

# 電気刺激による自然上蔟法の改善

安川 智登\*・西村 恒一\*・松本 定雄\*

## Improvement of Self-Mounting of Silkworms by Electroshocks

Tomonori YASUKAWA, Tsunekazu NISHIMURA and Sadao MATSUMOTO

### 目 次

I 緒 言 .....	80	V 周囲這い出し蚕の防止 .....	87
II 熟蚕における走電性の確認 .....	81	VI 普及用電源器具の開発 .....	89
III 桑条および家蚕幼虫の電気伝導性 .....	82	VII 摘 要 .....	90
IV 通電上蔟実用化のための電気条件 .....	84		

### I 緒 言

養蚕の上蔟作業は20日余りにわたる育蚕の総仕上げであり、労働時間は育蚕作業のうち19%程度であるが、作業適期幅が極めて狭く、作業量が集中する。そのため大規模養蚕農家では上蔟時期になると大部分が雇用労力に依存している。上蔟法には条払い法、条払い自然上蔟法、自然上蔟法、一頭拾い法などがあり、1978年の統計によると、年間の飼育数量割合で、それぞれ73, 9, 8, 10%となっており<sup>2)</sup>、条払い法の普及率が最も高い。これらの上蔟法にはそれぞれ得失があるが、このうち自然上蔟法は条件さえそろえば最も省力で合理的な方法である<sup>23)</sup>。しかし熟蚕の行動は上蔟時の温度、光線、気流などの環境要因や蚕座の状態などによって左右され登蔟率にひらきがでて安定性を欠いている。そこでこれを安定技術にするためには、登蔟行動を促す必要があると考えている。

家蚕幼虫の行動については次のことが知られている。蚕は静止している時、尾脚でしっかりと何かを把握して体を安定させ、腹脚も同様に何かの物体にまわっている。そして胸脚は軽く物体に触れたり、ある

いは前半身を宙に浮かして何にもつかまらずにいる。しかし、なんらかの要因でこの安定が破られると蚕は移動をはじめ、安定が得られるまで行動を続ける。この安定を破る原因は大別して体外的要因（環境的要因）と体内的要因（生理的要因）とである。体外的要因としては気温、光線、気流、臭気などの他に広義の接触感覚に属する集団の密度（蚕同志の接触）や蚕のいる場所（蚕座）の物理的条件などがある。物理的条件は蚕の移動にかなり重要な影響を与えるもので、腹脚で体を固定できない不安定な場合には、より安定性を求めて移動する。体内的要因の一つには空腹がある。蚕は熟蚕になるとそれまでより、よく動くようになり、熟蚕で特異的なものは、それまでの水平移動に対して垂直移動である背地性（負の走地性）の出現である。これを利用したのが自然上蔟法である。この性質は熟蚕の初期に強く現われ、時間の経過とともに衰退していく<sup>30,7,8,9,10)</sup>。

家蚕幼虫の走光性や走化性はよく知られており、繭蚕は10Lxでは正の走光性、100Lxでは負の走光性を示し<sup>5)</sup>、熟蚕も20~50Lx程度で正の走光性を示すといわれる<sup>15,6)</sup>。また熟蚕は光の波長でいえば5,500Åあたり、すなわち橙色あたりによく集まるといわれる<sup>28)</sup>。走化性については食桑中の蚕を引きつける物質として青葉アルコール、青葉アルデヒドやシトラール、リナロールなどが指摘されている<sup>27,1)</sup>。反対に蚕が避

ける物質、すなわち負の走化性を示す物質としてはクレゾール、ハッカ、ドデシルアルコールなどがあげられ、自然上蔟の際に熟蚕を蚕座から追い出したり、蚕座周囲への這い出し蚕の防止に利用されている<sup>19,22,20,11,6,12,4,7)</sup>。

走電性に関する研究は少ないようで星野<sup>3)</sup>、清水ら<sup>25)</sup>のものがみられる程度である。星野は平面繭を企業的に生産することを計画、その実験結果を1935年に発表した。それによれば平面上蔟器として木枠に糸網を強く張り、熟蚕をはなして平面吐糸させる。この場合、熟蚕が當蔟場所を求めて這い廻り、落下しないために電流を応用した。平面上蔟器の外周縁に吐糸面より6mm位の高さの銅電導板(-)を打ちつけ、この(-)板より9mmの間隔を置いた内側に同じく幅12mmの銅電導板(+)を張り、これに約10Vの弱電流を通じた。また清水らは1976年晩秋蚕期に5令終期の蚕の前胸部に電気刺激(交流20~30V)を与えて後、桑の給与を続けたり、無処理対照区に比べて登蔟時期が促進されたと報告している。

以上のように自然上蔟に走光性や走化性は応用されているが、走電性は応用されていない。そこで筆者らは熟蚕に負の走電性(Negative galvanotaxis)のあることを確認し、1976年春蚕期から電気刺激を利用して、現在の自然上蔟法をさらに省力化し、安定した技術に改善するための試験を実施した。なお検討すべき点も少なくないが、一応の成果を得たので、ここにその概要を報告する。

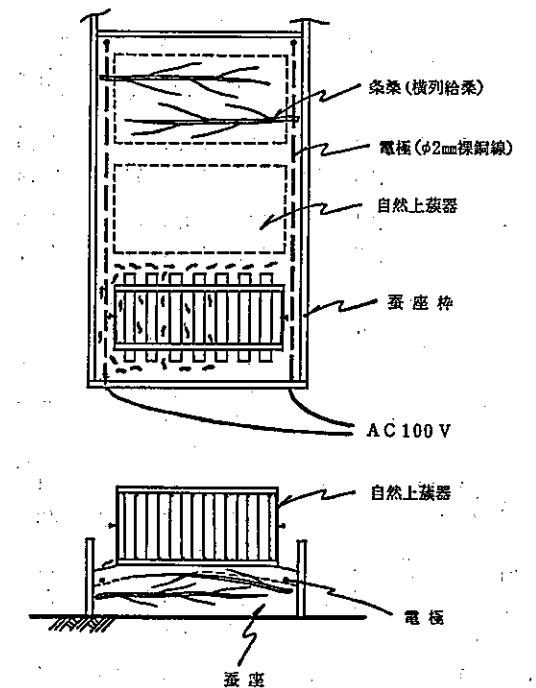
### II 熟蚕における走電性の確認

生体の器官、組織、細胞などは刺激を受けるとこれに対して反応を示す。多くの刺激の中で電気刺激は取り扱いが簡単であり、適当な強さのものを使えば障害作用を残さない。そのため動物生理学の実験では電気刺激を利用して、原生動物や後生動物についての走電性に関する研究が多くなされている。また個体数調査として川や池の魚、土壌昆虫やミミズに電気ショックが用いられている。

家蚕幼虫の運動は刺激によっておこり、その刺激は感覚受容器から神経をへて行動としてあらわれる。外界からの刺激に対しては走性などの反応を示す。そこで熟蚕の行動を促す目的で上蔟時に電気刺激を用いた試験を実施した<sup>29)</sup>。

