

エダマメ選別作業の効率化技術

片平光彦¹⁾、鵜沼秀樹²⁾、篠田光江²⁾、田村晃²⁾

目 次

1 緒言	1	5 市販型エダマメ選別機の概要と性能評価	5
2 調整作業台を用いたエダマメ精選別の作業改善		5-1 抄録	
2-1 抄録		5-2 緒言	
2-2 緒言		5-3 試験方法	
2-3 試験方法		5-3-1 試験場所と供試材料	
2-3-1 供試材料		5-3-2 市販型エダマメ選別機の概要	
2-3-2 試験に用いた調整作業台		5-3-3 整列搬送機構の概要	
2-3-3 試験内容		5-3-4 検出部の概要	
2-4 試験結果と考察		5-3-5 選別手順	
2-4-1 調整作業台が作業内容に与える影響		5-3-6 試験項目	
2-4-2 調整作業台の実用性評価		5-4 試験結果と考察	
3 エダマメ選別に用いる選別基準と選別手順の確立		5-4-1 開発機の作業効率	
3-1 抄録		5-4-2 開発機の作業精度	
3-2 緒言		6 結論	
3-3 試験方法		7 謝辞	
3-3-1 試験材料		8 引用文献	
3-3-2 調整方法		Abstract	
3-3-3 調査項目と試験の構成			
3-4 試験結果と考察			
3-4-1 収穫時期別での障害の発生程度と特徴			
3-4-2 障害の構成と選別基準			
4 エダマメ選別機の試作と性能評価			
4-1 抄録			
4-2 緒言			
4-3 試験方法			
4-3-1 試験場所と供試材料			
4-3-2 試作エダマメ選別機の概要			
4-3-3 試験項目			
4-4 試験結果と考察			
4-4-1 作業効率			
4-4-2 作業精度			

平成23年3月28日受理

¹⁾ 山形大学農学部（前秋田県農林水産技術センター）、²⁾ 秋田県農林水産技術センター

1 緒言

エダマメは、2009年の全国作付け面積が13,300ha、収穫量が72,500t、出荷量が50,900tの指定野菜に準ずる野菜28品目の一つで、2008年と比較して作付け面積が102%に増加している。主な産地は、新潟県(2009年度作付け面積:1,550ha)、山形県(1,520ha)、群馬県(1,190ha)、北海道(1,170ha)、秋田県(990ha)、千葉県(966ha)となっており、これらの産地で作付け面積全体の56%を占めている(Statistics Department, MAFF, 2009)。

秋田県では、県南部に位置する仙北、平鹿地域の作付け面積が408ha(2005年度)と県全体の47%を占めており、生産が拡大している露地野菜の一つである(AAFS of Akita Pref., 2007)。その背景として、両地域は水稻の生産が盛んな地域であるため、生産調整による水田転作の必要から、他地域よりも畑作物や露地野菜を積極的に導入したことが挙げられる。しかし、両地域は重粘土質の土壌が多く、ほ場の排水性や碎土性が劣るため、転換初年目から収量を確保できる野菜としてエダマメが選択された(Katahira et al., 2003)。それに加えて、当県は1991年から2004年までに6,062haのほ場に対して基盤整備事業を推進し、50a以上の大区画水田面積が水田全体の15%にあたる18,000haまで増加している。これら水田の大区画化は、畑転換して利用するにあたり、土地利用型で水稻並みの機械化体系が確立している作物の導入が必要であるため、必然的に大豆とエダマメが主要な作付け品目になった。

エダマメの生産現場では、前記したとおり播種作業や防除作業を中心に大豆用機械の利用が進み、作業能率の改善や湿害回避による収量の増加が顕著である。その一方で、エダマメの作業体系では、中耕作業や収穫調製作業での作業能率が低く、栽培面積の拡大による収益増加が困難な現状にある。これに対し、中耕作業では、作業能率がロータリカルチベータの1.7~1.9倍に改善するディスク式中耕機が開発されるなど、課題の解決が図られている(Teshima et al., 2009)。収穫作業では、エダマメ株の抜き取りを行う歩行収穫機や収穫脱莢を同時に行うエダマメハーベスタの開発が進み、中耕作業と同様に作業能率の改善が進んでいる(Katahira, 2009)。

中耕と収穫作業の高能率化が進む一方で、エダマメの調製作業は脱莢、洗浄、粗選別、精選別、袋詰め等各作業を個別に行っている。エダマメは、収穫直後から糖やグルタミン酸の低下が始まるため、これらの調製作業を迅速に行う必要がある。しかし、精選別作業は人手で莢の傷害や子実の熟度を確認しながら良品と不良品に分類するため、作業時間が10aあたり48時間と調製作業の中で最も長く、早期予冷による品質

保持に大きな障害となっている。それに対し、生産地では精選別作業を効率化するため、家族労働に加えて雇用労働の導入が進んでいる。2006年に行った秋田県仙北地域に対する調査(調査数:79戸)では、1ha以上の生産農家の85%、調査した農家全体で58%が雇用労働を導入している。その結果、生産費に占める労働費の割合は、機械関係費用の11%に対して46%、労働費の中で収穫調製に要する費用が69%といずれも大きくなり、調製作業の効率化による経費の節減が必要な現状にある。また、労働時間の長期化は、作業者に対する負担を増加するため、作業能率や選別精度の低下を誘引し、出荷量や生産物の評価に悪影響を及ぼすことが考えられる。

本報は、エダマメ精選別作業を効率化し、生産規模の拡大によるエダマメの出荷と生産額拡大を目的に、精選別作業を効率化する技術の開発を目標とした。そこで、第2章では、現状の雇用体系で利用可能な簡易的な選別方法について報告する。第3~5章では、精選別作業の更なる省力・低コスト化を実現するため、選別機械に必要な選別技術と選別条件の検討、それを用いた精選別装置の概要と基本性能を明らかにして、エダマメの効率的選別技術について検討する。

2 調製作業台を用いたエダマメ精選別の作業改善 2-1 抄録

本章では、高能率化が必要なエダマメ精選別作業に対し、低コストで作業内容が改善できる調製作業台について検討し、生産現地で実証した。

エダマメ精選別作業では、調製作業台の高さを70cmにした場合、上体の傾斜角と屈伸幅が高さ30cmよりも小さくなるため、作業内容を改善した。調製作業台は、表面に灰色のポリ塩化ビニル製プレートを敷設し、作業者の手が届く距離を20cm以上にした選別スペースを持つ調製作業台B型が作業内容の改善に適した。また、調製作業台B型は、作業者によるアンケート評価が他の調製作業台よりも良好であった。調製作業台B型を利用した生産者は、慣行調製作業台よりも精選別作業時の作業能率について71%が”向上”、総合評価について85%が”使いやすい”と評価し、作業内容の改善に有効であることを確認した。

[キーワード]エダマメ、精選別作業、調製作業台、作業能率、総合評価

2-2 緒言

エダマメの出荷は、これまで根付き株の結束、莢付き分枝の包装、脱莢した状態での包装などの形態で行われてきた。近年、品質保持効果の高い包装資材についての研究が進み(Akimoto et al., 1981)(Hisaka, 2000)、それを活用した脱莢状態での包装出荷方式は、

高品質な生産物を求める消費者の意識と合致して急速に普及した。

生産地では、包装出荷方式に対応するため、脱莢、粗選別、洗浄、精選別、袋詰め調製作業を行っている。この中で精選別作業は、人手で莢の傷害や子実の熟度を確認しながら良品と不良品に分類するため、作業時間が 10a あたり 48 時間と調製作業の中で最も長く、早期予冷による品質保持に大きな障害となっている。

これに対して筆者は、精選別作業に使用する調製作業台の表色に着目し、表色を灰色系にした場合に選別量と精度が合板や他色より高くなることを確認した (katahira et al., 2001)。この技術を応用し、精選別に適した調製作業台を開発することは、選別量の増加から雇用労働の削減が可能であり、調製作業に要する経費節減策として活用できる。しかし、エダマメ精選別作業に用いる調製作業台に関し、筆者の現地調査では、施設の床に合板などを直接・間接的に敷設した事例や、既存のテーブルを利用した事例が混在しており、オフィスなどでの作業 (JIS, 2002) のように作業に適した高さや形状について検討されていない。

本稿では、これまで明らかにされたエダマメ精選別作業を改善する技術を基に試作した調製作業台について、作業内容と作業者に対するアンケート調査を実施し、作業能率と作業精度の改善効果を確認した。また、試作した調製作業台は生産地で実証し、生産者に対するアンケート調査から実用性を評価した。

2-3 試験方法

2-3-1 供試材料

調製作業台の性能試験には、秋田県農林水産技術センターで栽培したエダマメ (緑光: 収穫日 2004 年 9 月 9 日、14 日、規格外莢割合 15%、サッポロミドリ: 収穫日 2005 年 8 月 2 日、規格外莢割合 28%、秘伝: 収穫日 2005 年 10 月 6 日、規格外莢割合 53%) を用いた。収穫したエダマメは、生産地の調製作業手順に従い、市販の脱莢機 (マツモト, KX-III 型) と選別機 (マツモト, GS-3 型) で脱莢と粗選別を行い、性能試験に用いた。

2-3-2 試験に用いた調製作業台

試験は、以下に示す 3 種の調製作業台と市販のイス (折りたたみ式、全高: 72cm、座面高: 41cm、座面幅: 41cm、座面奥行き: 40cm) を用い、差尺 (机高さ-座面高) を固定した条件で行った。

調製作業台 A 型は、農家で使用されているテーブル状の調製作業台を参考に、作業台の表面を長さ 180cm、幅 90cm の合板で作成した。選別作業は、家事などのような直立作業でなく、作業者が手元を見ながら座位で作業するため、事務作業に近似するものと

考えた。そのため、作業台の高さは、事務作業に適したテーブルについての日本工業規格 (JIS, 1978, 2002) と久野ら (Hisano et al., 2003) の調査を参考に 70cm とした。

調製作業台 B 型は、A 型の表面に灰色のポリ塩化ビニル製プレート (タキロン, 色相: 8.3B7.1/0.6、長さ 182cm、幅 91cm、厚さ 2.0mm) を敷設した。なお、作業台の高さは、A 型と同様に 70cm とした。

調製作業台 C 型は、調製作業台 B 型の中央に高さ 10cm、長さ 90cm、幅 30cm の積載台、その周囲に高さ 10cm、長さ 105cm、幅 50cm の繰り出し用シェードを取り付けた 2 段構造にした。2 段構造は、調製作業台上に莢を集中させることを目的とした。

2-3-3 試験内容

(1) 調製作業台が作業内容に与える影響

作業台の高さは、調製作業台 A 型を対照に高さ 30cm のコンテナの上に A 型と同型の合板を載せた作業台を比較し、選別試験と作業状態の調査を行った。なお、高さ 30cm の作業台では、市販の作業イス (キャスター付き、座面高 28cm、座面幅 32cm、座面奥行き 35cm) で試験を行った。

調製作業台の形状は、調製作業台 A 型を対照に B 型と C 型を比較し、選別試験と作業者に対するアンケート調査を行った。

選別試験は、選別条件の説明と予備選別を行った後、60 分間の選別時間と休憩時間で構成し、2~3 名の作業者を 1 グループとして 1 日で全試験区 (調製作業台 A~C 型区、高さ 30cm 合板区) を行った。なお、試験区と試験時間は、慣れや疲労などの誤差要因を相殺するためグループごとで無作為に割り付けた。選別基準は、エダマメ莢を 3 粒莢、2 粒莢、1 粒莢、病虫害で大きく変色した莢と奇形莢が含まれる規格外品莢の 4 段階とした。選別試験の評価は、選別した全選別数を示す作業能率 (莢/h)、4 段階に選別した莢から無作為抽出した標本に含まれる誤選別莢の混入割合を示す誤選別率 (%) で行い、両項目をあわせて作業内容とした。

作業状態は、作業者の背中と腰に角速度計 (ヒロボウ, FMU002 型) を取り付け、選別作業を行った際の上体傾斜角を計測 (計測時間: 10 分間) した。

アンケート調査は、作業の経験年数が 1~2 年の男性 1 名 (年齢 39 歳、身長 168cm) と女性 14 名 (年齢 44~60 歳、身長 150~160cm) の合計 15 名に対し、調製作業台 A 型を対照として選別試験後に作業能率 (向上→低下、5 段階)、疲労自覚 (疲れやすい、変わらない、疲れにくい、3 段階)、総合評価 (使いやすい→使いにくい、5 段階) について対面法で聞き取りした。

(2) 調製作業台の実用性評価

実用性評価は、秋田県大仙市のエダマメ生産農家 5 戸（男性 4 名、女性 10 名）に対して行った。調査は、農家が特性評価試験を基に選抜した調製作業台 B 型を用いて精選別作業を一定期間実施した後、調査した農家が通常使用している調製作業台（以下、慣行調製作業台と呼称）との比較で、作業能率（向上→低下、5 段階）、作業性（使いやすい→使いにくい、5 段階）、疲労自覚（疲れやすい、変わらない、疲れにくい、3 段階）、自覚症状（眠気、集中できない、その他、あまり気にならない）、総合評価（使いやすい→使いにくい、5 段階）について対面法でアンケート調査を行った。疲労の自覚症状については、慣行調製作業台に対しても同項目で聞き取りを行った。なお、慣行調製作業台は、テーブルの上に合板（180cm × 90cm）を置いた農家が 4 戸、青色のビニールプレート（形状：未測）を置いた農家が 1 戸であった。

