

# 農業機械学会東北支部報

No.45 DEC. 1998

平成10年12月

## 目 次

### 支部長挨拶

支部長就任にあたって ..... 太田義信 ..... 1

### 研究報告

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| ・光波測距測角儀を用いたトラクタ走行軌跡の簡易計測法（第2報）  | 田中勝千・石田頼子・本橋園司・高野 剛 ..... 3             |
| ・光波測距測角儀を用いたトラクタ走行軌跡の簡易計測法（第3報）  | 石田頼子・田中勝千・本橋園司・高野 剛 ..... 9             |
| ・レーダ速度計を使用したトラクタの位置計測            | 高野 剛・本橋園司・田中勝千・石田頼子 ..... 15            |
| ・草地におけるプリシジョンファーミング（第1報）         | 田中勝千・本橋園司・高野 剛・石田頼子 ..... 21            |
| ・圃場における画像撮影環境と画像の濃度分布について(第2報)   | 小林由喜也・嶋田 浩 ..... 25                     |
| ・トラクタのけん引性能に関する走行速度の影響           | 広間達夫・一戸陽介・片岡 崇・太田義信 ..... 31            |
| ・深耕ロータリ耕うんの土壤移動特性（第2報）           | 小野寺一宏・片岡 崇・広間達夫・太田義信 ..... 35           |
| ・水稻複粒化種子の播種技術の開発（第1報）            | 富樫辰志・伊藤信雄・西脇健太郎・矢治幸夫・森田 敏・木村勝一 ..... 41 |
| ・コンニャク球茎植付機に関する研究                | 朽木靖之・影山義春・平山 孝・齋藤忠弘・青田 聰 ..... 45       |
| ・りんどう施肥管理機の開発                    | 藤原 敏・鶴田正明・千代田亘巨 ..... 51                |
| ・試作オウトウェーカによるほ場試験（第3報）           | 赤瀬 章・鈴木 洋・上出順一・平良木崇・今野 直 ..... 55       |
| ・リンゴ収穫ロボットのための果実部クリープ特性          | 片岡 崇・広間達夫・太田義信 ..... 59                 |
| ・刈取り時期および収穫法を異にする場合の米の品質         | 上出順一 ..... 65                           |
| ・各種貯蔵サイロにおける糀温度の変化               | 上出順一・平尾寿英 ..... 73                      |
| ・葉たばこ作の機械化に関する研究（第2報）            | 佐々木公・太田義信・片岡 崇 ..... 81                 |
| ・農業機械へのマシンビジョンシステムの応用事例（英文）      | D.M. プラノン・片岡 崇・太田義信・広間達夫 ..... 87       |
| ・教育用コンピュータソフトウェアを活用した機械工作実習（第1報） | 吉田 純・及川 理・片岡 崇 ..... 93                 |
| ・教育用コンピュータソフトウェアを活用した機械工作実習（第2報） | 吉田 純・及川 理・片岡 崇 ..... 99                 |
| <b>トピックス</b>                     |   |
| 新製品コーナー                          | 105                                     |
| 東北若手の会報告                         | 106                                     |
| シンポジウムの報告                        | 108                                     |
| <b>支部会記事</b>                     |   |
| 庶務報告および会計報告・幹事役割分担表              | 114                                     |
| 平成10年度研究発表会発表課題                  | 119                                     |
| 農業機械学会東北支部規約・東北支部報投稿規定           | 122                                     |
| 農業機械関係の研究担当者名簿                   | 124                                     |
| 団体賛助会員名簿                         | 130                                     |



## 東北支部会員のみなさんへ

支部長 太田 義信

平成9年12月の支部役員の改選によって、本年4月から支部長を務めることになりました。これから3年間、混迷している20世紀末の支部運営を新しい幹事の皆様と担当することになりました。会員皆様のご協力を切にお願い申し上げます。

振り返ってみると、東北支部は昭和32年3月に創立しましたので、41年間の春秋を経て壮年期を迎えております。結成当時の設立趣旨にあります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は今も受け継がれており、現在では農機メーカーを含めた幅広い分野の会員が参加して、地域に根差した研究やグローバルな視点からの研究等がみられます。

さて、日本農業における東北地方は、コメの生産で全国の3割、果樹や肉用牛の生産で2割を占めており、食糧供給基地としての存在価値は21世紀においても変わらないし、自然食品に対する魅力は増すことであいましょう。しかしながら、現在、農業就業人口は全就業人口の5%程度で400万人を割り減り減少傾向が続いております。さらに就農者の6割が60歳を越す高齢者であり、女性であるという高齢化・婦女子化も進んでおります。国際的には、ウルグアイ・ラウンド農業合意により農産物の自由貿易も一般化しております。このような情勢のなかで、新しい農業基本法の答申が出されました。農政の基本を価格政策から所得政策へと転換し、食糧自給率の数値目標、農業生産法人の株式会社化など農業生産の担い手としての多様化を図り、21世紀における農林業の役割を“安全な食糧の供給”，“国土と環境の保全への貢献”と位置付けております。

これから日本農業を発展させてゆくには、農業機械・施設の自動化・省力化、農作業の安全性の強化、農産物の低コスト化と高品質化等について、私たちの農業機械学会に期待される処は益々大きくなっています。

さらにこれらの農業には、「自然に優しい農業」という視点が必要になってまいります。持続的(sustainable)農業、あるいは精密(precision)農業と言われております新しい農業の根源には、自然環境の保全があります。山紫水明の自然環境に恵まれている東北地方は、農業生産と環境保全の融合調和を図る研究の場として最適な環境にあり、21世紀の農業工学分野として当支部内においてこれらの研究が進められることを期待しております。

次に学会としてアクティビティを高めてゆくには、研究活動の発表の場、並びに会員間の情報交換の場としての「支部報」の充実が重要であります。これまででも研究論文の掲載に加えて「新製品コーナー」、「海外研究報告」、「農業機械関係の研究担当者名簿」等のユニークな学術情報を掲載してまいりましたが、さらに新企画を検討しま

して、支部会員に一層親しまれ頼りにされる「支部報」の発行に努めたいと思います。

ところで最近の支部会員数の動向についてですが、残念ながら個人会員並びに団体賛助会員の減少がみられます。昨今の社会情勢を反映して他学会等においても会員数の減少傾向が生じておりますが、会員数の減少は学会活動に影響します。学生会員を含めた若手研究者への入会勧誘、農業機械関係企業の個人会員の発掘、農業改良普及員や農業高校教員等へのPRなど、支部会員の拡大に努める方策を立てたいと思います。

東北支部会の発展のために、微力ではありますが全力を尽くしたいと考えておりますので、会員皆様のご支援とご協力を願い申し上げます。

# 光波測距測角儀を用いたトラクタ走行軌跡の簡易計測法(第2報)

— 光波儀回転軸の角速度が位置認識におよぼす影響 —

田中勝千\*・石田頼子\*・本橋匂司\*・高野剛\*

A Simple Method of Measuring a Tractor's Running Trace  
Using a Total Station (II)

— Effect of the axis angular speed of the total station  
on the positioning of a tractor —

Katsuyuki TANAKA\*, Yoriko ISHIDA\*,  
Kuniji MOTOHASHI\*, Takeshi TAKANO\*

## Abstract

Regardless of vehicle running speed and course, positional information (horizontal angle, zenith angle and slanting distance) was not available and depended on the established position of a total station. Therefore, correct positional information could not be specified. In this report, a measurement system was examined from the view point of the axis angular speed of total station. We simulated the axis angular speed of a total station during tracking of a tractor that is running on a test course. Comparing the simulated results with actual measured results, showed that correct positional information can be obtained when the absolute value for axis angular speed was equal to 0.090 rad/s or less, in this measurement system.

[Keywords] tractor, running trace, total station, reflective target, angular speed

## I. はじめに

前報<sup>1)</sup>では、ほ場内を移動するトラクタの走行軌跡を求めるために、トラクタの安全フレーム上に取り付けた円筒反射ターゲットを光波測距測角儀（以下、光波儀）で追尾・視準する簡易計測法を提案し、そのシステム概要と、実測軌跡とその測定誤差について報告した。トラクタの最大走行速度は平坦地の場合1.57m/s、傾斜地の場合1.0m/s程度であった。しかし、走行速度に関わらず、走行コースの取り方と光波儀の据え付け位置によって、位置情報（水平角・天頂角・斜距離）が欠測する場合があり、位置情報の得られる条件を特定できなかった。

本報ではこの計測システムを使用する場合の条件を、光波儀回転軸の角速度の点から検討した。

## II. ターゲットの水平方向の視準位置について

円筒反射ターゲット（φ210）を追尾視準する場合、光波儀光軸が円筒反射ターゲットを捉えていれば最大の誤差は円筒の半径である。しかし、前報<sup>1)</sup>で述べたように、距離測定用に照射している近赤外線は発散するために、必ずしも光波儀光軸が円筒反射ターゲットを捉えているとは限らない。このことは誤差を生じるという点では不利であるが、その誤差の範囲が容認できる範囲であれば視準者にとって利点でもある。円筒反射ターゲ

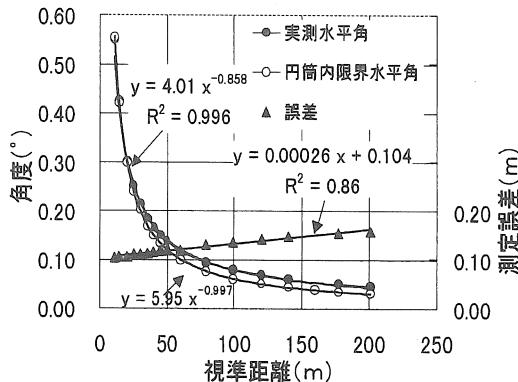


図1 観測距離と光軸水平角および誤差との関係

ットの中心軸（鉛直軸）から左右に、追尾できる水平角の範囲に余裕がでてくるからである。

図1中に、円筒反射ターゲット中心軸を基準とした場合、光波儀の光軸回転角度にどれくらい余裕を持てるのかを水平角で示した。作図には前報<sup>1)</sup>のデータを用いた。図の横軸は観測距離で、縦軸は水平角と測定誤差である。●印は反射波の得られる最大の水平角（実測値）で、○印は円筒反射ターゲットを外さない場合の水平角の計算値である。静的条件の測定ではあるが、光波儀は光軸が円筒反射ターゲットを外していくても反射波が得られることが分かる。▲印の測定誤差は、観測距離200m先でも0.17m程度である。実験では、供試した光波儀（SOKKIA SET3A）が移動体を連続して追尾できる観測距離を考慮して70mとした。図1から静止時の位置認識の最大誤差は、円筒反射ターゲットの直径より小さいことが分かる。また、移動時の観測点は平均して円筒反射ターゲット中心軸付近になると考えられる。ここでは円筒反射ターゲットを追尾観測する場合、円筒反射ターゲット中心軸を観測しているものとした。

### III. 光波儀回転軸の角速度

円筒反射ターゲットが一定速度で移動する場合を考える。光波儀に近い地点を移動する円筒反射ターゲットの場合、観測できる水平角に余裕がある反面、観測者にとって、遠くを移動する場合と比べて速く感じる。一方、光波儀から遠い地点を移動する円筒反射ターゲットの場合、観測できる水平角に余裕は少ないが、観測者は近くを移動す

る場合と比べて遅く感じる。両者は表裏の関係にあり、観測者にとってどちらが有利であるかによって、観測条件が変わってくる。ここでは、ターゲットを観測して捉えることのできる水平角の大きさと、観測者が感じる円筒反射ターゲットの移動速度の両方を考慮した物理量として、ターゲット追尾時の光波儀回転軸の角速度を指標とした。図2は、トラクタ状のコースを速度Vで走行するトラクタ上の円筒反射ターゲットを、光波儀で追尾観測している場合の模式図である。便宜的に光波儀設置点を原点としたxy座標を考え、コース長軸の左手をy軸上に重ねた。いま、サンプリング周期Tで円筒反射ターゲットを追尾観測した場合の計測点をP1, P2とする。このとき、光波儀の光軸の水平角をθ1, θ2とすると、角速度ωは以下のようになる。

$$\omega = (\theta_2 - \theta_1) / T$$

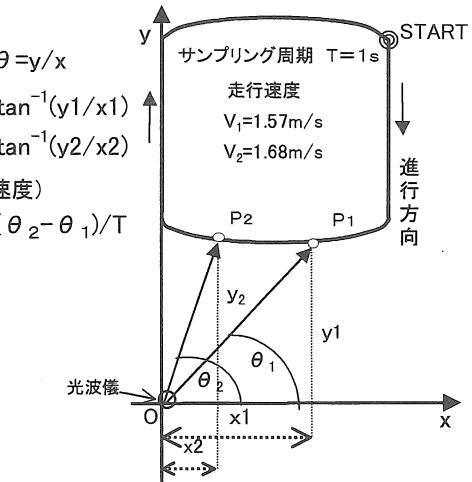


図2 光波儀回転軸の角速度

### IV. 実験方法

#### 1. トラクタ位置の求め方

光波儀で円筒反射ターゲットを観測する場合、前段階として、光波儀設置点（C点）がほ場座標（XY座標）のどこにあるのかを求めなければならない。光波儀は機能上最初の測定点（A点）を基準点とし、その点の方向をy軸とする光波座標（x y座標）を作成する。ほ場の座標上に、例えば、原点（O点）に光波儀を設置すれば、ほ場座

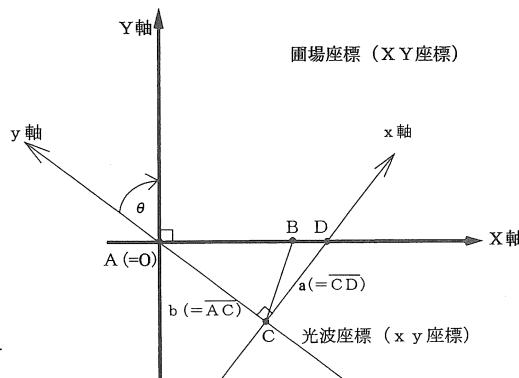


図3 ほ場座標と光波座標との関係

$$\begin{aligned} X &= \sin \theta (y - b) + \cos \theta (x - a) \\ Y &= \sin \theta (a - x) + \cos \theta (y - b) \\ Y &= -\sin \theta (x - a) + \cos \theta (y - b) \end{aligned}$$

図3 ほ場座標と光波座標との関係

標と光波座標とは一致する。したがって、計測軌跡は、ほ場上を走行するトラクタ走行軌跡のイメージと重なる。しかし、実際には、ほ場の片隅で見通しの利く地点に光波儀を設置することになる。図3に、ほ場座標と光波座標との関係を示した。また、図4に円筒反射ターゲットの位置を求めるまでの過程を流れ図として示した。今回、画面表示した場合、実験時の走行イメージに合った走行軌跡が得られるように一部計測プログラムを変えた。また、基準点A,Bの位置を計測した後で、AB間の距離を実測し、初期設定時の誤りが無いかを確認するようにした。計測システムは前報に準じたが、供試車輌には傾斜地用のトラクタ(AEBI TT33 20.4kW)を用いた。

## 2. 手動追尾時の走行速度の限界値

付属農場採草地の平坦地に長辺25m、旋回半径5mのトラック状のコースを設定した。トラック状コースから20m離れた地点を光波儀据え付け点とした。視準者はスタート地点に静止したトラクタ上の円筒反射ターゲットの中心を視準し、位置計測を開始した後に、トラクタのオペレータに合図を送った。オペレータは合図を確認後、設定速度でトラクタを右回りに走行させ、スタート地点に戻った。エンジン回転数(2000~2600rpm)と変速段(2~3速)を組み合わせて、速度Vを1.57~2.17m/sまで8段階に変化させた。実験の

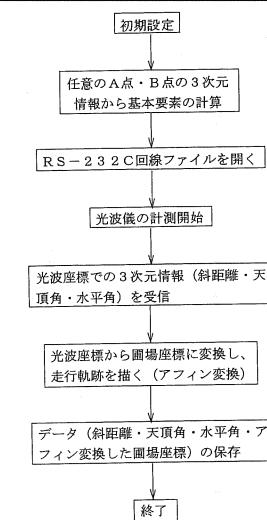


図4 位置認識プログラムの流れ



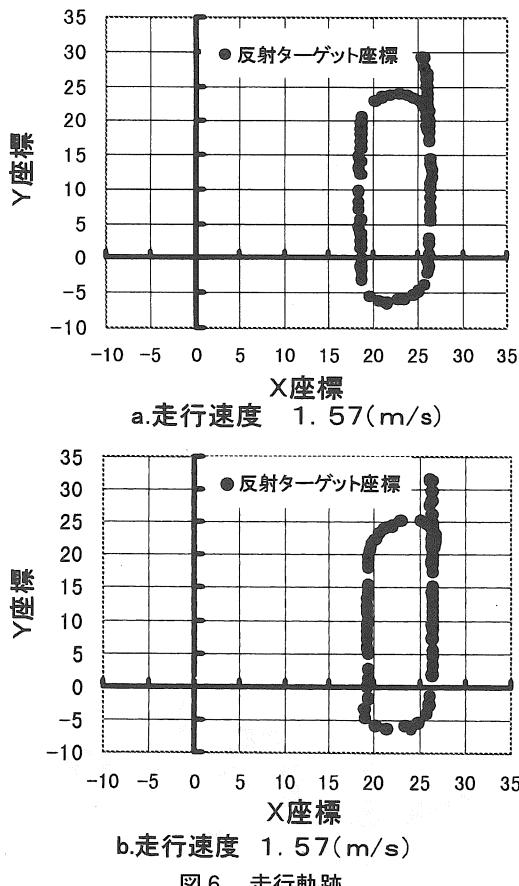
図5 光波測距離角儀による円筒反射ターゲットの追尾観準

繰り返し数は3回とした。光波儀視準者として3人揃え、本計測法に慣れさせるために3ヶ月ほど予備期間を設けた。予備実験の段階で、いずれの視準者においても同じ走行速度条件で欠測がみられたので、本実験では1人を選び同一人物で実験を行った。

## V. 結果と考察

### 1. 手動追尾時の走行速度の限界値

図6~図9に走行軌跡をそれぞれ2例(a, b)ずつ示した。走行速度はそれぞれ1.57, 1.68, 1.92, 2.07m/sである。図6のa, bの結果(1.57m/s)は、人為的な欠測値のない場合である。



図中のプロットの不連続なところは、使用した機器に由来する欠測点で、現在市販されている光波儀には欠測値のない機種がある。人為的欠測点であるかどうかは、連続するデータ数を数えることによって判別できる。図7のbの場合、欠測値があるものの何とか走行軌跡を把握できるが、図7のaの場合では、走行軌跡がとぎれてしまっている。図8、図9の場合も図7と同様の結果であった。図7～図9に共通しているのは、座標(25, -5)付近で欠測を生じやすいということであった。

表1に各走行速度毎の位置認識評価を示した。

表中の○印は約1sのサンプリング周期で全てのデータが取得できた場合である。△印はデータに欠測がある場合である。×印は「反射波が薄い」、「光が返って来ない」というエラーメッセージが表示され欠測データが多い場合、あるいはデータが取得できなかった場合である。1.98m/sの高速度条件でも、ほとんど欠測無くデータを取得でき

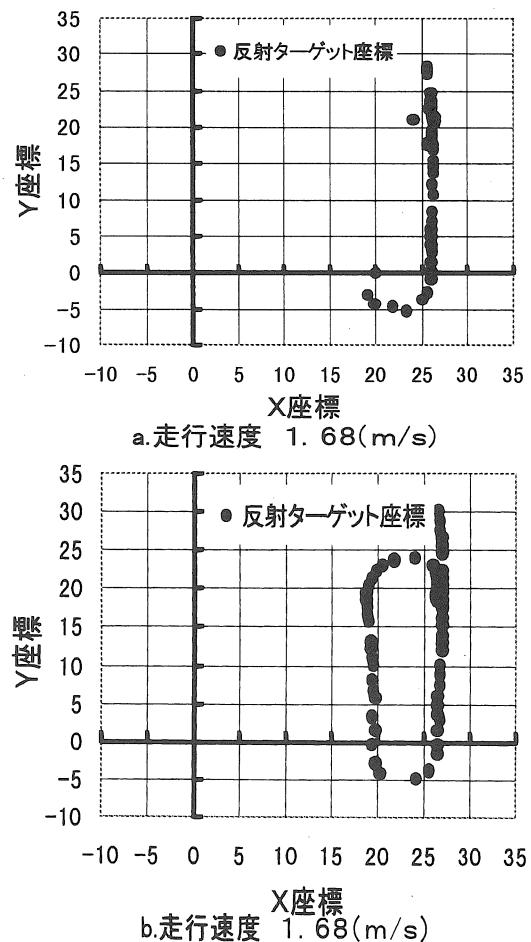
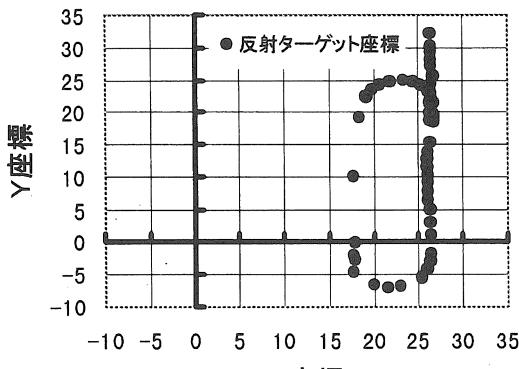


表1 走行速度と位置認識精度の評価

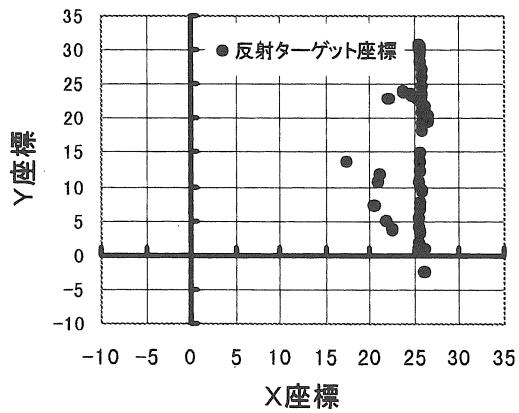
| 速度段 | エンジン回転数 (rpm) | 走行速度 (m) | 評価 |
|-----|---------------|----------|----|
| 2   | 2600          | 1.57     | ○  |
| 3   | 2000          | 1.68     | △  |
| 3   | 2100          | 1.81     | △  |
| 3   | 2200          | 1.86     | △  |
| 3   | 2300          | 1.92     | ×  |
| 3   | 2400          | 1.98     | △  |
| 3   | 2500          | 2.07     | ×  |
| 3   | 2600          | 2.17     | ×  |

(供試トラクタ AEBI TT33)

た場合があった。しかし、その走行速度で確実に計測できる訳ではなかった。実験結果から、トラック状コースから20m離れた地点を光波儀据え付け点とした場合、手動による位置認識の限界走行速度は1.57m/sであった。この速度を超えると、光



a.走行速度 1.92(m/s)



b.走行速度 1.92(m/s)

図8 走行軌跡

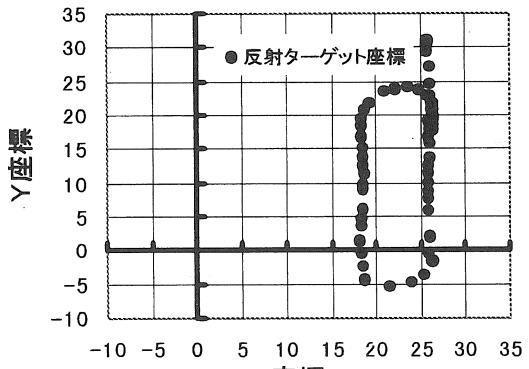
波儀は追尾視準するものの、得られたデータには明らかに誤った情報が含まれていたり欠測したりして、安定して位置情報を得ることは難しかった。

## 2. 光波儀回転軸の角速度

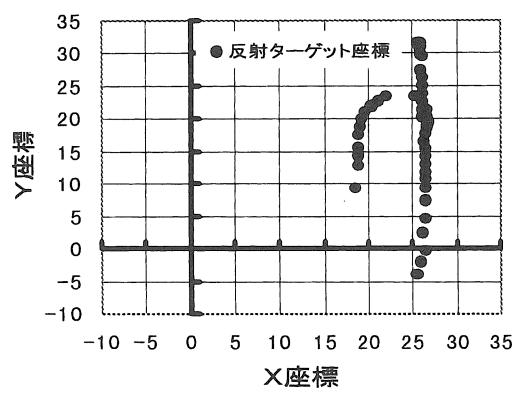
シミュレーションには、手動追尾時の走行速度の限界値を求めた実験の走行コースのデータと走行速度とを用いた。

### (1) トラック状走行コースのシミュレーション

図10は、回転軸の角速度のシミュレーション結果で、図の横軸は始点からの進行距離を、縦軸は回転軸の角速度を示している。実線は走行速度1.68m/sの、点線は1.57m/sの場合を示している。供試した光波儀の伝送速度は2400bpsであるが、光波儀からの情報は視準条件によってサンプリング周期0.75~1.0sの間で伝送され特定できない。ここではシミュレーション時のサンプリング周期を1sとした。光波儀は時計回りを正回転方向に



a.走行速度 2.07(m/s)



b.走行速度 2.07(m/s)

図9 走行軌跡

カウントする。グラフから回転軸は33mを境に正回転から逆回転に、また64mを境に逆回転から正回転に回転方向を変えていることが分かる。トラクタ走行速度1.57と1.68m/sの場合、正回転時のピーク値は進行距離30mでそれぞれ0.040, 0.042rad/s、逆回転時のピーク値は進行距離39mでそれぞれ-0.090, -0.098rad/sであった。

### (2) トラック状走行コースの実験結果

図11に実測した回転軸の角速度を示した。図の縦軸・横軸の表示および記号の説明は図10と同じである。点線は図6のbに示した1.57m/sの場合で、実線は図7のbに示した1.68m/sの場合である。進行距離40m付近に欠測値がみられる。この点付近の欠測は走行速度が増すほど発生しやすくなる。図10のシミュレーション結果と図11の実験結果を比較すると、全体のグラフの傾向が同じであるが、手動で円筒反射ターゲットを追尾する場

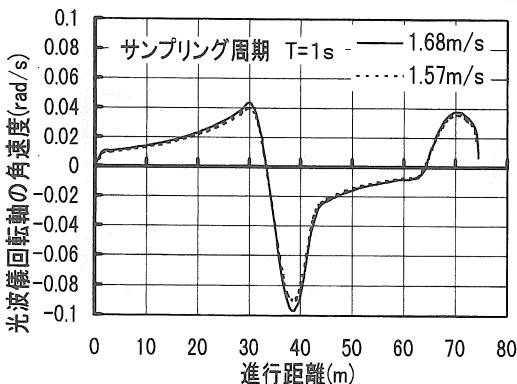


図10 光波儀回転軸の角速度のシミュレーション結果

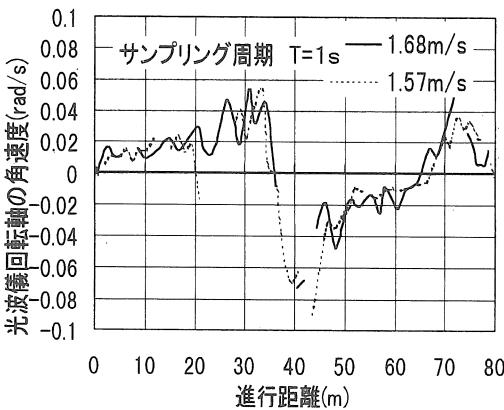


図11 進行距離と光波儀回転軸の角速度との関係

合はグラフに変動があり、円筒反射ターゲットの中心を視準しようとしていることがうかがえる。また、ピーク時の回転軸の角速度はトラクタ走行速度1.57m/sの場合最小値で-0.090rad/sであったが、1.67m/sの場合は計測できなかった。これは手動では追尾視準できなかったことを示している。このことは他の実験結果でも同様であった。したがって、シミュレーション時のピーク値から、角速度0.090rad/s付近が手動で追尾視準できる限界と推察された。また、本計測システムで位置情報を取得できる条件は走行速度ではなく、回転軸の角速度が制限要因であると考察された。

## VI. まとめ

本計測システムを用いて、光波儀と円筒反射ターゲットとの最短距離を20mとした場合、トラクタ走行速度を変えた実験から、円筒反射ターゲットを追尾視準し欠測情報が無く位置認識できる速度

は1.57m/sであった。同じコースについて、トラクタが走行した場合の回転軸の角速度をシミュレーションした。シミュレーション結果と実測結果から、本計測システムで正確な位置情報を取得できるのは、回転軸の角速度の絶対値が0.090rad/s以下であることが分かった。

## 謝 辞

本研究の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)08660314の補助金を受けた。また、研究室の専攻生井口・坂倉・古澤君には課題研究のテーマとしてご協力いただいた。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 田中勝千, 本橋園司, 高野 剛, 石田頼子: 光波測距測角儀を用いたトラクタの走行軌跡の簡易計測法, 農業機械学会東北支部報, 44, 27~32, 1998
- 2) SOKKIA SET3A取扱説明書

「閲読者コメント」光波儀のターゲット追尾視準について、手動による場合の限界回転角速度を明らかにされた点に意義があります。トラクタの走行速度が増すとその限界値を越えるような状況が発生しやすいと思われますがその点についてはどう考えますか。

「著者回答」反射ターゲットの直径を大きくし、精度を犠牲にして視準しやすくする方法もありますが、最も簡単な解決法は、最寄りの走行コースから光波儀据え付け点を遠ざけることです。この場合、測定距離に無関係に連続測定できる機種であれば問題ありませんが、供試した光波儀のように測定精度を重視した機種では、連続測定できる範囲に限界があります（最初の視準点、図3のA点、から最大70m程度）。したがって、とくに矩形ほ場の場合、据え付け点の位置に注意する必要があります。また、反射光量が減少することになりますから、今回お示しした精度は保証できないと思います。

# 光波測距測角儀を用いたトラクタ走行軌跡の簡易計測法（第3報）

—傾斜補正した場合の位置認識誤差—

石田頼子\*・田中勝千\*・本橋匂司\*・高野剛\*

A Simple Method of Measuring a Tractor's Running Trace  
Using a Total Station (III)

— Positional Error Correction Using Tractor Inclination Information —

Yoriko ISHIDA\*, Katsuyuki TANAKA\*,  
Kuniji MOTOHASHI\*, Takeshi TAKANO\*

## Abstract

An experiment was carried out on the position of a moving vehicle using a total station on slope land. The extent of the positional error was examined using an inclinometer to revising measuring error. The largest positional error was within 0.5m at the maximum of 8.5° slope land (mean and standard deviation :  $3.4 \pm 2.2^\circ$ ), when the axis angular speed of the total station was less than 0.090rad/s.

[Keywords] tractor, running trace, total station, positional error, gradient correction

## I. はじめに

第1報<sup>1)</sup>では、圃場内を移動するトラクタの走行軌跡を求めるために、トラクタの安全フレーム上に取り付けた円筒状反射ターゲットを光波測距測角儀（以下、光波儀）で追尾・視準する簡易計測システムを提案した。第2報<sup>2)</sup>では、トラクタ走行速度を変えた実験から円筒状反射ターゲットを追尾視準した場合、欠測情報がほとんど無く位置認識できる条件は、光波儀の回転軸の角速度が0.090rad/s以下であることを示した。

本報では、供試車両に傾斜計を取り付け、傾斜草地を対象に光波儀の回転軸角速度が0.090rad/s以下になる条件で、走行車両の位置認識実験を行った。2軸の傾斜情報を基に、車両のロール角およびピッチ角と位置認識誤差との関係を求め、第1報で示した傾斜補正の効果について検討した。また、位置認識誤差の要因として視準距離を加えて重回帰分析を行い、最後に本計測法を用いた場合

の位置認識誤差について明らかにした。なお、計測器として、前報同様、手動式光波測距測角儀を用いた。

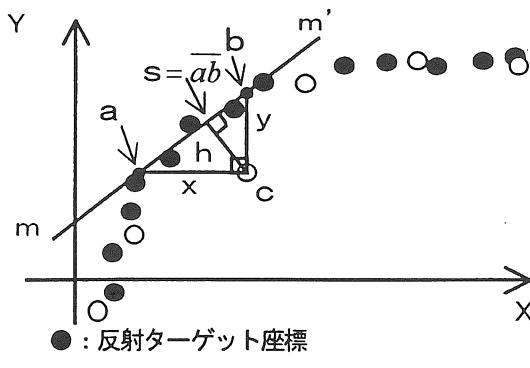
## II. 反射ターゲット座標とピンポール座標との間の偏差（誤差）の求め方

光波儀によって得られた位置情報からトラクタ位置を算出し、それを反射ターゲット座標とした。また、同じ画面上に、トラクタの真の通過点であるピンポール座標を重ねてプロットした。任意のピンポール座標にできるだけ近い反射ターゲット座標のプロット点を3点選び、その3点による回帰直線を引き、回帰直線とピンポール座標との間の最短距離を位置認識誤差とした。図1は、旋回部分での誤差の求め方を示している。○印は、ピンポール座標で、●印が反射ターゲット座標である。今、ピンポール座標の点c付近の測定値から求めた回帰直線をmm'とする。点cからX軸、

Y軸に平行に引いた直線が回帰直線と交わる点をa, bとすると、直角三角形a b cは斜辺をs ( $=ab$ )とする直角三角形となる。ここで、点cから回帰直線に下ろした垂線の長さhを旋回部分での誤差とした。

直角三角形a b cの面積=Aとすると、

$$\begin{aligned} A &= x \cdot y \cdot \frac{1}{2} = s \cdot h \cdot \frac{1}{2} \\ s &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ \therefore h &= \frac{x \cdot y}{s} = \frac{x \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \text{誤差} \end{aligned}$$



- m : 反射ターゲット座標
- : ピンポール座標
- mm' : 回帰直線
- s : 直角三角形a b cの斜辺
- a : 点cを通ってX軸平行に引いた直線と回帰線との交点
- b : 点cを通ってY軸平行に引いた直線と回帰線との交点

図1 旋回部分での誤差の求め方

### III. 実験方法

#### 1. 計測システムと供試車両

計測システムは第1<sup>1)</sup>・2報<sup>2)</sup>と同様である(図2参照)。

傾斜補正を行うために、傾斜計として、ジャイロ傾斜計(データテック GU-3020VA 3軸ダイナミカル傾斜計、検出角度±60°、精度0.044°)を使用した。ジャイロ傾斜計からのデータはアナログ電圧として出力されるため、A/Dボードを

介してデジタル化した。供試車両は、国産の汎用型トラクタ(K-L412DT、31kW)を使用し、トラクタ安全フレーム上の後車軸中心上に、円筒状反射ターゲットを取り付けた。反射ターゲットは、全方位から視認できるように、外径0.21m、高さ1.00m、厚さ0.0075mの円筒全面に、トンネル測量用のシートタイプ反射ターゲット(SOKKIA RS90N、245×245mm)を貼り付けた。

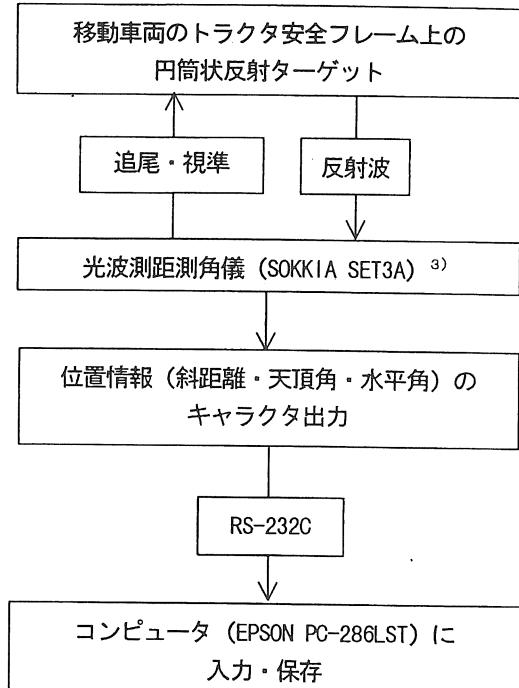


図2 計測システムの流れ図

光波儀(SOKKIA, SET3A)で反射ターゲットを視認した場合、光波儀から照射された光波は、距離に比例して発散し、位置認識の誤差要因となる<sup>1)</sup>。したがって、本計測システムから得られる位置認識誤差は常に半径rからOFの大きさの誤差を含んでいる(図3参照)。光軸②の場合の水平角は( $\beta + \theta / 2$ )で、距離はBDである。

#### 2. 走行軌跡の計測

本学付属農場第2圃場の3番草刈取り後の採草地を実験場所とした(草地の最大傾斜8.5°、平均傾斜3.4±2.2°)。ISO規格によるパワースペクトル密度の基準表によると、圃場の凹凸状態はPOORである<sup>4)</sup>。実際のトラクタ作業を想定して、傾斜地に直線25m、半径5mのU字を連続して組み合

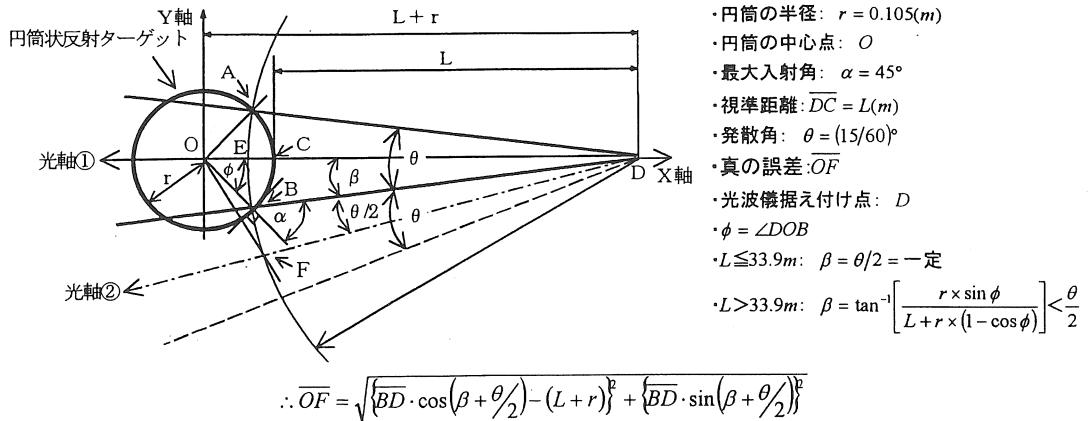


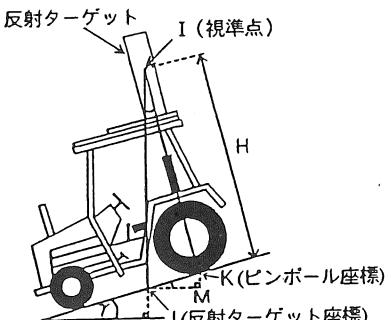
図3 視準距離と測定誤差との関係

わせたコースを設けた。基準点Aは、コースのXY座標の原点に、B点は、ゴール地点に設けた（第2報<sup>2)</sup>参照）。光波儀は、据え付け点から基準点A、Bまで等距離となるように、図4の●印の座標点(25, -17)に据え付けた走行速度は、0.86m/s, 1.0m/s, 1.5m/sの3条件とした。いずれの条件も、円筒状反射ターゲット追尾時に光波儀回転軸の角速度は0.090rad/s以下である<sup>2)</sup>。

実験終了後、傾斜情報を基に各データの傾斜補正を行った（図5参照）。傾斜角度はピッチ角の場合、上りに傾いていれば+、下りに傾いていれば-、ロール角の場合は車幅方向右手にトラクタが傾けば+、左手に傾けば-として補正した。傾斜計のサンプリング周期は1 sである。

傾斜地の場合、円筒状反射ターゲットを視準する位置により、誤差に違いが生じる。反射ターゲットの上部を視準した場合、トラクタが地面の凹凸や傾斜による傾きによって反射ターゲットの動

く量が最大となる。下部を視準した場合、逆に最小となる。この事を踏まえて、傾斜地での実験では、視準者はできるだけ反射ターゲットの下部を追尾・視準するようにした。また、走行中のトラクタの車体中心通過点（ドローバー直下点）上にピンポールを打ち、真の通過点を求め、ピンポール座標とした。



$$\overline{JK} = H \times \tan \gamma \quad (1)$$

$$\overline{JM} = \overline{JK} \times \cos \gamma \quad (2)$$

(1)式、(2)式より

$$\overline{JM} = H \times \tan y \times \cos y$$

$$\therefore \overline{JM} = H \times \sin \gamma$$

図5 傾斜度補正方法

#### IV. 結果と考察

走行軌跡を図6、7に示した。●印は反射ターゲット座標、○印はピンポール座標である。図6は0.86m/sの場合で、直線、旋回部分のデータの

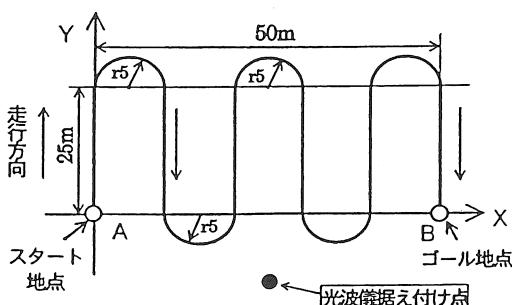


図4 走行コースと光波儀据え付け点

欠測が見られるが、これは光波儀のシャッターの下りている地点と考えられる。光波儀は、約1 sごとに反射ターゲットからの反射波を取得している。1 sを1カウントとして考えると、10カウント毎に光波儀のシャッターが下りる。これは、光波儀(SOKKIA SET3A)の性能上の問題である<sup>3)</sup>。誤差の平均値と標準偏差は $0.25 \pm 0.18$ mであった。

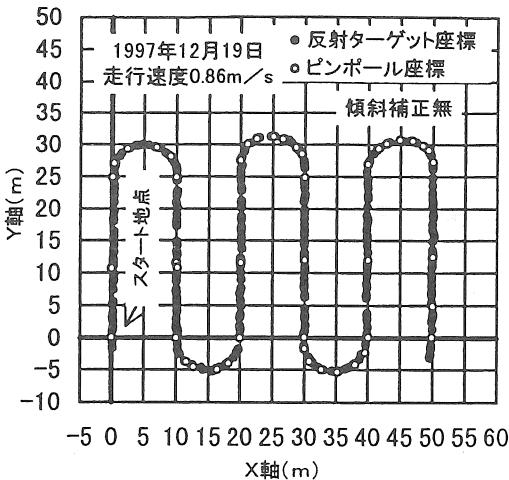


図6 光波儀で求めた軌跡とピンポール座標

図7は1.5m/s走行、傾斜補正無の場合である。直線や旋回部分のデータの欠測が多くなっている。また、図中に丸く囲んだ第4コーナー付近のピンポール座標と反射ターゲット座標とのズレが大きかった。ここは、光波儀から視準して最も角速度の大きい地点、すなわち視準者が最も反射ターゲットを外しやすい点である(第2報<sup>2)</sup>参照)。光波儀はスタート地点とゴール地点から等距離の点に据え付けたが、誤差はトラクタが遠ざかっていく場合の方が大きかった。誤差の平均値と標準偏差は $0.24 \pm 0.18$ mであり、傾斜補正後は $0.26 \pm 0.17$ mと傾斜補正の効果が現れた。なお、傾斜補正後の走行軌跡は図7の補正前と比較しても大きく変化しないため割愛した。

傾斜補正の効果を調べるために、傾斜角度に対する計測誤差の大きさを求めた。直線100m走行した場合の傾斜補正前と補正後の結果を図8、9に、コース走行(1.5m/s)の傾斜補正前と傾斜補正後の結果を図10、11に示した。○印は傾斜角度に対するピッチ方向の誤差(m)、●印はロール運動による誤差(m)、実線はピッチ運動によ

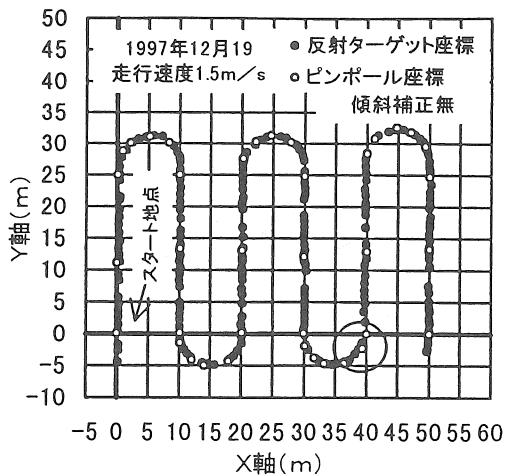


図7 光波儀で求めた軌跡とピンポール座標

る誤差の回帰曲線、細線はロール運動による誤差の回帰曲線である。図8の直線100m走行の場合、トラクタのピッチ・ロール運動が大きくなるほど誤差も大きくなつた。傾斜補正した図9では、傾斜計から得られたピッチ・ロール角による補正効果が現れていた。図10のコース走行の場合、傾斜補正前は、ピッチ角度が大きいほど誤差が大きくなる傾向にあつた。しかし、図8の直線100m走行の場合と比べてロール方向の誤差の傾向に違いが見られた。直線100m走行の場合のように、同一方向に走行する場合はロール角の大きさに応じて誤差が大きくなる。一方、コース走行する場合は、ロール運動による誤差がランダムに生じる。そのため、誤差の傾向が異なつたと考えられた。図11に示すように、傾斜補正の結果、機体のピッチ・ロール角度に関わらず、いずれも平均的な誤差は0.1~0.15mと小さくなり補正の効果が見られた。しかし、傾斜補正を行つても、傾斜角度に関わらず最大の誤差は0.5m程あつた。コース走行の場合、光波儀でターゲットを視準していく時に、直線100m走行のように一定方向に光軸を移動させるのではなく、上下左右に光軸を振る場合が多い。したがつて、視準者が上下の動きに付いていなければ、ターゲット下部より上部を視準することが多くなり、傾斜補正を施したときに補正しきれないためであると考えた。

図12、図13に視準距離と位置認識の誤差との関係を示した。図12は走行速度1.5m/sの傾斜補正

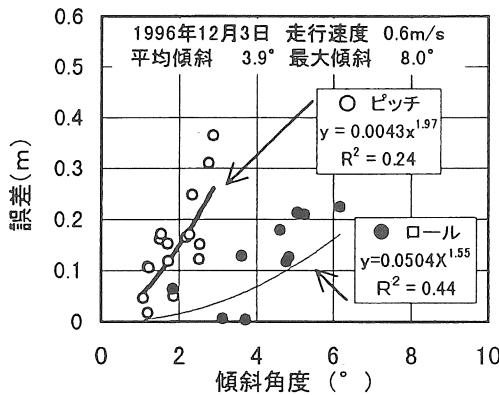


図8 傾斜角度に対する誤差  
(直線100m走行, 傾斜補正前)

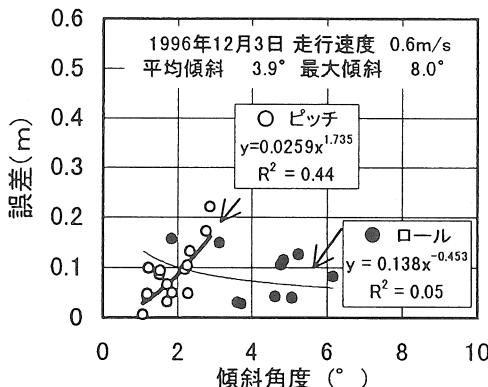


図9 傾斜角度に対する誤差  
(直線100m走行, 傾斜補正後)

前を、図13は傾斜補正後を示す。●印は位置認識誤差で、実線は回帰曲線である。誤差0.5mまでの範囲ではらついていたが、走行速度が大きいほど傾斜角度の小さい範囲での補正効果が大きかつた。

位置認識誤差に対して、機体の傾斜角度（ピッチ角・ロール角）と視準距離を説明変数とする重回帰分析を行った。その結果、誤差要因としてロール角の影響が大きいことが分かった。図10を見ると、ロール角度に関わらず平均0.1~0.2mの誤差が生じている。ロール角度による誤差の場合、トラクタのローリング運動とともに、傾斜角度に関わらず圃場の凹凸の影響を受けてターゲットが常に細かく振動していることが原因と考えられた。また、ピッチ角の変化がホイルベースの、ロール角の変化がトレッドの大きさに関係して、トラク

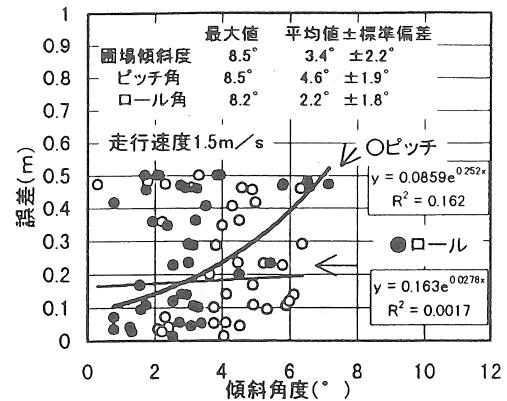


図10 傾斜角度に対する誤差  
(コース走行, 傾斜補正前)

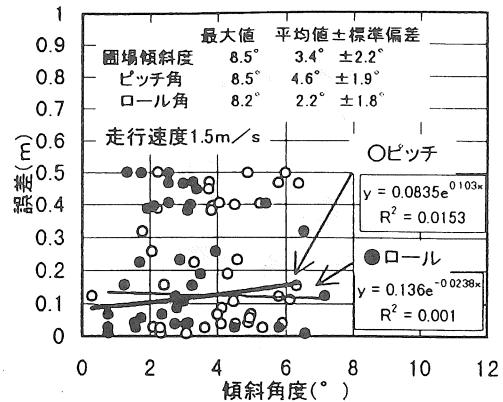


図11 傾斜角度に対する誤差  
(コース走行, 傾斜補正後)

タの場合、後者の影響が大きいことも推察できる。視準者にとって細かなターゲットの動きに追従することは最も困難なことである。

表1に、誤差の平均値と標準偏差を示した。第1報の実験結果<sup>1)</sup>と比べると、誤差の平均値と標準偏差ともに小さくなり、走行速度に関わらず、誤差の平均値は0.25m前後で、最大の場合でも0.50m以下であった。

## V. まとめ

2軸の傾斜計からの傾斜情報を基に、位置情報に傾斜補正を施した。光波測距測角儀を用いた本計測法の場合、光波儀の回転軸角速度が0.090rad/s以下であれば、最大8.5°の傾斜草地(3.4±2.2°)においても視準距離、傾斜角度に関係なく最大の位置認識誤差は0.5m以下であった。

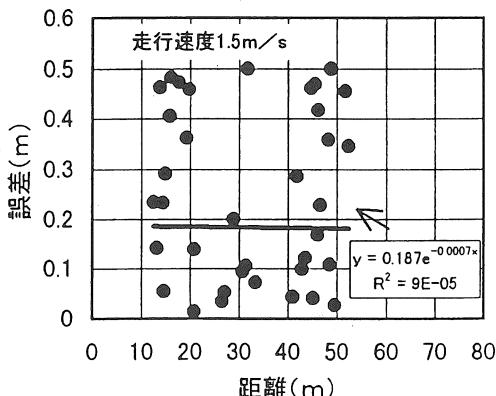


図12 距離と誤差との関係（傾斜補正前）

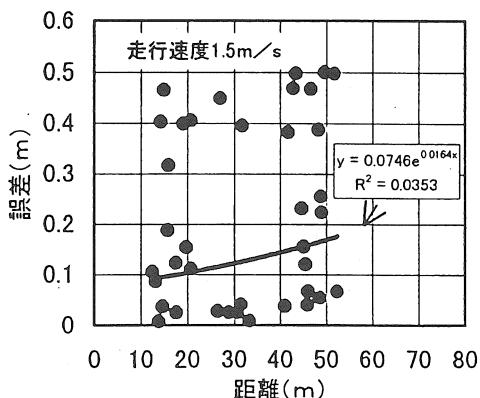


図13 距離と誤差との関係（傾斜補正後）

表1 反射ターゲット座標とピンポール座標間の誤差の平均値と標準偏差

|                         | 傾<br>斜<br>計<br>測 | 地<br>上<br>計<br>測       | 地<br>下<br>計<br>測 |
|-------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| 走行速度 (m/s)              | 0.86             | 1.00                   | 1.50             |
| ピンポール座標数                | 46               | 38                     | 39               |
| 誤差の平均値 ± 標準偏差 (m) (補正前) | 0.25 ± 0.18      | 0.24 ± 0.18            | 0.26 ± 0.17      |
| 誤差の平均値 ± 標準偏差 (m) (補正後) | 0.25 ± 0.18      | 0.23 ± 0.17            | 0.21 ± 0.17      |
| 圃場の傾斜度 (°)              | 最大値 7.7°         | 平均値 ± 標準偏差 3.3° ± 2.2° |                  |

## 謝 辞

本研究の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)08660314の補助金を受けた。株ソキアの笛木氏より、光波測距角儀の発光特性について助言を頂いた。また、研究室の専攻生井口・坂倉・古澤君には課題研究のテーマとしてご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 田中勝千, 本橋匱司, 高野剛, 石田頼子: 光

波測距角儀を用いたトラクタ走行軌跡の簡易計測法, 農業機械学会東北支部報, 44, 27~32, 1998

- 2) 田中勝千, 石田頼子, 本橋匱司, 高野剛: 光波測距角儀を用いたトラクタ走行軌跡の簡易計測法(第2報), 45, 農業機械学会東北支部報(投稿中)
- 3) SOKKIA : SET3A取り扱い説明書
- 4) 藤原祐一, 和田清人: 圃場面プロフィール測定に関する研究, 北里大学獣医畜産学部 課題研究, 1994

【読者コメント】光波測距角儀を用いた位置計測で、トラクタの傾斜情報をもとにした補正方法が研究されていますが、さらに精度を上げるためににはどのような点を考慮すべきと考えますか。

【著者回答】今回用いた傾斜計の精度は0.044°と高精度で、しかもサンプリング周期0.1 sです。光波測距角儀の出力周期が0.7 s程度ですから、これ以上傾斜計の精度を上げても効果は期待できないと思われます。精度を上げるためには、生の位置情報の精度を上げる必要があります。そのためには、手動式の光波測距角儀では限界があります。今後は自動追尾式の光波測距角儀を用いて位置の検出精度を高めて、位置情報を無線通信によって伝送し、トラクタを走行制御する方向で研究を進めていきたいと考えております。

# レーダ速度計を使用したトラクタの位置計測

—地磁気方位センサによる旋回角度補正—

高野 剛\*・本橋巖司\*・田中勝千\*・石田頼子\*

Positional Tractor Measurement Using Radar Speed Sensor

—Circuit angle revision with a geomagnetic direction sensor—

Takeshi TAKANO\*, Kuniji MOTOHASHI\*,  
Katsuyuki TANAKA\*, Yoriko ISHIDA\*

## Abstract

This report describes about the positional measurement using two radar doppler speed sensors for the tractor to automatically run at high-speed on grassland. As a result of this positional measurement, the error was found to be about 17m with a circuit angle error which was 25 degrees at 330m when the speed was 1.7m/s. Thus, using a magnetic directional sensor for the circuit angle revision, positional measurement error is decreased to about 1.7m, and the positional measurement accuracy was improved. Under other speed conditions, the positional measurement error is about 2.5m.

