

# 農業機械化研究所研究報告

## 第 31 号

---

Technical Report  
of  
the Institute of Agricultural Machinery  
(Nogyo Kikaika Kenkyusho)  
Omiya, Saitama, Japan  
No.31 March 1998

---

農 機 研 報

Tech. Rep.  
Inst. of Agric.  
Mar.  
31 : 1 - 70  
1998

平成10年 3 月

生物系特定産業技術研究推進機構  
農 業 機 械 化 研 究 所  
埼玉県大宮市日進町 1 丁目

生物系特定産業技術研究推進機構

農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery

(Bio-oriented Technology Research Advancement Institution)

編集委員会

宮 永 豊 司

福 森 功

諏 澤 健 三

鷹 尾 宏之進

市 川 友 彦

長 木 司

八 木 茂

森 芳 明

北 村 誠

Editorial Committee

Toyoshi MIYANAGA (Chief)

Isao FUKUMORI

Kenzo SUSAWA

Hironoshin TAKAO

Tomohiko ICHIKAWA

Tsukasa NAGAKI

Shigeru YAGI

Yoshiaki MORI

Makoto KITAMURA

## 目 次

鈴木正肚・小林 研・小野田明彦・猪之奥康治・三浦恭志郎・平田孝三  
ウリ科野菜用接ぎ木装置の開発に関する研究

緒 言	1
1 接ぎ木苗生産の現状と研究の目的	2
1. 1 果菜生産の概要	2
1. 1. 1 果菜生産の推移	2
1. 1. 2 労働時間・生産費	3
1. 2 野菜苗生産の現状	3
1. 2. 1 セル成形苗	3
1. 2. 2 接ぎ木苗	4
1. 3 接ぎ木装置に関する既往の研究成果	8
1. 3. 1 接ぎ木装置の開発	8
1. 3. 2 接ぎ木作業の効率化	9
1. 3. 3 関連技術	9
1. 4 本研究の目的	9
1. 5 摘 要	9
2 機械接ぎ木の要素技術	10
2. 1 機械接ぎ木に適する接ぎ木法の検討	10
2. 1. 1 試験方法	10
2. 1. 2 試験結果	11
2. 1. 3 接ぎ木法の選択	12
2. 2 穂木・台木の形状と切断位置決め	12
2. 2. 1 調査方法	12
2. 2. 2 調査結果	13
2. 2. 3 切断部位の位置決めと苗の供給法の検討	13
2. 3 胚軸の圧縮と苗の生育	14
2. 3. 1 試験方法	14
2. 3. 2 試験結果	15
2. 4 苗の切断法	15
2. 4. 1 試験方法	15
2. 4. 2 試験結果	15
2. 5 接着資材の検討	16
2. 5. 1 検討した接着資材	19
2. 5. 2 試験結果	19
2. 5. 3 接着資材の選択	20
2. 6 摘 要	20

3	機械接ぎ木の可能性の検討	21
3.1	機能確認用接ぎ木装置の製作	21
3.1.1	機能確認機開発の目標	21
3.1.2	機能確認機の仕様	21
3.1.3	機能確認機の構造	21
3.1.4	機能確認機の接ぎ木動作	24
3.2	接ぎ木装置の機能確認と機械接ぎ木の可能性の検討	24
3.2.1	キュウリ接ぎ木試験	24
3.2.2	切断部性能試験	26
3.2.3	主要部の機能と機械接ぎ木の可能性の検討	27
3.3	摘要	28
4	実験用接ぎ木装置の開発	28
4.1	実験用接ぎ木装置の製作	28
4.1.1	機能確認機の改良点と実験機の仕様	28
4.1.2	実験機の製作	29
4.1.3	実験機による接ぎ木動作	34
4.2	実験機による接ぎ木作業	34
4.2.1	試験方法	34
4.2.2	試験結果	36
4.2.3	動作・性能の分析と改良点	38
4.3	実験機による接ぎ木作業の高精度化	38
4.3.1	実験機の改良	38
4.3.2	改良後の実験機の接ぎ木性能とウリ科野菜への適応性	41
4.4	機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の比較栽培試験	45
4.4.1	試験方法	45
4.4.2	試験結果	46
4.5	摘要	46
5	ウリ科野菜用接ぎ木装置の実用化	48
5.1	実証機の開発	48
5.1.1	実証機の製作	48
5.1.2	実証機の接ぎ木動作	52
5.2	苗生産地における実証試験	52
5.2.1	試験方法	52
5.2.2	実証機の改良	54
5.2.3	試験結果	57
5.3	接ぎ木装置の実用化と利用実態	59
5.3.1	接ぎ木装置の実用化	59
5.3.2	実用機の利用実態調査	60
5.4	摘要	61

6 総括	62
謝辞	64
参考文献	64
Summary	68

Technical Report of  
the Institute of Agricultural Machinery  
(Nogyo Kikaika Kenkyusho)

No.31 March 1998

C O N T E N T S

Introduction .....	1
1 Present Situation of Grafted Plants Production .....	2
2 Development of Fundamental Techniques for Mechanical Grafting .....	10
3 Examination on the Possibility of Mechanical Grafting using a Prototype Model .....	21
4 Continuous Grafting by an Experimental Model .....	28
5 Practicability of a Demonstration Model .....	48
6 Conclusion .....	62
Acknowledgement .....	64
References .....	64
Summary in English .....	68

## ウリ科野菜用接ぎ木装置の開発に関する研究

鈴木正壯\*・小林 研\*・小野田明彦\*\*・  
猪之奥康治\*\*\*・三浦恭志郎\*\*\*\*・平田孝三\*\*\*\*\*

1997-8-18 受理

- \* 基礎技術研究部
- \*\* 基礎技術研究部（農林水産省中国農業試験場）
- \*\*\* 研究第4部（農林水産省四国農業試験場）
- \*\*\*\* 研究第4部（国際協力事業団日韓農業共同研究団）
- \*\*\*\*\* 研究第4部（東北工業大学）

### 抄 録

ウリ科野菜苗の接ぎ木作業を機械化するため、苗形状測定や苗把持法等機械接ぎ木に必要な要素技術を開発した後、装置の試作、試験そして改良を繰り返し行った結果、穂木と台木をそれぞれ1名が1株ずつ供給する方式で、クリップを用いた「片葉切断接ぎ法」による接ぎ木を行うウリ科野菜用接ぎ木装置を開発した。

本装置開発のポイントは、台木の子葉と生長点及び穂木胚軸を切除するための位置決め基準を子葉展開基部としたこと、一度把持した苗は接ぎ木が終了するまで解放しないようにしたことである。これらにより胚軸の曲がりや長さ等ばらつきが大きい苗形状への適応性を高めることができた。

苗生産現場での実証試験に供試した接ぎ木装置は、作業能率 660~840 株/h，接着率90%以上の性能で作業を安定的に行うことができ、実用性が認められた。この成果は農業機械メーカーに移転され、1993年10月「接ぎ木ロボット」として商品化された。

### 緒 言

接ぎ木は、果樹栽培で古くから行われているが、野菜栽培では昭和初期にスイカのつる割れ病を防ぐことを目的に始められたのがわが国での最初といわれ、土壌伝染性病害による連作障害回避を目的として開発された技術である<sup>1)</sup>。さらに、接ぎ木は作物自身にはない有用な形質を付与することも可能であり、低温伸長性の付与による省エネルギー<sup>2), 3)</sup>やブルームレスキュウリのように生産物に付加価値を付けるなど目的も多様化している。

一方、バイオテクノロジーの分野でも接ぎ木が「バイ

テク支援技術」として注目されている。バイオテクノロジーで得られた成果を農業生産の場に普及する技術の一つとして、大量増殖された作物を穂木として在来の台木に接ぎ木する研究も行われている<sup>4), 5)</sup>。

野菜の栽培面積は1992年現在約63万haである。そのうち接ぎ木栽培されるキュウリ、スイカ、メロン、ナス、トマトの5果菜は約88,000haで14%を占めている<sup>6)</sup>。農林水産省野菜・茶業試験場が1990年産を対象に接ぎ木栽培面積を調査した結果<sup>7)</sup>によると、果菜栽培面積の約59%で接ぎ木栽培が行われている。

今日、主要果菜においては、生産量の半数近くを施設ものが占めるまでになった。このような状況の下、栽培施設の固定化が進み、それに伴う連作障害が大きな問題となり、その回避のためキュウリ、スイカ、ナスでは90%以上の割合で接ぎ木栽培が行われている。特にウリ科野菜が高い割合である。

果菜栽培では、生産物に対する消費者ニーズが多様化し、産地には高品質であることはもとより、季節を問わず均質なものを一定量、安定的に出荷することが求められている<sup>8), 9)</sup>。

そのため栽培の周年化が進み、収穫期間中に次の育苗を行う作業競合が見られるようになってきた。しかし、果菜栽培にあっても、担い手不足、担い手の高齢化・婦女子化が顕在化し、労働力の安定的確保が大きな問題となっている。接ぎ木作業は、短期間に大量の苗を処理する必要があるが、全て手作業で行われており、農家では労働力不足の他に作業後の肉体的・精神的疲労が、苗生産業者においては熟練労働力の安定確保が問題となっており、機械化の要望が強くなっている。

このように接ぎ木は、農業生産の安定化にとって重要な技術の一つと位置付けられ、果菜生産にあっては不可欠のものとなっている。

このような背景のもと、本研究は、ウリ科野菜の接ぎ木苗を省力的に大量生産する装置を開発することを目的に行った。

本報告書では以下について述べる。1では、野菜苗生産の現状、特に接ぎ木苗生産の調査結果から、本研究の背景と目的を述べる。2では、機械接ぎ木に必要な要素技術について検討する。3では、機械接ぎ木に必要な基本機構で構成した機能確認機の試験結果をもとに、機械による接ぎ木の可能性について検討する。4では、連続接ぎ木作業を行った実験機の構成、性能、そしてスイカ、メロン苗への適応性について述べる。また機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の比較栽培を行い、機械接ぎ木苗が収量、品質に影響しないことを述べる。そして5では、機能確認機と実験機で確立された技術をベースに実用化を目的に開発した機械接ぎ木実証機の性能と、この成果を受け1993年10月に農業機械メーカーで商品化され、全国に販売されたキュウリ用接ぎ木装置の利用実態を述べる。なお、この研究で示した接ぎ木作業の機械化技術は1991年度の

「新技術」として農林水産省に認定された<sup>10)</sup>。

接ぎ木装置の開発は、生産者にとっては、労働力不足を解消するとともに、精緻な作業を機械化して作業を効率的に行うことを可能とする。また、生産規模の拡大と適期作業を可能にし、収量を安定化して品質の高い農産物の生産が期待される。

一方、苗生産業者にとっては、従来、実生苗のみでは採算の点で経営が難しいとされていたが、そこに付加価値の高い接ぎ木苗を加えることができ、事業として成り立つことを可能とするものと期待される。また、購入苗を使って栽培に専念したいとする農業者が増加している現場の期待にも応えるものと思われる。

## 1 接ぎ木苗生産の現状と研究の目的

### 1. 1 果菜生産の概要

#### 1. 1. 1 果菜生産の推移

果菜の栽培面積は、年々減少しており1992年の実績調査によれば、キュウリ19,000ha、ナス16,000ha、トマト14,000haである。これを1988年の栽培面積と比較するとそれぞれ88.0%、87.9%、94.0%となっている。しかし、生産量の減少割合はやや小さく、それぞれ92.1%、92.2%、99.6%である<sup>6)</sup>。

野菜生産全体もやや減少している。異常気象や消費の低迷などの他に、労働力の高齢化や担い手不足が栽培面積減少の原因である、と分析されている<sup>11)</sup>。このような減少傾向を反映して、最近では、漬物用などに輸入される果菜が増加している<sup>12)</sup>。農林水産省では、減少傾向をとめる対策として、機械化・省力化技術の開発、労働力調整システムの構築、野菜出荷規格の簡素化など各種の施策を講じている<sup>13)</sup>。

野菜生産は産地間競争が激しく、主要生産県の順位の入れ替わりも見られる。例えばキュウリ生産をみると、生産量上位5県が1975年には、上から福島、埼玉、群馬、千葉、高知であったものが、1990年には福島、群馬、埼玉、宮崎、千葉と順位と県の入替わりがある<sup>6)</sup>。このように順位が変わるのは、一つには高速道路などの輸送網の発達があるが、情報化時代に入り市場情報が全国どこでも、また誰もが自由に得ることができるようになったことも理由の一つである。情報の分析によって市場ニーズをいち早く掴み、市場の信頼を得た産地が伸びてい



表1 キュウリ生産の10a当たり作業別労働時間<sup>16)</sup>

作業名	冬春どり				夏秋どり			
	ハウス加温 (hr)	(%)	ハウス無加温 (hr)	(%)	露地 (hr)	(%)	ハウス無加温 (hr)	(%)
育苗	60.6	4.6	122.9	13.3	56.2	7.3	58.7	10.3
本圃床土作り・入れ替え	4.7	0.4	-	-	-	-	9.8	1.7
本圃耕起及び整地	25.7	1.9	13.8	1.5	13.8	1.8	17.4	3.1
保温施設組立	8.2	0.6	-	-	1.0	0.1	14.5	2.5
基肥	29.3	2.2	14.0	1.5	14.0	1.8	12.7	2.2
定植	27.0	2.0	26.2	2.8	26.2	3.4	23.2	4.1
かん排水・保温・換気	53.1	4.0	8.7	0.9	8.7	1.1	24.1	4.2
中耕除草	18.0	1.4	21.4	2.3	21.4	2.8	5.0	0.9
追肥	15.3	1.2	9.1	1.0	9.1	1.2	4.8	0.8
栽培管理	386.6	29.1	122.6	13.3	122.6	16.0	116.0	20.4
防除	43.6	3.3	40.5	4.4	40.5	5.3	22.1	3.9
収穫・調製	626.0	47.1	384.8	41.7	384.8	50.2	230.9	40.6
後片付け	39.3	3.0	31.2	3.4	31.2	4.1	13.9	2.4
保温施設とりこわし	3.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.0	-	-
生産管理	19.7	1.5	36.6	4.0	36.6	4.8	15.8	2.8
合計	1330.1	100.0	922.4	100.0	766.3	100.0	568.9	100.0

るといふ<sup>14)</sup>。また、労働力確保の難しさ、担い手の高齢化などもその一因と考えられる。

キュウリ栽培農家1戸当たりの栽培面積は露地栽培が約19a、ハウス栽培では24~30aである<sup>15)</sup>。

### 1. 1. 2 労働時間・生産費<sup>16)</sup>

表1はキュウリの10a当たり作業別労働時間を示したものである。冬春どり（促成栽培）のハウス加温が10a当たり労働時間が最も多く1,330時間である。ちなみに、機械化の進んでいる水稻の約40時間と比較すると、実に30倍を超える。

キュウリの作業別労働時間は、収穫・調製作業が最も多く40~47%と約半分を占めている。次いで栽培管理13~29%、育苗管理は5~10%である。キュウリを周年栽培する地域では、収穫・調製作業を行う一方で、育苗作業を行う作業競合が起きており、この時期は一層の労働力不足となっている。

1991年度のキュウリの10a当たり生産費は、作型によって異なり、120~300万円の範囲である。最も高いのは労働費で56~73%を占め、機械化の一つの指標となる農機具費は僅か2~3%である。

## 1. 2 野菜苗生産の現状

### 1. 2. 1 セル成形苗

農家自身が行う苗生産では、前述のように作業競合などから労働力不足が大きな問題となっており、さらに育苗は高度な技術を必要とするため、誰もが良い苗を作ることができないこともあって、購入苗を利用し栽培に専念したい、規模を拡大したい、とする農家が増加する傾向にある<sup>17)</sup>。このように、日本には苗生産業が成り立つ環境が整ってきているとみられる。

セル成形苗は、根鉢を形成する丸型や角型の多数の窪みを持つ大きさが約30×60cmのプラスチックあるいは発泡スチロール製トレイに育苗された苗である。この苗の生産技術は欧米から導入されたもので<sup>18)</sup>、機械化が進んでおり、レタス、ブロッコリ、ハクサイ、キャベツでは、それぞれ年4,000万本を越える苗が生産されている。苗供給を自動化した野菜移植機は、セル成形苗を植え付ける方式<sup>19)~22)</sup>のものが多く、この移植機の普及が進むと品目も数量もさらに増加するものと思われる。

セル成形苗は、農協などが運営する共同育苗施設や種苗会社などによる供給が多く、生産数量はかなりの速度で増加している。利用状況を最も生産数量の多いレタス

でみると、1991年の1億5,500万本が翌年には1億8,400万本と約20%増加している。他の野菜でもキャベツの98%増を最高に30%以上の増加となっている。

果菜ではトマトが最も多く、1992年に1,100万本利用されている<sup>2,3)</sup>。

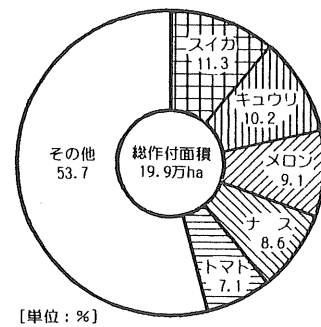
## 1. 2. 2 接ぎ木苗

1) 接ぎ木苗の普及 図1に品目毎の接ぎ木苗普及状況を示す。農林水産省野菜・茶業試験場が実施した1990年産野菜の接ぎ木栽培状況調査結果<sup>7)</sup>による品目別面積割合は、ウリ科では、高い順にスイカ93%、キュウリ72%、露地メロン44%、温室メロン42%、ハウスメロン26%であり、ナス科では、ナス50%、トマト32%となっている。接ぎ木苗の普及割合はウリ科の方がナス科より高くなっている。

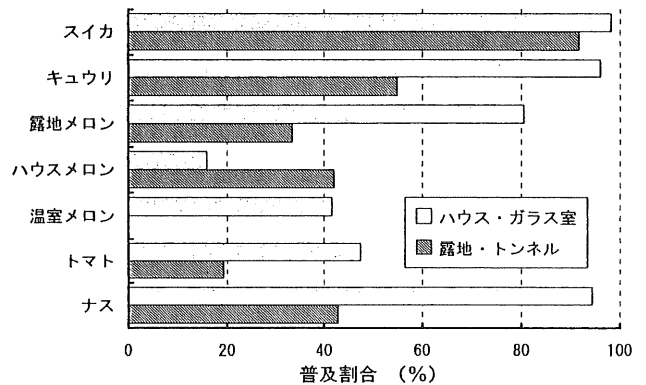
作型を露地・トンネル、ハウス、ガラス室、雨よけハウス(トマトのみ)に分け、栽培面積が1,000haを超える作型について接ぎ木栽培面積割合をみると、ウリ科ではスイカの露地・トンネルとハウス、キュウリのハウス、ナス科ではナスのハウスが80%を超えている。このように接ぎ木栽培は、施設栽培で高い割合で行われている。施設が高度化すればするほど栽培圃場が固定化することになるので、今後も施設栽培における接ぎ木栽培は増加するものと考えられる。

接ぎ木栽培面積割合と単位面積当たりの栽植株数から計算される接ぎ木苗生産株数は、ウリ科で2億5,000万株、ナス科で2億株で5果菜全体で約4億5,000万株である。最も多い果菜はキュウリで約1億8,000万株である。実際の生産では、養生・順化の失敗を見込み、また良質苗を選んで定植することから必要株数の10~25%多く接ぐのが普通であり、また、キュウリのように年2~4作を行う地域もあることから、年間生産株数はさらに多いものと推定される。

農家における果菜苗の購入割合<sup>7)</sup>は、スイカとナスは約20%、キュウリとトマトが約10%である。メロンは5%未満である。このうち接ぎ木苗はスイカ60%、キュウリ42%、ナス38%、そしてトマト27%である。このように購入苗のうち接ぎ木苗の割合はスイカやキュウリで高いものの、大半は自家生産されているのが現状である。



(a) 果菜類の品目別作付け面積割合<sup>6)</sup>(1990)



(b) 接ぎ木栽培の普及<sup>7)</sup>(1990)

図1 果菜類の作付け面積割合と接ぎ木栽培の普及

しかし、接ぎ木苗の需要は、兼業化が進み育苗に手間がかけられない、規模拡大と栽培の専門化指向はますます強くなっている、接ぎ木はもちろん養生・順化にも精緻で熟練した技術と経験が要求される、産地維持のためには地域全体が高い苗生産技術を持つことが重要である、など多くの増加要因があり、生産はますます増大していくものと思われる。このような背景が接ぎ木苗生産の機械化の要望を高めている<sup>2,4)</sup>。

2) 接ぎ木苗の効用・欠点 小田氏は<sup>25)</sup>、接ぎ木とは、「木の枝や芽を切りとって他の植物を接ぎ合わせ、共に生かす(共生)ことをいう。性質の異なる植物の組み合わせにより、元の植物にない特性を与えることができる。一般的には、植物の根はそのままにして、茎や葉を取り替えることが多い。」としている。

野菜の接ぎ木は、スイカ、キュウリ、メロンのウリ科ではつる割れ病、トマト、ナスのナス科では青枯れ病や萎ちょう病の回避を主な目的として行われている<sup>1)</sup>。さらに、キャベツ、ハクサイ等のアブラナ科野菜において

も、根こぶ病回避のために接ぎ木栽培を導入しようとする研究が、台木用品種の育成及び接ぎ木法開発の両面より進められている<sup>26)</sup>。

接ぎ木苗利用の長所・欠点を伊藤氏は、次のように整理している<sup>27)</sup>。

長所：

- ①土壌伝染性の病虫害に対する抵抗性を付与し、連作障害を回避できる。
- ②不良環境耐性を付与でき、栽培可能地域を拡大できる。
- ③樹勢をコントロールし、収穫期間を長くできる。
- ④収穫物の品質を向上させる。
- ⑤花芽分化を促進する。

欠点：

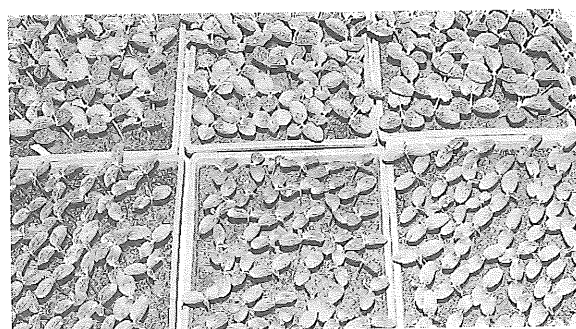
- ①接ぎ木作業と順化に必要な施設・資材を必要とする。
- ②接ぎ木作業に多くの労力を要する。
- ③活着と順化に必要な経験的技術が必要である。
- ④生理障害の発生と品質の低下が起こることがある。
- ⑤栽培管理法の変更が必要な場合がある。

3) 接ぎ木苗生産の現状 接ぎ木苗生産前後の一般的な作業体系を図2に示す。穂木、台木育苗用の培養土の消毒、一部の品目の播種、灌水などの管理、養生などの作業では機械が利用されることもあるが、接ぎ木作業や植え付け作業は全て人手である。

(1) 接ぎ木法 接ぎ木法は慣行法、その改良法その他特許となっている方法まで含めると数十種に及ぶとみられ、また作物によっても異なる。

現在行われている代表的な接ぎ木法を図3に示した。前出の農林水産省野菜・茶業試験場の調査によれば、呼び接ぎはナス以外の全ての果菜で行われており、メロン、キュウリでは60%以上である。スイカでは挿し接ぎ（断根挿し接ぎを含む）が96%と高く、ナスでは割り接ぎが80%を超えている。トマトは3方法で行われている。

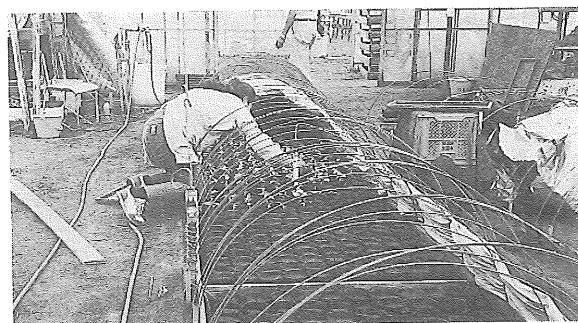
これらの方法では台木の胚軸に切り込みや穴をあける。このための道具はカミソリが多いが、大量生産する苗生産業者などは、独特の形状を持った柄や切り刃を考案している。一方、穂木は、呼び接ぎでは胚軸に斜めに切り込みを入れるが、他は胚軸で根側を切除する。穂木の胚軸は細いため、胚軸の途中まで切り込みを入れる操作は熟練を要する。作業性改善を目的とした接ぎ木作業用補助器具が考案<sup>28)、29)</sup>あるいは市販<sup>30)</sup>されているが、



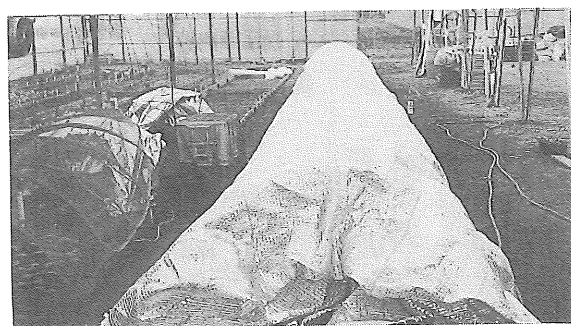
① 穂木、台木の育苗



② 接ぎ木



③ ポットへの植付け



④ ビニルトンネルでの養生・順化

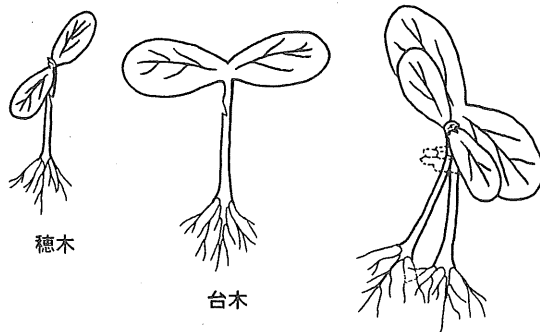
図2 接ぎ木作業前後の作業体系

広く普及するに至っていない。

(2) 接ぎ木作業の現状 接ぎ木苗生産の現状を知るため、資料調査や農家、接ぎ木苗生産業者を訪問して、経営面積、接ぎ木法、接ぎ木株数、接ぎ木作業の問題点な

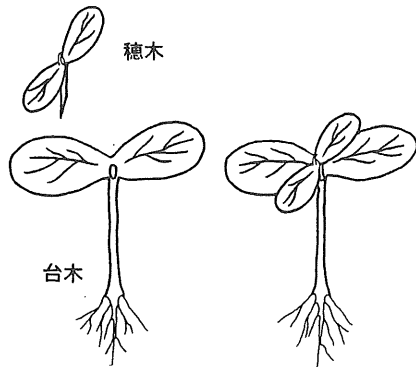
どを調査した。調査結果をまとめて表2に示す。また、農家及び苗生産業者における接ぎ木作業の状態を図4に示す。

①農家における接ぎ木作業<sup>31)</sup> 埼玉県のキュウリ栽培農家2戸，静岡県の温室メロン栽培農家1戸，静岡県下



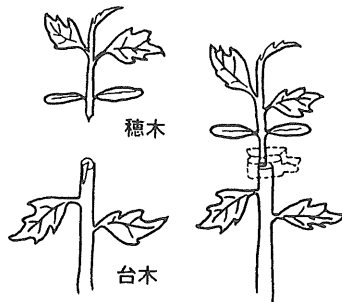
穂木、台木とも胚軸に切込みを入れ、かみ合わせてクリップで固定する。

(a) 呼び接ぎ



台木の胚軸に穴を開け、穂木胚軸をくさび形に削って挿し込む。

(b) 挿し接ぎ



台木胚軸を縦割りにするように切り込みを入れ、胚軸をくさび形に削った穂木を挿し込みクリップで固定する。

(c) 割接ぎ

図3 農家で行われている代表的な接ぎ木方法

2戸と愛知県下1戸のハウスメロンとトマトを輪作している農家を調査した。接ぎ木作業は組作業で行われており、キュウリ栽培農家では、農家2～3戸と共同作業で行っていた。いずれの調査農家も活着率を考慮して、必要株数より10～25%多く接ぎ木していた。

接ぎ木作業は、遮光したハウス内で行われることが多いが、高温、高湿で暗く、作業環境は必ずしも良好とはいえず、作業後に目の疲れや肩こり、腰痛を訴える農家が多かった。

埼玉県下のキュウリ栽培農家では、5名の組作業で接ぎ木を行っていた。人員配置は、苗取り・芽欠き（台木の生長点を除去すること）に1名、接着に3～5名、ポットへの植え付けに1名であった。接ぎ木法は呼び接ぎで、約3,000株の接ぎ木に6時間を要していた。苗取りから植付けまでの1人1株当たりの所要時間は約35秒で、接着に約70%の時間を要し、作業能率は1人1時間当たり約100株である。接着作業のうち穂木と台木の持ち変えや切り刃、接ぎ木クリップの移動に約50%を要していた。

温室メロン栽培農家では、1棟ごとに作期をずらして栽培している。そのため1作当たりの接ぎ木株数は350株と少ないが、年間延べ35回の接ぎ木作業を1名で行っていた。

②苗生産業者等における接ぎ木苗生産

a 三浦市農協（神奈川県）<sup>31)</sup>

三浦市農協でスイカ接ぎ木苗生産について調査した。三浦市農協管内のスイカ栽培面積は約600haである。スイカ苗育苗が、前作の大根収穫と時期が競合するため、農協がスイカ接ぎ木苗を生産し、農家に販売している。2棟のハウス（延べ15a）で、管内の25%の面積に植付けられる50万株を生産している。接ぎ木作業は2月中旬から4月初旬にかけて計7回行われ、約5週間に延べ約1,250人・日のアルバイトを雇用している。熟練労働力の確保が難しく、高校生から70歳台まで幅広く雇用している。そのため技術に差があり、活着率が目標の90%に対し80%程度になる場合もある。

接ぎ木法は断根挿し接ぎ（挿し接ぎであるが、台木の根を胚軸で切除する。）で、1人1日当たりの接ぎ木株数は約500株である。

接ぎ木苗は、ペーパーポットに植付けられ、順化が終了した時点で1株100円で農家に売り渡される。

表2 調査した農家及び苗生産業者における接ぎ木苗生産の現状

生産者	所在地	作目	接木本数 (万株)	接木法	活着率	販売価格 円	1人1日当たり 接木株数(株)	労働力
農家A <sup>3,1)</sup>	埼玉県	キュウリ	0.3	呼び接ぎ	90	自家利用	100株/時	8人の共同作業
農家B <sup>3,1)</sup>	埼玉県	キュウリ	0.5	呼び接ぎ	90	自家利用	360	7人の共同作業
農家C	宮崎県	キュウリ	2	挿し接ぎ	95	自家利用	1200	10人のパート
旭川青果	北海道	メロン	12	挿し接ぎ	95	220	600~800	20名のパート雇用
三国バイオ 農場	福井県	スイカ	30	断根挿し接ぎ	99	100	1000	パート45名 従業員5名
		キュウリ	8	断根挿し接ぎ	99	100	1000	
		トマト	11	割接ぎ	99	120	600~700	
三浦市農協	神奈川県	スイカ	50	断根挿し接ぎ	80	100	500	5週間で延べ1250名 高校生から70才まで
村田種苗店	愛媛県	キュウリ	160 ~170	断根挿し接ぎ	95	140~110	1000	1日100名のパート
		トマト	90	挿し接ぎ		150		
		ナス	70	挿し接ぎ		170		
		スイカ	30~35	断根挿し接ぎ		120~150		
清和 ファーム	高知県	キュウリ	30	挿し接ぎ	80	120	800	接ぎ手15~17名 運搬15名雇用
		ナス	80	呼び挿し接ぎ	99	120~200	800~1500	



(a) 農家における接ぎ木作業



(b) 苗生産業者における接ぎ木作業

図4 農家及び苗生産業者における接ぎ木作業

b 村田種苗店(愛媛県)<sup>3,2)</sup>

村田種苗店は、ビニルハウスを90棟(延べ3ha)所有し、接ぎ木苗を年間500万株生産するわが国最大の苗生産業者である。接ぎ木苗の生産内訳は、ナス70万株、キュウリ160~170万株、トマト90万株、スイカ30~35万株である。苗は受注生産で、ほとんどが農協扱いで、品種、日時を契約して生産・出荷している。

生産される苗の約70%は四国内に出荷されるが、九州や岐阜県にも15~16万株のトマト苗が出荷されている。

1990年の1株の出荷価格はキュウリ定植苗が冬期145円、

夏期110円で、ブルームレスキュウリは3円高である。トマト定植苗は150円、ナス定植苗170円、これらの中苗は120~130円である。

接ぎ木法はウリ科が断根挿し接ぎを、ナス科はこの会社が考案した接ぎ木法である。1人1日当たりの接ぎ木株数は1,000株程度であり、活着率は95%以上を確保している。

作業は専用の接ぎ木室で行われる。室内には2本のベルトコンベアが設置され、その両脇にテーブルと椅子が数十台置かれ、そこに作業者は座って作業する。頭上に

は一人1灯の割で蛍光灯があり、手元を照らすようになっている。芽欠き、穴開け用の特殊形状のナイフを自作して使用している。テーブル上の穂木、台木は接ぎ木されるとコンベア上に置かれ、終端で回収される。接がれた苗は、一旦高湿度の遮光されたムロ内に運び、翌日まで養生する。その後ポットの培養土に挿し、ハウス内で遮光して通常の養生・順化をする。順化が済むとそのハウス内で定植苗まで育苗される。ハウス内には7.4m×60mに2列のベッドがあり、そこに1列当り10,000~12,000鉢のポットが置いてある。育苗中の灌水、スペーシングは人手で行われる。

出荷苗の選定は、目視で葉の枚数や苗形状から良質苗を選び出すようにしている。選定された苗は、段ボール箱(15kg詰めミカン箱)に詰められ、苗床と苗床の間を低速走行する運搬車で運び出され、トラックに積み換えられる。

一連の育苗作業はほとんど人力で行われ、機械が利用されているのは、土壌消毒、育苗ポットへの土詰め、苗入り段ボール箱の運搬程度であり、農家での育苗作業をそのまま規模拡大したようなものである。接ぎ木作業期の労力は、従業員とパートタイマーを合わせ100名に達する。ピーク時には徹夜で作業を行うこともある。

接ぎ木苗の需要は年々増加しているものの、労力雇用が逼迫しているため、接ぎ木作業を中心とした各作業が機械化されない限り、規模拡大は困難であるとしていた。

#### c 三国バイオ農場(福井県)<sup>33)</sup>

三国バイオ農場は、鉄骨ハウスを5棟(延べ50a)有し年間60万本の接ぎ木苗を生産している。従業員数は5名であるが、接ぎ木作業のピーク時には、さらに45名程度のパートタイマーを雇用している。生産している接ぎ木苗の内訳は、スイカが30万株で全体の50%を占め、その他トマト11万株、キュウリ8万株などとなっている。主な取引先は農家、農協及び生産組合で、受注生産である。出荷価格はスイカ、キュウリ100円、トマト120円、ナスが100円である。

接ぎ木法はウリ科が断根挿し接ぎ、ナス科が割接ぎである。1人1日の接ぎ木株数は、ウリ科1,000株、ナス科600~700株である。活着率はいずれも99%確保している。

この会社の特徴は、育苗作業の省力化を積極的に図っ

ている点にある。接ぎ木までの育苗には、ウリ科台木を除きセル成型トレイを使用し、高密度で集約的な苗管理を行っている。また、これにより接ぎ木作業時の苗運搬効率を高めている。播種作業は真空播種機を用いている。

接ぎ木後の養生・順化には、独自に開発した環境制御が可能な装置を使用し、夏の高温時でも省力かつ安定的に高い活着率を得ている。

このように省力的苗管理にもかかわらず、人件費が経費の60%に達し、接ぎ木作業に関わるものがその3分の2を占めている。また、接ぎ木作業時の労力確保が困難になりつつあるため、接ぎ木装置の開発を要望していた。

#### d 旭川青果(北海道)

旭川青果では、「アイケーメロン」の名称で独自の商品販売している。アイケーメロンは、農家への栽培委託により生産されている。育苗期は3月初旬から6月中旬であるが、3月初旬の北海道では積雪が1m以上あり、農家での育苗が不可能であるため、旭川青果が接ぎ木苗を生産し農家へ配布している。ここでもパートを雇用し、生産量は約12万株となっている。接ぎ木法は挿し接ぎで、1人1日の接ぎ木株数は600~800株である。活着率は、通常95%以上であるが、接ぎ木操作の不慣れによるトラブルが年間数回発生する。ここでも熟練労働力の確保が問題点であるとしていた。

苗生産業者による接ぎ木苗大量生産の事例をいくつか調査した。苗生産業者は、土詰め、播種、灌水、環境制御など一部の作業に機械を導入したり、セル成型トレイを利用して集約的に苗管理を行うなど、農家での生産より省力化を図っていた。しかし、これらは、既存の実生苗の生産技術を流用したに過ぎず、接ぎ木そのものは、依然として手作業で行われている。接ぎ木法は、断根挿し接ぎあるいは挿し接ぎが多く、省力化の検討がなされているものの、全体としては、農家での接ぎ木苗生産を単にスケールアップしたにとどまっており、接ぎ木時の労力確保が問題となっている中、各施設とも規模拡大の限界に達していると思われた。