### 1 試験方法

5齢起蚕を供試し、蚕座枠(長さ400cm,幅100cm,高さ37cm)を組んで条桑育を行った。無除沙で上蔟2,3日前から給桑の都度、その直前に鉄入れをして蚕座を整えた。通電用の配線は第1図に示すように、最終給桑の2回前に、直径2mmの裸銅線を蚕座上へ蚕座枠に沿って、その内側約5cmのところに設置した。給桑は1日2回とし、配線した上に蚕座の長辺に対して直角方向の横列給桑を行った。自然上蔟器は熟蚕の発現状況をみて設置し、その後100Vの交流(60Hz)を通電した。



第1図 通電上蔟電極配置の状態

春および夏蚕期には通電区と無処理区の計量形質、繰糸成績など繭質の比較を行った。そして夏蚕期より登蔟率を比較するため、蔟の撤収は通電区と無処理区をみて、両区同時に行った。通電時間は初秋蚕期には30分ならびに60分間隔とし、その他の蚕期はいずれも30分間隔とした。そして通電状態を均一化する目的で蔟設置直前に蚕座全面へごく少量の散水を行った。

試験条件を一括示すと第1表のとおりである。

\* 養蚕科

注) 農林水産省農蚕園芸局(1979): 昭和53年度養蚕に関する参考統計 P. 49

第1表 走電性確認試験の実施条件 (1976)

蚕期	蚕品種	掃立月日	上蔭月日	蔭設置時間	天候	気温
		月 日	月 日	時間(時 時)		°C
春	春嶺×鐘月	5 7	6 3	6 (10:00~16:00)	曇後晴	21.0
夏	錦秋×鐘和	7 1	7 24	6 (13:00~19:00)	晴	25.8
初秋	錦秋×鐘和	7 20	8 11	6 (9:30~15:30)	小雨後晴	22.1
晩秋	筑波×東海	9 6	10 3	2 (13:40~15:40)	晴	22.0

注) 気温は上蔭当日午前9時に測定。初秋蚕期は8/10に初熟蚕を拾った。

第2表 走電性確認試験における繭計量形質・繰糸成績

処 理	計量形質		繰 糸 成 績			生糸量歩合 %
	繭重 g	繭層歩合 %	繭糸長 m	繭糸量 cg	解じょ率 %	
春 通電	1.82	23.8	1182	35.8	80	19.5
春 無処理	1.85	23.6	1185	34.0	71	20.2
夏 通電	1.74	23.0	1201	33.8	89	19.9
夏 無処理	1.66	21.9	1180	31.8	86	19.7

第3表 走電性確認試験における登蔭率

処 理	登 蔭 蚕		残 蚕		登蔭率 %
	普通繭 粒	その他 粒	普通繭 粒	その他 粒	
夏 通電	2055	56	723	30	74
夏 無処理	1190	35	1627	27	43
初秋 通電60分間隔	1163	43	433	34	72
初秋 通電30分間隔	1147	50	462	52	70
初秋 無処理	906	24	571	23	61
晩秋 通電	1376	36	483	25	74
晩秋 無処理	912	19	950	42	48

注) 夏蚕は1区3000頭、初・晩秋蚕は2000頭供試

2 試験結果および考察

春および夏蚕期における電気刺激が繭の計量形質や繰糸成績に及ぼす影響をみた結果は第2表のとおりである。

これによれば通電区において繭糸量、解じょ率が春および夏蚕期ともに、やや高い傾向がみられたほかは大きな差がなかった。また、通電により斃死すること

はなかった。したがって上蔭の際、通電することにより繭質を低下させることはないようであった。

登蔭率は第3表に示すとおり、夏蚕期以降、蚕期により差はあるがいずれの蚕期も通電区の方が高かった。蔭撤収後の残蚕を調べると通電区は大部分が未熟蚕であるのに対し、無処理区には熟蚕も残っていた。このことから電気刺激は熟蚕の垂直移動を促す作用があると考えられる。

蚕座の通電状態を均一にする目的で晩秋蚕期に蚕座全面へ散水した結果は熟蚕が湿気を避けた<sup>2)</sup>のと、電気伝導性をよくしたためか、他蚕期に比較して短い蔭設置時間で登蔭効果が表われた。

電気による刺激反応は電圧、電流、通電時間に影響される<sup>1)</sup>。ここでは100V(60Hz)で、30分間隔と60分間隔で通電したが、両者の間には登蔭率に大きな差はみられなかった。

以上のように自然上蔭を行う際に蚕座の周囲内側に電極を埋設し、蚕座全面にごく少量の散水をして、蔭設置後に通電すれば(以下この方法を通電上蔭)、熟蚕の垂直移動を促し登蔭率を高めるのに顕著な効果のあることが明らかになった。つまり熟蚕における負の走電性が確認された。

II 桑条および家蚕幼虫の電気伝導性

II節で電気刺激が熟蚕の垂直移動を促すことを述べたが、蚕座、および家蚕幼虫(以下蚕児)の体内での電流の流れ方や、その刺激が走性を誘起するという知見はこれまでにみられない。このことは均質な物質中でさえ直流、交流で異った電流の流れ方を示すが、生

注) 横山忠雄(1968): 蚕の生理を説く 蚕糸科学と技術 7(1); 66-69.

体のように不均質な組織や器官で構成された場合はより複雑な流れ方を示すためであろうと考えられる。

桑の電気伝導性については葉質との関連で電気伝導率が測られているだけであるが<sup>2)</sup>、蚕児では電気生理学的に組織器官レベルでの研究は数多くなされている。個体レベルでは消化液抽出のために電気刺激が利用されているが<sup>3)</sup>、電氣的解明はなされてはいない。そこで熟蚕の垂直移動促進のメカニズム解明の一端とするため、桑条と蚕児の電気伝導性を測定することにより、電流の流れる部位を推定しようとした。

