

ラッキョウの省力機械化技術体系の開発

田安拓馬¹⁾・和田陽介²⁾・村田英一郎³⁾・田中豊実⁴⁾・見延敏幸²⁾・
坪田一良²⁾・大崎隆幾³⁾

Development of Labor saving Mechanization Technology in Rakkyo (*Allium chinense*) Cultivation

Takuma TAYASU¹⁾, Yosuke WADA²⁾, Eiichiro MURATA³⁾, Toyomi TANAKA⁴⁾,
Toshiyuki MINOBE²⁾, Kazuyoshi TSUBOTA²⁾ and Ryuki OOSAKI³⁾

ラッキョウ専用の半自動型植付機、掘取機、半自動型端切機を開発した。

植付作業時間は手植えと比較して約60%の5時間/10a(2人作業)、掘取作業時間は手掘と比較して約8%の2時間/10a(2人作業)に短縮することができ、三年子ラッキョウの植付から掘取までの総作業時間を50%短縮することができた。

また、開発した端切機を使うことで、初めての人でも端切作業を行うことができ、仕上がりは熟練作業者と同等の処理量と切上がり精度が得られた。

キーワード：ラッキョウ、植付機、掘取機、端切機

I. 緒言

福井県特産の三年子ラッキョウ (*Allium chinense* G. Don) の栽培は、三里浜砂丘地において行われている独特の栽培方法で、植付から収穫までに足かけ3年をかけて栽培される^{2), 3)}。この栽培法によって、小粒で、キメが細かく歯切れのよい『三年子花らっきょ (商標登録4901984)』の生産が可能になっている⁷⁾。

ラッキョウは、主要な作業が5~9月の高温期に集中し、しかも手作業主体の重労働であることから、省力機械化体系の確立が求められてきた。また、本県では2005年の調査で61歳以上の生産者が約80%と高齢化が進展している。さらには収穫後の根付きラッキョウを加工用原料にするために根茎部を切断する端切が必要である。この作業は切り子と呼ばれる作業者が行っているが、高齢化等で確保が難しく、計画的な収穫作業ができにくくなってきていることなどから、作付面積は最盛期の約25%にまで減少している。

三年子ラッキョウ生産の再生には、作業の省力かつ軽労化を図るとともに、作業受託を想定した省力機械化体系の構築が不可欠であるが、福井県特有の三年子ラッキョウは、足かけ3年栽培することにより、1株が20~30球に分球するため、第1図のように小粒で形がばらつきかつ曲がりがあるため機械化が困難であった。

そこで本研究では、省力機械化体系の構築を目指し、植付機、掘取機と端切機の開発を行った。

ラッキョウ栽培で主要な作業である植付作業は、熟練技術を要し、腰をかがめて1球ずつ植えつけることから、非常に負担のかかる作業である。このため、機械化が望



第1図 様々な大きさや形の三年子

まれていたが、現在までに、三年子ラッキョウ用の実用機はなかった。そこで、腰をかがめる作業工程を減らし、誰でも植付でき、収量も手植えと同等の植付機を開発を検討した。

また、10aあたりの作業時間が最も多い掘取作業は、6~7月の暑い時期に炎天下のもと手収穫で行われており、かなりの負担となっている。二人作業で24時間/10aであり、ラッキョウ栽培における全作業時間の約4割を占めている。

従って、掘取作業を機械化することにより、作業時間が大幅に短縮されることが見込まれる。このため、過去にチューリップ掘取機を改造したトラクタけん引式の掘取機の導入を検討したが、全面植付の圃場では作道が確保できないこと、掘取ったラッキョウがコンベア部を上らないなどの理由から、普及に至らなかった。植付機を導入する機械化栽培体系を前提とすることで、掘取機の作道が確保できることから、以前に導入した掘取機をさらに改良し、三年子ラッキョウの掘取を検討した。

さらに、収穫したラッキョウを漬物加工するには、根

¹⁾ 現福井県坂井農林総合事務所，元福井県農業試験場

²⁾ 福井県農業試験場

³⁾ 現退職，元福井県農業試験場

⁴⁾ 現奥越農林総合事務所，元福井県農業試験場

部と茎部を切り落とし、太鼓型にする端切作業が必要である。この端切作業は、現在も第2図のように台上に刃を手前に向けて固定した包丁に、熟練作業員(切り子)がラッキョウを押し当てて根と茎の切断を行っている。しかしながら、この作業は、熟練技術を必要とし、危険を伴う作業であることから、機械化が強く望まれていた。

このため、昭和30年代後半から福井県をはじめとして、他の県外産地でも端切機の開発が行われてきたが、普及の段階に達する機械が世の中に出てくることはなく^{1, 3, 4, 5, 6)}、長年手作業で行わざるを得なかった。

そこで、処理能率は切り子と同等で、熟練技術を要せずに端切できる半自動型の機械の開発⁸⁾について検討した。



第2図 切り子による端切作業

II. 試験方法

1. 半自動型三年子ラッキョウ植付機の開発

1) 開発機の構造と各部品の検討

タマネギ移植機(I式 PVHR4-145SG, 以下原機)を改造し、三年子ラッキョウの植付に対応させた。改造にあたっては、目標の栽植条件(条間25cm, 植え溝深さ7cm, 植付深さ5~7cm, 株間12cm)への対応、ラッキョウの植付姿勢の安定、苗立ち率の確保、傾斜のある圃場で発生するスリップへの対応に重点を置き、下記の項目について検討した。

(1) 作溝装置の検討

苗立ち率の確保には、手植えの場合と同様な作溝が必要であり⁹⁾、適切な作溝が可能な装置について検討した。

(2) 種球供給カップと開孔器の検討

種球の植付姿勢が逆さや横向きになると苗立ちせず、欠株になることから、植付姿勢を安定化させる種球供給カップと開孔器(供給カップに投入された種球が自然落下して植床に挿し込むくちばし状の部品)の形状を検討した。

(3) 植付間隔のギアの検討

原機の植付間隔設定ギアでは、植付間隔が狭く、ラッキョウの植付には適さないことから、ギアを交換し適正な間隔となるよう検討した。

2) 植付機の作業精度と能率の測定

開発した植付機を用いて2007~2009年に現地試験を行った。

現地圃場(坂井市三国町三里浜)にて、散水(スプリンクラーで約30分)・耕起後、改造機を用いて植付けた。植付後、各試験区の2m間を、作業速度のみ10m間について以下の項目を調査した。

なお、2008年現地圃場にて、手植えによる植付速度の調査熟練者2人が各2条ずつ10m植付した時間を測定した。条間は30cm, 株間は慣行の18cm程度とした。

(1) 植付株間

植え穴数を調査し、植付株間を算出した。

(2) スリップ率

三年子ラッキョウが栽培されている三里浜地区は、砂丘地であると同時に圃場の高低差が大きいため、植付機での植付作業時にはスリップが生じた。

そこで、目標とする植付株間を得るためには、スリップを想定して株間を設定する必要があった。植付株間の機械設定値に対する株間の実測値の割合をスリップ率として測定した。

