

平成18年度
生研センター研究報告会

平成19年3月8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18年度 生研センター研究報告会

1. 開催日時 平成19年3月8日(木)
2. 場 所 大宮ソニックシティホール(小ホール)
(さいたま市大宮区桜木町1-7-5 TEL: 048-647-4111)
3. 日 程
 - 1) 開 会 10:00
 - 2) 挨 拶 10:00~10:10
 - (1) 生物系特定産業技術研究支援センター
 - (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・特別研究チーム(ロボット)
 - (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・特別研究チーム(安全)
 - (6) 特別研究チーム(ドリフト)

《 昼 食 》
 - 5) 研究報告 12:20~13:20
 - (1) 農業機械等緊急開発事業完了課題報告 13:20~16:05
 - ① 日本型水稻精密農業(PF)実証試験
 - － 実証試験の概要 －
 - － 携帯式作物生育情報測定装置 －
 - － 収穫情報測定装置 －
 - － 可変施肥装置 －
 - － 情報センター －
 - － PF機器を活用した広域管理 －
 - － 作業ナビゲータによる局所精密管理 －

《 休 憩 》

(15:05~15:20)

 - ② いも類の収穫前茎葉処理機の開発
 - ③ 繋ぎ飼い飼養における新酪農システム実証試験
 - (2) 研究成果の報告 16:05~17:05
 - ① 使用済み農用ゴムクローラの芯金・ゴム分離回収システムの開発
 - ② トラクタ用省エネ運転指示装置の基礎的研究
 - ③ 農業機械の事故実態と安全装備に関する農業者調査

【 質 疑 】
 - 6) 閉 会 17:05~17:40

目 次

1. 日本型水稲精密農業（P F）実証試験	1
－ 実証試験の概要 －	
－ 携帯式作物生育情報測定装置 －	
－ 収穫情報測定装置 －	
－ 可変施肥装置 －	
－ 情報センター －	
－ P F 機器を活用した広域管理 －	
－ 作業ナビゲータによる局所精密管理 －	
2. いも類の収穫前茎葉処理機の開発	41
3. 繋ぎ飼い飼養における新酪農システム実証試験	50
4. 使用済み農用ゴムクローラの芯金・ゴム分離回収システムの開発	61
5. トラクタ用省エネ運転指示装置の基礎的研究	71
6. 農業機械の事故実態と安全装備に関する農業者調査	80

日本型水稻精密農業(PF)実証試験

実証試験の概要	2
はじめに	2
1. 実証試験の概要	2
2. 本資料の構成	3
おわりに	3
携帯式作物生育情報測定装置	5
はじめに	5
1. 携帯式作物生育情報測定装置（携帯式装置）の概要	5
2. 生育情報利用による水稻の栄養診断	6
3. 高品質米生産のための新たな試み	7
4. 携帯式作物生育情報測定装置の測定方法と作業能率	9
おわりに	10
収穫情報測定装置	12
はじめに	12
1. 生研センターにおける収量コンバインの開発目標	12
2. 収量コンバインの構造	13
3. 収量コンバイン現地導入実証試験	14
おわりに	16
可変施肥装置	17
はじめに	17
1. 開発目標	17
2. 基肥用可変施肥装置	18
3. 追肥用可変施肥装置	18
4. 実証試験における可変施肥装置の利用試験	19
おわりに	20
情報センター	21
はじめに	21
1. 情報センターの開発目標	21
2. 情報センターの構成	22
3. 各構成要素の概要	22
4. 実証試験における情報センターの運用	24
おわりに	25
PF機器を活用した広域管理	26
1. 広域管理による実証試験の概要	26
2. 試験方法	27
3. 結果と考察	31
作業ナビゲータによる局所精密管理	34
はじめに	34
1. 作業ナビの構成と実証試験における改良	34
2. 局所精密管理試験	37
おわりに	40

日本型水稻精密農業（PF）実証試験

－ 実証試験の概要 －

生産システム研究部 西村 洋、堀尾光広、日高靖之、林 和信、紺屋秀之、
栗原英治、杉山隆夫、澁谷幸憲（現東北農研セ）、
市川友彦（現退職）、内間亜希子（現退職）

基礎技術研究部 松尾陽介、濱田安之、小倉昭男、津賀幸之介（現退職）

はじめに

生研センターは、1999年度から21世紀型農業機械等緊急開発事業（以下、21緊プロ）で精密農業（PF）の研究に取り組み、有識者の会議で定義された「メッシュ毎の土壌や作物の状態などを的確かつ詳細に把握し、施肥、防除等を過不足なく効率的に行う」ための機器開発を目標として、携帯式作物生育情報測定装置（以下、携帯式装置）、無人ヘリ搭載式作物生育情報測定装置（以下、無人ヘリ式）、収穫情報測定装置（以下、収量コンバイン）、基肥用及び追肥用可変施肥装置さらには農用車両作業ナビゲータなど、PFの個別要素技術となる機械・装置を開発した。これらを実際の農業現場に導入して、「品質の向上、生産コストの低減、環境負荷の低減を同時に可能にする栽培管理技術」として機能することを検証するのが、本実証試験の目的である。

開発当初のPFはほ場内の地力むらに着目し、土壌、作物生育量や収量の局所的な情報の収集とそれに基づく局所的な施肥管理によって、肥料投入量の削減やほ場内での収量や品質の均質化、ひいてはほ場レベルでの収量・品質の向上を目標としていた。しかし、このような局所的な管理だけでは、米価の低下に対応するための生産コストの低減を図りつつ、戦略的な生産による売れる米作りを行うための新しい生産管理には結びつきにくい。そこで、想定する管理レベルをほ場内から地域に広げ、ほ場単位で様々な情報を取得し管理することとした。つまり、ほ場1筆毎に、施肥、生育量、収量さらには種々の作業情報を蓄積し、それらの情報をもとに生産管理を行うイメージとなる。このような管理方式を「広域管理」と呼び、本実証試験の中心に位置づけるとともに、「局所精密管理」についても将来の技術的な蓄積を目途として、それぞれ実証試験を行った。

1. 実証試験の概要

開発したPF機器を組み合わせた、システムとしての実証試験を「本試験」とし、この他に携帯式作物生育情報測定装置の精度検証並びに国内主要品種のデータ蓄積等を目的として「サブ試験」を設定した。

1) 本試験

(1) 広域管理

本試験における広域管理は、新潟県長岡市神谷において平成15年度から4カ年、また宮城県大崎市三本木で平成16年度から3カ年、それぞれJA、生産組合及び大規模個人農家の協力を得て行った。いずれの地区においてもそれぞれの地域特性を活かした形態で実証試験を展開し、通常の作業体系の一部もしくは全部にPF機器を供試して、機器そのものの性能の検証を行いつつ、データ収集、収集したデータの解析、さらには解析結果に基づく施肥設計の見直しなどの生産管理を実施した。

(2) 局所精密管理

局所精密管理の初年目（2003年度）の実証試験は、新潟県長岡市にある造成直後で地力むらの大きいほ場を対象に開始した。しかし、試験ほ場が2004年秋の中越震災の影響を受けて過年度情報を利用できなくなったことなどから、2005年度から場所を変え、宮城の本試験地と秋田県秋田市のほ場を借りて試験を継続することとした。

2) サブ試験

サブ試験では、4カ年を通じて7箇所、それぞれの地域の主要な品種を対象とした携帯式装置の基礎データ収集を委託した。委託先は、秋田、宮城、新潟、滋賀、京都、兵庫及び福岡の公立農業試験場所や大学であり、ほとんどのところで、複数年にわたってデータを蓄積していただいた。

2. 本資料の構成

本資料では、まず始めに、実証試験で供試した個別機器の性能などを報告する。携帯式作物生育情報測定装置、収穫情報測定装置及び可変施肥装置については、平成14年度の研究報告会で紹介して以降、実働レベルの実証試験で把握された問題点に改良を加えてきており、それぞれの最終段階の外観、仕様及び性能を紹介するとともに、実証試験の中で得られた、大規模作業の効率化や高品質米生産への寄与などについても述べる。また、実証試験を開始した翌年、2004年度から開発を始め、今回の実証試験における中心的な役割を担うまでになった情報センターについては、その構成や個別機能について紹介する。

最後に、これら個別機器を組み合わせて検証した「精密農業」の効果に関しては、広域管理と局所精密管理に分けて多くの紙面を割いた。

おわりに

複数の開発機器を稲作作業体系に当てはめて現地実証を行うという、極めて大がかりな試験を、生研センターが主体となって展開したことは、これまでもあまり例がない。単独の機械の性能把握と現地適応性確認を目途としたこれまでの開発促進評価試験と比べ、目指す結果が「新しい栽培管理技術」の確立である点でも、これまでの研究とは異質の部分が多く含んでいる。しかし、委託先の方々に機械を利用していただき、ディスカッションを重ねる中で、当初は漠としたターゲットが次第に具体性を帯び、ここで報告するようになり具体的な成果として報告できた。特に、今回の実証試験を通じて、委託先の米づくりが周囲に評価されて米の販路が広がったり、地元の酒造業者と連携した米づくりの模索が始まるなど、予想を上回る効果を委託先にもたらしたことは、実証試験を担当した我々にとって大きな励みとなった。

しかし、まだ分析途上のものや十分な検討がなされていない部分もあり、本稿をお読みいただいた皆様からのご助言やご批判を賜りながら、さらに有益なシステムとして育てたいと考えている。

4年間にわたる実証試験では、数多くの方々にお世話になった。PF機器の試作、搬送、操作指導などは、井関農機(株)、(株)荏原製作所、(株)荏原電産、静岡製機(株)、(株)ジャパンテクニカルソフトウェア、(株)パスコ、(有)東製作所、日立ソフトウェアエンジニアリング(株)、ヤマハ発動機(株)、ヤンマー農機(株)に委託した。試験ほ場の提供、実際の作業、さらには栽培管理履歴に関する情報提供など、実証試験の全てにわたって、新潟では越後さんとう農協、農事法人神谷生産組合で組織された委託先の越後さんとう水稻精密農業研究会、新潟県農業総合研究所、同地区の普及センターに、宮城では三本木グリーンサービス、大崎地区農業改良

普及センター、宮城県古川農業試験場にお世話いただくとともに貴重なご助言をいただいた。さらに、サブ試験の実施にあたっては、京都大学大学院農学研究科、秋田県農林水産技術センター農業試験場、宮城県農業・園芸総合研究所、宮城県古川農業試験場、新潟県農業総合研究所、滋賀県農業総合センター農業試験場、兵庫県立農林水産技術総合センター、福岡県農業総合試験場に委託し、多くの貴重なデータを蓄積していただいた。ここに改めて深甚の謝意を表す次第である。

日本型水稲精密農業（P F）実証試験 — 携帯式作物生育情報測定装置 —

生産システム研究部 堀尾光広、紺屋秀之、西村 洋、林 和信
内間亜希子（現退職）、杉山隆夫、市川友彦（現退職）

はじめに

本実証試験では、21 緊プロで開発した精密農業関連機器等を農業現場にシステムとして導入し、適正な生産管理による、低コストかつ環境保全を考慮した高品質・高付加価値米生産の可能性を検証してきた。高品質米の生産を実現するには、土壌の状態や作物の生育状況を把握したうえで栽培管理を行うことが重要である。なかでも、水稲の窒素栄養状態は、玄米の品質・収量と密接な関係を持つ要素あり、生育期間中にタイムリーな情報を得ることができれば、適切な生産管理が可能となる。

生研センターでは、平成 14 年度まで、前述の 21 緊プロにおいて関係企業等の協力を得ながら「作物生育情報測定装置」の開発を実施してきた。この装置は、水稲の茎葉窒素推定に有効なツールとなり得ることが確認されており、平成 15 年度の研究報告会では、水稲生育診断・栄養診断への利用の考え方について述べてきた。本報告はその続報として、大学や公立研究機関の協力による多くのデータの蓄積とそれをもとにした利用法の研究、さらには、生育情報利用による水稲の収穫適期判定や玄米タンパク含量の推定など高品質米生産に向けた新たな技術への取り組みについても紹介する。

1. 携帯式作物生育情報測定装置（携帯式装置）の概要

本装置は、作物からの反射光と太陽光を測定するセンサ部、測定操作や表示、データ処理を行う制御操作部などで構成される携帯式の作物生育情報測定装置である（図 1）。携帯式装置の表示部には、 $NDVI \times 100$ （NDVI：正規化植生指数、 $(NIR-R)/(NIR+R)$ ）に相当する値が表示される。以下の試験では、これを GI 値（Growth Index）と呼ぶ。

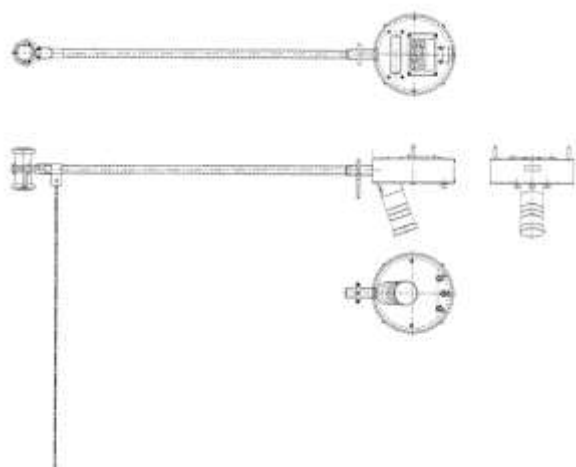


図 1 携帯式作物生育情報測定装置



図 2 携帯式装置の概観と測定風景

2. 生育情報利用による水稻の栄養診断

本装置は、農業関係の試験研究機関における水稻の栽培研究用ツール、あるいは都道府県で実施される営農指導の際の生育調査用ツールなどが当面の主な利用場面として想定される。そこで、本実証試験では、サブ試験として1大学、6県の公立農業関係試験研究機関の協力のもと、作物、品種、地域など様々な条件での基礎的データ蓄積、利用方法の研究に努めてきた。表1にサブ試験の対象地域と主に対象とした水稻品種を示す。

表1 対象地域と対象水稻品種

対象地域・試験委託先	対象品種
宮城・宮城県古川農業試験場	ひとめぼれ
秋田・秋田県農林水産技術センター 農業試験場	あきたこまち
埼玉・生研センター	ひとめぼれ、コシヒカリ
新潟・新潟県農業総合研究所	コシヒカリ、こしいぶき
滋賀・滋賀県農業総合センター 農業試験場	コシヒカリ
兵庫・兵庫県立農林水産技術総合センター	ヒノヒカリ、キヌヒカリ、山田錦
福岡・福岡県農業総合試験場	ヒノヒカリ

穂肥期前後のGI値と水稻の茎葉窒素含有量との関係は、前報で一部内容の報告を行ったが、測定日の違い、すなわち生育ステージの違いによらず一つの関係式で推定可能であることがわかった。宮城の例（品種：ひとめぼれ）を見ると、平成15年度からの4ケ年で同様の傾向を示し、若干の年次間差は見られるもののGI値80（窒素吸収量6g/m²）程度までの診断に有効であることが確認された。植生指数NIR/Rで見ると、窒素吸収量6g/m²まで年次間差が少なく、それ以降も各年次で簡易な方法により検量線を作成することで出穂期近くまで（10g/m²まで）の推定に利用できることも示された。今後、本装置を利用するにあたっては、こうした知見にも配慮しながら活用することが重要である。

表2 各年次のGI値、正規化植生指数（NDVI）に対する稲体窒素吸収量（保有量）の関係（宮城古川農試）

窒素保有量	GI値：NDVI×100 (NDVI = (NIR-R)/(NIR+R))			
	H15年	H16年	H17年	H18年
3 g/m ²	67	65	65	67
4 g/m ²	75	73	74	75
5 g/m ²	79	78	79	80
6 g/m ²	81	81	81	82
7 g/m ²	82	82	83	84

NDVI：正規化植生指数

NIR：近赤外光反射率、R：赤色光反射率

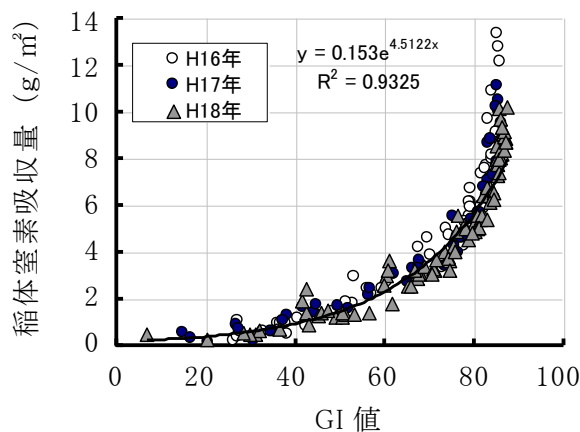


図3 GI値と減数分裂期までの稲体窒素吸収量との関係（宮城古川農試）

3. 高品質米生産のための新たな試み

1) 生育情報利用による水稻の収穫適期判定

幼穂形成期～穂揃期の GI 値及び NIR 反射率をもとに籾数を推定し、これに登熟期の GI 値を加えて収穫適期の判定を行った（図 4）。実際に収穫作業が行われるまでの遅れ日数と収穫時の籾水分との関係を見ると、予測日前後に収穫したほ場では、籾水分が収穫適期の目安と言われる 23%（標準法 w. b.）前後であったことを確認した（図 5）。この結果より、GI 値をもとにした籾数の推定、収穫適期判定の可能性を認めることができた。

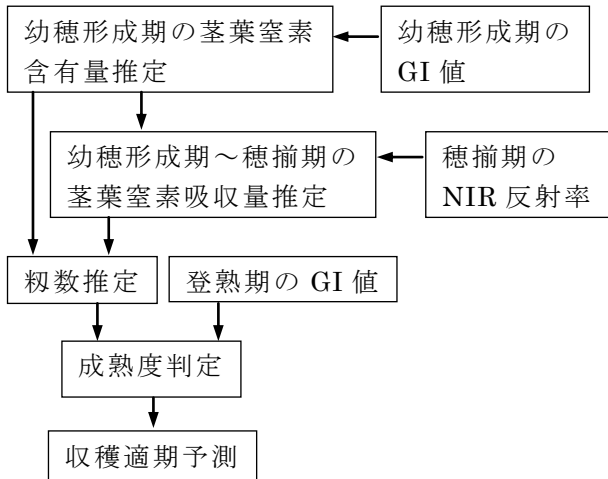


図 4 収穫適期判定の流れ

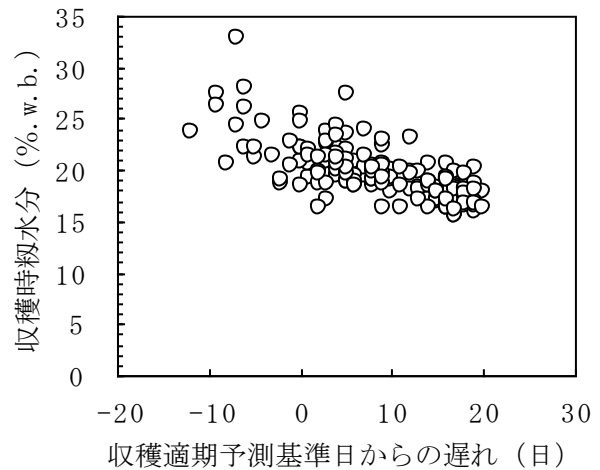


図 5 収穫適期判定と籾水分との関係



図 6 収穫適期判定結果（2005 年度）



図 7 収穫適期判定結果（2006 年度）

2) 生育情報利用による玄米蛋白含量の推定

携帯式装置の測定値（GI 値）等を利用して玄米蛋白含量（玄米粗蛋白質含有率）を推定するモデルの構築を試みた（宮城県大崎市三本木町、品種：ひとめぼれ）。収量コンバイン収穫時にはほ場一筆から均一にサンプリングした籾の玄米蛋白含量を近赤外分光分析装置（K 社食味分析計）で測定し、GI 値のほか玄米蛋白の生成に関連するであろうと思われるほ場一筆毎のデータ（表 3）を用いて、統計ソフト SPSS 14.0J（SPSS 社製）にて線形重回帰分析（ステップワイズ法）を行った。なお、この分析は 2004 年度～2006 年度の 3 ケ年のデ

ータについて行った。

玄米蛋白含量を従属変数に、GI 値等ほ場一筆毎のデータを独立変数とすることで単年度毎の回帰式を得た（図 8）。それぞれの回帰式の精度は決定係数 R^2 は 0.46、0.45、0.57、推定値の標準誤差は 0.312、0.250、0.198 であった。2005 年度、2006 年度で登熟期の GI 値、穂揃期の GI 値または NIR 反射率が独立変数として採用されていることから、玄米蛋白含量推定にはこの二つの生育ステージにおける携帯式装置の測定値が有効であると考えられる。

実際に玄米蛋白含量を予測する場面を想定し、過年度（2004、2005 年度）の回帰モデルによる未知の試料（2006 年度）の玄米蛋白含量推定を行った。推定精度が良好であったのは 2005 年度のモデルで、決定係数 R^2 が 0.35、予測標準誤差 SEP が 0.250 であった（図 9）。以上のことから、GI 値等を利用することで玄米蛋白含量推定が可能であると結論付けられるが、精度向上のためにはさらなるデータの蓄積が必要であると考えられる。

表 3 重回帰分析における基本統計量

	標本数	蛋白含量の範囲 (%)	蛋白含量の平均 (%)	蛋白含量の標準偏差
2004 年度	99	6.14~7.98	6.85	0.42
2005 年度	90	6.21~7.60	6.88	0.29
2006 年度	122	6.08~7.97	6.69	0.30

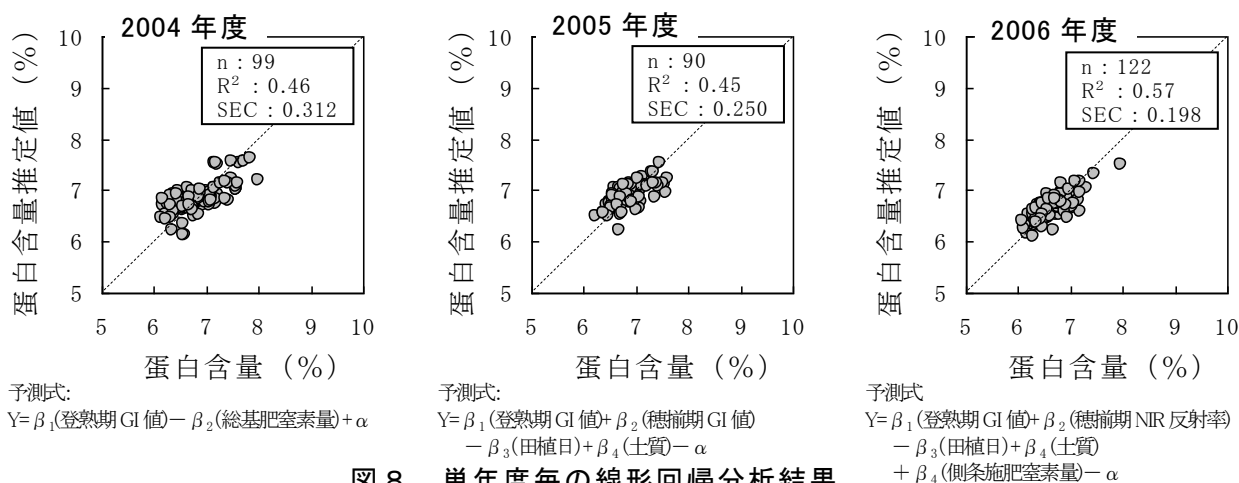


図 8 単年度毎の線形回帰分析結果

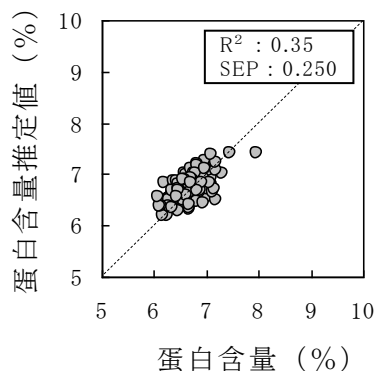


図 9 2005 年度モデルによる 2006 年度玄米蛋白含量の推定

表 4 重回帰分析における調査項目

従属変数	玄米蛋白含量
独立変数	幼穂形成期の GI 値、R 反射率、NIR 反射率 穂揃期の GI 値、R 反射率、NIR 反射率 登熟期の GI 値、R 反射率、NIR 反射率 全層基肥窒素量、側条基肥窒素量 総基肥窒素量 作土中の窒素含有率*1 土質(砂土、壤土、埴土)(ダミー変数) 田植日

*1 : 2004 年度のみ

4. 携帯式作物生育情報測定装置の測定方法と作業能率

宮城、新潟の各実証試験地において、①長辺方向にほ場内を1往復しながらほ場1筆あたり100点程度の測定を行う方法、②対角線方向に1行程移動しながら80点程度の測定を行う方法で作業能率の調査を行った(表5)。③ほ場の長辺側畦畔から(両側畦畔から)60点程度測定する方法で測定を行った。作業時間の調査結果を図10~12に、長辺100m(30~40a区画)の矩形ほ場においてはほ場1筆の測定に要した時間を取りまとめたものを表6に示す。

表5 作業能率測定方法

場所	ほ場数	測定方法	作業条件
宮城	185	①ほ場の長辺方向に1往復作業	20~30代女性及び20~50代男性が2名1組(ランダムな組合せ)となり、ほ場1筆ごとに交代して作業
新潟	110	①ほ場の長辺方向に1往復作業 ②ほ場の対角線方向に1行程作業 ③ほ場の長辺側畦畔から1往復作業	40代男性1名が全ての作業

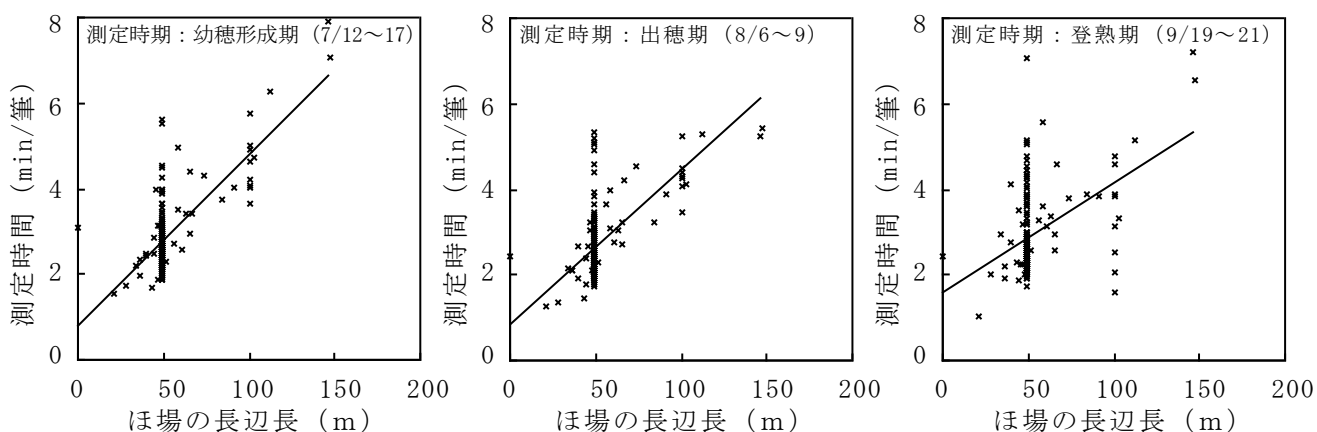
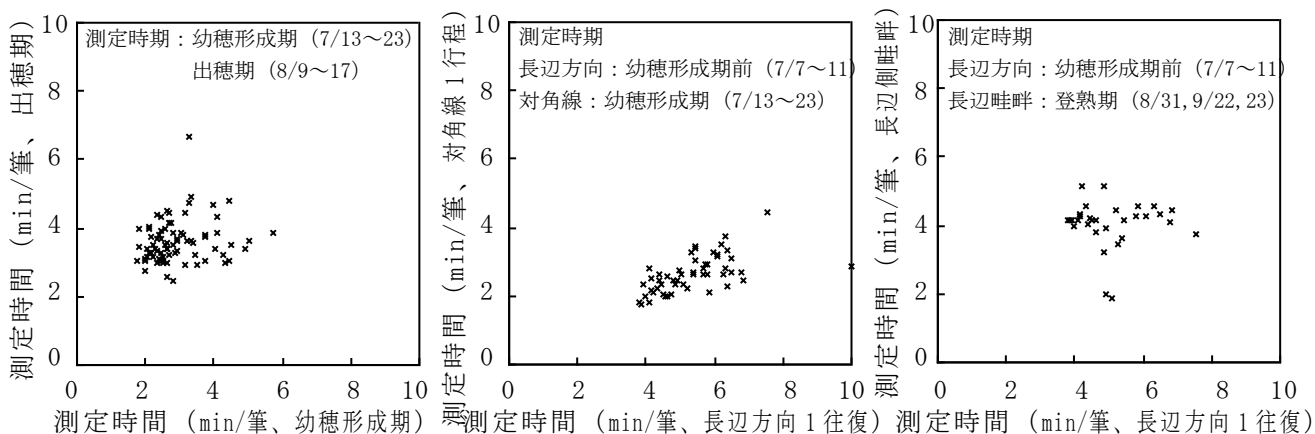


図10 測定結果の例(ほ場1筆当たり測定時間、宮城)



ほ場の長辺長: 100m

*長辺側畦畔からの測定時間は、片側からの測定時間×2で算出

図11 測定時期別作業時間の比較(新潟)

図12 測定方法別作業時間の比較(新潟)

表6 長辺 100m (30~40 a 区画) の矩形ほ場における作業能率

場所	測定時期	測定方法	ほ場数	ほ場 1 筆当たり測定時間		
				平均 (min)	範囲 (min)	標準偏差
宮城	幼穂形成期頃	①長辺往復	20	4.8	3.7~7.1	0.85
	穂揃期	①長辺往復	10	4.8	3.5~9.4	1.70
	登熟期	①長辺往復	10	3.3	1.6~4.8	1.04
新潟	幼穂形成期頃	①長辺往復	61	5.3	3.8~10.0	1.06
	幼穂形成期頃	②対角線	78	2.9	1.8~5.7	0.83
	穂揃期	②対角線	81	3.6	2.5~6.7	0.63
	登熟期	③長辺畦畔	50	4.2	1.9~7.8	0.93

長辺 100mの矩形ほ場で、長辺方向に1往復測定する方法の1筆あたり作業時間は、幼穂形成期～登熟期で5分程度、登熟期で3分程度であった。対角線方向の測定は、ほ場内を歩行する距離が短くなることもあって、幼穂形成期頃の比較で長辺往復に比べ5~6割程度の作業時間となった。長辺側畦畔からの測定は、幼穂形成期頃～穂揃期の測定では往復測定に比べ作業時間は短縮されるが、対角線測定、登熟期の往復測定よりも作業能率は劣った。畦畔側からの測定は、ほ場内を歩くことがないため労力軽減が期待される方法だが、作業能率、測定精度の両面から考慮すると、対角線方向の測定もしくは長辺方向往復測定のほうがより好ましい方法と考えられた。なお、現場での観察や過去の経験等から生育むら小さいと判断されるほ場では、ほ場内を万遍なく測定するのではなく、慣行の生育診断と同様に代表値としてほ場内の数ヵ所測定する方法も選択肢の一つと考えられる。

おわりに

茎数・草丈・葉色の測定によって行う慣行の生育診断は、多点測定しようとする多大な時間と労力を要し、欧米型のメッシュ管理する精密農業のみならず、生研センターが提唱する日本型水稻精密農業への対応も困難であると考えられた。そこで、高能率に生育診断を行うツールとして開発したのが携帯式作物生育情報装置である。慣行の方法が過去に全国の農業試験場で蓄積された多くの試験データの上に成り立つのと同様に、今後、携帯式装置を利用する際にも品種ごと、さらには地域ごとのデータ蓄積が求められる。本実証試験のサブ試験では、その端緒として1大学・6県の試験研究機関の協力を得て代表的な品種を対象に試験を行ってきた。その結果、前述したように稲体の茎葉窒素との関係など有益なデータを得ることができた。携帯式装置は、慣行の方法に比べデータ取得が容易で生育ステージの違いによる影響も受けないためより多くの条件設定が可能で、たとえば茎葉窒素との関係について見ても結論を得るまでの研究効率が高かったと感じている。本報告では、高品質米生産への試みとして収穫適期判定や品質予測についても述べたが、本来、この装置は穂肥判定などを行うための生育診断用ツールであり、かつ農業関係試験研究機関で行われる栽培研究などを効率的に進めるための補助ツールの役割も期待している。携帯式装置は来年度以降の本格市販を予定しているが、今後、水稻のみならず様々な作物に有効利用されることを期待している。

