

ポテトハーベスタの
作業性能向上に関する研究

Studies on improving work performance of
potato harvesters

2021年3月

岩手大学大学院
連合農学研究科
生物環境科学専攻
(帯広畜産大学)

船引 邦弘

目 次

第 1 章 緒論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 既往の研究	3
1.2.1 作業性能向上に向けたポテトハーベスタの改良	3
1.2.2 コンベヤ間の落差による損傷軽減対策	6
1.2.3 タイヤ踏みによる損傷の軽減対策	7
1.3 研究目的と本論文の構成	8
第 2 章 ポテトハーベスタの作業性能向上に関する 現行機の性能評価	10
2.1 はじめに	10
2.2 供試機および実験方法	10
2.2.1 供試機	10
2.2.2 圃場条件	15
2.2.3 作業精度試験	18
2.2.4 タイヤ踏みによる塊茎の損傷	21
2.2.5 作業能率試験	21
2.3 実験結果および考察	23
2.3.1 バレイシヨ収穫の作業精度試験	23
2.3.2 土塊混入率と作業速度の関係	25
2.3.3 バレイシヨ収穫の作業能率試験	27
2.3.4 供試機の収穫性能に関する総合評価	30
2.4 本章のまとめ	31

第 3 章 セパレータコンベヤの処理能力に関する

実験と最適値の検討	33
3.1 はじめに	33
3.2 実験装置および実験方法	34
3.2.1 オフセット式ポテトハーベスタの構造	34
3.2.2 試験装置の概要	35
3.2.3 試験方法	37
3.3 実験結果および考察	41
3.3.1 SP ローラの角度の影響	41
3.3.2 コンベヤの周速度の影響	44
3.3.3 SP ローラとコンベヤの隙間の影響	46
3.4 本章のまとめ	48

第 4 章 フィンガーコンベヤの処理能力に関する

実験と最適値の検討	51
4.1 はじめに	51
4.2 実験装置および実験方法	53
4.2.1 試験装置の概要	53
4.2.2 試験方法	56
4.3 実験結果および考察	59
4.3.1 フィンガーコンベヤの角度の影響	59
4.3.2 フィンガーコンベヤの周速度の影響	62
4.3.3 送りコンベヤの傾斜角度の影響	65
4.3.4 フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間の影響	68
4.4 本章のまとめ	71

第 5 章	ロボットトラクタによるポテトハーベスタの無人 けん引収穫の作業性向上の実証試験	74
5.1	はじめに	74
5.2	実験装置および実験方法	76
5.2.1	供試機の概要	76
5.2.2	供試圃場	81
5.2.3	作業能率の試験方法	82
5.2.4	作業精度の試験方法	84
5.3	実験結果および考察	85
5.3.1	作業能率の試験結果	85
5.3.2	作業精度の試験結果	89
5.4	本章のまとめ	91
第 6 章	総括	93
6.1	ポテトハーベスタの作業性能向上に関する現行機の 性能評価(第 2 章)	93
6.2	セパレータコンベヤの処理能力に関する実験と最適値 の検討(第 3 章)	94
6.3	フィンガーコンベヤの処理能力に関する実験と最適値 の検討(第 4 章)	96
6.4	ロボットトラクタによるポテトハーベスタの無人けん引 収穫の作業性向上の実証試験(第 5 章)	99
6.5	結言	100

謝辭	102
參考文獻	104
Summary	106

第 1 章 緒論

1.1 研究の背景

バレイショは北海道の基幹作物であり，冷害に強い作物として十勝地方では 1890 年頃から栽培が始まった。当時の収穫には，プラウ用木製フレームに種々の掘取部を取り付けた畜力用収穫機が利用されており，その形状によってプラウ型，培土器型，カルチベータ型に分類されていた。その後，バレイショの栽培面積や耕馬所有頭数の増加に伴って，より作業能率の高い耕馬 2 頭引きのスピナー型やフォーク型が多く利用されるようになった¹⁾。また，1960 年頃にはトラクタの普及に伴ってトラクタ用のポテトディガが開発されて利用されるようになった。しかし，掘り残しなどの収穫損失や塊茎の損傷が多く，作業性能は極めて低かった。そのような状況の中で，欧米で開発された掘り取り，選別，収納を 1 台で行うことができるポテトハーベスタ（バレイショ収穫機）が輸入されると，1962 年には国産のポテトハーベスタが開発され普及し始めた。図 1-1 は北海道のバレイショ収穫量の推移を示したものであるが²⁾，1960 年頃よりポテトチップスやフライドポテトなどの需要の増加に伴い加工用バレイショの収穫量が急激に増加したこともあり，ポテトハーベスタによる本格的な機械収穫が広く普及した。

初期のポテトハーベスタは，土砂分離が悪く，塊茎の損傷も多いなどの問題があり，農業機械メーカーは開発に苦慮していた。特に，1980 年頃には研究機関によって，機械収穫に起因する塊茎の内部損傷の原因が明らかにされ³⁾，ポテトハーベスタの改良開発がさらに進められた。この頃のポテトハーベスタは，トラクタとハーベスタが畝をまた

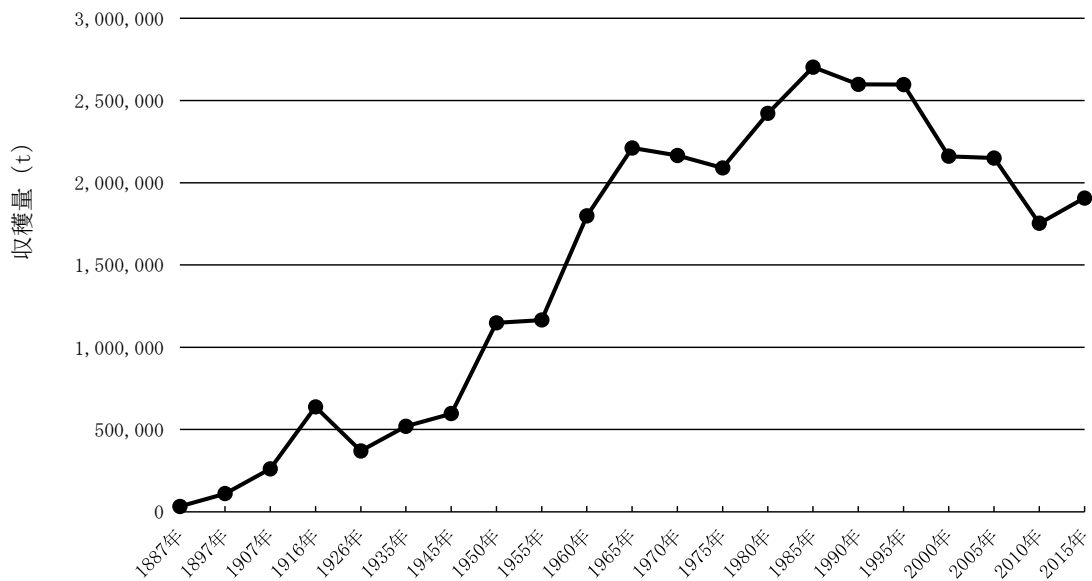


図 1-1 北海道におけるパレイシヨ収穫量の推移

いで掘り取りを行うインライン式が一般的であり、2000年頃まで数多く利用された。しかし、開発当初より随時改良は行われてきたインライン式には、土砂や茎葉処理が不十分である、作業能率が低い、コンベヤ間の落差による塊茎の損傷の発生、トラクタや収穫機のタイヤ踏みによる損傷と土塊の発生などの問題があった。これらの問題に対応するため、2000年頃に登場したのがオフセット式のポテトハーベスタである。当初は高価な海外製が利用されていたが、その後、国産機が開発され現在の主流になっている⁴⁾。

オフセット式のポテトハーベスタの登場によって、収穫の作業精度や能率は向上したが、農家戸数の減少による更なる一戸当たりの作付面積の拡大、ハーベスタの機上で選別を行う作業者の不足、コントラクタなどの委託作業の増大に対応できるなど、より高性能な次世代型ポテトハーベスタの期待が高まっている。

1.2 既往の研究

1.2.1 作業性能向上に向けたポテトハーベスタの改良

ポテトハーベスタが普及し始めてから作業性能の向上を目的として、石れきや土塊、茎葉などのきょう雑物の処理能力を高めるための改良が農業機械メーカーで行われてきた。図 1-2 に 1970 年頃のポテトハーベスタの概略図を示す⁵⁾。当時のハーベスタの構造は、リードローラ、コールドタ、掘取刃で構成される「掘取部」と、掘り上げたバレイショを土砂と分離し第 2 コンベヤへ送るための「第 1 コンベヤ」、土砂やきょう雑物を処理するための強制駆動ローラからなるデフレクタが装備された「第 2 コンベヤ」、第 2 コンベヤから送られてきたバレイショを上部に搬送するための「ロータリーバケット」、ロータリーバケットから落下されるバレイショときょう雑物の最終分離を行う「クロスコンベヤ」、作業者によってバレイショを選別する「選別コンベヤ」、選別さ

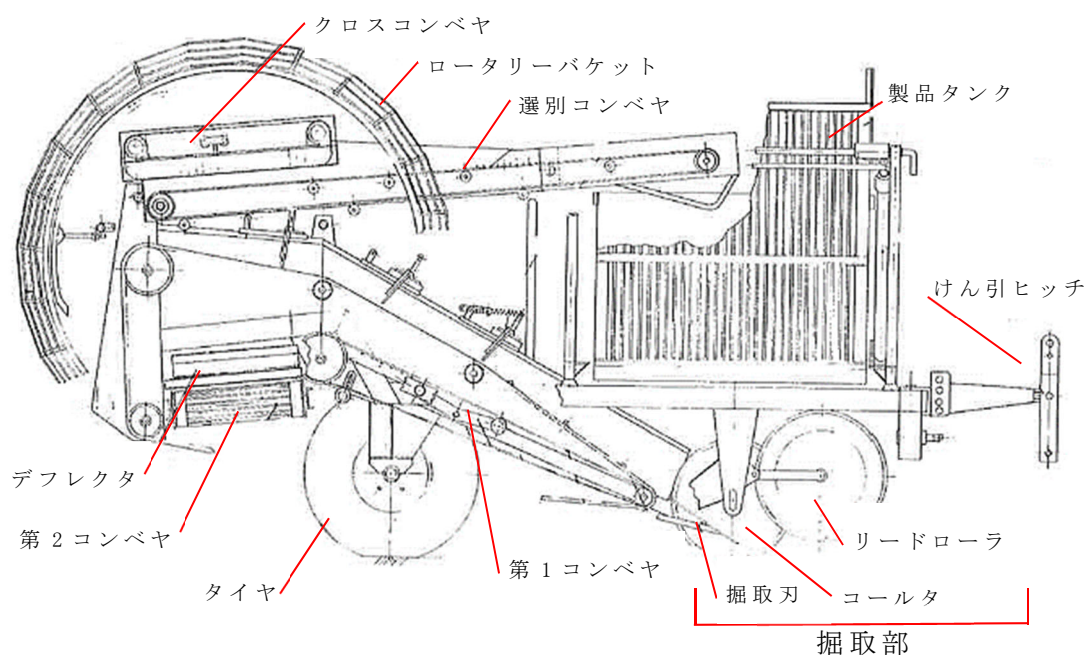


図 1-2 1970 年頃のポテトハーベスタ概略図

れたバレイショを収容する「製品タンク」で構成されている。きょう雑物を処理するためのデフレクタとクロスコンベヤが装備されているため、きょう雑物の処理能力は高かったが、コンベヤにゴムコーティングをするなどの損傷軽減対策がなされていなかったため塊茎の損傷が多かった。

そこで1980年頃に開発されたのが図1-3に示す⁶⁾、後述する毛ブラシコンベヤを装備したポテトハーベスタである。それまでのポテトハーベスタと異なる点は、損傷の要因であった第2コンベヤとクロスコンベヤに変わり、第1コンベヤとロータリーバケットの間に、縦型のクロスコンベヤが装備されたことと、ロータリーバケットと選別コンベヤの間に毛ブラシコンベヤが装備されたことである。クロスコンベヤは、バレイショが第1コンベヤからロータリーバケットに落下する際の衝撃を軽減する役割ときょう雑物を処理するためのコンベヤである。図1-4に示す毛ブラシコンベヤは、円筒状の毛ブラシとコンベヤ

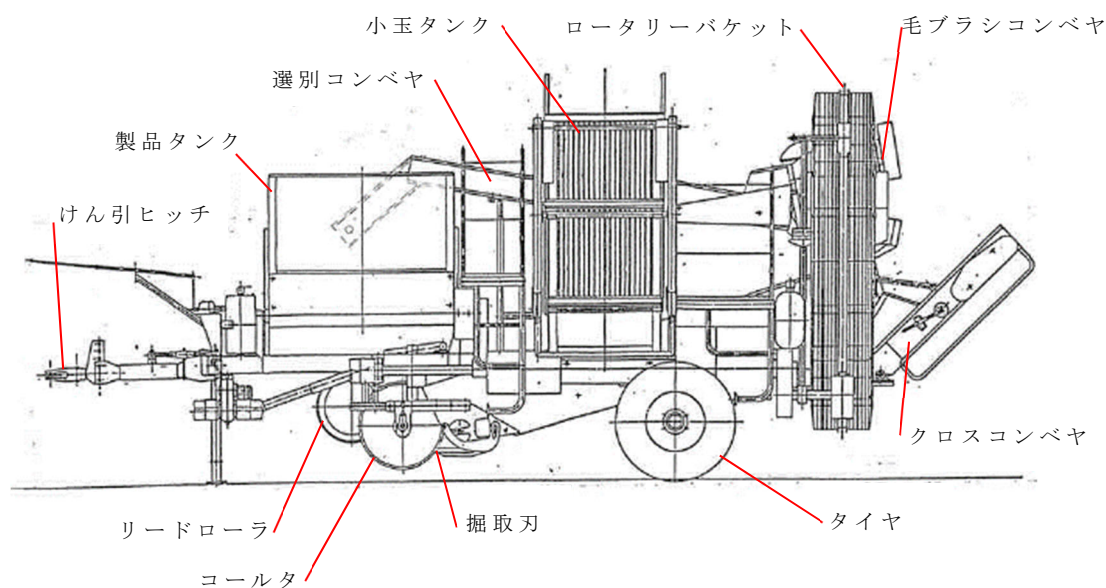


図 1-3 1980 年頃のポテトハーベスタ概略図

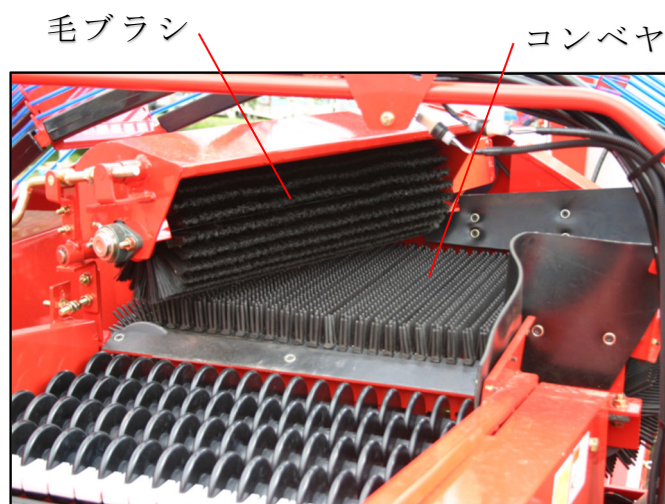


図 1-4 毛ブラシコンベヤの外観

ロッドに突起状のゴムがコーティングされたコンベヤを組み合わせた装置である。毛ブラシコンベヤは、石れきや土塊とバレイショの比重の違いを利用して分離を行う装置である。石れきと土塊は重いためコンベヤに沈んで毛ブラシとの間を抜けて排出される。一方、バレイショは軽いためコンベヤに沈み込まず回転する毛ブラシによって選別コンベヤに送られる。毛ブラシは柔らかい化学繊維でできているため、バレイショの損傷を軽減することができた。また、コンベヤのロッドもゴムでコーティングされているため、ロータリーバケットからコンベヤに落下する際のバレイショへの衝撃も軽減された。この毛ブラシコンベヤは石れきの分離が特に優れていたため、石れき地帯では作業能率が大幅に向上した。当時、毛ブラシコンベヤはインライン式のポテトハーベスタでは標準的な装備であり、どのメーカーのポテトハーベスタにも採用されていた。

1.2.2 コンベヤ間の落差による損傷軽減対策

インライン式のハーベスタの機体後部には、図 1-5 に示すように、上部にバレイシヨを搬送するためのリング状のロータリーバケットが装備されている。掘取部で掘り上げたバレイシヨは第 1 コンベヤによって機体後部まで搬送されて、クロスコンベヤを経由してロータリーバケットに投入されるが、第 1 コンベヤからクロスコンベヤ、さらにロータリーバケットまでの落差が大きいためバレイシヨに損傷を与えてしまう。これがロータリーバケット式の欠点でもあり、機械の構造上、落差を小さくすることは難しい。そこで、損傷の軽減対策として、バレイシヨと一緒に掘り上げた土砂を緩衝材とすることで、落下時の衝撃を和らげる方法が取られてきた。しかし、この方法は土砂の土壌水分量が多い圃場条件であればよいが、土砂が乾燥していて搬送途中で第 1 コンベヤの隙間から土が落ちてしまうような場合には効果は少ない。逆に土砂が多すぎると緩衝効果は高くなるが、土砂分離が悪くなり作業能率が低下する場合があるなど、圃場条件に影響されてしまう問題があった。これらの問題に対しては、第 1 コンベヤで土が抜け落ちないように、ロッド間の隙間を狭くするためのラバーチューブを被せる方法や、ロータリーバケット内のレールに当たって発生する損傷を防ぐための緩衝具が開発されている。図 1-6 は緩衝具を示すが、これらの改善内容については、農業協同組合や食品メーカーが農家に対して啓蒙活動を行ったことにより広く普及し、損傷軽減につながった。

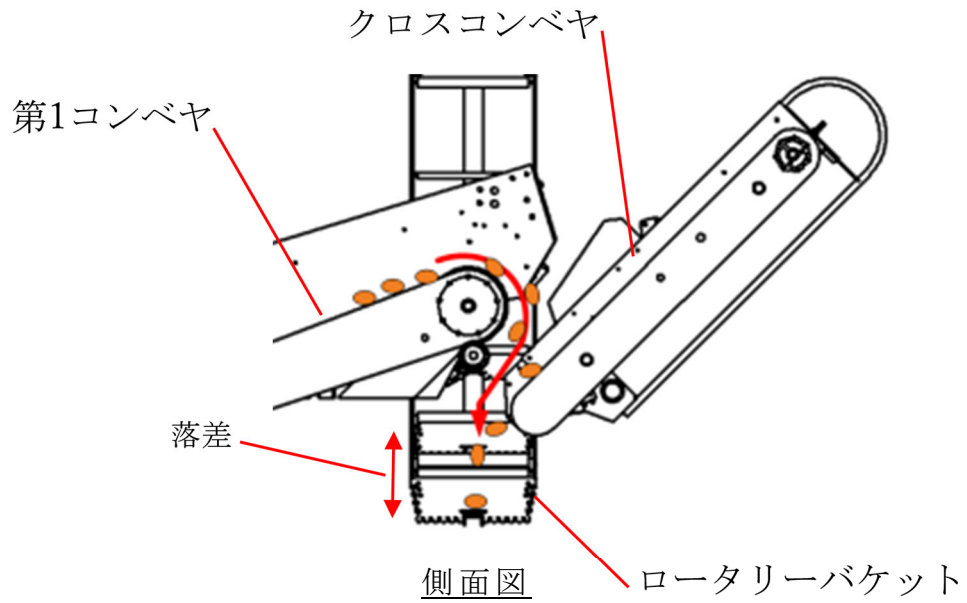


図 1-5 ロータリーバケット部概略図

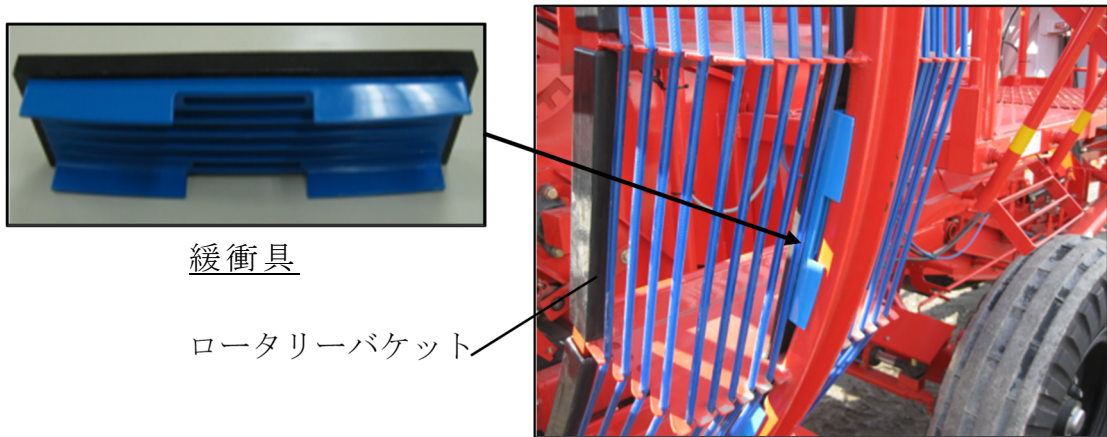


図 1-6 緩衝具（左）とロータリーバケットに装着した状態（右）

1.2.3 タイヤ踏みによる損傷の軽減対策

インラインタイプのポテトハーベスタのタイヤ踏みによる損傷は、ポテトハーベスタが輸入され使われ始めた当初からの問題であったが、トラクタが大型化し、それに合わせてタイヤサイズも大きくなるにつ

れて増加した。また、1970～80年代は畝幅が60～66cmと狭かったこともあり、タイヤ踏みの影響を受けやすかった。対応策として畝幅を広くすることが提案され、66cmが72cmになり、近年は75cmが主流になっている。畝幅を広げることによって減収が懸念されるが、規格内の塊茎を効率的に生産するための畝幅は75cm前後が適当であるとの研究により問題にならないことが実証されている⁷⁾。また、タイヤ技術の向上により耐荷重のある細いタイヤのロークroppタイヤが開発され普及し始めると、畝幅拡張と合わせてある一定の効果は見られたが、損傷を無くすことはできなかった。

1.3 研究目的と本論文の構成

これまで述べたような改善改良の経過をたどってきたポテトハーベスタであるが、バレイショ生産農家からはより高性能な次世代型ポテトハーベスタの開発への期待が高まっている。しかしながら、現在わが国にはポテトハーベスタの開発メーカーが少なく、また大学や試験場での研究例が北海道に限られており、ポテトハーベスタに関する研究開発が進んでいないのが実状である。

本研究は、ポテトハーベスタの総合的な作業性能の向上を目的としている。そこで、現在一般農家で利用されている主なポテトハーベスタと開発段階である国産の新型オフセット式ポテトハーベスタを供試して作業性能に及ぼす問題点を明らかにする。つぎに、作業性能は選別性能に依存するため、作業性能向上の要因として考えられるバレイショの掘り取りから土砂分離、選別、収納に至る一連のコンベヤ装置の性能について、次世代型ポテトハーベスタに搭載予定のコンベヤ装置を用いて実験を行い、選別部の各パラメータの影響を明らかにする。

加えて、今後利用拡大が予想されるロボットトラクタを利用した場合の投下労働量の削減効果と作業精度について検討する。

本論文は 6 章で構成され、第 1 章は本章で述べてきたように、研究の背景や既往の研究、研究の目的について記述した。第 2 章のポテトハーベスタの作業性能向上に関する現行機の性能評価では、現在稼働しているポテトハーベスタを用いて作業精度試験と作業能率試験を行い、機種別の作業性能について述べる。第 3 章のセパレータコンベヤの処理能力に関する実験と最適値の検討では、ポテトハーベスタに搭載されているきょう雑物を処理するセパレータコンベヤについて、ベンチテスト用の装置を製作し、次世代型ポテトハーベスタに搭載するための最適な設定値を決定するための実験について記述する。第 4 章のフィンガーコンベヤの処理能力に関する実験と最適値の検討では、セパレータコンベヤと同様に、ベンチテスト用の装置を製作し、次世代型ポテトハーベスタに搭載するための最適な設定値を決定するための実験について記述する。第 5 章のロボットトラクタによるポテトハーベスタの無人けん引収穫の作業性向上の実証試験では、ロボットトラクタを供試し、オペレータが手動走行を行う慣行のけん引収穫作業と GNSS (Global Navigation Satellite System) ガイダンスを利用して、収穫時のみを自動操舵で収穫を行う場合およびロボットトラクタによる枕地旋回を含めた無人走行での作業精度と作業能率を比較した実験について記述する。最後に、第 6 章の総括では本研究の全体のまとめとしてその成果を要約して記述する。

第2章 ポテトハーベスタの作業性能向上に関する 現行機の性能評価

2.1 はじめに

わが国のバレイショ収穫で利用されているポテトハーベスタには、生物系特定産業技術研究支援センター（現，農業技術革新工学研究センター）の型式検査の審査を受けている機種がある。そのような機種は、その機関から試験結果が公表されているが⁸⁾、同一圃場内で一定の条件で比較を行った研究資料は見受けられない。そこで、本章では、現在一般に農家で利用されている主なポテトハーベスタと開発段階である国産の新型オフセット式ポテトハーベスタを供試して、同一の実験条件下でのバレイショ収穫時の作業精度と作業能率について比較評価を行った。また、作業精度試験と合わせて、タイヤ踏みによる損傷と土塊混入率について測定を行い、今後開発される次世代型ポテトハーベスタの性能向上に関する資料を得ることを目的として実施した。

2.2 供試機および実験方法

2.2.1 供試機

本研究で供試したポテトハーベスタはいずれもトラクタけん引式の1畝用収穫機であり、表 2-1 は 5 機種のパテトハーベスタの概要を示す。

(1) A機（でん原インライン）

でん原インライン式（東洋農機(株)，TPH8NPE）は、でん粉原料用のバレイショを収穫する専用のポテトハーベスタであり、作業精度よ

表 2-1 供試機の概要

写真			
機種	A機（でん原インライン）	B機（食用インライン）	
形式	インライン	インライン	
用途	でん粉原料用	食用，加工用，種子	
掘取畝数	1畝	1畝	
型式	TPH8NPE	TPH7UCDH	
年式	2018年	2002年	
生産国	日本	日本	
販売開始年	1983年	1979年	
PTO回転数 ^(注1)	350 rpm	300 rpm	
コンベヤ数 ^(注2)	7基	5基	
コンベヤ周速度 ^(注3)	3.61 m/s	0.72 m/s	
備考	能率重視タイプ	食用旧型 稼働台数が最も多い	
写真			
機種	C機（国産オフセット）	D機（国産新型オフセット）	E機（海外製オフセット）
形式	オフセット	オフセット	オフセット
用途	食用，加工用，種子	食用，加工用，種子	食用，加工用，種子
掘取畝数	1畝	1畝	1畝
型式	TOP1CVF	TOP1CSF-A	SE75-30
年式	2017年	2018年	2009年
生産国	日本	日本	ドイツ
販売開始年	2002年	未販売	不明
PTO回転数 ^(注1)	300 rpm	300 rpm	300 rpm
コンベヤ数 ^(注2)	6基	6基	6基
コンベヤ周速度 ^(注3)	1.36 m/s	1.36 m/s	1.62 m/s
備考	現在の食用主流	TOP1CVF改良型 (開発段階)	輸入機

