

農業機械化研究所報告

第 20 号

Technical Report
of the
Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusho)
Omiya, Saitama, Japan
No. 20 March 1986

農機研報

Tech. Rep.
Inst. of Agric.
Mach.

20 : 1—63
1986

昭和61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

石川 秀 勇 (委員長)

藤 岡 澄 行

伴 敏 三

入 江 道 男

平 田 孝 三

金 津 豊 彦

Editorial Committee

Hideo ISHIKAWA (Chief)

Sumiyuki FUJIOKA

Toshizo BAN

Michio IRIE

Kozo HIRATA

Toyohiko KANATSU

農業機械化研究所報告 第20号 (昭和61年 3月)

目 次

1. 倉田勇：作物可動式栽培装置の試作とこれを利用した作業の研究…………… 1
2. 鈴木光雄・中川靖夫：分光反射特性の農業機械用光電識別センサへの応用
に関する研究……………49

Technical Report of the
Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusho Hokoku)
No. 20 (March 1986)

CONTENTS

1. Isamu KURATA : Development of A New Movable Type Crop-bed System
and Farm Works in Crop Culture on the System 1
2. Mitsuo SUZUKI • Yasuo NAKAGAWA : Application of Spectral Reflec-
tance to the Photoelectric Sensor to be used for Agricultural Machinery...49

作物可動式栽培装置の試作とこれを利用した作業の研究

倉田 勇*

1985—11—11 受理

抄 録

倉田 勇：作物可動式栽培装置の試作とこれを利用した作業の研究。農機研報 20：1—48(1986)

作物可動式の栽培方式により、農作業の改善を目的とした研究である。既往の作物可動式栽培装置に関する研究を調査した後、土壌を用いて、草丈の大きくなる作物でも栽培できる新しい形の作物可動式栽培装置を試作した。これは、作物を水平面上の一定の軌道に従って循環させる装置で、その経路の一部において作業を行う方式である。従って今までは、圃場の全面上で行っていた農作業を、一定の点に集中化することができるので、農作業安全性の向上、労働環境の改善、作業の自動化等を容易に進めることが可能となった。試作した作物可動式栽培装置の利用試験として、トマトの促成栽培を行った結果、作業能率は、運搬作業が全面的に省力化され、一部の作業は完全に自動化できたので、所要労力は慣行栽培の約1/3に短縮された。環境制御の面では、作業区域と栽培区域を分離して、作業区域のみを局部的に快適な労働環境に制御する装置を開発し、その効果を示した。作業の複合化に関しては、トマトを収穫しながら形状選別を行う複合作業技術を開発し、省力化と果実の損傷防止の点において有効であることを示した。この装置でトマトを栽培した場合の生育・収量は、慣行栽培とほぼ同一であったが、栽植密度の増加と、栽培環境の最適化を進めることにより、今後増収を図ることは容易である。経済性に関しては、装置の設置による経費の増加と、省力化による労働費の節減を勘案した結果、労賃が1100円/h以上になると、栽培装置を用いた方が有利になることを明らかにした。

1. 緒 言

この研究の背景としてわが国における農作業機械化の推移を概括的にみると、昭和20年代までは人力と畜力が主体で、脱穀調製作業等の一部に機械化された場面を見る程度であった。昭和30年代になると、農業と鉱工業との経済的格差が開き始め、農村から都会への人口流出が続いた時代である。従って農業においても労働生産性の向上が急務とされ、農作業でも多くの分野に機械が導入された。しかしこの時代には、小形機械、歩行形機械が主であった。昭和40年代は、わが国の経済が驚異的な成長を遂げた時代で、高度工業社会における農業の生産性、収益性の向上が問題にされた時代である。農作業の面でも大形機械、乗用機械が急速に導入されるようになり、一方では農業の施設化も著しく進み、園芸施設、畜産施

設、乾燥調製施設等を中心として作業の集中化が活発に進められた時代である。しかし40年代後半には経済の高度成長に伴うひずみとして公害問題、エネルギー問題等が生じてきた。昭和50年代に入ると経済の成長も鈍化し、これまでの大量生産の時代から情報に対応して効率的な生産を行う時代へと変換してきた。また社会的には生活水準が向上して平均寿命も長くなり、高齢化の問題が浮び上ってきた時代である。

このような社会的動向を背景にして農作業にも、いろいろな問題が提起されるに至った。その中でも主なものを列挙すれば次のとおりである。

- (1) 作物の多様化に伴う省力的な作業技術面での対応方法
- (2) 農業における環境保全の問題
- (3) 農作業の安全性と快適性の確保
- (4) 農業従事者の高齢化の問題

これらの問題点に対して今後、農作業の改善を進める

* 研究第4部（現農林水産省北陸農業試験場）

場合には、上記の4項目の問題点に留意する必要がある。

次に、従来の農作業の特徴について考えると、ほとんどの農作業では作業者の移動が必要であること、作業対象物の規格化が困難であること、熟練や経験を要する作業が多いこと、作業空間と栽培空間が共存していることなどである。これに対して作物可動方式を用いれば、次のような長所があると考えられる。

その1は、作業装置(機械)が簡易化できることである。作物を移動させることにより、定位置作業が可能となるので、作業装置を移動するための動力や、足まわりが不要となるからである。

その2は、作業場所の集中化により、作業を量的及び質的に改善できる点である。作物固定式栽培方式では、作業場所が圃場内全面に分散していたが、作物可動式栽培方式では、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。

その3は、栽培環境の不均一性を緩和できることである。例えば作物固定式栽培では温室内の温度を均一にするため、温水パイプや温風ダクトの配置を工夫しなければならない。しかし作物可動式栽培方式では、温室内に温度むらがあっても、作物の位置を移動することにより、全体の作物へ分散して生育への影響を緩和することができる。

一方、作物可動式栽培方式の短所をあげると、作物可動装置の設置を要すること、作物と共に重量の大きい培地を移動しなければならないことなどである。

作物可動装置は新しく設置しなければならないが、すべての作業時に運転する装置であり、稼働率では高くなるものとする。また装置の可動部分は鋼製の軌道と車輪の組み合わせにより、圃場をゴム車輪で走行する方式に比べて、ころがり抵抗を小さくすることが可能である。培地を用いて作物を栽培する場合には、作物と共に培地も移動しなければならない。従って培地の量は栽培する作物の種類に応じて決める必要がある。また培地には容積当たり重量の軽い材料を選ぶことが、作物を動かす関係上有利であると考えられる。

このような理由から、作物可動式栽培方式による農作業は、従来から行われていた作物固定式栽培方式の農作業に比べて、運搬作業の全面的な軽減、作業環境の改善などにみられるように作業の量と質の面で大きな改善効果が期待できること、これに反して問題点も考えられるが、新材料の開発や総合的なシステムの中で改良する

余地も残されているので、作物可動式栽培装置の開発と、これを軸とした作業体系の組み立ては、高度工業社会におけるわが国の農業の形として肯定しうるものと考えられる¹⁾。

そこで本研究は単一の作業のみを改善することに留らず、農業生産システムとして、総合的に作業の改善を図ることを目的とするものである。それには作物可動式栽培装置を用いることが有意義であると考えるので、これを用いた作業が、従来の作業と比較して、能率、精度、労働負担の面で、どのように改善されたかを明らかにすること。作物可動式栽培装置の性能と作業の関係を追求することにより、装置の適正な構造と、それに適合した作業体系を示すことが必要である。

従って本研究では、まず農作業を農業生産システムの中で総合的に取扱った従来の作業装置の研究、及び既存の作物可動式栽培装置について調査を行った。その結果、既存の装置をそのまま使用したのでは、各種の作業を総合的に改善する点において、本研究の目的に適しない面もあるので、新たに作物可動式栽培装置を開発することにした。

次に、その栽培装置を用いて、作物を栽培しながら、栽培装置の運転特性試験と、各作業の時間調査を行った²⁾。運転特性試験では、作物を移動する速度、動力、振動などを測定し、これらが作物の生育や作業の難易度に与える影響について調査を行った。各作業の時間調査は、それぞれの作業を自動化の程度により、全自動作業、半自動作業、人力作業に分類して実施した。

なお本研究は、昭和48年度より8カ年にわたり、農業機械化研究所において実施したもので、装置の試作と、その機能を確認するための利用試験については、農業機械化研究所報告第18号「水平循環式栽培装置の開発研究」で、速報的ではあるが、既に報告済みである。

そこで本報は、前報で記述し得なかつた作物可動式栽培装置の設計値の理論的根拠と、装置の利用により、作業の面で改善された点を作業能率、作業精度、作業工程、作業強度の面から検討して取りまとめたものである。

2. 装置化による農作業研究の現状

本章では、まず固定された作物を対象とした多目的作業装置と、作物可動式栽培装置に関する研究の現状を調査するとともに、既存の装置に対する著者の見解を記

す。

2.1 既存の多目的作業装置

多目的作業装置は、固定した作物を対象として、圃場内に装置の足まわりを入れずに、作物をまたいだ状態で作業を行うことのできるブリッジクレーン形の作業装置である。従って装置は、圃場の両側面に設置された軌道上を走行する方式である。寺田²²⁾らは、温室内にブリッジクレーン形の多目的作業装置を設置して、作業の研究を行っている。耕うん作業は、耕幅 1.3m のロータリを用いて、装置の軌道方向に作業を行う。液剤や液肥の散布作業は、ガーダー上の液槽からポンプで加圧した液をノズルで散布する。ノズルは、ガーダーの縁に沿って、圃場の全幅に、均一に散布できるように設置されているので、作業装置が 1 回通過すれば、圃場の全面に散布することができる。この他、圃場内での栽培管理用資材や収穫物の運搬にもこの装置が利用されている。装置の操作は自動運転と手動運転が可能である。しかし装置の稼働範囲は 1 棟の温室内を往復するのみで、他の温室へ移動することは不可能である。

また、金須ら²³⁾の研究による多目的作業装置は、別の圃場へ移動して作業を行うことが可能である。この装置は水田作業用に開発されたもので、構造は、これもブリッジクレーン形である。装置の軌道は、水田の両側に設けたコンクリート製の畦畔をレールとし、この上をスパン 20m の作業装置が走行する。圃場の短辺方向には圃場間を移動するためのレールが設置されており、ここを通過して作業装置は任意の圃場へ移動することができる。

2.2 既存の作物可動式栽培装置

既存の作物可動式栽培装置を、栽培槽の移動方式及び支持方式の面より分類すると、図 2.1 に示すように 8 種類に分けることができ、それぞれ次のような特徴を持っている。

立体的可動方式の長所は、土地利用を極度に高めることが可能な点である。これに対して短所は装置の地上高が大きくなる点である。一般に作物可動式栽培装置は温室内に設置される場合が多いので、温室の棟も高くないとできない。立体的可動方式の極端な形として塔状温室を挙げることができる。このように特殊な形状の温室では建設費が非常に高くなること、温室の上下で温度差が大きくなること、温室の保温比が低下すること、温室内に日陰の部分が多くなること、装置の構造上、草丈の小さい作物しか栽培できないことなどが短所として挙げられる。立体的可動方式の具体的な形を示せば次の

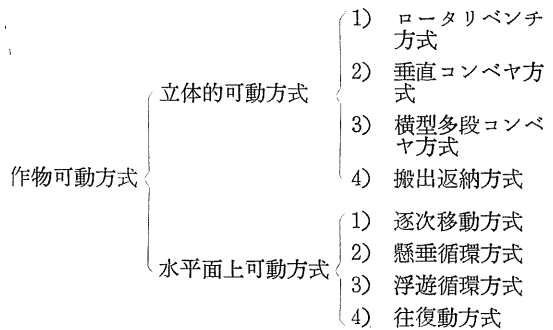


図2.1 作物可動方式の分類
Classification of movable type crop-bed system

とおりである。

1) ロータリベンチ方式

この方式は、回転軸が水平で、遊園地の観覧車のような構造であり、作物を植付けた鉢などを乗せた棚が、常に水平を保ったまま回転する方式である。

G. Bossé¹¹⁾ らは、2重に棚を設置したロータリベンチを用いて栽培実験、各部の照度測定などを行っている。照度の最大は、装置の最上部で 33500 lx、最小は最下部よりやや日陰寄りであり約 150 lx であり、回転周期は 4.5 分である。また栽培実験の結果では、Pteris (しだ植物) が、この装置で栽培するのに適しているようである。

奈良県農試では棚の配置が一重のロータリベンチを用いて鉢物花きの栽培を行い、担当者の 卜部氏³²⁾の談話によれば棚を 15~30 分の周期で動かした時、各鉢の受光量は、固定二段ベンチの上段には及ばないが、下段より多く、上段の 1/2 以上になるとのことである。また、この装置を入れた温室は、棟が高くなるため、垂直方向の温度差は約 8°C になるようである。

2) 垂直コンベヤ方式

この方式の特徴は、作物が移動する軌跡をみると、垂直面内で大きく上下方向に移動する点である⁷⁸⁾。従って、これを設置する温室は棟の高い塔状の温室となる²⁶⁾、²⁷⁾、²⁸⁾。ルスナー社が開発した温室は、その具体的な例である²⁹⁾、³⁰⁾。この装置では栽培面積増加率が 3.9~13.5 倍となり、ロータリベンチ方式の 2.6 倍に比べて、土地利用率ははるかに高くなっている。しかし棚の上下間隔が 0.5~1.0m で、しかもコンベヤのラインが上下方向に 4~6 列並んでいるので、中央部では照度がかなり低くなるものと考えられる。また棚の間隔から推測すると、草丈が 0.5~1.0m 以下の作物に限定されるものとする。培地の量についてみると棚の許容積荷重は 34~66kg/m²

になるので、この装置に使用する培地の比重を1.3³⁰⁾とすれば、棚の全面に入れる培地の深さは3～5cmに制限されることになる。わが国では東北農業試験場で、稲作の集団栽培を対象にして、土付き稚苗の大量育苗を行うために垂直コンベヤ方式の塔状温室を使用している³¹⁾。

3) 横型多段コンベヤ方式

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は水平方向への移動量を多くしているため、温室の棟高は塔状温室のように高くする必要はない。原³²⁾らは横型二段コンベヤ方式の栽培装置を用いて、ミツバの栽培を行っている。この装置の構造は、水平に設置したチェーンコンベヤに栽培バスケットを取り付けた形である。装置全体の設置面積は15.6m²で、高さが2.3mである。栽培バスケットの形状は長さ0.5m、幅0.6mで、これが0.635m間隔に40個連結されている。従って栽培バスケットの面積は合計12m²となり、設置面積より少ない状態である。また上段と下段の間隔は1.16mであり栽培バスケット上における照度をみると上段では73,000lxの時、下段では約2,300lxになっている。下段は照度不足のため補光用の蛍光灯を用いて5,000lxにしている。

4) 搬出返納方式

この方式は自動化倉庫と同じように、任意の位置の作物を作業場所まで搬出して作業を行い、作業が終了すれば作物を元の位置へ、もどす形である。栽培は水平面上で行うが、作業時のみ、立体的に作物を動かす方式である。奈良市郊外の農家ではこの方式を用いてイチゴの栽培を行っている。

5) 逐次移動方式

この方式はコンベヤ上に栽培容器を並べて動かすが、温室を循環するのではなく、温室の入口から出口まで一方向へ移動するのみである。デンマークのコペンハーゲン郊外にあるクリステンセン農場の施設は²⁷⁾、幅12m、長さ90mで、温室の入口で栽培容器(トレー)に播種し、発芽、育成等の工程を得て、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。また栽培容器は常に移動するのではなく、各工程の室に1日ずつ滞留し、次の工程に移る方式である。従ってこの装置ではガーデンレスのように6日間程度で収穫できる芽物が生産されている。栽培期間中は作業のために温室内へ入る必要もないので、温室内の床面を全面作物で満たすことができる。

6) 懸垂循環方式

懸垂循環方式は、温室の天井部に取り付けられたモノレールに栽培槽をつり下げて移動する方式である。高田³⁴⁾は温室の天井部にトロリコンベヤを取り付け、これに栽培槽を懸垂して育苗や、トマトの栽培を行っている。トロリコンベヤには許容荷重15kgのフックが15cm間隔に配置されている。従ってコンベヤ1m当たりの許容荷重は約100kgになる。この装置の特徴はコンベヤの軌道に沿って栽培槽が移動できることに加え、フックを軸として栽培槽が回転できるので、作業の時に便利であると報告している³⁵⁾。

7) 浮遊循環方式

浮遊循環方式は水面に栽培槽を浮かべて移動する方式である。日立製作所中央研究所では長円形の水路で水耕液を循環し、その流れに栽培槽を乗せて、レタスなどの葉菜類を栽培している³³⁾。水面上での作物の移動方法は、水流に乗せて動かす方法と、静止水面上で、栽培槽のみを機械的に移動する方法が考えられる。浮遊循環方式は、作物を移動する点において構造を簡易化できるが、全部の栽培槽を浮かべるための大きな水槽、または水路を準備しなければならない。

8) 往復動方式

作物可動式栽培装置としては最も簡単な方式で、一定の軌道上に必要な応じて作物が往復する形である。構造は温室と作業場所の間にレールを敷設し、栽培槽を乗せた台車は、通常は温室内に置かれているが、作業を要する栽培槽のみを温室から作業場所へ引き出して作業を行い、作業が完了すれば温室の元の場所へもどす方式である。立体的可動方式の項で述べた搬出返納方式を平面的に行った形である。

2.3 農作業の自動化に関する従来の研究についての考察

ブリッジクレーン形作業装置に共通する点は圃場をまたぐので、スパンが大きくなる点と作物の上をガーダーが通るので装置の地上高も高くなる点である。金須らの研究によれば重量も約8tに達するようである。一方、圃場作業装置に取りつける作業機の方をみると、防除作業のように圃場作業装置の本体を1回移動することにより、本体の通過した圃場は全面にわたって作業が完了するのであれば、スパンを大きくして、圃場をまたぐ意味も理解できる。しかし耕うん作業のように、わずか1.3mの幅を耕うんするために、重量が約8tの本体が移動するのは、作業景観としても不均衡であり所要動力の面からみても問題である。作業幅が小さい場合には圃場の

短辺方向に作業を行うとか、作業機を何台も並列にして使うなど、作業機使用面で改善が必要であるとする。

次に作物可動式栽培装置についてみると、前述のように色々な種類がみられるが⁷⁹⁾、問題点として

- 1) 特殊な形状の温室を要する
- 2) 草丈の小さい葉菜類が対象である
- 3) 培地として土壌を使用できない
- 4) 作業に対する配慮に欠ける

など挙げることができる。作物可動式栽培装置を用いた場合の総合的な作業体系については今後の研究に待つところが多いと考える。

3. 作物可動式栽培装置の試作

装置化による農作業研究の現状を調査した結果、2.3に記したような問題点が明らかになった。そこで、これらの問題点に対応するため、新しい形の作物可動式栽培装置を試作することにした。

3.1 作物可動式栽培装置の設計

3.1.1 基本的な設計方針

新たに試作する作物可動式栽培装置の基本的な設計方針として次の7項目を定めた。

- ① 特殊な形状を避け、既存の温室等の施設内に設置できる構造とする。
- ② 可動式栽培装置と、作業実施装置が有機的に連動できる形とする。
- ③ 慣行栽培では、圃場内全面に配置しなければならない作業実施装置（例えば温室内のかん水装置など）を集中化して、装置の構造を簡易化する。
- ④ 作業場所を集中化して、作業環境の制御が可能な形とする。
- ⑤ 培地には土壌を使用しても耐え得るような構造とする。
- ⑥ 草丈が、1 m以上になる作物でも栽培できるような構造とする。
- ⑦ 装置の製作には特殊な材料を避け、市販材料を主として使用する。また装置の構造も農家自身が組み立てたり、改良したり、整備ができるような取扱いやすい形とする。

3.1.2 設計構想及び設計値の算出基礎

試作する作物可動式栽培装置の主な部分の構造、材料、機能等の選定基準と、具体的な設計値を算出した根拠は次のとおりである。

1) 栽培槽の移動方式

基本的な設計方針に適合させるためには、栽培槽を水平面上で移動させるのが最も適当であるとするので、水平面の閉回路上を循環する形とする。

2) 栽培槽の支持と駆動方法

栽培槽の軌道は2本のホイールコンベヤをレールにして、この上に栽培槽を乗せる。また栽培槽は一定の間隔で軌道チェーンに連結し、このチェーンを駆動することによって栽培槽を動かす。ホイールコンベヤを使用するのはローラコンベヤ等に比較して軽量で取扱いが便利なこと、価格が安いことなどの理由である。栽培槽をチェーンで連結するのは、一定の間隔を保ちながら栽培槽の移動量を的確に制御するためである。

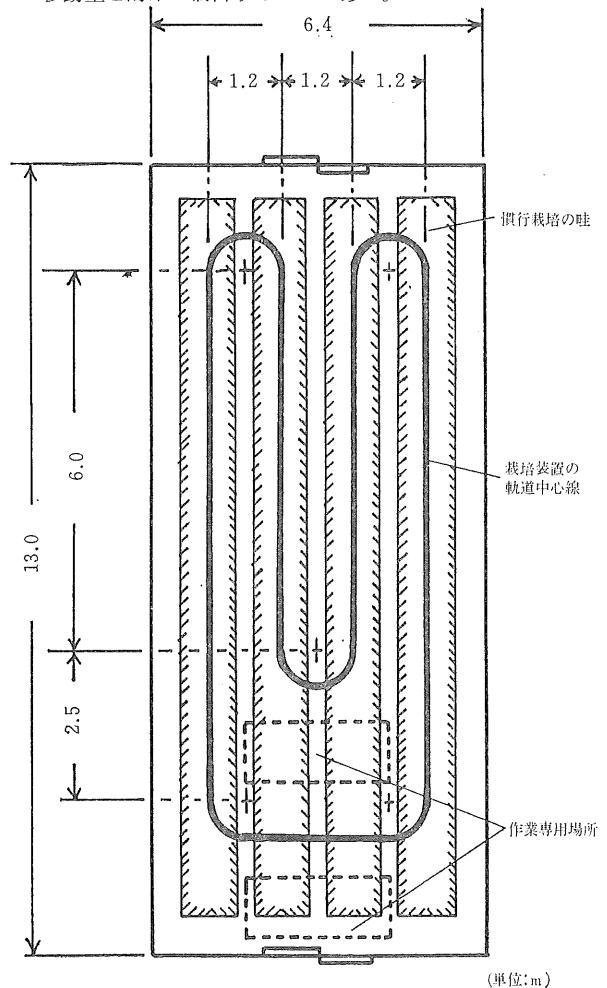


図 3.1 軌道の配置計画

Fig. 3.1 Design of circulating line in greenhouse

3) 軌道の設置場所と配置

試作する作物可動式栽培装置は、間口 6.4m、奥行13mの温室内に設置する。軌道の配置は図3.1のように温室の棟方向の直線部を4列とし、これを連結して1個の閉回路軌道を構成する。この温室内の慣行栽培では畦間を1.2m、株間を35cmにして、1m²当たり約2.4株の栽植密度でトマトが栽培されている。そこで試作する作物可動式栽培装置の場合にも、慣行栽培の畦間と栽植密度に倣って軌道を配置する。また温室の一部に作業専用の場所を設置するので、軌道の全長は約39mになるものとする。

4) 軌道上の荷重

軌道を構成するホイールコンベヤのレール上には等分布荷重が加わるものとし、この中には栽培槽、培地、作物、軌道チェーンなどの重量が含まれる。これらを積算した結果、軌道1m当たりの荷重を150kgとし、39mの軌道上の全荷重を5.9tとする。積算の内訳は、栽培槽、軌道チェーン等の材料の荷重が約33kg、軌道1m当たりの作物と培地の荷重を約120kgとする。この場合の栽植密度は慣行栽培と同程度とし、軌道1m当たり2.9株とする。また1株当たりの培地量を30l³⁸⁾、培地の仮比重を1.2kg/t³⁹⁾、作物の荷重を1株当たり5kgとする⁷⁶⁾。

5) 軌道チェーン

軌道チェーンは、軌道上の全栽培槽を連結して水平面上で移動させるチェーンである。軌道上の全荷重を5.9t、ホイールコンベヤの転がり摩擦係数を0.03⁴⁰⁾とすれば、軌道チェーンにかかる最大張力は約177kgとなる。そこで安全率を4にしてRF2060のチェーンを使用する。

6) 軌道スプロケット

軌道のコーナ部の軌道スプロケットは、ピッチ円の直径を1200mmにしなければならない。しかし市販品の中で最大径のスプロケットでもピッチ円の直径が455mmである。そこで軌道のコーナ部では直径455mmのスプロケットを2個並べて使用し、栽培槽の進め方も最初のスプロケットで $\frac{1}{2}\pi$ rad旋回し、次のスプロケットで更に $\frac{1}{2}\pi$ rad旋回して1288mm離れた隣の畦へ進む形とする。

7) 栽培槽の速度

栽培槽の最低速度は4cm/sとする。これは1株当たり11秒程度の作業であれば、栽培槽を連続運転したままで実施できる速度である。また速度の上限は変速機の比率に合わせて、約24cm/sまで出すことは可能であるが、装置の安全性等を考慮して11cm/s以下の速度で使

用する計画である。

8) 栽培槽の駆動動力

栽培槽の全重量を5.9t、チェーンの最大張力を177kgとすれば、栽培槽の速度が4cm/sの時に駆動動力が約100w、速度が11cm/sの時には約250wになるものと推測される。

3.1.3 栽培槽の連結と移動方法

図3.1に示すように、ある区画内で栽培槽を移動する方法は、直線上を移動することが基本となるが、幾つかの直線を連結するために、この間に曲線部が入る形となる。

また作物可動式栽培装置では、土地利用率を向上する見地から、一定面積内に高密度に栽培槽を配置して、しかも移動できることが望ましい形である。そこで平面上に多数の栽培槽を連結して移動する形を示す次のようになる。

- ① 直線上を単に往復する形(直進形)
- ② 一方向へのみ旋回が可能な形⁶⁰⁾(一方向旋回形)
- ③ 左右両方向への旋回が可能な形(両方向旋回形)

また長方形の栽培槽を例にして、移動する形と連結方法の関係を示せば図3.2のとおりである。直進形では前後の栽培槽を密接に連結しても、移動には何ら支障はない。また一方向旋回形では図3.2の②に示すように、コーナ部の内側を連結すれば、前後の栽培槽を密接に連結しても移動することができる。しかし両方向旋回形では、栽培槽の形状とコーナ部の旋回半径に応じて、前後の栽培槽の間に一定の空間を入れて連結しなければ、栽培槽がぶつかり合うのでコーナ部を円滑に移動することができない。

試作する作物可動式栽培装置は両方向旋回形に該当するので栽培槽の形状と、前後の栽培槽の距離について検討する必要がある。

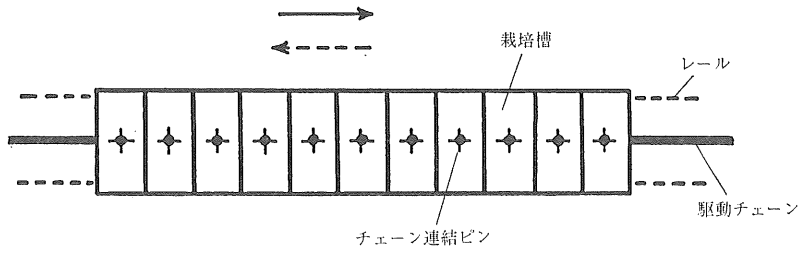
3.1.4 栽培槽の形状と連結間隔

限られた平面を効率良く利用し、しかも栽培槽が円滑に移動できるようにするため、栽培槽の形状と連結間隔を求める。

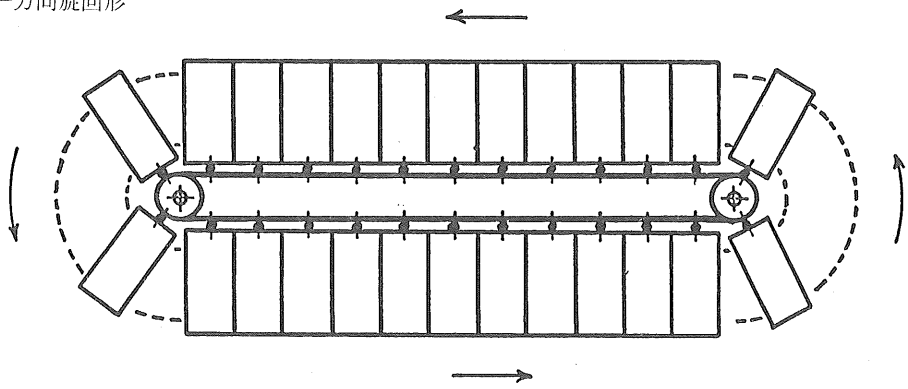
- 1) 連続した2個の栽培槽のコーナ部における相互位置

連続した2個の栽培槽が、図3.3に示すように、進行方向を $\pi/2$ rad変更する場合の相互位置関係について考察する。栽培槽は、それぞれの中心部で軌道チェーンに固定されており、チェーンに引かれて移動する。この連続した2個の栽培槽がy軸方向からx軸方向へ移動する時、栽培槽の相互位置には次のような状態が出現するも

① 直進形



② 一方向旋回形



③ 両方向旋回形

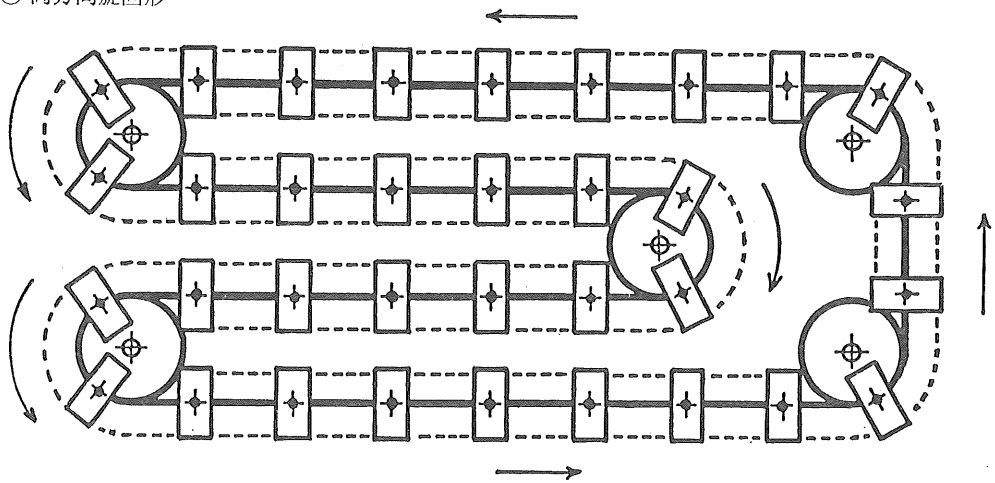


図 3.2 栽培槽の連結と移動方法
Fig. 3.2 Method to couple and move growing boxes

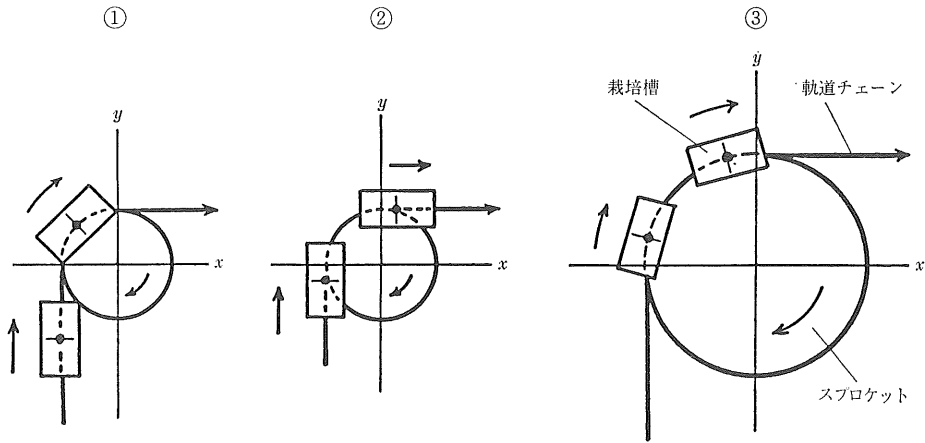


図 3.3 コーナー部での栽培槽の相互位置
Fig. 3.3 Mutual position of growing boxes on the corner

のと考えられる。

- ① 前の栽培槽の中心が円弧上にあり、後の栽培槽の中心がy軸と平行な直線上にある場合で前の栽培槽は回転しながら移動する状態である。
- ② 前の栽培槽の中心がx軸と平行な直線上にあり、後の栽培槽の中心がy軸と平行な直線上にある場合で、前後の栽培槽の移動方向は直交した状態である。
- ③ 前後の栽培槽の中心が両方とも円弧上にある場合で、前後の栽培槽とも回転する状態である。

