

平成26年度
生研センター研究報告会

平成27年3月11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26年度 生研センター研究報告会開催次第

1. 開催日時 平成27年3月11日(水)
2. 場 所 ラフレさいたま「櫻ホール」
(さいたま市中央区新都心3-2 TEL: 048-601-1111 (代))
3. スケジュール
 - 1) 開 会 10:00
 - 2) 挨拶
 - (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
 - (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概要報告
 - 5) 個別研究報告
 - (1) 第4次農業機械等緊急開発事業の成果
 - ①高精度直線作業アシスト装置の開発
 - ②高能率なミッドマウント型水田用除草装置の開発
 - 《 昼 食 》 12:00~13:00
 - ③高能率水稻種子消毒装置の開発
 - ④チャの被覆資材の展開巻取りアタッチメントの開発
 - ⑤微生物環境制御型脱臭システムの開発
 - 《 休 憩 》
 - (2) 自脱コンバインの機内清掃所要時間を短縮化する内部構造の開発
 - (3) 果樹用腕上げ作業補助器具の開発
 - (4) 中山間地域における小型水力発電利活用システムの研究
 - (5) ロボット農用車両遠隔運用システムの開発
- 6) 総合討議
- 7) 閉 会 17:30

目 次

1. 高精度直線作業アシスト装置の開発	1
2. 高能率なミッドマウント型水田用除草装置の開発	7
3. 高能率水稻種子消毒装置の開発	15
4. チャの被覆資材の展開巻取りアタッチメントの開発	29
5. 微生物環境制御型脱臭システムの開発	35
6. 自脱コンバインの機内清掃所要時間を短縮化する内部構造の開発	49
7. 果樹用腕上げ作業補助器具の開発	57
8. 中山間地域における小型水力発電利活用システムの研究	67
9. ロボット農用車両遠隔運用システムの開発	77

高精度直線作業アシスト装置の開発

基礎技術研究部 埴 圭二、山下貴史

共同研究実施企業 三菱農機株式会社

はじめに	2
1. 高精度直線作業アシスト装置の構成	2
1) 開発機の機能	2
2) 開発機の構成	2
3) 画像装置	3
4) 操舵装置	3
5) ターゲットランプ	4
6) 作業跡マーカ	5
7) 画像処理方法	5
2. 高精度直線作業アシスト装置の試験結果	6
おわりに	6

はじめに

大豆や野菜類など畝立て栽培を行う作物では、播種、畝立て、マルチ敷設などの機械作業を行う際、行程を直線的かつ隣接行程との間隔を一定に保つために高度なトラクタ運転技術が要求される。また、近年、畝立て作業と同時に肥料や薬剤の散布を行う作業機が普及しつつあるが、トラクタの運転操作に加え、オペレータは複数の作業機を監視する必要も生じ、負担が増加する傾向にある。これらの作業は身体的、精神的な負担が大きく、農業従事者の高齢化や農繁期における長時間労働などの傾向に対し、熟練オペレータの安定的な確保や農作業事故防止の観点から、オペレータの負担軽減が望まれている。また、畝立て栽培を行う作物では、直線性や行程間隔の精度が低下した場合、その後の中耕除草などの作業精度も低下し、雑草の抑草効果や作物生育に影響を与える問題がある。

そこで、本研究では、これらの問題を改善するため、平成24年度から第4次農業機械等緊急開発事業により、三菱農機（株）と共同で、ほ場でのトラクタによる作業において、トラクタに後付け可能で、ステアリングを自動制御し、目標地点や前行程の作業跡などに対し、高精度に直線的に走行する装置の開発を行った。

1. 高精度直線作業アシスト装置の構成

1) 開発機の機能

開発機は直進アシスト機能と追従アシスト機能の2種類の機能を有している。直進アシスト機能は1行程目の作業での使用を想定したもので、図1のようにほ場の遠方端の目標位置に設置したターゲットランプに向かって、真っ直ぐに直進走行する機能である。また、同時に作業跡マーカを使って、ほ場の表面にV字形の溝であるマーカ跡を形成する。追従アシスト機能は図2のようにマーカ跡に沿って走行する機能であり、2行程目以降の作業に対応するものである。



図1 直進アシスト機能



図2 追従アシスト機能

2) 開発機の構成

開発機は画像装置と操舵装置で構成される。画像装置はトラクタの前方を撮像するカメラと、カメラで撮像した画像を解析する計算機で構成される。画像装置の出力信号は操舵装置に伝達される。操舵装置はトラクタのステアリングを駆動するモーターと、これを制御するコントローラで構成さ

れる。全体構成が簡素であることが、開発機の特徴のひとつである。

3) 画像装置

画像装置は図3・右下のような、カメラと計算機が一体化した市販機器を使用している。計算機にはスマートフォンなどに使用されるCPUが搭載されており、低価格でありながら、高い計算能力が得られている。このような市販機器を図3・右上のような筐体に収納し、トラクタのフロントウィンドウに取り付ける構造である。画像装置にはUSBコネクタが備えられており、USBハブを介してUSBメモリや無線LANアダプタなどが装着できる。画像装置で動作する画像処理のソフトウェアは、USBメモリに書き込むことで、容易に更新が可能である。また、無線LANアダプタを介してスマートフォンと通信が可能であり、画像処理の各種データを書き込んだカメラの画像を、ユーザーが所有するスマートフォンに表示することができる。ユーザーのスマートフォンを利用することで、システム価格の低減を図ると同時に、ユーザーによる画像データの利活用などの展開も可能とするものである。また、スマートフォンから画像装置側にデータを送ることも可能であり、スマートフォンを新たなHMI機器として利用することも可能である。

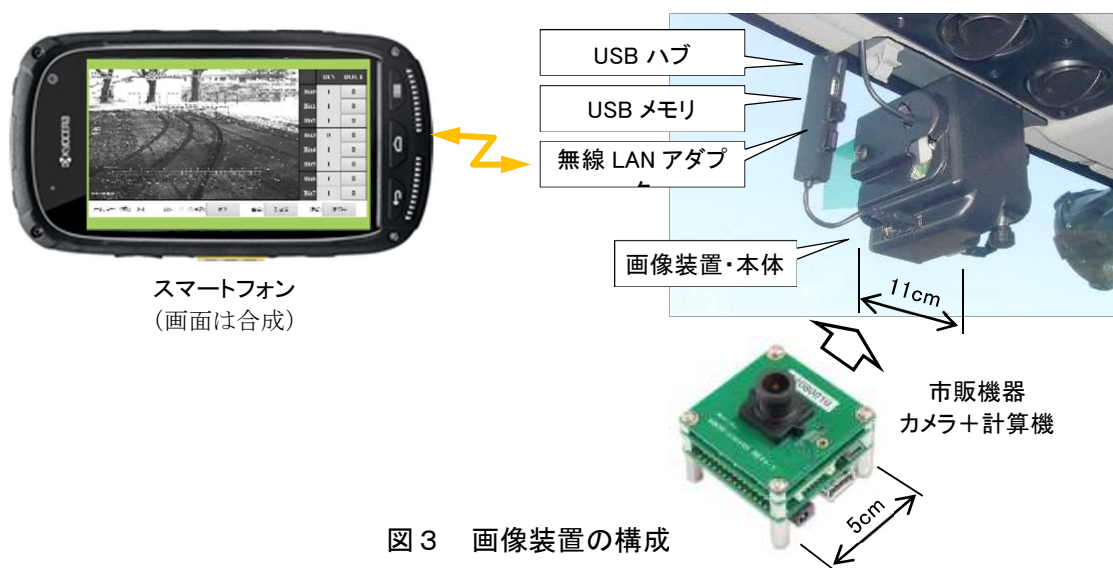


図3 画像装置の構成

4) 操舵装置

操舵装置は図4のように、トラクタのメーターパネルのバイザー上に固定され、ローラーによってステアリングを外周から駆動する構造である。操舵装置は小型軽量であるため、出力20kW程度のトラクタにも装着が可能である。操舵装置の操作は、ローラーの上部にあるレバーを手で押し引きする操作により、ローラーがステアリングに接する駆動状態(図4)と、ローラーが離れた待機状態(図5)が切替えられる。また、ステアリングのチルト機能により、ステアリングの位置を前後に移動させることで、駆動状態と待機状態を切替えることも可能である。

ステアリングを駆動する能力は、ステアリングの外周端にて17N以上の操舵力を発生し、一般的なパワステを有するトラクタの操舵が可能である。また、ステアリングの回転速度は最大0.5回転/秒であり、播種、畝立て、マルチ敷設などの、比較的低速で直線性が求められる作業に適する。

操舵装置のローラーおよびモーターなどの消耗部品は、ホビー用途として市場流通している部品を使用しており、入手が容易であり、かつ安価で、交換作業も容易に可能である。また、操舵装置のローラーは柔軟なスポンジゴム製であり、また、バネ力でステアリングに押し当てられる構造であるため、運転者の手や指の挟み込みに対し、傷害などは起こり難い構造である。

スイッチ類は機能選択ダイヤル、制御強さ調節ダイヤル、画像処理のリセットスイッチの3個のみで、また、駆動状態と待機状態のローラーの位置が、モーターの ON/OFF スイッチと連動しており、操作は容易である。

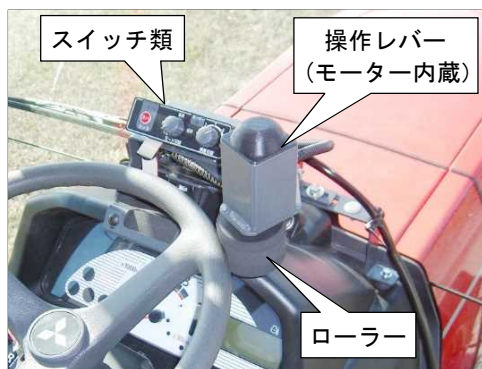


図4 操舵装置の構成



図5 待機状態

5) ターゲットランプ

ターゲットランプは直進走行の目標物としてほ場に設置するもので、図6のような点滅するLEDランプである。点滅周期を0.4秒の一定とすることで、カメラ画像から自動的にターゲットランプを探し出す機能としている。また、カメラ画像に映るランプの大きさから、ターゲットランプまでの距離を推定することができ、作業行程が終わりに近付いてターゲットランプとの距離が接近すると、運転者にブザーで知らせる機能を備えている。図6に示すターゲットランプは、200mの距離まで対応可能な設計である。都府県では長辺100mに区画整備されたほ場が一般的であり、一部にはほ場を結合して長辺200mにしたほ場がある状況から、最大距離を200mとした。また、LEDの個数を増やすことで、200m以上の距離に対応化することが可能である。



図6 ターゲットランプ

表1 ターゲットランプ^{※1}の諸元

最大距離	200 m
全高	63 cm
重量	2.3 kg
LED 個数	40 個
電池本数 ^{※2}	4 本
動作時間	5~6 時間

※1 一定周期で点滅し、直進走行の目標となるランプ

※2 単三型充電式電池、電源用

6) 作業跡マーカ

作業跡マーカは、追従走行の目標となる深さ7～12cm程度のV字形の溝を形成する装置である。V字形の溝とすることで、追従すべき溝の底の位置が明確化する利点がある。作業跡マーカを取り付けるアーム部分は、図7のように2本の平行リンク構造とした。作業機の上下動や地面の起伏によって、マーカの先端が上下するが、平行リンク構造とすることにより、マーカ先端の上下動に対して左右の位置の変化を小さくする効果がある。図8は作業跡マーカの動作状態の例である。細かく碎土され、乾燥ぎみの土壌では良好なマーカ跡の形成が可能である。



図7 作業跡マーカ



図8 作業跡マーカの動作状態

7) 画像処理方法

画像装置のカメラで撮像された画像は計算機で画像処理され、必要な情報が抽出される。直進アシスト機能では、まず、図9のように遠方にあるターゲットランプが、黒枠線内の赤点のように抽出され、目標位置に対する方向のずれが検出される。続いて手前の地面上で、明暗変化が大きい部分に白枠線で示すような複数の領域を設定し、各領域の画像上での位置の変化を解析することで、トラクタの横方向の位置のずれが検出される。これら2種類のずれに基づいて直進走行が制御される。次に、追従アシスト機能では、まず、連続する複数枚の画像に対して地面の位置の変化を詳細に解析することで、図10の赤点列で示すように地面の凹凸形状を検出する。続いて凹凸形状の中から、予め設定したV字型の形状(画中の緑色の線)と一致する部分を探索することで、マーカ跡の位置が検出される。これらの画像処理は0.1秒の周期で実行される。



図9 直進アシスト機能用の画像処理の例

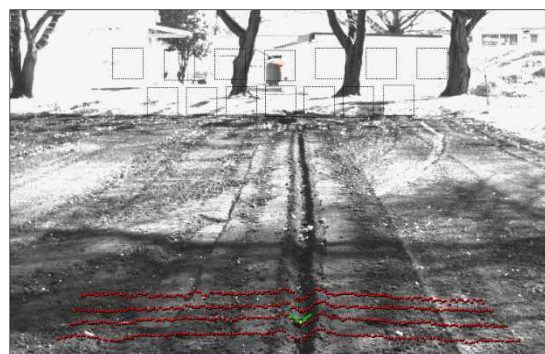


図10 追従アシスト機能用の画像処理の例

2. 高精度直線作業アシスト装置の試験結果

開発した各装置を既存のトラクタに後付け装着し、直線作業アシスト機能付きのトラクタを試作した。トラクタは一般的なホイール型と、近年、普及が進む半履帯型の2種類を試作し、自動操舵での特性の違いを比較した。トラクタにはサツマイモ栽培用の2畦畝立てマルチャを装着し、一般的な直線状の行程での試験と、曲がったほ場への対応性の検討として、曲線状の行程への追従性の試験を行った。行程間隔の精度については、直線作業では行程の80%以上で±5cm以内、行程の100%で±10cm以内を目標の目安とし、一方、曲線作業では全行程で±10cm以内を目標の目安とした。

形成された直線状の畝を図11に、曲線状の畝を図12に、また、畝の行程間隔を計測した結果を表2に示す。ホイール型と半履帯型のトラクタでは、畝立て作業での走行の制御性に大きな差異は見られなかった。行程間隔の精度は、直線作業では目標の目安値をクリアした。一方、曲線作業では、半径400mでは目標の目安値をほぼクリアしたが、半径200mでは±10cmを超える偏差が所々に発生した。半径200m程度の曲率の曲線作業を行う場合には、予め行程間隔を広く設定するなど、運用方法による対応が必要と考えられる。



直進走行による畝 追従走行による畝

図11 形成された直線状の畝



追従走行による畝 追従対象の畝 (手動操舵で形成) 追従走行による畝

図12 形成された曲線状の畝

表2 追従作業での行程間隔の偏差

作業条件	平均値 [cm]	標準偏差[cm]	±5cm 以内[%]	±10cm 以内[%]
直線作業(ホイール型) ※1	-1.0	2.1	95	100
直線作業(半履帯型) ※1	1.2	2.0	88	100
曲線作業・400mR(ホイール型) ※2,3	-0.2	2.5	72	99
曲線作業・200mR(ホイール型) ※1,3	-4.0	5.0	57	86
曲線作業・200mR(半履帯型) ※1,3	-0.6	5.4	51	75

※1 試験条件:鹿児島農総セ試験ほ場、H26年12月26日、黒ボク土、トラクタ:出力25kW(ホイール型), 37kW(半履帯型)、作業機:サツマイモ栽培用2畦畝立てマルチャ、作業速度:1.2~1.4km/h、目標行程間隔:180cm(ホイール型), 200cm(半履帯型)、行程長:90m×4行程、行程間隔は5m毎に1行程あたり19点を計測。

おわりに

後付け型の画像装置と操舵装置により、高精度な作業を自動操舵によって可能とする技術を開発した。開発に際し、多くの助言を頂いた鹿児島県農業開発総合センター大隅支場および埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所の方々、試験を快く引き受けて頂いた生産者の方々に感謝の意を表す。

高能率なミッドマウント型水田用除草装置の開発

生産システム研究部	吉田隆延、水上智道、田中庸之	
協力機関	中央農研	三浦重典、内野 章
	みのる産業（株）	陶山 純、川口良太郎、小林慈郎
	島根農技センター	安達康弘
	滋賀農技センター	中井 讓
	岩手農研センター	臼井智彦
	福井農業試験場	酒井 究、奥村華子
	神戸大	庄司浩一

はじめに	8
1. 研究の背景と目的	8
2. 開発した水田用除草装置の概要	9
3. 開発装置の性能・特徴	10
4. 雑草防除に役立つチェーン除草機と米ぬか散布装置	11
5. 今後の予定と留意点	12
おわりに	13
参考文献	13

はじめに

現在まで、農業生産現場では、生産性向上、病虫害防除、雑草管理、農作業の効率化及び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、その一方で近年では、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、現状では少数であるが、一部の農家や生産組合が、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んでいる。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と需要は確実に高まってきている。さらに、2006年に制定された「有機農業の推進に関する法律（有機農業推進法）」では、国等が自然循環機能の増進や環境負荷軽減に資する有機農業の推進に関する施策を総合的に講じて有機農業の発展を図ることとしており、今後も有機農業の研究と実践が推し進められる傾向にあるとともに、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いる。

このような社会的ニーズと背景があるにもかかわらず、現状では農薬や化学肥料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。そのため、農林水産省のデータ¹⁾によると、有機農産物の生産量が農産物の総生産量に占める割合は、僅か0.24%に過ぎない。特に直接労働のおよそ3割を除草作業が占める有機水稲栽培では²⁾、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^{3)、4)}を含め、除草剤抵抗性の雑草⁵⁾が問題となっており、水田用除草機による機械除草など物理的・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、高精度水田用除草機の開発^{6)、7)}と水田用複合除草技術に関する研究⁸⁾を行ってきた。しかし、有機水稲栽培現場では、さらなる除草作業の高速化と高い除草効果が求められており、安価で高能率な除草機の開発が望まれている。そこで、みのる産業（株）との共同研究により、3輪型乗用管理車両の車体中央に搭載し、作業速度が速くて、除草効果が高く、欠株率が少ない水田用除草装置を開発したので報告する。同時にチェーン除草機と米ぬか散布装置も開発したので、併せて紹介する。

1. 研究の背景と目的

現在、消費者の安全・安心志向の高まりから、各産地で無農薬・無化学肥料で有機水稲栽培を行っている生産者および生産組合が数多く有るが、雑草防除と除草作業が深刻な問題となっている。現況では水稲の有機栽培における除草方法として、機械除草が大変有効であると考えられているが、現存する歩行型機械除草機や乗用型機械除草機は作業速度が遅く、労力もかかる。この問題を解消するため、2012年度より、第4次農業機械等緊急開発事業において、みのる産業（株）と共同で、作業速度の高速化、高い除草効果、少ない欠株率、購入しやすい価格設定、を開発目標として、新たな水田用除草装置の開発を行うとともに、実用化について検討したので報告する。

2. 開発した水田用除草装置の概要

開発装置（図1、表）は、4条用と6条用があり、現状では4条用はベース車両からのPTOにより、6条用は本装置に搭載したエンジンにより駆動される。本装置の大きな特徴は、3輪型乗用管理機（みのる産業（株）社製）の車体中央部に搭載することである。このことにより、オペレータが、除草部を常に視認できるため、稲株や圃場状況を確認しながら除草作業を行うことが可能となる。さらに、本装置では、車体後部装着方式に比べて操舵に伴う除草部と条間のずれが小さくなり、欠株が少なくなるため、高精度な作業が行える。これらのことより、本装置を利用した通常の圃場条件における除草作業は、最速およそ1.2m/sで行うことが可能である。



図1 4条用および6条用水田用除草装置

表 水田用除草装置諸元表

項目	4条用	6条用
全長×全幅×全高[mm]	1575×975×795	2000×1010×1010
質量[kg]	80	140
除草部駆動方式	PTO	独立エンジン
条間ロータ幅[mm]	190または220	
条間ロータ回転数[rpm]	330(車速1.2m/s時)	
株間レーキ駆動軸回転数[rpm]	400または750(車速1.2m/s時)	
最高作業速度[m/s]	約1.2	

除草機構（図2）は、水稻の条間は駆動爪付きロータ式で、回転することにより除草を行い、株間は揺動レーキ式を採用し、レーキが左右に揺動することにより、株間の除草を行う。除草装置自体は昇降可能であり、水田面をフロートで感知して作業高さを自動調整する。駆動爪付きロータは、作業面の位置に合わせて深さ6段階（1cm×6段）に調整できる。株間の揺動レーキは、水田面の高さ

に合わせて高さ3段階（1 cm×3段）に調整可能であり、雑草の発生状況に応じて揺動速度を高・低（400 または 750rpm）の2段階に変速可能である。

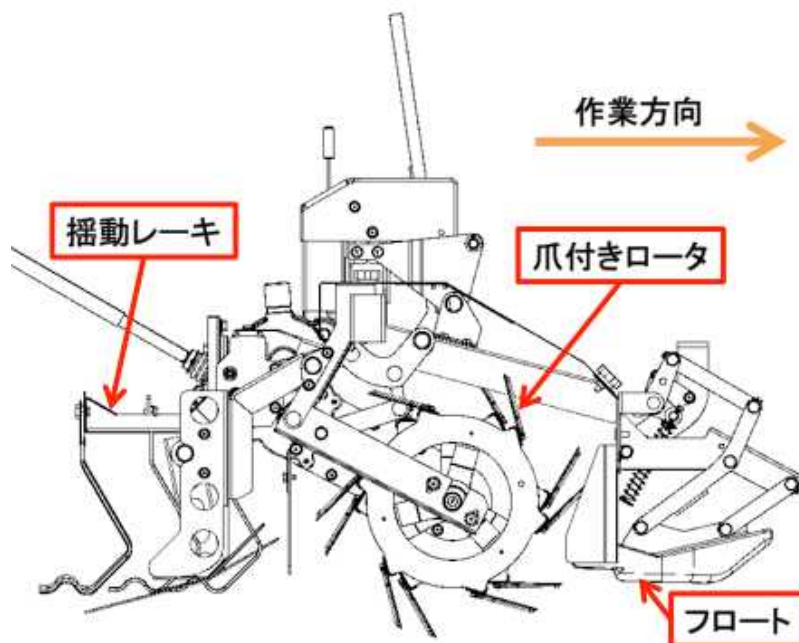
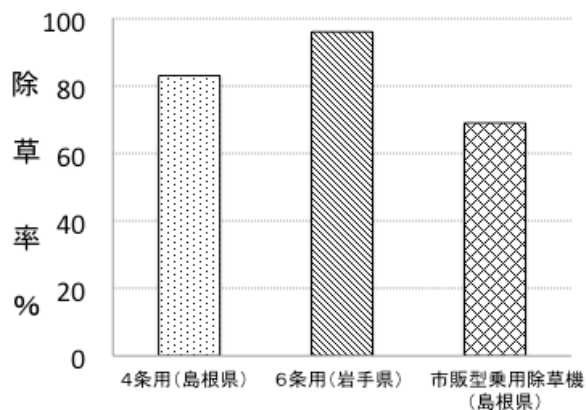


図2 水田用除草装置の除草機構

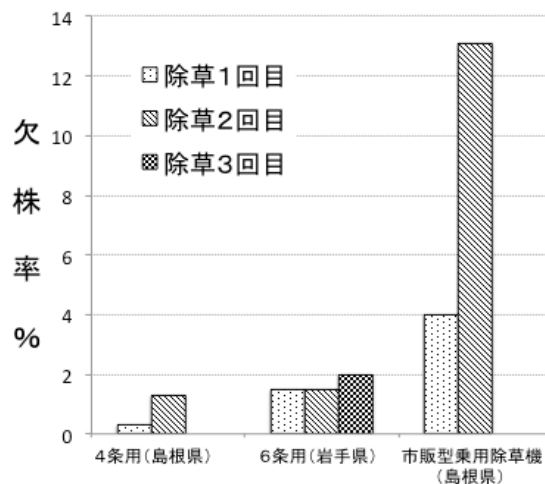
3. 開発装置の性能・特徴

本装置の除草効果と欠株率を調査するため、4条用については島根県、6条用については岩手県で除草試験を行った。島根県における4条用装置の試験では、除草作業を2回（除草時期6月、移植後5日、15日）行い、岩手県における6条用装置の試験では、除草作業を3回（除草時期6月、移植後9日、16日、21日）行った。両試験とも、試験面積は約10a、作業速度は約1.1～1.2m/sで除草作業を行い、除草効果と欠株率を調査した。その結果、島根県での試験では、2回の除草作業で除草率は80%以上であり、岩手県では3回の除草作業で除草率は90%以上と高い除草効果を確認した（図3）。また、除草部のずれが少なく、条間ロータと苗の接触が減少したことで、両試験とも欠株率は3%以下と低かった（図4）。以上より、開発装置は、約1.2m/sで除草作業を行った場合にも、高い除草効果が得られ、欠株率も低いことが確認された。



島根県での試験は2回除草(移植後5日、15日)
 岩手県での試験は3回除草(移植後9日、16日、21日)
 除草時期6月、試験面積10a、作業速度約1.1~1.2m/s
 市販型乗用除草機は作業速度約0.6m/s

図3 水田用除草装置の除草効果



島根県での試験は2回除草(移植後5日、15日)
 岩手県での試験は3回除草(移植後9日、16日、21日)
 除草時期6月、試験面積10a、作業速度約1.1~1.2m/s
 市販型乗用除草機は作業速度約0.6m/s

図4 水田用除草装置の欠株率

また、本装置の特徴の一つとして、除草作業の視認性の良さが挙げられる。本装置を3輪型乗用管理機の車体中央の搭載することにより、作業者が車両座席に着座した場合にも、本装置を目視で確認すること可能である(図5)。これにより、精度の高い除草作業が可能である。



図5 着座位置からの作業者の視線

4. 雑草防除に役立つチェーン除草機と米ぬか散布装置

水田用除草装置の開発とともに、雑草防除に役立つチェーン除草機と米ぬか散布装置を開発した(図6、7)。チェーン除草機は、乗用管理機の後部に装着し、牽引する。チェーンの高さは手動で調整することができる。チェーン除草機は、水田用除草装置による機械除草と併用して使用することができ、

併用することで株間の除草効果が高くなる（図6）。



図6 チェーン除草機と水田用除草装置との併用

米ぬか散布機は、チェーン除草機と同様に乗用管理機の後部に装着し、走行しながら米ぬかを散布することができる（図7）。米ぬかの散布量は、調整可能である。生研センターにおける試験では、機械除草と米ぬか散布を併用することにより雑草防除効果が高くなることを確認している⁹⁾。本試験の結果、機械除草と米ぬか散布の併用により、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た。

両装置と開発した水田用除草装置を併用することにより、除草効果の向上と雑草防除に関する労力の省力化が可能である。

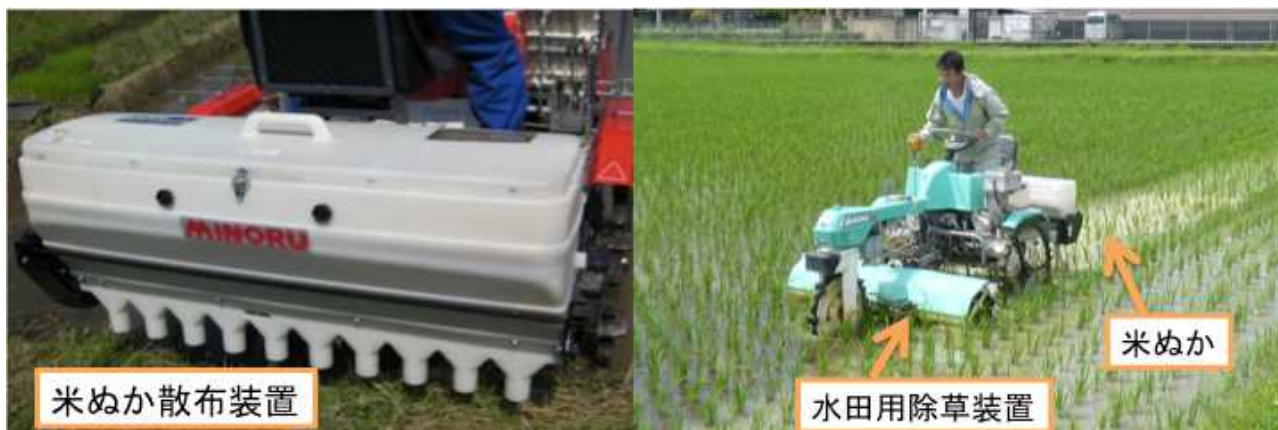


図7 米ぬか散布装置と水田用除草装置との併用

5. 今後の予定と留意点

本装置は、みのる産業（株）より、2015年春に4条用から市販予定である。価格については、現在調整中である。また、本装置は、除草効果を高めるために細かな設定が可能であり、さらにチェーン除草機や米ぬか散布装置も同時に使用可能であることから、有機水稻栽培における雑草管理に非常に

