

ナガイモの形状予測モデルを実装した種イモ切断装置の開発

八谷 満*・大森弘美**・千葉大基**・茅野光範***・姜 興起***・五十嵐正和****

* 園芸工学研究部（現：高度作業支援システム研究領域）

** 園芸工学研究部（現：総合機械化研究領域）

*** 国立大学法人帯広畜産大学

**** 三菱農機販売株式会社

抄 録

北海道や青森県において高収益作物として位置付けられるナガイモのより安定的な生産に向けては、種イモ切断作業の効率化が要望されてきた。種イモは植付け後の生育促進及び斉一化を図るためには、1本のナガイモに対して残を発生させることなく、できるだけ均一な切片に切断することが求められる。切断技術の設計開発に際しては、1) 任意位置における外径と長さのみによってナガイモの形状を予測するモデルを構築し、2) 当該モデルを用いた形状予測により1本のナガイモを部位別に適正位置で同時切断する技術の開発を目標とした。ナガイモの形状予測モデルを導入した制御部を搭載した種イモ切断装置を開発し、現地試験を実施した結果、慣行的な手作業と同等な切断精度を確認した。併せて、現地生産者から要望されていた処理能力2.0～2.5t/日を達成することが確認された。

1. 緒 言

我が国の農業総産出額は減少傾向で推移しており、また、少子高齢化の進展により人口が減少局面に入ったとみられるなか、国内市場の規模の縮小が懸念され、新たな市場の開拓が重要となっている¹⁾。そうした中、2015年の農林水産物の輸出が年間7,451億円となり、はじめて7,000億円を超えた²⁾。

政府は2020年までに農林水産物の輸出額を1兆円規模に拡大するという目標を掲げ、官民挙げて総合的な輸出戦略の推進に取り組んでおり、野菜についても重点個別品目と重点国・地域を定めて輸出促進が図られている³⁾。野菜の重点個別品目としてナガイモを筆頭にイチゴ等計7品目が挙げられており、特にナガイモの輸出は、わが国の農産物輸出の中でもその規模と輸出体制において希有な成功事例のひとつである。

一方、生産現場に目を転じれば、輪作体系の中で模索してきた高収益作物として位置付けられるナガイモは、北海道と青森県のみで全国の87%の生産量を占めている⁴⁾。栄養繁殖作物であるナガイモの栽培に

際しては、葉の節からなる“むかご”を育てて生長した小イモを種イモとする場合と、成ナガイモを切断した切イモを種イモとして使う場合の2種類がある。青森県では前者による栽培体系が主流であるのに対して、北海道では後者の切イモを種とする体系で栽培されるのが一般的である⁵⁾。

ナガイモの栽培に関わる全投下労働時間は、北海道の例を挙げれば94.1人・h/10aと多大なる労力を要する現状にあり、その主たる内訳は①収穫・運搬(37%)、②種イモ準備(33%)、③支柱立て・抜取り(5%)となっている⁶⁾。収穫・運搬作業は既に機械化が導入されて久しいが、植付け前における種イモ切断調製工程はすべて手作業によるものであり、併せて雇用労働力の確保が深刻化する昨今においては、本工程の機械化に対するニーズは益々高まっている。また、萌芽後の吸収根および主茎の伸長は主に種イモの貯蔵養分に依存し、切断する種イモの規格を100g/個程度とすることにより高収量を確保するとともに生産コストを抑制することが期待される⁷⁾。

そこで、本稿では、こうした背景のもと慣行作業と同等以上の種イモの切断精度を確保しつつ、作業の効率化を目的として開発したナガイモの種イモ切断装置の実用性について報告する。

2. 種イモ準備作業の現状

種イモの準備作業は、主に①包丁による切断・部位別の仕分け、②消石灰による消毒、および③キュアリング・催芽の3工程に分類できる(図1)。この中で、①と②は同時並行で行われ、特に人手を要する作業工程であることから、概して家族労働力のみでは賄いきれず、雇用労働を導入しての組作業で対応するが、農業雇用者の不足が常態化しているのが現状である。前述の輸出戦略と併せて、担い手による安定・継続的な生産を実現するためには、現行の生産体系を抜本的に改善する必要がある。

前記のとおり種イモの質量は概ね 100g 前後とされるものの、部位別にみると肩部と胴・尻部の2区分に分類され、部位によって目標値は異なる。これは部位による貯蔵養分量の差異に起因して、キュアリング後の催芽過程で萌芽の速度が異なるためであり、一般的に胴・尻部に比して肩部が早い。なお、成ナガイモを切断するに際しては、先端から外径 25mm 程度までの部分(首部と称す)を切り落とし、以降の第一切断位置までの部位を“肩部”と称する。また、第二切断位置以降の部位を“胴部”，最後の末端部を“尻部”とそれぞれ称しており、胴部はナガイモのサイズによって異なるが複数個得られる。なお、外径 25mm で切断した首部から尻部末端までをイモ長と称す。

②の消毒とは、切りイモの切断面から *Penicillium* 属菌(青かび)等による腐敗が危惧されることから^{8) 9)}、切断直後に消石灰の水溶液に浸漬させるか、粉末状の消石灰を切断面に塗布するかのいずれかの方法で腐敗防止を図る。ただし、より精緻で多くの労力を要するのは切断作業であり、生産者から機械化の要望が強い所以である。こうした生産現場における作業実態について、北海道の主産地である JA 帯広かわにし管内を対象として調査を行った。調査対象農家6戸のナガイモ作付面積は 3.6 ± 1.8 ha であり、所要の種イモ量は 19.4 ± 9.7 t に達し、これに対する組作業人員は雇用労力を含めて平均5名、所要日数は同8日間であった。手作業による処理量は 465 ± 55 kg/人・日 (21.8 ± 2.7 人・日/10t)であった。なお、この処理量は前述の消毒作業要員1名を含む作業能率であることから、正味の切断処理量は 697 ± 71 kg/人・日と算出した。また、生産者によって種イモ質量の目標値に若干の差異はあるものの、肩部は 70~100g、胴・尻部は 120~140g であった。これらの平均質量は、肩部および胴・尻部ともに概ね目標値に近似し、その標準偏差は平均値の 11~30%の範囲であった。そのうえで、生産者から聴取した機械作業への転換を想定した要望として、①切断精度については現行手作業と同等或いはそれ以上、②2名の組作業人員で完結、③作業能率 1.0~1.3t/人・日(慣行処理量の約2倍)が挙げられた。以上により、生産者の要望を踏まえて機械切断技術の開発目標を設定した。