### 1.3 接ぎ木装置に関する既往の研究成果

#### 1.3.1 接ぎ木装置の開発

接ぎ木装置の構想<sup>34)</sup>は見られるが、開発研究が始まったのは1980年代後半からである。国内では大学や民間

会社で研究が行われているが海外での開発例は見あたらない。

大阪府立大学では接ぎ木ロボットを研究している<sup>35)</sup>。穂木の胚軸を円錐形に削り出し、台木胚軸の胚軸方向にドリルで穴を開け、穂木を差し込むものである。

また、生研機構、東芝、日本たばこ産業、鹿島建設、小松製作所、全農が共同出資して設立した(株)テクノ・グラフィック研究所では、多連接ぎ木法<sup>36)</sup>による同時一括接ぎ木装置の開発を行っている。この接ぎ木法は台木と穂木の胚軸を軸に直角に切断し、切断面を接着剤で接着するものである。この装置は公開された<sup>37)</sup>。

日本たばこ産業(株)では、ナスの台木切断の機械化を試みている<sup>38)</sup>。また、熱収縮チューブを利用した接ぎ木ロボットの研究も発表されている<sup>39)</sup>。

その他、特許公開公報にもいくつかの考案がみられる<sup>40)~45)</sup>が装置そのものは公開されていない。

### 1. 3. 2 接ぎ木作業の効率化

熟練を必要とせず効率的に接ぎ木作業ができる接着資材の研究が行われた。全農では、セル成形苗の生産技術、幼苗時に苗を切断して接着し、その状態を保持する支持具の開発、好適な養生条件を自動的に作り出す活着促進装置の3点を開発した<sup>46)</sup>。接ぎ木は、セルトレイ上の台木胚軸を斜めに切断し、ここに上下端が斜めに切断されている円筒型の弾性体を差し込み、胚軸を斜めに切断した穂木を切断面どうしが合うように挿入するものである。この方法は、ウリ科では作業適期幅が1~2日と狭いものの、習熟すれば効率的に作業できることから、主にナス科の接ぎ木苗生産に普及している。

群馬県園芸試験場では、幼苗磁気圧着接ぎ木法を考案した<sup>47)、48)</sup>。この方法では、穂木と台木の切断面が45°の角度で接着させる棒状ゴム磁石を利用している。穂木を2本の棒状ゴム磁石で挟み、胚軸を45°で切断し、根側を切除する。同様に台木は根部を残すように切除する。そして、台木胚軸と穂木胚軸が接着するように磁石を吸着させる。この操作はセルトレイ上で行い、接ぎ木が終わるとトレイのまま養生装置に入れる。棒状ゴム磁石やセルトレイの形状改善、活着率や作業性向上などが必要とされ、普及には至っていない。

大阪府農林技術センターでは、接着剤を利用した接ぎ

木法の研究を行った<sup>49)</sup>。台木、穂木の切断した胚軸面を合わせ、胚軸周囲に2-シアノアクリレート系の接着剤を塗布した後、硬化剤を吹き付けて接着面を添木のように固定するものである。この技術は、前述の(株)テクノ・グラフィック研究所の接ぎ木装置に利用されている。

### 1. 3. 3 関連技術

接ぎ木苗生産の関連技術として、養生・順化についての研究も行われている。福井県農業試験場では、接ぎ木苗活着促進装置の開発を行うとともに、各種果菜類の好適順化条件を解明した<sup>50)</sup>。この技術は、前述した三国バイオ農場の他、数件の接ぎ木苗生産施設に応用されている。

### 1. 4 本研究の目的

本研究の目的は、接ぎ木苗を省力的に大量生産する装置を開発することである。

研究対象は、接ぎ木苗の普及割合が高く、接ぎ木株数の多いウリ科野菜とし、主としてキュウリを選んだ。

接ぎ木作業の機械化の実現は、省力化はもとより、労働力の高齢化、担い手不足が顕在化している時にあって、作業者の個人差や体調に影響されることなく、高精度・高能率に作業が行われるため、均一かつ健全な苗を大量に、しかも安定的に供給することを可能とする。

その結果、消費者には、高品質野菜の安定的供給を図ることができ、生産者には、活着率の向上による種子代の低減、施設栽培での作型選択の幅を広げ、露地野菜栽培では接ぎ木苗導入を容易とし、これによる連作障害回避を図ることが期待される。

また、苗生産業者にとっては、実生苗のみでは採算の点で経営的に難しいとされていた苗生産事業に、より付加価値の高い接ぎ木苗が加わることによって、事業として成り立つことを可能とするものと期待される<sup>51)、52)</sup>。

### 1. 5 摘要

接ぎ木苗生産と接ぎ木作業機械化研究の現状について調査した。

1) 野菜生産は労働力の高齢化や担い手不足が顕在化し、年々減少している。このような状況を打開すべく機械化

・省力化技術の開発など各種の施策が講じられている。

2) 果菜生産では、連作障害の回避などを目的にキュウリ、スイカ、メロン、ナスそしてトマトの栽培面積の約60%で接ぎ木栽培が行われている。特にウリ科のスイカ93%、キュウリ72%が高い割合である。

3) 接ぎ木苗はほとんどが農家の自家生産であるが、接ぎ木苗を年間数十万本から数百万本生産している苗生産業者もある。接ぎ木作業は大規模な業者でも農家ででの生産を単にスケールアップしただけであり、全て手作業で行われている。キュウリでの作業能率は、農家が1人1時間当たり100株(呼び接ぎ)程度、苗生産業者が1人1日当たり800(挿し接ぎ)~1,000(断根挿し接ぎ)株である。

4) 接ぎ木は精緻な作業であり、農家では作業後の疲労が問題であり、苗生産業者では熟練労働者を確保することが困難となっており、接ぎ木作業機械化の要望が高まっている。

5) 接ぎ木苗生産の研究は、養生装置などの研究が行われ、一部実用化されている。しかし、接ぎ木装置の研究については、本研究の開始当時は構想のみで研究は行われていなかった。その後、民間会社や大学でも研究が始められたが実用化された例はない。

6) 本研究は、ウリ科野菜の接ぎ木苗を省力的に大量生産する装置を開発することを目的に実施した。

接ぎ木装置の開発によって、健全な接ぎ木苗の大量かつ安定供給が可能になる。その結果、消費者には高品質果菜の安定供給が図れ、生産者には省力化、生産規模拡大と適期作業、連作障害回避が、苗生産業者には接ぎ木苗生産事業の拡大を可能とすることが期待される。

## 2 機械接ぎ木の要素技術

接ぎ木作業は、穂木及び台木となる作物の胚軸を切断し、切断面を合わせて接着する操作である。

台木や穂木は植物体であり、その形状は一定でなく、また胚軸の長さ、太さも一定でない。したがって、接ぎ木操作を機械で行なうには、苗形状などに影響されずに胚軸の一定部位を切断する機構や切断面を正確に合わせて接着する機構が必要となる。また、接着面を養生期間中保持しておくことも活着に必要であり、さらに苗を傷つけないハンドリング機構も必要である。このように機

械接ぎ木を行うには、新たに多くの技術を確立しなければならない。

本章では、接ぎ木法、苗形状と切断位置決め、苗の把持、切断そして接着資材など、機械接ぎ木に必要な要素技術<sup>5.3)</sup>について検討する。

### 2.1 機械接ぎ木に適する接ぎ木法の検討

機械接ぎ木に最も適した接ぎ木法<sup>5.4)-5.7)</sup>を探索し、採用する接ぎ木法を検討した。

#### 2.1.1 試験方法

1) 検討した接ぎ木法 対象はウリ科野菜とし、キュウリを中心に検討した。キュウリの接ぎ木法として、活着率や成苗率などの作物側の要件と機構的に可能かどうかといった機械側の要件を検討し、両者を満たす接ぎ木法を探索した。検討したのは次の方法である。

①標準法として呼び接ぎ

②片葉切断接ぎ

③穂木と台木の胚軸表皮をヤスリで削り、接ぎ木クリップで接着するI型

④両子葉を切除した台木に、胚軸を斜めに切断した穂木を接ぎ木クリップで接着するII型

これらの接ぎ木法を図5に示した。①と②は慣行法であり、③、④は機械接ぎ木に適する方法として考案したものである。これらの方法で人手による接ぎ木作業を行い、機械化した場合の作業性、活着率、成苗率及び本葉数を調査した。活着率、成苗率は次式により求めた。

$$\text{活着率 (\%)} = \frac{\text{活着株数}}{\text{供試株数}} \times 100$$

$$\text{成苗率 (\%)} = \frac{\text{成苗株数}}{\text{供試株数}} \times 100$$

ここに、

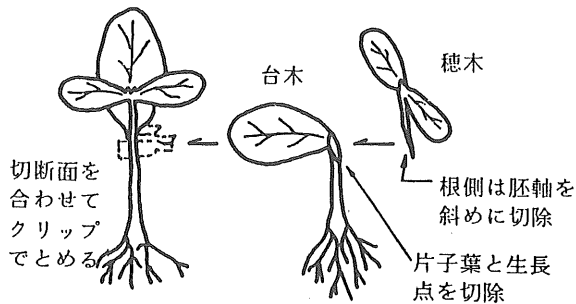
供試株：接ぎ木を行った株。供試株数とはその個体数である。

活着株：順化終了時点で穂木が枯死していない接ぎ木苗。活着株数とはその個体数である。

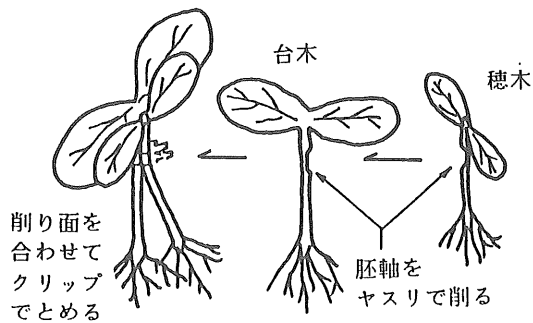
成苗株：穂木本葉枚数が3枚以上展開している接ぎ木苗。対照区の呼び接ぎによる接



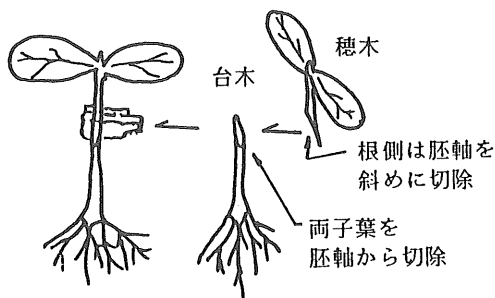
ぎ木苗の穂木本葉が3枚以上展開した時点で調査。成苗株数とはその個体数である。



① 片葉切断接ぎ



② I型



③ II型

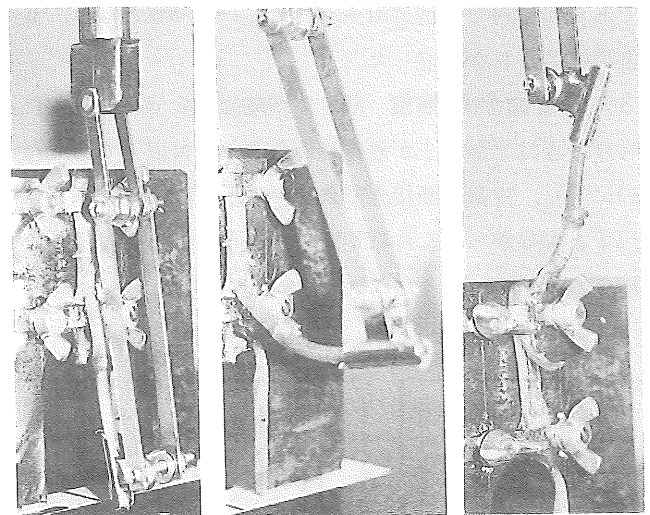
図5 検討した接ぎ木法  
(呼び接ぎは図3参照)

2) 供試品種と育苗法 供試品種は台木カボチャが「改良新土佐一号」、キュウリが「わかたけ」である。

接ぎ木苗は接ぎ木後6～7日間は平均気温25℃、平均相対湿度84%、光量 $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、日長12時間に保たれたプラスチック製の箱で養生・順化した後、ガラス

室に移して一般育苗した。

3) 接合面剥離強度の測定 育苗期間や定植時のハンドリング、機械移植への適応を考慮し、接着面が癒合した接合部の剥離強度を測定した。呼び接ぎ、片葉切断接ぎ及びI型で接がれた成苗を供試した。測定は図6に示したように、根及び葉を切り取った茎を保持具に取り付け、引張試験機で接合部が剥離する方向に、接合部から6 cmの部位を一定速度(20cm/分)で引っ張り、剥離する時の負荷を求めた。



①台木を固定 ②穂木を引張る ③接合面を剥離

図6 接合面剥離強度の測定法

## 2. 1. 2 試験結果

1) 活着率 試験結果を表3に示す。活着率は慣行法では90%以上であったが、考案したI型及びII型は30%以下で実用には供し得ないと判断された。活着率が低くなった原因は明確でないが、I型では接着面が平滑でなかったためと考えられる。II型では台木が黄化して枯死したものが多く発生した。これは両子葉を切除し、さらに植え替えをしたためと考えられる。

慣行法と考案法の活着率の違いから考察すると、接ぎ木時には切断面は滑らかで、台木には子葉を残す方が良く考えられる。

2) 成苗率 穂木の根を残して接ぎ木する呼び接ぎとI型は、活着株が殆ど成苗となった。しかし、断根した穂木を接ぎ木する片葉切断接ぎとII型では、活着したも

表3 接ぎ木法と活着率・成苗率 (%)

接ぎ木法	活着率	成苗率
呼び接ぎ	97.0	96.0
片葉切断接ぎ	92.1	84.2
I 型	15.4	15.4
II 型	30.6	22.2

のの生育不良となる株が多くなった。成苗率を高めるには、接ぎ木後の養生・順化をより繊細に行う必要があると考えられる。平均本葉数はII型が播種後37日で3.6枚であるのに対し、他は31~33日で3.7~3.9枚となり、II型の生育遅れが目立った。

3) 接合面剝離強度 図7に剝離強度の分布を示した。呼び接ぎは半数以上が剝離時の負荷が2N以下であったのに対し、片葉切断接ぎでは2N以下の株は全体の15%以下と少なかった。片葉切断接ぎの平均剝離強度は呼び接ぎの1.5倍であった。

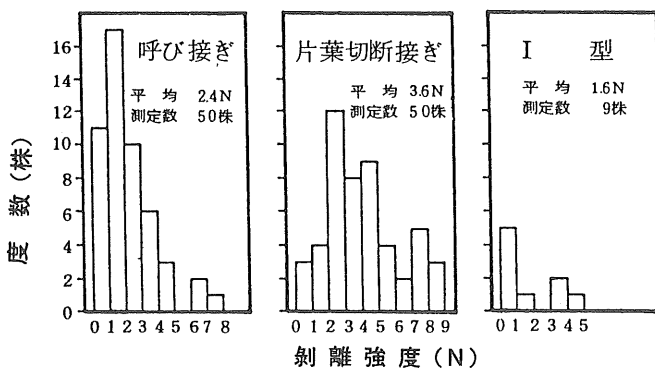


図7 接合面剝離強度の分布

2. 1. 3 接ぎ木法の選択

活着率や成苗率、接合面剝離強度の他に作業の難易、作業工程数、適応作物などを考慮して検討した。

その結果、次の理由により、片葉切断接ぎが機械接ぎ木に適した方法であると判断した。

①呼び接ぎのように胚軸の途中まで切込みを入れる方法は、高精度の切断機構が必要となり、胚軸が細いことや曲がりなども考慮すると実現が困難である。

これに対し、片葉切断接ぎは台木の片子葉と生長点を

切除し、また穂木の胚軸切除を一工程で行う省力的方法である。

②穂木、台木の切断面形状、位置関係は「合せ接ぎ」と同じになり、ナス科作物などへ適応を期待できる。

③成苗率は呼び接ぎに比べ低いが、養生・順化法を検討することで対処できると考えられる。

④穂木の根を残す必要がないため、側枝でも接ぎ木でき、また組織培養苗にも適応が期待される。

2. 2 穂木・台木の形状と切断位置決め

穂木、台木の形状は、接ぎ木装置の基本寸法や機構に影響する。そこでキュウリ及び台木カボチャの形状的特性を、片葉切断接ぎを機械で行うという視点から調査するとともに、切断位置を決める基準となる部位を検討した<sup>58), 59)</sup>。

2. 2. 1 調査方法

キュウリ及び台木カボチャは、季節によって異なるが播種後7~10日間で接ぎ木が可能な大きくなる。このように短期間に成長するため、調査時期によって苗形状は異なる。そこで調査時期は、慣行の呼び接ぎで言う適期苗と判断される時を基準とした。供試品種は、キュウリが「わかたけ」, 「夏秋節成り二号」, 台木カボチャが「改良新土佐一号」, 「クロダネ」である。

測定部位は図8に示す草丈、胚軸長、見掛け子葉長、子葉幅、胚軸径(X:子葉展開方向、Y:その直角方向)の6項目とした。測定器具は胚軸径はノギス、長さは直尺である。

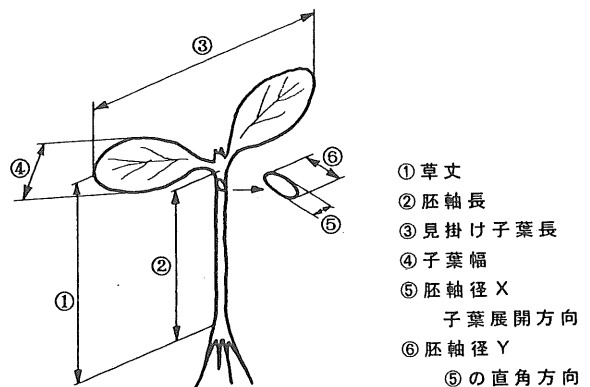


図8 苗形状の測定部位

## 2. 2. 2 調査結果

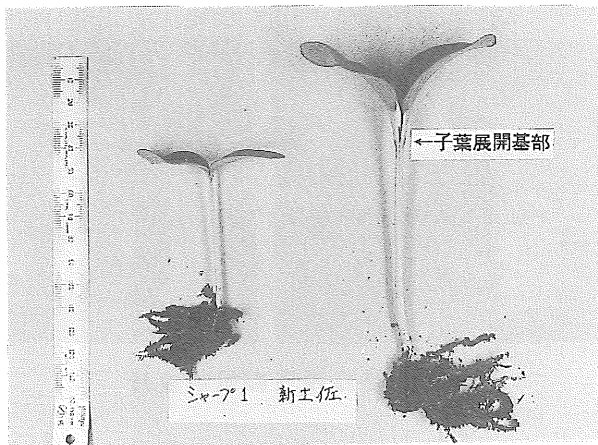
調査結果を表4に、標準的な苗外観を図9に示した。片葉切断接ぎでは穂木胚軸の切断と台木の片子葉と生長点の切除を行うが、これに影響する胚軸径、胚軸長、葉柄展開角（二つの葉柄のなす角度）、子葉の展開と外観については次のとおりであった。

表4 キュウリ苗及び台木カボチャ苗の性状

(下段は標準偏差)

品目	品種	播種時期 月	育苗日数 日	草丈		見掛け 子葉長 ③	子葉幅 ④	胚軸径	
				①	②			X	Y
【穂木】 キュウリ	わかたけ	11	14	6.0 0.6	4.5 0.4	6.3 0.6	2.0 0.2	1.9 0.1	1.9 0.1
	夏秋節成り2号	12	14	5.8 0.8	4.3 0.6	7.3 0.6	2.2 0.2	1.8 0.1	1.8 0.1
【台木】 カボチャ	改良新土佐一号	11	11	11.5 1.0	6.9 0.8	9.1 1.3	3.5 0.3	3.4 0.2	4.2 0.3
	クロダネ	12	12	12.7 1.1	7.7 0.8	10.0 1.5	4.7 0.4	3.5 0.2	4.7 0.3

\*) : ○数字は図8の番号である。



(左) キュウリ 子葉はT字形に展開  
(右) カボチャ 子葉はY字形に展開

図9 キュウリ（シャープ1）、台木カボチャの外観

1) キュウリ キュウリの胚軸断面形状は、四隅がやや盛り上がったほぼ正方形で、辺の向きと子葉展開方向とは同じである。

子葉展開基部（子葉葉柄の胚軸への付け根の部分）下の胚軸径は、子葉展開方向のX方向、その直角方向のY方向とも同径で‘わかたけ’ 1.9mm、‘夏秋節成り2号’

1.8mmで、標準偏差は両方向とも0.1mmと小さかった。胚軸長は‘わかたけ’ 4.5cm、夏秋節成り2号’ 4.3cm、標準偏差はそれぞれ0.4cm、0.6cmであった。胚軸長は育苗管理の方法によって大きく変わる性質があった。

また、生育過程を観察すると、接ぎ木適期には、子葉の展開はほぼ水平で、その向きは本葉展開前は両子葉はほぼ一直線となって、外見はT字形をしている。しかし、本葉が展開し始めると、接していた葉柄が徐々に開き始め、子葉は本葉の反対方向にやや回転する。また、子葉は十分に灌水されているときは葉脈が硬くしっかりしているが、灌水が不足すると子葉先端部が垂れ下がる。

穂木胚軸長を短く接ぎ木することが苗のハンドリングや製品として品質が良いとされることから、穂木形状は、短い胚軸に大きな子葉の付いた形となる。把持や接着機構の設計時に留意する必要がある。

2) 台木カボチャ 台木カボチャの胚軸断面形状は楕円形で、‘改良新土佐一号’では楕円の短軸に相当するX方向平均径は3.4mm、長軸のY方向は4.2mm、標準偏差はX方向0.2mm、Y方向0.3mmであり、‘クロダネ’では、それぞれ3.5mm、4.7mm、0.2mm、0.3mmであった。しかし、胚軸長は育苗中の温度や灌水などの管理によって異なり、また同一ステージでも個体差が大きく標準偏差は両品種とも0.8cmであった。胚軸径の個体差は他の測定部位に比較して小さかった。

台木カボチャの葉柄展開角は生育ステージによって変化した。また、本葉が展開すると葉柄が開き、子葉は胚軸を中心にして回転した。

子葉の向きの変化、本葉・葉柄の展開は切断精度に影響するので、切断機構設計時に留意する必要がある。

このように、キュウリと台木カボチャでは胚軸の断面形状・径、子葉及び葉柄の展開・形状は全く異なり、また、生育ステージが同じであっても育苗管理法によって苗形状は大きく変わった。特に胚軸長は同じ品目であっても管理法によって大きく変化し、徒長すると苗全体が倒伏することもあった。

## 2. 2. 3 切断部位の位置決めと苗の供給法の検討

片葉切断接ぎは台木の片子葉と生長点を切除するため、切断位置を正確に決める必要がある。位置を決める基準部位として、胚軸長や子葉、葉柄など生育ステージある

いは育苗管理法によって変化するもの、または個体差の大きいものは適当でない。そこで切断位置に近く、生育ステージなどが違って切断位置との距離が大きく変化しない子葉展開基部に着目した。

図10に示す子葉展開基部と生長点までの距離 $h$ （‘改良新土佐一号’の第1本葉葉柄基部までの距離）と第1本葉葉柄基部の子葉方向の径 $a$ を測定した。 $h$ は接ぎ木適期である本葉展開前で1.2mm、標準偏差0.1mm、本葉が長さ2.2cm、幅2.5cmに展開した接ぎ木適期後期でそれぞれ1.4mm、0.1mmと個体差は小さく、また苗が成長しても大きく変化しなかった。 $a$ は本葉展開前で1.4mm、標準偏差0.1mm、本葉が前記の大きさに展開したときで2.1mm、0.2mmで半径0.4mmの変化であり、この部分も大きな変化はなかった。生長点と第1本葉葉柄は子葉葉柄に挟まれており、切断刃軌跡を図のようにとれば、子葉、生長点、第1本葉を一工程で切除することができると考えられる。このように子葉展開基部を位置決め基準とし、苗はこの部分でハンガに吊り下げて供給するようにした。この供給法は、胚軸長、葉柄展開角、胚軸曲がりなど苗形状が大きく変化しても切断位置をほぼ一定にできる。

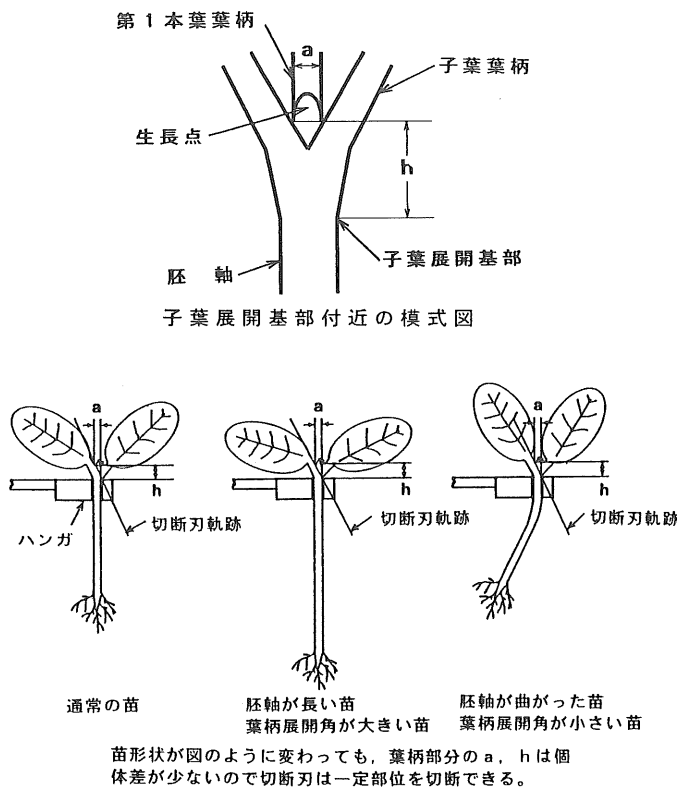


図10 苗形状と子葉展開基部による位置決め

### 2.3 胚軸の圧縮と苗の生育

ハンドで胚軸を把持することを前提に、把持強さなどを変えて胚軸を圧縮し、その後の苗生育状況から把持方法を検討した。

#### 2.3.1 試験方法

ウリ科野菜の苗胚軸に加わえた圧縮歪が、その後の苗生育に及ぼす影響を調査した。

試験装置は図11に示すようにハイトゲージを改造したものである。圧縮歪は子葉展開基部下20mmの部位に幅5mmの鋼板で加えた。加圧方向は子葉展開方向(X方向)及びその直交方向(Y方向)とし、加圧前後の胚軸径はゲージ目盛りで読みとった。圧縮歪は圧縮量の胚軸径に対する割合で、30~70%の範囲で5水準とした。接ぎ木を行うことを想定しているの、加圧した苗はポットに移植した後3日間養生し、順化後ハウス内で一般育苗した。対象区は無加圧苗の本葉展開枚数が3枚程度になったとき、加圧部の状態、本葉数などを調査した。試験区と供試作物を表5に示した。

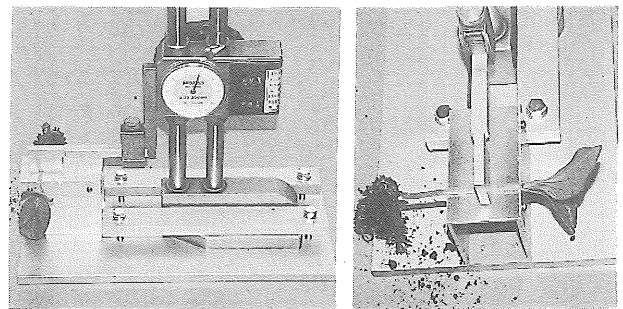


図11 苗胚軸圧縮試験装置

表5 胚軸圧縮試験の試験区

試験区	0	1	2	3	4	5
圧縮歪 (%)	0	30	40	50	60	70
加圧方向	X、Y *					
加圧部位	子葉展開基部下20mm付近を幅5mm					
供試株数 (株)	10 (試験区当たり)					
供試作物: 品種	キュウリ : シャープ1 カボチャ : 改良新土佐一号 ユウガオ : 相生FMT スイカ : 新大和二号 メロン : プリンス 台木メロン: 大井					

\*X: 子葉展開方向 Y: Xの直角方向

### 2. 3. 2 試験結果

圧縮歪を加えた直後の状態を図12に示した。圧縮歪40%までは外観に大きな変化はなかったが、50%以上では加圧方向に関わらず胚軸が屈曲する苗が見られ、70%では全て折れ曲がった。その後養生すると圧縮歪70%でもほとんどが回復し、図13に示したキュウリ、台木カボチャのように、一般育苗に入ると全ての品目で外見上生育に著しい差は見られなくなった。しかし、歪が40%で胚軸表皮の裂皮が、50%以上では胚軸に穴があいたり、亀裂が生じるものが多くなった。非損傷苗率（加圧部に損傷が見られない株の構成率）は図14に示すように圧縮歪が40%以上になると低下した。

図15は、引張り試験機を用い、胚軸に幅5mmの鋼板で加えた荷重と歪を示したものである。キュウリでは胚軸を加圧していくと圧縮歪が25%付近にピークが現れた。

圧縮時及び生育時の観察結果とあわせて考察すると、供試した胚軸の弾性領域は約25%までであると思われる。25%の圧縮歪が加えられたときの荷重は、概ね6Nであり、苗重を考慮すれば、弾性領域内で苗を確実に把持できることを確認した。

台木カボチャでは、荷重は圧縮歪40%付近までほぼ比例して増加した。圧縮歪と荷重の関係をみると40%の圧縮歪のときの圧縮力はおおむね6Nであり、苗に損傷を与えずに把持できることを確認した。

胚軸に加える圧縮歪は苗生育には大きく影響しないが、苗の損傷を避けるためには、胚軸径の30%までに歪を抑える必要があると考えられた。

これらの結果と2. 2の結果から、胚軸の把持機構には把持力制御などの調節は必要なく、把持部表面にウレタンゴムなどの軟質材を用いれば、胚軸径のばらつきの影響を受けず、また、圧縮による損傷を与えずに把持できるものと判断した。

### 2. 4 苗の切断法

切断機構の設計資料を得るため、穂木、台木の切断速度、切断角度を検討し、また切断角度が活着に及ぼす影響を調査した。

#### 2. 4. 1 試験方法

切断機構は、回転円盤に厚さ0.15mmの安全カミソリを取り付けた刃先円直径150mmの回転刃とした。

試験は、胚軸を把持し0.12m/sの定速度で苗を搬送する電動シリンダと回転刃からなる試験装置を製作して行った。試験区は切断角度( $\theta$ )が10°と30°の2水準、切断速度は0.5~8.0m/sの範囲で4ないし5水準とした。切断状況及び切断面の状態を観察した後、片葉切断接ぎで手接ぎ木を行って活着率を調査した。

供試品種は、台木カボチャが‘改良新土佐一号’、キュウリが‘わかたけ’とした。

#### 2. 4. 2 試験結果

試験結果を図16に示す。苗を良好に切断できる速度はキュウリでは切断角度10°、30°とも4.0m/s以上であり、台木カボチャは2.5m/s以上であった。

接ぎ木後の活着率は切断角度10°では100%、30°で

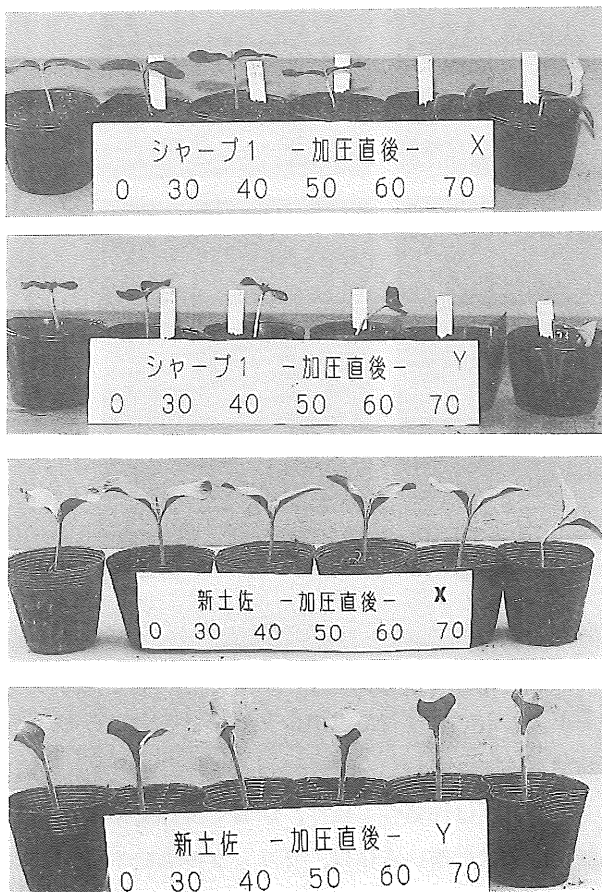


図12 胚軸を加圧直後の苗の状態

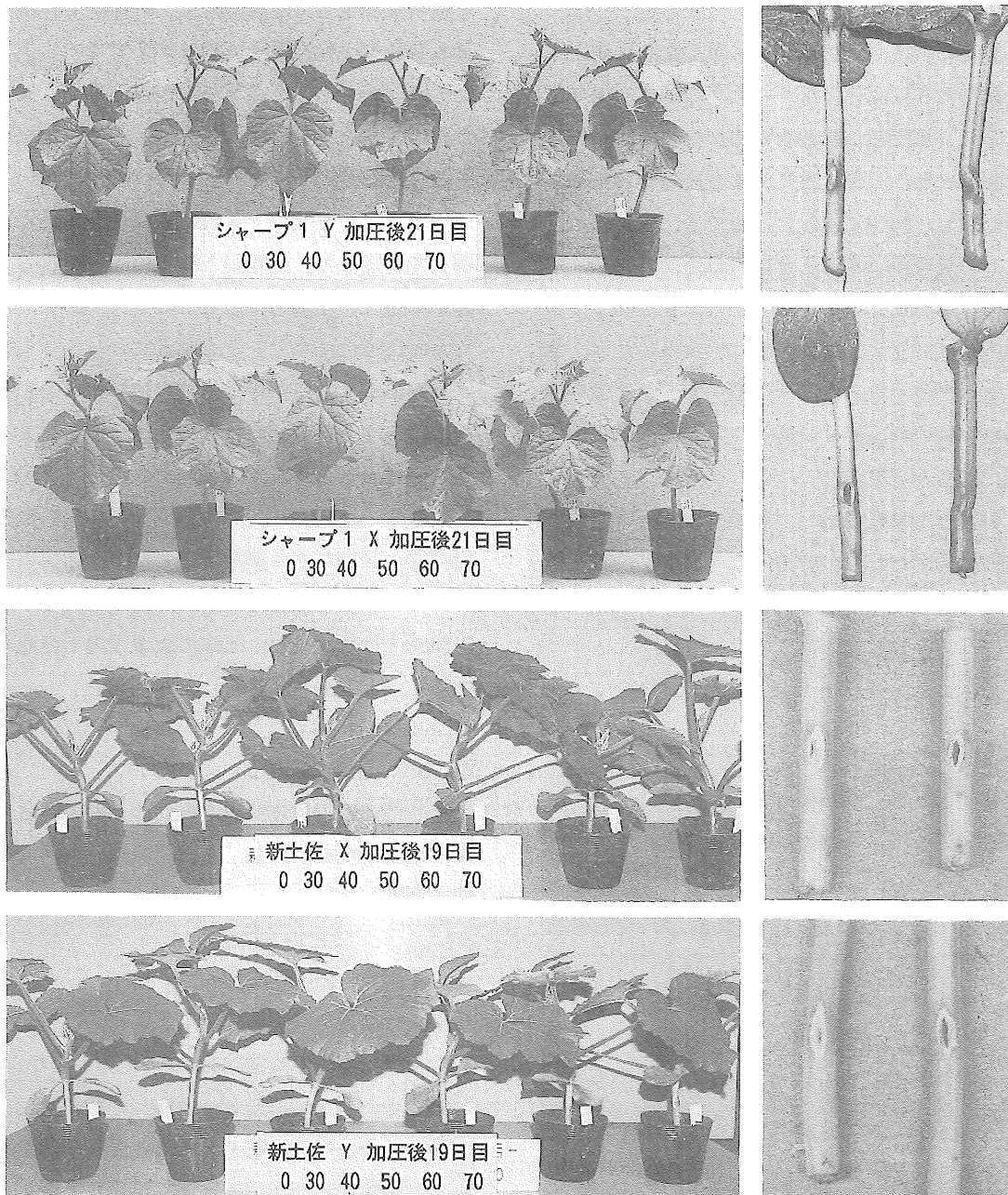


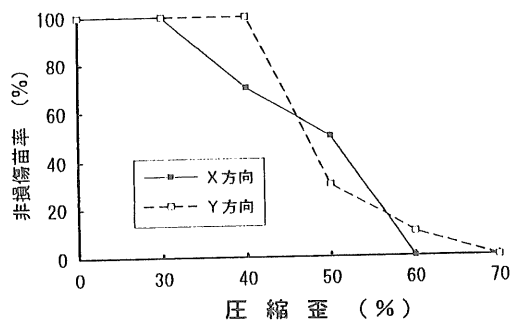
図13 加圧後の生育状態（左）と胚軸に残った傷（右）

は93%と切断角度の違いによって大きな差はなかった。しかし、台木カボチャは切断角度 $10^{\circ}$ では切断面積が過大となって胚軸の髓腔が現れたり、胚軸が薄くなるため髓腔内に穂木自根が発生している株や、切断部で折れ曲がって生育する株が見られた。キュウリでは切断角度が $10^{\circ}$ の方が切断面の胚軸方向長さが長く、切断面積も大きくなるため、接着時の作業性に優れ、機械による胚軸方向の接着位置決めは容易になると考えられた。

