

# 農業機械学会東北支部報

No. 55 DEC. 2008

平成20年12月

## 目次

### 巻頭言

支部会員の活動と支部の活性化・・・・・・・・・・・・・・・・・・次期支部長 高橋照夫・・ 1

### 研究報告

- ・ナタネ粗製油を燃料とした小型ディーゼル機関の運転・・・・・・・・・・富樫千之・松森一浩・・ 3
- ・廃食用油 BDF・軽油混合燃料による機関性能・・・・・・・・・・富樫千之・千葉祐二・伊藤直人・沼倉 彰・・ 7
- ・畑作用ハイブリッド除草機の開発・・・・・・・・・・天羽弘一・西脇健太郎・中山壮一・大谷隆二・澁谷幸憲・・ 11
- ・傾斜地管理や荒廃農地への無線草刈機の利用・・・・・・・・・・星 信幸・澤村 篤・・ 15
- ・急傾斜放牧地での無線草刈機利用技術の開発（第2報）・・・・・・・・片平光彦・植村鉄矢・齊藤昌昭・澤村 篤・・ 19
- ・固定タイン改良とスコープによるアワ栽培の除草適応性・・・・・・・・藤原 敏・鶴田正明・武田純一・・ 23
- ・トレリス栽培オウトウのロボット収穫（第2報）・・・・・・・・鈴木竜也・赤瀬 章・藤浦建史・夏賀元康・・ 27
- ・履带式農用車両の自律走行について・・・・・・・・・・武田純一・陳 玲玲・齋藤雅憲・佐藤三寛・・ 31
- ・ハイパースペクトルイメージングによるイネ病状特徴の基礎的分析  
・・・・・・・・ガウリ マハルジャン ・高橋照夫・張 樹槐・・ 35
- ・溝を利用した栽培装置の研究・・・・・・・・・・・・・・・・松尾健太郎・屋代幹雄・・ 41
- ・エアチューブ型トンネルハウスと冬期間の温度保持特性・・・・・・・・屋代幹雄・松尾健太郎・・ 45
- ・水稲乾田直播における種子浸せきの有無が出芽・苗立ちに及ぼす影響・・・・・・・・進藤勇人・片平光彦・・ 49
- ・基盤整備事業計画地区における 10a 区画稲作労働時間積算シートの開発  
・・・・・・・・須藤勇人・小川勝弘・前山 薫・松浦貞彦・阿部直行・・ 53

### 【資料】

・環境保全機能向上に向けた米の人工乾燥技術・・・・・・・・・・・・・・・・八谷 満・・ 61

### トピックス

#### 【地域の話題】

・秋田県 秋田県でのキク機械化栽培への取り組み・・・・・・・・・・片平光彦・・ 67

【シンポジウム・現地見学会報告】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 68

【部会活動の報告】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 74

【支部学術賞を受賞して】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 76

### 支部会記事

庶務報告及び会計報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77

平成20年度研究発表会発表課題・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 82

東北支部役員及び次期評議員・役員選挙結果・次期役員体制・・・・・・・・ 83

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・・ 85

東北地域農業機械関係の研究担当者名簿・・・・・・・・・・・・・・・・ 89

団体賛助会員名簿・個人会員名簿・・・・・・・・・・・・・・・・ 94

## 支部会員の活動と支部の活性化

次期支部長 高橋照夫 (弘前大学)

### 1. はじめに

先般の支部役員選挙によって、思いがけなくも平成 21 年 4 月から 2 年間の支部長を仰せつかりました。歴代支部長のような識見・力量を持ち合わせておらず荷が重すぎますが、支部役員や幹事の方々および会員皆様のご協力・ご支援をお願いして、微力ながら東北支部の活性化に努めてまいりたいと存じます。

### 2. 農業を取り巻く情勢と支部会員への期待

昨今の我が国の農業を取り巻く情勢は、農畜産物の産地偽装や有害物の添加など食品の安全・安心を脅かす事件が続発していることもあり、信頼性のある食料供給体制の確立と自給率の向上が重要な課題になっています。

東北地方は、我が国の主要な農業生産地であり、また各地の特産物が高い付加価値をもって市場に流通している特徴があります。こうした状況から当地方が安定した食料供給の場として今後ますます重要な地位を占めることは言を待つまでもありません。

しかしながら、当地方でも農業従事者の高齢化や後継者不足がより一層進む一方、石油燃料価格の狂乱や輸入産物の高騰なども加わり、農家経営の弱体化や離農の増加に拍車がかかっています。そうした中で、企業的農業経営体を目指した規模拡大や多角的経営、集落営農への取り組みといった形で、この困難な農業情勢に立ち向かう状況もみられます。そこで、依然多くの高齢者や女性が主な働き手として活躍している地域の実情に配慮するとともに、経営改善に取り組む農家や集団の要望にも適う農業機械化への取り組みが求められています。

当支部は、その設立趣旨にあるように「農業試験場と大学との官学協調のもとに東北地方の農業機械の発展と普及に貢献しよう」という精神に立脚しており、企業を含めた広範な分野の会員が、各地域の農業機械化において抱える問題の実際的な研究や、将来を見据えた基礎的課題に関

する研究を行って来た経緯があります。今後ともそうした精神を生かし、時勢の動向に留意して各地域の多様な問題に柔軟かつ果敢な研究姿勢で対処することが必要であり、それがまた当支部の活性化のもとにもなると考えます。支部会員皆様の活躍に期待する所以です。

### 3. 東北支部の現状と課題

さて、当支部の最近約 10 年間の活動状況を表 1 で振り返りながら、活性化に関わる問題を検討することにします。

(1) 支部活動 支部活動の中でもっとも重要な行事は、申すまでもなく支部大会の開催と支部報の発行であり、また研究部会や若手の会の活動も行われています。支部大会は毎年 8 月東北各県の持ち回りで開催され、総会、研究発表会、シンポジウム、及び見学会（東北農業試験研究推進会議・作業技術研究会との共催）の内容になっています。大会での研究発表件数は、平成 13 年頃までは毎回 30 件前後であったのに対し、それ以降やや減少の傾向が見られるものの概ね 20 件台を維持し、参加者数も 50 人前後で推移してきました。また、作業技術研究会との共催が各県の研究者の参加を促し、研究発表や情報交流を活性化させている面があります。このように、支部大会は比較的活況を呈していると言えますが、それを維持ないし向上させるための環境整備も必要かと考えます。

一方、支部報は毎年 1 回発行されていますが、その報文数は表のように No. 47 (平成 12 年度)頃までは 17~18 編あったものが、その後 13 編前後となり、No. 52, 53 (17, 18 年度)では 10 編を割るまでに減少しました。ここ 10 年間の平均的な投稿数は大会発表件数の約半分の割合となっていますが、両年度では発表件数の割には投稿数が大きく減少したことになり、大変気懸かりな点です。それに関し、投稿のし易さや投稿のメリット、デメリットなどの面で、投稿者の執筆意欲を減じるものがあるとなれば、投稿・編集上の問題として対策を検討する必要があるでしょう。

表 1 農業機械学会東北支部の活動状況

年 度	H10(98)	H11(99)	H12(00)	H13(01)	H14(02)	H15(03)	H16(04)	H17(05)	H18(06)	H19(07)
○支部大会	十和田市	北上市	古川市	郡山市	鶴岡市	能代市	弘前市	花巻市	仙台市	福島市
発表件数	29	25	28	31	19	25	25	18	23	25
参加者数	65	65	48	50	46	48	41	48	67	129
○支部報	No. 45	No. 46	No. 47	No. 48	No. 49	No. 50	No. 51	No. 52	No. 53	No. 54
報文数	18	12	17	13	12	15	12	7	6	13
トピック件数	3	4	3	3	4	3	3	4	9	4
総頁数	131	92	114	101	95	142	87	68	71	93
○若手の会	30	24	29	28	23	21	12	13	-	-
○支部会員数	-	-	135	127	125	122	115	110	107	98

研究部会は、鳥巢元支部長の方針のもとに4分野設置され、そこに所属した会員が協調、連携を図りながら各種の競争的資金獲得を目指して活動を活発化させようとの趣旨だったと思います。それらの部会のうち、水稻部会やBDF部会はシンポジウムなど種々の活動を積極的に行なっています。ただ、活動期間がまだ短いことや審査基準がかなり厳しいことなどから、当初の目的達成まで至るのなかなか難しい状況にあります。

若手の会は、当支部の若手研究者の研鑽・交流の場として、平成13年以前では30人近い参加者が泊まり込みで勉強会を開催するなど他の支部からも注目される存在でしたが、16年頃から参加者が減少し、ここ数年は数名に止まって活動も停滞気味の様です。

(2) 情報交換の場の提供 学会支部は、太田元支部長の言にあるように、研究活動の発表の場であるとともに、会員間の情報交換の場でもあります。支部大会での発表会、シンポジウム、情報交換会などの一連の催しは、会員が相互に直接情報を交換できる場として貴重な役割を担っています。また、最新の研究成果、農業機械の新規情報や解説、農業機械化や利用に係わる各地の話題などを、全ての会員が共有できる場としての支部報の役目も重要です。支部報のトピック欄には各種情報が表1のように毎号3～4件掲載されてきました。

また、支部の情報化の推進という観点から、西山元支部長はホームページの充実に取り組み、さらに赤瀬前支部長は、会員相互の発言を活発化させるため「全会員、掲示板に結集!」の方針を掲げてホームページの活用を訴えてきました。ただし、筆者も担当幹事として責任の一端がありますが、昨今の強力なスパムやいたずら書きに対処しきれず十分活用できないのが現状であり、早急に改善しなければなりません。

(3) 組織・予算 当支部の会員数は、もっとも多いときには190名以上だったようですが、平成12年度135名、19年度98名と、年当たり5人前後の割合で大幅に減少しています。定年退職した会員の退会が年々確実に発生する中で、新入会員対策がいろいろ講じられてきたものの、なかなか成果が上がっていないのが現状です。

一方、支部の予算は、この10年間会員の減少があったにも拘わらず、ほとんど変化がなく経過しており、各種行事への経費面での影響は最小限に抑えられてきました。しかし、今後の情勢は必ずしも楽観できず、より効果的な運用が必要です。

#### 4. 次期体制の取り組み

以上のように、当支部の活動の中にはいろいろな問題が見られますが、根源には会員の減少という事態があり、解決を難しくしています。次期体制では少し見方を変え、いかにすれば現在の会員に一層満足してもらえるか、と

いう視点から問題を捉えて対策を検討することからはじめてはどうかと考えています。各会員の日常的な研究活動などが支部の活性化に繋がり、それがまた各会員に有効に反映されるようであれば、将来の会員の参加を促すことになるのではと期待するからです。

(1) 支部報の充実 支部報は前述のように学術誌的側面と情報誌的側面がありますが、いずれもある程度のボリュームを備えることが、内容の豊富さと多様さを保ち、支部報的な充実を図ることになるのではないのでしょうか。そこで、会員が日頃の研究活動で得られた成果を報文や速報として、また各種のトピックや解説などを情報記事として、投稿を促す環境にあるかどうかを、投稿規程や体裁なども含めて今一度検討してみたいと思います。

(2) 研究部会・若手の会の活性化 研究部会は、最終的には競争的資金獲得を目的としていますが、そこまで行かなくても、会員が研究成果や知見を持ち寄ることにより、プロジェクトや共同研究の立ち上げに繋げることができれば大きな成果といえます。現在各部会は世話人が一人で苦勞しているところがありますが、プロジェクト等のコーディネートに関しては、その方面のベテランである小林現支部長や経験者のノウハウを提供してもらうことも一案と考えられます。

また、若手の会の活性化についてもいろいろ検討する必要がありますが、先年のアンケート調査によれば20～30才台の会員が35%程度とのことであり、それらの会員の要望なども取り入れた方策を探りたいと考えます。

(3) 役員体制 次期の役員体制では、会計担当は今期の経験を生かしてもらうため片平幹事に、編集、選挙、研究総括の各担当は経験豊かな夏賀、荒川、武田の各幹事に、北東北当及び南東北の各研究担当は今期に引き続き大谷、富樫の両幹事に、それぞれお願いしました。また、張幹事には事務局長とともに、支部大会等の広報やメーリングリストの管理を統括して行えるように広報・ホームページ担当もお願いしました。なお、選挙で選出された幹事は大学関係者の割合が高かったため、支部長指名で試験場や企業等の関係者に入って頂きました。皆さんご多忙の方々ですので、会議にあたってはメールの活用を促進する予定です。

#### 5. おわりに

支部運営にあたり、支部の活性化のために何ができるか、何をなすべきかを考えてみたものの、なかなか妙案が浮かびませんが、基本的姿勢としては、支部が会員に活動を強制するのではなく、会員の日常的活動が支部の活性化に繋がるような形にもっていきたいと考えております。そのための皆さんの意見や提言、議論を歓迎しますので、どしどしお寄せ下さい。

# ナタネ粗製油を燃料とした小型ディーゼル機関の運転

— 噴射圧力と機関性能 —

富樫千之\*・松森一浩\*

## Operation of a Small Diesel Engine Using Unrefined Rapeseed Oil as Fuel

— Relationship between Engine Performance and Injection Pressure —

Chiyyuki TOGASHI, Kazuhiro MATSUMORI

[キーワード] ディーゼル機関燃料, ナタネ脱酸油, 熱効率, 噴射圧力, バイオマス

### I. まえがき

近年、ディーゼル代替燃料としてバイオマスの中の植物油や植物油からなる廃食用油に注目が浴びている。本研究は、小型ディーゼル機関代替燃料としてナタネ粗製油を利用した場合の熱効率の向上を目的としている。一般に、ディーゼル機関は燃料の微粒化によって熱効率が向上する<sup>1)</sup>。燃料を微粒化する最も容易な方法は燃料噴射圧力を高めることである。既報<sup>2)</sup>では、高粘性のナタネ脱酸油においても噴射圧力を高めることによって噴霧粒径が小さくなることを確認している。本報では、噴射圧力と機関性能、とくに熱効率の関係を中心に調査したので報告する。なお、機関は高回転数、高燃料噴射圧である。

### II. 実験材料

供試燃料はN社から入手した植物粗製油の一つであるナタネ脱酸油<sup>3)</sup>および比較のために一般に市販されている軽油とした。ナタネ脱酸油の脂肪酸粗製は表1、比重および低発熱量は表2に示す。なお、20℃における軽油とナタネ脱酸油の動粘度はそれぞれ、2および60mm<sup>2</sup>/sで、ナタネ脱酸油の動粘度はかなり高い。

表1 ナタネ脱酸油の脂肪酸組成

脂肪酸	組成	炭素数： 二重結合数	割合 (%)
ミリスチン酸	C14H28O2	14: 0	0.1
パルチミン酸	C16H32O2	16: 0	4.0
パルミトレン酸	C16H20O2	16: 1	0.1
ステアリン酸	C18H36O2	18: 0	1.8
オレイン酸	C18H34O2	18: 1	60.3
リノール酸	C18H32O2	18: 2	21.1
リノレン酸	C18H30O2	18: 3	1.9
アラキシン酸	C20H40O2	20: 0	10.7

表2 比重および低発熱量

供試燃料	比重	低発熱量 (MJ/kg)
軽油	0.837	45.6
ナタネ脱酸油	0.920	38.9

供試機関の仕様は表3に、ノズルは図1に示した。出力

表3 供試機関の仕様

製造会社	ヤンマーディーゼル株式会社
機関名称	HA4B
形式	横型4サイクルディーゼル機関
燃焼室形式	特殊渦流予燃焼室式
シリンダ径×行程 mm	φ66×66
定格出力 kW rpm	2.57 2,400
最大出力 kW rpm	2.94 2,400
圧縮比	23.5
燃料噴射時期	BTDC16.5°
燃料ポンプ形式	ポッシュタイプ
噴射ノズル	ピントルタイプ
噴射圧力 Mpa	15.68
ガバナタイプ	オールスピードタイプ
冷却方式	水冷式
始動方式	増速手始動式

\*宮城大学食産業学部

は電気動力計で、燃料消費はビューレットを介して燃料容量を消費する時間を測定して求めた。



図1 供試ノズル (ピントルタイプ)

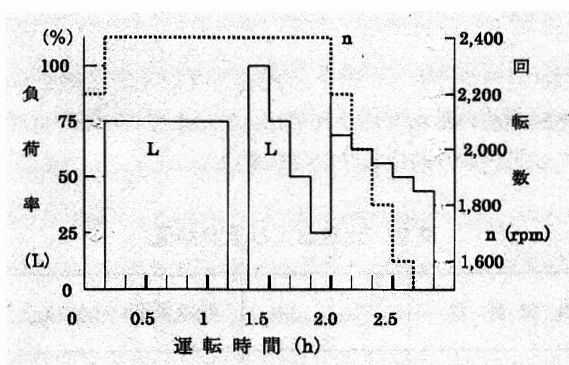


図2 運転モード

III. 実験方法

性能試験の運転モードは図2に示した。暖気運転後、定格回転数、75%負荷で1時間運転し、その後、定格回転数(2,400rpm)による負荷率25, 50, 75, 100%時の性能試験(以下定速負荷性能試験という)と定速負荷性能試験における負荷率75%時における電気動力計荷重2.65kgとして回転数を1,600, 1,800, 2,000, 2,200, 2,400rpmに変えた性能試験(以下変速性能試験という)を行った。燃料消費量, 出力の測定は、0時間から1時間まで10分ごとに、

さらに定速負荷性能試験、変速性能試験で各負荷、各回転数で行った。両試験および、1時間運転試験時においてナタネ脱酸油および軽油の両燃料で噴射圧力は定格噴射圧力の15.7MPa から圧力調整版を加えて17.6, 19.6MPaの3噴射圧力とした。

IV. 実験結果および考察

図3に機関回転数2,200rpm(動力計荷重2.65kg)における熱効率の経時変化の例を示した。軽油の熱効率は噴射圧力15.7, 17.6MPaにおいてはほぼ24%余で推移し、噴射圧力19.6MPaでナタネ脱酸油を含めても最も低い値で推移した。これに対して、ナタネ脱酸油は総じて噴射圧力が高いほど高くなり、噴射圧力19.6MPaで最も高い熱効率で推移した。

図4は定速負荷性能試験時における熱効率である。軽油、ナタネ脱酸油とも熱効率は負荷率が大きくなると高くなり、概ね負荷率75~80%でピークとなり全負荷ではやや低下した。

軽油では総じて噴射圧力15.7MPaで熱効率は高い値で推移し、負荷率75および100%で熱効率は24%を超えた。噴射圧力17.6MPaの熱効率は噴射圧力15.7MPaのそれよりやや低く、特に負荷率25, 100%で1%程度低くなった。さらに、噴射圧力19.6MPaにおける熱効率では全ての負荷で噴射圧力15.7および17.6MPaより1%程度低くなった。

ナタネ脱酸油では軽油とは逆に総じて噴射圧力15.7MPaの熱効率が低く推移した。噴射圧力17.6と19.6MPaの熱効率はほぼ同程度であるが、負荷率25, 50%ではやや噴射圧力19.6MPaの熱効率が高くなった。

図5は変速負荷性能試験時における熱効率である。軽油の熱効率は定速負荷試験と同様に総じて噴射圧力が低いほど高い値で推移した。さらに見ると、噴射圧力15.7MPaの熱効率は1,600rpmで17.6MPaより1.4%高くなり、1,800rpmでほぼ同値となり、2,000rpmからは0.1

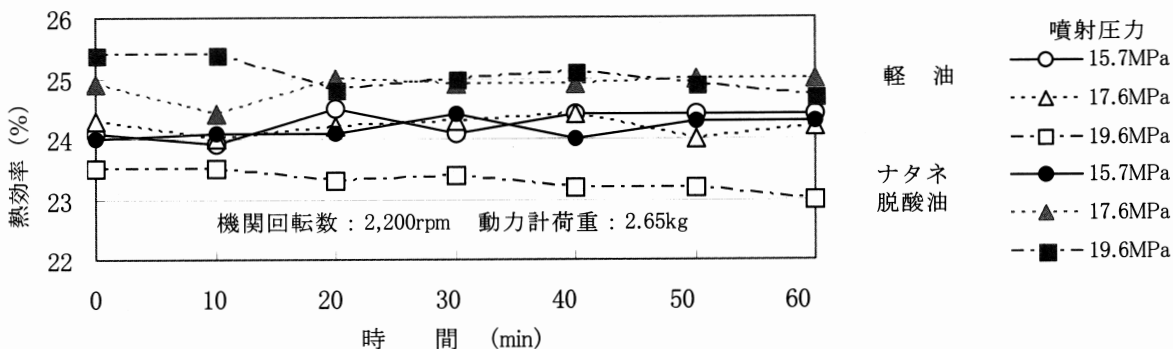


図3 機関回転数2,200rpmにおける熱効率の経時変化

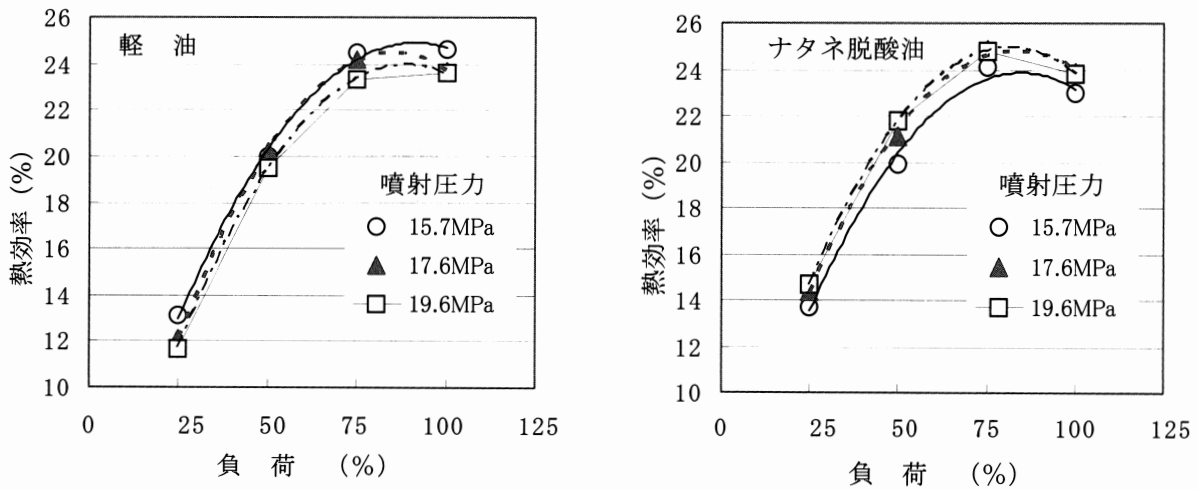


図4 定速負荷性能試験による熱効率

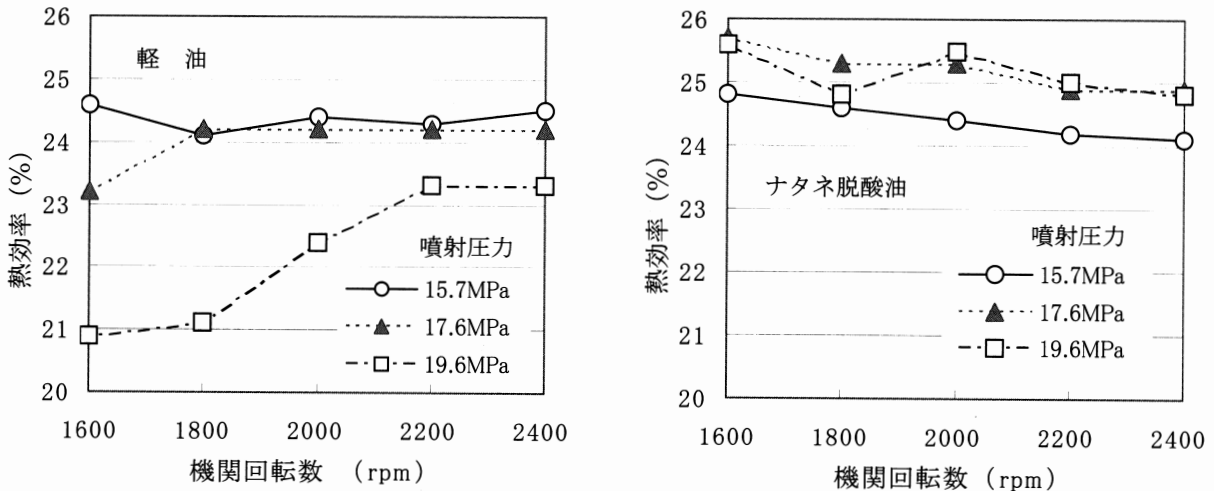


図5 変速負荷性能試験による熱効率

から0.2%と僅かに高い値で推移した。これに対して、噴射圧力19.6MPaの熱効率は、全回転数域で15.7および17.6MPaより低く、特に1,600、1,800rpmの低回転数域で2~3%低く、大きな差となった。また、2,200と2,400rpmでは1%程度の差であった。

ナタネ脱酸油の熱効率は噴射圧力が高い17.6と19.6MPaで高く、15.7MPaで低い値を示した。定速負荷試験の熱効率は噴射圧力19.6MPaのほうが17.6MPaより僅かに高かったものの、変速試験ではその差は見られず、ほぼ同値で推移した。これに対して、噴射圧力15.7MPaの熱効率は1,800rpmの回転数を除き、0.8%程度低い値で推移した。

図6に軽油とナタネ脱酸油の熱効率を直接比較するために、変速負荷試験における噴射圧力15.7MPaと19.6MPaの熱効率を示した。噴射圧力15.7MPaの熱効率は

1,600、1,800rpmの低回転域でナタネ脱酸油がやや高く、2,000rpmでほぼ同値、2,200、2,400rpmの高回転数域では逆にナタネ脱酸油がやや低くなった。ところが、噴射圧力19.6MPaでは全回転数域で軽油の熱効率は低下、逆にナタネ脱酸油の熱効率は高くなり、両者の燃料による差は大きくなっていった。

図7に定速負荷試験、変速負荷試験における噴射圧力と熱効率の関係を示した。軽油では噴射圧力が15.7MPaから17.6MPaに高まると、負荷率50%や1,800rpmの一部で熱効率がやや高まるものの、多くの運転条件でやや低下した。噴射圧力が19.6MPaとさらに高めるとほぼ全ての運転条件で熱効率は低下した。

一方、ナタネ脱酸油では噴射圧力が15.7MPaから17.6MPaに高まると、ほぼ全ての運転条件で熱効率は高くなり、噴射圧力が19.6MPaとさらに高めると一部の運転条

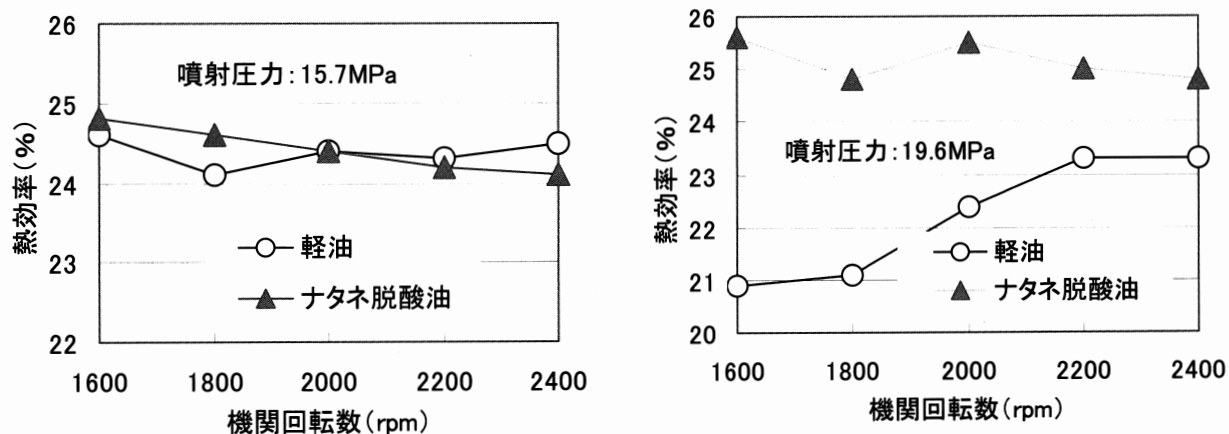


図6 変速負荷試験における軽油となたね脱酸油の熱効率

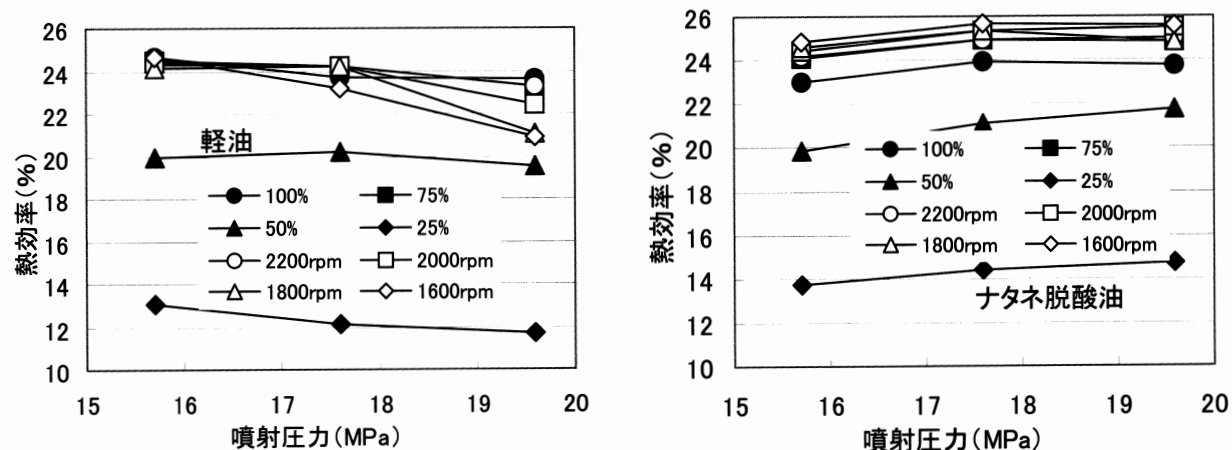


図7 噴射圧力と熱効率

件でやや高まるものの、ほぼ同値となる。

ディーゼル機関で熱効率を高めるためには、噴射において燃料の微粒化と到達度が問題になり、同噴射圧力であれば粘性が小さいほど噴射される燃料は微粒化になる。しかし、一方で微粒化しすぎると噴射された燃料の貫通力が弱まり、燃焼室内全域に到達せずに熱効率が低下する。

軽油は噴射圧力を高めると燃料が微粒化するが、粘性が小さいために粒子も小さくなり貫通力が弱まり、熱効率が低下する。このため、軽油を燃料とした場合の供試機関の適正噴射圧力は定格噴射圧力である 15.76 MPa が妥当と判断される。

これに対して、なたね脱酸油は粘性が高く、高压噴射にするほど燃料の微粒化が起こる。しかし、噴射圧力 17.6 から 19.6 MPa に高めた効果は小さく、なたね脱酸油を燃料とした場合の供試機関の適正噴射圧力は 17.6 から 19.6 MPa の間が妥当と判断される。しかし、機関の運転は軽油となたね脱酸油の併用と考えられることから、供試機関における噴射圧力は 17.6 MPa に設定することが望ましい。

## V. まとめ

バイオマス燃料であり粘性が高いなたね脱酸油の適正噴射圧力を調査するため、噴射圧力を3段階に変えた性能試験を行った。その結果、軽油では定格噴射圧力である 15.76 MPa が妥当と判断された。また、なたね脱酸油を燃料とした場合の適正噴射圧力は 17.6 から 19.6 MPa の間が妥当と判断された。また、両燃料を併用する場合の噴射圧力は 17.6 MPa が適正と判断された。

なお、本報告は、農業機械学会第 62 回 (平成 15 年度) 年次大会で発表したものである。

## 参考文献

- 1) 飯田 外: 急速圧縮装置を用いた微細孔高压ディーゼル噴霧の燃焼過程に関する研究, 機論集, 62(598), 421-428, 1996
- 2) 富樫千之・松森一浩: 噴射圧力の違いが噴霧粒径に及ぼす影響, 農機誌, 65(2), 120-125, 2003
- 3) 富樫千之・上出順一: ナタネ粗製油による小型ディーゼル機関の運転, 農機誌, 57(6), 87-95, 1995

## 廃食用油BDF・軽油混合燃料による機関性能

富樫千之・千葉祐二・伊藤直人・沼倉 彰

### Engine Performance by Blended Fuel of Waste Edible Oil (BDF) and Light Oil

Chiuyuki TOGASHI\*, Yuji CHIBA\*, Naoto ITO\*, Akira NUMAKURA\*

[キーワード] 廃食用油, BDF, 混合燃料, 熱効率, バイオマス

#### I. まえがき

2002年に新エネルギーの中にバイオディーゼル燃料(以下BDFという)を含むバイオマス燃料が追加、さらに「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定され<sup>1)</sup>、2007年には軽油にBDFを5%混合したバイオディーゼル燃料B5(以下B5燃料)も2007年4月29日に試験販売が認可された<sup>2)</sup>。このB5燃料には軽油取引税(32.1円/L)が課税されるなどの課題があるものの、バイオディーゼル燃料普及として第一歩を踏み出した。

現在、日本では、年間40~50万トンの廃食用油が廃棄物として出されている。そのうちの半分が食品工場等から出される産業廃棄物、もう半分は家庭から出されている一般廃棄物である。廃食用油は従来からインク、潤滑油や飼料の原料油等に再利用されており、新エネルギー法の改正からは特に、廃食用油利用のBDF化に注目が浴び<sup>3)</sup>、さらに最近では燃料費の高騰からボイラーの補助燃料等直接的な燃料使用も進んでいる。

しかし、軽油、B5、BDF100%の燃料比較や各燃料による機関性能、排気ガス特性、長時間運転特性などが報告された<sup>4)</sup>が、軽油・BDFの全般にわたる混合燃料による機関性能の報告はみられない。そこで、本研究では、軽油にBDFをそれぞれ5、25、50、75、100%(BDF100%燃料)混入した燃料による小型ディーゼル機関における性能を調査したので報告する。

#### II. 実験材料

供試燃料は、山形市のNPO法人知音から入手したBDFと一般市販されている軽油、およびその混合油で、混合割合は、BDF0、5、25、50、75、100%の6種類とした。BDFと軽油の密度および低発熱量は表1に示す。また、混合油の密度

および低発熱量は、BDF100%と軽油100%のそれぞれの値を按分した。なお、軽油およびBDFの20℃における動粘度はそれぞれ2および5mm<sup>2</sup>/sであった。

供試機関の仕様は表2に、出力は電気動力計で、燃料消費はビューレットを介して燃料容量を消費する時間を測定して求めた。

表1 供試燃料の密度および低発熱量

供試燃料	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	低発熱量(MJ/Kg)
軽油	837	42.7
BDF	890	38.2

表2 供試機関の仕様

製造会社	ヤンマーディーゼル株式会社
機関名称	NFAD-5
形式	横型4サイクルディーゼル機関
燃焼室形式	直接噴射式
定格出力 kw / rpm	3.68 / 2,600
最大出力 kw / rpm	4.04 / 2,600
圧縮比	23.5
燃料ポンプ形式	ボッシュタイプ
噴出ノズル	ホールタイプ
噴出圧力 Mpa	19.6
ガバナタイプ	オールスピードタイプ
冷却方式	水冷式
始動方式	増速手動式

\*宮城大学食産業学部



### III. 実験方法

暖気運転後、定格回転数 (2,600rpm) による負荷率 25、50、75、100%時の性能試験 (以下定速負荷性能試験という) と定速負荷性能試験における負荷率 75%時における電気動力計荷重3,55kgとして回転数を1,800、2,000、2,200、2,400、2,600rpm に変えた性能試験 (以下変速負荷性能試験という) を行った。燃料消費量、出力の測定は、定速負荷性能試験、変速負荷性能試験で各負荷、各回転数で行った。

### IV. 実験結果および考察

図1は定速負荷性能試験における燃料消費率を表したものである。燃料消費率は負荷が増加するにつれて低下し、負荷率 75%で最低、負荷率 100%でやや上昇する傾向であった。総じて BDFの混合率が高くなるほど燃料消費率は増加する傾向となった。この中で、B5 の燃料消費率は相対的に低い値で推移したが、負荷率 100%では0.44kg/kW・h とやや高くなった。また、B50 では中間的な値で推移したが負荷率 25%では0.60kg/kW・h とB5 の負荷率 100%と同じくやや値が高くなった。

図2は変速負荷性能試験における燃料消費率を表したものである。変速負荷試験における燃料消費率は、総じて回転数が増加するにつれて高く、またBDFの混合率が高くなるほど燃料消費率は増加する傾向になった。その中で、B75 における 1,800rpm で 0.35kg/kW・h、B0 における 2,200rpm で 0.34kg/kW・h とやや高い値となった。

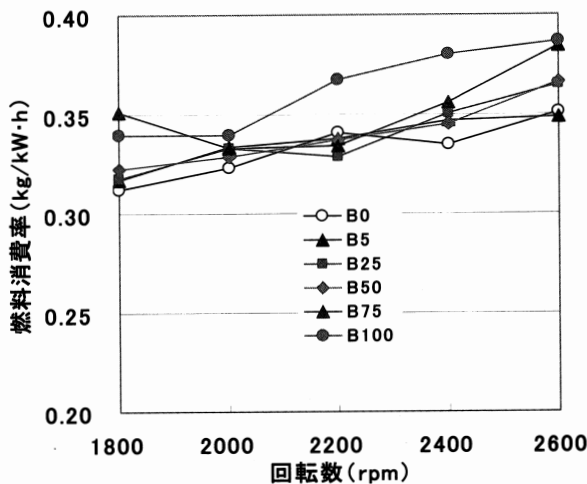


図2 変速負荷性能試験における燃料消費率

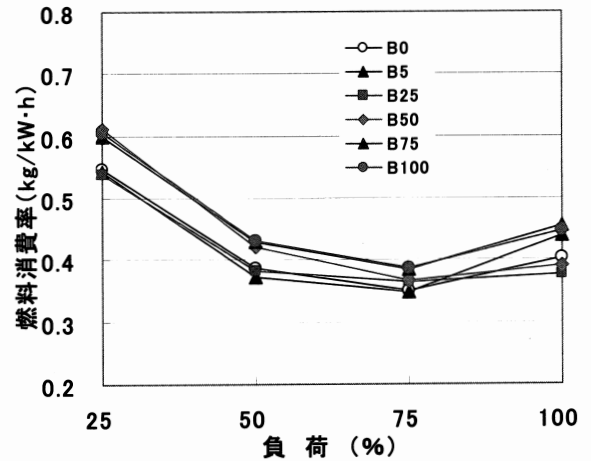


図1 定速負荷性能試験における燃料消費率

熱効率は燃料消費率と燃料の低発熱量によって決定する。図3は定速負荷性能試験時における熱効率を表したものである。軽油、BDFとも熱効率は負荷率が大きくなると高くなり、負荷率 75%でピークとなり負荷率 100%ではやや低下した。また、負荷率 100%で熱効率の値のばらつきがやや大きかった。

