

カイコ5齡幼虫全自動飼育装置の開発

誌名	日本蠶絲學雜誌
ISSN	00372455
著者	大浦, 正伸 蜷木, 理 彭, 彦昆
巻/号	68巻4号
掲載ページ	p. 345-351
発行年月	1999年8月

カイコ5齢幼虫全自動飼育装置の開発

大浦 正伸¹⁾・彭 彦昆¹⁾・蜷木 理²⁾

1) 蚕糸・昆虫農業技術研究所

2) 東京農工大学農学部

(1999年5月27日 受理)

MASANOBU OHURA¹⁾, YANKUN PENG¹⁾ and OSAMU NINAGI²⁾: Development of an automatic rearing machine for the fifth instar larvae of the silkworm, *Bombyx mori*.

We have developed an automatic rearing machine of the silkworm, *Bombyx mori*, which is necessary for production of useful materials using silkworm-baculovector system. We designed multi-layer rotational type rearing machine, which contained a total of 12 trays with 6 trays each piled up vertically in anterior and posterior columns, and a maximum of 20,000 fifth instar larvae can be raised by artificial diet. An automated operating system was designed for the rearing machine, composed of position sensor, programmable controller and a personal computer to develop and implement of the control program. Validation of the automated operating function of the rearing machine allowed us to confirm that the program prepared was useful for the following functions: (1) input and modification of the operating schedule, (2) displaying the operation schedule, (3) automatic operation and displaying the operation mode. When the operating schedule based on the rearing plan is entered into the system program, the rearing machine can be automatically operated. Hence, we found a possibility for controlling the automatic operation of the rearing machine. 1) National Institute of Sericultural and Entomological Science, 1-2 Owashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8634, Japan; 2) Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-Cho, Fuchu, Tokyo, 183-0054, Japan.

Key words: Automation, silkworm, *Bombyx mori*, rearing machine, control

緒 言

カイコーバキュロウイルス発現系を利用して有用物質の生産を行なうため、環境制御された飼育室内で人工飼料による周年飼育が可能な全自動飼育装置の開発が望まれている。

カイコの飼育体系においては、桑葉粉末を含まない低コスト人工飼料の開発(柳川ら, 1988)と広食性蚕品種の育成(山本ら, 1995)等の成果により、全齢人工飼料育によるカイコの周年生産が可能となってきた。しかしながら、人工飼料育では桑葉育とは異なり、清浄な飼育環境と比較的高度な温湿度

管理が要求される。このため飼育スペースをより狭い範囲に限定した新たな飼育装置の開発が必要である。

従来開発されてきた飼育装置には、1～3齢期の飼育に対応する桑葉育用あるいは人工飼料育用の稚蚕飼育装置があり、全国の稚蚕共同飼育所等に普及している。また壮蚕期に対応するものでは、バスケット方式の条桑育用飼育装置(斉藤, 1994)が開発され、比較的規模が大きな農家等に普及している。そのほか、ボンビックを改良した切断条桑用の飼育装置あるいはベルト蚕座式の壮蚕用飼育装置(水澤ら, 1991)が開発されたが何れも桑育に対応するものであり、人工飼料育に適用できる装置ではなかった。以上のことから、限られた床面積の小スペースを効率的に利用し、無人自動運転を可能とする立体多段

1) 〒305-8634 茨城県つくば市大わし1-2

2) 〒183-0054 東京都府中市幸町3-5-8

循環型の飼育装置とその自動運転システムの開発を行った。

飼育装置の設計

人工飼料育に対応した牡蚕飼育装置を開発するにあたっては、これまでに開発された飼育装置(川口, 1994)を改良することで対応できるのか、または新たな構想に基づく新型の装置を設計開発する必要があるかを検討した。養蚕農家に広く普及しているバスケット式の牡蚕用飼育装置(ボンピック)は、条桑育用に設計されたもので、条桑育用に適するように特化されており、これを人工飼料用に改造することは困難であると判断した。一方、人工飼料用の稚蚕飼育装置は飼育コンテナの部分を改良することで牡蚕の人工飼料育に用いることは可能であったが、個々の飼育コンテナがチェーンで接続されており、さらに上方空間を有効利用する点で問題があり、飼育の自動化を考慮した場合、形状の大きさ等から精密な制御を行なうことは不可能と判断した。また、飼育箱を用いないベルトコンベアによる連続蚕座方式の飼育装置も考案されているが、カイコに対する物理的障害およびコンベア蚕座上に縁がないため装置の大きさに対して飼育量が少ない等の問題点がある。以上の検討結果から人工飼料育に対応した牡蚕飼育装置の開発は従来の飼育装置の概念から離れ、新たに設計開発を行なうこととした。

