

博士論文

ハクサイ収穫機の開発研究

平成6年8月

金光幹雄

岡山大学大学院

自然科学研究科



①

博士論文

ハクサイ収穫機の開発研究

平成6年3月

金光幹雄

岡山大学大学院
自然科学研究科

目次

緒言	-----	1
第 I 章 研究の背景と目的	-----	3
第 1 節 ハクサイ生産の概要	-----	3
1. ハクサイ生産の推移	-----	3
2. 労働時間	-----	5
第 2 節 収穫作業体系	-----	7
1. 調査方法	-----	7
2. 調査結果	-----	7
(1) 茨城県結城郡	-----	7
(2) 愛知県豊橋市	-----	14
第 3 節 収穫作業機械化の検討	-----	19
1. 収穫方式	-----	19
2. 機械化体系	-----	20
3. 圃場作業量	-----	23
第 4 節 結球葉菜収穫機に関する既往の研究概要	-----	27
1. 海外の動向	-----	27
2. 国内の動向	-----	27
第 5 節 本研究の目的	-----	29
第 II 章 ハクサイの物理的性状の調査	-----	30
第 1 節 ハクサイの形状・質量	-----	30
1. 試験方法	-----	30
2. 試験結果及び考察	-----	32
第 2 節 ハクサイの引抜き力	-----	36
1. 試験方法	-----	36
2. 試験結果及び考察	-----	39
第 3 節 摘要	-----	41

第Ⅲ章 収穫機開発のための基礎実験	42
第1節 引抜き・搬送機構	42
1. 設計目標と構造概要	42
2. 試験方法	45
3. 試験結果及び考察	46
第2節 引抜き・搬送機構の改良	47
1. 構造概要と機能	47
2. 試験方法	51
3. 試験結果及び考察	51
第3節 切断機構	53
1. 固定刃による根茎部切断機構	53
(1) 構造概要	53
(2) 試験方法	53
(3) 試験結果及び考察	53
2. 回転円板刃による根茎部切断機構	54
(1) 構造概要	54
(2) 試験方法	54
(3) 試験結果及び考察	55
第4節 摘要	62
第Ⅳ章 歩行型収穫機の試作と性能	63
第1節 試作機の概要	63
1. 設計目標	63
2. 構造と機能	63
(1) 収穫部支持構造	63
(2) スクリューオーガ	65
(3) 根茎部切断機構	65
第2節 圃場試験	66
1. 試験方法	66
2. 試験結果及び考察	68

第3節 摘要	71
第Ⅴ章 トラクタ直装用収穫機の試作と性能	72
第1節 設計目標	72
1. 収穫機の方式	72
2. 収穫機の機能	73
3. 作業精度	73
4. 作業能率	74
第2節 構造と機能	75
1. 主フレーム	75
2. 収穫部懸架機構	75
3. スクリューオーガ	78
4. 挟持ベルト	79
5. 切断刃	81
6. 切断刃洗浄装置	81
7. エレベータ	81
8. 荷台	82
第3節 作業性能	84
1. 挟持ベルトの搬送速度に対するスクリューオーガの搬送速度の比	84
(1) 試験方法	84
(2) 圃場試験結果及び考察	86
(3) 圃場試験結果を踏まえての改良	89
2. 現地試験(茨城県八千代町)	89
(1) 試験方法	89
(2) 圃場試験結果及び考察	91
3. スクリューオーガ及び油圧回路	93
(1) 試験方法	93
(2) 圃場試験結果及び考察	96
第4節 摘要	102

第VI章 高さ制御装置の開発と収穫機の現地適応性	-----104
第1節 畝形状の調査	-----104
1. 試験方法	-----104
2. 試験結果及び考察	-----106
第2節 収穫部高さ制御装置	-----110
1. 制御系の構成	-----111
2. 試験方法	-----114
3. 試験結果及び考察	-----116
4. 制御系の安定性	-----119
(1) シミュレーションの方法	-----119
(2) シミュレーション結果	-----121
5. 歪みゲージによる高さ検出	-----125
(1) 検出方法	-----125
(2) 試験方法	-----127
(3) 試験結果及び考察	-----130
第3節 現地適応性	-----136
1. 試験方法	-----136
(1) 作業精度試験	-----136
(2) 作業能率試験	-----138
2. 試験結果及び考察	-----139
(1) 作業精度試験	-----139
(2) 作業能率試験	-----140
第4節 摘要	-----142
総括	-----144
謝辞	-----151
参考文献	-----153

緒言

ハクサイは、1個当たり質量が2～4kgであり、平成3年産の10a当たり平均収量は4.2tであった¹⁾。

ハクサイの収穫作業は、腰を折り曲げて切り取り、調製し、その後結束または箱詰の手順で行い、全て人手で行っている。一方圃場外への搬出には、トレーラ、動力運搬車等を使い省力化を図っているが、なお荷台への積み込み、荷降ろしは人力で行うため多くの労力を要している。

本研究はこのようなハクサイの収穫作業の省力化を図るために能率的な収穫機の開発を目的としたものである。

第I章では本研究の背景と目的を述べ、第II章では収穫機を開発する際の基礎資料となるハクサイの形状や質量、引抜き力などの物理的性状について述べた。第III章では収穫機の主要部である引抜き・搬送機構と切断機構の設計目標、構造概要、基礎実験及び改良経過について述べた。第IV章では基礎実験の結果を踏まえて、ハクサイを引抜き、外葉と根茎部を切断除去した後、圃場に残していく方式の歩行

用収穫機の試作とその性能について述べた。第V章では、歩行用収穫機の機能に、収穫物の収納・運搬の機能を付加したトラクタ直装用収穫機の試作と作業性能について述べた。第VI章では、試作した収穫機の高精度化を目的として、ハクサイを栽培した後の畝形状調査と高さ制御装置の検討について述べ、開発した高さ制御機構を組み込んだ収穫機の現地適応性について述べた。

第1章 研究の背景と目的

第1節 ハクサイ生産の概要

1. ハクサイ生産の推移^{2), 3), 4), 5), 6)}

我が国における野菜の作付面積の推移についてみると、昭和50年代においてはおおむね増加傾向で推移していたが、近年は減少傾向に転じている。地域別には、都市近郊地帯において畑地の改廃等により野菜の作付面積が減少している一方で、交通網の整備等により、北海道、東北等の遠隔産地では作付面積が増大し、市場に占める割合も増大している。なお、国民1人当たりの年間野菜消費量は約110kgと安定している。

ハクサイは、野菜生産出荷安定法において、国民生活の観点から価格安定上特に重要な野菜として指定された指定野菜14品目の1つであり、ダイコン、キャベツ、タマネギに次いで作付面積が多い。図1に、ハクサイの作付面積、10a当たり収量、収穫量の年次別動向を示した。昭和40年と平成3年で比較してみると、収量は3t/10aから4t/10aへと大幅に増

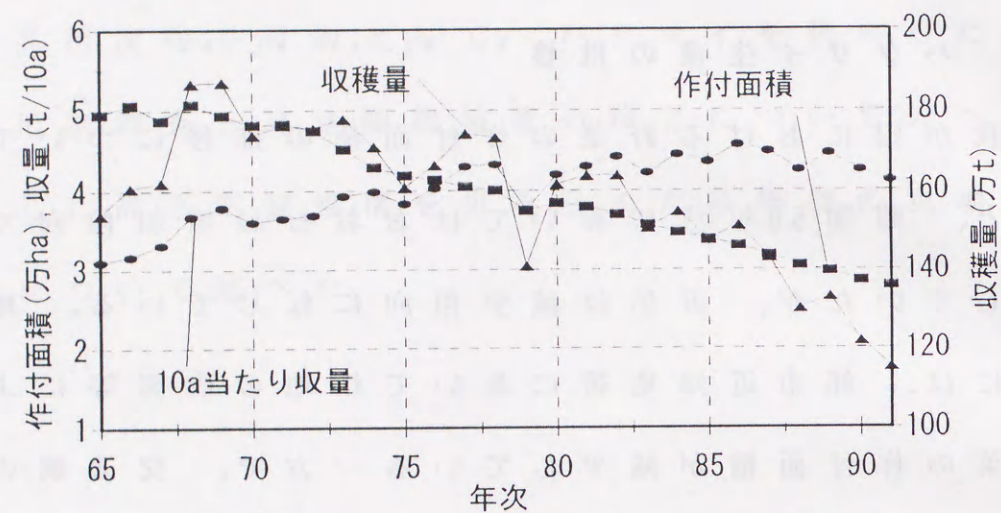


図1 ハクサイの作付面積、10a 当たり収量、収穫量の年次別動向

大したが、作付面積は50000haから28000haまで減少し、収穫量も減少している。

平成3年産の主要産地県の収穫量を作型別に表1に示す。秋冬ハクサイの収穫量が最も多く、1産地県当たりの収穫量では、秋冬ハクサイの茨城県と夏ハクサイの長野県が多くなっている。年間の作付面積では、茨城4100ha、長野3000ha、北海道1300ha、群馬1200ha、愛知1200haの順となっており、これらの主産地が機械化の対象地域と考えられる。

表1 季節区別収穫量

(平成3年産、単位：千t)

	春ハクサイ	夏ハクサイ	秋冬ハクサイ
全 国	130.6	206.1	817.7
茨 城	40.8	長 野 159.0	茨 城 160.1
長 野	27.6	群 馬 15.6	愛 知 58.6
長 崎	13.7	北 海 道 14.6	北 海 道 37.3
愛 知	5.5	青 森 5.1	福 島 35.9
北 海 道	4.4	岩 手 4.9	兵 庫 33.1

2. 労働時間⁷⁾

図2に作型別に主産地県と、その10a当たりの平均作業別労働時間を示す。ハクサイの栽培作業には、耕うん、施肥、播種、移植、中耕除草、追肥、防除、収穫等がある。これらの作業は、移植と収穫を除いて機械化が進んでおり、省力化が図られている。移植作業の機械化については、各種の移植機が市販化され、普及に移されようとしている。収穫作業では、圃場外への搬出にトレーラ、動力運搬車等が使われているが、他は全て人力作業である。10a当たり労働時間の合計は産地あるいは作型により大きく異なる。

第2節 収穫作業体系

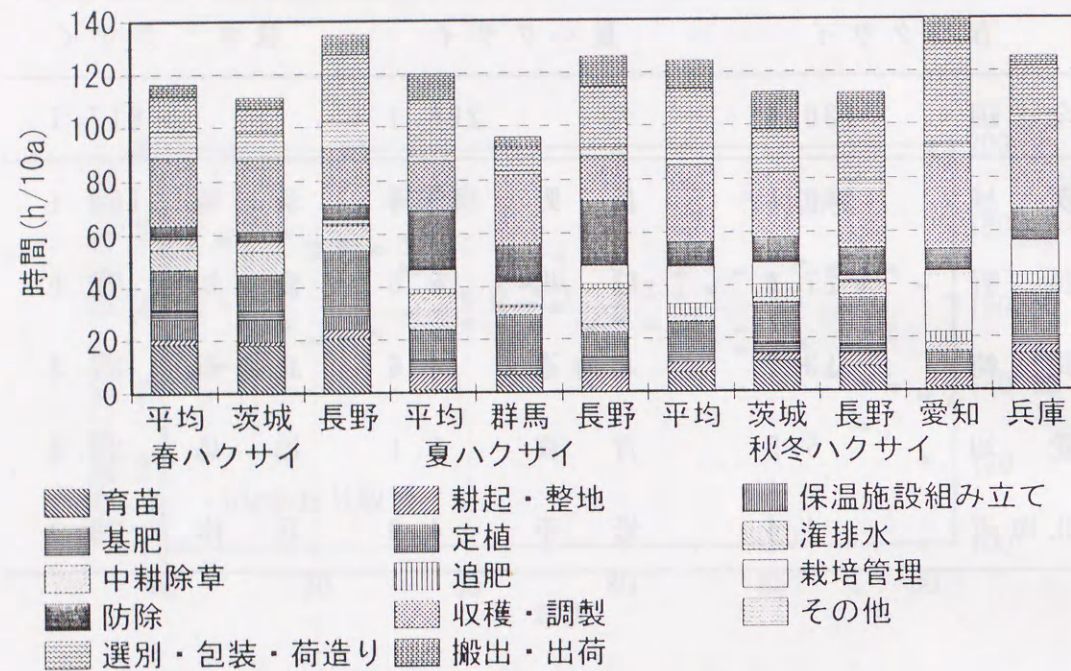


図2 作型別10a当たり作業別労働時間

るが、96時間から140時間と多くの労力を要している。このうち収穫・調製に要する時間は、17時間から35時間であり、これに引き続いて行われる選別・包装・荷造りと搬出・出荷まで含めると40時間から83時間となり、全労働時間の36%から59%を占めており、最も労力を要する作業となっている。しかも腰を曲げての人力による厳しい作業であるため、経営規模拡大のネックになっており、機械化による省力化が要望されている。

1. 調査方法

調査対象として、練床育苗移植栽培で一斉収穫を行った後、圃場で結束して出荷している茨城県結城郡と、直播栽培で一斉収穫後、調製、箱詰を屋内で行っている愛知県豊橋市を選定した。

茨城県結城郡では、収穫作業の計時と聞き取り調査を行い、愛知県豊橋市では聞き取り調査を行った。

調査場所と期日は次のとおりである。

- ・茨城県結城郡八千代町栗山 昭和54年11月14日
- ・愛知県豊橋市三本木町字三本木 昭和57年2月22日

2. 調査結果

(1) 茨城県結城郡

茨城県のハクサイ作付け面積は、全国1位で約15%を占めている。結城郡の作付け面積は表2のとおりであり、1戸当たりの平均作付け面積は1.8haであった。

調査対象農家は、3haのハクサイを栽培していた。また、調査した収穫作業の栽植様式等の条件及び収

穫作業の概要は表3のとおりであった。

収穫作業の方法及び作業時間の調査結果を表4、表5及び図3に示した。これらを要約すると次のとおりである。

作業に従事したのは、経営主、その妻、父と母の4人であった。作業風景を写真1～写真6に示す。

収穫作業は、圃場に生育しているハクサイの結球部を包丁で切り取る結球切り作業、切り取った結球部の底部を湾曲した包丁でえぐり取る調製作業、大小を選別して2又は3個をPP紐で束ねる結束作業、結束したハクサイをトレーラへ積み込み、圃場外まで運搬し、トラックへ積み替える作業の手順で行われ、結球切り・調製と結束は分業し、それ以後の作業は共同で行われた。作業分担は、最初4人が、結球切り・調製を行い、ある程度進んだ段階で、父母は同作業を継続し、経営主とその妻は、結束作業に移り、両作業がほぼ同時に終了するように行われた。

結球切り・調製は、1人当たり2条まとめて行い、調製した結球は4条分をまとめて列状に並べる。この作業は、先端の湾曲した刃渡り10cm程度の包丁（写真2参照）を使い、外葉を左手で押し下げて株元から切断し、余分な外葉を手で取り除く。その後、

表2 茨城県結城郡におけるハクサイの作付け状況
(昭和54年 結城普及所調査)

	作型	作付面積 (ha)		昭54増減 割合 (%)	主要品種の 作付割合 (%)
		昭54	昭53		
結 城 市	早生	35	43	-17	白栄(5)、スプリンター(2)
	中晩生	256	311	-18	王将(27)、力(16)
	貯蔵用	209	246	-15	耐寒仲春(23)、あこがれ(16)
	計	500	600	-17	
八 千 代 町	早生	365	310	+18	白栄(14)、ロビン(8)
	中晩生	590	740	-20	新東京(17)、新理想(13)
	貯蔵用	245	250	-2	力(11)、あこがれ(7)
	計	1200	1300	-8	
結 城 地 区	早生	400	353	+13	白栄(11)、ロビン(6)
	中晩生	846	1051	-20	王将(15)、新東京(14)
	貯蔵用	456	496	-8	耐寒仲春(18)、あこがれ(9)
	計	1700	1900	-11	