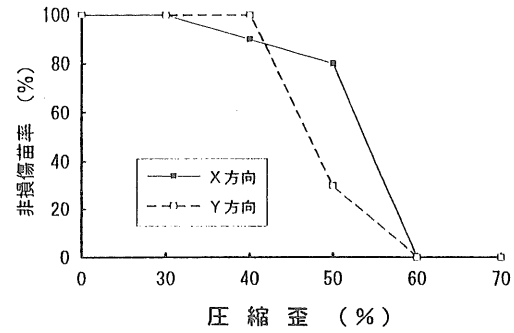
## 2. 5 接着資材の検討

手接ぎ木では接着に専用のクリップを用いるのが一般的である。

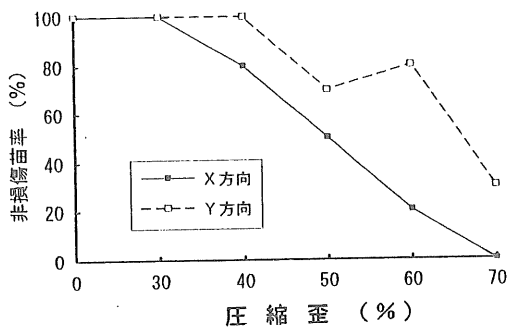
クリップは作業性も良く、活着も良好である。しかし、機械接ぎ木に用いるには、クリップの供給や開閉の機構が必要になること、活着後クリップ外し作業が必要であるなどの問題がある。そこで、これに代わる接着資材の検討を行なった。



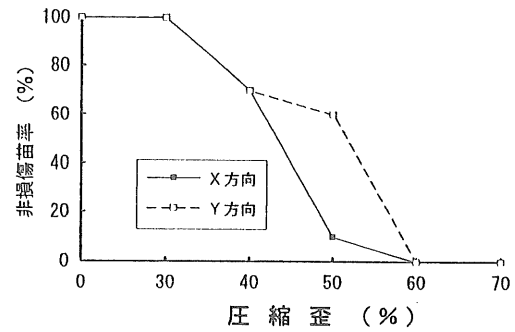
(a) キュウリ (シャープ1)



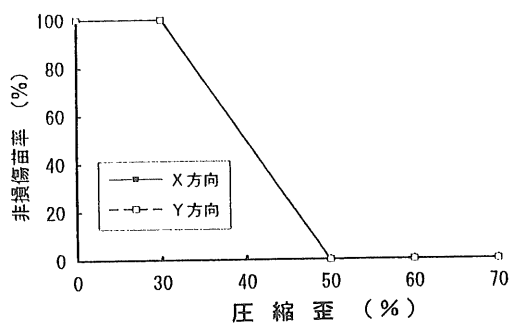
(b) カボチャ (改良新土佐一号)



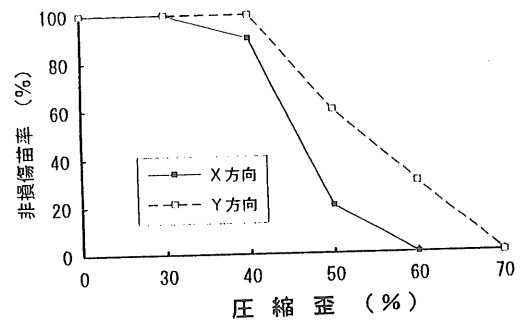
(c) スイカ (新大和二号)



(d) ユウガオ (相生FMT)

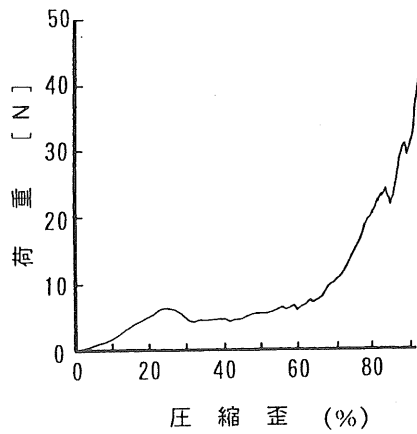


(e) メロン (プリンス)

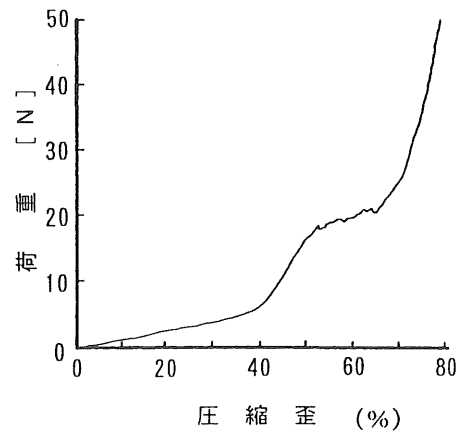


(f) 台木メロン (大井)

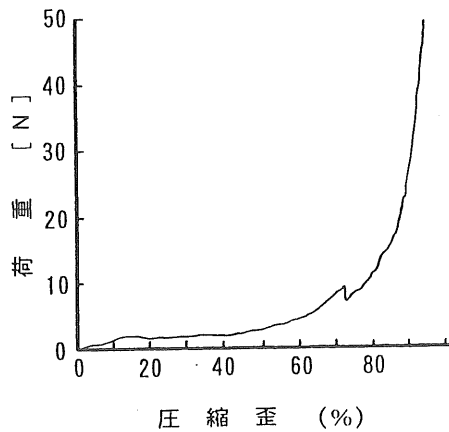
図14 胚軸に加えた圧縮歪と非損傷苗率



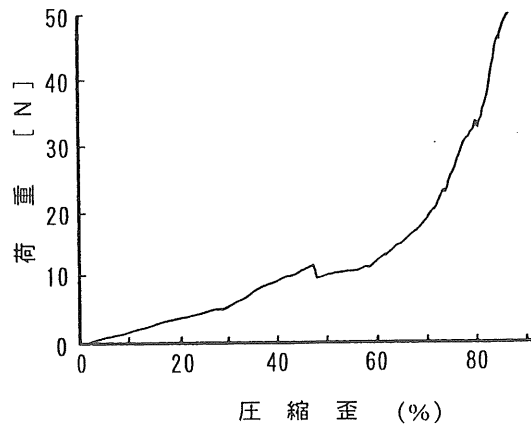
(a) キュウリ (シャープ1:Y)



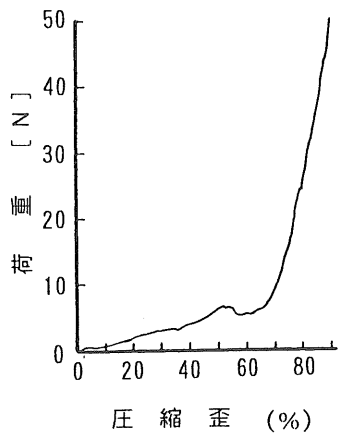
(b) カボチャ (改良新土佐一号:X)



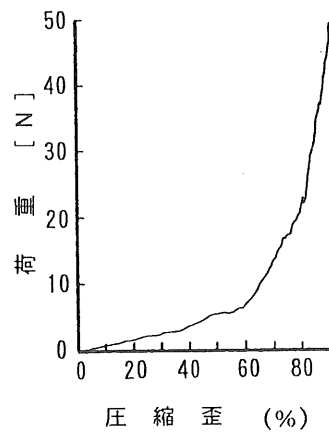
(c) スイカ (新大和二号:Y)



(d) ユウガオ (相生FMT:X)



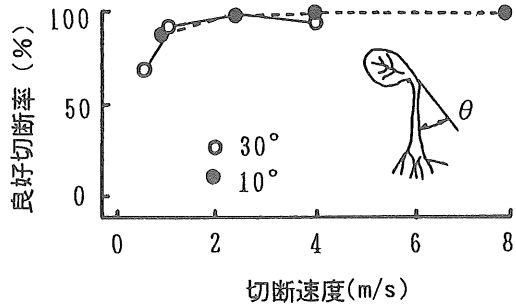
(e) メロン (プリンス:Y)



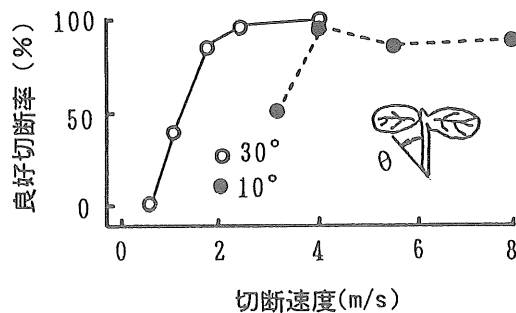
(f) 台木メロン (大井:X)

図15 胚軸の圧縮歪と荷重 (X, Yは胚軸の方向 図8)





(a) カボチャ  
(改良新土佐一号)



(b) キュウリ  
(わかたけ)

図16 円盤型切断装置の切断速度と良好切断率

### 2. 5. 1 検討した接着資材

検討したのはセロファンテープ，ステープル針，接ぎ木用瞬間接着剤，医療用テープ3種類，経時分解性テープ2種類，メンディングテープである。対象区は市販の接ぎ木用クリップとした。主な資材の概略を表6に，ステープル針とテープによる接ぎ木の様子を図17に示した。

これらの資材を用いて片葉切断接ぎによる接ぎ木を行い，作業性，活着率を調査した。供試品種は台木カボチャが‘改良新土佐一号’，穂木キュウリが‘わかたけ’である。検討に当たっては以下の点に留意した。

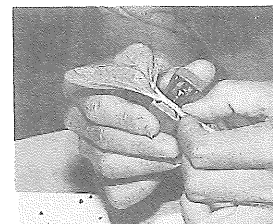
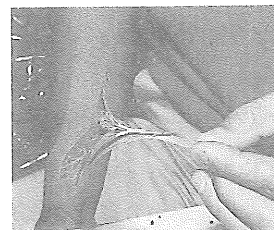
- ①活着が良好で，かつ，接ぎ木後の苗の生育を阻害しないこと。
- ②接着資材の供給及び接着の機構が簡単で，コンパクトになること。
- ③接着に時間を要しないこと。

- ④活着後の取り外し作業が不要であること。
- ⑤安価であること。

表6 検討した主な接着資材の概要

試験時の呼称	材 質	備 考
ステープル針	ステンレス	JIS規格10号
接ぎ木用瞬間接着剤	2-シアノアクリレート	硬化促進剤併用
医療用テープA	ポリエチレン+アクリル共重合体*)	微小孔あり
医療用テープB	ポリエチレン+アクリル共重合体	伸長性あり
医療用テープC	レイヨン不織布+アクリル共重合体	微小孔構造
経時分解性テープA	経時分解性樹脂+アクリル共重合体	厚さ0.02mm
経時分解性テープB	経時分解性樹脂+アクリル共重合体	厚さ0.10mm
メンディングテープ	アセテート+硬質合成樹脂(ゴム系)	
接ぎ木クリップ		対象区

\*) テープの材質は、基材+粘着剤で記載



(a) ステープル (b) テープ

図17 ステープル，テープによる接ぎ木

### 2. 5. 2 試験結果

#### ①セロファンテープ

セロファンテープは順化中の苗生育に対応する伸縮性がないことや，通気性に問題があり，また取り外し時の作業性が悪いため，途中で検討対象から外した。

#### ②ステープル針

ステープル針は取り付けなどの作業性は良かったが，24株中10株しか活着せず，活着率は42%であった。また，圧入時に穂木胚軸がつぶれるものがあった。

### ③接ぎ木用瞬間接着剤

台木と穂木は胚軸径が異なり、接着面は台木切断面が露出する。この状態で接ぎ木用瞬間接着剤が切断面に流れ込まないようにして接着することは困難であった。

また、養生時に接着剤が剝離し穂木の脱落が見られた。活着率は0%であった。

### ④医療用テープ

医療用テープのうちテープBは伸長性があり、作業性は良かったが、他は作業性に問題があった。活着率は、10~50%と低かった。しかし、活着した苗はほとんどが成苗になり、茎の成長に従ってテープ貼合面は剝離した。

### ⑤経時分解性テープ

経時分解性テープAは、強度不足のため作業時に破断し作業性が劣った。経時分解性テープBは破断しなかったが養生・順化時の圧着が不十分で活着率が低くなった。活着した苗のテープは、接ぎ木後22日までに全て破断し、テープを剥がす必要がなかった。

### ⑥メンディングテープ

メンディングテープは、接ぎ木後の圧着を保てず、活着率は0%であった。また、穂木、台木とも、粘着剤から発生するガスの影響と思われる黄変があり順化中に全て枯死した。

## 2. 5. 3 接着資材の選択

供試したいずれの接着資材も、最も重要な要素である活着率が低く、作業性にも問題があったため採用を断念した。

そこで慣行手接ぎ木に実績もあり、容易に入手でき、繰り返し使用できるという点、またテープによる試験結果から、活着には接着面に少なくとも順化前期までは物理的な加圧が必要であることなどが判明したため、クリップを採用することにした。

## 2. 6 摘要

機械接ぎ木を行うのに必要な要素技術について、実験を行って検討した。

### 1) 機械接ぎ木に適する接ぎ木法

機械接ぎ木に適する接ぎ木法を探索するため、活着率や成苗率、接合面剝離強度、作業の難易、作業工程数、適応作物数などを考慮に入れて片葉切断接ぎ、胚軸を削

って接着する方法など数種の方法について検討した。

その結果、養生・順化を精密にすることで高い活着率、成苗率が得られる、接合面が強い、台木の片子葉と生長点を一工程で切除する省力的方法である、穂木胚軸を切除する方法である、他作物への適応性がある、ことなどから片葉切断接ぎを接ぎ木法として選択した。

### 2) 苗の形状と切断位置決め

片葉切断接ぎは台木の形状に関わらず切断位置を一定にする基準位置が必要である。台木の形状を調査した結果、子葉展開基部には切除部位との相対位置が生育ステージあるいは育苗管理法によって大きく影響されない形状的特性があった。そのため、この部位を位置決め基準とし、穂木、台木共子葉展開基部で吊り下げて供給することにした。

### 3) 切断

円盤外周にカミソリを付けた切断装置を用い、キュウリと台木カボチャの切断速度、切断角度、活着率を調査した。その結果、キュウリでは切断速度4.0m/s、切断角度10°、台木カボチャでは、2.5m/s以上、30°が良好に切断でき、活着率も高かった。

### 4) 苗の把持

苗把持はハンドで行うこととし、ウリ科野菜の穂木と台木の胚軸に圧縮歪を加え、苗生育に与える影響を調査した。その結果、胚軸に圧縮歪を70%程度加えても苗生育には大きな影響を与えないが、胚軸に損傷を残さないためには30%までに圧縮歪を抑える必要があった。

この結果と胚軸径のばらつきが小さいことから、把持部表面にウレタンゴムなどの軟質材を用いて胚軸径のばらつきの影響を避ければ、損傷を与えずに把持でき、胚軸把持には把持力制御などの調節は必要ないと判断した。

### 5) 接着資材

接着資材を探索するため、クリップを対象区とし、ステープル針、接ぎ木用瞬間接着剤、7種のテープを用いてキュウリの接ぎ木を行い、作業性、活着率などを調査した。その結果、いずれの接着資材も作業性に問題があり活着率も低く実用的でなかった。

一方、クリップは作業性が他の接着資材より優れ、活着率は高かった。また、慣行手接ぎ木に実績があり、容易に入手でき、繰り返し使用できるという利点を考慮し、クリップを採用することにした。

### 3 機械接ぎ木の可能性の検討

2で検討した要素技術を組み合わせた接ぎ木装置を製作した。この装置は、苗供給、把持、搬送、切断、接着、排出の動作を行う機構を備えた機能確認用接ぎ木装置（機能確認機）である<sup>6) 0)</sup>。

ここでは機能確認機的设计・製作と接ぎ木試験から得られた知見をもとに、接ぎ木装置を構成する機構が具備すべき機能を明らかにし、片葉切断接ぎによる機械接ぎ木の可能性について検討する。

#### 3. 1 機能確認用接ぎ木装置の製作

##### 3. 1. 1 機能確認機開発の目標

2で検討した要素技術を用い、機械接ぎ木の可能性を検討できるようにするとともに、装置の性能として次の3点を目標とした。

- ①装置は、個人農家あるいは数戸の農家が共同で利用できる大きさ、機能とする。
- ②作業能率は、手接ぎ木（呼び接ぎ）の5倍(500株/h)以上、活着率は80%以上を目標とする。
- ③対象とする作物は、ウリ科野菜とするが当面キュウリを中心に取り上げる。

##### 3. 1. 2 機能確認機の仕様<sup>6) 1)</sup>

主な仕様は次のようにした。

- ①穂木、台木は、子葉展開基部で吊り下げ、1株ずつ供給する。
- ②苗把持は市販の空気圧ハンドを利用する。
- ③切断部は両刃のカミソリを用いた円盤型の回転刃とし、切断角度は穂木10°、台木30°とする。
- ④接着にはクリップを使用する。
- ⑤穂木と台木の子葉展開方向を直交させて接着し、子葉の重なりを防ぐ。
- ⑥各部の駆動は切断部のモータ以外は、空気圧方式とする。
- ⑦各部の制御は、プログラマブルコントローラを使用したシーケンス制御とし、苗の把持から苗排出までの1サイクルを連続して行う。

本機を設計する上で特に留意したのは、把持、切断、接着の部位は、苗を供給した時点で決めてしまう点であり、一旦把持した苗は接着終了まで解放しない方式とし

た。従って、把持後は切断位置、接着位置の調整は一切行わない。

##### 3. 1. 3 機能確認機の構造

機能確認機の構造を図18に示す。この装置は、苗供給部、苗把持部（ハンド）、苗搬送部、切断部、クリップ供給部、接着部、排出部、制御部、動力部から構成されている。また、各部の動作は図19のように、穂木と台木を別経路で処理し、それを中心の接着部で合流するようにしている。図20に主要部の構造を示す。

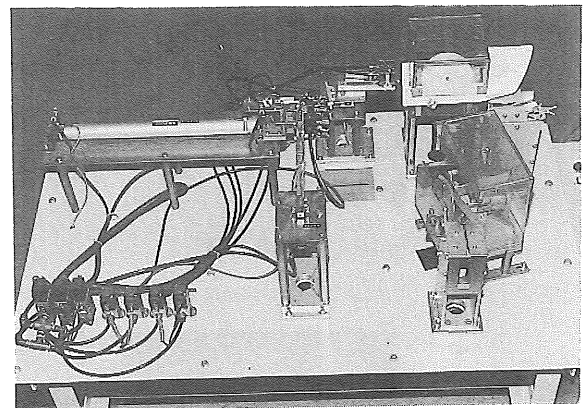
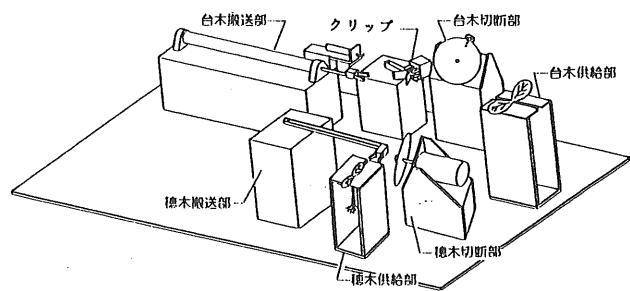


図18 機能確認用接ぎ木装置（機能確認機）の全体図

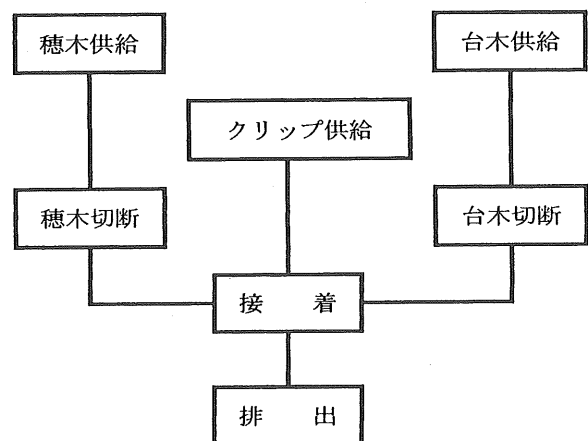
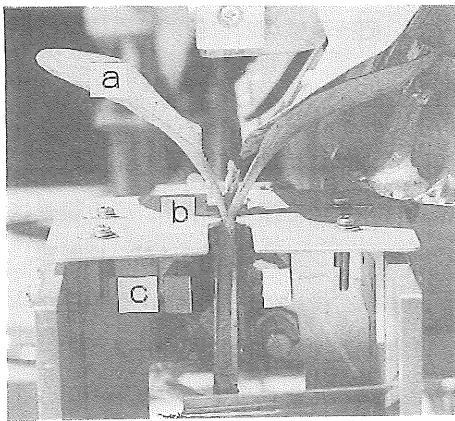
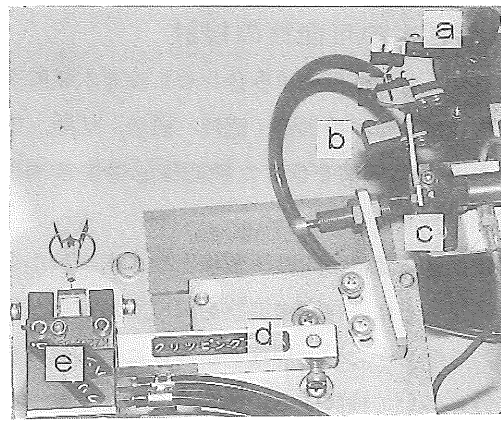


図19 機能確認機の動作の流れ



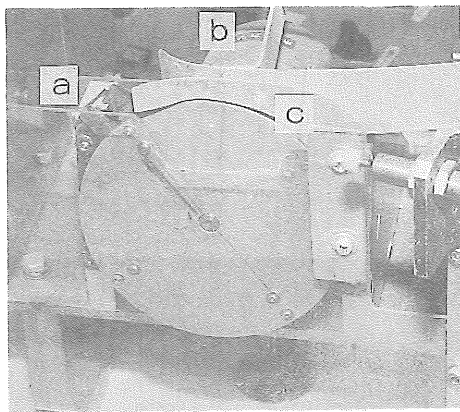
a:台木 b:スリット c:ハンド

( a ) 苗供給部



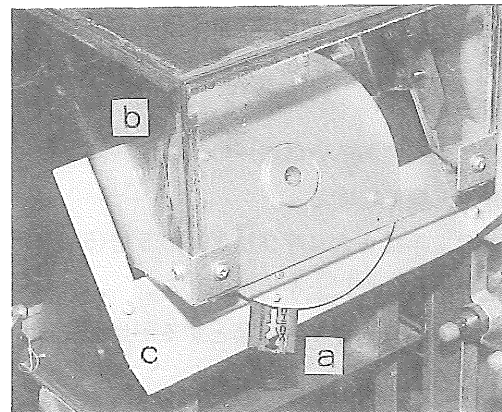
a:穂木ハンド b:台木ハンド  
c:苗押出板 d:クリップアーム  
e:クリップハンド

( b ) 苗把持部



a:切断刃 b:モータ c:苗ガイド

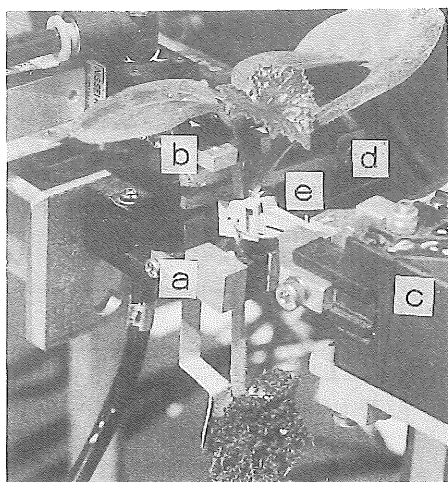
穂木



a:切断刃 b:モータ (裏側)  
c:苗ガイド

台木

( c ) 切断部



a:台木ハンド b:穂木ハンド c:クリップハンド  
d:苗押出板 e:クリップ

( d ) クリップ供給部と接着部

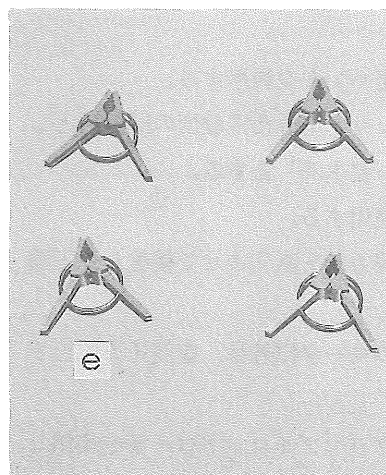


図20 機能確認機主要部の構造

1) 苗供給部と切断位置決め 図20 (a) に台木の供給部を示す。苗供給部は穂木用と台木用を備え、吊り下げ部は平板のスリットとし、間隔は胚軸太さに応じて調節できるようにした。苗は根の重みで子葉展開基部でスリットに懸架される。ハンドは、スリットの下で胚軸を把持するようになっており、把持した時点で苗と全ての機構の相対位置が定まるようにした。苗の供給と把持、切断の位置関係を図21に示した。

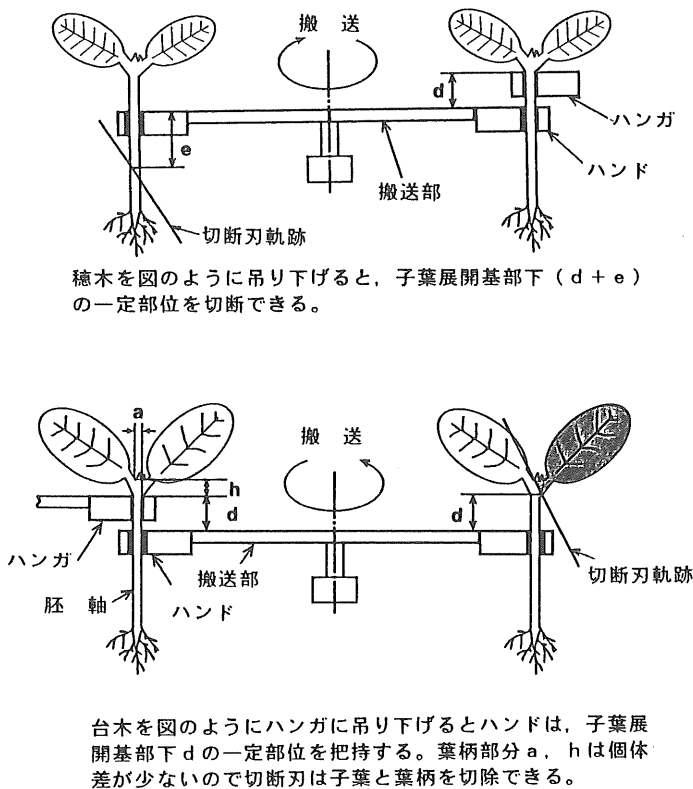


図21 穂木、台木の供給と切断部位

2) 苗把持部 図20 (b) にハンドを示す。ハンドは市販の回転開閉型ハンドにフィンガを取り付けたもので、把持面にはウレタンゴムを貼りつけた。把持面は台木用が幅 8 mm、長さ 15 mm、穂木用は幅 4 mm、長さ 15 mm とした。ウレタンゴムの厚さは両者とも 4 mm とした。

3) 苗搬送部 台木搬送部は直動型エアシリンダで、ロッド先端にハンドを取り付けた。ハンドは苗供給部、接着部の間を往復する。

穂木搬送部は空気圧ロータリアクチュエータで、ア

ム先端にハンドを取り付けた。ハンドは苗を把持すると切断部を通過して接着部まで半径 300 mm で回転する。

4) 切断部 台木切断部は、直径 106 mm の円盤外周に両刃のカミソリ 1 枚を薄板で挟んで取付け、刃先回転直径 150 mm の回転刃とした。駆動は回転速度可変の直流モータとし、モータは切断角度を 30° に設定し架台に据え付けた。切断部は苗供給部と接着部の間に設け、苗搬送を停止せずに切断する。

穂木切断部の構造は台木用と同一であり、切断角度を 10° とした。

5) 接着部 クリップ供給はロータリアクチュエータで、クリップアーム先端に取り付けた回転開閉型ハンド (クリップハンド) を回転させて行った。回転半径は 100 mm である。クリップハンドには開口したクリップを一株毎に把持させた。図20 (d) に接着の瞬間のクリップ供給部を示す。

6) 排出部 接ぎ木苗の取り出しは、エアシリンダの先端に苗押し出し板を取り付けて行った。接着終了時点で穂木、台木の両ハンドが開いて苗を解放すると、苗押し出し板が接着部 (クリップ) を押しつけて接ぎ木苗を機外に排出する。

7) 制御部 制御部は、オムロン社製プログラマブルコントローラ C-28P を用いたシーケンス制御とした。タイムチャートを図22に示す。制御プログラムはラダー言語で記述し、ステップ数は 134 ステップである。作業モードは各部を個別駆動できる「マニュアルモード」と一株分の動作を連続して行う「自動モード」の 2 モードとした。

時間 (秒)	1	2	3	4	5	6	7
台木アーム	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
台木ハンド	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
台木切断モータ	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
穂木アーム	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
穂木ハンド	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
穂木切断モータ	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
クリップアーム	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
クリップハンド	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
苗排出シリンダ	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON

図22 機能確認機のタイムチャート

8) 動力部 動力は別置きエアコンプレッサの空気圧により、把持、搬送部などの空気圧アクチュエータを駆動し、切断部は回転速度可変の直流モータを使用した。これらは商用電源AC100Vで駆動するようにした。

### 3. 1. 4 機能確認機の接ぎ木動作

機能確認機は苗把時から接ぎ木苗の排出までの動作を連続的に行う。動作は次のとおりである。

まず、台木と穂木を1株ずつ子葉展開基部で苗供給部のスリットに吊し、クリップは開口状態にしてクリップ供給部に取り付ける。作業モードは「自動モード」とする。

この状態でスタートスイッチを入れると、台木搬送部のエアシリンダが前進し、ハンドが台木胚軸を把持する。同じく穂木搬送部のロータリアクチュエータが回転し、ハンドが穂木胚軸を把持する。

次に、台木ハンドが後退し、経路上の切断刃が子葉1枚と生長点を切除する。台木ハンドはさらに後退し接着部で停止する。一方、穂木ハンドも回転し、途中の切断刃が胚軸下部を切り落とす。穂木ハンドは接着部で停止する。

接着部では、台木と穂木の切断面は向い合った状態である。そこにクリップ供給部のクリップアームが回転してクリップハンドを開いてクリップ掛けを行う。クリップ掛けが終わると台木、穂木の両ハンドが開いて苗を解放し、苗押し出し板が接ぎ木苗の接着部分を押し、機外に排出する。

苗を供給して、接ぎ木苗を排出するまでの一動作に要する時間は7秒である。

### 3. 2 接ぎ木装置の機能確認と機械接ぎ木の可能性の検討

製作した機能確認機を用いてキュウリ接ぎ木作業を行い、各部の機構が目的どおり機能するかを確認した。また、試験結果及び作動状況の観察結果から、接ぎ木装置が備えるべき機能を明らかにし、機械接ぎ木の可能性について検討した。

#### 3. 2. 1 キュウリ接ぎ木試験<sup>6,2)</sup>

1) 目的 穂木及び台木の供給から接ぎ木苗排出まで

の接ぎ木作業を行い、各機構の機能及び接着面の状態を調査し、性能を把握するとともに機械接ぎ木の可能性を検討する。

2) 試験方法 供試苗は、キュウリは試験番号1が「夏秋節成り2号」、試験番号2は「わかたけ」で育苗時期が異なる。台木カボチャはともに「改良新土佐一号」である。作物条件を表7に示す。

測定、観察項目は次のとおりである。

- ①接着率
- ②活着率
- ③成苗率
- ④接合面剝離強度
- ⑤作動状態

接着率は次式で求めた。

$$\text{接着率 (\%)} = \frac{\text{接着株数}}{\text{供試株数}} \times 100$$

ここに、

供試株数：接ぎ木装置に供給した穂木  
(台木) 苗の数

接着株：穂木と台木の切断面が外見的に合っている接ぎ木苗。物理的に穂木と台木がつながっていても切断面が合っていないければこれに含めない。接ぎ木作業直後に調査した。接着株数はその個体数。

表7 キュウリ接ぎ木試験供試作物条件

試験番号	1	2
穂木 (キュウリ)		
品 種	夏秋節成り2号	わかたけ
播種日	1988. 11. 14	1989. 4. 25
胚軸径 x (mm)	1. 8 (0. 1)	2. 1 (0. 1)
胚軸長 (cm)	5. 4 (0. 4)	5. 3 (0. 5)
台木 (カボチャ)		
品 種	改良新土佐一号	改良新土佐一号
播種日	1988. 11. 18	1989. 4. 28
胚軸径 x (mm)	3. 5 (0. 1)	3. 5 (0. 3)
胚軸長 (cm)	8. 1 (0. 9)	6. 6 (0. 6)
葉柄展開角 (°)	53 (8)	58 (9)
接ぎ木試験日	1988. 12. 1	1989. 5. 9
供試株数 (株)	60	100
手接ぎ木株数 (株)	20	20

( ) の数字は標準偏差

養生は接ぎ木苗をポット（3号ポット）に植えてプラスチック製の箱に入れ、シリンジ後に透明のビニルシートで覆った。箱は自然光の入らない室内に置き、上部から蛍光灯で照明した。環境条件は光量 $60\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、日長12時間、平均気温 $24^{\circ}\text{C}$ 、平均相対湿度95%以上とした。接ぎ木後およそ8日間はこの条件で養生し、その後ガラス室で2～3日間寒冷紗で遮光して順化した。養生から順化、順化から一般育苗への移行時期は、苗を観察しながら決めた。

接ぎ木苗は、本圃への定植までに、スペーシング、運搬、定植などの各作業でハンドリングされる。このとき、接着部位が十分に癒合していないと穂木が脱落することがある。そのため機械接ぎ木苗の接合部剥離強度を手接ぎ木苗のそれと比較した。試験は、引張り試験機を用い、接ぎ木後35日の成苗の接合部を剥離する方向に引っ張り、剥離時の荷重を剥離強度とした。

### 3) 試験結果

(1) 接ぎ木性能 試験結果を表8に示した。図23に接ぎ木直後の苗と成苗になった苗を示す。

苗を供給後、接ぎ木に要する時間は約7秒であった。接着率は2回の試験とも80%以上であった。

活着率は62%及び69%で接着株の約80%が活着した。成苗率は58%及び63%であった。一方、手接ぎ木株は活着率95%以上、成苗率90%であった。機能確認機は、穂木の品種や育苗時期にあまり影響を受けないことを確認したが、活着率は目標とした80%には達しなかった。

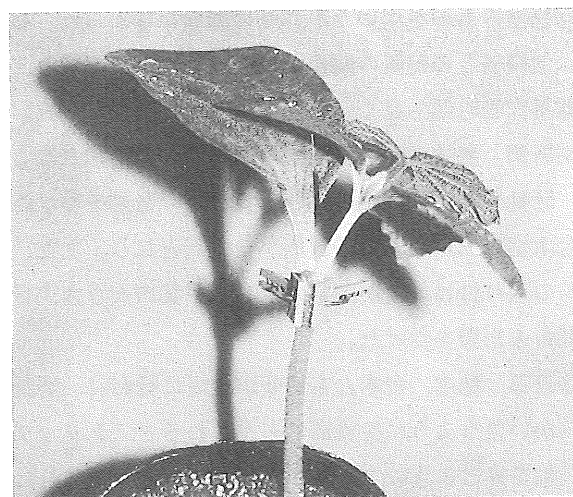
(2) 接合面剥離強度 接着部の剥離強度は、機械接ぎ木苗が平均3.6N、手接ぎ木苗が2.2Nで、機械接ぎ木苗は手接ぎ木苗の1.6倍であった。

(3) 作動状態 主要部の作動状態及び改良が必要な部分は次のとおりであった。

①苗供給部 スリットへの苗供給は容易であり、子葉展開基部で懸架できた。ただし、胚軸の曲がり大きい苗にも適応できるようにスリット下に十分な空間を確保する必要がある。

②苗把持部 ウレタンゴムを貼付したフィンガは、胚軸に損傷を与えることなく、また、苗搬送時に苗が移動することもなかった。ハンドが原因の接ぎ木失敗はなかった。

③苗搬送部 台木には直動型のエアシリンダを、穂木に



(a) 接ぎ木直後の苗



(b) 順化後の接ぎ木苗  
(左：機械接ぎ木 右：手接ぎ木)

図23 機能確認機によるキュウリ接ぎ木苗

表8 機能確認機によるキュウリ接ぎ木試験結果

試験番号		1		2	
試験区		機械接ぎ	手接ぎ	機械接ぎ	手接ぎ
供試株数	N (株)	60	20	100	20
接着株数	S (株)	49	-	85	-
接着率	(%)	82	-	85	-
接ぎ木失敗原因内訳	不接着 (株)	6	-	8	-
	不良接着 (株)	5	-	7	-
活着株数	K (株)	37	19	69	20
活着率 a <sup>1)</sup>	(%)	62	95	69	100
活着率 b <sup>2)</sup>	(%)	76	-	81	-
成苗率	(%)	58	90	63	90
成苗本葉数	(枚)	3.3	3.1	4.2	4.1