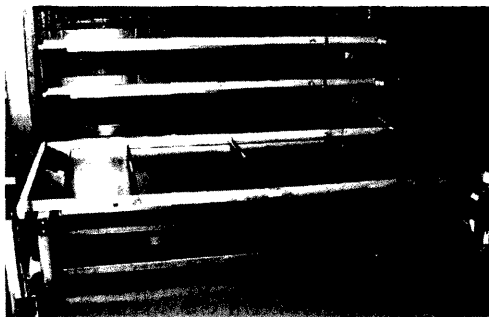
現在行われている空間利用型の飼育は昭和17年頃から発達した稚蚕飼育のための天籠育が原形と思われるが、これは積み重ねた飼育箱を人力で移動しながら給桑していくものである。以後、開発され普及した飼育装置の何れも飼育箱の移動を連結したチェーンで行なうものであった。チェーンによる飼育箱の移動は個々の箱が連結されているため、積み重ねにあたって未利用となる大きな空間が生ずる。

そこで、新たに設計すべき飼育装置は個々の飼育箱を連結しない方式を採用することとし、独立した飼育箱が移動する構造とすることとした。さらに、飼育環境制御に関して温湿度が制御された空間をより効率的に利用するためと飼育規模の拡大を考慮し、カイコが常時滞留する飼育箱収納部分と給餌や除沙を行なう作業部分とを独立した構造とした。

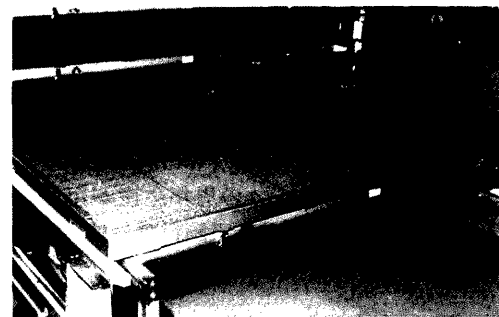
本飼育装置の設計にあたっては、「組換えDNA実験指針」に基づき、20リットル以下の規模で行なう実験に係わる物理的封じ込めに対応するため、カイコ1頭から採取できる体液量が最大約1mlであることから終齢20,000頭の飼育規模で設計した。

1. 飼育箱

飼育箱についてはこれまで人工飼料による飼育試験の経験から、カイコとその糞とを分離する必要があると考え、実際にカイコを飼育する部分と糞をためる部分との間を網によって分離することとした。当初、上部の飼育部分と下部の閉閉式除沙装置が一体化した形状の飼育箱を設計したが、全体をステンレス鋼で試作したため1個の重量が30Kgを越え、装置の洗浄・消毒を行なう際の大きな障害となることが判明した。そこで、軽量化を図るため飼育箱上部の飼育部は既製品の大型プラスチック製せいろ#1800(三甲(株):外寸1,800×870×60mm,内寸1,750×826×36mm)を利用することとした。従って、飼育箱は第1図に示すように、上部の大型せいろとそれを受ける側面下部両端にテフロン製滑走誘導板を備えたステンレス製の受け部から構成され、飼育箱ユニット(以後、飼育箱とする)と称すべき形となった。滑走誘導板は断面が30mm角、長さ900mmのテフロン製の棒状ブロックを加工したものであり、左右の位置の誘導・補正及び滑走時に滑走面との間に適度の摩擦を与える役割を果た



(a) Container unit



(b) Plastic rearing tray

Fig. 1. Silkworm rearing tray system.

