

ISSN 0387—8139

農業機械化研究所報告

第 17 号

Technical Report
of the
Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusho)
Omiya, Saitama, Japan
No.17 March 1982

農機研報

Tech. Rep.

Inst. of Agric.

Mach.

17 : 1—63

1982

昭和 57 年 3 月

農業機械化研究所

埼玉県大宮市日進町 1 丁目

農業機械化研究所

(Institute of Agricultural Machinery)

編集委員会

愛 甲 一 郎 (委員長)

武 長 孝

伴 敏 三

奥 井 和 致

平 田 孝 三

金 津 豊 彦

Editorial Committee

Ichiro AIKO (Chief)

Takashi TAKENAGA

Tosizo BAN

Kazutomo OKUI

Kozo HIRATA

Toyohiko KANATSU

農業機械化研究所報告 第17号 (昭和57年3月)

目 次

1. 平田孝三・長木司・小川幹雄：リンゴ用大型箱果実収容装置の試作研究…………… 1
2. 倉田勇・市川友彦・猪之奥康治：水平循環式栽培装置の開発研究……………15
3. 小泉武紀・小野田明彦：真空冷却施設の調査研究……………51

Technical Report of the
Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusho Hokoku)
No. 17 (March 1982)

CONTENTS

1. Kozo HIRATA • Tsukasa NAGAKI • Mikio Ogawa : Development of Automatic Bin Filler for Fresh-Market Apples..... 1
2. Isamu KURATA • Tomohiko ICHIKAWA • Kouji INOOKU : Development of Horizontal Circulating Culture System.....15
3. Takenori KOIZUMI • Akihiko ONODA : Outlines of Vacuum-cooling Plants Operating in Nagano Prefecture and Some Experiments carried out in Relation to These Plants.....51

リンゴ用大型箱果実収容装置の試作研究

平田孝三*・長木 司*・小川幹雄*

1982-01-07 受理

抄 録

平田孝三・長木 司・小川幹雄：リンゴ用大型箱果実収容装置 (bin filler) の試作研究。
農機研報 17: 1—14 (1982)

果実の収穫やハンドリングを機械化するための重要な要素となる bin filler の試作研究を行った。bin filler は果実を大型箱 (bin, 以下ビン) に収容する装置で、能率的にしかも傷の発生を防ぎながら収容する機能をもたなくてはならない。本研究は生食用リンゴを対象にして行った。試作した装置はリンゴを搬送するコンベヤとターンテーブルから成る。コンベヤはビン上部で下方に折れ曲がりリンゴをビン内部まで搬送できることが特徴である。したがって果実をすでに収容されている果実堆積面のごく近くで排出することが可能である。また、ビンはターンテーブルによってゆっくり回転させ、コンベヤから排出される果実をビン内部に分散させた。更にコンベヤ端部の高さ及びターンテーブルの回転速度は果実の量に応じて自動調節した。装置を試験に供した結果、毎分243個のリンゴを収容することが可能で、傷果発生率は品種ふじで6.8~8.7%であった。

1. 緒言

我が国のリンゴの収穫作業は自動車や動力運搬車等の導入によって省力化が進められてきた。しかし、基本的な作業方法に変化がなく、大幅な能率向上とはなっていない。手かご等に収穫したリンゴを20kg入りの容器に移し、圃場から搬出する方式が現在も一般的である。つまり果実を小さな単位でハンドリングすることが低能率の要因になっている。これを合理化するためにビンを用いることが有効な手段であり、米国ではすでに一般化している。本研究は大きな容量をもつビン内に、生食用リンゴを能率的に収容する装置の開発を主題にしたものである。

本論文は緒言と概要を含めて7章から構成した。2では本研究の背景と目的を述べ、3では試作機的设计目標を記した。4では最終試作機(3号機)に至るまでの研究の経過、特に1, 2号機の試作とその結果について記述した。さらに5では3号機の構造について詳述し、6では3号機の作業性能試験とその結果について述べた。

本研究を行うにあたり農林水産省落葉果樹農業研修所並びに秋田県果樹試験場には多大の御便宜をいただいた。ここに深く感謝の意を表する次第である。

2. 研究の背景と目的

果実や野菜の収穫を省力化し、機械化するには、大量の収穫物を能率的にハンドリングする技術が不可欠である。米国では古くからこの研究が行われ、機械収穫された加工用収穫物はもちろんのこと、手収穫する生食用果実のハンドリングにビンを使用することによって bulk handling system を完成させ収穫作業の大幅な省力化を実現した。

わが国の果実の収穫作業にもまた、運搬の能率化によって省力化が進められてきた。しかし、これは人力運搬に代わって各種運搬機が導入され、また、農道建設の進捗によって自動車が使用されるようになったからで、米国の場合とは発展段階において大きい差がある。そして依然20kg入りのコンテナが収穫箱として利用されその荷役の繰り返しのために低能率を脱し切れない実情にある。しかし、米国においてもハンドリングの難しいリンゴ等の生食果実のビンへの収容は現在なお人力で行っており、bin filling の研究が進められている¹⁾。この研究はさきに実施したリンゴの振動収穫、収穫作業台の研究²⁾に端を発したものであるが、傷果発生率の軽減など困難な問題が多く以上の研究と切り離して研究を進めてきた。

リンゴのビンによるハンドリングは圃場において荷役機械を要するなどわが国での実用化には困難が予想されるが、馬鈴薯で実用化されているようにトラック上にあ

* 研究第4部

る空のビンへ収穫果を収容できれば、その後のハンドリングは極めて単純化され能率的なものになる。また、取扱いの最も難しいリンゴのビンへの収容が可能になるならば、この技術をもってその他の果実や野菜の bin handling 実用化を刺激するものと考えられる。

以上述べたように、この研究は現状の収穫システムにおけるハンドリングに要する労力の大幅な低減を目的とし、その基本的な技術の開発を行なおうとするものである。

3. 設計目標

bin filler は作業台との組合せを前提に試作することにした。試作に当たり装置の備えるべき性能として、次のような目標を設定した。

(1) 作業能率

作業台のような安定した足場が与えられた場合の採果能率は1人当たり15~20個/分である³⁾。したがって4人で作業を行なうことを想定して bin filler の処理能力は60~80個/分以上にする。また、9 kg入りの収穫袋で間かけつ的に供給した場合も処理できるものにする。

(2) 傷果発生率

生食用リンゴを対象にするので、装置による傷果発生率を10%以下におさえる。なお傷果の判定基準は表1に

表1 傷果の判定基準

Table 1 Ratings of fruit damage for the bruise test

傷のランク	判定基準
無	全く傷のない果実
小	直径10ミリ以下の傷が1カ所ある果実
中	直径10~15ミリの傷が1カ所、又は「小」の傷が複数カ所にある果実
大	直径15ミリ以上の傷、又は果皮の破れた果実

よるものとする。

(3) 作業精度

ビンのように大きな容器ではリンゴを均平に堆積させないと所定量収容できず、同じ容量のビンでもそのつど差異を生ずる。また、部分的に果実の落差が大きくなったり、リンゴの堆積面が崩壊して傷果発生の大きな要因にもなる。したがって装置はリンゴをビン内に極力均平に収容し得る機能をもたなくてはならない。

4. 試作研究の経過

昭和49年に1号機の試作を開始して以来、今日に至るまで3型式の bin filler を試作した。いずれも作業台に装着することを前提にしているため、リンゴをビンの位置まで搬送する機構と減速しながらビンに均平に堆積させる機構について試作研究を行ってきた。

1号機の試作研究では、リンゴの落差を利用して無動力で収容する方法を検討した。なお1号機は秋田県果樹試験場の要請もあり、同場のけん引式作業台に装着した。2号機は1号機の発展型で、緩衝機構を強化するとともに装置を自動化した。しかし1号機、2号機を通じて傷果の発生率が高く、その改善が大きな課題として残された。そこで3号機ではそれまでの落差を利用した方式を改め、リンゴをコンベヤでビン内部まで搬送する方式にした。また、作業中はビンを回転させ、しかもその速度を果実の供給量に応じて制御する方式にした。この結果傷果の発生率は大幅に軽減され、ほぼ所期の目標に達した。

4.1 1号機2号機の概要

ビンによってリンゴの収容量に差異が生じないようにするためには、極力均一な高さに堆積させなければならない。そこで1号機ではビン底面に対してリンゴを左右及び中央の2方向に、ほぼ均等に振り分ける方式にした。その方法として図1に示すとおり10°の傾斜角度を

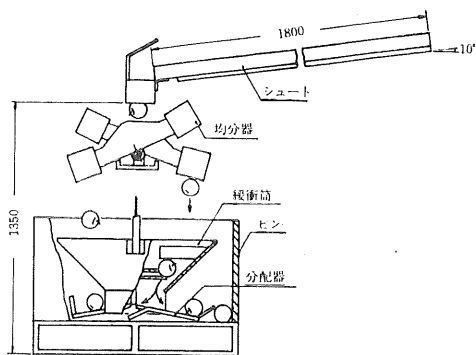


図1 試作1号機の概要

Fig.1 Bin filler No.1

もつシュート上に投入されたリンゴをビン上方に導き、均分器によってまず2方向に均分する。均分されて下方に落下したリンゴを緩衝筒で減速し、最終的に分配器で3方向に分配した。1号機ではシュート及び均分器の位置は固定し、緩衝筒と分配器が一体でビン底面と均分器

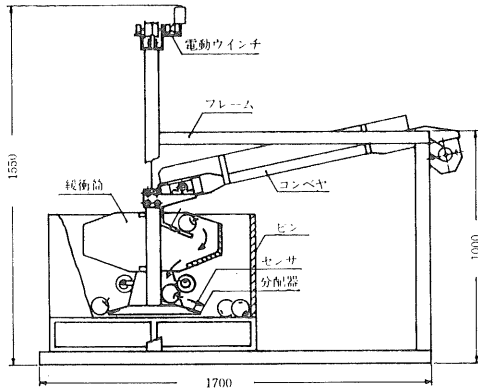


図2 試作2号機の概要
Fig.2 Bin filler No.2

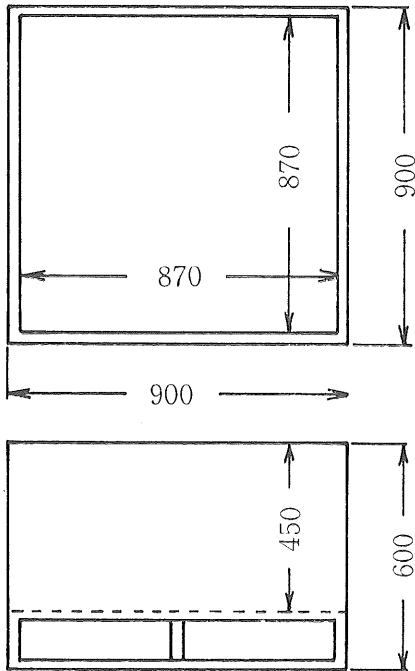
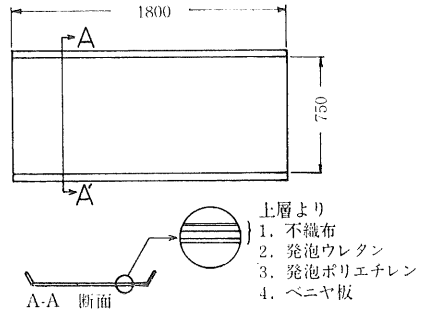
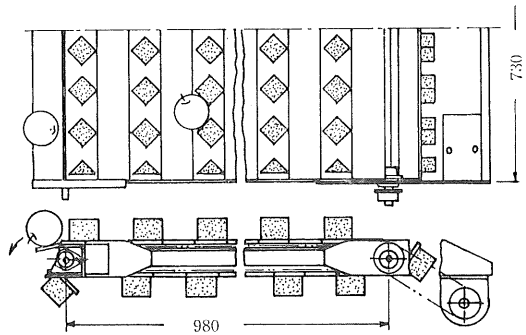


図3 ピン
Fig.3 Bin used for bin fillers No.1 and 2



(a) シュート (1号機)



(b) コンベヤ (2号機)

図4 果実搬送装置
Fig.4 (a) Chute, (b) Conveyor

の間を垂直に昇降する構造にした。この昇降操作は、リンゴの収容量を見ながら手動で行った。

この結果、ピンに所定量のリンゴを収容することが可能になった。しかし①各部の処理能力を高めるとともに自動化して能率を向上させること、②傷果の発生率を軽減することが次の課題として残された。そこで2号機はこの二つに重点をおいて試作を行った。

図2にその概要を示したが、シュートに変えてコンベヤを用い、これと均分器、緩衝筒及び分配器を一体化し相対的位置関係が変化しない構造にした。また、均分器と緩衝筒及び分配器の構造を簡略化して処理能力の向上をはかった。さらに分配器上にリンゴの堆積状態を検知するセンサを設け、分配器から堆積面までの落差をほぼ一定に保つよう一体化した装置を昇降させる構造にした。以上のように試作1号機、2号機とも基本的な収容

方法は同じで、ともに以下述べる果実搬送装置（シュート、コンベヤ）、均分器、緩衝筒、分配器等から成る。なお装置のリングと接触する部分はすべて緩衝材で被覆した。

1) ビン

ピンは木製で図3に示すとおり外形寸法が縦横ともに90 cm、高さ60 cm、重量40 kg、リング約150 kgの容量をもっている。これは荷役機械なしに4人で運搬できる限度と考えて設計したものである。本研究はリングの振動収穫に関する研究の一部として開始したことはさきに述べたが、このピンはその当時試作したものである⁴⁾。

2) 果実搬送装置

リングを作業者の位置から均分器上方まで搬送する装

置である。その構造を図4・a、bに示した。1号機では果実搬送装置として傾斜したシュートを用いた。その傾斜角度は品種スターキング等比較的転がりにくいリングが円滑に搬送される 10° に決定した。シュートは図4・aに示すとおりベニヤの骨組みを発泡ポリエチレン、発泡ウレタン、不織布を張り合わせた緩衝材で被覆した。2号機では装置の昇降に伴って果実搬送装置の傾斜角度が変わるので図4・bに示すようなコンベヤを用いた。その構造はチエンコンベヤのクロスバーに発泡ポリエチレンの板を接着し、その上に多数のウレタン突起をつけたものである。このコンベヤは油圧モータで駆動した。

3) 均分器

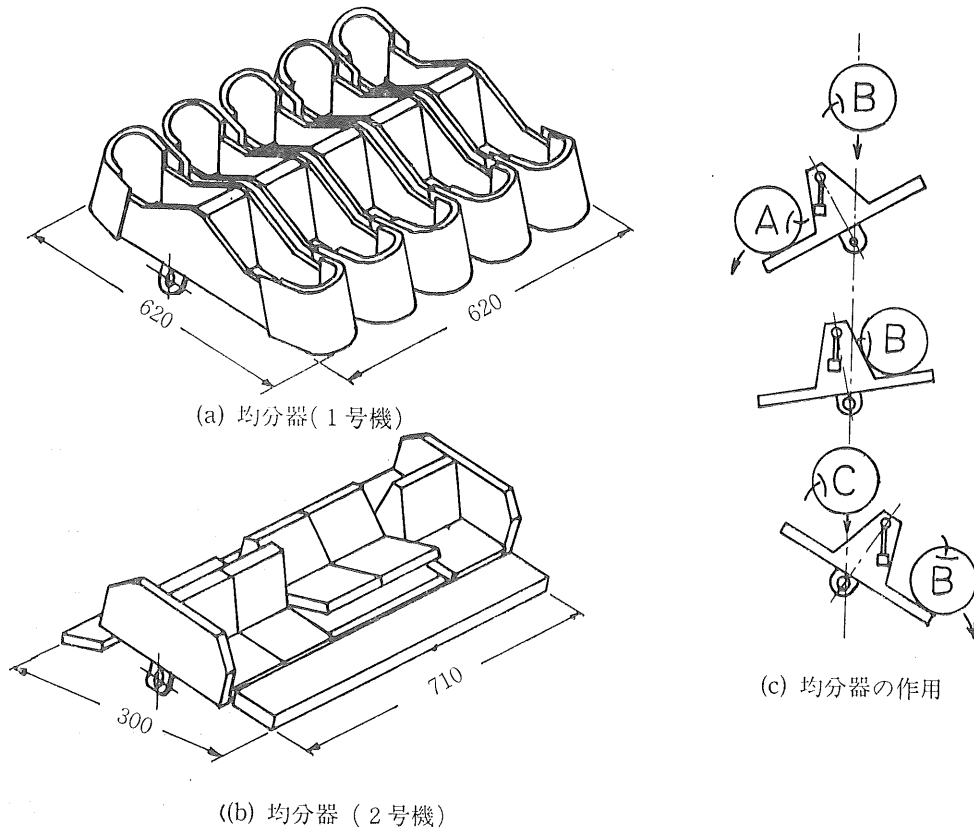


図5 均分器
Fig.5 Divider

均分器は果実搬送装置から排出され落下してくるリングを2方向に均等に振り分ける装置である。1号機及び2号機の均分器の構造を図5に示した。均分器は左右に素早く振れることが必要なので、発泡ポリエチレン製の軽量なものにした。また、動作を確実にするため内部に振子を設けて重心を移動させた。均分器は5個並列に配

た。これは3方向にすると構造上中央部へのリングの通路が狭くなり、詰まりの原因となることが1号機で確認されたためである。また、2号機は装置の昇降を自動化するため、左右の分配器にそれぞれ2つずつセンサを設けた。センサ上にリングが載ると重みで押し下げられ、マイクロスイッチがONの状態になる構造である。その

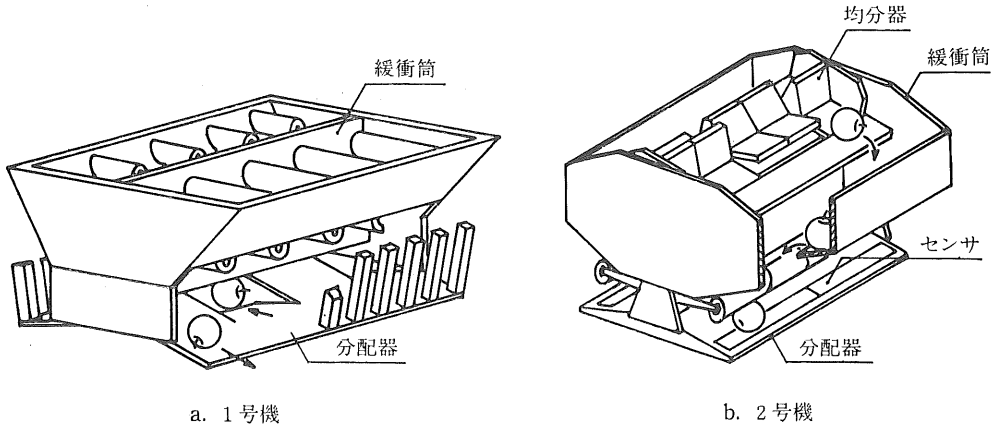


図6 緩衝筒及び分配器

Fig.6 Decelerator and distributor

置したが、1号機ではシュートの終端に固定し、2号機では均分器の構造を簡略化して緩衝筒内部に取り付けた(図6参照)。

4) 緩衝筒

図6に示した緩衝筒は均分器で振り分けられたリングを受けとめ減速する装置である。1号機では筒の内部に可撓性のピン(ウレタンフォーム製)を千鳥状に配置し、これによって自由落下するリングのエネルギーを吸収して減速を行った。また、2号機ではコンベヤから緩衝筒に至る果実落差が小さくかつ一定になったので、均分器同様緩衝筒の内部構造を簡略化した。これによって処理能力の向上をはかった。

5) 分配器

緩衝筒と一体構造をなす分配器はリングを最終的に減速してビン内に分配する装置である(図6)。1号機ではビン底面に対して左右と中央部の3方向に分配する構造にした。さらに分配器の左右の末端にはウレタンフォーム製のピンを配置し、リングの転がる速度を減速した。

2号機ではリングの分配方向は左右2方向のみにし

作用については次の項で述べる。

6) 試作機によるリングの収容方法

果実運搬装置に投入されたリングが均分器、緩衝筒、分配器を経てビン内に至ることは1、2号機とも同様である。1号機の収容方法は、①緩衝筒を下降させて分配器とビン底面との間隔をリングの直径程度に保つ。②収容を開始してビン内に堆積するリングの量が増してくると、分配器上に停滞するようになる。この時点で緩衝筒を引きあげる。③分配器上からリングが排出された後再び下降させて、分配器からの果実落差を最小限に保つ。以下この操作をくり返すが、装置の昇降は手動のウインチで行った。

2号機では装置の昇降は電動ウインチ(DC12V)で行い、この操作を自動化した。昇降動作を制御するセンサの働きを図7に示した。分配器上にリングが停滞してくるとセンサを押し下げ、4個のうち2個が作動するとウインチのスイッチが作動して装置が上昇する(図7.①、②)。リングが排出されてすべてのセンサがOFFの状態になると上昇は停止する(図7.③)。図8はこの方式でビンに収容されたリングの量とその時の装置の上昇距離

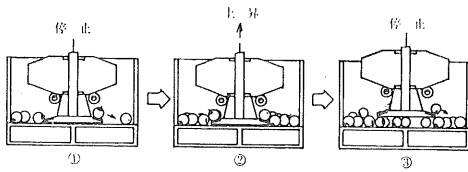


図7 センサの作用
Fig.7 Movement of decelerator and distributor
in response to sensor

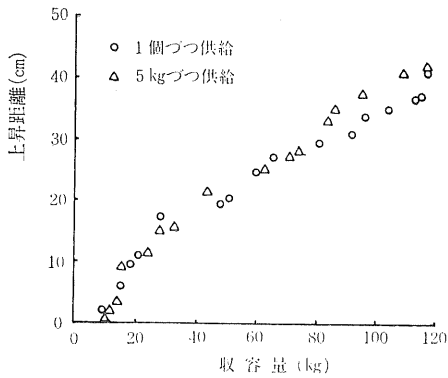


図8 取容されたリンゴの量と装置の上昇距離
Fig.8 Relation between the amount of apples in the bin
and the height of filler outlet

ュートに投入されたリンゴが所定量ビン内に収容可能になった。1号機で残された問題点の第1は装置内にリンゴが詰まる場合があることで、操作するものがこれを取り除いてやる必要があった。この現象は収穫袋で投入した場合に甚しく、シュートと均分器の間及び緩衝筒内部に多く発生した。第2は傷果の発生率が高いことであった。リンゴの中でも比較的傷のつきやすいゴールデンデリシャスでは、収穫袋からシュートに投入した場合、表2に示すとおり67.2%の傷果発生率であった⁵⁾。傷果発生の主な原因は、緩衝筒内部でのリンゴ同志の衝突や装置を上昇させる際に生じる堆積面の崩壊などであった。特に緩衝筒内部にリンゴが詰まった場合には、後続のリンゴが減速されないまま衝突して大きな傷になった。

4.2.2 2号機の試作結果

2号機の試作に当たっては特に4.2.1で述べた1号機の問題点の改善に留意した。その結果リンゴの詰まりは解消し、自動的に収容が可能になった。また、表3で明らかかなように傷果の発生率も減少し、特に直径15ミリ以

表2 1号機による傷果発生率*
Table 2 Percent of damaged apples shown by the bin filler No.1

品 種	供給方法	ランク別発生率 (%)				傷果発生率** (%)
		無	小	中	大	
ゴールデン デリシャス	1個ずつ	12.2	37.4	29.5	20.9	50.4
	約9kgずつ	0	32.8	41.2	26.0	67.2
ふ じ	1個ずつ	51.4	29.9	10.7	7.9	18.6
	約9kgずつ	38.2	27.6	18.7	15.4	34.1

* この試験は秋田県果樹試験場が行った。
(出所) 昭和50年度寒冷地果樹に関する打合せ会議資料 296 p
* * ランク「中」以上の傷の発生率

を測定した結果を図示したものである。上昇距離はビンの底から分配器最下部までの高さである。

4.2 試作結果

4.2.1 1号機の試作結果

1号機では装置の手動操作に常時1名を要するが、シ

上の大きな傷の発生が少なくなった。この理由としては緩衝筒内での詰まりがなくなったことと、コンベヤから緩衝筒に至るまでの果実落差が小さくしかも常に一定になったことが考えられた。しかし、この傷果発生率については1号機と比較して改善はされたものの硬度の高い

表3 2号機による傷果発生率
Table 3 Percent of damaged apples observed for the bin filler No.2

品 種	供給方法	ランク別発生率 (%)				傷果発生率 (%)
		無	小	中	大	
ゴールドン デリシャス	約9kgずつ	20.0	28.3	41.7	10.0	51.7
ふ じ	1個ずつ	78.4	12.0	6.6	2.7	9.3
	約9kgずつ	65.6	18.7	12.3	3.2	15.5

ふじの場合でも9kgずつ供給した場合は10%以下にすることはできなかった。その原因としては均分器及び緩衝筒の簡略化によって詰まりがなくなった反面、果実同志の衝突が避けられなかったことがあげられる。また、リンゴの左右への振り分けに片寄りが生じる場合があり、少ない側で分配器からの落差が大きくなることも原因として考えられた。片寄り収穫袋で一度に大量の果実をコンベヤに供給した場合に起こる傾向があった。これは

コンベヤから均分器に落下するリンゴの間隔が短いと十分に均分の機能を果たさなかったためと考えられた。

2号機までの試作研究の結果リンゴを自動的にビンに収容することが可能になったが、傷果発生率の軽減が大きな問題として残された。1号機、2号機では落下するリンゴをいかに減速するかを重点にして試作研究を行った。しかし、減速効果を上げると処理能力が低下し、リンゴの詰まりを生じて傷果の発生を助長する結果になっ

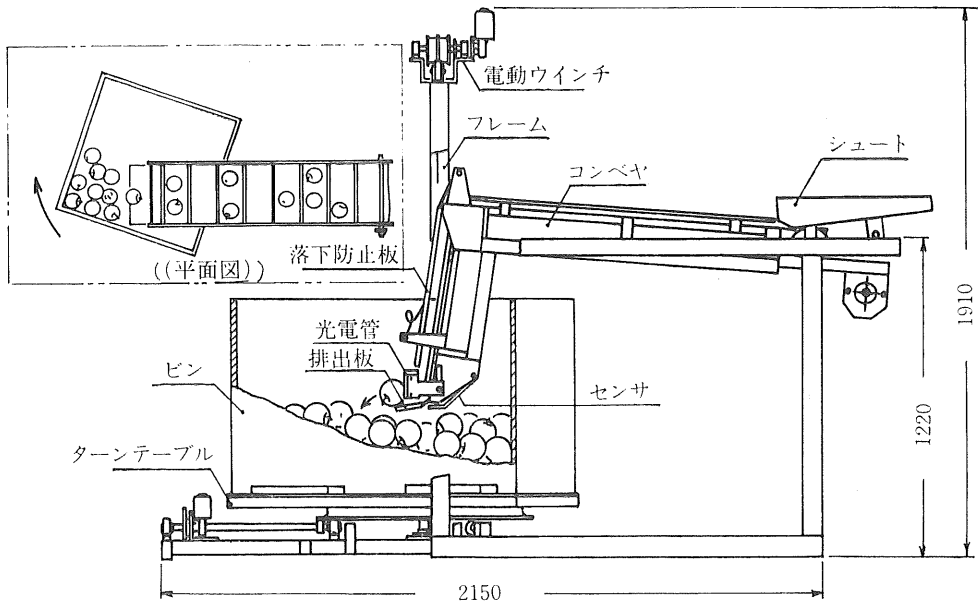


図9 試作3号機の概要
Fig.9 Bin filler No.3

た。このことから落下する果実を減速しながら、しかも能率よく収容するという相反する条件のもとで、この方式では傷果発生率を軽減することは困難であると判断した。

5. 3号機の試作

2号機までの試作結果から傷果発生率をさらに軽減して目標に達するためには、①果実搬送装置からビンに至る間のリンゴの落差を解消すること、②リンゴがビン内の特定位置に集中して排出される構造を改めること、が必要であると考えた。そこで3号機では、①の落差を解消するため、ビン内部までコンベヤでリンゴを搬送する方式にした。また、②の解決のためにビンを大型化し、さらにこれを回転させながら収容する方式にした。

試作3号機の概要を図9に示したが、装置はコンベヤ、ターンテーブル及び制御機構から成っている。リンゴをコンベヤ上に供給するとビン内部まで搬送され、終端部で排出される。コンベヤから排出されたリンゴは排出板を経由してビン内に収容されるが、コンベヤや終端部は常にリンゴ堆積面と自動的に一定距離を保つ方式にした。また、収容中はビンを回転させるが、その速度をリンゴの量に応じて自動的に調節する機能をもたせた。

5.1 ビン

3号機ではさきに述べた理由から、2号機までに用いたビンより大型のものを対象にした。その外形寸法は図10に示すとおり縦横115cm、高さ77cmのプラスチック製である。これはASAE規格のビン寸法(120cm×120cm×72cm)とほぼ同じ大きさのものである。