注1：PTO回転数は，作業時のPTO回転数を示す。

注2：コンベヤ数は，きょう雑物を処理するコンベヤの数を示す。

注3：コンベヤ周速度は，作業時のPTO回転数で使用した場合に，装備されているコンベヤの中で最も速いコンベヤの周速を示す。

りも作業能率を重視した機種である。特徴としては，食用，加工用のポテトハーベスタと比較して表 2-1 に示したように，きょう雑物を処

理するコンベヤの数が7基と多く、コンベヤの周速度も2.2倍以上大きいいため、きょう雑物の処理能力が他の機種に比べて高い。

(2) B機（食用インライン）

食用インライン式（東洋農機(株)，TPH7UCDH）は、生食加工兼用のポテトハーベスタであり、1979年から販売され、旧型ではあるものの稼働台数が最も多い機種である。この機種は図2-1に示すように、トラクタとハーベスタが収穫前の畝をまたいで作業を行うため、タイヤ踏みによる塊茎の損傷や土の踏み固めによる土塊の発生が問題になっている。タイヤ踏みとは図2-2に示す通り、畝間の溝幅よりもトラクタおよびハーベスタの接地幅が広いため、必然的に畝の端や畝内の塊茎を踏みつぶすことである。また、土塊の発生による問題は、機上での処理が間に合わず、選別者への負担が大きくなることである。一般に細いタイヤを使用することで軽減されるが、畝をまたぐインライン式のハーベスタの収穫方式では、根本的な改善は難しい。きょう雑



図2-1 インライン式のポテトハーベスタの例

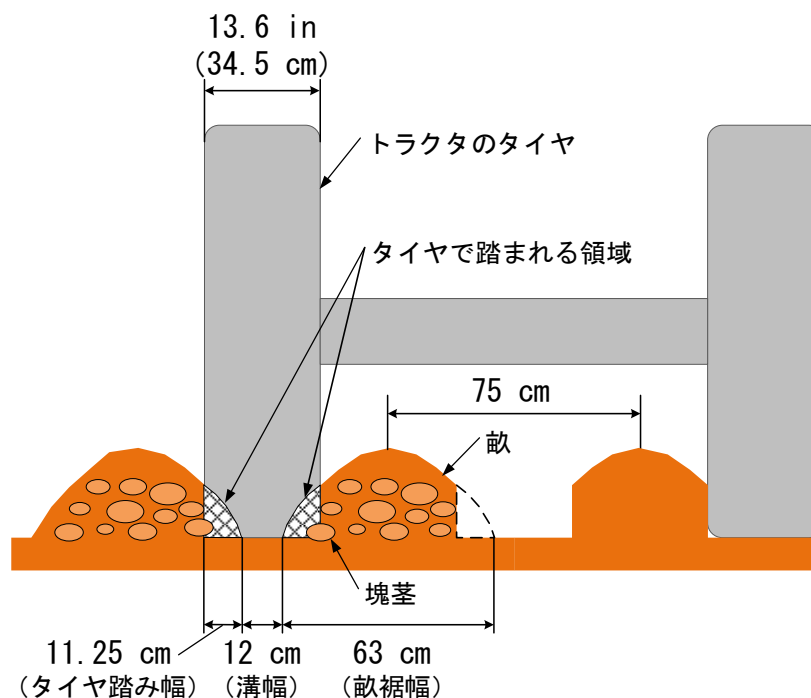


図 2-2 タイヤ踏みの状況

物処理の機構としてはスナッピングローラ、クロスコンベヤ、毛ブラシコンベヤが装備されている。

(3) C機（国産オフセット）

国産オフセット式（東洋農機(株)，TOP1CVF）は，2002年より販売が開始された国産オフセット式ポテトハーベスタであり，現在は生食加工兼用ハーベスタの主流となっている。オフセット式の特徴としては，図 2-3 に示すように，トラクタとハーベスタが畝をまたがずに収穫後の列を走行するため，インライン式に比べてタイヤ踏みによる塊茎の損傷や土塊の発生を低減させる狙いがある。また，コンベヤ間の最大落差が A 機は 380 mm，B 機は 450 mm に対して 300 mm と小さいことや，きょう雑物の処理能力が高いなど高速化への対応やバレイショへの損傷防止対策などが挙げられる⁴⁾。



図 2-3 オフセット式のポテトハーベスタの例

(4) D 機（国産新型オフセット）

国産新型オフセット式（東洋農機(株)，TOP1CSF-A）は C 機の改良型で，操作パネルやハーベスタの各部操作を行うジョイスティックを採用するなどヒューマンインターフェイスの変更，自動畝合わせ機構，自動レベリングなどの自動化が施されている。また，第 3 コンベヤにはきょう雑物の処理能力向上のために，C 機で使用しているコンベヤとはゴム形状が異なるコンベヤを使用している。コンベヤの配置や周速度などの設定条件については C 機と同等である。

(5) E 機（海外製オフセット）

海外製オフセット式（GRIMME 社，SE75-30）は，欧州の栽培規模が大きい農家に対応できる仕様であり，コンベヤのレイアウトは国産オフセット式と同様であるが，きょう雑物の処理能力を高めるために国産オフセットよりも，コンベヤの隙間が 6～16 mm 広い第 1 コンベヤを選択でき，コンベヤの周速度も約 20 %大きく設定されている。

2.2.2 圃場条件

機種ごとの作業性能を比較する場合、できるだけ同一条件、同一圃場で行う必要がある。しかし、バレイショの収穫では病虫害の蔓延を防ぐなどの理由から安易に収穫機を他の圃場に移動できない。そこで、本研究では表 2-2 に示す北海道帯広市基松町地区（以下、基松町地区と称する）の圃場と河西郡更別村香川地区（以下、香川地区と称する）の圃場を供試した。基松町地区では品種が「男爵」であり、供試機は国産機の A, B, C, D の 4 機種である。香川地区では品種が「ホッカイコガネ」であり、オフセット式の D と E の 2 機種で試験を行った。なお、圃場の土性と 105℃ 24 時間法で計測した土壌含水率の結果は、基松町地区が黒ボク土で平均 30.7%，香川地区が褐色森林土で平均 24.5%であった。図 2-4 は土壌水分の測定風景を示す。また、図 2-5 と図 2-6 にそれぞれの圃場の畝上と畝間の土壌硬度を貫入式土壌硬度計で測定した結果を示す。なお、図 2-7 はその時の測定風景である。

表 2-2 供試圃場

供試圃場	基松町地区	香川地区
畝長さ (m)	236.5	243.4
畝幅 (m)	0.75	0.75
収量 (kg/10a)	3,509	3,229
土壌含水率 (平均) (%)	30.7	24.5
土性	黒ボク土	褐色森林土
バレイショ品種	男爵	ホッカイコガネ
供試機	A機 (でん原インライン)	D機 (国産新型オフセット)
	B機 (食用インライン)	E機 (海外製オフセット)
	C機 (国産オフセット)	
	D機 (国産新型オフセット)	

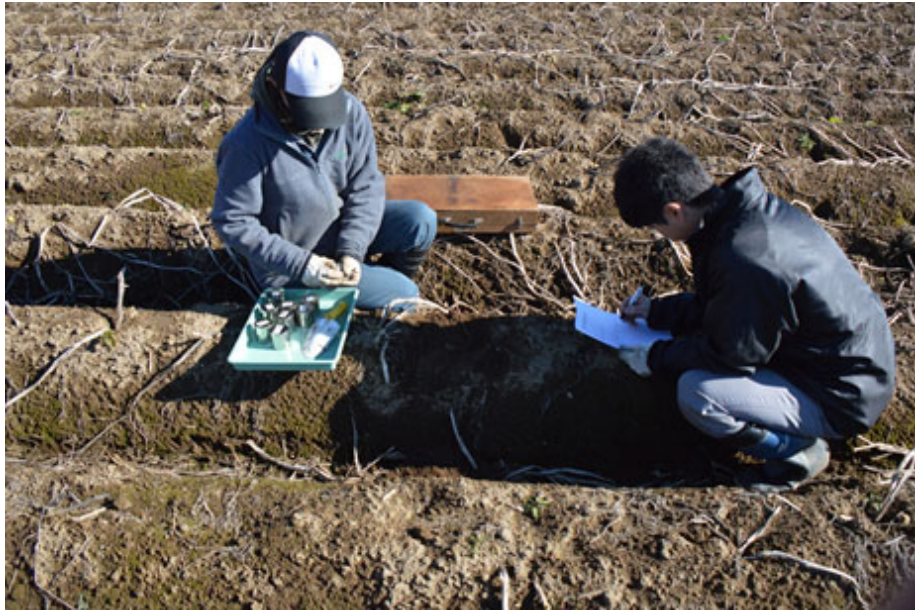


図 2-4 土壌水分の測定風景

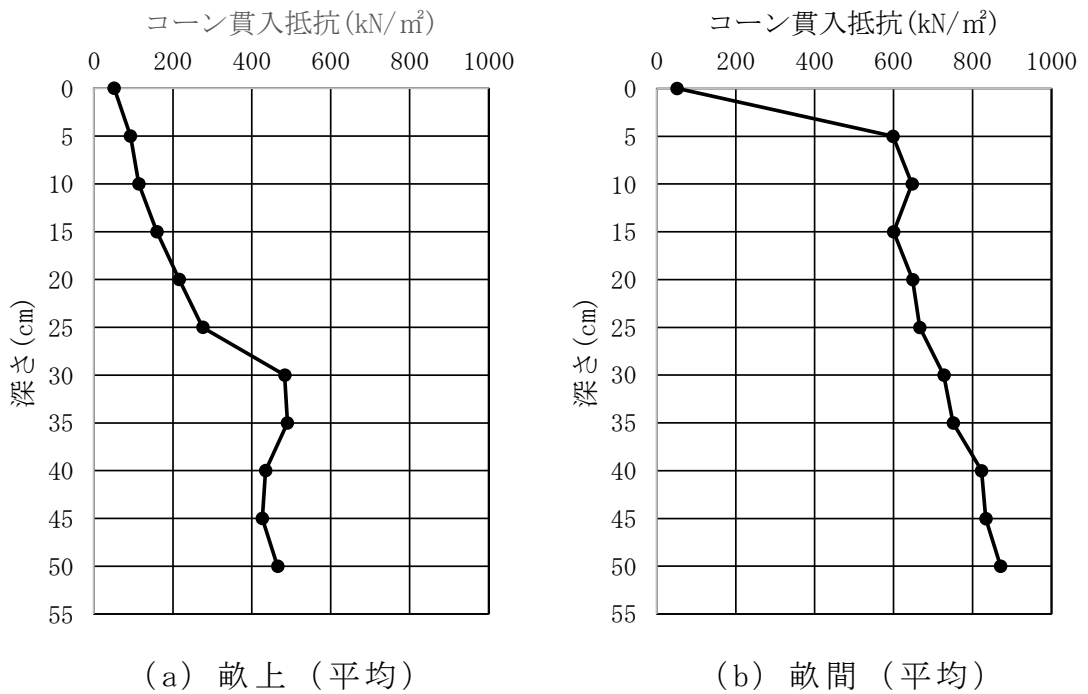


図 2-5 基松町地区の土壌硬度

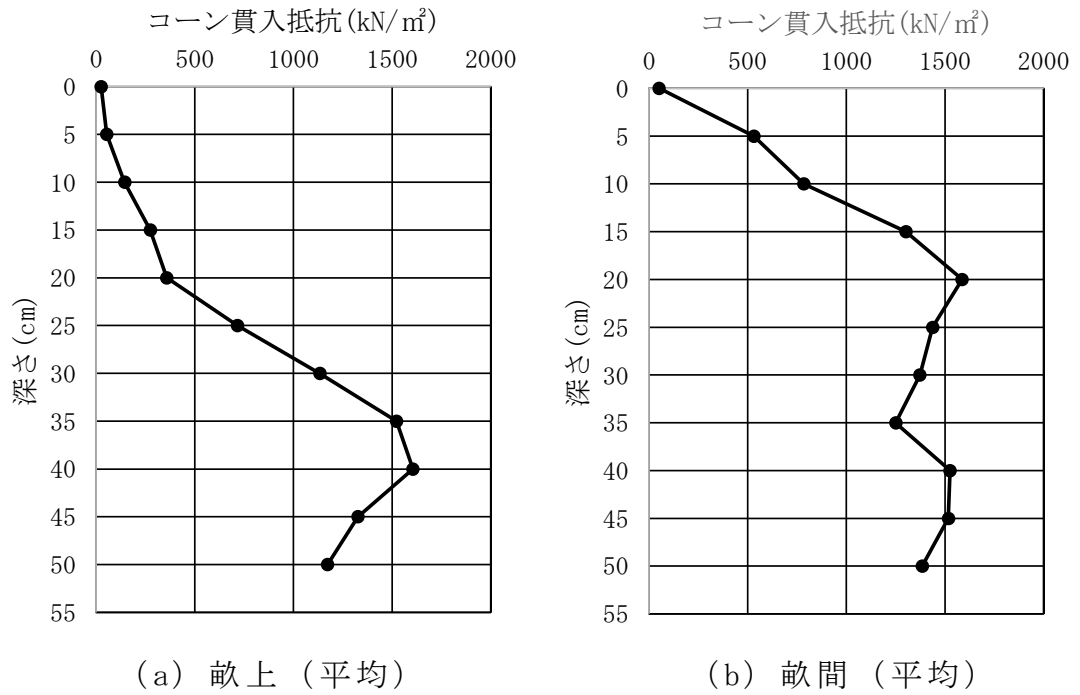


図 2-6 香川地区の土壌硬度



図 2-7 土壌硬度の測定風景

2.2.3 作業精度試験

ポテトハーベスタの試験方法は、「ポテト・ハーベスターの型式検査の主要な実施方法及び基準」⁹⁾を参考にして実施した。試験では塊茎の損傷割合，収穫損失，土塊混入率の項目を調査した。図 2-8 は試験区の概略図を示し，図 2-9 はその測定風景を示す。助走区の距離は 20 m，測定区は 15 m であり，測定区間で選別コンベヤに流れてきたバレイシヨやきょう雑物を製品タンク内で全て採取した。これを 1 機種につき 3 回反復した。作業速度は作業機毎に機上の選別作業者の負担が大きくなならない適度の速度とした。ただし，採取中は供試機の選別能力を評価するために通常ハーベスタの機上で行う作業者による手選別は一時中断した。

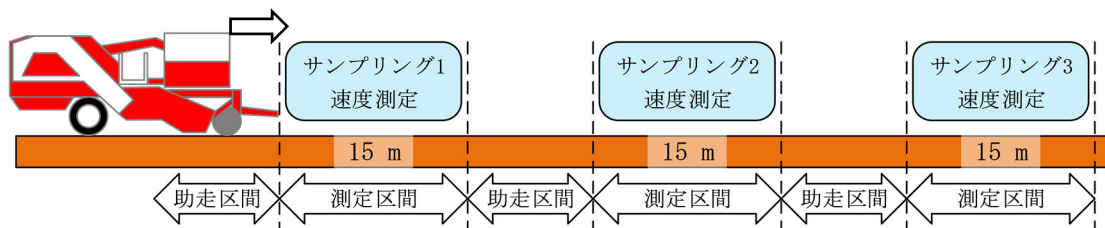


図 2-8 作業精度試験区の概略図



図 2-9 作業精度試験の測定風景

収穫損失とは、収穫機が掘り残したいもや埋もれたいも、こぼれたいものことであり、図 2-10 のようにハーベスタで収穫した後の測定区において採取した。採取したバレイショは、手洗いして乾燥後 1 週間以上放置してから、図 2-11 のようにハーベスタの作業精度に直接関係しない規格外品のバレイショ（小さいも、くされいも、青いも、奇形いも、病気いも）を除いた規格品、損傷、収穫損失に分類し、きょう雑物と合わせて質量を測定した。表 2-3 は塊茎の損傷の基準を示すが、傷、皮むけ、打撲に細分化して測定し、評価はひとつにまとめて損傷とした。収穫損失は、規格外品のバレイショを除いた全てのバレイショの質量に対する割合を算出した。また、「ポテト・ハーベスターの型式検査の主要な実施方法及び基準」では、バレイショの中に混入している石れきや土塊、茎、葉などの異物をきょう雑物として評価するが、今回の試験では土塊以外は選別コンベヤに流入しなかったため、土塊混入率で評価を行った。土塊混入率とは、採取した規格外品を除く全ての収穫物に対する土塊の質量割合を示したものである。図 2-12 は土塊の選別作業の風景を示す。



図 2-10 収穫損失したバレイショの採取風景



(a) 洗い作業



(b) 仕分け作業



(c) 仕分けされたバレイショ



(d) 測定作業

図 2-11 採取したバレイショの選別作業風景

表 2-3 損傷の評価基準

項目	評価基準
傷	<ul style="list-style-type: none"> ・ 傷が周層にまで達しており、長さが10mm以上のもの ・ また、10mm以下のものが2ヶ所以上ある場合は合計の長さが10mm以上のもの ・ 塊茎の一部が完全に切断されたもの
皮むけ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 表面の周皮が1cm²以上剥がれたもの ・ また、1cm²以下のものが2ヶ所以上ある場合は合計の面積が1cm²以上のもの
打撲	<ul style="list-style-type: none"> ・ 塊茎内部が黒色に変化したもの又はコルク化したもので、深さ2mm以上でかつ直径5mm以上のもの ・ また、上記サイズ以下のものが2ヶ所以上ある場合は合計の大きさが直径5mm以上のもの



図 2-12 土塊の選別作業の風景

2.2.4 タイヤ踏みによる塊茎の損傷

作業精度試験と合わせて，トラクタおよびインライン式ポテトハーベスタのタイヤ踏みによる塊茎の損傷も測定した。目的は，トラクタとハーベスタのタイヤが畝の間を通過することで，畝内の塊茎に与える損傷割合を明らかにすることである。試験方法は，B機で収穫後，次の工程で収穫される畝の中のバレイショを全量手で掘り起こした。測定区の長さは15 mであり，採取した塊茎の損傷評価基準は作業精度試験と同様である。

2.2.5 作業能率試験

作業能率試験の方法は，ポテトハーベスタの型式検査を参考に，畝長さは150 m以上で，2往復以上連続して収穫作業を行い，図 2-13 に示すように掘取，旋回，荷降ろし，調整停止などの各作業工程の時間を機種ごとに測定した。機上選別の作業者はA機のでん原インライン式のみ2名であり，その他の機種は4名とし，作業速度は供試機毎に作業者の負担にならない適度の速度とした。また，作業者の熟練度で作業性能に影響がでないように，同一圃場では同一の作業者とし，他

の圃場では作業者の熟練度をできるだけ同じにした。作業速度は20 m
間で測定し、3回以上の測定値を平均した。図2-14は作業能率試験の
作業風景を示す。

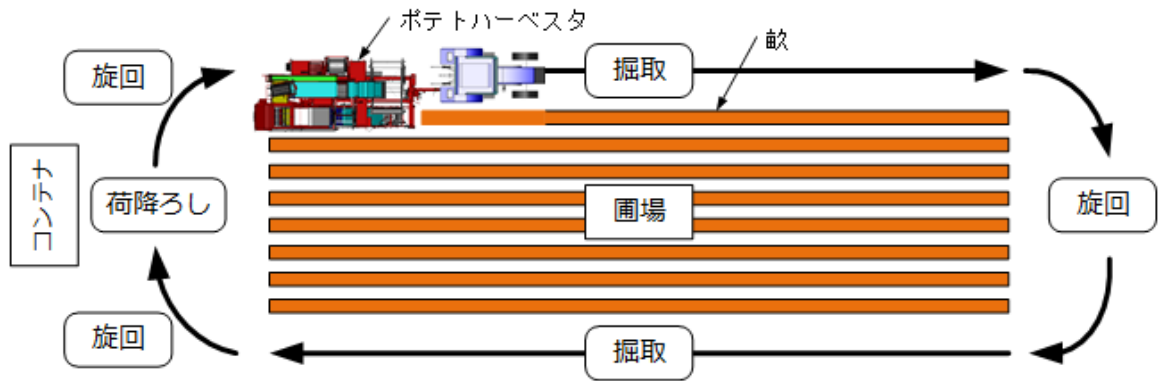


図 2-13 作業能率試験工程概略図



図 2-14 作業能率試験の作業風景

2.3 実験結果および考察

2.3.1 バレイショ収穫の作業精度試験

表 2-4 は供試した 5 機種によるバレイショ収穫時の作業精度の試験結果を示す。表中の規格品率とは、規格外品のバレイショ、収穫損失のバレイショを除いた全てのバレイショの質量に対する規格品のバレイショの質量割合である。一般に、市場に出荷される規格品のバレイショは損傷がなく、質量は 30～350 g のものである。30 g 以下の小さいものについては、掘り残すと越冬して翌年に発芽する野良いもとなることから、収穫はしたものの規格品には含めなかった。

規格品率で作業精度を評価すると、基松町地区の圃場では C 機の国産オフセット式が 96.2 % と最も高く、次に B 機の食用インライン式が 93.8 %、D 機の国産新型オフセット式の 81.8 % と続き、A 機のでん原インライン式が 19.0 % で最も低い結果であった。また、インライン式 (B 機) のタイヤ踏みによる塊茎の損傷を調査した結果、図 2-15 に示すような塊茎の損傷が 5.7 % 発生したことから、インライン式ハーベスタの作業精度には、タイヤ踏みによる塊茎の損傷が大きく影響してい

表 2-4 収穫の作業精度の試験結果

圃場	供試機	規格品率 (%)	損傷率 (%)	損傷内訳 (%)			収穫損失 (%)	作業速度 (m/s)
				傷	皮むけ	打撲		
基松町地区	A機 (でん原インライン)	19.0	81.0	77.6	0.1	3.3	0.4	0.86
	B機 (食用インライン)	93.8	6.2	4.2	0.7	1.3	1.7	0.28
	タイヤ通過後の芋 ^(注)	94.3	5.7	5.7	0.0	0.0	—	—
	C機 (国産オフセット)	96.2	3.8	2.4	0.8	0.6	0.1	0.55
	D機 (国産新型オフセット)	81.8	18.2	14.8	2.1	1.3	0.4	0.50
香川地区	D機 (国産新型オフセット)	94.5	5.5	2.2	2.7	0.6	0.4	1.00
	E機 (海外製オフセット)	90.5	9.5	6.6	2.3	0.6	0.9	1.07

注：B機で収穫後、トラクタおよびハーベスタのタイヤが通過後の隣接畝の中から採取した塊茎の損傷



図 2-15 タイヤ踏みにより崩れた畝（左）と
損傷したバレイショ（右）

ることが明らかになった。しかし、オフセットタイプ（C機，D機）ではタイヤ踏みの影響がなく，損傷軽減の改良もなされていることから，C機の損傷率は3.8%と最も低い値であった。D機の損傷率は18.2%であり，C機よりも損傷が多くなった。C機とD機の2機種はコンベヤの配置は同じであるものの，D機にはきょう雑物処理の能力向上の改良が施されており，後述の土塊混入率の結果で述べるように，土塊処理能力が高い反面，塊茎への損傷が多くなるという相反する問題を抱える機種である。

香川地区の圃場では，D機の国産新型オフセット式の規格品率94.5%に対してE機の海外製オフセット式は90.5%であったことから，作業精度については国産機の方が高いことが判明した。損傷率はD機が5.5%に対して，E機は9.5%で前者に比べて4.0ポイント多くなった。この原因は，海外製のE機は欧州の栽培規模が大きい農家に対応するために能率重視で作られており，コンベヤの周速度が国産機よりも高く設定されていることや一部のコンベヤロッドにゴム被覆が施されていないなど，損傷防止対策が不十分であることが考えられる。また，欧州のバレイショは，機械収穫を前提とした品種改良が行われて

おり、表皮が硬く打撲に強い特性を持つ。しかし、わが国の現状の栽培品種では、このような特性はないため、損傷が多くなったと推察される。以上より、国産機は北海道のバレイショ栽培向けに損傷軽減の改良がなされていることが確認できた。なお、両圃場で試験を行った D 機の規格品率に差があるのは、バレイショの品種間差が影響したことが考えられる。基松町地区の男爵は比較的表皮が柔く損傷が発生しやすく、一方のホッカイコガネは表皮が硬く損傷が発生しにくい品種とされている。

収穫損失は、B 機の食用インライン式が 1.7% と高かったが、その他の機種は 1.0% 以下と良好な掘り上げが可能であった。B 機の場合、土中からバレイショを掘り上げてからの最初のコンベヤ長が 2.7 m あり、オフセット式の約 1.5 倍、A 機に対しては約 3 倍長いため、コンベヤロッドの隙間からこぼれるバレイショが多くなったと考えられる。

2.3.2 土塊混入率と作業速度の関係

表 2-5 は収穫時の土塊混入率の試験結果を示す。同一条件下では、土塊混入率が低いほどハーベスタの選別能力が高いことを示す。基松町地区の圃場では、B 機の食用インライン式の土塊混入率は 33.8% と

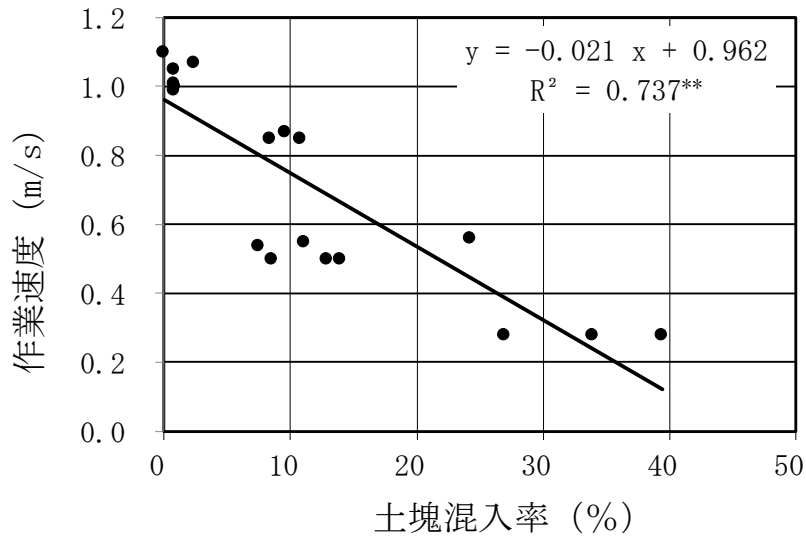
表 2-5 土塊混入率試験結果

圃場	供試機	土塊混入率 (%)
基松町地区	A機 (でん原インライン)	9.6
	B機 (食用インライン)	33.8
	C機 (国産オフセット)	14.6
	D機 (国産新型オフセット)	11.9
香川地区	D機 (国産新型オフセット)	0.8
	E機 (海外製オフセット)	1.0