し、摩耗した場合には交換ができるようになっている。飼育箱受け部の大きさはせいろうの底部が収まるように幅 1,760 mm×奥行 836 mm, 外寸の厚さ 50 mm で分離した蚕糞等を貯溜し、必要に応じて底部を開閉して蚕糞等が除去できる構造となっており、せいろうと受け部を組み合わせた時の厚さは 90 mm であった。

なお、実際の飼育時にはカイコが飼育箱の外に脱出しないように、脱着可能な這い出し防止蓋を使用した。防止蓋は幅 900 mm 長さ 870 mm の長方形木枠にナイロン製ネットを貼り付けた構造で、飼育時には二枚一組をせいろうの上に被せてカイコの這い出しを防止した。

2. 飼育装置

飼育装置は飼育箱を収納・循環させる飼育部と、給餌・除沙等の作業を行なう作業部から構成した。第2図に飼育装置の概観を示す。飼育部の大きさは幅 2,000 mm×奥行き 2,150 mm×高さ 2,032 mm で、飼育箱を上下方向に移動させる垂直移動装置と、水平方向に移動させる水平移動装置から構成した。

垂直移動装置は第3図に示すように、飼育箱下部の滑走移動板をL型鋼で受け、L型鋼が取り付けられたチェーンの駆動により飼育箱を上方または下方に移動させるものである。一方、水平移動装置は最上部および最下部の飼育箱を前後方向に水平に移動させるもので、エアシリンダ駆動により上方の飼育箱を飼育装置前方から後方へ水平に移動させる。また、飼育箱最下部の飼育箱はテフロン製車輪がついた水平移動台車上に載せられ、この台車がエアシリンダ駆動により、飼育装置後部から前部の上方への移動位置または作業部位置まで移動する。

飼育箱の位置の制御は2種類のセンサによって行なった。垂直方向については、隣接した上下2本のL型鋼の間隔及び垂直方向の停止位置の検出のために、飼育箱収納部中段に上下2個の磁気近接スイッチを設置した(第3図青色センサ)。最上部でのオーバーラン防止用として反射型光電センサを飼育装置最上部外側に設置し、飼育箱が上限位置を越えた時はセンサが感知し、垂直移動装置の駆動用インバータモータを緊急停止する機構とした。

水平移動については、飼育箱の位置を検出する必要から、上部の同一平面上に5組、下部同一平面上に7組の透過型光電センサを配置した。さらに、飼育箱の水平方向の位置ずれを検出するため、飼育装置の外側4箇所と中央部の2箇所上下方向の透過

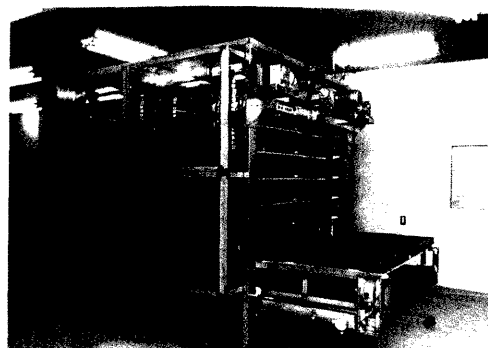


Fig. 2. Multi-layer rotational type silkworm rearing machine.

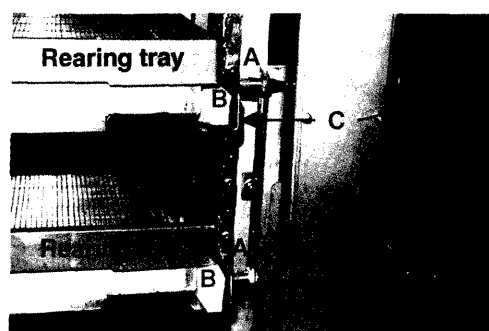


Fig. 3. Vertical movement unit and position sensors.

A: Magnetic sensors B: Teflon sleigh
C: L shaped beam

型光電センサを配置した。第4図に各々のセンサの配置例を示す。垂直移動装置の駆動には、移動速度と加速度が任意に変更できるようブレーキ付インバータモータを使用した。

飼育装置の作業部は飼育箱の収納・循環部(飼育部)から延長して設置されており、仕様は幅 2,000×奥行き 1,100×高さ 700 mm で飼育部から送り出された飼育箱を受け取り、給餌、除沙等の作業を行なった後、再び飼育部へ送り返す。本装置の位置検出は4組の透過型光電センサにより行ない、動力源はエアシリンダ駆動とした。

エアシリンダ駆動用の室外空気が飼育室内に流入し、飼育環境が汚染されることを防止するため、空気流路を循環排気型としエアシリンダ駆動後の空気は屋外へ排出する機構とした。

飼育装置全体の駆動制御は前述した4個の磁気近接スイッチと12組の光電センサからの飼育箱の位置情報に基づきシーケンサによってインバータモータの始動、回転数制御及び停止とエアシリンダ駆



Fig. 4. Sensors for detecting rearing tray position.

