

全自動長ねぎ調製機の開発(1)

誌名	農業施設
ISSN	03888517
著者名	藤岡,修 大森,定夫 松本,弘 木暮,朋晃
発行元	農業施設学会
巻/号	47巻1号
掲載ページ	p. 9-15
発行年月	2016年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



全自動長ねぎ調製機の開発 (第1報)

—自動根切り機構と自動皮剥き機構の開発—

藤岡 修^{*1}・大森定夫^{*1}・松本 弘^{*2}・木暮朋晃^{*2}

^{*1} 農研機構生物系特定産業技術研究支援センター, 〒331-8537 さいたま市

^{*2} (株)マツモト, 〒370-1201 高崎市

要 旨

長ねぎ生産における投下労働時間の1/3を占める調製作業の省力化を目的として、自動根切り機構、自動皮剥き機構を開発して、これらを組み込んだ全自動長ねぎ調製機の試作機を製作した。

試作機を現地実証に供した結果、作業能率は約500本/h・人、根切りの適切り率は約94%、皮剥きの適剥き率は約91%、製品率は約96%であった。熟練作業による慣行作業と比較して、作業能率は約1.5倍、かつ作業精度はほぼ同等の能力を有することを明らかにした。また、作業時騒音を供給者の耳元において87 dB (A) まで低減することができ、防音効果を有することを確認した。

全自動長ねぎ調製機は2002年に市販化され、長ねぎ生産の省力化に貢献している。

キーワード: 長ねぎ, 根切り, 透過型光電センサ, 皮剥き, 圧縮空気, 自動化機構

はじめに

長ねぎ(白ねぎ)は、国民生活において重要な野菜として指定野菜の一つに定められており、全国各地で栽培されている。平成25年産野菜生産出荷統計(農林水産省, 2015)によると、ねぎの作付面積は22900 ha、出荷量は380700 tであり、12年前の平成13年産と比較して、作付面積、出荷量ともに0.94となっており、その値はほぼ横ばいで推移している。

長ねぎの年ごとの国内需要は安定しており、年次変動がほとんど見られない。一方、月ごとの需要には季節性があり、上記出荷統計によると、秋冬に出荷される割合が60%と大半を占めるなど、作業集中を起ししやすい品目と言える。

これまでに農林水産省の農業機械等緊急開発事業において、自走式ねぎ収穫機(小橋ら, 2006; 松尾ら, 2006)が開発され、また、圧縮空気をねぎ表面に吹き付けて、不要な外葉を剥ぎ取る皮剥き機が広く普及するなど、長ねぎ生産においては機械化一貫体系がほぼ確立されつつある。しかし、平成13年産野菜・果樹品目別経営統計(農林水産省, 2003)によると、投下労働時間417.3 h/10 aのうち収穫作業が48.5 h (11.6%)、調製作業が139.8 h (33.5%)、出荷作業が85.0 h (20.4%)を占めており、なかでも調製作業は約1/3を占めるなど省力化が生産現場から求められていた。

長ねぎの調製作業は、不要な根と盤茎部を切除する根切り作業、不要な外葉を剥離する皮剥き作業、全長を定

寸に整えるための葉切り作業が行われる。また、葉鞘部の太さに応じた階級選別、外観品質による等級選別も併せて行われる。

根切り作業は、不要な根の除去と後工程の皮剥き作業を簡単にするために行われる。長ねぎの盤茎部では樹木の年輪のように重なり合った外皮が収斂しており、適切な位置で盤茎部を切断することで、不要な外皮を盤茎部に引っかからずに剥離することができる。しかし、切断深さが浅いと外皮が盤茎部に引っ掛かり、皮剥き作業の能率が低下し、一方で、切断深さが深いと図1のように葉鞘部が押し出されて伸出し、商品価値が低下する。そのため、根切り作業は熟練作業者が担当することが多く、処理量が増やせないことから、栽培規模拡大の阻害要因となってきた。