(3) 植付姿勢

種球の植付の向きが苗立ちと生育に影響を及ぼすため上向きで種球を植付ける必要がある。

そこで、植付後の植付球数及び種球の姿勢について目視で確認することにより、欠株・2球植え・逆さ・横向きに分類した。

(4) 作業速度

植付作業は、2人1組で行い、1人は植付機に乗りして種球を補給し、もう1人は運転操作しながら種球を補給する。10m区間を植付けるのにかかった時間を作業速度とした。

(5) 苗立ち率

植付1カ月後の苗立ち率を調査した。

3) 植付機を用いた安定生産栽培技術の検討

(1) 供試品種

福井県坂井市三国町三里浜地区で栽培されている「ラクダ系福井在来」を用いた。

(2) 種球の大きさが苗立ち率と収量に及ぼす影響

通常三年子ラッキョウ栽培においては、三年子のような小粒のラッキョウを種球として用いるが、植付機で植付ける場合は一年掘のような大球を用いた方が、植付姿勢の安定につながると考えられたため、種球の大きさに

第1表 種球の大きさの影響を検討するための試験区の構成

| 植付方法 | 試験区 | 種球 | 植え穴 | 植え溝 | 株間 | 条間 | 栽植 | 植付 |
|------------|-----|------------|------------|------------|----|----|------|----|
| | | 大きさ (g) | 深さ (cm) | 深さ (cm) | | | | |
| 機械植え 想定 | 1-1 | 2~3 | 7 | 7 | 12 | 25 | 21.3 | 1 |
| | 1-2 | 8~10 | | | | | | |
| 手植え | 1-3 | 2~3 | 0 | 14 | 18 | 30 | 18.5 | 2 |
| | 1-4 | 8~10 | | | | | | |

ついて、小さい種球 (2~3 g) と大きい種球 (8~10 g) について比較した。

2006年9月27日に三里浜砂丘地の砂土を客土した農業試験場圃場において、第1表の条件で、種球の大きさを変えて植付を行った。

施肥は、植付時にリン酸肥料 (P17%) を 20 kg/10 a 施用し、2006年10月下旬と2007年3月中旬、10月上旬、2008年3月下旬に化成肥料 (N10% P12% K13%) を 40 kg/10 a 施用した。

1-1 と 1-2 区は植付機で作溝後、機械植えを想定した塩ビパイプ製の器具で植え穴を掘り、手植えした (機械植え想定区)。1-3 と 1-4 区は、作溝した後に手植えした。苗立ち率は、植付 1 ヶ月後に調査し、収穫調査は 2008年6月18日に行った。

(3) 作溝の有無が苗立ち率と収量に及ぼす影響

手植えは作溝してから植付を行う。しかしながら、植付機の原機には、作溝機能はないため、作溝による植え溝の有無がラッキョウの苗立ち率と収量に及ぼす影響を検討した。

2006年9月27日に農業試験場砂質圃場にて、第2表の条件で、三年子種球 (2~3 g) を用いて作溝を作成する区としない区を設け、植付を行った。施肥は、植付時にリン酸肥料 (P17%) を 20 kg/10 a 施用し、2006年10月下旬と2007年3月中旬、10月上旬、2008年3月下旬に化成肥料 (N10% P12% K13%) を 40 kg/10 a 施用した。

2-1 区は植付機で手植えの半分程度の深さの溝を作溝後、機械植えを想定した塩ビパイプ製の器具で植え穴を掘り手植えした。2-2 区は、作溝せず、圃場に直接塩ビパイプ製の器具で植え穴を掘り手植えした。2-3 区は、作溝した後に手植えした。苗立ち率は、植付 1 ヶ月後に調査し、収穫調査は 2008年6月18日に行った。

(4) 植え穴の深さが苗立ち率と収量に及ぼす影響

ラッキョウは、植付深さが浅い場合、分球が促進され、規格外のラッキョウが多くなると同時に日光が直接あたり青ラッキョウと呼ばれる商品価値のないものになってしまう。また、植付深さが深い場合、分球が少なく大球となり、商品価値が低下すると同時に収量も減少する³⁾。

そこで、植付機で植付ける最適な深さを検討した。

2006年9月27日に農業試験場砂圃場で、第3表の条件で、三年子種球 (2~3 g) を用いて植え穴の深さを覚えて植付を行った。

第2表 作溝の有無を検討するための試験区の構成

| 植付方法 | 試験区 | 作溝の | 植え溝 | 植え穴 | 株間 | 条間 | 栽植 | 植付 |
|------------|-----|-----|------|------|------|------|---------------------|-------|
| | | 有無 | 深さ | 深さ | | | | |
| | | | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (株/m ²) | (個/株) |
| 機械植え 想定 | 2-1 | 有 | 7 | 7 | 15 | 25 | 21.3 | 1 |
| | 2-2 | 無 | 0 | 14 | | | | |
| 手植え | 2-3 | 有 | 14 | 0 | 18 | 30 | 18.5 | 2 |

3-1 区と 3-2 区は植付機で作溝後、機械植えを想定した塩ビパイプ製の器具で植え穴を掘り、手植えした。3-3 区は作溝した後に手植えした。苗立ち率は植付 1 ヶ月後に調査し、収穫調査は 2008年6月18日に行った。

(5) 株間が収量に及ぼす影響

ラッキョウの収量は、植付株数と 1 株重によって決まるため、植付機で植付できる適切な株間について検討した。

2008年9月10日に現地圃場 (坂井市三国町黒目) において、第4表の条件で、植付機により株間を変えて三年子種球 (2.0~4.9 g) を植付けた。苗立ち率は、植付 42 日後に調査し、収穫調査は、2010年6月8日に行った。

2. 三年子ラッキョウの掘取機の改良

1) 改良機の構造と各部品の検討

三年子ラッキョウの掘取作業の機械化について、作道の確保以外に従来機 (三里2号) で問題になったこととしては、①掘取ったラッキョウが掘取部からラッキョウ収集部へつながるコンベアを上らず、掘取部周辺に集まってしまう、②掘取深さを安定化させる『ソリ』がうまく機能せず、掘取深さが不安定になったことなどが挙げられる。

さらに、掘取機により収穫されたラッキョウは機体後部のコンテナに収集されるが、収集したラッキョウをいったん地面に敷いた網に広げ乾燥させた後に再び回収する行程があり、効率が悪く時間がかかるという問題があった。これらの問題に対応するため、下記の項目を検討した。

第3表 植え穴の深さを検討するための試験区の構成

| 植付方法 | 試験区 | 植え穴 | 植え溝 | 株間 | 条間 | 栽植 | 植付 |
|------------|-----|------|------|------|------|---------------------|-------|
| | | 深さ | 深さ | | | | |
| | | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (株/m ²) | (個/株) |
| 機械植え 想定 | 3-1 | 5 | 7 | 15 | 25 | 21.3 | 1 |
| | 3-2 | 7 | | | | | |
| 手植え | 3-3 | 0 | 14 | 18 | 30 | 18.5 | 2 |

第4表 株間を検討するための試験区の構成

| 植付方法 | 試験区 | 株間 | 栽植 | 植え溝 | 植え穴 | 条間 | 植付 |
|------|-----|------|---------------------|------|------|------|-------|
| | | (cm) | 密度 | 深さ | 深さ | | |
| | | (cm) | (株/m ²) | (cm) | (cm) | (cm) | (個/株) |
| 機械植え | 4-1 | 12 | 26.7 | 7 | 7 | 25 | 1 |
| | 4-2 | 15 | 21.3 | | | | |
| | 4-3 | 18 | 17.8 | | | | |
| 手植え | 4-4 | 18 | 18.5 | 14 | 0 | 30 | 2 |