5.2 コンベヤ

5.2.1 構造

リンゴをビン内部まで送り込むためには、水平方向及

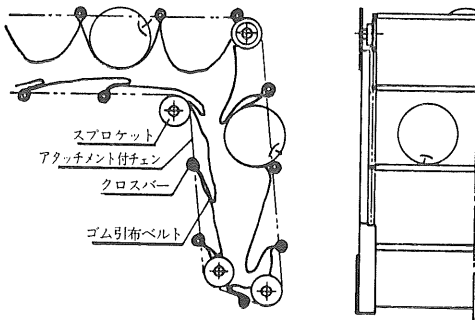


図11 コンベヤの構造
Fig.11 Conveyor construction of the bin filler No.3

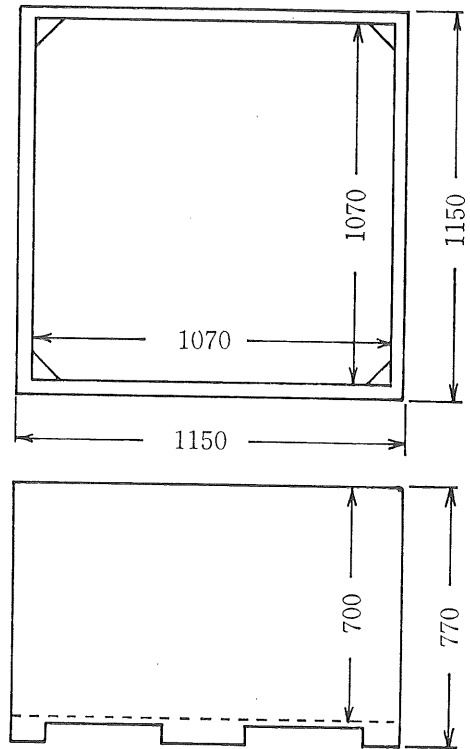


図10 ビン
Fig.10 Bin used for the bin filler No.3

び垂直面を下方方向に搬送可能なコンベヤが必要である。そこで図11のとおりチエンコンベヤのクロスバーにゴム引布ベルトをたるませて張り、果実を包み込みながら搬送する構造にした。これをL字型に曲げ、リンゴを下方に搬送してビン内部に送り込む方式にした。

5.2.2 排出板

コンベヤの終端部には排出板を設け、コンベヤから排出されるリンゴの緩衝を行った(図12)。この排出板は果実のビン中央部への集中的な堆積を防ぐために、ビン中心から外側に向けて下向きに傾斜させた。

5.2.3 排出機構

3号機のコンベヤは果実を包み込みながら搬送するため、小粒のリンゴは排出不良になる場合があった。この対策としてコンベヤ終端部にリンゴを強制的に押し出す排出ローラ及び押し出しローラを付けた。その構造及び機能を図12に示した。なお、コンベヤは油圧モータで駆

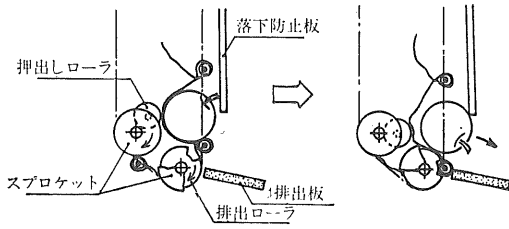


図12 コンベヤの果実排出機構
Fig.12 Side view of the filler outlet

動したが、その速度はリンゴの排出が良好に行われる13.9cm/sec (油圧モータ35rpm)にした。

5.2.4 果実落下防止板

図9及び図12に示すようにコンベヤのリンゴを下方に搬送する部分には果実落下防止板を設けた。これはコンベヤ上にリンゴが大量に供給された場合に、この部分であふれて落下するのを防ぐためである。さらに落下防止板はコンベヤから排出されるリンゴを減速する機能も果たす。

5.2.5 コンベヤ高さ制御機構

コンベヤ最下部に設けた検出板にリンゴが当たるとマイクロスイッチが作動し、リンゴから離れるまでコンベヤが上昇する(図13・a)。上昇が停止するとその時点から約1.5秒後に下降し、検出板にリンゴが当たると停止して再び上昇する。このような小さな昇降動作をくり返すことによって堆積面に追隨させた。また、排出板にも同様の作用をするマイクロスイッチを備えた。これによって排出板がコンベヤから排出されるリンゴの流れに対して逆傾斜することを防止した(図13・b)。

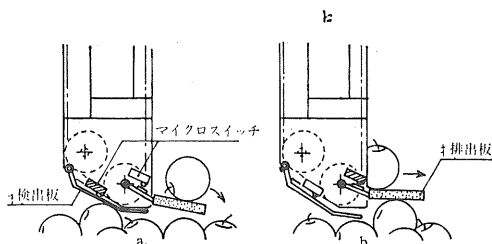


図13 果実堆積面の検出機構
Fig.13 Sensing plate and distributor

5.3 ターンテーブルの構造と回転速度制御機構

図14に示すターンテーブルは回転の中心を軸受を介してフレームに固定し、外周の3点をローラで支える構造

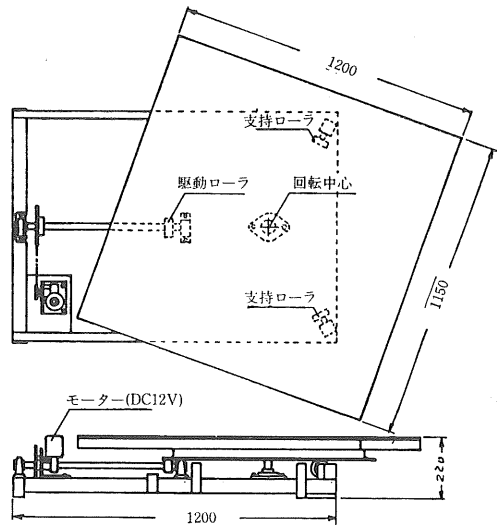


図14 ターンテーブルの構造
Fig.14 Turntable unit

にした。これらの3個のローラのうち1個をウォーム減速機付きの直流モータで駆動し、摩擦力でターンテーブルを回転させた。このターンテーブルにピンをのせて、ゆっくり回転させながらリンゴを収容する方式にした。この際回転速度を一定にした場合、その回転速度に対してリンゴの供給量が過大になると排出板上に停滞し排出不良となった。甚しい場合にはリンゴがコンベヤから完全に排出されずクロスバーで圧碎されそ。また、供給量が少なくなったり、停止した場合には均平に收容することができなかった。いずれの場合にも傷果発生の原因となったので、リンゴの投入量に応じてピンの回転速度を制御する必要があった。

ターンテーブルの駆動には低速、高速の二段変速の直流モータを用いた。このモータをリンゴの量に応じて停止、低速、高速の3段階に切り換える方式にした。装置の排出板についてはさきにふれたが、その両端に光電管を設け、通過するリンゴの状態を検知して自動的に切り換えた。その作用は次のとおりである(図15参照)。

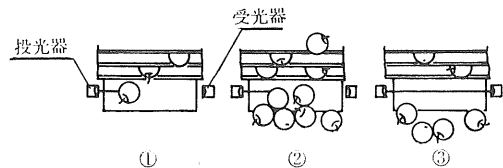


図15 排出される果実量の検出機構
Fig.15 Sensing the flow rate at the outlet

①コンベヤからリンゴが排出され光電管の光がしゃ光されると、ターンテーブルは低速で回転し始める。1度しゃ光されると2秒間はそのまま回転し続ける。したがって2秒以下の間隔でリンゴが通過すれば、ターンテーブルは連続回転する。②リンゴの排出量が多くなって低速回転では処理しきれなくなると排出板上に停滞してくる。したがってしゃ光された状態が続くことになるが、この状態が1.5秒以上続くとターンテーブルは高速回転し始める。③排出板上からリンゴが排出されて光が通じると再び低速回転にもどる。

6 試作3号機の作業性能試験

bin filler の試作研究は、3号機の試作研究によってほぼ所期の設計目標に到達する見通しを得た。そこで試作機の作業性能及び実用上の問題点を明らかにするための試験を行った。試験は特に作業能率、精度、傷果発生率を明らかにする目的で行った。

6.1 試験方法と結果

6.1.1 作業能率

試作した bin filler は作業台などの収穫装置の一部となるものであり、現段階では収穫作業能率を知ることはできない。したがって単位時間当たりにビンに収容することのできるリンゴの量(個数又は重量)を、装置の作業能率とした。試験は特に能率と係わりの深いビン回転速度制御機構の特性を明らかにすること、装置の能率の限界を明らかにすることを目的で行った。

供試したリンゴの品種は紅玉及びふじで、両方とも大きさは同様であった。リンゴは1~3名の作業者が手でコンベヤ上に供給した。供給は表4に示す方法で行い、

表4 コンベヤへの供給方法
Table 4 Input rate of filling test

No.	供給人員(人)	作業員1人の供給方法	平均供給速度(個/分)
1	1	6秒間に1個	10
2	1	6秒間に2個	20
3	1	3秒間に2個	40
4	1	2秒間に2個	60
5	2	3秒間に2個	80
6	2	2.4秒間に2個	100
7	2	2秒間に2個	120
8	3	2.4秒間に2個	150

それぞれについてビンの低止時間、低速回転時間、高速

回転時間、ビン回転数を測定した。ターンテーブル回転速度は低速0.60rpm、高速0.96rpmに設定し、リンゴの供給速度を徐々に増加して能率の限界を調べた。

ビン回転速度制御機構の働きによって、果実供給速度の増加に伴い図16に示すように、積算回転速度を時間で

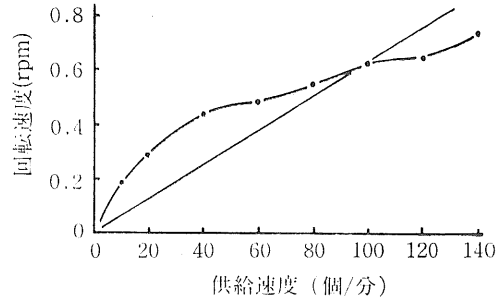


図16 果実供給速度とターンテーブル回転速度の変化
Fig.16 Relation between input rate and revolution speed of turntable

除した平均回転速度が上昇した。この時のビンの停止時間、低速回転時間、高速回転時間の割合を表5に示した。停止時間は漸減しながら120個/分で0になり、高速

表5 果実供給速度とターンテーブル回転速度の変化
Table 5 Relation between input rate and revolution speed of turntable

No.	供給速度(個/分)	停止時間割合(%)	低速時間割合(%)	高速時間割合(%)	平均回転速度(rpm)
1	10	68.5	31.5	0	0.19
2	20	54.2	45.8	0	0.29
3	40	24.2	75.0	0	0.44
4	60	25.8	73.6	0.6	0.48
5	80	9.7	87.7	2.6	0.55
6	100	2.4	83.3	14.3	0.62
7	120	0	84.9	15.1	0.64
8	150	0	52.6	47.4	0.73

回転時間は60個/分を基点にして次第に増加した。そして150個/分では排出板にリンゴが停滞し、作業が不可能となった。したがってビンの回転速度を低速0.60rpm、高速0.96rpmにした場合の能率の限界はほぼ140個/分であることがわかった。

試験に用いたビンにリンゴを互いに軽く接する程度に並べると、ふじの場合約160個並べることができた。したがってビン1回転当たり160個のリンゴが収容されるよう制御することが理想的であると考えられた。この時の果実供給速度とターンテーブル回転速度の関係が図16の直線である。この直線と試作機の平均回転速度の実測値を比較すると100個/分以下ではやや過大となり、それ

以上では低くなった。これは試作機の場合、ビン回転速度が低速から停止及び低速から高速に変わる際に1.5～2.0秒間のタイムラグがあるためと考えられる。しかし、果実の供給速度が70～140個/分の間では、実用上問題ない程度に良好な収容が可能であった。

また、収穫袋から供給する場合はビンの回転速度を低速1.00rpm、高速1.61rpmに設定して行った。その際1袋分の供給終了後、次の袋の供給を開始するまで4秒以上の間隔をおく必要があり、それ以下では供給過多となった。1袋分に相当する約9kgずつのリンゴを収容した時の能率は毎分243個であった(表6)。

表6 9kgずつ供給した場合の能率
Table 6 Filling rate of the bin filler No.3

供試品種	箱入量		所要時間 (分)	能率	
	個数(個)	重量(kg)		(個分)	(kg/分)
紅玉 スターキング レッドデリシャス	795	169.8	3.27	243	51.9

6.1.2 作業精度

ここでいう作業精度とはリンゴ堆積面の均平度について

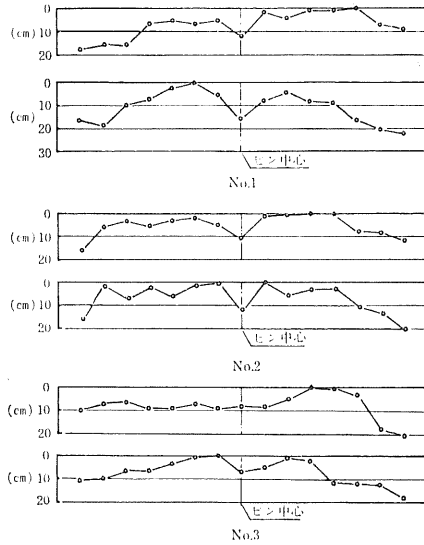


図17 ビン対角線上における堆積面の均平度
Fig.17 Surface level of apples deposited by the bin filler No.3 on the diagonal of the bin

にし、各点を表示した。この結果リンゴの堆積面の断面形状は各試験区とも大差はなく、ビン中心部及び四すみで堆積高さが低かった。これは試作機のコンベヤ及び排

表7 精度試験の条件
Table 7 Conditions of fruit distribution test

No.	供試品種	箱入量 (kg)	ターンテーブル回転速度	箱入装置への供給方法
1	ゴールドデリシャス	151.1	0.44rpm一定	82個/分ではほぼ定量供給
2	紅玉 スターキング レッドデリシャス	169.8	自動制御 (低速0.60rpm 高速0.96rpm)	82個/分ではほぼ定量供給
3	ふじ	225.4	自動制御 (低速1.00rpm 高速1.61rpm)	収穫袋で9kgずつ供給

てである。均平度の指標として一つはビンの対角線上でビン上面を基準にしてそこからリンゴ堆積面までの距離を測定した。測定はビンの中心を基点として10cm間隔で行った。

ビンの回転速度制御機構は、果実の供給量が変動しても精度良く収容する目的のものである。したがって試験では表7に示す三つの方法でコンベヤにリンゴを供給し、それぞれについて均平度を調査した。図17はその結果を示したものである。

図17のNo. 1, 2, 3, は表7のナンバーにそれぞれ対応している。ビン上面から堆積面までの距離を測定したものであるが、図では測定点の中で最も高い部分を基準(0)

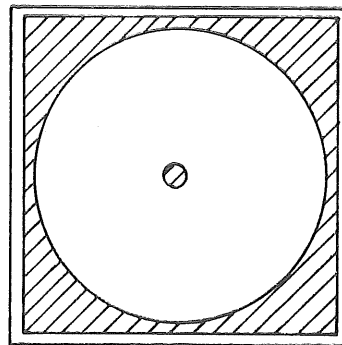


図18 排出板の軌跡
Fig.18 Bin filler locus on the bottom of bin

出板の有効幅が40cmで、これらがビンの回転に伴って相対的に円を描くようにビン内を移動してリンゴを排出するためである(図18参照)。排出板はビン中心から外側に向けて傾斜させているが、この軌跡からはずれるビンの四すみ及び中央部(図18斜線部)はリンゴの量が少なくなった。収穫袋で供給した場合に比較的この傾向が緩和された。これはコンベヤ上に大量のリンゴが重なり合って供給されたので、排出板上で転がる際に互いに分散し合う作用をしたためと考えられた。

6.1.3 傷果発生率

bin filler 1号機の試作開始以来、傷果発生防止が最も大きな課題であった。試験では実際の収穫作業を想定して2通りの方法でリンゴを供給し、それぞれについて傷果発生率を調査した。

第1にリンゴをコンベヤに1分間に80個の割合で定量

上2つの試験の対照区として、装置を用いずに収穫袋から直接ビンに収容した場合についても調査を行った。

傷果の発生率の調査結果を表8に示したが、傷の大部分は押傷であった。この結果ふじの場合には目標値10%を下まわった。また、収穫袋を用いたNo.2の方が傷果発生率が低かったが、この原因として一つには硬度の違いが考えられた。さらに大量のリンゴが接触しながらコンベヤから排出されるため、互いに緩衝し合いながら収容されたことも一因と思われる。また、定量供給の区では押傷以外に細い「ひっかき傷」の発生が見られた。これは供試したリンゴが収穫後7日経過したため果梗が硬化し、これが傷の原因になったと考えられた。

試験ではさらにこれらの傷果がどこで発生したかを調査した。表9は試験No.2(表8参照)実施中に収穫袋及び装置のコンベヤ上からリンゴをサンプリングして傷

表8 試作3号機による傷果発生率調査結果
Table 8 Percent of damaged apples occurred by the bin filler No.3

No.	試験の条件	果実平均硬度* (Lbs)	箱入量		傷果発生率 (%)
			個数(個)	重量(kg)	
1	82個/分**で定量供給	13.4	—	154.0	8.7
2	収穫袋から供給	15.3	963	225.4	6.8
3	装置を用いず収穫袋から箱入れ	15.3	1003	227.0	4.7

* Magness-Taylor 果実硬度計(貫入部直径8mm)により、果皮上から測定。

** 80個/分に設定したが、結果的に82個/分となった。

供給した場合である。リンゴの供給は2名で行った。リンゴの供給間隔が一定になるのを防ぐため、3秒間の任意の時点で2個のリンゴを別々にコンベヤに供給する方法をとった。このため試験中は3秒間隔で合図の音を出した。供試したりリンゴの品種はふじであるが、手かごで収穫した後7日間経過したものをを用いた。供試リンゴはあらかじめ全数を調査し、傷のあるものはその部分に油性インクでマークを付けた。

第2に収穫袋から供給した場合である。この試験は圃場で行った。したがってリンゴの傷は事前に調査せず、採取したものを直ちに試験に用いた。リンゴの採取は5人で行い、コンベヤへの供給は1名が専従で行った。以

表9 作業行程中の傷果発生率

Table 9 Bruises of apples sampled from harvest bag and loading conveyor

サンプリング位置	傷果発生率(%)
収穫袋	1.1
コンベヤ	4.2

果発生率を調べた結果である。これによるとコンベヤ上ですでに4.2%の傷果が発生している。この値は装置を用いずに収容した場合の傷果発生率4.7%とほぼ同じである。これらのことから試験No.2の傷果発生率6.8%のうち約 $\frac{2}{3}$ 程度が収穫袋からコンベヤに供給する際に発生し、残り約 $\frac{1}{3}$ がコンベヤからビン内に排出される際に発生したと考えられた。

7. 摘要

生食用リンゴの収穫作業における果実のハンドリングを省力化する目的で bin filler の試作研究を行った。収穫作業台に装着することを前提にした定置式の装置を試作し、3号機ではほぼ設計目標に達した。

1, 2号機ではビン上方に導いたリンゴを2方向に分けて落下させ、減速しながら収容する方法をとった。この方法では能率については目標をほぼ満足するものの、傷果発生率は品種ふじで9.3~34.1%, ゴールデンデリシャスは50.4~67.2%と高い値を示した。これを改善す

るため減速効果を高めると、装置の内部に果実が詰まって能率が低下し、大きな傷の発生原因にもなった。したがってこの方式では高能率と傷果発生率の軽減を両立させることは困難であることがわかった。これらの結果から、3号機ではコンベヤで果実をビン内部まで搬送する方法で落差を解消した。また、コンベヤから排出された果実を分散させるため、ビンをゆっくり回転させた。さらにコンベヤ端部は果実堆積面に追隨して昇降し、ビンの回転速度は排出される果実量に応じて自動制御する構造にした。3号機の試験の結果、毎分243個のリンゴが収容可能となり、傷果発生率も6.8～8.7%（ふじ）に軽減された。果実の最終的な堆積面はビン中央部と四すみで低くなった。その最も高い部分と低い部分との差は10～20cmであった。特にコンベヤからの排出量が多い時の方が、果実同志が互いに分散し合っって良好な堆積状態になった。

以上のように現在わが国の主力な品種であるふじでは、傷果発生率の点でわずかに人手に及ばないものの、機械で自動的にビンに収容し得ることを実証した。

引用文献

- 1) Berlage, A. G. : Pallet Container Filler for Fresh-Market Apples, *Trans Am Soc Agric Eng*, Vol. 24 No. 1, p. 68, 1981.
- 2) 平田孝三他3名：りんご用果実収容装置の試作研究，農機研究成績（昭46）—研究第Ⅱ部(1)，p.1-32, 1972.
- 3) 平田孝三他2名：りんご用収穫作業台（HA—4X型）の試作研究，農機研究成績（昭49）—研究第Ⅲ部(2)，p.47, 1975.
- 4) 平田孝三他2名：りんごの振動収穫に関する研究，農機研究成績（昭48）研究第Ⅱ部(2)，p.5, 1974.
- 5) 丹野貞男他2名：収穫作業の能率化，農林水産省果樹試験場昭和50年度寒冷地果樹に関する試験研究打合せ会議資料，p.295-296, 1975.

参考文献

- 1) Hammerle, J. R. and Mohsenin, N. N. : Some Dynamic Aspect of Fruit Impacting Hard and Soft Materials, *Trans Am Soc Agric Eng*, Vol.9 No. 4 .P.484-488, 1966.
- 2) O' Brien, M. : Sorting, Sizing and Field Filling of Fruit and Vegetables, *J Agric Eng Res*, Vol. 13 No. 4, p.318-322, 1968.
- 3) O' Brien, M. , Sensors and Controls for Automatic Fillers for Fruit and Vegetable Bins, *Trans Am Soc Agric Eng*, Vol. 10 No. 1, p.18-20, 1967.
- 4) Berlage, A. G., and Yost, G. E. : A Positive-Transfer Fruit Conveyor *Trans Am Soc Agric Eng*, Vol. 12 No. 2, p.258-260, 1969.
- 5) O' Brien, M. : Automatic Fillers for Citrus, Deciduous Fruit and Vegetable Bins, *Trans Am Soc Agric Eng*, Vol.12 No. 6, p.733-735, 1969.
- 6) 平田孝三・古川嗣彦：傷果発生防止に関する研究，農機研究成績（昭46）—研究第Ⅱ部(1)，p.43-67, 1972.
- 7) Allshous, G. W., and, Morrow C. T. : An Improved Device for Filling Bulk Bins, *J Agric Eng Res*, Vol. 18, p.411-413, 1973.
- 8) Watts, B. M. and Wright, M. E. : The Design of a Manual and Automatic Pallet Bin Filler, *Trans Am Soc Agric Eng*, Vol.18 No. 2, p.236-239, 1975.
- 9) ASAE : *Agricultural Engineers Yearbook 1979-80*, 26 thed. p. 337, 1979.
- 10) 平田孝三：リンゴの省力的収穫技術の開発研究，農機研報第14号，p.1-42, 1979.
- 11) Berlage, A. G., and Langno, R. D. : Shake Harvesting Tests with Fresh-Market Apples, *Trans Am Soc Agric Eng*, Vol.22 No.4, p.733-738, 1979.
- 12) O'Brien, M., et al. : Fillers for Fruit and Vegetable Damage Reduction, *Trans Am Soc Agric Eng*, Vol.23 No.1, p.71-73, 1981.

Summary

Development of Automatic Bin Filler for Fresh-Market Apples

Kozo HIRATA, Tsukasa NAGAKI, Mikio OGAWA

To mechanize harvesting and handling of apples to fresh-market, an automatic bin filler was developed by the authors. In Japan, bulk bin is not commonly used for harvesting fruits and vegetables except potatoes. However, one major labor-saving method now being employed is bulk material handling which requires handling machine such as forklift. The objective of this study was to design and develop an automatic bin

filler which can be used with minimum damage to apples.

As the result of repeated tests on experimental bin fillers (the model No.1 and No. 2), the filler No. 3, shown in Fig. 9, was finally designed as a component of harvesting aid, and its features are as follows. The apparatus consists of conveyor, frame to support the conveyor, and turntable unit to rotate the bin. The conveyor designed for this filler is a kind of crossbar conveyor. A pair of chains running in parallel are equipped with padded crossbars at the interval of 15.5 centimeter, and a rubber coated fabric belt is stretched loosely between the bars. The side view of the conveyor is in the shape "L" to transfer fruit into the bin. The conveyor is driven by a hydraulic motor and the speed of this conveyor is 8.3 meter per minute. Apples are transferred into the rotating bin by this conveyor and distributed within the bin through a padded distributor. A DC motor is employed to rotate the turntable at 1.6rpm or maximum speed.

The distributor at the outlet of the conveyor is equipped with photoelectric sensor to detect the amount of apples coming into the bin for regulating the revolution speed. The another sensor, or the plate placed under the conveyor end is employed for detecting the surface level of deposited apples in the bin. The cable system driven by a DC motor is adopted for holding the optimum clearance between the conveyor end and the surface level of the deposited apples to minimize the bruises. When the sensing plate, having a microswitch, is raised by the fruit already in the bin, the conveyor moves up until this switch opens again. And 1.5 second later, the conveyor moves down until the plate is raised again. By repeating this motion, the outlet of the conveyor is always kept closely above the fruit level.

This prototype filler was tested for filling rate, bruises and fruit distribution. When the bin, which was a square bin standardized by ASAE, was to be filled with 170 kg of apples, the filling rate was limited to about 152 kg per minute by the maximum revolution speed of turntable. Overloading to the bin filler caused clogging by the fruit at the outlet of the conveyor, and also mechanical damage of the fruit.

For another evaluation of the bin filler system, bruise checks had been made for apples (cultivar Fuji) flowing in this system. Samples of apple were picked up from the intake of the filler just after loading and also from the bin at random. The percent of damaged apples at the intake was 4.2%, and that of apples in the bin 6.8%. It was thought that only a few percent of apples were damaged through the system after loading.

As to fruit distribution by the filler, fruit levels at the corners of the bin were about 10-20 centimeter lower than those at the other parts.