適したものとなっている。しかし、有機水稲栽培では、様々な条件の圃場が存在するため、本装置普及の際には、導入地域に適した使用方法等も含めて普及指導する必要があると考えている。

おわりに

現在の有機水稲栽培では、雑草防除が緊急な課題となっている。さらに、生産者の高齢化に伴い、雑草防除にかかる労力の削減は、早急に解決すべき問題である。

開発装置は、作業能率が高いことから、除草作業に係る労力を大幅に低減でき、さらに、チェーン除草や米ぬか散布を併用することも可能なため、除草作業の一層の省力化に貢献できると考えている。今後、本装置が減・無農薬水稲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。

なお、本装置を開発するにあたり、中央農業総合研究センター、島根県農業技術センター、滋賀県農業技術振興センター、岩手県農業研究センター、福井県農業試験場、神戸大の方々に多大なご協力を頂いた。ここに記して深くお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 農林水産省(2014)、平成24年度認定事業者に係る格付実績、http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/jiseki_h24_260214r.pdf
- 2) 農林水産省(2004)環境保全型農業(稲作)推進農家の経営分析調査報告、農林水産省統計部、p26
- 3) 上野敏昭(2003)、水稲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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 平成14年～18年度生研センター事業報告
- 9) 吉田隆延ら(2010)、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、平成21年度生研センター研究報告会資料、23-31

高能率水稻種子消毒装置の開発

生産システム研究部	野田崇啓、日高靖之
山形県農業総合研究センター	越智昭彦
埼玉県農林総合研究センター	酒井和彦
石川県農業総合研究センター	藪哲男、上垣陽平
富山県農林水産総合技術センター	守川俊幸、三室元気
島根県農業技術センター	磯田淳
広島県立総合技術研究所 農業技術センター	星野滋
大阪市立大学大学院 工学研究科	伊與田浩志、辻岡哲夫
東京農工大学大学院 農学研究院	有江力
共同研究実施企業	(株)山本製作所

はじめに	16
1. 開発目標	16
2. 開発機の概要	16
1) 開発機の構成	16
2) 開発機による処理の概要	18
3. 開発機の性能	19
1) 発芽率への影響	19
2) 水稻種子伝染性病害に対する防除効果	20
3) 作業能率と種子消毒コスト	25
おわりに	26
参考文献	26

はじめに

近年、環境負荷低減、安全・安心な水稻種子の消毒法として、薬液消毒に替わり、熱で種子伝染性由来の病原菌を殺菌する温湯浸漬消毒法（以下、温湯処理）の普及が進んでいる。温湯処理はその普及が拡大する一方、生産現場からは高能率化に関する要望も聞かれる。特に温湯処理後の種子について、即座に育苗を行わない場合は、種子を貯蔵するために再度乾燥を行う必要が生じるが、加水した種子の乾燥に要する労力およびエネルギーの消費は不可避となる。このように、農薬を用いない環境保全型の種子消毒技術には高能率化と低コスト化のニーズがある。

そこで、平成23年度から第4次農業機械等緊急開発事業において、(株)山本製作所との共同研究により、水蒸気の凝縮熱を利用した水稻種子消毒（以下、蒸気処理）の技術開発と装置開発を行った。蒸気処理は湿熱処理でありながら、種子の吸水が少ないため、脱水・乾燥の大幅な簡略化を図ることができる。そのため、高能率かつ低コストな作業体系を構築することができる。本報では、開発した装置の概要とその性能を報告する。

1. 開発目標

開発機の基本コンセプトは、「種子消毒から冷却・乾燥まで連続処理が可能な装置」とした。具体的な開発目標として、以下の4点を定めた。

- ① 水稻種子の消毒作業能率は100kg/h（複数台の並列処理で大型施設向け機種としても対応）
- ② ランニングコスト3割削減（温湯消毒工程の種子消毒処理～乾燥工程までとの比較による）
- ③ 処理後の水稻種子発芽率は90%以上を確保
- ④ 病害防除効果は温湯消毒と同等か、それ以上

2. 開発機の概要

1) 開発機の構成

開発した連続式水稻種子消毒装置（以下、開発機）による種子の流れを図1、外観写真を図2、構成を図3、仕様を表1に示す。開発機は過熱水蒸気と高温空気の混合気体発生部（以下、蒸気生成部）、種子の熱処理部および種子の冷却・乾燥部より構成する。

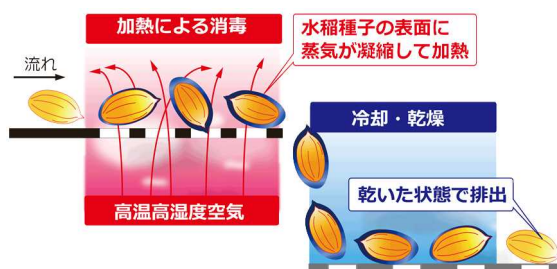


図1 開発機での種子の流れ



図2 開発機の外観

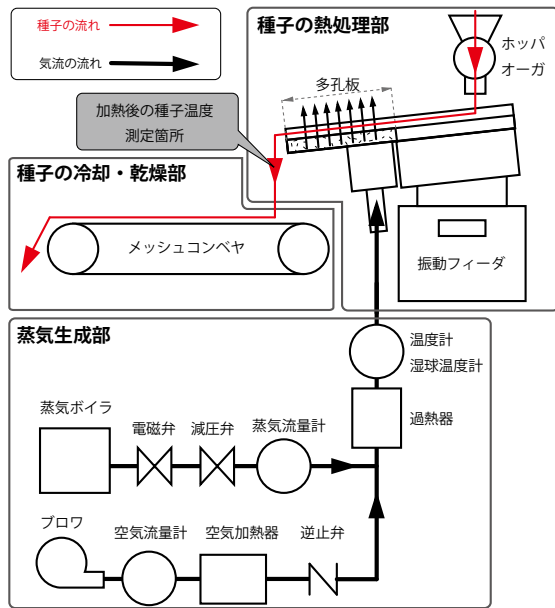


図3 開発機の構成

表1 開発機の仕様

機体寸法 (全長(mm)×全幅(mm)×全高(mm))	5200×1010×1930	
機体質量 (kg)	667	
処理能力 (kg/h) <熱処理から冷却・乾燥まで>	100~150	
定格電圧	三相200V	
最大同時使用電力 (kW)	12.2	
最大同時使用電流 (A)	35.5	
所要飽和水蒸気量 (kg/h)	26	
蒸気生成部	主要構成部品と 定格出力(kW)	0.85
	吸気送風機	3
	1次加熱器	7.5
	2次加熱器	0.01
	電磁弁	0.1
熱処理部	主要構成部品と 定格出力(kW)	0.09
	ローターバルブ	0.18
	振動フィーダ	0.2
冷却・乾燥部	主要構成部品と 定格出力(kW)	0.2
	ネットコンベヤ	

(1) 蒸気生成部

蒸気生成部は、気流の温度、湿度、風量を制御した高温高湿度の気流を生成し、同気流を種子の熱処理部へ供給する部位である。主要構成部品は、飽和蒸気を発生させるボイラ、熱風を発生させる空気加熱器とブロワ、両者を混合し所定の気流温度まで昇温させる過熱器、および各種センサである。

蒸気生成部での気流生成方法を以下に示す。まず、周波数を固定したブロワによって一定風量の気流を生成し、空気流量計によりその風量を検知する。同気流は、空気加熱器により 100℃以上まで昇温させ、熱風とする。同時にボイラを用いて飽和蒸気を生成する。飽和蒸気は、減圧弁による圧力操作によって流量を安定化させた後、蒸気流量計によってその流量を検知する。次に、流量を制御した熱風および飽和蒸気を配管中で混合し、過熱器で所定の気流温度まで昇温させる。以上の操作により生成した高温高湿度気流は、熱電対と湿球温度計（熱電対を内包した湿潤状態の医療用ガーゼ）¹⁾により、気流の温度と湿度を検知し、後述の種子の熱処理部へと供給される。

なお本開発機では、飽和蒸気発生用（所要量 26kg/h）に市販の小型ボイラ（三浦工業製、SZ100、灯油燃焼、貫流型、相当蒸発量 100 kg/h）を用いた。

(2) 熱処理部

種子の熱処理部は、蒸気生成部の気流により水稻種子を連続的に加熱処理する部位である。蒸気生成部の気流が種子に触れると、種子近傍の同気流は種子によって冷却され、飽和水蒸気圧が低下し、水蒸気が種子表面に凝縮水となって付着する。その際に種子へ凝縮潜熱を与える。種子の熱処理部では、この加熱工程を利用し、種子表面を急速に加熱し、病原菌を湿熱で殺菌することをねらいとする。

開発機での種子の連続処理機構として、開発期間中、振動搬送と落下搬送の2方式を比較検討した

結果、振動搬送の方がいもち病とばか苗病に対して高い防除効果を発揮した²⁾。そのため、開発機は種子の搬送に振動搬送を用いた。振動搬送では、種子と気流を接触させるため、搬送板の一部を多孔板とし、孔内に気流を通過させる構造、すなわち、振動フィーダにて種子を薄い層で搬送しつつ、搬送過程で設けた多孔板上で気流と種子を接触させて加熱を行う構造とした。種子の供給量は、ホップの排出部に設けたロータリーバルブの回転数によって、種子の搬送時間は、振動フィーダの振幅制御によって、それぞれ任意の値に調節可能な構造とした。

(3) 冷却・乾燥部

種子の冷却・乾燥部は、凝縮水が付着して高温状態となった種子を常温下で薄く広げて搬送し、冷却と乾燥を行う構造とした。具体的には、種子の熱処理部から流下した水稻種子を、通気性の保てるメッシュ状のベルトコンベヤで受け、搬送中に冷却と乾燥を行う構造である。搬送後は、コンベヤ端部にコンテナを設け、水稻種子を回収する構造とした。

2) 開発機による蒸気処理の概要

蒸気処理においては、加熱媒体となる気流の温度、湿度、風量、さらに加熱時間などの複数要因が、種子の発芽率と消毒効果に影響する³⁾。しかし、これら全ての因子を時間的・空間的に一定となるよう制御することは極めて困難である。

そこで開発機では、穀物乾燥分野における穀温と発芽率の関係⁴⁾を参考に、「加熱後の種子温度」という指標を用い、種子の温度変化に着目した処理について検討を行った。ここで、加熱後の種子温度とは、熱処理部通過直後の種子を真空断熱瓶に回収し、瓶内が安定した際の温度と定義した。

開発機を用いて種々の加熱条件を設定の上、加熱後の種子温度と冷却・乾燥後の種子の発芽率の関係を調査した結果、加熱後の種子温度は水稻種子の発芽率と密接な関係があること(図4)、加熱後の種子温度を高くするほど、水稻種子の消毒効果の向上が期待できること(図5)が明らかとなった。

以上の技術的知見に基づき、開発機は加熱後の種子温度制御を基本原理とした。また、水稻種子を対象とする場合、同温度を75±1℃とすることを適処理条件と定めた。

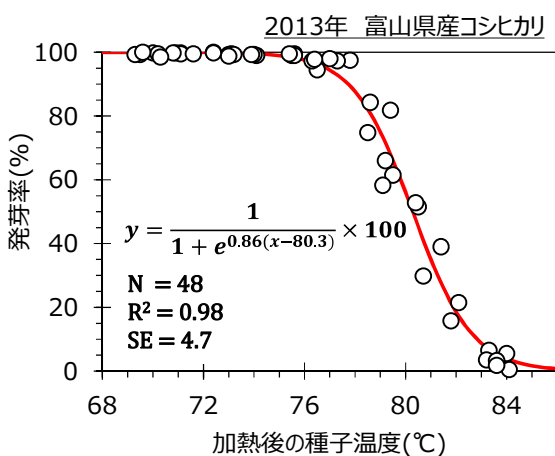


図4 加熱後の種子温度と発芽率の関係

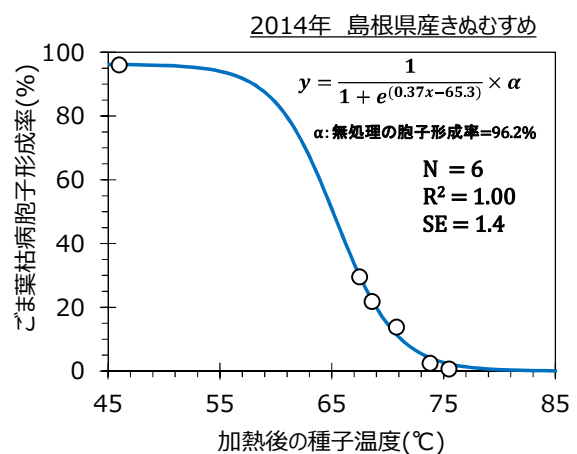


図5 加熱後の種子温度とごま葉枯病菌保菌率の関係

3. 開発機の性能

1) 発芽率への影響

開発機による蒸気処理が、水稻種子の発芽に及ぼす影響について、実際の消毒対象となる多種の市販水稻種子を対象に評価した。市販水稻種子は産地または品種の異なる延べ15種を準備した。対照区として、無処理、温湯処理(60°C, 10分)を設けた。

試験結果を表2に示す。

表2 市販水稻種子での発芽率試験結果

ID	産地	品種	発芽勢(%)			発芽率(%)		
			蒸気処理	温湯処理	無処理	蒸気処理	温湯処理	無処理
A	富山県	ひとめぼれ	95 a	<u>80</u> b	95 a	100 a	99 a	99 a
B	富山県	ヒノヒカリ	<u>16</u> a	<u>0</u> b	52 c	100 a	99 a	99 a
C	富山県	あきたこまち	91 a	<u>80</u> b	95 a	97 a	97 a	99 a
D	富山県	キヌヒカリ	85 a	<u>52</u> b	93 a	96 a	<u>92</u> b	97 a
E	富山県	コシヒカリ	93 a	87 a	97 a	99 a	99 a	100 a
F	山形県	ササニシキ	96 a	<u>32</u> b	96 a	98 a	97 a	99 a
G	山形県	ひとめぼれ	74 a	40 a	78 a	99 a	99 a	100 a
H	山形県	コシヒカリ	77 a	57 a	74 a	99 a	100 a	100 a
I	山形県	あきたこまち	85 a	50 a	88 a	98 a	98 a	99 a
J	山形県	はえぬき	85 a	74 a	88 a	98 a	100 a	100 a
K	富山県	ヒメノモチ	96 a	<u>17</u> b	97 a	98 a	100 a	99 a
L	富山県	コガネモチ	95 a	<u>87</u> b	97 a	96 a	94 a	99 a
M	山形県	こゆきもち	98 a	<u>71</u> b	97 a	100 a	99 a	99 a
N	山形県	ヒメノモチ	92 a	<u>73</u> b	94 a	98 a	95 a	98 a
O	山形県	でわのもち	92 a	<u>65</u> b	92 a	99 a	99 a	99 a

※) 発芽勢および発芽率は4反復の平均値を示す。異なる英小文字間で有意差有り(5%水準, Tukey検定)

水稻種子の発芽率は、主要農産物種子法の生産物審査において90%以上と定められており、90%を下回ると不合格、すなわち種子としての商品価値を失うため、確実に守られるべき指標である。蒸気処理の発芽率は、いずれの種子においても無処理に比して低下は認められなかった。温湯処理の発芽率は、1品種(富山県産キヌヒカリ)のみ僅かに低下が認められたものの、発芽審査基準の90%を上回っており、実用上、特に問題は無いと考えられた。

一方、発芽の速さや揃いを示す発芽勢(発芽試験開始から5日後の発芽率)は、蒸気処理では1品種(富山県産キヌヒカリ)、温湯処理では複数品種において、無処理に比して低下が認められた(危険率

5%)。また、その低下程度は、蒸気処理よりも温湯処理の方が大きかった。

これより、蒸気処理を 75±1℃に設定した際の水稲種子の発芽への影響は、温湯処理に比べ小さく、実用上問題ないと考えられた。

2) 水稲種子伝染性病害に対する防除効果

開発機による蒸気処理の水稲種子伝染性病害に対する防除効果を評価した。水稲種子伝染性病害は日本で問題となっている全7種を対象とし、各県農試の病理担当者に協力を仰ぎ、表3に示す試験条件および試験区を設計し、評価を行った。

表3 病害防除効果の試験条件・試験区一覧

病原	対象病害	評価機関	保菌種子		評価方法	対照区	
			品種	調製方法 ^{a)}		薬剤処理 ^{b)}	温湯処理
	いもち病	山形県	ササニシキ	自然感染	保菌率	オキシリニック酸・プロクロラズ水和剤,20倍,10分	60℃-10分
		島根県	コシヒカリ	自然感染	発病苗率	チウラム・ベノミル水和剤,20倍,10分	60℃-10分
糸状菌	ばか苗病	富山県	短銀坊主	開花期噴霧接種 10%混和	発病苗率	イブコナゾール・銅水和剤,200倍,24時間	60℃-10分
		山形県	はえぬき	自然感染	保菌率	オキシリニック酸・プロクロラズ水和剤,20倍,10分	60℃-10分
	ごま葉枯病	島根県	きぬむすめ	自然感染	発病度	金属銀水和剤,400倍,24時間	60℃-10分
	苗立枯細菌病	石川県	コシヒカリ	開花期噴霧接種 10%混和	発病度	イブコナゾール・銅水和剤,200倍,24時間	60℃-10分
		石川県	コシヒカリ	開花期噴霧接種	保菌率	イブコナゾール・銅水和剤,200倍,24時間	60℃-10分
細菌	もみ枯細菌病	埼玉県	彩のかがやき	自然感染	発病度	オキシリニック酸水和剤,200倍,24時間	60℃-15分
		富山県	コシヒカリ	開花期噴霧接種 50%混和	発病度	イブコナゾール・銅水和剤,200倍,24時間	60℃-10分
	褐条病	富山県	コシヒカリ	開花期噴霧接種 50%混和	発病度	イブコナゾール・銅水和剤,200倍,24時間	60℃-10分
線虫	イネシガレセンチュウ	広島県	キヌヒカリ	自然感染	線虫生存率	無し	60℃-10分

a) 自然感染種子または人工汚染種子を使用。開花期噴霧接種による人工汚染種子を使用する際は、初期汚染度を調節するため、同一品種の健全種子と混和して使用。表中の%表記は、開花期噴霧接種種子の質量混入割合を示す。

b) 対象薬剤の種類、希釈率、浸漬時間を示す。イネシガレセンチュウでは薬剤処理の試験区無し。

(1) いもち病

いもち病菌の保菌率は、ブロッター法によるいもち病菌の孢子形成率（粒数割合）を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、籾表面の保菌率は、無処理の25.0%に対し、蒸気処理では0%であっ

た。玄米表面の保菌率は、無処理の 18.2%に対し、蒸気処理では 0%であった。温湯処理と薬液処理も同じく、籾表面、玄米表面のいずれも 0%であった (図 6)。

いもち病の発病苗率は、育苗期間中の苗いもちの苗数割合を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、無処理での発病苗率 6.0%の条件下において、蒸気処理は 0%となった。温湯処理と薬液処理も同様に 0%であった (図 6)。

これより、蒸気処理のいもち病に対する防除効果は、温湯処理や薬液処理と同等で、実用性があると考えた。

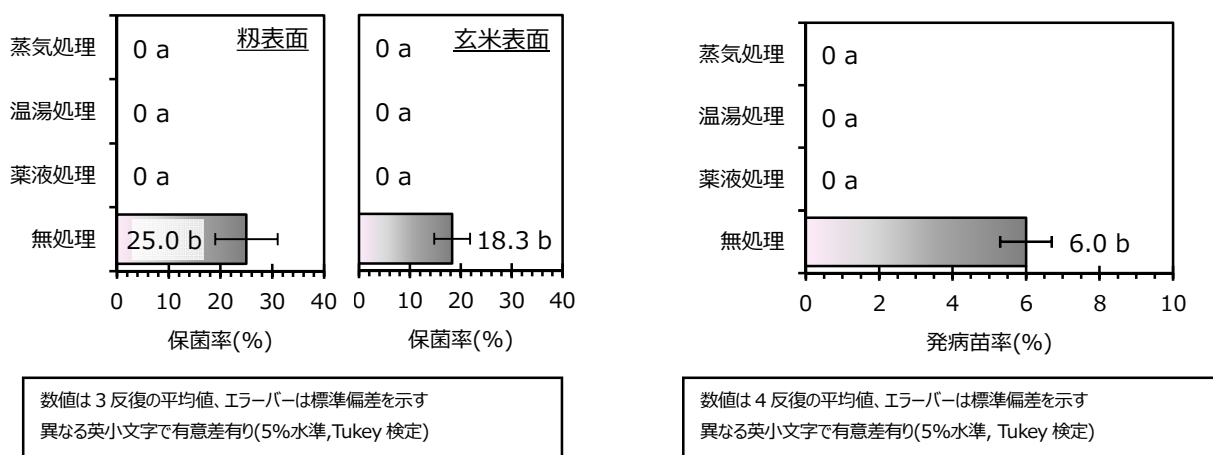


図 6 いもち病に対する防除効果

(2) ばか苗病

ばか苗病菌の保菌率は、種子を *Fusarium* 菌の選択培地 Fo-G2⁵⁾ 上に置床後のコロニー形成率 (粒数割合) を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、保菌率は、無処理の 94.3%に対し、蒸気処理では 21.0%に低減した。薬液処理は 0%、温湯処理は 36.7%であった。蒸気処理は、薬液処理には劣るものの、温湯処理と同等の効果であった (図 7)。

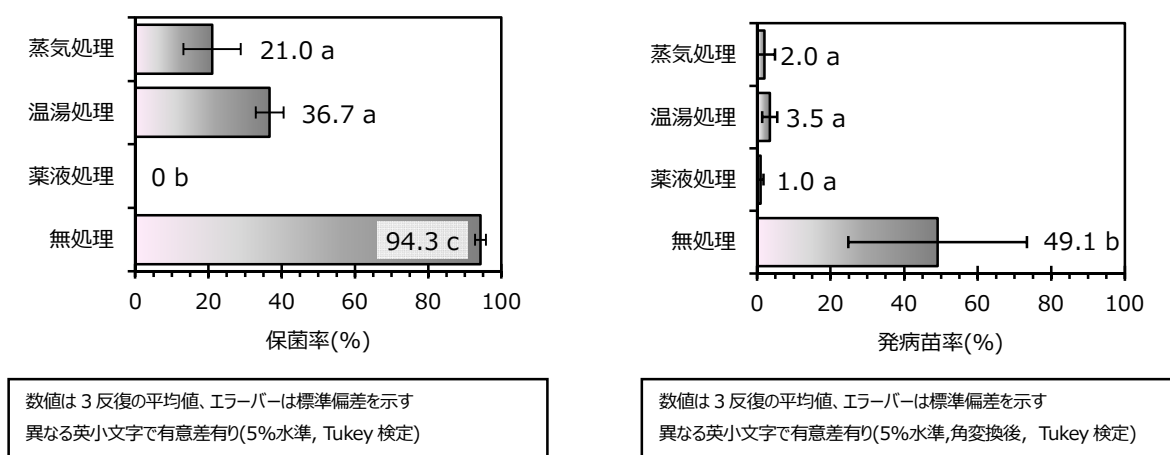


図 7 ばか苗病に対する防除効果

ばか苗病の発病苗率は、育苗期間中の徒長苗数割合を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、

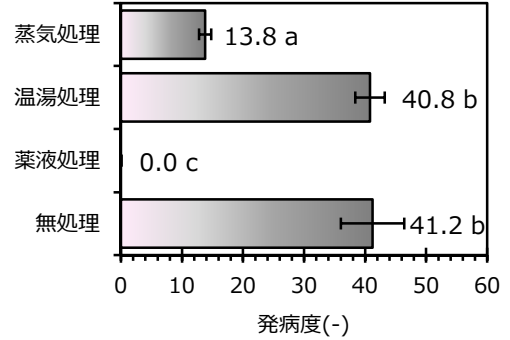
無処理での発病苗率 49.1%の条件下において、蒸気処理は 2.0%に低減した。慣行の薬液処理は 1.0%、温湯処理は 3.5%であった。蒸気処理、薬液処理、温湯処理の間に有意差は認められなかった(図 7)。

これより、蒸気処理のばか苗病に対する防除効果は、殺菌効果の面では薬液処理に及ばないものの、温湯処理と同等で、実用性があると考えた。

(3) ごま葉枯病

ごま葉枯病の発病度は、育苗中の発病苗数とその発病程度によって重み付けをした指標(0~100)を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、無処理での発病度 41.2 の条件下において、蒸気処理では 13.8 と低減した。薬液処理の発病度は 0.0 と最も効果が高かった。一方、温湯処理の発病度は 40.8 であり、無処理との間に有意差は認められなかった(図 8)。

これより、蒸気処理のごま葉枯病に対する防除効果は、薬液処理には及ばないものの、温湯処理よりも高く、実用性があると考えた。

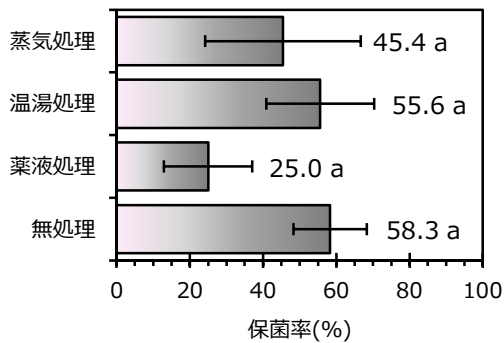


数値は 4 反復の平均値、エラーバーは標準偏差を示す
異なる英小文字で有意差有り(5%水準, 角変換後, Tukey 検定)
発病度は、「イネ・ムギ等殺菌剤圃場試験法(日本植物防疫協会編)」の算定式に基づき算出

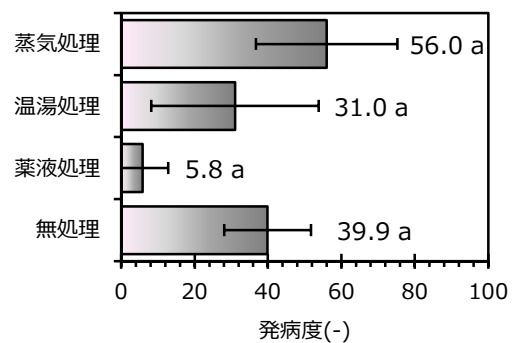
図 8 ごま葉枯病に対する防除効果

(4) 苗立枯細菌病

苗立枯細菌病の保菌率は、種子を識別培地である AFDT 培地⁶⁾上に置床後のコロニー形成率(粒数割合)を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、無処理の保菌率 58.3%に対し、蒸気処理は 45.4%、温湯処理は 55.6%であった。薬液処理は 25.0%と試験区の中で最も効果が高かったものの、いずれの条件間においても有意差は認められなかった(図 9)。