参考文献

- 1) 平成 10 年度～平成 18 年度生研センター事業報告
- 2) 秋山 侃、作物生育情報測定装置に関する基礎研究－作物生育情報測定装置の測定精度向上のための検討、生物系特定産業技術研究推進機構からの受託研究成果報告書、1－28、2001
- 3) 後藤隆志・市川友彦・西村 洋・堀尾光広・林 和信・盛山勝一郎・(株)荏原製作所、地上式作物生育情報測定装置の開発（第 1 報）－携帯型試作 2 号機の水稲穂肥診断への適応性、第 60 回農業機械学会年次大会講演要旨、357－358、2001
- 4) 堀尾光広・西村 洋・市川友彦・林 和信・後藤隆志・(株)荏原製作所、携帯型作物生育情報測定装置の開発、日本作物学会紀事第 214 回講演要旨・資料集、126－127、2002
- 5) (株)荏原製作所・堀尾光広・西村 洋・後藤隆志・紺屋秀之・林 和信、地上式作物生育情報測定装置の開発（第 3 報）－携帯型試作 4 号機の概要、第 62 回農業機械学会年次大会講演要旨、511－512、2001
- 6) 紺屋秀之・堀尾光広・西村 洋・後藤隆志・林 和信・手島 司・市川友彦・(株)荏原製作所、地上式作物生育情報測定装置の開発（第 4 報）－装置の測定精度、第 62 回農業機械学会年次大会講演要旨、513－514、2001
- 7) 市川友彦・堀尾光広・西村 洋・紺屋秀之・林 和信・後藤隆志・手島 司、作物生育情報測定装置（携帯型）、平成 14 年度生研機構研究報告会資料、9－10、2003
- 8) 堀尾光広・紺屋秀之・西村 洋・林 和信、作物生育情報測定装置による水稲診断、平成 15 年度生研機構研究報告会資料、13－23、2004
- 9) 堀尾光広・西村 洋・紺屋秀之・林 和信・市川友彦・後藤隆志・手島 司、水稲の生育を診断する非接触の携帯式生育情報測定装置、平成 15 年度研究成果情報・総合農業、246－247、2004
- 10) 堀尾光広・紺屋秀之・西村 洋・林 和信・杉山隆夫、携帯式作物生育情報測定装置による水稲の生育診断、日本作物学会紀事第 218 回講演要旨・資料集、308－309、2004
- 11) 佐々木次郎・関口 道・堀尾光広、水稲の刈取期診断への分光反射計測の活用、日本作物学会紀事第 220 回講演要旨・資料集、54－55、2005
- 12) 福嶋 陽・佐々木豊・堀尾光広・関 正裕、パン用コムギにおける NDVI と収量・品質との関係、日本作物学会紀事第 220 回講演要旨・資料集、60－61、2005
- 13) 堀尾光広・紺屋秀之・西村 洋・林 和信、携帯式作物生育情報測定装置の開発、ブレインテクノニュース、36－39、2005
- 14) 堀尾光広・西村 洋・澁谷幸憲・松尾陽介・紺屋秀之・林 和信・栗原英治・濱田安之・内間亜希子、日本型水稲精密農業の実証的研究（第 5 報）－広域管理方式におけるほ場特性の把握、農業環境工学関連 7 学会 2005 年合同大会講演要旨、336、2005
- 15) 堀尾光広・紺屋秀之・西村 洋・林 和信・内間亜希子・日高靖之・栗原英治・杉山隆夫・佐々木次郎・関口 道、日本型水稲精密農業の実証的研究（第 7 報）－生育情報に基づく水稲の収穫適期判定、農業環境工学関連 7 学会 2006 年合同大会講演要旨、36、2005
- 16) 内間亜希子・西村 洋・林 和信・堀尾光広・紺屋秀之・日高靖之・栗原英治・杉山隆夫、日本型水稲精密農業の実証的研究（第 9 報）－生育情報に基づくタンパク予測、農業環境工学関連 7 学会 2006 年合同大会プログラム・発表内容、37、2005

日本型水稻精密農業（P F）実証試験

－ 収穫情報測定装置 －

生産システム研究部 日高靖之、栗原英治、杉山隆夫、
澁谷幸憲(現東北農研)、西村 洋、
林 和信、内間亜希子(現退職)、
市川友彦(現退職)

はじめに

近年、我が国の農業生産における大きな構造変化の中で、平成 17 年の「食料・農業・農村基本計画」においては、基本的な方針の一つとして、農業生産の全体のあり方を環境保全に貢献する営みに転換していくこととしている¹⁾。このような取り組みは、農家の長年の経験に基づいて積み上げられた技術を、農家の自主性により推進してきたものである。しかしながら農家数は確実に減少しており、その結果、受託作業の増加や法人化による効率的な作業推進は当然の流れと考えられる。このような状況下において、従来からの経験的な情報だけでは、十分といえない状況が生じており、より正確で定量的な情報が必要となっている。そこで、精密農業（Precision Farming：PF）は、重要なキーテクノロジーになるものと考えられる。

日本型水稻精密農業について生研センターでは、①ほ場毎の土壌や作物の状態などを的確かつ詳細に把握し（センシング装置）、②施肥等を過不足なく効率的に行うことにより（アプリケーション）、③環境負荷の低減、収量の増加・品質の向上・生産コストの削減を同時に可能にする栽培管理技術と定義している²⁾。このような日本型精密農業の定義において、収量等の収穫情報を測定できる収穫情報測定装置（以下、収量コンバイン）は、センシング装置として必要不可欠な装置である。

1. 生研センターにおける収量コンバインの開発目標

欧米諸国で市販されている収量モニタは、一般的に欧米で普及している大型の普通コンバイン用であり、計測方法および機器の設置位置、ほ場条件、対象作物、作物条件等が異なるため、日本での収穫作業への適応が困難である^{3)、4)}。そのため、我が国における収量測定に関して、多くの研究開発が行われている^{4)、5)、6)、7)、8)}。しかしながら、これらの研究開発は、試験用のものや、相対的な流量測定を行うものであったり、収量を評価するための重要な項目である水分測定システムが欠落したりしているため、生産現場で要望される情報、諸条件に対応しておらず、普及まで至っていないのが現状である。また、収穫作業は従前どおり、作物条件や天候に左右されるため、どうしても能率優先になりやすく、ほ場ごとの収量や水分等について、客観的な情報を得ることは難しいのが現実である。

以上のような背景から、生研センターでは、次にあげる点に着目した。①日本で最も普及している自脱コンバインに搭載可能なもの、②測定精度が高くできるだけ安価なシステムであること、③

取扱い性、操作性が簡単であること、これらの開発目標のもと、収量コンバインの開発を行った。
 なお、本機の開発にはヤンマー農機(株)と静岡製機(株)の協力を得た。

2. 収量コンバインの構造

1) 全体構成

開発した収量コンバインは、市販の自脱コンバインに搭載された質量測定部、水分測定部、制御・表示部により構成される(表1)。これら各測定部での測定値から得られる収穫情報は、収量(質量および反収)、水分などである。操作は、4条タイプはPDAで、6条タイプはハンドル中央にあるセンターメータで行い、開始(収穫情報ボタン)、ほ場選択、作物選択の3ステップで簡単に行える。作業終了後には一筆毎の穀物質量、穀物の平均水分、反収が表示され、印刷ボタンによりその場で印刷可能である。また、1シーズン分のデータは保存することができる。6条タイプは通信ポートを有し、適宜データを収集できる。

表1 生研センターで開発した収量コンバイン概要

供試コンバイン		制御・表示部	水分測定部	質量測定部	サンプリング部
6条刈り		 標準のモニターによる操作 表示切り替えにより収穫情報を表示 データはコントローラに保存	 単粒式	ロードセル出力値をピッチセンサにより補正した値により計算し出力	 排出オーガの途中に設けたサンプリング装置により、ほ場一筆の平均的なサンプルを採取し、他のPF実証試験に活用。
4条刈り		 PDAの操作画面によるデータ保存もPDA	 複粒式		

2) 質量測定部

本機ではタンク内の穀粒の全量を測定する方式を採用した。前述したように、欧米で市販されている質量測定部は、衝撃式や光学式のセンサによって、収穫した穀粒の流量を測定し、質量換算する方式である。しかし、日本で一般に普及している自脱コンバインは、脱穀選別後の穀粒をスクリュオーガによって搬送しタンク内に拡散するため、搬送経路において収穫した穀粒の全量を検出することは困難である。また、流量を測定する方式では、低流量時に検出不能な場合が多く、大きな誤差の要因になるとの報告があり、流量が非常に小さい自脱コンバインでは、この方式には限界が

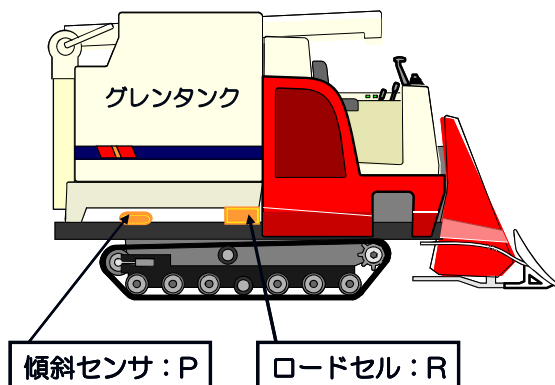


図1 質量測定方法

あると考えられる⁸⁾。この他、コンバインの走行部に使用されている油圧を利用する方法、揚穀筒の圧力を測定する方法等の試みもあるが実用化には至っていない¹¹⁾。

開発した質量測定部は、グレンタンク的一端を支持するロードセルへの荷重により、タンク内の穀粒の質量を測定する方式である。また、ロードセル荷重は、コンバインの傾斜によって変動するため、ロードセル近傍に設置した傾斜センサによって、ロードセル測定値の傾斜補正を行う機能を付加した¹¹⁾ (図1)。タンク内の穀粒の全量を測定する方式の利点は、①タンク内の穀粒質量を直接、測定対象としていること、②タンク内質量全体を測定するため、測定値を積算していく流量測定方式のような誤差の累積が少ないこと、③収穫物の性状に左右されにくいこと、④装置が比較的単純であること、⑤センサ部への直接的な穀の衝撃や粉塵がないため耐久性を比較的高くできることが挙げられる。

3) 水分測定部

欧米で採用されている静電容量式の水分計は、25%以上の比較的高水分の穀粒用であることや、密度の違いによって大きい誤差が生じることなどが報告されている³⁾。そのため、かさ密度補正電極と穀物重量補正によって、高水分穀を高い精度で測定できるコンバイン用の静高周波静電容量式の開発が行われているが、機構が複雑なためコンバインに搭載して実用的に測定するまでには至っていないのが現状である⁹⁾。



図2 グレンタンク内に設置した水分計

そこで、本コンバインの水分測定部は、①15～35%w. b. の水分測定が可能であること、②比較的構造が簡素で小型であること、③コンバインで収穫された時の穀物の状態(比重や夾雑物等)の影響を受けにくいことが必要であることから、電気抵抗式を採用した。局所精密に対応した複粒式¹¹⁾と安価で一筆管理に対応した単粒式を開発した(表2)。水分測定部は、グレンタンク内に配置し、ほ場内の穀物を均一にサンプリングし測定することができる(図2)。

3. 収量コンバイン現地導入実証試験

1) 実証試験内容と結果

2003年から実施している日本型水稻精密農業実証試験においては、ほ場を一筆毎に管理する広域管理中心に試験を実施した。新潟および宮城の生産現場に、4条刈りと6条刈りの収量コンバイン計4台を導入し

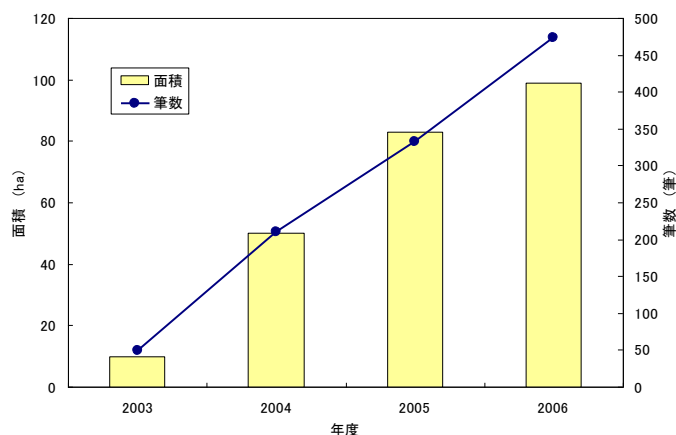


図3 収量コンバイン稼働状況

た。収量コンバインは、実証試験において、2003年
は10haから開始し、2006年には約100ha、500筆弱
のほ場で稼働した（図3）。なお、実証試験では、新
潟県の神谷生産組合と宮城県の本木グリーンサー
ビスの協力を得た。新潟における稼働状況を図4に
示す。



図4 実証試験での導入例（新潟）

質量測定部と水分測定部の精度について図5と
図6に示す。質量測定部、水分測定部ともに高い
精度で測定でき、生産現場で行った実証試験においても誤差は5%以内である。これは欧米の成
果と比較しても高い精度であると考えられる。さらに、実証試験中故障することなく、全てのほ
場において収穫情報を収集することができ、生産現場での実用性を確認した。また、簡単操作で
作業負担にならないとの意見も得ており、生産現場での実用性を確認した。さらに、プリンタの
装備について、その場で情報を印刷できるため記録が紙として残ることや、委託農家への説明に
利用できるなど好評価であった。

この実証試験において、収量コンバインは実用的な装置であり、年々使う度にその必要性を実
感したという感想や標準装備を望む声もあった。一方で、ほ場番号のないほ場での対応やデータ
出力の方法をもっと簡単にするなど意見も得た。

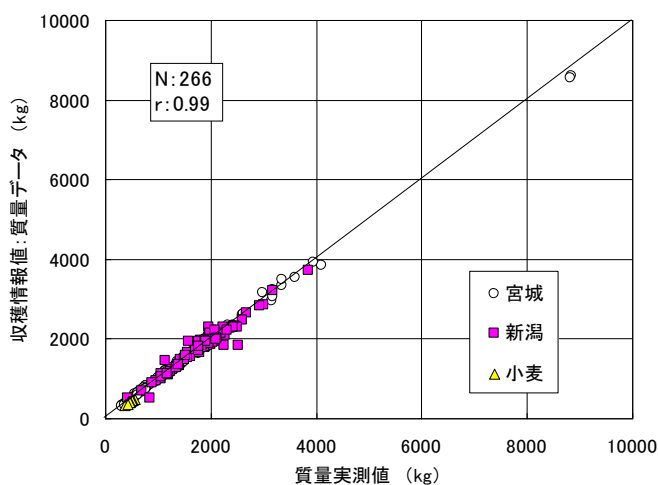


図5 質量測定部の精度

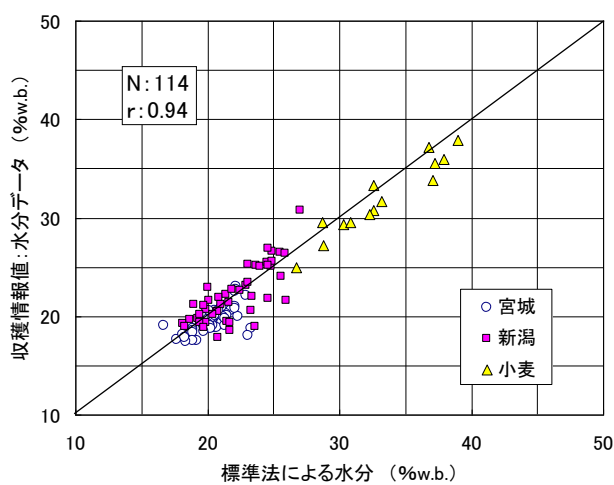


図6 水分測定部の精度(単粒式)

2) モニタ試験、現地検討会およびアンケートによる収量コンバインの有望調査

6条刈り収量コンバインを、岩手、茨城、岐阜、福岡の生産農家及び生産組合のオペレータに
使用してもらい、取扱い性等を聞き取り調査し、さらに岐阜では現地検討会を行い広く意見を聴
衆した。この他、経営面積5ha以上の生産農家を対象にアンケート調査を実施した。アンケート
は、直接面接、インターネットアンケート、郵送留置により、有用性、購入意向等を調査した。
なお、アンケート調査は（株）矢野経済研究所に依頼した。

モニタ試験及び現地検討会の結果、水分データの有効性や、排出の目安になるので通常表示を望む声や後付けできるシステムにしてほしいとの要望もあった。一方で、今は必要ないが将来的には必要なだろうという意見や自前の乾燥施設にトラックスケールがあるので必要ないという意見もあり、すぐに効果を判断できない反面もあることが分かった。

また、アンケート調査の結果、収量コンバインは、経営面積 15ha 以上、自己乾燥設備有り、作業請負を行っている生産者に対し高い評価を得た

(図7)。この他、「このコンバインはオペレータが使用するものでなく、経営者が使用するものである」という認識が必要である」というコメントもあった。

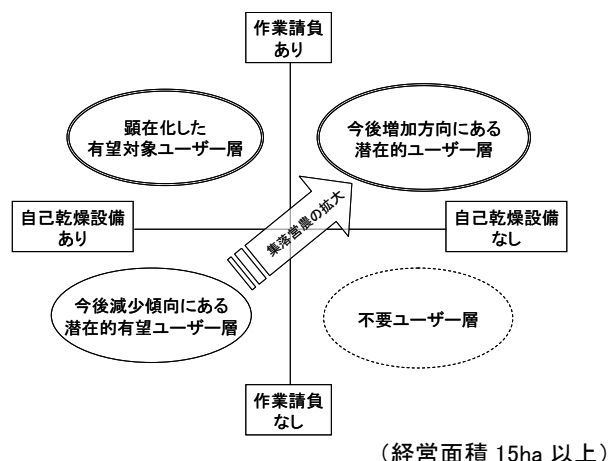


図7 有望対象ユーザー分析

おわりに

今後は、収量コンバインの実用化に向けて、現場使用での問題点などモニタの意見集約や更なるデータ収集を行って本機の完成を図るとともに、製造コストを下げるための検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 農林水産省生産局 (2006)、IT 農業推進骨子
http://www.maff.go.jp/soshiki/seisan/it_katuyou/index.html
- 2) 西村 洋ら (2004)、日本型水稻精密農業の構想と実証試験、平成 15 年度研究報告会資料、生研センター、2-10.
- 3) 後藤隆志ら (2000)、米国における精密農業技術の調査、生研機構海外調査報告書、11-15.
- 4) 帖佐 直ら (2002)、農業機械学会誌、64(6)、145-153 .
- 5) 松井正実ら (2000)、第 59 回農業機械学会講演要旨、149-150.
- 6) 建石邦夫ら (1999)、第 58 回農業機械学会講演要旨、283-284
- 7) 李 忠根ら (2000)、農業機械学会誌、62(4)、81-88.
- 8) 飯田訓久ら (2006)、農業機械学会誌、68(2)、84-87.
- 9) 加藤宏郎ら (2002)、農業機械学会誌、64(5)、68-75.
- 10) Colvin, T. S., Arslan, S., (1999)、Site-Specific Management Guidelines. Potash & Phosphate Institute. SSMG-9.
- 11) 牧野英二ら (2001)、第 60 回農機学会講演要旨、391-392.
- 12) 牧野英二ら (2000)、第 59 回農機学会講演要旨、309-310.

日本型水稻精密農業（P F）実証試験

－ 可変施肥装置 －

生産システム研究部 林 和信、西村 洋、堀尾光広、紺屋秀之、
杉山隆夫、内間亜希子(現退職)、市川友彦(現退職)

はじめに

生研センターの推し進める日本型水稻精密農業では、その技術目的を「メッシュ毎の土壌や作物の状態などを的確かつ詳細に把握し、施肥、防除等を過不足なく効率的に行うことにより、品質の向上、生産コストの低減、環境負荷の低減を同時に可能にする栽培管理技術」と定義し、目的達成に必要な携帯式生育情報測定装置、収穫情報測定装置、可変施肥装置等のP F機器の開発を21緊プロにて行った。P F実証試験は、21緊プロで開発された機器を実際の農業現場に導入し、P F機器をシステムとして運用することによるP Fの効果を実証するため2003年度から開始され、4年間の試験期間を終え情報を活用した新しい農業技術が確立されつつある。

可変施肥装置は、一連のP F関連機器の中で唯一のアプリケーションとして開発され、P F測定機器から得られた水稻の生育や収量等に関する情報と農業者の経験に基づく情報を考慮して決定された施肥量での施肥を精度よく行うことにより、水稻の生育を積極的にコントロールすることを目的としている。

1. 開発目標

可変施肥装置は、大きく分類すると基肥用と追肥用に分類される。基肥用可変施肥装置は田植機の側条施肥部に適用する装置であり、追肥用については水田用栽培管理ビークルまたは乗用管理機に搭載して利用する装置である。基肥用及び追肥用に共通する開発目標は、①繰出量の調整は、肥料のかさ密度と施肥量から繰出ロールの回転数を変更することにより制御する方式とし、予備的な繰出しによる調量を行うことな

く、施肥量 (kg/10a)

と肥料のかさ密度を入力するだけで設定施肥量に対して±5%以内の精度を得られること、②運転席に座った状態で作業中に施肥量の変更操作が可能であること、③作業ナビゲータに接続して通信を行い、作業ナビゲータからの

表1 可変施肥装置の主な仕様

	基肥用		追肥用	
	I機	Y機	粒状物散布機	散粒機
作業幅	2.4m(8条)		7.5m	10m、15m(延長時)
作業幅変更単位	0.3m(1条毎)		1.25m	5m、7.5m(延長時)
散布量設定範囲	10～80kg/10a		1～80kg/10a	1～150kg/10a
散布可能資材	粒状化成肥料		粒状化成肥料 粒剤	粒状肥料(有機肥料含) 粒剤
繰出方式	横溝ロール	回転目皿	ゴムロール	
繰出部個数	8	8	6	2
コントローラ 入力項目	かさ密度、設定施肥量(kg10a)			

指示によって自動的に施肥量を変更できることの3点として開発を行った。開発した可変施肥装置の主な仕様を表1に示す。

2. 基肥用可変施肥装置

基肥用可変施肥装置は、井関農機（株）とヤンマー農機（株）の協力の元に、それぞれのメーカーの側条施肥付き8条田植え機に対応する2機種（以降、I機、Y機とする）の開発を行った。両機ともに車速に連動した駆動軸と繰出ロールの間に变速機構を仲介して繰出ロールの回転数を変更する方式を採用している。I機については、市販機がもつリンク式の变速機構にDCモータを組み入れてリンク比を変更することにより減速比を制御する方式、Y機についてはトロイダル式の無断变速器をDCモータで制御する方式を採用した。減速比の変更は電氣的に行われるが、実際の駆動は全て機械的に行われるため、車速の変化や停止・発信に対する追従性が高い特徴を持つ。また、I機については、繰出ロールの回転数を積算することにより、肥料の積算使用量を算出する機能を備えている（図1）。



図1 基肥用可変施肥装置（左：I機、右：Y機）

3. 追肥用可変施肥装置

追肥用可変施肥装置は、水田栽培管理ビークルに搭載する粒状物散布機（緊プロ機）をベースにコントローラに改良を加えて可変施肥を可能にした機種（以下、粒状物散布機）に加えて、乗用管理機に搭載する散粒機（以下、散粒機）を実証試験期間に新たに開発し、実証試験に供試した。両機種ともに井関農機（株）から供給される施肥コントローラを利用し、DCモータの回転数および回転方向を走行本機から得られる車速信号と設定施肥量から算出される値によって制御することにより施肥量の調整を行う方式を採用している（図2）。粒状物散布機については施肥コントローラ以外に緊プロ機からの変更点がないため詳細の説明は省略し、散粒機についてその概要を述べる。

散粒機は、DCモータによって駆動される2組の繰出装置を持ち、標準で10m、搬送ブームを延長することにより15mまでの作業幅を得ることができる。各繰出装置には、3個の施肥用ロール、1個



図2 追肥用可変施肥装置（左：粒状物散布装置、右：散粒機）

の除草剤用ロールが組み込まれており、2個の施肥用ロールはワンウェイクラッチを介して駆動されるため、駆動軸の回転方向を切り替えることにより同時に回転するロールの数を変更し、一回転あたりの肥料の繰出量を変更することが可能である（図3）。駆動軸の回転方向の切り替えは、施肥量と走行速度に応じて施肥コントローラが自動的に行うため、粒剤の散布も含めると1～150kg/10aという幅広い散布量に容易に対応することができる。繰出部から繰出された資材は、送風ファンによって搬送ブーム内を搬送され、ブーム途中に設けられた吐出口から均一には場に落下する構造となっている。散粒機については、基肥用I機と同様に施肥量の積算を行う機能を有している。

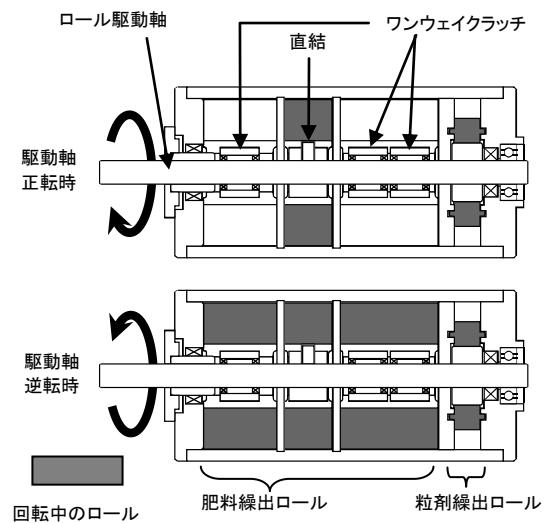


図3 繰出部の概略構造と正逆転時の動作

4. 実証試験における可変施肥装置の利用試験

基肥用可変施肥装置は、2003～2004年度に新潟県において田植え同時施肥作業に供試し、宮城県の本試験地では2004年度～2006年度の間供試した。宮城本試験地における3年間の実証試験ではI機及びY機の2台を投入して、毎年約45haの田植え同時可変施肥作業を順調に終えることができた。施肥精度については、設定施肥量に対して90～103%、平均95%となり、農業現場での利用においても開発目標を満たし、実用に耐えうる性能を発揮することが確認された（表2）。実証試験を通じて、基肥用可変施肥装置を利用して

表2 基肥用可変施肥装置の施肥量精度調査結果

	調査ほ場数	面積 (ha)	設定施肥量 (kg/10a)	施肥精度 ¹⁾ (%)	積算表示精度 ²⁾ (%)
I機	12	2.4	15～25	91～103 (95)	92～99
Y機	13	2.7	15～25	90-102 (94)	—

いただいた農業者から得られた意見をもとに、主に操作性に関する改善を行った結果、農業者からの評価も高くなり、「市販化を強く期待する」との要望をいただくに至った。

散粒機については、実証試験開始後に開発に着手したため本試験地への導入は2004年度からとなった。実証試験期間中の水稲の生育状況から水稲の追肥用としての利用試験は約5haに留まったが、水稲の追肥以外に、水稲の基肥散布、大豆の追肥、小麦の追肥、水稲の生育調整材散布等にも供試することによって性能や取り扱いに関する調査を行い、農業者の意見を取り入れながら改良を重ねた。最終的に得られた農業者からの意見では、「均一に能率的な散布が行えるため、ブロードキャストと同等の作業能率が得られる」、「肥料に加えて粒剤も散布できるため機械の稼働率が高められる」等の好評価を得ることができた。

おわりに

開発した可変施肥装置は、ボタンによる簡単な操作で施肥量を1kg/10a単位で変更でき、その操作性と施肥量精度から、実際にはほ場に投入した施肥量の把握さえ難しかった従来の施肥機とは一線を画する装置であると考えている。散粒機については、2007年度の市販化を目指して現在調整を進めているところである。本装置が広く普及し水稲栽培技術の進歩に貢献することを強く祈念する。

参考文献

- 1) 西村洋ら (2002)、可変施肥装置 (基肥用)、生研機構研究報告会資料、17-18
- 2) 西村洋ら (2002)、可変施肥装置 (追肥用)、生研機構研究報告会資料、19-20

日本型水稻精密農業（PF）実証試験

— 情報センター —

生産システム研究部 林 和信、西村 洋、堀尾光広、紺屋秀之、日高靖之、
栗原英治、内間亜希子（現退職）、杉山隆夫、市川友彦（現退職）

はじめに

日本型水稻精密農業（PF）実証試験においては、PF機器を利用した情報取得に加えて、蓄積された情報の活用を重要なテーマと位置付けて4年間にわたる検証を行ってきた。生研センターの推し進めるPFは、「メッシュ毎の土壌や作物の状態などを的確かつ詳細に把握し、施肥、防除等を過不足なく効率的に行うことにより、品質の向上、生産コストの低減、環境負荷の低減を同時に可能にする栽培管理技術」と定義され、その目的を達成するためには、開発した各PF機器が出力する数値データ、作業日誌的な記録を行う作業履歴、ほ場の属性、肥料等の資材情報など、一般的な栽培手法と比較して膨大な量の情報を管理する必要がある。そのような情報を従来のように農業者の記憶や勘に頼り管理することはもはや不可能であり、得られた情報を積極的に活用するためにも新たな手法を開発する必要があった。そこで、生研センターでは、PF実証試験の2年目である2004年度から、データベースや地理情報システム（GIS）等のITを駆使し、情報を集中的に蓄積・解析することにより、農業者の意志決定に有益な情報を引き出すことを可能にする「情報センター」の開発に新たに着手した。情報センターは、開発早期の段階から2カ所の実証試験地に導入され、実証試験地の農業者に実際に利用してもらうことにより、開発と改良に同時進行で取り組んできた。本稿では、このような背景と目的のもとに開発された情報センターの概要について報告する。

1. 情報センターの開発目標

情報センターの開発は、PF実証試験で扱われる情報を円滑に取り扱うため、以下にあげる機能の開発を目標として行った。①市販のGISソフトウェアをベースとして利用し、航空機による撮影画像や既存のGISデータに基づいた当該地区のほ場図を作成する。②ほ場番号、作業名、作業者、作業機械、作業日、資材投入量、PF機器による測定データなどのテーブルから成り、GIS上のほ場とリンクする構造を持つデータベース（以下、DB）を構築する。③営農指導者、農業者などが特別な機器を導入することなく、インターネットを介して情報入力や閲覧等を行うことが可能なシステムとする。④市販のモバイルコンピュータで動作するGISソフトウェアを利用して、携帯式生育情報測定装置や収穫情報測定装置による測定値を現場でDBに取り込む機能を装備する。⑤作業名、作業者、作業機械、作業日、資材投入量などをモバイルGISもしくは事務所パソコンから入力してDB化するための作業日誌入力機能を装備する。これらの開発目標のもと（株）パスコの協力を得て、複数のソフトウェアやハードウェアから構成される情報センターの開発を行った。

2. 情報センターの構成

情報センターは、PF機器から得られる情報や、その他の従来作業の情報等を効率的に取得、解析することによって、営農を支援するシステムであり、中心となるセンターサーバ、編集/閲覧クライアント、モバイル端末等の機器から構成されるクライアント・サーバ(C/S)型のシステムである。各クライアントとサーバ間の情報伝達はインターネットを介して行うシステムとしている(図1)。このようなC/S型の構成とすることにより、例えば規模の大きな営農組織であれば、一式のセンターサーバを設置し、個々の農業者が自宅から情報を入力・閲覧するような運用が可能になる。また、高機能な編集/閲覧用クライアント以外にも、WEBを介した情報公開機能も搭載され、インターネットブラウザ上でJavaを利用するWebクライアントを利用することによる情報の閲覧を可能としている。なお、比較的規模の小さい経営体で利用される場合は、センターサーバを省き編集/閲覧クライアントを中心としたシステムとして利用することも可能である。



図1 情報センターの構成

3. 各構成要素の概要

1) センターサーバ

センターサーバは、GIS機能とDB機能を持ち、Esri社のArcSDEをミドルウェアとして利用して両者をリンクさせている。DBには、ほ場、作業機、肥料、農薬等、約20個の基礎データテーブルが登録されており、ほ場図の背景として利用する航空写真等も一括して管理することが可能である。PF機器から得られた情報や作業日誌として入力された履歴は、これらDB上の基礎データをもとに分類、登録される仕組みになっている。また、センターサーバには、Webサーバ上で稼働する地図や画像

を処理するミドルウェアであるArcIMSも導入されており、DB上に登録されている地図データを適切な形式に変換し、インターネット経由でWebクライアント等へ発信することが可能である。PF実証試験においては、センターサーバを生研センターのコンピュータ室に設置し、実証試験地からインターネットを介しての運用試験を行った。

2) モバイル端末 (図2)

モバイル端末は、市販PDAをベースに作業結果を取込むために必要なカスタマイズを施した地理情報ソフトウェア (Esri社ArcPad) を導入した携帯性に優れた端末であり、作業の進捗状況の確認、携帯型生育情報測定装置や収穫情報測定装置からの測定データ取得、作業日誌の入力等を現場で行うことができる。作物生育情報測定装置と収穫情報測定装置からの情報取得は、シリアル通信 (RS-232C) を介して行い、作業履歴の入力については、端末のタッチパネル上で行うことが可能である。どちらの場合も端末の持つGIS