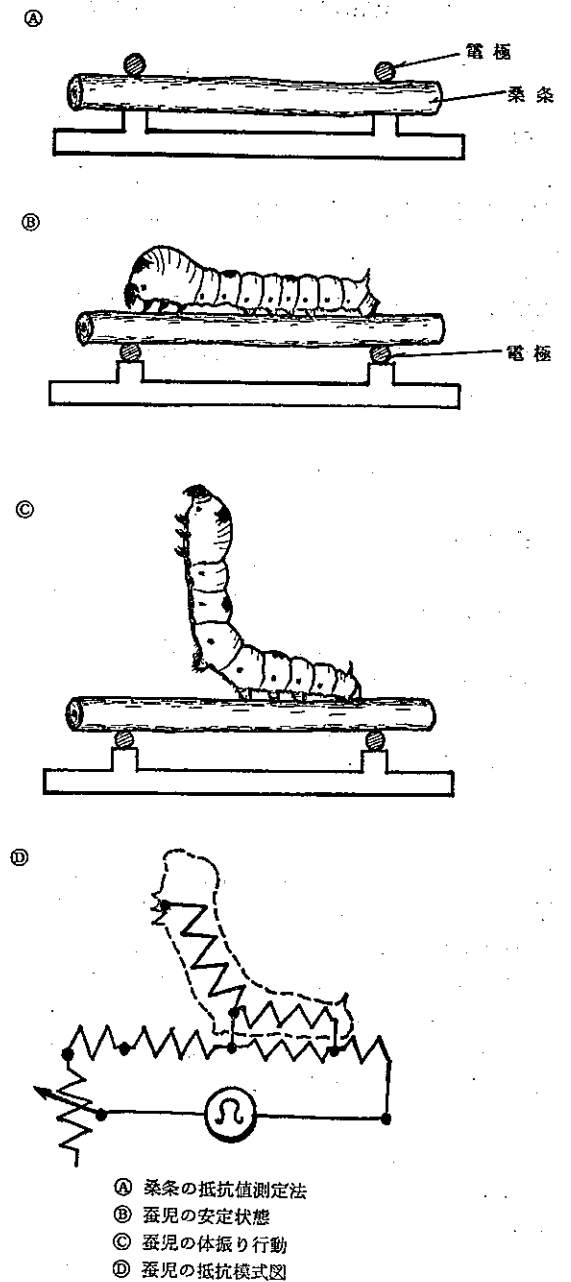
1 試験方法

桑条の電気伝導性の測定方法は第2図④で示すようにガラスの上に試料の桑条を載せ、10cm離して直径2mmの銅線を電極として置き、接触を良くするため電極と桑条の接触部を白色ワセリンで固定した。そして上から約30gの重しを載せ、試料と電極との間の抵抗を一定にして、電界効果トランジスタ型テスターで抵抗値を測定した。供試桑条として、桑品種は一ノ瀬で古条、新梢、春刈り後の再発条を用いて、乾燥した桑条、収穫直後のもの、収穫直後に桑条の表面をけずり電極と接する部位の樹液を浸透させたもの、桑条の電極と接する部位へ水を浸透させたもの、桑条の表皮全体を水で濡らしたものの5つの状態について各々10本ずつ測定した。

一方、蚕児の電気伝導性の測定は、熟蚕および熟化直前の未熟蚕を供試し、方法は第2図⑤で示したとおり10cm離して置いた直径2mmの銅線の上に十分、水分を含ませた桑条を載せ、電極と桑条との接触を密にするため、間隙を白色ワセリンで満し、上に蚕児を載せた。そして安定状態の抵抗値を測定した。さらにこれを破るために12V交流(60Hz)の電気を流し、抵抗値の変化から間接的に蚕児の伝導性をみた。

2 試験結果および考察

桑条の電気伝導性は第4表のとおりであり、古条、新梢、再発枝とも乾燥したものの抵抗値は測定不能、摘桑直後のものは $1 \sim 5 \times 10^7 \Omega/10\text{cm}$ 、また桑条と電極の接する部位へ水を浸透させた状態のもので $5 \sim 8 \times 10^8 \Omega/10\text{cm}$ となったが、その他の2状態のものは電極間隔を10cmから変化させても抵抗値は間隔に比例しなかった。これは電流の流れがinputからoutputまでで最も抵抗の少ないような経路を通る性質をもつことから、表皮の電気伝導性が内部の樹液に比較して極めて悪く、桑条での電流の流れは電極と接す



第2図 桑葉および蚕児の電気伝導性測定方法

る部位の表皮より内部へ伝わり樹液中を通り、もう一方の電極と接する部位の表皮から電極に帰るためと考えられる。すなわち抵抗値が電極間隔に比例して変化

第4表 桑条の電気伝導性 (1977)

桑条の状態	電気伝導性	
	Ω/10cm	
乾燥したもの		
収穫直後のもの	1 ~ 5×10 <sup>7</sup>	
桑条の表面を削り、電極と接する部位の樹液を浸出したもの	6 ~ 8×10 <sup>6</sup>	
桑条と電極の接する部位へ水を浸透させたもの	5 ~ 8×10 <sup>6</sup>	
桑条の表皮全体を水で濡らしたもの	1.5~ 2×10 <sup>6</sup>	

注) 数値は古条, 新梢, 再発枝をいっしょにした95%信頼区間

第5表 蚕児の電気伝導性 (1977)

蚕児の形態	電気伝導性	
	実測値	単位あたり
安定状態	7~12×10 <sup>5</sup> Ω	1~1.5×10 <sup>5</sup> Ω/cm
体振り行動	1~ 2×10 <sup>5</sup> Ω	0.3~0.5×10 <sup>5</sup> Ω/cm
蚕児の脚下にある桑条	—	1.5~2 ×10 <sup>5</sup> Ω/cm

注) 1. 数値は95%信頼区間

2. 脚下の桑条は表皮全体を水で濡らしたものを使用

しなかったのは、電極と接触する部分の表皮の厚さに抵抗値が左右されたものであろう。また表皮全体を水で濡らした場合、抵抗値は1.5~2×10<sup>6</sup>Ω/10cmとなった。そしてこの抵抗値は電極間の長さの変化に比例することにより、表皮上の水分中を流れる表面電流の抵抗であることがわかり、蚕児への刺激はこの表面電流が重要であると考えられる。

蚕児を条の上に載せた安定状態では胸脚と腹脚、尾脚のすべてで条を握る。そして12Vの直流を流すと同時に胸脚を持ちあげ、急激に体振り行動を始めた(第2図③)。

しかし2~3分後には未熟蚕は再び胸脚を降り、普通の安定した状態に戻るが、熟蚕では体振り行動は緩慢となるが胸脚を上げたまま登る場所(安定する位置)を求める行動は続く。この行動を急激な体振り行動の面からとらえると、電流を流し始めた時に一瞬発生するパルス、すなわちサージ電流のショックが行動の引き金となつたとみられるが、以後の熟蚕、未熟蚕

の行動の違いから体内に流れている電流が熟蚕に生理的影響を与えているともみられる<sup>25)</sup>。この熟蚕、未熟蚕への電流の影響を電気伝導性の面から見ると、第5表のごとく蚕児が胸脚、腰・尾脚のすべてでつかまっている時の抵抗値は熟蚕、未熟蚕とも彼らが接触している部位の桑条の抵抗値と大差がなかった。しかし胸脚を持ち上げ掴まるものを探している行動をとっている時の抵抗値は接触している部位の桑条の1/2~1/3しか示さなかった。これは腹・尾脚だけで全体重をささえ、前部のバランスを尾脚でとるため条を強く握り、条との接触が増加し抵抗値が下り普通状態より、多くの電流が流れると考えられる(第2図④)。また熟蚕、未熟蚕とも安定状態では抵抗値が変わらないのに熟蚕のみ長く刺激を受ける原因を見るため、サージ電流の影響を受けないように流れる電圧を0Vからゆっくり引き上げ、蚕児が胸脚を持ち上げ、下半身に刺激を受け、体振り行動を起す電圧を閾値とした。この電圧で熟蚕および未熟蚕が体振り行動を始めた時、蚕児の前方の条へメタノールによる桑葉抽出液を浸すと未熟蚕は直ちに胸脚を降りしたが熟蚕は降さなかった。このことから未熟蚕は電気刺激よりも桑の方に強く引かれ胸脚を降り(正の走化性)、安定状態の抵抗値にもどり、熟蚕では桑に誘引されないで電気刺激が続くのではないかと思われる。