2-4 試験結果と考察

2-4-1 調製作業台が作業内容に与える影響

(1) 調製作業台の高さ

高さ 30cm の調製作業台と調製作業台 A 型の作業状況を図 2-1 に示す。作業能率と誤選別率を表 2-1、作業状態の経過を図 2-2 に示す。



図 2-1 調製作業台での作業状況
（左：30cm、右：A 型、70cm）

表 2-1 調製作業台の高さが選別内容に与える影響

項目	作業能率 (莢/h)	誤選別率 (%)
試験区		
30cm	918	7.1
70cm	2390	4.5
t-test	*	*

注1: 調製作業台 A 型を使用

注2: *は5%水準で有意差あり

注3: 30cm、70cmは、
調製作業台の高さを示す

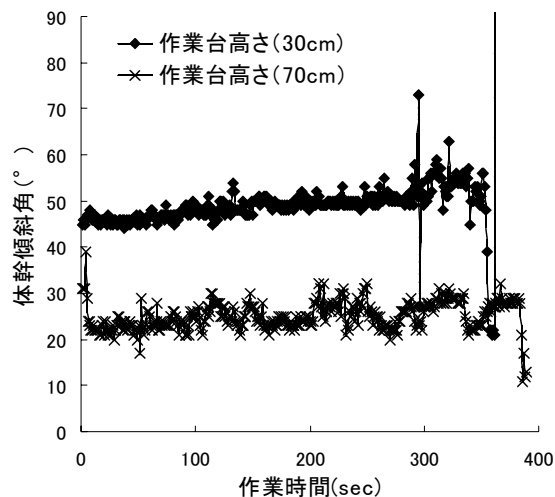


図 2-2 調製作業台の高さが上体傾斜角と屈伸幅に与える影響

高さ 70cm（差尺 29cm）は、選別の作業能率が高さ 30cm（差尺 2cm）の 2.6 倍、誤選別率が 2.6% 低減し、5% 水準で有意な差を示した。また、作業員上体の平均傾斜角は、高さ 30cm で 49°（変動係数：0.10）、70cm で 25°（変動係数：0.12）であった。

高さ 30cm の調製作業台を使用した作業員は、エダマメ莢を見やすくするため、視距離が短くなるように両腕を膝の上に固定し、上体を大きく曲げた姿勢となった。その結果、作業員上体の変動は少なくなり、選別スペースが手元付近の狭い範囲に集中したため、作業能率が低下した。また、上体の屈伸幅（最大傾斜角－最小傾斜角）は、選別するエダマメ莢が不足した際に莢を手元付近に移動する必要から 52° と大きくなり、長時間作業した場合に作業内容の低下に繋がった。

高さ 70cm の調製作業台を使用した作業員は、上体の平均傾斜角が小さく、両腕で上体を固定することが少ないため上体の変動が増加した。しかし、作業員の屈伸幅は 28° となり、高さ 30cm の作業台より縮小したため、作業台上に展開するエダマメ莢の移動が容易になった。また、上体の平均傾斜角が小さいことは、作業員の視野と選別スペースの拡大に寄与するため、長時間作業した場合に選別内容の改善に繋がった。なお、作業台の高さは、差尺 29cm に固定した条件で試験を行ったため、作業員の体格の違いで久野ら（Hisano et al., 2003）が示すとおり ± 5cm 程度の許容範囲を有すると考えられる。

以上から、エダマメ精選別作業に使用する調製作業台は、作業台の高さを 70cm 程度にして両腕の固定を解消し、上体の傾斜角と屈伸幅を小さくすることで、作業能率が 2.6 倍に向上し、作業精度が 2.6% 改善できた。

(2) 調製作業台の形状

調製作業台 B 型と C 型の作業状態を図 2-3、調製作業台 A 型、B 型、C 型での作業能率と誤選別率を表 2-2 に示す。作業能率は、A 型と比較して B 型が 7% 向上し、C 型が 8% 低下した。誤選別率は、調製作業台 A 型と比較して B 型で 1.5% 向上し、C 型で 1.3% 低下した。



図 2-3 調製作業台 B 型と C 型での作業状況
(左: B 型、右: C 型)

表 2-2 調製作業台の形状が選別内容に与える影響

試験区	項目	作業能率 (莢/h)	誤選別率 (%)
	A 型	2390 ^{a)}	4.5 ^{a)}
	B 型	2560 ^{a)}	3.0 ^{a)}
	C 型	2201 ^{b)}	5.8 ^{b)}

注1:異なるアルファベット間に
5%水準で有意差あり

注2:調製作業台高さ, 70cm

作業者に対するアンケート結果を図 2-4 ~ 2-6 に示す。作業能率は、A 型よりも”向上”、”やや向上”との評価が B 型で 93%、C 型で 33%であった。作業時の疲労は、”あまり気にならない”の評価が B 型で 80%、C 型で 60%であった。総合評価は、A 型よりも”使いやすい”、”やや使いやすい”との評価が B 型で 93%、C 型で 20%であった。

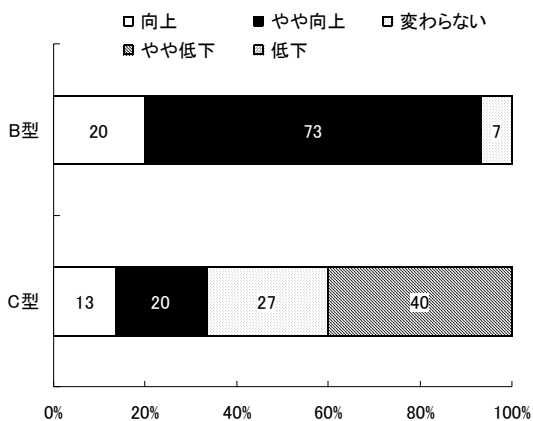


図 2-4 調製作業台に対する作業者の評価 (作業能率)

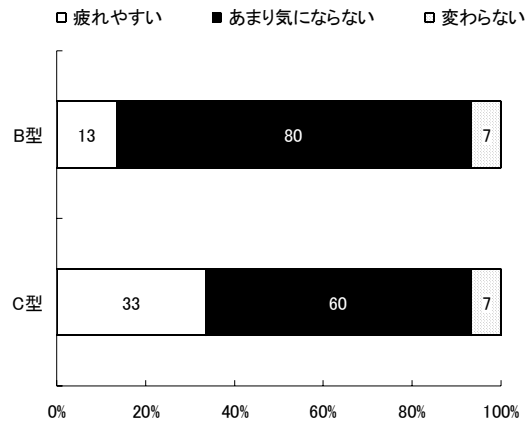


図 2-5 調製作業台に対する作業者の評価 (疲労)

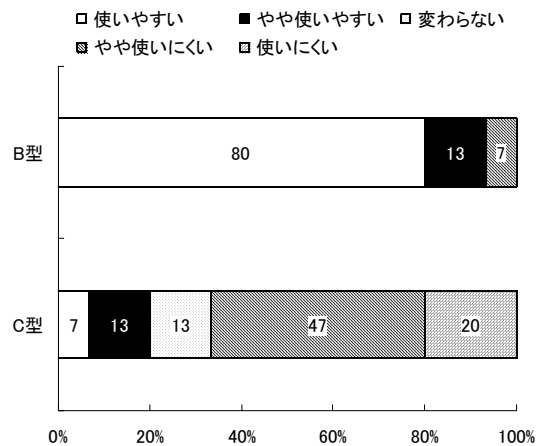


図 2-6 調製作業台に対する作業者の評価 (総合評価)

調製作業台 B 型は、灰色のポリ塩化ビニル製プレートを表面に敷設しているため、表面が合板の調製作業台 A 型よりもエダマメ莢が見やすく、表面が滑らかで莢の移動が容易となり、作業能率を向上するとともに誤選別率を低下した。アンケート評価では、作業能率と総合評価で B 型が A 型よりも優れているとの意見が多く、作業内容の測定結果と合致した。なお、市販のポリ塩化ビニル製プレートは、合板よりも 1 ~ 2cm 大きく厚さ 2.0mm の素材で選別時に周辺部が曲がるがあったため、”疲れやすい”の意見が 13%、”やや使いにくい”の意見が 7% 発生した。そのため、市販のポリ塩化ビニル製プレートを使用するには、大きい部分を切断し合板と同じ形状にして用いる必要がある。

調製作業台 C 型は、2 段構造にした中央の積載台にエダマメ莢を集中できるが、調製作業台全体に占める積載台の面積が大きくなった。調製作業台 C 型は、作業者が作業台長辺の中央に位置した場合、積載台に接触するため短辺方向に向かって作業者の手が届く最

大距離が 20cm 以内に制限され、作業者の選別スペースが B 型の 44%に縮小した。その結果、C 型の作業内容は、A 型や B 型と比較して有意に低下し、疲労を含めたアンケート評価も低下した。また、C 型は、作業者の手が届く距離を B 型と同程度にする場合、作業者が作業台の短辺側に位置することが必要であるため、調製作業台を 2 名以上で用いる経営体での利用に適さないと考えられる。

以上から、エダマメ精選別に使用する調製作業台は、表面に灰色のポリ塩化ビニル製プレートを敷設し、作業者の手が届く距離を 20cm 以上確保できる選別スペースを有する調製作業台 B 型が、作業内容の改善に有効である。

2-4-2 調製作業台の実用性評価

調製作業台 B 型で選別を行った生産者の評価を図 2-7～2-9 に示す。

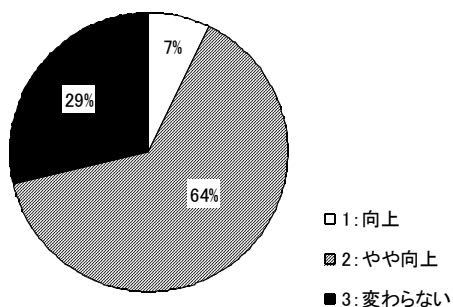


図 2-7 調製作業台 B 型についての生産者評価 (作業能率)

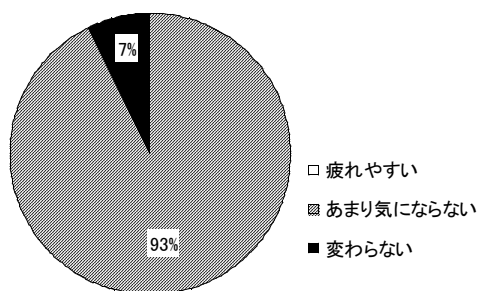


図 2-8 調製作業台 B 型についての生産者評価 (疲労)

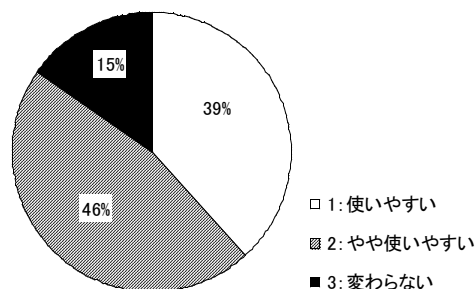


図 2-9 調製作業台 B 型についての生産者評価 (総合評価)

作業能率は、慣行と比較して”向上”と”やや向上”が 71%であった。作業時に感じる疲労は、慣行と比較して”あまり気にならない”が 93%であった。疲労の自覚症状は、慣行調製作業台と調製作業台 B 型とも”眠気”と”だるさ”であった。総合評価は、”使いやすい”と”やや使いやすい”が 85%であった。

疲労と自覚症状に関し、選別作業は単純作業の連続であるため、調製作業台の特性で眠気などの生理的な疲労に対する抑制効果が少なかった。そのため、生理的な疲労を軽減するには、適度な休息や軽い運動による作業者の気分転換が有効と考えられる。

調製作業台 B 型は、前項で示したとおり英の確認と英の移動が容易であるため、作業能率と総合評価で評価を高めた。また、生産者は、自由回答で調製作業台表面の清掃が慣行の作業台よりも容易であるとの意見があり、総合評価を高める要因となった。

総合評価に関し、評価項目を”使いやすい”、”使にくい”、”変わらない”の 3 段階に再分類した場合、各項目の割合は、85%、0%、15%であった。その場合、 χ^2 検定による適合度は 7.4 (χ^2 値、5%有意水準: 6.0) となり、各項目と有意に適合することが確認できた。すなわち、調製作業台 B 型は慣行調製作業台よりも使いやすく、作業能率を向上することが可能でエダマメの精選別作業に対する適性が高い。また、調製作業台 B 型は、生産者が日本工業規格 (JIS, 1978) で示された高さ 70cm の作業台を使用している場合、表面に価格 3,400 円 (2006 年時点) の灰色のポリ塩化ビニル製プレートを敷設することで本試験結果と適合するため、精選別作業を低コストで改善することに有効である

3 エダマメ選別に用いる選別基準と選別手順の確立

3-1 抄録

本稿では、画像処理を活用したエダマメ選別機を開発するにあたり、選別が必要な傷害の分類と消費者の意識調査を行い、選別機に適用する選別項目と基準について検討したものである。適期に収穫したエダマメ