[Keywords] tractor, positional measurement, radar doppler speed sensor, magnetic directional sensor

## I. はじめに

草地での牧草収穫管理作業の自動化をめざしたトラクタの位置計測を行っている。近年、位置を検出する装置として、自動追尾型測距測角儀<sup>1)</sup>、GPS<sup>2) 3)</sup>等を使用した方法の報告がある。牧草刈取り等の作業を高速で自動走行を行う場合、計測周期が早く、時間遅れの少ない位置情報を得る必要がある。そこで内界センサ方式として、2つのドップラーレーダ速度計(以下、レーダ速度計)を用いた方法でのトラクタ位置計測を試みた。また、走行距離が増えることによって増大する位置計測誤差を減少させるために、比較的安価な地磁気方位センサを併用した位置計測も合わせて行った。

## II. 計測装置・計測システム

供試トラクタ(クボタKL-4212, 31kW)の後輪中心軸延長線上の左右にレーダ速度計(DEKKY-John社 検出速度範囲0.15~19.6m/s)を、また

座席後部にトラクタの姿勢角を測定するための3軸ダイナミカル傾斜計(データテック社 検出角度±60度、精度 $4.4 \times 10^{-2}$ 度)を設置した。地磁気方位センサはトラクタのフレーム等の鉄やコンピュータ等の電気機器による磁場ひずみの影響をなるべく受けないようにするために、トラクタの安全フレームに取り付けた天板に、アルミ製の取り付け台を固定し、その台上に水平に設置した(安全フレームから高さ約300mm)。走行試験を行う際、走行途中の位置計測誤差や旋回角度誤差を求め、また、磁気方位センサによる旋回角度補正のタイミングをとるために、走行経路上に設置したマーカを検出する光電スイッチをトラクタ左側に取り付けた。各計測装置の配置を図1に示す。

トラクタ左右に取り付けたレーダ速度計は検出速度に比例したパルス信号(約10(mm/s)/パルス)を出力する。それをユニバーサルカウンターボード(CONTEC社)で0.1s周期に取り込む。そ

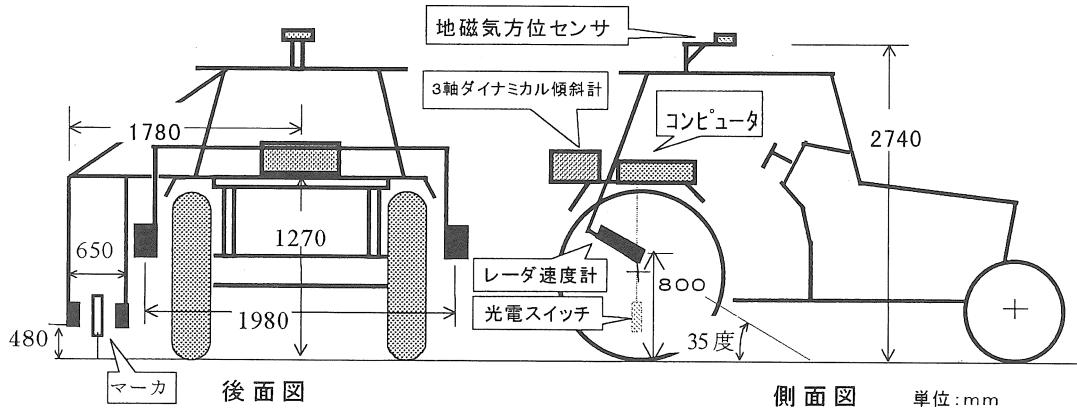


図1 計測装置配置図

のパルス数にあらかじめ求めた校正值 (10.266mm/s)/パルスを乗じて、左右各々の走行速度を算出する。トラクタの姿勢角を検出する3軸ダイナミカル傾斜計から出力される電圧信号は、A/Dボード (CONTEC社) で0.1s周期で計測した。地磁気方位センサ (PRECISION NAVIGATION社) は直交したX, Y, Zの3軸コイルで磁束密度を検出し、方位角度と3軸各々で検出した磁束密度を約2.5Hz周期にシリアルデータで出力する。このデータをRS232C回線で取り込んだ。光電スイッチ (オムロン社) は、パラレル入出力ボード (CONTEC社) に接続し、計測開始、終了を自動で行えるようにし、走行コース経路上に設置したマーカを電気的に検出できるようにした。後に走行途中の位置計測誤差、旋回角度誤差を求めたり、地磁気方位センサで旋回角度の補正を行うために、

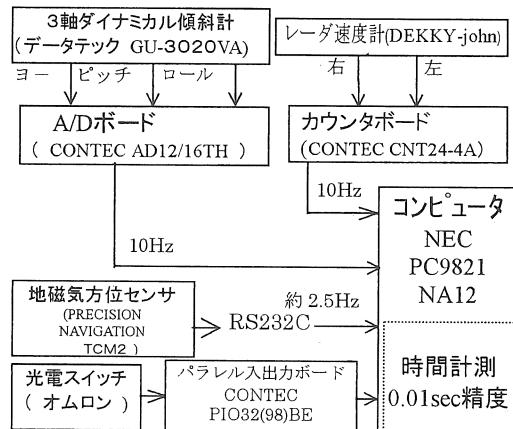


図2 計測システム

マーカ通過と地磁気方位センサのデータ取得時刻を0.01sec精度で計測した。これらのデータはトラクタに搭載したコンピュータ (NEC PC9821 NA12) で記録し、ファイルに保存して、後で処理できるようにした。計測プログラムはC言語とアセンブリ言語で作成した。計測システムを図2に示す。

### III. 位置計測方法

以下に示す式により、スタート点からの移動位

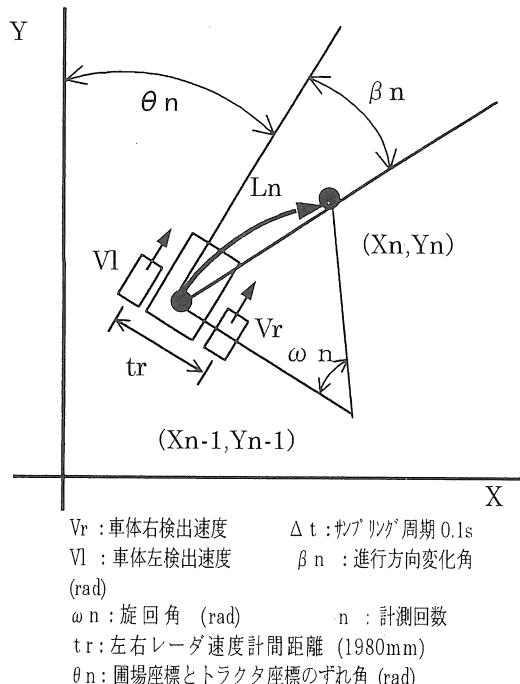


図3 位置計測方法

置を算出する（図3参照）。各サンプリング周期毎のレーダ速度計が測定した左右の速度から式(1)より進行距離 $L_n$ を求める。

$$L_n = \frac{(V_r + V_l)}{2} \times \Delta t \quad - (1)$$

そして旋回角( $\omega_n$ )を式(2)より求める。

$$\omega_n = \frac{(V_r - V_l) \times \Delta t}{2} \quad - (2)$$

また、式(3)～(6)より、現在の車両位置を推定する。

$$\beta_n = \frac{\omega_n}{2} \quad - (3)$$

$$\theta_n = \sum [\beta_n + \frac{\omega_{n-1}}{2}] \quad - (4)$$

$$X_n = X_{n-1} + L_n \times \sin(\theta_n) \quad - (5)$$

$$Y_n = Y_{n-1} + L_n \times \cos(\theta_n) \quad - (6)$$

本方式による位置計測精度は、特に旋回角を求める式(2)、検出速度 $V_r$ ,  $V_l$ の検出精度に大きく影響をうける。供試したレーダ速度計の検出分解能は約10 (mm/s) であるため、旋回角の検出精度は、1計測周期で0.58度と計算される。また、検出速度が0.15m/s以下やトラクタの横滑りが生じた場合、旋回角度の検出精度はさらに悪くなる。これらの原因による旋回角の誤差、位置計測誤差は避けることができない。

#### IV. 地磁気方位センサの校正と方位角算出

位置計測精度を向上させるためには、累積する旋回角度誤差を地磁気方位センサを用いて低減する必要がある。供試した地磁気方位センサは方位角度を出力する機能を有しているが、トラクタのフレーム等による磁場のひずみにより、正確な方位角度を出力しなかった。そこで以下に示す方法で地磁気方位センサの校正<sup>4) 5) 6)</sup>を行い、方位角を算出した。

まず走行コース付近でトラクタを低速で定常円旋回走行し、地磁気方位センサ水平面上のX軸コイル、Y軸コイルで地磁気の各々水平分力を連続的に測定する。その計測結果を図4に示す。X軸の磁束密度とY軸の磁束密度で示される磁束密度円は理想とする磁束密度円( $r = 29 \mu T$ )と比較すると、中心がずれて( $X = -7.78 \mu T$ ,  $Y = 3.17 \mu T$ )

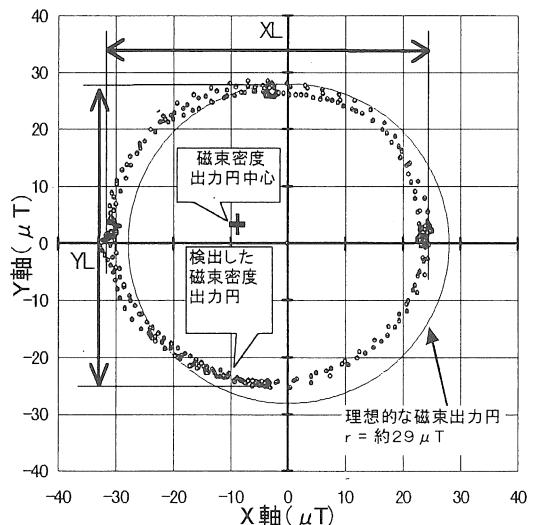


図4 2軸(X, Y)で検出した磁束密度円

( $\mu T$ )、形状が真円ではないことが分かる。これが正確な方位角度が算出できない原因である。そこで式(7), (8)により磁束密度円の中心 $X_o$ ,  $Y_o$ を求める。

$$X_o = X_{\max} + X_{\min} \quad - (7)$$

$$Y_o = Y_{\max} + Y_{\min} \quad - (8)$$

$\max$  : 磁束密度の最大値

$\min$  : 磁束密度の最小値

次に出力円のX軸方向の直径 $XL$ , Y軸方向の直径 $YL$ を求め、式(9), (10)により磁束密度出力円を真円に近似補正する。

$$X_c = (X_{org} - X_o) \times \frac{Y_L}{XL} \quad - (9)$$

$$Y_c = (Y_{org} - Y_o) \quad - (10)$$

$X_{org}$  : X軸検出磁束密度  $X_c$  : X軸補正磁束密度

$Y_{org}$  : Y軸検出磁束密度  $Y_c$  : Y軸補正磁束密度

補正処理後の $X_c$ ,  $Y_c$ の結果を図5に示す。

図5の結果から磁束密度出力円をほぼ真円に近似補正できたことが確認できた。補正を行った $X_c$ ,  $Y_c$ と式(11)により方位角 $\theta$ を算出する。

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{Y_c}{X_c} \right) \quad - (11)$$

ただし： $\phi > 0$ ,  $X_c > 0$ ならば  $\theta = 2\pi - \phi$

$\phi > 0$ ,  $X_c < 0$ ならば  $\theta = \pi - \phi$

$\phi < 0$ ,  $X_c > 0$ ならば  $\theta = -\phi$

$\phi < 0$ ,  $X_c < 0$ ならば  $\theta = \pi - \phi$

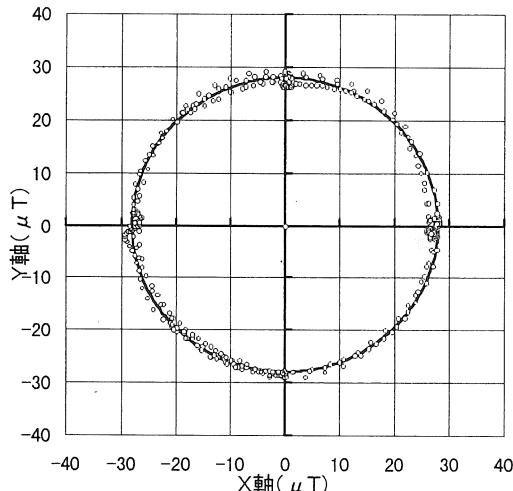


図5 補正後の磁束密度出力円

## V. 位置計測試験

牧草刈取り後の比較的平坦な草地にあらかじめ測量した20地点にマーカを設置した(図6参照)。コース中の10ヶ所には、地面にロープを張った直線走行区間を設けた(図6中のマーカ②-③区間、④-⑤区間・・)。それ以外の区間(10ヶ所)は自由走行区間とした。スタート地点5m手前から条件速度で助走し、スタート、ゴールのマーカ通過で計測開始終了が自動的に行われるようとした。運転手はマーカ番号順にトラクタを走行させ、マーカ通過時の時間は自動で計測された。走行速度は0.7, 0.9, 1.3, 1.7m/sの計4回走行した。走行距離は約330mである。計測したデータをファイル

に保存し、位置算出、旋回角度補正処理はオフラインで行った。位置計測誤差は、マーカ通過時刻の計測位置とマーカ設置点の位置から算出した。直線走行区間のコースはスタート時からの旋回角度0, 90, 180, 270, 360度に設定してあり、計測した旋回角度と比較して旋回角度誤差を求めた。

## VI. 結果と考察

図7は速度1.7m/s、レーダ速度計のみで行った計測結果である。走行距離が短いマーカ⑤地点(走離距離約56m)辺りまでは、設置したマーカ点と検出したマーカ点がほぼ一致している(位置計測誤差0.9m、角度誤差5度)。しかし、マーカ⑥地点からの走行軌跡は、実際の走行軌跡と比べ、部分的に形状が似ているが、累積した旋回角誤差により、角度、位置ともに誤差が増大し、ゴール地点で約17m(角度誤差25度)の位置計測誤差となつた。他の速度条件においてもほぼ同じような結果となつた。

本方式による位置計測誤差は、主に旋回角度誤差によって増大する。この旋回角度誤差は、直線、自由走行区間ともに生じていた。これはレーダ速度計の計測精度(旋回角度の計測精度0.58度/サンプリング)によるもの、トラクタのピッチ、ロール運動によってレーダ速度計の対地角度が変化し、速度検出誤差(対地角度変化1度に対して約1%誤差)が生じたことが主な原因と考えられた。特に後者のトラクタのロール、ピッチ運動に

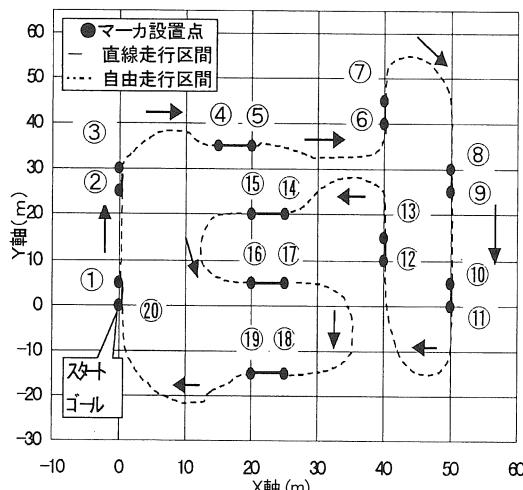


図6 走行試験マーカ設置、走行コース図

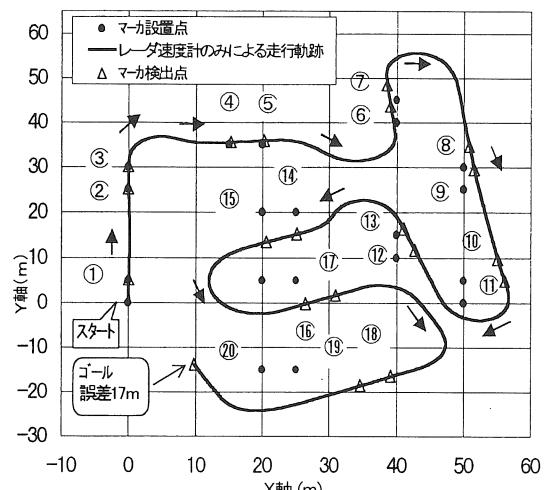


図7 レーダ速度計による位置計測結果

より検出速度誤差に対しては、様々な補正を試みたが効果的な方法を見つけることはできなかった。

そこで走行途中で地磁気方位センサから得られた方位角を用いて、旋回角度補正を行った。今回はオフライン処理のため、マーカ通過した時の旋回角をその時刻に得られた方位角データから算出した旋回角に置き換える方法で補正した。また地磁気方位センサは、トラクタのピッチ、ロール運動、磁場変動による方位角の変動が激しいため、各マーカ通過した時刻の過去0.8秒間の平均データを方位角として用いた。約330mのコース走行中に19回の旋回角の補正を行った。速度1.7m/sの位置計測結果を図8に示す。走行距離5~30m毎で角度補正をしたことになるが、計測した走行軌跡は、一部分を除いて実際のトラクタ走行軌跡とほぼ一致する結果となった。また位置計測誤差は、ゴール地点で17mから2mに、また走行区間平均の位置計測誤差も5.5mから1.1mに減少した。

各マーカ通過時の旋回角度誤差と位置計測誤差を補正を行った場合と行わない場合について、それ

ぞれ図9、図10に併記した。走行距離が増すにつれ增加する旋回角度誤差は、補正によりマーカ⑭点を除いてほぼ5度以内であった。また位置計測誤差も2.5m以内であり、地磁気方位センサによる位置計測精度の向上が確認できた。他の速度条

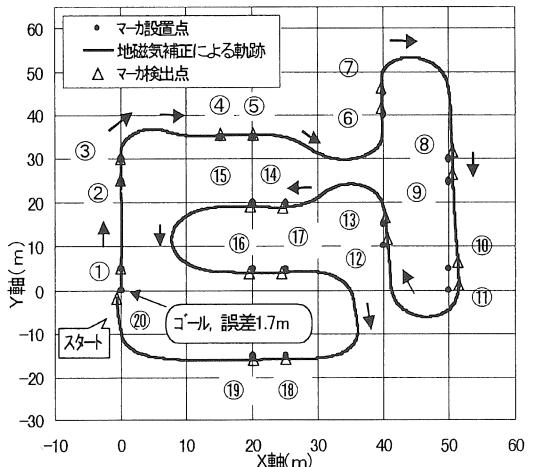


図8 地磁気方位センサー補正による位置計測結果

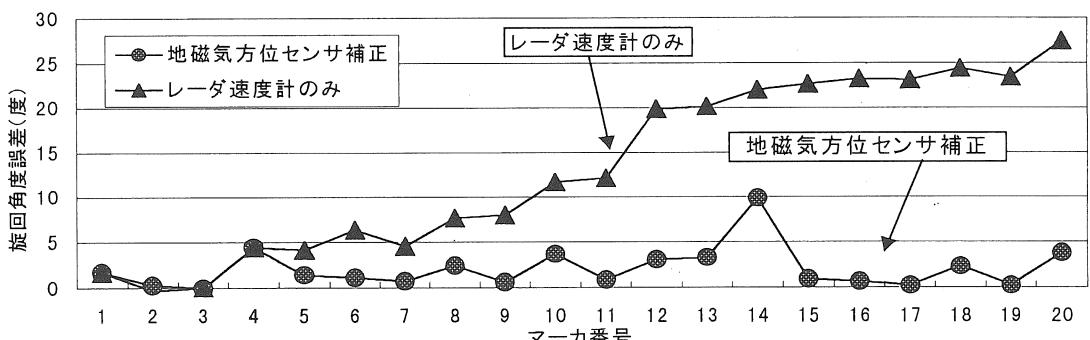


図9 マーカ通過時の旋回角度誤差

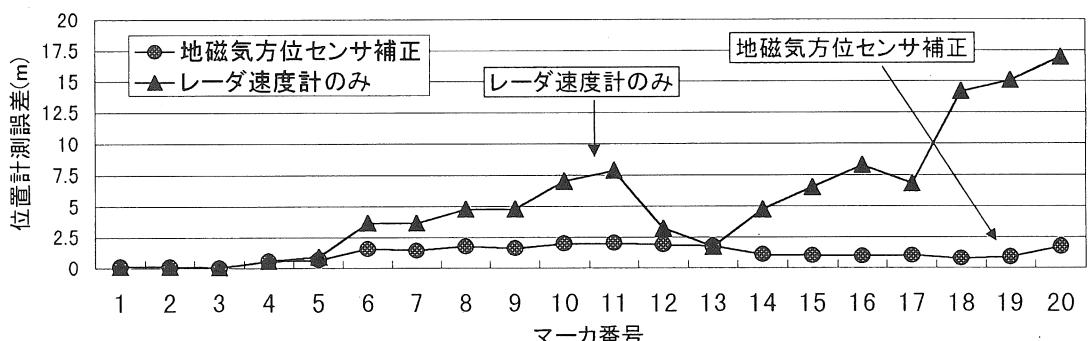


図10 マーカ通過時の位置計測誤差

件でも最大2.5m程度の誤差であった。

1997

## VII.まとめと今後の課題

草地での高速の自動走行を目的としたレーダ速度計による位置計測方法について検討した。レーダ速度計のみでの位置計測は、走行330m地点で位置計測誤差17m、旋回角度誤差25度の結果となつた（速度1.7m/s）。位置計測精度を向上させるために5～30m毎に地磁気方位センサによる旋回角度補正を行つた。その結果、走行距離330m地点での位置計測誤差が1.7mとなり、位置計測精度の向上が確認できた。

今後は

1. 旋回角度補正のリアルタイム処理
2. 傾斜地走行時での地磁気方位センサの傾斜補正
3. 長距離を高精度で位置計測を行うためにGPS、自動追尾型光波測距測角儀等の外部情報による位置補正

以上3点の処理を位置計測システムに加える必要がある。

## 参考文献

- 1) 行本修, 両尾陽介, 野口伸, 鈴木正肚：耕うんロボットシステムの開発（第1報）農業機械学会誌60(3)37～44, 1998
- 2) 岩崎浩一, 宮部芳照, 池原健一：GPSを用いたトラクタの走行制御に関する研究, 農業機械学会 第57回大会講演要旨13～14
- 3) 井上慶一, 大塚寛治, 杉本光穂, 村上則幸：GPSと光ファイバージャイロを用いた適応型トラクタによるロータリ耕うん, 防除業の自動化, 農業機械学会 第57回大会講演要旨325～326
- 4) 行本修, 松尾陽介：磁場センシングとその応用, 農業機械学会誌58(5)：93～98, 1996
- 5) 中島健一郎, 寺尾日出男, 野口伸：航法用地磁気方位センサの高精度補正法（第1報）農業機械学会誌 59(1)49～58, 1997
- 6) N.Noguchi, K..Ishii, H.Terao: Development of an Agricultural Mobile Robot using a Geomagnetic Direction Sensor and Image Sensors, Journal of Agricultural Engineering Research 67, 1～15,

## [閲読者コメント]

レーダ速度計による位置計測において、オフラインながら地磁気方位センサによる補正が有効なことを示された点で有意義だと思います。リアルタイムで処理する場合の課題についてはどうですか。

## [著者回答]

まず、事前に走行する場所で全方位の磁束密度を計測して、方位角度の補正式を算出しておくことにより、正確な方位角度をリアルタイムに得ることができます。その方位角度で旋回角度の補正を走行中に行うには、次の点に課題があります。

現段階では、地磁気方位センサに過去0.8秒間の移動平均処理をしている都合上、トラクタが連続して一定の方向に向かっている走行状態、つまり直線走行時の旋回角度補正が可能となります。そのため、旋回角度の補正を一定の時間、もしくは距離間隔で行う場合、その時のトラクタ走行状態も考慮する必要があります。

# 草地におけるプリシジョンファーミング（第1報）

— 土壤中の硝酸態窒素濃度および pH と牧草収量との関係 —

田中勝千\*・本橋匂司\*・高野剛\*・石田頼子\*

Precision Farming of Grassland (I)

— The Dependence of Pasture Yield on Nitrate Nitrogen Concentration and pH of Grassland Soil —

Katsuyuki TANAKA\*, Kuniji MOTOHASHI\*  
Takeshi TAKANO\*, Yoriko ISHIDA\*,

## Abstract

This study investigates the applicability of the precision farming of grassland. The yield of grass was determined in relation to the concentration of nitrate nitrogen and the soil pH for individual plots of grassland to establish a field information system for all the grassland. The coefficient of correlation between nitrate nitrogen concentration and pasture yield was low. In the case of soil with a depth of 10 to 20 cm, nitrate nitrogen concentration was an average of 10 mg/l, which is little compared with the surface area. On the other hand, there was wide distribution of nitrate nitrogen concentration 5-cm beneath the surface that ranged from 10 to 55 mg/l. Therefore, taking the change in the physics and chemistry of the surface, provides the possibility that the fertilization quantity necessary for the soil can be found and that the appropriate management information can be provided.

[Keywords] precision farming, pasture, grass yield, nitrate nitrogen, pH

## I. はじめに

近年、欧米を中心にプリシジョンファーミング (Precision Farming 精密圃場管理) が提唱されてきた<sup>1, 2)</sup>。稲作中心のわが国では、個々の農家が一枚の水田を精密に管理していく、その是非を問う意見もあるが、一部の研究機関ではすでに研究対象として取りあげている<sup>3, 4)</sup>。プリシジョンファーミングの利点は、効率的作業による投入コストの低減効果が高いことにあり、大規模農業ほどその効果が大きくなる。そこで本研究では、草地を対象にプリシジョンファーミングの適用可能性を明らかにすることを目的とした。プリシジョンファーミングはFIS (Field Information System), GPS (Global Positioning System), 適応制御農業機械および圃場条件センサの4つのシステムから構成される<sup>5)</sup>。本報では、草地のFISを構築するための基礎データとして、土壤中の硝酸態窒

素濃度および pH と牧草収量との関係について検討した。

## II. 調査方法

### (1) 牧草乾物重量

イタリアンライグラスを主体とする本学付属農場採草地に、長辺50m、短辺28mの試験区を設けた。傾斜地用のトラクタ (AEKI TT33) にフロントドラムモードを装着して、1998年5月25日に1番草を刈取った。平均刈り幅1.4mのウインドロードが20列できた。1.4m×2.0mを小区として、小区毎の生草重量を測定した。また、各小区より少量の牧草を持ち帰り含水率を求め、各小区毎に牧草乾物重量を求めた。

### (2) 土壤中の硝酸態窒素濃度と pH

内径2.4cmのルートオーガ (Daiki DIK-1645) を用いて、草地表面下10~20cmの土壤を各小区

毎に3ヶ所から採取し、これを混合してその小区の試料とした。また、第7列目では硝酸態窒素濃度とpHの垂直分布を知るために、草地表面から5cm毎に、深さ20cmまで土壤を採取した。採取した土壤中の硝酸態窒素濃度とpHは、土壤挿入式の硝酸イオンメーター（藤原製作所NOS-120）とpHメーター（藤原製作所PHS-120）を用いて測定した。

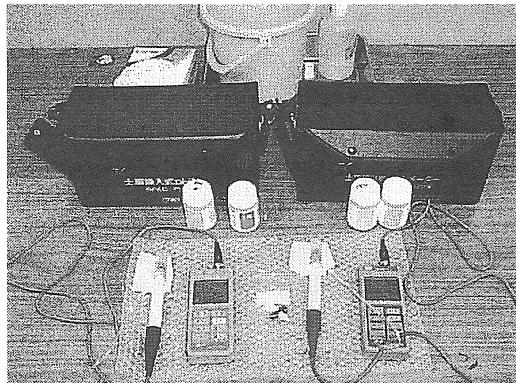


図1 測定機器



図2 調査風景（小区毎の集草）

### III. 結果と考察

作図には長辺50m、短辺9.8mから採取した175個のデータを用いた。硝酸態窒素濃度とpHおよび牧草乾物重量の平均値と標準偏差（変動係数）は、それぞれ $10.1 \pm 4.7$  (47%) mg/ $\mu$ l、 $5.8 \pm 0.28$  (4.7%)、 $1.05 \pm 0.37$  (35%) kgwであった。

#### (1) 硝酸態窒素濃度および土壤pHと牧草乾物重量との関係

図3に硝酸態窒素濃度と牧草乾物重量との関係を、図4に土壤pHと牧草乾物重量との関係を示した。図中の直線は回帰線で相関係数の検定から

前者では5%の、後者では0.1%の危険率で、いずれも有意であった。土壤の地力は硝酸態窒素の含量で代表できるとされているが、図3中に示した決定係数から、地表面下10~20cm深さの土壤中の窒素イオン濃度と、牧草乾物重量との間にはほとんど相関が見られないと判断された。しかし、場所（列）によって高い相関が見られる場合 ( $R^2 = 0.68$ ) があり、実際の植生の調査等を含めた検討が必要と思われた。

草地開発事業計画設計基準<sup>6)</sup>によると、集約的草地（人工草地）造成時の土壤酸性度の目標基準はpH6.5である。175個のデータの内、この基準を満たしたのは2個であった。青森県農業試験場が4年毎に県内各地の代表的な30草地の土壤特性調査を実施していて、その平均値はpH5.5であった<sup>7)</sup>。また、昭和30年代前半に実施された75牧野の平均値はpH5.4<sup>8)</sup>であった。これらの調査結果と比較すると、調査地点の土壤の平均pH5.8は良好な状態にあるといえる。草地土壤は一般的畠地と異なり、草地造成後に再度更新されるまで、表層土が耕起されることはない。牧草を定着させ、安定して一定の収量を得るための土壤改良資材として、石灰とリン酸があげられる。いずれも、造成後に表面散布してもそれほど効果はない<sup>9)</sup>。現時点での収量は、土壤改良資材が造成時に均質に混和されているとして、最も変化が大きく比較的検出しやすい硝酸態窒素濃度に注目した。今後、FISを構築する上で土壤中のリン酸含有量の調査は必要である。

収量(yield)を目的変数にとり、硝酸態窒素濃度( $\text{NO}_3\text{-N}$ )とpHを説明変数として重回帰分析を行った。土壤のpHは硝酸態窒素濃度に比べて牧草乾物重量への寄与率は高かった( $\alpha < 0.01$ )。

$$\text{yield} = 0.0062 \text{ NO}_3\text{-N} + 0.35 \text{ pH} - 1.0$$

(kgw in dry matter)

#### (2) サンプリング深さと硝酸態窒素濃度との関係

図5に硝酸態窒素濃度の垂直分布を示した。図中の実線は、各層毎の平均値を結んだものである。明らかに、深さ5cmまでの表層の濃度が著しく高く、また、10~55mg/ $\mu$ lとばらつきが大きかった。土壤表面下5cmより深い場合、濃度は10mg/ $\mu$ l程度でほとんど変わらず、ばらつきも小さかった。

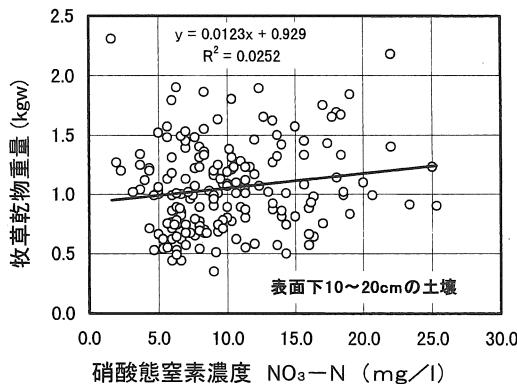


図3 硝酸態窒素と牧草乾物重量との関係

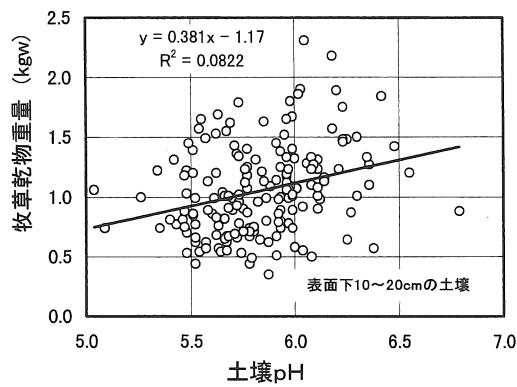


図4 土壤pHと牧草乾物重量との関係

## (3) サンプリング深さと土壤pHとの関係

図6に土壤pHの垂直分布を示した。図5と同様、実線は各層毎の平均値を結んだものである。土壤表面下15cmまでの土壤pHは、高くなる傾向にあった。しかし、表面下10~20cm層の土壤pHは、硝酸態窒素濃度の場合と同様にほとんど変わらなかった。

今回掲載しなかったが、表面下10~20cm層の土壤水分は、硝酸態窒素濃度と土壤pHよりもばらつきが小さかった(35~40% d.b.)。前述したように、草地土壤は一般的の畑地と異なり、草地造成後に再度更新されるまで、表層土が耕起されることはない。したがって、供試は場の表面下10~20cm層の土壤は、土壤の理化学性に大差はないものと考えられた。一方、草地表面下わずか5cm深までの表層は施肥管理の作用を受け、とくに硝酸態窒素の含量は明らかに表層で高くなっていることが分かる。硝酸態窒素濃度と土壤pHとの関

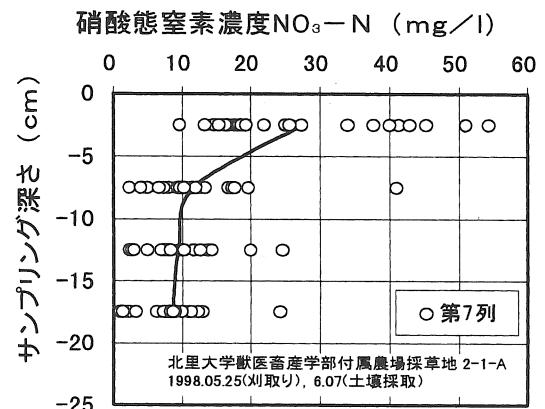


図5 サンプリング深さと硝酸態窒素との関係

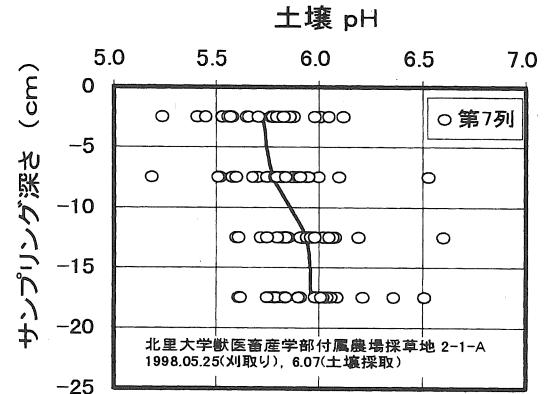


図6 サンプリング深さと土壤pHとの関係

係は、連動しているかもしれない。栄養素として窒素を含む化学肥料を施用すれば、水素イオンを供給することになるから、土壤pHを下げる方向に作用する。図5と図6の傾向はそのことを示している可能性がある。また、硝酸態窒素濃度とpHの垂直分布から、草地土壤の理化学性は表層にダイナミックに現れると予想される。したがって、ここに土壤養分測定装置を設置して定点観測を行えば、時空間変動を捉えることができると言えられる。

図7に草地土壤の硝酸態窒素濃度の水平分布を示した。メッシュの交点は、小区の中心座標である。硝酸態窒素濃度は3点の平均値を用いているが、区によって、相当ばらつきが大きいことが分かる。

## IV. まとめ

草地のFISを構築するための基礎データを得る

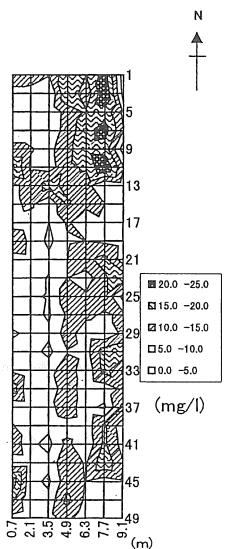


図7 草地土壌の硝酸態窒素濃度の水平分布

ために、採草地に試験区を設け、1番草の収量と同地点の深さ10~20cm深の土壌を採取し、硝酸態窒素濃度とpHを測定した。収量に最も関係すると思われた硝酸態窒素濃度と収量との相関は低く、この層の土壌の理化学性もほとんど変化がないと思われた。同じ草地土壌の垂直分布を調べた結果わずか5cm深までの表層に下層より多くの硝酸態窒素が分布していた。したがって、この表層の理化学性にねらいを定めれば、草地土壌の理化学性の時空間変動を捉えることができると推察された。同時に施肥量と牧草の栄養分吸収量を測定することによって、適切な施肥管理に繋げることができ、草地環境に与える負荷を軽減する手段の一つになり得ると考えられた。

#### 謝 辞

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)10660245の補助を受けた。草地土壌のサンプリング法および分析法について本学草地環境保全学講座のご助言をいただいた。また、研究室の専攻生手塚・塙本・横山君には課題研究のテーマとしてご協力いただいた。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 渋澤栄：プレシジョンファーミングと日本農業、機械化農業、1, 35~38, 1998

- 2) R.J. PALMER, S.K.MATHESON : IMPACT OF NAVIGATION ON FARMING, ASAE Paper No.88-1602, 1988
- 3) 松尾陽介：農業機械・作業の情報化、機械化農業, 1, 27~30, 1997
- 4) 柴田洋一：北海道におけるPrecision Agriculture, 農業機械学会北海道支部報, 37, 58-71, 1997
- 5) 谷脇憲：プレシジョンファーミングにおけるG P S の利用、計測と制御, 36(8), 559~561, 1997
- 6) 農林水産省：草地開発事業計画設計基準
- 7) 杉山修一・野村忠弘：青森県公共草地の歴史的変遷、第12回東北草地研究会シンポジウム要旨集11~15, 1998
- 8) 牧野土壤調査成績報告書 昭和33~35年度、青森県畜産試験場
- 9) 赤塚恵：草地造成と土壤改良、畑地農業, 414, 32~37, 1976

「**読者コメント**」精密な圃場管理を目指して硝酸態窒素濃度のマッピングに取り組まれております。しかし、図3や図4に関しては、著者は有意な関係が得られたと記述しておりますがデータをみると殆ど無関係に近く、利用価値があまりないよう見受けられます。今後どのようにこの研究を展開されるのでしょうか。

「**著者回答**」図3と図4ともデータ数が多いので相関係数は有意となりました。しかし、ご指摘のように、図3からすると牧草収量に関して硝酸態窒素濃度に注目しても意味がありません。ただ、この図に用いた土壌の採取深さは、表面下10~20cmです。一方、図5で明らかにされたように表層の濃度が、その場所の硝酸態窒素濃度を代表する可能性があります。現在、表層の硝酸態窒素濃度と収量との関係は未検討です。また、草地土壌の理化学性と牧草中に吸収された栄養分を分析することによって、適切な施肥管理が可能となります。そのため、表層に定点観測用の土壤養分計測装置を設置する予定です。

# 圃場における画像撮影環境と画像の濃度分布について(第2報)

— 小区画実験水田における撮影面積と濃度分布 —

小林由喜也\*, 嶋田 浩\*

The Luminance Distribution of RGB-image under Various Field Conditions (Part 2)  
—The Luminance Distribution Dependence on Monitoring Area in a Small Scale Paddy Field—

Yukiya KOBAYASHI\* and Hiroshi SHIMADA\*

## Abstract

We examined the relationship between RGB-image luminance distribution and monitoring area to establish image processing method for the observation of rice plants growing stage in an experimental paddy field. The results obtained are as follows: 1) in case of observation on  $3.3\text{m}^2$  area (60 stumps), the distribution of RGB-image differentiated depending on parts of image screen, because RGB-image distribution varied in a part by the scattering of solar rays etc.; 2) contrary to this relatively wide area's observation, there was no significant luminance distribution among parts of image screen in cases of observation on small area ( $24\text{ stumps}/1.2\text{m}^2$  and  $12\text{ stumps}/0.6\text{m}^2$ ); 3) examined on difference of RGB-value and ratio of RGB-value, it was indicated that ratio of RGB-value was identical, although monitoring area was changed. On the bases of this experiment, mutual relationship among R-value, G-value and B-value is going to be investigated to clarify the reason why the RGB-value ratio is not affected by the monitoring area.

[キーワード] 画像処理, RGB濃度分布, 水稻, 圃場モニタリングシステム

## 1. はじめに

圃場における作物の生育過程を監視・追跡する画像処理手法を開発するため、小区画の実験水田の平面画像を継続して取得し、画像の濃度分布を調査している。第1報<sup>1)</sup>では生育中のさまざまなお撮影環境下の画像について、画像全体、水面、稲体、陰影部のR G B濃度分布およびR G B濃度比画像の濃度分布の特徴を報告した。本報では、生育の追跡に必要な株数に関する撮影面積と画像濃度分布の特徴について報告する。作物の生育を追跡する場合、どの程度の株数を調査するかは重要な問題であるが、本研究では草丈・茎数などの生育状況のほか、病害虫など現状では

人が近距離から観察している比較的細かい情報を得るためのシステムを想定している。

## 2. 実験方法

供試圃場、画像処理装置および撮影環境条件等の実験方法は第1報と同様である。撮影面積(株数)は① $3.3\text{m}^2$ (約60株), ② $1.2\text{m}^2$ (約24株), ③ $0.6\text{m}^2$ (約12株)の3通りとした。撮影面積と濃度分布の関係を検討するため、60株と24株の画像では、③の12株を撮影した範囲と同じ範囲を正確に抽出して濃度計測を行った。

カラー画像の濃度分布の表示方法には、R G B濃度表示、表色系表示、色差表示などがあるが<sup>2, 3, 4)</sup>,

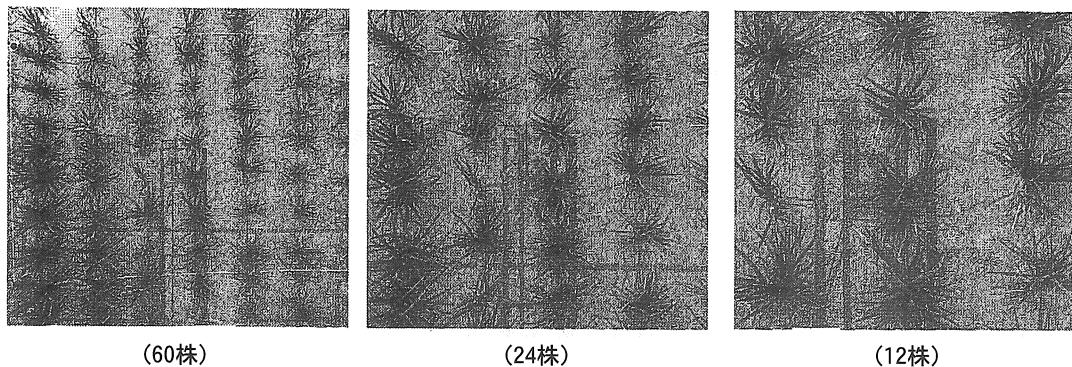


図1 撮影面積を変えた場合の入力画像例 (撮影日時: 7月10日, 正午)

第1報と同様に本報でもR G B濃度画像およびRG B濃度差・濃度比画像を対象とした。

### 3. 結果と考察

#### 1) 撮影面積と部分画像の濃度分布

図1は7月10日(晴れ)の正午の入力画像例である。撮影面積が比較的大きい60株を撮影した例を見ると、一部に太陽光の反射があるほか、生育の良好な部分に影ができるなど画像の範囲によって濃度にむらがある。図2は撮影株数の異なる各画面を4等分した場合の部分画像のR画像の濃度分布例である。いずれも水面部分の濃度値の平均は最も度数の高い120~130附近にあり、稲体の平均濃度値は50前後であった。(Part番号1~4は各々画像の左上、右上、左下、右下を指す)。ここで、60株を撮影することは、いわゆる「坪刈り面積」に相当するが、図2-aのように広い撮影面積の場合は画像の範囲によって分布が異なり、この傾向はG、B画像についても同様であった。

画像の範囲によって濃度分布が変ることが、稲体抽出にどのように影響するかを検討するため、第1報で述べたように稲体抽出に有効なRG濃度差画像(図3)の濃度分布を調べた。部分画像の濃度分布は図4に示すように、60株の場合は24株、12株に比べて4つの各部分の分布形状が大きく異なった。図の例では水面部のRG濃度差が15~35の範囲分布し、稲体部のRG濃度差は40~50に分布した。これらを判別分析法で2値化した結果、60株の画像は分割処理が必要であったが、24株と12株の場合は画面全体を一括処理しても稲体抽出

が可能と考えられた。

以上のように、生育監視に適当と考えられる60株程度の撮影面積であっても、場合によっては分割して画像処理が必要なことから、モニタリング

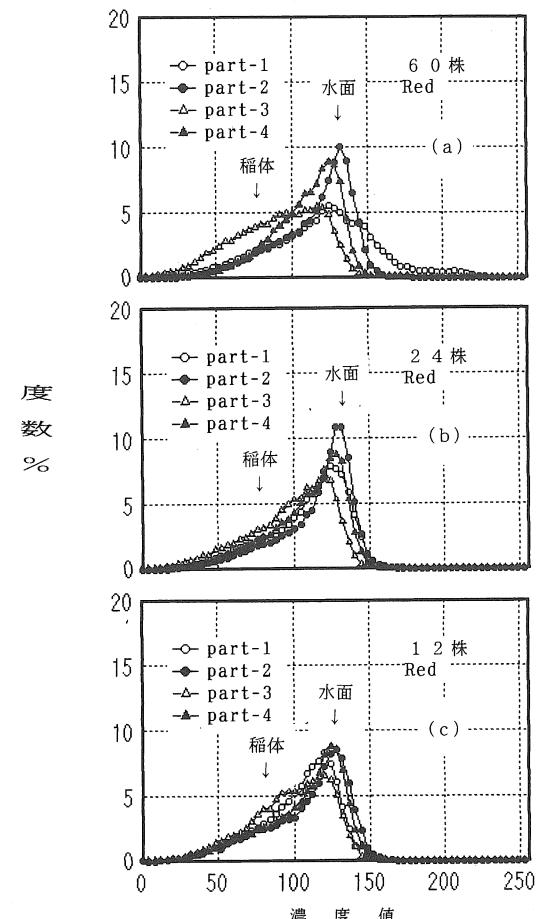


図2 撮影面積を変えた場合の部分画像のRG B濃度分布例

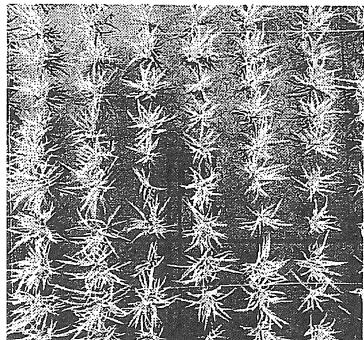


図3 ABS (R-G) 濃度差画像<sup>1)</sup>（撮影株数60株）  
注) 印刷のため分布関数均一化処理した。

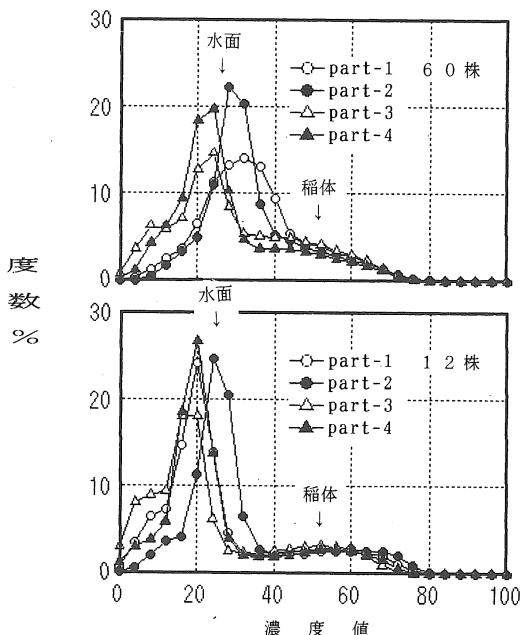


図4 R G 濃度差画像の部分画像の濃度分布例

システムの開発に当たっては、例えば、20~30株程度を複数取得する方法の採用も考慮に入れる必要があると考えられる。

## 2) 撮影面積を変えた場合のR G B画像の濃度分布

撮影面積の大小がR G B濃度分布に影響するかどうかを検討するに当たって、次のような点を念頭においた。①露出やホワイトバランスにカメラの自動調節機構を利用しているため、撮影時の天候などの全体的な光条件のほかに、前項で述べたように撮影面積が大きい場合は太陽の反射光が視野に入ることなどの影響が考えられること。②作物の生育むら等があり撮影面積によって被写体そのものが異なるため濃度分布も変わり得ること。

例えば撮影面積を小さくすると撮影器材の反写像の占める比率が増すことなどである。③撮影面積によってカメラの解像度が変わるために、撮影面積が大きい時ほど平均化された画像が得られると思定される。ちなみに、撮影株数が60, 24, 12の場合の理論上の分解能は1画素当たり各々3.8mm, 2.3mm, 1.8mmである。