数値は 3 反復の平均値、エラーバーは標準偏差を示す
異なる英小文字で有意差有り(5%水準, Tukey 検定)



数値は 3 反復の平均値、エラーバーは標準偏差を示す
異なる英小文字で有意差有り(5%水準, Tukey 検定)
発病度は以下の算定式に基づき算出。
発病度 = $\{\sum(\text{発病指数} \times \text{発病苗数}) / (3 \times \text{調査苗数})\} \times 100$
発病指数 5: 鞘葉の針状萎凋または枯死, 3: 葉の白化または株元の白化, 1: 葉の白化または鞘葉の異常展開

図 9 苗立枯細菌病に対する防除効果

苗立枯細菌病の発病度は、育苗中の発病苗数をその発病程度によって重み付けをした指標(0~100)を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、無処理での発病度 39.9 の条件下において、蒸気処理は 56.0 と効果が認められなかった。温湯処理の発病度は 31.0 と無処理に比して僅かに低減した。薬液処理の発病度は 5.8 と最も効果が高かった。しかしながら、いずれの試験条件間においても有意差は認められなかった(図9)。

これより、蒸気処理の苗立枯細菌病に対する防除効果は、温湯処理と同等で、十分な効果は認められないと考えた。

(5) もみ枯細菌病

もみ枯細菌病の発病度は、育苗中の発病苗数をその発病程度によって重み付けをした指標(0~100)を示す。本指標に基づく評価を埼玉県と富山県でそれぞれ実施した。

埼玉県における発病度は、無処理で 4.7 の条件下において、蒸気処理は 3.2 であった。温湯処理は 9.4、薬液処理は 4.2 であり、いずれの条件においても有意差は認められなかった(図10)。

富山県における発病度は、無処理で 6.9 の条件下において、蒸気処理は 10.4、温湯処理は 5.4 であり、両試験区ともに十分な効果が認められなかった。薬液処理は 1.9 であり、最も効果が高かった。しかしながら、いずれの条件間においても有意差は認められなかった(図10)。

これより、蒸気処理のもみ枯細菌病に対する防除効果は、温湯処理と同等で、十分な効果は認められないと考えた。

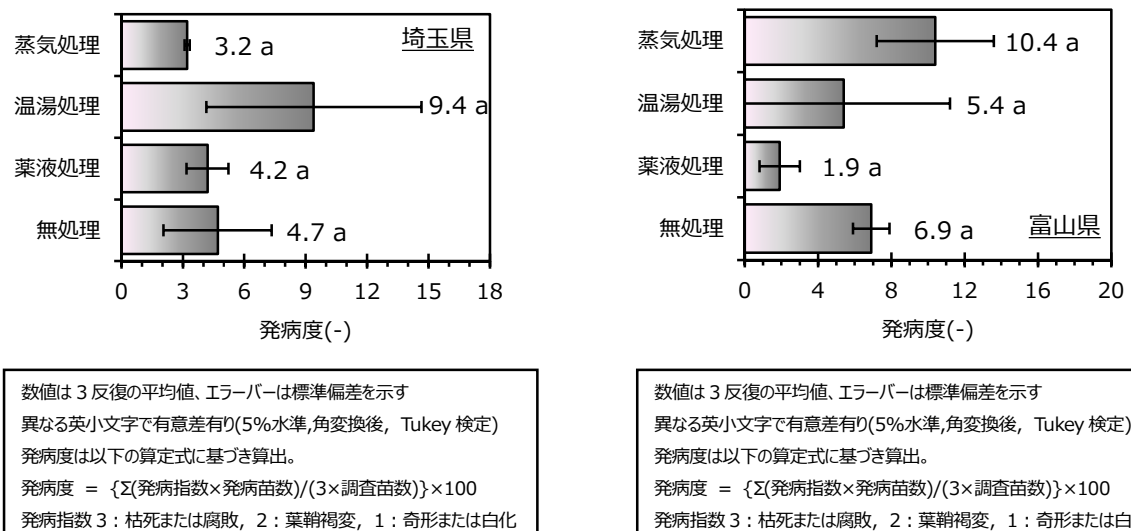


図10 もみ枯細菌病に対する防除効果

(6) 褐条病

褐条病の発病度は、育苗中の発病苗数をその発病程度によって重み付けをした指標(0~100)を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、無処理で 9.6 の条件下において、蒸気処理は 6.4 と低減した。しかしながら、無処理との間に有意差は認められなかった。温湯処理も同様に、4.1 と発病度の低下を認めたが、無処理との間に有意差は認められなかった。薬液処理の発病度は 1.9 と最も効果的

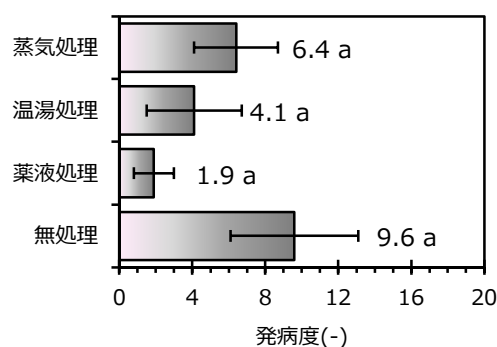
であった (図 11)。

これより、蒸気処理の褐条病に対する防除効果は、温湯処理と同等で、十分な効果は認められないと考えた。

(7) イネシンガレセンチュウ

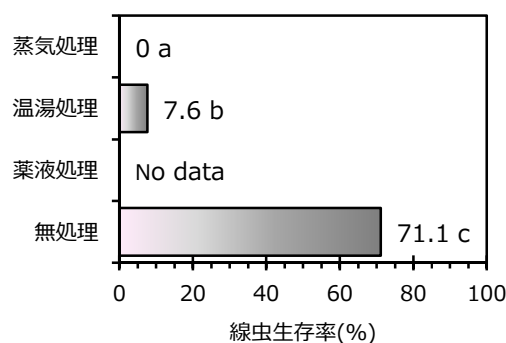
線虫生存率は、星野・富樫法⁷⁾により水稻種子に生存する線虫数割合を示す。本指標に基づき評価を実施した結果、無処理での線虫生存率が 71.1%の条件下において、蒸気処理では 0%と高い効果を示した。温湯消毒では 7.6%と僅かながら生存線虫を認め、蒸気処理よりも効果が劣った (図 12)。

これより、蒸気処理のイネシンガレセンチュウに対する防除効果は、温湯処理よりも高く、実用性があると考えた。



数値は 3 反復の平均値、エラーバーは標準偏差を示す
異なる英小文字で有意差有り(5%水準,角変換後, Tukey 検定)
発病度は、「イネ・ムギ等殺菌剤圃場試験法 (日本植物防疫協会編)」の算定式に基づき算出

図 11 褐条病に対する防除効果



異なる英小文字で有意差有り(1%水準, Fisher 検定)

図 12 イネシンガレセンチュウに対する防除効果

(8) 病害防除効果の結果総括と考察

加熱後の種子温度を $75 \pm 1^\circ\text{C}$ に設定し、開発機により蒸気処理を行った結果、蒸気処理はカビと線虫由来の病害に対しては効果的であり、温湯処理と同等、また一部病害に対しては、温湯処理を上回る効果を認めた。一方、細菌病に対する防除効果は、温湯処理と同様に極めて限定的か、効果が認められなかった。また、その試験結果は、糸状菌病に比して反復誤差が大きいものであった。

既往の研究において、熱による種子消毒は、細菌性病害への効果が不安定であることが報告されている⁸⁾。新潟県は、もみ枯細菌病に対する温湯処理 (60°C 、10 分) の防除効果について、延べ 11 回に渡って反復試験を行った結果、試験結果の反復誤差が極めて大きいこと、場合によっては無処理よりも発病を促す場合があることを報告している⁹⁾。また、細菌病の発病には、種子消毒後の浸種・催芽・育苗環境などが影響しているとの報告もある¹⁰⁾。以上を踏まえると、細菌病に対する防除効果が大きくばらつく理由は、熱処理後に微生物群の拮抗状態が大きく変化すること、僅かに生存した病原微生物の活動が活発化し、再汚染の可能性があること、などが考えられる。

温湯処理では、細菌病に対する防除対策として、催芽中に食酢を混入する方法¹¹⁾、微生物農薬と併

用する方法¹²⁾が提案されており、一部の地域で実施されている。蒸気処理においても同様に、細菌病に対して有効な消毒方法との併用効果を見出す必要がある。

3) 作業能率と種子消毒コスト

開発機による蒸気処理(図13)の作業能率と種子消毒コストを評価した。対照区として温湯消毒体系(温湯消毒装置、冷却槽、脱水器、乾燥機)を設けた(図14)。開発機は、水稻種子を円滑に連続処理でき、その作業能率は106kg/h、ランニングコストは4.1円/kgと試算した。人件費を含むランニングコストは11.7円/kgであり、温湯消毒体系の26.2円/kgと比べ、約5割削減できる試算となった(表4)。

さらに消毒処理後の水稻種子をハウス内で育苗した結果、育苗中の出芽不良や生育不良も無く、栽培面での悪影響は認められなかった(図15)。

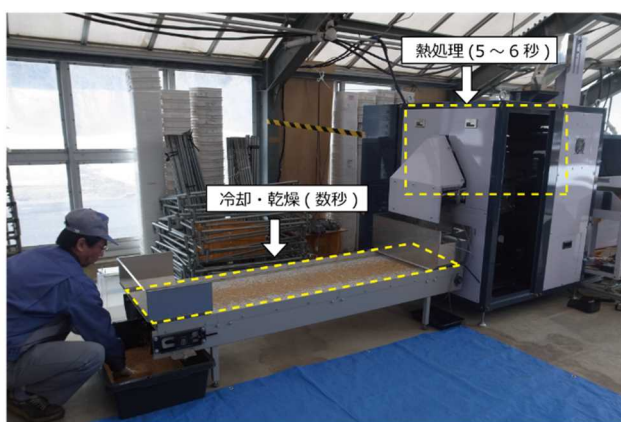


図13 開発機作業体系

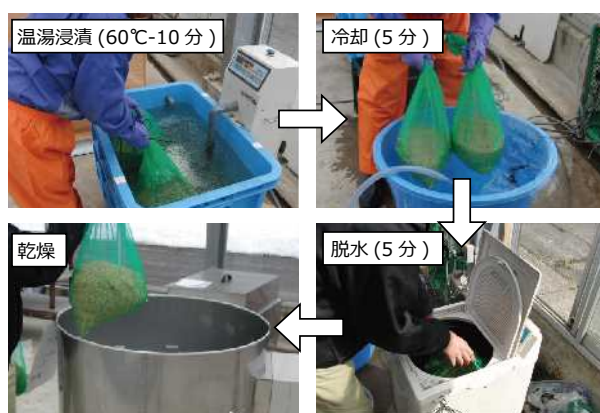


図14 比較した温湯消毒体系

表4 作業能率・コスト比較結果

評価項目	工程	蒸気	温湯
工程別 作業能率	熱処理(kg/h)	106	48
	冷却(kg/h)		96
	脱水(kg/h)		96
	乾燥(kg/h)		19
通し作業での作業能率(kg/h)		106	12
工程別 ランニング コスト	暖気運転(円)	325	324
	熱処理(円/kg)	4.1	1.3
	冷却(円/kg)		1.8
	脱水(円/kg)		0.1
乾燥(円/kg)	0.9		
熱処理から乾 燥までのコスト	人件費除く(円/kg)	4.1	4.0
	人件費含む(円/kg)	11.7	26.2

・蒸気処理は、60kgの種子を作業員1名で処理
 ・温湯処理は、24kgの種子を作業員1名で工程別にバッチ処理、乾燥工程に人件費は含まないとした。
 ・単価は、電気代20円/kWh、上下水道代0.4円/L、灯油代100円/L、人件費800円/hとした。

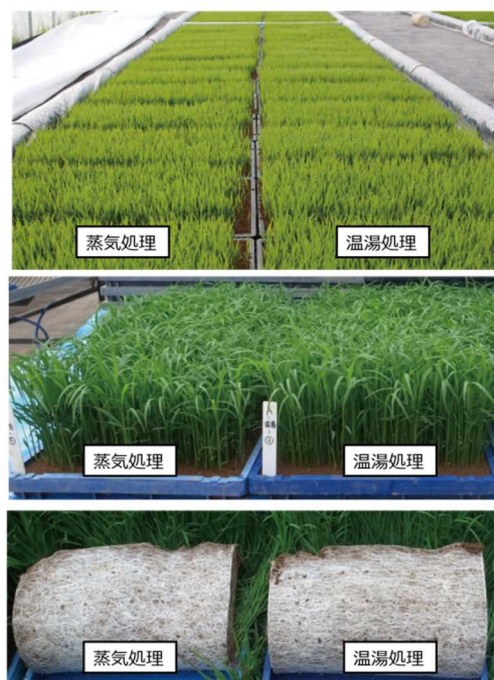


図15 育苗した苗の様子

おわりに

以上、開発目標を達成した蒸気処理による水稻種子消毒装置を開発した。

蒸気（高温高湿度空気）を利用した穀物の種子消毒技術の研究は海外でも先駆的に進められ、ヨーロッパの麦生産で既に実用化されている¹³⁾。同技術は、日本の穀物種子消毒への利用が検討されている状況である¹⁴⁾。我々の開発情勢と時を同じくして、蒸気を利用した種子消毒技術が日本で注目されたことは、日本の水稻生産において好ましい状況と考えられる。緊プロ開発機においても、麦類種子への消毒利用が期待でき、開発期間中、小麦ではなまぐさ黒穂病（カビ由来の病害）について防除効果を確認している¹⁵⁾。今後は、開発機の麦類種子への適用拡大についても本格的に着手する予定である。

また、開発機による水稻種子消毒においては、生産現場における実証試験が不足している状況である。今後は、現地実証試験などを通じて、現場での作業適応性や装置の耐久性・信頼性を確認するなど装置の完成を図り、早期実用化を進めていきたい。

参考文献

- 1) 伊與田浩志, 一色翔悟, 井上保, 山形純子, 2012. 球状湿潤材料の温度測定による過熱水蒸気と空気混合比の簡易測定（高温高湿度域に拡張した断熱冷却線に基づく推算）, 日本機械学会論文集, B78, 1267-1278.
- 2) 越智昭彦, 野田崇啓, 日高靖之, 伊與田浩志, 中村透, 2013. 過熱水蒸気を利用したイネいもち病およびばか苗病の種子消毒効果. 北日本病虫研報, 64, 29-34.
- 3) 野田崇啓, 伊與田浩志, 日高靖之, 井上保, 横江未央, 2014. 水蒸気の凝縮熱を利用した環境保全型水稻種子消毒技術に関する研究. 農業食料工学会誌, 76(6), 555-563.
- 4) Nellist, M. E., 1980. Safe drying temperature for seed grain. P. D. Hebblethwaite, Seed Production. Butterworths, London, 371-388.
- 5) Nishimura, N., 2007. Selective media for *Fusarium oxysporum*. Journal of General Plant Pathology, 73, 342-8.
- 6) 守川俊幸, 松崎卓志, 向畠博行, 1998. イネ苗立枯細菌病菌の分離用培地と籾からの検出. 北陸病害虫研報, 46, 96.
- 7) Hoshino, S., Togashi, K., 1999. A Simple method for determining *Aphelenchoides besseyi* infestation level of *Oryza Sativa* seeds, Journal of Nematology, 31(4S), 641-643.
- 8) 岡部繭子, 馬場正, 2011. 水稻種もみの温湯消毒法. 信州大学農学部紀要, 47(1-2), 25-33.
- 9) 新潟県農業総合研究所, 2009. 水稻の温湯消毒とタラロマイセス・フラバス水和剤を組み合わせた種子消毒法, 平成 21 年度新潟県農林水産業研究成果集,
<http://www.ari.pref.niigata.jp/nourinsui/seika09/katuyou/01/p090201.pdf>.
- 10) 山下亨, 酒井長雄, 江口直樹, 斎藤栄成, 1998. 育苗温度管理によるもみ枯細菌病菌の苗腐敗の発生抑制法, 関東東山病害虫研究会年報, 45, 15-17.

- 11) 関原順子, 向島博之, 2005. 温湯処理と催芽時食酢浸漬の組み合わせによる種籾消毒法, 平成 17 年度関東東海北陸農業研究成果情報, http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto17/15/17_15_02.html.
- 12) 小倉玲奈, 美濃健一, 白井佳代, 化学農薬によらない水稻の種子消毒法, 2009. 平成 21 年度北海道農業研究成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/org/harc/seika/h21/10.08/083/main.htm>.
- 13) Forsberg, G., 2004. Control of cereal seed-borne diseases by hot humid air seed treatment. Doctoral thesis of Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala, 1-12.
- 14) 農業協同組合新聞, 2014. JA 全農が穀類種子消毒技術で独占使用権取得
<http://www.jacom.or.jp/news/2014/03/news140327-23765.php>
- 15) 酒井和彦, 植竹恒夫, 野田崇啓, 日高靖之, 横江未央, 2013. 過熱水蒸気を利用した種子消毒装置によるコムギなまぐさ黒穂病の防除効果, 日本植物病理学会報, 79, 30.

チャの被覆資材の展開巻取りアタッチメントの開発

園芸工学研究部 深山大介、李 昇圭、原田一郎、宮崎昌宏
カワサキ機工株式会社 鈴木智久、山田健二、服部雅己

はじめに	30
1. 開発の背景	30
2. 開発機の概要	31
3. 開発機の性能	33
おわりに	34
参考文献	34

はじめに

遮光資材を茶樹に直接被覆する直接被覆栽培（直掛け被覆ともいう）は、高品質・高単価の茶が得られるため¹⁾²⁾、生産者にとって魅力的な栽培法として栽培面積が大幅に増加している。しかし、茶樹に遮光資材を展開被覆したり、巻き取って回収する作業は全て手作業で行われていることや、収穫繁忙期に資材の巻取りに多大な労力を必要とすることなどから、機械化による省力化が強く求められている。以上の背景を踏まえ、生研センターでは2012年（平成24年度）より第4次農業機械等緊急開発事業において、乗用型摘採機用の被覆資材展開・巻取りアタッチメントの開発に取り組み、近く実用化の見通しが得られたことから開発機の概要と性能について報告する。

1. 開発の背景

チャの直接被覆栽培は、収穫直前までの1~2週間、遮光資材（以下、資材）を茶樹の樹冠面に直接被覆する栽培法である（図1）。資材を展開して茶樹に被覆する作業や、資材を巻取り回収する作業、資材の運搬作業などは全て手作業で行われている（図2）。特に資材巻取り作業は、遮光栽培の効果を最大限維持するために収穫のごく直前に行う必要があり、収穫繁忙期に多大な労働力を要することから、作業の高能率化と省力化が強く求められている。資材展開作業と巻取り作業の現状を調査したところ、静岡県産地の展開作業は4人以上の組み作業で行われ、10a当たり投下労働時間が6.0~7.5人時、資材回収作業でも同様に3~8人の組み作業で10a当たり4.0~6.4人時の投下労働時間を要していた³⁾。



図1 直接被覆栽培の様子



(a) 資材展開

(b) 資材巻取り

(c) 運搬作業

図2 慣行作業の様子

2. 開発機の概要

直接被覆栽培の機械化技術開発にあたり、開発指標を以下の通りとした。①資材の展開と巻取りおよび運搬を機械化する、②乗用型茶摘採機に装着するアタッチメント方式とする、③資材を茶樹に固定する作業の省力化も進めること。これらを踏まえて開発機は、資材を茶樹の樹冠面に展開する展開アタッチメントと、資材を巻取り回収する巻取りアタッチメントで構成される。作業に応じて、どちらかのアタッチメントを乗用型茶摘採機の前部または後部に装着する方式とした。

1) 展開アタッチメント

展開アタッチメント（図3）は、一端を茶樹に固定したロール状の資材を保持し、走行しながら資材を茶樹の樹冠面に展開する。心棒がないロール状の資材を引き出すだけで作業ができる簡易な構造と、資材を展開するための動力を必要としない点が特徴である。作業は通常、機体後方にアタッチメントを装着し、オペレータ1名、補助者1名の組作業で行う。補助者は、展開開始時に資材の一端を引き出して茶樹に固定する作業や機械後方を追従して資材の固定や資材の手直しなどを行う。対応する資材は最大長50m、幅が2.2m以下の資材で、産地で一般的に利用されている資材に対応する。展開時の走行速度は約0.5m/sで、ベースとする乗用型摘採機の作業速度と同じである。



図3 展開アタッチメント

2) 巻取りアタッチメント

巻取りアタッチメント（図4）は、茶樹樹冠面に被覆している資材を走行しながら油圧モータ駆動の巻取り軸でロール状に巻き取る。油圧モータは、負荷に応じて回転速度を調節する機能により、資材にかかる張力を適切に保ちながら、緩みなく巻き取ることができる。また、資材を2本のガイドフレームの間を折り返すように取り回すことで、巻き取り作業中の資材の左右への偏りを低減させる。ロール状に巻き終えた資材は、巻取り軸から引き抜いて取り外し、そのまま次回の展開作業に使用したり、保管することができる。

作業は、機体前方にアタッチメントを装着し、オペレータ1名、補助者1名の組作業で行う。補助者は、巻き取り開始時に資材の一端を巻取り軸に巻きつける作業と、巻き終えた後に資材の取り外しを主に行う。対応する資材や作業速度は展開アタッチメントと同じである。



図4 巻取りアタッチメント

表1 諸元表

項目	内容
展開アタッチメント	寸法：L 700×W2300×H670mm、質量：25kg
巻取りアタッチメント	寸法：L1200×W2500×H880mm、質量：48kg 巻取り駆動：油圧モータによる
ベースフレーム	質量：30kg（両アタッチメント共通して使用）
使用できる資材	幅2.0～2.2m、長さ50m以下

3) その他の特徴

①取り扱い性

アタッチメントの装着方法は、共通して使用できるベースフレームを機体に装着し、その上に各アタッチメントを載せる方式により、それぞれが軽量化され作業員2名で容易に脱着することができる(表1、図5)。また、乗用型摘採機側の油圧装置が条件を満たせば、資材の巻取り作業と茶葉の摘採作業を同時に行うこと

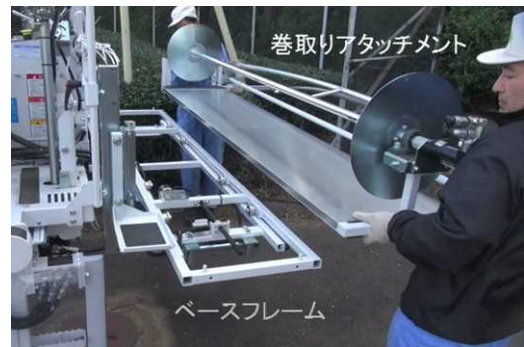


図5 アタッチメントの脱着

も可能である(図6)。これは、刈取り直前まで被覆した状態を保つことで遮光栽培の効果を最大限活用でき、茶葉の品質を向上させる従来にない作業方法である。



(a) 袋収容式乗用型摘採機



(b) コンテナ収容式乗用型摘採機

図6 複数型式へのアタッチメント対応と摘採同時巻取り作業の様子

②利用できる資材

開発機で利用できる資材について、本開発では資材を茶樹に固定する作業の省力化も考慮し、新たな固定方法の資材を検討した。従来は資材と茶樹の固定には専用のピンチ（洗濯バサミに類似）を使うが、固定点数が10a当たり600箇所に達するため、多くの労働力を必要とする。そこで、京都府茶業研究所により開発が進められた固定にピンチを使わない新方式の固定方法を採用し、開発機との組み合わせでより省力化を進めることを狙った。新方式の固定方法は、資材外周部に通したロープを引き絞って樹冠面を包むようにして覆い、畝端部でロープをペグで地面に固定する方式である。なお、ピンチを使う従来式固定方法の資材を本開発機でも引き続き使い続けたい要望も非常に強いことから、開発機では多数のピンチがついていても円滑に展開・巻取りできる構造上の特徴を備える。

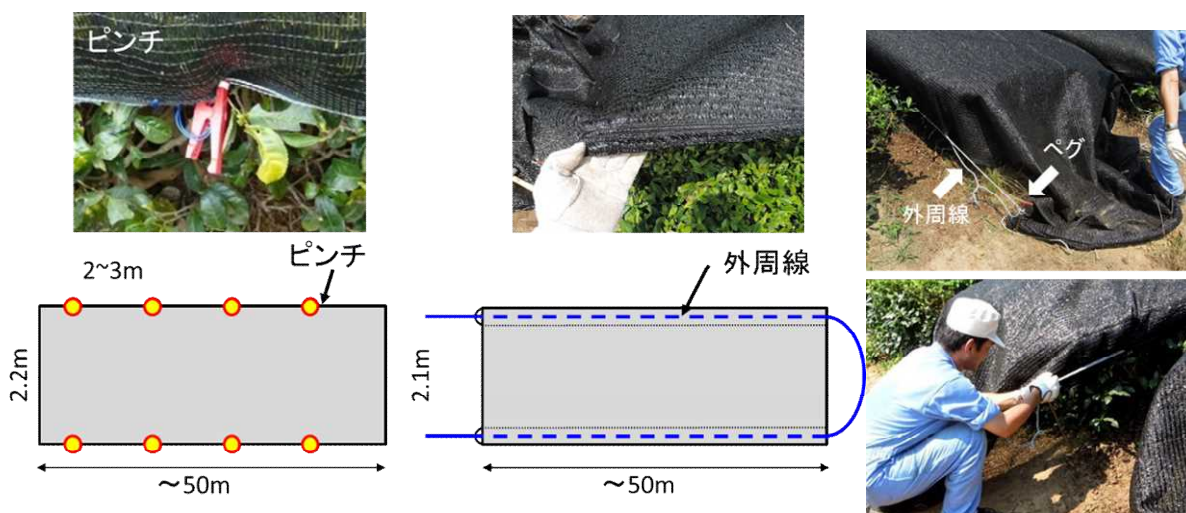


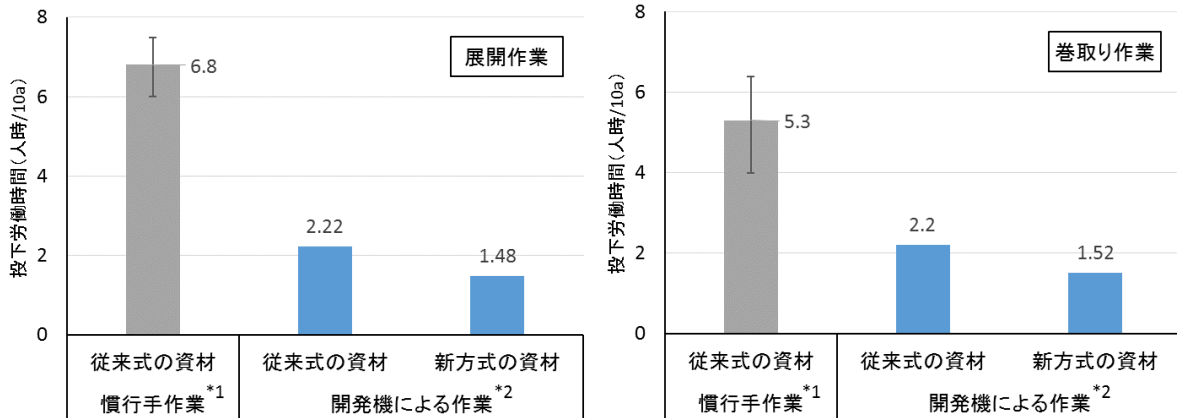
図5 ピンチを利用する従来式固定法

図6 外周線による新方式固定法

3. 開発機の性能

以下に開発機による資材展開作業、巻取り作業それぞれの作業能率を示す。調査では複合作業対応型乗用型摘採機（カワサキ機工株、KJ4N）を供試し、オペレータと補助者の2名作業とした。被覆資材は幅2.2m、長さ30m、資材固定方法は従来方式（ピンチ間隔2m）と新方式を供試し比較した。また、比較対象とする慣行手作業の能率は、実証試験地の周辺産地平坦茶園における実作業を現地調査した。作業能率の比較では作業人数を考慮した単位面積当たり投下労働時間を指標とした。

