

イチゴ高密度植移動栽培における作業性の調査と適正規模の 導出

誌名	農業機械學會誌
ISSN	02852543
著者名	齋藤, 貞文 林, 茂彦 山本, 聡史 岩崎, 泰永 高橋, 信行
発行元	農業機械學會
巻/号	74巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 457-464
発行年月	2012年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



イチゴ高密植移動栽培における作業性の調査と適正規模の導出*

齋藤貞文^{*1}・林 茂彦^{*1†}・山本聡史^{*1}・岩崎泰永^{*2}・高橋信行^{*3}

要 旨

イチゴの移動栽培装置における栽培ベッド移動に要する動作時間と作業能率との関係を明らかにすることで作業時間を制約条件として実用し得る最大の装置面積を導出した。収穫作業が最も大きな制約条件であり、栽培ベッド1台あたりの収穫作業時間は、収穫果数が少ない時期では装置のサイクル時間を必要とし、収穫果数が多い時期ではサイクル時間とは関係なく収穫果数と作業者の採果速度と収容動作時間により決定された。作業時間をシミュレーションした結果、収穫最盛期に作業者2名の導入を前提として、装置規模は770m²程度まで拡大可能であった。装置をより大規模化するためには、装置の稼働時間の短縮と同時に収穫作業時間の短縮が必要であった。

[キーワード] イチゴ, 移動栽培, 高密植, 作業性, 適正規模

Study on Work Efficiency and Practical Scale of a Movable Bench System for Strawberry Cultivation*

Sadafumi SAITOH^{*1}, Shigehiko HAYASHI^{*1†}, Satoshi YAMAMOTO^{*1},
Yasunaga IWASAKI^{*2}, Nobuyuki TAKAHASHI^{*3}

Abstract

To elucidate the practical scale of a movable bench system for strawberry cultivation, we investigated harvesting efficiency using the system. Our results indicated that working hours required for harvesting per cultivation bed depended on the number of mature fruits. If there were relatively few fruits, the working hours depended on the cycle time of the system. In contrast, if there were many fruits, the working hours, which increased in proportion to the number of fruits, were affected by the picking and placing speed of the operator. It also appeared that the maximum practical scale of the system was approximately 770m² with two operators.

[Keywords] strawberry, movable cultivation system, high-density cultivation, work efficiency, optimal area

I 緒 言

近年、我が国では、植物工場の普及・拡大に向け、植物工場における野菜の重量あたりの生産コストを3割削減し、設置数を3倍に増加させることを目標とした植物工場拠点の整備と技術確立の取り組みが活発化している。その理由として、食の安心・安全に対する消費者意

識の高まりや、国産食材を安定供給していくための新たな体制整備の一翼を担うものとしての期待が挙げられる(農林水産省, 2009)。また、植物工場は、工業分野で生まれた先進技術を農業に活用する、農業分野の生産性向上と、その実需者である商業分野・工業分野との緊密な連携により、消費者に対して付加価値の高い農産物を提供するといった二つの面で農商工連携の象徴的な取り組

* 2010年9月第69回農業機械学会年次大会(松山)にて一部講演

*1 会員、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター(〒331-8537 さいたま市北区日進町1-40-2 TEL 048-654-7000)

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution, Nisshin, Kita, Saitama, Saitama, 331-8537 Japan

*2 宮城県農業・園芸総合研究所(〒981-1243 宮城県名取市高舘川上字東金剛寺1番地 TEL 022-383-8111)

Miyagi Prefectural Institute of Agriculture and Horticulture, Takadate, Natori, Miyagi, 981-1243 Japan,

現在:(独)農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所

*3 同上、現在:宮城県庁

† Corresponding author: shigey@affrc.go.jp

みと考えられ、大きな意義を有している。

現在、稼働している植物工場の大半は葉菜類、花き、野菜・花きの苗等を対象にしたものである。果菜類については栽培技術が未確立であることから、実稼働している植物工場は少ない。また、植物工場において、一般的な工場のように土地生産性を高めるため、機械の配置や通路構成などを綿密に計画するような考え方が提唱されている(池田, 2010)。さらに、作業者が移動するのではなく、工場のライン生産のように、作物を移動させながら栽培することにより、労働生産性が大きく向上すると考えられる。

吉田ら(2008)は、収量の飛躍的向上と作業の効率化のため、イチゴの栽培ベッド間の通路をなくし、栽培ベッドを平面的に循環移動させ高密度栽培を行うイチゴの高密度移動栽培装置のプロトタイプを開発した。しかし、吉田らの装置では横移送機構および縦移送機構が独立して栽培ベッドを移送するため、作業内容や速度によっては次のベッドが作業位置に来るまでに待ち時間が生じ、作業性が低下することが危惧された(林ら, 2008)。そこで、栽培ベッドの移送能率とシステムの安定性を向上させるため、2台の縦移送機構を同期制御するとともに、栽培ベッドを一方向のみに横移動させる方式の移動栽培装置が開発された(Hayashi et al., 2011)。

