

葉茎菜類用調製装置に関する開発研究

2016年2月

藤岡 修

葉茎菜類用調製装置に関する開発研究

筑波大学大学院
生命環境科学研究科

博士（農学）学位論文

藤岡 修

目 次

第1章 序論	1
1.1 世界の食料事情から見た我が国の野菜生産	1
1.2 野菜作における作業別の労働生産性から見た機械化の動向	3
1.2.1 野菜作における収穫用機械の現状ならびに研究動向	5
1.2.2 野菜作における調製用機械の現状ならびに研究動向	7
1.2.3 野菜作における選別用機械の現状ならびに研究動向	9
1.3 野菜作における品目別の労働生産性から見た機械化の必要性	10
1.3.1 葉茎菜類における調製・選別工程の機械化の必要性	12
1.3.2 長ネギの調製・選別工程の機械化の必要性	13
1.4 本研究の目的	17
第2章 高能率化に向けた全自動長ネギ調製機の開発	19
2.1 はじめに	19
2.2 全自動長ネギ調製機の要素技術の開発	19
2.2.1 自動根部切断機構の開発	19
2.2.2 自動剥皮機構の開発	23
1) 剥皮作業の自動化に関する検討	23
2) 剥皮開始位置の自動判定に関する検討	26
2.3 全自動長ネギ調製機の開発	29
2.3.1 全自動長ネギ調製機の構成	29
2.3.2 試験方法	32
2.3.3 試験結果および考察	32
1) 作業能率	32
2) 作業精度	33
3) 作業時騒音	33
2.4 高能率型全自動長ネギ調製機の開発	34
2.4.1 高能率型全自動長ネギ調製機の構成	34
2.4.2 試験方法	37
2.4.3 試験結果および考察	38
1) 作業能率	38
2) 作業精度	41
3) 作業時騒音	42

2.4.4	施設化に向けた検討	43
2.4.5	調査結果および考察	45
1)	作業能率	45
2)	作業時騒音	46
2.5	まとめ	48
第3章	省エネルギー化に向けた高効率長ネギ剥皮選別機の開発	50
3.1	はじめに	50
3.2	高効率長ネギ剥皮選別機の要素技術の開発	50
3.2.1	高効率剥皮用ノズルの開発	50
3.2.2	太さ判別装置の開発	58
3.3	高効率長ネギ剥皮選別機の開発	62
3.3.1	高効率長ネギ剥皮選別機の構成	62
3.3.2	試験方法	64
3.3.3	試験結果および考察	65
3.3.4	実用化に向けた改良	69
3.4	まとめ	71
第4章	総合考察	73
4.1	高能率化に向けた全自動長ネギ調製機の開発	75
4.2	省エネルギー化に向けた高効率長ネギ剥皮選別機の開発	77
4.3	開発機の実用化	78
4.4	開発機の効果・インパクト	79
4.5	開発機の今後の展望	79
Summary		81
謝辞		90
参考文献		91

図 一 覧

- 図 1-1 主要先進国における食料自給率の推移
- 図 1-2 日本の食料自給率の年次推移
- 図 1-3 指定野菜における作業別労働時間の割合
- 図 1-4 指定野菜における収穫以降の作業に要する平均投下労働時間
- 図 1-5 指定野菜における収穫以降の作業が全作業時間に占める割合
- 図 1-6 指定野菜における全作業時間に占める収穫以降の作業の割合
- 図 1-7 コメと指定野菜（うち根菜類と葉茎菜類）における投下労働時間の比較
- 図 2-1 自動根部切断機構の概要
- 図 2-2 自動根部切断機構の動作フロー
- 図 2-3 半自動調製機（市販機）の構成概要
- 図 2-4 全自動調製機（開発機）の構成概要
- 図 2-5 自動剥皮機構の概要
- 図 2-6 搬送コンベアに設けたパレットの概要
- 図 2-7 剥皮開始位置判定装置の概要
- 図 2-8 自動剥皮機構の動作フロー
- 図 2-9 全自動長ネギ調製機（試作1号機）の作業フロー
- 図 2-10 全自動長ネギ調製機（試作1号機）の処理フロー
- 図 2-11 全自動長ネギ調製機（試作2号機）の構成概要
- 図 2-12 自動化機構の連数と作業能率との関係 ①
- 図 2-13 作業能率と製品率との関係
- 図 2-14 自動剥皮機構の連数と作業者耳元騒音との関係 ①
- 図 2-15 自動化機構の連数と作業能率との関係 ②
- 図 2-16 自動剥皮機構の連数と作業者耳元騒音との関係 ②
- 図 3-1 ノズルの種類による噴射圧力分布の差違
- 図 3-2 ノズルの種類による空気噴射時間の差違
- 図 3-3 剥皮作業時の作業者耳元騒音
- 図 3-4 複数の光電センサによる太さ判別装置の構成概要
- 図 3-5 剥皮作業時の作業者耳元騒音
- 図 3-6 エアコンプレッサ出力と剥皮作業能率との関係
- 図 3-7 エアコンプレッサ出力と調製作業能率（根部切断および剥皮）との関係
- 図 3-8 ノズル加温装置

表 一 覧

- 表 1-1 諸外国の品目別自給率（2011年）
- 表 1-2 指定野菜の生産に要する投下労働時間（2001年産）
- 表 1-3 騒音レベル（A特性音圧レベル）による許容基準
- 表 2-1 全自動長ネギ調製機（試作1号機）の主要諸元
- 表 2-2 試作1号機の現地実証試験の結果
- 表 2-3 全自動長ネギ調製機（試作2号機）の主要諸元
- 表 2-4 試作2号機の現地実証に供したネギの作物条件
- 表 2-5 試作2号機の現地実証試験の結果（秋田）

表 2-6	試作 2 号機の現地実証試験の結果（大分）
表 2-7	全自動長ネギ調製機（試作 3 号機）の主要諸元
表 3-1	剥皮作業能率調査の結果
表 3-2	太さ判別装置による判別精度 ①
表 3-3	太さ判別装置による判別精度 ②
表 3-4	高効率長ネギ剥皮選別機（試作 3 号機）の主要諸元
表 3-5	剥皮作業能率と空気噴射量，電力消費量の調査結果
表 3-6	機械判別と目視判別との精度比較

写真 一覧

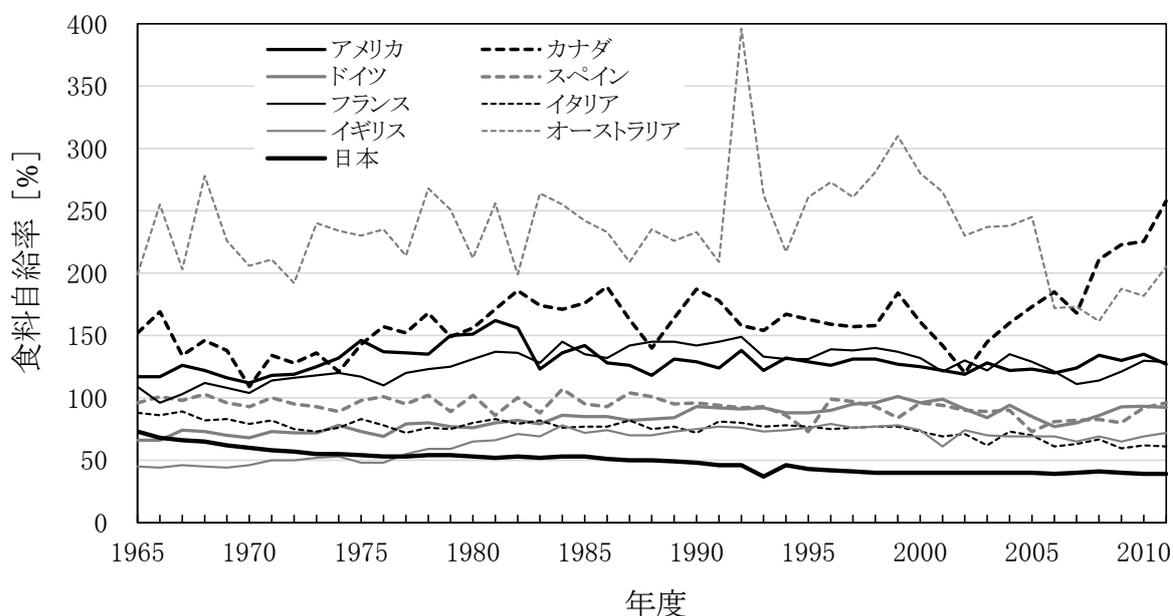
写真 1-1	根部切断の深浅による外観の差違
写真 2-1	葉鞘部に照射した光がネギ内部を透過する様子
写真 2-2	自動根部切断機構による根部切断の様子（暗視画像）
写真 2-3	自動剥皮機構の外観
写真 2-4	剥皮開始位置判定装置の外観
写真 2-5	全自動長ネギ調製機（試作 1 号機）の外観
写真 2-6	全自動長ネギ調製機（試作 2 号機）の外観
写真 2-7	多連化した自動化機構
写真 2-8	2 号機の現地実証における供給作業の様子
写真 2-9	全自動長ネギ調製機（試作 3 号機）の外観
写真 2-10	全自動長ネギ調製機用選別機
写真 2-11	自動剥皮機構排出口に設けた残渣収集用コンテナ
写真 3-1	工業用回転ノズル
写真 3-2	慣行剥皮用ノズル
写真 3-3	面圧力測定システム
写真 3-4	高効率長ネギ剥皮選別機（試作 1 号機）の外観
写真 3-5	開発した高効率剥皮用ノズル
写真 3-6	高効率長ネギ剥皮選別機（試作 2 号機）の外観
写真 3-7	光電センサ群を用いた太さ判別装置
写真 3-8	レーザ外径計測器を用いた太さ判別装置
写真 3-9	高効率長ネギ剥皮選別機（試作 3 号機）の外観
写真 3-10	エリア式光電センサを用いた太さ判別装置
写真 3-11	太さ判別結果表示パネル

第1章 序論

1.1 世界の食料事情から見た我が国の野菜生産

食料は人間の生命維持に欠かせないものであるだけでなく、健康で充実した生活を送る上で重要なものである。そのような食品の多くを輸入に頼っている日本では、国内外の様々な要因によって影響を受けない安定した食料供給対策を講じる必要があり、このことは食料・農業・農村基本法（農林水産省，1999）の第2条（食料の安定供給の確保）および第19条（不測時における食料安全保障）にも謳われている。

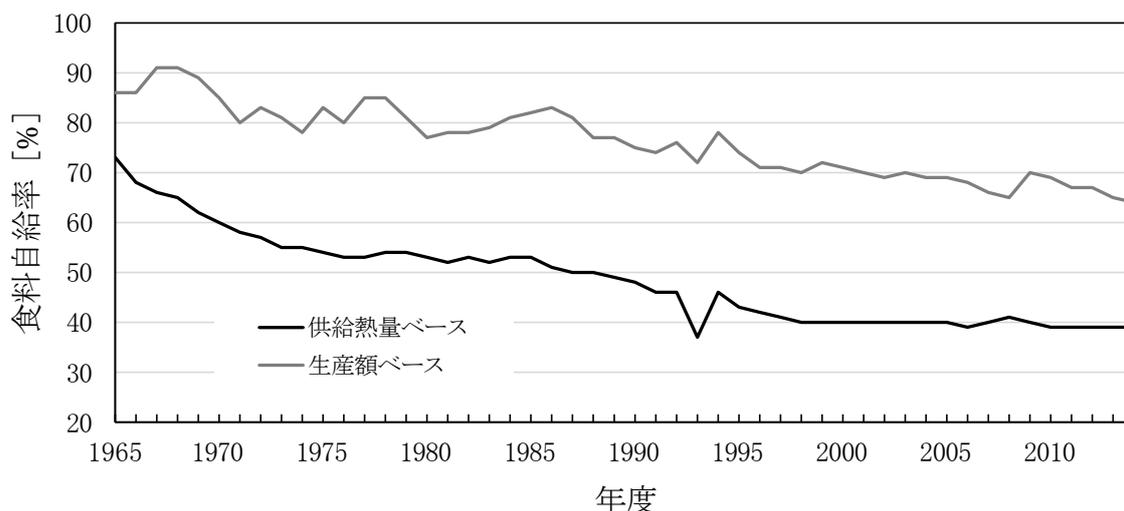
食料の安全保障を考える上で、一つの重要な指標となるのが食料自給率である。食料自給率は、国内の食料消費が内国産でどの程度賄われているかを示す指標と定義されている（農林水産省，2015a）。供給熱量ベースの食料自給率を主要先進国間で比較したグラフを図1-1に示す（農林水産省，2015b）。2011年度のデータでは、アメリカが127%，カナダが258%，フランスが129%など、いわゆる農業大国においては食料自給率が100%を超えていることがわかる。その他の先進国においても、ドイツが92%，イギリスが72%，イタリアが61%と比較的高い水準を有する一方、日本は39%に留まっており、食料の安全保障の観点から見ると特異な状況にある。



（諸外国・地域の食料自給率(カロリーベース)の推移(農林水産省，2015b)より作成)

図1-1 主要先進国における食料自給率の推移

2014年度の食料需給表（農林水産省，2015c）によると，日本の食料自給率は供給熱量ベースで39%，生産額ベースで64%となっている。図1-2のように，50年前の1965年度には，それぞれ73%，86%であったことから見るとその低下度合いは著しい。特に，供給熱量ベースでの低下が大きい一因としては，食生活の西洋化に伴って肉食が好まれるようになったものの，それらの肥育に当たっては専ら輸入飼料が投与されてきたことが挙げられる。それを裏付けるように，飼料自給率は1965年度の55%から，2014年度には27%まで低下している。我が国の食料自給率を向上させるためには，国産飼料の自給率向上が不可欠であることから，現在，官民を挙げた取り組みが行われており，今後の動向が注目されている（農林水産省，2009；志藤ら，2002；志藤ら，2004；志藤ら，2005；志藤ら，2010；橘ら，2014a；橘ら，2014b）。



(平成26年度食料自給率について(農林水産省, 2015a)より作成)

図1-2 日本の食料自給率の年次推移

一方，野菜の食料自給率は，1965年度では100%に達しており国内自給が実現されていた。しかし，年を追うごとに他品目と同様に減少傾向を示し，2014年度には80%まで低下した。諸外国の品目別自給率（農林水産省，2011）によると，先進諸国における野菜の食料自給率は，アメリカ91%，カナダ55%，フランス78%，ドイツ41%，イギリス40%，イタリア136%となっており，日本の79%という数字は決して低い値ではない（表1-1）。それにも拘らず全体の食料自給率が39%という数字になる一因

は、食料自給率が供給熱量ベースで換算されていることにある。野菜は多量の水分を含有するため、一般的に熱量が低いことが知られている。生命維持のため、すなわちエネルギーの獲得という目的からすれば、野菜は肉類に劣っている。しかし、野菜は食物繊維やビタミン、ミネラルといった生活習慣病を防止する成分の重要な摂取源であることから、健康を維持するためには欠かすことのできない食料の一種である(丸山, 2012)。

表 1-1 諸外国の品目別自給率(2011 年)
(諸外国の品目別自給率(農林水産省, 2011)より作成)

(単位:%)

	穀類	いも類	豆類	野菜類	果実類	肉類	卵類	牛乳・乳製品	魚介類	砂糖類	油脂類
アメリカ	118	93	165	91	77	114	103	104	69	79	97
カナダ	202	124	293	55	16	131	95	92	98	11	231
ドイツ	103	124	7	41	28	113	70	119	21	141	76
スペイン	73	61	11	175	135	128	115	75	56	55	99
フランス	176	127	86	78	62	102	98	128	29	212	99
イタリア	76	54	33	136	108	79	100	66	22	23	46
イギリス	101	87	47	40	5	69	91	81	50	59	51
オーストラリア	291	81	229	81	82	147	99	142	29	184	124
日本	28	75	9	79	38	54	95	65	52	26	13

(資料)農林水産省「食料需給表」、FAO“Food Balance Sheets”を基に農林水産省で試算した。

(注)1. 穀類のうち、米については玄米に換算している。

2. 牛乳・乳製品については、生乳換算によるものであり、バターを含んでいる。

3. 魚介類については、飼肥料も含む魚介類全体についての自給率である。

1.2 野菜作における作業別の労働生産性から見た機械化の動向

農林水産省では、国民生活において重要な野菜 14 品目を指定野菜として定め、これらを生産する産地を指定することで生産振興を図っている。指定野菜には、根菜類のダイコン、ニンジン、バレイショ、サトイモ、葉茎菜類のハクサイ、キャベツ、ホウレンソウ、レタス、ネギ、タマネギ、果菜類のキュウリ、ナス、トマト、ピーマンがある。指定野菜の 14 品目は、2014 年産の数字を見ると野菜生産量の 66 %、産出額の 65 %を占めており、我が国の野菜生産の現状を代表する品目群である。したがって、これら 14 品目の状況を調査することにより、日本の野菜生産における諸課題の解決に向けた検討を行うことができると考える。

指定野菜14品目の生産に要する投下労働時間を表1-2に示す(農林水産省, 2001a)。品目によってばらつきは見られるが、多くの品目で収穫以降の収穫・調製・出荷労働(主に選別)といった作業に多くの時間を要していることがわかる。これを全品目の平均で見ると、収穫に35%, 調製に7%, 出荷に14%となり、収穫以降の作業で全体の56%と半分以上の時間を要していることから、これらの作業の省力化が生産現場では強く要望されている(図1-3)。

表 1-2 指定野菜の生産に要する投下労働時間(2001 年産)

(平成 13 年産品目別経営統計(農林水産省, 2001a)より作成)

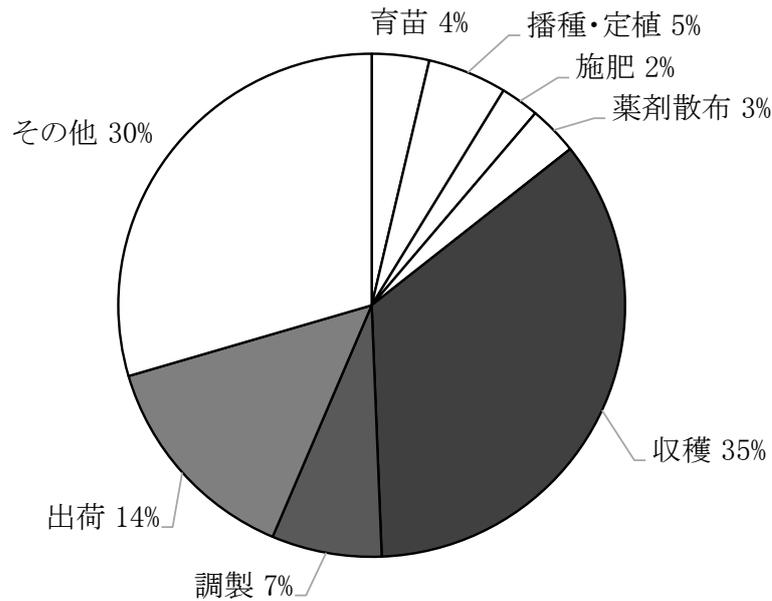
(単位:h/10a)

【根菜類】	バレイショ※	サトイモ	ダイコン	ニンジン
育苗(種子予措)	0.7	7.5	-	-
は種・定植	5.7	17.9	5.4	4.7
施肥	2.5	4.6	3.3	3.5
薬剤散布	5.2	2.4	4.4	2.8
収穫	12.9	27.6	30.8	24.6
調製	-	32.4	18.0	19.2
出荷労働	2.9	34.4	22.8	24.0
その他の作業	1.4	33.8	24.4	38.5
合計	31.3	160.6	109.0	117.3

※バレイショは2004年産の数字を使用した

【葉茎菜類】	タマネギ	ネギ	キャベツ	ハクサイ	レタス	ホウレンソウ
育苗	8.0	17.7	5.6	5.9	11.9	-
は種・定植	24.0	44.6	15.4	16.0	21.0	9.1
施肥	2.8	12.4	5.2	6.4	3.5	4.5
薬剤散布	3.9	18.3	5.8	8.6	4.8	2.8
収穫	16.5	48.5	23.4	30.6	32.0	68.2
調製	12.1	139.8	2.8	8.6	13.4	98.5
出荷労働	21.1	85.0	18.1	23.3	42.7	62.2
その他の作業	16.3	51.0	13.8	20.8	32.0	21.4
合計	104.8	417.3	90.0	120.2	161.3	266.5

【果菜類】	トマト	ナス	キュウリ	ピーマン
育苗	62.7	22.4	32.1	37.1
は種・定植	48.0	28.4	38.5	35.7
施肥	22.3	32.8	25.5	24.0
薬剤散布	41.0	39.0	26.2	31.6
収穫	282.0	536.9	419.3	628.5
調製	20.0	46.4	13.1	13.2
出荷労働	98.0	136.8	241.0	63.5
その他の作業	333.2	601.9	366.1	284.9
合計	907.2	1444.6	1162.0	1118.4



(平成 13 年産品目別経営統計(農林水産省, 2001a)より作成)

図 1-3 指定野菜における作業別労働時間の割合

多くの作業時間を要するという事は、作業可能な生産面積が制限されて粗収入の増大が見込まれず、かつ雇用労力などが必要となり経営費が増大することから、所得の減少を招くこととなる。収益性の改善を図るためには作業時間の短縮が不可欠であり、そのための有効な対策として作業の機械化が挙げられる。現在は国内外を問わず、野菜作、特に省力化に向けた要望の強い収穫以降の作業において、機械開発が積極的に進められており、実用化された事例も多く見られるようになった。

1.2.1 野菜作における収穫用機械の現状ならびに研究動向

野菜類の収穫作業は、機械化が進んだ根菜類、専ら手作業で行われることが多い葉茎菜類と果菜類に大別される。その理由は、根菜類は収穫部位が地中にあり、外皮に覆われていることから比較的損傷を受けにくいことが挙げられる。一方、葉茎菜類と果菜類は、一部の葉茎菜類を除いて収穫部位が地表面または地上にあり、根菜類と比べると軟弱で損傷を受けやすいことから、収穫作業の機械化は一部の品目にとどまっている。

根菜類は一般的に一斉収穫が可能とされ、かつ収穫物のハンドリングが比較的容易であることから、機械化一貫体系が確立された作目が多い。特に欧米では、生産量の

多いバレイショやテンサイにおいて大型の収穫機械が開発、実用化されている (GRIMME, 2016)。バレイショ収穫機の歴史は古く、1896年に公開された収穫機に係る特許 (Radermachee, 1896) には、現在の収穫機と基本構造が同じである主要な構成要素を既に有している。コンテナを使用するステージ形、収容タンクを備えるタンカー形、伴走車へ積み込むアンローディング形に大別され、国内ではけん引式のタンカー形が主流である (日本農業機械化協会, 2000; 東洋農機(株), 2016)。ニンジンでは、振動刃を地中に入れて株元の土を膨軟にした後に、茎葉をベルトで挟持して引き上げる収穫機が実用化されている (SIMON, 2016)。ニンジン収穫機は日本においても、フレキシブルコンテナバッグなどに収容する自走式収穫機が農機メーカー各社から実用化されている。ダイコンは、ニンジン収穫機の収穫機構を応用した自走式収穫機が近年、開発、実用化された (生研機構, 1998a; 金光ら, 1999)。また、掘り取りとともに親芋と子芋を自動的に分離できる自走式収穫機 (鹿児島県, 2003; 愛媛県, 2009) なども開発された。

葉茎菜類には、収穫部位が地中に埋まっていたダイコンやニンジンなどの根菜類と同様に浮かし掘りをして収穫するタマネギ、土寄せしてできた畝に埋まった収穫部位を畝ごと掘り起こして収穫する長ネギ、地表に生育した葉部を地際で刈り取って収穫するキャベツやレタス、ハウレンソウなど多種多様な品目が存在する。タマネギや長ネギでは、根菜類のダイコンやニンジンと同様に、軟質のゴムベルトで葉部を挟持して引き抜く収穫機構が利用されている。なお、この収穫機構は1911年に公開されたタマネギ収穫機に係る発明 (Olson, 1911) において既に利用されており、根菜類をはじめとした多くの品目で適用される基本的な収穫機構である。根菜類と同様に欧米では大型機械が開発、実用化されている (Asa-Lift, 2016)。しかし、欧米と日本とでは品種や栽培様式、圃場の規模などが異なることから、輸入機をそのまま国内で適用することは難しい。そのため、農林水産省の農業機械等緊急開発事業において、ハウレンソウ収穫機 (生研機構, 1998b; 諏澤ら, 1998)、ネギ収穫機 (生研機構, 1998c; 小淵, 2001)、タマネギ収穫機 (米谷ら, 2000) などが開発され、実用化が進められた。キャベツやレタスなど、収穫部位が地表面に位置する野菜の収穫用機械としては、茎部 (中肋) を地際で切断して収穫部位を軟質のゴムベルトで挟持して引き上げるキャベツ収穫機 (生研機構, 1995; 山本, 1997; 青木ら, 2012; 青木, 2013) が開発され、主に加工業務用途向けに普及が進んでいる。同様の収穫機構を有するハクサイ収穫機 (生研機構, 1998d) も開発、実用化されたが、普及には至らなかった。その理由としては、収穫作業のみが省力化されても、収穫物を圃場外へ持ち出す運搬作業が慣行のまま残されたため、作業全体で見ると省力化が図られなかったことが挙げられる。そのため、収穫物の運搬作業を省力化する開発研究が併せて行われ、自走式の野菜収穫機に自動追従する追従型野菜運搬車 (貝沼, 2006; 青木ら, 2009) が開発された。収穫部位が

キャベツやハクサイよりも軟弱なレタスについては、開発研究が行われたものの実用化には至っていない（鈴木ら，2001；鈴木ら，2003）。

果菜類は根菜類や葉茎菜類と比べて、収穫に多くの労働時間を要している。その理由は収穫機会が栽培期間中に複数回あり、作業が長期間にわたることが原因と考えられる。果菜類の収穫においては、着果位置の認識、収穫適期の判定を行う必要があり、作業は専ら人の目に頼る部分が多いため、これらの判断を自動化する開発研究が進められている。マシンビジョンを用いて画像を取得し、コンピュータで画像処理、解析を行うことで収穫物の位置、熟度などに基づく収穫の可否を判断するアルゴリズムの開発研究、収穫動作を多関節型のマニピュレータで行うロボット技術に関する開発研究などが行われ、キュウリ収穫ロボット（有馬ら，1994；Hentenら，2003）、ナス収穫ロボット（Hayashiら，2002a；林ら，2002b）、トマト収穫ロボット（Montaら，1998；太田ら，2004）、イチゴ収穫ロボット（Hayashiら，2010；山本，2012）などが開発された。多くは基礎研究レベルにとどまるが、そのうちイチゴ収穫ロボットについては、2014年に世界に先駆けて実用化された（坪田ら，2013）。

1.2.2 野菜作における調製用機械の現状ならびに研究動向

野菜の調製とは、茎や葉、根の不要な部分の除去を指すことが多く、広義には洗浄、清浄、選別、結束、包装なども含まれる。一般的に野菜は不整形であり、また、調製作業の良否が販売価格に直接影響を及ぼすため、専ら手作業で行われる事例が多い。調製機械は専用機が多く、個別農家向けの小型機から共同集出荷施設向けの大型機までである。なお、スイカやイチゴなどの果実の野菜や、トマトやナスなどの果菜類は比較的形が整っており、不要部除去はあまり行われていない（農業機械学会編，1996）。

不要部位を除去する調製作業は、専ら外観品質（見映え）を整えて商品価値を高める目的で行われるが、保蔵の前処理工程において、土壌などの付着による微生物汚染を防止する目的で、洗浄や剥皮を行うことの効果も報告されている（Thakurら，2000）。しかし、適切な衛生管理を伴って収穫、調製作業を行わないと、使用した切断用器具やコンテナなどが微生物汚染の原因となり得ることが指摘されている。泉（2011）は、キャベツとキュウリを対象とした調査を行い、いずれも土壌由来の腐敗原因細菌の付着が確認され、栽培中の潜在的汚染源として土壌と農業用水が挙げられるとともに、収穫時のキュウリでは収穫用具（軍手、コンテナ）からの交差汚染が起こることを確認した。なお、栽培中の農業用水および農薬の微生物制御法として、農薬登録された塩素系殺菌剤（ケミクロンG；最終有効塩素濃度 10 ppm）の添加を、また、収穫用具類の微生物制御法として、消毒用エタノール（濃度 70 %）の噴霧が提案され、その効果が確認されている。金子（1999）は、カット野菜における微生物汚染の実態調査を行い、製品はカット工程で使用される器具・機械などの環境を介して土壌由来細菌の

高度汚染を受けていることを明らかにした。危険要素は完全に排除することはできないことから、食品の安全性を確保するためには、微生物汚染に対する予防の取り組みが重要であることが提唱されている (Harris ら, 2002)。

根菜類では、根毛除去機や洗浄機、清浄機が用いられる。ダイコンの根毛除去機は、相対して回転する一対のローラなどに緩めに取り付けたナイロン製の糸刃を表面に作用させ、細根（根毛）を引きちぎる。サトイモの根毛除去機は、スリットが開いた網刃2枚を往復動させ、その上を搬送しながら根毛を除去する構造である。収穫後のダイコンやニンジンには表面に土壌や埃などが付着しており、これらを除去するために、ナイロン糸や馬毛、スポンジブラシなどでできたロールブラシと散水を併用した洗浄機が用いられる。また、ナガイモやレンコン、根ショウガなどの不整形な物の洗浄には噴射式洗浄機が用いられる。ネットコンベアなどで対象物を搬送しながら、下方、上方および側方より固定あるいは回転、揺動するノズルから高圧水を噴射して、水圧によって汚れを連続的に除去、洗浄する。清浄機は磨き機、研磨機とも呼ばれ、洗浄水を用いずに表面に付着した埃やゴミを除去する目的で用いられる。バレイショやカンショなどで用いられ、共同選別施設では防塵機と併用される。

葉茎菜類では、下葉除去機や清浄機、根葉切り機、剥皮機などが用いられる。ホウレンソウやコマツナでは下葉除去機が用いられる。下葉除去機は根菜類の根毛除去機と同様の構造で、不要な外葉（下葉）を対向する2枚のディスクの間にゴム紐を張った鼓状の回転体で引きちぎるもの、ブラシとローラを併設して下葉を掻き込んで引きちぎるものがある。後者については、従来は作業者が手でホウレンソウやコマツナの葉部を掴みながらローラに作用させていたものを、軟質のウレタンベルトの間に葉部を傷つけないように挟持し、そのまま水平方向に搬送しながら円盤刃による根部切断と、ブラシとローラによる下葉除去を連続で行うホウレンソウ調製機（松尾, 2000 ; 松尾ら, 2000）が開発され、普及が進んでいる。タマネギでは根葉切り機と清浄機が用いられる。タマネギには収穫後に乾燥、貯蔵したものを出荷する乾燥タマネギ体系と、貯蔵をせずに出荷する青切りタマネギ体系の2通りがあり、前者は出荷前に不要な根と葉を手作業で切除したのちに、ロールブラシ等を用いてタマネギの表面を研磨して、不要な外皮（薄皮）や土砂、汚れを除去する清浄機（玉磨き機）が利用される。清浄機は個別農家向けの小型機と、共同選果施設向けのライン組込型の大型機の2種類がある。根葉切り作業では、不要な根と葉の切除作業を行う個別農家向けの小型の根葉切り機が広く利用されている。乾燥、貯蔵工程を共同選果施設でまとめて行う取り組みが大規模産地で見られ、そのような体系での利用を想定して、相対して回転する一対のローラコンベアの間隙に茎葉および根を引き込みながら一定の向き、姿勢を保った状態でタマネギを搬送し、コンベア終端に設けた切断装置で根葉切りを高エネルギーで行うタマネギ調製装置（貝沼ら, 2011 ; 貝沼, 2012）が開発され、実用化された。

一方、青切りタマネギについては、乾燥工程を経ないことから表皮が軟弱で傷つきやすく機械化が難しかったが、近年、茎葉を引き込んで姿勢を安定させる搬送ローラの表面素材等に改良を施した自動調製機（西村ら，2012）が開発，実用化された。キャベツは収穫と同時に圃場で人手による中肋の切除と不要な外葉の除去が行われる。近年，収穫作業の省力化を目指して開発されたキャベツ収穫機を核とした機械収穫体系の構築が検討された時に，収穫後のキャベツを集出荷施設に持ち込み，施設内で調製作業をまとめて行う作業体系が試行され，機械化体系での利用を想定した高能率なキャベツ調製機（貝沼ら，2002）の開発研究が行われた。

1.2.3 野菜作における選別用機械の現状ならびに研究動向

野菜における出荷作業には，選別や結束，包装などが含まれ，そのうち選別は大きさや重さによって分級する階級選別と，外観や糖度などの内部品質で分級する等級選別の2種に大別される（農業機械学会編，1996）。

根菜類では，出荷基準が重量で規定されるものが多いことから，階級選別を行う重量選別機と形状選別機が主に用いられ，等級選別を行う内部品質選別機の一部が利用されている。バレイショやダイコン，ニンジンでは，搬送コンベアの下部に設けられたロードセルにより重量計測を行う重量選別機が用いられる。また，上方からラインカメラ等で撮像した面積から重量を推定するとともに，外観形状の評価を行う等階級選別機が大規模な共同選果施設を中心に用いられる。内部空洞（バレイショやダイコン）や内部障害（ダイコンのバーティシリウム黒点病症状など）の検出を目的とした可視・近赤外領域の光センサによる非破壊計測技術の研究事例（小宮山ら，2010）などが見られ，一部の選別施設に導入されている。