図4は変速負荷性能試験における熱効率を表したものである。軽油、BDFともに熱効率は、総じて回転数が速くなるほど低下する傾向となった。ばらつきは2,200 rpmで最も大きく、次いで2,000 rpm 最小は2,600 rpmであった。各回転数での熱効率は、1,800rpm で26~28%、2,000rpm で24~26%、2,200rpm で24~28%、2,400rpm で24~26%、2,600rpm で23~25%となった。

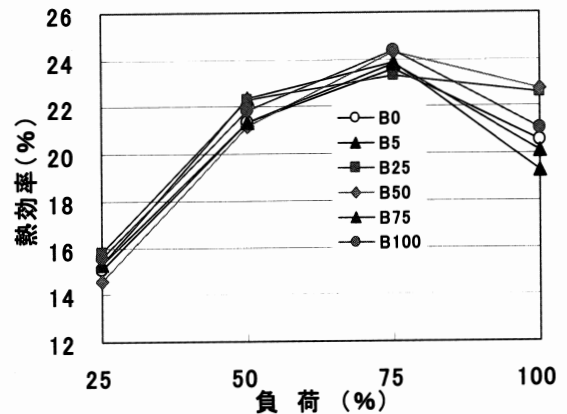


図3 定速負荷性能試験による熱効率

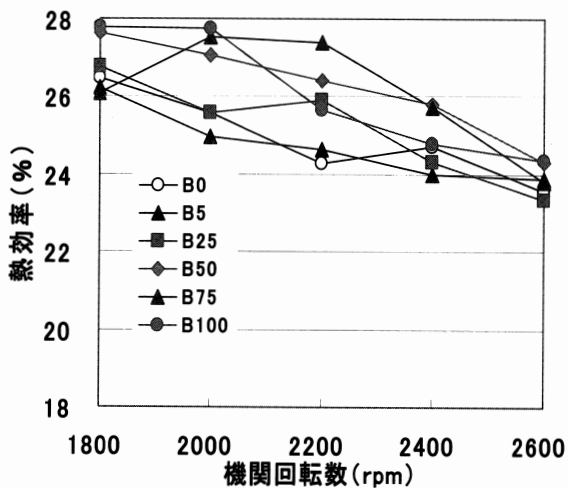


図4 変速負荷性能試験による熱効率

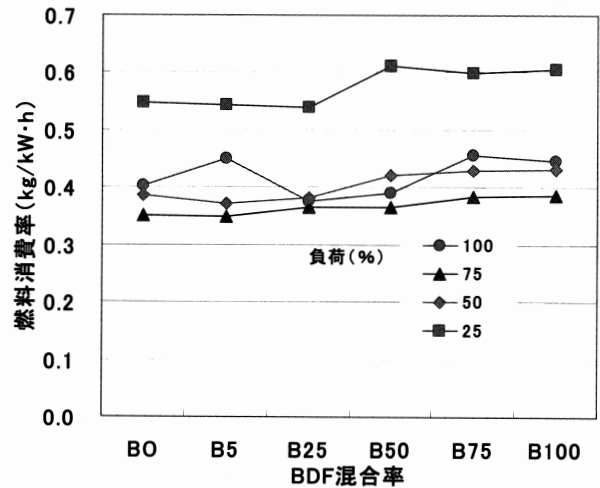


図5 定速負荷性能試験によるBDF混合率と燃料消費率

図5は、定速負荷性能試験によるBDF混合率と燃料消費率の関係を表したものである。負荷率100%でややばらつきがみられるが、BDF混合率が高くなるほどわずかながら燃料消費率は高くなる傾向になった。また燃料消費率は、負荷率25%で最も高く、次いで負荷率100%、負荷率50%となり、負荷率75%で最小となった。

図6は、変速負荷性能試験によるBDF混合率と燃料消費率の関係を表したものである。図5と同様にBDF混合率が高くなるほど燃料消費率も増加する傾向になり、また総じて回転数が速くなるほど燃料消費率は高い値で推移した。

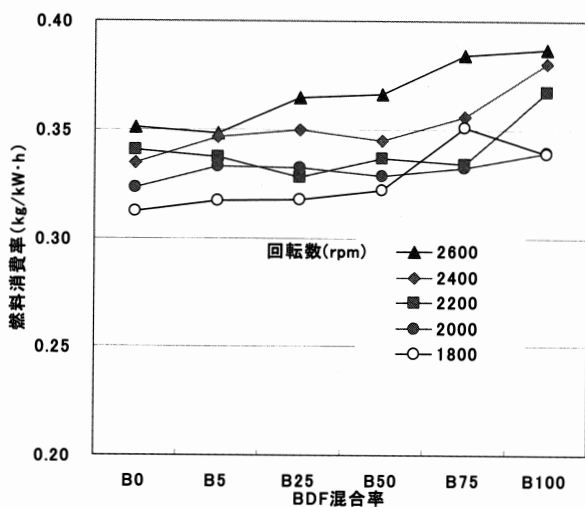


図6 変速負荷性能試験によるBDF混合率と燃料消費率

図7は定速負荷性能試験のBDF混合率と熱効率の関係を表したものである。熱効率は負荷率25%で15~16%、50%で約22%、75%で約24%、100%で19~23%となり、100%負荷でややばらつきが大きくなったが、それ以外はほぼ一定の値を示した。総じて、BDFと軽油の混合燃料のそれぞれの熱効率は、B5の混合率を含めてBDF100%と軽油100%の熱効率を按分する結果となった。

なお、ナタネ粗製油である脱酸油と軽油の混合燃料による小型ディーゼル機関の負荷性能試験でも同様の結果が得られている<sup>5)</sup>。

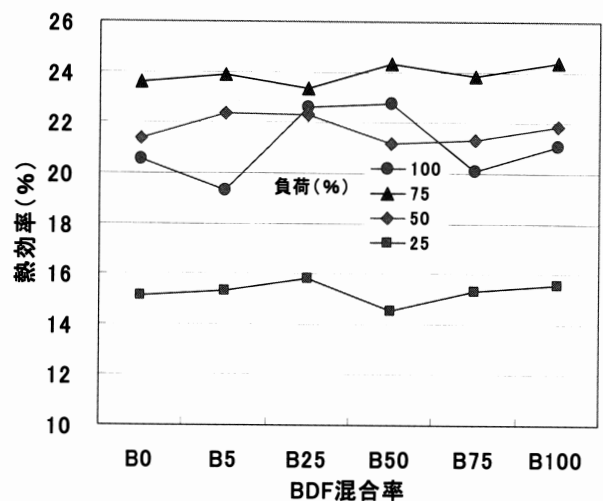


図7 定速負荷性能試験のBDF混合率と熱効率

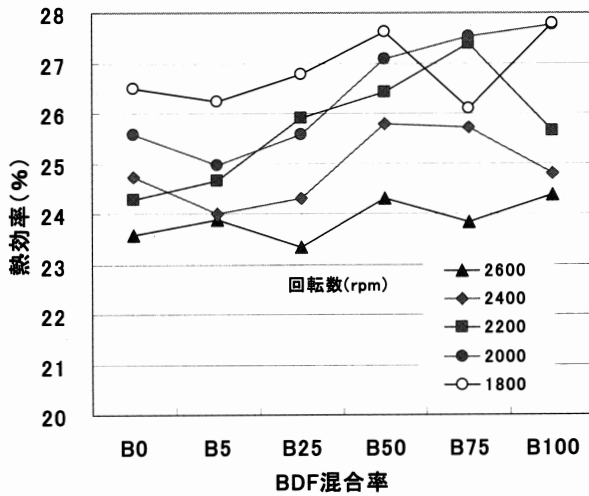


図8 変速負荷性能試験のBDF混合率と熱効率

図8は、変速負荷性能試験のBDF混合率と熱効率の関係を表したものである。回転数1,800rpmにおけるB75、2,200、2,400rpmにおけるB100で熱効率の値が下がっているなど、図7よりややばらつきがあるものの、総じてBDF混合率が高くなるほど熱効率は高くなる傾向になった。

#### V.まとめ

軽油にBDFをそれぞれ5、25、50、75、100% (BDF100%燃料) 混入した燃料による小型ディーゼル機関における性能を調査した結果、負荷率100%において、他の負荷率よりややばらつきがみられたが、総じてBDFの熱効率、燃料消費率ともに軽油よりも高い結果となった。また、BDFと軽油の混合燃料のそれぞれの熱効率は、B5の混合率を含めてBDF100%と軽油100%の熱効率を按分する結果となった。

#### 謝辞

本研究は平成20年度「宮城大学研究補助金」を得て行ったものである。

#### 参考文献

- 1) 大森昭彦：「バイオマス・ニッポン総合戦略」への取り組みー農林水産分野が主導的に働く意義ー、21世紀の日本を考える、第21号、農山漁村文化協会、4-13、2003
- 2) これだけは知っておこう、バイオ燃料の基本、<http://allabout.co.jp/career/economyabc/closeup/CU20070429A/>
- 3) 山根浩二：バイオディーゼラー天ぷら鍋から燃料タンクへー、東京図書出版会、5-129、2006
- 4) 富田節雄、木谷 収、Kingshuk ROY：エステル化した廃食用油による小型ディーゼルエンジンの動力と排気ガス特性について(第1報)ー廃食用油エチルエステル化燃料油と軽油を燃料とした時の比較ー、農業機械学会誌、64(1)、113-119、2002
- 5) 富樫千之、上出順一：ナタネ脱酸油・軽油の混合燃料による小型ディーゼル機関の運転、宮城県農業短期大学学術報告、第43号、61-67、1995

# 畑作用ハイブリッド除草機の開発

—大豆用作業機の試作と作業試験—

天羽弘一\*・西脇健太郎\*・中山壮一\*・大谷隆二\*・澁谷幸憲\*

## Development of a mechanical-herbicidal hybrid-weeder for soybeans

- A prototype of hybrid-weeder and its field test -

Koichi AMAHA, Kentaro NISHIWAKI, Soichi NAKAYAMA, Ryuji OTANI, Yukinori SHIBUYA

### Abstract

A mechanical-herbicidal hybrid-weeder, which consists of a three-row rotary cultivator as a mechanical means of inter-row weeding and band-spraying apparatus of which spraying area was limited to intra-row of the crop as a chemical means, was developed and tested in the field. The weeder applies herbicide simultaneously with rotary cultivation, and is designed mainly for drilled soybeans row-spacing of which is 75cm. Work capacity of the weeder was from 20 to 25 a/h, which was comparable to the normal inter-row cultivation work. Weed control capability of single operation of the hybrid-weeder was compared with the conventional weed control procedure consists of an inter-row cultivation work followed by an application of the same herbicides as hybrid-weeding via a boom-sprayer. Since the spraying area of the hybrid-weeder is limited to less than a half of the whole field, the amount of active ingredient of the herbicides (fluzifop and bentazone) per unit area for the hybrid-weeder was set to the half of the conventional treatment. Weed control capability of the hybrid-weeder was not significantly lower than that of the conventional treatment. Assuming that inter-row cultivation is necessary in soybean production, reduction of applied amount of herbicides and labour for herbicide application may be achieved by using the hybrid-weeder.

[Keywords] hybrid-weeder, mechanical weeding, herbicide application, rotary cultivator, soybeans, herbicide reduction

### I はじめに

減農薬栽培農産物への消費者の興味・ニーズの高まる中、現在農水省が定めている特別栽培農産物ガイドラインでは農薬成分の使用回数の半減が求められている。しかし、環境負荷の低減や、将来減農薬栽培が薬剤使用量で規制される可能性などを鑑みると、農薬の施用総量の削減技術を開発することにも大きな意義がある。

雑草防除に関しては、除草剤以外の抑草手段として機械除草など物理的な除草手段が挙げられるが、機械除草では株間の除草が十分にできないことも多く、除草剤と同等の抑草効果を得ようとすれば多数回の作業が必要であり、多大な労働時間を要する。現状では、ある程度以上の規模の栽培を機械除草のみで実施するのは非常に困難である。そこで除草剤を完全に不使用とするのではなく、機械除草と併用することで使用量を削減することが考えられる。

東北農研センターでは、水稻を対象にハイブリッド除草技術を提唱し、技術開発を進めてきた(西脇ら, 2005)。すなわち、作物条間は機械除草手段により物理的に除草

し、株間および作物近傍は散布域を帯状に制限した除草剤施用により化学的に除草する、という方式である。同様のコンセプトに基づき、畑作用(主として大豆向け)のハイブリッド除草機を試作し、作業試験と抑草効果試験を行ったので報告する。

### II 試作機の構成

#### (1) 基本構成

畑作用ハイブリッド除草機の基本構成として、(a)機械除草部は中耕ロータリとし、(b)株間・株元など作物条部分への除草剤散布は、機械式もしくは電動式のポンプで加圧された薬液を中耕ロータリに取り付けた散布ノズルから噴霧する、(c)前2項の作業機・装置は乗用管理機に搭載する、とした。機械式ポンプが使用できるか否かは、乗用管理機のPTOが中耕ロータリに占有されるため、乗用管理機本体がポンプを内蔵できるか否かに依存する。電動式であれば機種を問わないことになる。

除草剤を散布する作物条部分の幅は、全体のおよそ半分を目標とし、除草剤施用量の半減を目指すこととした。

\* 東北農業研究センター、〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平4

(2) 機械ポンプ加圧方式

機械式ポンプ加圧の作業機として、乗用管理機（イセキ JK-17A）に中耕ロータリ（イセキ CR-3L または CR-2L）および畝間除草剤散布機（イセキ HGH200）を搭載し、散布機のノズル配置を株間に散布できるように改造した。

(3) 電動ポンプ加圧方式

電動ポンプ加圧式の散布装置を試作した。これまでの観察から、(a)中耕ロータリカバーの前後にノズルを設け、中耕の飛散土により被覆された雑草への薬液付着を確保する、(b)作物条直上にもノズルを設け、雑草の上部にも薬液を噴霧する、ようなノズル配置とした。

電動ポンプ加圧方式の薬液散布系模式図を図1に示す。作物条に対し斜め上方から噴霧する傾斜ノズルと、作物上方から垂直に噴霧する直上ノズル（中耕ロータリに挟まれる作物条のみ）を設けた（図2）。傾斜ノズルは、ロータリカバーの前部・後部の2カ所に設置した。従って、ノズル総数は内条で5個、端条では4個となるため、それに応じて異なった噴霧量のノズルを使用した。

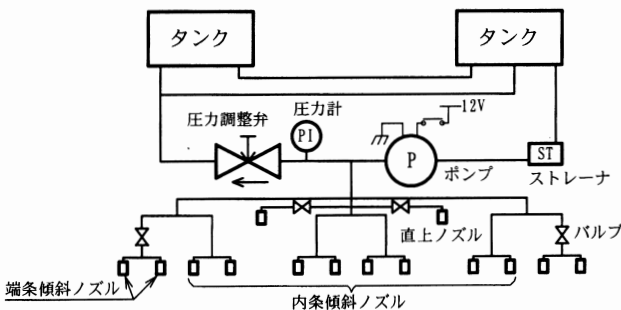


図1 薬液散布系模式図（電動ポンプ加圧方式）

作物条間75cmに対してロータリカバー間距離が30cmであることから、所要薬液散布幅の比率は理想的には0.4となる。しかし、噴霧された薬液がロータリカバー間のみには到達するわけではないことから、目標散布量を慣行標準の50%減の5L/a、作業速度を0.4m/s、条間を75cmと設定し、これを満たすようにノズルを選択し、圧力を決定した。結果、0.14MPaにおいてほぼ所定の噴霧量を得た。主要諸元を表1に示す。

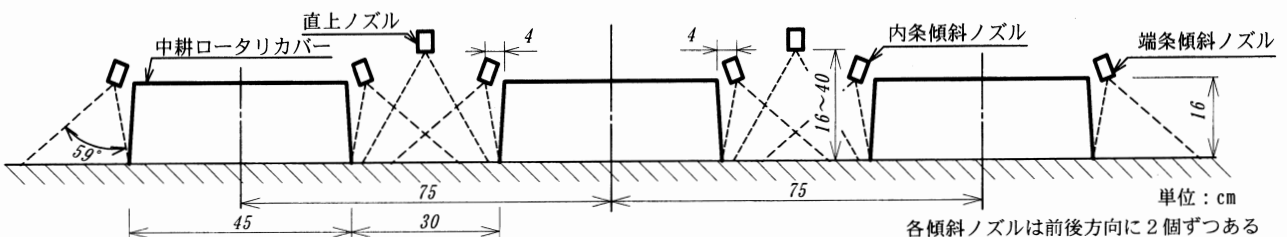


図2 薬液散布ノズルの配置（電動ポンプ加圧方式）

表1 主要諸元（電動ポンプ加圧方式）

ノズル噴霧量 (L/min.) (配管内圧 0.14MPa時) (スプレーイングシステムズ製)	端条傾斜ノズル (6501)	0.25
	内条傾斜ノズル (650067)	0.18
	直上ノズル (同上)	0.18
タンク(2個装備)	容量 (L)	200
ポンプ (SHURflo製, Model2088)	最大吐出量 (L/min.)	13.2
	最大吐出圧 (MPa)	0.3
	定格電圧 (V)	12
	最大電流 (A)	10
乗用管理機 (イセキ農機製, JKA21)	出力(kW)	15.4
中耕ロータリ (イセキ農機製, CR-3L)	作業条数(条)	3
	適応条間(cm)	65~90

III 動作および抑草効果試験の方法

(1) 機械ポンプ加圧方式の作業性

東北農研センター内の小麦圃場（多湿黒ボク土、面積10a、条間 66・120cm）および大豆圃場（同、条間 75・120cm）においてハイブリッド除草作業試験を行い、作業性について調査した。除草剤薬液（希釈後）の目標散布量は、10L/aを慣行として、その50%程度とした。

(2) 電動ポンプ加圧方式の作業性

東北農研センター内の小麦および大豆圃場（多湿黒ボク土、面積10a、条間75cm）において、ハイブリッド除草作業試験を行い、作業性を調査した。除草剤薬液（希釈後）の目標散布量は5L/aとした。

(3) 慣行防除法との抑草効果比較

東北農研センター内の大豆圃場（多湿黒ボク土、条間75cm）において、開発したハイブリッド除草機（前項の電動ポンプ加圧式）を供試し、抑草効果を慣行の除草体系と比較した。

2種類の播種方式と2種類の除草作業方式とで計4つの試験区を設けた。各区の面積は10~12aであった。

播種方式1：有芯部分耕。作業幅240cmの逆転ロータリ（松山 BUR-2408）の耕耘爪を一部除去し、3条分の播種ユニットを連結して播種機を構成した。

播種方式2：チゼル型有芯部分耕。作業幅240cmの深耕チゼル内蔵正転ロータリ（小橋 KRL242KWT+ LB242G、チゼル先端形状改造）に3条分の播種ユニットを連結して播種機を構成した。

除草作業方式1：ハイブリッド除草。開発機を用いて中

耕と同時に除草剤を局所散布した。

除草作業方式2：慣行除草。ハイブリッド除草と同じ機械を用い、除草剤を散布せず中耕のみを行い、その後に(同日)除草剤を作業幅10mのブームスプレーヤを用いて全面散布した。

施用した除草剤は、慣行除草区が大豆バサグラン液剤15mL/a+ワンサイドP乳剤10mL/aであり、ハイブリッド除草区はこのおよそ半量とした。慣行除草区の除草剤液量(希釈後)の目標散布量は10L/a、ハイブリッド除草区では5L/aとした。つまり、両区で同じ濃度の薬液を用い、ハイブリッド除草区では単位面積あたり半分量を施用した。作業日は7月1日である。また、全ての区に共通して播種直後に土壌処理剤(エコトップ乳剤、60mL/a)を全面散布した(5月30日)。

耕種概要は、品種：おおすず、播種日：2008年5月27日、元肥：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=2.6-11-7.9kg/10a、播種同時施肥、である。

各区に3カ所(4.5m<sup>2</sup>)の調査区を設け、除草作業の3週間後の7月23日に残草の乾燥重量と本数を調査した。

#### IV 結果および考察

##### (1) 機械ポンプ加圧方式の作業性

機械式ポンプ加圧方式では、通常の中耕作業と同じ速度で作業が可能であり、散布量もほぼ目標値に近かった(表2)。しかし、ノズル位置が中耕部後方であったため、飛散土が雑草を覆った上に薬液が散布されて効果が劣る場合があると思われた。条間75cmの大豆圃場(播種後8週間)の場合、散布領域をなるべく中耕部分以外になるよう設定すると、ノズル位置は地上10~15cm程度と低く、雑草の上部にはほとんど薬液がかからなかった。作物条の上方から散布できるノズルも付加することが好ましいと考えられた。

抑草効果の調査は行わなかったが、大豆圃場の場合、中耕のみで除草した隣接圃場に比して、バサグラン液剤の殺草効果が高いヌタデやナブ乳剤の効果が高いヒエ類が少なく、バサグラン液剤の効果が劣るシロザやエノキグサが多いことが観察された。

##### (2) 電動ポンプ加圧方式の作業性

電動ポンプ加圧のハイブリッド除草機による作業のようすを図3に、作業結果を表3に示す。ほぼ目標に近い薬液散布量となったが、若干目標値より大きくなった。これは、使用した乗用管理機の変速機構がHSTであり作業速度を再現性良く一定に保つことが難しいこと、大豆を損傷ないように作業速度はやや遅くなりがちであること、などが原因と推察される。

作業能率は通常の中耕作業と同等であった。従って大豆に関しては、中耕を実施する除草体系であれば、ハイブリッド除草機を用いた除草剤同時散布により除草剤散布作業を削減できるため、除草体系全体の作業能率が向上すると考えられる。



図3 試作機によるハイブリッド除草作業  
(電動ポンプ加圧方式)

##### (3) 慣行防除法との抑草効果比較

有芯部分耕播種では、播種時に圃場にある雑草が比較的大きい場合、不耕起部分に残った雑草が播種直後の土壌処理除草剤でも殺草しきれず、その後の雑草量が多くなることがある(吉永、2006)。一方チゼル型有芯部分耕播種では、不耕起部分がないため残草は少ない。この試験においても有芯部分耕で雑草量が多くなっており、2段階の雑草量レベルに対して除草作業方式による抑草効果を評価したことになる。

表2 ハイブリッド除草作業結果(機械ポンプ加圧方式)

作目	品種	作業日	条間 (cm)	作業 速度 (m/s)	圃場 作業量 (a/h)	散布圧 (Mpa)	散布液量 (kg/a) (目標値)	施用薬剤1 (ml/a・g/a)	施用薬剤2 (ml/a・g/a)
小麦	ネバリ ゴシ	2006年5月18日	66	0.4	17.5	0.1	6.18 (5~6)	バサグラン 9.3	-
大豆	東北154 号	2006年8月2日	75	0.4	19.9	0.1	5.16 (5~6)	バサグラン 5.2	ナブ 10.3
小麦	ネバリ ゴシ	2006年11月13日	120	0.4	26.4	0.1	5.18 (5~6)	アクチノール 10.4	ベフラン25 5.2
小麦	ネバリ ゴシ	2007年5月15日	120	0.41	22.9	0.1	3.7 (5)	バサグラン 7.4	-
大豆	東北154 号	2007年7月10日	120	≒0.3	10.6	0.1	4.7 (5)	ナブ 10.5	-

表3 ハイブリッド除草作業結果 (電動ポンプ加圧方式)

作目	品種	作業日	条間 (cm)	作業速度 (m/s)	圃場作業量 (a/h)	散布圧 (Mpa)	散布液量 (kg/a) (目標値)	施用薬剤1 (ml/a・g/a)	施用薬剤2 (ml/a・g/a)
小麦	ネバリゴシ	2008年5月13日	75	0.40	19.4	0.14	4.9 (5)	バサグラン 7.4	—
大豆	おおすず	2008年7月1日	75	0.39	25.6	0.14	5.7 (5)	バサグラン 8.5	ワンサイドP 5.7
大豆	スズカリ	2008年7月9日	75	—	—	0.14	5.4 (5)	バサグラン 8.1	ワンサイドP 5.4
大豆	スズカリ	2008年7月16日	75	0.38	19.4	0.14	5.9 (5)	バサグラン 8.8	—
大豆	おおすず	2008年7月30日	75	—	25.0	0.14	5.1 (5)	ロロックス 6.8	—

播種方式・除草作業方式と残草乾燥重量との関係を図4に示す。広葉雑草の乾燥重量は有芯部分耕播種で大きくなったが、同じ播種方式で比較すると、広葉・イネ科ともに除草方式の違いによる有意な差はなかった。

除草作業方式と残草本数との関係を図5に示す。有芯部分耕播種区では本数が多すぎて計数不能であったため、チゼル型有芯部分耕播種区のみ示している。イネ科雑草の残草本数についてはハイブリッド除草の方が有意に(危険率5%)多かったが、この残草は小さいものがほとんどであり、除草作業の後に発芽してきたものを含んでいると思われる。また、有意差はないものの広葉雑草の残草本数はハイブリッド除草の方が少なかった。

以上を総合してみると、ハイブリッド除草区と慣行除草区とで抑草効果に差があるとは言えないと考える。ただし、慣行除草区でも中耕と同日に除草剤全面散布を行っており、一定期間後に散布を行った場合の抑草効果の差については、まだ検討の余地を残している。一方で、中耕という低速・小作業幅の作業と同時の除草剤散布であることから、ハイブリッド除草方式では慣行のブームスプレー散布以上に雑草への薬液付着を得られる可能性も考えられる。

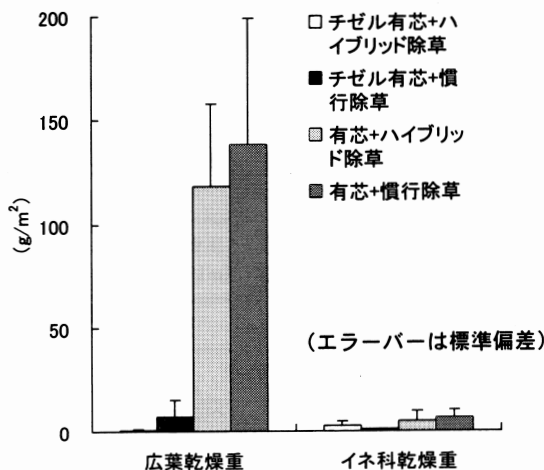


図4 播種・除草方式の違いと残草重量

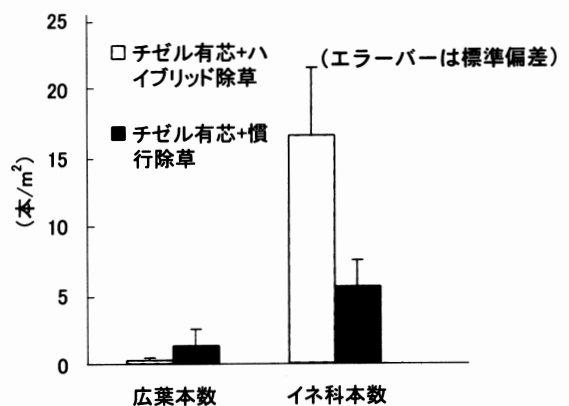


図5 除草方式の違いと残草本数

今回得られた結果のように抑草効果が慣行除草体系と同等とするならば、ハイブリッド除草方式により、労働時間の削減、燃料費の削減、除草剤購入費の削減、等のメリットが得られるはずである。

V まとめ

主に大豆を対象に、畝間の機械除草と作物条部分への除草剤局所施用を組み合わせたハイブリッド除草機を試作し、動作試験および抑草効果の調査を行った。通常の中耕作業と同等の作業能率で、同時に除草剤散布が可能であり、抑草効果は慣行に比して劣らなかった。本機の利用により、大豆生産において労働費や資材費を抑制し、かつ除草剤由来の環境負荷を低減することができる可能性がある。

References

西脇ら, 2005. 水稻栽培における除草剤施用量を削減できるハイブリッド除草技術, 平成16年度東北農業研究成果情報, 32-33.  
 吉永悟志, 2006. 大豆の有芯部分耕栽培, 農業および園芸 81(5), 606-611.

# 傾斜地管理や荒廃農地への無線草刈機の利用

星信幸\*・澤村 篤\*\*

## Utilization of Sloping Land Management and Ruined Farmland on Radio Controlled Mower

Nobuyuki HOSHI, Atushi SAWAMURA

[キーワード] 無線草刈機, 傾斜地管理, 荒廃農地の復元, 機械の利用拡大

### 1. はじめに

中山間地域など条件不利地における労働は、傾斜地や狭い農地が多いこと等から労働負担が大きく作業の安全性の確保が難しく、深刻な担い手不足や農業労働力の高齢化が進み、荒廃農地が増加している。このような農地の荒廃が進み耕作放棄等の増加を防ぎ、美しい景観の回復を図るとともに、安全・快適な農作業にするため、河川敷の草刈作業に使用されている無線草刈機（AMX7：旧建設省・クボタ共同開発）の、適応条件や生産管理技術としての実用性について検討した。

### 2. 試験方法

傾斜地用に開発された無線草刈機（AMX7）本機の諸元は、67psエンジン搭載のゴムクローラ型で、油圧式フレールモア（作業幅1,850mm）装着時総重量（燃料満タン時）は2,780kgである。操縦はすべて産業ラジコン用周波数を利用したリモコン操作で行える。

#### 1) 作業環境調査（場内・現地）

①操作環境の検証としては、無線到達距離を試験場内の障害物のない直線路上で、無線機の充電満了条件で行った。操縦者位置と環境については、まず、飛石飛散状況について場内及び現地調査圃場での観察調査した。また、騒音については場内で行い、本機スロットル全開条件で本機周辺位置別での測定及び周辺騒音で高い位置からの距離による影響を測定した。②走行作業性の検証では、現地傾斜地での走行及び作業、転倒の観察を行い、場内地下水調節圃場において地耐力を変化させ走行性について観察した。③立地条件現地調査では、中山間地荒廃圃場などでの輸送手段と自走距離、移動走行等車高・走行路面等の規制要因について、現地農家及び機械販売業者と現地調査を行った。

#### 2) 利用コストの試算

雑灌木のない中山間地一般水田圃場利用を想定した利用コストを試算した。トラクタと同じエンジン仕様のため耐用年数は8年、労賃などは農業委員会標準賃金を利

用した。

#### 3) 現地実証

##### ①中山間地一般水田圃場作業及び法面作業：

（中山間地）鳴子町内転作採草地で、圃場内作業、斜面進入と作業機角度、斜面等高線刈り等

②幹線排水路草刈作業：（平地農村）登米市伊豆崎地区（93ha）で、幹線排水路（斜度33～36.5度）500mの等高線刈り、急傾斜適応調査（斜度40度以上）

③荒廃農地の復元作業：（中山間地）大衡村松原地区（20年以上休耕50a）で、無線草刈機と慣行刈払い機による作業の比較、作業体系、作業時間の比較、荒廃農地掃除刈り作業から大豆栽培への復元作業体系の検証など

### 3. 結果および考察

#### 1) 作業環境調査

##### ①操作環境の検証

無線の到達距離は充電満タン時で200m程度まで可能であった。作業中の飛散等は、作業機の左右後ろ側での衝撃が多く飛石防止ゴムの摩耗に注意を払う必要がある。中山間水田のような急な傾斜変化や、荒廃農地などの作業環境の見えない条件では、近距離での操作が多くなる

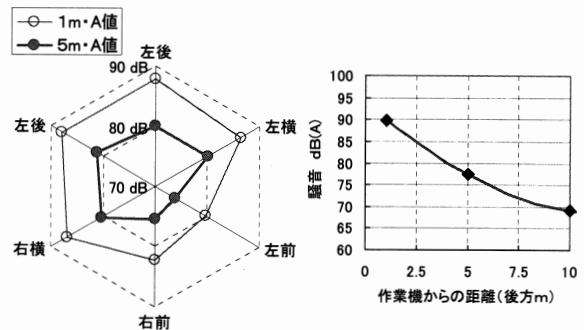


図1 作業機周辺及び後方からの距離と騒音(2005年)

※調査場所・日時 古川農試場内2005年9月21日15時  
 天候(アメダス古川:場内設置) 気温:23.5度,  
 風向風速:南東3m/s, 降水量:0mm, 日照時間0.8時間  
 測定機種 SL-1370

\*:宮城県古川農業試験場 , \*\*: (独)畜産草地研究所



が、本体より2.5m以上離れることで騒音85dB(A)以下の操縦環境が得られ、長時間の連続操作も可能である(図1・2)。

②走行作業性の検証

本機は、傾斜地対応のため最低地上高(200mm)が低く水濡れに弱いエンジン油圧センサー、車速センサーなどがエンジン下部にあることから、矩形板沈下量5cm程度の地耐力が必要で、軟弱な圃場や地表面に停滞水がある作業条件には向かない(表1)。

表1 地耐力と走行性(コンバインとの比較 2006年)

	自脱型 コンバイン	無線草刈機	
型式	HA440G	AMX7	
機体重量	2640kg	2780kg	
クローラ	480×1430	450×1360 (幅×接地長)	
接地圧	19.23kPa	22.3kPa	
地耐力条件 (沈下量cm)	走行評価		無線草刈機の状況
矩形板			
5	○	○	
7~9	○	△	泥付着し、濡れが激しい
10~14	△	×	泥の付着が激しく、脱出困難

※地耐力：5cm×10cmの矩形板を100kPaで押し込んだときの沈下量測定

刈取作業部が本体前部に装着されているため、クローラ走行部による踏みつけがなく、作業がスムーズに可能となるが、荒廃農地の植生条件が悪く、作業機への抵抗が大きい箇所や、つる性の雑草が多い圃場などでは、後進作業が有効である。

③立地条件

中山間地において、本機の利用に伴う移動・作業行程と規制要因について整理した。効率的に稼働させるためには、4t積載車の通行及び駐車用待避場の設定可否、移動走行路などの立地条件や、運搬及び作業・移動などの作業行程、杭・露石などの障害物について、図2に示すような事前調査が必要である。

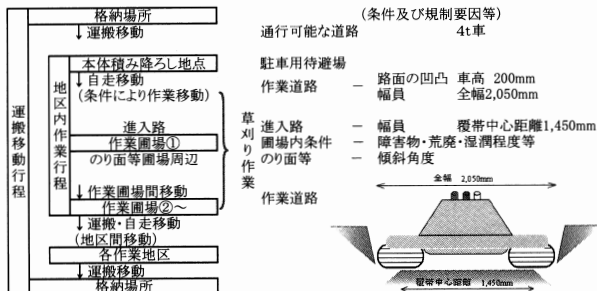


図2 中山間地における移動作業行程と規制要因

30度以上の登り斜面への侵入は、本機の草刈装置アプローチアングルが29度、ディパーチャーアングルも30度と狭いため垂直侵入はできず、斜めに侵入し等高線方向又は垂直方向に向きを変えて作業を行う。なお、40度以

上の勾配への侵入では、等高線方向に向きを変える際、谷側のクローラ部への負荷が大きくなるよう注意が必要である。

2) 利用コストの試算

中山間地一般水田圃場を想定した作業能率を条件とした場合、年間稼働面積20haでの利用コストは15,300円/10a程度である(図3)。

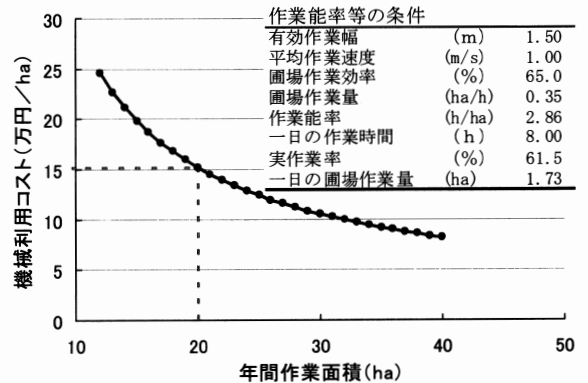


図3 利用コスト試算費用曲線(運搬コスト含まず)

※耐用年数8年 (2006年試算)  
 年間固定費1,396,500円(固定比率:19.9%)  
 変動費内訳 燃料消費:8.4L/h 燃料単価:軽油100円  
 労賃:ホ°労賃2,000円/h+補助労賃972円/h

3) 現地実証

中山間地一般水田圃場での掃除刈り作業能率は、前後進作業で約3時間/haである。これを標準とした場合、本機による平均斜度35°程度までの傾斜地植生管理作業(等高線刈り)は、標準の1/2程度の作業速度で稼働、長期休耕・荒廃農地の掃除刈り作業(雑灌木の伐採を除く)では、標準の1/2~1/3の作業能率で稼働できた(図4・5、表2)。

荒廃農地の掃除刈り作業について、慣行の刈払い作業と無線草刈機の比較を行った。無線草刈機では刈取りと同時に細断されるため、雑灌木がない条件では片付け作業がなくなりすぐに鋤込める。作業日数は約12倍、作業人員は約7倍となった。そのため、荒廃農地の復元作業(雑灌木除く)としては、「無線草刈機(刈払い+細断)+ディスクプラウ(反転耕)+ロータリ(耕起)+逆転ロータリ(鋤込み整地)」の無線草刈機を使った作業体系が省力的と考えられた(図6、表3)。

荒廃農地の掃除刈り作業について、無線草刈機とトラクタ+フレールモアによる作業の比較では、雑灌木がなく圃場全体が見える条件では、トラクタによる掃除刈り作業が可能である。しかし、①無線草刈機は刈りながら進入できる、②車高が低いため雑灌木の周辺にも近寄れる、③荒廃条件によっては前が見えないためトラクタ本体への衝撃など不安が多い、④無線草刈機は前後進作業が可能で作業効率も良い等の利点が上げられる。

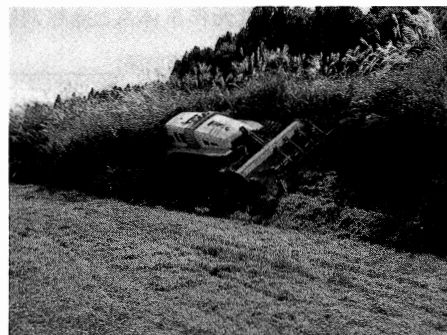
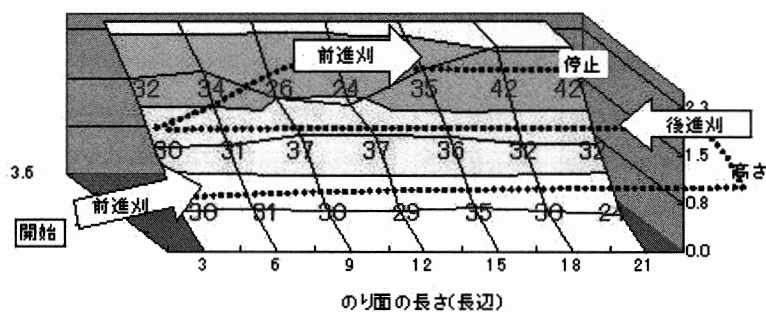


図4 圃場法面傾斜角度と草刈り作業工程 ②法面等高線刈り作業(右)(2005年大崎市鳴子)



①圃場内標準作業(左)  
(大崎市鳴子)



③幹線排水路刈り払い(中央)  
(登米市)



④荒廃農地掃除刈り(右)  
(大衡村)

図5 無線草刈機(AMX7)による作業状況

表2 荒廃農地や斜面での作業能率等(前後進作業)(2005・2006年)

作業条件	斜度 (度)	作業時間 (h/10 a)	標準作業 比較	速度等 m/sec.	標準作業 比較
①標準作業(一般水田圃場)		0.30	(1)	1.00	(1)
②圃場法面	斜面 30~37.0	0.70	(2.33)	0.49	(2.04)
③基幹排水路	斜面 33~36.5			0.52	(1.92)
④荒廃農地	圃場A	—	0.85 (2.84)		
	圃場B	—	0.79 (2.65)		
	圃場C	—	0.70 (2.32)		

※作業条件①~④は図5・6に対応している



ディスクプラウによる反転耕作業(左)



逆転ローラー(鋤込み整地)前の残草(中央)

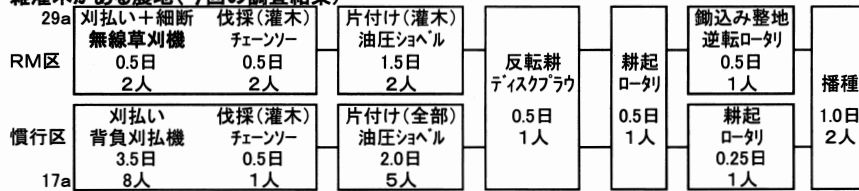


大豆最大繁茂期の生育(右)

図6 掃除刈り後の復元作業と復元後の大豆生育状況(大衡村)

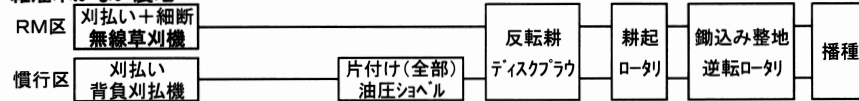
表3 荒廃農地の復元作業体系と掃除刈り作業の比較(2006・2007年)

雑灌木がある農地(今回の調査結果)



10a 当たり		刈払い (対比)	片付け (対比)
RM区	日数	0.17 (1)	0.52 (1)
	人員	0.69 (1)	0.69 (1)
慣行区	日数	2.06 (12.1)	1.18 (2.3)
	人員	4.71 (6.8)	2.94 (4.3)

雑灌木がない農地



10a 当たり		刈払い (対比)	片付け (対比)
RM区	日数	0.17 (1)	0 -
	人員	0.69 (1)	0 -
慣行区	日数	2.06 (12.1)	1.18 -
	人員	4.71 (6.8)	2.94 -

※RM区は無線草刈機利用, 慣行区は背負式刈払機利用  
 ※作業日数は実日数, 作業人員は延べ人数とした。

4. まとめ

無線草刈機(AMX7)は、停滞水がなく地耐力のある荒廃農地の掃除刈り、及び傾斜35°程度までの棚田のり面や基幹排水路など傾斜地植生管理に利用できる。また、荒廃農地では、「無線草刈機による掃除刈り+反転耕+耕起+鋤込み整地」の体系で省力的に耕作可能な条件に復元でき、無線草刈機の実用性が認められた。

なお、2007年現在の無線草刈機(AMX7)の導入は、全国192台(東北53台、宮城18台)で、内訳は民間6台、市町村2台(福島県・島根県)、残りは国土交通省が所有している。国土交通省の河川敷での無線草刈機稼働は、刈払い+集草2作業での作業能率は約10,000㎡/日・台で人件費削減に大きな評価がなされている。すでに転作及び遊休農地解消関連事業などで導入した現地事例では、積載車など移動運搬手段の確保や、オペレータ養成が課題とされるが、今後は、より有効な活用検討と同時に、広域的な団体による導入などの検討が必要である。

謝辞：本報は、農林水産研究高度化事業「無線草刈機による急傾斜、耕作放棄地などの生産管理技術」(2005～2007年)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る。

参考文献等

- 1) 片平光彦, 植村鉄矢, 斉藤昌昭:「急傾斜放牧地での無線草刈機利用技術の開発」農業機械学会東北支部会, (2007. 8)
- 2) 澤村篤:「急傾斜地を有する公共牧場等における無線草刈機による管理技術」畜産技術協会, 2007. 5
- 3) 星信幸:「中山間地域耕作放棄地等への無線草刈機利用」, 日本農作業学会 (2006. 3)

# 急傾斜放牧地での無線草刈機利用技術の開発 (第2報)

—無線草刈機の汎用利用と GIS による作業機利用区分の推定—

片平光彦\* 植村鉄矢\*\* 齊藤昌昭\*\*\* 澤村篤\*\*\*\*

## Development of Radio Controlled Mower Using Technique for Steeply Sloping Grassland (Part 2)

— Multipurpose using of radio controlled mower and estimated working area to use any type mower by GIS —

Mitsuhiko KATAHIRA\*, Tetsuya UEMURA\*\*, Masa-aki SAITOU\*\*\*, Atsushi SAWAMURA\*\*\*\*

### Abstract

This study investigated rate of working and light-duty of radio controlled mower for the steeply hillside grassland. And, this paper estimated the working area which was able to use the any type mower in the Nabegasawa public ranch by GIS.