A: Vertical position

B: Horizontal position

動用バルブの開閉を制御する方式とした。飼育箱の動きは初速を 1 m/min とし、最高速度 6 m/min を経て減速し、終速 0.5 m/min の後停止するようにした。これによって移動台上の飼育箱のスリップを抑

制し停止位置に関する位置のズレは 1 cm 以下となり所定の位置に精確に停止させることが可能となった。本装置では給餌作業部の飼育箱を次の飼育箱に置き換えるに要する時間は 45 秒（給餌モード）、飼育部内の飼育箱を循環させる循環モードで飼育箱の一巡に要する時間は 450 秒であった。

自動運転制御システムの構成と機能

1. 制御システムの構成

カイコの大量自動飼育を可能とする多段循環型飼育装置の運転操作性を向上するためには、パソコンによる自動制御が不可欠である。本研究では、シミュレーションによる飼育装置自動制御の検討結果（彭・大浦，1998）を基礎とし、パソコン、シーケンサ、位置センサなどから自動運転システムを構成するとともに、作成した制御プログラムにより制御機能の検討を行った。多段循環型カイコ飼育装置自動運転システムの構成概要を第 5 図に示す。

飼育装置の運転には、給餌、除沙等の作業に応じて飼育箱を作業位置へ取り出す「給餌」モード、各々の飼育箱における温湿度・光照度等の飼育環境の均一化を図るため飼育箱を循環させる「循環」モード、及び作業終了時に定位置に停止させる「停止」の 3 つのモードがある。「循環」と「給餌」運転は、飼育箱の上昇・下降動作、上下位置での水平移動、飼育箱搬送台車の送り出し・取り出しなどの基本動作から構成される。「循環」、「給餌」と「停止」の運転方式は、飼育装置の作業管理においてカイコ飼育時期によって頻繁に変更することがあるため、カイコ飼

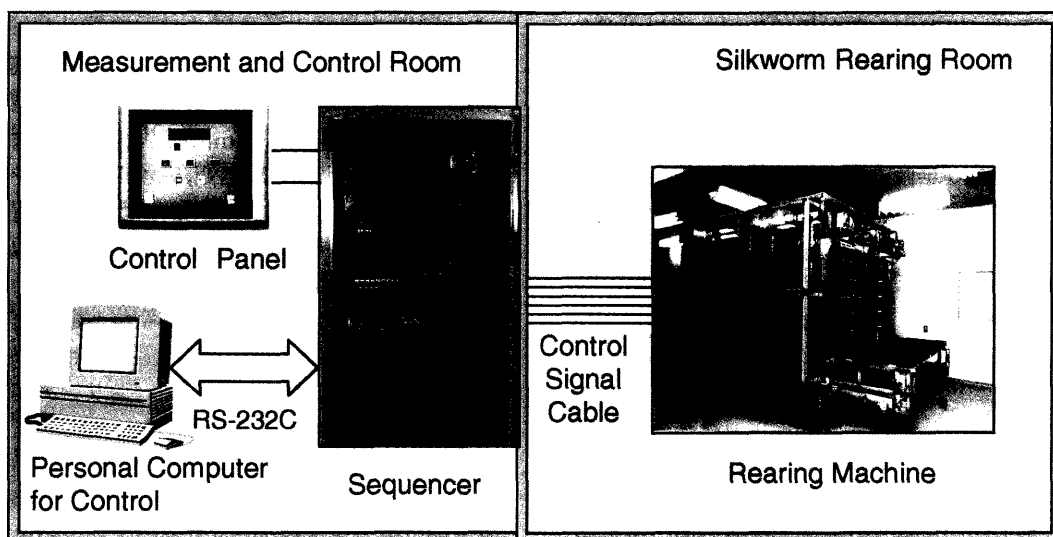


Fig. 5. Schematic drawing of control system for rearing machine.

