

平成21年度
生研センター研究報告会

平成22年3月4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21年度 生研センター研究報告会

1. 開催日時 平成22年3月4日(木)
2. 場 所 ラフレさいたま 3F「櫻ホール」
(さいたま市中央区新都心3-2 TEL: 048-601-1111(代))
3. 日 程
 - 1) 開 会 10:00
 - 2) 挨拶 10:00~10:10
 - (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 10:10~10:40
 - (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) 生研センターの研究内容 10:40~12:20
 - ① 基礎技術研究部
 - ② 生産システム研究部
 - ③ 園芸工学研究部
 - ④ 畜産工学研究部
 - ⑤ 評価試験部
 - ⑥ 特別研究チーム (エネルギー)
 - ⑦ 特別研究チーム (ロボット)
 - ⑧ 特別研究チーム (安全)

《 昼 食 》
 - 5) 研究報告 13:10~17:20
 - ① 目標ランプを利用した直進誘導システム
 - ② 耕盤均平型耕うん装置に関する研究
 - ③ 水田用複合除草技術の実証試験
 - ④ スピードスプレーヤ用ドリフト低減ノズルの開発

《 休 憩 》

 - ⑤ ハダニ類を除去する連続搬送式果実洗浄機の開発
 - ⑥ イチゴ果柄把持パックと自動パック詰め装置の開発
 - ⑦ 汎用型飼料収穫機の導入の目安
 - ⑧ 農作業安全eラーニングシステムの開発
 - 6) 総合討議 17:20~17:50
 - 7) 閉 会 17:50

目 次

1. 目標ランプを利用した直進誘導システム	1
2. 耕盤均平型耕うん装置に関する研究	13
3. 乗用型水田除草機と米ぬか散布を組み合わせた 水田用複合除草技術の実証試験	23
4. スピードスプレーヤ用ドリフト低減ノズルの開発	33
5. 輸出用果実のハダニ類を除去する連続搬送式果実洗浄機の開発	45
6. イチゴ果柄把持パックと自動パック詰め装置の開発	57
7. 汎用型飼料収穫機の導入の目安	67
8. 農作業安全 e ラーニングシステムの開発	77

目標ランプを利用した直進誘導システム

基礎技術研究部 牧野英二、濱田安之、埜 圭二
共同研究実施会社 井関農機（株）

はじめに	2
1. 開発システムの基本構成	2
1) 自動操舵装置	2
2) ビジョンシステム	3
3) 目標ランプ	3
2. 新しい画像処理・制御手法（偏差修正制御）の開発	4
3. 基本性能	6
1) 試験方法	6
2) 試験結果	6
4. 各種作業への適用試験	7
1) あぜ塗り作業	7
2) ハウス内の耕うん作業	8
3) 大豆播種作業	9
おわりに	11
参考文献	11

はじめに

あぜ塗り、播種などの作業では、それ以降に行う作業を高精度かつ効率的に行うため、できるだけ直線的に作業することが求められる。そのため、オペレータは前方遠くの目印、前行程の作業跡やマーカ跡などを凝視して長時間にわたる運転作業に集中しなくてはならない。しかし、その一方で、作業状態を確認するために、ハンドルを握りながら振り返って後方を視認する必要もあるため、運転操作に熟練を要するだけでなく精神的にも身体的にも負担が大きかった。

これらの問題を改善するため、汎用単眼カメラを利用したビジョンシステムと自動操舵装置を市販トラクタに後付け装着して、作業経路上に設置した目標ランプに向けて、距離 500m程度までの直進誘導が可能なシステムを開発したので、報告する。

1. 開発システムの基本構成

本システムは、汎用の単眼カメラと画像処理装置から成る「ビジョンシステム」、モータ駆動部とコントローラから成る「後付け型自動操舵装置」、および直進誘導のターゲットとなる「目標ランプ（点滅ランプ）」で構成される（図1）。開発システムの概観を図2、仕様を表1に示す。作業経路端に目標ランプを設置し、トラクタを作業開始位置に進入させた後、本システムを作動させると、ビジョンシステムにより目標ランプを検出するとともに、画像上での地面の動きを解析して自車両の目標経路からの左右方向の偏差を検出する。検出された目標ランプの位置情報と左右偏差情報を統合して自動操舵装置の操舵制御を行うことにより、目標ランプまでの自動直進走行を行うことができる。

1) 自動操舵装置

試作した自動操舵装置は、市販トラクタに後付け装着が可能な装置で、ステアリングコラムに取り付けるモータ駆動部、座席の後ろに設置したコントローラ、自動操舵・手動操舵の切り替えを行うスイッチボックスから構成される。後付けしたモータにより歯付きベルトを介してステアリングホイールを駆動する構造である。手元のスイッチボックスのスイッチ操作により、自動操舵・手動操舵の切り替えが容易に行える。

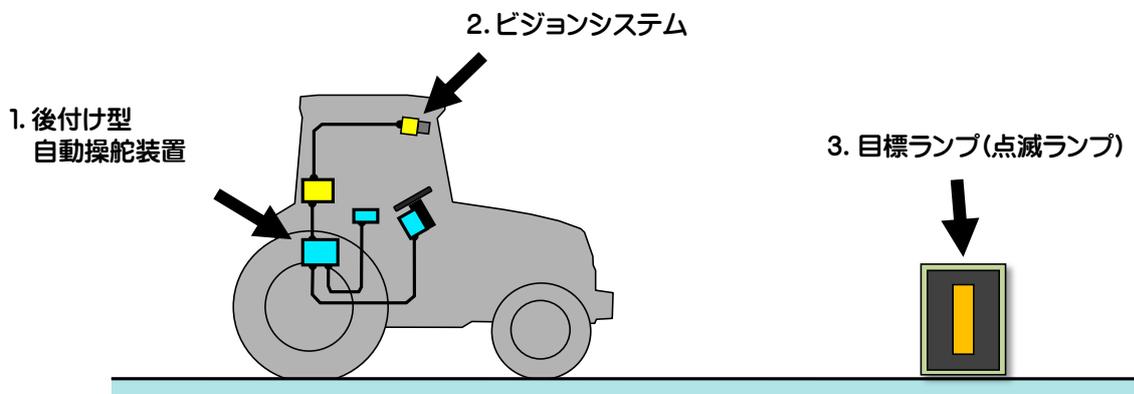


図1 開発システムの構成



図2 開発システムの概観

2) ビジョンシステム

ビジョンシステムは市販機器の組み合わせによって構成される。カメラは単眼式のカメラで、トラクタキャビン内の天井に設置した。また、カメラの映像信号を処理する画像処理装置は市販されている小型のものを使用した。

3) 目標ランプ

複数のLEDを光源とし、点灯0.2秒、消灯0.2秒と周期的に点滅する。晴天時（10万lx）において、500mの遠方から検出可能なA型の目標ランプ（重量12.8kg）と、LEDの個数をA型の1/3に削減して小型・軽量（重量5.1kg）にしてポータブル化すると共に、300mの検出能力を有するB型の目標ランプの2種類を試作した。

表1 開発システムの仕様

項目	仕様・種類・型式	
ビジョンシステム	産業用VGAカメラ	
カメラ種類	NVP（ルネサス）	
画像処理装置型式	NVP（ルネサス）	
後付け型自動操舵装置	小型DCモータ	
動力	ベルト駆動	
駆動方式	単板式電磁クラッチ	
自動手動切替方式	毎秒1回転（最大）	
ハンドル操舵速度		
目標ランプ	A型	B型
光源	LED	
点滅周期	0.4s（点灯0.2+消灯0.2）	
光度(cd)	7,560/2,520	2,520
質量(kg) ^{※1}	12.8	5.1
検出距離(m) ^{※2}	約500/約300	約300

※1 バッテリ含む、※2 晴天時（10万lx）



図3 自動操舵装置



図4 ビジョンシステム



A型 (全数点灯モード)

A型 (1/3点灯モード)

B型

※光源部の長さはいずれも 30cm

図5 目標ランプ

2. 新しい画像処理・制御手法（偏差修正制御）の開発

安価なシステムで高精度な直進誘導を実現するために、新たな画像処理・制御手法を開発した。開発した画像処理・制御の流れを図6に示す。まず、車両前方の目標直線経路端に設置した目標ランプを単眼カメラで撮像し、得られた画像の中から目標ランプを検出する。画像中の目標ランプは非常に小さいため、あらかじめ処理範囲を設定し、その処理範囲が画像中を順次、移動してランプを探し、ランプを検出した後には、画像中を移動するランプを追従して移動する。点滅するランプの検出は、前フレームとの差分と、前々フレームとの差分の結果を統合することにより、カメラの撮像と目標ランプの点滅動作を同期させることなく検出を容易にできる（図7b）。次に、検出した目標ランプの位置と画像の基準線との差から、目標地点に対するヨー角を算出する（図7c）。

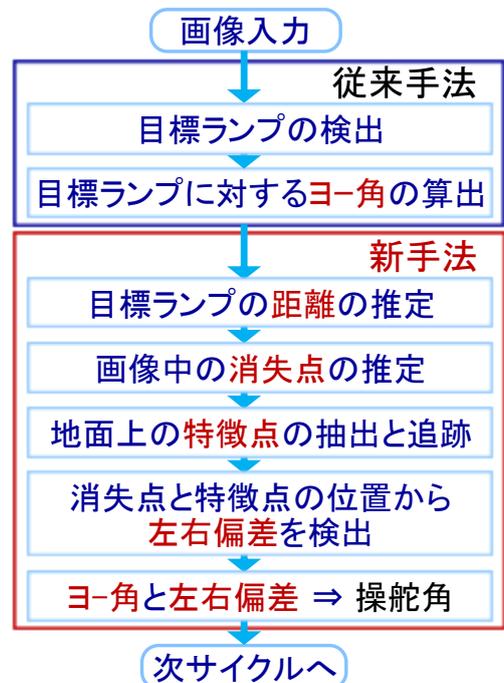


図6 画像処理・制御の流れ

このヨー角に基づいてトラクタを制御するところまでが、従来の制御手法である（以下、操向制御と呼ぶ）。本システムでは、さらに、画像中の目標ランプの大きさから目標ランプまでの距離を推定し、その距離推定値から画像中の消失点の位置を算出する（図7 d）。次に、地面上の特徴点（画像中にむらのある部分）の位置を追跡し、画像上での動きを追跡する（図7 e）。この画像上での動きと消失点の位置を比較することで、トラクタの左右方向の偏差を高精度に検出することが可能になった。先に検出したヨー角と、左右偏差の値を統合し、制御する操舵角を決定する（以下、偏差修正制御と呼ぶ）。本手法は、計算の過程でトラクタのローリング、ピッチングおよびヨーイングの影響は排除される。

開発した偏差修正制御によって、傾斜地や作業機からの外力を受けてトラクタが横方向にずれる状況への対応能力が向上すること、カメラの取付け角度などの誤差への対応能力が向上し、カメラの取り付け調整やメンテナンスの容易化が可能となり、外付け装置としての適用性が格段に向上したものとなった。なお、本システムのビジョンシステムを用いて、トラクタを作業開始地点に侵入させてから、目標ランプと画像ムラを検出して自動直進が可能な状態になるまで数秒程度の時間しか要しない。

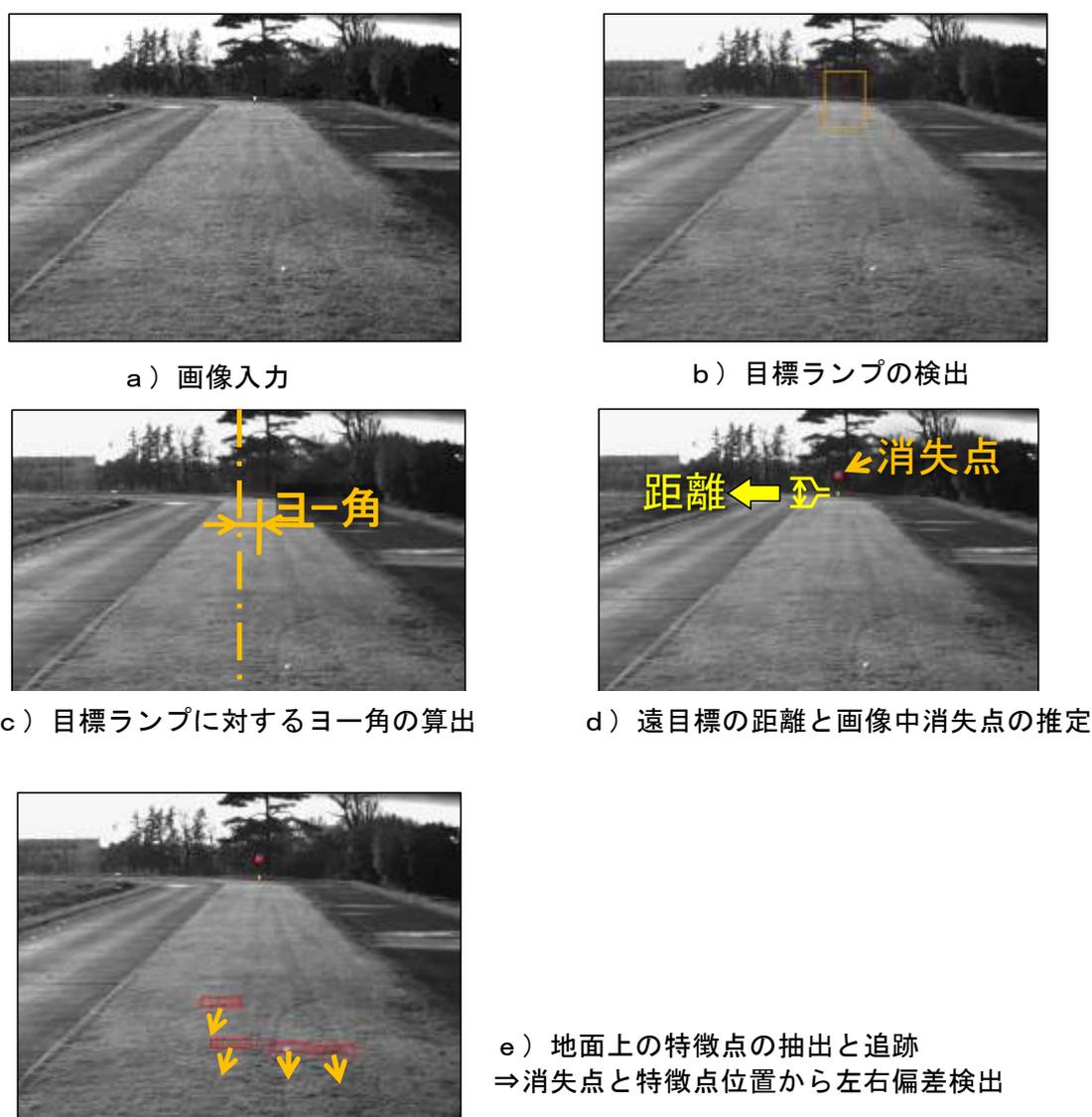


図7 画像処理の例

3. 基本性能

1) 試験方法

本システムの基本性能を測定するために、トラクタに作業機（耕うんロータリ）を装着し、作業機中央に測量用反射プリズムを取り付け、自動追尾パルストータルステーション（トプコン社製 GPT900A）にて、各条件下で走行したときの移動軌跡を連続的に測定して、目標までの直線経路からの偏差を求めた。

2) 試験結果

(1) 平坦な舗装路での直進性能

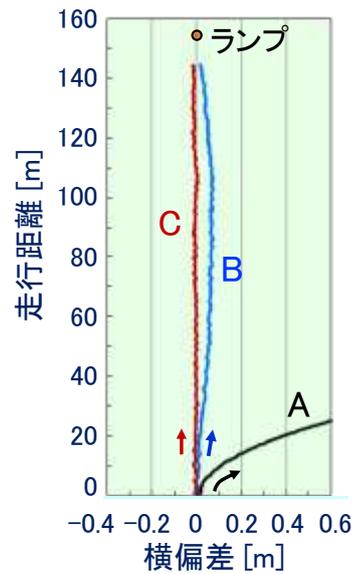
平坦な舗装路において、150m前方に目標ランプを設置し、速度 0.5m/s、曇天の日中に走行した結果を図8に示す（横軸の目盛は縦軸の75倍に拡大してある）。トラクタの舵角を0度に固定した場合、トラクタは大きく右に逸脱した。ヨー角方向のみによって制御する操向制御の場合は、元のトラクタの走行特性の影響で走行軌跡は右に膨らんだ。偏差修正制御を適用すると最大偏差は±2cm以内と高精度に直進誘導できた。

(2) 傾斜した草地での直進性能

傾斜 3~5度の草地で車両が前進とともに横ずれする状態において、操向制御のみでは最大偏差 46cmを生じたが、偏差修正制御を適用すると最大偏差 10cm以内の自動直進走行が可能であり、外力が加わる状況においても高精度に直進誘導できた。

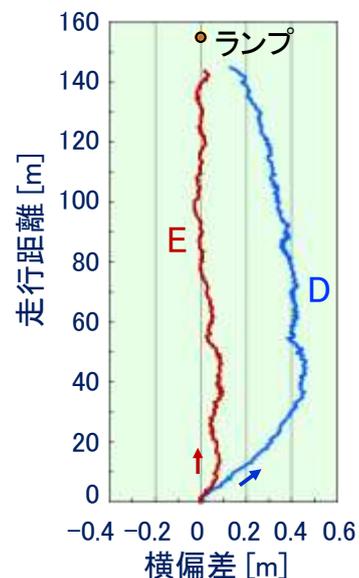
(3) 圃場内の直進走行

水田刈跡において、走行距離約 100m、作業速度 1.5m/s 程度までの自動直進走行を行った結果、左右偏差は標準偏差で±5cm以内であった。



走行軌跡
A: 制御なし(舵角0度固定)
B: 操向制御のみ ⇒ 横偏差 7 cm
C: 偏差修正制御 ⇒ 横偏差 ±2 cm

図8 平坦な舗装路での直進性能



走行軌跡
D: 操向制御のみ ⇒ 横偏差 46 cm
E: 偏差修正制御 ⇒ 横偏差 10 cm
⇒ 外力に対する有効性を確認。

図9 傾斜した草地での直進性能

(4) 直進誘導距離

晴天時（照度 10 万 lx）において、目標ランプ検出距離は、A型（全数点灯モード）で約 500m、A型（1/3 点灯モード）で約 300m まで可能であった。また、砂利道上を 0.54m/s で走行した時、A型（全数点灯モード）で距離 496mを最大偏差 5.0cm で、A型（1/3 点灯モード）で距離 308mを最大偏差 4.8cm で直進誘導できた。



図 10 外乱試験の状況（説明用合成画像）

(5) 外乱への対応

目標ランプ後方の交通往来に対して、図のように自動車や歩行者が目標ランプ後方を通過しても検出に影響を及ぼさないことを確認した。また、別ランプの誤検出も防止しており、図 10 に示したように、あらかじめ複数のランプを並べておけば、自動直進で連続的に作業することも可能である。また、車両揺動の影響についても、コンバインが旋回時に作った大きな土塊を乗り越えた場合でも目標ランプを追跡できることを確認した。

4. 各種作業への適用試験

1) あぜ塗り作業

(1) 試験方法

水田のあぜ塗り作業は、仕上がり精度の向上や、田植えや収穫の作業効率、見た目の美しさなどの面から、直進性に高い精度が求められる。しかしながら、非常に低速作業であること、用排水口や杭などがある場所では作業機の上げ下げをするなど、オペレータの負担は大きい。このあぜ塗り作業へ本装置を適用した試験を行った。あぜ塗り作業の直進性の評価は、作業前後のあぜの肩を測量用反射プリズムでなぞり、自動追尾パルストータルステーション（トプコン社製 GPT900A）で連続的に測量して求めた。

(2) 結果および考察

試験結果を表 2 に示す。あぜ塗り作業は速度が極めて遅く、本試験でも 0.1m/s 程度の作業速度で、140 m の作業では 20 分以上の時間を要している。あぜ塗り作業は元のあぜの直線性に強く影響を受けることもあるため、その差を明確に比較することはできないが、手動では標準偏差が 5.0 に対して、自動で 3.5 程度であった。また、圃場 2 では、同じ圃場の中に造った畦の片側を自動で、もう一方を手動で行っており、ほぼ同一の条件下での作業といえるが、図 11 に示すように自動の方が手動に比べて仕上がり状態が良好であった。これは、圃場が軟弱でトラクタを直進させるためにオペレータがハンドル操作を頻繁に行う必要があったため、あぜの法面が凸凹になったと考えられた。また、図 12 は、途中にある排水口の所で作業機を上下操作している例ですが、自動直進ではハンドルから手を離して、排水口などの障害物を注視しながら作業機の操作に注力で

きるため、オペレータの負担軽減の効果が大きかった。

表2 あぜ塗り試験結果

試験区	圃場1	圃場2 ^{※1}	
	自動	自動	手動
作業距離(m)	140	102	102
作業速度(m/s)	0.11	0.08	0.08
土壌条件			
土性	SiC	SiC	SiC
小型円錐貫入抵抗(MPa)	0.61	0.23	0.40
大型矩形板沈下量(cm)	0.3	3.4	1.7
直線経路からの標準偏差			
あぜ塗り作業前(cm)	4.2	5.2	6.7
あぜ塗り作業後(cm)	3.3	3.6	5.0

※2009年12月9～10日：生研センター附属農場水田

※1 同じ畦畔の両側の同条件下で自動・手動によるあぜ塗りを実施。



図11 あぜの仕上がり状態
(圃場2)



図12 作業風景
(排水口で作業機を上下操作)

2) ハウス内の耕うん作業

(1) 試験方法

ハウス内の耕うん作業において、外周や中央にある支柱との接触を避けつつ直進作業を行うことは、精度だけでなく安全性の観点からも重要と考えられる(図13)。そのためハウス内の耕うん作業への適用を想定した試験を行った。試験は、圃場に5m間隔で直線状にポールを立て、これをハウスの支柱に見立て、作業機の端部とのクリアランスを狭く一定に保つ条件で、ロータリ耕うん作業を



図13 ハウス内の一例

行った（図 14）。クリアランスは、耕うん跡の軌跡を自動追尾トータルステーションにて連続的にプリズム測量し、耕うん端と作業機端との距離より、ポールとのクリアランスを求めた。

(2) 結果および考察

試験結果を表 3、図 15 に示す。手動運転では、ポールの影響を受けて、蛇行傾向となったのに対し、自動直進では狭く一定のクリアランスが維持でき、作業精度が向上した。特に一定間隔にあるポール（支柱）は、常にトラックタのバックミラーに映っているとは限らないため、大変神経を使う作業となるため、自動で精度よく作業できることはオペレータの作業負担を軽減する効果が期待される。

3) 大豆播種作業

(1) 試験方法

本システムを耕うん同時施肥播種機（中央農研開発機、2条）を装着し、大豆の播種作業を自動運転および手動運転にて行い、ディスク式中耕除草機（生研センター開発機、3連）を利用した手動運転による中耕培土作業に与える影響を調査した。播種作業の直進性の評価は、出芽後の作物列上を測量用反射プリズムでなぞり、自動追尾パルストータルステーション（トプコン社製 GPT900A）にて連続的に測量して求めた。また、中耕培土の作業精度は、その後の生育が阻害される程度に培土が過剰であるものを培土過剰とし、培土が少しもかからないものを培土不足とした。

なお、作業速度や作業機設定は、培土状態を見ながら作業中に微調整する必要があるが、今回は、比較試験のため試験前に行った調整運転での設定を変更せずに連続して試験した。

(2) 結果および考察

試験結果を表 4 に示す。I 区は矩形圃場であり、また遠方に目標物等が設定しやすいため手動運転が運転者 A 及び B いずれも標準偏差が約 5 cm と非常に高精度であった。筆者らの経験上、こ



図 14 試験風景（自動）

表 3 試験結果（クリアランス）

試験内容	自動	手動B
平均値 [cm]	7.4	15.0
標準偏差 [cm]	1.9	6.2

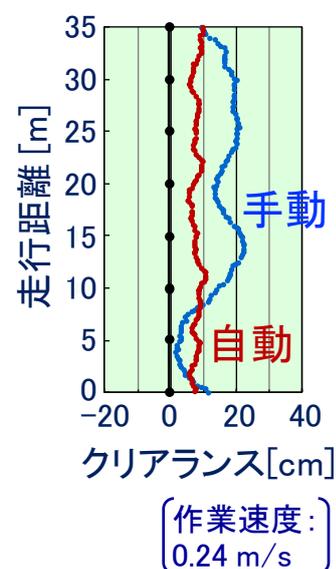


図 15 クリアランス

これは手動運転の限界とも言える。一方、自動運転では標準偏差が 2.3cm と手動運転のさらに半分以上以下で、非常に高精度で播種できた。I 区における播種後 31 日の大豆の様子を図 16 に示す。手動では作物列が湾曲しているが、自動では定規で引いたような直線になっている。中耕培土試験の結果は、手動はオペレータの特性によりその差が著しかった。手動 A は経験豊富なオペレータであり、後の管理作業のために急なハンドル操作を行わずに緩やかに曲がる曲線で隣接条間を広めにとって播種する傾向であったため、中耕培土作業では直接ロスとなる培土過剰の発生は少ないものの、培土不足が多く発生した。手動 B では、走行経路の修正を細かく行って播種する傾向であったため直線性は高かったが、そのために中耕培土作業では局所的に曲がった箇所でも培土過剰が多く発生する傾向となった。自動は、培土過剰を 2.1% と非常に小さくでき、培土不足割合も比較的中庸であった。

II 区は、不定形圃場であることに加え、播種時の圃場が湿潤で 0.33m/s と低速作業を余儀なくされたため、手動は、A、B とともに直進性が 8.6、6.0 と I 区に比べて劣る結果となった。一方、自動は I 区同様、標準偏差が 2.5 と高い直進性能を示した。中耕培土作業の精度も、手動が A、B とともに培土過剰が 3% 以上、培土不足が 13% であったが、自動はそれぞれ 2.6%、9.7% と手動よりも良好な結果であった。