これらの循環型移動栽培装置を利用した栽培では、栽培ベッドを移動させることにより、作業者がほぼ定位置で作業できる。慣行作業のように手押し台車を使用しながらの作業や資材等の運搬を要しないため、作業性の向上が期待される。これまで、このような定置における作業、特にイチゴのような軟弱な果実を扱う作業の調査や解析の例は少ないことから、循環型移動栽培装置における作業性を解析する必要がある。

また、イチゴ栽培において収穫期間中は、給液の他、収穫や管理作業が毎日行われている。循環型移動栽培装置では、栽培ベッドを循環移動させながら養液供給するため、栽培ベッドを毎日周回させなければならない。装置の規模拡大を行うと、栽培ベッド1周にかかる時間が過大になり、作物の管理が行き届かず、生育が滞るとともに、収穫適期の果実を収穫できないことも危惧される。こうした制約条件を踏まえ、循環型移動栽培装置の最適な導入規模を明らかにする必要がある。

本報では、循環型移動栽培装置(Hayashi et al., 2011)を用いて、イチゴの移動栽培における各種作業(定植、収穫、栽培管理)の作業性を調査する。また、その調査結果を基に、栽培ベッドの周回時間と作業能率との関係を明らかにするとともに、作業時間をシミュレーションすることにより実用可能な最大の装置面積を導出する。

II イチゴ移動栽培装置

1. 装置の概要

本研究で用いたイチゴ移動栽培装置は、縦16.0m、横

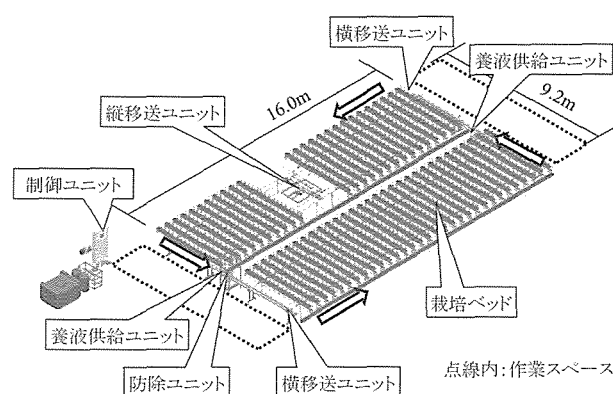


図1 装置の概要

Fig. 1 Schematic diagram of movable bench system for strawberry cultivation

9.2mの約150m²規模で、農家は場の連棟ハウス(20m×10.8m、宮城県名取市)内に設置されている。図1と表1に本装置の概要と諸元を示す。装置は横移送ユニット、縦移送ユニット、養液供給ユニット、防除ユニット、制御ユニットおよび栽培ベッドにより構成される。イチゴを栽培する栽培ベッドは、50cm間隔で装置上に合計62台搭載され、1台の栽培ベッドには1mのプランタが4台搭載されている。1台のプランタで片側1条に8株(株間12.5cm)から10株(株間10cm)が栽培される(岩崎ら, 2012)。

装置全体の動作は、以下のとおりである。最初に栽培ベッドが横移送ユニットに載った状態から、ベルトコンベアにより横移送される。次に、フック付の引き込み棒のフックを伏せた状態でスライドさせ、栽培ベッドの下を通過させた後、フックを起立させる。その後、引き込み棒を逆方向にスライドさせ、起立させたフックに栽培ベッドを引っ掛け、1ピッチ分(50cm)縦移送させる。栽培ベッドは手前の横移送ユニットから縦移送ユニットに載り移り、縦移送ユニットから奥の横移送ユニットに押し出される。この一連の動作を1サイクルと定義する。これを繰り返すことで栽培ベッドを循環移動させる。栽培ベッドが1周する周回時間は、約1.2時間(1サイクルは67s)である。

定植や収穫などの作業は、図1に示す作業スペースにおいて、静止もしくは移動している栽培ベッド(ベッド高さ1.08m)に対して行う。給液は、養液供給ユニットにより、横移送ユニット上の栽培ベッドが横移送される際に行われる。同様に防除も防除ユニットを用いて行われる。給液は2基の養液供給ユニットにより行うため半周の循環移動が必要となり、防除は1基の防除ユニットにより行うため1周の循環移動が必要となる。

装置は、作業モード、給液モード、防除モードの3つのモードを設定できる。作業モードは定植作業や収穫作業等を行う際に使用し、設定した回数分、連続的にサイ

表 1 装置の諸元

Table 1 Specifications of movable bench system for strawberry cultivation

装置サイズ	縦 16.0m×横 9.2m
制御ユニット	PLC によるシーケンス制御
横移送ユニット	タイミングベルトコンベア 機長：8050mm, ベルト幅 50mm (2列) コンベア用モータ：AC モータ (90W)
縦移送ユニット	引き込み用モータ：AC モータ (90W) 回転用モータ：低速シンクロナスモータ (30W)
養液供給ユニット	地上部給液
防除ユニット	ゲート型散布 2 頭口ノズル 3ヶ所
搭載栽培ベッド	62 台
栽植密度	16,000~20,000 株/10a (1 ベッドあたり 32~40 株)

