

担当機関名 部・室名	鹿児島県農業開発総合センター 園芸作物部・農機研究室
実施期間	令和2年度～4年度、継続（終了年度）
大課題名	Ⅱ 高品質・高付加価値農産物の生産・供給技術の確立
課題名	キャベツの溝植え機能付き移植機の実用化促進と機械化体系の確立
目的	畝天面に切った溝の底に定植し、活着までの強風避けや結球時の倒伏を抑制する溝植えを行う「溝植え機能付き移植機」の実用化促進と機械化体系の確立を図る。
担当者名	鹿児島県農業開発総合センター園芸作物部農機研究室 研究員 大園賢志郎
<p>1. 試験場所 場内試験：鹿児島県農業開発総合センター 実証試験：鹿児島県大崎町</p> <p>2. 試験方法</p> <p>(1) 供試機械名 溝植え機能付き移植機（ベース機 全自動野菜移植機（PW10） キャベツ収穫機 HC-125（場内試験） キャベツ収穫機 KCH1400-AK（実証試験）</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア. 圃場条件 多腐植質黒ボク土（場内試験） 多腐植質厚層黒ボク土（実証試験）</p> <p>イ. 栽培等の概要</p> <p>(ア) 場内試験</p> <p>品 種 名 「おきなSP」 播 種 期 令和4年7月26日 移 植 期 令和4年8月31日 収 穫 期 令和4年12月1日 施 肥 N:P:K=15:15:15kg/10a（基肥 BB555 100kg/10a） ※追肥（NK化成2号 40kg/10a）・中耕培土を2回実施</p> <p>播 種 30角セルトレイ 128穴 栽植様式 畝幅60cm、株間35cm 4、761株/10a</p> <p>(イ) 実証試験</p> <p>品 種 名 「稜山7」 播 種 期 令和4年7月25日 移 植 期 令和4年8月25日 収 穫 期 令和4年12月8日 施 肥 N:P:K=15:15:15kg/10a（基肥高度化成48 100kg/10a） ※追肥（NK化成2号 40kg/10a）・中耕培土を1回実施</p> <p>播 種 30角セルトレイ 128穴 栽植様式 畝幅60cm、株間35cm 4、761株/10a</p> <p>ウ. 試験区の構成</p> <p>試験区 ①試験 溝植区 、②対照 平植区</p>	

## エ. 調査項目

### (ア) 場内試験

移植時 (溝寸法、機械移植精度)

収穫時 (生育・倒伏状況、茎寸法・茎曲がり状況、機械収穫精度、機械収穫作業能率)

その他 (畝高による溝植えへの影響、砂質土における溝植え)

### (イ) 実証試験

移植時 (機械移植精度)

収穫時 (生育・倒伏状況、茎寸法、機械収穫精度、機械収穫作業能率)

### (ウ) 補足試験

畝高による溝植えへの影響 (溝寸法)

礫土壌における溝植え (溝寸法、移植精度)

## 3. 試験結果

### (1) 溝植え機能付き移植機の概要

溝植え機能付き移植機とは、ベース機の全自動野菜移植機 (PW10) に畝天面に溝を切る溝切り装置を取り付け、溝切りと移植を一行程で行い溝植えを可能とする移植機である。

溝切り装置は機体中央底部に取り付け、また、覆土輪は溝を崩さないよう溝内を通過できる形状で作成し取り替えた。なお、溝切り装置、覆土輪は3Dプリンター「Mastering MAESTRO Ver.2.3」で作成した (写真1、2)。

### (2) キャベツ収穫機の概要

供試したキャベツ収穫機 (写真3) は、前部の搔込みホイールでキャベツを引き抜き、茎部ベルトで搬送しながら、結球部ベルトで結球部を左右から挟持する。その後、両ベルト速度差でキャベツの姿勢を制御し、茎部を固定刃もしくは回転刃で切断する。この搬送切断行程でキャベツの倒伏、軸部の曲がり程度が収穫精度に影響を及ぼし、斜め切りや深切りが発生すると考えられる。搬送工程を経たキャベツは、機体の後方で作業員が鉄コンテナに移す。