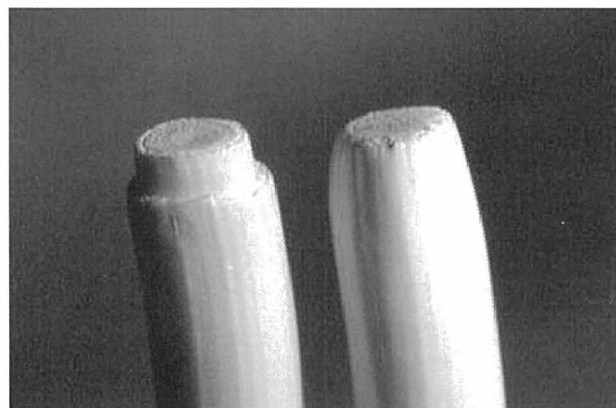


図1 根切りの深浅による差違(左 切過ぎ, 右 適切り)

原稿受領 2015年10月6日

照会先: 藤岡 修 e-mail: ofujioka@affrc.go.jp

皮剥き作業は、圧縮空気をねぎの表面に当てることで不要な外葉を剥離する(図2)。多くの産地で葉を3枚残して皮剥きを行うことが出荷規格で定められており、不要な葉を予めもぎ取り、その生え際から圧縮空気を吹き込み、不要な外皮を剥離している。そのため、圧縮空気を作用させる位置を誤ると剥け残りを生じたり、ねぎそのものを破碎してしまう。また、圧縮空気の噴射圧力は一定のため、ねぎの太さや葉の付き加減に応じて圧縮空気の作用時間を変える必要があるなど、根切り作業と同様に作業に熟練を要する。さらに、皮剥き作業では圧縮空気の噴射に伴う騒音に起因した難聴などの健康障害の発生が危惧されている(笹尾ら, 1990a; 笹尾ら, 1990b)。既存の市販機では吸音材の貼付、遮音装置の設置といった工夫が施され、一定の抑制効果が得られているが、根元的な問題の解消には至っていない。



図2 慣行の皮剥き作業の一例

そこで本研究では、適切な切断位置を自動で判定して根切りを行う自動根切り機構と、皮の剥き始め位置と太さを自動で判定し、圧縮空気で皮剥きを行う自動皮剥き機構を開発した。さらに、これらの自動化機構を実装した試作装置を製作して、現地実証に供し、その効果を検証したので報告する。

自動根切り機構の検討

1. 既往の技術

これまでに根切り作業の省力化ならびに高精度化が検討され、様々な根切り技術、特に切断位置を判定する技術が考案された。例えば、平ベルトの表面に剣山の様な複数の突起を設けた回転体に作業者がねぎの盤茎部を差し込み、根の多少に影響を受けずに切断位置を決定する方法(世利, 2005)、切断刃が作用する位置をレーザー光で照射し、作業者が切断位置を指示する方法(松本, 1998)、一對のローラをねぎの葉鞘部から盤茎部に向かって沿わせながら移動し、葉鞘部と盤茎部の外径比を求め、予め設定した値になった地点を切断位置と決定する方法(森井, 2000)などが挙げられる。

しかし、盤茎部の形状は一定ではなく、葉鞘部の太さとの明確な相関は見出しづらいことから、専ら切断精度は作業者の経験と勘に頼らざるを得ない状況にあった。

2. 自動化機構の検討

根切り作業に熟練を要することなく、かつ作業に不慣れた雇用労働者であっても熟練作業者並みの切断精度が得られる方法を検討した。葉鞘部と盤茎部の切断抵抗や切削抵抗の差など種々の手法を試行した結果、葉鞘部と盤茎部ではその性状の違いにより図3のように光の透過具合が異なることを明らかにした(藤岡ら, 2004)。すなわち、葉鞘部は水分を多く含む繊維状の部位であるために光を透過しやすく、盤茎部は密度の高い塊根であるために光を透過しづらい性状をしている。

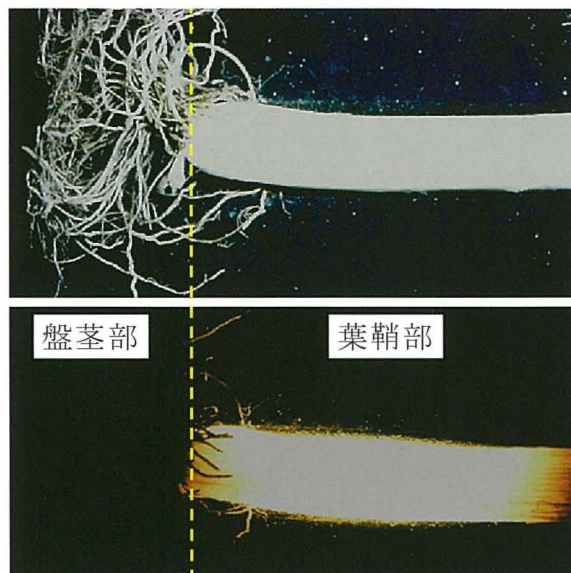


図3 葉鞘部に照射した光がねぎを透過する様子
(上 明条件下, 下 暗条件下)