これら要因の画像濃度分布への影響を正確に把握するためには、撮影条件を制御した室内等での実験が必要であるが、今回の調査は実際の圃場での課題や傾向を探ることにあることから、②については撮影面積を変えた場合でも、同一範囲の画像を調査することで濃度分布への影響はほぼ無視できると考え、60株と24株の画像について12株を撮影した画像と同一範囲を正確に抜出して調査した。したがって、今回の調査結果は①と③の総合的な影響と考えられる。

図5は、作物の生育期間中に出現が予想される撮影環境下での濃度分布例（R画像）である。特徴的な点を述べると、晴れた日の画像では撮影面積によって濃度分布が大きく変わらない結果であったが、陰影の多い画像、一部の土壌面が露出している落水時の画像では、撮影株数が60株の場合にR G B画像とも濃度分布が24株、12株の時と若干異なる。いずれの場合も、影部が濃度値40前後に多く分布し、稲体の濃度値が100前後、水面部が140前後と2峰性を示し、晴れの日とは分布形状が大きく異なる。図示した以外の画像についても検討したが、全体的な傾向として、12株と24株を撮影した場合の濃度分布は両者ほとんど同様であるが、60株の場合はR G Bともに分布域が異なる傾向にあった。また、高濃度部と低濃度部のどちら変化するかについては、撮影環境条件で変化するが、同一条件下ではR G B画像とも同じ領域へ変化した。

## 3) 撮影面積を変えた場合のR G B濃度差・濃度比画像の濃度分布

第1報で述べたように、R G B濃度差・濃度比画像は稲体の抽出に有効であると考えられること

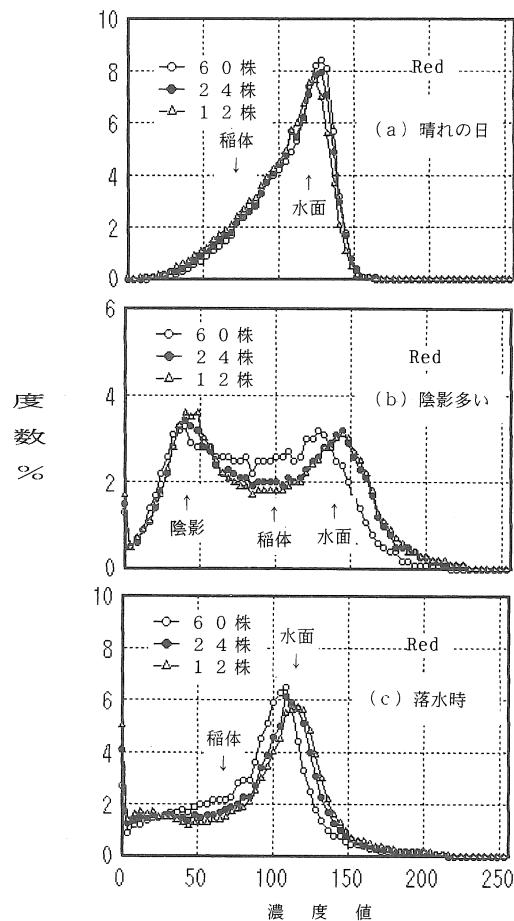


図5 撮影面積とRGB濃度分布例

から、撮影面積と濃度分布の関係について調査した。図6、図7は図5に示した画像のABS(R-G)濃度差画像およびR×70/G濃度比画像の例である。ここでも、60株と24株の場合の分布計測範囲は12株撮影した範囲と全く同じである。

晴れの日の例(図6-a)では図5のRGB画像と同様に、12株、24株を撮影したRG濃度差画像の濃度分布はほとんど同じであるが、60株撮影した画像の分布は若干異なる。しかし、RG濃度比(図7-a)は3者ともほとんど同じでしかも2峰性が顕著であり、RGB濃度分布のように撮影面積の大小で異なることはなかった。一方、陰影のある画像と落水時の画像の場合は、濃度差・濃度比画像とも60株と24株を撮影した画像の濃度分布がほぼ一致し、逆に12株と少ない場合に分布が異なった。

以上のようにRG濃度差・濃度比画像の濃度分布と撮影面積との関係は、RG濃度とは異なる様相をみせるが、今回はその理由までは明らか

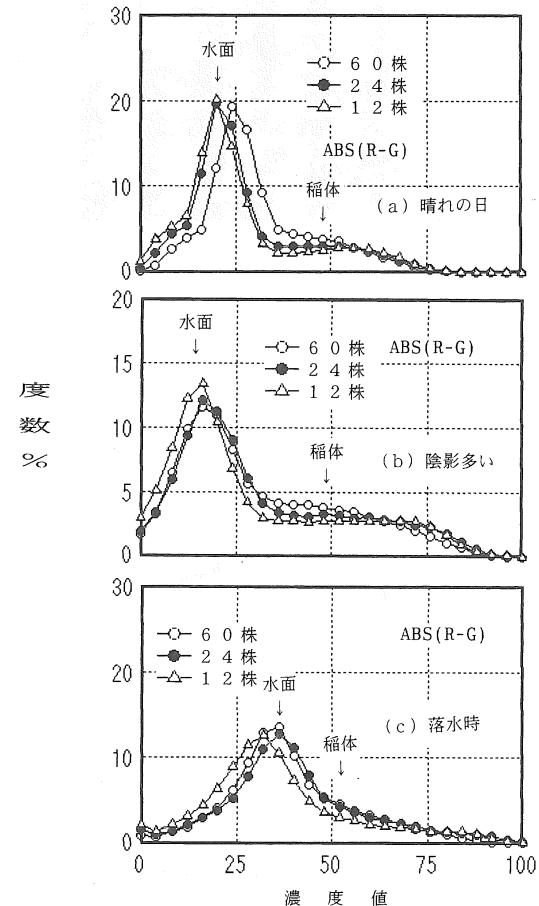


図6 撮影面積とRG濃度差画像の濃度分布

にできなかった。今後の課題として、各画像毎のRG濃度の相互関係の詳細な検討すること必要と考えられるので、別の機会に報告したい。

#### 4) 撮影面積による画像濃度分布の違いを前提とした場合の稲体認識誤差

図6、図7に示した中で比較的2峰性の高い4例の濃度差・濃度比画像から、12株の撮影面積に相当する範囲の稲体と水面の平面投影面積率(2値化画像の白黒比)を求め、稲体認識誤差について若干の検討を試みた。

図8と表1に2値化画像例と稲体の平面投影面積率を示した。撮影株数が少ない場合に若干稲体の平面投影面積率が小さくなる傾向は見られる。

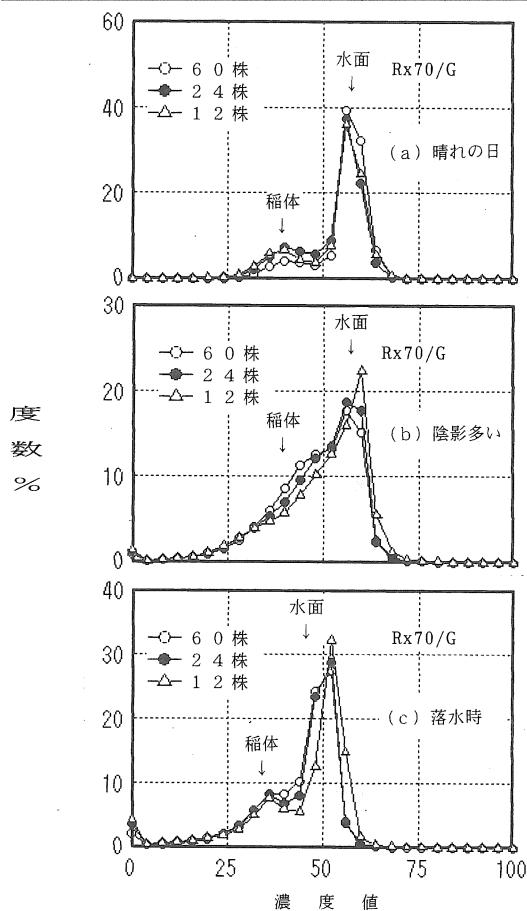


図7 撮影面積とRG濃度比画像の濃度分布

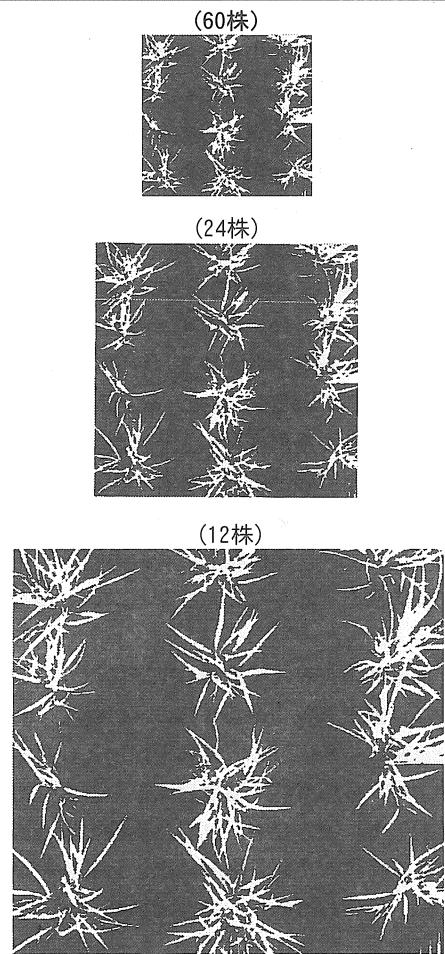


図8 撮影面積別のRG濃度比画像の2値化画像

表1 撮影面積と稲体の平面投影面積率の計測例

| 画像の撮影条件 | 画像演算処理方法 | 稲体面積率(%) |      |      |
|---------|----------|----------|------|------|
|         |          | 60株      | 24株  | 12株  |
| 晴れの日    | ABS(R-G) | 26.5     | 23.3 | 21.4 |
| 晴れの日    | R×70/G   | 24.5     | 24.8 | 23.5 |
| 陰影が多い   | ABS(R-G) | 31.3     | 31.6 | 30.0 |
| 落水時     | R×70/G   | 30.1     | 27.8 | 23.1 |

(表1の晴れの日のR×70/G画像の例、入力画像は図1と同じで、図7に示した濃度比分布について、しきい値47附近で2値化したものである。)

しかし、前項で述べたように撮影株数によって画像濃度分布が若干異なることを前提とした場合でも、稲体の平面投影面積率の認識精度は比較的良好であった。特に晴れの日のR×70/G濃度比画像（7月10日）および陰影の多い画像（7月19日）では60株と12株撮影時の差は4%～5%程度であった。ただし、第1報で述べたようにRG濃度比等の画像であっても単純な2値化では稲体の抽出が困難な落水時については、ノイズ処理等の前処理方法を確立した上で、撮影株数との関係を検討する必要があると考えられた。

#### 4. 摘 要

圃場における作物の生育過程を監視・追跡する画像処理手法を開発するため、小区画の実験水田を供試して生育の監視に必要な株数に関係する撮影面積と画像濃度分布の特徴について調査し、次のような知見を得た。

1) 撮影面積が $3.3m^2$ （約60株）、 $1.2m^2$ （約24株）、 $0.6m^2$ （約12株）の画像を4等分した部分画像のRG B濃度分布、RG濃度差・濃度比画像の濃度分布を調べた結果、いわゆる「坪刈り面積」相当の60株程度の撮影面積であっても、撮影条件によっては各部分毎の濃度分布が大きく異なり、画面全体を同一手法で画像処理できない可能性が示された。したがって、モニタリングシステムの開発に当たっては、20～30株程度の画像を複数箇所で取得する方法も考慮しなければならないと考えられた。

2) 撮影面積を変えて取得した画像について、最も少ない撮影株数である12株の撮影範囲と同一範囲を正確に抜き出して、撮影面積とRG B濃度分布およびRG濃度差・濃度比画像の濃度分布を比較検討した。その結果、RG B画像の場合は12株と24株の両者のRG B濃度はほとんど分布が一致したが、60株を撮影した場合は異なった。また、RG濃度差・濃度比画像では、RG B画像では明らかに分布に違いが見られる画像であっても、RG濃度差・濃度比の濃度分布は一致するか、またはRG B画像とは逆に撮影株数が12株と少ない場合に分布が変わることもあった。今回の報告では、その理由を明らかにすることはできなかったが、今後画像毎のRG B濃度の相互関係の検討も必要と考えられた。

3) 判別分析法によって12株が撮影された範囲のRG濃度差・濃度比画像を2値化して稲体の平面投影面積率を求め、今回明らかになった撮影面積による画像濃度分布の違いを前提とした場合の稲体認識精度を検討した。その結果、晴れの日の正午ごろの画像や陰影の多い画像（14時頃）では、画像全体に対する稲体の平面投影面積率を指標とすると、稲体認識誤差は4～5%の範囲に収る可能性が示唆された。

#### 引用文献

- 1) 小林由喜也・中村典裕・嶋田 浩：圃場における画像撮影環境と画像の濃度分布について（第1報），農機東北支部報，No44,51-56,1997
- 2) 尾崎 弘・谷口慶治：画像処理，共立出版，1989
- 3) 田村秀行監修：コンピュータ画像処理入門，総研出版，1994
- 4) 日本色彩学会：新編色彩科学ハンドブック（第2版），東大出版会，1998

**[閲読者コメント]** 本研究の結果にも述べられているように、撮影面積が大きくなると、入力画像の各部分の濃度分布が異なってきて、画像全体を同一手法で処理できない可能性がある。一つの解決方法としては太陽光を遮蔽し、人工光源を利用することが考えられますが、著者らはどのように考えているのでしょうか。

**[著者回答]** 本研究では広い圃場の中に設置したポールなどの観測塔に画像カメラを設置し、例えば1日数回無線によってステーションへ画像を伝送しながら継続して生育情報を取得することを想定しています。したがって、例えば $3.3m^2$ 程度であっても均一な光条件を得るために太陽光の遮蔽装置と人工光源の規模は相当なものになると考えられ、現在の研究計画では考慮しておりません。当面、自然光下の濃度分布を詳細に検討して適切な処理法が開発できないかに目標を絞っております。また、赤外線画像の利用が有効との情報もありますので、現在は機器の関係で無理ですが、フィルターの利用も含めて今後の研究の視野には入れております。

# トラクタのけん引性能に関する走行速度の影響

広間達夫\*・一戸陽介\*・片岡 崇\*・太田義信\*

Effect of the travel speed on performance of traction

Tatsuo HIROMA\*, Yosuke ICHINOHE\*, Takashi KATAOKA\*, Yoshinobu OTA\*

## Abstract

This paper describes the influence of the travel speed of a driven wheel running on soft ground such as the farm soil with high moisture contents on motion resistance and tractive force. Laboratory tests were carried out with one rigid wheel and within the travel speed of 0.25m/s. The results showed that the normal stress acted on the wheel surface was affected by the travel speed or the angular velocity of the wheel, and the motion resistance and tractive force were independent of the angular velocity of the wheel. Results calculated with the viscoelastic finite element program developed by one of authors showed that the tractive force increased slightly with increasing angular velocity of the wheel. However, it can be considered that the travel speed has no effect within low travel speed of 0.25m/s.

[Keywords] travel speed, motion resistance, tractive force, viscoelastic model of soil

## I. 緒 言

農用車両等のけん引性能は、車両の機関出力、車両の重量、走行部の種類や形状、土の水分、土の硬さ、土質等の土壤条件及び運転状況等によって大きく左右される。比較的含水比が高く膨軟なほ場においては、特に土の力学的特性の影響を受ける。このような土壤条件のほ場において平板貫入試験を行うと、貫入抵抗は貫入速度の影響を受ける事が知られている<sup>1)</sup>。高い含水比の土壤を剛性車輪が走行した際に接地部に生じる接地応力について、土の変形速度の効果を考慮した土の粘弹性モデルを導入すると、接地法線応力の最大値が車輪最下点の前方で生じることを予測できる<sup>2)</sup>。また、走行抵抗が走行速度の影響により変化することをPope<sup>3)</sup>やGrahn<sup>4)</sup>が報告している。

そこで本研究は、トラクタ車輪の走行抵抗やけん引力に関する走行速度の影響を、剛性車輪の回転角速度を変えることによって調べた。

## II. 実験方法

供試車輪走行実験装置の概要を図1に示す。車輪は、鉄製の剛性車輪で、直径451mm、幅125mmであり、接地荷重を1.09kNに設定してある。土槽内に充填されている供試土はシルト質土であり、含水比を約67% (d.b.) に調節し、湿潤単位体積質量が約1.4g/cm<sup>3</sup>になるようにローラーで転圧し、供試路面を準備した。けん引性能に対する車輪の回転角速度の影響を調べるために、車輪回転角速度を0.5rad/s, 0.75rad/s及び1.0rad/sの3通りに変えて走行実験を行った。また、実験装置の後部に設置した電動モータの回転数を変え、けん引ワイヤの速度を調節することにより進行低下率を調節して車輪の走行性能を調べた。

## III. 結 果

実験に先立ち、土の変形速度の違いによる抵抗力の変化について、土モデルとして3要素粘弾性

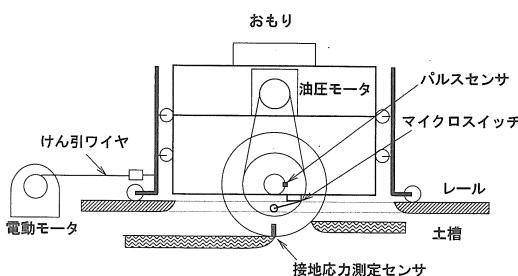


図1 剛性車輪走行実験装置

モデル<sup>5)</sup>を用いて調べた。円柱形試料を一定のひずみ速度で圧縮した場合の垂直応力の変化について計算を行なった。計算に用いた弾性係数 $E_1$ ,  $E_2$ と粘性係数 $\eta$ 及びボアソン比 $\nu$ を表1に、その結果を図2に示す。ひずみ速度は広間ら<sup>6)</sup>による一軸圧縮試験において、ひずみ速度が最も大きかった $0.28\text{ s}^{-1}$ と、最も小さかった $0.21\text{ s}^{-1}$ を用いて計算した。計算の結果、垂直ひずみが増加するにつれて垂直応力の増加が小さくなることが確かめられた。また、10%ひずみ時の垂直応力の値を比較すると、ひずみ速度が $0.21\text{ s}^{-1}$ から $0.28\text{ s}^{-1}$ に増加することにより垂直応力が約10%増加することが分かる。この結果から、一軸圧縮試験において垂直応力はひずみ速度の影響を受けることが確かめられた。

次に、車輪の回転角速度の違いによるけん引性能について、車輪走行実験を行なった。図3に車輪接地面の最大法線応力の変化を示す。実験の進行に伴う油温度の上昇により油圧モータの回転数が変動し、車輪の回転角速度に10%程度のばらつきが生じた。最大法線応力は、回転角速度が $0.52\text{ rad/s}$ の場合では、進行低下率が小さい約6%の場合において約80kPaを示すのに対して、進行低下率が比較的大きい約25%の場合では約60kPaまで減少した。回転角速度が $0.71\text{ rad/s}$ ,  $1.16\text{ rad/s}$ の場合においても進行低下率が大きくなるほど、最大法線応力の値は減少する傾向が見られた。最大法線応力値の減少の度合いは回転角速度が小さいほど大きくなる傾向も見られた。

車輪の回転角速度の違いによる沈下量の変化を、図4に進行低下率との関係で示す。最大法線応力が小さいほど沈下量は小さい値を示すと思われたが、最大法線応力が小さい値を示した進行低下率の比較的大きい場合においても沈下量には変化が

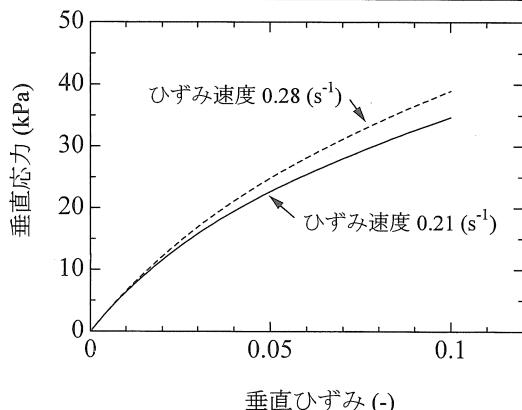


図2 光波儀回転軸の角速度

表1 計算に用いた係数

|        |               |
|--------|---------------|
| $E_1$  | 0.71 (MPa)    |
| $E_2$  | 0.247 (MPa)   |
| $\eta$ | 0.149 (MPa·s) |
| $\nu$  | 0.265         |

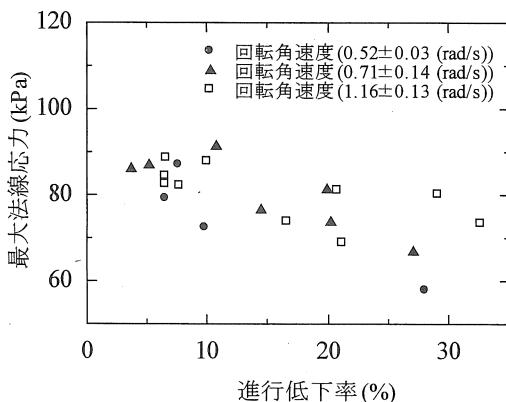


図3 進行低下率と最大法線応力

見られなかった。車輪の滑りに伴う土の移動により垂直方向の土の支持力が減少したと考えられる。回転角速度の影響は、測定した沈下量のばらつきが大きくて明確に現われなかつたが、沈下量の平均値を取ると26.1mm（回転角速度 $0.52\text{ rad/s}$ ），25.3mm（回転角速度 $0.71\text{ rad/s}$ ），24.4mm（回転角速度 $1.16\text{ rad/s}$ ）となり、回転角速度が高いほど沈下量は小さくなる傾向が見られた。

車輪の回転角速度の違いによる走行抵抗係数の変化について、図5に進行低下率との関係で示す。走行抵抗係数は進行低下率が増加してもほぼ一定の0.3を示した。また回転角速度の影響もほとん

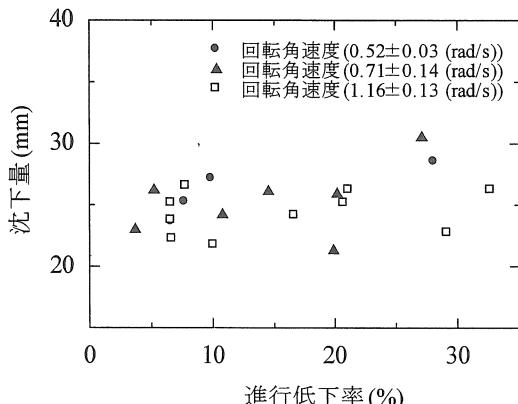


図4 進行低下率と沈下量

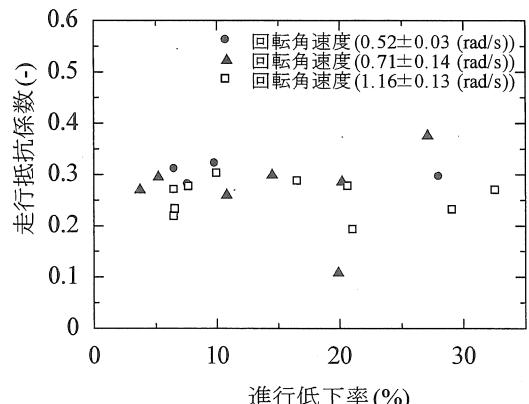


図5 進行低下率と走行抵抗係数

表2 有限要素法の計算に用いた係数

|          |       |         |
|----------|-------|---------|
| $K_1$    | 0.438 | (MPa)   |
| $G_1$    | 0.255 | (MPa)   |
| $K_2$    | 0.160 | (MPa)   |
| $G_2$    | 0.093 | (MPa)   |
| $\eta_K$ | 88    | (kPa·s) |
| $\eta_G$ | 51    | (kPa·s) |
| $K_u$    | 2.28  | (MPa)   |
| $G_u$    | 1.33  | (MPa)   |
| $\mu$    | 0.55  | (-)     |
| $c$      | 9.3   | (kPa)   |

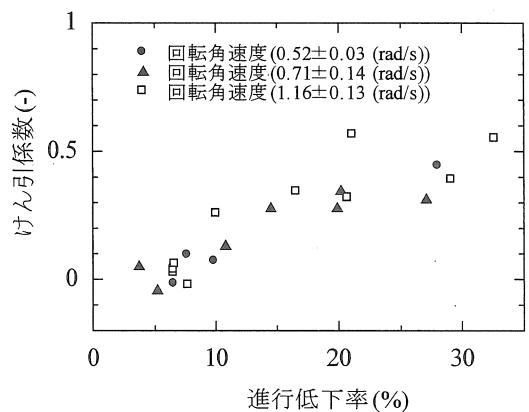


図6 進行低下率とけん引係数（実験値）

ど見られなかった。Pope<sup>3</sup>は沈下量及び走行抵抗は走行速度の増加とともに減少すると報告しているが、今回の結果では、回転角速度の変化による沈下量や走行抵抗への影響が見られなかった。

車輪の回転角速度の違いによるけん引係数の変化について、図6に示す。進行低下率が大きい場合にけん引係数は大きい値を示したが、この場合においても沈下量や走行抵抗の場合と同じように、回転角速度の変化による影響は見られなかった。

けん引性能に関する走行速度の影響について、車輪と土の摩擦及び土の負荷除荷特性を考慮した有限要素法<sup>6</sup>を用いて解析を行なった。計算に用いた三軸応力系の弾性係数 $K_1$ ,  $G_1$ ,  $K_2$ ,  $G_2$ ,  $K_u$ ,  $G_u$ と粘性係数 $\eta_K$ ,  $\eta_G$ を表2に示す。また外部摩擦係数 $\mu$ と付着係数 $c^7$ を表2に示す。有限要素法の計算は、走行実験より得られた車輪回転角速度と進行低下率を用いて行なった。

車輪の回転角速度の違いによるけん引係数の変化について、図7に示す。計算結果は、図6に示

した実験結果とほぼ一致した結果が得られており、実験結果と同様に回転角速度の違いによる影響が現われなかった。粘弹性モデルを用いて計算しているため車輪の回転角速度の影響を受けると思われたが、回転角速度の変化による影響は見られなかった。計算結果は、実験結果と同じようにばらつきが見られた。これは走行実験毎にばらついた回転角速度を入力したために、計算結果のけん引係数にばらつきが生じ、けん引係数の変化が明確に現われなかつたと考えられる。

そこで $0.5\text{rad/s}$ ,  $0.75\text{rad/s}$ 及び $1.0\text{rad/s}$ の3通りの回転角速度を用いて計算を行なった。図8にその結果を示す。回転角速度が $0.5\text{rad/s}$ から $1.0\text{rad/s}$ に増加すると、計算範囲のどの進行低率においてもけん引係数は約0.05増加した。回転角速度が増加し、走行速度が増加することによって走行抵抗が減少し、その結果、けん引力が増加したと考えら

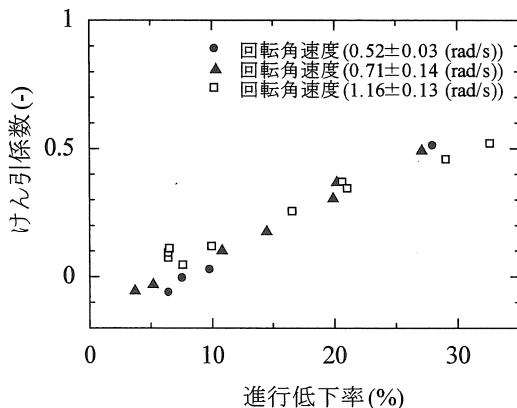


図7 進行低下率とけん引係数(計算値)

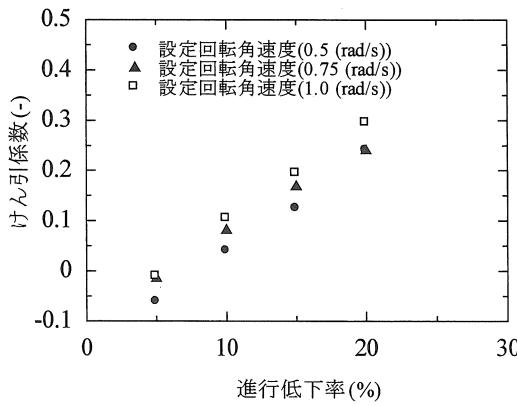


図8 進行低下率とけん引係数(計算値)

れる。このように土の粘弾性モデルを用いた解析では、けん引係数が走行速度の影響を受けることが示されたが、実験では車輪の回転角速度を一定に保つことができなかつたため、走行速度のけん引力に及ぼす影響を十分に確かめることができなかつた。

#### IV. 結 言

比較的含水比が高い土の上を走行する車輪に関して、走行抵抗やけん引力に関する剛性車輪の回転角速度の影響を調べた。

実験の結果、走行速度は接地応力分布にいくらく影響を与えるが、走行抵抗やけん引力に対しては、設定した回転角速度のばらつきの中にその変化が埋もれてしまい、明確な変化は表われなかつた。そこで、3通りに設定した回転角速度を用いて有限要素法による計算を行なつた。回転角速度が大きくなるとけん引力が増加することが分かつた。

たが、回転角速度が走行性能に対して大きな影響を与えるような変化は見られなかつた。

#### 参考文献

- 1) Pope,R.G.: The Effect of Sinkage Rate on Pressure Sinkage Relationships and Rolling Resistance in Real and Artificial Clays, J. of Terramec., 6(3), 31-38, 1969
- 2) 広間達夫, 横森豊, 須山啓介: 剛性車輪下の法線応力分布, 農機誌, 51(1), 23-30, 1989
- 3) Pope,R.G.: The Effect of Wheel Speed on Rolling Resistance, J. of Terramec., 8(1), 51-58, 1971
- 4) Grahn,M.: Prediction of Sinkage and Rolling Resistance for Off-the-Road Vehicles Considering Penetration Velocity, J. of Terramec., 28(3), 339-347, 1991
- 5) 広間達夫, 阿部孝志, 太田義信: トラクタ走行による土壤圧縮の有限要素法による解析, 農業機械学会東北支部報, 43, 1996
- 6) 広間達夫, 阿部孝志, 片岡崇, 太田義信: 有限要素法による車輪の走行性能の解析(第1報), 農機誌, 61(1), 3-9, 1999
- 7) Wanji,S., Hiroma,T., Ota,Y., Kataoka, T.: Prediction of Wheel Performance by Analysis of Normal and Tangential Stress Distributions under the Wheel-Soil Interface, J. of Terramec., 34(3), 165-186, 1997

[閲読者コメント] トラクタのけん引性能は、土の圧縮特性とともにせん断破壊特性に密接に関係します。車輪の回転角速度の影響を見る場合もこれら二者との関係で調べる必要があると思いますが、この点についてお考えをお聞かせください。

[筆者回答] 土の圧縮特性が変形速度の影響を受けるように、土のせん断破壊特性もせん断変形速度に影響を受けると考えられます。しかしこの点に注目して行なわれたせん断試験によると<sup>7)</sup>、今回の実施した走行速度範囲では、変形速度の影響が見られません。ご指摘の点について、今後検討する予定です。

## 深耕ロータリ耕うんの土壤移動特性（第2報）

—水田圃場における耕うん実験—

小野寺一宏\*・片岡 崇\*・広間達夫\*・太田義信\*

Shifting of Soil Layers Using Deep Rotary Tillage (Part 2)

—Tillage experiment in paddy field —

Kazuhiro ONODERA\*, Takashi KATAOKA\*, Tatsuo HIROMA\*, Yoshinobu OTA\*

### Abstract

This paper describes the soil mixing characteristics of the reverserotational rotary tillage in the paddy field. Two different shapes of rotary blades were used in this experiment. In the case of the standard blade, the bottom layer soil was partly shifted to the surface. While in case of the short scoop surface blade, the surface layer and the middle layer soils were shifted to the bottom layer and the bottom layer soil was returned in the same position. This reason seems to depend on the shapes of tillage blades. As the short scoop surface blade did not have enough area contact with the tilled soil compared with the standard blade, it was not able to throw the tilled soil backward. There most of the tilled soil shifted to the bottom layer.

[キーワード] 深耕ロータリ, 耕うん, 土壤移動, 土壤かく拌, 粘性土

### I. 緒 言

本研究は、深耕ロータリ耕うんにおける耕うんづめ形状と土壤移動特性との関係について明らかにすることを目的としている。

第1報<sup>1)</sup>では、切削土が飛散しやすいシルト系畑地圃場の土壤移動特性について報告した。その結果、「標準すくいづめ」では、中・下層部間での反転作用があり、「短すくい面づめ」では、上層の土壤は耕うん後も上層付近へ残留しやすく、中層部の土壤は下層へ、下層部の土壤は全層へ移動する傾向を確認した。シルト系の畑地圃場は切削土が飛散しやすく切削土塊は形成されにくい。一方、水田圃場は粘性質の土壤である切削土が切

削土塊を形成すると考えられ、畑地圃場における土壤移動特性とは異なる結果が予想される。

これまで、耕うん後の土壤かく拌性を評価することを目的とした土壤かく拌シミュレーションモデルを提案してきた<sup>2)</sup>。この計算モデルの妥当性を検証する上でも、シルト系畑地圃場とは全く土壤性質の異なる水田圃場において実験データを得ることは非常に有用である。

ここでは、水田圃場を対象土壤とし2種類の耕うんづめを供試してプラスチック球を利用した耕うん実験から土壤移動特性について報告する。また、土壤硬度及び土壤密度、そして三相分布の測

定結果から、耕うん後の土壤状態についての検討を加える。

## II. 耕うん実験方法

### (1) 供試装置

図1に供試装置を示す。供試耕うん装置には、小橋工業製のアップカットロータリ耕うん装置（UC-120）を用いた。耕うん幅1.2m、つめ本数26本、耕うんづめ回転半径250mmのセンタドライブ方式である。この供試ロータリ耕うん装置を小型四輪駆動トラクタ（シバウラ製D235F、17kW）で駆動した。

図2に供試した2種類のすくいづめを示す。ひとつは、供試耕うん装置に標準で装備されているすくいづめ（「標準すくいづめ」と呼ぶ）である。もうひとつは、標準すくいづめに比べて耕うん抵抗の軽減が図られるすくい面の長さが半分の「短すくい面づめ<sup>3)</sup>」である。すくいづめのすくい面の諸元（すくい面曲率半径 $\rho$ 、土壤切削角 $\phi_1$ 、すくい面曲率中心角 $\psi$ ）は、標準すくいづめで $\rho=60\text{mm}$ 、 $\phi_1=40^\circ$ 、 $\psi=50^\circ$ 、短すくい面づめで $\rho=60\text{mm}$ 、 $\phi_1=40^\circ$ 、 $\psi=25^\circ$ である。すくい面の長さは、それぞれ約50mm、約25mmである。

### (2) 供試圃場

供試圃場は、岩手大学附属滝沢農場内の水田圃場である。表1に供試土の組成を示す。供試土は、国際土壤学会の基準によると埴壤土に分類される。

### (3) 実験方法

耕うん実験は、第1報と同様にプラスチック球を使用した埋没法<sup>4) 5)</sup>により行った。耕うん前後のプラスチック球の移動・分布から土壤移動特性を知ることができる。プラスチック球を埋め込んだ区画を供試耕うん装置により定常耕う



図1 供試耕うん装置とトラクタ

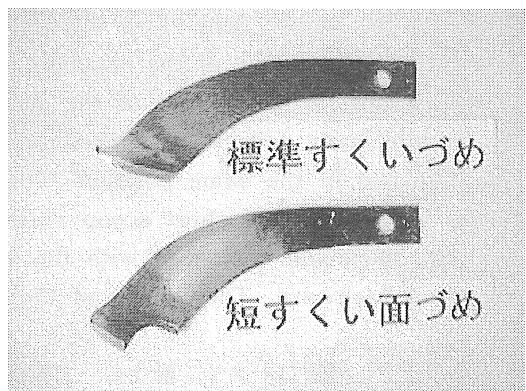


図2 供試耕うんづめ

表1 供試土の組成

|                |  |      |
|----------------|--|------|
| 真比重            |  | 2.48 |
| 液性限界 [% d. b.] |  | 83.8 |
| 塑性限界 [% d. b.] |  | 64.5 |
| <成分>           |  |      |
| 粘土 [%]         |  | 16   |
| シルト [%]        |  | 42   |
| 砂 [%]          |  | 42   |

んする。作業条件は、耕うん速度約100mm/s、耕うん軸回転数約160rpm、耕深は約300mmとした。

### III. 実験結果及び考察

#### (1) 土壌硬度及び土壌密度

図3に耕うん前後における深さごとの土壤硬度を示す。未耕土は地表面付近で約0.2MPa、その後深さにより直線的に増加して深さ250mmで最大値の1.3MPaに到達し、耕深付近の300mmにおいては1.2MPaであった。標準すくいづめ(Standard Blade)による耕うん後の土壤は、深さ300mmにおいて約0.2MPaであった。短すくい面づめ(Short Blade)による耕うん後の土壤は深さ300mmで約0.1MPa程度であった。両耕うんづめとも土壤硬度

は、地表面から耕深位置に渡る全層においてほぼ均一であった。

図4に耕うん前後における深さごとの土壤密度を示す。未耕表面付近で約1.1g/cm<sup>3</sup>、その後深さにより直線的に増加して深さ200～250mm付近で最大値の約1.2g/cm<sup>3</sup>に到達する。標準すくいづめ及び短すくい面づめによる耕うん後の土壤は地表面付近で約0.6g/cm<sup>3</sup>、その後深さにより直接的に増加して深さ150～250mm付近で最大値の約1.0g/cm<sup>3</sup>に到達した。

#### (2) 三相分布

図5に耕うん前後の三相分布を示す。(a)は未耕土、(b)は標準すくいづめ、(c)短すくい面づめによつて耕うんされた後の状態である。

未耕土は10%程度の気相率であった。標準すくいづめによる耕うん後の土壤は、上層部において50～60%、中・下層部において約40%程度の気相率となった。短すくい面づめによる耕うん後の土壤は、上層部において約50%，中・下層部において30～40%の気相率となった。

深耕ロータリ耕うんによって、空気を多く含んだ膨軟な土壤に変化していることがわかる。耕うん後の地表面に比べて約10cmほど上方に盛り上がるが觀測されている。このことからも耕うんによって土壤状態の膨軟化が推察できる。また、両耕うんづめを比べた場合、標準すくいづめによる耕うん後の土壤の方が、気相率が若干高く空気を多く含んだ膨軟な土壤が形成されるといえる。

#### (3) プラスチック球の移動特性

耕うん後のプラスチック球の回収率は約90%であった。

図6はプラスチック球の分布を深さごとの数で表したものである。(a)標準すくいづめ、(b)は短すくいづめの実験結果である。横軸は耕うん前のプラスチック球の埋め込み位置により、0mmと50mmを上層部(灰色)100mmと中層部(白色)、200mmと250mmと300mmを下層部(黒色)に分類し分布個数で表したもので、縦軸は耕うん後のプ

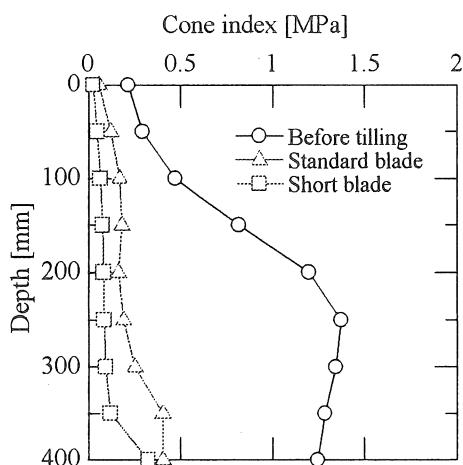


図3 耕うん前後の土壤硬度

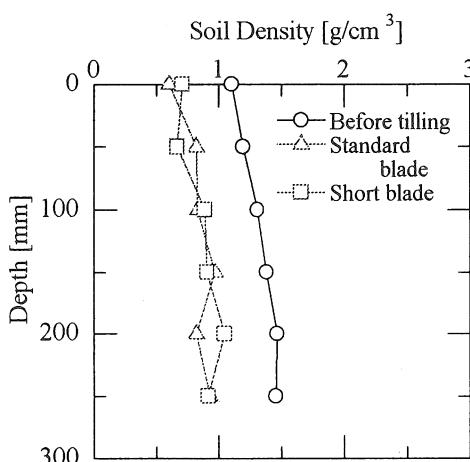


図4 耕うん前後の土壤密度

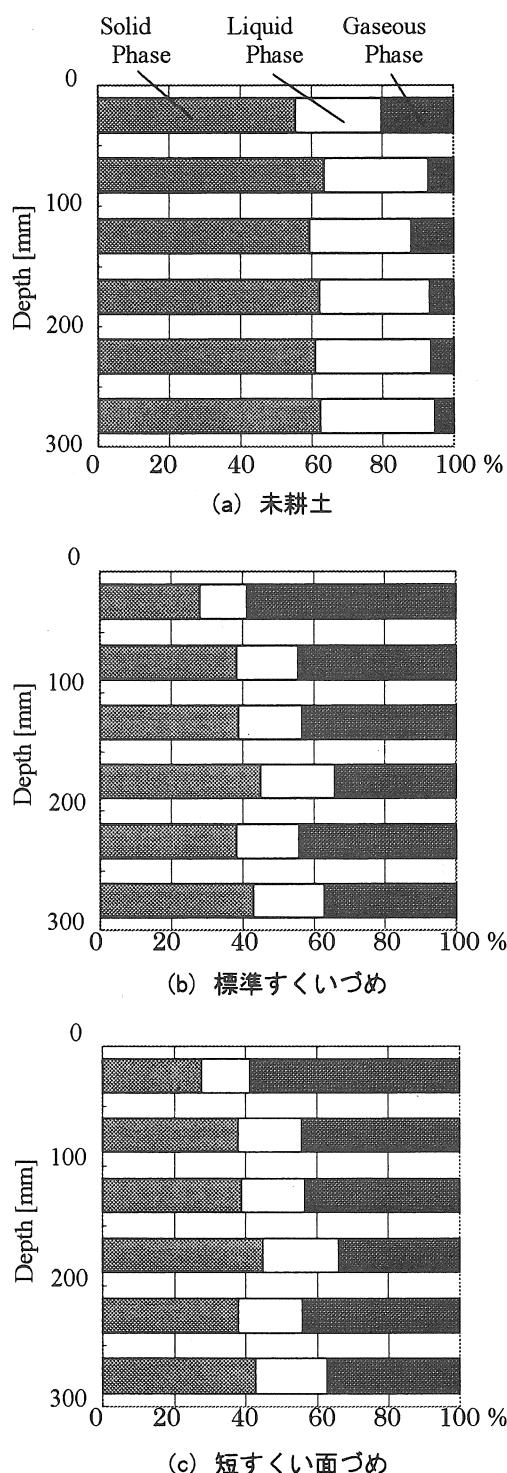


図5 耕うん前後の三相分布

プラスチック球位置を深さごとに示したものである。標準すくいづめでは、下層の土壤が上層へ移動する反転作用があり、上・中層の土壤は耕うん後全層にわたり広く移動する傾向がみられる。また、短すくい面づめでは、耕うん後に下層へ集中的に移動する傾向がある。これは、標準すくいづめはすくい面上に切削土をしっかりと保持して、切削土を上方及び後方へ投げきするのに対し、短すくい面づめは、すくい面長さが短いためすくい面上での切削土の保持が不十分であり、後方投げき性が劣ったためと考えられる。

短すくい面づめにみられる耕うん土が下層へ集中的に移動する傾向は、土壤密度の測定結果より地表面付近で約0.6g/cm<sup>3</sup>、その後深さ方向に直線的に増加して深さ150～250mm付近で最大級の約1.0g/cm<sup>3</sup>に到達するという傾向を反映したものといえる。一方、標準すくいづめについては、多くのプラスチック球が地表面付近に対して集中的に移動していた。これは、標準すくいづめによる耕うん後の土壤の土壤密度測定結果と異なる傾向を示したものといえる。プラスチック球は、畑地において飛散しやすい土壤と同じような移動をしたが、水田では切削土が土壤を形成するので土塊内にプラスチック球が含まれる。したがって、プラスチック球は細かい粒子の土の移動指標に適すると考えられるが、粘性土壤の移動指標とすることの妥当性については検討されるべき余地がある。また、地表面付近における土壤密度の測定法についても一層の吟味が必要である。

図7はプラスチック球の分布を深さごとの百分率で表したものである。(a)は標準すくいづめ、(b)は短すくい面づめの実験結果である。横軸は耕うん前のプラスチック球の埋め込みを位置により、0mmと50mmを上層部(灰色)、100mmと150mmを中層部(白色)、200mmと250mmと300mmを下層部(黒色)に分類し分布割合を百分率で表したもので、縦軸は耕うん後のプラスチック球位置を深さごとに示したものである。標準すくいづめの

場合、初期位置が上層部の土壤は0～100mmに、中層部の土壤は100～200mmにわたって一様に分布しており、下層部の土壤は下層部に残留する割合も多いが、-100～0mmへの移動もみられた。短すくい面づめの場合、耕うん後の各土層につい

て耕うん後はほぼ全層に一様な割合で分布していた。すなわち、標準すくいづめでは、下層土が上層へ移動する反転作用がある。また、短すくい面づめでは、耕うん後の-100～0mm及び100～200mmにおいて耕うん前の上層、中層、下層、各

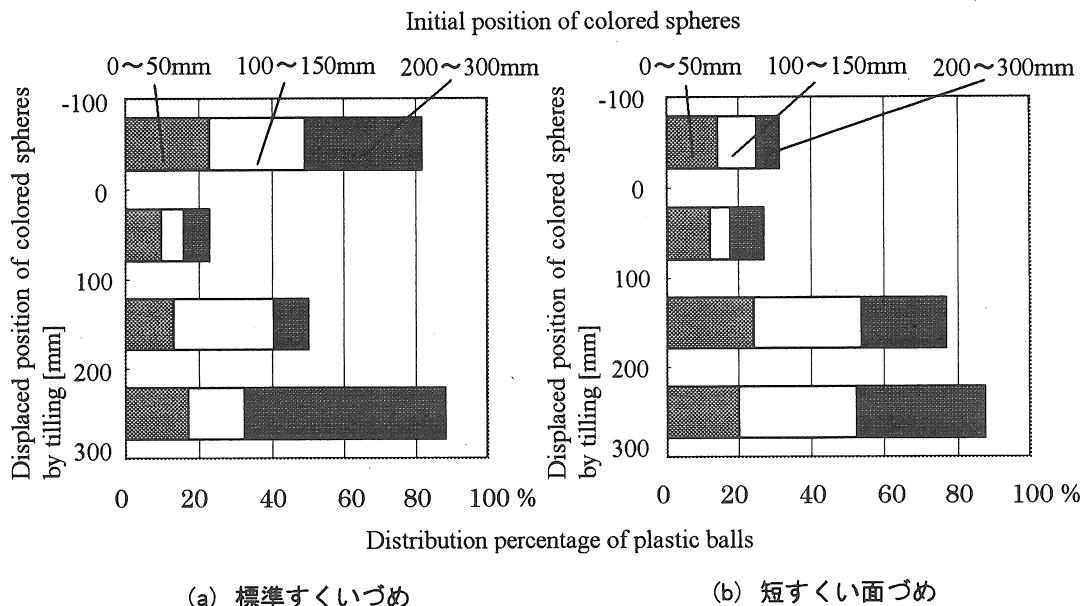


図6 耕うん深さごとのプラスチック球の分布数

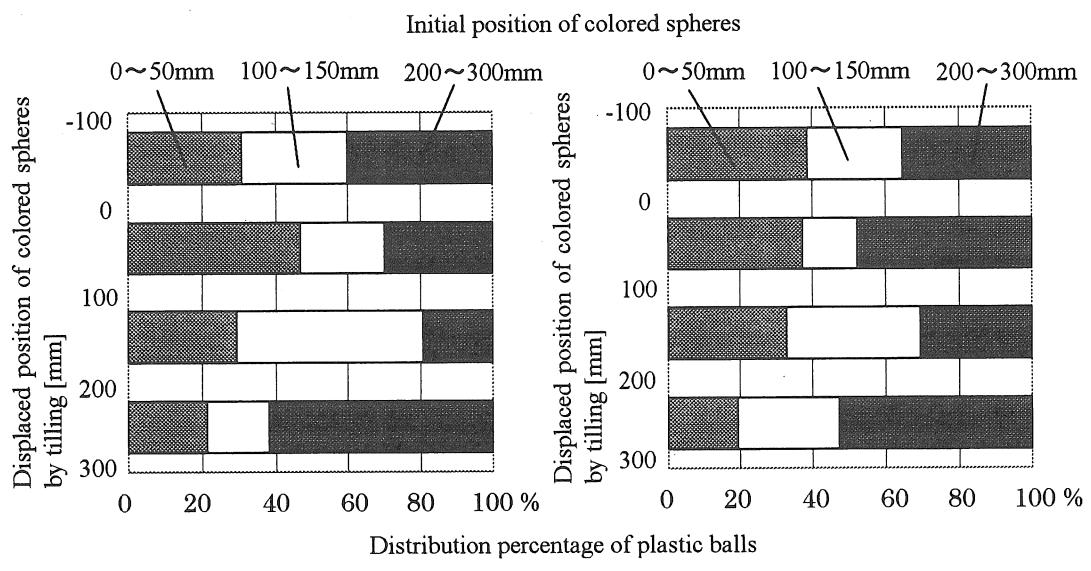


図7 耕うん深さごとのプラスチック球の分布割合

層の土壤がそれぞれ同じ割合で分布しており、結果的に良好に混和されたといえる。

に於ける土壤の変移について（第1報），農機誌，17(1)，11-16，1955

#### IV. 摘要

水田圃場における深耕アップカットロータリ耕うん装置の土壤移動特性について、耕うんづめ形状の異なる2種類の耕うんづめを供試し、プラスチック球をマーカとした耕うん実験により検討した。その結果は、次の通りである。

- 1) アップカットロータリ耕うん装置に標準装備されている「標準すくいづめ」では、下層の土壤が上層へ移動する反転作用があり、上・中層の土壤は耕うん後全層に渡り移動する傾向が認められる。
- 2) 「短すくい面づめ」では耕うん後に各層の土壤が下層へ集中的に移動する傾向がみられる。
- 3) 切削土が土塊を形成しやすい水田圃場においては、すくいづめのすくい面が長い方が切削土を保持しやすく、後方投てき性において優れている。

#### 謝辞

小橋工業株には、供試ロータリ耕うん装置の提供を頂きました。また、石川島芝浦機械株には、実験トラクタの寄贈を頂きました。尚、本研究の一部は、文部省科学研究費奨励研究（A）（研究代表者：片岡 崇、課題番号09760228）の補助を得て行いました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 小野寺一宏他：深耕ロータリ耕うんの土壤移動特性（第1報），農業機械学会東北支部報，44，7・12，1997
- 2) 小野寺一宏、片岡 崇、太田義信、広間達夫：深耕アップカットロータリ耕うんの土壤かく拌性（第1報），農機誌，60(4)，3-11，1998
- 3) 片岡 崇他：アップカットロータリ耕うんの土塊投てき性（第1報），農機誌，59(5)，13-19，1997
- 4) 川嶋通義、小森 盛：動力耕耘機における土壤の変移について（第3報），農機誌，24(4)，194-198，1962
- 5) 常松 栄、吉田富穂、奥田教海：自動耕耘機

【閲読者コメント】深耕時の土壤の移動状況を調べるために、プラスチック球を使用していますが、畠地土壤と水田土壤においてその移動指標としての適性はどういうふうに考えますか？

【著者回答】畠地土壤の耕うんにおいて、切削土は土塊を形成せず飛散します。一方、水田土壤耕うんにおいて、切削土は切削土塊を形成します。このため、プラスチック球の多くが切削土塊の中にあります。つまり、水田土壤などの粘性土の移動特性は、形成された土塊の移動が支配的要因となるため、厳密にはプラスチック球を埋めた場所(層)の土の移動特性にはならないということが考えられます。したがって、プラスチック球は、細粒土の移動指標とするには適すると考えられますが、粘性土壤の移動指標とすることの妥当性について検討する余地があると思われます。今後、土壤性質と移動指標とする供試材の関係について検討していきたいと考えています。