その結果、展開作業の10a当たり投下労働時間は、開発機で従来式固定法の資材を使った場合2.2人時、新方式固定法の資材を使った場合1.5人時となった。慣行手作業は4~6人の作業で投下労働時間が同6.0~7.5人時であった。巻取り作業も同様の傾向で、開発機で従来式固定法の場合、同2.2人時、新方式固定法の場合、同1.5人時であった*3（図7）。慣行手作業は3~8人の作業で同4.0~6.4人時であった。これらの結果から、展開、巻取り作業ともに慣行と比べて投下労働時間を50%以上削減できることが明らかになった。



(a) 展開作業（資材固定作業を含む）

(b) 巻取り作業（資材固定解除作業を含む）

図7 開発機と慣行手作業の投下労働時間の比較

〔 *1 静岡県内産地慣行作業の現地調査結果平均値。誤差範囲として最大値、最小値を図示。〕
 〔 *2 掛川市生産者圃場。畝長 30～35m、畝幅 1.8m。畝両端に枕地あり。〕

おわりに

以上述べてきたように、チャの直接被覆栽培の省力化を目的として、乗用型摘採機用の被覆資材展開・巻取りアタッチメントを開発し、現地試験を通して開発機の性能を明らかにした。開発機は平成27年度に市販開始予定である。

謝辞

今回の開発では、多くの茶生産者や農業協同組合、奈良県農業研究開発センター、京都府農林水産技術センター農林センター、静岡県農林技術研究所および行政関係部局に多大なご協力とご助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 忠谷浩司：直がけ被覆期間が一番茶芽の生育および成分含有率に及ぼす影響、茶研報 101、9-16、2006
- 2) 忠谷浩司：チャの直掛け被覆栽培による品質および収益性の向上、滋賀農技セ研報 46、45-55、2007
- 3) 深山ら：チャの直接被覆栽培における被覆資材展開・回収装置の開発、第 50 回農食工学会関東支部講要、32-33、2014

微生物環境制御型脱臭システムの開発

畜産工学研究部 川瀬芳順、松野更和、小島智美（現退職）

企画部 平田 晃

共同研究実施会社 パナソニック環境エンジニアリング株式会社

はじめに	37
1. 従来のRW脱臭装置	37
2. RW脱臭装置の小型化の方法	38
3. 散水量と硝化菌活性の関係	39
1) 研究のねらい	39
2) 試験方法	39
3) 試験結果	39
4. 密閉縦型堆肥化装置からの悪臭ガスを用いた実規模試験	40
1) 研究のねらい	40
2) 試作1号機	40
3) 試験方法	41
4) 試験結果	42
(1) アンモニア濃度	42
(2) 硝化菌の活性と循環水温度の関係	42
5. 循環水温度制御と硝化菌活性の関係	43
1) 研究のねらい	43
2) 微生物環境制御型脱臭システムの構成と循環水冷却方法	43
3) 試験方法	44
4) 試験結果	44
(1) 循環水温度制御と硝化菌活性	44
(2) アンモニア濃度	45
(3) 循環水の無機態窒素濃度	45

6. 3号機の研究	46
1) 研究のねらい	46
2) 試作3号機の構成	46
3) 試験結果	46
おわりに	46
参考文献	47

はじめに

畜産経営に起因する苦情は年間 2000 件前後と過去 5 年は変わらないが、農家戸数の減少により苦情の発生率は微増している。この 2000 件の約 6 割が悪臭関連であり、中でも乳牛と豚への苦情が多い（農水省、2013）。敷地内における悪臭の発生源は多様だが、堆肥化装置から発生する悪臭ガスが最も高濃度であると言える。現在、堆肥化装置に対応する様々な脱臭装置が販売されている。オガ粉脱臭装置やもみ殻脱臭装置は低価格で導入可能だが、脱臭材料のオガ粉やもみ殻は定期的に交換が必要であり、メンテナンスに手間がかかる。薬液スクラバ、燃焼脱臭などは高い脱臭効率を有するがランニングコストが高く、薬品の取扱や燃焼の管理に注意が必要である。過去に生物系特定産業技術研究支援センターで開発したロックウール（以下、RW）充填式の生物脱臭装置（以下、RW 脱臭装置）はランニングコストが安価であり、メンテナンスも比較的容易なため、全国の堆肥化センターなどの共同利用施設で導入されてきた。しかし、導入コストがかかるため、これまで戸別農家ででの利用はほとんどされてこなかった。

そこで、平成 23 年度から第 4 次緊プロ事業にて、RW 脱臭装置の小型化かつユニット化を図り、戸別農家が導入可能な RW 脱臭装置を開発に取り組んだ。

1. 従来の RW 脱臭装置

生研センターで開発した従来の RW 脱臭装置の概略図と外観を図 1 に示す。

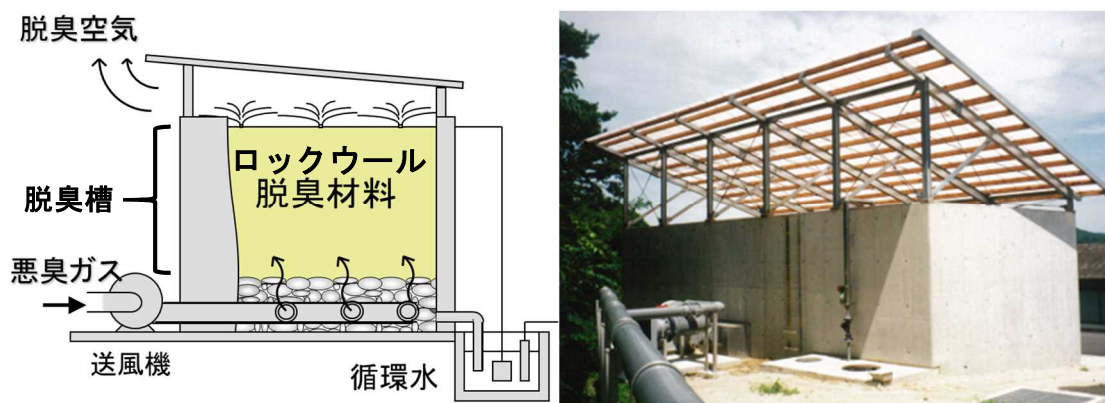


図 1 RW 脱臭装置（左：概略図、右：外観）

RW 脱臭装置は脱臭を行う微生物（脱臭菌）を繁殖するように、RW 脱臭材料の上部から水（以下、循環水） $8\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{day})$ を 1 日 1 回の間欠散水で供給している。悪臭ガスはその RW 脱臭材料の下部から通気させ脱臭させている。RW 脱臭装置の設計基準では悪臭ガスを外気との希釈によりアンモニア濃度 200ppm 以下に調節し、悪臭ガスの送風は RW 脱臭材料の開放面 1m^2 に対して $1.5\text{m}^3/\text{min}$ となっている。高さ 2.5m の脱臭槽に充填した RW 脱臭材料が悪臭ガスが 100 秒間で通過する間に（通気線速度 $25\text{mm}/(\text{S}\cdot\text{m}^2)$ ）、RW 脱臭材料が保水している循環水と気液接触し悪臭成分が吸着され、RW 脱臭材料上部から脱臭空気が外部に排出される。循環水に吸着された悪臭成分は、特殊

加工された RW 脱臭材料に生息する微生物（脱臭菌）の働きによって分解、脱臭される。

堆肥化で発生する悪臭ガスは複合臭気であり、RW 脱臭材料に繁殖する脱臭菌も様々であるが、循環水の pH を主に左右する硝化菌が重要である。悪臭ガスの主成分であるアンモニアは循環水に吸着されアンモニア態窒素 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ となり循環水の pH を上昇させるが、硝化菌は循環水中の酸素を使いこのアンモニア態窒素 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ を硝酸態窒素 $\text{NO}_3\text{-N}$ に酸化させ、循環水を中性から弱酸性に維持している。

硝化菌が 1mol のアンモニア態窒素を硝酸態窒素に硝化するには 2mol の酸素を消費するため、効率的な硝化を行うには循環水の DO（酸素濃度）は少なくとも 2.0mg/L 以上を維持する必要があるとされ（望月ら，2000）、4.0mg/L が望ましい。悪臭ガス中には酸素は十分に存在しており、循環水への酸素供給は、RW 脱臭材料中の気液接触で十分に行われると考えた。

硝化菌の生育温度範囲は 5～37℃（最適 25～30℃）、生育 pH 範囲は pH6.5～8.5（最適 pH 7.5～8.0）とされている（本多，2000）。設計基準のアンモニア濃度 200ppm 以上の悪臭ガスが脱臭槽に流入すると、RW 脱臭材料中に保水されている循環水にアンモニアが大量に吸着され、保水されている循環水中のアンモニア態窒素 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が増加し、RW 脱臭材中の循環水の pH が 8.5 以上となり、硝化菌は活性が低下し、失活状態となる。硝化菌が失活状態になるとアンモニアの酸化・中和作用はなくなり、循環水の pH は上昇し、他の悪臭成分の吸着力も失い、悪臭ガスがそのまま脱臭装置から排気されてしまう。堆肥化装置の悪臭ガス濃度は変動するため、脱臭の対象となる悪臭ガスの濃度を事前に把握し、悪臭ガスの最大濃度を規準として、脱臭槽の大きさを設計する必要がある。このため、RW 脱臭装置は大型で、かつオーダーメイド品となり、低コスト化が困難であった。

2. RW 脱臭装置の小型化の方法

従来の RW 脱臭装置は上述の理由により、RW 脱臭材料容積が増大している。そこで、微生物環境制御部（スクラバ）を脱臭槽の前段に設け、悪臭ガスと循環水を気液接触させアンモニアを吸着させることで RW 脱臭材料に送るアンモニア濃度等を平準化し、最大濃度を低減するとともに悪臭ガスの温湿度を硝化菌の生育に適した範囲に調整することとした。

循環水の散水量を従来レベルより格段に増やし、同時に RW 脱臭材料中の保水量を大きく増やすことで、水への吸着性が非常に高いアンモニアガスに対して大量の循環水がバッファとなり、RW 脱臭材料内の pH 変動も適性範囲に押さえられると考えた。一方、従来のような RW 脱臭材料上部から散水、下部から通気する対向流ではなく、散水と通気を上部から下部へと同方向に流れる並向流とすることで、散水量の増大に伴う通気抵抗の増加を抑え、十分な気液接触を可能にした。

RW 脱臭材料に生息する微生物（脱臭菌）の活性は材料の下部で高いとの報告がされている（Yasuda et. al. ,2009; Yasuda et. al. ,2010）。これは、従来の RW 脱臭装置では散水量が少なく、1日1回の散水のため、循環水や結露水が RW 脱臭材料の下部側に多く保水され、悪臭成分を栄養としている脱臭菌が下部で活性・培養されていると考えられる。RW 脱臭材料の保水量（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 O_2 、 CO_2 などが溶解）を増やして栄養供給を脱臭槽全体に行うことで、効率的な脱臭菌の活性・

培養が行われると考えた。

3. 散水量と硝化菌活性の関係

1) 研究のねらい

循環水の散水量 $8\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{day})$ ($3.2\text{L}/(\text{m}^3\cdot\text{day})$) を従来レベルの数十倍から百倍以上へと格段に増加させることでRW脱臭材料中の保水量を増やし、RW脱臭材料中のpHの上昇を抑制し、硝化菌の活性を高められるか小規模の室内試験機を用いて確認した。

2) 試験方法

循環水の散水量は1～3区 ($103, 205, 411\text{L}/(\text{m}^3\cdot\text{day})$) の試験区を設け試験を行った。堆肥化装置から発生する悪臭ガスの代わりに硝化菌の生育に適した温度 29°C 、湿度 80% 以上に調整した空気にアンモニアガスを混合し、一定の濃度でRW脱臭材料に通気させ試験を行った。アンモニア濃度は段階的に $200\sim 750\text{ppm}$ に増加させた。循環水は不定期にサンプリングし、循環水のpH、DO、送入とRW脱臭材料通過後アンモニア濃度を測定した。

3) 試験結果

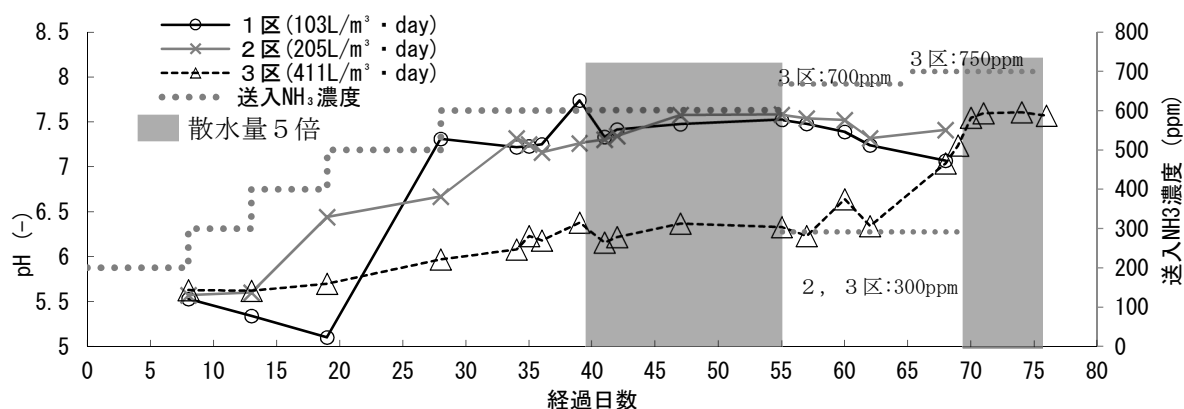


図2 循環水 pH の変動

1区は試験開始13日後、2区は20日後から循環水のpHが上昇し、送入アンモニア濃度 600ppm 以上になる29日目にはアンモニアの吸着ができなくなった(図2, 3)。1、2区は55日以降に送入アンモニア濃度を 300ppm まで減らしたが、pHは低下しなかった。3区は試験開始後65日目のアンモニア濃度を 750ppm に増加させるまで循環水のpHも上昇せず、アンモニアの吸着能力は維持された。

この試験結果より、硝化菌の最適範囲である 29°C 相対湿度 85% 以上の変動のない一定濃度のアンモニアガス負荷という条件下ではあるが、従来レベルの約130倍となる循環水の散水量 $411\text{L}/(\text{m}^3\cdot\text{day})$ で従来のRW脱臭装置の設計基準であるRW脱臭材料単位体積当りのアンモニア態窒素処理能力(以下、硝化速度) $109\text{g-N}/(\text{m}^3\cdot\text{day})$ の約7倍の $720\text{g-N}/(\text{m}^3\cdot\text{day})$ の硝化速度を得られた。

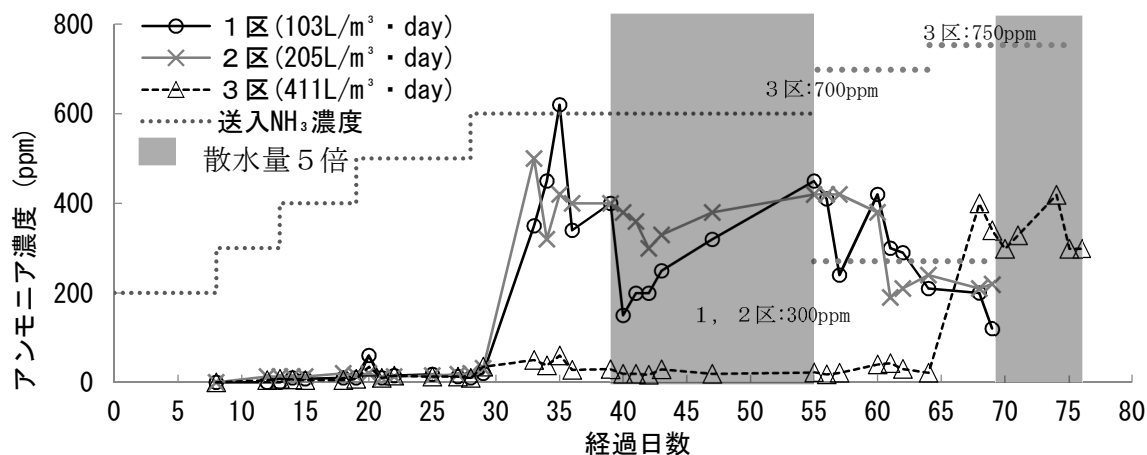


図3 RW脱臭材料通過後のアンモニア濃度の変動

4. 密閉縦型堆肥化装置からの悪臭ガスを用いた実規模試験

1) 研究のねらい

室内試験で得られた結果を元に、現場では粉じんや悪臭ガス（以下、原臭）の変動もあることを考慮しつつ、従来の装置と比較してRW脱臭材料容積を低減し、微生物環境制御部（スクラバ）を有する微生物環境制御型脱臭システム試作1号機を試作し、埼玉県農林総合研究センターで稼働している密閉縦型堆肥化装置で発生する原臭を用いて、アンモニア除去試験を行った。

2) 試作1号機

従来のRW脱臭装置の設計基準はアンモニア濃度200ppm以下、RW脱臭材料内の通気線速度25mm/s、RW脱臭材料内接触時間100s、RW脱臭材料1m²に対し風量1.5m³/minである。密閉縦型堆肥化装置から排出される原臭を風量10m³/min、アンモニア濃度100~1000ppm、平均600ppmと想定し、試作1号機は原臭の希釈無しで、RW脱臭材料の硝化速度300g-N/(m³・day)を規準とし、試作1号機を設計した（表）。

表 従来機と開発機の比較

	従来機	試作1号機
脱臭装置本体寸法 (m)	10×3.5×3.5	6.2×2.4×3.5*
付帯設備 (m)	循環水槽：3.5×4×3	スクラバ：0.6×0.6×2.7
RW脱臭材料容積(m ³)	83	20
循環水槽容積(m ³)	52	6.6
風量 (m ³ /min)	50 (外気による希釈有)	10 (希釈無し)
処理能力 (g-N/(m ³ ・day))	50	300
RW脱臭材料堆積高さ (m)	2.5	1.5
RW脱臭材料内通過時間 (s)	100	50

*循環水槽を含む

試作1号機の概略図を図4に示す。試作1号機はスクラバ、RW脱臭材料、循環水槽で構成される。スクラバはスプレー塔と同様に充填材を使用せずノズルで循環水を大量散水(2304L/(m³・day))し高温・高濃度の原臭と気液接触させ、温度調節とガス濃度の低減・平準化を行った。また、RW脱臭材料に循環水を供給するため、RW脱臭材料上部でも循環水を散水した。原臭は、スクラバで散水される循環水と気液接触し、温度調節され、ガス中の悪臭成分が循環水に吸着される。スクラバで吸着できなかった悪臭成分は循環水を散水しているRW脱臭材料上部とRW脱臭材料を通過時に循環水に吸着される。

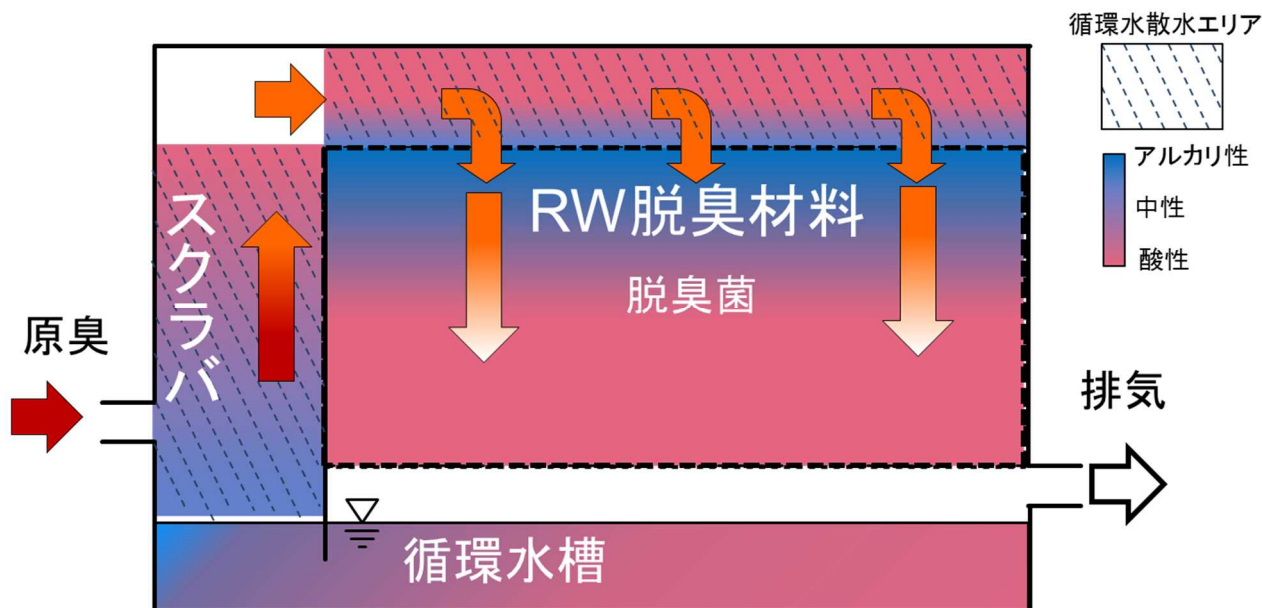


図4 試作1号機の概略図

スクラバで循環水に吸収・吸着されたアンモニアはアンモニア態窒素(アルカリ性)となりRW脱臭材料上部へ散水される。循環水に吸収・吸着したアンモニア態窒素はRW脱臭材料内の硝化菌によって硝酸態窒素(酸性)に酸化(硝化)して流下するため、循環水のpHは中性から弱酸性に保たれる。

3) 試験方法

密閉縦型堆肥化装置(堆肥化容積: 8 m³)に豚ふんと鶏ふんを混合した家畜ふんを1日約0.8 m³投入し、排気される原臭を試作1号機に送風機を用いて流入させ、試験を行った。試験期間中の原臭の風量は8.2 m³/min、予備試験の平均アンモニア濃度466 ppmから使用するRW脱臭材料の容積は11 m³、RW脱臭材料への平均散水量は2304 L/(m³・day)の連続散水とした。アンモニア濃度を原臭、スクラバ通過後、RW脱臭材料通過後で測定した。RW脱臭材料上部に散水した循環水(以下、RW散水)、RW脱臭材料下部から排出される循環水(以下、RW排水)それぞれのpHを測定した。また、悪臭ガス温度は原臭、スクラバ通過後、排気後で測定し、循環水は循環水槽で温度を測定した。さらに、不定期に循環水をサンプリングしDOを測定した。

4) 試験結果

(1) アンモニア濃度

試作1号機各所のアンモニア濃度の変化を図5に示す。試験期間中の原臭のアンモニア濃度は133~1460ppm(平均530ppm)と大きく変動した。原臭に対する平均アンモニア除去率はスクラバ通過後で75.6%、RW脱臭材料通過後で97.0%となった。流入アンモニア濃度、風量、無機態窒素濃度の変動から計算したRW脱臭材料単位体積当りの硝化速度は337g-N/(m³・day)で、従来レベルの硝化速度109g-N/(m³・day)の3倍の処理能力が得られた。

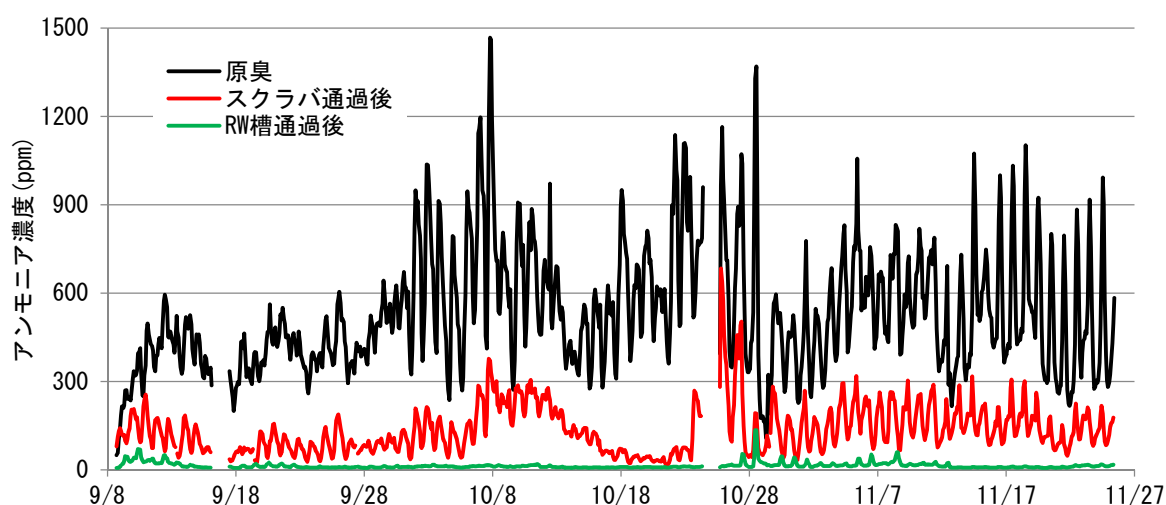


図5 試作1号機のアンモニア濃度変化

(2) 硝化菌の活性と循環水温度の関係

試験期間中の循環水のDOは平均6.0mg/Lであり、RW脱臭材料内における効率的な硝化に十分な酸素濃度を保っていた。9/18~10/2は循環水のpHは安定し、RW散水よりRW排水が低いpHを示した(図6)。これは、RW脱臭材料内の硝化菌が活性しており、RW脱臭材料を通過することで硝化菌による酸化・中和作用によりpH下がって排出されているためと考えられた。しかし、10/6以降からpHが急上昇し、循環水はRW脱臭材料を通過することでpHが上昇して排出された。これは循環水温度が硝化菌の生育温度の上限の37℃を超えたために硝化菌の活性の低下によるものと考えられた。その後、外気温と原臭温度が低下したため、硝化菌の活性が高まり、循環水はRW脱臭材料を通過することでpHが適性範囲に回復した。この結果から、微生物環境制御型脱臭システムには暑熱期における循環水の冷却が重要であることが分かった。冬期は原臭からの熱量で15℃以上に保たれると考えられた。

また、原臭と共に粉じん(乾燥堆肥)が流入することが観察され、粉じんの有機物分解による循環水中の酸素消費やアンモニアの放出の原因となることも判明した。従って、粉じん除去機能が不可欠と判断した。

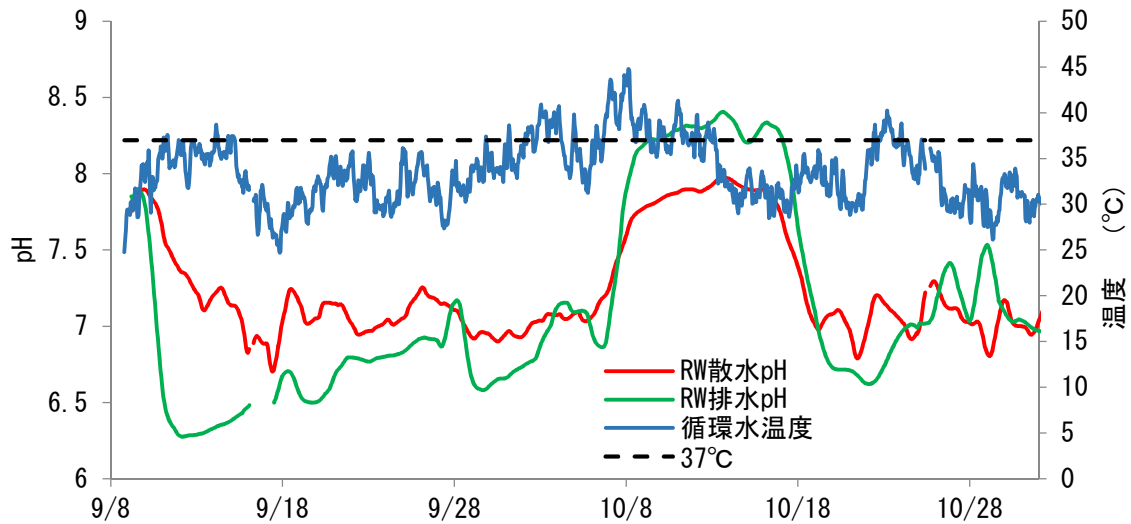


図6 循環水の pH と温度

5. 循環水温度制御と硝化菌活性の関係

1) 研究のねらい

循環水冷却と粉じん除去を同時に行うことを目的とした、フィルタバッグを付加した試作2号機を試作し、実稼働している養豚農家の密閉縦型堆肥化装置から発生する原臭を用いて試験を行い、微生物環境制御型脱臭システムの性能を把握する。

