

農業機械学会東北支部報

No. 54 DEC. 2007

平成19年12月

目次

研究報告

- ・トレリス栽培オウトウのロボット収穫
 鈴木竜也・赤瀬 章・長谷部慈康・藤浦建史・中上富紀子・今川順一 . . . 1
- ・重粘土水田ほ場でのエダマメ省力機械化体系 . . . 片平光彦・佐々木景司・齊藤賢悦・鶴沼秀樹・田村 晃 . . . 5
- ・消雪後の固結土壌条件下における水稲不耕起V溝直播 (第1報) 野沢智裕 . . . 9
- ・消雪後の固結土壌条件下における水稲不耕起V溝直播 (第2報) 野沢智裕 . . . 13
- ・急傾斜放牧地での無線草刈機利用技術の開発 片平光彦・植村鉄矢・齊藤昌昭・澁谷 功 . . . 19
- ・自脱コンバイン・汎用コンバインを用いたヒマワリの脱穀 青田 聡・棚橋 紺 . . . 23
- ・バインダによる長稈雑穀の収穫について 武田純一・上所茉莉・西 政佳・佐川 了・星野次汪 . . . 27
- ・RBF ネットワークを用いた発熱植物の発熱機構の解析 (第2報) 広間達夫・坂本賢一 . . . 31
- ・画像処理を利用したイネ病気の病状領域の抽出 ガウリ マハルジャン・高橋照夫 . . . 35
- ・ハイパースペクトル画像解析による採草地のセンシング (第1報)
 . . . 田中勝千・鈴木由美子・加藤 亘・岡本博史・片岡 崇・嶋田 浩・杉浦俊弘・嶋 栄吉 . . . 39
- ・ハイパースペクトル画像解析による採草地のセンシング (第2報)
 . . . 鈴木由美子・田中勝千・加藤 亘・岡本博史・片岡 崇・嶋田 浩・杉浦俊弘・嶋 栄吉 . . . 43
- ・降水量から見た作業可能日数率算出支援シートの作成 大里達朗・伊藤勝浩・鶴田正明 . . . 47
- ・小規模施設を利用したバイオディーゼル燃料製造の課題 荒川市郎・和田庄司 . . . 51

トピックス

[地域の話]

- ・秋田県 秋田県における産学官連携によるヤマノイモ移植機開発への取り組み 片平光彦 . . . 55

[シンポジウム・現地見学会報告] 56

[農業機械学会東北支部の部会設置と活動について] 68

支部会記事

- 庶務報告及び会計報告 69
- 平成19年度研究発表会発表課題 74
- 東北支部役員・幹事役割分担 75
- 農業機械学会東北支部規約・表彰規定と内規・役員選挙規定・投稿規定 76

東北地域農業機械関係の研究担当者名簿 80

団体賛助会員名簿・個人会員名簿 85

トレリス栽培オウトウのロボット収穫

鈴木竜也*・赤瀬 章*・長谷部慈康*・藤浦建史**・中上富紀子**・今川順一***

Robotic harvesting of trellis-cultivated cherries

Tatsuya SUZUKI*, Akira AKASE*, Shigeyasu HASEBE*, Tateshi FUJIURA**,
Tokiko NAKAUE** and Junichi IMAGAWA***

Abstract

Cherries grown by trellis cultivation were harvested by a right-angled coordinate robot with a three-dimensional visual sensor. The main results are as follows. 1) Practice that bundles leaves should be done so that fruits and their stems may be in sight from the robot. 2) Error of distance from the robot to the cherry fruit detected by the sensor was about 1cm. 3) The robotic hand with openable fingers and the parallel-action robotic hand should be rotated after they have grasped the stem of a fruit. 4) To prevent breakage of the stem corners of the hand's fingers should be rounded. 5) The diameter of the ring of the ring-type hand should be enlarged. 6) The upper part of the stem should be cut by the hand with the cutting action.

[Key words] cherry, trellis cultivation, right-angled coordinate robot, three-dimensional visual sensor, hand, Visual C++

1. はじめに

近年、オウトウ（生食向け）の生産量が急激に増加している（農林水産省統計部 2003）。一方、収穫労働者の減少が懸念される中で収穫の機械化が望まれている。オウトウ果実はやわらかく損傷は許されないため、1果ずつ果梗を把持しもぎ取るロボット収穫が有効である。そこで本研究では、トレリス栽培されたオウトウ（図 1）を対象として、昨年試作した直角座標ロボット（赤瀬ら 2006）に果実検出装置として三次元視覚センサ（図 2）を取り付け、ほ場にて収穫試験を行った。

2. 実験装置および方法

1) 試作直角座標ロボット

試作直角座標ロボット（図 3）は Visual C++ で作動しており、果実検出装置として三次元視覚センサを取り付けている。各軸のストロークは、X 軸：320mm、Y 軸：520mm、Z 軸：450mm である。また、ハンドの R 軸の回転範囲は -90° から 90° である。

2) 三次元視覚センサ

三次元視覚センサ（スプラタラ 1996、藤浦 1997）は、赤色と近赤外のレーザービームを走査し、対象物からの反射光を PSD (Position sensitive device) で受ける方式である。画素数は 250×200 である。走査中に各画素の距離演算を行い三次元画像を得るとともに、近赤外線と赤色の受光電圧を比較して赤熟果実の 2 値画像も得る。走査範囲は側枝方向約 300mm、鉛直方向約 250mm となっており、走査時間は約 2 秒である。

ディスプレイに表示される走査画像を図 4 に示す。果実は赤く表示され、そのピークには黄色い点が表示される。

3) 試作ハンド

様々な収穫方法を検討するために、収穫ハンドとして開閉型（図 5）、並行リンク型（図 6）、リング型（図 7）、カット型（図 8）の 4 タイプを試作した。

4) 室内基礎試験

室内基礎試験では、果実とセンサ投光部との距離の検討と支持力の測定を行った。

* 山形大学農学部

** 大阪府立大学大学院農学生命環境科学研究科

*** 奈良県農業技術センター

(1) 果実とセンサ投光部との距離

フレームにトレリス栽培を模して側枝を取り付け、それにオウトウ果実を取り付け、果実とロボット間の距離、スキャン高さを変えて三次元視覚センサによる果実認識状況を調べた。

(2) 支持力の測定

開閉型と並行リンク型のハンドを用いて、果梗中点を把持したときの支持力をバネ秤で測定した。

5) 果実収穫可能率の測定

トレリス栽培されたオウトウ樹について、果実収穫可能率を測定した。収穫可能数は、ロボットで検出し収穫可能な個数を表し、果実全体と果梗の8割が見えたものとした。側枝は葉束ねされているものを対象とした。しかし、通常の葉束ねがされている状態でも果実および果梗が葉に隠れているものが多かったため、ロボット収穫用に果実、果梗がよく見えるように葉を束ね直し、このときの収穫可能数を側枝正面から目視により測定した。これより果実の個数と収穫可能数からロボットによる収穫可能率を求めた。なお、側枝より奥にある果実は対象とせず、手前にある果実だけを対象とした。

6) 果実収穫試験

果実収穫試験は、室内試験により決定した方法で、ほ場においてオウトウの収穫を試みた。このとき、4タイプの試作ハンドを用いて各ハンドの収穫率を測定した。開閉型と並行リンク型のハンドの動作は、果梗把持後手前に引っ張り収穫を行う方法である。リング型ハンドの動作は、ハンドを果実の下に移動後その場で上昇させ、リングに果実を通して把持棒によって果梗を把持後手前に引っ張り収穫を行う方法である。開閉型、並行リンク型、リング型は果実収穫後原点において果実の回収を行う。カット型ハンドの動作は、果梗を切断し、その後果実をカット部分の下に付いているシュートで回収する方法である。ほ場は山形県天童市の今田果樹園であり、供試品種には紅秀峰を用いた。

3. 実験結果および考察

1) 室内基礎試験

(1)果実とセンサ投光部との距離



図1 トレリス栽培されたオウトウ

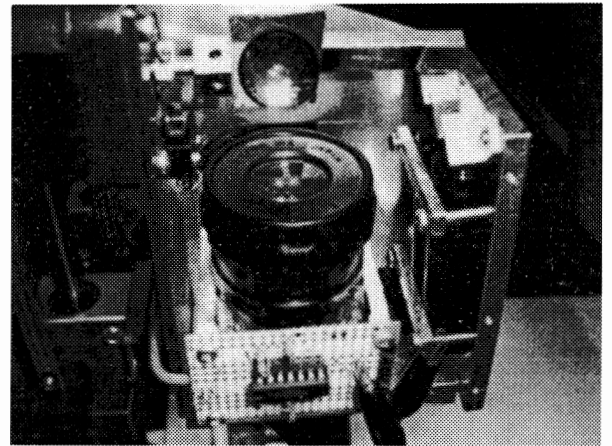


図2 三次元視覚センサ

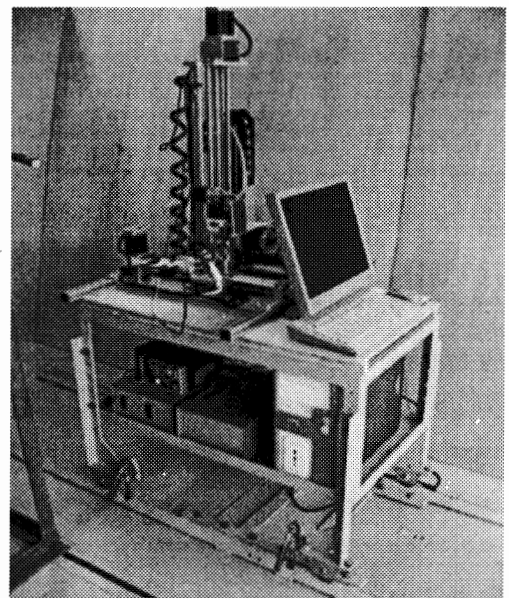


図3 試作直角座標ロボット

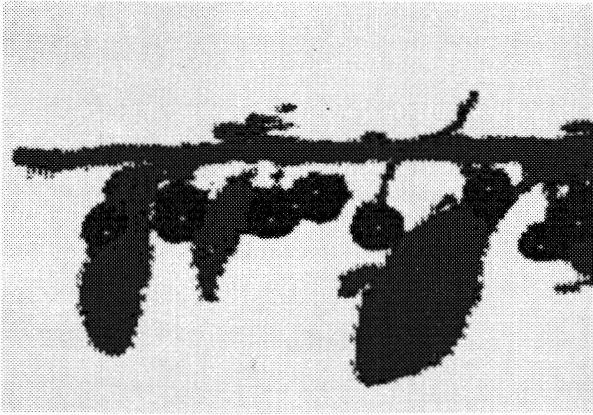


図4 ディスプレイに表示される走査画像

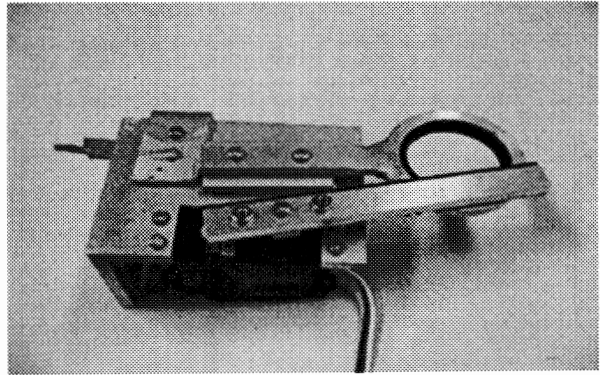


図7 リング型ハンド

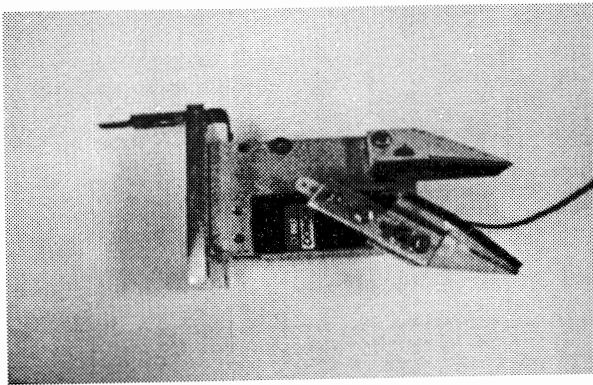


図5 開閉型ハンド

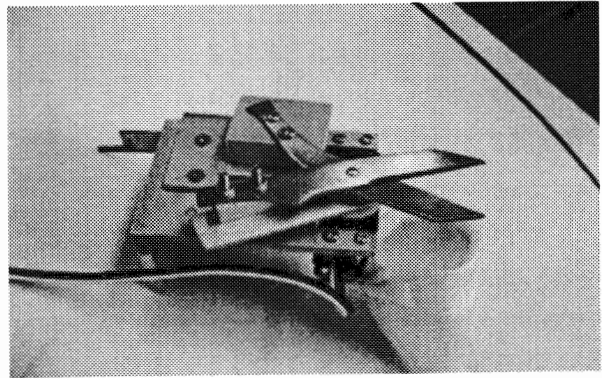


図8 カット型ハンド

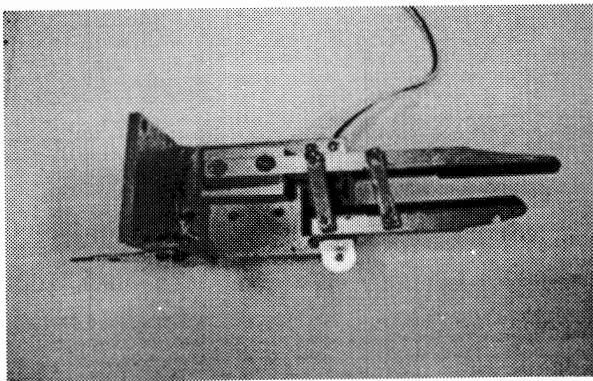


図6 並行リンク型ハンド

果実とセンサ投光部との距離が 30cm, 35cm, 40cm で果実が検出できた。加えて 30cm, 35cm では果梗も検出できた。また距離が 30cm になると側枝も赤として検出されてしまった。45cm, 50cm になると果実を検出することができなかった。これより、果実とセンサ投光部との距

離を 40cm に設定した。

(2) 支持力の測定

開閉型と並行リンク型のハンドの支持力を測定したところ、開閉型では平均 9.5N であり、並行リンク型では 15.7N で果梗切れが生じたため、それ以上の支持力であることが分かった。これは、オウトウ収穫には充分な力である。

2) 果実収穫可能率の測定

果実収穫可能率は、通常葉束ねでは 50%であったが、ロボット用葉束ねでは 84%となった。これより、葉束ねをする際には側枝正面から果実および果梗ができるだけ良く見えるようにすることが望ましい。

3) 果実収穫試験

(1) ハンドの位置決定

ロボットから果実までの距離は三次元視覚センサと PSD で計測され、それによって Y 軸が前進しハンドが果

梗を把持する。この際ハンドが果梗位置に丁度到達する場合とずれる場合があった。ずれる方向はX, Y, Z軸方向であり、その傾向は一定ではなく、その大きさは各軸とも最大約1cmであった。位置決定成功率は57.2%であった。

(2) ハンドのアウトウ収穫率

ハンドの位置決定が正しく行われた場合でも、開閉型や並行リンク型のハンドのような果梗をはさむタイプのものは、把持後手前に引っ張ると果梗が手前に向いた果実では収穫できない場合が多かった。そこで、把持後にハンドをその場で回転させ収穫を行う方法に変更して実験を行った。

各ハンドのアウトウ収穫率を表1に示す。この表によると、開閉型や並行リンク型の収穫率はそれぞれ高い値を示した。リング型はリングに入る果実の個数が少なく、リングに果実が通り把持しても、手前に引っ張る段階で果実の果梗抜けが生じた。リングに入る個数が少なかったのは、リング内径に対する果実直径の割合が87%と高く、また収穫位置の検出誤差が約±1cm生じるためだと考えられる。これよりリング直径を大きくする必要がある。カット型は最も収穫率が高いが、果梗を切断するのは現時点ではまだ受け入れられない。また、切断した果梗はいずれも短かったため、カット型を用いる場合はできるだけ果梗上部を切断する必要がある。

上記収穫試験によって、いくつかの問題点が明らかになった。まず、位置検出の誤差が約±1cmあることについてである。アウトウ果実をロボットで収穫する際、ハンドの開き幅や大きさはできるだけ小さい方が良いので、位置検出の誤差はかなり小さいものでなくてはならない。これを解決するためには、プログラムの改良や増幅回路等の

S/Nの改善を行う必要がある。次に、開閉型と並行リンク型のハンドにおいてハンド回転時に果梗切れが多く生じた。これを解決するためには、ハンドフィンガの角に丸みをつけることが必要である。

4. 摘要

トレリス栽培されたアウトウを、三次元視覚センサを有する直角座標ロボットで収穫した。主な結果は次の通りである。

- 1) ロボット収穫用に葉束ねをする際には、側枝正面から果実および果梗が良く見えるようにする。
- 2) 果実の距離の検出誤差が約±1cmあったので、これを解消する。
- 3) 開閉型や並行リンク型のハンドでは果梗把持後回転させる。
- 4) 果梗切れを防ぐため、開閉型や並行リンク型のハンドフィンガの角に丸みをつける。
- 5) リング型ハンドではリング直径を大きくする。
- 6) カット型ハンドではできるだけ果梗上部を切断する。

5. 参考文献

- 1) 農林水産省統計部, 2003, 果樹生産出荷統計.
- 2) 赤瀬章ら, 2006, オウトウロボット収穫の基礎試験, 農業機械学会東北支部報 No.53, 3~6.
- 3) I.D.M.スプラタら, 1996, 三次元視覚センサを用いたミニトマト収穫ロボット(第1報), 農業機械学会誌 58(4), 45~52.
- 4) 藤浦建史, 1997, レーザ光による三次元形状計測, 農業機械学会誌 59(1), 127~130.

表1 各ハンドのアウトウ収穫率

ハンド	果実数 (個)	収穫○ (個)	収穫× (個)	収穫率 (%)
開閉型	11	9	2	81.8
並行リンク型	17	14	3	82.4
リング型	3	0	3	0.0
カット型	6	6	0	100.0

重粘土水田ほ場でのエダマメ省力機械化体系

— 耕うん同時畝立て播種機と収穫脱莢機、選別機の活用 —

片平光彦* 佐々木景司* 齊藤賢悦* 鶴沼秀樹* 田村晃*

A Power Farming Systems for Green Soybean at the Upland Field Converted from Heavy Clay Paddy

— Using of Green Soybean harvester and sorting machine, rotary tilling, ridge-making and seeding implement —

Mitsuhiro KATAHIRA*, Keiji SASAKI*, Ken-etsu SAITOU*, Hideki UNUMA*, Akira TAMURA*

Abstract

This study investigated yields and rate of working, economy of a green soybean cultivation at the upland field converted from heavy clay paddy. The rotary tilling, ridge-making and seeding implement was made the ridge for 10 to 11cm at the height, 32 to 40cm at the width for ridge of top, and 73 to 75cm at the width for ridge of bottom. There were no difference of yields between power farming system and conventional work. The work accuracy of the green soybean harvester was 46%. The green soybean sorting machine was 64 to 85% for work accuracy, and was 12.4 to 14.2kg/h for the rate of working, respectively. It decreased 41% rate of working for the power farming systems of green soybeans to rotary tilling, ridge-making and seeding implement. Moreover, the land area coverage was 10.4ha, and the break-even area was 5.7ha, respectively.

[Key Words] green soybean, rotary tilling, ridge-making and seeding implement, harvester, sorting machine, coverage, break-even area

1. 緒言

秋田県はエダマメ作付け面積が平成17年度で876ha(大豆:7,820ha)、系統販売額が695百万円あり、平成22年度までに作付け面積1,300ha、系統販売額2,275百万となることを目標に生産振興を図っている。これら農林水産政策の展開を背景に、仙北や平鹿地域を中心とした本県のエダマメ生産地では、栽培面積が年々増加している。また、それらの地域は有数の稲作地帯であるため、水田転作で基盤整備後の大区画ほ場に対しても作付けが行われている。

水田転換ほ場での栽培は、排水性の劣る重粘土質の土壌が多いため、生育期間中での湿害発生による被害が散見される。また、作業体系は、一部地域で大豆用機械の利用共同による機械化体系を実施している事例もあるが、依然として歩行管理機を中心に行われていることが多く、栽培規模の拡大に弊害を生じている。

これらの問題を解決し、生産安定と規模拡大による収益性を向上するには、水田転換ほ場に対する湿害対策、機械化体系導入による省力・軽労化が必要である。本報は秋田県大仙市の農家ほ場で、エダマメ栽培での耕うん同時畝立て施肥播種機を基幹とした機械化体系を実証し、収量と作業能率、経済性について評価した。

2. 試験方法

(1) 試験場所

試験は、2006年に秋田県大仙市太田町駒場S氏ほ場(区画:100m×30m,30a,土壌:細粒グライ土,前作:エダマメ,水田転換2年目)で行った。

(2) 主要機械の構成

1) 播種機:トラクタ(三菱,MT-601型)に耕うん同時畝立て施肥播種機(中央農業研究センター開発機、施肥播種部(アグリテクノ矢崎,TFR-2型,2条))を取り付けた。

2) 収穫・調製:収穫は、収穫脱莢機(山形農総研センター・ミヤマエンジニアリング試作機)と追従式運搬車(生研センター開発機)を用いた。選別は、画像処理を用いた選別機(山本製作所試作機)で行った。

(3) 作業体系

1) 農家慣行体系(以下慣行区):施肥(人力)→耕うん(正転ロータリ)→播種(傾斜ベルト式播種機)→除草剤散布(散粒機)→中耕・培土(歩行管理機)→防除(動散)→収穫(人力)→収集・運搬(人力・軽トラ)→脱莢(自動脱莢機)→選別(人力)

2) 機械化体系(以下機械化区):耕うん・施肥・播種(耕うん同時畝立て施肥播種機,2条)→除草剤散布(乗用管理機,ブームスプレーヤ)→中耕・培土(乗用管理機,2連カルチ)→防除(乗用管理機,ブームスプレーヤ)→収穫・脱莢・収集・運搬(収穫脱莢機・追従式運搬車)→選別(選別機)

* : 秋田県農林水産技術センター 秋田県秋田市雄和相川字源八沢 34-1

(4) 耕種概要

- 1) 品種 (播種日): あきた香り五葉 (6月8日)、錦秋 (6月8日)、秘伝 (6月14日)
- 2) 施肥: あきた香り五葉・錦秋, N: 1.4kg/10a (注: 同時施肥は実施せず全面散布)、秘伝, 無肥料
- 3) 栽植様式: あきた香り五葉, 条間 75cm、株間 20cm、錦秋, 条間 75cm、27cm, 秘伝, 条間 80cm、株間 30cm、各品種とも 1 粒播種
- 4) 初期防除と除草: 種子粉衣剤 (クルーザー FS-30、種子 1kg 当たり 6mL)、トレファノサイド乳剤 (500 倍)
- 5) 中耕・培土: あきた香り五葉・錦秋 (6月29日、7月11日)、秘伝 (7月5日、7月21日)
- 6) 収穫: あきた香り五葉 (9月7日)、錦秋 (9月4日)、秘伝 (10月2日)

(5) 検討項目

- 1) 収量調査: 各区とも 1 試験区当たり 5m の範囲を 3 カ所収穫して行った。調査項目は、草丈 (cm)、主茎節数、分枝数、茎径 (mm)、収量 (kg/a) である。
- 2) 作業能率と省力化率: 作業能率 (h/10a) は、作業開始から終了までの時間を測定し、それをほ場の面積で除して算出した。省力化率 (%) と負担面積 (ha) は、片平ら¹⁾の報告を基に算出した。なお、実作業時間は、一日の作業時間を 9 時間とし、それに実作業率 0.8 を乗じた 7.2 時間を用いた。

3) 損益分岐点面積: 損益分岐点面積 (ha) は、トラクタとアタッチメントの購入価格、固定費、変動費と秋田県内での 10a 当たり作業料金の事例¹⁾から片平らの報告²⁾を基に算出した。

3. 結果と考察

(1) 生育と収量

播種作業に用いた耕うん同時畝立て施肥播種機を図 1 に示す。播種時のほ場状態と作畝形状を図 2、苗立ち状態を表 1、収量を図 3 にそれぞれ示す。

播種時の土壌水分は、慣行区で 43 ~ 54%、機械化区で 46 ~ 56% であった。耕うん同時畝立て播種機は、逆転ロータリが組み込まれているため、碎土率が慣行区よりも 7 ~ 9% 高くなり、高さ 10 ~ 11cm、床幅 32 ~ 40cm、畝幅 73 ~ 75cm の畝が作成できた。

苗立ち後の栽植密度は、各品種とも慣行区と機械化区で差がなかった。欠株率は、機械化区が慣行区よりあきた香り五葉で 4%、錦秋と秘伝で 7 ~ 8% 少なかった。機械化区で欠株率が低下したのは、作畝同時播種であったため発芽に適した土壌水分が確保され、慣行区よりも播種位置が高く降雨による影響が少なかったことが原因と考えられる。

収量は、機械化区と比較してあきた香り五葉で 41kg/10a 減少、錦秋で 14kg/10a 増加、秘伝で 68kg/10a 増加した。しかし、各区の収量差は各品種とも小さく、誤差の範囲内であった。なお、機械化区は、各品種で慣行区よりも分枝数が増加する傾向にあったが、それ以外



図 1 耕うん同時畝立て施肥播種機での作業状態

項目	品種	水分 (%db)	碎土率 (%)
試験区	慣行	43 (7)	87 (11)
	機械化	54 (16)	96 (4)
慣行	錦秋	56 (2)	90 (3)
	秘伝	46 (2)	97 (1)

注1: ()内数値は標準偏差

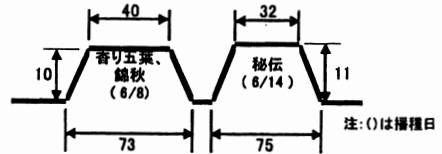


図 2 播種時のほ場状態と畝形状 (単位: cm)

表 1 各試験区での苗立ち状態

項目	品種	栽植密度 (本/m ²)	株間 (cm)	欠株率 (%)
試験区	慣行	7 (0)	22 (1)	5
	機械化	6 (0)	23 (0)	1
慣行	錦秋	4 (0)	28 (1)	15
	秘伝	4 (0)	29 (1)	8
慣行	秘伝	4 (0)	30 (0)	8
	機械化	4 (0)	30 (0)	0

注1: ()内数値は標準偏差

注2: 2006年度調査日、香り五葉 6/23、錦秋 6/23、秘伝 6/28

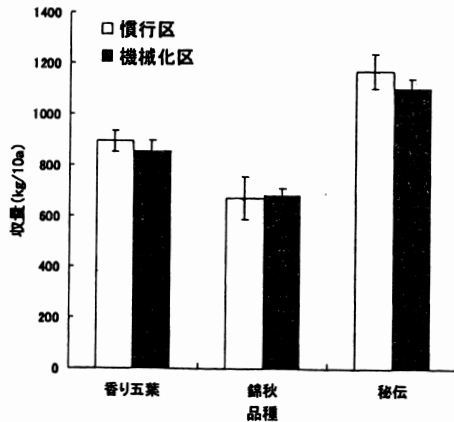


図 3 各試験区の収量

の項目では差がなかった。本試験は水田転換 2 年目ほ場のため、排水が良好で湿害の影響が少く、苗立ち後の生

育と収量に差が生じなかった。

(2) 性能と省力効果

試験に使用した収穫脱莢機と追従式野菜運搬車を図4と図5、エダマメ選別機を図6に示す。

1) エダマメ収穫脱莢機の利用

使用した収穫脱莢機は、エダマメを刈り取りながらほ場で脱莢するコンバインタイプである。収穫されたエダマメは収穫脱莢機後部から排出され、風選後コンテナに

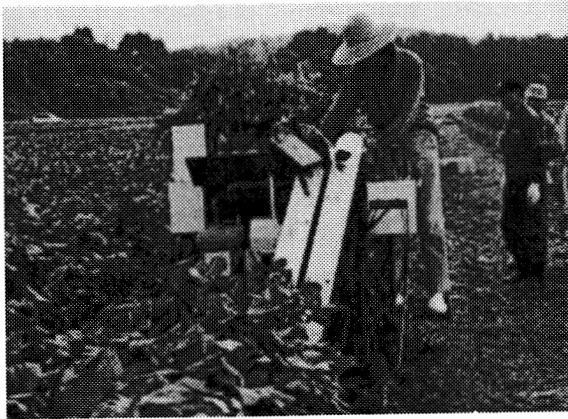


図4 エダマメ収穫脱莢機



図5 追従式野菜運搬車

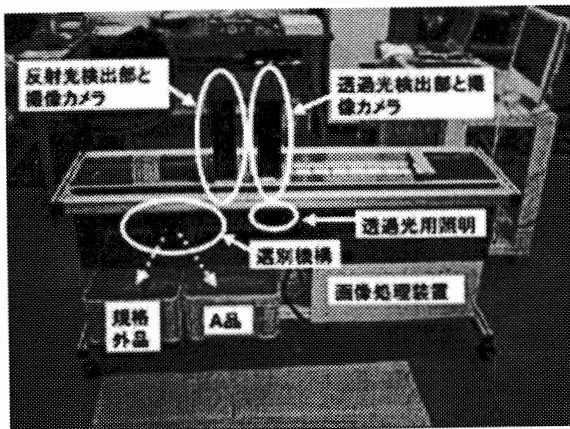


図6 エダマメ選別機

収納した。なお、コンテナは、収穫脱莢機の後部に2個積載できる。追従式野菜運搬車は、収穫脱莢機の動作に連動する機能を有しており、空コンテナやエダマメを収納してほ場内を移動できるため、収穫時の搬送作業を効率化した。

エダマメ収穫脱莢機の作業精度を表2に示す。収穫脱莢機は、回収された収穫莢が46%、収穫された莢で傷害を受けた莢が31%、その中で選別が必要な莢が4%含まれた。なお、ほ場への落下莢は16%であった。

表2 エダマメ収穫脱莢機の作業精度

試験区	項目	収穫莢	収穫莢内訳		もぎ取り残し	落下率
			正常莢	傷害莢		
	手もぎ	100	86	14 (2)	0	0
	自動脱莢機	85	84	16 (4)	7	8
	収穫脱莢機	46	69	31 (4)	38	16

注1:単位、%
 注2:A品を選別して算出
 注3:落下率は、ほ場に落下した莢を示す
 注4:()内数値は傷害莢に含まれる要選別莢(割れ、折れ)
 注5:自動脱莢機は、M社KX-Ⅲ型

エダマメ収穫脱莢機は、生産者が用いる自動脱莢機と比較して、もぎ取り残しが31%、落下率で8%増加した。しかし、傷害莢は、莢表面に擦り傷などの軽微なものが多く、折れや割れなどは自動脱莢機と同等であった。