これを利用して、透過型光電センサ(竹中電子工業(株) PA7704)の投光器を葉鞘部に押し当てて光を照射し、盤茎部近傍に設けた受光器で切断面から漏れ出る光を捉えて、根切りの深浅を判定する自動根切り機構を考案した(藤岡ら, 2003; 図4, 図5)。自動根切り機構は、ステップモータ(オリエンタルモーター(株) ASM98AA)の回転軸に巴形の切断刃と円盤状のシャッタを固定し、切断刃の作用部分と円盤シャッタの一部に設けた切り欠きが回転中心を挟んで180°対称な位置に設けられている。これらを可動式台座(SMC(株) LXPB2SA)に載せてねぎの根部から葉鞘部へ向けて水平移動させることにより、盤茎部のスライスと透過光量の計測が連続かつ交互に行われる。光電センサの受光器が光の漏出を検出、即ち盤茎部の切削が終了した時点で台座の移動を停止、退避させることで根切り作業が終了する。なお、受光器の感度(ゲイン)を調整して閾値を設定することで切断位置の深浅を任意に変更でき、品種、作型などの違いに応じた設定変更を容易に行うことができる。

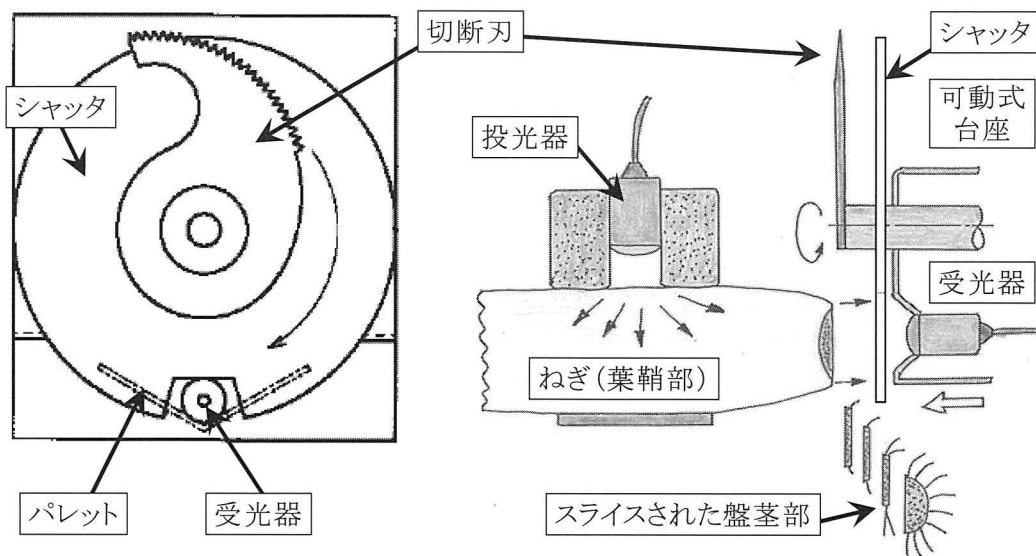


図4 自動根切り機構の概要図 (左 正面図, 右 側面図)