水平循環式栽培装置の開発研究

倉田 勇*・市川友彦**・猪之奥康治*

1982—01—09 受理

抄 録

倉田 勇・市川友彦・猪之奥康治：水平循環式栽培装置の開発研究。農機研報17：15—49（1982）

本研究は野菜生産施設内作業の省力化と施設内不良労働環境の改善を目的に、昭和48年より8年間にわたって実施したものである。研究は水平循環式栽培装置の開発と、これを評価するための利用試験から成っている。試作装置は栽培槽を軌道上に連結して移動させ、その経路の一部で管理作業を行う方式である。

この装置を用いて栽培を行うと、運搬作業を省力化できること、灌水、防除装置等は簡易な装置により自動化できること、収穫と同時に選果できること、また、労働環境と栽培環境を分離できることなどが確められた。この装置でトマトを促成栽培したところ、所要労力は慣行栽培の $\frac{1}{2}$ に短縮された。この装置の経済性を試算した結果、労賃が時間当たり1,100円以上に上昇すると、施設野菜用栽培装置として導入するのが有利であることがわかった。

1 緒 言

わが国の施設園芸は極めて集約的であるが、その生産物に対する経済的な評価が高いので、施設の設置面積は着実に増加している現状である。しかし施設園芸の問題点として

- ① 多くの労働時間を要すること
- ② 施設内の労働環境が不良であること
- ③ エネルギーや、生産資材、施設等に多くの資金を要する生産構造であること

などがあげられる。そこで、これらの問題に対応するため、作業の機械化、自動化等が進められてきたが、従来は主として固定した作物を対象にした研究が多かった。これに対して本研究は水平循環式栽培装置の開発により、すべての作物を特定の作業場所に移動し、その場で各種の作業を行い、上記の問題点の解決を図ろうとしたものである。

そこで作物を固定した栽培方式と比較して作物を動かす場合の長所として

- ① 栽培環境不均一性の緩和
- ② 作業場所の集中化
- ③ 作業用機械、装置の簡略化
- ④ 作業の複合化

などをあげることができる。

①の栽培環境不均一性の緩和とは、施設内に温度や光のむらが生じた場合に、作物固定式栽培方式では、それがそのまま作物の成育むらとして表われるが、作物を動かす場合には環境むらを全体の作物に分散して、生育への影響を緩和できるということである。

②の作業場所の集中化とは作物固定式では作業場所が施設内全面に分散するのに対して、作物可動式では作業場所を1箇所集中化して、そこですべての作業を行うことができる。したがって施設内で、栽培管理用資材の運搬作業を大幅に省力化することが可能となる。また作業区域と栽培区域を分離できるので、それぞれに適した環境に制御することが可能である。

③の作業用機械、装置が簡略化できる点は、作物を動かすことができるので、個々の機械が作物の間を動き回る必要がない。したがって機械が移動するための足まわりと動力は不要となる。灌水施設を例にとると、施設内全面に配管する必要はなく、一定の場所で作物の移動に従って順次灌水できるので、構造の簡易化と同時に機能を高めることが可能である。

④の作業の複合化とは、二種類以上の作業を同時に、平行して行うことであり、一例として、収穫作業と同時に選別作業を行う方式などがあげられる。

本報告は緒言と結語を含む8章から構成されており、

* 研究第4部

** 研究第4部（現研究第2部）

2においては、この研究の目標と装置の設計構想を示し、3では試作した水平循環式栽培装置の構造と性能を明らかにした。また4では試作及び改良した作業装置の構造と性能を明らかにし、5では、この栽培装置に適した新しい環境制御装置を作り、その構造と性能を示した。6では、これらの栽培装置、作業装置、環境制御装置の利用試験を行い、その効果と問題点を明らかにした。7では水平循環式栽培装置について、経済的な面から考察を行ったものである。

なお、この研究は昭和48年度より開始して、昭和55年度に完了した研究であるが、この内、昭和49年度から昭和53年度までは農林水産省の別枠研究「高能率施設園芸に関する総合研究」の一環として実施したものであり、施設の試作に関しては農林水産省農林土木試験場、東芝機械株式会社、施設の実証試験に関しては農林水産省野菜試験場より多大のご指導とご便宜をいただいた。また大阪府農林技術センター、岐阜県農業試験場、埼玉県園芸試験場等のご協力に対し衷心から謝意を表わすものである。

2 研究目標及び設計構想

本研究の第1の目標は施設内の各作業を省力化することによって労働生産性の向上を図ることである。現在、稲作の労働時間は10a 当たり80時間以下¹⁾であるのに対して施設野菜の場合は1000時間以上²⁾を要している。これは施設園芸が集約的な栽培によって高収益を得る農法であり、高度の栽培管理技術を要するので、作業を機械化するにも困難な面があるためと推察される。したがっ

て狭い空間で、高精度の作業を、高能率に行うためには従来の栽培方式に拘泥することなく、新たな角度から検討すべき問題であると考えられる。

第2の目標は施設内労働環境を改善するとともに作業者の安全性を確保することである。施設内は作物を栽培する環境であり、高温多湿のため、人間の労働に不適当な環境である。一般にハウス病³⁾とよばれる症候が施設野菜農家に発生し始めたのも、施設内の労働環境が悪い点に起因するものと考えられる。また施設内の防除作業のように、作業者が薬剤を散布してまわる方式では、密閉された施設内で、しかも非常に濃密な薬剤の雰囲気の中に作業者を暴露することになり、たとえ防具をつけても過酷な労働条件であり、危険性の高い労働環境である。したがって施設内作業の機械化、装置化を進めることによって労働環境を改善し、安全性を確保することも本研究の重要な目標の一つである。

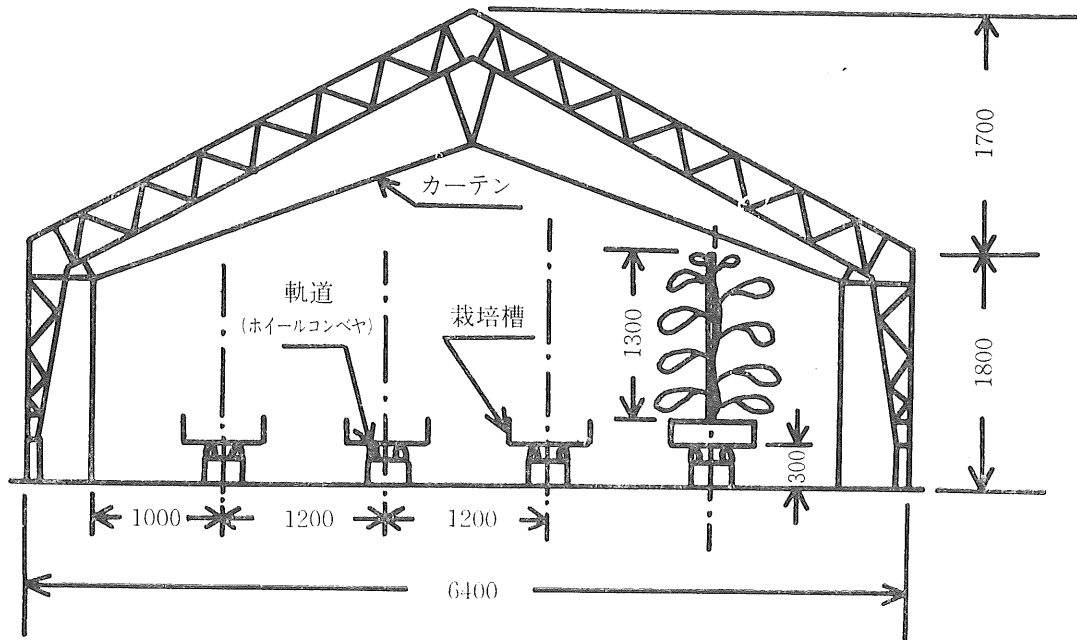
第3の目標は野菜生産施設内空間の高度利用である。ガラス室とかビニルハウス等の施設には多額の投資が行われているため、施設内で作業機や作業者の移動する空間は最小限度にとどめて作物の栽植本数を増加して収益の向上を図ることも本研究の目標である。

第4の目標は施設内作業を機械化又は装置化することにより栽培技術を標準化することである。従来より施設園芸においては栽培技術として、多くの経験と、高度な熟練を要する場合が多かった。また、これらの技術は特殊な技術であり、伝承することも容易ではなかった。そこで、今までは経験と勘に頼っていた人力作業を、機械化、自力化によって再現性のある一般の技術として標準

表 1 作物可動方式の分類

Table 1 Classification of movable culture-bed system

作物可動方式	{ 立体的可動方式 { 水平面上可動方式 } }	ロータリーベンチ方式
		垂直コンベア方式
		横型多段コンベア方式
		ワンウェイ方式
		けん垂循環方式
		浮遊循環方式
		水平コンベア方式



(単位：mm)

図1 温室と水平循環式栽培装置（正面図）

Fig.1 Front view of horizontal circulating culture system in greenhouse

化する方向に持って行くことも本研究の大きな目標の一つである。

以上の研究目標に対して著者らは作物を動かす方式で対応することとした。そこで作物の可動方式に関する既往の研究より装置を分類すると表1のようになり、それぞれ次の特徴を持っている。

立体的可動方式の長所は土地利用率高められる点である。また短所としては温室の棟が高くなるので建設費が割高となる、温室内部の温度差が大きくなる、温室の保温性が悪くなる、温室内に日陰の部分が多くなる、草丈の大きい作物を栽培できない点などがあげられる。

立体的可動方式の中で、ロータリベンチ方式は回転軸が水平で、遊園地の観覧車のような構造であり、鉢物などを登載した棚が常に水平を保ったまま回転する方式である。この装置では鉢に植えられた花等が栽培されてい

る。垂直コンベヤ方式⁴⁾は塔状の温室内に設置される装置で上下のスプロケットの間にチェーンをかけ、これに栽培用ベンチを取り付けたもので、各種の作業はベンチが低い位置に来た時に行われる。栽培される作物は草丈の小さい葉菜類等で、養液栽培が行われている。

上下方向への移動量が多い垂直コンベヤ方式に対して横型多段コンベヤ方式⁵⁾は水平方向への移動量を多くしているため、棟高の比較的低い温室で使用することが可能である。栽培される作物は草丈の小さい葉菜類で、養液栽培が行われている。

水平面上可動方式の長所は従来の温室を利用できる点と草丈の大きい果菜類でも栽培できる点である。しかし土地利用率高める点においては立体的可動方式に及ばない。この種の可動方式には、まずワンウェイ方式がある。この方式はコンベヤ上に栽培容器を並べて移動して

いるが、温室内で循環するのではなく、温室の入口で栽培容器に播種し、発芽、育成等の工程を経て、温室の出口まで栽培容器が来た時に収穫する方式である。したがってコンベヤは循環しているが、栽培容器は温室の入口から出口までの一方向へ移動するのみである。また栽培容器は常に動いているのではなくて、発芽、育成等の各工程に、それぞれ24時間滞留し、次の工程に移る方式である。作物はウォータクレスのような1週間程度で収穫できる芽物が生産されている⁶⁾。懸垂循環方式⁷⁾は温室内の上部に取り付けられたモノレールに栽培槽を釣り下げて循環する方式である。懸垂荷重はハンガー1個当たり15kg以下に制限されるので、培地にはピートモス等を用いて軽量化を図っている。浮遊循環方式⁵⁾は循環水路上に栽培槽を浮かべて栽培する方式であり、葉菜類の養

④ 作物を動かすことを目的とした栽培装置が主であり、省力化を目的とした作業装置については、ほとんど考慮されていない。

などがあげられる。そこで、これらの問題点を解決するため、本研究の基本的構想を次のように組み立てた。

① 装置の経済性からみて、特殊な形状の温室を用いることは不利となるので、現在、一般に用いられている形状の温室内に設置でき、しかも材料を集めれば、農家自身の労力で組み立てることのできるように、なるべく簡単な構造とする。

② 現在、わが国の施設野菜の栽培面積は果菜類が圧倒的に多いので、草丈の大きくなる果菜類を栽培できる装置とする。

③ 土壌を培地とした慣行の栽培技術が、そのまま使

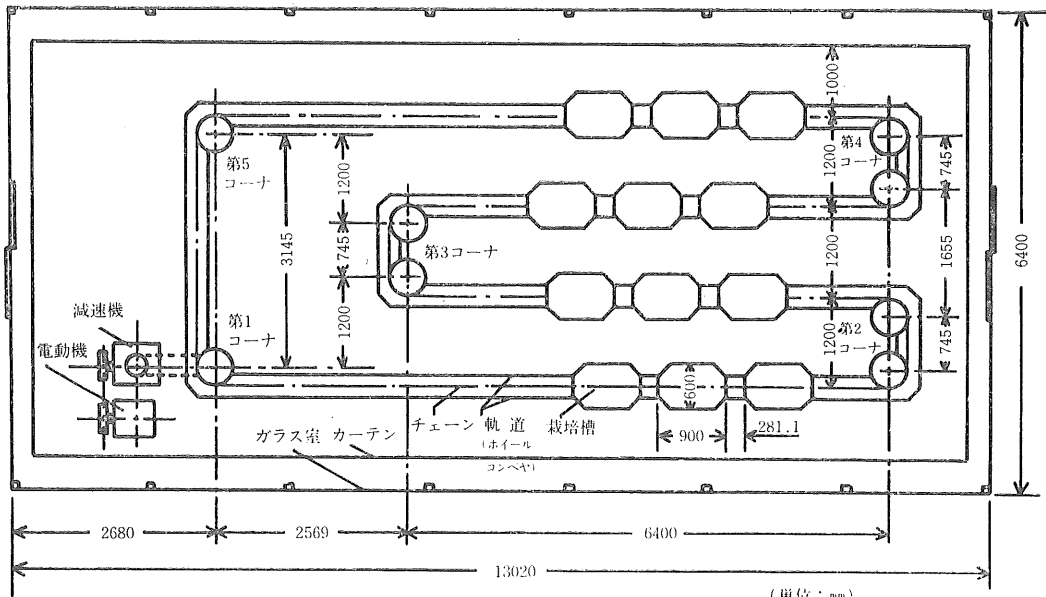


図2 温室内での水平循環式栽培装置の配置(平面図)

Fig.2 Plane figure of horizontal circulating culture system in greenhouse

液栽培が行われている。

以上のように既往の作物可動式栽培装置には色々な種類がみられるが、問題点として

- ① 特殊な形状の温室を要する場合がある。
- ② 草丈の大きくなる果菜類を栽培できない場合がある。
- ③ 装置の構造上、栽培槽の軽量化が必要となり、培地として土壌を使用できない場合がある。

用できる装置とする。

④ 各作業の無人化又は大幅な省力化を目標として栽培装置に適した作業装置を開発し、これらを有機的に結合して施設野菜生産の高度な装置化を図る。

以上の構想に適合する装置として水平循環式栽培装置を開発し、その効用について試験を行うことにした。

3 水平循環式栽培装置の試作とその動的特性

3.1 試作栽培装置の概要

この栽培装置は83m²のガラス温室内に設置したもので、栽培槽、循環軌道、駆動装置及び運転制御装置より構成されている。

3.1.1 温室の形状と栽培装置の配置

水平循環式栽培装置を設置した温室は図1、図2に示すような形状で、間口6.4m、奥行13m、棟高3.5m、軒高1.8mの南北棟のガラス室である。温室の床面はコンクリートで舗装し、栽培槽の循環軌道を図2のように配置した。なお軌道面は駆動装置の構造上、図1に示すように、温室の床面より30cm高くした。

3.1.2 栽培槽

栽培槽には厚さ1mmの鋼板を使用し、図3のように長さ90cm、幅60cm、深さ20cmの箱の四すみを切り欠いた形状である。これは軌道のコーナ部を栽培槽が移動する時、互いに接触するのを防ぐためである。栽培槽の構造は図4に示すように、最下部に集水用の空間を設け、その上に直径6mmの穴を縦横に10mm間隔であけた有孔底板を設置する。穴から土が落下するのを防ぐため有孔底板の上に20メッシュの網を置き、その上に床土を入れる。排水口は栽培槽の側面にあり、栽培槽内の余剰水分を排除する。

作物の支持方法は図4のとおりである。まず栽培槽の前後に取り付けられたパイプに支柱支持金具を差し込み、それに支柱を固定する。支柱支持金具は直径6mmの鋼材、支柱は市販品で、直径10mmの鋼管である。栽培槽のみの重量は10kg、土を満載した栽培時の重量は150kgである。

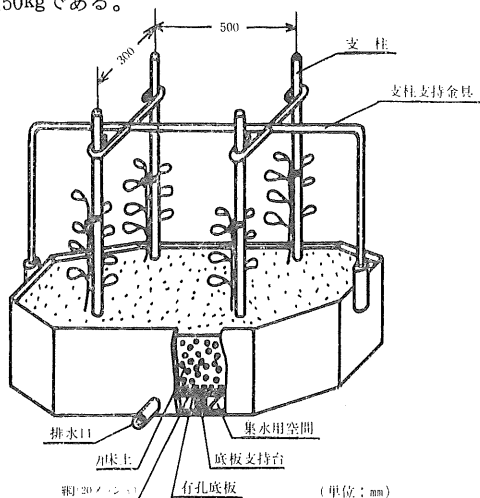


図4 栽培槽と支柱の構造
Fig.4 Structure of culture box and support

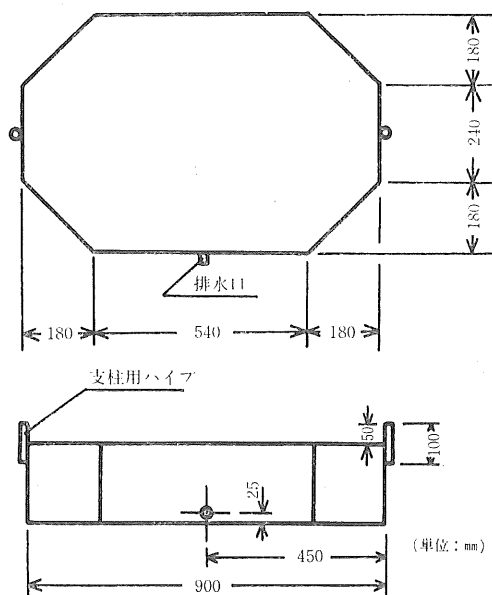


図3 栽培槽の形状
Fig.3 Shape of culture box

3.1.3 循環軌道

温室内で栽培槽を循環させる軌道の設置状態は図5に示すとおりである。軌道の直線部は2本のホイールコンベヤを30cm間隔で平行に並べてフレームに固定した。ホイール1個の許容荷重は45kgである。その形状を図6に示す。軌道のコーナ部では、栽培槽が円滑に旋回できるようにボール台をフレームとスプロケットに取り付けた。

ボール台1個の許容荷重は20kgであり、その形状を図7に示す。栽培槽は軌道上を移動する時、常に約20個のホイール又はボール台で支持されている状態である。

3.1.4 駆動装置

駆動装置は電動機、減速機、チェーン及びチェーンに取り付けられた栽培槽支持板等により構成されている。各部の仕様を表2に示す。

電動機は遊星車摩擦方式の無段変速機を一体にして一つのケースにおさめた可変速モータであり、変速比は1

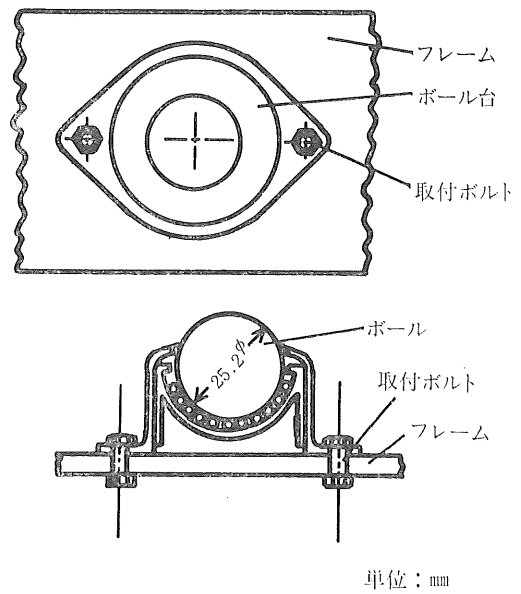
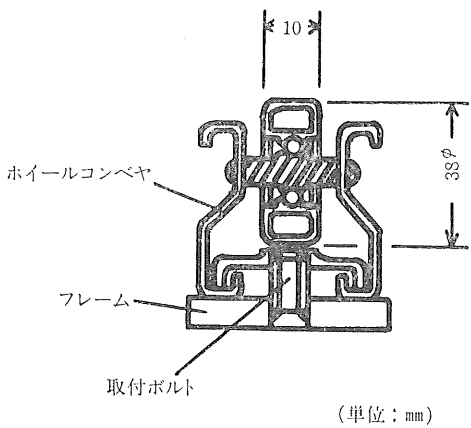
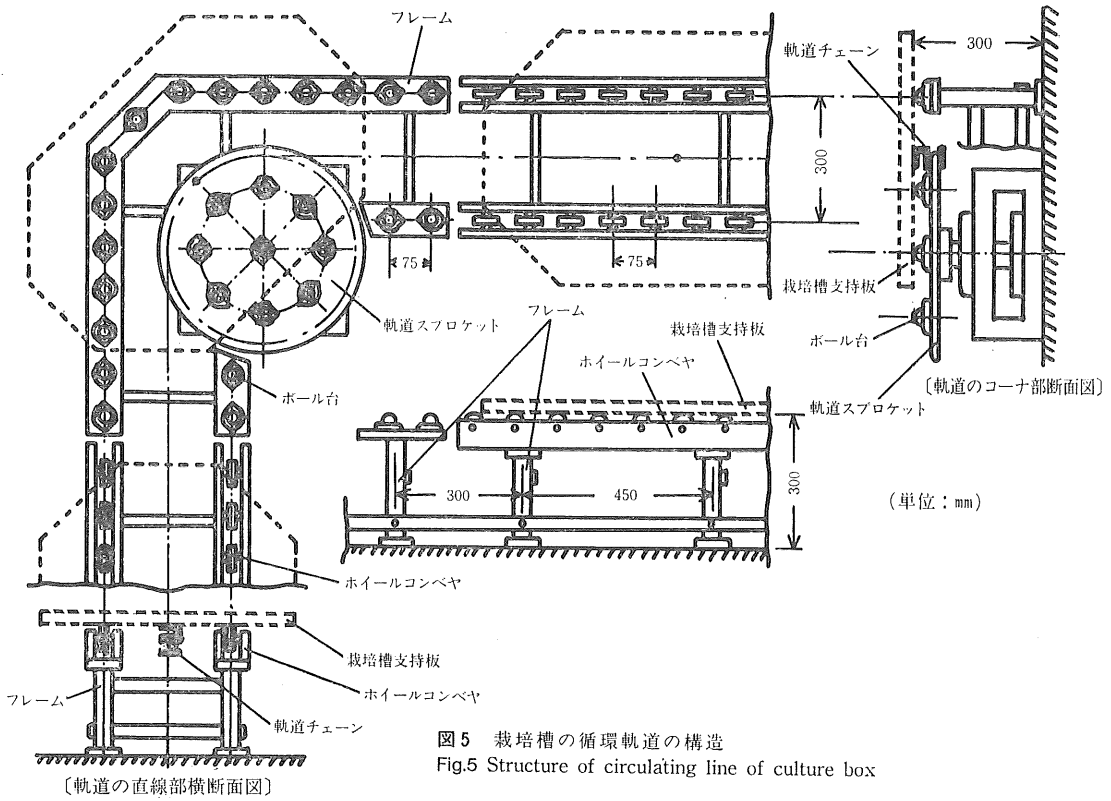


表2 駆動装置各部の仕様
Table 2 Specification of driving device

電 動 機	名 称 形 式		無段変速機付モータ		
	出 力		1.5 kW		
	出力軸回転数		33~200 rpm		
	変 速 範 囲		$\frac{1}{42} \sim \frac{1}{7}$		
減 速 機	名 称 形 式		ウォーム減速機		
	減 速 比		$\frac{1}{20}$		
チェーン	部 位	番 号	ピ ッ チ	列 数	平均破断強度
	① - ②	R S 60	19.05 mm	1 列	4450 kg
	③ - ④	R S 60	19.05	1	4450
	⑤ - ⑥	R S 60	19.05	1	4450
	軌道チェーン	R F 2060	38.10	1	3900
スプロケット	部 位	歯 数	ピッチ径	使用チェーン	
	①, ④	27	164.09 mm	R S 60	
	②, ③	18	109.71	R S 60	
	⑤, ⑥	21	127.82	R S 60	
	軌道スプロケット	75	454.92	R F 2060	

注 部位は図8の各部位を示す。

：6である。軌道チェーンの最低速度を4 cm/sにするため、可変速モータの後にウォーム減速機を用いた。

動力の伝達機構は図8に示すとおりであり、軌道チェーンは各コーナ部のスプロケットを通じて軌道の中心線上に敷設し、31リンクごとにアタッチメントリンクを1個入れ、これに栽培槽支持板を取り付けた。したがって支持板は軌道チェーンに引かれて軌道上を動くことになる。本装置では栽培槽支持板の数が33個、軌道チェーンの全長は38.9763m(1023リンク)である。軌道チェーンは第1コーナのスプロケットで駆動され、第3コーナのスプロケットで張力を調節する。

栽培槽支持板は図9に示すような構造であり、この上に栽培槽を乗せる。支持板の下部は直接、軌道と接触する部分であり、走行抵抗や摩擦を小さくするため、厚さ3 mmの鋼板を用いた。支持板の上部は栽培槽を乗せる部分であり、栽培槽を支持板上で安定させるため、木材合板を用いた。また支持板の作用は栽培槽の支持と同時に軌道チェーンを懸垂支持することである。

3.1.5 運転制御装置

水平循環式栽培装置は

- ① 手動運転
- ② 自動連続運転
- ③ 自動間欠運転

の3種類の運転が可能であり、そのシーケンス回路を図10に、各部品を表3に示す。

手動運転はボタンスイッチの操作により、任意の位置まで栽培槽を動かしたり、必要な時間だけ栽培槽を停止して作業を行うことが可能である。手動運転操作はボタンスイッチST-BS₁を押すと装置が始動し、STP-BS₂を押すと停止する。

自動連続運転は第1タイマTL₁の設定時間に栽培槽が始動し、全栽培槽が軌道を一周した時に、第1栽培槽に取り付けてあるドッグが第1リミットスイッチLS₁に作用して停止する。自動連続運転は栽培槽を動かしながら行う作業、たとえば防除作業等に利用できる。

自動間欠運転は各栽培槽を定位置に、一定時間だけ停止させる運転方式である。始動は連続運転と同様に第1タイマTL₁の設定時間に動き始め、減速機軸を介して取

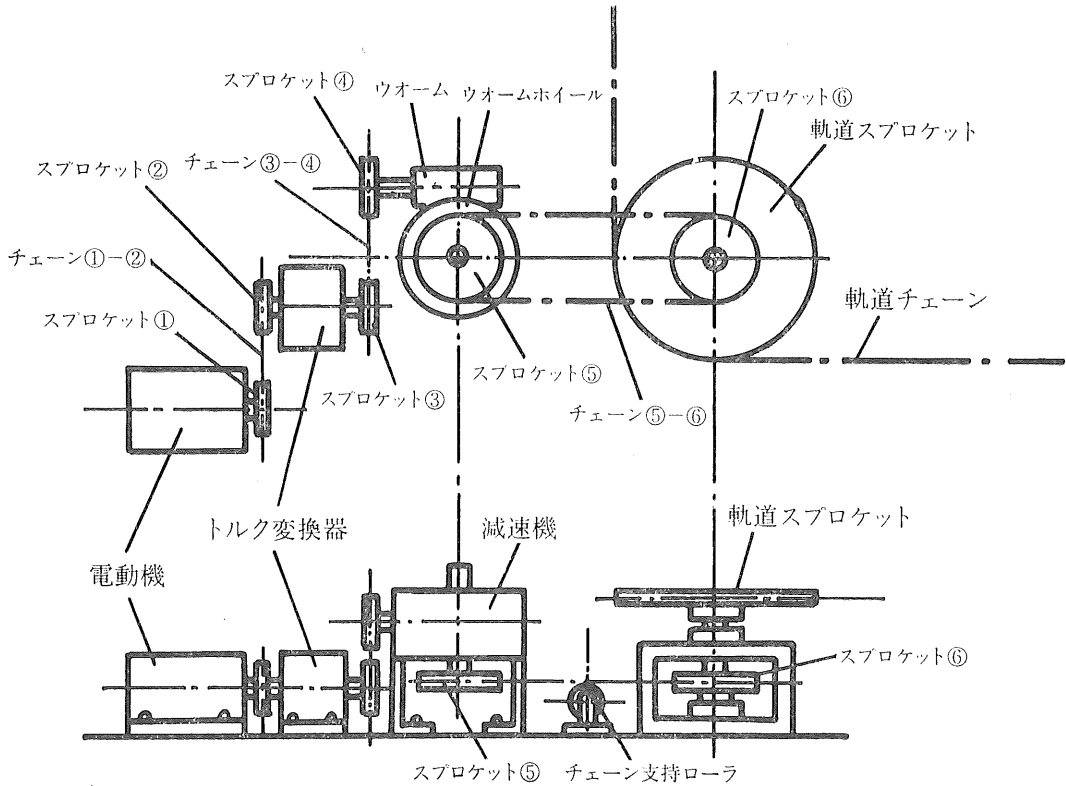


図8 動力伝達図

Fig.8 Schematic drawing of power transmission

り付けられた間欠運転用カムが第2リミットスイッチ LS_2 に作用して栽培槽を一時停止する。一時停止時間は第2タイマ TL_2 の設定時間により調節できる。間欠運転用カムは軌道チェーンが31リンク進むごとに1回転する構造であるため、各栽培槽を一定の場所に一時停止することができる。間欠運転により栽培槽が軌道を一巡すると連続運転と同様に、第1リミットスイッチ LS_1 の作用により、すべての運転を停止して元の状態にもどる。自動間欠運転は栽培槽を一時停止して行う作業、たとえば灌水作業等に利用できる。以上のように、3種類の運転は切換スイッチ COS_1 と、 COS_2 により選択する。

次に栽培槽の移動速度は電動機の回転数によって決まるが、本装置の場合は $4 \sim 24 \text{ cm/s}$ の範囲内で調節することができる。

3.2 試作栽培装置の動的特性

水平循環式栽培装置の動的特性として、装置の駆動トルクと、運転中の栽培槽の振動を測定した。

3.2.1 栽培装置の駆動動力

作物を栽培している状態で、この装置を駆動する時の

動力及びチェーンに作用する力を求めるための試験である。

1) 試験方法

栽培槽の重量は1個が150kgであるので、33個の全重量は5tとなる。この状態で栽培槽を4, 6, 8 cm/sの速度で駆動する場合のトルクを測定した。駆動トルクの測定方法は図8に示すように電動機と減速機の間には10kg-mのトルク変換器を入れ、動ひずみ測定器を介して電磁オシログラフに運転中のトルク変動を記録した。また同時に回転数を測定して動力を算出した。

2) 試験結果及び考察

駆動トルクの測定結果は表4のとおりである。これより起動時には瞬間的に、連続運転時の約2倍のトルクを要することになる。トルクの測定結果より栽培槽の速度別、駆動動力を計算すると表4に示すような値となる。またチェーンの伝導効率を95%⁹⁾、減速機の伝導効率を75%⁹⁾として、各チェーンに作用する張力を計算すると表5のようになる。

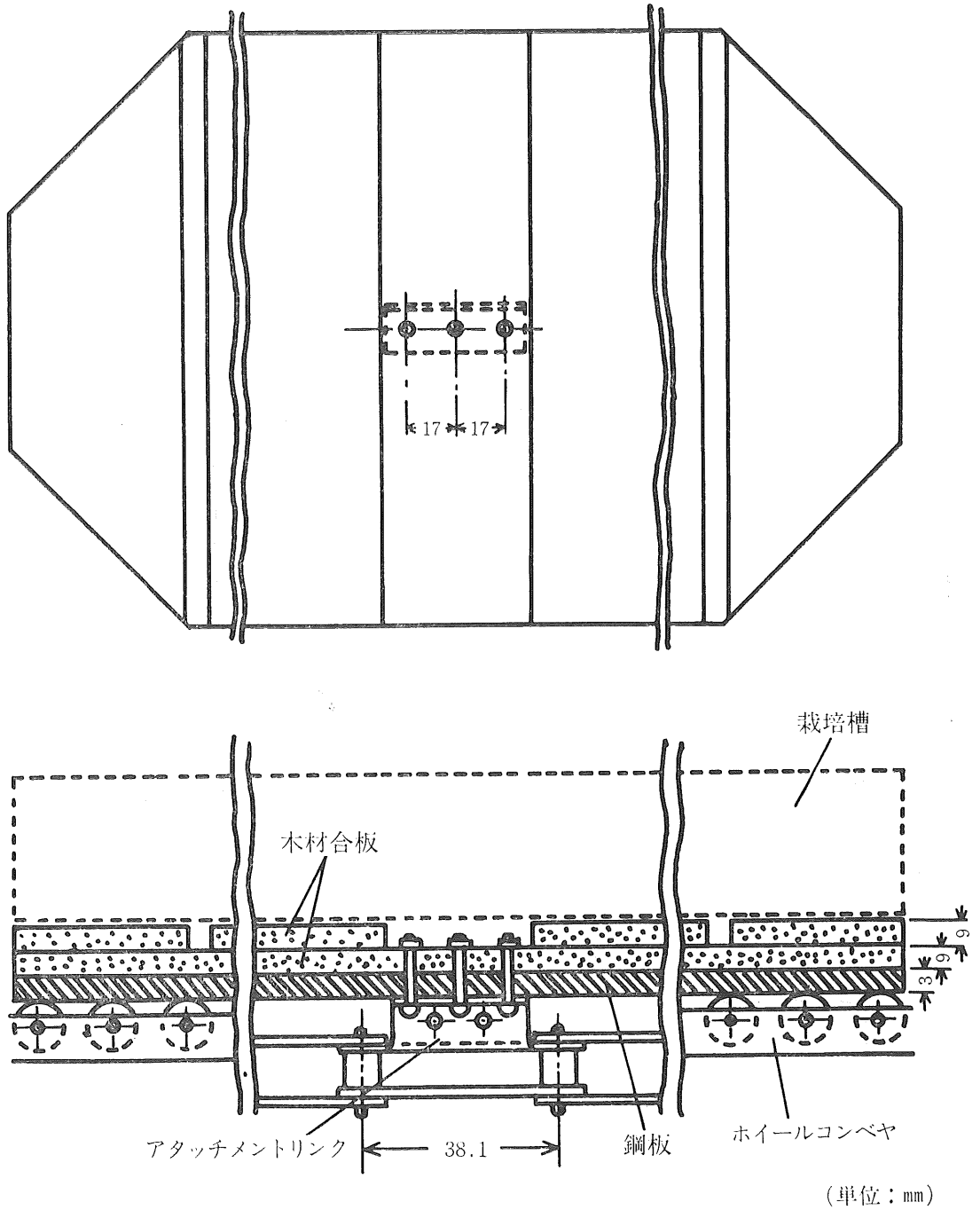


図9 栽培槽支持板の構造とチェーンへの取付方式
 Fig.9 Structure of supporting board under culture box and fixing to chain