The rate of working of radio controlled mower which attached the broadcaster is 0.4h/ha, and the rate of labor saving was 76% for hand applicater, 84% for power applicater, 94% for hand granule applicater. The work load level of radio controlled mower which attached the broadcaster was 0.1 point/10a, and it was for working posture( for OWAS method) that AC1 was 93%, AC2 was 5% and AC3 was 2%. Nabegasawa ranch was able to use 5.1% for walking type mower, 38.4% for riding type mower, 15.7% for radio controlled mower. Thus, Radio controlled mower was able to use 80.2 % of the Nabegasawa ranch.

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

### 1. 緒言

秋田県横手市(旧山内村)にある鍋ヶ沢牧場は、全12牧区を有する公共牧場で、放牧による肥育を行っている。牧場は、標高が高く急傾斜地を有する牧区が多いため、トラクタを利用した草刈り作業が困難で草地の一部が荒廃している。荒廃した草地は、牧草以外にもワラビが繁茂するなどして放牧に不適であるため、放牧圧が低下して、草地の荒廃が更に進行する。そのような草地を再生するには、繁茂したワラビなどの雑草を草刈りし、新たに牧草の播種と施肥を行う必要がある。

草刈り作業については、前報<sup>1)</sup>で無線草刈機の活用について検討し、急傾斜放牧地でも安全性を確保しながら高効率な作業が可能で、かつ労働負荷が低くなることを確認した。しかし、無線草刈機は、機体価格が約12,000千円と高額であるため、機械を普及するにあたり問題となっている。高額な機械を導入するには、一般的に機械の利用者を向上して、固定費を低減する必要がある。無線草刈機の利用者を向上するには、フレールモアを取り付けるヒッチと駆動するPTO取り出し軸を用いて、播種と施肥作業にも利用することが必要である。

そこで、本報では、無線草刈機の汎用利用技術として、ブロードキャストを用いた施肥作業の作業内容を調査して、作業能率と作業負担の改善効果について検討した。

また、無線草刈機の利用にあたり、鍋ヶ沢牧場牧の地理情報を収集して牧場の傾斜度図を作成し、無線草刈機の作業可能な範囲がどの程度存在するかを検証して作業の効率化を図る。

### 2. 試験方法

#### (1) 試験場所

試験は、秋田県横手市山内の鍋ヶ沢牧場(2006年度放牧頭数:26頭,充足率37%)で行った。無線草刈機を用いた施肥試験は、2007年9月27日に行った。

#### (2) 試験機

1) 施肥試験:施肥試験は、無線草刈機(K社, AMX-7型)にブロードキャスト(T社, TB-600K型)を取り付けて行った。供試した肥料は、くみあい尿素複合燐加安212号(20-10-20)で、合計1tをほ場に散布した。なお、慣行作業は、前報で報告した動散、散粒機、散布機の結果を引用して比較した。

2) 地理情報調査:地理情報調査は、GPS(Trimble, Pathfinder Pro XR型)とGISツール(ESRI, ArcGIS9.2, spatial analyst)で行った。調査は、牧場の造成図に示された小区画の3牧区を統合し、合計9牧区に再編して行った。

#### (3) 検討項目

1) 施肥試験:作業能率(h/ha)は、図1に示す鍋ヶ

\* :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

\*\*\* :秋田県雄勝地域振興局

\*\*\*\* : (独) 農業・食品産業技術総合研究機構

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

秋田県湯沢市千石町2-1-10

畜産草地研究所 茨城県つくば市池の台 2

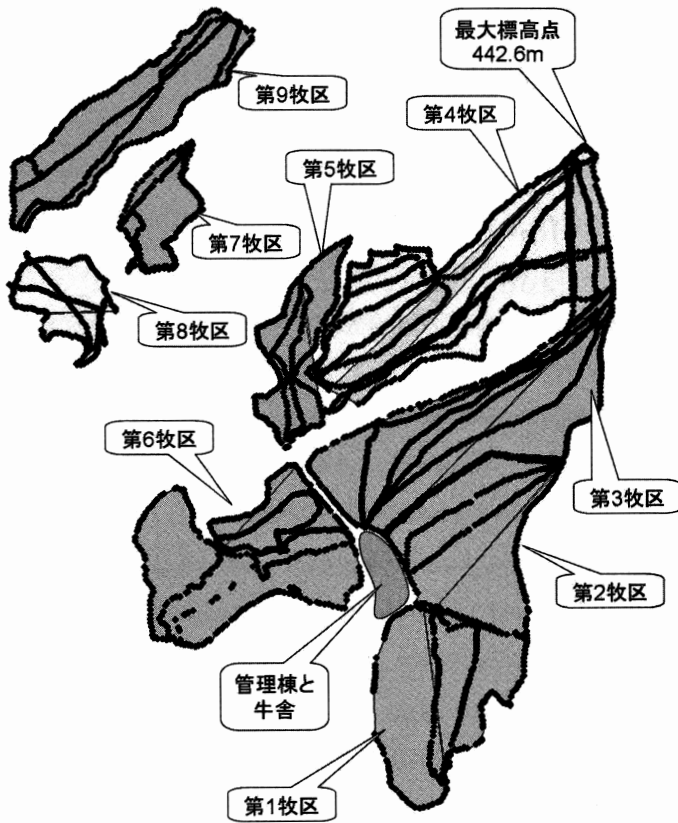


図1 鍋ヶ沢牧場の牧区とGPS調査地点

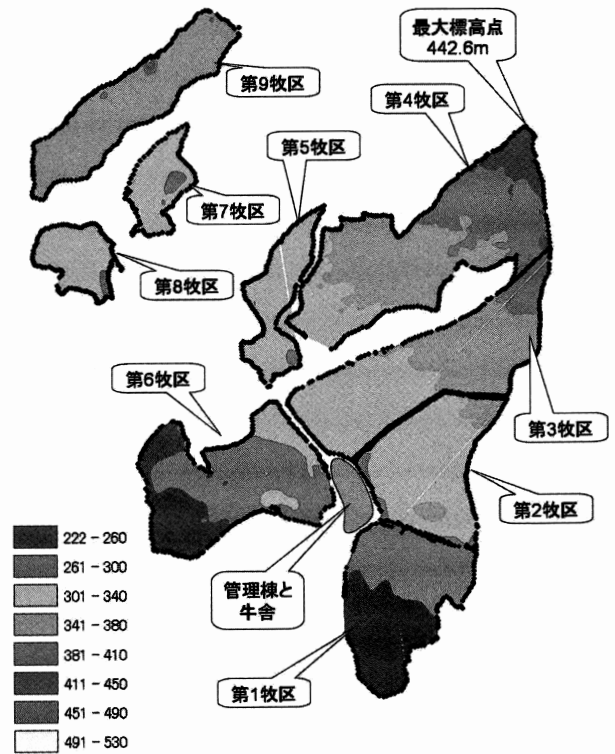


図2 鍋ヶ沢牧場の各牧区と標高情報

沢牧場の第4牧区(5.13ha)に上記した肥料を無線草刈機とブロードキャストで散布し、全作業時間を計測して算出した。作業負担は、長町式姿勢区分法で散布作業時の作業姿勢を22段階の姿勢区分に分類して評価点を求め、それを基に作業負担度(作業姿勢区分評価点×作業能率)を算出して評価した。作業姿勢は、背部、上肢、下肢に対して決められた作業姿勢コードを適用するOWAS法(作業姿勢の発生頻度からAC1-4に分類、ACが大きいほど要改善)で解析した<sup>2)</sup>。

2) 地理情報調査: GPSで鍋ヶ沢牧場の第1-9牧区を調査し、緯度・経度と標高値について情報収集を行った。測定した地点を図1の黒点で示す。

3) 地理情報解析: 地理情報調査で得られた結果から、標高グリッド情報をベクタデータとしてArcGIS(投影座標系、平面直角座標系10系)に取り込み、それをArcGISに付属したスプライン法での内挿補間(選択変数: テンション)でセル幅0.5mのラスターデータ(標高情報)に変換した。変換したラスターデータのサーフェス情報については、標高情報を基に傾斜度を算出し、下記に示す5段階の作業区分に再分類した。鍋ヶ沢牧場の標高情報を算出したラスターデータを図2に示す。

4) 適用地域の特定: 傾斜度を算出したラスターデータは、それを基に以下の5項目に使用する機械の分類を行った。  
 a. 0-7°: 歩行式草刈機利用区  
 b. 7-20°: 乗用式草刈機利用区  
 c. 20-30°: 無線草刈機利

用区  
 d. 30-40°: 無線草刈機利用上限区  
 e. 40°以上: その他

3. 試験結果

(1) 無線草刈機を用いた施肥作業

無線草刈機を用いた施肥作業の様子を図3に示す。施肥作業は、移動と肥料の補給時間を含めて2時間8分で完了した。作業能率は0.4h/ha、省力化率が粒剤散布機の76%、動散の84%、散粒機の94%であった。

作業負担は図4に示すとおり、作業姿勢評価点が1.8点、作業負担度が0.1点/10aとなり、動散や散粒機の作業負担度と比較して94-98%減少した。また、無線草



図3 無線草刈機を用いた施肥作業

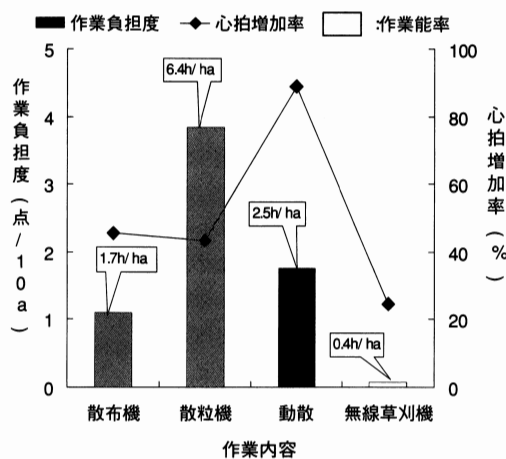


図4 施肥作業機の違いによる作業負担と心拍の変化

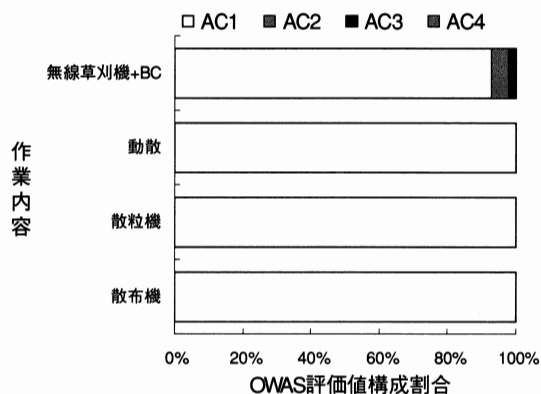


図5 施肥作業時の作業姿勢総合評価  
注：BCはブロードキャストを示す。

刈機は重量物の運搬が不要で、かつ散布幅が20mと広いので、動散などの作業機と比較して心拍の増加割合が少なく軽労効果が高い。

作業姿勢の評価では、背部が直立した状態が93%、前後に曲げた状態が7%、上肢部で両腕が肩より下に位置する状態が78%、両腕もしくは片腕が肩より上に位置する状態が22%、下肢部で歩行状態が51%、両足を曲げずに直立した状態が44%、片足もしくは両足を曲げた状態が4%発生した。

各部位を統合した総合評価を図5に示す。総合評価では、作業姿勢の改善が必要ないAC1の割合が93%、改善が必要なAC2の割合が5%、早期に改善する必要があるAC3の割合が2%であった。

無線草刈機による施肥作業では、図6に示すとおり取り付けたブロードキャストの肥料投入位置が高い。その結果、作業者は、約20kgの肥料袋を両肩より上に持ち上げることになるため、上肢を中心に作業姿勢の評価点が低下して、総合評価でAC2とAC3が発生した。



図6 無線草刈機に取り付けたブロードキャストに対する肥料の投入状況

(2) 地理情報調査

GPSを用いて測定した鍋ヶ沢牧場の標高と平均斜度、各牧区の面積積報を表1に示す。測定した第1牧区から第9牧区の面積は0.88～5.13ha、平均2.69haであった。牧区の斜度は19.0～43.7°、平均26.8°であった。各牧区の標高帯は202.9～442.6m、標高差が31.6～156.1m、平均標高差が89.4mであった。

鍋ヶ沢牧場は、第5と第8牧区以外の7つの牧区で標高差が60mを越えるなど激しい起伏を有する地形であった。施肥試験を行った第4牧区は、最大標高点442.6mを含む平均370.3mの標高帯に位置し、草地面積が5.13haと全牧区の中で最大の規模であった。また、第7牧区は、標高差が64.7mに止まるが、起伏の激しい地形が多いため平均斜度が43.7°と大きく、これまで草地管理がほとんど行われていなかった。

以上から、鍋ヶ沢牧場は標高差が大きく、傾斜の大きいことが明確であるため、無線草刈機を導入する効果が高い。また、施肥作業は、動散などのように一回あたりの散布量が8kgと少ない場合、標高差の大きい地形を複数回往復作業する必要がある。そのため、作業を軽労化するには一回あたりの散布量が500kgと多い無線草刈機とブロードキャストの利用が有効といえる。

表1 鍋ヶ沢牧場各牧区の地理情報

項目	面積 (ha)	標高帯(m)			平均斜度 (°)
		最小	最大	差	
牧区 1	3.04	202.9	311.1	108.2	33.9
2	2.80	283.5	354.2	70.7	19.2
3	4.08	300.3	403.1	102.8	19.2
4	5.13	305.9	442.6	136.7	29.3
5	1.29	297.6	334.7	37.1	19.0
6	3.61	231.0	328.3	97.3	29.0
7	0.88	287.3	352.0	64.7	43.7
8	0.90	296.0	327.4	31.4	20.7
9	2.52	278.5	434.6	156.1	27.2
平均	2.69	-	-	89.4	26.8

(3) 無線草刈機の利用区分

各牧区の標高情報を基に算出した傾斜度情報を図7、

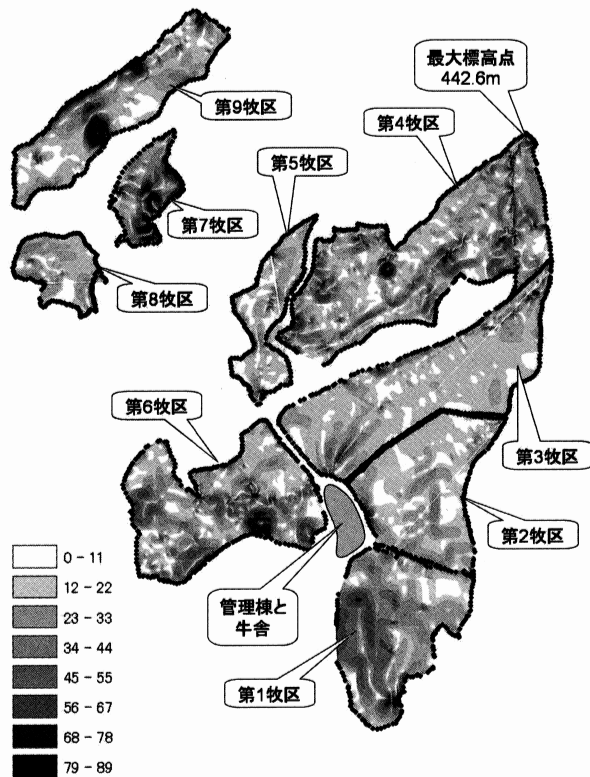


図7 鍋ヶ沢牧場各牧区の傾斜度分布

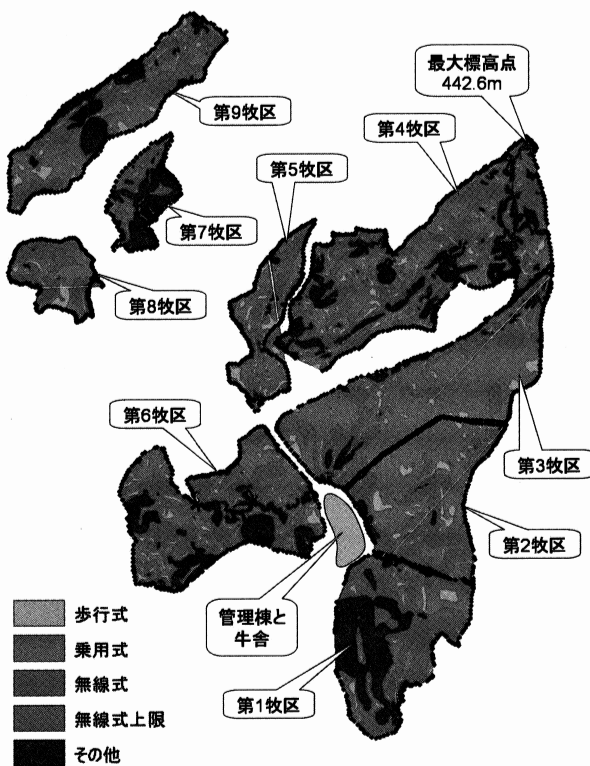


図8 鍋ヶ沢牧場での無線草刈機の利用区分図

傾斜度情報を基に算出した各草刈作業機の利用区分を図8、作業機利用区分の牧区別分布割合を図9にそれぞれ

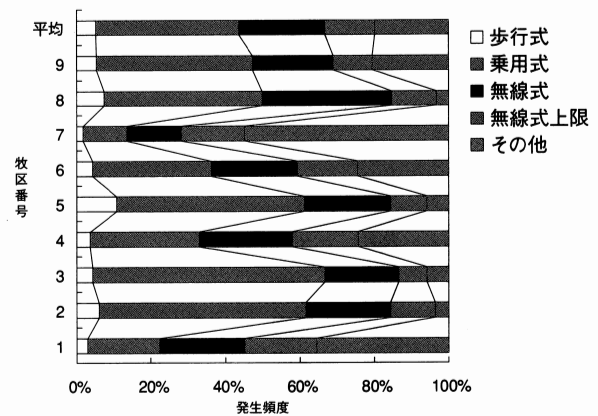


図9 鍋ヶ沢牧場各牧区における無線草刈機導入区分の分布

示す。

傾斜度は、第7牧区で急傾斜が多く分布し、第2、第3、第8牧区で急傾斜地が比較的少なかった。鍋ヶ沢牧場全体での作業機の利用区分は、歩行式が5.1%、乗用式が38.4%、無線草刈機が23.1%、無線草刈機上限が13.6%、その他が19.8%であった。牧区別では、第2、第3、第5牧区が歩行式と乗用式草刈機の利用区分割合が高く、第1、第4、第7牧区で無線草刈機の利用区分割合が高かった。それ以外の牧区では、両区分の割合が拮抗したが、牧場全体の80.2%で無線草刈機を利用することが可能である。

4. 摘要

- 1) 無線草刈機での施肥作業は、作業能率が0.4h/haとなり、動散と比較して省力化率が84%であった。
- 2) 施肥作業時の作業負担度は0.1点/10aとなり、動散と比較して96%減少した。また、心拍の増加率は25%に止まり、動散と比較して増加率を72%減少した。
- 3) 作業姿勢の総合評価は、AC1の割合が93%であったが、肥料の投入に労力を有するため、AC2の割合が5%、AC3の割合が2%発生した。
- 4) 鍋ヶ沢牧場での各作業機の利用区分割合は、歩行草刈機で5.1%、乗用草刈機で38.4%、無線草刈機で15.7%、その他が19.8%となり、無線草刈機で草地全体の80.2%が作業可能である。

謝辞

本報は平成17年～19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) 片平光彦・植村鉄矢・齋藤昌昭・澁谷功：急傾斜放牧地での無線草刈機利用技術の開発(第1報), 農機東北支報54号, 19-22, 2007.
- 2) 片平光彦・遠藤裕一・備前和博・石田頼子・小松貢一・鎌田易尾：アスパラガス収穫台車の開発(第2報), 農機東北支報51号, 27-30, 2004.

# 固定タイン改良とスコープによるアワ栽培の除草適応性

藤原敏\*・鶴田正明\*・武田純一\*\*

## Applicability to millet cultivation of a weeding method using an improved rake fixed by rotary and scope installed in tractor

Satoshi FUJIWARA\*, Masaaki TSURUTA\*, Jun-ichi TAKEDA\*\*

[キーワード] Cレーキ+Hレーキ(ワイヤー)、スコープ、直進播種同時除草、アワ

### 1. はじめに

岩手県のアワ栽培面積(平成16年)は、43haと全国栽培面積の42%を占め、国内最大の産地となっている。また、消費者の健康指向により近年需用増加が見込まれる。

しかし、アワは登録除草剤がないため、転換畑の中規模経営農家でも人力による除草作業の場合が多く、全作業労働時間の半分近くを占めているのが現状である。

そこで、北海道のビート栽培等で利用されている固定タイン(キュウホー製)と、スコープを利用して直進播種されたアワの除草法(播種後3週間前後)について試験を行い、タインを用いたアワ栽培の除草適応性が確認されたので報告する。

### (5) 固定タイン

本試験で利用したレーキはVレーキ・Cレーキ・Hレーキの3種類。

各レーキの除草用途、形状等について、以下のとおり。Hレーキは、左右3本の針金から構成され、内側と中間の針金の直径は細いため、比較的緻密な除草が可能である。

そこで、雑穀除草用に改良する固定タインの元レーキとして選定した(写真1)。

### 2. 試験方法

#### (1) 供試機械名:

○直進播種・追随除草試験;24馬力トラクター(ボタGL240)+ロータリー(クボタR5G)

改良固定タイン(Hレーキ)、真空播種機(シードエース3条)

慣行播種試験:旗ポールをほ場に設置

直進播種試験:トラクターに自作スコープを装着

○改良固定タイン除草試験;同トラクターにロータリーを装着、それにCレーキと改良固定タイン(Hレーキ)を装着

#### (2) 試験場所:岩手県農業研究センターほ場 50a区画畑

#### (3) 耕種概要:条間80cm×3条×35m(追随除草区は1往復)、株間5cm、供試品種:大槌10(アワ) 前作:アワ、キビ

#### (4) 試験区の構成



写真1 Hレーキ(針金内中側の直径3.0mm、外側4.5mm)

トラクタ		直進播種・追随除草試験				改良固定タイン除草試験			
耕起	播種	5/27(耕起後5日目)				5/29(耕起後7日目)			
		真空播種機:シードエース3条(株間5cm)+マーカー(啓文社製作所 KD401)		【慣行播種】		【直進播種同時除草】			
追随除草	クボタGL240+ロータリーR5G	試験区:168㎡ 80cm(畝間)×3(畝数)×35m(畝長)×2		試験区:5cm×60cm×35m ローリー使用		試験区:84㎡ 80cm(畝間)×3(畝数)×35m(畝長さ)		試験区数:10(往路のみ)	
		除草機:Vレーキ(3)+Hレーキ(3・閉状態) (キュウホー)		トラクタ装備:スコープ ほ場設置:水糸(往路のみ)		除草機:Vレーキ(3)+Hレーキ(3・閉状態) (キュウホー)		トラクタ装備:スコープ ほ場設置:水糸 試験区数:10(往路のみ)	
		【直進播種同時除草】		【慣行播種同時除草】		Cレーキ		Hレーキ	
		ほ場設置:水糸(往路のみ)		ほ場設置:旗ポール(往路のみ)		試験1と同じ		試験1と同じ	
		6/17(播種後21日目)				6/20(播種後22日目)		6/20(播種後18日目)	
		Cレーキ		Hレーキ		Cレーキ		Hレーキ	
		開10cm 改良(+W 開10cm)		試験1と同じ		試験1 改良(+P 閉状態)		試験1と同じ	
		-		試験1と同じ		試験3 改良(+P 開10cm)		試験3と同じ	
		開8cm 改良(+W 開8cm)		試験1と同じ		試験5 改良(+W 開10cm)		試験5と同じ	
		開8cm		試験1と同じ		試験7 改良(+W 閉状態)		試験7と同じ	
						試験9(標) 開8cm 閉状態		試験9と同じ	

\* 岩手県農業研究センター \*\*岩手大学農学部



Cレーキは、一般的な畑作除草の中心タインとして使用されている。四本ある針金状タインのうち、設置されたチューブを上下に移動させることで内側タイン強度を調整可能。サイズは今回使用されたレーキの中で最も大きい(写真2)。

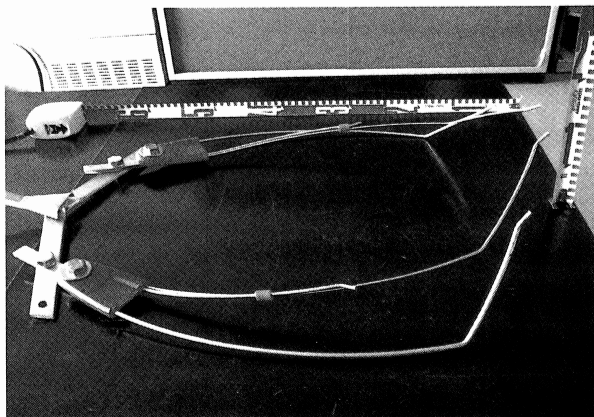


写真2 Cレーキ(針金内側の直径3.0mm、外側4.5mm)

一般畑作物の除草の場合、作土の硬盤をほぐすためVレーキ(写真3)が最前列に設置される。左右2本の針金から構成され、内側針金の直径は、他のレーキよりやや太い形状をしている。

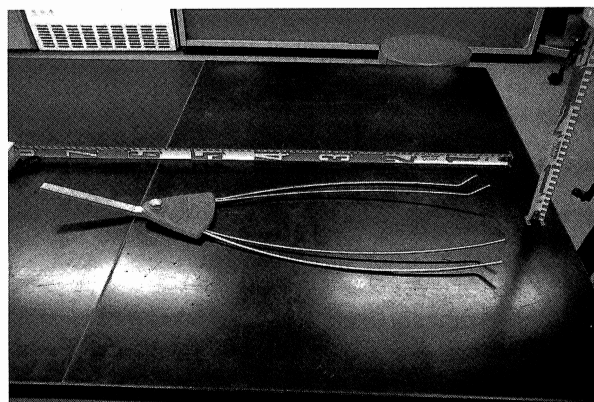


写真3 Vレーキ(針金内側の直径4.0mm、外側4.5mm)

#### (6) 固定タインの改良

Hレーキの先端に、ピアノ線(長さ6cm)を左右に各1カ所ずつ設置。試験区の構成には「+P」と表示した(写真4)。

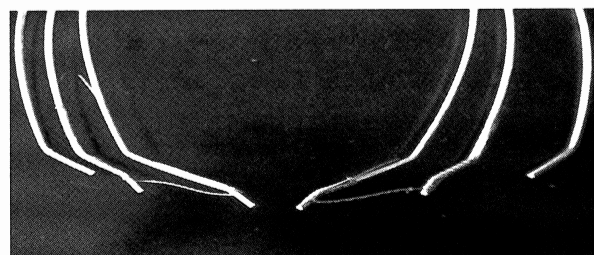


写真4 改良固定タイン(ピアノ線 直径0.7mm)

Hレーキの針金状タイン(左右計6本)の自由度が確保できるよう、ワイヤーを長めにして4カ所設置。試験区の構成には「+W」と表示した(写真5)。

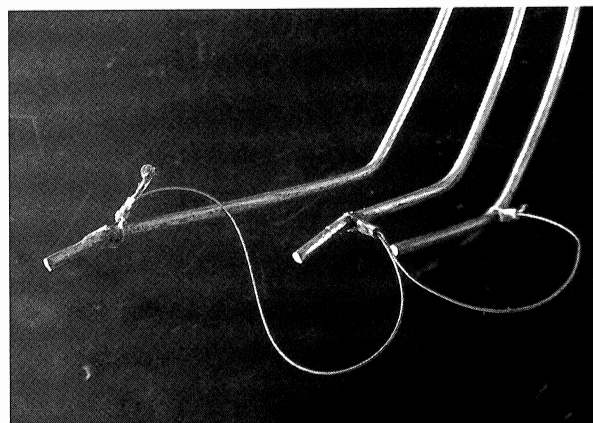


写真5 改良固定タイン(ワイヤー 直径0.55mm)

#### (7) 播種同時除草

固定タイン(3条)の中心と播種位置が同じ位置となるよう2種類のレーキ(V・Hレーキ)をロータリー後方に設置(写真6)。最初の播種作業となる畝にのみ、走行予定位置となる部分へ水糸を設置した。真空播種機の左右に装着したマーカーは、旋回後トラクター走行位置となるよう長さを調整(写真7)。

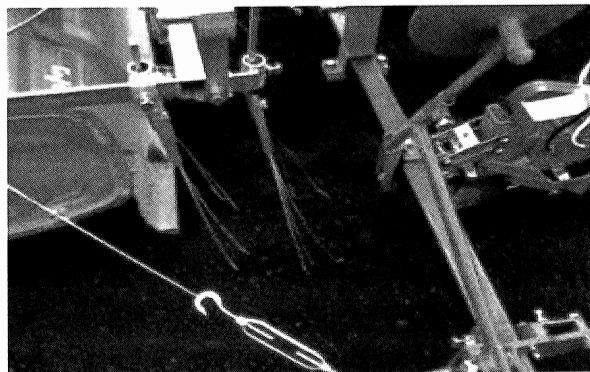


写真6 固定タインの設置位置



スコープ

写真4 改良固定タイン(ピアノ線 直径0.7mm)

### 3. 試験結果と考察

#### (1) 直進播種(スコープ又は旗ポール使用)

トラクタフロント部に設置したスコープ(写真7)で、トラクタ走行位置となる水糸(ほ場に設置)を確認しながら走行した試1は、往路時の目標播種(水糸)位置からのズレは、左右5cm以内に収まった(図1)。

復路はマーカ跡を目視して走行した結果、最初の進入3m程度は目標播種位置より右に10cm弱ズレたが、その後は目標播種位置に近づき、おおむね直線的な播種が行われた。

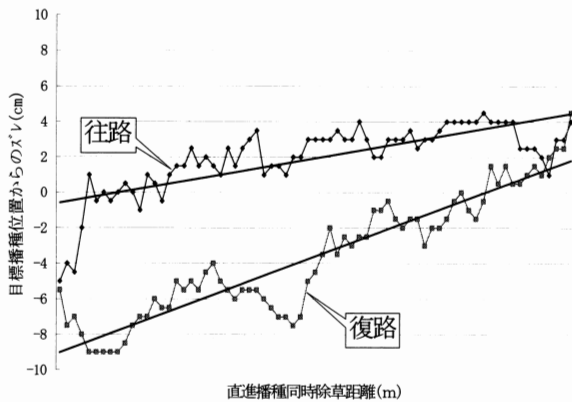


図1 スコープ・水糸・マーカ使用時の播種位置の一例

一方、旗ポールを目標に走行した試2では、往路・復路ともに大きな蛇行走行となった(図2)。

以上の結果を踏まえ、スコープと水糸を利用した走行は、目標走行位置(水糸)とトラクタ走行位置とのズレの大きさが容易に判断できたため、精度の高いハンドル操作が可能となった。

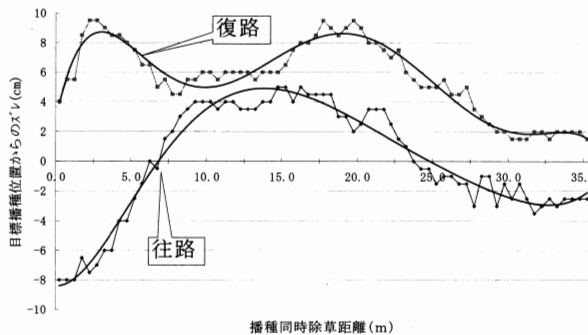
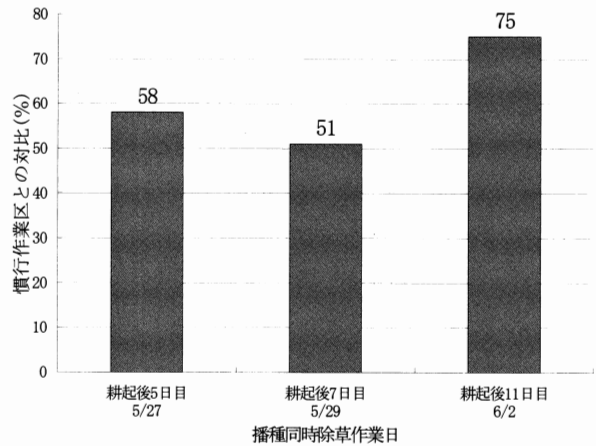


図2 旗ポール・マーカ使用時の播種位置の一例

#### (2) 直進播種同時除草(スコープ使用)

5月22日に耕起した後、5、7、11日目に播種同時除草作業を実施した。除草後のレーキ先端には、雑草根が多く付着しているのが確認された。

6月17日に雑草調査(0.5㎡ 2反復)した結果、慣行作業区の除草割合を0とした場合、除草効果は慣行対比7



5～51%となり、除草効果が顕著であった(図3)。

図3 播種同時除草時期による雑草除草割合(%)

播種同時除草した各区の除草割合は次の式で表す。

各区の雑草除草割合(%) =

$(\text{慣行作業区雑草株数} - \text{各区の残存雑草株数}) / \text{慣行作業区雑草株数} \times 100$

※播種期が異なる試験区の雑草株数は、慣行作業区と同数と仮定した。

※5/27、5/29の棒グラフ：11区(2反復)の平均値

※6/2の棒グラフ：8区(2反復)の平均値

#### (3) 追随除草(スコープ又はタイン改良使用)

直進播種・追随除草試験で実施された、スコープを利用して直進播種(同時除草)を行った試験1区は、アワ残存割合が安定して高かった(図4の右上楕円内、写真8)。特に除草時にCレーキとHレーキ(ワイヤ装着、レーキ先端を10cm開状態)を併用した場合、アワ残存割合・雑草除草割合ともに90%を超える結果となった(図4のA)。

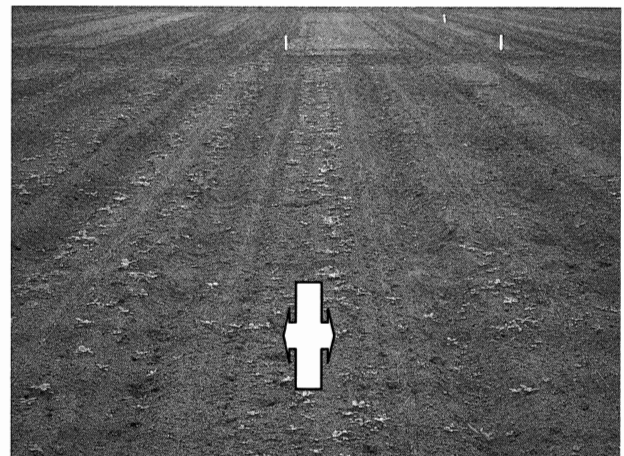


写真8 播種同時除草後のほ場(左17日後、右21日後)