育装置運転の操作性向上を図るため、Windows95 環境下で Visual Basic (Microsoft, 1997) を利用した自動運転制御用プログラムを作成し、飼育装置の自動運転制御機能の検討を行った。

2. シーケンサとパソコンとの制御信号の転送

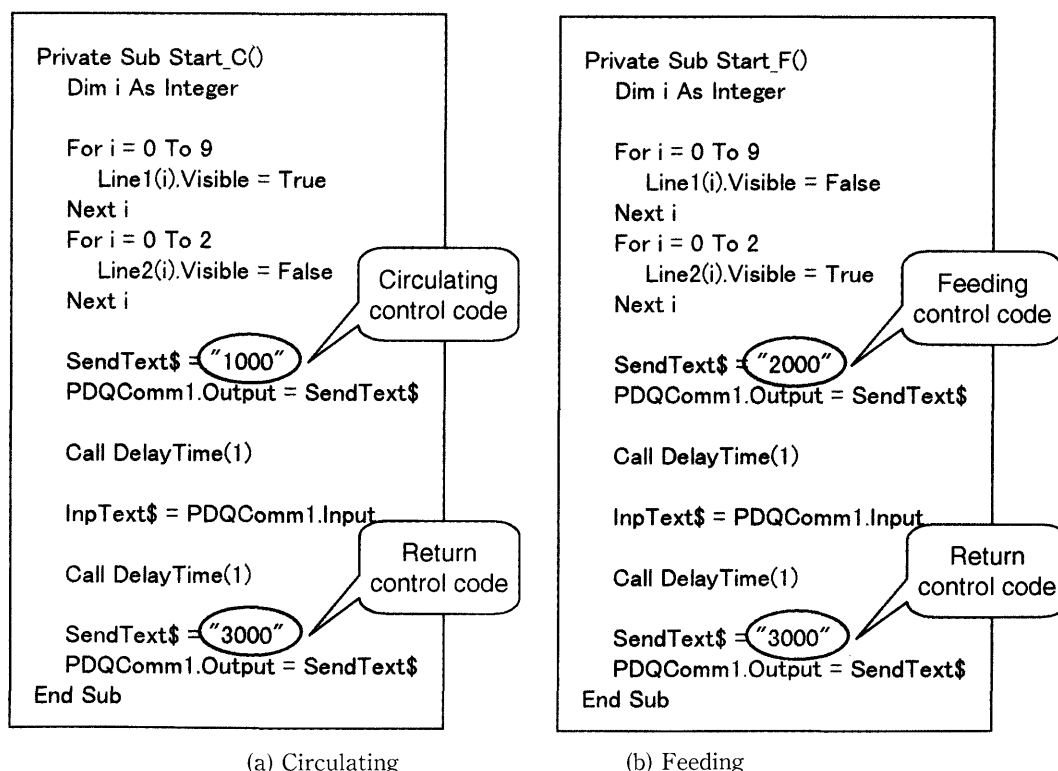
第 5 図に示すように制御盤内のシーケンサ (FX2-80MR, 三菱電機株式会社製) とパソコン (PC9821-V16, NEC 製) との間の制御コマンドは RS232C インタフェースによりデータ文字列の転送により行う。パソコン側の「循環」、「給餌」、「復帰」および「停止」の制御コマンドコードはそれぞれ文字列コード “1000”, “2000”, “3000” と “4000” である。飼育装置の運転制御実行時には、制御コマンドはパソコン側から作成した制御用プログラムにより RS232C インタフェースを経由し、デジタル信号としてシーケンサへ出力し、対応のステートを実行する。「循環」運転動作と「給餌」運転動作の制御コマンド及び転送過程を第 6 図に示す。第 6 図(a)は「循環」の場合で、図(b)は「給餌」の場合である。「循環」運転動作実行の場合では、まず、パソコン側から入力転送命令 PDQComm1.Output により「循環」コー

ド “1000” をシーケンサのデータレジスタに送り出し、「循環」の動作が実行される。また、1 秒の遅延後出力転送命令 PDQComm1.Input によりシーケンサのデータレジスタをクリアする。最度「復帰」コード “3000” をシーケンサのデータレジスタに転送し、次ぎの動作実行のための待機状態にする。図(b)の「給餌」運転動作実行の場合では、同様な転送過程で「給餌」コード “2000” をシーケンサのデータレジスタに送り出し、「給餌」の動作が実行される。

シーケンサ側とパソコン側の制御プログラムにおける制御コマンドの通信情報画面の一部を第 7 図に示す。第 7 図(a)はシーケンサプログラムのリレーラダー表示方式で、図(b)は Visual Basic ソースコードのリストである。パソコンとシーケンサ間の制御コマンドコードの送受信は RS232C インタフェースにより転送を行う。

3. パソコンによる制御機能

パソコン側で作成した運転制御用プログラムの機能は、ディスプレイ上の制御ボタンによりシーケンサに直結された液晶コントロールパネルと同様のマニュアル操作ができるとともに、全自動運転制御を



(a) Circulating (b) Feeding
Fig. 6. List of control code in personal computer program.