②の状態は栽培槽の間隔に比して軌道スプロケットの径が小さい時に生じ、③の状態は逆に軌道スプロケットの径が大きい時に生ずる。本研究では①と②の状態のみが考えられるので、これについて考察する。

2) 前後の栽培槽がコーナー部で接触しない条件

まず軌道の直線部に栽培槽を、すき間なく並べた状態を仮定する。栽培槽は長さが $2L$ 、幅が $2W$ の長方形とする。従って栽培槽の中心間隔は $2L$ となる。次に、この間隔で栽培槽をチェーンに固定して、軌道のコーナー部を通過する時に生じる栽培槽相互の重合部分を考察する。その結果より逆に、前後の栽培槽が互に接触しない条件を求める。コーナー部における2個の栽培槽の相互位置は、前項の分類に従って考察する。

- ① 栽培槽の中心が円弧上と、y軸と平行な直線上にある場合。

図3.4に示すように栽培槽の中心が P_0 から P_1 まで移動すると、後の栽培槽の中心は Q_0 から Q_1 まで移動して、前後の栽培槽は $\triangle B_1F_1G_1$ 部で重合することになる。こ

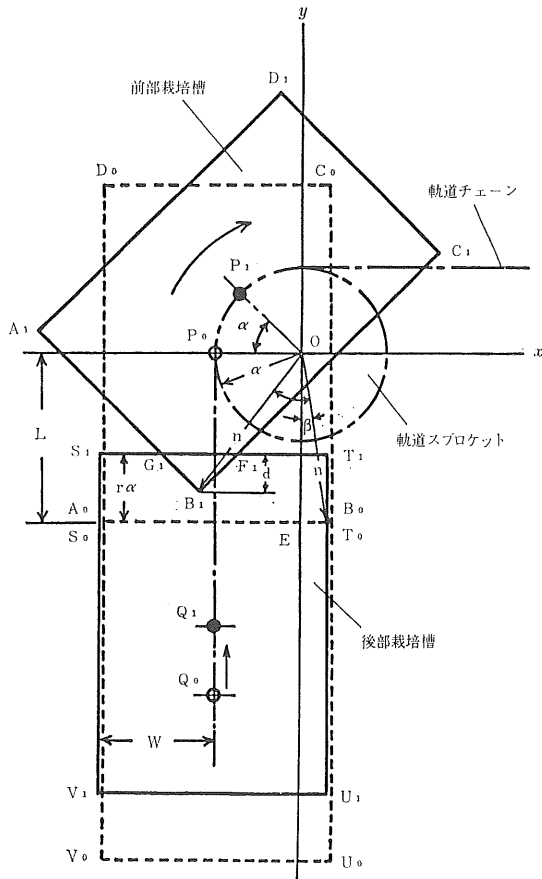


図 3.4 コーナー部での栽培槽の動き(1)
Fig. 3.4 Movement of growing boxes on the corner (1)

の重合部の y 軸方向の長さ d は次式で示される。

$$d = n \cos(\alpha - \beta) - (L - r\alpha) \dots\dots\dots(1)$$

ここで $n : OB_0 = \sqrt{L^2 + (W - r)^2}$ ($W \geq r$)

$\alpha : \angle B_0OB_1$

$\beta : \angle B_0OE = \tan^{-1}\left(\frac{W - r}{L}\right)$

2L : 栽培槽長辺の長さ

2W : 栽培槽短辺の長さ ($L > W$)

r : 円弧の半径

d が最大値 d (max) となる α (max) の値は(1)式の導関数より次式のように示される。

$$\alpha(\max) = \sin^{-1}\left(\frac{r}{n}\right) + \beta \dots\dots\dots(2)$$

したがって重合部を無くするためには、栽培槽の間隙を $2L + d(\max)$ にするか、栽培槽の角を d (max) だけ切り欠く必要がある。

② 栽培槽の中心が直交した直線上にある場合

前部の栽培槽が円弧上を $\pi/2$ rad 旋回して x 軸方向へ移動し、後部の栽培槽が y 軸方向へ移動して、前部栽培

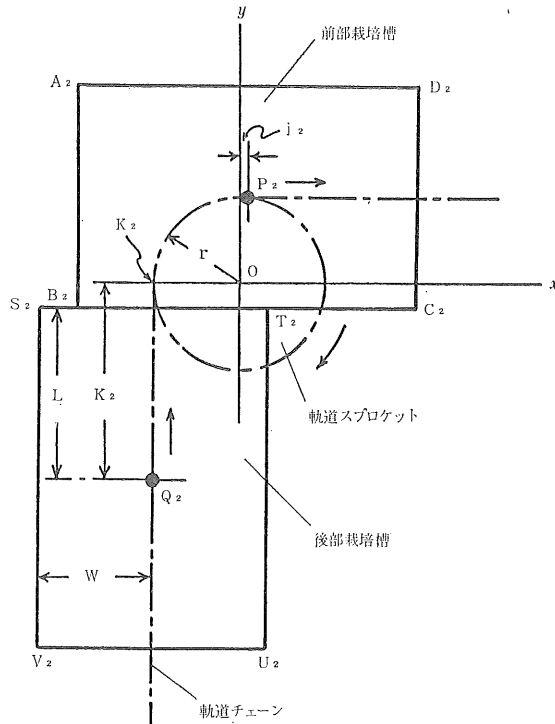


図 3.5 コーナ部での栽培槽の動き(2)

Fig. 3.5 Movement of growing boxes on the corner (2)

槽の長辺 B_2C_2 と、後部栽培槽の短辺 S_2T_2 が接した状態を図3.5に示す。この状態での栽培槽の中心位置 j_2, k_2 を求めると次式のようなになる。

$$j_2 = L - (W - r) - \frac{\pi r}{2} \dots\dots\dots(3)$$

$$k_2 = L + (W - r) \dots\dots\dots(4)$$

ここで j_2 : y 軸から前部栽培槽の中心 P_2 までの距離

k_2 : x 軸から後部栽培槽の中心 Q_2 までの距離

この状態から栽培槽が進捗するにつれて、図 3.6 のように前後の栽培槽は重合部分が生じる。前後の栽培槽が P_2 から P_3 へ、 Q_2 から Q_3 へ移動した時、軌道スプロケットの K_2 点は K_3 点まで $\pi/4$ だけ回転して $\square H_3B_3I_3T_3$ の部分が重合する。

この時の各栽培槽の中心位置 j_3, k_3 は次式で示される。

$$j_3 = k_3 = L - \frac{\pi r}{4} \dots\dots\dots(5)$$

また図 3.6 において重合部分の一辺の大きさ f は次式のように示される。

$$f = I_3T_3 = B_3I_3 = j_3 - j_2 = L - \frac{\pi r}{4} - j_2$$

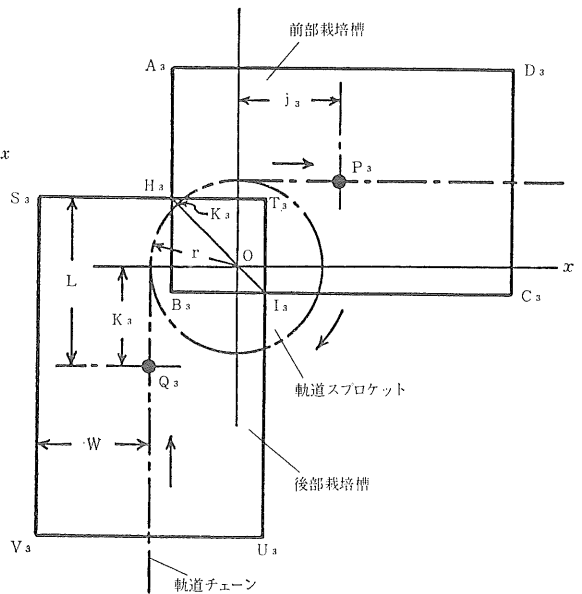


図 3.6 コーナ部での栽培槽の動き(3)

Fig. 3.6 Movement of growing boxes on the corner (3)

$$= W - r + \frac{\pi r}{4} \dots\dots\dots(6)$$

ここで j_3 : y 軸から前部栽培槽の中心 P_3 までの距離

k_3 : x 軸から後部栽培槽の中心 Q_3 までの距離

したがって前後の栽培槽の重合部分 $\square H_3 B_3 J_3 T_3$ を無くするためには、図 3.5 において、前部の栽培槽を x 軸の右方向へ $B_2 T_2$ だけ引き離す必要がある。この $B_2 T_2$ が前後の栽培槽のすき間 m として次式に示すことができる。

$$m = L - j_2 + (W - r) = 2 \left(W - r + \frac{\pi r}{4} \right) \dots\dots\dots(7)$$

以上の結果より重合部を無くするためには、中心間隔を $2L + m$ にするか、栽培槽の角を f だけ切除して長方形を修正する必要がある。

次に図 3.7 のように、角を e だけ切除した栽培槽がコーナー部で重合しないすき間 \overline{me} は次式の通りである。

$$\begin{aligned} \overline{me} &= 2 I_3 N_3 \\ &= 2 (J_3 T_3 - e) \\ &= 2 \left(W - r + \frac{\pi r}{4} - e \right) \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

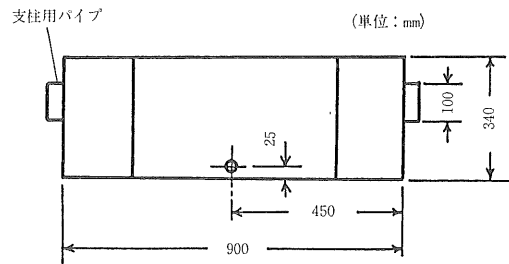
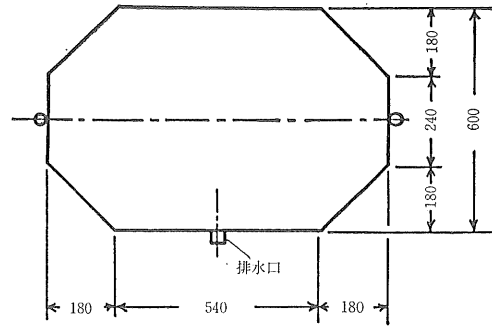


図 3.8 栽培槽の形状
Fig. 3.8 Shape of growing box

3.1.5 栽培槽の寸法

試作する栽培槽の形状は、栽培槽の機能面、製作面、外観上からも検討する必要があるので、前述の考察結果と、市販材料の規格より栽培槽の形状を図 3.8 のように、長さ 90cm ($L=45$ cm)、幅 60cm ($W=30$ cm) とする。作物は栽培槽内の長辺方向に 50cm、短辺方向に 35cm の株間で、4 株植えることができる。1 株当たり 33¹⁸⁶⁾ の培地を要するとして、栽培槽の容積 120¹が必要となる。従って栽培槽の深さは 26cm となるが、底に集水用の空間を設けること、培地がこぼれ落ちないようにすることなどの目的で実際の深さは 34cm とする。また栽培槽の中心間隔は(8)式より求めた値に、少し余裕を持たせて 118cm とする。

3.1.6 栽培槽の配置密度と作物の栽植密度

畦間 120cm に対して栽培槽の幅が 60cm、前後の栽培槽の間隔 118cm に対して栽培槽の長さが 90cm である。従って 1.42m² の土地に投影面積 0.48m² の栽培槽が 1 個存在することになり、栽培槽 1 個当たりの土地占有率は 0.34 である。また 100m² 当たりの栽培槽の数は 70 個となる。次に栽植密度は、この栽培槽にトマトを 4 株植えるので、100m² 当たり 280 株となる。一方、慣行の温室ト

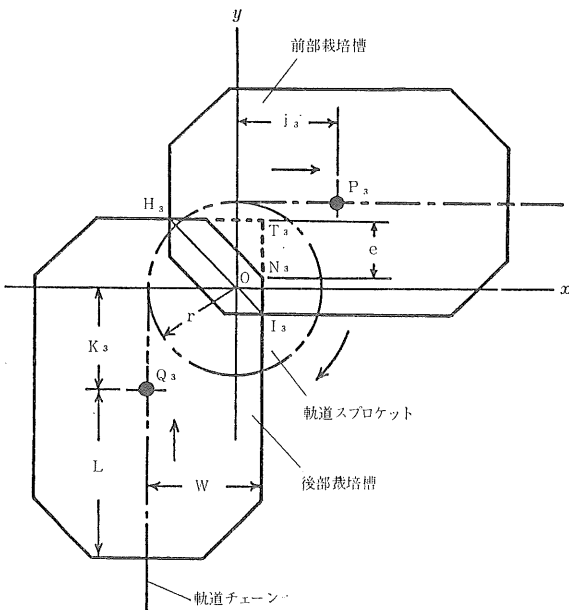


図 3.7 コーナ部での栽培槽の動き (4)
Fig. 3.7 Movement of growing boxes on the corner (4)

マトの栽植密度⁴¹⁾は、100m² 当たりで促成栽培が 270 株、半促成栽培が360株、抑制栽培が240株となっているので、栽植密度は慣行栽培とほぼ同程度である。

3.2 作物可動式栽培装置の構造と作用

試作した作物可動式栽培装置の主な部分は、栽培槽、軌道部、駆道部、運転制御部である。各部の構造と作用及びこれらの装置を配置する温室の形状は次の通りである。

1) 温室の形状と栽培装置の配置

作物可動式栽培装置を設置した温室は間口 6.4m、奥行13m、棟高3.8m、軒高2.1m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、軌道面は駆道部の構造上、温室の床面より 30cm 高くなっている。

2) 栽培槽

材料には厚さ 1mm の鋼板を使用し、3.1 に記した設計値に従って試作した栽培槽である。構造は、栽培槽の最下部に集水用の空間を設け、この上に培地を入れる形である。集水用空間と培地層の境界には、有孔底板と網により、フィルタを作り、培地内の余剰水のみを通過させる構造である。栽培槽の排水は、L字形の排水管を集水用空間の側面に取り付け、ここに溜った水を排水管から溢水させる方法である。また排水管は、管の先端を回すことができるので、その位置によって栽培槽内の水位を調節することができる*。

作物を支持する部分は、支柱と支柱支持金具である。支持金具は直径 6mm の丸鋼で、これを栽培槽の前後に取りつけられたパイプに差し込み、これに 4本の支柱を固定する。支柱は市販品で、直径が 10mm、長さが 140cmの鋼管である。支柱の下部は 10cm 程度、培地中に差し込み、上部を支持金具に固定する。従って栽培槽内の作物 4株は、これらの支柱に固定されるので栽培槽が動いても、作物が倒伏したり折損するおそれはない。このように栽培槽と作物支持装置を一体化したのも、この栽培装置の特徴の一つである**。

3) 軌道部

軌道部の作用は栽培槽の重量を支えることと、栽培槽の移動を円滑にすることである。

構造はホイールコンベヤまたはボール台の上に栽培槽を乗せる形である。軌道の直線部では 2本のホイールコ

ンベヤを 30cm 間隔に平行に並べて、フレームに固定している。ホイール 1個の許容荷重は 45kg で、ホイールコンベヤは、これを75mm間隔に取り付けたものである。従って直線部では 1個の栽培槽を20~22個のホイールで支えていることになる⁶⁹⁾。

軌道のコーナ部では、栽培槽を円滑に回転するため、ボール台をフレームとスプロケットに取り付けている。ボール台 1個の許容荷重は約 20kg で、取り付け間隔は約 75mm である。従ってコーナ部では 1個の栽培槽を17~19個のボール台で支えていることになる。このように軌道のコーナ部で、回転するスプロケット上にボール台を取り付けて栽培槽を支持する形式は、この栽培装置の特徴の一つである***。

ホイール及びボール台の許容荷重と配置間隔より、この軌道の許容荷重を求めると直線部では 1.2t/m、コーナ部では0.5t/mである。

4) 駆道部

駆道部は栽培槽を動かす部分で、電動機、減速機、チェーン及びこれに取り付けられた栽培槽支持板などで構成されている⁷⁰⁾。

原動機には設計値よりも、やや大きい1.5kWの可変速電動機を使用する。本研究の設計規模では、最低速度での駆動動力は約 100W、最高速度の時でも 600W 程度である。しかし将来、畦数を増加して負荷が増大する可能性もあるので、出力の大きい電動機を使用する。

ウォーム減速機を用いたのは、電動機の回転速度と栽培槽の速度を整合させるためである。動力の伝達は、原動機→減速機→軌道スプロケット→軌道チェーン→栽培槽の順で行う。

軌道チェーンは、栽培槽を一定の間隔に保ちながら動かす作用をする。このチェーンは軌道の中心線上に設置して、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ている。従って軌道チェーンの全長は約39m (1023リンク) に対して、33個の支持板が等間隔に取り付けられる。

栽培槽支持板の作用は上面に栽培槽を乗せることと、下面では軌道チェーンの垂れ下がりを防ぐこと、軌道上を円滑に移動することである。そこで支持板の上面には厚さ 11mm の木材合板を使用し、下面には厚さ 3mm の鋼板を用いて、両者を接着している。支持板の中心を軌

* 実用新案登録第1173462号，可動容液栽培槽の液面高さ調節装置

** 特許第888682号，作物支持装置を具備した可動栽培槽

*** 実用新案登録第1248056号，ローラコンベヤにおける屈曲部の荷重支持装置

道チェーンのアタッチメントリンクに取り付ける。

5) 運転制御部

栽培槽の運転方法として

① 手動運転

② 自動連続運転

③ 自動間欠運転

の三種類が可能である⁷¹⁾。

手動運転はボタンスイッチの操作によって、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ための運転方式である。

自動連続運転は、栽培槽が自動的に動き始めてから、軌道を一周して停止するまで、栽培槽は連続的に移動する運転方式である。運転制御は、第1タイマで始動し、第1リミットスイッチで停止する。これらの作用と、栽培槽の動きをタイムチャートで示せば図3.9の通りである。すなわち、第1タイマの設定時間に栽培槽が始動し、軌道を一周すると、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停止する。自動連続運転の利用場面は栽培槽を動かしながら行う作業、例えば防除作業などに適用できるものと考えられる。

自動間欠運転は、栽培槽が自動的に動き始めてから、軌道を一周して停止するまで、栽培槽は間欠的に移動する運転方式である。すなわち間欠運転は各栽培槽を一定の位置に、一定の時間だけ停止させる運転方式である。運転制御は、第1タイマで最初の始動を行い、以下、定位置停止と始動を第2リミットスイッチと第2タイマで繰り返す。軌道を一周すれば第1リミットスイッチで最終的に停止する。2個のタイマ及び2個のリミットスイッチの作用と、栽培槽の動きをタイムチャートで示せば図3.10の通りである。自動間欠運転の用途は、栽培槽を一時停止して行う作業、例えばかん水作業などに適用で

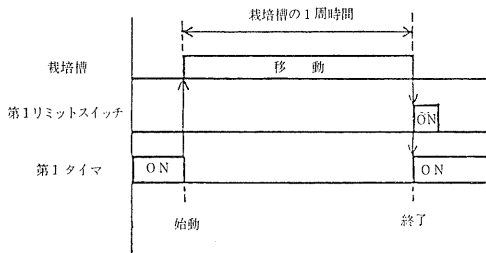


図 3.9 栽培槽自動連続運転のタイムチャート

Fig. 3.9 Time chart of automatic continuous movement of growing boxes

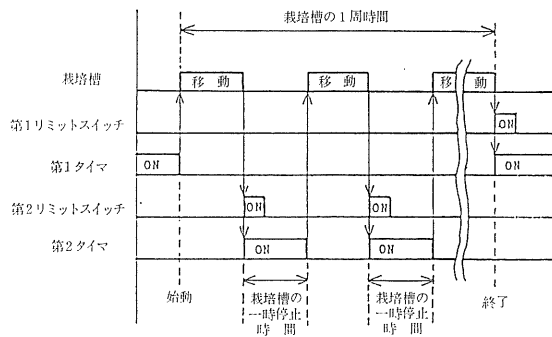


図 3.10 栽培槽自動間欠運転のタイムチャート
Fig. 3.10 Time chart of automatic intermittent movement of growing boxes

きるものと考えられる。栽培槽の運転速度は、電動機の回転速度によって決まるが、本装置の場合は4~24cm/sの範囲内で調節することができる。

3.3 作物可動式栽培装置の運転特性

試作した作物可動式栽培装置を運転し、栽培槽の駆動力と、運転中の栽培槽上での振動を測定した。

3.3.1 栽培装置の駆動動力の測定⁷⁴⁾

栽培槽に収穫期のトマトを栽培している状態で、この装置を運転する場合の実用的な速度と、速度別の駆動動力を求めるための試験である。

(i) 試験方法

トマトを栽培した状態での1個の栽培槽と、これに付随した支持板、チェーンなどの重量は実測した結果、約160kgであった。従って33個の栽培槽の全重は5.28tとなり、これを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、電動機と減速機の間にはトルク変換器を入れ、動ひずみ測定器を通して、電磁オシログラフに記録した。また同時に、トルク測定軸の回転数を測定した。試験に使用した測定器の仕様は表3.1に示す通りである。

(ii) 試験結果及び考察

栽培槽の速度別駆動トルク及び駆動動力を示せば表3.2のとおりである。これらの測定結果より次のような結論が得られた。

- ① 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が認められる。
- ② 栽培槽の実用的な速度は6 cm/s以下であると考えられる。8 cm/s以上の速度では、連続運転をしながら行う

表 3.1 栽培装置のトルク測定器
Table 3.1 Measuring apparatus of torque of crop-bed system

トルク変換器	ひずみゲージ式トルク変換器 TP-10KMC 容量: 98 N·m (10 kgf·m) 出力電圧感度: 1.5 (mV/V)
動ひずみ測定器	オートバランス式動ひずみ測定器 DPN-200A 感度 (10×10 ⁻⁶ ひずみ入力で) 電流: 5mA (30Ω 負荷) 電圧: 0.2V (5KΩ 以上の負荷) 応答周波数 : 0 2000HZ
記録計	直視式電磁オシログラフ RMS -11 ガルバノメータ: MS13KBH 周波数範囲 : DC~700HZ 感度 : 4 (mm/mA/105mm)
電気式回転計	発電機 Type 2611 定格回転数: 500, 1000, 2000, 5000 rpm 出力電圧 : 定格回転数でAC20V±1.0% 指示計 Type 2610 最大目盛値: 定格回転数と同じ

表 3.2 栽培槽の駆動トルクと動力
Table 3.2 Driving power and torque of grow of growing boxes

栽培槽の速度 (cm/s)	トルク		連続運転中の回転数 (s ⁻¹)	連続運転中の動力 (W)
	起動時 (N·m)	運転中 (N·m)		
7.9	27.8	13.7	1.75	151
6.1	23.7	11.4	1.45	104
4.3	17.6	6.9	1.03	45

人力作業 (例えば芽欠き作業など) が、ほとんど不可能になること、栽培槽の高速化による恐怖感が生じるためである。

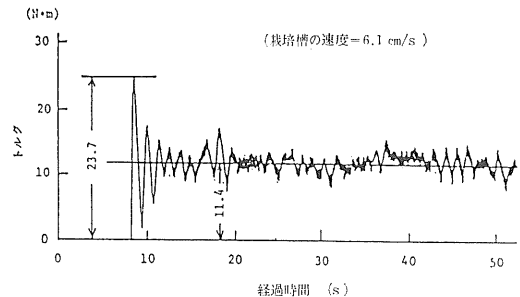


図 3.11 栽培槽駆動トルクのおシログラム
Fig. 3.11 Oscillogram of driving torque of growing boxes

③ 栽培槽の実用的な速度 (4 ~ 6 cm/s) における所要動力は、軌道 1 m 当たり換算して 1.15 ~ 2.67 W となり、ほぼ設計値と等しい値である。

また駆動トルクの変動パターンをオシログラムで示せば図 3.11 のとおりである。起動時のトルクが 23.7 N·m に対して、連続運転時のトルクは 11.4 N·m になることを示している。

3.3.2 栽培槽上での振動測定^{72), 90)}

軌道上で栽培槽を移動する場合に、レールの凹凸による上下方向の振動、軌道のコーナ部における左右方向の振動、駆動力の伝達に起因する前後方向の振動が予想される。そこで、これらの振動を測定し、作物に及ぼす影響を調査するための試験である。

振動の測定では、機械系の運動を表わす量、すなわち変位、速度、加速度の時間的変動の測定を取扱うのが普通である。しかし実際の振動測定に当って、これらの量のうちのどれを測定するかは、測定目的を十分に考慮して決定しなければならないが、この試験では栽培槽の振動が作物に損傷を与えるか否かを知ることが主とした目的であるため、栽培槽に発生する上下、左右、前後方向の加速度の大きさを測定した。

(i) 試験方法

加速度の測定位置は、栽培槽の培地表面より 90cm 上方の点で、支柱に加速度変換器を固定した。測定結果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。加速度測定器の仕様は表 3.3 に示す通りである。また振動が、作物に及ぼす影響について調査した。調査項目は作物の倒伏、損傷、落花、落葉、落果などの有無と、各部が揺れ動く程度を観察により調査を行った。

(ii) 試験結果及び考察

栽培槽上における速度別の加速度の測定結果は表 3.4

表 3.3 栽培槽上での加速度測定器

Table 3.3 Measuring apparatus of acceleration on growing box

加速度変換器	ひずみゲージ式加速度変換器 AS-1C 容量: 1G 測定周波数範囲: 0~58Hz 出力電圧感度: 0.5mv/v
動ひずみ測定器	オートバランス式動ひずみ測定器 DPM-200A (表 3.1と同じ)
記録計	直視式電磁オシログラフ PMS-11 (表 3.1と同じ)

のとおりである。また軌道の直線部における前後方向の加速度の変動パターンをオシログラムで示すと図3.12のようになる。これらの測定値より次のような結論を導くことができる。

表 3.4 栽培槽運転中の加速度

Table 3.4 Acceleration of growing box in operation

栽培槽の速度	軌道の部位	上下方向	左右方向	前後方向
		cm/s ²	cm/s ²	cm/s ²
7.9 cm/s	直線部	1.18	4.51	4.12
	コーナ部	2.16	9.02	6.08
6.1	直線部	0.59	2.94	2.55
	コーナ部	1.18	5.98	3.33
4.3	直線部	0.20	1.18	0.98
	コーナ部	0.59	3.14	1.37

- ① 軌道の位置別に加速度の大きさを見ると、直線部よりコーナ部で大きくなる傾向が認められる。
- ② 振動の方向別に加速度の大きさを見ると、上下方向が小さく、左右方向が大きくなる傾向が認められる。
- ③ 加速度の最大値は、コーナ部における左右方向の値

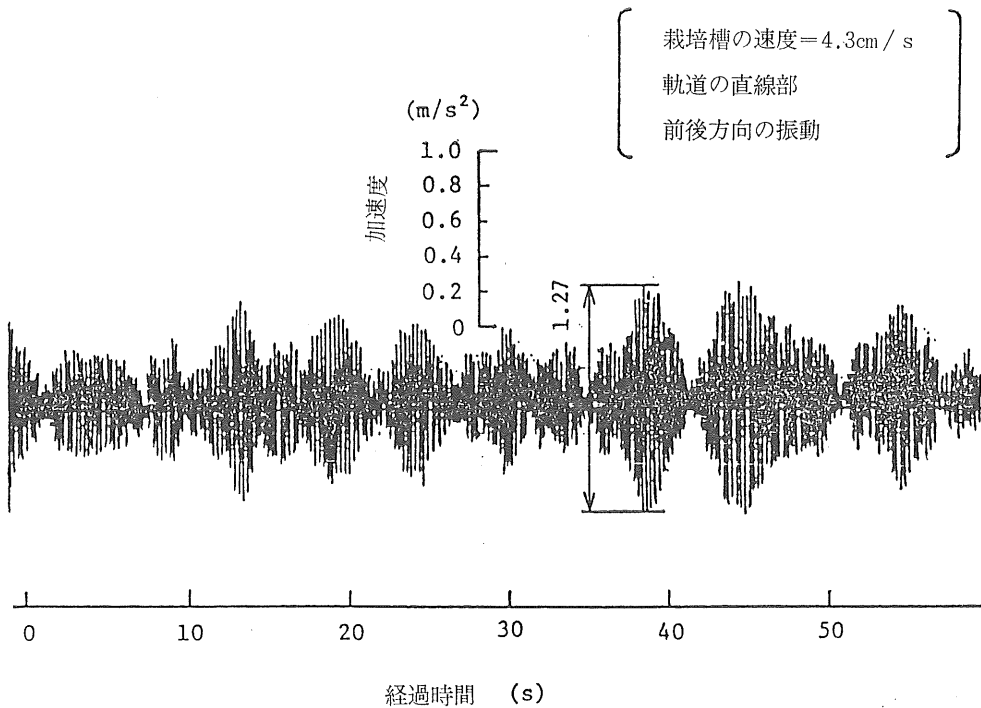


図 3.12 栽培槽上における加速度のオシログラム

Fig. 3.12 Oscillogram of acceleration on growing boxes

である。

- ④ 図3.12で示されるように、前後方向の加速度に脈動現象が見られるのは、栽培槽の速度が周期的に変動するためと考えられる、この現象は特に駆動スプロケット通過直後の、軌道チェーンの弛緩側で明確に出現する場合があります、軌道チェーンを緊張すれば、この現象を防ぐことができる。

表3.4に示すように、栽培槽上での加速度の最大値は 9.02cm/s^2 であるが、鉄道車両では上下、左右、前後方向とも約 60cm/s^2 の加速度である⁴²⁾。

振動が作物に与える影響について見ると、作物は支柱に固定されているので、この試験の範囲内では、倒伏の虞は全く認められない。また作物の部分的損傷、落花、落葉についても同様である。作物の各部が揺れ動く程度は、風力階級3程度の風による揺れ方より小さい状態であり⁷³⁾、この栽培装置で実施した試験結果では、振動が作物に与える影響は、ほとんどないものと考えられる。参考として振動収穫機の試験^{43), 44), 45)}より、果実を落下させるに要する加速度を求めると、みかんの場合には 355m/s^2 となっている。

4. 作物可動式栽培装置を使用した時の作業特性

作物可動式栽培装置を使用することにより、全自動化が可能な作業、半自動化しかできない作業、人力に頼らざるをえない作業に分けることができる。そこで各作業を自動化の程度に応じて分類し、作業を自動化することの必要性及び各作業の自動化への到達度と、自動化の障害となっている事項を明らかにする。また人力作業については従来の作業と対比して改善された点を明らかにする^{81), 82)}。その他、各作業の能率、精度、労働負担の面からも同時に検討を加えることにする。