#### IV 通電上蔭実用化のための電気条件

生体に対する電気刺激の伝わり方は特定の強さ(閾値)の電気刺激までは全無律に従い、感覚受容器で電気をアナログ=デジタル変換しないが、閾値を起えた電流が流れるとWeber-Fechnerの法則どおり電流の強さに比例した頻度でインパルスが発生、神経伝導が始まる。電気刺激において閾値以上の電流が流れる時、平滑電流と時間との間に $I \cdot \sqrt{t} = K$  (Nernstの公式I:電流 t:時間 K:定数)の関係、パルス電流との間に $I / \sqrt{n} = K$  (Weissの公式I:電流 n:頻度K:定数)の関係がある。しかし、生体に同じ強さの電流を与え続けると、感覚受容器が疲労し、刺激閾値が高くなる。これについて電気刺激においては電流の強さの閾値と時間との間に $I = \lambda / (1 - \mu Q^t)$  (Hilleの公式I:電流 t:時間入・μ・Q:定数)の関係が、電圧の強さと時間との間では $\log \{V / (V - V_0)\} = Kt$  (Blairの公式V:電圧 V<sub>0</sub>:基電圧 t:時間)の関係が知られている。

これらのことより蚕児に対する電気刺激は平滑電流を流すより、電気のON・OFFのくりかえしにより発生するサージ電流をパルスとして利用した方が効果的で安全性も高いと考え、実用化のための最適電圧、ON・OFF間隔などを検討し、またこれらと関連して電極素材の検討や、II節およびIII節で確認した散水により蚕座の電導性をよくし、刺激を強める方法に登蔭促進剤等を混和して、より登蔭率をあげることを試みた。

#### 1 試験方法

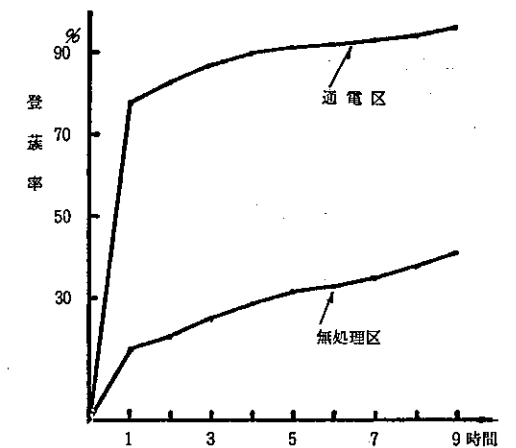
実用化のための最適電圧、パルス間隔を検討するため可変抵抗、タイマー、リレースイッチを組み込んだ電源装置を試作し、上蔭時にこれより蚕座に電気を供給し、電圧・通電時間を変え、消費電力と熟蚕の上蔭状態およびその後の成育を検討した。すなわち1試験区あたり4,000頭の蚕児を供試し、蚕座条件はII節で述べた上蔭前の処置をした後、熟蚕7割発生時から交流(60Hz)で100Vから12Vまでの電圧を通電させ、通電時間は平滑電流から6分、2分くりかえし間隔のパルス電流まで種々について観察した。なお蚕座に対する電流のコントロールは困難なため行なわなかった。電極素材はφ2mm銅線と実用的ではないが電導性が良いと思われる銅延板(断面積25mm×6mm)および電導性は銅より少し劣る(20°C抵抗率Cu 1.72μΩ・cm, Al 2.82μΩ・cm)が、安価で使い捨てのできるアルミテープ(幅30mm厚さ17μ)を供試した。また蚕座の電流の流れをよくするための散水液として電導性を向上させるための3v/w食塩水や、登蔭促進剤としてのクレゾール石けん300倍液・ドデシルアルコール250倍液を用いた。そして、これらの場内試験の結果をもとに養蚕農家において現地試験を行った。

#### 2 試験結果および考察

電圧、パルス間隔は試験範囲内では、いずれについてもIII節での報告と同様、蚕児は通電の初めと終りのスイッチング時に発生するサージ電流をパルスとして体振り行動を始め、熟蚕はその状態が続く。このことから蚕児に対する電気刺激の閾値は12Vより低圧と考えられるが、24Vと12Vの通電における登蔭率で比較すると24V通電区が少し高いことから、登蔭行動の発現要因は感覚的な刺激だけでなく体内へ電流が流れるため内分泌が変化を生じるという考え方に合致する<sup>25)</sup>。種々の電気条件による効果の評価は体振り行動の有無、および登蔭率から判断した。しかし、体振り行

動を開始させるためのパルス条件についてはパルス効果の有無以外調べられず、サージ電流が蚕児にどれほど流れたかを測定することはできなかった。

蚕児の登蔭状況を知る手段として累計登蔭率が調べられている。これによると自然上蔭法で温度、光線を最適値(24°C, 50 Lx)とし累計登蔭率が80%に達するのに20時間以上かかることとされている<sup>24)</sup>。しかし通電上蔭ではいずれの電圧でも通電開始後1時間位で登蔭し、以後、成育の遅れていた蚕児が熟化することに登蔭したようである。この累計登蔭率の一例として無処理区と24V、60Hzを平滑で流した通電上蔭区について比較した結果は第3図のとおりである。このようにこれらの評価方法ではどの場合も似かよった結果を示し、適正条件を決定するにいたらなかった。今後は蚕個体レベルで生理的変化等を測定し別の評価方法を検討する必要があると考える。



注) 通電区は24V交流

第3図 登蔭累計曲線 (1977年初秋蚕期)

実用化のための電極素材の検討と通電上蔭が繭糸質へ及ぼす影響調査を春・初秋・晩秋の3蚕期を通して比較した結果、銅延板、φ2mm銅線、電極間隔を狭めるため2mm銅線を4本電極に使用したもの、アルミテープのいずれの電気素材を用いても登蔭率において各蚕期とも素材間の差位が見られなかった(第6表)。

通電上蔭の時間を無処理区に準じ約一昼夜装置を設

置し通電しても、普通繭歩合が各蚕期とも約95%と上  
 蚕以後の健康において電気刺激による障害も見られず  
 悪影響はなかったと考えられる。また繰糸成績にも異  
 常は見られなかった(第7表)。

散布水溶液としてドデシールアルコール250倍液、

第6表 電極素材試験における登簇率 (1977)