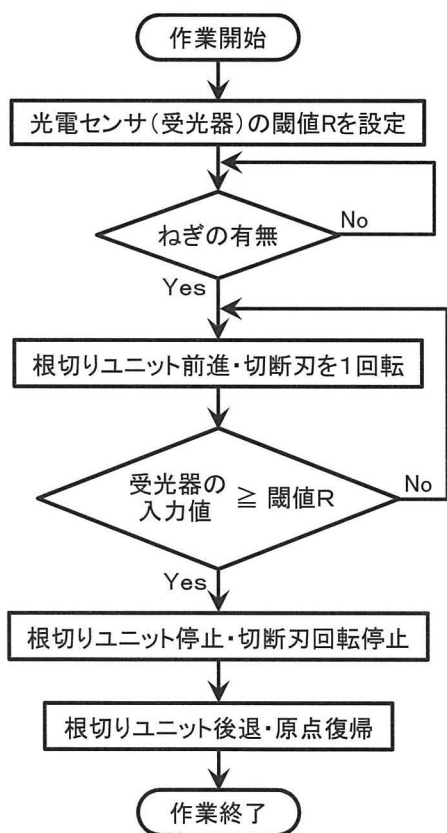


図5 自動根切り機構の動作フロー

自動皮剥き機構の検討

1. 既往の技術

これまでに皮剥き作業の省力化ならびに高精度化が検討され、自動かつ連続的に皮剥きを行うための技術がいくつか考案された。例えば、ローラコンベアの外周に切断刃を敷設し、ねぎを回転させながらローラ上を搬送することで外皮に切れ目を入れ、圧縮空気を全体に作用さ

せて皮剥きを行う方法 (植賀, 1998), 葉部を搬送ベルトで挟持して吊下げ, 複数のノズルを階段状に設置して上方から下方へ圧縮空気を連続的に噴射することで自動かつ連続的に皮剥きを行う方法 (斎藤ら, 2003) などが挙げられる。

しかし、ねぎは同一のほ場、品種、作型であってもその性状は画一ではなく、いずれの手法も作業精度に影響を及ぼす皮の剥き始め位置を明確に指示することなく作業が行われることから、皮の剥け残りや葉鞘部の損傷など、製品歩留まりの低下が懸念される。また、流れ作業による連続処理は、作業能率の向上が期待できる一方で、大量の圧縮空気を常時供給する必要があり、圧縮空気の供給源である電動コンプレッサの稼動に要する電力消費量の増大につながる懸念がある。

2. 自動化機構の検討

皮剥き作業の自動化を図るため、作業精度を左右する剥き始め位置の自動判定方法を検討した。なお、生産現場では皮剥きの前処理として葉を3ないし4枚残した状態にする作業が慣例で行われている。これは各産地の出荷基準に基づいて行われる作業であるため、作業者が調製機へねぎを供給する際に、予め葉を3ないし4枚にする前処理を行うことを前提とした。

ねぎなどの長尺農作物は、主に太さによる階級選別が行われており、その作業には光电センサを利用した選別機が用いられる。これは、一対のチェーンコンベア間に楕形のパレット (図6) を渡し、これを複数個配して周回させる搬送コンベアの上方と下方に光电センサの投受光器を設け、移動中の長尺農作物が光电センサの光軸を遮る時間がその太さに応じて変化することを利用して (今村, 1999)。この技術を応用し、光电センサ (竹中電子工業株式会社 F71R) を葉鞘部から葉身部にかけて複数組設置し、搬送コンベア上を水平移動してくるねぎの葉身部の展開程度 (葉鞘部の太さを基準とした葉身部の幅

との比率) から葉の生え際を検出し、適切な剥き始め位置を自動判定する手法を考案した(松本, 2003; 図7)。

皮剥き作業においては、適切な剥き始め位置から圧縮空気をねぎ表面に作用させて皮を剥離すると同時に、その皮を除去、収集する作業を併せて行う必要があるが、除去、収集は開放空間で行うと皮が飛散して非効率であ

る。そこで、入口に圧縮空気の噴射ノズルを備えたダクトをリニアスライダ(マツタメ(株) KM45A)のスライダに固定した可動式の皮剥きダクトを設け、剥き始め位置として判定した任意の場所にノズルが来るまで前進し、そこから圧縮空気を噴射しながらダクトを後退させることで、剥離後の皮をダクト内の気流によって搬送、除去する自動皮剥き機構を考案した(松本, 2000; 図8, 図9)。これにより、皮剥きダクトの排出口側に集塵部を設けることで効率よく剥離後の皮を収集できる。