除草時にCレーキ(8cm開状態)のみ使用した場合、除草割合が8割程度であった(図4のB)。雑草除草が顕著でかつ、

アワの残存割合が高い範囲が図4の①(右上)に該当した。

多くの場合、スコープを使用した直進播種同時除草区で追随除草を行うと、図4の①(右上)の範囲に分布が多く確認された。

一方、旗ポールを使用して播種が行われた慣行播種区を追随除草した試験2区では、アワ残存割合が低調であった(図4の波線状の楕円内)。この原因として、蛇行して播種されていたアワを追随除草時にすき込みしたためと考えられた。

改良タイン(ワイヤー・ピアノ線等を設置)を使用した除草試験で、安定した除草がなされたのは、CレーキとHレーキ(ワイヤー装着、10cm開状態)を併用した試験5、6区であった。2区ともに図5の右上①のエリアに位置し、アワ残存

率70%前後確保、作物をすきこむ危険性が最も低い結果となった。他のレーキで除草を行った場合では、一方の試験区で雑草の除草割合が高いと、アワの残存割合が低く(図5の試験2・試験8)、両区とも除草割合が高いが双方ともアワ残存割合が低調となる傾向が確認された(図5の試験1・2)。

また、タインが閉状態(内側針金が接触している状態)にある試験1・2及び試験7~10では、開状態にある試験区3~6と比較して除草時にアワを鋤こむ割合が高くなった。これは、タインが閉じた状態で生育しているアワの上を移動することが原因と思われた。

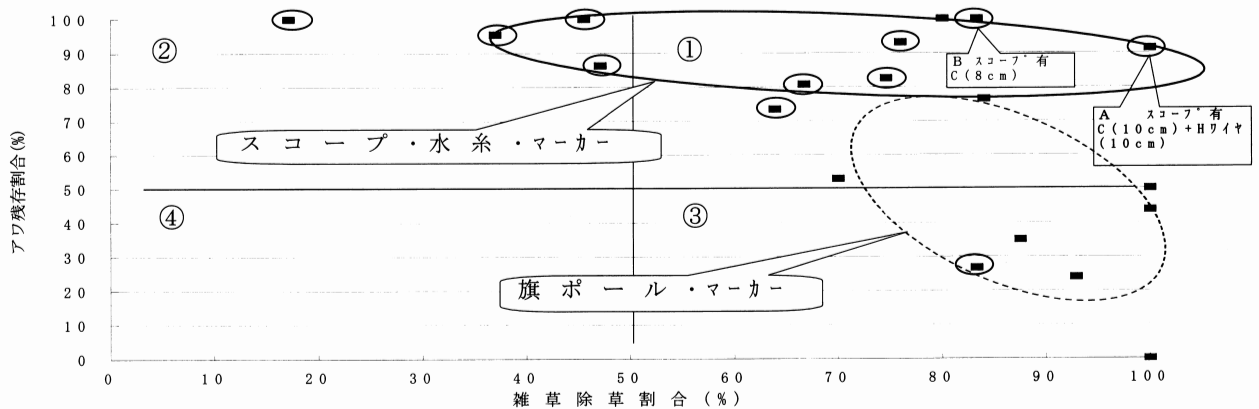


図4 スコープ又は旗ポール使用時のアワ残存割合・雑草除草割合

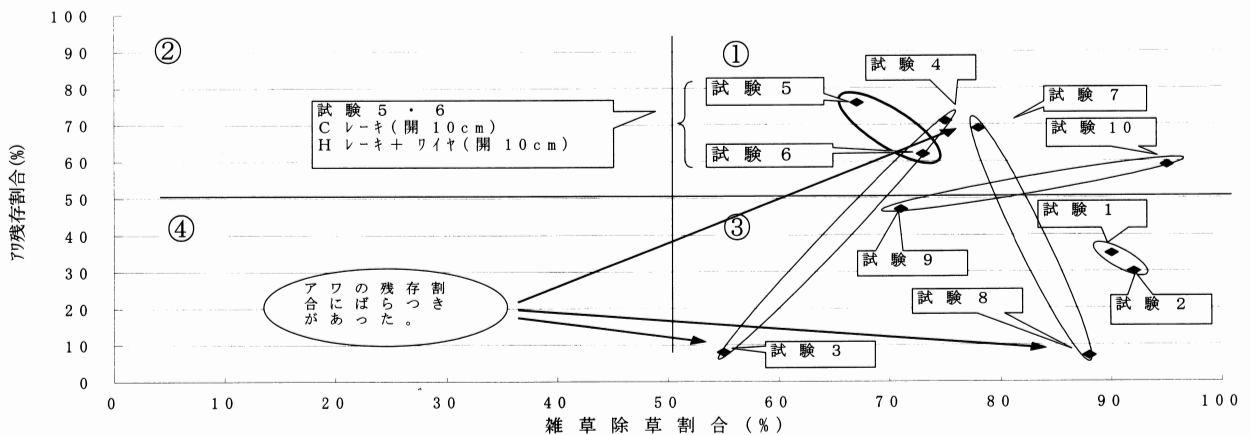


図5 固定タイン改良を用いたアワ残存割合・雑草除草割合(※調査時のアワ草高は約5cm、葉数4葉)

割合・アワ残存割合ともに7割確保し安定した除草であった。

4. まとめ

トラクターに設置したスコープと、ほ場に設置した水糸を利用することで、予定播種位置から左右5cm以内の播種が可能となった。

また、直進播種同時除草作業を耕起後7~11日後に行うことで、除草割合が慣行対比7割程度と除草効果が高かった。C・Hレーキ(+W、開状態)を併用した改良タインは、除草

5. 参考文献

- (1) 「雑穀栽培と機械化作業」  
(岩手大学農学部 武田純一 平成17年)
- (2) 「雑穀除草について」  
(岩手県農業研究センター-県北農業研究所 平成17年)
- (3) 「固定タイン型株間除草機構の特性と利用技術の向上」  
(北海道十勝農試 平成12年)

## トレリス栽培オウトウのロボット収穫 (第2報)

—エンドエフェクタについて—

鈴木竜也\*・赤瀬 章\*・藤浦建史\*\*・夏賀元康\*

## Robotic harvesting of trellis-cultivated cherries (Part 2)

- About end-effectors -

Tatsuya SUZUKI\*, Akira AKASE\*, Tateshi FUJIURA\*\*, Motoyasu NATSUGA\*

## Abstract

Trellis-cultivated cherries were harvested by the right-angled coordinate robot by solving the troubles in 2007 experiment. Main results were as follows: 1) By rising sensitivity of a three-dimensional vision sensor, accuracy of position detection became higher. 2) Time to harvest all fruits in one scanning range was 90 seconds. 3) Fruits more than 90% could be found due to leaves-bundling for the robot harvesting. 4) We made the program to avoid that end-effector collide with lateral branches and spurs. Therefore harvestable fruits reduced.

[Key words] cherry, trellis cultivation, right-angled coordinate robot, three-dimensional vision sensor, end-effector

## 1. はじめに

近年、生食用オウトウの生産量が急激に増加している(農林水産省統計部 2004-2007)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2006年に、試作した直交座標ロボット(赤瀬ら 2006)を用いて室内基礎試験を行なった。2007年には果実検出装置として三次元視覚センサを取り付け(スプラタラ 1996 藤浦 1997)ほ場にてトレリス栽培されたオウトウを対象として収穫試験を行った(赤瀬ら 2007)そして2008年度は、2007年度のほ場試験において明らかになった問題、1.三次元視覚センサによる位置検出の誤差、2.エンドエフェクタの回転による果梗切れ、3.エンドエフェクタの果梗すべりによる軸抜け、4.エンドエフェクタの障害物(側枝や結果枝等)への衝突、それらを考慮し、三次元視覚センサ、プログラム、エンドエフェクタ等の改良を行い、トレリス栽培されたオウトウを対象とし、エンドエフェクタに重点を置き収穫試験を行った。

なお2007年度まではエンドエフェクタをハンドと称していたが、2008年度よりエンドエフェクタとする。

## 2. 実験装置および方法

## (1) 2008年度の改良点

## 1) 三次元視覚センサによる位置検出誤差の改善

2007年度のほ場試験において、位置検出の誤差によりエンドエフェクタで把持できなかった果実が約40%であった。そのため2008年度は三次元視覚センサの感度を上昇させて位置検出の誤差を小さくすることを試みた。三次元視覚センサの感度は約2倍に上昇して、室内にて位置検出の成功率を見たところ、約90%が把持可能であった。そのため、2008年度の実験は2007年度の三次元視覚センサの感度の約2倍で行なうこととした。

## 2) エンドエフェクタの回転による果梗切れの改善

2007年度のほ場試験において、収穫時、開閉型、並行リンク型エンドエフェクタの回転により果梗が切れてしまうことがあった。そこで回転時にエンドエフェクタの角が果梗に直接接触しないようにゴム板を上方にはみ出すように取り付けた(図1, 2)。これにより回転における果梗切れが減少されると考えられる。

## 3) エンドエフェクタの果梗すべりによる軸抜けの改善

2007年度のほ場試験において、果梗を把持し引張る際に、エンドエフェクタが果梗をすべり果実に接触し、果梗から果実が抜けてしまうことがあった。この軸抜けは主にリング型エンドエフェクタで発生した。そこで2008

\* 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

年度はリングを把持棒の上下に2個取り付けすることで把持力の強化を試みた。また2007年度の実験においてリング内径が小さかったためリングの内径をφ35からφ40に変更した(図3)。

#### 4) エンドエフェクタの障害物への衝突の改善

2007年度のは場試験において、側枝よりも奥にある果実を収穫に向かう際にエンドエフェクタが側枝に衝突することや、果実に隣接している結果枝などを挟んでしまうことがあり、エンドエフェクタのみならずロボット全体の故障の恐れが危惧された。そこで2008年度は障害物を認識し、障害物が邪魔になる場合は収穫に向かわないプログラムを作成した。プログラムは、各エンドエフェクタで障害物が邪魔となり収穫に影響を及ぼすと思われる範囲(左右(X軸), 上下(Z軸), 奥行き(Y軸))を設定し、その範囲内で果実以外の塊の画素数をカウントし、それが60画素を超えたものを障害物と認識するものである。図4に認識した画像を示す。丸い果実の上の黒い塊部分が障害物として認識されたものである。このプログラムにより収穫時の衝突を防ぐこととした。

### (2) 室内試験

#### 1) 位置決め精度試験

三次元視覚センサを改善し感度を上げたため、三次元視覚センサによる位置決め精度試験を行なった。

フレームにオウトウ果実を1個取り付け、同一果実を5回反復して検出することで三次元視覚センサによる検出の再現性を求めた。供試品種として高砂およびナポレオンを用いた。

#### 2) 収穫所要時間の測定

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1個取り付け、ロボット動作開始から収穫終了までに要する時間を各エンドエフェクタにおいて測定した。供試品種としてナポレオンを用いた。

### (3) は場試験

#### 1) 側枝調査

ロボット収穫で対象とする側枝は、地上高90cmおよび120cmである。そのためそれぞれの高さの側枝に対して、側枝長および結果枝数、結果枝長、果実数を調査した。さらに収穫可能率を求めた。収穫可能率はロボットで検出でき収穫可能な果実を表し、正面から目視により果実全体が見えるものを収穫可能とした。また2007年度に有効であったため、果実着色のために葉を束ねた枝(以下通常葉束ね)とロボット用に葉を束ねなおした枝(以下ロボット用葉束ね)で比較した。葉束ねにはTAPENER HT-Aを用い、テープは光分解テープを使用した。は場は山形県天童市の今田農園であり、供試品種として紅秀峰を用いた。

#### 2) は場収穫試験

側枝手前の果実を対象とし、各エンドエフェクタによる収穫試験を行った。収穫する側枝は全てロボット用葉束ねを施した。収穫した果実に対し、果実・果梗の損傷および果実の脱離層の向きを調査した。これにより各エンドエフェクタの収穫率とその時の損傷率を求めた。供試品種には紅秀峰を用いた。

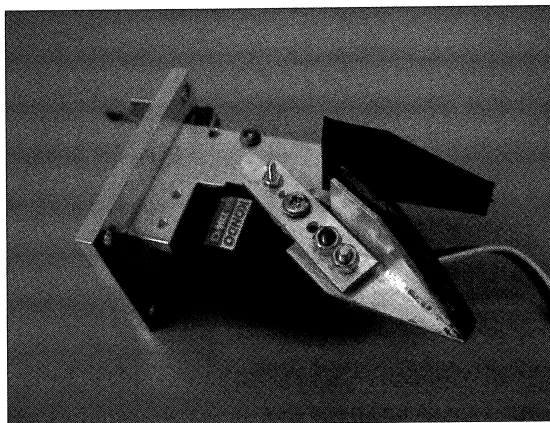


図1 改良したエンドエフェクタ(開閉型)

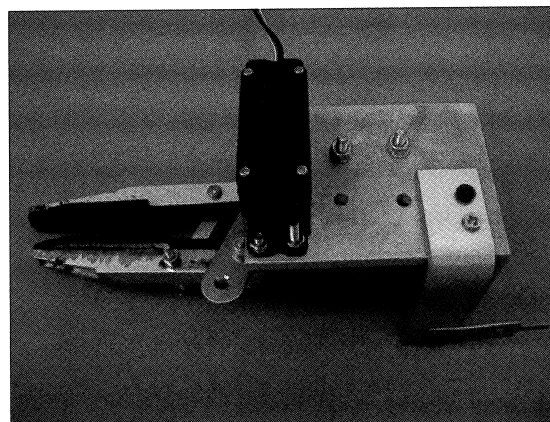


図2 改良したエンドエフェクタ(並行リンク型)

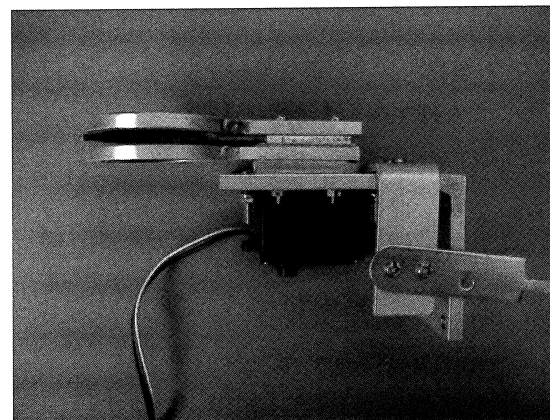


図3 改良したリング型エンドエフェクタ

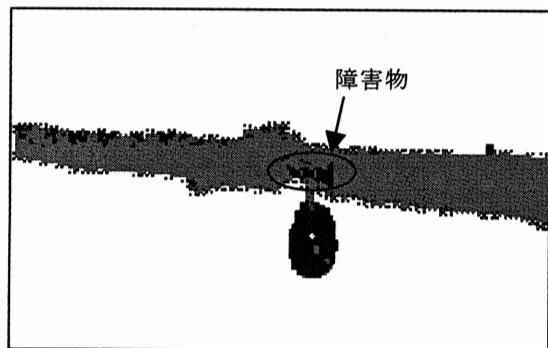


図4 色付距離画像

### 3. 結果および考察

#### (1) 位置決め精度試験

位置決め精度試験の結果を表1に示す。表の検出距離は、三次元視覚センサの投光部から果実までの距離、検出座標は三次元視覚センサにより検出された座標、最大誤差は反復して検出した時の最大値と最小値の差の1/2を表す。

この結果、距離の誤差が約4.5mm、xの誤差が約1mm、yの誤差が約4.5mm、zの誤差が約2.5mmとなった。エンドエフェクタの構造上、xの誤差は小さくはならない。よって誤差約1mmは非常に小さいため把持可能な範囲であり、位置検出精度は良好である。距離およびyの誤差は、開閉型、並行リンク型、カット型ではエンドエフェクタの構造上、比較的大きくても問題ないが、リング型では小さくはならない。よって誤差約4.5mmはリング型においてリングに入らない可能性が若干あるが、ほぼ把持可能な範囲である。果梗の長さは約40mmであるため、zの誤差約5mmは把持可能な範囲であり、収穫に問題ない検出精度であると言える。これらより位置検出の精度は良好であり、収穫に問題ないと考えられる。

#### (2) 収穫所要時間

収穫測定時間の測定結果を表2に示す。果実までの平均距離は三次元視覚センサの投光部から果実までの距離を表している。

この結果1果実当りの平均収穫時間は約27秒となった。またこの時のロボット動作開始から走査終了までに要する時間は約5.4秒であった。この時、これまでの側

表1 三次元視覚センサ検出誤差

	検出距離誤差 (mm)	検出座標誤差(mm)		
		x座標	y座標	z座標
最大誤差	4.6	0.9	4.7	2.7

枝調査により、1回の走査範囲約30cm当りで収穫可能な側枝の手前にある果実は約4個である。そして収穫のプログラムは1回の走査で認識した果実全ての収穫を行うものである。これより1回の走査あたりの収穫所要時間は約90秒であることがわかった。プログラムの改良により時間を早くすることは可能であるが、本報ではエンドエフェクタに重点を置いているため、収穫の正確性を考慮しこの収穫プログラムでは場収穫試験を行うこととした。

#### (3) 側枝調査

側枝調査の結果を表3に示す。ここで、ほ場での収穫試験においてエンドエフェクタの側枝等への接触を考慮し、対象とする果実は側枝の手前にある果実のみとした。それは、果樹列の手前の果実は往路で、奥の果実は復路で収穫するためである。また今までの側枝調査により、対象とする手前果実は側枝全果実数の約1/2であったので、手前果実数は全果実数の1/2とした。収穫可能率は収穫可能数/手前果実数より算出した。

この結果収穫可能率は通常葉束ねにおいて約35%であるが、ロボット用葉束ねにすることで約92%まで向上した。

#### (4) ほ場収穫試験

収穫試験による各エンドエフェクタのオウトウ収穫率の結果を表4に示す。表の収穫可能果実とは全果実のうち、三次元視覚センサで果実として認識し、収穫を行った果実である。側枝や結果枝といった障害物にエンドエフェクタが衝突する恐れがある場合等は収穫不可とした。また損傷の有無については、果梗の切断、折れ、傷や、果実の軸抜けなどを損傷ありとし、このような損傷がないものを損傷なしとした。カット型に関しては、果梗を切断して収穫するため、損傷の有無を判断しなかった。

この結果、開閉型では約70%が収穫可能であり、収穫率は約75%と高い値を示した。しかし収穫した果実の損傷割合が高くなった。これは回転時に果梗切れを起こし

表2 各エンドエフェクタの収穫所要時間

エンドエフェクタ	果実までの平均距離(mm)	1果収穫時間(s)	平均収穫時間(s)
開閉型	391	27.6	27.1
並行リンク型	392	29.7	
リング型	394	25.9	
カット型	398	25.3	

表3 側枝調査結果

供試枝	1	2	平均
側枝長(m)	2.84	2.70	2.77
総果実数(個)	77	69	73.0
通常葉束ね収穫可能数(個)	16	10	13.0
ロボット用葉束ね収穫可能数(個)	36	31	33.5
通常葉束ね収穫可能率(%)	41.6	29.0	35.3
ロボット用葉束ね収穫可能率(%)	93.5	89.9	91.7

表4 各エンドエフェクタのアウトウ収穫率

エンドエフェクタ	全果実(個)	収穫可能果実(個)	収穫○(個)			収穫×(個)	収穫率(%)	損傷率(%)
			損傷なし	損傷あり	計			
開閉型	66	44	14	19	33	11	75.0	57.6
並行リンク型	39	34	11	9	20	14	58.8	45.0
リング型	20	9	0	3	3	6	33.3	100.0
カット型	43	15	-	-	10	5	66.7	-

たものが大半を占めていた。並行リンク型では約90%が収穫可能であったが、収穫率は約60%であった。損傷は開閉型と同様に回転時に起こるのが大半であった。リング型では収穫可能な果実が非常に少なくなった。これは、リングが障害物に衝突するのを防いだ結果である。収穫した果実は全て損傷していた。これはリングと把持棒による押さえが弱いため、リングが果梗をすべり、その時に果梗あるいは果実に損傷を与えたためである。カット型も障害物に衝突するのを防いだため収穫可能な果実が少なかった。さらに、果梗を切断する際に結果枝などを同時に挟み収穫できないこともあったが、果梗を挟む事ができれば収穫することができた。

#### 4. まとめ

- 1) 三次元視覚センサの感度を上げたことで位置検出の精度が向上した。
- 2) 収穫所要時間の測定を行なった結果、1回の走査範囲での収穫所要時間は約90秒であった。
- 3) ロボット収穫用葉束ねを行なうことで、90%以上の果実を認識することが出来た。
- 4) 障害物を考慮したため、収穫可能果実が減少したが、

エンドエフェクタが側枝等に衝突することはほとんど無かった。

- 5) 開閉型と並行リンク型は収穫率が高いが回転による損傷が多かったため、回転しても果梗を損傷しない構造のエンドエフェクタを考える必要がある。
- 6) リング型はリングが大きいため収穫可能な果実が少なくなった。さらに引張りで損傷してしまうため、エンドエフェクタの構造および収穫動作を見直す必要がある。

#### 5. 参考文献

- 1) 農林水産省統計部, 2004~2007, 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) 赤瀬章ら, 2007, トレリス栽培オウトウのロボット収穫, 農業機械学会東北支部報 No.54, 1~4.
- 4) I.D.M. スブラタラ, 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.
- 5) 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), 127~134.

# 履带式農用車両の自律走行について

— 矩形軌道の走行シミュレーションについて —

武田純一\*・陳玲玲\*・齋藤雅憲\*\*・佐藤三寛\*\*\*

## Autonomous Traveling of a Crawler Type Vehicle

— Simulation for Rectangular Path Way —

Jun-ichi TAKEDA\*, Ling-Ling CHEN\*, Masanori SAITOH\*\*, Mitsuhiro SATOH\*\*\*

### Abstract

The objective of this research work is to simulate steering strategy for a crawler type vehicle which is moving along rectangular pathway and to find out optimal steering control parameters. The vehicle model was set simply as a bi-cycle model excluding friction forces between ground and crawler. The relationship between steering angle and both left and right crawler speed was developed as linear functions. The optimal values of parameters are analyzed by changing length of fictive point, vehicle velocity and coefficient of steering angle.

[Key words] autonomous traveling, crawler type vehicle, simulation, steering strategy

### 1. はじめに

履带式の農用車両は、接地圧が小さくけん引力が大きいことなどからトラクタをはじめコンバインや運搬車に数多く利用されている。本形式の車両は、左右の駆動輪に速度差を与えて走行する機構であり、制御工学的には2入力システムになることから、操舵輪を有する車輪型の車両と異なり一般に制御は難しくなる。本研究では、仮想的に操舵角と駆動輪速度の間に一次関数の関係を定め、市販機のようにハンドルを有する履带式車両を想定して、矩形軌道を走行するための最適なパラメータを考察した。

### 2. 履带式車両の操行制御理論

#### 1) 車両方程式

図1のように、対象とした車両の運動のモデルを横並び2輪モデルとした。この際、本来は履帯と地面の間の滑りが存在するが、モデルを単純化し滑りを考慮しないものと仮定すると、車両の運動方程式は、次式で示される。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \frac{r}{2} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta \\ \sin\theta & \sin\theta \\ 1/a & -1/a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_r \\ \dot{\phi}_l \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、

- $\phi$  : 駆動輪の回転角
- $r$  : 駆動輪の半径
- $d$  : 輪距
- $a$  : 履帯中心間距離の 1/2
- $v$  : 車両重心位置の速度
- $L$  : 前方注視点距離

$x$  : 横方向の変位

$y$  : 縦方向の変位

$\theta$  : を車両の姿勢角

$\dot{\phi}_r, \dot{\phi}_l$  : 右と左の履帯駆動輪の角速度

また、添え字の  $r$  と  $l$  はそれぞれ右、左を、 $C$  は車両の現在位置を、 $\cdot$  は一階微分を表すものとする。

#### 2) 操舵角と履帯速度の関係

履带式車両は左右の駆動輪の入力に応じて運動が規定される2入力システムであり、本来左右の駆動輪速度を独立に入力できるが、ここでは問題を簡略化して1入力システムとするために、仮想操舵角  $\alpha$  を導入し、 $\alpha$  と左右の駆動輪速度との関係を図2に示すように、それぞれ1次関数で定義した。従って、 $\alpha$  が決まれば左右の駆動輪の速度(角

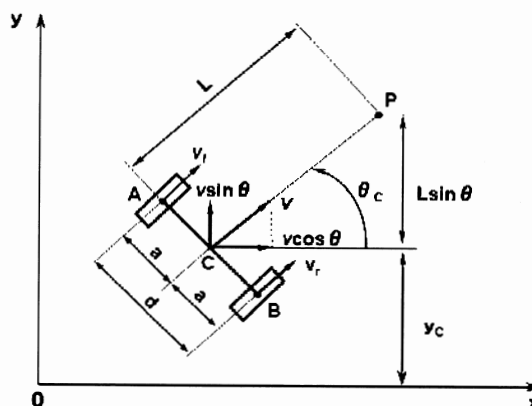


図1 履带式車両の運動モデル



速度) が決まり, 式(1)より車両の状態量が決定できる。  
 なお, 式(1)は非ホロミックシステムなので, Runge-Kutta 法を用いて数値解を算出した。

3)車両の操行制御方法

図3に直線走行時と1/4円走行時の操舵戦略のモデルを示す。車輛の前方  $L$  [m]の地点に前方注視点  $P$  を定める。そして目標軌道が直線の場合は, 目標軌道と  $P$  点との横偏差  $PQ$  ( $= \epsilon$ ) に比例して式(2)のように操舵輪を操舵するものとする。

$$\alpha = -k\epsilon \quad (k: \text{定数}) \quad (2)$$

ただし,  $k$ は比例定数 (以下, 操舵角係数と呼ぶ) である。一方, 矩形軌道の1/4円部は, 1/4円の中心と  $P$  点を結んだ線が円軌道と交わる点  $Q$  とし, 距離  $PQ$  に比例して操舵するものとした。この操舵戦略を矩形コース全体で維持するものとした。

ここで,

$R$ : 1/4円部の半径

$LL$ : 矩形軌道の長辺

$LS$ : 矩形軌道の短辺

である。

車輛はスタート地点 ( $x=R, y=0$ ) より初期姿勢角  $\theta=0$  として発進することとしたため, ①の区間では  $x$  軸上を直進することになる。なお,  $P$  点の存在範囲は図4に示した①~⑧の範囲とし, 数字の小さい範囲から順に進行するものとした。

3. シミュレーション

1)シミュレーションの条件

シミュレーションにおいて, 重要なパラメータは前方注視点距離  $L$  [m], 操舵角係数  $k$  [-], 直進速度  $V_s$  [m/s] であり, これらのパラメータの値を種々変化させて, 車両の運動を評価することとし, 前方注視点距離  $L$  を5条件 (0.2 m, 0.4m, 0.6m, 0.8m, 1m), 操舵角係数  $k$  を16条件 (0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30), 直進速度  $V_s$  を5条件 (0.2m/s, 0.4m/s, 0.6m/s, 0.8m/s, 1.0m/s) 組み合わせてシミュレーションを実施した。なお, 矩形軌道は,  $R=2\text{m}$ ,  $LL=5\text{m}$ ,  $LS=3\text{m}$  とした。

2)評価関数  $J$

本シミュレーションでは, 式(3)に示すとおり, 車両への入力としての  $\alpha$  と, 出力としての  $y_e, \theta_e$  の2乗の和を評価関数  $J$  とし制御性能を評価した。 $J$  の値は小さければ制御性能が高いことを示す。 $\alpha$  を評価関数に導入したのは, 入力と出力の全体をなるべく小さくするためである。

$$J = \sum (y_e^2 + \theta_e^2 + \alpha^2) \quad (3)$$

4. シミュレーション結果および考察

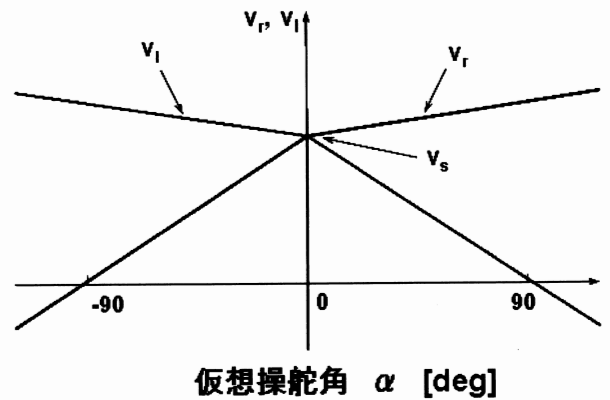


図2 仮想操舵角と左右駆動輪の速度の関係

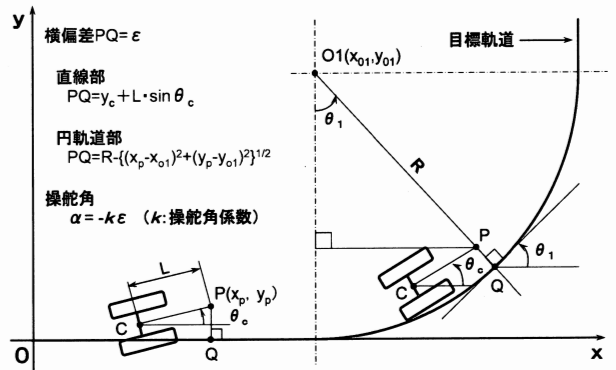


図3 操舵戦略

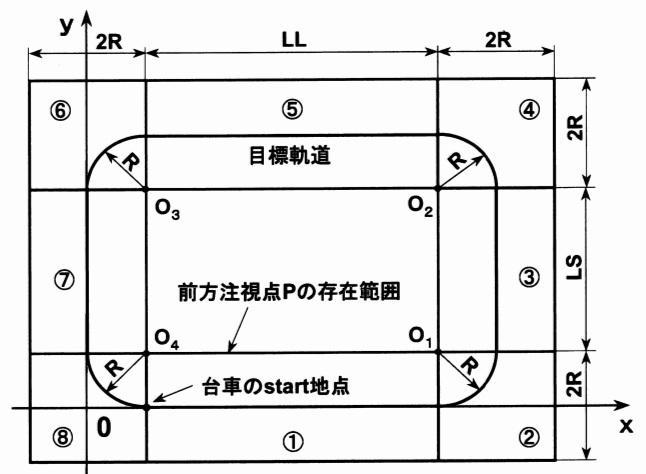


図4 P点の動く範囲

図5は,  $V_s=0.4\text{m/s}$ ,  $L=0.2$ ,  $k=20$  とした場合のシミュレーション結果で, 目標軌道に非常に良く追従している例である。図6には, このときの姿勢角と操舵角の時間変化を示したが, 操舵角は1/4円の開始部と直線部に入った時に, ややオーバーシュートする傾向があった。図7は,

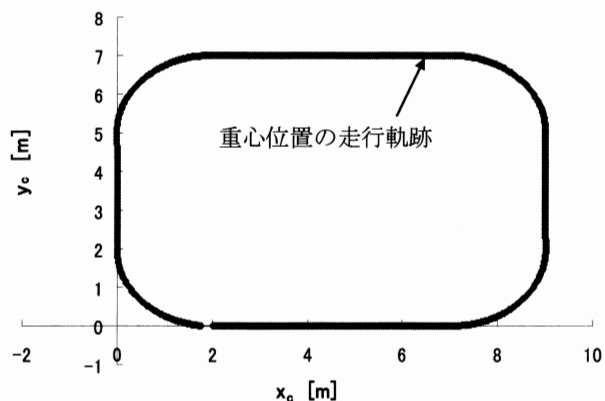


図5  $k=20$  の時の重心位置の走行軌跡  
( $V_s=0.4\text{m/s}$ ,  $L=0.2\text{m}$ )

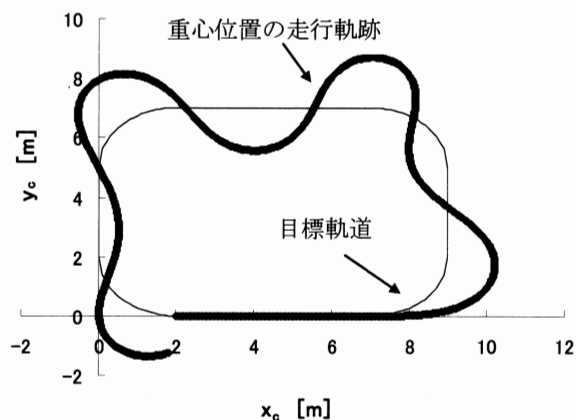


図7  $k=0.5$  の時の重心位置の走行軌跡  
( $V_s=0.4\text{m/s}$ ,  $L=0.2\text{m}$ )

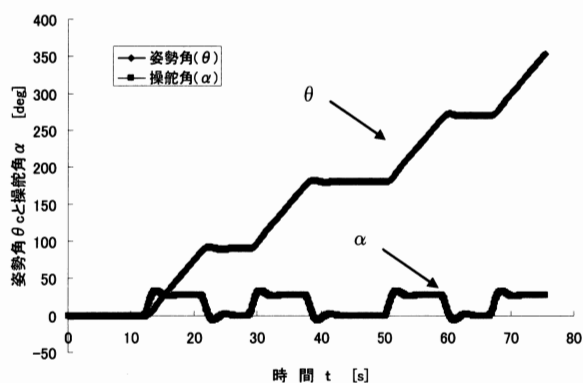


図6  $k=20$  の時の姿勢角と操舵角の時間変化  
( $V_s=0.4\text{m/s}$ ,  $L=0.2\text{m}$ )

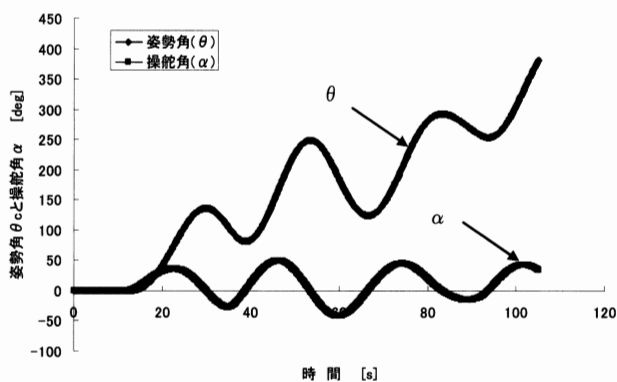


図8  $k=0.5$  の時の姿勢角と操舵角の時間変化  
( $V_s=0.4\text{m/s}$ ,  $L=0.2\text{m}$ )

$V_s$ と $L$ は同一で $k=0.5$ にした場合の結果を示したものである。この場合、相対的に仮想操舵角が小さくなり、目標軌道周辺で大きく振動しながら走行することになった。図8には、このときの姿勢角と操舵角の変化を示した。この例の場合 $k$ の値が小さいことから操舵角が小さくなり、軌道に追従できなくなってしまい、どちらも周期的に変動していることが分かる。このように、パラメータを適切に定めないと、制御結果が思うようにならないことが分かる。

次に、各パラメータの制御結果への影響について考察する。

1) 前方注視点距離  $L$  の影響

走行速度を $V_s=0.2\text{m/s}$ に固定し、操舵角係数 $k=5, 10, 20, 30$ と変化させた場合、図9に示すように前方注視点距離 $L$ が小さいほど、評価関数 $J$ が小さくなる傾向をもっていることが分かる。また、 $L$ が同一の場合、 $k$ が変化しても $J$ の値はあまり大きな変動がないことが分かる。ただし、前方注視点 $L$ が0の場合には、 $k$ の値によっては車両が迷走する傾向があり、図10の示すように $J$ の値が非常に大きくなった。

2) 走行速度  $V_s$  の影響

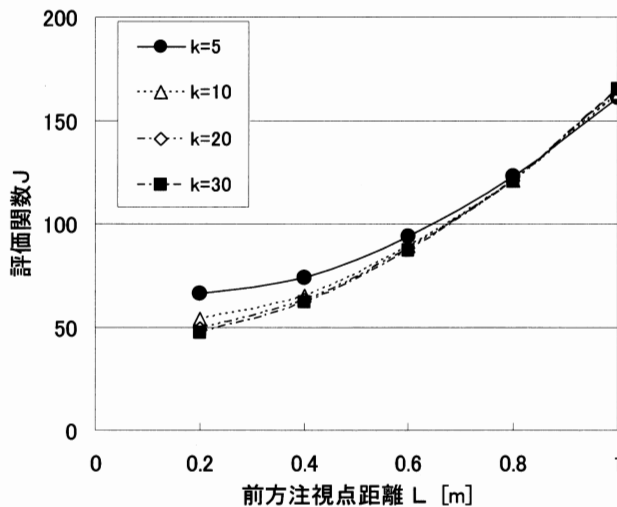


図9  $k$ と $L$ の変化による $J$ の値  
( $V_s=0.2\text{m/s}$ )

操舵角係数を $k=20$ として固定した場合、図11に示すように、 $L$ が同一条件の場合は、走行速度 $V_s$ が大きいほ

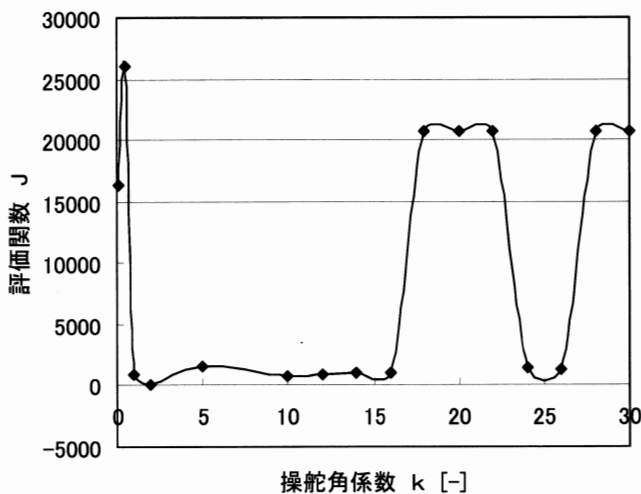


図 10  $L=0$ の時の  $k$  と  $J$  の関係  
( $V_s=0.2\text{m/s}$ )

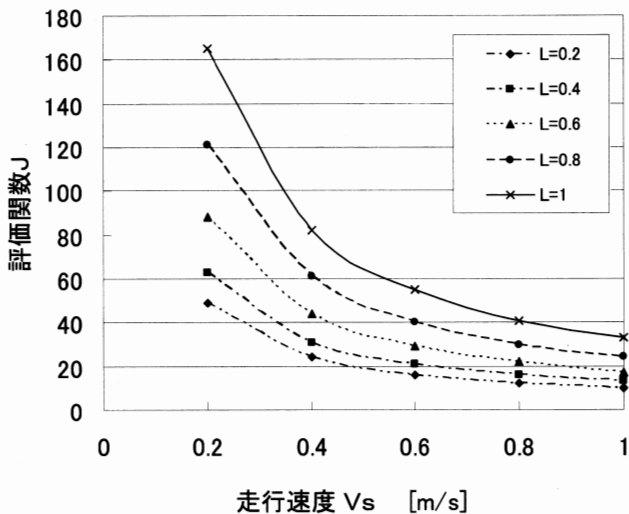


図 11  $V_s$  と  $J$  の関係 ( $k=20$  の場合)

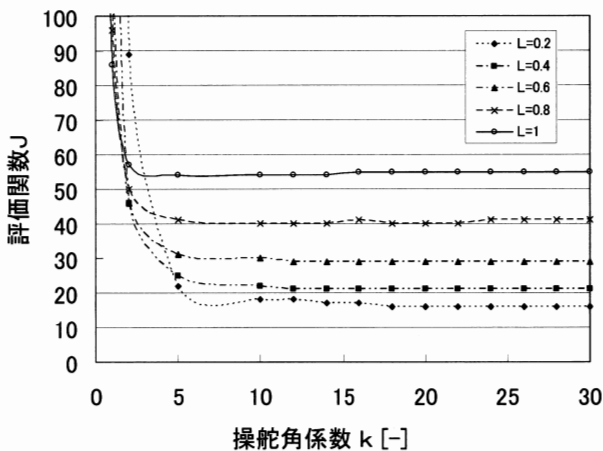


図 12  $k$  と  $J$  の関係 ( $V_s=0.6\text{m/s}$ ,  $L=0.2\text{m}$ )

ど、評価関数  $J$  が小さくなる傾向があった。また、 $L$  の変化と  $V_s$  の関係は、 $V_s$  が小さいほど  $L$  の変化による  $J$  の値の変化が大きくなる傾向があるが、 $V_s$  が大きいとその差は小さくなった。

3) 操舵角係数  $k$  の影響

図 12 に示すように、走行速度を  $V_s=0.6\text{m/s}$  に固定して、前方注視点を  $L=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0\text{m}$  と変化させた場合の評価関数  $J$  の変化を見ると、 $k$  が小さい場合は  $J$  が急激に大きくなる傾向があったが、 $k$  が 3~6 程度になると、 $J$  の値はほぼ一致値に収束する傾向があった。また、 $L$  の変化による  $J$  の値については、 $L$  が小さいほど  $J$  の値が小さくなる傾向を持っていた。

5. おわりに

今回のシミュレーションにより、矩形軌道走行時の履帯式車両の制御パラメータ値との最適値について検討した。実際に車両を走行させる場合は、機体内部の信号の遅れやアクチュエータの作動時間も考慮に入れなければならないので、走行条件により再度シミュレーションを行い、各パラメータを適切な値に設定する必要がある。

今後は実車実験を行い、理論との比較を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 齋藤雅憲, 武田純一: クローラ型農用車両の自律走行一車線変更問題に対するファジィ操舵制御器の設計一, 農業機械学会東北支部報, 51, 35-38, 2004
- 2) 日高茂實: 強制デフ式操舵システムの開発 (第1報), 農機誌, 64(2), 111-116, 2002
- 3) 多田達美, 鈴木耕裕, 中西洋介: ハーベスタの姿勢制御技術 (第1報), 農機北海道誌, 37, 9-15, 1997
- 4) 多田達美, 鈴木耕裕, 中西洋介: ハーベスタの姿勢制御技術 (第2報), 農機北海道誌, 38, 1-5, 1998
- 5) 中西洋介, 多田達美: 農作業車両自律走行作業支援システムの開発, 北海道工業試験場報告, 300, 43-51, 2001

## ハイパースペクトルイメージングによるイネ病状特徴の基礎的分析

ガウリ マハルジャン\*1・高橋照夫\*2・張 樹槐\*2

## Analysis of rice disease features based on hyperspectral imaging

Gauri MAHARJAN, Teruo TAKAHASHI, Shu-Huai ZHANG

## Abstract

The objective of this research is to develop a web based diagnosis system of rice disease using image analysis. As a part of the research, examination of reflectance features of rice diseases (leaf blast and sheath blight) using hyperspectral imaging is introduced in this report. Result shows that, there is clear difference between the reflectance of healthy and infected parts of rice leaves in wavelengths near to 485, 545 and 675nm. In most of the lesions, the shape of the spectrum of each disease is similar in all stages but reflectance value is slightly increased according to damage level. Reflectance of sheath blight is found higher than that of the leaf blast and takes a different shape in wavelengths above 675nm. Furthermore, reflectance ratio of healthy and infected parts shows big difference in peak value of the two diseases. Statistical significance test of the two diseases also shows that the vegetation indexes such as PSRI, RDVI have significant difference. These results indicate the possibility of discriminating rice diseases by reflectance features.