クル動作が行われる。装置のサイクル動作に追いつかない場合、作業者は足下のフットスイッチで装置を一時停止する。給液モード、防除モードではそれぞれ無人で給液と防除を行う。給液モードは設定時刻に開始するようにタイマーを用いて制御する。さらに、給液モードでの動作時に収穫作業を行うことも可能であり、フットスイッチによる一時停止時には給液も連動して停止する。

2. 移動栽培における各作業の検証

果菜類の移動栽培において作業者の移動が減少することにより作業時間が短縮すると報告されている (Van Os et al., 1993)。移動栽培装置を用いたイチゴ栽培における作業は、定植、下葉取り、給液、防除、収穫である。これらの作業が慣行高設栽培とは異なる作業動作となり、作業時間の増減があるか検証が必要である。また、作業によっては実施する時間が限られる、毎日必ず行わなければならないといった制約がある。これらの制約と装置の稼働時間についても検証する必要がある。

(1) 定植

定植の作業能率は、表 2 のように移動栽培装置と慣行高設栽培では、ほぼ同じであった。定植に関しては、1 ベッドあたりの作業時間が装置のサイクル時間に対して長いことから、栽培ベッドを常に動かしたまま作業を行うことは不可能であり、作業者は慣行高設栽培と同様に、静止した栽培ベッドに苗を定植した。また、定植作業は横移送ユニットにおいて複数の作業者が定植を行うことや、2つの作業スペースにおいてそれぞれ作業を行うことが可能であり、作業者の増員が作業時間の短縮につながる。さらに、定植時期も数日のばらつきが許容されるため、労働力が確保できれば、規模拡大の制約にはならないと考えられた。

(2) 下葉取り

下葉取り作業は明確な適期はなく、給液による装置の稼働時に、作業者が適宜作業を行う程度で十分であると考えられた。このため下葉取り作業は能率、作業時間が規模拡大の制約にならないと判断された。

表 2 定植作業能率

Table 2 Work efficiency in the transplanting

作業能率 (株/h)	
移動栽培	199
慣行高設栽培	192

(3) 給液

給液は必ず毎日行う作業であり、栽培ベッドの周回にあわせて自動で行われ、給液時間は周回時間と等しかった。給液を行う時間や回数は通常昼間に 2 回必要であった。このような特徴から、給液の作業時間は規模拡大時の制約になると推察された。

(4) 防除

防除は散布する薬剤の調合など準備作業が必要であるが、準備にかかる時間は慣行高設栽培と同じであった。薬剤の噴霧は、給液と同様に、栽培ベッドを周回させながら自動で行われるため、作業時間は周回時間と等しかった。収穫時期に、1 日で給液、収穫、防除を行う場合があった。これらのことから、防除の作業時間は規模拡大時の制約になると推察された。

(5) 収穫

収穫作業では作業者の前を通過する栽培ベッドの果実を収穫するため、作業者自身の移動は慣行高設栽培と比べると少なくなった。また、移動栽培装置は作業スペースが限られることにより、作業者の増員による作業時間の短縮が図りにくい。一方、収穫作業を行う時間は果実温度が低く、果実が傷つきにくい朝方の時間帯に限られる。これらのことから、収穫作業は規模拡大時に制約となる作業であり、作業時間を求めるため作業能率を調査する必要があると推察された。

3. 収穫作業時間の算定

移動栽培装置における収穫作業時間の算定式を以下のように求めた。

1 ベッドあたりの収穫作業時間は、対象栽培ベッドの果実の採果開始から次の栽培ベッドの果実を採果開始までとし、採果時間、収容時間、待機時間の 3 種類に分類した。採果時間は、作業者が移動している栽培ベッドから作業スペースで果実を採果し、手持ちの容器に収容する時間とした。収容時間は、採果した果実で満杯になった容器を持って移動し、作業者の後ろ側に用意した作業台に容器を置き、空の容器を準備する時間とした。1 ベッドの収穫が終了した時、容器が満杯でない場合は収容動作を行わず、次の動作に移る。待機時間は、採果動作と収容動作が終了し、横移送ユニット付近で次の栽培ベッドの作業が行えるまで待機している時間とした。この待機時間は、直前の動作が終わった時点で、次の栽培ベッドの作業が行える場合は発生しない。以上から、収穫作業時間 T_W は次のように示される。

$$T_W = T_H + T_{HO} + T_R \quad (1)$$

ここで、 T_W は収穫作業時間 (s)、 T_H は採果時間 (s)、 T_{HO} は収容時間 (s)、 T_R は待機時間 (s) である。

次に、作業者が待機をせず、装置も一時停止させず、装置のサイクル時間内に収穫できる果数 N_{FC} を、作業者の 1 果あたりの採果時間 T_F を用いて式で表すと、

$$N_{FC} = (T_C - T_{HO}) / T_F \quad (2)$$

となる。ここで、 N_{FC} は装置のサイクル時間内に収穫できる果数 (果)、 T_C は装置のサイクル時間 (s)、 T_F は作業者の 1 果あたりの採果時間 (s) である。