電 極 素 材	登 簇 蚕		残 蚕		登 簇 率
	普通繭	その他	普通繭	その他	
春 銅 延 板	粒 3164	粒 87	粒 125	粒 6	96
第一期 φ2mm銅線	3080	92	150	11	95
φ2mm銅線4本使用	3115	111	103	4	97
無 処 理	2225	109	804	35	74
春 銅 延 板	2522	38	744	8	77
第二期 φ2mm銅線	2668	57	289	9	90
無 処 理	2297	48	1077	39	68
初 アルミテープ(I)	2931	178	351	16	89
アルミテープ(II)	3048	169	471	31	87
秋 φ2mm銅線	3225	184	466	41	87
無 処 理	2593	137	539	34	83

注) 1. アルミテープ(I)は3 v/w %食塩水と中  
 性洗剤を混和したものを蚕座へ散水。  
 2. アルミテープ(II)および2mm銅線使用区  
 は水を蚕座へ散水。

第7表 電極素材試験における繭計量形質・繰糸成績

電 極 素 材	普通繭	繭 重	繭 層	繭糸長	繭糸量	解じょ	生糸量
	歩 合						
春 銅 延 板	% 97	g 1.81	% 23.9	m 1208	cg 36.3	% 63	% 19.9
第一期 φ2mm銅線	97	1.78	24.8	1161	36.1	63	20.2
φ2mm銅線4本使用	97	1.79	23.5	1135	35.8	63	20.1
無 処 理	95	1.80	23.7	1126	36.0	66	19.5
春 銅 延 板	99	1.92	26.0	1207	39.5	75	20.7
第二期 φ2mm銅線	98	1.95	24.5	1287	40.7	76	20.8
無 処 理	97	1.94	24.6	1309	37.5	73	19.4
初 アルミテープ(I)	94	1.86	24.1	1261	36.1	81	19.8
アルミテープ(II)	95	1.74	24.1	1241	33.8	81	19.7
秋 φ2mm銅線	94	1.80	24.3	1207	34.4	77	19.3
無 処 理	95	1.87	23.5	1213	35.6	70	19.6

クレゾール石けん300倍液, 3v/w%食塩水および水  
 道水の4種類を3蚕期散水した結果, 登簇率について  
 水溶液間の差は各蚕期とも見られなかった。すなわち  
 登簇促進の効果が表われるより先に電気刺激の効果で  
 登簇が行われ, 促進剤の効果の発揮する機会がなかつ  
 たらと考えられる(第8表)。また, この方法は散水し,  
 しめった蚕座へ長時間簇器を設置しそこで繭を作らせ  
 ることになるが糸質に影響をおよぼさないことも確認  
 した(第9表)。

以上の結果, 通電上繭を実用化しても繭糸質は従来  
 の自然上繭法と変りのないこと, そして実施のための  
 電極素材としてはアルミ自体の電導率は銅に比して劣  
 るが, アルミテープは軟かく桑条によく密着するので  
 蚕座の電気伝導性は銅電極を使用した場合に比較して  
 劣ることはなく, その上安価で使い捨てができること  
 から供試素材の内でも最適しており, また, 散布する  
 水溶液は水道水, 食塩水で十分と考えられた。

1箱あたりの蚕座上(電極の長さ8m, 電極幅1.5  
 m)での電力消費量をアルミテープ電極, 食塩水散布  
 により, 両電極間の抵抗値および帰還電流をテスター,  
 交流電流計で測定し, 公式により推定した。蚕座の抵  
 抗値は $5 \sim 7 \times 10^2 \Omega$ , 電流は24Vで45~60mA 100V  
 で10~14mAがわかり, これにより消費電流は, 約1  
 Wと考えられる。しかし蚕座へ散水することから商用  
 電流を使用した場合, 地面への漏電がある。そこでス  
 ライダック(非絶縁型トランス)を用いて24Vの交流

を流し, 1箱あたりの出力電流と帰還電流を測定した  
 ところ出力側で約200mA, 帰還側で約50mAが流れ

第8表 散布水溶液試験における登簇率 (1978)

散 布 溶 液	登 簇 蚕		残 蚕		登 簇 率	
	普通繭	その他	普通繭	その他		
春	ドデシール	粒 2949	粒 134	粒 879	粒 86	% 76
	アルコール	3247	129	753	50	80
	水	3335	98	730	72	81
	食塩水	3091	124	878	79	77
初	クレゾール	2638	126	1104	104	69
	石ケン液	2466	116	102	12	96
	無 処 理	2368	77	254	22	90
	ドデシール	2324	103	150	29	93
秋	アルコール	2573	119	300	45	89
	水	1962	98	1640	73	55
	食塩水	3019	134	344	28	89
	クレゾール	3168	176	282	13	92
晩	石ケン液	3137	191	405	33	88
	無 処 理	3122	136	349	15	90
	ドデシール	2274	227	1096	84	68
	アルコール					

ていることがわかった。すなわちこの差150mA, 3.6  
 Wが漏電していると考えられる。この漏電による危険  
 性を防ぐために絶縁型トランスによる降圧か, 直流を  
 使うことが必要と考えられる。この結果をもとに現地  
 実証試験として農家で実施したが, 通電区の熟蚕のほ  
 とんどが登簇した2時間後, 簇を撤収した結果は第10  
 表のとおりである。供試頭数不明のためこの試験から  
 正確な登簇率は把握できなかったが, 簇穴利用率によ  
 り無処理と通電区の効果の比較はある程度できるであ  
 る。

V 周囲這い出し蚕の防止

熟蚕の登簇が終了し, 簇器を撤収した後の蚕座上に  
 10~20%の蚕児が残蚕として残る。この残蚕のうち熟  
 蚕は電極の外側, すなわち飼育枠と電極との間の電気  
 刺激のない部分へ逃げ出したものがほとんどであつ  
 た。この周囲這い出し蚕の対策としてL型アルミ板を  
 簇器の両側に配し, これに電流を流して電気刺激によ  
 り防止することを試みたところ, 良好な結果を得たが  
 電導体が露出しているため, 万一の事故が考えられ実  
 用化には不向きとして試験を中止した。そして電極の  
 周囲に忌避剤を散布することにより登簇率の向上をは

第9表 散布水溶液試験における繭計量形質・繰糸成績

散 布 溶 液	普通繭	繭 重	繭 層	繭糸長	繭糸量	解じょ	生糸量
	歩 合						
春	ドデシール	% 95	g 1.97	% 25.2	m 1242	cg 40.4	% 90
	アルコール	96	1.91	24.9	1212	39.5	95
	水	96	1.92	25.0	1260	40.0	80
	食塩水	95	2.02	25.0	1286	41.1	83
初	クレゾール	94	2.06	24.4	1309	42.2	83
	石ケン液	95	1.92	23.5	1343	37.0	46
	無 処 理	96	1.94	23.5	1326	36.9	47
	ドデシール	95	1.94	23.2	1336	37.8	44
秋	アルコール	95	1.94	23.2	1294	36.2	46
	水	95	1.89	23.2	1294	36.2	46
	食塩水	95	1.76	22.6	1310	33.9	52
	クレゾール	95	1.83	24.2	1214	36.0	84
晩	石ケン液	95	1.86	23.5	1248	37.0	84
	無 処 理	94	1.87	24.2	1252	37.3	89
	ドデシール	96	1.84	24.7	1211	37.1	87
	アルコール	92	1.87	23.7	1186	36.4	77