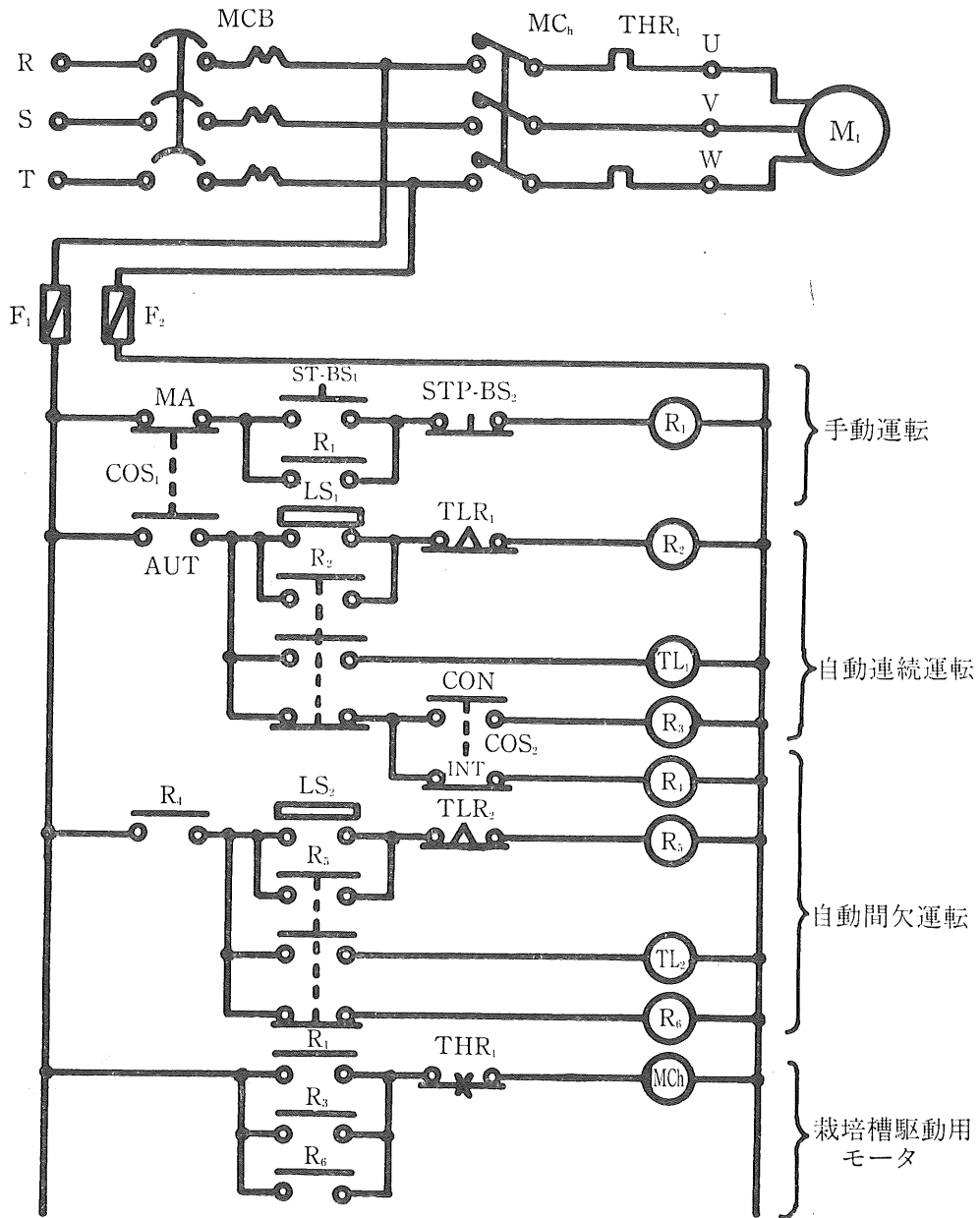


図10 栽培槽運転制御回路

Fig.10 Sequence circuit for operating horizontal circulating system

表3 栽培槽運転制御装置の部品表
Table 3 List of parts of sequence circuit shown in Fig. 10

記号	品名	備考
MCB ₁	配線用しゃ断器 ①	M ₁
MCh	電磁閉閉器	M ₁
M ₁	電動機	栽培槽駆動
THR ₁	サーマルリレー ①	M ₁
COS ₁	切換えスイッチ ①	栽培槽手動運転(MA)、自動運転(AUT)の切換え
ST-BS ₁	始動用ボタンスイッチ ①	栽培槽手動運転開始
STP-BS ₂	停止用ボタンスイッチ ②	同上 停止
R ₁	補助リレー	手動運転補助
LS ₁	第1リミットスイッチ	栽培槽自動運転停止
R ₂	補助リレー	第1リミットスイッチ補助
TLR ₁	第1タイマ(接点)	栽培槽自動運転開始
TL ₁	同上 (コイル)	同上
COS ₂	切換えスイッチ ②	栽培槽連続運動(CON)、間欠運転(INT)の切換え
R ₃	補助リレー	連続運転補助
R ₄	同上	間欠運転補助
LS ₂	第2リミットスイッチ	栽培槽間欠運転
TLR ₂	第2タイマ(接点)	同上
TL ₂	同上 (コイル)	同上
R ₅	補助リレー	LS ₂ 補助
R ₆	同上	間欠運転補助

3.2.2 栽培槽の振動

運転中の栽培槽に発生する振動が作物に与える影響を検討するため栽培槽上での振動に伴う加速度を測定した。

1) 試験方法

は種後、約4カ月を経た収穫期のトマトを栽培している栽培槽の支柱に加速度計を取り付け、運転中の栽培槽の前後、左右、上下方向の加速度を測定した。使用した加速度計は容量1Gの変換器であり、これを栽培槽の床土表面より90cm上方の点で支柱に取り付けた。測定値は動ひずみ測定器を通して電磁オシログラフに記録した。

2) 試験結果及び考察

栽培槽の駆動速度が4cm/sの時、測定点に働く加速度は表6に示すとおりである。軌道の直線部では前後、左右、上下方向共0.08G以下であるが、コーナ部では左右方向が0.13~0.18Gとなり、直線部よりやや高い値を示したが作物への影響は全く認められなかった。

4 作業装置の試作及び改良と特性試験

水平循環式栽培装置に適した作業を行うには、種々の作業装置が必要である。これらの作業装置は表7に示すように、新しく試作した装置と、従来から用いられていた機械を改良した装置に分類できる。

4.1 床土処理装置

4.1.1 装置の概要と作業方法

この装置は床上の材料や肥料を混合する機械と、混合した床土を栽培槽に投入する運搬機の組み合わせである。混合機と運搬機の仕様は表8のとおりである。これらの機械を図11のように配置して作業を行う。作業手順は栽培槽1個分の床土材料と肥料の計量、混合、栽培槽への運搬投入、栽培槽の移動である。

4.1.2 床土処理作業試験

1) 試験方法

栽培槽1個分の床土を混合し、それを栽培槽へ入れるまでに要する作業時間を測定した。床土の材料として火

表4 栽培槽の駆動トルクと動力

Table 4 Driving power and torque of culture system

栽培槽 の速度 cm/s	トルク		連続運転中 の回転数 rpm	連続運転中 の動力 W
	起動時 kg·m	運転中 kg·m		
7.9	2.84	1.40	105	162
6.1	1.47	1.18	87	108
4.3	1.80	0.70	62	46

表5 各チェーンに作用する張力
Table 5 Tension of each chain

使用部位	実測荷重
チェーン ①-②	35 kg
チェーン ③-④	33
チェーン ⑤-⑥	602
軌道チェーン	161

注1 使用部位は図8の各部位を示す。
注2 栽培槽の運転速度は4 cm/sとした。

山灰性の埴壤土を50 l, わら堆肥を50 l, 籾殻くん炭50 lを用い, これに元肥を加えて混合した。

2) 試験結果及び考察

栽培槽1個当たりの作業時間は表9に示すように, 床土材料及び肥料を計量して混合機へ入れるまでの時間が1.2分, 3種類の床土材料及び肥料が, ほぼ均一になるまで機械で混合する時間が1.5分, 混合機から栽培槽へ, ベルトコンベヤで床土を搬入する時間が1.3分で, 床土処理作業には栽培槽1個当たり約4分を要することになる。この試験では栽培装置及び床土処理作業装置の運転操作を手動で行ったが, 床土材料の計量を自動化すれば, 栽培装置の間欠運転と結合して, 床土処理作業を完全に自動化することも可能であると考える。

4.2 栽培槽内土壌の消毒装置

慣行の土壌消毒は主として圃場の耕土層を対象としたのに対して, この装置の場合は栽培槽内(一種の容器内)

表6 栽培槽運転中の加速度

Table 6 Acceleration of culture box in operation

部位	上下方向	左右方向	前後方向
直線部	0.03~0.04 ^G	0.04~0.07 ^G	0.05~0.07 ^G
コーナ部	0.03~0.04	0.13~0.18	0.06~0.08

注 速度は4cm/sで、栽培槽上90cmの支柱上の加速度

表7 水平循環式栽培装置に使用する作業装置

Table 7 List of working machinery and device suitable to horizontal circulating culture system

作業装置名	新しく試作した装置	従来の機械を改良した装置	試作及び改良の要点	作業頻度
床土処理装置		○	床土混合機、運搬機を栽培装置に並設し、流れ作業ができる形に改良。	1作に1回
土壌消毒装置 ①薬剤消毒 ②温水消毒 ③蒸気消毒	○	○ ○	従来の貫注機を、そのまま使用 温水による新しい消毒装置 蒸気の注入、排出部の改良	1作に1回
灌水装置	○		栽培装置と連動した自動灌水装置の試作	1日に 2回以上
防除装置	○		栽培装置と連動した自動防除装置の試作	1週に1回
収穫選果装置		○	栽培装置の側に選果機を並設し、収穫と選果の流れ作業ができる形に改良	収穫最盛期 には2日に 1回

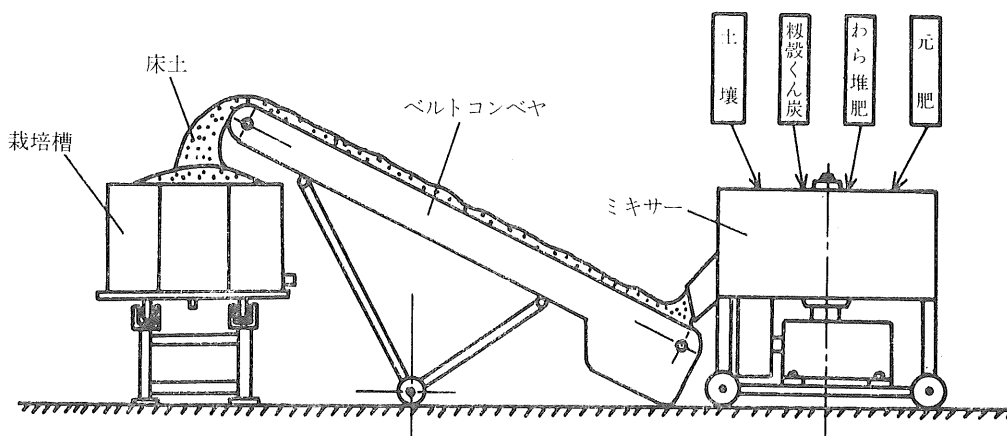


図11 床土処理装置

Fig.11 Schematic drawing of machinery for bed soil preparation and supply

表8 床土処理装置の仕様

Table 8 Specification of bed soil preparing and supplying machinery

機種	仕様
混合機	所要動力：2.2 kW
	混合容器：890 mm(径)、400 mm(深さ)
	混合軸回転数：30 rpm
運搬機	所要動力：0.4 kW
	機長：3500 mm
	ベルト幅：300 mm
	ベルト速度：0.42 m/s

の土壌が対象となるため、消毒装置や方法についても改良する必要がある。土壌の消毒法には、従来から薬剤による方法と、蒸気を用いる方法が利用されていた。そこで、まず水平循環式栽培装置に慣行の土壌消毒方式を適用する方法について、従来の装置を改良しながら試験を行い、問題点を検討した。次に、この栽培装置に適した新しい消毒方式として、温水による土壌消毒試験を行い、その特性を検討した。

4.2.1 土壌の薬剤消毒試験

1) 試験方法

薬剤による土壌消毒は慣行の作業に従い、薬剤の注入量が確認できる貫注器を用いて作業を行った。試験に用いた土壌は火山灰性埴壤土と、わら堆肥及び軽石くん炭を等量ずつ混合した床土 150 l で、トマトの作付を 1 回行

表9 床土処理作業時間

Table 9 Working hours for preparing and supplying bed soil

作業内容	所要時間
床土材料等の計量	12.3 分
床土混合	14.6
床土搬入	13.4
計	40.3

栽培槽10個当たりの測定値

った後の状態である。薬剤にはクロルピクリン使用をし、注入方法は栽培槽1個につき、20cm間隔で6点に注入した。注入深さは約10cm、注入量は1点に3ccとした。注入作業後に栽培槽の土表面をビニルフィルムで被覆して、土壌中にガスを拡散させ、その後、被覆材を取り去ってガス抜きをした。

2) 試験結果及び考察

薬剤消毒に要する作業時間をみると表10に示すように薬剤の注入と栽培槽の被覆作業には栽培槽1個当たり2.8分であるが、土壌中へガスを拡散させるために栽培槽を被覆した状態で4日間放置し、その後、被覆材を除去して刺激臭が無くなるまでガス抜きをするのに3日間を要した。このように薬剤注入作業は短時間に処理できるが、ガス拡散とガス抜きに時間を要する点が問題である。またクロルピクリンを使用する場合は強い刺激臭のため、作業者は防具をつける必要がある。ガスが金属を

表10 土壤の薬剤消毒作業時間
Table 10 Working hours for soil sterilization by chemical

作業内容	所要時間	備考
薬剤の注入	1.5分	栽培槽1個当たり
栽培槽の被覆	1.3分	同上
土壤中へのガス拡散	4日	全栽培槽当たり
被覆材除去	0.7分	栽培槽1個当たり
土壤中のガス抜き	3日	全栽培槽当たり

腐蝕することも問題としてあげられる。本試験においても栽培槽内鋼板の未塗装部分に錆が出て、腐蝕して行く現象が認められた。なお薬剤消毒を行った栽培槽で、土壤病害の発生は全く認められなかった。

4.2.2 土壤の蒸気消毒試験

1) 試験方法

試験に用いた土壤は薬剤消毒と同一である。供試ボイラは表11に示すような可搬式の小型ボイラであり、蒸気は栽培槽の下部より送り込み、栽培槽の表面はビニルシートで被覆して蒸気の散逸を防いだ。また栽培槽内の蒸気圧測定点及び土壤温度の測定点を図12に示す。

2) 試験結果及び考察

蒸気消毒に要する作業時間は表12に示すように、栽培槽の表面を被覆したり、栽培槽へ蒸気管を着脱する時間

表11 蒸気ボイラの主要諸元
Table 11 Specification steam boiler

蒸気発生量	最大 120 kg/h
蒸気圧	4 ~ 6 kg/cm ²
蒸気温度	120 ~ 140 °C
使用燃料	白燈油
燃料消費量	10 l/h
給水圧力	1.5 kg/cm ² 以上

が栽培槽1個当たりで約5分である。また蒸気を通す時間は約10分間で、その後、土壤を冷却すれば次の作業を行うことも可能である。蒸気消毒時の土壤の温度変化を図13に示す。また栽培槽底部での蒸気圧は約0.2kg/cm²であり、150lの土壤を100°Cに加熱するために約15kgの蒸気を使用したことになる。これを熱量に換算すれば、給水温度を20°Cとして約9300kcalとなる。

一方、病原菌の死滅温度をみると表13⁹⁾のような試験結果が報告されている。これより細菌は55°C以上に、

表12 土壤の蒸気消毒作業時間
Table 12 Working hours for soil sterilization by steam

作業内容	所要時間	備考
栽培槽の被覆	1.3分	栽培槽1個当たり
蒸気管の接続	1.8分	同上
蒸気供給	10分	同上
蒸気管の離脱	1.2分	同上
被覆したまま自然に冷却	1日	全栽培槽当たり
被覆材の除去	0.7分	栽培槽1個当たり

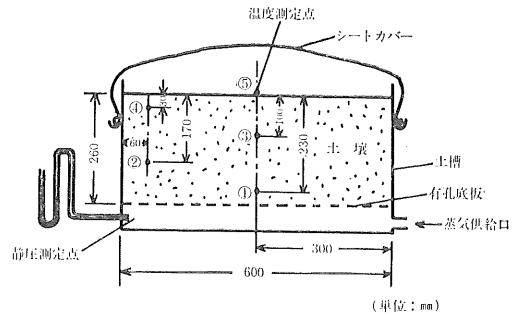


図12 蒸気消毒法と温度及び圧力測定点
Fig.12 Measuring points of soil temperature and pressure in soil sterilization by steam

ウイルスは93°C以上に加熱すれば死滅するようである。したがって図13に示された土壤温度にすれば、蒸気消毒によって、ほぼ完全に土壤中の病原菌を死滅させることができるものと考えられる。蒸気消毒を実施した栽培槽で、トマトの栽培を行ったが、土壤伝染性の病気の発生は全く認められなかった。

4.2.3 土壤の温水消毒試験

土壤の温水消毒には大量の温水を使うため、使用済みの温水を速やかに排除することが重要な点である。試作した栽培槽は、その構造上、温水の注入と排除が容易に行えるので、温水による土壤の加温特性を求めするための試験である。温水消毒の長所は土壤消毒専用の蒸気ボイラを必要とせず、暖房用の温水ボイラで消毒できる点である。また短所としては、すべての土壤に適用できない点、熱伝達の面で蒸気に劣る点などがあげられる。

1) 試験方法

温水消毒に使用したボイラは車輛洗浄用のボイラであり、その概要は表14に示すように約100°Cの温水と蒸気を混合した状態で噴出して車輛を洗浄するボイラである。これを用いて温水消毒を行う方法は図14のように、栽培槽の表面に温水飛散防止用のカバーと、温水の噴出

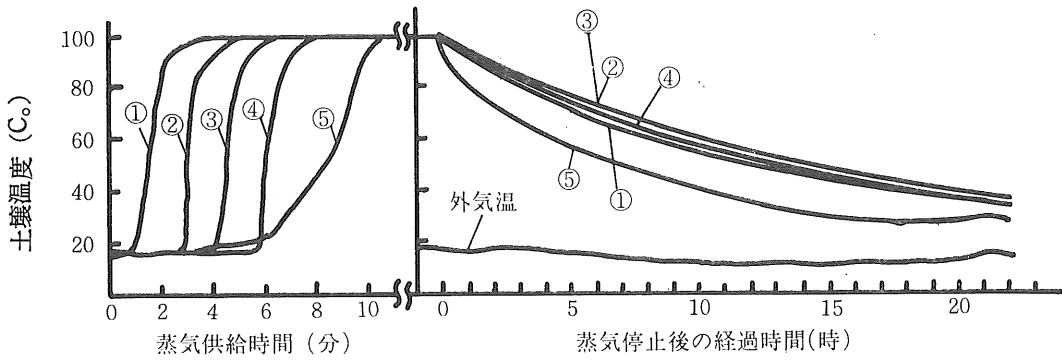


図13 蒸気消毒時の土壌温度変化 (番号は図12の測定点を示す)
Fig.13 Changes of soil temperature during soil sterilization by steam

表13 園芸作物病原菌の死滅温度事例
Table 13 Sterilizing temperature for vegetable diseases

病原菌名	死滅温度
ウリ類つる枯病菌	55℃ 10分間
ウリ類たんそ病菌	45 10
ウリ類斑点細菌病菌	50 10
キュウリ緑斑モザイクウイルス	90 10
苗立枯病菌	52 10
スイカつる割病菌	55 40
トマト・タバコモザイクウイルス	93 10
トマト青枯病菌	52 10
トマトかいよう病菌	53 10
トマト軟腐病菌	50 10

注 池谷保緒「ハウス土壌の蒸気消毒について」より

速度を緩和するための緩衝網を置き、そこへ約100°Cの温水と蒸気を6 kg/minの割合で噴出して土壌を加熱する方法である。使用済み温水は、栽培槽底部の排水口より流出させた。試験に使用した土壌は薬剤消毒に用いた土壌と同一であり、土壌温度の測定点を図14に示す。

2) 試験結果及び考察

温水消毒に要する作業は緩衝網や温水飛散防止用カバー、給水パイプ、排水パイプなどの着脱であり、これらの作業に要する時間は表15に示すように約4分、温水の供給時間が25分であった。土壌の温度変化は図15のようになり、150lの土壌を約100°Cに加熱するのに5kgの蒸気を含む150kgの温水を使用したことになる。また消毒後、土壌が自然に冷却する時の温度降下の過程は蒸気消毒の場合と、ほぼ同じである。温水消毒に要する熱量をみると、ボイラへの給水温度は20°Cであり、25分間に

表14 温水ボイラの主要諸元
Table 14 Specification of hot water boiler

吐出量	温水：348 kg/h 蒸気：12 kg/h
常用圧力	3.5 ~ 5 kg/cm ²
温水温度	100 °C
使用燃料	白燈油
燃料消費量	6 l/h
給水圧力	1.6 kg/cm ²

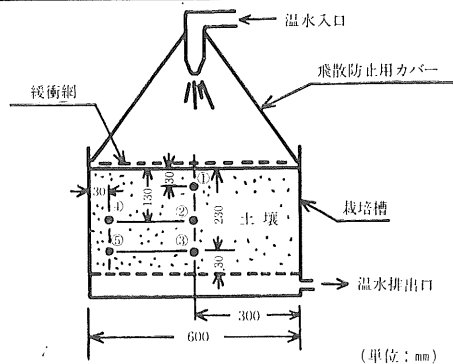


図14 温水消毒法と土壌の温度測定点
Fig.14 Measuring point of temperature on soil sterilization by hot water

100°Cの温水として11600kcal, 100°Cの蒸気として3100 kcal, 合計14700kcalとなる。蒸気消毒の9300kcalに比して熱量は約60%多くなった。

4.3 灌水装置

4.3.1 各種灌水方式の比較試験

1) 試験方法

水平循環式栽培装置に適した灌水装置を選定するた

表15 土壤の温水消毒作業時間
Table 15 Working hours for soil sterilization by hot water

作業内容	所要時間	備考
緩衝網及び飛散防止用カバーの設置	1.3分	栽培槽1個当たり
給水管、排水管の接続	0.8分	同上
温水の供給	25分	同上
管の離脱	0.5分	同上
網、カバー等の除去	1.2分	同上
土壤の冷却	1日	全栽培槽当たり

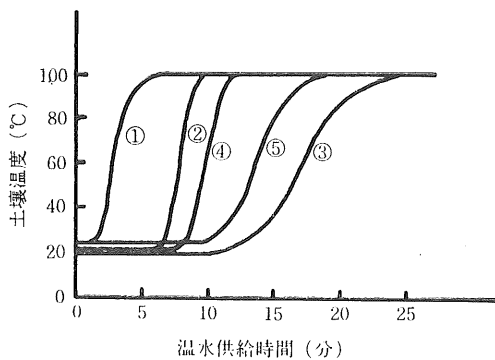


図15 温水消毒時の土壤温度変化(番号は図14の測定点を示す)
Fig.15 Changes of soil temperature during soil sterilization.

め、灌水口を固定して栽培槽の方を動かす灌水装置の運転方法について表16に示すような試験区を作った。試験時の栽培槽の移動速度は4 cm/s、灌水ポンプの吐出量は30l/minとして、作業能率と作業精度を灌水ロスの中から調査した。

表16 灌水試験区と運転方式
Table 16 Operating method of culture box and irrigating pump on each experimental plot

	栽培槽の 運転方式	灌水ポンプの 運転方式
試験区①	連続	連続
試験区②	連続	間欠
試験区③	間欠	間欠

2) 試験結果及び考察

試験区1の連続移動連続灌水方式は、作業が連続しているため、間欠作業に比して作業能率は高く、栽培槽1

個当たりの灌水時間は約30秒となる。しかし作業精度は悪く、灌水量の約46%が灌水ロスとして栽培槽の間から槽外に飛散する状態である。

このような灌水ロスを防ぐ目的で試験区2の連続移動間欠灌水方式が考えられる。この方式では栽培槽が連続的に運転されるので、作業能率は試験区1と同じである。また栽培槽が灌水口の下を通過する時のみ放水し、栽培槽の間では放水を止めるので、灌水ロスを防ぐことが可能である。しかし栽培槽を連続的に移動する方式で、灌水量を増すためには、単位時間当たりの吐出量を増加しなければならない。同一の灌水口であれば、吐出量を増加した時、水勢が強くなって土壤を飛散したり、作物の根元を洗掘する場合がある。

試験区3の間欠移動間欠灌水方式は栽培槽を間欠的に移動するため、作業能率の面で連続移動方式に劣るが、作業精度の面からみれば灌水ロスも無く、灌水量の調節も、一定の吐出量のままで、灌水時間の増減により加減できるため、水勢の変化による作物や土壤への悪影響は認められなかった。以上の試験結果より作業能率の面で、やや劣るが、灌水ロスの少ない間欠移動間欠灌水方式が、この栽培装置に適していると考えられる。

4.3.2 自動灌水装置の構造と作用

自動灌水装置は水平循環式栽培装置と連動して図16のように各栽培槽の株元に、順次灌水を行う装置である。

灌水装置の作用は4.3.1の試験結果に従い、栽培槽の間欠運転と連動して作用する装置とした。すなわち栽培槽が第2リミットスイッチにより停止してから、第2タイマで始動するまでの間に栽培槽へ灌水する。したがって、灌水量は第2タイマの設定時間により調節を行



図16 灌水装置
Fig.16 Irrigation facilities

う。

灌水装置の制御回路を図17及び表17に示すが、これは

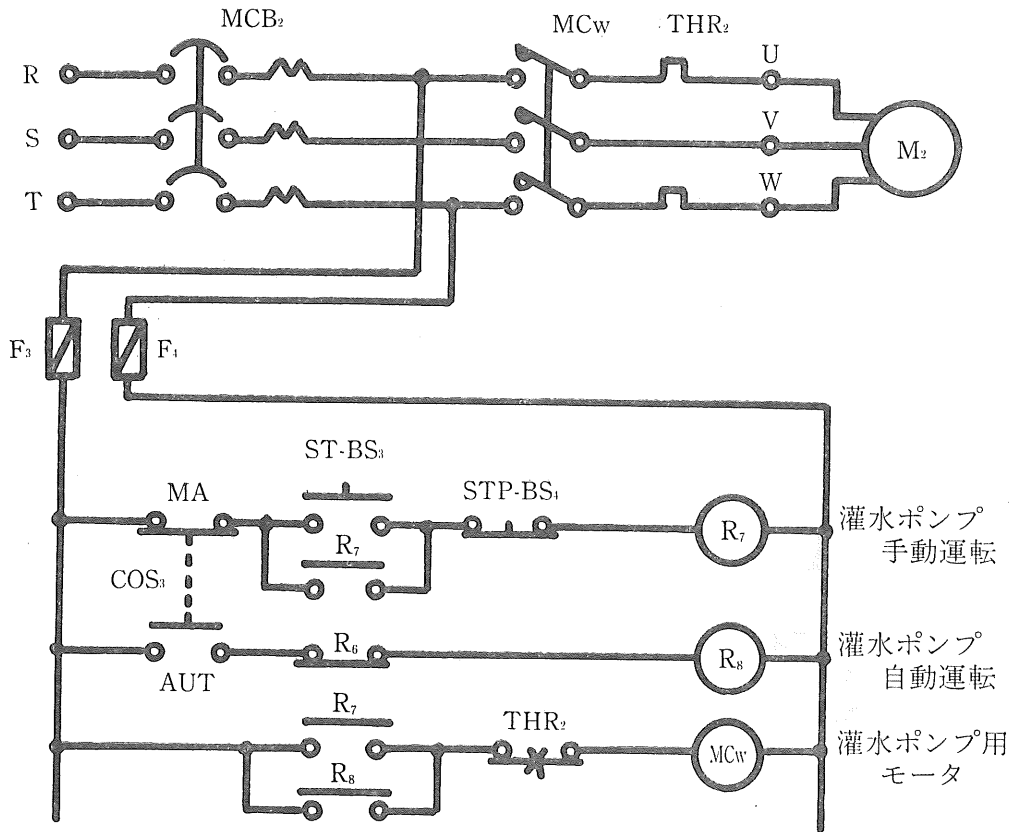


図17 灌水ポンプ制御回路
Fig.17 Sequence circuit for operating irrigating pump

表17 灌水ポンプ運転制御装置の部品表
Table 17 List of parts of sequence circuit shown in Fig. 17

記号	品名	備考
MCB ₂	配線用しゃ断器 ②	M ₂
MCw	電磁閉閉器	M ₂
M ₂	電動機	灌水ポンプ駆動
THR ₂	サーマルリレー ②	M ₂
COS ₃	切換えスイッチ ③	灌水ポンプ手動運転(MA), 自動運転(AUT)の切換え
ST-BS ₃	始動用ボタンスイッチ ③	灌水ポンプ手動運転開始
STP-BS ₄	停止用ボタンスイッチ ④	同上 停止
R ₇	補助リレー	灌水ポンプ手動運転補助
R ₆	同上	栽培槽間欠運転補助 (表3と同じ)
R ₈	同上	灌水ポンプ自動運転補助