よって、 N_{FC} と 1 ベッドあたりの収穫果数 N_F の関係が、 $N_{FC} \geq N_F$ であれば、作業者は収穫作業が装置のサイクル時間 T_C より早く終了するため待機動作が発生する。逆に、 $N_{FC} < N_F$ であれば、作業者は装置のサイクル時間 T_C を超えて作業を行う必要があるため、装置を一時停止させる。ここで、収穫作業時間 T_W は

$$\begin{cases} T_W = T_C & : N_{FC} \geq N_F \\ T_W = N_F \times T_F + T_{HO} \\ \quad = T_C + (N_F - N_{FC}) \times T_F & : N_{FC} < N_F \end{cases} \quad (3)$$

と表される。

つまり、収穫果数 N_F が少ない時期において、収穫作業時間 T_W は装置のサイクル時間 T_C を必要とし、それ以上早く作業を完了することはできない。また、収穫果数 N_F が多い時期においては、収穫作業時間 T_W は装置のサイクル時間 T_C に影響されず、作業者の 1 果あたりの採果時間 T_F と、収容動作時間 T_{HO} により決定される。

III 収穫作業の調査

1. 栽培の概要

イチゴの移動栽培装置を用いて「章姫」、「とちおとめ」、「紅はつぺ」、「もういっこ」の 4 品種を栽培した。2009 年 9 月 3 日に株間 10 cm (10 株 / プランタ) で定植した。培地は、粉碎ヤシ殻を使用した。給液は 10 時と 14 時の 1 日 2 回行った。収穫は 11 月中旬から開始し、2010 年 4 月まで収穫した。

2. 収穫作業の調査方法

収穫作業調査では、まず供試装置において 1 果あたりの採果時間 T_F を調査した。次に実作業における収穫作業時間 T_W を調査した。2010 年 2 月 12 日と 3 月 15 日の 2 回、1 ベッドあたりの収穫果数 N_F と、各動作時間 (採果時間 T_H 、収容時間 T_{HO} 、待機時間 T_R) を計測した。被験者は 42 歳男性 1 名 (パートタイマー) とした。装置の動作モードは栽培ベッドが連続的に循環する「作業モード」に設定し、作業者の作業が装置のサイクル動作より遅れた場合は、フットスイッチにより装置を一時停止し作業を続けた。

3. 収穫作業の調査結果および考察

調査の結果、1 果あたりの採果時間 T_F は平均 3.5 s であった。

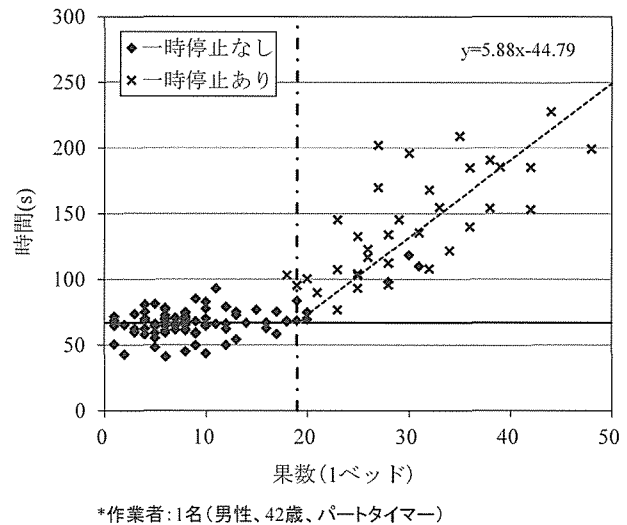


図 2 作業時間と収穫果数の関係

Fig. 2 Relation between working hour and number of fruit

次に、収穫作業時間 T_W と収穫果数 N_F の関係を図 2 に示す。調査では、20 果程度まで装置を一時停止せず作業を行うことができた。20 果以上になると、装置を一時停止して作業を行うことが大半で、果数が増えるほど収穫作業時間 T_W は増加した。一時停止せず作業を行った場合、1 ベッドあたりの収穫作業時間 T_W の平均は装置のサイクル時間 T_C と同じ 67 s となった。果数が 30 果程度でも、一時停止せずに作業を行う場面が観察されたが、これは直前のベッドの収穫果数が少なく、対象のベッドの作業を早く開始できたためであり、直前のベッドで発生するはずの待機時間 T_R を対象ベッドの作業時間 T_W として収穫を行った結果であった。また、収容時間 T_{HO} は平均 15.7 s であった。よって、式 (2) からサイクル時間内に収穫できる果数 N_{FC} は 14.7 果となる。これらの調査結果から、本作業における式 (3) の作業時間の算出式は以下ようになった。

$$\begin{cases} T_W = 67 & : 14.7 > N_F \\ T_W = N_F \times 3.5 + 15.7 \\ \quad = 67 + (N_F - 14.7) \times 3.5 & : 14.7 < N_F \end{cases} \quad (4)$$