図1 慣行の種イモ準備作業

表 1 慣行作業の実態調査結果

	平均値 (min~max)
作付規模 (ha)	3.6 (2.0~7.0)
必要種イモ量 (kg)	19,350 (10,800~37,800) 注)
組作業人 (人)	5.3 (3~7)
所要日数 (日)	7.8 (6~13)
処理量 (kg/人/日)	464.9 (385.7~514.3)
正味処理量 (kg/人/日)	697.0 (607.5~771.4)
機械切断に対する要望	<ul style="list-style-type: none"> ・切断精度：慣行の手作業と同等以上 ・作業能率：慣行の処理量×2倍 (1.0~1.3t/人/日) 程度 ・作業体系：開発機を基軸として家族労働力 (2~3名) のみの作業で完結 ・その他：処理量向上により、現行の作付規模を現状維持 或いは規模拡大を望む

注) 4,500 株/10a (催芽過程の腐敗を想定して、3%程度の余裕を見込む) として試算

3. 形状予測モデルの構築と検証

開発当初の切断装置においては、ナガイモの首部切断→ロードセルによるナガイモの質量計測→透過型光電センサでグリッドを構成したゲートを通過させながら断面積を積分して体積の算出→部位毎の切断位置の算出→肩部から順次切断、という流れで処理した。しかし、光電センサによるスキャニングおよび順次切断では、処理時間に問題を残し、併せてナガイモ表面のひげ根により赤外線の乱反射が生じ、正確な断面積計測が困難な場面が散見された。

そこで、前記開発目標達成に向けては処理速度の抜本的な向上が不可欠であることから、最少限の測定値に基づいてナガイモの形状を高い精度で瞬時に予測する統計的手法を構築し、併せて予測結果に基づいて当該ナガイモを同時に複数の切イモに切断する技術を開発することとした。次項では、先ず構築したナガイモ形状予測統計モデルについて述べる。

3.1 形状予測モデルの構築

111 本のナガイモ試料を供して、形状予測モデル構築のために形状等測定調査を実施した。供試品種は、

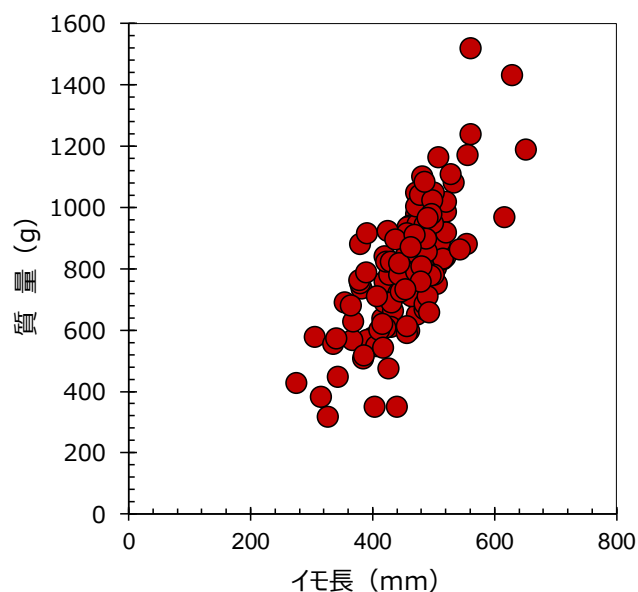


図 2 供試したナガイモのイモ長と質量の相関

北海道十勝地域において最も一般的な“十勝選抜系統”とした。図 2 に示すように、全試料のイモ長は $451.9 \pm 64.3 \text{ mm}$ (平均値 \pm 標準偏差)、質量は $783.3 \pm 205.7 \text{ g}$ (同) であり、その相関係数は 0.73 ($p < 0.001$) を得た。また、外径を測定した結果の扁平率 ($f = 1 - b/a$, ただし、 a = 長半径 b = 短半径) は 0.06 であり、ナガイモの断面は概ね真円と判断して後述のイモ質量の算出に際しての条件とした (以下、外径を直径と称す)。以上を踏まえ、ナガイモの形状予測モデルを構築する目的で、図 3 に示すように、直径 25 mm の首部で切断されたナガイモ試料計 111 本について、首部を起点として尻部に至る長さ方向で一定間隔ごとの直径を測定収集した。87 本の試料では 25 mm 間隔で直径が測定され、その内 60 本では尻部において 10 mm 間隔で直径が測定された。残りの 24 本では、50 mm 間隔で直径が測定された。なお、これら測定間隔の相違は当初の測定方法の未確立によるもので、測定調査過程において構築する形状予測モデルの精緻化に向けて測定間隔が細分化された経緯がある。測定結果をもとに以下により検討した。

まず、 i 番目 ($i = 1, 2, \dots, 111$) の試料の直径の測定値を、以下のように 100 個の y_{ij} ($j = 1, 2, \dots, 100$) で表す。