可能とするスケジュール機能がある。計測制御室ではカイコ飼育室内の飼育装置をリモートコントロールすることができる。自動運転制御の実行画面を第8図に示す。

マニュアル操作では、制御用コンピュータのディスプレイ上の「循環」、「給餌」及び「停止」の任意のボタンをクリックすることにより飼育装置の該当動作が実行される。制御実行時にパソコン画面上ではライン表示が減速することにより飼育装置の動作状態を確認することができる。

スケジュール運転では、第9図に示すスケジュール制御ウインドウ内の「スケジュール」ボタンをクリックすることにより、作成した制御プログラムのVisual BasicのShell関数機能により表計算ソフトMicrosoft Excel 97を起動し、第9図の右側に示されるスケジュールデータの編集画面が表示される。Microsoft Excel 97の機能を利用することにより運

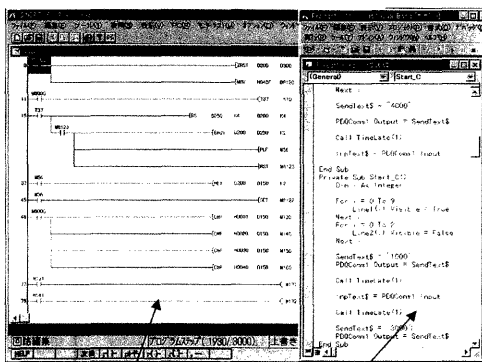
転制御を行なう日時、作業内容等のスケジュールデータの入力・修正作業が簡略化されるとともに、設定したデータの表示・保存が可能となった。

本制御プログラムにより、飼育計画に基づいた運転予定に従って日付・時間・運転モードのデータを入力し画面上に表示し確認することができる。カイコの飼育経過の遅早に基づいて一旦入力した運転スケジュールデータの変更を画面上で行うことも可能である。

運転制御プログラム実行時には、Microsoft Excel 97で入力したスケジュールデータを読み込み、時刻照合サブプログラムにより設定した日付・時間と現在時間を照合し、両者の値が一致した時、「循環」、「給餌」等の制御モードを文字列コードとして飼育装置駆動用のシーケンサへ出力し、飼育計画に基づくスケジュール運転が実行される。

飼育実証試験と考察

本装置によるカイコ飼育の実用性と有効性を検討するため、飼育実証試験を行なった。第10図に飼育箱が作業位置に取り出された状態を示す。試験期間は1998年7月3日から7日までで、5齢起蚕から5日間の飼育を行なった。供試蚕品種はBNL1×BCSL1、給餌飼料は「くわのはな」を使用した。飼育頭数は飼育箱一箱当たり2,000頭とし、10個の飼育箱を使用し合計20,000頭の飼育を行なった。給餌は齢中2回とし、1日目に2,000頭当たり8.1kg、3日目に9.4kgを給餌した。5日目の蚕体重の平均値は3.82gであった。ここで蚕体重が通常値より小さいが、本試験では5齢1日目にバキュロウイルスを接種したカイコを飼育したため、食下量が通常の健常蚕と比較して少なかったことから体重増加量



(a) STL of Sequencer (b) VB Program of Personal Computer

Fig. 7. Communication message between personal computer and sequencer.

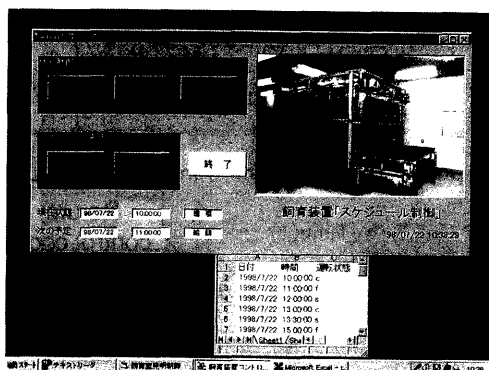


Fig. 8. Operation screen of rearing machine control program.