2) 微生物環境制御型脱臭システムの構成と循環水冷却方法

試作機の微生物環境制御型脱臭システムの基本的な構造は同じであるが、試作2号機は試作1号機と異なり、フィルタバッグによる粉じん除去装置を取付けた。フィルタバッグは粉じん除去装置内で粉じんを除去し、循環水は循環水槽へもどす。その筐体内にブロワで外気を強制通気させ、濡れたフィルタバッグから循環水を蒸散させ気化熱によって循環水を冷却した(図7)。

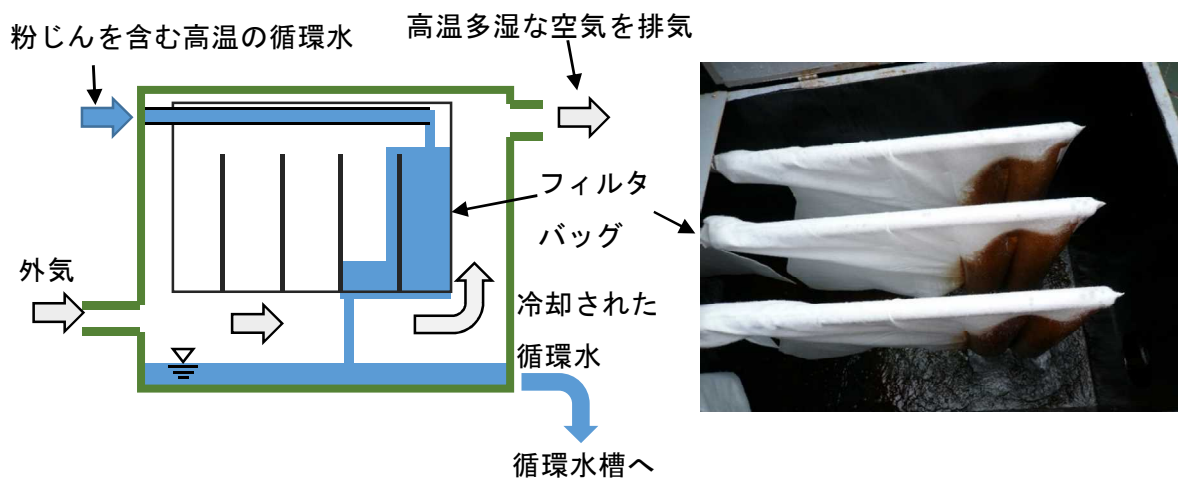


図7 フィルタバッグによる粉じん除去と循環水冷却(左:概略図、右:実機の様子)

3) 試験方法

密閉縦型堆肥化装置（堆肥化容積：12m³）に豚ふんを隔日に1回約 1.4m³投入し、排気される原臭を試作1号機に送風機を用いて流入させ、試験を行った。試験期間中の原臭の風量は7.5m³/min、使用したRW脱臭材料の容積は9.2m³、RW脱臭材料への平均散水量は3427L/(m³・day)とした。

4) 試験結果

(1) 循環水温度制御と硝化菌活性

循環水冷却効果により、暑熱期でも循環水の温度は25～35℃に制御できた（図8）。試験期間中に不定期サンプリングして測定したDOの平均はRW散水が6.7mg/L、RW排水が7.2mg/Lと硝化には十分な濃度であった。試験期間中のRW排水のpHはRW散水のpHより低い値を示し、RW脱臭材料中の硝化菌を含む脱臭菌の活性を示すORP（酸化還元電位）は硝化優位の状態である200mV以上を示し、硝化菌の活性は試験期間中に高く維持されたことがわかった（市川ら，1997）。RW排水のORPが高い時は硝化菌の活性が高く、酸化・中和作用によりpHは低くなり、ORPが低い時は硝化菌の活性が低くなり、pHが上昇した。（図9）

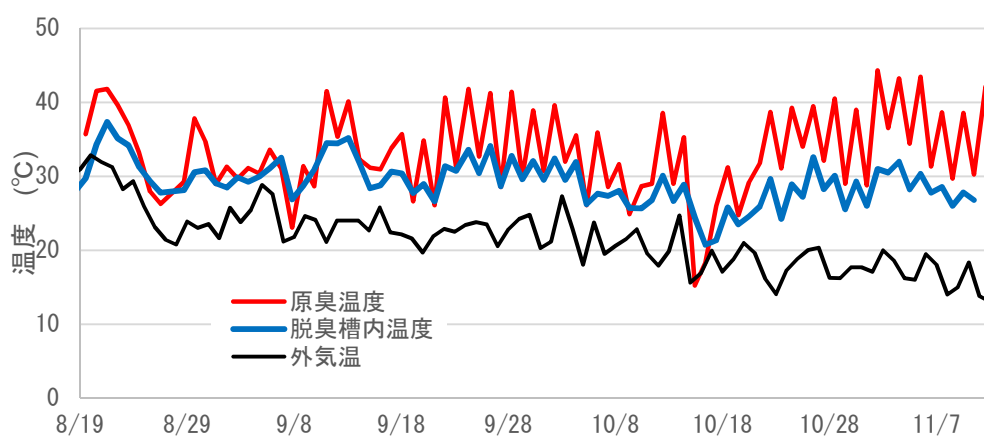


図8 試作2号機の温度変化

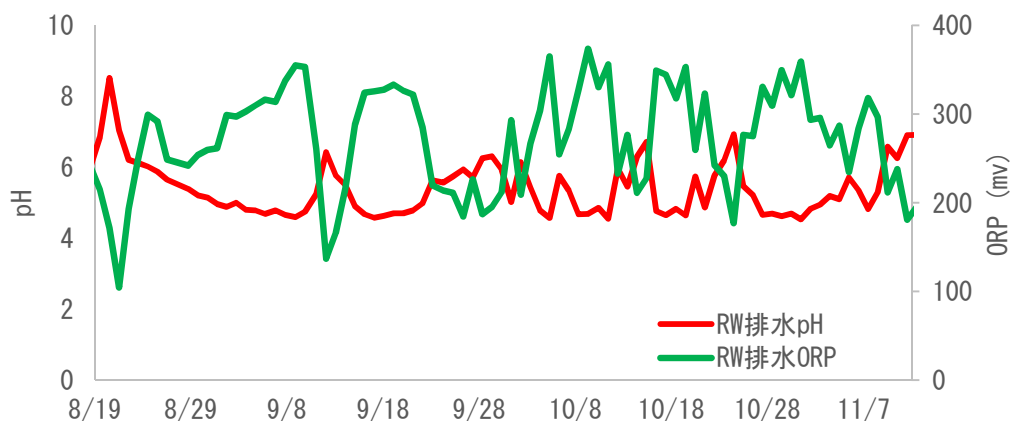


図9 試作2号機のRW排水pHとORP

(2) アンモニア濃度

堆肥化装置へのふん投入が隔日だったため、原臭のアンモニア濃度は大きく変動した(図10)。原臭と比較した平均アンモニア除去率はスクラバ通過後で57.5%、RW脱臭材料通過後で92.5%となった。原臭のアンモニア濃度が低かったため、試作1号機のアンモニア除去率の97.0%より低い値を示したが、RW脱臭材料通過後の平均アンモニア濃度は試作1号機：14ppm 試作2号機：12ppmと同等であった。臭気濃度(臭気のある気体を、無臭の空気希釈し、人が臭いを感じられなくなった希釈倍数)は原臭が4000、脱臭槽通過後が400で、脱臭効率は90%であり、アンモニア除去率と同等の値を示した。また、原臭は極度に不快だが、脱臭槽通過後は浄化槽などから発せられる生物臭と同様の臭いに変化しており、脱臭性能として臭気濃度だけでなく、9段階快・不快度表示法等での評価の必要性が示唆された。

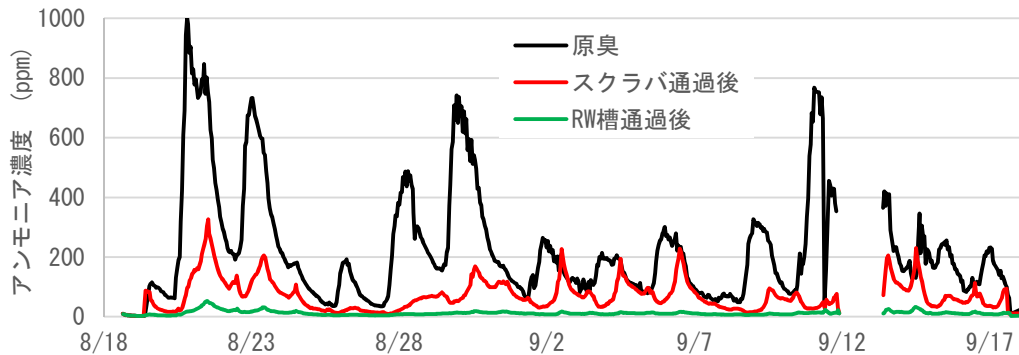


図10 試作2号機のアンモニア濃度変化

(3) 循環水の無機態窒素濃度

不定期にサンプリングし測定した循環水の窒素濃度を図11に示す。流入するアンモニア量が1号機と比較して少なかったため、RW脱臭材料単位体積当りの硝化速度は89g-N/(m³・day)となった。また、RW脱臭材料単位体積当りの硝酸態窒素処理能力(脱窒速度)は32g-N/(m³・day)であった。今後さらにデータを収集し、年間を通した処理能力の把握が必要と考えられた。

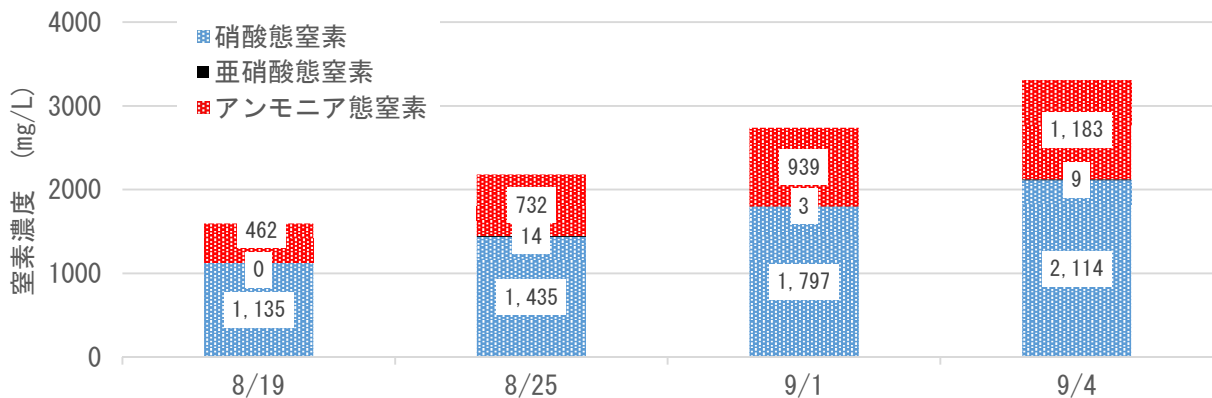


図11 試作2号機内の循環水の無機態窒素濃度

4. 3号機の研究

1) 研究のねらい

試作1号機と試作2号機の結果から、当初の目標としていた堆肥化容積20m³規模の密閉縦型堆肥化装置よりも大きい、50 m³規模から排出される原臭でも脱臭ができる可能性を得た。そこで大分県の養豚農家で稼働している堆肥化容積50m³の密閉縦型堆肥化装置からの原臭を脱臭するための試作3号機を試作設置し、脱臭試験を行った。

2) 試作3号機の構成

基本構造は試作2号機と同様とした。また、脱臭装置の立ち上げに必要な脱臭菌の培養を、既存のオガ粉脱臭装置内の熱を利用し、試作3号機内の温度を調節した(図12)。

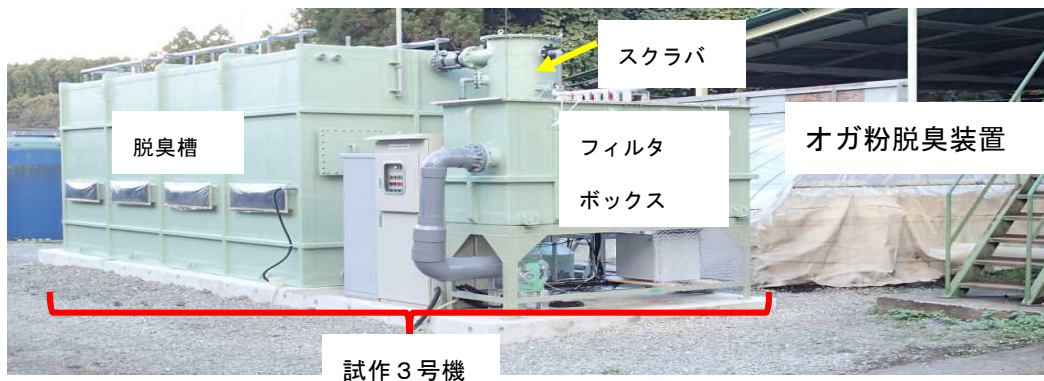


図12 試作3号機外観

3) 試験結果

オガ粉脱臭装置からの熱により、RW脱臭材料内の硝化菌培養期間中は外気温に対して平均で4℃高かった。これにより、既存の脱臭装置などの熱源を有する設置場所であれば、気温20℃前後の時期でも菌培養が可能であり、導入時期の拡大が可能になった。

原臭を試作3号機に流入させ試験を開始したが、流入する粉じんが多く、フィルタバッグの交換間隔が10時間程度になるため試験を中断した。

おわりに

微生物環境制御部(スクラバ)での気液接触による悪臭ガスの平準化と大量散水によるRW脱臭材料内保水量の維持、微生物環境を25~35℃に制御により、脱臭槽内の硝化菌の活性を維持し、アンモニア除去率92%の脱臭効率90%の能力を持つ、従来の装置と比較して小型の微生物環境制御型脱臭システムを開発した。原臭は極度に不快だったが、脱臭槽通過後は浄化槽などから発せられる生物臭と同様の臭いに変化しており、不快感は無かった。現場の農家や試験場の作業員からは、「家畜ふんの臭いとは分からない」「アンモニアの刺激臭が無い」と高評価を得た。脱臭性能として臭気濃度だけでなく、9段階快・不快度表示法等とともに評価する必要があるものと考えた。今後は、試作2号機と試作3号機を用いて1年間の実証試験を行い、粉じん除去や長期にわた

る運転方法などを検討し、実用化を目指す。

参考文献

- 1) 農水省, 2013, 畜産経営に起因する苦情発生状況,
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujou_2603.pdf
- 2) 望月和博・他：微生物固定化法による水処理, 日経印刷株式会社, 100, 2000
- 3) 本多淳裕・他：生物脱臭の基礎と応用－改訂版－, 臭気対策研究協会, 34-35, 1994
- 4) Yasuda T, Kuroda K, Fukumoto Y, et.al. (2009) Evaluation of full-scale biofilter with rockwool mixture treating ammonia gas from livestock manure composting. *Bioresour. Technol.* 100:1568-1572
- 5) Yasuda T, Kuroda K, Hanajima D, et.al. (2010) Characteristics of the microbial community associated with ammonia oxidation in a full-scale rockwool biofilter treating malodors from livestock manure composting. *Microbes. Environ.* 25:111-119
- 6) 市川雅英・他：循環式硝化脱窒法における硝化反応効率化の検討, 衛生工学シンポジウム論文集, 2, 201-205, 1997

自脱コンバインの機内清掃所要時間を短縮化する内部構造の開発

生産システム研究部 嶋津光辰、梅田直円、荒井圭介

はじめに	50
1. コンバインの機内清掃に関する調査	50
1) 穀粒の残りやすい部位・構造の調査	50
2) 清掃所要時間の調査	51
2. 新構造の開発	52
1) 穀粒の残りにくい機内構造	52
2) 開閉簡便な掃除口	53
3. 新構造の効果検証	53
1) 収穫精度	54
2) 穀粒の残りにくさ	54
3) 清掃作業所要時間	54
4. 普及に向けた取り組み	55
おわりに	55
参考文献	55

はじめに

コンバインを用いた収穫作業では、収穫物の衛生や異品種混入防止のために、作業終了時や品種切り替え時に機内清掃を行い、機内に残る穀粒（以下、機内残）を除去する必要がある。しかし、コンバイン、特に国内で水稻収穫に多く用いられる自脱コンバインは内部構造が複雑で、機内清掃には多くの時間と労力を要する。生産現場では繁忙な収穫期の大きな負担となっており、清掃の簡易なコンバインの開発が求められている¹⁾。近年では、食料自給率の向上を図り新規需要米の生産が振興されているが、主食用米への混入が厳しく制限されている場合が多く、生産導入にあたっては清掃頻度の増加が予想されるため、コンバインの機内清掃作業の簡易化の必要性は更に高まると見込まれる。

生研センターでは2010年度までに、「熟練者のナレッジ（知識や技能）を導入したコンバイン清掃マニュアル作成手法」²⁾を開発した。効果検証試験では、開発した手法によりマニュアルを作成し清掃に用いた結果、初心者でも熟練者と同等の清掃精度を得たが、作業の軽労化や所要時間短縮化へは効果が認められなかった。更に2011年度までに「自脱コンバインの掃除口等構造の調査」を行った結果、清掃所要時間の短縮化のために、コンバインの内部構造の改善の必要性が示唆された³⁾。

以上の背景を踏まえ、2012年度より「自脱コンバインにおける機内清掃の簡易な構造に関する研究」に取り組んできた。その中で、新たな内部構造を開発し、清掃しやすさへの効果検証を行ったので、その概要について報告する。

1. コンバインの機内清掃に関する調査

清掃しやすい新たな内部構造（以下、新構造）の設計に資するため、現行の市販2条刈自脱コンバインを供試し、その内部構造（以下、従来構造）および機内清掃所要時間について調査した。

1) 穀粒の残りやすい部位・構造の調査

清掃時に穀粒の残りやすい部位・構造の調査を行った。水稻収穫後の供試機において、掃除口、カバー、揺動板等パーツを開放・取り外した状態で穀粒搬送オーガを駆動させ、振動等により機内の穀粒を機外に滑落・飛散させた後に、機内に残った穀粒（以下、機内残）を計量した。調査部位は穀粒搬送経路中から7部位を選定した（図1縦軸）。

調査結果を図1に示す。機内残が多かった部位は概ね2種に分類できた。1つは、穀粒搬送直交部（横オーガと縦オーガの接続部）や縦オーガ出口（上端部）にある水平面で、面上に機内残が生じた（図2左、中）。もう1つは、横オーガや直交部の底部で、掃除口が横向きの場合や、底向きでも開放部が小さい場合に多量の機内残が生じた（図2右）。

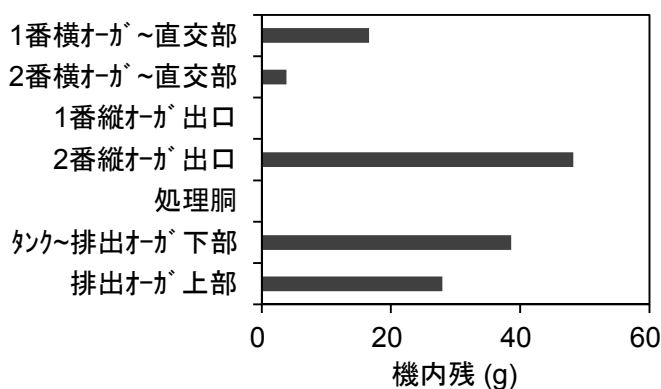


図1 機内残の調査結果



図2 機内残の発生状況

2) 清掃所要時間の調査

清掃に時間を要する部位・構造を知るため、作業工程ごとの清掃所要時間を調査した。清掃する部位は、脱穀室、選別室、カッタ、1番2番搬送経路、処理胴、グレンタンク、排出オーガ内とし、清掃作業熟練度の異なる3名の被験者（熟練者、経験者、初心者）により、収穫作業後の供試機の機内清掃を行い、作業工程ごとの所要時間を測定した。作業工程は3工程とし、①掃除口、カバー、揺動板等部品（以下、掃除口等）の開放・取外し（以下、開・脱）、②エアダスタ等を用いての穀粒除去、③掃除口等の閉鎖・取付け（以下、閉・着）とした。清掃手順は熟練者と経験者では各自の普段通りとし、初心者は取扱説明書に沿った。

調査結果を図3に示す。経験者の総所要時間が約10分短かったが、揺動板の脱着を省略したため、それを差し引くと3被験者ほぼ同等であった（参考：機内残は熟練者で約0g、経験者と初心者では約60g）。作業工程ごとの所要時間は、3被験者とも開・脱と閉・着の合計（以下、開閉脱着）が全体の6～7割を占め、清掃所要時間短縮のために開閉脱着の簡便化の必要性がうかがえた。特に長時間を要した開閉脱着方式は概ね3種に分類でき、①工具を要する方式（ボルト固定等、図4左）、②要する作業量の多い方式（1つの掃除フタを6個のノブボルトで固定等、図4中）、③操作性の悪い部品を要する方式（小さなナット、ワッシャ、カラー等、図4右）であった。

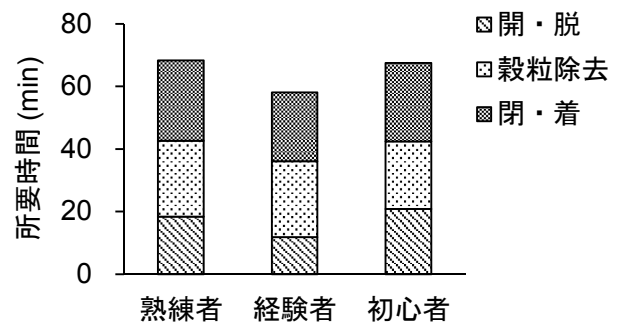


図3 清掃所要時間の調査結果



図4 長時間を要した開閉脱着方式の例

2. 新構造の開発

前項の調査より抽出された2つの問題「機内残の生じやすい内部構造」および「掃除口等の開閉脱着に長時間を要する」それぞれに対策を検討し、2つの新構造、1) 穀粒の残りにくい機内構造、2) 開閉簡便な掃除口を考案した。

1) 穀粒の残りにくい機内構造

新構造「穀粒の残りにくい機内構造」は、2つの要素技術、(1) 水平面の傾斜化、(2) 掃除口の位置・形状の適正化より構成される。

(1) 水平面の傾斜化

穀粒搬送経路中の直交部や縦オーガ出口にある水平面の上には、穀粒搬送の仕組み上、収穫作業中に多量の穀粒が堆積する。清掃時にエアダスタ等で除去できればよいが、水平面上が視認できない構造や、送風が届きにくい構造の場合、除去が困難となり機内残が生じる。

そこで新構造では、この水平面を傾斜化し、堆積した穀粒が清掃時に傾斜の下方へ滑落しやすくする構造とした。傾斜面は穀粒のブリッジ形成を防ぐため平滑面とする。傾斜角は約 15° とすることで、比較的小さな構造改変で高い効果を得られる。

(2) 掃除口の位置・形状の適正化

穀粒搬送経路中の横オーガや直交部の底部では、収穫作業後も一定量の穀粒が残るため、従来構造でも掃除口が設置されている。しかし、その構造は機種ごとに多様で、掃除口の開放部が横向きの場合や、開放面が十分な大きさでない場合、底部に穀粒が残りやすく、清掃時の穀粒除去が困難となり機内残が生じる。

そこで新構造では、横オーガ底部や直交部の掃除口について、位置は底面に設置、形状は全面開放形状な構造とし、清掃時に穀粒除去しやすい構造とした。細長い掃除口等で全面開放では歪みが生じやすい場合は、非開放面は面積を最小限とする、非開放面には傾斜を付加する等の機内残防止構造を施すこととした。



図5 水平面の傾斜化および掃除口の適正化のイメージ

2) 開閉簡便な掃除口

コンバインの掃除口は、狭い・低い・高い等作業しにくい位置にある場合が多い。その場合、不自由な体勢での作業が求められ、ボルトの着脱等の軽作業であっても、身体負担が大きく長時間を要することがある。従って、掃除口、カバー、揺動板等パーツの開閉脱着は、工具を要さない、ワンタッチ等の僅かな作業量で行える方式であることが望ましい。また、固定にナットやワッシャ等の小さな部品や操作しにくい部品が別途用いられている場合、部品を取り落として時間をロスする等、作業効率の低下が起きやすい。従って、固定部品を要する場合、操作性のよい大きさ、形状にすることが望ましい。

そこで新構造では、掃除口等の開閉脱着方式について、①工具不要化（ノブボルト等）、②省力方式化（パッチン錠等）、③固定部品の操作性向上（大きくする等）を図った構造とし、開閉脱着所要時間の短縮を図った。

3. 新構造の効果検証

従来構造のコンバインと、新構造に改変した同機種とを供試し、1) 収穫精度、2) 穀粒の残りにくさ、3) 清掃所要時間を調査した。供試機は市販2条刈自脱コンバインとした。新構造における主な改変内容を、図6、7に示す。供試作物は水稻（コシヒカリ、穀粒水分26%）とした。

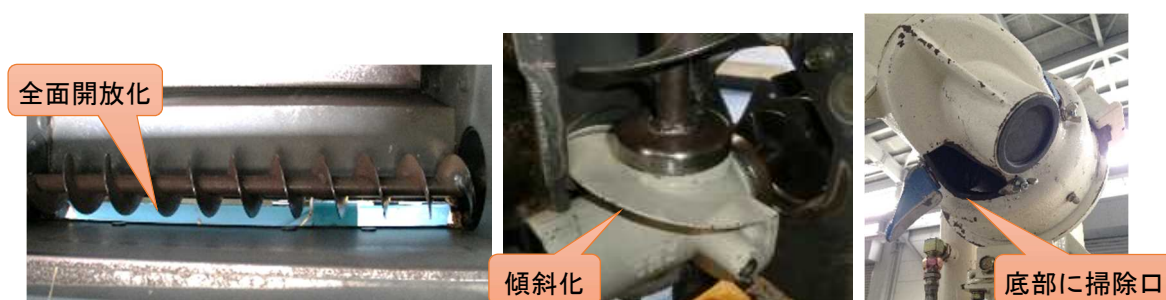


図6 新構造「穀粒の残りにくい機内構造」による改変例

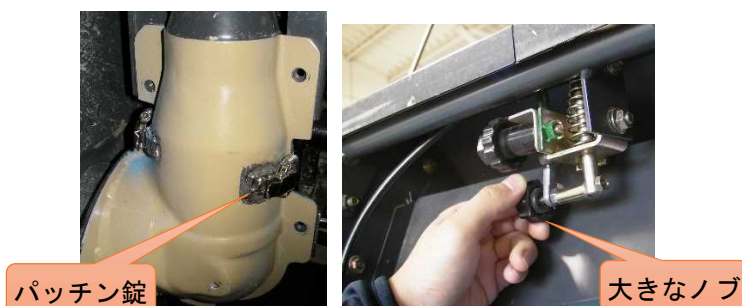


図7 新構造「開閉簡便な掃除口」による改変例

1) 収穫精度

新構造による収穫機能への影響を確認するため、収穫精度を調査した。調査項目は、脱穀選別損失、穀粒口夾雑物、穀粒口損傷粒とした。作業速度は最高速の6～8割とし、3反復測定した。