今回、調査した作業者の作業の傾向として、栽培ベッドの収穫対象イチゴの果数が N_{FC} に近い場合や、少し超える場合、装置を一時停止させないように採果や移動などの動作が速くなることが観察された。このため、試算された N_{FC} 以上の果数でも一時停止せずに 1 ベッドの収穫が完了したことがあった。この時の 1 果あたりの採果時間 T_F は 2.7 s、1 回あたりの収容時間 T_{HO} は 15.5 s であった。ここで、これらの値を式 (3) に代入して試算すると、約 19 果まで装置を停止せず作業を行うこととなり、調査で観察された現象にほぼ合致した。

一方、収穫対象果数が多く、装置を一時停止させた場合、作業者は余裕をもって作業を行うようになり、採果

表 3 サイクル時間
Table 3 Cycle time of the device

栽培ベッド長さ (m)	4	8	12	16
サイクル時間 (s)	67.0	92.2	117.3	142.5

動作や果実の着色率の判定が慎重になる等、1 果あたりにかかる時間が大きくなる傾向があった。収穫した果数が 19 果以上で装置を一時停止して作業を行ったベッドの作業時間と果数の近似直線を求めた。近似直線の傾きは 5.88 となり、採果時間 T_F の調査結果より大きくなった。図 2 の近似直線にあるように作業者の採果速度は、様々な要因でばらつきがあるため、後述するシミュレーションでは 1 果あたりの平均採果時間 3.5s を用いることとした。

IV 最適ユニット規模導出

1. 試算の条件

1 日の栽培管理のための稼働時間をシミュレーションすることで、装置の規模拡大の可能性について検討した。試算は以下のような条件で行った。

(1) 装置の延長

装置は、縦方向（縦移送ユニット）の延長と横方向（横移送ユニット）の延長が可能である。縦方向へ延長する場合は、栽培ベッドの間隔（畝間）が 0.5m であるため、0.5m 単位での延長とする。横方向の延長はプランタ単位（1m）で可能であるが、縦移送ユニットの引き込み機構や装置を設置するハウスの間口等を考慮に入れ、現在の栽培ベッド長さである 4m 単位で延長する。また、販売されているハウスのうち、中柱の無いハウス単棟の間口が最大で 17m であることから、栽培ベッドを延長できる最大の長さは 16m までとする。

(2) サイクル時間と周回時間の試算

装置を規模拡大すると、周回時間が変化する。装置を横方向に延長すると栽培ベッドの横移送時間が長くなり、サイクル時間が増加する。増加する時間は横移送ユニットのコンベアの搬送速度と横方向の延長距離から試算する。周回時間は、サイクル時間と装置の搭載ベッド数の積となる。よって、縦方向に延長した場合は搭載ベッド数の増加、横方向に延長した場合はサイクル時間の増加により周回時間が増加する。栽培ベッド長さを 8m、12m、16m と延長した場合の、サイクル時間の試算を表 3 に示す。一方、横移送ユニットと縦移送ユニットを延長時の周回時間は表 4 のように試算される。縦方向が倍の長さになると搭載ベッド数もほぼ倍となるため周回時間は倍増となる。しかし、横方向の延長の場合は、栽培ベッド長さが 4m から 8m になった場合でもサイクル時間、周回時間の増加は 38% 程度となる。そのため、横方向にできるだけ長くし、栽培ベッド数が増える縦方向の延長を抑えることで周回時間の増加も抑えられる。

 表 4 周回時間 (h)
Table 4 One complete rotation time (h)

栽培ベッド長さ (m)	縦移送ユニット長さ (m)				
	15.0	20.0	30.0	40.0	50.0
4	1.15	1.53	2.27	3.01	3.76
8	1.59	2.10	3.12	4.15	5.17
12	2.02	2.67	3.98	5.28	6.58
16	2.45	3.25	4.83	6.41	8.00

(3) 1 日の周回数

本装置において作業を行う場合、栽培ベッドを循環移動させる必要があることから、作業に要する周回数を次のように求める。収穫作業は、1 日に装置を 0.5 周させ作業を行い、2 日で装置全体を収穫する。給液は 1 日 2 回必要であり、養液供給ユニットが 2 か所にあるため装置を 0.5 周ずつで 2 回、合計 1 周させる。なお、2 回の給液のうち 1 回、0.5 周分を収穫と同時に進行。防除作業を行う日には、給液および収穫作業を行った後に、防除作業のためだけに装置を稼働させる必要がある。よって収穫、給液、防除作業のため 1 日 2 周、装置を稼働させる。