最も高く、次に C 機の国産オフセット式の 14.6 %であり、D 機の新型国産オフセット式が 11.9 %と続き、A 機のでん原インライン式が 9.6 %と最も低くなり、土塊の処理能力が高くなっている。B 機の土塊混入率が高くなった理由は、タイヤ踏みによって土壌が固くなり、次の行程で収穫される際に土塊が砕けずに掘り上げられてしまうことがひとつの要因として考えられる。また、D 機が C 機よりも土塊混入率が低い理由は、D 機はきょう雑物処理能力の向上に向けた改良が施されているためである。A 機はでん粉原料用のポテトハーベスタであり、食用や加工用のポテトハーベスタと比較して、コンベヤの数が多く、コンベヤの周速度も大きいことから、きょう雑物処理能力が高く、土塊混入率が低いことが示された。反面、塊茎への衝撃は大きくなるため、作業精度試験の結果に示すように、塊茎の損傷が多く、規格品率は低い値になった。

一方、香川地区の圃場は比較的土塊の少ない圃場であったが、D 機の国産新型オフセット式が 0.8 %、E 機の海外製オフセット式が 1.0 %と両機種とも土塊の処理能力は高いと判断できる。

図 2-16 は両圃場で得られた結果を基に、横軸に土塊混入率を示し、収穫作業時の作業速度の関係を表したものである。土塊混入率が高いほど、ハーベスタの作業速度は遅くなる負の相関関係にあることが明らかになった。これは実際の収穫作業の場合、土塊混入率が高くなるとハーベスタの機上に上がってくる土塊が多くなり、選別作業者の負担が大きくなるため、収穫機の作業速度を抑制しなければならないことを意味する。したがって、ハーベスタの作業能率は次節で述べるように、きょう雑物の処理能力に大きく影響されることが実験的にも明らかになった



**は1%水準で有意な相関であることを示す。

図 2-16 土塊混入率と収穫作業速度との関係

2.3.3 バレイショ収穫の作業能率試験

表 2-6 はバレイショ収穫の作業能率の試験結果を示す。供試した 5 機種の実作業能率を比較すると、基松町地区の圃場では A 機のでん原インライン式が 0.234 ha/h で最も高く、次に D 機の国産新型オフセット式が 0.114 ha/h、C 機の国産オフセット式が 0.096 ha/h となり、B 機の食用インライン式が 0.063 ha/h と最も低い結果であった。このことは前節でも述べたように、A 機はきょう雑物の処理能力が高いため作業速度を大きくできるが、B 機はきょう雑物の処理能力が低く、機上での選別作業者に大きな負担がかかるため、作業速度を大きくすることができなかったことに起因すると考えられる。なお、図 2-17 は B 機の実験風景を示す。

D 機は、C 機と比較すると作業速度は 1.7 倍大きいですが、実作業能率の差は 1.2 倍程度に留まった。これは、旋回や荷下ろしの時間を除いた

表 2-6 収穫の作業能率の試験結果

圃場	供試機	作業区画 (m) (注)		作業速度 (m/s)		作業時間割合 (%)			実作業能率 (ha/h)	理論作業能率 (ha/h)	圃場作業効率 (%)
		作業面積 (ha)	総作業時間 (min)	掘取	巡回	荷降ろし	調整停止				
A機 (でん原インライン)		236.5×3.0	1.07	81.2	13.6	5.2	0.0	0.234	0.289	81.0	
		0.071	18.5								
B機 (食用インライン)		236.5×7.5	0.29	80.5	9.0	10.5	0.0	0.063	0.078	80.8	
		0.177	167.9								
C機 (国産オフセット)		236.5×6.0	0.47	76.0	9.9	12.0	2.1	0.096	0.127	75.6	
		0.106	69.0								
D機 (国産新型オフセット)		236.5×9.0	0.82	51.5	27.2	21.1	0.2	0.114	0.221	51.6	
		0.213	123.4								
D機 (国産新型オフセット)		243.4×7.5	1.01	53.8	26.1	19.5	0.6	0.147	0.273	53.8	
		0.183	76.1								
E機 (海外製オフセット)		243.4×9.0	1.07	65.9	18.0	15.8	0.3	0.191	0.289	66.1	
		0.219	69.7								

注:作業区画 (m) は、畝方向×枕地方向を示す。



図 2-17 食用インライン式の実験風景

理論作業能率で比較すると C 機は 0.127 ha/h に対して D 機は 0.221 ha/h と高いことから、D 機の実作業率低下は旋回や荷降ろしに時間を要していることが要因であることが判明した。旋回については、D 機は C 機よりもヒッチ点から車軸までの距離が長く旋回半径が大きいため、枕地旋回時に切り返しを行う場面も見られ、時間を要したものと考えられる。また、荷降ろしについては、新規に採用したジョイスティックのスイッチレイアウトが開発中のため最適化されておらず、荷降ろし時間に影響を与えたと考えられる。

香川地区の圃場での実作業能率は、E 機の海外製オフセット式が 0.191 ha/h であり、国産の D 機の 0.147 ha/h に対し 1.3 倍の高能率であった。作業速度で比較しても D 機が 1.01 m/s に対し、E 機は 1.07 m/s で大きかった。D 機は基松町地区での C 機との比較と同様に、E 機との比較においても旋回と荷降ろしに多くの時間を要しており、これら

が実作業能率低下の要因になっていることが判明した。D機はE機に対してもヒッチ点から車軸までの距離が長く旋回に時間を要したと考える。通常、収穫されたバレイショはハーベスタの製品タンクから運搬用の大型コンテナに排出して出荷される。D機の荷降ろし装置の構造は、排出の高低差による塊茎の損傷を低減するために、落下高さを手動で操作できる巻き下げ式のシュートが装備されているために排出に時間を要するのに対し、E機には欧州で使用されている損傷軽減よりも排出速度を重視したシュートが装備されているため、荷降ろし時間に差が生じた。海外製のハーベスタは、旋回や荷降ろしなども含め、栽培規模が大きい農家向けに能率重視で作られていることが明らかになった。また、ハーベスタの作業能率を向上させるためには、作業速度の向上は当然であるが、枕地の旋回や荷下ろし時間の短縮も重要な要素であることが判明した。

2.3.4 供試機の収穫性能に関する総合評価

図 2-18 は本研究で得られた作業精度（規格品率）と実作業能率を標準化し主成分分析を行い、各供試機の収穫性能を総合的に比較評価した図である。タイヤ踏みの損傷がない国産オフセット式は、作業精度、作業能率の両面で食用インライン式より優れていることが明確に示された。食用インライン式の作業精度は、タイヤ踏みによる塊茎の損傷が大きく影響していることが明らかになった。また、でん原インライン式は作業精度が低いものの、土塊などの処理能力が優れており、作業能率に特化して開発されたハーベスタであることが明確になった。国産新型オフセット式は、海外製オフセット式よりも作業能率では劣るものの作業精度では優れており、特に北海道のバレイショ栽培向け

に損傷軽減の改良がなされていることが確認できた。海外製オフセット式は、作業精度では国産機に劣るが、欧米の大規模面積向けに能率重視で作られていることが明確になった。

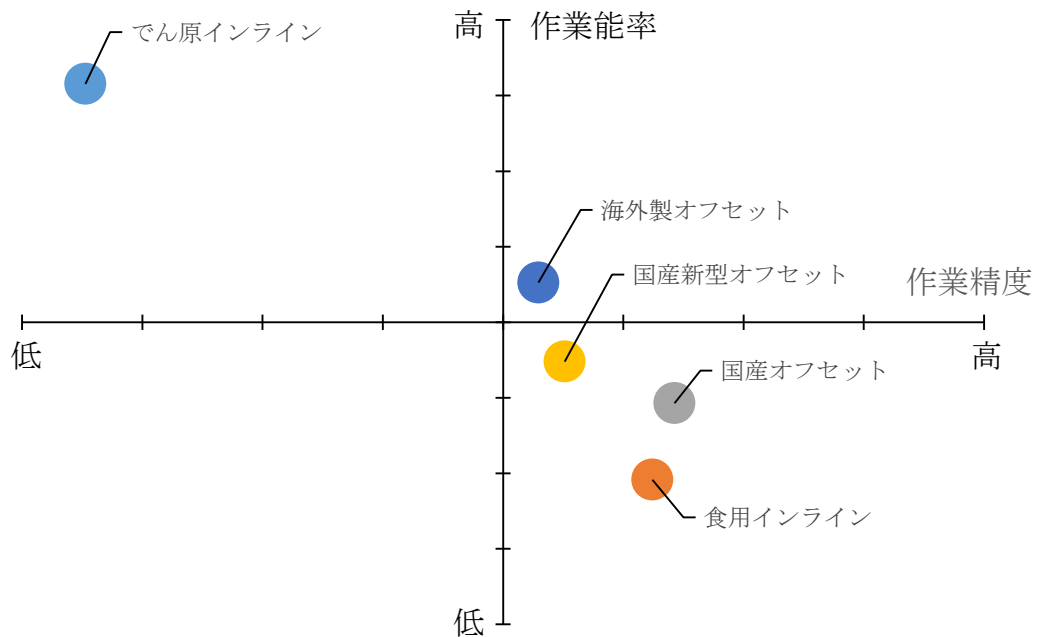


図 2-18 各供試機の総合評価

2.4 本章のまとめ

本章では、現在一般に利用されているポテトハーベスタと開発段階であるポテトハーベスタを供試してバレイショ収穫時の作業精度試験と作業能率試験を実施し、作業性能について比較評価を行った。以下に、その結果の要約を示す。

- 1) 食用インライン式は、タイヤ踏みによる塊茎の損傷割合が大きい。また、タイヤ踏みによって生成された土塊が機上に多く上がってくることで、その土塊を処理する能力の低さが作業能率を低下させる要因であることが判明した。

- 2) タイヤ踏みの影響が無い国産オフセット式は、食用インライン式と比較して収穫した塊茎の損傷率は 2.4 ポイント低く、また実作業能率は 1.5 倍高いことから作業精度と作業能率の両面で優れていると言える。
- 3) でん原インライン式の塊茎の損傷率は 81.0 %と高いものの、土塊混入率は 9.6 %と低い値であったことから、土塊などのきょう雑物を処理する能力が優れており、作業能率に特化して開発されたハーベスタであることが示された。
- 4) 国産新型オフセット式は、海外製オフセット式よりも作業能率では劣るものの作業精度では損傷率で 4.0 ポイント優れており、特に北海道で栽培されている品種に適応できるように損傷軽減の改良がなされていることが確認できた。
- 5) 海外製オフセット式は作業精度では国産機に劣るが、実作業能率は国産機の 1.3 倍であり、欧米の大規模面積向けに能率重視で作られていることが明確になった。

以上のように、国産機はわが国のバレイショの特性に合わせた損傷軽減を重視した設計であり、海外製は旋回や荷降ろしも含め作業能率を重視した設計であることが明確になった。また、高性能な次世代型ポテトハーベスタの開発に向けては、塊茎の損傷防止と収穫機全体の操作性の向上はもちろんのこと、作業速度はきょう雑物の処理能力に大きく左右されることから、ポテトハーベスタの作業性能を向上させるためにはこれらの要素を総合的に評価して検討を行う必要がある。

第3章 セパレータコンベヤの処理能力に関する 実験と最適値の検討

3.1 はじめに

第1章でも述べたように、ポテトハーベスタは利用する地域の条件や用途に適合するように種々の仕様で開発改良がなされ、装備されているきょう雑物の処理装置の構造や性能も異なる。第2章の現行のポテトハーベスタの比較試験により、機種ごとの作業精度については明確になったが、その精度の違いについては、装備されているコンベヤなどの処理装置が大きく影響している。特に、作業性能の比較試験では、土塊の処理能力の差が収穫機の作業能率に大きく影響を与えることを明らかにした。したがって、収穫機の性能を向上させるには処理装置の選別能力を高めることが必要である。しかし、それぞれの処理装置の性能についてはほとんど研究例が公表されておらず、またその性能を左右する要因についても明らかにされていないのが現状である。

そこで、本研究ではポテトハーベスタのきょう雑物の処理能力が高く、近年主流となっている国産オフセット式に装備され、次世代型ポテトハーベスタにも装備される予定のセパレータコンベヤを供試して石れきや土塊の除去率、塊茎の損傷、収穫損失などの各部位の調整箇所の設定値を変更して室内試験を行い、各種設定条件が処理能力に与える影響を実験的に明らかにし、最適値を求めることを目的とした。なお、きょう雑物の中には茎葉も含まれるが、茎葉については茎葉を処理するための専用のコンベヤによって処理されてしまうため、本試験では茎葉処理の検討については対象としなかった。

3.2 実験装置および実験方法

3.2.1 オフセット式ポテトハーベスタの構造

図 3-1 は国産オフセット式ポテトハーベスタの概略図を示す。オフセットポテトハーベスタの特徴は、高速で作業を行うため、石れきや土塊、茎葉を処理する装置が多く装備されており、インライン式よりもきょう雑物の処理能力が高いことである。収穫されるバレイショはハーベスタの各部位を図中の矢印のように移動してタンクに収納される。

その構造はリードローラ、コールタ、掘取刃で構成された「掘取部」、掘り上げられたバレイショや土砂を搬送するための「第 1 コンベヤ」、

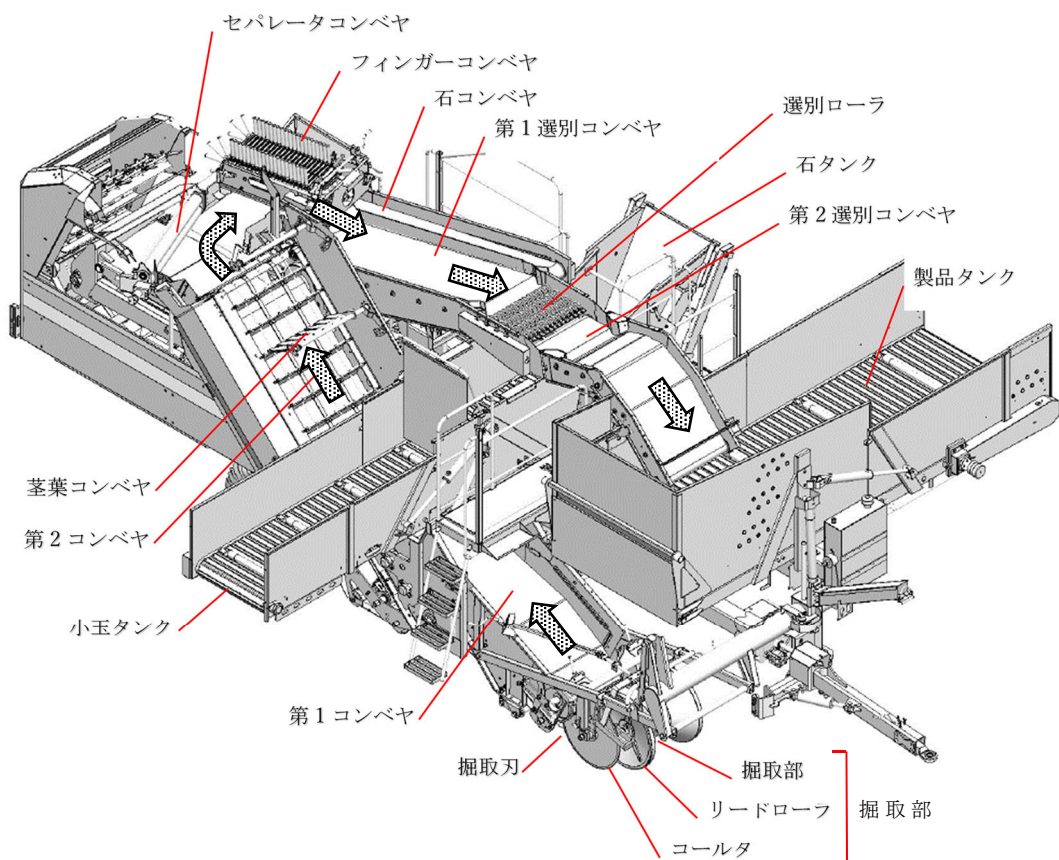


図 3-1 国産オフセット式ポテトハーベスタの概略図

土砂分離しながら機体上部にバレイショを搬送する「第2コンベヤ」、塊茎から茎葉を分離し機外へ排出する「茎葉コンベヤ」、土塊を処理する「セパレータコンベヤ」、石れきや土塊を処理する「フィンガーコンベヤ」から構成されており、ここまでの工程できょう雑物が機械的に処理される。次に、機上で選別を行うための選別工程は、フィンガーコンベヤで処理された石れきや土塊を石タンクまで搬送するための「石コンベヤ」、バレイショの選別を行う「第1選別コンベヤ」と「第2選別コンベヤ」、小さいものを自動で抜き出すための「選別ローラ」で構成されている。タンクは、選別された規格品のバレイショを収容する「製品タンク」、規格外のバレイショを収容する「小玉タンク」、石れきを収容する「石タンク」で構成されている。

3.2.2 試験装置の概要

セパレータコンベヤの性能試験に供試した試験装置の概要を図3-2に示す。試験装置は、国産オフセット式ポテトハーベスタに搭載されているセパレータコンベヤを試験用に各部が調整できるように改造したものを供試した。構造は、V型に成形されたゴム（硬度A65度）がコーティングされたロッドから構成されるヘッジホッグコンベヤ（以下、コンベヤと称する）上に、スナッピングローラ（以下、SPローラと称する）と呼ばれるローラが斜めに配置されており、その回転はコンベヤの流れとは逆方向に回転する。試験装置は、SPローラの変角や回転数、コンベヤの周速度、SPローラとコンベヤの隙間が調整できるようになっている。セパレータコンベヤの手前には供試物を供給するための供給装置を設置し、この中に供試物を入れて一定速度



図 3-2 試験装置の概要

の 0.06 m/s でセパレータコンベヤに供給できるようにした。SP ローラに沿って流れてきた供試物は発泡スチロール製の容器で受けるようにした。

図 3-3 は供試物の流れを示す。コンベヤ上を流れてきたバレイショは表面が滑らかな SP ローラに沿って横に流され、次の工程に送られる。一方、土塊や石れきは表面に凹凸があるためコンベヤの凹凸に引っ掛かり、SP ローラとコンベヤの隙間を抜けて後ろに流されてバレイショと分離される。また、石れきについてはコンベヤの表面が塊茎の損傷軽減のために柔らかいゴムでできていることから、重い石はコンベヤ底面に沈み込んでローラの隙間を抜けて分離される場合がある。このように、セパレータコンベヤでのきょう雑物の除去は、土塊や

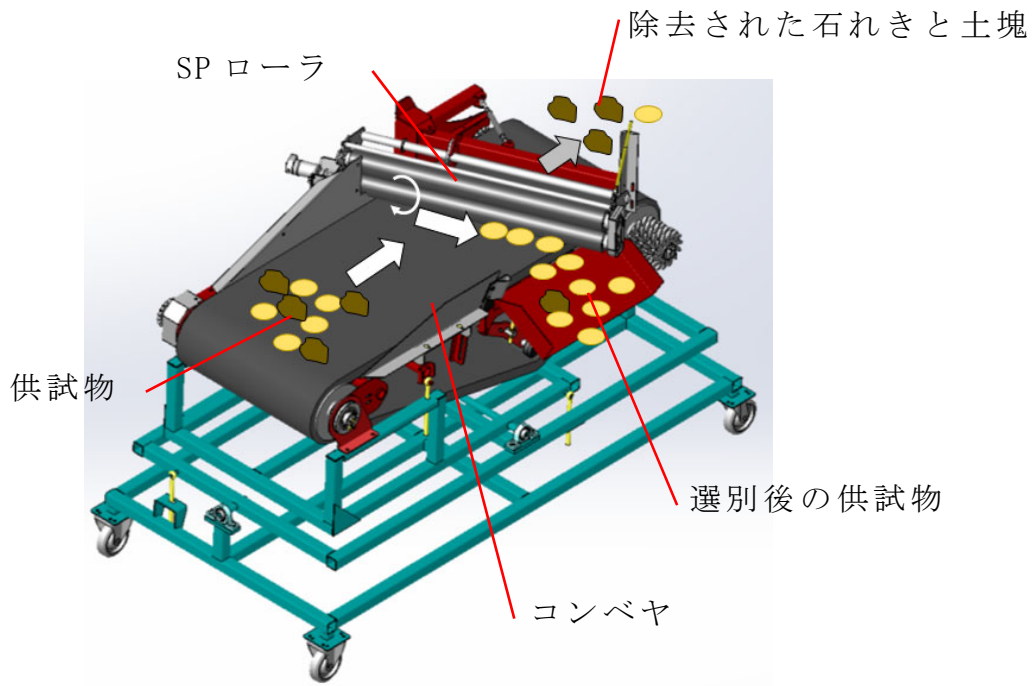


図 3-3 供試物の流れ

石れきとバレイショの表面性状の違いとヘッジホッグコンベヤでの沈み込みを利用した比重選別としての働きを利用している。また、土塊については SP ローラに衝突した際の衝撃によって粉碎されたり、ローラに沿って横に流される際に摩擦し除去されたりすることもある。この分離の性能は、上述した SP ローラやコンベヤの設定条件で変化する。

3.2.3 試験方法

供試物は、表 3-1 に示すようにバレイショと石れきと土塊をサイズごとに一定の割合で混合したものを用意した。図 3-4 はサイズごとに分類された供試物を示す。バレイショは再利用する際に分別しやすいように色分けした。バレイショの品種はトヨシロで芽室町中美生地区

表 3-1 供試物の内訳

	サイズ	質量
バレイショ	SS (0-24 g)	0.2 kg
	S (24-49 g)	0.5 kg
	M (50-149 g)	4.5 kg
	L (150-249 g)	5.8 kg
	LL (250-350 g)	2.0 kg
土塊	小 (19.0-31.4 mm)	1.5 kg
	大 (31.5-50.0 mm)	1.5 kg
石	小 (19.0-31.4 mm)	1.5 kg
	大 (31.5-50.0 mm)	1.5 kg



(a) バレイショ

(b) 土塊



(c) 石れき

図 3-4 サイズ毎に分類された供試物

の圃場より採取したものを供試した。また、バレイショの総質量は、畝幅 75 cm，長さ 5 m 分の量であり，圃場より採取したときの割合からサイズごとの量を決定した。試験は，SP ローラの角度，コンベヤの周速度，SP ローラとコンベヤの隙間の 3 項目であり，それぞれの設定値を変更して処理能力の測定を行った。

SP ローラの角度の試験では，図 3-5 に示す通りコンベヤに対して垂直を 0° とし，角度を $10\sim 30^\circ$ の範囲で 5° ずつ変化させて 5 反復測定を行った。コンベヤの周速度の試験では，周速度を $0.7\sim 1.3\text{ m/s}$ の範囲で 0.2 m/s ずつ変化させて 4 反復測定を行った。SP ローラとコンベヤの隙間の試験では，図 3-6 に示す隙間を $0\sim 10\text{ mm}$ の範囲で 2 mm ずつ変化させて 6 反復測定を行った。また，表 3-2 に示す各調整箇所の基準値は，国産オフセット式ポテトハーベスタの基準の設定値とし，試験を行う項目以外の設定値はこの基準値に設定した。

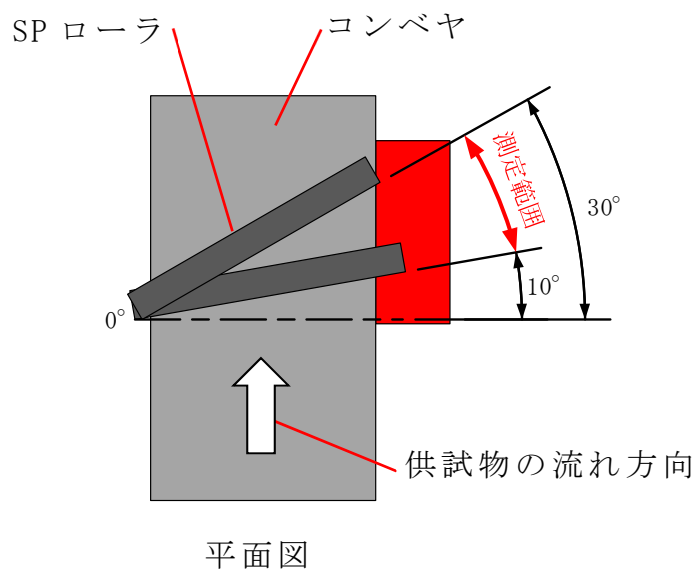


図 3-5 SP ローラの角度



図 3-6 SP ローラとコンベヤの隙間

表 3-2 各調整箇所の基準値

調整箇所	基準値
SPローラの角度	20 °
SPローラの回転数	280 rpm
コンベヤの周速度	1.1 m/s
SPローラとコンベヤの隙間	6 mm
コンベヤの姿勢	地面と水平

試験では供試物を試験装置に通した後，除去できなかった石れきと土塊を集め，それぞれの質量を測定して元の質量に対して装置が除去した割合を除去率とした。また，塊茎の損傷については試験装置を通した後の塊茎に 1 cm² 以上の皮むけ，10 mm 以上の傷がついた場合は損傷とし，質量を測定して全てのバレイシヨの質量に対する損傷した割合を損傷率とした。なお，本試験では 5 % 以下を良好であると判断した。収穫損失は，本来は収穫後の掘り残しや埋もれ，こぼれたバレイシヨのことであるが，本試験では SP ローラとコンベヤの隙間から抜け出したバレイシヨの割合をこのように称し，全てのバレイシヨの質量に対する割合で算出した。なお，本試験では 1 % 以下を良好であると判断した。

3.3 実験結果および考察

3.3.1 SPローラの角度の影響

図 3-7 は SP ローラの角度の違いによる石れき，土塊の除去率と，図 3-8 に塊茎の損傷率の試験結果を示す。土塊の除去率については，角度 10° の時が最も高く，角度が大きくなるにしたがって除去率が低くなる即ち処理能力が低下することが判明した。これは，土塊が SP ローラに衝突する前の速度を v とすると，SP ローラに衝突した後の水平方向の分速度 v_x を 3-1 式で示すことができ，分速度 v_x は SP ローラの角度 θ が大きくなるにしたがって大きくなる。

$$v_x = v \cdot \sin \theta \quad [\text{m/s}] \quad (3-1)$$

よって，SP ローラに沿っての土塊の流れが良くなり，滞留時間が短くなるため，コンベヤによる摩滅が減少して除去率が低くなったと考えられる。図 3-9 に示す角度毎の供試物の流れの状況を見ても，