表3 八千代町における栽培様式及び収穫作業の概要

項 目	測 定 値
圃場1筆面積 (a)	28
条 間 (cm)	60
株 間 (cm)	51
畝高さ (cm)	13
栽植本数 (株/10a)	3268
結球質量 (kg)	2.9
収穫個数 (個/日)	900
収穫量 (kg/日)	2646
作業人員 (人)	4
搬出回数 (回)	2

注) 栽植本数は条間と株間から算出した。

表4 八千代町における単位量当たり平均作業時間

項目	作業者	主人	妻	父	母	平均
結球切り・調製 (秒/個・人)				15.3	20.3	17.8
結束 (秒/束・人)	26.7	25.7				26.2
トレーへの積み込み (秒/束・人)			10.8			
圃場内運搬 (秒/回)		137				
トラックへの積み替え (秒/束・人)		13.6				

注1) 結球切り・調製、選別・結束は個別作業で、トレーへの積み込みからトラックへの積み替えは4人組作業

2) 圃場内運搬は搬出距離により異なるが、収穫場所からトラックまでの距離が約70mの場合の測定例

表5 10a当たり理論収穫作業所要労力(八千代町)

項目	所要労力		工程別割合	
	(人時)	(%)	(%)	(%)
結球切り・調製	14.8	40.9		
結束	10.9	30.2		
トレーへの積み込み	4.5	10.5	12.4	28.9
圃場内運搬	0.3		0.8	
トラックへの積み替え	5.7		15.7	
計	36.2		100.0	

注) 収穫球を3000個/10aとして、単位面積当たり作業所要時間から算出した。

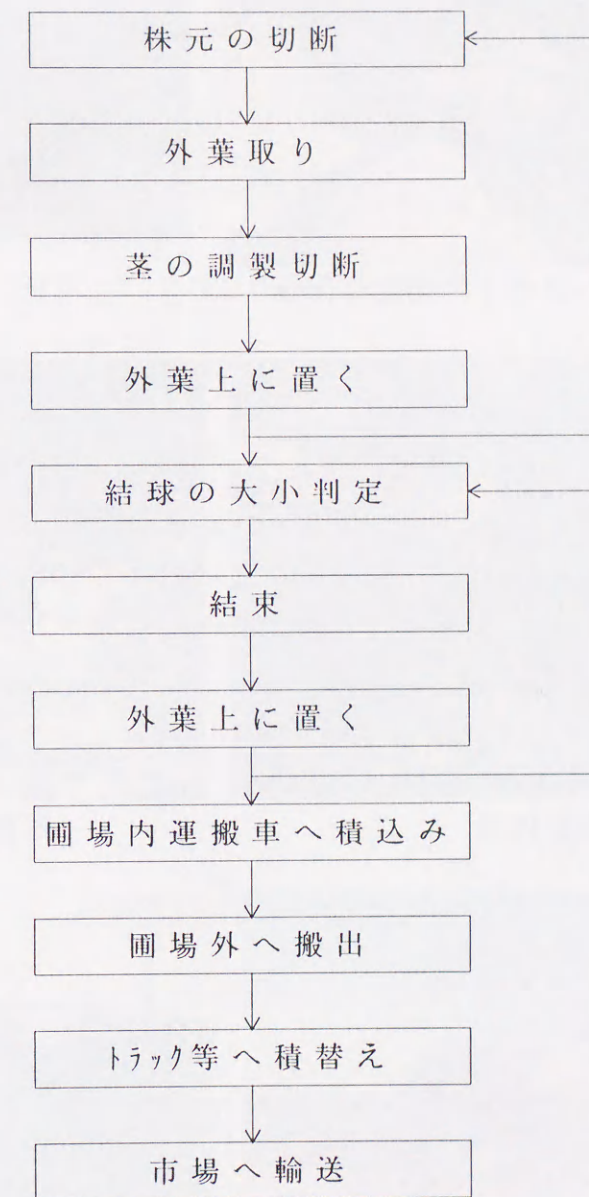


図3 八千代町のハクサイ収穫作業の手順



写真1 ハクサイの切取り作業



写真2 先の湾曲した包丁



写真3 調製作業



写真4 結束作業



写真5 トレーによる運搬作業



写真6 動力運搬車からトラックへの積込み

写真1～6 収穫作業（茨城県結城郡八千代町）

持ち上げて左手で脇に抱え、株元を包丁できれいに仕上げる。腐敗部分があれば取り除き、土の汚れは布で拭き取る。切除して圃場に敷いた外葉の上に並べて置くという手順で行われた。

結束は、2個（小球は3個）を写真4及び図4に示す木製の結束台を使い、PP紐を伸ばし、結束台の溝に納め、2個を並べて置き、帯布を上置き、PP紐で結束し、ナイフでPP紐を切り、外葉の上に列状に並べるという手順で行われた。

運搬は、乗用トラクタ牽引のトレーラを使って行われた。4条分をまとめて1列に並べられた列の間

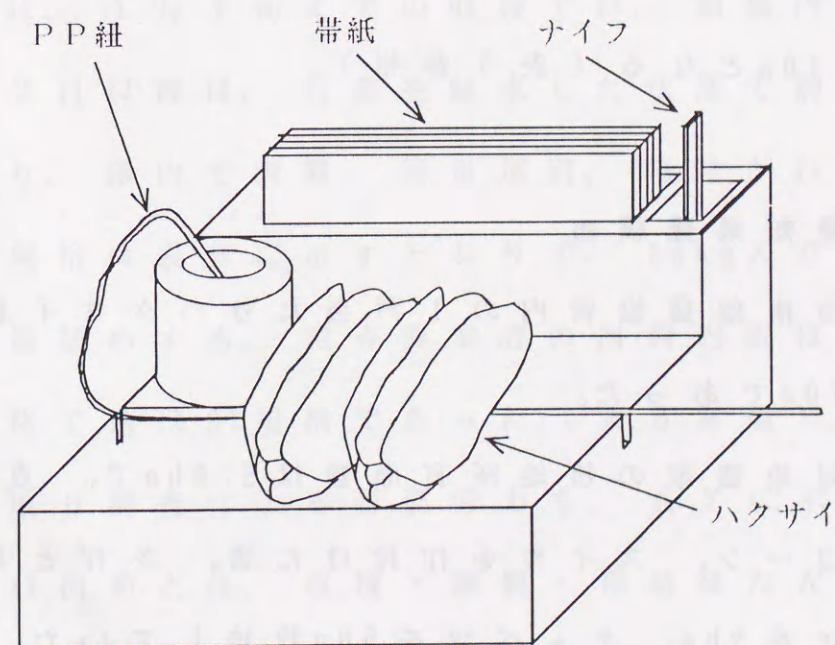


図4 結束台

にトレーラを入れ、3人が積み込み、1人がトレーラの移動と積み込みを行った。トレーラには、6段に積み、230束を積載した。圃場端の道路で、トレーラから2tトラックに積み替えた（写真5参照）。トラックには、7段に積み、450束を積載した。トラックは農業者が個人で所有し、圃場から直接市場に出荷する。なお、ハクサイの圃場内運搬に、動力運搬車を用いる農業者も見られた（写真6参照）。

収穫作業の理論所要労力を、収穫結球数を3000個/10aとして、単位作業時間から算出すると、36.2h/10aであり、このうち結球切り・調製が14.8h/10a、結束が10.9h/10a、積み込み・運搬・積み替えが10.5h/10aとなる（表5参照）。

（2）愛知県豊橋市

豊橋市南部農協管内の1戸当たりハクサイ栽培面積は、70aであった。

調査対象農家の耕地所有面積は5.0haで、夏作にスイートコーン、スイカを作付けた後、冬作として、ハクサイを2ha、キャベツを50a栽培していた。

ハクサイの収穫は、例年は一斉収穫を行うが、昭和57年は、前年9月の低温により成育が揃わず、選

択収穫を行っていた。なお一斉収穫を行っている農業者もいた。収穫作業は、図5の手順で行われ、概要は以下のとおりである。

選択収穫では、2～3回に分けて、収穫適期の物から鎌で株元を切断し、その場に置いて行く。圃場内運搬には一輪車を使い、圃場端の道路でトラックに積み替える。

一斉収穫では、1行程で2条を切り取り、4条を1列にまとめて並べ、トラックを圃場内に乗り入れて搬出する。降雨後で圃場が軟弱な場合は圃場外への搬出に運搬車を使う。なお、晩生の作型では、霜害防止のため12月上旬に外葉を結束している。

調製は、1月下旬までの収穫では、圃場内で行われる。2月以降は、外葉を結束した状態で調製場へ持ち帰り、屋内で調製、重量選別、箱詰が行われる。

出荷規格は表6に示すとおりで、15kg入り段ボール箱に箱詰めする。調査農業者の出荷内訳は90%以上が2L規格で他は3L規格であった（表6参照）。

聞き取り調査による所要労力を、表7に示す。表中の慣行出荷とは、収穫・調製・箱詰後ただちに市場に出荷するものであり、貯蔵出荷とは、収穫・調製・箱詰後、3～4月の端境期まで冷蔵庫で2カ月

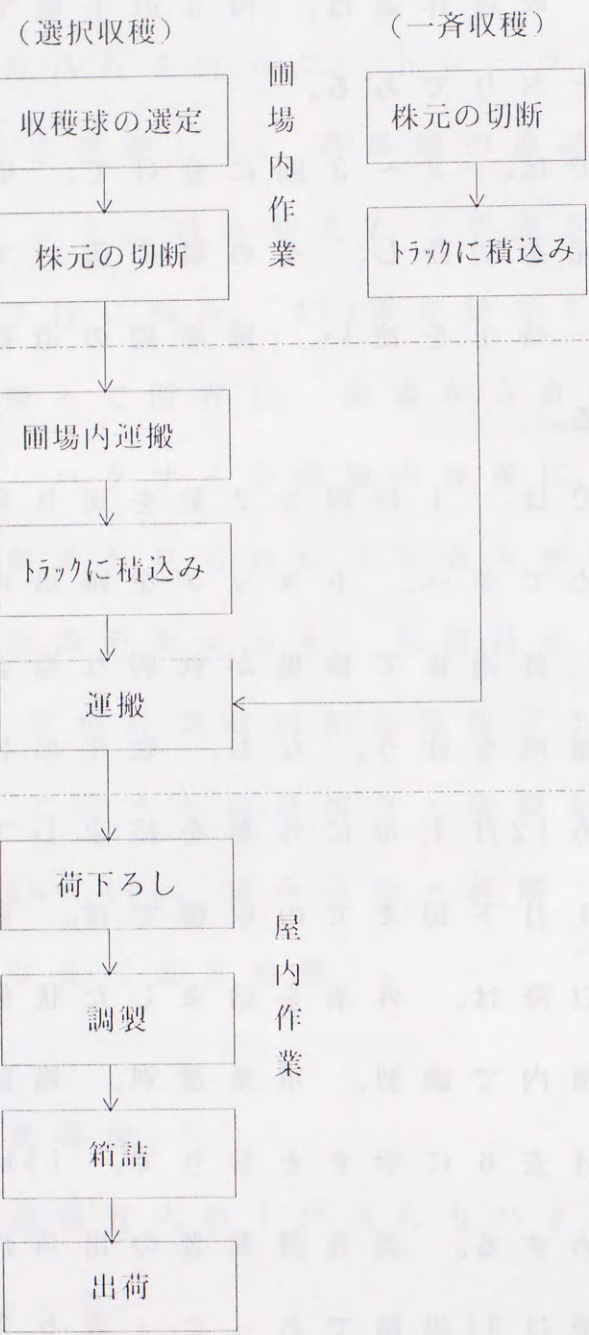


図5 豊橋市のハクサイ収穫作業の手順

表6 ハクサイの出荷規格(豊橋市南部農協)

階級	項目		質量 (kg/箱)
	結球重(kg)	個数 (個/箱)	
4L	3.8以上	4	
3L	3.8未満	5	
	3.0以上		
2L	3.0未満	6	
	2.5以上		
L	2.5未満	7~8	15
	1.9以上		
M	1.9未満	9~11	
	1.4以上		
S	1.4未満	12~15	
	1.0以上		
白	1.0未満	16以上	

- 備考1) 球揃えをよくすること
 2) 根部は短く切断した後えぐり取り木綿の乾いた布でよく拭き取ること
 3) 段ボール箱詰で2段になる場合新聞紙を間に敷くこと

表7 10a当たり収穫所要労力

(豊橋市での聞き取り調査例)

項目	所要労力 (人・時)	工程別割合		
		(%)		
慣行出荷	結球切り	9.3	29.0	} 37.4
	積込み	2.7	8.4	
	計	12.0	37.4	
貯蔵出荷	結球切り	9.3	22.1	} 28.5
	積込み	2.7	6.4	
	計	12.0	28.5	
計		32.0	100.0	
計		42.0	100.0	

(備考) 圃場から調製場までの運搬、荷下ろしの所要労力は含まれていない

程度貯蔵した後市場へ出荷する出荷形態を示す。なお、圃場から調製場への運搬には4tトラックを使い、1日の収穫作業量である5a分を1回で運んでいる。圃場は1区画40aに区画整備されているが、散在し、遠いところでは13km離れた圃場もある。

第3節 収穫作業機械化の検討

1. 収穫方式

ハクサイは、直播栽培と移植栽培が行われている。直播栽培は、移植栽培に比べて気象条件の影響を受けやすく生育は揃いにくい。産地の実態調査結果によれば、茨城県八千代町では練床育苗による移植栽培で、収穫は一齐に行っていた。愛知県豊橋市では直播栽培が行われ、収穫は年によっては選択収穫を行う必要があるものの、例年は一齐収穫を行っていた。これらの産地では1畝に1条を栽培していた。

「露地野菜の栽培様式に関する調査」⁸⁾によれば、愛知県以東では主として1畝に1条を栽培しているが、三重県、岐阜県以西では主に1畝2条の寄せ畝栽培が行われている。

収穫作業の機械化を考える場合、選択収穫機の開発を行うには、個々のハクサイについて収穫適期の判定や選択収穫機構のほか、作物が栽培されている状態での収穫機の畝間走行など困難な問題がある。また、1畝2条の寄せ畝では、2条同時に収穫するか、ハイクリアランス化し1畝を1回1条ずつ収穫

し、1往復で1畝2条を収穫することが必要となり
機構が複雑になる等の困難な問題がある。

以上のことから、開発する収穫機は、1畝に1条
栽培されたハクサイを一斉に収穫する方式とした。

2. 機械化体系

慣行収穫作業は、結球切り・調製・結束または箱
詰作業と、運搬作業があり、これらが全て圃場内
で行われる場合と、調製以後の作業が調製施設などの
屋内で行われる場合がある。

機械化が困難であると考えられる作業は、調製と
箱詰である。調製は一般に、根部を切除した後、包
丁などを使って茎の部分をえぐり取るように行われ
ており、平滑な刃で適切な位置で切断できたとして
も、慣行の調製状態（写真7参照）にするためには
再調製が必要となる場合が多い。出荷荷姿は2～3
個を結束する産地と、15kg入り段ボール箱に箱詰す
る産地がある⁹⁾。結束の機械化について、ハクサイ
の結束機構は人力供給式ではあるが、既に市販され
ており、結束機付動力運搬車の使用例もみられる。
段ボール箱への箱詰は人力によらざるを得ない。