(1) 掘取幅の検討

植付機の栽植方式に対応するため、掘取幅の拡張を検討した。

(2) コンベア部の検討

コンベア部の角度が急なため、ラッキョウが上がらないことが判明したため、適切なコンベア形状について検討した。

(3) 掘取深さの検討

掘取深さを安定させるため、従来の『ソリ』に代わる機構について検討した。

(4) 掘取機のラッキョウ収集部の検討

従来のコンテナで収集する機構を変更し、より効率的な機構を検討した。

2) 掘取機の作業速度

2009年と2010年に坂井市三国町黒目および山岸において、10m区間を通過するのにかかった時間を測定した。

3. 半自動型三年子ラッキョウの端切機の開発

1) 切り子による端切作業の処理能力と精度調査

坂井市三国町黒目の共同切場において、熟練度の異なる4名の切り子が10分間端切した三年子生ラッキョウの球数、可販球数、不良品の内容と可販球の長さのバラつきを調査した。

2) 開発機の構造と各部品の検討

(1) ラッキョウの移送および切断時のずれ防止技術の開発

端切を行う際、ラッキョウを機械に投入後、切断するまで出来る限り動かないことが、可販球率の向上につながるため以下の項目について検討した。

i) 挟み込みベルトの素材

ラッキョウを傷つけず、挟み込み時の姿勢を維持できる素材として、柔らかいスポンジ、ネオプレンゴムスポンジ、シリコンゴムの種類を比較検討した。

ii) 挟み込み溝の形状、大きさと間隔の検討

挟み込み溝の形状について、断面が、長方形、逆三角形、台形、逆台形の4種類を検討した。深さは20mmと15mm、幅は20mmと15mmを比較検討した。溝設置間隔は30mm、40mm、50mmを比較検討した。

iii) 押さえベルトの有無

押さえベルトの有無とベルトの幅について検討した。

(2) 正確にラッキョウをベルトに挟み込む方法の開発

作業によって端切作業の可販球率にバラつきが生じないように挟み込み時のマーカが必要となった。そこで、挟み込みを行う位置に目印として、マーカ板の設置等を検討した。

(3) 回転切刃の材質の検討

さびにくく、切れ味の低下しない刃を検討した。

(4) 連続切断機構の開発

ラッキョウ切断時に発生する特有の粘着液が、回転切刃に付着して次第に固化することにより、根茎部切断を不能にするため、連続切断するには粘着液を取り除く必要が生じた。この物質は水溶性の多糖類であるため、水を使用して取り除く方式を検討した。

3) 開発機の能率調査

端切未経験者が、手切と端切機でそれぞれ10分間に処理した生ラッキョウの可販球率と可販球の長さのバラつきを調査した。

III. 結果および考察

1. 半自動型三年子ラッキョウ植付機の開発

1) 手植えによる植付速度

手植えはトラクタによる作溝跡にラッキョウを2球ずつ植え付けていく。1人の作業者は2条分を担当し、前進しながら植付けを行う。作業は10aあたり8.6時間かかることから、作業者にとってかなりの負担になることが分かった。

2) 開発機の構成と特徴

(1) 栽植方式への対応

原機(タマネギ移植機)の条間は24cmに固定されていたため、それぞれの条間を1cmずつ広げ、ラッキョウ用の条間25cmに変更した。

また、原機には作溝機能がないため、機体下部に舟底型の作溝装置(4条)を取り付けた。これにより作溝と同時にラッキョウの植付が可能となった。

(2) 機械仕様

機械寸法は全長1970mm、全幅1400mm、全高1200mmで機体重量は約250kgである。動力は排気量98cc、出力2.1PSのガソリンエンジンを搭載する。

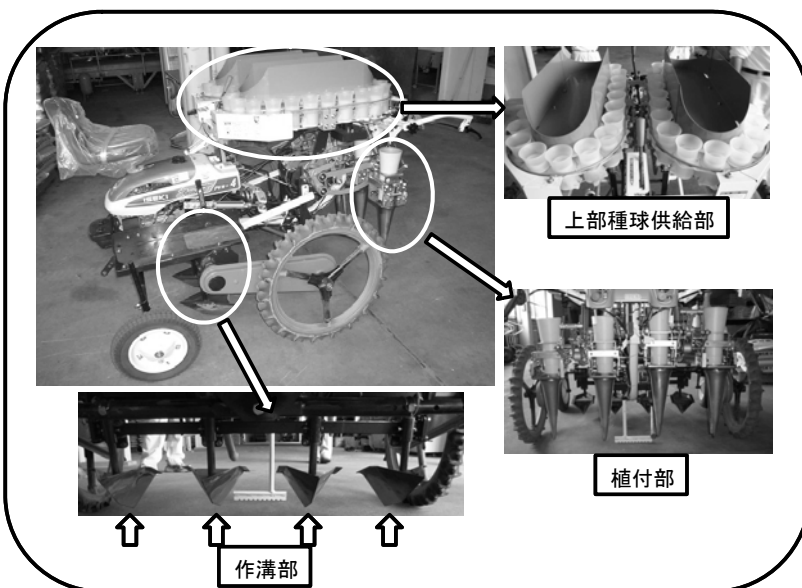
(3) 構造

第3図に示したように、主に種球供給部、植付部、作溝部から構成される。

種球供給部は22個のカップが円周状に配置されたテーブル2つで構成されており、カップに供給されたラッキョウがカップに入ったままテーブルの回転により植付部まで移動し、カップの底が開いて種球が落下する構造となっている。

植付部には25cm間隔で開孔器を有する植付装置が4つ並んでおり、左2条と右2条が千鳥状に上下運動をすることで種球供給部から受け取ったラッキョウを地面に植付ける。

作溝部は舟底型の作溝装置が4つ並列に配置されており、機械の進行と同時に最大で深さ7cmの溝が形成される。



10 第3図 植付機の構造

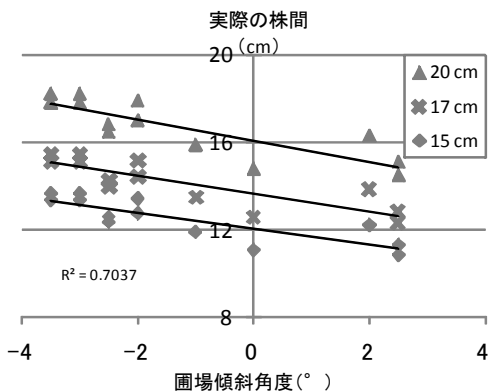
3) 開発機の作業精度と能率

(1) スリップ率

2007年に現地圃場にて機械設定の株間と実測値とを比較すると、約30%のスリップが生じていることが分かった。

傾斜のある圃場を上る方向で植付けたこと、作溝装置により抵抗が生じたことがスリップの主な原因として考えられた。対策として駆動輪をけん引力のあるクローラに換装することが有効と思われたが、クローラの設置幅が広いこと作道面積が増加することや、コストが高くなるなどの問題があった。そこで、現行の車輪のまま、スリップ率を勘案した株間設定を選択することで対応することにした。

圃場の傾斜角とスリップ率の関係を調べると、第4図のようになることから、植付機(本体)設定株間のギアを換えて、株間設定を原機の『10』、『11』、『12』cmから『15』、『17』、『20』cmに変更し、傾斜の程度に合わせて株間設定を切り替えることで、目標とする植付株間12cmとすることが可能となった。圃場傾斜角度が2°以下の場合は機械設定株間『15cm』、2°以上の場合は『17cm』に設定することで、目標株間12cmに近い値となる。2°を超える場合は機械設定株間を『20cm』とすることで対応可能であるが、作業上の安全面などからそのような場合には下る方向で植付ける方が無難と思われる。また、傾斜度の違いによるラッキョウ苗立ち率への影響を調べた結果、圃場角度-2°~2°までの範囲であればラッキョウの植付姿勢および苗立ち率に影響は無かった(第5表)。