2) エダマメ選別機の利用

選別のアルゴリズムは、病虫害等の傷に対して、莢全体と傷部に二値化抽出して、両者の比率による被覆面積率を用いた。子実熟度は、照明を照射して得られた透過画像から莢全体と子実部を抽出し、両者の画素数比を用いた。形状は、莢の長辺と短辺の画素数比を用いた。選別機全体の機構は、エダマメ莢の熟度と形状の情報を取得する透過光検出部、莢の病虫害や機械的損傷の情報を取得する反射光検出部、搬送用の網目コンベア、エダマメ選別アルゴリズムを持つ画像処理装置、選別機構で構成した。

エダマメ選別機の選別精度を表3に示す。選別機は、選別精度が正常莢で69~85%、規格外の莢で64~77%であった。選別作業の能率は、12.4~14.2kg/hであった。選別精度は、子実熟度の検出にあたり品種や莢厚の違いで光の透過程度が変化するため、画像の取り込みが不安定となり、誤認が多くなったと考えられる。また、作業能率は、莢を手動で1ラインの搬送部に供給したため、処理量が少なくなり、目標とする75kg/hの能力に届かなかった。

表3 エダマメ選別機の作業精度

収穫日	選別精度(%)			作業能率 (kg/h)	産地	状態	品種
	正常	B品	規格外				
9月8日	71.4	—	—	—	秋田	適熟	香り五葉
9月20日	84.9	—	86.7	—	秋田	適熟	錦秋
10月6日	76.9	—	63.8	12.4	秋田	適熟	秘伝
10月6日	—	—	76.9	—	山形	未熟のみ	秘伝
10月10日	69.0	64.2	69.5	14.2	秋田	やや過熟	秘伝
	(15.0)	(11.9)	(5.0)	(0.7)			

注1:選別精度は、選別に成功した割合を示す
 注2:()数値は標準標準偏差
 注3:手選別で正常、B品、規格外にあらかじめ分類した莢を使用

表4 作業能率と省力化率

作業内容	A: 慣行体系		B: 機械化体系		作業能率(h/10a)		省力化率 A:B
	主動力	使用機種	主動力	使用機種	A	B	
耕うん	T	ロータリ	耕うん同時	1.4	1.4		
施肥	M		畝立て施肥播種機	0.8	0.8	81	
播種	M	傾斜ベルト式播種機	ブーム	1.9			
除草剤散布	M	散粒機	MV スプレーヤ	1.2	0.5	59	
中耕	TI	ロータリ	MV 二連ロータリ	2.1	0.8	60	
中耕・培土	TI	ロータリ	MV 二連ロータリ	1.6	0.8	48	
防除	M	動噴	MV カルチ、培土板	1.3	0.6	54	
収穫	M		ブーム	5.0			
収穫・運搬	M		収穫脱莢機、追従式運搬車	10.0	3.9	87	
脱莢		脱莢機		15.0			
選別	M		選別機	63.5	53.7	15	
全体				105.1	61.8	41	

注1: T=トラクタ, M=人力, TI=歩行用管理機, MV=乗用形管理機
 注2: 選別は、組作業員2名で換算
 注3: 慣行の収穫、脱莢、収穫・運搬は、2001年度大内町での試験結果から引用
 注4: 機械化体系の防除は秋田県試でブームスプレーヤ利用時の能率を引用
 注5: 省力化率(%、A:B)=(1-(B作業/ΣA作業))×100で算出

3) 作業能率と省力化率

慣行区と機械化体系区の作業能率と省力化率を表4に示す。機械化区は、播種工程全体の作業能率が0.8h/10aで、省力化率が慣行区の81%であった。収穫脱莢機と追従式運搬車の利用は、収穫と脱莢工程が作業統合されて作業能率が3.9h/10aとなり、省力化率が慣行区の87%であった。作業全体では、播種と収穫調製の作業統合が行われて工程数と能率が減少したため、機械化区の省力化率が慣行の41%であった。

(3) 機械化区の経営評価

機械化体系の負担面積を表5、損益分岐点面積を表6に示す。なお、負担面積と損益分岐点面積の算出は、使用した収穫機と選別機が試作段階で価格が未定であるため、既報⁹⁾で示した歩行式の収穫機を用いて行った。

エダマメの省力機械化体系では、作業能率と作業日数が改善されたため、負担面積が慣行区よりも播種工程で13.4ha、中耕・培土で6.6ha、収穫で4.3ha増加した。その場合、エダマメの省力機械化体系は、損益分岐点面積が5.7haと試算されるため、最小となる負担面積10.4haの範囲内で作業可能である。

4. 摘要

1) 耕うん同時畝立て施肥播種機は、土壌水分46～56% db、砕土率96～97%のほ場で、高さ10～11cm、床幅32～40cm、畝幅73～75cmの畝が作成できた。

表6 機械化体系の損益分岐点面積

項目	単価(千円)	金額(千円)
金 乗 用 管 理 機	1,955	1,955
トラクタ(30kW級)	3,748	1,874
ロータリカルチベータ	350	350
アップカットロータリ	750	375
培 土 板	60	60
施 肥 播 種 機	355	355
ブームスプレーヤ	1,000	1,000
額 収 穫 機	650	650
合 計 金 額	8,868	6,619
固 定 費 合 計		1,168
変 動 費 合 計		11
10a 当 たり 作 業 料 金		32
損 益 分 岐 点 面 積 (ha)		5.7

表5 各作業体系での負担面積

作業工程	慣行体系			機械化体系		
	PD(日)	RD(日)	負担面積(ha)	PD(日)	RD(日)	負担面積(ha)
施肥	8	5	4.9	—	—	—
耕うん	13	9	4.6	—	—	—
播種	18	12	4.6	29	20	18.0
除草剤散布	9	6	3.7	11	7	11.0
中耕・培土	32	22	3.8	35	24	10.4
防除	20	14	3.8	25	17	10.4
収穫	70	49	7.1	70	49	11.4

注1: 作業時間、9時間、実作業率、80%、実作業時間、7.2時間
 2: 作業回数、耕うん1回、播種1回、除草剤散布1回、中耕・防除・2回、収穫1回
 3: 作業は4作期を想定し、耕うん・施肥・播種・除草剤散布; 5/上～6/下、中耕・培土・防除; 6/上～8/上、収穫; 8/中～10/中
 4: 作業日数(PD)は、作業時期に各作業工程が全て行われるように案分して求めた。
 5: 可能日数率、5/上～6/下; 68%、6/上～8/上; 69%、8/中～10/中; 70%
 6: 実作業日数(RD)=PD×可能日数率

2) 機械化区は、慣行区よりも分枝数が多かったが、収量に差がなかった。

3) エダマメ収穫機は、莢の回収率が46%、ほ場への落下率が16%であった。

4) 選別機は、選別精度が64～85%、作業能率が12.4～14.2kg/hであった。

5) エダマメの省力機械化体系は、省力化率が慣行区と比較して播種工程で81%、収穫脱莢機工程で87%、作業全体で41%であった。

6) エダマメの省力機械化体系は、損益分岐点面積が5.7haとなり、最小となる負担面積10.4haの範囲内で作業可能である。

参考文献

1) 片平光彦・太田健・新山徳光・舛谷雅弘・小笠原伸也・久米川孝治・渋谷功・鎌田易尾：重粘土水田転換圃場での野菜の機械化作業技術(第2報)，農機誌 66(5)，97-106，2004。

2) 秋田県：農作業受委託料金試算事例，3，2001

3) 片平光彦・佐々木景司・若松一幸：エダマメ機械化体系の省力・軽労効果，農機東北支報 52号，1-4，2005。

謝辞

本研究は、平成17年度農林水産研究高度化事業「エダマメ収穫機と選別機の開発による高効率収穫調製技術の確立」で得られた成果である。試験を担当した山形県農業総合研究センター、弘前大学、株式会社山本製作所、株式会社ミヤマエンジニアリングの関係各位に謝意を表す。

注1: 作業料金は、県内の市町村が設定する大豆など畑作物の料金を参考に、耕うん5,500円、播種3,000円、除草剤散布1,000円、中耕培土2,500×2=5000円、防除1,000×2=2,000円、収穫15,000円、計31,500円とした。

2: 作業時間は、耕うん・施肥・播種0.8時間、除草剤散布0.5時間、中耕培土0.8×2=1.7時間、防除0.6×2=1.2時間、収穫3.1時間、計7.3時間

3: オペレーター賞金は、県内市町村の事例を参考に1日10,000円(1,250円/時間)とした。

4: 機械の耐用年数は、作業機類を5年、トラクタを8年とした。

5: トラクタとアップカットロータリは他作業への利用共同を考慮し、係数を0.5に設定した。

6: 減価償却費は「農畜産業用減価償却費耐用年数」による定額法で計算し、現状の利用年数を勘案して6割を費用計上した。

消雪後の固結土壌条件下における水稲不耕起V溝直播（第1報）

—復元田での播種精度と生育状況—

野沢智裕

Development of the V-furrow No-Till Direct Seeding on the Solid Soil Condition being after Thaw Period

Part 1: Seeding Accuracy and Growth of Rice in the Field being after Upland Cropping

Tomohiro NOZAWA

〔キーワード〕 水稲、乾田直播、不耕起V溝直播、復元田、播種精度

1 はじめに

水稲不耕起V溝直播は、愛知県の大規模稲作農家を中心に急速に普及拡大している。愛知県内における普及面積は1,096ha（2006年）にも及ぶ。

この水稲直播栽培方式は、播種前整地処理として冬季代かきを行うことにより、ほ場表面の不陸の解消と前作残渣の処理をし、土壌が乾燥固結した条件の下で不耕起V溝播種機を用いて高精度播種を行うものである。省力性、全天候性など不耕起乾田直播の特長はそのまま維持し、従来の直播栽培の問題点である出芽・苗立の不安定性、鳥害を克服し、移植栽培と同等の栽培安定性、収量性を確保しつつ、より低コストな稲作を実現していることが、普及拡大の理由といえる。

筆者は、この技術を青森県に導入したいと考えた。しかし、温暖地である愛知県で開発された乾田直播技術であり、基本的には冬季代かき後の乾燥による固結土壌条件下での播種を前提にしている。青森県は寒冷地であることや冬季には積雪があり代かきを行うことが困難であることなど、この技術を導入するためには、いくつかの課題を解決する必要がある。

筆者は当初、融雪水で代かきを行い早春の代かきができないかと考え、3年程数筆の水田に融雪水を溜めることをに挑戦した。代かき可能な状態になったほ場はあったが、不可能なほ場が多数であった。これは消雪の速度や水稲収穫後のほ場状態によるもので、毎年安定的に融雪水を確保することは困難と考えた。そこで、代かきを行わない条件を前提に寒冷地向けの水稲不耕起V溝直播を検討することにした。

まず筆者は、消雪後の大豆跡復元田の田面が乾燥固結すると、代かき後落水して固結した土壌状態に似ていることに着目し、冬季代かきを行わない水稲不耕起V溝直播の実用性を検討することにした。本報では、この条件下で試験した不耕起V溝播種機の播種精度と生育状況について報告する。

なお、この試験は財団法人農業技術協会新稲作研究会からの委託試験として行ったものであり、当研究会から

のご指導、ご援助をいただいたことを付記する。

2 方法

(1) 供試機械及び設定

不耕起V溝播種区は、不耕起V溝直播機（S社製AD-100、条間20cm、10条、58.8kW（80馬力）装軌式トラクタ（Y社製CT801）に装着）で播種を行った。対照区のロータリシーダ播種区は、ロータリハローシーダ（条間30cm、8条のM社製HR-2200B、U-S8H8A改（播種作溝ディスクにホイール型の播種深さ調節器を取り付け、各条独立に播種深さを調節できるように改造）を53.7kW（73馬力）半装軌式トラクタ（K社製GM73-PC）に装着して播種を行った。播種作業速度は、不耕起V溝直播機では4～5km/h、ロータリハローシーダでは約1km/hとした。播種量は、不耕起V溝播種機では、愛知県の早春播種の播種量の8kg/10a、ロータリハローシーダは青森県の慣行播種量の6kg/10aに設定した。不耕起V溝直播機は、分銅付きの覆土チェーンにより播種溝の上縁を崩して軽微な覆土を行う構造になっているが、本試験では作用させずに使用した。これは、作溝輪により蹴り上げられた土壌が、種籾を露出させない程度の覆土となったためである。

(2) 試験条件

試験は、2005年に青森県農林総合研究センター30a区画試験ほ場（中粗粒灰色低地土）で行った。このほ場は、2003年水稲（移植）—2004年大豆—2005年水稲（本試験）と1年1作の輪作を行った復元田であるが、暗渠により乾田期間の排水が容易に行え、湛水期間の水持ちは比較的良好的なほ場であった。大豆収穫後は、2004年11月に整地のためにロータリ耕を1回行っただけで、機械的な均平や鎮圧、冬季代かきを行わなかった。根雪期間は114日（2004年12月17日～2005年4月9日）で平年より10日程長かった。最大積雪深は約1.56m（2005年3月3日）であった。

水稲品種は、つがるロマン（中生、中短稈、偏穂重型、倒伏抵抗性：中）を供試した。播種は2005年4月25日に行った。施肥は、青森県の大豆跡水稲移植栽培の施肥基

準を参考に、基肥としては窒素、りん酸、カリとも無施用としたが、初期生育が緩慢で、ほ場内でも試験処理と無関係なばらつきが観察されたことから、生育補正をかねて6月下旬に窒素、カリを各々成分量で0.1~0.2kg/a追肥した。播種後の水管理は、過乾燥防止のために5月20日と5月30日に走水を行い、全区の出芽が揃った後の6月7日から湛水管理とした。中干しは、6月21日から7月20日まで行った。鳥害防止対策として、種籾に対する忌避剤(キヒゲンR-2フロアブル)塗沫処理と湛水初期から2週間程度の期間ほ場に防鳥糸を設置した。除草剤は、播種後出芽前にラウンドアップハイロード(5月2日散布)とサターンバアロ乳剤(5月11日散布)、湛水管理開始後にクリンチャー1キロ粒剤(6月8日散布)とトップガンフロアブル(6月13日散布)を使用した。その他の病害虫防除は慣行防除とした。収穫は10月6日に行った。

(3) 試験区の設定

ほ場を2分割し、それぞれを不耕起V溝直播機又はロータリシードで播種し、不耕起V溝播種区とロータリシード播種区とした。不耕起V溝播種区はさらに2分割し、乾籾と浸種籾を播種し乾籾区と浸種籾区を播種した。本試験に供試した浸種籾は、浸種期間の積算平均水温が100℃前後のものである。

不耕起V溝播種区では、種子予措の区画に関係なく、播種溝の形状が明瞭なV字状の溝になった場所と、不明瞭になった場所が混在して発生したため、それぞれを明瞭区と不明瞭区として調査を行った。ただし、播種溝の形状が狭い範囲で混在していたため、収量調査は、調査区1m間の精玄米重から計算した収量を「調査地点の収量」、明瞭区と不明瞭区を込みにして坪刈りした精玄米重を「収量」とした。

3 結果・考察

(1) 播種状況

消雪後の乾田直播の供試ほ場は、播種日までに乾燥と硬化が進んだ。田面の状態は、小石の露出や小さな凹凸があるものの、土塊が崩壊しており、代かき後の土壌表面が乾燥固結した状態に類似していた。ほ場全体の平均は良好であった。

トラクタの沈下は無く、安定した播種作業を行うために十分な地耐力が確保されていると判断できた。

播種前に確認された小石の露出や小さな凹凸は、播種時の障害にはならなかった。

不耕起V溝播種区の播種溝が明瞭なV字状の溝になった場所と不明瞭になった場所の割合は、概ね半々であった。播種溝が不明瞭になった場所の多くは、土壌が白く見える程度に乾燥してる場所であった。



図1 播種前の田面の状況

不耕起V溝播種区では播種溝から外れて表面に落下する籾が時々観察されたがその頻度は少なく、種籾の覆土状態は播種溝の形状によらず良好であった。

実際の播種量は、不耕起V溝播種区7.5~7.9kg/10aで概ね設定どおりであった。ロータリシード播種区では5.2kg/10aと設定播種量より低かったが、いずれも青森県における乾田直播の播種量基準(5~8kg/10a)の範囲内であった。



注) 左: 不耕起V溝播種、右: ロータリシード播種

図2 播種後の田面の状況

(2) 出芽・苗立状況

不耕起V溝播種区の出芽始めは各区とも5月30日で、ロータリシード区と同じであった。出芽揃いは6月3日~4日でロータリシード区より1~2日遅れた。不耕起V溝播種区の出芽揃いは、ロータリシード区より不斉一であり、種子予措や播種溝の状態が同一の区内においてもばらつきが目立った。

不耕起V溝播種区の苗立率は55.9~70.4%であり、ロータリシード区は66.9%であった。いずれも青森県内の

表1 生育状況

直播様式	種子予措の違い	不耕起V溝播種				ロータリ シーダ播種
		乾籾		浸種籾		浸種籾
播種溝の状態		明瞭	不明瞭	明瞭	不明瞭	—
出芽・苗立ち状況	出芽始め	5月30日	5月30日	5月30日	5月30日	5月30日
	出芽揃い	6月4日	6月4日	6月3日	6月3日	6月2日
	苗立率(%)	59.4	70.4	68.9	55.9	66.9
	苗立数(本/m ²)	185	196	203	190	127
苗立ち期 の生育(6/20)	草丈(cm)	16.0	16.0	16.2	16.2	20.2
	葉齢(葉)	3.2	3.0	3.4	3.2	3.7
	白色茎部長(mm)	11.0	11.5	8.9	9.3	16.4
幼穂形成期頃 の生育(7/26)	草丈(cm)	47.5	46.8	49.3	48.6	52.1
	茎数(本/m ²)	835	857	710	732	551
出穂期		8月17日		8月16日		8月16日
成熟期の生育	稈長(cm)	75.3	75.3	75.7	75.7	79.8
	穂長(cm)	17.2	16.8	17.5	17.1	17.9
	穂数(本/m ²)	477	497	429	448	369
	1穂籾数(粒)	62.2	60.6	66.1	64.5	71.8
	倒伏程度(0~5)	1	1	1	1	2
調査地点の収量(g/m ²)		518	532	487	504	444
調査地点の 収量構成要素	登熟歩合(%)	74.5	75.1	75.2	75.8	74.1
	玄米千粒重(g)	23.5	23.5	23.5	23.4	23.3
	m ² 当たり籾数(粒)	29,500	30,300	27,700	28,500	25,700
収量(kg/a)		54.3		53.9		50.3
収量構成要素	登熟歩合(%)	74.0		72.5		75.7
	玄米千粒重(g)	23.3		23.4		23.3
	m ² 当たり籾数(粒)	30,700		29,100		27,100
検査等級		1中~下		1中		1中~下

苗立率としては標準的な水準であった。濱田らが1997年に愛知県内の冬季代かき後不耕起V溝播種を行ったほ場73筆の出芽率を調査した結果は平均値42.8%（平均値の95%信頼区間は±2.7%）であり、これに比較しても当試験の苗立率は劣るものではなかった。苗立数は、不耕起V溝播種区では185~203本/m²、ロータリシーダ区では127本/m²であった。不耕起V溝播種区では、ロータリシーダ区と同程度の苗立率であったが、播種量が多かったため苗立数が多い結果となった。

不耕起V溝播種における乾籾播種と浸種籾播種を比較すると、出芽初めは同じであったが、出芽揃いは浸種籾区が1日早かった。不耕起V溝播種区は、乾籾区が59.4~70.4%、浸種籾区が55.9~68.9%と同水準であり、苗立数もほぼ同水準であった。

不耕起V溝播種における播種溝明瞭区と不明瞭区を比較すると、出芽始め、出芽揃いに差はなかった。苗立率の差は11~13ポイントであったが、これらについて溝の形状による一定の傾向はみられず、苗立数の差も数パーセント程度であった。

(3) 鳥害

青森県で水稲直播栽培の出芽・苗立ち期に加害する主な鳥類は、カルガモ、スズメ、カラスである。試験ほ場ではこのうち、スズメの飛来は確認されなかったが、カルガモ、カラスは、ほ場周辺で営巣が確認されたため、飛来があったと推測される。しかし、いずれの区でも鳥害

による欠株は確認されなかった。

(4) 生育

ア 苗立ち期

不耕起V溝播種区の生育は、ロータリシーダ播種区より草丈が4cm前後、葉齢が0.5葉前後劣った。

苗立ち個体の白色茎部長は、不耕起V溝播種区では10mm前後、ロータリシーダ播種区では16.4mm前後であった。不耕起V溝播種では、乾籾区が浸種籾区より2mm程度長かった。播種溝の形状による差は小さかった。

イ 幼穂形成期頃の生育

不耕起V溝播種区はロータリシーダ播種区に比べて、草丈が短かったもののm²当たり茎数は多かった。不耕起V溝播種では、浸種籾区より乾籾区の茎数が多かった。播種溝の形状による差は小さかった。

ウ 出穂期

不耕起V溝播種区の出穂期は8月16~17日で、ロータリシーダ播種区と同等~1日遅かった。

エ 成熟期の生育

不耕起V溝播種区はロータリシーダ播種区に比べて、稈長が5cm程度短かく、1穂籾数は5~10粒程少なかったが、m²当たり穂数は多く、m²当たり籾数は多く2.9万粒前後となった。不耕起V溝播種における種子予措の違いでは、乾籾区は浸種籾区より、穂数が多くm²当たり籾数が多かった。播種溝の形状による差は小さかったが、明瞭区より不明瞭区の穂数が多く、m²当たり籾数が多い

傾向であった。

倒伏は不耕起V溝播種区が「無」～「微」、ロータリシード播種区が「少」であった。

(5) 収量、玄米品質

不耕起V溝播種区の収量は54kg/a程度でロータリシード播種区の50.3kg/aを上回った。濱田らが1995～1999年に行った愛知県内の冬季代かきほ場における不耕起V溝播種の収量調査結果は平均値 527 ± 10 g/m²であり、不耕起V溝播種区の収量はこれと同等の水準といえる。

登熟歩合、玄米千粒重、検査等級は不耕起V溝播種区とロータリシード播種区に大きな差は無く、登熟歩合は73～76%とやや低かったが、玄米千粒重は23.3～23.4gと大きく、検査等級は1等であった。

不耕起V溝播種における種子予措の違いでは、乾籾区と浸種籾区は収量・品質が同等であった。播種溝の形状による差は小さかったが、明瞭区より不明瞭区の収量が高い傾向であった。

(6) 考察

播種状況の結果より、消雪後の大豆跡復元田で不耕起V溝播種を行うと、V字状播種溝の形成が不十分になる部分があるものの、播種作業は正常に行うことができたといえる。問題は、V字状播種溝の形成が不十分な状態が、その後の出芽・苗立ちや生育にどの程度影響するかについてであるが、不明瞭区は、出芽・苗立ち状況と苗立期の生育において明瞭区と大きな差異は認められず、鳥害も無く、その後の生育・収量も良好な成績であった。これらの結果は、不耕起V溝播種機が大豆跡復元田の消雪後固結した土壌条件において実用的な播種精度を有していたことを示唆している。

濱田らは数年に渡り多くの現地ほ場の調査を行い、明瞭なV字状の播種溝が形成されない場合には、十分な播種深さが確保できず、播種後に飛来するハト及びカラスが明らかに多く観察されたことを報告している。これに対して筆者は、忌避剤の効果を期待しているが、実用性の判断には年次や場所を変えた検討が必要であろう。

種籾の種子予措については、乾籾が浸種籾に比べて出芽揃いが1日遅れたが、その後は生育はむしろ旺盛であった。ただし、収量・品質は同等であったことから、大きな差異ではなかったといえる。

栽培については、本試験の耕種条件で大きな問題はなかった。しかし、不耕起V溝播種の初期生育が慣行の乾田直播で使用するロータリシード播種より劣る点は、生産者にとって精神的なストレスとなることが予想される。また、寒冷地における水稻安定生産の基本技術ともいえる初期生育量の確保といった面からも、初期生育を促進する技術の検討が必要であると考えられる。

4 まとめ

水稻不耕起V溝直播を冬季代かきを行わず、消雪後固結した土壌状態の大豆跡復元田で行った。

V字状播種溝の形成は十分では無かったが、播種作業は正常に行うことができ、出芽・苗立ちは良好な成績であったため、播種精度は実用的なレベルと判断した。初期生育は緩慢であるが、生育中期以降の生育及び収量は慣行のロータリシード播種や愛知県の成績と比較して同等以上の成績であった。

以上のことから、積雪により冬季代かきが困難な寒冷地においても、水稻不耕起V溝直播の実用化は可能であるとの確信を得た。

参考文献

- 愛知県農業総合試験場作物研究部，不耕起V溝直播栽培の手引き（改訂第4版），2007
- 青森県農業試験場・栽培部，水稻乾田直播用播種機の開発，平成8年度 東北農業成果情報 No.11，65-66，1997
- 濱田千裕ら，水稻における不耕起V溝直播栽培の開発，日作紀 76(4)，508-518，2007

消雪後の固結土壌条件下における水稲不耕起V溝直播（第2報）

—復元田での栽培管理—

野沢智裕

Development of the V-furrow No-Till Direct Seeding on the Solid Soil Condition being after Thaw Period

Part 2: Cultivation of the Rice in the Field being after Upland Cropping

Tomohiro NOZAWA

〔キーワード〕 水稲、乾田直播、不耕起V溝直播、復元田、初期生育、栽培管理

1 はじめに

水稲不耕起V溝直播は、愛知県の大規模稲作農家を中心に急速に普及拡大している。

この水稲直播栽培方式は、播種前整地処理として冬季代かきを行うことにより、ほ場表面の不陸の解消と前作残渣の処理をし、土壌が乾燥固結した条件の下で不耕起V溝播種機を用いて高精度播種を行うものである。

筆者は、この技術を青森県に導入したいと考えた。しかし、温暖地である愛知県で開発された乾田直播技術であり、基本的には冬季代かき後の乾燥による固結土壌条件下での播種を前提としている。青森県は寒冷地であることや冬季には積雪があり代かきを行うことが困難であることなど、この技術を導入するためにはいくつかの課題を解決する必要がある。

筆者は、消雪後の大豆跡復元田の田面が乾燥固結すると、代かき後落水して固結した土壌状態に似ていることに着目し、大豆跡復元田を利用した冬季代かきを行わない水稲不耕起V溝直播について検討した。第1報では、大豆跡復元田における播種精度と生育状況について検討し、実用化が可能であるとの確信を得た。

本報では、第1報で明らかになった栽培上の課題を検討し、この栽培方法の実用性を高めるための栽培管理技術を構築する。

なお、この試験は財団法人農業技術協会新稲作研究会からの委託試験として行ったものであり、当研究会からのご指導、ご援助をいただいたことを付記する。

2 方法

(1) 供試機械及び調整

不耕起V溝播種区は、不耕起V溝直播機（S社製AD-100、条間20cm、10条、58.8kW（80馬力）装軌式トラクタ（Y社製CT801）に装着）で播種を行った。播種作業速度は4～5 km/hとした。

不耕起V溝直播機は、分銅付きの覆土チェーンにより播種溝の上縁を崩して軽微な覆土を行う構造になってい

るが、本試験では作用させずに使用した。これは、作溝輪により蹴り上げられた土壌が、種籾を露出させない程度の覆土となったためである。

(2) 試験条件

試験は、2006年に青森県農林総合研究センター30a区画試験ほ場（中粗粒灰色低地土）で行った。このほ場は、第1報供試ほ場の隣接ほ場であり、2004年水稲（移植）—2005年大豆—2006年水稲（本試験）と1年1作の輪作を行った復元田である。第1報供試ほ場と異なる点は、全湛水期間にわたって水持ちが悪く、特に湛水開始直後の減水深は5 cm以上あった（止水条件で10 cm以上の湛水深が2昼夜で無くなった）。大豆収穫後は、2005年11月に整地のためにロータリ耕を1回行っただけで、機械的な均平や鎮圧、冬季代かきは行わなかった。根雪期間は103日（2005年12月10日～2006年3月23日）で平年並みであった。最大積雪深は約1.27 m（2006年2月12日）であった。

水稲品種は、つがるロマン（中生、中短稈、偏穂重型、倒伏抵抗性：中）を供試した。播種は2006年4月25日に行った。播種後の水管理は慣行に従い、過乾燥と判断された5月11日、5月17日及び5月25日に走水を行い、全区が出芽揃い期に達した6月1日から湛水管理とした。中干しは、6月30日から7月23日まで行った。鳥害防止対策として、種籾に対する忌避剤（キヒゲンR-2フロアブル）塗沫処理と湛水初期から2週間程度の期間ほ場に防鳥糸を設置した。除草剤は、播種後出芽前にラウンドアップハイロード（5月16日散布）、湛水開始後にクリンチャー1キロ粒剤（6月3日散布）とトップガンフロアブル（6月8日散布）を使用した。その他の病害虫防除は慣行防除とした。収穫は10月6日に行った。

(3) 試験区の設定

初期生育が緩慢な点の改善方法として、表1に示したとおり、施肥法（LP、LPS、無肥料の3水準。LP、LPSは窒素を成分で0.2 kg/a施用）、播種量（6 kg/10a、8 kg/10a、10 kg/10aの3水準）、種子予措（乾籾、

浸種粉の2水準)の3要因を試験した。なお、LP肥料及びLPS肥料は窒素濃度40%前後と高く、これらの肥料単体で窒素成分0.2kg/aという少量の施肥設定ができなかった(供試機施肥ロールの調整下限以下)。よって、窒素濃度の低い(5%)の粒状有機質肥料で3倍に薄めて、目標施肥量を確保した。

表1 試験要因と水準

要因	水準		
A 施肥法 ¹⁾	LP	LPS	無施肥
B 播種量	6kg/10a	8kg/10a	10kg/10a
C 種子予措	乾粉	浸種粉	

注1) LP、LPSは溶出期間30日の被覆肥料。播種同時播種溝内施肥。

試験区の配置は播種作業効率を優先し、ほ場を3分割して施肥法の3水準を配置した。それぞれの施肥法区をさらに3分割し播種量の3水準を配置した。種子予措の配置は、播種条10条のうち左右各5条ずつに乾粉と浸種粉を播種した。なお、この試験区配置は、試験要因による変動と局所的な条件の違いによる変動との交絡が避けられない配置である。そのため、統計的に交互作用が検出された場合には技術的な判断を重視する必要がある。

白色茎部長調査は6月15日に、無作為に抽出した24地点より苗立ち個体を採取し、播種溝の形状別に集計した。出芽数及び生育調査は、播種溝の形状を区別せずに長さ2mの調査区間を各区1個所ずつ設置し、調査場所を固定して行った。収量は、生育調査地点の近くを3m刈り取り、脱穀調製して調査した。鳥害は、ほ場全体の出芽・苗立ち状況と播種後から苗立ち期まで鳥類の飛来状況を観察した。雑草発消生長は乾田期間に観察調査を行い、7月7日に残草調査を行った。