第10表 農家における現地試験の成績  
(登熟蚕のみ) (1978)

電 極 素 材	普通繭		その他		繭重
	粒	粒	利用率	%	
農家 A					
アルミテープ	7885	194	60		2.07
φ2mm銅線	6172	159	54		2.09
無 処 理	5802	118	50		2.03
農家 B					
アルミテープ	4967	254	57		1.90
無 処 理	3335	175	38		1.92

注) 1. 農家 A (出雲市) 7月8日 14~16時実施  
2. 農家 B(三刀屋町) 7月21日 14~16時実施  
3. 散布水溶液は 3 v/w %食塩水を用い 24 V 交流を通電

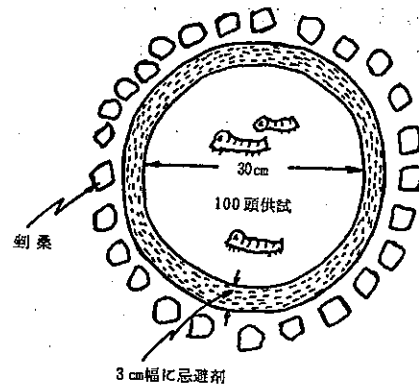
かることを中心に検討した。散布剤は忌避性を利用した登熟促進剤とタバコ抽出液を用いた。タバコについては蚕児に中毒症をおこすことが古くから知られており、タバコ葉中のニコチンが原因とされている<sup>26)</sup>。しかし、カイコのニコチン添食による中毒の回復については軽微なものはもちろん、相当重症のものでも、ある時間がたてば回復して正常に発育するといわれている<sup>26)</sup>。そこで適量のニコチンを忌避剤として使用することは安全であろうと考えた。

1 試験方法

忌避剤としてクレゾール石けん50倍液、ドデシールアルコール 250 倍液、タバコ抽出液〔紙タバコ (セブンスター) 500 g を水1000mlに浸漬) の3倍, 同6倍希釈液をそれぞれ 40 ml 用い, これを風乾したおがくず200gに混和して調整した。そして第4図に示すように直径 30cmの外周に 3 cm幅で忌避剤を散布し, 円の中央部に5齢7日目の蚕児 100 頭を放し, 忌避剤の外側に蚕児を誘引するための割桑を置き, 蚕児の這い出しを調査した。

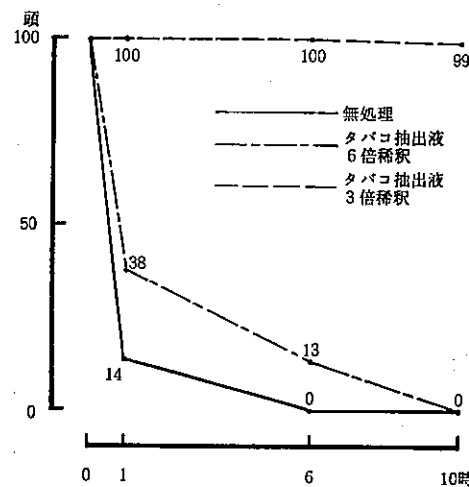
2 試験結果および考察

三種の忌避剤の忌避効果を比較した結果, タバコ抽出液を用いた区は蚕が一カ所に寄り集まるような傾向がみられ20時間経過後も這い出し蚕がなく, 以後の虫繭質にも害はみられなかった。また, クレゾール石けん50倍液を用いた区では供試後6時間目までは忌避効果がみられたが以後は這い出し蚕が出始め, ドデシール



第4図 忌避剤持続効果の試験方法

ルアルコール 250 倍液を用いた区では 2~3 時間で這い出し蚕が現われた。このことからクレゾール石けん液, ドデシールアルコール液は散布初期には忌避効果が認められるが, 時間経過とともに成分が蒸発し, 持続効果がないように見え, 蚕座へ散布した登熟促進剤ほどの効果はなかった。また, タバコ抽出3倍液では10時間以上の効果があることがわかり (第5図, 写真5), この3倍希釈タバコ抽出液のニコチン含有濃度は 0.4 v/v %と推定<sup>27)</sup>した。そこで忌避効果の持続性



第5図 桑葉の手前においたタバコ抽出液の忌避効果

注) 専売公社パンフレット 「たばこ煙中のニコチン, タール含有量 昭和52年調」

第11表 ニコチン濃度のちがいでによる  
周囲這い出し蚕防止効果 (1978)

ニコチン濃度	登熟蚕頭	残 蚕		登熟率 %
		簇器下の頭	周囲は這い出し蚕頭	
v/v%				
0.2	3287	271	160	88
0.4	3138	174	294	87
0	3173	261	307	85
無 処 理	3073	150	715	78

注) 試薬1級ニコチンを水で希釈しオガクズに浸透させたものを簇器の外側へ約 5 cm 幅の帯状に置いた。

があり, かつ蚕児に害のない許容値を定める目的で試薬1級ニコチンを水で希釈し, おがくずの浸透させたものを通電上葉実施時に簇器の外側へ約 5 cm 幅の帯状に置き防止効果を比較した。その結果は第11表のとおり, 周囲這い出し蚕の数は無処理に比べて良かったがニコチン濃度との関係はみられなかった。これはおがくずの忌避作用だけが働き, ニコチン試薬はタバコ抽出液のように複合した物質でないため, 急速に蒸散し効果がみられなかったと思われる。なお, 同時にタバコ抽出3倍液を混和したおがくずを置いたものには効果があり, その後の成育にも異状がみられなかった (第12表, 第13表)。

第12表 通電上葉時に流す電気の  
電極間電圧の比較 (1978)

供 試 電 圧	登熟蚕頭	残 蚕頭	登熟率 %
晩 12-V	2498	903	73
秋 24-V	2870	618	82
無 処 理	1376	1928	42
晩 12-V	8884	1772	83
々 24-V	9892	877	92
秋 無 処 理	2377	1250	66

注) 蚕座両側にタバコ抽出3倍液で周囲蚕防止処理を施した。

第13表 タバコ抽出3倍液を忌避剤としての  
這い出し防止に用いた後の蚕児の成績  
(1978年晩秋蚕期)

供 試 電 圧	普通繭歩合 %	繭重 g	繭層歩合 %	繭糸長 m	繭糸解し率 %	生糸量歩合 %
12-V	95	1.83	22.8	1267	36.1	81
24-V	95	1.82	22.9	1309	36.0	73
無処理	95	1.81	23.1	1130	32.6	84