栽培槽の運転制御回路(図10)と結合して、完全に自動化が可能となる。なお、本装置の灌水量は水勢による作物や土壌への悪影響を考慮して、30l/minとした。

4.4 防除装置

4.4.1 自動防除装置の構造と作用

防除装置は動力噴霧機により液剤を散布する方式である。散布方法は図18のように並立した2本の支柱に、それぞれ3個のノズルを取り付け、各ノズルは作物の大きさに応じて上下方向に移動したり、散布方向を調節できる形とした。

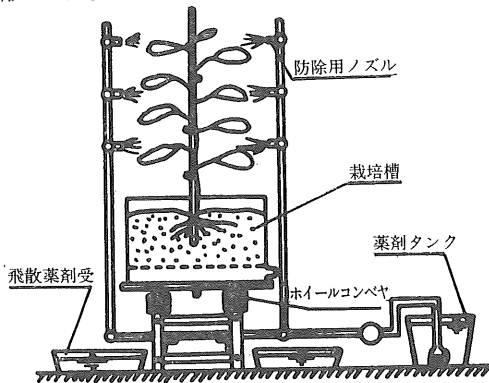


図18 防除装置

Fig.18 Schematic drawing of pest control facilities

薬剤タンクは50l、ノズルからの吐出量は2.7l/minである。また、この装置の特色は完全に自動化されているため、作業中に温室内へ人間の入る必要がなく、安全性が確保できる点と、栽培槽の周りに飛散した薬液を図18に示すような方法で回収できる点である。防除装置の動力噴霧機は図19、表18のように自動運転と手動運転が可能である。自動運転の場合は栽培装置の自動連続運転と連動して防除作業を行う。すなわち第1タイマの設定時間に栽培装置と防除装置を同時に始動して作業を開始する。

栽培槽が一周すると最初の栽培槽に取り付けてあるドッグが第1リミットスイッチに作用して栽培装置と防除装置の自動運転を停止する。

4.4.2 自動防除装置の散布特性試験

自動防除装置の特性試験として1株当たりの散布量と飛散液剤の回収量を調査する。

1) 試験方法

供試作物はトマト(東海2号)で、草丈は約1.2m、各栽培槽は約1m幅に葉が繁茂している状態であった。薬剤にはTPN水和剤の800倍希釈液を使用した。

栽培装置の運転速度は4cm/sとした。また栽培槽の周囲に飛散した液剤を回収するため、ノズルから約2.5mの範囲内に回収容器を設置した。

2) 試験結果及び考察

試験結果は表19に示す。液剤の散布方法は図18のように約1mの幅に繁茂した作物の両側から3個ずつ、計6個のノズルで噴霧したもので、茎及び葉の表裏とも、完全に液剤が塗布された状態で、しかも余分の液が葉面から滴下するほどであった。液剤の使用量は40.2lであるが、この中で栽培槽の周囲に飛散して回収された液量が9.8lで、使用液量の24%に当る。したがって残りの76%がすべて作物に散布されたとすれば、1株当たりの散布量は約230ccとなる。また栽培槽が1m移動する間に6個のノズルから1lの液剤が散布されることになる。

4.5 収穫選果装置

4.5.1 選果機の構造と作業方法

慣行栽培では収穫作業と選果作業が、それぞれ独立した作業として別々の場所で行われる。したがって各作業ごとに、すべての収穫物に作業者が接触しなければならないこととなる。しかし収穫物の損傷を減らす面からみると、幾種類かの作業を同時に行うことにより、収穫物に接触する機会を減らすことも重要な意味を持つてくる。水平循環式栽培装置では収穫作業と選果作業を同一の場所で、同時に行うことが可能となる。図20は、その作業例であり、栽培装置のそばに選果機を置いて収穫選果作業を行っているところである。選果機は形状選別式で、2本のVベルトの間隔が、ベルトの移動に伴って開いて行く構造である。したがって、この上に置かれたトマトの小さい物は手前に、大きい物は先の方で分類容器に落下する。2本のベルト間隔の変化率は、ベルトが1m進む間に間隔は約22mm開くことになる。

4.5.2 収穫選果同時作業試験

1) 試験方法

水平循環式栽培装置で栽培したトマトを用いて収穫選果同時作業の作業能率について試験を行った。作業能率はトマト100個当たりの作業時間を測定した。また選果作業には前述の図20に示す機械を用いた。

2) 試験結果及び考察

収穫作業と選果作業を同時に行った場合と個別に行った場合の作業工程を比較すると表20のようになり、同時作業にすれば人力作業工程が一つ省略できる。トマト100個当たりの収穫作業時間は表21に示すように12.8分、選果作業時間は4.4分である。

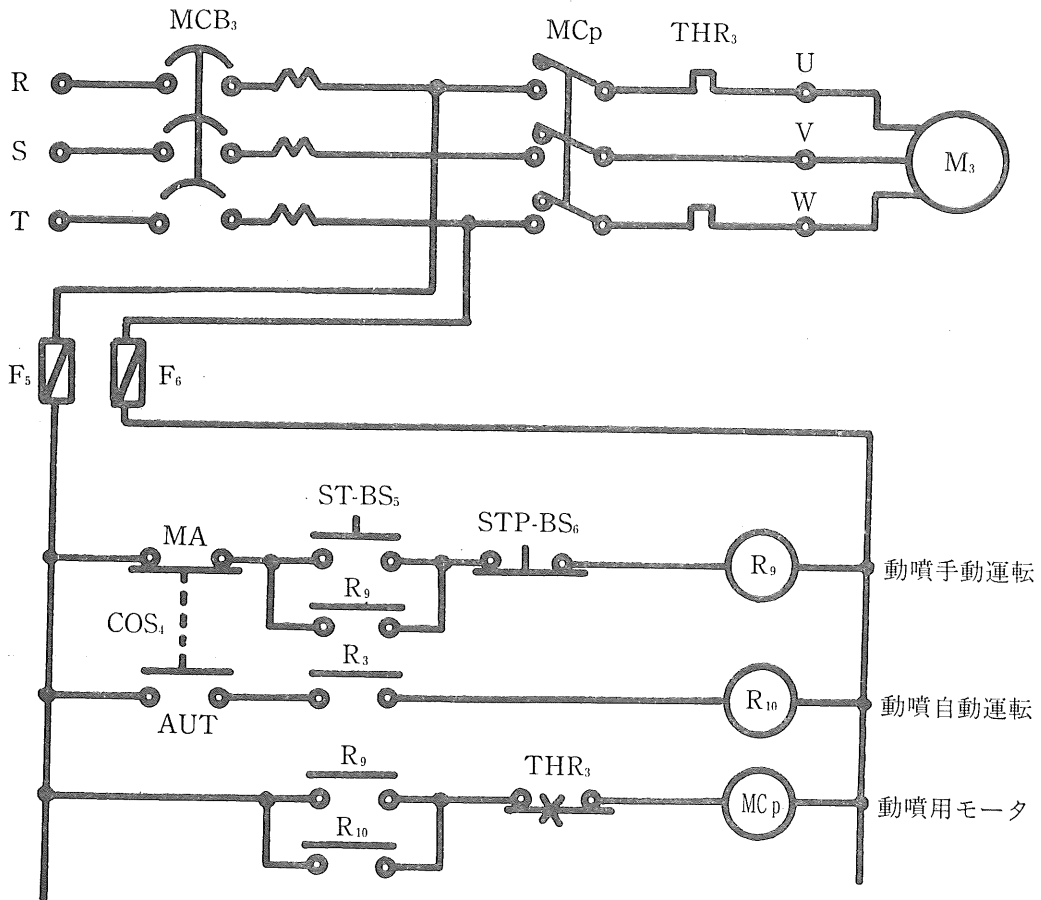


図19 動力噴霧機の制御回路
Fig.19 Sequence circuit for operating powered sprayer

収穫、選果の個別作業では表20における作業①と作業②の和として17.2分が収穫選果作業時間となる。しかし同時作業の場合には作業③となり、これは作業①と同一とみなすことができるので、12.8分が収穫選果作業時間となる。したがって同時作業の場合には個別作業に比較して約26%省力効果をあげることができたことになる。また同時作業によって作業工程数を減らすことは収穫物に接触する回数をも減らすことになり、収穫物の損傷を防ぐ点からみても同時作業は有意義であると考ええる。

5 環境制御装置の試作と特性試験

5.1 装置の特徴と意義

作物を動かす特徴を利用して、従来の作物固定式栽培方式では使用できなかった新しい形の温室内環境制御が可能となった。具体的には温室を作物の栽培区域と人間の作業区域に分け、それぞれに適した環境を作ることができる点である。

温室暖房装置についてみると、作物固定式の栽培方式では、生育の個体格差を小さくする目的で、温室内を均一に暖房することが重要な課題であった。そのため、多くの放熱管を温室内に均一に配置しなければならなかった。しかし本装置のような作物可動式の栽培装置では、

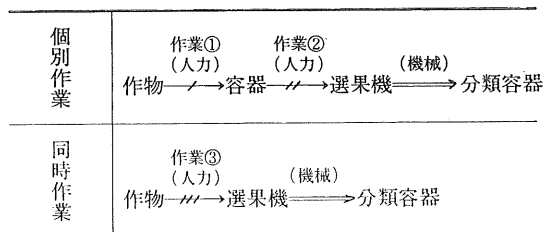
表18 動力噴霧機運転制御装置の部品表
Table 18 List of parts of sequence circuit shown in Fig. 19

記号	品名	備考
ST-BS ₅	始動用ボタンスイッチ ⑤	動噴手動運転開始
STP-BS ₆	停止用ボタンスイッチ ⑥	同上 停止
R ₉	補助リレー	動噴手動運転補助
COS ₄	切換スイッチ ④	動噴の手動運転(MA), 自動運転(AUT)の切換え
R ₃	補助リレー	栽培槽の連続運転補助(表3と同じ)
R ₁₀	同上	動噴自動運転補助
MC _P	電磁開閉器	M ₃
THR ₃	サーマルリレー ③	M ₃
M ₃	電動機	動噴駆動用
MCB ₃	配線用しゃ断器 ③	M ₃

表19 液剤の散布量及び回収量
Table 19 Spraying quantity and recovery quantity of liquid chemical

液剤使用量	40.2 l (100%)
液剤回収量	9.8 l (24%)
1株当たり散布量	0.23 l/株
時間当たり散布量	2.7 l/min
栽培槽の移動距離当たり散布量	1.0 l/m
噴霧圧力	9 kg/cm ²

表20 収穫選果同時作業と個別作業の作業工程
Table 20 Working process of harvesting and sorting of tomato done either separately or simultaneously in combination.



注
 ① → : トマトを摘果して運搬容器へ入れるまでの流れ(作業①)
 ② → : トマトを運搬容器から取り出して選果機へ乗せるまでの流れ(作業②)
 ③ → : トマトを摘果して直接選果機へ乗せるまでの流れ(作業③)
 → : 機械の選別部から分類容器への流れ

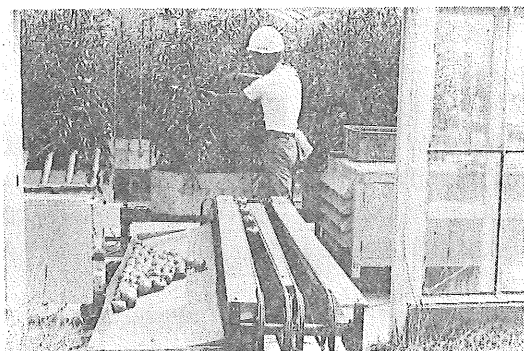


図20 収穫と選別の同時作業
Fig.20 Test of combined work for harvesting and sorting

表21 収穫、選果作業時間
Table 21 Working hours for harvesting and sorting

作業内容	所要時間	備考
収穫作業	12.8 分	表21の作業①と作業③に相当
選果作業	4.4	表20の作業②に相当

注 トマト100個当たり

温室内に多少の温度むらがあっても、作物を動かすことにより、その影響を均一化できるので、放熱器を集中して、配管経費を節約することも可能である。

温室内の冷房に関しても、人間の作業する場所のみを集中的に冷房するスポット冷房方式が可能となった。作物固定式栽培方式では、作物の栽培区域が、そのまま人

間の作業区域であり、一つの平面上に栽培区域と作業区域が重なった状態であるため、スポット冷房方式を用いることは不可能であったが、作物可動式栽培装置では栽培区域から作業場所を分離して小さく絞ることができるので、スポット冷房を導入することも可能となった。

5.2 温室冷暖房装置の構成と作用

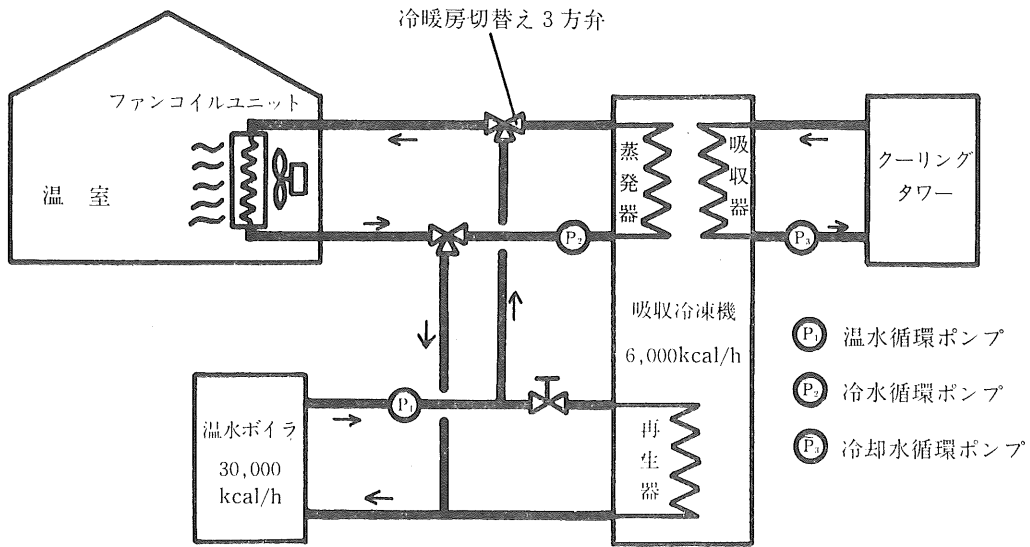


図21 温室冷暖房装置の構成図
Fig.21 Block diagram of heating and cooling system in greenhouse

表22 冷暖房装置各部の仕様
Table 22. Specification of heating and cooling system

吸収式冷凍機	冷凍能力	6,000 kcal/h	
	冷水出口温度	9 °C	
	熱媒入力	10,000 kcal/h	
	熱媒入口温度	90 °C	
クーリングタワー	冷却水入口温度	29 °C	
	冷却水放熱量	16,000 kcal/h	
温水ボイラ	温水出口温度	暖房時	60 °C
		冷房時	90 °C
ファンコイルユニット	風量	23 m ³ /min	
	暖房能力	8,800 kcal/h	
	冷房能力	6,000 kcal/h	

温室の冷暖房装置は図21に示すように温水ボイラと吸収冷凍機より構成されている。暖房時には温水ボイラから直接ファンコイルユニットへ温水を送って加温する。また冷房時には温水を再生器へ送って冷凍機を運転し、できた冷水をファンコイルユニットへ循環して温室の局部的冷却を行う。冷暖房装置各部の仕様を表22に示す。

5.3 作物栽培区域の暖房試験

1) 試験方法

水平循環式栽培装置を設置した83m²の温室を前述の冷暖房装置を用いて加温した。温室の被覆状態は一重ガラス、一層カーテンである。栽培装置にはトマトを栽培して草丈が1.2mで、各株とも約1mの幅に繁茂した状態である。暖房試験時の測定項目は温室内外の気温、加温装置各部の温度、温室内の相対湿度、温水循環量などである。

2) 試験結果及び考察

温室暖房時の各部の温度を図22に示す。栽培区域内の気温を13°Cに設定した場合の温度変動は±3°Cである。

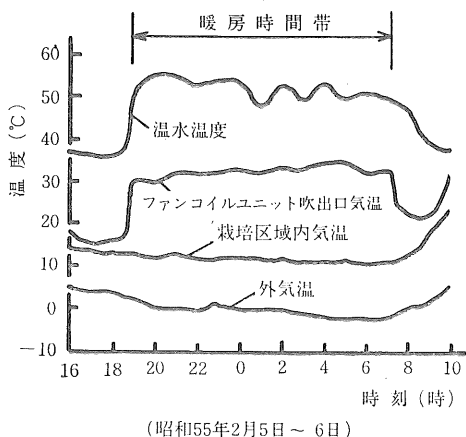


図22 温水暖房時の加温特性
Fig.22 Variation of temperature at each point during heating by hot water

また、この時の温水温度は約55°C、ファンコイルユニットの吐出口における気温は約33°Cである。温室内の空気の流れはファンコイルユニットから天井のカーテンに向けて温風が吐出され、カーテンに沿って温風は拡散される状態である。循環している栽培槽上での温度変化は図23のとおりである。この図は栽培槽が軌道上を5回循環した時に、栽培槽の表面より60cm上方の点の温度を、軌道の位置に対応させて示した図である。設定温度に対して±3°Cの変動が認められるが、これはサーモスタットの感度に起因するものであり、温度分布の偏りは認められなかった。温室内の気温と相対湿度の関係を図24に

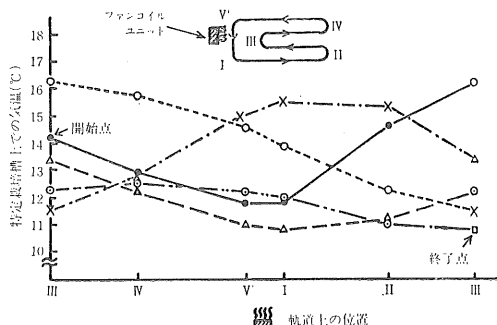


図23 循環している栽培槽上での温度変化
Fig.23 Variation of air temperature immediately above circulating culture box

示す。相対湿度が午前10時頃に最低となり、夜間に比較的高いのは一般の温室と同様である。しかし、供試温室は床面をコンクリートにしたため、作物の茎葉に結露するようなことは少なかった。

5.4 作業区域の冷房試験

1) 試験方法

水平循環式栽培装置を設置した温室を図25のようにカーテンで仕切って作業区域を作り、この区域内を前述の冷房装置により集中的に冷却した。作物の管理作業や収穫作業は、カーテンの中央部を開いて行う方式である。栽培区域には収穫期のトマトを栽培しており栽培区域の温室の窓は全開、仕切カーテンも作業位置の部分を開いて、作業時の状態で冷房試験を行った。冷房試験時の測定項目は各部の温度、作業区域内の相対湿度、冷水循環量などである。

2) 試験結果及び考察

作業区域のみを局部的に冷房した場合の試験結果は図26に示すように、作業区域の気温を外気温よりも3~4度低くすることが可能であった。また、この時の冷水循環量は29l/min、ファンコイルユニットの冷水温度は入口で9°C、出口で12°C、風量は32m³/minであった。したがって作業区域より約5200kcal/h (=29×60×3)の熱が運び出されたことになる。

6 水平循環式栽培装置の利用試験

前章までに各装置の構造、作用等について述べたが、本章では、これらの装置を用いて総合的な利用試験を行い、栽培時の所要労力、作物の生育、収量等について試験及び調査を行った。

6.1 栽培時の所要労力

6.1.1 調査方法

栽培時の所要労力の調査方法は83m²の温室内に試作

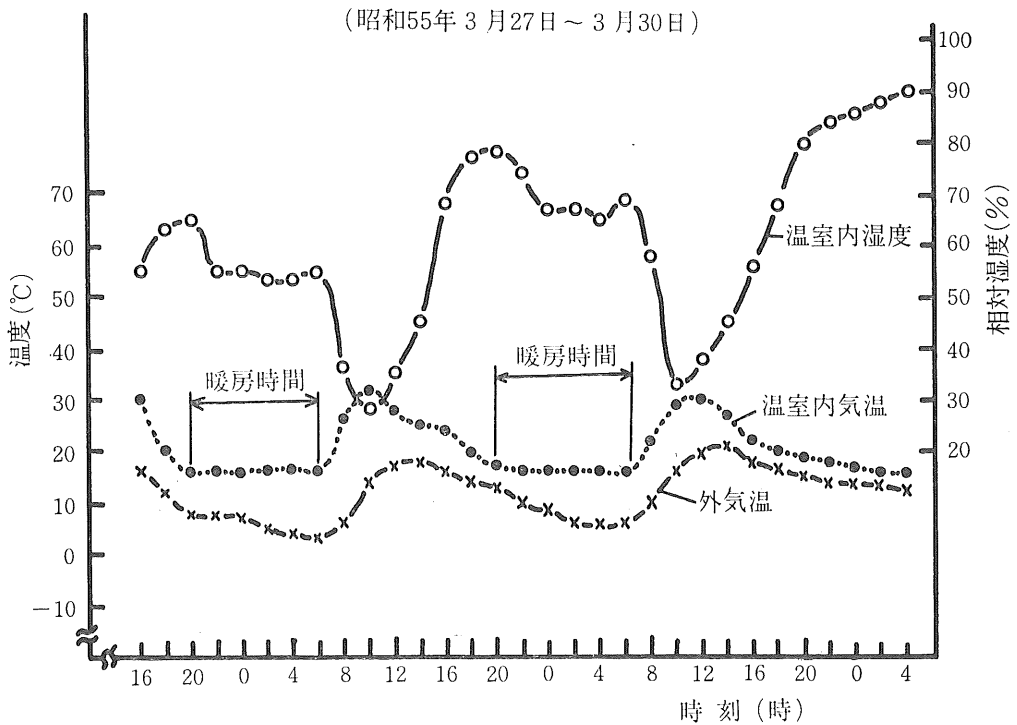


図24 温室内の気温と相対湿度
Fig.24 Temperature and relative humidity in greenhouse

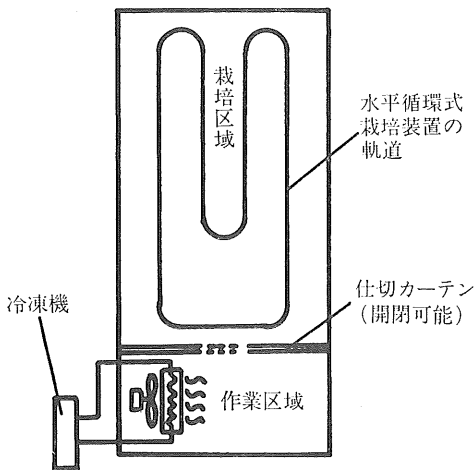


図25 作業区域内のスポット冷房方式
Fig.25 Schematic drawing of spot cooling in working area of greenhouse

より10a当たりの労働時間を換算した。換算方法は10a規模に拡大した水平循環式栽培装置を想定して、これに実測値を当てはめた。換算のために想定した10a規模の栽培装置は、温室の形状を間口20m、奥行50mとした。栽培槽の大きさと配置は試作した装置を、そのまま用いて図27のように設置する方針とした。その結果、軌道の全長は776mとなり、栽培槽は全部で658個となった。なお、10a規模の装置が試作した83m²規模の装置と異なる点は、作業区域を温室北面の中央部に限定した点と、装置の駆動部である。作業区域の大きさは幅2.4m、奥行4.8mとし、温室外にも補助的な作業場所を付設する形とした。装置の駆動部は図27のように温室の表面に設置したスプロケット8個の全軸を同時に駆動して、軌道チェーンにかかる張力の均一化を図った。栽培装置及び作業装置の運動方法は試作した装置と同様である。

6.1.2 各作業別労働時間

1) 育苗作業

育苗作業は供試作物のは種から本圃への定植に至るま

した水平循環式栽培装置を用いてトマトの促成栽培を行い、この時の各作業別労働時間を実測した。次に実測値

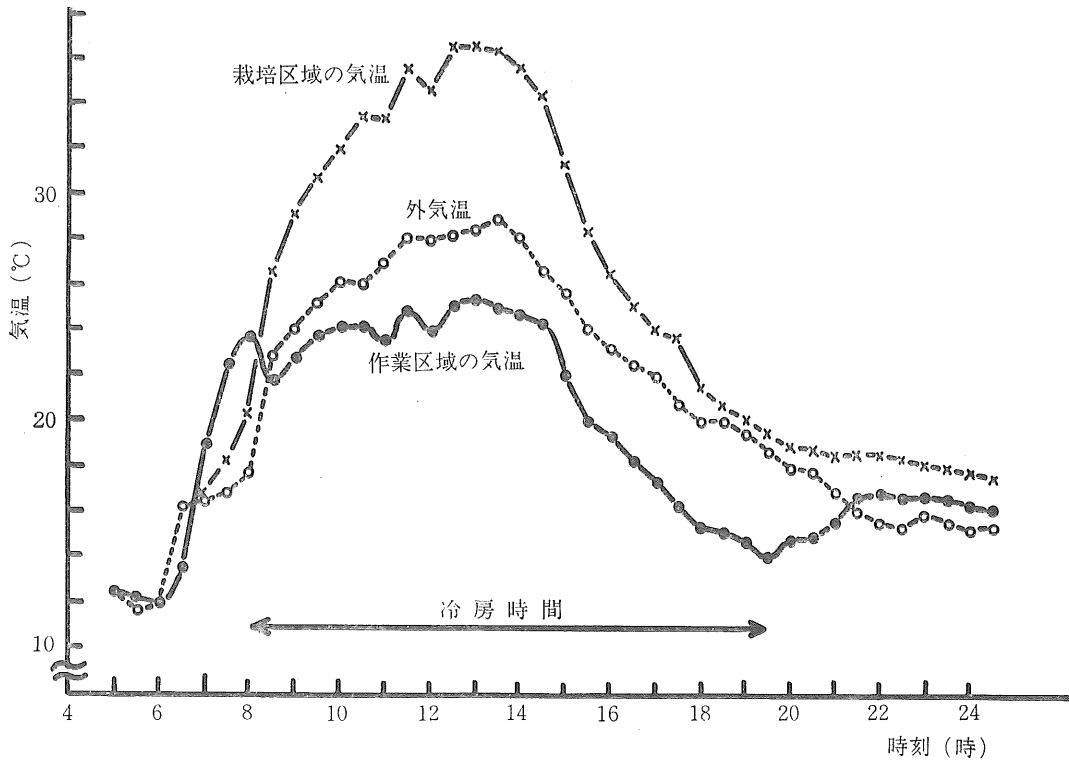


図26 冷房時の各部の気温

Fig.26 Temperature in working area crop growing area and outside atmosphere

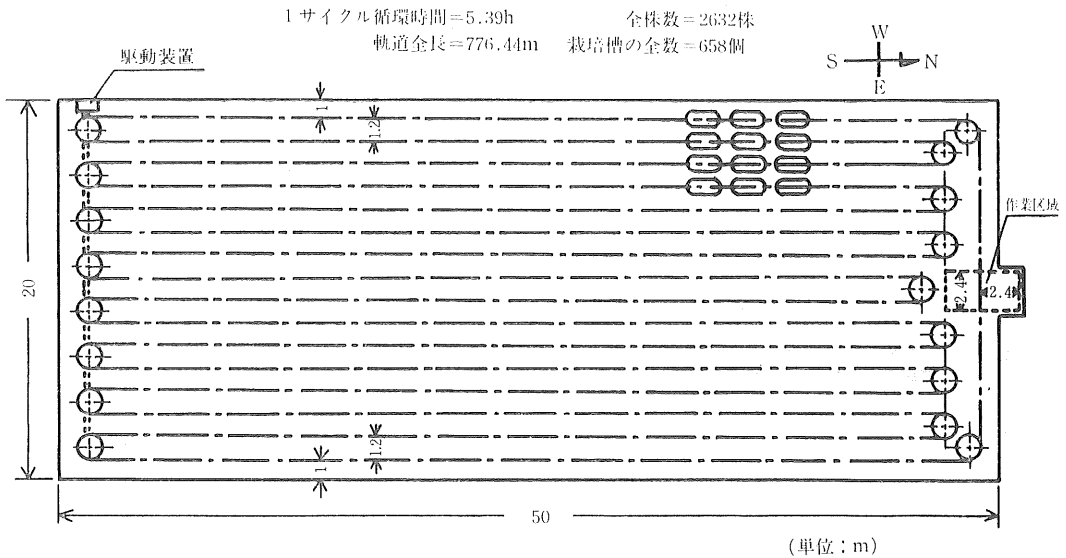


図27 10 a 規模の栽培装置の設計

Fig.27 Plan of horizontal circulating culture system of 10 a scale

での作業であり、は種、灌水、移植、ポットのずらし作業などが含まれる。供試作物にはトマト（ダイア交配おのみやFTVR）を使用した。

は種作業は慣行栽培に従い、育苗箱にわら堆肥の床土を入れ、そこには種した。は種後の育苗箱は28～30℃の定温器内に3～4日間入れて発芽させた後、水平循環式栽培装置の栽培槽上に置いて育苗管理作業を行った。その中で灌水作業には、前記4.3の自動灌水装置を使用した。