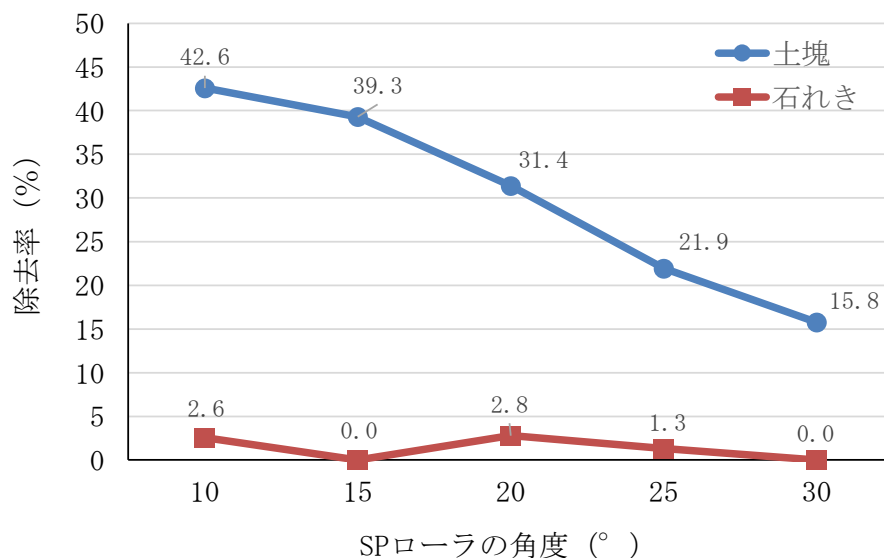


図 3-7 SP ローラの角度と除去率の関係

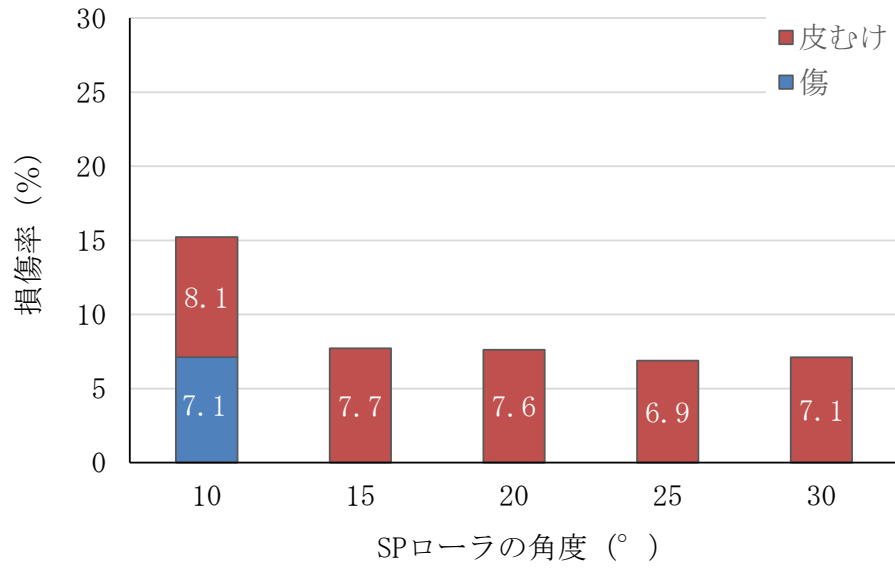


図 3-8 SP ロータの角度と塊茎の損傷率の関係

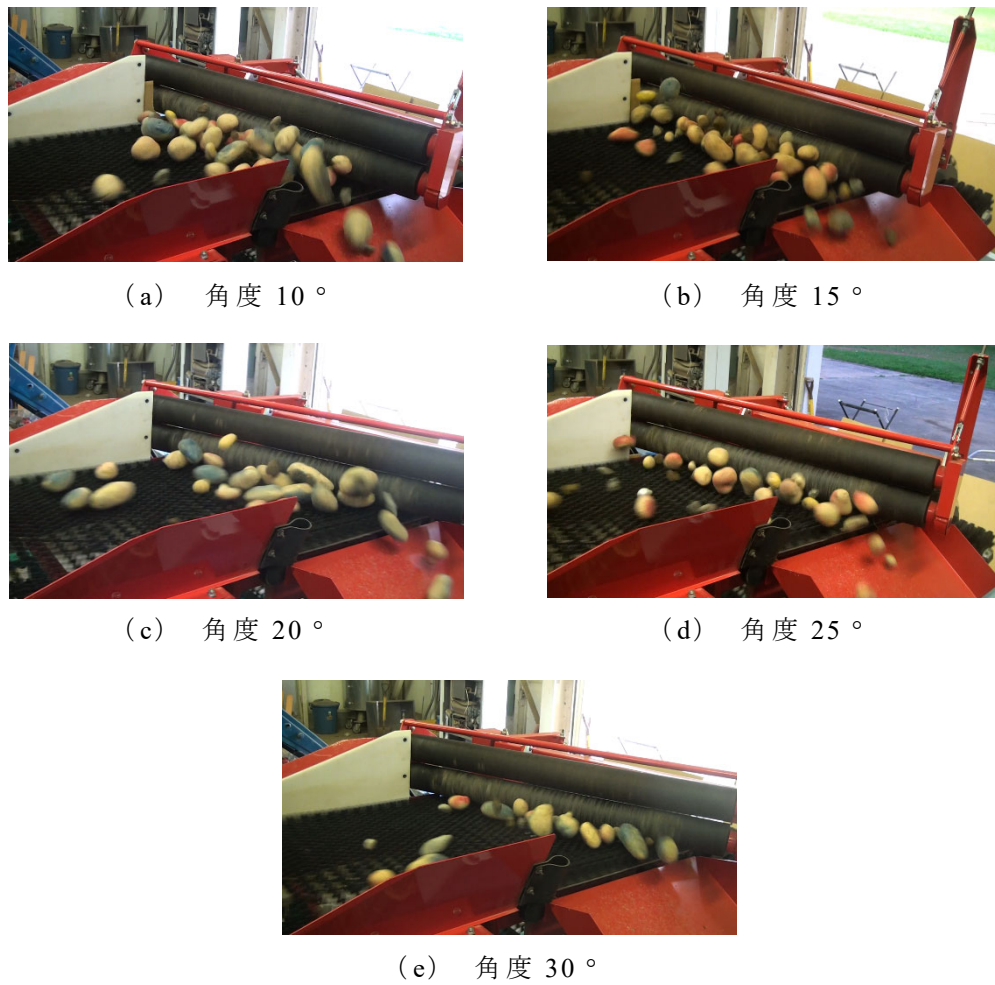


図 3-9 角度毎の供試物の状況

角度が小さいと供試物の流れが悪くなり，SP ローラ部に滞留する供試物も多くなる。しかし，角度が大きくなるにしたがって流れが良くなり，滞留する供試物も少なくなっていることが分かる。

石れきの処理能力については，いずれの設定角度でも低い値を示したことから，セパレータコンベヤによる石れきの処理能力が低いことが判明した。また，処理能力は角度に関係なくばらついていることから，石れきの処理能力は SP ローラの角度に依存しないと判断できる。

塊茎の損傷率は，皮むけと傷を合わせて角度 10° の時が 15.2% と最も高く，内訳を見ても 10° の時だけ傷の発生が見られた。これは上述のように SP ローラに沿って流れる供試物の速度が関係しており，角度が小さいと SP ローラの部分での滞留時間が長くなるため，塊茎が石れきや土塊にもまれることで損傷が多く発生してしまうと考えられる。実際に，角度 10° と 30° の供試物の流れを一定間隔で撮影した図 3-10 で比較すると，角度 10° の方が流れは悪く滞留している供試物が多いことが観察される。また，供試物を流してから処理が終わるまでの時間は， 10° が 17 s に対して 30° が 13 s であった。角度 15° 以上の場合の損傷率（皮むけ）は，角度が大きくなるにしたがって減少する傾向が見られたが，極端な差は無いと判断できる。なお，収穫損失については，角度 25° のときに 0.1% の損失が見られたものの，その他の条件では 0% であり，性能に影響するような損失は見られなかった。

以上の結果より，SP ローラの角度は，塊茎の損傷率が低い 15° 以上の範囲の中で除去率が最も高い角度 15° が最適であることが明らかになった。

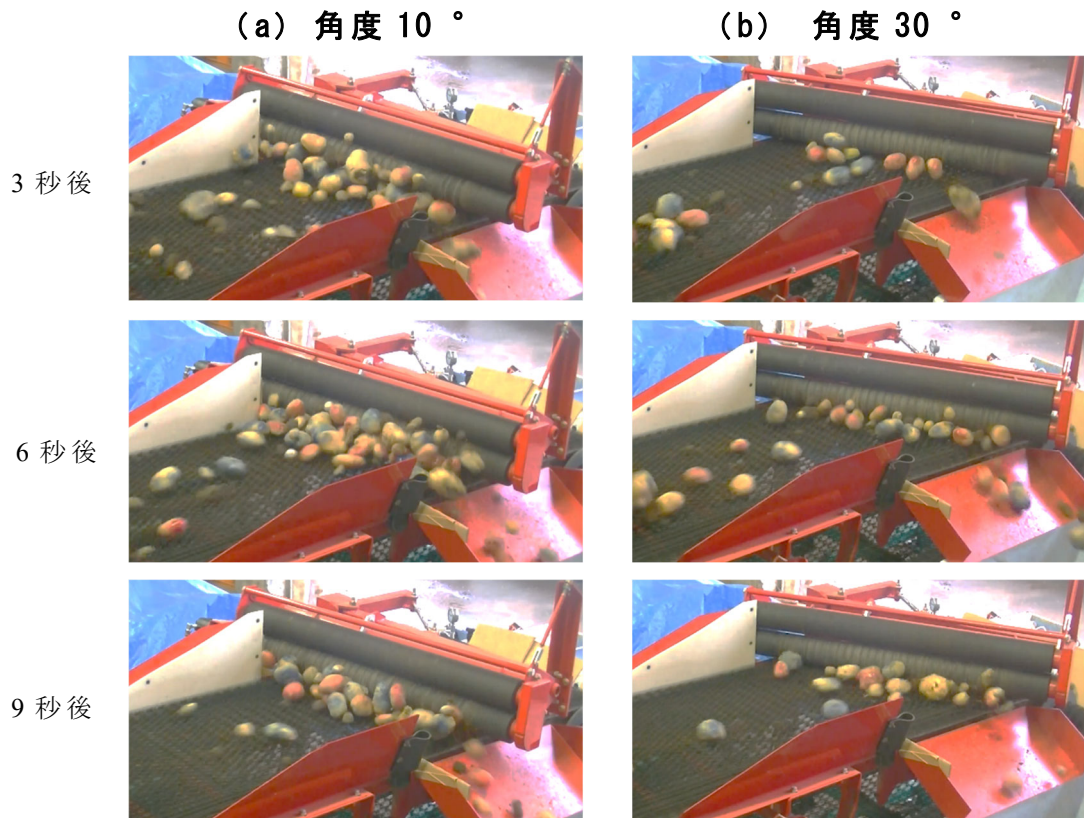


図 3-10 角度 10 ° と 30 ° の供試物の時間経過ごとの滞留状況

3.3.2 コンベヤの周速度の影響

図 3-11 はコンベヤの周速度の違いによる石れきや土塊の除去率と、図 3-12 に塊茎の損傷率の試験結果を示す。土塊の除去率については、周速度 1.3 m/s の場合が 47.6 %で最も高く、次に 0.7m/s で 45.3 %の順であった。コンベヤの周速度が高いと SP ローラに衝突した際の衝撃が大きいため土塊が砕けやすいことから処理率が高くなったと考えられる。また、3-1 式に示したように周速度が小さいと SP ローラに沿って流れる速度も小さくなり、SP ローラ部分で滞留する時間が長くなることから、コンベヤによって摩滅しやすくなり、土塊の除去率が高くなったと推察する。石れきについては、どの周速度でも低い値を示した

ことから、SP ローラの角度と同様に、コンベヤ速度に影響されておらず、セパレータコンベヤの石れきの処理能力は低いと言える。

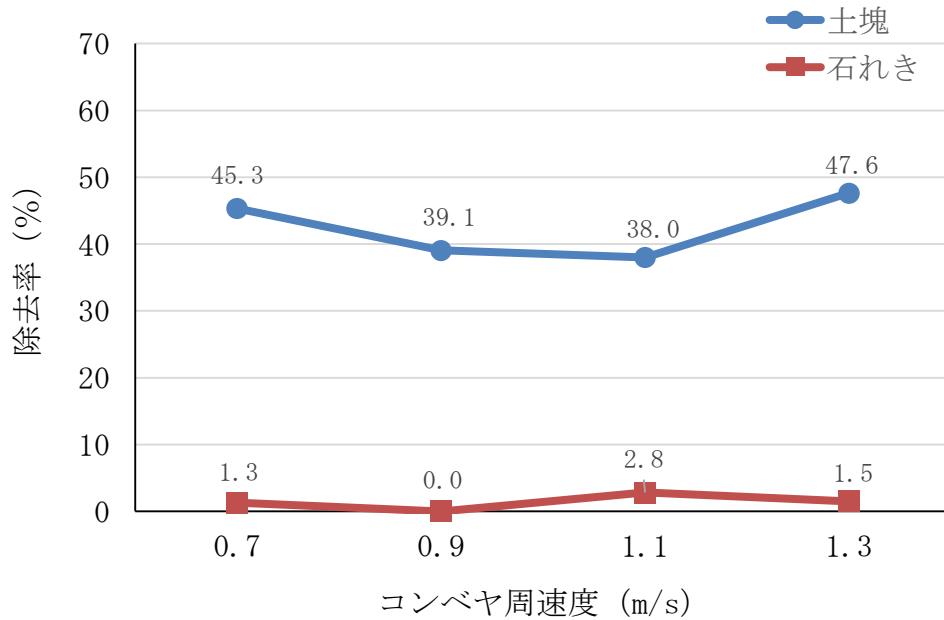


図 3-11 コンベヤ周速度と除去率の関係

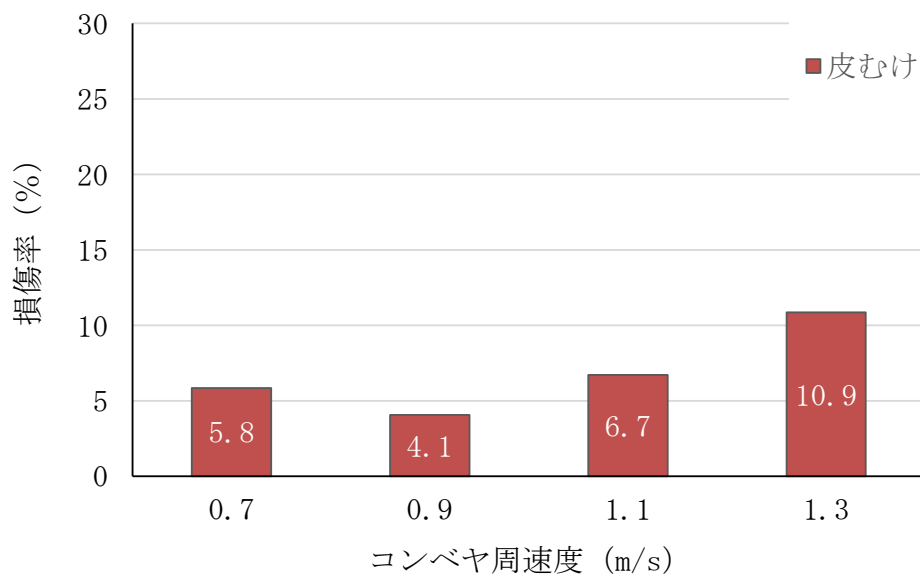


図 3-12 コンベヤ周速度と塊茎の損傷の関係

塊茎の損傷率は、周速度が速くなるにしたがって高くなる傾向が見られ、特に傷の発生はなかったが、皮むけが周速度 1.3 m/s の場合に 10.9 %と最も高かった。したがって、周速度が大きくなると土塊の除去率は高くなるが、衝撃によって塊茎の損傷も多くなることが明らかになった。また、周速度 0.7 m/s で損傷が多くなる原因は、周速度が小さくなると滞留する時間が長くなり、バレイショがコンベア上で土塊と石れきにもまれる時間が長くなることが起因したと考える。

以上の結果より、コンベヤの周速度は除去率だけで判断すると 1.3 m/s もしくは 0.7 m/s が適切であると言える。しかし、損傷率が 0.9 m/s 以外の条件では 5 %以上であったことから、損傷率を重視すると周速度は 0.9 m/s が最適な設定値であると判断できる。

3.3.3 SP ローラとコンベヤの隙間の影響

図 3-13 は SP ローラとコンベヤの隙間の違いによる石れきや土塊の除去率を示す。また、図 3-14 に隙間毎の供試物の状況を示すが、目視では供試物の流れや滞留に大きな違いは確認できなかった。

土塊の除去率については、両者の隙間が大きくなるほど除去率が高くなり、隙間 10 mm で 47.3 %と最も高い値であった。これは、隙間が大きいと隙間から抜ける土塊の量が多くなるため除去率が高くなったと考える。石れきについては、全体的に低い値であるが、土塊と同様に隙間が大きいほど処理率が高くなることが明らかである。

図 3-15 に示す塊茎の損傷率をみると、傷の損傷は見られず全ての条件で皮むけが 5 %以下の低い値であり、隙間 4 mm で 1.2 %と最も低い値であった。傾向としては土塊の除去率が高くなると損傷率も高くなると言える。この現象は両者の隙間が広がると SP ローラとコンベヤの

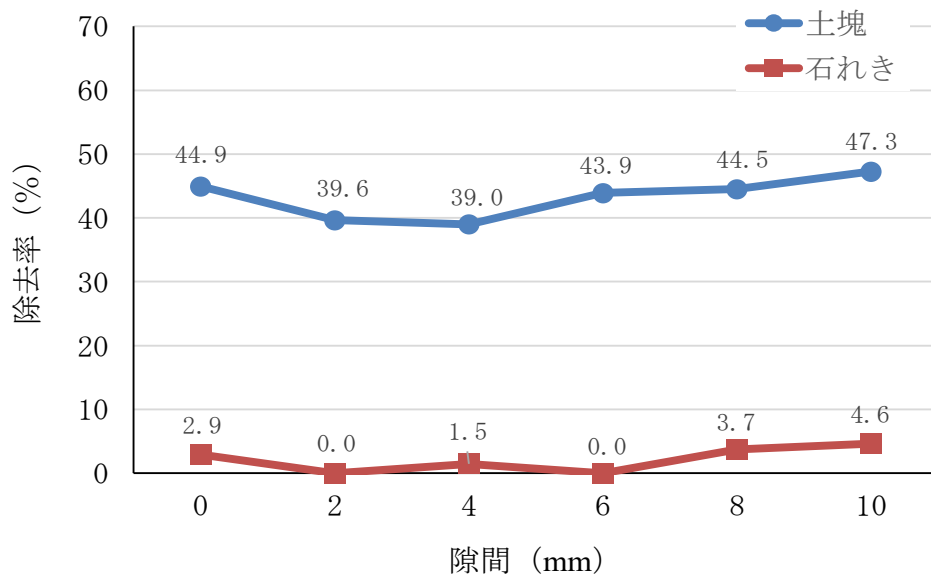


図 3-13 SP ローラとコンベヤの隙間と除去率の関係

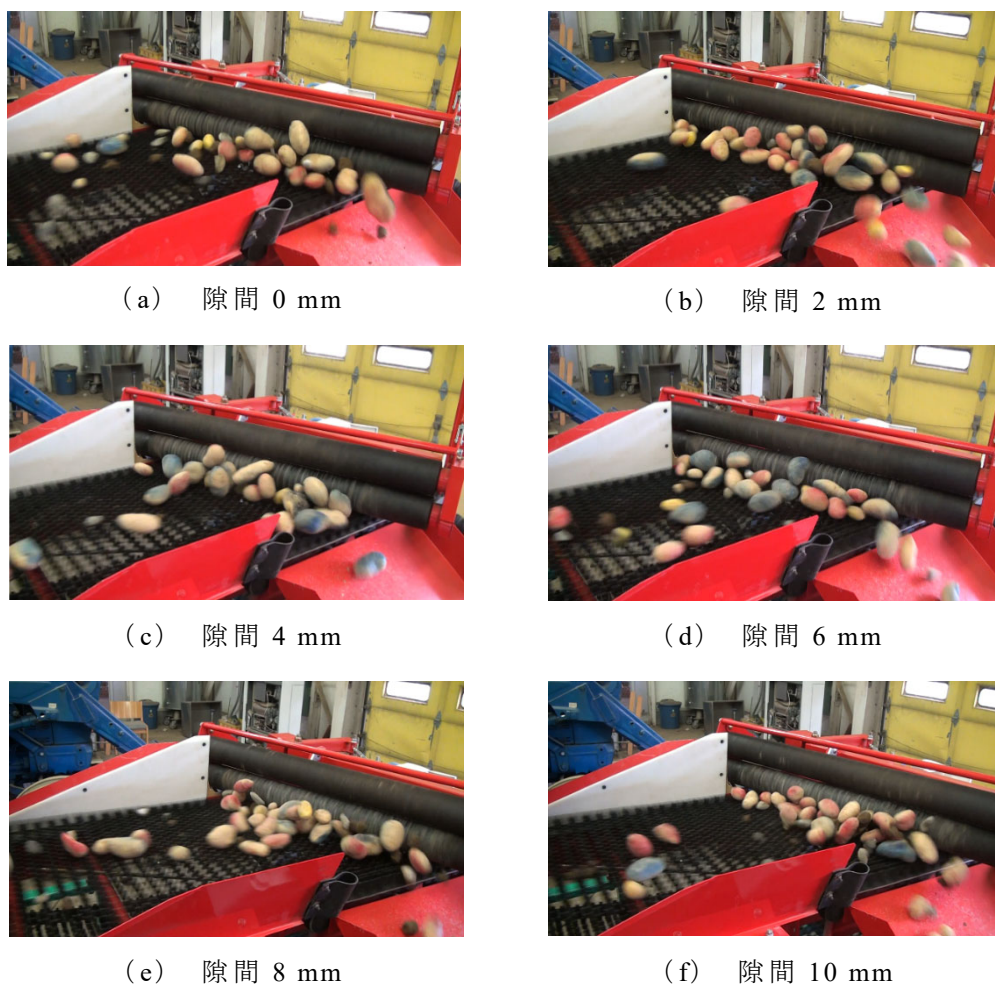


図 3-14 隙間毎の供試物の状況

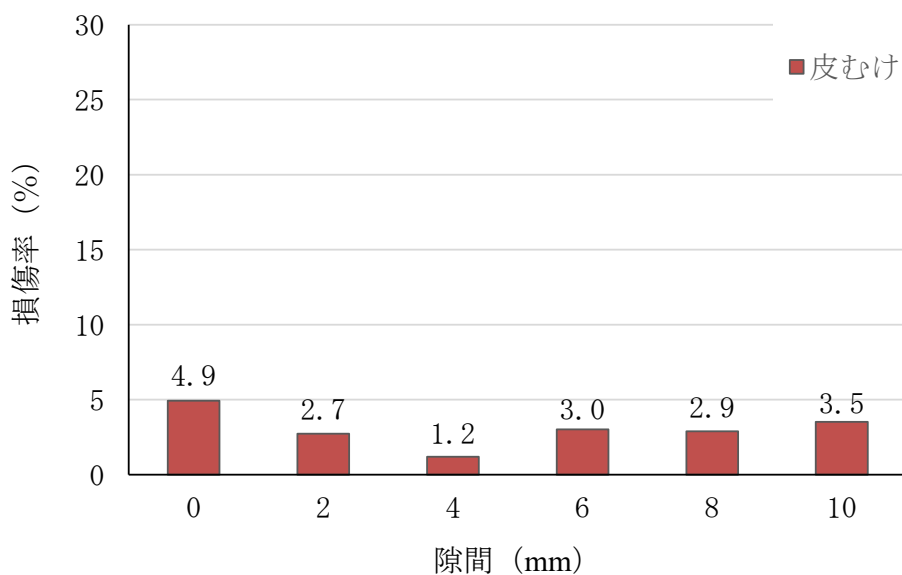


図 3-15 SP ローラとコンベヤの隙間と塊茎の損傷率の関係

隙間でのかみ込みにより皮むけが多くなるのではないかと推察できる。

収穫損失は、隙間 8 mm で 0.1 %，その他の条件では 0 %の結果であった。隙間が大きい方が損失は多くなると考えられるが，試験範囲である 10 mm でも 0 %であったことから，除去率の向上にはさらに隙間を大きくすることで良好な結果が得られると考える。

以上の結果から，コンベヤと SP ローラの隙間は，損傷がいずれの条件でも 5 %以下であったことから最も除去率の高い隙間 10 mm が最適であると言える。

3.4 本章のまとめ

本章では，国産オフセット式ポテトハーベスタに装備されており，また今後次世代型ポテトハーベスタにも装備予定のセパレータコンベヤを供試し，石れきや土塊の除去率，塊茎の損傷，収穫損失について，各部位の調整箇所の設定値を変化させて実験を行い，各種設定が処理

能力に与える影響を明らかにし、それぞれの項目について最適な設定値を明らかにした。以下に、本章の結果の要約を記す。

- 1) SP ローラの角度の違いによる土塊の除去率は、角度 10°の場合が最も高く、角度が大きくなるにしたがって SP ローラに沿って流れる供試物の速度が大きくなり、また滞留する時間も短くなるため、除去率が小さくなり、処理能力が低下することが判明した。一方、塊茎の損傷率は、SP ローラの角度が小さいと滞留時間が長くなり、コンベア上で石れきや土塊にもまれることで損傷が多く発生することが判明した。SP ローラの角度は損傷率が低い 15°以上の中で最も除去率が高い 15°が最適な設定値と言える。
- 2) コンベヤの周速度の違いによる石れきや土塊の除去率の関係は、周速度が大きい場合 SP ローラに衝突した際の衝撃が大きくなるため、土塊が砕けやすくなり処理率が高くなる。また、周速度が小さい場合は SP ローラの部分で滞留する時間が長くなり、コンベヤによって摩滅しやすくなるので除去率が高くなった。塊茎の損傷率は、周速度が大きくなると土塊の除去率も高くなるが、衝撃によって塊茎の損傷も多くなることが明らかになった。コンベヤの周速度は損傷率を重視すると 0.9 m/s が最適な設定値であると言える。
- 3) SP ローラとコンベヤの隙間の違いによる石れきや土塊の除去率は、両者の隙間が大きくなるほど除去率が高くなり、隙間 10 mm で 47.3%と最も高い値となった。塊茎の損傷率は、土塊の除去率が高いと損傷率も高くなる傾向にあり、要因としては SP ローラとコンベヤの隙間でのかみ込みにより皮むけが多くなったものと考えられる。SP ローラとコンベヤの隙間は、損傷がどの条件でも 5%以下であ