以上のことから、収穫作業の能率化を図るには、



写真7 結球の調製状態

（茎の部分を深さ15mmまでえぐり取る）

結球切りと運搬を同一行程で機械化して省力化し、
人手によらざるを得ない調製と結束又は箱詰を定置
して行うことが合理的と考えられる。この機械化収
穫作業の工程を図6に示す。機械化作業体系を慣行
作業体系と比較すると、次のような利点が考えられ
る。

- a. 腰を曲げて行う結球切り作業が機械化され、
省力的、能率的になる。
- b. 人手による調製、結束が、圃場内での移動作

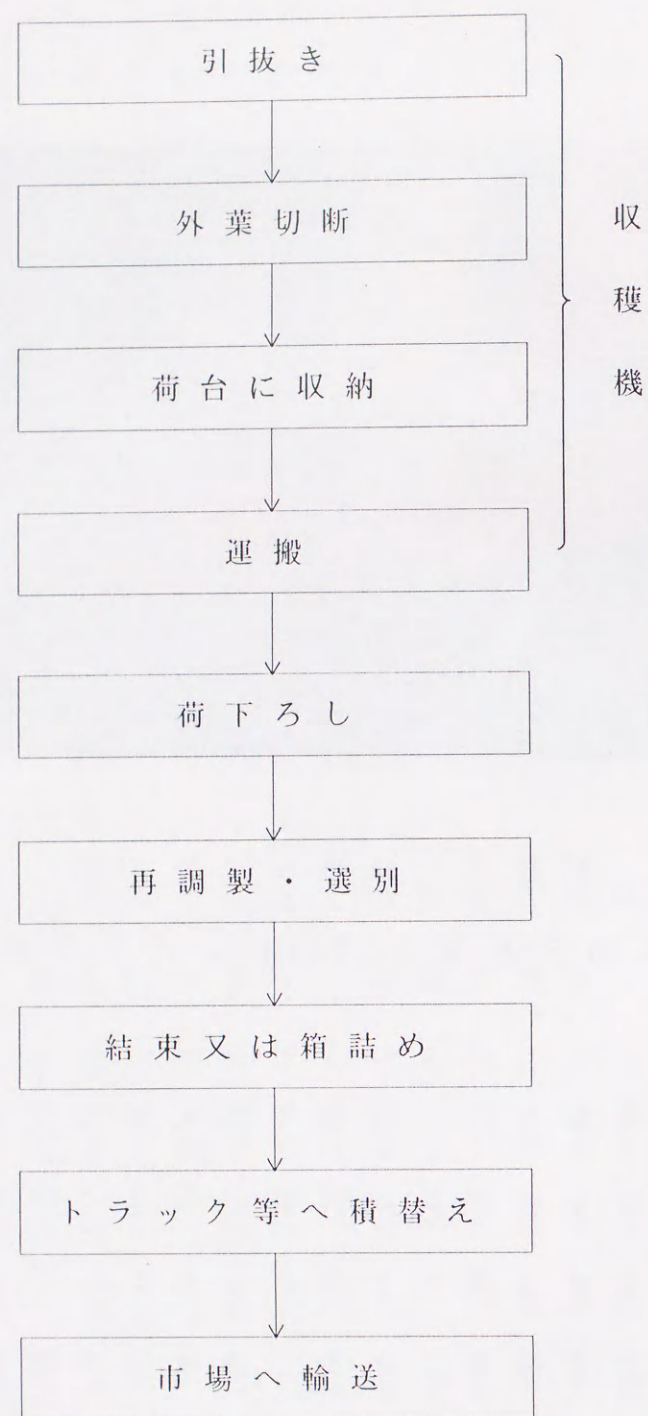


図6 機械化作業工程

業から、定置作業になり、作業強度の軽減と省力化が図れる。更に調製作業台等を利用することにより高能率化できる可能式もある。

c. 圃場内運搬車等への積み込み作業がなくなり、人手によるハンドリング回数を減らすことができる。

d. 出荷時の調製荷姿の要求が緩和され、機械で結球切りを高精度に行うことができれば、再調製が不要となり更に省力化を図ることができる。

3. 圃場作業量

機械の作業能率を圃場作業量 C (a/h) で示すと次式で表される¹⁰⁾。

$$C = \frac{A}{t} = \frac{E \times C_1}{100}$$

ここに、 C_1 : 理論作業量 a/h、 $C_1 = 3.6 W V$ 、

A : 圃場面積 a、 t : 全作業時間 h、

E : 圃場作業効率 %、 W : 理論作業幅 m、

V : 作業速度 m/s

機械化作業体系について、理論作業幅(畝幅) W を 0.6m とし、圃場作業効率 E を 50%、60% とした条件で、収穫機の作業速度 V (m/s) を変えた場合の圃場作

業量 C (a/h) を試算した結果を図 7 に示す。

圃場作業効率を 60% とし、0.4 m/s の作業速度であれば圃場作業量は約 5 a/h となる。

次に、機械化収穫作業体系での 10 a 当たり作業時間を八千代町での慣行収穫作業を参考にして、次の条件で試算した結果を表 8 に示す。

- a. 圃場区画を 10 a、畝幅 60 cm、畝長 50 m、畝数 33 畝とする。
- b. 収穫機の作業速度を 0.5 m/s、圃場作業効率を 60% とし、収穫作業時間を 1.5 h/10 a とする。

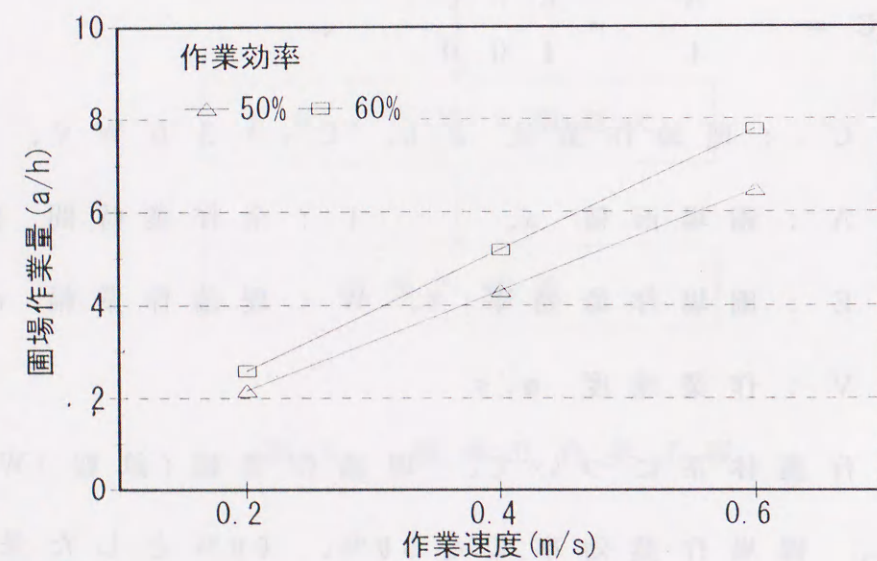


図 7 収穫機の圃場作業量試算

表 8 機械化収穫作業体系の作業時間の試算

項目	作業時間	工程別割合
	(h/10a)	(%)
結球切り	1.5	5.3
運搬	0.8	2.8
荷下ろし	4.5	15.8
再調製・選別	5.0	17.6
結束	10.9	38.4
トラックへの積み替え	5.7	20.1
計	28.4	100.0

- c. 収穫物運搬時の速度を 1 m/s、圃場作業効率を 60% とし、運搬作業時間を 0.8 h/10 a とする。
 - d. 収穫機からの荷下ろしは、慣行作業のトレーラへの積み込みと同じ 4.5 h/10 a とし、トラックへの積み替えは 5.7 h/10 a とする。
 - e. 再調製・選別は 1ヶ所で定置して人力で行い、作業時間は、5 h/10 a とする。
 - f. 結束は 1ヶ所で定置して人力で行い、作業時間は、慣行と同じ 10.9 h/10 a とする。
- 結球切りからトラックへの積み込みまでの 10 a 当た

りの全収穫作業時間は、28.4h/10aとなり、慣行収穫作業時間36.2h/10aに比較し、1.27倍の能率となる。

更に高能率化を図るためには、荷下ろし、再調製・選別、結束又は箱詰め、積み替え作業の省力化を図る必要がある。

第4節 結球葉菜収穫機に関する既往の研究概要

1. 海外の動向

欧米においては、結球葉菜収穫機の開発研究¹¹⁾は1960年代から行われている。一斉収穫用のキャベツ収穫機、レタス収穫機等は米国、西独、オランダ^{12)、13)}等において市販化されている。しかしこれらは、加工用キャベツ・レタスが対象である。選択収穫のレタス収穫機については、機械的、あるいはX線、γ線等を利用した選択法^{14)、15)、16)、17)、18)}について研究されたが、実用化には至っていない。

オランダのD O K E X社製キャベツ収穫機が昭和48年に農林水産省野菜試験場盛岡支場に輸入され、性能試験¹⁹⁾が行われたが、搬送・切断性能が劣り、良品はわずか5~9%であった。

2. 国内の動向

キャベツ収穫機（一斉収穫方式）は、農業機械化研究所（現在：生研機構）で昭和46年から開発²⁰⁾が始められた。その後農事試験場（現在：農業研究センター）^{19)、21)}、野菜試験場²²⁾、滋賀農試²³⁾、愛

知農総試²⁴⁾でも収穫機の開発が行われたが実用化されていない。また、野菜試験場盛岡支場では収穫補助機の開発研究¹⁹⁾が行われた。現在では、生研機構で高精度化をねらいとした研究が行われている。

レタス収穫機（一斉収穫方式）の開発は、昭和48年から九州農試畑作部¹⁹⁾、農事試験場¹⁹⁾で行われ、その後、中国農試²⁵⁾、²⁶⁾で開発が行われた。選択収穫については、富山技術短期大学で機械式検出選択収穫機の試作²⁷⁾と静電容量法による結球度検出の研究²⁸⁾が行われた。

ハクサイ収穫機の研究については、中国農試²⁹⁾と茨城農試³⁰⁾で、収穫機開発のための基礎資料を得ることを目的として、ハクサイの物理的性質の調査等が行われた。農事試験場では、結球葉菜に汎用的に使用することのできる一斉収穫機の開発のための研究が行われ、ハクサイに対しては、3秒/株程度の収穫速度で適用できる見通しを得たことが報告されている²¹⁾。また、三重県農業技術センター³¹⁾では、人の判断により切断刃を操作する方式の選択収穫機の開発も試みられた。

第5節 本研究の目的

わが国の農業の中で、近年は生産農家の高齢化、労働力不足等により、野菜の供給力の低下が懸念されており、地域における労働力の確保、生産の省力化等により野菜生産の担い手となる経営体を育成し、安定的な供給体制を確立することが急務となっている。

このようなことから、本研究では、作付け面積が減少傾向であるが、なお、野菜の中では4番目に多く栽培されているハクサイを対象とし、運搬以外は全て人力で作業が行われている収穫作業のうち、圃場内におけるハクサイ結球の切取り作業と圃場外への運搬作業の省力化を図るために、1畝に1条栽培された条件で一斉収穫を前提とした能率的な収穫機を開発することを目的とした。

想定する機械化作業工程は図6に示すとおりであり、ハクサイを引き抜き、外葉と根茎部を切断して、結球部を荷台に収納し、これらを圃場外まで運搬する機能を備える収穫機を開発する。

第II章 ハクサイの物理的性状の調査

ハクサイの性状は、品種、直播または移植、夏どり、秋冬どりなどの作期や、株間、条間などの栽植様式によって大きく異なる^{32)、33)、34)}。

ハクサイ収穫機の開発を行うに当たり、その収穫機構と、各作用部の諸元を決定するための基礎資料として、ハクサイの物理的性状を調査した。調査項目は各部寸法、質量及びハクサイを引き抜く際の引抜き力である。

第1節 ハクサイの形状・質量

1. 試験方法

ハクサイの性状を知るため、8品種について、1品種当たり10~51個のハクサイを調査した。

寸法を測定した部位を図8に示す。

調査は、まずハクサイが圃場に生育している状態で外葉の広がりを示す全高と全幅を測った後、圃場から引き抜いて根部に付着した土を落とし、外葉最下部の位置で根茎部を切り離した。根茎部について

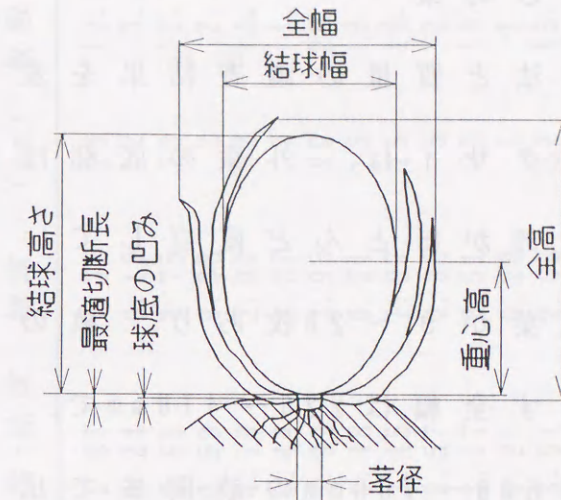


図8 ハクサイ寸法測定部位

は茎径を測定し、外葉の付いた状態の結球部の質量と結球底部の凹みを測定した。その後、包丁で最適と思われる位置で外葉を切断し、外葉枚数を数え、最適切断長を測定した。結球部については、その質量と結球高さ、結球幅、結球底から結球の重心位置までの距離を重心高として測定した。なお、結球部の重心位置は、結球部を横にして直径10mmの丸綱棒上に置き、左右が釣り合う位置として求めた。

続いて、結球を切り過ぎた際の損失の程度をみるため、結球葉について外側部から1枚ずつ除去してその質量を測定し、結球全質量に対する除去結球葉の質量割合を損失質量割合として求めた。

2. 試験結果及び考察

ハクサイの寸法と質量の調査結果を表9に示す。

収穫時期のハクサイは、外葉の底部は地面に密着しており、結球部がほとんど直立している。調査した範囲では、外葉が9～20枚あり、畝の両側への外葉の広がりを示す全幅は220～470mmで、慣行の栽培様式である条間600～750mmの畝間まで広がっている。結球幅及び結球高さはそれぞれ140～200mm、250～300mmであった。結球から外葉・根茎を切断する適切な部位(図8に示す最適切断長)は、外葉枚数とその厚さにより異なるが、外葉底面から12～33mmであった。

結球を切り過ぎた場合の損失質量割合の調査結果は表10及び図9に示すとおりで、品種と収穫時期により多少異なるが、結球葉1枚を切り過ぎると3～5%の損失となることがわかる。また、結球葉を5枚以上除くと葉色が変わってくるため商品価値がなくなると判断された。

表9 ハクサイの寸法・質量

品種	供試個数	全高(mm)	全幅(mm)	結球高さ(mm)	結球幅(mm)	重心高(mm)	球底の凹み(mm)	最適切断長(mm)	上段: 平均値、下段: 標準偏差			
									外葉+結球質量(kg)	結球質量(kg)	茎径(mm)	
平塚1号	11	336	412	260	136	169	11	21	1.87	1.38	26	12.5
錦秋	26	30	51	32	13	13	3	5	0.24	0.19	2	3.9
		391	471	284	169	147	21	31	3.66	2.75	23	12.5
新理想	30	28	93	9	11	18	4	7	0.59	0.38	2	2.8
		340	259	289	200	106	27	33	4.19	2.94	32	14.6
王将	11	59	25	19	17	9	5	8	0.44	0.27	7	1.8
		310	223	294	194	118	21	33	3.99	2.95	29	20.0
耐病60日	51	8	14	7	11	5	3	7	0.48	0.51	3	3.3
		312	444	247	145	96	11	12	2.45	1.87	26	14.8
無双	10	24	59	16	16	13	4	4	0.57	0.38	5	2.7
		343	461	279	166	108	20	25	3.17	2.51	23	10.0
坂東	10	13	57	10	5	6	3	4	0.21	0.20	1	1.7
		304	252	281	189	109	17	32	3.51	2.68	32	15.5
隆徳	10	9	9	8	11	18	2	3	0.18	0.52	2	1.0
		437	294	278	205	108	9	17	3.83	2.50	41	9.2
		13	25	14	16	9	2	3	0.62	0.50	1	1.8