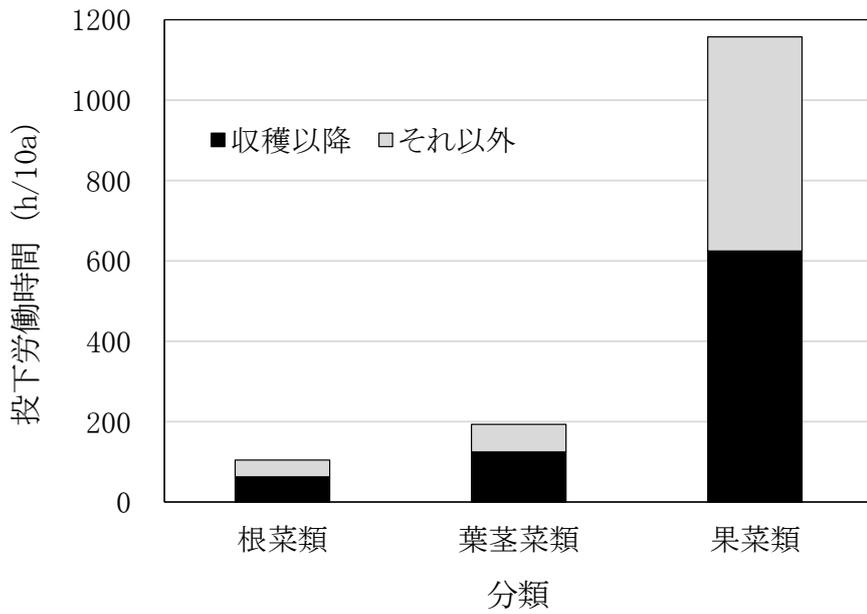
葉茎菜類は，タマネギなどの根菜類に近いものや，ハウレンソウやニラなどのいわゆる葉物野菜，その中間的な存在である長ネギなどの長尺野菜のように様々な性状を持つことから，出荷基準も重量や長さ，太さなど品目ごとに異なっている。葉物野菜は一般的に結束や包装を施して出荷されることから，結束機や包装機が広く用いられている。タマネギは根菜類と同様に重量選別が行われ，個別農家では搬送コンベアの下部に設けたばねばかりやロードセルを用いて予め設定した閾値に基づいて仕分ける選別機が用いられる。また，大規模な共同選別施設では，ふるいやロールなどの間隙を利用して大きさごとに階級選別が行われる。長ネギやアスパラガスは茎や葉鞘の太さが出荷基準に規定されることが多く，楕形のパレットを有する搬送コンベアに測定物を載せ，搬送経路上に設けられた透過型光電センサの光軸を測定物が遮る時間長を計測して，太さに換算，選別する自動選別機（今村，1999）が開発されている。また，共同選別施設での利用を想定して，複数台のカメラで撮影した画像を処理することで長さや太さ，外観品質などを高精度に自動判別する等階級選別装置（宮田ら，2002）

も開発されている。さらに、長ネギでは葉身部と葉鞘部の境目の濃淡（ぼけ）が等級選別の一指標となっており、これを評価する選別装置（重藤，2000）も開発された。ハウレンソウやニラは一定量をまとめた状態で重量などが規定されていることから、主にばねばかりなどを用いた人手による選別作業が行われ、後工程としてテープバンドを外周に巻き付ける結束機や、ビニルシートを袋状に成形して収容する包装機が用いられる。この一連の作業を省力化する目的で、包装機がビニルシートを袋状に成形する手前の工程にロードセルを組み込んだ計量部を設け、調製工程を経たハウレンソウやコマツナを作業者が計量部に載せるだけで、予め設定した重量に達した後に自動的に包装が行われる計量包装機（大森ら，2002）も開発された。

果菜類や果実的野菜では、外観品質と内部品質を評価する等級選別が行われる。トマトやキュウリ、ナスは主に共同選別施設において、搬送経路上に設けたカメラを用いて形や色の良否、傷、病虫害などを評価、検査する外部品質選別が行われる。外部品質選別技術はカンキツなどの果物でも利用されており、搬送中のカンキツ果実に紫外光を照射して腐敗部位の蛍光発色を捉えて選別を行う装置（Kondo ら，2009；小川ら，2011）が開発され、一部の共同選果施設で導入されている。また、イチゴやスイカでは、近赤外分光法を用いた糖度計測、打音や静電容量による内部空洞の検出などの内部品質選別が行われる。糖度計測は一部のイチゴ（山田ら，2010）やサクランボで行われ、モモやウンシュウミカンなどの果実では共同選果施設での利用が見られる。内部空洞検出はスイカ（古賀ら，1996；加藤，1999；相良，2003）において静電容量を用いた実施例が見られる。測定部に進入した果実に高周波電圧を印加して、その外径に応じて変化する静電容量から果実の体積を測定し、ロードセルで別途求めた果実の質量からその比重を求めて空洞果を検出する。また、近年ではイチゴ果実の硬度を光学的手法で非破壊測定する研究（柏寄ら，2009）も行われた。

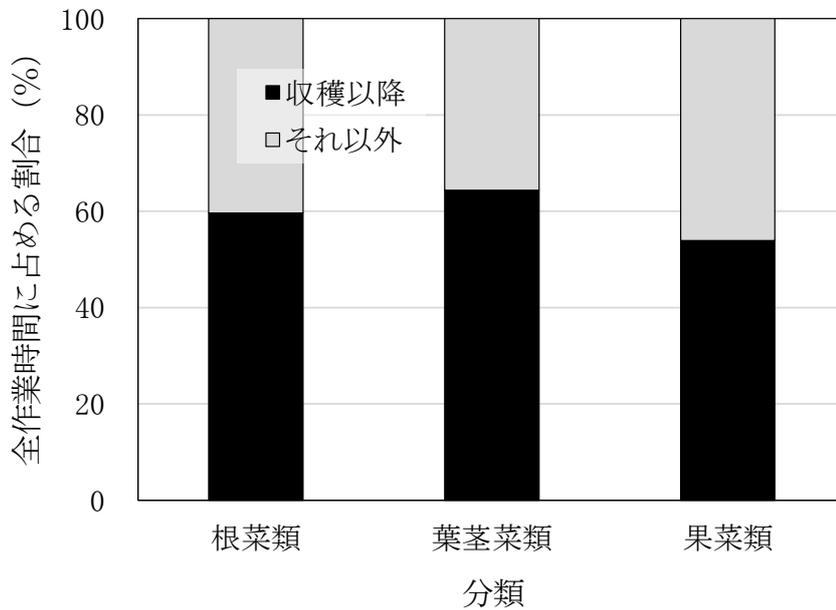
1.3 野菜作における品目別の労働生産性から見た機械化の必要性

指定野菜 14 品目の生産量および産出額の内訳を見ると、生産量においては葉茎菜類 44 %，根菜類 40 %，果菜類 16 %，産出額においては葉茎菜類が 41 %，根菜類が 22 %，果菜類が 37 %という割合になっており、なかでも葉茎菜類は我が国の野菜生産において重要な位置を占めているといえる（農林水産省，2015d；農畜産業振興機構，2015）。一方、前掲の表 1-2 および図 1-4 を見ると、葉茎菜類は収穫機会の多い果菜類を除くとより多くの労力を要していることがわかる。その内訳を見ると、収穫以降の作業が占める割合が根菜類では 60 %，葉茎菜類では 64 %，果菜類では 54 %であることから、葉茎菜類における収穫以降の作業を機械化することにより、投下労働時間に対する生産性を向上させることが喫緊の課題であるとわかる（図 1-5）。



(平成 13 年産品目別経営統計(農林水産省, 2001a)より作成)

図 1-4 指定野菜における収穫以降の作業に要する平均投下労働時間

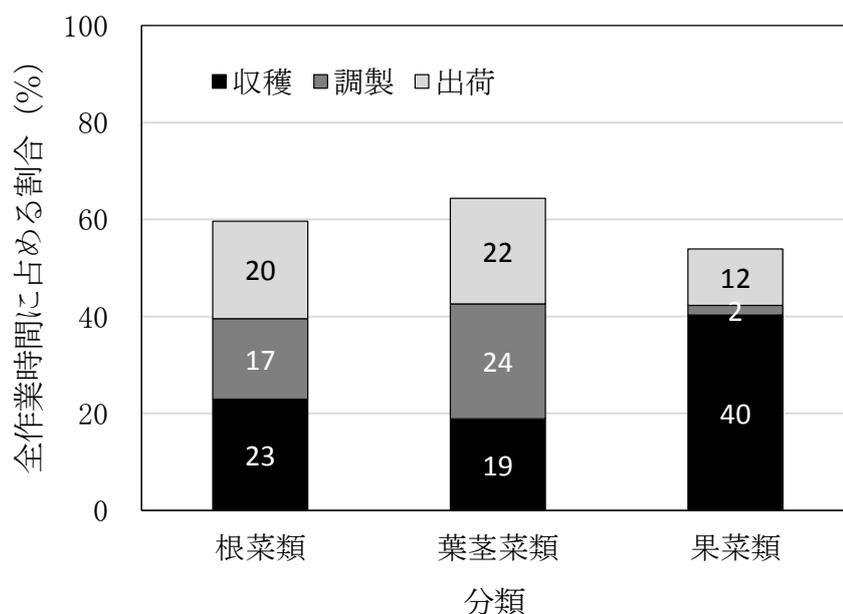


(平成 13 年産品目別経営統計(農林水産省, 2001a)より作成)

図 1-5 指定野菜における収穫以降の作業が全作業時間に占める割合

1.3.1 葉茎菜類における調製・選別工程の機械化の必要性

しかし、吉永（2006）によると、葉茎菜類における収穫以降の機械化は現在発展の途上にあると指摘されている。その理由として、(1)種類，作型，栽培方法，経営規模等が地域によって異なり，栽培様式が多様であるため機種が増える一方，一機種あたりの生産台数は少なく，機械価格が割高にならざるを得ない，(2)各作業が熟練された手作業で行われてきており，これらを機械で置き換えるのが困難，(3)市場価格に関わる外観品質，包装形態に求められる要求度が高く，特に生鮮野菜においては「見た目」も重要視されており，収穫時の損傷は価格の低下に直結する，などが挙げられている。葉茎菜類は根菜類や果菜類とは異なり，収穫部位がそのまま製品にならず，不要な部位を除去する調製作業が必要となる品目が多い。また，根菜類のように収穫部位が地中にあるタマネギや長ネギ，収穫部位が地表面にあるものでも収穫部位が結球性のキャベツやハクサイ，非結球性のホウレンソウやニラなど多種多様な形態がある。これらの収穫部位は総じて軟弱であり，ハンドリングが難しいという共通の課題も有している。葉茎菜類においては，収穫作業だけではなく，収穫物の見映えを整える調製作業，後工程の流通の利便性を高めるための出荷作業（選別・包装など）といった，付加価値を高める作業にも多くの労力を要している（図1-6）。そのため，生産現場からは収穫のみではなく調製や選別作業について，機械化による作業の省力化が強く要望されている。

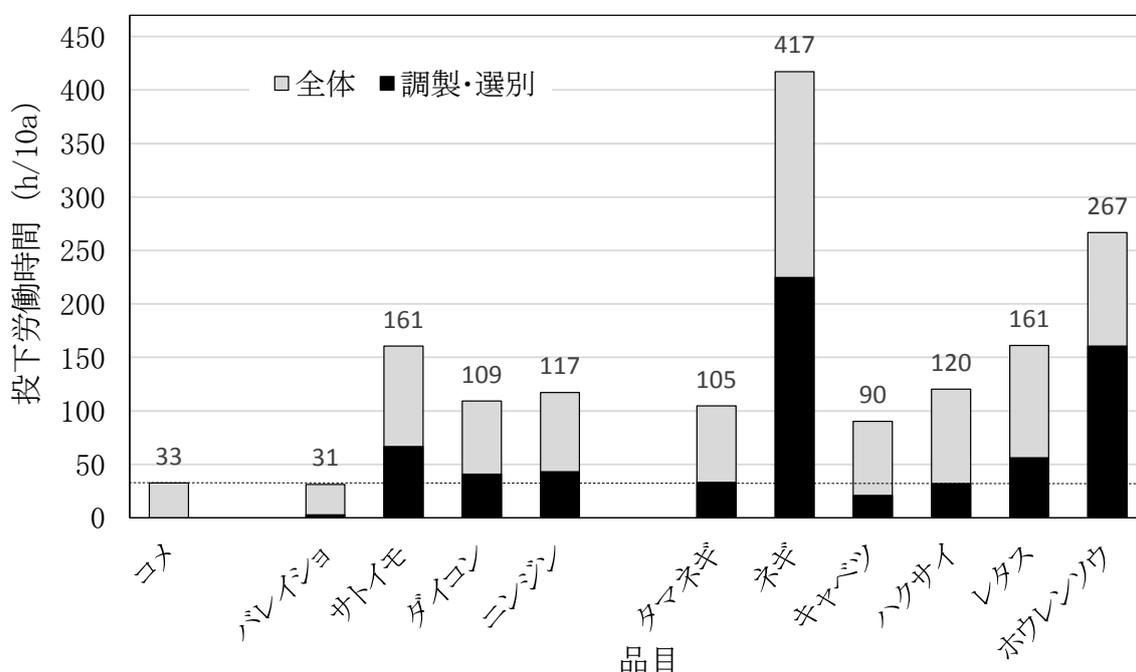


（平成13年産品目別経営統計（農林水産省，2001a）より作成）

図1-6 指定野菜における全作業時間に占める収穫以降の作業の割合

1.3.2 長ネギの調製・選別工程の機械化の必要性

野菜作においては省力化を目指して作業の機械化が進められているものの、機械化一貫体系がほぼ完成の域に達したコメの投下労働時間 32.6 h/10a (2001 年産; 農林水産省, 2015e) と比較すれば、最大で約 13 倍 (果菜類を除く) の時間と労力を要していることも事実である。とりわけ長ネギにおいては、図 1-7 に示すようにその生産に最も時間を要していることがわかる。長ネギは前掲の表 1-2 によれば、10a あたりの投下労働時間が 417 時間と他品目に比べて多く、なかでも調製作業が 140 時間、選別などの出荷労働が 85 時間と全体の 54 %を占めることから、生産現場からはこれらの作業の省力化が強く求められている。



(平成 13 年産品目別経営統計(農林水産省, 2001a)ほかより作成)

図 1-7 コメと指定野菜(うち根菜類と葉茎菜類)における投下労働時間の比較

長ネギの原産地は中国南西部 (Ford-Lloyd ら, 1993) とされ、現在では中国、日本、韓国といった東アジア地域で広く栽培されている (Dong ら, 2013 ; FAOSTAT, 2013)。白ネギや根深ネギとも称され、全国各地で広く栽培されている。平成 25 年産野菜生産出荷統計 (農林水産省, 2015f) によると、作付面積は 22,900 ha、出荷量は 380,700 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、ほぼ横ばいで推移している。長ネギは冬に定植して夏に収穫する夏ネギ、春に

定植して秋から冬にかけて収穫する秋冬ネギの2つの作型に大別され、年間を通じて安定した需要があることから、国内産地間における周年供給体制が構築されている。

長ネギの葉部は葉鞘と葉身からなり、葉鞘部は一般に白根と呼ばれる部分で盤茎(硬く短縮した地下茎)に連結して成長点部を包被しており、葉身部は緑色の部分で、先端の尖った中空、円筒状をなしている(八鍬, 1963)。葉の伸長に合わせて複数回の培土を行って畝を形成し、主な可食部である葉鞘部を遮光して白化させる。収穫時には草丈は1 m近くに達し、葉鞘部の長さは40 cm程度になる。栽培様式は、葉身部が扇状に展開するために株間を約5 cmまで狭めた密植が可能であり、畝間隔を約1 mで植え付けることで、10aあたり約20,000本を収穫することができる。

収穫後の長ネギには消費者にとって不要な根や葉(外皮)が付いており、収穫後のネギの質量の約4割が非可食部(残渣)であることから、調製作業として根部切断と剥皮が行われる。根部切断、剥皮作業ともに前述のように作業精度が商品価値に直結することから、いずれの作業とも専ら熟練者によって行われ、生産性向上の制限要素となっている。また、長ネギは出荷基準に応じた選別を生産者ごとに行い、結束、梱包したものを産地単位でとりまとめて出荷する、いわゆる個選共販体制をとる産地が多い。太さ選別は剥皮作業者が目視で行うことが多いが、作業従事者の高齢化や雇用労力の導入が進み、選別に不慣れな作業者が増加しつつある。個選共販体制をとる産地では、選別結果のばらつきを小さくするために、目揃い会や抜き取り検査などを行うことで産地評価の維持、向上に努めているが、目視による太さ判別作業は熟練を要するだけではなく、作業者によって判別精度が異なることも危惧されている。

長ネギについては国外の動向に注目せざるを得ない事件も起きている。1999年および2000年の天候不順に端を発した生鮮野菜の輸入量急増を受け、日本政府は2001年4月23日にWTOセーフガード協定等及び関税定率法に基づき、ネギ、生シイタケと畳表の3品目についてセーフガードの暫定措置を発動した(財務省・経済産業省・農林水産省, 2001)。セーフガードの発動により、国内野菜産地の緊急保護が図られたが、同時に野菜産地の構造改革が喫緊の課題となり、各産地において野菜の産地強化計画が策定された(農林水産省, 2001b)。産地強化計画では「低コスト化タイプ」、「契約取引推進タイプ」、「高付加価値化タイプ」の三つから一つを選択して、輸入野菜に対抗すべく生産体制を見直す方策がとられた。そのうち低コスト化タイプについては、ネギ生産において投下労働時間の5割超を占める調製、出荷作業を、高性能機械の積極的な導入によって労働時間の短縮を図り、生産コストの低減を目指した。

長ネギの調製作業には根葉切り機と剥皮機が用いられる。根葉切りは剥皮の前処理として不要な根や葉を切除するために行われる。長ネギの盤茎部では樹木の年輪のように重なり合った葉が収斂しており、切断深さが浅いと外皮が盤茎部に引っ掛かり、剥皮作業の能率が低下する。また、切断深さが深いと写真1-1のように内側の葉鞘部

が押し出されて、商品価値が低下する。そのため、根部切断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、生産規模拡大の阻害要因となってきた。

これまでに根部切断作業に熟練を要さないための技術開発として、平ベルトに剣山の様な突起物を設けて根毛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），根部切断刃が作用する位置をレーザー光で照射して供給業者による位置決めを補助する方法（松本，1998），共同選果施設での利用を想定した画像処理技術による自動切断位置判定および切断刃の作用位置を自動設定する根部切断方法（近藤ら，2007）などが挙げられる。しかし，盤茎部の形状は一定ではなく，人またはカメラによる外観視では正確な切断位置の判別は困難である。

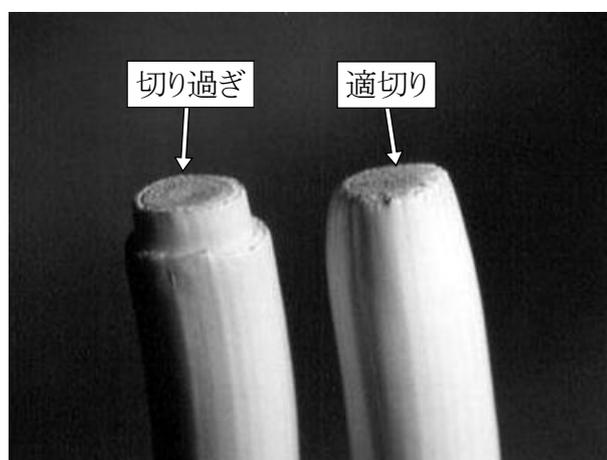


写真 1-1 根部切断の深浅による外観の差違

剥皮機は複数のノズルから圧縮空気や水などの流体を噴射して不要な外皮を剥離する機械である。長ネギでは以前は水圧式も見られたが，収穫物を濡らすことが生産者から嫌われ，現在では圧縮空気を用いた剥皮機が広く利用されている。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んで不要な外皮を剥離しているため，圧縮空気を作用させる位置を誤ると剥け残りや破碎を生じるなど，根部切断と同様に作業には熟練を要する。

これまでに剥皮作業の省力化ならびに高能率化が検討され，自動かつ連続的に剥皮を行うための技術が幾つか考案された。例えば，ローラコンベアの外周に切断刃を敷設し，ネギ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剥皮を行う方法（槌賀，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剥皮を行う方法（斎藤ら，2003）などが挙げられる。しかし，ネギは同一の圃場，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剥皮の開始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，外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るため，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。例えば，500 本/h 前後の能率を有する剥皮機では 3.7 kW，900 本/h 前後の能率を有する調製機では 5.5～7.5 kW のエアコンプレッサの利用が推奨されている。エアコンプレッサは一般的に電力を動力源としており，能率向上に伴って電力消費量の増大，つまり電気料金の増加や電気設備への投資増加を余儀なくされている。

さらに，圧縮空気の噴射に起因した騒音に伴い，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）。既存の剥皮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。日本産業衛生学会（2015）によると，騒音レベル（A特性音圧レベル）による許容基準（表 1-3）が 1982 年に提案されており，慣行作業で通常見られる 100dB(A)を超えるような騒音下では，1 日に 15 分程度しか剥皮作業に従事できないこととなる。そのため，労働衛生の観点から剥皮作業時にはイヤーマフの着用が推奨されている。

表 1-3 騒音レベル(A特性音圧レベル)による許容基準
(許容濃度等の勧告(日本産業衛生学会(2015))より引用)

1 日の暴露時間 (h-min)	許容騒音レベル (dB(A))	1 日の暴露時間 (h-min)	許容騒音レベル (dB(A))
24-00	80	2-00	91
20-09	81	1-35	92
16-00	82	1-15	93
12-41	83	1-00	94
10-04	84	0-47	95
8-00	85	0-37	96
6-20	86	0-30	97
5-02	87	0-23	98
4-00	88	0-18	99
3-10	89	0-15	100
2-30	90		

以上のように、長ネギの生産現場では、多くの労力と作業への熟練を要する長ネギの調製作業と選別作業を省力化できる高性能機械の開発が必要とされている。すなわち、1) 高能率かつ高精度に長ネギの根部切断と剥皮が行える全自動調製機、2) 剥皮作業の能率向上と投入エネルギー量の削減を両立できる高効率剥皮機、3) 作業への習熟を問わず安定した選別精度が確保できる選別機の三点に係る高性能機械の開発ニーズが存在している。

1.4 本研究の目的

ここまで述べたとおり、食料安全保障の観点から国内の農林水産業の振興を図り、食料自給率の向上を目指すことが重要であり、供給熱量ベースで見た食料自給率では水分を多く含有する野菜は貢献度合いが低いものの、健康的な生活を維持するために欠かせない微量成分の摂取源であることから、熱量の高い肉類などと同様に生産振興を図る必要がある。我が国における野菜作では、キャベツやタマネギなどの葉茎菜類が生産量、産出額ともに最も多く、重要な位置を占めている。主要な葉茎菜類では収穫以降の作業の投下労働時間が多くなっており、なかでも特に長ネギについては、調製、選別作業に時間を要することから、これらの作業の機械化による高能率化および高精度化が生産現場から強く求められている。一方、高能率化が実現された機械類においては、一般的にその稼動に要するエネルギー投入量が増加すると想定される。

そこで本研究では、高能率かつ高効率に長ネギの調製作業を可能とする調製装置を開発することを最終目的とし、以下の二つの開発を行うことを目的とした。

- (1) 高能率かつ高精度に長ネギの根部切断と剥皮が行える長ネギ用全自動調製機の開発。

すなわち、その要素技術となる、1) 適切な切断位置を自動判定して根部切断を行う自動根部切断機構と、2) 適切な剥皮開始位置を自動判定して圧縮空気による剥皮を行う自動剥皮機構の二つの自動化機構を開発する。次いで、3) これらの自動化機構を搭載した全自動長ネギ調製機を開発するとともに、更なる高能率化を目指し、4) 複数本のネギを同時に処理できるように前述の自動化機構を多連化した高能率全自動長ネギ調製機を開発して、施設化に向けた検討を行う。

- (2) 作業への習熟が不要な選別装置を搭載するとともに、剥皮作業の高能率化と省エネルギー化を両立した高効率調製機の開発。

すなわち、その要素技術となる、1) 作業能率の向上と空気使用量の節減を両立させる高効率剥皮用ノズルと、2) 選別作業に不慣れな雇用労働者でも熟練者と同様に太さ選別ができ、人に起因する判別精度のばらつきを低減させる太さ判別装置を開

発する。次いで、3)これらの要素技術を搭載した高効率長ネギ剥皮選別機を開発するとともに、現地実証を通じて実用化に向けた検討を行う。

これらの目的を達成することにより、前者については大規模な調製・選別プラントの構築が可能となり、多くの労力を要している収穫以降の作業を生産者から分業化することで生産規模の拡大と生産コストの低減が実現できる。後者については、比較的小規模な産地においても生産コストの低減が可能となり、産地規模に左右されない生産振興を図ることができる。その結果、国民生活にとって重要な指定野菜の一品目である長ネギの安定供給を実現し、ひいては我が国の食料安全保障の確立に寄与するものとする。

第2章 高能率化に向けた全自動長ネギ調製機の開発

2.1 はじめに

第1章で述べたように、慣行の長ネギ調製作業では、熟練者の目視による根部切断と剥皮が一般的に行われている。人手による作業は能率向上の妨げになるだけでなく、作業の習熟度によって精度に差違が生じ、製品歩留まりの低下にもつながってきた。

そこで本章においては、長ネギ用全自動調製機の開発を目的とし、高能率化および高精度化に必要となる要素技術の開発について述べる。すなわち、適切な根部切断位置を自動判定する自動根部切断機構と、剥皮開始位置を自動判定して圧縮空気剥皮を行う自動剥皮機構の2つの自動化機構の開発について述べる。

次に、これらの自動化機構を搭載した全自動長ネギ調製機の開発について述べ、自動化による能率向上効果の検証、ならびに自動化機構の多連化により複数本の同時処理を可能とした全自動調製機の高能率化の検討、施設化に向けた検討について述べる。

2.2 全自動長ネギ調製機の要素技術の開発

2.2.1 自動根部切断機構の開発

根部切断作業の高能率化を目指すのにあたり、適切な切断位置の判定に熟練を要することなく、かつ作業に不慣れな雇用労働者であっても熟練作業並みの切断精度が得られる自動切断技術について検討した。

適切な切断位置の判定については、熟練者と同様に外観から切断位置を先に判定して後から切断を行う方法、切断と判定を同時（交互）に行い適切な位置に到達したことを検知して切断を終了する方法、の2通りを想定した。前者については、カメラを用いて盤茎部周辺を撮影し、得られた画像を分析することで切断位置を判定、切断装置を適切な切断位置まで移動させ、根部切断を実行するというプロセスが必要となる。この方法を実現するのにあたり、撮影した画像から適切な切断位置を自動判定するアルゴリズムの構築が必要となるが、長ネギの盤茎部付近の形状は、品種の違いだけでなく土壌や作型の違いによっても多種多様な変化を示す。そのため、自動判定に不可欠なティーチング工程に膨大なデータの蓄積を要することが想定されたことから、この方法の検討を断念した。一方、後者については、切断位置の判定装置と切断装置を一体化でき、自動化機構をコンパクトにできる利点があるが、適切な切断位置の自動判定方法を検討する必要があるが、以下の幾つかの方式について検討を行った。

(1) 切断抵抗方式

まず初めに盤茎部と葉鞘部の硬さに着目し、切断抵抗の差違によって適切な切断位置を判定する切断抵抗方式の開発を試みた（生研機構，1998e）。切断抵抗方式は、水平方向に間欠搬送されるネギの根部に対し、空圧シリンダに取り付けた複数組の切断

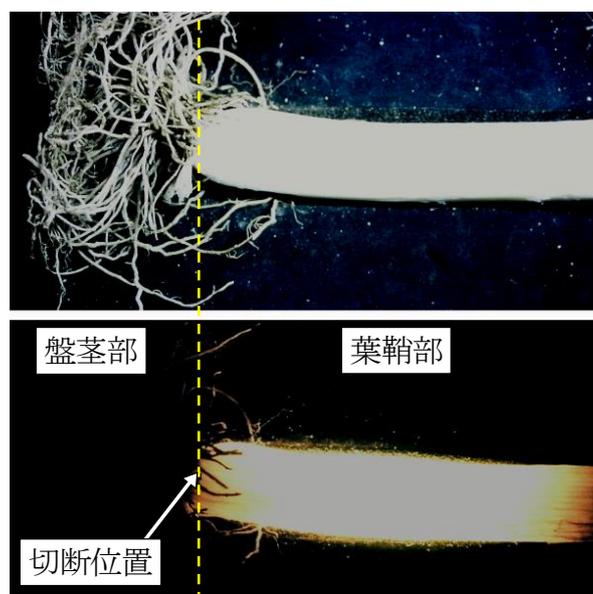
刃（平刃）を押し当て、所定の切断抵抗以下になった場合、つまり硬くて切断抵抗の大きい盤茎部ではなく、軟らかくて切断抵抗の小さい葉鞘部に刃が差し掛かった時に切断を終了することを想定した。しかし、ネギの切断面から出る汁によって切断刃の鋭利さが失われ、時間の経過とともに切断抵抗が大きくなり、閾値の設定に難があることが判明し、自動根部切断機構としての採用を断念した。

(2) 切削抵抗方式

切断抵抗方式と同様に盤茎部と葉鞘部の硬さの違いに着目し、回転切削刃（フライスのエンドミル）を取り付けたモータを一軸スライダに載せ、根側から葉鞘部に向けて盤茎部の切削を行うことにより、切削抵抗をロードセルで捉える方式を検討した（生研機構，1999）。盤茎部が切除されて葉鞘部に至ったときに、切削抵抗が減少して切断位置を自動判別できると考えたが、切削抵抗の値に差違が見られず、判別は困難であった。原因としては、盤茎部の断面径は小さく、葉鞘部の断面径は大きいため、部位そのものの切削抵抗ではなく断面積の大小に影響を受けた可能性が考えられた。

(3) 透過光方式

種々の手法を試行する中で、葉鞘部と盤茎部ではその性状の違いにより写真 2-1 のように光の透過具合が異なることを明らかにした（生研機構，1998e；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、盤茎部は硬く短縮した地下茎であるために光を透過しづらい性状をしている。

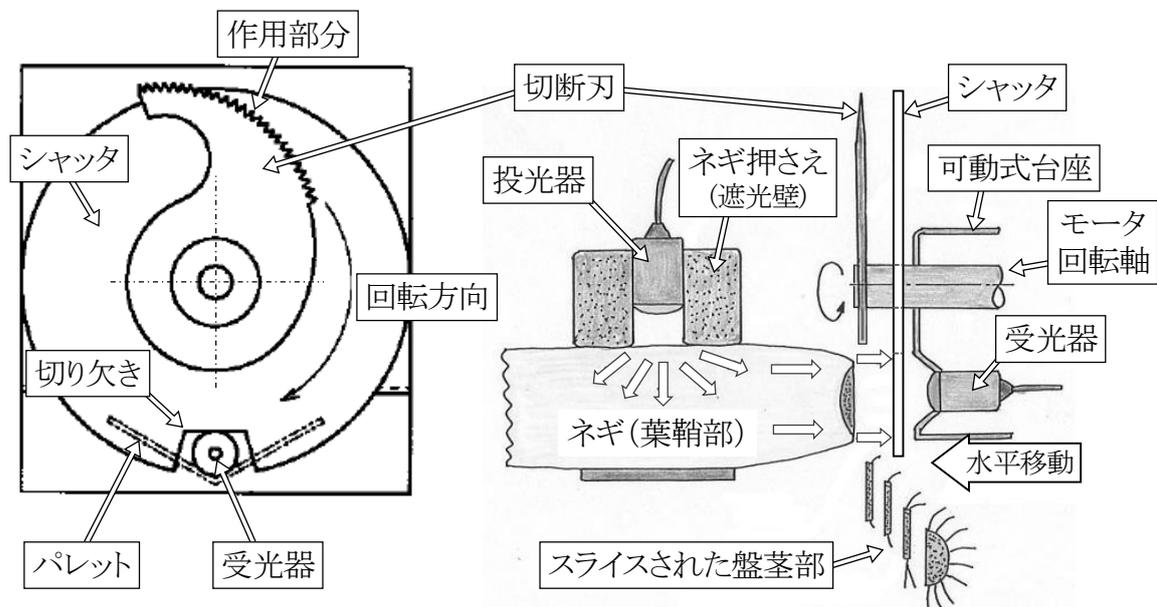


(上:明条件下, 下:暗条件下)