1) 活着率 a =  $K/N \times 100$ , 2) 活着率 b =  $K/S \times 100$

は回転型のものを用いたが作動に問題はなかった。しかし、他機構との配置の関係でストロークが長くなり、その結果作動時間も長く、さらに機体も大形になった。

④切断部 穂木切断部は穂木の根部側が自由端となるため、胚軸の曲がり、根の付着土量などの影響を受けた。

台木切断部は台木の子葉側が自由端となり、また、切断刃の取り付け角度が固定のため、子葉の大きさ、葉柄展開角の影響を受けた。

⑤接着部 穂木、台木とも切断が良好に行われ、切断面が向かい合うように接着部に搬送されると、クリップは両胚軸を挟むようにクリップ掛けし、接着は成功した。

しかし、台木子葉が垂れるほどに切断されると、クリップが葉柄に触れて胚軸を挟めず、穂木と台木は全く接着されない失敗（不接着）となった。逆に台木の生長点が大きく残るように切断されると、穂木切断面と台木切断面が干渉し合ってずれてしまい、接ぎ木されているものの接着面が不一致の失敗（不良接着）となった。

穂木の胚軸が大きく曲がっているときにも切断面が不一致の失敗が発生した。

⑥排出部 接ぎ木が成功した株では押し出し作用は良好であった。しかし、クリップ掛けに失敗した苗では、押すだけでは作用が不安定であった。

### 3. 2. 2 切断部性能試験<sup>6,3)</sup>

1) 目的 機能確認機は、台木、穂木の切断をハンドで把持した状態で行ったが、切除側が自由端となるため、切断精度は苗形状の影響を受けた。また切断面の状態は接ぎ木の成功、不成功に大きく影響した。その結果、活着率は目標を達成できなかった。そこで、切断装置の性能を明確にし、切断精度を向上させる対策を検討した。

#### 2) 試験方法

(1) 穂木、台木切断部の改造 穂木は、切断時に根部側が自由端となるため切断精度が低くなった。そのため切断時に胚軸の動きを規制するガイドを設けた。

台木切断部は、子葉の動きを規制するガイドを設けた。このガイドは、搬送中に葉柄展開部を分ける位置に設け、切断刃はこのガイドに沿って動くようにした。

図20(c)はガイドを装着した状態である。

(2) 切断条件 穂木切断試験は、ガイドを穂木搬送経路の片側にのみ設けた場合、胚軸を挟むように両側に設

けた場合について、切断速度を6.5m/sと13.0m/sに変えて行い、切断精度を調査した。

また、切断精度が活着に及ぼす影響を見るため、機械切断した穂木を手切断した台木に接ぎ木し、活着率、成苗率を調査した。供試品種は、播種後7日から31日のキュウリ‘わかたけ’である。併せて適応できる胚軸径についても検討した。

台木の切断試験は、ガイドの効果を見るため、胚軸径、葉柄展開角の異なる台木カボチャ‘改良新土佐一号’を供試し、切断面の形状について検討した。葉柄展開角の範囲を広く取るため、播種後13~30日の苗を用いた。切断速度は、5m/sとした。また、機械切断した台木に手切断した穂木を接ぎ木し、活着率と成苗率を調査した。

両試験とも接ぎ木後の養生条件は、1のキュウリ接ぎ木試験と同じとした。

#### 3) 試験結果 試験結果を図24に示す。

(1) 穂木切断 片側ガイドでは、胚軸を完全に切断できずに根部側を残す場合が多かったが、両側ガイドでは切断できた。ただし、切断機構が苗搬送と同期していないため、胚軸に切り傷が複数できることがあった。また、泥付きの根部を切断することがあり、切断面が汚れた。

切断高さは、切断機構、切断速度などの諸要因によって、設計値に対し-1~+4mmの範囲にばらついた。

両側ガイドでは、胚軸径1.5~2mmの範囲では90%以上を良好に切断することができた。切断速度は、設計切断高さを実切断高さとの差及びばらつきを考慮すると両ガイド付きで13m/sが最も良かった。

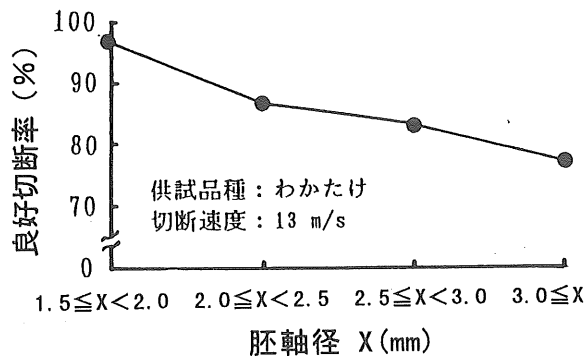
活着率、成苗率は、対象区の手接ぎ木苗で100%、95%、良好切断で100%、96%、2度切断で97%、93%であり、切断面による差は見られなかった。

(2) 台木切断 切断面の状態は、不完全切断（片子葉が切除されているが生長点が大きく残っているもの）、良好切断（片子葉、生長点とも切除されているもの）、過剰切断（片子葉、生長点とも切除されているが、胚軸の髓腔が表れ、子葉が垂れているもの）、両子葉が切除されたものは過剰切断とし3種類に分類した。

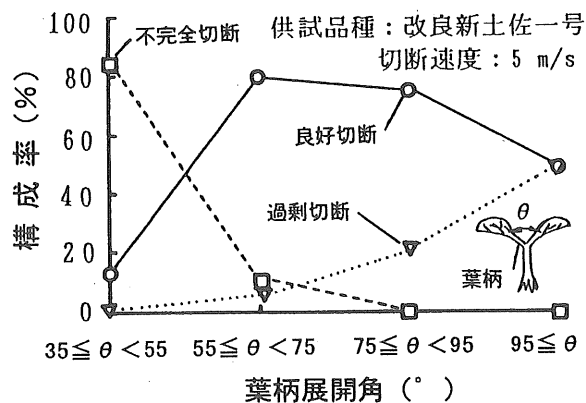
切断面の状態は、葉柄展開角に大きく影響され、55°未満では不完全切断が増加し、75°以上では過剰切断が増加する傾向があった。

子葉がガイドに接触すると苗姿勢が乱れることが多く、





(a) 穂木の切断精度 (両ガイド付き)



(b) 台木の切断精度

図24 機能確認機切断部の切断性能

残した子葉に損傷を受けることがあった。しかし、損傷は活着に影響しなかった。

切断面が不完全切断のときの活着率、成苗率は87%、83%、過剰切断のときが88%、82%で、良好切断の97%、94%に較べいずれも劣った。

苗の動きを規制するガイドを設けて切断性能の向上を図ったが、穂木切断では、胚軸に複数の切り傷ができることと切断面の汚れが、台木切断では、苗形状の影響を受けることが問題点として残った。

### 3. 2. 3 主要部の機能と機械接ぎ木の可能性の検討

機能確認機の試験結果から、主要機構の機能と機械接ぎ木の可能性について検討する。

接ぎ木性能については、1株の接ぎ木所要時間は約7秒で手接ぎ木の約4分の1であったが、作業精度を表す

接着率、活着率、成苗率は手接ぎ木に較べ約20~30%低い値となった。

接着率が低くなった原因は、クリップ掛け機構と切断機構にあった。クリップ掛けは、クリップアームを回転させて行なうためクリップは円弧を描いて接着部に供給される。そのため接着部分にわずかなずれがあるとクリップ先端が台木葉柄に接触して接ぎ木に失敗した。切断機構が原因となったのは、不完全切断あるいは過剰切断のときである。前者は接着部位が幅広くなり、後者では子葉の垂れ下がりがクリップ掛けに影響した。

活着率、成苗率が低くなった原因は、接着した株のうち活着した(表8の活着率b)のは76、81%と2回の試験とも低い値となったことが示しているように、外見上は接着しているように見えても癒合に必要な切断面積が確保されていないなどが考えられる。特に、台木については、子葉1枚と生長点を正確かつ切断面の面積が大きくなるように切除することが重要と考えられた。

子葉展開基部を基準に把持、切断、接着の部位を決める方法は、苗の生育ステージや倒伏による胚軸曲がりなど苗形状の影響を最小限に押さえることができた。この方法は片葉切断接ぎによる機械接ぎ木にとって有効な方法であると判断された。

次に、主要機構の機能について検討する。

苗供給部は、穂木、台木用とも子葉展開基部で懸架するスリット方式は、構造が簡単で供給も容易であり、胚軸曲がり小さい苗であれば把持部位が正確に決まり、供給方法として問題はなかった。

ハンドは、市販空気圧ハンドの把持面(フィンガ)にウレタンゴムを貼付した構造としたが、胚軸を損傷することもなく確実に把持できた。苗把持については、2で述べた把持力制御は不要であることを再確認した。

切断部は、苗の動きを規制するガイドを設けることによって切断精度は向上したが、作用は不安定であり、さらに改良する必要があった。また、穂木切断では切断刃に培養土が付着することがあり切断面の汚れが問題であった。

接着部は、回転アームによるクリップ供給に問題があった。また台木の切断精度の影響を受けた。接着資材として選択したクリップは接着が確実で、接合面の剝離強度は慣行の呼び接ぎより高くなった。

排出部は、接ぎ木失敗時に作用が不安定となり、失敗苗の持ち回り対策が必要であった。

以上のように、切断部、接着部は改良が必要であったが、他の機構は仕様のとおり機能した。また、子葉展開基部を基準とした位置決め法は、苗形状が把持、切断、接着などに及ぼす影響を最小限にする方法であった。さらに穂木、台木を機械切断した苗の手接ぎ木では、活着率、成苗率とも目標値を達成した。これらから片葉切断接ぎによる機械接ぎ木は可能であると判断した。

### 3.3 摘要

苗供給、把持、切断、接着、苗排出の各動作を順に行い、片葉切断接ぎにより接ぎ木を行う機能確認用接ぎ木装置を製作した。これを供試し、キュウリ接ぎ木試験を実施して機能確認と機械による接ぎ木の可能性について検討した。

1) 主要部の機能確認 機能確認機は苗供給部、苗把持部、苗搬送部、切断部、クリップ供給部、接着部、排出部、制御部、動力部で構成されている。

主要部の機能は次のとおりであった。

(1) 苗供給部はスリット方式とした。苗を子葉展開基部でスリットに吊り下げる方法であり、構造が簡単で苗供給も容易であった。

(2) ハンドは、把持面にウレタンゴムを貼付したもので胚軸を損傷することはなかった。搬送に用いた直動型や回転型のエアシリンダは機体を大形にし、また作動時間も長くなり検討が必要であった。

(3) 切断部の作業精度が全体の性能を低下させる原因となった。特に台木の子葉1枚と生長点の切除は正確かつ切断面積が大きくなるように行うことが課題として残った。

(4) 接着部では、クリップ先端が台木の葉柄に接触してクリップ掛けに失敗することがあった。また、不完全切断、過剰切断でも接ぎ木失敗が発生し、台木切断精度が接着性能に影響を与えた。接着資材として選んだクリップは機械によるクリップ掛けでも問題なかった。

(5) 排出部は、接着部(クリップ)を押し出す機構としたが、作用の安定性向上が必要であった。

(6) 動力部、制御部は特に問題はなかった。

2) 機械による接ぎ木の可能性 子葉展開基部を基準に、

把持、切断、接着の部位を決める方法は、苗の大きさ、胚軸の曲がりなど苗形状の影響を最小限に抑さえ、片葉切断接ぎによる機械接ぎ木に有効な方法であると判断された。さらに機械切断した穂木、台木を手切断した台木、穂木にそれぞれ手接ぎ木した結果、活着率、成苗率とも目標値を達成した。

以上から、切断部及び接着部の改良が必要であるが、他の機構は機能上の大きな問題点はなく、かつ、片葉切断接ぎが機械で実行できることが実証できたことから、機械接ぎ木は可能であると判断した。

## 4 実験用接ぎ木装置の開発

接ぎ木を行うのに必要な基本機構で構成した機能確認機によって、接ぎ木作業を機械化できる見通しを得た。

そこで機能確認機の機構や作業精度を分析して改良点を見だし、その結果と新たに開発した機構を盛り込んだ実験用接ぎ木装置(実験機)を開発した。

この実験機は機能確認機で得られた接ぎ木法、切断位置決め部位などの基本技術を踏襲し、機械接ぎ木を高効率、高精度に行うことを目的に開発したもので、苗とクリップの供給を自動化した20株連続接ぎ木が可能な装置である。

ここでは、実験機の機構、機能と接ぎ木作業の高精度化について実験結果を基に検討し、ついで他のウリ科野菜のスイカ、メロンに対する適応性について述べる。また、機械接ぎ木苗が収量、品質などに及ぼす影響をみるために行った、機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の比較栽培試験についても述べる。

### 4.1 実験用接ぎ木装置の製作

#### 4.1.1 機能確認機の改良点と実験機の仕様

機能確認機を機構と作業精度の両面から見直し、実験機の仕様と開発する機構は次のように設定した。

- ①作業能率は手接ぎ木(呼び接ぎ)の10倍(1,000株/h)程度、作業精度は活着率90%以上を目標とする。
- ②連続的に接ぎ木作業を行うため、苗搬送法を改良する。
- ③片葉切断接ぎによる接ぎ木とする。
- ④把持、切断、接着などの位置決め基準部位は子葉展開基部とする。
- ⑤苗はハンドにより把持する方式とし、把持面はウレタ

ンゴム貼りとする。小型のハンドを新たに開発する。

⑥切断にはカミソリを用いる。カミソリは耐久性、取り付け法など一部に問題はあったが、入手のしやすさ、切断面の平滑さなど利点が多いので市販品を用いる。

回転円盤型切断部は切断精度が苗形状の影響を受けるという問題があった。実験機では、高精度に子葉と生長点を切除する方法を新たに開発する。

⑦接着はクリップによる。接着には市販のクリップを用い、連続的に繰り出す機構を開発する。

⑧接ぎ木苗はベルトコンベアに排出しコンテナで受ける。

⑨動力は往復動部は空気圧、回転部はモータとし、各部の作動はシーケンス制御とする。

⑩動力源は商用電源AC100Vとする。

⑪機体はコンパクトにする。

#### 4. 1. 2 実験機の製作

製作した実験機を図25に示す。この装置は、苗供給、把持・搬送、切断、クリップ供給、接着、苗排出、制御、動力の各部からなる<sup>64) - 66)</sup>。主要部の構造・作用は次のとおりである。

(1) 苗供給部 苗供給部を図26に示す。苗供給部は直径410mm、厚さ3mmの塩化ビニルの円盤で、外周に機能確認機のスリットに相当する開口部（ハンガ）を設けたもので、穂木用と台木用がある。ハンガは等間隔に20株分設け、幅は穂木3mm、台木4mmで回転半径は200mmである。苗供給部は1株毎に間欠回転する。

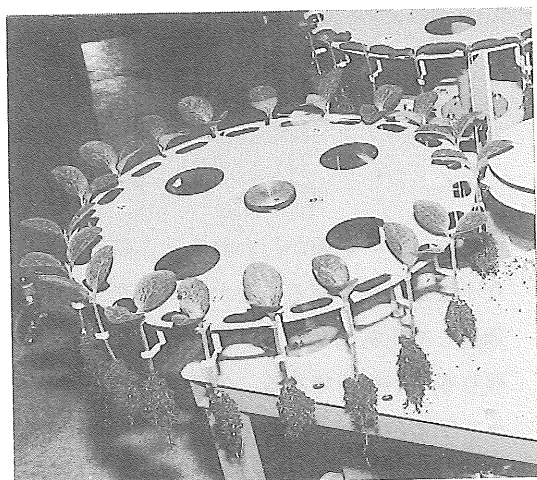
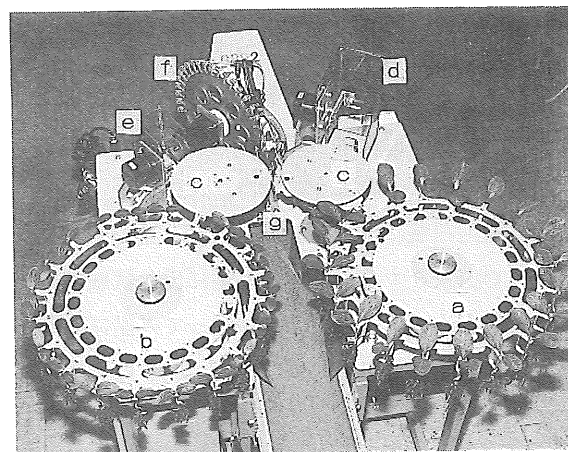


図26 苗供給部（台木用）と開口部（ハンガ）

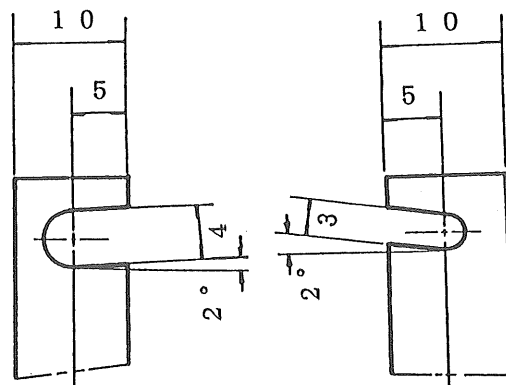


a : 台木供給部 b : 穂木供給部 c : 把持・搬送部  
d : 台木切断部 e : 穂木切断部 f : クリップ供給部  
g : 接着部

図25 実験用接ぎ木装置（実験機）の全体図

子葉展開基部の位置（高さ）は、円盤に歪みと苗の質量による撓みがあるため苗受け部（ハンドが苗を取る位置）で一定にならない。この影響をなくし、苗受け部でのハンガ高さを一定とするため苗受け部付近で円盤を一定高さのローラで支え、歪みと撓みを修正した。

また、円盤の停止位置は、ステッピングモータの減速歯車のバックラッシュによってハンガ部で5.2mmの誤差が回転方向に生じた。これをなくすため円盤の円周方向等間隔に円錐形の穴を開け、停止時にボールプランジャが落ちるようにして定位置停止を図った。



(a) 台木用

(b) 穂木用

(2) 把持・搬送部<sup>6,7)</sup>

①把持部<sup>6,8)-70)</sup> 把持部(ハンド)の詳細を図27(a)に示す。ハンドはL字型の可動フィンガと固定フィンガで構成され、苗の把持は可動フィンガをカムで開閉して行う。苗の把持は次のように行う。

カムは固定円盤に付いており、エアシリンダ(ピンシリンダ)で出入りする。カムが外側に出た状態で搬送部円盤が回転するとローラがカムに沿って外側に移動し、ローラと一体の可動フィンガが開く。開きは苗受け部で最大となる。ここでピンシリンダが戻ってカムを閉じると、可動フィンガはコイルばねによって閉じて苗を把持する。把持面にはウレタンゴムを貼布した。

②搬送部 搬送部は図27のように搬送部円盤の外周3等分位置にハンドを設けたものであり、ステッピングモータで間欠回転する。搬送円盤の外側3等分位置に苗受部、切断部、接着部を配置した。ハンドは苗受部→切断部→接着部→苗受部の順で120°づつ移動、停止を繰り返す、停止時に苗受け、切断、接着が3個所で同時に行われる。この配置により作業の連続化が可能となった。

台木用と穂木用の把持・搬送部は対称構造で、回転方向は前者が反時計方向、後者が時計方向であり、接着位置で苗切断面が向かい合うように配置した。

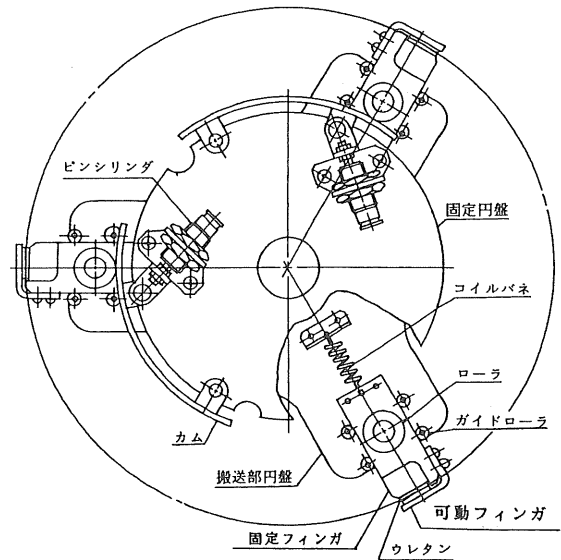
## (3) 切断部 新たに次の切断部を開発した。

①台木切断部 台木切断部の構造を図28(a)に示す。先端にカミソリを持ったアームが切り上げる方向に一回転する<sup>71)</sup>。子葉が搬送部中心方向を向いているため、切断刃は子葉展開基部付近から残す葉の葉柄付近を通過して子葉1枚と生長点を同時に切除する。駆動はステッピングモータで行った。

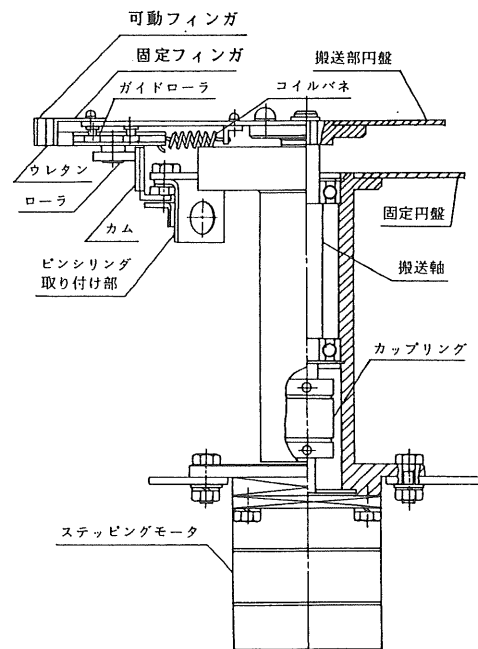
台木切断では、苗形状の如何を問わず子葉と生長点を精度良く切除し、さらに切断面の面積をできるだけ大きくとることが重要である。そこで次の機構を開発した。

台木の子葉と生長点を切除すると、図29のように、

- 片子葉は切除するが生長点が大きく残ってしまう切断(不完全切断)
- 生長点も片子葉も除去する良好な切断(良好切断)
- 生長点、片子葉とも除去するが、残した子葉葉柄が損傷し髄腔が表れ、子葉が垂れている切断(過剰切断)
- 生長点、両子葉とも切断(両子葉切断)



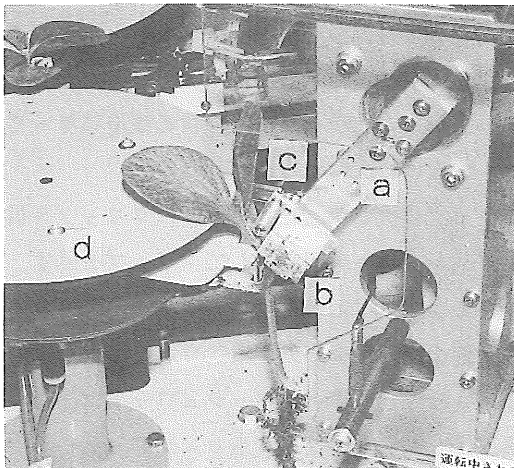
(a) 把持部



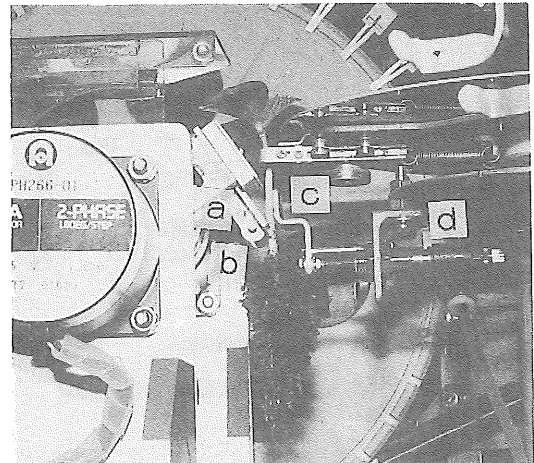
(b) 搬送部

図27 把持・搬送部

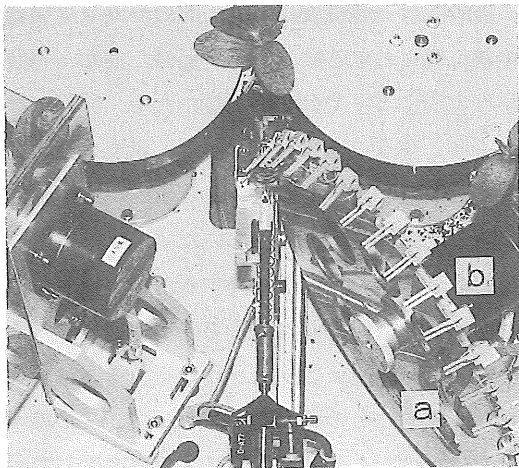
の4タイプの切断が行われる。このうちa, bでは残した子葉が垂れ下がることがなく、クリップは子葉の下を通過して正常にクリップ掛けできる。しかし、生長点が残しやすい切断である。生長点が残らないcに切断すると、子葉が垂れ下がった状態が生じやすくなる。この台木では接着時にクリップが子葉を押し付け、切断面のずれが生じる恐れがある。そこで子葉の姿勢を規制し、子



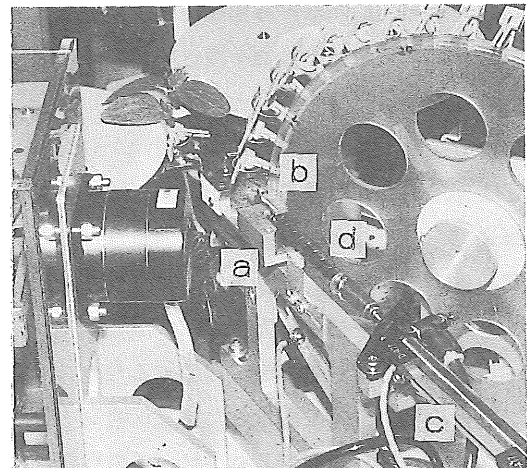
a:アーム b:切断刃  
c:ローラ d:子葉姿勢規制板  
(a) 台木切断部



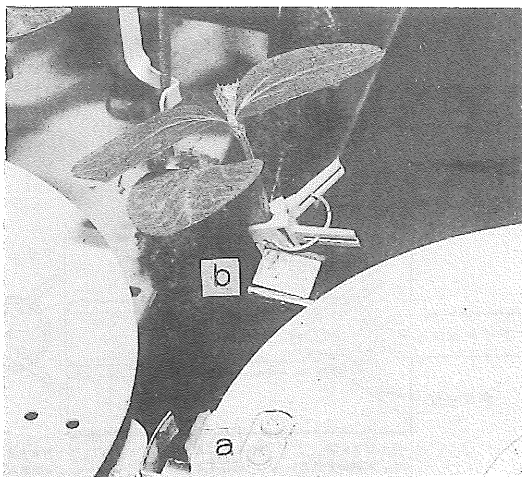
a:切断刃 b:ローラ(裏側)  
c:支え板 d:エアシリンダ  
(b) 穂木切断部



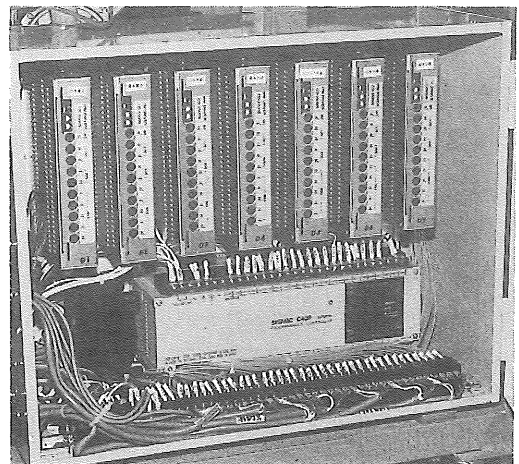
a:クリップ供給円盤 b:クリップ  
(c) クリップ供給部



a:溝付カム b:プッシュロッド c:エアシリンダ  
d:圧縮コイルバネ  
(d) 接着部



a:ハンド b:排出部  
(e) 排出部



(f) 制御部

図28 実験機主要機構部

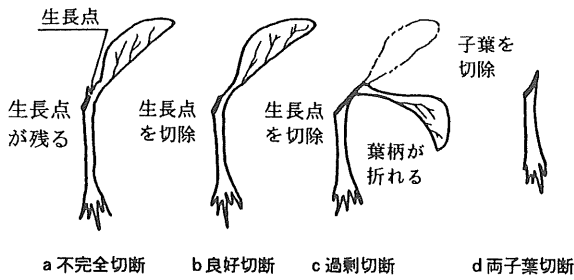


図29 台木子葉切断状態の分類

葉の垂れ下がりを支える円盤状の子葉姿勢規制板<sup>72)</sup>を設けた。

また、葉柄展開角が変化すると切断面形状が変化するため、切断刃と一体に回転する切断位置決めローラを設け、図のように切断直前に葉柄を搬送部側に押し付けて切断刃と葉柄のなす角度を一定となるようにした。このとき子葉姿勢規制板は押される苗を反対側から支える。  
②穂木切断部 穂木切断部の構造を図28 (b)に示す。回転方向が逆であることを除いて基本的構造は台木のもと同じである。切断刃は、切り下げるように回転して胚軸を切断して根部側を切り落とす。

曲がった胚軸でも切断高さを一定にするために、切断部とハンドとの相対位置を固定したまま切断高さのばらつきを少なくする機構を開発した<sup>73)</sup>。この機構は、切断刃、ローラ、支え板、エアシリンダから構成される。この作用は次のとおりである。

支え板は図27 (a)の固定円盤に取り付け、ピンシリンダで前後動する。苗が切断部にはないときは後退している。苗が搬送されてくると支え板が前進して胚軸を後ろから支える。次いで切断刃とローラが一体となって回転し、まずローラが胚軸を支え板側に押しつけ、続いて切断刃が胚軸を切断する。このように支え板とローラで胚軸の曲がりを矯正して切断する機構とした。

(4) クリップ供給部 図28 (c)にクリップ供給部を示す。外径 250mm、厚さ 5 mmの塩化ビニル製円盤の外周に等間隔で放射状に40個の溝を設け、そこにクリップの後端部をはめ込んで供給する方法とした。円盤は間欠回転する。

(5) 接着部<sup>74)</sup> 図28 (d)に接着部の構造を示す。接着部は、クリップを開閉する溝付きカムと直動型エアシ

リンダ先端に付けられたプッシュロッドから構成され、両者は圧縮コイルバネでつながっている。そしてプッシュロッドはカム内をスライドできる構造になっている。クリップ掛けは次のように行われる。

クリップ供給部が回転してカムにクリップを供給すると、プッシュロッドが前進してクリップを外す。さらにプッシュロッドは前進を続け、圧縮コイルバネによってカム全体を苗方向に移動する。カム先端が苗に達しストップにより停止すると、プッシュロッドは圧縮コイルバネを圧縮しながらクリップをカムに押し込む。クリップはカム内で口を開きながら移動し、苗に達するとカムから外れてクリップ掛けする。図30に供給からクリップ掛に至るクリップの状態を示した。クリップ掛けが終わると、接着部は元の位置に戻り、次のクリップ供給を待つ。

接着位置における両苗の切断面は、曲がった胚軸では曲がり方向によって切断面が離れたり、反対に胚軸どうしが干渉し合うこともある。また、過剰切断で台木子葉が垂れ下がると切断面は離れてしまう。このように両苗の切断面間隔は一定にならないため、クリップ掛けが不安定となる。この問題を解決するため、接着位置に搬送された段階では切断面は離して向かい合わせ、クリップ掛け直前に強制的に切断面どうしを引き寄せる機構を開発した。図31にその機構と動作を示す。この機構はカムの上面に設けたくちばし状のフィンガを閉じて行うものである。フィンガは、プッシュロッド先端のカムでクリップ掛け直前に閉じて両苗胚軸を引き寄せて切断面を合わせる。

フィンガはクリップ掛けが終わるとカムによって開き、カムと共に後退する。この機構は、苗形状に対する適応性を飛躍的に向上させた。

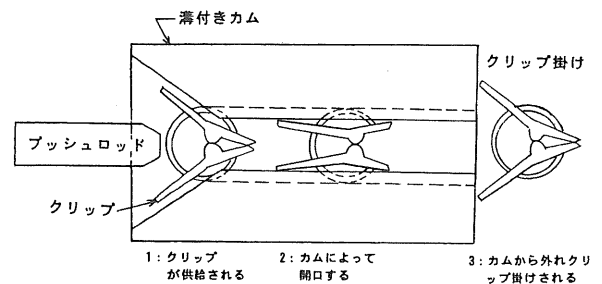
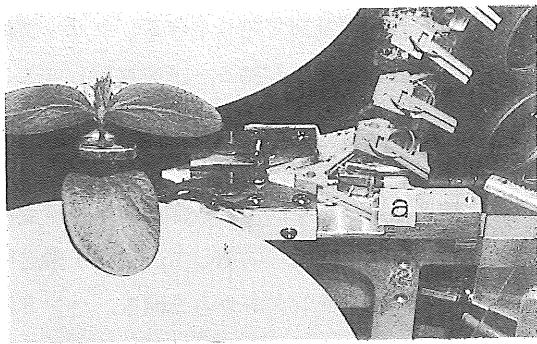
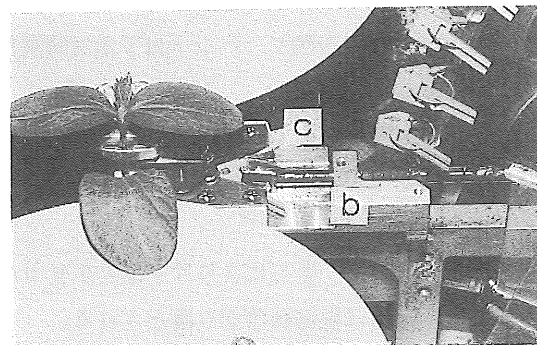


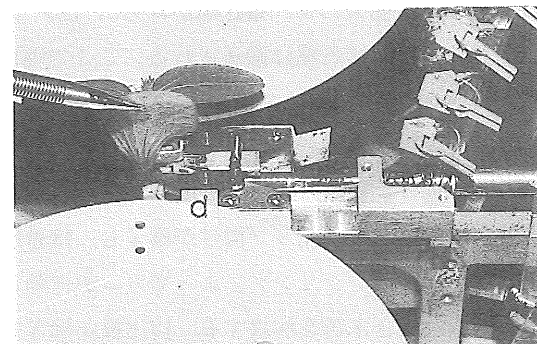
図30 実験機のクリップ掛け機構の動作



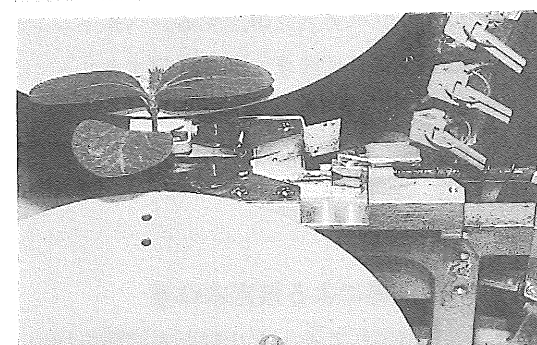
1 プッシュロッド a がクリップを外す。



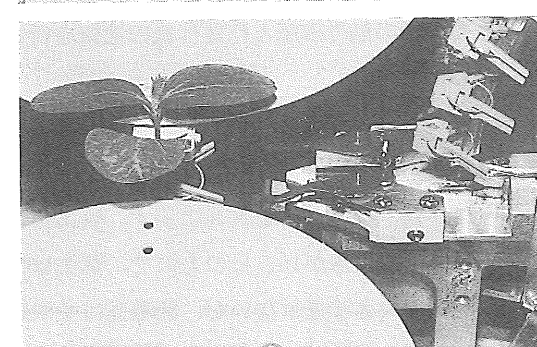
2 溝付きカム b が先行して前進し、先端が苗に達すると停止する。



3 プッシュロッドが前進しクリップを溝付きカムに押し込む。その途中でプッシュロッド先端のカム c がフィンガ d を閉じ、切断面を引き寄せる。さらにプッシュロッドが前進しクリップ掛けする。



4 プッシュロッドが後退する。



5 次に溝付きカムが後退し、クリップ掛けが終了する。

図31 接着部でのクリップ掛けとフィンガの動作

(6) 接ぎ木苗排出部 接ぎ木苗排出部を図28 (e)に示す。排出部は、先端にウレタンゴムを貼付した排出板と直動型エアシリンダから構成されている。排出板はシリンダロッドの先端に取り付けられ、苗を押し上げるようにしてハンドから外す。排出された苗はベルトコンベアに落下し、先端にあるコンテナに収納される。

(7) 動力部 動力部は回転機構にはステッピングモータを用い、往復動機構には直動型エアシリンダを用いた。ステッピングモータドライバは回転角度、回転速度を任意に調節できるものを採用した。また、コンプレッサを本体フレームに内蔵した。

(8) 制御部 制御部を図28 (f)に示す。制御はシーケンス制御とし、オムロン社製プログラマブルコントローラC40Pを用いた。図32にタイムチャートを示す。制御プログラムはラダー言語で記述し、ステップ数は198ステップである。なお、制御モードとして、各部を独立して駆動できる「マニュアルモード」、1株接ぎ木して停止する「1株接ぎ木モード」、20株を連続接ぎ木する「20株接ぎ木モード」の3モードを設けた。また、異常時には全ての機構を停止させる非常スイッチを設けた。