VI 普及用電源器具の開発

通電上葉の作業体系は上葉中には蚕座へ手を触れる必要のない方式であり, 一般的には安全であると考えられるが, 電極として被覆なしの電導体にそのまま通電することは電気事業法の特殊施設の条項として農業関係では電気柵の施設 (同法 239 条), 電撃殺虫機 (同法 241 条) 以外には認められていない。一方, 労働安全衛生規則では人体が感電しても危険でない最高電圧は 25V, 人体に流れる最大電流と時間 (秒) の積算で 30mA と定められている。そこでこれらの法令に触れず, 且つ熟蚕がよく登熟する電圧, パルス間隔等の最適値を検討中であるが, 中間結果をもとに安価で農家へ普及するための電源器具を試作した。

1 電源器具の試作目標

昆虫電気生理の研究ではインパルス発生のためのパルス電流は, 他への影響をさけるために交流が利用され, 刺激の少ない周波数が用いられている<sup>14)</sup>。しかし通電上葉の場合はむしろ適度の刺激を必要とするので, 蚕座への通電を直流と交流で登熟率によって比較した結果, 交流 100 V と直流 26V で大差のない結果を得た (第14表)。そこで, できるだけ低い電圧で強い刺激を与えようとして直流を利用することにした。消費電流は蚕種 1箱あたり (電極の長さ 8 m, 電極の幅 1.5 m) で, 24V 交流を使用時に測定したところ約 50 mA が流れていることを IV 節の試験で確認しているので電源の出力を 1~2 W 程度とした。また通電の断続によるサージ電流の利用はタイマー等が高価なため省略して, 部品価格を 3,000 円程度におさえることにした。電源の入力は通常では 100 V 交流とし, 商用電力のない所ではバッテリーが利用できるようにした。なお, 出力電圧の比較をしたところ (第12表), 24V が 12V よ

第14表 交流と直流とによる登蔭率のちがい  
(1978年晩秋蚕期)

供試電流	登蔭蚕 頭	残 蚕 頭	登蔭率 %
交 流	6099	1147	84
直 流	6743	1144	86
無 処 理	4648	2446	66

注) 交流 100V, 直流 26V を通電した。

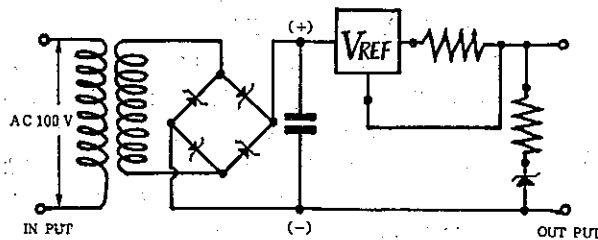
第15表 試作電源器具の諸元

入 出 力	
入力電圧	100V交流または24Vバッテリー
出力電圧	24V直流
出力最大電流	200mA
使用部品	
トランス	大阪高波HS-2405
ブリッジダイオード	東芝ID4BI
発光ダイオード	東芝TLR-103
ボルテージレギュレータ	モトローラ 3μ78M24CP
コンデンサー	チューブラー形ケミカルコンデンサー 35V 2200μF
抵抗	600Ω

り9%程度登蔭率が高かったので、24Vの電源器具を試作した。

2 試作電源器具の概要

試作電源器具(写真4)の諸元は第15表、またその回路は第6図のとおりであるが、この電源器具は降圧、整流回路と電圧安定化電源用IC(ボルテージレギ



注) 商用電力のない場所では、バッテリーを利用して(+)-に接続する。

第6図 試作した電源器具の回路

ュレータ)を利用した定電流安定化回路から構成され<sup>2)</sup>、24Vの直流を通電し、漏電、感電等により200mA以上の電流が流れると瞬時に切れ、人体に危険を及ぼさないようにした。これを用いて試験を実施したところ、今までの24Vに降圧させただけの電源と変わらないよい結果を得た。

VII 摘 要

上蔭作業は養蚕の総仕上げで、熟蚕の収集が作業の中心となる。自然上蔭法は家蚕幼虫が熟蚕になった際に発現する垂直移動を利用したもので合理的な方法である。しかし熟蚕の行動は上蔭時の環境要因や蚕座の状態などによって左右され、登蔭率にひらきがでて安定性を欠いている。そこで筆者らは熟蚕における負の走電性を確認し、これを応用して現在の自然上蔭法を安定技術に改善するための試験を実施した。

1. 通電上蔭に用いる電極素材を検討した結果、厚さ17μのアルミニウム箔を3cm幅に切って供試したものが蚕座によく密着し、アルミは電気伝導率が銅より低いが安価で使い捨てできるためよかった。

2. 蚕座への散布水溶液につき試験した結果、登蔭促進液の効果よりも通電効果が優先したため大差なく、実用的には蚕座が濡れる程度の散水で十分と思われた。

3. 蚕座周囲への這い出し蚕の防止にはタバコ抽出液が10時間以上の忌避持続効果があった。

4. 通電上蔭に最適な電気条件はまだ十分把握していないが、現在までの結果にもつき24V直流で200mA以上の電流が流れると瞬時に切れる安全な電源器具を試作開発した。

5. 通電上蔭の方法としては上蔭の2~3回給桑前に蚕座上に蚕座枠に沿って、その内側約5cmのところ電極を設置し、その上に橋渡しの状態で給桑する。熟蚕の出現をみて、蚕座に散水した後、蔭器を設置して通電する。

6. 通電上蔭の効果はいずれの蚕期にも表われ、短い蔭設置時間で登蔭率が高まった。通電区に残蚕は未熟蚕と周囲への這い出し蚕であった。また通電のために虫糞質に異状はみられなかった。

引用文献

1) HAMAMURA, Y. and K. NAITO (1961): Food selection by silkworm larvae, *Bombyx-mori*. Citral, linalyl acetate, linalyl and terpinyl acetate as attractants of larvae. *Nature* 190: 879-880.

2) Henry WURZBURY (1967): Voltage Regulator Handbook. Motorola Semiconductor Products Inc P.254

3) 星野正三郎 (1935): 平面吐糸上蔭法の研究 蚕糸界報 518; 55-64.

4) 伊富貴豊 (1967): 上蔭における熟蚕忌避剤の利用効果に関する試験 滋賀蚕試報 27: 90-94.

5) 小泉二郎・小針洋子 (1962): 蠶蚕における光に対する順応現象 第2報 蠶蚕の光順応と走光性 蚕糸研究 42; 6-14.

6) 小泉二郎・橋詰強・小針洋子 (1963): 熟蚕の走光性 蚕糸研究 47; 51-58.

7) 小泉二郎・橋詰強・高野幸治 (1964): 熟蚕の立体的移動 日蚕雑 33: 84-89.

8) 小泉二郎・高野幸治・柳川弘明 (1965): 熟蚕の背地性 蚕糸研究 54; 15-20.

9) 小泉二郎・高野幸治・柳川弘明 (1965): 家蚕幼虫の走行性 蚕糸研究 57; 8-12.

10) 小泉二郎・高野幸治・柳川弘明 (1966): 熟蚕の登蔭行動 蚕糸研究 61; 76-93.