写真 2-1 葉鞘部に照射した光がネギ内部を透過する様子

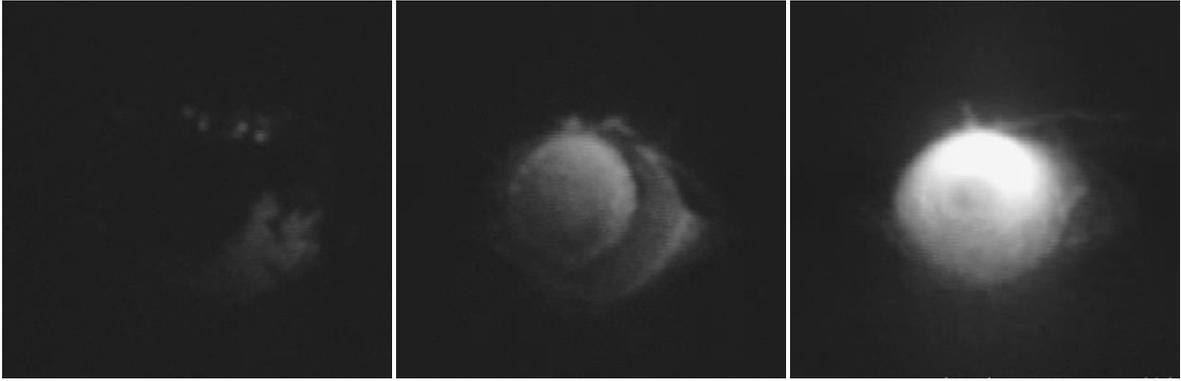
この部位による光の透過具合の差を利用して、透過型光電センサ（竹中電子工業（株）PA7704）の投光器を葉鞘部に押し当てて光を照射し、盤茎部近傍に設けた受光器で切断面から漏出する光を捉えて、切断位置の深淺を判定する自動根部切断機構（藤岡ら，2003，藤岡ら，2016a；図2-1）を考案した。

自動根部切断機構は、ステッピングモータ（オリエンタルモーター（株）ASM98AA，回転数：700rpm）とその回転軸に巴形の切断刃（材質：SK材（炭素工具鋼），耐摩耗性を高めるために刃物表面をセラミックコーティングしたもの）と円盤状のシャッタをそれぞれ固定し，切断刃の作用部分と円盤状シャッタの一部に設けた切り欠きを，回転中心を挟んで180°対称な位置に設けた。これらを可動式台座（SMC（株）LXPB2SA，切断時の移動速度：5 mm/s，前後退時の移動速度：80 mm/s）に載せてネギ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（約0.2 mm厚）と透過光量の計測が連続かつ交互に行うことができる。光電センサの受光器が光の漏出を検出，即ち盤茎部の切除が終了した時点で可動式台座の水平移動を停止，退避させることで根部切断が終了する（写真2-2，図2-2）。なお，切断位置の深淺は，受光器の感度（ゲイン）を調整して閾値を設定することで任意に変更できる。これにより，品種，作型の違いに起因した盤茎部形状の差などにも柔軟に対応でき，かつ事前のティーチング作業なども不要であることから，透過光方式による自動根部切断機構は実用性が高いと判断した。



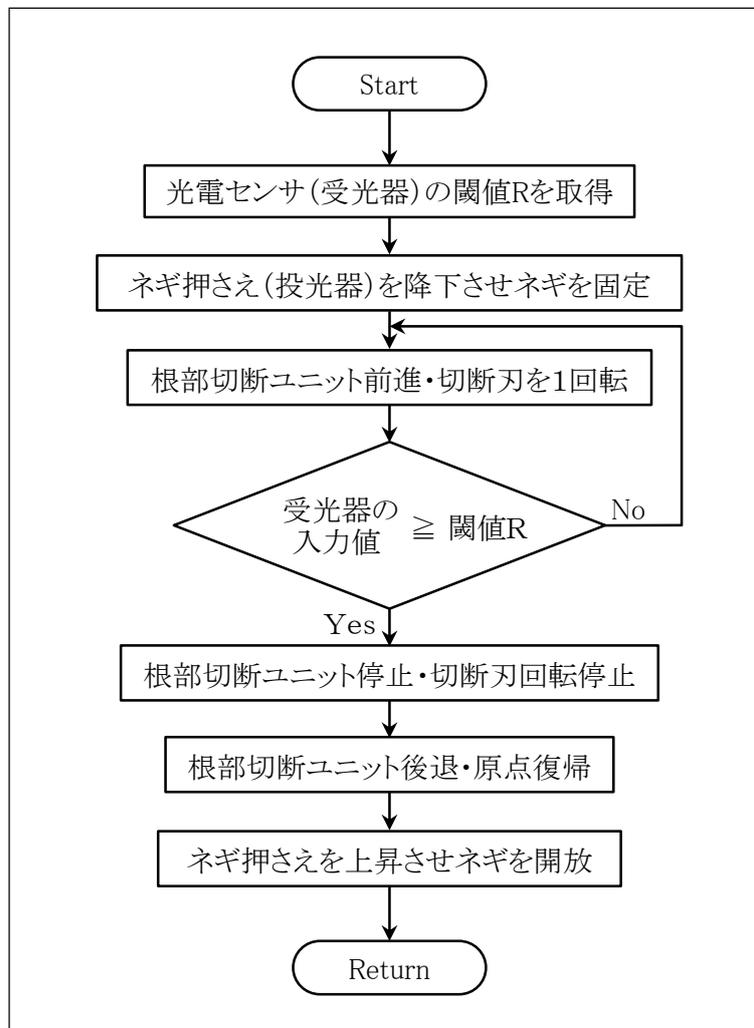
（左：正面図，右：側面図）

図2-1 自動根部切断機構の概要



(左:切断開始, 中:盤基部切除, 右:切断終了)

写真 2-2 自動根部切断機構による根部切断の様子(暗視画像)



(全自動調製機におけるサブルーチンとして動作)

図 2-2 自動根部切断機構の動作フロー

2.2.2 自動剥皮機構の開発

慣行の長ネギ調製作業では、根部と葉身部を先に切断して、出荷基準に定められた全長に整えた後に剥皮が行われる。作業者は根葉切り後のネギの葉身部を手で持ち、平板上に固定された圧縮空気の噴射ノズル（以下、剥皮用ノズル）に葉の生え際を合わせ、ネギを前後に移動させながら圧縮空気を作用させて不要な外皮を剥離している。これらの作業を連続して行う半自動調製機（図 2-3）が既に市販され、一部の大規模生産者や集出荷施設において導入されているが、ネギの供給と剥皮作業を常に 2 人 1 組で行う必要があり、処理能力はカタログ値で約 900 本/h と高いものの省力化（省人化）が求められている。

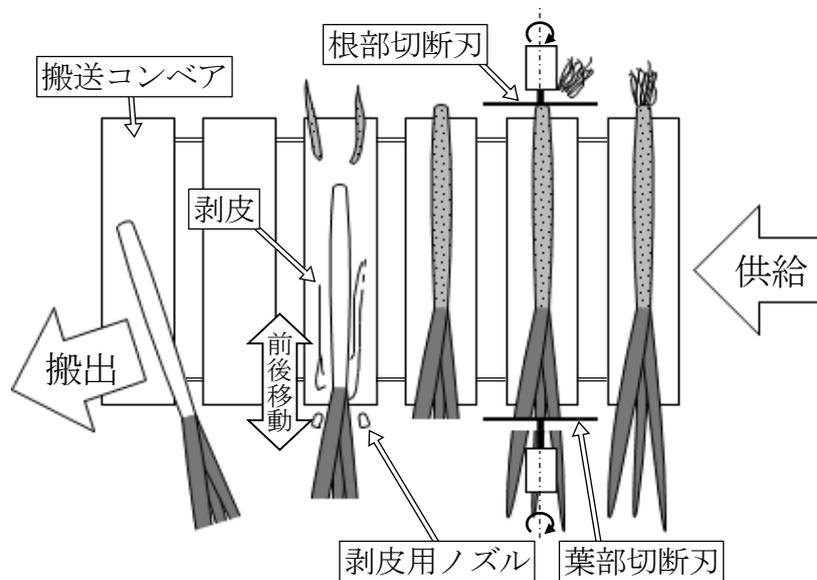


図 2-3 半自動調製機(市販機)の構成概要

1) 剥皮作業の自動化に関する検討

剥皮作業を自動化するためには、慣行と同様にノズルを固定してネギを動かす方法と、ネギを固定してノズルを動かす方法の 2 通りが想定される。いずれの方法においても作業精度を左右する剥皮開始位置の自動判定方法を新たに開発する必要がある。

前者は半自動調製機の装置構成をそのまま適用できるが、剥皮作業を自動化するために、製品の一部である切断後の葉身部を損傷させずに把持するハンドリング機構の検討が必要となる。後者は葉部切断を剥皮の後工程に移すことにより、剥皮時に噴射される圧縮空気によってネギが飛ばされないように、後工程で切除される不要な葉身部を強く挟持することが可能となる。また、前述の自動根部切断機構によって基点が定められた状態で搬送することで葉部切断刃を固定させることが可能になり、制御を要する自動化機構が根部切断と剥皮の 2 つに限定できる。これらより、全自動調製機では、根部切断、剥皮、葉部切断の順に装置を構成することとした（図 2-4）。

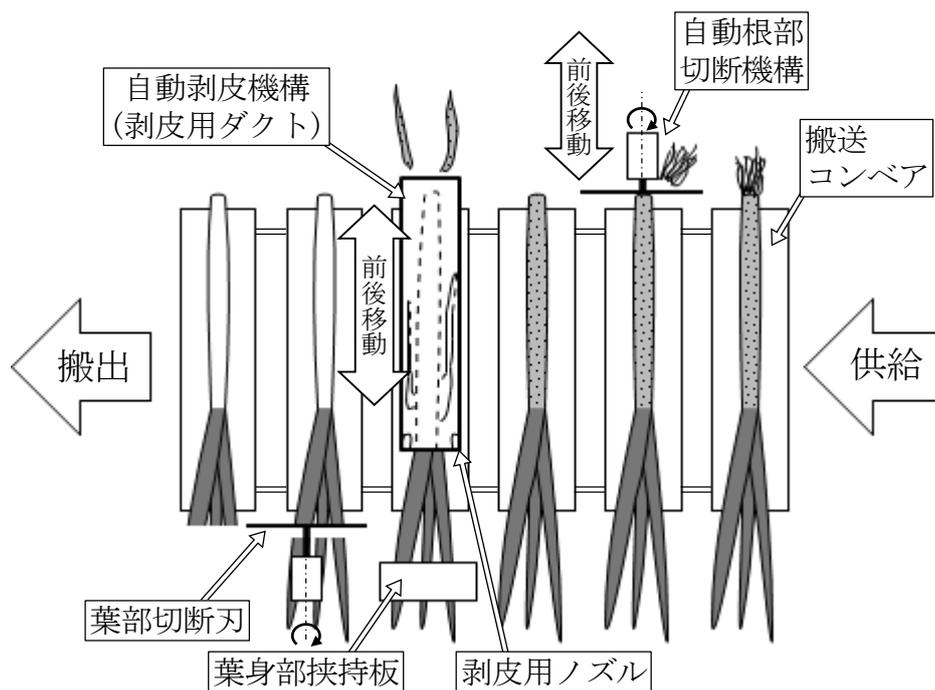
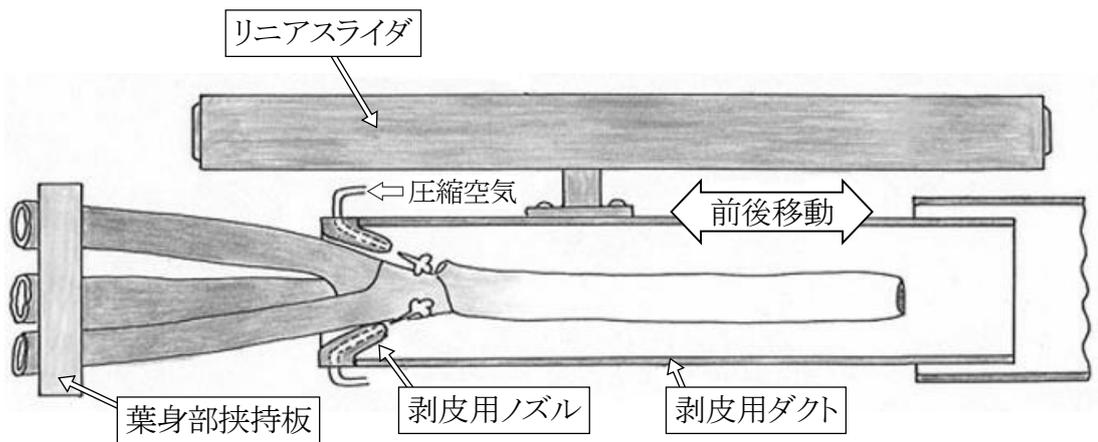


図 2-4 全自動調製機(開発機)の構成概要

剥皮作業においては、適切な剥皮開始位置から圧縮空気をネギ表面に作用させて外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、挿入口に圧縮空気の噴射ノズル（噴射口径： $\phi 3.7 \text{ mm} \times 2$ 頭口，設置数：2 個）を備えたダクト（ステンレス製，100 mm 角，全長：850 mm）をリニアスライダ（マツタメ（株）KM45A，可動範囲：700 mm）のスライダに固定した可動式の剥皮用ダクトを設け、剥皮開始位置として判定した地点にノズルが到達するまで前進（移動速度 200～450 mm/s）し、そこから圧縮空気を噴射しながらダクトを後退（120～240 mm/s）させることにより、剥離後の皮をダクト内の気流によって搬送、除去する自動剥皮機構を考案した（松本，2000；藤岡ら，2016a；図 2-5，写真 2-3）。剥皮時の圧縮空気の圧力は概ね 0.3～0.4 MPa とし、剥皮開始位置を判定する際に得られる葉鞘部の直径に応じて自動で選択される。なお、ネギの太さと圧力値の関係は、品種や作型に応じて作業者が任意に調整可能とした。これにより、剥皮用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。また、ノズルを剥皮用ダクト内に設置して剥皮後の圧縮空気の流路断面積を狭めることで、同じ風量であっても開放空間と比べて流速が速くなり、剥離後の外皮が効率的に機外へ排出され、作業能率が向上できると考えた。



ダクトとともにノズルが前進し、圧縮空気を吐出して剥皮しながらダクトが後退

図 2-5 自動剥皮機構の概要

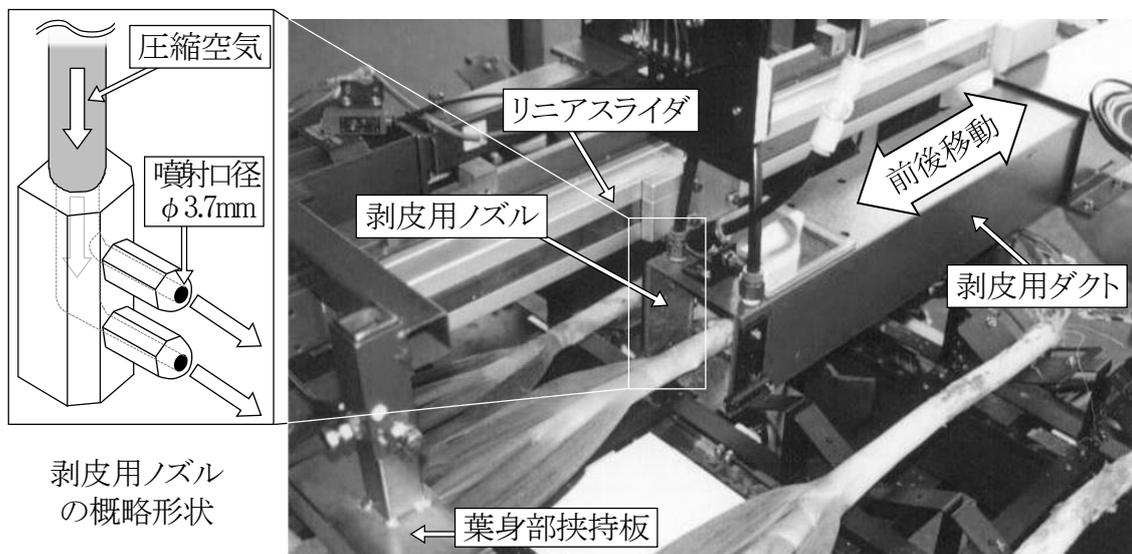


写真 2-3 自動剥皮機構の外観

2) 剥皮開始位置の自動判定に関する検討

続いて剥皮開始位置の自動判定方法について検討を行った。なお、生産現場では剥皮の前処理として葉を3ないし4枚に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ことから、全自動調製機においても同様に、作業者が調製機へネギ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。

ネギなどの長尺農作物は、質量と太さに概ね相関があることから、主に太さによる階級選別が行われている。生産現場では作業者の目視による選別が行われることが多いが、近年では選別精度のばらつきを抑え、作業に習熟を要さないことを目的とした光電センサによる自動選別機の導入事例もみられる。これは、一對のチェーンコンベアの上に楕形のパレット（図 2-6）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電センサの投光器および受光器を設け、移動中の長尺農作物が光電センサの光軸を遮る時間を計測し、その長短から太さを求めている（今村, 1999）。この技術を応用し、光電センサ（竹中電子工業(株) 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ネギ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、適切な剥皮開始位置を自動判定する装置（松本, 2003；藤岡ら, 2016a；図 2-7, 写真 2-4, 図 2-8）を考案した。なお、葉身部の展開程度については、ネギの作型によって異なることから、任意の値を入力して剥皮用ダクトの挿入深さを調節することとした。

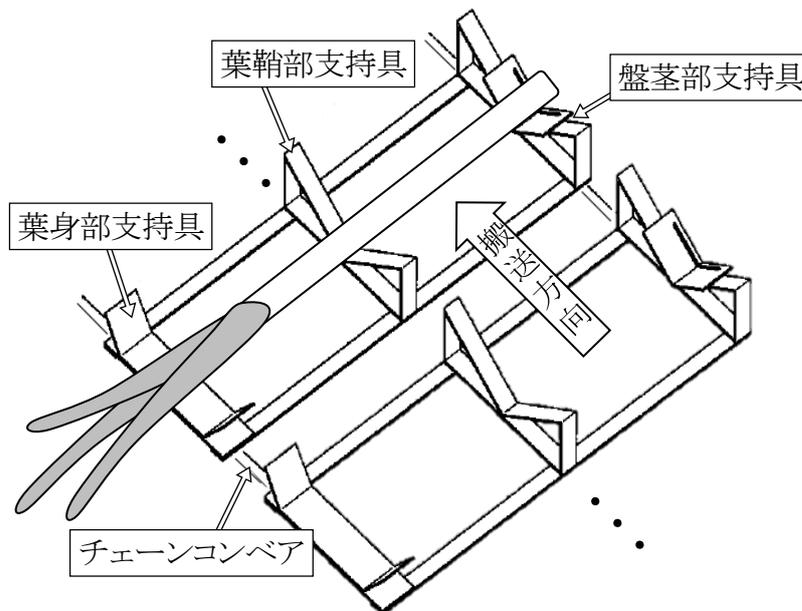


図 2-6 搬送コンベアに設けたパレットの概要

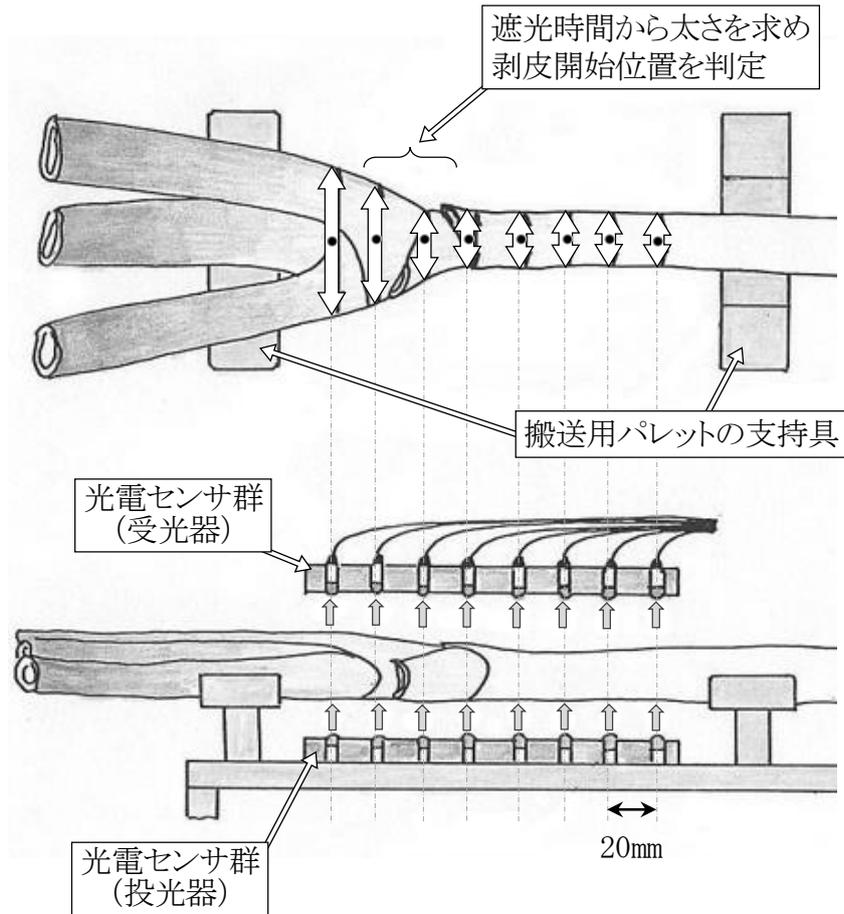


図 2-7 剥皮開始位置判定装置の概要

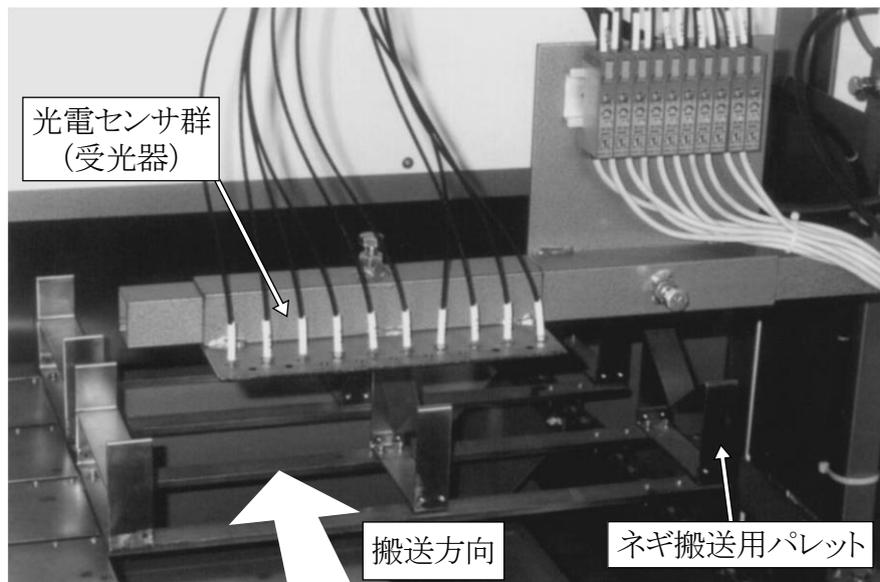
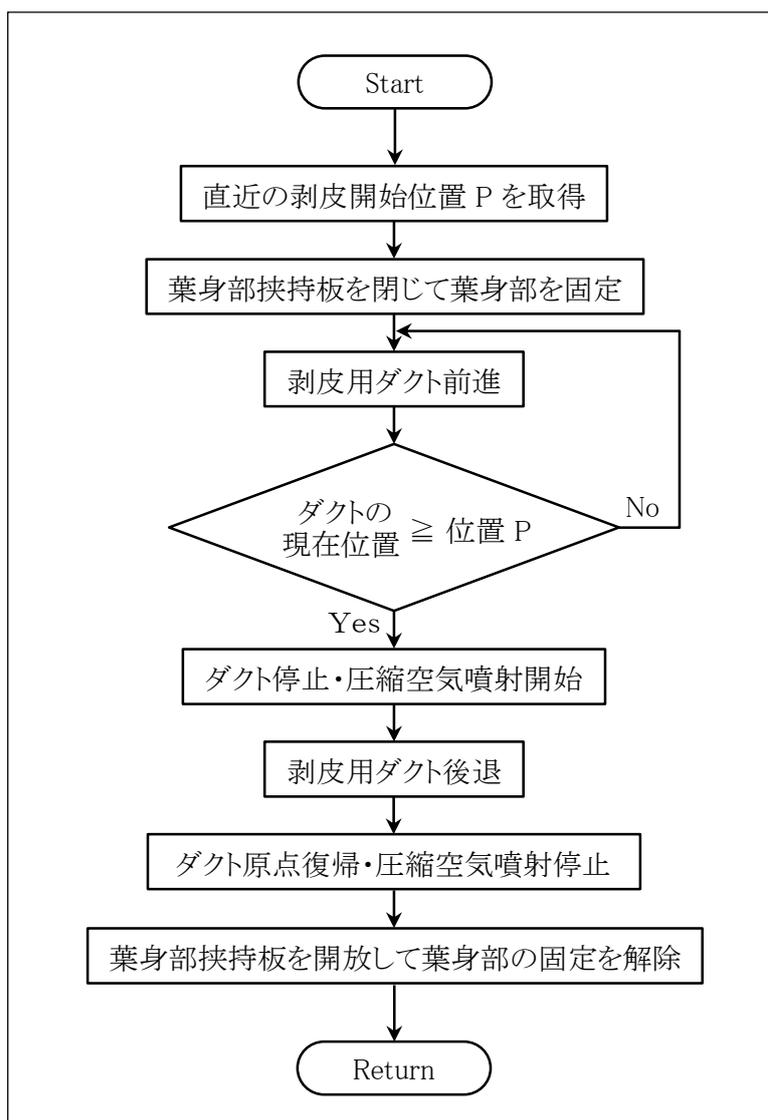


写真 2-4 剥皮開始位置判定装置の外観



(全自動調製機におけるサブルーチンとして動作)

図 2-8 自動剥皮機構の動作フロー

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、剥皮時のネギの破損を抑制することができ、製品歩留まりの向上に寄与できる。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、曲がりの大きなネギは供給段階で予め排除することが望ましい。

2.3 全自動長ネギ調製機の開発

2.3.1 全自動長ネギ調製機の構成

要素技術として考案した自動根部切断機構と自動剥皮機構をそれぞれ搭載した、全自動長ネギ調製機の試作1号機を製作した(写真2-5, 表2-1)。全自動調製機は図2-9のように、根部切断、剥皮、葉部切断の順に作業を行う装置構成となっており、根部切断および剥皮の自動化機構は並行処理を行うことができる(図2-10)。根部切断(可動式台座の前後進を含む)、剥皮(剥皮用ダクトの前後進を含む)のいずれの自動化機構とも1工程に約4秒を要し、搬送コンベアが1パレット分の移動に要する時間は約1秒であることから、装置全体を約5秒間隔で間欠運転させることとした。全自動調製機は供給者1名で調製作業が行えることから、装置の最大処理能力は約720本/(h・人)と求められた。

剥皮部の直前に剥皮開始位置を自動判定する光電センサ群を設け、剥皮用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目指した。なお、剥皮の自動化に目途が立ったことから、騒音源である剥皮部全体を遮音カバーで覆い、作業員耳元騒音の低減効果を併せて検証することとした。

剥皮部の下流側に葉身部切断用の円盤刃(丸鋸刃, 直径: $\phi 250\text{mm}$)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。



写真 2-5 全自動長ネギ調製機(試作1号機)の外観

表 2-1 全自動長ネギ調製機(試作1号機)の主要諸元

寸 法 等	全 長 [m]	3.2
	全 幅 [m]	2.0
	全 高 [m]	1.7
	質 量 [kg]	600
作業要員数 [名]		1 (前処理および供給)
最大処理能力 [本/h]		720
適応コンプレッサ [kW]		11
根部切断機構		光電センサによる自動位置判定
剥皮機構		

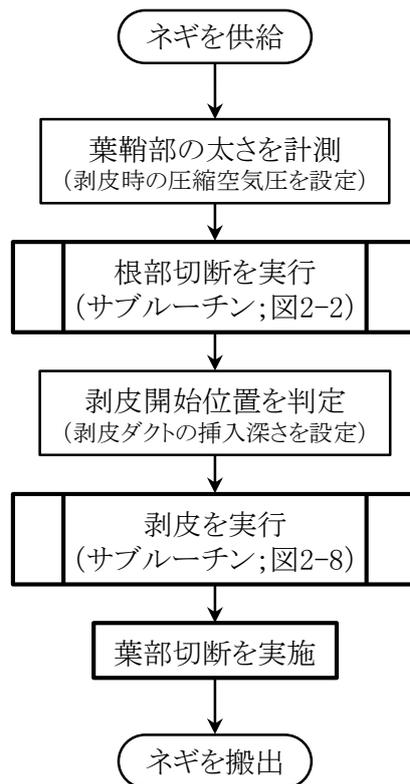


図 2-9 全自動長ネギ調製機(試作1号機)の作業フロー

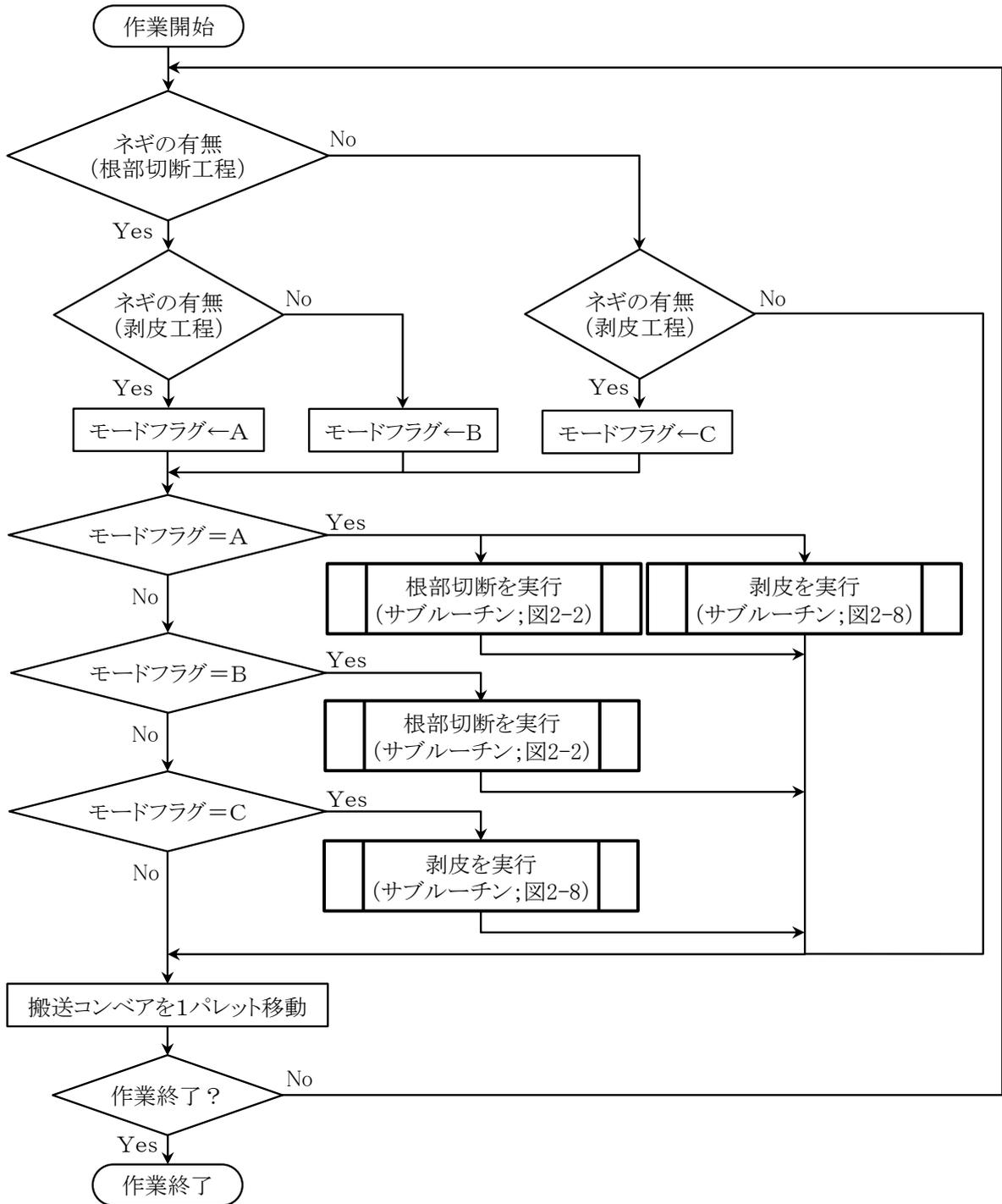


図 2-10 全自動長ネギ調製機(試作1号機)の処理フロー

2.3.2 試験方法

試作1号機の作業能率および精度を調査するために、夏ネギ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（根部切断精度、剥皮精度および製品率）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た1時間当たりの処理本数とした。作業精度のうち根部切断精度は、処理後のネギ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、剥皮精度も同様に、観察から適正に剥皮された割合を求めた。さらに、剥皮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、剥皮作業ごと（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。

2.3.3 試験結果および考察

1) 作業能率

1号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2-2）。

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、包丁を用いた根部切断が平均3.1s/(本・人)（n=219）、市販の剥皮機（(株)クボタ KF-62）による剥皮が平均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、1号機の作業能率は慣行作業に比べて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。

1号機を用いた調製作業は、作業員1名がネギの葉を3ないし4枚に残す前処理を行った後、パレット上へネギ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を行うことができる。1号機の最大処理能力は約720本/(h・人)と見込んでおり、現地実証における搬送コンベア上のネギの充填率は57～78%（平均で69%）と算出された。作業員が前処理作業に慣れ、全てのパレットへネギを供給できるようになれば、慣行の2倍超の能率で調製作業が行える可能性が示された。

表 2-2 試作1号機の現地実証試験の結果

人員 (名)	品種	供試 本数 (本)	作業 時間 (min)	作業 能率 (本/h)	根部切断			剥皮			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	2990	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。