ったことから、最も除去率の高い隙間 10 mm が最適であると言える。

- 4) 石れきの除去率については、SP ローラとコンベヤの隙間の試験では、隙間が大きいほど除去率が高くなる傾向が見られたが、どの試験項目でも低い値を示していることから、セパレータコンベヤによる石れきの処理能力は低いことが判明した。
- 5) 収穫損失については、今回行った試験の調整範囲ではいずれの試験項目でも 0.1 %以下であり、コンベヤの性能に影響しないことが明らかになった。

以上のように、本研究ではセパレータコンベヤの試験装置を利用して、各部位の調整箇所の設定値を変更して試験を行い、各種設定が処理能力に与える影響を明らかにし、さらにはセパレータコンベヤの最適な設定値を決定することができた。

第4章 フィンガーコンベヤの処理能力に関する 実験と最適値の検討

4.1 はじめに

一般に国内外のオフセット式ポテトハーベスタには、第3章で試験を行ったセパレータコンベヤの他に、図4-1に示すフィンガーコンベヤと呼ばれるきょう雑物を処理する装置が装備され、次世代型ポテトハーベスタにも装備される予定である。第3章の図3-1の概略図に示したように、フィンガーコンベヤはセパレータコンベヤで除去できなかった石れきや土塊をさらに除去するために装備されている。特徴として、セパレータコンベヤは石れきを処理する能力が低かったが、フィンガーコンベヤは石れきの処理にも優れている点が挙げられる。セパレータコンベヤの代わりにフィンガーコンベヤを2基装備することも考えられるが、フィンガーコンベヤは構造上処理能力を高めるように設定すると、小さいものがきょう雑物と一緒に除去されやすくなり、そのまま石れきや土塊と一緒に機外に排出され圃場に落下すると、翌年野良いもになる問題が生じる。そこで、フィンガーコンベヤで除去された石れきや土塊、小さいものは、図4-2に示す石コンベヤに送られ、小さいものは手作業によって規格品のバレイショが流れる選別コンベヤに戻すようになっている。よって、フィンガーコンベヤを2基装備するためには、石コンベヤも2基装備する必要があるが、構造上難しく仮に装備できたとしても構造が複雑になり、コスト高になるため現実的ではない。そこで、オフセット式ポテトハーベスタの構造としては、フィンガーコンベヤより処理能力は劣るものの、石コンベヤを必要としないセパレータコンベヤである程度のきょう雑物を処理した後に、さ

らにフィンガーコンベヤで処理するようになっている。

フィンガーコンベヤについてもセパレータコンベヤと同様にいくつかの調整箇所があり、圃場条件やバレイショの条件に合わせて設定する。しかし、各設定条件でのきょう雑物の処理性能については明確になっていない。そこで、本研究では国産オフセット式に装備されているフィンガーコンベヤを供試し、石れきや土塊の除去率、塊茎の損傷、収穫損失を各部位の調整箇所の設定値を変化させて、各種設定が処理能力に与える影響を明らかにし、最適な設定値を求めることを目的とした。



(a) 国産オフセット式

(b) 海外製オフセット式

図 4-1 オフセットポテトハーベスタに装備されている
フィンガーコンベヤ



図 4-2 国産オフセット式ポテトハーベスタのコンベヤ配置

4.2 実験装置および実験方法

4.2.1 試験装置の概要

試験装置の概要を図 4-3 に示す。試験装置は、国産オフセット式ポテトハーベスタに搭載されているフィンガーコンベヤを試験用に各部分が調整できるように改造したものを供試した。構造は、H 型に成形されたゴム（硬度 A65 度）がコーティングされたロッドからなるヘッジホッグコンベヤ（以下、送りコンベヤと称する）の上に、直径 28 mm、長さ 185 mm の棒状にゴム（硬度 A60 度）で成形されたゴムロッドを 3 列並べたフィンガーコンベヤが斜めに配置されている。



図 4-3 試験装置の概要

ゴムロッドの配列は図 4-4 に示す。ゴムロッドのピッチは、1 列目と 2 列目が 70 mm であり、3 列目は 35 mm で 1 列目、2 列目よりも隙間が狭く配置され、列の間隔は 200 mm である。フィンガーコンベヤの回転は送りコンベヤのいも排出口方向に向かって回転しており、送りコンベヤで流れてきたバレイショを次の工程の選別コンベヤに送るようになっている。フィンガーコンベヤは入口側と出口側の高さをハンドルで調整することができ、石れきや土塊の分離性能を調整したり、次の工程の選別コンベヤに送る際にバレイショが均等に送り出せるようになっている。また、フィンガーコンベヤの角度や送りコンベヤの傾斜角度は実際のハーベスタでは調整できないが、試験装置では調整ボルトによって任意に設定できるようにした。この他に、国産オフセット式に搭載されているフィンガーコンベヤは油圧モータで駆動されており、フィンガーコンベヤの回転数や送りコンベヤの周速度が油圧バルブによって調整できるようになっており、試験装置についても同様の調整が可能である。

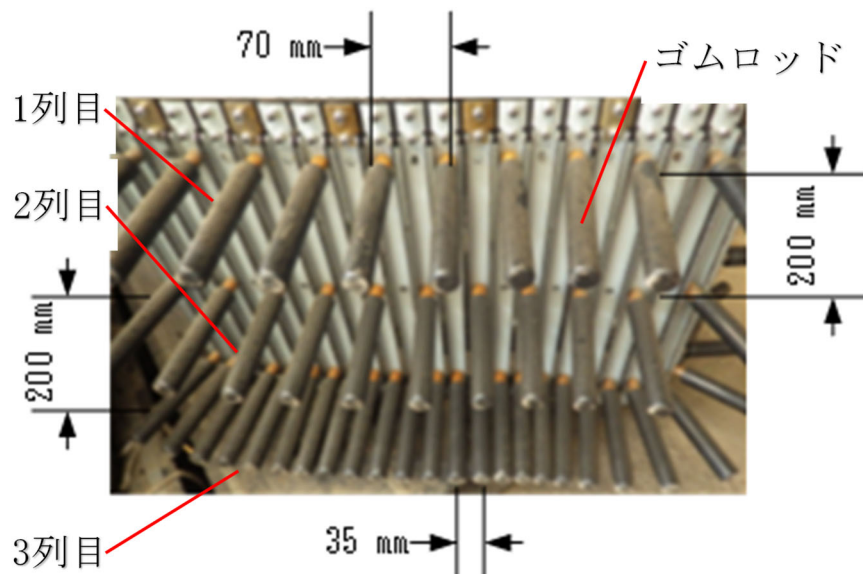


図 4-4 ゴムロッドの配列

実験は、フィンガーコンベヤの手前に供試物を供給するための供給装置を設置し、この中に供試物を入れ一定速度の 0.06 m/s でフィンガーコンベヤに供給するようにした。フィンガーコンベヤによって選別され、いも排出口から流れてきた供試物は発泡スチロール製の容器で受けるようにした。

図 4-5 は供試物の流れを示したものである。コンベヤで流れてきたバレイショは表面が滑らかであるためゴムロッドによって送りコンベヤの横方向に流され、いも排出口から次の工程に送られる。一方、石れきや土塊は、表面に凹凸があるため送りコンベヤの凹凸に引っ掛かり、ゴムロッドを押しつけて送りコンベヤ後部に流されてバレイショと分離される。また、送りコンベヤは柔らかいゴムでできているため、重い石はコンベヤに沈み込んでゴムロッドとの隙間を抜けて分離される場合がある。また、土塊については、フィンガーコンベヤで横に流される際に摩滅されて除去されることもある。

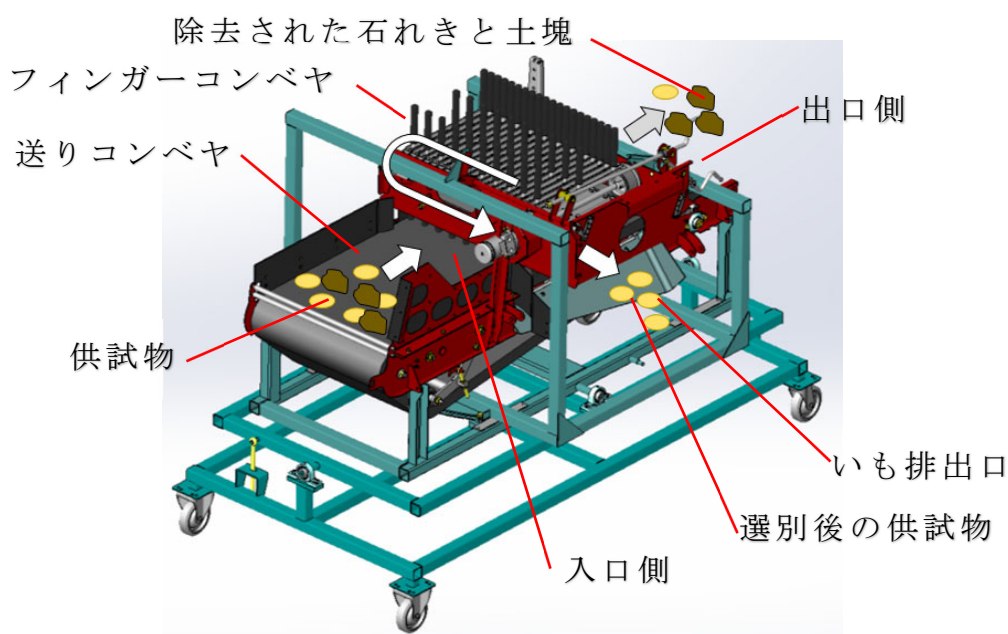


図 4-5 供試物の流れ

4.2.2 試験方法

供試物はセパレータコンベヤの試験と同様であり、第3章の表3-1に示したようにバレイショと石れきや土塊をサイズごとに一定の割合で混合させたものを用意した。バレイショの品種は「トヨシロ」で芽室町中美生地区の圃場より採取したものを供試した。また、バレイショの総質量は、畝幅75cm、長さ5m分の収量であり、圃場より採取したときの割合からサイズごとの混合量を決定した。

試験は、フィンガーコンベヤの角度、フィンガーコンベヤの周速度、送りコンベヤの傾斜角度、フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間の4項目について設定値を変更して処理性能を求めた。測定は同じ条件で3回行い、その平均値で評価を行った。フィンガーコンベヤの角度の試験では、図4-6に示す通り送りコンベヤに対して垂直を 0° とし、角度を $0\sim 20^\circ$ の範囲で 5° ずつ変化させて測定を行った。

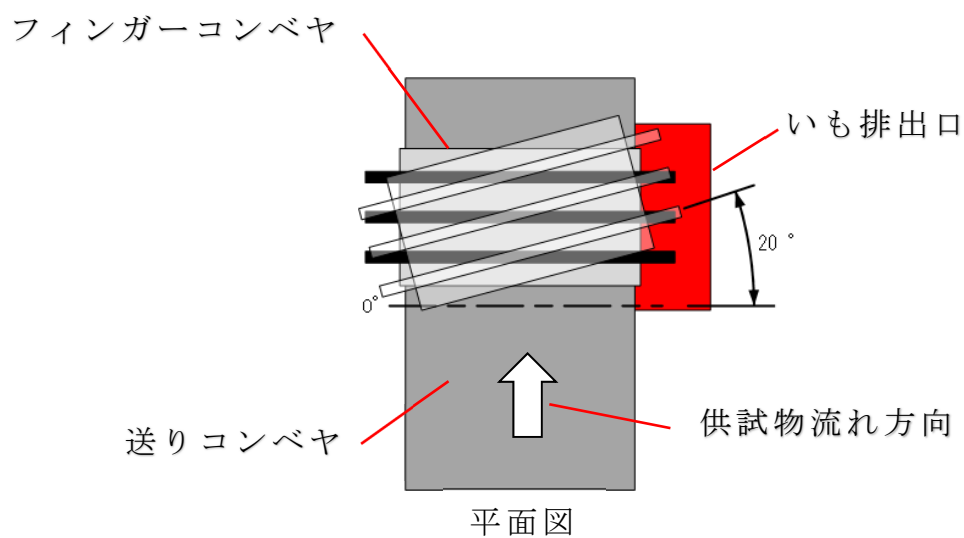


図4-6 フィンガーコンベヤの角度

フィンガーコンベヤの周速度の試験では周速度を 0～1.0 m/s の範囲で 0.2 m/s ずつ変化させて測定を行った。また、送りコンベヤの傾斜角度の試験では図 4-7 に示す通り水平を 0° とし、0～14° の範囲で 3.5° ずつ変化させて測定を行った。

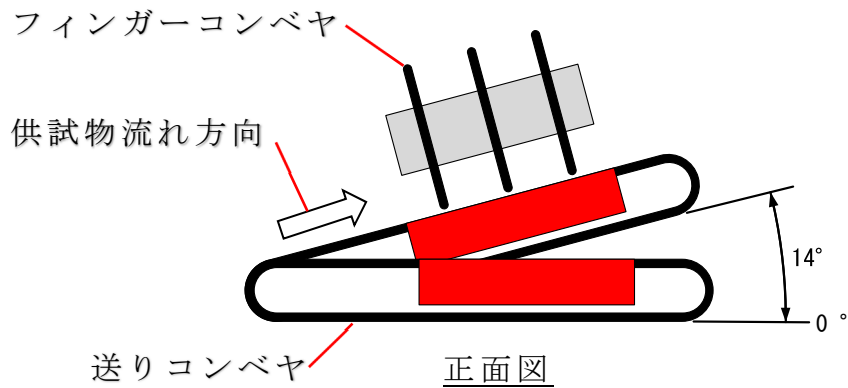


図 4-7 送りコンベヤの傾斜角度

フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間の試験では、図 4-8 に示す通り入口側のゴムロッドの隙間を 20 mm に固定し、出口側の隙間を 0～10 mm の範囲で 2 mm ずつ変化させてそれぞれ測定を行った。

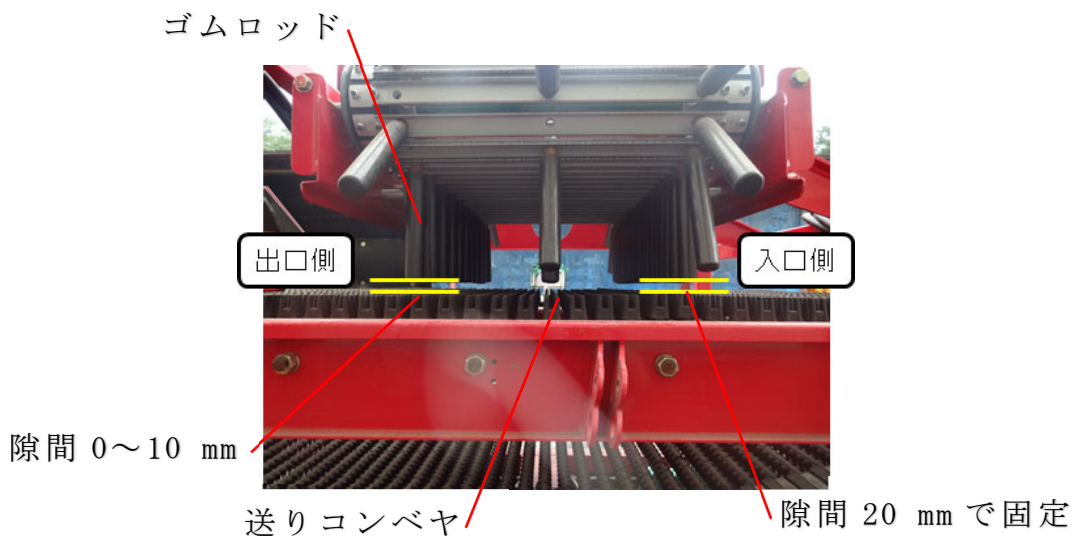


図 4-8 フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間

なお、表 4-1 に示す各調整箇所の基準値は、国産オフセット式の設定値とし、試験を行う調整箇所以外の設定値はこの基準値に設定して実験を行った。

表 4-1 各調整箇所の基準値

調整箇所	基準値
フィンガーコンベヤの角度	10 °
フィンガーコンベヤの周速度	0.4 m/s
送りコンベヤの周速度	0.6 m/s
送りコンベヤの傾斜角度	7 °
フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間	入口側20 mm 出口側 6 mm

試験では供試物を試験装置に供給した後、除去できなかった石れきと土塊を回収し、第 3 章と同様にそれぞれの質量を測定して除去前の全質量に対する装置によって除去された質量割合を除去率と定義して算出した。また、塊茎の損傷については、試験装置を通過した後の塊茎に 1 cm² 以上の皮むけ、10 mm 以上の傷がついた場合は損傷として質量を測定して全てのバレイショの質量に対する損傷した割合を損傷率として算出した。なお、本試験では 5 % 以下を良好であると判断した。収穫損失とは、本来は圃場でハーベスタによって収穫した後の掘り残しや埋もれ、こぼれたバレイショのことであるが、本試験では石れきや土塊と一緒に除去されたバレイショの割合と定義し、全てのバレイショの質量に対する割合で求めた。なお、本試験では 1 % 以下を良好であると判断した。

4.3 実験結果および考察

4.3.1 フィンガーコンベヤの角度の影響

図 4-9 はフィンガーコンベヤでの供給物の分離状況の一例を示す。バレイショがゴムロッドによって横方向に送られている様子が見て取れる。



図 4-9 供試物の分離状況

図 4-10 はフィンガーコンベヤの角度の違いによる石れきや土塊の除去率を示し，図 4-11 にその試験の状況を角度毎に示す。土塊の除去率は，角度 20° の場合が 49.6% で最も高く，次に 15° で 49.4% となり，角度が大きくなるにしたがって除去率が高くなる，即ち処理能力が高くなる結果を示している。これは図 4-12 に示すように，供試物がフィンガーコンベヤで横に流される際に，フィンガーコンベヤの角度 θ が大きくなると，4-1 式で示すフィンガーコンベヤに沿って流れる移動距離 L_θ が長くなり，送りコンベヤによって土塊が摩滅される時間が長くなるためと考える。

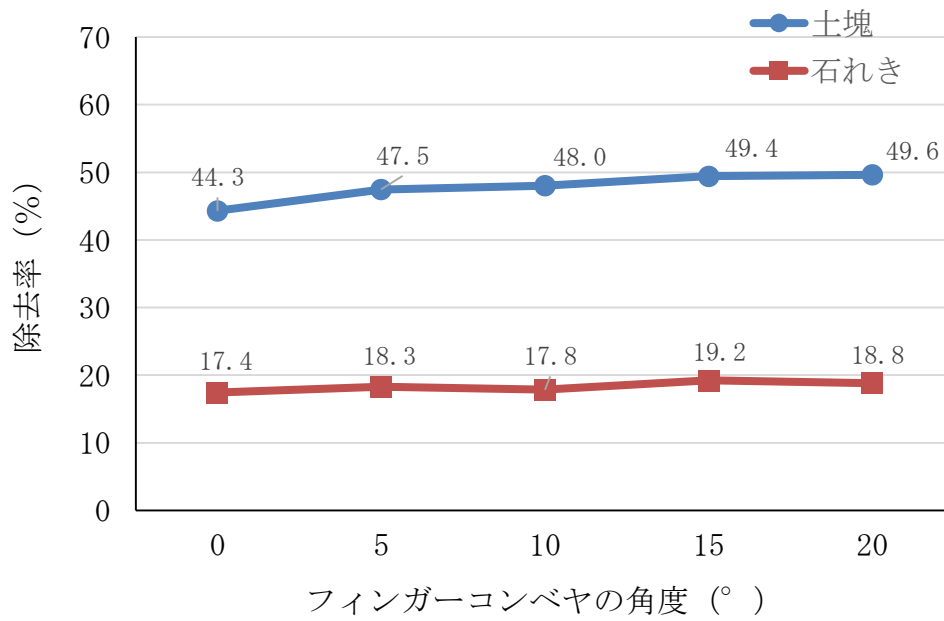


図 4-10 フィンガーコンベヤの角度と除去率の関係

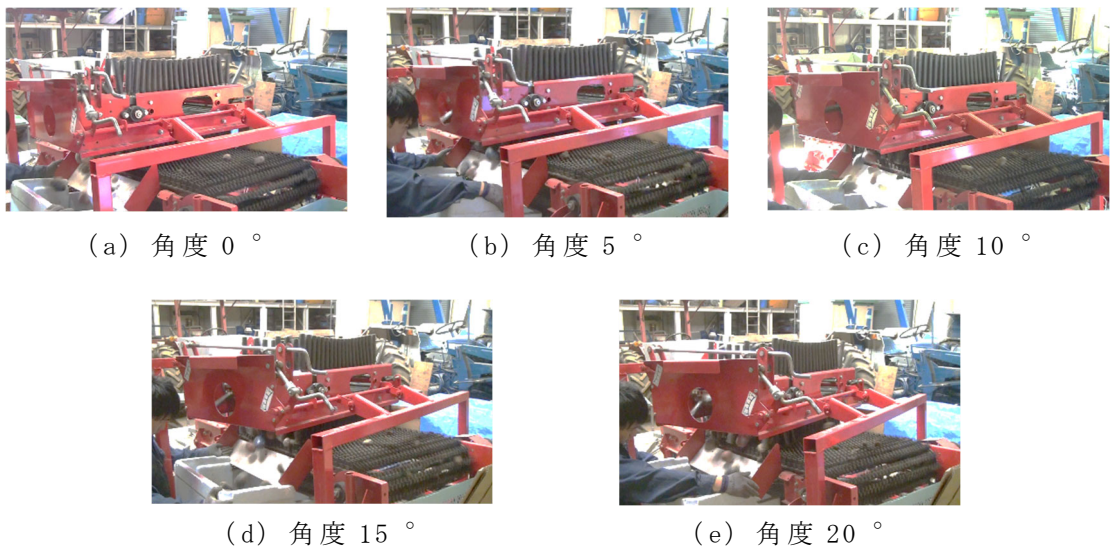


図 4-11 フィンガーコンベヤ角度毎の試験の状況

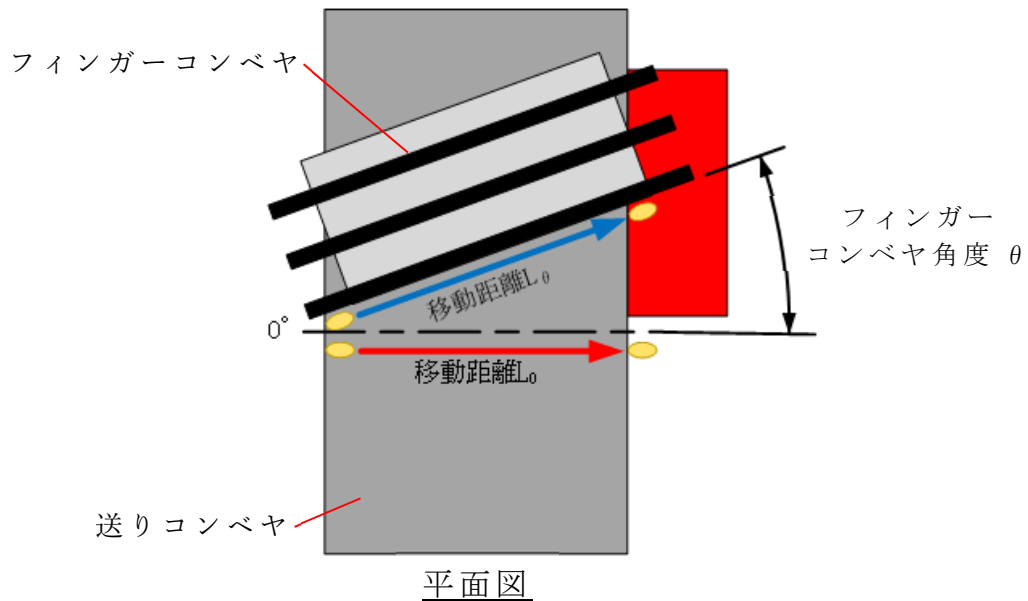


図 4-12 フィンガーコンベヤ角度と移動距離の概略図

$$L_{\theta} = \frac{L_0}{\cos\theta} \quad (4-1)$$

ここに、 L_0 ：フィンガーコンベヤ角度 0° の場合の移動距離

石れきの除去率は、角度 15° の場合が 19.2% で最も高かったが、最も低い 0° でも 17.4% であり、その差は 1.8% で大差ない結果であったことから、フィンガーコンベヤの石れきの処理能力は設定角度に影響されないことが判明した。

図 4-13 に示す塊茎の損傷率は、角度 0° の場合に 1.1% で最も高い値であり、次に 15° の場合に傷は 0.5% 、皮むけが 0.5% で合計 1.0% の損傷率であったが、いずれの角度でも低い値であった。よって、実験の設定範囲においてはフィンガーコンベヤの角度の違いが塊茎に与

える損傷に大きな違いはないことが判明した。なお、収穫損失はいずれの角度でも 1 %以下であり、処理性能に影響するような損失は見られなかった。

以上の結果より、フィンガーコンベヤの設定角度は、土塊の除去率が 49.6 %で最も高く、損傷率も 0 %であった 20 °が最適な設定値であることが明らかになった。

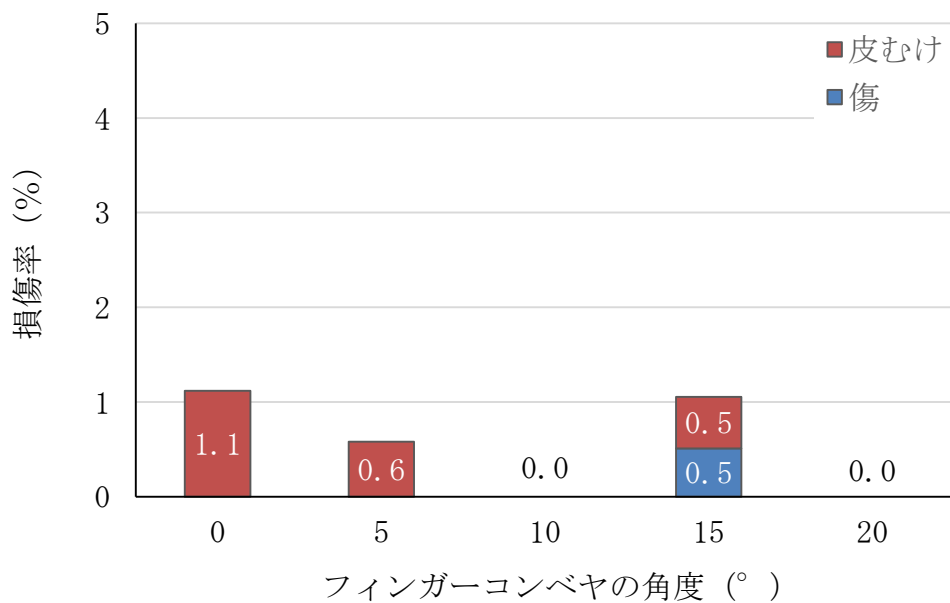


図 4-13 フィンガーコンベヤの角度と塊茎の損傷率の関係

4.3.2 フィンガーコンベヤの周速度の影響

図 4-14 にフィンガーコンベヤの周速度の違いによる石れきと土塊の除去率を示し、図 4-15 にその試験の状況を周速度毎に示す。

土塊の除去率は、周速度 0 m/s (停止状態) の場合が 79.8 %で最も高く、次に 0.2 m/s の場合の 57.0 %であり、周速度が大きくなるにしたがって低くなる傾向が見られた。周速度が大きくなるとフィンガーコンベヤによって横に流される速度も大きくなり、石れきや土塊を除去す