例えば, i 番目の試料の長さが 500mm で, 50mm 間隔で測定値がある場合, 5mm 間隔での 100 箇所における測定値を $\{y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,100}\}$ と表す。 y_{ij} ($j \neq 1, 2, \dots, 100$) について, その位置を中心に左または右の 2.5mm 以内に測定値があればそれを y_{ij} の測定値とし, 2.5mm 以内に測定値がなければ y_{ij} を欠測値とみなす。

本研究で開発した形状予測モデルは, 以下のとおり 2つのステップを通して構築される。ステップ 1 では, 各試料の欠測値を状態空間モデルで推定・補間する。次に, ステップ 2 では, 回帰モデルを用いてステップ 1 で測定あるいは推定した y_{ij} の結果から形状予測モデルを構築する。

ステップ 1 における状態空間モデルを以下のように構築した。まず, i 番目の試料の j 番目の測定値 y_{ij} は, それぞれ以下のモデルで生成されていると仮定する。

$$y_{ij} = d_{ij} + e_{ij}, \quad e_{ij} \sim N(0, \sigma^2),$$

$$(i = 1, 2, \dots, 111; j = 1, 2, \dots, 100) \quad (1)$$

ここで, d_{ij} は真の直径, e_{ij} は平均 0, 分散 σ^2 の正規分布に従う観測誤差である。また, 前述したように形状調査において直径が不規則に測定されたことから, 観測値の位置は必ずしも定められた刻みに一致しないが, 観測値を最も近い刻みに対応させ, 観測値で対応できない刻みについては欠測値として処理した。最も重要な点は, ナガイモの形状を推定することは, 真の直径 d_{ij} を各点 j で推定することに他ならない。多数の d_{ij} を推定するために, d_{ij} を確率変数と見なしてベイズ法を用いる。具体的には d_{ij} に

$$d_{ij} = 2 d_{i(j-1)} - d_{i(j-2)} + v_{ij} \quad (2)$$

という 2 次の平滑化事前分布を用い, 次の状態空間モデルを構築する。

$$\mathbf{z}_{ij} = F \mathbf{z}_{i(j-1)} + G \mathbf{u}_{ij},$$

$$y_{ij} = H \mathbf{z}_{ij} + e_{ij}. \quad (3)$$

ここで, $\mathbf{z}_{ij} = \begin{pmatrix} d_{ij} \\ d_{i(j-1)} \end{pmatrix}$,

$$F = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$G = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$H = (1 \ 0),$$

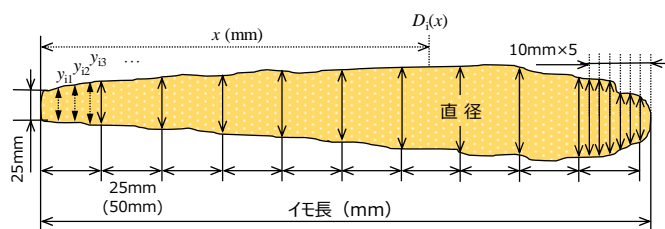
$$\mathbf{u}_{ij} = \begin{pmatrix} v_{ij} \\ v_{i(j-1)} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

とする。 v_{ij} は平均 0, 分散 τ_i^2 の正規分布に従うシステム誤差である。この状態空間モデルに基づいて, パラメータ \mathbf{z}_{ij} などを Kalman filter を用いて推定することで, 全ての刻みにおける d_{ij} の推定値 (真の直径の推定値) が得られる¹⁰⁾。直径 d_{ij} の推定値は以下の予測モデルの構築と評価の基礎データとして用いる。

ステップ 2 における回帰モデルを以下のように立てた。まず, $D_i(x_1)$ と $D_i(x_2)$ を直径 25mm における切断面 (首部端部) から x_1, x_2 mm の距離にある直径 (以下, 基準直径) とする (前出図 3)。次に, この 2 点の直径だけから他の 98 点 (100 点 - 2 点) の直径 D_{ij} を予測する重回帰モデルを立てた。

$$D_{ij} = a_j + b_j D_i(x_1) + c_j D_i(x_2) + (\text{誤差}) \quad (5)$$

重要な点は, ・基準直径の位置 x_1, x_2 は全ての試料で共通であること, ・回帰係数 a_j, b_j, c_j も全ての試料で共通であることである。最小二乗法を用いて回帰係数 a_j, b_j, c_j ($j = 1, 2, \dots, 100$) を推定し, 形状予測モデルを構築した。



※ diameters: y_{ij} , a key-diameter at x mm: $D_i(x)$

図 3 本研究におけるナガイモ形状の定義

3.2 形状予測モデルの精緻化と検証

標本データを用いて, 機械学習のハイパーパラメータ探索の方法としてよく使われる手法である, 以下で述べるグリッドサーチにより基準直径の位置 x_1, x_2 を決定した。つまり, 二つの基準直径の位置の範囲を 85.0 から 142.0 と 142.5 から 270.0 とし, まず $x_1=85.0$, $x_2=142.5$ として, 前節の形状予測モデルを用いて全調査試料の直径 D_{ij} を予測し, これが観測した直径 y_{ij} とどの程度一致していたのかを示す平均二乗誤差 (Mean Squared Error; MSE) を次式により求めた。

$$MSE = N^{-1} \sum_{i,j} (y_{ij} - D_{ij})^2 \quad (6)$$

ここで、 N は全試料の y_{ij} や D_{ij} の合計数である。

次に、基準直径の位置 x_1 と x_2 を 2.5mm ずつずらし、 $x_1=85.0, 87.5, \dots, 142.0, x_2=142.5, 145.0, \dots, 270.0$ の全ての組み合わせについて形状予測モデルを適用し、MSE を求めた。その結果、MSE を最小とした $x_1=105.0, x_2=255.0$ mm を最適な基準直径の位置とした。これらは、形状予測が最も上手くいく組み合わせである。また、この回帰モデルは、1つの基準直径に基づく回帰モデル、予測した直径 D_{ij} の加重平均に基づくモデル(加重平均法)よりも MSE が低く、最も高い精度で形状予測が可能であった(図4)¹¹⁾。図4において、 $x_1=105.0$ を固定し $x_2=x$ を変化させたとき、各方法に関する MSE の変化が示されている。図4に示すとおり、2つの基準直径に基づく回帰モデルのパフォーマンスが最も優れている。