# 水稻複粒化種子の播種技術の開発（第1報）

—種子の造粒および播種試験—

富樫辰志\*・伊藤信雄\*・西脇健太郎\*・矢治幸夫\*・森田 敏\*・木村勝一\*

Development of Rice Direct Seeding System Using Multiple Grain Pellet (Part 1)

—Granulation of Multiple Grain Pellet and Seeding Test in Paddy Field—

Tatsushi TOGASHI\*, Nobuo ITO\*, Kentaro NISHIWAKI\*, Yukio YAJI\*,  
Satoshi MORITA\*, Syoichi KIMURA\*

[キーワード] 水稻直播、複粒化種子、傾斜ベルト式播種機

## 1. 緒 言

水稻作において一層の省力・低コストを進めるため、日本型直播技術の確立が強く要望されている。直播方式は大きく乾田直播と湛水直播に分けられるが、代かきの必要性があり、かつ用水が確保できる地域では後者の利点が大きい。湛水直播の播種方法としては、動力散粒機やヘリコプタによる散播法<sup>1) 2)</sup>、市販機による土壤中条播法<sup>3)</sup>、最近では田植機の側条施肥装置を用いる方式も実用化されている。

一方、移植栽培から直播栽培への移行過程においては、移植栽培に近い安定した栽培様式を指向することが現場への普及に結びつくと考えられ、移植に近い稲株の生育となる代かき同時打込み点播法が実用化されつつある<sup>4)</sup>。さらに、数粒の水稻種子をペレット状にした複粒化種子を用いる栽培法について検討され始めた<sup>5)</sup>。

本報告では、複粒化種子の造粒方法と、代かき

後落水した水田に土中播種する播種方法について検討した。

## 2. 試験方法

### 1) 複粒化種子の造粒法

現時点では複粒化種子の簡易な大量造粒法がないので、最近開発された自動式の過酸化石灰資材被覆装置（商品名：カルバーコーティングマシン）を用いた。複粒化種子を造粒する場合、鳩胸催芽した種子ができるだけダンゴ状態になるように、噴霧水量を通常よりも多めにした。作業が終了すると、単粒被覆種子や10粒以上も含む大きな複粒化種子ができるので、それを6 mm以上9 mm未満の範囲にふるい分けした（表1）。このふるい目の寸法は、播種用ベルトのセル穴寸法（直径14mm深さ9 mm）を前提に決めたものである。供試品種はあきたこまち。なお、圃場試験に供試した複粒化種子は手動式のコーティングマシンに

表1 複粒化種子造粒選別結果

| 加水噴霧条件 |                        | ふるい選別割合（ふるい目寸法別）      |            |            |
|--------|------------------------|-----------------------|------------|------------|
| 水圧     | 加水量                    | ～6mm                  | 6～9mm      | 9mm～       |
| No 1   | 2.2 kg/cm <sup>2</sup> | 3.41kg<br>11.1kg(42%) | 9.0kg(34%) | 6.3kg(24%) |
| No 2   | 2.0                    | 3.31<br>14.6 (55)     | 7.2 (27)   | 4.7 (18)   |
| No 3   | 2.1                    | 3.42<br>9.2 (35)      | 8.3 (31)   | 8.9 (34)   |
| 平均     | 2.1                    | 3.38<br>11.6 (44)     | 8.2 (31)   | 6.6 (25)   |

注) 各々、乾糀10kgを催芽し、カルバーを2倍量被覆した。

表2 供試機主要諸元

|            |                            |
|------------|----------------------------|
| 全長×全幅×全高   | : 3150×1950×1865mm         |
| 本質量(移植部装着) | : 620kg                    |
| 機前輪径×後輪径   | : $\phi$ 600× $\phi$ 850mm |
| 定格出力/回転数   | : 5.5kW/1800rpm            |
| 播条数(条間)    | : 6 (300mm)                |
| 種播種方式      | : 傾斜ベルト式                   |
| 機セル寸法      | : $\phi$ 14mm×深さ9mm        |
| ベルト駆動方式    | : 接地輪駆動方式                  |

よって造粒したものである。

## 2) 圃場試験方法

市販の傾斜ベルト式播種機を一部改造して、6条用の乗用田植機に6条分装着し(表2)，フロート部位置が自動制御される状態で圃場試験を行った。沖積土の試験圃場は2か所で(播種面積は各々約10a)，代かき後ほぼ通常の田植えができる田面状態(表面水0～2cm程度)まで落水した。圃場調査は播種後28～29日目に行った。調査項目等は表3参照。出芽深度は土壤表面から複粒化種子の中心位置までとした。その他、苗立率等の調査を行った。

## 3. 試験結果および考察

### 1) 複粒化種子の造粒方法

コーティングマシンによる複粒化種子造粒方法の、作業能率以外の技術的な問題点は次の2点に要約される。

①使用種子量に対して、6～9mmふるい目の範囲内に残る割合が30%程度であること(表1)。

手動式で行った場合、ふるい目を通過した小さい種子を再度コーティングマシンに戻して複粒化種子を2～3回作り直した結果、6～9mmに残った量は約50%であった。目的の大きさ以外のものがほとんど使用できないことから、本方式は実用性に問題があると思われた。

②製造された複粒化種子の形状が凹凸のある不規則なものとなること(写真1、図1)。

不規則な複粒化種子の問題点は、機械的にスムーズな搬送作用ができないこと。つまり、種子ホッパから傾斜ベルト下部への種子の流れがスムーズでなく適正な安息角とならないこと、ベルトのセ

ルに入る種子数が0粒または2粒の場合があること、である。したがって、複粒化種子はできるだけ球形に近い形状とする必要がある。

造粒された複粒化種子(6～9mmふるい目)に含まれる種子粒数は $5.0 \pm 1.7$ で、やや粒数の多い方の頻度が大きい分布であった(図2)。平均粒数は5～6粒が望ましく、特に3粒以下の割合をほとんど0%とする必要がある。ふるい目寸法

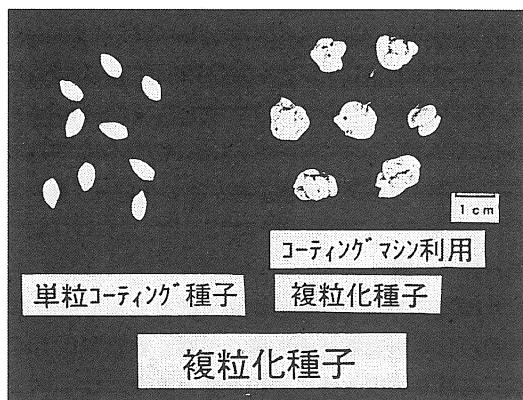


写真1 複粒化種子

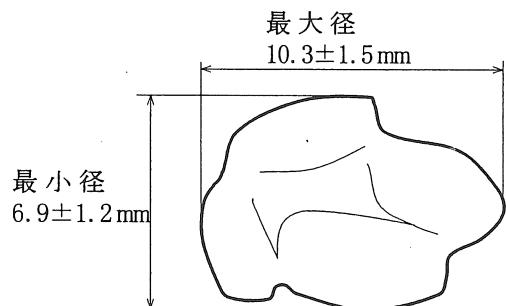


図1 複粒化種子の寸法(100粒)

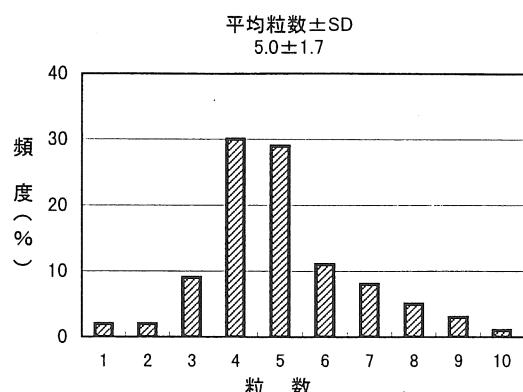


図2 複粒化種子に含まれる種子粒数

の範囲を小さく取れば粒数のばらつきはより小さくなるが、その分歩留まりが低下すると推定される。

以上から、複粒化種子の大量造粒方法について新たな技術を開発する必要があると判断された。

## 2) 傾斜ベルト式播種機の改造

図3に、改造した傾斜ベルト式播種機の側面図を示した。改造点および圃場試験（写真2）における観察結果は以下の通り。

①直径350mmの接地駆動輪の小突起部に、軟らかい湛水田面での駆動効果を上げるために長さ25mm



写真2 圃場試験

幅20mmの小板を付加した結果、一定の効果が認められた。ただし、田植機によるフロート高さ位置制御が良好で、駆動接地輪の沈下量が適正であることが前提となるため、圃場適応性の検討が今後の課題となる。

②傾斜ベルトで種子を上部に搬送する際に余分な種子を搔落とすためのブラシを、毛のものから強固な板ゴムとしたが、種子がセルに入らなかつたり、2粒入った種子がはじき飛ばされる現象が生じた。主な原因は前述した不規則な種子形状の問題であり、そのために、種子ホッパから傾斜ベルト下部への供給がスムーズに行われない場合があることも確認された。

③播種後に覆土するための2枚の覆土板を、土壤を圧密するためのバネをはずしてフリーとし、覆土板の自重のみで覆土した結果、その効果が認められた。ただし、硬めの土壤では覆土効果が不十分であったため、改善する必要がある。

## 3) 圃場試験結果（表3）

出芽深度は約5mmであり、目標の5~10mmより若干浅めであったものの、ほぼ良好といえる。播種間隔は表3から計算すると約18cmとなり、

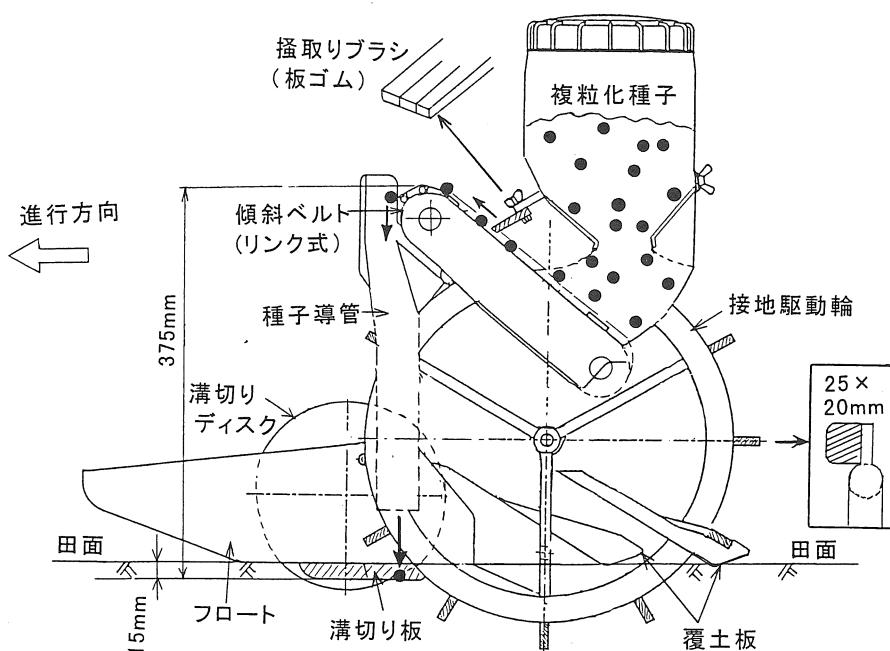


図3 傾斜ベルト式播種機（側面図）

表3 圃場試験結果（調査は播種後28～29日目）

| 圃場 | 品種     | 出芽深度  | 出芽率  | 出芽本数 | 出芽株数             | 出芽数              | 播種量(乾糲) |      |
|----|--------|-------|------|------|------------------|------------------|---------|------|
|    |        | mm    | %    | 本/株  | 株/m <sup>2</sup> | 本/m <sup>2</sup> | kg/10a  |      |
| 1  | でわひかり  | 平均    | 5.6  | 82.6 | 4.9              | 18.3             | 89      | 3.06 |
|    |        | (CV%) | (40) | (6)  | (11)             | (12)             | (17)    | (19) |
| 2  | あきたこまち | 平均    | 4.5  | 95.9 | 4.7              | 17.4             | 82      | 2.41 |
|    |        | (CV%) | (39) | (4)  | (13)             | (11)             | (16)    | (15) |

注) 調査点数は、圃場1で8地点、圃場2では10地点（各1.2m<sup>2</sup>）。

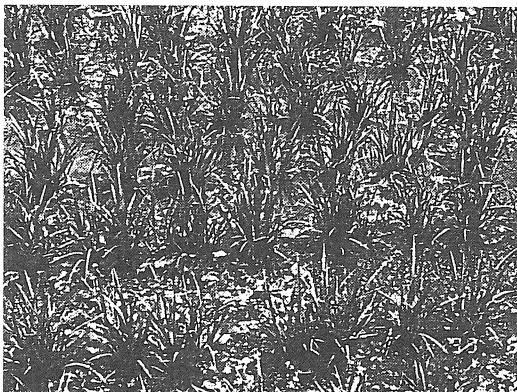


写真3 分げつ期の成育状況

この点もほぼ設定範囲にあった。出芽率も90%前後で問題ない。写真3には分けつ期の生育状況を示した。移植に近い生育状況が観察される。

以上より、傾斜ベルト式播種機を実用的な複粒化種子の播種機として用いることに関しては、摘出された問題点の改良により、十分その可能性があると判断された。

#### 4. 摘要

1) 複粒化種子の造粒方法としてカルパーコーティングマシンを用いると、①粒の形状が不規則となり播種精度に影響を及ぼす、②適正種子の歩留まりが30%程度しかない、の2点が主な問題であり、新たな造粒方法の開発が必要であると判断された。

2) 傾斜ベルト式播種機を一部改造し、乗用田植機に装着して複粒化種子を圃場で播種した結果、いくつかの問題点が摘出され、改良方向が明らかになった。

3) 圃場試験の結果、出芽深度、播種間隔（株

間に相当）、出芽率等は良好であり、本方式の実用化の可能性が確認された。

#### 参考文献

- 1) 澤村 篤・中山正義・川崎 健・秋田重誠・笛倉修司：乗用散粒機による水稻代かき湛水散播栽培、農作業研究(27) 3号, 234～241, 1992
- 2) 井村光夫・荻原素之・三石昭三：ヘリコプターによる水稻の湛水土中散播(1)播種量分布および播種深度と苗立ちとの関係、日作紀54(別1), 30-31, 1985
- 3) 中村喜彰：水稻の湛水土壤中直播機の開発に関する研究—適正播種深度と稻の生育—、農機誌43(2), 203-209, 1981
- 4) 富樫辰志・下坪訓次：代かき同時土中点播機の開発—第2報 打込み式土中点播機の試作—、農作業学会講要(平8春季), 73-74, 1996
- 5) 寺島一男・矢治幸夫・木村勝一・石倉教光：複粒化コーティング種子を用いた水稻湛水散播栽培の生育と収量、日作紀65(別2), 19-20, 1996

【読者コメント】カルパーコーティングマシンの諸元や利用法変更等による、適正な複粒化種子の造粒法の可能性についてお聞かせ下さい。

【著者回答】手動式も自動式も機械的な諸元の変更までは検討していません。利用方法は、通常よりも若干多めの噴霧量を設定し、複粒化種子の形成過程を観察でチェックしながら噴霧量を調節して造粒しますが、本文でも述べた通り、実用的な可能性は小さいというのが筆者の判断です。

## コンニャク球茎植付機に関する研究

朽木靖之\*・影山義春\*・平山 孝\*\*・斎藤忠弘\*・青田 聰\*

Studies on the Transplanter for KONJAK Corm

Yasuyuki KUCHIKI\*, Yoshiharu KAGEYAMA\*, Takashi HIRAYAMA \*\*,  
Tadahiro SAITO\*, Satoshi AOTA\*

[キーワード] コンニャク, 球茎, 植付機, 補助者乗用式, 可動式いも載せ台

### I. はじめに

福島県におけるコンニャクの栽培面積は、昭和50年の2,130haをピークに減少を続け、平成8年には320haまで減少している<sup>1)</sup>。また、10a当たり労働時間は平成8年度で131時間<sup>2)</sup>となっている。このうち、植付作業の占める時間割合は17%と、収穫作業についてウェイトの高い作業である。

収穫作業については、掘取り機を中心にはほぼ機械化が図られている。しかしながら、植付作業についてはそのほとんどが手作業で行われているのが現状である。

コンニャク栽培では、催芽した種いもを植付けるため、頂芽に損傷を与えないような植付けが必要である。また、表1に示したように、芽の向きによって生育・収量が変わるために、確実に頂芽を上方へ向けて植付ける必要がある。このように、植付作業は高い植付け精度を要求するため、手作業に限られていた。また、写真1のように腰を屈めながらの作業が中心で、多くの労力を要していたため、機械化による省力化が望まれていた。

近年、植付機の開発が進み、生子用、球茎用植付機が数社より市販されている<sup>3)</sup>。

また、本県のコンニャク栽培は主に中山間地での栽培であるため、植付機導入時の条件として、傾斜地や狭小地での適応性が高いことが前提となる。このため、本報では植付作業の労力の軽減と効率化を図ることを目的とし、歩行型トラクタに

植付部を装着する、小型軽量の球茎植付機を供試して作業性能を調査するとともに、これをベースとした新たな植付機の開発を行った。

表1 植付姿勢別生育及び収量

| 植付姿勢<br>(°) | 出芽期<br>(月.日) | 開葉期<br>(月.日) | 成熟期<br>(月.日) | 収量           |              |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|             |              |              |              | 球茎<br>(kg/a) | 生子<br>(kg/a) |
| 0           | 6. 21        | 7. 1         | 10. 9        | 213. 8       | 42. 7        |
| 45          | 6. 20        | 6. 30        | 10. 9        | 193. 8       | 44. 8        |
| 90          | 6. 21        | 7. 2         | 10. 6        | 167. 9       | 27. 9        |
| 135         | 6. 23        | 7. 3         | 10. 9        | 182. 9       | 44. 9        |
| 180         | 6. 28        | 7. 6         | 10. 9        | 180. 0       | 33. 2        |

(注) 1) 種いもの頂芽の向きが真上のものを0°、真下のものを180°とした。



写真1 手植え作業風景

## II. 市販機の作業性能と問題点

### 1. 試験方法

市販中のコンニャク球茎植付機（以下、市販機）の作業能率及び作業精度を調査し、作業性能を検討した。表2に市販機の主要諸元を示す。また、市販機の作業風景を写真2に、種いもの補給状況を写真3に示す。試験年次は平成7年である。

表2 市販機の主要諸元

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| 植付部 ((株)マツモト MK111)     |               |
| 植付方式                    | カップベルトによる落下植付 |
| 植付条数                    | 1条            |
| 作溝方式                    | 作溝器           |
| いも載せ台数                  | 2個            |
| 原動機部 ((株)ヤンマー農機 PRT751) |               |
| エンジン型式                  | GA220SK       |
| 出力                      | 4.3kW/1800rpm |
| 変速段数                    | 前6,後2         |

供試機械は機械操作を行うオペレータ1名と、種いもを供給する補助者1名もしくは2名で行う半自動型植付機である。補助者は、進行方向に対し前方へ流下するカップベルトのカップに種いもの頂芽を揃えて1個ずつ供給する。このとき、同時に作溝器により作溝した溝に種いもを落下させて植付ける。

また、供試した種いもの形質を表3に、供試した種いもを写真4に示す。品種はあかぎおおだまで、2年生の球茎を使用した。

なお、調査項目は作業速度、作業能率、植付姿勢、ほ場条件とした。

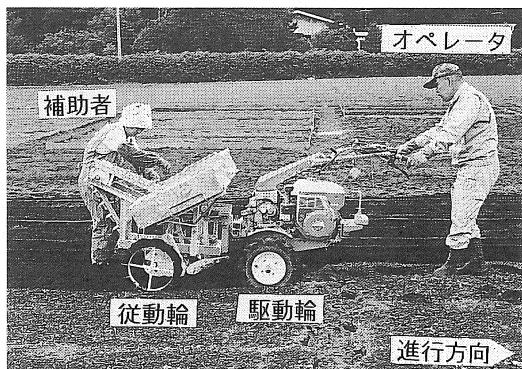


写真2 市販機の作業風景



写真3 市販機での種いも補給状況

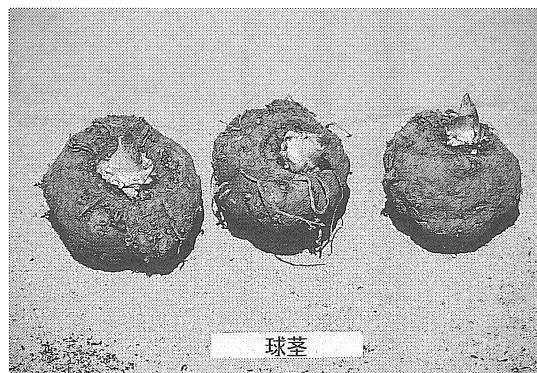


写真4 供試した種いも

表3 供試した種いもの形質

| 質量<br>(g) | 球径 (mm) |      | 球高 (mm) | 頂芽長 (mm) |
|-----------|---------|------|---------|----------|
|           | 最大      | 最小   |         |          |
| 平均        | 59.2    | 55.4 | 48.2    | 40.6     |
| 標準偏差      | 19.7    | 7.5  | 5.9     | 4.8      |

(注) 供試品種は2年生のあかぎおおだまで

### 2. 試験結果

作業能率及び作業精度を表4、5に示す。ほ場作業量は4.5a/h、有効作業効率は81%であった。

市販機での株間の変動係数は19%と高く、株間のはらつきが見られた。また、種いもの植付姿勢が90°～180°のものを下向きとした場合、頂芽の下向き割合は30.9%と不良であった。

作業速度と植付姿勢を表6に示す。作業速度に関わらず、下向き割合が約30%以上発生していた。さらに、作業速度0.39m/s以上になると欠株の発生が見られた。

これらの要因としては、歩行しながらの補給は

表4 市販機の作業能率

|                          |      |
|--------------------------|------|
| ほ場傾斜度(度)                 | 1    |
| 土壤型                      | 黒ボク  |
| 碎土率 <sup>1)</sup> (%)    | 95.1 |
| 土壤含水比(%d.b.)             | 56.6 |
| 畝間(m)                    | 0.6  |
| 機械質量(kg)                 | 182  |
| 押し下げ力 <sup>2)</sup> (N)  | 274  |
| ほ場面積(a)                  | 3.5  |
| 滑り率(%)                   | —    |
| 作業速度(m/s)                | 0.26 |
| 補給時間 <sup>3)</sup> (s/個) | 0.80 |
| ほ場作業量(a/h)               | 4.5  |
| 有効作業効率(%)                | 81.0 |
| 作業人員(人)                  | 3    |

- (注) 1) 土塊径2cm以下の質量割合  
 2) ハンドル把持部を鉛直方向に押し下げたときの値(種いも20kg搭載時)  
 3) 種いも一個当たりの補給時間

表5 市販機の作業精度

|                         |          |
|-------------------------|----------|
| 損傷率 <sup>1)</sup> (%)   | 0        |
| 株間 <sup>2)</sup> 平均(cm) | 20       |
| CV <sup>3)</sup> (%)    | 19       |
| 最大(cm)                  | 33       |
| 最小(cm)                  | 7        |
| 植付 <sup>4)</sup> 0~45°  | 35.8     |
| 姿勢 (%)                  | 45~90°   |
|                         | 90~135°  |
|                         | 135~180° |

- (注) 1) 損傷種いもの個数割合  
 2) 機械設定値は19cm  
 3) 変動係数(標準偏差/平均×100)  
 4) 種いもの頂芽の向きが真上のものを0°、真下のものを180°としたときの個数割合

表6 作業速度と植付姿勢

| 作業速度(m/s) | 植付姿勢別個数割合 <sup>1)</sup> (%) | 欠株率(%) |
|-----------|-----------------------------|--------|
| 0.14      | 42.1 29.4 19.8 9.5          | 0      |
| 0.25      | 38.0 31.9 19.6 10.4         | 0      |
| 0.39      | 32.8 19.1 25.2 22.1         | 0.7    |

- (注) 1) 頂芽方向が真上のものを0°、真下のものを180°とした。  
 供試品種は在来種。作業人員は3名。

かなり困難であるということ、機械の構造上、

補助者が手腕を捻りながら種いもを補給するといった不自然な姿勢で行われるためと思われた。

以上より、市販機の改良が必要であると思われた。

### III. 開発機の特徴と作業性能

#### 1. 試験方法

上述の問題点を解決するため、市販機をベースに新たな機械の開発を行った。試験年次は平成8~9年の2カ年である。

開発目標については以下のとおりとした。

- (1) 作業姿勢の改善、作業精度の向上の面から、補給者が植付ベルトと平行に並んでできるよう、座椅子を取り付ける。
- (2) 旋回時のオペレータの作業強度軽減の面から、駆動輪上方への簡易な重心移動が可能な機構となるよう、種いも用いも載せ台を可動式に改良する。

また、開発機を供試して、作業能率、作業精度、作業速度を調査するとともに、ビデオによる作業姿勢の記録を行った。

#### 2. 試験結果

##### (1) 開発機の特徴

改良点を表7に、開発機の作業風景を写真5、6に、開発機の旋回時の状況を写真7に示す。

開発機では、原動機部と植付部の連結部分に補給者が座る椅子を附加した。乗車人員は1~2名である。補給者は、足場を気にすることなく植付作業に専念できるようになった。なお、作業時の機体質量の増大によってスリップが発生するため、駆動輪と従動輪をダブルタイヤに変更した。また、駆動輪と従動輪の軸距を365mm広げ、フットレストを付加し、乗車時の補給者の足場を設けた。

表7 改良点

| 機種名          | 市販機 <sup>1)</sup> | 開発機  |
|--------------|-------------------|------|
| 座椅子          | ×                 | ○    |
| フットレスト       | ×                 | ○    |
| 車輪(駆動・従動)    | シングル              | ダブル  |
| 軸距(mm)       | 790               | 1155 |
| カップベルト傾斜角(度) | 22                | 76   |
| いも載せ台        | 固定                | 可動   |

- (注) 1) 原動機Y社PRT751、植付部M社MK111

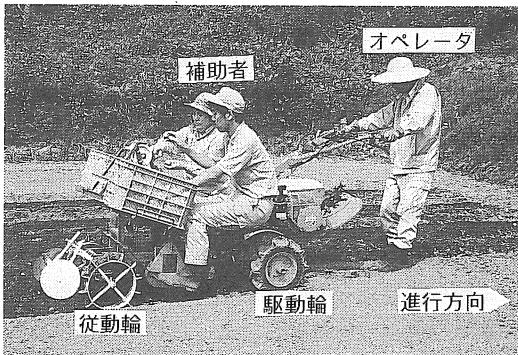


写真5 開発機の概要



写真6 開発機の種いも補給状況



写真7 開発機の旋回時の状況

更に補給作業時の、補助者の手腕系の動作範囲を小さくすることと、前傾姿勢時間の軽減を考慮し、カップベルト傾斜角を大きくした。このため、

補助者手腕系の動きがスムーズになった。

また、旋回時の労力軽減を図るために、いも載せ台を可動式に改良した。補給者は、枕地にくると降車して、いも載せ台を植付部側から原動機側へ移動させる。このとき、機体重心はいも載せ台とともに駆動輪上方へ移動し、旋回が容易になった。旋回時のハンドル把持部での押し下げ力は250Nと、市販機に比べ軽減された。

## (2) 開発機の作業性能

開発機の作業能率及び精度を表8、9に示す。

開発機の有効作業効率は市販機に比べやや劣つたものの、ほ場作業量は同程度であった。

平坦地、傾斜地ともに植付時の種いも損傷はなく、また、株間のばらつきも小さく安定していた。

植付姿勢別個数割合は、植付姿勢角0~90°の範囲で80.0~94.3%と良好であった。これは、作業姿勢の改善により、補助者が安定した姿勢で、無理なくカップベルトへの種いも供給が可能になつたためと考えられた。また、ほ場が傾斜している場合で、かつ補助者が2人乗車した場合でも、十分な植付精度が得られるため、開発機の傾斜地適応性も高いと思われた。

表8 開発機の作業能率

| 供試ほ場                     | 平坦地  |      | 傾斜地   |  |
|--------------------------|------|------|-------|--|
|                          | 上り   | 下り   |       |  |
| ほ場傾斜度(度)                 | 1    | 6    |       |  |
| 土壤型                      |      |      | 褐色森林土 |  |
| 碎土率 <sup>1)</sup> (%)    | 94.6 | 90.3 |       |  |
| 土壤含水比(%d.b.)             | 20.9 | 26.2 |       |  |
| 畝間(m)                    |      | 0.6  |       |  |
| 機械質量(kg)                 |      | 207  |       |  |
| 押し下げ力 <sup>2)</sup> (N)  |      | 250  |       |  |
| ほ場面積(a)                  | 3.4  | 2.7  |       |  |
| 滑り率(%)                   | 4.5  | 20.9 | -3.8  |  |
| 作業速度(m/s)                | 0.29 | 0.23 | 0.29  |  |
| 補給時間 <sup>3)</sup> (s/個) | 0.67 | 0.87 | 0.67  |  |
| ほ場作業量(a/h)               | 4.4  | 4.0  |       |  |
| 有効作業効率(%)                | 76.0 | 71.1 |       |  |
| 作業人員(人)                  |      | 3    |       |  |

(注) 1) 土塊径2cm以下の質量割合

2) ハンドル把持部を鉛直方向に押し下げたときの値(種いも20kg搭載時)

3) 種いも1個当たりの補給時間

このときの作業姿勢別時間割合とつらさ度を表10に示す。つらさ度とは、作業姿勢を観察・解析することによって、作業強度を簡易評価する手法である。作業強度が大きくなるにつれて、つらさ指数も高くなるため、長時間の過酷な作業ほどつらさ度は大きくなる。なお、つらさ指数は長町らの図<sup>4)</sup>をもとに、つらさ指数を決定した。

表10より、手作業での植付けはしゃがみ姿勢であるのに対し、開発機、市販機は立位または座位姿勢のため、ともに労働強度の低い、軽度な作業であることがわかった。さらに、開発機は座位での補給作業が可能で、旋回作業も楽なため、作業強度はさらに軽減されたものと思われる。

表9 開発機の作業精度

| 供試ほ場                     | 平坦地      | 傾斜地  |      |      |
|--------------------------|----------|------|------|------|
|                          |          | 上り   | 下り   |      |
| 損傷率 <sup>1)</sup> (%)    | 0        | 0    | 0    |      |
| 株間 <sup>2)</sup> 平均 (cm) | 19       | 20   | 19   |      |
| CV <sup>3)</sup> (%)     | 15       | 14   | 13   |      |
| 最大 (cm)                  | 28       | 25   | 25   |      |
| 最小 (cm)                  | 12       | 13   | 13   |      |
| 植付 <sup>4)</sup> 0~45°   | 75.3     | 51.4 | 52.0 |      |
| 姿勢 (%)                   | 45~90°   | 19.0 | 39.2 | 28.0 |
| (%)                      | 90~135°  | 1.3  | 6.8  | 13.3 |
|                          | 135~180° | 4.4  | 2.7  | 6.7  |

(注) 1) 頂芽が損傷した種いものの個数割合

2) 機械設定値は19cm

3) 変動係数 (標準偏差/平均×100)

4) 種いものの頂芽の向きが真上のものを0°、真下のものを180°としたときの個数割合

表10 作業姿勢別時間割合とつらさ度

| 作業内容      | 作業姿勢別時間割合 (%) |           |          |          |           |      |           |      |           |                        |
|-----------|---------------|-----------|----------|----------|-----------|------|-----------|------|-----------|------------------------|
|           | 待機            | 種任せ<br>供給 | 機械<br>操作 | 台の<br>回転 | 種任せ<br>供給 | 旋回   | 種任せ<br>植付 | 旋回   | 種任せ<br>運搬 | つらさ<br>度 <sup>1)</sup> |
| つらさ指数     | 1             | 2         | 3        | 3        | 4         | 4    | 5         | 5    | 6         |                        |
| 市販機 オペレータ | 1.6           | —         | 87.0     | —        | —         | —    | —         | 11.4 | —         | 3.2                    |
| 補助者       | 10.4          | —         | —        | —        | 87.0      | —    | —         | —    | 2.7       | 3.7                    |
| 開発機 オペレータ | 11.7          | —         | 76.5     | —        | —         | 11.8 | —         | —    | —         | 2.9                    |
| 補助者       | 11.3          | 76.5      | —        | 9.5      | —         | —    | —         | —    | 2.7       | 2.1                    |
| 手作業       | —             | —         | —        | —        | —         | 90.6 | —         | 9.4  | —         | 5.1                    |

(注) 1) つらさ度はつらさ指数に作業別時間割合を乗じて、合計した値

表11 製作費用

|                       |         |                              |
|-----------------------|---------|------------------------------|
| 購入品費 (円)              | 74,500  | タイヤ (一对), 軸受, ボルト, ナットなど     |
| 材料費 <sup>1)</sup> (円) | 74,506  | 等辺山形鋼, 平鋼, 角型鋼管, C型鋼, 中実丸鋼など |
| 材料加工費 (円)             | 75,000  | 切断, 溶接, 穴開けなど                |
| 組立費 (円)               | 30,000  |                              |
| 塗装費 (円)               | 8,000   | 錆止め塗装 (1回仕上げ)                |
| 消耗品費 (円)              | 11,300  | 溶接棒                          |
| 廃棄物処理料 (円)            | 15,000  |                              |
| 小計 (円)                | 288,306 |                              |
| 消費税 (円)               | 14,415  |                              |
| 計 (円)                 | 302,721 |                              |

(注) 1) 規格品の鋼材を使用し、試験場内で加工した

製作費用を表11に示す。開発機の製作費用は市販機を改良することを前提とした場合、約30万円要することがわかった。なお、植付け部を新規作成する場合は更にコストダウンが図れるものと思

われる。

また、市販機と開発機の作業可能面積及び利用経費を表12に、利用規模と利用経費を図1に示す。開発機の作業負担面積は2.47haで、手植えに比べ、

作付面積の拡大が可能となった。また、ha当たり年間利用経費は開発機が230千円、市販機が205千円、手作業が230千円と試算された。このため、機械導入時の1条件として、約1.5ha以上の作付面積での利用が考えられる。

- 2) 農林水産省統計情報部：工芸作物等の生産費, 81, 1998
- 3) 農業機械学会：生物生産機械ハンドブック, 771-773, 1996
- 4) 長町三生：安全管理の人間工学, 海文堂出版, 104-105, 1995

表12 作業負担面積及び利用経費

| 作業法                       | 市販機  | 開発機  | 手作業  |
|---------------------------|------|------|------|
| 作業能率(ha)                  | 22.7 | 22.2 | 35.7 |
| 作業負担面積 <sup>1)</sup> (ha) | 2.41 | 2.47 | 1.54 |
| 購入価格(千円)                  | 555  | 855  | -    |
| 年間固定費(千円)                 | 134  | 206  | -    |
| 年間固定費率(%)                 | 24.1 | 24.1 | -    |
| 変動費 <sup>2)</sup> (千円/ha) | 149  | 146  | 230  |
| 利用経費(千円/ha)               | 205  | 230  | 230  |

(注) 1) 作業可能日数10日、作業時間8時間

実作業率70%

2) 労賃1500円/h

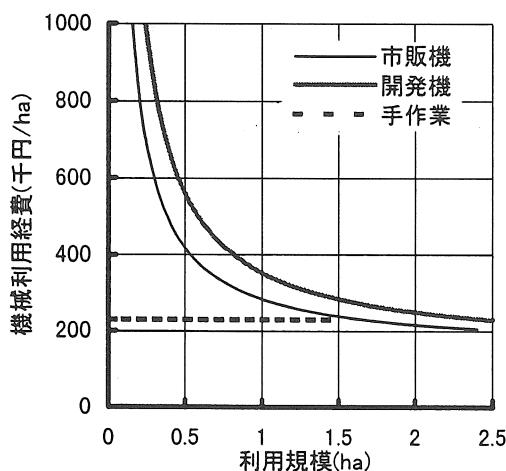


図1 利用規模と利用経費

#### IV. まとめ

市販のコンニャク球茎植付機を作業強度の軽減、作業精度の向上の面から改良し、新たな植付機を開発した。このことにより、種いもを補給する補助者は座位での作業が可能となり、作業姿勢の改善が図られた。また、補助者の作業姿勢・作業位置の改善により、作業精度の向上が確認された。

#### 参考文献

- 1) 農林水産省統計情報部：作物統計, 141, 1998.

【閲読者コメント】健康食品として人気のあるコンニャクの栽培面積がずいぶん減少していることに驚きました。これも機械化が遅れたために労働が過酷となり農家が敬遠したためでしょうか。このような作物の機械化に取り組まれた努力に敬意を表します。ところで開発機の作業精度を見ると植付姿勢も良くなっていますが、これはカップベルトの傾斜角の改良などが影響しているのでしょうか、それとも作業者の種いも供給時に何らかの違いが出たのでしょうか。

【筆者回答】開発機の植付方式は、市販機と同じため、機械的な植付精度の向上はありません。

植付精度は、補助者がカップベルトに芽を揃えて供給するため、人力での供給精度に影響されます。このため、補助者が座位姿勢で、かつカップベルトと一定距離を保ちながら補給できる開発機での植付作業は楽なものとなり、作業精度が向上したと思われます。

# りんどう施肥管理機の開発

藤原 敏\*・鶴田正明\*\*・千代田亘巨\*\*\*

Development of Preventive Machine with Paste Fertilizer Injector for Gentian

Satoshi HUJIWARA\*, Masaaki TSURUTA\*\*, Nobuo CHIYODA\*\*\*

[キーワード] りんどう、灌注施肥、病虫害防除、除草剤散布

## I. はじめに

岩手県では、りんどうの種子を一元的に供給することにより、計画的な産地拡大を推進してきた。

平成8年度の切花栽培面積は436haで、昭和60年以降全国第一位となっている。

りんどう栽培では、収穫・調整に多大の労力を要するが一部が機械化されているにすぎない。また、防除や施肥作業も、労働負担が強く効率的な作業体系が工夫されていないことから、作業効率の高いりんどう専用の施肥・防除機が求められていた。

このため、従来、アスパラガスやハウス用トマトなどで利用されていた防除機を改造し、灌注施肥、畦間の除草剤散布、病害虫防除剤の散布ができる管理機を開発した。

## II. 開発機の概要

開発機の仕様は表1のとおりである。

表1 りんどう施肥管理機の仕様

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| 機体寸法L×W×H  | 1.20×0.75×1.14 m         |
| 機械質量/タンク容量 | 150kg/0.13m <sup>3</sup> |
| 定格出力       | 1.54kW/1,800rpm          |
| 走行部形式      | ゴムクローラ 外幅 0.31m          |
| 変速段数       | 前進・後進：2段                 |
| 防除用噴口      | ゴム用広角噴霧2×5頭口             |
| 灌注用ノズル     | 2条、軸径13mm、噴口径3 mm        |
| 灌注幅（条間）    | 70・75・80・85cmの4段階        |
| 灌注ピッチ      | 0.36m                    |
| 灌注深さ       | 最大0.15m                  |
| 接地圧(本機のみ)  | 14kPa                    |
| (タンク満水時)   | 25kPa                    |

りんどう栽培においては、雑草防除・土壌水分の保持・地温上昇などの目的で黒マルチを使用している。施肥時には、マルチを部分的に切ったり穴を開けたりして化成肥料を施用しており、10a当たりの慣行作業の労働時間は10.8時間である(表5)。この施肥作業を省力化するために、自走式の防除機(MS-130D)の薬液タンクの位置をずらしてペースト肥料を灌注できる装置を装着した。灌注ノズルは走行駆動輪と連動しており、走行速度に影響されず一定間隔(りんどう2株に1回：約36cm)で灌注できる機構となっている。

- |          |               |
|----------|---------------|
| ①ブーム装置   | ⑥灌注用グッゲレバー    |
| ②除草散布機   | ⑦動噴・走行用グッゲレバー |
| ③注入ノズル   | ⑧噴霧用コック       |
| ④ホルダーアーム | ⑨灌注用コック       |
| ⑤ノブボルト   | ⑩変速レバー        |

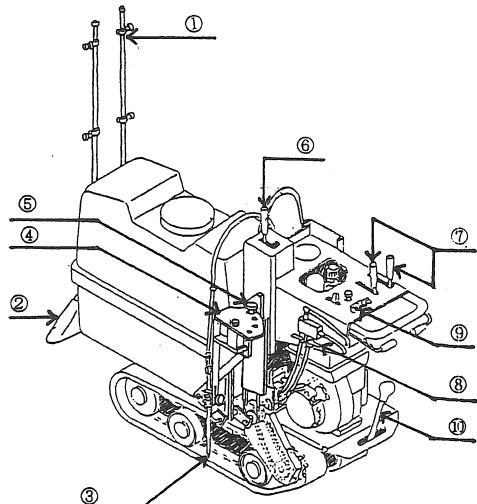


図1 りんどう施肥管理機

表2 ポンプ圧と灌水量(噴霧量)

| ポンプ圧<br>速度<br>MPa<br>m/s | 作業<br>速度<br>左側<br>右側 | 灌水量(cc/回) |       |       | 必要量<br>回<br>10a<br>回/10a | 補給<br>回<br>数 |
|--------------------------|----------------------|-----------|-------|-------|--------------------------|--------------|
|                          |                      | 合計        | %/10a | 回/10a |                          |              |
| 1.5                      | 0.243                | 65.5      | 61.3  | 126.8 | 229                      | 2            |
| 2.0                      | 0.241                | 83.4      | 74.0  | 157.4 | 284                      | 3            |

表2にポンプ圧と灌水量の実測例を示した。灌注作業では、ポンプ圧1.5MPaでほぼ設定量(60cc/回)の灌注が可能となり、灌注深さも10cm程度になり、生育に影響のない状況であった。なお、使用している灌注ノズルの直径は13mm、噴孔径は3mmである(図3)。

また、除草剤及び病害虫防除剤の散布では、散布幅の確保のためポンプ圧2.0MPaで散布する。

この機械の薬液タンク容量は130Lであるので、灌注作業では10a当たり2回、除草剤及び病害虫防除剤の散布作業では3回の補給が必要となる(表4)。なお、灌注後のマルチへの穴径は約2cmであった(表3)。

表3 灌注距離とマルチ穴径(単位:cm)

| ノズル<br>区分 | 設 定<br>灌注幅 | 設 定<br>灌注深 | 平均灌<br>注距離 | マルチ穴径 |     |     |
|-----------|------------|------------|------------|-------|-----|-----|
|           |            |            |            | 平均    | 最大  | 最小  |
| 右         | 70         | 11.0       | 36.4       | 2.1   | 3.0 | 1.5 |
| 左         | 85         | 15.0       | 36.4       | 2.3   | 3.0 | 1.5 |

ノズル直径13mm

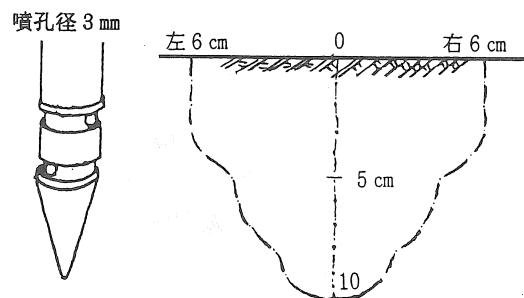


図2 灌注ノズル先端と(左)灌注範囲断面図

(灌注深さ10cm, ポンプ圧1.5MPaに設定)

灌注間隔は、りんどう畦の形状に合わせて70cm～85cmまで4段階に調節できるようホルダーアームをとりつけた。りんどうは草丈の伸長に合わせてネットを張るので、畦の端に支柱を立てているが、支柱幅が70cm以下ではこの機械の走行ができない。機体のバランスの関係から機体巾をこれ以上狭くできないので、機械に合わせた畦間巾が必要となってくる(図3)。

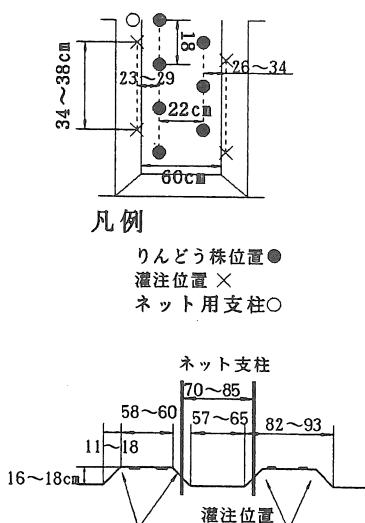


図3 畦の形状と灌注位置測定例

### III. 灌注施肥の効果

慣行作業では、りんどう専用肥料(15-10-12粒剤)を10a当たり80kg(N成分量12kg)施用している。同様のN成分量のペースト肥料(11-13-11)を2倍希釈したものを灌注し、比較したのが図4である。草丈、節数ともほぼ変わりなく、花段数も慣行施肥区と同程度であった。施肥の害や生育の遅れが心配されたがそのようなことも見られなかった。ポットによる調査では、株中心から5～10cmの範囲内では通常に生育し、問題はみられなかった。株元に適用量の2倍量施肥した場合、開花期が遅れ、短草で花段数も減少する傾向がみられた。

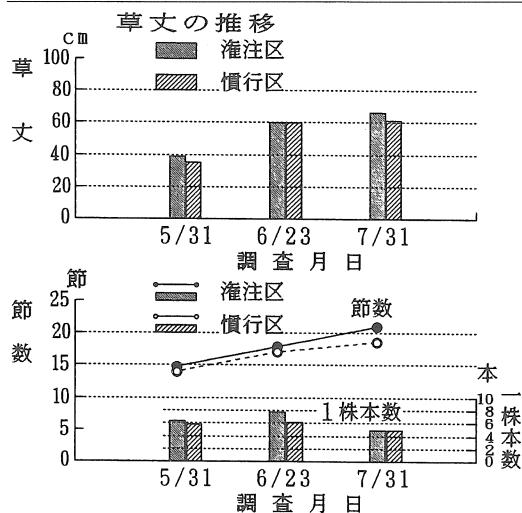


図4 灌注施肥区と慣行施肥区の生育比較

#### IV. 開発機の能率

りんどう施肥管理機を用いた場合、施肥・追肥作業は、慣行の10.8時間に対して2.7時間と省力的になる。また、防除作業は可搬式動力噴霧器を用いて行う体系がほとんどであり、自走式の防除機を使うことによって約40%減の14.4時間となる。畦間の除草剤散布は、従来は人力によるミスト機で行っていたがこの機械の除草ノズルを利用するこにより、2.7時間と慣行の19%の労働時間となる（表4、5）。なお、1日の圃場作業量を計算すると、防除作業では0.74haとなる（表6）。

表4 施肥管理機の作業能率等調査一覧

|               | 灌注施肥 | 防除   | 除草剤散布 |
|---------------|------|------|-------|
| 作業時間(min/10a) | 54.2 | 54.0 | 52.7  |
| 作業速度(m/s)     | 0.23 | 0.22 | 0.23  |
| 使用水量(L/10a)   | 184  | 277  | 163   |
| 使用燃料(cc/10a)  | 530  | 860  | 500   |
| 使用圧力(MPa)     | 15   | 20   | 20    |
| 作業体系(h/10a)   | 2.7  | 14.4 | 2.7   |
| 慣行体系との比       | 25%  | 61%  | 19%   |

(注) 作業体系は年間の作業回数を考慮した時間

表5 りんどう慣行体系労働時間内訳

| 作業名       | 10a当たり<br>労働時間 |
|-----------|----------------|
| 収穫        | ① 164.0 時間     |
| 調整、選別、箱詰め | ① 164.0        |
| 病害虫防除     | ③ 44.8         |
| うち機械使用時間  | 23.8           |
| 跡地整理      | ④ 32.0         |
| 株仕立て      | ⑤ 24.0         |
| 除草        | 22.0           |
| うち畦間除草剤散布 | 14.0           |
| 敷きワラ      | 19.5           |
| 基肥施用、追肥   | 11.2           |
| うち施肥作業    | 10.8           |
| その他作業     | 24.0           |
| 合計        | 505.5          |

表6 機械作業可能面積試算例（防除作業）

| 項目             | 計算値  |
|----------------|------|
| 作業速度 (m/s)     | 0.22 |
| 作業時間 (min/10a) | 54.0 |
| 作業能率 (ha/h)    | 0.11 |
| 一 日 当 り        |      |
| 作業時間 (h)       | 10.0 |
| 実作業率 (%)       | 66.6 |
| 実作業時間(h)       | 6.7  |
| 圃場作業量(ha/日)    | 0.74 |

#### V. 利用経費

管理機(防除作業)の利用経費は、稼働面積を1ha、機体本体価格を90万円、燃料費(ガソリン)を90円/Lと仮定した場合、10a当たり27,597円となる(図5)。なお、この機械で灌注施肥した場合の肥料費は慣行に比べて1.8倍となる(表7)。

表7 使用肥料の価格比較

| 肥料種類   | 成分 (%)   | 施用量      | 肥料費     |
|--------|----------|----------|---------|
|        | N-P-K    | (kg/10a) | (円/10a) |
| ペースト肥料 | 11-13-11 | 109      | 16,623  |
| 専用粒剤肥料 | 15-10-12 | 80       | 9,080   |

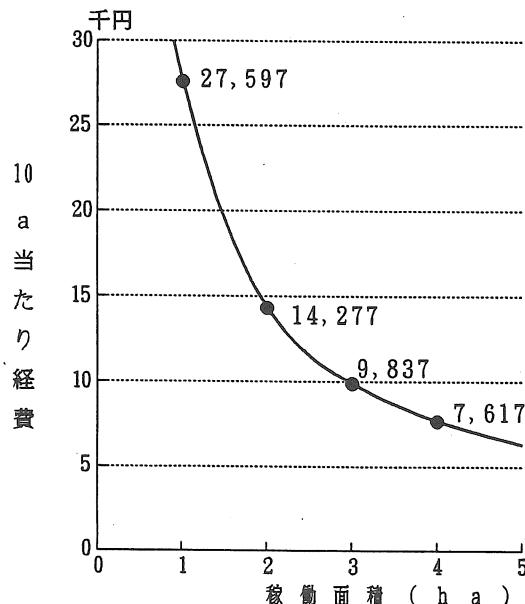


図5 稼働面積と10a当たりの経費試算例

## VII. 機械利用上の留意点

- (1) りんどう施肥管理機を導入する際は、現行の圃場に機械が旋回するための作業道を設ける必要がある。
- (2) 施用する肥料は、水田側条施肥用のペースト肥料を2倍希釀で使用し、ポンプ圧は1.5MPaに設定する。
- (3) 滅注施肥作業では、滅注位置を株際から10cm、滅注深さを10cmとする。
- (4) 管理機が作業しやすい支柱幅は80~90cmである。

## VIII. まとめ

- (1) りんどう栽培において、施肥・防除・除草などの作業が肉体的に厳しい労働を強いられていることから、りんどう専用の施肥・防除・除草剤散布などに1台で対応できる機械を開発した。
- (2) 本機を使用することで、施肥作業が10.8から2.7時間/10aへ、畦間除草作業が14から2.7時間/10aへ、防除作業が23.8から14.4時間/10aと、従来の作業体系より40~80%軽減される。
- (3) 滅注による施肥作業では、滅注ノズルが走行駆動輪と連動しているため、走行速度に影響されず、施肥時の滅注間隔が一定の間隔で(約36cm

りんどう2株に1回)滅注できる。また、ペースト肥料の滅注施肥区は慣行区と同程度の生育量が確保される。

(4) この管理機(防除作業)の利用経費は、機体本体価格を90万円、燃料費を90円/リッタ、稼働面積を1haとした場合10a当たり27,597円である。

(5) この機械は、地域特産農作物用機械開発促進事業(国庫補助事業)によって、りんどう産地である安代町りんどう生産者部会、盛岡農業改良普及センター安代町担当の意見を取り入れながら開発をすすめたもので、試験場所は安代町、試験担当は岩手県農業研究センター、機械改造は福菱機器株が担当した。

### [閲読者コメント]

滅注位置や滅注圧は土壤条件や根の張り方等との関連で決定したと思われますが、滅注位置を2株に1回にしたこと、および、滅注圧をどのように決定したかについてお聞かせください。

### [著者回答]

滅注位置は、ネット張り用の支柱の位置より内側で、作業能率が良くなるように2株に1回としました。

滅注圧は、施肥量や補給回数を考慮して決めました。ポット試験では施肥量が多くなると、開花日が遅れ、短草で花段数も減少する傾向が見られました。

## 試作オウトウシェーカによるほ場試験（第3報）

－枝の状態と果実の落下－

赤瀬 章\*・鈴木 洋\*・上出順一\*・平良木 崇\*・今野 直\*

Harvesting Tests with a Prototype Cherry Shaker (Part 3)

Akira AKASE\*, Hiroshi SUZUKI\*, Jun-ichi KAMIDE\*,  
Takashi HIRARAGI\*, Naoshi KONNO\*

### Abstract

Field tests of cherry harvesting were conducted using a prototype shaker. Vibration given by the shaker cannot be effectively transmitted to slender and long limbs. Pruning of the hanging limb seems to be effective for mechanical harvesting of cherry. In the early morning, fruits were harvested easily and many fruits with stalks were obtained. The authors constructed the super-stalk-fruit system models using fishing line and wooden balls. Moreover many models were attached along the limb and then the limb was vibrated. Thereby the positions where fruits couldn't be removed were able to be found.