第4図 機械設定株間と実際の株間

第5表 圃場傾斜とラッキョウ植付姿勢および苗立ち率

| 傾斜 | 植付姿勢 | | 苗立ち率 (%) |
|---------|--------|--------|----------|
| | 正常 (%) | 逆さ (%) | |
| 2° 下り | 96.2 | 3.8 | 90.0 |
| 2.5° 上り | 95.0 | 5.0 | 92.5 |

(2) 植付精度

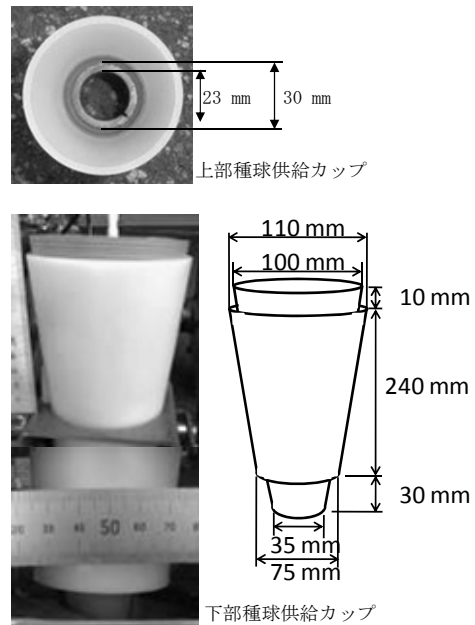
植付機の植付精度を調べたところ、上段種球供給カップの内径が30mm、下段種球供給カップのガイド無しの状態では、13.8%の逆さ植えが発生した(第6表改良前)。原因として種球供給カップ上段の内径が広いために、種球を供給した直後にカップ内で種球が傾いてしまうこと、

種球供給カップ上段から下段に種球が落ちるときにカップ内側に接触して姿勢が乱れることなどが考えられた。そこで、2008年に上段種球供給カップの内径を30mmから23mmに縮小し、下段種球供給カップにプラスチック製のガイドを取り付けた(第5図)。

その結果、逆さ植え率が5%前後に抑えられるなど、植付精度が大幅に改善された(第6表改良後)。

第6表 改良前と改良後の植付姿勢

| | 植付姿勢 (%) | |
|------|----------|------|
| | 改良前 | 改良後 |
| 上向き | 84.2 | 93.2 |
| 欠株 | 0.4 | 4.5 |
| 2球植え | 1.2 | 0.0 |
| 逆さ | 13.8 | 2.3 |
| 横向き | 0.4 | 0.0 |



第5図 機械設定株間と実際の株間

(3) 作業速度

植付機は半自動であるため、作業者が種球を1球ずつ供給する必要がある。供給方法は、機体に乗った作業者1人と、ハンドルを握るオペレータ1人がそれぞれ種球を供給カップに投入するため、植付速度の上昇に伴い、人為的なミスによる欠株や逆さ植え率が高くなることが予想された。

第7表に示したように1分あたりの種球供給速度と植付姿勢の関係を見ると、82.6球/分の速度で植え付けた場合に逆さ植え率が約8%と高くなっている。78.2球/分でも逆さ植え率が5%となっていることから、作業者1人、オペレータ1人の体制で種球を供給する場合、逆さ植え率を5%以下に抑えるためには、78.2球/分より遅い速度で植付を行う必要がある。

人為的ミスが少ない作業速度で機械植えを行った場合、有効作業量は5.1h/10a(株間12cm)であった。手植えによる有効作業量が8.6h/10aであることから、機械植えは手植えの約60%程度の時間で10aを植付できることが明らかとなった。また、苗立ち率は機械植えと手植

えで同等であった(第8表)。

4) 植付機を用いた安定生産栽培技術

(1) 種球の大きさが苗立ち率と収量に及ぼす影響

第9表に示したように、苗立ち率は手植え、機械植えともに三年子を種球にした小球区が一年掘を種球とした大球区より高かった。平均1球重も小球が大球より大きく、収量が多かった。考えられる要因として、種球重が大きい場合、植付した直後の秋に開花する傾向がある。その場合、分球が抑制されるため、三年子栽培では最終的な収量等に影響が出ると考えられる。

従って、三年子ラッキョウ栽培においては、小球を種球として利用した方が良いと考えられる。

(2) 作溝の有無が苗立ち率と収量に及ぼす影響

第10表に示したように、植付1ヶ月後の苗立ち率は、2-2区で89.7%と2-3区より6.1%低かった。2-1区では、2-3区と同等の苗立ち率であった。作溝しない場合、作溝した場合に比べて、苗立ち率が低かった。この要因としては、作溝することにより、種球の砂被りを遅らせることができ、苗立ちの確保につながると考えられた。

一方、収量も作溝しない場合と比較して手植えと2-1区が、3,044 kg/10aと手植えに比べて10aあたり165kg多かった。これは苗立ち率が手植えと同等で、平均1球重が大きいとためと考えられる。

従って、植付機で植付ける場合にも、作溝の装置は必要である。

(3) 植え穴深さが苗立ち率と収量に及ぼす影響

第11表に示したように、苗立ち率は、3-1、3-2、3-3区において、95%前後と変わらなかった。収量は、3-2区が10aあたり3,044kgと最も多くなった。

この結果から、植付機で作溝し、植え穴深さは7cmが適していると考えられた。

(4) 株間が収量品質に及ぼす影響

第12表に示したように、苗立ち率に関しては、植付方法と株間の影響はなかった。収量は、4-1区が10aあたり2,811kgと最も多くなった。機械植え区(4-1~4-3区)では、株間が小さくなるほど分球数が多くなり、1球重が小さくなった。

第13表に示したように、1球重の重量分布の中でも、商品価値の高い2.6g~4.5gの割合は、4-1区が69%と最も多くなった。

第7表 植付速度と植付姿勢の関係

| 植付速度 (球/分) | 上向き (%) | 横向き (%) | 逆 (%) | 欠株 (%) | 苗立ち株 ¹⁾ (%) |
|---------------|------------|------------|----------|-----------|---------------------------|
| 62 | 93.2 | 0.0 | 2.3 | 4.5 | 93.2 |
| 78 | 86.7 | 3.3 | 5.0 | 5.0 | 90.0 |
| 83 | 85.6 | 2.9 | 8.7 | 2.9 | 88.5 |

1) 苗立ち株は上向き、横向きの合計

第8表 機械植えと手植の作業速度と苗立ち率

| | 有効作業量 | | 苗立ち率 (%) |
|--------------------|----------|-------|-------------|
| | (時間/10a) | 比率(%) | |
| 機械植え ¹⁾ | 5.1 | 59 | 91.5 |
| 手植え ²⁾ | 8.6 | 100 | 91.4 |

1) 株間12cm 1球植え 条間25cm 2人1組 機械4条植え

2) 株間18cm 2球植え 条間30cm 2条/1人×2人=4条植え

第9表 種球の大きさと苗立ち率および収量の関係

| 植付方法 | 試験区 | 種球 | 苗立ち率 ³⁾ (%) | 分球数 (個/株) | 平均 1球重 (g) | 収量 (kg/10a) |
|------------|-----|------------|---------------------------|--------------|------------------|----------------|
| | | 大きさ (g) | | | | |
| 機械植え 想定 | 1-1 | 2~3 | 97.6 | 31 | 2.9 | 3,057 |
| | 1-2 | 8~10 | 93.3 | 28 | 2.7 | 2,376 |
| 手植え | 1-3 | 2~3 | 95.8 | 66 | 2.4 | 2,879 |
| | 1-4 | 8~10 | 91.7 | 72 | 1.9 | 2,512 |