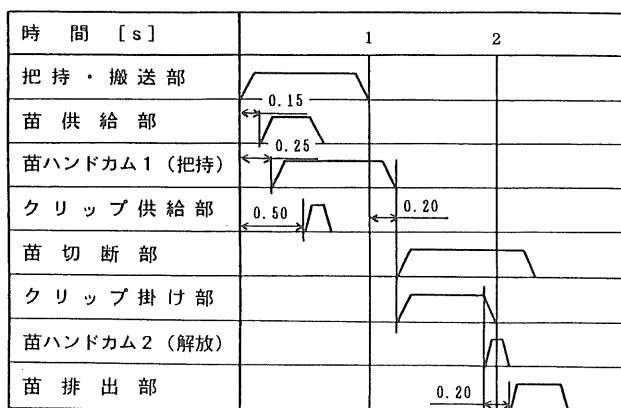


図32 実験機のタイムチャート

#### 4. 1. 3 実験機による接ぎ木動作

苗供給から接ぎ木苗の排出までの作業は次の順で行われる。

①苗、クリップの準備 苗供給部のハンガに、台木は子葉が円盤の中心方向を向くように、穂木は接線方向を向

くように子葉展開基部で吊り下げる。クリップ供給部にクリップを装填する。制御モードを選択し（ここでは仮に1株接ぎ木モードとする。連続モードは下記②～⑦の繰り返しである。）、スイッチを入れる。

②苗供給と把持 まず、苗供給部が回転し苗受け部に苗を供給する。この回転に同期して、把持・搬送部が回転を始めるとピンシリンダがカムを開き、ハンドはカムに沿って次第に開口しながら苗受け部に達する。そこでピンシリンダはカムを閉じ、ハンドは子葉展開基部下一定距離の胚軸を把持する。

これらの動作は、台木、穂木とも同時に行われる。

③搬送 搬送部が120°回転し、把持された苗は切断部まで搬送される。

④苗切断 台木は切断刃により片子葉と生長点が切り落とされる。穂木は根部側が切り落とされる。

⑤搬送と切断面合わせ 搬送部がさらに120°回転し、切断された苗は接着部に搬送される。ここで両切断面は向かい合う。

⑥クリップ供給と接着 クリップがカム部に供給され、クリップ掛けが行われる。

⑦接ぎ木苗排出 クリップ掛けが終了し、接着部全体が後退すると、ピンシリンダによってカムが作動してハンドを開き、接ぎ木苗を解放する。排出板が接ぎ木苗を押してベルトコンベア上に排出する。ベルトコンベア先端にはコンテナがあり接ぎ木苗を回収する。

これらの一連の動作の内、苗の把持、切断、クリップ供給、接着は、把持・搬送部の回転が停止したときに同時に行われる。

## 4. 2 実験機による接ぎ木作業

実験機を供試してキュウリ接ぎ木試験を行い、新たに開発した機構の動作確認と作業性能の把握を行い、改良点を見いだした。

### 4. 2. 1 試験方法

1) 供試材料 供試材料を表9に示す。供試苗は台木が播種後14日目、穂木が16日目のもので、草丈は慣行手接ぎ木のものとは大きな差はないが、胚軸径はやや細いものであった。苗の供給は、育苗箱から根を痛めないよう掘取りながら手で引き抜き、苗供給部ハンガに吊り下げた。



表9 キュウリ接ぎ木試験供試苗条件

台木・穂木の別	台 木	穂 木
品 種	改良新土佐一号	夏秋節成り2号
播種日	1989. 11. 29	1989. 11. 27
育苗日数 (日)	14	16
胚軸径 x (mm)	3.1(0.1)	1.5(0.1)
胚軸長 (cm)	6.2(0.7)	5.3(0.5)
葉柄展開角 (°)	61(6.6)	53(4.7)
見掛け子葉長 (cm)	10.7(0.8)	71(0.7)
その他	①第一本葉長さ10mm以下 ②胚軸の曲がったもの少ない	①胚軸の曲がったもの多い

( ) 内数字は標準偏差

2) 機械条件 供試機は20株の連続接ぎ木に要する時間を約56秒に設定した。切断速度は予め予備試験によって求め、台木切断速度4 m/s、穂木切断速度2 m/sとした。

### 3) 試験区

#### (1) 1株機械接ぎ木試験(試験番号A-1, A-2)

実験機の基本的性能を確認するため、苗供給から接ぎ木苗排出までを「1株接ぎ木モード」で行い、作業に異常があった場合は直ちに停止することにして実施した。この試験は同一条件で2回繰り返した。

#### (2) 20株連続接ぎ木試験(試験番号B-1~4)

連続作業時の性能と問題点を把握するため、20株連続して接ぎ木を行い、作動状況及び接着面の状態を観察し

た。同一条件で4回繰り返した。

#### (3) 手接ぎ木試験(対象区)

作業性能の対象区として片葉切断接ぎにより手接ぎ木を行った。

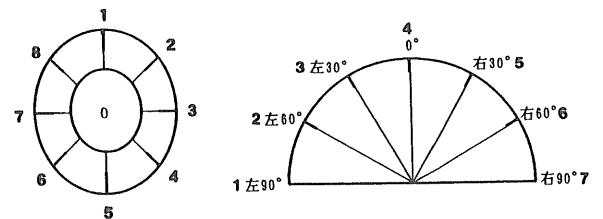
4) 接ぎ木後の苗管理 接ぎ木苗は接ぎ木後8日間は光量 $60 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、日長12時間、平均気温 $24^\circ\text{C}$ 、平均相対湿度95%以上の条件で養生した。その後、ガラス室で順化、一般育苗した。

5) 調査項目 作業中の各部の作動状況及びクリップが掛かったままの状態在台木切断面、葉柄・子葉の損傷、穂木の接着位置、角度を調査した。また、接ぎ木後14日目に活着率を手接ぎ木苗と比較した。

台木の切断面状態は図29に示した4分類とした。

台木葉柄・子葉の損傷とは、切断刃が子葉の葉柄や子葉を削り取るように傷をつけた状態で、切断面からみて左右に分けて表示した。

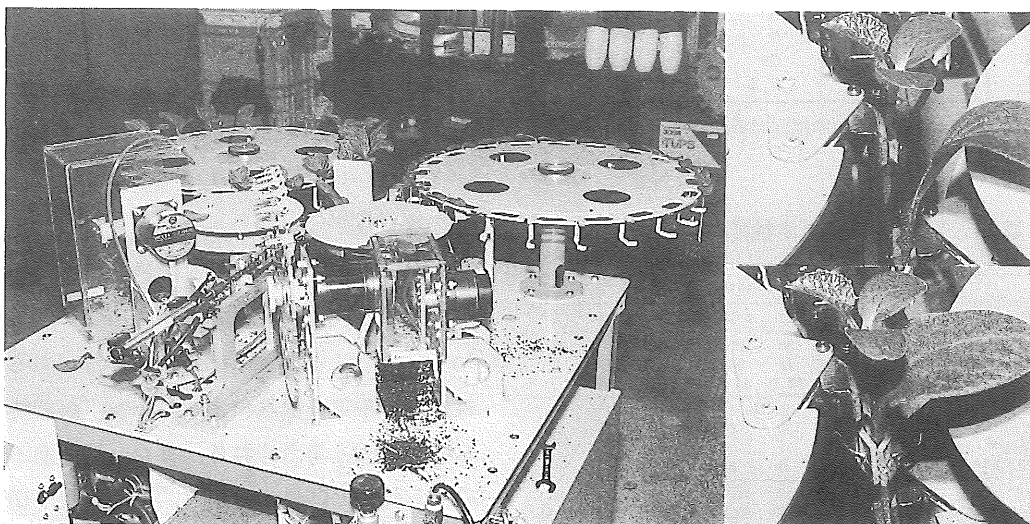
穂木接着位置は、台木切断面を図33(a)のように分け、どの部位に接着されたかを観察した。



(a) 穂木の接着位置は台木切断面を正面から見て中央のときを0、左側の時を7とし、図のように数字で分類した

(b) 穂木の接着角度は、台木胚軸に対して左に $90^\circ$ 傾いて接着されたときを1とし、図のように数字で分類した

図33 台木切断面に対する穂木の接着精度の評価



(a) 接ぎ木作業中の実験機

(b) クリップ掛け

図34 実験機による接ぎ木作業(キュウリ)

穂木接着角度は、台木胚軸に対して接着された穂木の傾きを示すもので、図33 (b)のように左右に7分類した。

4. 2. 2 試験結果

接ぎ木作業中の実験機を図34に、試験結果を表10, 11に示す。

表10 実験機の接ぎ木作業精度

(a) 台木の切断状態割合 (%)

試験区		1株接ぎ木		連続接ぎ木			
試験番号		A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	B-4
切断状態	良好切断	63.2	70.0	85.0	66.7	80.0	100
	両子葉切断	0	10.0	5.0	5.6	10.0	0
	過剰切断	31.6	20.0	10.0	22.2	10.0	0
	不完全切断	5.3	0	0	5.6	0	0

(b) 台木の葉柄・子葉損傷部位割合 (%)

試験番号		A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	B-4
無傷		0	10.0	15.0	16.7	20.0	35.0
葉柄右側に傷		73.7	55.0	45.0	8.3	65.0	30.0
葉柄左側に傷		78.9	80.0	65.0	66.7	55.0	60.0
子葉右側に傷		52.6	40.0	30.0	27.8	30.0	10.0
子葉左側に傷		73.7	75.0	60.0	66.7	45.0	50.0

右、左とは、切断面を見て、右側、左側をいう。

(c) 台木切断面に対する穂木接着位置割合 (%)

試験番号		A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	B-4
接着	0	88.9	90.0	82.3	92.3	94.7	100
1)	3	0	0	5.9	0	5.3	0
位置	7	11.1	10.0	11.8	7.7	0	0

(d) 台木に対する穂木の接着角度割合 (%)

試験番号		A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	B-4
接着角度	4	88.9	85.0	81.3	75.0	87.5	85.0
	3	11.1	15.0	6.3	25.0	6.3	15.0
	2	0	0	6.3	0	6.3	0
	1	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	6.3	0	0	0

1)、2) : 接着位置、接着角度の数字は図33参照

表11 実験機の接ぎ木性能

試験区	試験番号	1株接ぎ木		連続接ぎ木				手接ぎ木
		A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	B-4	
供試株数	(株)	19	20	20	20	20	20	20
接着株数	(株)	18	20	17	13	19	19	-
接着率	(%)	94.7	100	85.0	65.0	95.0	95.0	-
接ぎ木失敗原因内訳	台木受渡し	0	0	2	1	0	0	-
	クリップ供給	1	0	0	0	0	0	-
	切断面不一致	0	0	1	3	1	1	-
	株持ち回り	-	-	0	3	0	0	-
活着株数	(株)	順化せず	19	15	12	18	19	18
活着率	(%)		95.0	75.0	60.0	90.0	95.0	90.0

1) 1株機械接ぎ木試験 運転経過及び苗の生育を図35 (a)に示した。2回の試験の接着率は97% (39株中38株成功)であり、各部の動作は順調であった。

試験番号A-1では、接ぎ木失敗が19株目に起きたが、クリップがカム部に詰まったことが原因である。

台木の切断精度は、良好切断が試験番号A-1では63.2%、A-2で70.0%であった。過剰切断がやや多く発生した。また、葉柄、子葉のほとんどが損傷を受けていた。

接ぎ木直後の苗形状を見ると、接着位置が中央のものが88%以上、台木と穂木の胚軸が直線的に接がれたものが85%以上と外見的に良好な接ぎ木苗を得ることができた。また、クリップによる接着は切断面中央付近を圧着していた。

活着率を見るため試験番号A-2の接ぎ木苗を養生・順化した。その結果、活着率は、手接ぎ木の90% (20株中18株活着)に対し、機械接ぎ木では95% (20株中19株活着)であった。台木両子葉を切除して接ぎ木されたものが2株あったが、そのうち1株は活着した。台木の葉柄、子葉の損傷は活着に影響なかった。このように接着株の95%が活着し、切断面が精度良く一致した接ぎ木が行われた。

機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の生育に差は認められず、また、接ぎ木後の鉢植え、養生・順化やスペーシングなどの苗ハンドリング時に接着面が外れることはなかった。

2) 20株連続接ぎ木試験 各試験区の運転状態を図35

(b)に示す。4回の試験の接着率は65%から95%で、平均85% (80株中68株成功)であった。苗受け部での苗引渡し失敗や、穂木と台木の切断面不一致によりクリップ掛けができないなどの状態が観察された。また、試験区B-2の9番以降のように、一度接ぎ木に失敗するとハンドが苗を持ち回り、次の苗引渡しに干渉し、次々と失敗を繰り返すことがあった。

接ぎ木失敗の原因は特定できなかったが、苗受け部での苗引渡し失敗は、搬送途中で苗が吊り下げ位置から動いてしまうこと、台木胚軸に曲がりがある、停止時の慣性による根部の揺れによってハンドが把持できないことなどが原因と考えられる。また、切断面不一致によるものは、両苗の胚軸の曲がり、把持位置や切断位置のずれなどによるものと推定される。

接木 順番	試験番号 A-1		試験番号 A-2		
	経過	作動メモ	経過	作動メモ	
1	○-		○-○-○		苗持回り発生・停止  台木両子葉切除 台木両子葉切除
2	⑦-		⑦-○-○		
3	⑥-		○-○-○		
4	○-		○-○-○		
5	○-		○-○-○		
6	○-		○-○-○		
7	⑦-	順 化 せ ず	○-○-○		
8	○-		○-○-○		
9	○-		○-○-○		
10	○-		○-○-○		
11	○-		○-○-○		
12	○-		○-○-○		
13	○-		○-○-○		
14	○-		○-○-○		
15	○-		○-○-○		
16	○-		○-○-○		
17	○-	○-○-○			
18	○-	○-○-○			
19	●-	クリップ供給ミス 苗供試せず	○-○-○		
20	-		○-○-○	●	

(a) 1株接ぎ木作業の経過及び苗の生育

接木 順番	試験番号 B-1		試験番号 B-2		試験番号 B-3		試験番号 B-4	
	経過*	作動メモ	経過	作動メモ	経過	作動メモ	経過	作動メモ
1	○-○-○		○-○-○		○-○-○		○-○-○	
2	○-○-○		○-○-○		○-○-○		○-○-○	
3	⑦-●		⑦-●-○	接着高さずれ	○-○-○	両子葉切除	○-○-○	
4	⑦-○-○		○-○-○		●-○-○		○-○-○	
5	○-○-○		○-○-○		○-○-○		○-○-○	
6	○-○-○	苗受失敗	○-○-○		○-○-○	両子葉切除	○-○-○	
7	●-○-○		○-○-○		○-○-○		○-○-○	
8	○-○-○	苗受失敗	○-○-○	位相ずれ クリップ詰まり クリップ詰まり	○-○-○		○-○-○	
9	○-○-○		○-○-○			○-○-○	○-○-○	
10	○-○-○	○-○-○			○-○-○	○-○-○		
11	○-○-○		○-○-○		○-○-○		○-○-○	
12	③-○-○		○-○-○	苗受失敗	○-○-○	両子葉切除	○-○-○	
13	○-○-○	○-○-○			○-○-○		○-○-○	
14	○-○-○		○-○-○		○-○-○		○-○-○	
15	○-○-○		○-○-○		○-○-○		○-○-○	
16	○-○-○		○-○-○		○-○-○		○-○-○	
17	○-○-○	穂木子葉接着 両子葉切除	○-○-○	苗受失敗	○-○-○	両子葉切除	○-○-○	
18	○-○-○		○-○-○				○-○-○	○-○-○
19	○-○-○		○-○-○	位相ずれ	○-○-○		○-○-○	
20	○-○-○	○-○-○			○-○-○	○-○-○	●	接合時ずれ

(b) 連続接ぎ木作業の経過及び苗の生育

\*) : ①-②-③ : ① ○は接着成功、●は失敗、数字は接着位置、なしは中央の意味 : ② ○は活着、●は不活着 : ③ 台木本葉の生長で、○は少・なし、●は穂木本葉より大

図35 実験機による接ぎ木作業経過と苗の生育

台木の切断精度は良好切断が66.7~100%と試験区によって差があった。両子葉切除、過剰切断が多く発生し、さらに葉柄、子葉のほとんどが損傷を受けていた。接ぎ木直後に調査した穂木の接着位置、角度は、接着位置が中央のものが82~95%、台木と穂木の胚軸が直線的に接

がれたものは75~87%であった。1株接ぎ木に比べ、直線的に接がれたものの割合は低くなったが、ほとんどが左30度までであり外見的に大きな差はなかった。また、クリップによる接着は切断面中央付近を圧着しており、接ぎ木後の鉢植え、順化や育苗中に接着面が外れること

はなかった。

活着率調査のため、接ぎ木に成功した全ての株を養生・順化した。その結果、活着率は60%から95%で、平均80%（供試株数80株の内64株が活着）であった。接着株の94%は活着し、切断面が正確に一致した接ぎ木が行われていることが確認された。図36に機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の比較を示す。機械接ぎ木苗は穂木胚軸がやや長くなっているが、機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗との生育差は認められなかった。



図36 実験機によるキュウリ接ぎ木苗

#### 4. 2. 3 動作・性能の分析と改良点

##### 1) 動作

(1) 苗供給部の作用には大きな問題はなかった。ハンガに子葉展開基部で吊り下げる方法で位置決め精度は十分であった。ただし、苗供給部が回転・停止を繰り返すため、苗が吊り下げ位置から移動することがあり、子葉展開基部での位置決めができず両子葉の切除や苗の受け渡し失敗の原因となった。ハンガ形状や構造などに改良が必要である。

(2) 把持・搬送部では、特にハンドでのトラブルが発生した。原因はハンガからの受渡し時に苗の姿勢が乱れる、曲がった胚軸にハンドが接触する、などで苗供給部と合わせて改良が必要である。

ハンドが接ぎ木失敗苗を持ち回ると次の把持作用を妨害するため失敗が連続して起こった。把持機構、排出機構と合わせて改良が必要である。

(3) 切断部のうち、台木切断は回転円盤形より性能は向上した。開発した子葉姿勢規制板はクリップが子葉に接触するのを防ぐ効果があり、接ぎ木性能を向上させた。

穂木切断では、胚軸をローラと支え板で挟むようにして切断する機構を開発した。この機構は、一工程で胚軸を確実に切断でき、切断精度を高めた。

(4) クリップ供給は、溝に装填するという作業性に問題は残ったが、作動は良好であった。

(5) 接着部は、機構が複雑になったが、切断面を強制的に引き寄せるフィンガの開発によって性能は向上した。

(6) 接ぎ木苗排出部では、搬送部による接ぎ木苗の持ち回りなどが発生することがあり、排出方法、機構などに改良が必要である。さらに、種子価格などを考慮すると、接ぎ木失敗苗を手接ぎ木することも実用場面では十分考えられ、接ぎ木失敗苗を損傷なく排出することが必要である。

(7) 動力部、制御部は良好に作動した。

##### 2) 作業性能

(1) 1株約2.8秒で連続的に20株の接ぎ木作業を行うことができた。

(2) 接着率は、苗供給、排出などのトラブルによって大きく変化した。安定性を増すための改良が必要である。

(3) 接ぎ木苗の活着は良く、切断面は精度良く一致していた。また、接合部での曲がりが少ない接ぎ木苗を得ることができた。

#### 4. 3 実験機による接ぎ木作業の高精度化<sup>75) - 77)</sup>

実験機は苗供給のトラブルなどが原因で接着率が65%から95%となり、性能は不安定であった。本節では、性能の安定化を目的に改良を加えた実験機の性能とメロン、スイカへの適応性を述べる。

##### 4. 3. 1 実験機の改良

作業精度の向上と作業の安定化のために、前節で示した問題点のうち、次の4点を改良した。

- ① 苗供給部での吊り下げ位置の移動及びハンガからの脱落をなくす。
- ② 苗の引き渡し時に発生する把持位置のずれ及び苗姿勢の乱れをなくす。
- ③ 接ぎ木失敗苗の機外への排出を行う。
- ④ 切除した台木子葉の搬送部円盤上への滞留をなくす。

1) 苗供給部の改良 ハンガにおける苗の吊り下げ位置の移動や脱落は、苗供給部の起動、停止の繰り返しに

よる苗の揺れ、さらにエアコンプレッサモータ作動時の振動により起こった。このため、図37 (a)のようにハンガは、切り欠きに吊り下げる方式から塩化ビニル薄板の弾性力によって胚軸を保持して吊り下げる方式とした。

2) ハンドの改良 ハンドが片側開閉方式であるため胚軸が太い場合あるいは曲っている場合、苗受け時にハンド固定部が胚軸と接触して、把持位置のずれ及び苗姿勢の乱れが生じた。さらに、片側開閉方式では、胚軸径

の違いにより把持中心が変動し、切断、接着時における作業精度を低下させるという問題があった。これらの問題を解決するため、図37 (b)に示すように、ハンドを外側フィンガは平行移動し、内側は回転移動する両側開閉方式に変更し、胚軸径の違いによる把持中心の変動を低減させるとともに、開閉ストロークを穂木側9.5mm、台木側11mmに拡大した。

図38に改良したハンドの動作概略を示す。外側フィンガはY軸方向に直動し、内側フィンガはO点を中心として回転する。外側フィンガの移動は、両フィンガと点a及び点bで連結されたリンクを介して内側フィンガに伝達される構造となっている。図において、座標原点をO、外側フィンガの把持点を $h_o$ 、内側フィンガの把持点を $h_i$ とすると、ハンドが完全に閉じた状態では両把持点の座標は $(-l_3, h_s)$ で同一となっている。図38(b)に示すように $h_o$ が $\alpha$ だけ移動したとき $h_o, a, b, h_i$ は、それぞれ $h_{o\alpha}, a_\alpha, b_\alpha, h_{i\alpha}$ に移るとすると、 $h_{o\alpha}(-l_3, h_s + \alpha)$ 、 $a_\alpha(0, h_p + \alpha)$ となる。 $b_\alpha(x_{b\alpha}, y_{b\alpha})$ は、 $a_\alpha$ を原点とする半径 $l_1$ の円とOを原点とする半径 $l_2$ の円の交点であるから、以下の連立方程式を解くことで求められる。

$$\begin{aligned} x_{b\alpha}^2 + (y_{b\alpha} - (h_p + \alpha))^2 &= l_1^2 \\ x_{b\alpha}^2 + y_{b\alpha}^2 &= l_2^2 \end{aligned}$$

ここで、点 $b_\alpha$ は点Oを中心に $b$ が $\theta^\circ$ 回転したものと考えると、 $\theta$ は次式で求められる。

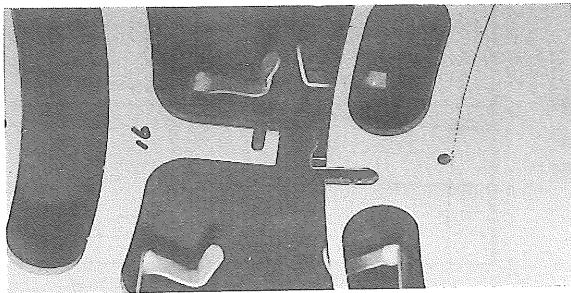
$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{y_{b\alpha}}{x_{b\alpha}} \right\}$$

したがって、 $y = h_s$ で表される直線上にある内側フィンガの把持面も、点Oを中心に $\theta$ だけ回転する。ここで、点Oを原点として原点回りに $\theta$ だけ回転する変換を表す行列を $K(\theta)$ とすると、

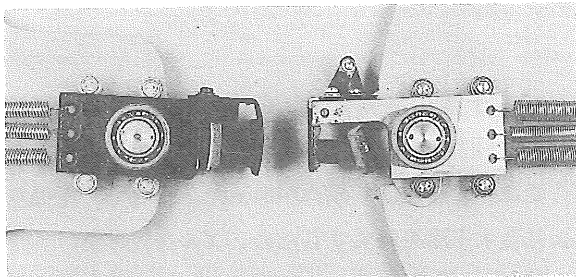
$$K^{-1}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

となるため、

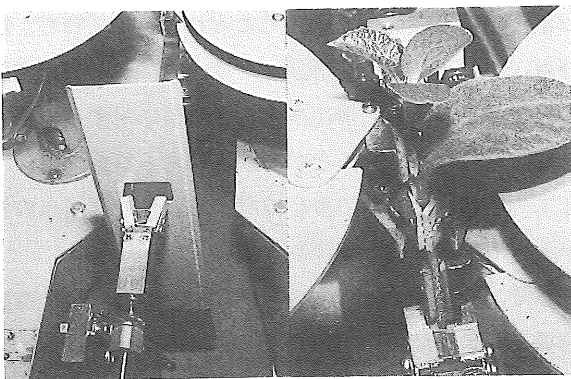
$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = K^{-1}(\theta) \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta x' + \sin \theta y' \\ -\sin \theta x' + \cos \theta y' \end{pmatrix}$$



左：改良前 右：改良後  
(a) 苗供給部のハンガ



左：改良前 右：改良後  
(片側開閉方式) (両側開閉方式)  
(b) ハンド



左：全景 右：作動中  
(ハンドが台木胚軸を把持)

(c) 排出部

図37 実験機的主要改良部位

となり、内側フィンガの把持面は次式で表される直線上に移動する。

$$\sin\theta x - \cos\theta y + h_s = 0 \quad (1)$$

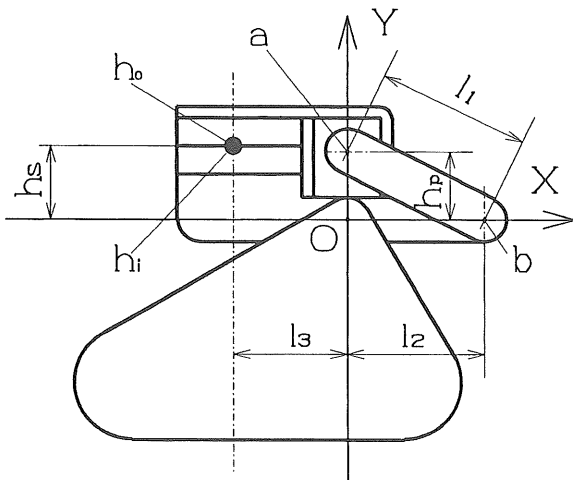
内側フィンガの把持点 $h_{ia}$ のx座標は $x = -l_3$ で変わらないため、y座標は(1)式の直線と $x = -l_3$ の交点となり、

$$h_{ia} \left( -l_3, \frac{h_s - l_3 \sin\theta}{\cos\theta} \right)$$

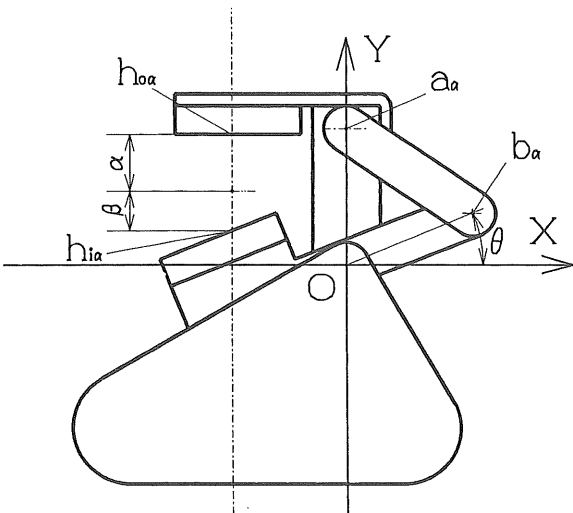
となる。

したがって、内側フィンガの移動量 $\beta$ は次式により求まる。

$$\beta = h_s - \frac{h_s - l_3 \sin\theta}{\cos\theta}$$



(a) 全閉状態



(b) 外側フィンガが $\alpha$ だけ開いた状態

図38 両側開閉方式ハンドの動作概要

図39に設計値を $h_s = 6.5\text{mm}$ ,  $h_o = 6\text{mm}$ ,  $l_2 = 12\text{mm}$ ,  $l_3 = 10\text{mm}$ , 設計胚軸径を $3.5\text{mm}$ とした場合の胚軸径の違いによる新旧ハンドの把持中心の変動を示す。改良前のハンドでは設計胚軸径と実際の胚軸径の差の50%だけ把持中心がずれるのに対して、改良型のハンドは変動量が低減し、設計値の2倍の太さに相当する胚軸径 $7\text{mm}$ の苗を把持した場合でも、ずれは $0.5\text{mm}$ 程度に抑えられている。

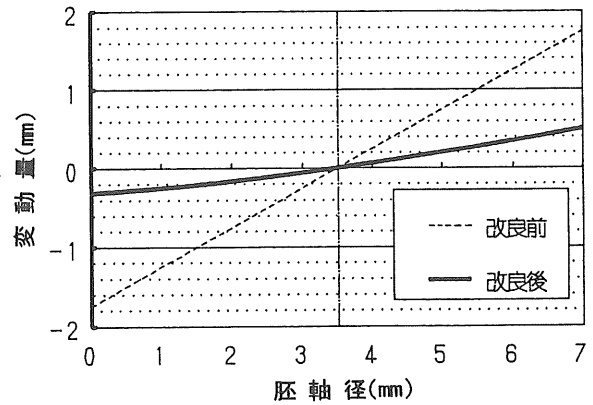


図39 胚軸径と把持中心の変動

3) 台木子葉の滞留防止 把持・搬送部では、切除された台木の子葉が搬送円盤上に飛び、これが滞留して連続作業に影響を及ぼす場合があった。そこで、圧搾空気により台木子葉を除去するためノズルを設けた。

4) 苗排出部の改良 実験機はハンドが苗受け、切断、接着の各部を順次回転移動する機構であるため、苗の持回りは連続して接ぎ木失敗が生じる原因となった。持回りは苗排出部の作動が原因と考えられた。すなわち、排出部は、ハンドが把持を解放しフリーになった接ぎ木苗を押し出す機構のため、排出板の接ぎ木苗に対する作用点が一定位置にならないことが原因と考えられた。特に、接ぎ木失敗時には、苗の重心位置と排出板の作用点のずれが大きくなって排出不良を生じた。

そこで、接ぎ木失敗時にも台木排出を確実にを行う苗排出機構を開発した。図37(c)に示すように、直動型エアシリンダとエアハンドにより、苗が接着部に搬送されると前進して台木胚軸を把持し、接着完了後に把持・搬送部のハンドが接ぎ木苗を解放すると後退して苗排出を行うようにした。さらに、穂木については、苗解放時に穂

木の斜め下方より圧搾空気を吹付けるためのノズルを設け、接ぎ木に失敗した穂木を除去するようにした。

### 4. 3. 2 改良後の実験機の接ぎ木性能とウリ科野菜への適応性<sup>7,8)</sup>

改良した実験機を供試してキュウリの接ぎ木試験を行い、さらにプリンスメロン及びスイカへの適応性試験を実施した。

1) 試験方法 試験は、苗供給から接ぎ木苗排出までの接ぎ木作業を20株連続して行い、作動状況及び台木の切断状態、接着面の接合状態及び穂木の接着位置を観察した。その後、接ぎ木した苗を養生・順化し、活着率、成苗率、本葉数について生育調査を行った。

台木の切断状態は、過剰切断、良好切断、不完全切断に分類し、クリップが掛かったままの状態を観察した。

穂木の接着位置は、台木切断面を図33(a)のように分け、どの部位に接着されたかを観察した。

試験条件を表12～14に示す。試験区のキュウリ1とキュウリ2の違いは台木の品種が異なることであり、キュウリ2では、ブルームレス台木を供試した。

表12 試験区と試験条件

試験区		キュウリ1	キュウリ2	プリンスメロン	スイカ
供試株数	機械接ぎ木 (株)	60	60	40	40
	手接ぎ木 (株)	- <sup>1)</sup>	- <sup>2)</sup>	20	20
1 サイクルタイム (s)		59	59	56	59
穂木切断速度 (m/s)		1.5	1.5	1.5	1.5
台木切断速度 (m/s)		2.5	2.5	2.5	2.5

1), 2): 手接ぎ木は実施していない。

表13 キュウリ接ぎ木試験耕種概要

試験区	キュウリ1		キュウリ2	
	穂木	台木	穂木	台木
品種	シャープ1	改良新土佐一号	シャープ1	輝虎
播種日	1990.11.16	1990.11.17	1990.11.10	1990.11.10
胚軸径 x (mm)	1.5 (0.1)	3.0 (0.2)	1.5 (0.1)	2.2 (0.2)
葉柄展開角 (°)	-	28	-	23
試験日	1990.11.25		1990.11.19	
養生条件				
光量	60 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$			
日長	12 hr			
平均気温	24 °C			
平均湿度	95 %RH以上			
養生期間	8 日			
生育調査日	1990.12.29		1990.12.19	

( ) 内数字は標準偏差

表14 プリンスメロン及びスイカ接ぎ木試験耕種概要

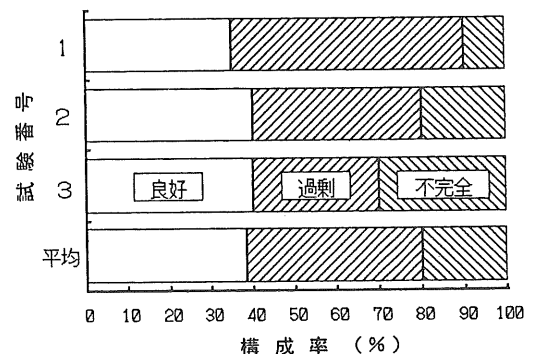
試験区	プリンスメロン		スイカ	
	穂木	台木	穂木	台木
品種	プリンスメロン	改良新土佐一号	新大和	No. 8
播種日	1990.9.1	1990.9.3	1990.11.8	1990.11.9
胚軸径 x (mm)	1.5 (0.1)	3.1 (0.1)	1.7 (0.2)	2.6 (0.1)
葉柄展開角 (°)	-	33	-	32
試験日	1990.9.11		1990.11.20	
養生条件				
光量	60		60	
( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )				
日長 (hr)	12		12	
平均気温 (°C)	24		24	
平均湿度 (%)	95		95	
養生期間 (日)	7		8	
生育調査日	1990.10.4		1990.12.25	

( ) 内数字は標準偏差

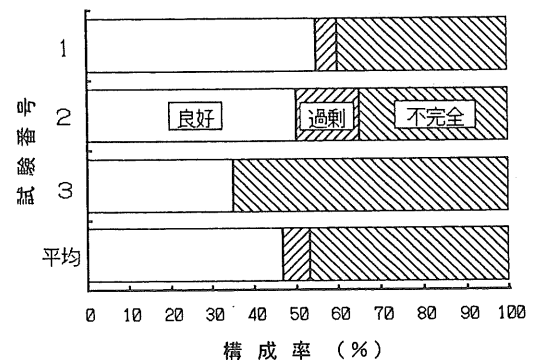
### 2) 試験結果

(1) キュウリ接ぎ木試験 試験結果を表15に示す。

‘改良新土佐一号’を台木とした試験(キュウリ1)では、各部の作動に大きな問題は見られず、作業は順調に行われた。接着率は98%であり、改良により作動が安定化し、作業精度が大幅に向上した。活着率は95%、成苗率は87%であった。



(a) ‘改良新土佐一号’の切断精度(試験:キュウリ1)



(b) ‘輝虎’の切断精度(試験:キュウリ2)

図40 実験機の台木切断精度(キュウリ)

台木の切断精度を図40 (a)に示した。良好切断と過剰切断がそれぞれ約40%，不完全切断が約20%であり，改良前の成績を下回ったが，これは改良前の試験に比べ，供試材料の平均胚軸径が細く，かつ標準偏差が大きかったことが原因と思われる。切断状態毎の成苗率は良好切

断が87%，過剰切断が92%，不完全切断が75%であり，‘改良新土佐一号’の場合，両子葉を切除しない限り，切断面積を大きくとった方が接ぎ木活着に有利であることを確認した。

接木 順番	試験番号 1		試験番号 2		試験番号 3	
	経過	作動メモ	経過	作動メモ	経過	作動メモ
1	○-○		⑦-○		○-○	
2	③-●		○-○		○-○	
3	○-○		③-○		○-○	
4	○-○		○-○		④-●	
5	○-○		○-○		○-○	
6	○-○		○-○		○-○	
7	●	過剰切断で台木子葉が下垂、クリップミス	○-○		○-○	
8	○-○	穂木子葉が損傷	○-○		⑦-○	
9	○-○		③-○		○-○	
10	○-○		⑦-○		○-○	
11	⑦-○		⑦-○		○-○	
12	⑦-○	過剰切断で台木子葉が下垂	③-○		⑦-○	
13	○-○		○-○		○-○	
14	○-○		○-○		⑦-○	
15	○-○		○-○		○-○	
16	○-○		③-○		○-○	
17	③-○		○-○		○-○	
18	○-○		○-○		○-○	
19	⑦-○		○-○		⑦-○	
20	③-○		○-○		○-○	

(a) 試験：キュウリ 1 (台木：改良新土佐一号 穂木：シャープ1)

接木 順番	試験番号 1		試験番号 2		試験番号 3	
	経過	作動メモ	経過	作動メモ	経過	作動メモ
1	③-○		③-●		○-○	
2	⑦-○		⑦-○		○-○	
3	○-○		③-●		○-○	
4	○-○		○-○		③-○	
5	○-○		③-○		○-○	
6	○-○		○-○		③-○	
7	○-○		⑦-○		○-○	
8	○-○		●	台木子葉を巻込み接着	○-○	
9	○-○		○-○		②-○	
10	②-●	穂木胚軸損傷	○-○		③-○	
11	○-○		③-○		○-○	
12	○-○		○-○		○-○	
13	③-○		○-○		○-○	
14	③-○		○-○		③-●	
15	○-○		③-○		③-○	
16	○-●	台木枯死	○-○		○-○	
17	○-○		○-○		○-○	
18	③-○		○-○		③-○	
19	○-○		○-○	切断面不一致	○-○	
20	③-○		●		③-○	