4.1 全自動化が可能な作業と作業装置の性能

作物可動式作業装置と組み合わせて全自動化を可能にした作業には、防除作業と、かん水作業がある。防除作業は安全性の面から、かん水作業は集約的な栽培管理作業を省力化する面から全自動作業装置の開発が強く要請されている分野である。この節では作業の全自動化を可能にした防除装置と、かん水装置について記述する。

4.1.1 全自動防除装置の試作と利用試験

1) 防除作業自動化の必要性

薬剤の散布を人力で行う場合に、作業者は当然、飛散した薬剤にさらされることになる。特に被覆された温室

内での防除作業を人力で行うことは、薬剤が高密度に浮遊している環境の中へ人間を暴露することになり、危険な作業である⁸³⁾。また薬剤との接触を避けるために、高温多湿の温室内で防護具を着用することは困難である。以上の理由により全自動防除装置を開発して、防除作業を無人化すること⁴⁶⁾は緊急の課題であると考えられる。

2) 温室内における薬剤散布方式の現状

温室内での薬剤散布方式には、直接吹き付け方式と、気流拡散方式がある。直接吹き付け方式は、噴霧機や散粉機を用いて薬剤を直接作物に吹き付ける方式である⁸⁴⁾。これに対して気流拡散方式は、煙霧機により微粒化された薬剤を、気流に乗せて温室内へ浮遊拡散し、それが自然に沈降して作物に付着するのを待つ方式である。直接吹き付け方式は、作物の各部の薬剤を確実に付着させることはできるが、人力作業の場合には前述のように苛酷な労働環境の問題が残されている。最近ではモノレールや、バッテリーカを利用した無人防除装置も開発されてきたが、薬剤の運搬や補給の面に問題点が認められる。

一方、気流拡散方式は、温室内の無人作業を可能にしたが、繁茂した作物内部まで薬剤の微粒子を到達させることは困難であるという問題点が残されている⁴⁷⁾。このような現状の下において、直接吹き付け方式で、しかも薬剤の補給や運搬が円滑に行うことのできる全自動防除装置の開発に、強い関心が寄せられている状態である。

3) 全自動防除装置の特徴

試作した全自動防除装置の特徴は、自動化のために複雑な設備や特殊な装置を導入しないで、従来から使用していた機器を、作物可動式栽培装置の自動運転と、連動できるように改良する程度で、防除作業の全自動化を図った点である。

この防除装置の特徴は、栽培装置の軌道の横断面に、薬剤噴霧液の幕を作る点である。軌道上を移動する、すべての栽培槽は、この薬剤の幕を通過するので、作物は自動的に薬剤の暴露されることになる。

飛散薬剤の回収装置を付加したのも、本装置の特徴の一つである。動力噴霧機で、薬剤を作物に吹き付ける方式では、作物の無い所へ飛散する量も多いので、これらを回収して薬剤タンクへ戻し、再度噴霧することを可能にした装置である。

4) 全自動防除装置の構造と作用

全自動防除装置の構造は、図4.1に示すように、6個のノズルを具備した動力噴霧機と、飛散薬剤を回収する

表 4.1 動力噴霧機の仕様

Table 4.1 Specification of power sprayer

型式	横型3連プランジャーポンプ	
主軸回転数	15	s ⁻¹
常用圧力	2.06	MPa
吐出量	10	l/min
所要動力	809	W
ノズル口径	0.7	mm

部分で構成されている。ノズルは、栽培装置の軌道の両側に設置した2本の支柱に、それぞれ3個ずつ取り付けられている。各ノズルは、作物の大きさに応じて、支柱を上下方向に移動したり、支柱を軸として噴霧方向を変えることが可能である。薬剤タンクの容量は約50lで、動力噴霧機の仕様は表4.1のとおりである。

防除装置の運転方法は、栽培装置の自動連続運転と連動させるので、作業は完全に無人作業とすることができる。すなわち動力噴霧機と栽培槽は、第1タイマの設定時刻に、同時に始動する。そして全部の栽培槽が、ノズルの設置点を通過した時、最初の栽培槽に取り付けたドッグが、第1リミットスイッチに作用して、栽培槽と動力噴霧機を同時に停止する。

飛散した薬剤を回収する部分は、図4.1に示すように、ノズルの背面をビニルフィルムで囲い、この範囲に飛散

した薬剤を床に置いて容器内へ回収する方式をとっている。それは、ノズルから1~2mの範囲内で、特に薬剤の飛散量が多いためである。この範囲外にも微細な粒子が飛散する状態は認められるが、作業中の温室は無人であり、密閉するので飛散した薬剤が外部まで流出しないこと、温室内に浮遊する薬剤の粒子は、時間の経過と共に沈降し、2次的に作物へ付着する機会があること、などのために飛散薬剤の回収カバーの取り付けは、栽培装置の軌道に沿ってノズルから約0.8mの範囲にとどめた。

5) 全自動防除装置の利用試験

この試験は、温室内の作物可動式栽培装置でトマトを栽培し、その防除作業に全自動防除装置を使用して、薬剤の散布状態、飛散薬剤の回収状態、防除効果及び装置各部の作動状態を調査するために実施した試験である。

(i) 試験方法

a 薬剤の散布状態と回収状態

供試作物には、草丈が約1.2m、繁茂幅が約1mで、収穫初期のトマト(東海2号)を使用した。試験時の栽培槽の速度は、最低の4cm/sとした。これは作物の各部へ薬剤を確実に付着させるためである。測定項目は防除作業1回当たりの薬剤使用量、回収量及び作業時間である。これらの測定値より1株当たりの薬剤散布量、ノズルからの噴霧量などと、装置の作動状態を調査した。

b 薬剤の飛散状態及び飛散防止効果

供試作物の試験条件及び栽培槽の速度はaと同じである。また供試薬剤には、測定を容易にするため、農薬の代わりにウォーターブルー No9 という染料の1%液を使用し、これを全自動防除装置で散布した。一方、作物の間にはミラーコート紙を配置して薬剤粒子を受け、紙上の葉斑を付着指数として示した。またミラーコート紙の配置方法は、温室内の縦横に約1.2m間隔に、高さは地上高で0.7mと、1.4mの位置に取り付けた。ミラーコート紙の取り付け方向は、各測定点の水平面と、ノズルの方向に面した垂直面である。付着指数は、スピードスプレヤの国営検査に用いられている慣行散布の標準付着度表⁴⁹⁾より求めた。薬剤が作物表面の、どの程度を被覆したかについては、被覆率で示すことができる。付着指数から薬剤の被覆率を求めるためには、武長⁴⁹⁾らの示している図4.2を利用した。以上のようにして薬剤の飛散状態は、温室内の定位置に配置した。ミラーコート紙上の付着指数より求め、飛散防止効果は、ノズル周辺に取り付けたカバーの有無による薬剤飛散状態の差として示した。

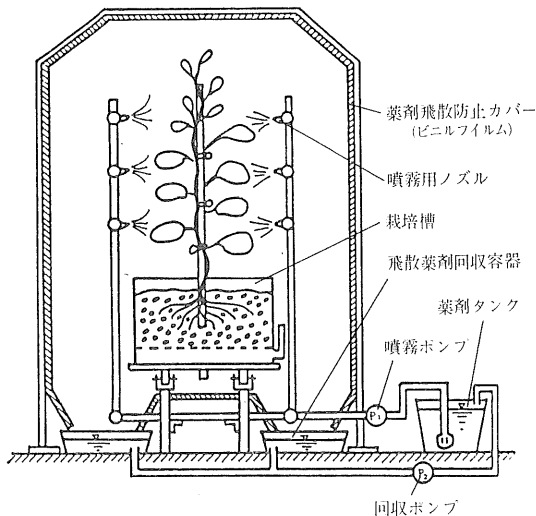


図 4.1 全自動防除装置

Fig. 4.1 Schematic drawing of automatic pest control facilities

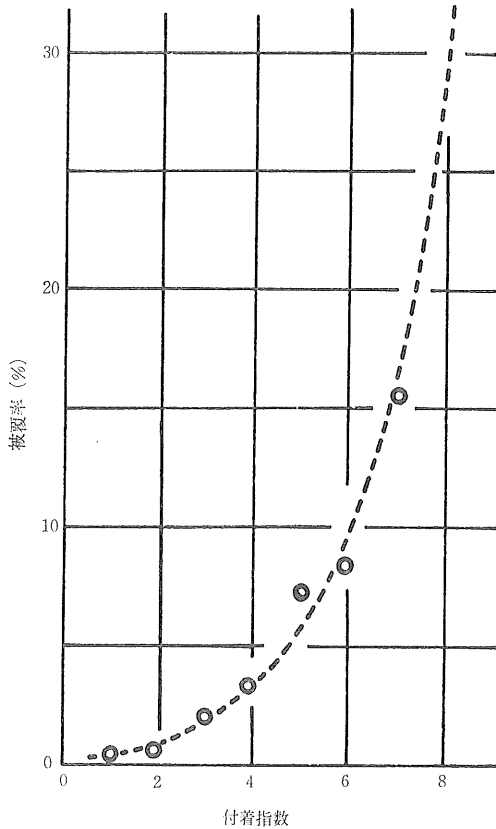


図 4.2 薬剤の附着指数と被覆率の関係(武長、1978)

Fig. 4.2 Relation between rate of deposit and covering of chemicals

c 防除効果

試験方法は、作物可動式栽培装置を設置した温室内にビニルフィルムで仕切って無散布区を10株作り、発病程度を比較した。供試作物はトマトで、10月5日の定植後、10日間隔で計3回の薬剤散布を行い、11月5日に調査を行った。供試薬剤は、TPN水和剤(600倍)である。調査方法は、薬剤散布区を無散布区より、それぞれ5株を任意に選定し、葉かび病の発病株数と発病葉数を調べた⁵⁰⁾。

(ii) 試験結果

a 薬剤の散布状態と回収状態

薬剤の散布量と回収量は表4.2に示すとおりである。6個のノズルからの噴霧量は、1.3l/minで、防除作業中に要した薬剤の量は全部で19.8lである。この内4.4l(全使用量の22%)が回収された量である。従って残りの

表 4.2 薬剤の散布量と回収量
Table 4.2 Quantity of liquid chemical sprayed and recovered

薬剤使用量	19.8	1	(100%)
薬剤回収量	4.4	1	(22%)
1株当たり散布量	0.12	1/株	
ノズル噴霧量	1.3	l/min	
噴霧圧力	1.18	MPa	

15.4lが作物に散布されたことになり、1株当たりの散布量は約120mlとなる。これより10a当たりの散布量を推測すると、株数を2600株/10aとして、散布量は約312l/10aになるものと考えられる。これは露地野菜における慣行の散布量⁵¹⁾であるが、高温高湿の温室内では、使用水量が多過ぎる状態である。従って温室内の防除には、節水防除の見地より、濃厚薬剤の少量散布法に関しても、農薬の安全性を考慮しながら、今後検討を要する課題であると考えられる。

b 薬剤の飛散状態及び飛散防止効果

薬剤飛散防止カバーを取り付けた場合の飛散状態は、カバーの出入口から軌道に沿って約1.2~1.8mの位置で、図4.3に示すように附着指数が8、被覆率が約30%の飛散状態が認められた。しかしカバーの出入口以外には、薬剤が飛散した状態は認められなかった。一方、カバーを取り外した場合には、ノズルから約1.8mの範囲内では、床面も、ミラーコート紙も水浸しの状態であった。また、カバーなしの状態では、附着指数が8程度の際は、ノズルから約3.5mの範囲に及び、ノズルから5~

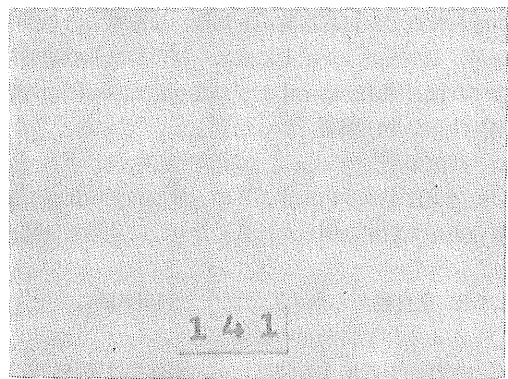


図 4.3 液剤の飛散状態(附着数=8)

Fig. 4.3 State of scattering of liquid chemicals (rate of deposit = 8)

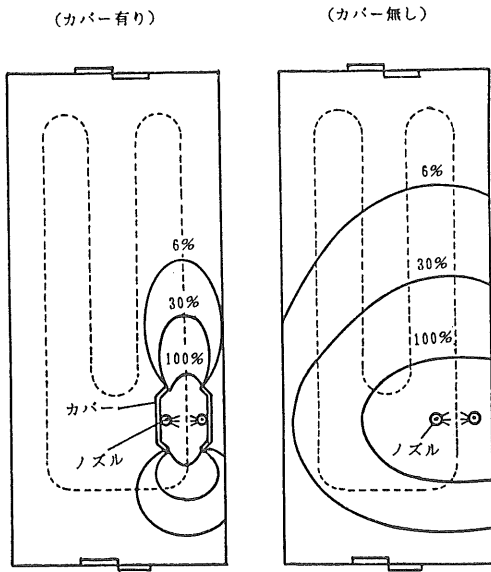


図 4.4 液剤の被覆率

Fig. 4.4 Rate of covering of liquid chemicals

表 4.3 トマトのハカビ病防除効果

Table 4.3 Control effect on leaf mould of tomato

	発病株数	発病株率	発病葉数	発病葉率
散布区	2	40%	4	13%
無散布区	5	100%	14	47

〔調査株数は各区ごとに5株〕

〔調査葉数は各区ごとに30枚〕

6 m離れた点でも付着指数が5程度、被覆率で約6%の葉斑が、ミラーコート紙上に認められた。以上の結果を総合すれば、図4.4に示すようになり、カバーによる薬剤飛散防止効果は顕著であった。

c 防除効果

防除効果は表4.3に示すように、無散布区に比べて散布区の方が発病率は明らかに低くなり、防除効果は認められた。

4.1.2 全自動かん水装置の試作と利用試験

1) かん水作業自動化の必要性

温室内で作物を栽培する時に、かん水作業は定期的に行う必要がある。また作物を均一に栽培するためには、各株へのかん水量も均一にしなければならない。このように施設園芸では、かん水作業は頻度も高く、均一作業を

行う点において、ある程度の作業精度も必要である。従って省力化と、一定のかん水精度を確保するためにかん水作業の自動化は欠くことのできない装置である。

2) 温室内のかん水装置の現状

昭和54年度における園芸施設内の装置化の進捗状況調査⁵²⁾によれば、最も装置化の進んでいる分野は、かん水装置である。すなわち全施設面積 25,000ha の内、約 10,000ha に自動かん水装置が導入されている。しかし、これらの装置は、パイプを用いて作物の各株元まで水を導く方式であり、かん水作業としては、ほぼ全自動化されているが、次のような問題点が考えられる⁵⁷⁾。

その1は、作物の各株元まで水を導くため、温室内全面に、かん水用パイプを配管しなければならない点である。その2は、耕うん整地のため、1作ごとにパイプの敷設と撤去を繰り返さなければならない点である。

その3は、管路抵抗のために、各株への散水量が不均一になる点である⁷⁵⁾。

これらの問題点は現在、温室内で使用されている全自動かん水装置では、避けることのできない問題点である。

3) 全自動かん水装置の特徴

作物可動式栽培装置と組み合わせた形で試作したこのかん水装置の特徴は、かん水口を一定の場所に固定し、そこを通過する栽培槽へ順次かん水ができる点である。従って作物を動かすことができるので、温室全面に配管する必要もなく、一定の圧力で各栽培槽へ均一に、かん水ができる点である。

4) 全自動かん水装置の構造と作用

試作した全自動かん水装置は、図4.5に示すように栽培槽の両側から作物の根元に、かん水する形である。かん水ポンプ400Wの渦巻ポンプで、その仕様は表4.4の



図 4.5 全自動かん水装置

Fig 4.5 Automatic irrigation facilities

表 4.4 かん水ポンプの仕様
Table 4.4 Specifications of irrigating pump

型 式	S Q型自吸水ポンプ		
主軸回転数	25	s ⁻¹	
吐 出 量	80	l/min	
揚 程	4.5	m	
所 要 動 力	400	W	

とおりである。かん水口には 0.3mm 径の穴を 1 mm 間隔にあけた多孔板を取り付けて、水勢を緩和するとともに、栽培槽内の培地表面へ均一にかん水できるようにしている。かん水ポンプの運転は、栽培装置の自動運転と連動する方式である。

5) かん水装置の運転方式別比較試験

栽培装置の自動運転と、かん水ポンプを連動させて運転する方式には、次の 3 種類が可能である。

- ① 連続移動・連続かん水方式
- ② 連続移動・間欠かん水方式
- ③ 間欠移動・間欠かん水方式

以上のかん水方式について、作業能率と作業精度の面より、作物可動式栽培装置に適した、かん水方式を選定するために行った試験である。

(i) 試験方法

この試験で、作業能率は栽培槽 1 個当たりのかん水所要時間を測定した。また作業精度は、栽培槽内へ入った

有効なかん水量と、栽培槽外へこぼれた無駄な飛散水量に分けて測定した。前述の 3 種類のかん水方式で、栽培槽とポンプの運転方法は次のとおりである。

- ① 連続移動・連続かん水方式は、栽培槽、ポンプとも連続運転を行い、常にかん水している所を栽培槽が連続的に通過する運転方法である。
- ② 連続移動・間欠かん水方式は、栽培槽を連続運転し、ポンプは、かん水位置の下を栽培槽が通過する時のみ運転して、栽培槽の間ではポンプを停止する、従って栽培槽は連続運転、ポンプは間欠運転を行う方法である。
- ③ 間欠移動・間欠かん水方式は、栽培槽をかん水位置で、一時停止してからポンプを運転し、ポンプを止めてから栽培槽を移動する方式で、栽培槽とポンプの運転を交互に行う方法である。

試験時のポンプの吐出量は 30 l/min にして栽培槽内と、槽外への水量を分けて測定した。槽内へのかん水量は、各栽培槽を空にして、そこへ入った水量を測定した。槽外への飛散水量は、かん水口の周囲に並べた容器に回収して測定した。栽培槽の移動速度は 4 cm/s とした。これは、栽培槽内外への水量の測定を容易にするためである。

(ii) 試験結果

かん水方式別の試験結果を表 4.5 に示す。かん水所要時間の中には、栽培槽の移動時間と、かん水時間（ポンプの運転時間）が含まれる。かん水方式別に結果をみると、①の連続移動・連続かん水方式は、栽培槽の有無に

表 4.5 かん水方式別の作業能率と作業精度
Table 4.5 Efficiency and accuracy of each irrigating method (per growing box)

かん水方式	作 業 能 率					作 業 精 度			
	栽 培 槽		かん水ポンプ		かん水所要時間 (s)	槽内かん水量 (1)	槽外飛散水量 (A) (1)	槽内外の全水量 (B) (1)	かん水損失割合 (A/B)
	運 転 時 間 (s)	停 止 時 間 (s)	運 転 時 間 (s)	停 止 時 間 (s)					
(1) 連続移動 連続かん水	30	0	30	0	30	11	4	15	0.27
(2) 連続移動 間欠かん水	30	0	23	7	30	11	0	11	0
(3) 間欠移動 間欠かん水	30	23	23	30	53	11	0	11	0

(栽培槽 1 個当たり)

かわらず、連続してかん水するので、栽培槽の間から槽外へ飛散する水量が、全水量の約27%に達している。この飛散水を防ぐのが②の連続移動・間欠かん水方式と、③の間欠移動・間欠かん水方式である。作業精度の面からみると、③の方式は栽培槽を一時停止するので確実に、しかもかん水量はポンプの運転時間によって任意に調節することが可能である。以上の結果より、作物可動式栽培装置に適したかん水方式は、作業能率の面で、やや劣るが、作業精度の高い③の間欠移動・間欠かん水方式が適していると考えられるので、試作した自動かん水装置には③の方式を使用した。

4.2 半自動化が可能な作業と作業装置の性能

半自動化された作業とは、人間が制御する機械を用いて行う作業であり、培地処理作業と、収穫・選別作業が、これに該当する。この節では、これらの作業装置と作業方法について検討を行う。

4.2.1 培地処理作業装置と利用試験

1) 作業の内容及び作業装置の特徴

培地処理作業とは、作物を定植して栽培でできるように培地を準備する作業である。慣行栽培では、圃場準備作業として、耕うん、砕土、整地、基肥の施用作業などを挙げることができる。試作した作物可動栽培装置の培地処理作業の内容についてみると、2種類の作業に分けることができる。その1は、土壌や堆肥などの培地材料と基肥を混合する作業であり、その2は混合した培地を各栽培槽へ搬入する作業である。これらの作業を人間と機械が共存する形で行うのが培地処理作業装置である。この試験で使用した作業装置の特徴は、特殊な機械や装置を新しく造るのではなく、市販のミキサーやコンベヤなどを1箇所に寄せ集め、相互に利用しやすい状態にして作業の省力化や、労働強度の軽減を図った点である。

2) 培地処理作業装置の構成と作用

この装置は、培地材料や基肥を混合するミキサーと、ミキサーから栽培槽へ培地を運搬するベルトコンベヤにより構成されている。ミキサーの構造は、円筒形の容器の中心で、攪拌用の腕が回転しており、これによって容器内の培地材料を混合する。混合した培地は容器の底を開いてベルトコンベヤ上に排出し、これで栽培槽の中へ運ばれる。これらの機械の仕様は表4.6のとおりである。ミキサーの培地処理量は、ほぼ栽培槽の容量に等しいので、各栽培槽ごとに培地の混合と、運搬作業を繰り返した。栽培槽、ミキサー、ベルトコンベヤの運転制御は、培地の混合状態や搬送状態を目視により判断して人間が

表 4.6 培地処理作業装置の仕様

Table 4.6 Specifications of machinery for preparing and supplying bed soil

機 種	
ミキサー	所要動力=2.2 kW 混合容器=890 mm (径) 400 mm (深さ) 混合軸回転数=0.5 s ⁻¹
ベルト コンベヤ	所要動力=0.4 kW 機 長=3500mm ベルト幅=300 mm ベルト速度=0.42m/s

行った。

3) 培地処理作業装置の利用試験

(i) 試験方法

この試験では、実際に培地処理作業を行いながらこの作業の工程分析、作業時間、作業者の動作などを調査した⁸⁹⁾。調査方法は、8ミリフィルムまたはビデオテープに作業者の動きを記録するとともに、作業工程または作業動作ごとにストップウォッチを用いて時間を測定した⁵³⁾。また作業動作は R.M.R. と密接な関係があるため、作業形態・動作から、表 4.7 を用いて作業動作別の R.M.R. を推定し、労働強度の指数として使用した²⁰⁾。その他、作業の難易感を作業者から聞き取った。試験時における作業者、機械、材料の配置は図 4.6 に示すとおりである。作業方法は、ミキサーで栽培槽1個分の培地を混合し、それを栽培槽へ入れるまでの作業を1サイクルとして、連続10サイクルの測定を行った。培地の材料には火山灰性の埴壤土を 50 l、わら堆肥を 50 l、もみ殻くん炭 50 l を用い、これに基肥として硫酸 25 g、溶燐 60 g、硫加 30 g、苦土石灰 100 g を加えて混合した。培地材料の計量には 50 l の升を使用した。また基肥の計量は、それぞれの重量に相当する容量の升を作り、これで計量した。

(ii) 試験結果

a 作業工程

培地処理作業の各工程を図 4.7 に示す。この図では、人間、ミキサー、コンベヤ、栽培槽など相互の動作関係を示す。枠で囲んだ部分が稼働区間を示す。作業順序は上から下へ進む形である。従ってミキサーで培地を混合

表 4.7 動作別のR.M.R. の値(沼尻,1982)
Table 4.7 Value of R.M.R.in proportion to motion

主な動作部位	動かし方	被検者の訴え	調査者の感じ	R.M.R.	代表例
手 先	機械的に動かす	手首が疲れるが馴れればそれほどでもない	見ていて疲労感など全く考えられない	0~0.5	0.1 電球フィラメント付 0.3 電信送信 0.4 そろばん 0.5 植字 0.7 電話ダイヤル回し 0.9 スタンプ押し
	意識的に動かす	長時間で局所疲労がある	同上	0.5~1.0	
手先の動作が 上肢まで及ぶ	手先の動きが前はくまで及ぶ	余り疲れない。仕事としては軽い	同上	1.0~2.0	1.2 計算機回し 1.8 電気ドリル
	手先の動きが上はくまで及ぶ	時々休みたくなる	仕事は反射的でないから仕事している感じが出る。筋的な作業としては小さい	2.0~3.0	2.0 コンクリート磨き 2.5 コンクリート穴あけ
上 肢	普通の動かし方	大して苦にならないが最初馴れないと苦しい	動作が全身に及ばない程度でモーションはやや大きいが力は入らない	3.4~4.0	3.0 軽いふるい 4.0 ガラス掃除
	動作は比較的大きく力も入る	局所に疲労を感じ慣れても長くは続けられない	上肢全体を使い特に上肢に力のはいつていることが分かる	4.0~5.5	5.0 荒鋸 5.3 まき割り(座位)
全 身 抱き上げる 回す、引く、 押す、投げる 上下動 かきよせる	普通の動かし方	30分~40分で一休みする	息がはずんでくるのが分かる	5.5~6.5	5.8 鋸 6.0 泥のかきよせ 6.5 シャベル(18回/分) 7.0 石炭かきよせ 7.5 堅い木の鋸ひき
	動作が比較的大きく力を平均に入れる	20分続けると息苦しくなる	息がはずみ顔色が変わる。汗が出る	6.5~8.0	
	瞬間的に全身に力を集中する	5~6分仕事をするとその後はどんな作業も出来ない	10分も作業をすると呼気がはずみ、汗が出、苦しそうで無口となる	8.0~9.5	8.5 つるはし 9.5 リヤカー(200kg)を自転車で引く



図 4.6 培地処理作業
Fig. 4.6 Work for preparing and suppling bed soil

している間に栽培槽を1個分だけ移動させることを示す。横向きの矢印は、人間が機械に働きかけた動作を示す。

培地処理作業の中で人力作業は、培地材料及び肥料を計量してミキサーへ入れる作業である。この他、ミキサー、ベルトコンベヤ、栽培槽等の機械を始動及び停止するためのスイッチ操作と、排出口の開閉操作も人力である。これらの操作は作業の進ちょく状況を目視により判断して実施した。

b 時間調査

培地処理作業における作業工程別の所要時間は表 4.8 に示すとおりである。培地材料等の計量投入工程は人力作業であり、混合工程と排出・運搬工程は機械作業であるが、運転者を拘束する時間である。

c 労働強度

培地材料の計量・投入は、ミキサーのそばに置かれた材料をスコップで50 lの升に入れて計量し、升からミキサーへ投入した。この作業の動作部位はほぼ全身で、普通の動かし方であるが、息が弾んでくるようなことは認められないので、R.M.R. は5.5程度とみなした。

基肥は台上に置いて計量作業を行ったので、作業姿勢

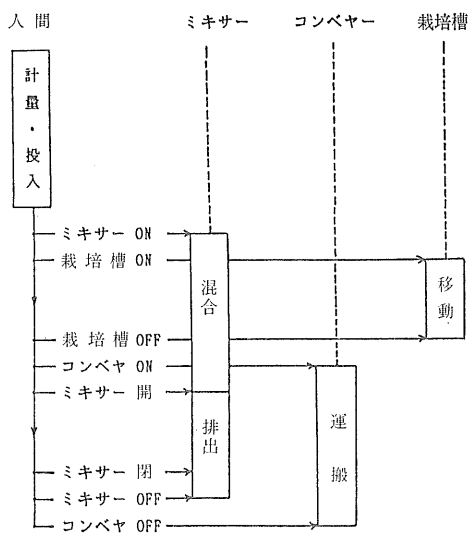


図 4.7 培地処理作業工程(可動栽培方式)
 Fig. 4.7 Working process for preparing and supplying bed soil (movable crop-bed type)

表 4.8 培地処理作業時間
 Table 4.8 Working hours for preparing and supplying bed soil

作業工程	所要時間 (min)	変動係数
計量・投入	12	0.21
混 合	15	0.14
排出・運搬	13	0.15
計	40	

(栽培槽10個当たりの所要時間)

は立位の状態である。また基肥の量は培地材料の量に比べると非常に少ないので、作業時の主となる動作部位は、手先の動作が上肢に及ぶ程度で、動かし方は手先の動きで前膊に及ぶ程度である。この作業を見ていて疲労感など全く考えられないので、R.M.R. は 1.0 程度とみなした。

ミキサーの排出口を開閉する時の姿勢は、排出口の位置が低いので、前屈の状態である。また作業時の主な動作部位は、手先の動きが前膊まで及ぶが、あまり疲れないので、R.M.R. は 1.2 程度とみなした。

ミキサー、ベルトコンベヤー、栽培槽等の機械を運転する時のスイッチ操作は、立位の姿勢で行うことができる。操作は、手先を意識的に動かすが、疲労感など全く

考えられないので、R.M.R. は 0.5 程度とみなした。

この他、目視によるスイッチ操作時期の判断などのような、精神活動時のエネルギー代謝は、筋活動のエネルギー代謝と比較すると小さい²⁰⁾。従ってこの研究では作業直後に、目視による判断の、精神的負担を聞き取る程度にとどめた。その結果、3種の機械のスイッチ操作の中で、栽培槽の停止位置を見過ぎないようにする点に、最も神経を使うとのことであった。

4) 自動化の程度と今後の改良方向

(i) 自動化の程度

培地処理作業で機械化した部分は、培地材料や肥料の混合と、ミキサーから栽培槽への培地の運搬、及び栽培槽の移動である。混合、排出、運搬、移動などの個別作業の機械化は、人間によるスイッチ操作を伴うものの、一応可能となった。しかし計量作業と、作業工程間の連結部で自動化するのに、やや困難な面が認められた。

(ii) 慣行の培地処理作業との比較

慣行の施設栽培には、ベッド方式とベンチ方式がある⁴¹⁾。ベッド方式では、培地の入れ替えを行わず、土壤消毒や耕うん、砕土、施肥、整地、畦立て作業などが行われる。ベンチ方式では、培地の消毒や、培地の入れ替えが行われる。従ってここでは慣行のベンチ方式の培地を入れ替える場合と比較することにした。この時、ミキサーには可動式栽培装置と同じ機械を使用し、培地の運搬には動力用の運搬車を使用する形にした。慣行のベンチ方式における培地処理作業の工程は、図 4.8 のとおりである。この図より慣行のベンチ方式の方が、運搬車の運転工程と、運搬車からベンチへ培地を入れる搬入工程の多くなることがわかる。従って作業能率、労働強度の面からみても、作物可動式栽培装置の方が有利であると考えられる。作業精度の面では、慣行作業との較して、大きな差は認められなかった。

(iii) 培地処理作業装置の改良方法

試作した作業装置では、培地の計量・投入に人力作業を要する点、栽培槽、ミキサー、ベルトコンベヤーの運転制御を人為的に行っている点に改良の必要性が認められる。培地材料の計量には、ロータリバルブなどの容量式計量装置をつけ、ミキサーへの投入には、コンベヤーを取り付けるのも一つの改良方向である。運転制御は、栽培槽の自動間欠運転と結合し、栽培槽の停止中にミキサーとコンベヤーを順次運転すること、ミキサーの排出口の開閉をソレノイドなどにより、電氣的に行う方向に改良することも必要である。