第10表 作溝の有無が苗立ち率と収量におよぼす影響

| 植付方法 | 試験区 | 作溝の | 苗立ち率 (%) | 分球数 (個/株) | 平均 1球重 (g/個) | 収量 (kg/10a) |
|------------|-----|-----|-------------|--------------|--------------------|----------------|
| | | 有無 | | | | |
| 機械植え 想定 | 2-1 | 有 | 94.4 | 39 | 2.9 | 3,044 |
| | 2-2 | 無 | 89.7 | 35 | 2.4 | 2,181 |
| 手植え | 2-3 | 有 | 95.8 | 66 | 2.4 | 2,879 |

第11表 植え穴の深さと苗立ち率および収量の関係

| 植付方法 | 試験区 | 植え穴 | 植え溝 | 苗立ち率 (%) | 分球数 (個/株) | 平均 1球重 (g/個) | 収量 (kg/10a) |
|------------|-----|------------|------------|-------------|--------------|--------------------|----------------|
| | | 深さ (cm) | 深さ (cm) | | | | |
| 機械植え 想定 | 3-1 | 5 | 7 | 94.3 | 30 | 3.0 | 2,340 |
| | 3-2 | 7 | 7 | 94.4 | 39 | 2.9 | 3,044 |
| 手植え | 3-3 | 0 | 14 | 95.8 | 66 | 2.4 | 2,879 |

第12表 株間と苗立ち率および収量の関係

| 植付方法 | 試験区 | 株間 (cm) | 苗立ち率 (%) | 可販球 | | |
|------|-----|------------|-------------|--------------|--------------|----------------|
| | | | | 分球数 (個/株) | 1球重 (g/個) | 収量 (kg/10a) |
| 機械植え | 4-1 | 12 | 91.4 | 32 | 3.3 | 2,811 |
| | 4-2 | 15 | 91.0 | 30 | 4.0 | 2,507 |
| | 4-3 | 18 | 91.6 | 27 | 4.7 | 2,265 |
| 手植え | 4-4 | 18 | 91.5 | 55 | 2.6 | 2,603 |

第13表 株間と球重分布の関係

| 植付方法 | 試験区 | 株間 (cm) | 球重 (個数 %) | | | | | |
|------|-----|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| | | | ～1.5g | 1.6～2.5g | 2.6～3.5g | 3.6～4.5g | 4.6～5.5g | 5.6g～ |
| 機械植え | 4-1 | 12 | 2 | 20 | 41 | 28 | 7 | 2 |
| | 4-2 | 15 | 1 | 10 | 28 | 28 | 21 | 11 |
| | 4-3 | 18 | 0 | 5 | 21 | 31 | 31 | 11 |
| 手植え | 4-4 | 18 | 17 | 50 | 27 | 5 | 1 | 0 |

第14表に示したように、植付方法が鱗葉形に及ぼす影響を調査したところ、曲がりの程度が大きい『甚』(第6図)の割合が手植えの4-4区と比較して機械植えの4-1,-2,-3区は少ない傾向であった。これは機械植え様式である1球植えの影響が大きいと考えられた。鱗葉形の曲がりが少ないことは、端切機で根盤部の切断がしやすいと考えられた。

以上の結果から、機械植え株間12cm区が収量品質において優れた結果となった。株間を12cmより狭く設定するとスリップ率の高い圃場では、植え穴がつながり、先に植えた穴をふさいでしまうため、12cmより小さい株間での植付は現実的でないと考えられた。

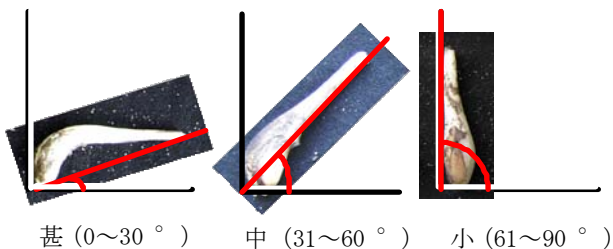
第14表 株間と鱗葉形の曲がりの関係

| 植付方法 | 試験区 | 株間 (cm) | 鱗葉形の曲がり程度 ¹⁾ | | |
|------|-----|------------|-------------------------|----|----|
| | | | 甚 | 中 | 小 |
| 機械植え | 4-1 | 12 | 9 | 41 | 50 |
| | 4-2 | 15 | 10 | 36 | 54 |
| | 4-3 | 18 | 14 | 30 | 55 |
| 手植え | 4-4 | 18 | 24 | 27 | 48 |

1) 根盤部を基準にした角度

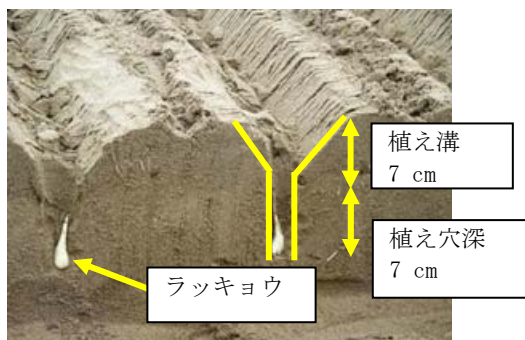
甚; 0～30°、中31～60°、小61～90°

(5) 植付条件のまとめ



第6図 鱗葉形の曲がり程度

上記1)～4)の結果より、植付機による植付条件としては、手植えの半分程度の7cmの作溝を行い、植え穴深さ7cm、株間12cm、三年子の種球を植付けることにより、手植えと同等以上の収量および品質を確保できると考えられる(第7図参照)。



第7図 機械植え断面

2. 三年子ラッキョウの掘取機の改良

1) 改良機の仕様

完成型の機械寸法は全長1780mm、全幅1020mm、後部車輪幅1500mm、機体重量は400kg以上。

2) 改良機の構造

第8図に示したように、本機はラッキョウ掘取部、コンベア部、収集部で構成され、トラクタでけん引することにより掘取を行う。

掘取部は鋤のような構造をしており、トラクタのPTOの動力を用いて前後運動することで、土壌の中にあるラッキョウを掘り起こす。

コンベア部は傾斜のある鉄柵製のベルトで構成されており、PTOからの動力を利用して回転し、掘り起こしたラッキョウを機体後方上部にある収集部まで搬送する。また、搬送行程でベルトが揺動し、ラッキョウについた砂をふるい落とす機構が付いている。

収集部には網ロール展開装置がついており、掘取と同時に幅1mの網がトラクタの前進に伴い、後方に展開されるようになっている。掘り取られたラッキョウは展開した網の上に落ちる構造となっている。

3) 掘取機の改良点

(1) 掘取部

植付機の植付幅は、条間25cmの4条で75cmとなるため、従来型の掘取幅約90cmでも対応は可能であったが、ラッキョウの生長に伴う株幅の増大や、掘取進路の蛇行を考慮に入れ、第9図で示すように掘取幅を約100cmに拡張した。