(b) 試験：キュウリ 2 (台木：輝虎 穂木：シャープ1)

経過欄①-②：①○は接着成功、●は失敗。数字は接着位置、なしは中央の意味  
：②○は成苗(30日目調査)、○は活着したものの生育不良、●は不活着

図41 改良後の実験機による接ぎ木作業経過と苗の生育



台木切断面に対する穂木の接着位置は表16に示したように、中央のものが70%であり、中央に対して左右いずれかにずれたものが29%、右寄り下方向にずれたものが2%（1株）であった。接着位置ごとの成苗率は中央が90%、横方向にずれた場合が88%であり、大きな差は見られなかったが、上下方向にずれた1株は不活着となった。苗の生育経過を図41(a)に示す。

ブルームレス台木の一品種である‘輝虎’を供試した試験（キュウリ2）では、接着率は97%であり、試験区キュウリ1とほぼ同じ値となったが、活着率は88%、成苗率は83%でやや低くなった。

台木の切断精度を図40(b)に示した。良好切断と不完全切断がそれぞれ約47%、過剰切断が約7%であり、

‘改良新土佐一号’に比べ不完全切断が多く、過剰切断が少ない結果となった。これは、接ぎ木適期の‘輝虎’の胚軸径は‘改良新土佐一号’に比べ3分の2程度と細いため、切断時に両子葉を切除するのを避けるように切断深さを調節したことによるものである。

切断状態毎の活着率は良好切断が96%、不完全切断が86%であったが、過剰切断では台木が枯死するものが見られ、50%と低い値となった。成苗率は良好切断が96%、過剰切断が50%と活着した株はすべて成苗となったが、不完全切断では、生育不良となる株が多く、68%に低下した。

以上のように、‘輝虎’は胚軸径が細く、不完全切断では癒合に十分な面積が確保できなくなること、また、草勢が‘改良新土佐一号’に比べて弱く、過剰切断すると台木が枯死してしまうため、切断精度をさらに向上させる必要があった。

台木切断面に対する穂木の接着位置は表16に示した。中央のものが62%であり、中央に対して左右いずれかにずれたものが35%、右寄り上方向のものが3%であった。接着位置ごとの成苗率は、中央が94%であったのに対し、横方向にずれた場合が70%、上方向にずれた場合には、すべて不活着となった。苗の生育経過を図41(b)に、接がれた苗を図42に示す。

実験機でのキュウリ接ぎ木試験の結果、台木の切断面はやや過剰切断とし、接着位置が上下方向にずれないようにすることが重要であることを確認した。

(2) プリンスメロン接ぎ木試験 試験結果を表17に

表15 改良した実験機のキュウリ接ぎ木試験結果

試験区	キュウリ1				キュウリ2			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均
供試株数 (株)	20	20	20	20	20	20	20	20
接着株 (株)	19	20	20	19.6	20	18	20	19.3
接着率 (%)	95	100	100	98.3	100	90	100	96.7
活着株数 (株)	18	20	19	19	18	16	19	18
活着率 (%)	90	100	95	95.0	90	80	95	88.3
成苗率 (%)	85	85	90	86.7	85	75	90	83.3
成苗本葉数 (枚)	3.3	3.2	3.2	3.2	3.4	3.4	3.3	3.4

表16 穂木の接着位置別割合 (%)

試験区	キュウリ1				キュウリ2				
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	
1) 接着位置	0	68.4	65.0	75.0	69.5	65.0	61.1	60.0	62.0
	3	15.8	20.0	0	11.9	25.0	27.8	35.0	29.3
	7	15.8	15.0	20.0	16.9	5.0	11.1	0	5.4
	その他	0	0	5.0	1.7	5.0	0	5.0	3.3

1) : 接着位置の数字は図33参照

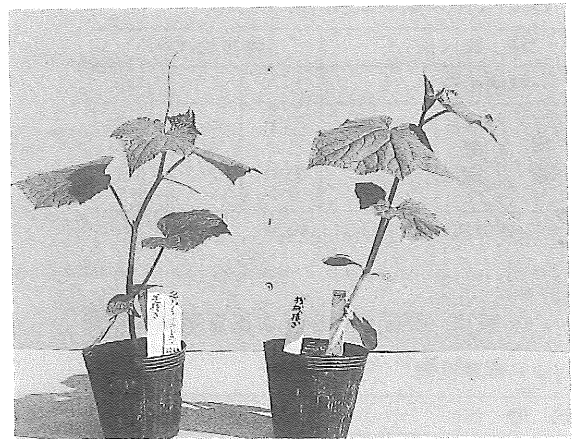


図42 改良後の実験機による接ぎ木苗

示す。プリンスメロンの性状は、キュウリに近い機は無調整で供試したが、作業は順調に行われた。接着率は95%であった。活着率は95%で接着株はすべて活着したが、成苗率は78%にとどまった。成苗の生育は、手接ぎ木と比べ差が見られなかった。

台木の切断精度を図43に示す。不完全切断が90%を占め、残り10%は良好切断であった。切断状態ごとの活着率は良好切断が100%、不完全切断が94%であり、成苗

率は良好切断が100%，不完全切断では，生育不良となる株が多く75%に低下した。

台木切断面に対する穂木の接着位置を表17(b)に示した。中央のものが68%であり，中央に対して左右いずれかにずれたものが24%，上方向にずれたものが8%であった。接着位置ごとの成苗率は，中央が81%であったのに対し，横方向にずれた場合が89%，上方向にずれた場合が67%であった。活着後の生育が停滞した7株のうち4株は，順化中に穂木に病害（病名不明）が発生したが，同じ台

表17 実験機のプリンスメロン接ぎ木試験結果

(a) 作業性能

試験区	機械接ぎ木			手接ぎ木
	1	2	平均	
試験番号				
供試株数 (株)	20	20	20	20
接着株数 (株)	20	18	19	
接着率 (%)	100	90	95.0	
活着株数 (株)	20	18	19	20
活着率 (%)	100	90	95.0	100
成苗率 (%)	80	75	77.5	85
成苗本葉数 (枚)	3.6	4.2	3.9	4.1

(b) 穂木の接着位置別割合 (%)

試験区		機械接ぎ木		
試験番号		1	2	平均
1)	0	70.0	66.7	68.4
接 着	3	5.0	0	2.5
位 置	7	20.0	22.2	21.1
	その他	5.0	11.1	8.0

1) : 接着位置の数字は図33参照

表18 実験機のスイカ接ぎ木試験結果

(a) 作業性能

試験区	機械接ぎ木			手接ぎ木
	1	2	平均	
試験番号				-
供試株数 (株)	20	20	20	20
接着株数 (株)	20	16	18	-
接着率 (%)	100	80	90.0	-
活着株数 (株)	15	16	15.5	20
活着率 (%)	75.0	80.0	77.5	100
成苗率 (%)	75.0	80.0	77.5	95.0
成苗本葉数 (枚)	3.6	3.4	3.5	3.7
穂木生体重 (g)	1.6	1.0	1.3	1.7

(b) 穂木の接着位置別割合 (%)

試験区		機械接ぎ木		
試験番号		1	2	平均
1)	0	50.0	81.3	65.7
接 着	3	35.0	6.3	20.7
位 置	7	10.0	12.5	11.3
	その他	5.0	0	2.5

1) : 接着位置の数字は図33参照

木を供試したキュウリ1の試験と比べ，中央に接着された株の成苗率が低いこととあわせて考えると，穂木の罹病も成苗率低下の一因と考えられる。苗の生育経過を図44に，接がれた苗を図45に示した。

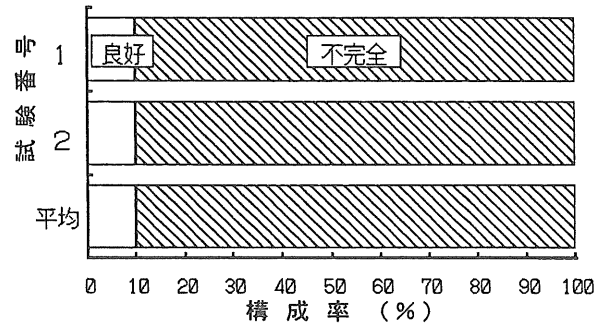


図43 台木の切断精度 (プリンスメロン)

接木 順番	試験番号 1		試験番号 2	
	経過	作動メモ	経過	作動メモ
1	①-○		●-○	切断面不一致
2	○-○		○-○	
3	⑦-○		○-○	切断面不一致
4	○-○		⑦-○	
5	○-○		○-○	切断面不一致
6	⑦-○		○-○	
7	⑦-○		○-○	切断面不一致
8	○-○		○-○	
9	○-○		●-○	切断面不一致
10	○-○		○-○	
11	○-○		②-○	*1
12	○-○	穂木子葉に損傷、*1	⑦-○	
13	○-○		②-○	*1
14	○-○		○-○	
15	③-○		○-○	*1
16	○-○		⑦-○	
17	○-○	穂木子葉に損傷	○-○	*1
18	○-○		○-○	
19	○-○	*1	○-○	*1
20	⑦-○		⑦-○	

\*1: 順化時に穂木子葉に病害発生。  
経過欄①-⑦: ①○は接着成功、●は失敗、数字は接着位置、なしは中央の意味  
○◎は成苗(23日目調査)、○は生育不良、●は不活着

図44 接ぎ木作業の経過及び苗の生育 (プリンスメロン)



左: 手接ぎ木 右: 機械接ぎ木  
図45 改良後の実験機によるプリンスメロン接ぎ木苗

(3) スイカ接ぎ木試験 試験結果を表18に示した。

スイカ苗の胚軸断面は楕円形に近いため苗の供給が円滑に行われなかったり、胚軸がやや硬いため切断が難しくなるなどの問題があった。このため、接着率は90%とキュウリより低くなった。活着率は78%で接着株の約90%が活着し、活着した苗はすべて成苗になった。機械接ぎ木の成苗の生育を手接ぎ木のものと比較すると、平均本葉数は同程度であったが、平均穂木生体重は手接ぎ木区の76%と、やや生育が遅れる傾向が見られた。

台木の切断精度は図46に示すように、良好切断が40%、不完全切断が53%、過剰切断が8%であり、不完全切断が多く、過剰切断が少ない結果となった。切断状態ごとの活着率、成苗率は良好切断が88%、不完全切断が80%、過剰切断が50%であった。

台木切断面に対する穂木の接着位置を表18(b)に示す。中央のものが66%であり、中央に対して左右いずれかにずれたものが32%、上方向にずれたものが3%（1株）であった。接着位置ごとの成苗率は、中央が96%であったのに対し、横方向にずれた場合が67%、上下方向にずれた1株は不活着となった。

スイカ接ぎ木作業の精度向上のためには、苗形状に合わせた供給円盤とし、切断刃の刃厚を増して切断時の刃の撓みを防止する等の改良が必要と思われる。苗の生育経過を図47に、接がれた苗を図48に示す。

4. 4 機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の比較栽培試験

機械による接ぎ木苗が収量や品質に及ぼす影響を見るため機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の比較栽培試験をハウス抑制栽培と促成栽培の2作型で行った。

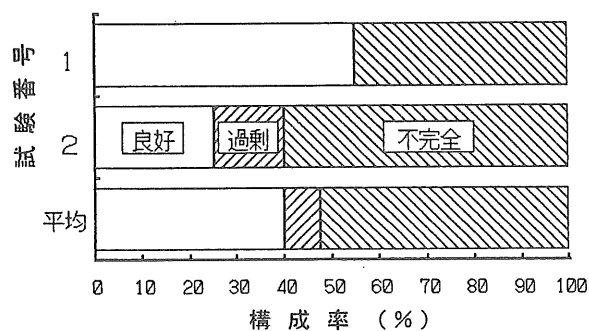


図46 台木の切断精度 (スイカ)

接木 順番	試験番号 1		試験番号 2	
	経過	作動メモ	経過	作動メモ
1	○-○		○-○	
2	⑦-○		○-○	
3	③-○		○-○	
4	○-○		○-○	
5	③-●		○-○	
6	○-○		○-○	
7	③-●	*1	○-○	
8	③-○		○-○	
9	⑦-○		●	台木過剰切断 (両子葉切除)
10	○-○		⑦-○	
11	○-○		○-○	
12	○-○		○-○	
13	○-○		③-○	
14	③-●	*1	●	穂木胚軸折れ
15	○-○		○-○	
16	○-○		○-○	
17	②-●	*1	⑦-○	
18	③-○		●	穂木引き渡しミス
19	○-●	*2	○-○	
20	③-○		●	穂木引き渡し時に胚軸折れ

\*1: 順化時に穂木が脱落した。  
\*2: 活着したもの、順化終了後の育苗中に穂木に病害発生して枯死  
経過欄①-②: ①○は接着成功、●は失敗、数字は接着位置、なしは中央の意味 : ②○は成苗 (23日目調査)、○は生育不良、●は不活着

図47 接ぎ木作業の経過及び苗の生育 (スイカ)



左: 機械接ぎ木 右: 手接ぎ木  
図48 改良後の実験機によるスイカ接ぎ木苗

4. 4. 1 試験方法

1) 供試苗 供試苗は、実験機によって接ぎ木された「機械接ぎ木苗」、片葉切断接ぎで手によって接ぎ木された「手接ぎ木苗」、慣行の呼び接ぎで手によって接ぎ木された「慣行手接ぎ木苗」の3種類とした。

2) 試験場所 試験は、埼玉県久喜市の埼玉県園芸試験場内のガラスハウスで実施した。

3) 試験規模 試験規模は、接ぎ木苗の種類毎に10株を1区とし2区制とした。栽植密度は1a当たり165株とした。

#### 4) 調査項目

(1) 生育調査 栽培期間中の生育を比較するため、草丈、葉数、最大葉の葉長、葉幅、側枝発生数、雌花開花数などを調査した。また、栽培終了時には、主枝節数、地上部質量、子づる発生数、孫づる発生数などを調査した。

(2) 収量調査 収量は、収穫期間をハウス抑制栽培では期間が約1.5カ月と短期であったため前期、後期にまとめ、促成栽培では期間が約4カ月と長期であったため月毎にまとめて1株当たりの果数と質量を調査した。総収量から1a当たりの収量を求めた。

(3) 品質調査 品質は上物率で表した。上物率とは、キュウリの曲がり度が3cm以内のものの構成率である。

比較栽培試験の耕種概要を表19に示す。

表19 比較栽培試験の耕種概要

作 型	ハウス抑制栽培	促成栽培
品 種	貴婦人ニュータイプ	シャープ1
台木	改良新土佐一号	新土佐一号
播種日	1990. 8. 1	1990. 12. 5
接ぎ木日	1990. 8. 6	1990. 12. 18
定植日	1990. 8. 21	1991. 1. 11
栽植密度 (株/a)	165	165
栽植様式	1条植1本仕立て	1条植1本仕立て
収穫開始	1990. 10. 1	1991. 2. 20 <sup>1)</sup>
収穫終了	1990. 11. 10	1991. 6. 27

1):手接ぎ木区は1991. 2. 21

#### 4. 4. 2 試験結果

試験結果を表20, 21に示す。

1) 生育 初期生育はハウス抑制栽培、促成栽培とも慣行手接ぎ木苗区が進む傾向が見られた。この原因は、接ぎ木法の違いによるものと思われるが顕著な差はなかった。

2) 収量と品質 収穫開始日は接ぎ木苗の種類によって変わることはなく、ほぼ同時に開始した。

1a当たりの収量は、ハウス抑制栽培では手接ぎ木苗区574kg、機械接ぎ木苗区553kg、慣行手接ぎ木苗区535kg

の順であった。促成栽培では、慣行手接ぎ木苗区1800kg、機械接ぎ木苗区と手接ぎ木苗区は1700kgであった。両作型とも接ぎ木苗の種類によって収量に顕著な差は見られなかった。

上物率は、ハウス抑制栽培では機械接ぎ木苗区がやや高くなったが、促成栽培では苗の種類によって大きな差は見られなかった。

これらの結果から、機械による接ぎ木苗であっても慣行手接ぎ木苗と変わらず利用できることが認められた(79)。(80)。

#### 4. 5 摘要

1) 機能確認用接ぎ木装置で確認した接ぎ木法、子葉展開基部を基準とした切断位置決め法などの基本技術を受け継ぎ、これに性能の安定化を図る技術を組み込んだ実験用接ぎ木装置(実験機)を開発した。

2) 新たに次の技術を開発した。

①苗を定位置に連続的に供給する装置

②苗を把持するハンド

③ハンドを円周3等分位置に配置し、それを回転させて連続作業を可能とした搬送部

④台木子葉と生長点を切除する切断機構と穂木の胚軸曲がりを矯正する機構

⑤残した台木子葉の姿勢を規制する方法

⑥クリップを連続的に供給する機構

⑦切断面を引き寄せてクリップ掛けする機構

⑧台木胚軸を把持して接ぎ木苗を排出する機構

3) 実験機を供試してキュウリ接ぎ木作業を行った結果、連続20株の接ぎ木作業を約1分で行うことができ、作業能率は接ぎ木操作のみを比較すると手接ぎ木の約10倍であった。また、台木に‘改良新土佐一号’を供試したとき、接着率は98%、活着率は95%そして成苗率は87%であり、手接ぎ木並みの作業精度を実現した。また、ブルームレス台木の‘輝虎’を供試したときにはそれぞれ97%、88%、83%であった。

4) 切断精度は、良好切断が台木‘改良新土佐一号’、‘輝虎’とも50%以下であった。また、切断状態と成苗率については、両台木とも良好切断では90%以上であり、不完全切断では接着面積が十分でなく70%以下であった。しかし、過剰切断では前者が90%を超えたのに対し後者

表20 機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の比較栽培試験結果  
(ハウス抑制栽培)

①生育調査 (1990年9月17日)

試験区	草丈 cm	葉数 枚	最大葉		側枝発生数		♀開花数	
			葉長 cm	葉幅 cm	長側枝 本	短側枝 本	主枝 個	側枝 個
機械接ぎ木	152	19.2	19.0	23.6	6.0	4.8	0	0
手接ぎ木	147	19.2	19.3	23.2	4.2	5.2	0	0
慣行手接ぎ木	155	20.6	18.8	23.2	5.6	6.8	0	0

②生育調査 (栽培終了時 1990年11月16日)

試験区	主枝 節数 節	地上部 重 g	子づる発生数		孫づる発生数	
			長側枝 本	短側枝 本	長側枝 本	短側枝 本
機械接ぎ木	14.8	1613	14.2	0.7	10.0	6.5
手接ぎ木	15.2	1530	14.5	0.5	11.9	6.2
慣行手接ぎ木	15.8	1625	15.5	0.4	10.4	5.2

③収量調査 (果数、質量は1株当たり)

試験区	前期		後期		総収量			a 当たり 収量 (kg)
	果数 (本)	質量 (kg)	果数 (本)	質量 (kg)	果数 (本)	質量 (kg)	上物率 (%)	
機械接ぎ木	9.9	1.5	13.0	1.9	22.9	3.4	83.3	553
手接ぎ木	10.3	1.5	14.3	2.0	24.6	3.5	78.4	574
慣行手接ぎ木	10.3	1.5	12.5	1.8	22.8	3.2	67.8	535

収穫期間：前期10月1日～10月15日 後期10月16日～11月10日

表21 機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗の比較栽培試験結果  
(促成栽培)

①生育調査 (1991年3月6日)

試験区	草丈 cm	葉数 枚	最大葉		側枝発生数		♀開花数	
			葉長 cm	葉幅 cm	長側枝 本	短側枝 本	主枝 個	側枝 個
機械接ぎ木	108	17.2	16.8	22.2	4.4	2.3	8.3	5.0
手接ぎ木	105	16.5	16.6	21.4	4.5	2.7	9.0	4.0
慣行手接ぎ木	127	19.2	17.0	21.3	4.7	3.9	7.8	7.7

②生育調査 (栽培終了時 1991年6月27日)

試験区	主枝 節数 節	地上部 重 g	子づる発生数		孫づる発生数	
			長側枝 本	短側枝 本	長側枝 本	短側枝 本
機械接ぎ木	17.9	1430	10.4	3.4	5.7	1.8
手接ぎ木	19.5	1625	10.3	4.7	6.0	1.5
慣行手接ぎ木	19.2	1225	10.0	4.7	3.9	3.0

③収量調査 (果数、質量は1株当たり)

試験区	2月+3月		4月		5月		6月		総収量			a 当たり 収量 (kg)
	果数 (本)	質量 (kg)	果数 (本)	質量 (kg)	果数 (本)	質量 (kg)	果数 (本)	質量 (kg)	果数 (本)	質量 (kg)	上物率 (%)	
機械接ぎ木	14.3	1.4	20.2	3.2	25.8	4.3	10.3	1.6	70.6	10.5	52.4	1700
手接ぎ木	9.0	0.9	20.8	3.1	26.6	4.5	12.1	2.1	68.4	10.6	55.8	1700
慣行手接ぎ木	16.8	1.9	20.3	3.2	25.1	4.0	16.7	1.9	78.9	11.0	54.0	1800

は草勢が弱く枯死するものが見られ50%と低下した。さらに切断精度を向上させる必要があった。

5) 接ぎ木苗の接着面の状態はつぎのとおりであった。

台木胚軸に対する穂木の接着角度は、直線的なものが75%以上で、曲がっても左30°までであり、外見的に手接ぎ木苗と大きな差はなかった。

また、穂木の接着位置は切断面が中央あるいは左右にずれて接着された割合は95%であった。接ぎ木後の作業で接着面が外れることはなかった。成苗率は中央に接着されたものが高い値であった。接着位置が上下にずれた苗は活着しなかった。

6) 実験機のプリンスメロン、スイカ接ぎ木苗への適応を図った。メロン苗の形状はキュウリと大きな差がないため装置は無調整で供試でき、順調に作業できた。しかし、スイカ苗は胚軸がやや硬いために切断が難しく、また、断面形状が楕円であるためにキュウリ用の供給部のままでは苗供給が不円滑になった。作業能率はキュウリと変わらなかったが、作業精度は接着率がプリンスメロン95%、スイカ90%、活着率はそれぞれ95%、78%、成苗率は両者78%でキュウリより劣ったが、十分適応性はあると思われた。

7) 機械接ぎ木苗が収量などに及ぼす影響を手接ぎ木苗との比較栽培によって調査した。ハウス抑制栽培と促成栽培の2作型で栽培し、生育、収量、上物率などを比較した結果、機械接ぎ木苗と手接ぎ木苗には顕著な差は見られず、機械接ぎ木苗が栽培上も問題はないことを確認した。

8) 実験機の開発によって、キュウリでは安定的に高い精度で連続接ぎ木作業を行える見通しが得られ、他のウリ科野菜へも適応可能であることを確認した。

しかし、実用化のためには、次の問題点が残された。

①台木切断機構をより高精度化し、穂木との接着面を十分に確保して成苗率を高める必要がある。

②切断位置決めは子葉展開基部を基準とし、苗形状の影響を最小限にしているが、さらに作業精度を向上させるには、苗の生育揃いなど育苗技術の検討も必要である。

## 5 ウリ科野菜用接ぎ木装置の実用化

機能確認機及び実験機によって開発された技術を基本機構とし、穂木、台木の供給は人手で行い、クリップ供

給を自動化した機械接ぎ木実証機を開発した。この実証機は実用化を目的に開発したもので、キュウリ接ぎ木苗生産現場に搬入して実証試験を繰り返し、改良を重ねた。この成果は農業機械製造会社に技術移転され、1993年10月に「接ぎ木ロボット」(商品名)として全国に販売された。

実証試験は農林水産省の野菜生産省力化技術実用化促進事業の一貫として行ったものである<sup>81)・82)</sup>。

ここでは、実証機の苗生産現場における性能、また接ぎ木苗生産に利用されている市販機の利用状態について述べる。

### 5. 1 実証機の開発

#### 5. 1. 1 実証機の製作

1) 開発目標 開発目標は次の5点とした。

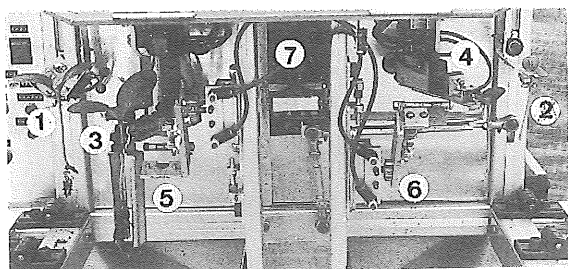
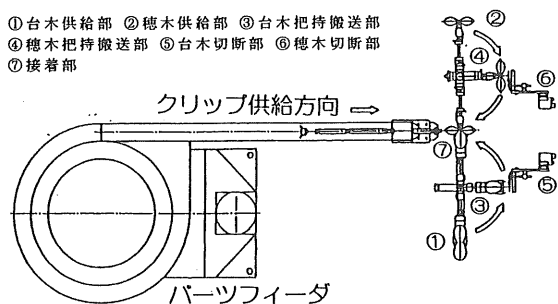
- ①穂木と台木の供給は機能確認機のスリット方式とし、供給は人力で行う。苗供給間隔を5~10秒に調整できるようにする。その他の動作は全て自動化する。
- ②穂木、台木とも慣行手接ぎ木苗と同程度の大きさのものに適応できるようにする。
- ③接着率90%以上の作業精度を確保する。
- ④動力は、クリップ供給以外は空気圧駆動とする。電源はAC100Vとする。
- ⑤運転制御は、プログラマブルコントローラによるシーケンス制御とする。

2) 構造概要と動作 本機の外観と主要部を図49に示した。各部の構造と動作は次のとおりである。

(1) 苗供給部 図50(a), (b)に台木と穂木の供給部を示す。先端にスリットを持つ苗載せ台で、苗供給はスリットに苗を吊り下げる。

(2) 把持・搬送部<sup>83)~86)</sup> 図50(c), (d)に把持・搬送部を示す。穂木と台木の把持・搬送部は旋回方向が逆で、接着部で向かい合うよう配置されている。

穂木、台木の把持・搬送機構は、回転開閉型ハンドを用い、台木ハンドの把持面にはウレタンゴムを貼付した。両ハンドは、それぞれ直動型エアシリンダのロッド先端に取り付けてあり、前後に動くようになっている。エアシリンダはロータリアクチュエータに懸架されており、ハンドは180°旋回できる。ロータリアクチュエータは90°旋回すると停止し、ハンドを切断部まで移動する。



主 要 部

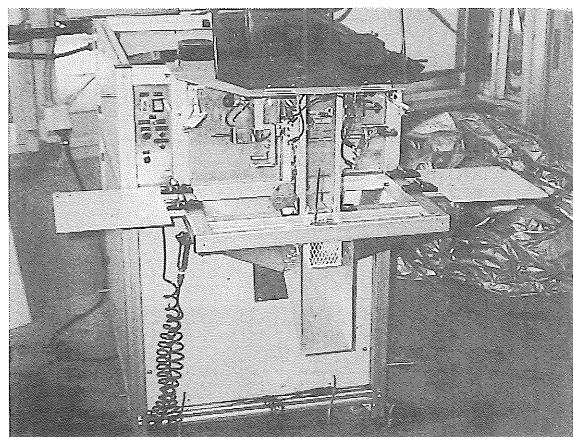


図49 実証機の全体図

切断が終わると、さらに90° 旋回して接着部で停止する。その後 180° 逆転して復帰する。ロータリアクチュエー

タは機体上面に取り付け、下部には苗通過のための空間を設けた。

穂木ハンドの把持面は胚軸径より大きめの角穴になっており、ここで苗を吊り下げる。苗は、搬送中にハンド付帯の根部引込みアームによって子葉展開基部が把持面に達するまで下方に引かれる。この作用により子葉展開基部は把持面上部に位置決めされる。

台木ハンドは、切断部に達すると一旦把持を解放して苗を落下させ、コの字形の板が子葉展開基部で受けて位置決めし、再把持する構造とした。

(3) 切断部 切断部を図50(e), (f) に示した。穂木、台木の切断部とも実験機で開発した切断方式を採用した。駆動はロータリアクチュエータである。

(4) 接着部 接着部を図51(g), (h) に示した。

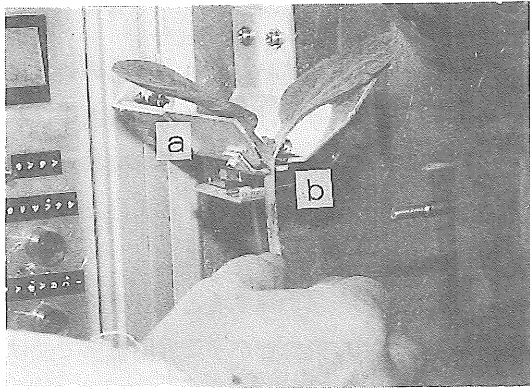
①クリップ供給 クリップの供給には機械部品などの整列供給に使われるパーツフィーダを応用した。

②接着部 接着部は実験機の方式とした。実験機の子葉姿勢規制板と切断面引き寄せ機構の両機能を持たせた子葉持ち上げローラが作動するようにした。

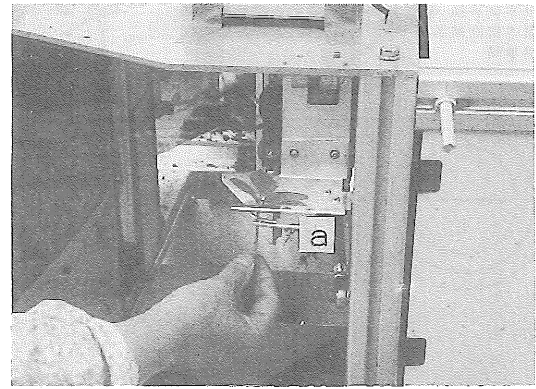
クリップ掛けは直動型エアシリンダのロッド先端に取り付けたクリップ押し出し板、カムそしてクリップ掛け用ハンドで行われる。図52にクリップの供給からクリップ掛けまでの動作を示す。クリップが先端部にくると、クリップ掛け用ハンド(平行開閉型)が開いて、クリップが急激に閉じて胚軸を押しつぶすのを防いでいる。

(5) 接ぎ木苗排出部 接ぎ木苗の排出は、クリップ掛けが終わるとクリップ押し出し板がさらに前進して行う。接ぎ木苗はシュートを通してコンテナに回収される。

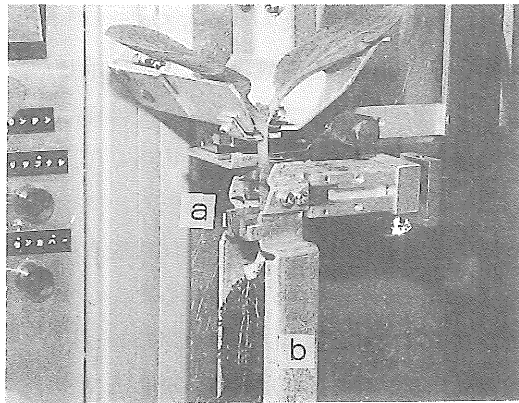
(6) 運転制御部 運転制御はオムロン社製プログラムブルコントローラC60Pによるシーケンス制御とした。運転制御部を図51(j)に、タイムチャートを図53に示す。制御プログラムはラダー言語で124ステップである。



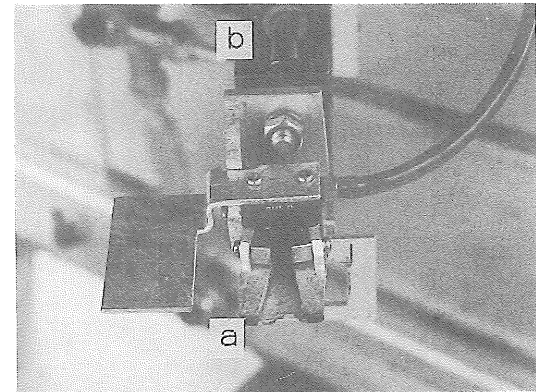
a : 苗載せ台 b : スリット  
( a ) 台木供給部



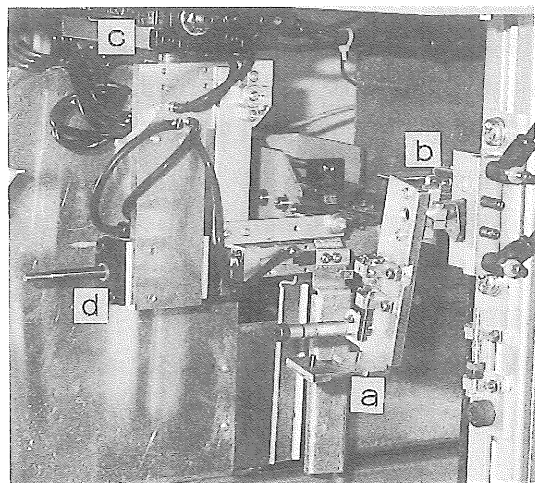
a : 苗載せ台  
( b ) 穂木供給部



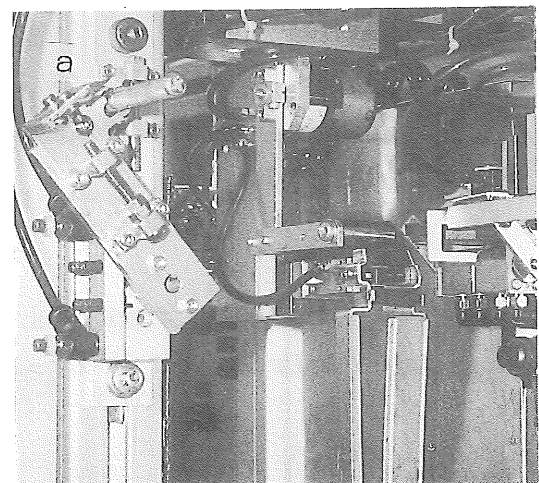
a : ハンド b : 根部押え板  
( c ) 台木把持・搬送部



a : ハンド b : 直動型エアシリンダ  
( d ) 穂木把持・搬送部



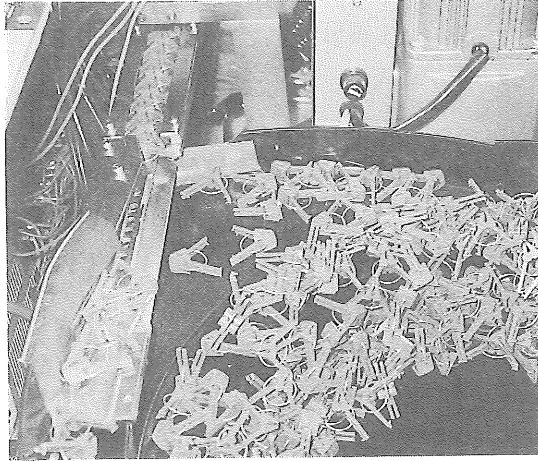
a : 切断刃  
b : 切断刃のロータリアクチュエータ  
c : 搬送部のロータリアクチュエータ  
d : 搬送部の直動型エアシリンダ  
( e ) 台木切断部



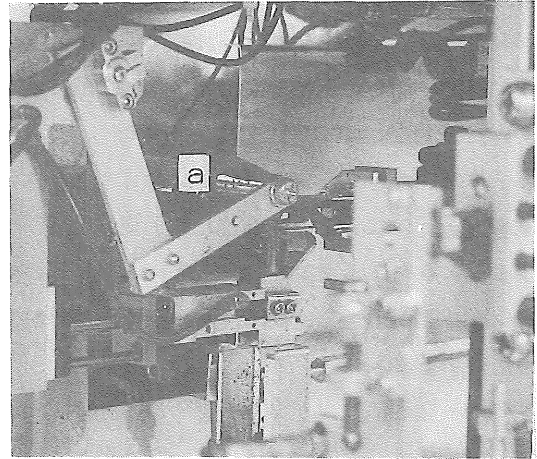
a : 切断刃  
( f ) 穂木切断部

図50 実証機の主要機構部(1)

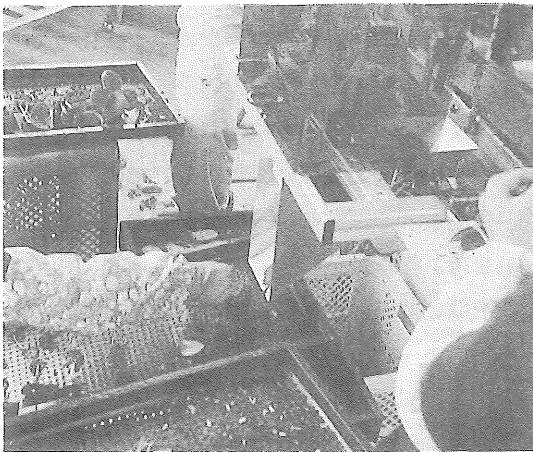




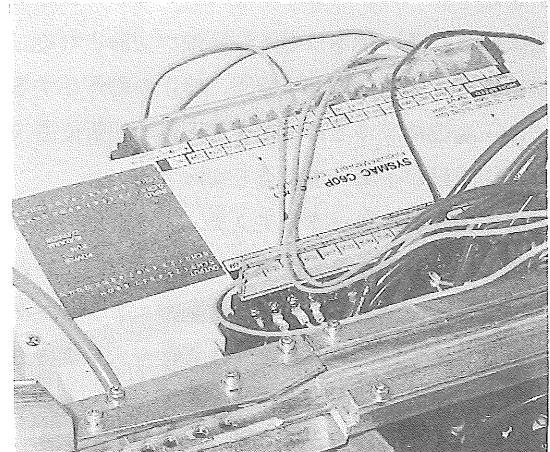
(g) クリップ供給部



(h) 接着部



(i) 接ぎ木苗排出部



(j) 制御部

図51 実証機の主要機構部(2)