表 4 大豆播種試験結果

圃場	I 区 ^{※1}			II 区 ^{※1}			
行程長 (m)	100			70			
試験条数 (使用作業機)	16条 (播種機: 2条、ディスク式中耕除草機: 畝間3条)						
播種 ^{※2}	試験内容 (運転者 ^{※3})	自動	手動(A)	手動(B)	自動	手動(A)	手動(B)
	作業速度 (m/s)	0.44	0.44	0.44	0.33	0.33	0.33
	直線経路からの標準偏差 (cm)	2.3	4.9	4.6	2.5	8.6	6.0
	変動幅 (cm)	-12~9	-20~17	-16~12	-12~7	-20~27	-15~23
	隣接条間 ^{※4} (cm)	72.6	84.5	76.5	74.5	83.6	74.8
中耕培土 ^{※5} (1回目)	試験内容 (運転者 ^{※3})	手動(A)	手動(A)	手動(A)	手動(A)	手動(A)	手動(A)
	作業速度 (m/s)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	作業精度 培土過剰割合 (%)	2.1	1.2	4.0	2.6	3.4	3.0
	培土不足割合 (%)	22.7	45.3	13.9	9.7	13.0	13.0

※1 生研センター附属農場 (水田転換畑)、※2 播種日: I 区 (2009/6/27)、II 区 (2009/6/26)、品種: タチナガハ

※3 運転者 A (20代男性)・運転者 B (50代男性)、自動は遠目標を複数設置。※4 条間 75cm が試験設定値。※5 播種後 20 日。



自動



手動 A

図 16 大豆 (播種後 31 日)

おわりに

以上、トラクタに汎用単眼カメラを利用したビジョンシステムと自動操舵装置を後付け装着して、作業経路上に設置した目標ランプに向けて、距離 500m 程度までの直進誘導が可能な装置を開発した。報告のように、本システムを適用して、水田あぜ塗り・ハウス内耕うん・播種など、直進性を要求される作業において、手動運転による作業に比べ、高精度な直進作業を行うことができるため、栽培管理の精度向上に活用できる。また、オペレータは作業中にハンドル操作をする必要がないため、圃場や作業状態の確認および作業機の操作などに専念できるため、作業負担を軽減するとともに、安全かつ効率的な作業が行える。

さらに、装置を利用して隣接条間を等間隔にすると、播種機の条数と中耕機の連数が異なっても作業精度を維持できるため、使用する作業機の選定が容易になる。ただし、本システムのみで直進作業を複数行程行う際には、目標ランプを移設あるいは複数利用する必要があるため、今後、ソフトウェアの改良を行って、複数の目標ランプを利用せずに簡易に複数行程に対応できる機能を付加するための研究を継続して行う予定である。

参考文献

- 1) 埜 圭二ら：農用車両の自動直進制御用の画像処理手法の研究、電気学会誌、129-C (10)、1949-1957、2009
- 2) 埜 圭二ら：農用車両のアドオン型直進運転アシスト装置の開発、農業環境工学関連学会講演要旨、CD-ROM、2009
- 3) 生研センター：平成 20 年度事業、2009

耕盤均平型耕うん装置に関する研究

生産システム研究部 堀尾光広、紺屋秀之、吉野知佳
林 和信、松野更和

はじめに	14
1. 開発目標	14
2. 開発装置の概要	14
1) 耕うん部の概要	14
2) レーザコントロール装置	16
3. 開発装置の性能	17
1) 制御感度変更への適応性	17
2) 制御感度変更（不感帯幅狭小化）による耕盤均平性能の向上	20
4. 耕深センサ	20
1) 耕深センサの役割	20
2) 耕深センサの概要	20
5. おわりに	22
6. 参考文献	22

はじめに

水稲生産の場である水田において安定的な生産を続けるには、ほ場の均平が大変重要な環境条件となる。我が国の稲作においては、営農作業の中で先祖代々「田んぼを均す」ことに努力を尽くされた結果、均平なほ場が全国どこにでも当たり前のように存在していた。ところが、ほ場整備やそれに伴って進められてきた大区画化、大型の乗用機械の普及によって、栽培上も問題と指摘されるほどの高低差が出現し、部分的な深水による苗の水没、出芽の不斉一、除草剤の防除効果低下など、様々な不都合を生じるようになってきた。こうした諸問題の解決に向けて、レーザを使った均平作業機などが開発され、利用技術の進化ともあいまって一定の成果・普及を見るようになってきた。しかしながら、改めて水稲生産の環境として考えたとき、水田土壌の均平とは、ほ場表面のみではなく耕盤面も均平にすること、すなわち作土層の状態を均一にすることが求められており、前述のようにほ場表面の均平では一定の技術確立が見られるのに対し、耕盤面の均平に関しては特に有効な技術が確立されていないという現状を改善する必要がある。

そこで、生研センターでは、ほ場表面を均平化する技術との組み合わせで安定した稲作りに貢献できる耕盤管理技術の確立を目的に、耕うん作業において耕盤を高精度に均平化する技術を開発したので、報告する。

1. 開発目標

以下の項目を開発目標として設定した。

- ①耕うん作業と同時に耕盤面の均平化を行う。
- ②均平度の目標を±1 cm（標準偏差）程度とする。

また、本研究では、表面と耕盤とを併せたほ場均平の補完技術として、耕深を測定するためのセンサについても検討を行うこととする。

2. 開発装置の概要

開発装置（図1）は、トラクタ搭載式の耕盤均平型耕うん装置であり、現行のロータリ耕うん装置に比べ振動が少なく安定した作業が可能な耕うん部と、耕うん部の高さ制御の感度を高めたレーザコントロール装置で構成される。

1) 耕うん部の概要

耕うん部は、我が国の水田耕起作業で主流となっているロータリ耕うん装置とチゼルを組み合わせたもので、耕うん所要エネルギーの低減を目的に生研センターで開発（2002年度～2006年度）した『複合耕うん装置』に、耕盤均平性能を高めるための改良を加えたもの



図1 開発装置の外観

である。

(1) 複合耕うん装置

複合耕うん装置（図2、3）は、ロータリ爪軸の後方に、ウイング刃付きチゼルを横方向一列に配置したもので、ロータリが耕深の8割程度を耕うんし、チゼルウイング部がその下層の破碎を行う。通常のロータリ耕うん装置に比べ所要エネルギーが少なく砕土性が高いという特性のほか、機体の振動が少ないという特徴を持っている。これは、ロータリ（正転）の推進力とチゼルのけん引抵抗が前後方向の振動を、ロータリ爪の打込み反力とチゼルウイング部が土中に刺さりこもうとする力が上下方向の振動を、それぞれ打ち消しあうためと考えられる。粗起こし時の機体振動加速度レベルは、従来機（ウェイトを追加して複合耕うん装置と同等の重量とした）に比べ2/3程度で、チゼル本数を両端各1本とした場合も同様に振動低減効果があった（図4）。この結果から、より高感度な耕深制御でも安定した作業が可能になると考えられる。



図2 複合耕うん装置の外観

(2) 耕盤均平型耕うん装置

耕盤均平型耕うん装置は、複合耕うん装置の仕様を一部変更し、耕うんしながら耕盤を均平化する作業に適した構成としたものである。複合耕うん装置では、ロータリ部とチゼ

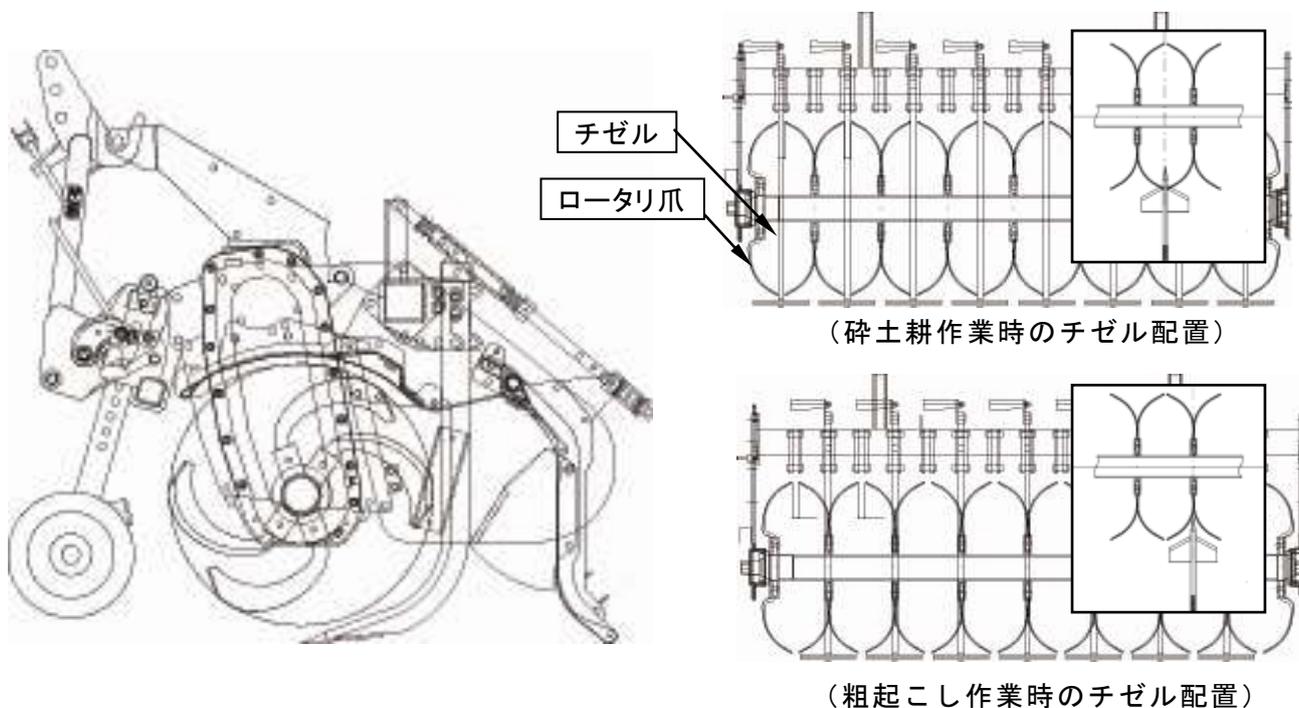


図3 複合耕うん装置の概略側面図（左）、ロータリ爪とチゼル取付け位置関係（右）

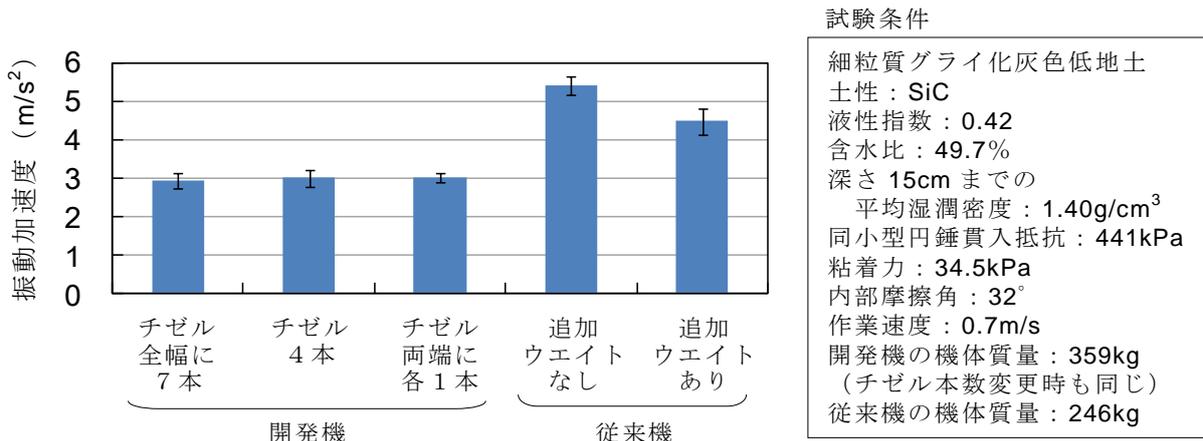


図4 粗起こし時の機体振動 (複合耕うん装置と従来機との比較)

ル部で耕起作業を分担させるため、ロータリ爪の回転軌跡より 25～35mm 下方にチゼル先端部が位置する構成となっており、チゼル本数を減らしたときにチゼル装着部と非装着部との間に段差ができるため、作業後の耕盤面に凹凸を生じる結果となっていた。そこで、チゼル装着部のロータリ爪を回転半径の小さいものに変えることで、横方向の段差を解消することとした。図5、6に耕盤均平型耕うん装置の構造を示す。

2) レーザコントロール装置

開発装置には、レーザ均平作業等 で利用される市販機のレーザコントロール装置を使用した。レーザ均平作業と同様に、水平に照射されたレーザ光を基準とし、作業機を一定の高さに制御しながら耕うん作業を行う (図7) ことよ びて耕盤面の均平化を図る。使用したレーザ受光器は、レーザ均平作業時には不感帯幅±15mm 程度の範囲で使用されるものだが、トラクタ側の制御感度を高めることで±5mm 程度の範囲での使用も可能である。開発装置による耕盤均平耕うん作業では、この

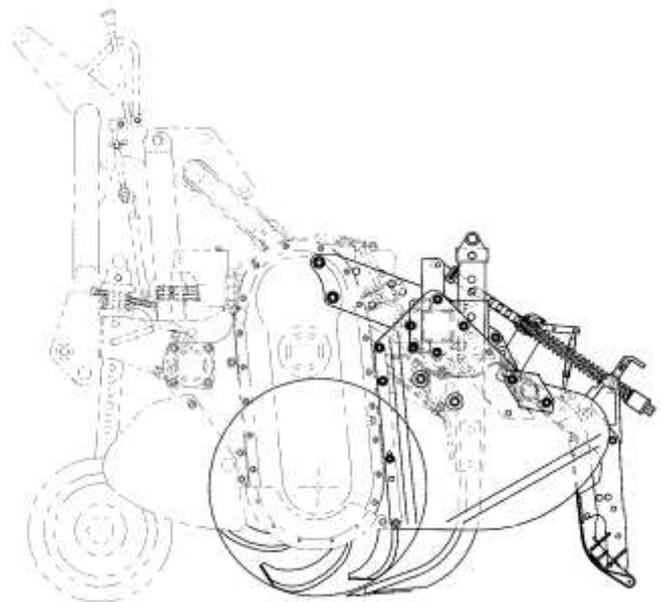


図5 耕盤均平型耕うん装置の側面図

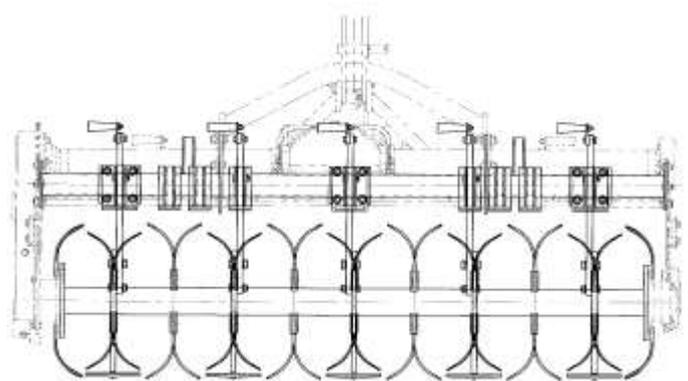


図6 耕盤均平型耕うん装置の背面図 (チゼル本数は変更可能)

ように不感帯幅を狭めることで高感度な高さ制御を可能としている。なお、ここでいう不感帯幅とは以下の通りである。一般に、ある設定値を目標とする制御で、設定値に達したのち行き過ぎ、反対方向へ戻そうとして再び行き過ぎるという動作の繰り返しをハンチングと言うが、今回のようにレーザ光基準水平面に合わせようと制御したとき、作業機が頻繁に上下動する様子がこれに相当する。ハンチングを起こしてしまうと、当然のことながら耕盤面に凹凸が生じてしまう。そのため、レーザ光基準水平面の上下に制御で反応しない範囲を設けることで、ハンチングを収束あるいは発生させないようにしている。このように制御において反応しない（させない）範囲のことを不感帯幅と呼ぶ。



図7 耕盤均平型耕うん作業風景

3. 開発装置の性能

1) 制御感度変更への適応性

(1) 制御感度変更前の耕盤均平性能

レーザを使ってロータリ耕うんを行うことによる耕盤均平化の効果を検証するため、段差のあるほ場で耕うん試験を行い、作業後の耕盤均平度を調査した。試験は、畦畔を取り除き合筆した直後の2 cm程度の段差がある水田で、①レーザを利用して耕盤均平型耕うん装置で作業した開発機区と、②レーザを利用して現行のロータリ耕うん装置で作業した対照区を設けて行った(図8)。

作業後の耕盤均平度(ほ場全体の碎土耕、レーザ均平、代かき作業後に測定を行った)は、現行機に比べ25%程度標準偏差が小さくなったが、耕うん前よりむしろ段差は拡大され、目標の±1 cmに程遠い結果となった(図9)。この原因の一つとして考えられるのは以下の通りである。

前述のように、レーザによる高さ制御では±15 mm程度の不感帯幅が

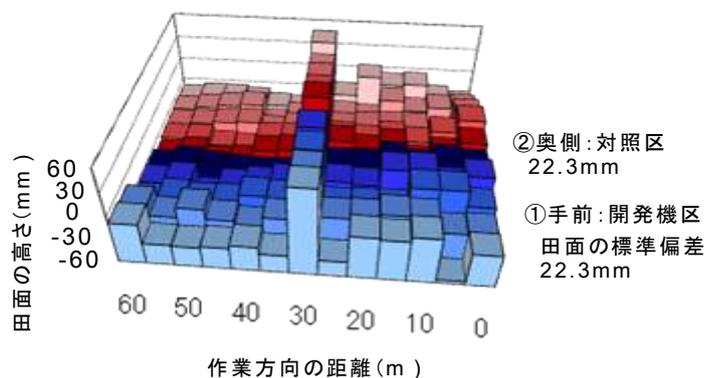


図8 試験ほ場の耕うん前の田面の状況

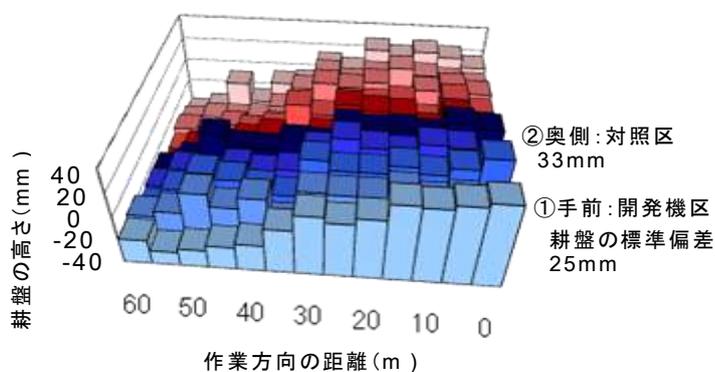


図9 試験ほ場の耕うん後の耕盤の状況

設けられている。このためほ場表面の高いところ、すなわち深く耕うんしなければならない場所ではロータリ爪の打込み反力が大きくなり不感帯の上限付近で作業することが多くなるのに対し、低いところでは機体重量とチゼルの作用による力との合力がロータリの打込み反力に勝り不感帯の下限付近で作業することが多くなるためであろう。したがって、この両者の違いにより 30 mm 程度の高低差が残ってしまったのではないかと考えられる。

以上の結果から、耕盤均平精度を高めるには、不感帯幅を狭くしてレーザの制御感度を高めることが必要であると考えられる。以下に示すほ場試験では、不感帯幅を 1/3 程度とし、レーザ感度を高めて耕うん作業を行った。なお、通常のトラクタでは、レーザを利用して作業を行う場合、不感帯幅を狭くする機能は付けられていない。今回のほ場試験にあたって、制御の内部パラメータを変更できる機能を付加したことを付け加えておく。

(2) 不感帯幅変更（狭小化）への適応性

不感帯の幅を狭くし制御感度を高めると、一般的には前述のハンチングが発生しやすくなる傾向がある。不感帯幅を $\pm 5\text{mm}$ 程度に狭め、水田において作業機を浮かせた状態でトラクタを走行させると、頻繁にハンチングを繰り返す様子が観察された。耕うん作業中は上下方向に力が加わった状態であるが、それによってどの程度抑制の効果があるのか、ハンチング発生の有無についても確認のため以下の試験を行った。

ほ場試験では、不感帯幅を 2 段階（標準の $\pm 15\text{mm}$ 及び $\pm 5\text{mm}$ ）に変えてレーザ制御によるロータリ耕うんを行い、ロアリンク油圧昇降制御の状況からハンチング発生の有無を確認した。油圧昇降制御の状況は、ロアリンクの上下移動量をワイヤ式変位計で計測することにより確認を行った。また、ロータリ耕うん装置へのチゼルの装着がハンチング発生の有無に与える影響について確認するため、供試機には耕盤均平型耕うん装置と現行のロータリ耕うん装置を用いた。試験条件は、走行速度約 0.6m/s 、PTD 速度段 1 速で、土壌条件は、液性指数 0.53、含水比 53%、深さ 10cm までの平均湿潤密度 131g/cm^3 、同小型円錐貫入抵抗 440kPa である。なお、ハンチングが発生しやすい条件で試験を行うため、耕うん作業は、稲収穫後の未耕起ほ場で、稲株条に直交する方向に行った。



図 10 制御パラメータ変更用コントローラ



図 11 ロアリンク上下移動量測定風景

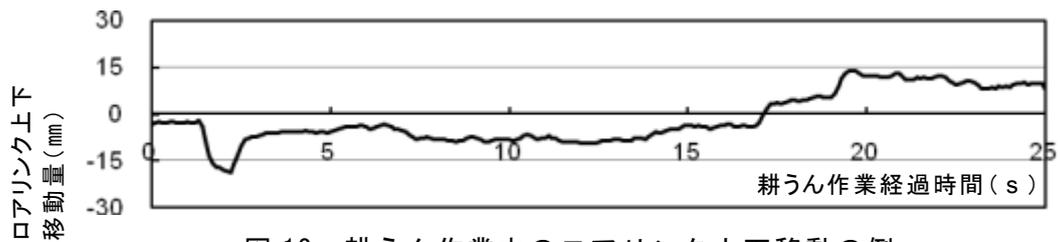


図 12 耕うん作業中のロアリンク上下移動の例
(現行のロータリ耕うん装置、不感帯幅 $\pm 15\text{mm}$ (標準))

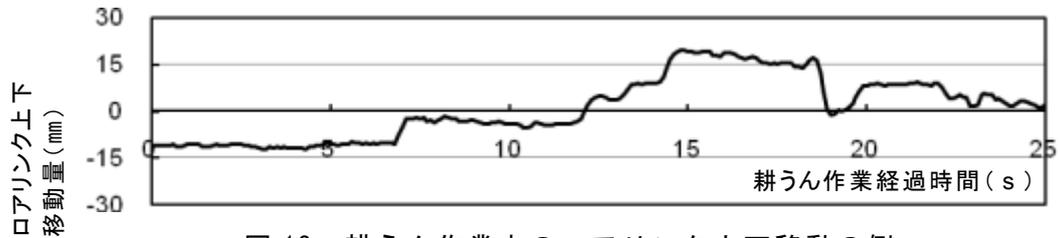


図 13 耕うん作業中のロアリンク上下移動の例
(耕盤均平型耕うん装置、不感帯幅 $\pm 15\text{mm}$ (標準))

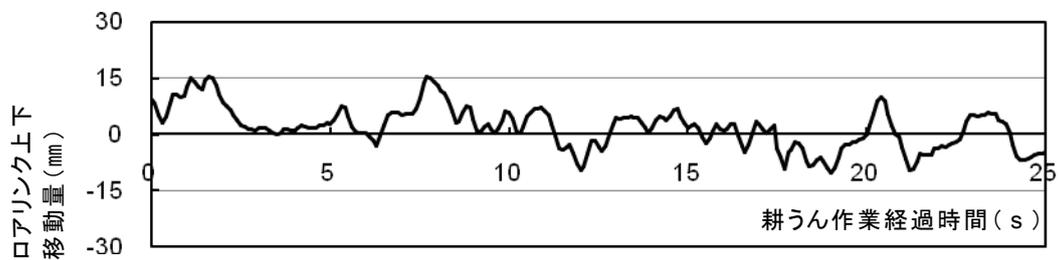


図 14 耕うん作業中のロアリンク上下移動の例
(現行のロータリ耕うん装置、不感帯幅 $\pm 5\text{mm}$)

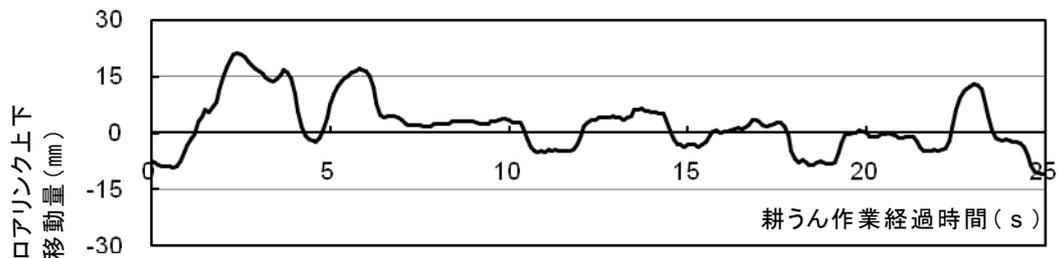


図 15 耕うん作業中のロアリンク上下移動の例
(耕盤均平型耕うん装置、不感帯幅 $\pm 5\text{mm}$)

耕うん作業中のロアリンク上下移動量計測の例を図 12～15 に示す。

図 12～15 は、約 20m 間の耕うん作業中に、1/10 秒間隔で変位計の出力値を記録したもので、図 12、13 は不感帯幅が標準の $\pm 15\text{mm}$ 程度、図 14、15 は不感帯幅が標準の約 1/3 にあたる $\pm 5\text{mm}$ 程度で作業を行ったときのものである。

不感帯幅が標準の $\pm 15\text{mm}$ 程度の際には、現行ロータリ、開発装置ともにハンチングの発生は見られず、ロアリンクの動きも少ないことが確認された(図 12、13)。一方、不感帯幅を $\pm 5\text{mm}$ 程度に狭めたときは、現行ロータリではハンチング発生が見られた(図 14)のに対し、開発機では見られなかった。また、開発機でロアリンクの動作回数が増えたことから、制御感度を高めたことによる応答性の向上が確認された(図 15)。

2) 制御感度変更（不感帯幅狭小化）による耕盤均平性能の向上

レーザ受光器の不感帯幅を±5mm程度とし、作業前の田面が標準偏差12mm、±10mm以上の割合43%のほ場（60×50m）において、レーザ制御により開発装置で耕うんを行い、耕うん後の耕盤均平度を調査した（図16）。耕うん後の耕盤の均平度は、標準偏差7mm、±10mm以上の割合9.8%となり、前年の耕うん前にあった段差もほぼ解消された（図17）。