前述の光電センサによる太さ判別と組み合わせ、太さに応じて圧縮空気の噴射圧力を加減することにより、皮剥き時のねぎの破損を抑制することができ、製品歩留まり

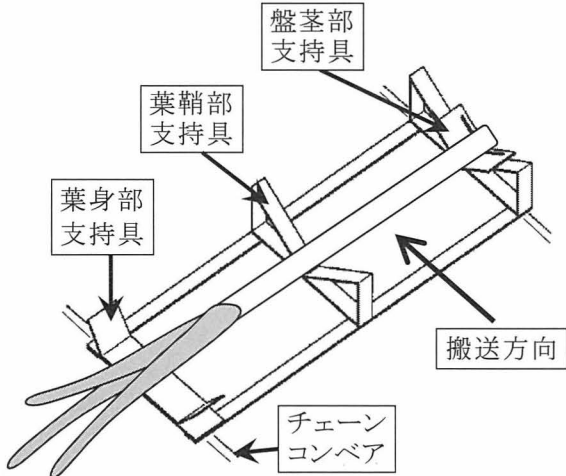


図6 搬送コンベアに設けたパレットの概要

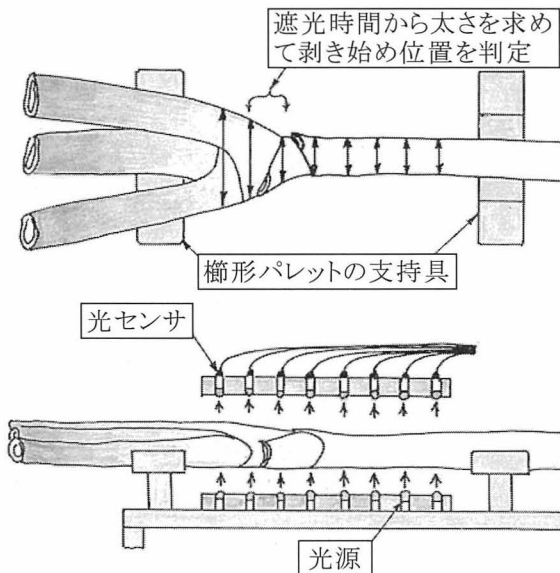


図7 皮の剥き始め位置判定手法の概要図

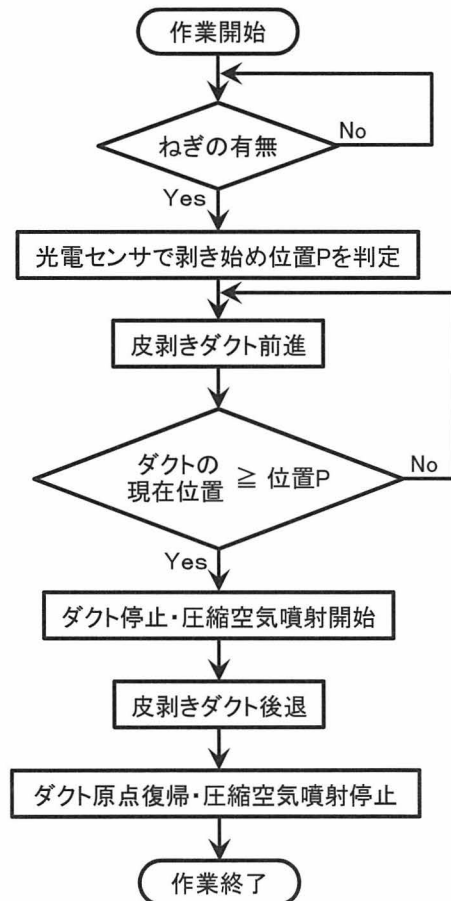


図9 自動皮剥き機構の動作フロー

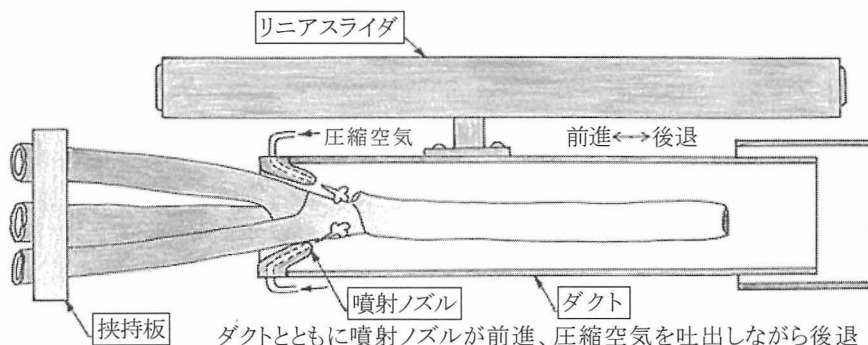


図8 自動皮剥き機構の概要図

の向上に寄与できると考えた。なお、ダクト入口の左右に設けたノズルの間隔は約6 cmであることから、曲がりの大きなねぎは予め供給段階で排除することが望ましい。

試作機および試験方法

1. 試作機の概要

考案した自動根切り機構と自動皮剥き機構を搭載した全自動長ねぎ調製機の試作機を製作した（図10）。試作機は、間欠移動する搬送コンベアでねぎを水平方向に搬送し、その上流側から順に供給部、根切り部、皮剥き部、葉切り部を設けることで調製作業を行う。根切り部、皮剥き部ともに1工程に約4秒を要することから、搬送コンベアは自身の稼働時間を含めた約5秒間隔で間欠運転する。試作機は供給者1名で調製作業が可能であるため、最大処理能力は約720本/(h・人)となる。

供給部と根切り部の間には光電センサが設けられ、パレット上のねぎの有無および葉鞘部の太さを計測する。ねぎの有無の情報は、下流側の根切り部、皮剥き部の動作のトリガ信号として用い、作業者が前処理作業を所定時間内で行えなかった空パレットを通過させ、作業時間の短縮を図った。

皮剥き部の直前に剥き始め位置を自動判定する光電センサ群を設け、皮剥きダクトの挿入深さを決定する。これにより精度向上および製品歩留まりの向上を図った。なお、皮剥きの自動化に目途が立ったことから、騒音源である皮剥き部全体を防音壁で覆い、作業者耳元騒音の低減効果を併せて検証することとした。