るための時間が短くなることで除去率の低下につながったと推察する。

石れきの除去率も土塊と同様に、周速度 0 m/s で 70.6 % と最も高く、周速度が大きくなるにしたがって低くなる結果であった。しかし、周速度 1.0 m/s の場合では除去率が 4.5 % で、ほとんど石れきを除去できないことが判明した。

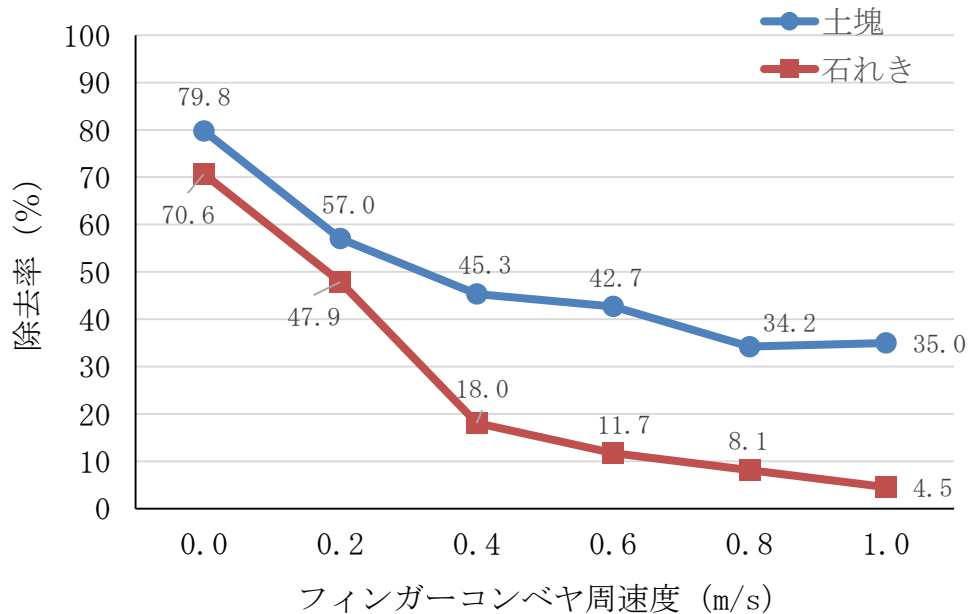


図 4-14 フィンガーコンベヤの周速度と除去率の関係

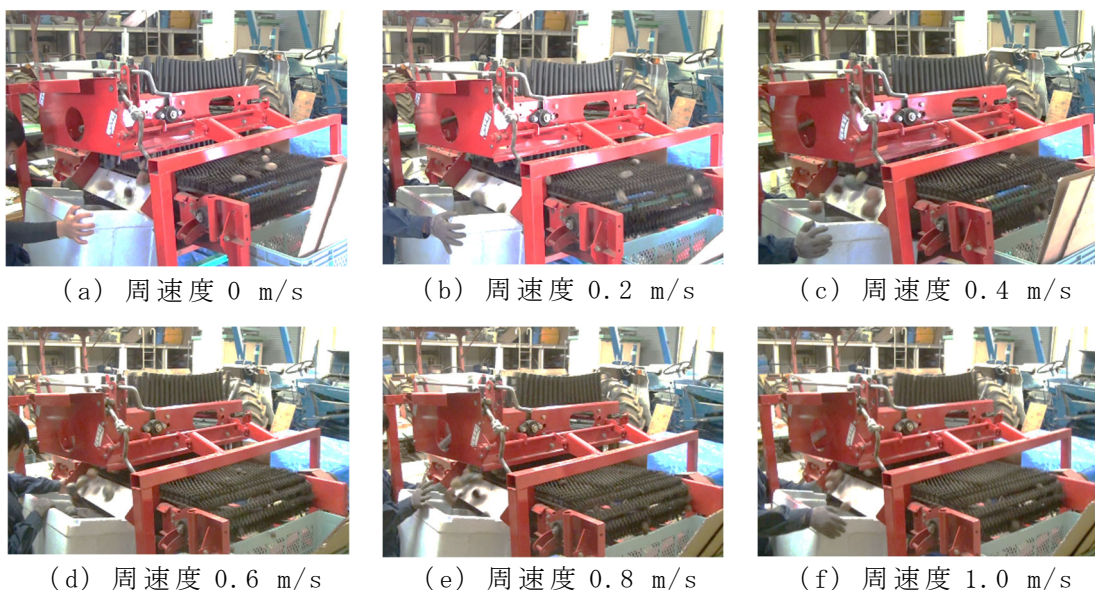


図 4-15 フィンガーコンベヤ周速度毎の試験の状況

図 4-16 に示す塊茎の損傷率は、周速度 0.0 m/s や 0.2 m/s の場合は 0%で損傷の発生は見られなかった。しかし、0.4 m/s の場合に傷が 0.4%、皮むけが 1.1%発生し、合計の損傷率は 1.5%と最も高い値を示し、周速度が大きくなるにしたがって減少する傾向が認められた。0.4 m/s で発生した傷は、フィンガーコンベヤによって横に流される際にきょう雑物との干渉によって発生したと考えられるが、0.4 m/s で傷が発生し損傷率が最も高い値になる要因については明らかにできなかった。しかし、いずれも損傷率としては低い値であることから、周速度の違いによって塊茎に与える損傷の影響は少ないと考える。

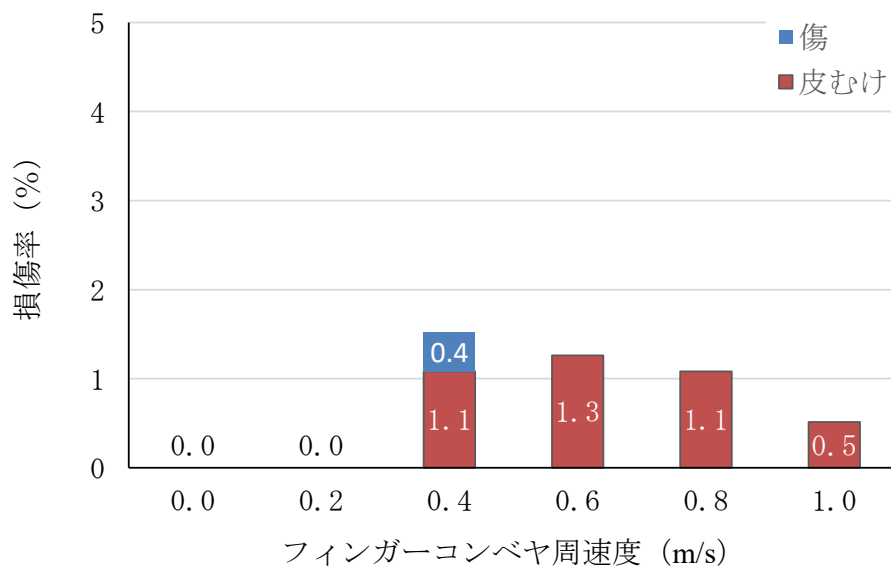


図 4-16 フィンガーコンベヤの周速度と塊茎の損傷率の関係

収穫損失は図 4-17 に示すように、周速度 0 m/s では 13.3%と最も高く、次に 0.2 m/s で 2.3%、0.4 m/s 以上の周速度では 1.0%以下であった。周速度が小さいと石れきや土塊の処理能力は高くなるが、反面バレイショが石れきや土塊と一緒に通り抜けやすくなるため、収穫損失が多くなることが判明した。

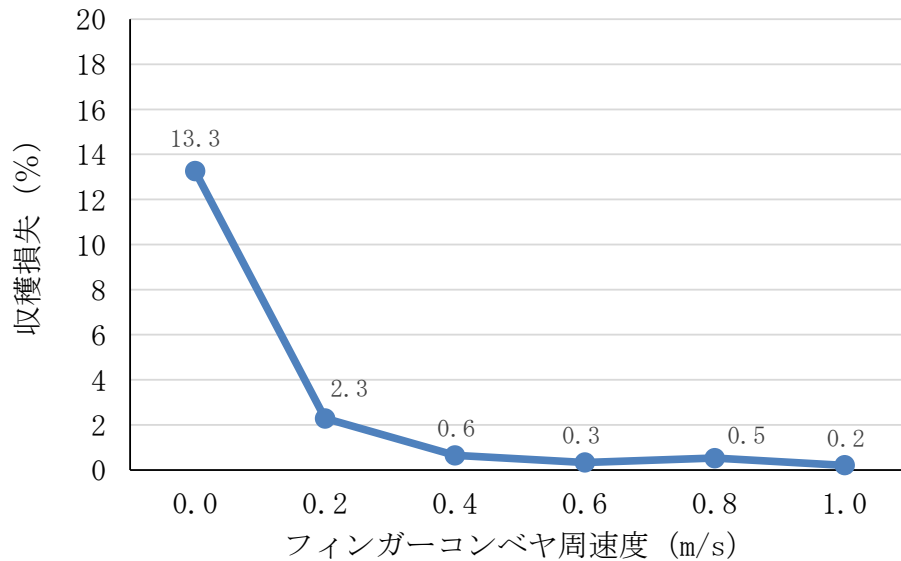


図 4-17 フィンガーコンベヤの周速度と収穫損失の関係

以上の結果より、フィンガーコンベヤの周速度は除去率と損傷率だけで判断すると 0 m/s もしくは 0.2 m/s が適当であるという結果になる。しかし、収穫損失が高いと石コンベヤから選別コンベヤに小さいを戻す選別者の負担が増えたり、選別者が戻し忘れると野良いもが増える要因になることから、収穫損失が 1%以下で最も除去率が高い 0.4 m/s を周速度に設定することが最適であると判断できる。

4.3.3 送りコンベヤの傾斜角度の影響

図 4-18 は送りコンベヤの傾斜角度の違いによる石れきと土塊の除去率を示し、図 4-19 にその試験の状況を傾斜角度毎に示す。土塊の除去率は、傾斜角度 0.0° の場合が 56.0% で最も高く、傾斜角度が大きくなるにしたがって低くなる傾向を示した。石れきについては土塊と同様に、傾斜角度 0.0° で 28.4% と最も高く、傾斜角度が大きくなるにしたがって除去率が低くなる結果を示した。傾斜角度が大きくなると図

4-20 や 4-2 式に示すように，石れきや土塊に作用する垂直抗力 N が小さくなり，フィンガーコンベヤによって横に流されやすくなるため除去率が低下するものと推察する。

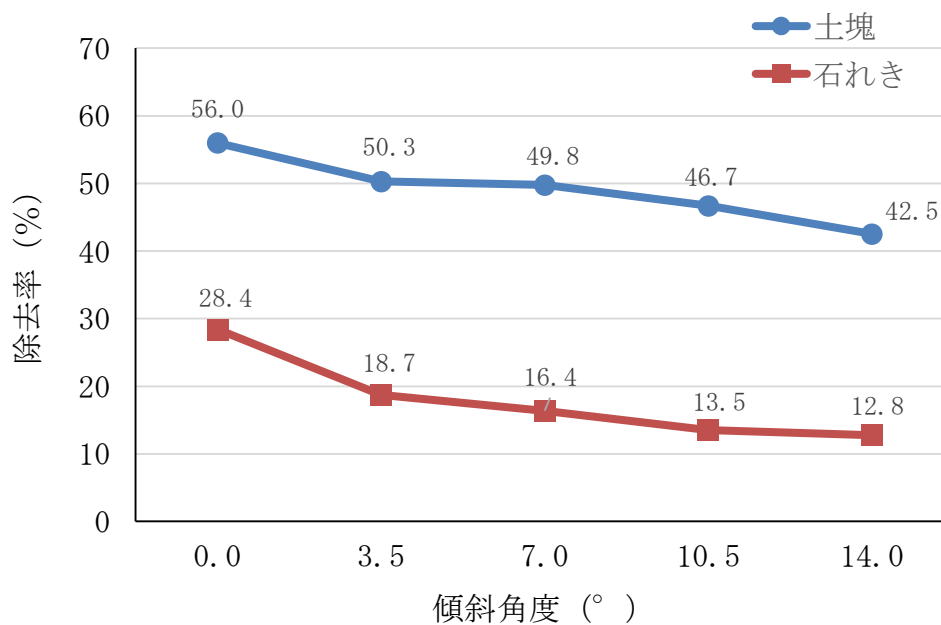


図 4-18 送りコンベヤの傾斜角度と除去率の関係

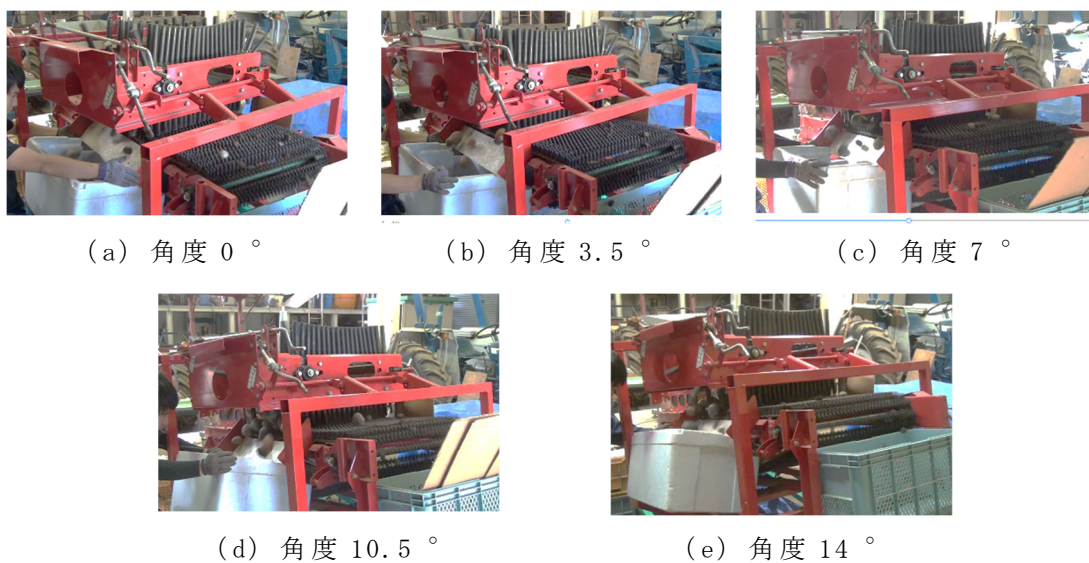


図 4-19 送りコンベヤ傾斜角度毎の試験の状況

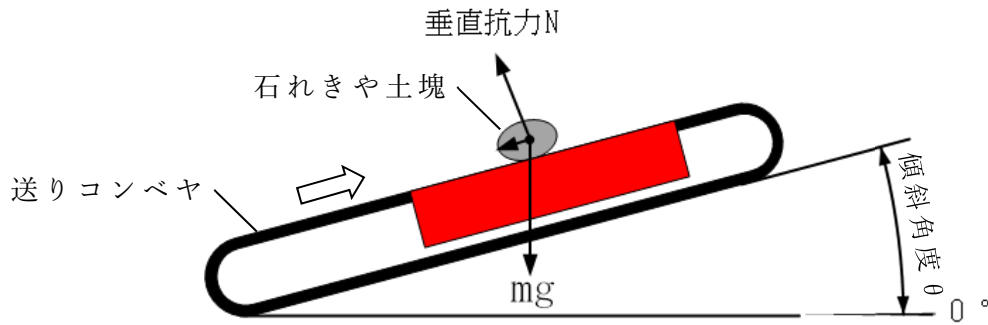


図 4-20 石れきや土塊に作用する力の概略図

$$N = mg \cdot \cos \theta \quad [\text{N}] \quad (4-2)$$

ここに、 m ：石れきや土塊の質量 [kg]

g ：重力加速度 [m/s²]

θ ：傾斜角度 [°]

図 4-21 に示す塊茎の損傷率は、傾斜角度 0.0 ° と 3.5 ° で 0 %，それ以上の角度でも傷の損傷はなく，また皮むけが 1 %以下で低い値であったことから，傾斜角度の違いによって塊茎に与える損傷の影響は極めて少ないことが判明した。

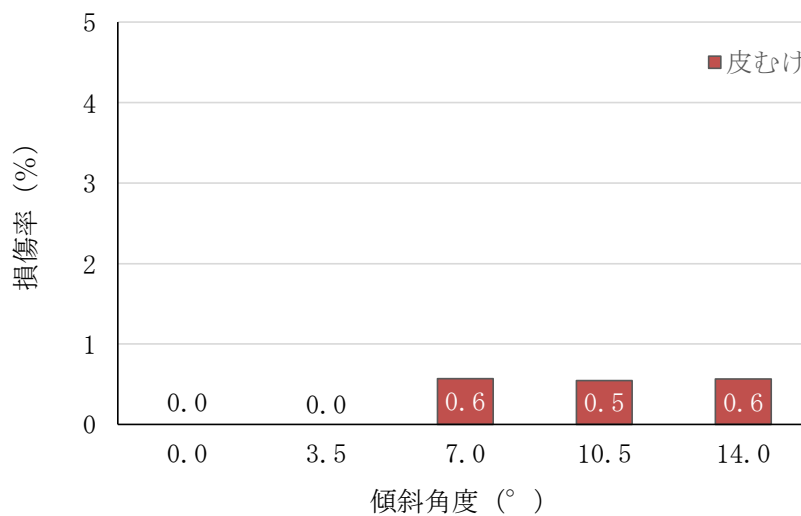


図 4-21 送りコンベヤの傾斜角度と塊茎の損傷率の関係

収穫損失は図 4-22 に示すように、傾斜角度 14.0 ° の場合が 1.3 % と最も高く、それ以外の角度では 1 % 以下の低い値であった。

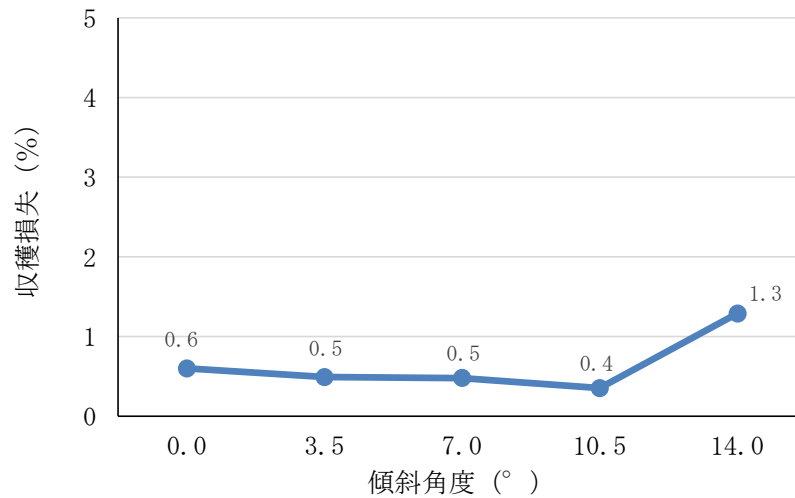


図 4-22 送りコンベヤの傾斜角度と収穫損失の関係

以上の結果から、送りコンベヤの傾斜角度は、石れきや土塊の除去率が最も高く、塊茎の損傷率や収穫損失が低い角度 0.0 ° が最適な設定値であると考えられる。

4.3.4 フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間の影響

図 4-23 はフィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間の違いによる石れきと土塊の除去率を示し、図 4-24 にその試験の状況を隙間毎に示す。

土塊の除去率は、隙間が大きくなるほど高くなり、隙間 10 mm で 65.8 % と最も高い値であった。隙間が大きいと隙間から通り抜ける土塊の量が多くなるため、除去率が比較的高くなると言える。石れきについても、隙間が大きくなるほど除去率が高くなり、隙間 8 mm で 29.7 % と最も高い値を示した。石れきの除去率は土塊の場合より低下しているが土塊と同様に隙間が大きいほど除去率が高くなることが明らかになった。

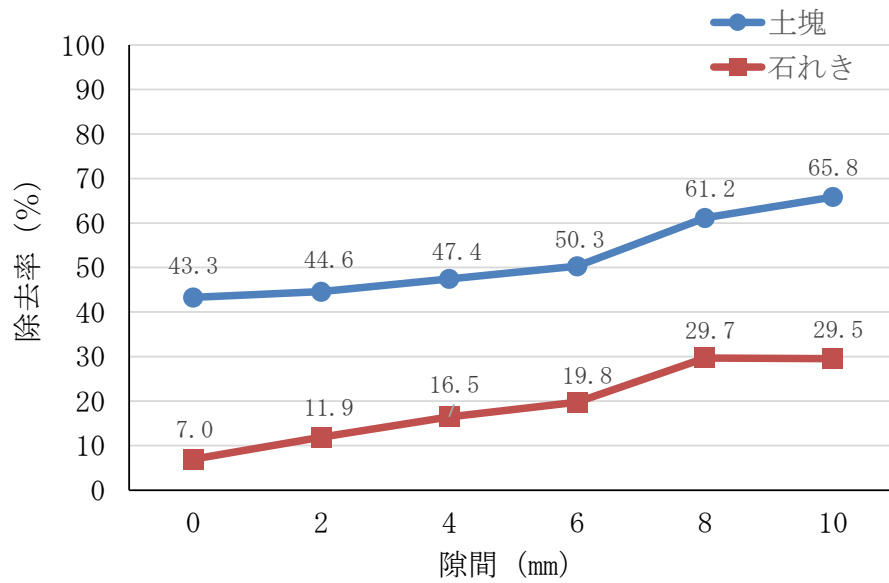


図 4-23 フィンガーコンベヤと
送りコンベヤの隙間と除去率の関係



(a) 隙間 0 mm



(b) 隙間 2 mm



(c) 隙間 4 mm



(d) 隙間 6 mm



(e) 隙間 8 mm



(f) 隙間 10 mm

図 4-24 フィンガーコンベヤと
送りコンベヤの隙間毎の試験の状況

図 4-25 に示す塊茎の損傷率は、隙間 8 mm の場合に 1.7 % と最も高く、条件の中で唯一傷が発生した。次に隙間 4 mm の場合に 1.5 % となり、他は 1 % 以下の低い値であった。いずれの隙間でも損傷率は低い値であり、隙間の大きさとの相関も見られないことから、塊茎の損傷は隙間の大小に影響されないことが示された。

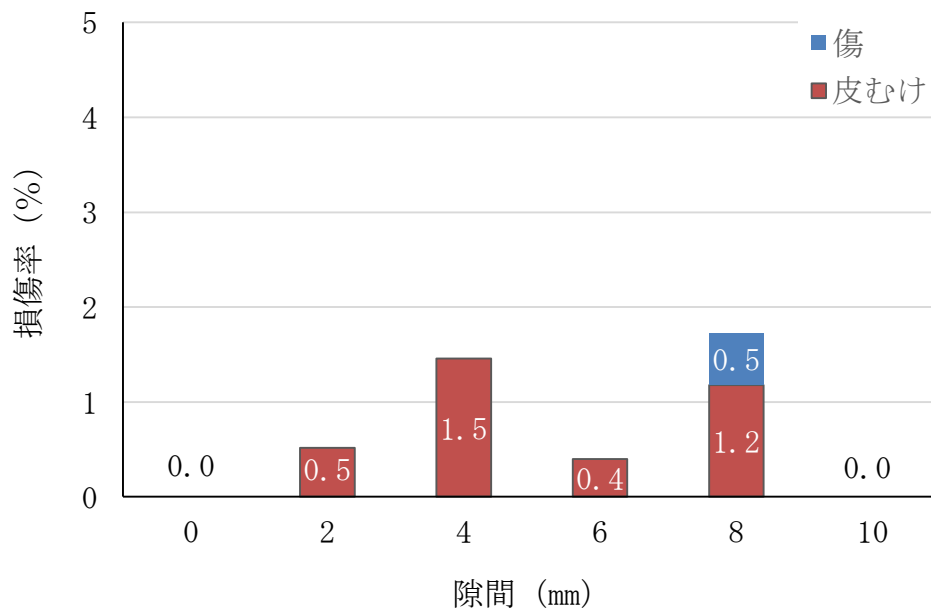


図 4-25 フィンガーコンベヤと
送りコンベヤの隙間と損傷率の関係

図 4-26 は収穫損失の結果を示すが、隙間が大きくなると収穫損失も多くなり、隙間 10 mm で 1.1 % と最も高い値であった。なお、この理由は隙間が大きくなると小さいものが通り抜けやすくなるためである。

以上の結果より、フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間については、収穫損失が 1 % 以下で最も石れきや土塊の除去率が高い 8 mm を設定値とすることが適切であると言える。

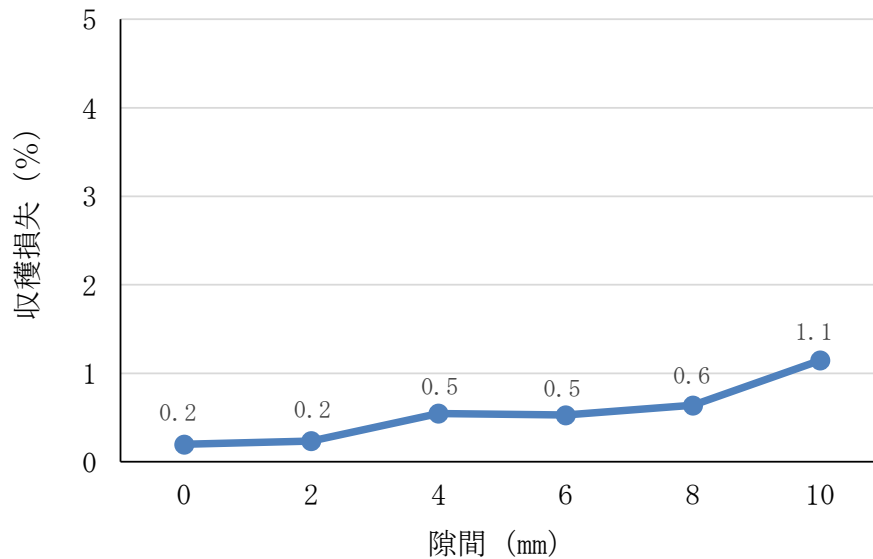


図 4-26 フィンガーコンベヤと
送りコンベヤの隙間と収穫損失の関係

4.4 本章のまとめ

本章では、国産オフセット式ポテトハーベスタに装備されており、今後次世代型ポテトハーベスタにも装備予定のフィンガーコンベヤを供試し、石れきや土塊の除去率、塊茎の損傷、収穫損失について各部位の調整箇所の設定値を変化させて実験を行い、各種設定が処理能力に与える影響を明らかにし、それぞれの項目について最適な設定値を求めることを目的とした。以下に、本章の要約を記す。