調査結果を表2に示す。いずれの調査項目においても、両構造共に一般的な自脱コンバインの許容水準内で、新構造による収穫精度の低下はなかった。

表2 収穫精度の調査結果

構造		従来構造	新構造
作業速度	m/s	0.71 ^{*1}	0.72 ^{*1}
穀粒流量	kg/h	692.2 ^{*1}	770.9 ^{*1}
脱穀選別損失	%	1.64 ^{*1}	1.43 ^{*1}
穀粒口夾雑物	%	0.56 ^{*1}	0.43 ^{*1}
損傷粒	%	0.36 ^{*1}	0.14 ^{*1}

*1 全て3反復測定の平均値

2) 穀粒の残りにくさ

新構造による穀粒の残りにくさへの影響を調査した。調査部位、方法は前出「穀粒の残りやすい部位・構造の調査」と同様とした。

調査結果を図に8示す。新構造では従来構造に比べ大幅に機内残が低減することが確認された。機内残が機外に円滑に排出される様子が確認され、清掃時の穀粒除去作業の軽労化への寄与が期待された。

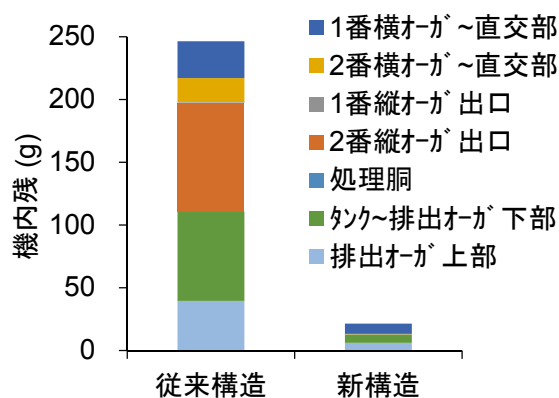


図8 機内残の調査結果

3) 清掃作業所要時間

新構造による機内清掃所要時間への影響を調査した。清掃する部位は穀粒搬送経路中（脱穀室、選別室、1番2番搬送経路、グレンタンク、排出オーガ内）とし、清掃作業に熟練した作業者が収穫作業後の供試機の機内清掃を行い、作業工程ごとの所要時間を調査した。作業工程は、開・脱、穀粒除去、閉・着の3工程とした。

調査結果を図9に示す。新構造では従来構造に比べ所要時間が約半減した。「穀粒の残りにくい機内構造」により穀粒除去の所要時間が、「開閉簡便な掃除口」により開閉脱着の所要時間が短縮されたと推察され、新構造による清掃所要時間の短縮化効果が確認された。

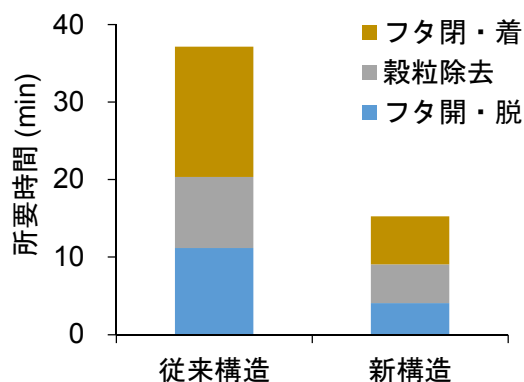


図9 清掃所要時間の調査結果

4. 普及に向けた取り組み

メーカーへの技術提案を想定した、「機内清掃しやすい自脱コンバイン構造の設計指針」を作成した。その一部を図10に示す。設計方法、設計上の注意点、見込まれる効果等を示し、メーカーで機内清掃しやすいコンバインを開発・設計する際の指針となるようとりまとめた。今後は、開発した技術が広く普及することを図り、設計指針をメーカーに技術提案していく予定である。



図10 新構造の設計指針（一部抜粋）

おわりに

本研究で開発した技術は、コンバイン機内清掃作業の軽労化のみならず、作業の簡便化に伴う怪我リスクの軽減、清掃精度の向上に伴う異品種混入リスクの軽減、更には清掃の頻度を増やせることに伴う新品種の導入促進といった広範囲な効果が期待できる技術である。農業の持つ役割である、国民への安全・安心な食料の安定供給に、本研究が一助となることを願う。

なお、設計指針の作成に当たっては、三菱農機（株）からご助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 新農業機械実用化促進株式会社：生体情報測定コンバインに関するニーズ調査、16-17、2005
- 2) 梅田直円ら：熟練者のナレッジを導入したコンバイン清掃マニュアル、第70回農業機械学会年次大会講演要旨、258-261、2011
- 3) 嶋津光辰ら：自脱コンバインの掃除口構造の調査、農業環境工学関連学会2012年合同大会講演要旨 CD-ROM、D-13、2012

果樹用腕上げ作業補助器具の開発

園芸工学研究部 大西正洋、深井智子、
太田智彦（現 野菜茶業研究所）

共同研究実施会社 株式会社ニッカリ

はじめに	58
1. 腕上げ作業補助器具の概要	58
1) 腕上げ作業補助器具の構造	58
2) 腕上げ作業補助器具の使用方法	59
2. 腕上げ作業補助器具の使用効果	60
1) 試験方法	60
2) 作業能率	60
3) 労働負担軽減効果と取扱性聞き取り調査	61
4) 筋活動量	63
おわりに	64
参考文献	65

はじめに

わが国の果樹栽培においては、整枝剪定や着果管理、収穫など多くの作業が機械化されておらず、手作業による長時間労働を要している。果樹栽培の中でもブドウ栽培は面積あたりの労働時間が稲作の10倍以上の約450h/10aと比較的長い¹⁾。ブドウ栽培では、花穂整形、ジベレリン処理、摘粒、袋掛け等、数多くの樹体管理が行われている。わが国のブドウ栽培は一般的に棚仕立て栽培であり、着果位置が作業者の頭上付近となるため、これらの管理作業は腕を上げたつらい作業である。また、これらの管理作業は作業適期が短いため、作業に追われることも多く、一日中腕を上げた作業が何日も続くことになる^{2) 3)}。

一方、近年、作業者の労働負担を軽減する目的でアシストスーツと呼ばれる手作業でしかできない作業を補助する装着型の装置の開発が盛んに行われており、農業分野でも研究開発が進められている。作業者装着型のアシスト装置は大別すると動力を用いて重量物の持ち上げや作業者の動作をアシストするタイプの動力補助型と、つらい姿勢を長時間続けることをアシストするタイプの姿勢維持型に分類される⁴⁾。ブドウの管理作業のように、腕を上げ続けるつらい作業の労働負荷軽減を図るためには、腕を上げた姿勢を補助する姿勢維持型のアシスト装置の利用が有効と考えられる。

そこで、農研機構生研センターでは株式会社ニッカリと共同で、腕上げ姿勢を補助して作業を楽にする装着型の補助器具の開発を平成24年度から取り組んできた。本稿では、開発機の概要と使用効果について報告する。

1. 腕上げ作業補助器具の概要

1) 腕上げ作業補助器具の構造

開発した腕上げ作業補助器具は、作業者の腰に装着する作業ベルト、腕を載せるための腕受け部、および、それらを接続する連結機構から構成される非常に簡易な構造である(図1、図2)。モーター等の動力やバネ等の弾性部材を用いておらず、動力なしで使用することができる。質量は約2kgであり、作業者の体格に合わせて作業ベルトから連結機構までの長さ、連結機構から腕受け部までの長さ、作業ベルトの長さを調整して装着できる(表1)。

連結機構は腕受け部が左右方向にも上下方向にも自在に動くような構造となっている。連結機構の作業ベルト側には溝部材が、また、腕受け部側には爪部材が備えられており、作業者が肘を体の内側に寄せることで溝と爪が噛み合い、上げた腕の重さを腰で支えることができる。

溝部材は腕受け部の回転中心から放射状に広がった複数の溝があるため、任意の高さで腕を支えることができる。また、爪部材は上側が斜め、下側が水平の三角柱型をしているため、肘を内側に寄せて溝と爪が噛み合った状態でもラチェットのように上方向には動かすことが可能である(図3)。



図1 腕上げ作業補助器具を用いた摘粒作業



図2 腕上げ作業補助器具の構造

表1 腕上げ作業補助器具の主要諸元

質量	1.8kg
ベルト下端から連結機構までの長さ	320~400mm
腕受け部長さ	220~280mm
作業ベルト腹囲	650~950mm
垂直方向支持角度範囲	-45~45°

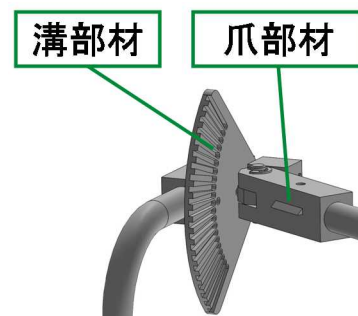


図3 連結機構の拡大図

2) 腕上げ作業補助器具の使用方法

腕上げ作業補助器具の装着方法は、腰に作業ベルトを締め、腕受け部のバンドを面ファスナーを介して腕に巻くだけであり、慣れれば一人でも 30 秒程度で装着することができる。作業者は任意の高さに腕を上げてから肘を内側に寄せるか、もしくは、肘を内側に寄せた状態で任意の高さまで腕を上げると、腕受け部が下方向に動かなくなるため腕の重さを作業ベルト、つまり腰部で支持する。腕を支えている状態では、椅子の肘掛けに腕を載せているような感覚で作業を行うことができる。肘を外側に開くことで溝と爪が外れ、腕を自由に上げ下げすることができる（図4）。

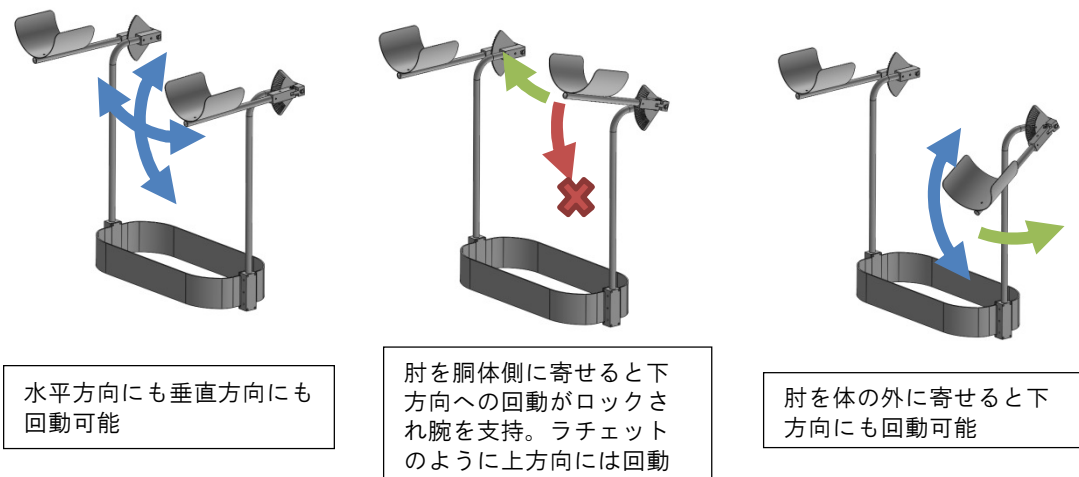


図4 腕上げ作業補助器具の動作

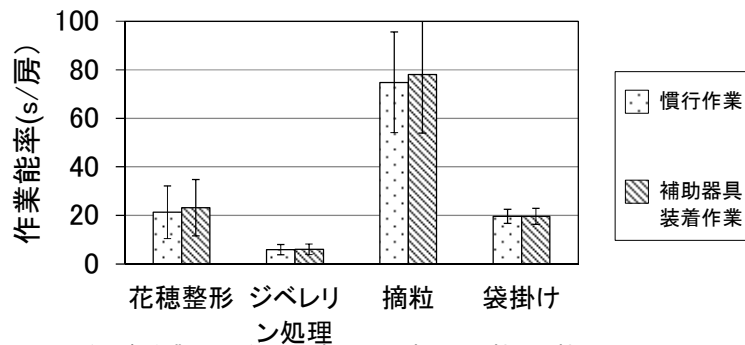
2. 腕上げ作業補助器具の使用効果

1) 試験方法

農研機構果樹研究所、群馬県農業技術センター、埼玉県農林総合研究センター、長野県果樹試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター内のブドウ栽培ほ場において、花穂整形、ジベレリン処理、摘粒、袋掛けの各作業を行い、慣行作業と腕上げ作業補助器具を装着した作業の比較試験を行った。作業時間はジベレリン処理のみ10～30分、それ以外の作業は1時間とし、時間内に処理した作業房数の測定により作業能率の比較を行った。また、作業後に腕上げ作業補助器具の労働負担軽減効果、作業速度の実感および取扱性について、作業前後に体の各部位の疲労度の聞き取り調査を行った。さらに、一部の試験地においては、テレメトリー式表面筋電位測定器（キッセイコムテック株式会社製 MQ8）を用いた表面筋電位の測定を同時に行い、作業中筋活動量を評価した。

2) 作業能率

開発した補助器具は腕の支持状態と自由に動かせる状態の切り替えが容易であるため、装着しても腕の動作に支障なく従来同様の作業ができる。花穂整形と袋掛けの作業能率は慣行作業、補助器具装着作業ともに20s/房程度であり、有意な差は見られなかった。また、花穂を溶液に浸漬するジベレリン処理ではそれぞれ6s/房と比較的早くできる作業であり、小さい果粒や不良果粒をハサミで除去する摘粒ではそれぞれ80s/房程度と比較的時間のかかる作業であるが、どちらも慣行作業と補助器具装着作業の間に有意な差は見られなかった（図5）。



注) 各作業 6~9 名 (20 歳代~50 歳代、男性・女性) の平均値。エラーバーは標準偏差を示す。

図 5 補助器具装着の有無による作業能率の比較

3) 労働負担軽減効果と取扱性聞き取り調査

作業者への聞き取り調査では、花穂整形、ジベレリン処理、摘粒、袋掛けの作業で補助器具を使用することで「楽になった」との回答が得られ、特に、ブドウの栽培管理作業の中でも作業能率が最も低く労働負担軽減の要望の高い摘粒作業について、約 9 割の作業者から「楽になった」との回答を得た (表 2)。摘粒作業は同じ高さに腕を上げている時間が長いため、腕上げ作業補助器具によって腕を支持することによる高い効果が発揮されたと考えられる。また、袋掛け作業は慣行作業では袋束を腰の位置につけて、そこから袋を取り出し、頭上の高さの果実に袋をかける作業を繰り返すが、腕上げ作業補助器具を用いると、腕を支えられた状態で作業することができるため、腕の高さに袋束を装着して、腕を上げた状態のまま袋を取り出し、果実に袋をかける作業ができ、約 6 割の作業者から「楽になった」との回答を得た。

一方、花穂整形作業のように果粒がある程度重くなり果房が下を向くまでの時期や、房の高さのバラツキが大きい場合など、作業時の腕の高さが頻繁に上下する場合に補助器具を装着すると作業が煩わしくなることがあり、「つらくなった」との回答も一部であった。

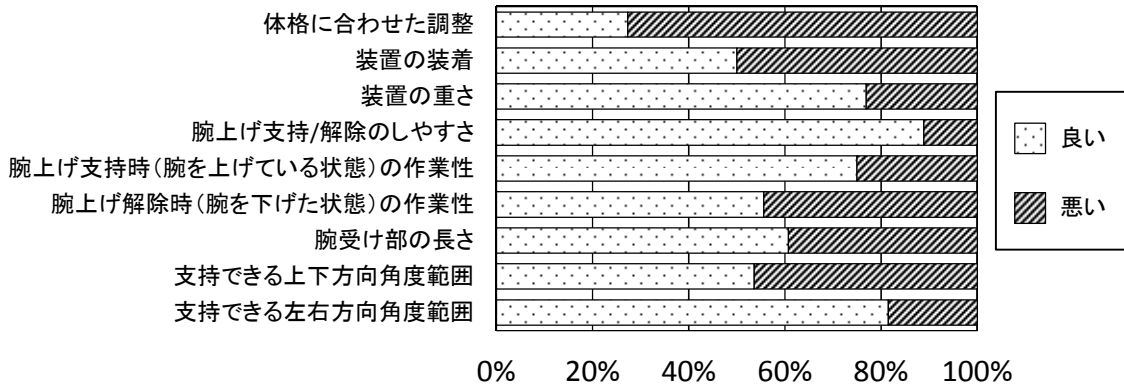
取扱性については、腕上げ支持と解除のしやすさや、装置の重さ、腕上げ時の作業性は良い評価が多かったが、体格に合わせた調整のしやすさについては調整しづらいとの意見があり (図 6)、補助器具の調整箇所の改良を進めている。作業速度の実感については慣行と変わらないとの評価が多かった。

作業前後の主観的疲労感調査によると、摘粒、袋掛けの肩および腕部分、袋掛けでの腕部分の疲労度の増加が補助器具を装着しない慣行作業と比較して補助器具を装着した場合は小さい傾向が見られ、摘粒、袋掛けにおいては全体的な疲労感も小さい傾向が見られた。花穂整形は比較的早い時期に行うため、果房が下を向いていない房も多く、腕の上下が比較的頻繁であったため、各部位の疲労感は慣行作業と補助器具を装着した作業で大小様々であり明確な傾向は見られなかった。ジベレリン処理は試験における作業時間も短く、どちらもほとんど疲労感はなかった (図 7)。

表2 労働負担軽減効果の聞き取り調査結果

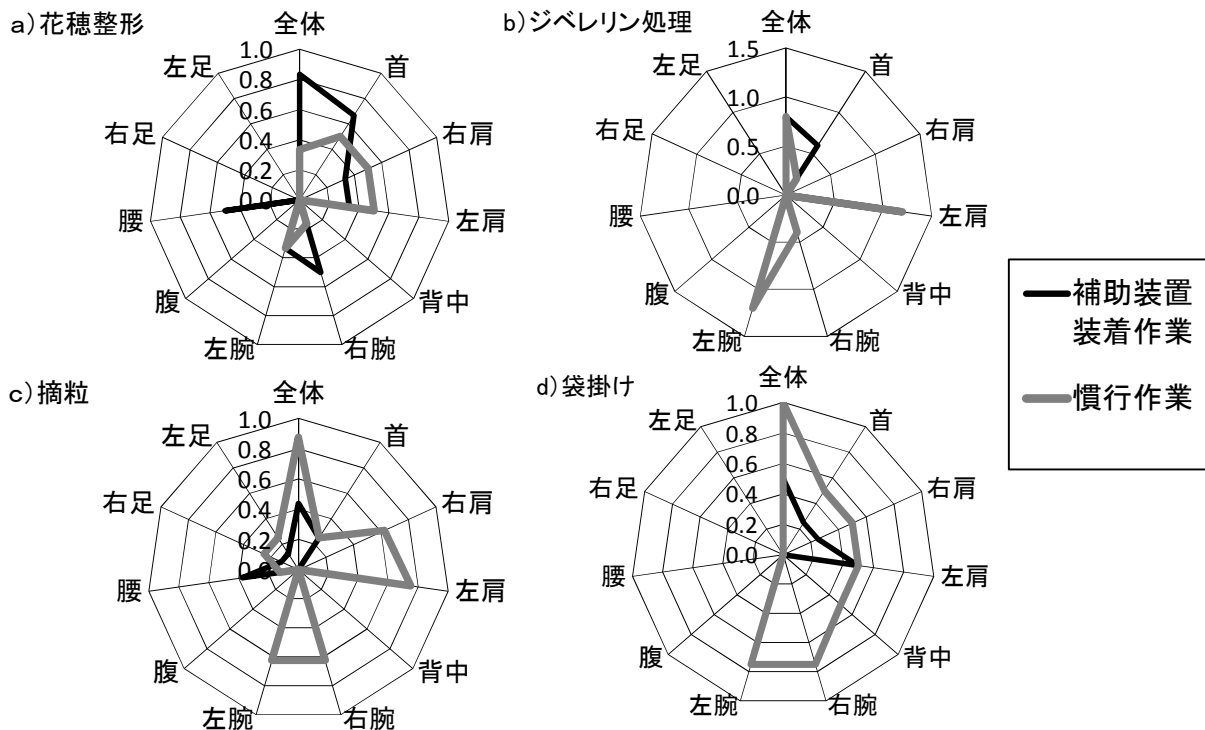
	大変				大変
	楽になった	楽になった	変わらない	つらくなった	
花穂整形	1	1	2	1	0
ジベレリン処理	0	3	1	2	0
摘粒	1	6	0	1	0
袋掛け	0	5	1	2	0

注) 各作業 5~8 名 (20 歳代~50 歳代、男性・女性) の評価結果



注) 花穂整形、ジベレリン処理、摘粒、袋掛けにおける、のべ 29 名の評価結果

図6 取扱性の聞き取り調査結果

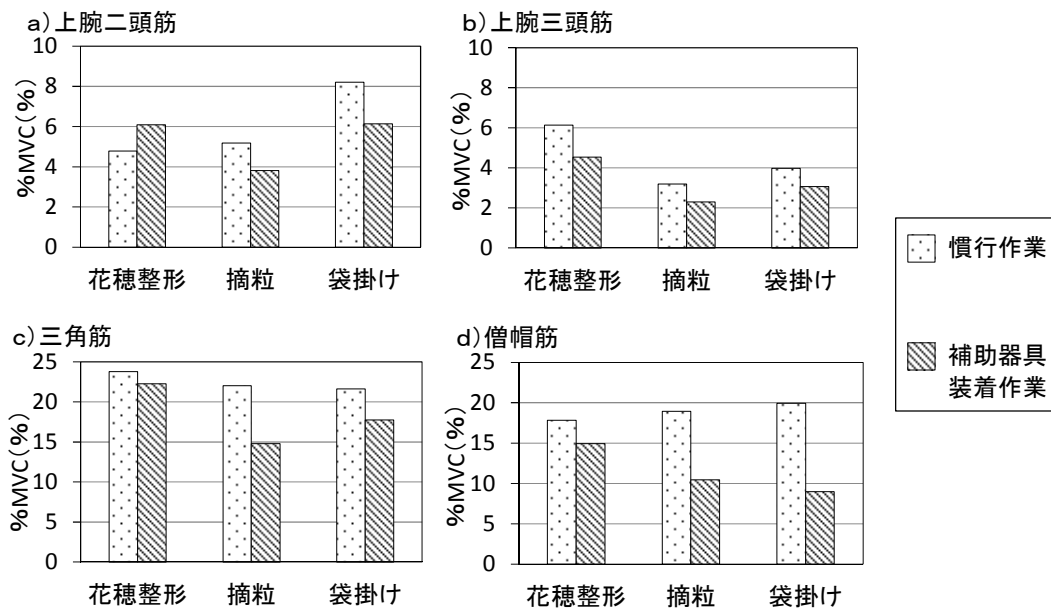


注) 数値は作業前後の主観的疲労感の差を示す (主観的評価: 疲れを大変感じる 3 感じる 2 やや感じる 1 全く感じない 0)。 作業種別それぞれ 6~8 名の平均値。

図7 補助器具装着の有無による作業前後疲労感の比較

4) 筋活動量

ブドウ棚栽培ほ場で行った試験では、花穂整形、摘粒、袋掛けの作業で補助器具を装着することにより、腕（上腕二頭筋、上腕三頭筋）、肩（三角筋）、首（僧帽筋）の作業中筋活動量が、補助器具を装着しない慣行作業と比較して概ね低くなった。特に、摘粒作業における肩と首の筋肉、袋掛け作業における首の筋肉の低減効果が大きかった（図8）。作業員別の筋活動量も各筋肉部位ともに、慣行作業より補助器具装着作業の方が概ね低くなった。補助器具装着の筋活動量低減効果は作業員間や筋肉部位間でバラツキが大きく、作業員身長と平均房高さの差などによる傾向は見られなかった（表3）。



注) %MVC は最大随意収縮時筋電位（最も力を入れた状態）に対する作業中筋電位の比
各作業 2～4 名（30 歳代～50 歳代、男性）、1 時間連続作業中の左右の筋活動量の平均値

図8 補助器具装着の有無による筋活動量の比較

表3 補助器具装着の有無による筋活動量の比較

対象作業	作業者	作業者身長(cm)	平均房高さ(cm)	身長と房高さの差(cm)	腕上げ作業補助器具	作業中筋電位(%MVC(%))							
						右上腕二頭筋	右上腕三頭筋長頭	右三角筋前部	右僧帽筋上部	左上腕二頭筋	左上腕三頭筋長頭	左三角筋前部	左僧帽筋上部
花穂整形	作業者A	170	186	16*	あり	2.1	0.7	5.0	3.5	1.4	3.6	9.4	5.6
					なし	4.6	1.4	11.7	14.1	2.6	9.3	15.5	17.7
					器具の効果	▲55.4	▲50.2	▲57.8	▲75.0	▲44.8	▲61.7	▲39.7	▲68.4
	作業者B	179	186	7	あり	10.5	3.5	39.0	32.7	10.3	10.4	35.7	17.9
					なし	9.0	3.8	39.5	22.2	2.9	10.0	28.3	17.3
					器具の効果	▲16.6	▲8.7	▲1.2	▲47.2	▲260.1	▲3.9	▲26.0	▲3.8
	平均				器具の効果	▲19.4	▲29.5	▲29.5	▲13.9	▲107.6	▲28.9	▲6.8	▲32.3
摘粒	作業者B	179	179	0	あり	1.4	1.7	10.1	15.6	2.4	1.7	14.9	9.7
					なし	3.0	3.1	20.0	13.8	3.6	2.7	22.5	11.6
					器具の効果	▲52.8	▲45.7	▲49.7	▲13.1	▲35.2	▲37.5	▲34.0	▲16.9
	作業者C	165	179	14*	あり	2.5	3.7	3.8	4.7	3.0	1.0	9.2	7.5
					なし	4.3	5.4	9.9	17.3	3.7	1.6	20.5	15.0
					器具の効果	▲42.6	▲31.1	▲61.1	▲72.8	▲19.1	▲36.3	▲55.2	▲49.9
	作業者D	165	165	0	あり	5.0	1.2	4.5	3.9	7.9	1.5	1.1	6.1
					なし	6.9	1.6	11.9	18.7	9.5	2.5	23.4	19.6
					器具の効果	▲26.8	▲26.3	▲62.4	▲79.1	▲16.7	▲40.1	▲95.2	▲68.7
	作業者E	172	157	-14	あり	4.2	3.1	13.2	13.9	4.0	4.4	15.3	22.2
なし					5.5	3.8	23.2	24.9	4.9	4.8	17.2	30.5	
				器具の効果	▲22.8	▲17.4	▲43.1	▲44.1	▲18.4	▲8.6	▲10.8	▲27.2	
	平均				器具の効果	▲36.2	▲30.1	▲54.1	▲45.7	▲22.3	▲30.6	▲48.8	▲40.7
袋掛け	作業者A	170	170	0	あり	2.1	2.2	12.5	4.8	1.7	2.6	19.4	3.6
					なし	4.8	3.1	14.3	20.3	3.0	3.2	26.6	10.9
					器具の効果	▲55.6	▲27.9	▲12.8	▲76.3	▲44.8	▲18.1	▲27.0	▲66.5
	作業者B	179	164	-15	あり		1.3	14.2	3.3	2.7	1.8	9.3	6.3
					なし	5.2	2.0	19.8	12.6	3.1	2.4	16.7	9.3
					器具の効果		▲32.3	▲28.4	▲74.1	▲11.5	▲23.5	▲44.0	▲32.5
	作業者C	165	164	-1	あり	12.0	7.6	14.8	8.1	13.5	3.6	37.7	10.1
					なし	13.4	11.6	17.9	22.3	23.5	4.4	31.0	10.8
					器具の効果	▲10.4	▲34.6	▲17.6	▲63.5	▲42.8	▲19.1	▲21.6	▲6.3
	作業者E	172	162	-9	あり	4.0	2.2	16.9	20.8	6.9	3.2	17.4	14.8
なし					4.3	2.2	21.7	40.5	8.2	3.0	25.1	32.8	
				器具の効果	▲8.1	▲0.2	▲22.5	▲48.6	▲15.8	7.5	▲30.7	▲54.8	
	平均				器具の効果	▲24.7	▲23.7	▲20.3	▲65.6	▲28.7	▲13.3	▲20.0	▲40.0

注:表中の数値は1房作業毎の作業中筋電位の平均値を示す。()内の数値は標準偏差を示す。
「器具の効果」は器具なしに対する器具ありの筋電位の増減割合を示す。(((あり-[なし])/[なし])×100))
▲は器具を着けることで筋電位が下がった割合を、無印は上がった割合を示す(単位%)。
平均房高さは地面から果実上端の高さを示す。「※」の作業時は一部で踏み台を使用。

おわりに

腕上げ作業補助器具を開発し、ブドウ栽培ほ場における現地試験によって開発機の性能を明らかにした。動力なしで使える非常に簡易な機構の補助器具であり、果樹栽培の労働負担軽減に貢献できると期待される。上げた腕を支持する補助器具であるため、棚栽培のブドウのように果実の高さや着果状態の方向が比較的揃っている樹種での利用効果が高いと考えているが、他の樹種でも利用可能性は大いにありと期待している。

なお、本研究においては株式会社ニッカーに多大なご協力を頂いた。また、試験の実施にあたっては、農研機構果樹研究所、群馬県農業技術センター、埼玉県農林総合研究センター、長野県果樹試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センターから多大なご協力とご助言を賜った。ここに記して厚く感謝の意を表す。

参考文献

1) 農林水産省：平成 19 年産品目別経営統計

<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/hinmoku/>

2) 小嶋俊英、徳田寿：ブドウ生産者における疲労度の高い管理作業の検討、平成 19 年度滋賀県農業技術振興センター主要研究成果、1-2、2008.