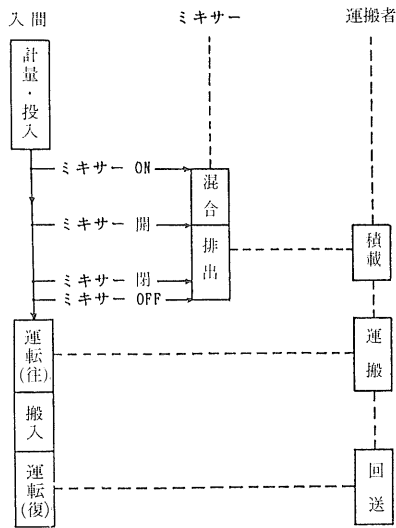


図 4.8 培地処理作業工程 (固定ベンチ方式)

Fig. 4.8 Working process for preparing and supplying bed soil (fixed bench type)

4.2.2 収穫・選別作業装置と利用試験

1) 作業の内容及び作業装置の特徴

収穫とは熟したトマトを作物から摘み取ることであり、選別とは、摘み取ったトマトを大きさによって形状選別を行うことである。

慣行栽培では収穫作業と選別作業が、それぞれ独立した作業として、別々の場所で行われている。従って各作業ごとに、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になる。しかし収穫物の損傷を減らす面からみると、2種類以上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。作物可動式栽培装置のそばに選別機を置き、両者の機能を連結した装置により、収穫と選別を同一場所で、同時に行えるようにした点が特徴である。

2) 収穫・選別同時作業の方法

収穫・選別同時作業は、図 4.9 に示すように、栽培槽のそばに選別機を置き、収穫したトマトをすぐに選別機へ供給する方式である。選別機は形状選別方式で、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。従って、この上に置かれたトマトは、小さい物が手前に、大きい物が機械の先の方で分類容器内へ落下する。2本のVベルトの間隔は、ベルトが1m進む間に、22mm 開く状態である。栽培槽は、スイッチの手動操作により、ON・OFF 運転を行い、熟果の多い場



図 4.9 トマトの収穫・選別同時作業

Fig. 4.9 Combined works for harvesting and sorting

所では、摘果作業に要する時間に応じて栽培槽の停止時間を調節した。選別機は作業時間中、連続して運転を行った。

3) 収穫・選別同時作業と個別作業の比較試験

(i) 試験方法

作物可動式栽培装置で栽培したトマトを用いて、収穫と選別作業を同時に行う場合と、個別に行う場合についての比較試験を行った。

同時作業では、栽培装置のそばに選別機を置き、作物から摘み取ったトマトをすぐに選別機へ供給した。個別作業では、作物から摘み取ったトマトを一度、運搬用の容器の中へ入れ、収穫作業が終了後、今度は容器の中からトマトを1個ずつ取り出して選別機へ供給した。作業時間の測定法は、トマト100個について収穫または選別する時間を、それぞれ5回反復測定し、その平均値を求めた。労働強度は表 4.7 を用いて R.M.R. を推定した。

a 作業工程

収穫・選別同時作業と、個別作業について、作業工程数をみると、図 4.10 に示すように同時作業は4行程であるのに対して、個別作業では6行程となっている。また作業者が収穫物に接触する回数も、同時作業が1回であるのに対して個別作業では2回となっている。以上のように作業工程数や、収穫物への接触回数からみても、同時作業の方が有利であると考えられる。

b 時間調査

トマト100個の収穫作業時間の平均値は、12.8分となった。また100個のトマトを運搬用の容器から取り出して選別機へ供給する、選別作業時間の平均値は4.4分と

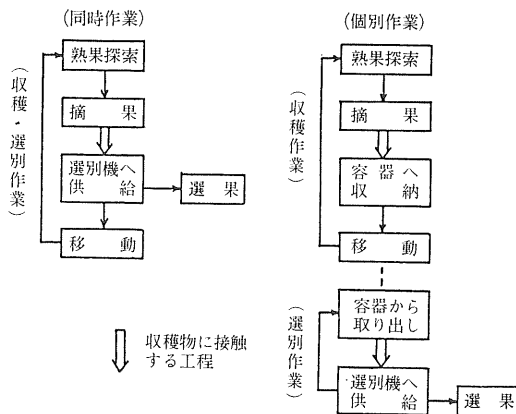


図 4.10 同時作業工程と個別作業工程との比較
Fig. 4.10 Comparison of working process between combined works and separated works

なった。従って同時作業では、収穫作業時間の中に選別作業時間が含まれる形となり、100個のトマトの収穫・選別作業時間は12.8分となった。

一方、個別作業では、収穫作業時間と選別作業時間の和となり、収穫から選別までの作業時間は17.2分となった。

c 労働強度

収穫作業及び選別作業は、主として果実を1個ずつ移動する作業である。作業姿勢は、おおむね立位の状態であり、作業者の主な動作部位は、手先の動作が上肢まで及びぶ状態である。しかしあまり疲れない軽い作業である。従って表4.7より R.M.R. は1.8程度とみなした。

4) 自動化の程度と今後の改良方向

(i) 自動化の程度

収穫・選別作業で機械化した部分は、栽培槽の移動と、トマトの形状選別である。物の移動や寸法別の分類などの作業は、比較的容易に自動化できるが、熟果の探索や摘果作業には、色の認識や位置決めなどのように複雑な判断や、豊富な経験を要するので、このような作業の自動化は困難であった。

(ii) 慣行作業との比較

慣行の収穫作業は面上の作業である。しかし試作した作物可動式栽培装置を用いれば、作業場所を集中化できるので、収穫と選果の二作業を一点で、同時に行うことを可能にした。従って慣行の収穫作業と対比して、作業工程数を減らすことにより、作業時間が短縮でき、人力

運搬工程を省いて労働強度が軽減できた。また作業精度の面からみれば、果実と接触する回数を減らすことにより、果実に損傷を与える確率を低くしたことになる。

(iii) 作業装置の改良方向

同時作業の一例として、収穫と選別作業について試験を行った。その結果、選別後の果実を出荷できる荷姿にするまでの作業についても検討を行う必要があると考える。また熟果の探索、摘果作業のように、色の認識や位置の判定などを伴う作業は、すべてを人力に依存している現状である。熟度の判定や摘果速度は、作業者の熟練度により個人差が大きいので、これらの作業能率を向上し、常に一定の作業精度を維持するためにも、光学的な面から作業の機械化、自動化を検討する必要があると考える。

4.3 主として人力による作業と作業内容の改善点

全自動化及び半自動化が困難な作業は、人力作業で行うことにした。しかし作物可動式と栽培装置を用いた人力作業では、運搬作業が全面的に省略できること、一定の場所で作業ができることなどの特徴を有するので、慣行栽培に比較して、人力作業の内容は、量的にも質的にも改善することができる。本節では作物可動式栽培装置を用いることにより、人力作業が改善された点と、その効果を明らかにするために実施した試験である。

試験方法は、作物可動式栽培装置を用いて、トマトの促成栽培を行い、人力による各作業ごとの調査を行った。各作業は、成人男子をモデルにして測定を行った。

4.3.1 育苗作業

播種準備から本圃へ定植するまでの作業で、育苗箱への土入れ、播種、かん水、移植（鉢あげ）、鉢の分散作業などが含まれる。

1) 作業方法

慣行の育苗法に従って作業を行った。育苗箱には、縦50cm、横45cm、深さ5cmの木箱を用い、これにわら堆肥の培地を入れ、20mlの種子を散播した。1回の育苗には3箱を使用した。播種後の育苗箱は30°Cの定温器内に2~3日入れて発芽させた後、1個の栽培槽上に1個の育苗箱を置いた。育苗中のかん水には全自動かん水装置を使用した。

移植は本葉が1.5葉の頃に、育苗箱からプラスチックポット（鉢）へ移し、図4.11のように栽培槽上に並べた。移植時には1個の栽培槽上に約32個の鉢を置いた。その後は苗が大きくなるに従って鉢を分散し、株の間隔を広げて行った。鉢の分散方法は、1回の作業で1個の栽培槽から約8個の鉢を抜き出し、それを未使用の栽培

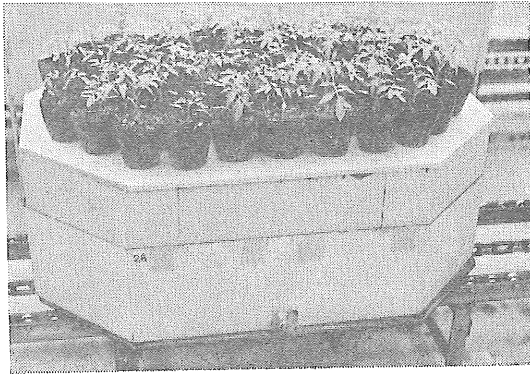


図 4.11 栽培槽上での育苗

Fig. 4.11 Seedlings on growing boxes

槽上に移した。移植作業や鉢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。

2) 作業試験

(i) 試験方法

前項に記した作業方法に従って試験を行い、作業時間、作業精度、労働強度について調査を行った。このうち、作業時間は次のようにして調査を行った。播種作業に要する時間は、前述の育苗箱1個に20mlの種子を手で散播した後、種子が均一に分布するように修正する時間で、この作業を繰り返し3回行い、その平均時間を求めた。移植作業は、プラスチックポット100鉢へ移植する作業を3回反復し、その平均時間を求めた。鉢の分散作業も100鉢分の作業時間を3回測定して、その平均値を求めた。

(ii) 試験結果

a 作業工程

育苗作業の中には播種作業、ポット（鉢）への移植作業、鉢の分散作業などが含まれる。これらの各作業の工程は図4.12のとおりである。播種作業は、慣行の作業とほぼ同一の作業工程である。育苗箱を定温器へ入れるまでの作業工程は、温室外で行ったが、出芽後の育苗箱を温室へ運んだ後の作業工程は、作業区域内の栽培槽上で行った。

b 時間調査

育苗作業の内、播種作業の工程所要時間は表4.9のとおりである。育苗箱を定温器へ入れる時間と、出芽後、定温器から出して栽培槽上に置く時間は、1箱当たり1分以下であるため省略した。この育苗箱1個で、本圃2a分の苗を育苗することができる。移植作業の工程別

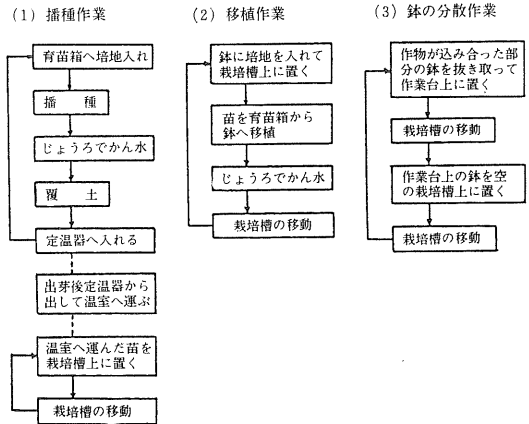


図 4.12 育苗作業の工程

Fig. 4.12 Working process for raising of seedlings

表 4.9 播種作業時間

Table 4.9 Working hours for sowing

作業工程	所要時間 (min)	変動係数
育苗箱へ培地入れ	2	0.16
播種	28	0.11
播種直後のかん水	1	0.18
覆土	1	0.29
計	32	

i) 育苗箱1個当たりの所要時間

ii) 育苗箱1個は約530株に相当する

所要時間は、表4.10に示すように、100鉢当たり約59分を要した。この作業では、移植直後のかん水工程を1鉢ずつ丁寧にやったので、所要時間が鉢への移植工程より多くなる状態であった。鉢の分散作業の実測値は、100鉢を分散するのに11分を要した。育苗期間中に、この作業を3回行うので、合計時間は33分となった。この他、毎日のかん水作業を欠くことはできないが、本装置では全自動かん水装置を使用するので、所要時間は0とした。

以上の結果より、育苗作業全体の所要時間を求めると、100鉢当たり換算して、播種作業が約6分、移植作業が59分、鉢の分散作業が33分で、合計98分となる。

c 労働強度

播種作業は、地面に育苗箱を置き、培地入れから覆土

表 4.10 移植作業時間

Table 4.10 Working hours for transplanting

作業工程	所要時間 (min)	変動係数
鉢への培地入れ	28	0.11
鉢への移植	14	0.17
移植直後のかん水	17	0.15
計	59	

(100株当たりの所要時間)

までの各作業工程を行った。従って作業面が低いため、作業姿勢は前屈またはうずくまる状態である。作業の主な動作部位は、培地入れ工程ではスコップを用いて培地を入れるので、ほぼ全身の動作となりR. M. R. は5.5程度とみなした。しかし播種から覆土までの工程では、主な動作部位が手先であり、R. M. R. は1.0程度とみなした。育苗箱からポット(鉢)への移植作業は、栽培槽上で行うので、作業姿勢は主に立位または中腰である。作業中の動かし方は、手先の動きが前膊まで及ぶ状態であり、R. M. R. は1.2程度とみなした。鉢の分散作業も栽培槽上の作業で、作業姿勢は移植作業とはほぼ同じであるが、作業強度は移植作業よりやや軽いものと考える。従ってR. M. R. は1.0程度とみなした。

d 作業精度

育苗中のかん水作業には、自動かん水装置を用いたが、その他の作業は人力で行うため、作業精度を確認しながら作業を行うことができた。従って慣行作業より精度が落ちるようなことはみられなかった。

4.3.2 定植作業

この作業は、鉢で育苗した苗を栽培槽に植え付ける作業である。

1) 作業方法

定植作業は図4.13に示すようにポット(鉢)で育苗した苗を作業場所にまとめて置き、これを1個の栽培槽に4株ずつ植える作業である。作物可動式栽培装置では、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内全面に配置する作業は不必要となった。作業手順は、栽培槽の培地に植え穴を4個あけ、鉢から苗を取り出して穴に入れ、土を寄せて定植作業を完了する。

2) 作業試験

(1) 試験方法

定植作業の所要時間の測定方法は、作業区域内の作業台上に苗をまとめて置き、これを10個の栽培槽へ各4

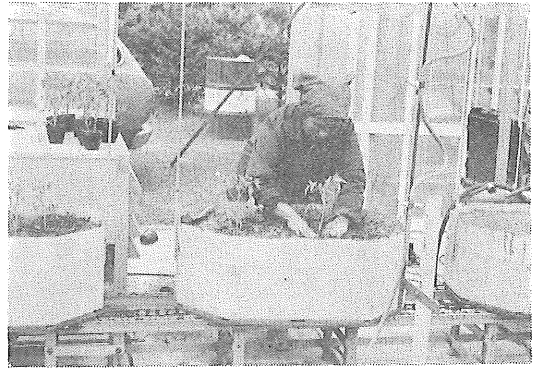


図 4.13 定植作業

Fig. 4.13 Planting of seedlings to growing boxes

株ずつ、合計40株を植える時間を3回繰り返して測定し、その平均値を求めた。その他の項目に関する測定方法は、前項と同様である。

(ii) 試験結果

a 作業工程

定植作業の工程を図4.14に示す。1個の栽培槽に4株植えるので、植え穴をあけてから、土を寄せるまでの行程を4回繰り返した後、栽培槽を1回移動する形である。

b 時間調査

10個の柳培槽に40株の苗を連続して植える作業に要する時間は約12分であった。

c 労働強度

定植作業は、作業台上に置いた苗を図4.14の工程に従って植える作業で、作業姿勢は立位または中腰の状態である。作業の主な動作部位は手先の動作が上肢まで及ぶ程度で、R. M. R. は1.2程度とみなした。

d 作業精度

人力作業であり、作業精度を確認しながら定植作業を行うことができるので、慣行作業と同程度の精度を得ることができた。

4.3.3 支柱取り付け作業

栽培槽に支柱を取り付ける作業である。作物可動式栽培装置では、栽培槽が移動するので、支柱と栽培槽を一体構造として、定植後に栽培槽へ取り付ける方式とした。

1) 作業方法

この作業に必要な材料は、支柱、支柱支持金具、ビニル被覆鋼線である。これらの材料を作業区域内の台上に置き、栽培槽を手動運転で間欠的に動かしながら、順次

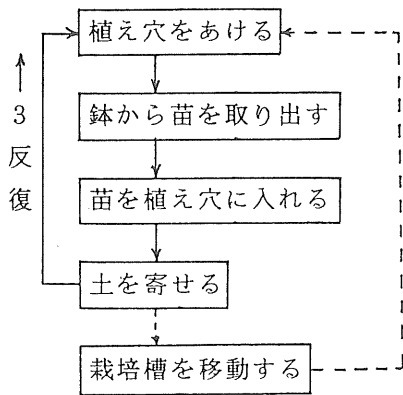


図 4.14 定植作業の工程
Fig. 4.14 Working process for planting of seedlings to growing boxes

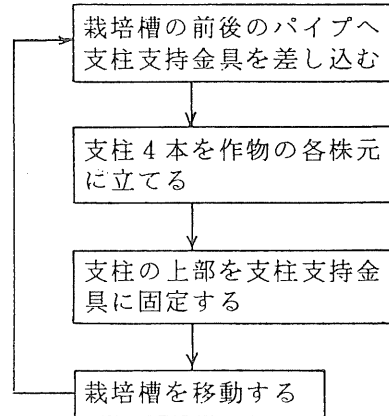


図 4.15 支柱取り付け作業の工程
Fig. 4.15 Working process for providing supporting post to growing boxes

組み立てて行く。

2) 作業試験

(i) 試験方法

前述の作業方法に従って試験を行い、作業時間、労働強度、作業精度の調査を行った。時間調査は、10個の栽培槽に各4本の支柱を取り付けるまでの作業を各工程ごとに測定し、これを3回反復して、その平均値を求めた。その他の項目の測定方法は前項と同様である。

(ii) 試験結果

a 作業工程

栽培槽に支柱を取り付ける作業工程を図4.15に示す。支柱の上部は、ビニル被覆鋼線を用いて支持金具に固定したが、その他の組み立て部は、差し込む方式としたので、作業時の動作を単純化することが可能となった。

b 時間調査

表4.11に示すように、10個の栽培槽に支柱を取り付ける時間は、約9分となった。

c 労働強度

この作業は、栽培槽の上で行うので、作業姿勢は立位である。作業中の体の動かし方は手先の動きが前膊まで及ぶ状態で、作業者自身は余り疲れないとのことであり、R.M.R.は1.0程度とみなした。

d 作業精度

一定の寸法に規格化した材料を定められた位置に、はめ込んで組み立てる作業になるので、作業精度はほぼ当初の目的どおり達成することが可能であった。

4.3.4 作物の固定作業

表 4.11 支柱取り付け作業時間

Table 4.11 Working hours for providing supporting post to growing boxes

作業工程	所要時間 (min)	変動係数
支持金具の取付	5	0.23
支柱を株元へ配置	1	0.33
支柱を支持金具へ固定	3	0.22
計	9	

(栽培槽10個当たりの所要時間)

この作業は栽培槽上で、作物が倒伏するのを防ぐ目的で、栽培槽に取り付けた支柱に作物を固定する作業である。

1) 作業方法

定植直後に、最初の作物固定作業を行い、その後、作物の成長につれて7~10日に1回の割合で、支柱に作物を固定する。作物を固定する材料は幅4mm、厚さ0.3mm、長さ150mmで、中心に0.6mm径の鋼線の入ったビニル被覆鋼線である。

2) 作業試験

(i) 試験方法

簡易な作業であるため、栽培槽は連続運転の状態で行った。測定項目は前項と同様である。この内、時間調査は10個の栽培槽に植えた40株の作物を、それぞれの支柱に固定する時間を3回反復して測定し、1回当た

りの平均値を求めた。

(ii) 試験結果

a 作業工程

栽培槽を連続運転の状態で行ったので作業工程は、作業台上に置いたビニル被覆鋼線を取り上げ、これで作物を支柱に固定する動作の繰り返しである。

b 時間調査

40株の作物を支柱に固定する作業時間は、1回当たり約4.8分であった。しかし、この作業をトマトの全栽培期間中に5回ほど行うので、全体で約24分となった。

c 労働強度

作業姿勢は立位である。主な動作部位は手先で、これを意識的に動かす作業であるため表4.7よりR.M.R.は0.9程度とみなした。

d 作業精度

一定の寸法(長さ15cm)に切断されたビニル被覆鋼線を用いたので、結び目は先端をひねる程度で、ほぼ一定の状態に作物を固定することができた。

4.3.5 人力によるその他の栽培管理作業

これらの作業の中には整枝、除草、摘芯、ホルモン処理などの作業が含まれる。

1) 作業方法

整枝はトマトの主枝を伸ばし、側枝を取り除く作業である。除草は栽培槽内に生えた雑草を手で引き抜く作業である。摘芯は主枝の先端を切断して、伸長を止める作業である。ホルモン処理は、トマトトーンの100倍液を花房に散布して、着果率を良くするための作業である。これらの作業は、週に1回程度の割合で定期的に行う必要がある。しかし1回の作業に多くの時間を要しないので、栽培槽を最低速度(4cm/s)で連続的に移動しながら、上記の中で、二種類の作業を同時に行うことも可能である。

2) 作業試験

(i) 試験方法

この作業は、定期的に行うが、毎回全部の株に作用するのではなく、作用の必要な株を選択しながら行う作業である。これらの作業時間は、栽培槽1個当たりについて短時間内処理ができるので、栽培槽は連続運転の状態で行った。

(ii) 試験結果

a 作業工程

いずれの作業とも、作業の必要な株を捜す「探索工程」と、その株に必要な作業を行う「実行工程」の繰り返しである。

具体的示すと、整枝作業では側枝を捜して摘み取り、それを廃棄物の容器に捨てる工程である。除草作業も同様に、栽培槽内に生えた草を捜して抜き取り、容器の中へ捨てる工程である。ホルモン処理作業では、トマトの開花位置を捜してホルモン剤を吹きつける工程である。

b 時間調査

栽培槽を連続運転しながら、10個の栽培槽を対象に、前記の作業を行った時の所要時間は1回当たり4.8分となった。これらの作業は、トマトの栽培期間中に、約15回行うことになるので、全作業時間は約72分となった。

c 労働強度

各作業とも栽培槽上で行うので、作業姿勢は立位である。しかし除草作業のように低い位置の作業から、ホルモン処理のように高い位置の作業まで範囲は広い。主な動作部位は、手先の動作が上肢にまで及ぶ程度で、R.M.R.は1.2程度とみなした。

d 作業精度

通常の場合は、栽培槽を連続運転にして作業を行ったが、作業量が多い場合には栽培槽を一時停止して、目標の精度を維持できるように努めた。

4.3.6 作物等の後片付け作業

収穫の終わった作物や支柱などを栽培槽から取り除く作業である。

1) 作業方法

作業手順は、まず作物を支柱から取りはずし、地上部を切り離して、作業区域内へ導入した運搬車へ積み込む。次に支柱や支柱取付金具などを分解し、部品別に分類して運搬容器へ行れる。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作業を完了する。以上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た。

2) 作業試験

(i) 試験方法

前述の作業方法に従って試験を行った。測定項目の内、時間調査は連続した10個の栽培槽の後片付け作業時間を3回繰り返して測定し、その平均値を求めた。

(ii) 試験結果

a 作業工程

作物の後片付け作業の工程は図4.16のとおりである。この作業は、作物地上部の除去、支柱及び支柱取付金具の分解、作物地下部の除去に分けられる。作物地上部の除去は1株ずつ除去するので、同じ作業工程を4回繰り返す。

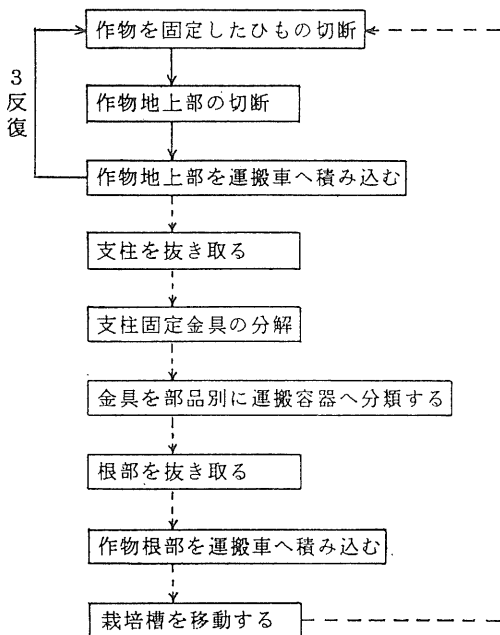


図 4.16 作物の後片付け作業の工程

Fig. 4.16 Working process for removing crop residues and supporting posts from growing boxes after the harvest

表 4.12 作物の後片付け作業時間

Table 4.12 Working hours for removing crop residues and supporting posts from culture boxes after the harvest

作業工程	所要時間(min)	変動係数
作物地上部の除去	11	0.22
支柱等の分解	6	0.15
作物根部の除去と栽培槽の移動	8	0.18
計	25	

(栽培槽10個当たりの所要時間)

返すことになる。支柱等の分解と、作物地下部の除去作業は、4株分をまとめて1回の工程で作業することができる。

b 時間調査

10個の栽培槽から40株の作物と、その支柱などを片付けるのに要する時間は、表4.12に示すように25分となった。この表で、作物地上部の除去とは、作物を固定した

ひもの切断から、地上部を運搬車へ積み込むまでの工程である。支柱等の分解とは、支柱を抜き取ってから、金具を部品別に運搬容器へ分類するまでの工程である。作物根部の除去と栽培槽の移動とは、根部を抜き取ってから、栽培槽を移動するまでの工程である。

c 労働強度

各動作とも作業姿勢は立位である。主な動作部位は、作業工程により異なるが、作物の地上部や根部の除去では、上肢が主な動作部位となるので表4.7よりR.M.R.は3.0程度とみなした。また、支柱等の分解除去における主な動作部位は、手先の動作が上肢に及ぶ状態であるので、R.M.R.は1.0程度とみなした。

d 作業精度

作物の後片付け作業の中で、最も精度を要する工程は、作物根部の抜き取りである。可能な限り土中に根を残さず、しかも根部への培地の付着量を少なくしなければならない。作業精度の目標は、培地表面をレーキでかきながら、レーキに絡み付く程度の大きさの作物残渣をすべて取り除くことにした。この作業においても、作業能率よりも作業精度を優先して目標精度の達成に努めた。

4.3.7 培地の排除作業

作付けの終了した培地は、連作障害を防止するために、消毒をするか新しい培地と交換しなければならない。この試験では、培地を交換する場合の作業について検討を行った。

1) 作業方法

作業区域内へ運搬車を導入し、この中へ栽培槽内の培地をスコップで排除した。

2) 作業試験

(i) 試験方法

トマトの作付けが終了した栽培槽内の培地を、運搬車の中へ排除する作業について、作業工程、所要時間、労働強度、作業精度を検討した。所要時間の求め方は、連続した10個の栽培槽から運搬車へ培地を排除するのに要する時間を3回反復測定し、1回当たりの平均値を求めた。

(ii) 試験結果

a 作業工程

培地の排除作業の工程は、スコップを用いて栽培槽から培地を排除する工程と、栽培槽を1個ずつ運搬車の位置まで移動する工程の繰り返しである。

b 時間調査

連続した10個の栽培槽を運搬車の位置まで移動して、栽培槽内の培地を運搬車の中へ排除するのに要する時間

は約15分となり、その変動係数は0.16となった。

c 労働強度

栽培槽内の培地の位置は、地面より約30~60cmの高さにある。従ってスコップによる培地排除作業の姿勢は、ほぼ立位で行うことが可能である。培地排除作業時の主な動作部位はほぼ全身であるが、普通の動かし方をしてるので、R.M.R.は表4.7より5.5程度とみなした。

d 作業精度

作業精度の目標は、スコップで培地を排除できる範囲にとどめた、従って栽培槽内には、ほうきで寄せ集めなければならない程度の、少量の培地は残された状態である。

4.3.8 人力作業として残された作業の問題点⁸⁹⁾

自動化が困難であるため、人力作業として残された作業に共通する問題点は、

- ① 形状及び色彩などの認識を要する点
- ② 過去の経験及び熟練と、これに基づく判断を要する点
- ③ 多関節機能及び軟弱物挟持機能などのように複雑な動作を要する点

などである。従って今後、作業の自動化を進めるためには、作業装置に認識機能、記憶機能、判断機能、複雑な動作機能等を具備する必要があると考える。⁷⁷⁾

4.4 作業装置及び作業特性に関する考察

4.4.1 作業の自動化の必要性と到達度

温室内の作業を自動化することの必要性は、危険な作業や不良労働環境から人間を解放すること、作業の省力化により労働費を抑制して生産費の低減を図ること、作業の均一化と経験や熟練を要する特殊な技術の平準化を図ることなどのためである。次に作物可動式栽培装置と、これに付属した作業装置による自動化への到達度をみると、物を移動したり運搬する作業、一定の間隔または特定のライン上での反復作業などは、ほぼ自動化することができた。しかし熟度の判定や、位置の探索のように、視覚による認識や、高度な判断を伴う作業は、人間の補助を必要とする状態であった。

4.4.2 作業特性に関する考察

1) 作業能率

作物可動式栽培装置を用いて、トマトの促成栽培を行った場合の全作業時間は、4.1から4.3までに記したとおりである。それらをまとめると表4.13に示すように、作物40株当たりの全作業時間は5.8時間となる。この表で、収穫・選別作業時間は次のようにして求めた。

表 4.13 作物可動式栽培装置による
トマト促成栽培の作業時間

Table 4.13 Total working hours required for the forcing culture of tomato in winter by the use of the movable type crop-bed system

作業名	所要時間(min)	割合(%)
(1) 育苗	39	11
(2) 培地処理	40	12
(3) 定植	12	4
(4) 支柱取り付け	9	3
(5) 作物固定	25	7
(6) かん水	0	0
(7) 追肥	0	0
(8) 防除	0	0
(9) その他の管理	72	21
(10) 収穫・選別	108	31
(11) 後片付け	25	7
(12) 培地の排除	15	4
計	345 (5.75h)	100

(40株当たりの所要時間)

すなわち、トマトの収穫時間は、100個当たり12.8分で、1株当たりの着果数は平均して21個になる。従って40株の着果数840個を収穫するのに要する作業時間は、約108分となる。慣行のハウストマトの促成栽培では、40株当たりの全作業時間は約18.6時間であり⁸⁰⁾、これと比較すれば作物可動式栽培装置の使用により、大幅に省力化されたことになる。省力化できた主な原因は、運搬作業が全面的に自動化されたこと、かん水作業や防除作業が完全に自動化されたことなどによるものと考えられる。栽培期間中における栽培装置の稼動状態をみると、栽培槽は1日当たり平均して軌道上を1.5周している状態である。

2) 作業精度

かん水装置や防除装置のように、作業を全自動化すると共に、均一な作業が可能となり、慣行栽培の作業精度より向上した面も認められた。また自動化の困難な作業では、人力作業を導入したが、慣行栽培の作業精度より、低下する点は認められなかった。

3) 作業姿勢と労働強度

作物可動式栽培装置では、栽培槽の培地表面が地上約60cmの位置にあり、作業の大部分は立位の姿勢で行う

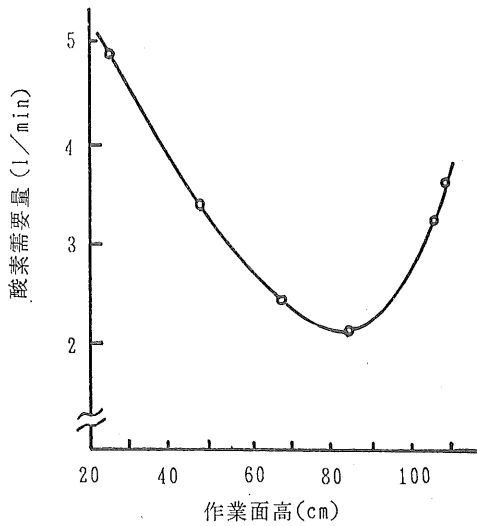


図 4.17 作業面高とエネルギー代謝の関係 (古沢 他,1938)