以上の結果より、現行のロータリ耕うん装置に比べ振動が少なくハンチング抑制の効果がある耕盤均平型耕うん装置を用い、レーザ受光器の制御感度を高めてレーザ制御により耕うん作業を行う方式の開発装置は、耕盤均平度±1cmを目標とする耕盤均平作業に有効であると考えられた。

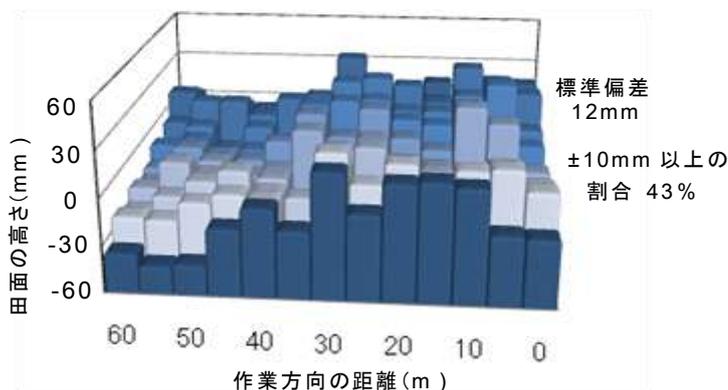


図16 耕うん作業前の田面の状況

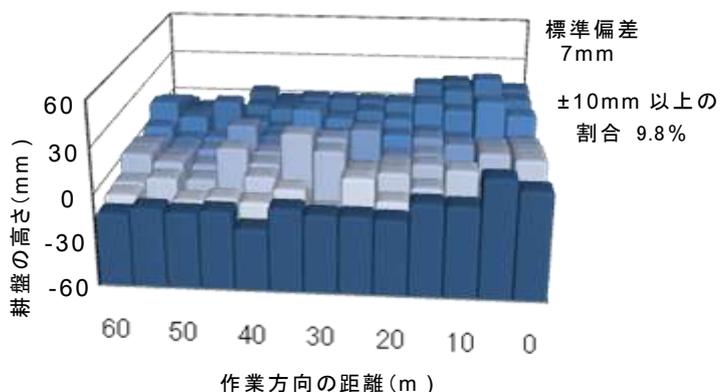


図17 耕うん作業前の田面の状況

4. 耕深センサ

1) 耕深センサの役割

耕盤均平作業は、あくまでも耕盤の均平化を求めるものであり、その後、レーザ均平機等では場表面も均平化することによって土壌の均平化、一定の作土層深さが実現される。レーザ均平作業を行う前に、運土計画を立てるため、レーザ均平作業前にはほ場表面の凹凸状況の調査が必要であるが、耕盤均平作業時に耕うん深さを知ることができれば、その情報を事前の凹凸調査に換えることが可能となり、作業全体の能率向上を図ることができる。そこで、本研究では、耕深センサに関する検討も行った。

2) 耕深センサの概要

現行のロータリ耕うん装置の耕深制御では、リヤカバーが揺動する動きを検出してロアリンクの昇降制御を行う方式が多く使われている。この方式では、ほ場一筆内で土壌の硬軟などにばらつきがあると、土塊径の大きさが異なることがあり、リヤカバーの動きが耕うん深さの浅深、耕うんした土量の多少を正確にセンシングしていない場合もあると考えられる。そこで、より正確に耕うん深さを検出できるように、耕うん前の未耕起ほ場表面の高さを検出する方式の耕深センサについて検討を行った。

試作した耕深センサの外観を図18に示す。センサは、ロータリ耕うん爪軸の前方に配置さ

れ、未耕起ほ場表面に接地輪を接触させ、接地輪を支持するアームの揺動角をポテンシオメータで検出する方式である。ロータリ爪軸の前方に放擲された土塊に乗り上げるのを防ぐため、接地輪の後方に土塊飛散防止カバーを設けている。また、作業機の傾斜補正を行うため、傾斜角計を取り付けた。

耕うん作業時の、耕深センサのポテンシオメータとリヤカバー揺動角検出用のポテンシオメータの出力信号例を図 19、20 に示す。両者に用いたポテンシオメータは同一のものである。



図 18 耕深センサの外観

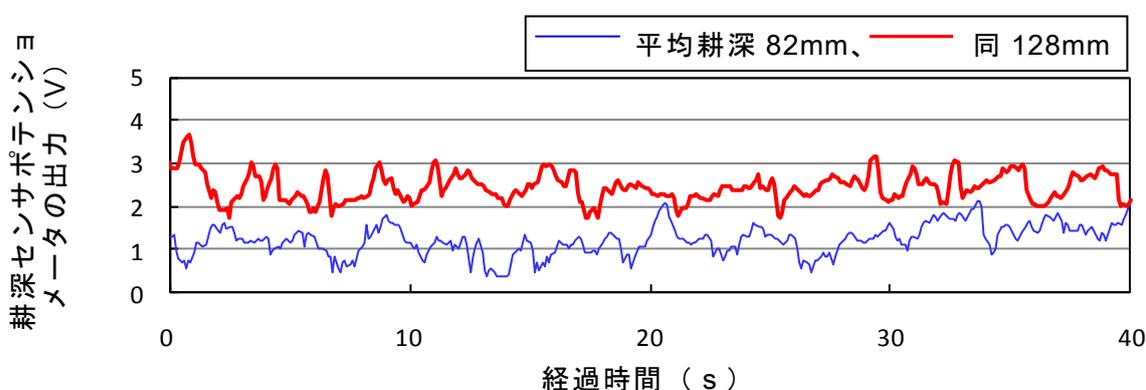


図 19 耕深センサ・ポテンシオメータの出力信号例

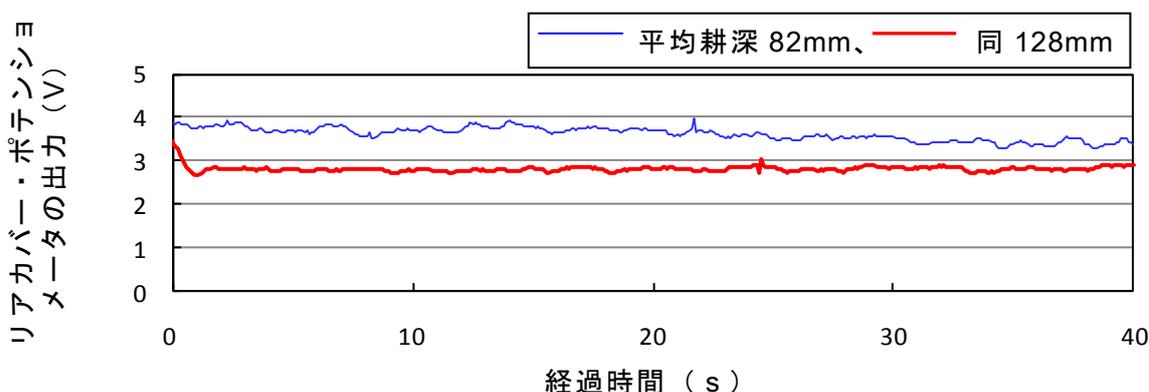


図 20 リヤカバー・ポテンシオメータの出力信号例

耕深センサ・ポテンシオメータの出力信号は、リヤカバーのそれと比べ振幅が大きいですが、これはほ場表面の細かな凹凸にも追従しているためである。ただし、接地輪の幅に対し押しつけ力が不足ぎみのため、稲株による浮き上がりや、コンバインのクローラ轍あとなど段差の大きなところで跳ねるなどの現象も確認されたことから、これらの対策が必要であると考えられた。また、接地輪の外周に土が付着する場合もあり、スクレーパの取付けなどの改良も必要である。稲株への乗り上げ防止や段差での跳ね上りを防ぐには、接地部をレーキ状

の部材に変えることも有効と思われる（図 21）。図 22 は、リヤカバーのポテンショメータからの出力信号と GPS で取得した位置情報をもとに、耕うん後のほ場の土層厚さを表すマップを作成したものである。今後、さらに検討を進め、高精度に耕深を検出できる耕深センサの出力から土層マップ作成までの一連の技術完成を目指していきたいと考えている。



図 21 耕深センサ接地輪をレーキに変更

5. おわりに

現在、レーザ均平等で用いられているレーザコントロール装置は、レーザ均平やレーザプラウなど、比較的高速で作業が行われる場合を対象としていたため、不感帯幅が比較的広く設定されているものと思われる。ロータリ耕うんの場合、幸か不幸かそれらの作業に比べ作業速度が低く、作業能率面では短所であるが、レーザ制御を行う場合はより感度を高めての作業が可能となる有利な条件であることがわかった。耕盤均平型耕うん装置を用いることで、ハンチング発生の問題も回避することができた。本研究で開発した技術で耕盤均平を行った後、レーザ均平機では場表面を均平にするという一連の作業で、水田において安定的な生産を行う環境作りに大きく貢献できると期待している。最後に、開発装置の試作にあたっては小橋工業株式会社に、トラクタの制御パラメータ変更用コントローラの製作にあたっては井関農機株式会社に多大なご協力を賜った。ここに改めて謝意を表する。

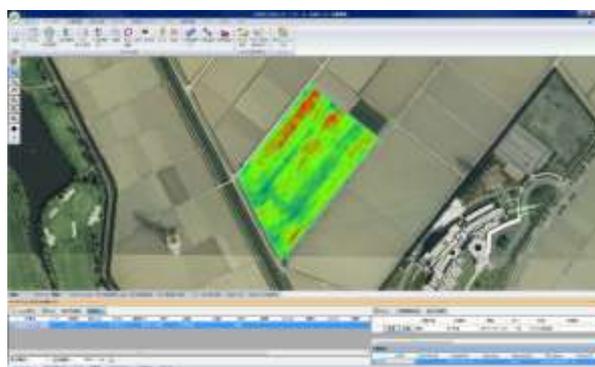


図 22 耕うん土層マップ作成例

（リヤカバーセンサデータを使用）

6. 参考文献

- 1) 平成 14 年度～平成 21 年度生研センター事業報告
- 2) 堀尾光広ら（2004）、第 63 回農業機械学会講演要旨、11-12.
- 3) 堀尾光広ら（2005）、農業環境工学関連 7 学会 2005 年合同大会講演要旨、435.
- 4) 堀尾光広ら（2006）、農業環境工学関連 7 学会 2006 年合同大会講演要旨、(CD-ROM) .
- 5) 紺屋秀之ら（2007）、農業環境工学関連 7 学会 2007 年合同大会講演要旨、(CD-ROM) .
- 6) 紺屋秀之ら（2008）、平成 19 年度研究成果情報・総合農業、
<http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Seika/h1912.htm>
- 6) 紺屋秀之ら（2008）、第 67 回農業機械学会講演要旨、(CD-ROM) .
- 7) 紺屋秀之ら（2009）、農業環境工学関連 7 学会 2009 年合同大会講演要旨、(CD-ROM) .

乗用型水田除草機と米ぬか散布を組み合わせた 水田用複合除草技術の実証試験

生産システム研究部	吉田隆延、水上智道、宮原佳彦
基礎技術研究部	牧野英二
企画第2課	臼井善彦
埼玉県農林総合研究センター	関口孝司
中央農業総合研究センター	三浦重典

はじめに	24
1. 研究の背景と目的	24
2. 水田用複合除草技術に用いた供試機の概要	25
3. 抑草・除草効果の高い水田用複合除草技術の検討（栽培比較試験）	25
1) 研究方法	25
2) 結果の概要	26
4. 機械除草と米ぬか散布を組み合わせた水田用複合除草技術の実証試験	27
1) 研究方法	27
2) 結果の概要	28
5. 機械除草の問題点	29
6. 本研究で実証した水田用複合除草技術の利点	30
おわりに	30
参考文献	31

はじめに

これまで、農業生産においては、生産性の向上、病虫害防除、雑草管理、農作業の効率化と省力化などのために殺虫・殺菌剤及び除草剤などの農薬や化学肥料が使用され、食物生産に大きく貢献してきた。しかし、近年、環境問題が全世界的に重要な問題となり、環境保全の重要性から農薬や除草剤などの化学資材を可能な限り利用しない有機栽培及び減・無農薬栽培体系に取り組む農家や組合が出てきている。一般消費者も安全・安心な食料を求める傾向にあり、有機栽培や減・無農薬栽培で作られた野菜や米への関心が高まっている。また、2006年に成立した有機農業推進法の施行などにより、農薬や化学肥料を使用しない栽培体系の確立と有機農業への取り組みが重要な課題となっており、今後もさらに有機農業の研究と実践が推し進められる傾向にある。

このような社会的ニーズがあるにもかかわらず、現状では農薬や除草剤を使用しない栽培体系は非常に困難であり、農業従事者の高齢化にともない労力的にも大変厳しい。特に水稲栽培では除草剤を使用しない雑草管理は非常に難しく、栽培規模が大きくなるほど管理は困難を極めており、除草効果の高い、高効率で省力的な雑草管理技術の開発が求められている。また、近年、スルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草^{1), 2)}を含め、除草剤抵抗性の雑草³⁾が問題となっており、水田用除草機による除草など物理的・耕種的防除法を取り入れた総合的管理の重要性が指摘されている。このような要望に応えるため、生研センターでは、除草剤等による環境負荷の低減と除草剤を使用しない雑草管理技術の開発を目指し、21世紀型農業機械等緊急開発事業で乗用型の水田用除草機（高精度水田用除草機）等の開発^{4), 5)}と水田用複合除草技術に関する研究⁶⁾を行ってきた。同除草機は平成13年より市販化され、これまでに全国に約400台程度普及し、減農薬栽培や有機農業に従事する農家で利用されている。しかし、水田用除草機のみを用いての雑草管理は容易でなく、その利用技術も農家によって多種多様であり、体系化されていないのが現状である。そこで、高精度水田除草機をベース機として、米ぬかの抑草効果を利用した田植え同時米ぬか散布と機械除草同時米ぬか散布による水田用複合除草作業を行うことによって、除草剤を使用せずに慣行（除草剤を用いた雑草管理）と同程度の収量を可能にする水田用複合除草技術を確立したので報告する。

なお、本研究を実施するにあたり、埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所及び現地関係者の方々に多大なご協力を頂いた。これらの方々にはここに記して深くお礼を申し上げる。

1. 研究の背景と目的

現在、減農薬・有機栽培を行う農家等で機械除草機を利用した除草作業が行われているが、機械除草のみによる雑草管理は難しく、抑草効果を目的として大豆かすや米ぬかなどの有機質資材の散布が併用されている。しかし、その除草管理技術は農家により多種多様であるため体系化されておらず、除草最適時期、除草回数、抑草・除草効果等については未だ不明な点も多い。そこで、生研センターで開発した高精度水田用除草機と米ぬか散布を組み合わせた水田用複合除草技術を利用し、埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所ほ場で体系的な水稲栽培を行い、除草効果、除草労力低減効果、収量等の評価を行うとともに、除草剤を使用しない本技術の実用化について検討する。

2. 水田用複合除草技術に用いた供試機の概要

本研究に用いた供試機の概要等を表1に示す。K社製の6条用の多目的田植機とそれに装着する機械除草機を用いた。本機は側条施肥装置を利用し、肥料散布ホースを機械除草機に取り付けて機械除草同時米ぬか散布が可能なように改良したものである(図1)。これにより、田植え同時米ぬか散布と機械除草同時米ぬか散布を行うことができる。粒状米ぬかは「米の精」(JAほくさいで販売)を利用し、約80kg/10a散布できる。

表1 供試機の基本仕様

本機	乗用田植機(多目的田植機) K社製 本機:SPU-650(F), 除草機:SJ-6k
作業条数	6条(条間30cm)
ホッパ容量	66L(側条施肥装置ホッパ)
米ぬか散布量 (粒状米ぬか)	約80kg/10a
米ぬか	粒状米ぬか(特殊肥料)30kg/袋 (「JAほくさい」等より販売)
作業速度	0.4~0.5m/s(推奨)



図1 多目的田植機と水田用除草機による田植え同時米ぬか散布と機械除草同時米ぬか散布

3. 抑草・除草効果の高い水田用複合除草技術の検討(栽培比較試験)

機械除草と米ぬか散布を組み合わせた複合除草技術の最適な方法を明らかにするため、除草回数及び除草時期などの条件を変更して除草作業を行い、抑草効果や除草最適期などを調査する。その結果より、抑草・除草効果が高く、除草作業労力の低減が可能な除草技術を明らかにする。

1) 研究方法

埼玉県内の水稻普通栽培を想定した栽培体系の中において、高精度水田用除草機を用いた水田用複合機械除草と抑草資材(有機質資材)である米ぬか散布作業を組み合わせ、さらに深水管理をお

こなった場合の水田用複合除草技術の除草効果を検討し、除草回数の低減効果について以下の方法で調査した。

(1) 供試機

供試機の基本仕様を表1に示す。市販の6条多目的田植機に、側条施肥装置を応用した米ぬか(粒状、特殊肥料)の散布装置(試作)を搭載し、田植え同時米ぬか散布及び機械除草同時米ぬか散布が可能なように改良した。1回当たりの設定散布量は、約80kg/10aとして散布した(表1、図1)。

(2) 栽培方法

前作が小麦の30aの水田における水稻普通栽培で、播種(5月23日)、代かき(6月19日)、移植(6月22日、中苗)とし、深水管理を行った。施肥、防除は慣行と同様とした(場所:埼玉県農業総合研究センター内水田、品種:キヌヒカリ)。

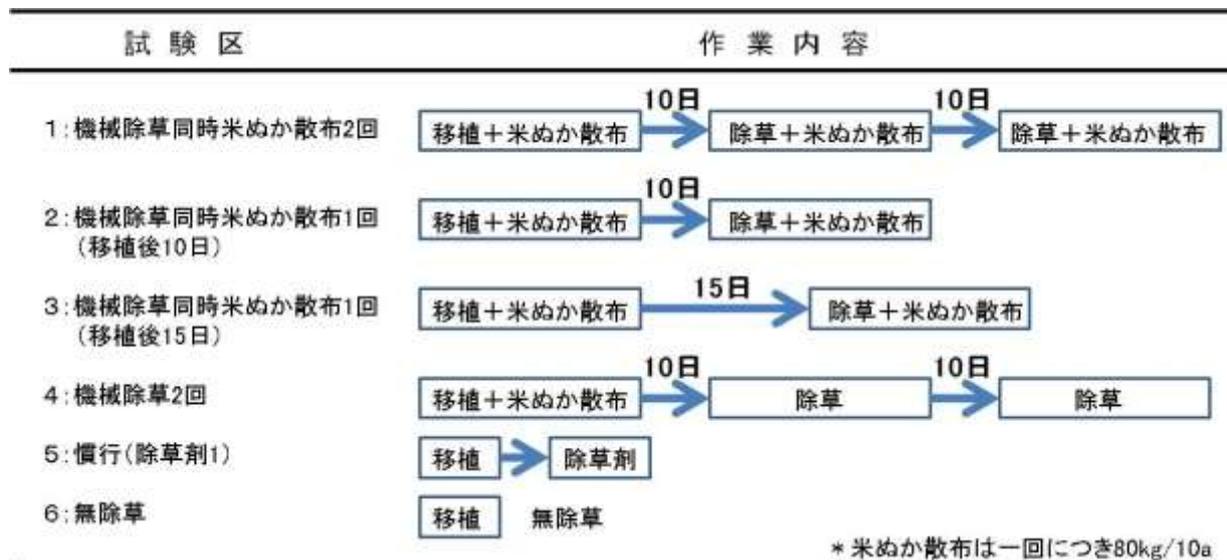
(3) 作業方法

試験区ごとの作業方法を表2に示す。機械除草同時米ぬか散布による除草技術を利用して除草回数を2回まで減らした試験のほか、除草回数を1回にまで減らした試験も行った。

(4) 雑草量の調査

中干し期の雑草量を本数及び風乾重により評価した(調査日:7月26日)。

表2 複合除草技術の比較試験における作業内容



2) 結果の概要

試験ほ場における主な雑草は、ヒエ、コナギ、アゼナ、タデであり、そのうちヒエとコナギが優占種であった。除草効果を表3に示す。試験区1(田植え同時米ぬか散布、機械除草同時米ぬか散布2回)は試験区4(田植え同時米ぬか散布、機械除草2回)に比べて、雑草量が非常に少ないことから米ぬかの抑草効果が認められた。試験区2(田植え同時米ぬか散布、10日後機械除草同時米

ぬか散布1回)は、試験区3(田植え同時米ぬか散布、15日後機械除草同時米ぬか散布1回)に比べて、雑草量が非常に少ないことから、初期除草の時期が重要であることがわかった。また、試験区2の結果から、機械除草同時米ぬか散布による除草技術を利用した場合、初期除草の時期が適正であれば除草回数を1回にまで減らしても十分な除草効果が得られることが明らかとなった。今回の試験では、機械除草を利用した試験区と慣行区(除草剤区)の収量はほぼ同様であったことから、複合除草技術により除草剤を使用しなくても慣行と同程度の収量が確保できると推測された。

以上の結果により、抑草・除草効果が高く、除草に係る労力を低減可能な水田用複合除草技術が明らかになったので、本技術の実証試験を埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所ほ場で行い、実用化について検討した。

表3 除草作業方法別の除草効果(中干し期の残草量)

試験区	本数(本/m ²)					風乾重(g/m ²)				
	ヒエ	コナギ	その他	合計	(比率)	ヒエ	コナギ	その他	合計	(比率)
1:機械除草同時米ぬか散布2回	0.02	0.18	0	0.02	(0.03)	0.01	0.01	0.00	0.02	(0.10)
2:機械除草同時米ぬか散布1回 (10日後)	0.06	0.31	0	0.37	(0.06)	0.07	0.02	0.00	0.09	(0.45)
3:機械除草同時米ぬか散布1回 (15日後)	0.10	22	13	35.10	(5.75)	0.08	2.49	0.18	2.75	(13.61)
4:機械除草2回	0.03	26	0	26.03	(4.27)	0.01	2.34	0.00	2.35	(11.63)
5:慣行(除草剤1回)	0	0	0	0	(0)	0	0	0	0	(0)
6:無除草	2	382	226	610	(100)	0.74	18.50	0.96	20.20	(100)

4. 機械除草と米ぬか散布を組み合わせた水田用複合除草技術の実証試験

上記3の試験結果より、機械除草と米ぬか散布を組み合わせた効果的な水田用複合除草技術が明らかになった。そこで、本技術を利用して埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所ほ場で2年間継続して体系的な水稻栽培試験を行い、水田用複合除草技術の除草効果、収量等の評価を行うとともに、本技術の実用化について検討する。

1) 研究方法

(1) 供試機については、2. 1)の(1)及び表1を参照。

(2) 2008年度栽培試験

試験区の詳細を表4に示す。埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所ほ場で、早植栽培(5月16日移植、品種:コシヒカリ)と普通栽培(6月27日移植、品種:キヌヒカリ)の2種類の栽培を対象に、早植栽培では、機械除草区(移植後10日間隔で3回実施)、複合除草区(機械除草同時米ぬか散布を移植後10日間隔で2回実施)と慣行区(除草剤1回使用)及び無除草区の4試験区を設定し、普通栽培では、機械除草区(移植後10日間隔で2回実施)、複合除草区(機械除草同時米ぬか散布を移植10日後に1回実施)と慣行区(除草剤1回散布)及び無除草区の4試験区とした。機械除草区と複合除草区では田植え同時米ぬか散布(約80kg/10a)を行った。雑草調

査（各区3カ所で採取し、草別乾物重を測定）及び欠株率の調査は中干し期（移植後35日）に行った。収量（玄米）は収穫期に調査した。

(3) 2009年度栽培試験

試験区の詳細を表4に示す。埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所は場で、2008年度とは栽培品種を変更し、早植栽培（5月12日移植、品種：彩のかがやき）と普通栽培（6月26日移植、品種：彩のみのり）の2種類の栽培を対象にして、2008年度と同様に早植栽培と普通栽培でそれぞれ4試験区（機械除草区、複合除草区、慣行区、無除草区）とした。機械除草区と複合除草区では田植え同時米ぬか散布（約80kg/10a）を行った。雑草調査（各区3カ所で採取し、草別乾物重を測定）は、早植栽培では移植後52日に、普通栽培では移植後40日に調査した。欠株率は中干し期、収量は収穫期に調査した。

表4 2008年度及び2009年度栽培試験における除草方法別の除草効果と欠株率

栽培試験区		雑草量 (g/m ²) ²⁾			欠株率% ³⁾	備考
		ヒエ	コナギ	その他		
2008年度 早植栽培試験	1：機械除草3回区 ¹⁾ (移植後10、20、30日)	0	0	0	2.5	品種：コシヒカリ 播種：4月28日 代かき：5月13日 移植：5月16日 雑草調査：移植後35日 基肥：N 3kg/10a 穂肥：N 2kg/10a
	2：複合除草2回区 ¹⁾ (移植後10、20日)	0	1.1	0	5	
	3：慣行区 (除草剤散布1回)	0	0	0	0	
	4：無除草区	11.9	0	0.2	-	
2009年度 早植栽培試験	1：機械除草3回区 ¹⁾ (移植後10、20、30日)	3	8.7	0	16.1	品種：彩のかがやき 播種：4月24日 代かき：5月12日 移植：5月15日 雑草調査：移植後52日 基肥：N 4kg/10a 穂肥：N 3kg/10a
	2：複合除草2回区 ¹⁾ (移植後10、20日)	5.8	18.2	0.1	9.2	
	3：慣行区 (除草剤散布1回)	0	0	0	0	
	4：無除草区	34.5	22.5	12.6	-	
2008年度 普通栽培試験	1：機械除草2回区 ¹⁾ (移植後10、20日)	0	18	0.3	14.2	品種：キヌヒカリ 播種：6月3日 代かき：6月24日 移植：6月27日 雑草調査：移植後35日 基肥：N 5kg/10a 穂肥：なし
	2：複合除草1回区 ¹⁾ (移植後10日)	0	7.1	0	15.3	
	3：慣行区 (除草剤散布1回)	0	0	0	6.1	
	4：無除草区	18.2	53.9	79.1	-	
2009年度 普通栽培試験	1：機械除草2回区 ¹⁾ (移植後10、20日)	0	0.7	0	1.4	品種：彩のみのり 播種：5月26日 代かき：6月23日 移植：6月26日 雑草調査：移植後40日 基肥：N 5kg/10a 穂肥：なし
	2：複合除草1回区 ¹⁾ (移植後10日)	0.3	3.9	0	2.5	
	3：慣行区 (除草剤散布1回)	0	0	0	0	
	4：無除草区	-	-	-	-	