3) 辻村裕次、埴田和史、北原照代：ブドウ果房管理作業における負担の実態、日本農村医学会雑誌、60(1)、1-17、2011.

4) 牧野英二：農作業アシスト装置の現状と今後、農業機械学会誌、72(2)、104-108、2010.

中山間地域における小型水力発電利活用システムの研究

基礎技術研究部

特別研究チーム（エネルギー）

信州大学

日本エンヂニア株式会社

臼井善彦、長澤教夫、Phan Dang To

藤井幸人、松尾陽介（現評価試験部）

飯尾昭一郎、片山雄介

牧志龍男、鈴木栄二、松田尚之、伊藤隼人

はじめに	68
1. 除塵装置の開発とその性能	68
1) 農業用水路における塵芥調査	68
2) 除塵スクリーンの検討	69
3) 除塵装置の構造	71
4) 除塵装置の性能試験	72
5) 除塵装置の現地実証試験	72
2. 電力の利活用方法の検討	73
1) 獣害防除機への利用	73
2) 電動刈払機のバッテリーへの利用	74
3) 有線式電動刈払機への利用	74
おわりに	75
参考文献	75

はじめに

山地の多い日本では、中山間地域が国土面積の70%以上を占めている。また、耕地面積の40%、総農家数の44%、農業産出額の35%、農業集落数の52%を占めるなど¹⁾、我が国農業の中で重要な位置を占めている。しかし、中山間地域農業は高齢化、担い手不足、耕作放棄地の増加など様々な問題を抱え、衰退の一途を辿っているのが現状である。このような状況のもと、近年中山間地域では、傾斜地が多く流水が豊富という地理的な特徴を活かした小水力発電が注目されつつある。また、日本の農業用水路は支線で約40万kmが整備されているため²⁾、既設水路を利用した小水力発電が可能な地点が無数に存在する。ここで、小水力発電の主な利点を以下に記す。

- ① 大規模設備を必要としないため、短期間の工事で済み、維持・管理も容易である。
- ② 用水路に水車を直接設置することが可能で、周辺の生態系に及ぼす影響も小さいため、環境にやさしい。
- ③ 他の自然エネルギーと比較して、エネルギー密度・変換効率が高い。
- ④ 太陽光や風力と比較して発電出力が天候によってほとんど左右されないため、安定的な電力の供給が可能。

以上のような利点を有する小水力発電を、農業用電源の他、地場産業、観光産業、教育啓発の場などに活用することで、地域活性化に繋がることが期待される。

しかし、現状では期待されながらも小水力発電の普及は進んでいない。その原因として、塵芥（浮遊物、ゴミ）による水車の詰まり、有効な電力の利活用方法がない、手続きの煩雑さ等が挙げられる。塵芥によって水車に詰まりが生じると、発電効率が低下するばかりでなく、水車の破損や越流につながる恐れがあるため、水車の保守・管理は必須であるが、これには多大な労力と時間がかかる。電力の利活用方法は、小規模分散型の電源であることを考慮すると、独立した送配電網（グリッド）を構築し、地域内で発電した電力をその地域内で利用する、いわば「エネルギーの地産地消」という形態が望ましい。特に、中山間地域農業における電力の利活用法に的を絞ると、獣害防止用電気柵、防蛾灯、施設園芸の熱供給や照明、小型電動農機など様々な利用形態が考えられるが現在のところ、そのような報告事例は少なく、有効な利活用方法が乏しい。手続きの煩雑さについては、東日本大震災に伴い発生した東京電力福島第一原子力発電所事故を機に、世論の再生可能エネルギーに対する期待感に呼応する形で規制緩和が進んできたが、まだまだ申請者にとって敷居が高いのが現状である。

そこで、本研究では、平成24年度から塵芥の問題と電力の利活用の問題に焦点を絞り研究を進めてきたので、その成果と概要について紹介する。

1. 除塵装置の開発とその性能

1) 農業用水路における塵芥調査

(1) 調査方法

中山間地域（新潟県南魚沼郡湯沢町）の農業用水路（幅500mm、高さ600mm）を対象に、流入する塵芥の量と種類を把握するため、塵芥調査を行った。3種類の金網（目開き10mm、20mm、30mm）

を水路内に設置し、塵芥を捕捉した。捕捉した塵芥は乾燥後、重量を測定し、種類を特定した。

(2) 調査結果

5月～10月にかけて1回/月の頻度で塵芥調査を行ったところ、捕捉塵芥量は最も多い時で392g/hで最も少ない時で9g/hであった。また、塵芥の種類は大部分が葉や雑草であったが、バナナの皮やいが栗の殻といった比較的大きなものもあった(表1)。この結果から、主に葉や雑草を対象とした除塵装置を開発することとした。

表1 塵芥調査の結果

調査日時	塵芥捕捉量(g/h)	流速(m/s)	主な塵芥
5月18日	392	1.3	葉、小枝
6月13日	36	1.3	葉、雑草
7月17日	9	0.7	葉、雑草
8月16日	11	1	葉、雑草
9月21日	51	1.2	葉、果物の皮
10月29日	97	0.7	葉、雑草

注) 5月18日は雨天時のデータ

2) 除塵スクリーンの検討

(1) 試験方法

回流型開水路(図1)を用いて、除塵装置の一部である除塵スクリーンの検討を行った。回流型開水路は水槽に貯めた水をポンプにより汲み上げ、噴出口から開水路へと流し再び水槽に戻る循環式とした。除塵スクリーンの構造は、表流水取水装置WSSウォータースクリーン(日本エンジニア社製)の一部であるスクリーンと同様の構造とした。試験では、除塵スクリーンのスリット幅を変化させたときの除塵スクリーン上の塵芥到達範囲を測定した(図2)。スリット幅は、1mm、2mm、4mm、6mmの4種類で比較した(図3)。塵芥到達範囲の測定では、3種類の塵芥(広葉樹の葉、針葉樹の葉、石)を投入した。試験は水路角 $\theta = 3^\circ$ 、除塵スクリーン設置角 $\alpha = 15^\circ$ 、平均流速約2.0m/sの条件下で行った。

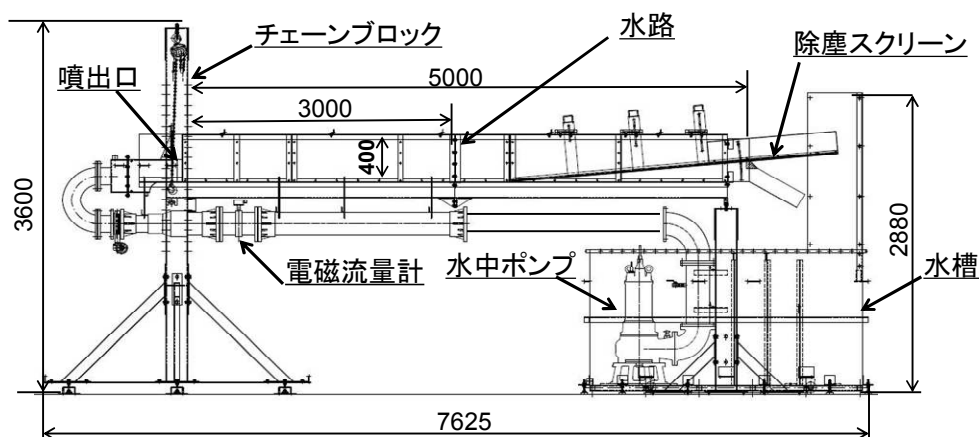


図1 回流型開水路の概要

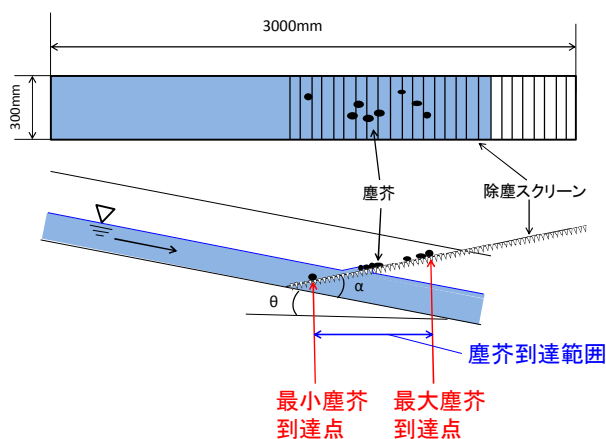


図2 試験装置の模式図

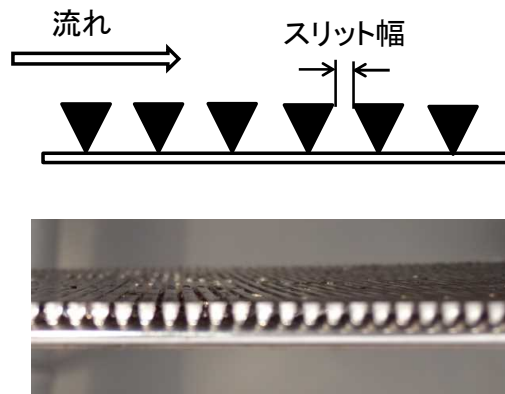


図3 除塵スクリーンの断面

(2) 試験結果

広葉樹の葉を投入した場合、スリット幅を変化に関わらず、塵芥到達に顕著な差は認められなかった(図4)。これは、スリット幅の広さに関係なく除塵スクリーンへの貼り付きが生じたためであった。針葉樹の葉、石については、スリット幅が広くなるにつれて塵芥の最大・最小到達点が小さくなった。これは、スリット幅が広くなるにつれ、除塵スクリーン下への通水量が増加し、流水の最大到達点が小さくなったためと推察された。以上のことから、スリット幅が狭いほど塵芥が除塵スクリーン上に滑りやすい傾向があり、除塵スクリーンの閉塞を生じづらいと考えられたが、顕著な差が認められなかった広葉樹の葉についてはさらに検討を要した。

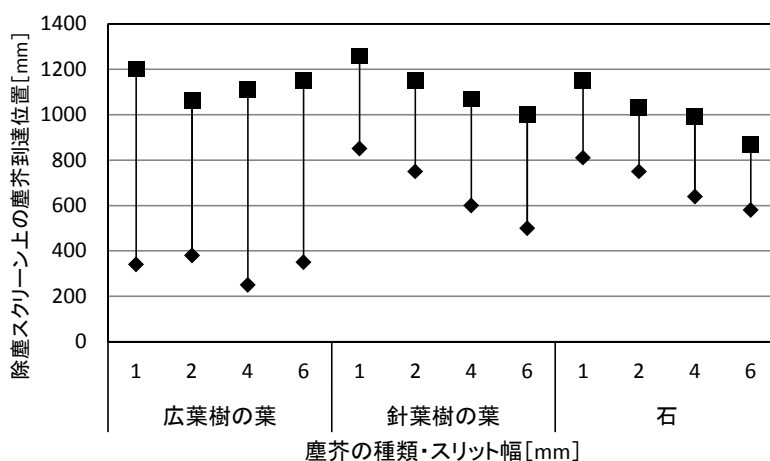
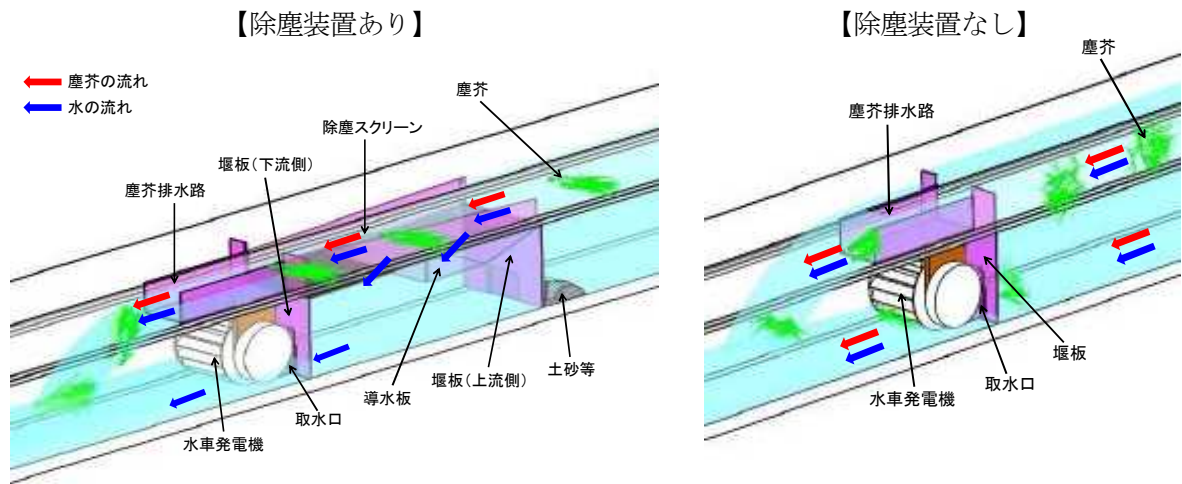


図4 スリット幅と塵芥到達範囲

3) 除塵装置の構造

除塵スクリーンの検討結果をもとに、スリット幅 1mm のスクリーンを組み込んだ除塵装置を開発した（図5、図6）。開発した除塵装置は、除塵スクリーン、上・下流2枚の堰板、側面板、導水板、塵芥排水路から構成され、上・下流2枚の堰板で水路内の流水を堰止めることで、上流からの流水を堰板（上流側）の上端部で溢水させ、除塵スクリーン上を流れる水と除塵スクリーン下に通過する水に分流させる構造とした。落ち葉、雑草等の塵芥は除塵スクリーンを通過できないため、塵芥排水路を経て下流に流される。除塵スクリーンを通過した水は堰板（下流側）の取水口から取水され、発電等に利用可能である。小石、砂利等の比重の大きな塵芥は上流側堰板手前で堆積する。導水板は下流方向へ流水を導く効果があるため、広葉樹の葉の除塵スクリーンへの貼り付きを軽減できる。また、本開発機は外部動力を必要としないため、無電源での利用が可能である。



注) 【本装置の適応条件】 水路幅：制限なし 水路高：水深の2.5倍以上 流速：0.5m/s～2.0m/s 水深：200mm以下

図5 除塵装置あり・なしの比較（堰水車の場合）



図6 農業用水路に設置した除塵装置

4) 除塵装置の性能

(1) 試験方法

開発した除塵装置の性能を評価するため、塵芥投入試験を行った。試験では、30L 程度の大量の雑草を投入した後、除塵装置下流に設置した水車発電機の電圧を測定し、稼働状況を「除塵装置あり」と「除塵装置なし」の場合を比較した。

(2) 試験結果

「除塵装置あり」の場合は、発電電圧は7%程度低下したものの、水車の稼働は維持することができた。一方、「除塵装置なし」の場合は、取水口から流出した雑草が水車と水路底面の間に挟まり、水車が停止した(表2)。このことから、開発した除塵装置は、大量の塵芥が流れてきた場合も対応可能で、水車の稼働を維持できることが示された。

表2 塵芥投入試験結果

	流量 (m ³ /s)	取水口開口高さ (mm)	塵芥種類	投入塵芥量 (L)	発電機電圧・ 塵芥投入前 (V)	発電機電圧・ 塵芥投入後 (V)	水車の状態
除塵装置あり	0.027	80	雑草	30	158	136	稼働
除塵装置なし	0.027	80	雑草	30	169	0	詰まりが発生して停止

注1) 投入塵芥量は雑草が濡れた状態のときで計測(容積10Lのバケツ3杯)

注2) 塵芥は1分間で投入

注3) スクリーンはスリット幅1mm(開口率約33%)のものを使用

注4) 除塵装置(スクリーン長1600mm)は幅500mm×高さ600mmの用水路に設置

5) 除塵装置の現地実証

(1) 試験方法

開発した除塵装置の実用性を確認するため、除塵装置を農業用水路(幅 500mm、高さ 600mm)に設置して、現地実証試験を行った。試験では、40 日間にわたり、塵芥の種類、塵芥の詰まりによる水車停止、及び越流の有無を調査し、「除塵装置なし」の場合と比較した。

(2) 試験結果

調査期間中において、「除塵装置あり」の場合は、塵芥の詰まりによる水車停止や越流はなく、連続的な稼働を維持することができた。一方、「除塵装置なし」の場合は、調査期間中、塵芥の詰まりによる水車停止が8回発生し、そのうち2回は水路外への越流が発生した(表3)。このことから、開発した除塵装置は、水車発電機の長期の連続運転に寄与し、実用性が高いことを確認した。しかし、実際の農業用水路は、大きさや流況が多種多様であるため、開発した除塵装置の汎用性と信頼性を検証するために、様々な用水路での実証試験を引き続き行う必要があると考えられた。

表3 除塵装置の現地実証試験結果

	調査期間	塵芥の詰まりによる水車停止回数	水路外への越流回数	主な塵芥の種類
除塵装置あり	10/17～11/25(40日間)	0回	0回	落ち葉
除塵装置なし	5/16～6/24(40日間)	8回	2回	雑草

注1) 現地実証試験は新潟県南魚沼郡湯沢町の農業用水路で実施

注2) 点検は1日1回程度の頻度で行い、塵芥が水車またはスクリーンに付着している場合は除去した

2. 電力の利活用方法の検討

1) 獣害防除機への利用

(1) 試験方法

中山間地域（長野県須坂市米子町）の農業用水路（幅 500mm、落差 900mm）の流水で稼働している水車発電機（最大出力 200W）の電力を利用して、音と光で獣を威嚇する獣害防除機へ給電を行った。対照区として標準仕様である 12V のバッテリー駆動の獣害防除機を設置し、水車発電機の給電状況をモニタリングするとともに、獣害防除機の稼働状況を定期的に観察した。

(2) 試験結果

対照区である獣害防除機は2週間程度でバッテリー残量が無くなっていた。一方、水車から給電している獣害防除機は、撤去するまでのおよそ1ヶ月半問題なく稼働していた（図7）。このことから水車発電機の利用により、バッテリーを交換することなく獣害防除機の連続的な使用が可能であることが示された。



図7 現地に設置した獣害防除機の様子

2) 電動刈払機のバッテリーへの利用

(1) 試験方法

中山間地域（長野県須坂市米子町）の農業用水路（幅 500mm、落差 800mm）の流水で稼働している水車発電機（最大出力 800W）（図 8）の電力を利用して、市販の電動刈払機のバッテリー 2 種類（ニッケル水素、リチウムイオン、いずれも入力電圧は単相 100V）の充電を行った。充電はバッテリー残量 0 の状態から行い、充電中は電力計を用い、充電状況をモニタリングした。

(2) 試験結果

2 種類のバッテリーへの充電は、特に問題無く完了した。また、充電完了までの時間も 2 種類のバッテリーともに 1 時間以内で完了し、家庭用コンセントからの充電とほぼ同等であった。

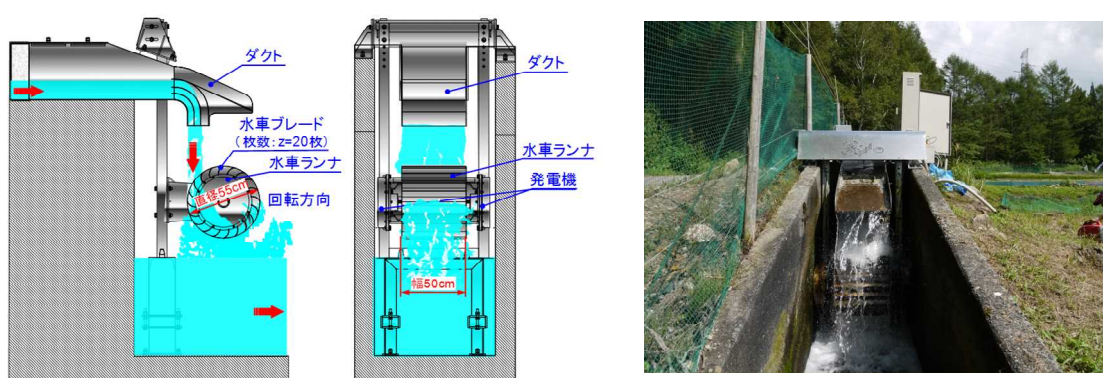


図 8 水車発電機の概要と設置現場の状況

3) 有線式電動刈払機への利用

(1) 試験方法

2) と同じ水車発電機の電力を利用して、市販の電動刈払機をベース機に試作した有線式電動刈払機（図 9）の除草作業実証試験を行った。試験では、作業中の給電状況をモニタリングするとともに、操作性や取扱性について検証した。また、雑草の繁茂状態が同等の試験区で 2 名の作業員による除草試験を行い、エンジン駆動刈払機を対照機として、作業能率や燃料コスト等を比較した。

(2) 試験結果

試作した有線式電動刈払機は、水車からの給電で連続的な作業が可能であった（図 10）。作業中の出力は多少の負荷変動があったものの概ね 400W 程度で安定していた。作業能率については、作業員 A、B ともにエンジン駆動よりも高かった（表 4）。これは、有線式が刈払機本体にエンジン、バッテリーを搭載していないため質量が軽く、作業員の負担が少なかったことに起因していると推察された。しかし、有線式は電源コードの長さによって可動範囲が限定される点や刈刃が電源コードと接触する可能性がある点で課題が残った。燃料コストについては、有線式は水車からの給電であるためコストがかからないが、エンジン駆動は 150 円/10a 以上かかることが分かった。



図9 試作した有線式電動刈払機



図10 有線式電動刈払機での作業の様子

表4 有線式電動刈払機とエンジン駆動刈払機の作業能率と燃料代の比較

動力	作業者	刈取り面積 (m ²)	作業時間	電力使用量 (kWh)	燃料消費量 (cc)	刈刃回転数 (rpm)	作業能率 (min/a)	燃料代/10a (円)
有線電動	A	49.5	7分59秒	0.049	—	6300	16.2	0
エンジン	A	49.5	9分4秒	—	76	6300	18.3	198
有線電動	B	49.5	5分43秒	0.034	—	6300	11.5	0
エンジン	B	49.5	7分8秒	—	59	6300	14.4	154

注1) 刈刃回転数は電動が2段階設定のため、エンジンを同一回転数に合わせた

注2) ガソリン代1リットル:129円として計算

注3) 燃料消費量は満タン法で計測

おわりに

本研究で開発した除塵装置は、今後、関係機関と連携しながら市販化を目指す予定である。本装置が、小水力発電の普及の一助となり、中山間地域の活性化に繋がることを期待している。電力の利用については、本研究では農業に限定したが、今後、様々な分野での利用が検討され、小水力発電のみならず再生可能エネルギー全体が社会に浸透していくことを願う。

本研究課題を実施するにあたり、水車設置の申請では新潟大学農学部の吉川准教授、水車の保守・点検では南魚沼福祉会あさひばら、ほ場の提供では長野県須坂市役所市民共創部生活環境課の上原氏および生産者、その他多くの方々に多大なるご協力を賜った。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 2010年世界農林業センサス
- 2) 小水力利用推進協議会編：小水力エネルギー読本、オーム社、p108、2006
- 3) 臼井善彦ら：2013年度農業施設学会大会講演要旨、59-62
- 4) 臼井善彦ら：2014年度農業施設学会大会講演要旨、37-38

ロボット農用車両遠隔運用システムの開発

特別研究チーム（ロボット） 山下貴史、林 和信、宮原佳彦、
栗原英治、埴 圭二
中央農業総合研究センター 玉城勝彦

はじめに	78
1. 運用システム	78
2. 農作業への適用	82
3. タイムスタディ	84
おわりに	85
参考文献	85

はじめに

農業機械分野におけるロボット（ロボット農用車両）の開発は農作業の省力化の有効な手段として長年にわたって研究開発されてきた。以前から予想されていた通りわが国の農業就業者人口の減少、特に熟練農業者の減少は現在既に喫緊の問題となっており、今後更なる深刻化が懸念されている。このような現状の中、ロボットによる省力化への期待は単純な現場労働者の削減に限らず、非熟練者でも熟練者と同等な作業を可能にする作業技術代替手段、農作業計画や作業履歴などを扱う営農管理システムとの連携による作業データの有効活用手段、これらによる経営体の大規模化と生産費の低コスト化を促進させる効率化手段など、以前よりも広範な効果を期待されている。そのような中、農林水産省委託プロジェクト「低コスト・省力化、軽労化技術等の開発」の課題である「稲麦大豆作等土地利用型農業における自動農作業体系化技術の開発」では、これまでに開発されてきた個別のロボット農用車両を用いたロボット農作業一貫体系の構築と現地ほ場での動作実証を目指して活動してきた。生研センターはこの課題の水稲作におけるロボット作業一貫体系（耕うん、代かき、田植え、収穫）のうち、耕うん、代かき作業が可能なロボットトラクタの開発と動作実証を担当した。また、このロボットトラクタのようなロボット農用車両を遠隔運用（作業計画・履歴管理、遠隔監視・遠隔操縦）可能なシステムを合わせて開発した。よって、これらの開発から得られた現状におけるロボットの農作業適応性や省力化に関する知見について報告する。なお、本研究のベース技術は農林水産省の「新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業」における課題「放射能汚染地域内水田等における除染作業用トラクタおよび作業機の開発」（平成23年度）において開発されたものである。

1. 運用システム

1) システムの概要

これまで多くのロボット農用車両開発において主たる検討事項は、目標の作業を精度よく動作させるための車両自体のハード・ソフト開発であった。このような開発における試作機の運用においては、ロボット農用車両が走行・作業する目標経路は開発者が事前に幾何学計算をして準備しておく必要があったり、矩形形状のほ場のみ対応可能であるなどの制限があった。また、ほ場畦畔位置や進入口の変化などで事前準備した目標経路の変更が必要になった場合に、現場レベルで迅速に対応することは難しかった。そこで本研究では、放射性物質汚染地域内水田等における除染作業への活用を目的とした無人トラクタ遠隔操縦システム¹⁾をベース技術として、一般農作業へ適用させるための種々の機能を追加・改良することで、ロボット農用車両の現場適応性向上を目指した。