- 1) フィンガーコンベヤの角度の違いによる土塊の除去率は、角度が大きいかほど送りコンベヤによって土塊が摩滅される時間が長くなるため高くなり、処理能力が向上することが判明した。また、塊茎の損傷率はいずれの角度でも低く相関も見られないことから、フィンガーコンベヤの角度の違いで塊茎に与える損傷に大きな影響を及

ぼさないことが判明した。したがって、フィンガーコンベヤの設定角度は、土塊の除去率が 49.6 %で最も高く、しかも損傷率が 0 %である角度 20 °が最適である。

- 2) フィンガーコンベヤの周速度が大きくなると、フィンガーコンベヤによって横に流される供試物の速度も大きくなるために、除去するための時間が短くなることから、石れきや土塊の除去率は低下した。塊茎の損傷率はいずれの周速度でも低く、収穫損失は周速度が小さいとバレイショが石れきや土塊と一緒に通り抜けやすくなり、収穫損失が多くなることが判明した。したがって、フィンガーコンベヤの周速度は収穫損失が 1 %以下で最も除去率が高い 0.4 m/s が最適である。
- 3) 送りコンベヤの傾斜角度が大きくなるにしたがって、フィンガーコンベヤによって石れきや土塊が横に流されやすくなるため、石れきや土塊の除去率は低下した。塊茎の損傷率は傾斜角度に影響されずに低い値であったことから、傾斜角度の違いによって塊茎に与える損傷に大きな違いはないことが判明した。収穫損失は傾斜角度 14 °の場合に 1.3 %と最も高く、それ以外の角度では 1 %以下と低い。したがって、送りコンベヤの傾斜角度は、石れきや土塊の除去率が最も高く、損傷率や収穫損失が低い傾斜角度 0 °が最適である。
- 4) フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間が大きいと、隙間から通り抜ける土塊の量が多くなるために土塊の除去率は高くなった。石れきについても、土塊と同様に隙間が大きいほど除去率が高くなることが判明した。しかし、隙間が大きくなると小さいものが通り抜けやすくなるため、収穫損失は高くなる。塊茎の損傷はいずれの隙間でも低い値であり、隙間の大きさに影響されないことが示唆された。

したがって、フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間は、収穫損失が1%以下で最も石れきや土塊の除去率が高い8 mmが最適な隙間である。

- 5) 塊茎の損傷率については、実験を行った4項目のいずれの設定条件でも低い値であったことから、フィンガーコンベヤによる塊茎の損傷の発生が極めて少ないことが明確になった。

以上のように、本研究ではフィンガーコンベヤの試験装置を供試して、各部位の調整箇所の設定値を変更して実験を行い、各種設定が処理能力に与える影響を明確にし、フィンガーコンベヤの最適な設定値を確立することができた。

ポテトハーベスタの作業能率や作業精度に関する性能は第3章で述べたセパレータコンベヤや第4章のフィンガーコンベヤの設定によって石れきや土塊の処理能力に大きく左右される。本研究での結果は圃場での外乱を取り除くために、室内でのベンチ試験を行いそれぞれの特性を明らかにした。今後、実際の圃場実験で微妙な調節が必要になると思われるが、これらの選別コンベヤの特性を明らかにすることで、総合的にポテトハーベスタの性能を向上する技術につながるものと確信できる。

第5章 ロボットトラクタによるポテトハーベスタの 無人けん引収穫の作業性向上の実証試験

5.1 はじめに

ポテトハーベスタによるバレイショの収穫の作業性能を向上させるためには、選別性能や作業速度、省力化など総合的に作業能率を向上させることが重要であり、第2章では現行のハーベスタの作業性能を比較し、きょう雑物の処理能力が大きく影響することを明らかにした。その結果から、第3章と第4章ではきょう雑物の処理能力向上に向けて、セパレータコンベヤとフィンガーコンベヤの性能試験を行い最適な設定値について検討した。しかし、第1章でも述べたように、近年は人手不足によりハーベスタの機上で選別を行う作業者が不足しており、より高性能なポテトハーベスタへの要望が高まり、省人化や省力化、安全性の向上に向けた研究開発が喫緊の課題になっている。

人手不足の解消や省力化のひとつの解決策として、近年ロボットトラクタに関する研究が盛んに進められている。ロボットトラクタとは自動走行が可能なトラクタのことで、実際に実用化されて稲作の耕うんや代掻き作業での利用が拡大している。一方、北海道の大規模畑作では、GNSS ガイダンスを使用した耕起作業や播種作業が増えてきているものの、無人作業が可能なロボットトラクタの普及までには至っていない。GNSS ガイダンスは、GNSS 衛星の信号を受信して測位したトラクタの現在位置をモニターに表示し、農作業に応じた走行経路を案内してくれるシステムで、作業機の操作や枕地旋回、連続した作業の継続などはできないものの、直進走行に対してガイドラインを作成し、オペレータはそのガイドラインに沿ってハンドル操縦を行ったり、

自動操舵装置と組み合わせたりすることによって自動走行が可能である。そのため、運転作業の負担軽減や作業精度の向上につながる技術として、図 5-1 に示すように北海道では急速に普及している¹⁰⁾。しかし、オペレータの乗車は必須であることから、根本的に省人化には繋がっていない。また、近年のバレイショの収穫作業では、GNSS ガイダンスの自動走行を利用し、トラクタから降りて選別作業を行うオペレータが増えている。しかし、旋回時にはトラクタに戻って操作を行わなければならない、トラクタが動いている最中に乗り降りすることで機械にひかれるなどの事故の発生が懸念されている。

一方、ロボットトラクタは、直進作業の自動操舵と枕地での旋回や PTO の入切、ロアリンクの上昇下降などの作業機の操作も自動で行えることから、トラクタにオペレータが乗車しなくても無人作業が可能になるため、省人化に向けて普及が大いに期待されている。ロボットトラクタを利用したバレイショの収穫作業については、ロボットトラクタがポテトハーベスタを無人でけん引し、収穫作業できることが報

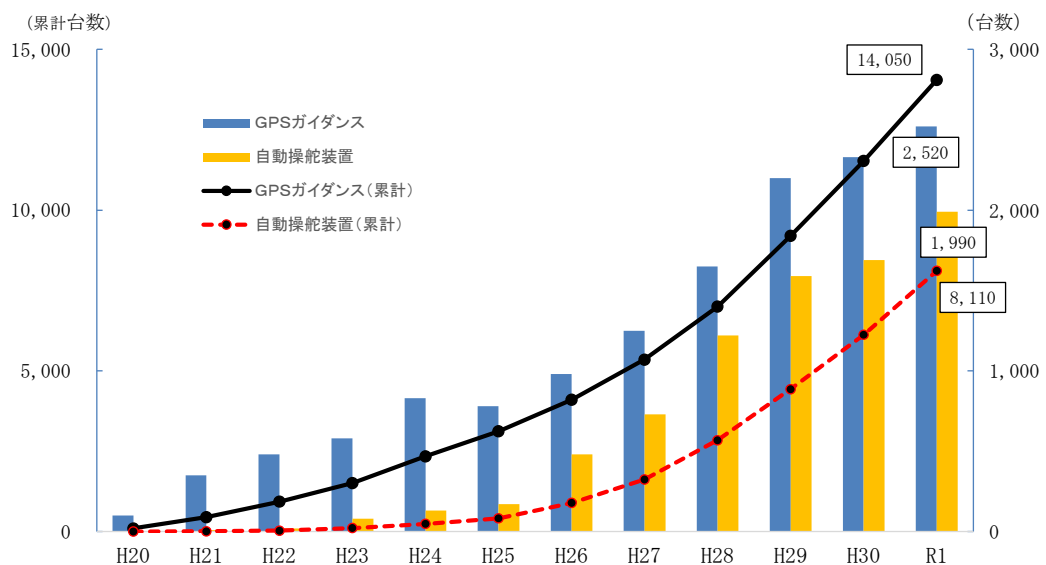


図 5-1 GPS ガイダンスシステムなどの出荷台数の推移

告されているが¹¹⁾、実際の農家圃場で慣行の有人運転と GNSS ガイダンスを使用した自動操舵での収穫性能を比較評価した事例はない。

そこで本研究では、ポテトハーベスタの収穫作業において、ロボットトラクタを使用した無人運転と慣行の有人運転、GNSS ガイダンスを使用した自動操舵運転について同一圃場で比較試験を行い、ロボットトラクタを使用した場合のバレイショ収穫作業時の作業能率および投下労働量の削減割合および作業精度などを総合的に評価し、省人化や省力化、安全性の向上に対するロボットトラクタの効果について明確にすることを目的とした。

5.2 実験装置および実験方法

5.2.1 供試機の概要

本研究に供試したトラクタは図 5-2 に示す機関出力 83 kW のロボットトラクタ（ヤンマーアグリ株式会社，YT5113）であり，その主要諸元を表 5-1 に示す。

ロボットトラクタは高精度作業を行うために誤差 2cm の RTK-GNSS が搭載されており，圃場近くの衛星からの電波を受信しやすい位置に図 5-3 に示す補正用の基地局を設置し，補正情報をロボットトラクタに送信する。自動作業の各種設定や微調整は，トラクタに装備されている図 5-4 のタブレットを使って行う。タブレットはトラクタ内から持ち出して WiFi で遠隔操作を行うこともできる。ロボットトラクタは無人走行が可能なロボットトラクタモードと GNSS ガイダンスに対応したオートトラクタモードが選択でき，オペレータが全てを手動で操作する慣行作業も可能である。



図 5-2 供試したロボットトラクタ

表 5-1 ロボットトラクタ主要諸元

項目	内容	
名称	ヤンマー乗用型トラクタ	
販売型式名	YT5113	
駆動方式	4輪駆動	
機体寸法	全長	4,285mm
	全幅	1,850mm
	全高	3,005mm (格納時 2,710mm)
	最低地上高	450mm
機体質量	3,760kg	
エンジン	型式名	4TNV94FHT
	種類	水冷4サイクル4気筒直噴ディーゼル
	総排気量	3.053L(3,053cc)
	出力/回転速度	83.1kW(113PS)/2,500rpm



図 5-3 位置情報を補正するための基地局



図 5-4 ロボットトラクタに装備されているタブレット

図 5-5 に示すけん引されるオフセット式ポテトハーベスタ（東洋農機(株), TOP1eCVWH)は1畝用であり,その主要諸元を表 5-2 に示す。オフセット式ポテトハーベスタには,近接センサを用いた自動畝合せ機能が装備されており,本来は収穫作業中にオペレータが手動で行う必要があった畝合せ操作を,進行方向に対して左右 40 cm の範囲で自動操作を行うことができる。また,本来はトラクタの運転席に装備するハーベスタ操作用のジョイスティックを図 5-6 のように機上にも装備し,旋回時のハーベスタ側のステアリング操作や掘取時の第 1 コンベヤの上下操作,畝合せの操作などを行えるようにした。このように,ハーベスタのコントローラを機上に装備することにより,トラクタへのオペレータ乗車は不要になり,無人でけん引作業する場合のロボットトラクタの監視をハーベスタの選別作業員が兼務することができる。



図 5-5 オフセット式ポテトハーベスタ

表 5-2 オフセット式ポテトハーベスタ

項目	内容
型式	TOP1eCVWH
形式	けん引式，タンカー形
用途	食用，加工用，種子用
規格	1 畝，オフセット
全長	8,500mm
全幅	格納時3,000mm（作業時 6,260mm）
全高	格納時3,100mm（作業時 2,900mm）
機体質量	6,200kg
茎葉処理	茎葉コンベヤ
製品タンク	5.0m ³ （アンローディングコンベヤ）
小玉タンク	0.9m ³ （アンローディングコンベヤ）
石タンク	0.4m ³ （油圧ダンプ式）
適応トラクタ	74kw（100PS）以上
その他	第1コンベヤ速度無段調整 自動畦合せ装備 自動レベリング装備 タンク自動貯留装備



図 5-6 ハーベスタの機上に装備したジョイスティック

5.2.2 供試圃場

試験は、表 5-3 に示す北海道帯広市広野町安田農場の圃場で行った。圃場の概略を図 5-7 に示すが、圃場の長辺は 132 m であり、両側の枕地はロボットトラクタが十分に旋回できるように 10 m 以上を確保した。また、ロボットトラクタは大回りに旋回するために、往路と復路の間隔を 30 m 以上開けるようにした。畝幅は一般的な 75 cm であり、バレイショの品種は加工用の「スノーデン」である。種芋は、4 畝のポテトプランタを使用して、GNSS ガイダンスなどの自動操舵を使わずに手動のハンドル操作で播種されているため、畝のつなぎ部分で畝幅にバラつきが見られた。

表 5-3 供試圃場

供試圃場		帯広市広野町
畝長さ	(m)	132
畝幅	(m)	0.75
収量	(kg/10a)	3,509
土性		多湿黒ボク土
バレイショ品種		スノーデン

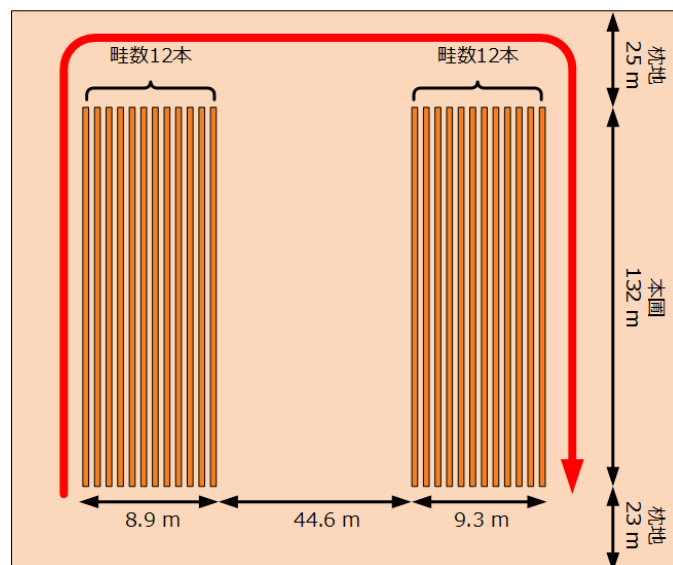


図 5-7 供試圃場概略図

5.2.3 作業能率の試験方法

作業能率の試験方法は、2往復連続して収穫作業を行い、第2章と同様に掘取、旋回、荷降ろし、調整停止などの各作業工程の時間を作業条件ごとに測定した。試験は以下に示すトラクタの運転方法が異なる3つの作業条件で行った。

最初は、オペレータがトラクタに乗車して運転操作を全て手動で行う慣行の方法（以下、有人走行と称する）である。作業人員は、オペレータ1人と機上での選別作業員4人の併せて5人である。

次は、トラクタの旋回、荷降ろし時の操作は手動で行い、掘取を行っている直線走行のトラクタの運転操作のみをGNSSガイダンスと自動操舵装置を使用して自動で行う方法（以下、ガイダンス走行と称する）である。作業人員は、手動走行と同じである。ガイダンス走行は、ロボットトラクタに装備されている直進モードを使用した。ガイダンス走行をさせるための直線経路の生成は、予め手動走行で直線の収穫作業を行い、その際に掘取開始地点（A点）と終了地点（B点）を登録することで、A-B点に平行な75cm間隔の直線経路が自動生成される。本来、このGNSSガイダンスの自動操舵は耕うんや播種作業など、圃場の端から隣接行程を順次往復行程で走行する作業に適しているが、本研究では作成された直線経路に沿って回り込みの収穫作業に対応させて自動のハンドル操作で掘取作業を行った。

最後は、トラクタにオペレータが乗車せず、掘取時の直線走行と旋回の操作をロボットトラクタが自動で行う方法（以下、無人走行と称する）である。図5-8は無人走行での旋回時の様子を示す。オペレータは掘取時にはハーベスタの機上に乗車し、トラクタの監視者と選別作業員を兼務して選別作業を行い、旋回時は機上に装備されたジョイ



図 5-8 無人走行での旋回時の様子

スティックを操作してハーベスタの旋回操作を行った。このように、圃場を走行して掘り取りを行う際はトラクタにはオペレータが乗車していない。しかし、供試したロボットトラクタは荷下ろし位置までの自動走行の機能は搭載されておらず、荷降ろし作業の際はトラクタに乗って作業を行うことになるが、機上での選別作業者を 1 人削減できることになる。したがって、機上での作業人員は選別とトラクタの監視を行うオペレータ兼務の 1 人と、選別のみの作業者 3 人の併せて 4 人となる。無人走行は、ロボットトラクタに装備されているロボットトラクタモードを使用した。設定は、タブレットの画面で作業機の情報と圃場の作業領域を登録し、旋回のパターンを設定することで、作業経路が作成される。供試トラクタは、無人走行でのけん引作業の場合、後退ができないため作業経路は、右回りの回り込み作業で行うように作成した。

無人走行では，作成された作業経路に沿って掘取時の運転操作と旋回を自動で行った。荷降ろし作業時は一旦機上のタブレットでトラクタを停止させ，機上で選別を行っていたオペレータがトラクタに乗車して荷下ろし位置までの移動と排出作業を手動操作で行った。

5.2.4 作業精度の試験方法

無人走行に起因する塊茎の損傷や収穫損失を確認するために，第2章と同様の作業精度試験を行い，有人走行，ガイダンス走行，無人走行の3条件での塊茎の損傷率と収穫損失を測定し評価を行った。調査を行う供試物は，作業能率試験の復路で作業を一旦停止させ，第1選別コンベヤ上にあるバレイシヨを全て採取した。また，収穫損失は図5-9に示すように，収穫後の畝跡を10 m間掘り起こし，掘り残しや埋もれ，こぼれたバレイシヨを採取した。作業能率試験は1つの条件で2往復するため，供試物は同一条件で2回採取した。これら採取したバレイシヨは，第2章の作業精度試験と同様に，手洗いして乾燥後1週間以上放置してから，ハーベスタの作業精度に直接関係しない規格外品のバレイシヨ（小さいも，くされいも，青いも，奇形いも，病気いも）を除いた，規格品，損傷，収穫損失に分類し質量を測定した。



図 5-9 掘り残しいもの調査風景

5.3 実験結果および考察

5.3.1 作業能率の試験結果

図 5-10 に無人走行での掘取作業と，図 5-11 に無人走行で枕地旋回をして畝に入る状況を (a) から (f) の連続写真で示す。無人走行の試験ではタブレットで作成した作業経路に沿って掘取時の運転と枕地旋回の操作を自動で行い，荷降ろし作業以外は停止することなく無人で連続作業をすることができた。

作業能率の試験結果を表 5-4 に示す。作業能率で比較すると，有人走行が 0.090 ha/h でガイダンス走行と無人走行が 0.098 ha/h であった。有人走行は他の走行条件と比較して，作業速度が 0.69 m/s と遅かったことや荷降ろしに時間を要したため，作業能率が低かったことが考えられる。作業速度については，他の走行条件と同じ速度に合わせて行ったが，手動で作業速度を調整したためトラクタの計器の差異によって生じたものである。荷降ろしの時間については，コンテナに貯まっ



図 5-10 無人走行による掘取作業



図 5-11 無人走行で枕地旋回して畝に入る状況

表 5-4 作業能率の試験結果

作業条件	総作業時間 (h)	作業速度 (m/s)	作業時間割合 (%)				作業能率 (ha/h)	投下労働時間 (人・時/ha)
			掘取	旋回	荷降ろし	調整停止		
有人走行	0.439	0.69	48.8	38.2	13.0	0.0	0.090	55.4
ガイダンス走行	0.406	0.72	50.4	38.4	11.2	0.0	0.098	51.2
無人走行	0.405	0.74	49.0	37.8	10.0	3.2	0.098	40.9

ているバレイショの量によって、次にコンテナに排出する際の操作回数が異なるために生じる差であり、いずれの走行条件でも荷降ろし時間に与える影響は少ないと考える。

次に、ガイダンス走行と無人走行を比較すると、作業能率は同じであるが、作業速度はロボット走行が 0.74 m/s でガイダンス走行の 0.72 m/s より若干速かった。しかし、無人走行では調整停止が 3.2%発生したため、同じ作業能率になったと考えられる。この調整停止は、荷降ろし作業の前に機上に乗車していたオペレータがトラクタに乗り換えるために一旦停止した時間である。

以上のことから、無人走行でも掘取や枕地旋回を確実に行うことができ、有人走行やガイダンス走行と同等もしくはそれ以上の作業能率で作業が可能であることを実証することができた。

投下労働量は表 5-4 に示すように、有人走行が 55.4 人・時/ha で最も多く、次にガイダンス走行が 51.2 人・時/ha であった。有人走行とガイダンス走行を比較すると、ガイダンス走行は作業能率が高かったため投下労働量は少ないが、作業人数が同じであるため、さほど投下労働量の削減にはつながらない結果であった。ただし、ガイダンス走行は掘取作業時の運転操作が自動で行われるため、オペレータの疲労軽減には寄与するものと思われる。

一方、無人走行の投下労働量は 40.9 人・時/ha で最も少なく、有人走行に対して 26 %、ガイダンス走行に対して 20 %削減できることが判明した。これは、機上の選別作業者をオペレータが兼ねることで有人走行やガイダンス走行よりも人員を 1 人削減できたためであり、無人走行でも一部手動操作を必要とする操作があるももの、有人走行やガイダンス走行と同じように収穫作業を行えることが実証できた。

また、実際の収穫現場では、必ずしも本試験と同じ作業人数で行えるとは限らず、作業人数が少ない場合が多い。そこで表 5-5 は、本試

表 5-5 作業人数別の投下労働量と削減率

条件	作業人数 ^(注)			
	5人 (4人)	4人 (3人)	3人 (2人)	
投下労働時間 (人・時/ha)	a有人走行	55.4	44.3	33.2
	bガイダンス走行	51.2	41.0	30.7
	c無人走行	40.9	30.7	20.4
削減率 (%)	aに対する削減率	26.2	30.7	38.6
	bに対する削減率	20.1	25.1	33.6

注：カッコ内の人数は、無人走行時の人数である。

験の結果と作業者の人数を 1 人少ない場合と 2 人少ない場合での投下労働量と削減率を試算した結果を併記する。試算する際の作業能率は人数に関わらず本試験の結果を用い、削減率は有人走行とガイダンス走行に対するロボットトラクタによる無人走行の投下労働量の削減率である。試算の結果、投下労働量は各条件とも作業者の人数に比例して減少する。慣行の有人走行に比べて無人走行の場合の削減率は 1 名減った場合が 31%，2 名減った場合は 39%となり、作業人数が少ないほど作業性能が向上することが明らかとなり、今後バレイショの収穫作業でのロボットトラクタの活用が大いに期待される。

課題として残された点は、無人走行の場合、枕地旋回後にハーベスタの掘取口を畝に合わせるために機上で畝合せの操作を行ったが、旋回から畝に入るまでの時間が短いために、図 5-12 に示すように操作が間に合わず畝から外れた状態で掘り取りを開始してしまい、掘り残し



図 5-12 無人走行で掘取開始直後のズレ

が生じることがあった。改善方法としては、旋回後畝に入るまでの距離を長くするか、走行速度を一時的に遅くし、畝に合わせる時間を長くすることが考えられる。現行のロボットトラクタの場合は、走行経路を作成する際に自動で生成されてしまうため、パラメータで補正できるようにするなどのソフトウェアの改良が望まれる。

5.3.2 作業精度の試験結果

作業精度の試験結果を表 5-6 に示す。塊茎の損傷率で比較すると、有人走行が最も低く 1.6 %であった。次に無人走行の損傷率は 3.6 %であり、最も高かったのがガイダンス走行の 4.4 %であった。しかし、いずれも塊茎の損傷率は 5.0 %以下と低く、良好な掘り取りであった。

ガイダンス走行で損傷率が高かった要因としては、掘取部の中心と畝の中心がずれていたことが考えられる。本試験を行った圃場の植付けは GNSS ガイダンスなどを利用せずに手動でハンドル操作が行われていたため、畝のつなぎ部分で誤差が生じてしまい、その誤差は作業工程が増すほど累積されてしまい次第に大きな誤差になったことに起因する。ガイダンス走行は最初に直線経路を作成するが、基準となる直線は往路で作成したため復路での直線経路に誤差が生じてしまった。この誤差については、図 5-13 に示すハーベスタに装備されている畝合せ用の油圧シリンダを動作させることによって、掘取部を左右 40 cm

表 5-6 作業精度の試験結果

作業条件	規格品率 (%)	損傷率 (%)	損傷内訳 (%)			収穫損失 (kg)
			傷	皮むけ	打撲	
有人走行	98.4	1.6	1.6	0.0	0.0	0.024
ガイダンス走行	95.6	4.4	4.0	0.4	0.0	0.089
無人走行	96.4	3.6	2.1	1.0	0.5	0.066



図 5-13 掘取部の概要

の範囲で補正することができる。また、ロボットトラクタにはタブレットでトラクタの走行経路を±10 cm の範囲で左右に補正できる機能が搭載されている。しかし、実験時にはそれよりも大きなズレが生じてしまい補正しきれず、掘取部に装備されている茎葉を切断するコールタでバレイショが切断され、傷が発生したと推察される。対応の方法としては、直線経路を作成する際の畝幅を 75 cm の半分である 37.5 cm にすることによって、畝 1 列につき 2 本のガイドラインを作成し、畝に入るときに誤差の少ない方の経路を選択することで、ハーベスタとトラクタの補正範囲以内での誤差で収穫作業が可能になる。

無人走行の損傷率は前述のように 3.6 %で有人走行の 1.6 %よりも 2 ポイント高い結果ではあったが、損傷率としては低い値であり問題になるような損傷はなかった。なお、10 m 当たりの収穫損失については、いずれの走行条件でも 0.01 kg 以下であり、問題になるような損失はなかった。

5.4 本章のまとめ

本章では、バレイショ収穫作業の作業性の向上と省力・省人化を目的に、ロボットトラクタを利用したポテトハーベスタの無人けん引作業の可能性について実証試験を行った。試験では、ロボットトラクタを利用した無人運転と慣行の有人運転および GNSS ガイダンスを使用したガイダンス運転について同一圃場で比較試験を行い、バレイショ収穫作業時の作業能率、投下労働量の削減効果、作業精度、および安全性などを評価することを目的とした。以下に、本章の要約を記す。