[キーワード] ハイパースペクトルカメラ、ハイパースペクトルイメージング、病状特徴、分光反射率、病気の識別

## 1. はじめに

本研究は、イネの病害虫防除支援 Web システムに関する研究の一環として、病状部位の分光反射特性を分析し、Web 自動診断処理に利用することの可否を検討することが目的である。作物の病害の検出・評価についてリモートセンシングや近距離イメージングを利用した研究が報告<sup>1-5)</sup>されているが、イネ病状の識別や診断に関する研究は少ない。本報では、ハイパースペクトルカメラ撮影により得られた分光反射特性が病気の種類やステージでどのように異なるかについて検討した。

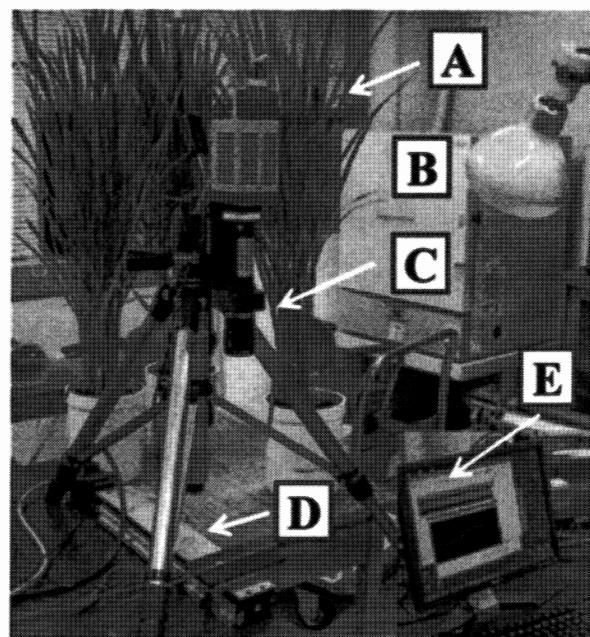
## 2. 実験方法

(1) 供試材料 イネの主な病気である葉いもちと紋枯病を供試対象とした。品種は「ゆめあかり」で、供試イネ株は本田で発病したものと成苗をワグネルポットに植え孢子や菌核接種により発病させたものである。葉いもちの接種株病斑は 2008 年 7 月 6 日と 7 月 9 日、水田での発病株病斑は 19 日に、紋枯病は 7 月 30 日と 8 月 17 日に撮影した。病斑数は葉いもちが 42 箇所、紋枯病が 22 箇所であった。

(2) 実験装置 主な構成を図 1 に示す。ハイパースペクトルカメラは分光器に ImSpector V10 (波長域 400~1000nm)、CCD 部に T 社の MC-781PF を使用した。イネ葉を移動させるために電動スライダを利用した。パソコンは Dell の Dimension1100、カメラ制御とデータ処理のために J 社の分光画像測定解析ソフト ImSpector Spectrum Analyzer を使用した。可視光撮影のためデジタルカメラ IXY Digital 2000IS

を用いた。

(3) 撮影条件 300W のハロゲンランプを光源に使用し、撮影距離を 30cm、ランプとの距離を 65cm、スキャンピッチを 0.08mm、波長分解能を 5nm に設定した。L 社の標準白色板を反射光基準に用い、最大輝度値は 800~950 に設定した。測定は 3 回ずつ行い平均した。



A: イネ株, B: Lamp, C: HS Camera, D: 電動スライダ  
E: カメラ制御とデータ処理ソフト

図 1 ハイパースペクトルカメラ撮影状況

(4) 測定手順 まず、屋外で発病株の病斑を選定してデジタルカメラで撮影後、夜間に室内でハイパースペクトルカメラ撮影を行った。葉いもちの場合、イネ葉をわん曲させてスライダ台に固定し、上方から撮影した。紋枯病の場合は、撮影直前に葉鞘と茎を切断し、スライダ台に固定した。撮影後、各画像について健全部と病状部の反射率を測定し、データを csv ファイルに保存した。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 葉いもちの病状特徴と分光反射率

a. 病状の経過概要 7月6日に撮影した発病後2~3日の病斑は図1a)のように楕円形か菱形でサイズは1.2~2.2×2.4~8.2mm、色調は灰色または灰白色か灰褐色であり、急性型初期のステージの特徴を示した。さらに3日経過した病斑は図1b)のようにほぼ菱形で、サイズは2~3.3×4.5~14.9mm、色調は内部が灰白色~灰褐色、周辺部が褐色に変化し、急性型中期の特徴であった。7月19日に水田から採取したイネ株病斑は図1c)のように紡錘形や菱形で、サイズは1.4~3.8×9~23.4mm、色調は内部が灰白色~灰褐色、中間部が褐色、周辺部が黄色~淡黄褐色で、急性型から移行した慢性型病斑と判定された。また、7月9日と19日に採取した病斑のうち発病後に変色やサイズ変化がほとんどなく、図1d)のように形状が点型か楕円形で、サイズが0.3~1.1×0.4~1.6mm、色調が褐色のものは褐点型と判定された。

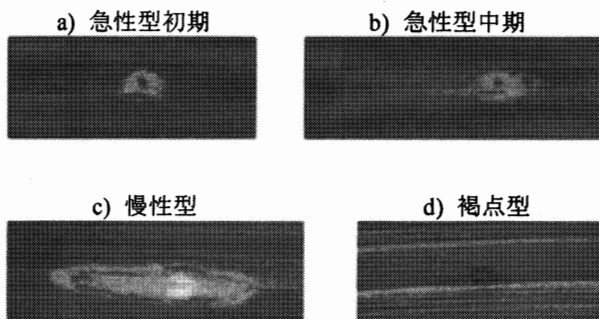


図2 葉いもち病状の外観特徴

b. 各ステージの病状の分光反射率 急性型初期病斑の例を図3a)に示す。健全部(太線)の反射率は0.07~0.45間にあり、550nm付近で小ピーク、675nm付近で谷となった後急増し、750nm以上ではほぼ一定の傾向であったのに対し、病状部(細線)は400nmの0.07から1000nmの0.55まで徐々に増加した。健全部とは450~500nmと600~700nm間で違いがみられ、675nmで健全部との差がもっとも大きかった。これはクロロフィルなどの光合成色素の低下や消失によると考えられる。750nm以上では波長とともにその差が増大した。

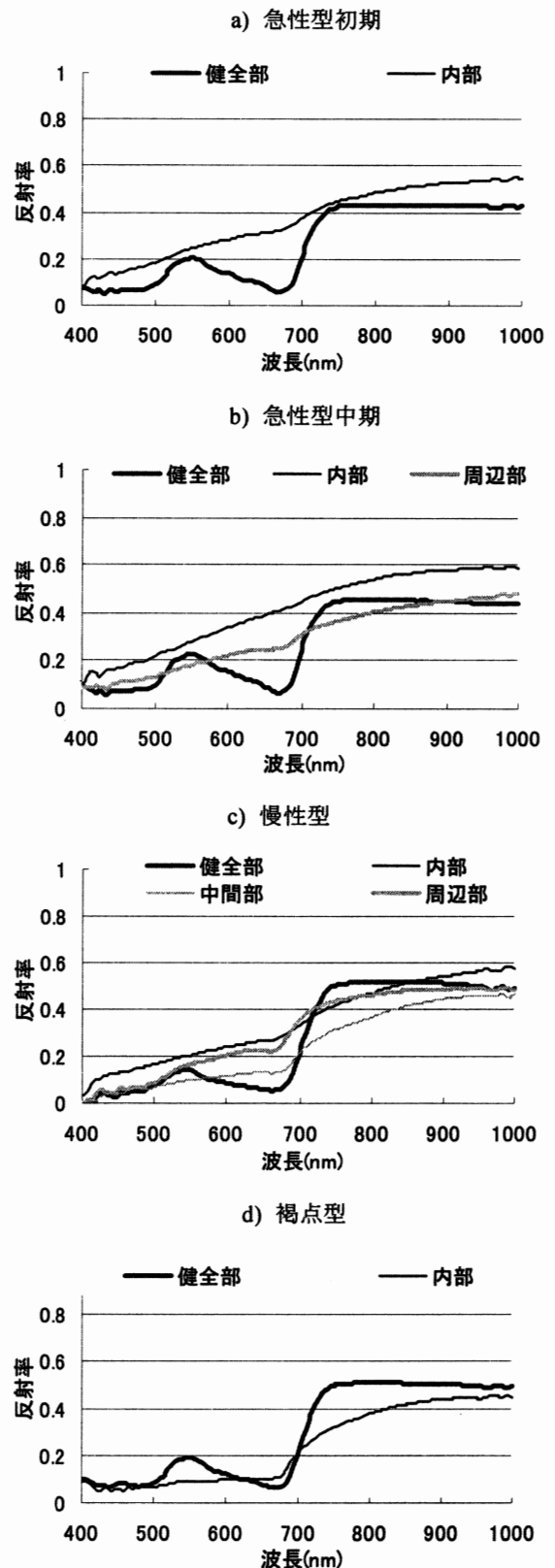


図3 葉いもちの反射率の結果例

急性型中期病斑の例を図3b)に示す。病斑内部の反射率は0.1~0.6間にあり、波形は初期の場合と同様であるが、反射率の値はやや大きくなった。一方、病斑の周辺部は0.08

～0.48 間にあり、全波長で病斑内部より小さかった。これは周辺部に細胞膜の褐変が生じたためと考えられる。

慢性型病斑の例を図3c)に示す。濃い太線が健全部、濃い細線が病斑の内部、淡い太線が中間部、淡い細線が周辺部の反射率である。内部と中間部の波形は類似し、値は内部のほうが大きかった。周辺部は400～550nmと900nm以上で健全部の波形とほぼ一致し、600～700nmでは健全部との差が大きかった。

褐点型病斑の例は図3d)に示す。病状部の反射率は0.05～0.45間にあり、550nmと750nm付近で健全部とやや大きな差があり、675nm付近で健全部より大きかったが、他では健全部より小さかった。

c. 各ステージの平均分光反射率比の分布 各ステージの病斑(10～12個)について波長ごとに病状部と健全部それぞれの平均反射率を求め、その比(反射率比と呼称)を検討した。急性型初期の反射率比は図4a)のように470～500nmに小さいピーク、525～575nmに谷があり、650～700nm間でピークとなった後さらに減少し、745nm付近から1000nmまでならだらかに増加した。はじめのピーク値は495nmで2.11、次の

ピーク値は670nmで4.31、谷部では545nmで1.19であった。745～1000nmでの反射率比は0.77～1.02であった。

急性型中期病斑の反射率比を図4b)に示す。病斑内部の反射率比は初期の場合と同様な波形であったが、670nmのピーク値は若干大きかった。周辺部の場合反射率比は400～500nmでならだかに増加し、それ以降の波形は病斑内部と同様な傾向であった。谷部で535nmの0.70がもっとも小さかった。ピーク値は665nmの2.54であった。745～1000nmでの反射率比は0.66～1であった。

慢性型病斑の反射率比は図4c)のように、初期や中期の内部の場合と同様な波形であったが、値は中期よりも若干大きかった。中間部の反射率比は波形、値とも急性型中期とほぼ一致した。一方、周辺部の反射率比は0.95～3.09間にあり、400～550nm、750nm以上ではほぼ一定となり、665nmで大きなピークがあった。

褐点型病斑の反射率比は図4d)のように400～500nmでほとんど変化がなく、525～575nmで谷、650～700nmでピークがあった。急性型や慢性型にくらべ400～700nm間の値ははるかに小さかった。

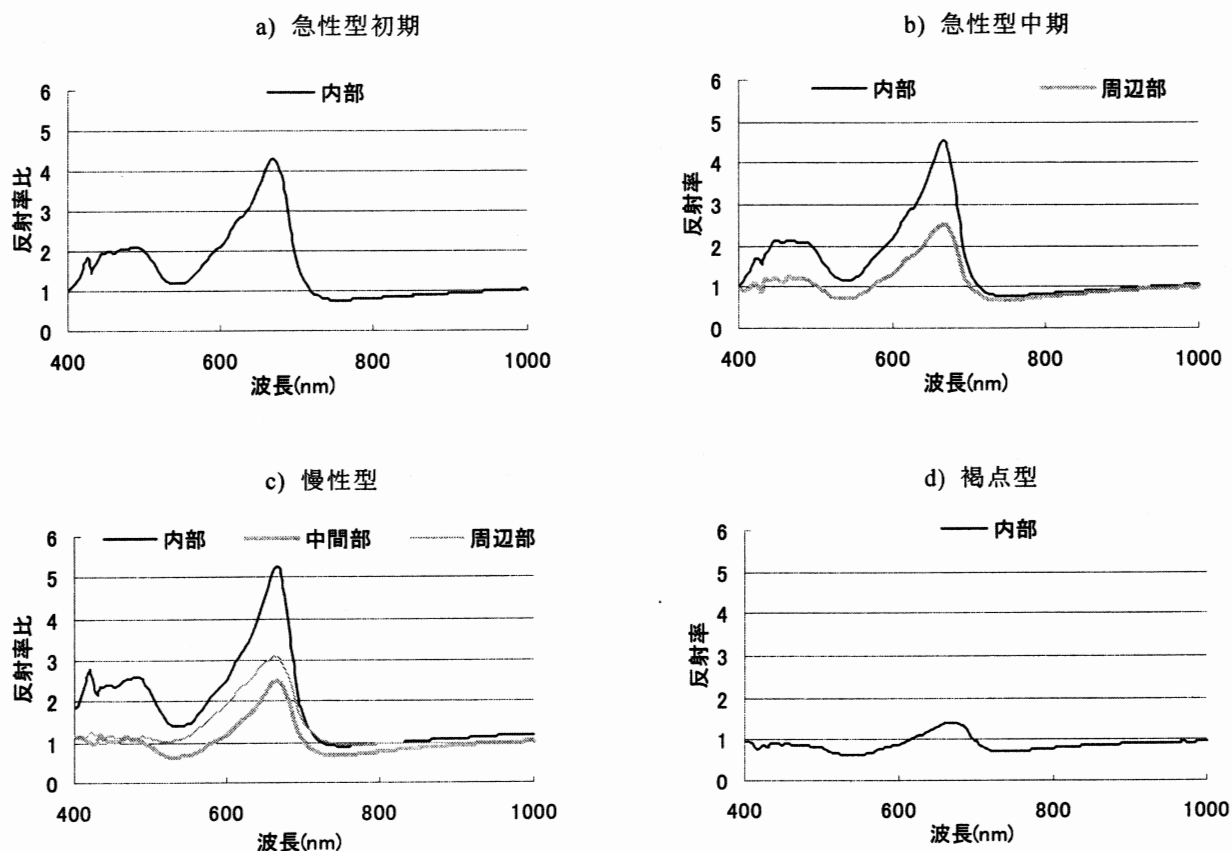


図4 葉いもちの平均反射率比

(2) 紋枯病の病状特徴と分光反射率

a. 病状の経過概要 7月30日採取の病斑は図5a)のように楕円形で、サイズは  $3.1 \sim 5.2 \times 4.5 \sim 20.5$ 、色調は全体が淡緑色、淡灰白色か淡褐色であり、初期病斑のステージの特徴であった。7月30日採取の一部と8月17日採取の病斑は図5b)のように楕円形か長楕円形で、サイズは  $3.2 \sim 4.7 \times 5.1 \sim 20.3$ 、色調は内部が灰褐色か灰白色、周辺が暗褐色か褐色で中期と判定された。

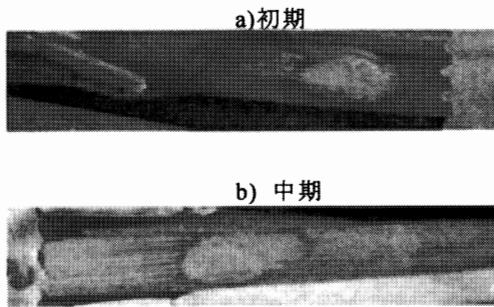


図5 紋枯病病状の外観特徴

b. 各ステージの病状の分光反射率 初期病斑の例を図6a)に示す。健全部(太線)の反射率は  $0.11 \sim 0.75$  間にあり、550nm 付近に小ピーク、675nm 付近で谷となった後急増し、750~925nm ではほぼ一定であった。病状部(細線)の反射率は  $0.14 \sim 0.75$  間にあり、400nm から増大し、590nm 付近でなだらかなピークとなり、675nm 付近で谷になった後700nm 以上では健全部の波形と類似した。両者の反射率に顕著な違いがなかったのは組織内のクロロフィル色素や水分などがあまり変化していないためと考えられる。

中期病斑の例を図6b)に示す。病斑の内部と周辺部の反射率は波形が類似し、値は内部が周辺部より大きかった。

c. 各ステージの平均分光反射率比の分布 初期病斑の反射率比は図7a)に示したように、 $0.09 \sim 1.7$  間にあり、470~500nm に小さいピーク、525~575nm に谷、650~700nm にやや大きいピークがあった。700nm 以上ではほぼ一定であった。

中期病斑の反射率比は図7b)のように内部は  $0.81 \sim 2.04$  間にあり、470~500nm と650~700nm にピーク、525~575nm に谷が現われ、波形は初期病斑と類似した。ピーク値は初期より若干大きかった。周辺部の反射率比は  $0 \sim 1$  間にあり、400nm からやや下向き、525~575nm に谷、650~700nm に小さいピークがあった。それ以上では  $0.5 \sim 1$  まで徐々に増加した。

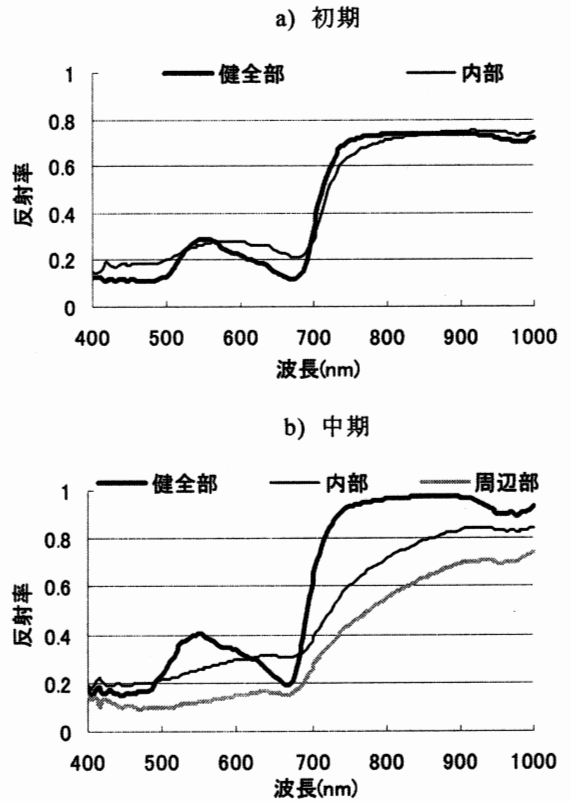


図6 紋枯病の反射率の結果例

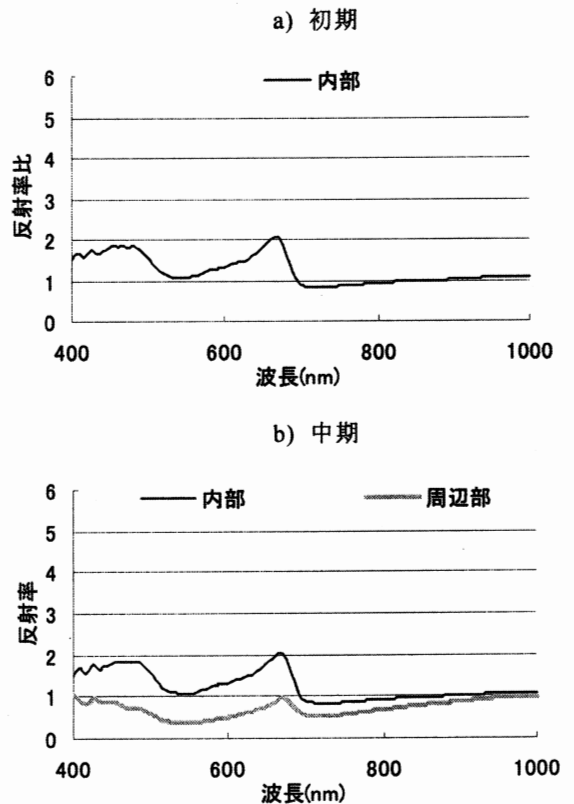


図7 紋枯病の平均反射率比

(3) 病気の種類・ステージと分光反射特性の関係

葉いもちと紋枯病の波形は 675nm 付近と 675nm 以上で違いがみられた。反射率の値は両者とも 665~680nm で健全部との差が大きかった。

反射率比は葉いもちの急性型と慢性型病斑ではピークが 665~680nm 間にあり、値は 4.3 以上であった。それに対して、紋枯病は同波長域でのピーク値は 2 以下であった。一方、葉いもちの褐点型病斑の場合、ピーク値が 1.4 で紋枯病より小さかった。波長域 480~495nm、540~545nm でも葉いもちと紋枯病で違いがみられた。

a. 分光反射特性に関する諸指数 分光反射特性を表す指数として既存研究から次の植生指数を取上げ検討した。植生活力度・構造を強調するものとして<sup>6)</sup>、

RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index)

$$= (R800-R670)/((R800+R670)/2)、$$

クロロフィルなどの色素濃度・含有量に感度が高いものとして<sup>7)</sup>、

MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index)

$$= (R700-R670)-0.2\{(R700-R550)(R700/R670)\}、$$

PSRI (Plant Senescence Reflection Index)

$$= (R680-R500)/R750、$$

PSSRa (Pigment Specific Simple Ratio)

$$= R800/R680$$

を使用した。健全部及び各病状の指数値の平均と標準偏差を表 1 に示す。

b. 各ステージの指標値の比較 各病気のステージの指数値について t 検定を用いて有意性を検討した。結果を表 2 に示す。いずれの指数の場合も葉いもちの急性型と褐点型、慢性型と褐点型の間に有意差があった。有意水準 5% の場合、指数 PSRI と PSSRa は葉いもちと紋枯病の両方ともステージ間に有意差があった。有意水準 1% の場合、ステージ間に有意差がみられない場合が多かったが、指数 MCARI 以外は紋枯病の初期と中期の間で有意差が見られた。

c. 2 種の病気の指標値の比較 葉いもちと紋枯病についての t 検定結果を表 3 に示す。全ての指数において有意水準 1% で有意差があった。とくに指数 PSRI が他に比べ顕著な場合が多かった。

表1 各種の植生指数値

病気・種類	個数	RDVI		MCARI		PSRI		PSSRa	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
葉いもち健全部	42	1.576	0.053	0.206	0.081	-0.004	0.015	7.098	1.335
葉いもち急性型(初期)	10	0.496	0.066	0.029	0.009	0.319	0.039	1.598	0.112
葉いもち急性型(中期)	10	0.415	0.117	0.022	0.016	0.368	0.049	1.461	0.162
葉いもち慢性型	12	0.447	0.164	0.030	0.017	0.329	0.062	1.524	0.239
葉いもち褐点型	10	1.311	0.147	0.117	0.053	0.112	0.067	4.363	1.548
紋枯病健全部	22	1.286	0.131	0.387	0.088	0.052	0.061	3.919	1.081
紋枯病初期	12	0.909	0.143	0.139	0.087	0.064	0.049	2.632	0.464
紋枯病中期	10	0.724	0.081	0.087	0.029	0.120	0.046	2.095	0.194

SD: 標準偏差

表2 ステージ間の有意差検定結果(t値)

対象	RDVI	MCARI	PSRI	PSSRa
葉いもち急性型初期対中期	1.797	0.752	2.219*	2.168*
葉いもち急性型初期対慢性型	1.694	0.201	0.892	1.898
葉いもち急性型初期対褐点型	14.565**	4.779**	7.449**	5.140**
葉いもち急性型中期対慢性型	0.115	0.776	1.154	0.037
葉いもち急性型中期対褐点型	13.808**	4.868**	8.633**	5.375**
葉いもち慢性型対褐点型	12.985**	4.574**	7.541**	5.361**
紋枯病初期対中期	3.626**	1.742	2.832**	3.557**

\*有意水準5%

\*\*有意水準1%

表3 葉いもちと紋枯病の有意差検定結果(t値)

対象	RDVI	MCARI	PSRI	PSSRa
葉いもち急性型初期対紋枯病初期	8.227**	8.007**	13.569**	6.805**
葉いもち急性型中期対紋枯病中期	6.153**	6.123**	10.959**	7.162**
葉いもち慢性型対紋枯病中期	5.554**	5.699**	9.500**	6.664**

\*有意水準5%

\*\*有意水準1%



#### 4. 摘要

本報では、葉いもちと紋枯病を対象にハイパースペクトルカメラ撮影により病状部位及び健全部位の分光反射特性を検討した。その結果から次ことが分かった。

(1) 健全部と病状部の反射率は 485nm、545nm、675nm 付近で差が大きく明確な違いがあった。各病状ステージの波形は類似し、病状の進行につれ反射率がやや増加したものが多かった。紋枯病は葉いもち病より反射率の値が大きい場合が多く、675nm 付近や 750nm 以上で波形に違いがみられた。反射率の比を調べた結果、葉いもちと紋枯病で 665~680nm でピーク値の差が大きく顕著な違いがあった。

(2) 4種の植生指数を用いて、各病気の病斑の2群比較を行った結果、葉いもちの病斑型及び葉いもちと紋枯病で有意差のあることがわかった。病状のステージ間では葉いもちの場合あまり有意差はみられなかったが、紋枯病の場合は有意差があった。

以上の結果から、分光反射特性を用いた病気識別の可能性のあることが分かった。今後、より簡易な分光特性の取得方法及びそれらの分類・検索への利用方法について検討する予定である。

#### 謝辞

本研究の供試材料の収集や分析に当たって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に多大なご協力を賜った。ここに深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) Z. Qin: Detection of rice sheath blight for in-season disease management using multi-spectral remote sensing, *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinfo*, Volume 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) 佐々木豊・岡本嗣男・芋生憲司・鳥居徹: 植物病害の自動診断に関する基礎研究, 健全葉と病害葉の識別, *農業機械学会誌* 61(2), 119- 126, 1999

- 4) H.R. Xu, Y.B. Yinga, X.P. Fua and S.P. Zhu: Near-infrared spectroscopy in detecting Leaf Miner Damage on tomato leaf, *Biosystems Engineering*, Volume 96, Issue 4, P447-454, 2007
- 5) D. Moshou, C. Bravo, J. West, S. Wahlen, A. McCartney and H. Ramon: Automatic detection of 'yellow rust' in wheat using reflectance measurements and neural networks, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 44, Issue 3, P173-188, 2004
- 6) 大政謙次: 農業・環境分野における先端的画像情報利用, 農業電化協会, 2007
- 7) 望月貫一郎: 小特集 ハイパースペクトルセンサー技術の活用、写真測量とリモートセンシング, *日本写真測量学会誌*, Vol.46, No.5, 2007
- 8) 岡本大二郎・大畑貫一: イネの病害虫(第3版), 農山漁村文化協会, 1989
- 9) 小野小三郎: イネいもち病を探る、研究室から現場まで, 日本植物防疫協会, 1994
- 10) 農山漁村文化協会: 原色作物病害虫百科(イネ), 農山漁村文化協会, 2005
- 11) 堀眞雄: イネ紋枯病, 発生・防除の理論と実際, 日本植物防疫協会, 1991

# 溝を利用した栽培装置の研究

- 溝の冷却効果について -

松尾健太郎\*・屋代幹雄\*\*

## Study on trench horticultural system

- Cooling effect of trench horticultural system -

Kentaro MATSUO\*, Mikio YASHIRO\*\*

### Abstract

The feasibility of cooling effect of trench horticultural system was examined. In 2003, two trenches of length 6m×width 50cm×depth 50cm and 100cm were dug. The daytime temperature from July to August in the trench 50cm deep was about 2.7 degrees lower than that in green house. The daytime temperature from July to August in the trench 100cm deep was about 0.5 degrees lower than that in the trench 50cm deep. Also, Factor contributing to the cooling effect of this system was examined with a Styrofoam container and a light shielding sheet container of the same size as the trench. Most of the cooling effect of this system was due to underground heat storage. Sun light shielding of trench wall showed only a small cooling effect. In summer of 2006 and 2007, strawberries were cultivated with this system and conventional system. Growth and quality of the strawberries cultivated with this system were better than that in a conventional system.

[Keyword] trench, cooling effect, strawberry

### 1. 緒言

近年、地球温暖化が進み、温室効果ガスのひとつである二酸化炭素の排出量の削減が求められており、農業現場においても二酸化炭素の排出量の削減は重要である。施設栽培では、夏期の高温対策として送風機、冷水機や細霧冷房システムなどを使用し、冬期の低温対策として温水や温風の暖房機などを使用する場合がある。これらの装置は二酸化炭素を多く排出するので、代替の装置が必要であると考えられる。現在、二酸化炭素の排出が少ない装置としては夏冬兼用で使える熱交換装置(ヒートポンプ)が考えられるが、設置のための初期費用が高く導入は進んでいない。

そこで本研究では、夏期の冷却と冬期の保温を行うためにハウス内に掘られた溝の中に栽培槽を入れて栽培を行い、管理作業時のみ栽培槽を持ち上げる栽培装置を開発することを目的とする。

本報では、溝の深さが冷却効果に与える影響、溝に

冷却効果をもたらす要因の解析および、夏期の収量と品質が低いことが問題となっているイチゴ栽培において溝を利用した栽培装置を用いた場合に与える影響について報告する。

### 2. 材料および方法

#### (1) 溝の深さと冷却効果 (実験1)

深さの違う溝を掘り、溝の深さと冷却効果の関係を調査して、栽培面から見て有利な溝の深さを検討した。

2003年に、東北農業研究センター鍋屋敷地区のハウス内にトレンチャーを使用して南北方向に深さの違う2種類の溝を2本ずつ作製した(図1)。溝の形状は長さ6m、幅50cmで、深さが50cm(50cm区)および100cm(100cm区)である。溝の気温は溝底から15cmの高さで測定し、ハウス内の気温は、地表面から100cmの高さで測定した。また、溝深さ50cmと100cmの底に光量子センサーを設置して光量子量を測定した。測定期間は、6/1-9/30の間であった。

\* 独立行政法人 農業食品産業技術研究機構 東北農業研究センター

\*\* 独立行政法人 農業食品産業技術研究機構 中央農業総合研究センター

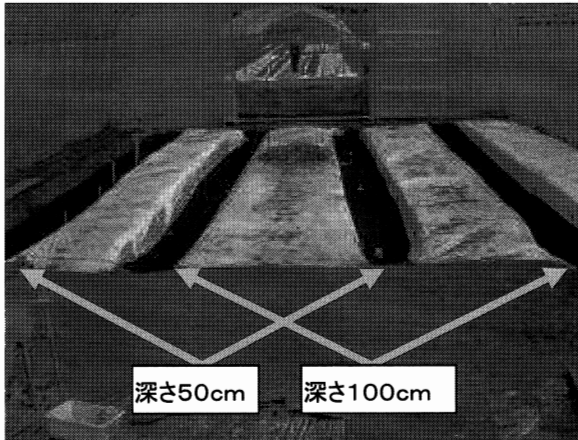


図1 溝の外観

## (2) 溝の冷却効果の要因 (実験2)

溝の冷却効果に影響を与える要因を解明するために、溝と同じ大きさの容器を地上に設置し、遮光等の影響を調査した。

2004年に、溝(深さ60cm・幅50cm・長さ6m)(溝区)に栽培槽(長さ140cm・幅16cm・深さ15cm)を4つ設置した(図2)。溝以外の試験区には、厚さ2cmの発泡スチロール(発泡区)と白色の遮光シート(商品名:ホワイトシルバー、ビニール区)で作られた溝と同じ形状の2種類の容器を用意し、栽培槽を入れて地面から高さ75cmに設置した。また、栽培槽のみを同様の高さ(対照区)に設置した(図3)。培地にはヤシ殻のみを用いた。19株のイチゴを株間7cmのチドリ植えて栽培槽に定植した。灌水は、培地が乾燥した場合に、適時、上部から行った。各区の培地温度(測定位置:栽培槽表面の中心から深さ5cm)および気温を測定した。測定期間は6/4~9/26の間であった。

また、溝壁面の温度変化を調査するために、2007年に溝底から高さ25cmの壁面の(水平方向の)深さ2cm、5cm、8cmの地温、溝底から高さ30cmの気温および、栽培槽の培地温を測定した。地表面と栽培槽の表面が同じ高さになるように栽培槽を設置した。測定期間は、7/1~8/30の間であった。

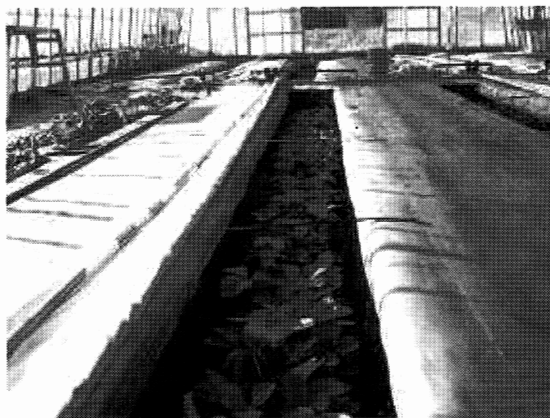


図2 溝底に栽培槽を設置した例



図3 慣行法の栽培槽の設置例

## (3) 夏期のイチゴの収量と品質 (実験3)

夏期の収量と品質が低いことが問題となっているイチゴ栽培において、溝栽培装置が収量等に与える影響を調べた。

2005年と2006年の夏秋期に四季成り性のイチゴ(品種:エバーベリー)を栽培した。試験区は、実験2で使用した溝に栽培槽を入れて、栽培槽の表面が地表面と同じ高さになるように設置した区(溝区、図4)と、同じ大きさの栽培槽を慣行法と同じように高さ95cmに固定した区(対照区)である。培地と移植様式は、実験2と同様である。基肥はエコトータルロング120日タイプを2.5g/株とし、追肥は、生育初期にはEC0.5mS/m(大塚A処方)で、生育後期にはEC0.9mS/mを1日2回15分間灌水と同時にいった。2005年の栽培概要は次の通りである。6/9に鉢受け、ホコリダニが多発したので7/5に熱水処理(苗を10秒間、熱水(約55℃)に浸水)を行い、7/6に移植した。2006年の栽培概要は次の通りである。5/19に鉢受け、6/10に移植し、苗の成長を促進させるためにすべての苗で最初の果房を摘除した。収穫は11月まで行った。調査項目は、1果重、収量、糖度である。また、栽培期間中の培地温およびハウス内の気温を測定した。