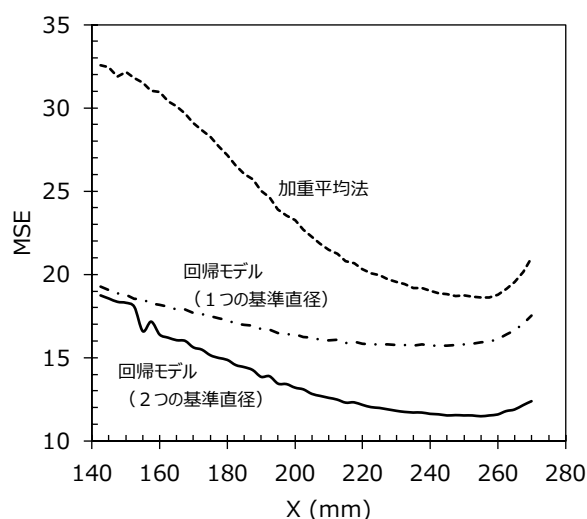


図4 MSEによる形状予測精度の比較

基準直径 D_i (x_1) と D_i (x_2) ($x_1=105.0, x_2=255.0$ mm) を用いて、111本のナガイモの形状予測を行った。図5は、成ナガイモを供して観測した形状(マーカー)と併せて上記モデルにより予測した形状(実線)の結果の一部を重ねて示した。比較的短い試料や長い試料においては多少の誤差はみられるものの、一般的な400~500mm程度のイモ長の試料においては形状の予測値がほぼ観測値に一致している。

したがって、イモ長および任意2ヶ所のイモ直径を測定し形状予測モデルを用いることで一定の精度で全体質量を推定でき、さらに、残の発生を最小にする最

適な切片切断位置を決定できる可能性が示唆された。実際、以下のように個々のイモの全体質量の推定が可能になる。前述したように、イモの長さ方向に垂直な断面が真円であると仮定すると、イモの形状予測とは長さ方向の任意位置における直径の予測であり、イモ直径が予測できると以下のようにイモ質量が予測できる(図6)。イモの長さ方向の位置1から位置2までのイモ断片の体積 V を求めるために、イモの外形は直線的に変化すると仮定するとイモ断片は円錐台であるため両位置間の距離 h と各位置における直径の予測値 R_1, R_2 を用いて $V = \pi h (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2) / 12$ により体積を算出できる。この体積 V にイモ比重(本研究では比重は1.050と統一)を乗ずればこのイモ断片の質量が予測でき、これらのイモ断片の質量を足し合わせることでイモの全体質量が予測できる。

以下により、複数の円錐台に分割してイモの質量を算出する。

仮定1: イモ断面は真円

仮定2: イモ外形(直径予測部位の間)は直線的に変化する

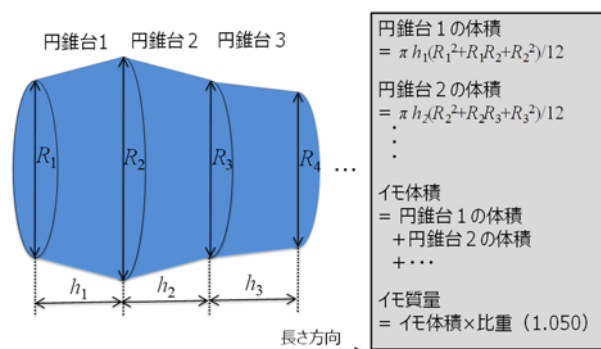


図6 ナガイモの質量の計算方法

4. 開発機の概要と性能

4-1 開発機の概要

1) 種イモ切断装置の機器構成

切断装置は、供給部、計測部、切断部、搬出部および制御部で構成した(図7, 表2)。供給部はナガイモを供給するための受け皿(全長450×全幅80mm)が10枚あり、チェーンに連結され、受け皿はギヤードモータ(三菱電機製, GM-J2S)の駆動で切断部に搬送される。受け皿の供給側の側面には、切断刃上へナガイモを転動させる際に急激に落下させないための刷毛(長さ25mm)を設けた。なお、供給するナガイモは、全長が300~650mm、外径が70mmまで対応可能とした。