機能によって、得られた情報をほ場毎に分類し蓄積することができる。モバイル端末に蓄積された情報は、一日の作業が完了した後に、同期用のソフトウェアを利用して編集/閲覧クライアントに転送される。なお、システムでは複数台のモバイル端末が利用可能で、編集/閲覧クライアントに取込まれた情報は重複することないように整理され、再度モバイル端末に返送されるため、全てのモバイル端末で常に同期された情報を利用することが可能と成っている。

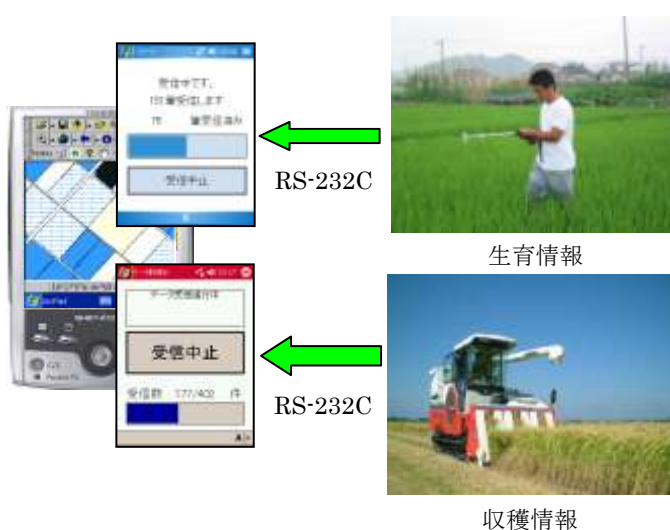


図2 モバイル端末及び PF 機器からのデータ取得方法

3) クライアントソフトウェア (図3)

現在、クライアントソフトウェアには2種類のソフトウェアがある。1つは、多機能な編集/閲覧クライアントで、情報センターに必要な機能の全てを備えたプログラムである。もう1つは、Webクライアントと呼ばれるものであり、Webブラウザ上でJavaにより作成されたプログラムを利用する方式である。Webクライアントには機能的な制約が多いが、ライセンス等の利用数を抑え導入コストを抑えられることや、特別なインストール作業が必要ないことなどから利用の検討を行ってきたものである。

編集/閲覧クライアントは農業者の事務所等に設置し、日常的な業務での利用を想定しているパソコンベースのクライアント端末である。編集/閲覧クライアントでは、地理情報ソフトウェア (Esri社ArcView) をベースに、モバイル端末からの情報取得や作業日誌の入力に必要なカスタマ

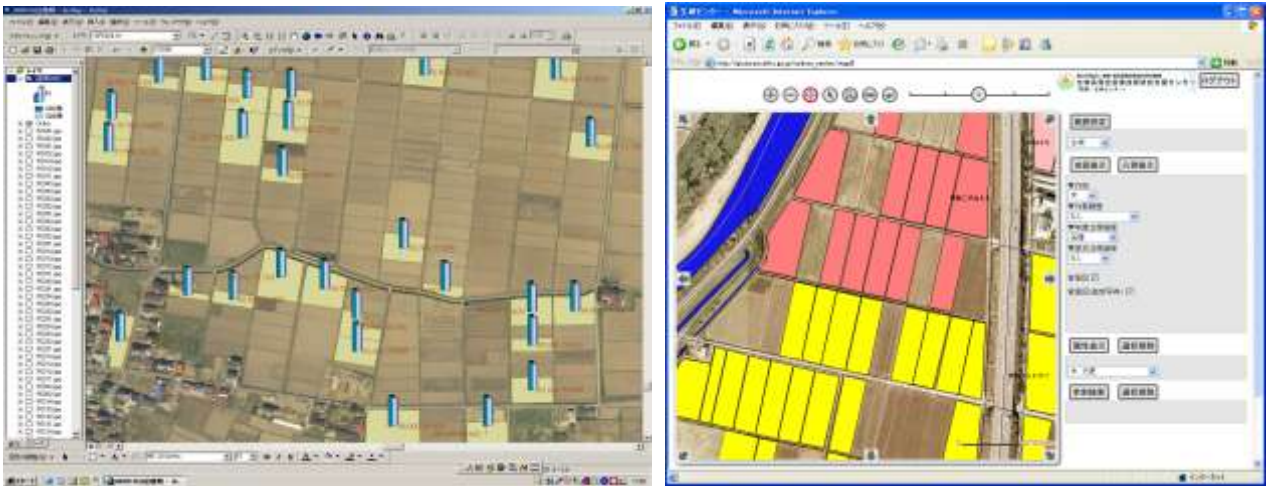


図3 クライアントソフトウェアの表示例
(左:編集/閲覧クライアント、右:Webクライアント)

イズを加えたソフトウェアを利用し、モバイル端末に蓄積された生育情報測定装置の測定値、収量コンバインの収穫情報、作業履歴等の各データをActiveSyncと呼ばれるソフトウェアを経由して取り込む。ActiveSyncは、モバイル端末をクレードルと呼ばれるデータ通信と充電を行うための台座にセットすると自動的に起動するため、利用者はGISソフトウェア上のボタンを1度クリックするだけで取込み作業を完了することができる。取り込まれたデータは、GISソフトウェア内で整理・統一された後、必要に応じてモバイル端末に返信される。また、センターサーバにデータを蓄積する機能は、設定時間に自動的に起動する仕組みになっており、SSHで保護されたFTP通信によってサーバのハードディスクに転送される構成となっている。また、編集/閲覧クライアント上では、蓄積された情報を数値に基づき可視化してほ場図上へ表示することができる。表示方法は、グラフ形式、測定値の大小によるグラデーション形式、リスト等の一覧表形式が主な方法であり、詳細な情報を文字列で併記することや作業の有無によりほ場を塗り分けるような表示方法も可能である。また、DBへの蓄積や画面表示が可能なデータの種類のPF機器からの測定値に限らず、設計・実施施肥量、水稻であれば玄米蛋白含量等があり、ほ場毎に数値化可能なものであれば種類を問わずに登録することができる。

Webクライアント上では、情報の閲覧は編集/閲覧クライアントと同様に行うことが可能である。しかし、WebブラウザをベースにJava仮想マシンを利用する形態のため、モバイル端末からのデータ取得方法などには制約が多く、主に情報の表示として用いるために試作を行ったものである。

4. 実証試験における情報センターの運用

情報センターの運用は、2004年度の宮城県三本木町（現大崎市）の本試験地において、市販のソフトウェアによる基本的なシステムを構築後直ちに開始し、導入後に機能確認と改良を行いながら3年間の実証試験に供試した。2004年度は航空機撮影画像をベースに作付け状況などを考慮してほ場図および生産履歴DBを作成し、当該年度の作業履歴の蓄積を手作業で行った。2005年度以降は、前年のほ

場図および生産履歴DBを更新することにより、簡単に新年度のほ場図及び生産履歴DBを構築することが可能となり、作業履歴の蓄積についても、モバイル端末やモバイル端末用に開発したPF機器からのデータ取得を行うプログラムを開発したことによって、より効率的なデータ蓄積が可能となった。また、情報の解析機能についても2005年度以降に開発が進み、作業の進捗や水稻の生育などを的確に利用者へ提示可能なシステムへと進化した。2006年度からは、新潟県の本試験地での実証も開始され、宮城本試験地と合わせて2カ所での運用を行い、より多くの農業者に利用していただくと同時に、農業者から出された多岐にわたる改善要望に沿うように、作業履歴の入力項目、操作方法に関する多くの改良を行いつつ実証試験を終えた。

情報センターというシステムの概念そのものが、従来存在しなかったことや導入直後は機能的に不足な点が多かったこと等の理由から、導入当初は情報センターの利用に対して消極あるいは否定的な意見も聞かれたが、3年間の実証試験を通じて機能の改善と追加を行った結果、作業履歴が整然と蓄積され正確な記録が残せること、作業の進捗状況をほ場地図で一覧できること、施肥量等のマップを印刷してほ場での作業に活用できること等への評価が年々高まり、実際の販売にも「生産履歴の確かな米」として有利に働くことがあるなど、実証試験完了後も情報センターの利用の継続を望む声を聞くまでになった。

おわりに

21緊プロで開発された他のPF開発機器とは異なり、情報センターは、本実証試験中に開発に着手したものである。短い実証試験期間中での完成が心配されたが、不完全ながらも開発の初期から積極的に現場へ導入し、現場の声を取り入れたことによりPFにおける情報ハンドリングの核として機能するに至った。蓄積された情報の活用方法の開発など残された課題も多いが、この実証試験を第一歩として、今後も農業における情報の活用に向けた研究活動を継続していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 林 和信ら (2004)、日本型水稻精密農業実証試験における情報センターの構築と作業モニタリング装置、生研センター研究報告会資料、21-30

日本型水稻精密農業（P F）実証試験

－ P F 機器を活用した広域管理 －

生産システム研究部 西村 洋、堀尾光広、日高靖之、林 和信、紺屋秀之、
栗原英治、杉山隆夫、澁谷幸憲（現東北農研セ）、内間
亜希子（現退職）、市川友彦（現退職）

1. 広域管理による実証試験の概要

実証試験は、地域・規模に応じた3つのモデルを設定して、それぞれのモデルに応じた、効率的な生育・収穫情報取得方法を検討すること、その解析結果に基づく、施肥設計・施用、収穫適期や玄米蛋白含量予測を行うための具体的な手法を検討すること、さらにはそのような適正な生産管理を行うことによって、低コスト化、環境保全を考慮しながら高品質米、高付加価値米などに適応できることを検証することを目的としてスタートした。

初年目（2003年度）の実証試験は、新潟県長岡市にある農事組合法人K生産組合と管轄する農協などから構成された「越後さんとう水稻精密農業研究会」に委託して、仮想的に設定した規模のモデルに応じて表1に示すPF機器を生産組合に導入して情報収集を主体に試験を進めた。モデルⅠは水稻作面積が5～20ha程度の農業経営体（個別経営体もしくは集団）を想定したもので、生育情報を携帯式装置で取得するモデルである。モデルⅡは水稻作面積が20～100ha程度の農業経営体（個別経営体もしくは集団）を想定したもので、面積要件から携帯式に加えて無人ヘリ搭載式生育情報測定装置（以下、無人ヘリ装置）による生育情報取得を前提とした。いずれのモデルも収量コンバインによって収穫情報を取得し、可変施肥装置によって施肥作業を行う予定であったが、生産組合の施肥体系が基肥については代かき前の全層施肥であること、ほ場の耕盤が軟らかい試験地区の条件では、開発した可変施肥機を利用することができないことなどから、初年目は現地の慣行法により行った。また、モデルⅢは、水稻作面積が100ha程度以上の衛星もしくは航空機リモートセンシングによる品質予測を実施する広域農協などを想定したもので、実際には農協が実施する衛星リモートセンシングによる品質解析システムにおいて、地上観測データ取得のために設けられている定点観測ほ場測定に携帯式装置を導入した。

表1 想定したモデルと導入機器(新潟:2003年度)

	モデルⅠ (ハンディ方式)	モデルⅡ (無人ヘリ方式)	モデルⅢ (衛星リモセン方式)
対象規模	20ha以下	20～100ha	100ha以上
試験規模	5ha	10ha	1,300ha
品種	たかね錦(酒米)	コシヒカリ	全品種
組織	農事法人 K生産組合		JA越後さんとう
導入機器	生育情報測定法	携帯式 生育情報測定装置	無人ヘリ搭載式 生育情報測定装置
	上記の補完装置	—	携帯型 生育情報測定装置
	収穫情報測定装置	○	○
	可変施肥装置	—	—

実証試験の2年目には、前歴データがほとんどない状態（農業者の経験に基づく情報が中心）から実験を開始するため、宮城県大崎市の「三本木グリーンサービス」（個人経営）に試験を委託した。当初はモデルⅠの面積に対応する規模を想定していたが、受託作業面積を加えると45haを超え、モデルⅡに相当する規模となった。しかし個人経営でもあり、無人ヘリ装置よりは携帯式装置の導入が妥当との判断をし、モデルⅠ相当の機器構成で実証試験を行うこととなった。

表2 委託試験の年次別対象ほ場と導入機器

項目	新潟 ¹⁾				宮城 ²⁾		
	2003	2004	2005	2006	2004	2005	2006
対象ほ場筆数（筆）	56	70	104	110	175	175	185
対象ほ場面積（ha）	15	19	23	25	46	46	50
携帯式作物生育情報測定装置	○	○	○	○	○	○	○
無人ヘリ式作物生育情報測定装置	○	○	—	—	—	○	—
4条刈り収量コンバイン	○	○	○	○	○	○	○
6条刈り収量コンバイン		○	○	○	○	○	○
基肥用可変施肥機	○ ³⁾	○ ³⁾	—	—	○	○	○
追肥用可変施肥機（散粒機）	—	—	—	○ ³⁾	—	○	○
情報センター	—	—	—	○	○	○	○

1) コシヒカリ、たかね錦 2) ひとめぼれ、ササニシキ 3) 取扱性試験

新潟と宮城における実証試験はそれぞれ4年、3年にわたって、表2に示す規模で、各種のPF機器を導入して試験を継続した。ただし、新潟においては、土壌調査に基づいて設定した地力（8区分）に応じた施肥体系が確立され、実証試験による施肥設計の見直しが困難なこと、可変施肥機が利用できないこと、さらには2年目秋の中越地震により、継続的なほ場情報の適応が困難になったことなどから、主に各PF機器の性能確認と情報取得手法の検証を行い、宮城の試験地にフィードバックすることとした。そのため、これ以降は宮城における実証試験結果を中心に報告する。

2. 試験方法

宮城の試験地は、大崎市の南に位置する水稲単作地帯で、ササニシキの本場である。現在はひとめぼれ中心に水稲作が行われ、転作作物として集団で大豆が作付けされている。委託試験を引き受けていただいた三本木グリーンサービス（現在は株式会社）は、家族経営でありながら、受託作業を中心に45haを超える面積の水稲作作業を行っている。また、大豆の生産組織のメンバーでもあり3年1作のブロックローテーションで約25haを管理している。

1) 検証するシステム

(1) 施肥管理システム

ほ場の生産特性（もしくは地力）に応じた施肥管理という概念は目新しいものではなく、すでに様々な形で実践的に行われている。例えば、「肥料持ちの良いほ場とそうでないほ場、地力のあるほ場とそ

うでないほ場、水稻連作ほ場と大豆あとのほ場など、それぞれに応じて基肥と穂肥の施肥設計がなされ、生育途中の生育診断・栄養診断によって穂肥量を補正し、最終的な収量の状況を収穫時に確認する。」というストーリーである。しかし、作業規模の拡大や受託作業の増加などによって、個々のほ場の情報を作業者の記憶だけで的確に把握することは困難であり、生育診断・栄養診断は技術として確立しているものの、現場で簡便に診断できる方法ではない。さらに、施肥設計の結果を評価する最も重要な指標となる収量を、ほ場一筆毎に明らかにすることは簡単なことではない。つまり、上記のような仕組みの概念はあるが、具体化させるためには、相当の努力を必要とする。ここで検証しようとする施肥管理システムは、収量コンバイン、作物生育情報測定装置、可変施肥機、情報センターなど、開発したPF機器を活用することによって、大規模営農においても精緻な施肥管理を行うことを目標としている。

施肥管理システムは、図1に示すように、あらかじめ土性、土質、立地条件、前作さらには前年までの生育・収量状況などによって、ほ場毎に生産特性を把握し分類することから始まり、以下のようなシステムとする。

- ① それぞれの生産特性（地力）に応じた基肥と穂肥の施肥設計を行う。
- ② 「可変施肥装置」を用いて精度の高い基肥施用を行う。
- ③ 「作物生育情報測定装置」によって生育診断・栄養診断を行う。
- ④ 診断に基づき、穂肥の施肥設計を見直す。
- ⑤ 「可変施肥装置」によって精度の高い穂肥施用を行う。
- ⑥ 「収量コンバイン」によってほ場毎の収量を計測するとともに、ほ場から均等にサンプリングした生もみを用いて玄米蛋白含量を測定する。
- ⑦ ③及び⑥の結果をもとに、①～⑥を繰り返す。

このように、ほ場の生産特性（地力）をベースとして、開発したPF機器による測定や作業、及び検証を一つのシステムとして行うことにより、精度の高い施肥設計の構築が可能となるとともに、農業者の経営方針に合わせた、計画的な施肥管理も実現できる可能性がある。

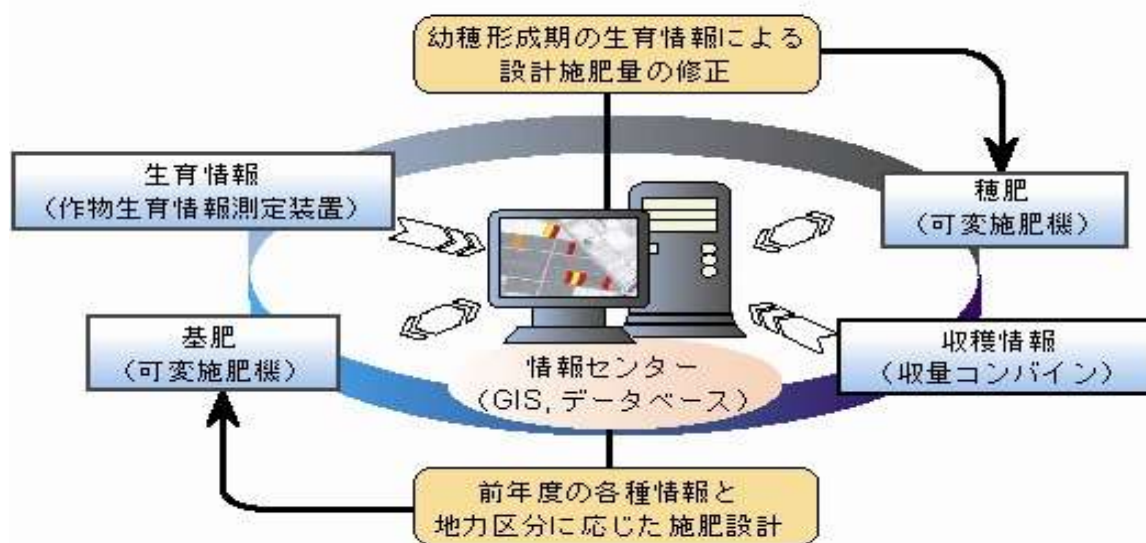


図1 施肥管理システム

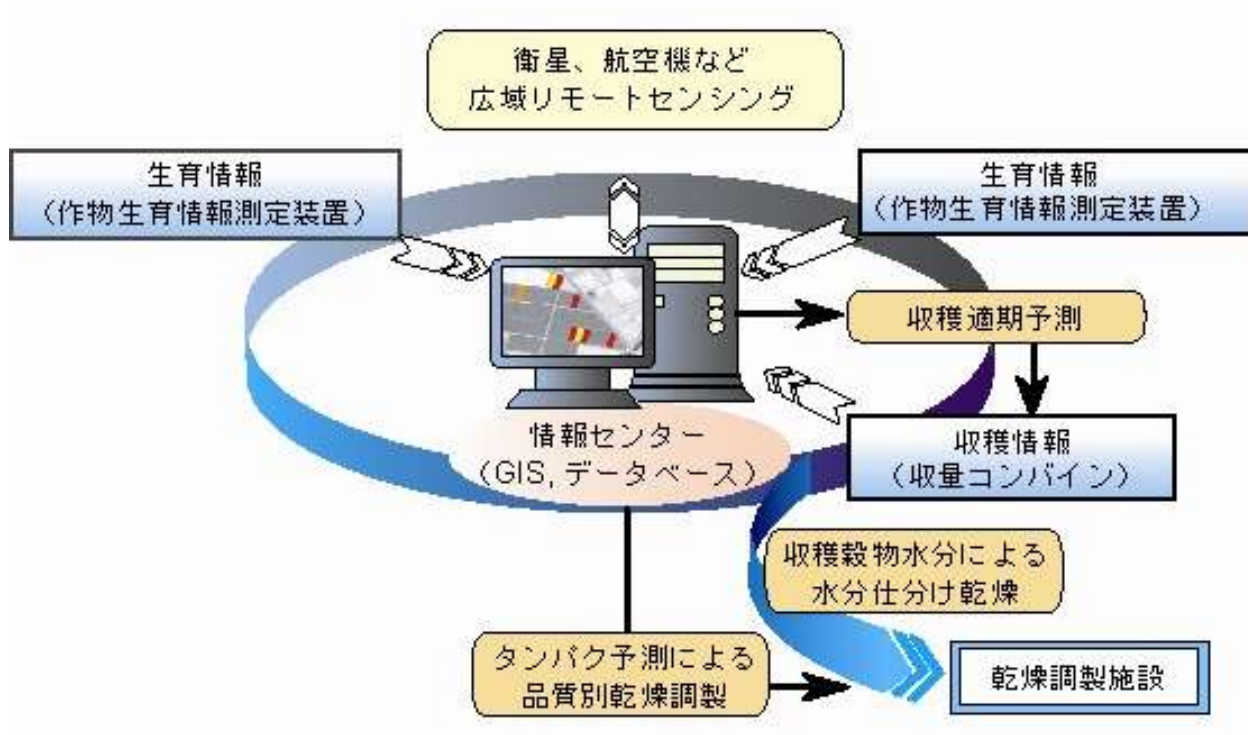


図2 情報を活用した予測と乾燥調製施設との連携システム

(2) 情報を活用した予測と乾燥調製施設との連携システム (図2)

衛星や航空機を利用したリモートセンシングによって、水稻や小麦の収穫適期予測や玄米蛋白含量推定を行う技術が開発され、各地で実用的な運用がなされている。収穫適期の早晚がほ場毎に予測され適期収穫が可能になれば、品質の向上はもとより乾燥調製施設の稼働率向上にも繋がる。また食味との相関が高い玄米蛋白含量をカントリーエレベータ等大型乾燥調製施設受入前に精度良く予測できれば、実需者のニーズに応じたコメの出荷が可能となるとともに、産地全体の品質向上にも寄与できる可能性がある。

しかし、リモートセンシング技術においては、予測精度を上げるため実際の水稻生育状況の把握が必要であり、設置した定点観測ほ場で定期的に慣行の生育調査（茎数、草丈、葉色、葉令など）を行っている事例が多いが、労力的な制約から観測ほ場数を限定することが多く、精度面で問題がある。また、例えば衛星では雲量 10%以下の快晴時の撮影が原則であり、年によっては必要な時期に画像を取得できないことも珍しくない。そこで、慣行の生育調査に代えて定点観測ほ場の定期的調査を携帯式装置で行うことで、十分な定点観測ほ場を確保でき、予測精度向上に寄与できるものと考えている。さらに、衛星や航空機で一部のほ場画像しか得られない場合に、作物生育情報測定装置で代替して情報を取得することも想定でき、システムとして柔軟性を強化できると思われる。

また、収量コンバインを用いれば、収穫物水分が乾燥施設搬入前にあらかじめ把握でき、水分別乾燥などによる省エネ乾燥にも役立ちそうである。

2) 検証方法

(1) 施肥管理システム

① 初年度（2004年度）

最初に図3に示す情報センターの核となるほ場図を、航空写真（㈱パスコ提供）をもとに作成した。これ以降の全てのデータは、ここで作成されたほ場とリンクさせて保存した。

次いで従来の施肥設計に基づいて、ブロードキャスタによる

全層施肥と側条施肥装置付き田植機（基肥用可変施肥装置）による側条施肥をほぼ半々に割り振る方式で基肥施肥を行った。

図3 宮城のほ場図（2006年の事例）

穂肥量判定のために、携帯式

装置を用いた生育情報測定を全ほ場を対象に幼穂形成期に行ったが、基肥重視の施肥体系を取っているため、倒伏を危惧して追肥は行わなかった。

最後に収量コンバインによる収穫作業を行い、ほ場毎の収穫情報を取得するとともに、サンプリングした生もみを玄米蛋白含量分析に供した。

② 2年目以降（2005、2006年度）

初年目に取得したデータは、各ほ場の生産特性を把握する上で有益であり、2年目も初年目と同様のPF機器による作業を実施した。初年目と異なったのは、前年に取得した各種データをもとに施肥設計を大幅に見直し、さらには全面全層基肥散布に利用するブロードキャスタを生研センターが開発した散布精度の高い機械で代用したことである。また、幼穂形成期に測定した携帯式装置の値（GI値）をもとにした穂肥量判定を本格的に検証した。

(2) 情報を活用した予測と乾燥調製施設との連携システム

初年目は、携帯式装置を用いて、施肥管理システムで計測した幼穂形成期に加え、穂揃い期と登熟期にも全ほ場のGI値を取得した。2年目移行は、幼穂形成期前の測定をさらに加え、先行して解析を進めていた宮城県古川農業試験場のデータを活用しながら、収穫適期予測、玄米蛋白含量予測を行った。また、衛星及び航空機リモートセンシングのデータを取得し、携帯式装置との関係説明を進めた。

なお、収量コンバインの水分情報

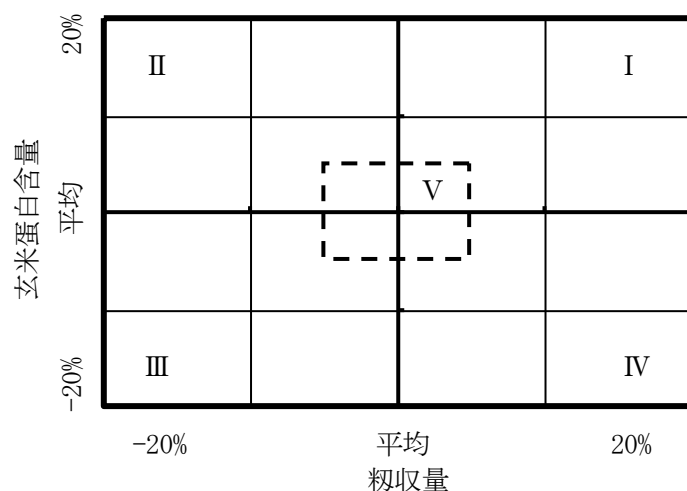


図4 施肥設計の見直し手法の模式図

による乾燥施設における水分別乾燥に関しては、委託先の乾燥機の構成から詳細な検討が困難であり、低水分対応と高水分対応の2系統に割り振る乾燥方法の可能性の検討を農業者に委託することとどめた。

3. 結果と考察

1) 施肥管理システム

(1) 施肥設計の見直し手法の検討

収量コンバインによる収穫情報及び収穫と同時にサンプリングした生もみを測定して得た玄米蛋白含量のデータから、図4に模式的に示すように、ほ場を生産特性に応じて分類することができる。この図は横軸に収量、縦軸に玄米蛋白含量を取っているが、それぞれ全ほ場の平均値を中心に±20%の範囲で表示している。分類Ⅰは収量も玄米蛋白含量も高いほ場、分類Ⅱは収量が低く玄米蛋白含量が高いほ場、分類Ⅲは収量も玄米蛋白含量も低いほ場、分類Ⅳは収量が高く玄米蛋白含量が低いほ場、さらに分類Ⅴは収量及び玄米蛋白含量の平均値の5%以内を表している。単純には、全てのほ場を分類Ⅳのほ場、つまり収量が高く玄米蛋白含量が低いほ場に近づけたい。そこで、収量も玄米蛋白含量も高い分類Ⅰのほ場については肥料の投入量を抑え、収量も玄米蛋白含量も低い分類Ⅲのほ場については肥料の投入量を増加させ、分類Ⅴについては変化させないことを基本に、個別ほ場の土性、水利条件、特異な管理条件、さらには農業者の経験などを加味して、営農

指導者や土壌の専門家が協議して施肥設計を行うこととした。

(2) 穂肥量判定手法の検討

既往の生育診断では、品種や地域毎に様々な方法で穂肥量の判定が行われている。一方、携帯式装置の測定値(GI値)は幼穂形成期頃までの茎葉窒素含有量を精度良く推定できることから、慣行の生育診断に比べて、簡便で精度

の高い判定が期待される。宮城県古川農業試験場では、これまでのひとめぼれに関する知見から、幼穂形成

期時点の窒素保有量をGI値で推定できれば、適正な粒数を得るための指針として利用できるとして、表3に示すひとめぼれにおける最適な粒数を得るための幼穂形成期のGI値を提案している。幼穂形成期から穂揃期までの窒素吸収量は幼穂形成期以降の地力窒素の発現分と穂肥で供給される窒素の総量であるから、幼穂形成期のGI値と地力窒素の発現量がわかれば穂肥量が決定できることになる。そこで、2005年春に全ほ場から土壌をサンプリングしてほ場毎に幼穂形成期以降の地力窒素供給能を推定し、幼穂形成期のGI値と併せて、適正な穂肥量を算出する手法を2カ年にわたって検証した。

(3) 施肥管理システムの効果

2005年は、収量－玄米蛋白含量図によって4分類(分類Ⅴを除く)した結果に基づき、全体の約40%

表3 “ひとめぼれ”における最適な粒数を得るための幼穂形成期時点のGI値^{注)}

	幼形期 GI値	幼形期から穂揃期までの窒素吸収量(g/m ²)							
		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	
幼形期	4.0	74	24	24	25	26	26	27	27
	4.5	76	25	26	26	27	28	28	29
	5.0	77	27	27	28	28	29	30	30
窒素保有量	5.5	78	28	29	29	30	30	31	31
	6.0	80	29	30	30	31	32	32	33
	6.5	81	31	31	32	32	33	34	34
	7.0	82	32	33	33	34	34	35	36
(g/m ²)	7.5	83	33	34	35	35	36	36	37

注) 最適な粒数範囲(28~30×1000粒/m²)
 粒数やや過剰な範囲
 粒数過剰な範囲

注) 平成17年度委託研究報告書より
 (宮城県古川農業試験場)

のほ場について施肥設計の見直しを行い、基肥を施肥した。一方穂肥については、幼穂形成期に全ほ場のGI値を測定し、ほ場毎に推定した幼穂形成期以降の窒素供給能と合わせて穂肥量の推定を行ったが、結果的には、2005年の天候状況等から穂肥を必要としないという判断がなされたため、穂肥は行わなかった。

続く2006年は、5分類した結果に基づいて、基肥の全量及び全層施肥と側条施肥の割合を変更し、2005年と同様約35%の施肥設計を見直し、基肥を施肥した。また穂肥についても前年と同様の推定を行ったが、基肥見直しの効果もあり、穂肥が必要とされたほ場は数ほ場に限定された。

表4 実証試験農家での全作業を受託している圃場の肥料投入量（窒素成分投入量）の推移^{注)}

	平成16年		平成17年		17-16	
	肥料投入量 (kg)	窒素成分投入量 (kg)	肥料投入量 (kg)	窒素成分投入量 (kg)	肥料投入量 (kg)	窒素成分投入量 (kg)
全層	6,396	895	4,860	680	-1,536	-215
側条	4,088	572	4,282	599	194	27
計	10,484	1,467	9,142	1,279	-1,342	-188

※受託面積（全作業）：31.8ha

注) 平成17年度委託研究報告書より
(宮城県古川農業試験場)

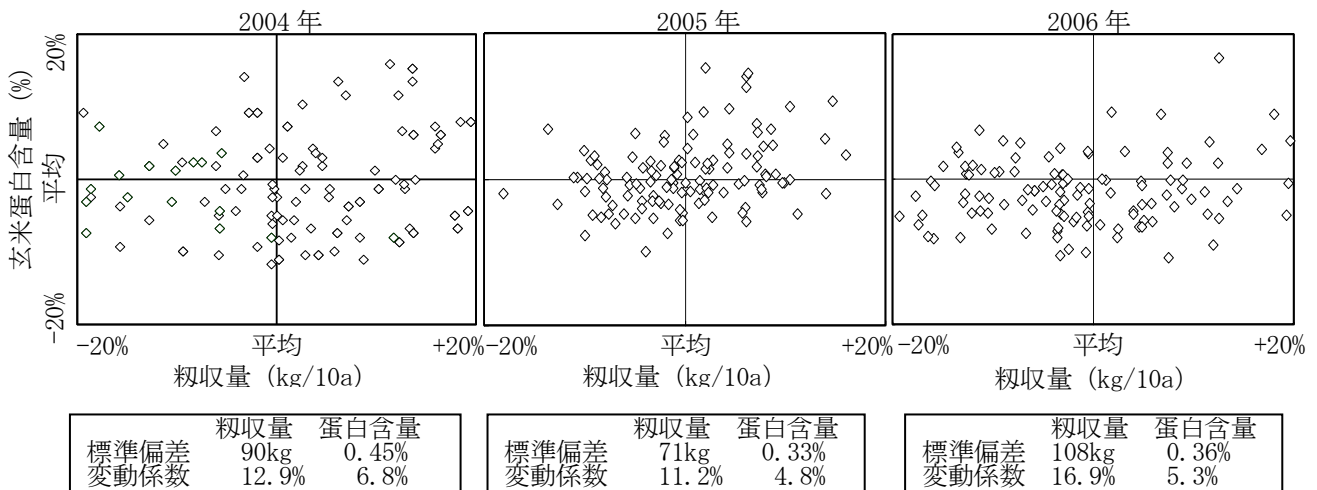


図5 ほ場毎の「収量-蛋白含量」の推移（宮城：ひとめぼれ）

その結果は、図5に示すとおりである。2005年は収量、玄米蛋白含量ともに、2004年に比べてほ場間のばらつきが減少した。一方、2006年は収量のばらつきが増加したものの、玄米蛋白含量については2005年と同様に2004年に比べてばらつきが少ない結果となり、ほ場の収量と玄米蛋白含量という、もっとも基本的な情報が取得されることによって、肥培管理の精度が格段に高まり、品質の安定した米づくりに効果があることが確認された。ただし宮城の施肥体系が基肥主体であったこともあり、穂肥量推定の精度や効果を検証することは今回の試験ではできなかった。