3 結果・考察

(1) 播種状況

供試ほ場の播種時の地耐力は十分で播種作業に支障はなかった。ただし、播種日までの数日間が雨天となったため、第1報の播種時より田面は軟らかかったが、足跡の沈下は5mm程度であった。

播種溝の形状は、土壤水分が高く暗色の場所では明瞭なV字型の溝となったが、土壤水分が低く明色の部分では播種溝が不明瞭であった。播種溝が明瞭なところと不明瞭なところの割合は、概ね6:4であった。

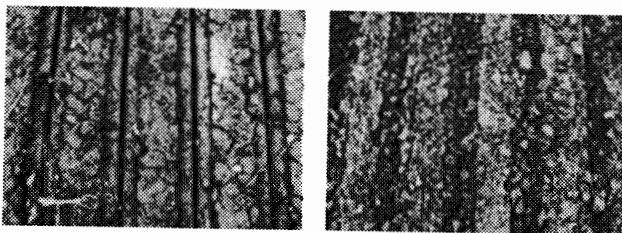
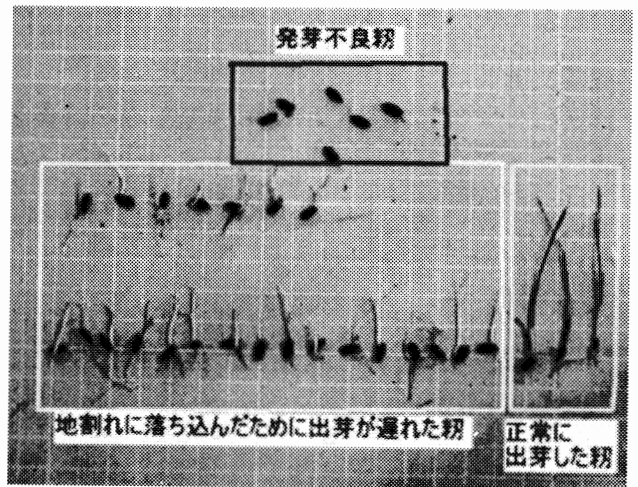


図1 播種溝の様子(左:溝明瞭、右:溝不明瞭)

(2) 出芽・苗立状況

出芽始めは各区とも5月23日で、出芽揃いは試験処理に無関係にばらついたが6月1日と判断した。

苗立ちは概ね良好であったが、水口付近では走水が停滞して乾燥が遅れ、播種溝が明瞭な個所に特異的に欠株が発生した。カルガモによる食害に似ていたが、欠株の原因は、播種溝の底に発生した地割れに種粉や出芽直後の個体が落ち込んだことによるものであった。地割れに落下した個体は、正常な個体に比べて生育の進展が大幅に遅れ、湛水後に散布した除草剤による葉害を受けて最終的には欠株となったと考えられる。



注) 1条、長さ50cm、深さ10cmの掘取調査、6月15日
図2 地割れによる出芽障害

苗立ち個体の白色茎部長は、全体では5~25mmの出現頻度が高かった。播種溝が不明瞭であった部分は10~20mmの出現頻度が高かった。播種溝が明瞭であった部分は、不明瞭であった部分に比較してばらつきが大きかった。

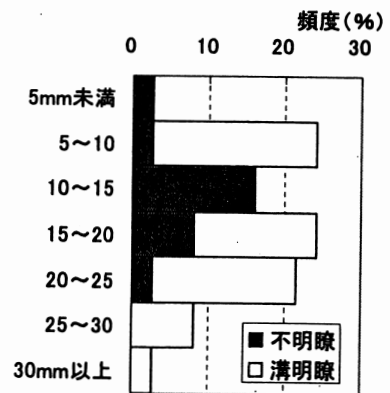
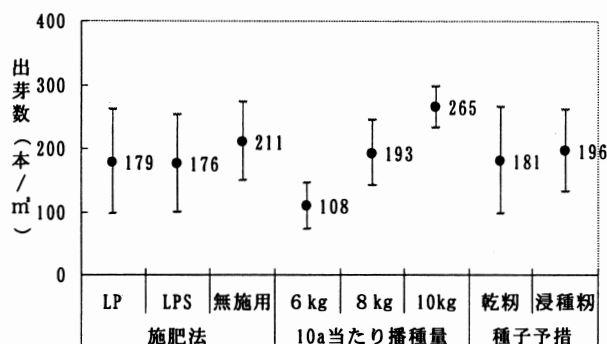


図3 白色茎部長の出現頻度

図4に出芽数に関する各要因・水準の平均値、表2に出芽数に関する分散分析表を示した。出芽数に対しては、特に播種量の影響が大きく、その寄与率は70.4%と高か

った。播種量を6kg/10aから10kg/10aに変えることにより出芽数は平均で108本/m²から265本/m²に増加した。施肥法にも有意差が認められ出芽数に影響した。施肥法と播種量の交互作用は寄与率11.0%の影響を及ぼしたが、無施肥区の播種量10kg/10aの調査地点が走水の不足により出芽が遅れたためである。種子予措の違いでは、乾粉と浸種粉に有意差は無かった。



注1) エラーバーは標準偏差 (以下同様)

注2) 調査月日: 5月31日

図4 出芽数に関する各要因・水準の平均値

表2 出芽数に関する分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値 ¹⁾	寄与率(%)
A 施肥法	4526	2	2262.8	8.49 *	3.9
B 播種量	73388	2	36694.1	137.60 **	70.4
C 種子予措	1128	1	1128.1	4.23	0.8
A×B	12485	4	3121.2	11.70 *	11.0
A×C	5781	2	2890.6	10.84 *	5.1
B×C	5152	2	2576.0	9.66 *	4.4
誤差	1067	4	266.7		4.4
全体	103527	17			100

注1) **:1%有意 * :5%有意

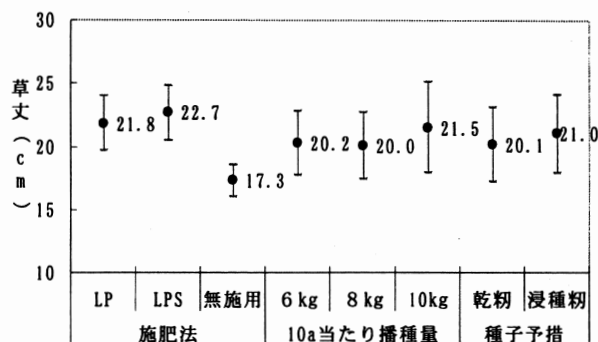
(3) 生育と収量

ア 生育初期の草丈

図5に苗立ち期の草丈に関する各要因・水準の平均値、表3に苗立ち期の草丈に関する分散分析表を示した。苗立ち期の草丈に対しては、特に施肥法の影響が大きく、その寄与率は55.7%と高かった。LP肥料又はLPS肥料で0.2kg/a施肥することによって、草丈が無施肥区より平均値で4.5~5.4cm長くなった。播種量と種子予措は有意差が無かった。

図6に幼穂形成期頃の草丈に関する各要因・水準の平均値、表4に幼穂形成期頃の草丈に関する分散分析表を示した。幼穂形成期頃の草丈に対しては、施肥法と播種量が有意な要因であり、それぞれの寄与率は54.4%、12.9%であった。LP肥料又はLPS肥料を施用することによって、草丈が無施肥区より平均値でそれぞれ6.8cm又は5.0cm長くなった。LP肥料又とLPS肥料の差は1.8cmと小差であった。一方、播種量による幼穂形成期の草丈の変動は3.4cmであった。この差は統計的には有

意であるが、8kg/10aが6kg/10aや10kg/10aより短かったことによるものあり、技術的に説明しづらい差である。播種量と種子予措の交互作用も同様である。種子予措は有意差が無かった。



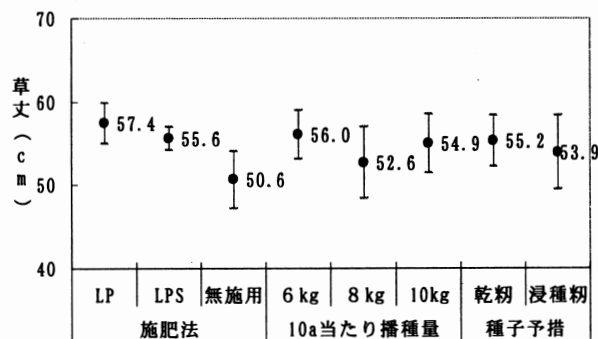
注) 調査月日: 6月19日

図5 苗立ち期の草丈に関する各要因・水準の平均値

表3 苗立ち期の草丈に関する分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値 ¹⁾	寄与率(%)
A 施肥法	100.9	2	50.5	11.57 *	55.7
B 播種量	7.8	2	3.9	0.89	0.0
C 種子予措	3.7	1	3.7	0.86	0.0
A×B	21.8	4	5.5	1.25	3.1
A×C	2.6	2	1.3	0.29	0.0
B×C	12.7	2	6.3	1.45	3.7
誤差	17.5	4	4.4		37.5
全体	167.0	17			100

注1) *:5%有意



注) 調査月日: 7月27日

図6 幼穂形成期頃の草丈に関する各要因・水準の平均値

表4 幼穂形成期頃の草丈に関する分散分析表

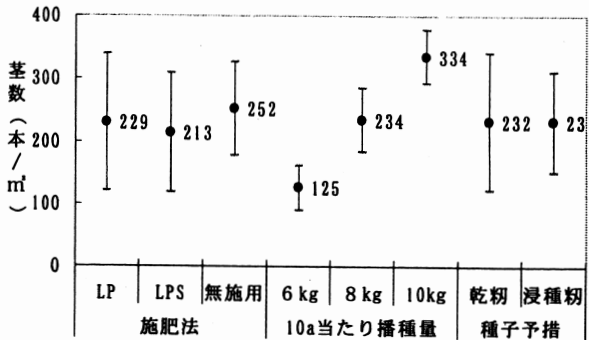
要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値 ¹⁾	寄与率(%)
A 施肥法	147	2	73.6	65.58 **	54.4
B 播種量	36	2	17.8	15.90 *	12.9
C 種子予措	8	1	7.7	6.84	2.0
A×B	10	4	2.5	2.25	3.2
A×C	11	2	5.6	5.00	2.1
B×C	46	2	23.2	20.66 **	18.1
誤差	4	4	1.1		7.3
全体	263	17			100

注1) **:1%有意 * :5%有意

以上、LP肥料又はLPS肥料による0.2kg/aの窒素施用が草丈を伸長させる効果を確認した。

イ 生育初期の莖数

図7に苗立ち期の莖数に関する各要因・水準の平均値、表5に苗立ち期の莖数に関する分散分析表を示した。苗立ち期の莖数に対しては、播種量が有意な要因であり、寄与率は78.4%と高かった。播種量を6kg/10aから10kg/10aに変えることにより、莖数は平均で125本/m²から334本/m²に直線的に増加した。施肥法、種子予措には有意差が無かった。



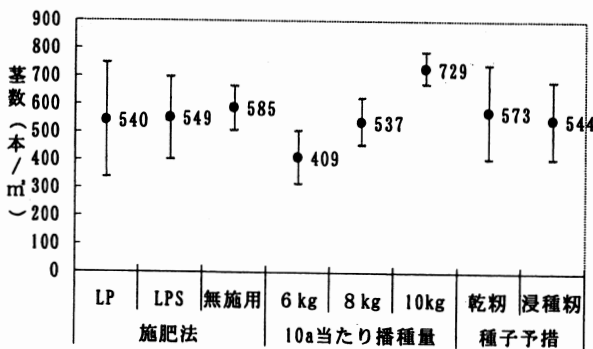
注) 調査月日: 5月31日

図7 苗立ち期の莖数に関する各要因・水準の平均値

表5 苗立ち期の莖数に関する分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値 ¹⁾	寄与率(%)
A 施肥法	4751	2	2375.3	2.58	1.8
B 播種量	131336	2	65668.1	71.37	** 78.4
C 種子予措	6	1	5.6	0.01	0.0
A×B	12385	4	3096.2	3.36	5.3
A×C	3009	2	1504.5	1.64	0.7
B×C	10186	2	5093.1	5.54	5.1
誤差	3681	4	920.1		8.8
全体	165353	17			100

注1) **:1%有意



注) 調査月日: 7月27日

図8 幼穂形成期頃の莖数に関する各要因・水準の平均値

図8に幼穂形成期頃の莖数に関する各要因・水準の平均値、表6に幼穂形成期頃の莖数に関する分散分析表を示した。幼穂形成期の莖数に対しても、播種量が有意な要因であり、寄与率は71.0%と高かった。播種量を6kg/10aから10kg/10aに変えることにより、莖数は平均で

409本/m²から729本/m²に直線的に増加した。施肥法、種子予措には有意差が無かった。

以上、播種量の増加が莖数を増加させる効果を認めた。

表6 幼穂形成期頃の莖数に関する分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値 ¹⁾	寄与率(%)
A 施肥法	6922	2	3460.8	1.28	0.4
B 播種量	310572	2	155285.8	57.29	** 71.0
C 種子予措	3828	1	3828.1	1.41	0.3
A×B	57664	4	14416.0	5.32	10.9
A×C	4731	2	2365.6	0.87	0.0
B×C	35265	2	17632.3	6.51	7.0
誤差	10842	4	2710.4		10.6
全体	429823	17			100

注1) **:1%有意

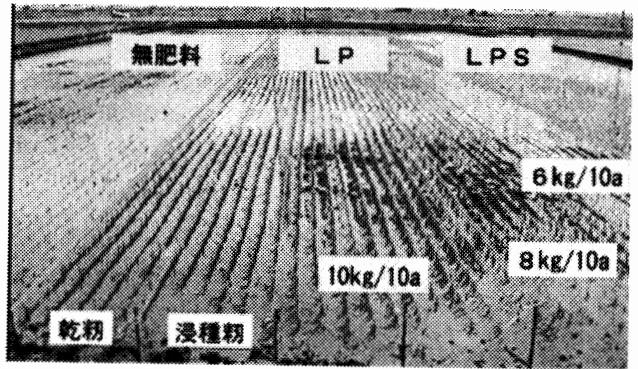


図9 試験ほ場の初期生育(6月19日撮影)

ウ 出穂期

出穂期は8月15日~8月16日の範囲で変動したが、試験区内では斉一であった。LP肥料又はLPS肥料を施肥した区が無施肥区より1日程度早く、隣接ほ場の湛水土中直播と同等であった。播種量と種子予措による差は確認されなかった。

エ 収量

図10に収量に関する各要因・水準の平均値、表7に収量に関する分散分析表を示した。収量に対しては、施肥法と播種量が有意な要因であり、寄与率はそれぞれ47.5%、26.0%であった。LP肥料又はLPS肥料を施用することによって、収量は無施肥区より平均値でそれぞれ8.2kg/a又は7.0kg/a増加した。LP肥料又とLPS肥料の収量差は1.2kg/aと小差であった。播種量を6kg/10aから10kg/10aに変えることにより収量は平均で47.1kg/aから53.8kg/aに増加した。ただし、施肥法と播種量の組み合わせにおいて有意な交互作用がみられ、寄与率は15.7%であった。交互作用は図11のとおりで、LP肥料及びLPS肥料を施用した場合には播種量の増加に伴い増収したが、肥料無施用ではほとんど収量の変化が無い結果を示していた。LP肥料では、播種量を6kg/10aから8kg/10aに増加した場合6.9kg/a増収し、播種量を8kg/10aから10kg/10aに増加した場合2.6kg/a増収した。種子予措には有意差が無かった。

なお、全区とも倒伏は無く、検査等級は1等であった。

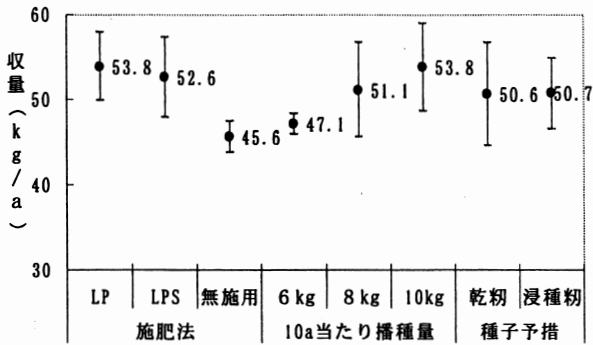


図10 収量に関する各要因・水準の平均値

表7 収量に関する分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値 ¹⁾	寄与率(%)
A 施肥法	236	2	117.8	50.45 **	47.5
B 播種量	138	2	68.9	29.51 **	26.0
C 種子予措	0	1	0.0	0.01	0.0
A×B	91	4	22.8	9.75 *	15.7
A×C	8	2	4.1	1.75	0.6
B×C	5	2	2.6	1.13	0.0
誤差	9	4	2.3		10.3
全体	487	17			100

注1) **:1%有意 * :5%有意

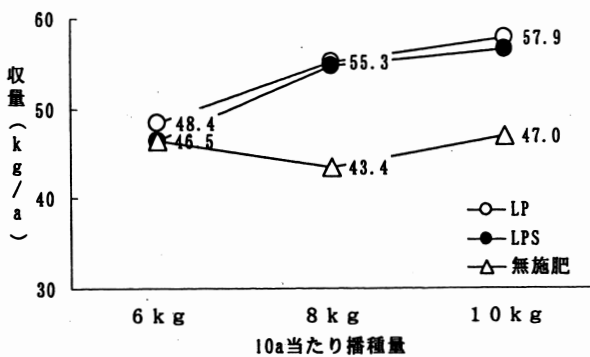


図11 収量に関する施肥法と播種量の交互作用

(5) 鳥害程度

供試ほ場には、カラスが度々飛来したが、滞在時間は短く、ほとんど摂食活動をしていない様子であった。スズメの飛来は確認されなかった。カルガモは飛来を確認できなかったが、侵入した形跡があった。しかし、これらの鳥類による欠株は発生せず、実害は無かった。ちなみに隣接ほ場は湛水土中直播栽培であり、播種後落水管理時に30羽余りのカラスが飛来し長時間にわたり露出籾等を摂食している様子が確認できた。また、湛水後は苗立ち不良の場所を中心にカルガモによる食害を受け、欠株となった部分があった。



図12 隣接ほ場(湛水土中直播)のカラスの摂食活動

(6) 雑草発消長

播種後、越冬雑草やノビエを含む一年生雑草が目立ったが、出芽直前のラウンドアップハイロード散布で枯殺できた。しかし直後にノビエが再発生し、イネが1.5葉期になる前に2.5葉以上に生長した。雑草害は無かったが、ノビエ、タウコギの残草量が多かった。

表8 主な雑草の残草量

草種	本数 (本/m ²)	風乾重 (g/m ²)	草丈 (cm)
ノビエ	3.17	4.04	30
タウコギ	6.33	2.06	10
イボクサ	0.08	0.01	10
アゼナ類	0.33	0.01	5

注)7月7日0.6m×20m調査、草丈は概数

(7) 考察

ア 施肥法、播種量、種子予措について

LP肥料又はLPS肥料による0.2kg/aの施肥は、生育初期の草丈の伸長に対して有効であった。施肥により出芽数が若干低下する傾向がみられが、苗立ち期と幼穂形成期の茎数に有意差はみられず、播種量8kg/10a以上の場合、最終的には無施用より増収した。出芽数の低下は、LP又はLPS肥料の増量に用いた粒状有機質肥料による塩類濃度障害の可能性もあるため、肥料の増量方法はに再考の余地があると考ええる。

本試験では溶出期間30日タイプの肥効調節型肥料による窒素量0.2kg/aの基肥を行った。第1報では基肥は無施用であったが、速効性肥料による窒素量0.1~0.2kg/aの初期追肥を行った。いずれも良好な収量が得られ、倒伏の問題も無かった。この結果より、大豆後復元田における水稲不耕起V溝直播の適施肥量は0.2kg/a程度と推定され、苗立ち期から分けつ初期にかけて肥効のある施肥法が有効であるといえる。

播種量は生育初期茎数の増加及び収量に対して影響が大きく、増加するほど初期生育において茎数を確保し、

収量も増加したため、適播種量の確保は重要であるといえる。収量は6 kg/10aと8 kg/10aの差が6.9kg/aと大きかったが、8 kg/10aと10kg/10aの差は2.6kg/aと小さかった。前年(第1報)も8 kg/10aで良好な収量が得られていることから、播種量は8 kg/10a確保以上するべきだと考える。

種子予措は、乾籾と浸種籾に有意差が無かった。このため、種子予措の選択は、作業性や使用する忌避剤及び種子消毒剤などに合わせて都合の良い方法を選択するのが妥当であろう。ただし、本試験の結果は早期播種(水稻播種好適期間の始期とされる日平均気温13℃を確保できる日より早い時期に播種すること)の条件であったため、出芽に好適な温度に種籾が遭遇するまで十分な期間があった。その間に乾籾は吸水と胚芽の活性化が進み、浸種籾に近い状態になっていたと推察される。播種直後から出芽に好適な温度に遭遇する適期播種の場合には、今回の結果と異なることが予想される。

イ 播種溝の状況と鳥害について

播種溝の状況は、第1報と同様に溝が明瞭なところと不明瞭なところが混在したが、出芽・苗立ちは概ね良好であった。苗立個体の白色茎部長は5~25mmの頻度が高く、特に播種溝が不明瞭なところでは青森県での乾田直播の適播種深さ(10mm程度)と一致する白色茎部長であった。このことは播種溝が不明瞭となった方が適度な覆土量であったことを示唆している。明瞭なV溝になったところでは走水が出芽障害になった場合があったため、出芽までの土壌水分管理は慎重に行う必要がある。

鳥害については、隣接ほ場(湛水土中直播)で食害が確認されたが、当試験ほ場への侵入は少なく実害も無かった。これは第1報とほぼ同様の結果であり、忌避剤の利用と防鳥糸を組み合わせることで一定の鳥害防止効果が得られることを示唆している。

ウ 出芽揃いまでの水管理

土壌水分管理のため走水を行ったが、試験処理に無関係に出芽がばらついた。しかし、出穂は斉一であったため、出芽のばらつきは許容できる範囲であったといえる。一方、水口付近では走水が停滞して乾燥が遅れ、播種溝が明瞭な個所に特異的に欠株が発生した。このことから、出芽揃いまでの土壌水分管理方法は、慣行より慎重に行う必要がある。

エ 雑草防除について

本試験の除草体系は、ラウンドアップハイロード+クリンチャー1キロ粒剤+トップガンフロアブルであった。この体系で、出芽前に発生する越冬雑草やノビエを含む一年生雑草は枯殺できたが、その後に発生してきたノビエ、タウコギが残草した。除草体系は使用時期や剤の選択を含めて再検討が必要である。

オ ほ場の均平について

ほ場均平については、第1報と本報で田面の不陸に起

因した栽培上の問題はみられなかったことから、代かきを行う水稻移植栽培とローテーションすることで必要なほ場均平の確保ができると考える。

(8) 今後の展開

明瞭なV字状の播種溝が形成できなくても、出芽・苗立ちが良好で、鳥害も克服できる可能性が高まった。V溝の形成に神経質にならないければ、不耕起V溝直播機の適用範囲はさらに広まるだろう。今後は、不耕起V溝直播機を使用したV字状の溝にこだわらない不耕起播種の実用化について検討を進めたいと筆者は考えている。

水稻収穫後ほ場をロータリで秋耕すると、消雪時の融雪水により土塊崩壊し、トラクタが沈下しない程度に乾燥固結する。大豆跡復元田より播種溝が不明瞭になること予想されるが、今後はこの条件で試験してみたい。

4 まとめ

積雪寒冷地において、大豆跡復元田が消雪後固結する土壌状態を利用して水稻不耕起V溝直播を行う場合の栽培管理について検討を行った。

苗立ち期から分けつ初期にかけて肥効の発現する形態の窒素肥料を成分量で0.2kg/a施用し、8 kg/10a以上の播種量を確保することにより、初期生育量が増化し、55~58kg/aの収量を得た。種子予措は乾籾と浸種籾で差がなかった。

明瞭なV字状の播種溝はほ場全体の6割程度しか形成できなかったが、鳥害や倒伏の発生は無かった。

乾田期間の走水はV字状播種溝に地割れを生じさせ、欠株の原因になる場合があった。

雑草防除は、水稻出芽前の雑草に対してはラウンドアップハイロードが有効であったが、その後に発生する雑草が多く残り課題が残った。

ほ場均平については、均平作業を実施しなくても栽培上の問題はみられなかった。

参考文献

- 愛知県農業総合試験場作物研究部, 不耕起V溝直播栽培の手引き(改訂第4版), 2007
- 野沢智裕, 消雪後の固結土壌条件下における水稻不耕起V溝直播(第1報) - 大豆跡復元田での播種精度と生育状況 -, 農業機械学会東北支部報 No.54, 9-12, 2007
- 濱田千裕ら, 水稻における不耕起V溝直播栽培の開発, 日作紀 76(4), 508-518, 2007

急傾斜放牧地での無線草刈機利用技術の開発

片平光彦* 植村鉄矢** 齊藤昌昭*** 澁谷 功*

Development of Radio Controlled Mower Using Technique for Steeply Sloping Grassland

Mitsuhiro KATAHIRA*, Tetsuya UEMURA**, Masaki SAITOU*** Isao SHIBUYA*

Abstract

This study investigated rate of working and light-duty of radio controlled mower for the steeply hillside grassland. And, this paper estimated the public ranches in the Akita prefecture to be able to use the radio controlled mower. The rate of working of radio controlled mower is 0.3 h/10a, and the rate of labor saving was 86.5% for bush cutter, 71.1% for walking type mower, -22.1% for riding type mower. The work load level of the mechanization district was 10.0 to 10.4 point/10a, and working posture was improved AC1 (for OWAS method). The public ranches of the same height for Nabegasawa ranch existed at seven places in the Akita prefecture. The radio controlled mower can effective use for Yanagisawa Nagakura ranch, Sotohata ranch, Okuyama ranch, Bokunokisawa ranch, Norogawa ranch, Hanadate ranch, respectively.

[Key Words] steeply hillside grassland, radio controlled mower, rate of working, light-duty, rate of labor saving, work load level, working posture, OWAS method

1. 緒言

秋田県の公共放牧場は、平成18年度で32箇所、草地面積1512ha、放牧頭数1877頭（放牧可能頭数：2336頭）で、充足率が80%である。この中で中山間に位置した公共放牧場では、急傾斜な草地を有するため、機械作業が困難で草地面積の維持管理が不足している。また、それらの牧場では、放牧牛の減少に伴い急傾斜地を中心に放牧圧が低下し、草地が荒廃する事例も多い。荒廃した草地は、ワラビなどの雑草が繁茂して放牧に適さないだけでなく、牧場全体の景観を悪化する。

荒廃した草地を回復するには、繁茂した雑草を刈り取り、その後には牧草の播種と施肥を行う必要がある。しかし、急傾斜地でそれらの作業を行うには、作業者に対する負担と危険が大きく、管理者の高齢化に伴い年々困難な状況になっている。

本報は、急傾斜地を有する秋田県横手市内の鍋ヶ沢牧場（標高260～440m、全12牧区、草地面積25.9ha）に対し、急傾斜地での作業に適した無線草刈機を導入し、作業能率と軽労効果について検討した。また、秋田県内の50m標高メッシュと鍋ヶ沢牧場を含む県内公共牧場の地理情報を統合し、無線草刈機が導入可能な牧場を推定した。

2. 試験方法

(1) 試験場所

試験は秋田県横手市内の鍋ヶ沢牧場（2006年度放牧頭数：26頭、充足率37%）で行った。

(2) 試験機

1) 草刈り試験：無線草刈機（クボタ、AMX-7型）と乗用草刈機（コマツ、ZHM1710型）、歩行用草刈機（スター、GS230-2GML型）と刈払機を用いた。

2) 施肥・播種試験：施肥は人力の散布機を用いた。牧草の播種は、人力の散粒機と動散を用いた。

3) 地理情報調査：草刈り試験を行った牧区の外周をGPS（Trimble, Pathfinder Pro XR型）で測量し、得られた情報をGISツール（ESRI, ArcView3.3）と数値地図50m標高メッシュ（国土地理院発行）で解析した。

(3) 試験区

草刈り試験は、刈払機と歩行用草刈機を用いた慣行区、乗用草刈機と無線草刈機を用いた機械化区を設定した。なお、施肥・播種試験は慣行区のみで行った。

(4) 検討項目

1) 作業能率：作業能率（h/10a）は、草刈作業を行った作業時間を測定し、それを作業面積で除して算出した。

2) 心拍：作業者の心拍を心拍計（セイコー、SPGF-002型）で計測し、安静時からの増加率を算出した。

3) 作業負担度：デジタルビデオカメラ（松下、SV-AV30型）で作業を撮影し、映像を5秒間隔で読み

* : 秋田県農林水産技術センター

** : 秋田県農林水産技術センター畜産試験場

*** : 秋田県平鹿地域振興局

秋田県秋田市雄和相川字源八沢34-1

秋田県大仙市神宮寺字海草沼谷地13-3

秋田県横手市旭川1丁目3番41号

取り、作業姿勢を長町式姿勢区分の22段階とOWAS法(AC1~4に発生頻度で分類、ACが大きいほど要改善)で分析した後、作業負担度(点/10a:作業姿勢区分点×作業能率(h/10a))を算出した。

(5) 作業概要:草刈り作業は、2006年8月3日と9月12日に行った。施肥・播種作業は2006年9月5日に、粒状よりんを100kg/ha、ケンタッキーブルーグラス20kg、ペレニアルライグラス15kg、トルフェスク4kg、オーチャードグラス7kg、白クローバ4kgを散布した。

3. 結果と考察

(1) 草刈試験

試験に使用した無線草刈機を図1、慣行の刈払機での作業を図2に示す。無線草刈機は無線操作可能距離が約100m、質量2680kg、機関出力49kW、最大登坂角度45°、静的転倒角65°の機能を有し、機体前方にフレールモア等を取り付けて作業できる。

草刈り試験の作業能率と作業姿勢評価点を表1に示

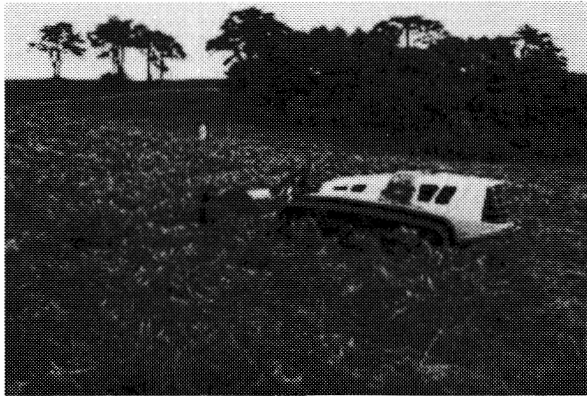


図1 無線草刈機の作業状態



図2 刈払機の作業状態

表1 各試験区の作業能率と作業姿勢評価

試験区	測定項目	刈刈長 (m)	平均作業幅 (m)	重複率 (%)	作業速度 (m/s)	作業能率 (h/10a)	作業姿勢評価 (点)
慣行区	刈払機	-	-	-	0.1	2.2	5.1
	歩行用草刈機	1.33	-	-	0.5	1.0	3.5
機械化区	乗用草刈機	1.70	1.40	17.6	1.4	0.1	1.0
	無線草刈機	1.89	1.60	15.3	0.8	0.3	1.4

