に各 6 回作用（本洗浄）させた場合（約 30 秒／頭）、変法ミネソタ法（70～90 秒／頭）の場合と同等以上の除菌効果があった。さらに薬液浸漬と乳頭マッサージの後に機械清拭を行うと除菌効果は一層改善された（表 3）。洗浄液は、40℃程度の温湯に乳頭洗浄剤（シュアコンフォート）0.2% 添加した溶液を用いた。なお、清拭後のブラシ各部へのゴミ等の付着は、ほとんど認められなかった。

表 3 清拭後の乳頭表面付着菌数（表面 1 cm² 当たりのコロニー個数の対数値）

部位	清拭方法	清拭時間／頭	清拭後の付着菌数のパーセンタイル値				
			10	25	50	75	90
乳頭先端	変法ミネソタ法 ¹⁾	70～90s	1.00	1.81	2.81	3.59	4.12
	機械清拭 ²⁾	30s	1.30	1.30	2.45	3.28	3.88
乳頭側面	変法ミネソタ法	70～90s	1.00	1.30	1.91	2.61	3.39
	機械清拭	30s	1.30	1.30	1.30	2.15	2.89

1) 変法ミネソタ法：薬液浸漬（有効ヨウ素 0.1%）後、薬液を作用させる時間（30s）中に汚れの溶解を図るために乳頭マッサージし、脱水タオルで拭き取りを行った。延べ 10 頭。

2) 機械清拭：清拭ブラシ用モータの正逆転インターバル（0.6s 回転－0.2s 停止）を清拭 1 回とし、4 分房各乳頭を 1 巡目に各 2 回、2 巡目に各 6 回清拭した（洗浄水流量：1,200mL/min）。延べ 40 頭。

3) 清拭前菌数は、乳頭先端、側面とも 4.25～6.50 の範囲にあった。

5. 酪農現場での利用試験

1) 試作 4 号機

(1) 改良の概要

試作 3 号機改良型までは、携帯用一体型としていたが、試作 4 号機（図 7）では、モニター農家向けに 30 頭程度に対応できるよう別置きポリバケツから洗浄水を汲み上げる形とし、また、清拭カップと汚水回収ケース（2L）を本体制御部から切り離して牛の横まで運べるようにし、汚水は毎回清拭の都度、糞尿溝に廃棄するものとした。なお、清拭ブラシ構造は踏襲した。

(2) モニター試験

モニター農家2箇所（A、B）は、いずれも対尻式繋ぎ飼い牛舎で、従来はタオル清拭を実施している牧場である。各1台を各1名で使用し、試験期間は3ヶ月間、1日の供試頭数は約40頭とした。清拭は、試作3号機改良型の試験で行った2回（予備洗浄）－6回（本洗浄）を基本手順とした。この間の清拭状態、取扱性、清拭ブラシの耐久性、乳頭損傷の有無について、観察と聞き取りを中心に調査した。洗浄水は、A（温湯：40～45℃程度）、B（温湯＋清拭用洗剤シユアコンフォート0.2%溶液）である。清拭後の次回（例えば、朝搾乳から夕搾乳）までの清拭ブラシ管理方法は、A牧場では、清拭カップから抜き取った根元・側面ブラシを、約1Lの温湯に台所用漂白剤（商品名：キッチン泡ハイター、主成分：次亜塩素酸ナトリウム）を2回スプレー（約0.9mL×2）した中に浸漬して保管、清拭カップの先端ブラシには、1回直接スプレーした。B牧場では、抜き取った根元・側面ブラシを温湯シャワーで洗浄した後、放置乾燥し、清拭カップも同様として保管した。使用時には、根元・側面ブラシを清拭カップ内のブラシホルダーに装填し、挿入口上面と下面からの洗浄水噴射とブラシの正逆転の状態を確認してから清拭作業に供試しするよう依頼した。



図7 試作4号機での作業の様子

(3) 試験結果

乳頭清拭状態は、両牧場とも良好で根元までくっきりと清拭され、乳頭の張りもタオル清拭と比較して良好であった。乳頭損傷は観察されなかった。取扱性については、汚水回収タンクの持ち運びとその都度の汚水廃棄が面倒で、A牧場では途中から台車に乗せたまま使うようになったが、牛の乳房に届きにくい場合があった。清拭ブラシの耐久性は、保守管理の仕方で異なった。A牧場では、シリコンが次亜塩素酸ナトリウムによって劣化し、根元ブラシを概ね20日に1回の頻度で交換した。また、試験末期には先端ブラシ底部に磨耗を観察した。これに対し、B牧場では試験開始時の状態を維持していた。