は、出荷規格で規格外に分類される莢が 36 ~ 45%、そのうち機械的損傷が 6 ~ 15% 含まれた。発生する機械的損傷は、I ~ V 型に類型化した。選別する傷害は、生産地での選別状況から形状、子実熟度、病虫害、機械的損傷の各項目に分類した。これらの選別項目のうち、変色部を有する病虫害と機械的損傷 I 型、II 型、V 型については、傷害部分と莢全体の面積比率が 10% 未満を A 品、10 ~ 15% を B 品、15% 以上を規格外品の基準で分類した。

[キーワード] エダマメ、選別機、傷害、機械的損傷、選別項目、選別基準

3-2 緒言

秋田県では、エダマメ栽培面積の拡大が進む一方で、収穫調製の高効率化が求められている。収穫と脱莢作業に対しては、歩行式の収穫機や自動脱莢機が既に市販されており、両作業が 10a あたり 18 時間で行われている。しかし、収穫脱莢後の精選別作業は、依然として手作業を中心とするため、栽培面積の拡大に伴う収穫量の増加への対応が困難な状況である。前項で調製作業台を用いた作業の効率化を検討したが、精選別作業の能率を更に高めるには選別機の導入が不可欠である。選別機開発については、これまで画像処理を用いた選別機 (Sasaki et al., 2000) (Tokuda et al., 2002) やエダマメの全面撮像 (Katahira and Shimada, 2006) など多くの研究開発が行われてきた。しかし、エダマメは、果樹や果菜類と異なり等級数が少なく、一般的な選別項目や選別基準が示されていないため、機械選別に必要な傷害の類型化や定量化が明らかになっていない。

そこで、本報は選別時間が現在の約 20% に相当する 10a あたり 8 時間、誤選別割合が 10% 以下となるエダマメ選別機を開発するため、異なる時期に収穫脱莢されたエダマメに対して出荷規格別と機械的損傷の構成割合を調査し、発生した機械的損傷の類型化を行った。また、生産者が A 品、B 品および規格外に選別したエダマメに含まれる傷害を分類して選別項目を明確化するとともに、消費者に対するアンケート調査から選別が必要な傷害とその程度を明らかにして、手選別以上の精度で機械選別が可能になる方法を検討した。

3-3 試験方法

3-3-1 試験材料

異なる時期に収穫されたエダマメに対する試験は、2005 年と 2006 年に秋田県農林水産技術センターで栽培したエダマメ (品種: 錦秋、秘伝) を用いた。収穫は、錦秋が開花後 41 ~ 54 日、秘伝が開花後 54 日に手作業で行った。収穫したエダマメは、農家で一般的

に行われている体系に従い、自動脱莢機 (マツモト、KX-III 型) で脱莢した後、振動式の選別機 (マツモト、GS-4 型) で粗選別を行った。

選別したエダマメに対する調査は、2006 年に秋田県 A 地域の生産者が A 品と規格外に手選別したエダマメ (品種: 秘伝、調査莢数 714 個、全質量 1894g) を用いた。なお、A 品については、参考として同じ生産者の他品種 (中生種、中晩生種) と東京都の太田市場から他産地の製品 (1 試験区あたり平均調査莢数 410 個、平均全質量 1295g) を購入して調査した。

3-3-2 調製方法

粗選別したエダマメについて、秋田県仙北地域の出荷規格を参考に A 品 (病虫害の被害やその他傷害のない、1 莢に 2 粒以上に充実した莢)、B 品 (形状、光沢が劣り、汚れや傷がやや混入している莢)、規格外 (1 粒莢、奇形莢、病虫害莢、裂莢、割莢) に手選別した。また、出荷規格別に分類したエダマメは、脱莢時に発生したと判断される機械的損傷を特徴別に再分類した。

3-3-3 調査項目と試験の構成

(1) 傷害の時期別発生程度

エダマメに対する収穫時期別の出荷規格構成割合については、開花後 41 日を収穫適期前 (調査莢数 1941 個、全質量 7779g)、49 日を収穫適期 (調査莢数 2523 個、全質量 9711g)、54 日を収穫適期後 (調査莢数 1818 個、全質量 7008g) として調査した。なお、収穫時期別の調査は、試験地域で一般的に栽培されている錦秋に対して行った。秘伝は、開花後 54 日の収穫適期 (調査莢数 1023 個、全質量 3392g) に実施した。各試験区では、各出荷規格と機械的損傷にそれぞれ分類し、質量基準で構成割合を算出した。

なお、エダマメは図 3-1 に示すとおり、莢の各部位を顎、縫合線 (腹部、背部)、花柱、莢の中心を胴と呼称する。

(2) 莢に含まれる傷害の分類

生産者が選別した A 品と規格外のエダマメは、病虫害や虫害で莢に変色部を有した傷害 (以下、病虫害)、莢に未熟な子実を含む傷害 (以下、子実熟度)、変形した莢や 1 粒莢を含む傷害 (以下、形状)、脱莢時に機械的損傷を受けた莢 (以下、機械的損傷) に分類し、それぞれ質量基準で構成割合を算出した。

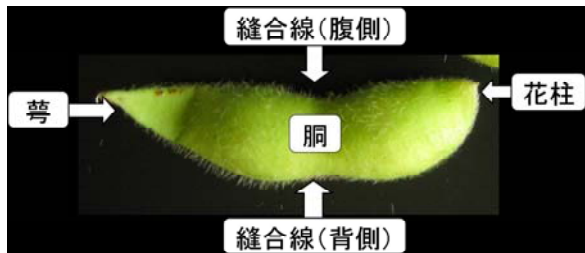


図 3-1 エダマメ莢の名称

(3) 傷害に対する消費者の意向調査

傷害に対する消費者の意向調査は、病虫害と機械的損傷を受けたエダマメに対して行った。

病虫害は、発生程度が異なる 5 個のエダマメを目視により選抜してデジタルカメラ (320 万画素) で撮影し、片平の方法 (katahira, 2002) で抽出した莢全体 (S) と傷害部 (s) の画素数を計測して両者の面積比率 (% : S/s) を算出した。それらのエダマメは、図 3-2 に示すとおり任意に並べて写真を撮影し、それを秋田県内の消費者 (12 名) に示して購入可能な傷害程度について対面法で聞き取り調査を行い、許容率とその標準偏差を算出した。

機械的損傷に関して、傷害別に類型化した莢をそれぞれ 3 莢抽出し、それを 1 袋にまとめたサンプルを消費者に示し、購入の可否を対面法で聞き取り調査を行い、許容率とその標準偏差を算出した。

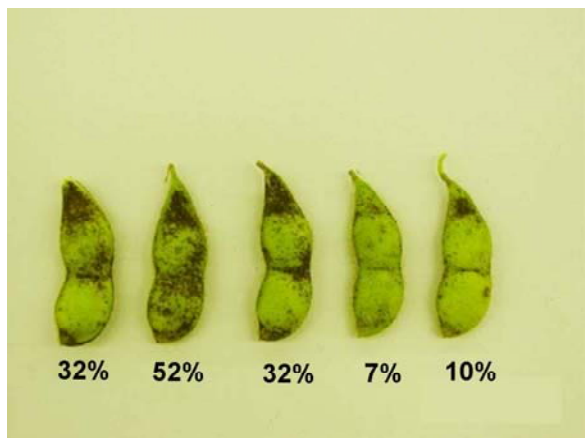


図 3-2 エダマメと傷害の面積比率

3-4 試験結果と考察

3-4-1 収穫時期別での傷害の発生程度と特徴

(1) 傷害の発生程度

異なる時期に収穫したエダマメの出荷規格別と機械的損傷の構成割合を表 3-1 に示す。

表 3-1 収穫時期別の出荷規格と機械的損傷の構成割合

分類項目	A品(%)		B品(%)		規格外品(%)		小計	
	全莢	損傷莢	全莢	損傷莢	全莢	損傷莢	全莢	損傷莢
品種・収穫日								
収穫適期前(41日)	58	13	15	2	27 (2)	3	100	18
錦秋 収穫適期(49日)	65	15	16	2	19 (0)	2	100	19
収穫適期後(54日)	33	11	15	5	52 (0)	11	100	27
秘伝 収穫適期(54日)	35	6	20	-	39 (1)	-	100	6

注1: 錦秋(開花日、7月28日)、秘伝(開花日、8月17日)
 注2: 収穫後の()内数字は、開花後の日数
 注3: 規格外品の()内数字は、2粒以上の子実が未熟な莢の割合
 注4: 損傷莢は機械的損傷を受けた莢の割合を示す

錦秋の A 品割合は、収穫適期前が 58%、収穫適期が 65%、収穫適期後が 33%であった。同品種で規格外品の割合は、収穫適期前が 27%、収穫適期が 19%、収穫適期後が 52%であった。収穫適期の秘伝は A 品が 35%、規格外品が 39%であった。また、A 品に占める機械的損傷は、錦秋が 11 ~ 15%、秘伝が 6%であった。

エダマメは、生育に従い莢の長さや幅が同時に最大となるが、子実熟度は莢の厚さや硬さと連動して成熟期近くまで増加し続けるため (Yoshida et al., 1983)、収穫までの期間が短いほど未熟莢が多くなり、長いほど過熟莢が増加する。また、収穫の遅れは、エダマメの莢に対して過熟による黄化や最終防除から収穫までの日数が長期化するため、病虫害による傷害が多発する。その結果、収穫適期の前後に収穫したエダマメは、規格外品の構成割合が増加した。

機械的損傷に関して考察すると、使用した自動脱莢機は、柔軟板製のこぎ歯が 2 枚取り付けられた回転式こぎ胴を上下 2 段に配置し、その間にエダマメ株を通過させてこぎ歯の打撃で脱莢するため (Momose and Imai, 1995)、莢幅が厚い収穫適期後ではこぎ歯との接触が多くなり、機械的損傷を多くしたものと推測される。

エダマメは、適期以外に収穫すると傷害を含む規格外品の構成割合が高くなるため、生産地に対して適期収穫の普及指導が不可欠である。その上で、適期収穫したエダマメは、粗選別後に回収した莢から病虫害や形状による傷害を受けた錦秋で 19%、秘伝で 39%の莢を規格外品、さらに A 品と B 品に含まれる錦秋で 17%、秘伝で 6% (A 品のみ) の機械的損傷を選別する必要がある。

(2) 機械的損傷の分類

機械的損傷は、エダマメ莢の表面に擦傷を受けた損傷 (I 型)、莢の顎部や胴部が折れた損傷 (II 型)、莢の腹部と背部の縫合線がとれた損傷 (III 型)、顎部が裂けた損傷 (IV 型)、莢が割れたり、表皮が剥がれた損傷 (V 型) に類型化した。類型化した I ~ V 型の傷害を図 3-3 に示す。



I 型

II 型

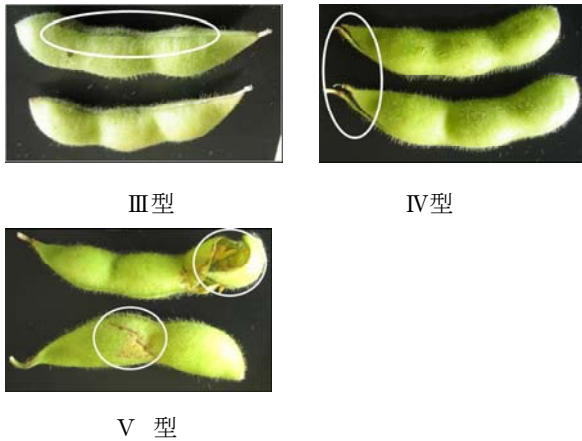


図 3-3 機械的損傷の分類

表 3-1 で A 品に選別したエダマメに含まれる機械的損傷 I～V型の分布を表 3-2 に示す。錦秋に最も多く含まれる機械的損傷は、収穫適期前で I 型の 71%、収穫適期で IV 型の 36%、収穫適期後で I 型の 50%であった。II 型と V 型は、収穫時期に係わらず 2～5%と発生割合が低かった。III 型は、収穫適期以降で適期前よりも 12～16%増加した。収穫適期での機械的損傷 I～V 型の分布は、秘伝もほぼ同様であった。

表 3-2 機械的損傷の構成割合

品種・収穫日	分類項目				
	機械的損傷				
	I	II	III	IV	V
収穫適期前(41日)	71	3	6	16	3
錦秋 収穫適期(49日)	33	5	22	36	4
収穫適期後(54日)	50	5	18	26	2
秘伝 収穫適期(54日)	23	13	18	34	12

注1:単位,%

注2:A品に含まれる機械的損傷を分類した。

機械的損傷は、I 型がエダマメの莢に対するこぎ歯の柔軟材やエダマメ株の茎葉との擦れ、II 型と V 型が莢に対するこぎ歯の柔軟材による外的衝撃、III 型と IV 型が脱莢時に顎部と果枝が容易に分離しなかった場合に発生した。エダマメは、開花後 15 日以降から莢の硬さが増加して繊維が切れにくくなる (Konno, 1981)。すなわち、収穫適期前では、開花後の経過日数が短く表皮が収穫適期よりも柔らかいため、I 型に該当する莢への擦傷が増加した。収穫適期から適期後では、繊維が切れにくくなることから果枝との分離性が低下するため、III 型と IV 型の損傷が増加したと考えられる。なお、収穫適期後での I 型の増加は、子実熟度の高まりで莢幅が厚くなるため、こぎ歯と莢の接触面積が拡大して擦傷を増加したと思われる。