注:重複率=(刈刈長-平均作業幅)/刈刈長

す。無線草刈機は、作業能率が0.3h/10aとなり、省力化率が慣行区と比較して刈払機の86.5%、歩行用草刈機の71.1%であった。なお、機械化区の乗用草刈機との比較では、省力化率が-22.1%であった。各試験区の姿勢評価点は、慣行区が3.5~5.1点、機械化区が1.0~1.4点であった。

機械化区は、急傾斜の放牧場でも0.8~1.4m/sの速度で作業が可能で、かつ1.4~1.6mの作業幅を有するため、慣行区よりも作業能率が向上した。無線草刈機は、乗用草刈機よりも作業の重複率が2.3%少なかったが、作業速度が44%遅くなり作業能率を低下した。

機械化区は、直立状態や無線操作に伴う歩行状態であるため、作業を行いながら移動する慣行区よりも作業姿勢評価点が少なかった。乗用草刈機は、無線草刈機よりも動作が稀少で作業姿勢評価点が少なかったが、30°近い傾斜地や急峻な谷近くで作業する場合、無線草刈機に対する作業姿勢の改善効果以上に作業者に多大な危険を及ぼすめ、作業リスクが高いといえる。

(2) 施肥・播種試験

鍋ヶ沢牧場での施肥作業を図3、各作業の能率と作業姿勢評価点を表2に示す。



図3 人力散布機での施肥作業

表2 施肥・播種作業での能率と作業姿勢評価

試験機	測定項目	散布量 (kg/回)	散布回数	散布時間 (sec/回)	作業能率 (h/10a)	作業姿勢評価 (点)
散布機(施肥)	散布機(施肥)	20.0	10	250	0.07	6.5
	散粒機	2.4	22	392	0.24	6.0
	動散	8.0	7	217	0.04	7.1

注1:作業面積、1haで試算

肥料散布に用いた人力散布機は、作業能率が0.07h/10aであった。播種作業の作業能率は散粒機が0.24h/10a、動散が0.04h/10aであった。各作業機での作業姿勢評価点は、6.0~7.1点であった。

慣行作業での資材の投入量は、人力散布機で20kg、播種用の各作業機で2~8kgとなり、粒状肥料を500kg程度投入できるブロードキャストと比較して少なく、散布回数が多くなった。また、各作業機の散布幅は散粒機で約6m(無風時)、動散で有効到達距離が20mとされ

ている⁹⁾。すなわち、人力散布機と散粒機を用いて急傾斜地の草地に資材を散布するには、作業機への資材の投入量が少なく散布幅も狭いため、作業者の移動距離が長くなり作業能率が低下した。動散は散布量が多く散布幅も広範であるが、作業機の質量が重く、身体の動作も大きいため、作業姿勢評価点が高かった。

(3) 作業負担度と作業姿勢評価

草刈り作業での作業負担度と OWAS 全体評価を図 4 と図 5、同様に施肥・播種作業を図 6 と図 7 に示す。また、各作業の OWAS 部位別評価を表 3 に示す。

草刈り作業の作業負担度は、刈払機で体幹を曲げながらのひねり姿勢が 92%発生したため、11.1 点/10a と最も高くなった。機械化区での作業負担度は、いずれも直立姿勢での作業であるため、0.1 ~ 0.4 点/10a になった。

作業姿勢は、慣行区の歩行用草刈機で体幹を曲げなが

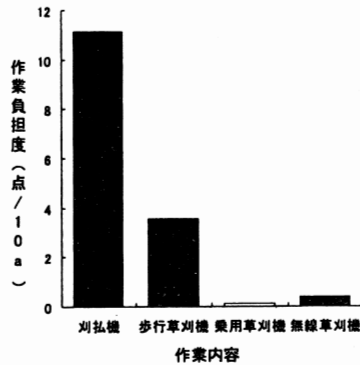


図 4 草刈り作業での作業負担度評価

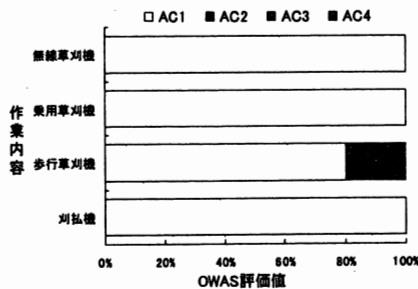


図 5 草刈り作業でのOWAS全体評価値

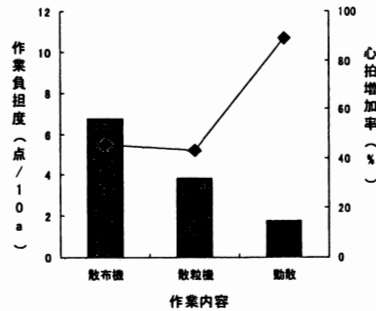


図 6 施肥・播種作業での作業負担度評価

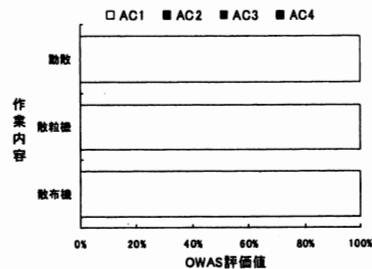


図 7 施肥・播種作業でのOWAS全体評価値

ら作業機を持ち上げて旋回する姿勢が 20%発生したため、他の作業機よりも AC3 の割合が増加した。それ以外の作業機は、AC1 の割合が 100%となり、作業姿勢面での負担が少なかった。作業姿勢の部位別評価では、慣行区の刈払機で背部ひねりが 92%と AC3 を発生したため、作業姿勢の改善が必要であった。機械化区では、背部の曲げやひねりの姿勢が全て解消され、作業姿勢を AC1 に改善できた。

施肥と播種作業では、播種作業に使用した動散の作業能率が高いため、作業負担度が 3.5 点/10a と最も小さかった。しかし、動散は作業機の質量が重いため、作業者に対する影響が多くなり、心拍増加率が他の作業機よりも高くなった。作業姿勢については、各作業機とも改善点がなかった。

(4) GIS を用いた作業適地の推定

鍋ヶ沢牧場の標高マップと草地の状況を図 8 に示す。

表 3 各作業のOWAS部位別評価値

作業状態	部位・分類	背部						下肢					
		まっすぐ		前後に曲げる		ひねるor横曲げ		両足曲げず立つ		片足曲げず立つ		歩行か移動	
		頻度	AC	頻度	AC	頻度	AC	頻度	AC	頻度	AC	頻度	AC
草刈り	刈払機	8	1	0	1	92	3	0	1	0	1	100	2
	歩行草刈機	80	1	20	1	0	1	0	1	0	1	100	2
	乗用草刈機	100	1	0	1	0	1	100	2	0	1	0	1
	無線草刈機	100	1	0	1	0	1	15	1	0	1	85	1・2
施肥・播種	散布機	96	1	0	1	4	1	0	1	0	1	100	1
	散粒機	100	1	0	1	0	1	0	1	0	1	100	2
	動散	88	1	0	1	12	1	16	1	0	1	84	1・2

注1: OWAS評価部位の中で下肢部分は、“両腕が肩から下”の発生頻度が全項目で100%、AC1の評価
 注2: 背部の評価項目のうち、“ひねりと曲げ”の発生頻度は全項目で0%、AC1の評価
 注3: 脚部の評価項目のうち、“椅子座り”、“両膝曲げ立ち”、“片膝曲げ立ち”、“膝立ち”の発生頻度は全項目で0%、AC1の評価

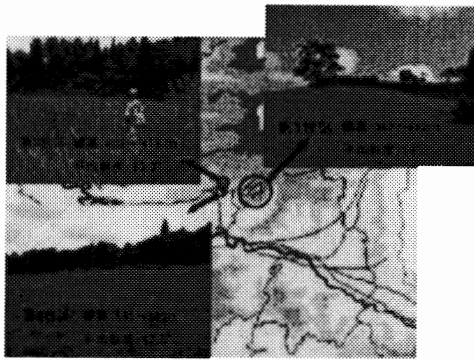


図8 鍋ヶ沢牧場周辺の標高マップと試験草地の状況

鍋ヶ沢牧場での草刈り作業は、標高 367 ~ 482m、平均斜度 14° の第3 牧区、標高 353 ~ 382m、平均斜度 12.5° の第8 牧区、標高 402 ~ 415m、平均斜度 13.2° の第9 牧区で行われた。同牧区を含む地域の総面積は約 3.6ha、その範囲での標高値の分散は 1364 であった。

秋田県北部と南部の公共牧場と鍋ヶ沢牧場との同標高帯の分布を図9、10に示す。

鍋ヶ沢牧場と同標高帯に位置する公共牧場は、柳沢長倉牧場（標高：283m）、増田町営外畑牧場（標高：260mm）、鳥海町営奥山放牧場（標高：298m）、朴ノ木沢放牧場（標高：265m）、西木村営大覚野牧場（標高：429m）、森吉町ノロ川牧場（標高：261m）、花立畜産センター（標高：427m）の7カ所である。なお、鍋ヶ沢牧場より高い標高に位置するのは、高津森放牧場（標高：806m）であった。

ジオコードアドレスマッチングによる県内公共牧場の位置を中心に、測量した鍋ヶ沢牧場と同面積の範囲をバッファし、そこに含まれる標高を基に算出した χ^2 値と平均標高の分布図を図11に示す。

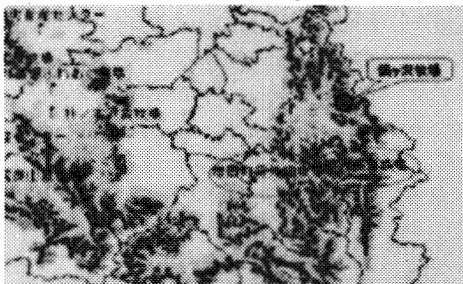


図9 秋田県南部の公共牧場と鍋ヶ沢牧場同標高帯図

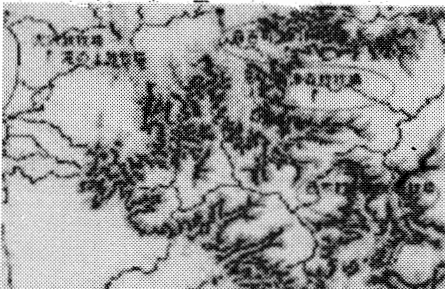


図10 秋田県北部の公共牧場と鍋ヶ沢牧場同標高帯図

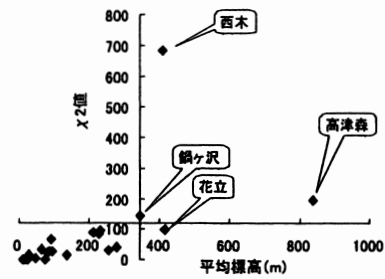


図11 標高の χ^2 値と平均標高の分布

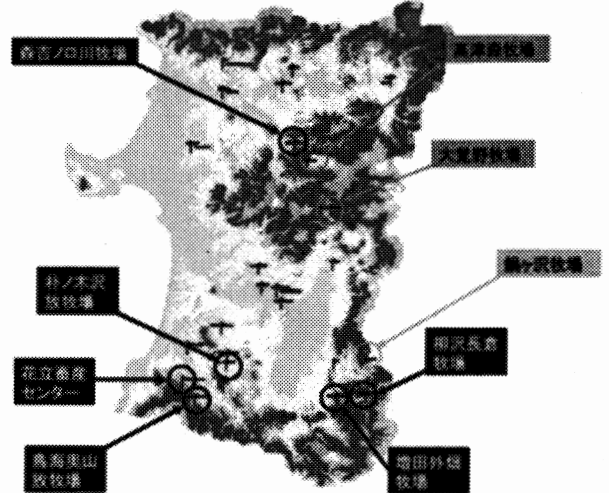


図12 秋田県内での無線草刈機適地マップ

その結果、鍋ヶ沢牧場よりも標高分散が小さい牧場 (χ^2 : 116 未満) は 30 カ所、標高の分散が大きい牧場は西木村営大覚野牧場、高津森放牧場であった。すなわち、秋田県内の公共牧場では、鍋ヶ沢牧場よりも標高分散が小さく、同標高帯に位置する図12に赤枠で示した柳沢長倉牧場、増田町営外畑牧場、鳥海町営奥山放牧場、朴ノ木沢放牧場、森吉町ノロ川牧場、花立畜産センターが無線草刈機の利用に最も適している。

4. 摘要

- 1) 無線草刈機の省力化率は、刈払機の 86.5%、歩行用草刈機の 71.1%、乗用草刈機の 22.1%であった。
- 2) 機械化区の草刈り作業では、作業負担度を 0.1 ~ 0.4 点/10a、作業姿勢を AC1 に改善した。
- 3) 秋田県内で鍋ヶ沢牧場と同標高帯に位置する公共牧場は 7 カ所、高い標高に位置するのが 1 カ所である
- 4) 無線草刈機は、秋田県内の公共牧場の中で鍋ヶ沢牧場と同標高帯に位置する柳沢長倉牧場、増田町営外畑牧場、鳥海町営奥山放牧場、朴ノ木沢放牧場、森吉町ノロ川牧場、花立畜産センターに対する適合度が高い。

謝辞: 本報は平成 17 年度 ~ 18 年度農林水産研究高度化事業により得られた成果である。関係各位に謹んで謝意を表す。

参考文献

1) 庄司英信・佐野文彦・木谷収：農業機械学概論，179，1996

自脱コンバイン・汎用コンバインを用いたヒマワリの脱穀

青田 聡*・棚橋 紺**

Threshing sunflower seed by combine

Satoshi AOTA *, Kon TANAHASHI **

[キーワード] ヒマワリ、脱穀、自脱コンバイン、汎用コンバイン

1 はじめに

ヒマワリやナタネなどの油糧作物から搾油される油はアルカリ触媒法、超臨界法等の処理を経てバイオディーゼル燃料となることが知られている。バイオディーゼル燃料から発生するCO₂は温室効果ガスとしてカウントされないカーボンニュートラルの特性を持つことから、この燃料の原料となる油量作物は、環境問題からの視点でも大きく注目されている。ナタネ栽培は機械化体系が既に確立しており大規模に栽培されていることが多く、汎用コンバインで収穫が行われている。ヒマワリ栽培はバイオマス利用の啓発上有効な手段で、数年前からNP₀などが小規模ながら取り組みを始めている。このような小規模栽培では、脱穀が手作業で行われており労働負荷が大きい。そのため、経済的で省力的な脱穀方法の開発が求められていた。そこで、本研究では新たな機械の購入、開発等初期投資を増やすのではなく、水稻や大豆・ソバ等の収穫に用いられている自脱コンバイン、汎用コンバインを脱穀機として利用できないか検討したので、その概要を報告する。

2 試験方法

(1) 自脱コンバインを用いた脱穀試験

ア. 供試機械

クボタ社製 RI-18A (水稻用、2条刈り、最大出力13.2kW/2800rpm、チャフシープ開度1~7段階、唐箕開度1~7段階、流量設定が小・標準・大の3段階)を無改造で供試した(図1)。抜き胴の直径は424mm、長さは600mm、抜き歯の長さは65mmであった。なお、供試機の稲刈り時のエンジン標準回転数は2500rpm程度である。

イ. 供試作物

2005年9月に収穫した福島県浅川町産のIS6767(渡辺採種場)、春りん蔵(ホクレン)および福島県農業試験場産のIS6767を供試した(表1)。浅川産のものは花托部だけを収穫し、場内産は茎を1m程残して収穫し、いずれもハウス内に吊し自然乾燥を行った後、脱穀試験に供した。

ウ. 自脱コンバインの設定と試験方法

エンジン回転数と脱穀選別損失の関係を求めるため、エンジン回転数を2000、2200、2400、2800rpmの4段階に設定し、脱穀選別損失、穀粒口の内訳を調査した。このときのチャフシープ開度および唐箕開度は2に、流量設定は標準に設定した。試験は浅川町産のヒマワリを用い、2005年10月に行った。



図1 自脱コンバインによる脱穀

* 福島県農業総合センター農業短期大学校、〒969-0292 福島県西白河郡矢吹町一本木446番地1

** 福島県農業総合センター、〒963-0531 福島県郡山市日和田町高倉字下中道116番地

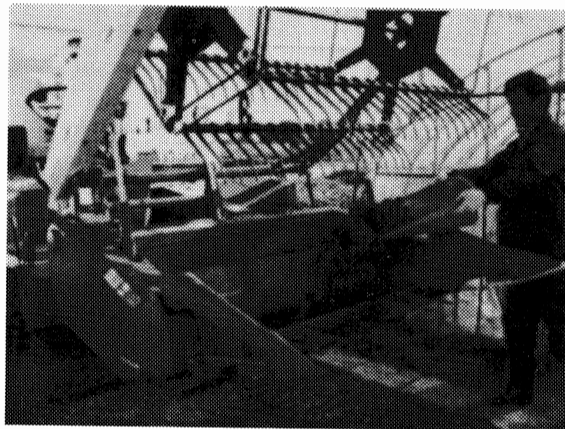


図2 汎用コンバインによる脱穀

また、選別部の設定と脱穀選別損失の関係を求めるため、エンジン回転数を 2000、2700rpm の 2 段階、チャフシーブ開度を 2、7 の 2 段階、唐箕開度を 2、7 の 2 段階に設定して、それぞれの条件での脱穀選別損失、穀粒口の内訳を調査した。なお、流量設定は標準とした。試験は農業試験場産のヒマワリを用い、2005 年 10 月に行った。

(4) 汎用コンバインを用いた脱穀試験

ア. 供試機械

ヤンマー社製 GS360 (大豆・ソバ・麦・雑穀・小豆用、刃幅 1.44m、最大出力 26.5kW/2800rpm、唐箕開度 1～5 段階) を無改造で供試した (図 2)。脱穀機構は軸流形扱き歯式で、扱き胴の直径は 500mm、長さは 600mm、扱き歯の長さは 70mm であった。

イ. 供試作物

2005 年 11 月に福島県矢吹町産の春りん蔵 (ホクレン) を花托部だけ収穫し、収穫直後に花托に割れ目を入れ、平形静置式乾燥機で約半日、45℃で通風乾燥を行ったものを供した (表 2、図 3)。

ウ. 汎用コンバインの設定と試験方法

網、チャフシーブ等の設定は大豆用とした。エンジン

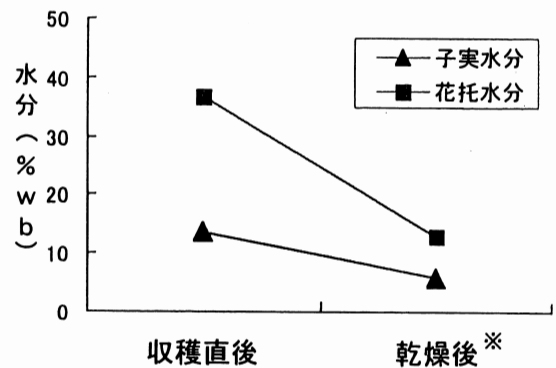


図3 平形静置式乾燥機を用いたヒマワリの乾燥

※ 45℃通風乾燥、8時間

回転数を 2800rpm (扱き歯周速度 11.4m/s) に固定し、唐箕風量を最小、最大の 2 段階に設定し、唐箕風量別の脱穀選別損失、穀粒口の内訳を調査した。

また、同一試料による自脱コンバインの脱穀試験も併せて調査した。自脱コンバインの設定は、エンジン回転数を 2000rpm、チャフシーブ開度および唐箕開度を 2、流量設定を標準とした。試験は 2005 年 12 月に行った。

3 試験結果および考察

(1) 供試作物が脱穀に及ぼす影響

花托水分が 15%wb 程度まで乾燥したヒマワリは、順調に脱穀を行えた。花托を指で押すと軟らかく、花托水分が 35%wb と高い未乾燥のヒマワリは、網、チャフシーブに水分を含んだスポンジ状の花托部が詰まり脱穀ができなかった (表 1)。

(2) 自脱コンバインを用いた脱穀試験

エンジン回転数が高いと脱穀選別損失が大きくなった。エンジン回転数に比例する唐箕風量 (ここでは、排わら口の風速とした) と脱穀選別損失の関係は、排わら口風速が 7.6m/s (エンジン回転数 2800rpm) と大きいと脱穀選別損失は 8%と多かったが、排わら口風速を 3.1m/s、つまりエンジン回転数を 2000rpm まで下げると損失は 3%と少なくなった (図 4)。

表1 自脱コンバインを用いたヒマワリの脱穀試験条件

品種	花托直径 (cm)	子実重 ²⁾ (g)	花托重 ²⁾ (g)	子実水分 (%wb)	花托水分 (%wb)	茎水分 (%wb)	全流量 ³⁾ (kg/分)	脱穀作業の可否
IS6767(浅川町)	11.4±2.6	28.1±10.9	14.8±7.7	9.8±0.5	16.0±0.8	—	1.1~1.6	○
春りん蔵(浅川町)	15.1±4.8	77.8±45.3	25.5±14.3	15.3±4.2	34.9±15.1	—	—	× ⁴⁾
IS6767(場内)	13.6±3.1	61.8±28.0	24.1±12.9	6.7±0.7	11.7±2.9	15.3±4.3	1.1~1.7	○

※ 1) 値は平均±標準偏差 2) 一花当たりの重量(水分10%wb換算)、花托重には子実を含まない 3) 水分10%wb換算

4) 花托水分が高いため、網等に花托が詰まり、脱穀できない。

同様に損傷粒はエンジン回転数が高いほど増加した。損傷割合と抜き歯周速度の関係は、周速度 12.5m/s (エンジン回転数 2800rpm) のとき 34 % とかなり大きかったが、周速度を 9.3m/s (エンジン回転数 2000rpm) まで下げると 6 % まで大幅に減少した (図5)。夾雑物割合は、抜き歯周速度 12.5m/s (エンジン回転数 2800rpm) のとき 1.4 % と小さく、周速度が下がるとわずかず増加するものの、周速度 9.3m/s (エンジン回転数 2000rpm) でも 4 % 程度であった (図5)。

また、脱穀選別損失は、唐箕風量・チャフシーブ開度の設定に関わらず、エンジン回転数 2700rpm で 10%程度、2000rpm で 5%程度であった (表3)。穀粒の損傷割

合も各開度の設定に関わらず、エンジン回転数 2700rpm で 25%程度、2000rpm で 3%程度であった (表3)。

脱穀時の全流量は 1.1 ~ 1.7kg/分であった (表1)。

これらのことから、脱穀選別損失および損傷粒は、選別部の調整に関わらず、エンジン回転が高いと唐箕風量が増大し、抜き歯の周速度も速くなることから増えるものと考えられた。

いずれの回転数でも夾雑物が 2 ~ 4 % 程度混入し再調製を要すること、搾油に影響する損傷粒を少なくすることを考慮すると、自脱コンバインの設定は損失が少なくなるエンジン回転数 2000rpm が最良と考えられた。

表2 汎用コンバインを用いたヒマワリの脱穀試験条件

機械	花托直径 (cm)	子実重 ²⁾ (g)	花托重 ²⁾ (g)	子実水分 (%wb)	花托水分 ³⁾ (%wb)	全流量 ⁴⁾ (kg/分)	脱穀作業の可否
汎用コンバイン	14.5±1.9	68.1±22.3	24.9±8.1	6.7±0.3	13.9±0.8	20.2~21.7	○
自脱コンバイン	14.3±1.7	71.6±16.8	23.8±8.3	6.5±0.4	10.9±1.3	3.1	○

※ 1) 品種はいずれも春りん蔵(矢吹町産) 2) 一花当たりの重量(水分10%wb換算)、花托重には子実を含まない
3) 収穫直後の水分36.6%wb 4) 水分10%wb換算

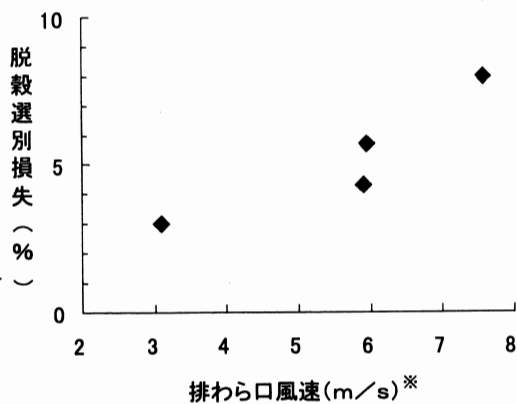


図4 自脱コンバインの唐箕風量が脱穀選別損失に及ぼす影響

※排わら口から10cmの位置の風速を測定した。

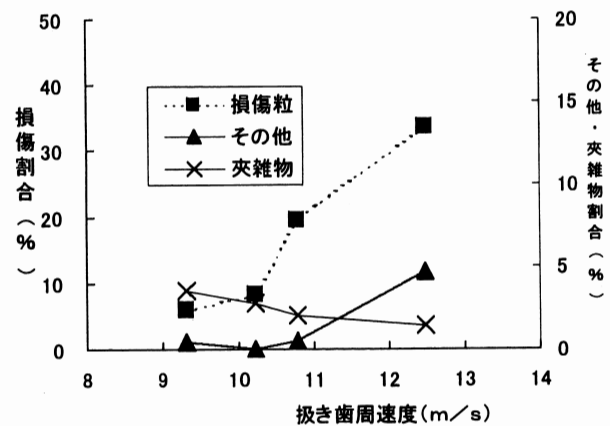


図5 自脱コンバインの抜き歯周速度が穀粒口に及ぼす影響

表3 自脱コンバイン調整部の設定が脱穀選別損失、穀粒口に及ぼす影響

エンジン回転数 (rpm)	チャフシーブ開度	唐箕風量開度	脱穀選別損失 (%)	穀粒口内訳 (%)			
				整粒	損傷粒	その他	夾雑物
2700	2	2	10.4	78.6	19.8	0.2	1.5
2700	2	7	10.5	71.0	27.4	0.3	1.4
2700	7	2	7.0	70.5	27.2	0.3	2.0
2700	7	7	9.9	70.7	26.8	0.3	2.2
2000	2	2	4.4	92.1	1.8	0.3	5.7
2000	2	7	5.1	93.2	2.9	0.5	3.4
2000	7	2	4.8	89.3	3.2	0.4	7.1
2000	7	7	4.5	92.5	3.3	0.3	3.9

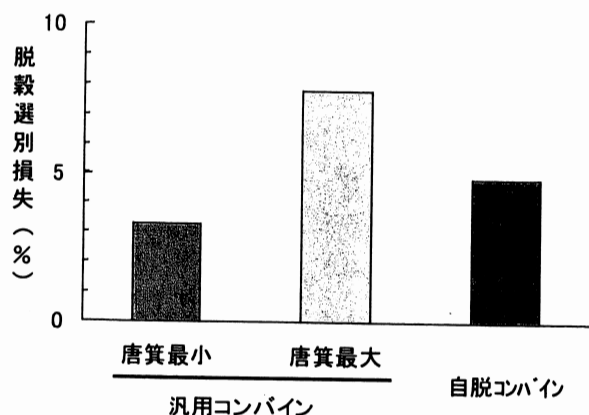


図6 汎用コンバインの唐箕風量が脱穀選別損失に及ぼす影響

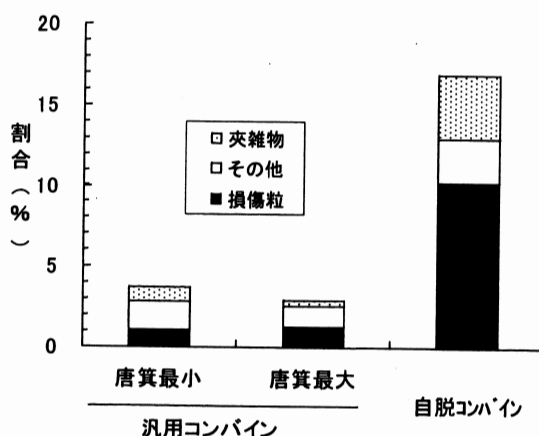


図7 汎用コンバインの唐箕風量が穀粒口に及ぼす影響

(3) 汎用コンバインを用いた脱穀試験

唐箕風量と脱穀選別損失の関係を図6に示す。唐箕風量を最大にしたときの損失は8%であったが、風量を最小にすると3%と少なくなった。同一試料を用いた自脱コンバインの損失も5%と少なかった。

穀粒口の内訳を図7に示す。唐箕風量に関わらず損傷粒・夾雑物の混入は4%であり、自脱コンバインの17%より少なく、高精度の脱穀ができた。内訳は損傷割合が風量に関わらず1%となり、10%となった自脱コンバインより極めて小さかった。このときの抜き歯周速度は、汎用コンバインが11.4m/s、自脱コンバインが9.3m/sであった。自脱コンバインの試験結果では、抜き歯周速度が速いと損傷割合が増加する傾向があったが、汎用コンバインの周速度が自脱コンバインより幾分速いにも関わらず損傷割合が大幅に小さくなったのは、脱穀部の抜き歯・選別部などの形状、構造の違いによるものと考えられた。

処理全流量は、汎用コンバインで21kg/分となり、自脱コンバインで3kg/分となった(表2)。汎用コンバインが約7倍と多かったのは、元々の処理能力の違いの他、自脱コンバインの投入口が汎用コンバインよりかなり狭いことによる。

これらのことから、汎用コンバインの脱穀選別損失は自脱コンバインと同様に唐箕風量に影響され、風量が小さいときに損失は低くなった。また、損傷割合は風量に関係なく1%と小さかった。このため、汎用コンバインの設定は唐箕風量最小の状態が最良と考えられた。

(4) 作業上の留意点

本試験で用いたコンバイン以外の型式のもので脱穀す

る際は、事前に使用するコンバインのエンジン回転数、風量と損失の関係を確認することが必要である。

また、自脱コンバインの使用にあたっては、基部を支持して投入するなどして、フィードチェーンに巻き込まれないよう十分な注意が必要である。汎用コンバインでもリール、刈刃などを完全に停止し、カバー等を付けるなどの安全対策を実施することも必要である。

なお、ヒマワリの脱穀作業によりコンバインの抜き歯および搬送部に汚れが発生するが、汚れは約70℃の温水で洗浄すれば取り除くことができた。

4 ま と め

ヒマワリの脱穀は花托が十分に乾燥していれば自脱コンバイン、汎用コンバインでも脱穀選別損失が3%、損傷粒割合が1~6%程度で高精度・省力的に行うことができた。いずれのコンバインでも脱穀選別損失は唐箕風量に左右され、風量が小さいほど損失は少なくなった。

本試験に使用したコンバインの最良設定は、稲刈りで使用する回転数より20%程度低いエンジン回転数2000rpmであった。

汎用コンバインは、大豆用の設定、唐箕風量最小の条件で自脱コンバインに比べて脱穀選別損失、損傷粒割合が小さく、高精度に脱穀を行えることがわかった。

全流量は、汎用コンバインで21kg/分、自脱コンバインで1~3kg/分であった。

以上のことから、自脱コンバイン、汎用コンバインを改造しなくともヒマワリの脱穀に使用できることから、経済的省力的であると考えられた。特に普及率が高い自脱コンバインを使えることのメリットは大きいと考えられた。