(4) 1 日の作業可能時間

作業可能時間は冬季の日長時間の 7 時から 17 時までの 10 時間とする。この時間内で装置を稼働させ収穫、給液、防除の作業を完了させる。また、収穫作業の時間帯については、イチゴの収穫は果実温度の低い午前中に行われることから、収穫作業を行う時間は 7 時から 11 時までの 4 時間とする。収穫完了後、残りの時間内で給液、防除の作業を完了させる。

(5) 作業人数

給液、防除作業は装置が自動で、収穫作業は作業員 1 名で行う。しかし、収穫の最盛期には、作業員 2 名で収穫作業を行うことも検討を加える。2 名の作業員は、横移送ユニットに並んで配置し、作業を行う。これは装置に搭載した栽培ベッドはイチゴを片側に寄せて定植しており、イチゴの果実が垂れ下がる方向からのみ収穫を行うためである。式 (3) の収穫作業時間の試算に使用する 1 果あたり採果時間 T_F や収容動作時間 T_{HO} は、収穫作業調査の男性のデータ ($T_F=3.5s$, $T_{HO}=15.7s$) を基にする。作業員 2 名の場合も同じ能力の作業員がもう 1 名収穫を行うと仮定し、1 果あたり採果時間を $T_F/2$ として試算する。

(6) 収容時間

収容時間は作業員の持つ収容容器が満杯になった時に発生する時間である。1 ベッドあたりの収穫果数によっては収容時間が発生しない栽培ベッドや複数回発生するベッドがある。試算では容器に果実を 120 果程度収容できるとする。例えば、1 ベッドあたりの収穫果数が 160 果の場合、作業員 1 名で作業すると 10 台の栽培ベッド中、3 台に収容動作が 2 回ずつ発生し、残り 7 台には収容動作が 1 回ずつ発生する。これを作業員 2 名で作業す

表 5 規模拡大の試算結果
Table 5 Result of scale expansion calculation

収穫果実数 (果/プランタ)	作業者数 (人)		栽培ベッド長さ (m)			
			4	8	12	16
5	1	縦移送ユニット長さ (m)	65.0	42.0	31.0	24.0
		装置面積 (m ²)	607	740	806	830
11	1	縦移送ユニット長さ (m)	44.5	22.0	14.5	10.5
		装置面積 (m ²)	419	396	391	382
	2	縦移送ユニット長さ (m)	63.5	40.5	29.5	22.0
		装置面積 (m ²)	593	714	769	764

ると10台の栽培ベッド中、6台に収容動作が1回ずつ発生し、残り4台には収容動作が発生しないとなる。1ベッドあたりの作業時間を求める際、収容動作回数が0回の時は $T_{HO}=0$ 、1回以上発生した時は収容動作回数に T_{HO} を乗じて収容時間を求める。

(7) 収穫果数

紅はっぺの10株あたりの収穫果数は最盛期の3月の1か月間で約160果である(竹内, 2007)。これを1日おきに収穫するためには、1回あたり11果程度収穫することとなる。一方12月、1月の時期は80果程度であるから1回あたり約5果の収穫となる。よって、通常時で1mのプランタ(10株)あたり5果収穫、最盛期は、11果収穫とする。

2. 最適ユニット規模導出結果

上述した作業条件、採果速度をもとに、収穫作業時間が4時間以内、かつ1日の装置の稼働時間が10時間以内の条件を満たす最大の装置規模を求めた。規模拡大のシミュレーションを行った結果を表5に示す。現在の4mの栽培ベッドを使った装置で、作業員1人、収穫果数が1mあたり5果の場合、縦移送ユニットは65.0m(装置面積607m²)まで拡大可能であった。この時の収穫作業時間は約2.6時間であった。収穫作業時間が制約の時間に達していないが、給液や防除に多くの時間を要するためと考えられた。栽培ベッド長さが8m、12m、16mの場合、縦移送ユニットの長さはそれぞれ、42.0m(740m²)、31.0m(806m²)、24.0m(830m²)となった。

収穫果数が収穫の最盛期を想定した1mあたり11果の場合、作業員が1人、栽培ベッド長さを4mとすると、縦移送ユニットの長さは44.5m(419m²)と試算された。栽培ベッドを延長しても、図3に示すように収穫作業時間の制約により、作業員1名では装置の規模は419m²程度までしか拡大できなかった。

この収穫の最盛期に発生する作業時間の制約を解決するため、作業員を2名にした場合の試算を行った。栽培ベッド長さを4m、8m、12m、16mとすると、縦移送ユニットの長さは63.5m(593m²)、40.5m(714m²)、29.5m(769m²)、22.0m(764m²)に延長可能と試算された。規模拡大の試算では、収穫果数に合わせて作業員の増員等を行えば、4mの栽培ベッドを用いるより、8mの栽培ベッドを用いた場合の方が規模拡大の効果が明確で