表4 乳頭清拭装置（試作4号機）モニター試験*の結果			
	洗浄水とブラシの保管	清拭状態	清拭ブラシ耐久性
A 牧場	・温湯のみ ・根元・側面ブラシを漂白剤添加液に浸漬保管、先端ブラシには漂白剤を直接噴射	・乳牛は、すぐ馴れた ・乳頭損傷は無かった ・乳頭根元までくっきり清拭 ・乳頭の張り良好	・根元・側面ブラシ交換20日 ・先端ブラシ底部に磨耗（シリコン劣化のため）
B 牧場	・温湯＋清拭用洗剤0.2%溶液 ・根元・側面ブラシを洗浄後、乾燥して保管	・汚水回収ケースの移動と清拭後の汚水廃棄に手間取ること分かった	・外観は試験開始時の状態を保持
*飼養形態：繋ぎ飼い、従来タオル清拭、供試台数：各1、供試頭数：40頭/日 試験期間：3ヶ月			

2) 実用化原型機

(1) 改良の概要

4号機の試験結果を受けて、清拭カップの清拭ブラシ構造は、4号機を踏襲したが、実用面から全体的に見直しを行い、実用化原型機を試作した。開発機は台車に搭載して移動する形とした(図8)。汚水吸引ケースはオートドレン式とし、台車先端の旋回アームに取り付け、清拭カップが乳牛に届く範囲(糞尿溝から1500mm)を確保した。

(2) モニター試験

実用化原型機の長期連用に向けての問題点を調査するため、モニター試験を開始した。1箇所は、対尻式繋ぎ飼い牛舎のC牧場で、1日の供試頭数を約80頭である。清拭ブラシの管理は、4号機B牧場と同様として清拭状態、取扱性、清拭ブラシの耐久性、乳頭損傷の有無について、観察と聞き取りを中心に調査した。さらに、根釧農業試験場の8頭複列のヘリンボーン式ミルクパーラの片側に2頭に1台の共用で4台設置し、総勢18名の作業担当者が、朝夕2名交替で1日約50頭に供試し、パーラ搾乳における取扱性等の調査を開始した。



図8 実用化原型機の外観

(3) モニター試験 (途中経過)

モニター試験の様子を図9と図10に示す。C牧場では搭載バッテリー1台で30頭をスムーズに清拭できた。汚れ除去効果が高く手作業より楽である、乳頭の張りや搾り切りが良い等のほか、乾いた汚れがスポット状に残ることがあるとの指摘があった。ただし、1ヶ月経過した時点で汚水回収ケースの吸引ファンモーターが焼損し、使用を中断した。根釧農試パーラでも、清拭状態は良いが、床への落下衝撃で清拭カップから先端ブラシが外れること等の問題があった。詳細については継続して調査中であるが、概ね改良設計の見通しを得ている。



図9 実用化原型機での清拭作業 (C牧場)

図10 実用化原型機での清拭作業 (根釧農試パーラ)

3) 今後の計画

次年度より、開発促進評価試験に移行し、実用化原型機の改良機を増加試作し、飼養管理や衛生管理の異なる牧場において長期連用する過程で実用上の課題を解決し、市販化を図っていく予定である。

おわりに

生研センターでは、平成10年度から乳頭清拭装置の開発に着手し、平成15年度からは次世代緊プロ事業において、実用化を目指してオリオン機械（株）と共同研究を実施してきた。この間、根釧農業試験場の関係者には平成13年度からの委託研究を通して、多大な試験協力を戴いている。また、モニター試験にご協力いただいた各酪農家の方々には、毎日の搾乳作業の中で貴重な時間とご意見を戴いた。記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 本田善文ら：ミルカのライナ内における乳汁の逆流防止に関する研究、63回農機学会講要 53-54、2004
- 2) 板垣昌志：乳房炎における病原菌侵入のメカニズムと予防対策、日本乳房炎研究会抄録集、17、2006
- 3) 福崎智司：洗浄殺菌の科学と技術、サイエンスフォーラム、40-51、1993
- 4) 平井綱雄：0.1%ヨウ素乳頭消毒剤を用いたプレディッピングの牛乳房炎予防効果、平成10年度北海道農業試験会議資料、1-7、1999
- 5) 長谷川三喜ら：乳頭ディッピング作業への泡利用について、日本家畜管理学会誌 41(1)、36-37、2005
- 6) 平田 晃：乳頭清拭装置、畜産の研究 57(2)、233-238、2003
- 7) 平田 晃、後藤 裕、オリオン機械(株)、高橋雅信：除菌効果の高い乳頭清拭装置、平成18年度成果情報、農研機構、2006
- 8) 平田 晃、後藤 裕：汚れ除去効果の高い乳頭洗浄・清拭装置、農機誌 69(4)、40-41、2007

本報告の取扱いについて

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

平成 19 年度 生研センター研究報告会

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農 業 機 械 化 研 究 所

〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町 1-40-2
Tel. 048-654-7000 (代)

印刷・発刊 平成 20 年 3 月 6 日