Fig. 4.17 Relation between height of working position and metabolism of energy

表 4.14 作業別労働強度の推測値

Table 4.14 Conjectural value of R. M. R. of each work

作業の種類及び作業工程	R. M. R
培地処理	
培地材料投入	5.5
基肥投入	1.0
ミキサー開閉	1.2
スイッチ操作	0.5
育苗	
培地入れ	5.5
播種から覆土	1.0
移植	1.2
鉢の分散	1.0
定植	1.2
支柱取り付け	1.0
作物固定	0.9
その他の管理	1.2
収穫・選別	1.8
後片付け	
作物の除去	3.0
支柱等の除去	1.0
培地の排除	5.5

ことが可能である。古沢ら⁶⁴⁾は、作業面の高さを変化して、エネルギー消費との関係を検討した結果、図4.17に示すように、80cmの作業面高さの時、エネルギー消費量が最小になることを明らかにしている。従って、作業面高さが0~20cm程度の慣行栽培に比べて、試作した作物可動式栽培装置の方が、作業姿勢は適正になり、作業動作の円滑さや安定度を向上する点で、機能的にも優れていると考える。

作物可動式栽培装置を利用してトマトを栽培した場合の、作業別労働強度の推測値は表4.14のとおりである。これらの作業の中で、重労働に属する作業は、培地の移動に関連した作業である。すなわち培地処理作業では、ミキサーへの培地投入、育苗作業では育苗箱への培地入れ、培地の排除作業などで、R.M.R.は表4.7より5.5程度と推測される。その他の作業は、移動する物の重量や移動距離によって労働強度も異なるが、大部分の作業はR.M.R.が1.0~1.2程度と推測される。作物可動式栽培装置の使用により、温室内の運搬作業が全面的に省力化できたので、それに伴って労働強度も軽減されたことは明らかである。

5. 作物可動式栽培装置に適した熱利用装置とその取扱性

施設園芸では、もともと温室内の暖房や、土壤消毒などに熱が利用されていた。作物可動式栽培装置を用いた場合にも、熱利用は可能であるが、従来とは異なった熱利用面のあることが明らかとなった。そこで作物可動式栽培装置に適した熱利用装置を試作し、その特徴及び性能と、取扱性について検討を加えた。

5.1 局部的冷房装置

5.1.1 局部的冷房装置の必要性

元来、温室は高温環境で生育する植物を保温して越冬するための施設であった。しかし近年、我が国の温室は作物生産のための施設となり、周年利用されるようになってきた。従って夏季においては、強い日射と高い外気温のため、通常自然換気や強制換気では、温室内の気温を外気温に下げることすら困難で、作業環境としても過酷な状態であった。そこで温室を周年利用するために、夏季の作業環境を改善するための装置が要望されるようになってきた。

5.1.2 局部的冷房装置の特徴

一般には夏季の高温時に、温室内全体を冷凍機で冷房することは、冷房負荷が大きいので経済的に困難であ

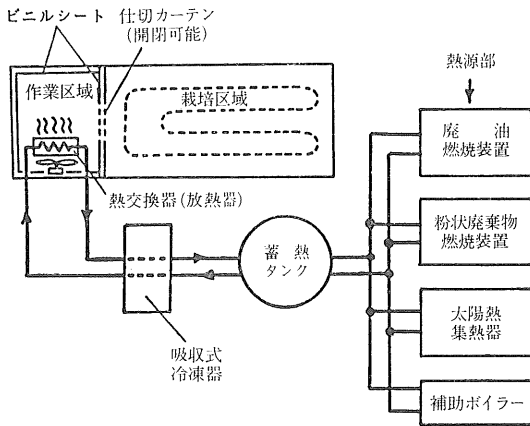


図 5.1 局部的冷房装置の構成図

Fig. 5.1 Block diagram of spot cooling system in greenhouse

る⁶⁰⁾。しかし、この栽培装置では作物を動かすことにより、栽培区域と作業区域が分離できるので、小型の冷凍機を用いて、作業区域のみを集中的に冷房できるようにした点が第1の特徴である。また、この温室では夏季の冷房は勿論のこと、冬季の暖房にも熱源として太陽熱や廃棄物の燃焼熱を利用できるようにした点が第2の特徴である。

5.1.3 冷房装置の構成と作用

冷房装置の構成は、図5.1に示すように熱源部、冷凍機、熱交換器より構成されている。熱源部には、省エネルギーの見地より自然エネルギーや、農業廃棄物の燃焼熱が利用できる装置を備えた。すなわち太陽熱を利用するために、平板形の集熱器を設置した。また農業生産の場から出る廃棄物を燃焼し、その熱を利用する目的で、廃油のような液状の廃棄物を燃焼させる装置と、もみ殻のような粉状の廃棄物を燃焼させる装置を設置した。熱媒には水を用いて、これらの熱源部で発生した熱は、温水として蓄熱タンクへ寄せ集めた。冷凍機には吸収式冷凍機を使用した。この種の機械は圧縮式の冷凍機に比べて効率は低い、熱を用いて運転することができるので、夏季における余剰熱を冷房に利用する目的で吸収式冷凍機を使用した、蓄熱タンクから供給する約80°Cの温水で吸収式冷凍機を作動させて、約9°Cの冷水を作り、これを作業区域内に置いた熱交換器へ循環して、作業区域内の冷房を行った。局部的冷房装置各部の仕様は表5.1のとおりである。なお作業区域と栽培区域の境界面はカーテン状のビニルシートを用いて開閉可能な形にした。また作

表 5.1 局部的冷房装置各部の仕様

Table 5.1 Specification of spot cooling system in greenhouse

熱源部	太陽熱集熱器面積	64 m ² 選択吸収面処理
	廃油燃焼装置出力	84 MJ/h {20Mcal/h}
	粉状廃棄物燃焼装置出力	167 MJ/h {40Mcal/h}
	補助ボイラー出力	126 MJ/h {30Mcal/h}
	蓄熱タンク容積	1800 l
吸収式冷凍機	冷凍能力	25 MJ/h {6Mcal/h}
	冷水出口温度	9 °C
	熱媒入力	42 MJ/h {10Mcal/h}
	熱媒入口温度	80 °C
熱交換器	風量	23 m ³ /min
	冷房能力	25 MJ/h {6Mcal/h}

業区域内は内面を不透明なビニルシートで囲って、日射による冷房負荷の増大を防いだ。

5.1.4 局部的冷房装置の特性と利用試験

この試験は、試作した局部的冷房装置で、温室内の作業区域のみを冷房した場合の冷房特性と、作業環境の快適性及び装置の取扱性を検討するために実施した試験である。

(i) 試験方法

作業区域の大きさは、床面が、1.5m×4.8m、高さが1.8mで、この範囲を図5.1に示すように厚さ0.3mmの不透明なビニルシートで囲った。栽培区域と作業区域との境界面では、このシートを約1.2m開いて作業を行うので、この試験も作業時の状態で実施した。また、この試験時期は9月下旬で、外気温も高く、栽培区域では収穫期のトマトを栽培していたので、栽培区域側の温室の窓は全開の状態にした。吸収式冷凍機の運転は、8時から19時30分まで連続運転を行った。試験時の測定項目は、外気温及び栽培区域と作業区域内の気温と湿度である。各部の温度は熱電対を用いて測定し、打点記録計で記録した。湿度は脱脂毛髪を使用した自記湿度計で測定記録した。また1～2時間ごとにアスマン通風式乾湿計を用いて相対湿度を測定し、記録値を補正した。

(ii) 試験結果

作業区域のみを局部的に冷房した場合の温度特性の1例を示すと図5.2のようになる。作業区域では、不透明

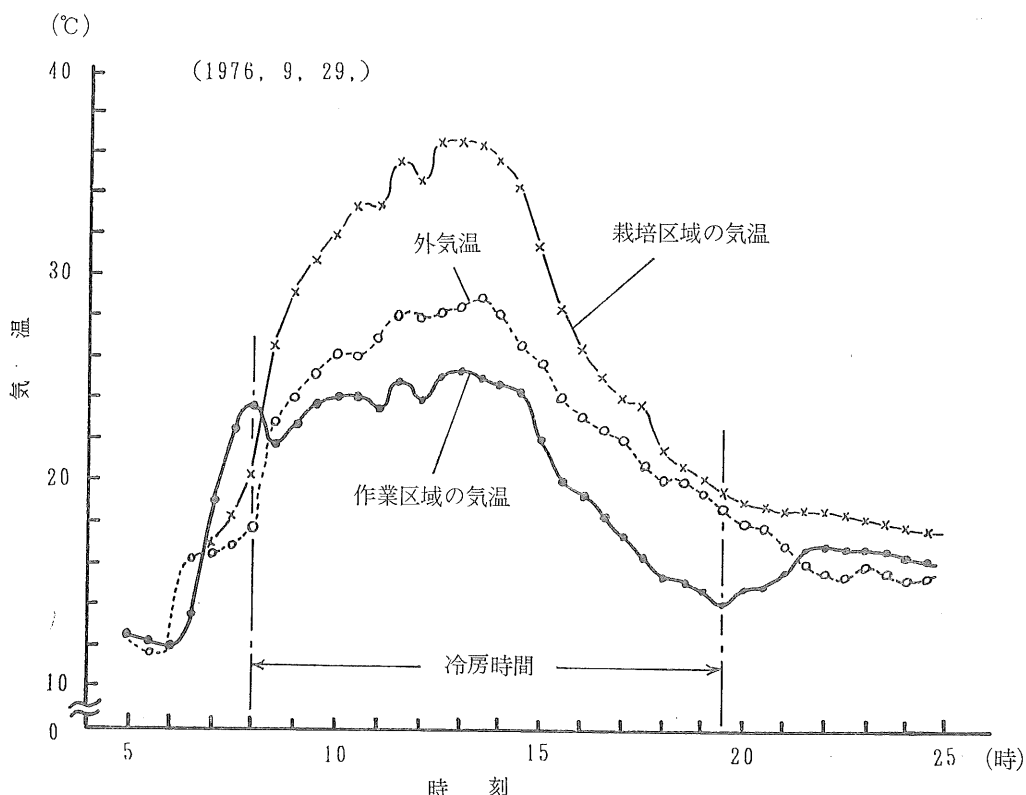


図 5.2 冷房時の各部の気温
 Fig. 5.2 Temperature in working area, crop growing area
 and outside atmosphere

なビニルシートで直射日光を防いでいることと、冷凍機で冷房しているために栽培区域に比べて気温を7～10°C低くすることができた。また作業区域内の温度分布をみると、放熱器から離れるに従って冷却効果も弱くなる状態であった。しかし外気温より高くなることはなかった。また、冷房時の栽培区域と作業区域の空気の状態値⁵⁴⁾を示すと表5.2のとおりである。ASHRAEの新快適図⁵⁵⁾によれば、乾球温度で23～25°C、相対湿度で20～60%が快適範囲として示されている。この快適範囲を作業区域の冷房時の環境と比較すると、8時から15時までの間では、表5.2に示すように乾球温度は快適範囲内であるが、相対湿度は快適範囲より、やや高い状態であった。

次に局部的冷房装置の取扱性についてみると、本装置を使用する場合には、作業区域をビニルシートで囲う作業は必要であるが、冷房はサーモスタットの設定温度に従って、ほぼ完全に自動化することができた。

5.2 暖房装置

5.2.1 暖房装置の特徴と意義

作物を固定した慣行の栽培方式では、作物生育の個体間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る。そのために多くの放熱管を温室内に、均一に配置しなければならない。しかし本装置のような作物可動式栽培装置では、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、放熱部を集中して配管経費を節約できる点が、本装置の大きな特徴である。

5.2.2 暖房装置の構成と作用

暖房装置の構成は、図5.1に示した局部的冷房装置から冷凍機を取り去った形で、蓄熱タンクの温水を直接放熱器に循環して暖房する方式である。この時、作業区域内のビニルシートは取り去り、放熱器は栽培区域の方に向けて温風を吹き出すようにした。温室内の気温の制御には、温室の中央部に取り付けられたサーモスタットの設定値(13°C)に従って、熱交換器を通過する温水のON、

表 5.2 冷房時における作業区域と栽培区域の環境

Table 5.2 Air condition in working area and crop growing area during cooling

測定時刻	相対湿度		気 温		エンタルピ	
	作業区域 (%)	栽培区域 (%)	作業区域 (°C)	栽培区域 (°C)	作業区域 (kJ/kg)	栽培区域 (kJ/kg)
8:07	51	55	21	25	41.0	53.2
9:35	64	53	22	35	49.4	83.7
11:32	60	38	22	38	47.3	79.5
13:10	64	42	23	37	51.5	79.5
14:52	67	45	21	35	47.3	76.6
16:21	74	59	17	26	39.8	58.2
18:58	78	70	13	20	31.8	46.0
20:44	79	75	17	19	41.0	45.2

(1976.9.29 測定)

OFF 制御を行う方式とした。

5.2.3 暖房装置の特性と利用試験

暖房装置の特性を明らかにするため、次の三項目について試験を行った。

その1は、作物可動式栽培装置を停止した状態で、温室内を加温した場合の温度分布を明らかにするための試

験である。

その2は、作物可動式栽培装置を運転した状態で温室内を加温した場合に、作物が通過する温度環境の変化を明らかにするための試験である。

その3は、作物可動式栽培装置を設置した温室内の湿度の経時変化を明らかにするための試験である。

(i) 試験方法

暖房時には、作業区域と栽培区域の仕切カーテンを取りはずし、両区域を同時に加温した。放熱器にはキャスタを取り付けて、作業区域内を移動できるので、図 5.3 に示すように、栽培装置に近付けて設置した。温風の循環方向は、放熱器の下部から冷風を吸引し、上部の吐出口から栽培区域の天井に向かって、約60度の仰角で吐出した。栽培槽では収穫期のトマトを栽培しており、草丈が約 1.2m で、各栽培槽とも約 1m の幅に繁茂した状態である。供試温室の被覆状態は一重ガラス、一層カーテン(塩化ビニルフィルム)である。

作物可動式栽培装置を停止した状態における温室内の温度分布の測定には、温度センサとして白金測温抵抗体を用い、これを電子管式自動平衡記録温度計に接続して使用した。測定点は、図5.3に示す20点である。

運転中の栽培槽上での温度測定には、温度センサとしてC—C熱電対を使用した。この温度センサを栽培槽の培地上60cmの点(地上約120cmの点)で支柱に固定し、

表 5.3 温室内の温度測定器の仕様

Table 5.3 Specifications of thermometer, hygrometer and recorder in greenhouse

名称・型式	デジタル温湿度計 Type 2577	
	温 度	湿 度
測定項目	—30.0~+60.0°C	15.0~100.0%
測定範囲精度	±3°C	±3% (温度25°C, 相対湿度40%の時)
アナログ出力測定方式	10mv/digit トランジスタ温度センサ	5mv/digit 塩化リチウム湿度センサ
名称・型式	ポータブルレコーダ Type 3057	
記録方式	2ペン、自動平衡式	
入力電圧	10mv~50v/fs の12レンジ	
有効記録幅	150 mm	
最大ペン速さ	30 cm	

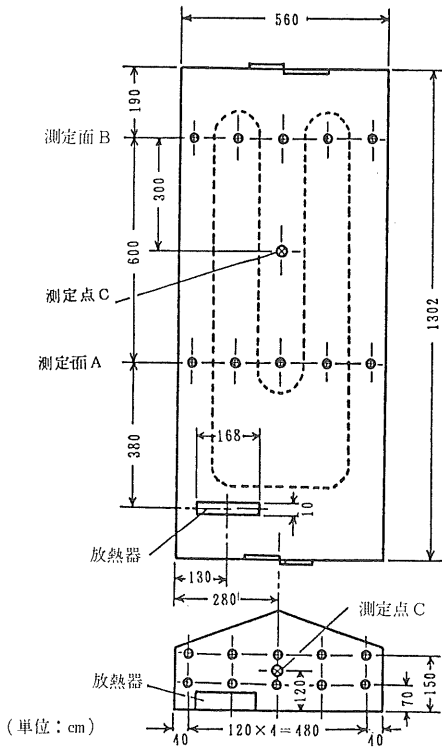


図 5.3 温度測定点
Fig. 5.3 Measuring points of temperature

これをデジタルマルチ温度計に接続して、測定結果をペンレコーダで記録した。

温室中央部の測定点(図5.3のC点)における温湿度の測定には、表5.3に示すようなデジタル温湿度計を使用し、測定結果はペンレコーダで記録した。

(ii) 試験結果

図5.4に暖房時の温度分布の一例を示す。作物可動式栽培装置を停止した状態での温室内の温度分布は、設定温度の13°Cに対して、±3°Cの幅で変動が認められた。この変動は温風の循環経路と関連があり、温室の中央部と上部が高温で、下部と側壁部が低温になる傾向が認められた。

以上のような温度分布の温室内で栽培槽を運転した場合に、特定の栽培槽上での温度変化の状態は図5.5のとおりである。この図は、栽培装置の軌道全長を円周上にとり、各コーナ間の距離に比例して円周を分割し、コーナの位置を決めた。また温度目盛は同心円上にとり、栽培槽の位置と、その点の温度との関係を温度軌跡として

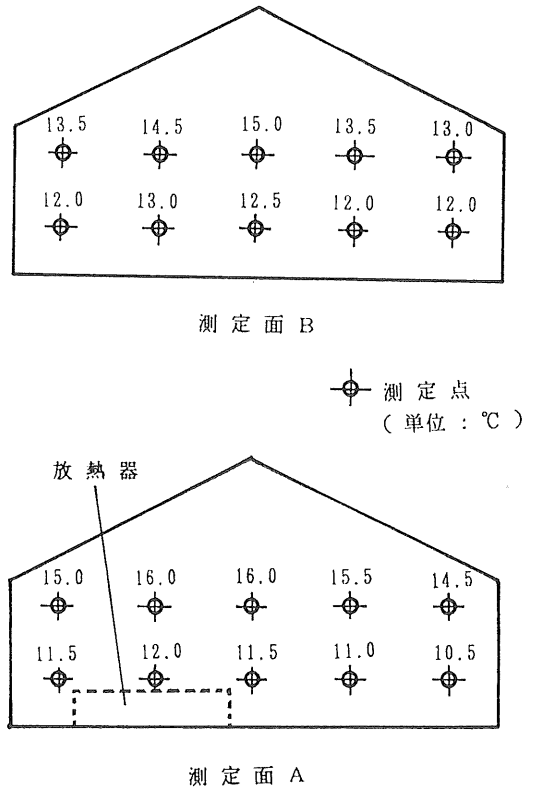


図 5.4 暖房時の温度分布
Fig. 5.4 Temperature of each point in greenhouse on heating

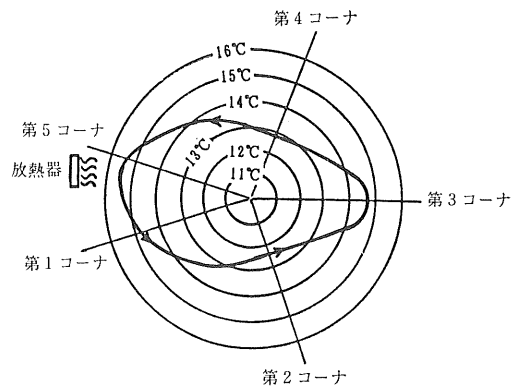


図 5.5 運転中の栽培槽上での温度変化
Fig. 5.5 Variation of air temperature at the surface of a growing box during its circulation in a greenhouse

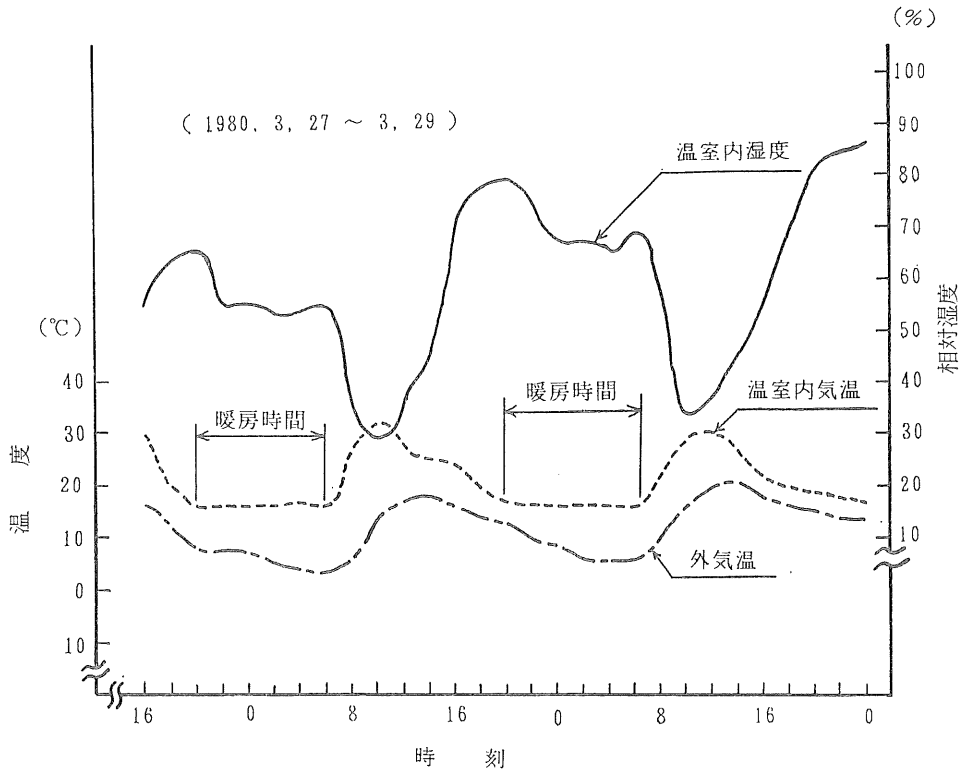


図 5.6 温室内の気温と相対湿度

Fig. 5.6 Temperature and relative humidity in greenhouse

示した。従って温室内の温度が均一であれば、測温点の温度軌跡は同心円で示されるが、この試験結果では、第2コーナと第4コーナが低温であることを示している。

温室中央部の測定点Cにおける温湿度の測定結果は、図5.6のとおりである。この温室では、栽培装置を設置するために床をコンクリートにしたことと、栽培槽を使用したことによって、暖房時の湿度が、普通の温室と比較して差があるかどうかを知るために実施した試験である。相対湿度が午時10時頃に最低となり、夜間に比較的高いのは、普通の温室と同様である。しかし慣行のハウス栽培でよく見掛けるように、作物の茎葉に結露するような現象は見られなかった。

暖房装置の取扱性についてみると、温度制御は既存の園芸施設と同様に、ほぼ完全に自動化されているので、人力作業の必要性は認められなかった。

5.3 土壌の蒸気消毒装置

5.3.1 蒸気消毒装置の特徴と意義

土壌の蒸気消毒は、慣行の作業では主として圃場の耕土層を対象しているの、土壌表面の被覆作業の他に、蒸気パイプの埋め込みや掘り出し作業、蒸気ボイラの移動作業が必要である。しかし作物可動式栽培装置の場合は、栽培層を蒸気消毒の容器として利用できるの、蒸気パイプの埋設や撤去作業が不要となること、可動式の栽培槽を利用するので、土壌を蒸気消毒容器へ出し入れする作業や、蒸気ボイラの移動作業が不要となり、労働強度を軽減できるのも、この装置の特徴である。

次に蒸気消毒作業の意義について考えると、この作業は土壌中に蒸気を通して加熱し、土壌中の病原菌を死滅させる作業である。病原菌の死滅温度に関してはH. Hege⁶¹⁾や池谷⁶²⁾の研究があり、表5.4に示すような結果が示されている。これより大部分の細菌は55°Cで10分間以上、ウイルスは、93°Cで10分間以上加熱すれば死滅させることができる。

5.3.2 蒸気消毒装置各部の作用と使用方法

表 5.4 土壌中病原菌の死滅温度と加熱時間
(池谷、1968)

Table 5.4 Soil sterilizing temperature
and time for vegetable diseases

病原菌名	死滅温度(°C)	加熱時間(min)
ウリ類つる枯病菌	55	10
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

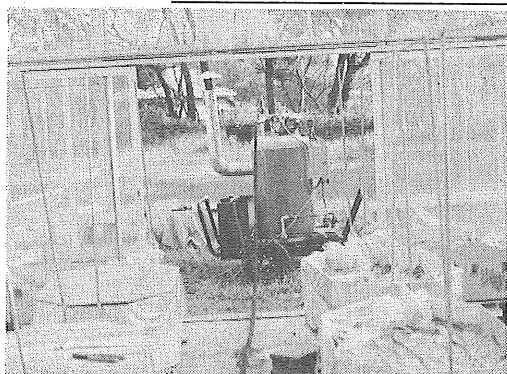


図 5.7 土壌の蒸気消毒
Fig. 5.7 Soil sterilization by steam

作物可動式栽培装置を用いて、栽培槽内の土壌を蒸気消毒する場合の作業手順は次のとおりである。まず栽培槽の上面をビニルシートで被覆する。それは蒸気の散逸を防ぐと共に、栽培槽内の土壌を保温するためである。次に蒸気ボイラと、栽培槽の排水口を蒸気ホースで連結して、栽培槽の底から上方に向けて蒸気を吹き上げる。実際の作業状態を図 5.7 に示す。栽培槽に蒸気を通す場合には、土壌中に特定の蒸気道ができたり、土壌が蒸気によって吹き飛ばされないように、蒸気圧や蒸気量を調節しなければならない。

5.3.3 蒸気消毒装置の特性と利用試験

この試験は、作物可動式栽培装置の栽培槽内にある土壌を蒸気で消毒する場合の効果と、装置の取扱性を明ら

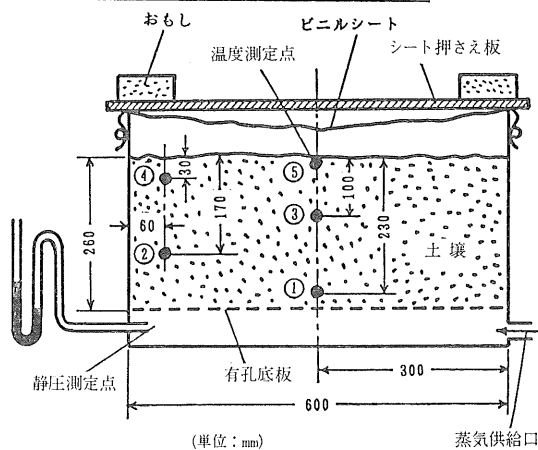


図 5.8 栽培槽内の蒸気圧及び土壌温度の測定点
Fig. 5.8 Measuring points of soil temperature
and steam pressure in growing box

かにするために実施した試験である。

1) 試験方法

供試した蒸気ボイラの蒸気発生量は、最大値が 60kg/h、消毒作業時の缶体内蒸気圧は 4 kg/cm²、蒸気温度は缶体出口で約 130°C である。供試土壌は、火山灰性埴壤土と、わら堆肥及び籾殻くん炭を等量ずつ混合した培地が約 1241 で、トマトの作付を 1 回行った後の状態である。蒸気消毒の効果は、土壌温度の測定結果と表 5.4 より推定した。栽培槽内の蒸気圧測定点及び土壌温度の測定点は、図 5.8 に示すとおりである。蒸気消毒装置の取

表 5.5 土壌の蒸気消毒作業時間
Table 5.5 Working hours for soil sterilization by steam

作業工程	所要時間 (min)	変動係数
栽培槽の被覆	13.4	0.16
蒸気管の接続	5.8	0.27
蒸気供給	100.3	0.14
蒸気管の分離	3.7	0.30
被覆材の除去	7.4	0.24
計	130.6	

- i) 栽培槽10個当たりの所要時間
ii) 他に全栽培槽の保温放置時間が約1日必要

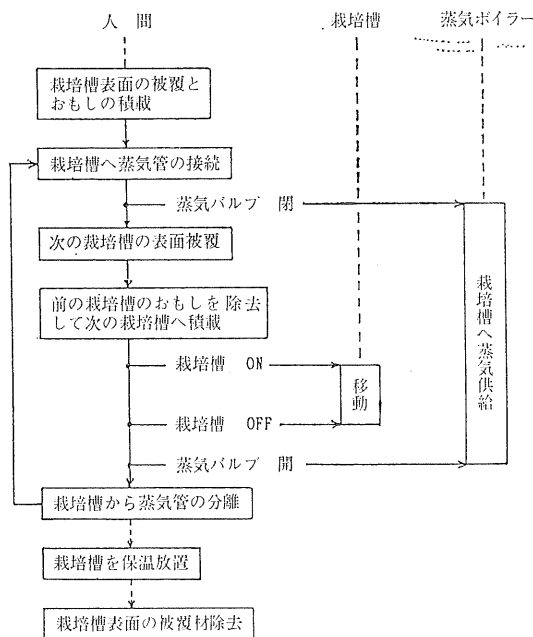


図 5.9 土壌の蒸気消毒作業の工程

Fig. 5.9 Working process for soil sterilization by steam

扱性に関しては、作業工程別に検討を行った。所要時間の測定は、各栽培槽ごとに前述の作業手順に従って作業を行い、栽培槽10個当たりの積算時間を3回反復して測定し、1回当たりの平均値を求めた。

2) 試験結果

作物可動式栽培装置の栽培槽内土壌を蒸気消毒する場合の作業工程を図 5.9 に示す。蒸気消毒装置の取扱性に

ついて、各作業工程別に検討すると次のとおりである。

栽培槽表面の被覆は、栽培槽の表面にビニルシートをかぶせ、その上に板と、約3kgのおもしを置いて、蒸気でビニルシートが吹き飛ばないようにする作業であり、作業手順を習得すれば未経験者でも直ちに作業を行うことが可能である。

栽培槽へ蒸気管の接続は、栽培槽の排水口に蒸気ホース用カップリングが取り付けられており、これにホース側の部分を差し込んで接続する作業である。次にボイラのバルブを開いて栽培槽内の土壌へ蒸気を送る。土壌の温度が、ほぼ100°Cに達したら蒸気を止め、カップリングの爪を押しして栽培槽から蒸気管を分離する。以上の操作は、ほとんど手先の作業で、取扱いも容易である。

1個の栽培槽へ蒸気を供給中に、次の栽培槽の表面を被覆し、蒸気供給を終えた前の栽培槽のおもしと、シート押さえ板のみを除去して次の栽培槽へ積載する。これらの作業は、蒸気の供給と並行して行う作業であるが、蒸気の供給時間内には完了することができる。

蒸気管を分離して、おもしを除去した栽培槽は、ビニルシートのみをかぶせた保温状態で1日放置した後、シートを除去する。この工程においても取扱上の問題点は認められない。

各工程別の作業強度についてみると、主となる動作部位は手先または手先の動作が上肢まで及ぶ状態である。従って表 4.7 より R.M.R. は 2 以下であると推定され、比較的軽作業に属するものと考えられる。

蒸気消毒に要する作業時間は、表 5.5 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ような時間は、栽培槽 1 個当たり約 2 分であった。しかし土壌を加熱するために蒸気を供給する時間は、栽培槽 1 個当たり約 10 分、加熱終了後、全部の栽培槽を被覆したまま自然に冷却するまで放置する時間として約 1 日を要する状態であった。

蒸気消毒時の栽培槽内土壌の温度変化は、図 5.10 に示すとおりである。栽培槽底部での蒸気圧は、約 19.6 kPa (0.2 kgf/cm²) である。一方病原菌の死滅温度は、表 5.4 のようになるので、図 5.10 に示した土壌温度にすれば、ほぼ完全に土壌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。蒸気消毒を完了した栽培槽で、実際にトマトの栽培を行ったが、土壌伝染性の病気の発生は全く認められなかった。