皮剥き部の下流側に葉切り用の円盤刃を設けた。盤茎部の切断面を基点として、各産地で定められている出荷規格に応じて円盤刃の作用位置を前後させることで、所定の長さに仕上げることができる。

2. 試験方法

試作機の作業能率および精度を調査するために、夏ねぎ産地である茨城県岩井市（現 坂東市）の生産法人に

おいて現地実証を行った。

供試材料は、品種「長悦」、供試数2990本、作物条件(n=40)は葉数7.4枚(CV=21.5%)、株重213.6g(同22.2%)、全長102.2cm(同6.4%)、葉鞘長30.4cm(同8.3%)、葉鞘径2.0cm(同9.6%)であった。

調査項目は、作業能率、作業精度(根切り精度、皮剥き精度および製品率)と作業時騒音とした。

作業能率は、供試本数を所要時間で除し1時間当たりの処理本数とした。

作業精度のうち根切り精度は、処理後のねぎを観察してその過不足を判定して、適正に切断された本数を供試本数で除してその割合を求めた。また、皮剥き精度も同様に、観察から適正に剥皮された割合を求めた。さらに、皮剥き作業などで生じた損傷本数を除いた出荷可能本数を処理本数で除すことで製品率を求めた。

作業時騒音は、騒音計(リオン(株)NA-24)をカメラ用三脚に高さ1.5mで固定し、皮剥き作業ごと(圧縮空気が噴射されている間)のピーク値を記録してその平均を求めて評価した。

結果および考察

1. 作業能率

試作機を現地実証に供し、供給者1名で調製作業を行った結果、作業能率は408～563本/(h・人)とばらつきがあるものの、平均すると499本/(h・人)であった(表)。

実証を行った生産法人において熟練作業者による慣行作業を調査した結果、包丁を用いた根切りが平均3.1s/(本・人)(n=219)、市販の皮剥き機(株)クボタKF-62)による皮剥きが平均7.8s/(本・人)(n=164)であったことから、慣行作業の能率は330本/(h・人)と求められた。そのため、試作機の作業能率は慣行に比べ1.2～1.7倍(平均で1.5倍)となり、能率向上が図られることを確認した。