移植作業は本葉が1.5葉時に育苗箱からプラスチックポットへ移し、それを図28のように栽培槽の上に並べた。その後は苗が大きくなるに従ってポットを分散して間隔を広げて行った。移植作業とポットの分散作業を行う時には栽培槽を動かして、運搬作業の省力化を図った。



図28 栽培槽上での育苗状況
Fig.28 Seedlings on culture box

表23 育苗作業時間
Table 23 Working hours for raising seedlings

作業内容		所要時間	10a当たり換算時間	備 考
は種作業	育苗箱への土入れ	2 分/2 a		は種量は20 mlであり、育苗箱は1箱で2 a分の苗を育苗できる。
	灌 水	1		
	は 種	28		
	覆 土	1		
	計	32	2.7 h/10 a	
移植作業	鉢への土入れ	28 分/100鉢		10 a当たりの株数を2632株とした
	鉢への移植	14		
	灌 水	17		
	計	59	25.9 h/10 a	
鉢ずらし作業		11 分/1回100鉢	14.4 h/10 a	10 a当たりの株数を2632株とし、育苗中に3回この作業を行うことにした。
育苗作業 合計			43.0 h/10 a	

育苗作業に要する労働時間は表23のように約43時間となり、慣行の育苗作業時間 103.6h/10a に比べて大幅に省力化できた。これは灌水作業を自動化したことと、ずらし作業などの苗の運搬作業が省力化できたためであると考えられる。

2) 床土処理作業

床土処理作業は4.1.2で述べたように、栽培槽1個当

たり約4分を要する。10aの施設では栽培槽が658個となるので、労働時間は約43.9時間となる。

3) 定植作業

定植作業は図29に示すようにポットで育苗した苗を作業場所にまとめて置き、これを栽培槽に4株ずつ植える作業である。水平循環式栽培装置では栽培槽を動かすことができるので、慣行作業のように苗を温室全面に配

置する作業は不必要となる。作業手順は栽培槽の床土に穴をあけ、ポットから苗を取り出して穴に入れ、土を寄せる。作業速度に応じて、栽培槽を間欠的に手で運転する。定植作業に要する労働時間の実測値は100株当たり30分となるので10a当たりの労働時間は株数を2632株として13.2時間となる。



図29 定植作業

Fig.29 Planting of seedlings to culture box

4) 支柱立て及び苗の固定作業

支柱は図4に示すように、栽培槽内の床土に差し込むとともに、支柱取付金具を用いて栽培槽に固定する。また作物はひもで支柱に結び付ける。これらの作業に使用する材料は、すべて作業場所に集積しておき、栽培槽を動かしながら順次組み立てて行く。したがって材料を温室内へ配置する作業が省力化できる。作業手順は、まず栽培槽へ支柱支持金具と支柱を取り付け、次に作物を支柱に固定する。この作業は定植直後に行うため、この時点では作物を一箇所だけ支柱に結び付けるのみであるが、作物の成長につれて7~10日に1回の割合で、支柱

表24 支柱の取付と苗固定作業時間

Table 24 Working hours for providing supporting posts to growing plants

作業内容	所要時間	10a 当たり 換算時間
支柱支持 金具取付	5 分	
支柱取付	4	
計	9	9.9 h/10a
苗固定	5	27.5 h/10a

注 所要時間は栽培槽10個当たりの実測時間

に作物を結びつけなければならない。これらの作業に要する労働時間は表24に示すように支柱を栽培槽へ固定するのに10a当たり9.9時間となる。また支柱に作物を結び付ける時間は、10aにつき1回当たり5.5時間となり、全栽培期間中に、この作業を5回ほど行うので、全体で27時間となる。

5) 灌水作業

灌水作業は前述4.3の自動灌水装置によって完全に自動化できるので労働時間は0とした。

6) 除草作業

栽培槽内の除草は栽培槽を連続的に運転しながら作業を行うことができる。したがって10aの全栽培槽を1回除草するのに要する労働時間は約5.4時間となる。トマトの栽培期間中に約5回の除草作業を行うので10a当たりの除草作業に要する労働時間は27時間となる。

7) 追肥作業

追肥には液肥を用いて、それを灌がい水中に混合して施用する方式とした。液肥の計量、補給作業などを要するが僅少であるため、労働時間は0とした。

8) 芽かき作業

トマトの花房下のわき芽を除去する作業であり、栽培槽を連続運転しながら実施した。10aの労働時間は1回当たり5.4時間であり、栽培期間中に約10回この作業を行うので合計すると54時間となる。

9) 防除作業

防除作業も前述4.4の自動防除装置によって完全に自動化できる。また調剤や作業後の装置の洗浄にも作業が必要である。調剤作業は所定量が定めれば、わずかな時間で作業を完了できる。また装置の洗浄は自動的に行うことができるので、労働時間を0とした。

10) 収穫選果作業

収穫選果作業は4.5に記したように、選果機を温室内へ持ち込んで、収穫と選果を同時に行う作業方式である。トマト100個当たりの収穫選果作業に12.8分を要するので、10a当たりの収量を9.7t、トマト100個の重量を平均17kgとすれば、10a当たりの労働時間は122.2時間となる。

11) 作物の後片付け作業

収穫の終わった後の作物や支柱などを取り除く作業である。作業順序は、まず作物を支柱から取りはずし、地上部を切断して、作業区域に導入した運搬車へ積み込む。次に支柱や取付金具などを分解して、作業区域内に部品別に分類しておく。最後に根部を引き抜いて運搬車に積

み込み、1個の栽培槽の後片付けを完了する。このように栽培槽を、作業速度に合わせて、間欠的に手動運転をしながら作業を進める。

この作業に要する労働時間は表25に示すとおりである。

表25 作物後片づけ作業時間

Table 25 Working hours for removing crop residues and supporting posts from culture box after the harvest

作業内容	所要時間	10a 当たり 換算時間
作物の地上部除去	11 分	
支柱除去	6	
作物の根部除去	8	
計	25	27.4 h/10a

注 所要時間は栽培槽10個当たりの実測時間

この作業も大部分は手作業であるが、作物残渣や支柱などの温室での運搬作業が省力化できる。

12) 土の排除作業

栽培の終了した土壌は消毒したり、新しい土壌と交換する必要がある。土壌消毒については4.2に記したので、ここでは土の排除作業に要する労働時間を検討する。栽培槽から土を排除するのに要する労働時間は、栽培槽10個当たり15分となるので、10a 当たりに換算すると、栽培槽が658個あるので、16.5時間となる。

以上の結果をまとめれば、10a 規模の水平循環式栽培装置を用いてトマトを栽培したときの各作業別労働時間は表26のようになり全体の作業時間は384.6時間となる。

6.1.3 結果及び考察

水平循環式栽培装置を用いてトマトの促成栽培を行った場合の各作業別労働時間を示すと表26のようになる。栽培装置によって、運搬作業が全面的に省力化されることと、灌水作業や防除作業のように完全に自動化できる作業もあるので、全体の作業時間は384.6時間となり、昭和54年産トマトハウス促成栽培の10a 当たり労働時間1209.1時間と比較して約1/3に省力化できたことになる。

6.2 作物の生育と収量調査

水平循環式栽培装置を用いてトマトを栽培した場合の生育状況及び収量について調査を行った。

1) 供試作物の栽培方法の概要

供試作物にはトマト（ダイヤ交配おのみやFTVR）を

使用して、昭和52年9月2日には種、9月13日に鉢上げ（移植）、10月5日に栽培槽へ定植した。栽植密度は栽培槽1個当たり4株としたので10a当たり2632株となる。

収穫は昭和53年1月12日より開始して4月10日に終了した。

床土の材料には4.1に記したように、栽培槽1個当たり火山灰性埴壤土と、わら堆肥及び靱殻くん炭を、それぞれ50Lずつ用い、これに元肥として硫酸25g、燐60g、硫加30g、苦土石灰100gを加えて混合した。追肥は液肥（住友化学1号、15-6-6）を500倍に希釈して、第1花房、第3花房、第5花房が、それぞれ直径1~2cmになったところに施用した。

主な栽培管理方法について記すと、作物は各栽培槽に4株を直立1本支柱立てとして、5~6段（草丈130cm）で摘心した。ホルモン散布は開花当日か翌日にトマトの100倍液を花房に散布した。灌水は1日に1~2回行った。1回の灌水量は栽培槽1個当たり約4Lとした。防除作業は毎週1回の割合で実施した。

栽培温室内の温度管理は夜間の気温が13°C、昼間の気温が20°C以上になるように設定した。

2) 生育及び収量の調査方法

生育調査はトマトを栽培槽に定植後、無作為に抽出した10株について、10日ごとに草丈の測定を行い、その平均値を求めた。また収量調査は同じ10株について、収穫

表26 水平循環式栽培装置によるトマト促成栽培の労働時間 (10a 当たり)

Table 26 Total working hours required for the forcing culture of tomato in winter by the use of horizontal circulating culture system [h/10a]

作業内容	所要時間	割合
育 苗	43.0	11.2
床土処理	43.9	11.4
定 植	13.2	3.4
支柱取付	9.9	2.6
苗 固 定	27.5	7.2
除 草	27.0	7.0
追 肥	0	0
芽 か き	54.0	14.0
灌 水	0	0
防 除	0	0
収穫・選別	122.2	31.8
後片づけ	27.4	7.1
床土の排出	16.5	4.3
計	384.6	100

個数と重量を測定した。

3) 調査結果及び考察

トマトの草丈は図30に示すような経過をたどった。収量調査結果は表27のように、1株当たり平均21個で、3.7kgとなった。これを10a当たり2632株として換算すると9.7tの収量となる。またトマト1個当たりの重量は平均で173.1gであった。

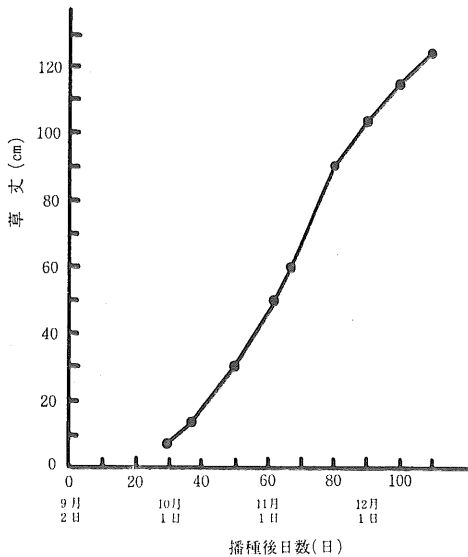


図30 播種後日数と草丈の推移
Fig.30 Relation between plant height and number of days after sowing

6.3 養液栽培への適応性

6.3.1 土壌を利用した栽培の問題点とその対策

水平循環式栽培装置の栽培槽に土壌を入れてトマトを栽培する方式では6.1に記したように、各作業に要する労働時間は慣行栽培の約1/3に省力化することができる。

表27 トマトの収量調査
Table 27 Yield of tomato

株 No.	収 量	
	個 数	重 量
1	23 個	3536 g
2	22	3529
3	21	3532
4	21	3566
5	22	3756
6	23	4008
7	21	3668
8	19	3926
9	19	3592
10	21	3574
計	212	36687
1株平均	21.2	3668.7

1個平均重量 = 173.1 g

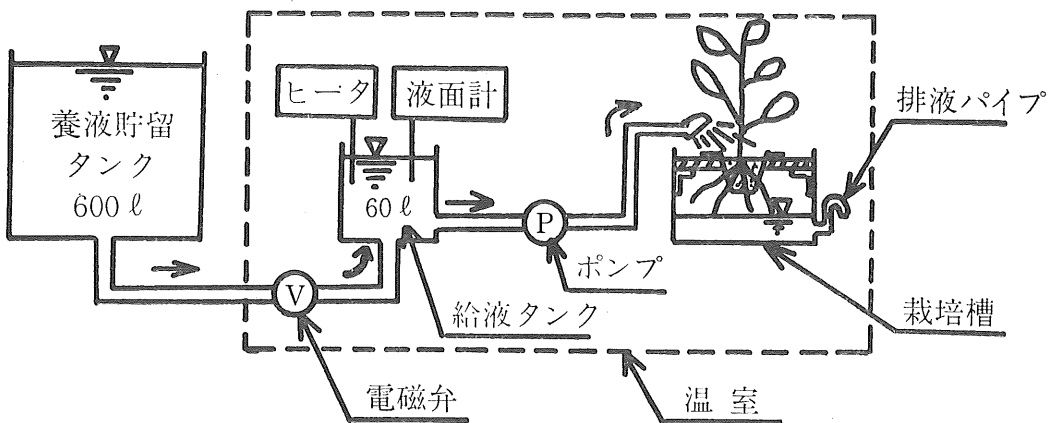


図31 養液の自動給液装置
Fig.31 Automatic feeder of solution

しかし床土処理作業時間は全作業時間の約11%に達している。また、本装置は栽培槽を動かす方式であるため、その動力は栽培槽の重量に比例する。このように床土に土壌を使用する場合の問題点として処理作業に多くの労働時間を要する点と、栽培槽の重量が大きくなる点をあげることができる。そこで床土に軽い材料を使用するか、あるいは床土を全く使用しない栽培方式が有利であると考えられるので、水平循環式栽培装置に適合した養液栽培装置を試作して、その性能を検討する。

6.3.2 自動給液装置の試作

固定した作物を対象とした養液栽培方式には、固形培地耕（砂耕や礫耕など）、水耕、噴霧耕などのように種々な形があり、それぞれの形に適した給液方式が用いられている。しかし、これらの装置をそのまま作物可動式栽培装置に適用することはできないので、水平循環式栽培装置に適した形の養液の自動給液装置を試作した。

1) 装置の構造

自動給液装置は図31に示すように養液貯留タンク、給液タンクとヒータ、制御部より構成されている。また栽培槽には軽い固形培地（パーライト）を用いて根部の保水性と通気性を良くした。

養液貯留タンクは屋外に設置して、約1週間分の養液が貯留できる。養液貯留タンクの容量は約600lである。

給液タンクは冬期に養液を加温する部分であり、タンクの大きさは全栽培槽に1回給液できる容量で、この装置の場合は60lである。またヒータは1kWで、タンク内に設置して設定温度に養液を加温することができる。制御部は4.3.2の自動灌水装置を用いてポンプと栽培槽を交互に、間欠的に運転できる構造である。

2) 装置の作用及び運転方法

まず養液貯留タンクに所定量の肥料を混合して溶液を作る。この試験ではO社のハウス肥料を使用した。装置はタイマの設定時刻に運転を開始し、まず貯留タンクから給液タンクへ養液を送る。給液タンクが一杯になるとヒータで加温する。養液の設定温度は18°Cとした。加温終了後、各栽培槽への灌水を行う。

3) 装置の利用試験

試作した自動給液装置を用いて、水平循環式栽培装置でトマトを栽培した。養液は1日1回、1株当たり約400ccの養液を栽培槽の表面から注入したが、固形培地のパーライトに保水される量も多いので、ほとんど排水の必要はなかった。しかし固形培地を使用する方式では、培地の処理作業が必要となる。また固形培地を使用した養液栽培では、栽培槽1個の重量が約50kgとなり、土を用いた場合に比して、約1/3の重量に軽減できる。

6.3.3 自動排水装置の試作

(a) 排水開始時

(b) 排水終了時

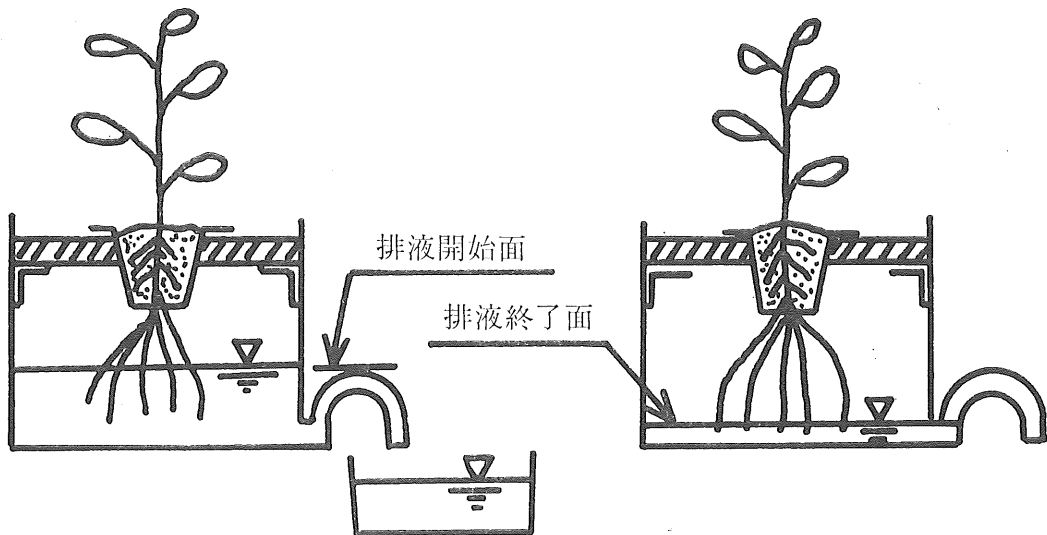
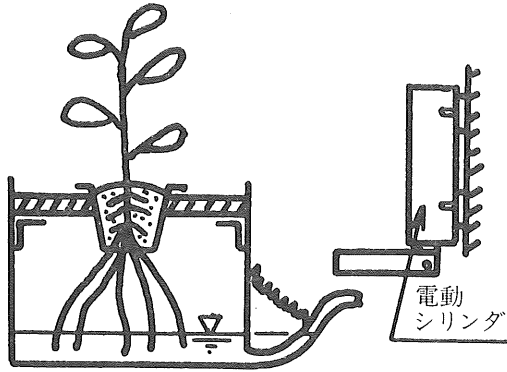


図32 サイフォンによる自然排水方式
Fig.32 Spontaneous drainage by siphon

固形培地を全く用いない水耕栽培では、栽培槽内の養液の更新、あるいは根に酸素を補給するため、自動的に給液するとともに栽培槽内の余剰液を排除することも必要となるので、2種類の自動排液装置を作り、試験を行った。

(a) 非排液時



(b) 排液時

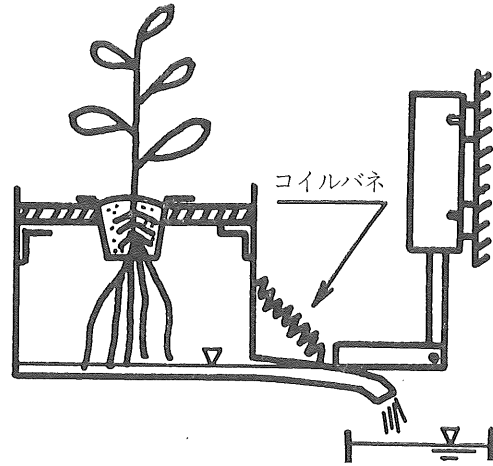


図33 電動シリンダによる強制排液方式
Fig.33 Compulsory drainage by electromotive cylinder

1) 排液装置の種類と構造及び作用

排液装置として、自然排液装置と強制排液装置の2種類を試作した。自然排液装置は図32のように、サイフォンを用いた形であり、栽培槽内の液面が、ある基準面をこえると養液は自然に排液される。

強制排液装置は図33のように栽培槽内の液量の多少にかかわらず、任意の時間に電動シリンダでパイプを強制的に押し下げて排液することができる。この装置に使用した電動シリンダは30Wで、ストロークは100mmである。

また電動シリンダは栽培槽の自動間欠運転装置と連動させて使用する。

2) 排液装置の利用試験

水平循環式栽培装置でマスクメロン(久留米交4号)を水耕栽培しながら装置の作動状態を検討した。

栽培槽内の溶液を自然に排除する装置では、栽培槽内の液面の高さで排液時期が決まるので、各栽培槽ごとに排液時期がまちまちであり、自動的に一定の場所で排液することは困難であった。また、この装置では1回の排液量が20~25lとなり、1回の給液量1.2~1.8lに比べて多いので、栽培槽内に4~5日の間、液をためておく状態であった。これに対して強制排液装置は構造がやや複

雑となるが、栽培槽内の養液を強制的に排液できるので、栽培槽内の養液を常に新鮮な状態に保つことができた。

6.3.4 養液栽培の効果

水平循環式栽培装置を用いて養液栽培を行った場合の効果は床土処理作業の省力化と栽培槽重量の軽減による

動力の節減である。養液栽培によって労働時間の短縮された作業は床土処理、定植、除草、作物の後片づけ、床土の排出などであり、他の作業は土耕と同様である。各耕法別の効果は表28のとおりである。床土処理作業に関しては固形培地耕法でも、パーライトをそのまま栽培槽

表28 耕法別の労働時間と栽培槽の重量
Table 28 Working hours and weight of culture box in soil culture, solid bed culture, and solution culture types

作業内容	土 耕	固 形 培地耕	水 耕
床土処理	43.9 ^h	16.5 ^h	0 ^h
定 植	13.2	7.7	7.7
除 草	27.0	0	0
後片づけ	27.4	27.4	23.0
床土の排出	16.5	16.5	0
そ の 他	256.6	256.6	256.6
計	384.6	324.7	287.3
栽培槽の重量	150 kg	60 kg	40 kg

注 労働時間は10a当たり
重量は栽培槽1個当たり

へ入れるだけであり、土耕法のように床土材料や肥料を混合する必要がないので、それだけ労働時間を短縮することができる。また水耕法では床土処理作業を全部省くことが可能となる。定植作業は鉢上げ時に養液栽培用の網状の鉢を用いるので、この鉢を栽培槽の表面に置いた発泡スチロール板の穴にはめ込むだけの作業であり、土耕法の定植作業に比べて省力化される。栽培槽の表面は発泡スチロール板であるため、雑草も生えず、除草作業も不必要となる。作物の後片づけに関しては地上部（茎葉部）の処理作業は土耕法と、ほとんど差はないが、地下部（根部）の処理作業についてみると、水耕法では根部を容易に排出することが可能となる。床土の排出作業についてみると、固形培地耕法では、その効果が認められないが、水耕法では省力効果が顕著である。

栽培槽 1 個当たりの重量は表28のような結果である。これは栽培槽内の資材の差によるものと考えられる。

以上のように省力化と省エネルギーの面からみると、水平循環式栽培装置には水耕栽培が適していると考えられる。

7 水平循環式栽培装置の経済的考察

7.1 経費の分類と見積り

水平循環式栽培装置の設置及び運転に要する経費は固定費と変動費に分類される。

固定費には償却費、投下資本利子、税金及び保険が含まれる。また変動費には修理費、運転経費が含まれる。ここでは税金及び保険は除外して、その他の経費について考えると、1年間の使用経費は次式で表わすことができる。

$$Y_n = d + i + r + f + l \dots\dots\dots(1)$$

ここで Y_n : 1年間当たりの使用経費 (円/Y)

d : 償却費 (円/Y)

i : 資本利子 (円/Y)

r : 修理費 (円/Y)

f : 運転経費 (円/Y)

l : 労働費 (円/Y)

償却費の算出法には定額法、定率法、比例法などがあるが、使用経費算出のためには、毎年一定額を償却する定額法を用いた。この方法を用いると、償却費は次式で表わされる。

$$d = \frac{C - S}{N} \dots\dots\dots(2)$$

ここで C : 設置価格 (円)

S : 残存価格 (円)

N : 耐用年数 (年)

設置価格は循環軌道 1 m 当たり約 2 万円となるので、10a 当たりの軌道長を 776 m として、設置価格は 1552 万円となる。

残存価格は栽培装置をスクラップ化するまで使用するものと考え、廃棄価格は購入価格の 1~3% になると考えられるので、これを無視して

$$S = 0 \dots\dots\dots(3)$$

とする。

耐用年数は実験規模の試作装置についてみると、7年間使用しても、ほとんど修理を要しない状態であるので、耐用年数を 10年と 15年にした場合について検討する。

資本利子は定額法により計算すると次式で示される。

$$i = \left(\frac{C + S}{2} \right) \alpha \dots\dots\dots(4)$$

ここで α : 年利率

$$\alpha = 0.04^2 \dots\dots\dots(5)$$

とする。

修理費は使用条件及び取扱技術によって著しく異なるが、廃棄するまでの総修理費は設置価格の約 23%¹¹⁾ であるとして

$$r = \frac{0.23C}{N} \dots\dots\dots(6)$$

運転経費は主として装置を動かすための電気料で、次式のように示される。

$$f = EPt \dots\dots\dots(7)$$

ここで E : 1 kWh 当たりの電気料 (円/kWh)

P : 原動機の出力 (kW)

t : 年間の運転時間 (h)

原動機の出力は栽培装置 1 m 当たり約 3 W が必要となるので、10a の装置では軌道全長 776 m に対して約 2.3 kW を要することになる。

栽培装置の年間使用期間を 9 ヶ月として、1日に平均 1.5 サイクル運転することにする。また 10a の装置では 1 サイクルの運転時間が約 5.4 時間となる。したがって年間運転時間 (t) は

$$t = 9 \times 30 \times 1.5 \times 5.4 \\ = 2187 \text{ (h)}$$

となる。

労働費は年間の労働時間と、1時間当たりの労賃で表される。

$$l = Lx \dots\dots\dots(8)$$

ここで L : 年間労働時間 (h)
 x : 労賃 (円/h)

水平循環式栽培装置によるトマト1作当たりの所要労働時間は385時間であり、1年間に2作を行うとして、年間の労働時間は770時間となる。

(1)~(8)式より次のような1年間の使用経費の式を得る。

$$Y_n = \frac{C}{N} + \frac{\alpha C}{2} + \frac{0.23C}{N} + EPt + Lx \dots\dots\dots(9)$$

上式の第1項から第5項までは、それぞれ償却費、利子、修理費、運転経費、労働費である。

ここで $C=1552 \times 10^4$ (円)
 $N=15$ (年)
 $\alpha=0.04$
 $E=20$ (円/kWh)
 $P=2.3$ (kW)
 $t=2187$ (h)
 $L=770$ (h)

を(9)式に代入すれば次式を得る。

$$Y_n = 1552 \times 10^4 \times \left(\frac{1}{15} + \frac{0.04}{2} + \frac{0.23}{15} \right) + 20 \times 2.3 \times Y \times 2187 + 770x$$

$$= 180.8 \times 10^4 + 770x \dots\dots\dots(10)$$

1年間に2作を行うとすれば1作当たりの使用経費は次式で示される。

$$S = \frac{1}{2}Y$$

$$= 90.4 \times 10^4 + 385x \dots\dots\dots(11)$$

ここで S : 装置の耐用年数が15年の場合の10a, 1作当たりの使用経費 (円/10a)

同様に耐用年数が10年の場合についてみると次式で示される。

$$S' = 118.7 \times 10^4 + 385x \dots\dots\dots(12)$$

ここで S' : 装置の耐用年数が10年の場合の10a, 1作当たりの使用経費 (円/10a)

7.2 野菜生産費と装置の経済性の考察

慣行の施設野菜生産費と比較するため、昭和54年度の野菜生産費を引用すれば表29のようになり、これを労賃 x の関数として示せば次式のようなになる。

$$M = 66.1 \times 10^4 + 1209x \dots\dots\dots(13)$$

ここで M : ハウス促成トマトの生産費 (円/10a)

次に水平循環式栽培装置によるトマトの生産費について検討すると表29に示した項目の内、①~⑭までの項目の66.1万円は必要経費として、そのまま使用し、これを

表29 トマトのハウス促成栽培生産費(昭和54年度)
 Table 29 Production cost of forcing culture of tomato in winter [in 1979]

費目	金額	割合
① 種苗費	8,217 円	0.6 %
② 肥料費	86,214	6.2
③ 農薬費	46,804	3.4
④ 光熱動力費	52,225	3.7
⑤ その他の諸材料費	18,433	1.3
⑥ 土地改良及び水利費	2,469	0.2
⑦ 賃借料及び料金	702	0
⑧ 建物等設備費	8,625	0.6
⑨ 園芸施設費	261,893	18.8
⑩ 農具費	57,604	4.1
⑪ 資本利子	49,928	3.6
⑫ 地代	67,520	4.8
小計	660,634	47.3
⑬ 労働費	734,813	52.7
計	1,395,447	100.0
⑭ 労働時間	1,209 h	
⑮ 労賃	607.8 円/h	

(11)式に加えて次式を得る。

$$H = 156.5 \times 10^4 + 385x \dots\dots\dots(14)$$

ここで H : 耐用年数15年の水平循環式栽培装置によるトマトの生産費 (円/10a)

同様に装置の耐用年数を10年とした場合についてみると(12)式に66.1万円を加えて次式を得る。

$$H' = 184.8 \times 10^4 + 385x \dots\dots\dots(15)$$

ここで H' : 耐用年数10年の水平循環栽培装置によるトマトの生産費 (円/10a)