### (3) 場内試験

#### ア. 溝切り精度

本試験では平植区、溝植区ともに作業速度約1.1km/hで移植した。栽植様式は畝幅60cm、株間35cmとした。溝の深さは5cmで設定し作条した。溝切り後の溝寸法は、溝幅18cm、溝深さ4.5cmであった (表1、写真4)。

#### イ. 移植精度

移植後の植付状況は、正常に移植された「正常」、浅く移植された「浅植」、移植後苗が斜めに傾いた「転倒」、移植後土に埋もれた「埋没」、「欠株」の5項目で評価した。

正常は溝植区が90%で平植区の98%と有意な差は認められなかった。埋没は溝植区が10%と平植区の2%に比べてやや多く見られたが、有意な差は認められなかった。浅植、転倒、欠株は両区とも発生しなかった (表2)。

#### ウ. 収穫時の生育・結球倒伏状況

収穫時の外葉数や結球重等生育状況は、試験区間で有意な差はなかった (表3)。

結球の倒伏状況は、0～3の4段階で評価し、数値が小さいほど倒れていないことを示す

(図1)。0～3すべての段階において試験区間で有意な差はなかった。また今作は機械収穫が困難になってくる倒伏状況3の割合が平植区で58%、溝植区で32%と昨年度の試験時(平植区18%、溝植区1%)に比べて多くなった(表3、写真5)。

#### エ. 収穫時の茎部状況

茎部が長く、曲がった状態の場合、結球が倒伏しやすいと考えられるため、茎長と茎曲がり状況を調査した。茎の曲がり状況は、0～3の4段階で評価し、数値が小さいほど曲がっていないことを示す。

茎長は溝植え区が4.4cmで平植区の6.1cmに比べて有意に短かった。茎の曲がり状況は、0～3すべての段階において試験区間で有意な差はなかったが、溝植区は平植区に比べて、0、1の割合が高く曲がり少ない茎が多かった(表4、写真6、7)。

#### オ. 機械収穫作業時間

本試験では収穫の実作業時間のみ(旋回やコンテナ交換等は含まない)を計測した。

収穫作業時間は、溝植区が291min/10aで平植区の315min/10aに比べて約1割短かった。しかし、溝植区については、昨年度は190min/10aであったが、今年度は昨年度比べて作業時間が長くなった(表5)。

#### カ. 機械収穫精度

機械収穫精度は、結球部の損傷がないものを「適切」、切りすぎたものを「深切」、斜めに切りすぎたものを「斜め切り」とした。また、搬送ベルトへ掻き込む際に茎が折れて搬送されなかった結球を「茎折れ」、収穫の搬送過程で傷がついた結球を「損傷」とした(写真8)。

適切は溝植区が71%で平植区の62%に比べて有意な差はなかった。深切、斜め切りも同様に試験区間で有意な差はなかった。また損傷は溝植区が28%、平植区が26%とどちらの区も昨年度に比べて発生が多かった(表6)。

### (4) 実証試験

#### ア. 移植精度

溝植区の移植精度は正常が93%で埋没が7%発生した。浅植、転倒、欠株は発生しなかった(表7)。

#### イ. 収穫時の生育及び結球倒伏状況

収穫時の展開長や結球重は、試験区間で有意な差はなかった。茎長は溝植え区が1.4cmで平植区の3.0cmに比べて有意に短かった。結球倒伏状況は、0～3すべての段階において試験区間で有意な差はなかったが、溝植区は平植区に比べて、0、1の割合が高く倒伏が少ない株が多かった(表8)。

#### ウ. 機械収穫作業時間

実証試験では収穫の実作業時間のみ(旋回やコンテナ交換等は含まない)を計測した。

収穫作業時間は、溝植区が115 min/10aで平植区の153 min/10aに比べて約2割短くなった。

#### エ. 機械収穫精度

機械収穫精度は、ベルト搬送ができなかった結球とできた結球に分けて調査した。ベルト搬送ができなかった結球のうち、畝間まで結球が倒伏し掻き込めず収穫できなかった結球を