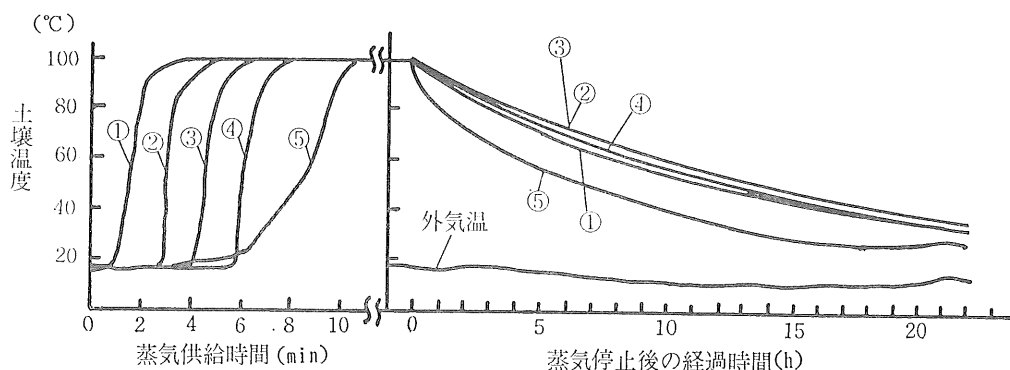


図 5.10 蒸気消毒時の土壌の温度変化

Fig. 5.10 Changes in soil temperature during soil sterilization by steam

6. 作物可動式栽培装置の総合的評価

作物可動式栽培装置の研究目的は、ある特定の作業改善のみに留らず、農業生産システムとして総合的に作業の改善を図ることである。また、この研究目的を達成するための手法として、作物可動式栽培装置を用いることが有意義であることを述べ、その方向で研究を進めてきた。

そこで本章では、作物可動式栽培装置に関して、作物栽培、作業、経済性の面から評価を行うことにする。

6.1 作物の生育及び収量

試作した作物可動式栽培装置でトマトを栽培して、その生育と収量を調査し、慣行栽培と比較検討を行った。

6.1.1 供試作物の栽培概要

供試作物には、トマト（ダイヤ交配おおみやFTVR）を使用した。播種は昭和52年9月2日、鉢上げ（移植）は9月13日、栽培槽への定植は10月5日に行った。栽培密度は、1個の栽培槽に4株を植え付けた。

培地の材料には、火山灰性植壤土と、わら堆肥及び籾殻くん炭を用い、栽培槽1個当たり、それぞれ50lを使用した。その他、元肥として硫安25g、熔燐60g、硫加30g、苦土石灰100gを培地に加えて混合した。追肥には液肥（S化学1号）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になった頃に施用した。各作物は直立1本仕立として、5～6段で草丈が約130cmになる頃に摘芯した。ホルモン処理は、開花当日か翌日にトマトトーンの100倍液を花房に散布した。かん水は1日に1回で、かん水量は栽培

槽1個当たり約2lとした。防除作業は10日に1回の割合で実施した。温室内の気温は夜間が13°C以上、昼間が20°C以上になるように暖房装置を運転した。温室の暖房期間は、昭和52年11月25日より、昭和53年3月31日までの約4カ月間となった。収穫は昭和53年1月12日より開始して、3月15日に終了した。

6.1.2 生育及び収量調査

1) 調査方法

生育調査は無作為に抽出した10株について、10日ごとに草丈と葉数の調査を行い、その平均値を求めた。収量調査は同じ10株について、収穫物の個数と重量を調査した。

2) 調査結果

供試したトマトの草丈と葉数は、図6.1に示すような経過をたどった。これは慣行栽培の生育経過⁶⁵⁾と、ほぼ同一である。収量は1株当たり約3.7kgで、慣行のトマト促成栽培の収量4kg/株⁴¹⁾と大差はないものと考えられる。収穫物の個数は1株当たり約21個であった。

6.2 経済性

作物可動式栽培装置の経済性を検討する時に注目すべき点は

- ① 装置の使用による作物の増収効果
- ② 装置の使用による生産費の節減効果

が認められるか否かである。本研究では、装置の使用目的を作業面の改善に置いたため、①に関しては、本章の第1節に記したように、慣行栽培とほぼ等しい状態に留めた。そこで②の面から装置の経済性を検討することにした。すなわち作物可動式栽培装置の新設による経費の増加分と、省力化による労働費の節減分より、この栽培

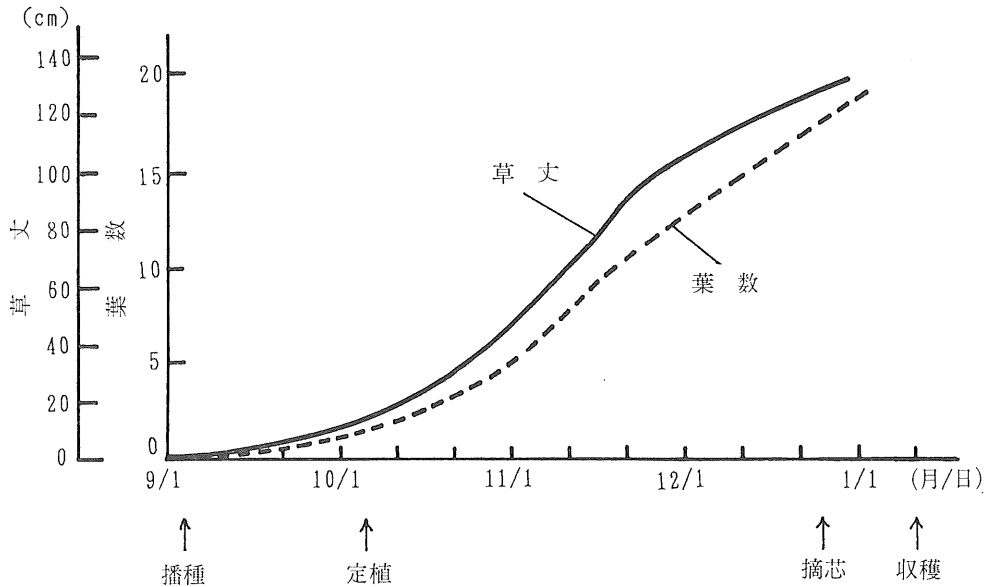


図 6.1 トマトの草丈と葉数の推移
 Fig. 6.1 Transition of plant height and number of leaves of tomato

装置の経済性について検討することにした。

6.2.1 経費の種類

この栽培装置の設置費および運転に要する経費は、固定費と変動費に分類できる。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、労働費が含まれる。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すことができる。

$$Y_n = d + i + r + f + l \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

ここで Y_n : 1年間当たりの使用経費

- d : 償却費
- i : 資本利子
- r : 修理費
- f : 運転経費
- l : 労働費

1) 償却費

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される。

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

- ここで C : 設置価格 (円)
- S : 廃棄価格 (円)
- N : 耐用年数 (年)

高度に装置化された栽培施設では、規模が小さいと、装置の設置費及び運転経費の比重が比較的に多くなるため、10a 規模の栽培施設を想定して検討を加えることにする。そこで、試作した作物可動式栽培装置の畦間、栽培槽の間隔に従って、10a 規模の栽培装置を設計すると、軌道の全長は 776m となる。栽培装置の設置価格は、軌道 1m 当たり約 2 万円となるので、10a 規模の栽培装置の設置価格は 1552 万円となる。廃棄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みなすと、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 $S = 0$ とした⁵⁷⁾。

耐用年数は、試作した栽培装置について検討すれば、塗装、注油等の管理作業を定期的に行っているので、8 年間使用しても、ほとんど修理を要しない状態である。一方、ホイールコンベヤのような、各種の定置式の荷役機械では、耐用年数を通常は 12 年⁵⁸⁾としているので、 $N = 12$ とした。

2) 資本利子

資本利子は、定額法により計算すると次式で示され

る。

$$i = \left(\frac{C + S}{2} \right) \alpha \dots\dots\dots ③$$

ここで α : 年利率 (0.04)⁵⁶⁾

3) 修理費

修理費は、使用条件及び取扱技術によって著しく異なる。農業用機械では、トラクタのように過酷な条件下で使用する場合には、修理費が購入価格の22~24%に達する例も報告されている⁵⁹⁾。しかし本装置のように滑らかに運転できる定置式の荷役機械では、設置価格の2~4%を修理費に当てているのが現状である⁵⁸⁾。従って修理費は

$$r = \frac{0.04C}{N} \dots\dots\dots ④$$

とした。

4) 運転経費

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。

$$f = EPt \dots\dots\dots ⑤$$

ここで E : 1kwh当たりの電気料 (円/kwh)

P : 所要電力 (kw)

t : 1年間の運転時間 (h)

試作した栽培装置の試験結果より、所要電力は栽培装置1m当たり約3Wであった。従って10a規模の装置では、軌道全長776mに対して約2.3kwを要することになる。

次に10a規模の装置について運転時間を計算すると、栽培槽が最低速度(4cm/s)で軌道上を一周する時間が5.3時間で、栽培槽は軌道上を1日に1.5周し、1年中この装置を使用するとすれば、1年間の運転時間は、

$$t = 365 \times 1.5 \times 5.3 \\ = 2902 \text{ (h)}$$

となる。

5) 労働費

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。

$$l = Lx \dots\dots\dots ⑥$$

ここで L : 年間労働時間 (h)

x : 労賃 (円/h)

作物可動式栽培装置によるトマト1作当たりの所要労働時間について検討すると、40株当たりの実測値では58時間となった。これより10a規模の作物可動式栽培装置を使用した場合の労働時間を厳密に推察することは困

難である。しかし、概略の目安を得るため、実測値を10a当たりの株数(約2600株)に比例して換算すれば、10a当たりの所要時間の合計は、約374時間となる。また作物可動式栽培装置を用いて1年間に2回作付を行うことができるので $L = 748 \text{ (h)}$ とした。

6.2.2 栽培装置の使用経費

作物可動式栽培装置の年間使用経費 (Y_n) を前項の①~⑥式より次のように示すことができる。

$$Y_n = \frac{C}{N} + \frac{\alpha C}{2} + \frac{0.04C}{N} + EPt + Lx \dots\dots ⑦$$

ここで

$$C = 1552 \times 10^4 \text{ (円)} \quad N = 12 \text{ (年)}$$

$$E = 20 \text{ (円/kwh)} \quad \alpha = 0.04$$

$$P = 2.3 \text{ (kw)} \quad t = 2902 \text{ (h)}$$

$$L = 748 \text{ (h)}$$

これより10a当たりの1年間の諸経費は次のように示される。

$$\text{償却費} = \frac{C}{N} = 129.3 \times 10^4 \text{ (円)}$$

$$\text{資本利子} = \frac{\alpha C}{2} = 31.0 \times 10^4 \text{ (円)}$$

$$\text{修理費} = \frac{0.04C}{N} = 5.2 \times 10^4 \text{ (円)}$$

$$\text{運転経費} = EPt = 13.3 \times 10^4 \text{ (円)}$$

$$\text{労働費} = Lx = 748x \text{ (円)}$$

従って⑦式は次のように示すことができる。

$$Y_n = 748x + 179 \times 10^4 \dots\dots\dots ⑧$$

この栽培槽で1年間に2回作付けを行うので、1回当たりの使用経費は次式で示される。

$$U = \frac{Y_n}{2} = 374x + 89.5 \times 10^4 \dots\dots\dots ⑨$$

ここで U : 10aの作付け1回当たりの使用経費 (円/10a)

6.2.3 栽培装置の経済性に関する考察

表6.1に昭和54年度のトマト促成栽培の生産費を示す。この生産費を労賃 x の関数として示せば次式のようになる。

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

ここで M : 慣行のトマト促成栽培の生産費 (円/10a)

次に作物可動式栽培装置を用いた場合の生産費について考察する。この栽培装置は既存の温室内に設置し、種子や肥料等の材料は慣行栽培に準じて使用するので、⑨式に示した作物可動栽培装置の使用経費の他に、表6.1

表 6.1 トマトのハウス促成栽培の生産費
Table 6.1 Production cost of forcing culture of tomato in winter

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) 土地改良費及び水利費	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
14) 労働時間	1,209 (h)	
15) 労 賃	607.8 (円/h)	

(昭和54年度産、10a当たりの生産費)

に示した項目の内、1)から12)までの合計額66.1万円は必要経費として全額を計上することにした。従って作物可動栽培装置を用いた場合の生産費は、装置の使用経費と、資材費等を含む必要経費の和として次式で示すことができる。

$$H = 374x + 156 \times 10^4 \dots\dots\dots \textcircled{11}$$

ここで H：作物可動式栽培装置によるトマトの生産費 (円/10a)

⑩、⑪式を図示すれば、図6.2のようになる。この図より労賃が1100 (円/h) 以上になった場合には、作物を固定した慣行栽培よりも、作物可動式栽培装置を使用して、省力化を図った方が経済的に有利であると考えられる。

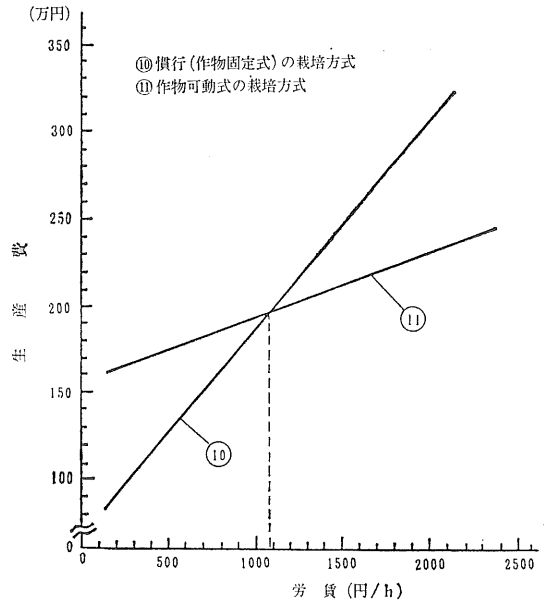


図 6.2 栽培方式別の労賃とトマト生産費の関係
Fig. 6.2 Relation between production cost labor-expense in usual cultivation of tomato and the cultivation using maual crop-bed system

7. 結語

農業は、もともと自然の環境に従い、大地に根を下した作物を対象にして生産活動が行われてきた。しかし、わが国のように高度に工業化が進められた社会では、生活水準も向上し、食生活も多様化したため、高品質の農産物需要が定常化してきたことは明らかである。一方、農産物の供給面をみると、工業製品に匹敵する生産性が要求されることとなり、土地生産性及び労働生産性の向上に努力が払われている現状である。このような背景のもとに、本研究では農業にも工業的な生産方式を導入して、作物可動式栽培装置の試作による施設化農業の新分野を設定し、主として農作業の面からこの研究を行い、以下の結果を得た。

1) 試作した作物可動式栽培装置は、83m²の温室内に設置し、33個の栽培槽、39mのホイールコンベヤとエンドレスチェーン及び運転制御装置により構成されている。栽培槽はチェーンで互に連結し、チェーンを駆動することによって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

の三種類に分類することができる。栽培槽 1 個の重量は、中に培地を入れてトマトを栽培した状態で、約 160 kg である。

2) 作物可動式栽培装置の運転特性は、栽培槽の速度を 4~24cm/s の範囲内で変えることができる。しかし実用的な速度は、4~10cm/s である。装置の駆動動力は、栽培槽の速度が 8 cm/s の時、約 150 w である。栽培槽に取り付けた支柱上での振度は、軌道のコーナ部で左右方向の加速度が最も大きい値を示し、その値は、栽培槽の速度が 8 cm/s の時、 9.02cm/s^2 となるが、作物への悪影響は認められない。

3) 試作した作業装置の中で、完全に自動化できるのは防除装置と、かん水装置である。全自動防除装置は、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、軌道の両側に並立して薬剤を散布しているノズルの間を通過するので、作物は完全に薬剤へ暴露することができる。またこの時、作物の周囲上に飛散した薬剤を回収して、再利用を可能にした点は、この防除装置の特徴の一つである。栽培槽が軌道を一周すると、防除装置と栽培槽は自動的に停止する。

4) 全自動かん水装置は、栽培槽の自動間欠運転と連動している。かん水開始設定時間になると栽培槽は始動し、かん水口の位置で停止する。そこで作物にかん水する。かん水量はタイマを用いて、かん水時間により調節する。1 個の栽培槽へのかん水が終わると栽培槽は移動し、次の栽培槽がかん水口の位置まで来ると、栽培槽は停止して、かん水を行う。このようにして栽培槽を 1 個ずつ移動しながらかん水を行う。すべての栽培槽へのかん水が終了すると、かん水装置と栽培槽は自動的に停止する。

5) 半自動化が可能な作業は、培地処理作業と収穫・選別作業である。培地処理作業とは、作物の栽培に必要な培地材料と肥料を調合して栽培槽の中へ入れる作業である。この作業の中で、培地材料や肥料の混合と、混合した培地を栽培槽へ投入する作業は機械化できたが、材料や肥料の計量作業は人力で行った。培地処理作業の能率は、栽培槽 10 個当たり約 40 分となり、慣行のベンチを用いた栽培方式と比較して、作業工程数を削減できたので、作業能率の向上に寄与したものと考える。

労働強度の面では、培地材料等の計量作業が人力作業として残されたが、この作業の作業形態や動作から R.M.R. を推測すると 5.5 程度と考えられる。この値は、

作物可動式栽培装置を用いた各種の作業の中でも大きい値に属する。従って培地処理作業では、今後、材料等、計量作業の労働強度を軽減するために装置を改良することが必要である。

6) 収穫・選別作業は、作物可動式栽培装置のそばに選別機を置いて、収穫と選別作業を同一場所で、同時に行うことが可能となった。収穫・選別同時作業の利点は、各作業を個別に行う場合と比較して、作業工程数を減少できるので、作業能率が約 26% 向上できること、果実と接触する回数を減らすことにより、果実に損傷を与える危険性を低下できることなどである。労働強度の面でも、慣行作業のように作物の間で収穫物を運搬する必要が無くなったので、作業者の負担は非常に軽減されたことになる。

7) 全自動化または半自動化の困難な作業は、人力で行うことにした。しかし人力作業でも、作物可動式栽培装置を用いることにより、運搬作業が全般的に省略できること、一定の場所で作業ができることなどの特徴を有するので、作業内容は慣行栽培と比較して、量的にも質的にも改善することができた。すなわち、栽培槽の培地表面を地上約 60cm に上げることにより、大部分の作業を立位の姿勢で行えるようにして労働強度を軽減したこと、作業場所の集中化によって、栽培資材の配分や収穫物の収集作業の省力化を進めたことなどを挙げることができる。

8) 作物可動式栽培装置を用いて、トマトの促成栽培を行った場合の全作業時間は、作物 40 株当たりの実測値で、5.8 時間となった。これは慣行のハウストマト促成栽培の 40 株当たりの全作業時間の約 $\frac{1}{3}$ に相当する。またこの時の作業別の労働強度を作業形態や動作から推測して R.M.R. で示した。その結果、培地の移動に関連した人力作業の労働強度が最も高く、R.M.R. は約 5.5 程度と推測された。しかし、その他の大部分の作業では、R.M.R. が 1.0~1.2 程度と推測されるので、作物可動式栽培装置の使用により、労働強度も軽減されたことは明らかである。

9) 園芸施設内における熱利用の面でも、作物可動式栽培装置を使用することにより、新しい利用分野を開発した。それは局部的冷房装置で、夏季の高温時でも施設内で作業ができるように、作業区域のみを集中的に冷房する装置である。冷凍機には、吸収式冷凍機を用いて、廃熱や自然エネルギーを複合的に利用できる方式とした。この装置で作業区域の冷房試験を行った結果、作

業区域内の気温を栽培区域により、7~10°C低くすることが可能であり、作業に適した環境が確保できることを明らかにした。

10) 暖房装置も、作物可動式栽培装置を使用することにより、放熱部を集中して配管を簡易化することが可能となった。作物を固定した場合には、温室内を均一に暖房するため、放熱管を分散して配置しなければならない。しかし作物を移動できる場合には、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、放熱部を集中化することも可能となった。

11) 栽培槽内土壌(培地)の蒸気消毒には、栽培槽自体を蒸気消毒容器として利用できるので、慣行作業のように、蒸気パイプの埋設や撤去作業、蒸気消毒容器へ土を出し入れする作業が不必要となった。従って作物可動式栽培装置を使用することにより、蒸気消毒作業の労働強度が軽減されたことは明らかである。

12) 作物可動式栽培装置を用いて、トマトの促成栽培を行った。その結果、トマトの草丈と葉数は慣行栽培の生育経過と、ほぼ同一であった。収量は1株当たり約3.7kgで、21個となり、慣行栽培の収量と、ほぼ等しい値であった。

13) 試作した作物可動式栽培装置は、作業の量的及び質的な改善を目的としたものである。従って、収量は慣行栽培と、ほぼ等しい状態に留め、作業の改善による生産費の節減効果の面から本装置の経済性について検討を加えた。その結果、労賃が1100円/h以上に高騰した場合には、慣行栽培よりも、作物可動式栽培装置を使用して、省力化を図ることが経済的に有利になるとの見通しを得た。

本研究を企画し、実施するに当たっては、渡辺鉄四郎元農機研理事、小川浄寿元農機研第4部長から貴重な助言と援助をいただき、また研究実施中に遭遇した問題点に対しては、前田耕一前理事、平田孝三研究第4部長より研究の推進方向と適切な示唆をいただいたので、ここに記して深甚の謝意を表する次第であります。

さらに本研究の取りまとめに当たって、種々の御教示を賜った東京大学名誉教授、細川明先生、本論文の作成に当たって懇切な御指導と、御校閲を賜った東京大学教授、森嶋博先生、木谷収先生に深謝致します。

また試験装置の製作に協力をいただいた東芝機械株式会社沼津製作所、装置の利用試験に有益な御指導をいただいた景山美葵陽元農林水産省野菜試験場施設栽培部長

に深く感謝致します。

なお本研究は、昭和48年度より8カ年にわたり、農業機械研究所で実施したもので、その間において装置の改良、試験の準備など常に各種の面で多大な協力をいただいた市川友彦主任研究員、猪之奥康治研究員に、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 農林水産大臣官房調査課：昭和57年度農業の動向に関する年次報告，1983，p. 81-91，p. 175-177.
- 2) 大橋一雄：労働科学から見た農作業，農作業研究No. 1，1966，p. 18-26.
- 3) 農林水産省経済局統計情報部：昭和56年産米及び麦類の生産費，1983，p. 30-175.
- 4) 農林統計協会：昭和57年度農業白書附属統計表，1983，p. 46-47，p. 104-105.
- 5) 農林省農林経済局統計調査部：昭和30年産米生産費調査成績，1956，p. 36-39.
- 6) 奥野忠一：21世紀の食糧・農業，1975，p. 133-165.
- 7) 総理府統計局：国勢調査報告第1巻，1980.
- 8) 農林水産省経済局統計情報部：農業センサス農家調査報告，1975，p. 672-739.
- 9) 農林水産省経済局統計情報部：昭和56年産工業作物等の生産費，1983，p. 24-73.
- 10) 猪股敏郎：農村における高齢者対策，研究ジャーナル，6(8)，1983，p. 6-10.
- 11) G. Bosse, G. Bouillin und G. Reinken : Untersuchungen über das Wachstum von Zierpflanzen im Pflanzenrotor, Gartenbauwissenschaft, 36(18), 1971, p. 321-328.
- 12) 農林水産省経済局統計情報部：昭和56年度農家経済調査報告，1983，p. 4-5.
- 13) 池田弘：農業技術と高齢者問題，研究ジャーナル，6(8)，1983，p. 11-15.
- 14) 春原亘：半自動式農業機械における手作業の研究，東京大学農学部付属農場研究報告第3号，1979，p. 1-11.
- 15) 林喜男・野呂影勇：無人化システム，日刊工業新聞社，1971，p. 7-25.
- 16) 大島正光・橋本邦衛：人間と機械の安全，人間と技術社，1971，p. 3-31.
- 17) W. Söhne : Wechselbeziehungen zwischen Fahrzeuglaufwerk und Boden, Grundlagen der Landtechnik, Heft 13, 1961.
- 18) 農業機械化研究所昭和47年度研究成績：ハウス内作業の安全に関する研究，1973，p. 1-19.
- 19) 倉田勇，他2名：水平循環式栽培装置の開発研究，農業機械化研究所報告第17号，1982，p. 15-18.
- 20) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，労働科学研究所，1982，p. 41-42，p. 215-217.
- 21) 沼尻幸吉：労働の強さと適正作業量，労働科学研究所，1967，p. 102-147.
- 22) 寺田俊郎・吉野蓄人：温室における無人汎用クレーンの機能について，鳥根大学農学部研究報告8号，1974，p. 22-27.
- 23) 金須正幸，他3名：圃場作業装置，農業機械学会誌，38(3)，p. 445-453.

- 24) 農林水産省経済局統計情報部：昭和56年産果実生産費，1983，p.10-78.
- 25) 農林水産省経済局統計情報部：昭和56年産野菜生産費，1983，p.26-42.
- 26) F. J. Leusink: Torenkas en industriële plantenteelt, Jaarboek Tuinbouwtechniek 1965/1966, p.59-69.
- 27) 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，p.12-21，p.60-75.
- 28) Ruthner Industrieanlagen für Pflanzenbau Gesellschaft m. b. H. : Industrieller Pflanzenbau, 1967, p. 29-49.
- 29) 農業機械化研究所昭和48年度研究成績：西独における施設園芸用機械および装置に関する調査報告，1974，p.17-25.
- 30) 土壌物理研究会：土の物理学，森北出版，1979，p.11-35.
- 31) 木根潤旨光：水稻稚苗栽培技術の確立ならびに機械化技術における実証的研究，東北農業試験場報告第38号，1974，p.74-76.
- 32) 原周作，他4名：波動浸漬式コンベア水耕によるミツバの工業的生産体系確立とその手法に関する研究，大阪府農林技術センター研究報告第14号，1977，p.11-30.
- 33) 高辻正基：世界の野菜工場，野菜季報第18号，1983，p.20-24.
- 34) 岐阜県農業試験場：南濃試験地成績簿，1951，p.1-6.
- 35) 高倉直，他：施設園芸における環境制御技術，ソフトサイエンス社，1975，p.241-245.
- 36) 新農林社：環境調節工学を考ふる，機械化農業，1979・4，p.5-14.
- 37) 坂井弘：農業公害ハンドブック，地人書館，1974，p.159-210.
- 38) 鈴木義彦・山下春吉：隔離培地とその将来性，農業及び園芸，55(1)，1980，p.211-217.
- 39) 農林水産技術会議事務局：土壌物理，調査資料54，1968，p.74-92.
- 40) 日本機械学会：機械工学便覧，1977，p.3-35.
- 41) 横木清太郎，他：温室ビニルハウス園芸ハンドブック，養賢堂，1978，p.282-304.
- 42) 谷口修：振動工学ハンドブック，養賢堂，1976，p.1141-1148.
- 43) 農林水産技術会議事務局：みかん栽培における収穫運搬の省力化に関する研究，研究成果103，1978，p.15-19.
- 44) P. A. Adrian and R. B. Fridley : Dynamics and Design Criteria of Inertia-type tree Shakers, Transactions of the ASAE., 8(1), 1965, p.12-15.
- 45) R. B. Fridley, P. A. Adrian : Some Aspects of Vibratory Fruit Harvesting, Agricultural Engineering, 41(1), 1960, p.28-31.
- 46) 高井隆次：施設栽培における作業の省力化，農作業研究 No. 33, 1978, p.65-66.
- 47) 後藤美明・倉田勇，他1名：自動くん煙機に関する研究，農業機械化研究所報告第10号，1977，p.37-49.
- 48) 官報：スピードスプレーヤの検査の主要な実施方法および基準，1972年8月12日制定公示，p.1-15.
- 49) 武長孝，他4名：微量，少量散布機に関する研究(Ⅱ)，農業機械化研究所報告第13号，1978，p.18-23.
- 50) 野村良邦，他1名：シュンギクべと病の薬剤防除試験，野菜試験場久留米支場研究年報第7号，1983，p.129-131.
- 51) 武長孝，他4名：微量，少量散布機に関する研究(Ⅰ)，農業機械化研究所報告第12号，1978，p.1-9.
- 52) 農林水産省食品流通局野菜振興課：昭和57年度野菜花き対策の概要，1982，p.14-19.
- 53) 日本農作業研究会：農作業便覧，農林統計協会，1975，p.3-22.
- 54) 空気調和衛生工学会：空気調和衛生工学便覧，1975，p.50-136.
- 55) ASHRAE : Handbook of Fundamentals, 1974, p. 119-150.
- 56) 農林水産省経済局統計情報部：昭和54年産野菜生産費，1981，p.1-49.
- 57) 金須正幸：トラクタ・サイズの経済的考察，農業機械化研究所報告，1967，p.1-4.
- 58) 野口尚一：荷役機械工学便覧，コロナ社，1966，10, 680.
- 59) Smith, D. D. & Jones, M. M. : "Power, Labor and Machine Cost in Crop Production. Linn Country, Missouri, 1930," Missouri Agr. Expt. Sta. Res. Bull. p.197, 1933.
- 60) 三原義秋：温室設計の基礎と実際，養賢堂，1980，p.160-169.
- 61) Hermann Hege, Helga ross : Dëss Dämpfen von Gëden und Erden, KTBL-Schrift153, 1972, p.17-20.
- 62) 池谷保緒：ハウス土壌の消毒について，静岡県農業技術対策資料，1968，p.18-19.
- 63) Harmen Storck : Gartenbau, 1969, p.469-471.
- 64) 労働科学研究所：労働衛生ハンドブック，1975，p.1290-1292.
- 65) 農山漁村文化協会：農業技術大系(野菜編2)，1979，p.299-314.
- 66) Rudolf Bohn : Die Technik im Gartenbau(1), Eugen Ulmer, 1971, p.224-242.
- 67) Rudolf Bohn: Die Technik im Gartenbau(2), Eugen Ulmer, 1974, p.421-485.
- 68) 原周作：高度装置化栽培施設，大阪農業15(2)，1977，p.25-41.
- 69) 真島卯太郎：コンベヤ計算法，工学図書，1970，p.57-310.
- 70) 真島卯太郎：チェーンコンベヤ，工学図書，1967，p.83-344.
- 71) 長谷川健介：シーケンス制御技術の基礎知識，ホーム社，1978，p.25-98.
- 72) 妹沢克惟：振動学，国際理工研究社，1971，p.737-778.
- 73) 坪井八十二：農業気象ハンドブック，養賢堂，1974，p.725-727.
- 74) 農業機械学会：農業機械ハンドブック，コロナ社，1969，p.902-917.
- 75) 農林水産技術会議事務局：高能率施設園芸に関する総合研究，研究成果133，1981，p.117-120.
- 76) 渥美照男，他2名：作物荷重(トマト)について，昭和54年度農業施設学会講演要旨，1979，p.11-12.
- 77) Gray W. Ktutz : Agricultural Robots and Social Issues, Agricultural Engineering, 64(11), 1983, p.17-19.
- 78) E. Seidel, O. Patzelt : Über die Verwendung von Stabnetzwerk-konstruktionen im landwirtschaftlichen Bauen, Deutsche Agrar-technik, 16(4), 1966,

- p. 157-163.
- 79) 高辻正基：野菜工場の進展，計測と制御，22(6)，1983，p. 522-528.
- 80) Ruthner Industrieanlagen für Pflanzenbau Gesellschaft m. b. H. : Trumgwächshaus, 1974, p. 1-3.
- 81) 小堀乃，他2名：農作業の人間工学的解析，農作業研究 No. 10, 1970, p. 1-4.
- 82) 池田弘，高橋保夫：作業技術体系研究の手法について，農作業研究 No. 11, 1971, p. 17-27.
- 83) 米村納一，他3名：農作業災害防止に関する研究（第7報），農作業研究 No. 16, 1972, p. 38-41.
- 84) 辻井辰雄：農作業研究における作業能率，労働生産性に関する一考察，農作業研究 No. 17, 1973, p. 1-5.
- 85) 沼尻幸吉：農作業と労働負担，農作業研究 No. 23, 1975, p. 51-55.
- 86) 杉山直機：そ菜作における農作業，農作業研究 No. 1, 1966, p. 43-50.
- 87) 横木清太郎：施設園芸の所要労力について，農作業研究 No. 5, 1968, p. 75-80.
- 88) 日本農作業研究会：施設園芸における農作業の問題点，農作業研究 No. 6, 1968, p. 112-121.
- 89) 中村宏：野菜作の作業分析と作業改善，農作業研究 No. 37, 1980, p. 15-25.
- 90) 古川英一：振動および衝撃測定，誠文堂新光社，1966, p. 78-106.
- 91) 岡田晃，他1名：騒音，振動，衝撃の影響と対策，人間と技術社，1970, p. 153-164.