[Keywords] cherry shaker, pruning, cherry model

### I. はじめに

わが国の加工用オウトウの生産量は年間約4000tであり、そのすべてが手で収穫されている。生食用のオウトウに比べて、加工用のオウトウは単価が低く、収穫労働力が減少し、高齢化が進む状況のなかで、その機械収穫が強く望まれている。そこで小枝を対象としたオウトウ専用のシェーカを試作し、それによるほ場での振動試験の結果を第1報<sup>1)</sup>、第2報<sup>2)</sup>で報告した。

本報では、オウトウの結果枝-果梗-果実系のモデルを作製してオウトウ樹に取り付け、その落下状況を調べた。ほ場試験では枝の剪定による効果を確認した。

### II. オウトウシェーカ2号機の改良

昨年使用したオウトウシェーカ2号機<sup>3)</sup>のクランプ部は、開閉ハンドル部<sup>1)</sup>でワイヤーをひっぱり、クランプで枝を挟持した時、第2報<sup>2)</sup>図1のリンクabがワイヤーに対して平行に近くなり、挟持力が低下した。

そこで第2報<sup>2)</sup>図1の∠abcを87.5度から80.5度

へと小さくし、クランプの挟持力を大きくした。また、2号機のクランプ爪は、枝を挟むと鉗のように食い違っていたが、枝と接する爪の部分に厚みをもたせることにより、爪が対面するようにした。これにより、枝への単位面積あたりの圧力が小さくなり、枝の損傷が少なくなった。

### III. オウトウモデル振動試験

#### (1) 実験方法

オウトウ果実は結果枝に果梗を介してなっているので、結果枝-果梗-果実系のモデルを作製し、それをオウトウの枝に取り付け落下状況を観察した。モデルを図1に示すように、果梗のかわりに長さ2cmのハリスを、オウトウ果実のかわりに10gの木製ボールを使用し作製した。枝への着脱が容易なようにマジックテープを使用した。このオウトウモデルを室内振動装置に取り付け振動脱離試験を行った。振動数(6.67-15.0Hz)、全振幅2a(4, 6, 8cm)、ハリス強度(0.3, 1, 2号)を変化させ、脱離時間を高速度ビデオ(200コマ/s)を使用して正確に計測した。

## (2) 実験結果および考察

図2は、ハリス1号を使用して、振動数、全振幅を変化させて脱離時間を測定しその関係を示したものである。図3は全振幅を6cmに固定して、ハリス強度を変えて関係を示したものである。5秒で落下しなかったものを、不落下とした。振動数、全振幅が大きくなるほど、ハリス強度が低くなるほど、オウトウモデルの脱離時間が小さくなっている。これは、昨年のナポレオン振動脱離試験(図4)の関係とよく似ており、オウトウモデルは単粒のオウトウと同じような脱離傾向を示し、ほ場での枝の振動状況を調べるのに有効であるこ

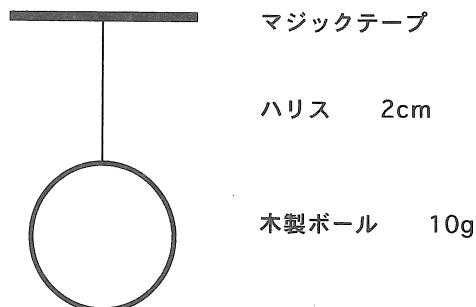


図1 オウトウモデル

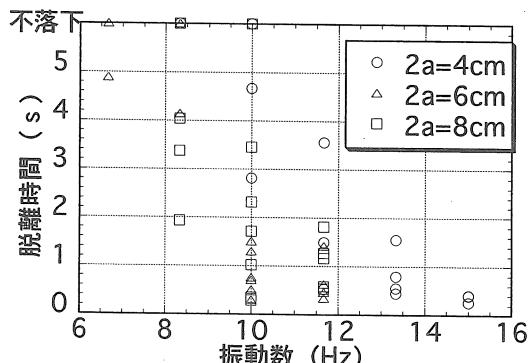


図2 加振振動数とモデル脱離時間の関係(ハリス1号)

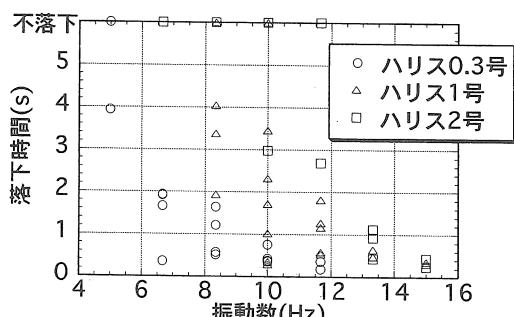
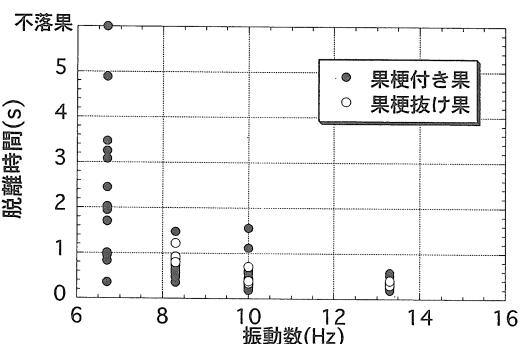


図3 加振振動数とモデル脱離時間の関係(2a=6cm)

図4 加振振動数と果実脱離時間の関係(ナポレオン, 2a=6cm, 平均果実質量4.33g)  
とが分かった。

## IV. ほ場での収穫試験

## (1) 実験方法

実験方法は第2報<sup>2)</sup>と同じである。昨年までの試験結果から主枝、側枝が長くしたれている枝は落果しにくいことから、枝に剪定を施すことによって、落果状況を調べる試験も行った。なお、シェーク力の設定振動数は13.3Hz、設定全振幅は8.0cmである。

## (2) 実験結果および考察

表1は、オウトウ振動収穫試験をまとめたものである。供試品種はナポレオンと佐藤錦で、l<sub>1</sub>は枝の全長を、d<sub>1</sub>は基部直径を、l<sub>2</sub>は枝の基部からクランプ位置までの長さを、d<sub>2</sub>はクランプ位置での枝の直径を示す。

tは振動時間を、α, βはそれぞれ水平面からの枝の仰角とブームの仰角を示している。実験した時刻と気温を記録した。

落果率は枝全体の落果率を、先端落果率はクランプ位置より先の落果率を、果梗付き果実率は全落下果実に対する、果梗付き果実の割合を示す。l<sub>1</sub>/l<sub>2</sub>は、加振部の相対位置を、l<sub>1</sub>/d<sub>2</sub>は枝の細長比を表す。

図5は6月9日に行った実験No 4の枝の状況である。主枝を20cm毎に区切り、オウトウ果実数を調べた。振動後の残果と位置を図に○印で示した。矢印はクランプ位置を示し、枝の下の図は主枝の太さの変化を示している。実験No 4で振動収穫されたオウトウ果実は、損傷が少なく、加工用のオウトウとしては良好な状態であった。これは①主枝が比較的太く、枝の各部の振幅が大きかつたこと、②早朝、午前6時の試験だったため、

気温が17°Cと低く、オウトウ果梗がみずみずしく張りがあり、枝から脱離し易かった、などが原因として考えられる。

図6は剪定を施した枝での果実の落下状況を示している。なお矢印の左は着果数を、右は残果数を示している。前報<sup>2)</sup>で明らかにしたように、しだれた枝では落果しにくいが、剪定を施した枝の先端では、果実が残らなくなる。枝の剪定は、機械収穫に有効であることが分かる。

## V. オウトウモデルのほ場試験

### (1) 実験方法

振動収穫後の枝にオウトウモデルを20cm毎に取り付け、シェーカーで振動させ、その落下状況を調べた。

### (2) 実験結果および考察

図7の(1)は振動前の枝の状況を示し、(2)は2回の振動後の残果数を示し、(3)はオウトウモデルの落下状況を示している。白丸は1回の振動で落下したモデルで、黒丸は2回の振動で不落下だった

表1 オウトウ振動収穫試験の条件および結果

| 実験番号 | 月日    | 場所 | 品種 | $l$<br>(cm) | $d$<br>(mm) | $l_c$<br>(cm) | $dc$<br>(mm) | $t$<br>(s) | $\alpha$<br>(°) | $\beta$<br>(°) | 落果率<br>(%) | 先端落果率<br>(%) | 果梗付き果率<br>(%) |
|------|-------|----|----|-------------|-------------|---------------|--------------|------------|-----------------|----------------|------------|--------------|---------------|
| 1    | 6月8日  | 酒  | ナ  | 225         | 39          | 83            | 22           | 3          | —               | 20             | 73.4       | 76.9         | 91.4          |
| 2    | 6月8日  | 酒  | ナ  | 258         | 34          | 80            | 21           | 3          | 25              | 20             | 77         | 80.1         | 93.9          |
| 4    | 6月9日  | 酒  | 佐  | 275         | 49          | 120           | 27           | 3          | 30              | 20             | 86.6       | 95.1         | 92.5          |
| 8    | 6月10日 | 寒  | ナ  | 200         | 38          | 60            | 24           | 3          | 0               | 25             | 53.8       | 74.7         | 87.4          |
| 9    | 6月12日 | 村  | ナ  | 188         | 33          | 70            | 21           | 2          | -20             | 0              | 66.4       | 74           | 97.8          |
| 10   | 6月12日 | 村  | ナ  | 130         | 46          | 60, 85        | 26, 23       | 2+2        | -35             | 30             | 74.8       | 97.3         | 72.9          |
| 11   | 6月12日 | 村  | ナ  | 162         | 37          | 55            | 26           | 2          | 0               | 55             | 74.8       | 87.2         | 63.1          |
| 12   | 6月15日 | 寒  | ナ  | 450         | 80          | 300           | 26           | 2          | -10             | 20             | 58.2       | 84.6         | 52.7          |
| 15   | 6月17日 | 村  | ナ  | 175         | 30          | 45            | 16           | 2          | 40              | 10             | 100        | 100          | 68.7          |
| 16   | 6月17日 | 村  | ナ  | 220         | 60          | 120           | 32           | 2          | -15             | —              | 85.3       | 75.5         | —             |

| 実験番号 | 果梗付き(m)<br>(g) | 果梗付き(糖度)<br>(°) | 果梗抜け(m)<br>(g) | 果梗抜け(糖度)<br>(°) | $l_c/l$<br>(cm) | $l/d$ | 時刻    | 気温<br>(°C) |
|------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------|-------|------------|
| 1    | 3.25           | 12.5            | 3.04           | 12.2            | 0.37            | 5.77  | 11:15 | 26.5       |
| 2    | 3.51           | 13.6            | 3.35           | 13.02           | 0.31            | 7.59  | 15:03 | 23         |
| 4    | 3.32           | 13.3            | 2.79           | 14.3            | 0.43            | 5.61  | 6:24  | 17         |
| 8    | 4.87           | 11.3            | 5.06           | 12.7            | 0.3             | 5.26  | 15:00 | —          |
| 9    | 4.39           | 11.5            | 4.15           | 11.65           | 0.37            | 5.69  | 10:30 | 20         |
| 10   | 3.64           | 9.52            | 4.31           | 10.34           | 0.46 0.65       | 2.83  | 11:30 | 24         |
| 11   | 5.34           | 13.58           | 5.45           | 13.61           | 0.33            | 4.38  | 14:00 | 20.5       |
| 12   | 4.72           | 13.1            | 4.09           | 12.2            | 0.67            | 5.63  | 10:00 | 23         |
| 15   | 5              | 9.5             | 5.89           | 10.54           | 0.26            | 5.83  | 7:49  | 20         |
| 16   | 3.7            | 12.34           | 4.51           | 13.44           | 0.54            | 3.67  | 8:30  | 26         |

酒：酒田市（山形県立砂丘地農業試験場）、寒：寒河江市、村：村山市  
ナ：ナポレオン、佐：佐藤錦

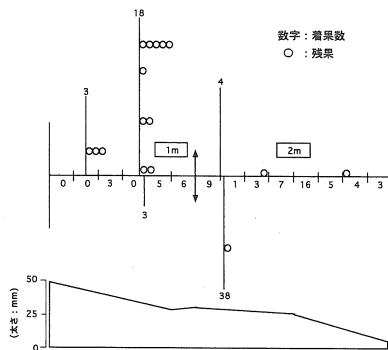


図5 枝の振動と果実の落下

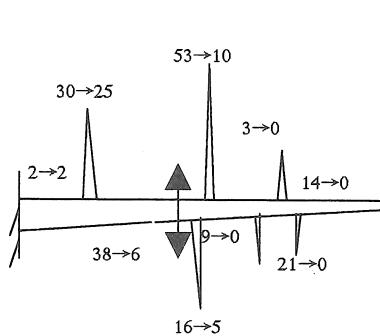


図6 先端が剪定されている枝の落果状況

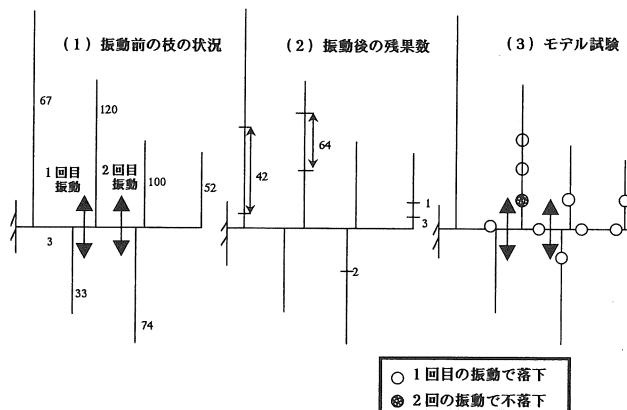


図7 2回の振動による果実とモデルの落下

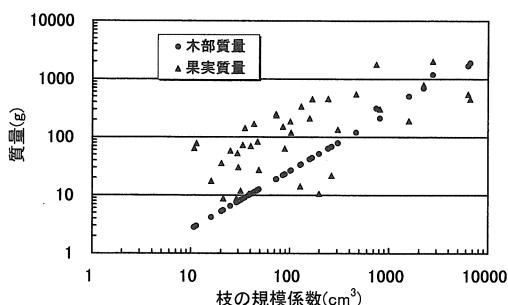


図8 枝の規模係数と木部質量、果実質量

モデルである。この落下状況は、オウトウ果実とほぼ同じ傾向を示していると考えられる。しかし、両者に幾分違いがあるのは、振動により果実を落とした後でモデル試験をしたので、果実の質量分布が異なることが一つの原因であると考えられる。

ここで、枝の規模別に木部質量と果実質量を調べた。枝の規模は規模係数<sup>4)</sup>で表される。

$$k = d^2 \ell \quad \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

k : 枝の規模係数 (cm<sup>3</sup>)

d : 枝の基部直径 (cm)

l : 枝の全長 (cm)

枝の直径は先端からの距離に比例し、主枝はほぼ円錐形とみなせる<sup>3) 4)</sup>。従って枝の木部質量は木部密度を 1 g/cm<sup>3</sup>とみなすと

$$\begin{aligned} M_w &= 1/3 \cdot \pi/4 \cdot d^2 \ell \\ &= 1/12 \cdot \pi d^2 \ell \quad \dots \dots \dots \quad (2) \end{aligned}$$

M<sub>w</sub> : 木部質量 (g)

果実質量は果実個数と平均質量の積である。枝の

規模係数、木部質量、果実質量の関係を図8に示す。小規模の枝では果実質量が木部質量より大きいことが多いが、規模係数が約5000cm<sup>3</sup>以上では木部質量が大きくなる。

## VI. 結論

以上の結果をまとめると次のようにになる。

- (1) 長く垂れた枝では、減衰が大きく振動が小さくなるため収穫が困難である。枝に剪定を施すと、減衰が小さく振動が大きくなるため果実の脱離が容易になると同時に果梗付き果が多くなる。
- (2) 朝の振動収穫は果実の脱離が容易で、また果梗付き果が多く得られる。
- (3) オウトウモデルはオウトウが枝から脱離するかどうかを直接判断でき、また枝の振動状況の究明に有効と思われる。

## 参考文献

- 1) 赤瀬 章他：試作オウトウシェーカによるほ場試験、農機学会東北支部報、No.43,39-42,1996
- 2) 赤瀬 章他：試作オウトウシェーカによるほ場試験（第2報）、農機学会東北支部報、No.44, 61-64,1997
- 3) Fridley,R.B.et al,Computer Analysis of Tree Shaking, Trans.of the ASAE, 8-11,1965
- 4) 土屋 功位他：果実の機械収穫に関する研究（第4報）、農機誌、40(1), 53-59, 1978

[閲読者コメント] 1) 枝の剪定が機械収穫に有効のことですが、どの様に剪定したのか教えて下さい。

2) モデル振動試験でマジックテープを使用されていますが実物の果梗が枝についている状況と違ひはないですか。

[著者回答] 1) 枝先を30cm,50cm剪定しました。来年度も同一枝で実験をする予定です。2) 大いに異なります。そのため図2, 3の試験を行い図4と比較しました。

# リンゴ収穫ロボットのための果実部クリープ特性

片岡 崇\*・広間達夫\*・太田義信\*

Creep Characteristics of Apple Fruit for Apple Harvesting Robot

Takashi KATAOKA\*, Tatsuo HIROMA\*, Yoshinobu OTA\*

## Abstract

The apple is one of the important agricultural products in the north region of Tohoku. However, the harvest works have still depended on manual labor. This paper describes the creep characteristics for mechanical harvesting of an apple fruit. The elastic coefficient of the apple was calculated 50 kN/m approximately. The apple maintained 60% of the maximum deformation after unloading. The apple was appeared to receive some bruises and to be deformed the shape even if the force is weak. Therefore the devices should be not to touch and hold the apples while mechanically harvesting.

[Keywords] apple, harvest, creep, deformation, elastic coefficient, voigt element

## I. 緒 言

我が国におけるリンゴ生産量は、年間約100万トン<sup>1)</sup>である。青森県、岩手県でその生産量の約60%を占め、リンゴは北東北地方において重要な農産物のひとつに位置づけられる。特に岩手県では、千秋や北斗などの新しい品種などとともにフジや王林などに代表される生食用品種の生産比率が極めて高い<sup>2)</sup>。

栽培作業に目を向けると、矮化技術<sup>3)</sup>により、リンゴの栽培における労働負荷の軽減が図られてきた。しかしながら、春の剪定に始まり、夏の摘花、摘果、秋の収穫まで、スピードスプレーヤによる防除を除きほとんどが人の手による作業である。特に収穫作業に要する労働時間は全作業時間の約30~40%を占めており<sup>4)</sup>、リンゴ収穫機械の開発はさらなる労働作業環境の改善に寄与するものである。

生食用のリンゴは、果実部の傷や痛みがないことは当然のことながら、リンゴ果実に果梗（ジク）

が付いたまま収穫されなければならない。リンゴの機械収穫に関する研究には、防除用スピードスプレーヤの風力を利用した研究<sup>5)</sup>がある。ここでは、近年のコンピュータ技術の発達に伴った農業用ロボットという概念に従って、リンゴ収穫ロボットの開発を目指す<sup>6)</sup>。このために、収穫時の把持位置の特定は重要な課題となる。

本報では、収穫時のリンゴ果実部のクリープ特性について述べる。収穫時に果実部を把持することが可能であるかどうか検討を行う。クリープ特性の評価は、収穫後のリンゴのコンテナ等へ積み込む際の果実部の損傷を力学的に予測することにも拡張することができる。

## II. 実験装置及び方法

図1に実験装置<sup>7)</sup>を示す。リンゴ果実部に一定の一軸静荷重を瞬間に載荷する。載荷荷重状態は、無載荷状態からステップ的に載荷状態に移り変わる。載荷荷重は50, 108, 208, 290 Nとし、

\* 岩手大学農学部

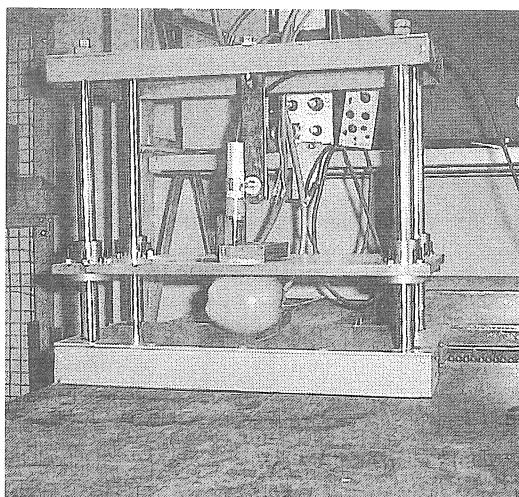


図1 クリープ特性実験装置

荷重方向は鉛直下向きである。品種にはフジ、紅玉、ジョナゴールド、千秋、いずれも収穫直後の果実を供試した。

果実部の変形量は、小型変位変換器(Kyowa, DT-10F, 測定範囲0~10 mm)で測定した。測定データは、A/D変換(サンプリングタイム10ms)後、直接パーソナルコンピュータ(NEC, PC-9801)に記録し、解析に用いた。

荷重載荷板はアクリル製であったため、そのたわみなどの影響を取り除くために載荷板上に厚さ16 mmの鉄板をおき、その上から荷重を加え、鉄板上で変形量の測定を行った。

### III. 解析モデル

リンゴをはじめ農産物における変形特性に関して、4要素Burgersモデル<sup>8,9)</sup>、あるいはこれに塑性要素を付加したモデル<sup>10)</sup>に基づいた評価が行われている。また、クリープ特性評価は、一般に応力とひずみの関係で論じられている<sup>10)</sup>。しかしここでは、リンゴ収穫ロボットがリンゴ果実部を持することを想定したリンゴ果実部全体のクリープ特性の評価を試みるため、測定対象物を円筒状にするなど断面をあらかじめ定義することはできない。球形の一端面に荷重を加えることで、接触部の面積は変形とともに変化することになる。そ

こで、載荷荷重と変形量の関係からリンゴ果実部全体のクリープ特性を解析する。

図2に示すVoigtモデルを2つ組み合わせた4要素モデルによりクリープ特性を解析する。これは、リンゴ果実部のクリープ特性実験において2通りの変形パターンが観察されたためである。2つのVoigtモデルが2通りの変形パターンをそれぞれ表す。図中、上方のVoigtモデルは、荷重載荷直後の短時間の変形に対して適用される。ダッシュボットの粘性係数を $\eta_1$ 、バネ定数を $k_1$ とする。これに対して下方のVoigtモデルは、荷重載荷直後の瞬間的な変形の後の長時間の持続的な変形に対して適用される。ダッシュボットの粘性係数を $\eta_2$ 、バネ定数を $k_2$ とする。

図2の4要素モデルにおいて載荷荷重をFとすると各要素に掛かる力はそれぞれ、

$$F_{11} = \eta_1 \frac{dy_1}{dt} \quad (1)$$

$$F_{12} = k_1 y_1 \quad (2)$$

$$F_{21} = \eta_2 \frac{dy_2}{dt} \quad (3)$$

$$F_{22} = k_2 y_2 \quad (4)$$

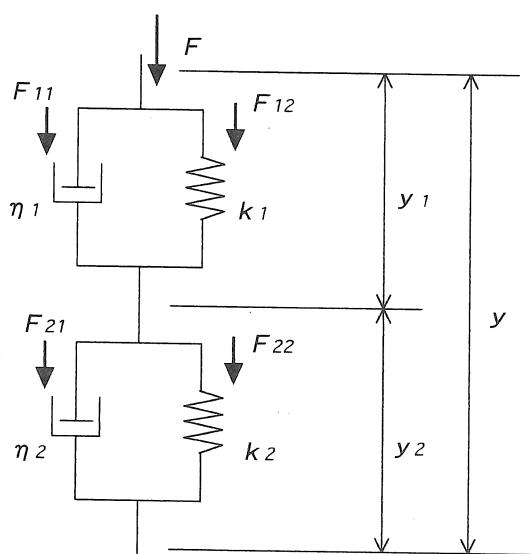


図2 4要素モデル

と表される。ここで、 $y_1$ 、 $y_2$  は各 Voigt モデル要素の変形量である。

全体の変形量  $y$  は次式で示される。

$$y = y_1 + y_2 \quad (5)$$

この時、

$$F = F_{11} + F_{12} = F_{21} + F_{22} \quad (6)$$

であるから、

$$F_{11} = \eta_1 \frac{dy_1}{dt} + k_1 y_1 \quad (7)$$

$$F_{11} = \eta_2 \frac{dy_2}{dt} + k_2 y_2 \quad (8)$$

となる。初期変形ではなく、一定の静荷重が瞬間に載荷されると仮定すると(7)、(8)式は、 $y_1$ 、 $y_2$  の成分であるから、全体の変形量は、

$$y = \frac{F}{k_1} \left( 1 - e^{-\frac{k_1}{\eta_1} t} \right) + \frac{F}{k_2} \left( 1 - e^{-\frac{k_2}{\eta_2} t} \right) \quad (9)$$

と表すことができる。

遅延時間と呼ばれるパラメータ  $\tau_1$ 、 $\tau_2$  を用いると、

$$y = \frac{F}{k_1} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) + \frac{F}{k_2} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) \quad (10)$$

と一般化される。ここで、

$$\tau_1 = \frac{\eta_1}{k_1} \quad (11)$$

$$\tau_2 = \frac{\eta_2}{k_2} \quad (12)$$

である。

#### IV. 実験結果及び考察

##### (1) 荷重ごとのクリープ特性

表 1 に実験に供試したリンゴ果実部の直径と質量を平均値で示す。クリープ特性実験の測定点数は、各条件においてそれぞれ10点であった。

表 1 りんご果実部の大きさ

|         | 直径(mm) | 質量(g) |
|---------|--------|-------|
| フジ      | 96.3   | 307.0 |
| 紅玉      | 75.4   | 240.0 |
| ジョナゴールド | 121.1  | 344.2 |
| 千秋      | 92.6   | 261.8 |

図 3 に、フジにおける載荷荷重ごとの果実部のクリープ特性を経時変化に対する変形量で示す。実線が実験結果である。載荷荷重の増加に伴い、変形量は大きくなつた。載荷直後は、荷重の大きさに関係なくほぼ同じような直線的傾きをもって変形量が増加していった。そしてその後、微小な変形がいつまでも持続した。載荷時において、載荷直後の短時間の変形と持続的な長時間の載荷下での 2 パターンのクリープ特性をみることができる。

2 要素の Voigt モデルによる解析では、2 パターンのクリープ特性を 1 つの特性として表すことになり精密性に欠ける。載荷直後に瞬間的な塑性変形が起こると仮定した場合、Burgur モデル<sup>7)-9)</sup>で評価できることはよく知られているが、ここでは時間依存の塑性変形の特徴もそのまま把握し、2 パターンの変形様式をもつクリープ特性の評価をそれぞれ試みるため、前述の 4 要素 Voigt モデル(図 2)による解析を行うことにした。

フジの果実部のクリープ特性を(10)式を用いて、最小 2 乗線形 Taylor 微分補正法<sup>10)</sup>により各要素のバネ定数、粘性係数を最適化した近似曲線を図 3 中に破線で示す。4 要素モデルにより、荷重載荷直後の短時間の変形と持続的な載荷状態下における長時間の変形を分離してリンゴ果実部の変形特性を表すことができた。

約 90 秒後に除荷を行った。クリープ回復を観察することができるが、最大変形量の約 60% が塑性変形として残つた。除荷時において、この塑性変形成分を如何に(10)式に組み入れるかがモデルを改良する上で今後の課題となる。

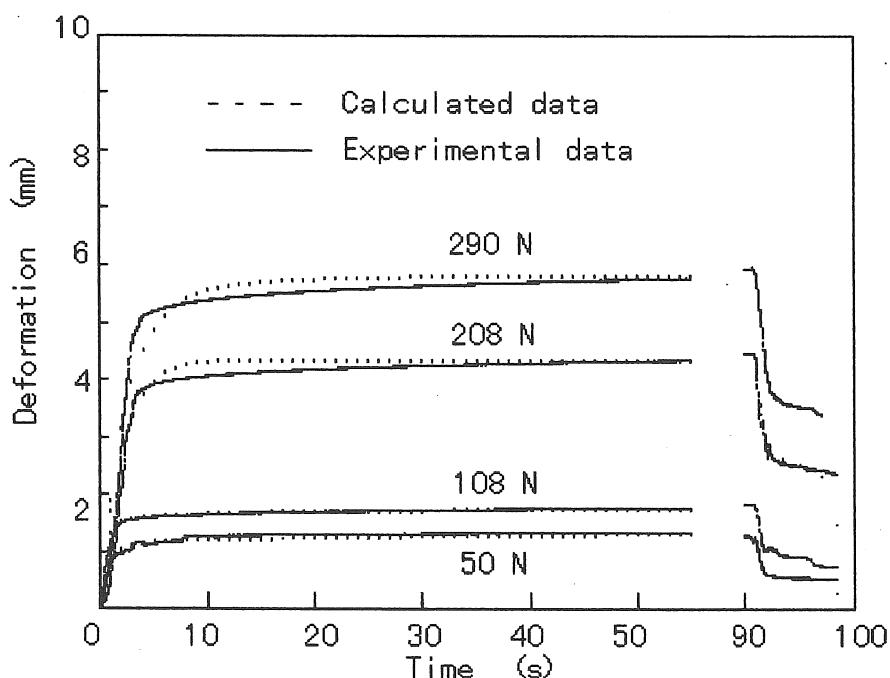


図3 フジにおけるクリープ特性

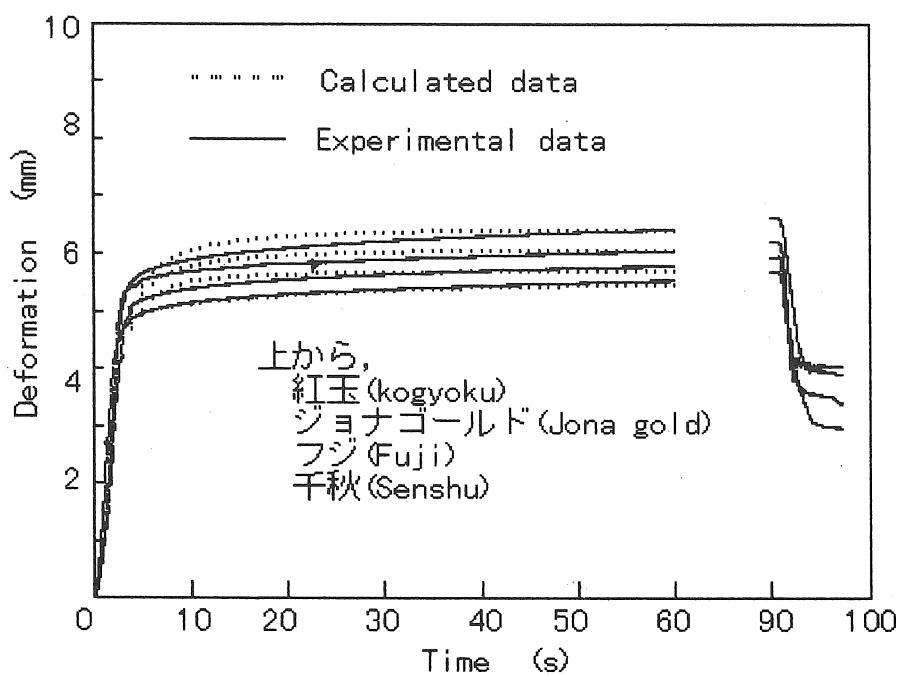


図4 フジ, 千秋, 紅玉, ジョナゴールドのクリープ特性 (荷重290N)

## (2) 品種間のクリープ特性

図4に荷重290 [N]における各品種のクリープ特性を示す。図中、上から紅玉、ジョナゴールド、フジ、千秋である。図3同様、実線は実験値、破線は4要素モデルによる計算値を示す。他の荷重条件下においても同様の変形傾向を示した。

クリープ増加特性は、いずれの品種においてもほぼ同じであるが、変形量の最大値に違いがあった。品種ごとにクリープ特性は異なった。また、いずれの品種においてもクリープ回復後、最大変形量の約60%が塑性変形として残った。

## (3) 果実部のバネ定数と粘性係数

表2に各品種、各荷重ごとの短時間変形及び長時間変形におけるバネ定数、粘性係数を示す。表中一線部分は、測定されたデータのばらつきが大きかったので考察の対象にしないことにした。載荷荷重50-Nの場合、他の荷重条件と比べてバネ定数、粘性係数に差がみられた。これは、載荷荷重が小さいために荷重載荷時の衝撃などの影響が若干あったためと思われる。

載荷直後の短時間変形における果実部のバネ定数 $k_1$ は、平均値で千秋が約58 kN/m、フジは約55kN/m、ジョナゴールドが約54kN/m、紅玉は約50kN/mの順に計算された。千秋はフジ系の品種であり、ジョナゴールドは紅玉系の品種である。品種の違いによる傾向を見ることができた。一方、長時間変形に関しては、いずれの品種においてもバネ定数 $k_2$ は平均450kN/m程度であったが、ジョナゴールドに若干高い数値がみられた。

一般に食感において硬いといわれている紅玉であるが、短時間変形のバネ定数 $k_1$ は他と比べて明らかに小さくなっていた。ここで示すクリープ特性は、いわゆる歯ごたえなどとは対応していないということが推察される。また、バネ定数、粘性係数の大きさの傾向は、リンゴ果実部の大きさに対応していない。

フジの場合、バネ定数 $k_1$ の平均値約55kN/mから、約55Nの力を加えると果実部が直径方向に1 mm変形することになる。この変形が果実部の外周において片側変形であれば直径約18mm程度の円形の凹みが1つ、両側変形であれば直径12mm程度の円形の凹み（親指大）が2つ生じることに

表2 果実部のバネ定数と粘性係数

| 載荷荷重 [N]         | 50   | 108  | 208  | 290  |
|------------------|------|------|------|------|
| フジ               |      |      |      |      |
| $k_1$ [kN/m]     | 43.5 | 70.6 | 56.1 | 54.6 |
| $\eta_1$ [kNs/m] | 0.42 | 0.39 | 1.13 | 1.30 |
| $k_2$ [kN/m]     | 250  | 568  | 335  | 592  |
| $\eta_2$ [kNs/m] | 96.2 | 56.8 | 7.82 | 59.2 |
| 千秋               |      |      |      |      |
| $k_1$ [kN/m]     | —    | 44.8 | 57.1 | 60.0 |
| $\eta_1$ [kNs/m] | —    | 0.84 | 0.75 | 0.77 |
| $k_2$ [kN/m]     | —    | 360  | 484  | 475  |
| $\eta_2$ [kNs/m] | —    | 35.6 | 56.3 | 93.2 |
| 紅玉               |      |      |      |      |
| $k_1$ [kN/m]     | 42.0 | 54.8 | 47.6 | 52.4 |
| $\eta_1$ [kNs/m] | 0.38 | 0.57 | 1.10 | 1.08 |
| $k_2$ [kN/m]     | 500  | 490  | 1095 | 337  |
| $\eta_2$ [kNs/m] | 31.9 | 90.9 | 56.4 | 33.7 |
| ジョナゴールド          |      |      |      |      |
| $k_1$ [kN/m]     | 96.2 | 53.5 | —    | 53.5 |
| $\eta_1$ [kNs/m] | 0.92 | 0.59 | —    | 1.03 |
| $k_2$ [kN/m]     | 556  | 675  | —    | 460  |
| $\eta_2$ [kNs/m] | 18.7 | 130  | —    | 50.0 |

相当する。これは、果実部においては極めて大きな傷といえる。

このように微小荷重であっても、果実部には塑性変形が残ることがわかった。リンゴのロボット収穫において、果実部にはできるだけ触れない方がよいこと、また、収穫後の貯蔵・運搬などにおいても果実部上に直接負荷を加えることはできるだけ避けた方がよいことが結論づけられる。ロボットハンドなどによる果実部への接触がどうしても避けられない時は、接触面積を大きくとり面圧を減らすことや接触部にクッション材などを使用して把持力などに起因する変形を吸収することなどの工夫が必要である。

## V. 摘 要

リンゴ収穫ロボット開発のための基礎データとして、リンゴ果実部のクリープ特性について検討を行った。

- 1) リンゴ果実部の荷重載荷直後の短時間のクリープ特性のバネ定数は、千秋が約58kN/m、フジは約55kN/m、ジョナゴールドが約54kN/m、紅玉は約50kN/mであった。

- 2) 果実部は微小な力で変形し、変形量の約60%が塑性変形として残る。
- 3) 微小荷重であっても果実部には塑性変形が残るため、リンゴのロボット収穫において、果実部にはできるだけ触れない方がよいことがわかった。

### 謝 辞

実験装置として使用しました一軸静荷重載荷試験器は、東北農業試験場よりお借りいたしました。記して感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 農林水産省統計局統計情報部：ポケット農林水産統計（平成元年版）～（平成9年版），1989～1997
- 2) 岩手県企画調整部統計調査課：平成7年度版 岩手県統計年鑑，1996
- 3) 波多腰邦男：リンゴのわい化栽培，農山漁村文化協会，1981
- 4) 渋川潤一：リンゴ栽培技術，養賢堂，1974
- 5) 福地 博，他：リンゴの風力収穫に関する研究（第1報），農業機械学会東北支部報，32，43-46，1985
- 6) 片岡 崇，他：リンゴのロボット収穫ハンドの開発，第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集，第2分冊，741-742，1998
- 7) 元林浩太，他：ハンドリングのための根菜類の力学的特性の研究（第2報），農業機械学会東北支部報，42，45-48，1995
- 8) T. W. Chappell and D. D. Hamann : Poisson's Ratio and Young's Modulus for Apple Flesh under Compressive Loading, Transaction of ASAE, 11 (5), 608-610, 612, 1968
- 9) 農産物性研究グループ編：農産物性研究（第1集）農産物の物性および測定法に関する総合的研究，京都大学農学部農産加工機械学研究室，49-65，1979
- 10) 小野木重治：化学者のためのレオロジー，化学同人，1982
- 11) T.R.マッカーラ著，三浦 功，田尾陽一共

訳：計算機のための数値計算法概論，サイエンス社，1988

[閲読者コメント] 本研究では、微小な荷重であってもリンゴ果実に塑性変形が残るとの結論でしたが、実際人手で作業する時、そのような事がないと思います。この事に関して、またどの程度の荷重であれば問題でないのかについて、著者らのお考えを聞かせて下さい。

[著者回答] 人の手作業の際は、把持力に起因する力は指先側が変形して吸収されます。指先で変形量を吸収できない程度まで把持力を大きくすると、リンゴ果実部が塑性変形します。

ここでは、リンゴ収穫ロボットのハンドがリンゴ果実を把持して、収穫することを想定しています。この時のハンド把持部には、金属やプラスチックなどリンゴ果実と比べて硬く変形量も極めて小さい材料が使用されることが考えられます。このような把持部側が変形しない条件の時、リンゴ果実部にどの程度の変形を及ぼすのかを検討しました。把持部表面にゴムやスポンジなどのクッションとなる材料を用いて、人の指先のように、把持力による変形作用を果実部ではなく把持部側で吸収するような工夫も考えられます。

具体的な荷重範囲ですが、20N程度までであれば問題ないと推察します。しかし、リンゴ果実部に力を作用させて積極的に把持するのではなく、果実部の質量だけを支えるようなハンド機構を考えています。実際問題として、リンゴ収穫ロボットの把持部にはクッション材を取り付ける工夫がなされることだと思います。把持部側で吸収できる力や変形量は、クッション材の硬さや厚みと関連するので、この場合の具体的な把持力などは実験をしないと明確な数値を示すことはできません。これについては、引き続き検討していきます。

# 刈取り時期および収穫法を異にする場合の米の品質

上出順一\*

Effect of Timeliness and Method for Harvesting on Rice Quality

Jun-ichi KAMIDE\*

## Abstract

To evaluate the effect of timeliness and method for harvesting in relation to rice quality, the rice grains harvested by two different methods were compared with each other on quality and maturity during the harvesting period between 400 and 1600°C in temperature accumulated after heading. Two harvesting methods were examined, that is, a binder system as threshed after naturally drying in the field, and a combine system as artificially dried after threshing raw grains.

- 1) The optimum harvesting period was considered to be in the range from 800 to 1100°C in accumulated temperature.
- 2) There was little difference on quality between grains harvested by two different methods.

[Keywords] harvesting method, timeliness, accumulated temperature, rice quality, taste value

## I. はしがき

日本型食生活から欧米型食生活への変化と食の多様化の進行とともに、わが国の米の消費量は年々減少する傾向にある。消費者は日本人の好みにあう美味しい米を求めるようになり、特に有名産地や銘柄品種に人気が集まっている。

このような米消費の漸減傾向のなかで、産地間競争は一層激化し、生産者側においても消費者のニーズに対応したうまい米作りへの取り組みがなされている。有名ブランド品種の栽培、消費者と生産者の直接的な結びつきの強化、生産者の顔のみえる農産物販売などもその一つである。

一般に米の品質や食味は品種本来の特性のほか、気象、土壤、栽培条件、収穫時期等が影響するといわれているが、収穫法や乾燥調製等のポストハーベストも品質を左右する要因と考えられる。

米の収穫法には大別してコンバイン方式（コンバイン収穫+人工乾燥）とバインダ方式（バインダ収穫+自然乾燥）がある。現在、わが国ではお

よそ90%はコンバイン方式による収穫が行われているが、近年、食味の観点からバインダ収穫方式への関心が高まっており、消費者のなかには個人的に農家にバインダ収穫・自然乾燥米を予約注文している人さえいる。

バインダ方式においては、茎葉の付いた状態で比較的緩やかに自然乾燥が進行するので、乾燥の過程でも米粒の充実が進み、品質の向上が期待されている。また、自然乾燥米については、太陽の下で育まれた健康的で安全なものへの憧れにも似た思いがこめられている。

本研究では、収穫法の違いによって米の品質がどのように異なるかを明らかにするとともに、収穫時期によって品質がどのように変化するかを検討した。

## II. 米の品質

米の品質は、整粒、未熟粒等の品位別割合や千粒重など米の充実度で評価する外観的品質（一次

的品質)と水分や成分、食味や物性等で評価する内観的品質(二次的品質)に分けられる<sup>4),5)</sup>。品位評価項目には次のようなものがある<sup>4)</sup>。

(1) 良質粒: 良質粒(整粒)は、登熟が完全に行われ、その品質の特性である粒形を十分備えた粒であり、粒は豊満で左右均整がとれ、頭部も丸く張って粒内一杯に肥大し、側面の縦溝も浅く、粒全体が透明である。

(2) 未熟粒: 未熟粒は成熟していない粒で、米粒の胚乳部の一部または全体にデンプンの充実が不十分である。

(3) 死米: 死米は、本来は未熟粒であるがその中でも充実度が劣る粒である。子房段階での生育停止したり登熟期に気象障害を受けて成熟を停止した粒で、デンプンの集積が劣り、細胞内のデンプン粒は小さく疎であるため、表層部は不透明に見える。

(4) 着色粒: 着色粒は、米粒が虫、熱、カビ、菌などによりデンプン層まで着色し、粒面全体または一部が黄色、褐色、黒色などの色を呈するもので、通常の精米によって除かれない粒である。

(5) 被害粒: 被害粒は成熟途中あるいは収穫後に、虫、カビ、菌、物理的障害などで損傷を受けた粒で、充実の良否には関係ない。

### III. 食味に関する要素

食味は人間の嗜好に関わる問題で、美味しい米に対する評価には個人差もあるが、日本人が一般に「うまい」と感ずる白飯は、「軟らかく、粘りと弾力があり、色が白く、つやがあり、ほのかな香り・甘味がある」ものである<sup>3)</sup>。

米の食味には、品種、産地、気候、栽培方法、収穫・乾燥、貯蔵、精米加工、炊飯等の要因が影響するといわれているが、飯の硬さと粘りには米粒のアミロース、たんぱく質等の化学的成分が関係する。

#### (1) アミロース含量<sup>1)</sup>

デンプンは米の主成分であって、玄米の約72%、精米の約76%を占める。そのデンプンはアミロースとアミロペクチンから構成される。日本の米(ウルチ)のアミロース含有率は17~23%の範囲に分布しているが、アミロース含有率が高いほど

米飯は硬く粘りは少なく、一般にアミロース含量の少ない米が食味がよいとされている。

#### (2) タンパク質含量<sup>1)</sup>

玄米に含まれるタンパク質は5~17%の間に分布しており、日本の米では平均玄米で7.4%、精米で6.8%のタンパク質が含まれている。タンパク質が多く含まれると米飯の粘りは低下し、硬さが増すといわれている。アミノ酸組成の優れたタンパク質を多く含むほど、栄養的には好ましいと考えられるが、高タンパク質であるほど色調や吸水性が低下し、デンプンの糊化、膨化が抑制されるので、食味の観点からはタンパク質含量の低い方が一般に好まれている。

### IV. 実験方法

#### (1) 材料及び収穫法

山形大学農学部附属農場で栽培された水稻「はえぬき」を供試し、3ヵ年(1994, 1996, 1997)に亘り、出穂後一定間隔で刈取・収穫し調査した。なお、収穫法は次の2方式とした。

A: バインダ方式に対応するするもので、刈り取り後茎葉付のまま日陰で自然乾燥した。

B: コンバイン方式に対応するもので、刈り取り後直ちに生脱穀した。水分約17%までの1次乾燥を通風乾燥機で行い、その後、あみ袋に入れて室内で乾燥した。

#### (2) 調査項目と方法

本実験では、収穫時期および収穫法によって米粒の充実度が異なるか、また、それを伴ってアミロースやたんぱく質含有量が異なるのか、さらに、食味値に違いがあるのかを主に検討した。

①糀・茎葉水分: 刈り取り直後の糀および茎葉の水分は105°C-24時間炉乾法によって測定し、乾燥後の玄米水分は電気抵抗式水分計(Kett: ライスターL2)により測定した。

②容積重(リッター当質量): 1994, 1996年は、容積重計量マスで、1997年はプランウェル式容積計を用いて測定した。なお、試料は未熟粒等を含む全玄米(以後、全玄米という。)である。

③粒厚別比率: よく攪拌した全玄米について、約50gをロータップシェーカに5分間かけ、網目1.6mmから2.0mmまで0.1mm毎の網上産物量を測定して

求めた。

④良質粒率：全玄米を品質判定機（静岡精機：RS 1000A）により、良質粒、未熟粒、死米、着色粒、被害粒に区分し、良質粒の全玄米に対する割合を良質粒率（整粒歩合）として表示した。

⑤千粒重（千粒当質量）：良質粒について、1000粒当質量で表わした。粒の充実度をみるために行った。なお、表示は水分15%に換算した値である。

⑥粒厚（良質粒）：良質粒について、無作為にそれぞれ50粒を選び、ダイアルキャリバー（1/100mm）で粒厚を測定した。粒の充実度をみるために行った。

⑦化学的成分、食味値：全玄米について、近赤外線分光分析器（食味計：佐竹：STB-1A）により、アミノロース、たんぱく質含有量および食味値を測定した。

## V. 登熟期の気象経過

各実験年の登熟期間における半旬別の平均気温の変化を図1に示す。

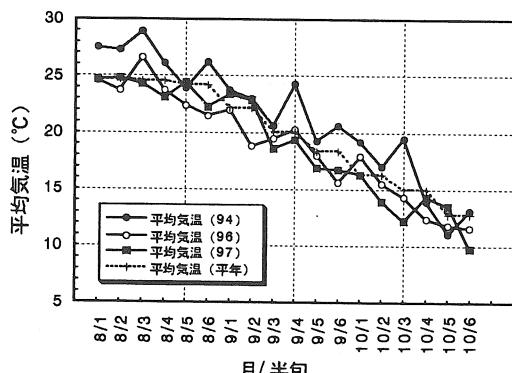


図1 登熟期間における平均気温の変化

[1994年]

1994年は全般的に気温は高く経過し、平年値を1~3°C上回った。8月1日~10日までは、連日真夏日で日照時間も連日10時間以上と多く、高温・多照・少雨で経過した。出穂期は8月6日で平年よりも若干早かった。8月10日以降も最高気温35°Cを上回る日が18日まで続き、平均気温も3半旬で30°Cを上回った。20日には平年並に戻った。日照も3半旬で多かった。8月21日~31日では、平均気温は26°Cを上回り、日照時間も平年比125

%と多く、高温・多照で経過した。9月1日~10日では、高温が続き、平均気温も平年値を連日2°C程度上回った。日照時間もこの期間も平年の146%と多かった。降水量は9月上旬及び下旬は平年を上回ったが、その他の期間は平年の20~60%と少雨で経過した。

生育経過をみると、出穂後の異常高温と多照、少雨により成熟期を早めたが、はえぬきは比較的順調に登熟した。

[1996年]

8月、9月の平均気温は平年並かやや低めに経過し、8月第5、6半旬に一時的低温により登熟停滞をみたが、全体的には、気温日較差が大きく、日照は多かった。10月に入ても気温は平年値を1~3°C下回って経過した。降水量は少なく推移し1週間毎に10mm以上、夜間に降る傾向があった。出穂期は8月12日で平年より遅れた。登熟後期には、日照と日較差が拡大したことにより、千粒重の増大に貢献したとみられた。

[1997年]

気温は7月中旬から8月2半旬までは高温になつたが、8月3半旬から下旬まで平年並みかやや低めに推移した。出穂期は8月6日で平年よりやや早かった。9月上旬の気温は平年を上回ったが、9月中旬以降10月中旬まで平年を1~2°C低く経過した。登熟の進捗状況は、ほぼ平年並みであった。

## VI. 結果および考察

### 1) 収穫時期と品質

水稻の刈取適期は出穂後の積算気温でおよそ900~1000°Cあり<sup>7</sup>、庄内地方では出穂後35~45日、9月中下旬になる。本調査では、収穫時期による米の品質の変化は生産年の気象的要因によってピークの出現時期等に差はあるもののほぼ同じような傾向で推移した。

#### (1) 粉・茎葉水分の変化

1997年の実験期間中の出穂後積算気温、および粉・茎葉水分の変化を図2に、また、同年の平均気温の変化と日降水量を図3に示す。図2から明らかなように9月10日頃までの成熟前期間では粉水分は登熟活動による生理的作用を支配的に受けて減少<sup>8</sup>し、その後（成熟後期）は生理作用が衰えるにつ