3-4-2 傷害の構成と選別基準

(1) 主要傷害の構成

秋田県 A 地域の生産者が規格外品に選別したエダマメに含まれる各傷害の構成割合を図 3-4 に示す。規格外品には、子実熟度が 55%、病虫害が 6%、形状が

10%、機械的損傷が 9% (II 型と V 型が 5%) であった。

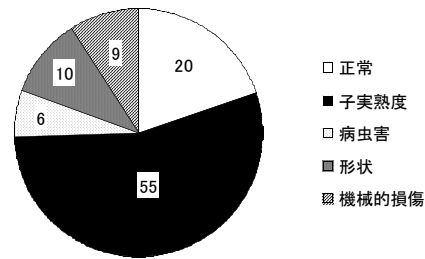


図 3-4 規格外品に含まれる傷害の構成割合

生産者が A 品と選別した製品に含まれる各傷害の構成割合を表 3-3 に示す。製品には、機械的損傷が 11～29% (II 型と V 型が 2～6%) と最も多く含まれ、次いで病虫害が 6～19%、形状が 1～9%、子実熟度が 0%であった。

表 3-3 出荷品に含まれる傷害の構成割合

調査区	項目	正常	子実熟度	病虫害	形状	機械的損傷				
						I	II	III	IV	V
A産地(晩生・秘伝)		80	0	6	1	1	5	2	4	1
A産地(中生)		73	0	11	1	4	2	2	4	2
参A産地(中晩生)		69	0	18	1	0	3	4	2	2
考B産地		49	0	14	9	5	2	11	9	2
C産地		56	0	19	7	5	1	5	6	1

注:単位,%

生産者の調製作業は、脱莢、粗選別、洗浄、精選別、袋詰め、箱詰め各工程で行われており (Katahira et al., 2000)、計画出荷の必要性から時間的な制約が大きい。精選別作業は、良品出荷のため熟練した作業が求められ、各工程の中で最も多くの作業時間を要する。また、精選別の作業者は、単純作業が連続するため精神的疲労が大きい。その結果、精選別の作業者は、傷害として認識しやすい要素として形状、子実熟度、大きな変色部を有する病虫害、機械的損傷 II 型、V 型を中心とした選別になったと考えられる。機械的損傷のうち III 型、IV 型と変色のない I 型、微少な病虫害による傷害は、傷害の認識に時間を要するため見逃されることが多くなり、製品に混入する割合が増加した。以上から、エダマメを機械的に選別するには、現在生産者が行っている傷害の分類項目を基に、消費者が許容できる範囲以上にある微少な傷害の検出精度を強化することが機械の導入にあたり必要な条件となる。

(2) 傷害に対する消費者評価

傷害の面積比率が異なるエダマメを用い、消費者に対して行った聞き取り調査の結果 (調査人数 12 名、有効回答人数 9 名) を図 3-5 に示す。消費者は、エダマメの莢に占める傷害の面積比率 (x) が増加するほど購入に対する許容率 (y) が低下し、 $y = -48.6 \ln(x) + 196.0$ で回帰された ($R^2 = 0.98$)。この回帰式は、面積比率を基に許容率を推定し、傷害に対する選別基準の策定に利用する。

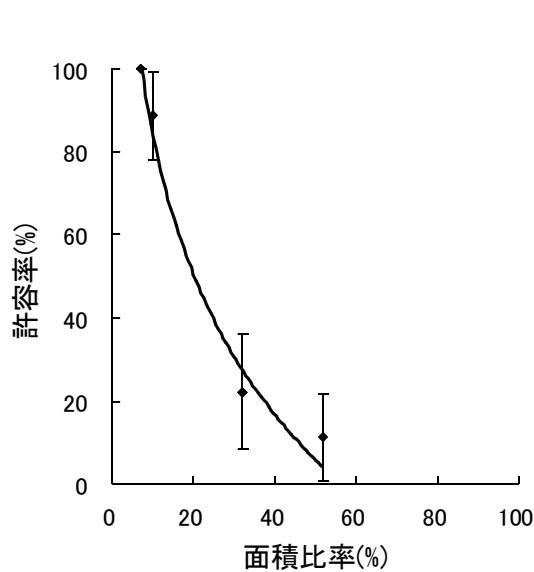


図 3-5 傷害の面積比率に対する消費者の購入許容率

機械的損傷別の消費者評価（調査人数 12 名、有効回答人数 12 名）を図 3-6 に示す。消費者は、エダマメの莢に変色がある I 型、中心部に割れや折れがある II 型と V 型の損傷に対して許容率が 0～42% となり、莢に変色がない I 型、III 型と IV 型の損傷に対して許容率が 67～100% であった。

消費者は、病虫害で変色した傷害の割合が高まるほど嫌悪感が強まるため、購入に対する許容率が面積比率 0～10% で 84% 以上、10～15% で 64% 以上、25% 以上で 40% 以下と推定できる。

機械的損傷は、エダマメの莢に対して明確な変色、中央部の割れや折れが生じることで、病虫害による損傷と同様に外観品質に対する嫌悪感が強まるため、購入の許容率が低下した。また、消費者は、エダマメの莢から子実が見えることを嫌い、莢に変色しない程度の擦傷を許容する傾向にあるため、変色のない I 型、子実が露出しない顎側の II 型、III 型、IV 型の傷害を受けたエダマメについて購入に影響を与えないと判断できた。

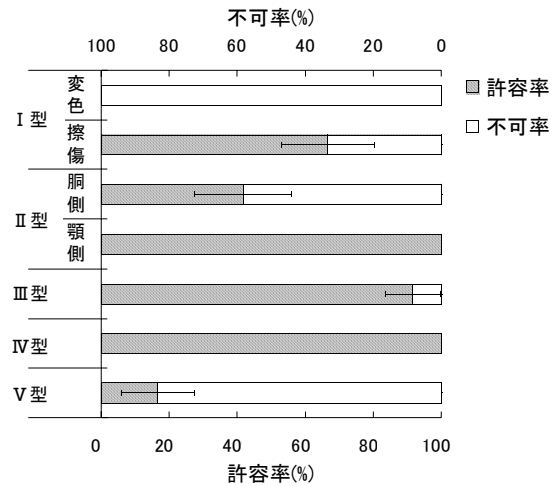


図 3-6 機械的損傷に対する消費者の購入許容率

(3) エダマメの選別基準と方法

エダマメの機械選別に適用する方法と選別基準を図 3-7 に示す。

エダマメの選別は、形状、子実熟度、変色を伴う傷害（病虫害、機械的損傷 I 型、II 型、V 型）について実施する。なお、変色を伴わない I 型、子実が露出しない顎側の II 型、III 型と IV 型の機械的損傷は、消費者の購買意識に与える影響が少ないため、前記の選別項目から除外した。

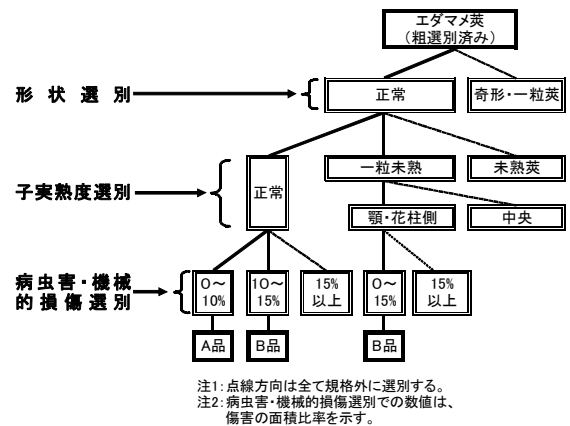


図 3-7 エダマメ選別手順

形状は、慣行の選別基準に従い 1 粒莢と奇形莢を規格外に選別する。子実熟度は、エダマメの莢に含まれる全ての子実が充実しているものを正常、莢に含まれる子実が 1 粒だけ未熟な 2 粒と 3 粒莢を B 品、中央の子実が未熟な 3 粒莢と 2 粒以上の子実が未熟な莢を規格外品に選別する。形状と子実熟度で正常と選別したエダマメは、病虫害や機械的損傷 I 型、II 型、V 型で生じた変色部の面積比率を基に 0～10% を A 品、10～15% を B 品、15% 以上を規格外品に選別する。なお、子実熟度で B 品判定したエダマメは、エダマメ

の莢と変色部の面積比率 0 ~ 15%を B 品、15%以上を規格外に選別する。

4 エダマメ選別機の試作と性能評価

4-1 抄録

本稿では、エダマメ調製作業を効率化するため、前編で得られた知見を基に画像処理を用いた傷害検出方法、透過画像を用いた子実熟度検出方法を利用したエダマメ選別機を試作し、生産現場で実証試験を行った。試作したエダマメ選別機は、速度が異なる 2 基のベルトコンベアと整列搬送機構、検出部、制御部、分離部で構成し、長さ 1700mm、幅 500mm、高さ 1500mm の形状である。試作機の整列搬送機構は、整列ロール、各ベルトコンベア上に整列回転体と搬送路をそれぞれ配置した構成を用いることでエダマメ莢の搬送姿勢が安定し、作業能率を手選別の 5.1 倍にした。試作機の検出部は、子実熟度を検出するファイバーセンサと着色系傷害を検出する CCD カメラで構成した。検出部は、エダマメ莢を 1 莢ずつ投入した場合に選別率 (η) が 0.51、センサ部の回収率 (η_s) が 0.80、傷害検出部の回収率 (η_d) が 0.66 であった。生産現場での選別試験では、エダマメ莢の搬送状態や傷害検出範囲の低下の影響で η の平均値が 0.11 であった。ただし、試作機の良品莢に対する回収率 (η_a) は 0.75、良品判定に含まれる良品莢 (W_2P_2) の割合は 63 ~ 81%とそれぞれ高く、手選別と同等であった。

[キーワード]エダマメ選別機、整列搬送機構、画像処理、ファイバーセンサ、選別精度、作業能率

4-2 緒言

エダマメの精選別作業は、傷害や子実熟度を判定する必要から処理量が 1 時間あたり 12kg (作業時間換算: 10a あたり 48 時間) と少ないため、調製作業の中で最も多くの雇用労働を投入している。筆者らは、精選別作業を改善するため、生産現場で使われている調製作業台の色や形状の検討を行い、作業精度と作業能率が改善することを明らかにした (Katahira and Unuma, 2008)。しかし、現状体系に対する作業改善では、作業能率を約 7%向上するに止まるため、栽培面積の拡大に向けて高能率な選別用機械の導入による作業の省力化が望まれている。

本稿では、エダマメ調製作業の省力化を目途に、前章に記載したエダマメの選別基準と画像処理による傷害検出方法、および透過画像を利用した子実熟度検出方法 (Zhang et al., 2009) を用いたエダマメ選別機を 2006 年から 2007 年にかけて試作し、その作業能率と選別精度を調査した。

4-3 試験方法

4-3-1 試験場所と供試材料

エダマメの選別試験は、2007 年に山形県鶴岡市と秋田県大仙市の生産者調製作業場、株式会社山本製作所で行った。

供試材料は、山形県鶴岡市 (品種: 庄内 3 号; 中生) と秋田県大仙市 (品種: あきた香り五葉; 中晩生、秘伝; 晩生) の生産者が栽培したエダマメ、秋田県農林水産技術センターで栽培したエダマメ (品種: 秘伝; 晩生) を用いた。収穫したエダマメ莢は、定置式脱莢機 (ミツワ, KX-D2V2) で脱莢し、選別機 (ミツワ, GS-4SD) で粗選別を行った。なお、粗選別を行った秘伝の一部は、収穫適期以降での選別試験に使用するため、-50℃に設定した冷凍庫で保存した。使用した各品種の形状の平均値を表 4-1 に示す。

表 4-1 供試品種の形状

供試品種	項目	長辺 (mm)	短辺 (mm)	厚さ (mm)
庄内 3号	1粒莢	31 (3)	13 (1)	8 (1)
	2粒莢	42 (3)	13 (1)	8 (1)
	3粒莢	49 (2)	13 (1)	8 (1)
あきた 香り五葉	1粒莢	—	—	—
	2粒莢	60 (3)	15 (1)	10 (1)
	3粒莢	67 (4)	15 (1)	10 (1)
秘伝	1粒莢	46 (2)	14 (1)	9 (1)
	2粒莢	64 (4)	16 (1)	11 (1)
	3粒莢	73 (4)	16 (1)	11 (1)

注1:()内数値は標準偏差

4-3-2 試作エダマメ選別機の概要

株式会社山本製作所で試作したエダマメ選別機 (以下、試作機と呼称) を図 4-1 に示す。試作機は、エダマメ莢を搬送する第 1、第 2 ベルトコンベア (ベルト幅: 300mm) と整列搬送機構、検出部、制御部、分離部で構成し、長さ 1700mm、幅 500mm、高さ 1500mm の形状である。なお、ベルトコンベアは、第 1 と第 2 の間に速度差 (第 1 < 第 2) を付けて配置し、エダマメ莢の引き離しを行った。