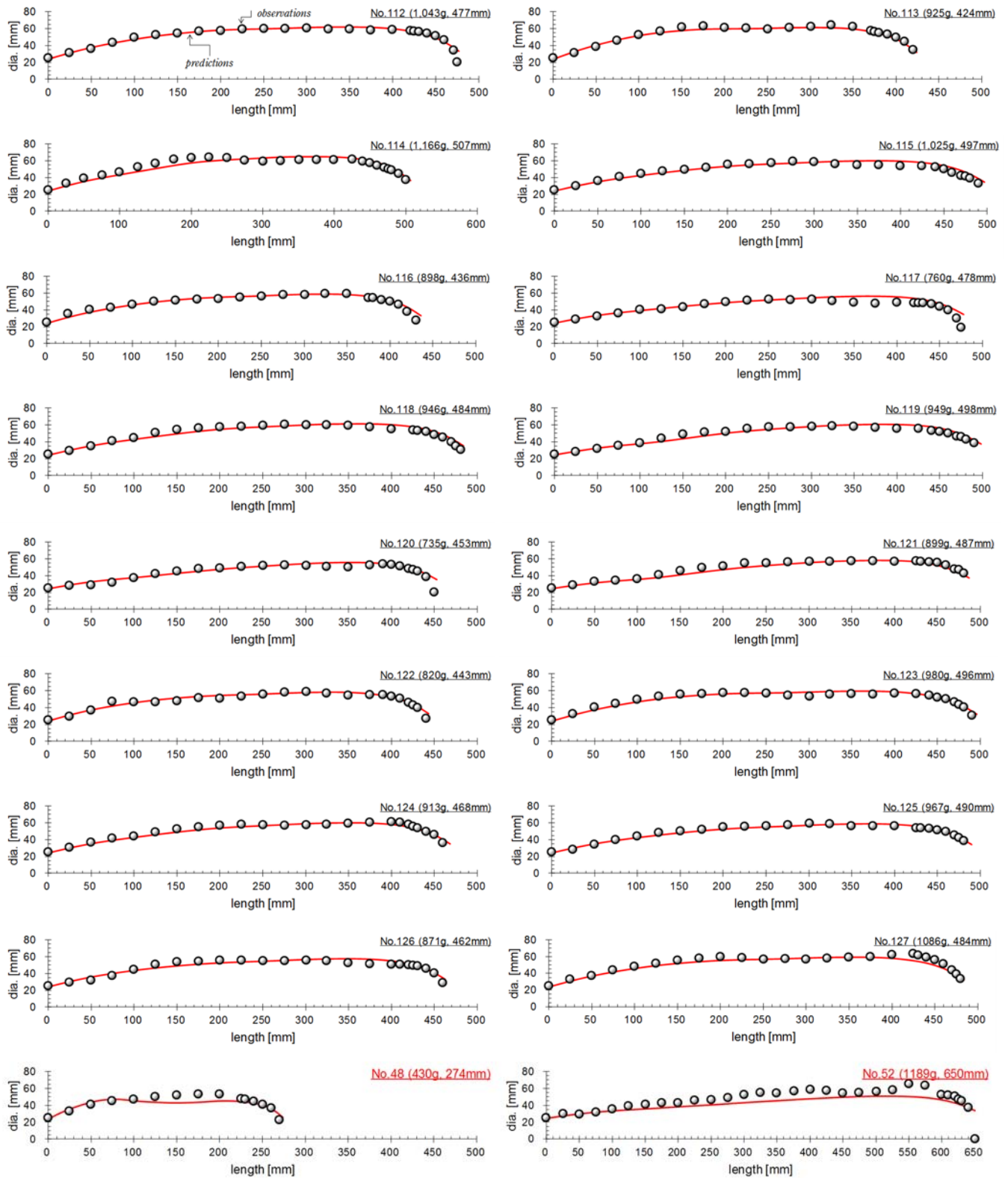


図5 ナガイモのイモ長にともなう形状予測の適合性

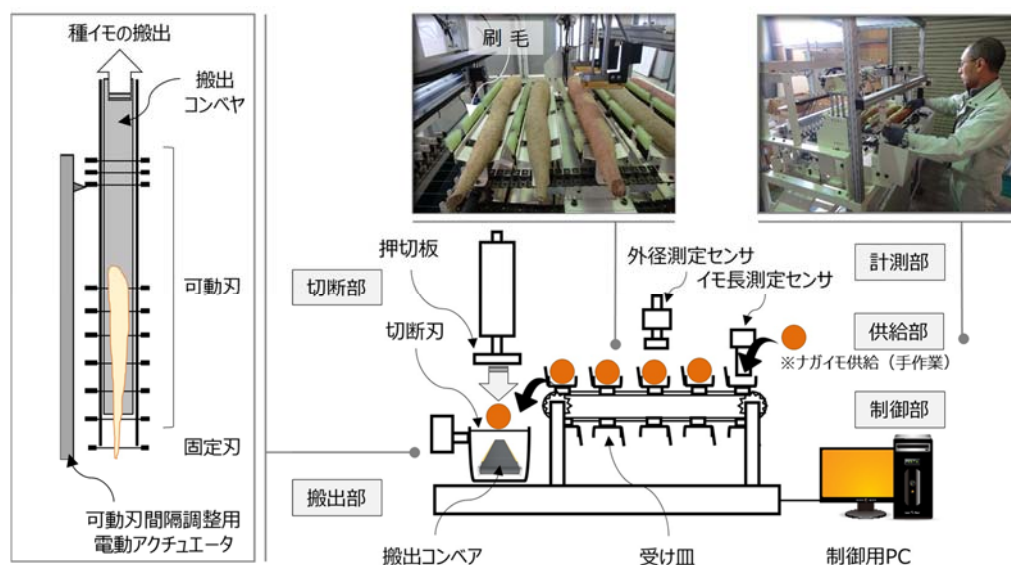


図7 ナガイモの種イモ切断装置の概要

表2 切断装置の主要諸元

・ 大きさ	L 1,000×W 1,550×H 1,840 mm
・ 供給部	受け皿 10 枚
・ 計測部	レーザーセンサにより、イモ長と2ヶ所の外径を測定
・ 切断部	1) 切断刃 10 組 (固定刃 1 組, 可動刃 9 組) 2) 押切板 (L 800×W 100 mm, エアシリンダによる押圧)
・ 搬出部	ベルトコンベヤ (L 1,300×W 90 mm)
・ 制御部	パソコン (装置の設定・作動, データ保存など)
・ 電 源	AC100V
・ 材料適応条件	ナガイモ全長 300～650 mm, 外径 70 mm まで対応可能
・ その他	エアコンプレッサ (0.5 MPa 以上, 40 L/min)