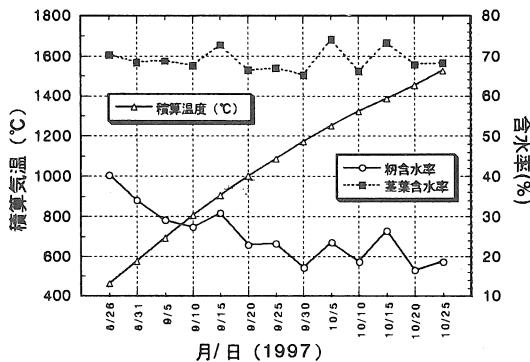


図2 出穂後積算気温及び水分変化

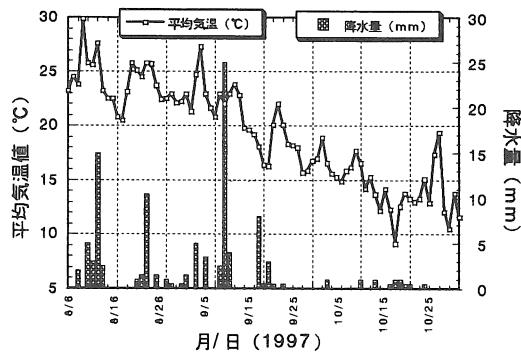


図3 平均気温の変化及び日降水量

れて、日射や降雨などの影響を受けて乾燥と吸湿を繰り返しながら漸減している。一方、茎葉水分は大きな変動はなくほぼ70%程度で推移している。

#### (2) 粒厚別分布の変化

玄米の外形発達は受精の翌日からはじまり、長さ、幅、厚さの順に出穂後25日ころにほぼ外形のサイズは完成するといわれている<sup>6)</sup>。しかし、内部ではまだ登熟が進んでおり一般に45日目ころに完熟期を迎える。

粒厚2.0mm以上の粒重比率をみると、図4に示すように、1997年では積算気温800°C（9月10日）で約60%に達しその後はほぼ一定で推移した。1994年においても積算気温800°C（9月6日）には約65%に達し1997年と同様の推移をしたが、出穂の遅れた1996年では粒厚2.0mm以上の粒比率は積算気温800°C（9月9日）では約40%，積算気温900°Cにおいても55%程度で、その後も粒厚の増加が続いた。このことから、登熟期の気温及び出穂期日

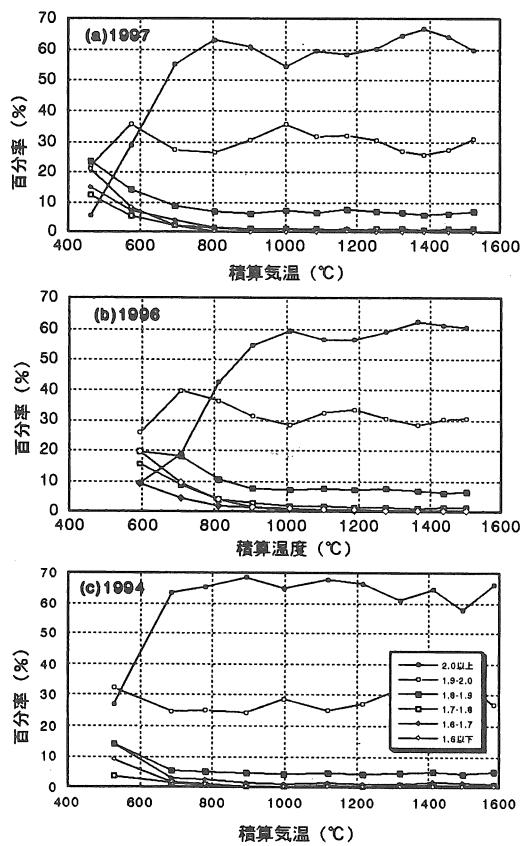


図4 玄米の粒厚別割合の変化

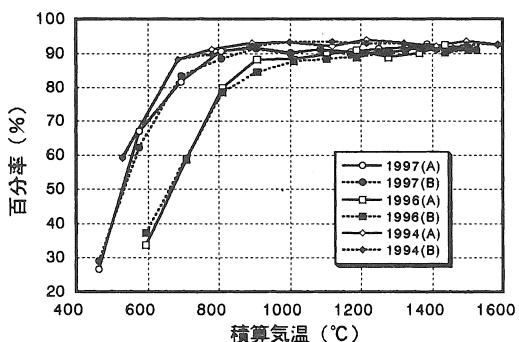


図5 粒厚1.9mm以上粒割合の変化

が米粒の生長に影響し、収穫適期を左右することがうかがえる。なお、いずれの年においても粒厚1.9mm以上の粒比率は90%以上であった(図5)。

## (3) 良質粒率及び品位別粒割合の変化

良質粒率(整粒割合)は、米粒の品質評価の大きな指標である。図6は米粒の品位別割合の変化をA, B方式の平均値で示したものである。良質粒率は未熟粒の減少に伴って直線的に増大し1997年では積算気温800°Cでほぼ70%の水準に達した。未熟粒の減少傾向からみると、積算気温1000°C頃(出穂後45日)までは登熟が進行することが考えられる。なお、低温で経過し出穂の遅れた1996年では、積算気温1200°C頃(9月25日)まで良質粒率の増加がみられた。積算気温600°C以前に10%以上の死米がみられたのは、品質判定器の特性に起因するもので、本来なら未熟粒に区分されるものと考えられる。被害粒は積算気温500°C付近か

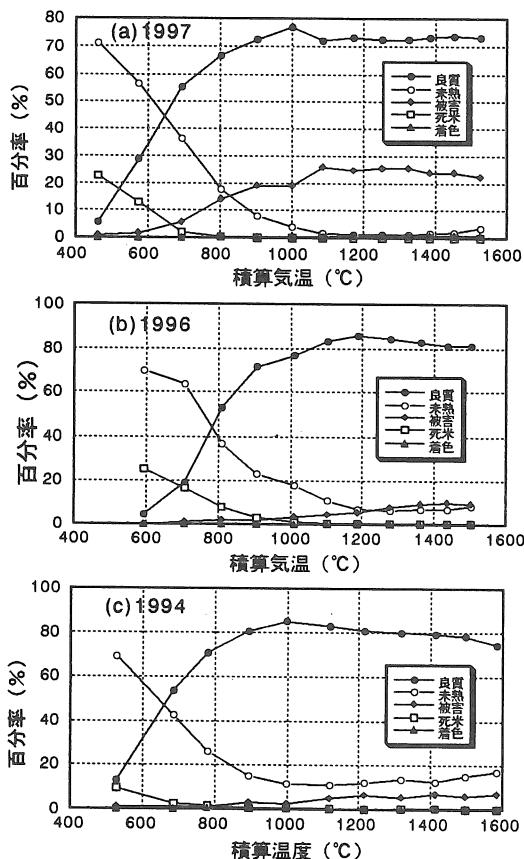


図6 米粒の品位別割合の変化

ら増加はじめ、1997年は積算気温1000°Cで20%，1996年は約5%であった。このため、良質粒率は、図6にみられるように、1997年は1000°C、1996年

は1200°Cにピークがあった。

## (4) 千粒重及び容積重の変化

良質粒の千粒重をみると、生産年の気象条件を反映して差異はあるが、成熟前期において千粒重は大きく、その後は次第に小さくなる傾向がみられた。千粒重のピークは1994年及び1997年では積算気温600°C前後、出穂の遅れた1996年では900°C前後にあった(図7)。前述のように良質粒率は登熟の進行につれて増大するが、良質粒の千粒重の推移から、登熟が完了すると蓄積された養分が

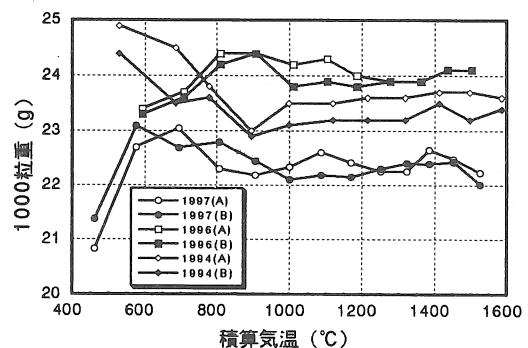


図7 良質粒の千粒重の変化

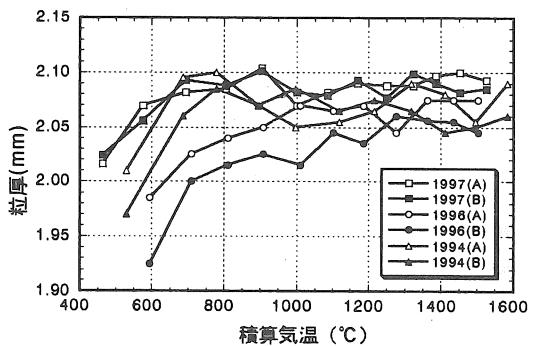


図8 良質粒の平均粒厚の変化

呼吸作用等により消費されゆくことがうかがえる。

容積重は粒厚1.9mm以上の粒比率と同様な推移を示し、積算気温800~900°Cの頃が最も大きかった。

## (5) 平均粒厚の変化

良質粒の平均粒厚の変化をみると、1994, 1997年では積算気温800°Cの頃が最も大きく、その後は一定かわずかに減少する傾向を示した。ただし、出穂の遅れた1996年では積算気温1200°C頃まで粒厚は増大した(図8)。

## (6) アミロース含量及びタンパク質含量の変化

図9にアミロース含量、また図10にタンパク質含量の推移を示す。アミロース含量は登熟期の温度差によって変動し、温度が高いとアミロース含有率は低くなるといわれているが、本実験では、高温に経過した1994年のアミロース含量は1996年及び1997年よりも多かった。また、アミロース含量は1997年では登熟が進むにつれてわずかに増加傾向を示したが、1994年では逆に減少した。

タンパク質は冷害年では含量が多くなると報告されているが、平均気温が平年よりも高く経過し

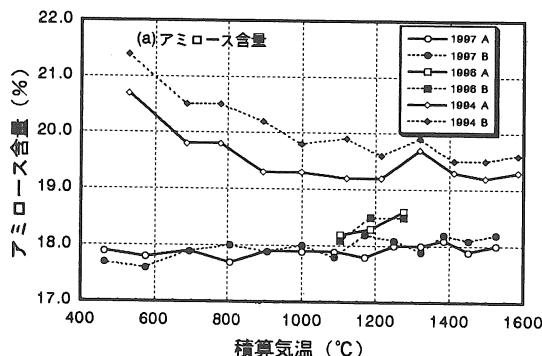


図9 アミロース含量の変化

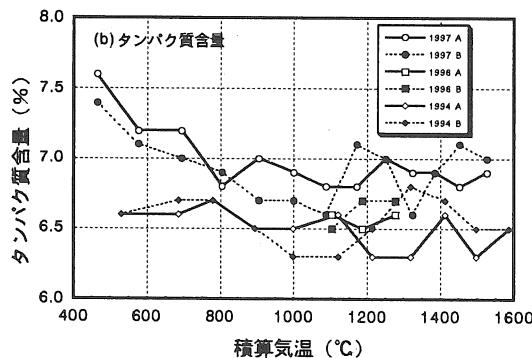


図10 タンパク質含量の変化

た1994年は1997年よりも少なかった。なお、両年とも成熟前期での含有率は高かった。

食味値は積算気温600～1200°Cの期間においてわずかに増大する傾向がみられた。また、積算気温400から1600°Cの調査全域についての3か年の調査結果によると、これまでの研究結果と同じよう

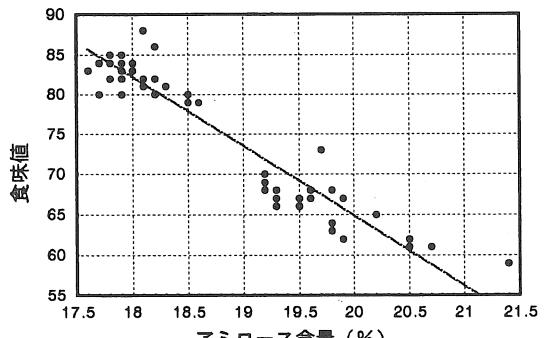


図11 アミロース含量と食味値の関係

に、アミロース含量と食味値の間には負の相関があった(図11)。

## 2) 収穫法と米の品質

## (1) 1994年度

千粒重、容積重、良質粒率はバインダ方式で若干優ったが、良質粒の平均粒厚には収穫法による差がなかった。

全玄米のアミロース含量はバインダ方式で少なかったが、良質粒のアミロース含量には差はなかった。たんぱく質含量は全玄米、良質粒とも収穫法による差はなかったが、食味値は全玄米ではバインダ方式が高かった。また、全玄米の食味値は良質粒の値よりも劣った。

## (2) 1996年度

千粒重、容積重は1994年と同様にバインダ方式が優ったが、良質粒率、アミロース含量、たんぱく質含量、食味値には収穫法による差はみられなかった。なお、良質粒の平均粒厚は1994年と異なりバインダ方式で大きかった。

## (3) 1997年度

千粒重、容積重、1.9mm以上粒、良質粒率のいずれについても収穫法による差がなかった。また、アミロース含量、たんぱく質含量、食味値についても一定の傾向はみられなかった。

## VII. 摘要

水稻「はえぬき」を供試して、バインダ方式及びコンバイン方式の収穫法の違いによって米の品質に差があるか、また、品質は収穫時期によって

どう変化するかについて、1994, 1996, 1997年の3カ年に亘って実験調査した。

### 1) 収穫時期と品質

1996年は低温で経過し出穂が遅れることもあり、成熟過程も積算気温で100~200°C程度遅れるなど1994年及び1997年とは異なる経過を示した。

(1) 1994年及び1997年においては、容積重及び良質粒率（整粒歩合）は積算気温でそれぞれ1100°C及び1000°Cでピークを示した。1996年では両年に比べていずれも積算気温で200°C程度の遅れがあった。

(2) 粒厚1.9mm以上の割合は、1994年及び1997年では積算気温800°Cで90%に達し、その後はほぼ一定水準で推移した。

(3) 良質粒の充実度についてみると、千粒重は積算気温600°Cで、平均粒厚は800°Cでピークとなり、その後は減少する傾向がみられた。

(4) 全玄米の充実度等から、収穫適期は出穂後積算気温で800~1100°Cとみられる。なお、出穂の遅れた年では、収穫適期は積算気温で200°C程度遅くなると考えられる。

### 2) 収穫法と品質

生産年によっては、特に、低温で経過し出穂の遅れた1996年では、千粒重や平均粒厚等、米の充実度はバインダ方式で優ったが、3年間の結果を総合すると、アミロースやタンパク質含量及び食味を含め、収穫法による品質の差はあるとは言えない。

## 参考文献

- 1) 大坪研一：食味研究の展開、米の食味評価最前線、13-70、全国食糧検査協会、(1997)
- 2) 大坪研一：穀類品質評価法の現状と課題、農機誌60 (1), 164-168, (1998)
- 3) 米の食味の改良に関する検討会：米の食味の改良に関する検討会報告書、農林水産省、(1997)
- 4) 食糧庁検査課：農産物検査及び品質管理の理論と実務、109-128、糧友社、(1993)
- 5) 杉山隆夫：穀類品質評価機器の新技術、農機誌60 (1), 168-172, (1998)
- 6) 星川清親：図説解剖 イネの生長、p263、農山漁村文化協会、(1997)
- 7) 山形県農林水産部：稻作指針、山形県、(1995)
- 8) 長戸一雄他：胴割米の発生に関する研究、日作紀32, 82-89, (1964)
- 9) 竹生新治郎：米の科学、p121、朝倉書店、(1996)
- 10) 檀渕欽也：米の美味しさの科学、p43、農林水産技術情報協会、(1996)

### [閲読者コメント]

特に食味について、澱粉のアミロース含量が登熟や後熟の時期に、また高温の人工乾燥で澱粉の糊化にどのように関わっているのか、見解をうかがいたい。

### [著者回答]

米においても、後熟いわゆる追熟の効果が期待され、本実験においてもバインダ方式での良質粒の千粒重、平均粒厚はコンパイン方式に比べて若干大きかったことから、後熟の影響がうかがえますが、後熟とアミロース含量との関わりは明確ではありませんでした。なお、アミロース含量は登熟時の温度によって変動し、温度が低くなるとアミロース含量が高くなることから、生産年の気象条件によっては後熟過程でアミロース含量に変化があるのかどうか、今後の研究が待たれるところです。

また、米の高温加熱乾燥と澱粉の糊化との関係については、60°C以上の高温乾燥によって、脂肪やアミノ酸の糠層や胚芽から胚乳周辺部への移動がみられ<sup>9)</sup>、また脂肪酸は澱粉と結合して炊飯時の糊化を妨げる<sup>10)</sup>ことから、食味への影響が考えられます。さらに、胴割れ粒の混入が多い場合は、炊飯時の碎粒の吸水特性から、食味の低下が報告されております<sup>11)</sup>。



## 各種貯蔵サイロにおける糀温度の変化

上出順一\*・平尾寿英\*

Temperature Changes of Rough Rice stored in Different Type's Grain Silo

Jun-ichi KAMIIDE\* and Toshihide HIRAO\*

### Abstract

In the period of paddy storage at different type silos of C.E., temperature of silo surface, solar radiation and paddy temperature were measured. The duration of measurement was for about 6 months.

- 1) In the daytime, the temperature of silo surface was sometimes much than the atmospheric temperature by about 30°C, because of the solar radiation.
- 2) The air temperature at upper space of a silo followed the temperature of the inside wall of silos with a time lag.
- 3) The direction of heat flux through a silo wall was from outside to inside in daytime and reversed in night. The calculated amount of heat flux through the steel wall with adiabatic materials was 24W/m<sup>2</sup>, about 6 times as little as the concrete wall, and about 200 times as little as the single steel wall.
- 4) The temperature of grain in the distance of 0.3m from wall changed a little daily. And the temperature of grain in the center of silos changed a little over a long time.

[Keywords] 貯蔵サイロ, 糀温度, 日射, 熱貫流量

### I. はじめに

収穫した米は今まで玄米で貯蔵してきたが、近年、カントリーエレベータ（C E）サイロによる糀貯蔵が広く行われるようになった。糀貯蔵では、米は糀殻で覆われているため物理的損傷は少なく、さらに微生物や害虫などによる被害も受けにくい利点がある。なお、米は生きているから、貯蔵中において米は呼吸をはじめ各種の酵素的変化によって次第に変質してゆく。また、呼吸が盛んになると発熱現象によって穀温が高くなつてカビや細菌の繁殖が増大し発熱は大きくなり、さらに米の劣化が進むことになる。このようなことから、糀貯蔵においても、米を低温に保つことが望ましく、したがつて、糀貯蔵サイロの機能として、

低温状態で投入した糀を、長期間一定温度に保持することが求められる。

平成9年現在、ライスセンタ（R C）は全国で3,745の施設があり、C Eは714カ所に設置されている。このうち、東北地方には172のC Eがある。また、庄内地方には平成10年現在、24のC Eが稼働しており、その貯蔵能力は82,100トンに達する。

C E設置当初のサイロはコンクリート製が主体であったが、最近では断熱構造を有する鋼板製のものが多くなり、形状も丸形の他に角形のものなどがある。

本研究では、タイプの異なる3種類のサイロにおいて寒冷期から温暖期に亘る長期間貯蔵した時

に糀温度がどう変化するのか実験調査した。

## II. 実験期間及び実験場所

実験は庄内に設置されているCEの貯蔵サイロを用いて行った。サイロの種類、実験期間及び実験場所は次の通りである。

### (a) 断熱鋼板サイロ

実験期間：平成10年1月22日から平成10年5月  
15日

実験場所：山形県鶴岡市播磨字須磨田13-16  
JA鶴岡市農協北部CE

### (b) 一重鋼板BIN<sup>1)</sup>

実験期間：平成6年12月1日から平成7年6月  
27日

実験場所：山形県東田川郡余目町大字余目三人  
谷地 JA余目町農協CE

### (c) コンクリートサイロ

実験期間：平成6年12月17日から平成7年6月  
17日

実験場所：山形県東田川郡余目町大字余目三人  
谷地 JA余目町農協CE

一重鋼板BINとコンクリートサイロは、およそ50m離れた位置に設置されており、また両実験期間がほぼ重なっていることから、両者の周辺環境は同一とみなすことができる。

## III. 供試サイロの概要

供試サイロの諸元を表1に示す。サイロの特徴の一つとして壁体の断熱状態をみると、(a) 断熱鋼板サイロは厚さ4.5～9.0mmの鋼板の間に厚

さ50mmのグラスウール断熱材が入っている。

(b) 一重鋼板BINは厚さ2.0～3.0mmの一重の波形鋼板からなり断熱構造になっていない。(c) コンクリートサイロは厚さ200mmのコンクリートの壁体で、表面に防水処理はなされているが断熱構造にはなっていない。サイロ単体の大きさは直径は6.8～8.2m、高さは6.6～29.5mで、糀の最大堆積量もサイロによって大きく異なる。

## IV. 実験方法

実験期間中の外気温度、壁体温度、貯蔵糀温度及び日射量などを継続的に測定した。断熱鋼板サイロの実験開始日は他のサイロよりも遅かったが、ローテーションによっても糀温度がなかなか下がらなかつたために、品位検査後のサイロへの投入が1月下旬になったものである。

### 1) 供試糀及び貯蔵方法

供試糀はそれぞれのCE利用組合の組合員の水田で生産されたものである。断熱鋼板サイロは平成9年産はえぬき、一重鋼板BIN及びコンクリートサイロは平成6年産ササニシキである。糀はCEの乾燥機で通常の乾燥を行ったもので、ローテーションにより糀温度を下げた後に各サイロに投入した。いずれのサイロも投入時の糀水分は14%w b程度、糀温度は13°C以下であった。各サイロとも貯蔵期間中の糀の攪拌及び通風は行っていない。

### 2) 測定項目及び測定位置

#### (1) 壁体、サイロ上部空間、糀温度

断熱鋼板サイロ及び一重鋼板BINの各温度は熱電対(T(C-C), 直径0.65mmΦ)で測定し、デー

表1 供試サイロの諸元

| 構 造    | (a) 断熱鋼板      | (b) 一重鋼板  | (c) コンクリート |
|--------|---------------|-----------|------------|
| 設置年度   | 平成4年度         | 平成元年度     | 昭和63年度     |
| サイロの数  | 14            | 2         | 8          |
| サイロの直径 | 7.8m          | 8.2m      | 6.8m       |
| サイロの高さ | 29.5m         | 6.6m      | 23.7m      |
| 側壁厚    | 4.5～9.0mm     | 2.0～3.0mm | 200mm      |
| 断熱材    | グラスウールの厚さ50mm | なし        | なし         |
| 最大堆積量  | 620 t         | 150 t     | 360 t      |

タロガー（日本電気三栄：D L 1200）に記録した。測定間隔は断熱鋼板サイロでは1時間、一重鋼板ビンでは2時間である。コンクリートサイロにおいては、サーミスター温度計(K A D E C - U N)により測定・記録した。測定間隔は1時間である。

各サイロの温度測定位置を図1に示す。サイロの壁を通しての熱の出入りが粒温度に影響を与えるため

サイロ外壁の表面温度を測定した。外壁温度の測定位置は、日射の影響を受け、かつ、1日で最も気温の高くなる時刻を考慮しほぼ西側にとった。なお、コンクリートサイロの外壁温度測定位置は供試したサイロの配置の都合から東側にとった。

サイロ半径方向の粒温度分布は外壁温度測定点とサイロ中心を結ぶ線上で測定した。また、垂直

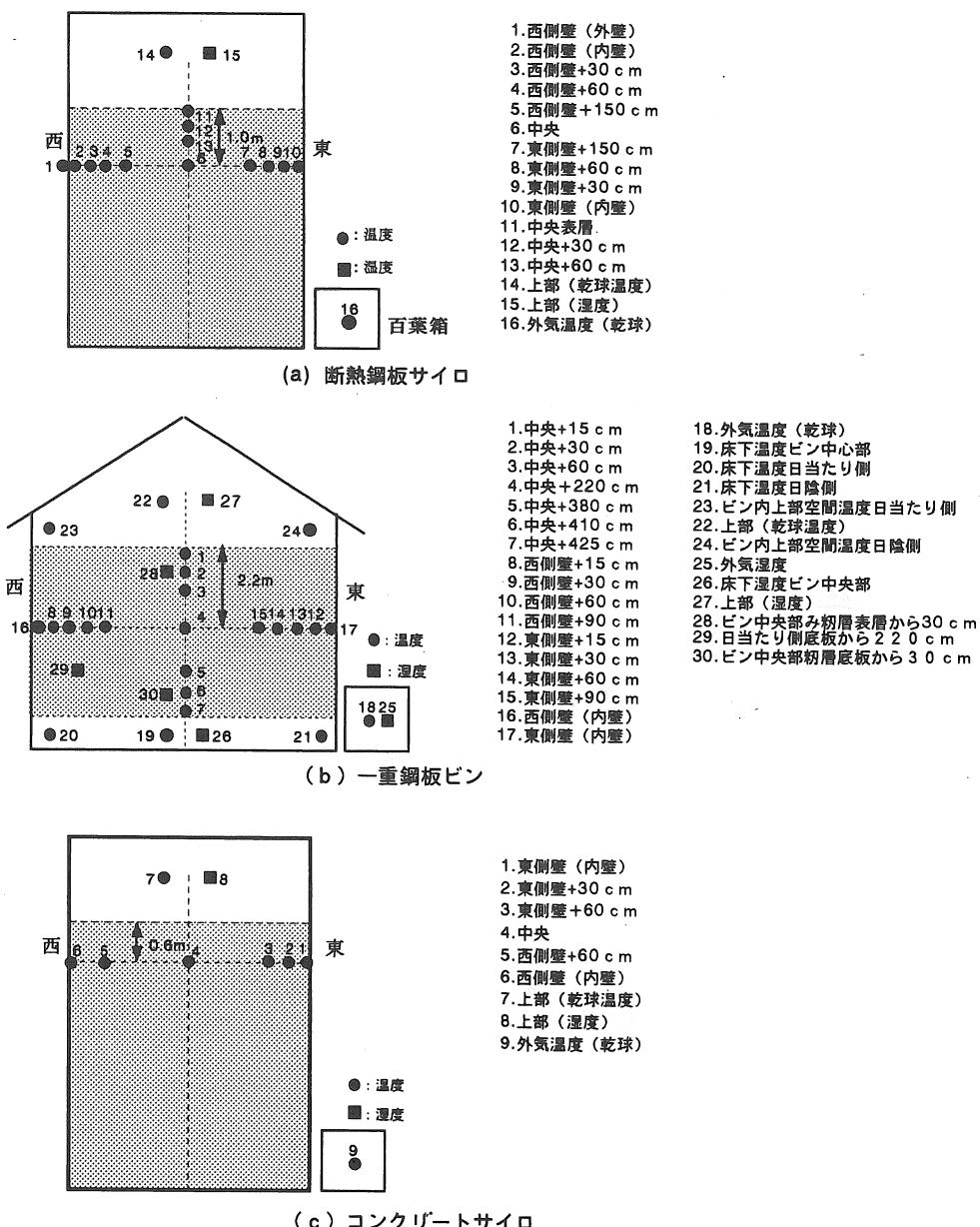


図1 温度測定位置

方向温度分布はサイロ中心で測定した。水平方向の粉温度測定センサーの設置深さは断熱鋼板サイロでは粉表層から1.0m, 一重鋼板ピンは粉表層から2.2m, コンクリートサイロは粉表層から0.6mである。

### (2) 外気温度

断熱鋼板サイロについては、サイロ屋上に百葉箱を設置し、一重鋼板ピンとコンクリートサイロではサイロ近くの地面に百葉箱を設置して、熱電対により測定した。

### (3) 日射量

日射は外気温度と共にサイロの温度変化に影響を及ぼすと考えられるので、サイロ近くで日陰にならない位置を選び、全天日射計（ソーラーミニPCM-01, コーナーシステムK A D E C-U）を設置して全天日射量を測定した。測定間隔は1時間である。

## V. 実験結果及び考察

### 1) 外気温度の変化

図2に実験期間中の外気温度の変化を示す。一重鋼板ピン実験での外気温度は実験開始時から下

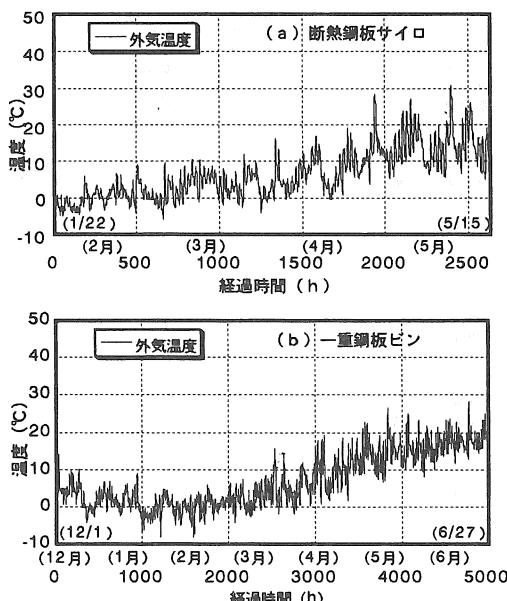


図2 外気温度の変化

がり始め、1月から2月までは平均温度はおよそ0°Cで経過した。3月に入ると外気温度は上昇を始め、5月には平均外気温度は18°C程度になった。断熱鋼板サイロ実験での外気温度は一重鋼板ピンと同じように2月頃までは平均温度はほぼ0°Cで経過した。3月に入ると外気温度は上昇を始めるが、一重鋼板ピンの外気温度に比べて温度の変動が大きく、5月の平均気温は一重鋼板ピンに比べて若干低く約15°C程度であった。

### 2) 外気温度及び日射量が外壁に与える影響

サイロの外壁温度は外気温度、日射量及び壁体の熱吸収率等による熱収支によって決まる。図3に断熱鋼板サイロにおける日射量と外壁温度の日変動の一例を示す。図3から明かのように外壁温度は外気温度の変化について変化するが、サイロが日射を受けている間、外壁表面温度は外気温度に比べてかなり高くなり、日射量が外壁温度に極めて大きく影響していることが分かる。なお、断熱鋼板サイロの場合には、日中においても、サイロ内部の温度、すなわち、上部空間、内壁温度には大きな変動はなかった。

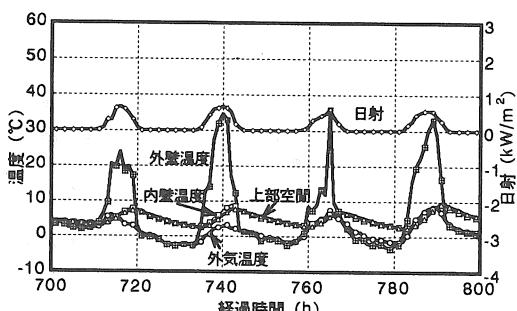


図3 日射量及び外壁温度等の日変化  
(断熱鋼板サイロ)

いま、外壁に当たる日射量を  $I$  ( $J/m^2 h$ )、外壁の日射吸収率を  $\alpha_s$ 、外壁の総合熱伝達率を  $\alpha_o$  ( $J/m^2 h ^\circ C$ ) とすると、外壁温度は外気温度  $\theta_a$ よりも  $(\alpha_s/\alpha_o) I$ だけ上昇することになる。 $\theta_e = (\alpha_s/\alpha_o) I + \theta_a$  を日射相当外気温度<sup>2)</sup>といわれているが、これが今回の実験の外壁温度に当たる。

外壁温度は外気温度や日射などによって大きく左右される。日中は外壁温度は外気温度や内壁温

度よりもかなり高くなる。夜間においては外壁からの放射と外気温度の低下によって外壁温度は低下する。したがって、壁体を通して日中では熱は外から中へ、夜間においては中から外へと流れることになる。図4は日中で外壁温度が最も高くなる13時頃と、夜間の外壁温度が最も低くなる午前5時頃における外気・外壁・内壁・粉の温度の関係を示したものである。寒冷期（2月21日）であっても日中の外壁温度は内壁温度よりも高くなり、また、日中に温められた壁体も夜間には放射によって温度は低下し外壁温度は外気温度かそれ以下になった。また、温暖期（5月）に入っても、夜間の内壁の温度は壁際（内壁から0.3m）の粉温度よりも低く、また、外壁温度は内壁よりも低くなり、熱はサイロ壁を通して中から外へと流れることがうかがえる。

図5は外壁と外気の温度差を日射量との関係で表したものである。外壁と外気温度差は日射の増

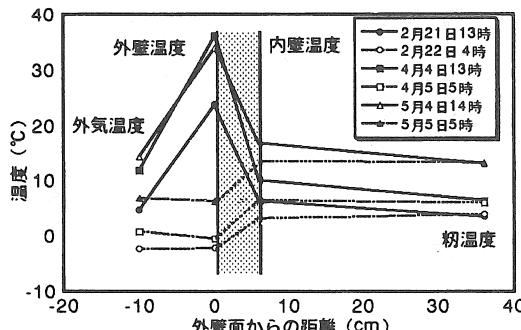


図4 外気・外壁・内壁・粉温度の関係

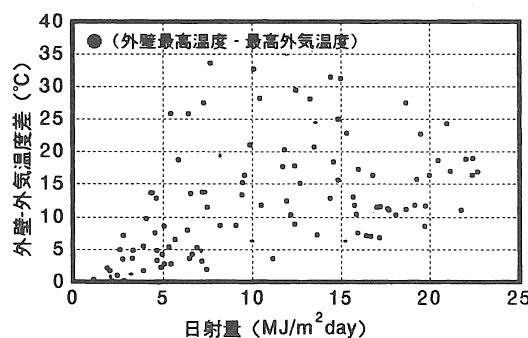


図5 日射量が外壁温度に及ぼす影響

大につれて増加し、日中の外壁温度は外気温度よりも時には30°C以上にもなる。

### 3) サイロ内の温度変化及び熱貫流量

サイロの上部空間の温度は壁体及び屋根を通しての熱伝導に起因する。図6に各サイロの上部空間温度の日変動を示すが、いずれのサイロにおいても上部空間温度は内壁の温度変化に伴って同じように変化している。各サイロの上部空間温度は、サイロの種類によって温度変化が異なり、断熱鋼板サイロの上部空間温度は、外気温度が上昇すると若干の時間遅れを伴って内壁温度に追随して変化しているが、それほど大きな変動はみられない。コンクリートサイロの上部空間温度は3種類のサイロの中で最も安定し、ほとんど変動はみられなかった。それに対して一重鋼板ビンの上部空間温度は外気及び内壁温度よりも大きく変動している

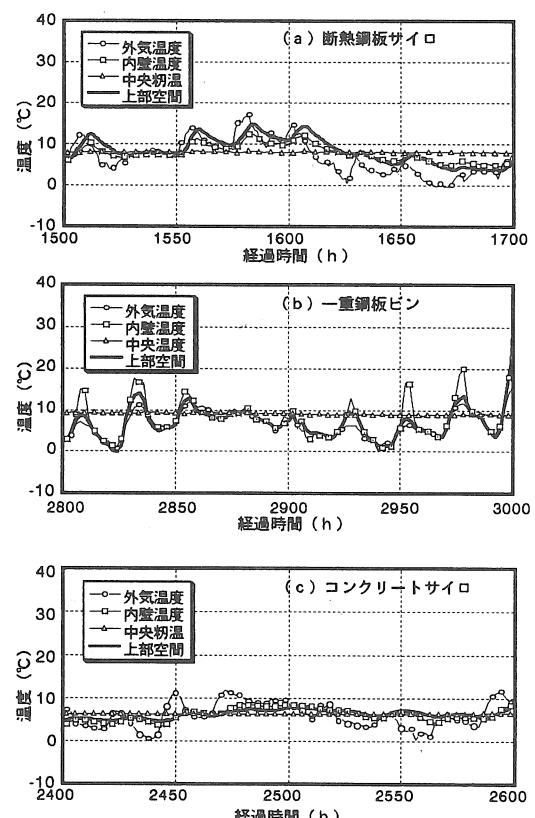


図6 上部空間温度の変動 (一例)

が、外気温度との相位差は断熱鋼板サイロ及びコンクリートサイロよりも小さかった。これは、一重鋼板ビンの熱伝導率が他の壁体よりも大きいことによると考えられる。

各サイロの壁体の厚さ、断熱構造有無によって熱の侵入の程度は大きく異なる。各壁体の熱貫流量の計算結果を表2に示す。各壁体の主材の熱伝導率<sup>3</sup>をみると、グラスウールは0.04W/m°C、鋼板は2W/m°C、コンクリートは1W/m°Cである。これより貫流熱量を計算すると断熱鋼板サイロでは24W/m<sup>2</sup>、一重鋼板ビンでは20,000W/m<sup>2</sup>、コンクリートサイロでは150W/m<sup>2</sup>となり、コンクリートサイロでは断熱鋼板サイロの約6倍、一重鋼板ビンの熱貫流量は断熱鋼板サイロの約800倍に達する。なお、計算では内外壁の温度差が最大（日中）になった場合を想定し、断熱鋼板サイロ及びコンクリートサイロでは内外壁温度差を30°C、一重鋼板ビンでは2°Cとした場合の値である。

#### 4) 粉温度の変化

##### (1) サイロ半径方向の温度分布と変化

図7には実験期間中のサイロ半径方向の粉温度の変化を示す。実験期間中の内壁温度の変化は、断熱鋼板サイロでは3月下旬、コンクリートサイロでは3月中旬頃まではほぼ一定温度で経過し、それを過ぎると徐々に上昇した。一方、一重鋼板ビンでは日射の影響が内壁にまで及び、内壁温度は非常に大きく変動し、寒冷期・温暖期関係なく日変動は30°Cを越える時もあった。粉温度の長期的变化をみると断熱鋼板サイロでは、内壁から0.3m及び0.6m離れたところでは、2000時間（4月15日）を過ぎると多少の温度変化があるものの、中

心部に向かうほど粉温度は安定している。コンクリートサイロは、2500時間（4月1日）を過ぎると粉温度は多少上昇を始めた。しかし内壁から中心に向かうほど温度は安定していた。一重鋼板ビンでは壁際の粉温度は内壁温度変化に伴って日変

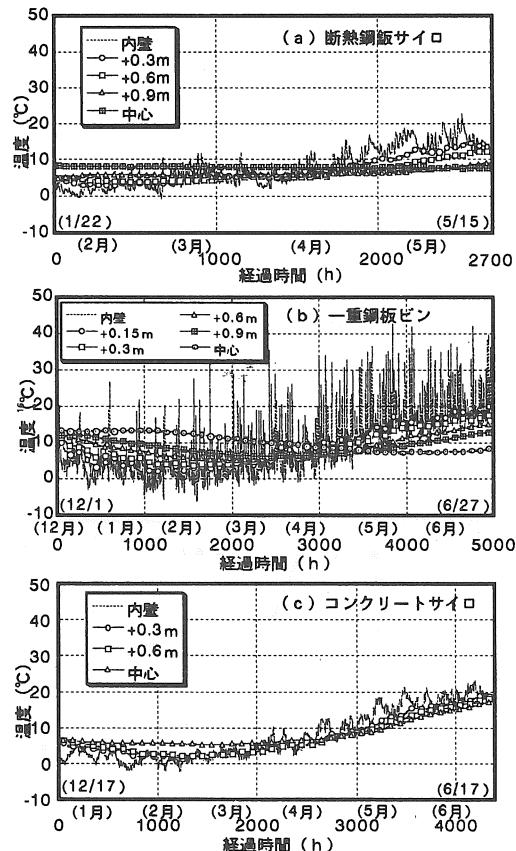


図7 内壁及び粉温度の変化  
(半径方向)

表2 壁体の熱貫流量

| 事項\サイロ                    | (a) 断熱鋼板 | (b) 一重鋼板 | (c) コンクリート |
|---------------------------|----------|----------|------------|
| 壁体材質（主材）                  | グラスウール   | 鉄        | コンクリート     |
| 壁体の厚さ（mm）                 | 50       | 2        | 200        |
| 熱伝導率（W/m°C）               | 0.04     | 80       | 1          |
| 熱貫流率（W/m <sup>2</sup> °C） | 0.8      | 40,000   | 5          |
| 貫流熱量（W/m <sup>2</sup> ）   | 24       | 20,000   | 150        |

動を繰り返すが、内壁から離れるほど変動幅は小さくなる。長期的には外気温度の上昇と共に内壁に近い粉から順次時間遅れを伴って温度は上昇した。サイロ中心部の粉温度の実験期間中の長期的变化は、断熱鋼板サイロでは極めて小さかったが、一重鋼板ビンでは5°C程度あった。また、コンクリートサイロの中心部の粉温度変化は約15°Cあったが、これは後述のように測定点の深さが浅く上部空間の影響を受けたためと考えられる。内壁から0.3mにおける粉温度の長期的变化は、断熱鋼板サイロで10°C、一重鋼板ビンでは約25°Cであった。

図8に各サイロの半径方向の温度分布を、各点の温度差が最大となった日、温度差が最も小さくなった日、及び試験終了日について示している。温度差が最大となった2月15日における断熱鋼板サイロでの半径方向の平均温度勾配はおよそ1.5°C/mであり、中心部と壁際（内壁から0.3m）の粉温度との差は約5°Cであった。また、一重鋼板ビンに

おいては、温度差が最大となった1月11日の半径方向の平均温度勾配はおよそ2.5°C/mであり、中心部と壁際（内壁から0.3m）の粉温度との差は約10°Cであった。コンクリートサイロでは半径方向にはそれほど温度差はなかったが、温度差が最大となった2月1日と試験終了日の中心部の温度差は約12°Cで、他のサイロとは異なった変化をした。その原因として、コンクリートサイロが他のサイロよりも直径がおよそ1m小さく、また温度センサー設置位置が粉表層から0.6mと浅かったため、上部空間からの影響を受けやすかったと考えられる。

## (2) サイロ垂直方向の温度分布と変化

図9に実験期間中のサイロ中心部の垂直方向の温度変化を示す。表層部の粉温度は上部空間温度変化に伴って変化し、断熱鋼板サイロにあっても表層粉温度は20°Cを超す時もあった（5月上旬）。一重鋼板ビンについてみると粉表層から0.15mでは粉温度の日変動は小さく、粉そのものが断熱材としての役割を果たしていることがうかがえる。断熱鋼板サイロ、一重鋼板ビンとも粉表層から0.3mでは4月上旬まではほぼ投入時の粉温度で一定で経過し、それを過ぎると徐々に上昇し始めた。また、断熱鋼板サイロでは深さ1.0mでは実験期間

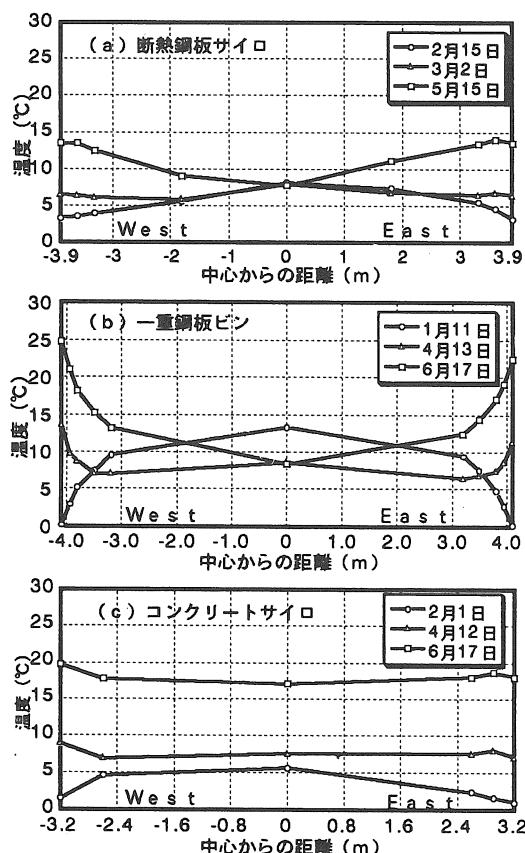


図8 サイロ半径方向粉温度分布

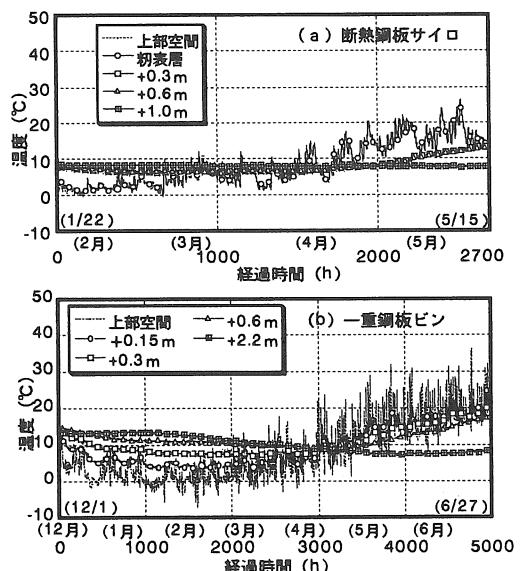


図9 上部空間及び粉温度の変化  
(垂直方向)

中ほぼ投入時の糀温度で経過した。

一重鋼板ビンでは、温度差が最大となった6月27日では深さ0.3mと2.2mでは約15°Cの差がみられた。深さ0.3mと1.0mの糀の温度差を比べると断熱鋼板サイロでは約4°C、一重鋼板ビンでは約8°Cあった。一重鋼板ビンでの長期的な温度変化をみると、0.6mより浅いところでは温度変動があったが、糀表層から2.2m（ビンの中心部）では期間中の糀温度に大きな変化はみられなかった。

## VI. 摘 要

山形県庄内地方に設置されている3種類のCEサイロについて、12月から翌年6月に亘って、サイロ表面温度、貯蔵糀温度及び日射量等の変化を測定した。実験結果は以下のように要約される。

- (1) サイロ投入時糀温度は13°C以下で、糀水分は14%w b程度であった。
- (2) サイロ外壁温度は日射の影響を受け、日中では外気温度よりも30°C以上高くなることがあった。
- (3) サイロ上部空間温度は、サイロ内壁温度に追随して変化した。
- (4) サイロ壁体の熱貫流量は、コンクリートサイロは断熱鋼板サイロの約6倍、一重鋼板ビンでは約800倍に達した。
- (5) 内壁から0.3m離れると糀温度の日変動は小さく、また、内壁及び糀表層から1m以上のところでは糀温度の長期的変化も小さかった。
- (6) 実験期間中の糀温度の変化をみるとサイロ中心部では断熱鋼板サイロで1.5°C、一重鋼板ビンでは約5°C、また、内壁から0.3mでは断熱鋼板サイロで約10°C、一重鋼板ビンでは約25°Cであった。

## 参考文献

- 1) 上出順一、赤瀬 章、岩渕和則：一重鋼板丸ビンにおける糀の長期間貯蔵について－貯蔵中の糀温度及び品質の変化－、平成8年度農業施設学会大会講演要旨、8-9、1996
- 2) 木村建一：建築設備基礎理論演習、281-282、学叢社、1997
- 3) 国立天文台：平成10年理科年表、476-477、1998

[閲読者コメント] 糀温度の観点からタイプの異なる3種類のサイロを検討されていますが、寒冷積雪地帯においてはどのような断熱構造が糀貯蔵に適するとお考えでしょうか。

[著者回答] いつ頃まで貯蔵するかによります。5月いっぱいまでならば断熱構造になつていない一重鋼板ビンでも可能ですが、梅雨を過ぎ8月頃までの貯蔵を考えるならば、糀温度の変化からみてグラスウール等の断熱材を使用したサイロが望ましいと思われます。

## 葉たばこ作の機械化に関する研究（第2報）

—移植及び収穫作業について—

佐々木 公\*・太田義信\*・片岡 崇\*

Mechanization of Burley Tobacco Works (part 2)

— Transplanting and harvesting works —

Kou SASAKI\*, Yoshinobu OTA\*, Takashi KATAOKA\*

### Abstract

In this paper, comparing the rate of work of tobacco machine with that of hand works in transplanting and harvesting, the mechanization of Burley tobacco works was discussed. The rate of work of transplanting Burley tobacco using the self propelled vehicle with high straddle stand which has one unit of automatic feeding seedling transplanter is about twice higher than that of the self propelled vehicle with high straddle stand which has one unit of hand feeding seedling transplanter. Therefore, it is necessary to introduce the automatic feeding seedling transplanter. Harvesting of Burley tobacco leaves using a mini-work vehicle for working in furrow is presently difficult to further mechanization. Since the working time of subsequent tying tobacco leaves using the full automated tying machine is shorter than that of hand tying and consequently the rate of work of whole harvesting tobacco leaves become higher. Presently the rate of work of improved Burley tobacco stem harvesting machine is about 2 times higher than that of human labor. However, the work of hanging tobacco stem by hand for curing is time consuming of whole tobacco stem harvesting and is necessary to be improved because the rate of work of machine harvesting is several times higher than that of reversing and hanging tobacco stem by hand.