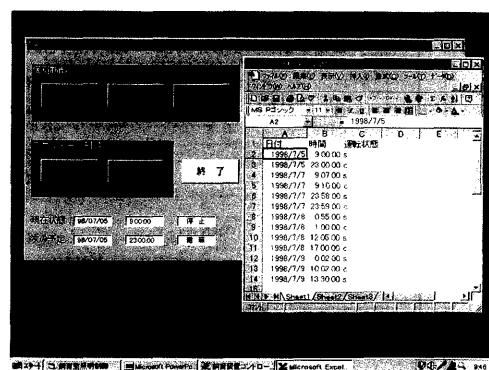
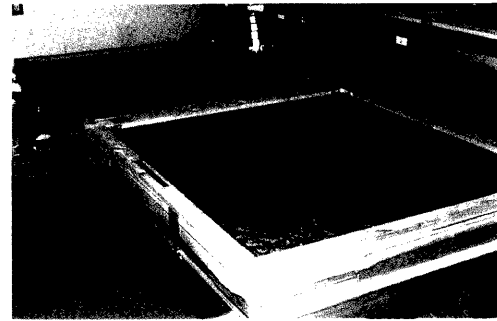


Fig. 9. Schedule set screen of rearing machine control program.



(a) 2,000 silkworms on the rearing tray at feeding position



(b) Covered with the creeping out prevention lid

Fig. 10. Silkworm rearing test under practical condition.

が少なかったことによるものであると考える。

飼育装置は5日間の運転期間中、予め設定されたスケジュールに従って稼動し、故障や事故による停止もなく運転制御機能が正常に働くことを確認した。カイコの成育状況についても、飼育期間中に飼育箱から脱出することもなく、また飼育箱の循環による振動等の影響を受けずに成育することを確認した。飼育箱間における成育量の違いについても調査の結果、箱間による顕著な差異は認められなかった。以上の結果から、本飼育装置はカイコの自動飼育を可能とする機能を具備していることから、カイコ5齢幼虫全自動飼育システムとして利用できるものと判断される。

今後は、全齢にわたっての全自動人工飼料育化を図ることを目的に、3、4齢幼虫について検討を行なって本装置による飼育を可能とすると共に、周年運転についても装置の安定性について検討し、カイコ飼育の全自動化を図って行く予定である。

摘 要

昆虫バキュロウイルス系などを利用した有用物質生産を行なうため、環境制御された飼育室内で人工飼料による周年自動飼育を可能とするカイコ飼育装置の開発を行なった。飼育装置は2列6段の多段循環型とし、終齢幼虫で20,000頭規模の飼育が可能となった。

開発したカイコ飼育装置自動運転制御プログラムの機能検証を行なった結果、Microsoft Excel 97を

応用した運転スケジュールの入力・変更と表示により、データの入力・変更・修正作業などの簡易化が図られた。構築した自動運転システムを使用して、カイコの通年飼育における飼育計画に基づく経日・経時の飼育装置の自動運転管理ができるようになった。

文 献

- 川口忠男(1994)：人工飼料育による1～3齢共通飼育。超多回育機械化養蚕指導の手引, 11-26, 農林水産省蚕園芸局, 東京。
- 斉藤敏弘(1994)：全自動多段循環飼育装置(ニューボンビック)による飼育。超多回育機械化養蚕指導の手引, 59-70, 農林水産省蚕園芸局, 東京。
- 水澤久成・丸山長治・山野井文夫・若林巳喜雄(1991)：超省力飼育装置の開発。蚕試彙報, 2, 134。
- 彭彦昆・大浦正伸(1998)：昆虫工場における計測制御システムの開発(第1報)ーシステム構成及び基礎実験ー。日本農業機械学会誌, 60(3), 107-115。
- 山本俊雄・間瀬啓介・榎島守利(1995)：日603号, 日604号とその交雑原種及び中604号, 中605号とその交雑原種並びに四元交雑種。蚕の新品種, 農産園芸局技術資料, 130, 7-10。
- 柳川弘明・渡辺喜二郎・中村匡利(1988)：線形計画法による原蚕用人工飼料の設計。蚕糸試験場報告, 30, 569-588。
- Microsoft Visual Basic 5.0 マニュアル, 1997。
- 改訂 組換えDNA実験指針(1997)：第一法規, 東京。