図4 栽培槽の表面を地表面と同じ高さに設置した例

### 3. 結果と考察

#### (1) 溝の深さと冷却効果

図5に溝の深さの違いによる気温および光量子量の日変化の代表例として8/4と8/5の2日分を示した。8/4の天候は曇りで、8/5の天候は晴れであった。8/4の昼間(7時~18時)の平均気温はハウス内が24.2℃で、これよりも50cm区が0.8℃、100cm区が1.8℃低くなった。8/5の昼間の平均気温はハウス内が32.5℃で、これよりも50cm区が2.9℃、100cm区が4.6℃低くなった。ハウス内の気温が高くなった場合に溝の冷却効果は高くなった。

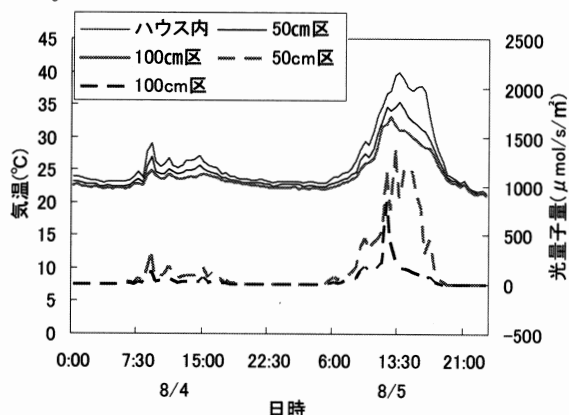


図5 溝の深さと気温および光量子量の変化

※ 図中の実線は気温、破線は光量子量

測定期間中の昼間の平均気温を表1に示した。ハウス内の気温と50cm区の気温差は2.7℃、50cm区と100cm区の気温差は0.5℃であった。溝の深さを2倍にしても冷却効果はさほど向上しなかった。これは、土壌の温度は土壌の深さとともに急速に一定になる<sup>1)</sup>ので、深さ50cmですでに地温がほぼ一定になっているためと考えられた。

100cm区の日間の平均光量子量は、50cm区と比較して、1/2以下に低下した。光量子量が低いと生育に影響が出るので、深さ100cmは栽培に不利であると考えられた。

これらの結果に加え、溝の深さが100cmでは管理作業の困難な場合があったことから、溝の深さは50cmで十分であると考えられた。また、曇天時に温度差が小さくなることから、溝の壁による遮光の効果により気温が低下している可能性も考えられた。

表1 測定期間中の昼間の平均気温

	ハウス内	50cm区	100cm区
昼間の平均気温	25.8	23.1	22.6
昼間の平均光量子量		356.4	141.9

※ 気温の単位:℃・光量子量の単位:  $\mu\text{mol/s/m}^2$

#### (2) 溝の冷却効果の要因

図6に遮光資材の違いによる培地温の変化を示した。溝区の昼間の平均培地温は、ビニール区と発泡区よりも約1.7℃低く、対照区よりも約2.0℃低くなった。また、日最高培地温の平均は溝区で24.8℃、発泡区で27.3℃、対照区で27.9℃、ビニール区で28.3℃であり、溝区は他の区と比較して約3.0℃低くなった。遮光の効果を検討するために設置したビニール区および発泡区よりも溝区の昼間の平均培地温や日最高培地温の平均が低いことや、ビニール区や発泡区と対照区の昼間の平均培地温の温度差がわずかであることから、遮光による溝の冷却効果に与える影響はわずかで、その他の要因による影響が強いことが明らかとなった。さらに、ビニール区の日最高培地温の平均が発泡区よりも高い理由は、発泡区の栽培槽を入れた容器が断熱作用の高い素材でできているので、容器の外側に当たった太陽光の熱を内部に伝えにくかったためと考えられた。

溝区の夜間の平均培地温は20.6℃で、対照区よりも0.3℃低くなった。溝区の日最低培地温の平均は19.2℃で、対照区が19.0℃、発泡区が19.3℃、ビニール区が19.7℃であり、溝区は対照区よりも0.2℃高くなった。また、昼間と夜間の平均培地温の差と、日最高気温と日最低気温の平均の差は、溝区で1.5℃と5.6℃、対照区で3.2℃と8.9℃、発泡区で2.5℃と8.0℃、ビニール区で2.3℃と8.6℃となり、両方の差とも溝区がもっとも小さくなった。これらのことから溝に温度を一定に保つ効果があることが考えられた。

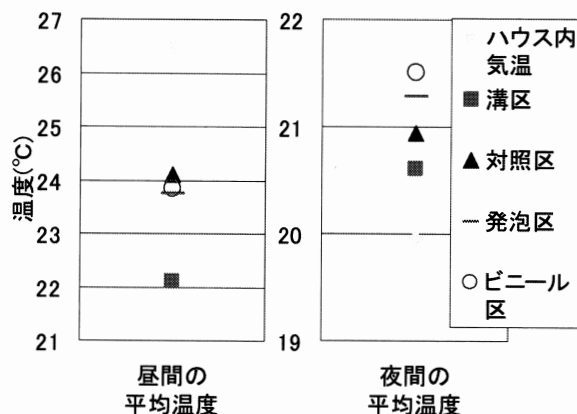


図6 遮光資材の違いによる培地温の日変化

図7に2007年における溝壁面温度の測定深さの違いの代表例として7/22・23の日変化を示した。測定位置が深くなるほど温度は一定となり、深さ8cmですでに22.0℃(±1.3℃)でほぼ一定の温度となった。溝の壁面の水平方向の深さにおいても地面の垂直方向と同じように、深さが深くなるほど、温度が一定になっていくことが明らかとなった。溝の壁面全体で外気温および日射の熱と壁面の深層部分の熱の交換がされており、その効果は高いと考えられた。

以上の結果から、溝の冷却効果にもっとも影響を与える要因は、溝の壁面全体が太陽からの熱や外気の熱を吸収するためであると考えられた。ただし、土壌の温度は約 22℃で一定となっているため、溝のみを利用した場合の栽培装置ではこの温度以下に栽培槽を冷却することはできないと考えられた。

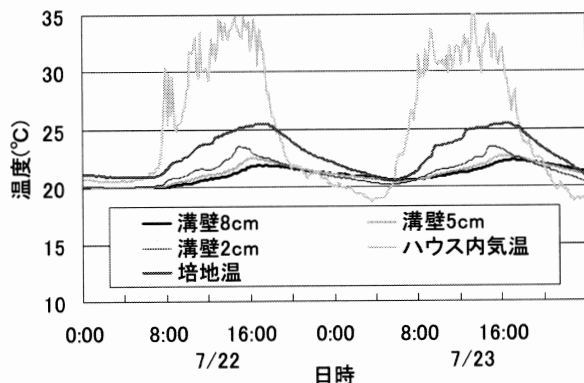


図7 溝壁面の測定深さと日変化

(3) 夏期のイチゴの収量と品質について

表2に2005年と2006年の7/1から8/30までの昼間の平均気温を示した。2005年の対照区と溝区の差は約1.0℃(最大較差は2.3℃)、2006年の対照区と溝区の差は約0.2℃(最大較差は0.8℃)であった。2006年は平年より冷夏であったために、冷却効果が明確に現れなかったと考えられた。

表2 昼間の平均温度

年	ハウス内(気温)	溝(培地温)	対照(培地温)
2005	26.9	22.9	23.9
2006	26.5	22.6	22.8

※ 単位:℃

表3に2005年と2006年の各区の収量と品質を示した。収量と収穫果数は、2005年では溝区が有意に高く、2006年では差が明らかではなかった。前述のように2006年は冷夏であったので溝の冷却効果が明確に現れず、対照区と溝区の収量および収穫果数の差が小さくなったと考えられた。また、糖度は両年も溝区が有意に高かった。1果重については両年も差が明らかではなかった。

以上から、溝を利用した栽培装置で栽培することにより、糖度を向上させることができ、平年以上に暑い夏の気象条件下であれば、収量増にも寄与できる可能性が明らかとなった。

表3 収量および品質

	2005		2006	
	対照区	溝区	対照区	溝区
収量 (g/株)	61.6 ±22.9	72.1 * ±24.2	119 ±44.6	117.2 ±41.4
果実重 (g)	9.4 ±3.7	9.1 ±3.4	8.7 ±1.3	8.8 ±1.2
果数 (個)	7.3 ±3.4	9.4 * ±3.6	13.5 ±5.1	13.3 ±4.6
糖度 (%)	7.3 ±1.3	7.6 * ±1.4	7.6 ±0.3	8.2 * ±0.6

※ 土標準偏差

※ 表中の値に\*がある項目は、5%水準で有意に高い

5 まとめ

- (1) 溝の深さと冷却効果の関係と作業面などから考え実用性のある深さを検討した。深さ 50cm、100cm の溝の中の気温は、地上部の気温と比較して、それぞれ 2.7℃、3.2℃低下した。深さ 100cm では、光量子量が深さ 50cm の半分以下になることや作業性が劣ることから、深さ 50cm の方が実用には適していると考えられた。
- (2) 溝と同じ大きさの容器と溝に栽培槽を置き、その培地温を測定し、溝の冷却効果に影響を与える要因を調査した。その結果、溝の冷却効果をもたらす要因として、溝壁面が太陽からの熱や外気の熱を吸収する効果の影響が大きく、遮光の効果は小さいと考えられた。また、本装置では、壁面深くの土壌の温度以下には冷却できないと考えられた。
- (3) イチゴの夏期生産において、溝を利用した栽培装置を利用した場合、慣行の高設栽培と比較して糖度が向上することが明らかとなった。また、外気温が平年以上の場合には、収量も向上する可能性が明らかとなった。

今後、溝の冷却効果の年次変化、溝を利用したイチゴの短日処理方法の検討、溝の保温効果の検討や他の作物の栽培を行い、年間を通しての利用方法を検討する予定である。

参考文献

1) Caylor S. Campbell・John M. Norman:生物環境物理学の基礎, 森北出版, p15-38, 2003

# エアチューブ型トンネルハウスと冬期間の温度保持特性

屋代幹雄\*・松尾健太郎\*\*

## Grow Tunnels Using the Tubes and the Heat-retention in the Winter Period

Mikio YASHIRO\*, Kentaro MATSUO\*\*

[Keyword] Grow Tunnels, Tubes, Heat-retention, Winter Period

### はじめに

東北地域は、広大な水田を背景とした日本の食料供給基地であるが、野菜についても、夏の冷涼な気候を利用する夏秋どり生産の基地である。また最近、水田作地帯でも野菜作の導入により、産地直売所を核とした地産地消運動と女性を中心とする農家の活動が活性化していることが注目されている。ところが、冬春期には、当地域の野菜生産は質・量ともに激減するため、大型量販店はもとより産地直売所等でも、域外からの移入野菜が店頭に並ぶことになる。このことから、消費者・生産者双方から、冬春期の地産地消型野菜を安定生産するための新たな野菜栽培技術の開発が強く求められている。

そこで、積雪量が少なく、日照が多い地域（東北の太平洋側地域）における冬春期の露地野菜生産のために、外気温によって形状を変える換気・断熱用チューブを有し、夜間のハウス外への熱放熱を防止するエアチューブ型トンネルハウスを開発するとともに、日中に太陽エネルギーを蓄熱し、夜間に蓄熱した媒体を循環して夜間温度を高める循環加温装置をトンネルハウス内に設置した「冬期露地野菜栽培用エアチューブ型トンネルハウスハウス」（図1にイメージ図を示す）による冬期間の温度保持特性を調査した。

### 1. エアチューブ型トンネルハウス

エアチューブ型トンネルハウスを図2、3に示す。

エアチューブ型トンネルハウスは積雪にも耐えられるよう直径16mmの大型用トンネル支柱を50cm間隔で建て、外側を農業用ポリオレフィン系（以下、農POとする）シートで被覆し、その内部には、24本のエアチューブがエアチューブが膨らんだときに隣同士が接触するように支柱に上部を固定されて配置されているハウスである。

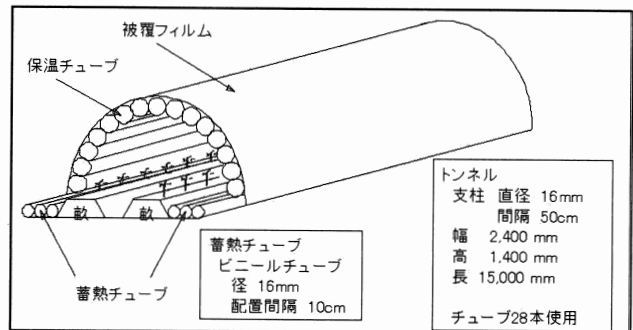


図1 冬季用露地栽培用ハウスのイメージ

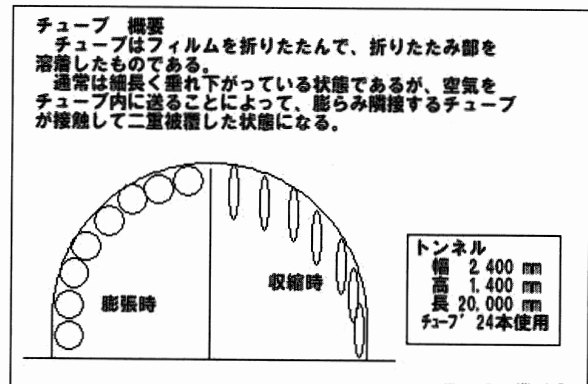


図2 エアチューブ型トンネルハウスの概要



図3 エアチューブ型トンネルハウス

\* 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター

\*\* 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター

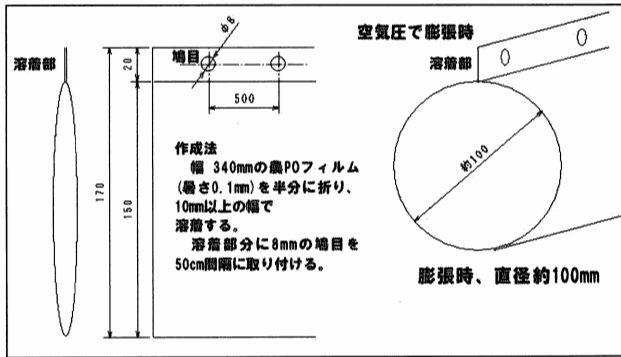


図4 エアーチューブの概要

エアーチューブは、図4に示すように、幅 240mm に切った農PO性のシートを折り曲げ、20mm の合わせ目をシーラーで溶着したものである。空気圧で膨らませると直径 100mm のチューブになる。エアーチューブの溶着部分には、チューブをハウス本体に固定するため鳩目を取り付けた。エアーチューブは、日中は日射量を獲得するために、チューブ内の空気を抜いて垂れ下がった状態にし、温度が低下する夜間には保温効果を獲得するために、太陽電池で蓄電した電力で小型送風機(図5)を駆動して空気をチューブ内に送風して膨らませ、隣通しのチューブを接触させる。使用した小型送風機は消費電力 130W、風量 5.5m<sup>3</sup>/min のものである。

また、エアーチューブ型トンネルハウスの内部には、図6に示すように、冬期間でも温度を保持するために、エアーチューブによる二重被覆だけでなく、ハウス内に夜間に循環して加温する太陽熱蓄熱・循環システムを設置した。太陽熱蓄熱・循環システムは、ハウス内に敷設したビニールホースと蓄熱タンク、小型ポンプからなる。使用したビニールホースは内径 15mm、蓄熱タンクは 100リットル、小型ポンプは全揚程 3m、吐出量 18L/min、出力 60W である。日中、太陽熱により温められた水はポンプにより蓄熱タンクに送られてタンク内の水に蓄熱する。こうして集められた熱は夜間にポンプによりハウ

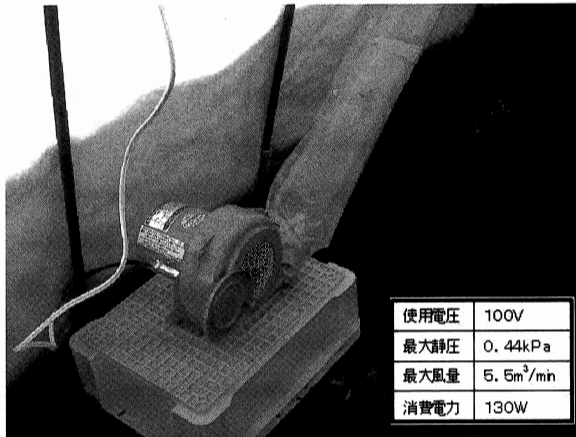


図5 エアーチューブ用小型送風機

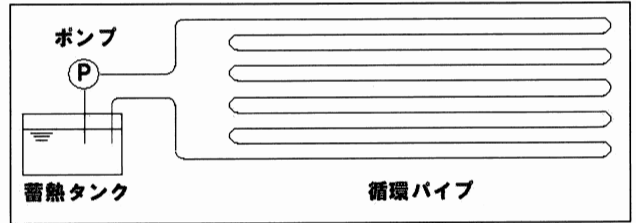


図6 太陽熱蓄熱・循環システムの概要

ス内に送られてハウス内に熱を放出する。

## 2. 試験方法

- (1) トンネルハウスの中に送風機によって加圧すると膨らむエアーチューブを密着させたエアーチューブ型トンネルハウスによる冬期間の温度保持特性およびエアーチューブ設置によるハウス内の光環境を調査した。
- (2) エアーチューブ型トンネルハウスの温度保持効果を高めるために、循環パイプによる太陽熱蓄熱・循環システムを設置して、冬期間の温度保持効果を調査した。
- (3) エアーチューブ型トンネルハウス内におけるハウス内の透過日射量を計測し、エアーチューブ設置による光環境の低下程度を調査した。

なお、通常のとんネルハウスを対照区として設置した。また、温度は地上から 1 m の地点で、地温は地下 5 cm の地点で計測した。計測期間は平成19年1月15日～平成19年3月31日までと平成19年12月1日～平成20年3月31日までの2カ年で、それぞれ30分おきに計測した。

## 3. 結果と考察

- (1) エアーチューブ型トンネルハウスの温度保持特性  
エアーチューブ型トンネルハウスと通常のとんネルハウスにおけるハウス内の温度推移例を図7、温度保持特性を表1に示す。

外気温と比較して、エアーチューブ型トンネルハウスでは、最大温度で 25℃、平均温度で 10℃程度高めることができた。通常のとんネルハウスの温度上昇程度は日中の最大温度で 22℃、平均温度で 8℃程度であることから、通常のとんネルハウスよりも平均温度で 3℃程度ハウス内の温度を高めることができた。しかし、冬期間であっても天候が晴れで多くの日射量があるときには、通常のとんネルハウスより高く、40℃以上まで温度が上昇した。そこで、このような場合にはエアーチューブ内の空気を抜いて萎ませてハウス内温度を計測した。エアーチューブ型ハウス内温度が 30℃を超えたときにチューブへの送風を中止した場合の温度推移例を図8に示す。

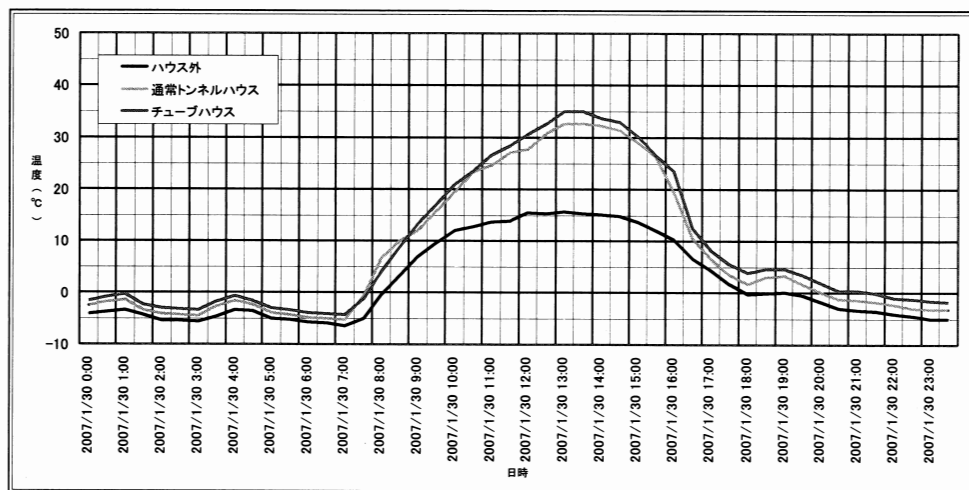


図7 エアチューブハウスの温度推移 (平均気温)

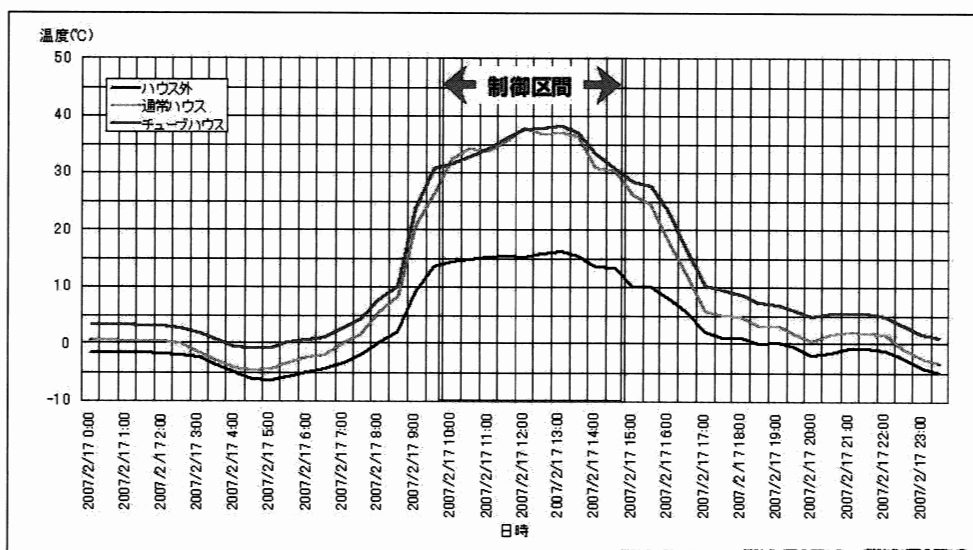


図8 エアチューブへの送風制御による温度推移 (平均気温)  
ハウス内温度が30度を越えた時はエアチューブの送風を中止する制御を行った場合

温度が上昇したとき、エアチューブ内の空気を抜くことにより、チューブが萎んで垂れ下がり、被覆が一重になるため、その場合の温度上昇は通常のトンネルハウスとほぼ同等にすることができた。

(2) エアチューブ型トンネルハウスにおいて蓄熱・循環装置を付けた場合の温度保持特性

エアチューブ型トンネルハウス内に蓄熱・循環装置を設置した場合のハウス内の温度推移例を図9に、温度保持特性を表1に示す。

エアチューブ型トンネルハウスに蓄熱・循環装置を設置することにより、設置しない場合より、ハウス内温度を平均温度で2℃程度上昇させることができた。特に夜間の最低温度を1℃程度上昇させることができた。しかし、ハウス内温度を0℃以上に保持することはできなかった。

(3) エアチューブ型トンネルハウス内の光環境

エアチューブ型トンネルハウスにおける照度の推移を図10に示す。

照度は、通常のトンネルハウスで約20%低下した。また、エアチューブ型トンネルハウスでは、チューブを膨らませた場合、35%程度照度は低下した。しかし、チューブを萎ませることにより、照度の低下を25%程度に抑えることができた。

4. まとめ

本研究の結果を整理すると以下のようになる。

- (1) トンネルハウスの内側にエアチューブを膨張したときに密着するように配置したエアチューブ型トンネルハウスの基本仕様が完成した。
- (2) トンネルハウスの内側に設置したエアチューブを夜間は膨張させることによって、二重被覆による保



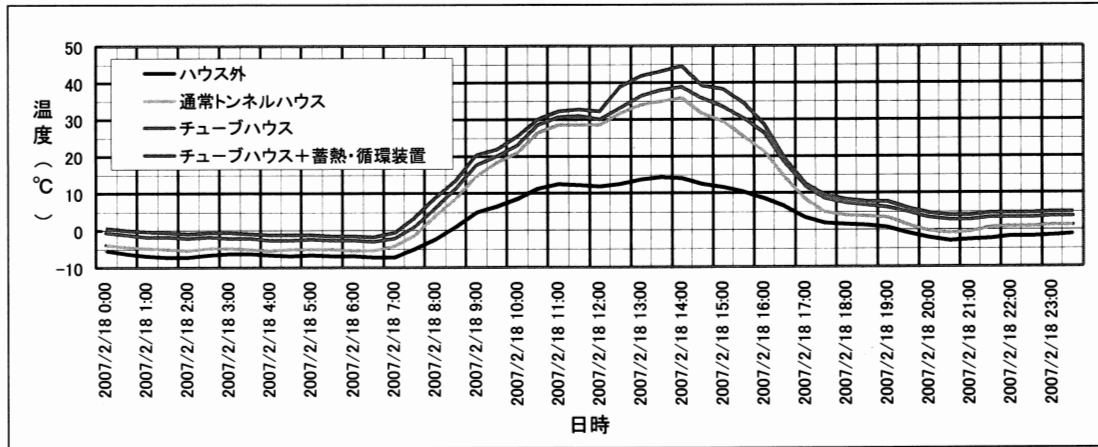


図9 エアーチューブハウスに太陽熱蓄熱・循環装置を設置した場合の温度推移 (平均気温)

表1 トンネルハウスにエアーチューブと蓄熱・循環装置を付けた場合の温度保持特性

	外気温	通常トンネルハウス	チューブハウスのみ	チューブハウス+蓄熱・循環装置
最大温度(°C)	18.6	40.0	43.6	49.4
最小温度(°C)	-10.6	-8.6	-5.6	-4.4
平均温度(°C)	2.0	9.6	12.9	14.8
温度差(°C)	0.0	7.6	10.9	12.8

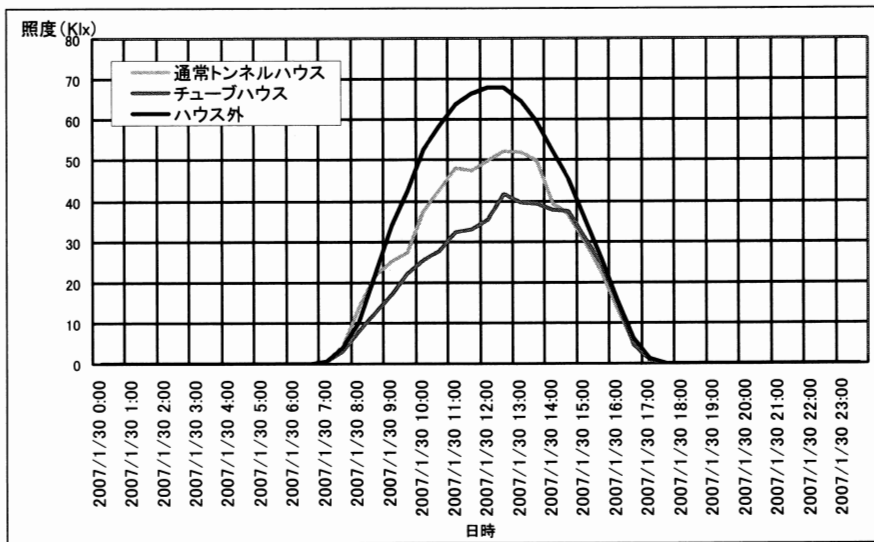


図10 エアーチューブハウス内の照度

温効果が得られ、日中は萎ませることにより、日射による高温防止効果が得られた。

- (3)ハウス内にビニールホースを配置し、日中の太陽熱により水を温め、夜間に循環して加温する太陽熱蓄熱・循環システムを設置することにより、夜間の温度低下を防止することができた。
- (4)エアーチューブ型トンネルハウスでは、外気温と比較して厳冬期で平均10℃程度(夜間で4℃、日中で25℃)の温度保持効果があり。通常のトンネルハウスよ

りも平均温度で3℃程度ハウス内の温度を高めることができた。また、蓄熱・循環装置を設置すると。チューブ型トンネルハウスだけよりも平均で2℃程度の高い温度保持効果が得られた。

- (5)エアーチューブにより照度が約35%程度低下し、トンネルハウスだけの時(20%低下)より光環境が悪化するが、チューブを萎ませることにより、照度の低下は25%程度に抑えることができた。

# 水稲乾田直播における種子浸せきの有無が出芽・苗立ちに及ぼす影響

進藤勇人・片平光彦\*

## Influence of Seed Soaking for Seedling Establishment on Direct Seeding Rice Cultivation at Well Drained Paddy Field Followed by Early Irrigation

Hayato SHINDO\* and Mitsuhiro KATAHIRA\*

[キーワード] 水稲直播, 乾田土中早期湛水, 種子浸せき, 乾籾, 忌避剤, 苗立ち

### 1. 緒言

秋田県における 2008 年の水稲直播栽培面積は 722ha で、導入している経営体が 462 と、いずれも毎年 30% 程度の伸びを示している。播種様式は代かきを伴う湛水直播が 90% 以上を占め、乾田直播は伸び悩んでいる。

乾田土中早期湛水直播（以下、乾田直播）は移植や湛水直播栽培に比べ、春作業が大幅に省力化できるとともに、労働ピークを分散できる技術である<sup>1)</sup>。あわせて排水不良水田の畑地化を促進し、転換畑作物を増収できる優れた技術である<sup>2)</sup>。そのため、米の生産調整が続く中で転作作物を含めた水田作の大規模化を目指す経営体にとっては、省力技術として期待が大きい。

寒冷地における乾田直播栽培では出芽・苗立ちの安定化が不可欠であることから、秋田県では土壤砕土率 60% 以上を確保し、浸種籾を播種した後、できるだけ早く湛水（7 日以内）することを奨励している<sup>3)</sup>。しかし、乾田直播の播種時期（4 月下旬～5 月上旬）は天候不順な場合が多いため、高い砕土率を得るために土壤の状態や降雨条件に対応して、柔軟に耕うん・砕土整地・播種作業を行いたいところである。

さて、暖地の乾田直播や乾田不耕起直播栽培では、種子浸せきした浸種籾を播種することで乾籾播種に比べ、出芽・苗立ちが良好になることや、土壤水分が少ないと効果がより大きいと報告されている<sup>4), 5)</sup>。寒冷地においても浸種籾播種の効果は高いが、種子浸せきをともなうため播種日の変更を困難にし、ほ場作業に支障をきたす原因になっている。

一方で、鳥による食害は出芽・苗立ちを不安定にするが、回避する有効な手段は少ない。鳥害を軽減できる忌避剤は、浸種籾に使用できる資材がなく、乾籾塗抹処理の資材のみとなっているため、使用場面が限定されているのが実態である。

そこで、播種前のほ場作業と播種時期の拡大（前進）と忌避剤使用を可能にするため、乾田土中早期湛水直播

における乾籾播種について、土壤や種子水分の推移と苗立ちへの影響を主体に検討したので、報告する。

### 2. 試験方法

#### (1) 試験場所・土壤条件

試験は、2007 年に秋田農技セ農試水田ほ場（秋田県秋田市雄和）で行った。土壤条件は細粒グライ土（前年、前々年は乾田直播）である。

#### (2) 試験区の構成

試験には、塩水選、種子消毒（オキシソニック酸・ペフラゾエート水和剤）を行い、風乾した種子（水分 10%）を用いた。試験区は、乾籾をそのまま播種した①乾籾区、乾籾に忌避剤（チウラム 40% フロアブル剤）を 2% 塗抹処理した②忌避区、浸せき後（浸種期間 5 日間、積算水温 61.9℃、無催芽、水分 25.7%）播種した③浸種籾区（慣行）を設定した。あわせて、ほ場の一部に防鳥網を設置（4 月 27 日）し、各区に防鳥区を設定した。

#### (3) 耕種概要

1) 播種方式：乾田土中早期湛水方式で条播（条間 30cm）した。ロータリによる耕うん後、砕土・施肥・播種・鎮圧を同時に行う汎用条播機（ドライブハローシーダ、トラクタ M 社 MT-601 型）を用いた。

2) 品種・播種量：べこごのみ・7g/m<sup>2</sup>（乾籾換算）

3) 播種日・出穂期・収穫日：4 月 24 日・防鳥なし 8 月 6 日、防鳥あり 8 月 2 日・9 月 4 日（黄熟期）

4) 施肥・堆肥施用量：施肥は被覆尿素（普通溶出型 70 日タイプと 100 日タイプを 2 : 3 に混合）を用いて、播種と同時に接触施肥で行った。施肥窒素量は 10gN/m<sup>2</sup>で、リン酸およびカリウムは施用しなかった。堆肥は、耕うん前に 500g/m<sup>2</sup>施用した。

5) 播種後の水管理：播種 8 日目の 5 月 2 日に湛水し、それ以降苗立ち期まで自然落水と湛水による間断かん漑を行った。

\* : 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) 調査項目

1) 播種後の土壌および種子水分：播種日から湛水開始翌日まで2～5日おきに調査した。播種部の幅3cm、長さ20cm、深さ0～3cmの土壌を種子ごと3カ所採取し、土壌と種子を別々に水分測定(105℃、24時間)した。

2) 苗立ち本数および生育調査：苗立ち調査は、播種48日後(6月11日)に1処理区1mを12箇所調査した。あわせて平均的な苗立ち本数の調査区1mから水稻を採取し、草丈、葉齢(不完全葉を除く)および白化茎長を調査した。また、平均苗立ち本数の生育調査区(0.3㎡)を1処理区あたり3区設定し、茎数および黄熟期の乾物重を測定した。

3. 結果と考察

(1) 播種後の土壌および種子水分の推移

播種から湛水開始までの土壌および種子水分の推移をそれぞれ、図1、図2に示した。

播種直後における深さ0～3cmの碎土率は77.7%(含水比0.31)で、目標である碎土率60%以上を確保していた。播種から湛水開始当日までの降雨観測日数は4日あ

るが、期間降水量は6mmで、この時期としては乾燥した条件であった。

播種から湛水開始までの土壌水分は、比較的乾燥した気象条件にもかかわらず23～27%で推移し、変化が小さかった。また、乾籾区と浸種籾区に差はなかった。浸種籾区の種子水分は、湛水開始までほぼ横ばいで推移した。土壌水分の変化が小さいためと考えられた。

一方、乾籾区の種子水分は、播種後急激に土壌水分程度まで上昇した。播種5日目では浸種籾区に比べ、やや低いものの、湛水前の播種7日目では同等になった。

これらにより、乾籾を播種しても土壌水分が23～27%程度あれば播種後7日間程度で、浸種籾程度の水分まで吸水できることが示された。

(2) 種子浸せきが出芽・苗立ちに及ぼす影響

播種48日後における苗立ち本数および水稻生育調査の結果を表1に示した。試験を行った2007年は播種後低温寡照で経過したため、播種翌日から湛水開始まで平均気温が11.0℃、播種後48日間の平均気温が14.6℃(いずれもアメダス雄和)と低い条件であった。そのため、防鳥網を設置した3区の苗立ち率は、33.3～38.6%と低かった。

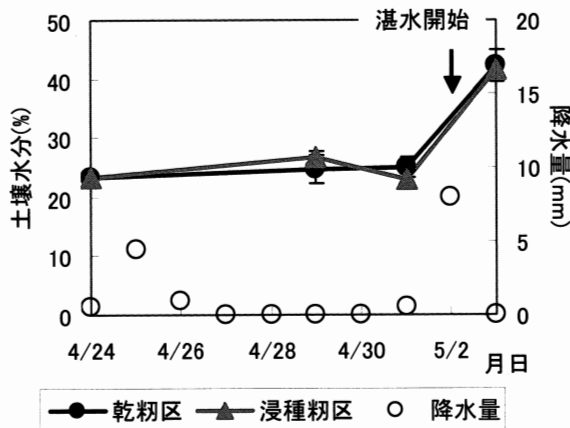


図1 播種後の土壌水分の推移

注1 4月25日～5月1日までの平均気温11.0℃(アメダス雄和)

注2 図中の垂直線は標準偏差(n=3)

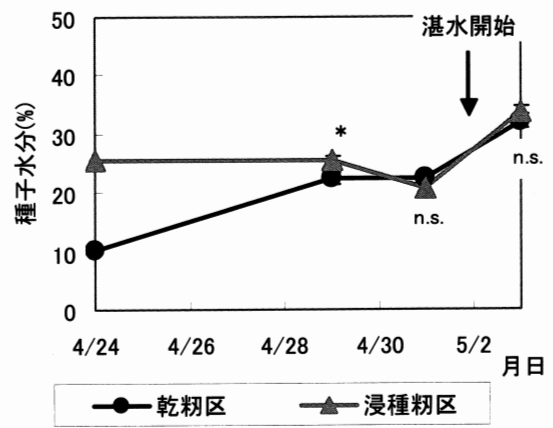


図2 播種後の種子水分の推移

注1 \*は区間で5%水準で有意差あり、n.s.は5%水準で有意差なし

注2 図中の垂直線は標準偏差(n=3)

表1 種子浸せきおよび忌避剤処理が出芽・苗立ちに及ぼす影響(6月11日調査、播種48日後)

試験区	苗立ち本数		苗立ち率 %	草丈		葉齢		白化茎長	
	本/㎡	CV %		cm	CV %	葉	CV %	mm	CV %
乾籾区	26.4	26.6	11.3	20.3	11.8	4.2	11.8	7.7	90.4
忌避区	34.7	19.0	14.9	21.7	10.2	4.2	10.9	5.5	81.8
浸種籾区	31.1	15.4	13.3	21.8	12.5	4.5	9.3	4.7	95.0
乾籾防鳥区	77.8	29.1	33.3	22.7	10.3	4.8	12.0	3.3	96.2
忌避防鳥区	90.0	15.6	38.6	22.8	11.5	5.0	11.3	2.6	129.7
浸種籾防鳥区	80.0	17.4	34.2	24.2	8.1	5.0	9.6	1.5	141.8

注1 苗立ち調査は、1m×12箇所

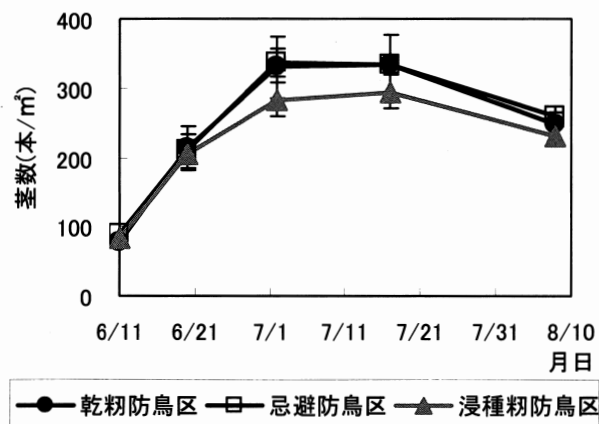


図3 茎数の推移 (防鳥区)

注 図中の垂直線は標準偏差 (n=3)

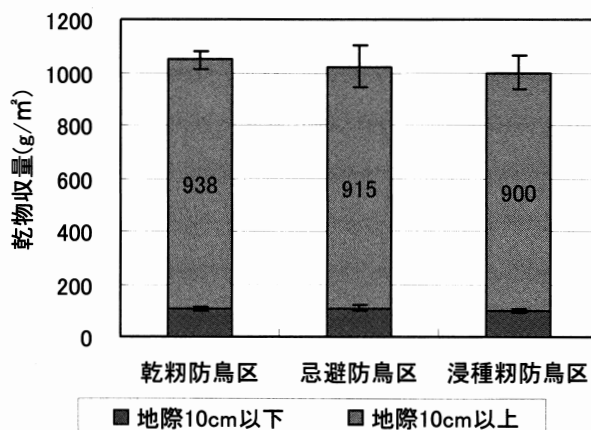


図4 種子浸せきおよび忌避剤処理が乾物収量に及ぼす影響 (防鳥区)

注 図中の垂直線は標準偏差 (n=3)

また、出芽期までの期間が長くなったことで、主にカラヒワとスズメによる食害が多くなり、防鳥網を設置していない3区の苗立ち率は、11.3～14.9%と低かった。

乾粗区および乾粗防鳥区の苗立ち本数はそれぞれ、26.4本/m<sup>2</sup>、77.8本/m<sup>2</sup>であった。乾粗区および乾粗防鳥区の苗立ち本数および苗立ち率はそれぞれ、浸種粗区、浸種粗防鳥区とほぼ同等(5%水準で有意差なし)であった。忌避区と忌避防鳥区の比較においても同様の傾向であった。乾粗区および乾粗防鳥区の葉齢は、浸種粗区に比べ0.2～0.3葉少ないが、これは白化茎長が1.8～3.0mm長いことから、播種深が深かったことによる影響と考えられた。これらのことから、本試験の播種時期では乾粗播種による出芽・苗立ちに及ぼす影響は小さいと考えられた。

一方、防鳥区を設置していない3区はそれぞれの防鳥区に比べ、草丈がやや短く、葉齢が0.5～0.7葉遅れていた。これは、早く出芽した個体が鳥の食害にあった結果と考えられ、忌避区も他の処理区と同様の傾向であった。

したがって、低温寡照で出芽・苗立ちが遅れる気象条件下での早期湛水方式における忌避剤の効果については、今後検討が必要である。

### (3) 種子浸せきが茎数および乾物収量に及ぼす影響

苗立ち期以降の茎数の推移および黄熟期の乾物収量をそれぞれ、図3、図4に示した。6月20日における防鳥区3区の茎数は203～213本/m<sup>2</sup>と同等であることから、種子浸せきの有無は初期分けつの発生に影響しないと考えられた。また、乾粗防鳥区および忌避防鳥区の茎数は浸種粗防鳥区に比べ、最高茎数が多い傾向であるが、穂数は同等であった。さらに、黄熟期における乾粗防鳥区、忌避防鳥区および浸種粗防鳥区の乾物収量は同等であることから、本試験の播種時期では乾粗播種をし

ても苗立ち期以降の生育、収量に対する影響はないと考えられた。

## 4. 摘要

- 1) 播種から湛水開始までの土壌水分は、比較的乾燥した気象条件にもかかわらず23～27%で推移し、変化が小さかった。
- 2) 乾粗区の種子水分は、播種後急激に土壌水分程度まで上昇し、播種5日目では浸種粗区に比べ、やや低いものの、湛水前の播種7日目では同等になった。
- 3) 乾粗区、忌避区の苗立ち本数、苗立ち率は、防鳥網の有無にかかわらず、浸種粗区とほぼ同等であった。
- 4) 乾粗防鳥区の初期茎数は浸種粗区と同等で、最高茎数がやや少ない傾向であるが、穂数は同等であった。
- 5) 黄熟期における乾粗防鳥区の乾物収量は、浸種粗防鳥区と同等であった。

以上のことから、寒冷地における乾田土中早期湛水直播栽培で播種から湛水開始まで1週間程度ある場合は、乾粗播種でも出芽、苗立ち、その後の生育に及ぼす影響は少ないと考えられた。これにより、播種前のほ場作業と播種期の拡大(前進)と忌避剤の使用が可能になることが示唆された。

## 謝辞

本報は、2006～2010年度農林水産省委託プロジェクト研究「粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発」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) 若松一幸・片平光彦・三浦恒子・鎌田易尾・金田吉弘：多粒点播による乾田土中早期湛水直播栽培(第7報)，東北農業研究，56，37-38，2003。

- 2) 金田吉弘・三浦恒子・鎌田易尾・児玉徹・佐藤福男：  
乾田土中早期湛水直播導入による重粘土の畑地化促進と  
後作エダマメの増収効果，土肥誌，71(4)，550-553，2000.
- 3) 秋田県農林水産部：水稲直播栽培指針 平成15年版，  
2004.
- 4) 大平陽一・白土宏之・竹田博之・高梨純一：水稲乾田  
直播栽培における早期湛水のための浸種と走水による苗  
立ち向上，日作紀，71(別1)，4-5，2002.
- 5) 山崎幸重・岩崎昭雄：乾田不耕起直播栽培における種  
子予そと出芽歩合の関係，日作四国支報，39，8-9，2002.