また、可変施肥機による精度の高い施肥と施肥設計の適正な見直しによって、副次的効果ではあるが表4に示すように肥料の投入量が減少し、コスト削減と環境負荷軽減にも一役買う結果となった。

2) 情報を活用した予測と乾燥調製施設との連携システム

(1) 作物生育情報測定装置のGI値などを活用した予測技術

携帯式装置を中心としたデータによって、収穫適期や玄米蛋白含量を予測する手法の開発と検証については、本書の「携帯式作物生育情報測定装置」の項に詳述してあるので省略するが、収穫適期予測については刈取時の籾水分との相関も高く、収穫の順番を決定する手法として十分活用可能であり、

品質向上や乾燥施設の効率化への寄与が期待できる。また、玄米蛋白含量予測についても、衛星リモートセンシングによる玄米蛋白含量予測と同等かそれ以上の精度で予測できる可能性を確認できた。

しかしながら、生育期間中に3～4回の全ほ場を対象とした携帯式装置による測定は、他作業との競合や労働負担の面から考えて、大規模な面積を対象とした場合には困難であり、地力別のグループ化による調査ほ場の限定や、広域のリモートセンシング技術との併用が現実的な選択となると思われる。なお、地力別のグループ化に関しては、幼穂形成期から穂揃期にかけての稲体の窒素吸収量を推定する方式の妥当性を、現在検証中である。

(2) 衛星・航空機リモートセンシングと携帯式装置の連携

宮城の実証試験ほ場を対象として、衛星については2005年及び2006年の2カ年にわたって、また航空機については2006年にスペクトル画像を撮影し、携帯式装置との関係やほ場毎の収量及び玄米蛋白含量との関係を調査した。なお、衛星は「QuickBird」のスペクトル画像、航空機は「AISA」と呼ばれるスペクトル画像を利用した。

2005年は8月から9月にかけて雲量10%以下の快晴の日が少なく、唯一8月5日に衛星画像を取得できた。しかし同一時期に計測した携帯式装置と衛星画像で求めたNDVI（正規化植生指数）では、その相関があまり高くなく、その原因として、衛星画像解析では場外周情報が混在したことが考えられた。また、撮影時期が収穫時期から40日以上も離れてしまったため、玄米蛋白含量予測精度も低い結果となった。

2006年については、衛星は8月8日と9月21日の2回、航空機は8月24日と9月8日の2回、画像を取得できており、携帯式装置の測定値、ほ場毎の玄米蛋白含量等のデータと合わせて現在解析を進めており、最終的には、地力別もしくは地区別の定点観測ほ場の設置、観測ほ場の携帯式装置による測定、リモートセンシング画像解析への利用を想定した検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 西村 洋ほか: 日本型水稻精密農業の構想と実証試験、平成15年度生研センター研究報告会資料、1-11、2004
- 2) 平成15～平成18年度生研センター事業報告

日本型水稻精密農業（PF）実証試験 ー 作業ナビゲータによる局所精密管理 ー

基礎技術研究部 濱田安之、松尾陽介、小倉昭男、津賀幸之介（現退職）
生産システム研究部 西村 洋、堀尾光広、日高靖之、林 和信、紺屋秀之、
栗原英治、杉山隆夫、澁谷幸憲（現東北農研セ）、
内間亜希子（現退職）、市川友彦（現退職）

はじめに

本実証試験においては、ここまでの報告に記載してあるほ場1筆を単位として情報・生産管理を行う広域管理に加えて、農用車両作業ナビゲータ（以下、作業ナビ）を適用してほ場内の場所ごとに情報センシングと適正作業を行う局所精密管理（以下、精密管理）の試験を行ってきた。作業ナビは、GPSを利用して得た位置情報と、別途入力された土壌や作物、作業の情報等に基づき、情報の表示や記録、適正な作業の指示を行う装置であり、各種PF用装置・機器に接続して、PF情報の取得やPF作業の実施を高精度かつ容易に行えるようにするPF支援機能と、広幅の施肥作業等で無駄のない作業の実施を支援する運転支援機能を有するものである。試験はこの作業ナビとPF関連機器を適用して、いくつかの試験地で精密管理を実践するものであり、併せて農業者に使用してもらう等の作業ナビの取扱試験と改良に取り組んできた。本稿では、この実証試験における精密管理の効果の検証と、作業ナビの取扱い性等の改良を行った結果の概要について報告する。

1. 作業ナビの構成と実証試験における改良

1) 作業ナビの構成

作業ナビの構成は車両に搭載する車載システムと事務所等で情報の管理を行う情報管理PCに大別される。車載作業ナビは位置情報を取得するためのGPS、各種情報の表示、記録等を行う表示コントローラ及びGPSセンサや表示コントローラ、各種PF用装置・機器を接続する情報ターミナルであるI/Oコントローラから構成される。

GPSについては、平成14年度までに開発した中精度GPS（精度約0.5m、図1）を平成15年度に適用し、平成16年度以降は米Navcom社のStarFireGPS（精度約0.2m、図2）を適用した。

表示コントローラは、PDAを適用してPF支援機能のうち可変施肥機能を有する簡易型と、ノートPCを適用してPF支援機能と運転支援機能、情報管理機能を有する標準型のいずれかを適用する（図3）。I/Oコントローラ（図4）は平成14年度までに開発した専用のワンボードマイコンで、シリアル（RS232C）入出力、DIO入出力、AD入力可能なインターフェースを持つものである。

情報管理PCは、事務所等で作業のための圃場データや作業データの設定及び作業によって得られた情報の編集・管理に用いるもので、情報管理ソフトウェアを汎用のPCに組込んで適用するほか、標準型の表示コントローラを情報管理用PCとして適用することもできる。

2) 個別機器との接続構成

各種 PF 用装置・機器との接続構成は図 5 のとおりであり、上段は作業ナビのシステム、下段は個別の PF 機器である。基肥、追肥用の可変施肥装置、収穫情報測定装置との接続では、それぞれ GPS、I/O コントローラ、表示コントローラを搭載・接続して PF 作業を実施し、生育情報測定については各種の生育情報測定装置による測定結果を情報管理ソフトウェアに読み込んで、生育情報マップの作成等を行う。可変施肥装置との接続では、あらかじめ設定した可変施肥のマップを読み込み、その施肥マップと現在位置に基づいて可変施肥指令を出して自動可変施肥を行うと同時に作業結果を記録する。収穫情報測定装置との接続では、収重量と水分情報を位置情報とともに取り込み、情報の時間遅れなどを考慮しつつ、詳細な収穫情報の基本データマップを作成・表示する。

3) 作業ナビの改良

局所精密管理の試験において、作業ナビの取扱い性を中心に評価を行い、その評価結果に基づき作業ナビの改良や機能の追加を行った。改良は主に画面表示の改良による視認性の向上や取扱性の向上であり、機能の追加は推奨経路などを表示する運転支援機能について行った。これらの改良点については各試験地での精密管理の作業、測定を通じて機能確認を行ったほか、また農業者による取扱試験も実施し、作業中の表示画面の視認性は良好で、運転支援機能は無駄のない作業の実施に有効であるという評価を得た。

作業ナビの構成や適用作業・測定などについて、最終的な仕様を表 1 に示す。



図 1 中精度 GPS 移動局
(基地局も構成は同一)



図 2 StarFireGPS

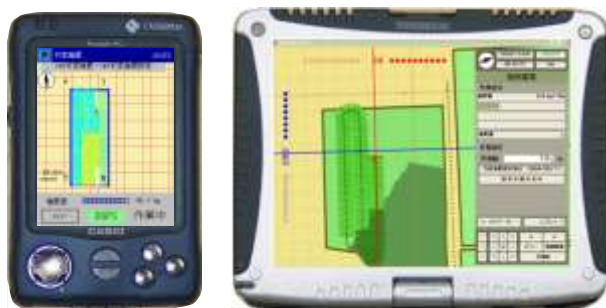


図 3 表示コントローラ (左：簡易型、右：標準型)



図 4 I/O コントローラ

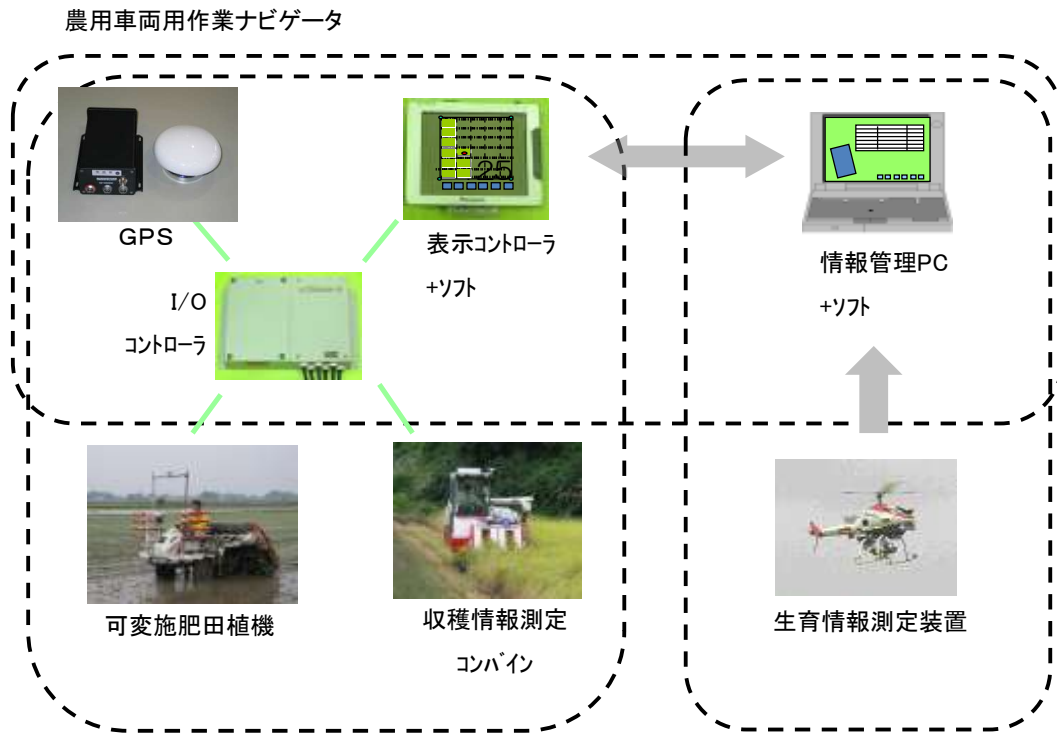


表1 作業ナビの構成と適用作業等（2007.2時点）

	機器構成	適用 GPS	適用作業・測定						
			区画測定	施肥マップ作成	自動可変基肥	自動可変穂肥	生育情報測定	収穫情報測定	収量マップ作成
PDA版 作業ナビ	カシオ E-800 他 +I/O コントローラ ※1 +GPS	・ StarFire -GPS ・ SBAS -GPS 他	○	—	○	○	—	—	—
PC版 作業ナビ	Panasonic CF-18 +I/O コントローラ ※1 +GPS (+遠隔操作盤※2)	・ StarFire -GPS ・ SBAS -GPS 他	○	○	○	○※3	△※4	○	○

※1：区画測定やマップ作成では不要。PC版作業ナビではインターフェース・カード等により代用可。

※2：市販のゲーム用コントローラを遠隔操作盤として使用可。

※3：詳細表示による運転支援（経路誘導）機能有り。

※4：測定データを作業ナビに読み込み、マップ化等の処理を行う。

2. 局所精密管理試験

1) 試験方法

局所精密管理試験は作業ナビと PF 関連機器による精密管理を各地の農家水田で実践することにより行った。試験では、基本的に対象ほ場の地力むらや収量むら、成育中の生育情報等に応じて収量や品質のむらを低減するような施肥設定と、その設定に基づく可変の基肥・穂肥施用、生育情報測定、収穫情報測定を行い、試験結果を評価した。精密管理の実証試験地と試験実施年度は以下のとおり。

- ① 新潟県 JA 越後さんとう管内の農家水田（2003～2004 年度）
- ② 宮城県志田郡（現大崎市）三本木町の農家水田（2005～2006 年度）
- ③ 秋田県秋田市雄和の農家水田（2005～2006 年度）

本試験に適用した PF 関連機器は、基肥の施肥に可変施肥装置付き側条施肥田植機（8 条植）、穂肥は可変施肥装置付き粒状物散布機（作業幅 7.5m）、収穫情報取得は収量コンバイン（4 条刈）であり、生育情報測定については新潟県の試験は無人ヘリ搭載式の生育情報測定装置、宮城県、秋田県での試験は携帯式の生育情報測定装置をそれぞれ適用した。

また、精密管理の単位である「メッシュ」の大きさについては、新潟県の試験については施肥設定にはメッシュを適用せず、生育情報及び収量情報は 10×10m メッシュを情報の処理単位とした。また、宮城県、秋田県の試験においては、最も作業幅の大きい穂肥用の粒状物散布機に合わせてメッシュの横幅を 7.5m に設定し、縦方向の長さはほ場区画や施肥設定の方法等に応じて 10～30m に設定した。

2) 新潟県における試験

(1) 2003 年度

試験は平成 13 年に基盤整備を行った地力むらが大きい約 50a のほ場で実施した。作付け品種はコシヒカリである。施肥設定については、基肥は平成 14 年 8 月に撮影した衛星リモセン画像（図 6）及び農家からの聞き取り調査を基に施肥マップを設定した（図 7）。穂肥については均一施肥で実施した。

幼穂形成期の生育情報（図 8）より、衛星リモセン画像で見られた生育むらの傾向が依然として残っていることを確認した。また、収量コンバインと作業ナビにより作成された収穫情報マップ（図 9）より、概ね穂肥期の生育マップに準じた収量のむらを確認した。

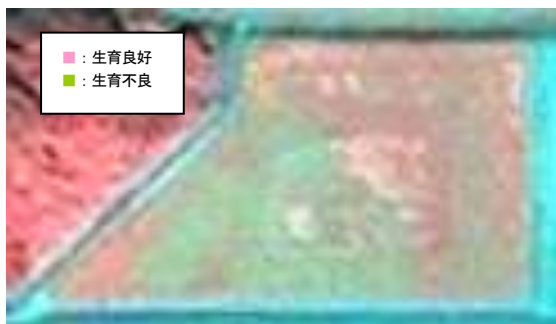


図 6 衛星リモセン画像

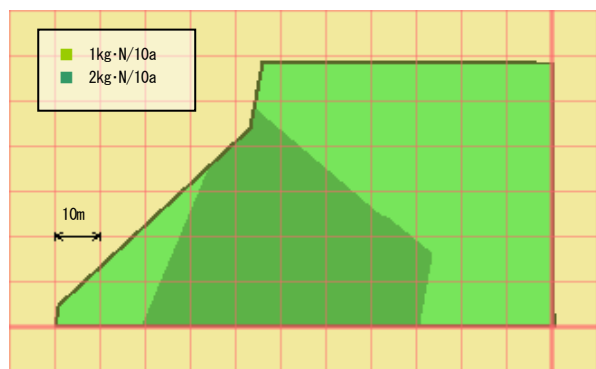


図 7 基肥マップ

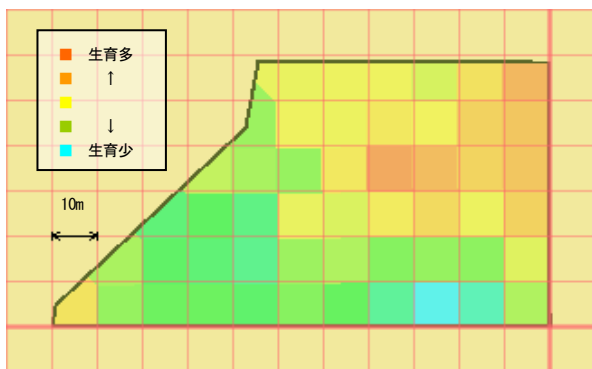


図8 生育情報マップ

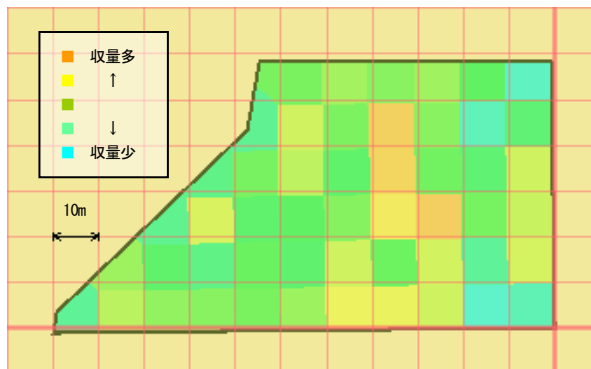


図9 収量マップ

(2) 2004 年度

供試ほ場は2003年度の供試ほ場に加えて対象区として2ほ場を追加した。施肥設定については2003年度までの地力むらの傾向（2段階）に基づいて設定した。

幼穂形成期（幼形期）及び登熟期に生育情報測定を行い、マップを作成した結果、幼形期は地力むらが逆転した生育状況を示し、登熟期には地力むらの影響が若干残る生育状況が確認された。収量状況は登熟期の生育状況とほぼ同様のものとなったが、収量むらの傾向は2003年度より小さくなった（全体の収量は減少）。

3) 宮城県における試験

試験は農家水田2～4筆で実施した。作付品種はひとめぼれであり、施肥設定については、基肥は土壌調査結果、衛星リモセン画像と農家からの聞き取り（過去の生育・収量の状況）結果をもとに施肥量の増減を2～4段階に設定し、穂肥については生育情報と基肥マップをもとに施肥量の増減を3段階に設定した。

生育情報測定を携帯式の測定装置により行うとともに、収穫情報を収量コンバインと部分刈りにより行ったほか、玄米蛋白含量についても測定したが、これらの精密管理の結果についてはその効果は明確には確認できなかった。

4) 秋田県における試験

(1) 2005 年度

供試ほ場は基盤整備後2年目の水田3筆であり、土壌調査結果及び生育情報に基づき、それぞれ可変区1（ほ場1－基肥・穂肥可変）、可変区2（ほ場2－基肥均一・穂肥可変）、対照区（ほ場3－基肥・穂肥均一）による施肥管理を行った。可変区の施肥設定については、可変区1の基肥量の増減で17段階、穂肥量の増減で12段階と、細かい設定を行った。この設定による可変施肥の後、PF関連機器による生育情報、収穫情報（収量及び水分）の測定及び部分刈りによる収量・品質（玄米タンパク質含有率）分析を行い、試験区間で結果（図10、表2）を比較した。

最も地力むらの大きかった可変区1の結果と、最も地力むらの小さかった対照区の結果を比較すると、可変区1の穂揃期の生育むら、収量むらが少なくなったことが確認された。また、玄米タンパク質含有率についても、可変区1のむらが少なくなったと同時に含有率の平均も低くなったことが確認された。

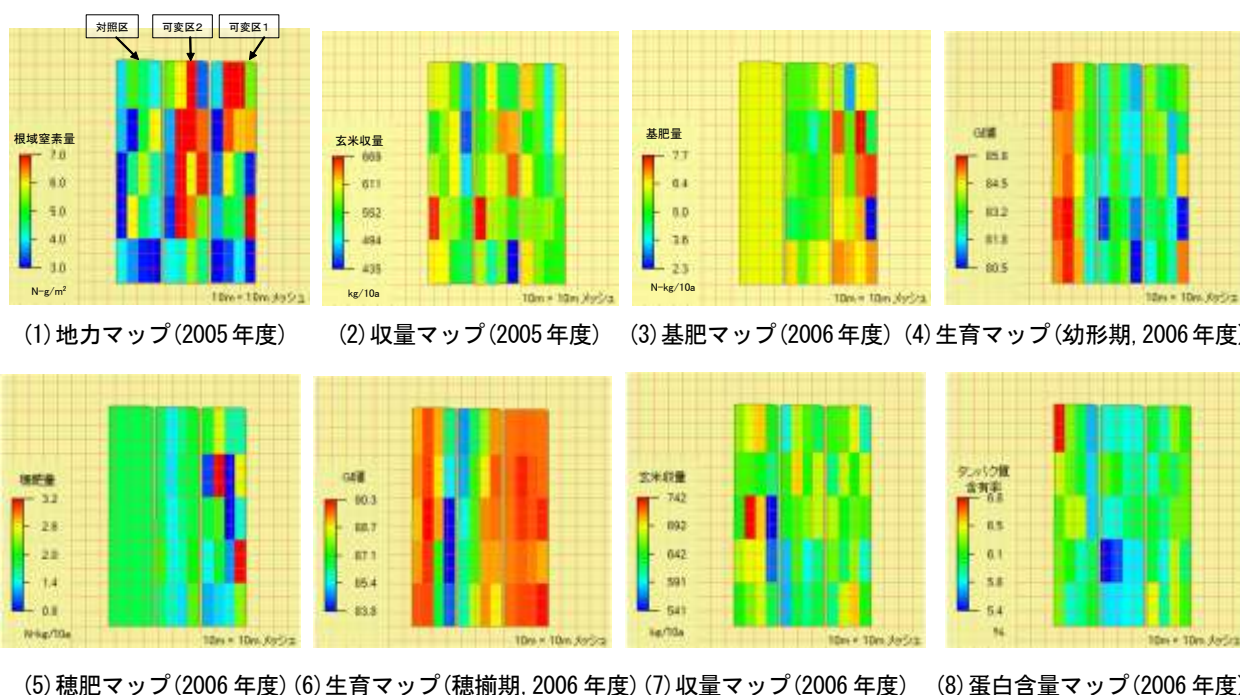


図 10 秋田における試験結果(マップ)

表 2 秋田における局所精密管理試験結果

試験区	2005年度								2006年度					
	土壌調査結果 ^{※1} (根域窒素量 ^{※2})		施肥設定 (可能/均一施肥)		玄米収量		玄米蛋白質含量		施肥設定 (可能/均一施肥)		玄米収量		玄米蛋白質含量	
	平均値 (N-g/m ²)	産物係数 (%)	可能	均一	平均値 (kg/10a)	産物係数 (%)	平均値 (%)	産物係数 (%)	可能	均一	平均値 (kg/10a)	産物係数 (%)	平均値 (%)	産物係数 (%)
可変区1	5.1	48.1	可能	可能	570	5.0	5.5	2.5	可能	可能	562	4.8	5.1	3.2
可変区2	5.8	33.1	均一	可能	579	8.9	5.7	4.8	可能	可能	528	5.3	5.8	3.1
対照区	4.1	28.4	均一	均一	559	9.1	5.8	4.2	均一	均一	555	7.1	5.1	4.7

※1 2006年度は2005年度の試験結果等を基に施肥設計を行ったため土壌調査は実施しなかった。

※2 根域窒素量は土壌の無機化窒素量と硬盤深さより算出した。

(2) 2006年度

供試ほ場は2005年度と同じ水田3筆とした。施肥設定についてはほ場間の地力むらが2006年度についても大きな変化はないと考えられたことから、2005年度の試験結果及び生育情報に基づき、可変区1及び可変区2については基肥・穂肥ともに可変施肥、対照区については基肥・穂肥ともに均一施肥による施肥管理を行った。可変区の施肥設定については、可変区1の基肥量の増減で17段階、穂肥量の増減で13段階と、細かい設定を行った。この設定による可変施肥の後、PF関連機器による生育情報、収穫情報(収量及び水分)の測定及び部分刈りによる収量・品質(玄米タンパク質含有率)の測定・分析を行い、試験区間で結果(図10、表2)を比較した。

2005年度の試験結果で地力むらが対照区より大きかった可変区1及び可変区2は、穂揃期の生

育むら、収量むら、玄米タンパク質含有率について、いずれも 2005 年度と同様、対照区より少なくなったことが確認された。また、玄米タンパク質含有率の平均値については、可変区 1 及び可変区 2 と対照区と同程度であることが確認された。

5) 局所精密管理試験のまとめ

JA 越後さんとう管内と宮城県志田郡三本木町の農家水田における試験では精密管理の効果を明確には確認されなかった。この原因については、施肥設定における施肥量の可変の段階が少なかったこと等に起因すると考えられた。

秋田県秋田市雄和の農家水田における試験では、2005 年度は土壌調査結果に基づく施肥設定による一連の精密管理を行い、収量と品質のむらが低減したことを確認した。また 2006 年度は初年度の試験結果に基づく施肥設定により一連の精密管理を実施し、2005 年度と同様、収量と品質のむらが低減したことを確認した。

秋田での試験では、精密管理のメッシュ (7.5m×30m) 毎の施肥量の増減の段階を細かく設定して可変施肥を行ったことが、精密管理の効果を確認できた一因と考えられる。このメッシュ毎 (場所毎) に施肥量を細かく増減する施肥作業は、作業ナビを可変施肥装置に接続して実行される自動可変施肥の機能により高能率、高精度で行うことが可能になったことから、局所精密管理における作業ナビの有効性についても併せて確認することができたと考える。

おわりに

本実証試験の結果、作業ナビを適用した局所精密管理は農業現場で円滑に実施することができ、土壌調査結果に基づく比較的細かな可変施肥の実施により収量と品質のむらを低減できることが確認された。

局所精密管理の生産技術としての確立と普及には、費用や手間を要する土壌調査を行うことなく地力むらを推定する方法—例えば初年度は均一施肥管理の下で生育情報や収穫情報を測定・評価して地力むらを推定する手法の検討や、地域や品種に応じた最適な施肥設定手法の検討が必要と考えられる。また、精密農業における作業ナビの実用化・導入には、GPS の更なる低価格化・高性能化が必要と考えられるが、今後、局所精密管理の技術と作業ナビが、農業、米作りにおいて安定生産と品質の確保の両立に貢献することを期待している。

参考文献

- 1) 松尾陽介ら：精密農業用作業ナビゲータ、共通基盤研究成果情報平成 15 年度、248-249、2004
- 2) 松尾陽介ら：日本型水稻精密農業の実証的研究 (第 3 報) —局所精密管理、農業機械学会第 63 回年次大会講演要旨、251-252、2004
- 3) 平成 15～平成 18 年度生研センター事業報告

いも類の収穫前茎葉処理機の開発

園芸工学研究部 貝沼秀夫、青木 循、久保田興太郎、

安食恵治（現：特別研究チーム）

共同研究実施会社 株式会社クボタ、マメトラ農機株式会社

はじめに	42
1. 開発の背景とねらい	42
2. 従来技術の課題	42
3. 開発機の構造・特徴	43
1) 自走式	43
2) トラクター装着式	43
4. 開発機の適応畝条件	44
5. 開発機の作業性能	45
1) 作業精度	45
2) 作業能率	46
6. 開発機のメリット	46
1) 収穫時の皮剥け抑制効果	46
2) 収穫能率向上への寄与	47
3) 黒あざ病抑制効果	48
4) 貯蔵性の確認	48
7. まとめ	48
おわりに	49
参考文献	49

はじめに

バレイショの収穫前茎葉処理は、収穫の作業性を向上、いもの品質維持、皮剥け防止等の観点から重要な作業である。

消費者ニーズに合致した農産物を供給するため、効率の良い茎葉処理機の開発は不可欠となっている。

このような状況を踏まえて、生研センターでは次世代農業機械等緊急開発事業の中で平成 15 年度より「いも類の収穫前茎葉処理機」の開発に取り組んできた。そして、バレイショを対象とした茎葉処理機を共同研究実施会社とともに開発した。本稿では、その構造・特徴、作業性能、利用のメリットについて述べる。

1. 開発の背景とねらい

我が国で栽培されているバレイショは 20 品種以上あり、作付け面積は平成 16 年度統計で 87,200ha¹⁾ であり、そのうち北海道での作付けが 55,400ha¹⁾ と 6 割程度を占めている。

北海道でのバレイショを用途別にみると、生食用 15%、加工用 21%、種子用 6%、澱粉用 50%、その他 8%となっている²⁾。収穫前の茎葉処理作業は、生食用や加工用においては①収穫作業性の向上、②いもの形状・品質の向上、③収穫時の皮剥け防止が主な目的であり、種子用においては①ウィルス汚染防止、②いもの粒揃いの向上が主な目的である。

バレイショの茎葉処理は一部の産地でチョッパー等を利用した機械処理が行われているものの、薬剤を用いる方法が一般的である。消費者や市場流通からは、薬剤に頼らない効率的な茎葉処理技機の開発・実用化が求められている。

2. 従来技術の課題

現在、バレイショの茎葉を機械的に処理する方法としては、チョッパータイプとプラー（引き抜き）タイプの機械があり、栽培体系や品種などに合わせて利用されている（図 1）。

チョッパータイプは、トラクター装着式のものと同走式のものがあり、いずれも地上の茎葉を細断して茎葉を処理する機械である。地下の根部までは処理できないため、作物の生育停止が緩やかで、いもの形状に影響が出る場合がある。

プラータイプは、茎葉を引き抜くように処理する機械で、地下の根部まで処理でき、作物の生育を速やかに停止させることができる。そのため、表皮硬化が促進され皮剥けし難くなるなど品質面で有利な処理方法であると言われている。現在、プラータイプの茎葉処理機としては、歩行型の 1 条処理の機械が市販されているが、引き抜いた茎葉を作業者が抱えて降ろすなどの作業は重労働であり、作業性や能率面から改善が求められている。



図1 現在利用されている茎葉処理機
(左：チョッパータイプ、右：1条処理のプラタイプ)

3. 開発機の構造・特徴

従来の茎葉処理機の問題点を改善するため、新たに開発する茎葉処理機は以下のような基本方針に基づくこととし、現場での様々なニーズに対応するため、自走式とトラクター装着式のタイプを開発した(図2、表1)。

- ① 茎葉処理機構は、品質上有利と言われているプラタイプとする。
- ② 収穫時の妨げとならないように引き抜いた茎葉を細断する機構を備えている。
- ③ 2畝処理できる構造とする。

1) 自走式

茎葉の引き起し部、引き抜き部、細断部から構成される茎葉処理機構を装備し、走行部は履帯式とした。操縦席は、作業の状況が確認し易いように機体左側の中央付近に配置した。

ディバイダーと爪付きチェーンで構成された引き起し部で茎葉を引き起し、そり状の畝押え部品で畝を押えながら、引き抜き部であるベルト部品で茎葉を挟持して引き抜く。

そり状の畝押え部品で畝を押えながら茎葉を引き抜くことで、いもの露出を抑制できる。また、畝押え部品のそり裏面は樹脂板で構成している。マルチ栽培の場合でもマルチフィルムを破らずに畝押えができるため、マルチ栽培されたバレイショの茎葉処理にも利用できる。

細断部は、ディスクカッターと水平に回転する切断刃で構成し、引き抜いた茎葉を細断するとともに、拡散させながらほ場へ放出することができる。

2) トラクター装着式

茎葉の細断部、引き起し部、引き抜き部から構成される茎葉処理機構を装備したトラクター装着式の茎葉処理機である。作業時の平均所要動力は14kW程度であるが、質量が680kgであるため、52kW(70PS)クラス以上のトラクターでの使用を推奨している。

畝の上面と側面をそれぞれ専用のフレールモアで構成された細断部で茎葉を細断することができる。細断後の株元を爪付きベルトで引き起し、ボール状の部品から構成した引き抜き部で茎葉を挟持して引き抜くことができる。

引き抜き部の後方に配置した車輪状の畝押え部品で、茎葉の引き抜きとともにまき上げて落下した土壌を鎮圧し、いもの露出を抑制することができる。



図2 いも類の収穫前茎葉処理機（左：自走式、右：トラクター装着式）

表1 主要諸元

名称	いも類の収穫前茎葉処理機	
	自走式	トラクター装着式
方式	自走式	トラクター装着式
茎葉処理機構	引き抜き細断方式	
引き抜き部	ベルト	ボール
全長×全幅×全高、質量	366×220×170cm、966kg	240×170×120cm、680kg
エンジンまたは適応トラクター	空冷2気筒ガソリン、12kW	62kW以上
走行部	履帯式 (中心間距離 144・150cm 可変)	—
作業畝数	2畝	
適応畝条件	条間 72～75cm、かまぼこ形の畝形状	