SUMMARY

Development of A New Movable Type Crop-bed System and Farm Works in Crop Culture on the System

Isamu KURATA

The protected cultivation under structures, such as glass houses or vinyl houses, practiced in Japan is a very intensive farming which requires a great amount of labor. The total working hour of the forcing culture of tomato for winter production is about 1200 h/10a. The labor-expense constitutes about 53 % of the total expense of production. Therefore, the mechanization or labor-saving for the protected cultivation is one of the most important problems. High temperature and high humidity environment in the structures are necessary for growing crops but not for workers. Especially, the work of spraying chemicals in the structures causes a very dangerous environment for the operator. For these reasons, it is necessary to develop an automatic cultivation system of vegetables under structures. The studies reported in this paper dealt with the development of a new movable type crop-bed system to be used under structures and the establishment of automatic or semi-automatic cultural methods applicable to this system.

This paper is composed of seven chapters including the preface and the conclusion. In Chapter 1, the background and the object of this study are presented with many statistical data. The object of this study is to improve the conventional method of vegetable cultivation and to develop a new progressive method.

Chapter 2. Present situation of researches on farm works with automatic facilities. There are two types of cultivation system in greenhouses. One is the fixed type crop-bed system and the other is the movable type crop-bed system which is further classified into the following two types: the vertical circulating type and the horizontal circulating type. 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 is very high, but only a limited kinds of crops with short plant type can be grown with vertical circulating type. On the contrary, the horizontal circulating type can be introduced into ordinary greenhouses, and it is possible to grow even tall fruit vegetables with this type. Generally, these cultivation systems do not use the soil, and are mostly the hydroponics.

Chapter 3. Development of a new movable type crop-bed system. The movable type crop-bed system newly developed by the present author was placed in a greenhouse covering the area of 83m², and composed of 33 growing boxes, a wheel conveyer's circular line 39 m in length, an endless chain and the system controller. The growing boxes were connected each other with the endless chain and were moved on the wheel conveyers line with the system controller. The weight of a growing box containing soil and growing tomato plants was about 160 kg. The actual travelling speed of the growing box was lower than 8 cm/s. The power required for driving this system was about 151 W when being operated continuously at 8 cm/s. The vibration on the growing box was less than 9.02 cm/s².

when it was moved at 8 cm/s. At this level of the vibration, no adverse effect of the vibration on the crop was observed.

Chapter 4. The practical application test of the new movable type crop-bed system. Among the facilities suited to be used with the movable type crop-bed system, the facilities for pest control, and for irrigation can be full-automatically controlled. The pest control facilities are synchronized with the continuous movement of the growing boxes. Each growing box with growing plants is exposed to pest-control chemical sprayed from nozzles standing abreast on both sides of the wheel conveyers line. After the all growing boxes circulated around a whole line, the pest control facilities and the movable type crop-bed system stop working automatically.

When each growing box comes to the site of the irrigation facility, it stops moving for a certain period, during which water is supplied on to the soil surface of the box. The amount of water supply is regulated by the length of that period. After received prescribed amount of water, the box leaves the site and the next box comes. During that period watering stops. Thus, the intermittent movement of the crop bed system is alternately interlocked to the intermittent operation of the irrigation facilities. Preparation of bed-soil mixed with fertilizers and supply of the soil into growing boxes are made semi-automatically by using a mixer and a belt-conveyer. Measurement of soil, fertilizers, and organic manures to be mixed was made by hand. Then these materials were automatically mixed and carried into the growing boxes. Another important improvement is that it is possible to carry out harvesting operation and sorting operation at the same time. This combined work was very effective not only for labor-saving, but also in preventing damages of fruit while handling them.

Chapter 5. Air conditioner and soil sterilizer suited for the movable type crop-bed system. The air conditioner composed of the heat source unit, absorption type refrigerator and the heat exchanger was used. The greenhouse was divided into two areas by the curtain, a working area and a growing area. It is possible to control the air condition so as to be adapted to each area. For instance, even when the growing area is kept at high temperature and high humidity, it is possible to give favorable working environment to the working area by use of that air conditioner. The soil in growing boxes is sterilized by steam, which is generated from the boiler.

Chapter 6. Evaluation and prospects of the movable type crop-bed system. As described in the preceding chapters, a new movable type crop-bed system, including several automatic farm-work facilities and a partial cooling apparatus was developed, aiming at saving labor and improving working environment in greenhouses. Tests for practical use for tomato cultivation and economic evaluation were carried out. The result of the cultivation test using this system showed that the yield of tomato of the forcing culture for winter production was about 3.7 kg per 1 plant. This yield is nearly equal to the yield of tomato grown by the usual-forcing culture. The total working hour required for the cultivation was about 374 h/10a, which is only about 1/3 of the labor for usual forcing culture of tomato. When the labor-expense is increased higher than 1100 yen/h, it seems to be profitable to use this movable type crop-bed system.

分光反射特性の農業機械用光電識別センサへの応用に関する研究

鈴木光雄*・中川靖夫**

1985—11—11 受理

抄 録

鈴木光雄・中川靖夫 分光反射特性の農業機械用光電識別センサへの応用に関する研究。農機研報 20:49—63 (1986)

本研究は対象物の分光反射特性を利用した安価で簡便な光電識別センサの設計および開発を目的として、概念設計に基づいて土壌と野菜等の識別精度について検討を加えたものである。

研究対象としてトマト(果実)、土壌、野菜等の分光反射特性を測定し、トマトについては熟度判定精度を、土壌とレタス、キャベツなどの野菜等については相互間の識別精度について検討を行った。

その結果、色調による判定法は照射光の影響を受けるとともに、識別装置もやや高価になるが、特徴のある波長帯域の反射率の比を利用する識別法は市販の干渉フィルタ等を使用して識別装置も安価に製作でき、識別精度も高いことが判明した。識別対象によって異なるが、特定波長帯として550nm(緑)と680nm(赤)の比を用いれば、土壌と作物の識別である間引き、茎葉と根部の識別である剪葉、果色の識別である果実の熟度判定など広範囲にわたって高い識別精度が得られることが分った。

1. 緒 言

アメリカ合衆国では加工用トマトの一斉収穫が機械化されている。一斉収穫のため収穫物の中に未熟果や病害虫果が混入し、以前はそれらの除去に多くの労力を必要としていた。近年、色彩選別機等の選別装置が収穫機に組み込まれてからは労力が著しく減少するとともに、品質も統一されて収益の向上をもたらした。

しかし、これらに使用されている色彩選別装置は大型で高価であるので、日本の小型農業機械に直接適応するには無理がある。小型で安価な装置により農産物等の識別が可能になれば、このような色彩選別の他に、要望の強い間引きや株間除草等の機械化に対しても利用可能である。

本研究はそのため小型簡便で安価な光電識別センサの設計、開発を目的として土壌、野菜等の分光反射特性を求め、さらに相互間の識別精度を検討したものである。

本論文は緒言を含めて9章より構成した。つぎの2では光電識別のための研究の背景と目的を述べ、3ではト

マト、土壌、野菜等の分光反射特性を測定するにあたっての諸問題の検討と測定装置について説明した。4では測定した種々の試料の分光反射特性を図示し、5ではそれらより算出した色度による識別方法について述べた。6では光吸収を利用した二波長比による識別方法について検討を加え、7では分光反射特性より、その他検知可能なものについて若干の検討を行い、8でこれらの結果に基づいた識別装置の設計、試作について述べ、最後の9で本報告全般についての検討結果について記述した。

なお、本研究は主として昭和57～58年度の2年間、鈴木光雄が埼玉大学工学部電子工学科に国内留学中に行ったものである。トマトの分光反射特性について卒業研究として取り組んだ石母田健、また土壌と野菜等の分光反射特性については同じく中嶋幸次の両氏を始め、埼玉大学関係各位に対し、また、終始助言を頂いた平田研究第4部長を始め農機研各位に対して記して謝意を表する次第である。

2. 研究の背景と目的

一般に植物の葉の表面に照射された放射の一部は表皮

* 研究第4部

** 埼玉大学工学部

層の外表面で反射されるが、大部分の放射は葉の内部に侵入し、細胞壁、細胞質によって反射、散乱、屈折を繰り返して、葉緑体などによる吸収の機会を多くする¹⁾。可視域において放射を吸収する主要な物質は、普通の葉ではクロロフィルとカロチノイドである。青紫色部400nm～500nmでの高い吸収はこの両者により、赤色部670nm～680nmでの吸収のピークはクロロフィルのみである²⁾。

果実や野菜の熟度が進行すると、一般に個体中のクロロフィルが消失し、カロチノイド類の色素が発現する。温州みかんの場合、みかん果皮のクロロフィルとカロチノイドの含量は、果肉ジュース中の糖との間に高い相関のあることが報告されている^{3),4)}。

トマトについても同様で、果実の着色は主にカロチノイド系色素によって行われている。果実がまだ緑色をしているうちは葉緑素(クロロフィル)が大部分で、カロチノイド系色素は少ない。熟度が進んで果色が緑色から桃色になると、葉緑素が次第に減少し、それに代わってカロチノイド系色素が増加する。その際生成されるカロチノイド系色素は主としてリコピンであり、成熟果中に含まれるカロチノイド系色素のうち、リコピンの占める割合は75%～85%となり、その量が果実の着色の良否を決定する⁵⁾。

生食用トマトの収穫は追熟を考慮にいれて、果頂部が色付き始める桃熟期に収穫されるが、加工用トマトの場合は全体が赤くなった赤熟期に人手により選択収穫している。この場合、収穫基準として各農家に等級別の文章と写真の入ったパンフレットなどが配布されている。また、生産組合等では収穫シーズンに入る前に目揃会などを開催して色調の基準を周知徹底させる努力を行っている。しかし、写真と実際の色調の差が大き過ぎるという批判があるとともに、1～2回の目揃会では予期した効果があがらない恨みがあった。これは人間が色調を正確に記憶するのは困難なためと、また仮に栽培者が熟練してある程度記憶できたとしても、実際に圃場で収穫を行う家族や雇用者にその色調を教示することが困難なためといわれている。

このため野菜試験場では加工用トマトについて標準色調板に関する研究を行い、その成果を全国トマト工業会を通じて栽培農家に配布した⁶⁾。大きさは直径10cmの平らな円板で、中央に3.5cmの穴があいており厚さは3mmである。栽培者は果実を中央の穴にあててその色調を比較する。これには2種類が作られており、No.1は長野、岩手における標準で、No.2は茨城、愛知におけ

るものである。この標準色調板の色調は後述する3の方法で測定した結果、以下ようになった。

No.1: $Yd_{65}=7.2$ $x=0.58$ $y=0.35$ 0-45 w10

No.2: $Yd_{65}=8.5$ $x=0.53$ $y=0.36$ 0-45 w10

梨や桃などの果実においてもこれと同様に、色標による方法が試みられている⁷⁾。

このように果実表面の物体色と熟度は密接な関係がある⁸⁾。本研究は、まず熟度を非破壊で選別するための安価な光電識別センサの開発を想定して、トマトの果色の変化を光電的に検出した場合の識別精度の検討をし、次にこの結果をもとに識別装置について検討を加えた。さらにこのような手法は機械化の要望が強い間引き⁹⁾や剪葉等にも応用可能であると考えられるので、測定波長範囲を近赤外域にまで拡張して土壌と野菜等の識別の可否について精度の検討を行ったものである。

概念設計の骨子は次の通りである。

- ①小型で簡便であること。
- ②安価に製作できること。
- ③汎用化が可能であること。
- ④測定用照射光源の種類や外来光の影響を受けにくいこと。

3. 分光反射特性測定方法および装置

3.1 入射光の角度

一般に物体色を測定する場合、測定面の法線方向に受光器を置き、照明する光は法線方向から45°の角度で与える。しかしトマトの場合、測定面は曲面であり、また光沢がある。この光沢の影響を調べるため、光源から測定面への照射光の入射角を25°、45°、65°の3通りで測

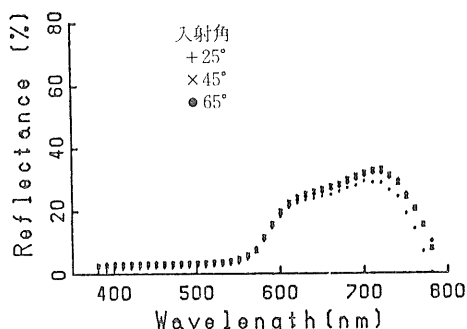


図1 加工用トマトの標準色調板の入射角別分光反射特性

Fig.1 Spectral reflectance of the colour disk devised to be used for tomatoes for processing tomato

定を行った。この場合、測定面と光源の距離は一定に保った。

その結果、加工用トマトの標準色調板はプラスチック製で光沢があるにもかかわらず、図1に示すように分光反射特性の角度依存性はほとんどなかった。

実際のトマトにおいては品種や収穫時期によって光沢の差が大きい。このため表面の光沢の状態が異なるニンジンやリンゴなども含めて測定し検討したが、JIS記載どおり¹⁰⁾、入射角45°で測定を行えば光沢による影響を無視して良いとの結論を得た。トマトの入射角毎の分光反射特性の一例を図2に示す。入射角25°の分光反射特性がやや高い値を示しているが、これは光沢の影響ではなく測定面が完全な球面でないことによると考えられる。

3.2 標準白色面

分光反射率は標準白色面の反射強度に対する試料の反射強度の比率で表わされる。トマトの場合、測定面が曲面であるので標準白色面も同様な曲面とするのが望ましいが、通常標準白色面として用いる硫酸バリウム(BaSO₄)粉末を圧着してトマトのような曲面を作るのは困難である。そのため、石膏(CaSO₄)でトマトの形を作り、これを二次標準に用いようとしたが、成型後日数が経るにつれて分光反射特性に変化がみられた。標準として用いるには経時変化が生じないことが必要であるため、CaSO₄を二次標準とすることは不適であるので、標準白色面にはBaSO₄の圧着平面を用いた。

また、BaSO₄の圧着平面が赤外域においても十分高い反射率を示すかどうか検討する必要がある。このため、赤外域において十分高い反射率を示すことが知られているイオウ華の圧着平面とBaSO₄の圧着平面との分光反射特性の比較を行った。その結果、BaSO₄圧着平面は測定予定赤外域においてイオウ華の80%以上の反射率を示したので、測定全域においてBaSO₄圧着平面を標準白色面として用いた。

3.3 測定波長間隔

試料によっては分光反射特性に細かいスペクトルを有するものもあるので、実際のトマトとプラスチック製の標準色調板について、5nmと10nm間隔で測定を行い検討した。その結果、測定試料の分光反射特性に急激な変化は無く、なだらかな変化であった。人間の目に感ずる色調を数量化した色度の差でみても標準色調板で±0.001、実際のトマトで±0.002程度であった。光源のゆらぎが1%程度あることを考えると10nm間隔の測

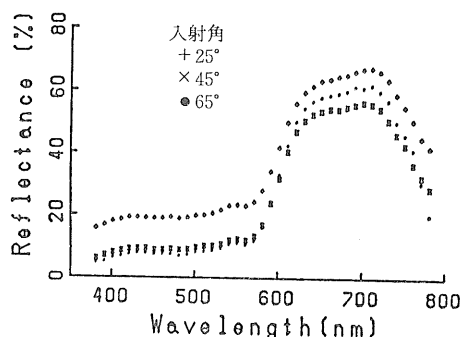


図2 トマトの入射角別分光反射特性例

Fig.2 Spectral reflectance of tomatoes as influenced by different 'incident angles of light source for the tomato

定で差し支えないことが分った。

トマトの測定では波長間隔を一定にした測定が容易に行える回析格子形分光器を使用して、10nmごとの測定を行った。しかし土壌と野菜等の測定は赤外域にわたるため、使用した分光器はプリズム方式となつて、波長送り軸を一定角度で回転させた場合波長間隔が一定にならず、半値幅も波長によって変化するので、あらかじめ5nm間隔で手動測定を行い、ステップングモータによる自動測定データとの比較をした。試料として加工用トマトのプラスチック製標準色調板、石膏、砂を使用してその分光反射率を求め色度を算出し検討した。その結果、その差が最大0.01程度であった。しかし個々の試料の相対差は十分識別できたので、可視域での自動波長送り間隔は10nm前後で行った。

なお、色度の算出は通常5nmもしくは10nmの等波長間隔で行うので、本試験では以下のニュートンの差商公式の2次項までを使用して10nm毎の値を補間して求めた¹¹⁾。いま求めようとする波長を λ 、反射率を $R(\lambda)$ とすると $R(\lambda) = R(\lambda_i) + (\lambda - \lambda_i) \cdot R(\lambda_i, \lambda_{i+1}) + (\lambda - \lambda_i) \cdot (\lambda - \lambda_{i+1}) \cdot R(\lambda_i, \lambda_{i+1}, \lambda_{i+2})$ となる。ここで $\lambda_i, \lambda_{i+1}, \lambda_{i+2}$ は実際のサンプリング波長で $\lambda_i < \lambda_{i+1} < \lambda < \lambda_{i+2}$ となるようにした。 $\lambda = \lambda_i$ なる波長が存在するときは当然補間は行わず $R(\lambda_i)$ を λ の反射率とした。

3.4 分光反射特性測定装置

3.4.1 トマトの分光反射特性測定装置

概要を図3に示す。測定面への照明および受光器の幾何学的条件はJIS Z 8722に記載されているように、測定面に垂直に照明した光線束の45°方向の反射光が分光器に入るような方法とした。光源を測定面から200mm

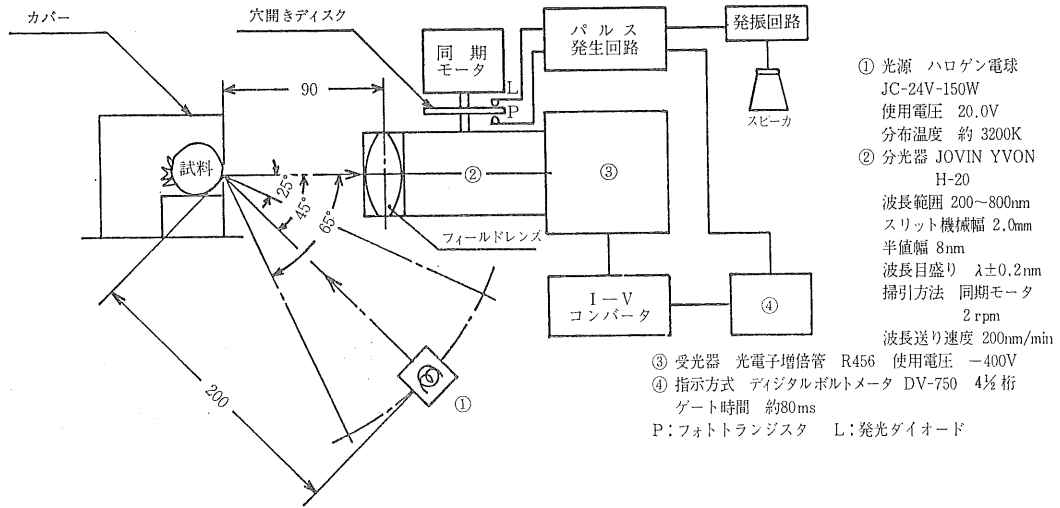


図3 トマトの分光反射特性測定装置と主要部の仕様

Fig.3 Schematic illustration of the instrument to measure spectral reflectance of tomatoes and specifications of its major partion

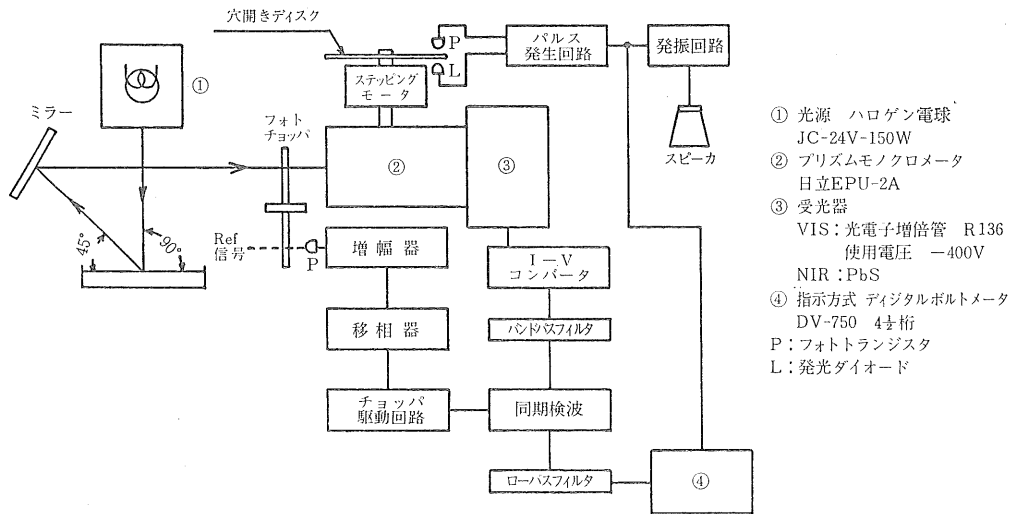


図4 土壌と野菜等の分光反射特性測定装置の概要

Fig.4 Schematic illustration of the apparatus to measure spectral reflectance of soils and plants

の距離に置き、光源以外の光の影響を防ぐため、試料を黒の塗装を施した容器に入れ、この容器に直径30mmの穴をあけ、測定面をこの穴にあてて試料を照射するようにした。測定面からの反射光は回析格子形分光器(JOVIN YVON H-20)のスリット直前に置いたフィールドレンズで回析格子に結像して分光され、受光器に入るように

なっている。

分光器の波長送りは同期モータで行い、可視光域(380nm~780nm)全域測定を2分間で行えるようにした。モータ軸には穴開きディスクを取付け、10nm置きに発光ダイオードからの光がフォトダイオードに入射するようにし、この信号を波形整形してデジタルボルトメータ

(DVM) のゲートに入れ、10nm 毎の反射光を読み取った。このとき読み取りミスを防ぐため、DVM 表示毎に約 1 秒間の発振音が出るようにした。

3.4.2 土壌と野菜等の分光反射特性装置

概要を図 4 に示す。測定面への照明および受光器の幾何学的条件はトマトの分光反射特性測定時と同様に測定面に垂直に照明した光線束の 45° 方向の反射光が分光器に入るような方法とした。この測定時には、近赤外域に水分の吸収帯があることが知られているので^{12),13)}、それらの検出もできるよう測定波長帯域を 400nm~2000nm とした。

測定面からの反射光はプリズムモノクロメータに入り、分光されて受光器に入るようになっている。受光器は可視域と赤外域を手動で切り替える方式とし、400~700nm の測定には光電子増倍管 R136 を使い、700~2000nm の測定には PbS セルを用いた。光源から試料面までの距離は 200mm で、間に表面にアルミを蒸着した反射鏡が入っている。

本試験では種々の試料について 400nm から 2000nm まで測定するため、データが多量になることが予想された。そのため波長の自動送りができるように、波長ダイアルの回転軸に 1パルスで 1.8° 回転するステップモータをとりつけ、一定のプリズム回転角ごとに測定を行えるように装置の改造を行った。ステップモータの送り速度は約 1 pps で行ない、サンプリング波長間隔は以下のようにした。

400nm~720nm : 8~16nm, 29点

700nm~2000nm : 13~51nm, 36点

可視域と赤外域のデータの接続は 700nm 付近で行ったが、この帯域は光電子増倍管、PbS 共に感度が低いため、3点ほど測定点を重ね合わせて反射率の平均を求めたが¹⁴⁾、再現性がやや不良となった。

この試験に使用した分光器はスリット機械幅を一定とした場合、波長が長くなるにつれて出射光の半値幅が大きくなるので、本試験においては可視域でスリット機械幅 0.2mm、赤外域では 0.3mm 一定とした。

測定はダイコンやニンジンなどの根菜は表皮の部分を作り、葉は切断してシャーレに入れて行った。キャベツ、レタスなどのように大きな葉はシャーレの位置に直接置いてそのまま測定した。キャベツ、ニンジンの子葉は鉢に密植したものをそのまま測定した。土壌等の試料は大きな塊は砕いてシャーレに入れ、表面がほぼ平らになるようにして測定した。なお、含水率は 105°C-24 時

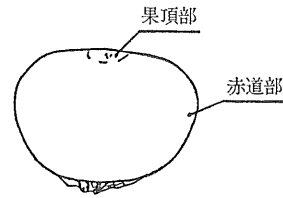


図 5 トマトの分光反射特性測定部位
Fig. 5 Locations on tomato fruit where spectral reflectance was measured

間法により求めた。

4. 分光反射特性の測定

4.1 トマトの分光反射特性の測定

4.1.1 試料の種類と熟度

試料として自家栽培のものと店頭で購入したものの 2 品種、45個を用いた。これらを、まず 12名の観測者で実物および写真により視感で熟度別に選別した。視感による選別は標準色調板を用いるのが望ましいが、加工用トマトのものしか無かったので断念し、観測者により試料を未熟、完熟およびそれらの中間的熟度に分類した。このような分類法は栽培関係者の三段階分類法とも一致するので、それらを緑熟、桃熟および赤熟とした。試料として緑熟 11個、桃熟 19個、赤熟 15個の測定を行った。

4.1.2 分光反射特性

分光反射特性は一個のトマトについて図 5 に示すように果頂部 1 点、赤道部 3 点の測定を行って同一測定波長での平均を取り、さらに同一熟度別に平均した。各熟度別分光反射率の平均および各測定波長における標準偏差

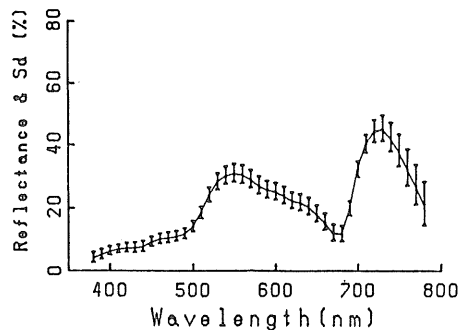


図 6 緑熟トマトの分光反射特性と標準偏差
Fig. 6 Spectral reflectance and its standard deviations of green tomatoes

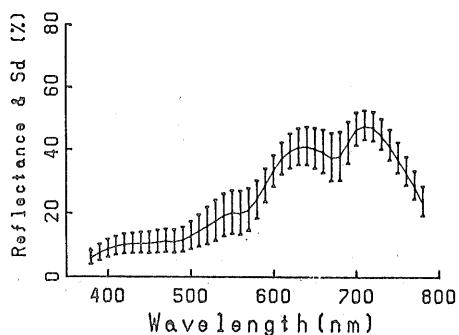


図7 桃熟トマトの分光反射特性と標準偏差
Fig.7 Spectral reflectance and its standard deviations of pink coloured mature tomatoes

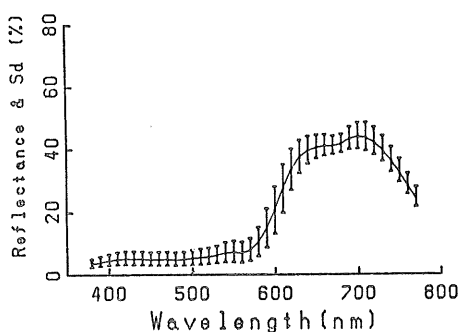


図8 赤熟トマトの分光反射特性と標準偏差
Fig.8 Spectral reflectance and its standard deviations of red coloured mature tomatoes

を図6～図8に示す。

これらの図より、熟度が進むにつれてクロロフィルの吸収波長帯域である680nm近辺の反射率が明らかに高くなるのが分る。緑熟トマトは未熟の固いものであるので、果色のむらも少なく標準偏差も小さい。赤熟トマトは完熟から過熟気味のものまであり、標準偏差もやや大きくなっている。分類上当然ではあるが、桃熟トマトは反射率のばらつきが大きく出ている。

4.2 土壌と野菜等の分光反射特性

4.2.1 試料の種類と個体数

表1にこれを示す。土壌については水分が絶乾状態のものから湿状態のものまで数段階の測定を行った。キャベツ5品種については外葉と結球部の測定を行った。その他の試料についても同一試料の経日変化等の測定も行った。子葉はシャーレに約1cm程度土をいれて播種し、発芽後約2週間経過したものを使用した。測定はいずれ

表1 測定試料の種類と個体数

Table 1 Measured materials

試料名	個体数	試料名	個体数
土	黒ぼく(畑の土) 7	茎	キャベツ 25
	壇壤土(田の土) 7 (+2)		レタス 7
	砂 7		ハウレンソウ 5
	鹿沼土 7		メヒシバ 5
根	ニンジン 8	葉	ダイコン 5
	ダイコン 5		ニンジン 9
有機質	ビートモス 8	子	キャベツ 4
	腐葉土 8	葉	ニンジン 4

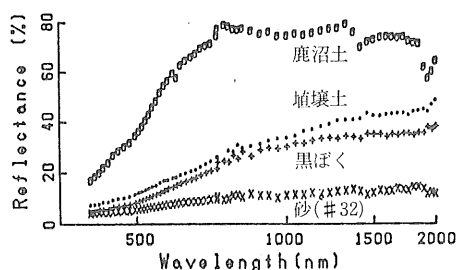


図9 土壌の絶乾時の分光反射特性と標準偏差
Fig.9 Spectral reflectance of dried soils

も各々2回繰り返して行った。

4.2.2 分光反射特性

土壌は組成成分等により種々に分類され、その色も多様であるが、本試験では組成の異なる4種を測定した。図9に土壌の絶乾時の分光反射特性を示す。

鹿沼土は可視域で急激に反射率が増加し、赤外域では水分の吸収帯を除いてほぼ一定となったが、測定した全域にわたって他の土壌より高い反射率を示した。その他の土壌は波長が長くなるにつれてなだらかに反射率が増加している。後述するように、水分によって反射率は相違するが、砂、黒ぼく、壇壤土、鹿沼土の順に反射率が高くなる傾向は変わらない。

図10にニンジンの茎葉の分光反射特性とその標準偏差を示す。他の茎葉の分光反射特性もニンジンと同様の傾向を示し、緑の波長帯である550nm付近に小さなピークを有し、クロロフィルの吸収波長帯である680nm付近で極小値を示した後、急激に増加してほぼ一定となる。赤外域では水分の吸収帯である1440nmと1930nm付近で極小値を示した。