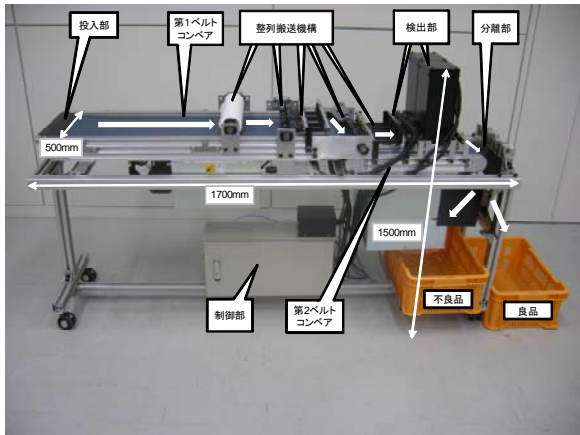


図 4-1 試作エダマメ選別機

(1) 整列搬送機構の概要

エダマメ莢を精度良く選別するには、種々の方法を駆使して表 4-1 に示すエダマメ莢の長辺部分を搬送方向と平行な状態で一莢ずつ検出部に投入することが必要である (Katahira and Shimada, 2006)。試作機には、エダマメ莢の姿勢を安定させるため、これまでの知見に加えて整列ロール、整列回転体、搬送路で構成する整列搬送機構を考案して組み込んだ (Katahira et al., 2009a)。整列搬送機構の概要を図 4-2 と図 4-3 に示す。

整列ロールは、全周に柔軟性を有した軟質ポリエチレン素材を巻き付けた長さ 300mm、直径 28mm のもので、エダマメ莢との接触面がベルトコンベアの進行方向と逆向きに回転する。

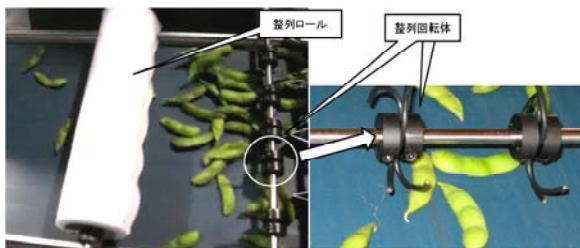


図 4-2 整列用ロールと整列回転体

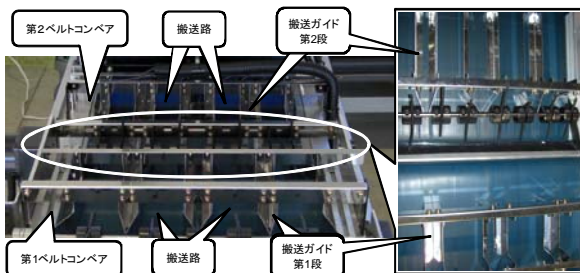


図 4-3 搬送ガイドと搬送路の配置

整列回転体は、四三酸化鉄皮膜で表面処理した直径

25mm、幅 8mm の鉄製円柱 2 枚の間にニトリルゴム製の整列棒 (ϕ 3、長さ 60mm) 4 本を取り付けたもので、整列ロールと同じ向きに回転する。試作機には、この整列回転体をベルトコンベアの幅方向に任意の間隔で 5～8 個配置した。

搬送路は、高さ 16mm のステンレス製 (SUS430) 素材の搬送ガイドをベルトコンベア内に 50mm 幅と 35mm 幅に設置し、合計 4 条を作成した。搬送路の幅は、エダマメ莢の搬送姿勢を段階的に修正するため、差を付けて設定した。

(2) 検出部の概要

検出部は、第 2 ベルトコンベアの端に子実熟度検出部、傷害検出部の順序で設置した (Katahira et al., 2009b)。両検出部の模式図を図 4-4 に示す。

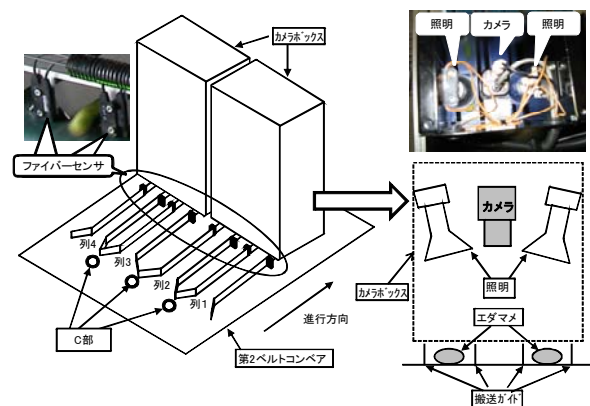


図 4-4 子実熟度検出部と傷害検出部の配置

子実熟度の計測は、アナログ出力型ファイバーセンサ (azbil, HPX-MA、出力範囲: 1～5V、応答時間: 1～50ms) に取り付けられた光ファイバー (azbil, HPF-T021T、スクリーン幅: 15mm) で行い、第 2 ベルトコンベア内の搬送ガイド端に投光部と受光部を設置した。ファイバーセンサは、投光部と受光部の間をエダマメ莢が通過した際に変化する光量を検出し、それをアナログ信号として出力する。

傷害検出部は、照明 2 台と 1 台の CCD カメラ (ワテック, WAT-250D、有効画素数: 768 × 494、解像度: 450TV 本) の全周を黒色鉄製のカメラボックスで被覆した。傷害検出部は、第 2 ベルトコンベア上方に 2 基配置し、CCD カメラ 1 台で 2 本の搬送路から運ばれるエダマメ莢の撮像を行った。

(3) 制御部と分離部の概要

ファイバーセンサと CCD カメラは、画像判別装置 (ルネサス北日本セミコンダクタ, NVP-935N、OS: μ ITORON) とシーケンサ (Panasonic, FPG-C32T、制御 I/O 点数 32 点) で構成した制御部に接続されており、そこで得られた情報の処理を行い、良品と不良品に判定した。

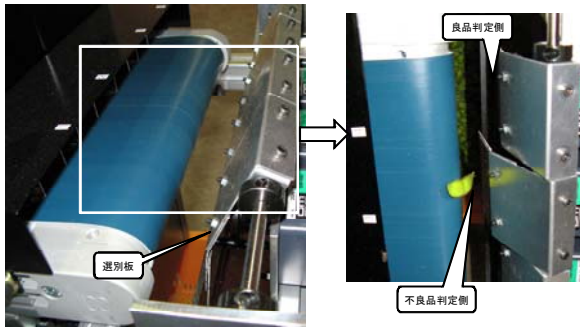


図 4-5 分離部の配置

分離部は、図 4-5 に示す 4 枚の選別板で構成した。エダマメ莢は、第 2 ベルトコンベア端から分離部に放擲され、良品判定莢の場合は選別板を通過して良品判定側に落下する。不良品判定の場合は、選別板がモータの動力で第 2 ベルトコンベア側に一定角度で動作し、不良品判定側へ強制的に落下させる。

(4) 選別手順

エダマメ莢の子実熟度の判定手順を図 4-6 に示す。エダマメ莢は、出力電圧情報を基にエダマメ莢長辺部の長さ L_p と子実部の長さ L_s を取得し、両者の比率 α (L_p / L_s) を計算する。計算した比率 α は、良品莢と不良品莢を用いた予備試験で基準値 β を設定し、図 4-6a に示すように $\alpha < \beta$ の場合に良品判定、図 4-6b に示すように $\alpha > \beta$ の場合に子実の一部未熟による不良品判定、図 4-6c に示す L_p が計測状態で L_s が計測できない状態を全子実の未熟による不良品判定とした。なお、図 4-6d に示す L_p と L_s が未計測の状態では、エダマメ莢が通過していないと判断した。

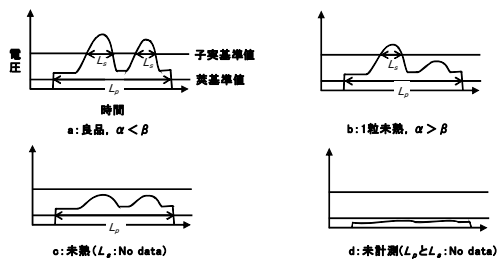


図 4-6 子実熟度検出部での判定手順

エダマメ莢の変色系傷害は、試作機に搭載した CCD カメラで通過する全てのエダマメ莢を撮像して画像処理を行い、莢部と傷害部の画素数を計測して莢面積と傷害面積を算出した。算出した各面積は、既報で報告した基準で A 品に該当する良品莢とそれ以外の不良品莢に判別する。ただし、試作機は、傷害検出部で CCD カメラ側を向いたエダマメ莢の面のみを撮像し、第 2 ベルトコンベアのベルト面を向いたエダマメ莢の撮像を行っていない。

4-3-3 試験項目

(1) 作業能率

作業能率は、調製後のエダマメ莢 15kg を無作為に 5kg 抽出して試作機に投入し、投入から選別終了までの時間の計測を行い、単位時間あたりの選別量 (kg/h) を算出した。なお、エダマメ莢が搬送路内で滞留した場合は、試作機へのエダマメ莢の投入を中断し、滞留を手で除去した後に実験を再開した。

(2) 選別精度

投入されたエダマメ莢 (W : g) は、試作機で良品 (W_g : g) と不良品 (W_f : g) に判定される。判定されたエダマメ莢は、 W_g と W_f ごとに手作業で以下の 9 種類に分類した。分類項目は、前報で選別が必要と判断した変色を伴う擦り傷の I 型 (P_{f1}) と莢割れの II・V 型 (P_{f2}) に該当する機械的損傷の傷害、虫害 (P_{f3})、黄化 (P_{f4})、しみ (P_{f5}) に該当する変色系の傷害、1 粒 (P_{f6})、未熟 (P_{f7})、奇形莢 (P_{f8}) に該当する形状と子実熟度系の傷害で構成される不良品莢 (ΣP_f)、厚さ 9mm 以上に子実が充実した 2 粒莢と 3 粒莢に該当する良品莢 (P_g) である。

ここで、 W_g に含まれる P_g を $W_g P_g$ 、 ΣP_f を $W_g \Sigma P_f$ とし、 W_f に含まれる P_g を $W_f P_g$ 、 ΣP_f を $W_f \Sigma P_f$ とした場合、

$$W_g = W_g P_g + W_g \Sigma P_f \quad (4-1)$$

$$W_f = W_f P_g + W_f \Sigma P_f \quad (4-2)$$

$$W = W_g + W_f \quad (4-3)$$

の関係にある。そこで、選別精度は、ニュートン効率で示される選別率 (η) で表し、良品莢に対する回収率 (η_a) と不良品莢に対する回収率 (η_b) から (4-4) ~ (4-6) 式で算出した。

$$\eta_a = W_g P_g / (W_g P_g + W_f P_g) \quad (4-4)$$

$$\eta_b = W_f \Sigma P_f / (W_g \Sigma P_f + W_f \Sigma P_f) \quad (4-5)$$

$$\eta = \eta_a + \eta_b - 1 \quad (4-6)$$

また、分類された不良品莢については、子実熟度検出部の回収率 (η_s) と傷害検出部の回収率 (η_i) を (4-7) ~ (4-8) 式で算出した。

$$\eta_s = (W_f P_{f6} + W_f P_{f7} + W_f P_{f8}) / (W_g P_{f6} + W_f P_{f6} + W_g P_{f7} + W_f P_{f7} + W_g P_{f8} + W_f P_{f8}) \quad (4-7)$$

$$\eta_i = (W_f P_{f1} + W_f P_{f2} + W_f P_{f3} + W_f P_{f4} + W_f P_{f5}) / (W_g P_{f1} + W_f P_{f1} + W_g P_{f2} + W_f P_{f2} + W_g P_{f3} + W_f P_{f3} + W_g P_{f4} + W_f P_{f4} + W_g P_{f5} + W_f P_{f5}) \quad (4-8)$$

また、 W_g に対する $W_g P_g$ と $W_g P_{f1} \sim W_g P_{f8}$ 、 W_f に対する $W_f P_g$ と $W_f P_{f1} \sim W_f P_{f8}$ の割合 (%) を算出し、良品と不良品に選別された莢の構成を求めた。

(3) 試験区の構成

作業能率は、整列搬送機構の効果を検討するため、表 4-2 に示す A ~ D の組み合わせで調査した。A 構成は、第 1 ベルトコンベア上に整列回転体、第 2 ベルトコンベア上に搬送ガイドで幅 35mm に設定した

搬送路を配置した。B構成は、A構成の配置に加えて、第2ベルトコンベアの搬送路前に整列回転体を配置した。C構成は、B構成の配置に加えて、第1ベルトコンベアの整列回転体の前に整列ロールを配置した。D構成は、C構成の配置に加えて、第1ベルトコンベアの整列回転体の後に搬送ガイドで幅50mmに設定した搬送路を配置した。

表 4-2 整列搬送部の構成と試験区

試験区	搬送路		回転体		整列ロール
	第1BC	第2BC	第1BC	第2BC	
A構成	×	○	○	×	×
B構成	×	○	○	○	×
C構成	×	○	○	○	○
D構成	○	○	○	○	○

注1:BCはベルトコンベアの略称

注2:整列方法を組み込んだ場合を○印、組み込まない場合を×印。

注3:搬送路は、第1BCが50mm幅、第2BCが35mm幅に設定。

作業精度は、中生の庄内3号から晩生の秘伝までの各品種で調査した。なお、作業精度は、生産現場での実態を把握するため、生産者が手選別した莢についても調査を行った。

4-4 試験結果と考察

4-4-1 作業効率

整列搬送機構の構成と作業効率の関係を表4-3に示す。作業効率は、A構成が22kg/h、B構成が30kg/h、C構成が49kg/h、D構成が61kg/hであった。これまで調査を行った秋田県内のエダマメ生産農家では、精選別の作業効率が12kg/hであり、試作機の利用で作業効率が1.8～5.1倍に向上した。