4. 開発機の適応畝条件

自走式、トラクター装着式とも適応畝条件は以下に示すとおりで、北海道では一般的な栽培様式である（図3）。

- ① 条間 72～75cm。
- ② 畝断面形状はかまぼこ形。
- ③ 自走式については、マルチ栽培にも対応可能。



図3 かまぼこ形の培土板を用いた培土作業

5. 開発機の作業性能

開発した茎葉処理機の性能を確認するため、作業精度確認実験と作業能率確認実験を実施した。

1) 作業精度

生食用の主力品種である‘男爵’と‘マークイン’を供試して、茎葉の処理率といもの露出率を調査した。実験は、生食用のバレイショとしては一般的な処理時期である茎葉が黄変し始める時期に実施した。また、参考として茎葉の性状が‘男爵’や‘マークイン’と異なる加工用の品種であるホッカイコガネについても同様の実験を行った。実験場所は、道立十勝農試内のほ場と実際の生産ほ場において実施した（表2）。

バレイショは品種によって茎葉の性状に特徴がある。‘男爵’は早生の品種で、茎長は40～60cm程度、黄変初め時期であれば比較的茎葉の倒伏も少ない品種である。‘マークイン’は中生の品種で、茎長は60～80cm程度、比較的茎葉が倒伏し易い品種である。‘ホッカイコガネ’は晩生の品種で、茎長は80～100cm程度と長いものの、茎径が株元で10mm以上と他品種と比較して太いため、倒伏し難い品種である。

‘男爵’を供試した実験では、自走式、トラクター装着式とも99%程度の高い処理率であり、いもの露出も1%以内と少なかった。

‘マークイン’を供試した実験では、茎葉が倒伏した条件であったが、引き起し部が有効に作用し97～99%の処理率を得ることができた。いもの露出も1%以内と少なかった。また、自走式はマルチ栽培への対応を確認する実験も行った。その結果、マルチフィルムを破ることなく円滑に作業が行え、無マルチ栽培のほ場と同程度の処理率、露出率であった。このため自走式については、マルチ栽培でも十分利用できることを確認した。

‘ホッカイコガネ’を供試した実験では、自走式、トラクター装着式とも99%程度の高い処理率であり、いもの露出も1%以内と少なかった。

産地では通常、茎葉処理後2週間経過した時期より収穫作業を行うが、その時点でのほ場調査では、ほとんど全ての茎葉が枯凋しており、引き抜かれた茎葉も細断されることによって乾燥が促進され収穫作業への妨げは無かった。

表2 主要品種での作業精度

供試品種	作物条件							自走式			トラクター装着式			
	条間 (cm)	茎長 ¹⁾ (cm)	茎数 (本/株)	倒伏率 ²⁾ (%)	茎葉重 (g/株)	いも重 (g/株)	いも数 (個/株)	塊茎深 ³⁾ (mm)	作業 速度 (m/s)	処理率 ⁴⁾ (%)	いもの露出 率(%) ⁵⁾	作業 速度 (m/s)	処理率 ⁴⁾ (%)	いもの露出 率(%) ⁵⁾
男爵 (H18京極町)	72	54	8.5	18	400	1000	8.8	52	0.8	99.2	1.0	1.2	99.4	0.9
マークイン (H17十勝農試)	75	82	5.8	93	230	575	9.8	80	1.0	97.1	0.9	1.2	99.0	0.5
ホッカイコガネ (H16十勝農試)	75	85	4.8	50	573	1018	11.4	67	0.5	99.5	0.5	0.6	98.9	0.2

1) 茎長: 株元から成長点までの茎長さ。

2) 倒伏率: (調査区内において株元で90°に倒伏している茎数) ÷ (調査区内の全茎数) × 100

3) 塊茎深: 畝天面位置及び左右畝肩位置でのいもの深さの平均。

4) 処理率: (試験区内の全茎数 - 未処理茎数) ÷ (試験区内の全茎数) × 100

5) いもの露出率: (露出していたいも数) ÷ (作物条件から試算した試験区内の全いも数) × 100

2) 作業能率

条間 72cm、畝長さ 250m の北海道では一般的なバレイショほ場において作業能率を確認した。自走式、トラクター装着式とも作業速度 1.1m/s 程度で円滑に作業を行うことができ、有効作業効率 90%程度で 50a/h 程度の作業能率であった（表 3）。

また、自走式のガソリン燃料消費量は 0.8L/10a 程度で、トラクター装着式の作業時平均所要動力は 14kW 程度であった。

表 3 開発機の作業能率実験結果

作業速度(m/s)	1.1
有効作業効率(%)	91
作業能率(a/h)	50

試験日時:平成17年9月6日
 場所、供試品種:鹿追町、'キタヒメ'
 供試ほ場畝長さ:250m
 条間×株間:72.5×34cm
 茎長:83cm
 茎数:3.1本/株
 倒伏率:92%
 茎葉重:320g/株

6. 開発機のメリット

プラータイプの茎葉処理機は、地下の根部まで処理でき作物の生育を速やかに停止させることができる。表皮硬化が促進され皮剥けし難くなり品質面で有利な処理方法であると言われている。また、茎葉や地下の根部が処理されることにより収穫能率の向上に寄与する。など多くの利用メリットがあると考えられた。そのような利用メリットを、以下のような実験を行い確認した。

1) 収穫時の皮剥け抑制効果

茎葉処理方法の違いが収穫時の皮剥け程度に及ぼす影響を検討するため、引き抜き又はチョッパー処理して、10日後に収穫したいもを1個ずつ容器(縦10×横12×高さ5cm)に入れて一定の振動(振幅25mm、180Hz、1分間)を与え、容器壁面に当たった衝撃で発生する皮剥け程度を5段階の指数で評価した。

その結果、引き抜き処理した区のいもでは、指数0(無傷)と指数1(1cm²以内の皮剥けが1ないし2カ所)の合計が95%程度あり、チョッパー

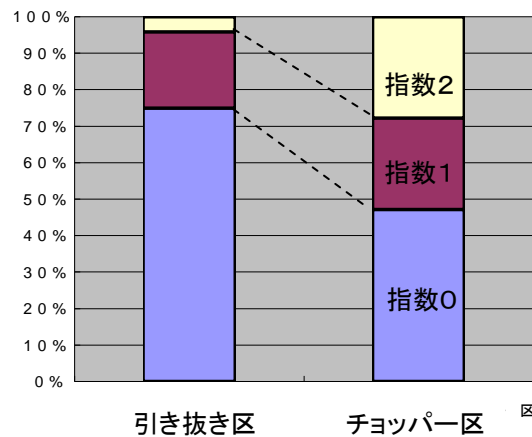


図 4 皮剥け抑制効果の確認結果

程度は

少なく、いもの表皮硬化が促進されていることが確認された(図4)。
 また、実際の産地では、収穫されたバレイショは、収穫後出荷施設で大きさや形状選別を行うための選別ラインに流され、最終的に市場出荷される。そうした選別・出荷の工程でも皮剥け等の損傷が発生すると言われている。特に早生品種を栽培し、早期出荷を行っている産地では、そうした状況が顕著にでるとのことであった。そのような産地の一つである檜山南部地域で、開発機を使用してもらったところ、引き抜き処理したほ場の出荷可能割合は、チョッパー処理した場合と比較して良く、引き抜き処理によって皮剥けし難くいバレイショになっているとの評価を得た³⁾。

2) 収穫能率向上への寄与

主に生食用バレイショで利用されているディガーとピッカーを組み合わせた収穫体系では、地下の根が未処理のまま利用するとピッカーでの選別作業が大変であり改善が求められている。このため、実際の生産ほ場において、開発機による引き抜き処理とチョッパーによる細断処理という茎葉処理方法の違いが収穫作業に及ぼす影響を調査した（表4）。

開発機を利用した場合、地下の根部から引き抜いて茎葉処理を行うのに対して、チョッパーを利用した場合は、地上部のみを細断する作業であり、平均10.6cmの茎が刈り残されている状態であった。ディガー作業は、茎葉処理方法の違いによらず17.8a/h程度の作業能率であった。その後、いもをピッカーで拾い上げる収穫においては、チョッパー処理した区の場合、いもと根部を拾い上げるため、選別作業に時間を要し、

6.2a/h程度の収穫能率にとどまった。これに対して、開発機を利用した区では、根部等の夾雑物が少ないため、選別コンベア上での作業も容易で8.7a/h程度の作業能率を得ることができた（図5）。

開発機を利用して茎葉処理を行った場合、ピッカー作業が1時間当たり2a以上も高能率に行えることが確認された。また、ハーベスターを利用した収穫体系においても、茎葉や根部の処理が不十分であった場合、ハーベスターの茎葉等を除去する部品に作物が絡まることなど円滑な作業に支障を来す場合がある。さらに、その絡まりを作業者が除去しようとして回転部に挟まれるなどの作業安全上問題となる場合があるとのことであった。そのため、開発機のように茎葉を根部から引き抜き細断する茎葉処理方法は、ハーベスターを利用した収穫体系でもメリットがあるとの評価を得た⁴⁾。

表4 茎葉処理方法の違いによる収穫作業性

	ディガー 作業	ピッカー作業	
		引抜き処理区	チョッパー処理区
作業速度(m/s)	0.43	0.26	0.19
有効作業効率(%)	86	70	69
作業能率(a/h)	17.8	8.7	6.2

茎葉処理日：平成17年7月20日、収穫日：平成17年8月1日

場所、供試品種：共和町、'とうや'

N社2畝用ディガー1名、N社ピッカー6名（運転1名、機上選別5名）

供試ほ場畝長さ：98.2m

条間×株間：75×25cm

規格内いも重：779g/株（当該地区の出荷規格は41g以上のいも）



図5 茎葉処理方法の違いによる選別作業状況の違い（左：引き抜き区、右：チョッパー区）

～引き抜き区では、根部等の夾雑物が無く作業が容易～

3) 黒あざ病抑制効果

いもの表皮に黒い菌核が付着する「黒あざ病」は、比較的多湿な条件で多く発生し、茎葉処理でいもの表皮を硬化させることがその抑制につながると言われている。そのため、開発機を用いて茎葉処理した場合の発生率を調査し慣行の方法の場合と比較した。なお、この調査は、種苗の管理を行っている公的機関である種苗管理センター十勝農場の協力を得て実施した。

調査の結果、引き抜き処理を行うことで「黒あざ病」の発生率は、慣行と比較して2～6ポイント程度少ないことが確認され、統計処理を行っても優位性があった(表5)。また、種苗管理センターの担当者からも差のある結果であるとの評価を得た。

表5 黒あざ病発生割合調査結果

品種 試験区	男爵		メイクイン	
	引き抜き処理区 ¹⁾	慣行区 ²⁾	引き抜き処理区 ¹⁾	慣行区 ²⁾
調査個数(個)	536	536	858	890
黒あざ病個数(個)	10	23	14	68
発生率(%) ³⁾	1.9	4.3	1.6	7.6

1) 引き抜き処理区:開発機によって引き抜き処理。

2) 慣行区:チョッパーで細断後に薬剤(レグロックス)散布処理。

3) 発生率:黒あざ病個数÷調査個数×100

4) 貯蔵性の確認

開発機で引き抜き処理したいもの貯蔵性を確認するため、10月上旬から4月上旬までの期間、農協貯蔵庫に貯蔵し、外観および腐敗状況、質量変化について調査した。貯蔵は、当該農協の通常の方法で実施した。

その結果、一般の生産者のいものと同様に外観品質上も良好で腐敗の発生もみられなかった。また、貯蔵中の質量変化にも差がなく良好であった。

7. まとめ

- 1) 収穫前のバレイショの茎葉を引き抜くとともに細断する2畝用の茎葉処理機を開発した。
- 2) 茎葉の引き起し部、引き抜き部、細断部から構成される茎葉処理機構を有し、いもの露出を抑えるための畝押え部を装備している。
- 3) 自走式とトラクター装着式の2タイプがあり、自走式はマルチ栽培にも対応が可能である。
- 4) 条間72～75cm、かまぼこ形の畝形状に対応し、‘男爵’‘メイクイン’‘ホッカイコガネ’を供試した結果、処理率は97～99%で、いもの露出は1%程度である。
- 5) 作業速度1 m/s程度で円滑に作業が行え、能率は50a/h程度である。
- 6) 開発機を利用した場合、他の処理方法と比較して皮剥けし難くいバレイショの生産が可能である。また、収穫能率の向上に寄与する。

おわりに

本機の開発に当たりバレイショの品種の多さや茎葉の性状やいもの着生状況の多様性には驚かされた。また、生食用、加工用、種子用など用途毎に茎葉処理の目的も異なっており、それらの状況を正しく理解して開発を進めるとともに、開発した茎葉処理機が迅速に現場に導入されるためには、栽培技術を含め茎葉処理機の利用技術を検討しておくことも重要であると考えた。そこで、開発とあわせて、品種、用途毎の処理適期の検討、開発機を円滑に利用するための栽培技術の検討などを行うため、北海道、農業改良普及センター、農業試験場、ホクレン農業協同組合連合会、関係農業協同組合連合会、関係農業協同組合、生産者、緊プロ参画企業、種苗管理センター、北海道農業研究センターなどとともに茎葉処理に関する研究会を設け意見交換を行ってきた。研究会の実施により、開発の方向性の確認、効果的な実験方法の検討、性能の評価を行うことができた。本機は、生産現場と共同で作上げた茎葉処理機であると考えている。関係諸氏の多大なご協力に対して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 平成 16 年度「野菜生産出荷統計」
- 2) 都道府県報告による農水省特産振興課調べ。
- 3) 平成 15 年度檜山南部地区農業改良普及センター試験展示ほ成績書
- 4) 第 3 回茎葉処理研究会資料

繋ぎ飼い飼養における新酪農システム実証試験

畜産工学研究部 道宗直昭、志藤博克、高橋仁康、平田 晃、後藤 裕、
川出哲生、原田泰弘、皆川啓子、山名伸樹（現：鳥取大学）

はじめに	51
1. 新酪農システムの構築	51
1) 実証試験協力牧場の選定	51
2) T牧場の概要と導入したシステム	51
3) S牧場の概要と導入したシステム	52
2. 実証試験の概要	52
1) 細断型ロールベアラを中心とした飼料作	52
2) 搾乳ユニット自動搬送装置による搾乳作業	55
3) ふん尿処理・利用機械による環境改善	56
3. 新酪農システムの効果と評価	58
1) 新酪農システムの効果と評価	58
2) 細断型ロールベアラ体系にすることによる効果	59
3) 搾乳ユニット自動搬送装置による効果	59
4) 高精度固液分離装置、堆肥化制御システム、曝気装置による効果	59
5) 新酪農システムのコスト検討	59
6) 実証試験協力牧場の声	59
おわりに	60
参考文献	60

はじめに

わが国の農業生産指数の変動をみると、1960～1964年を100としたとき、1995～1999年には畜産は297、米は79、野菜は129となっており、畜産は他の作物に比べて飛躍的な生産拡大となっている。農業産出額をみても農業全体の約3割は畜産が占めており（農林水産統計）、国民への食料供給に大きく寄与している。一方、農業経営体数（家族経営体）134.8万体のうち、米、麦、穀類の92.2万体に比べると畜産は5.9万體で全体の4.4%にしか過ぎない（2005年農林業センサス）。その分1戸当たりの農業所得は多く、水田、畑作、露地野菜に比べて1.3～3倍となっているが、畜産の農家戸数は年々減少傾向にあり、後継者不足が問題となっている。その原因として、重労働の作業が多いことや毎日の作業で時間的なゆとりがないこと、市街化が進み畜産農家を取り巻く環境が非常に厳しくなってきたことで周辺に相当な配慮をしなければならない状況にあることなどが挙げられる。畜産が見直されるにはこのような課題を解決していかねばならないと考えられる。

生研センターでは、作業の軽労化、省力化、生産性の向上、環境改善をねらいとして、細断型ロールベアラ、搾乳ユニット自動搬送装置、高精度固液分離装置、自然エネルギー活用型高品質堆肥化装置、ロックウール脱臭装置などを農業機械等緊急開発事業（緊プロ事業）で開発し、単独機種として導入、利用され高い評価を受けている。さらに、これらの開発機種がシステムとして農家に導入されることにより、土―草―牛の資源循環に基づくゆとり溢れる経営形態が生まれることが期待される。

そこで、繋ぎ飼い牧場を対象に実証試験協力牧場を選定し（栃木県下T牧場、群馬県下S牧場）、それぞれの牧場の経営形態にあった形で、細断型ロールベアラ、搾乳ユニット自動搬送装置や高精度固液分離装置などの緊プロ開発機を導入し、飼料生産、搾乳、ふん尿処理・利用までを含めた一連の酪農システムとしての効果を実証する試験を行った。ここでは新酪農システム構築に向けた実証試験の結果を中心に報告する。

1. 新酪農システムの構築

1) 実証試験協力牧場の選定

飼養規模50頭以上（経産牛頭数で約33頭以上）の繋ぎ飼い飼養で、トウモロコシを主体に飼料作を行い、搾乳ユニット自動搬送装置の導入を希望し、ふん尿処理・利用において整備を希望し、試験協力が可能な条件の牧場を県行政、畜産試験場、メーカーを通じて求め、2戸の実証試験協力牧場（栃木県下T牧場、群馬県下S牧場）を選定した。

2) T牧場の概要と導入したシステム

T牧場は、夫婦2名と娘1名で営む酪農＋水稻の複合経営である。飼料畑（借地を含む）は約6haで、デントコーン、牧草のほか、飼料イネ収穫調製・利用も行い、積極的に自給飼料生産に取り組んでいる。システム導入前は20数頭規模の自然流下式牛舎で飼養していたが、規模拡大を図るために牛舎の新築計画があり、その際、新酪農システムの実証試験の協力を依頼し、搾乳ユニット自動搬送装置、高精度固液分離装置、堆肥化制御システム及び細断型ロールベアラ、ベア

ルラップ等を導入した。ふん尿処理・利用方式は、ふん尿を牛舎からバークリーナーで搬出し、高精度固液分離装置で固液分離し、固形分はハウス乾燥装置で乾燥後、育成牛舎の敷料として利用している。敷料の水分が高くなりボロとして牛舎から搬出されたあと、通気型堆肥舎に持ち込まれ、堆肥化して飼料畑で堆肥として利用されている。固液分離後の液分は、貯留槽に溜められ、飼料作物の栽培状況を勘案しながら、適宜、飼料畑に散布される。

3) S牧場の概要と導入したシステム

S牧場は、夫婦2名（経営主63歳）で営む酪農専業経営である。経産牛頭数は31頭で、約5haの飼料畑（借地を含む）で、T牧場と同様、デントコーン、牧草の他、飼料イネ収穫調製・利用も行い、積極的に自給飼料生産に取り組んでいる。細断型ロールベアラ導入前は、地下角形サイロ、バンカーサイロ、FRPサイロ等でコーンサイレージを生産していた。システムの採用により、細断型ロールベアラ、ベールラップを導入した。搾乳方式は、手押し搬送によるパイプラインミルクカーを使用していたが、更新時期も考慮しつつ搾乳ユニット自動搬送装置に切り替えた。ふん尿処理は、平成16年11月からの「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」の本格施行に伴い施設整備を行っており、バークリーナーで固液分離された固形分をハウス乾燥・発酵装置で堆肥化する方式をシステム導入前に採用していたため、高精度固液分離装置や堆肥化制御システム等の装置は導入せず、現状の施設を使用することとし、尿汚水のほ場散布時の臭気発生が課題となっていたため、曝気装置を設置して臭気軽減策を施した。

2. 実証試験の概要

1) 細断型ロールベアラを中心とした飼料作

(1) 牧場の作業体系

T牧場の慣行作業体系は、作業体制として4戸共同（4名＋サイロ詰め補助作業員1名）で、使用機械はハーベスタ（リバース作業）、2tダンプ2台、ホイールローダを使用、サイロ形式はバンカーサイロ、スタックサイロであった。

細断型ロールベアラ等を使用した開発機体系は、作業体制として3戸共同（4名）による「定置作業」体系で、使用機械はハーベスタ（リバース作業）、細断型ロールベアラ（定置作業）、ベールラップ、ホイールローダを使用、ロール運搬用として軽トラック、2tダンプ2台、ベールグラブ2台（5名）を使用した（図1）。導入後はバンカーサイロとの併用とし、スタックサイロは中止した。

また、トウモロコシ以外に飼料作物として、イタリアンライグラスをはじめとする牧草や飼料イネについても、ピックアップユニットを装着したハーベスタを細断型ロールベアラと組み合わせることにより細断ロールサイレージとしている。

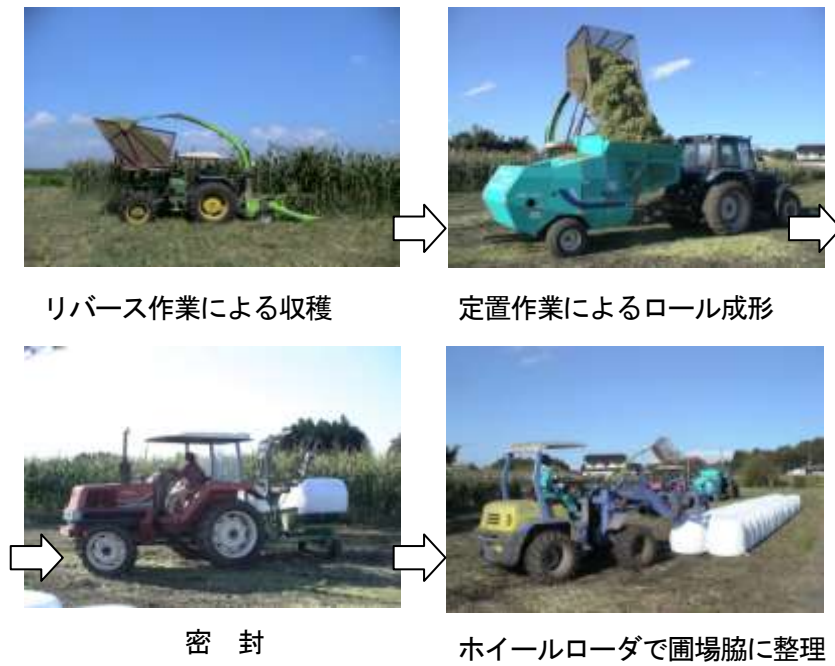


図1 開発機体系による作業状況

(2) 牧場の作業体系

S牧場の慣行作業体系は、作業体制として家族労働（2名）で、使用機械はハーベスタ(リバース作業)、2tダンプ1台、フォレージワゴン1台であり、サイロの形式は地下角形サイロ、FRP製ミニサイロ、手作りバンカーサイロであった(図2)。



図2 S牧場の慣行作業体系

細断型ロールベアラ等を使用した開発機体系は、作業体制として家族労働+ヘルパー（2.5名）による「定置作業」体系で、使用機械はハーベスタ(リバース作業)、細断型ロールベアラ(定置作業)、ベールラップを使用、ロール運搬用として軽トラック、2tダンプ1台、4tダンプ1台、ベールグラブ2台(3名)を使用した(図3)。



リバース作業による収穫

定置作業によるロール成形

密封

図3 S牧場の開発機体系

(3) 実証試験の結果

延べ労働時間の比較では、開発機体系におけるロールベールの圃場からの運搬作業も含めると両牧場とも慣行体系とは大きく変わらないが、それでも慣行体系で40~50%を占めた人力作業が開発機体系ではなくなった(表1、図4)。また、T牧場では収穫時期に奥さんが圃場作業に出役する必要がなくなり、S牧場では2tダンプによる作業に代わって、細断型ロールベアラの補助的な操作(ホップ内材料の供給開始スイッチを入れる)に役割が変わる等、奥さんへの労働負担が大幅に減少した。

表1 作業条件と延べ労働時間測定結果

	作業体系	収量 含水率	圃場面積 (a)	圃場までの 距離(km)	延べ労働時間 (h・人/ha)	サイロ詰め的人力 作業時間(h・人/ha)
T牧場	慣行体系	6.2 t/10a 75%	104	2.5	21.8	8.8
	開発機体系	7.0 t/10a 74%	85	5.0	20.6	0
S牧場	慣行体系	5.3 t/10a 69%	27	0.3	39.9	19.7
	開発機体系	5.9 t/10a 70%	32	1.1	20.2 (37.7) *	0

* () 内の数値はロール運搬作業も含めた場合の延べ労働時間

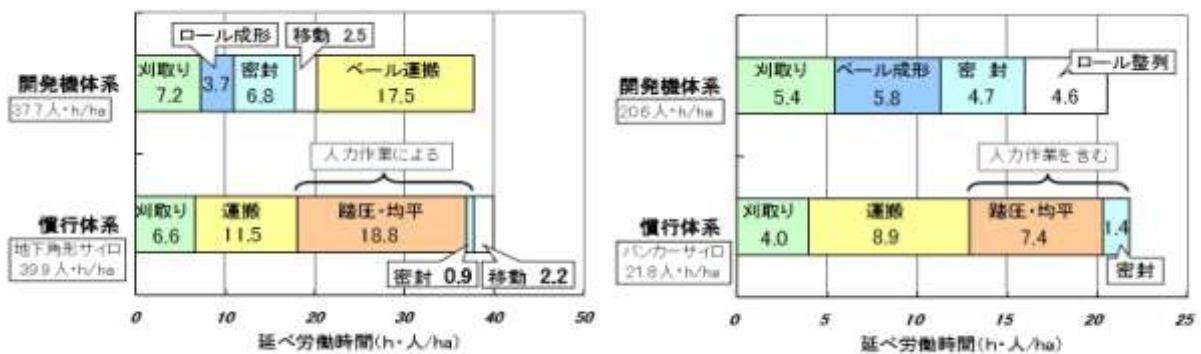


図4 延べ労働時間の比較 (左: S牧場、右: T牧場)

さらに、サイロからの取り出し作業でも、作業者がサイロに出入りする手間がなくなり、ローバールを機械でハンドリングできるために作業が楽になった、との意見が協力牧場から寄せられた。また、サイレージの品質は既設のサイロに比べ優位性が確認され、ロスも少なかった。

2) 搾乳ユニット自動搬送装置による搾乳作業

搾乳ユニット自動搬送装置は、2つの搾乳ユニット（自動離脱装置付き）を牛のところへ自動搬送し、ミルクタップと接続して2頭同時に搾乳ができる。さらに、ユニット離脱信号を検出してミルクタップから切り離し、次の牛へと移動する半自動搾乳システムである。

(1) T牧場の導入状況と実証試験の結果

T牧場（導入前は24床）は、平成17年4月30日に、新築の繋ぎ飼い牛舎（対尻式52床）に本装置4台・8ユニットを導入した(図5)。能率は導入後半年以降、概ね安定してきた。搾乳頭数は、導入前27頭から導入後1年半で39頭に増え、作業時間は導入前の朝夕合計170分から148分へと22分短縮した。導入後の作業能率で見れば、労力的には45頭まで搾乳牛を増頭可能と推定された。

(2) S牧場の導入状況と実証試験の結果

S牧場では平成16年6月11日に既存の繋ぎ飼い牛舎（対尻式40床）に本装置4台・8ユニットを導入した(図6)。搾乳頭数は、導入前31頭から導入後35頭が増えたが、作業時間は朝夕合計121分から92分へと約30分短縮し、作業動線の合理化により歩行距離が減少した。導入後の作業能率で見れば、労力的には40頭フルに搾乳可能と推定された。



図5 T牧場の搾乳作業状況



図6 S牧場の搾乳作業状況

(3) 搾乳ユニット自動搬送装置の導入による効果

搾乳ユニット自動搬送装置の導入前後の搾乳作業能率の比較を表2に示した。両牧場とも搾乳ユニットの自動搬送・2頭同時搾乳によって搾乳作業能率(頭/時)が約50%改善し、S牧場では搾乳牛を4頭、T牧場では12頭増頭し、導入後の作業能率と導入前の作業時間からさらに増頭余力があると推定された。また、搾乳作業の大幅な軽労化が図られ、酪農家から、身体への負担が軽減され、1人作業も楽になったとの評価を得ている。

表2 搾乳ユニット自動搬送装置導入前後の搾乳作業能率の比較

	S 牧場		T 牧場	
	導入前	導入後 ¹⁾	導入前	導入後 ²⁾
搾乳ユニット数	6 ³⁾	8	4 ⁴⁾	8
作業人数	2	2	2	2
調査時搾乳頭数(頭)	31	35	27 ⁵⁾	39 ⁶⁾
搾乳作業時間(分) ⁶⁾	60.5	46	85	74
搾乳作業能率(頭/時間) ⁶⁾	30.8	45.7	19.3	32.1
1頭あたりの歩行距離(m) ⁷⁾	28.3	15.3	22.9	20.3

注 1)導入2年5ヶ月後調査 2)導入1年半後調査 3)懸架式ミルカ(手押し搬送、自動離脱装置付き)
4)ユニットを担いで搬送 5)3頭は別牛舎でバケットミルカ搾乳 6)調査時平均 7)作業者の平均

3) ふん尿処理・利用機械による環境改善

2牧場において既存のふん尿処理施設による処理体系を検討し、それぞれの牧場に必要と判断した装置を導入して、ふん尿処理システムを構築した。高精度固液分離装置は、高水分のふん尿混合物を固液分離し、副資材を混合しないで堆肥化できる水分(75%程度)まで低減できる装置である。また、堆肥化制御システムは、堆肥化中の堆肥材料の温度と通気量をPC上で確認し、最適な通気量に制御できる装置である。これらの装置を導入し、導入した装置の稼働状況及び性能、装置導入の効果を堆肥化・液肥化処理から圃場利用までを含めて調査した。

(1) T牧場の導入状況とその効果

新築牛舎の搾乳牛頭数をベースとしてふん尿処理方法を検討した。副資材等の使用量が大幅に増加することが推定されたため、ふん尿混合物を高精度固液分離装置で固液分離する方法を組み入れた。本装置の導入によって堆肥化のための副資材は不要となった。また、既設の堆肥舎の容量で確実に堆肥化の一次処理を終了するため、堆肥化過程における堆肥材料の温度を確認しながら通気を制御する堆肥化制御システムを導入した(図7～10)。

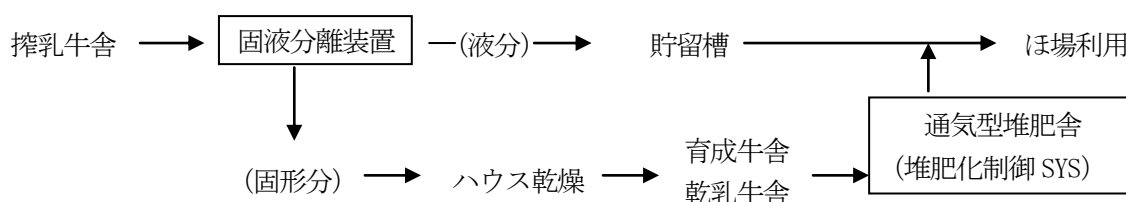


図7 T牧場の装置導入後の処理方法

含水率87～89%のふん尿混合物を固液分離した結果、固形分の含水率は70～78%と変動したが、ハウス乾燥施設との併用により、敷料として利用できた。堆肥化では、通気の制御

によって60℃以上を達成でき、初回の切返しまでの短期間に16～28%程度の有機物を分解できた(表3、4)。

堆肥及び分離された液は、飼料畑等で全量有効利用された。生のふん尿混合物を散布した場合には、ほ場周辺において2日目でもはっきりと臭気が感じられ、アンモニアも検出された。高精度固液分離装置で分離した液では、ふん臭と分る程度の弱い臭いが残るが、散布翌日には検知管では検出されず、臭いは2日目を過ぎるとかなり弱くなった(図11、12)。



図8 高精度固液分離装置



図9 堆肥化制御システムの画面出力例



図10 通気型堆肥舎



図11 堆肥の散布



図12 液肥の散布

表3 高精度固液分離装置の性能

測定期間	4月～10月
測定回数 (回)	12
原料含水率 (%)	87～89
固形分含水率 (%)	70～78
T S回収率 (%)	62～68
S S回収率 (%)	79～83

表4 堆肥化試験結果の概要

測定回数 (回)	4
初回切返しまでの期間 (日)	11～24
通気量 (L/min/m ³)	10～110
投入時含水率 (%)	69～75
最大到達温度 (℃)	60～79
有機物分解率※ (%)	16～28

※ 初回切返しまでに達成した値

(2) S牧場の導入状況とその効果

バークリーナによって分離されたふんについては、十分な規模のハウス乾燥装置(504m²)及び堆肥舎(150m²)が設置され、製造した堆肥をトウモロコシ圃場に利用する体系が確立されてお

り、尿汚水の圃場散布時の臭気対策が課題として残されていた。現状の搾乳牛頭数等をベースとして処理方法を検討し、既存の貯留槽（3槽）のうち、2槽を曝気槽として汚水を曝気処理する方法を組み入れ、有効貯留量5.8m³の曝気槽2槽に対し、30分間欠で200L/min（推定）の条件で曝気処理する方法に改良した。また、曝気処理液用の貯留槽（36m³）を設置した(図13)。尿汚水を曝気処理する方法を組み入れた結果、散布当日の夕方には臭気がほとんどなくなり、「臭わなくなった」との評価を得た。