[Keywords] 葉たばこ, バーレー種, 移植, 葉もぎ, 幹刈り

### 1. はじめに

東北地方を主産地とするバーレー種葉たばこ耕作面積は、日本における葉たばこ耕作面積（約25,700ha, 平成9年度）のうち、30%程を占めており、紙巻たばこの材料として欠かせない品種である。

しかし、バーレー種葉たばこは、西日本を主産地とする黄色種たばこに比して、栽培に多くの労力と労働時間を必要としている<sup>1) 2)</sup>。特に移植及び収穫作業は大部分が手作業で行われており、大きな労働ピークとなっている。それらの専用機械はいくつか開発されているものの、その普及率は低いのが現状である。

本研究では、バーレー種葉たばこ作の移植及び収穫作業について、手作業の場合と機械化作業の場合の作業速度と作業能率について調査し、葉たばこ作の機械化体系について検討した。

### 2. 調査方法

1997年4月下旬から5月上旬に手作業による移植作業について実地調査し、作業動作をデジタルビデオカメラ（DCR-VX1000, ソニー）に収録した。さらに1998年4月下旬に自動給苗式の高架型作業機（AP-1B, 文明農機）による移植作業、1997年8月上旬に葉もぎ収穫作業及び連干し作業、1997

年及び1998年の8月下旬～9月上旬に手刈り及び幹刈り収穫機(BTM-2000, 文明農機)による幹刈り収穫作業、及び吊込み作業を調査し、その作業動作をVTRに収録した。また高架型作業機(AP-1B, 文明農機)及び自動給苗移植機(PT-1型, ヤンマー農機)による移植作業についてはVTRをJ.T.盛岡原料本部より借用した。これら各作業の動作分析を行い、作業速度の実測あるいは推定から作業能率等を検討した。

### 3. 結果と考察

#### 1) 移植作業

前報<sup>2)</sup>で述べたように、現在主に行われている移植作業は、2人1組による手作業である。

移植の機械化作業は、次の3種の移植機について調査した。①自動給苗移植機はたばこ苗を移植する一連の作業を自動化した給苗装置をもつ歩行型作業機であり、作業者は1名である。次に②手動給苗式高架型作業機は乗用型である。走行しながら機体の中央部に取り付けられた回転式の開孔器に苗を一本ずつ手作業で投入することにより移植作業を行っているので、運転者1名と給苗作業者1名による作業が多い。さらに最近開発された図1の③自動給苗装置付き高架型作業機は運転者1名、苗補給に1名が乗っている。

手作業及び3種の移植機による作業速度及び作業能率を表1に示す。これより自動給苗式高架型作業機の作業速度は、従来の手作業による移植や手動給苗式高架型作業機と比較して、約2倍であり、自動給苗移植機と同程度である。これは、手動給苗式高架型作業機は給苗を手作業で行っており、移植機の走行速度は手動ペースに合わせているのに対して、自動給苗式高架型作業機では迅速な機械による給苗のため作業速度が向上している。

しかし、各移植機におけるセル成形苗の交換時間をみると、表2に示したように自動給苗式高架型作業機は苗の交換に多くの時間を要している。これはセル成形苗の補給位置が機体の高い場所にあり、作業走行を停止して苗補給を行っていたことによる。また、苗補給の作業者1名が不要となれば、運転者1名により高能率な作業機となる。



図1 高架型作業機(自動給苗式)

表1 移植作業の速度と作業能率の試算

| 作業形態         | 作業速度(m/s) | 作業能率(a/h) |
|--------------|-----------|-----------|
| 手作業(2人1組)    | 0.15～0.20 | 3.2～4.2   |
| 自動給苗移植機      | 0.21～0.28 | 4.5～6.1   |
| 高架型作業機(手動給苗) | 0.17      | 3.6       |
| 高架型作業機(自動給苗) | 0.29      | 6.5       |

表2 セル成形苗の交換時間

| 作業機          | 交換時間(s/回) |
|--------------|-----------|
| 高架型作業機(手動給苗) | 9.1       |
| 高架型作業機(自動給苗) | 45.0      |
| 自動給苗移植機      | 32.1      |

#### 2) 収穫作業

たばこ葉は、心止め作業の後より下位の葉から順に緩やかに熟してゆき、心止め後約40日で上位の葉が成熟する。そのため葉の収穫も下位の葉から順々に行われ、成熟の進行に伴って上方に数枚ずつ収穫していく。上位の葉はその位置による熟度の差は小さいため、一度に収穫する<sup>3)</sup>。特にバーレー種の葉は緩和で癖のない喫味が要求される品種であり、図2の収穫標準例に見られるように下位～中位の葉(下葉～合葉)は十分熟してから収穫するため、数回に分けて葉もぎ収穫を行うが、中位～上位の葉(本葉～天葉)については、香喫味を緩和する必要から過度に熟さないように適期

に幹ごと刈って収穫する。

また、バーレー種葉たばこの特徴として、黄色に比べ葉が軟質で大きく垂れ葉であるために、収穫時に扱いにくくしかも損傷し易い。そのため、収穫機の開発には大きな困難を伴っている。

### (1) 葉もぎ収穫及び連干し作業

現在、葉もぎ収穫作業には畦間作業車と呼ばれる超小型車が使用されている。作業者は畦間作業車に連結された低い座席に座りながら畦間を移動し、葉たばこ1本から数枚ずつの葉をもぎ取って作業車の荷台に積み重ねていく。収穫された葉はパイプハウスに運ばれ、連縄のより目に1枚ずつ葉柄を2cm程差し込んで編み込まれる。連縄一本あたり100~120枚程度の葉が編まれ、当日収穫分は全てその日のうちに連干しされる。

表3に葉もぎ収穫作業の作業速度と時間当たり葉もぎ枚数及び作業能率を示した。畦間作業車による葉もぎ収穫作業は、葉の選別及び収穫を1秒間に約1枚の速いペースで行っている。葉に損傷を与えないで手作業によるこの作業能率を上回るような機械開発は困難であると考えられる。

次に連干し作業との関連から表3の時間当たり葉もぎ枚数と表4の連干し作業の時間当たり作業枚数を比較すると、作業者1人の葉もぎ量は、時間的には連干し作業の作業者4~5人に相当している。

葉もぎ収穫の能率向上は困難であるが、連干し作業の作業能率を高めることにより葉もぎ収穫作業全体の作業能率を向上させることができる。そのため連縫み機が開発されており、産地で50%程度の普及をみているが、この機械は連縫の撓りを機械的に広げ、その間に葉を1枚ずつ手差しする機構であり、葉の供給が手動のために作業能率は手作業と大差ない。最近、自動的に葉を供給し葉縫みする自動葉縫み機の開発が進められており、従来の連縫み機に比べて約40%の時間短縮の見込みがあると報告されている<sup>4,5)</sup>。

### (2) 幹刈り収穫及び吊込み作業

一般に行われている幹刈りは手刈りによる。これはたばこの幹を吊込み用の溝をつけるための特

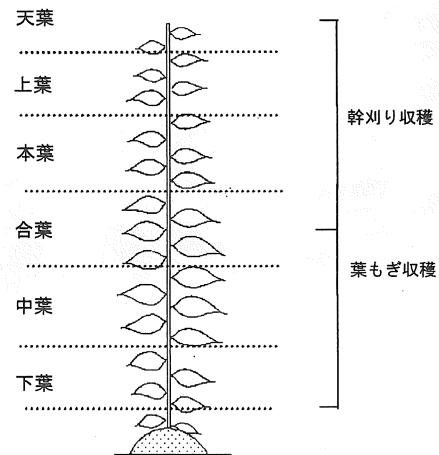


図2 バーレー種葉たばこの収穫標準例

表3 葉もぎ収穫作業

|                 | 作業速度<br>(m/s) | 葉もぎ枚数<br>(枚/本) | 平均葉もぎ枚数<br>(枚/分) | 推定作業能率<br>(a/h) |
|-----------------|---------------|----------------|------------------|-----------------|
| 作業者A<br>(40代女性) | 0.10          | 3~5            | 70               | 2.6             |
| 作業者B<br>(30代男性) | 0.15          | 1~3            | 49               | 4.0             |

表4 連干し作業

|                 | 平均作業枚数<br>(枚/分) |
|-----------------|-----------------|
| 作業者C<br>(60代女性) | 13              |
| 作業者D<br>(60代女性) | 11              |

殊な鋸や鉈で切断し、6~8本を一束にして刈り取った畠に積んで置く。クローラキャリアやトラクタけん引のトレーラをたばこ畠に入れ、たばこ幹を積み込み、乾燥用のパイプハウスに運搬する。その後、乾燥のための吊込み作業は、パイプハウス内に張られたロープや針金に、たばこ幹の吊込み用溝を懸けて幹を逆さまに吊るす。

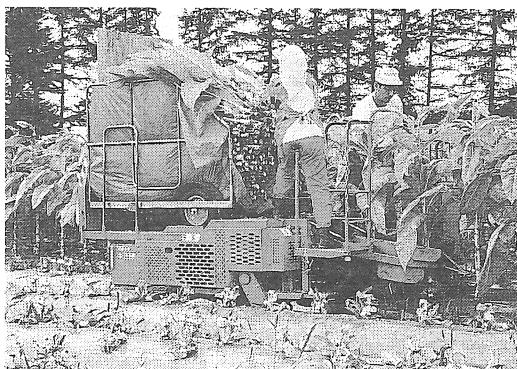


図3 幹刈り収穫機（1998年度）

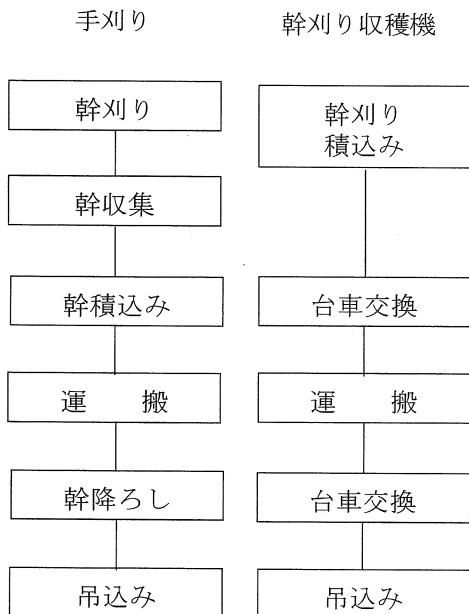


図4 幹刈り収穫の作業体系

1997年度に使用された幹刈り収穫機は、収穫機本体と幹を積込む2台の台車からなっている。収穫機は、走行しながら機体先端のガイド部でたばこ幹を切断部に誘導する。その幹を切断部先端の丸鋸で刈り取り、ローラーチェーンによって把持して後方に送り、中間にある丸鋸で溝切りする。さらに後部の丸鋸で溝と一定間隔になるように幹を切断してローラーチェーンから外される。その幹を運転者は把持して、積込み作業者に手渡し、荷台上的台車に積み重ねる。この収穫機には運転兼把持作業に1人、台車への積込み作業として機体両側に2人、計3人の作業者が乗っている。

たばこ幹を積載した台車は、吊込み作業場所が圃場に近い場合は、収穫機後部から地面に渡し板を取り付けて、2~3人で台車を降ろし、替わりに空の台車を積込む。たばこ幹を積載した台車は人力でパイプハウスまで運搬する。圃場と吊込み作業場所との距離が離れている場合は、台車を収穫機後部から直接、軽トラック荷台に積込み運搬する。

1998年度に使用された幹刈り収穫機では、前年度に比べ次の点が改良されている。①機体前部の幹切断部と台車積載位置とが接近し、運転者も幹の積込み作業が行えるようになった。従って運転兼積込み作業に1人、積込み作業に1人の計2名が収穫機に乗っている。また、②後部の台車積み降ろしには、前年度使用されていたアルミ製渡し板に代えて、後部扉にベニア合板を直接取り付けて扉を開けると渡し板となっている。これにより台車交換時に渡し板の取付け取外しの手間が省かれ、台車の交換時間が短縮された。さらに③台車

表5 幹刈り収穫作業

|                   | 収穫作業時間<br>(s/10本) | 推定作業能率<br>(a/h) |
|-------------------|-------------------|-----------------|
| 鋸 (30代男性)         | 53.1              | 2.2             |
| 鉈 (60代男性)         | 78.8              | 1.5             |
| 鋸 (60代男性)         | 74.9              | 1.6             |
| 幹刈り収穫機(1997年度・3人) | 21.0              | 5.5             |
| 幹刈り収穫機(1998年度・2人) | 16.5              | 7.8             |

表6 吊込み作業

| 吊込み作業時間<br>(s/10本) |
|--------------------|
| 作業者A (40代女性)       |
| 作業者B (60代女性)       |
| 作業者C (60代女性)       |
| 作業者D (50代女性)       |
| 作業者E (60代女性)       |

フレームが軽量鋼管となって軽量化された。

従来の手刈り収穫と幹刈り収穫機による幹刈り収穫の作業体系を図4に示す。幹刈り収穫機の場合、幹刈りと台車の交換作業は一連の組作業となっており、手刈り作業における幹収集及び幹積込みが台車の幹積込みと一作業として行われ、作業時間が短縮している。また、手刈りの幹積込み及び幹降ろし作業も、収穫機では台車の交換のみとなり短時間の作業となった。

次に手刈りと収穫機による場合の作業能率について比較すると、表5に示すように1997年度の幹刈り収穫機による場合は5.5 a/hと手刈りに対し約3倍の作業能率を示し、1998年度の収穫機は7.8 a/hと約4倍の作業能率を示しているが、これは作業速度の増大及び旋回時間の短縮等による。また、1997年度の幹刈り収穫機の作業者は3人であり、1人当たりの作業能率は1.8 a/hとなって手刈り作業と同程度になるが、1998年度の収穫機は2人で作業しており、1人当たりの作業能率は3.9 a/hとなり手刈り作業に対し約2倍となる。

一方、吊込み作業は幹刈り作業と連動した作業であるが、吊込み作業能率を示した表6により幹刈り作業と比較すると、吊込み作業時間は幹10本あたり47~78秒であり、手刈り作業の作業時間は幹10本当たり53~79秒となるので、作業者は一对一の対応となっている。これに対して1997年度の幹刈り収穫機は幹10本当たり21秒であり、対応する吊込み作業者は2~3人が必要である。また1998年度の幹刈り収穫機は幹10本当たり16.5秒と作業能率が向上しており、対応する吊込み作業者は3~4人が必要となる。

幹刈り作業と吊込み作業は連係した組作業となっているので、その関係を図5に示した。図上方の1997年度の幹刈りの場合は1列130株の畝を往路4.5分で刈り取り、旋回に1.2分、帰路は4.5分で刈り

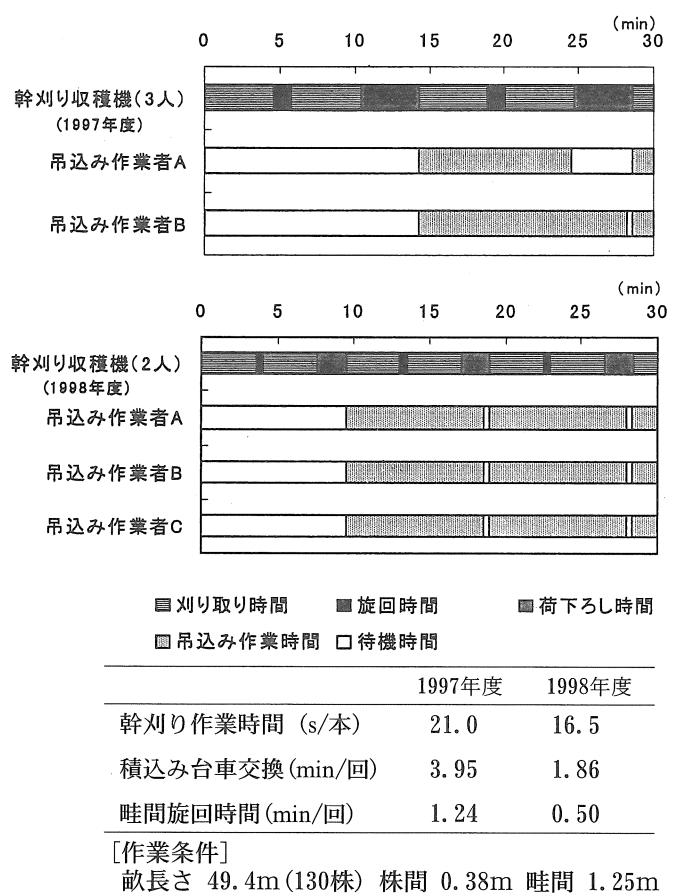


図5 幹刈り収穫機と吊込み作業の組合せ

取る。その後台車の交換に約4分かかり、幹を積載した台車をパイプハウス内に運搬し、吊込み作業に渡される。幹刈りから台車の交換までが1サイクルとなり、サイクルタイムは14.2分である。この中で台車の交換時間は28%を占めている。これは渡し板の取付け及び取外しする時間、台車1台の積み荷質量は約100kgとなるが、台車のキャスターが積降ろしの誘導輪として働いていないために動きにくく、台車の交換作業に2~3人を要しているためである。これに対して1998年度の幹刈り収穫機は同様の畝を往路3.5分で刈り取り、旋回に0.5分、そして帰路は3.5分で刈り取る。その後台車の交換を約2分で行うので1サイクルタイム9.5分に短縮されて、台車交換時間も21%と少なくなった。このため1997年度の収穫機では吊込み作業者は2名で対応できたが、1998年度の収

穫機は吊込み作業に3人以上を必要とするようになった。まとめれば1997年度の幹刈り収穫機による作業体系では、収穫機に3人、運搬に1人、吊込み作業に2~3人で計6~7人の人数を要したが、1998年度の幹刈り収穫機作業体系においては収穫機に2人、運搬に1人、吊込み作業に3~4人となり、作業全体では1997年と同じく計6~7人の人数を要している。

収穫作業と運搬が省力化されて作業能率も向上したが、吊込み作業が依然として人力作業であるために、幹刈り収穫作業体系としての人員削減には繋がっていない。このため、早急に吊込み作業の機械化について新技術の導入が必要であろう。

#### 4.まとめ

バーレー種葉たばこの移植作業及び収穫作業について、従来の手作業と作業機を導入した場合について、デジタルビデオカメラにより畑作業の動作分析を行い、作業能率を求めて葉たばこ作の機械化体系について検討した。得られた結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 移植作業において、自動給苗式高架型作業機は、従来の手動給苗式高架型作業機に比べ作業能率を2倍程向上させている。移植作業機の高性能化には自動給苗装置の導入が必要である。
- (2) 葉もぎ収穫作業は、現在の人手によるたばこ葉の選別及びもぎ取りの作業能率に代わる機械化は困難である。しかし、葉もぎ収穫作業体系全体のネックとなっている連干し作業については、自動給葉式の連編み機の導入により葉もぎ収穫作業全体の省力化が可能である。
- (3) 最近の幹刈り収穫機の改良により、幹刈り作業能率は、手刈りより2倍程も向上している。しかし、運動している吊込み作業は、依然として人手に頼っているため、幹刈り収穫作業体系のネックとなっており、省力化のためには早急な改善策を必要としている。

#### 参考文献

- 1) 春園輝夫：たばこ作機械化最前線、農機誌、58(1), 121-125, 1986
- 2) 太田義信, 佐々木公, 片岡崇：葉たばこ作の

機械化に関する研究、農業機械学会誌東北支部報、44, 81-86

- 3) 日本葉たばこ技術開発協会：葉たばこ技術・研究史、たばこ耕作法編、1990
- 4) 服部信義・前川良明・浅井甲子男・中嶋博之：バーレー種タバコ用自動葉編み機に関する研究（第1報）、農機誌59(5), 21-28, 1997
- 5) 服部信義・前川良明・長村一男・中嶋博之・春園輝夫：バーレー種タバコ用自動葉編み機に関する研究（第2報）、農機誌59(6), 41-49, 1997

**[閲読者コメント]** 幹刈り作業の能率が向上したために、対応する吊込み作業に多くの作業者が必要と述べられていますが、幹刈りの作業時間が短縮されているのですから、その作業者が吊込みも手伝う形を取れば、全体の作業者は少なくてもすむように思えます。

**[著者回答]** 葉たばこ作業のなかで手作業による幹刈りは、重労働に属する厳しい作業です。幹刈り収穫機の導入により、労働環境は改善されて作業能率も大幅に向かっております。従って、耕作面積の広さと葉たばこの収穫適期から高性能な幹刈り収穫機の稼動時間を制限することは得策ではなく、現時点では軽労働の吊込み作業に人数が増えて、幹刈り収穫作業全体の作業能率を向上させることが大切かと思われます。なお、吊込み作業の省力化・機械化は今後の大きな研究課題です。

# A Review of Agricultural Machine Vision Applications

Duke M. BULANON\*, Takashi KATAOKA\*, Yoshinobu OTA\*, Tatsuo HIROMA\*

## 農業機械へのマシンビジョンシステムの応用事例

デューク・M. ブラノン\*・片岡 崇\*・太田義信\*・広間達夫\*

### 要旨

農業機械分野におけるマシンビジョンシステムの応用事例について調査を行った。ここでは、最近のマシンビジョンシステムの研究動向と開発状況について紹介する。マシンビジョンシステムは、センシング、画像認識、画像処理、さらにこれらをベースとした動作の4つの基本パターンから構成されている。そして、作物状態の評価、作物個体の認識、あるいは自律走行のためのガイダンスシステムなどに応用されている。マシンビジョンシステムは、農業用ロボットに関して非常に重要な技術に位置づけられ、現在なお発展段階にある。重要なことはセンサの選択とセンシングされたデータの処理ソフト・処理方法である。

[Keywords] machine vision, image processing, visual sensing, agricultural robot

### I. Introduction

One important method to gather information for control of a system is through machine vision. Vision information, if properly evaluated, can provide data required for a certain system. In the industrial field, machine vision is used as a sensing element with a wide variety of applications. Mostly, machine vision is used for product inspection. In the field of agriculture, visual information is very important. Color<sup>1)</sup> of a fruit may show its maturity. Shape of the leaves could differentiate a weed from a crop. Thus, potentials of machine vision applied to agriculture are being developed. Researchers are studying the uses of machine vision which include fruit inspection, plant identification, machine guidance, animal observation, and other applications where visual sensing is used. This paper shows the study on the machine vision system that could be applied in any field and the review of some of the recent technological development of the applications of machine vision in production agriculture.

### II. Machine vision system

Machine vision systems obtain images of objects by digitizing the output of electronic cameras, and then analyze the images to obtain information for making further decisions about the object. Awcock<sup>2)</sup> defined a general machine vision system that is shown in Fig. 1. The defined system consists of four elements that could be found in a typical machine vision system in any field of application. These are the Scene Constraints,

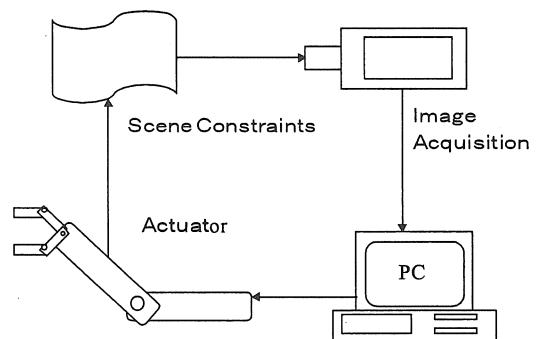


Fig. 1 Machine Vision System

\*Iwate University, Faculty of Agriculture

## Image Acquisition, Image Processing, and Actuation.

### (1) Scene Constraints

The scene constraint refers to the environment wherein the machine vision equipment is to be placed and it is where the desired information is to be taken. The proper control of the factors that affect the acquisition of data like lighting and installation method should be properly considered to enhance the desired object. With the use of thermal cameras, lighting may not be considered but the field of view of the camera should be calibrated.

### (2) Image Acquisition

The image acquisition is the element that concerns with the process of translating light falling into the photosensors of a camera to a digitized data that could be processed in the computer. The camera may be a black and white video camera, a colored video camera, or an infrared camera. The type of acquisition equipment depends on the relevant information needed.

### (3) Image Processing

Image processing is the part that deals with the digitized image as input and produces another image with the aim of enhancing the initial image making the desired information easier to analyze. The processing is usually done in the computer. Several steps are involved in image processing and it is dependent on the required information.

#### (a) Preprocessing

Preprocessing is an image processing step that aims to modify and prepare the pixel values of the digitized image to produce an output that could be easily analyzed in the subsequent operation. This step enhances the initial image by smoothing or sharpening the image and eliminating image noise.

#### (b) Segmentation

Segmentation is the process wherein the digitized image is broken down into meaningful regions. The simplest segmentation process is the identification of the foreground and the background that is usually a binary image.

#### (c) Feature Extraction

After the image is divided into regions, the feature

extraction process identifies objects in the region by using some descriptors. Some of these basic descriptors are the area, centroid, perimeter, major diameter, compactness, and thinness. These descriptors are used simultaneously to have a good description of the object.

#### (d) Classification

Classification is the task of putting the objects in the image into some predefined categories. This process may be done by template matching or by a statistical method. Template matching is the comparison of the unknown objects to a set of known templates so as to identify the object.

#### (4) Actuation

This is the interaction of the machine with the environment or the original scene either directly or indirectly after the machine has identified the object.

## III. Agricultural Machine Vision Applications

Machine vision systems are among the most complex electronic sensors in use. The development of fast computer technology and the photosensor technology has widened the field of application of machine vision. One of its fields is the industrial area where 60% of its utilization is in the quality inspection of products. Other fields include military science, astronomy, medicine, and any other field where vision is inevitable.

Presently, researchers have been studying the potentials of machine vision in production agriculture.

The decreasing number of workers in the farm, the advancement of modern control technology, the adaptability of the machine vision system to any field, and the importance of visual information in the farm industry are some of the reasons machine vision is considered in agriculture.<sup>3)</sup>

Visual sensing in agriculture includes fruit quality inspection, plant condition analysis, animal behavior analysis, tractor steering, and mostly all of the agricultural processes. At present, the application of machine vision in production agriculture could be classified into plant identification, process control, and machine guidance and control.

#### (1) Plant Identification

Plant identification is essentially concerned with

the classification of a certain plant by accurately identifying its parts' geometrical shape, size, and color. As shown in Fig.2, size, color, shape, and surface temperatures are some of the parameters that could be gathered and analyzed to accurately classify a certain plant and its parts. The measurement of parameters by non-contact visual means is one of the many advantages of machine vision.

The ability to locate and identify a certain plant could lead to the development of useful control system. Machine vision could be a visual sensor

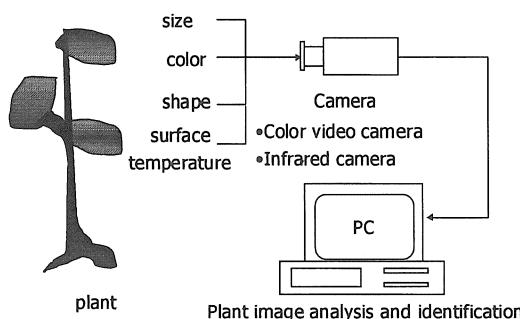


Fig. 2 Machine Vision for Plant Identification

for a steering system for a tractor that guides it along a predetermined row of plants. Guyer et al.<sup>4)</sup> developed a machine vision that identifies certain plant species such as corn, soybeans, tomatoes, and some weed species at early growth stages. A charge injection device camera was used to capture images of the plants. Incandescent light and fluorescent lights were used as illuminating aids during the image capture. Spatial parameters of the plants such as leaf's shape and size were calculated and used to classify the plants. The image processing stage evaluated the differences in reflection of radiation from leaves and soil surface and the differences in the number of leaves and the shapes of the different weed species. In a Kansas wheat field where weeds were a problem, a machine vision to identify these weed species was developed by Zhang et al.<sup>5)</sup>. This sensor may be incorporated in a weed controlling apparatus as a weed sensor. Woebbecke et al.<sup>6)</sup> did related detection studies on

weeds. Color images of 10 kinds of weeds were analyzed. These weed species were mostly found along corn and soybeans. Color slide photographs of the plants were used during the image analysis. Most common method for identifying plants are based on leaf shape or the whole plant geometry. Image Pro Plus was the image processing software for the shape analysis. Dimensionless shape feature analyses were conducted on binary images. The features that were investigated were roundness, aspect, perimeter, thickness, elongatedness, and central moments. The tested weed species were 45 days old after emergence.

Shimizu and Heins<sup>7)</sup> did a non-contact three-dimensional plant growth analyses of *Verbena bonariensis* by using a monochrome CCD camera to capture the plant growth process. Infrared lighting was used for illumination in the dark. The stem length and the growth rate were computed from the images. Plant analysis using this method could provide accurate and reliable observation and review of the observed phenomenon is possible.

## (2) Process Control

When a certain agricultural process rely on visual system for control, machine vision can be considered. As shown in Fig.3, a machine vision system may be used for the inspection of fruits by allowing the fruits to pass in front of a camera so that its shape, size, and color may be captured and evaluated. The computer processes the acquired images then the system is able to make an intelligent action by identifying and eliminating abnormal products. Generally, in visual sensing, the parameters to be assessed include color, shape and size. In agriculture, evaluation of the color information indicates qualities such as maturity, sweetness, and wholesomeness.

At present, the sorting and grading of peaches is a manual effort. Miller and Delwiche<sup>8)</sup> studied a color vision system that inspects and grades fresh market peaches. Digital color images of the peaches were taken as the fruit moved on a belt conveyor analyzing peach color, size, and surface characteristics. A solid-state color television camera was used to take the images. The peaches were also illuminated in an illumination chamber. The im-

ages were then processed and investigated with respect to some standards. The image analysis was to compare the peach color to a reference peach maturity color. Compared to visual inspection by human senses, machine vision gives a high output rate, high reliability, high uniformity, and is capable to make critical measurements.

Rehgugler and Throop<sup>9</sup> developed a machine vision system that is capable of detecting the defects of an apple. In this system, the apple's cheek was presented for viewing without the interference of the fruit's stem or calyx in the detection process. A pixel line scan photodiode camera was used to take pictures of the apple. A device for positioning the apple and presenting it to the

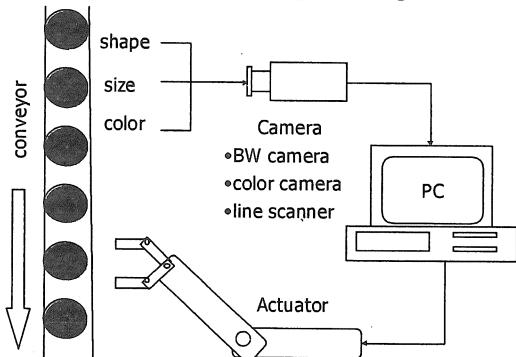


Fig. 3 Machine Vision in Process Control

camera was designed to follow the principles of scene constraints. A substantial gray level difference between the bruised and unbruised apple was the key factor in the image-processing algorithm to develop a simple bruise-detecting program.

Color evaluation is not the only parameter used in process control. The geometrical shape and size of the object is also evaluated to classify objects.

A machine vision system to make quantitative measures for rose quality was developed by Steinmetz<sup>10</sup>

A color video camera was used in the image capturing process. An inspection chamber was also designed with respect to rose position and size, lighting, and image resolution. Again, the scene constraints are being considered here to clearly present the visual information needed. A fluorescent lamp illuminated the inspection chamber. The parameters include stem length, stem diameter, stem

straightness, bud maturity, and bud color. Yoshitomi<sup>11</sup> evaluated tealeaf shape, an important factor for tea quality, using image-processing techniques.

### (3) Machine Guidance and Control

One of the important features of a robotic harvesting system is recognizing and locating a fruit. The commonly used camera gives a two-dimensional picture. Since three coordinates are required to fully locate the object, the distance dimension is lacking. As shown in Fig.4, the visual sensor could only detect the xy plane. The z-dimension or the distance dimension is lacking. The third dimension is known by another sensor such as range finding sensor, acoustics, radio frequency, touch sensor<sup>12</sup> and the stereographic vision system. Once all the dimensions are identified the system could then compare the fruit's coordinates with the robot's coordinates and compute the trajectory of the robotic hand.

Researchers are trying to develop this feature by utilizing the object's geometric shape property, reflectance intensity, chrominance, and emmisivity. The objective is to take a digital image of the object and use image processing to identify and locate the position of the objects. Parrish and Goksel<sup>13</sup> conducted the first experimental system for an apple harvesting system. A black and

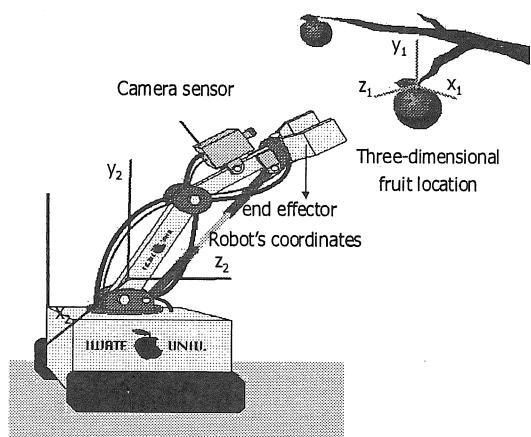


Fig. 4 Visual Sensor for Robotic Harvester

white video camera was used to detect the apples. The image coordinates of the apple and its centroid were determined by image processing then the trajectory planning and the actuation routines direct

the robotic arm to the apple. In the image processing part, pictorial pattern recognition was used where objects are detected in the image and then appropriate features are assigned to them.

Slaughter and Harrel<sup>14)</sup> later improved the black and white video camera by using a colored video camera. This time, the detection of apples was not only dependent on light intensity but also on color. When using color information, the segmentation process is enhanced because color segmentation provides a satisfactory means of image enhancement when the field of view contains objects and background made up of high contrasting color. The color factor is an important parameter in identifying the object from its background. A related study done by Sites<sup>15)</sup> collected images of peach and apple trees during the day and night. The image processing part classified the objects as single fruit, multiple fruit, or noise. One of the problems of robotic vision system is the similarity of the spectral reflectance between the object and its background.

Recent studies use the thermal characteristics of the object to identify it. Zhang et al.<sup>16-17)</sup> studied the thermal characteristics of the apple tree. An apple detection algorithm was developed from the thermal image acquired from the apple tree. The differences of surface temperature of the apple fruit and the other tree parts were used to identify the apple from the tree. An experiment to study the temperature profile of the apple tree during nighttime was conducted by Bulanon et al.<sup>18)</sup>. The surface temperature profile during nighttime of the apple tree, which includes the fruit, stem, and leaves, is shown in Fig.5. A thermal camera (AVIO, TVS-610) is used to capture the image from 18:30 to 8:30 the following morning. The experiment was done early August before the harvesting season. The objective of this research is to identify the largest difference of the surface temperature between the fruit and the leaves and branch to aid in image processing specifically in segmentation. The advantage of thermal image is the absence of structured lighting. The disadvantage lies when the surface temperature of the object of interest is

the same as that of the background. The vision system is also studied in the guidance of tractor steering. Misao<sup>19)</sup> developed a computer eye for

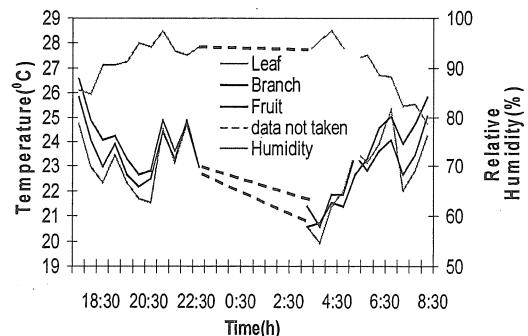


Fig. 5 Surface Temperature of Apple Tree

steering a crawler tractor. The image processing system consisted of a video camera, a microcomputer, a radio control unit, and a crawler tractor. The video camera takes the picture of the whole tractor then the image-processing unit divides the image into 256x256 pixel in vertical and horizontal, and controls the position of the tractor.

#### IV. Conclusion

In considering the use of machine vision in any field, the four elements (scene constraints, image acquisition, image processing, and actuation) of a machine vision system should be considered.

Machine vision systems have been proposed for various agricultural applications. The potential uses of machine vision in agriculture can be classified as process control, plant identification, and machine guidance and control.

Two important factors should be considered in the application of machine vision. First factor to be considered is the choice of sensor. With the development of sensor technology, wide band frequency sensors are now available. Second is the software. The time needed to process the acquired images is a very important factor in the performance of the vision system specifically if it is used to guide a robotic harvester or to inspect moving products.

The software should perform the image analysis procedure at a high cycle rate with considerable reliability. With the declining cost and increased

capability of the computer, machine vision in agriculture will be a common tool in the future.

### References

- 1) Searcy S., Reid, J. : Machines see red and so much more, Agricultural Engineering, ASAE, pp.10 -15, November 1989
- 2) Awcock, G. W. : Applied image processing, McGraw Hill, pp. 1-24, 1996
- 3) Bush, P. : A new role for robots, Agricultural Engineering, ASAE, pp.22-23, September 1991
- 4) Guyer, D. E., Miles, M., Schreiber, M., Mitchell, O., Vanderbilt, V. : Machine vision and image processing for plant identification, Transactions of the ASAE, 29 (6), 1500-1507, 1986
- 5) Zhang, N., Chaisattapagon, C. : Effective criteria for weed identification in wheat fields using machine vision, Transactions of the ASAE, 38 (3), 965-974, 1995
- 6) Woebbecke, D. M., Meyer, G., Von Bargen, K., Mortensen, D. : Shape features for identifying young weeds, Transactions of the ASAE, 38 (1), 271-281, 1994
- 7) Shimizu, H., Heins, R. : Computer vision based system for plant growth analysis, Transactions of the ASAE, 38 (3), 959-964, 1995
- 8) Miller, B., Delwiche, M. : A color vision system for peach grading, Transactions of the ASAE, 32 (4), 1484-1490, 1989
- 9) Rehkugler, G. E., Throop, J. : Apple sorting with machine vision, Transactions of the ASAE, 29 (5), 1388-1397, 1986
- 10) Steinmetz, V., Delwiche, M., Giles, D., Evans, R. : Sorting cut roses with machine vision, Transactions of the ASAE, 37 (4), 1347-1353, 1994
- 11) Yoshitomi, H. : Quality evaluation of green tea by image processing, Journal of JSAM, 52(2), 49-56, 1990 (in Japanese)
- 12) Parrish, E. A., Goksel, A. : Pictorial pattern recognition applied to fruit harvesting, Transactions of the ASAE, 20 (5): 822-827, 1977
- 13) Slaughter, D., Harrel, R. : Color vision in robotic fruit harvesting, Transactions of the ASAE, 30 (4), 1144-1148, 1987
- 14) Sites, P. : Computer vision to locate fruit on the tree, Transactions of the ASAE, 31 (1), 257-263, 1987
- 15) French Technology Press : Agrotics, robots for agriculture, Agricultural Engineering, ASAE, pp.21-24, January 1993
- 16) Zhang, S., Takahashi, T., Fukuchi, H., Terao, H. : Apple detection using infrared thermal image (Part 1), Journal of JSAM, 59(6), 57-64, 1997, (in Japanese)
- 17) Zhang, S., Takahashi, T., Fukuchi, H., Terao, H. : Apple detection using infrared thermal image (Part 2), Journal of JSAM, 60(1), 69-76, 1998 (in Japanese)
- 18) Bulanon, D. M., Kataoka, T., Ota, Y., Hiroma, T. : Study on distance measurement using CCD and infrared camera, A report presented in the annual conference of the Tohoku Branch of JSAM, 1998
- 19) Misao, Y. : Studies on automatic steering system of farm tractor (Part 1), Journal of JSAM, 51(1), 21-28, 1989 (in Japanese)

### [Comments from the reviewer to the author]

As you explain about the agricultural machine vision in this paper, some studies related to it are been done even in the field of agricultural machinery. But the reviewer has some feeling that these studies have come to a deadlock. Would you show it to us if you have any view on forthcoming study?

### [Answer from the authors]

At present, machine vision in agriculture is still under research and development stage. The researches show favorable results such as apple and peach quality inspection. This means that machine vision has a potential in the agriculture industry. The future of machine vision in agriculture would further be developed with the rising technology of sensors and high memory, fast processing computers to aid in understanding natural scenes which is difficult to control. Researchers should also develop segmenting algorithms specific for natural images like the apple tree. With this, customizing machine vision systems for use in a specific application like harvesting and post harvesting quality inspection will be a major step in the future.

# 教育用コンピュータソフトウェアを活用した機械工作実習（第1報）

—NC旋盤シミュレータの開発—

吉田 純\*・及川 理\*・片岡 崇\*

Machine Workshop Laboratory Using Educational Computer Software (Part 1)

—Development of computer simulator for numerical controlled lathe—

Jun YOSHIDA\*, Osamu OIKAWA\*, Takashi KATAOKA\*

## Abstract

The machine workshop laboratory specifically for machine manufacturing, welding, forging, finishing and heat treatment has been offered to the agricultural engineering class. A Numerical Controlled lathe was newly introduced in the machine workshop in 1997. When the NC lathe was introduced to the laboratory in 1998, NC Simulator (a computer software) which simulated the trajectory of its tool was developed. This paper describes the function when it is used in the laboratory with the intentions of high educational effect and prevention to the damage of NC Lathe and its tools. The developed NC Simulator was considered to be very useful for training the student in laboratory.

[Keywords] workshop, numerical controlled lathe, computer simulator, visual basic

## I. はじめに

岩手大学農学部農業生産環境工学科生物生産工学専修では、機械工学系の授業の一環として、2年次学生を対象に機械加工、溶接、鍛造、手仕上げ、熱処理などを学ぶ機械工作実習（必修科目）を開講している。

授業においては、進展する科学技術（主に工作技術）を積極的に取り入れるように努めている。NC（数値制御）フライス盤とパーソナルコンピュータを結びつけ行ってきた教育もその一つで、その成果は、農業機械学会東北支部報<sup>1, 2)</sup>に報告してきた。また、国際工作機械見本市のビデオや本学工学部工作センターの見学を通して、最先端の工

作機械や加工技術などに接する機会も与えている。

昨年（1997年）本学科機械工作室に、NC工作機械の一つであるNC旋盤が新たに導入され、NCフライス盤同様に、コンピュータ制御によるNC加工を実習に加えた。今年度は、2台のNC工作機械を教育用としてより効果的に活用することを目的として、バイト刃先の移動軌跡をシミュレーションする、NC旋盤用のNCシミュレータ（コンピュータソフトウェア）を開発し実習に使用した。

## II. NC旋盤

### (1) NC旋盤加工実習

旋盤は工作機械の中で最も多く使用されている機種である。加工物は円筒形（俗に丸物という）をしているが、NC旋盤はこのような加工物を自動的に切削し加工を行うものである。

導入されたNC旋盤（日立精機3NE-300形1979年製）を図1に示す。機械本体の主な仕様は、主軸用モータ出力は11kw、主軸最高回転数は3000rpm、工具取付本数は12本、座標値最小設定単位は0.01mmである。

NC装置関連では、最新機は自動化をより高めるために多くの機能が具備されるようになった。しかし本NC旋盤には、自動刃先R補正、複合形固定サイクル、工具位置自動補正などの機能や装置は装備されていない。

主軸回転などの各種指令や、加工形状を決定する座標値などのNCデータは、NC装置のキーボードとさん孔テープリーダーから入力するか、パソコン用コンピュータからRS-232Cを経由して直接入力することも可能である。

本実習では、ボルト製作を課題として取り上げ、NCプログラミングとNC加工の2回に分けて行っている。NCプログラミングは、NCシミュレータ

がインストールされている情報処理演習室のパソコン用コンピュータを使って行う。そしてNC加工は、機械工作室で行う。

加工素材は $\phi 22 \times 75$ 、SUM21（いおう快削鋼）で、ねじ部を除いてNC加工をする。ねじ部は別途ねじ切りダイス補助具<sup>4)</sup>により加工する。

NC旋盤の導入により、これまで加工が困難であった複雑形状物の製作も可能となった。しかしNC工作機械は自動工作機械なので、特に初心者の学生が行う実習においては、加工形状を事前に確認することは前提条件となる。

## (2) 加工形状の事前確認

加工形状の事前確認は、シミュレーション機能が装備されているNC工作機械では機械本体で行うことができる。しかし同機能を装備しない機械の場合は、専用のソフトウェアやCADまたはCAM/CAMシステムの導入、あるいはNCプログラムの厳格なチェックと細心の注意を払いながら機械の空運転により行う。

本NC旋盤は、シミュレーション機能がないので、加工形状を事前に確認できるNCシミュレータを開発する必要に迫られた。

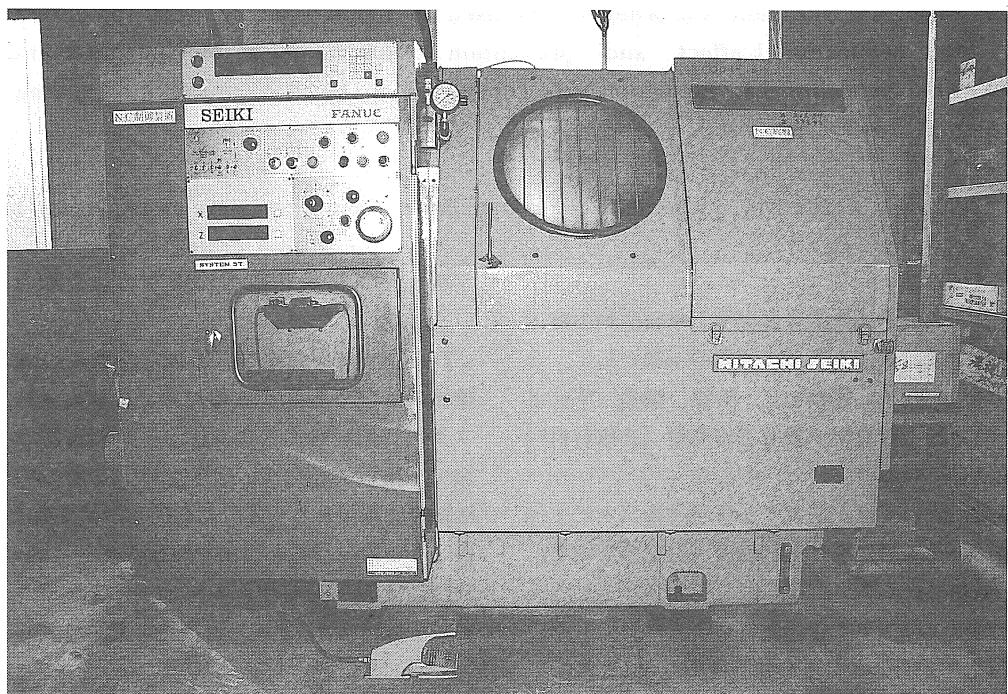


図1 NC旋盤

## (3) 開発コンセプト

NCシミュレータの開発コンセプトは、教育的効果が高められ、かつ効率的な授業に結びつき、プログラミングミスによる機械やバイトの破損を未然に防ぐことである。さらに汎用ソフトウェアとしての活用もめざしている。

学内において、LAN環境とコンピュータが整備されているので、NC旋盤をネットワーク環境下におくことにより、情報処理教育の一つとしての応用も含めて開発を行う。そのため、開発用ソフトウェアにはWindows95上で可動するMicrosoft Visual Basic 4.0を用いた。

## III. NC旋盤シミュレータ

## (1) NCプログラム

機械工作実習の製作課題のボルトを例に開発した、NCシミュレータについて説明する。図2にボルト製作図面、図3にそのNCプログラムの一部を示す。NCプログラムは、テキストファイル形式で別途エディタにより作成する。NCプログラムとは、NC加工に必要な各種指令と加工形状

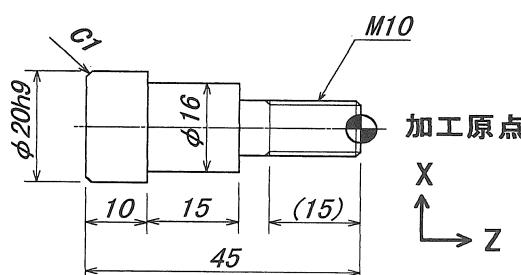


図2 ボルト製作図面

に関するデータからなる、処理と手順を表したものである。

## (2) シミュレーションWindow1

NCシミュレータの第1画面となるシミュレーションWindow1では、加工対象物（実習の製作課題、学生実験用の引張破断試験片、その他）の選択、および次の作業（NCプログラミング、NCシミュレーション）に対する指示を与え、次のWindow

N100 G50X21700Z27400S2000

N110 G97S1500T0100M03

N120 G00X10000Z10000T0101M08

N130 G00X3000Z1000

N140 G96S100

N150 G01Z10F20

N160 G01X0

N170 G00X2040Z1000

N180 G01Z-5000

N190 G00X3000Z1000

図3 NCプログラム

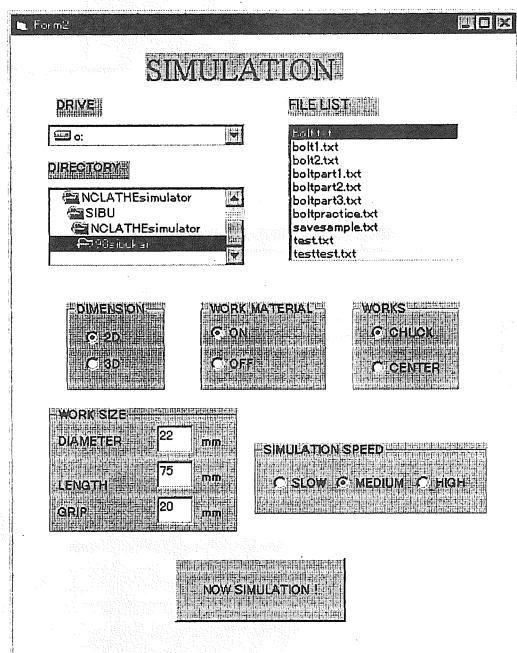


図4 シミュレーションWindow2

に進む。

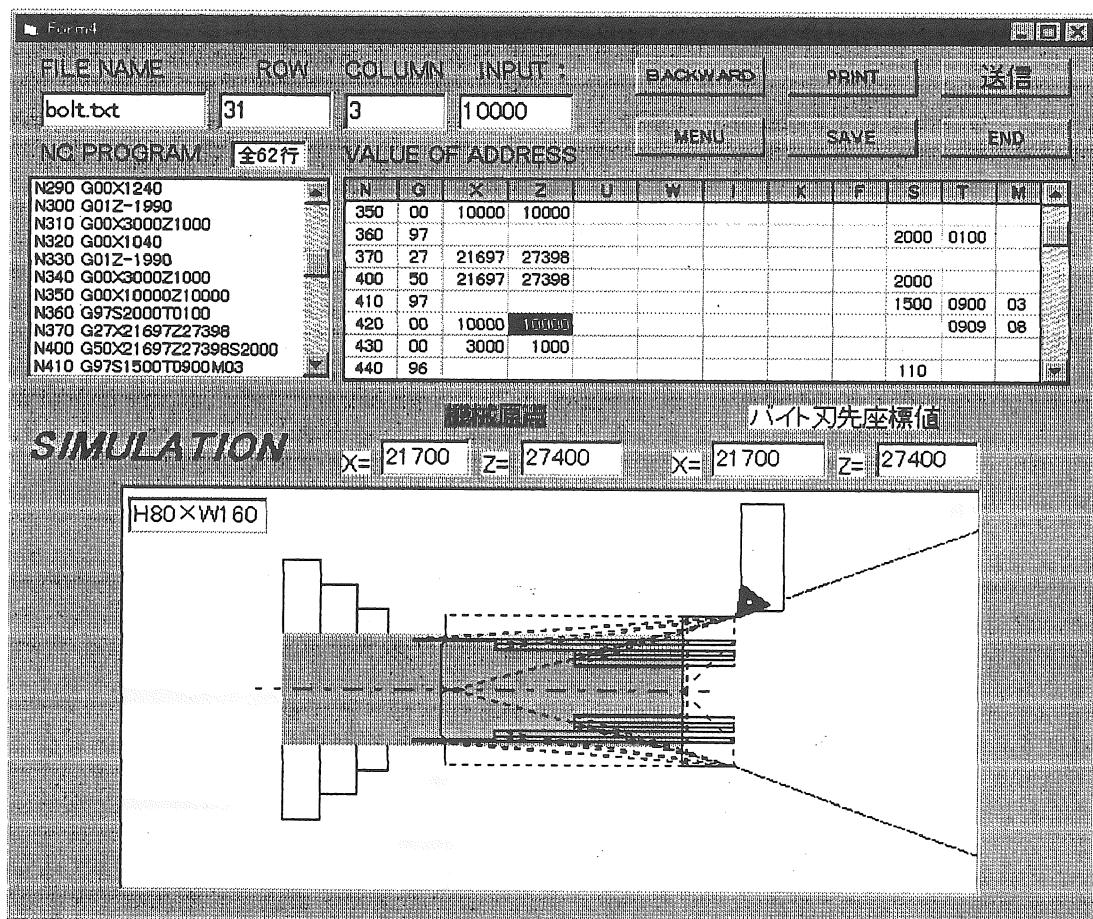


図5 シミュレーションWindow 3

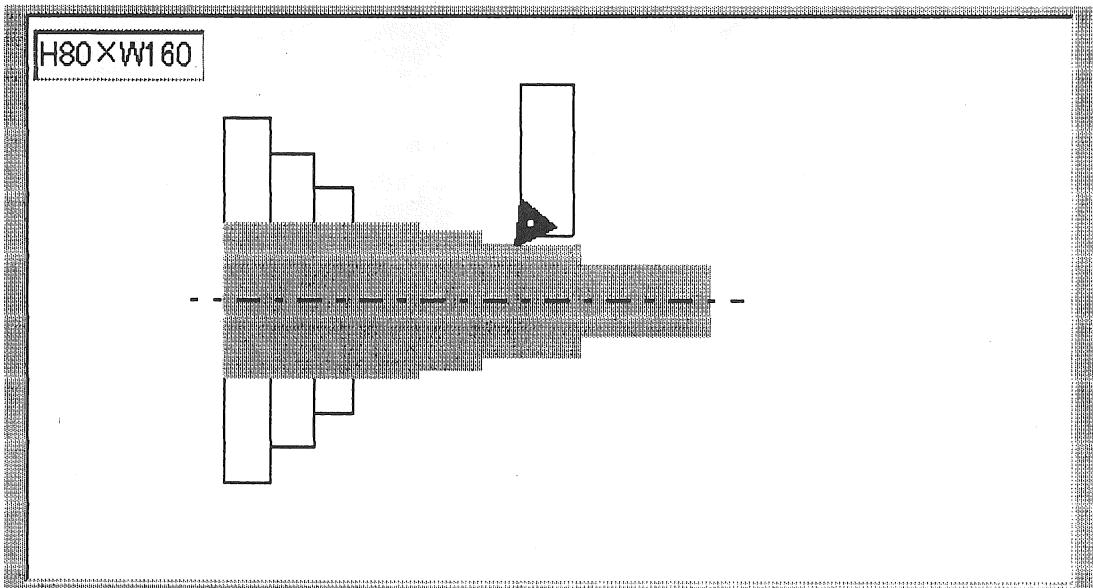


図6 シミュレーションWindow 4

### (3) シミュレーションWindow2

NCシミュレータの第2画面のシミュレーションWindow2を図4に示す。ここでは、NCプログラムの読み込み、シミュレーション形式（2次元または3次元による描画）、加工素材の表示の有無、ワーク作業（チャックまたはセンタ作業）、シミュレーション速度について選択や指定を行い、次のWindowに進む。3次元表示とシミュレーション速度については現段階では機能しない。

### (4) シミュレーションWindow3

NCシミュレータの第3画面となるシミュレーションWindow3を図5に示す。このWindowでは、読み込まれたNCプログラムに関する情報の表示、次の作業に対する指示、および加工形状のシミュレーションなどを行う。

シミュレーションは、バイト刃先の移動する軌跡として描かれる。破線はバイトの位置決め工程（G00），実線は切削送り工程（G01）を示す。これによって、座標値やバイトの移動方向、バイトの位置決めと切削送りなど、重大な間違いを容易に発見することができる。加工素材、チャック爪、バイトは初めから表示されている。

シミュレーションの結果により、NCプログラムの数値データを修正する必要が生じた場合は、グリッド上の訂正（修正）箇所にセルを移動してデータを書き換える。シミュレーション結果を見ながら同一Window上でNCプログラムの訂正・修正ができるので、効率よくプログラミングを行うことができる。一つの指令単位である工程（ブロック）の挿入・削除はWindow上ではできないので、エディタを使ってNCプログラムそのものを書き換える。

加工形状のシミュレーションに付随して、機械原点と実行中の工程のバイト刃先座標値の情報も表示される。機械が固有にもつ機械原点は、加工原点（プログラム原点ともいう）と同様に、座標系設定において重要な値である。この値が正しくなければ、仕上がり寸法の狂いやバイトの破損などにつながる。バイト刃先座標値は、各工程におけるXとZ軸の座標値を示す。

### (5) シミュレーションWindow4

シミュレータの第4画面のシミュレーション

Window4を図6に示す。ここでは、バイト刃先の移動軌跡を線で描くのではなく、アニメーションのようにバイトを移動させる方法でシミュレーションを行う。これによって、位置決め工程においてはバイトが移動し、切削送り工程においてはバイトが移動しながらあたかも加工素材が切削されて

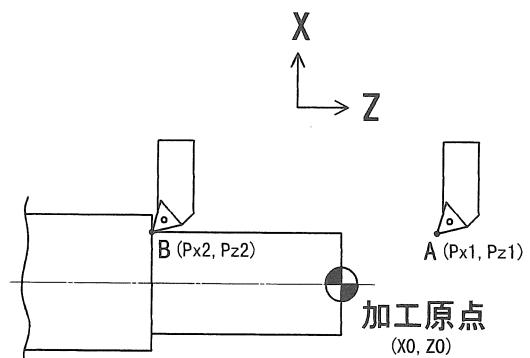


図7 バイト移動シミュレーションの概念図

いるようにみえる。

図7にバイト移動シミュレーションの概念図を示す。加工原点（X0, Z0）となる加工物の軸中心と仕上げ端面を基準にし、バイト刃先はA点（Px1, Pz1）からB点（Px2, Pz2）に移動する。

## IV. 結果と考察

開発したNCシミュレータを使って、NC旋盤加工実習を行った。製作課題のボルトの加工形状は、シミュレーションによって事前に確認することができた。これによってNC加工は正しく行われた。

学生実習の際、NCプログラミングにおいて、多くの誤りがあった。座標値、移動方向などの誤りや、座標値指令方式の混同が原因であった。しかし、このようなプログラムミスは、形状確認とプログラム編集を同一Window上で行えたので、すぐに修正することができ、本シミュレータは、運用上非常に有効であることが示された。

実習に要した時間は、NCプログラミング説明に約30分、同プログラミングに2～3時間、NC加工では、機械の説明や空運転などに約15分、実際の切削加工時間は約3分であった。

初心者である学生が限られた時間内にNC加工について学ぶには、NCプログラミングから実際のNC加工までの一貫したプロセスが、システムとして構築されていなければならない。

本シミュレータは、このようなシステムの構築を図るものであり、教育用として活用することができる。

## V. おわりに

NC旋盤のバイト移動軌跡を事前に確認できるNCシミュレータの開発を行った。本シミュレータを学生実習に供試した結果、その有用性が確かめられた。さらに本シミュレータは、シミュレーション機能を備えないNC旋盤に広く応用することが可能である。

今後、内径切削、中ぐり、ねじ切り、突切り加工などの主要な加工にも対応させながら、切削条件（主軸回転速度、切削送り速度）の自動計算機能の付加や、より動画的なシミュレーションを可能とするなど、内容の充実を図る予定である。

## 参考文献

- 1) 廣間達夫, 吉田 純: 農業機械工作実習におけるパーソナル・コンピュータを利用した教育システムの開発, 農業機械学会東北支部報, No.32, 63-65, 1985
- 2) 廣間達夫, 吉田 純, 坂井 純, 金 基大: パーソナルコンピュータを利用した教育システムの開発, 農業機械学会東北支部報, No.33, 65-68, 1986
- 3) 廣間達夫, 吉田 純, 米沢康成, 照井靖広, 坂井 純, 金 基大: パーソナルコンピュータを利用した教育システムの開発(第2報), 農業機械学会東北支部報, No.34, 91-94, 1987
- 4) 吉田 純, 廣間達夫: ねじ切りダイス補助具によるねじ切り作業の改善, 岩手大学農学部報告, 第20巻第2号, 169-180, 1991

[閲読者コメント] シミュレータの使い易さを考えて、工程の挿入や削除がコンピュータのWindow上で実行できれば、もっと実用性が高くなると思

います。その機能開発の可能性はいかがでしょうか。

[筆者回答] NCプログラムの訂正や修正は、学生に限らず熟練者にもよくあることです。いかに早く正確なプログラムを完成させることができるかは、実習においては効率的な授業につながり、また生産工場においては生産性に大きな影響を及ぼします。

本シミュレータは、加工形状のシミュレーション結果とそのNCデータを同一画面上に表示させることができるので、シミュレーション結果を見ながら表形式(グリッド)により表示されるNCデータの書き換えとその保存を行える点が特徴となっています。しかし、単なるデータの書き換えだけではなく、ご指摘されるような加工工程の追加や削除が必要な場合もあります。

本シミュレータの開発においては、Microsoft Visual Basicがもつ、データを表示するためのグリッドコントロールという機能を使用して、NCデータの表示や書き換えを行えるようにしました。このグリッドの大きさ(列と行)は、グリッドをシミュレータに組み込む前に設定しなければなりません。そのため、本シミュレータの起動後において、グリッドの大きさを変更することはできないようになっています。よって、グリッドを使って加工工程の挿入や削除を行うことはできません。

加工工程の挿入や削除は、OSであるWindows95のものマルチタスク機能を利用して同時に起動しているエディタにより可能です。プログラムの訂正や修正は本シミュレータ上で行い、加工工程の挿入や削除の場合には、エディタを本シミュレータとコンピュータの画面上で切り替えて使用することによって、プログラム編集を容易に行うことができます。

Windows95上にエディタが装備されていない場合は大きな問題となります、現実にそのような状況は極めて稀と考えられますので、本シミュレータの機能は十分に実用性のあるソフトウェアと考えます。

# 教育用コンピュータソフトウェアを活用した機械工作実習(第2報)

—NCフライス盤シミュレータの開発—

吉田 純\*・及川 理\*・片岡 崇\*

Machine Workshop Laboratory using Educational Computer Software (Part 2)

—Development of computer simulator for numerical controlled  
milling machine—

Jun YOSHIDA\*, Osamu OIKAWA\*, Takashi KATAOKA\*

## Abstract

The machine workshop laboratory has been offered to the agricultural engineering class in Iwate University. A NC Simulator(for Windows95) which simulated the trajectories of end mill in the NC milling machine was developed for pre-checking the cut shape of material, and in the laboratory with the intentions of high educational effect and prevention to the damage of NC milling machine and its tools. The developed NC Simulator was considered to be very useful for training the student in laboratory like the NC simulator for NC lathe reported in Part 1.