注1) 田植え時に米ぬか散布、2) 各区3カ所で採取し、草種類の乾物重を測定、3) 移植時の欠株を含む値。

2) 結果の概要

(1) 2008年度栽培試験の結果

2008年度栽培試験の除草効果と欠株率の結果を表4に示す。早植栽培では機械除草区と複合除

草区とも雑草量が極めて少なく、両区とも慣行区と同等であった。一方、普通栽培では、連年コナギが優勢繁茂するほ場であったこともあり、機械除草区では稲の株元を中心に無除草区の発生量の1/3程度発生したが、ヒエ類の発生は抑制された。複合除草区でもコナギの残草が認められたが、全体的に比較的高い抑草・除草効果が認められた。欠株率については、早植栽培では機械除草区と複合除草区とも欠株率が少なかったが、普通栽培では機械除草区、複合除草区とも多い傾向にあった。また、収量の結果は、慣行区比で機械除草区72～90%、複合除草区で76～80%程度であった(表5)。

(2) 2009年度栽培試験の結果

2009年度栽培試験の除草効果と欠株率の結果を表4に示す。除草効果の結果は、早植栽培では機械除草区の除草効果が比較的高かった。複合除草区では株間と株元におけるコナギの残草が多かったが、その他の雑草は比較的少なく、抑草・除草効果が認められた。普通栽培では機械除草区と複合除草区とも高い除草効果が確認された。欠株率については、早植栽培では機械除草区の欠株率が高かったが、複合除草区では少なく、普通栽培では機械除草区と複合除草区ともに少なかった。収量の結果は、慣行区比で機械除草区99～102%、複合除草区で94～105%となり、概ね慣行区と同程度かそれ以上の収量が得られた(表5)。

以上の結果から、複合除草技術を利用することにより、早植及び普通栽培ともに、従来の機械除草作業回数から1回作業を省略しても概ね同等の除草効果が得られ、収量についてもほぼ慣行並の収量を確保できることが実証された。機械除草と米ぬか散布を組み合わせた水田用複合除草技術は、除草作業に係る労力低減に寄与し、実用化可能な技術である。

表5 2008年度及び2009年度栽培試験における除草方法別の収量

栽培試験区	収量kg/10a (対慣行比) ¹⁾		
	機械除草区	複合除草区	慣行区
2008年度早植栽培	420 (72)	460 (80)	580 (100)
2009年度早植栽培	545 (99)	577 (105)	548 (100)
2008年度普通栽培	420 (90)	360 (76)	470 (100)
2009年度普通栽培	505 (102)	468 (94)	493 (100)

注1) 玄米収量

5. 機械除草の問題点

これまでの水田用機械除草機に関する試験研究において、機械除草の大きな問題点としては欠株率の増加と株間・株元の残草が挙げられる。欠株の大きな原因としては、旋回時における苗の踏みつけ、除草時の車輪の土壌巻き上げによる苗の踏みつけ、機械除草中の運転ミスによる苗の踏みつけ等が挙げられる(図2)。また、株間や株元の雑草については、除草機の形状及び性能上、機械除草のみでは

完全ではなく、雑草が残る傾向が認められる。今後、車輪の形状や除草機の除草ツールの形状を見直せば欠株が減少すると考えられる。また、機械除草作業時には、オペレータが苗の踏みつけに十分注意しながら作業することで、欠株を減少させることが可能である。



図2 機械除草による欠株

6. 本研究で実証した水田用複合除草技術の利点

これまでの本技術の研究開発の結果を踏まえ、研究成果をまとめると、以下の通りとなる。

- 1) 機械除草機は、側条施肥装置を搭載した多目的田植機（K社製、型式：SPU-650）とこれに装着する方式の高精度水田用除草機（K社製、型式：SJ-6k）に米ぬか散布用ホースを取付けたもので、田植作業時及び機械除草作業と同時に米ぬかを田面に散布（約80kg/10a）することが可能である（図1）。
- 2) 本研究で用いた作業機は、機械除草単独作業、または、米ぬか散布と田植え及び機械除草とを同時に行う複合除草作業のどちらも行うことができ、いずれの方法でも、ノビエ、カヤツリ、アゼナなどの発生を低いレベルに抑制することが可能である（表3、4）。
- 3) 米ぬか散布と田植え及び機械除草を組み合わせた複合除草作業を行う場合は、機械除草単独作業と比較して、除草作業の回数を1回減らすことが可能であり、作業機がほ場内を走行毎に生じる田面不均一や作業時の労働負担を低減することができる（表4）。また、同一ほ場で同作業機を2期連続で使用しても、一定の抑草効果を得ることが可能である。
- 4) 本研究における水田用複合除草技術を用いて、2期連続で雑草管理を行った結果、収量は慣行栽培と比べて早植栽培80～105%、普通栽培76～94%となっており、概ね慣行と同程度の抑草・除草効果と収量を確保することが可能である（表4、5）。

おわりに

生研センターで開発した高精度水田用除草機は、多くの水稻の減・無農薬栽培に取り組む農家に利用され、本機を導入した農家の事例から除草作業における大幅な効率化、省力化に寄与しており、経営規模拡大に大きく貢献している⁷⁾。本報告で紹介した機械除草と米ぬか散布を組み合わせた水田用

複合除草技術を利用することにより、高精度機械除草機をさらに有効活用することが可能であり、また除草作業に係る労力を大幅に低減できることから一層の省力化に貢献できると考えられる。今後、本技術が減・無農薬水稻栽培に従事する農家の方々に利用され、省力化や規模拡大、さらには環境負荷低減に大きく貢献することを期待している。

参考文献

- 1) 上野敏昭(2003)、水稻生産現場におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草の出現とその対策、関東雑草研究会報 14、14-19
- 2) 吉原 洋ら(2004)、北海道におけるスルホニルウレア系抵抗性イヌホタルイの生態と防除に関する実証的研究、雑草研究(別)、6-9
- 3) 横山昌雄(2010)、除草剤抵抗性と対策、シンポジウム：薬剤抵抗性を考える講演要旨、(社)日本植物防疫協会、43-49
- 4) 宮原佳彦(2002)、高精度水田用除草機の開発、機械化農業 3、19-22
- 5) 宮原佳彦(2005)、乗用型高精度水田用除草機の開発と実用化、関東雑草研究会報 16、11-17
- 6) 平成 14 年～18 年度生研センター事業報告
- 7) 山崎正志(2004)、多目的田植機の機械除草による有機栽培と米の販売(講演要旨)、機械化フォーラム“2004”資料、(社)日本農業機械化協会、31-34

スピードスプレーヤ用ドリフト低減ノズルの開発

生産システム研究部	水上智道、吉田隆延、宮原佳彦
園芸工学研究部	猪之奥康治、太田智彦、山田祐一
特別研究チーム(ドリフト)	安食恵治(現退職)
基礎技術研究部	牧野英二
企画部	臼井善彦
委託研究実施会社	(株)丸山製作所、ヤマホ工業(株)

はじめに	34
1. 研究のねらい	34
1) 研究の背景	34
2) 研究の目標	37
2. 開発ノズルの概要	38
1) 昨年度までの開発の主な経過	38
2) 開発ノズルの主な仕様(2009年度)	38
3. 開発ノズルの性能	40
1) わい化栽培リンゴ園における付着、ドリフト低減、および防除効果試験	40
おわりに	43
参考文献	43

はじめに

食品衛生法の改正による残留農薬のポジティブリスト制度が平成 18 年 5 月より施行されたことに伴い、それまで残留基準が設定されていないことから規制の対象外であった農薬についても 0.01ppm という一律基準が設定され、当該基準を超過した場合には流通が禁止されることとなった。そのため、病虫害防除のための農薬散布にあつては、意図しない農薬飛散による残留基準超過が危惧され、これまで以上に農薬の適正使用と農薬飛散に対する注意と対策が必要となった。

農薬飛散低減対策については、ポジティブリスト制度施行前に、同制度に対する留意事項、低減技術、取組体制等の周知を行い、さらにその徹底指導を行った。制度施行後には、農薬使用基準遵守の徹底、飛散防止対策の周知、農薬使用状況記帳の徹底等の指導が行われ、飛散低減に対する散布実施者の意識は高まってきており、留意すべき事項の浸透が図られてきている。

大規模化が進む水田作や畑作においては、効率的かつ省力的な農薬散布作業を行うための機械としてブームスプレーヤの役割が大きくなってきており、一層の性能向上が求められ大型化が進んでいる。このため、ドリフト発生リスクも増大していると考えられ、積極的なドリフト防止あるいは抑制対策が急務となっていた。このような状況を踏まえ、生研センターでは、次世代農業機械等緊急開発事業で平成 15 年度から取組み、その研究開発の成果として、先駆けて平成 18 年度にはドリフト低減ノズル（Ⅱ型）が市販化され、現在（平成 22 年 1 月 20 日まで）までに 38 万個が販売されている。さらに今年度、ドリフト低減型ノズル（Ⅲ型）および作業速度連動装置を装備し、作業履歴情報記録装置を搭載したブームスプレーヤ（トラクタ搭載式と乗用管理機搭載式）が市販化された。

一方、果樹栽培において、効率的かつ省力的な農薬散布作業を行うための機械としてスピードスプレーヤ（SS）が普及しているが、一般的に利用される地上防除機の中では最もドリフト発生リスクが大きい機械である。これは強制的な送風によって高さのある樹体をくまなく散布するという構造的な要因により、SS のドリフト低減対策は他に比べて困難なものである。そこで、ブームスプレーヤと同様、積極的なドリフト防止あるいは抑制対策が必要であることから、SS および SS 用ドリフト低減ノズルについて研究開発しているところである。そこで、今年度の研究報告会では、これまでに進めてきた SS 用ドリフト低減ノズルの研究開発の成果について報告する。

1. 研究のねらい

1) 研究の背景

果樹は永年作物であり、また果実品質が非常に重要である。その確保に病虫害防除のための農薬散布が不可欠な作業であり、水稻等と比較してその必要性も高い。SS はリンゴやナシ等の果樹園での防除作業において、作業能率が高く、省力的な防除機として普及している。機械化が遅れている果樹栽培作業の中で、SS は比較的早くから乗用機械として導入が進められた防除機である。以前から、作業者の薬液被曝、作業者および周辺への騒音問題が指摘されてきたが、作業者被曝の回避については、キャビンを標準仕様とした SS が市販され、徐々に普及している。また、騒音源である送風機の改良により、騒音レベルを低く抑えた機種が実用化されている。しかし、最近、ほ場外へ

のドリフト防止が大きな問題となっており、SSにおけるドリフト防止対策が急務とされている（図1・図2）。

環境省が実施した地上防除のドリフト実態調査の概要を表1に示す。風速条件も様々であるが、風下方向でより多く検出されており、風が強いほどより遠くまで検出されている。散布機の種類によってもドリフトの程度は異なる。そのうちSSが最も大きく、次いでブームスプレーヤの順となっている。SSは非風下方向（風上側または風向に直行方向）でも検出されている。風下方向への到達限界は、SSでは50m以上、他の散布法でも概ね20m以上であると推定される。

ドリフトによる実質的な問題が発生するかどうかを考えるためには、量的な評価が必要である。また、常に変化する自然風がドリフトを左右することから、そうした問題がどの程度の確立で発生するかを考える必要がある。このため、ドリフト率という指標を用いて、ブームスプレーヤとSSについて、95パーセンタイル・ワースト値、50パーセンタイル値を計算すると、表2のようになる（パーセンタイルとはデータ全体の〇%をカバーする値）。表2の95パーセンタイル・ワースト値は、風速が強いなど悪条件の場合に発生する値と言えるが、より悪条件が重なればさらに高い値となることも考えられる。これに対し50パーセンタイル値は、通常の散布作業の中で日常的に発生しうる値と考えられる。

農薬を使用する農業現場において、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。そこで生研センターでは、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、その具体的な取組みの一つとして本研究を行ってきている。



図1 わい化栽培リンゴ園におけるSSによる農薬散布作業の一例



図2 ドリフトが懸念される薬液噴霧状態の一例

表1 散布法別のドリフトの実態

散布法	延べ データ数	調査 方向	ほ場からの距離別の検出頻度					
			5m	10m	20m	30m	40m	50m
ブームスプレーヤ	75	風下	68/71	63/71	48/65	2/7	2/2	2/2
		非風下	2/4	1/4	0/2			
動噴手散布	6	風下	5/6	3/5	1/4			
畦畔ノズル	9	風下	8/8	7/8	0/4			
		非風下	1/1	1/1				
パイプダスタ	1	風下	1/1	1/1	1/1			
スピードスプレーヤ	39	風下	20/20	18/21	16/20	12/15	9/11	5/6
		非風下	9/18	4/17	1/15	1/15	0/4	

検出頻度：検出データ数／調査データ数

(日本植物防疫協会：地上防除ドリフト対策マニュアルより)

表2 代表的な地上散布法のドリフト率

		ほ場からの距離別のドリフト率 (%)					
		5m	10m	20m	30m	40m	50m
ブームスプレーヤ	95パーセンタイル・						
	ワースト値	1.44	0.40	0.09			
	50パーセンタイル値	0.08	0.03	0.01			
スピードスプレーヤ	95パーセンタイル・						
	ワースト値	15.67	6.32	1.33	0.57	0.29	0.16
	50パーセンタイル値	1.07	0.39	0.13	0.05	0.02	0.02

●ドリフト率：1m²当たりの理論散布量に対する各距離での1m²当たりの落下量の割合 (%)

●風下側のみのデータを解析対象とし、平均風速が4m/s を超える事例は除いた。スピードスプレーヤの40mおよび50mの50パーセンタイル値は推定値

●これらの調査の中には実際の農地よりもドリフトしやすい条件も含まれているため、幾分割り引いで認識する必要があるかもしれない。

(日本植物防疫協会：地上防除ドリフト対策マニュアルより)

2) 研究の目標

ドリフト対策の基本的な考え方は、「散布法を改善してドリフトの発生を少なくする」、「補完的な対策を講じてドリフトによる問題発生を少なくする」という2点が考えられる。散布法の改善における目標は、「現在使用している散布機や散布法において、如何にドリフトを少なくするように使用するか」である。風の無い時を選び、適切な圧力で、適正量を作物だけに向けて注意深く散布することで、ドリフトの発生をかなり抑えることができる。このように、散布操作の適正化に努めることが基本的に非常に重要である。ほ場が小規模で、もともとドリフトがさほど大きくない散布法を採用している場合には、こうした基本的な対策でも十分なドリフト低減効果を期待できる。しかし、それ以外の場合はより積極的なドリフト対策を検討する必要がある。散布法の改善として、現在使用している散布機をよりドリフト低減できるように改良したり調整することを検討する。例えば、ドリフトが発生しにくい大きな粒子を発生するノズルを採用したり、SSのノズルの配列を樹型に合わせて調整したり、散布風量の低減をするなどの対策が挙げられる。

SSのドリフト低減対策を考えるにあたり、ドリフトの発生要因を詳しく調査してみると、園地上方に舞い上がった散布粒子と園地から水平方向に飛散する散布粒子がその主な要因となっている。前者は風によってより遠くまでドリフトする要因となり、後者は至近距離への多量のドリフトの要因となる。ドリフトを助長しているものは、主に「過大な送風量」、「微細噴霧粒子によるドリフト」、「対象樹木がない空間に向けた無駄な噴霧」、「園地の端や旋回時の散布」が考えられる。

(1) 過大な送風量

SSの送風量については、近年では $1,000\text{m}^3/\text{min}$ に近いものも登場している。このような大風量なSSは、もともと隔列散布を目的として開発されたものである。このため、過剰な送風によって、必要以上に樹高・樹幅を超えて相当の距離まで噴霧粒子が到達している。また、場合によっては、いったん葉に付着した噴霧粒子が送風によって流されドリフトすることも考えられる。

(2) 微細噴霧粒子によるドリフト

SSに使用される慣行ノズルの平均粒径は $100\mu\text{m}$ 前後であり、空間中を長く移動するため水分の蒸発によって粒子がやせ細り、より飛散しやすくなる傾向もある。送風により樹高よりもはるか高く舞い上げられた細かい噴霧粒子は、わずかな自然風でも遠くまで飛散する。

(3) 対象樹木がない空間に向けた無駄な噴霧

春先など葉が少ない時に、多い散布量かつ大風量で散布するとドリフトを助長させることになる。樹冠に空間が多い状態では、噴霧粒子がその空間を抜け園外に飛び出すおそれがある。

(4) 園地の端や旋回時の散布操作

園地で旋回するときは園外側の噴霧コックを止める必要がある。コックを止めなければ、園外側のノズルから噴霧された薬液は何の障害物もなく園外に飛散してしまう。さらに、園外側のノズルを止めたとしても浮遊している噴霧粒子を送風機が吸い込み、拡散させ園外へ飛散させることも考えられる。これは、特に大風量の場合に留意が必要であり、このような理由からも送風量

をできるだけ低くして散布することが望ましい。

このようなドリフト発生要因を踏まえ、SSのドリフト低減方法の1つとして、ドリフトが発生しにくい大きな粒子を噴霧するドリフト低減型ノズルを開発することとした。このノズルは、一般の国産SSに装着して、慣行ノズルと同等の能率で作業ができ、防除効果を確保しつつ、慣行ノズルよりもドリフトを低減できることを目標とした。

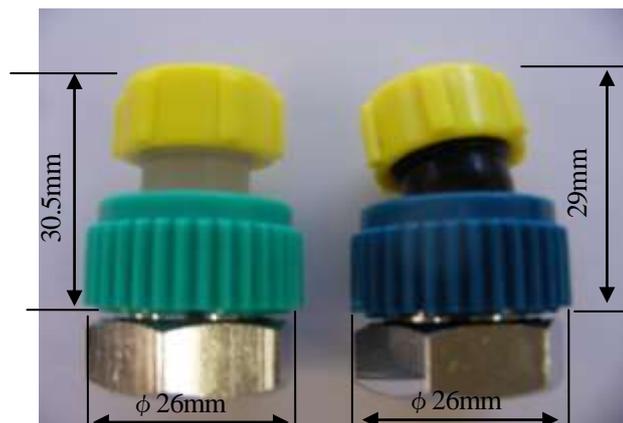
2. 開発ノズルの概要

1) 昨年度までの開発の主な経過

- (1) 空気混入・非混入併用式2頭口ノズルを試作し、ほ場にてSSを用いて清水散布し、慣行ノズルに対して同等の付着性とドリフト低減効果を確認した。本ノズルは、慣行ノズルに比べて寸法および質量が2倍以上あり、実用化を図る上では、小型化と構造の簡易化等が必要と考えられた(2006年度)。
- (2) 2006年度に試作した空気混入・非混入併用式2頭口ノズルを長さ10mm短く、質量で60%削減した。このノズルを用いて、ほ場にてSSを用いて清水散布し、慣行ノズルに対して同等の付着性とドリフト低減効果を確認した。風量の少ない条件で付着性能が安定する仕様(2頭口の噴霧量割合、粒径等)について検討すべきと考えられた(2007年度)。
- (3) 2007年度に試作した空気混入・非混入併用式2頭口ノズルに加えて、2種類のノズル(空気混入式単頭型ノズルと空気非混入式単頭型角度付ノズル)を交互配列で装着した仕様についても、ほ場にてSSを用いて清水散布し、慣行ノズルに対して同等の付着性とドリフト低減効果を確認した。新たに試作した2種類のノズルを交互配列させた仕様は、前年度まで試作改良してきた空気混入・非混入併用式2頭口ノズルより、付着性能とドリフト低減効果の双方に優れるものの、さらなる小型化が必要と考えられた(2008年度)。

2) 開発ノズルの主な仕様(2009年度)

2008年度の試験を踏まえ、小型・軽量化したドリフトし難い大きさの粒径の粒子を多く噴霧する2種類のノズル(空気混入式単頭型ノズル(以下ノズル①)と空気非混入式単頭型角度付ノズル(以下ノズル②))を開発した。ノズル①は、噴霧粒径(体積中位径)が慣行ノズルの約4倍であり、またノズル②は、粒径が慣行ノズルの約3倍である。開発ノズルの常用圧力、噴霧量、取付部等は慣行ノズルと同等であり、一般の国産スピードスプレーヤに装着して、慣行ノズルと同等の作業が可能である(図3・図4・表3)。



(左側：ノズル① 右側：ノズル②)

図3 開発ノズルの外観



図4 開発ノズルの装着状態

表3 開発ノズルの主な仕様

種類	ノズル①	ノズル②	参考：慣行ノズル
装着可能散布機	一般の国産スピードスプレーヤ		
噴霧形状	扇形	扇形	中空円錐形
噴霧角度（後方傾斜角度）	50度（0度）	50度（15度）	80度（0度）
噴霧生成方式	空気混入式	空気非混入式	空気非混入式
噴霧圧力（常用圧力）	1.0～2.0MPa（1.5MPa）		
噴霧量	2、3、4、5 L/min（1.5MPa） （4種のノズルで各噴霧量に対応）		1.8～5.2 L/min（1.5MPa） （8種のノズルに対応）
粒径（体積中位径：VMD）	350 μm（1.5MPa）	250 μm（1.5MPa）	90 μm（1.5MPa）
100 μm以下粒子体積割合	10%（1.5MPa）	10%（1.5MPa）	70%（1.5MPa）

3. 開発ノズルの性能

1) わい化栽培リンゴ園における付着、ドリフト低減、および防除効果試験

ノズル①とノズル②を用いて、長野県果樹試験場(以下、長野)、山形県農業総合研究センター(以下、山形)、青森県産業技術センターりんご研究所(以下、青森)のわい化栽培リンゴ園において付着およびドリフト低減効果について試験を行った(図5・図6)。

(1) 付着性能：感水紙(液滴が付着すると変色する紙)を用いて付着性能を評価した。長野においては開発した画像処理ソフトで画像処理をし、被覆面積率(変色した面積/感水紙面積)を算出し、被覆面積率と標準付着度指標の関係に基づいて指数化(0~10の11段階)し付着度指数を求めた。山形と青森では、標準付着度指標を基に目視で感水紙を指数化し、付着度指数を求めた。

長野において、開発ノズルは、現地慣行風量 900 m³/min に比べて低風量である 600 m³/min でも、現地慣行機と同等の付着性能(付着度指数 7.5 程度)が示された(図7)。山形では、開発ノズルは、現地慣行機に劣るものの、付着度指数 8 となった(図8・図9)。青森では、開発ノズルは慣行ノズルと同等の付着性能(付着度指数約 8)であった(表4)。



図5 試験風景(長野)



図6 試験風景(青森)

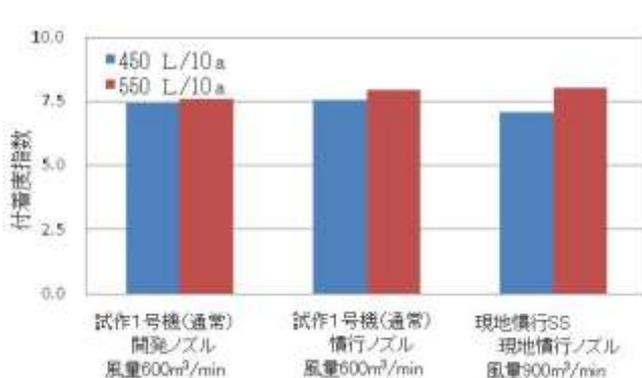


図7 付着性能試験結果(長野)

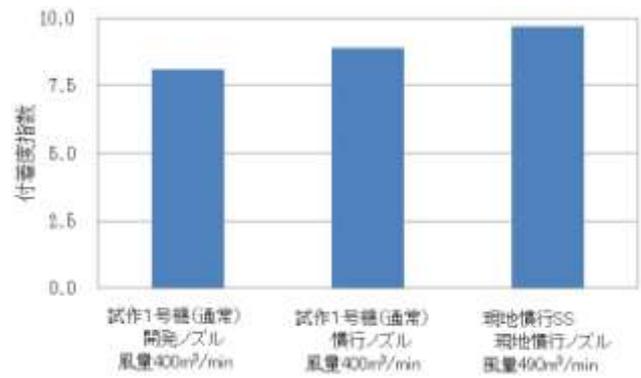


図8 付着性能試験結果(山形)

(散布量：450 L/10a)

表4 付着性能試験結果（青森）

標準付着度指標に基づく評価

設置高さ (m)	1.5	2.5	3.0
慣行ノズル	7.7	7.7	8.2
開発ノズル	7.4	7.6	8.4

(散布量 : 500 L/10a)

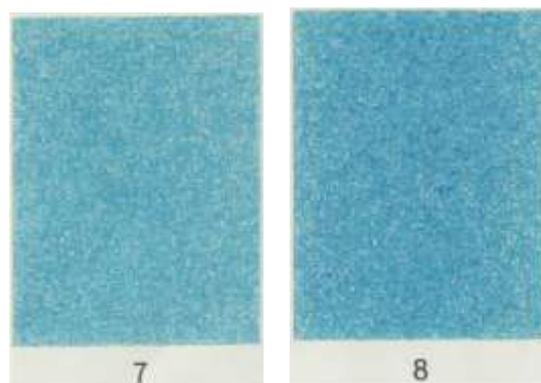


図9 標準付着度指標（指数7・8）

(2) ドリフト低減効果：散布は場境界から風下方向に感水紙を設置し散布後に回収した。回収後、付着性能試験と同様に画像処理ソフト（長野）と目視（山形と青森）を用いて評価した。長野と山形では、開発ノズルは、ドリフトの低減効果を確認した（図10・表5）。長野(450L/10a区)では効果が顕著であった。青森では、開発ノズルのドリフト低減効果を確認できなかった（表6）。青森の供試SSは3分割ノズル管のSSで、2位置のノズル管を噴霧し、園外側斜め上方にも噴霧させる設定であり、また自然風風速も小さいこともあり、流速の速い開発ノズルの指数が大きくなったと考えられた。6分割ノズル管を有するSSの変更等で対応可能と考えられた。