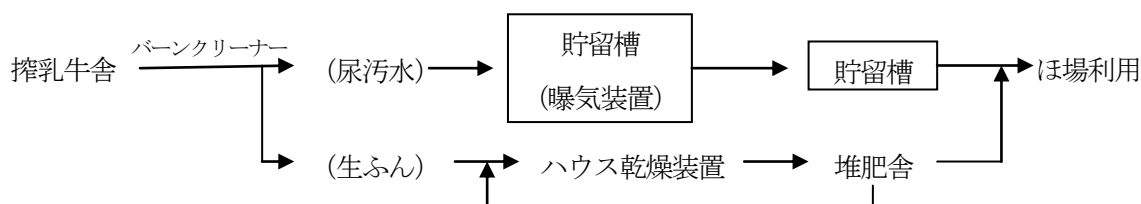


図13 S牧場の装置導入後の処理方法

(3) ふん尿処理・利用機械の導入による効果

高精度固液分離装置は、ふん尿混合物を固液分離して含水率70～78%まで低減できた。分離した固形分は、ハウス乾燥施設（既設）の利用により育成牛舎等の敷料として利用でき、排出された敷料は新たに副資材を追加することなく堆肥化できた。堆肥化制御システムは、通気の制御によって堆肥原料の温度60℃以上を達成し、初回の切返しまでの短期間に16～28%程度の有機物を分解できた。両牧場とも堆肥化、液肥化したふん尿は、全量を自家飼料畑で有効利用することができた。

3. 新酪農システムの効果と評価

1) 新酪農システムの効果と評価

両牧場とも細断型ロールベアラの導入によって、良質サイレージが不足しがちな夏季においても安定的に良質サイレージを搾乳牛に給与できるようになった。また、人手による作業がなくなり作業が省力化され、収穫時期における奥さんの労働負荷も大幅に減少する効果が確認された。搾乳ユニット自動搬送装置の導入では、搾乳作業の能率が大きく向上し省力化が図られ、今後は安定的に搾乳できるようになったことで乳質、乳量の改善効果にも大きな期待が寄せられている。これらによって、これまで繁忙を極めた収穫時期でも、必要に応じて夫婦で圃場作業と搾乳作業を分業化することによって作業ピークをしのぐことが可能となった。さらに、畜産経営で重要な問題であるふん尿の処理、利用については、トウモロコシ作付ほ場では牧草作付ほ場に比べ2倍程度の堆肥、液肥を肥料分として利用できるようになり、適正なトウモロコシ作付面積を確保できれば、ふん尿を経営内で処理・利用でき、本システムで例示したような処理装置を導入することにより環境問題も大幅に改善することができるようになった。これら機械・装置の導入によって、資源循環に基づいた技術体系が実際の経営において定着しうることが確認された。

2) 細断型ロールベアラ体系にすることによる効果

- ① 人力作業が不可欠なサイロ詰め作業がなくなり、労力の肉体的負担が大幅に軽減された。
- ② 収穫・ラップ作業と運搬・収納作業が分離でき労力の競合が緩和され、精神的余裕をもてる。また、天候などによる都合に応じて作業分散が可能となり時間的な拘束も少なくなった。
- ③ サイレージ品質が良好で安定しており、長期貯蔵が可能で利用ロスも少ない。また、サイレージ取り出し労力が軽減され省力化された。
- ④ 品質の安定した良質なサイレージ給与によって、乳量、乳質の改善が見込まれる。

3) 搾乳ユニット自動搬送装置による効果

- ① 牛舎内で搾乳ユニットを持ち運ぶことや手作業によるミルクタップへの接続がなくなり、搾乳作業の大幅に軽労化した。とくに搾乳を担当している女性に喜ばれている。
- ② 搾乳時間が減少し、余裕時間がもてるようになりゆとりができた。
- ③ 牛へのストレスが少なくなり乳質の安定化が期待できる。

4) 高精度固液分離装置、堆肥化制御システム、曝気装置による効果

- ① ふんを堆肥化するために必要な副資材が不要となり、コスト低減が期待できる。
- ② 堆肥化制御システムによって良質な堆肥が生産できる。
- ③ 固液分離後の分離液は、ふん尿混合液に比べ臭気が少なく、飼料畑への散布がし易くなった。曝気装置の設置により、バーンクリーナー分離液を曝気することで散布時の臭気が軽減された。
- ④ 堆肥・固液分離液を飼料畑へ全量散布することができ、N、Kの化成肥料は不要となった。

5) 新酪農システムのコスト検討

T牧場に導入した本システムによるコストを検討した。

- ① 本システムによるコスト低減（増収）効果：年間約 545 万円
 - ・ 3人で1日2時間の労働時間の短縮による低減効果：年間 110 万円
 - ・ 化成肥料の低減効果(1,300円×2袋×5.83ha/10a)：15万円
 - ・ 堆肥化のための副資材費の低減効果(40頭規模、カーク[®]使用量2.14m³/日、2,000円/m³×2.14m³×365日)：156万円
 - ・ 搾乳牛増頭12頭分の増収効果(12頭×22万円/頭・年)：264万円
- ② 本システム導入による追加的費用：1,700万円
 - ・ 細断型ロールベアラ、ベールラップ(新規導入)：500万円
 - ・ 搾乳ユニット自動搬送装置(パイプラインミルクカーの追加分)：400万円
 - ・ 固液分離装置と堆肥化制御システム(新規導入)：800万円

牛床は52床あり、将来、増頭の予定あり。

6) 実証試験協力牧場の声

実証試験協力牧場から多くの意見をいただいたがその代表的な意見を以下に記す。

- ① ロールを圃場から運搬する作業を含めると延べ労働時間は従来とほとんど変わらないが、圃場でラップした時点で品質が確保されているので、精神的ゆとりが生まれた（S牧場）。ロールベールの運搬作業を含めると延べ労働時間は従来体系よりも長くなるが、収穫調製作業とは別の作業として切り離して考えられるため、負担には感じない（T牧場）。
- ② 年間を通して品質の安定したサイレージが給与でき、乳質・乳量が向上した。
- ③ 1人搾乳ができるようになり搾乳が苦にならなくなった。
- ④ 時間的なゆとりができ、簿記を付ける時間ができた、孫を風呂へ入れる時間ができた、組合や酪農仲間等の諸会議に遅刻しなくなった（T牧場）。
- ⑤ 酪農を続ける期間が5年は延びる（S牧場）。

おわりに

細断型ロールベアラ、搾乳ユニット自動搬送装置や高精度固液分離装置などの緊プロ開発機を実証試験協力牧場に導入し、飼料生産、搾乳、ふん尿処理・利用までを含めた一連のシステムとして、その効果を実証する試験を行った。各作業において大幅な軽労化、省力化が図られ、畜産環境を改善することができる新酪農システムを構築することができた。本システムでは、細断型ロールベアラを軸として良質で長期保存に優れたコーンサイレージを生産して搾乳牛に安定給与でき、搾乳ユニット自動搬送装置で安定的な搾乳を行うことで、乳質、乳量の改善にも大きな期待が寄せられている。さらに、トウモロコシ飼料畑に対しては牧草畑に比べ2倍程度の堆肥、液肥を散布できるため、適正なトウモロコシ作付面積の確保によりふん尿を処理した堆肥、液肥を全量飼料畑に利用することが可能となる循環型の畜産経営を行うことができ、畜産を取り巻く環境問題の解決に1方策を提案することができた。もちろん、本システムを構成する3機種が全て同時に導入される必要はなく、経営形態や事情に合わせて、段階的あるいはいずれかの機械・装置を必要に応じて導入することも可能であることも特徴の1つであり、今後の普及が期待される。輸入飼料の高騰が危惧される今日、本システムがわが国の畜産に大きく貢献することを期待している。

本実証試験を行うにあたり、真岡市の高橋牧場、高崎市の清水牧場、群馬県畜産試験場には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) 農林水産省大臣官房統計部（2006）、農林水産統計、平成17年農業総産出額
- 2) 農林水産省大臣官房統計部（2005）、2005農林業センサス
- 3) 平成17年度畜産経営の動向（農林水産省生産局畜産部畜産企画課）、中央畜産会
- 4) 志藤博克ら、平成15年度研究報告会資料（2004）、生研センター、35-44
- 5) 平田晃ら、平成15年度研究報告会資料（2004）、生研センター、45-54

使用済み農用ゴムクローラの芯金・ゴム分離回収システムの開発

基礎技術研究部 藤井幸人、大西正洋、小倉昭男、津賀幸之介（現在退職）
共同研究実施会社 特殊バネ株式会社

はじめに	62
1. 切断技術と切断装置の概要	62
1) 切断装置の仕様	63
2) 芯金検出と搬送制御方法	65
3) せん断方式による切断性能	66
2. 分離技術と分離装置の概要	66
1) 分離装置の仕様	67
2) 剥離方式による分離性能	68
3. 芯金・ゴム分離回収システムの構築	68
1) システムの構成	68
2) 連続運転作業性能	69
おわりに	70
参考文献	70

はじめに

2000年に公布された循環型社会形成推進基本法の中では、廃棄物などの発生抑制、資源の循環的な利用、および適正な処分が確保されることによって、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷をできる限り低減する循環型社会の構築が明記されている。いわゆる3Rの推進を基本とし、再使用、再生利用ができないものにとり、最終的に単純焼却や埋立て処分を行うという考え方である。

農用ゴムクローラは、自脱型コンバインや農用運搬機等の走行部として用いられ、機体サイズや用途によって大きさや形状等が多種に及ぶ。その内部構造は、基本的に鉄塊状の芯金、スチールコード、及びそれらを上下から包み込むカバーゴムによって構成されている。農用ゴムクローラについて素材の質量構成比率をみると、鉄材が平均で全体の約3割程度を占めており、貴重なリサイクル資源と言える。

しかしながら、ゴムクローラは鉄とゴムが強固に接着された一体構造の重量物であり、ハンドリングの困難さとともに廃棄処理過程において鉄とゴムに分離する経済的なリサイクル技術が確立していない。このため、ユーザーである農業者、また農業者から使用済み農機具の引き取りを行った農業機械販売・整備業者、さらに処理を委託された産業廃棄物処理業者等の各段階において、使用済み農用ゴムクローラが処理困難物として放置・退蔵されていたり、あるいは、埋め立て処分や焼却処理される等の問題点が従来から指摘されている^{1) 2)}。再資源化を前提にした適正廃棄処理の観点からすれば、農用ゴムクローラのリサイクル化は十分とは言い難い状況にある。

そこで、筆者らは使用済み農用ゴムクローラを対象に適正廃棄処理の推進と鉄材の再資源化を目的に、2003年度から使用済み農用ゴムクローラの切断・分離技術の研究に着手し、切断した後に芯金とゴムに大別して各々の素材に分離回収できるシステムの開発に取り組んできた。今年度、そのシステムを構成する各装置の試作と機能確認試験を行ったので、その概要について報告する。

1. 切断技術と切断装置の概要

ゴムクローラは、産業廃棄物の分類上、廃プラスチック類に該当する。廃棄物の処理及び清掃に関する法律によれば、廃プラスチック類を埋め立て処分する場合には15cm角以内に切断処理しなければならない。ゴムクローラの廃棄状態が原形のままの環状あるいは口開けした帯状のままでは、長さ要件を満たさない限り、埋め立て処分は違法となる。また、焼却処理する場合においても、焼却炉の規模や投入口の大きさに応じて、長さや幅の制約を受ける。つまり、適正廃棄処理を行なうにあたっては、処理要件に見合う寸法に切断することが必要となる。

本研究では、芯金を鉄材として回収し、再生利用することを最終目的としており、後述する分離技術及び分離装置に適した大きさに切断することを目標とした。すなわち、芯金1個を最小単位として、芯金と芯金の間を幅方向に任意の間隔で切断できる装置の開発である。

研究期間の前段において、切断に最適な方法を見出すために帯ノコや各種の回転刃による切断予備試験を試行した³⁾。その結果、せん断による切断が回転刃等の切削による切断方法と比較し

て短時間に切断することが可能であること、またゴムの加熱による煙や悪臭が発生しないこと等の実用上の優位性を確認した。これを受けて、せん断方式による切断装置を試作し、数種類の使用済み農用ゴムクローラ（以下、供試材）を用いて切断力や所要エネルギー等の切断性能の把握を行った。

1) 切断装置の仕様

切断装置は、搬送部と切断部からなる装置本体、供給台及び油圧ユニットから構成される。装置の主要諸元、全体図を以下に示す（表 1、図 1）。

表 1 切断装置の主要諸元

全長	2215 mm (供給台を含む)	
全幅	1250 mm	
全高	1820 mm	
質量	1540 kg (供給台、油圧ユニットを含む)	
供給台	勾配	22 度
搬送部	インバータモータ	0.75 kW、減速比 1/255
	ロータリエンコーダ	分解能 600 pulse/回転
切断部	切断刃	平型刃:材質SKH
	切断間口	幅 800 mm×高さ 300 mm
	切断下刃地上高	420 mm
	芯金検出用近接センサ	φ 10、最大検出距離 5 mm
油圧シリンダ	切断刃(左右とも)	内径 : 100 mm ストローク: 370 mm
	昇降テーブル	内径 : 32 mm ストローク: 45 mm
	押さえベルト	内径 : 32 mm ストローク: 300 mm
油圧ユニット	インバータモータ	7 kW、三相 220 V
	ポンプ最大吐出量	83.0 L/min
	タンク容量	100 L
	定格圧力	14 MPa
その他	制御盤電源	三相 200 V
	電動ウィンチ電源	AC 100 V

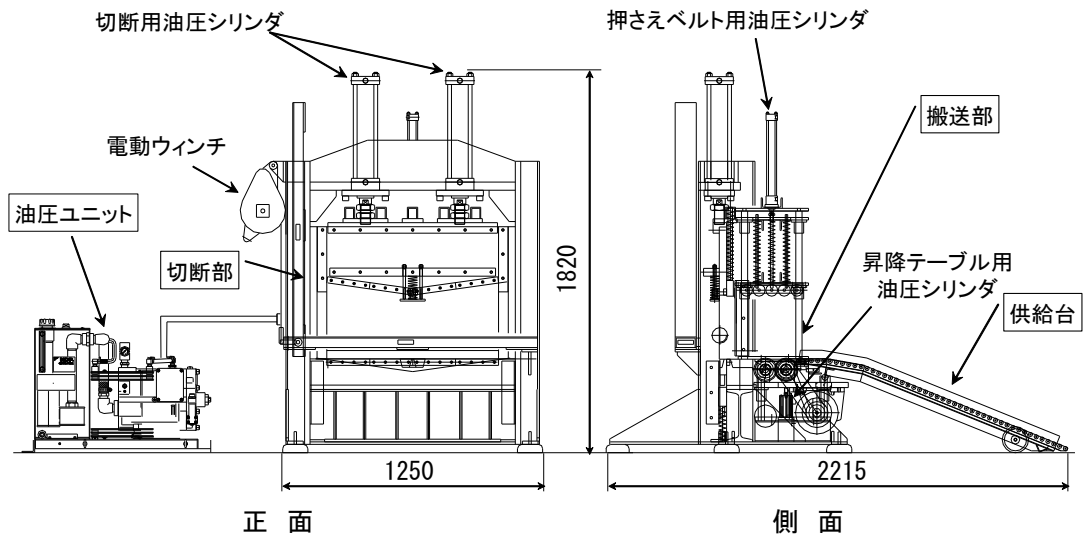


図 1 切断装置

装置の主要な構造と特徴は、以下のとおりである。

(1) 供給台

供給台は、床上に定置された帯状の供試材を切断装置本体の搬送部まで供給するためのものであり、切断装置本体の後方に着脱自在に取り付けられる。供給台の上部には、複数のローラが配置されており、供試材を円滑に搬送させることのできるローラコンベアの形態となっている。供給台への供試材の載荷方法は、床上にある供試材の端部の転輪孔にフックの取り付けを行い、このフックの付いたワイヤの一端を切断装置の側部に配置した電動ウィンチで搬送部まで引き上げる。この方法によって、大形の供試材の供給作業も一人で行うことが可能である。なお、環状のクローラを本装置に供給する際は、エンジンカッター等により予めクローラを帯状に口開けしておく必要がある。

(2) 切断装置本体

切断装置本体には、①昇降テーブル、搬送用押さえベルト及び芯金検出用近接センサ等からなる搬送部と、②切断用の可動式上刃と固定式下刃、バネ機構付きクローラ押さえ、及びバネ機構付きクローラ受け台等からなる切断部で構成される（図2、図3）。

①搬送部

昇降テーブルは、搬送中に固定式下刃と供試材が干渉しないよう昇降機構を備え、供給台から供給される供試材を切断位置まで搬送する。昇降テーブル下部には、搬送用のインバータモータと減速機等を配置しており、一体となって昇降する。また、昇降テーブルの上方には搬送用押さえベルトが設けられ、搬送時に上部から供試材を押圧しながら、切断位置まで移動させるための案内機能を有する。また、ラグ高さの異なる多様な供試材に対応できるようにするため、バネに支持されながら上下動する。

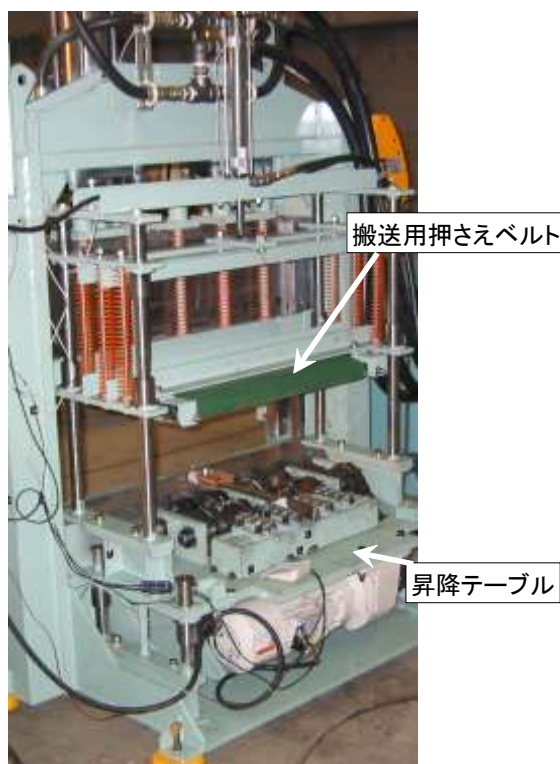


図2 切断部の構成（供給側）

②切断部

切断の方式は、固定式下刃が本体に固定され、可動式上刃が上下するいわゆるギロチン式のせん断方式であり、芯金と芯金の間位置を狙って直線的に切断する。可動式上刃は、V字形状をなし、中央の先端部分から徐々に供試材に食い込むことで切断負荷が軽減されることを狙いとしている。このV字形状可動式上刃には相対的に移動可能なバネ機構付きクローラ

ラ押さえを設けており、バネの付勢力で供試材をクッション状態で押圧する。すなわち、V字形形状可動式上刃が下降したとき、連動してこのバネ機構付きクローラ押さえが切断直前の供試材を押圧固定する。

また、固定式下刃の前方には、切断された供試材を受けるためのバネ機構付きクローラ受け台が配置されており、この受け台の下部に設けた複数のバネにより上下動する。切断時に供試材は、下方向へ強く押圧されるが、受け台がV字形形状可動式上刃の下降によって下方へ押されることにより、供試材の撓みを軽減し、円滑な切断を目的としている。

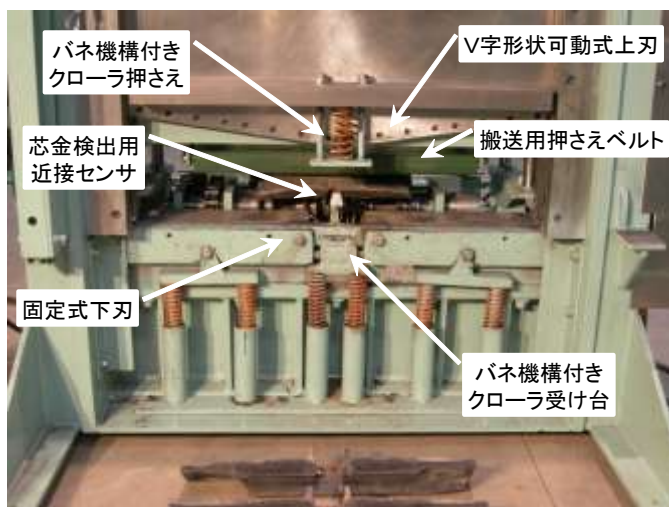


図3 切断部の構成（排出側）

2) 芯金検出と搬送制御方法

農用ゴムクローラの隣り合う芯金間隔（以下、芯金ピッチ）は多種であり、例えば、60、72、75、84、90 mm等である。分離装置により芯金とゴムを分離回収するためには、なるべく芯金間の中心を切断位置とする必要がある。本装置では、簡易で安価な方法として磁気式の近接センサを用いて、芯金ピッチを既知として搬送量を制御する方式とした。

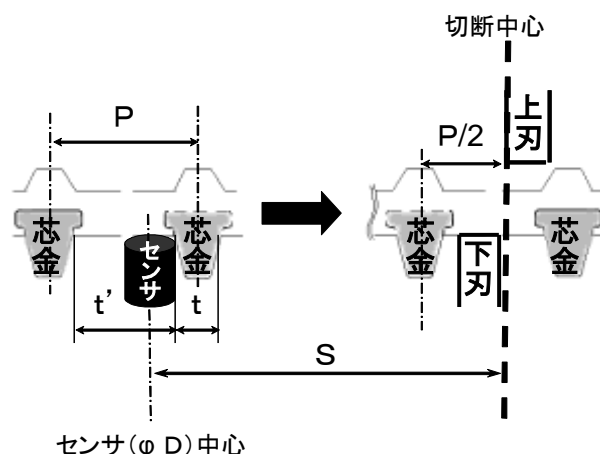


図4 切断位置決めの基本的な考え方（ゴムクローラ縦方向断面）

すなわち、ロータリエンコーダの1回転パルス距離をX (mm/pulse)、モータによる供試材の搬送速度をV (mm/s)、モータの停止までの時間をT (s) とすれば、

$$\text{停止に要する距離 } d = V \cdot T / 2 \text{ (mm)},$$

また、距離 t 間の発生パルスを n (pulse) としたとき、

$$\text{センサが検知する芯金幅 } t = X \cdot n - D \text{ (mm)}$$

$$\text{ゴム部の長さ } t' = P - t \text{ (mm)}$$

$$\text{センサ OFF 後の搬送距離 } y = S - D/2 + t' / 2 - d \text{ (mm)}$$

となる（図4）。

従って、芯金検出用近接センサの信号が OFF した後、インバータの RUN 信号を OFF させるまでのパルス数は次式による。

$$p = y / X \text{ (pulse)}$$

この p 値を切断直前で毎回、演算し、指示する。連続切断における実際の各切断位置と設定切断位置との偏差を確認したところ、後処理工程の分離作業を行う上で支障ない範囲であった。

3) せん断方式による切断性能

幅 180～550 mm の 8 種類の供試材を用いて、自動運転による連続切断試験を行った (表 2、図 5、図 6)。今回の供試材においては、最大切断力の平均は 25～123kN の範囲にあり、また、所要エネルギーの平均は 2.4～11.5kJ の範囲であった。供試材は、ゴムの材質、ゴム厚 (ラグの形状)、全幅等が異なる他、スチールコードの含量 (線径、線数) や使用履歴も同一でない。

表 2 連続切断試験結果の一例

試験区	クローラ幅 (mm)	芯金ピッチ (mm)	切断回数 (回)	平均最大切断力 (kN)	平均所要エネルギー (kJ)	平均切断時間 (s/回)
1	180	84	19	25	2.4	8.8
2	200	72	39	42	6.1	8.6
3	250	75	29	29	2.5	8.6
4	300	72	25	70	8.0	8.6
5	330	90	24	70	7.6	9.0
6	400	90	34	80	4.3	9.0
7	500	90	28	122	11.5	9.2
8	550	90	29	123	9.0	9.0

注 1) 設定切断速度: 90 mm/s

注 2) 試験区 1～8 は全て種類の異なるクローラを供試。

注 3) 切断時間は、自動搬送時間を含む。

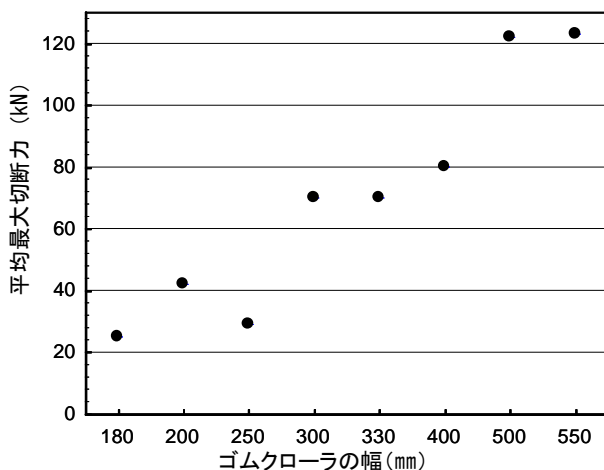


図 5 切断力の一例

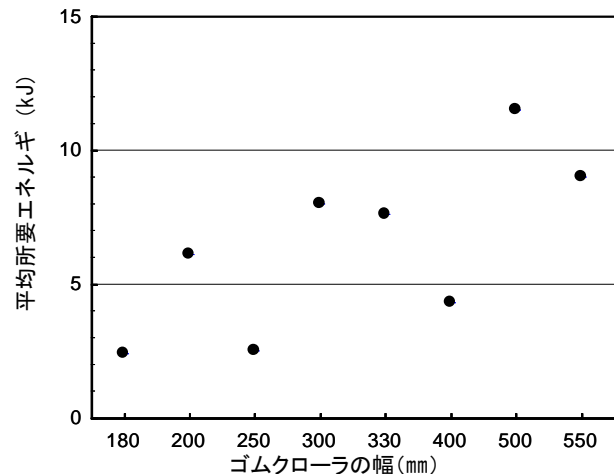


図 6 切断エネルギーの一例

クローラ幅が広くなる (スチールコードの量が多くなる) に従い、切断力は大きくなる傾向にあったが、ゴム部の劣化や スチールコードの腐食程度との関係はさらに検証する必要がある。また、バネ機構付きクローラ押さえ及びバネ機構付きクローラ受け台は、円滑に動作し切断時の供試材の反り返りを防ぐ効果が確認できた。

2. 分離技術と分離装置の概要

電炉等の製鋼処理によって鉄材の資源回収を促進させていくためには、ゴムと芯金を分離することにより鉄比率を向上させなければならない。本研究では、加熱または冷却の手段を用いないで芯金とそれ以外の部材 (ゴム、スチールコード等) とに分離する方法として、ゴム部を両側か

ら剥離させる方式を検討した。剥離強度を把握する予備試験を試みた結果、大別分離できる見通しを得た⁴⁾ことから、芯金1リンク単位に切断されたクローラ小片（以下、切断小片）を対象とした剥離方式による分離装置を試作し、剥離強度とゴムの分離割合を把握した。

1) 分離装置の仕様

分離装置は、切断小片を装填する把持部、剥離時の切断小片の姿勢を保持する押圧部、及び油圧ユニットから構成される（図7）。機体の質量は、585 kgである。また、剥離用油圧シリンダの最大引張力は、片側約 43kN である。

分離方法は、切断小片を左右一対の把持部に装填して、押圧部により切断小片のゴム部中央上部を押圧しながらゴム部を中央から両端方向に対向して引き剥がし、芯金とゴムとに分離する。

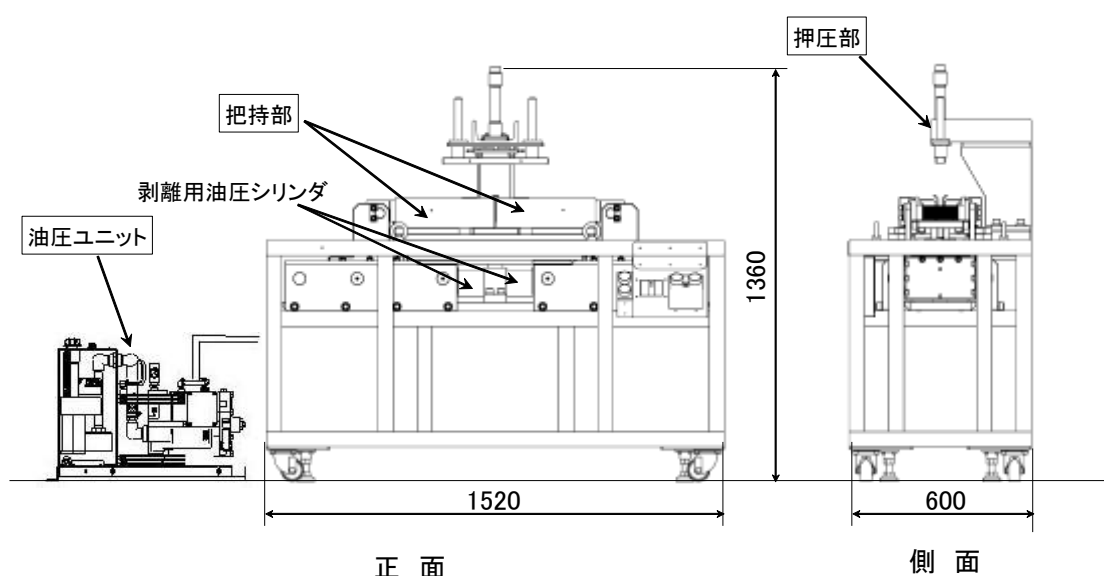


図7 分離装置

把持部には、一対の剥離刃が設けてあり、ゴム部を引き剥がす時の抵抗力を弱める狙いがある。芯金は一般に、幅Bが約 20~40 mm程度の矩形形状であるが、中央部がくびれた異型もある。このため、芯金の幅に応じて、距離Aが可能な限り小さくなるように、バネ機構を用いて剥離刃部分を横方向（供試材の幅方向）に可動する構造とした（図8）。

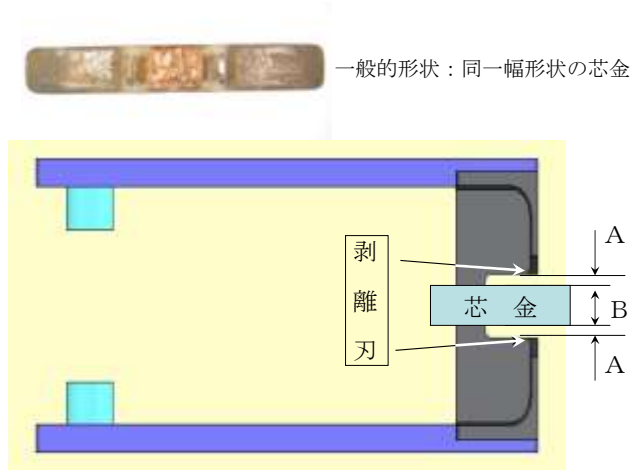


図8 把持部（左）の模式図（平面図）

これによって、供試材の適用種類を拡大させることが可能となった。

また、押圧部は、剥離中にゴム体がゴム体剥離フックから上方へ飛び出す作用を抑制し、

芯金を中央部で固定させる作用がある。

2) 剥離方式による分離性能

幅 180～600 mm の 8 種類の供試材における剥離強度は、最大引張力が約 8～53kN、所要エネルギーが約 0.1～2.3kJ であった。

また、ゴムの分離割合は 80～98% であり、その後の電炉製鋼処理に支障のない鉄比率を得ることができた。(表 3、図 9)。なお、剥離に要する時間は、平均 3 秒以内であった。

芯金中央部にゴムが残留する不完全剥離は、芯金中央部にラグを有した形状に多く発生しており、芯金との接着力が比較的維持されているためと考えられた。一方、芯金中央部のゴム体が左右のどちらかに引きずられて剥離する完全剥離は、芯金の腐食等が進んだ供試材に比較的多く見られた。

以上のことから、ゴム部の剥離強度やゴム部が分離するまでの時間、及びゴムの分離割合等は、供試材の芯金の腐食やゴム部の劣化が関係すると考えられた。

表 3 分離試験結果の一例

試験区	クローラ幅 (mm)	芯金長さ (mm)	最大引張力 (kN)	所要エネルギー (kJ)	剥離時間 (s)	ゴムの分離割合 (%)
1	180	120	8	0.1	0.5	80
2	200	140	19	0.2	0.5	94
3	200	140	28	0.7	0.6	85
4	330	160	26	0.6	0.8	98
5	400	220	39	0.9	0.6	95
6	500	300	52	1.4	9.3	83
7	550	300	52	1.4	3.4	81
8	600	300	47	2.3	2.9	97