2) システムの構成

基本構成については過去の報告¹⁾に記載があるためここでは主要部分を簡単に説明する。本システムは主にロボットトラクタなど無人のロボット農用車両（以下、ロボット）とオペレータが

駐在する基地局から構成され、この2者間で無線通信により情報が逐次送受されることでロボットの自律運転時の遠隔監視や任意の遠隔操縦を実現している。システムの開発目標としては図1に示すようにオペレータ1名と現場担当者1名の計2名によるロボット4台の同時運用であるが、本報では1名2台運用までの構成で報告する。

(1) 基地局

ロボットを遠隔監視・遠隔操縦するための基地局には、駐在するオペレータに情報を提供するためのディスプレイ、スピーカ、警報ブザー等の提示装置と、遠隔操縦を実現するための運転装置や非常停止ボタン等の操作装置、ロボットと通信するための通信機材を備えている(図2)。提示装置にはロボットに備え付けられたカメラ映像、基地局建屋やほ場端に設置された安全監視カメラ映像の他、GIS 営農情報管理システム「FARMS (ファームズ)」の画面が写され、ロボットの現在の状態や作業経路など各種情報をグラフィカルに把握できる。

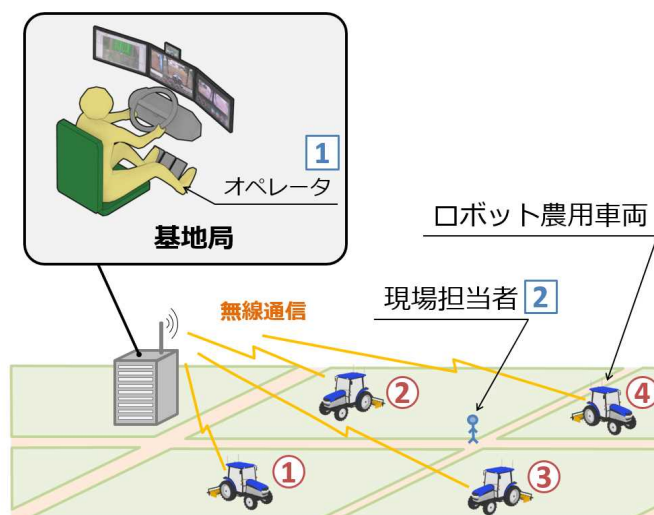


図1 システムの運用イメージ



図2 基地局の構成

(2) GIS 営農情報管理システム「FARMS」

FARMS は生研センターで開発した GIS 営農情報管理システムであり、地図情報（位置情報）と各種情報を一体的に管理できることを特徴とする。本システムではこの FARMS にロボット車両管理機能と作業経路計画生成機能を付加しシステムの基幹部分としている。

① 営農情報管理機能

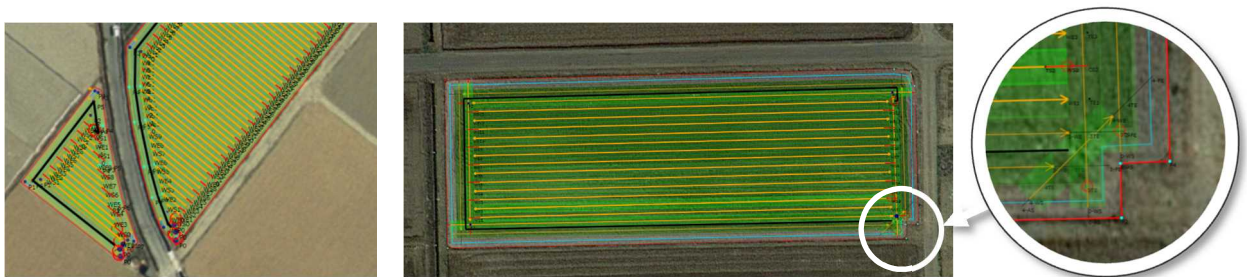
FARMS 本来の機能であり地図ベースのほ場管理、携帯端末からの作業履歴の記録、生育量や収量のメッシュ表示による作業計画支援など各種営農情報管理機能を備えている。本システムでは、後述の作業経路計画を生成するためのほ場（ほ場形状）の管理に用いられる。

② ロボット車両管理機能

図2に示すメータパネルや FARMS 画面上で用いられる車両・作業情報の送受信や逐次表示・記録や、記録した作業履歴の再生などロボット情報を管理するための機能である。

③ 作業経路計画生成機能

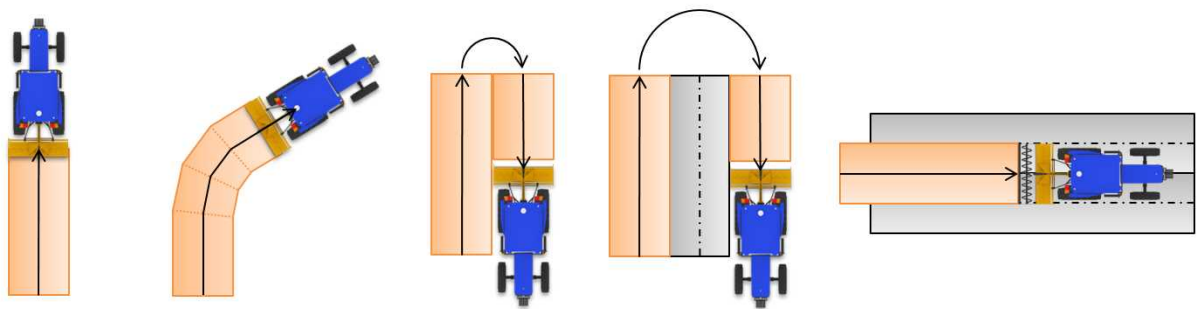
上述の営農情報管理機能で事前登録していたほ場や、ロボット車両管理機能で記録していたロボット等の走行履歴、その他航空写真などからほ場外形を設定し、ロボットによるほ場内の自律作業を実施するための経路計画を生成する機能である。矩形ほ場以外の変形ほ場でも経路計画を自動生成でき、またマウス操作により簡単に修正が可能である（図3）。また、生成される経路は各種作業を指定するだけで経路順序や位置が自動調整される（図4）。



(a) 変形ほ場での自動生成

(b) マウス操作による修正（例：ほ場進入口）

図3 作業経路計画の自動生成と修正（FARMS 画面）



(a) 擬似曲線経路

(b) 1行程おき経路

(c) 半行程ずらし経路

図4 各種作業に対応した経路

(3) ロボットトラクタ

ここではロボット農用車両のうち、生研センターが開発した耕うん、代かき作業が可能なロボットトラクタについて説明する。

① 機材構成

市販中型トラクタをベースに RTK-GNSS 受信機、IMU（慣性航法装置）、ステアリングコントローラ（モータ）、制御 PC を搭載しロボット化のための改造がされている。また、遠隔操縦・遠隔監視用にカメラと通信機器を搭載しており、基地局と映像や操作情報などを逐次送受信可能である（図 5）。

② 制御プログラムと旋回方法

制御 PC 上では車載の各種センサ情報と基地局からの操作情報や作業経路計画に従って車両を制御するプログラムが駆動しており、自律作業時は作業に合わせて旋回方法を自動的に判断・選択することが可能である（図 6）。

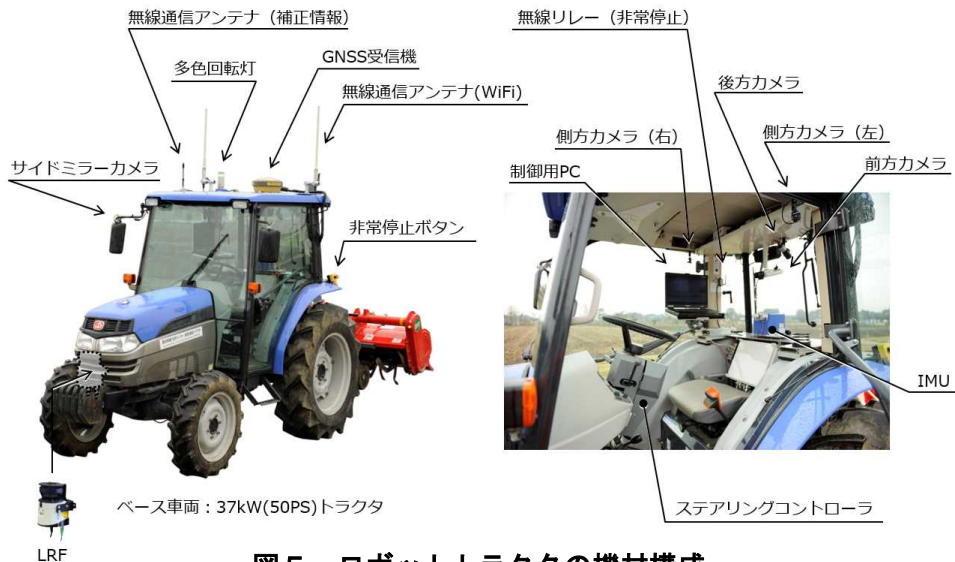


図 5 ロボットトラクタの機材構成

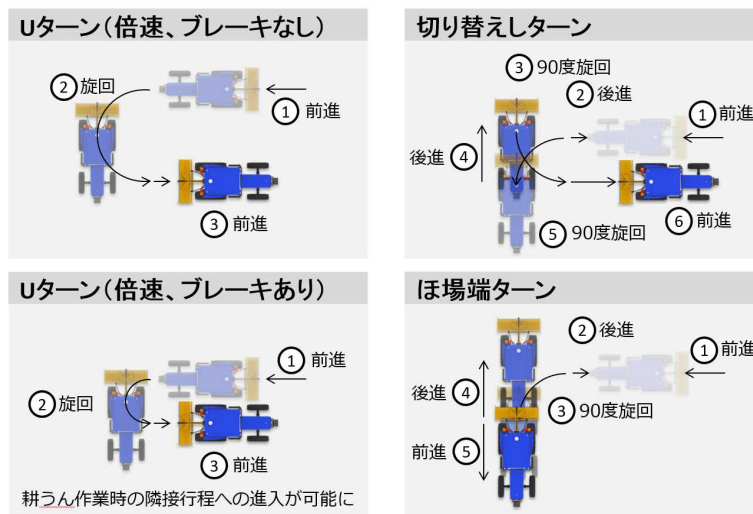


図 6 旋回方法（実施作業と経路計画に基づいて自動選択される）

3) ほ場内での運用方法（作業手順）

除染作業への適応時はほ場形状データが事前に得られない状況が想定されていたため遠隔操縦により最外周を作業することではほ場外形を識別させる必要があった¹⁾。一方、一般的な農作業においては十分な精度で測量されたほ場外形を利用するか、過去の作業履歴を用いることではほ場外形を特定できる。また、作業経路計画は事前に生成させておき、現場作業時に調整することが可能である。よって、本システムを用いたほ場内での作業手順は、外周（枕地）部分を残して内側を自律運転により作業し、次に残りの外周部分を遠隔操縦、または乗車運転により作業する順序となる。大区画ほ場で往復行程のみ実施する場合などは自律作業のみで終わらせることもできる。

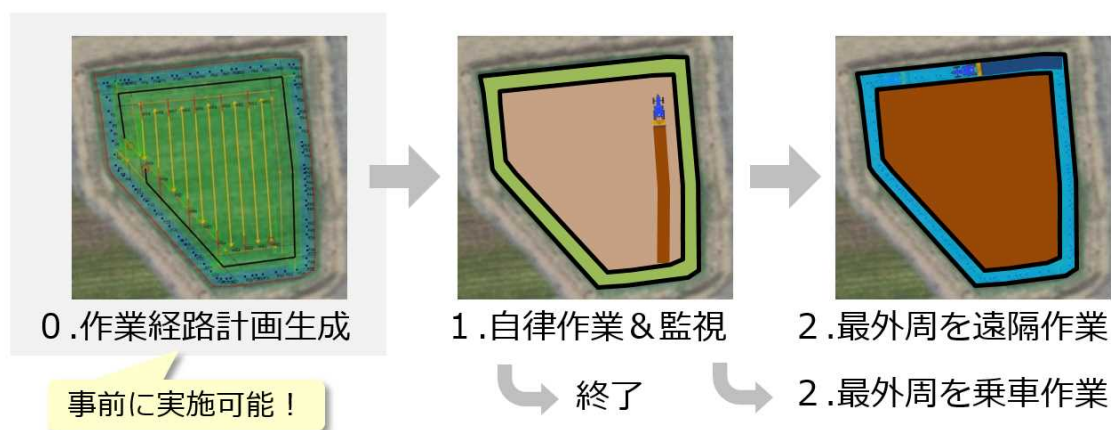


図7 ほ場内の作業手順

2. 農作業への適用

1) 現地ほ場での動作実証試験の概要

本システムの一般農作業への適応性を確認するために、茨城県つくば市の農業生産法人が所有する水田において耕うん、代かき作業のほ場試験を実施した。試験は中央農業総合研究センターと協力で実施し、オペレータ1名とロボットトラクタ2台での運用とした。対象ほ場は西ほ場(30a)と東ほ場(35a)の2筆で、東ほ場付近の駐機場に仮設の基地局を設置し、ロボットトラクタの駐機場からほ場への運搬は、東ほ場へは乗車運転(戻りは徒歩)、西ほ場へはトラックへの積載とした(図8)。また、ロボットトラクタの自律作業中はオペレータが基地局において遠隔監視することとし、試験の安全な実施のために各ほ場にオペレータ以外の監視者を配置した。

1) 試験結果の概要

ここではほ場内作業に注目し、西ほ場での耕うん作業と仕上代作業の結果について説明する。両作業はほ場内側の往復行程と外周行程の一部を自律、残りを乗車で実施した(図9、表)。作業経路計画は事前測量のほ場外形を基に作成し、作業経路計画作成のためのオペレータの作業時間は確認も含めて約5分であった。作業は問題なく実施でき、同ほ場にて後日、田植え作業を問題なく実施できた。耕うん作業における横偏差が3.5cmと若干大きいのは、旋回後の行程進入時の誤差が大きかったため、行程端から7m進んだ後の直進部分においては横偏差は2cm未満と

十分高い精度であった。一方、対象ほ場でのすべての行程を乗車して実施した場合のほ場作業時間を計算（後述のシミュレーション）し試験結果と比較すると、旋回時間の増分により耕うん作業で約4分、代かき作業で約6分増加した。また、作業の自律作業割合（作業経路より計算したほ場内全作業距離における自律作業距離の割合）はそれぞれ約84%、約60%であった。仕上代作業の自律作業割合が低いのは作業経路の順序により外周行程（乗車作業距離）が増えたためであり、作業順序を改善し乗車区間を減らす工夫が必要であると考えられた。

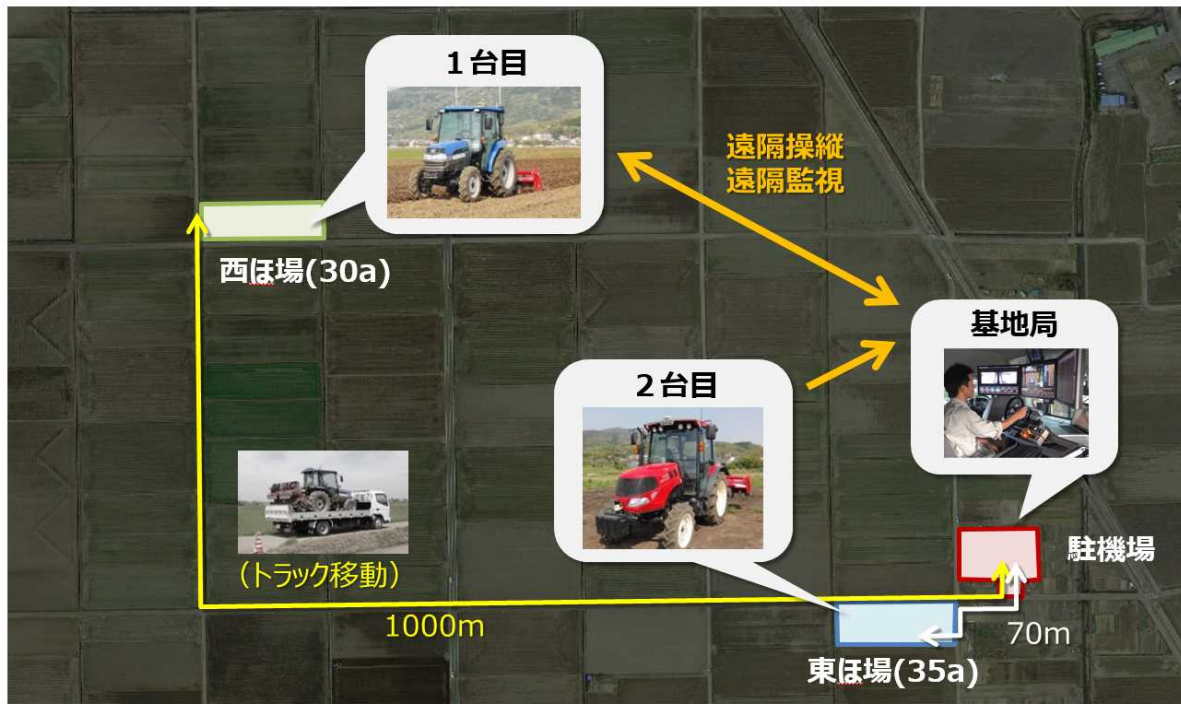
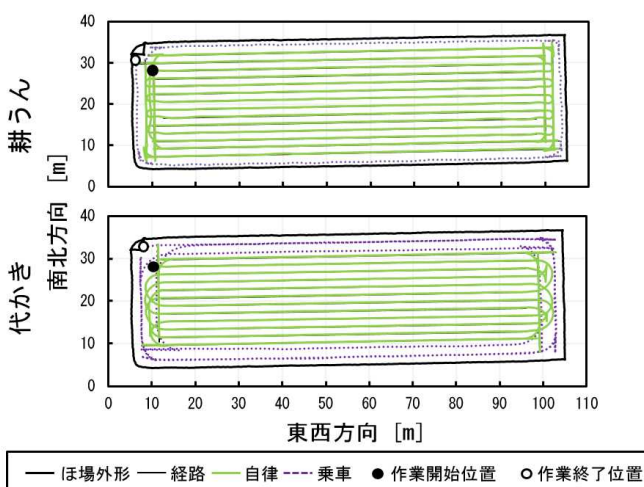


図8 試験概要

表 試験条件と試験結果



ほ場面積	30a(長辺100m × 短辺30m)	
作業	耕うん	代かき (仕上代、2回がけ)
作業機	耕うんロータリ	代かきハロー
作業幅 [m]	2.00	3.80
行程間隔 [m]	1.90	3.58
作業行程(自律)	往復×10 +外周×2	往復×10 +外周×1
作業行程(乗車)	最外周×1	外周×1 +最外周×2
平均作業速度 [m/s]	0.42	0.46
横偏差(RMS)※1[cm]	3.5	2.0
ほ場作業時間 [h]	1.38	1.45
ほ場作業量 [a/h]	21.8	20.7

※1 自律作業時の直線経路から作業機中心位置までの距離

図9 作業経路計画と走行軌跡

3. タイムスタディ

1) 概要

次に、ほ場内作業と合わせてほ場外のロボット運搬等も考慮した全体の作業時間を検討するために、1名のオペレータが1台のトラクタを使用して作業した場合（慣行）と、1名のオペレータが2台のロボットトラクタを使用して作業した場合（1名2台）の条件で比較した。両条件においてトラクタの機体性能（作業速度、作業幅）は同一とし、ほ場内作業時の移動・旋回時間やトラックへの積み込み積み下ろし等の運搬のための時間は上述のほ場試験で記録した時間を用いた。

2) タイムスタディ結果

ほ場試験と同様に耕うん、代かき作業における作業時間を示す（図10、11）。図の横軸は時間（単位は[分]）、縦軸の東ほ場、基地局（駐機場）、西ほ場の各列に作業がある場合はその場所での作業であることを示す。また、矢印はオペレータの移動を示す。図10より、慣行と1名2台を比較すると、このほ場条件での耕うん作業における全作業時間の削減時間は44分（22%）であり、また、図11より同様に仕上代作業においては38分（18%）であった。理想的には、1名2台運用は慣行より半分の作業時間を求められるが、今回の試験とシミュレーションでは、ロボットトラクタ自律作業中の遠隔監視を必須条件にしたため、機体の待機時間が多く発生し作業時間削減を抑制したが、これはシステムの運用方法の工夫により改善できると考えられる。

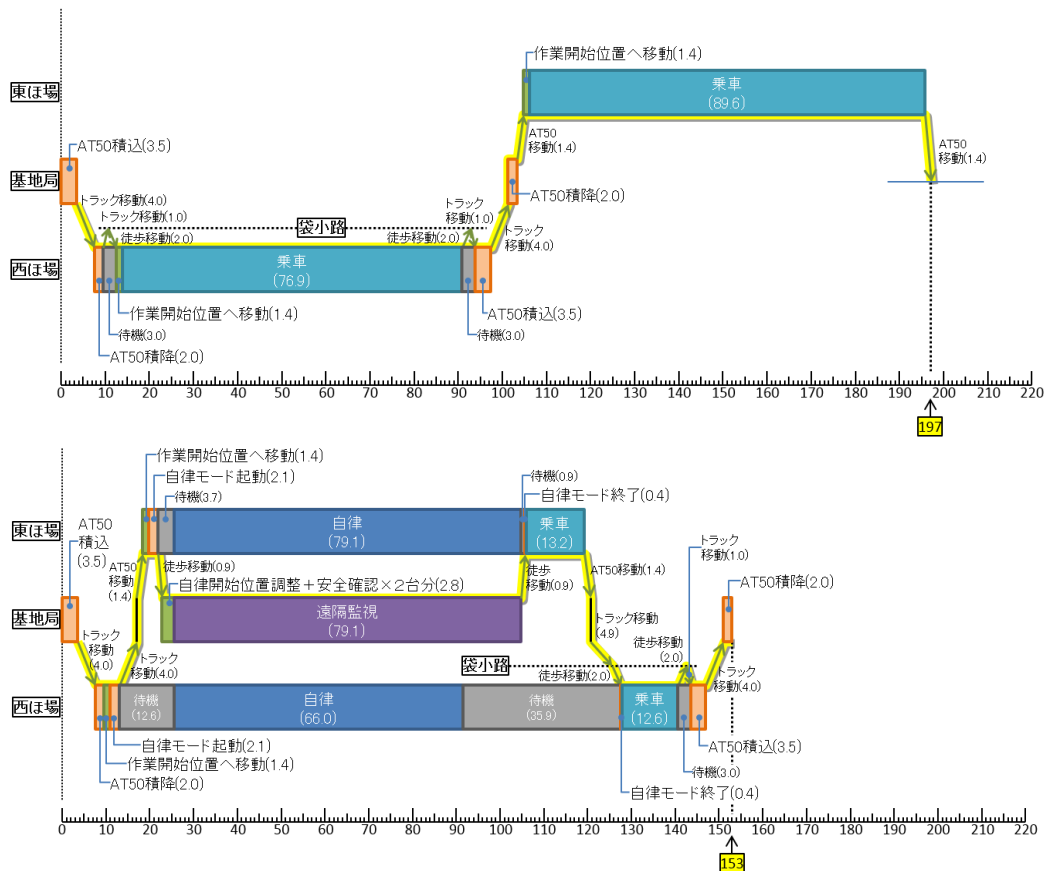


図10 タイムスタディ（耕うん作業）（上：慣行、下：1名2台）

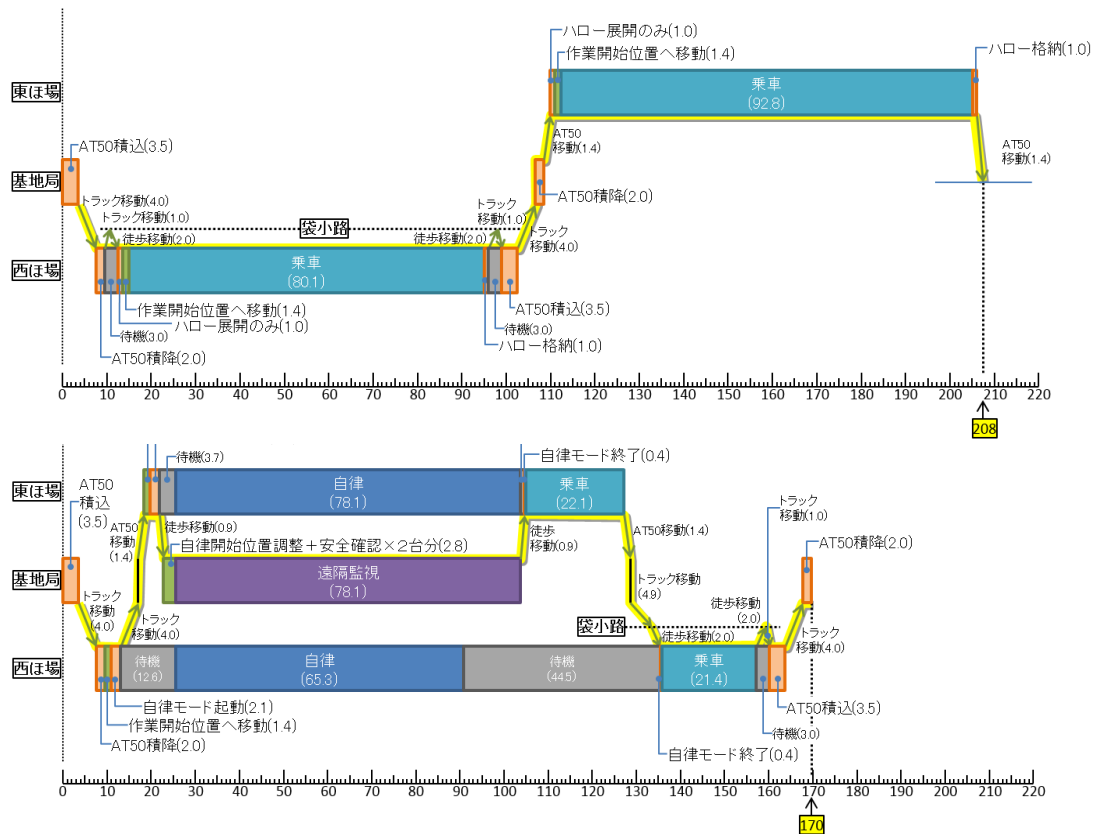


図 1 1 タイムスタディ（仕上代作業）（上：慣行、下：1名2台）

おわりに

本研究により、ロボット農用車両遠隔運用システムを用いることで、無人のロボット農用車両に遠隔監視下で農作業を実施させることが可能であることを示した。今回は参画したプロジェクトの担当である、水稲作におけるロボット作業一貫体系のうちの耕うん、代かき作業が可能なロボットトラクタのみを運用したが、体系全体でシステムを運用するためには他の農用車両にも適用拡大し、また、目標である2名4台運用を目指してシステムを拡張する必要がある。今後はこれら運用システムの改良と合わせて、現場利用を想定した運用方法を検討していく予定であり、これにより作業時間の大幅短縮も含めた農作業の超省力化技術の構築に繋がると考えている。

参考文献

- 1) 山下貴史ら，2012．遠隔操縦及び自律作業可能な無人トラクタの開発と除染作業への適用，平成24年度生研センター研究報告会資料，12-19

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、原著者の許諾を
得て下さい。

問い合わせ先：

生研センター 企画部 機械化情報課

TEL： 048-654-7030

FAX： 048-654-7130

または

info-iam-jouhouka@ml.affrc.go.jp

平成 26 年度 生研センター研究報告会

頒価 1,966 円 (本体価格 1,820 円 + 消費税 8%)

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 27 年 3 月 11 日