表10 結球葉除去による損失調査結果

(上段は平均値(g)と標準偏差(g)、下段は割合(%)を示す)

品種	個数	結球部 質量(g)	累積除去葉質量(g)と結球葉損失質量割合(%)					
			1枚	2枚	3枚	4枚	5枚	6枚
無双	11	2170±283	85±11 3.9	165±15 7.6	243±16 11.2	329±22 15.1	405±26 18.7	481±32(g) 22.2 (%)
王将	10	1620±529	57±16 3.5	120±36 7.4	172±38 10.6	231±51 14.3	281±62 17.3	330±72(g) 20.4 (%)
錦秋	10	2059±537	96±19 4.7	196±37 9.5	284±59 13.8	367±68 17.8	451±81 21.9	535±99(g) 26.0 (%)

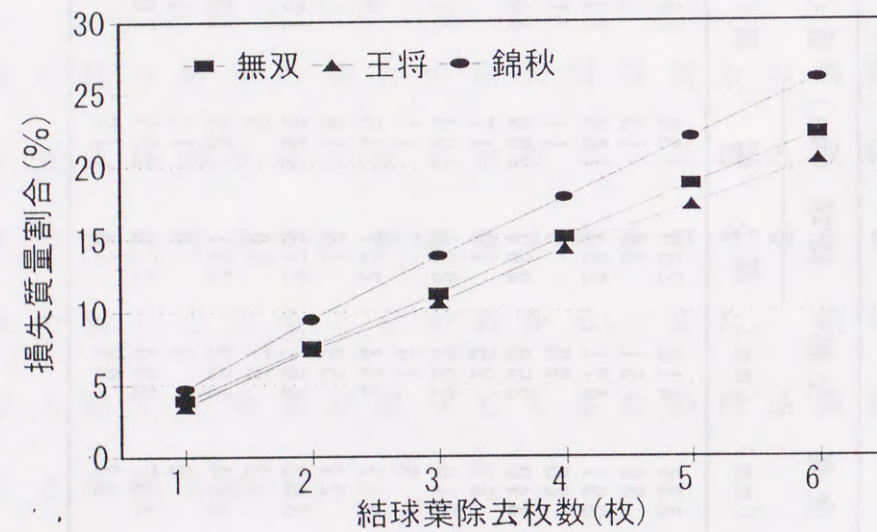


図9 結球葉除去による損失割合

以上の性状調査の結果から、結球の切断面を汚さないで収穫するには、まず引き抜き、その後に根茎部と外葉を切断する必要があると考えられる。したがって、損傷を伴うことなくハクサイを引き抜いて搬送する方法が、収穫機構開発の鍵になると考えられる。

第2節 ハクサイの引抜き力

1. 試験方法

ハクサイを引き抜く時の引抜き力を知るための装置を試作した。図10に引抜き装置の構成図を、写真8に引抜き試験の様子を示す。

引抜き装置は、直流モータ(出力120W)、減速部、傘歯車、オネジ、歪みゲージ式ロードセル(容量500N)、ポテンシオメータ、リミットスイッチ等からなる。ハクサイの引抜きは、次のように行われる。即ち、直流モータの回転は、出力軸に取り付けられた sprocket からチェーンを介して減速して傘歯車入力軸 sprocket に伝えられ、傘歯車で回転方向を鉛直軸回りに変えられる。鉛直に設置された傘歯車はボス部にメネジ(メートル並目ネジ、M18、ピッチ 2.5mm)^{3,5)}を穴加工しており、傘歯車のボス部はスラストボールベアリングで支えている。なお、傘歯車のメネジと噛み合うオネジにはキー溝を設け、フレームに固定したキーによりフレームに対して上下方向に移動はするが、回転しない構造とした。このようにして傘歯車の回転とネジの作用により、オネジ

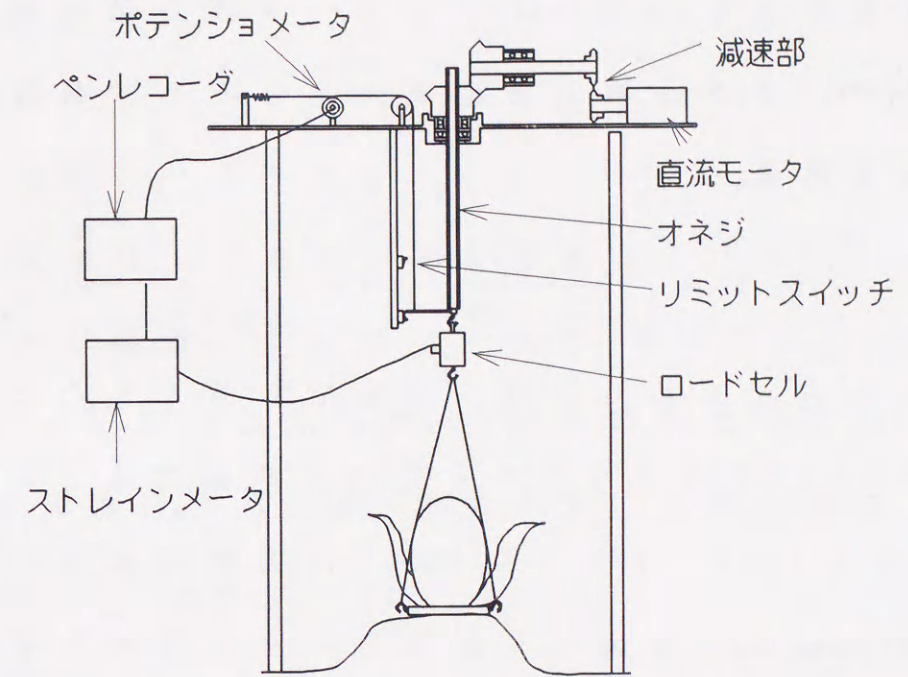


図10 ハクサイ引抜き力測定装置



写真8 ハクサイ引抜き試験風景

はフレームに対し上下方向に移動する。この装置の引抜き速度 V (mm/s) は、モータ出力軸回転数を N (rpm)、スプロケットの減速比を r とすれば、次式で表される。

$$V = \frac{2.5 r N}{60}$$

この装置の動力には、圃場で計測することを考慮して DC12V のバッテリー電源で駆動できる直流モータ (出力 120W、トルク 0.8Nm、出力軸回転数 1500rpm) を使用した。減速は、直流モータ出力軸から傘歯車入力軸に動力を伝達するスプロケットで行い、スプロケットの交換によって減速比 r をそれぞれ 0.19、0.26、0.48 と変えることにより、引抜き速度を 12、16、30mm/s の 3 段階に設定した。直流モータの始動は手動スイッチにより行い、停止はリミットスイッチによって行った。引抜き変位量は、回転型ポテンシオメータで検出し、ペンレコーダで記録した。回転型ポテンシオメータによる引抜き変位量の検出は、次の方法によった。即ち、回転型ポテンシオメータの軸にドラムを取付け、一端を引抜き部に取付けたワイヤを、プーリを經由してドラムに 6~7 回巻付けた後、引張りコイルバネを介して架台に固定する

ことにより、直線変位を回転角度の変化に変えた。また、引抜き力はロードセルで検出し、ストレインメータを介してペンレコーダに記録した。ハクサイの引抜きは、リンクチェーンをハクサイ外葉底面に輪状に取付け、その 3 ヶ所を吊上げて行った。

引抜き試験は、茨城県八千代町 (黒ボク土、品種：新理想)、生研機構川里農場 (灰色低地土、品種：錦秋)、生研機構大宮圃場 (黒ボク土、品種：平塚 1 号) の 3 ヶ所で行った。

2. 試験結果及び考察

引抜き試験結果を表 1-1 に示し、外葉を除いた結球質量と最大引抜き力との関係を図 1-1 に示す。設定した引抜き速度の範囲において、最大引抜き力は、黒ボク土の圃場では平均 118N であるが、引抜き速度の影響は明確には認められなかった。一方、灰色低地土の川里農場での最大引抜き力は、他の黒ボク土の圃場に比べて大きく、引抜き速度が 30mm/s と速いとき平均 245N であった。なお、引抜き力が最大となった時の変位量は各圃場で平均 24~33mm であり、この時点で根茎部の根毛は土壌から切り離されたものと思われる。

第3節 摘要

表11 引抜き試験結果

試験場所 (品種)	項目	引抜き速度(mm/s)		
		12	16	30
八千代町 (新理想)	結球質量(kg)	2.9 2.8 3.6	3.1 3.1 3.0	2.7 2.8 2.6
	最大引抜き力(N)	107 127 172	133 113 128	128 106 110
	変位量(mm)	27 37 32	38 31 38	37 30 30
川里農場 (錦秋)	結球質量(kg)	2.3 3.0 2.8 2.5 2.7	—	2.9 2.2 3.1 3.3
	最大引抜き力(N)	183 208 193 153 248	—	255 233 238 283
	変位量(mm)	35 37 19 17 8	—	35 19 32 28
大宮圃場 (平塚1号)	結球質量(kg)	1.6 1.5 1.3 1.5 1.4	—	1.5 1.5 1.5 1.2 0.9 1.4
	最大引抜き力(N)	120 140 98 113 128	—	105 80 85 128 100 118
	変位量(mm)	25 36 20 36 23	—	23 34 19 32 25 19

試験場所	品種	引抜き速度(mm/s)		
		12	16	30
大宮圃場	平塚1号	○	—	●
川里農場	錦秋	△	—	▲
八千代町	新理想	□	◆	■

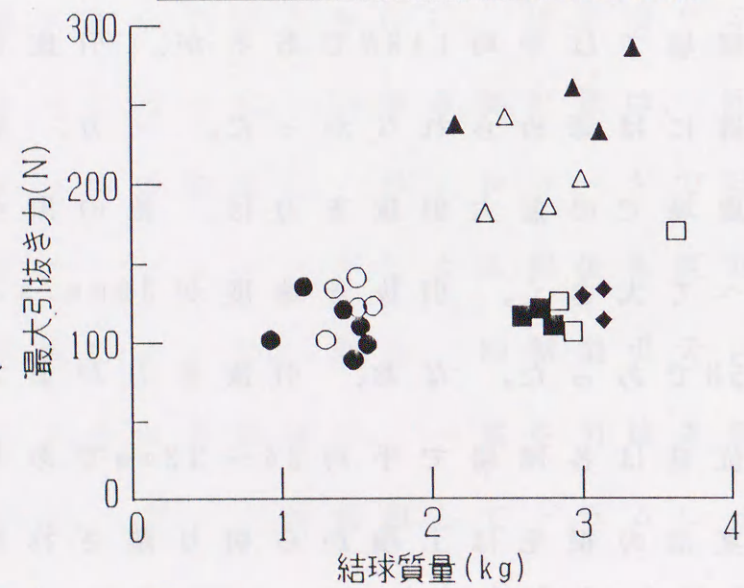


図11 ハクサイの引抜き力

1. 8品種のハクサイについて、各部の形状・質量を調査した。
2. ハクサイの形状等の調査結果から、結球の切断面を汚さないで収穫するためには、まず引き抜き、その後に根茎部と外葉を切断する必要があると考えられる。また、損傷を伴うことなく、ハクサイを引き抜いて搬送する方法が収穫機構開発の鍵になると考えられる。
3. ハクサイの引き抜き力は、黒ぼく土の圃場では平均110Nと小さく、灰色低地土の圃場では平均250Nと大きな値であった。また、ハクサイの根茎部の根毛は30mm程度引き抜くことにより土壌から切り離されていることが検証された。

第III章 収穫機開発のための基礎実験

ハクサイを引き抜き、外葉・根茎部を切断除去する方式の収穫機を開発するため、引抜き・搬送機構と切断機構を試作し、基礎実験を行った。

第1節 引抜き・搬送機構

1. 設計目標と構造概要

ハクサイの引抜き・搬送機構を開発することを目的として、挟持ベルトを主要部とする引抜き・搬送機構を試作し、クローラ型動力運搬車の側方に、軸を支点として装着した。

引抜き・搬送機構の構造を図12及び写真9に示す。

引抜き・搬送作用を行う挟持ベルトは、ローラチェーンに幅38mm、長さ127mmのプラスチック製チェーンアタッチメントを取り付けたものである。各チェーンは、それぞれ4個のテンションプロケットで張られており、各テンションプロケットの引張コイルバネのバネ定数 k は 1.47N/mm とした^{36)、37)}。

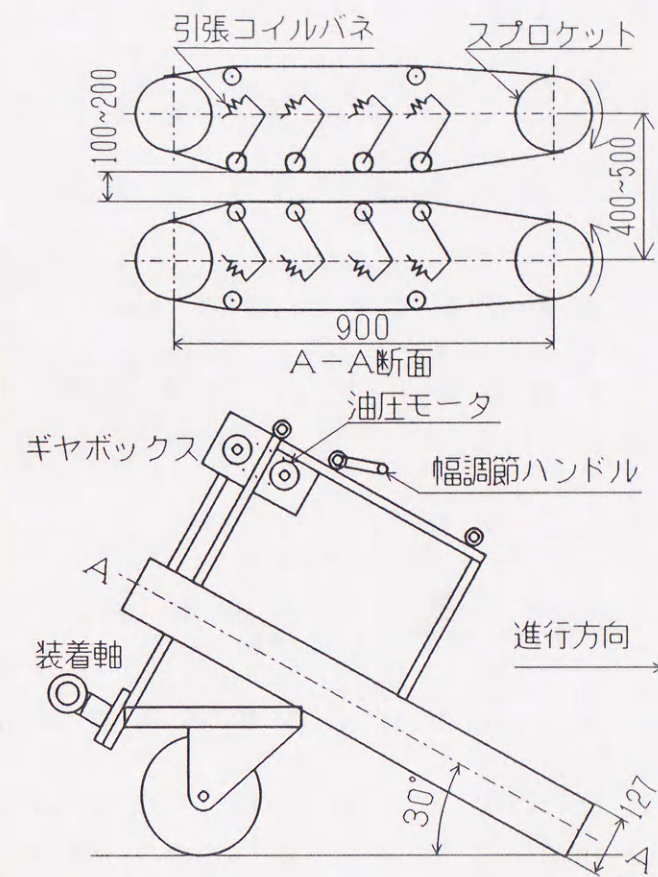


図12 引抜き・搬送機構



写真9 引抜き・搬送機構の概観

表 1 2 に引張コイルバネの諸元を示す。

なお、バネ定数 k は次式により求めた。

$$k = \frac{G d}{8 N_a D^3}$$

ここに、 G : 横弾性係数 $8 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

d : 材料の径、 N_a : 有効巻数、

D : コイルの平均径 $D = (D_1 + D_2) \div 2$

D_1 : コイルの外径 mm

D_2 : コイルの内径 mm

挟持ベルトの水平面に対する傾斜角度は 30° とした。

また、左右挟持ベルトの間隙は、性状調査の結果に基づいて 100 mm に設計した。

表 1 2 引張コイルバネの諸元

材質	SWP
材料の径 d (mm)	1.5
コイルの内径 D_2 (mm)	12
有効巻数 N_a	14
自由長さ L (mm)	70
バネ定数 k (N/mm)	1.47