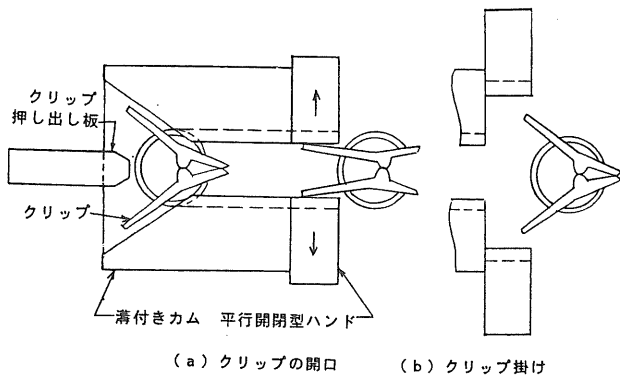


図52 実証機のクリップ掛け機構の動作

時間 [秒]	1	2	3	4	5
把持・搬送部直動型AC	ON	OFF	ON	OFF	ON
苗把持ハンド	ON	ON	ON	ON	ON
把持・搬送部RA	ON	OFF	ON	OFF	ON
苗切断部RA	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
台木子葉持上RA	OFF	OFF	OFF	ON	ON
クリップ押し出しAC	OFF	OFF	ON	ON	ON
クリップ掛けAC	OFF	OFF	OFF	ON	ON

AC: エアシリンダ、RA: ロータリアクチュエータ

図53 実証機のタイムチャート

### 5. 1. 2 実証機の接ぎ木動作

接ぎ木作業は、次のように行われる。

接ぎ木苗排出側から見て、左手に台木供給部、右手に穂木供給部がある。

苗は子葉の向きをスリットの向きに対して、台木は直角、穂木は平行になるように供給し、子葉展開基部で吊り下げる。スタートボタンを押すと把持・搬送部の直動型エアシリンダが前進し、穂木、台木ハンドがそれぞれ胚軸を把持する。

穂木把持・搬送部のロータリアクチュエータは、90° 旋回して切断部まで達すると停止し、直動型エアシリンダが後退して切断位置で停止する。穂木は、搬送途中で根部引き込みアームが根部を下方に引いて子葉展開基部で位置決めされる。穂木は根本側胚軸が切除される。

台木の把持・搬送部も90° 旋回、停止の動作をする。次いで、一端把持をゆるめて苗を落下させ切断位置決めを行う。切断部が子葉と生長点を切除する。

両把持・搬送部のロータリアクチュエータは、さらに90° 旋回して接着部に達し、両苗の切断面が向かい合う。

接着部では、両把持・搬送部の直動型エアシリンダが同時に前進して切断面を合わせ、さらに台木子葉持ち上げローラが作動して切断面を接近させる。

クリップ押し出し板は、クリップをカムの中に押し込む。カムで開いたクリップが接着部位に達すると平行開閉型ハンドが開いてクリップを掛ける。

穂木、台木ハンドは把持を解除し、直動型エアシリンダは後退する。クリップ押し出し板がさらに前進して接

ぎ木苗を機外に押し出す。ロータリアクチュエータは、180° 逆旋回して復帰する。接ぎ木苗は、シュートを通してコンテナに入る。

### 5. 2 苗生産地における実証試験

本機による実証試験は、埼玉、岩手両県の園芸試験場及び県内の苗生産施設や農家に装置を搬入し、できるだけ現場の接ぎ木苗生産に近い形で行った。

試験毎に機構、動作などの問題点を洗い出し、次の試験までに改良を加える、という方法を繰り返し、実用化を図る上で問題となる点を解決した。

試験は、表22のように計8回行った。装置は試験結果を受けて順次改良したため、構造の同じものの試験を一試験区分とした。試験内容は、次のように仕分けされる。試験区分Ⅰは、第1期の試験で岩手、埼玉両県園芸試験場の専門家に試験と評価を依頼し、実用機としての性能、問題点をつかみ、第2期の試験区分Ⅱでは、適応苗の把握や苗生産業者で試験を行って改良の効果を確認し、試験区分Ⅲは、接ぎ木苗の利用者である農家で使用して、実用化へ向けての最終検討段階の試験である。

#### 5. 2. 1 試験方法

(1) 穂木、台木の育苗 供試苗の大きさは、これまでの試験結果から、台木は胚軸径(X方向)2.5~3.5mm、胚軸長5~7cm程度、穂木は、それぞれ2.0~2.5mm、6~8cmのもので、本葉展開前後のものを使用することを基準とした。しかし、品種や育苗方法等は限定せず試験

表22 現地試験の組み立て

試験区分	Ⅰ		Ⅱ			Ⅲ		
	1	2	3	4	5	6	7	8
試験番号								
試験地	岩手園試*	埼玉園試**	岩手園試	岩手園試	紫波農協	埼玉園試	深谷市農家	加須市農家
実施年月日	1993 7.27 11.10		1994 2.19	1994 5.11	5.14	1994 7.28	1994 8.6	8.27
作型	ハウス抑制	ハウス促成	半促成	露地		ハウス抑制		
品種	穂木 トップグリーン ひかりパワー	穂木 アンコール8 ひかりパワー	穂木 トップグリーン ひかりパワー	穂木 南極1号 ひかりパワー	穂木 北輝星 輝太郎	穂木 南極1号 ひかりパワー	穂木 アンコール8 スーパー雲竜	穂木 南極3号 ひかりパワー
播種後穂木数(日)	8 7	11 11	9 9	10 10	13 11	8 8	7 6	8 8
接ぎ木株数(株)	1050	1012	1051	1004	1000	1011	709	915
作業人員(人)	4	5	5	6	5	5	5	5

\* 岩手園試とは岩手県園芸試験場

\*\* 埼玉園試とは埼玉県園芸試験場

地域の慣行法によった。

育苗箱は水稲用の育苗箱、あるいは野菜用の育苗トレイなどであり、これに市販あるいは自家製の育苗培養土を入れ、穂木、台木の種子を手で播種した。

供試苗のうち台木の本葉が特に大きいものはあらかじめ手で除去して供試した。表23～25に供試苗条件を示す。供試苗は同一品種であっても地域、時期によって大きさや形状は大きく変わり、前記の基準外のものも供試した。

(2) 接ぎ木作業の方法 接ぎ木装置はハウス内の一角に設置し、作業者の配置は、穂木、台木の供給に各1名、苗補給1名、植え付け1～2名とした。

苗補給者は、育苗箱から引き抜いた苗を苗補給台に載せたり、直接育苗箱を苗補給台に補給する方法をとった。

接ぎ木株数は1,000株としたが、途中で休憩をとって良いことにした。

接ぎ木苗の植え付けは、接ぎ木苗を育苗箱に受けて養生場所（ハウス内のビニルトンネル）に運び、トンネル内に並べてあるポットに行った。接ぎ木場所と養生場所の距離は一定でなく、試験地によって同じハウス内や別棟の時もあった。

(3) 測定項目と測定方法

①作業時間 穂木、台木の供給開始から最後の接ぎ木苗が排出されるまでの時間を総作業時間とした。作業中にトラブルで作業を中断した時間は停止時間の長短に関わらず測定し、また停止の原因を記録した。総作業時間から停止時間を引いた時間を正味作業時間とした。

作業能率、正味作業能率は、次式で求めた。

$$\text{作業能率 (株/分)} = \frac{\text{供試株数}}{\text{総作業時間}}$$

$$\text{正味作業能率 (株/分)} = \frac{\text{供試株数}}{\text{正味作業時間}}$$

②接ぎ木苗の調査 接ぎ木株数の計数は装置の作動に連動したカウンタで行った。台木切断面の状態、接着状態、接ぎ木に失敗したときの状態などを接ぎ木直後に全数調査した。接ぎ木失敗苗は、不接着と不良接着に分類した。

③活着率の調査 活着率の調査苗は、接ぎ木作業前半と

表23 供試苗条件 (試験区分Ⅰ)

試験番号	1		2	
試験地	岩手園試		埼玉園試	
実施年月日	7. 27		11. 10	
品種	穂木	台木	穂木	台木
		トップ グリーン	ひかり パワー	アン コール8
播種後日数	8	7	11	11
草丈 cm	11.5	14.4	14.3	13.6
胚軸長 cm	9.0	6.0	11.0	7.6
子葉長 cm	8.6	8.2	8.0	7.2
子葉幅 cm	2.5	3.8	2.5	4.0
胚軸径 X mm	2.0	2.8	2.1	3.4
	Y mm	2.0	3.3	2.1
子葉展開角度	-	90	-	66
葉柄展開角度	-	33	-	2
本葉長 cm	-	3.2	-	芽欠き済み
本葉幅 cm	-	3.4	-	-

子葉展開角：二つの子葉のなす角度  
本葉長、幅：第一本葉の長さ、幅

表24 供試苗条件 (試験区分Ⅱ)

試験番号	3		4		5	
試験地	岩手園試		岩手園試		紫波農協	
実施年月日	1993 2. 19		5. 11		1994 5. 14	
品種	穂木	台木	穂木	台木	穂木	台木
		トップ グリーン	ひかり パワー	南極1号	ひかり パワー	北輝星
播種後日数	9	9	10	10	13	11
草丈 cm	-	-	6.2	6.3	13.6	9.9
胚軸長 cm	4.3	5.3	5.0	4.0	10.2	5.1
子葉長 cm	6.6	9.7	8.3	9.3	8.8	9.4
子葉幅 cm	1.9	3.5	2.4	3.6	2.7	4.1
胚軸径 X mm	1.3	2.0	-	-	-	-
	Y mm	1.4	2.7	1.9	2.3	2.3
子葉展開角度	-	-	-	122	-	104
葉柄展開角度	-	-	-	80	-	37
本葉長 cm	-	-	-	-	3.2	3.6
本葉幅 cm	-	-	-	-	3.5	4.6

表25 供試苗条件 (試験区分Ⅲ)

試験番号	6		7		8	
試験地	埼玉園試		深谷市農家		加須市農家	
実施年月日	7. 28		1994 8. 6		8. 27	
品種	穂木	台木	穂木	台木	穂木	台木
		南極1号	ひかり パワー	アン コール8	スーパー 雲竜	南極3号
播種後日数	8	8	7	6	8	8
草丈 cm	6.5	8.6	11.9	16.0	12.4	15.0
胚軸長 cm	5.3	5.9	9.7	9.7	10.4	10.6
子葉長 cm	6.9	8.8	8.0	8.9	7.6	9.5
子葉幅 cm	2.2	3.4	2.5	4.0	2.4	3.9
胚軸径 X mm	1.7	2.4	1.8	3.0	1.8	3.2
	Y mm	1.6	3.1	1.8	4.1	1.9
子葉展開角度	-	129	-	91	-	107
葉柄展開角度	-	37	-	17	-	36
本葉長 cm	-	-	-	1.8	-	-
本葉幅 cm	-	-	-	-	-	-

後半からサンプリングした。サンプリング株数は200株以上としたが、養生装置の大きさの制限があったため試験番号毎に一定ではない。

養生場所、方法、資材などは指定しなかったが、呼び接ぎ苗の養生より養生期間の前半は遮光、高湿度の保持に注意して管理した。その他の管理は地域の慣行法に従った。実証試験では、活着率を次式で求めた。

$$\text{活着率 (\%)} = \frac{\text{活着株数}}{\text{サンプリング株数}} \times 100$$

④成苗率の調査 接ぎ木時期によって成苗に達するまでの期間は変わるため、成苗率の測定時期は、接ぎ木苗が慣行の定植苗とほぼ同じ大きさに達したときとした。実証試験では、成苗率を次式で求めた。

$$\text{成苗率 (\%)} = \frac{\text{成苗株数}}{\text{サンプリング株数}} \times 100$$

⑤運転状態の観察 接ぎ木作業中に、穂木、台木の配置と作業姿勢、作業者の動き、装置の作動状態などを観察した。

⑥作業からの聞き取り 作業終了後に作業者に装置を使用した感想、改良点などの聞き取りを行った。

## 5. 2. 2 実証機の改良

実証機は、試験結果を受けて延べ3回改良した。改良の経過をまとめて次に示す。

1) 第1次改良 試験区分Ⅰの試験番号1では次の問題点があった。

①穂木の切断位置決め 穂木は、苗載せ台からハンドで苗を取り出した後、二叉構造の根部引き込みアームで胚軸を挟み、根部を引き下げ、上下方向の位置決めをした。しかし、この機構は根部の付着土量が少ないときや胚軸が長い場合にはアームが空振りして胚軸を引かず、また曲がった胚軸ではアームが苗を脱落させたため、苗の位置決め、搬送動作が不安定となった。

②台木の切断位置決め 台木ハンドは苗を取り出した後、切断部で一旦ハンドを開いて落下させ、コの字型板で受け、持ち変える機構となっている。しかし、持ち変え過程で子葉の向きが変わったり、切断高さが一定とならず、

試験番号1では1,050株中25株、試験番号2では、1,012株中28株の台木切断不良による不接着が発生した。

③クリップの詰まり 接着部でクリップ詰まりが生じた。試験番号2までに①は、根部引き込みアームを取り外し、苗供給時に位置決めする方式とするため、苗供給部の取り付け位置を変更した。②、③の改良は第2次改良で行った。

2) 第2次改良 試験区分Ⅱまでに前記②、③を改良した。また、試験番号2で明らかになった問題点についても改良を加えた。

①台木供給、把持・搬送部 子葉の向きが変わるのを防ぐため苗の持ち変えを止め、苗載せ台のスリットに苗を吊り下げた状態が、切断位置決め高さとなるよう苗供給部の取り付け位置を変更した。

②クリップ供給部 クリップ搬送路を滑らかにした。

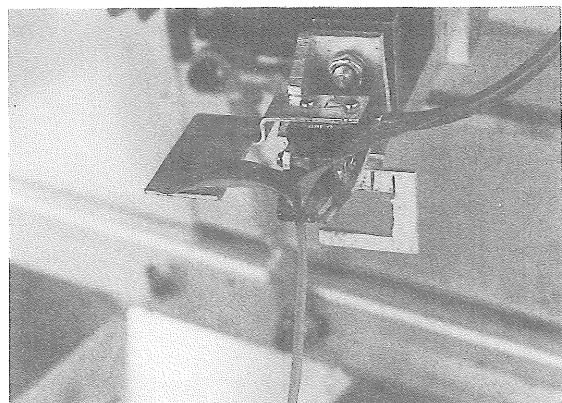
③苗供給間隔 試験区分Ⅰでは、ハンドによる苗の取り出しが苗の有無に関わらず一定間隔(試験番号1が6秒、試験番号2が5秒)で行われたため、苗供給者は機械のペースに合わせて苗供給をしていた。この作業は苗供給者にとって精神的な負担となった。試験番号1では1,050株中32株、試験番号2では1,012株中25株の苗供給失敗が発生した。

そこで、苗供給者のペースで作業が行えるように苗載せ台下部に、苗検出スイッチを取り付け、苗が供給されるとハンドが苗取り出しを行うようにした。

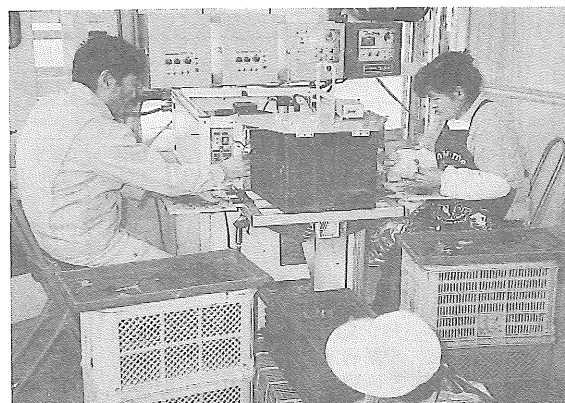
④苗供給姿勢 台木に根の重さの違いや胚軸の曲がりなどの個体差があると、吊り下げ部位や姿勢が乱れ、苗の落下や切断精度低下の原因となった。そのため苗載せ台スリットの直下にハンドを設け、苗検出スイッチが作動すると、ハンドが胚軸を把持するようにした。供給者は、スリットに苗を入れたら下方に引き子葉展開基部がハンド上面で支持されるようにする。この改良によって苗の供給失敗は試験番号5を除き0~4株に減少し、さらに切断部位の位置決めが正確となった。

3) 第3次改良 試験区分Ⅱ、Ⅲの間に穂木の把持・搬送部を改良した。

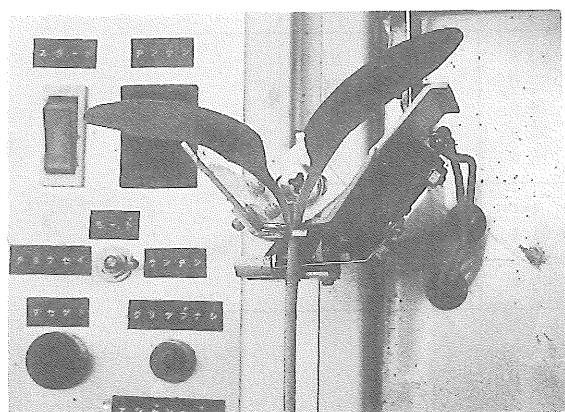
①穂木の把持・搬送部 子葉が垂れると接着時に巻き込まれてクリップ掛けされることがあった。そのため子葉巻き込みを防ぐ受け板をハンドに取り付けた。改良した主要な部分を図54に示した。



苗載せ台スリット下に設けた苗検出スイッチとハンド



(a) 接ぎ木作業



子葉の巻き込みを防ぐ受け板

図54 実証機の改良箇所



(b) ポットへの植付けと養生（後方）

図55 実証機による接ぎ木作業と苗管理

表26 実証機による接ぎ木試験結果（試験区分Ⅰ）

試験番号	1		2	
	岩手園試		埼玉園試	
試験地	岩手園試		埼玉園試	
試験区	機械接ぎ	慣行接ぎ	機械接ぎ	慣行接ぎ
供試株数 (株)	1050	100	1012	99
作業者数 (人)	4	3	5	3
内訳				
苗補給	1	0.5	2	0.5
接ぎ木	2	2	2	2
植え付け	1	0.5	1	0.5
総作業時間 (分)	116.5	22.6	102.4	24.6
中断回数 (回)	7	0	7	0
中断時間 (分)	10.5	0	14.8	0
正味作業時間 (分)	106.0	22.6	87.60	24.6
作業能率 (株/分)	9.0	4.4	9.9	4.0
正味作業能率 (株/分)	9.9	4.4	11.6	4.0
接着率 (%) a	93.0	-	89.5	-
活着率 (%) b	85.0	95.0	97.0	100
a × b (%)	79.1	-	86.8	-

表27 実証機による接ぎ木試験結果(試験区分Ⅱ)

試験番号	3			4		5	
試験地	岩手園試			岩手園試		JA紫波	
試験区	機械接ぎ***		慣行接ぎ	機械接ぎ	慣行接ぎ	機械接ぎ	慣行接ぎ
	前半	後半					
供試株数 (株)	500	551	100	1004	100	1000	-
作業数 (人)	5	5	4	5	4	5	-
内訳 苗補給	1	1	1.5*	1	1*	1	-
接ぎ木	2	2	2	2	2	2	-
植え付け	2	2	0.5	2	1**	2	-
総作業時間 (分)	39.0	107.0	51.2	89.0	42.9	87.6	-
中断回数 (回)	0	7	0	10	0	0	-
中断時間 (分)	0	61.0	0	4	0	0	-
正味作業時間 (分)	39.0	46.0	51.2	85.0	42.9	87.6	-
作業能率 (株/分)	12.8	5.1	2.0	11.3	2.3	11.4	-
正味作業能率 (株/分)	12.8	12.0	2.0	11.8	2.3	11.4	-
接着率 (%) a	96.2	88.4	100	80.6	97.0	95.0	-
活着率 (%) b	98.0	63.0	100	95.0	97.0	96.0	-
a × b	94.3	55.7	100	76.6	94.1	91.2	-
成苗率 (%) c	98.0	-	97.0	95.0	97.0	96.0	-
a × c	94.3	-	97.0	76.6	94.1	91.2	-
備考				**** a=91.4 b=95.8 c=95.8			

\* 胚軸切り

\*\* 苗取りと植え付け

\*\*\* 作業の後半に接ぎ木失敗が多く発生したため前・後半に分けた

\*\*\*\* 苗が軟弱なため、両手で供給したときの値

表28 実証機による接ぎ木試験結果(試験区分Ⅲ)

試験番号	6		7		8	
試験地	埼玉園試		深谷市農家		加須市農家	
試験区	機械接ぎ	慣行接ぎ	機械接ぎ	慣行接ぎ	機械接ぎ	慣行接ぎ
供試株数 (株)	1011	100	709	-	915	1100
作業数 (人)	5	3	5	-	5	3
内訳 苗補給	1	0.5	1	-	1	0
接ぎ木	2	2	2	-	2	3
植え付け	2	0.5	2	-	2	0
総作業時間 (分)	92.5	24.4	61.5	-	67.4	210
中断回数 (回)	3	0	0	-	7	0
中断時間 (分)	6.2	0	0	-	3.1	0
正味作業時間 (分)	86.3	24.4	61.5	-	64.3	210
作業能率 (株/分)	10.9	4.1	11.5	-	13.6	5.2
正味作業能率 (株/分)	11.7	4.1	11.5	-	14.2	5.2
接着率 (%) a	93.5	100	92.9	-	97.1	100
活着率 (%) b	99.5	100	98.0	-	96.8	100
a × b	93.0	100	91.0	-	94.0	98.6
成苗率 (%) c	97.5	95	100	-	96.6	98.6
a × c	91.2	95	92.9	-	93.8	-

### 5. 2. 3 試験結果

#### 1) 作業能率

(1) 作業状態 1,000株規模の接ぎ木試験を8回実施し約7,750株の接ぎ木作業を実施した。この間、機械的なトラブルなどで長時間停止することもなく全試験とも順調に行われた。接ぎ木試験とポットへの植え付け、養生の様子を図55に示した。試験結果を表26～28に示す。試験区分Iは、作業には初めての機械接ぎ木作業であったが、慣れるに従って苗供給は接ぎ木間隔に追われることなく、胚軸曲がりを矯正して供給する余裕もみられた。しかし、苗の供給失敗や接ぎ木失敗苗の持ち回りが発生しても修正あるいは機械を止めるまでの余裕はなかった。

また、苗供給者の労働負担を考慮すると500株程度作業を行ったところで一旦休憩をとる必要があると思われる。試験番号2から間に休憩をはさんだ。

試験番号1は、接ぎ木苗の植え付けに一人を配置して開始したが、装置の作業速度に植え付けが間に合わず、途中から複数人で対応した。試験番号2以降は2名を配置した。

(2) 作業能率 作業能率は、試験番号1, 2は9～10株/分で、正味作業能率は10～12株/分であった。これを対象区の慣行手接ぎ木（呼び接ぎ）と比較すると、作業員一人当たり作業能率は2.0～2.5倍、正味作業能率では2.3～2.9倍であった。

試験番号4以降は、苗供給法などの改良により、総作業時間に対する中断時間の割合はほぼ半減し、作業は安定化した。作業能率は11株/分を超え、最高は試験番号8で作業能率13.6株/分、正味作業能率14.2株/分であった。作業中断の主な原因はクリップフィーダでのクリップ詰まりであった。

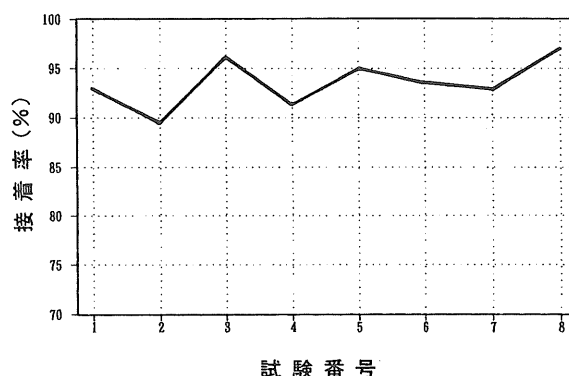
#### 2) 作業精度

(1) 接着率 接着率の推移を図56に示す。接着率は試験前半の試験番号2及び4で90%を下回ったが、後半は開発目標とした接着率90%以上を達成した。試験番号2, 4で接着率が低くなった主な原因は、試験番号2では、苗の供給失敗と台木の切断不良が多く発生したことであり、試験番号4では台木が軟弱で搬送中に胚軸が横揺れし、切断不良や切断面の不一致が出たことによる。この苗の子葉と胚軸を両手で持ち、スリットに確実に吊り下

げたところ接着率は91%と向上した。軟弱苗でも供給を適切に行えば接ぎ木が可能であることを示した。

第2次改良後は、試験番号4を除き90%を超え、特に生産現地での試験では、それぞれ95%（試験番号5：JA紫波）、93%（試験番号7：深谷市農家）、97%（試験番号8：加須市農家）と高い値であった。

(2) 接ぎ木失敗の原因分析 不接着の原因は、苗の供給失敗、ハンドの把持失敗、切断不良、接ぎ木失敗苗の持ち回り、クリップ詰まり、が主なものであった。また、不良接着は、台木または穂木の子葉が接着面に巻き込ま



試験番号4は、両手供給時の接着率  
図56 実証機の接着率の向上

れる、切断面不良、接着面のずれ、が主な原因であった。

表29に接ぎ木失敗の原因別割合を示した。接ぎ木失敗の状態別内訳は不接着64%、不良接着36%であった。

原因別に割合を見ると、不接着では苗供給失敗が約25%と最も多く、次いでクリップ詰まり21%、台木切断不良16%、把持失敗9%であった。この4原因で約70%を占めた。不良接着は切断面のずれが最も多く86%、次いで切断不良12%であった。

試験区分Iでは苗供給失敗が多く発生したが、試験の初期で供給に不慣れであったこと、苗供給間隔が機械のペースであったこと、苗供給部スリットでの苗姿勢の不安定さなどが原因であった。また、試験番号5では37回苗供給失敗が起きたが、穂木供給の不慣れが原因であり、試験初期に集中して発生したものである。同じ試験番号5で、把持失敗が11株あったが、台木の胚軸が短いためハンドの根部押さえ板が把持できなかったものである。

苗切断不良が原因の接ぎ木失敗も高い割合を占めたが、第1次改良で切断位置決め法を改良した結果、図57に示すように試験番号3以降は台木切断精度が向上し、切断不良による失敗は減少した。しかし、試験番号4では胚軸が軟弱であったため、台木の苗切断不良による失敗が発生した。

図58は、不接着の割合の推移を示したもので、苗供給法の改良や切断精度の向上もあって次第に減少した。試験番号7でやや不接着割合が高くなったが、穂木、台木とも大苗であり、台木本葉が展開したものを供試したことなどが原因でクリップ掛け失敗が発生したためである。

大部分の接ぎ木失敗は、人手による供給であることと苗が軟弱あるいは胚軸が短いあるいは大苗であることが原因で起きるものが多かった。前者は機械に慣れることである程度解消できるが、幅の狭いスリットに吊り下げるという作業性も原因であり機構的検討が必要であると思われる。後者については、育苗管理をきめ細かく行うことで解決でき、また、実作業では、供給時に良い苗を選択して供給することも必要であると思われる。

クリップ供給部に関わる失敗は、変形クリップ、分解

したクリップの混入などクリップ構造に起因するものが大半であった。クリップ形状、パーツフィードの選別性能の向上など供給部の機構的改良が必要であった。

(3) 活着率 図59に活着率の推移を示す。試験番号1を除き95%以上の高い値を示し、接着株のほとんどが活着した。試験番号1は85%と低い活着率であった。片葉切断接ぎでは、特に養生期間中は湿度を高く保つことが必要であるが、この試験では高湿度の環境が十分維持できなかったことや養生期間が4日間と短かったことが主な原因と考えられる。

採用した養生条件は、試験番号1では、ハウス内に設けたビニルトンネルに接ぎ木苗を入れ、黒寒冷紗1枚で覆って4日間養生した。試験番号2以降は、初期はシルバーポリトウ(商品名、東罐興産株式会社製)で遮光し、苗状態を見て黒寒冷紗による遮光に切り換え、最後はビニルトンネルだけとし、天候によって開け閉めを行う養生・順化法を採用した。

(4) 成苗率 成苗率は、試験番号4以降は全て95%以上で、養生・順化した苗のほとんどが定植可能な苗となった。

表29 実証機における接ぎ木失敗原因の分析

接ぎ木失敗の状態	失敗の原因	試験番号								合計	原因別割合(%)	状態別割合(%)
		1	2	3	4	5	6	7	8			
不接着(株) 穂木と台木が接着されなかったもの	① 苗の供給失敗 内台木	32 14	25 18			37	2	3	4	103	24.8	63.9
	② ハンド把持失敗	-			22	11	3		1	37	8.9	
	③ 台木切断不良 内訳：不完全切断 過剰切断 本葉残り	25 4 13 8	28 12 16 -	2 2	11 11		2			68	16.4	
	④ 苗持ち回り	4								4	1.0	
	⑤ クリップ詰まり	2	16	58			10	3		89	21.4	
	⑥ その他	7	21	8	24		7	35	12	114	27.5	
	①～⑥の合計⑪	70	90	68	57	48	24	41	17	415	100	
不良接着(株) 接着されたが接着面が合っていないもの	⑦ 台木子葉巻き込み	2	1							3	1.3	36.1
	⑧ 穂木本葉巻き込み		2	1						3	1.3	
	⑨ 切断不良			5	9		4	7	2	27	11.5	
	⑩ 切着面のずれ	2	13	9	129	2	38	2	6	201	85.9	
	⑦～⑩の合計⑫	4	16	15	138	2	42	9	8	234	100	
	合計 ⑪+⑫	74	106	83	195	50	66	50	25	649	-	100



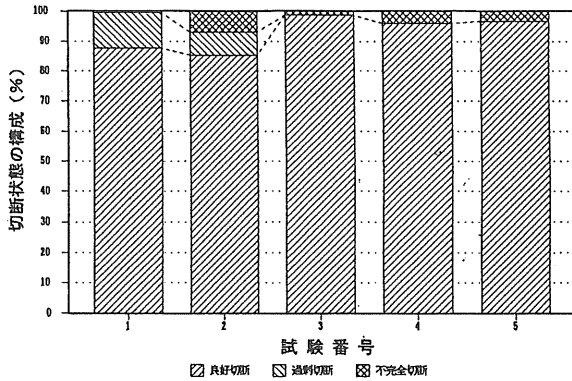


図57 実証機の切断精度の向上

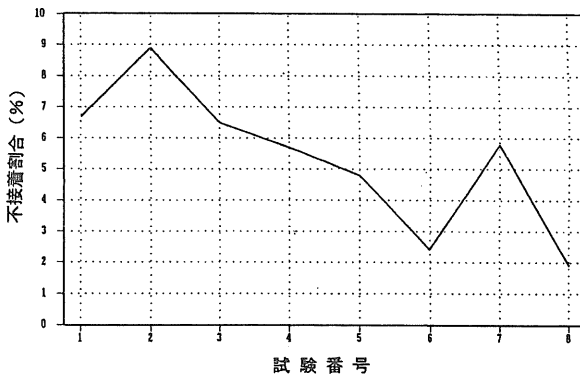


図58 不接着割合の減少

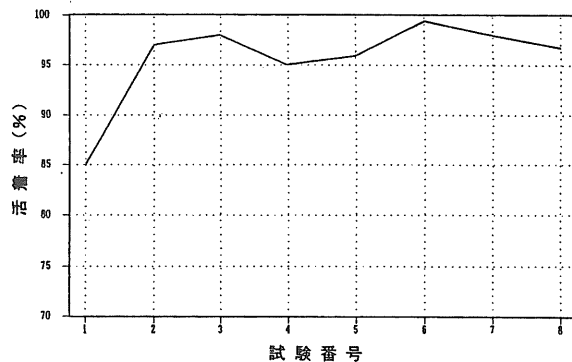


図59 活着率の向上

3) 耐久性 クリップが接着部に詰まるトラブルでは、押し出し金具が変形することがあった。クリップは再利用することを前提としており、変形あるいは破損したものが混在するとトラブルの原因となる。そのためにはパーティードでの選別を確実にを行うなどの改良が必要と思われた。

切断刃は台木、穂木用とも 1,000株程度の切断では交換の必要はなかった。その他、特に機械の耐久性に関わるような問題は発生しなかった。

4) 作業からの聞き取り 実際に接ぎ木作業に携わった作業者の意見や、作業の観察結果は次のとおりであった。

①座位置で足が機械の下に入らないので供給姿勢が良くなかった。

② 1,000株程度の連続作業では、特に疲労することはない。

③根から落ちる培養土が苗置き台や装置内に溜まって接ぎ木苗を汚す場合が見られた。

④接ぎ木後の苗の向きが一定でなく、苗どうしが絡まって植え付け時に気を使った。

5) 改良の効果 第1～3次の改良の効果は次のとおりであった。

①穂木の根部引き下げアームの除去 苗供給時に位置決めする方法に改良したことにより、断根して苗供給が行え、苗の取り出し、搬送が安定し、切断精度も向上した。

②台木供給、把持・搬送部、切断位置決め機構を改良した結果、苗姿勢の乱れが解消し、切断精度が大幅に向上した。台木供給部に苗検出スイッチを付けたことで、苗供給を作業ペースで行えるようになり、また、スリットの直下にハンドを設け、供給と同時に胚軸を把持したため供給失敗が減少した。

③クリップ供給部 クリップ搬送路での不良クリップの詰まりをなくすため搬送路面を滑らかにするなどの改良を行ったが完全に解消することはできなかった。

④穂木把持・搬送部 子葉の下垂防止板を取り付けたことで子葉を巻き込むクリップ掛りは解消された。

### 5.3 接ぎ木装置の実用化と利用実態

#### 5.3.1 接ぎ木装置の実用化<sup>8,7)</sup>

実証機は設計目標を達成し、苗生産現地での試験でも高い実用性が認められた。これらの成果は農業機械製造会社に技術移転され、図60に示す「接ぎ木ロボット」として商品化され1993年10月から全国に販売された。

また、この装置をベースに、ウリ科3品目（キュウリ、スイカ、メロン）の接ぎ木が可能で、作業能率が毎分10株以上の接ぎ木装置が農林水産省の事業「農業機械等緊



図60 市販された接ぎ木ロボット

急開発事業」で「野菜接ぎ木ロボット」の名称で開発された<sup>88)</sup>。この装置は1994年夏以降に農業機械製造会社5社から販売されることになった。

### 5. 3. 2 実用機の利用実態調査

農業機械製造会社から販売されたキュウリ用接ぎ木装置の利用実態を調査した。1994年3月現在の導入先は、苗生産業者や農協の種苗センターなどであり、農家個人が導入した例はみられない。

1) 苗生産会社での利用実態 市販されたキュウリ用接ぎ木装置は、これまで慣行で行われていた手接ぎ木体系を大きく変える必要はない。すなわち、苗はこれまでと同様に育苗し、大きさは慣行の手接ぎ木適期の苗であればよく、また養生もハウス内のビニルトンネルを利用できる。

調査した千葉県内の苗生産会社ハルディン社では次のように利用されていた。図61に接ぎ木作業中の様子を示す。

(1) 穂木・台木の育苗 会社では、顧客から穂木、台木の注文を受け、種子をセル成形トレイに手で播種し、育苗していた。

(2) 接ぎ木装置の設置場所 接ぎ木装置は、ハウス内中央通路に水平に設置していた。ハウスは、接ぎ木装置のために特別に改装することもなく既存のものをそのまま利用していた。

(3) 作業法 接ぎ木装置両側に苗供給者用の椅子を置き、既存の可動育苗棚にはあらかじめ穂木、台木のトレイを運んでおくようにしている。苗供給者は自分の手の



図61 実用機の使用状況

届く範囲の苗を引き寄せて供給していた。その苗がなくなると一旦装置を止め、苗を運搬してくる。苗供給は穂木、台木とも断根して供給していた。

ベルトコンベア上に排出された接ぎ木苗は、先端部にいる植え付け作業員によって、直ちに植え付けられていた。植え付けは、セル成形苗用のトレイに行われ、あらかじめ手持ちのピンセットでセル中央部に穴を開けておき、そこに台木胚軸をピンセットで掴んで挿し込み、指で軽く根元の土を押さえ込むようにしていた。植え付けは子葉の向きを揃えて行い、子葉どうしの重なりをできるだけ少なくなるようにしていた。

植え付けが終わったトレイは、発泡スチロール製の箱に入れて一時保存し、ある数が揃うと養生装置に運ばれる。

(4) 養生・順化と出荷 養生装置は船舶用のコンテナを改造したもので、照明装置、加湿器、空調機などを備えている。ここで3日間養生し、その後ハウスで順化される。本葉数3~4枚になると、段ボールの箱に詰められ、専用のトラックや宅配便で出荷される。トレイ(72穴)での出荷も行われている。

(5) 作業能率 作業は、苗供給2名、植え付け1名の計3名で行われていた。聞き取りによると、最盛期には一日10時間運転し、最大8,000株の接ぎ木作業を行って

いる。平均的な一日の接ぎ木株数は約 6,000株である。接ぎ木期間は3月下旬から4月末で、この間に20万株以上の接ぎ木苗を生産していた。

(6) 指摘された問題点 装置は、ほぼ順調に稼働していたが、つぎの指摘があった。

- ①クリップの詰まりが多発するときがあり、詰まったクリップを取り除くのに時間がかかる。
- ②切断刃の切れ味がすぐ悪くなる。交換するのに時間がかかる。刃の耐久性の向上と取り付け法の改良が必要である。
- ③接ぎ木失敗のうち、切断面が合っていない失敗が多く、接着率が70%と低い時がある。このようなときは植え付け作業者が一株毎点検して植え付ける必要がある。
- ④取扱い説明書には、穂木、台木の切断面の状態や接着面を見て調整する方法が記載されているが、機構が精密、複雑で利用者には完全に調整できない部分がある。