計測部は、イモ長を測るためのレーザーセンサ (omron 製, ヘッド: ZX-SLD300L, アンプ: ZX-SLA11) 1 個とナガイモの外径を測るためのレーザーセンサ (omron 製, ヘッド: ZX-SLD100L, アンプ: ZX-SLA11) 2 個で構成した。外径センサのヘッドの取り付け位置は、前述のとおり首部から 105mm と 255mm とした。イモ長の測定は、作業者がナガイモを受け皿に供給した後に人手でイモ長測定板を操作し、その動作量をイモ

長センサで計測することでイモ長を算出する。また、外径は外径センサを取り付けたバーの両端がエアシリンダ (SMC 製, MGPL25-100-RN-M9BW) に取り付けされており、そのバーが上下方向に動作し、下降した際に計測される。

切断部は、コの字形のアームにスチール線 (φ0.5 mm) を取り付けた切断刃が 10 組あり、うち 1 組が首部を切断する固定刃で、残りの 9 組が肩部と胴・尻部を切断する可動刃とした。可動刃のアームにはエア駆動のペンシルシリンダ (CKD 製, SCPS3-00-6-15) を設け、位置決めに利用した。作業時は、基準点に照射したレーザーセンサ (omron 製, ZX0-LD600A61) により距離が計測され、電動アクチュエータとそこに設けた爪で可動刃を首部から尻部方向に可動させ、制御部で算出した位置まで到達するとペンシルシリンダが作動し、その先端が 10mm 刻みの孔 (φ8 mm) に挿入させることで可動刃を固定する。必要な可動刃の配置が終わるまで続け、使用しない可動刃がある場合は切断しない位置まで移動させる。可動刃の配置が完了すると、ナガイモが切断刃上に転動された後、2 台のエアシリンダ (SMC 製, MGPL32-250) に取り付け鉄板とゴムスポンジ (長さ 800×幅 100×厚み 15mm) で構成される押切板が下降し、ナガイモが一度に切り分けられる。

搬出部は、切断した種イモ切片を機外へ搬出するためのベルトコンベア（okura 製, DHG09DR130N26R09X, ベルト幅 90mm）で構成し、前述した切断刃のアーム内に配置した。

作業時には、肩部はコンベアで搬送せずに肩部用コンテナに收容し、胴・尻部はコンベアで搬出して胴・尻部用コンテナに各々收容される（図 8）。この理由は、前述のとおり肩部と胴・尻部ではキュアリング後の催芽過程で萌芽の速度が異なるためである。

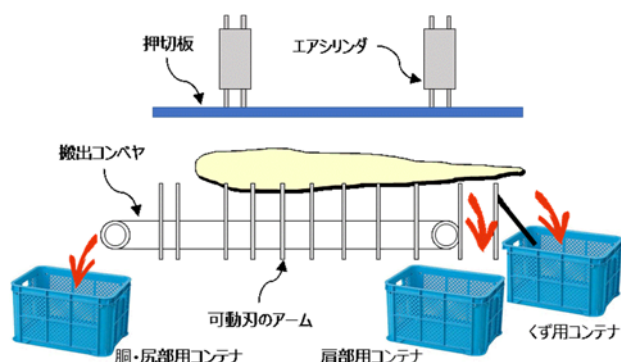


図 8 切断部および搬出部の概要

制御部はデスクトップ型パーソナルコンピュータとモニター（以下、PC と称す）で構成し、上記の制御機器を PC 用の I/O ボードと繋いだ。PC の OS は Windows 7, 制御用ソフトウェアは Microsoft Visual Basic 6.0 で作成し、前述の形状予測モデルを組み込んだ。設定では、肩部および胴・尻部の質量、ナガイモの比重を入力する。作業を開始すると、PC には処理本数と切断個数等が表示されるとともに、それらのデータが保存される。なお、電源は AC100V で、本装置を稼働させるためにはエアコンプレッサが必要である。

2) 作業時の動作

作業者がナガイモを受け皿に供給し、手動でイモ長測定板を操作すると、受け皿が送られる。2 本目のナガイモが送られると 1 本目のナガイモの外径が自動で計測され、以降全てのナガイモの外径が計測される。4 本目のナガイモが送られると、1 本目のナガイモに対応した可動刃の配置が行われ、5 本目のナガイモが送られるのと同時に 1 本目のナガイモが切断刃上に転動し、押切板の下降でナガイモが切断される。その後

押切板が上昇し、全ての可動刃が初期位置まで戻ると、2 本目のナガイモに対応した可動刃の配置が行われる。以降、この動作が繰り返し行われる。

4-2 開発機の性能

1) 材料および方法

供試材料の品種は「十勝選抜系統」とした。切断装置による切り分け精度試験および作業能率試験における種イモの設定質量は、肩部を 70g, 胴・尻部を 120 g とした。切り分け精度試験では、ナガイモ 20 本を供試し、切断装置でナガイモを切り分けた後の種イモ全ての質量を肩部と胴・尻部に分けて測定した。供試したナガイモの全長は 313~556mm（平均 471mm）、質量は 419~1335g（平均 901g）であった。

作業能率試験では、ナガイモ約 40 本を供試し、ナガイモの供給から切断完了までの処理速度を測定した。ただし、供給作業の初期の段階では切断工程が開始していないため、切断が開始するまでの時間は除外した。その結果を基にナガイモ 1 本当たりの所要時間、1 時間当たりの処理能率、および 1 日当たりの処理量を算出した。供試したナガイモの全長は 318~575mm（平均 465mm）、質量は 435~1193g（平均 753g）であった。なお、対照区は、同条件で切り分け作業を行っていた北海道河西郡芽室町の生産者とした。以下、慣行と称す。