2. 試験方法

引抜き・搬送機構の性能を知るため、室内で定置試験と走行試験を行った。定置試験は、左右挟持ベルト間に重錘を取り付けたハクサイを人力で供給し、挟持ベルトによる引抜き力を調査した。圃場でのハクサイの引抜き状態を想定した走行試験は、ハクサイをロードセルを介して床に固定し、引抜き・搬送機構を装着したクローラ型動力運搬車を走行させて、挟持ベルトでハクサイを挟持して引抜き作用を行わせた。

室内での走行引抜き試験風景を写真 10 に示す。

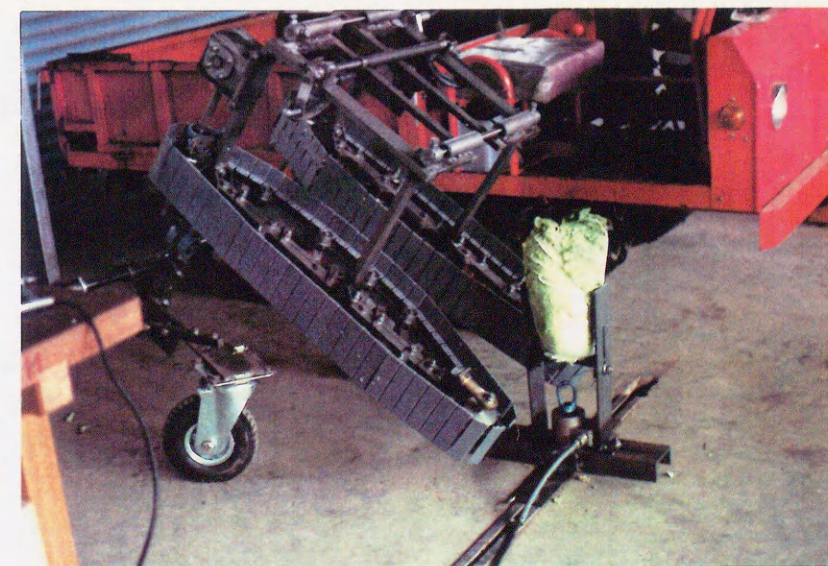


写真 10 室内走行引抜き試験風景

3. 試験結果及び考察

定置試験では、損傷を与えない程度に左右挟持ベルトの間隙を調節することにより、ハクサイに10kgの重錘を付加した状態まで引抜くことができた。

走行試験では、左右挟持ベルトの間隙調節によって引抜き力は変わったが、結球に損傷を与えない範囲での最大値は約49Nであった。定置条件と比べて走行条件で引抜き力が小さかったのは、挟持ベルトでハクサイを挟み始める時のハクサイ挟持位置と姿勢の違いが主な原因であり、挟持ベルトにハクサイを円滑に挟み込ませることが重要であった。何れにしても、図11の結果と対比すると、挟持ベルトによる引抜き・搬送機構では、ハクサイの引抜き力の大きい灰色低地土の場合は、引抜きが難しいと考えられた。

第2節 引抜き・搬送機構の改良

クローラ型運搬車の側方に軸を支点として装着し、水平面に対して30°の傾斜角をもたせた挟持ベルトを主要部とする引抜き・搬送機構の試験結果から、挟持ベルトにハクサイを円滑に挟み込むことが重要であり、ハクサイの引抜き力が大きい灰色低地土では、引抜きが難しいと考えられた。これらの実験結果を踏まえ、2軸スクリュオーガと挟持ベルトで引き抜いて搬送し、畝上に並べて残す方式の歩行1条用自走式引抜き・搬送機構を試作し、性能試験を行った。

1. 構造概要と機能

試作した引抜き・搬送機構の構造を図13、図14及び写真11、写真12に示す。

スクリュオーガは、材質が硬質プラスチックで、外径50mmの丸棒に深さ10mm、ピッチ100mmで螺旋状に凹状の溝を切った形状とした。螺旋の方向は左右対象とし、それぞれ内向きに回転させ、ハクサイの根茎部をスクリュオーガの凹部で内側下方に引き込み

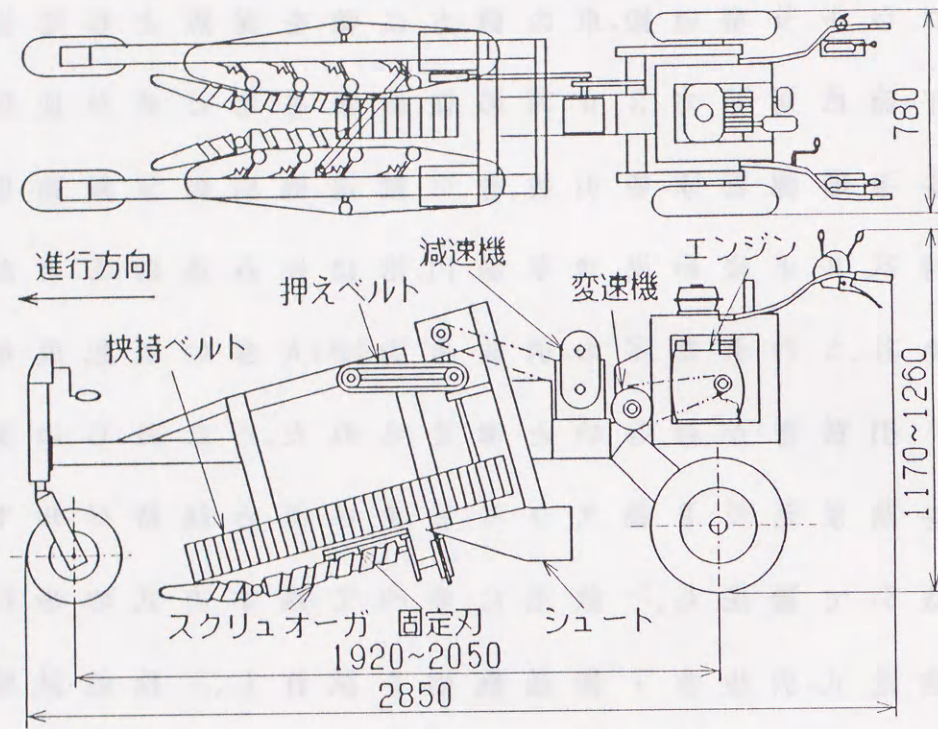


図13 改良後の引抜き・搬送機構

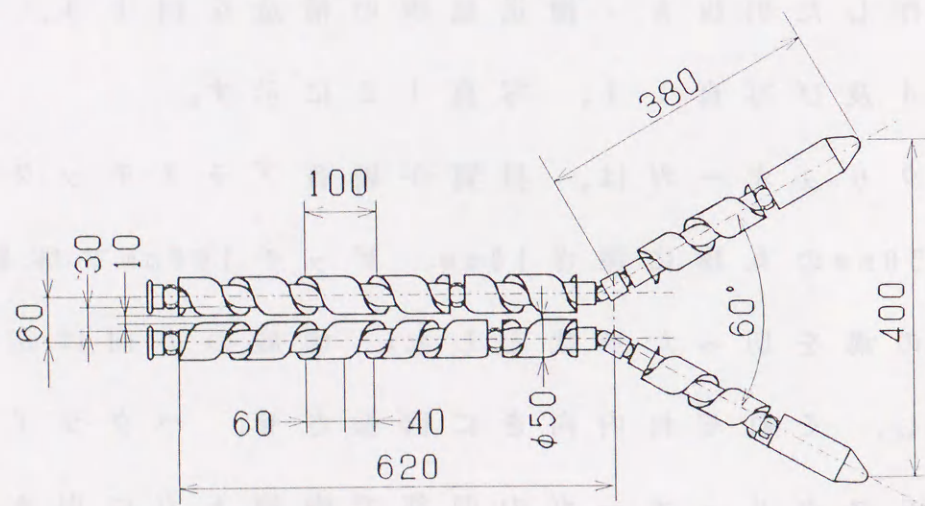


図14 スクリュオーガの構造



写真11 改良後の引抜き・搬送機構概観

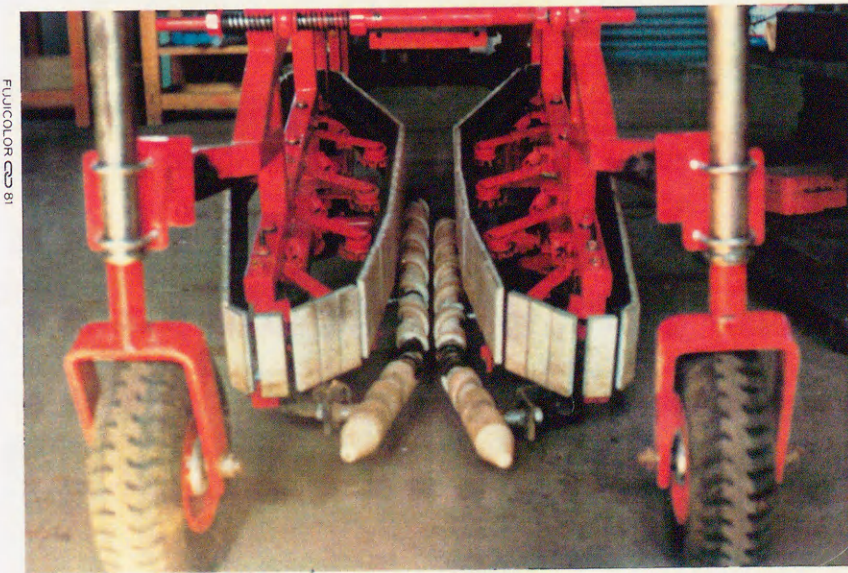


写真12 スクリュオーガの構造

ながら保持し、後方に搬送する方式とした。2軸スクリュオーガは、左右の軸間隔を60mm、左右スクリュオーガ山部の間隙を10mm、谷部の間隙を30mmとし、機体水平面に対し15°の傾斜をもたせて配置した。また、スクリュオーガの先端部は長さが380mmで機体に対し水平で、60°の角度に先開きとし、左右の最先端部の間隙が400mmとなるように配置した。なお、収穫時にハクサイをスクリュオーガ面に対して直立する姿勢で引抜き搬送させるため、スクリュオーガの搬送速度の水平成分と走行速度が一致するように設計した。

挟持ベルトには、ハクサイとの摩擦抵抗を増したうえ、損傷を軽減させるため、厚さ10mmの緩衝材(商品名:ソフトロン)をプラスチック製チェーンアタッチメントの表面に貼付した。

なお、上述の引抜き・搬送機構の値は標準使用状態であり、間隙を左右独立して調節できる構造となっている。また、前輪及び後輪の高さを調節することにより、畝高さに応じて引抜き・搬送機構の地上高が調節でき、さらに傾斜角度の調節もできる構造とした。

2. 試験方法

試験は、挟持ベルトの作用を知るため、挟持ベルトのみによる引抜き試験1(供試品種:新理想)と、スクリュオーガを付加した引抜き試験2(供試品種:王将)を黒ボク土の生研機構大宮圃場で行った。試験では引抜き割合と損傷の程度について調査し、損傷の程度については、結球葉2枚以上の傷を大、1枚の傷を中、1枚の表面の傷を小として分類した。

3. 試験結果及び考察

試験結果を表13に示す。

表13 引抜き試験結果

試験 番号	供試 個数	供試 品種	結球部 質量(kg)	スクリュオーガによる損傷				挟持ベルトによる損傷				合計
				大	中	小	計	大	中	小	計	
1	30	新理想	3.83	-	-	-	-	4	3	1	8	8 (個)
			±0.48					13	10	3	26	26 (%)
2	38	王将	3.78	0	2	3	5	3	2	9	14	19 (個)
			±0.42	0	5	8	13	8	5	24	37	50 (%)

注1)試験番号1は、挟持ベルトのみ、試験番号2は挟持ベルトとスクリュオーガを装着した条件

2)損傷の程度は、結球部葉2枚以上の損傷を大、1枚の損傷を中、1枚の表面の損傷を小とした。

3)表中上段の数値は個数を、下段は個数割合(%)を示す。

引抜き試験1の結果は、挟持ベルトにより引き抜けたハクサイの割合が97%で、引き抜いたハクサイの26%に挟持ベルトによる損傷(大13%、中10%、小3%)があった。

引抜き試験2の結果は、供試した全てのハクサイを引き抜くことができた。しかし、引抜き時にスクリュオーガによるハクサイの結球への損傷が13%(中5%、小8%)、挟持ベルトによる損傷が37%(大8%、中5%、小24%)発生した。これは、スクリュオーガ先端の畝面からの高さ、引抜き・搬送機構の傾斜角度の調節可能な範囲が狭く、適切な調節が困難であったことによる。また、挟持ベルトの間隙調節については、ハクサイの大小に対して挟持ベルトのテンションの作用で十分対応できた。

第3節 切断機構

1. 固定刃による根茎部切断機構

各種の切断方式の中からハクサイの根茎部切断方式として、動力が不要で構造を簡単にできることから、固定刃を選定した。そして歩行1条用自走式引抜き・搬送機構に組み込んだ。

(1) 構造概要

固定刃は、スクリュオーガの上面から10mm(標準設定、調節可能)の位置に搬送方向に対して45°の角度で配置した。固定刃によるハクサイ根茎部の切断は、スクリュオーガで根茎部を、挟持ベルトで結球部をそれぞれ保持した状態で搬送する途中に行う。

(2) 試験方法

固定刃を組み込んだ自走式引抜き・搬送機構について、圃場で収穫試験を行い、外葉と根茎部の切断状態を調査した。

(3) 試験結果及び考察

固定刃による外葉と根茎部の切断は55～60%が、根茎の未切断部が結球底部に付いた状態の浅切りで、他は未切断であった。これは、スクリュオーガと挟持ベルトによる保持力より、固定刃の切断抵抗が大きかったためと考えられ、より切断抵抗の小さい切断機構を再検討する必要がある。

2. 回転円板刃による根茎部切断機構

(1) 構造概要

固定刃より切断抵抗が小さい回転刃による根茎部切断機構を試作した。回転刃は、ハクサイ株底部の外葉と根茎部を切断する際の切断面の大きさが直径100mm程度であることと、引抜き・切断機構へ組み込む際の構造を考慮して、回転刃の直径を300mmとし、刃の厚さは2.5mmとした。回転刃は2軸スクリュオーガ末端上面に組み込んだ。回転刃は、上面を平滑にして、下面にフランジを介して取り付けられた軸で駆動した。この駆動軸は、スクリュオーガの外側部で、機体中心から進行方向に対して右側90mmの位置に配置した。

(2) 試験方法

切断機構の諸元を決定するため、回転刃の種類(鋸刃³⁸⁾：写真13)、円板刃³⁹⁾(片刃：写真14、両刃)について、回転方向(左回転、右回転)及び刃の周速を変えて、ハクサイ根茎部切断時のトルクの測定とハクサイ切断面の良否の調査を行った。図15に供試刃の種類を示す。

試験装置は写真15に示すとおりで、回転刃は、無段変速機付き電動機で中間軸を介して駆動した。回転刃の駆動トルクは、動力伝達の中間軸に貼付した歪みゲージで検出し、ストレインメータを介してペンレコーダで記録した⁴⁰⁾。また、中間軸の回転数は電磁式回転検出器で検出し、ユニバーサルカウンタで測定した。