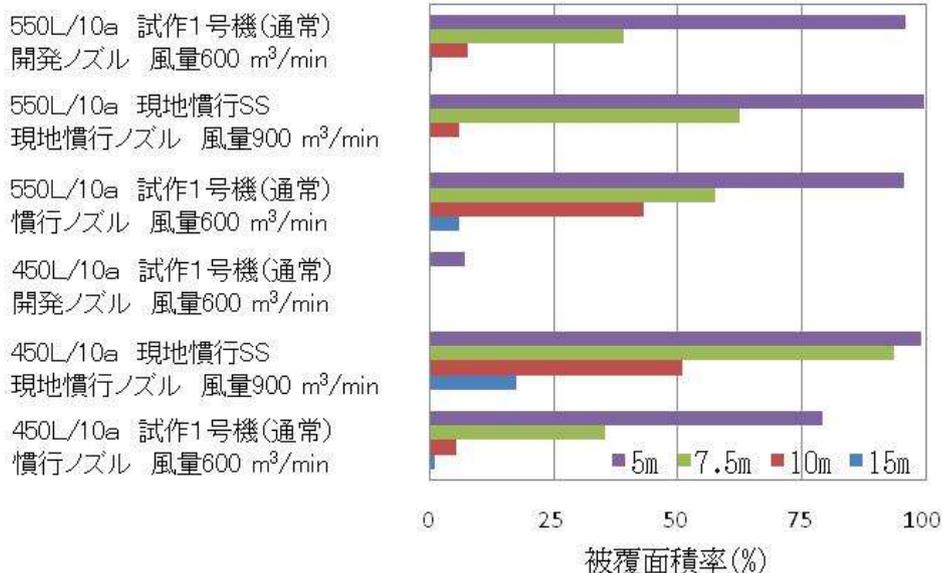


図10 ドリフト試験結果（長野）

表5 ドリフト試験結果（山形）

付着度指数				
ほ場境界からの距離(m)	3.5	6	8.5	11
慣行ノズル	3.0	1.0	1.0	1.0
開発ノズル	1.0	1.0	0.0	0.0

表6 ドリフト試験結果（青森）

付着度指数				
ほ場境界からの距離(m)	5	10	15	20
慣行ノズル	8.3	8.0	1.7	0.0
開発ノズル	9.0	5.3	4.0	2.3

(3) 防除効果試験

青森県産業技術センターりんご研究所のわい化栽培りんご園において5月～9月に体系的な防除作業と岩手県農業研究センターのわい化栽培りんご園において6月と8月に開発ノズルを用いた防除効果試験を行った。慣行作業と同じ方法（農薬の種類、希釈倍率、散布量）で使用情况、対象作物及び病害虫および作業方法等が同じであれば、概ね慣行ノズルと同等の防除効果が期待できることを確認した（表7）。

表7 わい化栽培りんご園における防除効果

試験場所	病害虫名	供試薬剤名	希釈倍率	設定散布量 L/10a	発生状況	
					開発ノズル ¹⁾	慣行ノズル
岩手農研 センター	ナミハダニ	ダニゲッターフロアブル	2,000	450	0 ²⁾	0 ^{2) 3)}
		マイトコーネフロアブル	1,000	450	0 ²⁾	0 ^{2) 3)}
青森産技 センター りんご研	斑点落葉病 黒星病	ナリア WDG	2,000	500	0.3 ⁴⁾ 0.1 ⁴⁾	0.4 ⁴⁾ 0 ⁴⁾
	炭疽病				0 ⁵⁾	0 ⁵⁾
	すす点病	ストライド顆粒水和剤	1,500	500	0 ⁵⁾	0 ⁵⁾
	すす点斑病				0 ⁵⁾	0 ⁵⁾
	各種害虫 ⁶⁾	5/15～9/15 体系 防除に延べ24種類	200～ 4,000	350～ 500	通年において差異なし	

1) ノズル①と②を交互に配列してスピードスプレーヤーに装着

2) 単位 (頭/葉) 3) 現地慣行機+現地慣行ノズル使用 4) 発病葉率(%) 5) 発病果率(%)

6) ハマキムシ類、アブラムシ類、キンモンホソガ、ギンモンハモグリ、マメコガネ、モモシクイガ等

おわりに

生研センターでは、これまでに水稻および畑作用のドリフト低減型ノズルおよびブームスプレーヤ（「環境保全型汎用薬液散布装置」）の開発を行ってきた。さらに今回紹介したように果樹園におけるドリフト低減のためのノズル開発を進めるとともに、高精度・高能率散布を実現する防除機（果樹用農薬飛散制御型防除機）等の開発を進めている。本研究課題における散布装置の研究開発は、引き続き継続する予定であり、目標としている散布装置の完成を目指したい。

本研究の実施に当たっては、共同研究参画企業の関係者をはじめ、現地試験等において、青森県産業技術センターりんご研究所、岩手県農業研究センター、山形県農業総合研究センター、長野県果樹試験場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：農薬の飛散低減対策協議会資料、2009. 2
- 2) 日本植物防疫協会編：「地上防除ドリフト対策マニュアル」、2005. 12、同協会ホームページ、
<http://www.jppa.or.jp/doriftmanual.pdf>
- 3) 日本植物防疫協会：シンポジウム「散布技術を考える」2007. 1
- 4) 日本植物防疫協会：シンポジウム「ドリフト対策を考える」2006. 1
- 5) 新農業機械実用化促進株式会社：ドリフト低減型ノズル、パンフレット
<http://www.shinnouki.co.jp/pamph/img/026.pdf>
- 6) 新農業機械実用化促進株式会社：環境保全型汎用薬液散布装置、パンフレット
<http://www.shinnouki.co.jp/pamph/img/036.pdf>
- 7) 生研センター：環境保全型汎用薬液散布装置ホームページ
http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Urgent/iam_upro132.htm
- 8) 生研センター：平成 20 年度研究報告会、2009. 3
- 9) 生研センター：平成 19 年度研究報告会、2008. 3
- 10) 生研センター：平成 17 年度研究報告会、2006. 3

輸出用果実のハダニ類を除去する連続搬送式果実洗浄機の開発

園芸工学研究部 宮崎昌宏、青木 循、金光幹雄
中央農業総合研究センター 齋藤秀文
果樹研究所 中村ゆり

はじめに	46
1. 除去が求められるハダニ類.....	46
2. ハダニ類の駆除方法.....	46
3. ハダニ類の物理的除去法.....	47
4. 揺動噴射式果実洗浄機.....	48
5. 連続搬送式果実洗浄機の開発	50
1) ノズル特性	50
2) 開発機の構造と作用	51
3) 開発機の性能	52
おわりに	54
参考文献	55

はじめに

経済発展が続く東アジア諸国への国産果実の輸出が活発である。特に、台湾の WTO 加盟以降、リンゴの輸出額は大幅に伸びた。国産リンゴは、美味しく大玉で外観が美しいことから高級品として取り扱われており、春節などの贈答用としての需要が高い。しかし、輸出の増加に伴って、リンゴに付着する害虫の駆除が問題になっている。リンゴに付着するハダニ類は検疫対象ではないが、付着が目立つ場合には輸出入の検疫で不合格になることがある。しかも、ブランドイメージを著しく損なうことから、貿易業者は箱詰め前のハダニ類の除去作業を強く求める。しかし、産地ではハダニ類を除去する果実洗浄機がなかったため、エアガンによる手間のかかる手作業で処理しており、その経費が果実輸出促進の障害になっている。

そこで、果樹研究所と中央農業総合研究センターでは、平成 18 年度に揺動噴射式果実洗浄機を開発した。本機の害虫除去性能は高かったが、果実を一つ一つ機械にセットする必要があり、産地からはより高能率な果実洗浄機の開発が強く求められている。その要望に応え生研センターでは、平成 20 年度から、連続的に処理ができる洗浄機の開発に着手し、連続搬送式果実洗浄機を開発した。ここでは、ハダニ類の物理的除去法と開発した連続搬送式果実洗浄機の特徴について報告する。

1. 除去が求められるハダニ類

果実に付着するハダニ類は増殖率が高く、栽培中の薬剤散布で完全に防除するのは困難であり、リンゴやナシなどの果実に付着する場合がある。リンゴ果実に付着するハダニ類の多くはナミハダニ休眠態雌成虫やリンゴハダニの休眠卵である。ナミハダニの休眠態雌成虫は体長が 0.5mm 前後とやや大きくて鮮やかなオレンジ色をしているため、肉眼で識別できる(図 1)。リンゴハダニの休眠卵は赤色で 0.1mm と小さいが、卵塊状態では容易に見つけることができる(図 2)。

付着場所は果実の「ていあ部」や「こうあ部」の凹部である。雌成虫は、自らの糸で作成した立体網の中で休眠しており、がく片内部に生育している場合もある(図 3)。リンゴハダニの卵は親雌が放射状の網をかけており果皮への付着力は大きい。



図 1 ナミハダニの休眠態雌成虫



図 2 リンゴハダニの休眠卵



こうあ部



ていあ部

図 3 リンゴに付着したハダニ
(オレンジ色がナミハダニの休眠態雌成虫)

2. ハダニ類の駆除方法

果実に付着した害虫の駆除には、農薬を使用する化学的方法と物理的方法がある。収穫後に使用される農薬は、収穫前の農薬と違って消費者に渡るまでの期間が短いことや、コンテナや倉庫貯蔵で太

陽や雨などの影響が少なく自然分解が低いことから、使用できるのはくん蒸剤のみである。現在、様々なくん蒸消毒法が検討されているが、高価な設備が必要なことや処理によっては果実品質の低下などの問題があり、低コストで高性能な物理的駆除法が求められている。

物理的駆除には、低温処理、温湯処理、蒸熱処理、吸引・吹き飛ばし除去などがある。低温処理は休眠態成虫や休眠卵のハダニ類には効果が低く、温湯処理は熱による果実内部障害が発生しやすい。また、高圧水洗浄は、果実の乾燥、処理水の始末、果皮の傷みなどが懸念される。そのため、圧縮空気による吹き飛ばし除去、吸引除去、ブラッシング除去などの物理的除去法を検討した。なお、マイクロバブルによる処理ではリンゴに付着したナミハダニ成虫の除去効果は低く、過熱水蒸気の局所噴射では駆虫効果が認められたが果皮への傷害が問題になる。



図4 くん蒸施設



図5 マイクロバブルによる除去作業

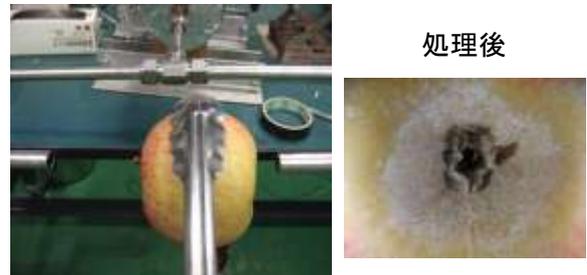


図6 過熱水蒸気の局所噴射

3. ハダニ類の物理的除去法

物理的除去法として、掃除機を用いた吸引除去、回転ブラシ除去、圧縮空気の噴射による吹き飛ばし除去の三方式を比較検討した。

なお、ハダニ類の除去の良否は、除去果数割合から評価した。除去果数割合は、害虫が付着している果実を供試して、処理後の果実表面を実態顕微鏡で観察し、害虫の付着が認められなかった果数の割合を示したもので、次式から求められる。

$$\text{除去果数割合 (\%)} = [(A - B) / A] \times 100$$

A：処理前の害虫が付着している果数

B：処理後も害虫が付着している果数

吸引除去は吸込仕事率 610W の家庭用掃除機を用い、リンゴの凹部に吸い込み口を当て吸引した。吸引時間が5秒間の「ていあ部」のナミハダニ休眠態雌成虫の除去果数割合は85%にとどまった(図7)。



図7 吸引除去



図8 回転ブラシ除去

回転ブラシ除去は、ナイロン刷毛を山形にカットしたブラシを果実の凹部に押しつけて回転させた。ブラッシング2秒間でブラシの回転数が160rpmの場合の「ていあ部」のナミハダニ休眠態雌成虫の除去果数割合は、吸引除去と同様の83%に止まった。回転ブラシ除去は、がく片や果梗周囲にブラシが届かない場合があり、また、ブラッシング時間を長くすると果実に磨きあとが残り、果梗を折る場合やブラシに付着したハダニの残留や死骸の再付着も懸念されるなどの欠点があった(図8)。



図9 フレキシブルノズル

噴射除去では、微細化した水滴を含んだ圧縮空気(空気圧0.8MPa)を旋回噴射するフレキシブルノズル(G社製SGR-90-SP-C)を検討した(図9)。本ノズルは自動的にノズル自体が50rps程度で回転し、洗浄面が広く、洗浄面で大きな剥離力が生じ、高い洗浄力を得ることができる。噴射時間2秒間の除去果数割合は100%であり、3方式の中では最も高い除去率を示した。

4. 揺動噴射式果実洗浄機

平成18年度、フレキシブルノズルを使用した揺動噴射式果実洗浄機を開発した。全幅が52cm、重量は22kgとコンパクトである。果実を台座にセットすると光電センサにより電磁弁が開きフレキシブルノズルから旋回流が自動噴射する。それと同時にフレキシブルノズルの架台が左右に揺動し、洗浄面を隈なく混合流を噴射する(図10、表1)。噴射時間と揺動時間はタイマで調節でき、噴射終了後、果実をひっくり返して反対面の凹部を洗浄する。

全ての「ていあ部」にナミハダニの休眠態雌成虫が付着した貯蔵リンゴを供試して除去果数割合、処理個数について、エアガンを用いた慣行作業と比較調査した。なお、「こうあ部」にはハダニの付着が見られない果実もあった。

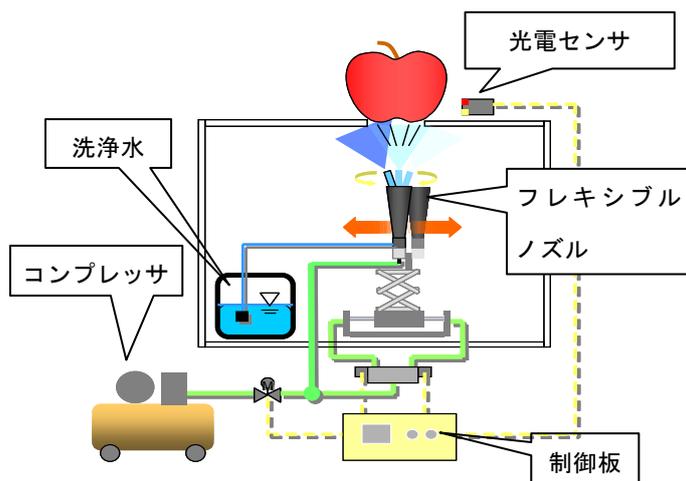


図10 揺動噴射式果実洗浄機

処理結果を表2に示すが、エアガンを用いた慣行作業では、1果当たり11秒の処理時間がかかったが、果実の凹部を見ながら狙い撃ちできるので「ていあ部」の洗浄率は100%であった。「こうあ部」では果梗深部の雌成虫の除去ができない果実があり洗浄率は95%にとどまった。揺動噴射式果実洗浄機では「こうあ部」、「ていあ部」をそれぞれ1秒間噴射した噴射時間の2秒区の除去果数割合はそれぞれ90%、85%と慣行作業より劣る結果になった。

しかし、噴射時間の4秒区では両部位ともに除去果数割合は100%であり、完全に休眠態雌成虫を除去することができた。噴射時間4秒区の1分間当たりの処理果数は9.8果であり、慣行作業の1.8倍と多かった。リンゴ1果当たりに吹き付ける水量は微少でありしかも噴霧粒径が微小なため、洗浄面はしっかりと湿る程度で乾燥の必要はなく、果実の痛みも観察されなかった。

表1 揺動噴射式果実洗浄機の主要諸元

全長×全幅×全高, 質量	46×52×120cm, 22kg
洗浄部位	「こうあ部」, 「ていあ部」の1ヶ所
果実の供給・取り出し	手作業, 上下向きの供給
洗浄ノズル	フレキシブルノズル1本, 使用空気量175 L/min, 水吐出量: 0~50mL/min
洗浄ノズル架台	エアスライドテーブル, 複動, ストローク: 40mm
果実有無検出	光電センサ
洗浄・架台揺動時間設定	タイマ設定(0.15~5.0s)
仕様電源	100V(単相)
適用エアコンプレッサ	出力1.5kW, 圧力制御0.78~0.93MPa

表2 揺動噴射式果実洗浄機と慣行作業のハダニ除去性能 (リンゴ)

処理区	作業時間(s/果)			除去果数割合(%)		処理果数(果/min)
	噴射時間	ハンドリング時間	計	こうあ部	ていあ部	
揺動噴射式	4	2.1	6.1	100	100	9.8 (181)
	2	2.6	4.6	90	85	13.0 (240)
慣行	8	3.2	11.2	95	100	5.4 (100)

- 注) 1. 供試果実: 冷蔵貯蔵リンゴ(品種: フジ、平均果実重262g)
 2. 供試個数: 20個/区
 3. 慣行はエアガンによる圧縮空気の吹き付け除去

平成19年度では、揺動噴射式果実洗浄機のβ版を製作し、片山リンゴ株式会社(青森県弘前市)で実証試験を行った。揺動噴射式果実洗浄機で処理した約20トンのリンゴは全て植物防疫検査に合格し、台湾、上海、ドバイへ輸出された。また、平成20年度は、JAほくさい(埼玉県)、JA金沢(石川県)、JA山形東郷(山形県)でそれぞれ現地実証を行い、作業能率、取扱性などのアンケート調査を行った。調査結果では、ハダニ類の除去精度について問題はなく、操作性が良かった、作業が楽になった、仕上がりが綺麗という評価を得た。しかし、本機の導入による大幅な作業時間短縮効果の回答は得られず、より一層の高効率化が求められた(表3)。

表3 揺動噴射式果実洗浄機の現地実証場でのアンケート結果

実証場所	JAほくさい (埼玉県騎西)	JA金沢市	JA山形東郷
対象果実	ナシ「彩玉」	ナシ「南水」	リンゴ「フジ」
処理量	360果	5トン	14,000果
作業能率	エアガンより若干良い。	ハダニ、カイガラムシの発生が少なく、時間短縮効果は不明。	エアガンより遅いがハダニ除去作業が長時間の場合作業が楽。
取扱性など	素人でも作業ができる。仕上がり面がきれい。	ライン式が欲しい。	選果機に組み込んで欲しい。

注: 輸出先は全て台湾

5. 連続搬送式果実洗浄機の開発

産地からはより一層、高能率な除去作業を求めていることから、生研センターでは平成20年度から連続的に洗浄ができるよう果実の上下2ヶ所に同時に噴射できる洗浄機の開発を開始した。

1) ノズル特性

連続搬送方式に最適なノズルを選定するため、図11に示すベルトコンベアのライン式果実洗浄機を試作して、ノズル特性と害虫除去性能を調査した。果実は横向きに供給し、ベルトコンベアの速度はインバータで制御した。ノズルは、フレキシブルノズル、扇形ノズル(T社製 TD-18-FN)、フラットノズル(I社製 TAIFUJet)を供試した(図12)。ノズルから噴射される圧縮空気の洗浄面での衝突圧は面圧力分布測定システム(ニッタ株式会社 I-SCAN)を用いて測定した。

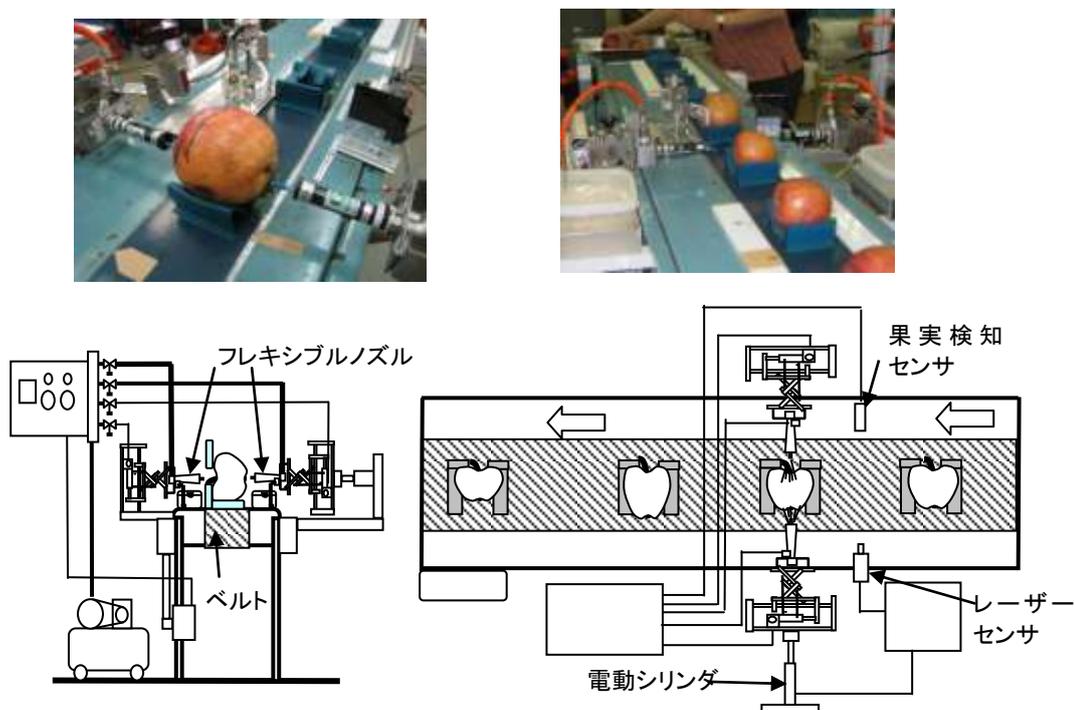


図11 ライン式果実洗浄機

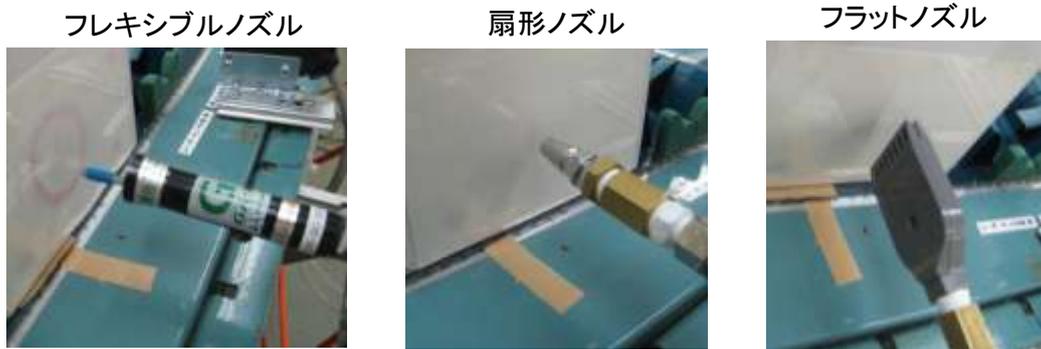


図12 供試ノズル

ノズル自体が回転しながら圧縮空気を噴出するフレキシブルノズルの空気使用量は、扇形ノズルの約50%、フラットノズルの23%と少ないが、ノズルから10mm離れた洗浄面に及ぼす平均衝突圧力は68kPaであり、扇形、フラットノズルの衝突圧の約3倍に達した(図13)。

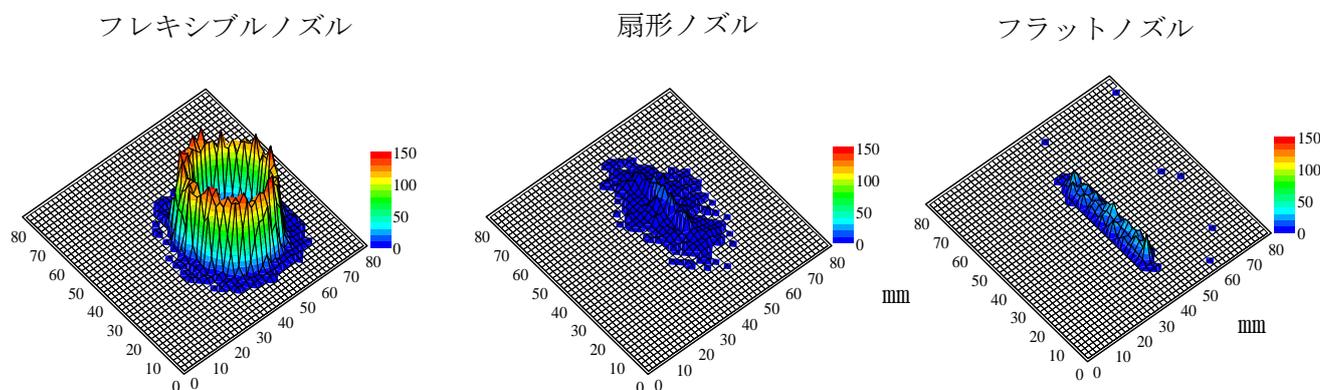


図13 供試ノズルの衝突圧パターン (Z軸圧力 kPa)

ノズル別のリンゴ表面のナミハダニ休眠態雌成虫を完全に除去した除去果数割合は、フレキシブルノズルが100%と高く、扇形、フラットノズルは使用空気量は大きかったにも関わらず、除去果数割合は20~30%と低かった。以上のことから、ハダニ類を除去するためには、圧縮空気の使用量の影響は少なく、洗浄面における衝突圧力が大きく影響することが分かった(表4)。

表4 ノズル特性と除去果数割合
(空気圧 0.8MPa, サンプルング 10s)

供試ノズル	フレキシブル	扇形	フラット
使用空気量(L/min)	175	370	770
洗浄面積(mm ²)	892	219	155
最大衝突圧力(kPa)	150	50	37
平均衝突圧力(kPa)	68	21	18
除去果数割合(%)	100	30	20

- 注)1.ノズルと洗浄面の距離 10mm
 2.測定は 10kPa 以上の圧力点
 3.平均衝突圧力は加圧面積内の最大衝突圧の平均
 4.除去果数割合は果皮表面のナミハダニ雌成虫が付着したリンゴを対象

2) 開発機の構造と作用

平成21年度に果実の凹部2ヶ所をフレキシブルノズルで同時洗浄する連続搬送式果実洗浄機(以下、連続搬送式)を開発した(図14、表5)。

果実を横向きに供給するライン式では、果実の凹部をノズルに正対するようにセットするのは難しく、正対しなかった場合、極端に除去果数割合は低下した。このため、連続搬送式では、果実の供給は上下向きとした。本機は選果ライン原料供給部又は箱詰め部の設置を想定して、果実の搬送はターンテーブル式とした。