(13)式~(15)式を図示すれば図34のようになる。この図より栽培装置の耐用年数を15年とし、装置の価格が上昇しないとすれば労賃が1100 (円/h) 以上になったとき慣行の促成栽培よりも水平循環式栽培装置の方が経済的に有利な栽培方式となる。

8 結 語

温室内作業の省力化と、労働環境の改善を図る目的で本研究を実施し、次のような結論を得た。

1) 温室内で資材や収穫物の運搬作業を省力化し、栽

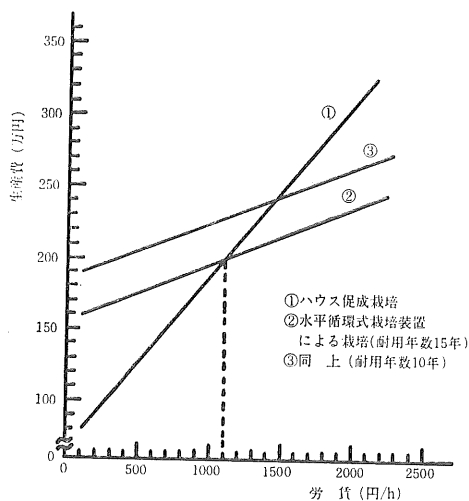


図34 栽培方式別トマト生産費の比較

Fig.34 Relation between production cost of vegetable and labor expense in each culture type

培環境と労働環境を分離するため、作物の方を移動することのできる水平循環式栽培装置と、これに適合した作業装置及び環境制御装置を試作した。各装置の概要は次のとおりである。

(i) 試作した水平循環式栽培装置は図1、図2のように83m²の温室に設置され、33個の栽培槽、39mのホイールコンベヤライン、エンドレスチェーン及び運転制御装置より構成されている。栽培槽はチェーンで互に連結されており、ホイールコンベヤ上を移動する。栽培槽の運転方法は手動運転、自動連続運転、自動間欠運転の三種類が可能である。栽培槽の重量は、中に土を入れてトマトを栽培した状態で、約150kgである。栽培槽の速度は4~24cm/sの範囲内で変えることができるが、実用的な速度は10cm/s以下である。この装置の駆動動力は表4のように4 cm/sで動き出す時に約200Wである。栽培槽の振動は表6のように速度が4 cm/sの時、0.18G以下であり、作物への悪影響は認められなかった。

(ii) 試作した作業装置の中で完全に自動化できるのは灌水装置と防除装置である。自動灌水装置は栽培槽の自動間欠運転と連動しており、灌水開始設定時間になると、栽培槽は動き始め、灌水口の位置で停止する。そこで水が栽培槽の中へ注がれる。灌水量はタイマーで調節できる。1個の栽培槽への灌水が終わると次の栽培槽が灌水口の位置まで移動する。このようにして、すべての栽培槽に1個ずつ灌水して行く。栽培槽全部への灌水が終わると、灌水装置と栽培装置は自動的に停止する。自動

防除装置は栽培槽の自動連続運転と連動しており、防除開始設定時間になると栽培槽と防除装置は始動する。各栽培槽は図18のようにホイールコンベヤラインの両側に並立して液剤を散布している防除用ノズルの間を通過する。栽培槽がラインを一周すると、防除装置と栽培装置は自動的に停止する。

(iii) 試作した環境制御装置は温水ボイラ、吸収式冷凍機、ファンコイルユニットより構成されている。温室内はカーテンで作業区域と栽培区域に分離しており、それぞれの目的に適した環境に制御する。たとえば栽培区域が高湿多湿であっても、作業区域を集中的にスポット冷房することが可能で、快適な作業環境を確保することができる。

2) これらの装置による利用試験の結果についてみると、トマトの促成栽培では収量が10a当たり約9.7tであった。また栽培期間中の全労働時間は384.6時間で、これは昭和54年産トマトハウス促成栽培の10a当たり労働時間1209.1時間と比較すると、約 $\frac{1}{3}$ に省力化できた。

3) 水平循環式栽培装置の経済性についての考察結果は次のとおりである。野菜の生産費を労賃の関数として示すと(13)、(14)、(15式)のようになり、これを図示すれば図34のように示される。従って労賃が1100円/h以上になると水平循環式栽培装置を用いた方が有利になると考えられる。

4) この栽培装置の利用範囲を更に拡大するため、養液栽培への適応性についても試験を行った。主な改良部分は図31、図32、図33に示すような給液装置と排液装置である。これらの装置を利用することによりマスクメロンの養液栽培が可能となった。

参考文献

- 1) 農林水産省統計情報部：米及び麦類の生産費(昭和54年産), 1981, 267p.
- 2) 農林水産省統計情報部：野菜生産費(昭和54年産), 1981, 175p.
- 3) 農業機械化研究所：ハウス内作業の安全に関する研究(第1報), 1973, 20p.
- 4) Ruthner Industrieanlagen für Pflanzenbau Gesellschaft m.b.H.: Industrieller Pflanzenbau, 1967, 85p.
- 5) 大阪府農林技術センター：高度装置化栽培, 大阪農業, Vol.15, No.2, 60p.
- 6) 日本電子工業振興協会：海外における農業システム化の現状と動向, 1974, 159p.
- 7) 岐阜県農業試験場：南濃試験地試験成績書, 1951, 17p.
- 8) 真島卯太郎：チェーン・コンベヤ, 工学図書株式会社, 1967, 344p.
- 9) 池谷保緒：ハウス土壌の蒸気消毒について, 静岡県農業技術対策

- 資料, 1968, 18p.
- 10) 金須正幸: トラクタ・サイズの経済的考察, 農機研研究所報告, 1967, 30p.
- 11) Smith, D. D & Jones, M. M., "Power, Labor and Machine Costs in Crop Production. Linn Country, Missouri, 1930," Missouri Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 197, 1933.
- 12) 内藤文男: 施設栽培のシステム化, 農及園, Vol.52, No. 1, p.146-152, 1977.
- 13) 後藤美明: 管理作業からみたビニルハウスの現状と問題点, 農業施設, Vol.2, No.2, p. 35-38, 1972.
- 14) 農林大臣官房技術審議官室: 施設野菜技術の今後の課題, 1973, p.107-139.
- 15) 高倉直也: 施設園芸における環境制御技術, ソフトサイエンス社, 1975, 454p.
- 16) R. Bohn: Die Technik im Gartenbau I, p.163-171, 1972.
- 17) Paul Kanthak: Klima und Kimatisierung von Gewächshausern, p.52-56, 1973.
- 18) 真島卯太郎: コンベヤ計算法, 工学図書株式会社, 1970, 310p.
- 19) 農林水産技術会識事務局: 高効率施設園芸に関する総合研究, 研究成果133, 1981, 117p.
- 20) 空調調和衛生工学会: 空調調和衛生工学便覧 (I), p. 50-136, 1975.

Summary

Development of Horizontal Circulating Culture System

Isamu KURATA, Tomohiko ICHIKAWA and Kouji INOOKU

The vegetable cultivation under structure in Japan is a very intensive farming which requires a great amount of labor. The forcing culture for winter production of tomato in greenhouse requires about 1200 hours of labor per 10 ares. The labor cost constitutes about 40% of the total cost of production. Therefore, the mechanization or labor-saving for the protected culture is the most important problem. And also, high temperature and high humidity in greenhouse are favorable for growing crops but unsuitable for workers. Especially, spraying chemicals is a dangerous operation in greenhouse. For these reasons, it is necessary to develop an automatic culture system of vegetables.

There are two types of culture systems in greenhouses. One is the fixed crop-bed type and the other is the movable crop-bed type which is further classified into the following two methods: the vertical circulating culture method and the horizontal circulating culture method. The former needs a tower greenhouse which has several disadvantages such as temperature differences between top and bottom or uneven distribution of shade and light in a greenhouse. In addition, the construction cost of the tower greenhouse becomes very expensive, but only a limited kinds of crops with short plant type can be grown with this method. On the contrary, the horizontal circulating culture method can be introduced into ordinary greenhouses, and it is possible to grow even tall fruit vegetables with this method.

1) Therefore, we have developed a new horizontal circulating culture system, and evaluated it, including the working machinery and the air conditioner adapted to this system. The result is summarized as follows. (1) The culture system is placed in a greenhouse which cover an area of 83 square meter, and composed of 33 culture boxes, 39 m closed wheel conveyer's line, the endless chain and the system controller. The culture boxes are joined together by the endless chain and are moved on the wheel conveyers line with a system controller. Weight of a culture box with soil and growing tomato, is about 150 kg. The speed of movement of the culture box can be changed in the range of 4 cm/s-24 cm/s, but practical speed is lower than 10 cm/s. The driving power of this system is about 200 W when it starts to move at 4 cm/s. The vibration on the culture box is less than 0.18 G when a speed of it is 4 cm/s. It is considered that there is no adverse effect of the vibration to the crop. (2) As to the working machinery, the facilities for

irrigation, and for pest control can be controlled automatically to a full extent. The irrigation facilities are linked to intermittent movement of the culture boxes. At the scheduled irrigation time, the culture boxes start to move, and reach the irrigation point one after one to receive sprinkled water, as shown in Fig. 16. The quantity of sprinkling water can be regulated by the timer. Thus all culture boxes are irrigated one by one. When the irrigation is finished, the culture system is stopped moving automatically. The pest control facilities are also of full automation and are linked to the continuous movement of the culture boxes. Each culture box go through the space of the pesticide sprays which stand abreast on either side of the wheel conveyers line as shown in Fig. 18. After the culture boxes circulated around a line, the pest control facilities and the culture system stop automatically. (3) The air conditioner is composed of the hot-water boiler, absorption refrigerating machine and the fan coil unit. The greenhouse can be divided into two part by the curtain, a working area and a culture area. It is possible to control the air condition adapted to each area. For instance, when the culture area becomes to show high temperature and high humidity, it is possible to operate the spot cooling and keep a comfortable environment in the working area.

2) As for the result of the cultivation test by this method, the yield of tomatoes of forcing culture for winter production was about 9.7 t/10 a. The total working hour required for that cultivation was 384.6 h/10 a, which is only about $\frac{1}{3}$ of the labor-hour for usual forcing culture of tomato.

3) Cost of production for vegetables can be shown as a function of labor-expense as given by the equations (13), (14) and (15). When the labor-expense is increased more than 1100 ¥/h, it will be profitable to use the horizontal circulating culture system as shown in Fig. 34.

4) When hydroponics are used with this system, feeder and drainage of culture solution as shown in Figs. 31, 32, and 33 must be added. With these equipment, cultivation of muskmelon will be made possible.

Tech. Rep. Inst. of Agric. Mach. 17:15~49 (1982)

真空冷却施設の調査研究

小泉 武紀*・小野田 明彦**

1982—01—07受理

抄 録

小泉武紀・小野田明彦：真空冷却施設の調査研究。農機研報17：51—63(1982)

現地に導入された真空冷却施設を調査し、そこで明らかになったいくつかの問題点について、実験的研究を行った。

調査は長野県下の2箇所の施設で行い、(1)両施設とも真空チャンバ2基で、均圧方式による交互冷却が行われていること、(2)レタス、ホウレンソウでは1回の冷却時間は30分前後であること、(3)真空破壊時に一部の野菜や段ボール容器が、風圧で損傷をうける場合があることなどがわかった。

また、実験的研究では、(1)温度計挿入のため野菜にあげられた小孔は、果菜や根菜の品温には影響を及ぼすが、葉菜ではほとんど影響のないこと、(2)フィルム包装された葉菜はフィルムに若干の孔があればよく冷却されること、(3)真空破壊時にチャンバの1カ所から短時間に集中的に外気を導入すると、野菜の表面付近の温度はかなり上昇するが、内部の温度変化は小さいことなどが明らかになった。

1 緒 言

ここ数年、長野県を中心に全国的な規模で真空冷却施設の現地への導入が進み(表1)、葉菜類の冷却施設として一般化しつつある。これは真空冷却が蒸発潜熱を利用した冷却法であるため、一つには体積に比して表面積が大きく、水分の蒸発しやすしい葉菜類の冷却に適していること、二つには冷却時間が短く、一日の冷却処理回数が多いため、施設への野菜集荷時間の制限がゆるめられ、これが農家の収穫作業時間帯の制約を緩和していること、さらには雨採りの野菜に対しても水切りの作用があることなど、多くの利点が実用施設としての成立を可能にしているためと考えられる。

ところで、真空冷却はアメリカで開発され、1947年にはすでに実用化されているが¹⁾、我が国では1963(昭和38)年に静岡県農試で行った研究²⁾が最初で、その後大学等で基礎研究、³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾科学技術庁で事例実験⁷⁾が行われ、実用化への足掛りが築かれていった。そして我が国に本格的な真空冷却施設が登場したのは1973(昭和48)年で、その後は年とともに普及の度を早めている(表1)。

本報告は昭和47年度から昭和51年度にかけて実施された農林省の別枠研究「野菜・畑作物の生産流通技術に関

*研究第4部(元農林水産省東北農業試験場)

**研究第4部

表1 真空冷却施設の普及状況

Table 1 Number of vacuum cooling plants built in recent years

地 区 別		年 次 別	
地 域	個 所	年 度	個 所
北 海 道	2	48	5
東 北	10	49	0
関 東	42	50	1
北 陸	1	51	7
東 海	0	52	11
近 畿	2	53	12
中・四国	9	54	12
九 州	4	55	22
計	70	計	70

農水省食品流通局資料より作成 昭和55年度末現在

する総合研究」の一環として行った「冷却(予冷)法に関する研究」のうち、真空冷却についてとりまとめたものである。この論文は4章から構成され、緒言につづいて2でこの調査研究の目的と方法を述べ、3では施設の概要と冷却特性について言及した。4では施設の調査から明らかになった問題点や検討事項について、小型の実験装置を用いて行った実験的研究の内容を記した。研究は昭和49、50年度に行ったが、当時すでに真空冷却は実用施設が稼働を始めていたので、研究はこれら稼働して間

もない施設の調査に重点がおかれた。

なお、この調査研究は小泉武紀と小野田明彦が協力して行い、小野田明彦がとりまとめを行った。

また、この調査研究を行う上で種々御支援下さった農林水産省の関係各位、施設の調査で快く御協力下さった長野県経済連及び小沼農協、伍賀農協の関係各位に謝意を表するとともに、とりまとめに際して種々御教示たまわった小川浄寿前研究第4部長にも併せて謝意を表する。

追記

この調査研究に率先して携り、主導的立場をとられた小泉武紀氏は、昭和56年9月13日急逝されました。生前の御指導に対し、心より感謝するとともに、慎しんで御冥福をお祈りし、この小論文を氏の御霊前に捧げます。

小野田

2 調査・研究の目的と方法

この調査・研究は前述の別枠研究のうち「包装資材、容器の堆積方式と冷却能率」の項を受託で分担したことにより開始することになったものである。別枠研究のこの項目における目的は、「冷却を効率的に行うため工学的実験を行い、包装資材の選択、容器の構造と堆積方法、冷温と風速など予冷操作のための実験的基準の設定に資する」とある。したがって、施設の調査ではこの目的にそって、主にチャンバ内の容器堆積位置と冷却能率、個々の野菜の個体内部位別冷却能率などの把握につとめ、一方、施設で問題になっている点や問題のありそうな点について、小型の実験装置を用い、種々実験を行って検討する方法で研究を進めた。

3 導入施設の調査

調査は下記2カ所の施設で行った。

1) 小沼農協真空冷却施設(長野県北佐久郡)

調査時期 昭和49年6月～7月

2) 伍賀農協真空冷却施設(長野県北佐久郡)

調査時期 昭和50年9月

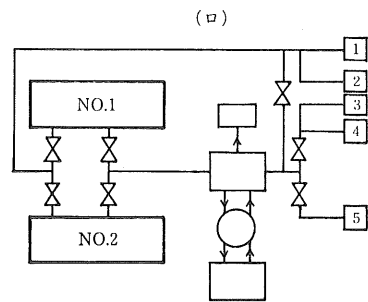
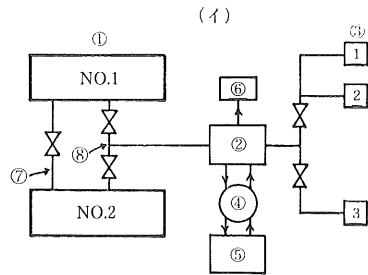
3.1 調査施設の概要

調査を行った施設はともに標高600～700mの高原地帯にあり、夏季高冷地レタスの主産地の一つとなっている所である。真空冷却施設は昭和48年に設置された、実用施設としては一番古いタイプのもので、特に小沼農協の施設は我が国の真空冷却施設の基本形をなすとされている。

る。

3.1.1 施設の構造

図1(イ)に小沼農協、(ロ)に伍賀農協の施設の概要を示した。施設は①真空チャンバ、②コールドトラップ、③真空ポンプの3点で主要部が構成され、他にコールドトラップ用のブライントラック、ブラインポンプ、ブライン冷却用の冷凍機、クーリングタワー、操作・計器盤などの付属機器があり、これらを含めて全体の装置が構成されている。



- ①Vacuum chamber ② Cold trap ③ Vacuum pump
④Refrigerant tank ⑤ Refrigerator ⑥ Water pan
⑦Equalizing pressure pipe ⑧ Exhaust pipe

図1 真空冷却施設概要

Fig.1 Outlines of vacuum-cooling plants

①真空チャンバ：鉄製角型、外寸法2m(幅)×2.1m(高)×8m(長)、最大収容量8パレット、最大処理量3.2t/回(レタス換算)。

② コールドトラップ：多管式700φ×3m、受器容量600l、ブラインポンプ11kW、冷凍機90kW

③ 真空ポンプ：油回転式11kW、排気速度6,000l/min 設置台数3台(小沼)、5台(伍賀)。

3.1.2 運転方法

小沼農協の施設の運転方法は均圧方式といわれ、2基のチャンバを交互に冷却する方法となっている。すなわち、No1のチャンバを冷却中にNo2のチャンバは冷却

終了品の搬出と次回予冷品の搬入を行う。No1 のチャンバの冷却が終了すると均圧弁を開いて、No2 のチャンバ内の空気を圧力差を利用して No1 のチャンバ内に導入する。そして両チャンバ内の圧力が $1/2$ 気圧になると均圧操作が終了し、No2 のチャンバは真空ポンプが作動して本冷却に入る。一方、No1 のチャンバは $1/2$ 気圧以降は外気を導入して大気圧までもどし、開扉して予冷終了品の搬出並びに次回予冷品の搬入を行う。

この方式では真空ポンプを3台設置し、大気圧(初回のみ)あるいは均圧操作終了後、 $2.7 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^3$ Pa (20~8 Torr) までは3台で排気し、それ以降チャンバ内最終到達設定圧力である 8×10^2 Pa {6 Torr} までを1台で排気する方法がとられている。

これに対して、伍賀農協の施設は改良均圧方式といわれ、均圧式とは一部運転方法が異なる。この場合は真空ポンプを5台設置し、No1 のチャンバを冷却中に、①②の2台のポンプでNo2 のチャンバを $2.7 \times 10^3 \sim 4 \times 10^3$ Pa (20~30 Torr) まで排気する。これを予備真空といって、排気はコールドトラップを通さずに行う。そして、No1 のチャンバの冷却が終了すると均圧操作を行って、両チャンバ内の圧力を $(4 \times 10^3 + 8 \times 10^2) / 2 = 2.4 \times 10^3$ Pa {(30+6) / 2=18 Torr} にする。このあとNo2 のチャンバは5台のポンプで 1.1×10^3 Pa {8 Torr} まで排気し、その後③、④の2台で 8×10^2 Pa {6 Torr} まで排気する。この間、No1 のチャンバは外気を導入して大気圧までもどし、冷却終了品の搬出、次回予冷品の搬入、予備真空といった手順で作業が進められる。

両施設とも真空チャンバ内への予冷品の搬入、搬出にはフォークリフトによるパレットハンドリングが行われており、レタス5kg段ボール箱の場合、2c/s(ケース)を1単位として、パレット上に1段8単位(16ケース)の5段積み、計80c/s(400kg)の堆積が行われている(図2)。

また、チャンバ内床部と左右両側壁下部にはローラコンベヤが配してあり、別に爪のついた電動のチェーンコンベヤがあって、パレットの移動を容易にしているが、実際の搬入、搬出作業ではチャンバの搬入口と搬出口の両方にフォークリフトの作業員を配置して、次回予冷品のパレットを搬入口から押し入れるとともに、搬出口では押されて出てきた冷却終了品を取り出すといった人力作業が多くみられた。

3.2 冷却中の各部の温度変化

調査した施設ではチャンバ内の最終到達圧力を $8 \times$

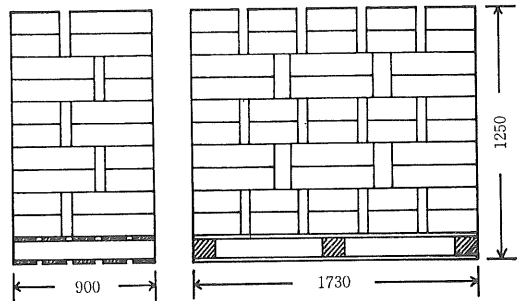


図2 容器のパレット堆積状態(レタス5kg用)
Fig.2 Carton boxes piled on a pallet in a vacuum chamber (Lettuce, 5kg carton)

10^2 Pa {6 Torr} にセットするとともに、湿球温度を測って冷却の様子をチェックし、野菜がマイナス温度に冷却されることを防いでいる。そして、実際には湿球温度が $2 \sim 3$ °C になると冷却を終了するようにしていた。

しかし、湿球温度以外の野菜品温をはじめとする各部の温度については細かいチェックがなされていないようなので、チャンバが空の場合や、野菜が収容されている場合などについて、排気中の各部の温度変化を測定した。

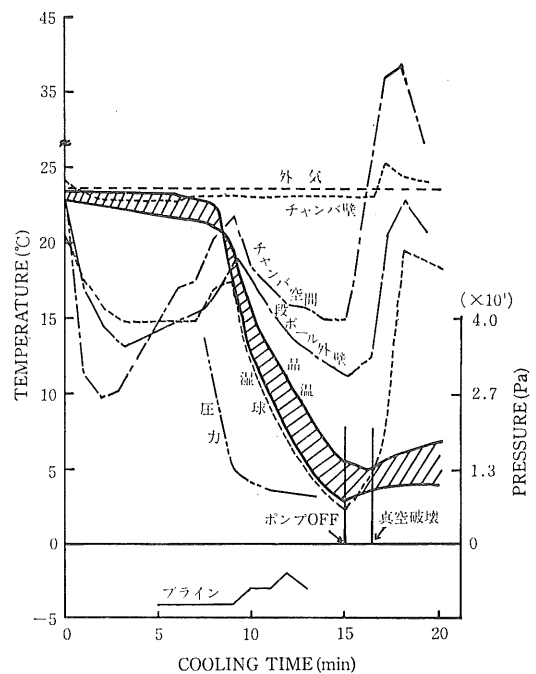


図3 真空冷却中の各部の温度変化
Fig.3 Cooling curve of lettuce and temperatures some points in a vacuum chamber

図3はレタス冷却中の各部の温度変化の1例を示したものである。測温箇所は湿球、チャンバ内空間(乾球)チャンバ内壁、段ボール箱外壁、品温、外気などで、他にコールドトラップ温度、圧力変化を計器盤の指示計から読みとった。なお、この時のレタス収容量は3パレット230c/s(1.15t)で、これは設計量の約 $\frac{1}{3}$ である。

チャンパ内では排気開始時と真空破壊時に大きな温度変化がみられる。排気開始時に乾球や湿球にみられる急激な温度低下は空気の断熱膨張によるものであるが、熱容量の大きい野菜の品温にはその影響がほとんど表われていない。品温が低下しはじめるのはフラッシュポイントを過ぎてからで、この場合は圧力が $2.7 \times 10^3 \text{Pa}$ (20Torr) くらいのところでフラッシュが起きている。厳密には初期の品温の違いでレタス内部と表皮下部ではフラッシュの時期が数Paずれておこる。このフラッシュポイントは真空冷却に特有の現象で、鳥取⁸⁾や村田⁹⁾らはこれについて詳細な実験を行い、圧力がその時の品温あるいは水温に相当する飽和蒸気圧に達した時に、急速に水分が蒸発したことを示す点であることを明らかにしている。湿球温度が品温チェックの指標として用いられることについては「湿球はガーゼが巻いてあるが、この状態と、水分が蒸発しやすく他からの熱伝導が特に大きくない葉などの状態が熱平衡という観点から似ているからである¹⁰⁾」と考えられる。

フラッシュポイント以降は湿球温度、品温とも圧力の降下につれて急速に低下していく。この間、乾球温度やダンボール壁温度は野菜の熱量や外部の輻射熱の影響をうけて次第に上昇するが、品温が低下しはじめるとそれにつれて再び下がり、外気と品温の中間の値を示す。ただ、乾球温度は野菜の堆積量によって変わり、チャンパが空の場合や堆積量が少ない場合には外気温近くまで上昇する。

コールドトラップの温度はフラッシュポイントを境に上昇するが、これはチャンパ内から一時に多量の水蒸気が排出されて、コイル表面に凝縮したためである。コールドトラップは蒸発して体積の膨張した水蒸気を凝縮除去する低温部で、チャンパと真空ポンプの間に設置されている。コールドトラップの温度は理論的には最低で -5°C とされている¹¹⁾が、両施設とも $-3 \sim -5^\circ\text{C}$ の範囲であった。

冷却が終了し、チャンパ内を大気圧にもどすため外気を導入すると、各部の温度が明瞭に上昇する。これは流入空気の摩擦熱などによるものと考えられるが、この温

度上昇が野菜の品温にもみられることから、現地ではこれが一つの問題になっていた。

3.3 各種野菜の冷却特性

施設で予冷処理される数種の野菜について、各々の冷却特性を把握するため、冷却中の野菜個体内各部位の品温を測定した。供試した野菜はレタス、ホウレンソウ、ブロッコリ、ハクサイ、キャベツの5品目である。測温は銅-コンスタンタン熱電対(線径0.3mm)で行い、打点式記録温度計に自記させた。

3.3.1 レタスの冷却特性

両施設ともレタスは予冷取扱量の最も多い品目で、今回の調査で一番多く供試された野菜である。図4に冷却曲線の一例を示した。この場合のレタス堆積量は7パレット560c/s(5kg段ボール箱)で、全量2.8tであった。これは設計量に1パレット満たない量である。

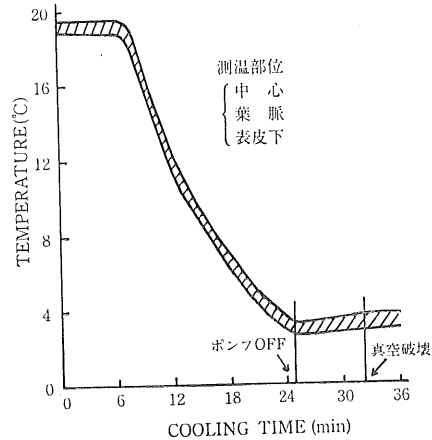


図4 レタスの真空冷却曲線
Fig.4 Vacuum cooling curve of lettuce

品温はチャンパ内手前(排気口側)から2列目パレットの下から3段目箱内隅部と、最奥(均圧口側)パレットの上から2段目箱内隅部に堆積されたレタスの2カ所で測定し、それぞれの測温部位は、中心部、葉部35mm深表皮下の3点、計6点である。

測定点数が多いので、図では品温の最高値と最低値をプロットし、温度むらの幅を斜線で示している。図3や後述の図14の例も含めて、レタスでは個体内部位による温度むら、堆積位置による温度むらなどいずれも小さく、全体が比較的均一に冷却されている。

また、1回の冷却時間はチャンパ内の堆積量によって異なり、図4の場合(2.8t)で25分、図3(1.15t)の場合で15分であった。ただ、堆積量が少ない場合には真空

破壊時の品温上昇が大きくなる傾向がみられた。

3.3.2 ホウレンソウの冷却特性

ホウレンソウは施設ではレタスに次いで多い処理品目であった。出荷容器にはすかし木箱(図13の(ホ))が用いられ、一部プラスチックコンテナ(図13の(ハ))が使われていた。すかし木箱の場合、200g束のホウレンソウ40束を立詰めにする出荷形態となっている。図5に冷却曲線を示した。この場合の堆積量はすかし木箱188c/s、プラスチックコンテナ28c/sである。品温はバット部、葉柄部、葉部の3点について木箱内サンプルで測定した。

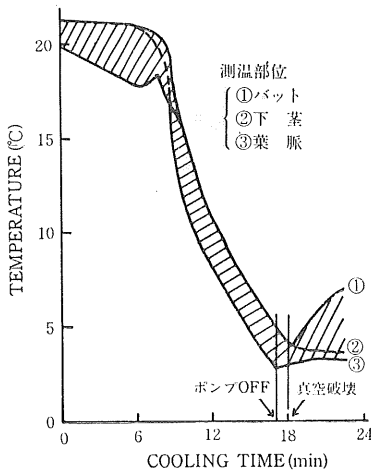


図5 ホウレンソウの真空冷却曲線
Fig.5 Vacuum cooling curve of spinach

ホウレンソウも真空冷却でよく冷却されており、各部位の温度むらも小さいが、葉部にくらべてバット部や葉柄部の冷却が幾分悪いようである。また、冷却中の減量は2.6~2.7%程度で、レタスよりやや少なめであった。

3.3.3 ブロccoli、ハクサイの冷却特性

図6にブロッコリ、図7にハクサイの冷却曲線を示した。これらは各々1c/sをレタス6パレット(2.4t)とともに同一チャンバに入れ、同時に冷却した場合のものである。