なお、挟持ベルトとスクリュオーガはエンジンで駆動した。

(3) 試験結果及び考察

試験結果を表14に示す。

円板刃(片刃、左回転)の周速を変えた場合のハクサイ切断時トルクの極大値の測定結果を図16に示す。切断時のトルクの極大値は、周速が6～16m/sまでは漸減して極大値の変動も小さくなり、19m/sで

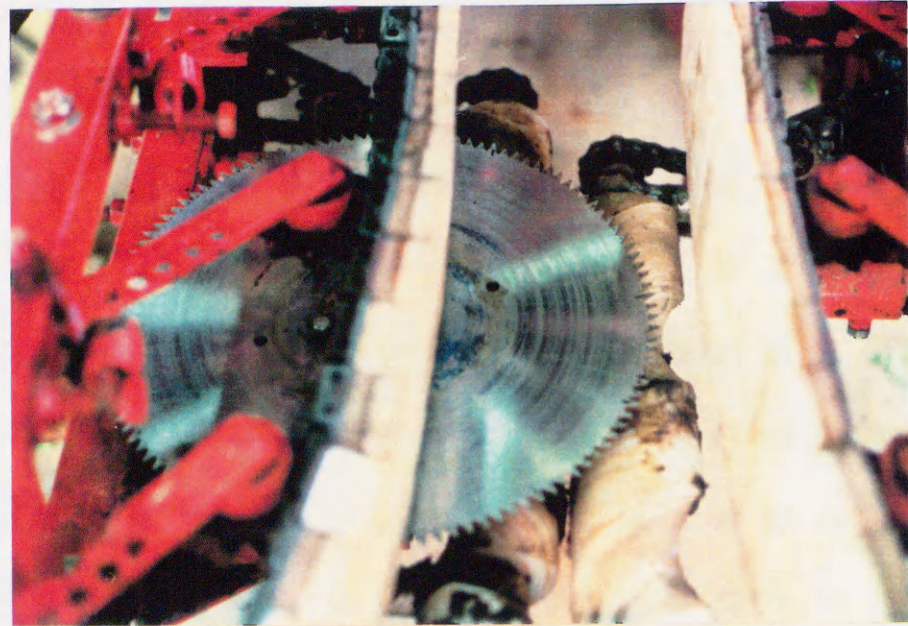


写真13 回転刃（鋸刃）

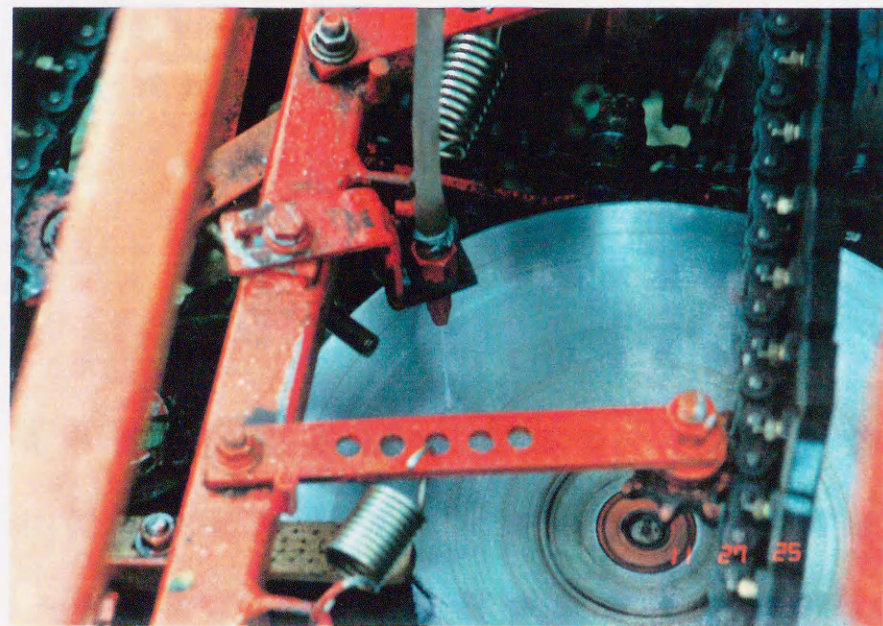


写真14 回転刃（円板刃、片刃）

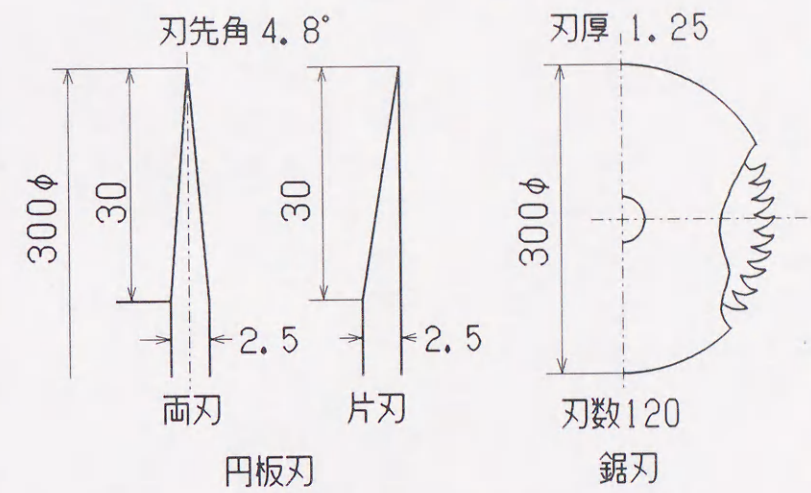


図15 供試回転刃の種類



写真15 ハクサイ根茎部切断トルク測定装置

表14 ハクサイ根茎部切断トルク測定結果

試験番号	回転刃の種類	回転方向	供試個数	回転速度 (rpm)	周速 (m/s)	極大値トルク (Nm)	動力 (kw)
1	円板刃(片刃)	左回転	5	400	6.28	32.4±7.5	1.33±0.31
	"	"	5	600	9.42	31.2±6.2	1.92±0.38
	"	"	5	800	12.57	31.2±4.9	2.57±0.40
	"	"	5	1000	15.71	29.2±3.5	3.00±0.36
	"	"	5	1200	18.85	37.6±6.7	4.63±0.83
2	円板刃(片刃)	左回転	5	400	6.28	22.0±4.5	0.90±0.18
	円板刃(両刃)	"	6	400	"	24.4±4.2	1.00±0.17
	円板刃(片刃)	右回転	6	"	"	22.0±5.4	0.90±0.22
	鋸刃	"	5	"	"	16.9±4.9	0.69±0.20
	"	"	5	1200	18.85	11.2±1.7	1.38±0.21
	"	左回転	3	400	6.28	16.3±2.9	0.67±0.12
	"	"	4	1200	18.85	12.3±0.22	1.62±0.27

注) 試験番号1はスクリーオーガと回転刃を平行に取り付けた状態で、試験番号2はスクリーオーガを回転刃に対し4°の角度で後方の間隙が開くように取り付けた状態での試験

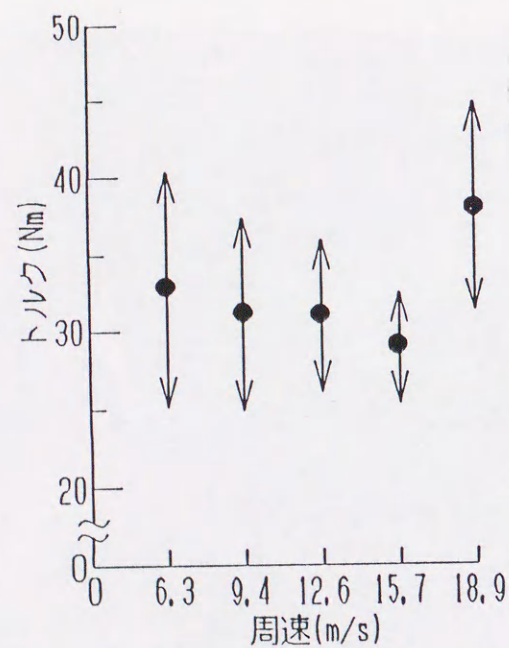


図16 円板刃(片刃、左回転)の周速を変えた場合のハクサイ切断時トルクの極大値

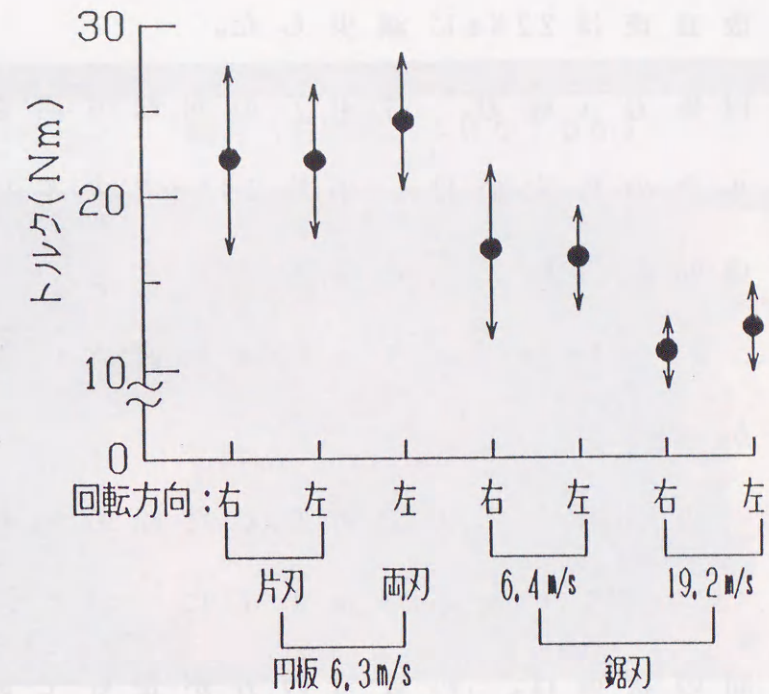


図17 刃の種類と回転方向を変えた場合のハクサイ切断時トルクの極大値

増加する傾向があった。ただしこの場合、スクリーオーガ、挟持ベルトと円板刃がそれぞれ平行に配置されていたため、切断後のハクサイの外葉と根茎部がスクリーオーガと円板刃の間を通過する際、これらが円板刃の回転に対して大きな抵抗を与えていることが観察された。このため、スクリーオーガが円板刃に対し4°の角度で後方の間隙が開くように改良した。改良後に行った、刃の種類と回転方向を変えた試験でのハクサイ切断時におけるトルクの極大値を図17に示す。円板刃(片刃、左回転)で周速6.3m

/sの条件でのトルクの極大値の平均値は、改良前32 Nmに対し改良後は22Nmに減少した。

また、円板刃（両刃、片刃）の回転方向を変えたときのトルクの極大値は、平均23Nmで大差はなかった。鋸刃の回転方向と周速を変えたときのトルクの極大値は、11~17Nmであり、周速が大きいほどトルクは小さかった。

しかし、円板刃と鋸刃で切断した際の切断面を比較すると、写真16及び写真17に一例を示すように、切断面の状態は、円板刃の方が良好であった。このことから、ハクサイの切断には、円板刃が適していると判断した。

鋸刃（右回転、400rpm）

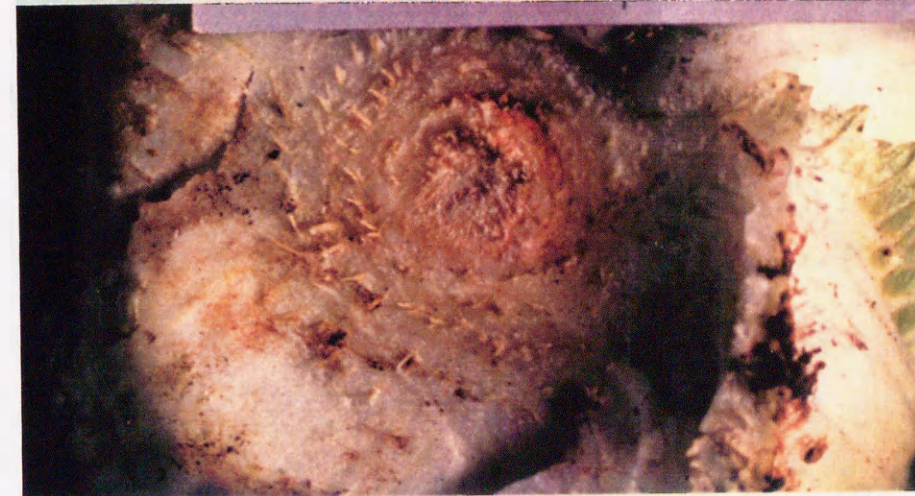


写真16 鋸刃による切断面(毛羽立ちがあり切り口も粗い、所要動力は小)

円板刃（片刃、左回転、400rpm）

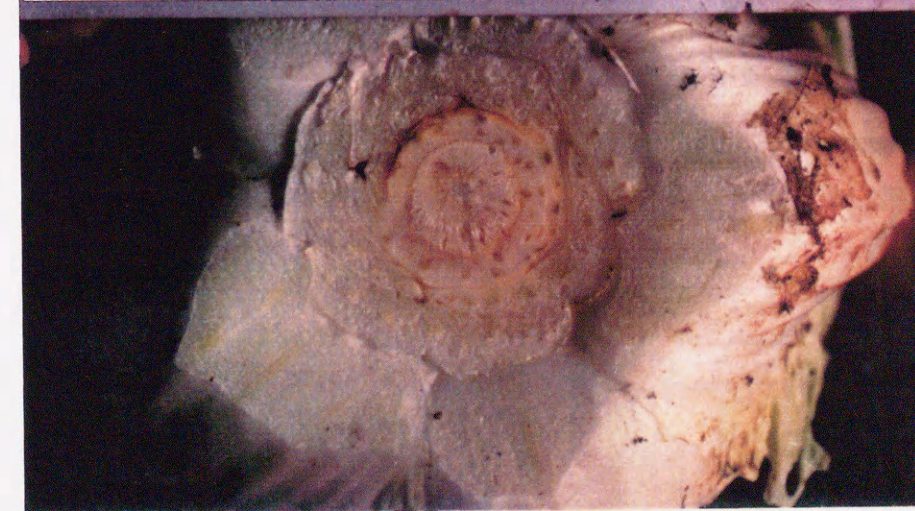


写真17 円板刃による切断面(切断面がなめらか、所要動力は大)

第4節 摘要

ハクサイ引抜き・搬送機構及びハクサイ根茎部切断機構の基礎実験を行った。

1. ハクサイ収穫機構における搬送は、挟持ベルトで損傷を発生することなく行うことができた。
2. 挟持ベルトの下面にスクリュオーガを組み合わせることにより、ハクサイを引き抜いて収穫することができるが、損傷を起こさないスクリュオーガの構造を明らかにする必要がある。
3. ハクサイ茎部の切断は、周速6 m/s程度の円板刃による方法が適当であり、スクリュオーガと挟持ベルトの間に円板刃を設けて、外葉と根茎部を切断除去することができた。

第IV章 歩行型収穫機の試作と性能

第1節 試作機の概要

1. 設計目標

収穫機開発のための基礎実験から、スクリュオーガと挟持ベルトによりハクサイを引き抜くことができ、円板刃によりハクサイの外葉と根茎部を切断除去することができた。しかし、スクリュオーガによる損傷を軽減する必要があることなどが分かった。これらの結果に基づき、収穫機構の改良を目的として歩行型収穫機を試作した。

2. 構造と機能

試作した収穫機の構造を図18及び写真18に示す。

(1) 収穫部支持構造

収穫部は、本機フレームから入力軸で懸架し、入力軸を支点として回動できる構造とした。また、収穫部の前後上端の2ヵ所で引張コイルバネを介して本機フレームと連結し、バネの張力を変えることに