2) 作業精度

1号機の根部切断精度(適切率)は93.8%(n=1147)、剥皮精度(適剥き率)は81.7%(同前)、製品率は95.8%であった(表2-2)。なお、根部切断精度、剥皮精度ともに、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剥皮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%と算出した。なお、根部切断精度については、剥皮の終了後でなければその深浅は判別しづらいことから、切断直後の精度調査は行わなかった。しかし、製品率から1号機は熟練者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、市販の剥皮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ーマフの装着が望ましいが、騒音の長時間暴露に起因す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。

2.4 高能率型全自動長ネギ調製機の開発

2.4.1 高能率型全自動長ネギ調製機の構成

前述の試作1号機はネギを1本ずつ処理する構成としたが、施設化に向けた検討を行うためには更なる高能率化を目指す必要がある。そこで、1回の剥皮動作で2本を同時に処理できるように、自動剥皮機構の剥皮用ダクトを2本並列に配置する装置構成(図2-11)を検討した。なお、ネギによって剥皮開始位置や太さが異なることから、それぞれの性状に応じて、剥皮用ダクトの挿入深さや圧縮空気の噴射圧力を任意に制御できるよう2本のダクトが独立して稼働するように構成した。剥皮用ダクトは1号機と同様にリニアスライダ(マツタメ(株) KM45A)へ固定し、稼働させる構造とした。なお、ダクトを2本並設したことから、搬送コンベアはパレット2枚を1単位として間欠移動させることとした。

一方、自動根部切断機構については、その横幅が搬送コンベア上のパレットの横幅よりも広いため、自動剥皮機構のように並設することができなかった。そのため、パレット2枚分の間隔を空けて切断機構を配置し、パレット2枚を1単位で間欠移動する搬送コンベアの動作を活かして、2本のうち前方のネギを第1切断機構で処理し、間欠移動した後に後方のネギを第2切断機構で処理する二段階の切断方式をとった。

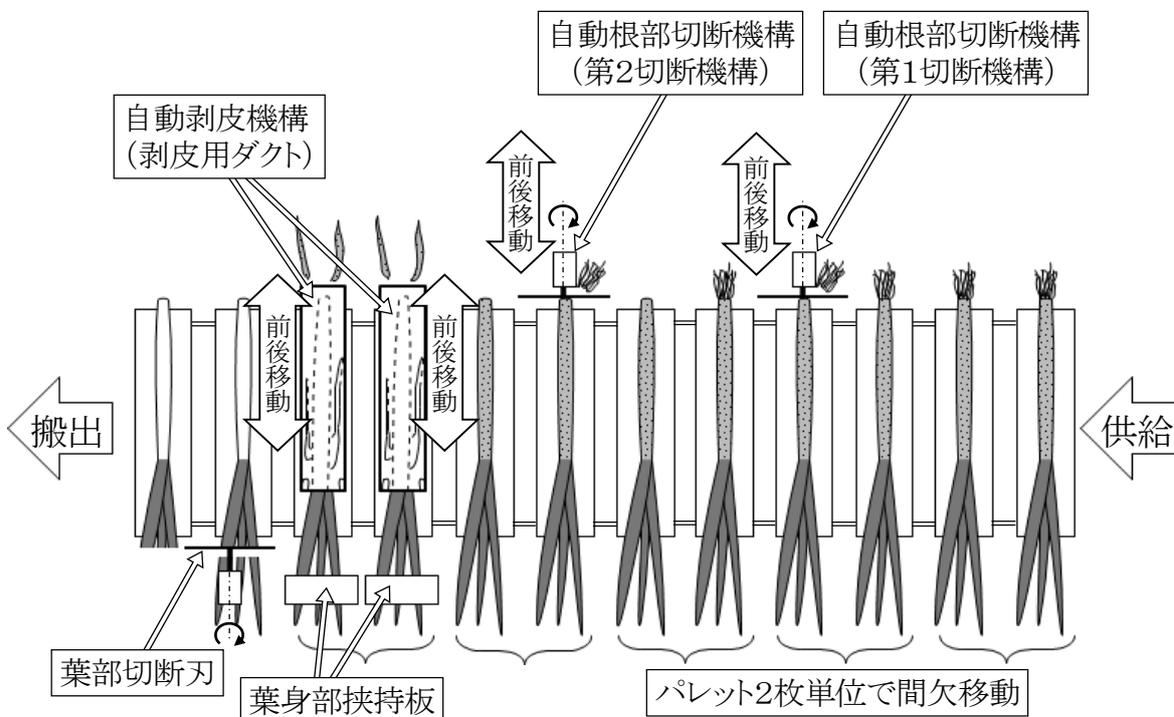


図 2-11 全自動長ネギ調製機(試作2号機)の構成概要

また、収穫後のネギの表面には土砂等の汚れが付着しており、自動根部切断機構で使用する透過型光電センサの入力レベル（投光器側の照射光量）が低下することがあった。その場合、盤茎部の切削に伴い漏出する光の検出が適切に行われず、深切り（切り過ぎ）になる事象が発生した。そこで、第1切断機構の上流側に、圧縮空気をネギ表面へ噴射して汚れを落とす清浄機構を新たに設けた。

自動根部切断機構と自動剥皮機構をそれぞれ2基に増やし、多連化による処理能力の向上を狙った試作2号機を製作した（藤岡ら、2016b；写真2-6、表2-3、写真2-7）。2号機は1号機と同様に、根部切断、剥皮ともに約4秒の処理時間を要する。コンベアの移送時間は約2秒を要することから、2本を同時に処理することで2号機の最大処理能力は計算上では約1200本/hに達する。1号機の現地実証の結果より、供給者1名では500～600本/h程度の供給能力にとどまったことから、理論上、2号機を活用するためには、2名以上で供給作業を行うことが望ましい。

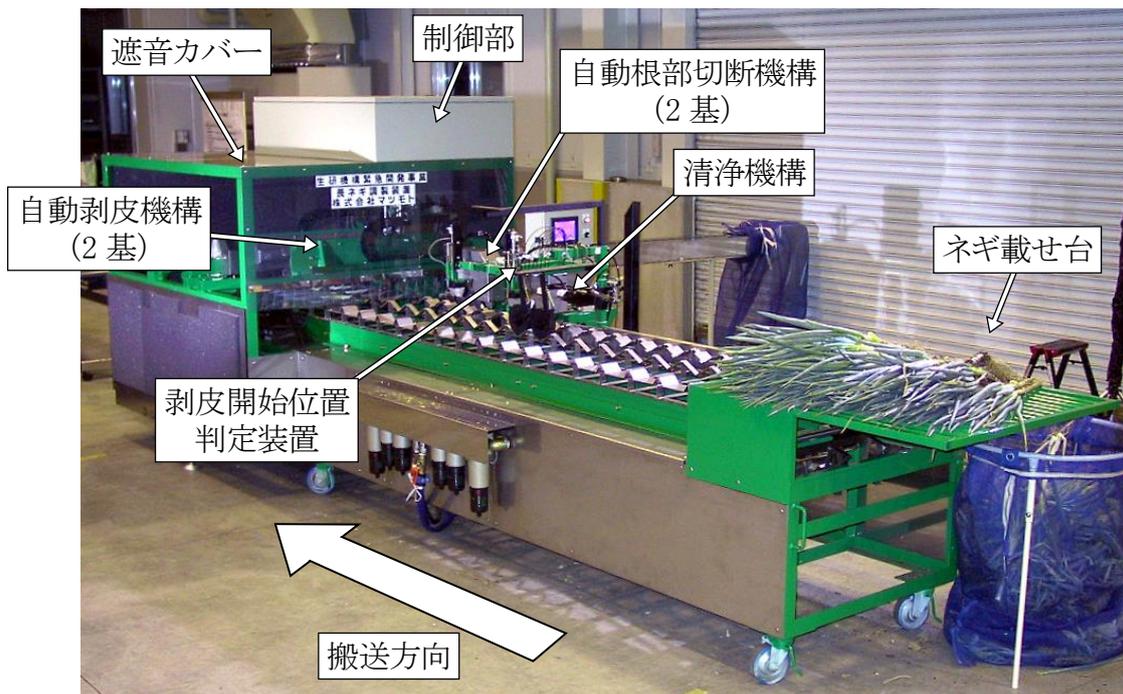
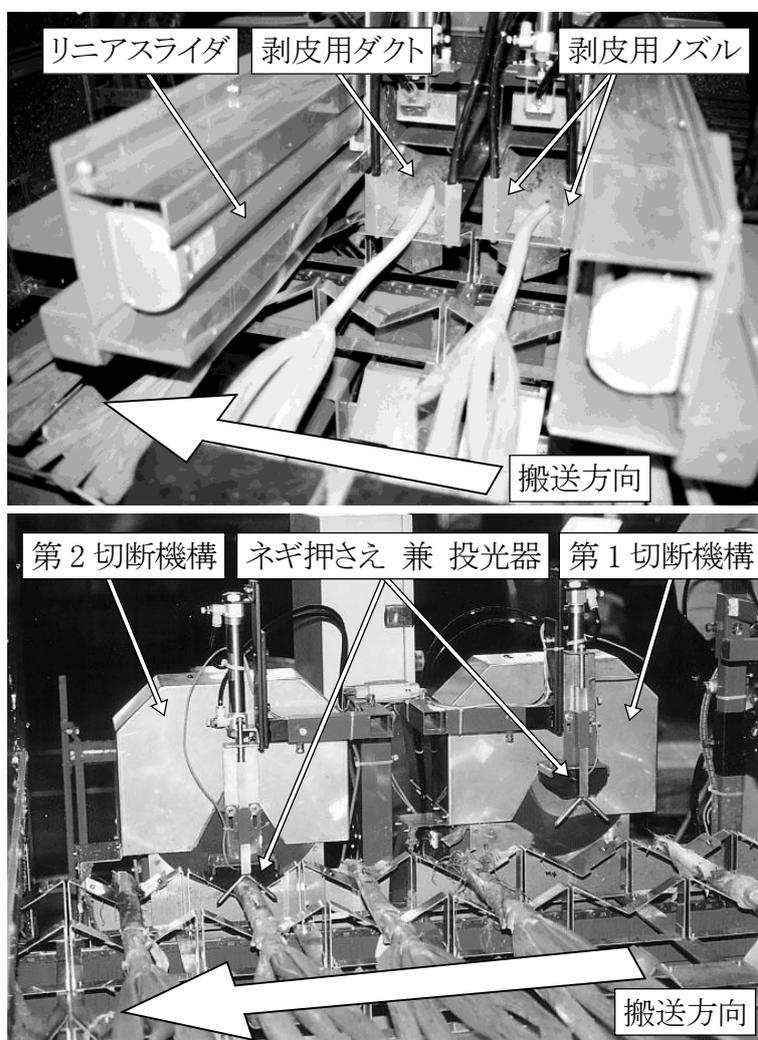


写真 2-6 全自動長ネギ調製機(試作2号機)の外観

表 2-3 全自動長ネギ調製機(試作2号機)の主要諸元

寸 法 等	全 長 [m]	4.2
	全 幅 [m]	2.0
	全 高 [m]	1.7
	質 量 [kg]	1100
作業要員数 [名]		2 (前処理および供給)
最大処理能力 [本/h]		1200
適応コンプレッサ [kW]		22
根部切断機構		各2基ずつ搭載
剥皮機構		光電センサによる自動位置判定



(上:自動剥皮機構, 下:自動根部切断機構)

写真 2-7 多連化した自動化機構

2.4.2 試験方法

2号機の作業能率および精度を調査するために、秋冬ネギの産地である秋田県能代市と大分県豊後高田市において現地実証を行った。

供試材料は、秋田での現地実証では、品種「夏扇2号」と「長宝」の2種、供試数2612本、作物条件は「夏扇2号」(n=64)で葉数6.9枚、株重239.7g、全長95.1cm、葉鞘長43.1cm、葉鞘径1.9cm、「長宝」(n=60)で葉数5.9枚、株重267.4g、全長91.7cm、葉鞘長39.6cm、葉鞘径2.1cmであった。一方、大分県での現地実証では、品種「長悦」と「ホワイトタワー」の2種、供試数3729本、作物条件は「長悦」(n=60)で葉数4.1枚、株重161.5g、全長95.8cm、葉鞘長21.7cm、葉鞘径1.9cm、「ホワイトタワー」(n=60)で葉数5.7枚、株重190.4g、全長80.6cm、葉鞘長32.5cm、葉鞘径2.2cmであった(表2-4)。

表 2-4 試作2号機の現地実証に供したネギの作物条件

試験地	品種	葉数		株重		全長		葉鞘長		葉鞘径		調査数 (本)
		(枚)	CV(%)	(g)	CV(%)	(cm)	CV(%)	(cm)	CV(%)	(cm)	CV(%)	
秋田	夏扇2号	6.9	11.5	239.7	28.5	95.1	6.3	43.1	7.1	1.9	16.0	64
	長宝	5.9	27.1	267.4	33.5	91.7	9.3	39.6	7.8	2.1	16.1	60
大分	長悦	4.1	21.3	161.5	42.0	95.8	6.9	21.7	12.0	1.9	22.8	60
	ホワイトタワー	5.7	20.1	190.4	26.9	80.6	5.2	32.5	8.3	2.2	14.8	60

調査項目は、作業能率、作業精度(根部切断精度、剥皮精度および製品率)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て1時間当たりの処理本数を求めた。作業精度のうち根部切断精度は、処理後のネギを観察してその過不足を判定し、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、剥皮精度も同様に、観察から適正に剥皮された割合を求めた。さらに、剥皮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、作業者の耳元騒音を計測することとし、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、剥皮作業ごと(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。

2.4.3 試験結果および考察

1) 作業能率

2号機を秋田での現地実証に供し、供給者2名で調製作業を行った結果、作業能率は「夏扇2号」で876～986本/h、「長宝」で734本/hと品種によってばらつきがみられたものの、平均すると877本/hであった(表2-5)。

1人あたりの能率に換算すると439本/(h・人)となり、1号機の平均作業能率の499本/(h・人)と比べて若干低下した。能率低下の原因としては、2号機では写真2-8のように搬送コンベアを挟んで対面する形で前処理と供給作業を行ったため、パレット上へネギを載せる動作に競合が生じ、充填率が低下したとみられた。なお、1号機の現地実証で得た熟練者の慣行作業能率330本/(h・人)と比べると、2号機を用いることで能率は約1.3倍に向上することを確認した。

2号機の機械的な最大処理能力を調査するために、3名で供給を行って充填率を100%とした結果、1052本/hという値を得た。供試した「夏扇2号」の葉鞘長が想定40cmよりも長く、剥皮に時間を要したために設計値の1200本/hを下回る値となったが、概ね設計どおりの性能を有することを確認した。

一方、大分での現地試験においては、供給者2名で調製作業を行った結果、作業能率は「長悦」で1052～1261本/h、「ホワイトタワー」で944本/hとなり、平均すると1140本/hであった(表2-6)。1人あたりの能率は570本/(h・人)となり、秋田での実証試験と比べて約1.3倍に、また、熟練者による慣行作業(茨城)と比べると約1.7倍に向上した。これは、試験前の調整運転の段階で皮の剥き過ぎ(葉鞘部の破損)が見られたため、皮剥きダクトの後退速度を速めに設定したこと、葉鞘長が想定40cmよりも短かったことが要因として考えられた。

なお、供給者2名で供給することにより充填率が100%水準に達したことから、供給能力の過不足を確認するために供給者1名で調製作業を行ったところ、能率は「長悦」で816～914本/(h・人)、「ホワイトタワー」で732本/(h・人)、平均すると821本/(h・人)となり、熟練者による慣行作業(茨城)の約2.5倍の能率に向上した。以上のことから、作業者が調製機への供給に習熟することによって、慣行作業と比べ大幅に能率が向上する可能性が示唆された。

作業能率について1号機と2号機の結果を総括すると、図2-12に示すように1号機の処理能力を単純に自動化機構の連数倍にした理論値と同様に、実測値は線形に増加すると推測された。一方、自動化機構の処理時間(4s)と搬送コンベアの稼働時間(1s×自動化機構の連数)を合わせた1工程ごとの処理時間から求めた計算値は、自動化機構の連数が増加するに伴って処理本数の伸びが鈍化することを予測した。これらの差異を検証するため、更になる高能率化を目指して自動化機構の連数を増やした試験装置を製作し、その能率調査を行う必要があると考えた。

表 2-5 試作2号機の現地実証試験の結果（秋田）

人員 (名)	品種	供試 本数 (本)	作業 時間 (min)	作業能率 (本/h)	根部切断			剥皮			損傷 (本)	損失 (本)	製品 率 (%)
					適正	不足	過ぎ	適正	不足	過ぎ			
2	夏扇 2号	350	23.0	913	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		292	20.0	876	283	5	3	260	16	15	1	0	99.7
					96.9	1.7	1.0	89.0	5.5	5.1	0.3	0.0	
	230	14.0	986	211	2	0	184	16	13	0	17	92.6	
				91.7	0.9	0.0	80.0	7.0	5.7	0.0	7.4		
	長宝	706	57.7	734	667	11	22	635	27	38	0	6	99.2
				94.5	1.6	3.1	89.9	3.8	5.4	0.0	0.8		
3	夏扇 2号	1034	59.0	1052	983	1	30	915	68	31	20	0	98.1
					95.1	0.1	2.9	88.5	6.6	3.0	1.9	0.0	
計		2612	平均	2人 877 3人 1052	94.6	1.1	1.8	86.9	5.7	4.8	0.6	2.1	97.4

※上段は本数, 下段は作業精度(%)を示す。

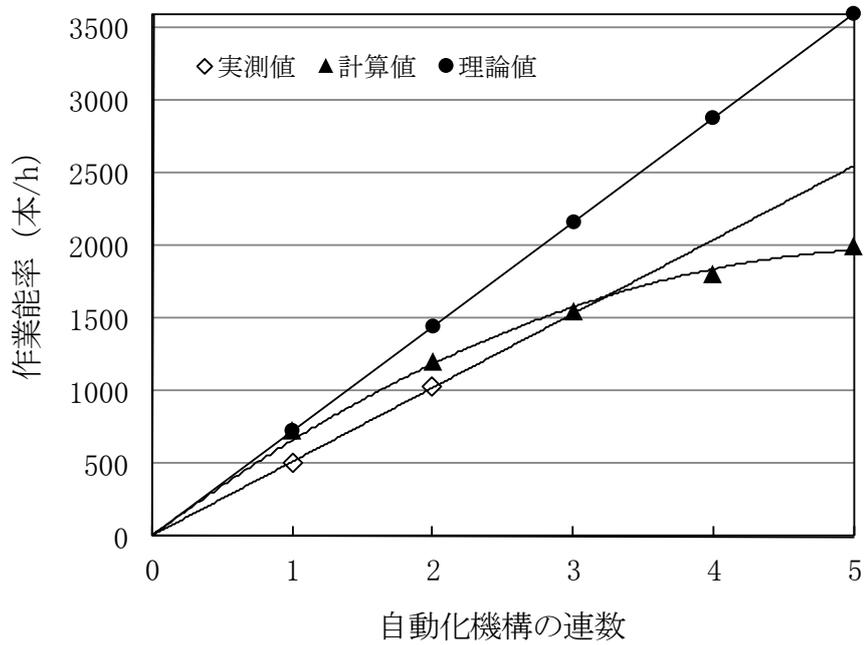
表 2-6 試作2号機の現地実証試験の結果（大分）

人員 (名)	品種	供試 本数 (本)	作業 時間 (min)	作業能率 (本/h)	根部切断			剥皮			損傷 (本)	損失 (本)	製品 率 (%)
					適正	不足	過ぎ	適正	不足	過ぎ			
2	長悦	789	45.0	1052	-	-	-	700	9	54	26	0	96.7
					88.7	1.1	6.8	3.3	0.0				
		598	30.0	1196	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		623	30.0	1245	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	595	28.3	1261	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	叔 作 タ-	409	26.0	944	372	5	16	358	9	26	16	0	96.1
				91.0	1.2	3.9	87.5	2.2	6.4	3.9	0.0		
1	長悦	136	10.0	816	124	1	5	118	4	8	6	0	95.6
					91.2	0.7	3.7	86.8	2.9	5.9	4.4	0.0	
	457	30.0	914	424	0	21	400	20	25	12	0	97.4	
				92.8	0.0	4.6	87.5	4.4	5.5	2.6	0.0		
叔 作 タ-	122	10.0	732	107	7	2	103	3	10	3	3	95.1	
				87.7	5.7	1.6	84.4	2.5	8.2	2.5	2.5		
計		3729	平均	2人 1140 1人 821	90.7	1.9	3.5	87.0	2.6	6.6	3.3	0.5	96.2

※上段は本数, 下段は作業精度(%)を示す。



写真 2-8 2号機の現地実証における供給作業の様子



※実測値のプロットは各連数における平均値を示す。

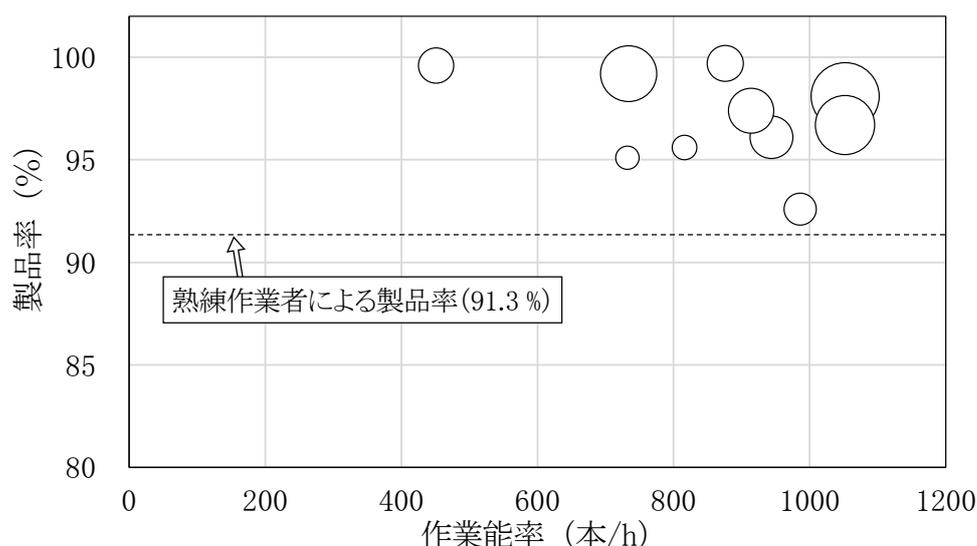
図 2-12 自動化機構の連数と作業能率との関係 ①

2) 作業精度

秋田での現地実証における2号機の根部切断精度(適切率)は94.6%(n=2262), 剥皮精度(適剥き率)は86.9%(同前), 製品率は97.4%(同前)であった(表2-5)。なお, 根部切断精度, 剥皮精度ともに, 供給本数を母数とした割合で求めており, 適正と過不足を加算すると製品率と等しくなる。1号機の試験結果(根部切断精度93.8%, 剥皮精度81.7%, 製品率95.8%)と比較すると, 根部切断精度は同等, 剥皮精度は若干向上したため製品率が向上した。これは夏ネギと比べて秋冬ネギは葉鞘部の表面が硬くなり, 剥皮時に生じる葉鞘部表面の破損が抑制されたことが要因と考えられた。

一方, 大分における現地実証では, 根部切断精度は90.7%(n=1124), 剥皮精度は87.0%(n=1913), 製品率は96.2%(同前)であった(表2-6)。1号機(茨城)や秋田における試験結果と比較して, 根の切り過ぎに起因した皮の剥き過ぎが発生し, 適剥き率が低下したため, 1号機の製品率と同水準にとどまったと考えられた。

作業精度について1号機と2号機の結果を総括すると, 単位時間あたりの処理本数の増加と製品率との間に負の相関は見られず, 高能率化を目指して自動化機構を多連化した2号機においても, 1号機の現地試験で調査した熟練者の作業による製品率91.3%と遜色のない作業精度が得られることを明らかにした(図2-13)。このことから, 自動化機構の多連化によって長ネギ調製作業の能率向上を目指す方向性が正しいことが証明され, 更なる能率向上を目指し施設化を検討することが可能であることが示された。なお, ネギの性状は品種や作型によって異なることから, 常に熟練者と同程度の作業精度を得るためには, 調製作業時に自動根部切断機構および自動剥皮機構における作業状況を都度確認し, 各種設定の微調整を怠らないことが重要である。



※円の大きさの違いは供試本数の多少による。

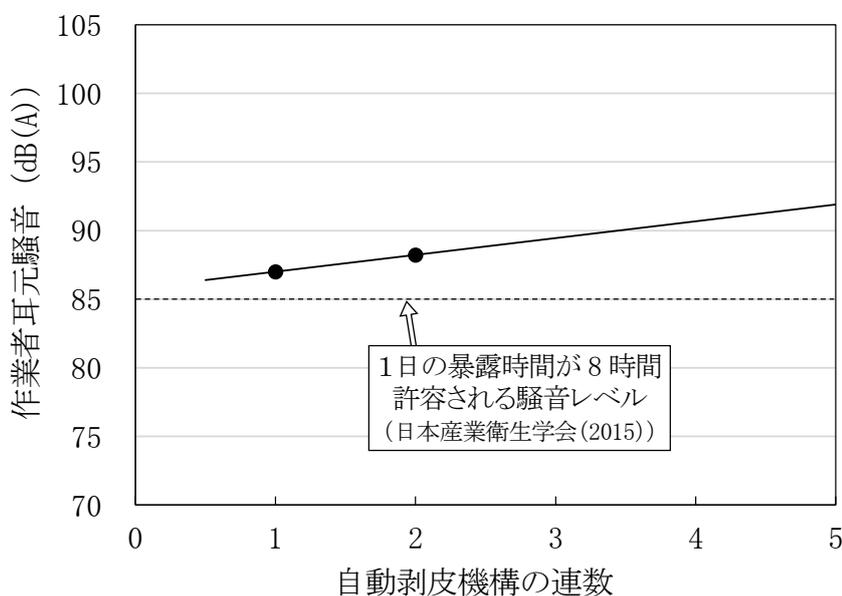
図2-13 作業能率と製品率との関係

3) 作業時騒音

秋田における現地実証では、供給者2名のそれぞれの耳元騒音を調査した結果、自動剥皮機構の排出ダクト側（搬送コンベアの搬送方向に向かって右側）の供給者Aは88.3 dB(A)、反対側に位置する供給者Bは87.9 dB(A)であった。1号機における87 dB(A)より若干増大したものの、2号機では自動剥皮機構の多連化に伴い圧縮空気の噴射量が増加したことを考慮すると、1号機と同様に遮音カバーによる防音対策は有効であると考えられた。

一方、大分での現地実証においても耳元騒音を調査した結果、供給者Aの耳元騒音は88.4 dB(A)、供給者Bは88.3 dB(A)であった。そのため、秋田での現地実証と同様に遮音カバーによる防音対策が有効であることを確認した。

作業時騒音について1号機と2号機を総括すると、作業能率と同様に自動剥皮機構の連数の増加に伴い、線形に耳元騒音が徐々に増大すると推察された（図2-14）。1号機の現地実証における慣行体系のように100 dB(A)を越える騒音に達するまでには余裕があり、剥皮作業部を遮音カバーで覆う騒音抑制手法が効果的であると考えられた。



※プロットは各連数における平均値を示す。

図2-14 自動剥皮機構の連数と作業者耳元騒音との関係 ①

2.4.4 施設化に向けた検討

前述の試作2号機による現地実証の結果より、全自動長ネギ調製機は自動化機構の多連化により能率向上が実現できることが明らかになった。そこで、大規模な共同調製選別施設における利用を想定し、自動化機構を4連に増やした試作3号機を製作して、作業能率、作業精度、取扱性を調査するとともに、施設化に向けた課題の抽出を行った(藤岡ら, 2016b; 写真2-9, 表2-7)。

3号機の設計上の処理能力は、根部切断および剥皮に約4秒、コンベア移送に約4秒を要し、4本を同時処理することから1800本/h程度と算出される。なお、1号機の現地実証の結果より、作業員1名による供給能力はおよそ500~600本/h程度であることから、3号機を有効活用するためには、理論上、3名以上で供給作業を行うことが望ましい。

また、多連化に伴う単位時間あたりの処理本数の増加により、後工程の選別作業への負担が大きくなることから、専用選別機(写真2-10)を併設して、調製から選別まで一連の作業における省力化効果を検証した。



写真2-9 全自動長ネギ調製機(試作3号機)の外観

表 2-7 全自動長ネギ調製機(試作3号機)の主要諸元

寸 法 等	全 長 [m]	8.0 (調製機のみ)
	全 幅 [m]	2.0
	全 高 [m]	1.36
	質 量 [kg]	2000
作業要員数 [名]		3 (前処理および供給)
最大処理能力 [本/h]		1800
適応コンプレッサ [kW]		45
根部切断機構		各4基ずつ搭載
剥皮機構		光電センサによる自動位置判定

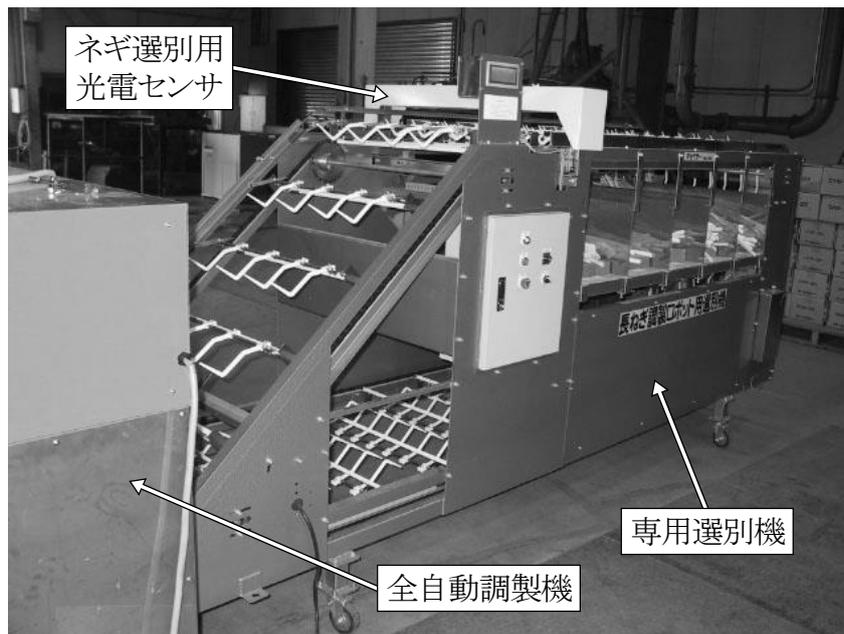


写真 2-10 全自動長ネギ調製機用選別機

2.4.5 調査結果および考察

1) 作業能率

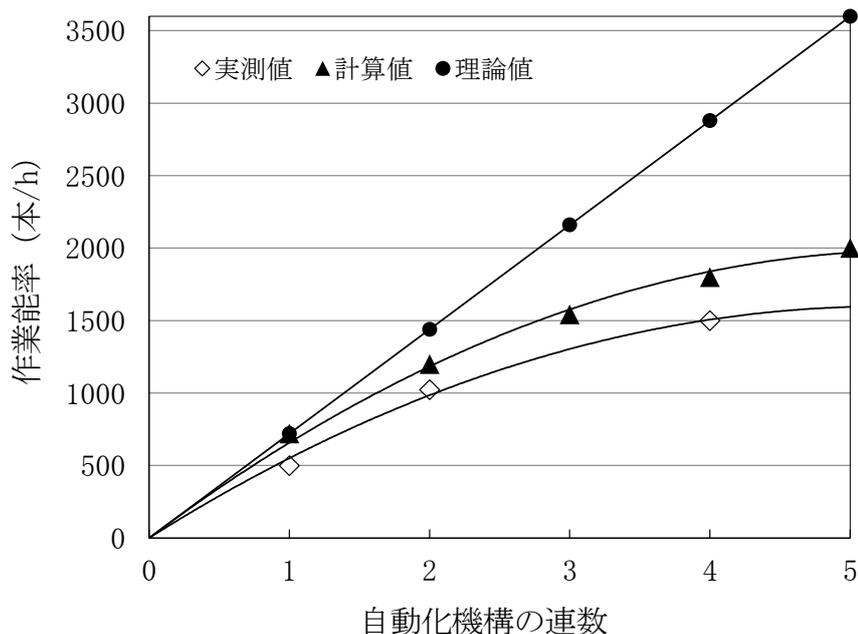
3号機の現地実証を夏ネギの産地である青森県十和田市のJA共選施設にて行った。設計時点では3号機の処理能力を1800本/h程度と見込んでいたが、多連化に伴い自動化機構間の待ち時間調整（各自動化機構の作業終了を確認した後に搬送コンベアを作動させる安全上の措置による）が必要となったことから、処理能力は約1500本/hとなった。

現地の慣行作業では1日7時間の稼動で約300ケースが出荷されており、1ケース45本と仮定すると、1日あたり約13500本を処理していた。作業要員は14名で、2人1組で根葉切りと剥皮を行う半自動調製機（株）マツモト MB-1D）を4台使用した調製作業を行い、選別（手作業）に2名、箱詰め（手作業）に4名が従事していた。そのため、各作業工程の能率は調製のみで241本/(h・人)、調製と選別で192本/(h・人)、調製・選別・箱詰めで137本/(h・人)と算出された。