ブロッコリは花蕾部やバット部など5カ所の品温を測定したが、部位による温度むらが大きく、花蕾部と上茎部との間でポンプ停止時に7°C、冷却終了時に5°C程度の差がみられた。

ハクサイは測定した中心部、表皮下とも冷却終了時に4°C以下に冷却されており、温度むらも小さいようであるが、真空破壊時の品温上昇が大きかった。これはハクサイの容器がショートフラップ型(図13の(ハ))で、品温測定サ

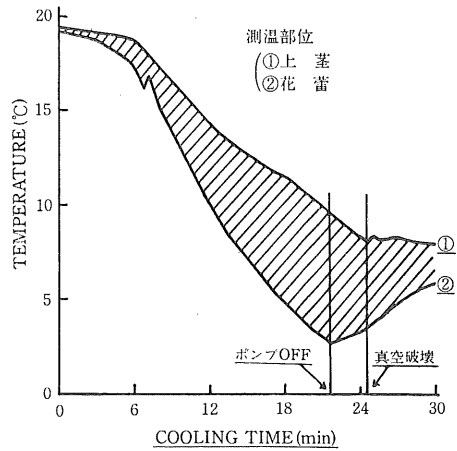


図6 ブロccoliの真空冷却曲線
Fig.6 Vacuum cooling curve of broccoli

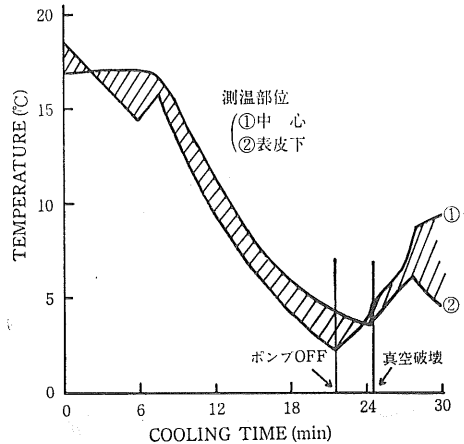


図7 ハクサイの真空冷却曲線
Fig.7 Vacuum cooling curve of chinese cabbage

ンプルが丁度露出部に堆積されていたためと思われる。

3.3.4 キャベツの冷却特性

調査した施設ではともにキャベツは予冷をせずに出荷していたが、ここでは参考までに冷却を行ってみた。冷却はチャンバ内に1個だけ入れて行った特殊な場合で、図8はその時の冷却曲線である。

これまでに行われた基礎研究で、キャベツは真空冷却でよく冷却される野菜の部類に属している²⁾が、今回の調査では表皮付近と内部との温度むらが大きく、ポンプ停止時点でその差は15°Cであった。特にバット部分の冷却が悪く、冷却30分後でも9°Cまでしか冷却されておらず、予冷を終了するには不十分な温度であった。

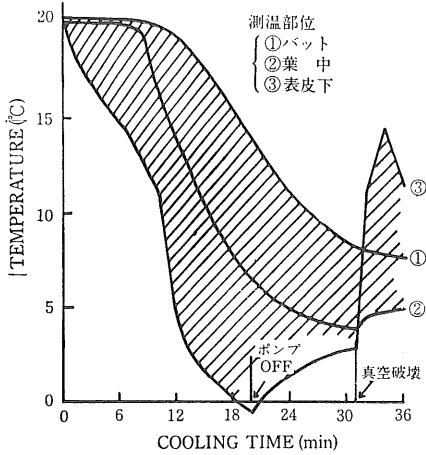


図8 キャベツの真空冷却曲線
Fig.8 Vacuum cooling curve of cabbage

3.4 考察

導入施設の調査から、次のいくつかの問題点、検討事項が見いだされた。

3.4.1 施設の構造上の問題点

1) 両施設とも既設の建屋内に真空チャンバを設置しているため、建屋床面よりもチャンバ内のローラコンベヤが高い位置にある(図9)。そのためチャンバ扉の前に接続用のローラコンベヤを配し、パレットの搬入、搬出作業に便をはかっている。しかし、フォークリフト作業時に野菜を積載したパレットで前方の視界がさえぎら



図9 チャンバ内への子冷品搬入状況
Fig.9 Handling vegetables into vacuum cooler installed on the floor

れ、特に搬入時にはパレットの適正な位置決めを手間を要していた。

しかし、この点はその後に導入された施設では図10のように、チャンバを設置する床面にピットを設け、ローラコンベヤの位置が建屋床面と同一レベルになるように改良が図られている。

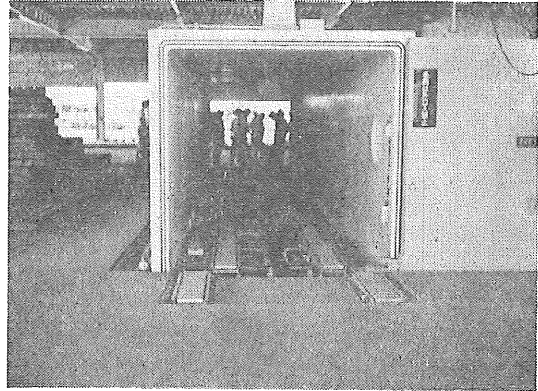


図10 チャンバ床面と施設床面が同一レベルにある施設の例
Fig.10 A vacuum cooler installed in a pit for easy handling

2) 冷却終了後に行う均圧操作や、大気圧にもどすための外気導入(真空破壊)を、両施設ともチャンバ天井

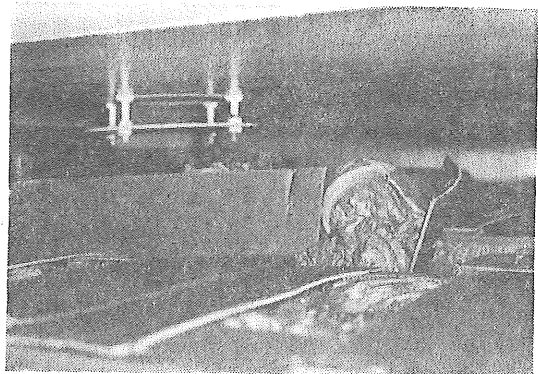


図11 真空破壊時に風圧で破損したレクス段ボール箱(上部:外気導入口)
Fig.11 Carton boxes damaged by kinetic pressure induced by vacuum breaking

壁の1カ所から3～4分の時間をかけて行っているが、急激な空気の流入で、導入口付近に堆積してある段ボール箱が破壊されたり、野菜の外葉の一部が吹きとばされるなどの現象がみられた(図11)。これは真空破壊用の配管が細いこと、導入口が1カ所しかないことに起因するものと考えられる。

この点についても、最近の新しい施設では図12のように、導入口をチャンバ下部に設け、チャンバ内に配したダクトに多数の孔をあけて、外気を分散導入するよう改良した例もある。

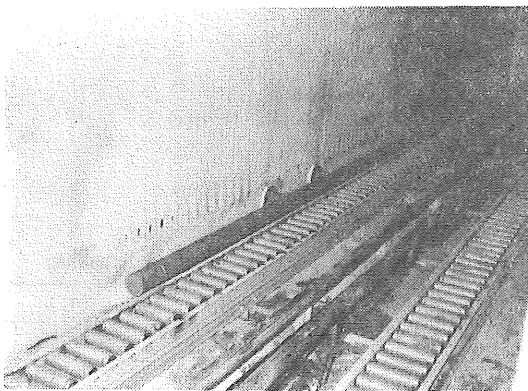


図12 真空破壊をチャンバ床部に配したダクトの小孔から分散して行うようにした施設の例

Fig.12 Ducts installed on the floor of cooler for minimizing the kinetic energy by vacuum breaking

3) 伍賀農協の運転システムの特徴である予備真空は、コールドトラップを通さずに行うため、予備真空終了時の圧力はフラッシュポイントを下まわらない 4×10^3 Pa {30Torr} 程度を目標としている。しかし、この場合の真空ポンプ作動コントロールは圧力ではなくタイマで行われており、前後作業の関係で、終了時の圧力が目標をはるかに上まわる場合や、逆に下まわる場合もあり、真空ポンプへの水蒸気混入問題も含めて、検討の余地が残されている。

3.4.2 真空破壊と野菜の品温

前述したように、調査した施設では真空破壊時に冷却された野菜の品温が上昇する、いわゆる温度もどりが一つの問題になっていた。

これは均圧操作も含めた真空破壊時に、冷却された野菜に比べて高温の外気が急速にチャンバ内に流入するため、摩擦熱などで一時的にチャンバ内の温度が上昇すること、さらに流入空気に含まれる水分が、低温の野菜表面に触れて凝縮する際の凝縮熱などの影響によるものと考えられる。

予冷に供される野菜容器は図13に示したように、プロッコリ以外はショートフラップ型や開放型で、真空破壊時に野菜と流入外気の接触が容易に行われる形状のものが多い。

冷却試験の結果、真空破壊時の品温変化はチャンバ内の堆積量、堆積位置、測温部位などによって異なるが、流入外気と直接接する位置に堆積された野菜の表面付近の温度上昇が著しいことがわかった。しかし、これもショートフラップ部を下にして、表面が露出しないようにすれば、品温の上昇は抑えられる(図14)。また、野菜の全熱量に比べて空気的全熱量は小さいので、野菜の内部温度への影響は極めて小さい(表2)。

3.4.3 その他

現地ではフィルム包装出荷を希望する声もあり、フィルム包装された野菜の真空冷却の可能性、また、品温測定のため温度計を挿入する際に、野菜にあげられた小孔が品温に及ぼす影響などについて検討する必要がある。

4 実験的研究

導入施設の調査から、検討を要すると思われる下記の3項目について実験を主とした研究を行った。

- 1) 温度計挿入が品温に及ぼす影響
- 2) フィルム包装と冷却能率
- 3) 真空破壊時の外気導入法

なお、研究には小型の真空冷却実験装置を用いたが、その装置の概要を図15に示す。また、各部の温度測定には線径0.3mmの銅-コンスタンタン熱電対を用いた。

4.1 温度計挿入が品温に及ぼす影響

真空冷却では野菜からの水分蒸発が冷却に直接関与し、蒸発水分量によって冷却能率が左右される。ところで、施設ではチャンバ内に組み込まれた温度計で冷却中の野菜の品温をチェックしているが、この温度計はシース型をした直径2～3mm、長さ約30cmの棒状温度計で、これを野菜の適当な部位に突きさして測温が行われている。

温度計を突きさすことによって野菜には小孔があき、冷却中にその孔から水分が蒸発することが考えられる。

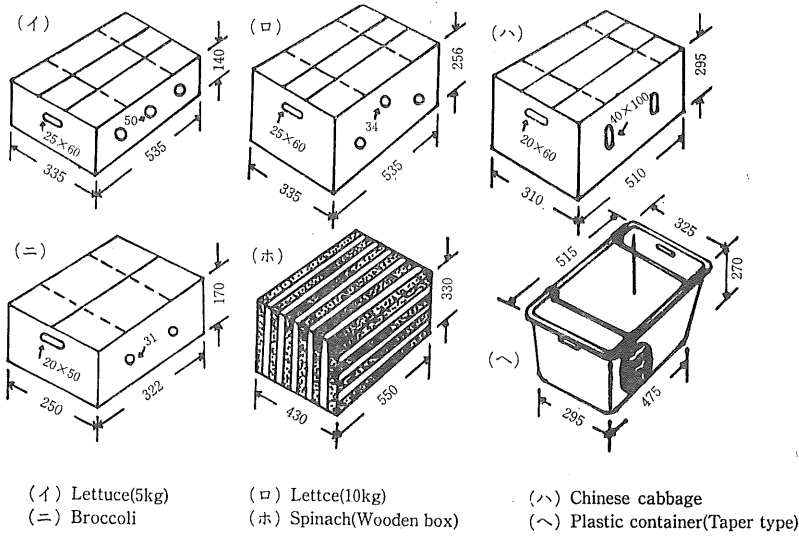


図13 供試野菜包装容器概観
 Fig.13 Conventional containers for vegetable

表2 真空破壊と各部の温度変化

Table 2 Temperature changes during vacuum breaking

品目	堆積量	测温部位	温度(℃)	
			冷却終了時	破壊時最高
キャベツ	1個	バット30mm中	8.2	7.6
		葉柄5//	2.4	7.3
		表皮下	2.8	14.5
		湿球	1.9	20.2
		外気口	20.7	38.8
ブロッコリ	各1% +	バット	7.0	6.6
		上花	8.3	8.0
		茎蕾	3.3	5.8
ハクサイ	レタス 480%	中心	3.6	5.8
		表皮下	3.4	9.3
		湿球	2.4	14.2
		取入口	17.2	32.5
ホウレンソウ	木箱 188% コンテナ 28%	バット	4.2	7.0
		下花	4.2	3.8
		葉脈	3.0	3.4
		湿球	2.7	13.7
		外気口	17.9	38.5
レタス	560% (2.8t)	中心	3.6	3.6
		表皮下	3.2	3.2
		湿球	3.7	15.8
		外気口	16.0	26.3

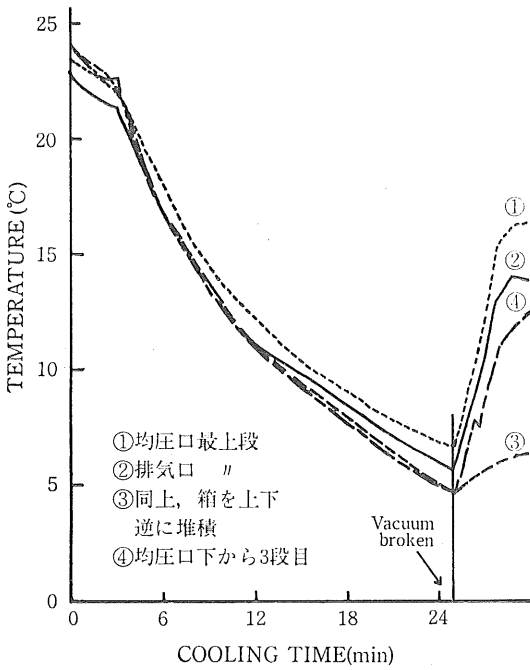


図14 真空破壊時の温度変化(レタス)
 Fig.14 Temperature of lettuces in the cooler during vacuum breaking

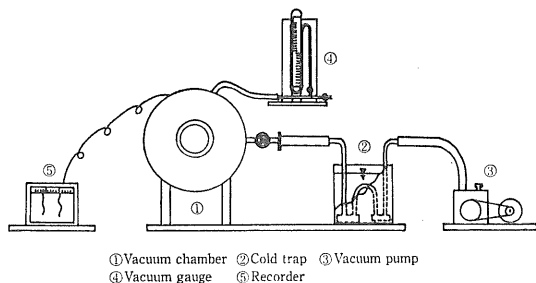


図15 真空冷却実験装置概要
Fig.15 Schematic diagram of the vacuum cooling apparatus

人為的にあけられた孔から水分が蒸発すれば、その分品温は低下し、実際よりも低い値を示すことになる。

ここでは、品温を測定するために野菜に挿入した温度計の挿入孔が品温に及ぼす影響について検討した。供試した野菜はキャベツ、ニンジン、トマトの3品目である。

4.1.1 実験方法

1) キャベツは葉部 30mm 深さの位置に3カ所温度計を挿入し、各挿入孔を次の方法で処理した。

(1) 長さ 1cm程度に切断したマッチ棒の軸を挿入孔にそって差込む。

(2) バキュームグリス（ペースト状）を挿入孔の周囲に塗付。

(3) 温度計を挿入したままの状態（対照）。

2) ニンジンを上記(2)と(3)の方法で挿入孔を処理し、品温は最大外径の部位で、その1/4深さの点で測定した。

3) トマトは温度計を挿入したものと、しないものと同時にチャンバに入れ、冷却後常温にもどした時点で、温度計を挿入しなかったものの品温を測定し、比較を行った。測温は M. A (Mass Average*) 部と表皮下で行った。

4.1.2 結果と考察

1) 葉菜（キャベツ）、根菜（ニンジン）、果菜（トマト）から1品目ずつ供試したことになり、それぞれの特徴を把握した。

2) キャベツは表3に示したように、この実験の範囲では挿入孔の処理の相違が品温に及ぼす影響は認められ

表3 温度計挿入孔が品温に及ぼす影響
(キャベツ)

Table 3 Influence of thermocouple inserting on vegetable temperature (Cabbage)

測温部位		葉部 30mm深さ		
		マッチ軸	バキュームグリス	無
時間 (分)	初期	28.7℃	28.7℃	28.6℃
	10	18.5	16.5	18.3
	20	8.7	7.5	8.6
	30	4.7	4.0	4.6
	冷却終了時	4.5	3.8	4.5
開扉時		4.4	3.9	4.6

なかった。これはキャベツなど葉菜類の場合には、それ自身の蒸発面積が大きいため、今回のような線径の小さい温度計では、挿入孔の影響が表れにくいと考えられる。しかし、施設で使われている線径の大きい温度計を用いる場合には、その影響が懸念され、この点についてはさらに詳細な検討が必要と思われる。

3) ニンジンでは挿入孔の影響が品温に表れるようで、表4に示したように、冷却終了時に処理間で3.6℃の温度差が生じている。これは挿入孔をシールしなかった場合には冷却がよく進行したことを示しており、シールした場合よりも水分の蒸発が多かったことになる。

表4 温度計挿入孔が品温に及ぼす影響
(ニンジン)

Table 4 Influence of thermocouple inserting on vegetable temperature (Carrot)

測温部位		最大外径の1/4深さ	
		バキュームグリス	無
時間 (分)	初期	26.4℃	26.4℃
	10	18.3	16.3
	20	12.8	9.5
	30	9.8	6.1
	冷却終了時	7.8	4.2
開扉時		10.5	8.2
さし換え時		11.0	9.5

4) トマトについても(2)の方法で挿入孔をシールしたが、表5の実験 No1を除いて他の3回の実験では、いずれも挿入孔から発泡がみられ、品温が著しく低下し

*野菜個体内の平均温度を示す部位として Smith ら12)の式からこれを求めた。

た。特にNo2の実験ではM・A部の挿入孔を中心に表皮に亀裂が入り、中から果汁が浸出する現象がみられた。少なくともトマトでは冷却中に品温を測定すること自体、無理のように思われる。

表5 温度計挿入孔が品温に及ぼす影響
(トマト)

Table 5 Influence of thermocouple inserting on vegetable temperature (Tomato)

実験 No.	測 温 部 位	温 度 計 の 挿 入			
		有			無
		初 期	終了時	開扉時	開扉時
1	M A	36.5℃	24.7℃	25.1℃	27.0℃
	表 皮	36.4	22.5	22.4	25.6
2	M A	27.9	6.0	12.6	27.5
	表 皮	28.4	23.3	24.5	27.7
3	M A	31.6	17.1	25.1	27.2
	表 皮	31.5	21.9	27.3	28.5
4	M A	23.4	9.9	15.9	20.1
	表 皮	23.6	12.9	18.8	20.2

4.2 フィルム包装と冷却能率

真空冷却では冷却しようとする野菜から、冷却中に数パーセントの水分を蒸発させることが必要で、そのためには野菜をできるだけ開放的な状態において冷却することが望ましい。

ところで、現地では品質保持のため、フィルム装した野菜の流通を希望する声がかかれた。フィルムで包装することは野菜からの水分蒸発を妨げることになり、真空

冷却ではマイナスの要素になると思われるので、ここではキャベツを用いて、フィルム包装の冷却について検討した。

4.2.1 実験方法

1) 実験には下記2種類のフィルムを使用した。

(1) 粘着性塩化ビニル (通称ストレッチフィルム)

(2) 延伸ポリ塩化ビニル (通称シュリンクフィルム)

使用フィルムの厚さはストレッチ0.18mm, シュリンク0.15mmである。

2) フィルムには包装前にあらかじめ次の穿孔処理を施した。

(1) 無孔

(2) 10mm孔, 4個

(3) 10mm孔, 8個

3) 品温は中心部, M・A部, 表皮下部などで測定し、温度計の挿入孔はバキュームグリスでシールした。

4.2.2 結果と考察

1) 冷却試験の結果を表6に示した。この結果からキャベツはフィルム包装されていても、フィルムに多少孔があればよく冷却されている。また、無孔の場合でも比較的冷却が進行するが、これはフィルムに通気性があることと、フィルムをシールした際に若干の空隙や小孔ができて、その部分から水分が蒸発したためと思われる。小沼農協の施設でレタスをシュリンク包装して冷却した例でも、フィルムに多少孔があれば問題なく冷えている(図16)。

表6 フィルム包装と冷却能率(キャベツMAの品温)
Table 6 Cooling feature of cabbage packed with plastic films

条 件 時間(分)	10mm孔 8ヶ		10mm孔 4ヶ		無 孔	
	シュリンク	ストレッチ	シュリンク	ストレッチ	シュリンク	ストレッチ
初 期	28.8℃	28.8℃	30.5℃	30.7℃	29.7℃	31.4℃
10	18.2	18.7	14.9	14.8	25.0	17.1
20	9.0	9.4	6.3	6.2	16.2	8.3
30	5.7	6.0	3.9	4.2	11.0	5.6
降下品温	23.1	22.8	26.6	26.5	18.7	25.8
減 量 %	4.08	4.09	4.55	4.62	3.68	4.38
品温降下の 計算値	24.1	24.1	26.8	27.3	21.7	25.8

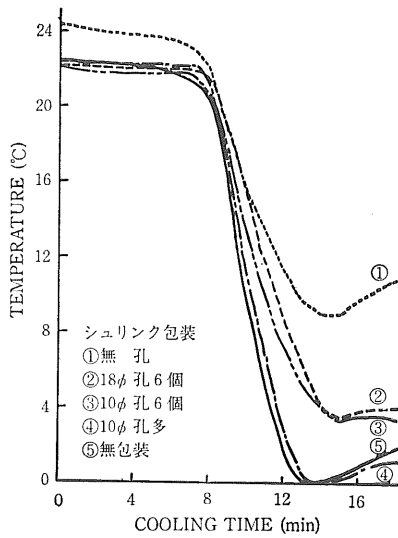


図16 フィルム包装と冷却能率 (レタス)
Fig.16 Cooling curves of lettuce packaged with shrunk film

2)) キャベツの全表面積に対するフィルムの有孔割合を計算してみたが、孔4個の場合で0.015%であった。

3) キャベツから1%の水分蒸発があると品温が5.9°C低下するとして、計算上の品温降下を出してみたが、これはM・A部の降下品温と極めて近似していることがわかった(表6)。

4.3 真空破壊時の外気導入法

真空冷却終了後に減圧状態のチャンバ内に外気を導入して大気圧にもどす真空破壊 (Vacuum broken) は、真空冷却に特有の操作である。真空破壊時にはチャンバ内外の圧力差が大きく、外気が高速度でチャンバ内に流入してくるため、その影響が各部の温度変化となって表れ、現地では特に野菜の品温に及ぼす影響が懸念されていた。また、真空冷却は短時間に冷却する高価な施設であり、真空破壊操作の円滑な迅速化が施設の処理能力向上の面から重要となる。

ここでは、真空破壊時の外気導入法について、小型の実験装置を用い、種々検討を行った。

4.3.1 実験方法

1) 外気の導入をコールドトラップを通して行う場合

表7 真空破壊時の各部の温度変化
Table 7 Temperature changes during vacuum breaking

(単位°C)

測温部		条 件		A				B			
				冷却終了時		破壊時最高		冷却終了時		破壊時最高	
		急	緩	急	緩	急	緩	急	緩		
チャンバ	湿球	0.7	-0.2	26.2	21.4	0.6	0.6	30.2	28.3		
	外気口	32.9	31.6	33.8	35.9	33.1	32.8	34.3	36.8		
	空間(奥)	31.4	31.6	69.1	50.9	31.0	31.6	66.3	43.3		
	側壁	29.5	30.9	37.1	33.5	30.6	31.1	37.5	32.4		
トラップ	ブライン	-14.2	-12.5	-13.6	-11.8						
	管空間	26.0	22.8	15.2	12.2						
	ポンプ側*	16.0	14.6	26.6	29.3						
	チャンバ側	25.7	22.8	15.2	12.2						
キャベツ	バット	6.4	4.9	6.6	5.1	6.3	—	6.7	—		
	葉部中	1.5	5.3	1.6	5.1	5.7	—	5.7	—		
	葉柄	7.2	6.1	9.0	6.9	7.0	—	—	—		
	表皮下	4.9	5.3	13.3	10.5	3.2	—	12.2	—		
人参	中心	6.3	5.8	6.5	6.2						
	1/2中心	4.2	4.7	9.1	7.2						
	表皮下	8.5	5.6	15.4	17.6						

A : コールドトラップを通して外気導入 (急: 21~32秒、緩: 78~210秒)

B : コールドトラップを通さずに導入 (急: 26~45秒、緩: 220秒)

* : 外気取入口

と、通さずに行う場合について、それぞれ破壊時間を変えて試験した。

2) 外気導入過程における装置各部及び供試野菜(キャベツ, ニンジン)各部位の温度変化を測定した。

4.2.3 結果と考察

1) 表7に試験結果を示したが、今回の実験の範囲では、外気をコールドトラップを通して導入しても、各部の温度上昇を抑える効果は見いだせなかった。これは用いた装置で、コールドトラップがチャンバの外に配置してあるため、外気がこの部分を通過する際には明らかに温度が低下しているにもかかわらず、それからチャンバに至る経路で管壁との摩擦や伝熱などの影響で、再び温度が上昇するためと考えられる。

2) 外気導入を急速に行うと、特にチャンバ内空間部での温度上昇が著しく、逆に導入口付近では温度の低下がみられる。これは導入口付近だけをみれば断熱膨張の作用、その他の部分では摩擦熱や圧縮熱などの作用があるためと思われる。

3) 野菜の品温は真空破壊の速度にほとんど関係なく、外気を導入することによって一様に上昇する。そして、その程度は表皮付近で特に大きく、5~10°Cの上昇がみられる。しかし、内部は熱容量が大きいので変化は極めて小さい。

4) 真空破壊時の外気導入をコールドトラップを通して行くと、流入空气中に含まれる水分がここで凝縮されて、野菜への凝縮が抑えられる効果が期待される。現

に、このような目的で真空破壊をコールドトラップを通して行うようにした施設もある。

参考(引用)文献

- 1) W.R. Barger: Factors Affecting Temperature Reduction and Weight Loss of Vacuum-Cooled Lettuce, USDA Marketing Research Report No469, 5-6, 1961.
- 2) 万豆剛一他: 野菜類の品質保持に関する研究(第3報), 静岡県農試研究報告, 第12号, p.127-137, 1967.
- 3) 中馬豊他: Vacuum Cooling に関する研究(第1報) 農機誌, 第29巻第3号, p.149-154, 1967.
- 4) 石橋真人他: 真空冷却装置に関する研究(第1報) 農機誌, 第31巻第1号, p.52-59, 1969.
- 5) 石橋真人他: 真空冷却装置に関する研究(第2報) 農機誌, 第32巻第1号, p.53-58, 1970.
- 6) 酒井克己他: 真空冷却装置の試作と試験報告(1), 冷凍, 第43巻第485号, p.1-18, 1968.
- 7) 科学技術庁: コールドチェーン調査・報告・研究資料集大成2, 科学技術庁資源局資料第70号, 1968.
- 8) 鳥取浩: 野菜の真空冷却装置, 冷凍, 第44巻第501号, p.656-661, 1969.
- 9) 村田敏他: 野菜の真空冷却理論, 冷凍, 第47巻第539号, p.785-801, 1972.
- 10) 小泉武紀: 予冷と予冷施設, 機械化農業, 1976年8月号, p.32, 1976.
- 11) 安生三雄: 野菜の真空冷却装置, 冷凍, 第43巻第486号, p.419, 1968.
- 12) Smith, R.E: Applications of Geometry Analysis of Anomalous Shapes to Problems in Transient Heat Transfer, Trans. ASAE, 296-302, 1968.

SUMMARY

Outlines of Vacuum-Cooling Plants Operating in Nagano Prefecture and Some Experiments Carried Out in Relation to These Plants Takenori KOIZUMI and Akihiko ONODA

The present paper reports the results of investigations on commercial vacuum-cooling plants for vegetables and of some experiments carried out by the authors on the vacuum cooling.

The result of the investigations at the two plants in Nagano Prefecture is outlined as follows.

(1) Both the plants had two vacuum chambers which were used alternately and were operated by the process equalizing their pressures at shift for the saving of time and power. (2) Among vegetables, lettuce and spinach are cooled in nearly half an hour. (3) When the vacuum is broken, a few of vegetables and carton boxes are sometimes damaged by kinetic pressure of inlet air.

As to the vacuum cooling treatment, the following characteristics were made clear from the experiments.

(1) The tiny aperture opened for inserting a thermocouple in vegetables except leafy ones exerted a distinct influence on the temperature at that point due to the occurrence of excessive evaporation. (2) Leafy vegetables packaged with plastic film are well cooled if only a few holes were perforated on it. (3) Breaking the vacuum with a rapid air introduction into a vacuum chamber through one inlet causes a considerable temperature rise at the surface of vegetables near the inlet but only a little temperature change at the inner portions of them.

Tech. Rep. Inst. of Agric. Mach. 17: 51~63(1982)

農業機械化研究所報告 第17号

Technical Report of Institute of
Agricultural Machinery No.17

昭和57年3月20日 印刷・発行

頒価 1,350 円

〒330 埼玉県大宮市日進町1丁目
Nisshin, Omiya, Saitama, Japan
Tel. 0486-63-3901~4

農業機械化研究所
Institute of Agricultural Machinery

印刷・製本／ 中沢印刷(株) 埼玉県与野市鈴谷1140