[Keywords] workshop, numerical controlled milling machine, computer simulator, visual basic

## I. はじめに

岩手大学農学部農業生産環境工学科生物生産工学専修では、機械工作実習を開講している。同実習の内容及びNC旋盤用に開発したNCシミュレータについては、第1報<sup>1)</sup>で報告した。

本学科機械工作室には、NC旋盤導入の前からNCフライス盤が設置されており、情報教育とリンクさせた活用法については既に報告<sup>2)~4)</sup>してきた。しかし、最近のコンピュータを取り巻く環境の変化には目覚しいものがあり、教育的効果をより高めるためにWindows環境下で動作可能なNCフライス盤用のシミュレータの開発の必要に迫られた。そこで、このようなNCフライス盤用シミュレータの開発を新たに行ったので報告する。

## II. NCフライス盤

### (1) NCフライス盤加工実習

フライス盤は、フライスと呼ばれる切削工具を回転させ、平面、曲面、溝などを加工する工作機械であり、旋盤と同様広く使用されている。加工物の形状は様々である。俗に角物といわれる四角柱（六面体）の加工が主である。NCフライス盤はこのような加工を行う自動工作機械である。

設置されているNCフライス盤（日立精工 N C M-V31形、ひざ形立て、1974年製）を図1に示す。機電一体形ではなく、NC装置としてファンック（株）のFANUC-30が結合されている。また、NCフライス盤では切削工具のことをエンドミルと呼ぶ。

機械本体の主な仕様は、主軸用モータ出力は3.7kW、主軸最高回転数は1800rpm、テーブル最大移動量は、X軸600mm、Y軸250mm、Z軸360

mmである。NC装置関連では、制御軸数は3軸（同時2軸）、指令方式はインクレメンタル（増分）方式である。最新機は、高速・高精度・高能率を実現するために、多くの準備機能（Gコード）や補助機能（Mコード）を装備するが、本NCフライス盤は標準（基本）機能を有する。座標値最小設定単位は0.005mmである。

主軸回転などの各種指令や、加工形状を決定する座標値などのNCデータの入力は、NC装置表示盤から直接またはさん孔テープから入力する。

第1報のNC旋盤と大きく違う点は、NC旋盤の場合NCデータの入力をRS-232Cを経由させることができるのであるのに対し、本NCフライス盤はさん孔テープのみがデータ入力の媒体である。

本実習では、NCフライス盤加工に先立ち、最初にアクリルプレートを加工素材にして、NCプログラミングとNC加工の演習を行っている。その後、四角柱形状のプレート（平鋼50×16-100）を製作課題に、NCプログラミング、機械・手仕上げ加工、NC加工を4回（各2時間15分）に分けて行っている。加工素材の材質はSS400（一般

構造用圧延鋼鋼材）である。

## (2) 加工形状の事前確認

NCフライス盤は自動工作機械なので、機械の保守及び安全性の面からも加工形状の事前確認が必要である。加工形状の事前確認は、シミュレーション機能を装備しているNC工作機械では機械本体で行うことができる。しかし、本NCフライス盤はシミュレーション機能を備えていないので、パソコン用コンピュータ上で加工形状を確認することができるNCシミュレータが必要である。

これまで、PC-98用コンピュータ上で動作するNCフライス盤用のシミュレータ<sup>2)</sup>が開発され、実習などに使用されてきた。そのシミュレータの開発言語はN-88Basicである。最近、学内においてLAN環境と学生情報処理実習用のWindows対応パソコン用コンピュータが整備された。NCフライス盤をネットワーク環境下におき、本シミュレータの活用をより高度な情報処理教育のひとつとして位置づける目的で、Windows上で動作するNCフライス盤用シミュレータの開発を行う。開発言語にはMicrosoft Visual Basicを用い、シミュ

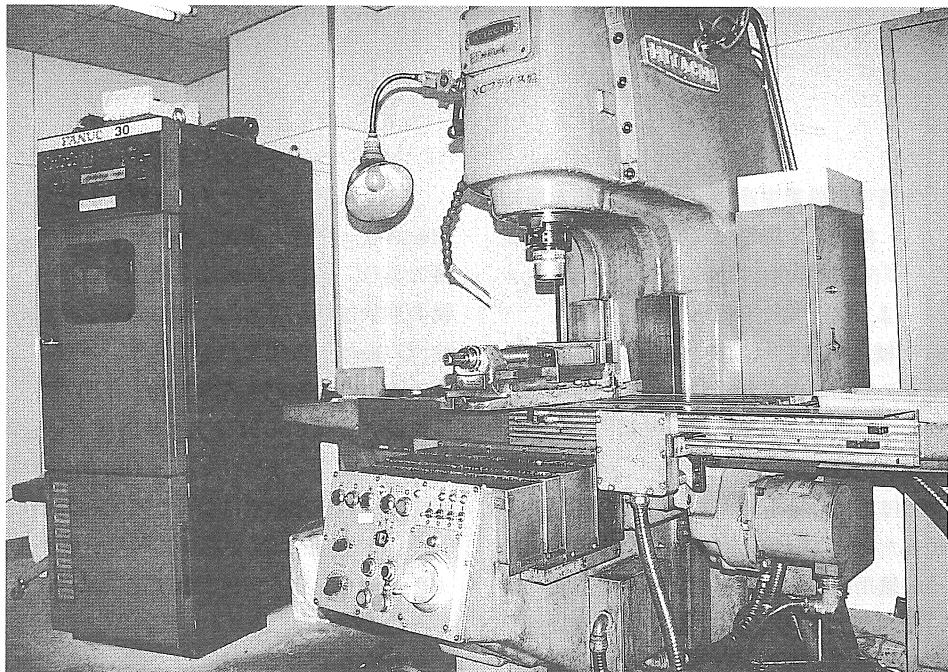


図1 NCフライス盤

レータの処理アルゴリズムは、N-88Basic版NCシミュレータ<sup>2)</sup>を参照した。

### III. NCフライス盤シミュレータ

#### (1) NCプログラム

機械工作実習の演習課題を例に開発したNCシミュレータについて説明する。図2に演習課題製作図面、図3にそのNCプログラムを示す。

NCプログラムとは、NCフライス盤を自動運転させるための動作条件を指令するプログラムのことである。NCプログラムは、テキストファイル形式で別途エディタにより作成する。

#### (2) シミュレーションWindow

NCシミュレータの第1画面となるシミュレーションWindow1を図4に示す。このWindowでは、機械工作実習用課題、または研究用実験装置の構成部品などの製作を行う一般工作用のいざれかを選択する。

NCシミュレータの第2画面であるシミュレーションWindow2を図5に示す。このWindowでは、NCプログラムの読み込みとその表示、シミュレーション形式(2次元または3次元による描画)の選択、加工対象物の選択(演習または製作課題)、そしてその後に加工形状のシミュレーションを行う。

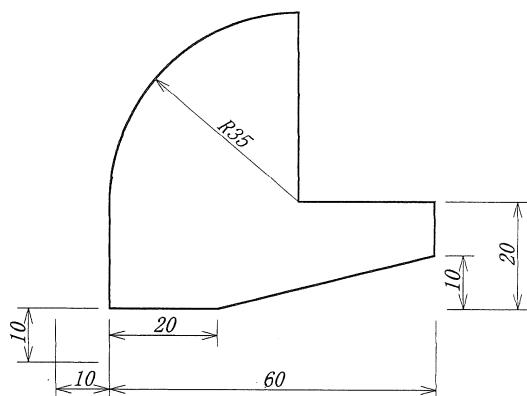


図2 演習課題製作図面

|                         |
|-------------------------|
| M03                     |
| M08                     |
| G00X28000Y28000         |
| G00Z-28000              |
| G01Z-4000               |
| G01Y23000               |
| G02X38000Y38000I38000J0 |
| G01X3000                |
| G01Y-35000              |
| G01X25000               |
| G01Y-15342              |
| G01X-42631Y-10658       |
| G01X-23369              |
| G01Z4000                |
| G00Z28000               |
| G00X-28000Y-28000       |
| M05                     |
| M09                     |
| M02                     |

図3 NCプログラム

### IV. 結果と考察

#### (1) NCフライス盤シミュレータ

図5は2次元表示によるシミュレーション結果であり、図6は3次元表示によるシミュレーション結果である。加工形状、すなわち図中の実線、破線はエンドミル中心の移動軌跡として描かれている。実際の加工においては、加工物はエンドミルの半径分小さく切削されるので注意が必要である。なお、実線は位置決め工程(G00)を、破線は切削送り工程(G01, G02など)を示している。このシミュレーションの描画から、エンドミルの座標値、移動方向など重大な間違いを容易に発見することができる。

シミュレーション画面中の○印は、ひとつの工程ごとのエンドミルの位置である。入力したエンドミル直径の値により、この○印の大きさは変化するので、エンドミル中心軌跡の内側のエンドミル外形をなぞることによって製作物の形状を常に把握することができる。“エンドミルの終点”に表示されている数値は、エンドミルの各軸における

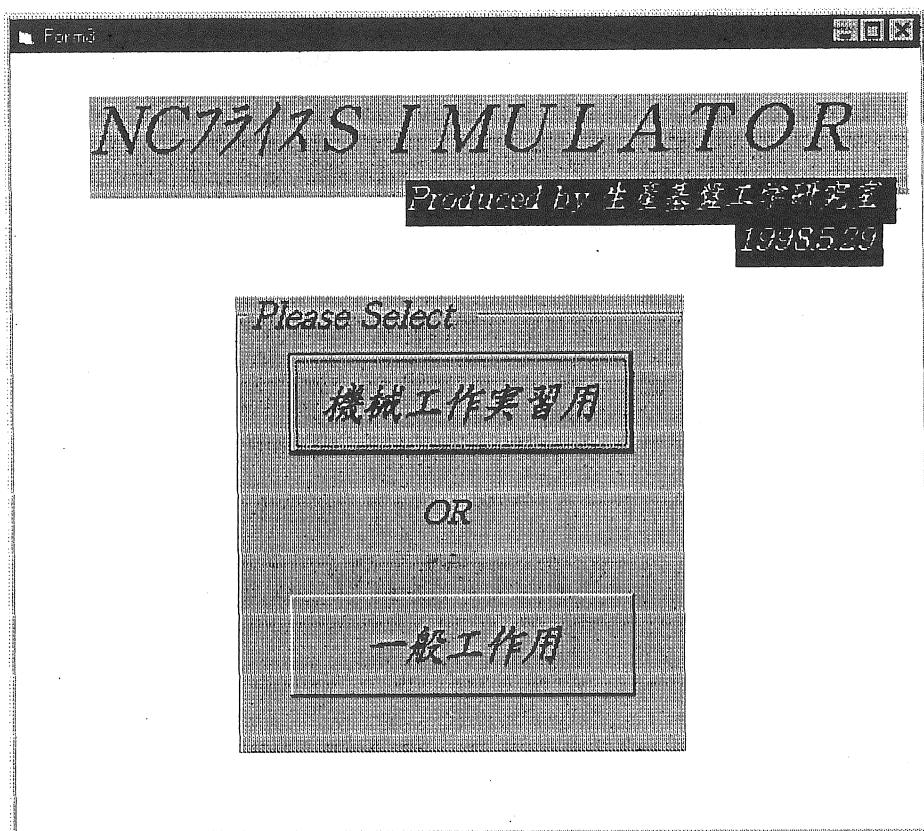


図4 シミュレーションWindow1

る座標値である。これは、エンドミルのプログラム原点（加工原点）への復帰を確認するためのものである。

3次元表示によるシミュレーションによって、2次元シミュレーションでは確認することのできない、エンドミルの鉛直方向（Z軸方向）の動作を知ることができる。

## (2) 学生実習

学生実習に本シミュレータを供試した際、NC旋盤時と同様、NCプログラミングの段階で多くの間違いがあった。しかし、本シミュレータを使ってエンドミル軌跡の確認を繰り返すことによって短時間でNCプログラムを完成させることができ、本NCシミュレータの有効性が確かめられた。

実習の所要時間は、NCプログラミングについては、その説明に約1時間、同プログラミングは

2～4時間であった。NC加工では、機械の説明や空運転などに約30分、実際の切削加工時間は約5分であった。

## V. おわりに

NCフライス盤のエンドミル中心軌跡を事前にコンピュータ画面上で確認を行うことができるNCシミュレータ（Windows版）を開発した。本シミュレータを学生実習に供試した結果、その有用性が確認できた。今後は、現在スタンダードアロン状態であるNCフライス盤をLAN環境下に組み込み、NCデータのオンライン転送などの改良をすすめていく予定である。

なお、本シミュレータはシミュレーション機能を備えないNCフライス盤にも広く応用することが可能である。

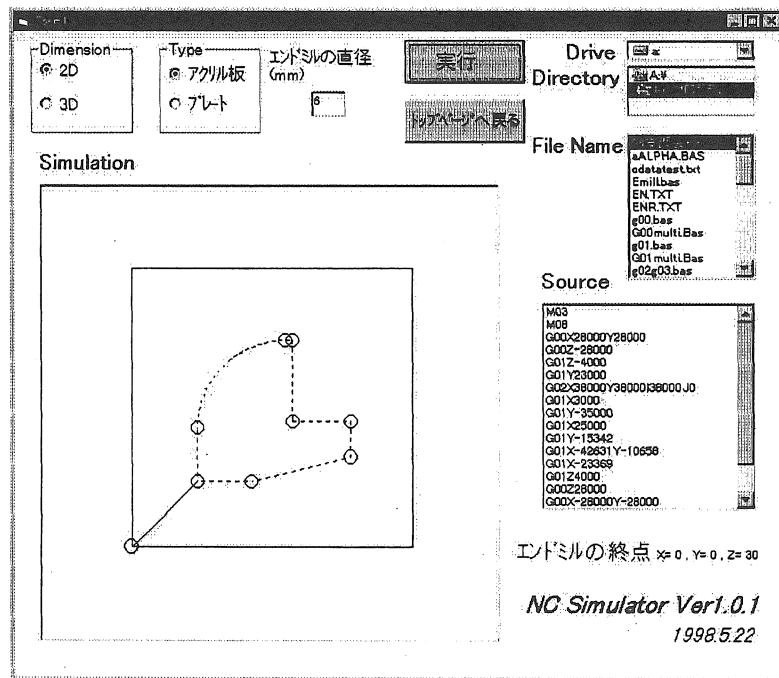


図5 シミュレーションWindow 2

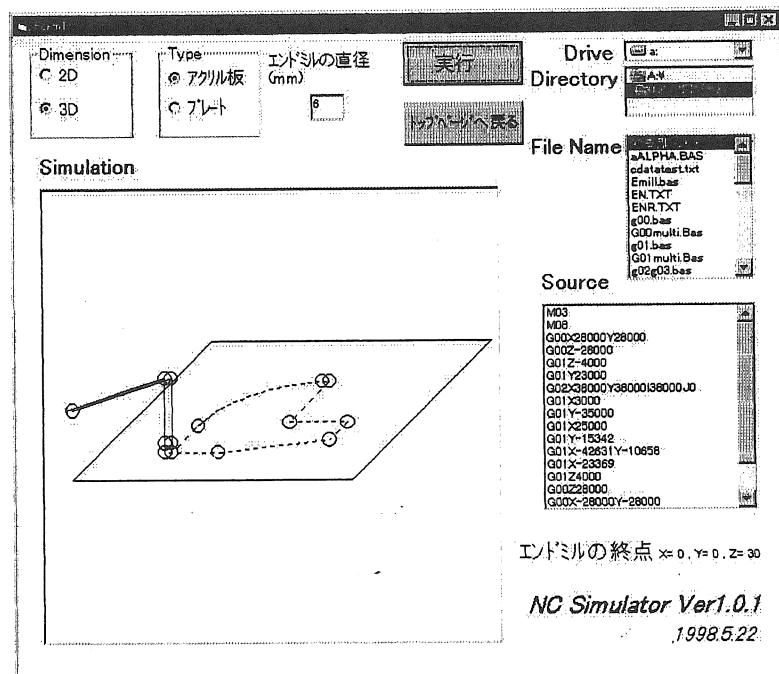


図6 3次元表示によるシミュレーション結果

## 参考文献

- 1) 吉田 純, 及川 理, 片岡 崇: 教育用コンピュータソフトウェアを活用した機械工作実習(第1報), 農業機械学会東北支部報, No.45, 93-98, 1998
- 2) 廣間達夫, 吉田 純: 農業機械工作実習におけるパーソナル・コンピュータを利用した教育システムの開発, 農業機械学会東北支部報, No.32, 63-65, 1985
- 3) 廣間達夫, 吉田 純, 坂井 純, 金 基大: パーソナルコンピュータを利用した教育システムの開発, 農業機械学会東北支部報, No.33, 65-68, 1986
- 4) 廣間達夫, 吉田 純, 米沢康成, 照井靖広, 坂井 純, 金 基大: パーソナルコンピュータを利用した教育システムの開発(第2報), 農業機械学会東北支部報, No.34, 91-94, 1987

[閲読者コメント] 汎用性を考え, NC旋盤やNCフライスを含む機械加工, 溶接, 鍛造などの一連の作業を一体化するシミュレータの開発についてはいかがでしょうか。

[筆者回答] 閲読者のコメントは, 溶接や鍛造などを含めて, 製作課題のすべてについて加工形状の確認が可能なシミュレータの開発計画などについてのご質問と理解します。

一般に, シミュレータはコンピュータ用ソフトウェアとして, あるもの(こと)を予測したり仮想するために使われます。これらを行うには, シミュレーションに使用するデータが必要となりますが, このデータを使って機械を動かすには, 機械はコンピュータ制御仕様でなければなりません。NC工作機械はそれが可能である自動工作機械なので, 本シミュレータを開発することができました。

自動化が難しいといわれた溶接(アーク溶接など)においても, 多関節形ロボット本体と制御装置で構成される溶接ロボットシステムの開発により自動化が可能となりました。その一例に, ロボットアームを動かし(溶接部をなぞる), その先端

に取り付けられたタッチセンサなどのセンサにより, 溶接部の溶接開始点と終了点, 溶接長さなどを検出し, そのデータ(教示データという)を自動生成し記憶させてから, 自動溶接を行うものがあります。

機械工作実習は, 金属が備える3つの性質(切削性, 可塑性, 可溶性)すべてについて, 機械加工・鍛造・溶接・手仕上げを通して基本的な機械工作法を実際に学ぶ授業であります。先端的技術が取り入れられているNC工作機械による自動加工を経験する一方で, ものづくりの基本ともいえる手作業による加工も経験させることも必要と考えます。溶接や鍛造などはこのようなコンセプトに基づく実習です。

自動化機械の導入コスト, 機械工作実習において自動化の必要性がないこと, さらに現有工作機械は自動化に対応できないものであることなどを理由に, 一連の作業を一体化するシミュレータの開発計画はありません。

産業界におけるものづくりの自動化は, 生産性と製品サイクルの短期化などへの対応策として導入されてきました。工作機械の自動化ではシミュレータなどを活用して機械を単体で制御しますが, 最先端の生産工場では生産ラインや工場全体が自動化され, さらに最近では, 情報の一元化やデータ通信のネットワーク化が行われています。FA(Factory Automation), CIM(Computer Integrated Manufacturing), FMS(Flexible Manufacturing System)などと呼ばれるものは, まさに生産工場における無人化のためのシステムです。

機械工学系授業のひとつである機械工作実習は, 今後も最新の工作機械や加工技術と機械工作法の基本的な加工を織り交ぜながら行っていく予定です。また学内整備されたLAN環境とNC工作機械を活用し, 自動化された工場で行われているような, データ通信のネットワーク化と遠隔操作による加工を可能とするシステムの開発・導入を目指したいと考えています。

## &lt;新製品コーナ&gt;

## ニンニク栽培用機械

(株) ササキコーポレーション

1. 平成10年度農業機械学会東北支部大会が開催された2日目に現地見学会がもたれた。その折り、ササキコーポレーションの御好意により、にんにく栽培用機械が田子農協で展示され、詳細な説明をうかがうことができた。その時の状況を写真で紹介する。性能等について興味のあるかたは直接ササキコーポレーション(〒034-0000,十和田市里の沢1-259.Tel:0176-22-3111)に尋ねて下さい。



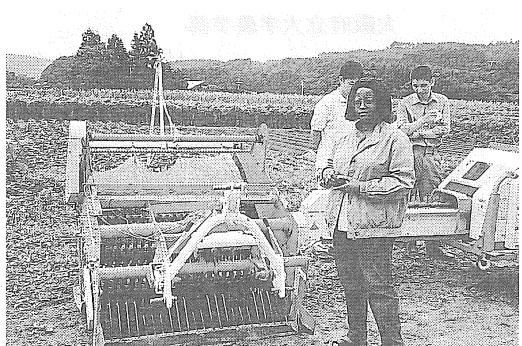
1. 技術部次長の相馬氏による植付け機の説明



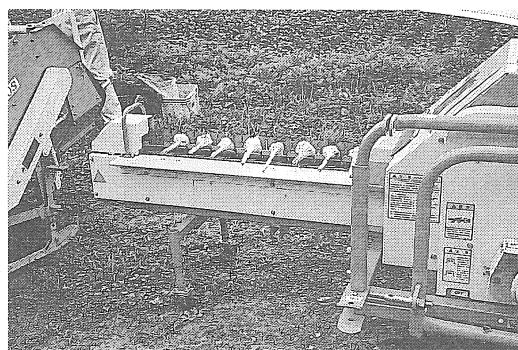
2. 植付け機をながめる会員



3. 茎葉処理機（ロータリ・カッター）



4. 掘取り機（パワー・ハーベスター）



5. ひげ根切断機（ルート・シェバー）

## 〈東北若手の会報告〉

### 第8回東北若手の会in山形&第9回東北若手の会in十和田の報告

片岡 崇\*

Reports of 8th Tohoku Wakate-no-kai (Seminar for young researchers) in Yamagata & 9th Tohoku Wakate-no-kai in Towada in 1998

Takashi KATAOKA\*

#### 1. 第8回東北若手の会in山形

平成10年4月2日、第57回農業機械学会年次大会に合わせて第8回東北若手の会が、第2回農業機械学会全国若手の会と合同開催されました。

テーマ：「若手研究者に贈る私の秘訣！

英語論文の書き方－私の論文はこうしてアクセプトされた－

講 師：専修大学環境科学研究所

新家 憲 先生

大阪府立大学農学部

村瀬治比古 先生

参加を広く全国の農業機械関連の若手研究者に呼びかけたところ、老若男女を問わず北海道から沖縄まで60名以上の出席がありました。

これまで数多くの英文論文を書いてこられました講師の両先生だけに、論文を書く上での細かな留意点から決まり文句まで幅広くかつわかりやすい説明は非常に意義深いものでした。また、研究を開始するに当たっての全体構想のたて方、流れ、さらに次の展開に至るまで研究そのものへの取り組み方、“若手研究者に贈る”という枕詞通りの解説もありました。自分の研究成果を広く公表することが如何に重要であるか、そして英文誌への投稿を試みようと強く感化されたのは私だけではないと思います。

#### 2. 第9回東北若手の会in十和田

平成10年8月16日～18日、青森県上北町公立小川原湖青年の家を会場に、東北若手の会in十和田が開催されました。東北若手の会は、今回で9回

目を数え、平成5年に岩手県で1回目を行って以来、ちょうど東北6県を一周したことになります。参加者は約30名でした。

##### (1) 基礎講座

今回の基礎講座のテーマは、“乾燥”と“水稻直播技術”でした。

岩手大学農学部 小出章二氏

「農産物の乾燥について」

(株)山本製作所 片平 寛氏

「共乾施設における乾燥」

東北農業試験場 西脇健太郎氏

「東北農試における水稻直播栽培」

小出氏の理論を主体とした基礎講座では、時間が足りず、予定の1時間半でようやく“水分”的定義が終了したという具合です。小出氏は、昨年に引き続き実験を取り入れました。「水で練った小麦粉に砂糖を混ぜると水分活性が低くなるが、流動性が増し小麦粉が流れ出す！」食品内の水の運動性を水分活性で論じる考えは必ずしも正しいとはいえないという説を支持する実験です。実験の結果は??? 事前の練習が望まれます。

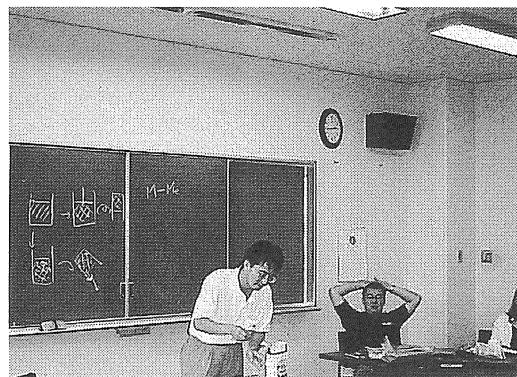


写真1 小出氏の基礎講座

片平氏は、乾燥施設を主体とした解説でした。施設の稼働状況のビデオをまじえて、普段見学する機会の少ない施設内を十分に探索できたと思います。また、(株)山本製作所の宣伝(?)もあり、楽しく聞けた基礎講座ではなかつたでしょうか。

西脇氏の基礎講座は、例によって違う話題(問題 循環小数0.315315315を分数で示せ)からスタートしました。おかげで、これを解くのに夢中になり内容を聞いていなかった人が若干いたようでした。直前のためのコーティング糸、糸引き機の紹介などを通じ、直前の利点・欠点など理解できました。

#### (2) 研究紹介

大学院生4名の気合いの入った研究発表がありました。持ち時間30分を遙かにオーバーし、一人当たり1時間から1時間半かかりました。活発な討論があったことはいうまでもありません。

岩手大学農学部 小野寺一宏氏 (D C 3)

「アップカットロータリ耕うんの土壤かく拌性」

岩手大学農学部 佐々木 公氏 (M C 2)

「葉たばこ作の機械化に関する研究」

北里大学獣医畜産学部 石田頼子氏 (M C 2)

「光波測距角儀を用いた位置計測と無線通信によるトラクタの走行制御」

山形大学農学部 阿部 圓氏 (M C 2)

「生物系廃棄物の有効熱伝導率」

#### (3) 次回に向けて

##### 1) 今回の反省

基礎講座、研究発表とともに時間が短かったことが最も大きな反省事項に挙げられます。開催地にもよりますが、開始時間や時間の割り振りなどを再度検討する必要があります。また、発表者側もフリーディスカッションを意識した時間配分などの準備が必要といえます。

院生を除いて、参加者が固定化しつつあります。東北地域内のメーカー若手研究者などに広く参加を呼びかけることを確認しました。本会は自由参加の会ですので、どなたでも気楽に参加していただきたいと思います。

##### 2) 平成11年岩手での開催計画

基礎講座のテーマとして、品質測定法、品質維持の方策、非破壊試験法、G P S、自律走

行、乾燥(その2)、レオロジーなどが挙がりました。引き続き希望を聞き、担当者の選定も含め今後決定していきます。岩手県開催に当たって、岩手大学農学部武田純一先生、小出章二先生にお世話をお願いしました。

#### (4) その他

今回の会場は、“青年の家”でした。我々以外に、廊下を元気に走り回る中学生のテニス部が合宿をしていました。朝6:00起床、日の丸掲揚やラジオ体操等の朝の集い、掃除、さらに夜更かし議論は不可能な状況、久しく体験していない規則正しい生活を送ることができました。

“東北若手の会”は、2周目になります。現在、東北若手の会メーリングリストも運用しています。詳しくは、“東北若手の会ホームページ (<http://www2.apca.ac.jp/~t-wakate/t-wakate.htm>)”をご覧下さい。



写真2 青年の家の朝の集い

#### 3. 謝 辞

第8回の山形におきましては、新家先生、村瀬先生には開催主旨をご理解いただき快く講師を引き受けいただきました。第9回の十和田におきましては、公立小川原湖青年の家には会場に使用させていただきました。また開催に当たり、山形大学農学部及び北里大学獣医畜産学部のスタッフの皆さんには、準備等にご尽力いただきました。農業機械学会東北支部からは、本会の活動に対する活動助成金と開催日に関しましてご配慮を頂いております。記して感謝申し上げます。

## &lt;シンポジウム報告&gt;

## 「中山間地特作物の作業技術」

(司会者、中島一成)

シンポジウムは平成10年8月18日の15~17時に、北里大学獣医畜産学部で開催された。開催場所がいわゆる南部地域の北部に位置して、旧来畑作園芸作物の栽培が盛んな地帯であり、研究機関も長年に亘り研究と指導の役割を担ってきた。そこで、今回は標記の課題を取り上げて、2名の講師に現状を話してもらい、続いて出席者約60名の中で質疑応答が持たれた。講師の講演概要は以下のとおりであった。

## 講演I 特産野菜の栽培技術と作業技術

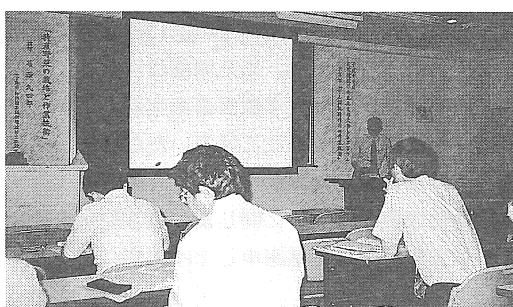
講師：葛西久四郎氏（青森県畑作園芸試験場 総括主任研究員）

## 1. ながいも

- 1) 青森県の栽培面積：平成元年から7年まで、2,810ha, 3,040ha, 2,920ha, 2,460ha, 2,550ha, 2,670ha, 2,700haで推移した。平成6年度について見ると、全国8,680haのうち青森県が31%の2,670haで首位にあつた。次いで北海道の1,560haであった。
- 2) 栽培技術：品種は在来のガンクミジカ太正で、5月下旬に植付け、11月から4月に収穫する。栽培様式は深さ1mにトレッチャで耕起し、畦幅1~1.2m×株間15~24cmに植付ける。地上部は高さ1.8mのネットでおさえる。
- 3) 作業改善による省力効果：表1のとおり55.7%の労働時間の削減が可能となった。
- 4) 粗収益、経営費、所得：表2のとおりである。

## 2. にんにく

- 1) 青森県の栽培面積：平成元年から7年まで、1,810ha, 2,000ha, 2,130ha, 2,250ha, 2,320ha, 2,200ha, 1,570haと推移した。平成6年度について見ると、全国3,109haのうち青森県は2,200haで71%を占め、首位にあつた。次いで香川県の270haである。
- 2) 栽培技術：品種は在来の福地ホワイトで、9月下旬に植付け、翌年の6月下旬～7月上旬の初夏に収穫となる。栽培様式は畦幅1.4m×株間18cmの4条植えである。太平洋側では透明またはグリーンのマルチ栽培、日本海側では黒マルチまたは無マルチ栽培である。
- 3) 作業改善による省力効果：表3のとおり44.1%の労働時間の削減が可能となった。
- 4) 粗収益、経営費、所得：表4のとおりである。



葛西氏の講演



大里氏の講演

## 講演Ⅱ 雜穀の栽培と作業技術

講師：大里達朗氏（岩手県農業研究センター県北農業研究所 主任専門研究員）

### 1. はじめに

近年の健康ブームで話題を集め、注目されているものにアワ、ヒエ、キビ、などのいわゆる雑穀類がある。ビタミン、ミネラルなどを多く含み、栄養のバランスがとれた食品であることや、病虫害の被害を比較的受けないため低農薬・無農薬で栽培できることによる健康食的イメージ、更に最近では機能性の評価がなされるなど需要は更に伸びていくものと思われる。岩手県特に県北地域では、昭和20年代までヒエ、アワは特に重要な位置づけをもって栽培されていて、ヒエは、主要農作物の1位を占めていた。しかし、昭和30年代には米、昭和40年代からは肉牛、乳牛、養豚を中心とする畜産と、葉たばこ、ホップを中心とする工芸作物が中心作物となり、雑穀類の栽培は急激に減少していった。その結果、作業技術は小規模栽培を前提とした手作業技術にとどまり、現在に至っている。

### 2. 機械化栽培への取り組み

昭和62年に一戸町の農家で取り入れ、平成2年からは軽米町で栽培が行われていたアマランサスの機械化に県農業試験場で平成4年から播種・収穫・乾燥について取り組んだ。機械化に当たり、雑穀類全般への対応するものとの想定はあったが、播種、収穫、調整ともに一番難しいことが想定されたので、アマランサスに焦点を当てて機械化に取り組んだ。ここで、アマランサスの機械化の経過と雑穀類への応用事例を紹介する。

### 3. アマランサスの機械化栽培

- 1) 播種：歩行型管理機装着式、トラクタ装着式の真空播種機でノズルの口径は0.4mm標準品、真空圧は500mmAg程度とする。種子は精選し、栽培密度は畦間70cm×株間15cm×2粒、作業速度は0.7m/sで株間と株内粒子間の変動係数が小さかった。

#### 2) 中間管理

除草：倒伏防止の培土をかねて中耕・培度→これをしないと収穫時に雑草種子が混入して選別が困難になる。

機械：歩行型、乗用型管理機使用

中耕：草丈20cm（発芽後20程度）の項に畦間の中耕をおこなう。このとき、株元に軽く土を寄せように行い、株元除草を兼ねる。

除草：草丈30cm（発芽後30日頃）のころに株ぎわを手取り除草。

培土：草丈40cm（発芽後40日頃）のころに強めに培土を行う。

#### 3) 収穫

コンバインによる収穫試験結果は表5のとおりであった。

#### 4) 乾燥

穀粒水分40～50%，茎葉水分80%以上、静置式平型通風乾燥機を使用。出し入れがやや不便→バネコンを使っている。搅拌1日1回行う。体積高さ30cmくらいが適当→40cmが限界。乾減率0.1～0.3%

表1 省力機械化体系の10a当たり労働時間 (平成9年 青森畑園試)

| 作業内容             | 供試機械等                                     | 省力機械化体系 |        | 慣行<br>労働時間 | 省力効果   |       |
|------------------|---|---------|--------|------------|--------|-------|
|                  |   | 組作業員    | 労働時間   |            | 時間     | 割合    |
| 種いも選別・調製         | プロワー                                      | 2人      | 18.1hr |            |        |       |
| 種いも消毒            | 手作業(瞬間浸漬法)                                | 2       | 3.0    |            |        |       |
| 小計               |   |         | 21.1   | 37.5hr     | 16.4hr | 43.7% |
| 施肥・耕耘            | フロントローダ<br>マニュアスプレッダ<br>プロードキャスター<br>ロータリ | 1       | 0.9    |            |        |       |
| トレンチャ耕           | トレンチャ(2連)                                 | 1       | 2.2    |            |        |       |
| 小計               |   |         | 3.1    | 25.2       | 22.1   | 87.7  |
| 植付け              | ナガイモプランタ                                  | 2       | 2.7    | 24.8       | 22.1   | 98.1  |
| 支柱立て             | 支柱立機                                      | 2       | 5.9    | 23.8       | 17.9   | 75.2  |
| ネット張り            | 手作業                                       | 2       | 4.4    |            |        |       |
| 中耕・培土、防除         | 管理機<br>ブームスプレーヤ                           | 1       | 5.8    |            |        |       |
| 追肥、つる誘引          | 手作業                                       | 2       | 2.2    |            |        |       |
| ネット除去、むか<br>ご片づけ | 手作業                                       | 4       | 15.0   |            |        |       |
| 支柱抜き取り           | フロントローダ<br>支柱抜取装置                         | 3       | 4.1    |            |        |       |
| 小計               |   |         | 31.5   | 36.6       | 5.1    | 7.2   |
| 掘取り              | コンペアトレンチャ                                 | 4       | 18.3   | 50.6       | 32.3   | 63.8  |
| 収納・搬出            | フロントローダ、ス<br>チールコンテナ、運<br>搬車              | 2       | 11.2   |            |        |       |
| 小計               |   |         | 12.9   | 23.3       | 10.4   | 44.6  |
| 計                |   |         | 93.8   | 221.8      | 128.0  | 57.7  |

注) ほ場条件: 長辺50m、枕地5m、24mごとに3m幅の通路、供試面積は20a

1条植え: うね幅1.2m、株間24cm。

2条植え: うね幅1.8m、株間24cm、条間70cm、ネット1枚の抱きうね。

表2 ながいもの10a当たり粗収益、経営費、所得(平成9年 青森畑園試)

| 項目          |        | 1条植え    |               | 2条植え    |               |
|-------------|--------|---------|---------------|---------|---------------|
| 粗収益         |        | 682(千円) | 平均収量3.1t/10a  | 729(千円) | 平均収量3.3t/10a  |
| 経<br>営<br>費 | 種苗費    | 237     | 6525円×451kg   | 316     | 6525円×602kg   |
|             | 肥料費    | 25      | 堆肥2tは自給       | 25      | 堆肥2tは自給       |
|             | 農業薬剤費  | 11      |               | 11      |               |
|             | 光熱動力費  | 6       |               | 8       |               |
|             | 諸材料費   | 18      | 支柱233本、ネット17枚 | 15      | 支柱155本、ネット11枚 |
|             | 農機具費   | 41      |               | 46      |               |
|             | 建物・施設費 | 5       |               | 5       |               |
| 計           |        | 343     |               | 426     |               |
| 所 得         |        | 339     |               | 303     |               |

注) 粗収益は平成4~9年の平均で、出荷経費を差し引いた後の金額。販売単価は青森県経済連の平均単価を使用。種苗費は平成9年の流通価格の70%とした。

表3 省力機械化体系の10a当たり労働時間 (平成9年 青森畑園試)

| 作業内容              | 供試機械等                            | 省力機械化体系 |        | 慣行     | 省力効果   |       |
|-------------------|----------------------------------|---------|--------|--------|--------|-------|
|                   |                                  | 組作業員    | 労働時間   |        | 労働時間   | 時間    |
| 種子予措              | 種子選別機                            | 2人      | 24.0hr | 38.5hr | 14.5hr | 37.7% |
| 施肥・耕耘             | フロントローダ、マニュアスプレッダ、プロードキャスター、ロータリ | 1       | 2.1    |        |        |       |
| うね立て              | マルチャー                            | 2       | 3.0    |        |        |       |
| 小計                |                                  |         | 5.1    | 24.2   | 19.1   | 78.9  |
| 植付け               | 植付機                              | 2       | 10.5   | 31.6   | 21.1   | 66.8  |
| 病害虫防除             | ブームスプレーヤ                         | 1       | 1.3    | 18.1   | 16.8   | 92.8  |
| 管理作業(芽出し、除草、とう摘み) | 手作業                              | 1       | 23.5   | 29.1   | 5.6    | 19.2  |
| 茎葉処理              | ロータリーカッター                        | 3       | 5.9    |        |        |       |
| 収穫                | パワーハーベスター                        | 1       | 1.1    |        |        |       |
| 運搬                | 運搬車                              | 3       | 6.0    |        |        |       |
| 根部粗調製             | ルートシェーバー                         | 3       | 20.4   |        |        |       |
| 小計                |                                  |         | 33.4   | 88.1   | 54.7   | 62.1  |
| 乾燥                | 乾燥施設                             | 2       | 5.0    | 3.6    | ▲1.4   | -     |
| 選別・仕上げ調製          | 盤莖部調製機                           | 1       | 102.0  | 133.4  | 31.4   | 23.5  |
| 計                 |                                  |         | 204.8  | 366.6  | 161.8  | 44.1  |

表4 にんにくの10a当たり粗収益、経営費、所得 (平成9年 青森畑園試)

| 項目  |        | 金額      |              |
|-----|--------|---------|--------------|
| 粗収益 |        | 694(千円) |              |
| 経営費 | 種苗費    | 151     | 271kg × 696円 |
|     | 肥料費    | 27      | 堆肥2tは自給      |
|     | 農業薬剤費  | 30      |              |
|     | 光熱動力費  | 10      |              |
|     | 諸材料費   | 18      |              |
|     | 農機具費   | 35      |              |
|     | 建物・施設費 | 4       |              |
| 計   |        | 275     |              |
| 所得  |        | 419     |              |

注) 粗収益は平成4~9年の平均で、出荷経費を差し引いた後の金額。販売単価は

青森県経済連の平均単価を使用。

表5 アマランサスコンバイン収穫試験結果 (岩手県農業研究センター)

| 試験年度      |            | H 9    |                | H 8            |      | H 7              |       | H 7              |       |
|-----------|------------|--------|----------------|----------------|------|------------------|-------|------------------|-------|
| 試験名       |            | 単位     |                | 降霜前            |      | 降霜前              |       | 降霜後              |       |
| 機種・期日     | 刈り幅        | 式      | 年月日            | 上り 下り          |      | 上り 下り            |       | 上り 下り            |       |
|           |            |        |                | K社AX60改良型      | 205  | K社AX60改良型        | 205   | K社AX60           | 205   |
| 圃場条件      | 供試面積       | a      | 23.6           | 傾斜2~3度         |      | 傾斜1~4度           |       | 傾斜1~2度           |       |
|           | 圃場の状態      |        | 小              | 無              |      | 小                |       | 傾斜3~4度           |       |
| 作物条件      | 作物名        | cm     | アマランサス         | 岩大系            |      | アマランサス           |       | アマランサス           |       |
|           | 栽植様式       | cm     | 70cm × 15cm 2粒 | 80cm × 20cm 2粒 |      | 70cm × 15cm × 2粒 |       | 70cm × 15cm × 2粒 |       |
| 坪倒伏程度     | 草丈         | cm     | 148.8~191.4    | 219.0          |      | 173.5            |       | 185.5            |       |
| 坪刈り収量     | 穗長         | cm     | 42.6~50.9      | 微              |      | 微                |       | 無                |       |
| 刈り取り時子実水分 | 倒伏         | kg/10a | 104~186        | —              |      | 115              |       | 115              |       |
| 刈り取り時茎葉水分 | 坪刈り取率      | %      | 50.4           | 67.0           |      | 47.4             |       | 35.1             |       |
| 作業能率      | 10a当たり作業時間 | m/s    | 85.1           | 90.2           |      | 82.4             |       | 85.1             |       |
|           | 内刈り取率      | 分      | 0.52           | 0.45~0.62      |      | —                |       | 1.10~1.50        |       |
|           | 旋回・移動      | 分      | 19.4           | 17.5(100%)     |      | —                |       | 13.9(100%)       |       |
|           | 耕作耕出       | 分      | 13.5(69.4%)    | 13.9(79.4%)    |      | —                |       | 7.2(51.9%)       |       |
|           | 耕作耕整       | 分      | 3.9(20.1%)     | 3.6(20.6%)     |      | —                |       | 3.0(21.6%)       |       |
|           | 選別網目の形状    | mm     | 2.0(10.4%)     | —              |      | —                |       | 3.7(26.4%)       |       |
| 作業度       | 作業速度       | m/s    | 0.0(0.0%)      | 0.0(0.0%)      |      | —                |       | 0.0(0.0%)        |       |
|           | 内刈り高さ      | cm     | 12             | 12             | 12   | 12               | 無し    | 無し               | 無し    |
|           | 穀粒口流量      | kg/hr  | 0.79           | 0.79           | 0.45 | 0.62             | 0.50  | 0.71             | 1.12  |
|           | 穀粒口流量      | kg/hr  | 32.1           | 44.1           | 91.0 | 51.5             | 41.4  | 58.7             | 56.0  |
|           | 穀粒口流量      | kg/hr  | 306            | 747            |      |                  | 1,216 | 931              | 604   |
|           | 穀粒口流量      | kg/hr  | 3,058          | 3,664          |      |                  | 4,287 | 5,662            | 3,495 |
| 精度        | 全穀粒損失      | %      | 56.6           | 50.8           | 56.7 | 69.5             | 76.8  | 76.7             | 61.5  |
|           | 脱穀選別損失     | %      | 43.4           | 49.2           | 43.3 | 30.5             | 23.2  | 23.2             | 38.5  |
|           | 内頭部損失      | %      | 40.5           | 17.9           | 40.6 | 23.6             | 17.5  | 17.7             | 18.5  |
|           | (刈り残し)     | %      | 2.9            | 31.4           | 2.7  | 6.9              | 5.7   | 5.5              | 21    |
|           | (ヘッドロス)    | %      | 1.6            | 17.0           | 0.7  | 5.8              | 0.9   | 0.8              | 0.3   |
|           | 穀粒完熟率      | %      | 1.3            | 14.3           | 2.0  | 1.1              | 4.8   | 4.7              | 14.8  |
|           | 未熟率        | %      | 79.7           | 83.2           |      | 80.8             | 70.4  | 70.4             | 84.6  |
|           | 夾雜物        | %      | 0.2            | 0.2            |      | 1.0              | 1.4   | 1.4              | 2.8   |
|           | 夾雜物        | %      | 20.1           | 16.6           |      | 18.2             | 28.2  | 28.2             | 12.6  |