一方、3号機（専用選別機を含む）は供給者3名、選別機の監視者1名の計4名で調製・選別作業が可能であることから、その利用体系の能率を試算すると、調製のみで500本/(h・人)（慣行比2.07倍）、調製・選別で375本/(h・人)（同1.94倍）、調製・選別・箱詰めで187本/(h・人)（同1.36倍）となり、能率向上が図られることが明らかとなった。ただし、処理能力1500本/hで慣行作業と同様の処理量を確保するためには、作業時間が現状よりも2時間超過してしまうことから、制御プログラムを改良するなどして自動化機構間の待ち時間を短縮して高速化を図る必要がある。

作業能率について1号機から3号機の試験結果を総括すると、自動化機構の連数の増加に伴い、実測値（現地試験で得られた能率の平均値）は増大したが、理論値（1号機の処理能力を単純に自動化機構の連数倍にした値）との関係は線形にはならず、計算値（自動化機構の処理時間（4 s）と搬送コンベアの稼動時間（1 s×自動化機構の連数）を合わせた1工程ごとの処理時間から求めた値）と同様に、自動化機構の連数の増加に伴って処理本数の伸びが鈍化することを確認した（図 2-15）。また、実測値は計算値の8割程度にとどまることも確認できたことから、自動化機構の連数が増えるのにしたがって増加する自動化機構間の待ち時間の短縮が必要であると考えた。

自動化機構の連数の増加に伴い能率向上効果を得づらくなる状況がわかったことから、生産現場への調製装置の導入にあたっては、機械的な処理能力と供給者の処理能力バランスを考慮して、調製装置の連数および作業人員配置を検討する必要があると考えられた。



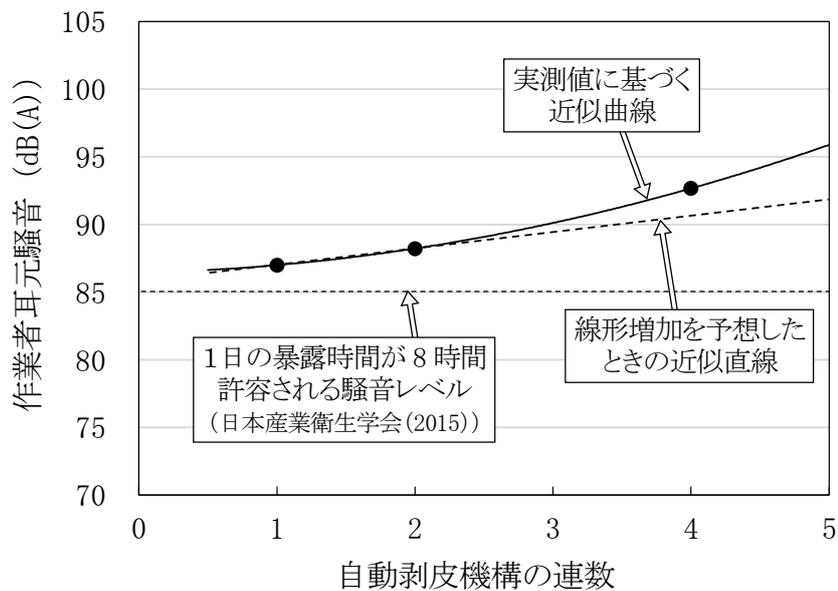
※実測値のプロットは各連数における平均値を示す。

図 2-15 自動化機構の連数と作業能率との関係 ②

2) 作業時騒音

3号機における供給者の耳元騒音は 92~94 dB(A)、選別作業者の耳元騒音が 92 dB(A)となった。1号機、2号機と併せて総括すると、自動剥皮機構の多連化に伴い作業時騒音が増大する傾向が確認された(図 2-16)。なお、1号機および2号機では緩やかに線形で増大すると推測したが、自動剥皮機構をより多連化したときには、騒音の増大幅が大きくなる傾向を確認した。そのため、多連化した全自動調製機においては、遮音性を高めたカバーの設置が必要になると考えられた。

高能率化に伴う新たな課題も抽出され、単位時間あたりの処理本数が増加したことにより、調製残渣を迅速に排出する方法の検討が必要となった。現地実証では、収穫したネギを共選施設に搬入する際に使われる鉄製コンテナを、写真 2-11 のように自動剥皮機構の排出口に設置し、残渣を収容するとともに、フォークリフトを用いてその交換を試みた。全自動長ネギ調製機の施設化にあたっては、残渣排出用コンベアを別途設置するなど、附帯設備の整備も必要であると考えられた。



※プロットは各連数における平均値を示す。

図 2-16 自動剥皮機構の連数と作業員耳元騒音との関係 ②

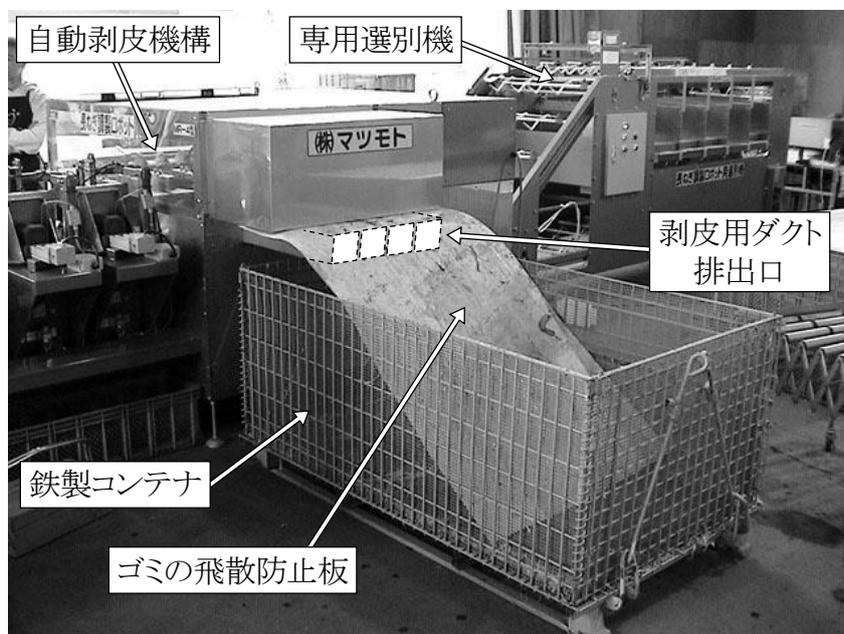


写真 2-11 自動剥皮機構排出口に設けた残渣収集用コンテナ

2.5 まとめ

長ネギ調製作業の省力化を目的とした全自動調製機の開発を目指し、要素技術として透過光を利用して切断位置を高精度に自動判別できる自動根部切断機構、並びに光電センサ群を用いて葉身部の展開程度から剥皮開始位置を高精度に自動判別し、剥皮用ダクトを利用して効率的に剥皮を行う自動剥皮機構の二つの自動化機構を開発した。

これらを組み込んだ全自動長ネギ調製機の試作1号機を製作して、現地実証に供した結果、以下の知見を得た。

- ① 1号機（供給者1名）の作業能率は約500本/(h・人)、根部切断の適切率率は約94%、剥皮の適剥き率は約91%、製品率は約96%であった。現地の熟練者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。
- ② 1号機では作業員耳元騒音を87dB(A)まで低減でき、圧縮空気の噴射に起因する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。

全自動長ネギ調製機の試作1号機の能率向上を図るため、自動化機構を多連化して2本同時処理を可能とした2号機を試作した。これを秋田県と大分県の長ネギ産地において実証試験に供した結果、以下の知見を得た。

- ③ 2号機（供給者2名）の作業能率は約900～1200本/h、根部切断の適切率率は約91～95%、剥皮の適剥き率は約87%、製品率は約96～97%であった。①の熟練者による慣行作業と比較して、1人あたりの作業能率は約1.3～1.7倍に向上し、かつ作業精度はほぼ同等の性能を有することを確認した。なお、供給者1名で作業を行ったところ、約820本/(h・人)（①の慣行作業と比較して約2.5倍）という結果が得られたことから、作業員が調製機の取り扱いに習熟することで慣行作業に比べ大幅な能率向上が図られる可能性を明らかにした。
- ④ 2号機では作業員耳元騒音を約88dB(A)まで低減することができ、1号機と同様に連続作業を行う上で十分な防音性能を有することを確認した。

また、多連化による能率向上効果が確認できたことから、施設化に向けた検討を行うために自動化機構を4連に増やした3号機および専用選別機を試作した。これを青森県の長ネギ産地において実証試験に供した結果、以下の知見を得た。

- ⑤ 3号機（供給者3名+選別者1名）の作業能率は調製のみで500本/(h・人)（現地の慣行作業と比べ2.07倍）、調製・選別で375本/(h・人)（同1.94倍）であった。また、現場の箱詰め工程までを含めた全体（調製・選別・箱詰め）でも187本/(h・人)（同1.36倍）となり、調製・選別の体系全体において能率向上が図られることを明らかにした。

全自動調製機の開発により第一の目的であった調製作業の高能率化を実現した。その一方で、剥皮に要する圧縮空気の消費量は増大し、圧縮空気を供給するエアコンプレッサの大型化を招く結果となった。エアコンプレッサは主に電気エネルギーで駆動することから、エネルギー消費量の増大、ひいてはランニングコストの増大につながる。そのため、高能率化と併せて省エネルギー化を実現する技術開発が必要であると考えられた。

以上、長ネギの調製作業における根部切断と剥皮を高精度かつ高能率に行うことが可能な全自動長ネギ調製機を開発した。開発機は作業者の習熟を不問とし、かつ作業時騒音を従来機と比較して 10dB(A) 以上低減するなど、作業環境の改善にも効果が得られることを明らかにした。

第3章 省エネルギー化に向けた高効率長ネギ剥皮選別機の開発

3.1 はじめに

前章では全自動調製機の開発によって調製作業の高効率化を実現したが、長ネギの剥皮には圧縮空気を用いることから、単位時間あたりの処理量が増加すると、圧縮空気の供給能力の高いエアコンプレッサが必要となった。空気自体は無尽蔵に存在するが、エアコンプレッサを稼働させるエネルギー（主に電気エネルギー）消費量の増加を招く。そのため、剥皮作業能率の向上と空気使用量の削減を両立させる高効率な剥皮機を開発できれば、生産コスト低減に寄与できる。また、近年、農作業従事者の高齢化や後継者不足に伴い、作業の習熟度を問わずに熟練者並みの作業ができる技術開発が求められている。特に、長ネギの階級選別については、各農家における個選体制をとる産地が多く、人に起因した判別精度のばらつき低減が求められている。

そこで本章においては、高効率調製機の開発を目的とし、剥皮作業の高効率化と省エネルギー化の両立、作業への習熟を不要とする選別を実現する上で必要となる要素技術の開発について述べる。すなわち、剥皮作業の能率向上と空気使用量の削減を両立させる高効率剥皮用ノズルと、選別作業に不慣れな作業員でも熟練者と同様に太さ選別ができる太さ判別装置の2つの要素技術の開発について述べる。

次に、これらを搭載した高効率長ネギ剥皮選別機の開発について述べ、高効率化と省エネルギー化の両立による効果の検証、ならびに現地実証を通じた実用化に向けた検討について述べる。

3.2 高効率長ネギ剥皮選別機の要素技術の開発

3.2.1 高効率剥皮用ノズルの開発

慣行の剥皮機は、作業台または凹型の溝の左右に直管型ノズルを固定し、エアコンプレッサから供給される圧縮空気をネギ表面に吹き付けて、不要な外葉（皮）を剥離している。ノズルから噴射された圧縮空気は、ネギ表面の狭い部分に集中して当たるため、剥皮作業員はネギの葉鞘部（軟白部）全体にまんべんなく圧縮空気を当たるように、ネギを捻る動作を繰り返しながら剥皮を行う。そこで、作業員がネギを捻る動作を省略して能率を向上させる試みとして、従来の左右一対のノズルに加え、上方にノズルを加えた3方向から圧縮空気を噴射する方式（松本，2004；木暮，2009）が考案された。しかし、ノズル本数を増やすことは、空気噴射量の増大、エアコンプレッサの大型化を招くことが懸念される。

一方、工業分野では、部品等を洗浄した後の水分除去や、切削後のバリ取りのために回転ノズルを使用する例がある。回転ノズルはラップ状に一端が開口したノズルカバーと、圧縮空気を通す樹脂素材でできた柔軟なチューブで構成される（長谷川，1999；

林, 2009)。ノズル基部にチューブの一端を固定して圧縮空気を通すと、ノズルカバーの内壁に沿ってチューブが湾曲しながら回転運動を始める。これに伴い、チューブの他端からは圧縮空気が円運動をしながら噴射されるため、圧縮空気が対象物の広い範囲に当たることが特徴である。また、回転ノズルはチューブに圧縮空気を流すだけで回転運動が発生し、回転運動に外部動力を必要としないことも大きな特徴である。

慣行の剥皮用ノズルと回転ノズルの噴射特性の違いを把握するために、工業用回転ノズル（(有)ガリユー SGR-90, 噴射口径（チューブ内径）：2.5 mm, 全長：125 mm, チューブ材質：ナイロン；写真 3-1）と、慣行ノズル（(株)マツモト製剥皮機 EMM のノズル, 噴射口径：2.5 mm×2 頭口, 真鍮製；写真 3-2），面圧力分布測定システム（ニッタ(株) I-SCAN, センサ面：84 mm×84 mm, 格子点数：44 点×44 点；写真 3-3）を供して、圧力分布の視覚化を試みた。ノズルの噴射口とセンサシートの距離、圧縮空気の圧力を種々変えて調査した結果、回転ノズルは距離が離れるに従って、同心円状に圧縮空気の当たる範囲が広がる様子が確認された（図 3-1）。

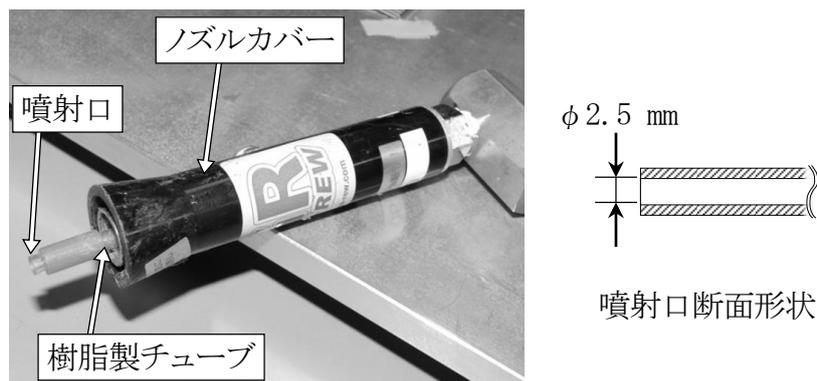


写真 3-1 工業用回転ノズル ((株)ガリユー SGR-90)

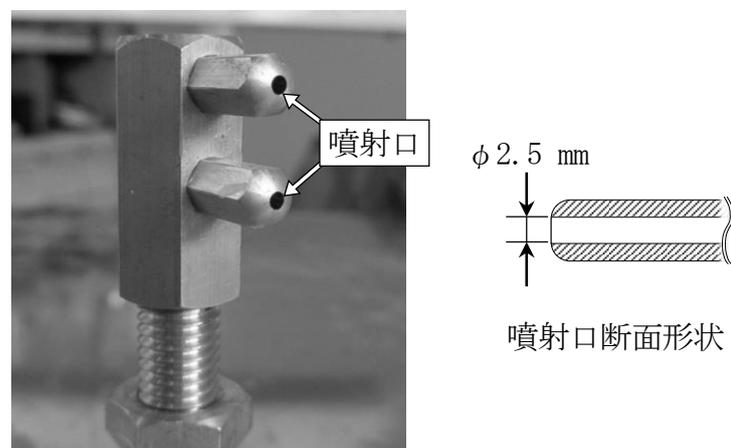


写真 3-2 慣行剥皮用ノズル ((株)マツモト EMM 用)

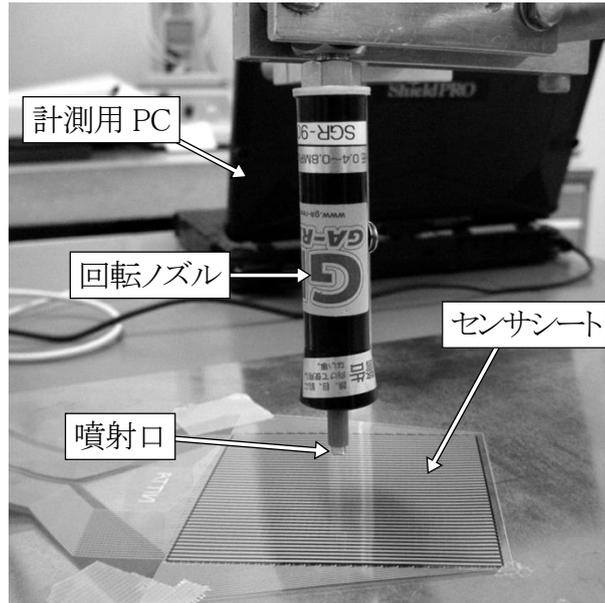
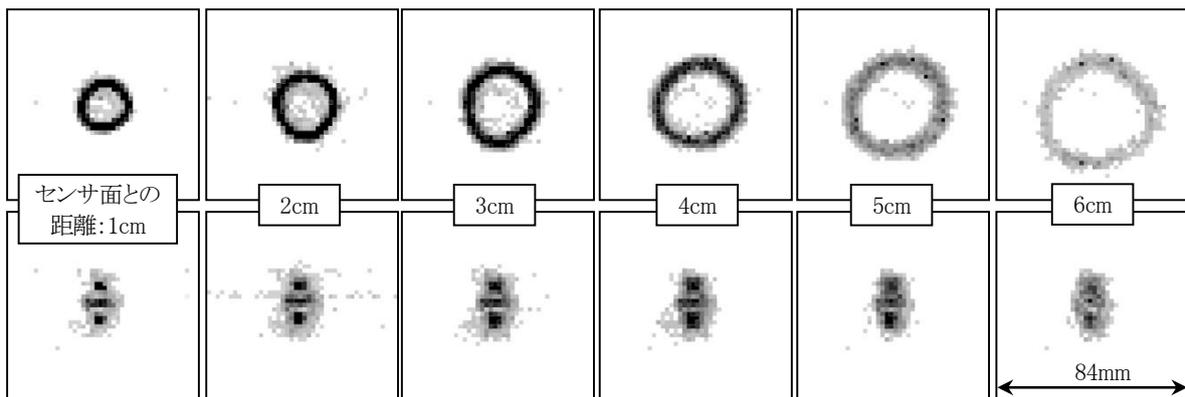


写真 3-3 面圧力測定システム (ニッタ(株) I-SCAN)



- ※1) 0.001MPa 未満(白)~0.05MPa 以上(黒)を 13 階調に分けて表示。
- 2) データ取得周期 100fps で 3 秒間計測した時のピーク圧力分布を表示。
- 3) 圧縮空気の圧力は 0.5MPa。

(上段:工業用回転ノズル(ガリユー SGR-90), 下段:慣行ノズル(マツモト EMM 用))

図 3-1 ノズルの種類による噴射圧力分布の差違

ネギ表面の広い範囲に圧縮空気を当てることができれば、剥皮作業者はネギを捻らずに手前に引抜くだけで剥皮作業が行える。そのため、剥皮作業に要する時間、すなわち圧縮空気の噴射時間が短縮され、空気噴射量を節減できると考えた。そこで、工業用回転ノズルを長ネギの剥皮作業に適用することを検討した。

工業用回転ノズルの剥皮作業への適用性を検討するために、左右一対で計2本の回転ノズルと、慣行ノズルを剥皮部に各々取り付けられる試作1号機(写真3-4)を製作し、長ネギ1本を処理する際に消費する空気噴射量を比較した(藤岡ら, 2014a)。

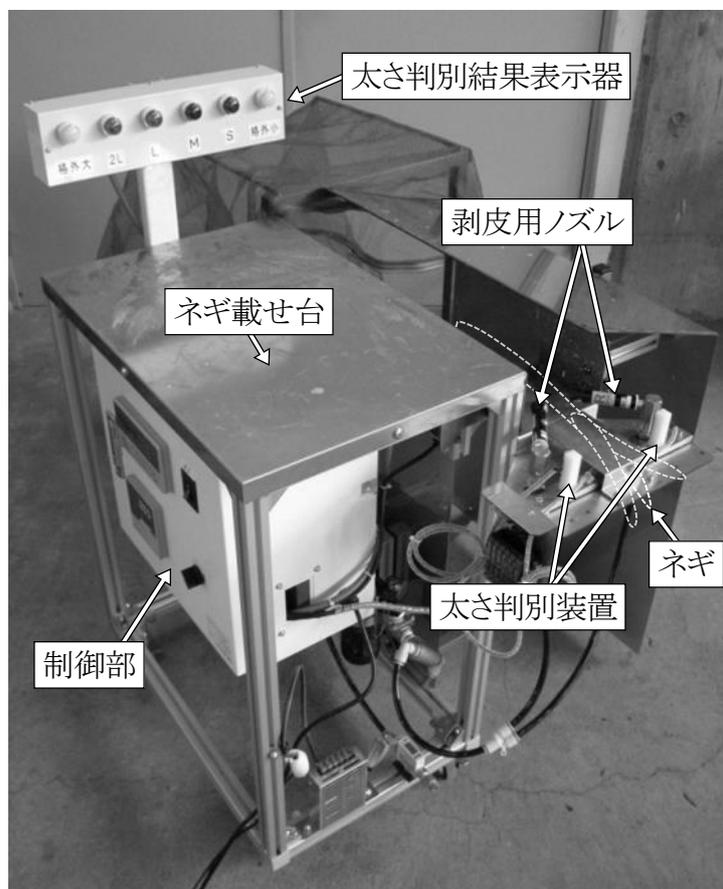


写真 3-4 高効率長ネギ剥皮選別機(試作1号機)の外観

剥皮に用いる圧縮空気は、圧力開閉器式の電動エアコンプレッサ((株)日立産機システム 2.2P-9.5VD5, 出力: 2.2 kW) から供給した。上限圧力に達して圧縮機が停止してから、下限圧力に達して圧縮機が再稼働するまでに排出される空気量はほぼ一定(5反復, 20 °C, 1気圧換算で 175.6 ± 1.4 L)であったことから、この一定量の圧縮空気処理できる本数を調査して、1本当たりの空気噴射量に換算して比較した。

調査には埼玉県鴻巣市で収穫した品種「吉蔵」を供試した。葉鞘径と葉鞘長は、回転ノズル区が 21.1 ± 1.3 mm と 33.6 ± 2.9 cm, 慣行ノズル区が 21.5 ± 2.3 mm と 31.3 ± 2.4 cm であった。

その結果、単位空気量当たりの処理本数は、回転ノズルが3反復の平均で9.7本、慣行ノズルが4反復の平均で5.3本であった。空気噴射量に換算すると、回転ノズル

は 18.1 L/本、慣行ノズルは 33.1 L/本となり、ほぼ半減できることを確認した。回転ノズルでは、ネギ表面に圧縮空気が当たる場所が噴射口の回転運動によって刻々と移動するため、定点から見れば周期的に打撃が加わる効果が得られる（安井ら，2005）。そのため、少ない空気噴射量でも良好な剥皮ができたと考えられた。

試作 1 号機に搭載した工業用回転ノズルは、農業分野での利用が想定されておらず、長ネギ表面に付着した土砂や埃の飛散によって、チューブやノズルカバー内壁が摩耗し、劣化することが懸念された。そこで、ノズルカバーをプラスチックからステンレスに、チューブをナイロンからウレタンゴムに変更して耐摩耗性を高めた、ネギ剥皮用回転ノズル（写真 3-5；以下、高効率剥皮用ノズル）を製作した。

高効率剥皮用ノズルは、チューブの内径を一定にした状態で外周をテーパ状に加工し、ノズル基部側のチューブの肉厚を空気噴射口側と比べて厚くすることで、チューブの捻じれに起因する劣化への耐久性を高めた（藤岡ら，2013）。150 時間の連続稼働実験においてもチューブ、ノズルカバーともに摩耗はみられず、実用上問題のない耐久性を有していることを確認した。また、高能率に剥皮作業を行うためには、圧縮空気の噴射圧力とともに、剥離した皮を吹き飛ばす風量が必要であることから、チューブ内径を 2.5 mm から 3.0 mm に拡大した。チューブ内径を拡大すると瞬時流量は増大するが、圧縮空気の噴射時間は短くなり、チューブ内径 2.5 mm の回転ノズルと比較して剥皮作業能率が向上し、かつ空気噴射量の節減効果も維持できると考えた。

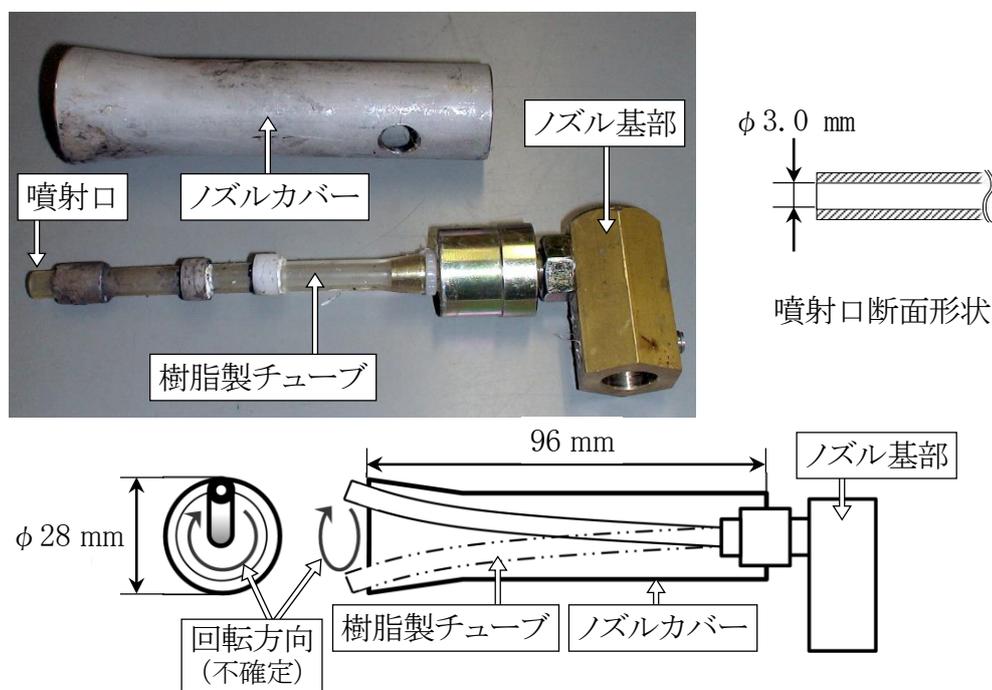


写真 3-5 開発した高効率剥皮用ノズル

開発した高効率剥皮用ノズルを左右一対で2本搭載した試作2号機（写真 3-6）を製作し，剥皮作業能率と空気噴射量，作業者耳元騒音を調査するため，秋田県能代市において性能試験を実施した（藤岡ら，2014a）。対照機として市販機A，Bの2機種を供試し，市販機A（(株)マツモト MZ-1，ノズル噴射口径：3.7 mm×2頭口×2本）は高能率型，市販機B（(株)マツモト EMM，ノズル噴射口径：2.5 mm×2頭口×2本）は普及型と位置付け，それぞれ比較を行った。

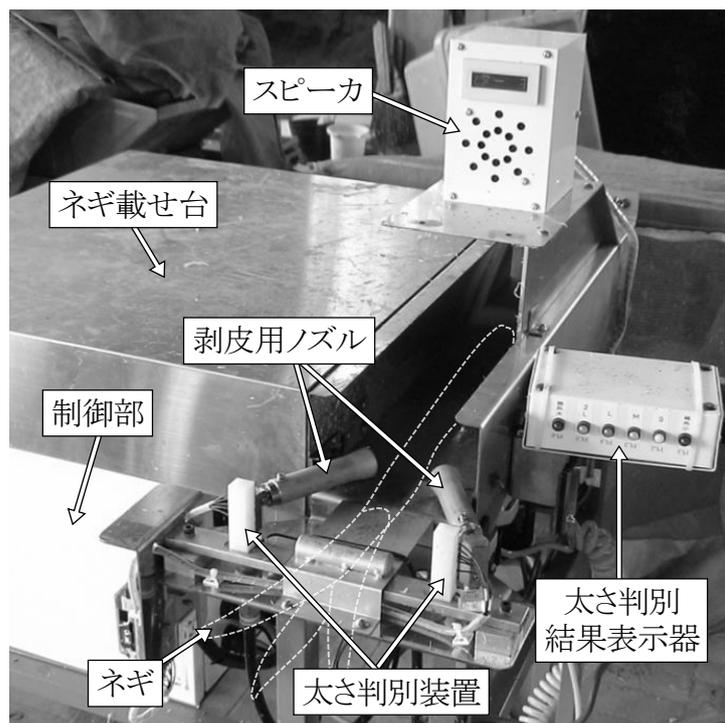


写真 3-6 高効率長ネギ剥皮選別機(試作2号機)の外観

供試したネギの品種は「夏扇パワー」，作物条件は全長 96.7 ± 5.4 cm，葉鞘長 24.0 ± 2.1 cm，葉鞘径 20.1 ± 2.2 mm，葉数 6.3 ± 0.7 枚であった。

剥皮作業能率は，試作2号機で50本を3反復，市販機A，Bでそれぞれ40本を2反復ずつ連続処理した時の作業時間から求めた。空気噴射量は，気体流量計（アズビル(株) MCF0250，計測範囲：60～3000 L/min（瞬時流量の積算流量換算値，20℃，1気圧換算））を用いて計測した。なお，圧縮空気の圧力は，試作2号機と市販機Aで0.4 MPa，市販機Bで0.43 MPaに設定して剥皮作業を行った。作業者耳元騒音は，騒音計（リオン(株) NL-22）を用いて，センサヘッドを右側面に取り付けたヘルメットを剥皮作業者が被った状態で測定した。剥皮作業時の騒音は，圧縮空気の噴射に起因した間欠騒音で，かつ暗騒音との差が10 dB以上あったことから，暗騒音の補正は行わず，

空気噴射時のピーク値を剥皮作業ごとに記録し、その平均値を比較した（(株)小野測器，2013）。

性能調査の結果，剥皮作業能率は，試作2号機が平均623本/h，市販機Aが平均633本/h，市販機Bが平均521本/hであった。また，空気噴射量は，試作2号機が平均9.8L/本，市販機Aが平均49.8L/本，市販機Bが平均31.3L/本であった。

高能率型の市販機Aと2号機を比較すると，剥皮作業能率はほぼ同程度であったが，空気噴射量は約1/5に節減することができた。また，普及型の市販機Bと2号機を比較すると，剥皮作業能率は20%向上し，空気噴射量は約1/3に節減することができた（表3-1）。

表3-1 剥皮作業能率調査の結果

供試ノズル	作業能率 (本/h)	空気噴射量 (L/本)
高効率剥皮用ノズル (噴射口径 3.0mm)	623 ^a	9.8 ^a
慣行ノズル(市販機A) (噴射口径 3.7mm×2 頭口)	633 ^a	49.8 ^b
慣行ノズル(市販機B) (噴射口径 2.5mm×2 頭口)	521 ^b	31.3 ^b

※危険率5%で異文字間に有意差あり

高効率剥皮用ノズルを用いることで，剥皮作業時の空気噴射量が節減できる理由を考察するために，各ノズルの流量を単純比較した。流量を Q [m³/s]，流路断面積を A [m²]，流速を V [m/s]，流量係数を C とすると，流量 Q は以下の式(3-1)で表せ，また，ベルヌーイの定理より流速 V は式(3-2)で表すことができる。

$$Q = C \times A \times V \quad (3-1)$$

$$V = \sqrt{2 \times P \div \rho} \quad (3-2)$$

ここで P [Pa]は圧力， ρ [kg/m³]は流体密度を表す。

20℃，1気圧の空気の密度は1.20 kg/m³であることから，流体密度 ρ は0.40 MPaの時5.96 kg/m³，0.43 MPaの時6.32 kg/m³となる。式(3-2)から空気の流速 V は，

0.40 MPa の時 366.3 m/s, 0.43 MPa の時 368.9 m/s と求まる。ノズルの噴射口断面積 (A) は, 試作 2 号機が 14.1 mm², 市販機 A が 43.0 mm², 市販機 B が 19.6 mm² であることから, 流量係数 C を一定として流量 Q を比較すると, 試作 2 号機を 1 とした場合, 市販機 A が 3.0, 市販機 B が 1.4 となり, 性能試験から得られた結果とは合致しない。

そこで, 剥皮作業ごとの空気噴射時間を調査した結果, 試作 2 号機は 1.1±0.4 s, 市販機 A は 1.6±0.6 s, 市販機 B は 2.2±0.7 s であった。それぞれの流量に剥皮作業ごとの空気噴射時間を掛けて求めた空気噴射量を比較すると, 試作 2 号機を 1 とした場合, 市販機 A が 4.4, 市販機 B が 2.8 となり, 性能試験から得られた結果と概ね一致する。

このことから, 空気噴射量の節減は, 噴射口断面積の縮小だけではなく, 剥皮作業時の圧縮空気の噴射時間が短縮されることにも起因することが明らかになった。なお, 剥皮作業以外のネギの移動などにいずれの機種でも 5 秒程度を要したため, 剥皮作業全体でみると大きな能率向上が得られなかったことも判明した (図 3-2)。

一方, 剥皮作業時の作業者耳元騒音は, 2 号機, 市販機 A, B いずれも 100 dB(A) を超えていたことから, 高効率剥皮用ノズルを使用した場合においても従来と同様に騒音対策を講じる必要があり, 可動式の遮音蓋などを剥皮部に備える必要がある (図 3-3)。