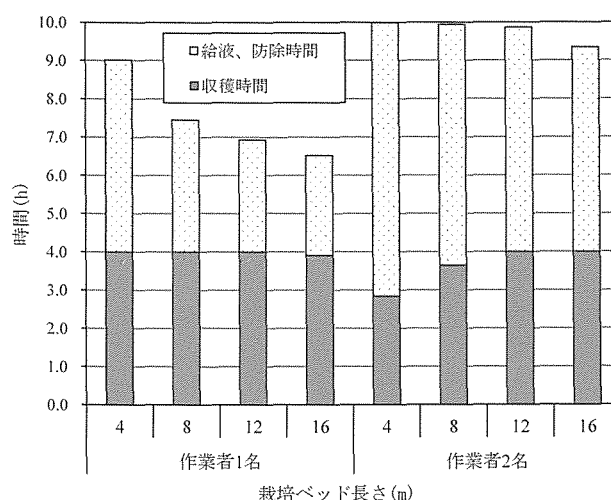


図 3 装置の稼働時間と栽培ベッド長さの関係(収穫果実数: 11 果/m)

Fig. 3 Relation between operating time and length of bench (Number of picking fruit: 11 fruits/m)

あった。この理由として、本装置は縦方向に延長するよりも横方向に延長することで規模拡大した方が、周回時間が少なくなるためと考えられた。

V 考 察

1. 装置規模拡大の方策

作業時間の試算から規模拡大は最大で770m²程度となった。装置をより大規模化するためには、装置の稼働時間の短縮と同時に収穫作業時間の短縮が必要である。具体的な方策として、①サイクル時間短縮、②1日の周回数減、③収穫作業時間短縮、の3つが考えられる。

(1) サイクル時間の短縮

サイクル時間を短縮するには、移送速度の高速化、縦移送ユニットのフック起立時間の短縮が考えられる。横移送の高速化については、本実験では横移送速度を9.5m/minと設定したが、およそ20m/minの速度で動作させることも可能である。この場合、停止時に減速するなどの制御が必要となるが、サイクル時間は10s程度の短縮が可能である。縦移送の速度についても、現在、フック付の引き込み棒のスライドに約27sを要している(Hayashi et al, 2011)。引き込み棒のスライドさせる速

度を倍程度にした移送の可能性がある、縦移送時間は14s程度まで半減できる。その他、フックの起立に要する時間は、8.3s程度である。これをフック用のモータを変更するなどにより回転速度を上げることで、動作時間の短縮が期待できる。また、別の方策として引き込み棒のフック機構をターンバック方式に変更することで、引き込み棒の回転が無くなり、動作時間の短縮ができると考えられる。これらの方策により、装置のサイクル時間 T_C の短縮は、式(3)の果実数が少ない場合($N_F > N_{FC}$)では、収穫作業時間の短縮につながり有効である。しかし、収穫可能果数が多い場合($N_F < N_{FC}$)では、収穫作業時間に影響しない。そのため、収穫の最盛期においては、サイクル時間の短縮と同時に収穫作業時間の短縮も同時に求められる。また、サイクル動作は、果実数が少ない場合は高速で動作し、果実数が多い場合は横移送の速度を低速にするなどの作業性を考慮した制御が有効である。

(2) 1日の周回数の減少

現在、給液、収穫、防除を行うため1日2周を必要としている。周回数を減らすには、給液ユニットと同様に防除ユニットも2か所に増設し、全体の防除が半周で行えるようにする。これにより1日あたりの周回数を1.5周に短縮できる。その他、給液方法を変更し、栽培ベッドを循環させずに行う方式に改良する。例えば、縦移送ユニット上に停止した状態の栽培ベッドに、脱着式の給液装置等によりベッドの端から注水することが可能となれば、給液による周回を省略できると考えられる。周回数の減少と収穫作業時間の短縮を行うことで、規模拡大が図れる。

(3) 収穫作業時間の短縮

収穫作業時間を短縮するには、式(3)より1果あたりの採果時間や収容動作時間を短縮する必要がある。1果あたりの採果時間は作業者の能力に関わることで、採果時間の短縮は収穫による果実を損傷する危険性が高まる。そのため、作業者を増員することで、1人の作業者の負担は変わらず、時間あたりの採果果数が増加し速度が向上すると考えられる。

慣行高設栽培においては、圃場内のどこからでも作業が行えるため作業者の増員と作業時間は、ほぼ反比例する関係となるが、移動栽培装置においては、作業スペースが限られていることにより作業者の増員と作業時間は反比例の関係にならない。作業者の増員は収穫果実の状況を勘案して行う必要がある。

また、収容動作時間を短縮することでも、収穫作業時間が短縮される。そのためには作業者が作業のし易いレイアウトへ変更し、収容のための移動や振り向き動作を無くす等、採果動作に専念できる環境を作るといった方策が考えられる。

2. 移動栽培装置の発展

移動栽培装置は高密度植栽培が行えるだけでなく、栽培

ベッドが循環移動することで、作業がほぼ定置で行える。作業を行う範囲をカメラに捉えて作業者の動きを解析することで(森尾ら, 2004; 森尾ら, 2010)、作業者の動きに合わせて装置の速度を変える、停止させるといった制御を行う作業補助も考えられる。また、小型軽量化に制約を受けない定置型ロボット(山本ら, 2009)を導入することで作業の自動化の可能性がある。