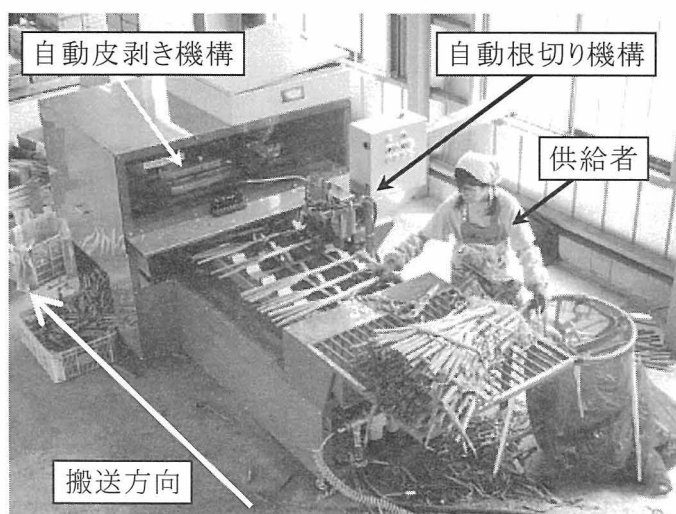


図10 試作機の外観と主要諸元

全長(m)	3.2
全幅(m)	2.0
全高(m)	1.7
質量(kg)	600
適応コンプレッサ(kW)	11
最大処理能力(本/h)	720
根切り位置判定手法	透過型光電センサによる
皮剥き始め位置判定手法	自動判定

表 現地実証における能率および精度の調査結果

人員 (名)	品種	試供本数 (本)	作業時間 (min)	作業能率 (本/h)	根切り			皮剥き			損傷 (本)	製品率 (%)
					適正	不足	過ぎ	適正	不足	過ぎ		
1	長悦	536	-	-	491	11	0	407	42	53	34	93.7
					91.6	2.1	0.0	75.9	7.8	9.9	6.3	
		333	-	-	305	8	0	269	25	19	20	94.0
					91.6	2.4	0.0	80.8	7.5	5.7	6.0	
		277	32	519	-	-	-	-	-	-	-	-
		517	68	456	-	-	-	-	-	-	-	-
		319	35	547	-	-	-	-	-	-	-	-
		278	37	451	273	0	4	246	18	13	1	99.6
		98.2	0.0	1.4	88.5	6.5	4.7	0.4				
		163	24	408	-	-	-	-	-	-	-	-
		385	41	563	-	-	-	-	-	-	-	-
		182	20	546	-	-	-	-	-	-	-	-
計	2 990	平均	499	93.8	1.5	0.5	81.7	7.3	6.8	4.2	95.8	

※上段は本数，下段は作業精度 [%] を示す。

試作機を用いた調製作業は、作業員1名がねぎの葉を3ないし4枚に残す前処理を行った後、パレット上へねぎを置くだけの単純作業であることから、経験が浅い雇用労働者などでも熟練者以上の作業能率で調製作業が可能である。

試作機の最大処理能力は約720本/(h・人)であることから、現地実証における搬送コンベア上のねぎの充填率は57～78% (平均で69%)であった。作業員が前処理作業に慣れ、全てのパレットへねぎを供給できるようになれば、慣行の2倍の能率で調製作業が行える可能性が示された。

2. 作業精度

試作機の根切り精度 (適切率) は93.8% (n=1147)、皮剥き精度 (適剥き率) は81.7% (同上)、製品率は95.8%であった (表)。なお、根切り精度、皮剥き精度ともに、供給本数を母数とした割合で求めており、適正と過不足の本数を加算すると製品率と等しくなる。

作業能率と同様に実証を行った生産法人において熟練作業員による慣行作業を調査した結果、適剥き率は91.3% (n=312)であった。慣行作業は手作業のため皮剥きの過不足は発生せず、適剥き以外は損傷と考えられることから、製品率は適剥き率と等しく91.3%となる。なお、根切りの適切率については、実際に皮剥きを行わないとその深浅は判別しづらいことから調査は行わなかったが、試作機は熟練作業員とほぼ同等の作業精度を有すると判断した。

3. 作業時騒音

全自動調製機は供給者1名で作業をすることから、供給者の耳元騒音を調査したところ、市販機を用いた慣行作業は約100dB(A)であったのに対し、87dB(A)まで低減可能であった。87dB(A)の騒音レベルでは慣行作業と同様にイヤマフの装着が望ましいが、騒音の長時間

暴露による難聴などの障害発生を抑制できる効果を有することを確認した。

結 語

長ねぎ調製作業の省力化を目的とした自動根切り機構、自動皮剥き機構を開発して、これらを組み込んだ全自動長ねぎ調製機の試作機を製作した。

試作機を現地実証に供した結果、作業能率は約500本/(h・人)、根切りの適切率は約94%、皮剥きの適剥き率は約91%、製品率は約96%であった。熟練作業員による慣行作業と比較して、作業能率は約1.5倍、かつ作業精度はほぼ同等の性能を有することを明らかにした。また、作業時の供給者の耳元騒音を87dB(A)まで低減でき、難聴などの障害発生を抑制する効果を有することを確認した。