バインダによる長稈雑穀の収穫について

武田純一*・上所茉莉**・西 政佳***・佐川 了***・星野次汪***

Mechanical Harvesting of Long Stem Barnyard Millet by Binder

Jun-ichi TAKEDA*, Mari JYOSHO**, Masayoshi NISHI***, Satoru SAGAWA***, Tsuguhiro HOSHINO***

[Keywords] barnyard millet, mechanical harvesting, binder

1. はじめに

雑穀は、近年アレルギー対策食品としての効果や健康食品としてのイメージが定着したこと等々により注目を浴びており、全国での栽培も一時ほとんど統計にも上がらなくなったものが、栽培面積も僅かであるが増加している。岩手県は図1に示すように雑穀の生産量が全国一位で、中でもヒエ、アワおよびアマランサスの生産量はそれぞれ全国の87.1、64.0、76.9%を占めている。主産地は、表1に示すようにソバが主体の盛岡普及所管内、ヒエ、ハトムギが主体の花巻市周辺、アワ、キビが主体の二戸市を中心とした県北地方および北上山系地域である。花巻市周辺では水田転作物として大型の稲作用機械で生産を行っているが、二戸市を中心とする県北地域および北上山系地域では主として中山間地での栽培が多く、大型機械の導入が困難で手作業を中心とした小規模栽培が行われているのが現状である。

雑穀生産で最も労力のかかる作業は除草作業で、次には収穫作業が挙げられる。収穫作業用の機械としては、近年雑穀収穫用バインダが市販されているが、長稈の雑穀の収穫作業には対応できないのが現状である。本報告では、既存の雑穀用バインダに新たに改良を加えて長稈雑穀に対する適応性を検討し、かつ今後の改善点などを検討したので報告する。

2. 試験装置

1) 供試機

供試機として、既存のイネ用バインダをベースとして既に製品化されている雑穀用バインダ（和同産業（株）製、ワドー雑穀刈取機、ZRE35）に、改良を加えたものを供試した。ベースマシンの諸元を表2に示す。

2) 供試機の改良

平成18年度は、1次改良として、右駆動輪及び穂部受けカバーの新設、サイド分草かんの中型化を行い、2次改良では更にサイド分草かんを大型化した。3次改良では、倒伏分草かんと詰まり排出レバーを新設した。倒伏分草かんは左デバイダの外側から茎稈搬送部を交差するようにして、穂受けカバー側に鉄製の丸棒を装着した。詰まり排

出レバーは、穂受けカバーの一部を切り取り、茎稈が搬送部の上部で詰まった場合に排出できるよう設置した。更に4次改良では軽微であるが排出レバーの枠外れを防止し、倒伏分草かん位置を左デバイダの内側へ変更した（図2、3）。平成19年度には、5次改良として機体左側の未刈り雑穀との分別を良くするために更にサイド分草かんを増設した。また、刈取り部への稈の流入・排出が一定になるよう、新たに丸棒で第2倒伏分草かんを装着し、排出棒の改良も行った（図4、5）。

3. 試験方法

1) 傾斜地における作業速度

一般に中山間地での雑穀栽培は、傾斜地を利用している場合が多く、作業速度と操作性や安全性と検討が必要と思われることから、エンジン回転速度と圃場傾斜および走行速度の関係を求めることにした。本試験は、岩手

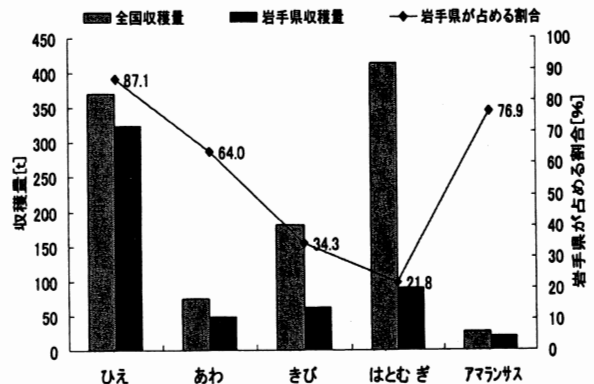


表1 岩手県内の雑穀生産量

	そば	ひえ	あわ	きび	はとむぎ	アマランサス	計
盛岡	352	24.0	8.2	8.4	1.0	1.6	394.8
花巻	65	94.6	24.9	41.7	88.6	0.0	314.9
北上	39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.2
水沢	40	0.0	0.0	0.0	19.2	0.1	58.9
一関	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1
千厩	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
大船渡	13	0.4	0.2	1.1	0.0	0.0	14.7
遠野	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2
釜石	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
宮古	5	0.9	3.2	2.9	0.0	0.9	12.2
久慈	62	8.4	3.0	1.1	0.0	2.2	76.6
二戸	13	15.1	23.1	22.3	0.0	16.5	89.5
計	617	143.0	62.6	77.5	108.8	21.3	1030.2

*岩手大学農学部 ** (現)丸山製作所 ***岩手大学農学部附属寒冷FSC滝沢農場

大学農学部内のアスファルト路面上にて実施した。エンジン回転数を3条件、傾斜度は平地を含めて4条件、変

表2 ベースマシンの主要諸元

全 長	[mm]	2100
全 幅	[mm]	793, 878
全 高	[mm]	1280
機体質量	[kg]	130
エンジン型式		クボタ GS130-2JI ガソリンエンジン
エンジン出力	[kW(PS)/rpm]	1.6(2.2)/1700 [最大 2.5(3.4)]
走行速度前進	[m/s]	0.55, 0.92, 1.63
走行速度後進	[m/s]	0.52
刈り幅	[mm]	200
刈り高さ範囲	[mm]	350
適応作物全長	[mm]	最長 1500
作業能率	[分/10a]	65~115

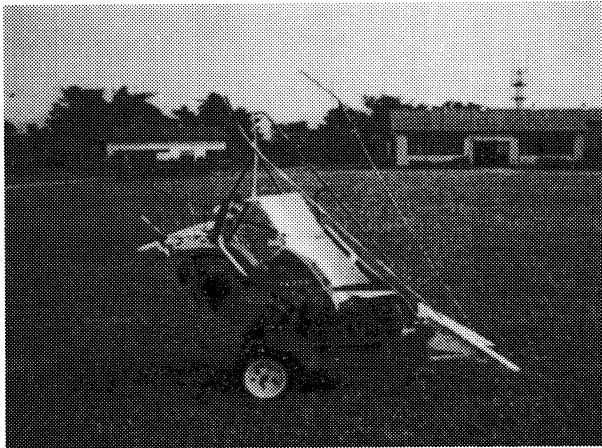


図2 4次改良後の供試機（側面）

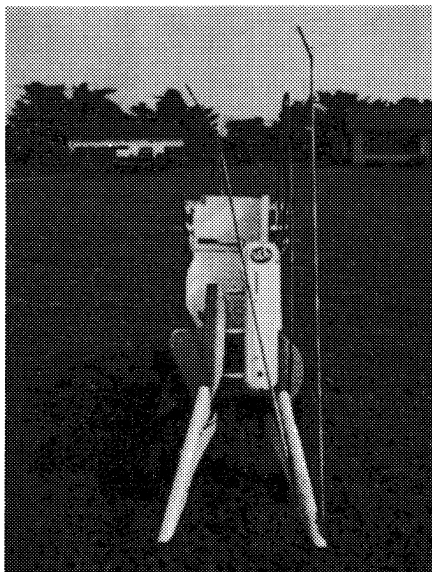


図3 4次改良後の供試機（正面）

速段は2種（低速、標準）である。なお、走行は斜面を上方から下方に向かって実施した。

2) 刈取り試験

試験日は、2次改良機に対しては平成18年9月29日、3次改良機には10月4および5日、5次改良機に対して平成19年9月26日に実施した。試験圃場は、岩手大学農学部附属寒冷 FSC 滝沢農場内のほぼ平坦な畑圃場および水田で、供試雑穀は、草丈およそ2mのモチヒエである。

作業条件は、変速を2条件（低速、標準）、エンジン回転速度を3条件（2200, 2600, 3200rpm）組み合わせて実施し、結東束については、9月26日の試験のみ中束の設定とし、その他の試験日では小束条件とし試験を行った。走行速度は3~5mの直線区間の通過時間より算出した。また、刈取り試験の様子をビデオカメラと写真で記録し、後日映像をもとに刈取り状況の評価を行った。刈取り試験を行う前には、草丈と単位長さ当たりの茎の本数等を測定した。水田圃場での試験は、田植機で移植栽培した圃場で、畝間60cm、株間16cmであった。



図4 5次改良後の供試機（側面）

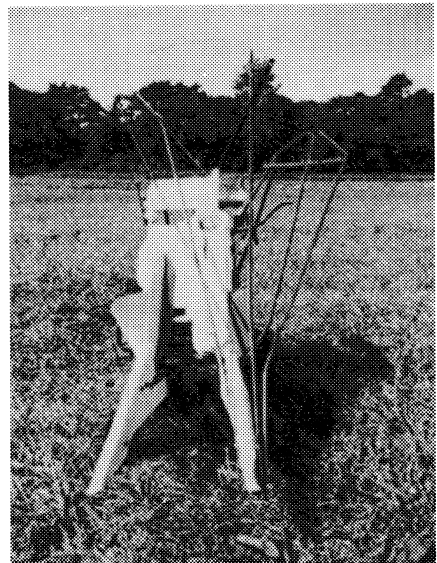


図5 5次改良後の供試機（正面）

4. 結果及び考察

1) 傾斜地における走行速度

重回帰分析を行った結果、走行速度は、次式で示されることが分かった。

$$\begin{cases} v_1 = 0.0001781x + 0.004035y - 0.03141 \\ v_2 = 0.0002887x + 0.006053y - 0.06653 \end{cases}$$

ここで、 v_1 と v_2 は変速条件が低速および標準刈取り時の走行速度[m/s]、 x および y はそれぞれエンジン回転速度[rpm]および圃場面傾斜度[°]である。

傾斜10度の斜面を下方へ走行した場合の、走行速度の予測値は、変速が低速走行の場合、エンジン回転速度2200rpmで0.40m/s、3100rpmで0.56m/sであった。また、標準走行では、エンジン回転速度2200rpmで0.63m/s、3100rpmで0.95m/sであった。これは同条件での平地での走行速度の約8~14%増しであった。傾斜地の場合、走行速度が速くなると危険を伴うので、最低速度がもう少し低速でも良いように思われる。

2) 刈取り試験の結果

2次改良時点(H18, 9/29)では、走行速度が低速であっても結束後の束の排出時に搬送カバー上部で詰まりを生じることがあった(図6)が、3次改良の後(H18, 10/4, 5)では、この詰まりが改善し、作物状態によっては高速であっても刈取り可能となり(図7)、倒伏分草かん及び排出レバーにより排出の改善がみられたが、図7の×と△は、比較的倒伏度の大きな条件であった。なお、4次改良機は、主として倒伏の顕著な圃場で試験をしてみたが、補助者が倒伏部を立ち上げないと刈ることはできなかった。

5次改良機は、既存の水稲用田植機を用い、モチヒエの水田での移植栽培圃場にて試験したが、1畝刈りの条件では、ほぼ満足な結果であった。しかし、2畝刈りでは、搬出部が詰まって排出できない条件もあった。

3) 機械的改良点の評価

本試験では、供試機の長稈ヒエに対する刈取り適応性を増すために、各種改良を加えたが、以下にその結果の概要と考察を取纏める。

(1) サイド分草かん

2次改良で装着したサイド分草かんについては、錯綜した左側の未刈り部の隣接作物と刈取り対象作物を分離する効果は大きかった。3次改良まではほとんど直立した状態で作業したが、右側へ倒伏した作物を刈る場合はより左側へと分別する必要を認めたので、5次改良では横方向に水平に装着した。この結果、分草性能の改善が認められた。ただし、あまり横に張り過ぎると、次に刈る作物の稈が折れてしまうので、横方向への張出し長さは30cm程度が適当と考えられる。また、左分草デバイダの先端から伸ばす方がより大きな効果が得られると考えられたので、4次改良後は、左分草デバイダの先

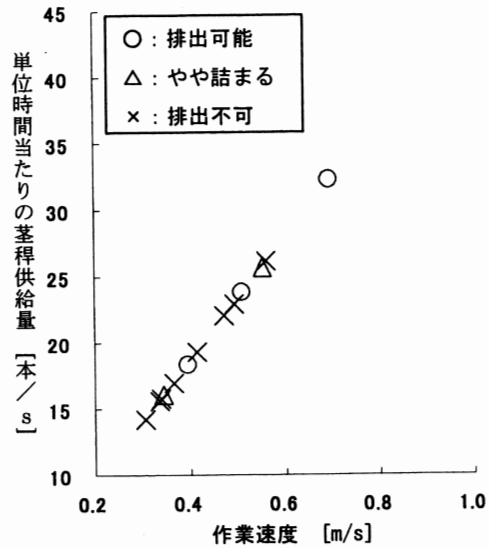


図6 茎稈の排出結果 (H18.9.29)

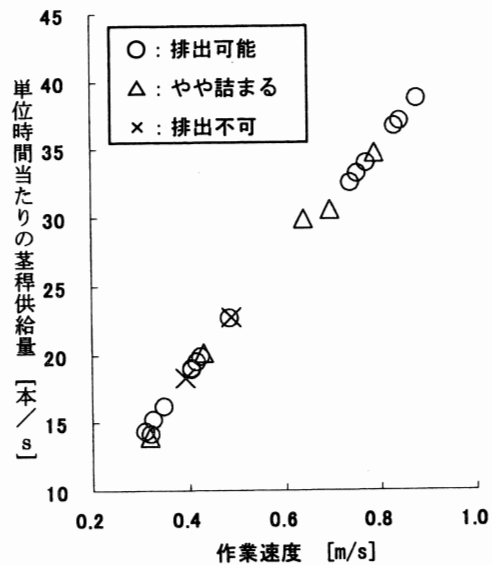


図7 茎稈の排出結果 (H18.10.4.5)

端部外側から伸ばすことにした。

(2) 倒伏分草かん

本分草かんは、4次改良時点では左分草デバイダ先端部内側からピックアップティン移動部の中央上部に交差するように設置した。本分草かんを設置することにより、茎稈を右方向に寄せ、穂部が左側へ傾くのを防止する効果がみられた。また、穂部の散逸を防止し、結束後の排出を容易にする効果があった。5次改良後は、左分草デバイダ先端から更にもう1本丸棒にて茎稈ガイドを設けたことにより、よりスムーズに茎稈が左方へ移動できるようになった。

(3) 茎稈排出レバー

詰まりが生じた場合の茎稈排出レバーの操作は、レバーを一旦前方に押し出ししながら、そのまま左方に動かす

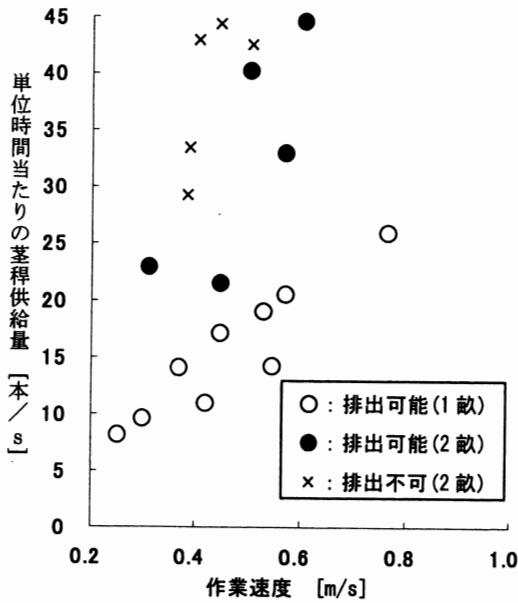


図8 茎稈の排出結果 (H19. 9. 26)

こととし、手を離すと2本のバネによりレバーが自動的に初期位置に戻るようにした。

4次改良時点では、レバーの操作位置をオペレータが操作しやすいように比較的運転レバーの近くにもってきたが、結果的に茎稈排出レバーの俯角が小さくなり、レバーの詰まり部への到達距離(ストローク 105mm)がやや不足となった。5次改良時には以上の結果をふまえ、レバーの俯角を30度、ストロークを約2.5倍の250mmにし、またレバーの操作部の操作性を向上させるため球状の握り手とし、手のひらのみで操作できるように配慮した。この結果、操作性、排出性も向上した。ただし、茎稈排出レバーは、初期の茎稈の詰まりをスムーズに右方へ排出する効果が得られたが、あくまでも補助手段として用いるべきであり、できるだけ詰まりのない条件で刈るのが基本である。

(4) 結束束の設定

結束束の設定は、作物の栽植密度と走行速度との関係から適切に設定されなければ、詰まりの原因となってしまうので注意が必要である。本試験では当初中束の設定で刈取り試験を行っていたが、結束部に茎稈が滞留している時間が長くなり、結果的に排出が遅れて搬送部の中・上部の茎稈のからみつきにより詰まりが助長されることになった。従って、平成18年10月4、5日以降の刈取り試験では小束の設定にして刈取ったところ、かなり詰まりも解消され排出がスムーズになった(図6, 7, 8)。倒伏分草かんの効果により搬送部の左側に茎稈が倒れることが抑制され、比較的整然と茎稈が揃うようになったこととの相乗効果により、茎稈がやや倒伏していても無理なく刈取ることができるようになった。

4. まとめと課題

作物の状態が良く、茎稈が比較的直立し剛であれば、草丈が2m程度のものでもほぼ刈取り可能で、圃場の傾斜や隣畝などとの錯綜があまり無い場合では、作業速度を0.8m/s程度まで速くしても刈取ることが可能である。

しかし、5次改良機でも作物の倒伏程度が大きい場合では、人が倒伏部を立ち上げないと刈れる見込みは無い。この原因は、主として引き起こし機構のストロークが短いことが根本的な原因と考えられる。ベースマシンが稲収穫用であり、できるだけ安価に改造を施して行く必要があったので、基本的な収穫部分はベースマシンそのままであることから、草丈の適用範囲は1.6m程度までとなっている。引き起こし機構のストロークを長くすることができるようであれば、茎稈の詰まりも解消される可能性があるが、大きな改造となり価格的に農家への導入が更に不利になると思われる。また、作物の側の条件として、供試したヒエの稈が比較的柔らかいことも一因と考えられる。今後は、品種改良により低稈の品種を開発するなど、作物側から機械側への歩み寄りも平行して必要であると考えられる。

排出に関しては、1度詰まってしまうと、次回または次々回の結束で排出される場合もあるが、通常は詰まってしまったものが原因で、次第に詰まりの固まりが上方に移動してしまう。従って、最初の詰まりをいかに速やかに排出できるかが重要である。その対策として排出レバーを付けたが、5次改良機が最も効果的であった。

総じて、改良の効果は顕著であったが、今後各種作物条件を供試して適応能力を検討するべきである。

謝辞

本研究は、平成17～18年度岩手大学農学部中期計画重点領域プロジェクト、課題名「ヒエ在来種の高品質化及びヒエ収穫の機械化に関する研究」の一部として実施したものである。ここに記して、関係各位に謝意を表す。また、和同産業株式会社技術部には機械の改良に関し多大なご配慮頂いた。記して謝意を表す。更に暑い中でのヒエの栽培管理および収穫試験・機械の改良には、本学附属寒冷FSC滝沢農場の技術専門職員各位および吉田純技術専門職員、各研究室配属の学生各位の献身的なご援助を頂いた。ここに記して深く感謝申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 江崎春雄：穀類収穫機，イセブ，1986

RBF ネットワークを用いた発熱植物の発熱機構の解析 (第2報)

—直交最小自乗法を用いた学習の高速化—

広間達夫*, 坂本賢一*

Analysis for Thermogenetic Mechanism of Thermogenic

Plants using RBF Network (Part 2)

—Speeding up Learning using Orthogonal Least Squares Method—

Tatsuo HIROMA, Kenichi SAKAMOTO

[キーワード] RBF, 発熱植物, ハス, 予測モデル, 直交最小自乗法

1. はじめに

一般に植物には体温調節機能はなく、その体温は外気温の変動と共に変化すると考えられているが、ハスやザゼンソウなどの一部の植物は、自ら発熱してある一定の体温を保つ恒温植物であることが知られている^{1),2)}。これらの植物の発熱機構は工学的な観点からも興味あり、ザゼンソウに関して原他³⁾は制御工学的観点から研究を行っている。本研究は、ハスを対象にしてその温度制御機構を解明することを目標として研究を開始した。前報⁴⁾では、RBF ネットワークを用いたハス花托部の発熱予測モデルの構築を試みた。このモデルで学習を行うと多くの行列計算や逆行列の計算が必要で学習時間が長くなり、同時に計算誤差も大きくなるのが観察された。そこで、学習の高速化をはかると同時に逆行列における計算誤差を避けるために、直交最小自乗法を用いて学習の高速化を試みた。

2. 直交最小自乗法

RBF ネットワークは基底関数に放射基底関数を用いた階層型ネットワークの一種である。ネットワークへの入力を要素数 n のベクトル $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$ で表すと、ネットワークの出力 $f(\mathbf{x})$ は、 m 個の中間層ユニットからの出力 $h_j(\mathbf{x})$ とそれぞれのユニットに対応する荷重係数 w_j の線形和で表される。

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^m h_j(\mathbf{x})w_j \quad (1)$$

基底関数にガウス関数を用いた場合の、 $h_j(\mathbf{x})$ の具体

的な関数形は式 (2) になる。

$$h_j(\mathbf{x}) = \exp\left(-\frac{(\mathbf{x}-\mathbf{c}_j)^T(\mathbf{x}-\mathbf{c}_j)}{r^2}\right) \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{c}_j は j 番目の中間層ユニットのガウス関数の中心、 r はガウス関数の半径である。

入力 \mathbf{x}_i に対する出力 $f(\mathbf{x}_i)$ と目的変量 y_i の残差を e_i で表すと

$$y_i = f(\mathbf{x}_i) + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

となる。式 (3) を行列表記すると

$$\mathbf{y} = \mathbf{f} + \mathbf{e} = \mathbf{H}\mathbf{w} + \mathbf{e} \quad (4)$$

と表すことができる。ここで、 \mathbf{H} は

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_1(\mathbf{x}_1) & h_2(\mathbf{x}_1) & \dots & h_m(\mathbf{x}_1) \\ h_1(\mathbf{x}_2) & h_2(\mathbf{x}_2) & \dots & h_m(\mathbf{x}_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_1(\mathbf{x}_p) & h_2(\mathbf{x}_p) & \dots & h_m(\mathbf{x}_p) \end{bmatrix}$$

であり、 \mathbf{w} は荷重係数ベクトルで $[w_1 \ w_2 \ \dots \ w_m]^T$ 、

\mathbf{y} は教師ベクトルで $[y_1 \ y_2 \ \dots \ y_p]^T$ である。ニューラルネットワークでは、荷重ベクトルを求めることを学習といい、目的変量を教師データと呼んでいる。残差ベクトル \mathbf{e} の自乗を最小にする荷重係数ベクトル \mathbf{w} を最小自乗法を用いて求めると

$$\mathbf{w} = (\mathbf{H}^T\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^T\mathbf{y} \quad (5)$$

で得られる。 $\det \mathbf{H}$ が 0 でなくても 0 に近づくと式 (5) の逆行列の計算が困難になるので、これを避けるために前報では、荷重係数に対する抑制項を加えていた。

計算精度を犠牲にしても計算を続けるためである。また、荷重係数を求める過程は主に行列計算であり、行列計算はデータ数が増えると急激に計算時間が増える。そこで、最小自乗問題を、直交行列を用いて解くことにした。式(4)の行列Hを直交行列 \tilde{H} と上三角行列Uの積に、グラム・シュミット法を用いて分解する。式(4)は

$$y = \tilde{H}Uw + e \quad (6)$$

となり、 $Uw = \tilde{w}$ とおくと、式(6)は

$$y = \tilde{H}\tilde{w} + e \quad (7)$$

と表すことができる。最小自乗法を用いて \tilde{w} を求めると、式(5)と同様に

$$\tilde{w} = (\tilde{H}^T\tilde{H})^{-1}\tilde{H}^Ty \quad (8)$$

が得られる。 \tilde{H} は直交行列であるので、 $i \neq j$ のとき

$\tilde{h}_i^T\tilde{h}_j = 0$ である。式(8)の \tilde{w} の第i成分は

$$\tilde{w}_i = (\tilde{h}_i^Ty) / (\tilde{h}_i^T\tilde{h}_i) \quad (9)$$

である。式(9)はベクトル計算であるため、計算時間が短くてすむ。元の荷重係数ベクトルwは

$$w = U^{-1}\tilde{w} \quad (10)$$

で求めることができる。Uは上三角行列であるため、逆行列は簡単に計算することができる。残差ベクトルeの自乗を \tilde{H} を用いて表すと

$$e^Te = y^Ty - y^T\tilde{H}(\tilde{H}^T\tilde{H})^{-1}\tilde{H}^Ty \quad (10)$$

となるので、

$$y^Ty = \sum_{j=1}^m (\tilde{h}_j^Ty)^2 / (\tilde{h}_j^T\tilde{h}_j) + e^Te \quad (11)$$

の関係が得られる。 $(\tilde{h}_i^Ty)^2 / (\tilde{h}_i^T\tilde{h}_i)$ はエネルギーに相当する

y^Ty の第i成分の寄与分⁶⁾なので、この寄与の大きな値のものから順次中間層ユニットを選択する。

3. 測定方法

測定は、佐賀大学脇にあるハス田の一部で、2005年6月から7月にかけて実施した。つぼみの状態のハスを選んで、熱電対を図1のようにつぼみの外側からハス花托に差し込みハス体温(ハス花托の内部温度)を測定した。ハス体温の測定は、つぼみの状態から開花しさらに発熱が終了するまでの期間、順次開花してくる合計22個体について行った。外気温は、ハス田

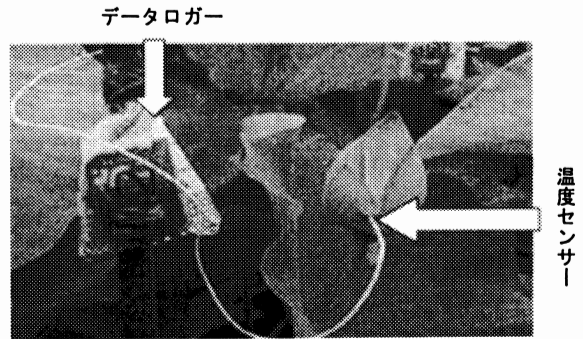


図1 ハス体温測定の様子

の脇に地上1mの地点に熱電対を設置し、直射日光の影響を避けるために針金の枠に銀紙を貼り付けた覆いを熱電対の上下に置いて、直射日光が熱電対に当たらないようにして測定した。さらに太陽からのエネルギーの放射の影響を調べるために、ハス田脇の日陰ができて測定した。

ハス体温、外気温及び放射量の測定は、1分間隔で行ったが、10分間の移動平均を計算して、10分間隔のデータを作成した。

4. 結果および考察

ネットワークへの入力を、i時刻のハス体温(i)、気温(i)、ハス体温(i)と気温(i)の差(i)、気温の変化(気温(i)と気温(i-1)の差)、放射量(i)の5項目とし、ネットワークの出力を次の時刻のハス体温(i+1)とした図2のRBFネットワークを構築した。ネットワークの入力と出力は最大値と最小値が1と-1になるように正規化し、ガウス関数の半径rは $\sqrt{5}$ はとして学習に用いた。

学習は、全ての入力データ点をガウス関数の中心候補として寄与を計算し、寄与の一番大きいデータ点をガウス関数の中心とした最初のユニットとし、次にこの点を除いた全てのデータ点について一番大きい寄与の

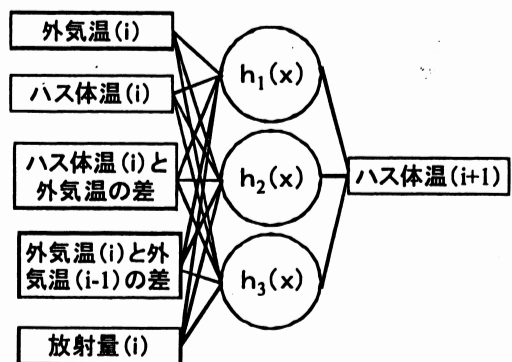


図2 RBF ネットワーク

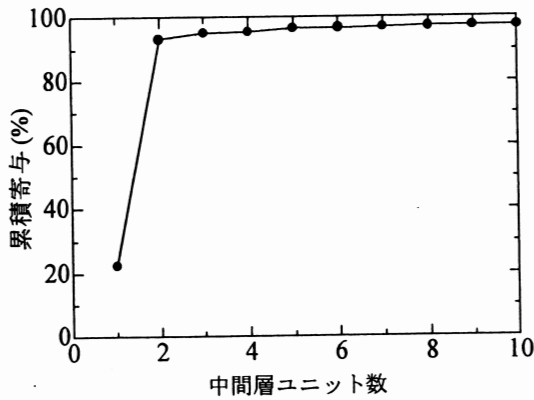


図3 累積寄与

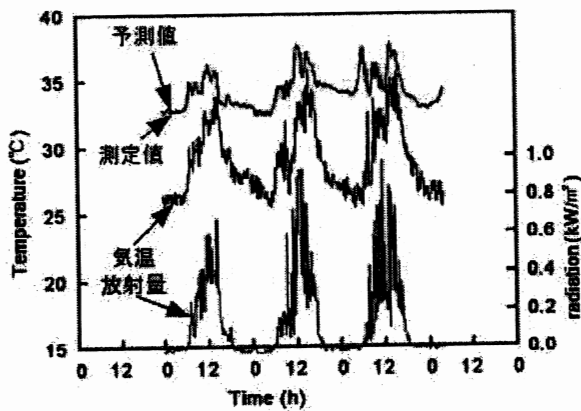


図4 ハス体温時系列データの学習結果

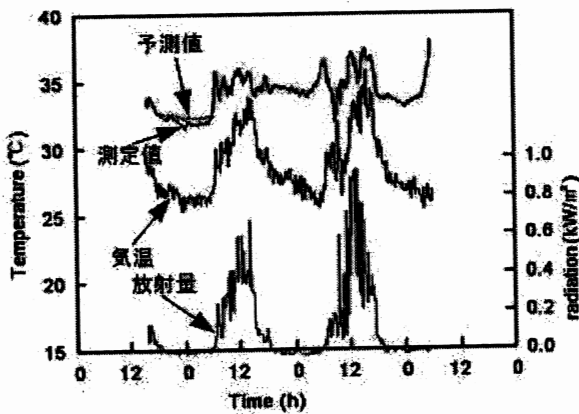


図5 学習に使用していないハス個体の体温予測結果

データ点を求めて、この点を次の中間層のガウス関数の中心に選択する方法で、順次中間層のユニット数を増やした。図3に任意に選んだハス個体について、中間層の増加に対する累積寄与を示す。中間層の数が2の場合でも累積寄与が90%以上あり、中間層の数が3になると累積寄与は95%以上になった。さらに中間層

表1 学習時間

入力データの個数	学習時間 (s)	
	最小自乗法	直交最小自乗法
365	4	1
740	31	1
1117	104	1
1623	309	2
3928	4386	30

の数を増やしても、後から加えた中間層ユニットの寄与は小さく、累積寄与はほとんど増加しなかった。この傾向は、どのハス個体でも同じであったので、中間層の数を3にして、任意に1つのハス個体を選んでハス体温の予測モデルを構築した。このように累積寄与を調べることで、合理的に中間の数を決めることができる。

学習に用いたハス個体について、適正に学習がなされているかどうかを調べた結果を図4に示す。ハスは外気温が30°C以下になる夜間でも、ハス体温を30°C以上に保つように制御していると考えられるが、図に見られるようにハス体温の予測結果は、測定値とほとんど重なっており、ハス体温予測が適正に行われたことが分かる。学習したモデルを用いて、学習に使用していないハス個体のハス体温を予測した結果を図5に示す。発熱初期にハス体温の予測値が幾分高い結果が得られているが、これ以外の期間でハス体温の予測値は、測定値とほとんど一致しており、中間層の数が3でも十分な精度でハス体温の予測を行うことができた。この結果からハス花托の発熱現象は、個体によらず同一の発熱機構を備えていると考えられる。

次に、本研究の目的である学習の高速化について調べた。中間層の数を3としたモデルについて、最小自乗法による従来の学習法と、直交最小二乗法を用いた学習法における場合の学習時間を測定した。学習時間の測定には、同じPCを用いて行った。入力データ数を変えた場合の学習時間を表1に示す。前報で用いた最小自乗法による行列計算と逆行列を直接計算する方法は、学習するデータ数が増えると計算時間は急激に長くなっていることが分かる。入力データ数が365の場合は4秒で計算できたが、入力データ数がほぼ倍の740では31秒、入力データ数が3928になると、1時間以上の計算時間が必要であった。しかし直交最小自乗法を用いた場合、入力データ数が1623の場合の学習時間は2秒であり、入力データ数が3928の場合でも30秒で学習が終了している。このように直交最小自乗法を用いることで、学習時間を大幅に短縮することができた。最小中間層の数を多くしたり、さらに多

くの入力データによる学習が必要になった場合は、直交最小自乗法を用いた学習法がより有効になると考えられる。

5. まとめ

RBFネットワークの学習時間の短縮を図るために、直交最小自乗法を用いた学習の高速化を試みた。

この方法を用いると、中間層ユニットの寄与分が計算でき、この寄与の大きな値のものから順次中間層ユニットの中心を選択することができるので、中間層の数を合理的に決めることができる。また学習時間が大幅に短縮でき、学習の高速化を達成することができた。

参考文献

- 1) Ito K, Ito, T., Onda, Y. and Uemura, M.: Temperature-triggered periodical thermogenic oscillations in skunk cabbage (*Symplocarpus foetidus*), *Plant Cell Physiol.*, 45, 257-264, 2004.
- 2) Ito K., KMatsukawa K., Kato Y.: Functional analysis of skunk cabbage SfUCPB, a unique uncoupling protein lacking the fifth transmembrane domain, in yeast cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 349, 383-390, 2006.
- 3) 原 道宏, 鳥巢 諒, 伊藤菊一: 恒温植物ザゼンソウの体温維持機構に関する制御工学的研究, 計測自動制御学会東北支部 第233回研究集会, 資料番号 233-9, p1-6.
- 4) 広間達夫, 坂本賢一, 鳥巢 諒, 伊藤菊一, 松尾隆明: RBF ネットワークを用いた発熱植物の発熱機構の解析—ハス花托部の発熱予測モデル—, 農業機械学会東北支部報, 53, 19-22, 2006.
- 5) Chen, S., Cowan, C.F.N., Grant, P.M.: Orthogonal Least Squares Learning Algorithm for Radial Basis Function Networks, *IEEE Transaction on Neural Networks*, 2(2), 1991.
- 6) 坂和正敏, 田中雅博: ニューロコンピューティング入門, 103-108, 森北出版, 1997.