注 1) 設定剥離速度：95mm/s。

注 2) 各試験区とも 5 回ずつ反復した平均値を示す。

注 3) 試験区 1～8 は全て種類の異なるクローラを供試。

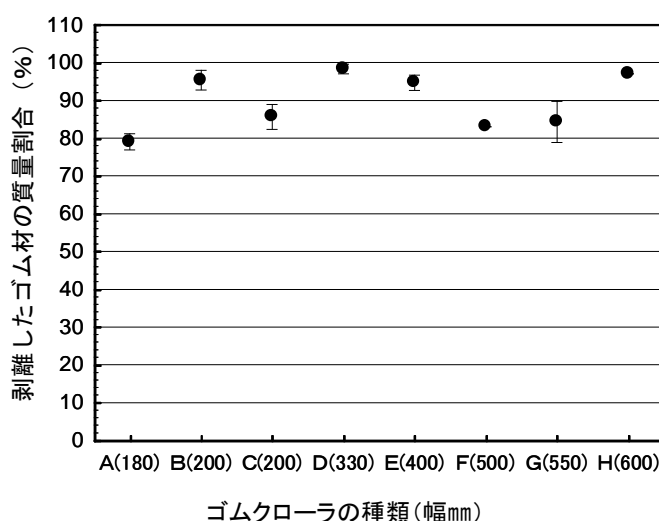


図 9 ゴムの分離割合の一例

3. 芯金・ゴム分離回収システムの構築

上述のとおり、せん断方式による切断および剥離方式による大別分離の各要素技術によって、目標とした切断・分離性能を確保する見通しが得られた。そこで、試作した切断装置と分離装置を用いて、実際の処理現場に導入することを前提に、効率的に一人作業の行える連続作業システムを構築した。

1) システムの構成

芯金・ゴム分離回収システムは、切断装置、受け渡し装置、及び分離装置で構成される (図 10)。口開けされた帯状のクローラは、切断装置により芯金 1 個単位の切断小片に連続自動切断される。切断作業と分離作業を作業員一人で連続して行うために、切断装置と分離装置の間

に昇降式バケット機構を有する受け渡し装置を配置した。受け渡しの方法は、昇降式バケットが最下端位置で切断装置から切断された切断小片を受け取った後、最上端位置まで上昇搬送し、そこで停止状態を保持する。分離装置の運転者が昇降式バケットから切断小片を取り除いた後は、昇降式バケットは最下端位置まで自動降下し、次の切断小片を受けるまで最下端位置において待機する。自動切断（切断刃下降工程）は、昇降式バケットが最下端位置に停止した状態の時に行う。受け渡された切断小片は、作業者が分離装置を手動操作して芯金とゴムに大別分離し、各々回収される。

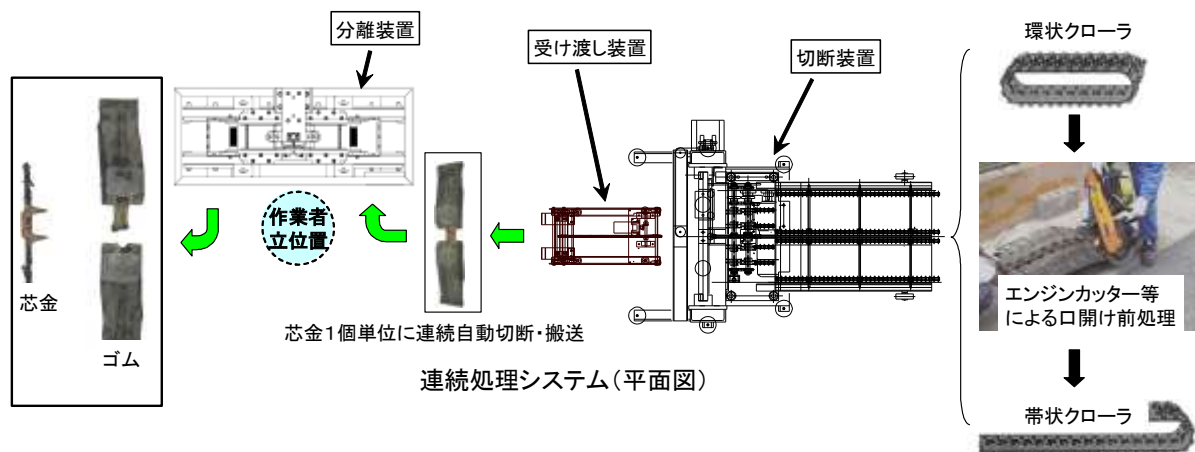


図 10 連続処理のフロー

2) 連続運転作業性能

芯金・ゴム分離回収システムに3種類のクローラを供試して、作業時間、ゴムの分離割合等を調査した（図 11、表 4）。



図 11 連続運転試験

表 4 連続処運転試験結果の一例

供試クローラの諸元					作業時間 (min)	分離した芯金の質量 (kg)	ゴムの分離割合 (%)
幅 (mm)	長さ (m)	芯金個数 (個)	芯金間隔 (mm)	質量 (kg)			
280	2.6	33	79	29	15.5	13	84
400	3.2	36	90	49	17.2	15	99
550	2.4	27	90	75	13.4	29	98

注 1) 供試クローラは、板状に口開けし適当な長さに切断したものを用了。

注 2) 設定搬送速度：約 27mm/s。

注 3) 作業時間には、供給台への出荷時間を含む。

現行の性能値をもとに作業能率を推算すると、帯状クローラ（幅 450mm、全長 3870mm（芯金数 43）、4 条刈り自脱型コンバイン用）の供給から切断作業及び分離作業を連続して行い芯金とゴムを回収するのに要する作業時間は 20 分程度であり、同サイズのゴムクローラであれば毎時約 120 kg 程度の芯金を鉄材として回収可能と試算された。

おわりに

(社)建設機械工業会では、使用済み建設機械のリサイクル推進行動計画を策定し、2010年までにリサイクル率97%を目標値に掲げ、活動を行っている。建機用の使用済みゴムクローラの鉄材としての再資源化率は、約8%（約2,000トン）と言われており、この比率を高めることが行動計画の実現に大きく貢献できるとしている⁵⁾。

農業機械分野としても、循環型社会を目指して進むべき方向に相異はない。将来的な農機リサイクルシステムの構築に向けて、農業者、製造者、販売・整備業者、産業廃棄物処理業者、そして公的機関を含めた行政が連携して取り組むことが重要と言える。

今後は、本研究の成果をもとに廃棄処理現場等での実証試験を行いながら、廃棄物問題の解決の一助となるべく早期実用化を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 生物系特定産業技術研究推進機構：農業資材のリサイクル化に関する研究（第1報），2003
- 2) 生物系特定産業技術研究支援センター：農業資材のリサイクル化に関する研究（第2報），2004
- 3) 生物系特定産業技術研究支援センター：農業資材のリサイクル化に関する研究（第3報），2005
- 4) 生物系特定産業技術研究支援センター：農業資材のリサイクル化に関する研究（第4報），2006
- 5) 経済産業省：廃ゴムクローラの広域リサイクルシステム報告書，2004

トラクタ用省エネ運転指示装置の基礎的研究

基礎技術研究部 後藤隆志、手島 司

評価試験部 杉浦泰郎、高橋弘行、清水一史、積 栄

はじめに	72
1. トラクタの運転条件と燃料消費量の関係調査	72
1) 目 的	72
2) 試験方法	72
3) 試験結果	73
(1) ロータリ耕	
(2) 代かき	
(3) 心土破碎	
(4) 施肥	
(5) 中耕除草	
(6) 運転条件と燃料消費量との関係のまとめ	
2. 省エネ運転指示装置の試作と試験	76
1) 目 的	76
2) 方 法	76
3) 試験結果	77
(1) 基礎試験の結果	
(2) ほ場試験の結果	
(3) 試作装置の燃料消費量節減効果のまとめ	
おわりに	79
参考文献	79

はじめに

地球温暖化の防止、石油資源の価格上昇や枯渇に対応するため、農作業においても省エネルギー化（燃料消費量の低減）の対策が必要である。重粘土水田における水稲作では、ほ場内作業の燃料消費量の2/3程度がトラクタ作業によるものであることが明らかにされており¹⁾、トラクタ作業における燃料消費量の低減は、施設園芸の暖房、穀物等の乾燥の省エネルギー化とともに重要である。

農用トラクタは汎用機であり、様々な負荷で作業が行われる。重負荷作業における省エネルギー化の対策としてはエンジンと作業機の改良が中心となるが、中～軽負荷作業ではトラクタの運転条件（P T O速度段、走行速度段、機関回転速度）の設定で燃料消費量の節減が可能であり、速度段を上げ、機関回転速度を下げて作業することにより燃費が向上する。しかし、農業機械の知識が豊富な農業機械士でも、半数近くが、施肥、播種、防除といった軽負荷作業を燃費の悪いスロットル3/4以上で作業している²⁾のが実状である。一方、重負荷作業では過負荷状態で使用されることがあり、その場合、大気汚染物質の一つである排出ガス中の黒煙の濃度が高くなる³⁾問題がある。

そこで、トラクタ作業における運転条件と燃料消費量の関係を調査するとともに、燃料消費量と排出ガス中の黒煙が少ない運転条件を運転者に指示する装置の試作と試験を行ったので報告する。

1. トラクタの運転条件と燃料消費量の関係調査

1) 目的

トラクタの運転条件（P T O速度段、走行速度段、機関回転速度）が各種作業における燃料消費量に及ぼす影響を、実作業において定量的に把握することを目的に試験を行った。

2) 試験方法

1999年製の国産トラクタ（機関出力24kW）に、耕うんロータリ（作業幅1.6m）、代かきロータリ（作業幅2.4m）、振動サブソイラ（1連）、ブロードキャスタ（ホッパ容量400L）、ロータリ式中耕除草機（3連）を装着して、耕うん、代かき、心土破碎、施肥、中耕除草作業を行い、トラクタの運転条件と燃料消費量の関係を調査した。表1に供試ほ場の条件を示す。

(1) 燃料消費量の測定方法

燃料消費量は、容積式の流量検出器（小野測器(株)FP-213S、測定範囲0.06～60L/h）と燃料流量計（小野測器(株)DF-210A、出力間隔0.2s）で検出し、その出力をデータロガーに記録して測定した。

(2) P T O動力、機関出力の測定方法

ロータリ耕と代かきにおいては、スリップリングにトルク測定用の歪ゲージを貼付した試作軸を組込み、回転速度測定用歯車と磁電式検出器（(株)小野測器MP981）を取付けた装置（最大トルク1.2kN・m、最大回転速度2,500rpm）でP T O回転速度とP T Oトルクを検出し、機関回転速度とP T O動力を求めた。心土破碎、施肥、中耕除草においては、2.の2)の(1)に記載した試作装置により、機関回転速度と機関出力を推定した。

表 1 燃料消費量試験における供試ほ場の条件

作業	ロータリ耕	代かき		心土破碎	施肥	中耕除草
		荒代	仕上代			
作業機	耕うんロータリ (作業幅 1.6m)	代かきロータリ (作業幅 2.4m)		振動サブソイラ (1連)	ブロードキャスタ (ホッパ容量 400L)	ロータリ式中耕 除草機(3連)
ほ場	水稻跡未耕起 水田	ロータリ耕 跡水田	荒代、中 代跡水田	大豆跡普通畑	大豆跡2年目 転換畑	大豆跡2年目 転換畑
土性	L	SiC		CL	L	L
液性指数	0.58	—		-0.12	0.58	0.58
湿潤密度 (g/cm ³)	1.47	—		1.28	1.03	1.03
小型円錐貫入 抵抗 (MPa)	0.43 ¹⁾	1.1 ²⁾	1.0 ²⁾	0.90 ³⁾	0.36 ¹⁾	0.36 ¹⁾
矩形板沈下量 ⁴⁾ (cm)	—	—	—	0.7	1.6	1.6
粘着力 (kPa)	34	—	—	24	16	16
内部摩擦角 (°)	35	—	—	25	27	27
平均土塊径 (cm)	—	2.4	—	1.1	1.1	1.1
耕盤深さ (cm)	—	18.2	17.7	—	—	—
水深 (cm)	—	1.8	2.4	—	—	—

1) 深さ 0～10cm の平均、2) 耕盤下 0～10cm の平均、3) 深さ 0～40cm の平均、4) 5×10cm の矩形板を垂直荷重 500N で土中に貫入させた時の沈下量

(3) 運転条件の設定方法

トラクタの運転条件は、作業速度と P T O 回転速度がほぼ同じとなる、以下の 4 段階に設定した。

- ① 各作業において一般的な作業速度となる走行速度段を選択し、P T O 速度段を 1 速、機関回転速度をフルスロットルとした。
- ② ①の条件から、走行速度段と P T O 速度段を 1 段高くし、作業速度と P T O 回転速度が①と同程度となるように機関回転速度を設定した。
- ③ ①の条件から、走行速度段と P T O 速度段を 2 段高くし、作業速度と P T O 回転速度が①と同程度となるように機関回転速度を設定した。
- ④ ①の条件から、走行速度段と P T O 速度段を 3 段高くし、作業速度と P T O 回転速度が①と同程度となるように機関回転速度を設定した。

3) 試験結果

(1) ロータリ耕

作業速度 0.2m/s、耕深約 10.5cm、耕うんピッチ 6cm、最大機関出力の約 30% の P T O 動力 (30% 負荷) でロータリ耕を行った時には、耕うん体積当たりの燃料消費量が、フルスロットル時に比べ、速度段を 1 段上げた場合で 0.69 倍、2 段上げた場合で 0.62 倍、3 段上げた場合で 0.57 倍となり、速度段を上げ機関回転速度を下げることにより、31～43% 低下した。また、作業速度 0.5m/s、耕深約 10cm、耕うんピッチ 15cm、約 55% 負荷のロータリ耕を行った時には、耕うん体積当たりの燃料消費量が、フルスロットル時に比べ、速度段を 1 段

上げた場合で 0.83 倍、2 段上げた場合で 0.67 倍となり、速度段を上げ機関回転速度を下げることにより、17～33%低下した (図 1)。

(2) 代かき

作業速度 0.5m/s、作業深約 10.5cm、作業ピッチ 10cm、約 20%負荷での荒代かき時には、代かき体積当たり燃料消費量が、フルスロットル時に比べ、速度段

を 1 段上げた場合で 0.72 倍、2 段上げた場合で 0.67 倍、3 段上げた場合で 0.65 倍となり、速度段を上げ機関回転速度を下げることにより、28～35%低下した。また、作業速度 0.5m/s、作業深約 11cm、作業ピッチ 10cm、約 20%負荷での仕上代かき時には、代かき体積当たり燃料消費量が、フルスロットル時に比べ、速度段を 1 段上げた場合で 0.73 倍、2 段上げた場合で 0.63 倍、3 段上げた場合で 0.57 倍となり、速度段を上げ機関回転速度を下げることにより、27～43%低下した (図 2)。

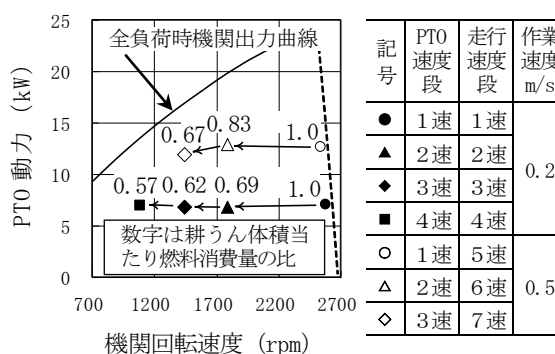


図 1 ロータリ耕におけるトラクタの運転条件と燃料消費量の関係

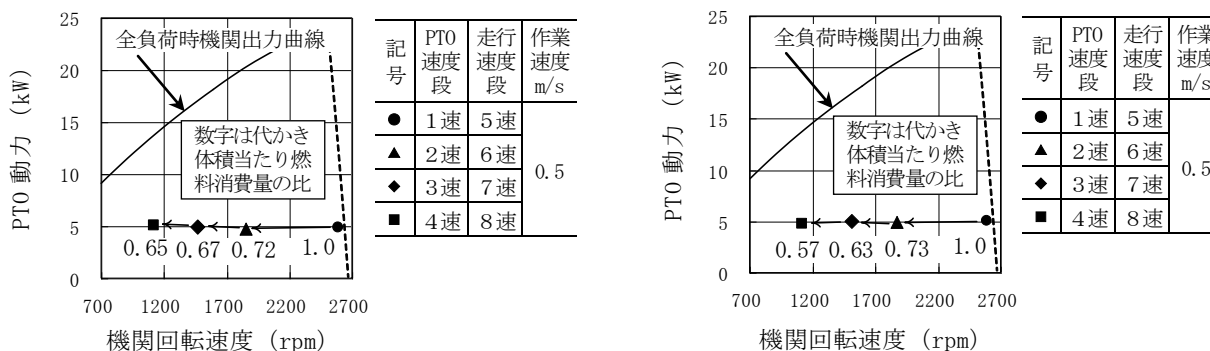


図 2 代かきロータリによる荒代かき(左)と仕上代かき(右)におけるトラクタの運転条件と燃料消費量の関係

ロータリ耕よりも低い動力で作業したにもかかわらず、速度段を高め機関回転速度を下げた場合の代かき時の燃料消費量の低下割合がロータリ耕より低かったのは、ロータリ耕では P T O 動力と機関出力の差が小さいのに対し、代かきでは機関出力が P T O 動力より高いためと考えられる。これは、ロータリ耕では、つめ反力により発生する推進力が走行抵抗を上回るのに対し、代かきでは、走行抵抗が推進力よりも大きいためである。

(3) 心土破碎

作業速度 0.5m/s、耕深約 35cm、約 17%負荷で振動サブソイラにより心土破碎を行った時には、耕深当たり毎時燃料消費量が、フルスロットル時に比べ、速度段を 1 段上げた場合で 0.71 倍、2 段上げた場合で 0.61 倍、3 段上げた場合で 0.56 倍となり、速度段を上げ機関回

転速度を下げることにより、29～44%低下した（図3）。

(4) 施肥

作業速度 1.5m/s、約 20%負荷でブロードキャストにより施肥を行った時には、毎時燃料消費量が、フルスロットル時に比べ、速度段を1段上げた場合で 0.70 倍、2段上げた場合で 0.62 倍、3段上げた場合で 0.56 倍となり、速度段を上げ機関回転速度を下げることにより、30～44%低下した（図4）。

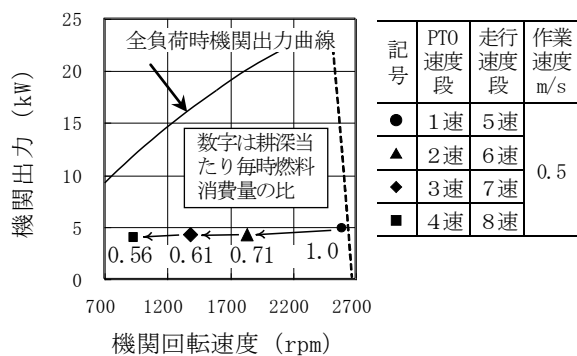


図3 振動サブソイラによる心土破碎におけるトラクタの運転条件と燃料消費量の関係

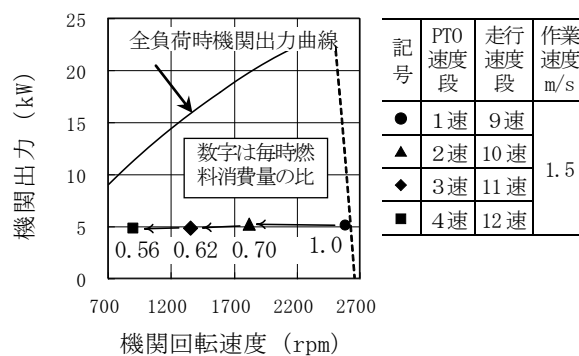


図4 ブロードキャストによる施肥におけるトラクタの運転条件と燃料消費量の関係

(5) 中耕除草

作業速度 0.5m/s、耕深約 5cm、中耕ピッチ 9cm、約 15%負荷でロータリ式中耕除草機により中耕を行った時には、中耕体積当たり燃料消費量が、フルスロットル時に比べ、速度段を1段上げた場合で 0.60 倍、2段上げた場合で 0.53 倍、3段上げた場合で 0.47 倍となり、速度段を上げ機関回転速度を下げることにより、40～53%低下した（図5）。

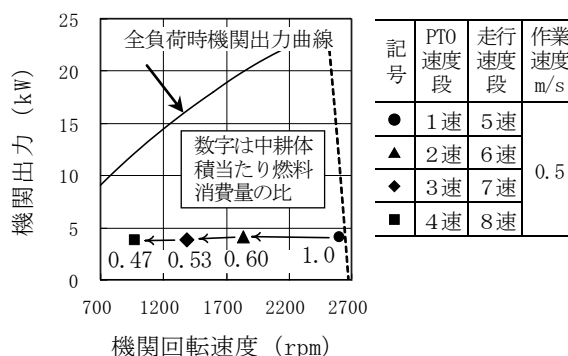


図5 ロータリ式中耕除草機による中耕におけるトラクタの運転条件と燃料消費量の関係

(6) 運転条件と燃料消費量との関係のまとめ

走行速度段とPTO速度段を高め、作業速度とPTO回転速度が同程度となるように機関回転速度を下げて運転することにより、フルスロットル時に比べ、燃料消費量を以下のとおり節減できた。

- ① 機関最大出力の約 55%の負荷（55%負荷）で作業した場合、15～30%程度燃料消費量を節減できた。
- ② 約 30%負荷で作業した場合、30～40%程度燃料消費量を節減できた。
- ③ 約 20%負荷で作業した場合、30～45%程度燃料消費量を節減できた。
- ④ 約 15%負荷で作業した場合、30～55%程度燃料消費量を節減できた。

2. 省エネ運転指示装置の試作と試験

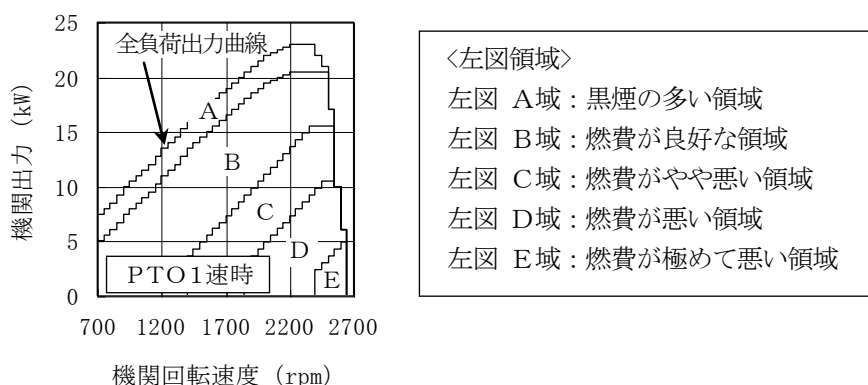
1) 目的

燃料消費量と排出ガス中の黒煙が少ない運転条件を運転者に指示する技術の開発を目的とし、装置の試作と試験を行った。

2) 方法

(1) 装置の試作

電磁式回転センサと熱電対により機関回転速度と機関出力を推定し、燃料消費量と排出ガス中の黒煙が少ない運転条件をパソコンの画面と音声により運転者に指示する装置を試作した。試作装置は、機関回転速度と機関出力の領域を使用PTO速度段に応じ、3（PTO 3速時）、4（PTO 2速時）、5段階（PTO 1速時又はPTO非使用時、図6左上）に分け、作業時の機関回転速度と機関出力（任意の時間内の平均値）がどの領域にあるかにより、パソコンの画面と音声で運転条件（PTO速度段、走行速度段及び機関回転速度）の変更指示（図6下）を出す。なお、指示前後で作業精度が変わらないようにするため、黒煙低減のための指示を除き、指示後のPTO回転速度と作業速度が指示前とほぼ同じになるようなプログラムにしている。



<上図領域における指示例>

- A域：黒煙が出ています。走行速度段を1段下げて下さい。
 - B域：良好な運転条件です。
 - C域：PTO速度段と走行速度段を1段高くし、エンジンを*回転くらいにして下さい。
 - D域：PTO速度段と走行速度段を2段高くし、エンジンを*回転くらいにして下さい。
 - E域：PTO速度段と走行速度段を3段高くし、エンジンを*回転くらいにして下さい。
- (*では、走行速度段変更前の作業速度と同程度になるエンジン回転を、100rpm単位で指示。)

図6 試作装置の運転状態判定領域の例(上)と運転条件の指示例(下)

(2) 基礎試験の方法

1999年製の国産トラクタ（機関出力24kW）を供試し、無負荷時の機関回転速度を1,000rpmからフルスロットルまで100rpmずつ変え、それぞれの回転速度において電気動力計で2kW

おきに負荷をかけ、排気マニホールド付近の排出ガス温度と機関出力の関係を求める基礎試験を行った。

(3) ほ場試験の方法

同じトラクタに試作装置を取り付け、耕うんロータリ（作業幅 1.6m）、振動サブソイラ（1連）、ブロードキャスタ（ホoppa容量 400L）、ロータリ式中耕除草機（3連）を装着して、細砕土を目的とした耕うん、心土破碎、施肥、中耕除草の各作業を行い、適切な指示を出すかどうかを確認するとともに、指示前後の運転条件における燃料消費量を測定した。表 2 に供試ほ場の条件を示す。燃料消費量は、1. の 2) の (1) に記した方法で測定した。

表 2 指示装置ほ場試験供試ほ場の条件

作業	ロータリ耕	心土破碎	施肥	中耕除草
作業機	耕うんロータリ (作業幅 1.6m)	振動サブソイラ (1連)	ブロードキャスタ (ホoppa容量 400L)	ロータリ式中耕除草機 (3連)
ほ場	水稻跡未耕起水田	大豆跡普通畑	大豆跡2年目 転換畑	大豆跡2年目 転換畑
土性	SiC	CL	L	L
液性指数	0.28	-0.12	0.58	0.58
湿潤密度 (g/cm ³)	1.40	1.28	1.03	1.03
小型円錐貫入抵抗 (MPa)	0.62 ¹⁾	0.90 ²⁾	0.36 ¹⁾	0.36 ¹⁾
矩形板沈下量 ³⁾ (cm)	—	0.7	1.6	1.6
粘着力 (kPa)	37	24	16	16
内部摩擦角 (°)	30	25	27	27
平均土塊径 (cm)	—	1.1	1.1	1.1

1) 深さ 0~10cm の平均、2) 深さ 0~40cm の平均、3) 5×10cm の矩形板を垂直荷重 500N で土中に貫入させた時の沈下量

3) 試験結果

(1) 基礎試験の結果

排気マニホールド付近の排出ガス温度と機関出力の関係について、負荷時の機関回転速度 100rpm ごとに 2 次回帰式を求めたところ、決定係数 R^2 は全て 0.999 以上の高い値であった (図 7)。この回帰式をプログラムに組み込み、機関出力を推定した。

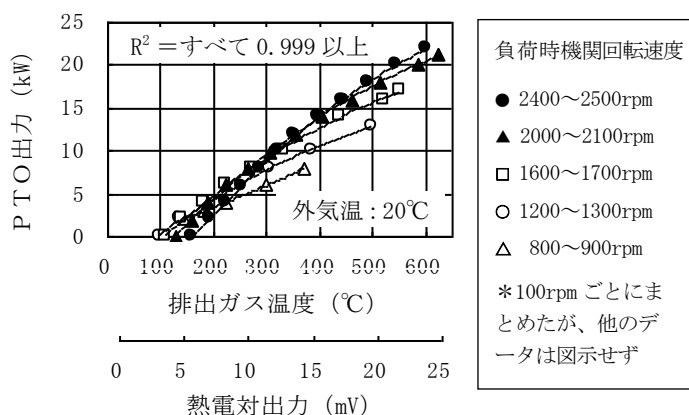


図 7 排出ガス温度と P T O 出力の関係

(2) ほ場試験の結果

いずれの作業においても、試作装置が適切な指示を出すことを確認した（図8～12）。指示による燃料消費量の節減効果は以下のとおりであった。

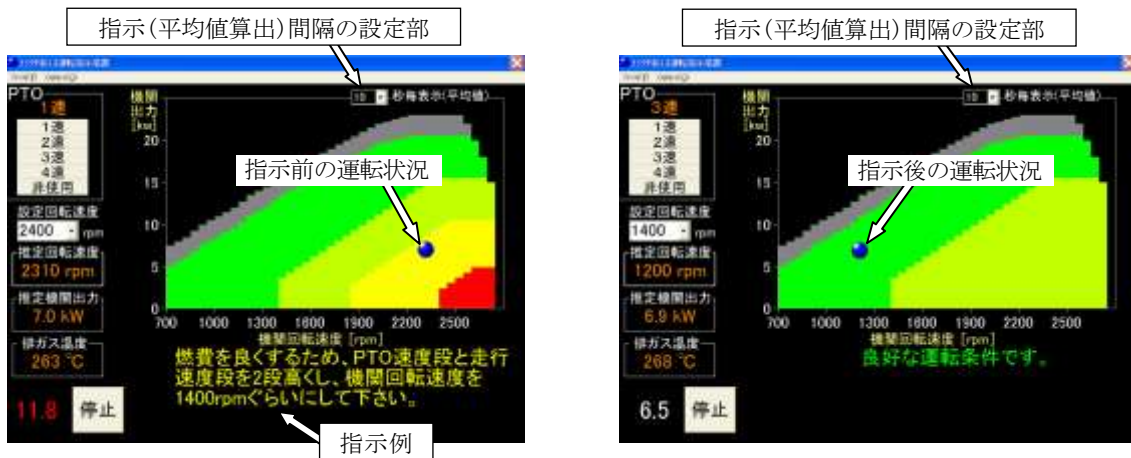


図8 指示前(左)と指示後(右)の画面例

① ロータリ耕

作業速度 0.06～0.2m/s、耕深 12～14cm、耕うんピッチ 3～14cm で細砕土を目的としたロータリ耕を行った場合、指示後の耕うん体積当たり燃料消費量を、指示前に比べ 18～28% 節減することができた。なお、黒煙濃度が高い領域における指示も適切に出された。（図9）

② 心土破碎

作業速度 0.3～1.0m/s、耕深約 35cm で心土破碎を行った場合、指示後の耕深当たり毎時燃料消費量を、指示前に比べ 23～47% 節減することができた（図10）。

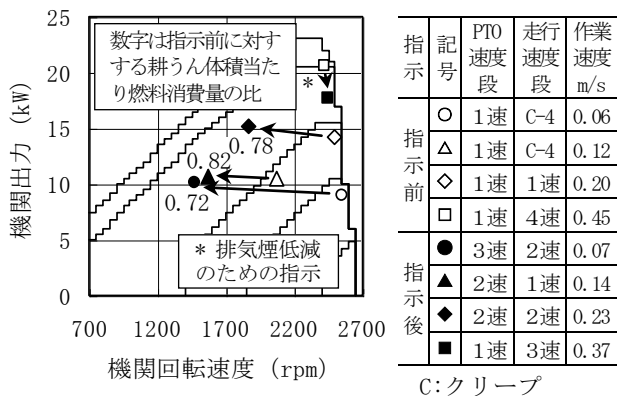


図9 ロータリ耕時の指示結果の例

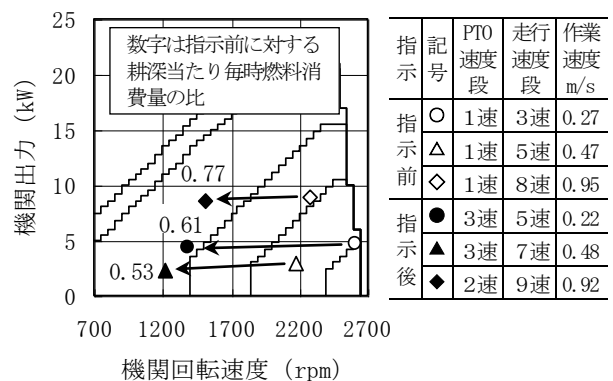


図10 心土破碎時の指示結果の例

③ 施肥

作業速度 1.5～2.6m/s で施肥を行った場合、指示後の毎時燃料消費量を、指示前に比べ 24～51% 節減することができた（図11）。

④ 中耕除草

作業速度 0.2~0.8m/s、耕深約 5cm、作業ピッチ 4~16cm で中耕除草を行った場合、指示後の中耕体積当たり燃料消費量を、指示前に比べ 15~38%節減することができた (図 12)。

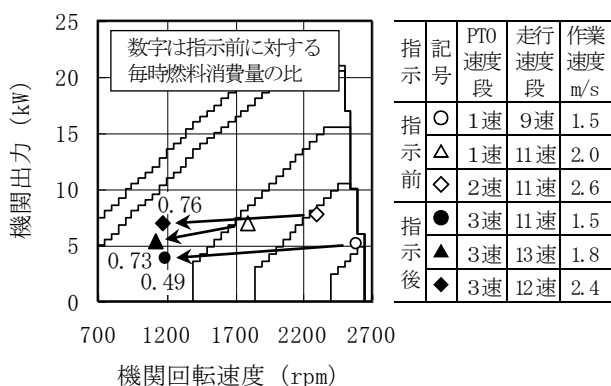


図 11 施肥時の指示結果の例

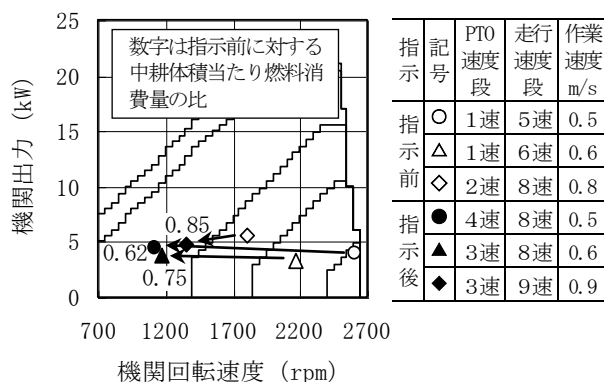


図 12 中耕除草時の指示結果の例

(3) 試作装置の燃料消費量節減効果のまとめ

試作装置の指示に従って運転条件を変更することにより、燃料消費量を以下のとおり節減することができた。

- ① 最大機関出力の約 60%の負荷 (60%負荷) で作業した場合、20%程度燃料消費量を節減できた。
- ② 約 40%負荷で作業した場合、15~30%程度燃料消費量を節減できた。
- ③ 約 10~20%負荷で作業した場合、15~50%程度燃料消費量を節減できた。