全自動長ねぎ調製機は2002年に市販化され、長ねぎ生産の省力化に貢献している。

謝 辞

本研究は農林水産省の「21世紀型農業機械等緊急開発事業」(通称:21緊プロ)の「長ねぎ調製装置の開発」課題において、(株)マツモトおよび(株)ちくし号農機製作所と共同開発したものである。また、現地実証においては茨城県農業総合センター農業研究所、(有)なががわファームより多大なご協力を賜った。ここに関係各位のご協力に感謝の意を表します。

引用文献

- 藤岡 修・大森定夫・松本 弘 (2003) : 長葱の切断処理装置, 特許第3502891号。
 藤岡 修・大森定夫・宮浦友宏 (2004) : 長ねぎの根切り装置, 特許第3600908号。

- 今村幸稔 (1999) : 野菜類の太さ測定装置および太さ階層別分類選別装置, 特許第 3002644 号.
- 小橋健志・佐藤豊典・小田 稔・松尾泰樹・小淵敏之・津賀幸之介・塚本茂善・岡安 泉 (2006) : ねぎ収穫機, 特許第 3868615 号.
- 松尾泰樹・小田 稔・竹久淳子・津賀幸之介・塚本茂善・岡安 泉 (2006) : ねぎ収穫機, 特許第 3868616 号.
- 松本 弘 (1998) : 長葱の切断・皮はぎ連続処理機, 特許第 2860638 号.
- 松本 弘 (2000) : 長葱の皮剥処理方法, 特許第 3127396 号.
- 松本 弘 (2003) : 長葱の皮むき機, 特許第 3498180 号.
- 森井俊明 (2000) : 長ねぎの根切り位置検出方法および根切り位置検出装置, 特開 2000-287663.
- 農林水産省大臣官房統計情報部 (2003) : 1 野菜 (2) 農業経営収支・分析指標・労働時間 (一戸当たり) ク ねぎ, 平成 13 年産野菜・果樹品目別経営統計, 23.
- 農林水産省大臣官房統計部 (2015) : 都道府県別の作付面積, 10 a 当たり収量, 収穫量及び出荷量 (ねぎ計), 平成 25 年産野菜生産出荷統計, 20.
- 斎藤 聡・渡辺 健・中島和男・高橋米一 (2003) : 長ねぎ処理装置, 特許第 3469506 号.
- 笹尾 彰・米村純一・吉田政雄 (1990a) : ネギ皮むき機作業の研究 (第 3 報) —ネギ皮むき機の騒音特性, 農作業研究, 25 (3), 222-227.
- 笹尾 彰・米村純一・吉田政雄 (1990b) : ネギ皮むき機作業の研究 (第 4 報) —ネギ皮むき機の防音装置, 農作業研究, 25 (3), 228-235.
- 世利 崇 (2005) : ネギ用切断機, 特許第 3645344 号.
- 植賀睦夫 (1998) : 葱の皮むき装置, 特許第 2863685 号.

Development of Automatic Welsh Onion Trimmer (Part 1) —Development of Automatic Devices for Cutting Root and Peeling—

Osamu FUJIOKA^{*1}, Sadao OMORI^{*1}, Hiroshi MATSUMOTO^{*2} and Tomoaki KOGURE^{*2}

^{*1} Institute of Agricultural Machinery, NARO, Saitama 331-8537

^{*2} MATSUMOTO Co., Ltd., Takasaki 370-1201

Abstract

In welsch onion production, preparation time before shipment occupies about one third of total working hours. Therefore, we developed an automatic root cutting and peeling mechanism to save labor and implemented these mechanism into a prototype.

As a result of field test using the prototype, the work efficiency was about 500 pieces per hour. As for the rate of precise root cutting was about 94 %, the rate of precise peeling was about 91 % and the rate of shippable pieces were about 96 %. The work efficiency of the prototype was about 1.5 times compare to an expert worker, precise workability was about equal. The prototype could reduce the noise of peeling device to 87 dB(A) from about 100 dB(A). We confirmed that had a soundproofing effect than normally used peeler.

The joint development company has started marketing of automatic welsch onion trimmer on the basis of the prototype in 2002.

Keywords: welsch onion, root cutting, transmission optical sensor, peeling, compressed air, automatic device