その他、栽培ベッドが循環移動する際に1ヶ所、集中的にセンサやカメラを配置することで、ベッド毎の生育情報を取得し栽培管理や作業に反映させる利用法なども検討できる。例えば、ビデオカメラを利用して株の上方からの投影面積を撮影しイチゴの生育情報を取得する方法(田中ら, 1997)がある。

これらの技術を組み合わせることにより移動栽培装置において、より高い生産性と作業の省力化が図れるものとする。今後は、生育データを積み重ね、装置を利用したイチゴの栽培体系を確立することで装置の普及につなげる。

VI 摘 要

イチゴの移動栽培における各栽培管理作業の作業性を調査した。その調査結果をもとに、栽培ベッドの周回時間と作業能率との関係を明らかにするとともに、シミュレーションにより作業時間を制約条件として実用し得る最大の装置面積を導出した。

- 1) 給液、防除および収穫作業が装置の稼働時間の制約に影響する作業であることを確認した。特に収穫作業は慣行高設栽培と異なる収穫動作、作業能率となることから、作業時間の算定式を求め、装置の規模拡大のシミュレーションに用いた。
- 2) 1果あたりの採果時間 $T_F=3.5$ の場合、栽培ベッド1台あたりの収穫作業時間 T_W は、収穫果数 N_F が $N_F > 15.7$ の時、67sとなり、装置のサイクル時間を必要とする。収穫果数 N_F が $N_F < 15.7$ の時、 $N_F \times 3.5 + 15.7$ sとなり、収穫作業時間は収穫果数と作業者の採果速度と収容動作時間により決定された。
- 3) 作業時間の試算から規模拡大は、最盛期に作業者2名の導入を前提として約770m²までとなった。同じ規模の場合、装置を横方向にできるだけ長くし、縦方向の延長を抑える規模拡大の方が、より効率が良いことが分かった。装置をより大規模化するためには、装置の稼働時間の短縮と同時に収穫作業時間の短縮も必要であった。

謝 辞

試験の実施にあたり布施基道氏には数々の協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

References

林 茂彦, 吉田啓孝, 山本聡史, 岩崎泰永, 漆山喜信, 2008. 冷

- 蔵苗利用によるイチゴの高密植移動栽培システム. 日本生物環境工学会 2008 年松山大会講演要旨, 松山, 310-311.
- Hayashi, S., Saito, S., Iwasaki, Y., Yamamoto, S., Nagoya, T., Kano, K., 2011. Development of circulating-type movable bench system for strawberry cultivation. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 45 (3), 285-293
- 池田英男, 2010. 植物工場ビジネス—低コスト型なら個人でもできる. 日本経済新聞出版社, 東京, 20-23.
- 岩崎泰永, 吉田千恵, 漆山喜信, 吉田啓孝, 斉藤貞文, 山本聡史, 林 茂彦, 池田英男, 池田 敬, 2012. 移動栽培装置を利用したイチゴの高密植栽培に適した栽培ベッドの間隔と養水分供給方法の検討. *園芸学研究*, 11 (1), 49-57.
- 森尾吉成, 堀部和雄, 佐藤邦夫, 2004. 知的作業支援のための作業者の追跡および動き表現. *農業機械学会誌*, 66 (3), 59-68.
- 森尾吉成, 岡崎 由, 川津匡量, 山田有作, 浅野 諭, 大西達也, 村上克介, 2010. 農作業者行動理解による知的作業支援システムの開発. 第 69 回農業機械学会年次大会講演要旨, 松山, 450-451.
- 農林水産省, 2009. 農商工連携研究会植物工場ワーキンググループ報告書. http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/plant_factory/p_working_group/pdf/houkoku.pdf. Accessed Aug. 22, 2011.
- 竹内 隆, 2007. 農業技術体系—野菜編 3 イチゴ. 農山漁村文化協会, 基 418.
- 田中一久, 磯崎真英, 1997. イチゴの画像処理による生育解析に関する研究. 三重県農業技術センター研究報告, 25, 21-29.
- Van Os, E.A., Van Zuijdam, R.P., Hendrix, A.T.M., Koch, V.J.M., 1993. A Moving Fruit Vegetable Crop. *Acta Horticulturae*, 342, 69-76.
- 山本聡史, 林 茂彦, 吉田啓孝, 小林 研, 2009. 下側接近を特徴とする定置型イチゴ収穫ロボットの開発 (第 1 報). *農業機械学会誌*, 71 (6), 71-78.
- 吉田啓孝, 山本聡史, 林 茂彦, 岩崎泰永, 漆山喜信, 2008. イチゴの高密植栽培のための移動栽培装置の開発. *農業機械学会誌*, 70 (4), 98-106.
- (受付: 2011 年 9 月 9 日・受理: 2012 年 9 月 3 日・質問期限: 2013 年 1 月 31 日)