画像処理を利用したイネ病気の病状領域の抽出

ガウリ マハルジャン*1・高橋照夫*2

Extraction of Infected Portion of Rice Disease Using Image Processing

Gauri MAHARJAN and Teruo TAKAHASHI

Abstract

An experiment was conducted to develop the automatic extraction method of disease spot from the image based on the color feature of normal portion around the infected area. In the most of cases, the color of normal leaf differs from the infected part. We used Hue, Saturation and Light as the color indexes for threshold segmentation to separate the infected area from the whole image. For the experiment, six types of rice diseases and 62 sample images collected from Web, book, field spot etc were used. Experiment was carried out in two phases. First, segmentation process was done manually to get the optimum area of disease spot and fixed an optimum threshold value for each images. Secondly, threshold segmentation was tested automatically for three types of diseases using the response variable calculated by regression analysis between the values of normal part and optimum threshold values. As the result of manual process, threshold segmentation of almost all images was found satisfactory. And also from automatic segmentation, extracted area of around 88% of 43 images was found near to the optimum area. From this result, it was concluded that the color feature of normal portion and the threshold detection method using regression function can be applicable for automatic extraction of disease spot.

[キーワード] 画像処理、2 値化、色特徴、病気の分類、回帰分析

1. 緒言

近年、環境問題や健康面から作物の減農薬・無農薬栽培が注目されており、病害虫の発生による収量や品質の低下のリスクを回避するため、早期の防除対策がますます重要になっている。病気の発生状況や被害を早期に把握するための研究には、リモートセンシング技術による診断方法^{1, 2)}や、病状に関する情報をデータベース化し Web 上で診断を行う検索システム^{3~5)}の開発があり、現在いくつか実際に利用されている。しかし、これらのシステムは、圃場現場で利用するには、コスト面や操作面でまだ十分でない。

本研究は、現場で撮影した病状画像から自動画像処理により Web 上で色、形状特徴などを解析し、病気を診断する方法の開発が目的である。その場合、撮影画像内から病状領域をいかに速やかに抽出するかが重要になる。そこで、本報ではイネの葉や葉鞘に発生する主な病気について正常部分の色特徴を利用して病状部分を抽出する方法を試みた。

2. 実験方法

実験は手動と自動の2段階に分けて実施した。

(1) 病状領域の手動抽出

(i) 供試材料 褐色系の病状をもつ 6 種類のイネの病気(葉いもち病、紋枯病、ごま葉枯病、すじ葉枯病、赤色菌核病、褐色紋枯病⁶⁾)を選び、現場で撮影したほか、Web 上、書籍、及び青森県農林総合研究センターなどから収集した 62 枚の画像を供試画像(BMP 形式に統一)として用いた。書籍の画像は、スキャナを使用し 600 dpi でスキャンして BMP 形式で保存した。画像サイズは 85 X 126~1600 X 1200 ピクセルで

あった。

(ii) 画像処理の方法 色特徴の指標として色相 H、彩度 S、明度 L を適用した。市販の画像処理プログラム⁷⁾に、測定範囲のサイズ変更、HSL 分布の波形・ヒストグラム表示、2 値化で H と S の同時利用および最小限界値設定、面積算出などの機能を VB.Net で作成・追加して使用した。

画像処理は、処理画像の読み込み、正常部分と病気箇所 HSL 分布の算出、しきい値の設定、2 値化、病状範囲の抽出・確認、病状領域の面積算出という手順で行った。2 値化のための色指標は、HSL 分布で正常部分と病斑部との差が大きいものから選定した。2 値化処理で抽出領域が良好なときのしきい値を最適しきい値とした。

(2) 病状領域の自動抽出

(i) 供試材料 実験(1)に用いた中から画像数の多い 3 種類の病気(葉いもち病、紋枯病、ごま葉枯病)の 43 枚を供試画像とした。

(ii) 実験の手順 まず実験(1)における各病気の画像について正常部分の色指標の平均値(対象サイズは画像によって 256~3000 画素の範囲)と最適しきい値の回帰分析を行った。なお、回帰分析は実験(1)の 2 値化で H が適切なものと S が適切なものに分けて行った。次に、各画像について正常部分(実験(1)と異なる箇所)の色指標値を説明変数とし、回帰式によって求めた値を推定しきい値とした。最後に、推定しきい値を用いて 2 値化を行い、病状面積(実験(1)の抽出面積)に対する抽出領域の割合を調べた。自動画像処理の手順を図 1 に示す。

*1 岩手大学大学院連合農学研究科、*2 弘前大学農学生命科学部

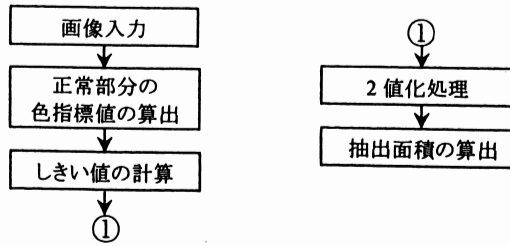
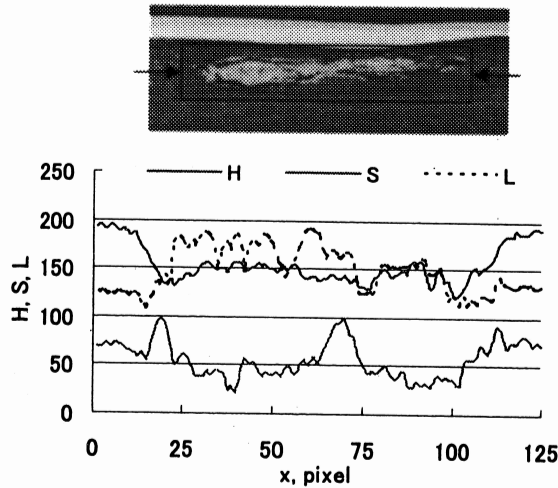


図1 自動画像処理の手順

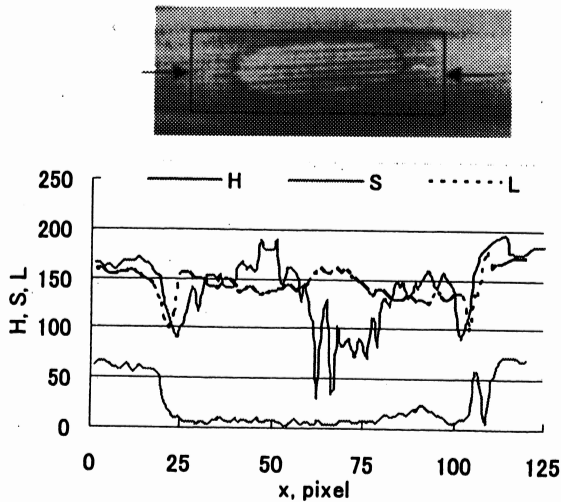
3. 結果および考察

(1) 病状領域の手動抽出に関する結果と考察

病気箇所の HSL 分布の結果例を図2に示す。葉いもち病の慢性型病斑の場合、図2a)のように、正常部分(左右端)と病気部分(中央)では、Hの差が大きく、SとLは大きな差は見られなかった。すじ葉枯病なども同様であった。紋枯病の場合は、図2b)のように、Sの差が大きく、HとLは差が小さい場



a) 葉いもち病の場合



b) 紋枯病の場合

図2 病気箇所の x 軸方向の HSL 分布

合が多く見られた。葉いもち病、赤色菌核病などの初期病斑の場合、正常部分と中央部の H が近似したり周囲部分との差が小さい傾向にあった。また、正常部分と病気部分との境界線が不明瞭で、コントラストや濃淡が微妙な変化をする場合は H、S、L のいずれもが近似する傾向にあり、しきい値の設定が困難となった。なお、病斑内に白色部分が存在するとき病状部分を完全に抽出することは困難であった。このような場合、まず H による 2 値化処理を行い、次に S を用いると抽出が可能になることがあった。

各供試画像についての最適な色指標と、しきい値範囲は、表1のように、葉いもち病、すじ葉枯病は H による 2 値化が良好であり、紋枯病は S が良好な場合が多かった。ごま葉枯病は H が適切なものが多かったが、病気の影響で葉色が黄色になった場合は S による 2 値化が良好であった。赤色菌核病、褐色紋枯病は病斑によって H と S の両方が適用できた。葉いもち病、紋枯病、赤色菌核病の初期状態の画像は S による 2 値化が適切であった。病斑の周囲にある枯れ部分や背景などの影響で抽出が不良の場合、H と S 両方のしきい値を上限・下限の範囲を決めて同時に用いれば良好であった。表1に示した赤色菌核病、紋枯病などはそのようなケースである。病状領域の抽出結果の例を図3に示す。

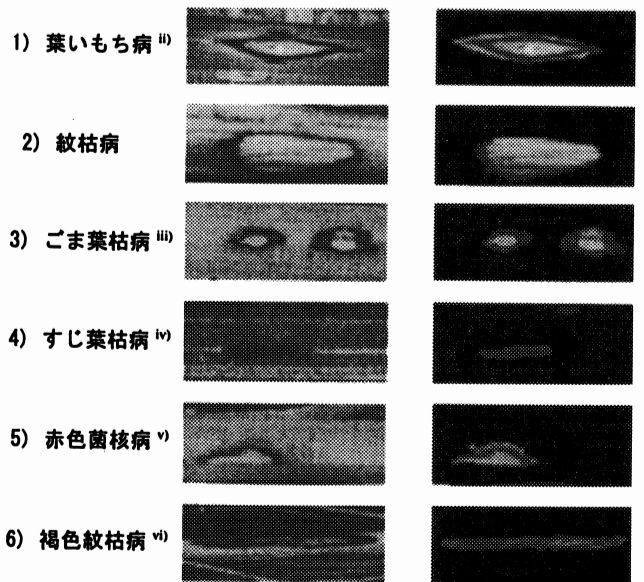


図3 手動による病状領域の抽出結果の例

(2) 病状領域の自動抽出に関する結果と考察

(i) 正常部分の色指標と最適しきい値の関係 葉いもち病の例を図4 a)に、紋枯病の例を同図 b)に示す。横軸は正常部分の平均値(Hn または Sn)、縦軸は最適しきい値(Ho または

表1 最適な色指標としきい値範囲

病名	H(枚)	範囲	S(枚)	範囲	HS
葉いもち病	15	150-185	4	24-70	0
紋枯病	3	140-163	8	20-75	2
ごま葉枯病	9	158-170	4	55-72	0
すじ葉枯病	7	140-178	0	-	0
赤色菌核病	3	142-153	1	42	2
褐色紋枯病	2	165-173	1	45	1

So)を表す。同図のように、表1の正常部分の H、S とそれぞれの最適しきい値の間には葉いもち病と紋枯病では高い相関がみられ、ごま葉枯病は中程度の相関であった。単回帰分析の結果、葉いもち病では、Hの相関係数(R)が0.72、Sが0.92、紋枯病はHが0.84、Sが0.87であった。ごま葉枯病ではHが0.58、Sが0.55であった。各病気の回帰式および相関係数を表2に示す。

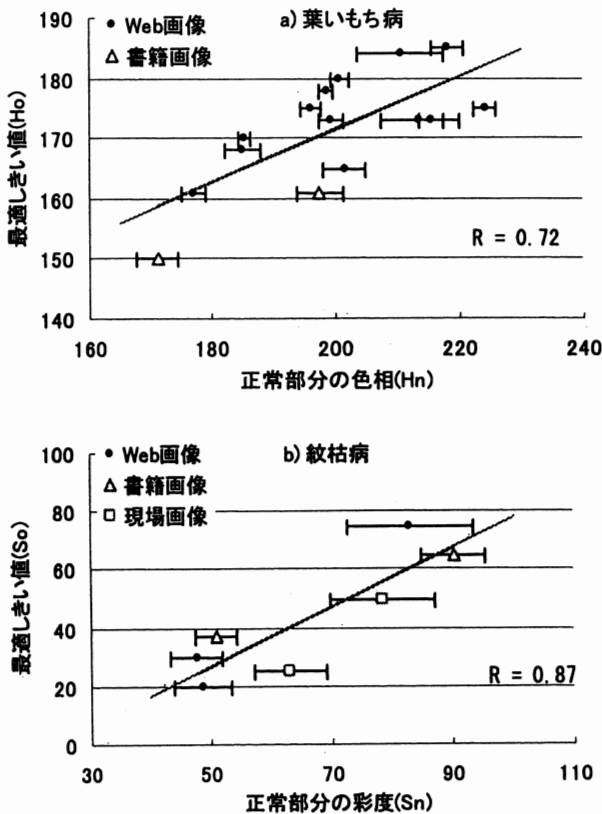


図4 正常部分と最適しきい値の関係

表2 各病気の回帰式と相関係数

病名	H				S			
	a	b	R	σ_h	a	b	R	σ_s
葉いもち病	0.44	83.5	0.72	6.49	0.69	2.7	0.92	14.97
紋枯病	0.74	16.3	0.84	7.39	1.03	-24.6	0.87	16.83
ごま葉枯病	0.2	127.5	0.57	2.08	0.22	41.9	0.55	3.85

(注) 回帰式: $y = ax + b$; R: 相関係数、 σ : 標準偏差

(ii) 各病気の抽出結果 回帰式で算出した推定しきい値 (He または Se)による抽出結果の例を図5に示す。同図の a)

は葉いもち病で He、b)は紋枯病、c)はごま葉枯病でそれぞれ Se を用いて抽出した。なお、中央の画像は最適しきい値による結果である。

a. 葉いもち病: 19 画像のうち抽出領域が病斑面積より大きかったのは 8 枚(42%)で面積割合が 8~44%の過剰となり、残り 11 枚は 5~55%減少した。±20%以内になった画像数は 10 枚(53%)であり、そのうち4枚が病斑面積より小さかった。正常部分が萎れた画像は抽出量が拡大し病斑の周囲に中毒部分が大きく広がっている場合抽出量がかなり減る傾向がみられた。

b. 紋枯病: 11 画像のうち抽出面積が病斑面積より大きかったのは 6 枚(55%)で面積割合が 3~24%の過剰、残り 5 枚のうち 4 枚は約 15%減少した。9 枚(82%)の画像は ±20%以内となった。

c. ごま葉枯病: 13 画像のうち抽出面積が病状面積の ±20%以内となった画像数は 9 枚(69%)であり、±30%以内では 12 画像(92%)であった。面積割合が過剰になったものは病斑が非常に小さかったことや病斑の多発や他の病気の発生により葉色に変化していたためと考えられる。

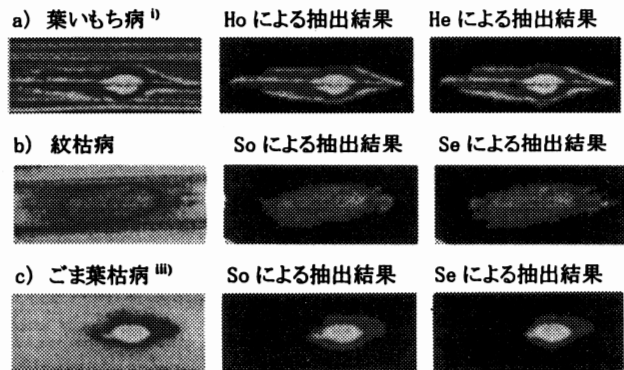


図5 病状領域の自動抽出結果の例

(iii) しきい値の決定法について

3種の病気の画像43枚のうち抽出面積が病状面積に対し ±30%以内のものは33枚(77%)、±20%以内が28枚(65%)で必ずしも十分でなかった。回帰式による推定しきい値で2値化を行うと、抽出面積が小さくなる傾向が見られた。そこで、しきい値を増加させるため最適しきい値の標準偏差 σ の利用を試みた。Hによる2値化では He に σ_h を、Sによる場合は Se に $\sigma_s/2$ を加えた。その抽出結果は図6ようになった。43画像のうち抽出面積 ±30%以内が38枚(88%)、±20%以内は26枚(60%)となり、±30%以内で改善が見られた。これらの結果から、自動処理化では、推定しきい値より少し大きな値を用いることが適切と考えられる。

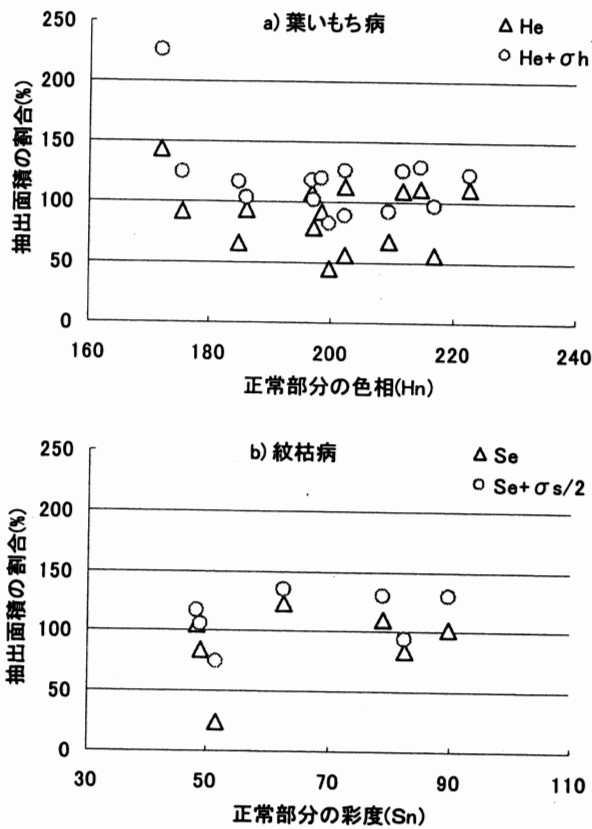


図6 推定しきい値による抽出面積の病状面積に対する割合

4. 摘要

本報では、6種類のイネ病気を対象に正常部分の色特徴を用いた2値化処理により病状領域を自動抽出する方法を検討した。

(1) 病気箇所のHSL分布の観察により手動でしきい値を決めて2値化処理を行った結果、ほとんどの画像はHまたはSによって良好に抽出された。ただし、病状ステージや病気部分と正常部分の境界が不明瞭な場合には完全に抽出できないことがあった。

(2) 3種類の病気について、正常部分のHまたはSと2値化の最適しきい値の間に相関関係がみられた。それらの単回帰式よりしきい値を算出して病斑の抽出を行った結果、抽出領域が病状面積に近い場合が多く、自動処理化が可能と思われる。

今後、他の病気を含めて、2値化のための最適な指標としきい値の選定、病斑内部構成の細分化などの自動化についてさらに検討を行う予定である。

謝辞

本研究の病気診断に当たっては青森県農林総合研究センター病害虫防除室倉内賢一主任研究員の助言を賜った。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) Zhihao Qin: Detection of rice sheath blight for in-season disease management using multi-spectral remote sensing, *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinfo*, 7, 2005
- 2) 農業・食品産業技術総合研究機構: リモートセンシングによる穂いもち被害程度の評価, 平成16年度東北農業研究成果情報, 2004
- 3) 河野司, 綾部任, 人見浩, 町田武美, 森泉昭治: 農作物病害虫防除支援のための統合データベースシステム「PaDB」の開発, *農業情報研究*, 1, 15-24, 2000
- 4) 相馬孝太郎, 高橋照夫: 携帯端末葉のWeb病害虫防除支援システムに関する研究, *農業機械学会東北支部報*, 50, 55-58, 2003
- 5) 中央農業総合研究センター: 有用植物の病害診断/防除総合システム, <http://riss.narc.affrc.go.jp/disease/>
- 6) 農山漁村文化協会: 原色作物病害虫百科(イネ), 2005
- 7) 酒井幸市: デジタル画像処理の基礎と応用, CQ出版社, 2003

画像の出典

- i) <http://www.ic-net.or.jp/home/gorobe/rice/byo-musi/byo-musi.html>
- ii) 宮城県病害虫防除所: <http://www.pref.miyagi.jp/byogai/index.htm>
- iii) 鹿児島県病害虫防除所: www.jpnpn.ne.jp/kagoshima/
- iv) Mississippi State University: <http://msucare.com/pubs/publications/p1840.htm>
- v) 岩手県植物防疫協会: いわたの農作物病害虫図鑑(I), 稲・畑作物・牧草編, 1994
- vi) 全国農村教育協会: 日本植物病害大辞典, 1998
- vii) 根本文宏, 平井一男, 森田弘彦: 全国農村教育協会, 防除ハンドブック, 稲の病害虫と雑草, 2004
- viii) 青森県農林総合研究センター病害虫防除室

ハイパースペクトル画像解析による採草地のセンシング (第1報)

—採草地センシングシステムの試作—

田中勝千*・鈴木由美子**・加藤 亘***・岡本博史****

片岡 崇****・嶋田 浩*****・杉浦俊弘*・嶋 栄吉*

Sensing of the meadow field using hyperspectral imaging (Part 1)

- Development of meadow field sensing system -

Katusyuki TANAKA, Yumiko SUZUKI, Wataru KATO, Hiroshi OKAMOTO,

Takashi KATAOKA, Hiroshi SHIMADA, Toshihiro SUGIURA, Eikichi SHIMA

ABSTRACT

The field information such as amount of grass growth and nutritive values is important for management at the meadow field. The objective of this research is to develop sensing system for the evaluation of growth and nutritive values of the meadow field. This paper reported the overview of the meadow field sensing system using hyperspectral imaging. In this system, an agricultural vehicle was used to acquire hyperspectral images of a whole meadow field. Hyperspectral images were acquired by running the vehicle with the hyperspectral imaging sensor. Spectral data of grass and others had the different patterns, and they were discriminated by the difference of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) values. This system would be a useful technique to obtain meadow field information.

[Keywords] image processing, hyperspectral imaging, meadow field, NDVI

1. はじめに

平成17年度に閣議決定された新たな「食料・農業・農村基本計画」では、食料自給率を平成22年までに、カロリーベースで45%に向上させることを見込んでいる(農林水産省2005)。しかし、飼料作物の作付面積と収穫量は年々減少傾向で推移している。また、輸入飼料が原因と考えられる家畜の病気(口蹄疫、牛海綿状脳症など)が多発したことから、これまでの輸入飼料に依存した日本の畜産のあり方について疑問が投げかけられている。これらのことを受けて、農林水産省では畜産物の安全・安心な供給体制の構築と自給飼料の増産および品質の向上を重要な課題として取り上げ、畜産業界の一部では自給飼料を基盤とした畜産経営へと転換が進んでいる(農林水産省生産局畜産部振興課2005)。今日まで、飼料作物に関する研究として育種・栽培技術、収穫後の調整・給与技術の開発および飼料設計のための成分測定などが多数取り組まれてきた。しかし、増産および品質の向上をフィールドスケールで検討していた研究はわずかである。

このような中で、圃場内の空間的なばらつきを認識し、効率的に作物の量と質の安定化を図る手法として「精密農業

(Precision Agriculture, 以下PA)」が注目されている。PAは、土壌の理化学的性質や作物の生育や収量に現れる圃場内の不均一性を評価し、それに基づいた的確な圃場・栽培管理を目指している。既に欧米では実用段階に達しており、今後国内の食料のみならず飼料生産にも波及すると考えられる。PAを実践するためには、圃場内の不均一性を把握することが必要となる。近年、不均一性の把握に有効な手法として、非接触で対象物の形状や特性を認識できるリモートセンシング、とくに画像情報が利用されている。その中でも、可視・近赤外領域の詳細なスペクトル情報を網羅的に観測できるハイパースペクトル画像が注目されている(Okamoto et al. 2007; 鈴木ら2006; 田中ら2006)。この画像は、様々な高度から取得される。高高度(衛星・航空機など)から取得された画像は、広域性に優れている。一方、低高度(グランドベース)から取得した画像は、広域性に劣るものの、空間解像度に優れているため、圃場の精密な局所管理には有効である。採草地における生育量や成分などの不均一性の情報は、肥培管理、収穫適期および草地更新時期の決定などの栽培管理において重要な情報となる。そこで本研究は、野外環境下でハイパースペ

クトル画像を用いて採草地の生育診断と栄養評価の可能性を明らかにすることを目的とした。本論文では、試作したハイパースペクトル画像解析を利用した採草地センシングシステムの概要について報告する。

2. 材料および方法

(1) ハイパースペクトルイメージングセンサ

ハイパースペクトルイメージングセンサとは、高い波長分解能で多数の波長バンド情報を観測することができるセンサである。

表1に供試したハイパースペクトルイメージングセンサ (Specim, ImSpector V10) の主な仕様を、図1には供試センサの構造を示す。供試センサは、イメージング分光器と2次元のモノクロ CCD センサから構成されている。供試センサに入射する撮影対象物の光は、対物レンズで集光され、細長いスリットを経由して分光器 (プリズム・グレーティング・プリズム方式) に到達する。このとき分光器の前部のスリットにより、1ライン分の光しか分光器に到達することができない。そのため、供試センサはラインセンサとして機能する。

分光器に到達した光は分光され、CCDに投影される。図2に、センサから出力される画像を示す。この図の水平軸方向には位置情報である空間軸が、垂直軸方向には波長情報である波長軸が取られている。図中の濃淡は、空間軸上にある任意の点の波長バンドごとの強度の大小を表している。従って、得られた情報は、空間、波長バンドおよび強度からなる3次元情報となる。

(2) センシングシステム

供試センサはラインセンサとして機能するため、撮影対象物全体の情報を取得するためには、センサの光軸を回転あるいは移動させなければならない。そこで本研究では、村田ら (2004) が開発した乗用管理機を用いたセンシングシステムを参考に、センシングシステムを試作した。圃場全体のスペクトル情報は、供試センサを農業用車両に固定し、走行することで取得した (図3)。供試車両には、刈幅1.55mのフロントドラムモアを装着した傾斜地用トラクタ (AEBI, TT33) を使用した。トラクタ上部に地上高さ2.10mの位置に、俯角45°になるようにセンサを取り付け、センサの取り付け位置から2.10m後方の、刈取られた牧草の刈倒し列を上方から撮

表1. 供試センサの主要諸元

型式	ImSpector V10
標準波長域	400-1000 [nm]
波長分解能	6 [nm]
スリットの幅	80 [μ m]