# 基盤整備事業計画地区における10a区画稲作労働時間積算シートの開発

須藤勇人\*・小川勝弘\*・前山薫\*・松浦貞彦\*・阿部直行\*

## The Calculation System of Working Hours of Rice Farming on 10 Ares Paddy Fields for Planning of Agricultural Infrastructure Maintenance Business

Hayato SUDO\*, Katsuhiko OGAWA\*, Kaoru MAEYAMA\*, Sadahiko MASTUURA\*, Naoyuki ABE\*

[キーワード] 基盤整備事業、効果算定、営農経費節減効果、現況営農労働時間

### 1. はじめに

基盤整備事業の事業効果の評価方法の中に、事業実施前後の営農経費（労働費、機械経費等）の差額を営農経費節減効果として測定する手法がある。

これまで、岩手県では、事業実施前後の営農経費の積算にあたり、県の標準技術体系データ（引用文献8）をもとに労働時間を算出していた。具体的には、事業実施後の労働時間については、大区画化されたほ場に大型機械体系を導入することを前提とした県の標準技術体系に記載されている作業別の労働時間を利用している。

一方、事業実施前の労働時間については、現行の県標準技術体系において、小区画ほ場に対応した技術体系データが作成されていなかったため、小区画ほ場に見合う小型の機械体系を前提とした古い標準技術体系（引用文献9）をもとに現地の聞き取り等で補正した労働時間、あるいは古い標準技術体系のままの労働時間により経費算定している。

しかし、現在の営農現場をみると、農業機械の開発・普及が進み、小区画ほ場でも中型以上の機械導入が可能となり、それに伴い労働時間が大きく変化しているのが実態である。

さらに、こうした基盤整備事業の評価にかかる労働時間の算出は、事業担当者の手計算に頼っており、その省力化が強く求められていた。

そこで本試験研究では、農林業センサス統計書等の資料から、小区画ほ場の実態に即した作業体系を分析し、基盤整備事業計画地区における10a区画ほ場の稲作労働時間を容易に算定できるような「労働時間積算シート」を開発した。

### 2. 方法

#### (1) 基盤整備率50%以下の本県市町村を対象とした農業機械所有動向の分析

農林業センサス統計(1980-2005)により、近年の農業機械所有動向を分析する。

#### (2) 労働時間短縮の要因分析

10アール当たり労働時間と水田整備率の推移、農業機械所有動向から、労働時間短縮の要因を分析する。

#### (3) 10a区画1ha規模稲作生産技術体系の作成

現況の小区画ほ場での稲作作業の実態を検証し、標準的な10a区画1ha稲作経営規模の生産技術体系を作成する。

#### (4) 基盤整備事業計画における10a区画稲作労働時間積算シートの開発

基盤整備事業の計画地区において、地域毎の作業体系に対応できるように、10a区画1ha経営規模生産技術体系の作業体系をリスト化し、地域の実態に応じて作業体系を選択することにより、労働時間が自動的に計算出来る「10a区画稲作労働時間積算シート」を作成する。

### 3. 結果

#### (1) 農業機械所有動向の分析

表1のセンサス年の動向から、耕耘機械は、1990年以降は、歩行型耕耘機から、15~30馬力、30馬力以上のトラクターへ転換が見られる。

動力田植機は、規格の詳細は不明であるが、1990年がピークとなり、以降は減少傾向にある。

刈取り機械は、2000年を境に、パインダーが減少、コンバインが増加している。

乾燥機は1985年に急増し、以降は大きな変化がみられない。

#### (2) 労働時間短縮の分析

統計的に水田整備率の進捗、農業機械の普及や高性能化・大型化に伴い、10a当たりの労働時間も減少している(図1)。

労働時間の動向は、1980年では73.4時間であったが2005年では32.39時間と25年間で半分以下に短縮している。一方、水田整備率も1985年が42.2%、2005年では60.7%と、20年間で18.5ポイント上昇した。

作業別労働時間では、「刈取脱穀・乾燥」に係る時間の短縮が特に大きく、1980年と2005年を比較すると、21.7時間

\*岩手県農業研究センター

から4.99時間と1/4以下に作業時間が短縮されている(図2)。その短縮の大きな要因は、コンバインの普及が挙げられる(図3)。

コンバインの普及は、基盤整備による水田の大区画化に因

るところが大きい(図4)。

大区画化により、大型農業機械の導入が可能となり、バインダー、自然乾燥の体系からコンバイン、機械乾燥への体系と転換が図られ、労働時間の短縮に貢献している。

表1 水田整備率50%以下の県下市町村の農業機械所有総数

		単位:台						
	歩行型耕耘機	トラクター15馬力未満	トラクター15～30馬力未満	トラクター30馬力以上	動力田植機	バインダー	コンバイン	乾燥機
1980年	24,183	8,188	9,948	7,446	17,753	21,686	2,842	2,578
1985年	24,431	7,857	12,898	10,360	20,999	24,233	3,893	4,180
1990年	20,788	7,801	15,624	13,136	22,452	25,069	5,158	4,772
1995年	16,609	7,482	17,601	15,425	22,059	23,672	6,203	5,283
2000年	10,696	5,253	17,023	15,863	19,254	17,784	7,297	5,455
2005年	データなし	4,098	16,530	15,782	17,517	データなし	9,225	データなし

資料：農林業センサス

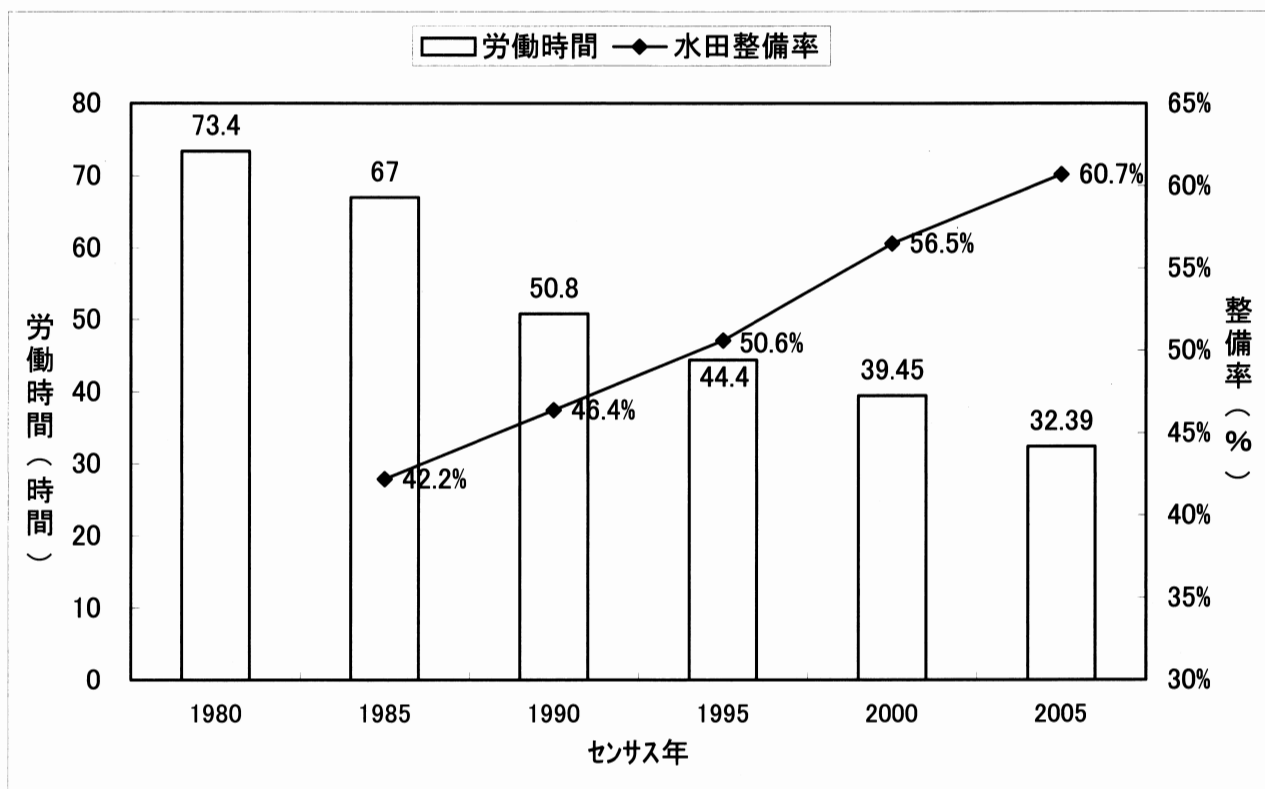


図1 作業別労働時間の推移

資料：労働時間は「農産物生産費調査報告（米及び麦類の生産費）農水省統計情報部」の抜粋  
水田整備率は岩手県農村計画課調べ

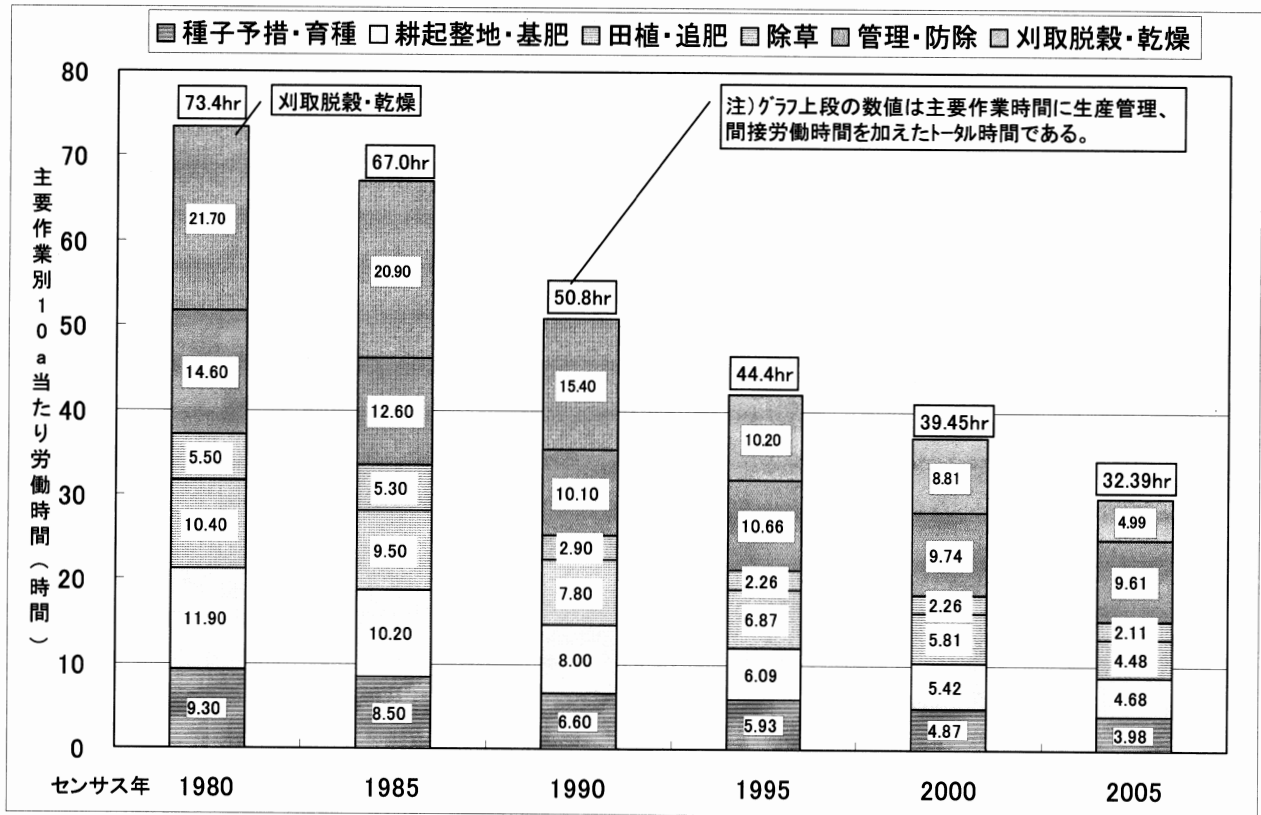


図2 主要作業別労働時間の推移

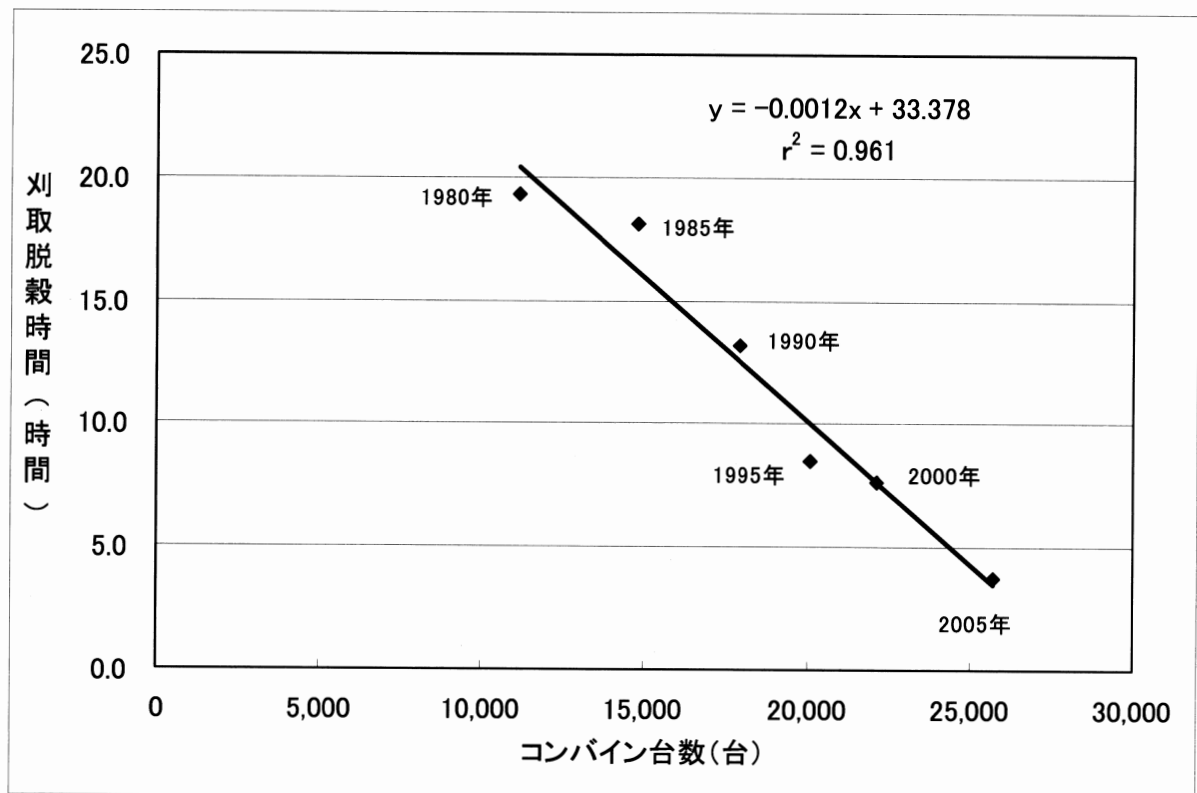


図3 コンバイン台数と刈取脱穀時間



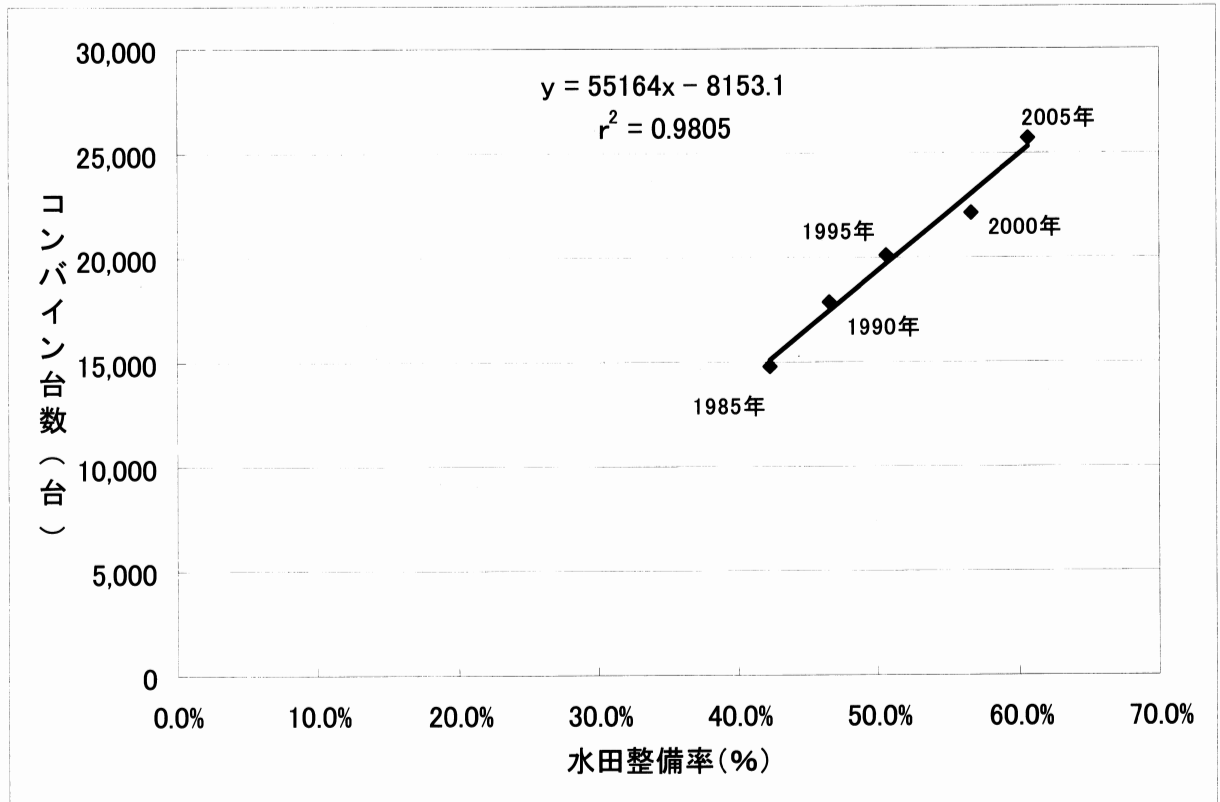


図4 水田整備率とコンバイン台数

(3) 10a 区画 1ha 規模の水稲生産技術体系の作成 (表3)

基盤整備が遅れている市町村を対象とした農業機械の所有動向と近年の労働時間の短縮状況から、小区画ほ場に係る水稲栽培の作業体系を定め、10a 区画 1ha 規模の生産技術体系を作成した (引用文献 10)。

具体的には、現行の標準技術体系に登録されている大区画圃場を前提とした水稲技術体系データをもとに、前山ら (引用文献 7) の手法によりデータの収集・整理・体系化を行っている。

主要作業に係る機械規格については、岩手県の営農現場からの聞き取り等も考慮し以下のとおりとした。

ア 耕起・代かき作業…トラクター20PS

イ 田植作業…乗用4条田植機

ウ 刈取乾燥作業…バインダー2条刈り、自然乾燥

この技術体系は「新技術等を導入した農業技術体系データ」(H20岩手県農業研究センター試験研究成果)として公表している。

表3 10a区画1ha規模の水稲生産技術体系

作業項目		栽培様式		作業技術			投入資材	技術上の留意事項	
項目1	項目2	栽培技術の内容	作業時期(旬)	使用機械名	組作業人数	時間(hour) 機械 人力			
育苗	種子準備	塩水選	3/下		2	2.00	ポリ容器(丸100L)1個,カゴ(36L)1個,食塩15.2kg,水稲種子38kg,種子ネット10枚		
	種子予措	浸種	3/下~4/中		2	1.20	ポリ容器(角200L)1個		
		催芽	3/下~4/中	蒸気式育苗器(240箱)	2	24.00	0.20		
	ハウス準備	ハウス修理・ビニール被覆	4/上~4/中		3	6.00	ハウスビニール(6m*5m)437m2,スプリング(2m)90本,マイカー線500m,7m脚立(6尺)3台	プール育苗方式	
		ハウス整地・プール準備	4/上~4/中	管理専用機(ロー列付)	3	0.50	6.50	くわ2本,レーキ1本,等辺山型鋼(5.5m)20本,アンカーピン50本	
	播種	土入れ・ほ種・育苗器に搬入	4/上~4/中	播種機(200箱/hr)	4	1.13	4.50	稚苗用人口培土900kg,育苗箱(水稲用)225箱,タチカレエース液剤112.5ml,ダコニール1000112.5ml	
	出芽	出芽	4/上~4/中	蒸気式育苗器(240箱)		48.00			
		置床	4/上~4/中	軽トラック	3	0.17	2.81	ローラーコンヘア2台	
	育苗管理	灌水・温度管理	4/中~5/中		1		3.42		
	片付け	ハウス片付け・ビニール洗浄	5/下		3		4.50	7m脚立(6尺)0台,ビニールホス30m	
畦畔補修		畦畔・水路補修	4/上~4/中	トラクタ(20ps)+畦塗機	2	1.05	11.05	スコップ2本	2年に1回補修
施肥	土壌改良剤	珪カル運搬	4/上~4/中	軽トラック	1	0.50	0.50	ケイカル(粒)ハラ400kg	2年に1回施用
		珪カル散布	4/上~4/中	肥料散布機	2	3.08	6.16		
	基肥	基肥運搬	4/下	軽トラック	1	0.67	0.67	エルビ-505号ハラ400kg	緩効性肥料施用により追肥作業を削減
		基肥散布	4/下	肥料散布機	2	3.08	6.16		
耕起	秋耕	ロータリー耕	11/上~11/中	トラクタ(20ps)+ロータ(1.4m)	1	8.08	8.08		
	春耕	ロータリー耕	4/下	トラクタ(20ps)+ロータ(1.4m)	1	8.08	12.08	スコップ0本	四隅掘実施
代かき		代かき	5/上~5/中	トラクタ(20ps)+代かきロータ(2.0m)	1	13.36	13.36		
移植	苗運搬	苗運搬	5/上~5/中	軽トラック	2	1.33	3.60	苗寄せ台(60箱用)1台	
	田植	田植	5/上~5/中	田植機(4条)	2	11.61	23.22		
	補植・片付け	補植	5/上~5/中		1		1.70		
		箱洗浄	5/下	育苗箱洗浄器(200枚/時)	2	1.13	2.25		
		箱運搬	5/下	軽トラック	2	0.17	1.68		
病害虫防除	葉いもち・初期害虫防除	育苗箱施用	5/上~5/中		1		0.17	ウインドマイヤー箱粒剤11.25kg,手動式散粒機1台	
	穂いもち防除	薬剤運搬	7/中~7/下	軽トラック	1	0.33	0.33	コラトップ1キロ粒剤1215kg	
		薬剤散布	7/中~7/下	背負式兼用防除機	2	1.23	2.46		
本田除草		除草剤運搬	5/中~5/下	軽トラック	1	0.33	0.33	ミスターホームラン粒剤10kg	
		除草剤散布	5/中~5/下	背負式兼用防除機	2	1.23	2.46		
畦畔除草		草刈1回目	6/中	刈払機	2	6.67	6.67		
		草刈2回目	7/下	刈払機	2	6.67	6.67		カメシ耕種の防除のため必ず実施すること
		草刈3回目	9/上	刈払機	2	6.67	6.67		
灌排水		水見	5/上~8/下	軽トラック	1	39.67	99.17		朝夕の巡回
		中干し	7/上	軽トラック	1	0.67	1.34		
		溝切り	7/上~7/中	溝切機	1	2.80	3.47		
		落水	9/上~9/中	軽トラック	1	0.33	0.66	スコップ0本	
収穫	刈取	四隅刈	9/中~10/上		1		1.83	鎌1本	
		バインダ刈取	9/中~10/上	バインダ(2条)	1	21.05	21.05	バインダー紐9個	
	架掛	架干し	9/中~10/上		5		113.75		
脱穀		脱穀	10/上~10/中	自動脱穀機	4	8.75	35.00	コンバイン袋225袋	
		籾運搬	10/上~10/中	軽トラック	2	8.38	16.76		
		わら運搬	10/上~10/中	軽トラック	2	18.00	36.00		
合計						248.72	476.43	725.15	

(4) 10a 区画 1ha 規模稲作生産の作業方法のリスト化  
作業方法を、リスト化し選択可能とすることで、地  
域毎の実態に即した作業方法と機械選択に対応でき  
るようにした(表4)。出典の「機械化計画の手引き」

から引用した作業時間は、記載している圃場作業能率  
(時間/ha) に実作業率(オペレーター1名、圃場の分散程  
度を「小」の場合)を乗じて算出。「春耕起」の人力  
作業時間には、4 隅掘りの時間を加算している。

表4 作業選択リストと ha 当たり作業時間(機械、人力)、組人数(Excel)

作業選択リスト		機械作業時間	人力作業時間	組人数	出典
育苗	作業委託	0.00	0.00		
	慣行育苗	69.90	81.80	3	生産技術体系平成8年岩手県農政部
	プール育苗	73.80	31.13	3	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
畦畔補修	人力	0.00	35.00	1	生産技術体系平成2年岩手県農政部
	畦塗機	1.05	11.05	2	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
土壌改良剤散布	作業委託	0.00	0.00		
	背負肥料散布機	3.08	6.16	2	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
	ブロードキャスター200L	0.94	0.94	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ライムソワー1.8m	3.11	6.22	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
基肥散布	作業委託	0.00	0.00		
	背負肥料散布機	3.08	6.16	2	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
	ブロードキャスター200L	0.94	0.94	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ライムソワー1.8m	3.11	6.22	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
春耕起	作業委託	0.00	0.00		
	耕うん機0.6m	19.46	23.46	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ロータリー0.8m	16.53	20.53	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ロータリー1.0m	13.22	17.22	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ロータリー1.2m	11.03	15.03	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ロータリー1.4m	8.08	12.08	1	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
秋耕起	作業委託	0.00	0.00		
	耕うん機0.6m	19.46	19.46	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ロータリー0.8m	16.53	16.53	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ロータリー1.0m	13.22	13.22	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ロータリー1.2m	11.03	11.03	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	ロータリー1.4m	8.08	8.08	1	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
代かき	作業委託	0.00	0.00		
	耕うん機0.6m	30.00	35.00	1	生産技術体系昭和56年岩手県農政部
	代かきローター2.0m	13.36	13.36	1	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
田植え	作業委託	0.00	0.00		
	田植機(歩行)2条	24.41	48.82	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	田植機(歩行)4条	12.21	24.42	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	田植機(乗用)4条	11.61	23.22	2	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
	田植機(乗用)5条	7.94	15.88	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	田植機(乗用)6条	6.61	13.22	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
防除	作業委託	0.00	0.00		
	人力(投げ込み)	0.00	2.46	1	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
	背負動力散布機	1.60	3.20	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	背負動力散布機(多口ホース)	0.78	1.56	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	搭載型動噴	0.64	1.28	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
追肥	無し	0.00	0.00	0	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
	人力	0.00	5.00	1	生産技術体系昭和56年岩手県農政部
刈取運搬	作業委託	0.00	0.00		
	バンダー1条	33.67	33.67	1	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
	バンダー2条	21.05	21.05	1	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
	自脱コンバイン2条	16.65	33.30	2	機械化計画の手引き平成2年全国農業協同組合連合会
架掛け	無し	0.00	0.00	0	
	人力	0.00	113.75	5	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
脱穀	無し	0.00	0.00	1	
	自動脱穀機(自走式)	8.75	35.00	4	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
初運搬	無し				
	軽トラック	8.38	16.76	2	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
わら運搬	無し				
	軽トラック	18.00	36.00	2	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
乾燥	自然乾燥	0.00	0.00	0	生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
	仕上げ乾燥委託	0.00	0.00	1	
	自己乾燥	36.00	5.00	1	生産技術体系平成8年岩手県農業研究センター
調製	作業委託	0.00			生産技術体系平成20年岩手県農業研究センター
	籾摺、包装、出荷	17.00	30.00	2	生産技術体系平成8年岩手県農業研究センター

(5) 10a区画稲作労働時間積算シートの開発

表4のリスト化した作業方法を、選択、組み合わせることで、基盤整備計画地区の作業実態に対応した現

況の稲作労働時間を自動的に計算出来る「10a区画稲作労働時間積算シート(Excel)」を作成した。(図5)

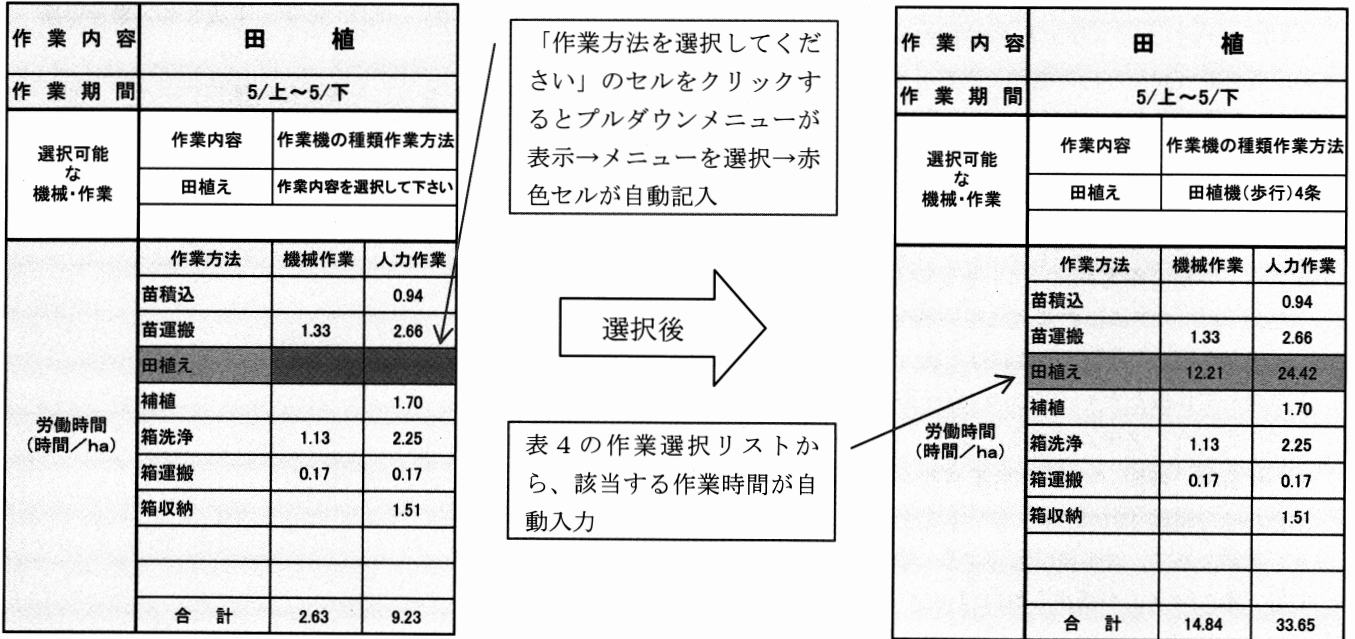


図5 10a区画稲作労働時間積算シート(Excel)の一部 「田植作業」を抜粋

4. 積算シートの使用方法

「10a区画稲作労働時間積算シート」は、基盤整備事業計画地区の営農実態に応じて、作業体系を選択するだけの簡易な操作で、労働時間が自動的に計算出来るのが大きな特徴である。具体的な使用方法是次のとおりである。

図5に示す「積算シート」は、本システムの一部である。積算シートでは、作業内容毎に、作業機の種類や作業方法がプルダウンメニューにより表示される。ユーザーは、メニューの中から対象地区の実態に応じた使用機械・作業方法を選択するだけで、自動的に労働時間が積算される。

なお、「10a区画稲作労働時間積算シート」では、表4に示した作業選択リストを参照している。このため、システムに既定値として登録している作業方法毎の労働時間(機械作業時間、人力作業時間)や組人数を対象

地域の実績値を上書き入力することにより、修正値を反映した試算結果を得ることができる。

本システムの利用にあたっては、次のことについて留意する必要がある。

- (1) 計算に使用している労働時間は、平成20年に公表した「新技術等を導入した農業技術体系データ」の「水稻(ひとめぼれ・あきたこまち、10a区画、1ha、北上川流域)」に基づいて積算している。このため、元データである農業技術体系データの「技術体系表」や「積算内訳表」に記載している前提条件等を確認したうえで、システムを利用することが望ましい。
- (2) 個々の農家の労働時間は、農家毎の圃場の分散程度や圃場条件等により異なるので、より精度の高い試算結果を得るためには、前述の方法により、対象農家の実態に即して作業方法毎の労働時間、組作業人数を修正して使用する必要がある。

## 5. まとめ

本システムは、岩手県における基盤整備計画地区の事業計画担当者が営農経費節減効果の算定において、現況の営農経費を容易に算定出来るように労働時間の自動積算化を目的として開発したものである。

岩手県では、本システムを基盤事業事業の主務課である県庁農村計画課及び出先機関である各地方振興局農村整備室に配布しており、事業計画作成業務に活用していく予定となっている。今後は、さらなるシステムの活用や業務の効率化に向け、ユーザーの意見等を踏まえ、システムの改良や選択できる作業機械や作業方法毎の労働時間等、関連データの整備充実を図っていきたいと考えている。

なお、本システムに内蔵されているデータは、これまで述べてきたとおり、岩手県における統計データと営農実態を考慮して作成したものであり、岩手県内での利用を想定して作成したシステムである。しかし、図4に示した作業毎の作業機の種類、作業方法労働時間を各都道府県の実態に合わせて整備すれば、本システムを全国的に利用することも可能である。岩手県はもとより、他の都道府県においても、本システムが活用されれば幸いである。

## 謝辞

本研究は、岩手県農村計画課のニーズを踏まえ、農業農村整備事業の事業計画策定に係る事業効果の算定において、現況の営農時間を容易に作成できるシステムの構築に関する研究を平成18年から続けて来たものである。

その間、岩手県農村計画課関係各位より、必要資料の提供等、献身的なご指導、ご支援を賜り、ここに感謝申し上げる次第である。

## 引用文献

1. 「稲作指導指針」 (H19年3月 岩手県)
2. 岩手県農作物病虫害・雑草防除指針」 (H19年度 岩手県)
3. 「大区画圃場における稲作営農技術の手引き」 (H10年3月岩手県農政部)
4. 「機械化計画の手引き」 (H2年8月 JA全農農業機械部)
5. 「水田作機械化標準作業体系の設計と経済的評価に関する研究」 (S43年11月 農林省農事試験場作業技術部 機械化経営研究室)
6. 「センサ統計」 (1980-1985-1990-1995-2000-2005年 岩手県統計書)
7. 前山 薫, 南石 晃明, 本田 茂広, 法隆 大輔 (2006) 農業技術体系データベースの効率的な構築手法, 農業情報研究, 15: 25-47.
8. 「生産技術体系及び営農計画作成支援シート利用マニュアル」 (2005年、岩手県農業研究センター)
9. 「生産技術体系」 (昭和56年、平成8年 岩手県農政部)
10. 「新技術等を導入した農業技術体系データ」 (H20岩手県農業研究センター試験研究成果)

# 環境保全機能向上に向けた米の人工乾燥技術

— 循環式乾燥機に由来するエネルギー消費及び CO<sub>2</sub> 発生量の実態 —

八谷 満\*

## Making the Artificial Drying of Rice More Environmentally Friendly

- The Status of Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Generation Rates from Re-circulating Batch Dryers -

Mitsuru HACHIYA

### Abstract

Modern agricultural production is energy intensive. The drying of grains such as rice and wheat, which uses much more energy than any other process, is a major artificial source of CO<sub>2</sub>. Most of the CO<sub>2</sub> produced comes from the burning of kerosene to provide heat in the dryer. Reducing the use of kerosene will result in a reduction in a major source of global warming in the agricultural sector. It is also important in terms of reducing costs as well. From the test results of drying rice, we found a correlation between the amounts of removed moisture, and fuel and electricity consumption, from which a formula to estimate the amount of CO<sub>2</sub> has been derived. The annual amount of CO<sub>2</sub> produced by the re-circulating batch dryers on individually owned farms in Japan is estimated to be 310 thousand tons from the heat source (burning kerosene) and 27 thousand ton from the power source (running fans and carriers). Total annual CO<sub>2</sub> production is estimated to be approximately 340 thousand tons. The result of the comparative test of the FIR (Far-Infrared Radiation) dryer and the conventional dryer clearly showed that the FIR dryer saves an average of 8.3% on fuel and 29.1% on electricity. The FIR is a new technology that contributes to the reduction of CO<sub>2</sub> and is thus regarded as one of the countermeasures against global warming.