「畝間倒れ」、搬送ベルトへ掻き込む際に茎が折れて搬送されなかった結球を「茎折れ」とした。ベルト搬送ができた結球のうち、鉄コンテナに収納され出荷される結球を「適切り」、結球の半分近くが回転刃で切断され出荷できないと判断された結球を「実切り」、病虫害被害等により出荷できないと判断された結球を「その他」とした。

ベルト搬送ができなかった結球のうち、畝間倒れは、溝植区では発生しなかったが、平植区では6%であった。茎折れはどちらの区も発生しなかった（表10）。

ベルト搬送ができた結球のうち、適切りは、溝植区が97%で平植区の90%に比べて有意な差はなかったが溝植区が多い傾向にあった。実切りは、溝植区が2%で平植区の8%に比べて有意な差はなかったが平植区が多い傾向にあった（表11、写真9）。

#### (5) 補足試験

##### ア. 畝高の違いによる溝植えへの影響

昨年度畝高約12cmで畝立て1週間後の大雨により苗の茎部が埋まる前に溝が崩れ、倒伏抑制効果が低下する傾向が見られた。そこで畝高の違いによる溝植えへの影響を検証した。本試験では畝高を18cmと12cmの2パターンで実施した。なお、今年度は9月18日に台風が上陸した。溝植え26日後（9月27日）の畝高は畝高18cmが12cm、畝高12cmが5cmとどちらも低くなった。溝深さは畝高18cmが5.8cmから1.2cm、畝高12cmが6.1cmから0.9cmとともに浅くなり、どちらも茎部は深く埋まっていた（表12）。今年度の降雨条件では畝高の違いによる溝植えへの影響は見られなかった。

##### イ. 礫土壌における溝植え

鹿児島県の南薩地方では砂質土の畑地帯でキャベツが栽培されているため、礫土壌における溝植えの溝切り精度と移植精度を確認した。

溝切り後の溝寸法は、作業速度1.3km/hで溝幅19cm、溝深さ5cmであった。さらに作業速度を1.5m/hにあげた場合でも溝幅19.1cm、溝深さ4.8cmと黒ボク土での溝植えと同等に作条することができた（表13）。

移植精度も作業速度1.3km/h、1.5km/hどちらにおいても正常が93%と黒ボク土での溝植えと同等程度であった（表14）。以上のことから礫土壌のキャベツ栽培においても溝植えは可能であると考えられた。

#### 4. 主要成果の具体的データ

表1 溝寸法

試験区	溝幅(cm)	溝深(cm)
溝植	18	4.5

注)調査箇所は各区10箇所×3反復

表2 移植精度 (場内試験)

試験区	植付状況(%)				
	正常	浅植	転倒	埋没	欠株
平植	98	0	0	2	0
溝植	90	0	0	10	0
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns

注1) 調査株数は各区100株×3反復

注2) 分散分析の結果ns有意差なし (Arcsin変換を行って処理)

表3 収穫時の生育・結球倒伏状況 (場内試験)

区名	展開長 (cm)	引抜抵抗 (N)	外葉数 (枚)	結球重 (kg)	倒伏状況(%)					【参考】昨年度倒伏状況(%)				
					0	1	左計	2	3	0	1	左計	2	3
平植	63.0	174.6	12.9	2.5	1	9	10	32	58	8	25	33	49	18
溝植	60.4	162.1	13.6	2.2	2	14	16	52	32	27	42	69	30	1
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	—	—	—	—	—

注1) 調査株は各区10株×3反復

注2) 倒伏状況は 0:直立, 1:ほぼ直立, 2:斜め, 3:畝間まで倒伏

注3) 分散分析の結果ns有意差なし (倒伏状況はArcsin変換を行って処理)