機体寸法は全長 76 cm、幅 101 cm、高さ 125 cm で、機体重量は 126 kg である。果径、果高ともに 80～110 mm の範囲の大きさのリンゴ、ナシを対象とした。

ターンテーブルは 0.1kW のギヤモータで駆動され、インバータ制御で果実へのハダニ類の付着状態や作業人数に合わせて 0.02～0.16m/s (0.1～0.9 果/s) に調整できる。搬送トレイは、果実の供給、取り出し時の損傷防止と搬送中の果実保持から果実の 4 方向から保持するクッションカップとした。搬送トレイの果実の有無と果高を

10 mm ピッチで取り付けられた光電センサで計測する。果実上側のノズル高さは、光電センサから得られた果高計測値からエアシリンダを用いて 4 段階 (85、95、105、115mm) に自動調整できる。洗浄時間は、ターンテーブルの回転数に応じて、タイマで設定できる。



図 14 連続搬送式果実洗浄機

表 5 連続搬送式果実洗浄機の諸元

全長×全幅×全高, 質量	755×1005×1250mm, 126 kg
洗浄部位	「こうあ部」, 「ていあ部」の同時2ヶ所
果実の供給・取出し	手作業, 上下向きの供給
果実搬送方式	ターンテーブル式, 0.1kWギヤモータ
搬送トレイ	洗浄用穴明きクッションカップ, 8個
搬送部	トレイ中心周速 0.02～0.19m/s (0.1～1.1果/s), インバータ制御
果実有無検出	光電センサ
果高計測	光電センサ, 10mmピッチ, 4段階
洗浄ノズル	フレキシブルノズル2本, 使用空気量 175 L/min, 水吐出量: 0～50mL/min
洗浄部	ノズル高さ調整 エアシリンダ式, 果高による自動調節高さ(85, 95, 105, 115mm)
洗浄時間設定	タイマ設定(0.15～3.0s)
使用電源	200V(三相)

3) 開発機の性能

(1) 害虫除去性能

ナミハダニ休眠態雌成虫が付着しているリンゴ「フジ」を供試して、連続搬送式の果実 1 果当たりの噴射時間と除去果数割合の関係を図 15 に示す。噴射時間の増大とともに、除去果数割合は増加する傾向を示した。噴射時間が 0.3s では除去果数割合は 90% であり、噴射時間が 0.6s では除去果数割合は 95% と高かった。

次に、1回当たりの噴射時間を0.6sとした作業方法別の害虫除去果数割合を調査した。なお、揺動噴射式及びエアガンを用いた慣行作業は、果実の上下2ヶ所をそれぞれ0.6sずつ噴出している。リンゴ表面に付着した休眠態ナミハダニ雌成虫の連続搬送式の除去果数割合は、揺動噴射式と同様の95%を示し、慣行作業の90%より高い値を示した(図16)。また、コナカイガラムシが付着した「二十世紀ナシ」に対する連続搬送式の除去果数割合は、揺動噴射式や慣行作業と同等の100%と高い値を示した。

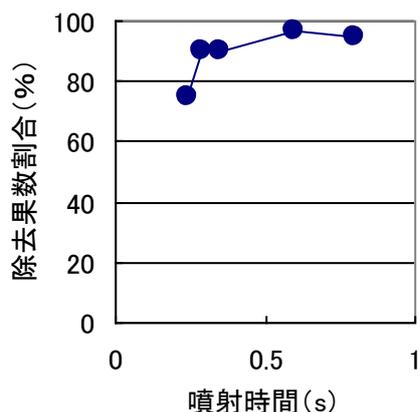


図15 連続搬送式の噴射時間と除去果数割合

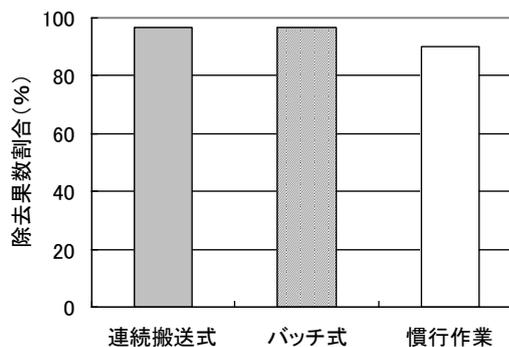


図16 リンゴ表面に付着した休眠態ナミハダニ雌成虫が付着したリンゴの除去果数割合 (リンゴ「フジ」、空気圧 0.8MPa、1ヶ所当たりの噴射時間 0.6s、慣行作業はエアガンを使用)

(2) 作業能率試験

ハダニが付着した貯蔵リンゴを供試し、連続搬送式とエアガンを用いた慣行作業によるハダニ除去作業時間を調査した。連続搬送式はターンテーブルの回転速度を4.5rpm(トレイ中心速度は0.1m/s)とした。この条件での果実の供給、取り出しに問題はなく、搬送トレーへの充填率は89%であった。連続搬送式の1分間当たりの処理果数は、慣行作業の2.8倍の32果と多く高い処理能力を示した。

表6 作業方法別の処理果数

品種	供試リンゴ		作業方法		処理時間 (s/果)	処理果数 (果/min)
	果径 (mm)	果高 (mm)	作業機	作業人数		
フジ	89	83	連続搬送式		1.9	32.4(278)
			慣行		5.1	11.7(100)

(3) 実証試験

リンゴの輸出実績のある片山リンゴ株式会社(青森県弘前市)の選果場において実証試験を行った。供試したリンゴは、平均果径99mm、平均果高87mmの大玉の中国輸出向けの「金星」であ

った。

比較した作業方法は、①1回当たりの洗浄時間を0.8秒とした揺動噴射式による1人作業、②果実1果当たりの洗浄時間を0.8秒とした連続搬送式の1人作業、③洗浄時間は同じであるが、果実の供給と取り出しを別々に行う2人組作業の3方式である(図17)。

高級リンゴの「金星」であることから、ハンドリングには細心の注意が払われた。連続搬送式の1人作業は、果実8個を搬送トレーへ連続投入、洗浄後その8個を順次取り出した。単位時間数当たりの処理果数は揺動噴射式に比べて1.6倍と多かった。連続搬送式の2人組作業では、投入と取り出しが連続処理でき、単位時間数当たりの処理果数は揺動噴射式の3.7倍、連続搬送式1人作業の2.4倍と多く、高い処理能力を示すことが分かった(図18)。慣行のハ

ダニ除去作業では、ノズルを果実に当たり、果実を落としたりして損傷させる危険性があったが、連続搬送式では搬送トレーへの投入、取り出しと作業が単純であり、そのリスクは大幅に軽減したとの評価を得た。

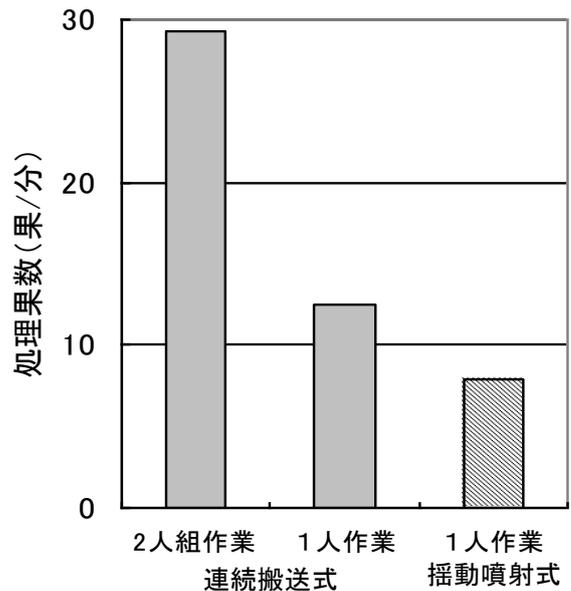


図18 単位時間当たりの処理果数(リンゴ「金星」, 空気圧0.8MPa)



図17 実証試験風景

おわりに

本研究は、国産果実の輸出促進を図るため、従来労力を多く要していた果実に付着しているハダニ類の除去作業の高能率化に取り組み、連続処理で果実の上下2ヶ所のくぼみを同時洗浄する連続搬送式果実洗浄機を開発した。開発機は、慣行作業と比べて2.8倍の処理能力で慣行作業と同じようにハダニ類を除去でき、除去作業の省力・低コスト化に貢献できると考えている。今後は、市販化に向けて情報提供を行っていききたい。

なお、本機の留意事項は、①果実リンゴのがく窪内に生息しているハダニ成虫類は除去できないこと、②ハダニの越冬卵については処理時間を3秒程度長くする必要があること、③除去精度を高めるためには、果実の凹部がノズルへ正対するように搬送トレイへ供給する必要があることなどである。

また、本研究の推進に当たって、片山リンゴ株式会社、青森県産業技術センターりんご研究所、岩手県農業研究センター、秋田県農林水産技術センター果樹試験場、山形県農業総合研究センター園芸試験場、埼玉県農林総合研究センター園芸研究所、石川県農業総合研究センター、鳥取県農林総合研究所園芸試験場、農研機構東北農業研究センターの方々には供試果実の提供、実証試験で多大なご協力を賜った。記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) L. G. Neven et al. (2006) : Postharvest biology and Technology 40, 230-235
- 2) 宮崎昌宏ら (2007) : 果実に付着した微小害虫除去装置, 特開 2007-228907
- 3) 宮崎昌宏・齋藤秀文・中村ゆり. 2009. 輸出用果実のハダニ類除去技術. 農業技術 64 (3) 104-107.
- 4) 中北宏・長尾記明・中島健. 1995. 輸入農産物の防除・くん蒸ハンドブック. (株)サイエンスフォーラム

イチゴ果柄把持パックと自動パック詰装置の開発

園芸工学研究部 大森定夫、紺屋朋子、藤岡 修

はじめに	58
1. イチゴの硬さ特性	58
1) 試験方法	58
2) 試験結果	59
2. 包装形態が品質に及ぼす影響	60
1) 試験方法	60
2) 試験結果	60
3. 果柄把持トレイと慣行パックの比較	61
1) 果柄把持トレイの試作	61
2) 試験方法	61
3) 試験結果	62
4. パック詰め作業の機械化	62
1) 個別容器の試作	63
2) 果柄把持パックの試作	63
3) 自動パック詰装置の試作	64
5. 果柄把持パックによる品質保持効果	65
1) 試験方法	65
2) 試験結果	65
おわりに	66
参考文献	66

はじめに

イチゴ生産の全労働時間は10aあたり約2000時間であり、他の品目に比較して多くの労力を要している。特に、収穫作業と選別・パック詰め作業は全体の約60%を占めており、作業の省力化がもためられている。また、イチゴは果実が軟らかく傷がつきやすいため、収穫・選別・パック詰め等の作業は、果実を傷つけないように細心の注意を払いながら行われている。しかし、収穫と出荷を限られた時間で行うため、多少なりとも損傷が生じているのが現状である。さらに、産地では良食味イチゴの品種が導入される傾向にあり、果肉が軟らかく傷つきやすいことや、出荷先が海外を含めてより遠隔地になっていることから、輸送中に損傷等が生じにくいパックが要望されている。このような背景から、収穫したイチゴを損傷させることなく、高品質な状態で消費者へ提供するための品質保持技術、および選別やパック詰め作業の省力化技術の開発が重要となっている。そこで、海外や少量販売を目的としている果柄を付けた高級イチゴを対象として、収穫したイチゴを損傷なく取り扱う手法と、輸送時に損傷が生じにくい新たなパックとその自動パック詰装置の開発を行った。

開発にあたっては、最初に損傷の発生と関連があると考えられる果実の硬さ特性を調査した。次に、一般に流通しているパック詰めをされたイチゴの損傷程度について調査を行い、慣行の包装形態の違いが果実の品質に及ぼす影響を把握した。また、果実に触れないように、果柄を把持して取り扱う新たな包装形態を提案し、振動試験を行い、その有用性について検討した。その結果、果柄を付けた状態で収穫し、果柄を把持して取り扱う個別容器と、果柄を把持して6果を包装できる果柄把持トレイとフタの組み合わせによる果柄把持パックを考案した。また、この個別容器で採果したイチゴを果柄把持トレイに自動で挿入し、フタを組み合わせる自動パック詰装置を開発した。以下にこれらについて報告する。

1. イチゴの硬さ特性

1) 試験方法

イチゴの損傷発生と関係が深い果実の硬さを調査した。供試材料には、埼玉県内のハウスA（土耕栽培）、およびハウスB（養液栽培）で栽培されたイチゴ‘とちおとめ’を用いた。それぞれのハウスにおいて、5分着色、8分着色、完全着色のものを各30個供試した。5分着色は果頂から赤道部まで着色しているもの、完全着色は果底部まで着色しているもの、8分着色はその中間のものとし、判定は目視で行った。試験当日に果実に触れないように果柄を2cmほど付けた状態で切断して収穫し、すぐに果柄を生花用スポンジに挿し、果実に触れるものがない状態で実験室へ搬送した。なお、収穫時間帯は、午前9時から10時とした。



図1 硬さ測定装置

収穫したイチゴは予冷せず、測定までは直射日光の当たらない室内に置いた。測定は、平成17年12月から平成18年5月までの各月に、ハウスA、ハウスBにつき、それぞれ1回ずつ行った。

今回の硬さ測定においては、果実の部位別の硬さを評価することが目的であるため、果皮部と果肉部の区別は行わず、両者を合わせた硬さ評価とした。測定は、電動式計測スタンドにプッシュプルゲージを取り付け、その先端のプランジャ（直径3.0mm）を貫入させたときの抵抗値を、専用の荷重計測ソフト（（株）IMADA、ZP Recorder）によりパソコンに記録した（図1）。貫入速度はより遅い方が好ましいことから50mm/minを設定し、測定レートは32Hzとし、プランジャはイチゴの種子に触れずに貫入させた。測定箇所は同一固体の果頂部、赤道部、果底部とした。

2) 試験結果

2005年12月から翌5月の期間において、イチゴの硬さを測定したハウスA結果を図3に示す。ハウスA、ハウスBの栽培方法の違いによる硬さ特性の差はほとんど見られなかった。12、1、2月に収穫した果実は、3月以降のものよりやや硬い傾向が見られた。このように、収穫時期で硬さに差が見られる理由としては、栽培環境の温度上昇や室内の気温（12～2月：約8℃、3月：約11℃、4月：約15℃、5月：約18℃）の影響と考えられる。

ほぼ全ての試験区において、果頂部<赤道部<果底部の傾向が見られた。また、収穫月ごとに最大抵抗値の大きい部位と小さい部位の差を算出した。その結果、5分着色のイチゴでは、最大抵抗値の差が1.19N～2.99N（ハウスA）、および1.37N～2.15N（ハウスB）であるのに対し、8分着色では、0.81N～2.05N（ハウスA）、0.93N～1.44N（ハウスB）、完全着色のイチゴでは、0.15N～0.76N（ハウスA）、0.24N～0.68N（ハウスB）と、着色が進むにつれてその差は小さくなることが確認できた。また、イチゴの果頂部が軟弱であるのはもちろんであるが、赤道部も同様に軟弱な場合があり、取り扱いに注意するべきだと考えられる。



図2 果柄付イチゴ

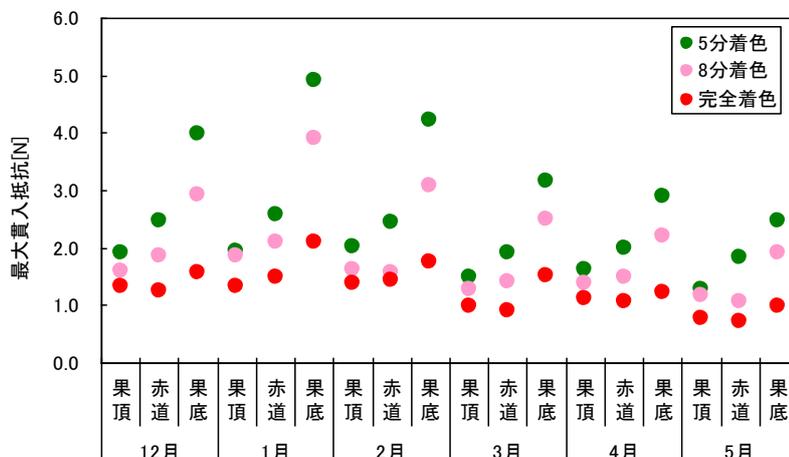


図3 硬さ測定結果（ハウスA）

2. 包装形態が品質に及ぼす影響

1) 試験方法

慣行の包装形態が、イチゴ果実の品質に及ぼす影響を把握するために、実際に流通しているイチゴパック（上：14.5cm×9.5cm、下：11.5cm×6.5cm、高さ：4.0cm、厚さ：0.5mm、材質：PET）に詰められたイチゴを5℃において1週間保存し、傷の状況を測定した。保存は、一般に農家で用いられている一坪のプレハブ冷蔵庫を用い、供試材料に直接冷風が当たらないようにした。

供試材料は、埼玉県内でハウス栽培（土耕栽培）されたイチゴ‘とちおとめ’であり、生産者が慣行の方法で、試験開始日に収穫、およびパック詰めをしたイチゴを1パックずつ使用した。パック詰め形態は、生産者が出荷している農協において、出荷規格に定められている形態のうち、代表的な3形態とし、それぞれ慣行A、慣行B、慣行Cとした。慣行Aは上段8果、下段6果の計14果、慣行Bは上段15果、下段11果の計26果と決められており、配列方法も定められている。慣行Cは、一果6g以上の果実を、1パック310g以上になるようにバラ詰めしたもので、果数は決まっていない。供試した果実の平均質量は、慣行A、B、C、それぞれ、23.9g、12.8g、10.6gであった。試験は、2005年4月と5月に1回ずつ行った。試験における品質低下の評価は、最大長さが2～5mmの傷と5mm以上の傷の個数を計測した。2mm未満の傷は、目視での計測が困難であるため、今回は傷とは認めないこととした。

また、慣行Aと同サイズのイチゴを、試験開始日に果実に触れないように果柄を切断して収穫した。果柄を生花用スポンジに挿し、スポンジ以外のものは果実と接触しない状態で、5℃において1週間保存し、傷の状況を慣行Aと比較した（図4）。



図4 スポンジによる果柄把持

2) 試験結果

供試したすべての慣行パックで損傷が確認された（表1）。それらの傷は、下段のイチゴに上段のイチゴの質量が作用する場合のほか、隣接するイチゴやパック面、フィルムとの接触によるものと考えられた。また、果柄把持と慣行Aの一果100gあたりの比較結果を図5に示す。果柄把持区では、慣行Aと比較して、傷が極端に少ないことがわかる。このように、慣行の作業は細心の注意を払いながら行われているにも関わらず、

表1 慣行パックの損傷状況

		慣行A	慣行B	慣行C(バラ詰め)
外観				
果数	全体	14	26	25
	上段	8	15	10
	中段	-	-	6
	下段	6	11	9
イチゴ質量 (g)	全体	335	341	290
	平均	23.9	13.1	11.6
傷 (個/100g)	合計	55.6	77.3	85.4
	2～5mm	25.1	47.8	42.0
	5mm以上	30.5	29.6	43.4

果実に損傷が生じていることを確認した。よって、果実に触れるものがない果柄把持による包装形態は、イチゴの品質低下を抑える有効な手段であると考えられた。

3. 果柄把持トレイと慣行パックの比較

1) 果柄把持トレイの試作

慣行の2段、3段詰めパックでは損傷が生じやすいことから、一果ずつ独立して配置できるように、一果ごとの配置部が決められているものを考案した。また、果柄を把持する機能を有して、果実同士が接触しない構造とした。試作した果柄把持トレイ（材質：PET、フィルム厚さ：1.0mm）を図6に示す。果柄を把持するスリットの間隔は、果実の直径を考慮して、36mmとした。また、スリットの両側には、トレイ強度の強化、および果実の傾きを防ぐために、スリットと平行にガイドを設けた。果柄を手で把持したままイチゴをトレイに挿入できるように、スリットの下部に切れ込みを入れた。

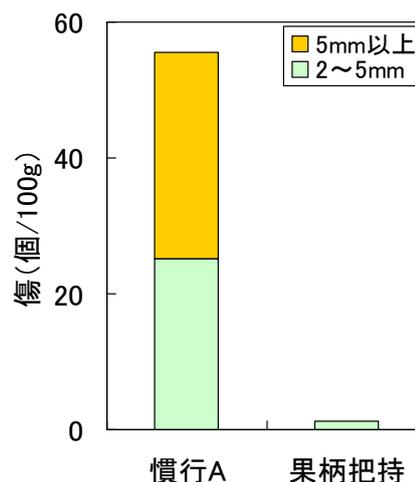


図5 慣行と果柄把持の傷数比較



トレイ寸法：縦 90mm × 横 160mm × 高さ 20mm

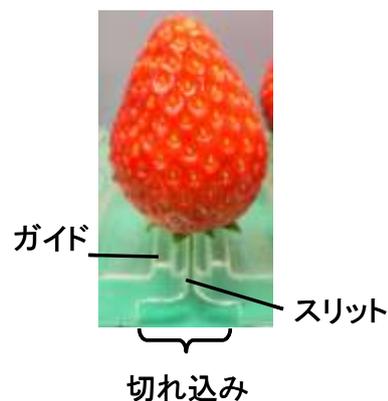


図6 試作した果柄把持トレイ

2) 試験方法

試作した果柄把持トレイの有用性を検討するために、振動試験を行った。供試材料には、埼玉県内のハウスで栽培（土耕栽培）されたイチゴ‘とちおとめ’を用いた。試験当日に果実に触れないように、果柄を残して収穫し、果柄把持トレイに詰めた。また、慣行Aの形態にパック詰めされた果実を用いて、同様の試験を行い比較した。さらに、対照区として振動させない試験区を設けた。供試数を同程度にするため、1試験区につき、果柄把持トレイは8トレイ計48個、慣行Aは4パック計56個供試した。

(1) 1軸方向の振動

果柄把持トレイ、慣行パックともに、長辺方向をx、短辺方向をy、高さ方向をz方向とした。各方向へ個別に5分間加振した後、15℃において保存し、翌日のイチゴ表面の傷を測定した。

加振機は、x、y 方向では、3 軸同時振動試験装置、z 方向では、小型加振機を使用した。今回の試験では、振動加速度 0.5G、周波数 10Hz のサイン波を加振することとした。しかし、z 方向の試験で用いた小型加振機では、手動で振動加速度を設定する必要があり、実際には、平均約 0.7G の出力があった。

(2) 輸送を再現した振動

3次元油圧サーボ振動試験機を用いて、同様の試験を行った。振動は、食品総合研究所の開発した3次元輸送シミュレータを用いて、大型トラックによる岩手県から千葉県間の輸送中に測定した後部荷台の加速度データを元に、波形処理を行い作成した波形を、加速度振幅を 1.2 倍にして出力した波形を使用した。加振時間は、2 分間の振動を 60 回繰り返し、計 120 分間とした。1 軸方向への振動試験と同様に、加振した後、15℃において保存し、翌日の果実表面の傷を測定した。なお、輸送シミュレータは食品総合研究所（茨城県つくば市）に設置されているため、試験材料を、高速道路を使用して往復約 2 時間、普通自動車で運搬した。

3) 試験結果

加振した翌日、果実表面の傷を測定した。測定は目視による判定とし、傷の最大長さの区分を 2～5mm、5～10mm、10～15mm、15～20mm、20～25mm、25～30mm、30mm 以上の 7 区分に分けて数えた。その結果を図 7 に示す。全ての試験区において、果柄把持トレイの方が慣行パックよりも、傷の個数が極端に小さいことがわかる。また、振動を与えない試験区においても、慣行パックの損傷があるのに対し、果柄把持トレイでは慣行パックの 18%

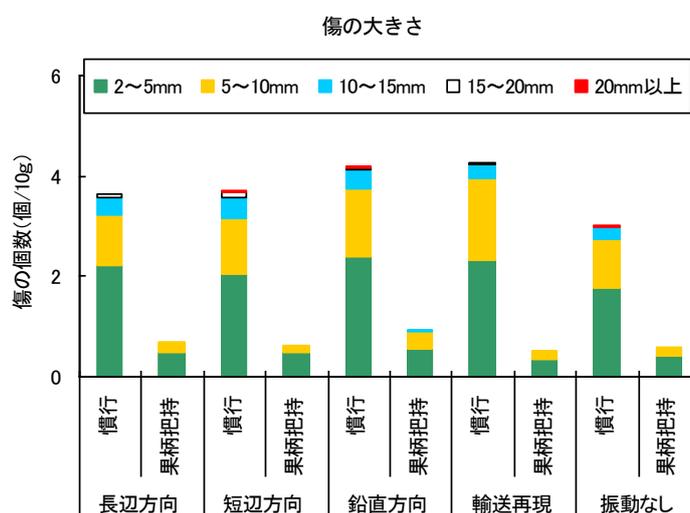


図 7 振動試験結果

程度であった。これは、収穫・パック詰め過程で既に差があることを示していると考えられた。よって、果実への接触を避けた取り扱い、イチゴの品質維持に重要であると言える。

4. パック詰め作業の機械化

試作した果柄把持トレイによる振動試験等の結果から、果柄を把持して果実同士が接触しない構造にすることで、果実の損傷発生を抑えることが可能であることが確認できた。この結果より、生産流通の現場利用を目的とした 6 果収容できる果柄把持トレイを試作し、そのトレイとフタを組み合わせた出荷用の果柄把持パックを考案した。慣行の果柄を付けないで収穫する収穫作業では、作業者が採果の際果実に触れるため損傷が生じ易く、また、収穫した果実は運搬容器に重ねて収容するため、果実同士の接触や重なりにより損傷し易い。そこで、果柄付きで採果したイチゴを 1 果ずつ収容する個別容器を試作した。この個別容器を利用することで、収穫の採果時からパック詰めするまで、果実に

手や他の果実が触れることなく取り扱うことが可能になった。個別容器に収容した果実を、果柄把持トレイに自動で移し替え、フタをすることができる自動パック詰装置を試作した。

1) 個別容器の試作

個別容器は果柄付きイチゴをぶら下げた状態で収容する。前方から果柄を差し込み保持させ、取り出すときは果柄を把持して前方に引き出すことで行う。この個別容器は繰り返し使用可能とした。試作した個別容器の材質はPETで、厚さ0.8mm、幅58mm、高さ70mm、奥行56mmとした(図8)。個別容器に収容したイチゴは、水稲育苗箱1箱に50個収容し、4箱を同時に取り扱う収納棚を制作して利用した。この4箱分の果実が慣行作業による1箱に相当する。