表 4-3 試作機の作業効率

試験区	項目	作業効率 (kg/h)	倍率
	手選別	12	—
	A構成	22	1.8
	B構成	30	2.5
	C構成	49	4.1
	D構成	61	5.1

注1:倍率は、各試験区の作業効率/手選別の作業効率で算出

試作機に投入されたエダマメ莢は、莢が重なり合った状態の不均一な姿勢で搬送される場合がある。A構成では、エダマメ莢に対して整列回転体の整列棒が物理的衝撃を加え、エダマメ莢の長辺が進行方向と平行になるように修正した。しかし、柔軟性を有する整列回転体の整列棒は、重なりあったエダマメ莢を崩す能力が不足しているため、一部が重なった状態で搬送された。それらのエダマメ莢は、第1ベルトコンベアか

ら第2ベルトコンベアに落下した際の搬送姿勢が安定しないため搬送路の入口を封鎖することになり、後続のエダマメ莢が搬送路入口付近で滞留して作業効率を低下させた。第2ベルトコンベア上に整列回転体を配置したB構成は、落下後にエダマメ莢の搬送姿勢を再調整するため、A構成と比較して第2ベルトコンベアの搬送路入口をエダマメ莢が封鎖することが少なくなった。しかし、B構成では、投入されたエダマメ莢の各搬送路への振り分けに均一性を欠くため、搬送量が増加した一部の搬送路入口でエダマメ莢が滞留した。

C構成では、追加した整列ロールの効果で作業効率がA構成の2.7倍、B構成の1.6倍に改善した。すなわち、整列ロールは、第1ベルトコンベアとの間に20mmの間隙をつけて配置したため、その間隙をエダマメ莢が通過する際に重なりを除去して搬送量を均分化した。また、エダマメ莢の重なりを早期に解消することは、整列回転体での姿勢調整の効果がA構成やB構成より高まるため、搬送姿勢が安定して搬送路入口での滞留が少なくなった。しかし、C構成では、搬送量の増加に伴い第2ベルトコンベア上の搬送路と搬送路の間(図4-4-C部)を進行するエダマメ莢も多くなり、それらが搬送ガイドに接触して搬送路入口を封鎖することがあった。D構成は、第1ベルトコンベア上に設置した50mm幅の搬送路でエダマメ莢搬送姿勢の微調整と搬送位置の確定を早期に行ったため、第2ベルトコンベア上の搬送路との連携が容易になり、作業効率がC構成の1.2倍に改善された。

以上から、試作機でエダマメ莢を整列搬送するには、投入直後に整列ロールで重なり除去と各搬送路への均分化処理を行い、次いで整列回転体での姿勢調整と搬送路を組み合わせた搬送位置の早期確定が必要である。それらを取り入れたD構成は、エダマメ莢の搬送姿勢が最も安定するため、作業効率を最大まで高めることができる。なお、作業効率を更に高めるには、搬送路の増加で対応する。

4-4-2 作業精度

試作機の選別精度を表4-4、 W_g と W_f に含まれるエダマメ莢の構成を図4-7と図4-8、実証農家が手選別で良品判定したエダマメ莢の構成を図4-9にそれぞれ示す。各品種で行った選別試験の平均値は、 η が0.11、 η_a が0.76、 η_b が0.35、 η_s が0.36、 η_i が0.35であった。エダマメ莢の構成では、 W_g に $W_g P_g$ が63～80%、 W_f に $W_f \Sigma P_f$ が30～40%含まれていた。なお、手選別した良品判定莢には、 P_g が62～79%含まれていた。

試作機は、良品(743莢)と不良品(619莢)に分類したエダマメ莢(品種:秘伝)を1莢ずつ投入した場合、 η が0.51、 η_a が0.78、 η_b が0.73、 η_s が0.80、

η_i が 0.66 であった。1 莢投入時での η_s の低下理由は、検出部通過時でのエダマメ莢の姿勢にある。すなわち、3 粒莢の中で莢の湾曲が大きいエダマメ莢は、その縫合線部分が搬送ガイドと接触して搬送路内で傾き、ファイバーセンサの光電エリア内を傾いた状態で通過するため、形状を正確に認識できないことがあった。1 莢投入時での η_i の低下は、撮像時に照明の影響で投影された子実部の影に対する誤検知や、傾斜した状態で搬送されたエダマメ莢の撮像範囲が通常より縮小し、撮像領域以外に存在する傷害の検出が不足したことが原因と考えられる。

表 4-4 試作機の選別精度

項目	η	η_a	η_b	η_s	η_i	良品率 (%)
供試品種						
庄内3号	0.19	0.75	0.44	0.44	0.44	75
あきた香り五葉	0.12	0.77	0.36	0.37	0.35	78
秘伝	0.03	0.77	0.26	0.28	0.26	62
秘伝(1莢投入)	0.51	0.78	0.73	0.80	0.66	55
秘伝(手選別)	0.59	0.73	0.86	-	-	44

注1: 良品率 = P_g/W

注2: 手選別は2006年に秋田県大仙市の生産者が行った結果から算出した参考値

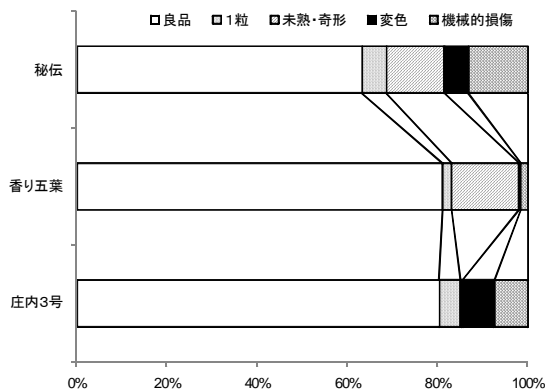


図 4-7 良品判定に含まれるエダマメ莢の構成割合

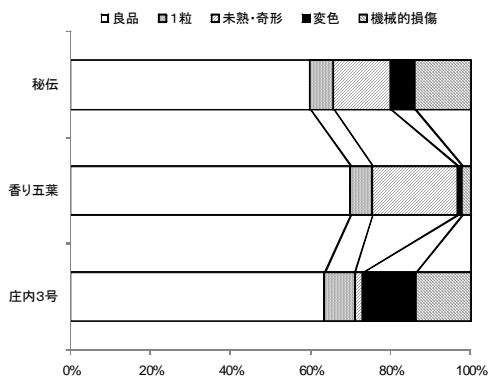


図 4-8 不良品判定に含まれるエダマメ莢の構成割合

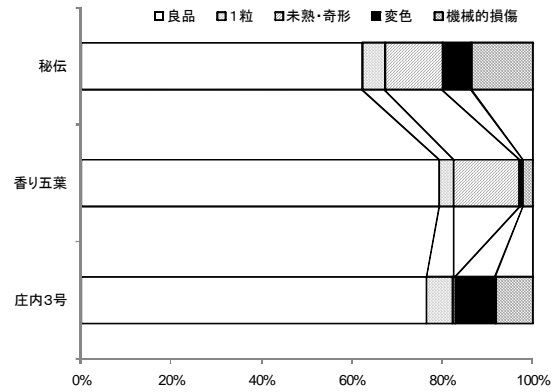


図 4-9 手選別での良品判定に含まれるエダマメ莢の構成割合

現地試験では、これらの誤差要因に加え、品種によるエダマメ莢形状の違いがエダマメ莢の引き離しに影響を与えるため、 η_s と η_i が更に低下する方向で変動した。すなわち、長辺の短い庄内3号では、ベルトコンベアの段差と速度差を利用した莢の引き離しが良好であったため、 η_s の精度が他品種よりも高くなり、良品判定に含まれる不良品莢の中で未熟・奇形に該当する莢の割合が少なかった。あきた香り五葉と秘伝では、莢の長辺が庄内3号よりも長いため、ベルトコンベアの段差部でのエダマメ莢の引き離しが不十分となり、長辺が長くなるほど η_s の精度を低下した。また、庄内3号と秘伝は、図 4-7 と図 4-8 に示すとおり莢表面に発生する変色系傷害が多いため、撮像範囲外に含まれる傷害も必然的に多くなり、良品判定に含まれる変色系傷害の割合が高まった。ただし、庄内3号は莢両面に傷害が分布したが、秘伝では莢片面が特異的に変色する傷害が散見されたため良品への誤認量が多くなり、両者の η_i に 0.18 の差が生じた。

以上から、 η は搬送路内の検出部付近でのエダマメ莢の搬送姿勢に加えて、エダマメ莢の長辺部長さによる引き離し程度の違い、品種ごとの傷害量の違いが検出部の精度を低下させたため、1 莢投入時と比較して平均値で 0.40 下回った。ただし、試作機の η_a は、良品率の変動に係わらず 0.75 ~ 0.77 と高い水準を確保しており、かつ W_g に含まれる $W_g P_g$ の割合も手選別とほぼ等しいことから、良品莢の判定に関しては手選別と同等といえる。

選別精度に相当する η を高めるには、子実熟度検出部と傷害検出部での検出精度を向上させて良品と不良品の判定精度を向上することが不可欠である。試作機については、第2ベルトコンベア上の搬送路幅を調整して搬送路内での姿勢を安定させるとともに、ベルトコンベア間の速度差を拡大して莢の長い品種のエダマメ莢でも引き離しを十分に行えることが必要である。傷害検出については、影の影響が少なくなる照明

の配置、エダマメ莢の撮像範囲拡大による検出力の強化が必要である。

5 市販型エダマメ選別機の概要と性能評価

5-1 抄録

本稿では、エダマメ調製作業を効率化するため、画像処理を用いた傷害検出方法、透過画像を用いた子実熟度検出方法を利用したエダマメ選別機を開発し、その性能を明らかにした。

エダマメ選別機の作業能率は 36 ～ 46kg / h、手選別の 2.6 ～ 7.6 倍であった。選別精度を示す選別率 (η) は 0.09 ～ 0.35 となり、手選別と比較して 0.29 ～ 0.55 低下した。しかし、単莢供給時での選別率は 0.41 ～ 0.64 となり、手選別と同等であった。連続供給時での良品莢と不良品の回収率は、0.30 ～ 0.87 と 0.47 ～ 0.79 であった。なお、単莢供給時での“虫害”や“しみ”などの変色傷害検出率は 0.55 ～ 0.95、“1粒”や“未熟”などの形状傷害検出率は 0.68 ～ 0.89 となり、手選別と同等であった。

[キーワード] エダマメ選別機、選別率、作業能率

5-2 緒言

エダマメ生産では、播種作業や防除作業を中心に大豆用機械の利用が進み、作業能率の改善や湿害回避による収量の増加が顕著である。その一方で、エダマメの作業体系では、収穫調製作業での作業能率が低く、栽培面積の拡大による収益増加が困難な現状にある。収穫作業では、エダマメ株の抜き取りを行う歩行収穫機や収穫脱莢を同時に行うエダマメハーベスタの開発が進み作業能率の改善が進んでいる。

収穫作業の高効率化が進む一方で、エダマメの精選別作業は、傷害や子実熟度を詳細に判定する必要から人手で行われており、処理量が 1 時間あたり 12kg (作業時間換算：10a あたり 48 時間) と調製作業の中で最も多くの作業時間を要している。

そこで、本稿では、エダマメの精選別作業を効率化するため、主要な傷害である変色系と形状系の傷害を判定し、選別できるエダマメの精選別機を開発し、その作業能力と導入条件について検討した。

5-3 試験方法

5-3-1 試験場所と供試材料

エダマメの選別実験は、2010 年 9 月に山形大学農学部と秋田県横手市の生産者調製作業場で行った。

供試材料は、山形県農業総合研究センターで栽培したエダマメ (品種：庄内 3 号；中生)、秋田県横手市の生産者が栽培したエダマメ (品種：雪音；中晩生)、山形大学農学部高坂農場で栽培したエダマメ (品種：秘伝；晩生) を用いた。

5-3-2 市販型エダマメ選別機の概要

株式会社山本製作所と共同で開発した市販型エダマメ選別機 (以下、開発機と呼称) を図 5-1 に示す。開発機は、供給部から投入されるエダマメ莢を 5 条に分離しながら整列搬送する搬送用傾斜コンベア、傾斜コンベアの搬送速度との間に速度差をつけて莢の引き離しを行う搬送部、莢の形を光電センサで検出する形状検出部、莢の病虫害による傷害を検出する変色検出部、エアで良品と不良品に分類する選別部で構成した。



形	全幅 (mm)	2160
	奥行 (mm)	570
	高さ (mm)	1190
状	質量 (kg)	150
質	電源 (V)	100
電	選別条数	5
選	別途、1.5kW級	
別	考のエアコンプレッサが必要	
備		