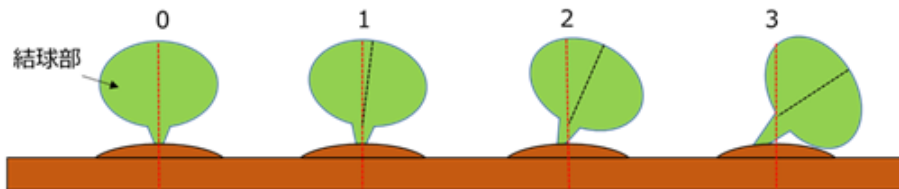


図1 倒伏程度のイメージ

表4 収穫時の茎部状況 (場内試験)

区名	茎長 (cm)	茎曲がり程度(%)			
		0	1	2	3
平植	6.1	20	30	50	0
溝植	4.4	40	40	20	0
分散分析	*	ns	ns	ns	ns

注1) 調査株数は各区10株×3反復

注2) 茎曲がり程度 0:曲がりなし, 1:45°未満, 2:45°以上~90°未満, 3:90°以上

注3) 分散分析の結果ns有意差なし, \*5%水準で有意差あり (茎曲がり程度はArcsin変換を行って処理)

表5 機械収穫作業時間 (場内試験)

試験区		平植	溝植	【参考】昨年度	
				平植	溝植
試験ほ場面積	a	1.1	1.1	1.1	1.1
有効作業幅	m	0.6	0.6	0.6	0.6
作業人員	人	4	4	4	4
作業時間	min/10a	315 (100)	291 (92)	322	190

※作業時間は機械がキャベツを収穫している時間のみ (巡回やコンテナ交換は含まない)

※ ( ) は平植区作業時間の対比

表 6 機械収穫精度（場内試験）

区名	外葉数 (枚)	収穫精度(%)					【参考】昨年度収穫精度(%)				
		適切	深切り	斜め切り	茎折れ	損傷	適切	深切り	斜め切り	茎折れ	損傷
平植	1.8	62	3	35	0	26	54	3	28	15	6
溝植	2.5	71	0	29	0	28	72	2	26	0	0
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-

注1) 調査株数は各区100株×3反復

注2) 分散分析の結果ns有意差なし（収穫精度，茎折れ，損傷はArcsin変換を行って処理）

注3) 茎折れ：掻き込み時に茎が折れて収穫できなかった結球

注4) 損傷：収穫された結球のうち，搬送過程で結球に傷がついた結球

表 7 移植精度（実証試験）

試験区	植付状況(%)				
	正常	浅植	転倒	埋没	欠株
溝植	93	0	0	7	0

注)調査株数は各区100株×3反復

表 8 収穫時の生育・結球倒伏状況（実証試験）

区名	展開長 cm	結球重 kg	茎長 cm	倒伏状況(%)				
				0	1	左計	2	3
平植	56.9	2.4	3.0	9	28	37	45	18
溝植	58.0	2.2	1.4	20	38	58	32	10
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注1) 調査株数は各区10株×3反復

注2) 倒伏状況は 0：直立，1：ほぼ直立，2：斜め，3：畝間まで倒伏

注3) 分散分析の結果ns有意差なし（倒伏状況はArcsin変換を行って処理）

表 9 機械収穫作業時間（実証試験）

試験区	平植	溝植	(参考)手収穫	
試験ほ場面積	a	1.1	1.1	3.2
有効作業幅	m	0.6	0.6	-
作業人員	人	6	6	6
作業時間	min/10a	153 (100)	115 (76)	205 (134)

※作業時間は機械がキャベツを収穫している時間のみ（旋回やコンテナ交換は含まない）

※（ ）は平植区作業時間の対比

表 10 ベルト搬送できなかった結球（実証試験）

区名	ベルト搬送不可(%)	
	畝間倒れ	茎折れ
平植	6	0
溝植	0	0
分散分析	*	ns

注1) 調査株数は各区200株×2反復

注2) 分散分析の結果ns有意差なし,\*5%水準で有意差あり（Arcsin変換を行って処理）

注3) 畝間倒れ：倒伏がひどく掻き込めず収穫できなかった結球

注4) 茎折れ：掻き込み時に茎が折れて収穫できなかった結球

表 11 ベルト搬送できた結球（実証試験）

区名	ベルト搬送可(%)		
	出荷 適切	廃棄 実切り その他	
平植	90	8	2
溝植	97	2	1
分散分析	ns	ns	ns

注1) 調査株数は各区200株×2反復

注2) 分散分析の結果ns有意差なし（Arcsin変換を行って処理）

表 12 畝高の違いによる溝植えへの影響

試験区	溝植え直後		溝植え27日後		補足
	畝高(cm)	溝深さ(cm)	畝高(cm)	溝深さ(cm)	
畝高18cm	18	5.8	12	1.2	9/1:溝植え
畝高12cm	12	6.1	5	0.9	9/18:台風上陸