図8 試作した個別容器

個別容器を用いた収穫作業時間を、土耕栽培イチゴハウスにおいて調査した(図9、10)。その結果、収穫作業時間は8~9秒/果であり、慣行の果柄なし収穫作業の約2~3倍の時間を要した。



図9 個別容器による収穫作業

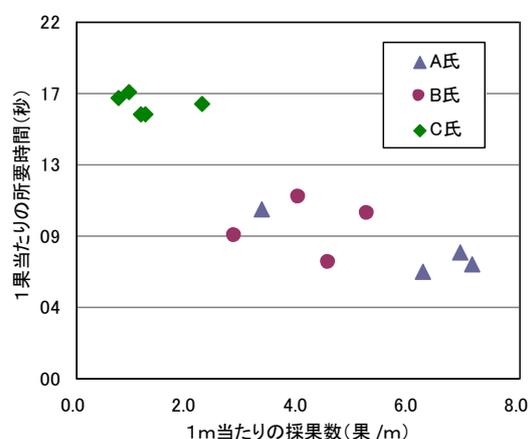


図10 個別容器による収穫作業時間

2) 果柄把持パックの試作

前回試作した果柄把持トレイは、プレス加工により量産化することが困難であることから、新たに量産化が可能な構造を考案した。新たに考案した果柄把持トレイは、果柄把持部としてスリットを設けて、そのスリットに果柄を挿入して保持する構造とした。イチゴの果柄をトレイの両側面から3果ずつ挿入して保持できる果柄把持トレイ(縦94×横140×高さ14mm)を試作した。また、果柄把持トレイに保持したイチゴをカバーするためのフタ(底面:縦90×横136mm、上面:縦64×横111mm、高さ:55mm)も試作した。この果柄把持トレイとフタを組み合わせたものを果柄把持パックとした(図11)。この果柄把持パックに適合するイチゴは、果径40mm



図11 試作した果柄把持パック

以下、果長 50 mm 以下、果柄径 1 mm 以上である。今回量産化に対応するために試作した果柄把持トレイは、果柄を把持する部分が切れ込み（スリット状）であるため、前回試作した果柄把持トレイのように面で保持する構造にすることが難しく、果柄把持力の改善が問題点として残された。

3) 自動パック詰装置の試作

個別容器に收容された果柄付イチゴを、果柄把持パックに自動で移し替える自動パック詰装置は、以下の設計目標とした。

- ・ 選別は別ラインで行うことを前提とする。
- ・ 個別容器、果柄把持トレイ、フタの供給は作業者が行う。
- ・ 個別容器から果柄把持トレイに移し替える方法として、果柄把持トレイの両側から、片側 3 個ずつ計 6 個の果実を移し替えるものとする。

試作した自動パック詰装置は、個別容器搬送コンベヤ部、果柄把持トレイ設置部、果実取り出し挿入部、トレイ・フタ合わせ部、果柄引き上げ部からなる（図 13）。個別容器の搬送コンベヤ部は 2 ラインの低摩擦コンベヤで構成され、作業者により供給された個別容器がそれぞれ 3 個揃った時点で停止する。果柄把持トレイ設置部は、積み重ねられた果柄把持トレイを 1 個ずつ吸着パッドで把持しながら果実取り出し挿入部へ搬送して設置する。果実取り出し挿入部は、個別容器から 3 個の果実を同時に取り出し、果柄把持トレイに挿入する。果柄把持トレイとフタ合わせ部は、口を上に向けたフタへ 6 個のイチゴが挿入された果柄把持パックを上方から移動させることでトレイとフタを組み合わせる。トレイとフタが組み合わされたパックは、果柄引き上げ部で果柄を引き上げて果柄把持トレイに果実を安定配置させてパック詰め作業が完了となる。これら一連の制御は、プログラマブルコントローラにより行う（図 12、13）。

自動パック詰装置の性能調査を、2009 年 4 月 15 日、22 日、5 月 8 日の 3 回実施した。供試イチゴは土耕栽培の‘とちおとめ’、適応するサイズのイチゴを個別容器に收容して用いた。その結果、4 月 15 日が 42 果（7 パック）中、成功率 90.5%、22 日が 96 果（16 パック）中、成功率 96.9%、5 月 8 日が 102 果（17 パック）中、成功率 97.0%で、パック詰め作業の成功率は 90~97%であっ

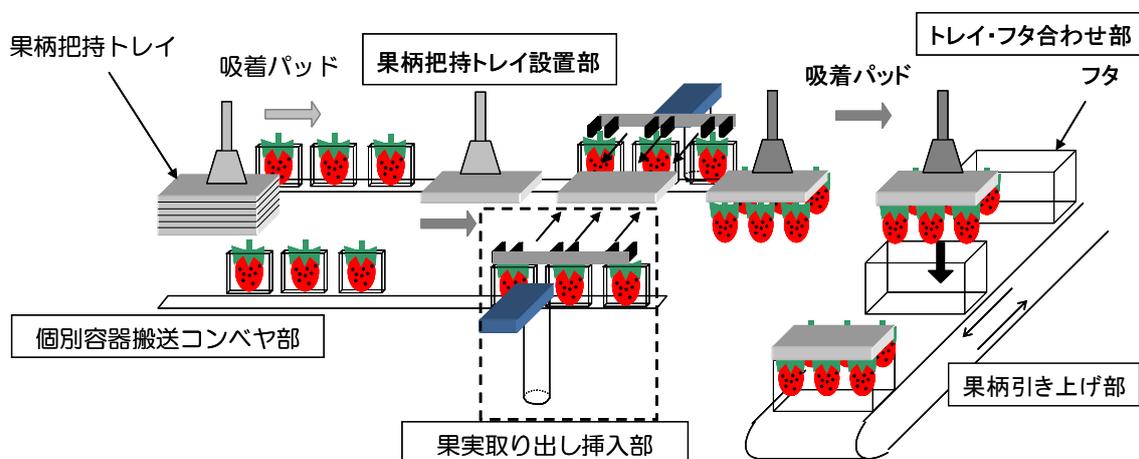


図 12 試作した自動パック詰装置の構成図

た。また、作業時間は約2パック/分であった。



図 13 試作した自動パック詰装置

表 2 自動パック詰装置の諸元

寸 法	: 全長2120×全幅1050×全高1400mm
質 量	: 268kg
適応イチゴ	: 果柄付イチゴ(果径40mm以下、果長50mm以下、果柄径1mm以上、果柄長約20mm)
適応容器	: 6果包装用の果柄把持パック(果柄把持トレイ、フタ)
供 給	: 個別容器、果柄把持トレイ、フタの供給は作業者による手作業
電 源	: AC100V
そ の 他	: エアコンプレッサー 0.75kW程度

5. 果柄把持パックによる品質保持効果

1) 試験方法

果柄把持パックのMA効果(果実の呼吸作用による低酸素高炭酸ガス環境など)を検証するために、保存時のパック内の酸素、窒素、二酸化炭素、エチレン濃度、およびパック全体の質量を測定した。保存温度は、5℃と常温とし、保存期間は1週間とした。

2) 試験結果

果柄把持パックと慣行パックを比較した結果、気体濃度によるMA効果は見られなかったが(表3)、質量減少率は5℃設定区で小さく(図14)、イチゴからの水分蒸散を抑制する効果があると考えられた。なお、常温区の試験期間中の平均気温は、2月11.4℃、3月15.9℃、4月16.8℃であった。

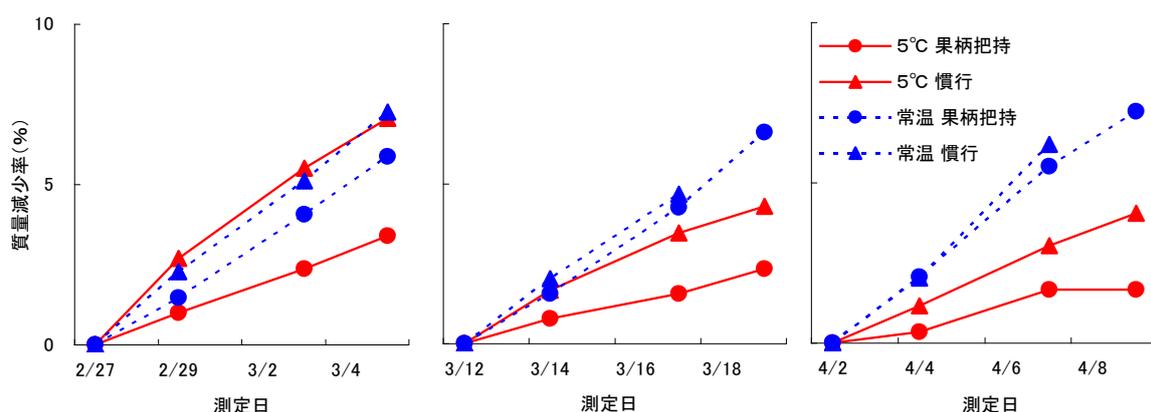


図 14 質量減少率の調査結果

表 3 パック内のガス濃度測定結果

		CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	C ₂ H ₄ (ppm)
5°C区	果柄把持パック	0.1	22.5	78.1	0.0
	慣行パック	0.2	22.7	77.7	0.0
常温区	果柄把持パック	0.3	21.9	76.9	0.0
	慣行パック	0.2	21.9	76.6	0.0

*2008年4月測定

*5°C区は試験開始1週間後、常温区は5日後

おわりに

開発した個別容器や果柄把持パックは、収穫してから消費者等の元へ届くまでイチゴの果実部が他の果実や包装資材に接触することなく取り扱えるため、損傷発生を抑える効果大きい。また、個別容器と果柄把持パックを利用することで、パック詰め作業の自動化が可能なることを自動パック詰装置で確認した。これらの技術を普及させるにはパックや装置の改良を進めると共に、果柄把持パックによる流通形態の利点を消費者や生産現場等で理解を得る必要がある。

参考文献

- 1) 紺屋朋子、大森定夫、林茂彦：イチゴの品質保持技術に関する研究（第1報）、農機誌、69(3)：67-74、2007
- 2) 紺屋朋子、大森定夫：イチゴの品質保持技術に関する研究（第2報）、農機誌、70(4)：76-82、2008
- 3) 紺屋朋子、大森定夫：イチゴの包装装置の開発（第1報）、農機誌、72(1)：80-85、2010

汎用型飼料収穫機の導入の目安

畜産工学研究部 志藤博克、橘 保宏、川出哲生
道宗直昭
株式会社タカキタ 岡嶋 弘・北中敬久・正田幹彦
ヤンマー株式会社 古田東司・和田俊郎・安藤和登

はじめに	68
1. 現地実証試験	69
1) 変動費調査の方法	69
2) 変動費調査の結果	70
2. 導入の目安の検討	72
1) 試算方法	72
(1) 収穫調製費の算出方法	72
(2) 受託作業料の想定額	73
2) 試算結果	73
おわりに	75
参考文献	75

はじめに

自給飼料の需要が益々高まる一方で、府県では機械の購入・更新や共同作業が困難な小規模経営、あるいは飼養管理作業で手一杯の大規模経営にとっては、自給飼料生産への意欲があっても実施が困難であるのが現状である。また、これまで粗飼料生産を行ってきた酪農家でも、経営の一層の効率化を図るために粗飼料生産の外部委託化を要望するケースもある。こうした状況を背景として、コントラクタ組織数は増加傾向にあり、今後のさらなる普及が期待されている。ところが府県では、分散錯圃や軟弱圃場といった圃場条件の悪さや、飼料作物の種類によって別々の収穫機械体系が必要となることによる機械コストの大きな負担が一因となって、北海道などの大規模生産地に比べてコントラクタの普及が伸び悩んでいる。そこで、筆者らはトウモロコシ、予乾牧草、飼料イネ等の多様な飼料作物を1台で収穫・細断・ロール成形でき、狭小圃場や軟弱圃場でも高い機動性を有する汎用型飼料収穫機（図1、以下、開発機）を開発した^{1,2)}。開発機は、コンバイン等に採用されているクローラ式走行台車の前方にユニット型フォレンジハーベスタをベースとした収穫部を装備するとともに、台車上に細断型ロールベアラ³⁾の成形室（直径1m、幅0.85m）を搭載しており、成形室前方に配置したホッパに細断材料を一時貯留することにより、ロールベールの結束および放出時も連続した作業が可能である。また、収穫部のアタッチメントをトウモロコシ等の長大作物用、予乾牧草用、飼料イネ用に着脱交換することにより、多様な飼料作物に対応することができる。

開発機のコントラクタへの普及定着を図るためには、様々な使用条件下において開発機の運用コストを把握し、導入の目安を示す必要がある。千田・岡崎⁴⁾は、茨城県における飼料イネ収穫調製作業を調査し、フレール型の飼料イネ専用収穫機および牧草用ロールベアラにかかる収穫調製費とロールベール販売による収益との関係から、損益分岐となる負担面積を求め、導入の目安を示した。本報告では、その手法を参考とし、対象作物、作業条件、圃場条件等の異なる地域において、開発機と市販自走式ベールラップ（以下、自走式ラップ）による作業体系（以下、開発機体系）をコントラクタや農業生産法人による実作業に供試し、実働状況から資材費や労働費などの変動費を調査した。そして、開発機体系導入の目安を検討するため、各試験地における調査結果を基に、開発機体系にかかるコストが収入額を超えないために必要な負担面積を試算した。



図1 開発機の収穫作業風景（左：トウモロコシ、右：飼料イネ）

1. 現地実証試験

1) 変動費調査の方法

現地実証試験の試験地は、組織形態、圃場条件、対象作物、作業方法が異なるAからGの7県のコントラクターや農業生産法人等を選定し、ご協力を頂いた（表1）。それぞれの試験地では、開発機体系を現地の事情に見合った作業方法で、延べ数週間から数ヶ月間使って頂き、その間の開発機体系の稼働状況から、対象作物ごとに一日あたりの作業可能面積、負担面積、変動費を調査した。負担面積は、各試験地で測定した一日あたりの作業可能面積と、対象作物のその地域における収穫可能日数および作業可能日率を乗じて求めた。ただし、複数の飼料作物の収穫時期が重複した場合は、重複した期間の作業可能日数をそれぞれ折半して負担面積を求めた。

変動費は、10aあたりの資材費、同動力光熱費、同労働費の和とし、租税公課や保険料等は含まなかった。資材費は、ロールベールの結束用ネットとラップフィルムの10aあたりの使用量から求め、単価は各試験地での購入価格とした。動力光熱費は、開発機の軽油と自走式ラップのガソリンの10aあたりの使用量から求め、軽油単価を123円/L、ガソリン単価を145円/L（調査当時2007年10月現在の全国平均単価）とした。労働費は、実際は各地域によって単価が異なるが、毎月勤労統計調査⁵⁾や畜産物生産費調査⁶⁾などを参考に一律2,000円/hとした。また、試験地Cでは、機械運搬費の調査を行った。機械運搬は、中古8tトラックで開発機を、2tトラックで自走式ラップを圃場まで片道10kmの道のりを運ぶこととした。

表 1 各試験地の概要と作業条件等

試験地	概要	圃場条件	対象作物と作業方法
A	酪農家と耕種農家による農業生産法人株式会社	立地:平地 種類:畑地と水田 一筆面積:畑地は50a以上	対象作物:トウモロコシ、飼料イネ、飼料ムギ 作業方法:開発機体系で収穫・密封、後日、ロールベールを圃場から基地へ運搬
B	建設業者が母体のコントラクタ	立地:平地 種類:水田 一筆面積:平均30a	対象作物:ソルガム、飼料イネ 作業方法:開発機体系で収穫・密封、後日、ロールベールを圃場から基地へ運搬
C	耕種農家が母体のコントラクタ	立地:平地 種類:水田 一筆面積:50-100a	対象作物:飼料イネ、飼料ムギ 作業方法:圃場ではロール成形のみ、基地へ運搬してから密封
D	耕種農家による集落営農法人	立地:中山間地 種類:水田 一筆面積:平均15a	対象作物:飼料イネ 作業方法:開発機体系で収穫・密封後、基地へ運搬して再密封(自走ラップ2台)
E	酪農家が母体のコントラクタ	立地:中山間地 種類:転換畑と水田 一筆面積:平均12a	対象作物:トウモロコシ、飼料イネ 作業方法:開発機体系で収穫・密封、後日、ロールベールを圃場から基地へ運搬
F	酪農組合	立地:平地 種類:畑地・転換畑・水田 一筆面積:平均30a	対象作物:トウモロコシ・ソルガム混播、再生ソルガム、飼料イネ 作業方法:開発機体系で収穫・密封、後日、ロールベールを圃場から基地へ運搬
G	肉牛農家が母体のコントラクタ	立地:平地 種類:畑地 一筆面積:30a以上が多い	対象作物:トウモロコシ(一期作、二期作) 作業方法:開発機体系で収穫・密封、後日、ロールベールを圃場から基地へ運搬

2) 変動費調査の結果

各試験地の一日あたりの作業可能面積と負担面積を表2に、変動費を図2に示す。

一日あたりの作業可能面積は、作業速度の速いトウモロコシやソルガムを対象とした場合や、他の作物に比べて収量が少なく作業負荷が低い飼料ムギを対象とした場合、ならびに一筆あたりの圃場面積が広い場合や圃場間移動が迅速に行える場合で大きかった。負担面積は、一日あたりの作業可能面積が大きく、収穫適期が長い場合程、大きくなった。また、年間を通じて飼料作物の作付が可能な地域では対象作物の選択範囲が広く、負担面積の拡大に有利であった。

変動費は、作業方法の違いによって大きな違いが見られた。平地の圃場が多く、一日あたりの作業可能面積が広がった試験地AおよびFでは、作業能率が高かったため、労働費と動力光熱費が低く抑えられ、収穫調製費も他の試験地よりも概ね低かった。しかし、同様に平地の試験地Cの飼料イネ収穫では、ラップサイロ運搬中に傷を付けることによる発酵品質の低下を避けるため、圃場では密封せず、ロールベールを集積場所に運搬してから密封する作業方法と採った。そのため、ホイールローダ2台と2tトラック2台による6人体制となり、平地で一筆あたりの圃場面積が広いメリットがあるものの労働費が高くなった。試験地Dでは、前述と同様の理由に加え、中山間地で一筆あたりの圃場面積が約15aと狭く作業効率が低かったこと、また、圃場にラップサイロを置いておくことができない事情により、圃場とラップサイロ集積場所のそれぞれに自走式ラップを配置し、収穫作業と平行して小型移動式クレーン付き4tトラック1台(補助作業員2~3人)で運搬する5

～6人体制であったため労働費が高かった。さらに、発酵品質の低下を避けるため、ラップフィルムの巻き付け回数を4回8層あるいは5回10層と多くしたため、資材費も高くなり、収穫調製費は試験地の中で最も高くなった。一方、同じく中山間地にある試験地Eでは、飼料イネの一日あたりの作業可能面積が試験地Dより少なく、収穫時期の一部がトウモロコシと重複するため、負担可能面積も15.1haと小さかったものの、飼料イネの変動費は7,505円/10aと試験地Dの約45%に抑えられた。これは、ラップサイロの圃場保管が可能なため作業員2名の作業体系とすることができ、労働費を抑制できたこと、飼料イネ圃場から利用農家までの距離が近く、ラップサイロを破損する危険性が低いため、ラップフィルムの巻き数を3回6層としたことが理由であった。

これらから、開発機体系による変動費を低減するためには、作業体系をできるだけ簡素化することが必要であることが確認された。また、作業能率を高めるために一筆あたりの圃場面積を拡大すること、作付圃場を団地化すること等の整備も重要であることが改めて確認された。

なお、試験地Cにおける機械運搬費は4,198円/10aであり、このうち減価償却費と修繕費は2,931円/10aであった。

表2 各試験地の一日あたり作業面積と負担面積

試験地	供試作物 (使用アタッチメント※)	一日あたり作業可能面積 (ha/日)	負担面積 (ha)
A	トウモロコシ(M)	1.66	33.0
	飼料ムギ(P)	1.00	16.0
	飼料イネ(P)	0.69	35.1
B	ソルガム(M)	0.79	23.7
	飼料イネ(P)	0.79	23.7
C	飼料ムギ(P)	2.70	35.1
	飼料イネ(P)	1.20	30.0
D	飼料イネ(P)	1.15	25.3
	トウモロコシ(M)	1.02	19.8
E	飼料イネ(P)	0.76	15.1
	トウモロコシ・ソルガム混播(M)	2.00	40.0
F	再生ソルガム(M)	2.00	40.0
	飼料イネ(P)	1.20	47.0
G	トウモロコシ(M)	0.97	38.6

※ Mはトウモロコシ用アタッチメント、Pは飼料イネ用アタッチメント

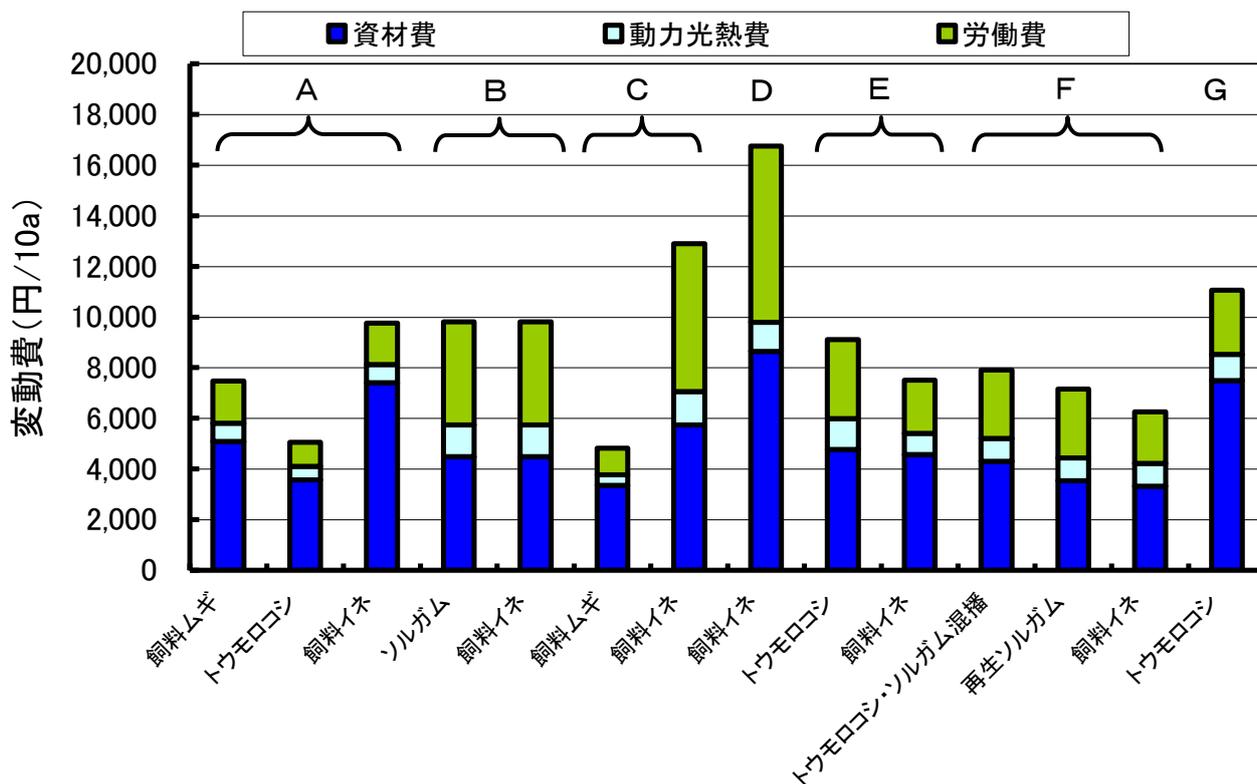


図2 各試験地の作物ごとの変動費

2. 導入の目安の検討

1) 試算方法

複数の飼料作物を対象とするコントラクタが、開発機体系を導入する際の目安となる負担面積を試算する。想定したコントラクタの対象作物は、生研センターが平成20年度に府県のコントラクタを対象に実施したアンケート調査で、最も開発機の対象としたい作物として挙げられた回答結果を参考にトウモロコシ、飼料イネ、飼料ムギとした。開発機体系の各対象作物への利用率は、トウモロコシ40%、飼料イネ40%、飼料ムギ20%とした。これは、飼料ムギの作付がトウモロコシや飼料イネに対して少ないことを考慮したためである。

コントラクタが開発機体系を導入するにあたっては、開発機体系にかかる10aあたりのコスト(収穫調製費)が10aあたりの収入額(受託作業料)を超えないために必要な負担面積を予測することが重要となる。収穫調製費と受託作業料は以下のように算出、想定した。

(1) 収穫調製費の算出方法

収穫調製費は、下式のように減価償却費と修繕費の和に利用率を乗じ、負担面積で除して10aあたりの値とし、これに変動費と機械運搬費を加えて求めた。

$$\text{収穫調製費} = [(\text{減価償却費} + \text{修繕費}) \times \text{利用率}] / \text{負担面積} + 10\text{a あたり変動費} + \text{同機械運搬費}$$

減価償却費は、倉庫などの建物は除き、開発機および自走式ラッパの他、作業に使用した機械を対象とし、法定耐用年数を5年(平成21年4月から7年に変更されたが、既往の研究成果との

比較のため、改正前の条件で試算した)、残存はないものとして計算した。開発機価格は、本体と各アタッチメントのそれぞれについて設定した。修理費は、調査時点では市販化前の機械であり不明なため、農水省の指針等^{7、8)}に定められたフォレージハーベスタやロールベアラの修理費を参考にして、開発機価格の4%として一律に計上することとした。減価償却費と修理費は補助金による費用の圧縮を行わなかった。変動費は、現地実証調査結果の平均値を使用し、機械運搬費は試験地Cで調査した結果を用いた。

現地実証試験結果の一日あたりの作業可能面積と一筆あたりの圃場面積の平均値を表3、変動費の平均値を表4に記す。

なお、資材費を構成するネットとラップフィルムの各試験地での平均単価は、ネットが28,700円/本、ラップフィルムが10,100円/本であった。

表3 各対象作物の一日あたりの平均作業可能面積と一筆の平均圃場面積

	トウモロコシ	飼料イネ	飼料ムギ
一日あたりの平均作業可能面積(ha)	1.41	0.97	1.85
一筆の平均圃場面積(ha)	0.34	0.40	0.65

表4 各対象作物の開発機体系にかかる変動費の平均値(単位:円/10a)