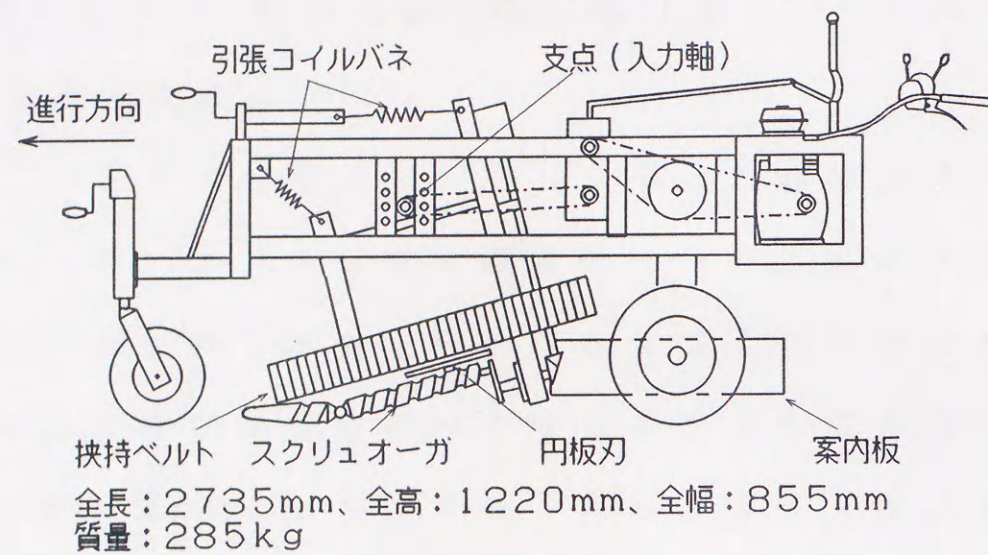


図18 歩行型収穫機の構造



写真18 歩行型収穫機の作業風景

より、スクリュオーガ先端部が地表面を押しつける力を調節し、スクリュオーガ先端を畝の起伏に追従させるようにした。

(2) スクリューオーガ

土壌条件によっても異なるが、ハクサイを引き抜くとハクサイの根部に直径60mm程度の土塊が付着することが多い。このことを考慮し、スクリュオーガの引抜き・搬送作用を確実にするため、スクリュオーガの山径を70mm、谷径を40mm、搬送ピッチを150mmと大きい形状にした。

(3) 根茎部切断機構

基礎実験の結果から切断機構には回転円板刃を採用した。直径300mm、厚さ2.5mmの円板刃(片刃)1枚をスクリュオーガ上面に配置し、刃先の周速を約6m/sとした。

第2節 圃場試験

1. 試験方法

3品種（金将2号、王将、耐病60日）について、収穫試験を生研機構川里農場（灰色低地土）で行い、収穫機各部の作動状態と作業精度を調査した。作業精度は、収穫後のハクサイの切断状態と、スクリュオーガと挟持ベルトによる損傷の程度について調査した。即ち、切断状態は、図19及び写真19～23に示すように観察により平行適切り、平行浅切り、斜め浅切り、平行深切り、斜め深切りの5段階に判

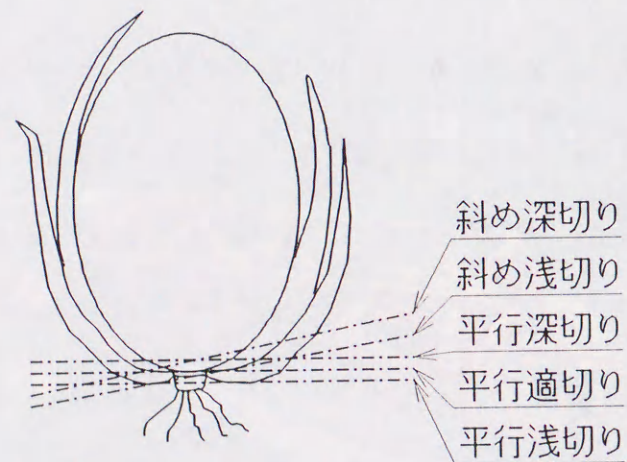


図19 切断状態の分類



写真19 平行適切り



写真20 平行浅切り



写真21 斜め浅切り



写真22 平行深切り



写真23 斜め深切り

写真19～23 切断状態の分類例

定し分類した。また、損傷程度は、損傷の有無及び損傷の生じた結球葉の枚数を調査した。このうち、平行適切りはそのまま出荷できるもの、平行浅切りと斜め浅切りは再調製すれば出荷できるもの、平行深切りと斜め深切りまたは結球葉2枚以上に損傷があるものは出荷できないものとして分類した。

2. 試験結果及び考察

歩行型収穫機の畝高さへの適応性について、畝高さが9cm、16cmの条件で収穫作業を行った結果、支点（人力軸）取付け高さの変更により両方の条件での収穫作業が可能であり、0.17～0.28m/sの作業速度で連続作業が可能であった。作業精度は表15及び図20に示すとおりで、商品価値が無いと判定される平行深切り、斜め深切りが19～27%あった。さらに、結球葉2枚以上の損傷が10～42%発生した。この損傷は、引抜き搬送中にスクリュオーガによって発生したものであり、挟持ベルトによる損傷の発生はなかった。スクリュオーガの改良の問題については次章で述べる。

表15 歩行型収穫機の作業精度試験結果

(単位：%)

品種	供試 個数	質量 (kg)	損傷 程度	平 行			斜 め		計
				浅切り	適切り	深切り	浅切り	深切り	
錦 将 2 号	52	2.39 ± 0.67	大	0	0	0	1.9	0	1.9
			中	0	3.8	0	3.8	0	7.6
			小	0	13.5	5.8	7.7	0	27.0
			なし	0	25.0	7.7	25.0	5.8	63.5
			計	0	42.3	13.5	38.5	5.8	100.0
王 将	67	3.06 ± 0.90	大	1.5	13.5	6.0	3.0	1.5	25.5
			中	1.5	11.8	0	3.0	0	16.3
			小	3.0	10.5	1.5	1.5	1.5	18.0
			なし	6.0	13.5	6.0	9.0	6.0	40.5
			計	12.0	49.3	13.5	16.5	9.0	100.0
耐 病 60 日	63	1.95 ± 0.52	大	0	0	0	3.2	0	3.2
			中	1.6	11.1	3.2	3.2	3.2	22.2
			小	1.6	11.1	6.3	3.2	3.2	25.4
			なし	7.9	9.5	3.2	20.6	7.9	49.2
			計	11.1	31.7	12.7	30.2	14.3	100.0

注) 損傷程度「大」は結球葉3枚以上の損傷

「中」は結球葉2枚の損傷

「小」は結球葉1枚の損傷

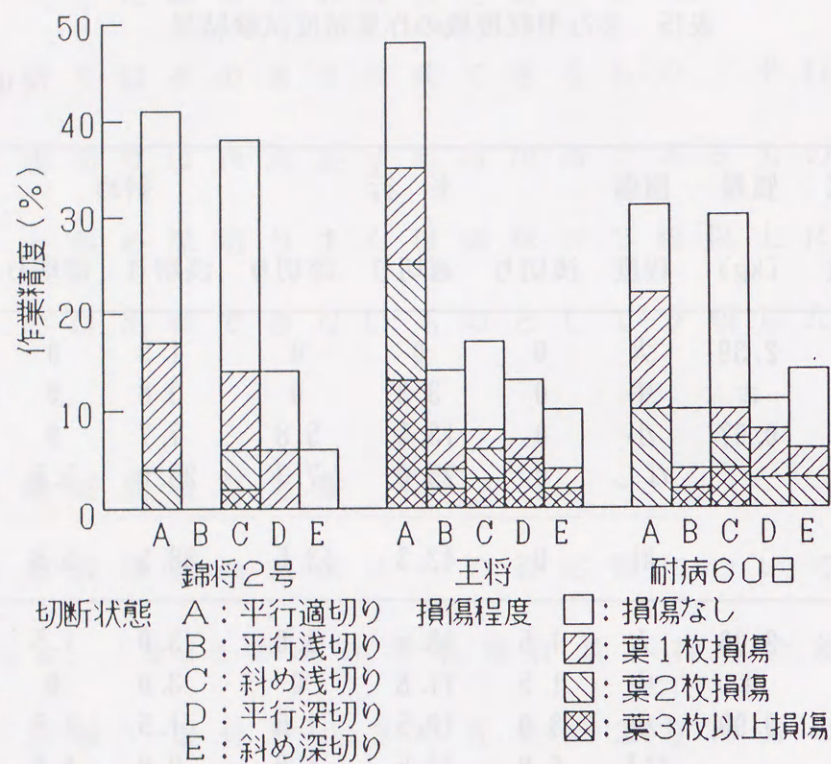


図 20 作業精度

第 3 節 摘要

基礎実験で見通しの得られた引抜き・搬送機構と切断機構を組み込んだ歩行型収穫機を試作して、圃場試験を行った。

試作した歩行型収穫機は、ハクサイをスクリュオーガと挟持ベルトで引抜き搬送し、回転円板刃で外葉と根茎部を切断除去し、外葉と根茎部とともに結球部を圃場に列に残していく方式である。

この試作機は 0.17~0.28m/s の作業速度で連続して収穫できたが、引抜き・搬送の際に損傷が発生し、また、円板刃による切断位置が適切でなく、結球部を切断する場合があります。切断精度の向上と損傷の軽減が必要であった。

第V章 トラクタ直装用収穫機の試作と性能

第1節 設計目標

歩行型収穫機の試作において、スクリュオーガと挟持ベルトでハクサイを引き抜き、搬送中に回転円板刃で外葉と根茎部を切断する機構を開発し、連続して作業ができることを確認したが、さらに収穫損失低減の必要性が認められた。そこで、歩行型収穫機の成果をもとにその性能改善と収穫作業のより一層の省力化を目的とし、収穫機構の改良を図るとともに、収穫物を圃場外に搬出できるよう収納装置を新たに備えたトラクタ直装用収穫機を試作した。この試作機の設計目標は次のように設定した。

1. 収穫機の方式

一斉収穫の1条用収穫機を前提として自走式専用機とトラクタ装着用作業機について各々の長所と短所を比較検討した。自走式専用機は走行部と作業部の配置を最適に設計できるため、収穫作業に適した小型で高性能な自走式収穫機を開発することも可能

である。一方、トラクタ装着用作業機は走行部及び動力源としてトラクタを利用するため、構造が簡単であるから低コスト化と高い機動性が期待できる。実用化の面からは、トラクタ装着用作業機の方が有利と考えられ、野菜栽培農業者に多く利用されている15kW級トラクタを前提とし、その直装用収穫機を開発することとした。

2. 収穫機の機能

収穫機はハクサイを引き抜き、搬送中に外葉と根茎部を切断し、荷台に収納する。荷台に収穫物が満載になると圃場外まで移動し、その後は人力により再調製して箱詰め又は結束を行う。荷台に積み込む際に、ハクサイの結球部に損傷を与えないためと、荷台の積載効率を高めるため補助者が荷台に乗り、スラットコンベヤ式エレベータで搬送される結球を受け取り荷台上に移し替える(図21参照)。必要な作業員数はトラクタの運転と荷台での移し替え作業を行う2名である。

3. 作業精度

現在慣行で行われている人力による調製は、湾曲

した包丁を使用して結球の底部をえぐり取るように行っている。これと同様な調製を機械的に行うことは非常に困難である。また、結球には引抜き・搬送・切断する際に損傷や土の付着などが生じ易い。以上のことから、人力で再調製することを前提として、再調製時に2枚程度の外葉を除去し得る位置で外葉と根茎部を切断することを目標とした。

4. 作業能率

収穫機の作業能率は、移し替え作業者が荷台へ連続して結球を移し替える速度に制限されるため、2 s/個程度と考えられる。ハクサイの標準株間が早生で450 mm、晩生で600 mmであることから³²⁾作業速度を0.3 m/s以下とした。作業速度を0.2 m/sとした時の圃場作業量は、畝幅が0.60~0.75 mであるので、圃場作業効率を60%とすれば0.3 a/h程度となる。

第2節 構造と機能

トラクタ直装用収穫機の構造を図21に、収穫作業の様子を写真24に、主要諸元を表16に示す。試作機はトラクタの3点リンクに取り付けられ、トラクタの進行方向に対して後方及び右側方に位置する主フレームと、それから前方に向けて懸架される収穫部とから成る。主フレームには、トラクタ後方にPTO軸で駆動される油圧ユニットと荷台が組み込まれ、トラクタ右側方の収穫部末端にはスラットコンベヤ式エレベータが組み込まれている。

1. 主フレーム

主フレームはトラクタの3点リンクに平行リンクで装着され、収穫機の荷台を水平に保った状態で上下できる。また、収穫作業中は3個のゲージホイールで支持され、主フレームの地上高はゲージホイールにより調節ができる。

2. 収穫部懸架機構

収穫部は2軸スクリュオーガ、挟持ベルト、切断

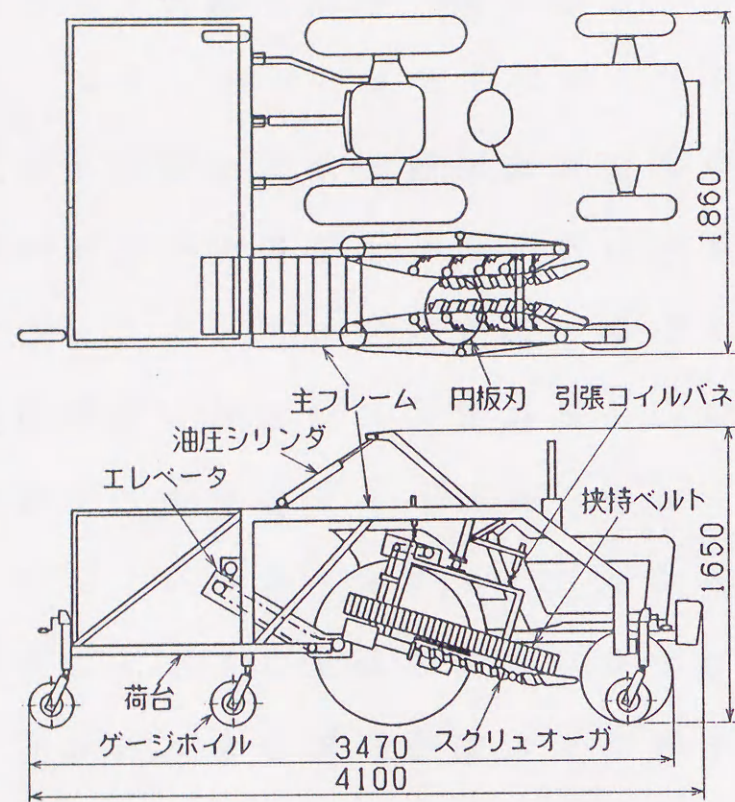


図21 トラクタ直装用収穫機の構造



写真24 トラクタ直装用収穫機の作業風景

表16 トラクタ直装用収穫機の主要諸元

項目	諸元
収穫機の形式	トラクタ直装式、1条用
収穫の方式	一斉収穫
作業工程	引抜き - 搬送 - 切断 - 搬送 - - 積み込み(人力) - 搬出 - 荷下ろし(人力)
機械の寸法	全長 全幅 全高 3470mm 1860mm 1650mm(作業機のみ) 4100mm 1860mm 1650mm(トラクタ装着時)
質量	345kg(作業機のみ)、 1534kg(トラクタ装着時)
スクリューオーガ	形式:2軸式、外径55mm、溝の深さ10mm
挟持ベルト	形式:左右挟持式、幅:120mm、軸間:1124mm
切断刃	形式:回転円板刃、直径:300mm、厚さ:2.5mm
エレベータ	形式:スラットコンベヤ、幅:300mm、 コンベヤ長(軸間):1220mm
荷台	幅:1800mm、奥行:1000mm、高さ:700mm
動力伝達方式	油圧式(モータ:3個、シリンダ:1本)