図 5-1 開発したエダマメ選別機と主要諸元

5-3-3 整列搬送機構の概要

開発機は、エダマメ莢の姿勢を安定させるため、試作機と異なりベルトに搬送枠を形成した傾斜コンベアにエダマメ莢を投入し、傾斜角と整列回転体で搬送枠 (幅：16mm、長さ：70mm) 内に一莢ずつ組み込む構造にした。エダマメ莢の分離は、傾斜コンベアと搬送部コンベアの間で速度差を付けて行った。

5-3-4 検出部の概要

検出部は、エダマメ搬送部コンベアの先端に子実熟度検出部、傷害検出部の順序で設置した。

子実熟度の計測は、アナログ出力型ファイバーセンサ (azbil, HPX-MA) に取り付けられた光ファイバー (azbil, HPF-T021T) で行った。

傷害検出部は、ラインセンサ (山本製作所, CLX-502DF、分解能：水平 0.15mm、垂直方向：0.25mm) 2 基をベルトコンベア先端に相対するように配置し、落下するエダマメ莢の全周を撮像した。フ

アイバーセンサとラインセンサは、画像判別装置（山本製作所，CLX-502DF）とシーケンサ（Panasonic，FPG-C32T）で構成した制御部に接続されており、そこで得られた情報の処理を行い良品と不良品に判定し、不良品判定莢を選別部のエアエジェクタで分離した。

5-3-5 選別手順

エダマメ莢の子実熟度の判定は、前項で開発した手順を踏襲した。

エダマメ莢の変色系傷害は、傷害検出部でエダマメ莢を撮像し、画像処理で抽出した変色部の面積をセンサの感度（Lv1 ～ 30）で調整した。センサ感度は図 5-2 に示すとおり、エダマメの食品サンプル莢を用いて面積別に判定率を算出した。

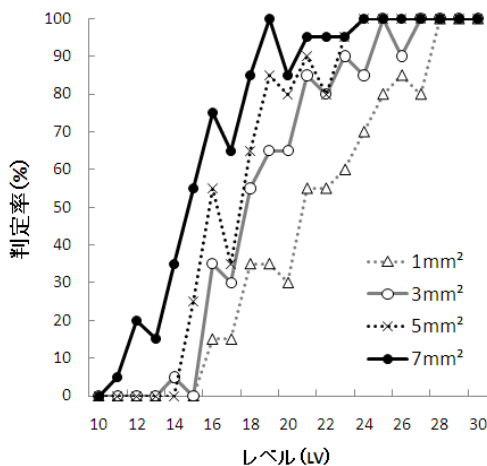


図 5-2 変色系傷害検出部の判定レベル

5-3-6 試験項目

(1) 作業能率と選別精度

作業能率は、脱莢と粗選別した後のエダマメ莢を無作為に 4kg 抽出して試作機に投入し、投入から選別終了までの時間の計測を行い、単位時間あたりの選別量 (kg/h) を算出した。

選別精度は、前章で示した式を用い、良品莢の回収率 (η_a)、不良品莢の回収率 (η_b)、選別率 (η)、子実熟度検出部の回収率 (η_s)、傷害検出部の回収率 (η_i) を算出した。

5-4 試験結果と考察

5-4-1 開発機の作業能率

開発機の作業能率を図 5-3 に示す。開発機の作業能率は、中生の庄内 3 号で 36kg/h、中晩生の雪音で 41kg/h、晩生の秘伝で 46kg/h であった。雪音を生産したエダマメ農家では、精選別の作業能率が最大で 14kg/h、最小で 6.0kg/h であったため、試作機の利用

で作業能率が 2.5 ～ 7.6 倍に向上した。

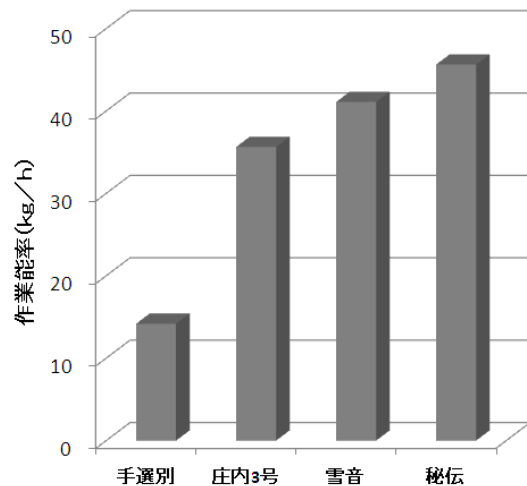


図 5-3 開発機の品種別作業能率

開発機に投入されたエダマメ莢は、傾斜コンベアと整列回転体で重なりでの除去と整列が可能であった。しかし、エダマメ莢は、品種によって莢の長辺長が変化するため、ベルトに配置した搬送枠に対して早生品種で複数の莢が入り込む現象、中晩生と晩生種で莢が枠に入り込まない現象が散見された。搬送枠で固定できない莢は、莢の引き離しや搬送姿勢の乱れを誘発することが多く、その場合 5 条に設定した搬送路内を封鎖して後続のエダマメ莢を搬送路内で滞留させるため、作業能率の低下に繋がった。

5-4-2 開発機の作業精度

開発機の η を図 5-4、 η_a と η_b を図 5-5 と図 5-6、 η_s と η_i を図 5-7 と図 5-8、手選別と機械選別した良品判定側と不良品判定側に含まれるエダマメ莢の構成を図 5-9 と図 5-10 にそれぞれ示す。

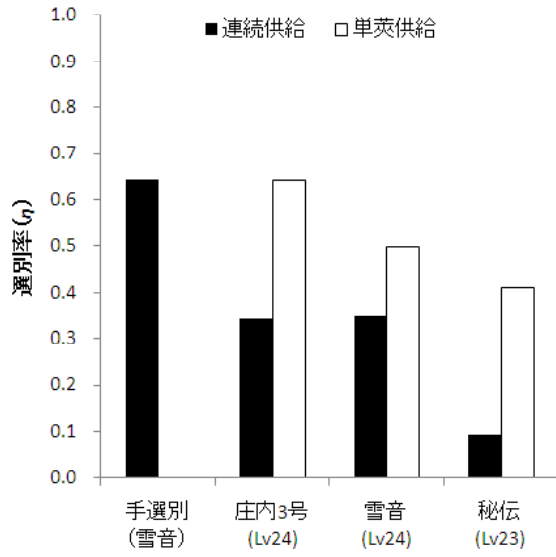


図 5-4 開発機の作業精度 (eta : 選別率)

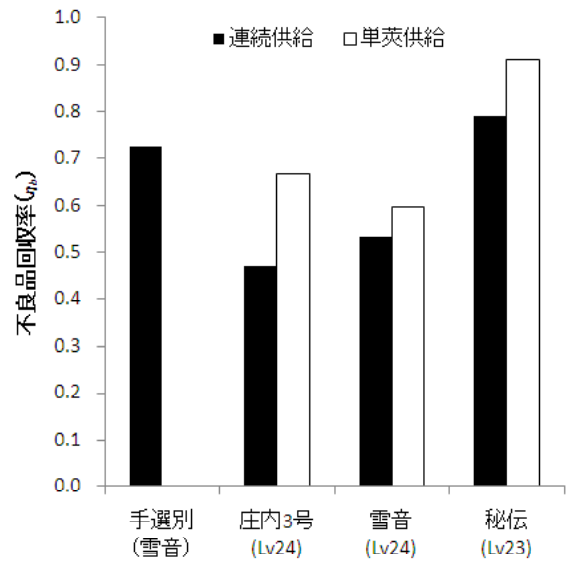


図 5-6 選別率の内訳 (eta_b : 不良品回収率)

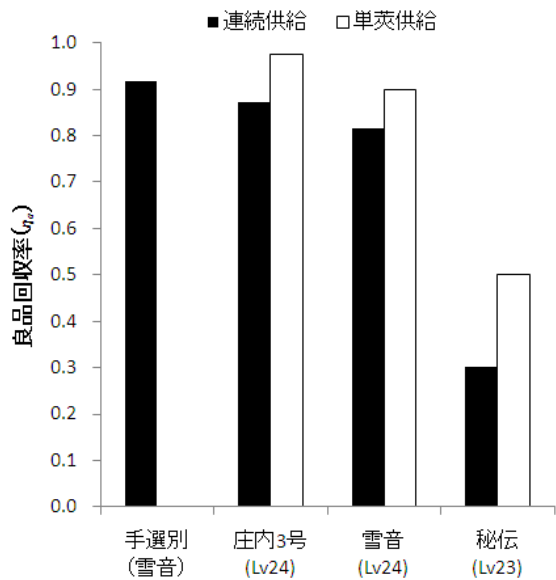


図 5-5 選別率の内訳 (eta_a : 良品回収率)

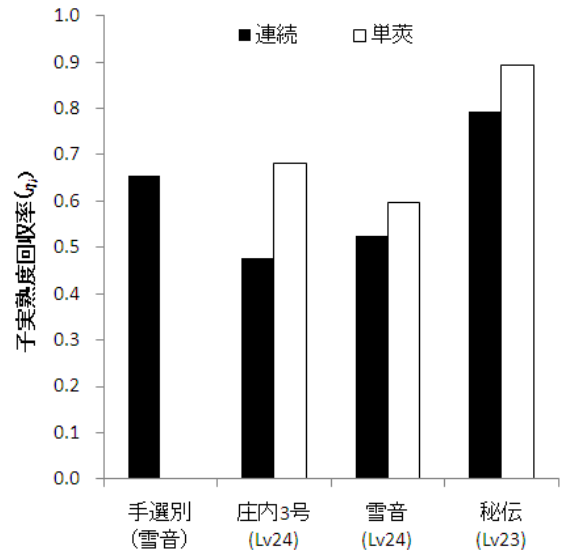


図 5-7 子実熟度系傷害検出部の判定精度 (eta_s)

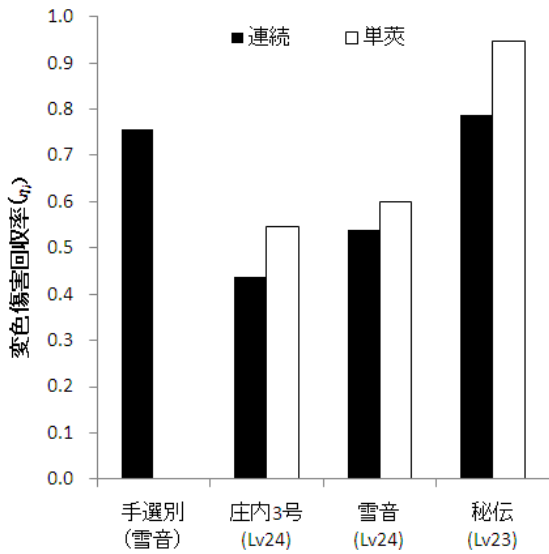


図 5-8 変色系傷害検出部の判定精度 (eta_i)

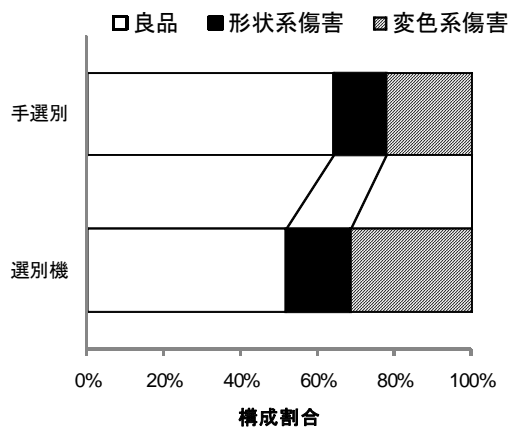


図 5-9 良品判定側のエダマメ莢構成割合 (雪音)

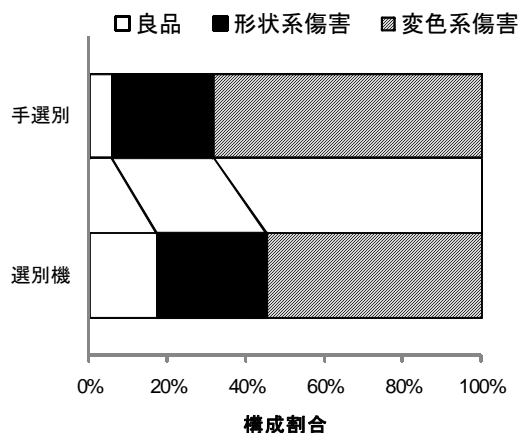


図 5-10 不良品判定側のエダマメ莢構成割合 (雪音)

各品種を開発機に連続供給した場合の選別実験では、 η が 0.09 ~ 0.35、 η_a が 0.30 ~ 0.87、 η_b が 0.47 ~ 0.79、 η_s が 0.48 ~ 0.79、 η_i が 0.44 ~ 0.79 であった。エダマメ莢の構成は、 W_gP_g が 52%、 W_lP_g が 17% であった。手選別では、 η が 0.64、 η_a が 0.92、 η_b が 0.72、 η_s が 0.65、 η_i が 0.76 であった。エダマメ莢の構成は、 W_gP_g が 64%、 W_lP_g が 6% であった。