- 1) 作業能率は、有人走行が 0.090 ha/h でガイダンス走行と無人走行が 0.098 ha/h であった。無人走行はオペレータがハーベスタからトラクタに乗車するための調整停止の割合が 3.2 %あったが、有人走行やガイダンス走行と同等もしくはそれ以上の作業能率で作業できることが明らかになった。
- 2) 無人走行は、機上の選別作業者がロボットトラクタの監視とオペレータを兼ねることで、有人走行やガイダンス走行よりも人員が 1 人少ない状態となるが、十分に収穫作業を行えることが実証された。投下労働量は、有人走行が 55.4 人・時/ha、ガイダンス走行は 51.2 人・時/ha であり、無人走行の場合は 40.9 人・時/ha となり、有人走行に対して 26 %、ガイダンス走行に対して 20 %削減できることが判明した。また、作業人数が本試験の条件より 1 人および 2 人少ない場合の投下労働量を試算した結果、各条件とも人数に比例して減少することが示され、削減率は作業人数が少ないほど高くなり、無人走行での削減効果が大きいことが判明した。
- 3) 無人走行の課題として、旋回から畝に入るまでの時間が短いために、

畝合せの操作が間に合わず畝からズレた状態で掘り取りを開始してしまい、掘り残しが生じることがあった。そのため、旋回距離や作業速度をパラメータなどで調整できるようにソフトウェアの改良が必要であることが示された。

- 4) 無人走行に起因する塊茎の損傷や収穫損失を確認するために、作業精度試験を行った。ガイダンス走行で掘取部の中心と畝の中心に誤差が生じたことで発生したと思われる損傷は見られたが、いずれの走行条件も 5.0 %以下で良好な掘り取りであった。10m 当たりの収穫損失は、いずれの走行条件でも 0.01 kg 以下であり、問題になるような損失がなかった。よって、無人走行に起因する塊茎の損傷や収穫損失は見られないことが実証された。

以上のように、ロボットトラクタを使用したバレイショ収穫の無人走行は、有人走行やガイダンス走行と同様に収穫作業を行えることが確認され、投下労働量についても有人走行と比較して 26 %削減することが示された。また、ロボットトラクタでバレイショの収穫作業を行うことで、オペレータの収穫作業時の乗り降りが不要になることから、安全性についても寄与できることが示された。今後、大規模畑作においてもロボットトラクタを利用することで、人手不足の解消や省力化によるバレイショ収穫の作業性能の向上が大いに期待できる。

第 6 章 総括

本研究は、大規模畑作地帯のバレイショ生産に貢献するために、農家戸数の減少による更なる一戸当たりの作付面積の拡大、ハーベスタの機上で選別を行う作業者の不足、コントラクタなどの委託作業の増大に対応するなど、より高性能な次世代型ポテトハーベスタの開発に向けた作業性能向上に関する研究である。本研究によって得られた主要な結果は各章ごとに以下のようにまとめることができる。

6.1 ポテトハーベスタの作業性能向上に関する現行機の 性能評価（第 2 章）

本章では、現在一般に利用されているポテトハーベスタと開発段階であるポテトハーベスタを供試して作業精度試験と作業能率試験を実施し、作業性能について比較評価を行った。

- 1) 食用インライン式は、タイヤ踏みによる塊茎の損傷割合が大きい。また、タイヤ踏みによって生成された土塊が機上に多く上がってくることで、その土塊を処理する能力の低さが作業能率を低下させる要因であることが判明した。
- 2) タイヤ踏みの影響が無い国産オフセット式は、食用インライン式と比較して収穫した塊茎の損傷率は 2.4 ポイント低く、また実作業能率も 1.5 倍高いことから作業精度と作業能率の両面で優れていると言える。
- 3) でん原インライン式の塊茎の損傷率は 81.0 % と高いものの、土塊混入率は 9.6 % と低い値であったことから、土塊などのきょう雑物を

処理する能力が優れており、作業能率に特化して開発されたハーベスタであることが示された。

- 4) 国産新型オフセット式は、海外製オフセット式よりも作業能率では劣るものの作業精度では損傷率で 4.0 ポイント優れており、特に北海道で栽培されている品種に適応できるように損傷軽減の改良がなされていることが確認できた。
- 5) 海外オフセットは作業精度では国産機に劣るが、実作業能率は国産機の 1.3 倍であり、欧米の大規模面積向けに能率重視で作られていることが明確になった。

以上のように、国産機はわが国のバレイショの特性に合わせた損傷軽減を重視した設計であり、海外製は旋回や荷降ろしも含め作業能率を重視した設計であることが明確になった。また、高性能な次世代型ポテトハーベスタの開発に向けては、塊茎の損傷防止と収穫機全体の操作性の向上はもちろんのこと、作業速度はきょう雑物の処理能力に大きく左右されることから、ポテトハーベスタの作業性能を向上させるためにはこれらの要素を総合的に評価して検討を行う必要がある。

6.2 セパレータコンベヤの処理能力に関する実験と

最適値の検討（第3章）

本章では、国産オフセット式ポテトハーベスタに装備されており、また今後次世代型ポテトハーベスタにも装備予定のセパレータコンベヤを供試し、石れきや土塊の除去率、塊茎の損傷、収穫損失について、各部位の調整箇所の設定値を変化させて実験を行い、各種設定が処理能力に与える影響を明らかにし、それぞれの項目について最適な設定

値を明らかにした。

- 1) SP ローラの角度の違いによる土塊の除去率は、角度 10°の場合が最も高く、角度が大きくなるにしたがって SP ローラに沿って流れる供試物の速度が大きくなり、また滞留する時間も短くなるため、除去率が小さくなり、処理能力が低下することが判明した。一方、塊茎の損傷率は、SP ローラの角度が小さいと滞留時間が長くなり、コンベア上で石れきや土塊にもまれることで損傷が多く発生することが判明した。SP ローラの角度は損傷率が低い 15°以上の中で最も除去率が高い 15°が最適な設定値と言える。
- 2) コンベヤの周速度の違いによる石れきや土塊の除去率の関係は、周速度が大きい場合 SP ローラに衝突した際の衝撃が大きくなるため、土塊が砕けやすくなり処理率が高くなる。また、周速度が小さい場合は SP ローラの部分で滞留する時間が長くなり、コンベヤによって摩滅しやすくなるので除去率が高くなった。塊茎の損傷率は、周速度が大きくなると土塊の除去率も高くなるが、衝撃によって塊茎の損傷も多くなることが明らかになった。コンベヤの周速度は損傷率を重視すると 0.9 m/s が最適な設定値であると言える。
- 3) SP ローラとコンベヤの隙間の違いによる石れきや土塊の除去率は、両者の隙間が大きくなるほど除去率が高くなり、隙間 10 mm で 47.3 %と最も高い値となった。塊茎の損傷率は、土塊の除去率が高いと損傷率も高くなる傾向にあり、要因としては SP ローラとコンベヤの隙間でのかみ込みにより皮むけが多くなったものと考えられる。SP ローラとコンベヤの隙間は、損傷がどの条件でも 5 %以下であったことから、最も除去率の高い隙間 10 mm が最適であると言える。

る。

- 4) 石れきの除去率については，SP ローラとコンベヤの隙間の試験では，隙間が大きいほど除去率が高くなる傾向が見られたが，どの試験項目でも低い値を示していることから，セパレータコンベヤによる石れきの処理能力は低いことが判明した。
- 5) 収穫損失については，今回行った試験の調整範囲ではいずれの試験項目でも 0.1 %以下であり，コンベヤの性能に影響しないことが明らかになった。

以上のように，本研究ではセパレータコンベヤの試験装置を供試して，各部位の調整箇所の設定値を変更して試験を行い，各種設定が処理能力に与える影響を解明し，さらにはセパレータコンベヤの最適な設定値を決定することができた。

6.3 フィンガーコンベヤの処理能力に関する実験と最適値の検討（第4章）

本章では，国産オフセット式ポテトハーベスタに装備されており，今後次世代型ポテトハーベスタにも装備予定のフィンガーコンベヤを供試し，石れきや土塊の除去率，塊茎の損傷，収穫損失について各部位の調整箇所の設定値を変化させて実験を行い，各種設定が処理能力に与える影響を明らかにし，それぞれの項目について最適な設定値を求めることを目的とした。

- 1) フィンガーコンベヤの角度の違いによる土塊の除去率は，角度が大きいほど送りコンベヤによって土塊が摩滅される時間が長くなる

ため高くなり、処理能力が向上することが判明した。また、塊茎の損傷率はいずれの角度でも低く相関も見られないことから、フィンガーコンベヤの角度の違いで塊茎に与える損傷に大きな影響を及ぼさないことが判明した。したがって、フィンガーコンベヤの設定角度は、土塊の除去率が 49.6 %で最も高く、しかも損傷率が 0 %である角度 20 °が最適である。

- 2) フィンガーコンベヤの周速度が大きくなると、フィンガーコンベヤによって横に流される供試物の速度も大きくなるために、除去するための時間が短くなることから、石れきや土塊の除去率は低下した。塊茎の損傷率はいずれの周速度でも低く、収穫損失は周速度が小さいとバレイショが石れきや土塊と一緒に通り抜けやすくなり、収穫損失が多くなることが判明した。したがって、フィンガーコンベヤの周速度は収穫損失が 1 %以下で最も除去率が高い 0.4 m/s が最適である。
- 3) 送りコンベヤの傾斜角度が大きくなるにしたがって、フィンガーコンベヤによって石れきや土塊が横に流されやすくなるため、石れきや土塊の除去率は低下した。塊茎の損傷率は傾斜角度に影響されずに低い値であったことから、傾斜角度の違いによって塊茎に与える損傷に大きな違いはないことが判明した。収穫損失は傾斜角度 14 °の場合に 1.3 %と最も高く、それ以外の角度では 1 %以下と低い。したがって、送りコンベヤの傾斜角度は、石れきや土塊の除去率が最も高く、損傷率や収穫損失が低い傾斜角度 0 °が最適である。
- 4) フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間が大きいと、隙間から通り抜ける土塊の量が多くなるために土塊の除去率は高くなった。石れきについても、土塊と同様に隙間が大きいほど除去率が高くなる

ことが判明した。しかし、隙間が大きくなると小さいものが通り抜けやすくなるため、収穫損失は高くなる。塊茎の損傷はいずれの隙間でも低い値であり、隙間の大きさに影響されないことが示唆された。したがって、フィンガーコンベヤと送りコンベヤの隙間は、収穫損失が1%以下で最も石れきや土塊の除去率が高い8 mmが最適な隙間である。

- 5) 塊茎の損傷率については、実験を行った4項目のいずれの設定条件でも低い値であったことから、フィンガーコンベヤによる塊茎の損傷の発生が極めて少ないことが明確になった。

以上のように、本研究ではフィンガーコンベヤの試験装置を供試して、各部位の調整箇所の設定値を変更して実験を行い、各種設定が処理能力に与える影響を明確にし、フィンガーコンベヤの最適な設定値を確立することができた。

ポテトハーベスタの作業能率や作業精度に関する性能は第3章で述べたセパレータコンベヤや第4章のフィンガーコンベヤの設定によって石れきや土塊の処理能力に大きく左右される。本研究での結果は圃場での外乱を取り除くために、室内でのベンチ試験を行いそれぞれの特性を明らかにした。今後、実際の圃場実験で微妙な調節が必要になると思われるが、これらの選別コンベヤの特性を明らかにすることで、総合的にポテトハーベスタの性能を向上する技術につながるものと確信できる。

6.4 ロボットトラクタによるポテトハーベスタの

無人けん引収穫の作業性向上の実証試験（第5章）

本章では、バレイショ収穫作業の作業性の向上と省力・省人化を目的に、ロボットトラクタを利用したポテトハーベスタの無人けん引作業の可能性について実証試験を行った。試験では、ロボットトラクタを利用した無人運転と慣行の有人運転およびGNSSガイダンスを使用したガイダンス運転について同一圃場で比較試験を行い、バレイショ収穫作業時の作業能率、投下労働量の削減効果、作業精度、および安全性などを評価することを目的とした。

- 1) 作業能率は、有人走行が 0.090 ha/h でガイダンス走行と無人走行が 0.098 ha/h であった。無人走行はオペレータがハーベスタからトラクタに乗車するための調整停止の割合が 3.2 %あったが、有人走行やガイダンス走行と同等もしくはそれ以上の作業能率で作業できることが明らかになった。
- 2) 無人走行は、機上の選別作業者がロボットトラクタの監視とオペレータを兼ねることで、有人走行やガイダンス走行よりも人員が 1 人少ない状態となるが、十分に収穫作業を行えることが実証された。投下労働量は、有人走行が 55.4 人・時/ha、ガイダンス走行は 51.2 人・時/ha であり、無人走行の場合は 40.9 人・時/ha となり、有人走行に対して 26 %、ガイダンス走行に対して 20 %削減できることが判明した。また、作業人数が本試験の条件より 1 人および 2 人少ない場合の投下労働量を試算した結果、各条件とも人数に比例して減少することが示され、削減率は作業人数が少ないほど高くなり、無人走行での削減効果が大きいことが判明した。

- 3) 無人走行の課題として、旋回から畝に入るまでの時間が短いために、畝合せの操作が間に合わず畝からズレた状態で掘り取りを開始してしまい、掘り残しが生じることがあった。そのため、旋回距離や作業速度をパラメータなどで調整できるようにソフトウェアの改良が必要であることが示された。
- 4) 無人走行に起因する塊茎の損傷や収穫損失を確認するために、作業精度試験を行った。ガイダンス走行で掘取部の中心と畝の中心に誤差が生じたことで発生したと思われる損傷は見られたが、いずれの走行条件も 5.0 %以下で良好な掘り取りであった。10m 当たりの収穫損失は、いずれの走行条件でも 0.01 kg 以下であり、問題になるような損失がなかった。よって、無人走行に起因する塊茎の損傷や収穫損失は見られないことが実証された。

以上のように、ロボットトラクタを使用したバレイショ収穫の無人走行は、有人走行やガイダンス走行と同様に収穫作業を行えることが確認され、投下労働量についても有人走行と比較して 26 %削減することが示された。また、ロボットトラクタでバレイショの収穫作業を行うことで、オペレータの収穫作業時の乗り降りが不要になることから、安全性についても寄与できることが示された。今後、大規模畑作においてもロボットトラクタを利用することで、人手不足の解消や省力化によるバレイショ収穫の作業性能の向上が大いに期待できる。

6.5 結言

本研究では、より高性能な次世代型ポテトハーベスタの開発に向けて、搭載予定のコンベヤについての各種設定値の確立と、人手不足の

解消や省力化に向けたロボットトラクタの利用効果について示すことができた。現在、バレイショの作付面積は、人手不足と収穫に多くの投下労働力が必要なことから、他の作物に置き換える農家が増えてきており年々減少している。バレイショの供給量は決して多くはなく、台風などの災害で生産量が落ちると、市場の需要に影響が出てしまう状況であることは経験済みである。今後、本研究で得られた成果から次世代型ポテトハーベスタが開発されることによって収穫の作業性能が向上し、バレイショの増産に寄与できれば幸いである。

謝辞

本研究論文は、2017年10月から2021年3月まで、博士課程の学位論文として、岩手大学大学院連合農学研究科生物環境科学専攻（帯広畜産大学）博士課程の在学中に行われたものである。

本研究の遂行と論文をまとめるにあたり、帯広畜産大学環境農学研究部門農業環境工学分野の佐藤禎稔教授には主指導教員として、研究計画から研究方法、圃場調査、分析方法および本研究論文の作成まで、全般にわたり終始懇切丁寧にご指導いただき、心から深甚な感謝の意を申し上げます。

本研究の研究指導では、帯広畜産大学環境農学研究部門農業環境工学分野の岸本正教授、山形大学農学部 of 片平光彦教授、現在は退職なされました岩手大学農学部の武田純一囑託教授に研究計画や研究の進捗状況に関してご助言をいただきました。また、本論文の校閲に関しては、弘前大学農学生命科学部の張樹槐教授のご助言をいただき感謝申し上げます。また、試験機材の準備、試験の手伝い、本論文の校正など多岐にわたりご協力いただいた帯広畜産大学環境農学研究部門農業環境工学分野の藤本与助教に感謝を申し上げます。

圃場試験でご協力いただいた帯広市基松町の有限会社和田農園様、更別町香川区の井脇健治様、帯広市広野町の安田宏志様に感謝を申し上げます。

また、学術的な協力者として、研究論文の英語校正に協力してくれた修士学生の Sohel Adnan さんに感謝を申し上げます。その他、収穫機の圃場試験でデータ取りを手伝ってくれた豊野汀之さん、コンベヤの

性能試験で測定を手伝ってくれた福岡日向さんと矢野萌さん，その他の学生には実験の補助をしていただきました。

末尾ながら，本研究が関係各位の多大なるご支援によってここにあることを記して，改めて心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (社)北海道農業機械工業会, 北海道農業機械発達史, 221, 1988.
- 2) 農林水産省「作物統計」(平成2年産まで), 「野菜生産出荷統計」(平成3年産以降), 北海道統計(昭和23年産まで)
- 3) 宮本啓二, バレイショ塊茎の打撲による内部損傷の発生と応力に関する研究, 帯広畜産大学学術研究報告. 第I部, 11(1), 207-213, 1978.
- 4) 大橋敏伸, 船引邦弘, 根菜類・イモ類の収穫用機械. 農業食料工学会編, 農業食料工学ハンドブック. コロナ社, 東京, 737-739, 2020.
- 5) 東洋農機株式会社, ポテト・ハーベスタートローヤーTPH2 取扱説明書, 4, 1976.
- 6) 東洋農機株式会社, ポテト・ハーベスタートローヤーTPH7-A 型取扱説明書, 1, 1982
- 7) 北海道立十勝農業試験場作物科, 良質食用・加工用ばれいしょの栽培技術確立(303110), 昭和57~59年.
<https://www.hro.or.jp/list/agricultural/center/kenkyuseika/gaiyosho/S60gaiyo/1984036.htm> (2020年12月9日参照).
- 8) 農業・食品産業技術総合研究機構農業技術革新工学研究センター, 旧型式検査 - 合格機一覧, 2020.
<http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/iam/contents/tstkmn/index.html> (2020年12月9日参照).
- 9) 農業・食品産業技術総合研究機構農業技術革新工学研究センター, ポテト・ハーベスターの型式検査の主要な実施方法及び基準, 1997.
- 10) 北海道農政部生産振興局技術普及課, GPS ガイダンスシステム等

の出荷台数の推移，2020

http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/gjf/GPS_GuidanceSystem/GPS_GuidanceSystem_introduction_results-2020.pdf(2020年12月2日参照).

- 11) 佐藤禎稔，畑作用ロボットトラクタの開発と現状の課題，農業ロボットの最前線，シーエムシー出版，東京，89-102，2020.

Studies on improving work performance of potato harvesters

Kunihiro Funabiki

Summary

In this study, in order to contribute to potato production for large-scale farming areas, the planted area per farmer was further expanded due to the decrease in the number of farm households, the shortage of workers for sorting of the harvester's machine, and the consignment of the contractors. The objective of this study is to improve work performance by the development of advanced potato harvester to cope with the increase in area per farm and shortage of labor.

This doctor dissertation consists of 6 chapters. Chapter 1 describes the study. Chapter 2 describes the work performance of each model by conducting operation accuracy and work efficiency tests by using current potato harvesters. Chapters 3 and 4 describe the creation of bench test device for the conveyor that processes the impurities mounted on the potato harvester, and determine the optimum setting values for mounting on the advance potato harvester. Chapter 5 describes the experiments in the evaluation of operational accuracy and work efficiency while towing a potato harvester with a robot tractor. At that period harvester use the conventional towing harvesting work in which the operator manually runs with the robot tractor and GNSS guidance. Compared to the operational accuracy, work

efficiency of unmanned driving includes the case of harvesting by automatic steering and headland turning by a robot tractor with the case of harvesting by automatic steering only at the time of harvest using manual driving and GNSS guidance. Finally, Chapter 6 describes the summary of this study.

Performance evaluation of the current models for development of advanced potato harvester.

Operational accuracy and work efficiency tests were conducted by using a potato harvester that is generally used at present and a potato harvester which will be used in the development stage. Therefore, a comparative evaluation was performed on the work performance. The results clearly demonstrate that a domestic offset-type harvester is much more accurate and efficient than an old model inline-type harvester for edible potatoes. Next, an inline-type harvester is developed specifically for starch production and measuring efficiency. The new domestic offset-type harvester is superior to the overseas offset-type by 4.0 points in the potato damage rate, and the work efficiency of the overseas harvester is 1.3 times higher than that of the new domestic offset harvester.

In addition, the development of a high-performance advance potato harvester, does not only prevent tuber damage and improve the operability of the entire harvester, but also working speed is largely affected by the processing capacity of impurities. Therefore, it is necessary to evaluate and examine these factors comprehensively in order to improve the working performance of the potato harvester.

Experiment on the processing capacity of the separator conveyor and examination of the optimum value.

The performance evaluation of the current machine shows that it is necessary to increase the sorting capacity of the processing equipment in order to improve the performance of the harvester. Therefore, we tried a separator conveyor which is installed in domestic offset potato harvesters and that will be installed in advanced potato harvesters in the future. The influence of various settings on the processing capacity of stone and clod, optimum setting values for each item were defined by changing the setting values of the adjustment points of each part.

It was found that the removal rate of clod due to the difference in the angle of the SP roller was highest when the angle was 10 °, and the removal rate decreased as the angle increased, and the processing capacity decreased. It was found that if the angle of the SP roller is small, the residence time becomes long, and many damages take place because of being caught in stone and clod on the conveyor. Therefore, it can be said that the optimum setting value for the SP roller angle is 15 °, which has the highest removal rate among the 15 ° or more, and it has a low damage rate.

Regarding the relationship between the removal rate of stone and clod due to the difference in the peripheral speed of the conveyor, when the peripheral speed is high, the impact of colliding with the SP roller is large, so the soil lumps are easily crushed and the processing rate is high. When the peripheral speed was slow, the time spent at the SP roller was long, and clod was crushed by the conveyor, resulting in a high removal rate. It was clarified that the damage rate of tubers increases due to the impact of increased

peripheral velocity. Circumferential speed of the conveyor, 0.9 m / s when emphasizing damage rate is said to be the optimum setting value.

The removal rate of stone and clod mass due to the difference in the gap between the SP roller and the conveyor increased as the gap between the two increased, and it was highest at a gap of 10 mm. As for the damage rate of tubers, the higher the removal rate of soil mass, the higher the damage rate tends to be. It was observed that the potatoes got caught in the gap between the SP roller and the conveyor, resulting in more peeling. Therefore, the gap between the SP roller and the conveyor was 5% or less under all conditions, so it can be said that the gap of 10 mm, which has the highest removal rate, is optimal.

As for the stone removal rate, all the test items showed low values, indicating that the separator conveyor has a low stone processing capacity.

Experiments on the processing capacity of finger conveyors and examination of optimum values

The finger conveyor, which is install in the domestic offset type potato harvester will be install in advanced potato harvester in the future, was tested. The influence of various settings on the processing capacity of stone and clod, optimum setting values for each item were defined by changing the setting values of the adjustment points of each part.

Regarding the removal rate of clod due to the difference in the angle of the finger conveyor, it was found that the larger the angle, the longer was the time for the clod to be crushed by the feed conveyor, and the higher the processing capacity. Therefore, the optimum angle for setting the finger

conveyor is 20 °, which has the highest clod removal rate of 49.6% and a damage rate of 0%.

The removal rate of stone and clod due to the difference in the peripheral speed of the finger conveyor decreased as the speed of stones and soil mass that flowed sideways increased because the peripheral speed increased and the time required for removal became shorter. It was found that low peripheral velocities made it easier for potatoes to pass along with stone and clod, resulting in higher harvest loss. Therefore, the optimum peripheral speed of the finger conveyor is 0.4 m/s, which has the highest removal rate and harvest loss of 1% or less.

The removal rate of stone and clod due to the difference in the inclination angle of the feed conveyor decreased as the inclination angle increased. The reason is that the stone and clod are easily washed away through finger conveyor. The harvest loss was highest at 1.3% for an inclination angle of 14 ° and low at 1% or less for other angles. Therefore, the optimum tilt angle of the feed conveyor is 0 °, which has the highest removal rate of stone and clod and at the same time low damage rate and harvest loss.

The removal rate of stone and clod due to the difference in the gap between the finger conveyor and the feed conveyor increased as the gap increased. Because the amount of stone and clod that passed through the gaps were increasing. However, the larger the gap, the easier it was for small potatoes to pass through, resulting in higher harvest loss. Therefore, the optimum clearance between the finger conveyor and the feed conveyor is 8 mm. This is because the harvest loss is less than 1% and the removal rate of stone and clod is the highest.

In addition, the damage rate of tubers was low under all setting conditions, indicating that the finger conveyor is a device that causes less damage.

Demonstration test of improving workability of unmanned tow harvesting of potato harvester by robot tractor

In the potato harvesting work, a comparative test was conducted in the same field for unmanned driving using a robot tractor, conventional manned driving, and guidance driving using GNSS guidance. It was aimed to assess the operating efficiency and reduce the rate of dropping working hours during potato harvesting. It was verified and conducted by comparative tests and operation accuracy together.

The work efficiency was 0.090 ha / h for manned driving and 0.098 ha / h for guidance driving and unmanned driving. It was clarified that unmanned driving work efficiency is equal to or higher than that of manned driving and guidance driving.

In unmanned driving, the sorting worker on the machine performs double of an operator who monitors the robot tractor, reduces the number of personnel by one, compared to manned driving and guidance driving, but it has been demonstrated that sufficient harvesting work can be performed. It was found that the dropped labor power per hectare (number of labors · hour /ha) for unmanned driving were reduced by 26% for manned driving and 20% for guidance driving.

Next, as a result of confirming the tuber damage and harvest loss due to

the driving conditions, all the running conditions were good digging at 5.0% or less, and no tuber damage or harvest loss in unmanned driving was observed. The harvest loss was 0.01 kg or less under all running conditions, and there was no problematic loss.

From the results of this study, it was confirmed that unmanned driving of potato harvesting with robot tractor can perform harvesting operation in the same way as manned driving and guidance driving.

As described above, in this study, various setting values for the conveyor to be mounted was established for the development of the advanced potato harvester with higher performance. As the result, it was able to show the effect of using robot tractors to solve labor shortages and saving labor time. Currently, the planted area of potatoes is decreasing every year as the farmers are replacing potato with other crops due to labor shortages and large number of labor requirement for harvesting. We have experienced that the supply of potatoes is not large, and if the production drops due to a disaster such as a typhoon, the market demand will be affected. We expect that the development of advanced potato harvesters will contribute to increase the production of potatoes based on the results obtained in this paper.