(2) コンベア部

従来型の掘取機ではコンベア部の角度が急であることなどから、ラッキョウが上部に運ばれないという問題があった。

そこで、第10図で示すようにコンベア部に50cm間隔で『掻きあげ』を設置した。『掻きあげ』は4cmの鉄製の棒を等間隔に並べた構造となっている。

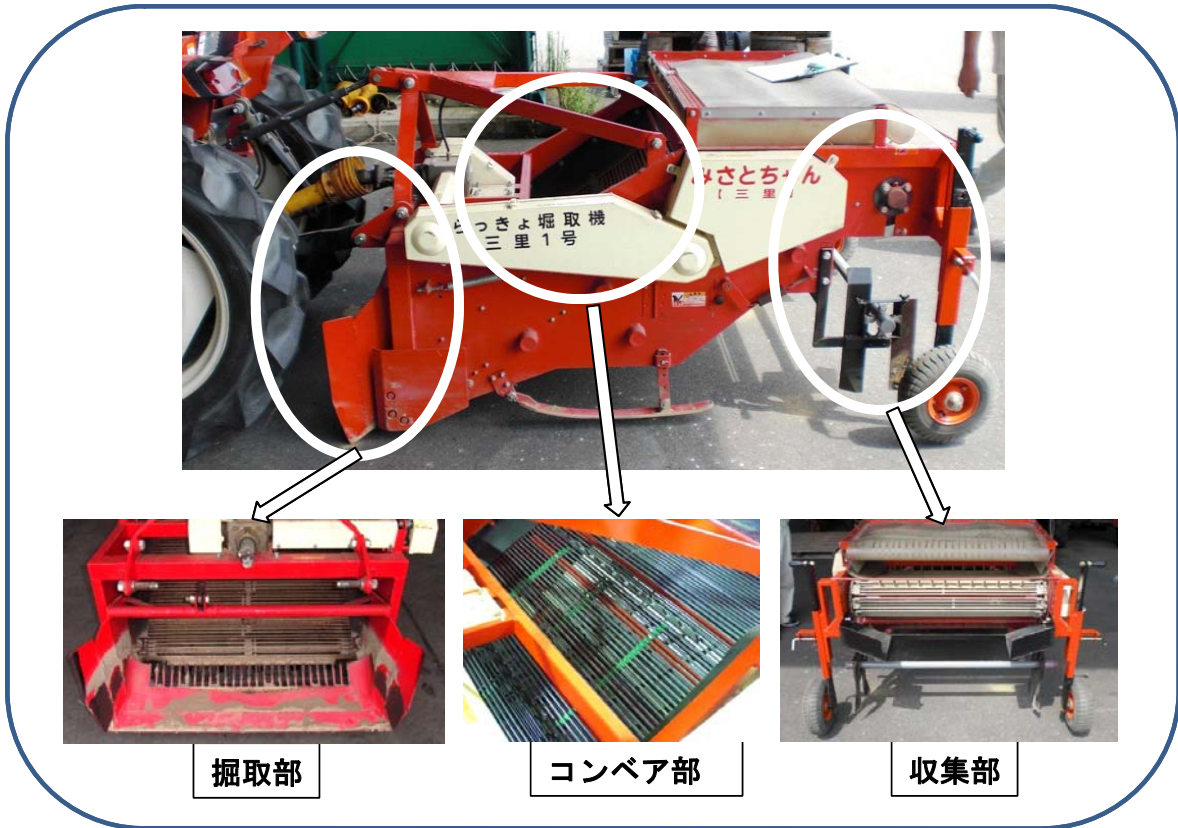
(3) 掘取深さ安定化機構

従来型での掘取深さの調節は、主にトップリンクの調節と機体中央下部にある『ソリ』の高さ調節により行っていた。しかし、『ソリ』が容易に圃場の砂に埋もれてしまい、掘取深さが安定しないことが分かった。

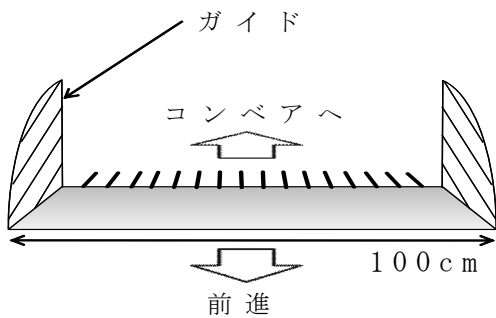
そこで、第11図に示すように『ソリ』に加えて、機体後部に車輪を設置することで掘取深さの安定化を試みた。車輪はゴム製のタイヤで、高さ調節機構を有している。

(4) ラッキョウ収集機構

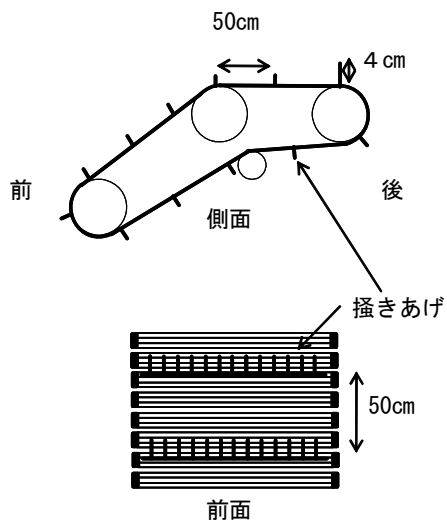
従来型は掘取ったラッキョウを機体後部のコンテナに集めるが、その後圃場に敷いた網の上に広げ乾燥するという手作業の行程が必要であった。一度コンテナに集めたラッキョウを網の上に広げ、再び回収することは作業者の負担となるため、省力化が求められていた。



第8図 掘取機の構造



第9図 掘取部の作業幅



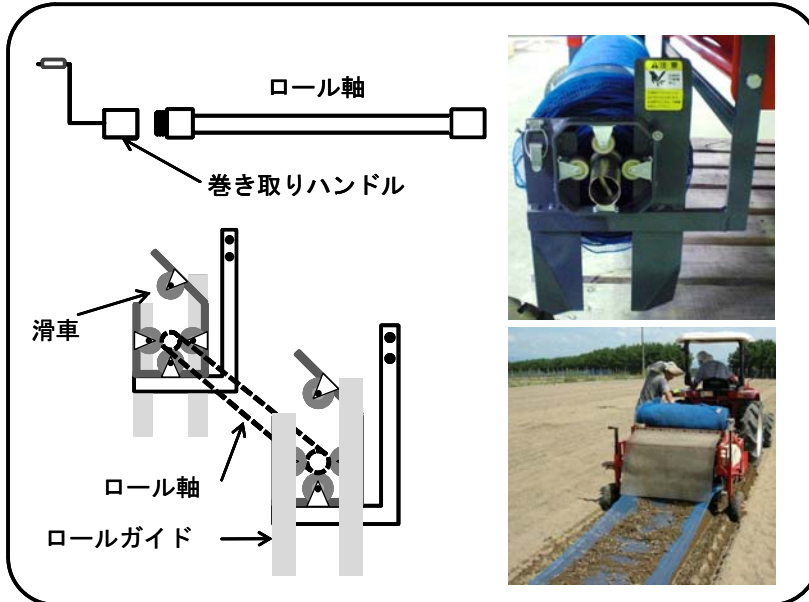
第10図 コンベヤ部の改造



第11図 掘取深さ安定化装置

そこで、第12図に示すように機体後部のコンテナ収納部を取り除き、網ロール展開装置を設置した。掘取と同時に網を展開し、その上にラッキョウを直接落とすため、従来機でのコンテナに収穫したラッキョウを網に広げる行程を省略することができた。