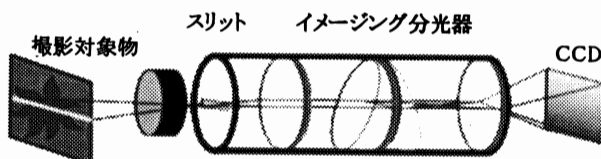


図1 供試センサの構造

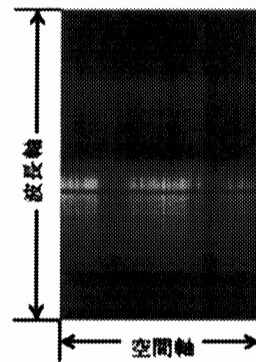


図2 供試センサから出力される画像

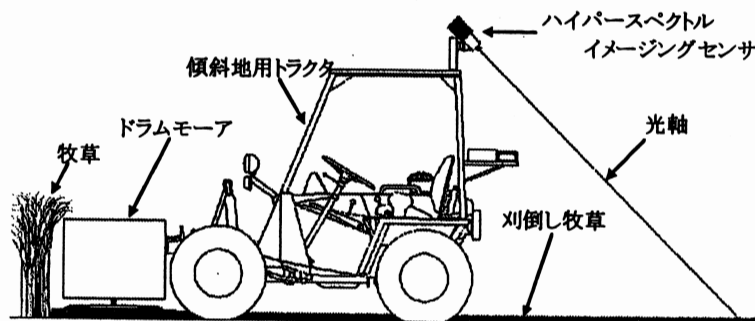


図3 センシングシステムの概要

影できるようにした。

供試センサから出力された画像は、アナログ出力の映像信号としてポータブルデジタルビデオレコーダ (Panasonic, NG-GX7) でデジタルビデオテープに動画として連続的に記録した。その後、この画像は、動画ファイル (Microsoft DV 形式 AVI ファイル) として、パーソナルコンピュータ (PC) に取り込んだ。記録した画像は、波長軸が 720 画素、空間軸が 480 画素となり、フレームレート (単位時間当たりの画面が書き換えられる回数を表した値) は 29.97fps となる。

(3) ハイパースペクトル画像解析

供試したセンシングシステムにより取得したハイパースペクトル画像の解析には、岡本ら (2006a, 2006b) が開発したハイパースペクトル画像の多目的解析に対応したオブジェクト指向ソフトウェアフレームワークを基本プラットフォームと

した専用プログラムを作成し供試した。このソフトウェアは、取得したスペクトル画像を取り込むと、任意の波長帯の画像を作成し、指定位置座標のスペクトルデータを抽出することができる。図4に、ソフトウェアによって作成された 750nm (近赤外光域) のときの刈倒し牧草の波長バンド画像を、図5には抽出した画素のスペクトルデータの例を示す。

3. 結果および考察

図5に示した牧草の刈倒し列とその境界の画素のスペクトルデータをから、刈倒し列では、赤色光領域では光の吸収が見られ、近赤外光領域で光の反射が見られた。一方、列の境界では、赤色光領域では刈倒し列よりも光の反射が強く、近赤外光領域では光の吸収が強かった。そのため、両者は 600~680nm の赤色光領域および 700~900nm の近赤外光領域の

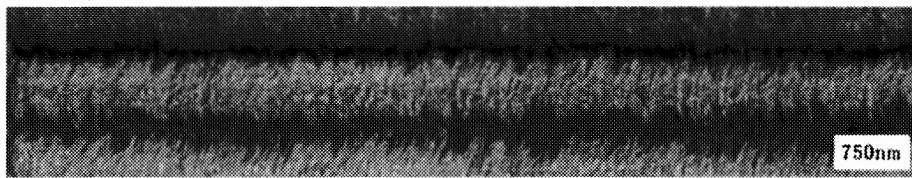


図4 刈倒し牧草の波長バンド画像

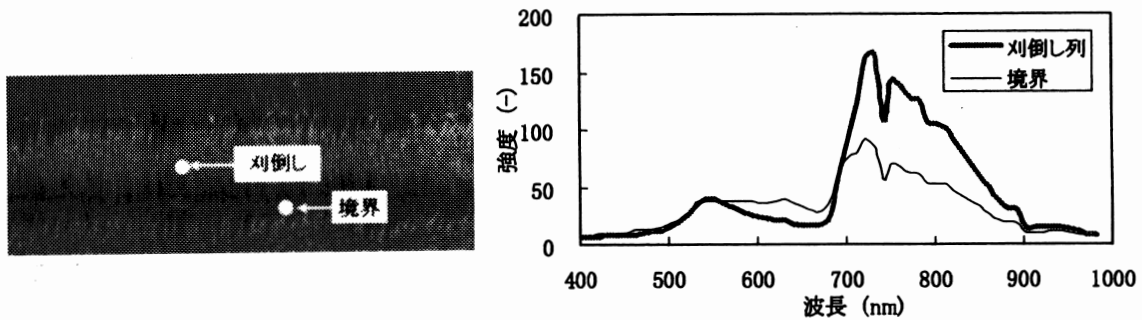


図5 抽出した画素のスペクトルデータ

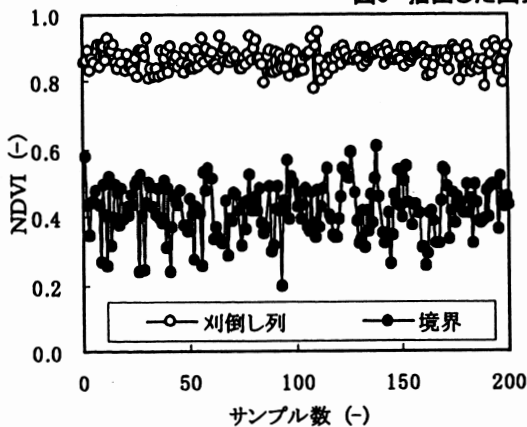


図6 刈倒し列とその境界のNDVI値

表2 刈倒し列と境界のNDVI値の範囲および標準偏差

	平均	範囲	標準偏差
刈倒し列	0.87	0.78-0.95	0.03
境界	0.42	0.20-0.61	0.08

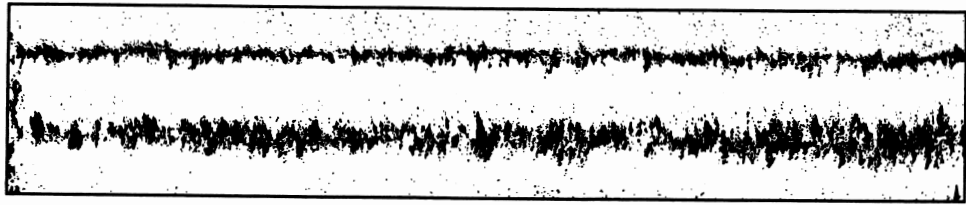


図7 刈倒し牧草の抽出画像
(白:NDVI \geq 0.70, 黒:NDVI < 0.70)

強度に大きな差があった。また、これらの領域から求められるNDVI値(正規化植生指数)を図6に、NDVI値の範囲および標準偏差を表2に示す。牧草刈倒し列のNDVI値は0.78以上、列の境界は0.61以下と両者の値には大きな差があった。そこで、NDVI値を基準に刈取り部の抽出を試みた。図7は、NDVI値0.70を基準に、0.70以上を白色、0.70以下を黒色で示した識別画像である。この画像と波長バンド画像(図4)を比較してみると、刈倒し列の部分が白色、境界が黒色で示されていることがわかる。

以上のことから、試作したセンシングシステムにより、牧草の刈倒し列の情報が捉えられていることがわかる。

5. まとめ

本研究では、ハイパースペクトルイメージングセンサにより採草地の圃場情報をセンシングするためのセンシングシステムを試作した。試作したシステムにより、刈倒し牧草のハイパースペクトル画像を取得できた。また、NDVI値を用いることで、撮影画像から牧草の刈倒し列のみの抽出ができた。以上の結果から、試作したシステムは採草地の圃場情報のセンシングに有効なシステムであると考えられる。今後は、取得した画像と牧草成分および生育量などを比較し、推定の可能性を検討する。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(No.14560213, No.19580303)、私立大学経常費および北里大学獣医畜産学部プロジェクト研究(地域環境共生畜産に関する実証的総合試験)の補助を受けた。また、本研究の遂行に当たって、北里大学獣医畜産学部フィールドサイエンスセンターの職員の皆様および生物環境情報学研究室の専攻生には多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- 農林水産省(編)(2005)食料・農業・農村基本計画.
<http://www.maff.go.jp/keikaku/20050325/20050325honbun.pdf>
[2006年11月1日参照]
- 農林水産省生産局畜産部畜産振興課(編)(2006)自給飼料増進
通信第5号.
http://www.maff.go.jp/lir/nousuikaigi/h18062930_ref_data03.pdf [2006年11月1日参照]
- 村田哲郎・岡本博史・片岡 崇・端 俊一(2004)ハイパースペクトルイメージを用いた圃場センシング—撮影装置及びデータ解析手法の開発—. 農業機械学会北海道支部報 44:45-49
- 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一(2006a)ハイパースペクトル画像による多目的解析に対応したオブジェクト指向ソフトウェアフレームワークの構築. 農業情報研究 15(2): 103-112
- 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一(2006b)ハイパースペクトル画像解析フレームワークを利用したリモートセンシングソフトウェアの開発. 農業情報研究 15(3):219-230
- Okamoto,H, Murata,T, Kataoka,T, Hata,S., 2007, Plant classification for weed detection using hyperspectral imaging with wavelet analysis. Weed Biology and Management, 7, 31-37.
- 鈴木由美子・田中勝千・加藤 亘・岡本博史・片岡 崇・端 俊一・嶋田 浩・杉浦俊弘・嶋 栄吉(2007)牧草成分の推定システムの開発—ハイパースペクトルイメージングセンサを利用した牧草成分の推定—. 農業機械学会誌 69 (5):43-51
- 田中勝千・鈴木由美子・加藤亘・岡本博史・嶋田浩(2006)ハイパースペクトルイメージングセンサによる圃場情報のセンシング 1—ハイパースペクトルイメージングセンサによる牧草のセンシング—. 日草誌 52 (別):26-27

ハイパースペクトル画像解析による採草地のセンシング (第2報)

—採草地牧草の乾物収量, 水分, 栄養価の推定—

鈴木由美子*・田中勝千**・加藤 亘***・岡本博史****
片岡 崇****・嶋田 浩*****・杉浦俊弘**・嶋 栄吉**

Sensing of the meadow field using hyperspectral imaging (Part 2)

-Estimation of the grass yield, moisture and nutritive value in the meadow field-

Yumiko SUZUKI, Katsuyuki TANAKA, Wataru KATO, Hiroshi OKAMOTO,
Takashi KATAOKA, Hiroshi SHIMADA, Toshihiro SUGIURA, Eikichi SHIMA

ABSTRACT

This paper reported the estimation of the meadow field information such as grass yield, moisture and TDN (total digestible nutrient) using hyperspectral imaging. Each calibration model to estimate the field information was developed by multiple liner regression analysis, and validated by the cross validation. Calibration models for moisture and TDN were evaluated by EI (evaluation index) method. As a result, moisture and TDN could be estimated in practical accuracy. However, it was difficult to estimate yield. The further investigation is needed to improve calibration models.

[Keywords] hyperspectral imaging, yield, moisture, total digestible nutrient, statistical analysis

1. はじめに

近年, 作物の量と質の安定化を図るために, 圃場内の面的な不均一性を評価し, 圃場管理に役立てる精密農業が注目されている。精密農業は欧米では実用段階に達しており, 国内でも食料生産のみならず飼料生産にも波及すると考えられる。圃場の面的な不均一性の評価には, 観測波長域の増加や波長分解能の向上により発展したリモートセンシング, 中でも画像解析を利用したものが有用とされている。そこで本研究は, 野外環境下でのグランドベースのリモートセンシングとして, ハイパースペクトル画像解析を用いて採草地の生育診断と栄養評価の可能性を明らかにすることを目的とした。前報では, 農用車両を利用したグランドベースのセンシングシステムを試作した。本報では, 試作したシステムを用いて, 採草地牧草の乾物収量, 水分および栄養価の推定の可能性を検討した。

2. 材料および方法

(1) 供試センサおよびセンシングシステム

供試ハイパースペクトルイメージングセンサは, 前報と同様の ImSpector V10 (Specim) である。供試センサの観測波長域は, 390-990nm で, 波長分解能は 6nm である。供試セン

シングシステムは, 村田ら (2004) の手法を参考に前報で試作したセンシングシステムを利用した。また, 取得したハイパースペクトル画像解析には, 岡本ら (2006a, 2006b) が開発したソフトウェアを用いた。

(2) 実験方法

北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター十和田農場第2圃場内のオーチャードグラス (アキミドリ) を主体とした混播採草地を調査対象とした。調査対象内に面積 0.25ha (50m×50m) の調査区を設け, 2006年の1番草, 2番草および3番草を調査した。供試センシングシステムの車両は, フロントドラムモータを装着しているため, 本実験では, ハイパースペクトル画像を刈取り作業と同時に取得した。センサは, 車両の後方 2.10m を撮影位置とするため, 本実験での撮影対象は, 牧草の刈倒し列となる。刈取り速度は, 1 m/s である。図1に実験風景を示す。

(3) 乾物収量の測定

試験区全面を対象に牧草の乾物収量を測定した。まず, 刈取り後, 単位区画を刈幅 (約 1.5m) × 2.0m とし, 単位区画ごとに牧草の集草し, その後, 電子質量計 (AIKOH, CPU ゲージ MODEL-RX) と自作の重量計測用袋により各区画の生草

質量を秤量した。また、刈倒し列2列ごとに少量の牧草を採取し、105°Cの恒温器 (ESPEC, P V-221) で24時間程度乾燥させて、刈倒し列の平均の水分を算出した。平均水分を基準に、単位区画の生草重量を単位区画当たりの乾物収量に換算した (田中ら 2001)。

(4) 牧草水分および栄養価の測定

牧草水分および栄養価分析用のサンプルについては、乾物収量と牧草栄養価の関わりが深いと考え、乾物収量の変動が顕著な東西方向の区画をサンプリング地点として選択した。1サンプリング地点当たりの面積は、乾物収量調査のときの単位区画 (刈幅 (約 1.5m) × 2.0m) と同様である。各番草のサンプリング地点数は、1番草 19点、2番草 21点および3番草 13点の合計 53点である。牧草サンプルは、各地点から約 300g採取し、十勝農業協同組合連合会農産化学研究所に成分分析を依頼した。本報告では、水分および栄養価として TDN (可消化養分総量) を検討対象とした。

(5) 圃場情報の推定モデルの作成および評価

圃場情報推定モデルは、撮影したスペクトル画像から取得したスペクトルデータとそれぞれの実測値 (乾物収量、水分、TDN) を用いて求めた (鈴木ら 2006, 2007)。スペクトルデータは、各地点のスペクトル画像から 100 画素分抽出した。スペクトルデータは、同一個体の同一部分であっても、撮影時の照度やレンズの絞り値により全体の輝度レベルが変動する (図 2-a)。一方、スペクトルデータの最小値は、照度やレンズの絞り値が変化してもほとんど一定であるため、供試センサの CCD の感度が 0 に相当すると考えられる。そこで、最小値 0、平均値 1 となるように、(1) 式により正規化処理を施した (村田ら 2004 ; 岡本ら 2006a)。図 2 に正規化したスペクトルデータの例を示す。

$$N_i = \frac{S_i - S_{min}}{S_{mean} - S_{min}} \dots (1)$$

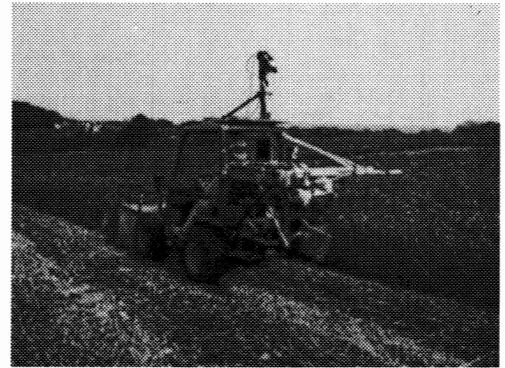
ここで、 N_i : 正規化したスペクトルデータ ($i=1 \sim 60$)

S_i : スペクトルデータ ($i=1 \sim 60$)

S_{min} : スペクトルデータの最小値

S_{mean} : スペクトルデータの平均値

乾物収量、水分および TDN の推定モデルは、正規化したス

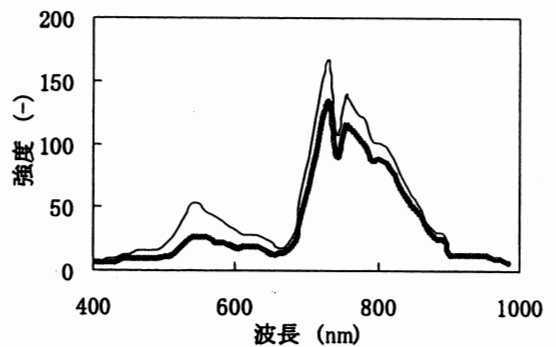


(a) 撮影風景

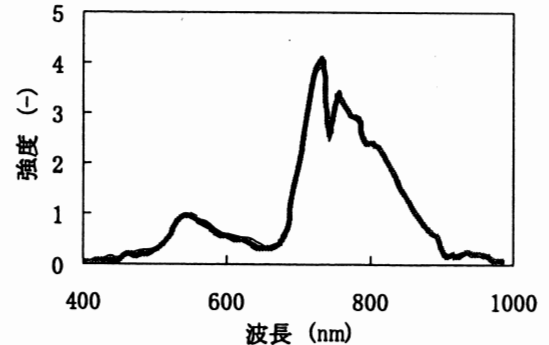


(b) 牧草の刈倒し列

図1 実験風景



(a) 元データ



(b) 正規化データ

図2 スペクトルデータの正規化

ベクトルデータ (N_c) とそれぞれの実測値を用いて、重回帰分析により求めた。そして、推定モデルの検証にはクロスバリデーションを適用した。推定モデルの作成時の推定精度については、SEC (Standard Error of Calibration) および実測値と推定モデルによる推定値 (推定値) とを回帰した場合の決定係数 (R^2) により検討した。検証時の推定精度については、SECV (Standard Error of Cross Validation), 平均誤差 (Bias) および実測値と推定値とを回帰した場合の決定係数 (R^2) により検討した。SEC, SECV および Bias については、以下の (2), (3) および (4) 式より算出した。

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_c} (Y_i - X_i)^2}{N_c - p - 1}} \dots (2)$$

$$SECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i - Bias)^2}{N_p - 1}} \dots (3)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N_p} - \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N_c} \dots (4)$$

ここで、 Y_i : 実測値

X_i : 推定値

N_c : 推定モデルの作成に用いたサンプル数

N_p : 推定モデルの検証に用いたサンプル数

p : 推定モデルに用いた説明変数の数

さらに、水分および TDN については、飼料成分の推定モデルの評価に応用されている EI (Evaluation Index) 法も用いた。EI 法による評価では、A: 非常に高い (EI < 12.4%), B: 高い (EI = 12.5 ~ 24.9%), C: 低い (EI = 25.0 ~ 37.4%), D: 非常に低い (EI = 37.5 ~ 49.9%) および E: 推定不能 (EI > 50.0%) の 5 段階となっている。EI が 37.4% 以下であれば、つまり判定結果が C ランク以上であれば、得られた推定モデルは実用可能な精度を有しているといわれている (自給飼料品質評価研究会 2001)。

$$EI = \frac{2 \times SDP}{range} \dots (5)$$

ここで、SDP: 誤差の標準偏差

range: 供試サンプルの成分範囲

表1 収量および各成分の推定結果一覧

	説明変数の数	モデル作成時		モデル検証時				
		R^2	SEC	R^2	SECV	Bias	Slope	EI
収量	3	0.13	0.13	0.09	0.13	0.00	0.11	-
水分	2	0.81	2.89	0.80	2.68	0.01	1.03	25.30
TDN	3	0.77	2.11	0.77	1.97	-0.10	1.04	27.70

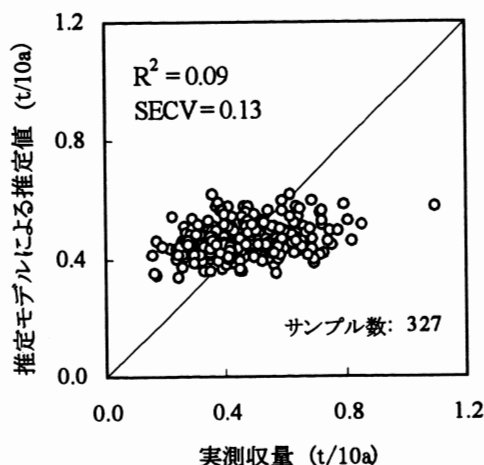


図3 収量の実測値と推定値の関係

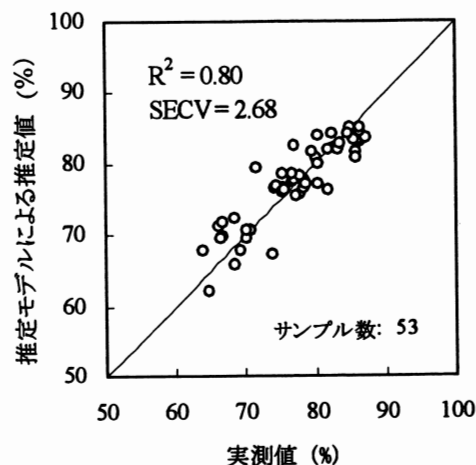


図4 水分の実測値と推定値の関係

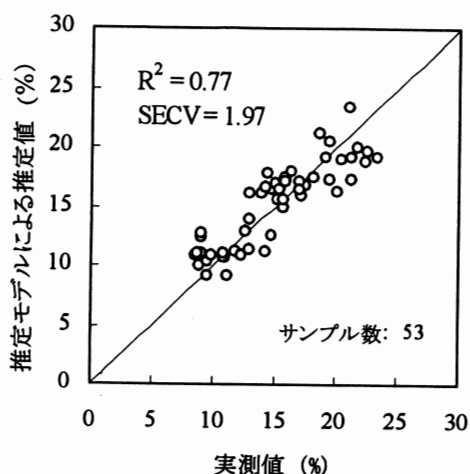


図5 TDNの実測値と推定値の関係

3. 結果および考察

表1に乾物収量、水分、TDNの推定結果の一覧を示す。また、図3～5には、検証時の実測値と推定モデルにより算出された推定値との関係を示す。乾物収量では、検証時の R^2 が0.09と低い値であった。また、図3のほとんどのプロット点が参照線(45°線)から外れていたため、乾物収量の推定は難しいと考えられる。一方、水分およびTDNでの検証時の R^2 は、0.70以上あった。また、図4および図5のほとんどのプロット点は参照線に沿って分布していることがわかる。そのため、作成した推定モデルから大まかな推定が可能と考えられる。さらに、EIによる評価からも、水分およびTDNでは、作成した推定モデルは実用可能な精度を有しているといえる。

4. まとめ

本報では、ハイパースペクトル画像解析を用いた圃場情報の推定の可能性について検討した。牧草の乾物収量については、推定モデルの精度の向上を図る必要があった。一方、水分およびTDNについては、作成した推定モデルは実用可能な精度を有していた。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(No.14560213, No.19580303)、私立大学経常費および北里大学獣医学部

プロジェクト研究(地域環境共生畜産に関する実証的総合試験)の補助を受けた。また、本研究の遂行に当たって、北里大学獣医学部フィールドサイエンスセンターの職員の皆様および生物環境情報学研究室の専攻生には多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- 自給飼料品質評価研究会編(2001)改訂粗飼料の品質評価ガイドブック。社団法人に本草地畜産種子協会:53-65
- 村田哲郎・岡本博史・片岡 崇・端 俊一(2004)ハイパースペクトルイメージを用いた圃場センシング—撮影装置及びデータ解析手法の開発—。農業機械学会北海道支部報44:45-49
- 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一(2006a)ハイパースペクトル画像による多目的解析に対応したオブジェクト指向ソフトウェアフレームワークの構築。農業情報研究15(2):103-112
- 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一(2006b)ハイパースペクトル画像解析フレームワークを利用したリモートセンシングソフトウェアの開発。農業情報研究15(3):219-230
- 鈴木由美子・田中勝千・加藤 亘・岡本博史・嶋田 浩(2006)ハイパースペクトルイメージングセンサによる圃場情報のセンシング 2—ハイパースペクトルイメージングセンサによる牧草成分の推定—。日草誌52(別):28-29
- 鈴木由美子・田中勝千・加藤 亘・岡本博史・片岡 崇・端 俊一・嶋田 浩・杉浦俊弘・嶋 栄吉(2007)牧草成分の推定システムの開発—ハイパースペクトルイメージングセンサを利用した牧草成分の推定—。農業機械学会誌69(5):43-51
- 田中勝千、本橋罔司・高野 剛(2001)草地におけるプレジジョンファーミング(第4報)—3個の超音波式変異センサを用いた牧草収量分布の推定—。農業機械学会東北支部報48:13-16

降水量から見た作業可能日数率算出支援シートの作成

大里達朗*・伊藤勝浩**・鶴田正明**

Making of days rate calculation support seat in which it can work from precipitation

Tatsuro OSATO *, Katsuhiko ITOH **, Masaaki TSURUTA **

[キーワード] 作業可能日数率、降水量、イネ、ムギ、ダイズ

1. はじめに

農業機械作業を前提とした農作業計画策定にあたっては、機械の効率的利用を目的に作業期間を適切に設定する必要がある。作業期間の設定に当たっては、作物別の適期作業期間とともに、作業可能日数率的確な推定が必要であるが、作業可能日数率は降雨日数により大きく影響されるものと考えられ、算出のための降水量基準が農林水産省より示されている(表1)。作業可能日数率は、大規模経営や集落営農において農作業計画を策定する上で重要な要素であるが、これまで地域ごとの作業可能日数率は算出されていないのが現状である。

岩手県は、本州最大の面積を有し、地形も平坦地から山間地まで多岐にわたり、気象条件は地域により大きく異なる。岩手県における有効な農業機械の活用を考える場合には、地区別の適切な農作業計画の策定が必要であり、そのためには、各地域別の適正な作業可能日数率の把握が求められる。

このことから、岩手県内のアメダス観測地点における概ね過去30年間の日別降水量をデータベース化し、地点別、作業別の作業可能日数率を算出するシートを作成したので報告する。また、県内アメダス観測地点別の作業可能日数率の傾向について、クラスター分析を用いた傾向解析・分類を行った結果についても併せて報告する。

表1 作業限界降水量の基準

作業No	作物	作業項目	当日 (mm/1日)	前日 (mm/1日)	前々日 (mm/1日)
1	水稲	耕起	5	20	30
2	水稲	代かき	15	30	50
3	水稲	畦畔整備(補修)	15	30	30
4	水稲	移植	10	30	50
5	水稲	除草剤散布	3	20	30
6	水稲	防除	3	20	30
7	水稲	追肥	3	20	30
8	水稲	収穫	5	15	25
9	水稲	収穫物運搬	5	15	25
10	水稲	土壌改良材散布	3	15	25
11	水稲	基肥施用	3	15	25
12	麦	耕起	5	20	30
13	麦	除草剤散布	3	20	30
14	麦	防除	3	20	30
15	麦	追肥	3	20	30
16	麦	収穫	5	20	30
17	麦	収穫物運搬	5	20	30
18	麦	施肥播種	3	15	30
19	麦	土壌改良材散布	3	15	25
20	麦	基肥施用	3	15	25
21	麦	心土破砕	5	20	30
22	麦	踏圧	1	5	10
23	大豆	耕起	5	20	30
24	大豆	除草剤散布	3	20	30
25	大豆	防除	3	20	30
26	大豆	追肥	3	20	30
27	大豆	収穫	5	20	30
28	大豆	収穫物運搬	5	20	30
29	大豆	施肥播種	5	15	30
30	大豆	土壌改良材散布	3	15	25
31	大豆	基肥施用	3	15	25
32	大豆	中耕培土	5	15	30
33	大豆	刈り取り脱穀	5	20	30
34	大豆	排水対策(溝切り等)	5	20	30
35	大豆	島立て	5	15	25
36	大豆	脱穀	5	20	30

注1) 出典は農林水産省1987:一部加筆
注2) 作業Noは作物別作業を識別するために付した。

2. 試験方法

(1) 作業可能日数率算出支援シートの作成

①気象データ: 岩手県メッシュ気象情報システムに登録されているアメダス観測地点(以下、観測地点と表記)のうち、2006年末現在で概ね30年分計測されている36地点の日別積算降水量データを利用した(表2)。期間は、

表2 使用した岩手県内アメダス観測地点

NO	地点名	NO	地点名	NO	地点名
1	種市	13	岩泉	25	湯田
2	軽米	14	小本	26	遠野
3	二戸	15	葛根田	27	北上
4	山形	16	藪川	28	釜石
5	久慈	17	雫石	29	若柳
6	荒屋	18	盛岡	30	江刺
7	奥中山	19	宮古	31	住田
8	葛巻	20	紫波	32	祭時
9	下戸鎖	21	川井	33	衣川
10	普代	22	沢内	34	大船渡
11	岩手松尾	23	大迫	35	一関
12	好摩	24	山田	36	千厩

注) Noは地点の識別のために付した。

各年ともに、県内で主な圃場作業が行われる期間がカバーできる3月1日から12月31日までとした。

②降水量データベース：観測地点別に日別積算降水量のデータベースを作成した。各年次別の3月1日から12月31日の日別積算降水量データは列毎に、連続した年次は隣接した列に表記し、統計期間および年次を変えた場合でも集計しやすいように配置した。また、新規データは継続して入力できるようにした(図1)。

盛岡	18	19	20	21	22	23	...	44	45	46	47	48	49
年	51	52	53	54	55	56	...	H14	H15	H16	H17	H18	H19
西暦	1976	1977	1978	1979	1980	1981	...	2002	2003	2004	2005	2006	2007
3月	1	0.0	0.0	8.0	0.0	1.0	1.0	...	0.0	15.0	0.0	0.0	25.0
	2	0.0	9.0	0.0	0.0	1.0	0.0	...	1.0	17.0	4.0	3.0	2.0
	3	0.0	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	1.0	18.0	0.0	2.0	0.0	...	0.0	6.0	9.0	0.0	0.0
	5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0	...	32.0	0.0	21.0	0.0	4.0
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	...	18.0	11.0	0.0	0.0	0.0

図1 降水量データベースシート(盛岡)

③作業可能日数率の算出：作業可能日数率は、農水省が示す作業限界降水量の基準値(表1)を基準に算出し、対象作物はイネ、ムギ、ダイズとした。作業可能日数率の算出は、過去概ね30年間の日別積算降水量の基準値別頻度分布解析を観測地点・半旬別に行い、作業別の基準値毎に頻度を合計した累積頻度を求め、その値を1から引いた値が過去に基準値以上の雨の降った確率とした(図2)。基準値毎に算出される過去の降水確率を作業限界降水量基準別に合計した値が、作業可能日数率とした(図3)。

地点名	盛岡	階級値	半旬別頻度	累積率%	100-累積率%	年月日	西暦	1977	1978	...	2005	2006	
3月	1	0	89	59.3%	40.7%	3/1	0.0	8.0	...	0.0	25.0	0.0	
		1	18	71.3%	28.7%	3/2	9.0	0.0	...	3.0	2.0	0.0	
		2	15	81.3%	18.7%	3/3	3.0	1.0	...	0.0	0.0	0.0	
		3	7	86.0%	14.0%	3/4	1.0	18.0	...	0.0	0.0	0.0	
		4	10	94.0%	6.0%	3/5	1.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	
		5	31	95.0%	4.0%	3/6	1.0	0.0	...	0.0	4.0	0.0	
		10	31	98.0%	2.0%	3/7	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	
		20	25	98.7%	1.3%	3/8	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	
		25	30	99.3%	0.7%	3/9	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	
		30	50	100.0%	0.0%	3/10	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	
		50以上	0	100.0%	0.0%	3/11	0.0	13.0	...	4.0	4.0	0.0	
							3/12	0.0	1.0	...	1.0	0.0	0.0