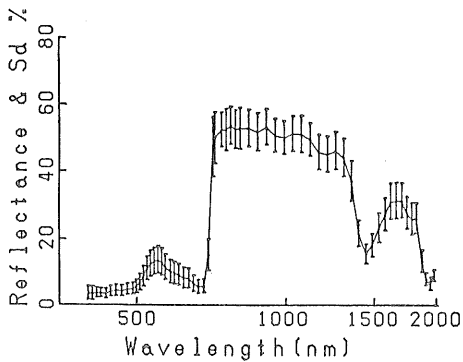


図 10 ニンジンの葉の分光反射特性と標準偏差
Fig. 10 Spectral reflectance and its standard deviations of carrot leaves

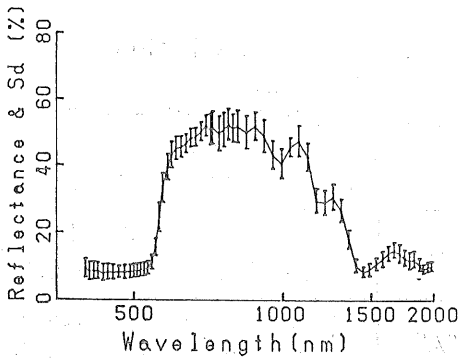


図 11 ニンジンの分光反射特性と標準偏差
Fig. 11 Spectral reflectance and its standard deviations of carrots

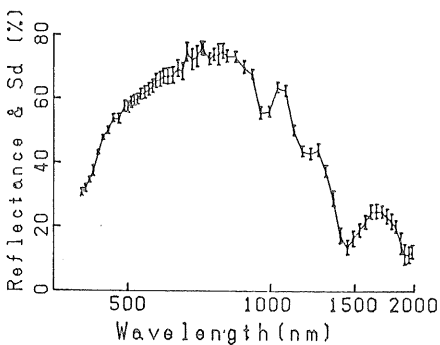


図 12 ダイコンの分光反射特性と標準偏差
Fig. 12 Spectral reflectance and its standard deviations of radishes

図11にニンジンの分光反射特性とその標準偏差を示す。分光反射率は550nm付近より急激に増加し、1000nmと1150nmに極小値を有しているが、これが何に起因しているのかは明確ではない。1400nm以上では反射率は低くなり、ほぼ一定となっている。

図12にダイコンの分光反射特性とその標準偏差を示す。反射率は可視域でなだらかに増加しており、他と比較して高い。赤外域では950nm付近と1150nm付近に極小値を有しているが、ニンジンと同様これが何に起因しているのか明確でない。1450nmと1950nm付近の極小値は水分の吸収によるものと思われる。

5. 色調による識別精度

色度は人間の目に感ずる色調を数量化したものであり、照明光の分光分布と対象物の分光反射率から算出できる。視感により熟度選別したトマトの色度を算出すれば、慣行の選別精度が色度による色差から求められる。そこで、最初にこの慣行の選別精度を照射光の影響を含めて検討してみることにした。

5.1 トマトの熟度選別

個々のトマトのうちでも測定部位によるばらつきがある。これは桃熟、赤熟トマトにおいて大きく、緑熟トマトでは小さい。個々の測定部位のみの比較では桃熟期の赤色部と赤熟期はほぼ同一となり、識別は不可能になるので、果頂部と赤道部の測定値の平均で全体の色度を算出した。

分光反射率からの色度算出法はJISにも記載されているように照明する光源によって異なる。“A”色度は光源が電球光の場合であり古くから使用されているが、最近では人工昼光による色度 D_{65} が多用されている。 D_{65} 色度は昼光下での人間の目の源刺激に近いものである。図13は図14を色度全体より見たものであるが、個々の識別が困難である。以後、データを詳細に検討するため単に座標のみで示すことにする。図14に D_{65} 光照射下の色度を、図15に“A”光照射下の色度を示す。

色度による各熟度別の選別精度を知るため、判別分析によって判別関数を算出するとともに、個々の判別確率を求めた。今2つの独立母集団A, Bの平均値, 分散, 共分散がそれぞれ $\bar{x}_1, \bar{y}_1, Sx_1, Sxy_1, \bar{x}_2, \bar{y}_2, Sx_2, Sy_2, Sxy_2$ であるとする。平均値の差を $\Delta\bar{x}, \Delta\bar{y}$ とすると、誤分類確率が等しくなるような判別境界の判別関数は2変数の場合、次式によって求めることができる¹⁵⁾。

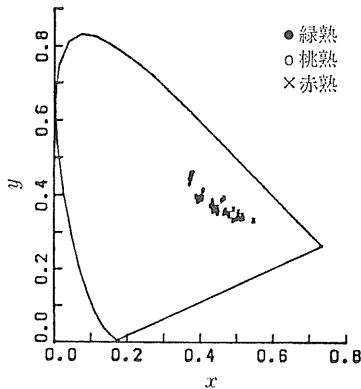


図 13 色度座標全体よりみたトマトのD₆₅光照射下の色度と熟度

Fig. 13 The chromaticity versus maturity of tomatoes under CIE D₆₅ artificial daylight

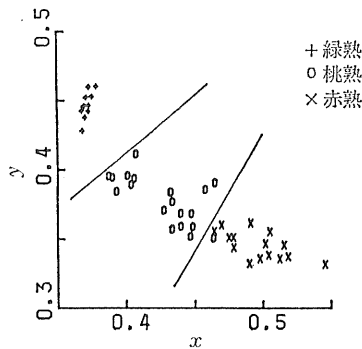


図 14 トマトのD₆₅光照射下の色度と熟度および判別直線

Fig. 14 Chromaticity versus maturity of tomatoes under CIE D₆₅ artificial daylight

$$\{\Delta\bar{x}(S_{y_1}+S_{y_2})/2+\Delta\bar{y}(S_{xy_1}+S_{xy_2})/2\} \cdot \{x-(\bar{x}_1+\bar{x}_2)/2\} + \{-\Delta\bar{x}(S_{xy_1}+S_{xy_2})/2+\Delta\bar{y}(S_{x_1}+S_{x_2})/2\} \cdot \{y-(\bar{y}_1+\bar{y}_2)/2\} = 0$$

また、この判別関数(直線)に直交する関数X上に2つの母集団を正規化し、関数X上での母集団の平均および標準偏差から2つの母集団の判別確率を求めることができる。その結果、各熟度を分ける判別関数は表2のようになった。これらを図14, 15中に直線で示した。

判別確率は判別直線近傍の測定点ほど悪くなるが、それでも90%程度の判別確率であった。色度による選別は判別関数からも分るようにD₆₅とAではかなり違ってい

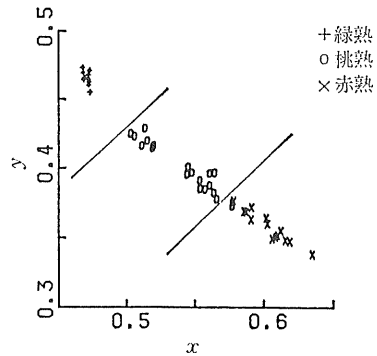


図 15 トマトの“A”光照射下の色度と熟度および判別直線

Fig. 15 Chromaticity versus maturity of tomatoes under “A” light source

表 2 色度図上におけるトマトの熟度別判別関数

Table 2 Discrimination equations for different degree of maturity of tomatoes based on the chromaticity coordinates

D ₆₅	緑熟—桃熟	$y=0.83x-0.08$
	桃熟—赤熟	$y=1.67x-0.41$
“A”	緑熟—桃熟	$y=0.92x-0.03$
	桃熟—赤熟	$y=0.96x-0.17$

る。すなわち、照射光によりその値が異なることに留意する必要がある。

5.2 土壌と野菜等の識別

図16にD₆₅光照射下の色度を、図17に“A”光照射下の色度を示す。土壌は水分が低くなるに従ってその値が小さくなる傾向にあり、xとyの間には高い相関があることが分る。同様に子葉を含む茎葉、有機質土壌等にも各々高い相関があることがうかがえる。

各試料別の判別関数を表3に示す。いずれの場合も1~2の試料が90%前後、それ以外は100%の判別確率となっている。D₆₅光照射下で鹿沼土の高水分状態のものはニンジン根部との判別確率が低くなっているが、鹿沼土でニンジンが栽培されることは無いので事実上差し支えないものと思われる。

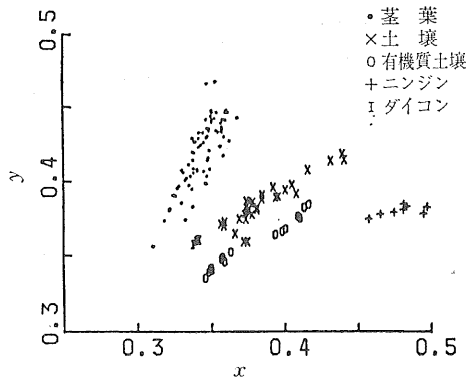


図 16 土壌と野菜等のD₆₅光照射下の色度
Fig. 16 Chromaticity of soils and plants under CIE D₆₅ artificial daylight

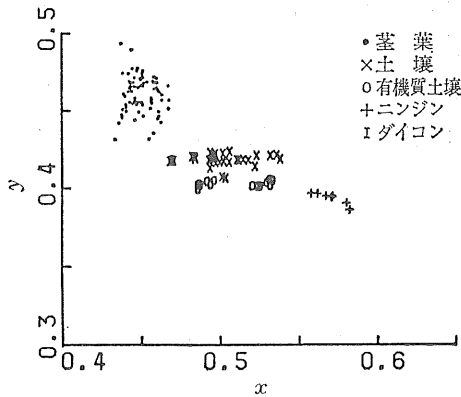


図 17 土壌と野菜等の“A”光照射下の色度
Fig. 17 Chromaticity of soils and plants under “A” light source

6. 分光反射特性を利用した識別方法

色度による識別は色調そのものを評価する意味で本質的であるが、測定手順が複雑になるし、照射光の影響を受ける欠点がある。そこで更に簡便な方法として、対象物体の分光反射特性の特定の2波長帯域の反射率を比較する方法を検討した。

6.1 トマトの光吸収と熟度

6.1.1 波長帯域の選定

前記したように熟度別の分光反射(吸収)曲線は顕著な相違が認められる。そこで、各熟度によって反射率の変化の大きい波長帯域と変化の少ない波長帯域の差もしくは比を求めることによって熟度選別を行うことが考え

表 3 色度図上における土壌と野菜等の判別直線
Table 3 Discrimination equations for soils vs. plants based on the chromaticity coordinates

試料対	“A”	D ₆₅
S-L	$y = 1.191x - 0.128$	$y = 1.522x - 0.153$
S-R	$y = 83.664x + 41.020$	$y = -0.024x + 0.395$
S-C	$y = 1.910x - 0.618$	$y = 9.824x - 3.853$
S-O	$y = 0.610x + 0.144$	$y = 0.007x + 0.504$
R-L	$y = 0.388x + 0.260$	$y = -1.955x + 1.077$

注：Sは土壌，Lは葉，Rはダイコン，Cはニンジン，Oは有機質土壌を示し，S-Lは土壌と茎葉の判別を示す。他も同様。

られる。

ここで反射率比を求めるための特定二波長帯域としてどこを選定するかが問題となる。そこで図6～図8の分光反射曲線や文献等から次の5波長帯域の反射率を選定した。

$$\bar{R}_b = (R_{440} + R_{450} + R_{460}) / 3$$

$$\bar{R}_g = (R_{540} + R_{550} + R_{560}) / 3$$

$$\bar{R}_o = (R_{620} + R_{630} + R_{640}) / 3$$

$$\bar{R}_c = (R_{670} + R_{680} + R_{690}) / 3$$

$$\bar{R}_r = (R_{710} + R_{720} + R_{730}) / 3$$

但し，R₄₄₀は440nmにおける反射率を表わす。

これらのうち反射率の差について検討を行ったものは($\bar{R}_g - \bar{R}_b$)のみで、他の4波長については任意の二波長の組合わせを取り、その反射率比すべてについて平均、標準偏差を算出して判別精度を検討するとともに、選定波長帯域の中心を10nmずつ前後20nmずつずらしての検討も行った。例として、赤熟トマトの550nm/680nmの平均は2.12、標準偏差は0.21となった。なお、参考としてD₆₅色度の視感反射率Yについての検討も行ってみた。なお、特定二波長の反射率の比もしくは差を30nmの平均とした理由は、反射光のうち特定二波長の反射率の比もしくは差のみを得る場合、実用的には干渉フィルタの使用を考えているので、その帯域幅を考慮して決めたものである。

判別精度を求めるにあたっては、各試料の特定二波長の反射率の比もしくは差の値が熟度別に正規分布に従うものと仮定して、図18に示すようなモデルを想定し、ふたつの確率密度関数の交点を算出して誤分類確率を求め

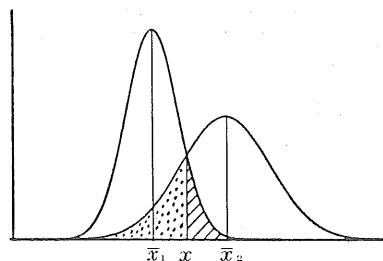


図 18 特定二波長の反射率の比(もしくは差)の分布想定モデル

Fig. 18 A distribution model of ratio of reflectance rate between two specific wavelengths

た。判別点 x は

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}(x-\bar{x}_1)^2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(x-\bar{x}_2)^2}$$

より求められ、 $u_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma_i}$ として正規化すれば誤分

類確率は $Q(u) = \int_u^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$ として求められる。

6.1.2 光吸収による選別の確率

上記に基づいて任意の波長の組み合わせを選択したときに、各熟度に分類される確率と他熟度の混入確率を表4に示す。

識別確率を求めるに先だて、各熟度が他熟度の母集団と分離可能かどうかを知るため分散分析を行った後、1%有意のものについて熟度間の検定を行った。識別精度の基準としては、加工用トマトなどは赤熟がより多く取り入れられ、緑熟ができるだけ少ないことが望ましいので、これを一つの目安とした。なお、トマトの場合、追熟現象があるので桃熟が赤熟にある程度混入することは差し支えないものと思われる。

表4より550nmにおける反射率を被除数とした二波長の反射率の比は、いずれも緑熟の混入する確率は0%であり、桃熟の混入する確率も3.5%程度と良好な識別結果が得られたので、加工用トマトなどに適用しても事実上差し支えないものと思われる。また、630nmと680nm、630nmと720nmの組み合わせは不適であることが分かった。

また、選定した中心波長を10nmずつずらした検討の結果においても、中心とした波長と同様な傾向を示した。

6.2 土壌と野菜等の識別精度

6.2.1 波長帯域の選定と算出法

一般に分光反射(吸収)特性の可視域での吸収は色に

表4 トマトの特定二波長の反射率の差及び比による熟度別誤分類確率(%)

Table 4 Miss classifying probabilities for the maturity of tomatoes by spectral reflectance ratio method

反射率比 又は差	赤熟の 確率	緑熟が赤熟に 混入する確立	桃熟が赤熟に 混入する確立
g-b	100.0	0.0	16.3
o/g	89.2	0.0	3.5
c/g	88.0	0.0	3.7
r/g	87.3	0.0	3.6
g/o	100.0	0.0	11.8
g/c	100.0	0.0	12.5
r/c	100.0	0.0	23.3
g/r	100.0	0.0	10.7
c/r	95.5	0.0	20.4
Y	97.9	3.6	13.1

注: c/o, r/o, o/r は t 検定において 5% 有意にならなかった。

より、赤外域での吸収は化学的結合により生ずると言われている。本試験では 2000nm まで測定したので、波長比を取るための組み合わせには、トマトの熟度選別の結果を考慮して以下の代表的な四波長帯域を選定した。可視域では緑の葉の反射率が高い 550nm、クロロフィルの吸収帯である 680nm、赤外域では土壌を除く多くの試料が高い反射率を示した 800nm そして水分の吸収帯であることが知られている 1450nm とした。

各々の波長帯域の計算は、実際の光電識別センサを作ることを想定して、干渉フィルタの分光透過特性をガウス関数で近似し、図19に示すように試料の分光反射率との積をその波長帯域の実効反射率として以後の解析を行った。計算は 1450nm はフィルタの半値幅を 45nm、すなわちガウス関数で $\sigma=38.8\text{nm}$ として 5nm ずつ 21点、その他は半値幅 15nm ($\sigma=11.6\text{nm}$) で 2.5nm ずつ 13点をニュートンの補間法により求めて数値積分を行った。

6.2.2 二波長の反射率と相関

上記の方法によって算出した4種の波長帯域の組み合わせは6組有り、これを散布図として図示することができる。試料の識別はこの散布図を見ることによりおおその目安をつけることができる。図20に種別の相関が高い 550nm-680nm 対の例を示す。土壌の相関係数は 0.985、茎葉の相関係数は 0.956 となった。図において、土壌の

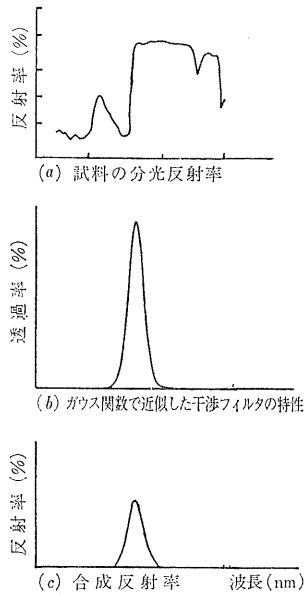


図 19 合成反射率の作成法
Fig. 19 Calculating method for reflectance of specific wavelength

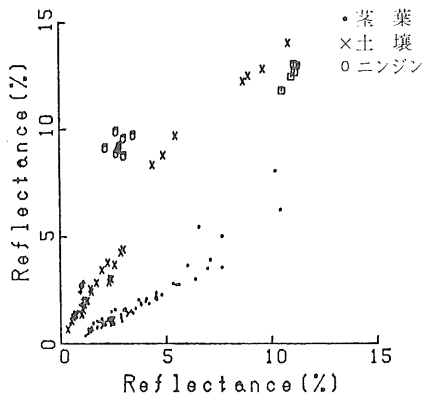


図 20 土壌と野菜等の550nmと680nmにおける散布図

Fig. 20 Ratios of reflectance between 550nm and 680nm for soils and plants

中で高い反射率を示している7点は何れも鹿沼土である。試料の種類別と各波長対の相関行列表を表5に示した。

6.2.3 土壌と野菜等の誤分類確率

トマトの熟度選別の時と同様に波長比が正規分布に従うものとして、2つの交点より誤分類確率を算出した。図21に種別の680nm/550nmの実際の様子を示した。ま

表 5 土壌と野菜等の特定二波長の相関係数
Table 5 Coefficients of correlation of spectral reflectance ratio for soils and plants

波長対 (nm)	土壌	茎葉	ニンジン	大根	有機質土壌	全体
550-680	0.986**	0.956**	0.297	0.953*	0.882**	0.741**
550-800	0.982**	0.222*	0.281	0.886*	0.857**	0.620**
550-1450	0.771**	0.012	0.062	0.701	0.883**	0.047
680-800	0.994**	0.175	0.250	0.930*	0.974**	0.403**
680-1450	0.706**	0.021	0.083	0.751	0.924**	0.209*
800-1450	0.746**	0.272*	0.817*	0.935*	0.955**	0.088*
個数	30	84	8	5	16	143

注) * : 5% 回帰の有意性
** : 1% 回帰の有意性

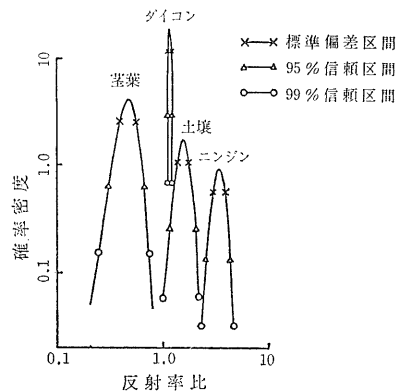


図 21 土壌と野菜等の550nmと680nmにおける反射率比の分布

Fig. 21 Distribution of reflectance ratio between 550nm and 680nm for soils and plants

た、各波長比と試料対についての識別結果を表6に示した。

表6より、識別しようとする試料の種類が決まれば、どの波長帯域を選定すれば良いかが推定できる。ダイコンと有機質土壌のようにどの波長比を選定しても完全に分離できるものもあるが、土壌と有機質土壌のように一般的に識別精度はあまり良くないが、1450nm との比を取ることで識別可能になるものもある。

同様の手法を用いて茎葉どうしの比較をしてみると、レタスのような浅緑の試料とホウレンソウのような深緑の試料の識別は550nmと800nmの比を取れば可能性があることが分かった。

表6 土壌と野菜等の特定二波長の反射率比の判別点と識別精度
 Table 6 Discriminated points and discriminating accuracy of spectral reflectance ratios for soils and plants

試料対 反射率比	L-S	L-O	L-C	L-R	S-O	S-C	S-R	O-C	O-R	C-R
550	**	***	***	***	*	**	*		***	***
680	0.986	0.778	0.486	0.937	0.547	0.409	0.835	0.361	0.804	0.710
550				*	*		*		***	***
800	0.385	0.274	0.355	0.796	0.289	0.360	0.798	0.241	0.650	0.698
550			—	*			***	***	***	***
1450	1.347	0.176	—	3.429	0.171	1.242	2.834	0.220	0.274	2.739
680	***	***	***	***		**			***	***
550	0.819	0.857	0.999	1.024	1.907	2.212	1.197	2.844	1.215	1.247
680	*		**	***				***	***	
800	0.483	0.367	0.634	0.852	2.072	0.824	0.918	0.635	0.809	0.930
680	—		**	***			*	***	***	
1450	—	0.382	3.280	3.362	0.390	3.823	3.801	0.580	0.643	5.595
800			—		*				**	***
550	2.993	4.037	—	1.255	3.401	2.915	1.247	4.403	1.299	1.285
800								**	***	
680	2.071	2.900	1.431	1.122	1.760	1.253	1.093	1.429	1.142	1.077
800		*				**		***	***	
1450	2.630	0.800	5.234	4.508	0.754	4.484	3.900	1.146	1.065	5.755
1450		***			**	**	*	***	***	**
550	1.872	4.273	0.820	0.297	5.407	0.868	0.309	1.300	0.426	0.311
1450	—				**	*	**	***	***	
680	—	2.758	0.260	0.262	2.588	0.262	0.264	0.337	0.326	0.183
1450		***					*	***	***	
800	0.598	0.957	0.197	0.233	1.402	0.213	0.257	0.283	0.354	0.178

注) * : 95%判別できるもの
 ** : 99%判別できるもの
 *** : 100%判別できるもの

L : Leaves R : Radish
 S : Soils O : Organic Matters
 C : Carrot

この結果を応用して、ダイコン、ニンジン等の茎葉部と根部との切断分離、すなわち剪葉工程での光電識別を考えると、550nm と 680nm を識別波長として用い、その比を取ればかなりの精度で剪葉位置の識別が可能であ

ると考えられる。

7. その他の検知の可能性等について

7.1 水分検知について

図22に黒ぼくの分光反射特性を水分別に示した。水分が増すにつれて反射率は全域に渡って低下している。この傾向は他の土壌でも同一である。特定の波長帯域の反射率を利用して土壌の水分を検知しようとする試みが幾つかなされているので、波長比と水分の関係を調べてみたが、測定した4種の土壌全般に共通する明確な結論は得られなかった。

この試験は一つの試料の測定に多少時間を要したので、測定中に土壌表面が若干乾燥する傾向が見られた。今回のような測定法では土壌表面のみの水分を測定することになるため、正確に含水量を検知することは難しいと考えられたが、測定時に試料が照射光源の熱で加熱乾燥されない等の工夫をすれば土壌の含水量を検知できる可能性がある。

7.2 蛍光発光について

クロロフィルは生葉中にあるとき紫外線照射によって常温で685nm, 693nm, 733nmに極大値を持つ蛍光発光を示すことが知られている¹⁶⁾。これを調べるため、蛍光の励起光源に20wのブラックライト蛍光灯(最大発光波長約360nm)を使用して試料への照射を行った。しかし、今回の測定では蛍光発光は確定できなかった。たとえ蛍光発光が生じていても微弱であると考えられ、反射光と比較して小さいので、これによって識別を行うことは事実上不可能と考えられる。

8. 識別装置の検討

これまでの検討結果より、図23に示すような二波長の光反射(吸収)比を利用する光電識別装置を試作した。電源としては手軽なバッテリーを使用し、光源には自動車用の12Vの電球もしくは小型のハロゲンランプが使用可能になっている。この装置は2つの受光器を照射面よりそれぞれ45°の角度に設置するようになっている。

なお、本装置に使用した干渉フィルタ(直径20mm)は透過中心波長の両側90nm近辺のところから副透過帯が現われる。フォトダイオードの分光感度や照明光源の分光分布より、短波長側は無視できるが、長波長側は打ち消す必要がある。そのため、550nm用フォトダイオードの前には赤カットフィルタ、680nm用フォトダイオードの前には赤外遮断フィルタが収納されている。図に示

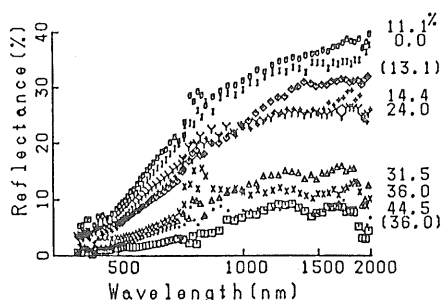


図 22 黒ぼくの水分別分光反射特性

Fig. 22 Spectral reflection characteristics of the Kuroboku soil

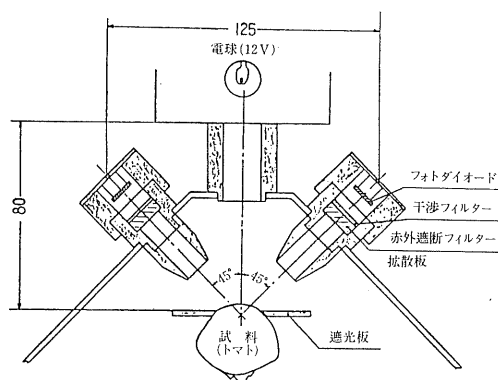


図 23 試作光電識別装置

Fig. 23 The prototype photoelectric discriminating instrument

すようにフィルタ等のホルダはネジ込み式に作ってあるので、簡単に分解できるようになっている。フォトダイオードからの出力電流は同軸ケーブルで対数増幅器に入力し、2つの測定波長の比を取るようになっている。

9. むすび

以上、トマトの熟度選別および土壌と野菜等の識別を光電的に検出する方法についてその識別精度を検討してきた。まず色調による方法であるが、識別精度はかなり良好である。しかし、これは照射光による影響を受けるし、識別装置も高価になる。センサが農業機械を対象としていることを考えると、照射光の影響はできるだけ少ないことや、丈夫で安価なことが望ましい。

二波長の光吸収比による識別法は識別装置が簡単に作成できるとともに、干渉フィルタ等を交換することによ

りいづれの波長にも容易に対応可能である。さらに、この方法は光源の分光分布や照度による影響も比較的少なく、農業機械のセンサとして使用する場合も迅速な識別が可能である。但し、トマトの例のように1つの試料でもむらのあるものが多いので、数か所の平均を取って判定する必要がある。また、実際の作業時には泥等の付着があるので、それらを含めての検討も必要と思われる。

識別時に使用する波長帯域としては550nmと680nmの反射率の比を取れば広範囲に適用可能であることが判明した。また、この特定二波長比を利用する方法を異なる試料に適用するには判別点を変えるだけでよい。

なお、実際の装置では光学的な識別は瞬時に可能であるが、機構の方をいかに追従させるかが問題となるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 宮寺重遠：光合成Ⅱ，朝倉書店，1981，p.13-20.
- 2) 鈴木英雄：光信号受容の電子論，共立出版，1975，p.26-29.
- 3) 白石真一：カンキツ果実の着色に関する研究，福岡県立園芸試験場報告，第2号，1972，p.12-17.
- 4) 中馬豊・志賀徹・守田和夫：光反射利用による温州ミカンの選別自動化に関する研究（第1報），農機誌，第40巻，第3号，1978，p.389-395.
- 5) 農山漁村文化協会：農業技術体系，野菜編2，トマト1979，p.130-133.
- 6) 加工トマト研究会会議資料：野菜試験場，1975.
- 7) 農林水産省果樹試験場編：果実及び葉のカラーチャートの開発と利用方法に関する研究事例集，1982.
- 8) J. J. Gaffney：Reflectance Properties of Citrus Fruits., TRANSACTION of the ASAE, Vol.16, No. 2, 1973, p.310-314.
- 9) A. W. Hooper, et al：A Photoelectric Sensor for Distinguishing Between Plant Material and Soil., J. agric. Engng Res. Vol.21, 1976, p.145-155.
- 10) JIS Z8722-1981：物体色の測定方法.
- 11) C. R. ワイリー：工業数学（上），ブレイン図書出版，1982，p.88-89.
- 12) A. W. Hooper：Estimation of the Moisture Content of Grass from Diffuse Reflectance Measurement at Near Infrared Wavelengths., J. agric. Engng Res. Vol.25, 1980, p.355-366.
- 13) 農業技術研究所研究成績書，（作況調査研究室），昭和52，53，54，55，56，57.
- 14) 中川靖夫・大谷文雄：受光器分光感度の紫外・可視域での精密測定（2），照明学会誌，第67巻，第10号，1983，p.514-519.
- 15) M. G. ケンドール：多変量解析の基礎，サイエンス社，1982，p.121-142.
- 16) 宮寺重遠：光合成と物質生産，理工学社，1980，p.22-23.

Summary

Application of Spectral Reflectance to the Photoelectric Sensor to be used for Agricultural Machinery Mitsuo SUZUKI, Yasuo NAKAGAWA

Accuracy of spectral reflectance in discriminating some vegetables each other or from soils and in identifying the degree of maturity of tomatoes was investigated in this study based on the conceptual design which aims at development of a convenient and cheap sensor by making use of spectral reflectance.

To determine accuracy of discrimination by human naked eye, tomatoes were classified by 20 examiners into three stages of ripeness : green, pink, and red color stages. Then, spectral reflectance was measured for each stage, and chromaticity was calculated from the spectral reflectance. Discrimination analysis on chromaticity coordinates was employed.

On the other hand, the bi-band ratio method, in which ratio of light reflectance between two different wavelength bands is measured, was employed to discriminate different kinds of vegetables each other, such as lettuce from spinach, radish from carrot, etc, and vegetables from soils, as well as to identify the degree of maturity of tomatoes. For tomatoes, 4 specific bands centering wavelength of 550nm, 630nm, 680nm and 720nm were selected, while 550nm, 680nm, 800nm and 1450nm were selected to discriminate vegetables from soils and vegetables each other.

Assuming that the distribution of reflectance ratios would be a normal distribution, the miss classifying probabilities were calculated from the Gaussian function for the bi-band method to investigate its discriminating accuracy.

As the results, it was made clear that the accuracy of both methods is fairly high, but chromaticity method is affected by the difference of light source and its discriminating instrument is comparatively costly while the bi-band method has many advantages. It can utilize optical filters commercially available at a low price, it is less influenced by the differences of light source, and the construction of the instrument can be made easily and cheaply.

The ratio of 550nm by 680nm was able to show the highest accuracy in discriminating both the degree of maturity of tomatoes and vegetables from soils, and therefore the ratio can be utilized widely for conducting mechanized farm operations such as mechanized thinning, topping, etc.

This experiment was done in the Faculty of Engineering, SAITAMA University. The authors are pleased to acknowledge that the measurement of spectral reflectance was carried out by two co-workers with them.

農業機械化研究所報告 第20号

Technical Report of Institute of
Agricultural Machinery No.20

昭和61年3月20日 印刷・発行

領価 1,500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) 与野市鈴谷1140番地