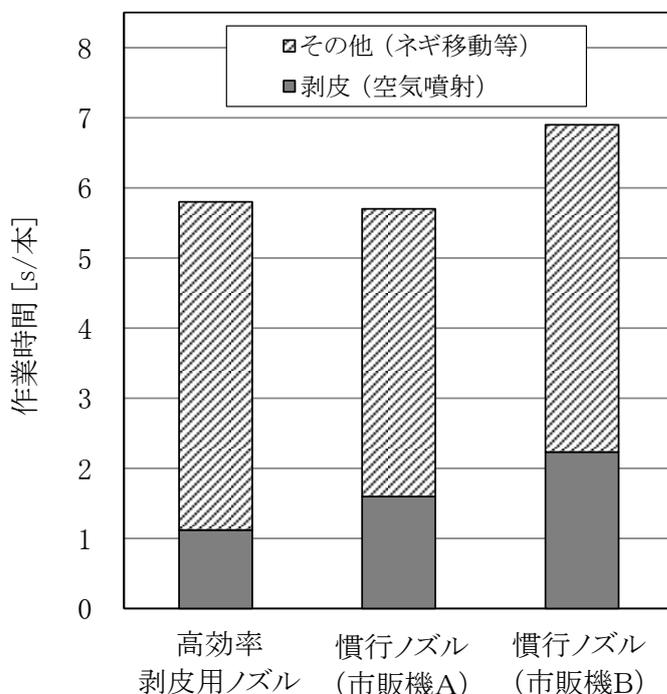
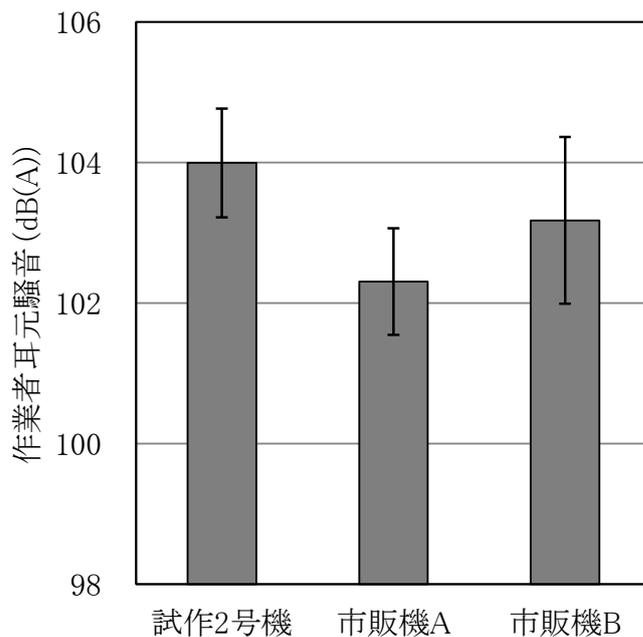


図 3-2 ノズルの種類による空気噴射時間の差違



※エラーバーは±標準偏差を示す。

図 3-3 剥皮作業時の作業者耳元騒音

3.2.2 太さ判別装置の開発

慣行の長ネギの太さ判別は、剥皮作業と同時に作業者の目視によって専ら行われている。太さ判別には熟練を要し、作業に習熟していない作業者が判別を行うと選別精度にばらつきを生じることが危惧される。そのため、生産現場からは人に起因する判別精度のばらつきを低減する技術開発が要望されている。

作業能率を低下させずに太さ判別を行うためには、剥皮と同時にネギの葉鞘径を計測する測定器を、剥皮部周辺に備えることが適当と考えられる。慣行の剥皮作業は、剥皮機に設けられた左右一対の剥皮用ノズルの間にネギを挿入し、ノズルから噴射される圧縮空気をネギに作用させて行われることから、剥皮用ノズルと同様に左右一対の門柱型の太さ判別装置を剥皮部に設けることで、剥皮と同時に葉鞘径を計測できると考えた。

そこで、太さ判別装置に用いるセンサとして、比較的安価な光電センサを階級選別の境界値ごとに鉛直方向に並べて配置し、基準面から出荷規格の境界値ごとに平行な光軸を設け、この光軸の束をネギが何本遮るかによって太さ判別を行う方法を考案した（藤岡ら，2011；図 3-4）。

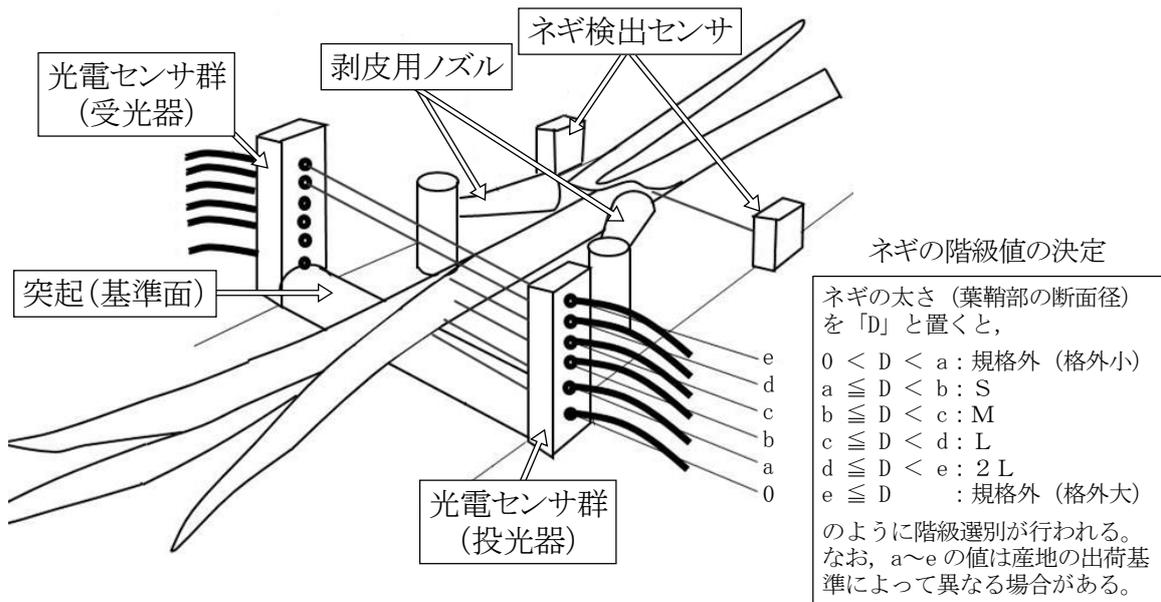


図 3-4 複数の光電センサによる太さ判別装置の構成概要

なお、考案した太さ判別装置の計測部には、半円柱状の突起を設けてある。これは、鉛直方向に配置した光電センサ群の最下部（剥皮部の床面と一致）にネギを接触させた状態で計測しなければ正確な太さ判別ができないため、この突起上面を基準とし、突起にネギを接触させながら引き抜くようにしたものである。太さ計測の基準を凸状に突起させたため、作業者は従来の剥皮作業と同様に、ネギを浮かせながら剥皮作業と太さ計測を行うことができる。また、葉鞘部が曲がったネギでもその形状に合わせて突起上面に沿わせることで、簡便かつ正確に太さ判別が行うことができる。

剥皮機はネギの有無を光電センサ(ネギ検出センサ)によって検知することにより、圧縮空気の噴出と停止を制御している。剥皮が終了すると作業者はネギを手前に引き抜くため、ネギ検出センサが OFF になり、圧縮空気の噴射が停止される。これをトリガ信号として、剥皮ノズルの後方に設置した太さ判別装置が葉鞘径を計測する構造としたため、盤茎部から約 15 cm 付近の葉鞘径を計測することができる。

門柱型の樹脂ブロックに複数個の光電センサ ((株)キーエンス, [センサヘッド]FU-59, 光軸径: 0.7 mm, センサ径: 1.5 mm, [アンプ]FS-V31 (親機), FS-V32 (子機)) を階級選別の境界値ごとに固定した太さ判別装置 (写真 3-7) を製作した。階級選別の境界値は秋田県内のネギ産地の出荷基準を参考にして、10 mm, 13 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm とし、それぞれ格外小, S, M, L, 2L, 格外大の 6 階級に選別した。太さ判別結果を階級ごとにランプ表示する判別結果表示器を設け、皮むき作業の終了と同時に作業者へ知らせる構造とした。これを前述の試作 1 号機 (写真 3-4) に搭載し

て太さ判別精度を調査した。なお、判別精度の評価対照機として、工業分野で外径計測に用いられる高精度なレーザ外径計測器（(株)キーエンス VG-035，検出範囲：35 mm，設定距離：0～300 mm，最少検出物体：φ0.5 mm）を同じく1号機に搭載して比較した（写真3-8）。

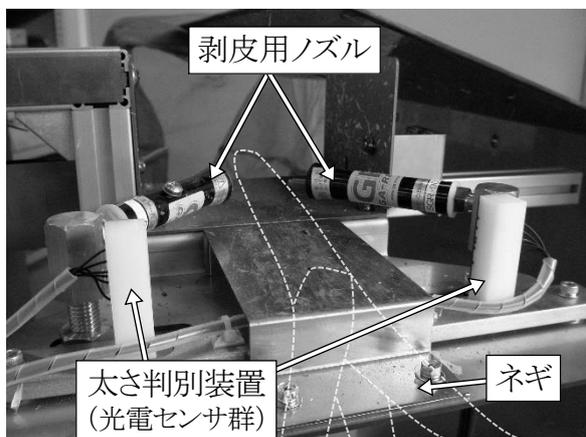


写真 3-7 光電センサ群を用いた太さ判別装置

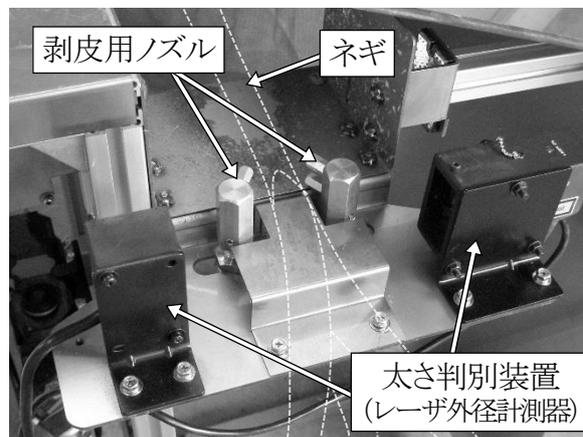


写真 3-8 レーザ外径計測器を用いた太さ判別装置

太さ判別精度は、剥皮を終えたネギの葉鞘径（断面の長軸方向の外径，盤茎部から10 cm 付近の部位）をノギスで計測した値を実測値とし、太さ判別装置の判別結果と実測値と照らし合わせて、その正解率として求めた。調査には埼玉県鴻巣市で収穫した品種「吉蔵」を74本供試し、葉鞘径は 17.5 ± 3.8 mmであった。

1号機による判別精度調査の結果、光電センサ群を用いた太さ判別装置の正解率は85%，レーザ外径計測器を用いた正解率は82%であった（表3-2）。いずれの方法とも同程度の良好な判別精度が得られたことから、より安価な光電センサを用いて太さ判別装置を構築することとした。

表 3-2 太さ判別装置による判別精度 ①

供試機	正解率 (%)	階級値					
		格外大	2L	L	M	S	格外小
供試本数 (本)		1	19	36	9	6	3
1号機							
光電センサ群	85	100	95	86	67	100	33
レーザ外径計測器	82	0	89	86	67	83	67

※各行の数字は各階級の正解率(%)を示す。

上記の結果を受け、前述の試作2号機（写真 3-6）に光電センサ群による判別装置を搭載し、太さ判別精度を調査した。2号機では新たに判別結果を音声で作業者へ知らせるスピーカを剥皮部上方に設置した。調査方法は1号機の調査と同様に実測値を真値とした正解率を求めた。調査には秋田県能代市で収穫した品種「夏扇パワー」を450本供試し、葉鞘径は 17.5 ± 1.8 mmであった。

2号機による判別精度調査の結果、正解率は81%であった。（表 3-3）。

表 3-3 太さ判別装置による判別精度 ②

供試機	正解率 (%)	階級値					
		格外大	2L	L	M	S	格外小
2号機	81	0	26	328	7	3	0
		-	67	85	37	50	-

※上段の数字は実測値で分類した各階級の本数、
下段の数字は各階級の正解率(%)を示す。

なお、正解率が80%程度にとどまった理由としては、階級選別の境界値付近の太さのネギをノギスで測った実測値を基準として、0.1 mm単位でその正誤を判定したことが一因に挙げられる。仮に階級選別の境界値付近、例えば境界値の ± 0.5 mmの範囲内にあるネギは、1号機による調査では供試数の32%、2号機による調査では19%存在した。この範囲内の正解率と、範囲外の正解率をそれぞれ求めると、1号機では67%と94%、2号機では61%と85%となり、境界値付近の太さのネギが正解率の向上を妨げていると考えられた。いずれの場合においても、2LをMと判断するなど階級を飛越えて誤判定するケースはみられなかったことから、剥皮機に太さ判別装置を搭載して選別する方法は有用であると考えられた。

取扱性については、太さ判別結果を作業者に知らせる機能について、剥皮作業はノズル先端付近を注視して行うため、太さ判別結果の表示器は剥皮ノズル周辺に設置することが望ましいと考えられた。また、ランプ表示だけでは瞬時に判別結果を判断することが難しいため、バックライト式のパネルで階級値を表示するなど、視認性を高める工夫が必要と考えられた。スピーカからの音声で判別結果を作業者に知らせる機能は、剥皮終了後に音声を発するため、圧縮空気の噴射音にかき消されることはなく、音声は良好に聞き取ることができた。なお、門柱型の樹脂ブロックに階級選別の境界値ごとに複数の光電センサを固定する方式では、産地ごとに若干異なる境界値に応じて設定を変更することが難しい。取扱性を向上させるためには、任意の境界値に設定変更が可能な方法を検討する必要がある。

3.3 高効率長ネギ剥皮選別機の開発

3.3.1 高効率長ネギ剥皮選別機の構成

前述の試作2号機による性能試験の結果を受け、剥皮部、太さ判別装置や太さ判別結果表示器をそれぞれ改良した、高効率長ネギ剥皮選別機の試作3号機（写真3-9、表3-4）を製作した（藤岡ら，2014b）。

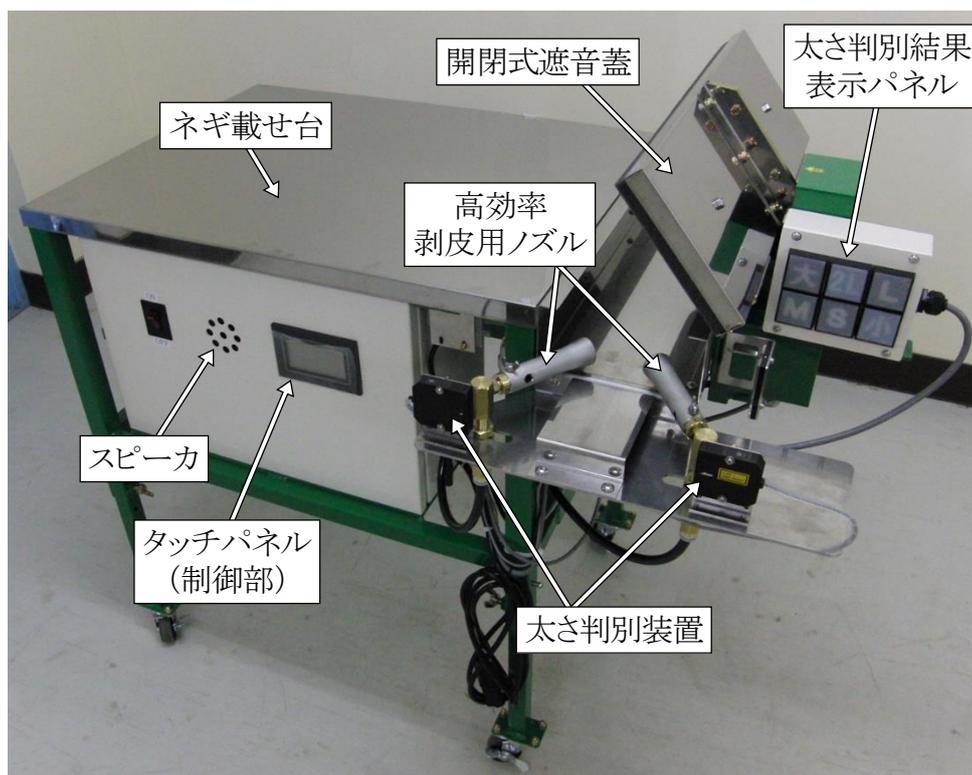


写真 3-9 高効率長ネギ剥皮選別機(試作3号機)の外観

表 3-4 高効率長ネギ剥皮選別機(試作3号機)の主要諸元

寸法等	全幅 (m)	1.00
	奥行 (m)	0.65
	全高 (m)	0.80
	質量 (kg)	48
適応コンプレッサ (kW)		2.2 以上
剥皮部	高効率剥皮用ノズル×2 本 開閉式遮音蓋	
太さ判別部	エリア式光電センサ 判別結果表示器, スピーカ	

剥皮部には、試作2号機に搭載した高効率剥皮用ノズル（チューブ内径：3.0 mm，チューブ材質：ウレタンゴム）を載せ、新たに作業員耳元騒音を低減させるために開閉式の遮音蓋を備えた。開閉式遮音蓋は空圧シリンダで駆動し、剥皮部にネギが挿入されたことを光電センサ（ネギ検出センサ）が感知すると蓋が閉まり、圧縮空気が剥皮用ノズルから噴射される。剥皮が終了し、剥皮部からネギが引き抜かれると、圧縮空気の噴射が止まり、遮音蓋を開放する構造とした。遮音蓋の内側にはウレタンを貼付し、遮音と吸音による作業員耳元騒音の低減を図った。騒音障害防止のためのガイドライン（労働省，1992）によると、作業時騒音が85 dB(A)を超える場合には、何らかの騒音低減措置を講じる必要があるとされている。前述の慣行の剥皮機および試作2号機を供した現地実証においても作業員耳元騒音が100 dB(A)を超えていたことから、85 dB(A)を下回ることを目標に作業環境の改善を図ることとした。

太さ判別装置は、試作2号機で使用した門柱型の樹脂ブロックに複数個の光電センサを階級選別の境界値ごとに配置する方式から、新たにエリア式光電センサ（(株)キーエンス，[センサヘッド]FU-E40，光軸幅：40 mm，光軸厚：3 mm，[アンプ]FS-N11MN；写真3-10）を用いる方式に変更し、投光部から照射した帯状の光を軟白部が遮った割合をネギの太さに換算する方法を検討した。太さ判定を行うタイミングは、剥皮が終了して剥皮部からネギが引き抜かれたことをネギ検出センサが感知し、センサがOFFになったことをトリガ信号として利用した。なお、階級選別の境界値の設定は、制御部のタッチパネル（パナソニック(株) AIGT0030B1）から行えるようにした。

太さ判別結果表示器には、視認性を向上させるためにバックライト式のパネルを新たに採用した（写真3-11）。また、2号機で効果を確認した音声による判別結果の伝達方法を3号機でも採用し、制御部にスピーカを内蔵した。

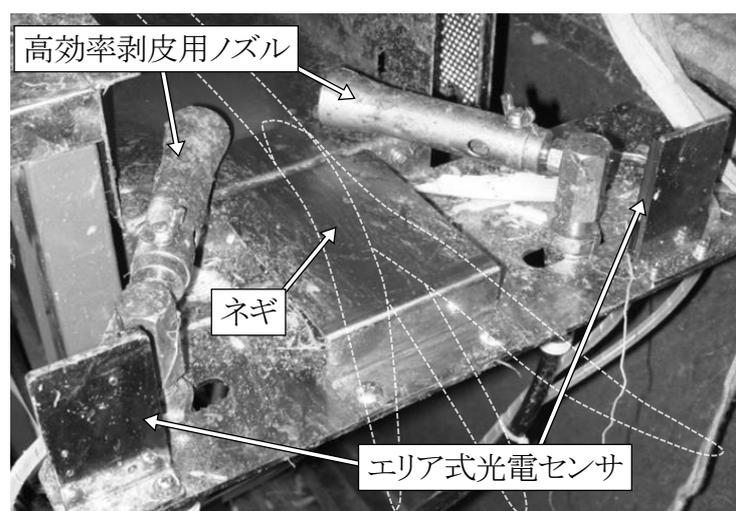


写真3-10 エリア式光電センサを用いた太さ判別装置

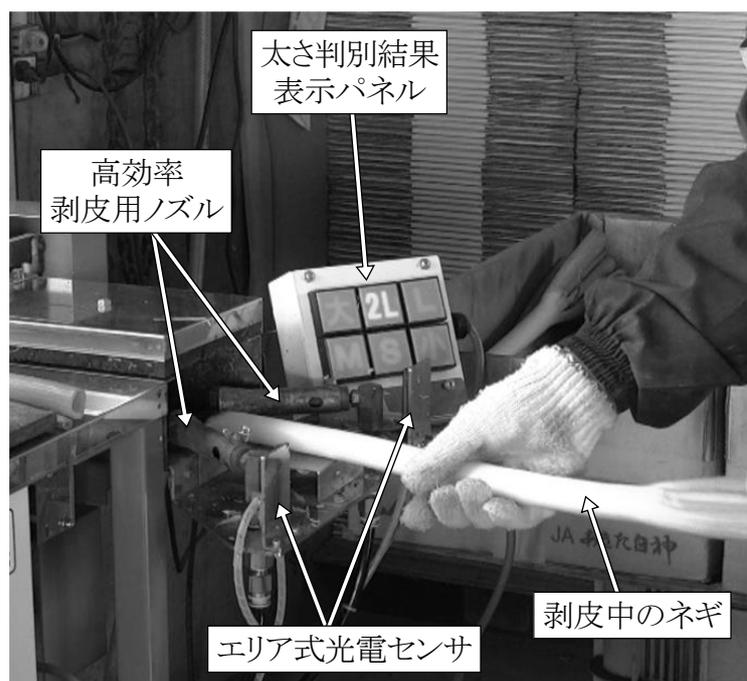


写真 3-11 太さ判別結果表示パネル

3.3.2 試験方法

試作3号機を3台製作し、7月下旬～11月中旬にかけて、秋田県内の複数のネギ生産農家の協力を得て現地実証を行った。実証試験では、各生産者が普段使用している剥皮機を対照機として供試し、1日ごとの処理本数と積算電力量（三相）を記帳してもらい、剥皮作業に要した電力量を比較した。電力量は、電力計（日置電気(株) クランプオンパワーハイテスタ 3168, クランプオンテスタ 9298）を用いて計測した。

また、性能試験を実施する日を設けて、剥皮作業能率、空気噴射量、太さ判別精度の調査や取扱性に関する聞き取りを行った。空気噴射量は気体流量計（アズビル(株) MCF0250, 計測範囲：60～3000 L/min（瞬時流量の積算流量換算値））を用いて計測し、20℃、1気圧に換算して求めた。エアコンプレッサは、いずれの試験、機械においても調査農家で保有しているものを使用した。

太さ判別精度は、レーザ外径計測器（(株)キーエンス, [センサヘッド]GV-T28C, 測定範囲：28 mm, 繰返し精度：5 μm, [アンプ]GV-51）を用いて葉鞘径（断面の長軸方向）を計測し、得られた実測値を出荷基準に照らして求めた階級値を真値として、太さ判別装置および目視判別による階級値と比較して正解率を求めた。出荷基準は現地のもを適用し、調査農家Aでは10 mm未満を格外小, 10～13 mmをS, 13～15 mmをM, 15～20 mmをL, 20～25 mmを2L, 25 mm以上を格外大として分類した。調査農

家Bでは10 mm未満を格外小、10～16 mmをM、16～20 mmをL、20～25 mmを2 L、25 mm以上を格外大として分類した。調査農家Cでは10 mm以下をS、10～16 mmをM、16～22 mmをL、22～28 mmを2 L、28 mm以上を格外大として分類した。

現地では、葉鞘部中央付近を計測して葉鞘径としていたが、試作3号機は装置の仕様上、盤茎部から15 cm付近を計測して葉鞘径としている。そのため、レーザ外径計測器で葉鞘部中央付近と盤茎部から15 cm付近の葉鞘径をそれぞれ求め、前者を目視判別の基準、後者を機械判別の基準として用いた。

(1) 調査農家A (作業者：男性、36歳、経験年数7年)

7月26日～10月28日にかけて、実証試験と性能試験を実施した。普段の剥皮作業では、剥皮機MED-NL ((株)マツモト、ノズル噴射口径：3.7 mm) と、出力5.5 kWのエアコンプレッサを使用していた。試験には品種「ホワイトスター」と「夏扇パワー」、「夏扇4号」を供試し、圧縮空気の圧力は3号機で0.45 MPa、対照機で0.6 MPaとした。開閉式遮音蓋による作業者耳元騒音の軽減効果を確認するため、騒音計(リオン(株)NL-22)を用いて、3号機の空気噴射時のピーク値を剥皮作業ごとに記録した。

(2) 調査農家B (作業者：男性、81歳、経験年数28年)

8月9日～11月19日にかけて、実証試験と性能試験を実施した。普段の剥皮作業では、剥皮機MED ((株)マツモト、ノズル噴射口径：2.5 mm×2頭口) と、出力2.2 kWのエアコンプレッサを使用していた。試験には品種「夏扇パワー」と「夏扇4号」を供試し、圧縮空気の圧力は3号機、対照機ともに0.5 MPaとした。

(3) 調査農家C (作業者：男性、69歳、経験年数13年)

9月6日、28日、10月6日に性能試験を実施した。普段の剥皮作業では、剥皮機MED-NL (前掲) と、出力2.2 kWのエアコンプレッサを使用していた。試験には品種「夏扇3号」と「夏扇パワー」を供試し、圧縮空気の圧力は3号機で0.3 MPa、対照機で0.2 MPaとした。

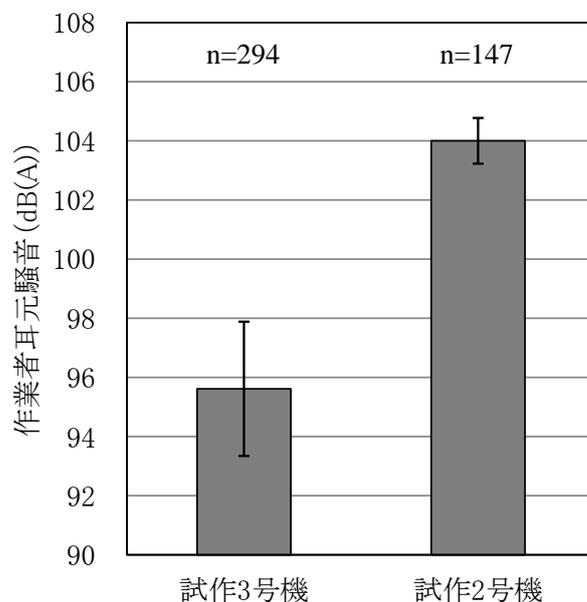
3.3.3 試験結果および考察

(1) 調査農家A

3号機の延べ作業日数は20日間、処理本数は45525本、積算電力量は207 kWhであった。対照機の延べ作業日数は8日間、処理本数は17775本、積算電力量は252 kWhであった。電力消費量を比較すると、3号機が 4.7 ± 1.3 Wh/本、対照機が 14.3 ± 5.5 Wh/本となり、慣行比は0.33と約1/3に低減できることを確認した。

また、長ネギ約200本ずつを供試した性能試験の結果、剥皮作業能率は3号機が730本/h、対照機が604本/hで、慣行比は1.21であった。空気噴射量は3号機が21.3 L/本、対照機が46.8 L/本で、慣行比は0.46であった。太さ判別精度は3号機による機械判別が74%、目視判別が72%であった。

3号機の剥皮作業時の作業員耳元騒音は 95.6 ± 2.3 dB(A)であった。昨年度調査した2号機の 104.0 ± 0.8 dB(A)と比べ、約8 dB(A)の騒音低減効果を確認した(図3-5)。しかし、目標とした85dB(A)までは低減できなかったことから、剥皮作業時には従来どおりにイヤーマフの着用が推奨される。



※エラーバーは±標準偏差を示す。

図3-5 剥皮作業時の作業員耳元騒音

(2) 調査農家B

3号機の延べ作業日数は28日間、処理本数は44490本、積算電力量は201 kWhであった。対照機の延べ作業日数は22日間、処理本数は34140本、積算電力量は207 kWhであった。電力消費量を比較すると、3号機が 4.5 ± 1.4 Wh/本、対照機が 6.3 ± 2.4 Wh/本となり、慣行比は0.71と約3/4に節減できることを確認した。

また、長ネギ約500本ずつを供試した性能試験の結果、剥皮作業能率は3号機が506本/h、対照機が498本/hで、慣行比は1.02であった。空気噴射量は3号機が14.2 L/本、対照機が17.0 L/本で、慣行比は0.83であった。太さ判別精度は3号機による機械判別が56%、目視判別が70%であった。

(3) 調査農家C

長ネギ約300本ずつを供試した性能試験の結果、剥皮作業能率は3号機が398本/h、対照機が301本/hで、慣行比は1.32であった。空気噴射量は3号機が15.6 L/本、対照機が22.0 L/本で、慣行比は0.71であった。太さ判別精度は3号機による機械判別が60%、目視判別が62%であった。

実証試験および性能試験の結果をまとめると、剥皮作業能率は慣行機と比べ2～32 % 向上し、空気噴射量は慣行機の46～83 %に節減された。空気噴射量の減少に伴い、エアコンプレッサの稼働に要する電力消費量も減少し、慣行機と比べ33～71 %に節減可能であった（表3-5）。

表 3-5 剥皮作業能率と空気噴射量, 電力消費量の調査結果

項目	剥皮作業能率 (本/h)			空気噴射量 (L/本)			電力消費量 (Wh/本)			
	被験者	3号機	慣行機	慣行比	3号機	慣行機	慣行比	3号機	慣行機	慣行比
A		730**	604**	1.21	21.3	46.8	0.46	4.7**	14.3**	0.33
B		506	498	1.02	14.2	17.0	0.83	4.5**	6.3**	0.71
C		398**	301**	1.32	15.6	22.0	0.71	-	-	

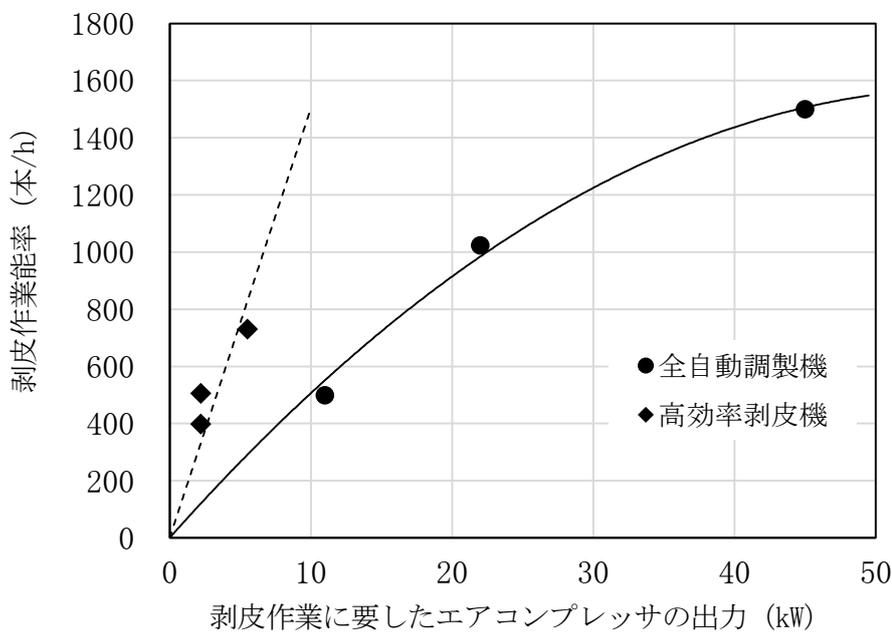
**は危険率5%で機種間に有意差あり。

結果の数値に幅がみられた原因としては、剥皮作業者の技量およびコンプレッサ出力の差が影響を及ぼしたと考えられた。剥皮作業能率と空気噴射量は一部を除いて慣行機との有意差がみられなかったが、高効率剥皮用ノズルを用いることで、より小型のエアコンプレッサを用いても、剥皮作業能率を向上できる可能性を見出した。電力消費量は慣行機を用いた作業と有意水準5 %で差がみられたことから、ネギ剥皮用回転ノズルを用いることで、生産コストの低減に寄与できると考えられた。

前章で開発した全自動調製機と、本章で開発した高効率剥皮機の剥皮作業能率について総括すると、剥皮作業に必要なエアコンプレッサの出力を横軸にとり、縦軸に剥皮作業能率の実測値をプロットした結果、図3-6のようになった。図3-6からは、全自動調製機と比べ、高効率剥皮機の近似曲線の傾きが大きくなっていることがわかる。このことは、より小出力のエアコンプレッサを用いて高能率な剥皮作業が実現できていることを示しており、本章の目的とした剥皮作業の省エネルギー化が達成されていることが明らかとなった。