図2 半旬別降水量データの頻度分布解析と降水確率の算出例(盛岡：1977-2006年：3月第1半旬)

④シートはMS-Excel-forWindowsを用いて作成し、全体はBook形式で、条件の入力と結果の表示が同一画面(シート)上で行えるようにした。その結果、条件入力及び作業可能日数率表示シート、地点別降水量データシ

ート、集計用シートで構成した。各集計、計算にはExcel関数を使用し、マクロは使用していない。これは、マクロを使用することによるシートの複雑性をさけるためであり、使用する人が必要に応じて改良しやすくしたものである。

月	半旬	降水量基準			作業不可能日数率%	作業可能日数率%
		①当日5	②前日20	③前々日30		
3	1	14.0	2.0	0.7	16.7	83.3
	2	14.0	2.0	1.3	17.3	82.7
	3	12.0	1.3	0.7	14.0	86.0
	4	14.7	2.0	0.0	16.7	83.3
	5	13.3	4.0	1.3	18.6	81.4
	6	15.0	2.2	0.6	17.8	82.2
4	1	15.3	1.3	0.7	17.3	82.7
	2	15.3	3.3	0.7	19.3	80.7
	3	16.7	4.7	2.0	23.4	76.6
	4	18.0	6.0	2.7	26.7	73.3
	5	16.0	4.0	2.0	22.0	78.0
	6	17.6	5.4	2.0	25.0	75.0

図3 作業可能日数率の算出例(盛岡：1977-2006年：基準値5-20-30)

(2)岩手県におけるアメダス観測地点別の作業可能日数率の傾向解析と分類

①観測地点36地点の半旬別作業可能日数率を、一つの作業限界降水量基準値(次に示す)をもとに3月1日~12月31日について求め、各観測地点別の作業可能日数率の傾向分類を行った。

②基準とした作業限界降水量基準値は、当日5mm、前日20mm、前々日30mmである。これは、水稻耕起、小麦収穫、大豆収穫などの基準に相当する。

③求めた半旬別作業可能日数率から、さらに前後の3半旬期の作業可能日数率を平均した移動平均値を求め、この数値を傾向分析値として用いた。

④各地点別の傾向分類には、クラスター分析を用い、データの平準化は行わず、Ward法で行った。

月	半旬	作業可能日数率%	移動平均%
3	1	83.3	84.0
	2	82.7	
	3	86.0	
	4	83.3	
	5	81.4	
	6	82.2	
4	1	82.7	81.9
	2	80.7	
	3	76.6	
	4	73.3	
	5	78.0	

図4 作業可能日数率の移動平均の算出(盛岡：当日5mm、前日20mm、前々日30mm)

3. 試験結果と考察

(1)シートの操作手順(図5、6)

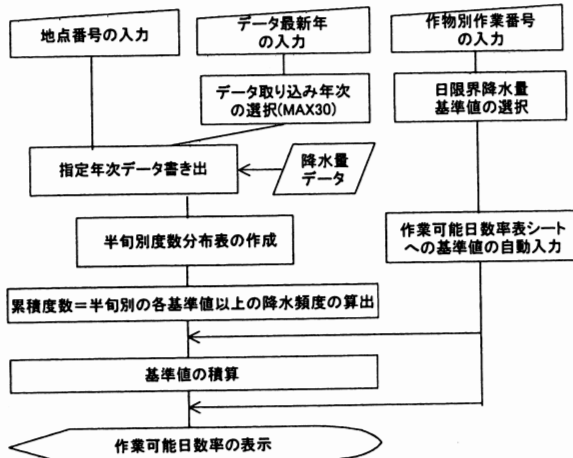


図5 作業可能日数率算出フローチャート

①作業可能日数率表示シートに地点リストから観測地点名を選択し、観測地点別に付した識別番号を入力する(例：種市=1、盛岡=18)。番号の入力で観測地点が選択され、集計用シートに観測地点の日積算降水量データが取り込まれ、頻度分布解析、基準値別の降水確率が算出される(図6)。

②作業限界降水量基準表から作物別の作業名を選択して、作物・作業別に付した識別番号を入力する(例：水稲耕起=1、麦防除=14)。識別番号の入力により、作物、作業別の作業限界降水量基準値が選択され、当日、

前日、前々日の基準値毎に過去の降水確率が算出される。当日、前日、前々日の降水確率の合計値を作業不可能日数率として算出し、さらに、作業不可能日数率を100から引いた値として作業可能日数率が算出される。

③集計する概ね過去30年の降水量データのうち最新のデータ年を西暦で入力する。ここで、データ最新年を認識することにより、選択された地点の最新年から過去30年間(30年間のデータが無い場合はその期間分)のデータを頻度分布解析して作業可能日数率が算出される。

④作業可能日数率表示シートへの地点別・作物別・作業別の作業可能日数率が表示される。動作環境によっては、再計算時間を要し、表示にやや時間を要する場合があります。これは、集計表シートにデータを取り込む場合に一つ一つのセルで認識するための計算を行っていることによる。

⑤作業各作業可能日数率について、全て3月から12月までの表示を行うようにしているが、利用に当たっては必要な時期の数値を適宜選択する。

⑥地点別データシートに最新のデータの追加が可能で、入力した最新データは入力シートへの最新データ年を入力することで反映される。

(2) 観測地点別の傾向

観測地点の作業可能日数率の傾向は、図7に示すよう

①下の表1から地点名を選んで番号を入力

②下の表2から作物別作業名を選んで番号を入力。

③データ最新年を入力

④作業可能日数率が表示される

1977-2006

地点NOのみを表1から入力→

18

盛岡

データ最新年を入力!

作業NOのみを表2から入力→

1

水稲

耕起

2006

表1

表2

降水量基準値
(作業限界降水量)

地点NO	地点名
1	種市
2	軽米
3	二戸
4	山形
5	久慈
6	荒屋
7	奥中山
8	葛巻
9	下戸領
10	菅代
11	岩手松尾
12	好摩
13	岩泉
14	小本
15	葛根田
16	蔵川
17	磐石
18	盛岡
19	宮古
20	紫波

月	半旬	作業可能日数率%	月	半旬	作業可能日数率%
1	1	83.3	1	1	66.6
1	2	82.7	1	2	70.7
1	3	86.0	1	3	68.0
1	4	83.3	1	4	67.3
1	5	81.4	1	5	58.0
1	6	82.2	1	6	54.5
1	1	82.7	2	1	66.8
1	2	80.7	2	2	54.1
1	3	76.6	2	3	61.3
1	4	73.3	2	4	62.6
1	5	78.0	2	5	66.7
1	6	75.0	2	6	78.4
1	1	73.4	3	1	74.7
1	2	76.0	3	2	74.6
1	3	72.0	3	3	81.2
1	4	78.1	3	4	82.5
1	5	74.8	3	5	76.7
1	6	77.6	3	6	78.9

作業No	作物	作業項目	当日	前日	前々日
1	水稲	耕起	5	20	30
2	水稲	代かき	15	30	50
3	水稲	畦畔整備(補修)	15	30	30
4	水稲	移植	10	30	50
5	水稲	除草剤散布	3	20	30
6	水稲	防除	3	20	30
7	水稲	追肥	3	20	30
8	水稲	収穫	5	15	25
9	水稲	収穫物運搬	5	15	25
10	水稲	土壌改良材散布	3	15	25
11	水稲	基肥施用	3	15	25
12	麦	耕起	5	20	30
13	麦	除草剤散布	3	20	30
14	麦	防除	3	20	30
15	麦	追肥	3	20	30

図6 作業可能日数率の表示(盛岡)

に地域により大きく傾向が異なるものであった。

水産省で示した作業限界降水量を用いた。

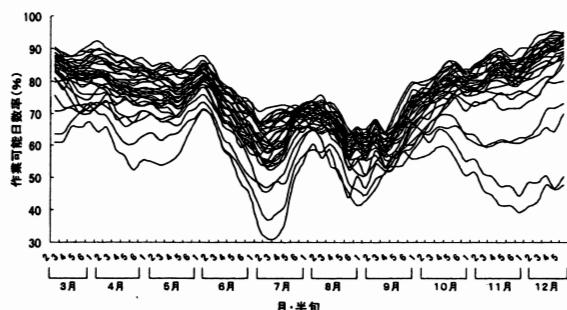


図7 地点毎作業可能日数率の傾向 (36地点)
(基準値: 当日 5mm、前日 20mm、前々日 30mm)

作業可能日数率の各観測地点の傾向は、各観測地点の降水量に基づいて算出して示したもので、ほぼ各観測地点における雨の降り方の傾向を示したものであると言える。よって、あらかじめ分類の基準があるものではなく、分類手法としてクラスター分析で傾向の分類を行った。

クラスター分析を行うことにより、岩手県内の作業可能日数率の傾向は概ね7つに分類できた(図8、9)。

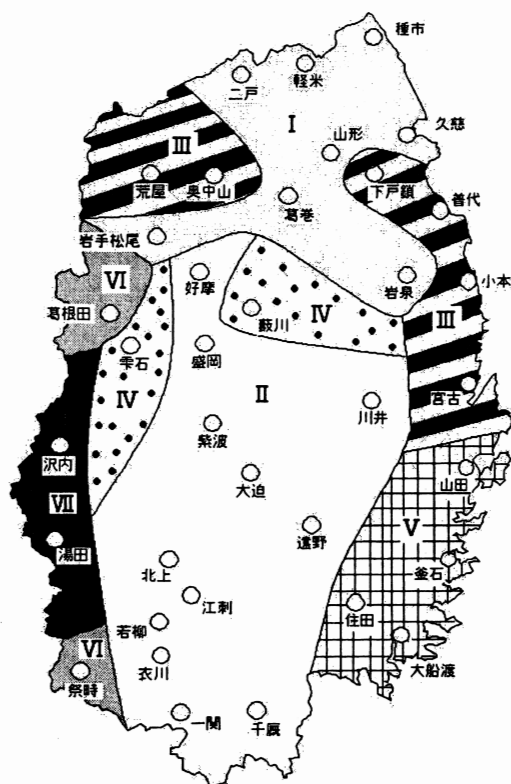


図9 作業可能日数率の県内の傾向分類
(同じ分類は同じ色・印・NO.で示した)

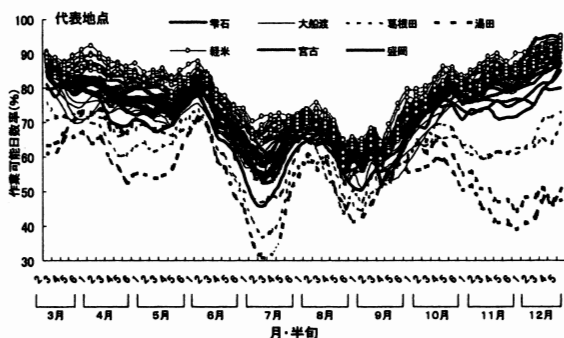


図8 作業可能日数率の傾向分類

また、概ね、分類の型を表現すると、I 通年高率型(二戸地域、久慈地域北部、宮古地域内陸北部)、II 平均型(盛岡地域、花北地域、水沢地域、遠野地域、両盤地域)、III 春季高率初秋季低率型(久慈地域南部、宮古地域北部)、IV 通年低率型(盛岡地域西部・東部)、V 春季低率型(沿岸南部)、VI 早春晩秋超低率型1(盛岡地域西部、一関地域西部)、VII 春晩秋超低率型2(花北地域西部)である。

4. まとめ

(1) 岩手県内のアメダス観測地点 36 地点の過去概ね 30 年間の降水量データを元に作業可能日数率を算出する支援シートを作成した。作業可能日数率算出の基準は農林

(2) 支援シートは MS-Excel を用いて作成し、条件入力及び作業可能日数率表示シート、地点別降水量データシート、集計用シートで構成した。

(3) 表に示した観測地点、作物作業名から識別のために伏した番号と、表示させる最新年月日を入力することにより作業可能日数率が算出できる。

(4) 岩手県内の作業可能日数率の傾向をクラスター分析し、7つの型に分類した。

参考文献

- (1) 農林水産省農産園芸局：土地利用型農作物生産性向上指針の作成・実現に向けて，102，1990
- (2) 農林水産省：水田農業のための技術指針，全国農業改良普及協会，125，1987
- (3) 荒川市郎：福島県における降水量からみた作業期間の地域的特徴，農機学会東北支部報，No.36，113-116，1989.
- (4) 小林由喜也：農機利用分野におけるメッシュ情報の利用に関する研究，農機学会東北支部報，No.40，61-66，1993.
- (5) 岩手農試環境部・県北分場：岩手県の自然立地条件と畑地干ばつ地帯区分，岩手農試指導上の参考事項

小規模施設を利用したバイオディーゼル燃料製造の課題

荒川市郎*・和田庄司**

Problem of Biodiesel Fuel Production by Small Plant

Ichiro ARAKAWA and Syoji WADA

〔キーワード〕 廃食油 バイオディーゼル アルカリ触媒法 共同作業所

1. はじめに

石油等の化石燃料を使用する際生じる温室効果ガスの削減が急務となっており、再生可能なエネルギー源であるバイオマスの利用が注目されている。このなかで、植物油を原料とするバイオディーゼル燃料は、既存のディーゼルエンジンをほとんど改造することなく使用でき、カーボンニュートラルなだけでなく、排気ガス中の黒煙を減少させることもできるため、近年注目されており、福島県内には廃食油を原料とした商業目的のプラントや地域内利用および自社内での利用を目的としたプラントが建設され稼働している。

このような情勢のなかで、1回当たり100リットル程度の小規模反応装置が授産施設や小規模作業所に導入され始めた。筆者らは、このような装置の導入にあたって、県内の事例を調査するとともに、導入についての学習会等を実施しながら、課題の収集と解決に当たってきたので、その取り組みについて紹介する。

2 県内のバイオディーゼル燃料製造

福島県内には、廃食油を原料に燃料や切削油の販売を目的とした大型プラントがいわき市に建設されている。また、須賀川市には廃食油を原料として1日当たり約400Lの燃料を製造し、自社の廃棄物収集車等の燃料として使用している事例が見られる。これらのプラントはいずれも特注品である。

一方、北塩原村では、村内の観光ホテル等から廃食油を回収し燃料を製造して、村の公用車や夏の間裏磐梯を走るボンネット型の観光バスに使用している。この製造プラントは、市販品であり、1日約200Lの製造能力を有する。この装置は、原料の酸価を予め測定し、基準以下の原料を使用しないようにしている。この地域は冬期間の気温が低く原料油の流動性が悪くなることから、この期間は燃料を製造せず、原料貯蔵のみを行っている。

このほか、会津美里町の作業所には、1回当たり100L規模の装置が複数導入されており、会津坂下町の作業所にも同様の装置が導入されている。

3 にんじん舎における燃料の製造

(1)原料の収集と品質の管理

バイオディーゼル燃料の原料となる廃食油は、学校給食や総菜屋、旅館組合の協力を得て収集している。容器は図1のように、20L前後の金属製の蓋付きカンを利用し、それぞれの事業所で高温の油をそのまま貯蔵できるようにすると同時に回収の際のハンドリングを容易にしている。回収は、食品残渣の回収と同時に行っている。

集められた油は、作業所内のドラム缶に貯蔵され、メチルエステル処理に回される。燃料の生産を円滑に行うためには、原料となる廃食油の量と質を一定に保つ必要がある。このためには、回収先は業務用や学校給食の調理所などのように使用履歴が明らかで量がまとまる事業所に限定している。これまでの経験から、回収



図1 廃食油の回収

*福島県農業総合センター会津地域研究所 福島県河沼郡会津坂下町大字見明字南原 881

**社会福祉法人にんじん舎 福島県郡山市阿久津町字館 113-1

システムの構築に当たっては、市町村等に参画してもらい、学校給食に関連する団体や行政機関、地元スーパー等との調整役となってもらうことが重要と考えている。また、回収にあたっては、廃食油を出す側の量と受け取る側の処理能力のバランスがとれるよう調整する必要がある。さらに、回収に要する新たな費用負担やエネルギーの投入を回避するため、できるだけ既存の回収システムを活用することが望ましい。にんじん舎では、食品残渣等を利用した発酵飼料づくりも行っており、廃食油と食品残渣の同時回収が円滑に行われている。

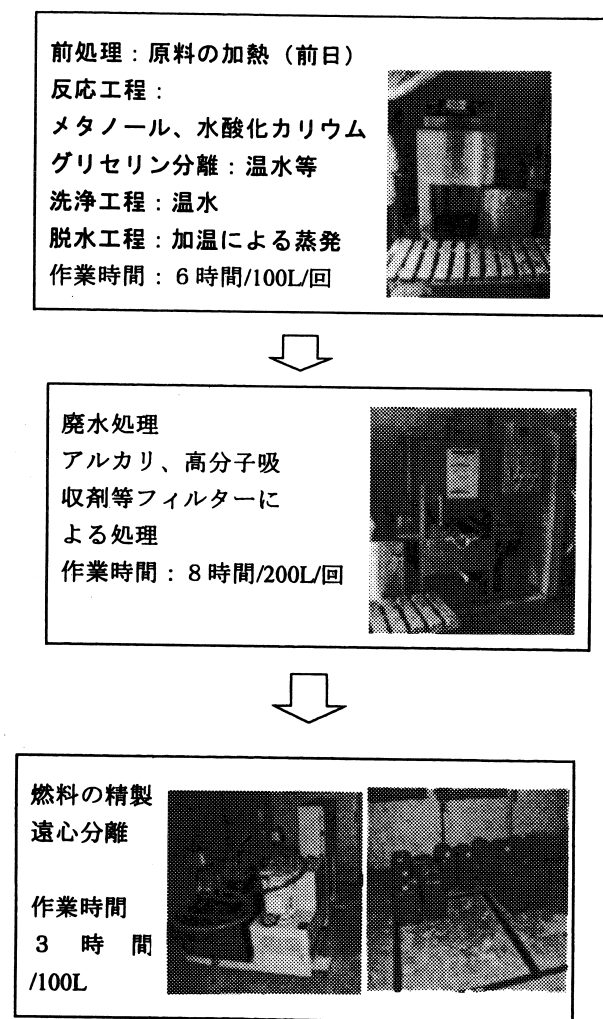


図2 バイオディーゼル燃料の製造

(2) バイオディーゼル燃料の製造

にんじん舎における燃料製造工程を図2に示す。廃食油からグリセリンをはずしメチル基を付けるエステル化処理は、アルカリ触媒法を用いている。この工程では、原料や反応中の液体の温度管理が重要であり、サーモスタットとタイマーで各工程を管理する。しかし、原料の

遊離脂肪酸含量に合わせてアルカリ触媒の添加量を調整しないと製品の回収率や品質が低下する。現状では、来歴がわかる廃食油のみを回収し、混合して一定にするなどの方法で対応している。

次に、副産物のグリセリンを分離する必要があるが、製品とグリセリンの境目を見極めるには熟練を要する。また、製品の回収率が低い場合、反応層のヒーター部分まで製品が残らず、その後の加熱・洗浄が出来ないことがある。洗浄工程は、酸及び温水で行う。洗浄後は製品の加熱温度を高くして脱水処理を行う。にんじん舎では、さらに遠心分離装置を導入し、品質の向上に努めている。

(3) 副産物の処理

アルカリ触媒法では、前述したグリセリンの他、洗浄に使用した排水が発生する。にんじん舎では、グリセリンは別に生産している堆肥の発酵促進剤として利用し、洗浄水はトイレの洗浄等に再利用している。これらの副産物は、産業廃棄物として処理した場合新たに処理コストがかかるばかりでなく、環境負荷を増加させることになり、バイオディーゼル利用の趣旨に合致しない。

(4) 燃料の利用

製造した燃料は、作業所が食品残渣を回収するトラックの燃料として利用しており、販売はしていない。いまのところ大きなトラブルもなく稼働している。

3 実施上の課題

(1) 品質の維持

製造した燃料を利用・販売するためには、品質管理が重要であり、品格法との関係からもいくつかの項目について分析等が必要と考えられるが、現状ではこれらの項目について個別に分析等していない。しかし、バイオディーゼル燃料を安定して使用するためには、品質管理は重要な課題であり、原料のばらつきによる影響や製造時の工程管理と製品の品質について確認する必要がある。特に、原料となる廃食油の酸価など反応工程に影響し、製品の品質を左右する項目については、原料のロットごとに分析する必要がある。

燃料としての分析項目をすべて網羅すると多額の費用がかかり、燃料の製造費を引き上げる原因となる。バイオディーゼル燃料を安定して使ってもらうためには、小規模施設における品質管理について、原料の管理から製造工程、保管の方法について、再点検するとともに、製品の分析を分担して行うネットワークの形成が重要と考えられる。小規模プラントの製造メーカーの中には、製品の分析を行い、フィードバックする取り組みを行っているところもある。また、廃食油の回収から製品の利用、油糧作物の生産などを地域住民、大学、行政等で連携して取り組む団体も立ち上がっており、工業関係の大学等の参画を期待したい。

(2) 関係法令の遵守

バイオディーゼル燃料の製造に当たっては、規模によって消防法や下水道法、労働安全衛生法等の適用を受ける。また、一般住宅地にプラントを設置することが出来ないなどの課題があり、導入前に検討が必要である。

(3) 経済性

プラント導入後日が浅いため、燃料製造コストの試算が出来ていない。今後、現状の規模における原価計算を行い、適正な稼働率を産出するよていである。

(4) 回収・利用システムの構築

にんじん舎の取り組みを整理すると、図3の通りである。にんじん舎がこれまで行ってきたリサイクル養鶏から学んだ資源循環の教訓は、①循環のバランスをくずさない量の判断、②発生するすべてのものが循環する仕組みづくり、③品質・量をゆるせる状態に保つための合意、④お互いが大切に思っているでこと（価値観）の共有である。

バイオディーゼルの製造においても同様の考え方が当てはまると考えられる。すなわち、①お金になるからといって大量に原料を集めるようなことはしない。製品の需要や副産物の処理に困るような規模にはしない。②副産物等による環境負荷を増大させない。そのためには、副産物もなるべく活用する。③品質の良いものを安定供給することが基本であるが、実用的な許容範囲を定める。品格法が施行されるとこのようなことは出来ないが、たとえば冬期間流動性が劣る燃料を無理に冬も使うのではなく、北塩原村の例のように夏の期間に活用する方法などがある。④軽油が高騰しており、バイオディーゼルが相対的に安くなっているが、単なる経済性だけでの取引でなく、資源循環や温暖化防止等の理念の共有が重要と考えられる。したがって、仮に販売する場合は会員制と

し、このような理念を共有できる相手に優先的に販売すべきである。

(5) 効率性と環境負荷の軽減

福島県内には、前述のように、にんじん舎のほかこのような作業所が数カ所あり、複数の機械を所有し、製品を販売している事業所もある。また、町がバイオマス利用の基本計画を作り、学校給食や地元スーパーの廃食油を小規模作業所に集め、燃料を製造し、町の公用車に使用するなどの事例が出てきた。その一方で、商業ベースのプラントも稼働しており、注目されている。バイオマス利用というと大きなプラント等を建設して、製造原価を低下させる戦略が注目されがちであるが、一般にプラントが大きくなるほど原料の廃食油を回収する範囲が広くなり傾向があり、化石燃料の使用量を減らすという目的から見ると、必ずしも効率は良くない。また、副産物や排水の量が多くなり、それらの適正処理にも新たな費用がかかる。

(6) 地域との連携の強化

これまで、リサイクル養鶏や廃食油の回収など、地域の理解と協力を得ながら事業を実施してきたが、今後も発酵鶏糞や良質堆肥の供給、油糧作物の生産など地域農業との連携を強化したいと考えている。

地域に薄く広がっている資源を効率よく集める既存のネットワークを活用し小規模プラントを使用した燃料製造は、エネルギー生産の重要性を身近に感じられるという教育効果を含めて、一般市民参加型の身近なバイオマスの利活用事例として、今後も重要な役割を果たすものと期待される。

もったいないプロジェクトパート4

「食廃油が地球を救う」

学びと実践のため・多くの人とのネットワークからはじまった

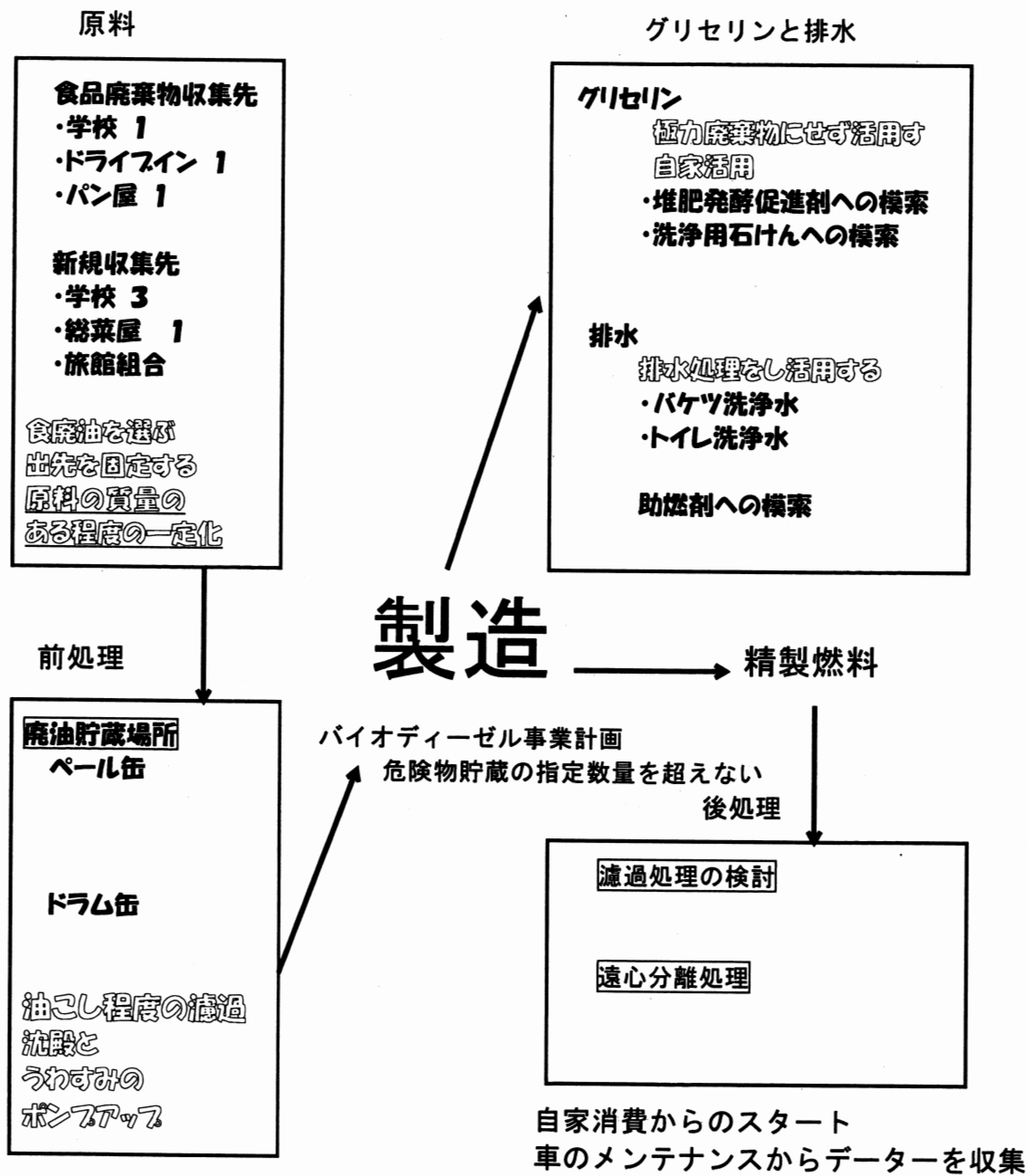


図3 にんじん舎におけるバイオディーゼル燃料製造の概念図

TOHOKU BRANCH REPORT
OF
THE JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY
CONTENTS

RESEARCH PAPERS

SUZUKI, T., AKASE, A., HASEBE, S., FUJIURA, T., NAKAUE, T., IMAGAWA, J. :	
Robotic Harvesting of Trellis-Cultivated Cherries ·····	1
KATAHIRA, M., SASAKI, K., SAITOU, K., UNUMA, H., TAMURA, A. :	
A Power Farming Systems for Green Soybean at the Upland Field Converted from Heavy Clay Paddy ·····	5
NOZAWA, T. :	
Development of the V-furrow No-Till Direct Seeding on the Solid Soil Condition being after Thaw Period (Part 1) ·····	9
NOZAWA, T. :	
Development of the V-furrow No-Till Direct Seeding on the Solid Soil Condition being after Thaw Period (Part 2) ·····	13
KATAHIRA, M., UEMURA, T., SAITOU, M., SHIBUYA, I. :	
Development of Radio Controlled Mower Using Technique for Steeply Sloping Grassland ·····	19
AOTA, S., TANAHASHI, K. :	
Threshing Sunflower Seed by Combine ·····	23
TAKEDA, J., JYOSHO, M., NISHI M., SAGAWA, S., HOSHINO, T. :	
Mechanical Harvesting of Long Stem Barnyard Millet by Binder ·····	27
HIROMA, T., SAKAMOTO, K. :	
Analysis for Thermogenetic Mechanism of Thermogenic Plants using RBF Network (Part 2) ·····	31
MAHARJAN, G., TAKAHASHI, T.:	
Extraction of Infected Portion of Rice Disease Using Image Processing ·····	35
TANAKA, K., SUZUKI, Y., KATO, W., OKAMOTO, H., KATAOKA, T., SHIMADA, H., SUGIURA, T., SHIMA, E. :	
Sensing of the Meadow Field using Hyperspectral Imaging (Part 1) ·····	39
SUZUKI, Y., TANAKA, K., KATO, W., OKAMOTO, H., KATAOKA, T., SHIMADA, H., SUGIURA, T., SHIMA, E. :	
Sensing of the Meadow Field using Hyperspectral Imaging (Part 2) ·····	43
OSATO, T., ITOH, K., TSURUTA, M. :	
Making of Days Rate Calculation Support Seat in which it can Work from Precipitation ·····	47
ARAKAWA, I., WADA, S. :	
Problem of Biodiesel Fuel Production by Small Plant ·····	51
TOPICS ·····	55
NOTES ·····	69
ORGANIZATION DIRECTORY ·····	80

TOHOKU BRANCH OF THE JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY

c/o Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University
2-2, Minami, Ogata, Minami Akita, Akita 010-0444, Japan