注)調査箇所は各区10箇所×3反復

表 13 溝寸法（礫土壌試験）

試験区	溝幅(cm)	溝深(cm)
1.3km/h	19.0	5.0
1.5km/h	19.1	4.8

注)調査箇所は各区10箇所×3反復

表 14 移植精度（礫土壌試験）

試験区	植付状況(%)				
	正常	浅植	転倒	埋没	欠株
1.3km/h	93	0	3	3	0
1.5km/h	93	0	0	7	0
分散分析	ns	ns	ns	ns	ns

注1)調査株数は各区100株×3反復

注2)分散分析の結果ns有意差なし（Arcsin変換を行って処理）

表 15 労働時間（収穫時間）と労働費に係る試算

区名		平植	溝植
労働時間	h/10a	2.5	1.9
作業人数	人	6	6
延べ労働時間	h/10a	15.0	11.4
労働費	円/10a	12,795	9,724
(平植との差)		-	<b>(-3,071)</b>

※労働費は、労働時間×853円（鹿児島県最低賃金）とした。

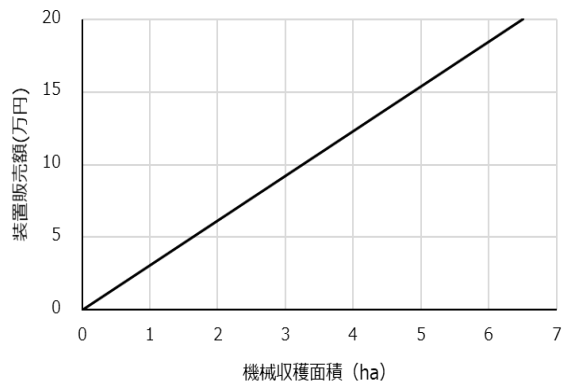


図 2 装置販売額と機械収穫面積

## 5. 経営評価

溝植えにより通常の平植えに比べて収穫時間が 0.36h/10a 削減され、労働費は試算の結果 3,071 円/10a 削減された（表 15）。溝植え装置は市販化されていないが、販売金額を 5 万円とした場合、収穫面積を約 1.6ha 以上確保することで導入代金を補うことができると試算された（図 2）。

## 6. 利用機械評価

溝植え機能付移植機のベース機である PW10 は、植付深さの自動制御機能、機体を水平制御し植付姿勢を一定に保つ UFO 装置等多くの機能が搭載されており操作性は非常に優れている。

溝植え機能付移植機は溝切り装置を上下に動かせるように設計されており、移植時の畝の硬度や水分状況に応じて溝切り装置の位置を変更する必要がある。この点以外は通常の移植機と同様の操作で移植できるため操作するにあたっての難易度も高くないと考えられる。

## 7. 成果の普及

普及情報として公開予定。試験成績検討会等で随時実証予定。

## 8. 考察

### （1）場内試験

#### ア. 溝植えによる倒伏抑制効果

今年度は平植区、溝植区どちらも昨年度に比べて結球が倒伏しており溝植えによる倒伏抑制効果は見られなかった。要因として中耕・培土時に畝の片側を削り崩してしまったことが考えられた。

#### イ. 溝植えによる収穫作業時間及び収穫精度への影響

今年度の作業時間は溝植区が 291min/10a と平植区の 315min/10a に比べて短くなった。一方で昨年度の溝植区は 190min/10a であり、今年度は昨年度に比べて収穫時間が長くなった。今年度は、結球が畝間まで倒伏し掻き込みホイルが結球を掻き込めず、搬送ベルトに入っていない株が多く見られた。このような状態になると作業を中断し掻き込めない結球を除去するか人為的に搬送ベルトに流すといった作業が必要になる。このことが今年度、溝植区の作業時間が昨年度に比べて長くなった要因であった。