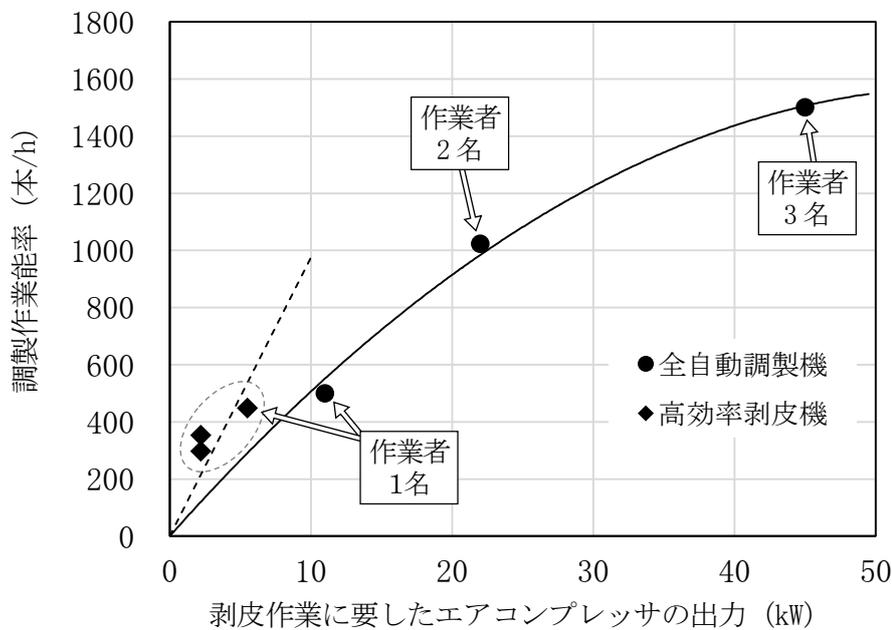
なお、図3-6は剥皮作業能率について見ているが、全自動調製機は根部切断および剥皮の両作業を同時に行うことができる。そのため、全自動調製機1号機の現地試験で調査した慣行の手作業による根部切断所要時間 3.1 s/本を高効率剥皮機の作業能

率に加算すると図 3-7 のようになり、作業員 1 名で比較すると、全自動調製機の方が高能率に調製作業を実施できることがわかる。



※プロットは平均能率を示す。

図 3-6 エアコンプレッサ出力と剥皮作業能率との関係



※プロットは平均能率を示す。

図 3-7 エアコンプレッサ出力と調製作業能率(根部切断および剥皮)との関係

太さ判別装置による機械判別と熟練者による目視判別の選別精度は、機械判別が平均 64 %、目視判別が平均 68 %となった（表 3-6）。

両者の間には有意水準 5 %で差がみられなかったが、機械判別は熟練者の目視判別と比べて精度がやや劣る傾向を示した。原因としては、剥皮部からネギが引抜かれた時点で太さ判別を行ったため、作業者がネギを引き抜く速さによって計測位置が変わり、葉鞘径の真値を求めた計測位置と異なる位置の太さを計測していた可能性があると考えられた。

表 3-6 機械判別と目視判別との精度比較

被験者	機械判別							目視判別						
	判別精度	格外大	2L	L	M	S	格外小	判別精度	格外大	2L	L	M	S	格外小
A	77	1	49	146	10	0	0	72	1	149	146	4	0	0
		0	65	84	40	-	-		0	52	92	75	-	-
B	56	0	17	64	21	-	0	70	0	15	90	21	-	0
		-	94	50	43	-	-		-	0	76	95	-	-
C	60	0	10	71	19	0	-	62	0	66	114	9	0	-
		-	60	61	58	-	-		-	82	49	100	-	-

※各行の上段の数字は実測値で分類した各階級の本数、下段の数字は各階級の正解率(%)を示す。

取扱性については、ネギ剥皮用回転ノズルを用いた剥皮作業では、作業性の良さ、剥皮後の仕上がり具合などで高い評価を得た。回転ノズルは、ネギ表面の広い範囲に圧縮空気が当てられるため、ネギが左右に振られる現象が減り、ネギがノズルに接触して発生する損傷が抑えられたと考えられた。

一方、外気温が低くなると回転ノズルの動作が不安定になることが指摘された。現地では11月に入ると最低気温が10℃を下回るようになり、特に明け方の作業で高効率剥皮用ノズルのチューブの柔軟性が低下して回転が不安定になると考えられた。

また、太さ判別装置では、不慣れな作業者でも熟練者に近い選別精度で太さ判別できることが評価された。しかし、剥離した皮がセンサに引っ掛かることで誤作動を起こす、基準面からネギが浮いた場合に計測エラーとなることなど、作業性に関する改善要望が出された。

3.3.4 実用化に向けた改良

現地実証の結果を受け、特に高効率剥皮用ノズルのチューブが低温環境下で硬化し、回転が不安定になることへの対策を検討した。チューブの素材であるウレタンゴムは

耐寒性（最低使用温度）が $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ （東洋化学工業(株)，2016）であることから素材は変更せず，チューブの硬度を下げて柔軟性を高めることを試みた。しかし，現行の50度（プラスチック消しゴム程度の柔らかさ）から40度に下げたサンプルでは，圧縮空気の圧力を 0.4 MPa 以上に高めると破裂してしまうことを確認した。そのため，チューブの硬度は変更せず，ノズル本体を加熱することで温度低下に伴うチューブの硬化を避ける方法を検討した。ウレタンゴムは耐熱性（連続使用温度）が $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ であることからノズルカバーを加熱する方法は適当でない判断し，ノズルカバーの内側に温風を注入してチューブを加熱する方法を考案し，図3-8に示すようなノズル加熱装置を製作した（藤岡ら，2012）。

ノズル加熱装置は，電熱ヒータ，送風機，通風管で構成し，ヒータで温めた外気をノズルカバー内側へ注入することでチューブを温める。これにより，温度低下によるチューブの硬化が抑えられ，低温環境下においても剥皮に適した回転数を得ることができる。電熱ヒータは 200 W のものを用い，外気温が $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ の場合にノズルカバー内が $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 程度になるように設定し，消費電力は 0.1 kWh 程度となっている。また，低温時以外においても送風機から外気を加熱せずに注入することにより，ノズルカバー内側が正圧（陽圧）となり，剥皮作業時に飛散する土砂や埃がノズルカバー内に侵入することを抑制できる。

一方，太さ判別装置については，現地実証時に指摘された課題を解決する方法が見出せなかったことから，実用化を見合わせ，引き続き，取扱性の改善や選別精度の向上に向けた検討を行うこととした。

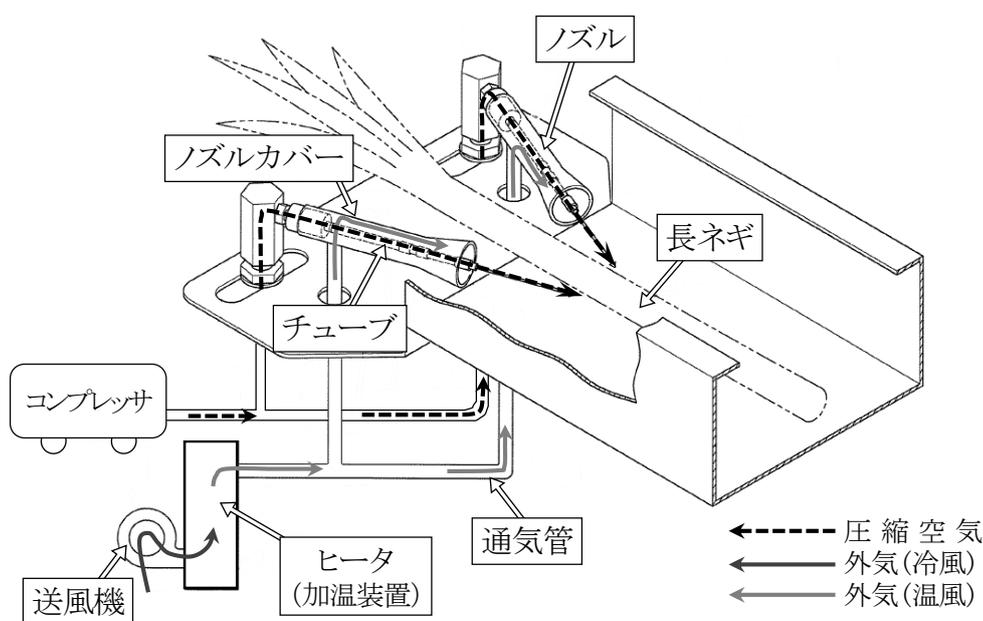


図 3-8 ノズル加熱装置

3.4 まとめ

長ネギの剥皮作業における能率向上と省エネルギー化の両立、および人に起因した選別精度のばらつきを低減させることを目的とした高効率長ネギ剥皮選別機の開発を目指し、高効率剥皮用ノズルと太さ判別装置の2つの要素技術を開発した。それぞれを高効率長ネギ剥皮選別機の試作1号機、2号機に搭載し、現地実証等に供した結果、以下の知見を得た。

- ① 広範囲に圧縮空気を作用させられる工業用回転ノズルを、長ネギの剥皮作業に適用することを検討し、試作1号機に搭載してその効果を検証した結果、1本当たりの処理に要する空気使用量を慣行ノズルと比べてほぼ半減できることを確認した。
- ② 工業用回転ノズルを長ネギ調製用に改良した高効率剥皮用ノズルを開発した。これを試作2号機に搭載して性能試験を行った結果、高能率型慣行機Aと比較して、剥皮作業能率が約620本/hとほぼ同等で、空気使用量は約1/5に節減できた。また、普及型慣行機Bと比較して、剥皮作業能率が20%向上し、空気使用量は約1/3に節減できた。
- ③ 光電センサを用いた剥皮同時選別機構を考案し、試作1号機、2号機にそれぞれ搭載して性能試験を行った結果、階級選別の正解率がともに80%程度と良好な判別精度が得られた。

これらの結果より、高効率剥皮用ノズルを利用することで、作業能率の向上と空気使用量の節減を両立できることを明らかにした。これにより、新規参入時や設備更新時により小型のエアコンプレッサを選択、導入することが可能となり、初期投資の抑制、および電力料金などのランニングコストを低減できると考えられた。また、太さ判別装置を利用することで、長ネギの階級選別を剥皮作業と同時にできることを明らかにした。機械判別が可能となることで作業に習熟を要さなくなり、雇用作業者などの非熟練者による判別精度の低下を抑制できると考えられた。

高効率剥皮用ノズルと太さ判別装置を搭載した試作3号機を製作し、生産現場での長期利用を通じてそれぞれの効果を確認する目的で現地実証を行った結果、以下の知見を得た。

- ④ 剥皮作業能率は慣行機と比べ2~32%向上し、空気噴射量は慣行機の46~83%に節減された。エアコンプレッサの稼働に要する電力消費量は、慣行機と比べ33~71%に節減可能であった。
- ⑤ 太さ判別装置による機械判別と熟練作業員による目視判別の選別精度を比較した結果、機械判別は平均64%、目視判別は平均68%であった。両者の間には有意差がみられなかったが、取扱性に課題を残した。
- ⑥ 被験者から取扱性について意見を聴取した結果、高効率剥皮用ノズルを用いた剥

皮作業は、作業性の良さ、剥皮後の仕上がり具合などで高い評価を得た。また、太さ判別装置を用いた階級選別は、不慣れな作業員でも熟練者に近い精度で選別できることが評価されたが、作業性の改善に関する要望が出された。

- ⑦ 現地実証の結果を踏まえ、低温時に高効率剥皮用ノズルのチューブが硬化して回転が不安定になることを防止する、ノズル加温装置を考案した。

以上、作業能率の向上と空気使用量の節減を両立させる高効率剥皮用ノズルと、剥皮と同時に太さ判別が行える太さ判別装置を開発し、これらを搭載した高効率長ネギ剥皮選別機を開発した。開発機は能率が最大 32 % 向上、空気噴射量を最大で 46 % に低減、電力消費量を最大で 33 % に削減可能であった。また、選別精度については熟練者と差違は見られなかったが、取扱性に課題を残した。

第4章 総合考察

食料は人間の生命維持に欠かせないだけでなく、健康で充実した生活を送る上で重要である。食品の多くを輸入に頼る日本では、安定した食料供給対策を講じる必要がある。食料安全保障を考える上で、一つの重要な指標となるのが食料自給率である（農林水産省，2015a）。主要先進諸国では高い食糧自給率を維持しているのに対し、日本は39%に留まっており特異な状況にある（農林水産省，2015b）。一方、野菜は1965年には国内自給が実現されていたが、他の品目と同様に年々減少し、2014年には80%まで低下した。しかし、野菜の自給率については他の先進諸国と比べても日本の数字は決して低い値ではない（農林水産省，2011）。野菜は多量の水分を含有するため、生命維持のためという目的からすれば肉類に劣る。しかし、野菜は食物繊維やビタミン、ミネラルといった生活習慣病を防止する成分の重要な摂取源であり、健康を維持するために欠かせない食料の一種である（丸山，2012）。

農林水産省では、国民生活において重要な野菜14品目を指定野菜として定め、これらの生産地を指定することで振興を図っている。指定野菜14品目の生産に要する投下労働時間（農林水産省，2001a）を見ると、いずれの品目においても収穫以降の作業に多くの時間が費やされている。葉茎菜類は根菜類や果菜類とは異なり、収穫部位がそのまま製品にならず、不要な部位の除去が必要となる品目が多い。収穫作業だけではなく、収穫物の外観を整える調製作業、次工程の流通の利便性を高める出荷作業（選別・包装など）といった付加価値を高める作業にも多くの労力を要しており、生産現場からは収穫のみではなく、調製や選別作業についても機械化による作業の省力化が強く要望されてきた。

葉茎菜類における収穫、調製作業の機械化は途上にあるものの研究開発は進展しており、作業の省力化、軽労化が図られつつある（吉永，2006）。しかし、機械が開発された品目においても、米麦などの穀類と比較すれば、依然として時間と労力を要していることも事実であり、とりわけ長ネギにおいては10aあたりの投下労働時間が417時間と他品目に比べて多く、なかでも調製作業が140時間、選別などの出荷労働が85時間と全体の54%を占めることから、生産現場からは省力化が強く求められてきた。

収穫後の長ネギには不要な根や葉（外皮）が付いており、収穫後のネギの質量の約4割が非可食部（残渣）であることから、調製作業として根部切断と剥皮が行われる。根部切断、剥皮作業ともに前述のように作業精度が商品価値に直結することから、いずれの作業とも専ら熟練者によって行われ、生産性向上の制限要素となっている。

根部切断は剥皮の前処理として不要な根を切除する。長ネギの盤茎部では樹木の年輪のように重なり合った葉が収斂しており、切断深さが浅いと外皮が盤茎部に引っ掛かり、剥皮作業の能率が低下する。また、切断深さが深いと内側の葉鞘部が押し出さ

れて、商品価値が低下する。そのため、根部切断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、生産規模拡大の阻害要因となってきた。

剥皮は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んで不要な外皮を剥離しているため、圧縮空気を作用させる位置を誤ると剥け残りや破砕を生じるなど、根部切断と同様に熟練を要する。さらに、圧縮空気の噴射に起因した騒音に伴う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）。

1999年および2000年の天候不順に端を発した生鮮野菜の輸入量急増を受け、日本政府は2001年4月23日にWTOセーフガード協定等及び関税定率法に基づき、ネギ、生シイタケと畳表の3品目についてセーフガードの暫定措置を発動した（財務省・経済産業省・農林水産省，2001）。セーフガードの発動により、国内野菜産地の緊急保護と同時に野菜産地の構造改革が喫緊の課題となり、各産地において野菜の産地強化計画が策定されることとなった（農林水産省，2001b）。産地強化計画では、ネギ生産において投下労働時間の5割超を占める調製、出荷作業を、高性能機械の積極的な導入によって労働時間の短縮を図り、生産コストの低減を目指す方策が示された。これまでに剥皮作業の省力化ならびに高能率化が検討されたが、ネギは同一の圃場、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剥皮開始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、外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。

また、長ネギは出荷基準に応じた選別を生産者ごとに行い、結束、梱包したものを産地単位でとりまとめて出荷する、いわゆる個選共販体制をとる産地が多い。太さ選別は剥皮作業者が目視で行うことが多いが、作業従事者の高齢化や雇用労力の導入が進み、選別に不慣れな作業者が増加しつつある。目視による太さ判別作業は熟練を要するだけでなく、作業者によって判別精度が異なることも危惧されている。

そこで本研究では、高能率かつ高精度に長ネギの調製作業を行うことができる調製装置を開発することを最終目的として、以下の二つの開発に取り組んだ。

第一に全自動調製機を開発を目的として、その要素技術である根部切断と剥皮の高能率化を目指し、適切な切断位置を自動で判定して根部切断を行う自動根部切断機構と、適切な剥皮開始位置を自動で判定して圧縮空気で剥皮を行う自動剥皮機構の二つの自動化機構を開発した。次いで、これらの自動化機構を搭載した全自動長ネギ調製機を開発し、更なる高能率化を目指し複数本のネギを同時に処理できるように前述の

自動化機構を多連化した高能率全自動長ネギ調製機を開発して、施設化に向けた検討を行った。

一方、長ネギの調製作業、特に剥皮の高能率化に伴い、圧縮空気を供給するエアコンプレッサの稼動に要するエネルギー投入量が増加することを抑制するため、第二に高能率化と省エネルギー化を両立させる高効率調製機の開発を目的として、その要素技術となる作業能率の向上と空気使用量の節減を両立させた高効率剥皮用ノズルを開発した。また、選別作業に不慣れな雇用労働者でも熟練者と同様に太さ選別ができ、人に起因する判別精度のばらつき低減を目指した太さ判別装置を開発した。次いで、これらの要素技術を搭載した高効率長ネギ剥皮選別機を開発し、現地実証を通じて実用化に向けた検討を行った。

4.1 高能率化に向けた全自動長ネギ調製機の開発

第2章の全自動長ネギ調製機の開発（藤岡ら、2016a；藤岡ら2016b）では、長ネギの調製作業における根部切断と剥皮の高能率化を目指し、適切な切断位置を自動で判定して根部切断を行う自動根部切断機構と、剥皮開始位置を自動で判定して圧縮空気で剥皮を行う自動剥皮機構の二つの自動化機構の開発に取り組んだ。これらの自動化機構を搭載した全自動長ネギ調製機を開発し、更なる高能率化を目指し複数本のネギを同時に処理できるように前述の自動化機構を多連化した高能率全自動長ネギ調製機を開発して、施設化に向けた検討を行うことを目的とした開発研究を行った。

葉鞘部と盤茎部の光の透過具合の差違を利用して、透過型光電センサ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部で切断面から漏出する光を捉えて、適切な切断位置を自動判定して切断を行う自動根部切断機構、並びに光電センサ群を用いて葉身部の展開程度から剥皮開始位置を高精度に自動判別し、前後移動する剥皮用ダクトの入り口に設けたノズルから圧縮空気を噴射してダクトを後退させることで効率的に剥皮を行う自動剥皮機構を開発し、これらを組み込んだ全自動長ネギ調製機1号機を試作した。1号機を現地実証に供した結果、以下の知見を得た。

- ① 1号機（供給者1名）の作業能率は約500本/(h・人)、根部切断の適切率率は約94%、剥皮の適剥き率は約91%、製品率は約96%であった。現地の熟練者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。
- ② 1号機では作業員耳元騒音を87dB(A)まで低減でき、圧縮空気の噴射に起因する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。

全自動長ネギ調製機の試作1号機の能率向上を図るため、自動化機構を多連化して2本同時処理を可能とした2号機を試作した。これを秋田県と大分県の長ネギ産地において実証試験に供した結果、以下の知見を得た。

③ 2号機（供給者2名）の作業能率は約900～1200本/h、根部切断の適切率率は約91～95%、剥皮の適剥き率は約87%、製品率は約96～97%であった。①の熟練者による慣行作業と比較して、1人あたりの作業能率は約1.3～1.7倍に向上し、かつ作業精度はほぼ同等の性能を有することを確認した。なお、供給者1名で作業を行ったところ、約820本/(h・人)（①の現地熟練者による慣行作業と比較して約2.5倍）という結果が得られたことから、作業者が調製機の取り扱いに習熟することで慣行作業に比べ大幅な能率向上が図られる可能性を明らかにした。

④ 2号機では作業員耳元騒音を約88dB(A)まで低減することができ、1号機と同様に連続作業を行う上で十分な防音性能を有することを確認した。

多連化による能率向上効果が確認できたことから、施設化に向けた検討を行うために自動化機構を4連に増やした3号機および専用選別機を試作した。これを青森県の長ネギ産地において実証試験に供した結果、以下の知見を得た。

⑤ 3号機（供給者3名＋選別者1名）の作業能率は調製のみで500本/(h・人)（現地の慣行作業と比較して2.07倍）、調製・選別で375本/(h・人)（同1.94倍）であった。また、現場の箱詰め工程までを含めた全体（調製・選別・箱詰め）でも187本/(h・人)（同1.36倍）となり、調製・選別の体系全体において能率向上が図られることを明らかにした。

1号機から3号機の試験結果を総括すると、作業能率については、自動根部切断機構および自動剥皮機構の連数が増えることにより単位時間あたりの処理本数が増大したが、連数の増加と処理本数は比例して増加することはなかった。これは、搬送コンベアの稼働時間が連数の増加と比例して増加したためであり、自動化機構の連数が増加するごとに作業能率の理論値と計算値の乖離が大きくなった。また、実測値は計算値の約8割程度にとどまることが明らかとなり、連数の増加に伴い能率向上効果が得られにくくなる状況がわかったことから、生産現場への調製装置の導入にあたっては、機械的な処理能力と供給者の処理能力バランスを考慮して、調製装置の連数および作業員配置を検討する必要があると考えられた。作業精度については、作業能率と製品率との間に負の相関は見られず、1号機の現地試験で調査した熟練者の作業と遜色のない作業精度が得られることを明らかにした。

以上、長ネギの調製作業における根部切断と剥皮を高精度かつ高能率に行うことが可能な全自動長ネギ調製機を開発した。開発機は作業員の習熟を不問とし、かつ作業時騒音を従来機と比較して10dB(A)以上低減するなど、作業環境の改善にも効果が得られることを明らかにした。

4.2 省エネルギー化に向けた高効率長ネギ剥皮選別機の開発

第3章の高効率長ネギ剥皮選別機の開発（藤岡ら，2014a；藤岡ら，2014b）では，長ネギの調製作業，特に剥皮の高効率化に伴い，圧縮空気を供給するエアコンプレッサの稼動に要するエネルギー投入量が増加することを抑制するため，作業能率の向上と空気使用量の節減を両立させる高効率剥皮用ノズルを開発した。また，選別作業に不慣れな雇用労働者でも熟練者と同様に太さ選別ができ，人に起因する判別精度のばらつき低減を目指した太さ判別装置を開発した。これらを組み込んだ高効率長ネギ剥皮機を開発し，現地実証を通じて実用化を検討することを目的とした開発研究を行った。

まず初めに，柔軟な樹脂製チューブとその外周を規制するノズルカバーから構成され，チューブ末端の噴射口が円運動をすることにより圧縮空気の作用範囲を拡大できる工業用回転ノズルを，長ネギの剥皮作業に適用して剥皮時の作業能率と空気噴射量を調査した結果，以下の知見を得た。

- ① 広範囲に圧縮空気を作用させられる工業用回転ノズルを，長ネギの剥皮作業に適用することを検討し，試作1号機に搭載してその効果を検証した結果，1本当たりの処理に要する空気使用量を慣行ノズルと比べてほぼ半減できることを確認した。
- ② 工業用回転ノズルを長ネギ調製用に改良した高効率剥皮用ノズルを開発した。これを試作2号機に搭載して性能試験を行った結果，高能率型市販機Aと比較して，剥皮作業能率が約620本/hとほぼ同等で，空気使用量は約1/5に節減できた。また，普及型市販機Bと比較して，剥皮作業能率が20%向上し，空気使用量は約1/3に節減できた。
- ③ 光電センサを用いた剥皮同時選別機構を考案し，試作1号機，2号機にそれぞれ搭載して性能試験を行った結果，階級選別の正解率がともに80%程度と良好な判別精度が得られた。

これらの結果より，高効率剥皮用ノズルを利用することで，作業能率の向上と空気使用量の節減を両立できることを明らかにした。これにより，新規参入時や設備更新時により小型のエアコンプレッサを選択，導入することが可能となり，初期投資の抑制，および電力料金などのランニングコストを低減できると考えられた。また，太さ判別装置を利用することで，長ネギの階級選別を剥皮作業と同時に行えることを明らかにした。機械判別が可能となることで作業に習熟を要さなくなり，雇用作業者などの非熟練者による判別精度の低下を抑制できると考えられた。

高効率剥皮用ノズルと太さ判別装置を搭載した試作3号機を製作し，生産現場での長期利用を通じてそれぞれの効果を確認する目的で現地実証を行った結果，以下の知見を得た。

- ④ 剥皮作業能率は慣行機と比べ2～32%向上し，空気噴射量は慣行機の46～83%に

節減された。エアコンプレッサの稼働に要する電力消費量は、慣行機と比べ 33～71 %に節減可能であった。

- ⑤ 太さ判別装置による機械判別と熟練作業員による目視判別の選別精度を比較した結果、機械判別は平均 64 %、目視判別は平均 68 %であった。両者の間には有意差がみられなかったが、取扱性に課題を残した。
- ⑥ 被験者から取扱性について意見を聴取した結果、高効率剥皮用ノズルを用いた剥皮作業は、作業性の良さ、剥皮後の仕上がり具合などで高い評価を得た。また、太さ判別装置を用いた階級選別は、不慣れな作業員でも熟練者に近い精度で選別できることが評価されたが、作業性の改善に関する要望が出された。
- ⑦ 現地実証の結果を踏まえ、低温時に高効率剥皮用ノズルのチューブが硬化して回転が不安定になることを防止する、ノズル加温装置を考案した。

以上、作業能率の向上と空気使用量の節減を両立させる高効率剥皮用ノズルと、剥皮と同時に太さ判別が行える太さ判別装置を開発し、これらを搭載した高効率長ネギ剥皮選別機を開発した。開発機は能率が最大 32 %向上、空気噴射量を最大で 46 %に低減、電力消費量を最大で 33 %に削減可能であった。また、選別精度については熟練者と差違は見られなかったが、取扱性に課題を残した。

4.3 開発機の実用化

全自動長ネギ調製機は、共同研究企業の(株)マツモトより 2002 年に市販化され、個人経営の生産者から J A の共同調製選果施設など幅広い用途で活用され、長ネギ生産の省力化に貢献している。2015 年 12 月現在で 1 連型 (MR-1) が 6 台、2 連型 (MR-2) が 4 台、4 連型 (MR-4) が 2 台、5 連型 (MR-5) が 1 施設に 4 台導入された。全自動長ネギ調製機は主に共同選果施設等での利用を想定していることから普及台数は多くはないが、群馬県内の J A においては管内の収穫以降の作業を受託する組織を立ち上げ、生産者から労力を要する収穫以降の作業を分業化することにより、1 戸あたりの長ネギの生産規模拡大や他品目の生産量が増加するなど、産地全体の生産振興に大きく貢献している。

また、高効率剥皮用ノズルを搭載した高効率長ネギ剥皮機は、同じく共同研究企業である(株)マツモトより 2011 年に市販化され、主に個人経営の生産者を中心に普及が進んでいる。太さ判別装置については取扱性に難があったことから実用化は見送られたものの、剥皮機 (MP-R, MZ-R, KMZ-R) については 2015 年 12 月現在で 640 台が普及している。なお、長ネギの剥皮用に開発した高効率剥皮用ノズルを他品目に適用する事例もみられるようになり、例えば、ニンニクの鱗茎分離作業に転用したニンニク分球機 (MGP-1) が 2015 年 12 月現在で 141 台普及するなど、長ネギの調製作業以外の用途にも広く活用されている。

4.4 開発機の効果・インパクト

全自動長ネギ調製機については、輸入野菜の急増に対抗するために実施された産地強化計画において、自走式ネギ収穫機とともに旗艦的な役割を果たし、生産規模拡大による低コスト生産体系の確立、ならびに省力的な作業体系の構築において大きな貢献を果たした。特に、それまでは剥皮機のみ利用が中心であった作業体系に、根葉切りと剥皮を同時に行う半自動調製機が普及する機会を作り、産地全体の生産能力の底上げに貢献したことは副次的ではあるが本研究の大きな成果である。また、前述のように多連化した全自動長ネギ調製機を共選施設に導入した産地では、自走式ネギ収穫機とともに収穫、調製、選別、出荷の作業を受託する事業が展開され、管内の生産者は労力を要する収穫以降の作業から開放され、高品質化に欠かせない栽培管理に専念することが可能となった。管内ではネギ生産量増加だけでなく、多作目の生産量が増加するなど、産地全体における生産振興にも寄与するなど広範な効果が生み出されている。

一方、高効率長ネギ剥皮機については、省エネルギー効果だけではなく、能率向上効果が評価されて、着実に普及台数を伸ばしている。既存のエアコンプレッサを使いながら、剥皮機の台数を増やすことができ、処理能力の向上、ひいては生産者ならびに産地全体における生産規模拡大に大きく貢献している。また、前述のように高効率剥皮用ノズルを多品目へ適用する事例もみられ、例えば、ニンニクの鱗茎分離（種こぼし）、ヤマノイモの清浄（齋藤ら，2014）などで活用されている。高効率剥皮用ノズルは、擬似的な間欠噴射による打撃効果から剥皮が高効率に行われていると考えられ、この考え方を応用したニラの下葉除去機構（貝沼ら，2013）が開発されている。

4.5 開発機の今後の展望

今回の研究で開発した全自動長ネギ調製機は、高精度かつ高能率に根部切断と剥皮が行うことができる。産地の集出荷施設における共同利用も想定され、個別農家における収穫以後の作業を分業化することで生産規模拡大を促し、さらなる生産コストの低減を図ることが可能となる。

その一方、収穫後の長ネギには消費者にとって不要な根や葉が付いており、収穫後のネギの質量の約4割が非可食部であることから、共同集出荷施設等で一括処理を行う場合には調製作業に伴って大量の残渣が発生し、その処理に新たなコストが発生することが懸念される。例えば、MR-5を4台導入した産地では、平均580ケース/d（平成22年12月の調査時点）を処理しており、1ケース45本、収穫時株重を250g/本と仮定すると、1日あたり約2.6tの調製残渣が発生すると推定される。そのため、残渣を低コストで処理する技術開発、またはこれらを有効利用する新しい発想の転換が必要になると考える。

また、単位時間あたりの処理量が増大することで、剥皮に使われる圧縮空気を供給するエアコンプレッサの大型化を招き、その稼動に要するエネルギー投入量が増大して施設整備の運用コストが増加することが懸念される。そのため、今後は、高効率剥皮用ノズルの適用を検討するなど、装置規模が大型化してもエネルギー効率を改善できる方法を検討する必要がある。

本研究を通じて根本的な解決に至らなかった課題は、剥皮に伴って発生する騒音である。圧縮空気を噴射することに起因する騒音を低減させることは技術的に困難である。そのため、圧縮空気と他の手法を併用することで剥皮を行うことを検討し、騒音の低減を検討する必要がある。また、アクティブノイズコントロール技術を活用して、能動的に騒音を解消する方法に関して検討する必要があると考える。

日本では農作業従事者の高齢化が急速に進んでおり、今後は更なる省力化技術の開発要望、ならびに雇用労働者のような作業に不慣れな作業員でも熟練者並みの能率、精度が発揮できるアシスト技術の開発要望が増加することが予想される。そのような要望に対して、本研究で開発した全自動長ネギ調製機や高効率長ネギ剥皮選別機が、有効な解決策の一つとして適用されることが期待される。また前項でも触れたが、一つの作業のみの省力化技術としてではなく、産地全体を俯瞰した中での省力化、低コスト化技術の一片として活用が期待できると考える。

また近年、海外では日本食がブームとなっており、その食材として国内で生産された生鮮野菜の輸出促進が検討されている。先の TPP 大筋合意を受け、日本では国を挙げて農産物の輸出拡大が模索され始めている。輸送技術や鮮度保持技術の発達に伴い、より遠方まで生鮮品が出荷されるようになっているが、その輸送コストに見合う付加価値の高い農産物を生産するためには調製装置が不可欠である。また、植物防疫、微生物汚染の予防といった疫学的観点からもその必要性が高まると考えられ、開発機の活躍の場は更に拡大するものと考えられる。

Development Research of Preparation Device for Leaf and Stem Vegetables

Osamu Fujioka

Summary

Food is not only essential for maintaining human life; it is also important for leading a healthy and fulfilling life. Japan relies on imports for most of its food, and measures are required to ensure a stable supply of food. The food self-sufficiency rate is one of the important indicators of food security. Major developed countries maintain a high food self-sufficiency rate, while Japan is in the unique position with the self-sufficiency rate stagnating at 39%. Japan had a self-sufficient supply of vegetables in 1965; however, this reduced over the years in the same manner as other items and dropped to 80% in 2014. The self-sufficiency rate of vegetables for Japan is not low when compared to other advanced countries. Nevertheless, the reason for the overall low food self-sufficiency rate is that the food self-sufficiency rate has been calculated based on the calorie supply. Vegetables are considered inferior to meat in terms of supporting life as they contain a large amount of water, but vegetables are important sources of dietary fibers, vitamins, minerals, etc., which prevent lifestyle diseases, and hence, they are essential for maintaining health.