2) 結果および考察

a) 切り分け精度

20 本のナガイモを切り分けた種イモの切片数は、肩部が 20 個、胴・尻部が 134 個であった。種イモの質量は、肩部が $72.7 \pm 14.2\text{g}$ (48~110g) で、胴・尻部が $120.7 \pm 21.6\text{g}$ (57~177g) であった（図 9）。一方、慣行による切り分け精度は、肩部が $66.0 \pm 10.2\text{g}$ (38~106g) で、胴・尻部が $113.0 \pm 20.7\text{g}$ (70~208g) であったことから、本装置の切り分け精度は慣行作業に比してより設定目標に近似しており、一方で標準偏差は熟練者の手作業と概ね同等であった。ただし、尻部においては同じ質量設定（120g）である胴部に比してやや小さめの切片になる傾向が認められ、図 9 において全体の 4.5% を占める 90g 未満の種イモはいずれも尻部であった。理由として、形状予測モデル構築に際して曲率の大きな尻部のサンプルサイズが十分ではなかつ

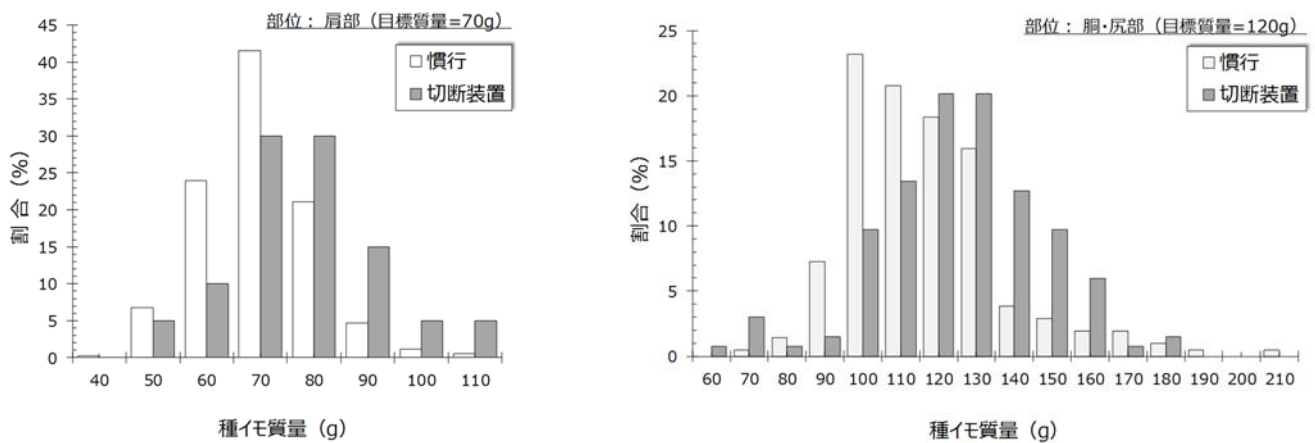


図9 慣行と切断装置の切り分け精度

た可能性は否定できない。前出図5に関連しての考察に示したように、一般的なイモ長の試料に比して長短が著しい試料に対する誤差もサンプルサイズに起因する可能性が考えられ、モデルの予測精度精緻化に向けては更なるデータ数を得る必要があると考えられる。なお、前述したように、本試験では胴・尻部の質量設定を120gとしたが、西田ら⁷⁾によると、種イモ質量90gと120gの総収量の差は90gの方が5%低い程度である。

b) 作業能率

ナガイモ1本当たりの処理速度が9.5sであったことから、処理能率は1時間当たり約380本であった。これにより、ナガイモの平均質量を精度および能率試験で供試した750~900gとし、本装置の稼働時間を1日当たり7hとした場合、処理量は2.0~2.4t/日であった。本装置は2人の組作業を想定しており、1人がナガイモの供給を行い、もう1人が供給準備や種イモの消毒等を行う場合、作業能率は前述の慣行(465±55 kg/人・日)に対し、装置の処理量は1.0~1.2 t/人・日と試算され、慣行比約2倍の処理能力を確保することができた(図10)。

以上により、作業能率は当初目標である慣行の2倍を達成した。ただし、一連の作業を観察した結果、供給作業自体は時間的に余裕があり、ナガイモ1本当たり5s程度あれば十分供給できると考えられたが、可動刃の切断位置への配置および初期位置に戻すまでに

時間を要するため、現状以上の速度向上は困難である。可動刃を初期位置に戻さずに次の切断位置に可動させるなど、可動刃の配置方法を検討すればさらに作業能率の向上を図ることが可能と考えられる。いずれにせよ、開発機の利用により、ナガイモ生産において手作業に依存する種イモ切断作業を省力化できる。また、測定値および切り分け数がPCに保存されるため、作付面積に応じて準備する種イモ数の目安として利用できるメリットがある。なお、今回はPCで制御したが、実用化に当たっては装置組み込み式の制御機器にすること、および青かび病発生軽減のため(清水ら, 2009)切断刃を消毒するなどの対策を検討する必要がある。

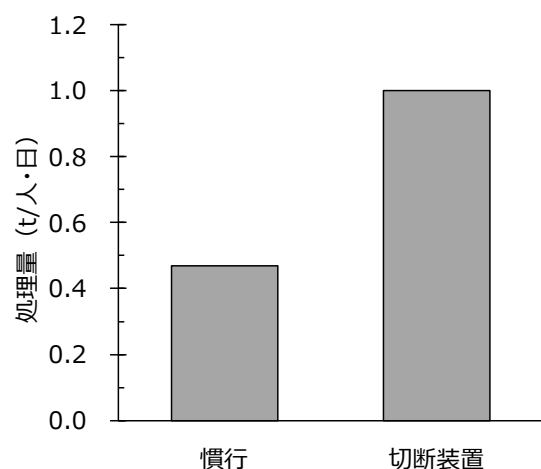


図10 慣行と切断装置の作業能率

5. 摘 要

本研究では、ナガイモの種イモ切断作業の効率化および省人化を達成する機械技術を開発することを目的とした。植付け後の生育促進および斉一化を図るために、1本のナガイモに対して残を発生させることなく、部位毎の質量目標値に沿ってできるだけ均一な切片に切断するものとした。