また、この網ロール展開装置は、軸にハンドルを取り付けることで網の巻き取り機として使用することができる。網は幅が1 m、長さが100 mあるため、展開した網を手作業で巻き取るのは重労働であった。この展開装置を使用することで、網の巻き取り作業も省力化された。



第12図 網ロール展開装置の構造と作業風景

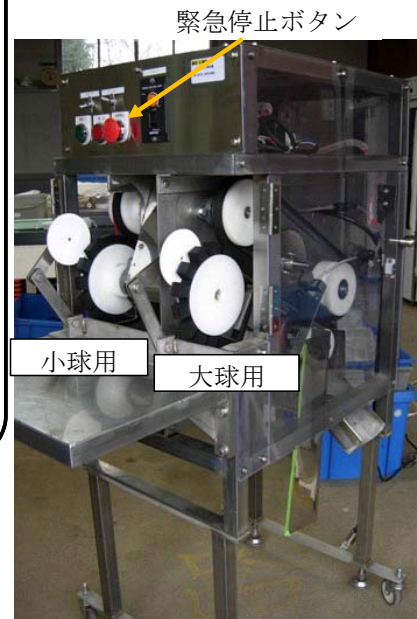
作業者においても6 mm以上の差が見られた。作業者によっては、切り直しが必要な根部残りと商品価値がなくなる深切りを合わせた割合が42%を超える場合もあった。

2) 開発機の構成と特徴

(1) 機械仕様

第13図および第17表に示すように、開発した端切機は一人作業用機械で、ラッキョウを挟み込むレーンは大球用と小球用の2レーンあり、作業者がラッキョウの大きさに合わせて挟み込むレーンを選択する。

機体寸法は幅43 cm、奥行き(テーブル含む)85.3 cm、高さ127.8 cmである。電源はAC100 V 200 W、駆動は挟み込みベルトを移送するモータと切刃を回転させるモータからなる。



第13図 端切機の全景

4) 改良機の作業速度

第15表に示したように掘取り作業速度を300~680 m/時間で行った場合、ラッキョウの掘り残しは見られなかった。作業速度と作業幅から計算した改良機の有効作業量は1.4~3.2時間/10 aであり、手掘(24時間/10 a)に比べて8~18倍の有効作業量を有することが分かった。

第15表 掘取機の作業速度

| | 有効作業量 | | 備考 |
|------|------------------|------|---------|
| | (時間/10a) | (%) | |
| 機械掘り | 1.4~3.2 | 6~13 | 2人1組 |
| 手掘り | 24 ¹⁾ | 100 | 1人2条×2人 |

1) 農家からの聞き取り

3. 半自動型三年子ラッキョウの端切機の開発

1) 切り子による端切作業の処理能力と精度調査

第16表に示すように、切り子が生ラッキョウを手切で端切した結果、熟練程度により可販球数は1時間あたり696~1,236個、可販球率は58~89%と作業者による差が大きかった。可販球の端切後の長さについては、どの

第16表 切り子による三年子ラッキョウ端切作業の処理能力と精度(1時間あたり)

| 処理者 | 処理球数(個) | 可販 | | 可販球の端切後の長さ(mm) | | | 不良品(個数%) | | |
|------|---------|-------|-------|----------------|------|------|----------|-----|-----|
| | | 球数(個) | 球率(%) | 平均 | 最大 | 最小 | 根部残り | 深切り | 縦切り |
| 切り子1 | 1,518 | 1,236 | 78 | 27.3 | 31.9 | 23.6 | 10 | 12 | 0 |
| 切り子2 | 1,206 | 696 | 58 | 31.1 | 35.7 | 26.9 | 6 | 36 | 0 |
| 切り子3 | 1,212 | 960 | 79 | 29.1 | 32.0 | 26.0 | 15 | 6 | 0 |
| 切り子4 | 1,008 | 894 | 89 | 32.9 | 37.0 | 29.6 | 9 | 2 | 1 |

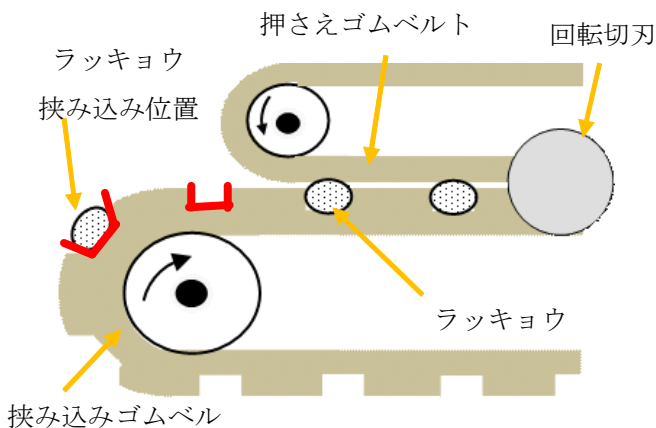
第17表 開発機の仕様

| 項目 | 内容 |
|---------------|----------------------------|
| 使用人数 | 一人用 |
| ラッキョウ挟み込みレーン数 | 2レーン(大球用、小球用) |
| 全長×全幅×全高 | 43 cm × 85.3 cm × 127.8 cm |
| 電源 | AC100 V、200 W |
| 駆動 | 挟み込みベルト移送モータ 切刃モータ |
| 挟み込みベルト移送スピード | 20~40秒/周 |
| 切刃 | 材質:ハイス 直径12.5 cm片刃 |
| 切刃洗浄のための水供給 | マイクロポンプ |
| 安全装置 | 緊急停止ボタン サイドドアスイッチ |

挟み込みベルトの移送スピードは20～40秒/週の範囲で変えることができる。また、切刃のラッキョウ粘着液除去のために少量の水をマイクロポンプでふき取り用スポンジに供給する。切刃は直径12.5cmのハイス製の片刃からなる。安全装置として緊急停止ボタン、サイドドアスイッチを備えている。

(2)構造

開発機は、第14図に示すように、ラッキョウを挟み込むための溝加工をした輪状のエンドレスネオプレンゴムスポンジベルト（以下ゴムベルト）、挟み込んだラッキョウを上から押さえる輪状のエンドレス押しえゴムベルト、ラッキョウの両端を切断する回転切刃により構成される。



第14図 ラッキョウの挟み込みと移送機構

(3)切断精度向上

i) ずれ防止機構

第18表に示すように、ラッキョウの挟み込み溝を有する移送ベルトの素材はゴムベルトを用い、高さは25mm必要であった。ラッキョウ挟み込みベルトの溝は、断面が長方形で、深さが20mmのものが最も様々な形のラッキョウに対応できた。溝の横幅は小球用15mmと大球用20mmが適した。

ラッキョウを確実に把持する方法として、第15図で示すようにゴムベルトの弾性力とプーリー経由時に生ずる曲率を利用して広がった挟み込み溝にラッキョウを挟み込み、移送時および切断時には溝が元の形に戻る性質を利用して、ずれを防止し、正確に両端を切断できる。

様々な大きさのラッキョウに対応するために、ラッキョウを挟み込むベルトは、溝の大きさが異なる2種類のベルトからなるレーンを設置し、作業者がラッキョウの大きさ別に使い分ける。