このような収穫状況であったため平植区、溝植区どちらにおいても損傷の発生が昨年よりも多かった。掻き込めない株は掻き込みホイルが結球に接触し押し進めるため、接触した部分の外傷が多く見られた。全体的にも倒伏している株が多かったことから、適切には区間で有意な差は見られなかった。

今年度は中耕・培土により畝が崩れたことで溝植えによる倒伏抑制効果が見られないとともに、収穫精度の向上も見られなかったと考えられた。栽培方法として中耕・培土は現状ほとんどの農家を実施しているが、今後機械収穫を検討する際には結球を倒伏させない栽培方法として、畝を崩しにくい中耕・培土の方法も検討する必要があると考えられた。

### （2）実証試験

#### ア. 溝植え機能付き移植機による移植作業の実証農家評価



「溝植えは簡単な技術で現場でもすぐ導入できる点がよい」との評価をいただいた。また、追加要望として「2条植え移植機での溝植え」が上がった。

#### イ. 溝植えによる倒伏抑制効果

結球の倒伏状況は区間で有意な差は見られなかったが、溝植区は平植区に比べて倒伏していない株が多い傾向が見られた。茎部の長さが溝植え区は1.4cmで平植区の3.0cmに比べて有意に短かったことから、溝植えにより茎部が深く埋まり倒伏の抑制につながったと考えられた。

#### ウ. 溝植えによる収穫作業時間及び収穫精度への影響

収穫作業時間は、溝植区が115min/10aで平植区の153min/10aに比べて約2割短くなった。平植区では、場内試験と同様に結球が畝間まで倒伏し掻き込みホイルが結球を掻き込めず、搬送ベルトに入っていない株が見られ、作業を中断し掻き込めない結球をオペレータが搬送ベルトに流すため降車するといった作業が必要であった。このことから溝植区の作業時間が平植区に比べて短くなった。

収穫精度調査では、結球の半分近くが回転刃で切断され出荷できないと判断された「実切り」が有意な差はないが、平植区は8%で溝植区の2%に比べて多かった。結球の倒伏が激しいため、掻き込まれても搬送ベルトにうまく挟持されなかったことが要因と考えられた。

#### エ. 収穫後のオペレータ感想

試験時に収穫機のオペレータをしていただいた実証農家から「平植えは倒伏している結球が多いのに加え、左右に倒伏がばらばらであるため収穫しにくかった。溝植えは倒れていても一方向であったため収穫しやすかった。」といった感想をいただいた。キャベツ収穫機は機体を傾ける機能があるため、一方向への倒伏した結球であればその方向へ機体を傾けることで収穫可能になる場合がある。しかし、左右に倒伏がばらばらであると操作が間に合わず収穫できなくなることが多い。溝植えにより茎の伸長や曲がりや抑えられ倒伏しにくくなっており、また、激しい倒伏は中耕・培土等による畝の崩れが主な要因であったことから左右への倒伏のばらつきを抑えられたのではないかと考えられた。

#### 9. 問題点と次年度の計画

本試験での溝植えは、12月頃が収穫時期である冬獲り栽培で行ったため、春獲り栽培への適応性も検討していく必要がある。なお、本課題は今年度が終了年度である。

10. 参考写真



写真1 全自動野菜移植機 (PW10)