生産現場の要望を踏まえた開発目標として、①慣行作業同等以上の切断精度、および②2人組作業を前提として慣行の2倍程度の作業能率を確保することとし、以下を得た。

1) 開発装置においては、①イモ長と任意の2ヶ所における外径のみによってイモ全体の形状を予測するベイズ統計モデルを構築し、②当該モデルによる予測結果に基づいて部位別にそれぞれ設定質量に基づいてナガイモを一度に切り分ける切断装置とした。

2) 開発装置による精度試験および作業能率試験を通じて性能を検証した結果、部位別の切り分け精度は熟練者の慣行と同等であり、またナガイモ1本当たりの処理速度が9.5sであったことから、2人組作業を前提とした作業能率は本装置の稼働時間を1日当たり7hとした場合、処理量は2.0~2.4t/日であることを確認した。これにより、生産現場の要望を踏まえた機械開発目標を概ね達成することができた。

3) 形状推定モデルの構築のための測定調査においては、北海道十勝・網走地域にて最も一般的な品種“十勝選抜系統”を供したが、近年収量安定化を目的に育種した新品種が開発され、現在当該品種に置き換わる過程にある。すなわち、ナガイモは増殖率が低いため、種苗増殖に数年の期間を要する。結果として、従前の“十勝選抜系統”とは形状の相違が派生する可能性に鑑みて、開発機に導入した形状推定モデルについては改めて構築し直す必要が想定される。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、北海道立総合研究機構十勝農業試験場研究主査 田縁勝洋氏（現：花・野菜技術センター）ほかの皆様およびJA帯広かわにしの方々にも多大なるご協力と併せて貴重な御助言を賜った。ここに記して深甚なる謝意を表します。

引用文献

- 1) 農林水産省, 2015. 第4節 新境地の開拓に向けた多様な取組み (3) 農産物輸出の一層の促進.
http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/tr_end/1/t1_2_4_04.html, Accessed Apr. 7, 2017.
- 2) 農林水産省, 2016. 農林水産物輸出入概況 (2015年).
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kokusai/houkoku_gaikyou.html#r28, Accessed Apr. 7, 2017.
- 3) 農林水産省, 2013. 農林水産物・食品の国別・品目別輸出戦略.
<http://www.maff.go.jp/e/export/kikaku/pdf/senryakuhontai.pdf>, Accessed Apr. 7, 2017.
- 4) 農林水産省, 2015. 平成27年産野菜生産出荷統計.
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakukyou_yasai/index.html#y, Accessed Apr. 7, 2017.
- 5) 菊池昌彦, 2003. 新版そ菜園芸. (社) 全国農業改良普及協会, 東京, 453-457.
- 6) 北海道農政部, 2013. 北海道農業生産技術体系 (第4版). (社) 北海道農業改良普及協会, 北海道, 182-183.
- 7) 西田忠志, 高宮泰宏, 2002. 高収量・高品質をめざすながいもの栽培技術. 平成14年度北海道農業研究成果情報.
<http://www.naro.affrc.go.jp/org/harc/seika/h14/ho114.html>, Accessed Apr. 7, 2017.
- 8) 岩田勉, 土屋貞夫, 児玉不二雄, 1979. 北海道に発生したナガイモ青かび病について. 日本植物病理学会報, 45(1), 115-116.
- 9) 清水基滋, 鳥越昌隆, 2009. ナガイモの催芽過程におけるヤマノイモ青かび病の発生要因と防除対策. 北海道立農試集報, 93, 57-60.
- 10) Kyo K. and Hachiya M., 2014. A statistical approach of identifying indexes crucial to characterizing Chinese yams in terms of shape. In *Advances in Intelligent Systems*, WIT Press. Ford Lumban Gaol et al (Ed.), 27-34.
- 11) Kayano M., Kyo K. and Hachiya M., 2017 Bayesian methods for predicting the shape of Chinese yam in terms of key diameters. Hindawi Publisher. *Advances in Agriculture*, 2017-9620468.

Development of an Efficient Shape Predicting and Cutting Technique for Chinese Yam Seeds

Mitsuru HACHIYA*, Hiromi OHMORI** , Masamoto CHIBA**,
Mitsunori KAYANO***, Koki KYO***, Masakazu IGARASHI****

* Department of Innovative Engineering Research

** Department of Mechanization for Horticulture and Animal Industry

*** Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine

**** Mitsubishi Mahindra Agricultural Machinery Sales Co., Ltd.

Abstract

The Chinese yam (*Dioscorea opposita*) is considered a high-profit crop in Hokkaido and Aomori prefectures. Seed yams must be efficiently cut into even segments in order to achieve stable production. For the sake of stimulated growth and uniformity of the planted seed yams, cutting of a single yam into even segments with minimum residue constitutes essential requirements of the local producers. Therefore, the objectives during the design and development of the cutting technique were to:

1. build a model that estimates the overall shape of the Chinese Yam, based only on the outer diameter of the yam and on its length in any arbitrary direction.
2. develop a technique that uses an appropriate model to predict the shape of Chinese Yam and cut a whole yam instantly and simultaneously at appropriate positions.

A prototype cutting machine system equipped with a control unit, which applies the shape predictive model, was developed and field tests were conducted. The test results confirmed that the accuracy and precision of this technique were similar to those of the conventional manual method. Furthermore, as required by the local producers, the prototype system was found to have the ability to process 2.0 to 2.5 tons of seed yams per day.