2) 苗生産組合での利用実態 調査は京都府の北藤育苗農業協同組合で行った。組合の所在地久御山町は「淀苗」として知られた所である。組合設立は1948年で、現在25戸で接ぎ木苗を中心とした苗生産を行っており、年間生産株数は300万株である。主力は農家向けであるが10%は家庭菜園用にも販売している。接ぎ木装置は1993年11月に2台導入され、1994年1月から16戸の組合員が使用している。接ぎ木装置は次のように利用されていた。

(1) 穂木・台木の育苗 苗は、ハウス内の地床に播種して育苗し、接ぎ木時に根付きの状態に苗取りし、濡れた新聞紙を敷いた発泡スチロール箱に詰めて装置まで運んでいる。そのため苗は胚軸が曲がり、子葉は変形しており、苗形状は良くなかった。

(2) 接ぎ木装置の設置場所 接ぎ木装置はハウス内で使用されていた。ハウス内は特に改装することもなくそのまま利用していた。

(3) 作業法 利用方式は、装置を一個所に置き、そこに組合員は予約した時刻に苗を搬入して作業する共同利用方式をとっている。

作業は、苗を箱ごと苗載せ台に載せ、台木は根付きのまま、穂木は断根して供給している。接ぎ木苗は発泡スチロール製の箱に一時保存し、植え付け場所に運ぶ。

(4) 養生・順化と出荷 養生はハウス内のビニルトンネルで行う。養生や順化は組合員個人が持つ独自の技術

で行っている。

接ぎ木苗は7.5cmポットに植付けられ、本葉が3枚以上の定植苗になると一株120~130円で出荷される。苗はプラスチック製のコンテナに入れられ、専用トラックや宅配便で配送される。

(5) 作業能率 作業は、苗供給2名、接着部点検と箱詰め1名の計3名で行っていた。聞き取りによると、一日8時間運転し平均5,000株の接ぎ木を行う。作業のピークは3~4月でこの間に1台は20万株、他は約10万株の接ぎ木苗生産を行った。

(6) その他

①組合員毎に使用時刻を決めて利用しているが、苗運搬などに問題があり、装置をゴム車輪付きの台車に載せ移動するように計画中であった。

②接ぎ木時期の3~4月には40~50名のパートを雇用している。接ぎ木装置の導入が直接雇用減にはなっていないが、他の業務に振り向けることができ、作業全体に余裕ができた。

③接ぎ木苗の注文が多く生産が追いつかない状態であり、さらに装置を導入する計画であった。

④接ぎ木失敗のうち、切断面が合わない失敗が多く、調節するが機構が複雑で完全に調整しきれない部分がある、との指摘があった。

3) 今後の課題 二つの苗生産業者での利用実態を総合すると、実用機は大きなトラブルもなく順調に稼働し、一日5,000~6,000株、一シーズンに約20万株の接ぎ木苗生産に利用されていた。また、両者とも作業者に接ぎ木装置を使うための特別の訓練を行うことなく使っていた。

切断面が合わない失敗が発生することがあり、その際利用者が簡単に調整できるような機構面からの検討が必要であった。一方、穂木、台木を装置向きに育苗することも重要で、育苗のマニュアル化も課題と思われた。

## 5.4 摘要

1) 機能確認機及び実験機で開発された技術を基本機構として受け継ぎ、穂木、台木の供給は人手で行い、クリップはパーツフィーダによって自動供給する機械接ぎ木実証機を開発した。

実証機をキュウリ生産現場に搬入し、作型などの異なる時期に1,000株規模の実験を計8回実施し7,000株を超

える接ぎ木作業を行った。

2) 実証機の接ぎ木性能は次のとおりであった。

①作業人員は苗供給2名、苗補給・取り出し1名、接ぎ木苗の植え付け2名計5名必要であった。

②作業能率は11株/分以上で最高は14株/分を超えた。大きな機械的トラブルもなく全ての試験は順調に行われた。

③作業精度については、接着率は目標とした90%以上を達成し、活着率、成苗率とも95%以上で高い精度で接ぎ木作業を行った。

3) 接ぎ木に失敗した苗を観察した結果、その状態は不接着64%、不良接着36%であった。不接着は苗供給失敗、台木切断不良、把持失敗、クリップ詰まりが原因で、これらで原因の70%を占めた。不良接着は切断面のずれが86%と原因の大部分を占めた。

苗の供給失敗が高い割合を占めたが、供給台にハンドを付けるなどの改良をした結果、失敗は減少した。しかし幅の狭いスリットに吊り下げるといった作業性の問題は残った。

4) 実験中装置の故障で停止することはなかった。ただし、クリップが接着部に詰まり、クリップ押し出し金具が変形することがあった。クリップ詰まりの原因は破損あるいは変形したクリップの混入であり、クリップ構造の検討とパーツフィードの選別性能の向上が課題である。

カミソリを利用した切断刃は1,000株程度の接ぎ木では交換する必要はなかった。

5) 作業員から、作業姿勢、苗の汚れ、接ぎ木苗の排出姿勢の改良などの指摘があった。

6) 実証機の成果は農業機械製造会社に技術移転され、1993年10月に「接ぎ木ロボット」として実用機が全国に販売された。

また、この実用機をウリ科野菜3品目(キュウリ、スイカ、メロン)の接ぎ木に適応性を拡大するため、農林水産省の事業「農業機械等緊急開発事業」の中で「野菜接ぎ木ロボットの開発研究」を実施した結果、1994年夏以降に「野菜接ぎ木ロボット」として農業機械製造会社5社から販売されることになった。

7) 市販されたキュウリ用接ぎ木装置を利用している現地で利用実態を調査した。

千葉県の子生産業者は、接ぎ木期間の3月下旬から4

月下旬に20万株を超えるキュウリ接ぎ木苗生産に利用していた。苗は穂木、台木とも断根して供給し、接ぎ木苗はセル成形苗用の72穴トレイに植え付けていた。

クリップ詰まり、切断刃の耐久性、接着率についての指摘があった。

一方、京都府の子生産組合は2台導入し、組合員が予約した時刻に苗を持ち込み作業する利用体系をとっている。2カ月間に30万株のキュウリ接ぎ木苗を生産していた。

両社とも機械調節の簡易化を望んでいた。また、作業性能の安定化には穂木、台木の育苗のマニュアル化が課題と思われた。

## 6 総括

本研究は、ウリ科野菜の接ぎ木苗を省力的に大量生産する装置を開発することを目的として行ったものである。

一連の開発研究では、接ぎ木苗生産の現状調査、機械接ぎ木に必要な要素技術の開発、機能確認機による機械接ぎ木の可能性の検討、実験機による連続接ぎ木作業の実現、実証機による実用化研究を展開した。

この成果は、農業機械製造会社に技術移転され、1993年10月に「接ぎ木ロボット」(商品名)が商品化され、普及させることができた。

以下、本研究の内容を総括して述べる。

1) 野菜苗生産の現状について調査した。

野菜苗は、労働力の高齢化や担い手不足、収穫作業と育苗作業の競合による労働力不足、購入苗を利用したいとする農家の増加など、需要は増加傾向にあった。

接ぎ木苗生産は、農家はもちろん苗生産業者でも多くの労働力を投入して手作業で行われていた。接ぎ木作業は胚軸の切断、接着という精緻な作業が多く、熟練を要し、農家では作業後の肩こりや疲労などが、苗生産業者では熟練者の安定確保が大きな問題となっていた。苗生産業者は、単に農家での作業をスケールアップしただけであり、需要が増加しているにも関わらず規模拡大の限界にあった。

接ぎ木苗生産の研究は、本研究開始当時は構想はあったが実施された例はなく、養生装置などの研究が一部行われていた。

2) 機械接ぎ木に必要な要素技術について検討した。

(1) 機械接ぎ木に適した接ぎ木法を、活着率や成苗率、

接合面剝離強度，作業の難易，作業工程数，適応作物数などを考慮して検討した。その結果，片葉切断接ぎが最も適した接ぎ木法であった。

(2) 穂木，台木の切断位置は子葉展開基部を基準として決める方法を開発した。

(3) 円盤外周にカミソリを付けた切断装置は作用が不安定であった。しかし，カミソリは切断面を平滑に切断できた。

(4) 苗の把持について，胚軸に加えた圧縮歪がその後の生育に与える影響を調査し，把持部表面にウレタンゴムなどを貼付して胚軸径のばらつきの影響を避ければ，損傷なく把持できることを確認した。

(5) 接着資材について，接ぎ木用瞬間接着剤，テープなどを検討したが，作業性や活着率に問題があったため，本研究では慣行手接ぎ木で使用されているクリップを採用した。

3) 片葉切断接ぎにより機械接ぎ木を行う機能確認用接ぎ木装置（機能確認機）を製作し，機能確認と機械による接ぎ木の可能性について検討した。

(1) 子葉展開基部で苗をスリットに吊り下げる方法は，構造が簡単で供給も容易であった。

また，供給された苗をハンドで一端把持した後は接着まで解放せず，供給位置が把持位置，切断位置，接着位置の基準となるようにした。

(2) ハンドは，把持面にウレタンゴムを貼付したもので胚軸を損傷することはなかった。

(3) 台木の子葉1枚と生長点の切除は正確かつ切断面積が大きくなるように行うことが課題として残った。

(4) 接着部では，クリップ掛け機構と台木切断精度が接着性能に影響を与えた。

(5) 排出部は，接着部位を押し出す機構としたが，作用の安定性を向上させる必要があった。

(6) 機械による接ぎ木の可能性を検討した。子葉展開基部を切断などの位置決め基準部位とする方法は，苗形状の影響が少なく片葉切断接ぎによる機械接ぎ木に有効な方法であった。また，片葉切断接ぎは機械接ぎ木でも活着率が低下することはなかった。

切断精度の向上など課題はあるが，他の機構は目的どおり機能したことから機械接ぎ木は十分可能であると判断した。

4) 機能確認機で得た基本技術を受け継ぎ，これに新たな技術を組み込んだ実験用接ぎ木装置（実験機）を開発し，20株連続接ぎ木作業を行った。

(1) 新たに次の技術を開発した。

①連続的に苗を供給する装置

②苗を把持する小型ハンド

③連続作業を可能とした搬送部

④子葉あるいは胚軸曲がりを矯正して切断する機構

⑤台木子葉の姿勢を規制する方法

⑥クリップ供給機構

⑦クリップ掛け機構

⑧接ぎ木苗の排出機構

(2) 実験機は連続20株の接ぎ木を約1分で行うことができ，作業能率は接ぎ木操作のみを比較すると手接ぎ木の約10倍，接着率は98%，活着率は95%そして成苗率は87%と手接ぎ木並みの作業精度を実現した。

(3) 機能確認機で課題として残った切断精度については，開発した切断機構は作用が安定したものの，子葉と生長点を精度良く除去した割合は50%以下であった。さらに切断精度を向上させる必要があった。

(4) 接ぎ木苗は，穂木と台木が直線的に接がれたものが75%以上，曲がっても左30°までで，外見的手接ぎ木苗と差がなかった。また，接ぎ木後の作業で接着面が外れることはなかった。

(5) 実験機のプリンスメロン，スイカへの適応を図った結果，成苗率はキュウリに劣ったが十分適応性はあった。

(6) 機械接ぎ木苗が収量などに及ぼす影響を手接ぎ木苗との比較栽培によって調査した結果，収量，上物率などに差はなく，機械接ぎ木苗が栽培上でも問題がないことを確認した。

5) 機能確認機及び実験機で開発された技術をベースに，穂木，台木の供給は人手で行い，クリップはパーツフィードによって自動供給する機械接ぎ木実証機（実証機）を開発した。実証機を埼玉，岩手両県の園芸試験場と苗生産現場に搬入し，8回の実験，7,000株を超える接ぎ木作業を実施し，実用性を確認した。

この成果は農業機械製造会社に技術移転され，1993年10月に「接ぎ木ロボット」（商品名）が実用化され，全国に販売された。

実証機のキュウリを対象とした接ぎ木性能は次のとおりであった。

(1) 作業人員は苗供給2名、苗補給・取り出し1名、接ぎ木苗の植え付け2名計5名必要であった。作業能力は11株/分以上で最高は14株/分を超えた。

(2) 作業精度については、接着率は90%以上、活着率、成苗率とも95%以上であった。

(3) 接ぎ木失敗の状態別割合は不接着が64%、不良接着が36%であった。不接着は苗供給失敗、台木切断不良、把持失敗、クリップ詰まりが原因の70%であった。不良接着は切断面のずれが86%と原因の大部分を占めた。

(4) 実験中装置の破損などの故障はなかった。しかし、クリップ詰まりでクリップ押し出し金具が変形することがあった。クリップ詰まりをなくすためにクリップ構造とパーツフィードの性能向上が課題として残った。カミソリを利用した切断刃は1,000株程度の接ぎ木では交換する必要はなかった。

(5) 作業員から、作業姿勢、苗の汚れ、接ぎ木苗の排出姿勢の改良などの指摘があった。

また、実用機の利用実態を調査した結果は次のとおりであった。

①千葉県で苗生産業者は、接ぎ木期間の3月下旬から4月下旬に20万株を超える接ぎ木苗生産に利用していた。クリップ詰まり、切断刃の耐久性、接着率についての指摘があった。

②京都府の苗生産組合は2台購入し、1994年3～4月の2カ月間に約30万株の接ぎ木苗を生産していた。

③両社とも大きなトラブルもなく順調に作業していた。しかし、機械調整の簡易化の指摘があった。また、穂木、台木の育苗のマニュアル化が課題であった。

④実用機をウリ科野菜(キュウリ、スイカ、メロン)に適用性を拡大した「野菜接ぎ木ロボット」が1994年夏以降農業機械製造会社5社から販売されることになった。

## 謝辞

本研究に理解を示され、実験装置の試作や実験設備などにお心遣いいただいた芦澤利彰前生物系特定産業技術研究推進機構理事、並びに本研究の現地試験や研究報告の取りまとめの機会を与えて下さった菅原敏夫生物系特定産業技術研究推進機構理事に心より御礼申し上げます。

また、試作工場の職員の方々には、装置の試作と改良に御協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

さらに、育苗、接ぎ木苗の養生・順化方法の御指導と比較栽培試験、実用化試験では埼玉県園芸試験場の稲山光男そ菜部長、清野英樹技師に、現地での実用化試験では、岩手県園芸試験場野菜花き部阿部隆部長、佐々木祐二専門研究員、井関農機株式会社大月晴樹技師に御協力を賜った。記して謝意を表します。

また、接ぎ木苗生産の現状調査では、多くの種苗会社の関係者の方々に御協力をいただいた。ここに記して関係各位に謝意を表します。井関農機株式会社、栄進工業株式会社には実験装置の製作に御協力を賜った。記して謝意を表します。

本研究の取りまとめにあたり、懇切なご指導を賜った東京大学木谷収名誉教授に心から感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 野口弥吉, 川田信一郎監修: 接ぎ木, 農学大事典(第2次増改訂版), 養賢堂, 1355-1358, 1987
- 2) 日比野進: バイオテクノロジーの夢と現実, (株)日通総合研究所, 124 ~ 142, 1988
- 3) 小田雅行・中島樹人: 接木植物が持つ可能性, 農業及び園芸, 64(12), 51~54, 1989
- 4) 鈴木正肚, 小林 研, 小西達也: 培養幼植物の順化技術の調査, 農業機械・施設のハイテク化に関する調査(バイオテクノロジー編), 生研機構, 46-49, 1991
- 5) 生物系特定産業技術研究推進機構編: 生研機構 農業機械化研究所, 平成2年度事業報告, 19-20, 1991
- 6) 野菜・茶業試験場編: 野菜・花き・茶業対策の概要, 野菜・茶業試験場, 1992
- 7) 野菜・茶業試験場編: 野菜の接ぎ木栽培の現状-野菜・茶業試験場研究資料第6号, 農林水産省野菜・茶業試験場, 1993
- 8) 阿部 隆: 岩手県における野菜振興と機械化について, 野菜作機械化技術体系推進資料, (社)日本農業機械化協会, 52-57, 1989
- 9) 野菜政策研究会編: 21世紀への野菜産業, 創造書房, 1991
- 10) 鈴木正肚, 小林 研, 小野田明彦: ウリ科野菜の接木装置, 総合農業の新技术平成3年度(5号), 農林

- 水産省農業研究センター, 141-146, 1992
- 11) 日本農業機械化協会：農業機械化情報 No. 257, 日本農業機械化協会, 8-9, 1992
- 12) 農林水産省経済局国際部編：農林水産物輸入実績(1991年～1992年), 農林水産省経済局国際部国際企画課, 6-7, 1994
- 13) 佐野資郎：新農政下での野菜振興策について, シンポジウム露地野菜栽培の作業合理化への道, 農業機械学会, 10-17, 1993
- 14) 一ノ瀬正輝：日本一農家のハイテク技術, (株) 講談社, 59-103, 1991
- 15) 農林水産省統計情報部編：野菜作型別生育ステージ総覧, (財) 農林統計協会, 1992
- 16) 農林水産省統計情報部編：野菜生産費, 農林水産省統計情報部, 10, 14, 1994
- 17) 稲山光男：野菜購入苗利用の動向, プラグ苗生産の現状と展望その2, 苗生産システム国際シンポジウム実行委員会, 1-11, 1992
- 18) 安藤敏夫：海外のプラグシステム事情, 苗生産システム国際シンポジウム実行委員会, 46-53, 1992
- 19) Joseph B. Craven, Jr., Larry J. Kutz : Evaluation of Photoelectric Sensors for Robotic Transplanter, ASAE paper No.91-7030, 1991
- 20) 大塚寛治：野菜生産管理用機械, 農業機械分野における革新技术発掘調査事業報告書, 農業機械学会, 113-125, 1992
- 21) 山本健司：野菜用プラグ移植機の現状, 苗生産システム国際シンポジウム実行委員会, 70-80, 1992
- 22) C.W. Suggs, B.M. Loneberger and S.C. Mohapatra: Automatic Feeding Transplanter, Acta Horticulturae No.319, 511-516, 1992
- 23) 日本農業年鑑刊行会：日本農業年鑑1994年版, 家の光協会, 317, 1994
- 24) 板木利隆：野菜栽培の省力化—最近の育苗をめぐる技術, 果菜苗供給システム研究会, 1-9, 1991
- 25) 小田雅行：接ぎ木植物トマピーナ, 日本たばこ産業(株), 15, 1990
- 26) 吉田岳志：生研機構の出資プロジェクト—ハイテク接ぎ木で野菜生産, 農林経済, 9, 1991
- 27) 伊藤克巳：図解やさしい果菜の接ぎ木, 家の光協会, 1986
- 28) 後藤 博：接木用苗切り込み装置, 実公平4-16974
- 29) 島津宗成：連続植物呼接ぎ法, 実開平5-2645
- 30) 清水克次：T Sカッターで良苗生産, 園芸新知識, タキイ種苗, 59-62
- 31) 小林 研, 猪之奥康治, 平田孝三：接木作業の機械化に関する研究(第1報)—接木作業の実態調査と機械化に関する接木法の検討, 昭和62年度農機学会関東支部講演要旨, 86-87, 1987
- 32) 鈴木正肚, 小林 研, 市川友彦：民間会社における大規模種苗生産に関する調査, 農業機械・施設のハイテク化に関する調査(バイオテクノロジー編), 生研機構, 74-77, 1991
- 33) 鈴木正肚, 小林 研：接ぎ木苗順化装置及び民間会社における接ぎ木苗生産に関する調査, 農業機械・施設のハイテク化に関する調査(バイオテクノロジー編), 生研機構, 66-69, 1991
- 34) 機械システム研究会編：改良種育種苗生産の自動化の技術調査, 植物工場用改良種育種苗生産の機械システムに関する調査研究報告書, (財) 機械システム研究会, 78-159, 1984
- 35) 西浦芳史, 小林富美夫, 村瀬治比古, 穂波信雄, 平知明, 安栗嘉雄：接木苗生産プロセスの自動化, ロボティクス・メカトロニクス講演会'93 講演論文集, 日本機械学会, 1002-1005, 1993
- 36) 長岡正昭, 森 達也, 志村 清, 瀬井将公, 小田雅之, 辻 顕光：接ぎ木の簡易・自動化に関する研究(第1報) 果菜類の多連接ぎ木の可能性について, 園学雑誌58別2, 254-255, 1989,
- 37) 朝日新聞社：朝日新聞 38707号, 1993.11.6 夕刊
- 38) 萬沢勝之, 入江保夫, 高橋久幸, 小田雅行, 中島樹人：自走式台木切断装置の開発, 農業機械学会第26回関東支部年次大会要旨, 16-17, 1990,
- 39) 小田雅行, 中島樹人, 萬沢勝之：自動接木方法及び装置, 特開平4-88927
- 40) 中村与佐久：接木器, 実開昭61-31038
- 41) 内川靖夫：自動接木装置, 特開平1-252228
- 42) 池田裕一：接合装置, 特開平3-130015
- 43) 村木正和, 西 紀昭, 本橋宣正, 芝本真吾, 藤原肇：接木方法および装置, 特開平3-244322

- 44) 萬沢勝之, 齊藤 均, 入江保夫: 接ぎ木装置, 特開平5-30856
- 45) 崔永模: 自動接木機, 実開平5-91279
- 46) 板木利隆, 中西一泰, 永島 聡: 果菜類の幼苗接ぎ木苗生産システムに関する研究(第1報) - トマトの接ぎ木法 - トレイの種類, 養生条件ならびに育苗工程について, 園学雑59別, 294 -295, 1990
- 47) 阿部晴夫, 飯塚 浩, 茂木正道: 果菜類の幼苗磁気圧着接ぎ木法(1), 農業及び園芸, 68(2), 66-70, 1993
- 48) 阿部晴夫, 飯塚 浩, 茂木正道: 果菜類の幼苗磁気圧着接ぎ木法(2), 農業及び園芸, 68(3), 77-79, 1993
- 49) 守田伸六: 果菜類の接着剤利用による新接ぎ木法, 農業及び園芸, 63(10), 70-76, 1988
- 50) 松山松夫, 松田勇二, 川岸幸男, 数馬俊晴, 山口 務: 果菜類接ぎ木苗の量産化に関する研究, 福井県農業試験場報告, 第22号, 1-9, 1985
- 51) 農林水産省農産園芸局種苗課編: 種苗産業の将来ビジョン, (財)農林統計協会, 1988
- 52) 津賀幸之介, 堀尾光広, 鈴木正肚: 種苗センターの調査, 農業機械・施設のハイテク化に関する調査, 62-65, 生研機構, 1991
- 53) 鈴木正肚, 小林 研・三浦恭志郎・猪之奥康治・平田孝三: 接木苗の大量生産に関する研究(第1報), 研究成績2-1, 生研機構農業機械化研究所, 1990
- 54) 渡邊誠三: 西瓜接木の一方法, 農業及び園芸, 14(5), 107-114, 1939
- 55) 石橋光治: ウリ科の呼びつぎ法, 農業及び園芸, 40(12), 67-70, 1965
- 56) 山川邦夫: 接ぎ木, 野菜園芸ハンドブック, 養賢堂, 141-153, 1982
- 57) 齊藤行正: さし接ぎと片葉切断接ぎ, 野菜の新接ぎ木法, (社)農山漁村文化協会, 41-58, 1983
- 58) 山口 務: 果菜類の接木苗量産化技術, 農業及び園芸, 61(8), 979-984, 1986
- 59) 農文協編: 苗の発育, 野菜園芸大百科1 キュウリ, 37-58, 1990
- 60) 小林 研, 猪之奥康治, 三浦恭志郎: 接ぎ木苗製造装置, 特開平2-107125
- 61) 生物系特定産業技術研究推進機構編: 生研機構 農業機械化研究所昭和62年度事業報告, 133-134, 1988
- 62) 鈴木正肚, 小林 研: 接木作業の機械化に関する研究(第4報) - 試作1号機の接木性能, 平成元年度農機学会関東支部講演要旨, 24-25, 1989
- 63) 生物系特定産業技術研究推進機構編: 生研機構 農業機械化研究所昭和63年度事業報告, 17-20, 1989
- 64) 鈴木正肚: 接木自動化, 農業及び園芸, 65(1), 123-130, 1990
- 65) A.Onoda,K.Kobayashi,M.Suzuki:The Study of the Grafting Robot,Acta Horticulturae No.31 535-540, 1992
- 66) 鈴木正肚, 小林 研: 接木装置, 特開平3-61429
- 67) 鈴木正肚, 小林 研: 接木用苗把持装置, 実開平3-27935
- 68) 加藤一郎編: 図解ロボットハンド, 工業調査会, 36-42, 1983
- 69) H.Hwang,F.E.Sistler:The Implementation of a Robotic Manipulator on a Mechanical Transplanting Machine,173-182,Agrimation,P,ASAE,1985
- 70) L.J.Kutz,G.E.Miles,P.A.Hammer,G.W.Krutz: Robotic transplanting of bedding plants. Transactions of the ASAE, 30(3);586-590.1987
- 71) 鈴木正肚, 小林 研: 接木用苗切断装置, 実開平3-27933
- 72) 鈴木正肚, 小林 研: 接木装置における子葉の姿勢規制機構, 実開平4-49936
- 73) 鈴木正肚, 小林 研: 接木装置における穂木切断機構, 実開平4-49935
- 74) 鈴木正肚, 小林 研: 接木装置における苗切断面接合機構, 実開平4-49937
- 75) 鈴木正肚, 小林 研: 接木作業の機械化に関する研究(第7報) - 接木装置2号機の性能の安定化, 農機学会第50回大会講要, 253~254, 1991
- 76) Masato Suzuki,Akihiko Onoda,Ken Kobayashi: Development of the Grafting Robot for Cucumber Seedlings,Proceedings Vol.3-International Conference for Agricultural Machinery and Process Engineering,The Korean Society for Agricultural Machinery,859-866,1993



- 77) 鈴木正肚, 小林 研, 小野田明彦: 種苗の安定的大量生産技術に関する研究 - 接ぎ木苗の大量生産に関する研究 (第2報), 研究成績5-2, 生研機構・農業機械化研究所, 1994
- 78) 鈴木正肚, 小林 研: 接木作業の機械化に関する研究 (第8報) - 試作2号機のウリ科作物への適応性, 農機学会第50回大会講要, 255 ~ 256, 1991
- 79) 生物系特定産業技術研究推進機構編: 生研機構 農業機械化研究所平成2年度事業報告, 33-34, 1991
- 80) 生物系特定産業技術研究推進機構編: 生研機構 農業機械化研究所平成3年度事業報告, 27-28, 1992
- 81) (社) 日本施設園芸協会編: 野菜生産省力化技術実用化促進事業報告, 平成4年度食料品等流通対策推進事業実績報告書, 1993
- 82) (社) 日本施設園芸協会編: 野菜生産省力化技術実用化促進事業報告, 平成5年度食料品等流通対策推進事業実績報告書, 1993
- 83) W.Simonton: Automatic Geranium Stock Processing in a Robotic Workcell, Transactions of the ASAE, 33(6);2074-2080. 1990
- 84) Y.Yang, K.C.Ting, G.A.Giacomeli: Factors Affecting Performance of Sliding-Needles Gripper During Robotic Transplanting of Seedlings, Applied Engineering in Agriculture, 7(4), 493-498, 1991, ASAE
- 85) Ward Simonton: Robotic Plant Handling and Processing, 226-235, Automated Agriculture for the 21st century, ASAE, 1991
- 86) 岡本嗣男, 白井良明, 藤浦建史, 近藤 直共著: 生物にやさしい知能ロボット工学, 実教出版株式会社 22-24, 1992
- 87) 野菜・茶業試験場編: 平成5年度研究成果情報, キュウリ接ぎ木装置の実用化, 9-10, 19
- 88) 鈴木正肚, 小野田明彦, 小林 研: 野菜接ぎ木ロボット, 農業機械等緊急開発事業の成果について, 生研機構 農業機械化研究所, 3, 1994

## Summary

### Research on the Development of Grafting Robot for Cucurbitaceous Vegetables

Masato SUZUKI, Ken KOBAYASHI, Akihiko ONODA,  
Koji INOOKU, Kyoshiro MIURA, Kozo HIRATA

The objective of this research is to develop a labour saving system which enables mass production of grafted cucurbitaceous seedlings. During the research the following activities were performed:

- (1) Investigation on the present situation of grafted plants production
- (2) Development of fundamental techniques required for mechanical grafting
- (3) Examination of the feasibility of mechanical grafting using a prototype
- (4) Sequential grafting using an experimental model
- (5) Investigation on the grafting practices using a demonstration model in cooperative and commercial production of grafted seedlings

#### 1. Present Situation of Grafted Plants Production

In addition to the prevailing labour shortage in Japanese agriculture in general due to the increase of senior farmers and the lack of younger successors, vegetable growers have to face to another labour shortage caused from the labour competition between raising seedlings and growing/harvesting operations. This tends now to cause growers increasingly to be interested in purchasing seedlings, grafted or not grafted, to concentrate their effort to cultivating operations, and thus the social background is getting much more promising for the nursery industry.

To avoid injury by continuous cropping of fruit vegetables, adoption of grafted seedlings is one of the most effective practices. Grafted seedlings are adopted in approximately 60% of current acreage under cultivation of fruit vegetables which comprise cucumbers, watermelons, melons, tomatoes and eggplants, where all grafting procedures are performed manually. Individual growers cooperate with each other in their neighborhood to graft seedlings, while nursery companies employ 40 ~ 50 part-time workers for this work. Because grafting operations require delicate skillfulness, private growers have to get experienced suffering mental fatigue and

eyestrain, while nursery companies are forced to worry about securing skilled employees.

## 2. Development of Fundamental Techniques for Mechanical Grafting

Initiatory conceptions of basic technical elements for mechanical grafting were examined in advance of designing experimental equipment. In this stage, the authors used cucumber seedlings for scions and pumpkin seedlings for stocks.

At first, various existing grafting methods were compared from the viewpoint of mechanical grafting in the syntax of several items such as: easiness of work, number of working processes, how mechanically treated scion and stock can be fixed together for grafting and rate of their successful adhesion after curing ('adhesion' hereafter). After a series of examinations, the authors concluded that 'Cutting-a-Cotyledon-off method' is most suitable for mechanical grafting, in which a) one of the cotyledons and the growing point of the stock are cut off, b) the root of the scion is cut off at the middle of its hypocotyl and c) the scion and stock are fixed and together.

In this method, precise locating of cutting is required, and hence some standard point of seedling has to be chosen. It was observed that the joint point of cotyledons to the hypocotyl is least influenced by the shape of seedlings.

As for cutting knives, blades for safety razor were adopted to secure clear cut section of seedlings.

Taking in account that the fed seedlings are to be gripped by mechanical fingers driven pneumatically, the upper limit of the gripping force was investigated. Hypocotyls of cucumber and pumpkin seedlings were mechanically compressed till the deformation of the diameter of hypocotyls reached to 30~70% of original diameter, and then these seedlings were carefully grown. Thus it was observed that compression of hypocotyls up to 30% gave no damages to hypocotyls nor any unfavorable effects on the growth of seedlings, and further, it was judged reasonable that, if urethane foam rubber is stucked to the inner face of fingers, it will alleviate disadvantages which might occur due to fluctuations of seedlings diameter or of pneumatic pressure.

In manual grafting, grafting clips are used to fix scions to stocks. A certain kinds of alternative fixing methods including those by glue or various adhesive tapes were examined, but conventional grafting clips were found appropriate from the view point of work rate and adhesion of grafted plants.

## 3. Examination of the Feasibility of Mechanical Grafting using a Prototype

A prototype of grafting machine was manufactured which embodies the findings on fundamental techniques above cited.

Slitted plates were prepared as hangers: scion and stock seedlings are hung to the respective hanger, thus the upper edges of the slits bear the seedlings at the joint point of cotyledons and hypocotyl of seedlings which stand for the standard point for cutting. When the machine starts, the hung seedlings are gripped by respective hands and transferred to the cutting mechanisms; the cutters in turn starts, cuts and stops; then the cut seedlings are transferred to the due position so as the cut section of scion and stock faces each other correctly (positioning); a grafting clip is brought to the grafting point and pinches the scion and stock to combine them together (clipping); the clipped seedling is discharged from the machine. From the beginning of gripping till the end of these stages, the hands keep to pinch seedlings, thus minimizing the influence of the variance of shape of seedlings due to growing conditions.

The time required to perform a single sequence of these sequence-controlled stages was 7 seconds. The cutting performance of stocks (i.e., the rate of successful cutting of cotyledon and growing point at once) varied from 10 to 80% due to the variation in the angle between petioles. Clipping failed when transferred clips come into contact with petioles. Thus the rate of successful operations was as low as 83% at the stage of positioning, 65% at the clipping stage (mechanical success), and 60% after curing (adhesion or physiological success).

Though improvements to heighten the accuracy of the cutting action of stocks and the way of clipping were seen necessary, the technical elements embodied in the prototype positively demonstrated the feasibility of development of grafting machine.

#### 4. Sequential Grafting by an Experimental Model

An experimental model was manufactured in which a certain number of additional new technical elements were embodied besides those verified with the prototype. This model was designed to graft 20 couples of scion and stock sequentially in a single run.

A cutting mechanism of rotating arm type was adopted with which very smooth and neat cutting was secured. But in some cases, stocks moved a little away from the due position on the hanger while the circular plate with 20 hangers on its circumference rotated to bring stocks to the gripping mechanism, which resulted in a poor rate of successful cutting as low as 50%. The rest of the technical elements worked well as expected.

In a single run of the model, it could produce 20 grafted plants in

approximately one minute, thus the rate of work was about 10 times of that by manual grafting. The work quality was almost the same as manual grafting, i.e. 98%, 95% and 87% for successful positioning, clipping and adhesion respectively.

The influence of mechanical grafting on yields and quality of cucumber was investigated in comparison to manually grafted seedlings, and no significant differences were recognized. In growing practices of grafted plants, no problem was found too.

Grafting by the model was examined also for melon and watermelon. As for melon, successful positioning rate was 95%, successful clipping 95% and successful adhesion 78%. For watermelon, these ciphers were 90%, 78% and 78% respectively.

Thus the model was thought applicable also for these crops.

## 5. Practicability of a Demonstration Model

Based on the techniques developed through the prototype and experimental model, a demonstration model was manufactured, in which two major technical advancements were incorporated; continuous feeding of seedlings to the model was made possible, though manually, and grafting clips had only to be thrown into the parts feeder unit of the model, which means preliminary alignment of clips was made needless and clips were fed automatically to the clipping unit.

The experimental model was offered for a series of practicability tests carried out in the Horticulture Experiment Stations in Saitama and Iwate Prefectures, where 8sets of grafting tests were conducted producing more than 7,000 grafted seedlings.

For a smooth group work five workers were needed; two for feeding of seedlings to the machine, one for supplying seedlings to the feeding workers and removing the grafted seedlings off the machine to deliver them to the last two workers who plant them in growing pots.

The rate of work for cucumber was 11~14 seedlings per minute. As for the work quality of the model, positioning rate was over 90%, and among them less than 5% failed in subsequent clipping and adhesion stages.

The successful cutting rate was more than 95%. This was achieved through improvements newly added: immediately after seedlings were hung on the hanger, they were gripped and transferred to the cutting device, and while cutting, petioles were supported.

Through these tests, the practicability of the model could be affirmed.

## 6. Development and Provision of Grafting Robot

The technologies developed through this research were transferred to an agricultural machinery manufacturing company, and in October 1993, the company began to put grafting machine on market under the name of Grafting Robot. The specifications of the Robot are: overall length 2,100mm, overall width 1,340mm, overall height 1,025mm and mass 215kg. It is powered by electricity, and working elements are operated directly electrically or by compressed air generated by an electrically driven air compressor.

The authors investigated the conditions of practical use of Grafting Robots at two nursery enterprises.

A nursery company in Chiba Prefecture adopted a Grafting Robot and produced more than 200,000 grafted seedlings from the end of March to the end of April of the surveyed year. The seedlings were shipped by their own brand and by OEM. Clogging of clips in the parts feeder unit was picked up as a problem to be improved.

A nursery cooperative in Kyoto Prefecture purchased two Robots, and the members of the cooperative used the Robots by themselves by turns. The total number of grafted cucumber seedlings produced in February and March of the same year amounted as many as 300,000.

Both the company and cooperative installed the Robot in their proprietary vinyl houses. The former employed inexperienced male student part-time workers while the latter employed female part-time workers. Both of the owners expressed their satisfaction at the efficiency of the Robot.

Widespread adoption of grafting machines has a potential to make grafting so timely and labour saving that growers could supply fresh fruit vegetables stably and abundantly to consumers without bothered by the difficulties due to labour shortage. Moreover, nursery companies expect to expand their business scale through mechanical grafting of high value crops.

---

農業機械化研究所研究報告 第31号

平成10年3月 印刷・発行

Technical Report of the Institute of  
Agricultural Machinery No. 31

頒価1,050円

〒331-8537 埼玉県大宮市日進町1丁目

生物系特定産業技術研究推進機構

Nisshin, Omiya, Saitama, Japan  
Tel. 048-654-7000

農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

---

印刷・製本 / 株式会社 三 元 社