[Keywords] Re-circulating batch dryer, FIR dryer, Energy Consumption, CO<sub>2</sub>, Cost

### 1. はじめに

農業分野における温室効果ガスの排出量は、基準年（'90年）と比較して減少しているものの、農業分野は地球温暖化による気象変動の影響が大きい分野であることを踏まえれば、他の分野に率先して温暖化対策に取り組む必要がある。また、原油価格高騰に伴って、農業機械の燃料コストは大幅に増加し、安定的な農業生産・経営を展開する上での大きな阻害要因となりつつある。現在の農業生産、とりわけ米麦等穀物の乾燥調製作業には他の工程に比して多くのエネルギー資源が投入され、それが CO<sub>2</sub> の人為的な発生源となっており、これまでも指摘されてきた。特に穀物乾燥機においては、その加熱用燃料である灯油からの

発生量が多い。これを減らすことは農業分野における地球温暖化の負荷を低減させることを意味するものであり、同時にコスト低減上重要な意味を持つ。

本稿では、米の乾燥作業に伴うエネルギー消費の実態等について取り纏めたので概要を報告する。

### 2. 米の乾燥調製作業の実態

1 ha 当りの穀作物のエネルギー消費量<sup>4</sup>を図1に示す。水稻に比して他の穀作物エネルギー消費量は約1/2程度となっていることが分かる。このエネルギー消費量は米麦では乾燥・調製、次いで収穫・脱穀の工程に多く、その他の作物では耕起・整地、出荷・運搬工程に多い。これらに使用する

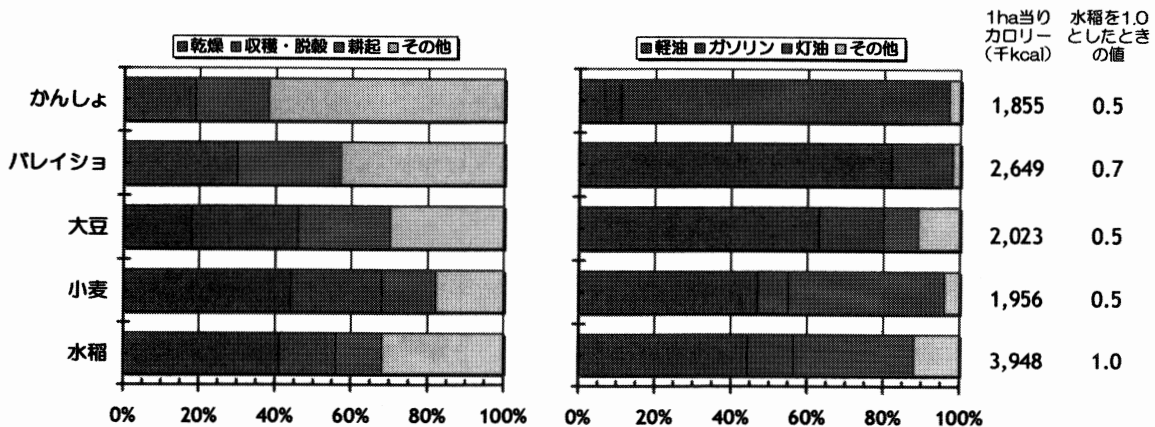


図1 穀作物のエネルギー消費（左：主な作業割合，右：主なエネルギー種類別割合）<sup>4</sup>

\* (独) 農研機構 東北農業研究センター, 〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92

るエネルギー種はディーゼル軽油が最も多いが、米麦乾燥作業においては灯油が用いられるのが特徴的である。

図2に'76年以降の米の乾燥様式別収穫面積の推移<sup>6</sup>を示す。やや古いデータであるが、個別農家による循環式乾燥機、及びカントリーエレベータ（以下、CE）やライスセンター（以下、RC）といった共同乾燥調製施設（以下、共乾施設）等人工乾燥による水稻収穫面積割合は全体の90%以上に達しており、人工乾燥は大きなウェイトを占めている。共乾施設は徐々に普及し、特にCEにおいては'84年以降の10年間では5.1%と前5年の倍以上の伸び率となった経緯がある。一方、個別農家による乾燥は徐々に減少しているものの、常に全収穫面積の60%以上を占めてきた。'99年ベースで共乾施設による米収穫面積割合は29.2%、個別農家の乾燥では61.0%、自然乾燥は9.8%であり、米の人工乾燥において主たる乾燥様式は個別乾燥であると言える。次項では、個別農家による乾燥や共乾施設でも多く導入されている循環式穀物乾燥機によるエネルギー消費量について検証する。

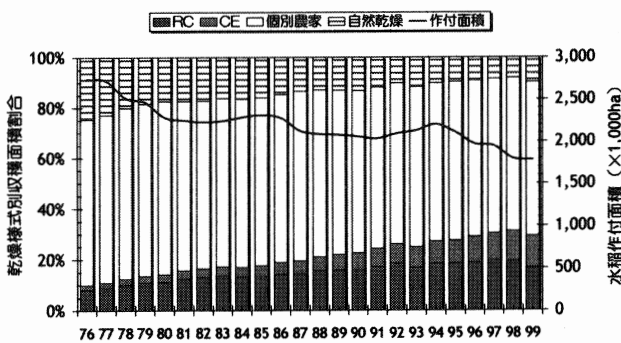


図2 米の乾燥様式別収穫面積の推移<sup>5</sup>

3. 米の乾燥作業に伴うエネルギー消費とCO<sub>2</sub>発生量

検証に際しては、生研機構（現 農研機構 生研センター）において'93~'97年度に実施した農業機械等緊急開発事業「穀物遠赤外線乾燥機（以下、遠赤外線乾燥機）の開発」時の初乾燥試験結果のうち、'95年度以降の遠赤外線乾燥機と熱風乾燥機の比較試験データを中心に抜粋した。データ数は遠赤外線、熱風式いずれも69台ずつである。試験は同等の容量（石数）を有する両乾燥機を並べて作物及び環境条件等が同一のもので実施したものである。

図3に初張込量に対する燃料消費量を示した。本結果からは有意な相関は認められるものの、高い精度で乾燥仕上げに要する燃料消費量を推定するにはやや難がある。すなわち、初張込量及び仕上げ水分が同じでもその初期水分が異なれば乾燥仕上げまでの除水量が異なることに他ならない。そこで、張込量、初期水分及び仕上げ水分をもとに乾燥仕上げまでの除水量を算出した。除水量ベースで燃料消費量をプロットし、併せて信頼限界と予測限界を算出すると図4（上）のようになり、より高い精度で燃料消費量を推定できることが分かる。同様に、除水量と電力消費量の関係を図4（下）に示した。

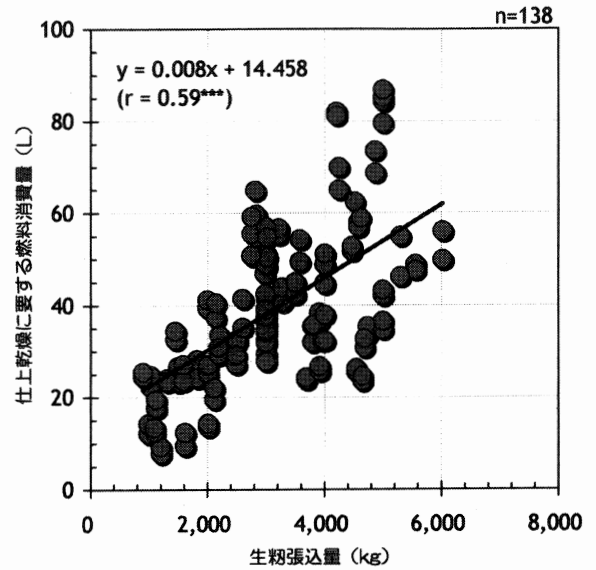


図3 初張込量ベースの燃料消費量

\*\*\* : 0.1%水準で有意差あり

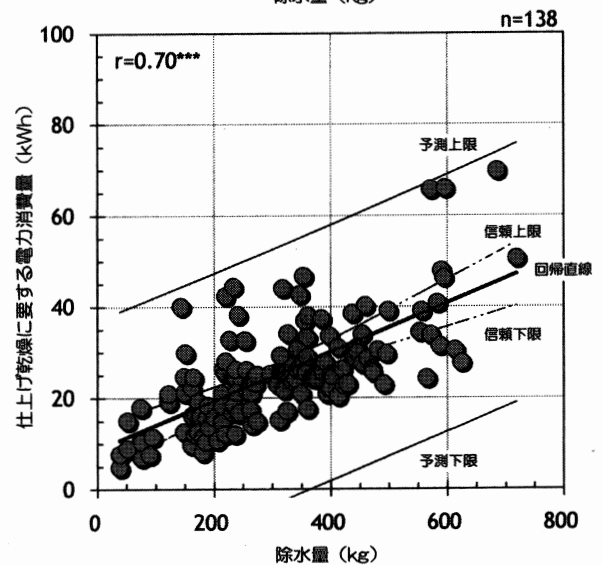
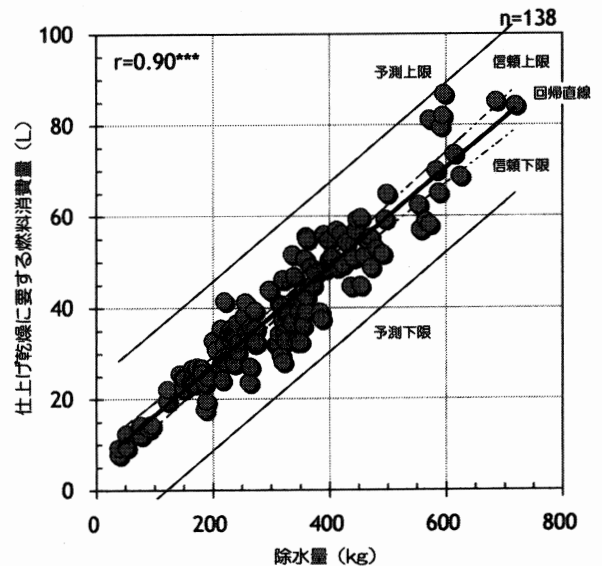


図4 除水量と燃料消費量（上）、及び電力消費量（下）

\*\*\* : 0.1%水準で有意差あり

遠赤外線乾燥機を含む循環式乾燥機による初乾燥においては、除水量を X (kg) とすると燃料消費量 (L) 及び電力消費量 (kWh) はそれぞれ (1) 及び (2) 式により推定できる。

$$Y = 0.108X + 5.65 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$Y = 0.053X + 8.75 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで計算の一例を挙げると、初期水分 25%w.b. (以下、w.b.を省略) の初 4,000kg を乾燥機に張込んで、初水分 14.5%まで乾燥したときの初重量は約 3,500kg となり、乾燥機で除去した水分重量は 500kg となる。

除水量 500kg とした場合、仕上げ乾燥に要する燃料及び電力消費量は (1), (2) 式によりそれぞれ約 60L 及び 35kWh と求まる。すなわち、循環式乾燥機における単位除水量当りのエネルギー量は灯油が 0.12L/kg-H<sub>2</sub>O、電気は 0.07kWh/kg-H<sub>2</sub>O である。

次に、以下の平均単位面積当り収量の条件設定のもとで初乾燥に要するエネルギー及び CO<sub>2</sub> 発生量の概算について試算する。

- ・乾燥前：800kg-初/10a (水分 25.0%)
- ・乾燥後：702kg-初/10a (水分 14.5%)
- ・初摺後：702×0.8=562kg-玄米/10a

乾燥に要する熱エネルギーは、単位除水量当りの付加熱量を 5.02~5.44MJ/kg-H<sub>2</sub>O (1,200~1,300kcal/kg-H<sub>2</sub>O) として、1 ha 当り 983kg の除水量で約 4.9GJ となる。また、玄米 1 t 当り約 20.9L の燃料消費量となり、灯油の発熱量 37.3MJ/L として逆算してもほぼ合致する。一方、電力消費量は、玄米 1 t 当り 12.7kWh と試算される。同様に、エネルギー消費原単位は、灯油消費量では 1,008×10<sup>3</sup>kcal/ha、電力消費量では 141×10<sup>3</sup>kcal/ha、合計 1.15×10<sup>3</sup>Mcal/ha となり、前出図 1 に比してやや低いエネルギー消費実態である。

さらに、米の乾燥に伴う除水量と CO<sub>2</sub> 発生量の関係を図 5 に示す。除水量を X (kg) とすると熱源及び動力に由来する CO<sub>2</sub> 発生量 (kg) はそれぞれ (3) 及び (4) 式により推定できる。

$$Y = 0.275X + 14.33 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$Y = 0.022X + 3.67 \quad \dots \dots \dots (4)$$

循環式乾燥機による米の乾燥作業にとまう CO<sub>2</sub> 発生量は、灯油の燃焼により 63.5kg/t-玄米、電力消費により 7.4kg/t-玄米となる。同様に、1ha 当りでは約 310kg (熱源由来≒285kg/ha、動力由来≒25 kg/ha) の CO<sub>2</sub> を発生することとなる。

さらに、国内の水稻作付面積を 1,780,501ha ('99 年ベース) <sup>6</sup> とすると、前出の乾燥様式別収穫面積割合によれば個別乾燥の負担面積は 1,084,325ha (玄米 608 万 t) となり、前述の例に従えば 1,065×10<sup>3</sup>t 以上の除水能力が求められる。その結果、日本国内における個別農家による循環式乾燥機に由来する年間 CO<sub>2</sub> 発生量は、熱源からは 31 万 t 及び動力源からは 2.7 万 t、総計 34 万 t 程度と推定される。なお、試算に際しては灯油の比重を 0.82、灯油の燃焼による CO<sub>2</sub> 発生量の原単位を 3.17kg/kg、電力に対する原単位

0.42kg/kWh とした <sup>8</sup>。

共乾施設におけるエネルギーの消費実態調査 <sup>2</sup> によれば、玄米 1 t 当り 21.6L の燃料消費量であり、前述の試算とほぼ同等である。しかし、電力消費量は玄米 1 t 当り 100kWh としており、前述の結果と大きく乖離している。この理由には、算出基礎に乾燥作業以外に初摺りや選別等調製作業が含まれていることが挙げられる。なお、乾燥機本体の容量に対して少量張込とした場合には、特に電力消費量はやや高めに乖離した数値となり得ることに留意する必要がある。また、共乾施設においては玄米 1 t 当りの消費電力量は稼働率によって変動する。稼働率が小さい場合、各装置の作業効率は低くなり、荷役状況によって稼働時間が変化し難い集排塵装置等による電力消費の割合が大きくなり、玄米 1 t 当りの消費電力は大きくなると考えられる。また、同調査によれば、共乾施設から発生する CO<sub>2</sub> の総量は年間概略 20~40 万 t と推定している <sup>2</sup>。

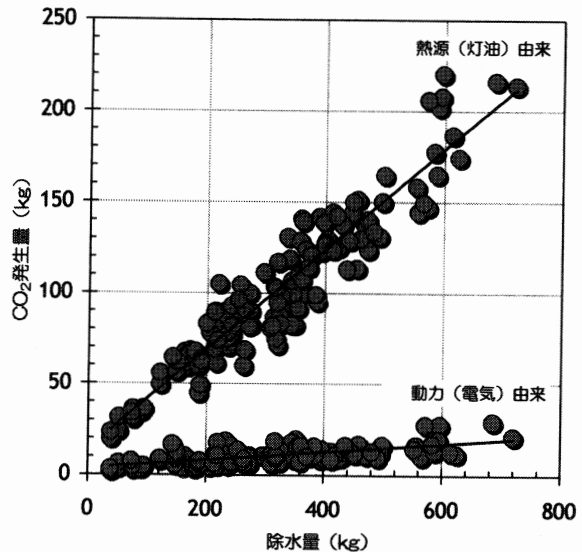


図5 除水量と CO<sub>2</sub> 発生量の関係

#### 4. 遠赤外線乾燥機の省エネ効果

遠赤外線乾燥機は、遠赤外線放射体の加熱により放射される遠赤外線及び放射体加熱残熱を利用した循環式乾燥機である (図 6)。遠赤外線放射体の設置位置は熱風室と集穀室のいずれかであり、メーカーによって異なる。

遠赤外線乾燥機の省エネ効果を明示するために、熱源及び動力の両面から除水率を求めた。燃料消費量 1 kg 当りの除水量を除水率 (熱源)、電力消費量 1 kWh 当りの除水量を除水率 (動力) と称する。

遠赤外線乾燥機の平均除水率は、

- ・除水率 (熱源) = 10.17 ± 1.64kg/kg
- ・除水率 (動力) = 14.29 ± 4.21kg/kWh

であるのに対して、対照機である熱風式乾燥機では以下のとおりであった。

- ・除水率 (熱源) = 9.39 ± 1.69kg/kg
- ・除水率 (動力) = 11.07 ± 3.91kg/kWh



よって、熱風式乾燥機との対比で示す総平均の除水率（熱源）及び除水率（動力）の比はそれぞれ 8.3%及び 29.1% となり、遠赤外線乾燥機の省エネ効果は熱源（灯油）よりも動力（電気）によるところが大きい。これは CO<sub>2</sub> 発生量の削減に直接寄与する。なお、個別の除水率の比をプロットすると図7のようである。図中、縦軸及び横軸ともに0を越えていれば、熱源（灯油）及び動力（電気）のエネルギーの両面で節減効果があることを意味する。

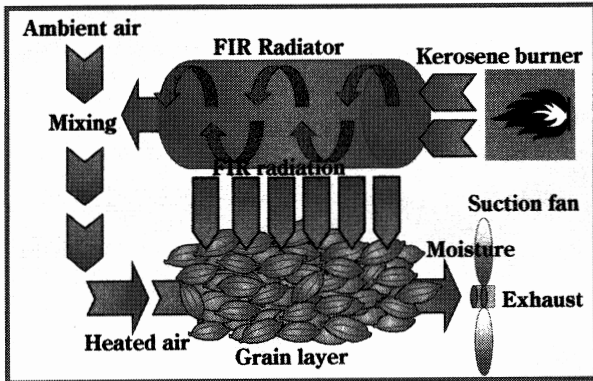


図6 遠赤外線乾燥機のご概念

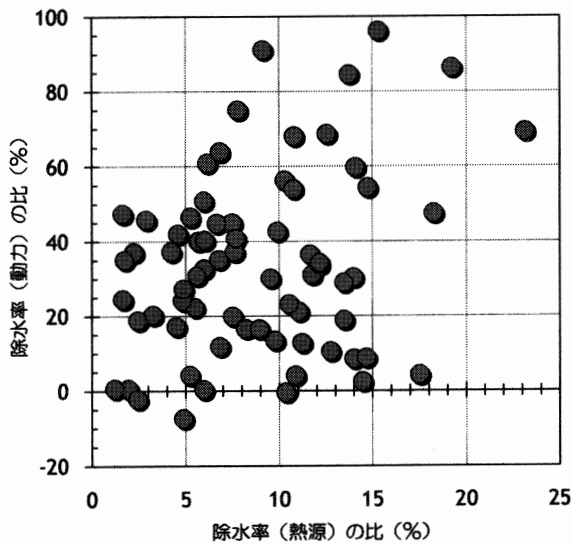


図7 遠赤外線乾燥機による省エネ効果



図8 RCでの遠赤外線乾燥機の導入

米の生産においては、特に人工乾燥における熱エネルギー消

費量の低減が環境保全上かつ生産コスト削減の観点から極めて重要である。そうした観点で、これまでも米の乾燥には籾殻燃焼や太陽光などによる代替エネルギーの提案<sup>4</sup>が種々なされてきたが、少なくとも現時点では個別農家における乾燥作業においては遠赤外線乾燥機（図8）の導入効果が最も現実的と考えられる。

遠赤外線乾燥機は、'98年度の市販以降順調に普及台数を伸ばし、'07年度末時点で累計台数 75,000 台に到達しており（図9）、市場において穀物乾燥機としての市民権を確実に得たと言ってももはや過言ではない。

農林水産省が'07年12月に「原油価格高騰対応省エネルギー型農業機械等緊急整備対策」を決定した。これは、'05年4月に制定された「強い農業づくり交付金」の実施要綱で、災害等緊急に対応する必要がある場合に事業を追加することができることと定めた条項に則している。この緊急対策は原油価格高騰下の緊急・単年度対策ではあったが、地球温暖化対策としての農業機械利用にも関わるものである。交付金の対象となった農業機械は4機種であり、うち一機種がこれまで述べてきた遠赤外線乾燥機であり、これを契機としてより一層の普及促進があったものと思われる。

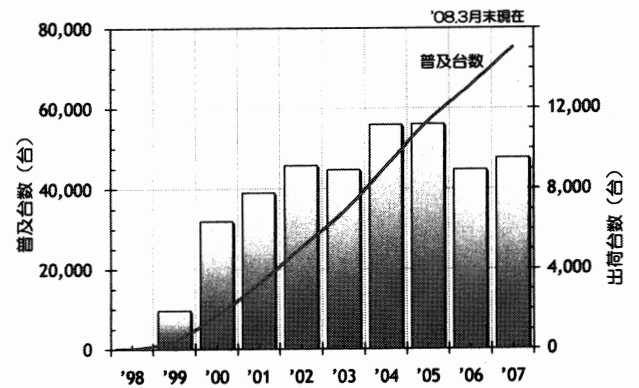


図9 遠赤外線乾燥機の普及

### 5. 米の乾燥作業に伴うコスト

図10は、ここ30年間の灯油価格の推移<sup>5</sup>を作図したものである。特に'04年度以降、原油価格の高騰が灯油価格へ転嫁されて'07年度末時点においても上昇を続けているのが明らかである。原油価格については、中東における政情不安等に加え、中国、インドなどの経済発展に伴う石油需要の急増、更には投機的要因等から過去最高値を更新するなど極めて高い水準で推移しており、これに伴い石油価格製品も大幅に上昇しているのは周知のとおりである。

本稿で述べてきた灯油については、穀物の人工乾燥の熱源であることから“穀物生産必需品”であり、ディーゼル軽油と併せてその価格は米生産農家の大きな関心事である。本項では、乾燥作業に伴うコストとその縮減策について検証してみた。

#### 1) 収穫初的水分変化と乾燥コスト

収穫時の穀物水分が人工乾燥のエネルギー消費量に大きく影響することは前述のとおりである。米の立毛中胴割れ

や小麦の雨濡れによる低アミロ化など品質劣化には注意を要するが、できるだけ低い水分で収穫することが環境保全につながる。

省エネに向けた穀物乾燥機（循環式）作業時の留意点<sup>6</sup>としては、

- ①穀粒水分が高い時の収穫を避ける（適期収穫に留意すると共に、穀粒水分が高い早朝や降雨後の収穫を避ける）、
  - ②張込み量をできるだけ満量にする、
  - ③張込み量が少ない時は熱風温度を下げる、
  - ④張込み後に常温通風する、
  - ⑤夜間は休止乾燥（テンパリング）を行う、
  - ⑥夾雑物をできるだけ取り除く、
  - ⑦過乾燥にならないようにする、
  - ⑧排気が循環しないようにする、
- 等が挙げられる。

適期刈りと晩刈りの差異は、収穫初的水分、整粒歩合及び食味値の変化などが挙げられるが、これと関連して成分・組織及び物性値の変化などの影響がある。黄熟期に達した初は枝こうとの結合部に離層が発達して茎との水分移動が減少してくる<sup>10</sup>。一方、外気の温度や湿度は日変化するので、初及び内蔵玄米の水分も逐次変化する（図11）。

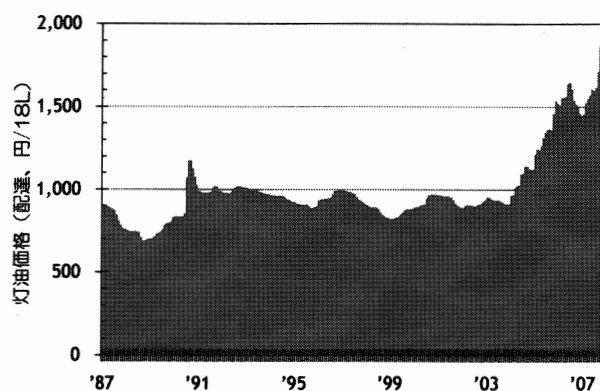


図10 灯油価格（配達、全国平均）の推移<sup>5</sup>

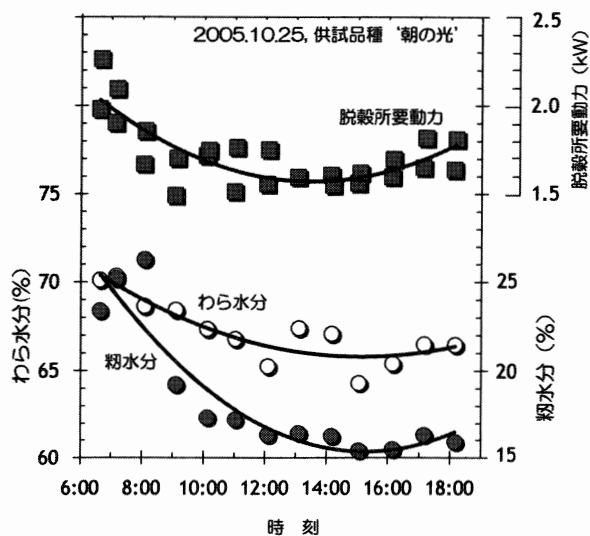


図11 収穫時刻における立毛稲の水分変化<sup>3</sup>

この立毛初全体的水分は収穫日が遅れるにしたがって低下する。なお、晩刈りは玄米のつや色が低下すると言われるが、食味を重視する時代にあつては外観上のつや色は何を意味するか疑問であり、検討の余地を残す<sup>1,10</sup>。ただし、米を扱う業界にとって一番危惧される品質は晩刈りにみられる「胴割れ」であり、十分考慮する必要がある。

そこで、適期収穫に配慮しつつ、立毛初的水分変化とそれに伴う燃料費について、前出の平均単位面積当り収量の条件設定のもとで考察する。初期水分25%の1ha分の初とそれを立毛にて水分2%低下させて23%で収穫した場合について年度毎の乾燥コストを比較した（図12）。なお、灯油価格（配達、全国平均）<sup>5</sup>は'03年度：931円、'04年度：1,069円、'05年度：1,353円、'06年度：1,545円、'07年度：1,672円として、電力基本料金（三相）は11円/kWhとした。

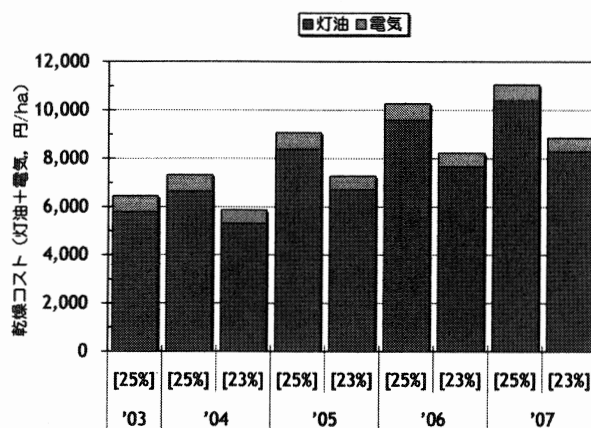


図12 年度別と水分変化に伴う乾燥コスト

水分25%の収穫初を乾燥することによって、乾燥に要する燃料消費量及び電力消費量はそれぞれ111.8L/ha及び62.7kWh/haとなる。しかし、これを前出の乾燥作業時の留意点の第1項或いは図11の事例のように穀粒水分が高い早朝や降雨後の収穫を避け、立毛状態にて2%の水分を低下せしめて水分23%の収穫初を対象としたとき、燃料消費量及び電力消費量はそれぞれ89.3L/ha及び51.0kWh/haとなり、いずれも約20%の削減効果が見込まれる。併せて、収穫作業時の脱穀所要動力の増減はわらや初水分の変動に影響を受けており<sup>3</sup>、乾燥作業のみならず収穫作業に及ぼす省エネ効果をも期待できる。

価格高騰前の'03年度の乾燥コスト（灯油+電気）は6,468円/haであったが、'05年度には9,087円/ha、'07年度に至つては11,070円/haである。本図によれば、例えば'03年度との対比で灯油価格15%増の'04年度には、立毛状態で初水分を2%低下せしめて収穫することによって、乾燥コストは'03年度よりも9.0%低く抑えることができる。さらに、'05年度比24%以上高騰した'07年度でも2%の立毛乾燥のみで'05年度の水分25%の収穫初の場合よりも乾燥コストを抑制できることが分かる。

2) コスト面からみた遠赤外線乾燥機の導入効果

遠赤外線乾燥機の省エネ効果をコスト面から検証した。図 13 に、遠赤外線乾燥機及び熱風式乾燥機による乾燥エネルギー(灯油+電気)のコストを除水量ベースでデータをプロットした。なお、灯油価格は1,672円/18L(配達, '07年度全国平均)、電力基本料金(三相)は11円/kWhとして試算した。

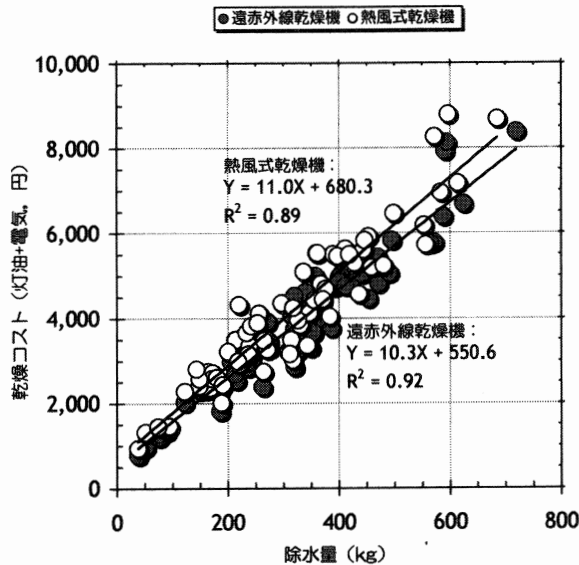


図 13 除水量と乾燥コストの関係

除水量を X (kg) とすると、遠赤外線乾燥機と熱風式乾燥機による乾燥コスト Y (円) はそれぞれ以下となる。

遠赤外線乾燥機 :  $Y = 10.3X + 550.6$  ..... (5)

熱風式乾燥機 :  $Y = 11.0X + 680.3$  ..... (6)

さらに、水分 25%の収穫物を熱風式乾燥機、遠赤外線乾燥機、及び立毛状態で初水分 2%を低下せしめた収穫物を遠赤外線乾燥機により乾燥した場合の 1ha 当りの乾燥コストの比較を図 14 に示した。水分 25%の収穫物を従来機である熱風式乾燥機で乾燥した場合(約 11,500 円/ha)に比して、遠赤外線乾燥機では約 7%のコスト削減(約 10,700 円/ha)となり、さらに水分 23%の収穫物を対象とすれば熱風式との対比で約 26%のコスト削減(約 8,500 円/ha)が期待できる。

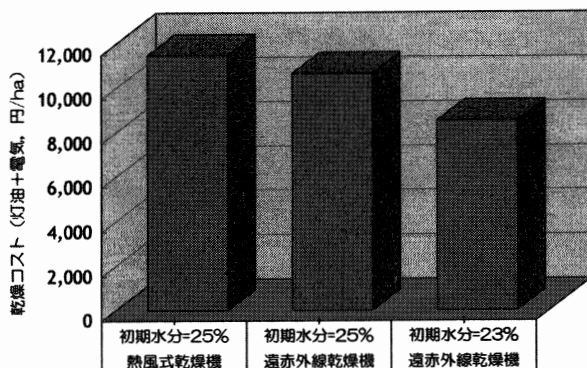


図 14 乾燥方法と水分変化に伴う乾燥コストの比較

以上のように、遠赤外線乾燥機の省エネ効果と併せて天日を利用する立毛乾燥は収穫及び乾燥作業におけるエネルギー消費量の低減効果が大きく、ひいては乾燥コストの縮減及び CO<sub>2</sub> 発生量の直接的な削減に寄与する<sup>9)</sup>。

6. おわりに

以上、筆者が(独)農研機構 生研センター生産システム研究部在籍時(～平 20.3)に取り纏めたものである。初乾燥に要するエネルギーとそれに伴う CO<sub>2</sub> 発生量を推定するとともに、遠赤外線乾燥機の導入及び立毛乾燥による省エネ効果や乾燥コストの縮減効果を試算し、紹介した。

CO<sub>2</sub>問題はエネルギー問題と表裏をなしている。環境問題の多くはこれまでのエネルギー研究の延長線上にあつて解決を求められている課題である。今後は、燃料への依存度を抑制するための構造転換への対策をも講じる必要がある。本稿で記した検証結果が環境問題を解く一助となり、また生産者の方々においては生産コスト縮減や CO<sub>2</sub> 排出抑制の観点から営農活動に活かしていただくための資となれば幸甚である。

参考文献

1. 八谷 満 (2007) : 穀物乾燥調製工程におけるエネルギー消費と品質への影響, 第 12 回テクノフェスタ講演要旨, 農業機械学会, 54-55.
2. 久保田興太郎 (1992) : 共同乾燥施設, 農業機械による環境保全機能向上のための調査研究, 農業機械学会, 200-211.
3. 栗原英治ら (2008) : コンバインの湿材適応性拡大に関する研究(第 2 報), 農業機械学会誌, 70 (4), 90-97.
4. 前川孝昭 (1992) : 施設機械, 農業機械による環境保全機能向上のための調査研究, 農業機械学会, 55-56.
5. 日本エネルギー経済研究所石油情報センター (2008) : <http://oil-info.icej.or.jp/index.html>
6. 農林水産省 (2000) : 稲作関係資料, 184-185.
7. 農林水産省 (2007) : 「農業機械の省エネ利用マニュアル」の策定について, [http://www.maff.go.jp/j/press/2007/20070621press\\_8.html](http://www.maff.go.jp/j/press/2007/20070621press_8.html)
8. 坂井直樹 (1992) : 総合計算による評価, 農業機械による環境保全機能向上のための調査研究, 農業機械学会, 265-269.
9. 生研センター (2006) : 平成 17 年度事業報告書, 生研センター・農業機械化研究所, 98-99.
10. 山下律也 (1991) : 米のポストハーベスト新技術, 農業機械学会, 7-22.

TOHOKU BRANCH REPORT  
OF  
THE JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY

CONTENTS

**ESSAY**

**TAKAHASHI, T. :** To Members . . . . . 1

**RESEARCH PAPERS**

**TOGASHI, C., MATSUMORI, K. :**

Operation of a Small Diesel Engine Using Unrefined Rapeseed Oil as Fuel . . . . . 3

**TOGASHI, C., CHIBA, Y., ITO, N., NUMAKURA, A. :**

Engine Performance by Blended Fuel of Waste Edible Oil (BDF) and Light Oil . . . . . 7

**AMAHA, K., NISHIWAKI, K., NAKAYAMA, S., OTANI, R., SHIBUYA, Y. :**

Development of a Mechanical-herbicidal Hybrid-weeder for Soybeans . . . . . 11

**HOSHI, N., SAWAMURA, A. :**

Utilization of Sloping Land Management and Ruined Farmland on Radio Controlled Mower . . . . . 15

**KATAHIRA, M., UEMURA, T., SAITOU, M., SAWAMURA, A. :**

Development of Radio Controlled Mower Using Technique for Steeply Sloping Grassland (Part 2) . . . . . 19

**FUJIWARA, S., TSURUTA, M., TAKEDA, J. :**

Applicability to Millet Cultivation of a Weeding Method Using an Improved Rake Fixed by Rotary and Scope Installed in Tractor  
. . . . . 23

**SUZUKI, T., AKASE, A., FUJIURA, T., NATSUGA, M. :**

Robotic Harvesting of Trellis-cultivated Cherries (Part 2) . . . . . 27

**TAKEDA, J., CHEN, L., SAITOH, M., SATOH, M. :**

Autonomous Traveling of a Crawler Type Vehicle . . . . . 31

**MAHARJAN, G., TAKAHASHI, T., ZHANG, S. :**

Analysis of Rice Disease Features Based on Hyperspectral Imaging . . . . . 35

**MATSUO, K., YASHIRO, M. :**

Study on Trench Horticultural System . . . . . 41

**YASHIRO, M., MATSUO, K. :**

Grow Tunnels Using the Tubes and the Heat-Retention in the Winter Period . . . . . 45

**SHINDO, H., KATAHIRA, M., :**

Influence of Seed Soaking for Seedling Establishment on Direct Seeding Rice Cultivation

at Well Drained Paddy Field Followed by Early Irrigation . . . . . 49

**SUDO, H., OGAWA, K., MAEYAMA, K., MATSUURA S., ABE, N. :**

The Calculation System of Working Hours of Rice Farming on 10 Ares Paddy Fields

for Planning of Agricultural Infrastructure Maintenance Business . . . . . 53

**HACHIYA, M. :**

Making the Artificial Drying of Rice More Environmentally Friendly . . . . . 61

**TOPICS** . . . . . 67

**NOTES** . . . . . 77

**ORGANIZATION DIRECTORY** . . . . . 89

**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