	トウモロコシ	飼料イネ	飼料ムギ
資材費	4,694	5,694	4,219
動力光熱費	972	1,028	567
労働費	2,680	3,769	1,352
合計	12,576	14,719	10,361

(2) 受託作業料の想定額

次に、受託作業料を想定した。細断型ロールベアラを導入しているコントラクタの料金体系では、トウモロコシ収穫作業が20,000~25,000円/10aで、密封作業がロールベール(直径85cm)1個あたり300円としている事例があった。10aあたりのロールベール個数を約15個とすれば、この場合の合計料金はおおよそ25,000~30,000円/10aとなる。飼料イネの専用収穫機による受託作業料では、団地化された圃場ならば25,000円/10a、分散圃場ならば30,000円/10aとし、ロールベールの数が多い場合は1,500円/10aを追加徴収しているケースや、収穫作業料15,000円/10aに加えてロールベール1個あたり1,500円としているケースもある。本報告では、これらの料金体系を参考とした上で、収穫から密封までの受託作業料を各作物一律30,000円/10aと想定した。

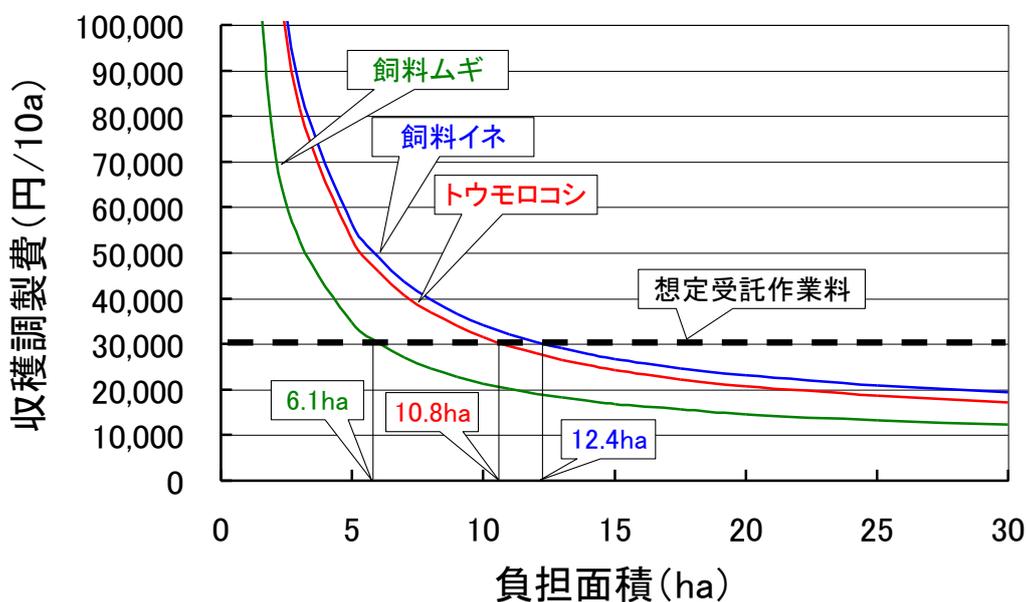
2) 試算結果

トウモロコシ、飼料イネ、飼料ムギの3種類の飼料作物を対象とし、開発機体系の一日あたりの作業可能面積がトウモロコシで1.41ha、飼料イネで0.97ha、飼料ムギで1.85haの条件における各

対象作物の負担面積と収穫調製費の関係を図3に示す。この図から、想定受託作業料 30,000 円/10a を上回らないために必要な負担面積を求めると、トウモロコシが 10.8ha 以上、飼料イネが 12.4ha 以上、飼料ムギが 6.1ha 以上の合計 29.3ha 以上と試算された。負担面積がこれより大きくなれば、収益の増加あるいは受託作業料の値下げが期待できる。

対象作物が一つあるいは二つとした場合についても試算した。開発機体系をトウモロコシあるいは飼料イネの単一作物にしか使わない場合、機械運搬費を含む収穫調製費が受託作業料を上回らないために必要な負担面積は、トウモロコシのみの利用では 23.8ha 以上、飼料イネのみの利用では 27.0ha 以上と試算された。トウモロコシと飼料イネの2作物に適用する場合は、トウモロコシが 12.9ha 以上、飼料イネが 14.8ha 以上となった。対象作物を増やすと合計面積が増加した反面、各作物それぞれの負担面積は低減した。すなわち、対象作物を増やせば固定費が低減するので各作物にかかる収穫調製費の削減が期待できた。また、地域の事情で単一作物では作付面積の拡大に限度があるために、開発機体系の導入が見合わないような場合でも、作期が異なる対象作物を増やし、圃場の利用率を上げることができれば延べ負担面積が拡大でき、開発機体系の導入によるメリットを活かすことが期待できた。表5に導入の目安となる負担面積を対象作物数の違い別にまとめた。

なお、開発機体系導入の目安は、一日あたりの作業可能面積、作物の収穫可能期間、輸送方法等の条件や、受託作業料の想定額によって異なるため、実際に導入を図る際には、現地で想定しうるデータを用いて試算する必要がある。



ネット代 28,700 円/本、ラップフィルム代 10,100 円/本、軽油単価 123 円/L、ガソリン単価 145 円/L、労働費単価 2,000 円/h と設定。機械運搬費は、中古 8t トラック、2t トラックを使用し、片道 10km とした場合の減価償却費と変動費から算出。受託作業料は 30,000 円/10a と想定。

図3 3種類の飼料作物を対象とした場合のコントラクターへの導入の目安の試算例

表5 コントラクタへの導入の目安となる負担面積* (単位: ha)

	トウモロコシ	飼料イネ	飼料ムギ	合計面積
対象作物が一つの時	23.8	—	—	23.8
対象作物が二つの時	—	27.0	—	27.0
対象作物が二つの時	12.9	14.8	—	27.7
対象作物が三つの時	10.8	12.4	6.1	29.3

* ネット代 28,700 円/本、ラップフィルム代 10,100 円/本、一日あたりの作業可能面積は、トウモロコシ 1.41ha、飼料イネ 0.97ha、飼料ムギ 1.85ha とした。軽油単価 123 円/L、ガソリン単価 145 円/L とした。労働費は、2,000 円/h とした。機械運搬は、中古 8t トラック、2t トラックを使用し、片道 10km とした。

おわりに

開発機は 2009 年から販売が開始され、初年度で 15 台が普及（その内 3 台が現地実証試験を実施した組織が導入）している。本報告で示した目安が今後一層の普及の一助となれば幸いである。

なお、開発機は「強い農業作り交付金」等で 1/2 の補助（上限単価 1,800 万円）が、自走式ラップは 1/3 の補助が得られることから、当該事業を利用して開発機体系を導入した場合は、さらに収穫調製費が 15～25%程度低減される。この他にも活用できる補助事業があるので、詳しくは市町村、普及センター、農協等にお問い合わせ願いたい。

現地実証試験の実施にあたっては、鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター、岡山県総合畜産センター、広島県立総合技術研究所畜産技術センター、福岡県農業総合試験場、宮崎県畜産試験場、栃木県那須農業振興事務所、長野県長野農業改良普及センター、宮崎県児湯農業振興局、津山地区コントラクタ組合、デイリーサポート井本、農業生産法人株式会社那須の農、農業生産法人有限会社アグテック、農事組合法人上板木、農事組合法人八万石、農事法人野尻湖ふるさと農園、前原酪農組合の関係諸氏に多大なるご協力、ご尽力を賜った。記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 志藤博克・橘 保宏・川出哲生・澁谷幸憲・高橋仁康・岡嶋 弘 (2008) 多様な飼料作物に 1 台で対応できる汎用型飼料収穫機の開発、日本草地学会誌、54 (別)、162-163
- 2) 志藤博克・橘 保宏・川出哲生・澁谷幸憲・高橋仁康・岡嶋 弘 (2008) 汎用型飼料収穫機の開発、第 67 回農業機械学会年次大会講要、269-270
- 3) 志藤博克・山名伸樹 (2005) 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
- 4) 千田雅之・岡崎泰裕 (2006) 飼料イネの収穫調製運搬経費の収穫機種別比較と機械導入の目安、

平成 18 年度共通基盤・総合研究（飼料イネ）研究成果情報、http://www.affrc.go.jp/ja/research/seika/data_common/h18/com06012 [2009 年 3 月 27 日参照]

- 5) 厚生労働省（2009）毎月勤労統計調査、厚生労働省大臣官房統計情報部、<http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/monthly/tyousa.html> [2009 年 10 月 5 日参照]
- 6) 農林水産省（2008）平成 19 年度畜産物生産費．農林水産省大臣官房統計部、東京、<http://www.e-stat.go.jp/SGL/estat/List.do?bid=000001014914&cycode=0> [2008 年 12 月 24 日参照]
- 7) 農林水産省（2007）草地開発整備事業計画設計基準－農林水産省生産局、社団法人日本草地畜産種子協会、p434
- 8) 農林水産省（2009）高性能農業機械等の試験研究、実用化の促進及び導入に関する基本方針参考資料’ 09、社団法人日本農業機械化協会、p130

農作業安全 e ラーニングシステムの開発

特別研究チーム(安全) 積 栄、岡田俊輔、志藤博克
中野 丹 (現附属農場)
菊池 豊 (現中央農研)
企画部 古山隆司、藤井桃子
東京大学 米川智司

はじめに	78
1. システムの利点と技術的課題	78
1) eラーニング化による利点	78
2) システム構築上の技術的課題	79
2. 試作システムの構造と概要	79
1) 試作システムの構造	79
2) 試作システムの概要	80
3. アンケート調査	84
1) 調査対象および項目	84
2) 調査結果	84
4. システム利用要件	85
おわりに	85
参考文献	85

はじめに

農作業による死亡事故は、平成 19 年においても 397 件と横ばいの状況が続いている¹⁾。このうち、農業機械での作業によるものは毎年 6～7 割を占めており、使用者が機械の安全な使用方法について正しい知識を身につけることは、事故件数低減に向けて非常に重要となっている。

これまで、関係機関や自治体では、農作業安全のための知識や技術を広めるべく、パンフレットなど各種資料の作成及び配布、研修会の開催など、様々な取組みを行ってきた。また、生研センターでは 2002 年より、インターネット上で農作業安全に関する様々な情報を発信するための Web サイト「農作業安全情報センター」(<http://brain.naro.affrc.go.jp/anzenweb/>) の運営を行っている^{2) 3)}。

今回、生研センターでは、これらの取組みに加えて、東京大学と共同で、より効果的に安全知識を習得する手段の一つとして、近年の IT（情報技術）の発達を踏まえ、インターネットによりどこでも学習手段を提供でき、かつパソコンならではの操作性を活かし、動画等を利用して効果的な安全学習を可能にする農作業安全 e ラーニングシステムを開発した。本システムは、前述の Web サイト「農作業安全情報センター」上のコンテンツとし、サイト訪問者は誰でも利用可能としている。

1. システムの利点と技術的課題

1) e ラーニング化による利点

安全教育の e ラーニング化による利点として、まず安全教育をより身近なものにできることが挙げられる。e ラーニングであれば、各種講習会とは違い、パソコンでインターネットが利用できる環境さえあれば、場所や時間の拘束を受けずに学習手段を提供可能となる。

また、e ラーニングでは、パソコンでの学習が前提となるため、動画などを効果的に用いることで、機械の機能や危険作業の状況について直感的に理解できる仕組を構築し易い。安全学習においては、何が危険なのかを単に知識として見聞きするだけでなく、できるだけ実感と理論を伴って理解することが重要と考えられ、この点からも、e ラーニング導入の効果が見込まれる。研修会でもビデオ等の動画を用いた教育することは可能であるが、受身の研修となってしまう場合も考えられる。自らが操作して学習を進めるシステムにすれば、コンテンツ次第で擬似的に参加型の学習形態とすることができる。

さらに、例えば事故統計や関係法令などが変わった場合でも、パンフレットでは再配布の必要があるが、e ラーニングでは速やかに情報を更新し、提供することが可能である。また、閲覧者の学習パターンから、一般的にどの内容がどの程度理解されているのかといった傾向を把握し、その情報を今後の安全教育やコンテンツ作成に活用できるという、提供側にとって大きなメリットも得ることができる。

このように、e ラーニングという新たな学習手段を供給することで、これまでのパンフレットや研修会といった従来の方法では足りなかった面を補うことができる可能性がある。表に、

これまでの学習内容提供手段と本システムとのメリットの比較を示す。

ただし、学習者が自ら操作、学習するためには、内容を興味深く充実したものにすることや、簡易な利用方法や操作方法が必要となる。また、今回の場合、利用対象とする学習者が初心者からベテランまで様々であり、これらを踏まえてコンテンツを作成することが重要である。

表 これまでの学習内容提供手段と本システムとのメリットの比較

導入によるメリット	紙媒体	CD・ビデオ	ホームページ	本システム
学習前後の理解度を把握	×	×	×	○
常に最新の学習内容を提供	△	△	○	○
動画等で興味・理解喚起	×	○	○	○

※各メリットに対する有効度合を×, △, ○の3段階で考察

2) システム構築上の技術的課題

eラーニング化に対する技術的な課題として、通常eラーニングでは、主に学習管理システム（Learning Management System、LMS）をネットワーク（サーバ）上に設置し（もしくはサービス会社からLMSの提供を受け）、これを用いて学習者の登録管理や学習進捗状況の管理を行う方法が一般的である。しかし、本システムで使用予定のサーバではこのような形態での運用はできず、双方向機能も有していないことや、通常行われるユーザ登録についても、それ自身が学習者の利用の障壁となる可能性が高いことが挙げられた。このため、学習者の理解の傾向等を提供側も確認できるという前述のメリットについては、新たに別の手法を構築する必要性が認められた。また、今回のように利用対象者を限定しない場合、学習者のパソコンの様々な仕様（OS、Webブラウザ、画面解像度等）に対応する必要がある。さらに、長期的に低コストで本システムを運用するためには、専門性の高い技術や、外部への依頼を必要としなくても、容易にコンテンツの修正や新規作成が可能な環境を整える必要がある。これらの点についても、本システムで対応すべき重要な課題と考えられた。

2. 試作システムの構造と概要

1) 試作システムの構造

前項を踏まえ、技術的課題に対応しつつ、eラーニングのメリットを活かせるシステムを試作した⁴⁾。図1に、試作したシステムの概要を示す。学習対象は、乗用トラクタ3項目（移動、耕うん作業、点検整備）、自脱コンバイン2項目（移動・作業、点検整備）、歩行用トラクタ（全般）、刈払機（全般）の4機種7項目とした。

学習者の理解の傾向は、各コンテンツの不正解表示ファイル及び結果表示ファイルへの各利用者のアクセス履歴により確認が可能な構造とした。各メニューページはhtmlファイルとして作成し、将来のコンテンツ追加等にあわせて編集可能な構成とした。各コンテンツのメインファイルは、インターネット上で広く利用されているFlashファイルとした。コンテンツの原ファイルはMicrosoft Office PowerPointで作成し、これに変換ソフトウェアを用いることで、

容易に Flash コンテンツの作成や修正が可能な体制を整えることができた。



図1 農作業安全 e ラーニングシステム構造概要

2) 試作システムの概要

システムを利用する場合は、前述した Web サイト「農作業安全情報センター」で該当リンクをクリックすると、「農機安全 e ラーニング」メインメニュー画面（図2）が表示される。学習したい機種をクリックで選択すると、さらに学習項目を選択するメニューが表示され、希望のコンテンツを選択すると、該当する学習ストーリーが開始される。図3に、学習ストーリーの画面例と構成を示す。学習し易いように、操作は全てマウスのみで直感的に行えるように設計している。詳しい使用方法は、画面上部の「サイトの使い方」をクリックすると、別ウィンドウ（または別タブ）で表示される。

参加型の学習とするため、画面のテロップを読みながら「次へ」ボタンをクリックして先へ進んでいくと、途中で何回かクイズがあり、これに正解しながら学習を進めていく構造になっている（図4）。自分で正解を導き出す方が記憶に残るとの想定から、正解してはじめて先に進めるようになっている。不正解の場合は、その旨を示す画面が別ウィンドウ（または別タブ）で表示されるので、内容の確認後、そのウィンドウ（タブ）を閉じて、元のクイズ画面で選択し直す。正解すると、そのクイズに対応する安全作業についての学習内容が、写真や動画で、視覚的に分かりやすく解説される（図5）。

クイズについては全て選択式ではあるが、同じパターンで飽きてしまったり、あまりに簡単に正解が類推できてしまったりすることのないように工夫している。動画については、危険作業事例の実写や、実際の撮影が不可能な乗用トラクタの転倒・転落に関するものでは 3DCG 動画を多用することで、直感的に、実感を持って危険性を理解できることを狙っている。これらの対策と、学習時間の長さをコンパクト（おおよそ 15 分程度）に保つことで、できるだけ学習者が飽きずに効果的に学習を進められるようにしている。さらに、各種安全装置については、その作動状況を動画で紹介することで、装置への理解をより深め、安全装置を備えた機械の普及につなげる狙いがある。

学習内容はどれも重要度の高いものであるが、農業機械の初心者でも理解できるように構成している。また、機械使用のベテランに対しても、動画や写真で常日頃の注意点を効果的に再確認できるメリットがある。それに加えて、機械に詳しい学習者向けには、ストーリー中に、さらに詳しい安全知識を提供するリンクも随所に配置している（図 6）。

クイズに答えながら学習ストーリーを終えると、最後に確認テスト（2 択形式が 3 問）があり、ここで学習者は、それまでの学習内容が理解できているかを確認できる仕組みになっている。解答が終わると、結果とともに、誤答部分についての解説が表示される。全問正解した場合は、画面内に修了証書が表示される。

なお、本稿における各図は開発中のものであり、完成版では変更の可能性がある。



図 2 メインメニュー画面



図3 学習ストーリー画面例と構成（乗用トラクタ・移動）



図4 クイズ画面例（乗用トラクタ・移動）



図5 動画による解説画面例（乗用トラクタ・移動）

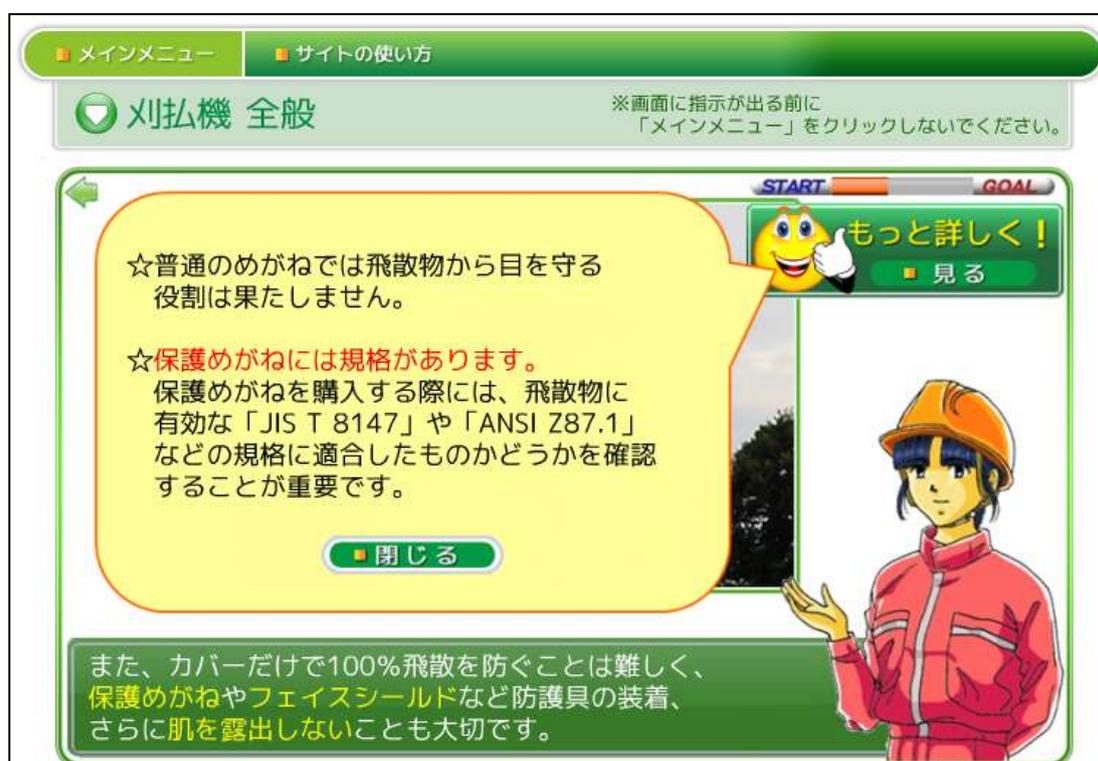


図6 より詳細な安全情報へのリンクの例（刈払機）

3. アンケート調査

1) 調査対象および項目

上述の試作システムについて、使用感等に関するアンケート調査を行った。まず 2008 年度の一次試作に対して一次調査を行い、その結果を踏まえて 2009 年度に改良した二次試作に対して同様の二次調査を行った（回答者は一次調査と異なる）。対象は、学生（農業機械または人間工学専攻）、農家、農機販売業、農業関連教育担当者等で、一次調査では 82 名、二次調査では 26 名から回答を得た。

調査項目としては、①使用上のわかりやすさ、②内容の面白さ、③難易度、④各学習項目の長さ、⑤文字の見やすさの各項目を 3 段階の選択式としたほか、改善を要する点や気になった点についての自由記載欄を設けた。

2) 調査結果

一次調査の結果、わかりやすさ、面白さ、長さ、見やすさについては、普通～良いとする回答が 8 割以上を占めたが、「わかりにくい」「面白くない」「見にくい」とする回答も見られた。難易度については、約 7 割が「普通」と回答した。自由記載では、操作性や動画等の解りにくさ、フォント色等の具体的な指摘が得られたため、これを踏まえて試作システムの改良を行った。

改良後の二次調査の結果を図 7 に示す。「わかりにくい」「面白くない」の回答が無くなったほか、「見にくい」とする回答も 1 割程度に低減され、改良の効果が見られた。

また、本システムは個人利用を想定して開発しているが、集団教育の場での活用の可能性も探るべく、農業関連教育担当者を対象に、別途アンケート調査を行った。その結果、講師がプロジェクト上で操作しながら授業を行う方法も含め、約 8 割から、授業での活用も可能との回答が得られた。

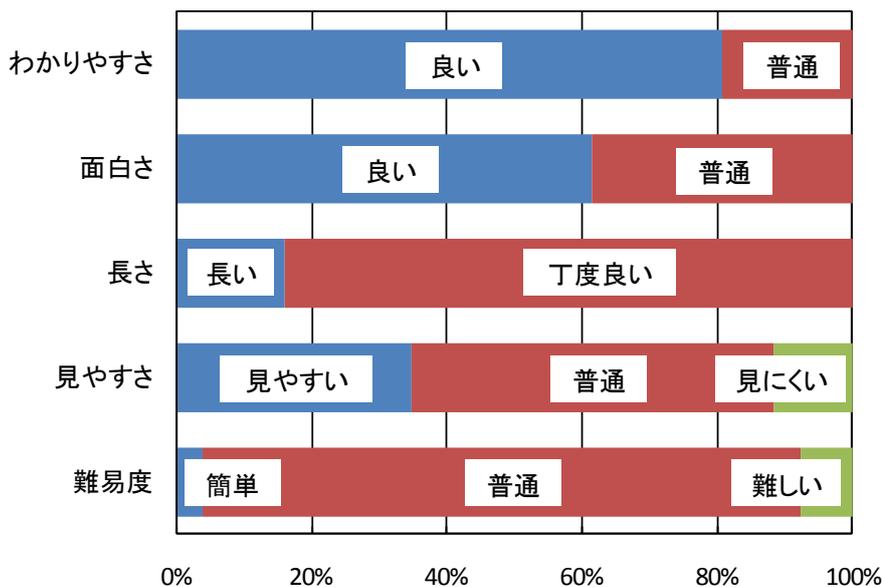


図 7 二次試作に関するアンケート結果（無回答を除く、回答数 26）

4. システム利用要件

本システムの利用には、インターネットで広く利用されている Adobe Flash Player（バージョン 8 以降、無料）が必要である。インターネット接続についてはブロードバンド環境を推奨しており、また Windows、Mac OS とともに、一般的な各種 Web ブラウザ上で動作確認がなされている。画面解像度については、XGA（1024×768 ピクセル）以上が望ましいが、SVGA（800×600 ピクセル）でも横幅は画面内に収まるように設計している。

おわりに

本システムは前述の Web サイト「農作業安全情報センター」の 1 コーナ「農機安全 e ラーニング」として運用する予定であり、2008 年度に試作した 3 コンテンツについては、2009 年 4 月より、試行版として既に公開している（<http://brain.naro.affrc.go.jp/e1/>）。2010 年度から本運用を開始する予定である。

これまで危険業種とされてきた建設業などでは、労働災害による死亡事故件数が年々改善されてきており⁵⁾、農業との差異が指摘されている。他産業と違って家族を中心とした経営が一般的な農業においては、安全に関する管理責任が個人任せになりがちな面もある。したがって個人レベルでの安全意識の徹底が非常に大きな意味を持つ。本稿で述べた「農機安全 e ラーニング」を含め、生研センターが「農作業安全情報センター」で発信する各種情報が、現状の改善に寄与できるよう、今後も内容の充実や改良を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 農林水産省生産局農業生産支援課（2009）、平成 19 年に発生した農作業死亡事故の概要、農林水産省、<http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sien/pdf/090428-04.pdf>（参照 2010 年 1 月 20 日）
- 2) 中野 丹ら（2005）、農作業安全を支援する電子情報システム、平成 16 年度主要研究成果（共通基盤・作業技術、共通基盤・情報研究）〔行政・普及〕
- 3) 岡田俊輔（2008）、機械化農業、2008 年 2 月号、4-8
- 4) 積 栄ら（2009）、農作業研究、44(別号 1)、97-98
- 5) 厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課業務係（2009）、平成 20 年における死亡災害・重大災害発生状況等の概要、厚生労働省、<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2009/05/h0526-2.html>（参照 2010 年 1 月 20 日）

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 21 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 22 年 3 月 4 日