なお、開発機は、エダマメ莢を 1 莢ずつ投入した単莢供給の場合、 η が 0.41 ~ 0.64、 η_a が 0.50 ~ 0.98、 η_b が 0.67 ~ 0.91、 η_s が 0.68 ~ 0.89、 η_i が 0.55 ~ 0.95 であった。開発機の選別精度は、連続供給時で手選別よりも選別率が 0.29 ~ 0.55 低下したが、単莢供給時では 0.00 ~ 0.24 の差となり、手選別と同等の精度を有した。また、単莢供給時での各検出部の判定精度はいずれも手選別と同等であり、エダマメの選別に有効であることを示している。なお、秘伝での選別率の低下は、天候の影響で良品率が 12% と低かったため、図 5-5 に示すように良品回収率を低下したことが原因である。すなわち、選別率の低下は、連続供給時でのエダマメ莢の引き離しや搬送姿勢の乱れに起因したものであるため、整列搬送機構を改善し、良品判定に含まれる不良品判定莢の割合を手選別並みに高めることで実用レベルの精度を得ることができる。

6 結論

以上から、エダマメ調製作業を効率化するために、以下の結論を得た。

- (1) エダマメの精選別作業では、調製作業台の高さを 70cm にした場合、上体の傾斜角と屈伸幅を高さ 30cm よりも小さくするため、作業内容を改善した。
- (2) エダマメの精選別には、表面に灰色のポリ塩化ビニル製プレートを敷設し、作業者の手が届く距離を 20cm 以上確保できる選別スペースを有する調製作業台 B 型の形状が適しており、作業内容を調製作業台 A 型と C 型より改善した。
- (3) 調製作業台 B 型は、疲労についてエダマメ生産者の 93% で”あまり気にならない”と評価され、慣行と同等であった。
- (4) 調製作業台 B 型は、慣行調製作業台よりもエダマメ生産者の 71% で作業能率が”向上”、総合評価で 85% が”使いやすい”と評価され、エダマメ精選別作業を低コストで改善できる。
- (5) 適期に収穫したエダマメは、脱莢された莢の 36 ~ 45% に対して選別の必要があり、そのうち自動脱莢機による機械的損傷が 6 ~ 15% 含まれる。
- (6) 機械的損傷は、発生する症状によって I ~ V 型に類型化し、収穫適期前で I 型、収穫適期で IV 型、収穫適期後で I 型の発生が多かった。
- (7) 選別が必要な傷害は、形状、子実熟度、病虫害、

機械的損傷である。

(8) 消費者は、エダマメ莢に占める傷害の面積比率が 10%以下である場合、購入に際し 84%以上の許容率を示した。

(9) 消費者は、購入に際して変色を伴う I 型、胴部に生じる II 型、V 型の機械的損傷に対して 0 ~ 42%、変色部のない擦傷を持つ I 型、顎側に生じる II 型、III 型と IV 型の機械的損傷に対して 67 ~ 100%の許容率を示した。

(10) エダマメは、形状、子実熟度、変色部を有する病虫害と I 型、II 型、V 型の機械的損傷による傷害に対して選別を実施する。形状と子実熟度で正常と判定した莢は、傷害部分とエダマメ莢の面積比率を基準に 10%未満を A 品、10 ~ 15%を B 品、15%以上を規格外品に分類する。子実熟度で B 品に判定した莢は、面積比率 0 ~ 15%を B 品、15%以上を規格外に分類する。

(11) 試作したエダマメ選別機は、速度の異なる 2 基のベルトコンベアと整列機構、検出部、制御部、分離部で構成し、長さ 1700mm、幅 500mm、高さ 1500mm の形状である。

(12) 試作機の整列搬送機構は、整列ロール、各ベルトコンベア上に整列回転体と搬送路をそれぞれ配置した構成を用いることでエダマメ莢の搬送姿勢が安定し、作業能率が手選別の 5.1 倍に向上した。

(13) エダマメ莢の子実熟度は、ファイバーセンサでエダマメ莢長辺の長さ L_p と子実部の長さ L_s を計測して両者の比率 α を計算し、予め設定した基準値 β との比較で良品莢と不良品莢に判定する。

(14) エダマメ莢に発生する変色系の傷害は、搬送されるエダマメの莢部と傷害部を CCD カメラで撮像し、得られた画像の画素数を基に莢面積と傷害面積を算出して判定する。

(15) 試作機は、エダマメ莢を 1 莢ずつ投入した場合に η が 0.51、 η_a が 0.78、 η_b が 0.73 であった。

(16) 生産現地での選別試験では、エダマメ莢の搬送状態や傷害検出範囲の低下で η の平均値が 0.11 となり、1 莢投入時から 0.40 下回った。ただし、良品莢の判定は、良品莢に対する回収率 η_a が 0.76、良品判定に含まれる $W_g P_g$ の割合が 63 ~ 81%となり、手選別と同等であった。

(17) 市販型エダマメ選別機の作業能率は 36 ~ 46kg / h、手選別の 2.5 ~ 7.6 倍であった。

(18) 選別精度を示す選別率(ニュートン効率)は 0.09 ~ 0.35 となり、手選別と比較して 0.29 ~ 0.55 低下した。しかし、単莢供給時での選別率は 0.41 ~ 0.64 となり、手選別と同等であった。

(19) 連続供給時での良品莢と不良品の回収率は、0.30 ~ 0.87 と 0.47 ~ 0.79 であった。なお、単莢供給時での“虫害”や“しみ”などの変色傷害検出率は 0.55

~ 0.95、“1 粒”や“未熟”などの形状傷害検出率は 0.68 ~ 0.89 となり、手選別と同等であった。

7 謝辞

本研究は、農林水産省の平成 17 年度農林水産研究高度化事業で得られた成果を中心に構成した。本研究の実施にあたり、秋田県農林水産技術センターの皆様、山形県農業総合研究センターの後藤克典主任研究員、株式会社山本製作所の大泉隆弘氏、前山本製作所の後藤恒義氏、国立大学法人弘前大学の張樹槐教授、国立大学法人山形大学の夏賀元康教授と生産機械システム学講座の諸氏に多大な協力をいただいた。関係各位に対し謝意を表す。

8 References

- Akimoto, K., Kuroda, S., 1981. Quality of green soybeans packaged in perforated PE/PP film. J. Japan. soc. Hort. Sci., No(50), 100 - 107.
- Association of Agriculture and Forestry Statics of Akita Prefecture., 2007. The 53 th Statistical yearbook of Akita prefecture of agriculture forestry and fisheries. 56.
- Chiba, Y., Yaegashi, S., 1988. Quality change of green soybean after harvest., Tohoku Agric. Res. No. 41, 287 - 288.
- Hisano, S., Shimizu, H., 2003. Determination method of desk and height for disabled elderly. Journal of Hiroshima Univ., No. 2 (2), 29 - 35.
- Hiaska. H., 2000. Preserving methods and shipment shapes,, Agrotechnology Compendium., No. 10(25), Noubunkyo, Tokyo, 77 - 80.
- Iwata, T., Shirahata, K., 1979. Keeping quality of green soybeans(part 1). Japan. Jour. Crop Sci., No. 48(1), 106 - 113.
- Japanese Standards Association., 1978. Standard size of writing desk of office, JIS S 1010, 1 - 3.
- Japanese Standards Association., 2002. Ergonomics-office work with visual display terminals(VDTs)-workstation layout and postural requirements, JIS Z 8515, 1 - 30.
- Katahira, M., Izumi, M., Masuya, M., 2000. Efficient technology of harvest and processing on the vegetable soybeans. Tohoku Branch of the JSAM, No. 47, 47-50.
- Katahira, M., Shinoda, M., Ogasawara, S., Masuya, M., Kamada, Y., 2001. A Study of Efficient Technology of Processing for green Soybeans(part 1), Tohoku Brach of the JSAM, No. 48, 35 - 38.
- Katahira, M., 2002. Development of auto sorting machine for vegetable soybeans (Part 1). Tohoku Brach of the JSAM, No. 49, 27-30.

- Katahira, M., Ota, T., Niiyama, T., Masuya, M., Ogasawara, S., Kumekawa, K., Shibuya, I., Kamada, Y., 2004. The mechanical working technology for vegetables cultivation at the upland field converted from heavy clay paddy (Part 2). *Journal of JSAM*, 66(5), 97-106.
- Katahira, M., Shimada, H., 2006., Development of whole surface image capture technology for green soy bean pod. *Journal of SASJ*, 37(3), 139-144.
- Katahira, M., 2009. Development of green soybean high-performance harvesting and processing technology, *Farming mechanization*, No. 1, 12-16.
- Katahira, M., Zhang, S., Gotou, T., Ohizumi, T., 2009a. Posture control mechanism (in Japanese). Japanese Patent (kokai) No. 2009-190827.
- Katahira, M., Zhang, S., Gotou, T., Ohizumi, T., 2009b. Various pods classification mechanism (in Japanese). Japanese Patent (kokai) No. 2009-189936.
- Konno, S., 1981. Growth of Seed and Ripening (in Japanese). Nobunryo Co., Tokyo, 89-92.
- Momose, S., Imai, Y., 1995. Automatic Threshing Machine of Green Soybean (in Japanese). Japanese Patent No. 1995-107954.
- Sasaki, Y., Suzuki, M., Chen, P., Saito, T., 2000. The development of intelligent green soybean selector by machine. *Journal of JSAM*, 62(6), 92-97.
- Statistics Department, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries., 2009. Statistics on Production and shipment of vegetables. 77.
- Teshima, T., Gotou, T., Fuji, Y., Nagasawa, N., Onishi, M., 2009. Development of disk type cultivator-ridger, *Farming mechanization*, No. 8, 4-8.
- Tokuda, M., Yamamoto, H., Kawamura, T., Ito, H., Matsuyama, Z., 2002. Studies on sorting of green tanba soybean (Part 1). *Journal of JSAM*, 64(4), 68-75.
- Unuma, H., Katahira, M., 2007. Economic introduction scale of green soybeans harvesting manufacturing machine operation sequence. *Tohoku Agric. Res.*, No. 60, 235 – 236.
- Yoshida, K., Nomura, F., Gotoh, K., 1983. Significance of intra-plant flowering date in soybean seed production. *Japan. Jour. Crop Sci.*, No. 52(4), 555-561.
- Zhang, S., Katahira, M., Ohizumi, T., Gotou, T., 2009. Seed Missing Evaluation of Green Soybeans Using Transparency Image, *Journal of JSAM*, 71(3), 115-117.

Abstract

Efficient technology of Green Soybeans Processing

Mitsuhiro KATAHIRA¹⁾, Hideki UNUMA²⁾, Mitsue SHINODA²⁾ and Akira TAMURA²⁾

¹⁾ Faculty of agriculture, Yamagata University, Tsuruoka, 997-8555, Japan

²⁾ Akita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center, 34-1 Genpatisawa, Aikawa, Yuwa, Akita, 010-1231, Japan)

This study investigated sorting performance and sorting characteristics using a green soybean-sorting bench. The green soybean-sorting bench evaluated to use farmers.

The bench is 70 cm height. It reduces bending and movement of some worker, which improves the final sorting. The type B sorting bench shape was better than the other type, because it was made by a gray polyvinyl chloride plate and provided wider sorting space with a hand range of 20 cm. Furthermore, workers who used the type B sorting bench gave higher evaluations than they gave other sorting bench designs. Farmers, 71%, who used the type B sorting bench increased their rate of sorting. The bench was evaluated easy to use by 85% of users.

This study investigated sorting points and sorting grades to facilitate the development of a green soybean-sorting machine using image processing. For green soybeans harvested at the optimal time,

36-44% of the pods were classified outside the grade. Of those, 6-15% showed mechanical damage. We classified the mechanical damage into types I - V. Furthermore, we classified the sorting points for shape damage, damage due to green soybean seed maturity, damage due to pests, and mechanical damage. Among those points, pest damage and mechanical damage (type I, type II, type V) that produced color change points in the pods were classified according to the ratio of damaged areas to total pod area. Therefore, grade A was less than 10%, grade B was 10-15%, and outside grade (substandard) was greater than 15%.

We developed a green soybean sorting machine prototype to improve the efficiency of green soybean processing. Image processing and transparency images were used to identify damage to green soybean pods, and investigate its sorting accuracies. The green soybean sorting machine prototype was 1700-mm long, 500-mm wide, and 1500 mm high, comprising two conveyer belts, an arranging and transportation mechanism, finder units, processing units, and a separation system. The arranging and transportation mechanism, which comprises an arranging roller, some arranging rolls and transportation guides, produced the most stable green soybean transport posture among all types. The green soybean sorting machine prototype, which included that mechanism, showed a five-fold higher sorting rate than manual sorting. Finder units comprising image processing units and fiber sensor units detected seed maturity and green soybean damage that produced color change points in the pods. When putting the pods on a conveyer belt one-by-one at a laboratory, sorting accuracy (η) indexes of the green soybean sorting machines prototype were, respectively, 0.51 for the finder unit, 0.80 for the fiber-sensor accuracy (η_s), and 0.66 for the image processing unit accuracy (η_i). Sorting tests at a production center were 0.11 at the average η because of effects on degradation for the transport posture and smaller damaged areas of pods. Nevertheless, this green soybean sorting machine prototype was judged as having 0.75 sorting accuracy for good pods (η_a), which was similar to manual sorting: 63-81% judged as good pods ($W_g P_g$).

Key Words: green soybean, processing, sorting bench, gray polyvinyl chloride plate, sorting machine, working posture, sorting rate, sorting accuracy

(Bull. AKITA Agric. Exp. Stn. , 51, 1 - 2 2, 2011)