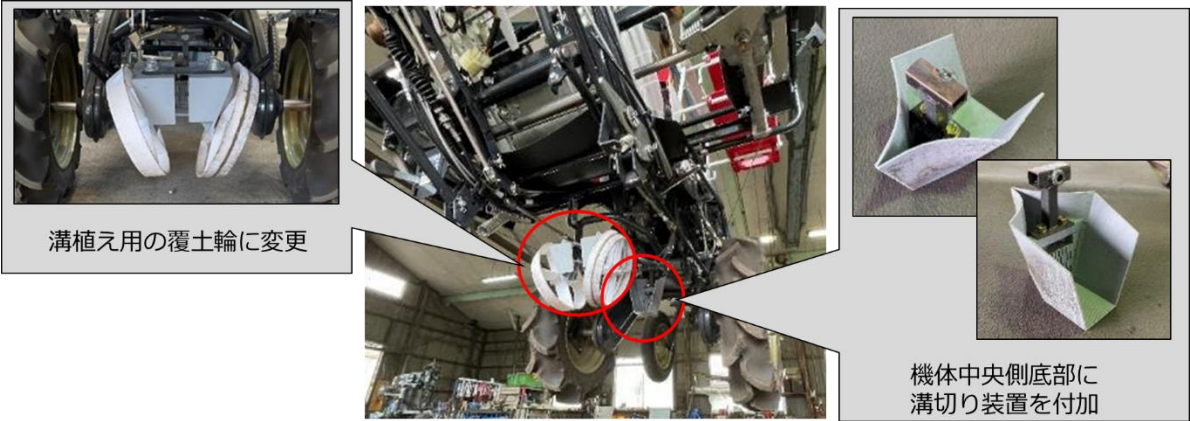


写真2 溝植え機能付き移植機の概要



写真3 キャベツ収穫機 (HC-125)

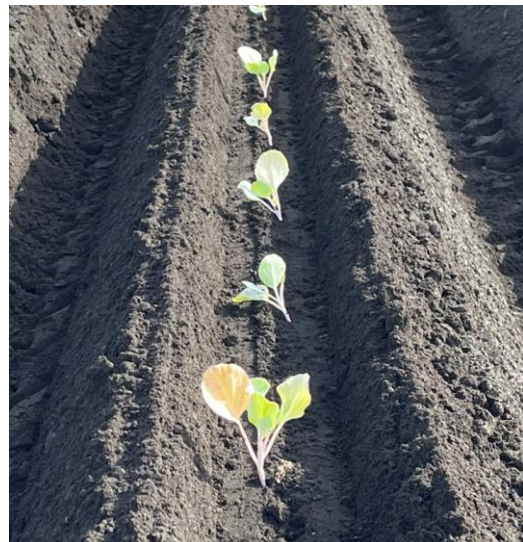


写真4 溝植えの様子





写真5 倒伏の激しいキャベツ



写真6 長さの異なる茎部 (左: 短い、右: 長い)

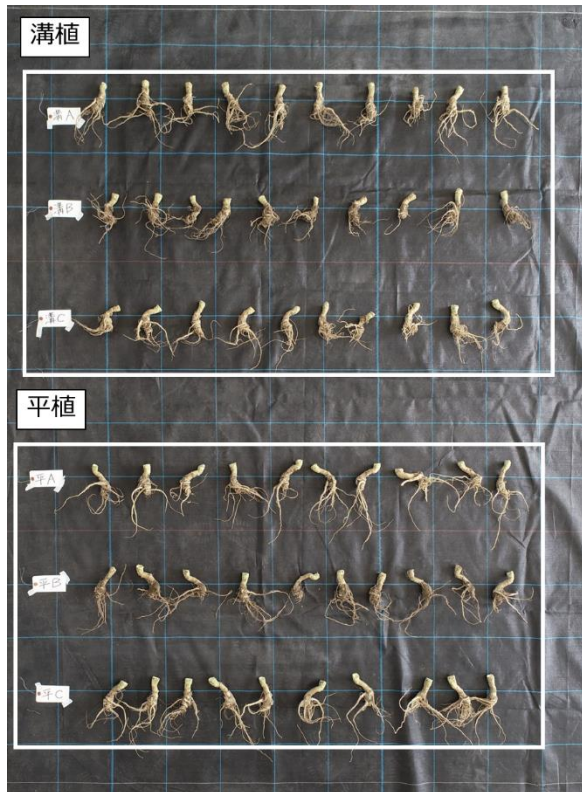


写真7 各区の茎部状況



写真8 収穫精度試験の各調査項目



写真9 実証試験における「実切り」