The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries classified 14 vegetables as important for people's life. They are working to promote these vegetables by encouraging the regions that produce them to grow these vegetables. In 2014, these 14 items of vegetables constituted 66% of the vegetable production and 65% of the total output value, making them representative of the vegetable production in Japan. In terms of production volume, leaf and stem vegetables contribute to 44% of the total vegetables produced; root vegetables are 40% and fruit vegetables are 16%. In terms of output value, leaf and stem vegetables contribute to 41%; root vegetables are 22% and fruit vegetables are 37%. These indicate that leaf and stem vegetables

occupy an important position in the vegetable production of Japan. All the designated vegetable items require a lot of time for post-harvest work. In particular, leaf and stem vegetables require labor-intensive work such as preparation and shipment, increasing the added value. Therefore, there is a strong demand from the production sites to reduce labor by making use of mechanization.

Mechanization of the harvesting and preparation process for leaf and stem vegetables is making progress. Research and development is in progress, with the aim of reducing labor and simplifying labor-intensive tasks. However, the fact is that, even the production of items for which machines have been developed takes 3–8 times longer than the production of rice; it is also more labor-intensive. Welsh onion is a typical example. The time required for the output of 10a of welsh onion is 417 h, which is high compared to the production of other items; 140 h is required for the preparation process and 85 h is required for shipping operations such as sorting. These processes take up 54% of the total time required. Therefore, there is a strong demand from the production sites to reduce labor.

In this study, the objective was to develop automation technology for root cutting and peeling operations during the preparation process of welsh onion, which requires skill. Automation technology would help reduce labor and increase efficiency. We also aimed to save the energy required to operate the air compressor that supplies compressed air for peeling, as well as achieve higher efficiency by reducing air consumption and improving efficiency.

1. Development of the full automatic welsh onion trimmer to achieve higher performance

We worked on the development of two automation mechanisms with the objective of reducing the labor required for root cutting and peeling during the preparation process of welsh onion. The first was an automatic root cutting mechanism that automatically determines the appropriate cutting position and cuts the root. The second was an automatic peeling mechanism that automatically determines the appropriate peeling start point and leaf sheath thickness so that

peeling can be performed with compressed air of an appropriate pressure. In addition to developing the full automatic welsh onion trimmer installed with these automatic mechanisms, we also sought to conduct studies for developing a high performance machine with the automatic mechanism mentioned above to process multiple ones simultaneously.

We developed an automatic root cutting mechanism that uses transmitted light and an automatic peeling mechanism that uses a peeling duct, and created the first prototype unit of a full automatic welsh onion trimmer incorporating these mechanisms. The following were the findings of the on-site verification of the first unit.

- (1) The work efficiency of the first unit (fed by one person) was approximately 500 pieces per hour·by one person, the root cutting accuracy was approximately 94%, the peeling accuracy was approximately 91%, and the product rate was approximately 96%. The working efficiency was 1.5 times that of a skilled worker following customary practices; it was shown that the working accuracy was almost the same.
- (2) The noise reaching the operator could be reduced to 87 dB(A) in the first unit, and the unit was found to be effective in preventing accidents such as loss of hearing due to the injection of compressed air.

In order to improve the performance of the first prototype unit of the full automatic welsh onion trimmer, a second prototype unit capable of processing two welsh onions simultaneously was manufactured. The following were the findings of the verification test of the second unit conducted in the welsh onion producing regions of Akita and Oita prefectures in Japan.

- (3) The work efficiency of the second unit (fed by two persons) was approximately 900–1200 pieces per hour, the root cutting accuracy was about 91–95%, the peeling accuracy was about 87%, and the product rate was about 96–97%. The working efficiency by one person improved to 1.3–1.7 times that of a skilled worker following customary practices; it was confirmed that the working accuracy was almost the same. Moreover, as the result obtained was approximately 820 pieces per hour·by one person (approximately 2.5 times the customary

practices); it was indicated the possibility of achieving significant performance improvement when the operator becomes proficient in handling the machine.

- (4) The noise reaching the operator could be reduced to 88 dB (A) in the second unit, and the unit was found to have adequate soundproofing while performing the same continuous work as the first unit.

Since the effectiveness in improving the performance by using multiple automatic mechanism devices was confirmed, a third unit with four devices of the automatic mechanism and a dedicated sorter were manufactured to conduct studies for developing a practical system. The following were the findings of the verification test of the third unit conducted in the welsh onion producing regions of Aomori prefecture in Japan.

- (5) The working efficiency of the third unit (fed by three persons and sorted by one person) was 500 pieces per hour by person for trimming only (2.07 times that of common practice), and 375 pieces per hour by one person (1.94 times the same) for trimming and sorting. Moreover, the result was 187 pieces per hour by one person (1.36 times the same) when the packing process was also included (trimming, sorting, and packing), and it was shown that the performance of whole the preparation works could be improved.

2. Development of the high efficiency welsh onion peeler with sizer for the investment energy reduction

We developed a high-efficiency peeling nozzle with both high performance and low air consumption to reduce the energy consumed by the air compressor for welsh onion peeling. We also developed a size identification device to ensure that an inexperienced operator can achieve the same level of size identification achieved by an experienced operator to reduce the human-caused variation in sorting. We thus aimed to develop a high-efficiency welsh onion peeler equipped with the mentioned nozzle and identification device.

The following were the findings of the studies conducted for the application of the industrial rotary nozzle that can extend the working range of compressed air to welsh onion peeling work. We also determined the effectiveness of the nozzle in saving the injected air quantity.

- (1) We tried using of the industrial rotary nozzle (which can be made to work with compressed air over a wide range) for welsh onion peeling. It was confirmed that the air consumed for processing of welsh onion, when compared to the air consumed by the traditional nozzle, could be reduced to half from the results of studies conducted by equipping the first prototype unit with this nozzle.
- (2) We developed a high-efficiency peeling nozzle for welsh onion by improving the industrial rotary nozzle. The results of the performance tests conducted by equipping the second prototype unit with this nozzle showed that the peeling work efficiency was approximately 620 pieces per hour, almost the same as that of commercial high performance type machine, and the air consumption reduced to approximately 1/5. In addition, the peeling work efficiency improved by 20%, with the air consumption reduced to approximately 1/3 that of commercial common type machine.
- (3) We designed a simultaneous peeling and sorting mechanism, and in the performance tests conducted by equipping the first and second prototype units with this mechanism, the results indicated a good differentiation accuracy, with a class sorting accuracy rate of 80% for both units.

These results indicated that it was possible to improve the working efficiency and reduce air consumption with the use of the high-efficiency peeling nozzle. It is considered that a smaller air compressor can be selected when introducing the equipment for the first time or when replacing the equipment. This would lower the initial investment and reduce the running costs such as power charges. Further, it was shown that the class sorting of welsh onion can be performed simultaneously with the peeling work by using the size identification device. Since mechanical

sorting is used, skill is not required and the reduced sorting accuracy due to the employment of inexperienced workers can be controlled.

The following were the findings when a third prototype unit equipped with the high-efficiency peeling nozzle and size identification device was manufactured and used at the production site over a longer period to verify their respective performances.

- (4) The peeling work efficiency improved by 2–32% compared to that when employing traditional equipment. The injected air quantity reduced to 46–83% of the quantity used in the traditional equipment. The power required to run the air compressor was reduced to 33–71% compared to the power required to run the compressor in the traditional equipment.
- (5) When mechanical sorting using the size identification device was compared with human sorting by an experienced worker, the average sorting accuracy was 64% by mechanical sorting, and 68% by human sorting. There was no significant difference between them.
- (6) The easy operation and finished condition after peeling received positive feedback from the workers who were asked for their opinion, when the peeling work was done using the high-efficiency peeling nozzle. Further, class sorting using the size identification device was shown to help inexperienced workers sort with an accuracy close to that of experienced workers; however, there were requests for improving the handleability.
- (7) The on-site verification results showed that the high-efficiency peeling nozzle tube turned hard at low temperatures, resulting in unstable rotations. We designed a nozzle heating device to solve this problem.

3. Practical application of the development machine

The full automatic welsh onion trimmer was commercialized by the joint research company Matsumoto in 2002. It is widely used by individual farmers and the joint facility for grading and shipping of JA, contributing to the reduction in the labor required for welsh onion production. The number of full automatic welsh onion trimmers commissioned is not many, as

they will be used in joint grading and shipping facilities set up by JA to accept post-harvest work from the region under its jurisdiction. However, separating the labor required for post-harvest works from the farmers has significantly contributed to the promotion of the production regions such as increasing the scale of welsh onion production area.

Further, the high-efficiency welsh onion peeler equipped with the high-efficiency peeling nozzle has been also commercialized by the joint research company Matsumoto in 2011 and has gained popularity among individual farmers. The practical application for the size identification device was not considered as it is difficult to handle, but 640 units of the peeling machine have been installed as of December 2015. Moreover, the high-efficiency peeling nozzle after development has been employed in the garlic separation machine used for separating garlic bulbs, and 141 units are in use. The nozzle is also being widely used for other applications in addition to the preparation process of welsh onion.

4. Effect and impact of the development machine

The full automatic welsh onion trimming machine plays an important role along with the self-propelled welsh onion harvester in the plan to strengthen the production regions, to oppose the proliferation of imported vegetables. In particular, an opportunity was created to popularize the semi-automatic preparation machine that simultaneously performs root and leaf cutting operations along with peeling, when until this point, only the peeling machine was the center of the work structure. This has contributed in raising production capacity of all the production regions, which is a major outcome of the present study. The full automatic welsh onion trimmer with multiple automatic mechanical devices were introduced at the joint facilities of grading and shipping, allowing farmers to concentrate on cultivation management and rising its quality and increase production volume. This contributes to not only an increase in the production output within the jurisdiction, but it also has a broader effect in that it contributes to prolific production promotion.

On the other hand, it was observed that the high-efficiency welsh onion peeling machine was effective in not only saving energy, but also effective in increasing the performance; the number of installed machines is steadily increasing. Increasing the number of peeling machines installed using the existing compressor has become possible, leading to an improvement in the processing capacity. This helps in significantly contributing to the production scale expansion of the farmers and the production regions. Further, the high-efficiency peeling nozzles described above have been used in applications of many other items, for example, separation of garlic bulbs and cleaning of yam.

5. Future prospects of the development machine

The full automatic welsh onion trimmer can perform root cutting and peeling with high performance and accuracy. Shared usage in the shipping facilities of the production regions can also be considered, to promote the expansion of the production scale by individual farmers with the separation of labor for the post harvesting processes. This will facilitate further reduction of the production costs.

At the same time, large quantities of residues are ejected along with the preparation process, and there are concerns that additional costs may be required to disposal such residues. Technology to disposal the residues at low cost have to be developed, or new ideas for making effective use of these leftovers are required.

Further, a higher capacity compressor to supply compressed air for peeling may be required for the increased production quantity; there is a risk that the energy required to run the compressor may increase, and the cost of the facility and equipment may increase. Therefore, methods to improve the energy efficiency even when the device is increased in size have to be developed in the future, by examining the applications of the high-efficiency peeling nozzle.

The problem for which a fundamental solution could not be found during the course of this research was the noise generated during peeling. It is technically difficult to reduce the noise

caused by the injection of compressed air. Therefore, methods for reducing noise have to be studied by examining methods of peeling that combine compressed air and other techniques. In addition, there is a need to study methods of eliminating noise actively, for example using active noise control technology.

Agricultural workers' average age are rapidly aging in Japan, and hence, the demand for technology will increase in the future in order to reduce labor and for development of assist machines with high accuracy to ensure that the performance of inexperienced workers is at par with the experienced workers. We expect that the full automatic welsh onion trimmer and the high-efficiency peeler with sizer developed in this study will be one of the effective solutions that will help meet this demand. We also expect that this technique will not only be used for reducing labor for single tasks as mentioned in the previous section, but also for promoting energy saving and low cost technology for the entire production region.

In recent years, there has been an increase in the amount of Japanese food being exported overseas, and various studies are being conducted to promote the exports of fresh vegetables produced in Japan. The search to expand exports of the agricultural products for entire Japan has begun with the previous TPP outline agreement received. Perishables can now be shipped to distant locations with the development of transportation and freshness technologies, but preparation machines are essential for producing agricultural products with a higher added value to match the transportation costs. Moreover, it is considered that these are required from the epidemiological point of view as well, such as plant protection and microbial contamination prevention, and the fields in which this development machine is used will increase.

謝 辞

本研究のとりまとめにあたり、全般にわたって丁寧なご指導とご校閲を賜りました筑波大学大学院生命環境科学研究科 佐竹隆顕教授に心より感謝申し上げます。

また、本論文の審査に際して、有益なご助言とご指導を頂きました、筑波大学大学院生命環境科学研究科 北村 豊教授、瀧川具弘教授、大井 洋教授、農研機構生物系特定産業技術研究支援センター畜産工学研究部長の大森定夫博士に心から感謝申し上げます。

本研究の推進にあたっては、共同研究企業としてご尽力頂いた株式会社マツモトの松本 弘氏、木暮朋晃氏、同社の関係各位のご協力なくしては機械開発ならびに実用化にまで至らなかったものと考えます。ここに深くお礼申し上げます。

本研究は農林水産省の農業機械等緊急開発事業「長ねぎ調製装置の開発」、および農林水産省の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業で採択された「寒冷地での夏取りネギ栽培を基幹とした高効率機械化体系の確立」(秋田県、農研機構中央農業総合研究センター、農研機構生物系特定産業技術研究支援センター)で取り組んだ「高効率ネギ調製機の開発」で得られた研究成果を基に構成しました。前者につきましては、茨城県農業総合センター農業研究所、有限会社なかがわファーム、秋田県農業試験場、大分県農業技術センター(現 大分県農林水産研究指導センター)より多大なご協力を賜りました。ここに関係各位のご協力を感謝の意を表します。後者につきましては、秋田県農業試験場の本庄 求氏、鶴沼秀樹氏、同所の関係各位の皆様より多大なご協力を賜りました。ここに関係各位のご協力を感謝の意を表します。

本研究の実施にあたっては、旧生物系特定産業技術研究推進機構 元理事 木田滋樹氏、農研機構生物系生物系特定産業技術研究支援センター 元理事 竹原敏郎氏、元理事 行本 修博士、旧生物系特定産業技術研究推進機構 元園芸工学研究部長 長木 司氏、農研機構生物系特定産業技術研究支援センター 元園芸工学研究部長 金光幹雄博士、園芸工学研究部長 宮崎昌宏博士、園芸工学研究部主任研究員(現 畜産工学研究部長)大森定夫博士、主任研究員(現 企画部研究調整役)貝沼秀夫氏、主任研究員 紺屋朋子博士に大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

また、本論文のとりまとめにあたりましては、農研機構生物系特定産業技術研究支援センター畜産工学研究部主任研究員 橘 保宏博士より、貴重な情報、ご意見、参考資料を提供していただき、大変に助かりました。ここに感謝の意を表します。

最後に、日々の研究の遂行ならびに本論文をとりまとめるのにあたり、多くの苦勞を掛けながらも協力体制を整えてくれた家族に感謝します。

参考文献

- 青木 循, 貝沼秀夫, 栗原英治, 久保田興太郎, 安食恵治, 長木 司, 林 正彦, 丸野影文, 川崎真一郎 (2009) : 追従型野菜運搬車の開発, 農業機械学会誌, 71(4), 52-59.
- 青木 循, 深山大介, 李 昇圭, 宮崎昌宏, 丸山高史, 檜原陽三郎, 長田秀治 (2012) : 機上選別・調製で大型コンテナ収容を行う高能率キャベツ収穫機, 農研機構成果情報, http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2012/600a0_01_77_01.html. (2015年11月16日参照)
- 青木 循 (2013) : 新型キャベツ収穫機, 農業機械学会誌, 75(4), 239-241.
- 有馬誠一, 近藤 直, 芝野保徳, 藤浦建史, 山下 淳, 中村 博 (1994) : キュウリ収穫ロボットの研究 (第2報), 農業機械学会誌, 56(6), 69-76.
- Asa-Lift A/S (2016) : CARROT HARVEASTERS, <http://www.asa-lift.com/?mID=2&msID=22>. (2016年1月31日参照)
- Y. Dong, Z. Cheng, H. Meng, H. Liu, C. Wu, A.R. Khan (2013) : The effect of cultivar, sowing date and transplant location in field on bolting of Welsh onion (*Allium fistulosum* L.), BMC Plant Biology, 13, 154.
- 愛媛県農林水産研究所 (2009) : サトイモ一工程収穫機, 農研機構成果情報, http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research_results/h21/03_kougaku/p105/04_301.html. (2015年11月18日参照)
- FAOSTAT (2013) : Production, Onions, shallots, green, <http://faostat.fao.org/>. (2015年11月1日参照)
- B. V. Ford-Lloyd, S. J. Armstrong (1993) : 5 - Welsh onion: *Allium fistulosum* L., Genetic Improvement of Vegetable Crops, 51-58.
- 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.
- 藤岡 修, 大森定夫, 松本 弘 (2011) : ネギ調製機, 特開 2011-004669.
- 藤岡 修, 貝沼秀夫, 松本 弘, 木暮朋晃 (2012) : 野菜類の皮剥ぎ処理機, 特許第 5158996 号.
- 藤岡 修, 大森定夫, 松本 弘, 木暮朋晃 (2013) : 長葱の皮剥ぎ処理機, 特許第 5229967 号.
- 藤岡 修, 大森定夫, 紺屋朋子, 本庄 求, 松本 弘, 木暮朋晃 (2014a) : 高効率ネギ調製機の開発 (第1報), 農業食料工学会誌, 76(1), 78-85.
- 藤岡 修, 貝沼秀夫, 大森定夫, 本庄 求, 鶴沼秀樹, 松本 弘, 木暮朋晃 (2014b) : 高効率ネギ調製機の開発 (第2報), 農業食料工学会誌, 76(1), 86-91.

- 藤岡 修, 大森定夫, 松本 弘, 木暮朋晃 (2016a) : 全自動長ねぎ調製機の開発 (第1報), 農業施設, 47(1), 9-15.
- 藤岡 修, 大森定夫, 松本 弘, 木暮朋晃 (2016b) : 全自動長ねぎ調製機の開発 (第2報), 農業施設, 47(1), 16-22.
- Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG (2016) : Potato technology and Beet technology, <http://www.grimme.com/de/products>. (2016年1月31日参照)
- 加藤宏郎 (1999) : 5-14 スイカの密度選果に関する研究—松本ハイランド農協スイカ集出荷施設—, 第58回農業機械学会年次大会講演要旨, 327-328.
- Linda J. Harris, Devon Zagory, James R. Gorny (2002) : 24. Safety Factors, Postharvest Technology of Horticultural Crops (Third Edition), 301-314.
- 長谷川可賀 (1999) : 流体噴出ガン, 特開平 11-123350.
- 林 大輔 (2009) : 回転波動ノズル, 特許第 4427093 号.
- S. Hayashi, K. Ganno, Y. Ishii, I. Tanaka (2002a) : Robotic Harvesting System for Eggplants, JARQ, 36(3), 163-168.
- 林 茂彦, 雁野勝宣, 黒崎秀仁 (2002b) : ナス収穫ロボット, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/vegetea/2002/vegetea02-20.html>. (2015年11月19日参照)
- S. Hayashi, K. Shigematsu, S. Yamamoto, K. Kobayashi, Y. Kohno, J. Kamata, M. Kurita (2010) : Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test, Biosystems Engineering, 105(2), 160-171.
- E. J. Van Henten, B. A. J. Van Tuijl, J. Hemming, J. G. Kornet, J. Bontsema, E. A. Van Os (2003) : Field Test of an Autonomous Cucumber Picking Robot, Biosystems Engineering, 86(3), 305-313.
- 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.
- 泉 秀実 (2011) : 加工・業務用野菜の品種及び技術研究最前線(23) 野菜の微生物制御法の確立, 野菜情報, 82, 59-63.
- 鹿児島県農業試験場 (2003) : 子いも分離が可能な自走式サトイモ収穫機, 農研機構成果情報, http://www.naro.affrc.go.jp/org/karc/seika/kyushu_seika/2003/2003613.html. (2015年11月18日参照)
- 貝沼秀夫, 金光幹雄, 栗原英治, 青木 循, 長木 司, 安食恵治, ヤンマー農機(株) (2002) : キャベツ調製選別ライン, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2002/common02-208.html>. (2015年12月4日参照)
- 貝沼秀夫 (2006) : 追従型野菜運搬車の開発, 農業機械学会誌, 68(3), 20-21.

- 貝沼秀夫, 藤岡 修, 紺屋朋子, 大森定夫, (株)クボタ, 松山(株) (2011) : 府県産の貯蔵乾燥されたタマネギを対象とした高能率な調製装置, 農研機構成果情報, http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2011/600a0_01_61.html. (2015年11月29日参照)
- 貝沼秀夫 (2012) : タマネギ調製装置, 農業機械学会誌, 74(5), 353-355.
- 貝沼秀夫, 紺屋朋子, 藤岡 修 (2013) : 圧縮空気を間欠噴射することにより、ニラ下葉除去での空気使用量を削減できる, 農研機構成果情報, http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2013/brain13_s01.html. (2016年1月2日参照)
- 金光幹雄, 太田智彦, 野上健治, 三戸 実, 蒲田義明 (1999) : 根菜類の収穫機, 特許第2878662号.
- 金子賢一 (1999) : 生食用野菜及び果物が媒介食品となる感染症, 食品衛生学雑誌, 40(6), 417-425.
- 柏寄 勝, 永末 健, 五月女英平, 中島教博, 大森定夫 (2009) : イチゴ果実硬度の非破壊測定に関する基礎的研究 (第2報) - 果実表面吸光度スペクトルを用いた果実硬度推定モデルの開発 -, 農業機械学会誌, 71(6), 90-97.
- 古賀治夫, 平野 将, 加藤宏郎 (1996) : 球状物の階級判別装置, 特許第2501710号.
- 木暮朋晃 (2009) : 長葱の皮剥ぎ処理機, 特許第4283824号.
- 近藤 直, 掛水源太郎 (2007) : 農作物切揃え装置, 特許第3967980号.
- N. Kondo, M. Kuramoto, H. Shimizu, Y. Ogawa, M. Kurita, T. Nishizu, V. K. Chong, K. Yamamoto (2009) : Identification of Fluorescent Substance in Mandarin Orange Skin for Machine Vision System to Detect Rotten Citrus Fruits, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2(2), 54-59.
- 小宮山誠一, 相馬ちひろ, 鳥越昌隆, 五十嵐正和 (2010) : 可視・近赤外分光法によるダイコンパーティシリウム黒点病症状の非破壊計測, *園芸学研究*, 9(2), 229-233.
- 丸山千寿子 (2012) : 日本人の食生活における野菜の重要性, *野菜情報*, vol.101(8), 34-38.
- 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.
- 松本 弘 (2004) : 長葱の皮はぎ機, 特許第3511262号.
- 松尾陽介 (2000) : 軟弱野菜調製機, 農業機械学会誌, 62(5), 13-15.
- 松尾陽介, 大森弘美, 森 芳明, 津賀幸之介, (株)クボタ, (株)斎藤農機製作所, セイレイ工業(株), ヤンマー農機(株) (2000) : 軟弱野菜調製機, 農研機構成果

- 情報, http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2000/post_26.html. (2015年12月3日参照)
- 宮田久典, 小西行満, 掛水源太郎 (2002): 農作物計測装置, 特開 2002-361180.
- M. Monta, N. Kondo, K.C. Ting, G.A. Giacomelli, D.R. Mears, Y.KIM, P.P. Ling (1998): Harvesting End-effector for Inverted Single Truss Tomato Production Systems, *Journal of JSAM*, 97-104.
- 日本農業機械化協会編 (2000): 2) ポテト掘取機・ハーベスター, 最新 農業機械・施設ガイドブック, 52.
- 日本産業衛生学会 (2015): 許容濃度等の勧告 (2015年度), *産業衛生学雑誌*, 57(4), 160-161.
- 西村融典, 山浦浩二, 西澤准一, 島 孝広, 合田守夫, 内藤和男, 糸川桂市, 金場香織 (2012): 青切りタマネギ用の全自動根葉切り機, 農研機構成果情報, http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research_results/h24/pdf/05_kougaku/35-0501.pdf. (2015年11月29日参照)
- 農畜産業振興機構 (2015): IV-1. 野菜の品目別産出額の推移, 野菜統計要覧, <http://vegetan.alic.go.jp/toukeiyouran.html>. (2015年12月3日参照)
- 農業機械学会編 (1996): 第11編 園芸・特用作物の生産と調製-4. 青果物の調製・選別・貯蔵用機械, *生物生産機械ハンドブック*, 740-753.
- 農林水産省 (1999): 食料・農業・農村基本法 (平成11年法律第106号), 第2条および第19条, <http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo02/newblaw/newkihon.html>. (2015年11月10日参照)
- 農林水産省 (2001a): 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, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001060347>. (2015年11月8日参照)
- 農林水産省 (2001b): 野菜の産地強化計画の策定について, 平成13年11月16日付け13生産第6379号農林水産省生産局長通知.
- 農林水産省 (2009): (3) 飼料自給力・自給率の向上に向けた取組, 平成20年度食料・農業・農村白書, http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h20_h/trend/part1/chap1/t2_04.html. (2015年11月11日参照)
- 農林水産省 (2011): 世界の食料自給率 諸外国の品目別自給率 (試算), http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/013.html. (2015年11月11日参照)
- 農林水産省 (2015a): 平成26年度食料自給率について, http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/pdf/26ritu.pdf. (2015年11月7日参照)
- 農林水産省 (2015b): 世界の食料自給率 諸外国・地域の食料自給率 (カロリーベース) の推移 (1961~2014) (試算等), http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu

- /other/01soto.xls. (2015年11月7日参照)
- 農林水産省 (2015c) : 食料需給表 平成26年度, <http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/pdf/26hyo.pdf>. (2015年11月5日参照)
- 農林水産省 (2015d) : 作況調査 (野菜) 長期累年統計表一覧, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001014186&cycodes=0>. (2015年11月6日参照)
- 農林水産省 (2015e) : 1-1 米生産費の全国累年統計, 農業経営統計調査 農産物生産費 長期累年 米及び小麦の生産費, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001014632&cycodes=0>. (2015年12月8日参照)
- 農林水産省 (2015f) : 都道府県別の作付面積-10a 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.
- 小淵敏之 (2001) : ねぎ収穫機, 農業機械学会誌, 63(3), 24-26.
- 小川雄一, Momin Md. ABDUL, 倉本 誠, 河野 靖, 椎木友朗, 山本一哉, 近藤 直 (2011) : 蛍光画像を用いた柑橘系果実の腐敗果検出, レーザー研究, 39(4), 255-261.
- F. Olson (1911) : Onion-harvesting machine, Patent US989279 A.
- (株)小野測器 (2013) : 騒音計とは (第3版), http://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/newreport/noise/souon_index.htm. (2013年4月14日参照)
- 大森弘美, 安食恵治, 長木 司, 松尾陽介, 栗原英治, (株)クボタ, (株)斎藤農機製作所 (2002) : 軟弱野菜用計量・包装機, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2002/common02-209.html>. (2015年12月10日参照)
- 太田智彦, 林 茂彦, 久保田興太郎, 安食恵治, 清水秀夫, 中根幸一, 米田隆志 (2004) : 鏡面反射を利用したトマト果実の3次元位置測定システム, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2004/common04-22.html>. (2015年11月19日参照)
- J. Radermachee (1896) : Potato-harvester, Patent US555401 A.
- 労働省 (1992) : 騒音障害防止のためのガイドライン, 4-5.
- 相良泰行 (2003) : 最新食品工学講座 2. 青果物選別システムの最新技術と展望, 冷凍, 78(907), 415.
- 齋藤雅憲, 進藤勇人, (株)マツモト, 本田邦俊 (2014) : 回転ノズルを活用した調製機によるヤマノイモ調製作業の改善, 農研機構研究成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H26/kiban/H26kiban003.html>. (2015年11月23日参照)
- 齋藤 聡, 渡辺 健, 中島和男, 高橋栄一 (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.
- 生物系特定産業技術研究推進機構 (1995) : キャベツ収穫機, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/1995/brain95-4-130.html>. (2015年11月16日参照)
- 生物系特定産業技術研究推進機構 (1998a) : 自走式だいこん収穫機, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/1998/narc98-433.html>. (2015年11月16日参照)
- 生物系特定産業技術研究推進機構 (1998b) : 自走式非結球性葉菜収穫機, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/1998/narc98-431.html>. (2015年11月16日参照)
- 生物系特定産業技術研究推進機構 (1998c) : クローラ型ねぎ収穫機, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/1998/narc98-432.html>. (2015年11月16日参照)
- 生物系特定産業技術研究推進機構 (1998d) : 自走式はくさい収穫機, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/1998/narc98-430.html>. (2015年12月3日参照)
- 生物系特定産業技術研究推進機構 (1998e) : 長ねぎ調製技術の開発, 平成9年度事業報告, 142-143.
- 生物系特定産業技術研究推進機構 (1999) : 長ねぎ調製装置の開発, 平成10年度事業報告, 140-141.
- 世利 崇 (2005) : ネギ用切断機, 特許第3645344号.
- 重藤和英 (2000) : 白ねぎのぼけ部検出方法およびその装置, 特開2000-308479.
- SIMON (2016) : Carrot harvester, <http://www.machines-simon.com/>. (2016年1月31日参照)
- 志藤博克, 山名伸樹 (2002) : 青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発 (第1報), 農業機械学会誌, 64(4), 96-101.
- 志藤博克, 山名伸樹 (2004) : 青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発 (第2報), 農業機械学会誌, 66(3), 105-110.
- 志藤博克, 高橋仁康, 山名伸樹, 澁谷幸憲, 奥村政信, 正田幹彦, 福森宏一, 上村雄二, 只野克紀, 玉森幸雄, 高田雅透, 福森 功 (2005) : 青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発 (第3報), 農業機械学会誌, 67(3), 106-113.
- 志藤博克, 橘 保宏, 川出哲生, 高橋仁康, 岡嶋 弘, 北中敬久, 正田幹彦,

- 古田東司, 和田俊郎, 安藤和登 (2010) : 汎用型飼料収穫機の開発とトウモロコシ収穫調製作業体系の構築, 日本草地学会誌, 56(3), 187-193.
- 諏澤健三, 津賀幸之介, 塚本茂善, 岡安 泉, セイレイ工業(株), 小橋工業(株) (1998) : 非結球性葉菜収穫機, 平成9年度生研機構研究報告会資料, 7.
- 鈴木尚俊, 斉藤康一, 今井 久, 佐藤宏道, 岡田敬司, 水谷憲司 (2001) : 自走式レタス収穫機, 農研機構成果情報, <http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto13/07/narc0107k02.html>. (2015年12月3日参照)
- 鈴木尚俊, 斉藤康一, 塩川勝也, 佐藤宏道, 岡田敬司, 水谷憲司, 大和克彦, 堀 直弘, 赤羽光男 (2003) : レタス収穫機の開発 (第4報), 農業機械学会誌, 65(6), 141-148.
- 橘 保宏, 川出哲生, 志藤博克, 平田 晃 (2014a) : 不耕起対応トウモロコシ高速播種機の開発 (第1報), 日本草地学会誌, 60(3), 200-205.
- 橘 保宏, 川出哲生, 志藤博克, 平田 晃 (2014b) : 不耕起対応トウモロコシ高速播種機の開発 (第2報), 日本草地学会誌, 60(3), 206-212.
- N. S. Thakur, V. K. Joshi, N. K. Thakur (2000) : 4. Principles and Methods of Preservation of Fruits and Vegetables, Postharvest Technology of Fruits & Vegetables, Indus Publishing Company, 154-155.
- 東洋化学工業(株) (2016) : ゴムの豆知識, <http://www.toyo-kagaku.com/others/>. (2016年2月14日参照)
- 東洋農機(株) (2016) : ハーベスタ, <http://www.toyonoki.co.jp/catalog/3/habesta.html>. (2016年1月31日参照)
- 坪田将吾, 林 茂彦, 山本聡史, 斎藤貞文, 岡崎剛政, 瀬尾 明, 鎌田順三, 稲積浩之, P. Rajendra (2013) : 循環移動式栽培装置と連動する定置型イチゴ収穫ロボット, 農研機構成果情報, http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/brain/2013/13_087.html. (2015年11月18日参照)
- 槌賀睦夫 (1998) : 葱の皮むき装置, 特許第2863685号.
- 八鍬利郎 (1963) : 葱類植物の分蘖・分球に関する研究, 北海道大学農学部邦文紀要, <http://hdl.handle.net/2115/11726>. (2015年12月9日参照)
- 山田久也, 荒尾憲一 (2010) : ヤンマー選果システムの開発事例紹介, Eco-Engineering, 22(1), 35-38.
- 山本健司 (1997) : キャベツ収穫機, 農業機械学会誌, 59(3), 147-149.
- 山本聡史 (2012) : 下側接近を特徴とする定置型イチゴ収穫ロボットの開発, 農業機械化研究所研究報告, 42, 1-55.
- 安井 智, 操 洋二, 松平晏明, 小原弘道 (2005) : 高速回転フレキシブルノズルによる洗浄に関する報告書, http://www.ga-rew.com/pgs_techinfo.shtml. (2012年

8月11日参照)

米谷 正, 松本 功, 置塩康之, 小林尚司 (2000) : 歩行型タマネギ収穫機の作業性能
および適応性, 兵庫農技研報(農業), 48, 34-39.

吉永慶太 (2006) : 野菜生産における機械化の現状, 野菜情報, 31, 13-22.

財務省, 経済産業省, 農林水産省 (2001) : ねぎ等3品目に関するセーフガード暫定
措置について, プレスリリース, [http://www.maff.go.jp/j/kokusai/boueki/
sg_kanren/pdf/zantei.pdf](http://www.maff.go.jp/j/kokusai/boueki/sg_kanren/pdf/zantei.pdf). (2015年9月20日参照)