刃から成り、主フレームからリンク機構により前方に懸架され、油圧シリンダの伸縮により上下調節ができる。更に、収穫部は上部中央位置のリンクの節を支点として先端部が上下方向に回動し得る構造とし、その動きは2本の引張コイルバネで規制している。

収穫機の移動時には収穫部を上げ、作業時にはスクリュオーガの先端部が地表面に接するように収穫部を下げる。この収穫部と地表面との相対位置の設定はリンクの節にカムとマイクロスイッチを取り付け、収穫部と懸架リンクの角度の変化をマイクロスイッチで検知し、電磁式油圧切換弁で油圧シリンダを定位置まで伸ばすことにより行うようにした。カム角度を調節して、マイクロスイッチの入切点を変更することで設定位置の変更ができる。

3. スクリューオーガ

収穫部下部に設けた2軸スクリュオーガの形状は写真25及び写真26のとおりで、スクリュオーガの山径を55mmとし、溝の断面形状は半径15mmで深さ10mmの円弧状とし、螺旋のピッチを80mmとした。この2軸スクリュオーガは、左右の溝間にハクサイの

根茎部を挟んで引抜き搬送するとともに、スクリュオーガの山部で結球部の底面を支えて根茎部切断位置を揃える。また、切断後の外葉と根茎部をスクリュオーガの末端まで搬送して圃場へ放出する。

4. 挟持ベルト

挟持ベルトは写真25及び写真26のとおりで、アタッチメント付チェーン、アタッチメント、テンシヨナから成る。アタッチメントは軽量で弾性のある硬質塩ビ板(厚さ3mm)に耐久性のあるネオプレンスポンジゴム板(厚さ10mm)を貼付したものと、チェーンアタッチメントにボルトで固定した。テンシヨナは挟持部分のベルトに弾性をもたせるとともに、チェーンに張力を与えるものであり、挟持ベルトにハクサイが円滑に挟み込まれるよう、アームの短いテンシヨナ1個を新たに追加して左右各々5個とした。なお、テンシヨナ用の引張コイルバネはバネ定数1.47kN/mで、歩行型収穫機と同じにした。挟持ベルトはスクリュオーガとともにハクサイを引き抜き保持しながら搬送し、外葉と根茎部を切断した後の結球をエレベータまで搬送する。挟持ベルトはハクサイを直立した姿勢で搬送するが、エレベータ



写真25 スクリューオーガと挟持ベルトの概観

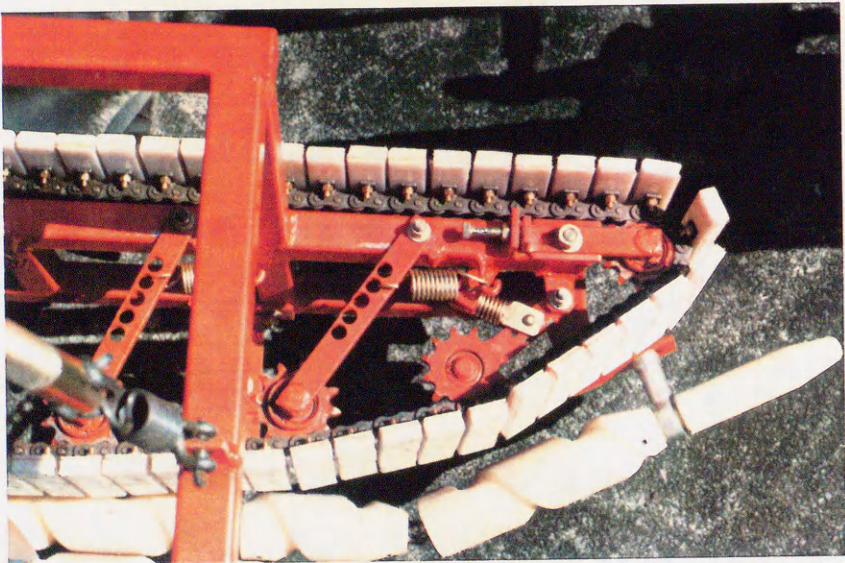


写真26 スクリューオーガと挟持ベルトの概観

で安定した姿勢で搬送できるように、挟持ベルト末端上部に抵抗板を配置して結球下部を搬送方向に向けて寝かせるようにした。

5. 切断刃

結球から外葉と根茎部を切除するための切断刃は回転円板刃（片刃、直径300mm、厚さ2.5mm、刃幅30mm）とし、標準周速度を6.3m/sとした。

6. 切断刃洗浄装置

ハクサイ切断面の土壌による汚れを防ぐため、ローラーポンプにより水を圧送し、ノズルから切断刃の上面に噴射して洗浄するとともに、切断刃上面にブラシを配置して汚れを取り除くようにした。ローラーポンプの標準回転速度を60rpmとし、この時の吐出量は300ml/minとした。

7. エレベータ

挟持ベルトから横に寝かせた姿勢で送られてくる結球を荷台まで搬送するスラットコンベヤ式エレベータは図22のとおりで、搬送角度を30°とし、スラットの高さを50mm、スラットの幅を257mmとした。

図21は、荷台の構造を示す。荷台は幅1800mm、奥行き1000mmで、前部トラクタ装着面と左側面及び後部の一部に高さ700mmの側板を備え、収納容積を約0.6

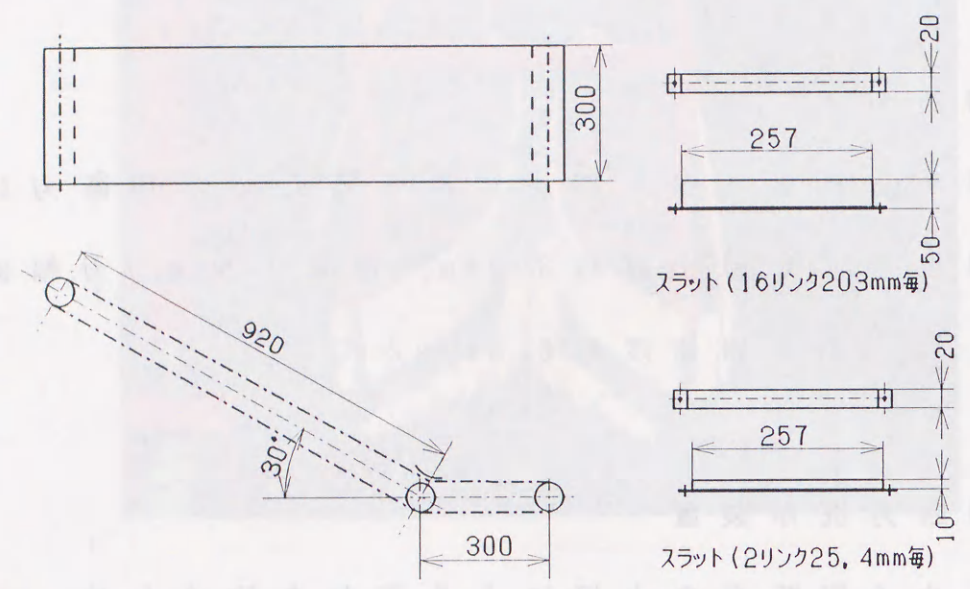


図22 エレベータの構造

また、挟持ベルトからエレベータへの結球の乗り移りが円滑になるよう、挟持ベルト末端下部からエレベータ前方の間にローラを配置した。エレベータ末端排出部の荷台からの高さは、荷台への移し替え作業が行い易いように400mmとした。

8. 荷台

荷台は写真27に示すとおりで、幅1800mm、奥行き1000mmで、前部トラクタ装着面と左側面及び後部の一部に高さ700mmの側板を備え、収納容積を約0.6

m³とした。なお、荷下ろし時には後部の側板は取り外せる構造にした。

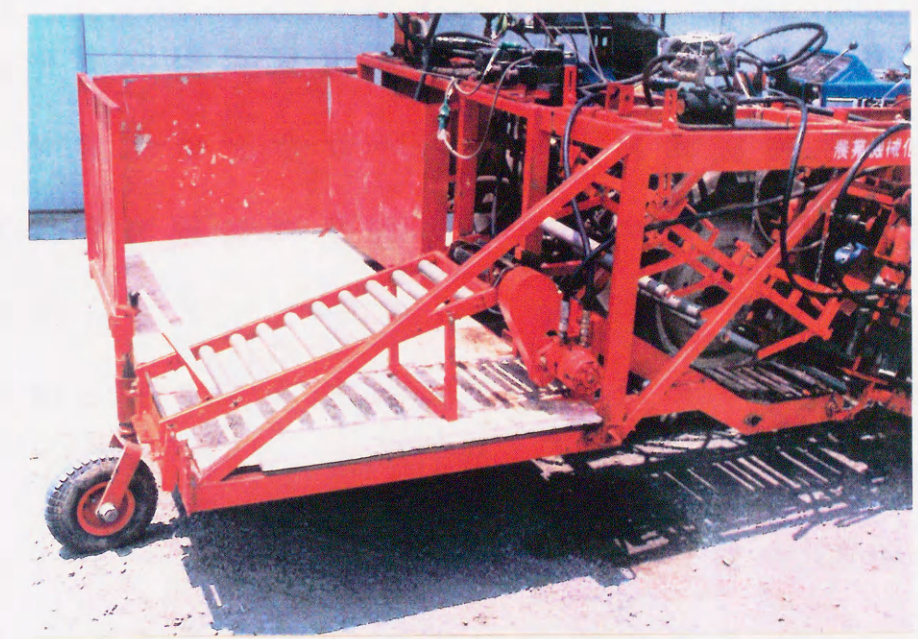


写真27 荷台の概観

第3節 作業性能

圃場での予備試験により、試作したトラクタ直装用収穫機が引抜き、根茎部の切断、荷台への搬送、圃場内運搬の各作業を連続してできることを確認した。そこで作業性能を把握し改良を図ることを目的として、挟持ベルトの搬送速度に対するスクリュオーガの搬送速度の比と、スクリュオーガのピッチの大きさ及び油圧回路の流量調節方式について検討するため、生研機構川里農場とハクサイの主産地である茨城県八千代町の農業者の圃場で試験を行った。

1. 挟持ベルトの搬送速度に対するスクリュオーガの搬送速度の比

(1) 試験方法

トラクタ直装用収穫機の圃場予備試験から、円滑な作業を行うためには挟持ベルトの搬送速度の水平方向成分とトラクタの走行速度を一致させることが重要で、挟持ベルトの搬送速度がトラクタの走行速度より遅いとハクサイを前方に押し倒し、逆に速いと後方に傾け、ハクサイに損傷を与えることが観察

された。

収穫部は水平面に対し 15° の傾斜で作用するように設計したが、ハクサイは直立して生育しており、その姿勢で挟持ベルトとスクリュオーガで保持して引抜き搬送し、切断刃で外葉と根茎部を切断すると、結球の底面は 15° の角度で斜めに切断される。結球底面を切断刃と平行にするには、挟持ベルトの搬送速度よりスクリュオーガの搬送速度を速くして、切断刃までの搬送中に姿勢を矯正する必要がある。結球部を挟持する挟持ベルトの中心線と根茎部を保持するスクリュオーガの中心線の距離は 140mm であり、両者がハクサイを保持し始める位置から切断刃までの距離が約 360mm である。このことから、スクリュオーガ先端から切断刃までの搬送中に姿勢を 15° 相当分矯正するためには、挟持ベルトの搬送速度に対するスクリュオーガの搬送速度の比（以下搬送速度比という）を 1.1 とすることが適当であると計算された。

この搬送速度比のほか、2軸スクリュオーガ山部の間隙（以下スクリュオーガ間隙という）、スクリュオーガ山部上面から切断刃までの距離（以下切断刃の高さという）を変えて圃場試験を行った。試験

表17 試験条件(挟持ベルトとスクリュオーガの搬送速度比の影響)

試験 番号	供試 品種	供試 個数	結球 質量 kg	スクリュオーガ 間隙 mm	刃の* 高さ mm	搬送 速度比**
1	錦秋	77	2.5±0.3	38	11	1
2	"	63	"	28	6	"
3	"	37	"	"	"	1.13
4	王将	77	3.0±0.5	"	"	"
5	無双	68	2.7±0.4	"	"	"

試験場所：生研機構川里農場(灰色低地土)、
 土壌硬度：225N/cm²(深さ15cmまでの平均)、
 引抜き力：王将376±85N、無双254±56N
 作業速度：0.2m/s

*スクリュオーガの山部から切断刃までの距離

**スクリュオーガ搬送速度の挟持ベルト搬送速度に対する比

条件は表17に示すとおりである。作業精度の調査は、収穫した全ての結球について外葉と根茎部の切断状態を観察し、平行適切り、平行浅切り、斜め浅切り、平行深切り、斜め深切りの5段階に分類した(図19及び写真19~23参照)。

(2) 圃場試験結果及び考察

圃場試験結果を表18及び図23に示す。

試験番号1、2からスクリュオーガ間隙(W)と、切断刃の高さ(H)が切断精度に及ぼす影響を見ると、Hを11mmと高くしWを38mm(溝部の間隙：58mm)と広

表18 圃場試験結果

試験 番号	切断精度(%)				
	良切断			不良切断	
	平行適切り	平行浅切り	斜め浅切り	平行深切り	斜め深切り
1	16.9	5.2	27.3	15.6	35.1
2	9.5	36.5	39.7	12.7	1.6
3	8.1	43.2	35.1	10.8	2.7
4	32.5	35.1	27.3	5.2	0
5	10.9	15.6	42.2	21.9	9.4

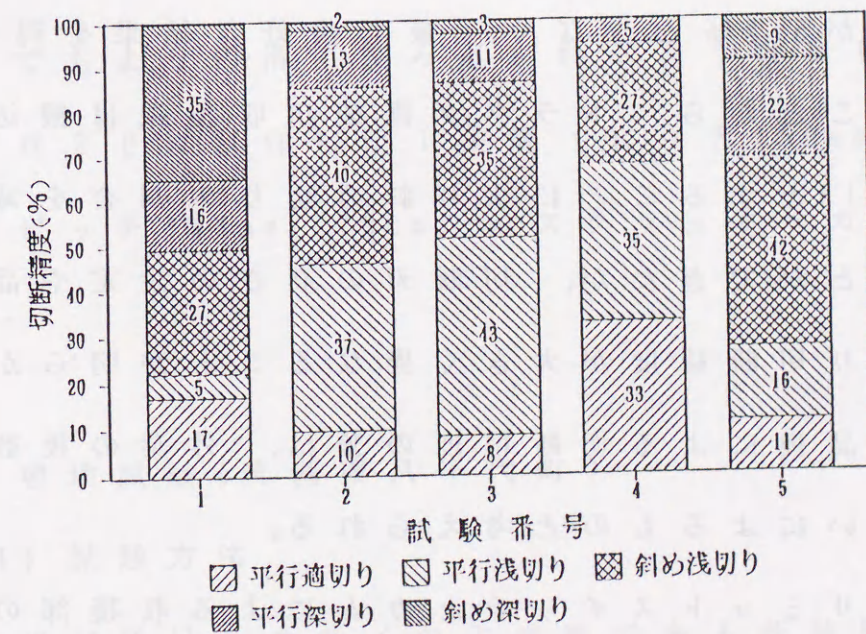


図23 切断状態(挟持ベルトとスクリュオーガの搬送速度比の影響)