おわりに

試作した指示装置の利用により、トラクタ作業において燃料消費量を節減できること、黒煙が多くなる過負荷気味の作業を回避できることが確認された。今後、プログラムの改良などを行い、実用化を目指す予定である。

参考文献

- 1) 西村洋ら：大規模稲作機械化システムの研究 (第 1 報) 区画・機械化体系別作業能率の比較 (移植体系), 農作業研究 32(別号 1), 37-38, 1997
- 2) 生物系特定産業技術研究推進機構：乗用トラクターに関する使用実態調査結果概要, pp25, 1992
- 3) 積 栄：農用トラクタにおける排出ガスの現状, 農業機械学会誌 64(1), 14-18, 2002

農業機械の事故実態と安全装備に関する農業者調査

特別研究チーム（安全） 富田宗樹、水上智道、塚本茂善、高橋正光

はじめに	81
1. 農業機械死亡事故の現状	81
2. 調査の目的	82
3. 調査の概要	83
1) 調査対象	83
2) 調査方法	83
3) 調査時期	83
4) 調査内容	83
5) 回答状況	83
4. 乗用型トラクタに関する調査結果	84
1) 回答者のプロフィール	84
2) ROPSの装着状況	84
3) シートベルトの装備状況	85
4) ROPSの評価	85
5) シートベルトの着用状況	86
6) 転落・転倒事故の事例	87
7) その他の事故事例	88
おわりに	89
参考文献	89

はじめに

農林水産省の統計によると、農業機械による死亡事故は年間およそ280件発生している¹⁾。そのため、事故の減少が強く求められている。

生研センターの実施する型式検査や安全鑑定（以下、検査・鑑定という）は、農業機械事故の防止を目的の1つとして行われてきた。その有効性をさらに高めるには、今まで行ってきた安全対策の事故に対する効果を定量的に把握すること、さらに、その中で明らかになった課題を対策に反映していくことが重要である。

生研センター特別研究チーム（安全）は、そのような研究に着手しており、その緒端として、平成17年度において、安全装備と農業機械事故に関する実態調査を行った。この調査は、乗用型トラクタ（以下、乗トラという）及び歩行型トラクタ（以下、歩トラという）について、使用している全国の農業者を対象として実施された。

本稿では、そのうち、主として乗用型トラクタの調査結果について報告する。

1. 農業機械死亡事故の現状

農作業事故による死亡者数は、ここ10年間ほぼ横ばいで、年間約400名にのぼる。そのうち、約7割の年間約280件が農業機械作業に係る死亡事故（以下、農業機械死亡事故という）である（表1）¹⁾。

表1 日本における農作業死亡事故の件数とその内訳

	平成5年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年
農作業中の死亡事故	371	397	394	402	376	381	406	396	384	398
農業機械作業に係る事故	259	273	262	300	295	284	300	272	269	282
農業用施設作業に係る事故	21	22	22	18	14	16	14	17	17	24
機械・施設以外の作業に係る事故	91	102	110	84	67	81	92	107	98	92

単位：件（農林水産省「平成16年度 農作業事故調査結果報告書」による）

農業機械死亡事故の内訳を機種別に見ると、約45%を乗トラによる事故が、また、約18%を歩トラによる事故が占めている（表2）。そのため、死亡事故を減少させるためには、これら2機種についての対策が不可欠である。

表2 農業機械死亡事故の機種別内訳

	平成5年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年
乗用型トラクタ	102 (39.4)	128 (46.9)	118 (45.0)	152 (50.7)	144 (48.8)	132 (46.5)	125 (41.7)	146 (53.7)	123 (45.7)	132 (46.8)
歩行用トラクタ	60 (23.2)	57 (20.9)	46 (17.6)	60 (20.0)	51 (17.3)	42 (14.8)	53 (17.7)	38 (14.0)	47 (17.5)	43 (15.2)
農用運搬車	40 (15.4)	42 (15.4)	40 (15.3)	45 (15.0)	54 (18.3)	49 (17.3)	57 (19.0)	32 (11.8)	45 (16.7)	37 (13.1)
コンバイン (自脱型)	11 (4.2)	11 (4.0)	10 (3.8)	10 (3.3)	13 (4.4)	11 (3.9)	16 (5.3)	9 (3.3)	11 (4.1)	13 (4.6)
動力防除機	6 (2.3)	3 (1.1)	4 (1.5)	7 (2.3)	6 (2.0)	8 (2.8)	7 (2.3)	7 (2.6)	2 (0.7)	4 (1.4)
動力刈取機 (刈払型)	3 (1.2)	7 (2.6)	5 (1.9)	8 (2.7)	3 (1.0)	6 (2.1)	4 (1.3)	4 (1.5)	5 (1.9)	8 (2.8)
その他	37 (14.3)	25 (9.2)	39 (14.9)	18 (6.0)	24 (8.1)	36 (12.7)	38 (12.7)	36 (13.2)	36 (13.4)	45 (16.0)
計	259	273	262	300	295	284	300	272	269	282

単位：件（%）（農林水産省「平成16年度 農作業事故調査結果報告書」による）

これらの機種における死亡事故原因を見ると、乗トラでは、「機械の転落・転倒」が死亡事故の7割弱を占め、年間約90件にのぼる（図1）。この「乗トラの転落・転倒による死亡事故」は農作業死亡事故全体においても1/4弱に及ぶ重大な要因である。一方、歩トラでは、死亡事故の過半が「挟まれ」による事故である。

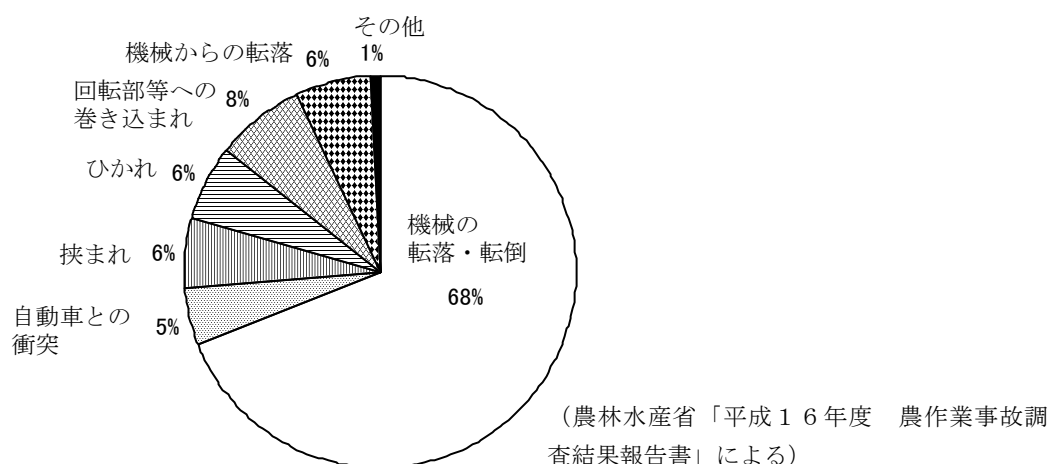


図1 乗用型トラクタによる死亡事故の原因

このような農業機械死亡事故を減少させるために、農業機械の安全装備の充実が図られてきた。乗トラでは、安全キャブ・フレーム（以下、ROPSという）の装着が推進され、歩トラでは挟まれ事故の防止のために、デッドマンクラッチ等の装備が進められてきた。

生研センターにおいても、関連官庁・団体及びメーカーとの連携の下、型式検査及び安全鑑定（以下、検査・鑑定という）を通じて機械の安全性を試験し、改善を促す一方、合格・適合した安全な機械の普及を推進してきた。

乗トラにおいては、ROPSを昭和50年より型式検査の対象とし²⁾、また平成3年からは、安全鑑定において乗トラへの検査合格ROPSの装着を義務付けた³⁾。その結果、今日では、出荷される乗トラの99%以上がROPSを装着していると推算される⁴⁾。一方、歩トラについては、平成7～9年度に渡り安全鑑定基準の大幅な見直しを行い、緊急停止装置の義務付け等の改正を行った³⁾。

このような取り組みにも関わらず、農業機械死亡事故の件数はほぼ横ばいである。その要因の一例として、農業者の高齢化の進行が挙げられる。農作業事故において、70歳以上の作業員による死亡事故は全体の60%を占める¹⁾。そのため、安全対策による効果を高齢化の進行による事故の増加が打ち消しているとも考えられる。また、安全装備による事故対策には、特に乗トラ及び歩トラの場合、更新年数が長いこと、普及に年数を要するという問題がある。

2. 調査の目的

今後、農業機械事故の減少を図るためには、詳細な現状分析に基づき、検査・鑑定基準の見直し、安全装備の改善や追加の検討を行う必要がある。この方法としては定量的なデータに基づいた検証が有効である。そのためには、死亡者数だけに留まらず、その背後にある農作業事故の実態や、農業者の使用している機械の安全装備の状況等を多くの母数から把握することが求められる。

そこで、生研センターでは、平成17年度より、農業機械作業事故と機械の安全装備との因果関係を把握・分析する研究を開始した。

本調査の目的は、この研究の一環として、農業機械死亡事故の多くを占める乗トラ及び歩トラについて、全国の農業者を対象とした安全装備の現状把握と具体的な事故事例の収集を行うとともに、安全装備と農業機械事故及び事故における受傷程度との関係を把握することである。

3. 調査の概要

1) 調査対象

対象とした農業機械は、農業機械死亡事故の多くを占める乗トラ及び歩トラとした。

調査地域は農業機械士協議会等の農業機械士組織（以下、機械士会という）がある全国26道府県とした。

調査対象者は乗トラまたは歩トラを日常的に使用する全国の農業者とし、北海道200件、各府県100件を目処として、機械士会に回答者の選定を依頼した。最終的には、2618戸を調査対象とした。

2) 調査方法

アンケート形式の調査票を送付し、調査対象者に記入を求める方式とした。アンケートの形式は概ね選択式とし、必要に応じて一部記述式とした。調査票は乗トラを対象としたものと歩トラを対象としたものの2種類を作成し、両方を対象者に送付した。その上で、調査者には、使用する機械に応じて、一方または両方に回答するよう依頼した。

なお、調査票の原案は生研センターが作成したが、配布及び回収等調査の実施は社団法人日本農業機械化協会が実施した。

3) 調査時期

調査票の配布 平成17年9月

調査票の回収 平成17年12月～平成18年1月

4) 調査内容

以下のような項目を調査した。

(1) 共通項目

回答者のプロフィール

(2) 乗用型トラクタに関する項目

- ① 所有する乗トラの仕様
- ② ROPSの評価
- ③ シートベルトの着用状況
- ④ 転落・転倒事故の事例
- ⑤ その他の乗トラ事故の事例

(3) 歩行型トラクタに関する項目

- ① 所有する歩トラの仕様
- ② 事故・ヒヤリ経験の事例

5) 回答状況

調査対象とした2618戸のうち、1442戸より回答があり、回収率は55%であった。また、乗トラの回答は1428件、歩トラの回答は787件であった。ただし、1戸が両調査票に回答している場合がある。各地方の配布及び回答状況を表3に示す。

表3 各地方のアンケート回答状況

地方名	配布数 (戸)	回収数 (戸)	回収率 (%)	乗トラ (戸)	歩トラ (戸)
北海道	200	91	46	91	30
東北	560	328	59	320	180
関東	500	267	53	267	165
中部	280	119	43	119	51
近畿	300	179	60	177	98
中国・四国	180	62	34	71	52
九州・沖縄	598	396	66	383	211
全国	2618	1442	55	1428	787

4. 乗用型トラクタに関する調査結果

1) 回答者のプロフィール

回答者の性別は、男性96%、女性4%であり、男性がほとんどであった。平均年齢は51.2歳であり、60歳以上の回答者は24%、70歳以上は6%であった（図2）。専業・兼業の別は、専業69%、兼業29%であり、作付け品目は、水田、畑作、ハウスの順が多かった。

回答者の乗トラの台数は延べ2303台であった。乗トラの所有台数が1台の回答者は859戸（60%）、2台は289戸（20%）、3台以上は238戸（17%）であった（図3）。

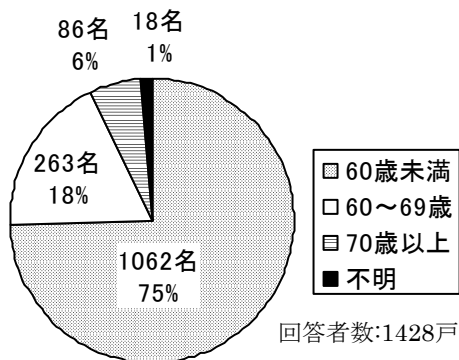


図2 回答者の年齢構成

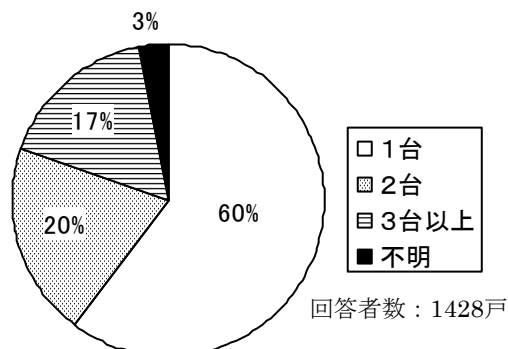


図3 回答者の乗トラ所有台数

2) ROPSの装着状況

回答者の所有する乗トラにおける安全装備の状況を調査するため、ROPSとシートベルトの装備状況を調査した。この2つを対象としたのは、件数の多い転落・転倒事故において影響が大きいと考えられ、また代表的な安全装備であり、乗トラの安全装備全体のレベルをある程度反映しているとも考えられるためである。

所有台数を回答している回答者について、ROPSの有無を集計した。その結果、延べ2303台の乗トラのうち、ROPSを装着しているものは1584台であり、装着率は69%であった。ROPSの内訳は、安全フレームが1029台（48%）、安全キャブが555台（24%）であった。ただし、キャブまたはフレームの別が不明な場合はフレームとした（図4）。

また、ROPS装着率は、地域により若干の差があり、北海道が高く、関東、中国・四国でやや低い傾向があった（表4）。

回答者の所有台数による装着率の差違は明確でなかった。2台以上所有の回答者（528戸）について見ると、半数強（267戸）がROPS装着機と未装着機の両方を所有していた。さらに、これら267戸の未装着機は347台であり、未装着機全体の48%を占めた。従って、このような「装着機をすでに持っている農業者の未装着機」の動向は、装着率の向上にあたって重要であると考えられる（表5）。

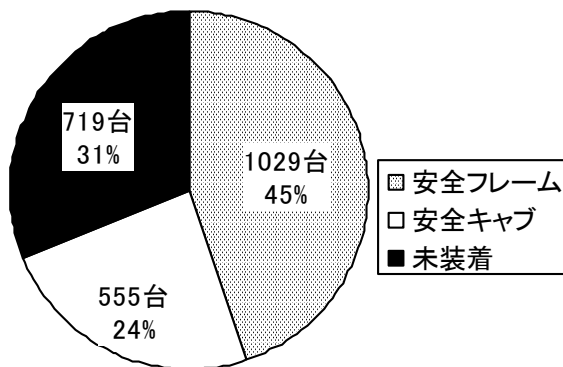


図4 ROPSの装着状況

表4 各地方のROPS装着状況

地方名	総台数(台)	安全キャブ(台)	安全フレーム(台)	装着率(%)
北海道	295	94	150	83
東北	432	97	186	66
関東	431	94	177	63
中部	231	96	87	79
近畿	241	66	93	66
中国・四国	106	16	40	53
九州・沖縄	567	92	296	68
全国	2303	555	1029	69

表5 所有台数別のROPS装着状況

区分	回答者数	乗トラ台数			装着率	
		ROPS装着	未装着	小計		
1台所有	859	588	271	859	68	
2台以上 所有	全機に装着	219	590	0	590	—
	一部に装着	267	406	347	753	54
	全機未装着	42	0	101	101	—
	小計	528	996	448	1444	69
台数・装着状況不明	41	—	—	—	—	
全体	1428	1584	719	2303	69	

3) シートベルトの装備状況

ROPSと同様に、シートベルトの装備の有無を調査した結果、装備率は51.3%であった。ただし、有無の回答がなかった乗トラは装備無しとした。

乗トラにおけるシートベルトの重要な役割の1つは、転落・転倒時にROPSが作る保護域の中に作業者を保持することである⁵⁾。そのため、ROPSの有無との関係を見た。その結果、ROPSとシートベルトの両方を装着している乗トラは50%とほぼ半数であった。また、ROPSを装着しているがシートベルトを装着していない乗トラが19%あった(図5)。

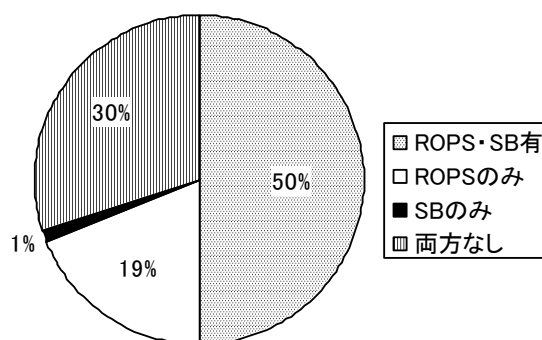


図5 シートベルト(SB)及びROPSの装備状況

4) ROPSの評価

ROPSの転落・転倒事故による死亡事故抑止効果についてユーザー段階での認識を調査した。

その方法として「安全キャブ・フレームはトラクタの転落・転倒による人身事故から運転者を守る効果があると思うか」との質問に対し、「効果がある」「効果がない」「どちらともいえない」「余分な装備だ」の4つの選択肢から1つを選択して回答するよう求めた。

その結果、「効果がある」と回答した者が85%(1210戸)であり、「どちらともいえない」が11%(161戸)、「効果がない」「余計な装備だ」はいずれも1%に満たなかった(図6)。

ROPSの有無を回答している回答者について、ROPSの有無と評価との関連を調査した。その結果、

ROPSを少なくとも1台に装着している回答者（以下、装着群という）では、88%が「効果がある」と回答していた。一方、全てにROPSを装着していない回答者（以下、未装着群という）では、「効果がある」は77%に留まり、装着群より低かった（図7）。

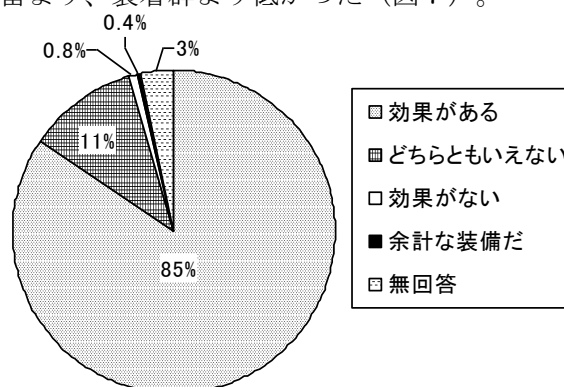


図6 ROPSの転落・転倒による人身事故抑止効果についての評価

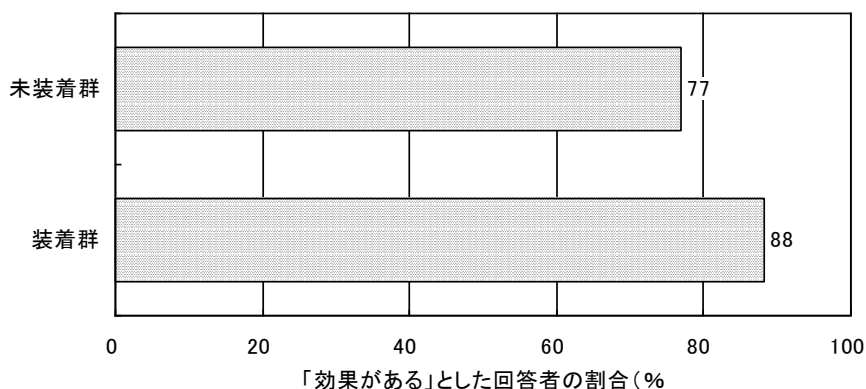


図7 ROPS装着の有無とROPSの効果の評価

5) シートベルトの着用状況

シートベルトの評価及び問題点の把握を行うため、シートベルトの着用状況と着用しない理由を調査した。

まず、シートベルトを着用する状況及び頻度について選択回答式の調査を行った。選択肢は「常に着用している」（常時）、「路上運転中だけ着用している」（路上）、「作業中だけ着用している」（作業中）、着用したりしなかったりする（時々）、いつも着用していない（皆無）の5つとした。さらに装着しない場合にはその理由の記述を求めた。

その結果、「常時」の回答者は3%（48戸）、「路上」が7%（102戸）で、少なくとも路上走行中に使用している回答者は10%であった。一方、回答者の68%（932戸）は「皆無」（未装備を含む）であった（図8）。

さらに、回答者のうち、シートベルトを装備した乗トラを1台以上所有している者（以下、SB装着群という）（900戸）について着用状況を調査した。結果は、「皆無」が55%（491戸）であり、半数を超えていた。また、少なくとも路上走行中に使用している回答者は16%に過ぎなかった（図9）。

シートベルトを使用しない理由の記述を、「装備されていない」（非装備）、「面倒、乗降しにくい」といった装着の手間に関するもの（面倒）、「邪魔、作業の支障」といった身体拘束に関するもの（邪魔）、「低速であるので不要」等乗トラには不要とするもの（不要）及び「キャブであるのでしない」等キャブ装着を理由とするもの（キャブ）の5種類に分類し、それぞれの件数を集計した。その結果、最も多いものは「非装備」であり、49%であった。そこで、改めてSB装着群で理由を回答した者（270戸）について集計すると、「面倒」が48%で最も多く、

「不要」も16%であった（図10）。なお、ここで「非装備」とした回答者は所有するトラクタの1部にシートベルトを装備していない回答者と考えられる。

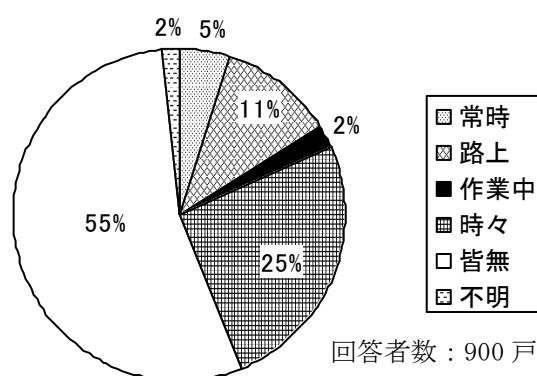
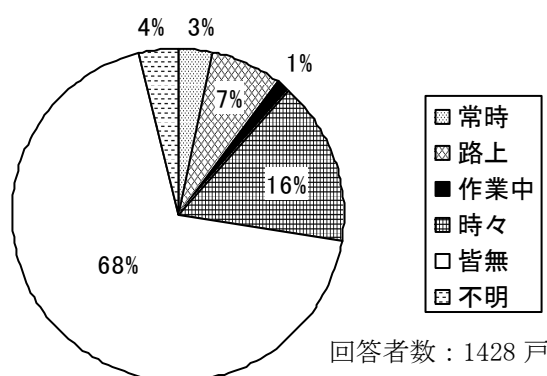


図8 シートベルトを装着する状況（全回答者） 図9 シートベルトを装着する状況（SB装備群のみ）

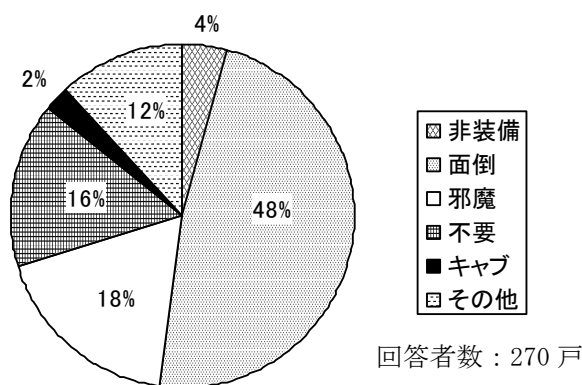


図10 SB装備群でのシートベルトを使用しない理由

これらの結果より、シートベルトは装備されていても使用されていない事例が多かった。その理由は、「着用するのが面倒」が多く、容易に装着できるような改善が必要と考えられた。また、「不要」と考えている回答者が16%おり、乗トラにおけるシートベルトの必要性、特にROPSとの関係が十分に理解されていないと考えられた。

6) 転落・転倒事故の事例

死亡事故を含めた事故事例をできるだけ多く収集するため、本調査では、「回答者自身と家族及び知り合い」（以下、回答者身边という）について事故事例を収集した。この方法では、回答者同士が近隣に位置する場合等で同一の事例が複数の回答者から報告される可能性があるが、回答された事故の内容を検討し、同県内で被害者プロフィールを含めた事故状況が同じものを同一と判断して、一方のみを採用した。

転落・転倒事故は乗トラの死亡事故の約70%、農作業事故全体の約1/4を占める特に重要なものであるため、本調査では、乗トラの事故事例を「転落・転倒事故」と「それ以外の事故」に分けて調査・分析した。

調査の結果、転落・転倒事故は208件の報告があった。受傷程度は、無傷が108件であったが、入院が19件、死亡が39件あった（表6）。

これらのうち、ROPSの有無及び受傷程度が判明したものは180件であった。内訳はROPSありが73件（安全キャブ37件、安全フレーム36件）、ROPSなしが107件であった。それぞれについて受傷程度をみると、ROPSありでは無傷が70%（51件）、死亡が3%（2件）であったが、ROPSなしでは無傷49%（52件）、死亡25%（27件）と差があり、ROPSなしの死亡事故割合が大幅に高かった（図11）。なお、ROPSありでの死亡事故（2件）は安全フレーム装備機による脱輪事故であるが、個人情報への配慮等の事情から、今回の調査では事故の詳細の状況及び原因の特定に至らな

かった。

表6 転落・転倒事故の受傷状況

	無傷	通院不要ケガ	通院必要ケガ	入院	死亡	受傷程度不明	計
ROPSあり	51	10	3	7	2	0	73
ROPSなし	52	16	5	7	27	0	107
不明	5	2	4	5	10	2	26
全体	108	28	12	19	39	2	208

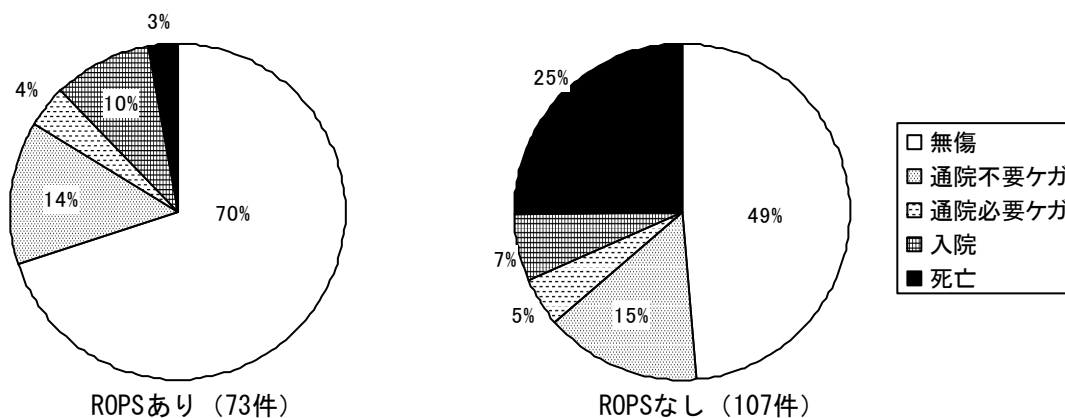


図11 ROPSの有無と転落・転倒事故における受傷程度

報告された事例のうち、事故状況及び受傷程度に回答があったものは206件であった。事故状況で最も多かったのは、「路上走行中または作業中に脱輪」であった。この状況での事故は94件、うち21件が死亡事故であり、それぞれ全体の46%、54%を占めた。その他には「ほ場から出るとき」、「斜面に乗り上げ」等の傾斜した場所における事故が多かった。

ROPS装着機、非装着機について、それぞれの状況別件数をみると、いずれも「路上走行中、作業中に脱輪」が全事故及び死亡事故の状況の最上位であった。ROPS装着機では、事故総数（73件）の40%及び死亡事故総数（2件）の全てが、また、非装着機では、事故総数（107件）の51%及び死亡事故総数（27件）の63%がこの状況で発生していた。この状況での全事故に対する死亡事故の割合は、装着機が7%、非装着機が31%であり、明らかな差があった。一方、非装着機では「後退時に転落」が死亡事故状況の第2位であったのに対し、装着機では事故件数は同等であったが死亡事故はなかった。

7) その他の事故事例

転落・転倒事故と同様にそれ以外の事故について事例の収集を行った結果、81件の事故報告があった。受傷程度は、無傷が24件であったが、死亡が18件あった（表7）。事故状況は作業機及びその他の物への「巻き込まれ」（26件）及び「挟まれ」（19件）が多く、件数が多い状況で死亡事故も多かった。挟まれ、巻き込まれ事故が発生した作業機はロータリ・ロータリハローが多く（15件）、うち5件が死亡事故であった。その他、ディスクハロー、ブロードキャスタ、ライムソワー、ポテトハーベスタ、フォーレージハーベスタ及びロールベアラーで入院若しくは死亡事故が発生していた。

表7 その他の事故の受傷状況

無傷	通院不要ケガ	通院必要ケガ	入院	死亡	計
24	10	11	18	18	81

おわりに

乗用型トラクタの安全キャブ・フレーム（ROPS）並びにシートベルトの装備状況と評価及び事故事例について農業者にアンケート調査を行い、全国の1428戸から回答を得た。

回答者の所有する乗用型トラクタのうち69%にROPSが装着されていた。ROPSの評価は概ね良好であり、85%の回答者が「乗用型トラクタの転落・転倒事故において人身事故から運転者を守る効果がある」と回答した。その割合はROPSを既に装着している回答者の方が、装着していない者より高かった。

一方、シートベルトは、51%に装備されており、その割合はROPSより低かった。シートベルトを装備している乗用型トラクタを所有している回答者のうち、シートベルトを少なくとも路上走行時に常に着用している者は16%に過ぎず、55%はいつも着用していなかった。着用しない理由は、「着用が面倒、乗降しにくい」と着用の手間を理由としたものが最も多く、48%であった。

回答者本人、家族及び知り合いでの事故事例は、転落・転倒事故208件、その他の事故81件の報告があった。そのうち、死亡事故はそれぞれ39件、18件であった。

転落・転倒事故での受傷程度をROPSの有無によって比較すると、死亡事故の割合はROPSありで3%、ROPSなしでは25%と明らかな差があり、ROPSなしでは重傷の傾向があった。

本調査により、転落・転倒事故におけるROPSの死亡事故抑止効果が明らかになった。また、ROPSが概ね良好に評価されており、今後の普及が期待できた。問題点として、ROPSの防護効果の前提であるシートベルトの着用状況が悪いことが挙げられ、着用の面倒さを低減する改良が必要と考えられた。

なお、今回の調査にあたっては、ご協力いただいた全国の農業者の皆様をはじめとして、社団法人日本農業機械化協会、全国農業機械士協議会並びに各道府県の農業機械士協議会の各位におかれては多大なご指導、ご協力を賜った。この紙面を借りて深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省生産局：平成16年度 農作業事故調査結果報告書，2006
- 2) 生研機構（現生研センター）：生研機構三十年史，224-243，1992
- 3) 生研機構：生研機構40年史，171-184，2003
- 4) 新農林社：2005 農業機械年鑑，2004
- 5) Murphy, D. J. , Buckmaster, D. R. : Rollover Protection for Farm Tractor Operators , Pennsylvania State University, 2003
- 6) 平成17年5月25日付官報告示：農用トラクタ（乗用型）用安全キャブ及び安全フレームの型式検査の主要な実施方法及び基準，2005
- 7) 生研センター：平成18年度 安全装備の確認項目と安全鑑定基準及び解説，2006
- 8) 生研センター：農業機械の事故実態に関する農業者調査結果－乗用型トラクタ及び歩行型トラクタ，2006

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 18 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 19 年 3 月 8 日