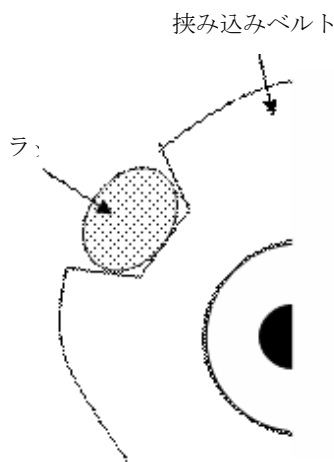
ii) 正確な挟み込み方法

第16図に示したように、作業者がラッキョウの挟み込み時に、根部を円盤状のマーカーク板に当てることで、両端を適切な位置で切断できる。このマーカーク板は、回転させることにより左右に微調整でき、蝶ネジを緩めることにより前後にも微調整できる（第19表）。

正確に根部を切断するために、6月中旬の収穫開始時期の根量の多いラッキョウは、挟み込み前に根や根盤部を取り除く必要がある。

第18表 開発機のずれ防止機構

| 項目 | 内容 | |
|---------|----------------------------------|-------------------------------|
| 挟み込みベルト | 素材 | ネオプレンゴムスポンジ |
| | 高さ | 25 mm |
| | 溝の形状 | 断面が長方形 |
| | 溝の深さ | 20 mm |
| | 幅 | 15 mm (小球用) 20 mm (大球用) |
| | 溝の間隔 | 30 mm |
| 押しえベルト | 素材 | ネオプレンゴムスポンジ |
| | 幅 | 7.5 mm (小レーン) 10 mm (大レーン) |
| 挟み込み | ネオプレンゴムスポンジの弾性力とプーリー経由時に生ずる曲率を利用 | |



第15図 回転切刃の連続切断装置



第16図 マーカーク板

第19表 ラッキョウ挟み込みの精度向上

| 項目 | 内容 | |
|--------|---------------------|---------------------|
| マーカーク板 | 素材 | プラスチック板 (厚さ1 mm) |
| | 形 | 円盤 |
| | 大きさ | 直径10 cm |
| 動作1 | 回転させることにより左右に微調整できる | |
| 動作2 | 前後に微調整できる | |

(4) 切断機構

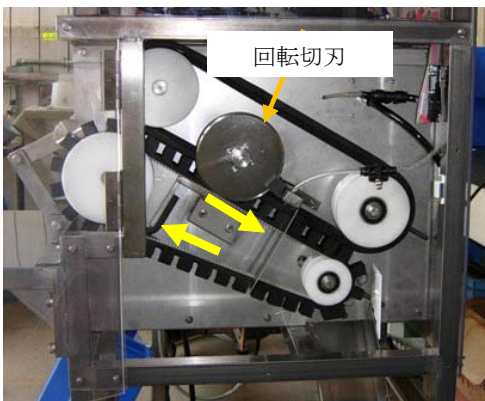
作業者が、第17図のようにラッキョウを1球ずつ挟み込み、そのベルトをモータでゆっくりと移送させながらゴムベルトの両側に設置した回転切刃で茎部と根部を同時に切断する(第18図)。

(5) 連続切断機構

第19図に示すようなスポンジに少量の水を供給して粘着液をふき取る機構にすることにより、回転切刃に粘着液が固化することなく、連続切断が出来る。



第17図 ラッキョウ挟み込みの様子



第18図 端切機の側面
回転切刃



第19図 回転切刃の連続切断装置
回転切刃
拭きとりスポンジ
水供給チューブ

3) 開発機の能率調査

第20表に示すように端切未経験者が、端切機で生ラッキョウの端切を行った結果、端切球数は1時間あたり1,008個で手切りの約1.5倍であった。また、切上がりの精度は、第20図に示すように長さのバラつきが少なく、可販球率92%で、手切りと同等であった。

端切能率を上げるためには、端切前のラッキョウを効率よく作業者のところへ配給できるシステムやある程度大きさ別に分けてから端切するとさらに処理数量を増加させることができる。



端切機使用 手切り

第20図 端切したラッキョウ

IV. 謝辞

本研究は科学技術振興費補助金2007~2010年度『ラッキョウの省力機械化技術の確立』で実施したものである。

本研究の調査に際して、協力分担いただいた三里浜特産農業協同組合、坂井農林総合事務所の方々に感謝申し上げます。また、機械開発改良にご協力いただいたキセキ北陸、竹下エンジニアリング、ユアサ株式会社と福井県農業試験場関係者の方々に感謝申し上げます。

V. 引用文献

- 1) 藤井嘉儀(1981). ラッキョウ切断加工機の開発. 鳥大農研報 33. 91-95
- 2) 藤井嘉儀(1988). 福井県三里浜地方のラッキョウ生産. 鳥大農研報 41. 101-110
- 3) 藤井嘉儀(1989). 地域特産物の地理学 ラッキョウの歴史と経済. 農林統計協会. p. 166-201
- 4) 藤井嘉儀・川手俊三(1971). ラッキョウ調整加工機の試作(第2報). 鳥大砂研報 10. 22-28
- 5) 藤井嘉儀・佐藤一郎・石原昂(1973). ラッキョウ調整加工機の導入と農業経営の変革(第1報). 鳥大砂研報 12. 5-12
- 6) 岩崎正美・石原昂(1980). ラッキョウ調整作業機械化に関する基礎的研究(第2報). 鳥大砂研報 19. 61-72
- 7) 大崎隆幾(1990). 農業技術体系 野菜編 8. 農文協. 追録第15号. p基. 319-332
- 8) 田安拓馬・村田英一郎・大崎隆幾・和田陽介・坪田一良(2010). 「関東東海北陸農業」研究成果情報. 作業技術部会「技術・普及」
- 9) 和田陽介・田安拓馬・見延敏幸・田中豊実・村田英一郎(2009). 「関東東海北陸農業」研究成果情報. 作業技術部会「技術・普及」

第20表 三年子ラッキョウの手切りおよび端切機における処理能力と精度(1時間あたり)

| 処理者 | 処理球数(個) | 可販 | | 可販球の端切後の長さ(mm) | | | 不良品(個数%) | | |
|-------------------|---------|-------|-------|----------------|------|------|----------|-----|-----|
| | | 球数(個) | 球率(%) | 平均 | 最大 | 最小 | 根部残り | 深切り | 縦切り |
| 端切機 ¹⁾ | 1,008 | 924 | 92 | 24.6 | 26.7 | 22.8 | 11 | 3 | 0 |
| 手切り ¹⁾ | 666 | 606 | 91 | 29.9 | 37.9 | 22.7 | 8 | 2 | 0 |

1) 端切未経験者

Development of Labor saving Mechanization Technology in Rakkyo (*Allium chinense*) Cultivation

Takuma TAYASU, Yosuke WADA, Eiichiro MURATA, Toyomi TANAKA, Toshiyuki MINOBE,
Kazuyoshi TSUBOTA and Ryuki OOSAKI

In Rakkyo(*Allium chinense*) cultivation, the semiautomatic type planting machine, the harvesting machine and the semiautomatic type cutting machine to cut off both roots and stalks of Rakkyo bulbs were developed.

The total working hours was reduced to a half of conventional cultivation by adopting developed mechanical cultivation system in the two years Rakkyo cultivation. As for the planting machine, the planting hours per 10a were shortened to five hours and it was about 60% of hand planting. In harvesting, the developed machine shortened harvesting hours per 10a by two hours and it was only 8% of hand harvesting.

And using developed cutting machine, even workers who were not accustomed to the work in cutting off the roots and stalks of Rakkyo, the processed amount and the quality of processed bulbs were almost the same as the experienced operator, Kiriko did.