11) 石川誠男・平尾常男 (1966): 家蚕幼虫の嗅覚に関する研究 (IV) 熟蚕の各種薬剤に対する忌避性 蚕糸試験場報告 20: 411-427.

12) 丸三郎 (1967): 熟蚕の忌避剤「ハッカ」粉末による自然上蔭に関する試験 福島蚕試要報 8: 41-44.

13) 松村季美 (1934): 家蚕ノ消化液及ビ体液アマラーゼ作用ニ関スル遺傳学的並ニ生理的研究 長野蚕試報 28: 1-124.

14) MCLEAN, D. L. and M. G. KINSEY (1964): A technique for electronically recording aphid feeding and salivation. *Nature* 202: 1358-1369.

15) 宮川千三郎・佐藤清 (1956): 蚕児に及ぼす光

の影響について 第4報 熟蚕の行動と照度との関係 蚕糸研究 10; 35-37.

16) 宮尾三世幸・西村国男・根石清雄 (1966): 自然上蔭における忌避剤に関する試験 長野蚕試要 2: 144-149.

17) 水田美照・中水流操 (1970): 登蔭促進剤トデシールアルコールによる家蚕の自然上蔭 蚕糸試験場彙報 94: 27-36.

18) 本川弘一 (1950): 医学・生物学電気的実験法 南山堂 P.168-193.

19) 永井英一 (1935): 薬剤による蚕児の自然上蔭法 蚕糸界報 518; 51-54.

20) 野口活也 (1950): ドクダミ (*Houttuynia cordata*) 茎葉の臭気が自然上蔭に於ける遺上りに及ぼす影響 宮城蚕試報 4: 7-14.

21) 岡部康之 (1936): 桑葉および枝条の電気伝導度に関する研究 日蚕雑 9: 12-22.

22) 蚕糸試験場 (1938): 自然上蔭におけるクレゾール石鹼液の使用に関する試験 蚕糸試験場彙報 51: 1-53.

23) 蚕糸試験場 (1973): 条桑育における上蔭作業体系 蚕糸試験場彙報 97: 97-191.

24) 佐藤敏・斉藤敏弘 (1966): 自然上蔭の実用化に関する試験 群蚕要報 57; 50-59.

25) 清水勇・足立重信・加藤勝 (1978): 電気刺激による家蚕の登蔭と幼虫脱皮の促進 日蚕雑 47: 226-230.

26) 辻田光雄・名和三郎・坂口文吾 (1958): タバコによる蚕児中毒に関する研究 国立遺伝研年報 8: 152-154.

27) WATANABE, T. (1958): Substances in mulberry leaves which attract silkworm larvae (*Bombyx mori*). *Nature* 182: 325-326.

28) 八木誠政 (1923): 蚕の繭色と向光性について 動物学雑誌 35 (412): 71-77.

29) 安川智登・松本定雄 (1977): 電流刺激が熟蚕の登蔭率に及ぼす影響 近畿中国農研 54: 112-114.

30) 横山忠雄・永丘智郎 (1942): 家蚕に於ける趨地性の発現について 日蚕雑 13: 183-194.



写真1 蔭設置1時間および5時間後と蔭撤収後の残蚕状況  
 (1976年夏蚕期 左 無処理区 右 通電区)

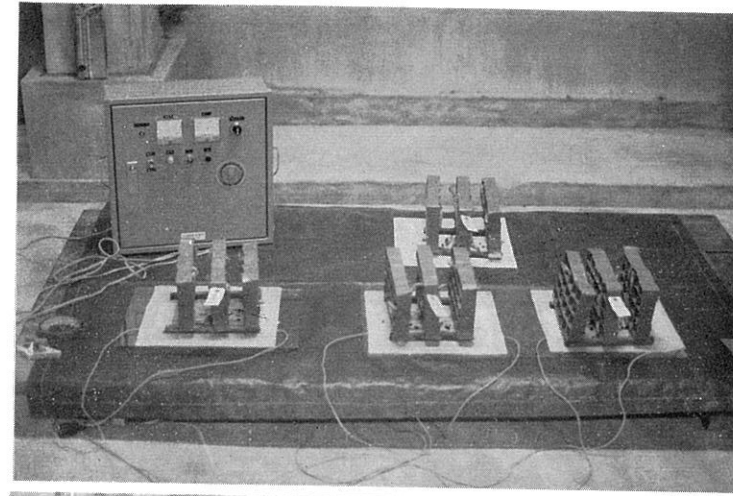


写真2

蚕座散布水溶液の基礎  
 試験の状況

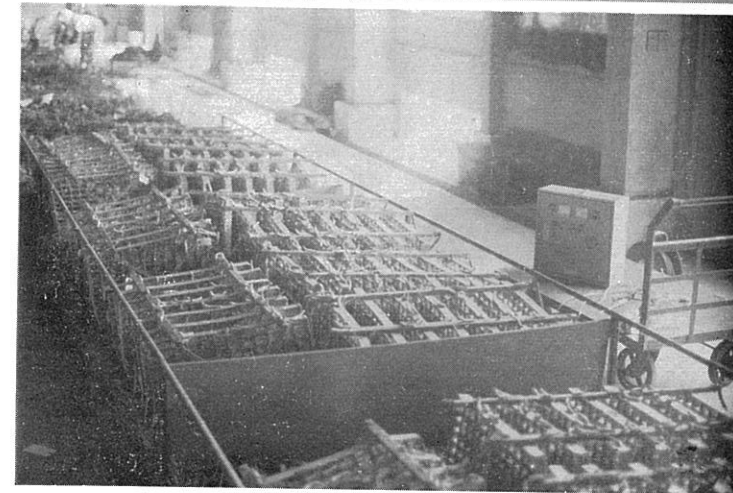


写真3

通電上蔭試験の状況  
 (蚕座側のフルコン  
 布をはずして上蔭)

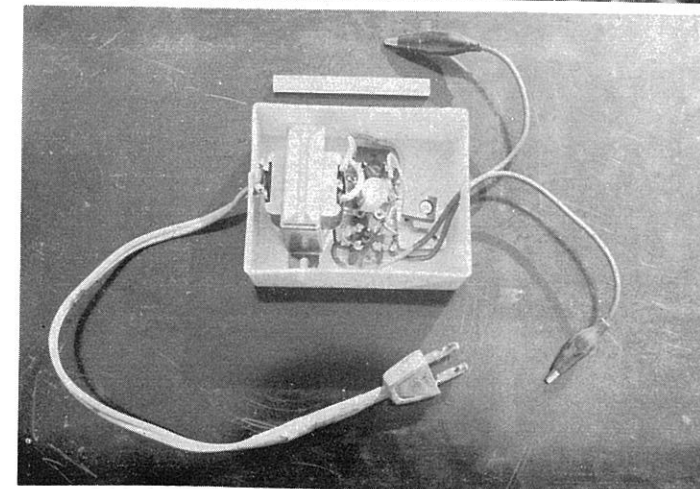


写真4

試作した電源器具

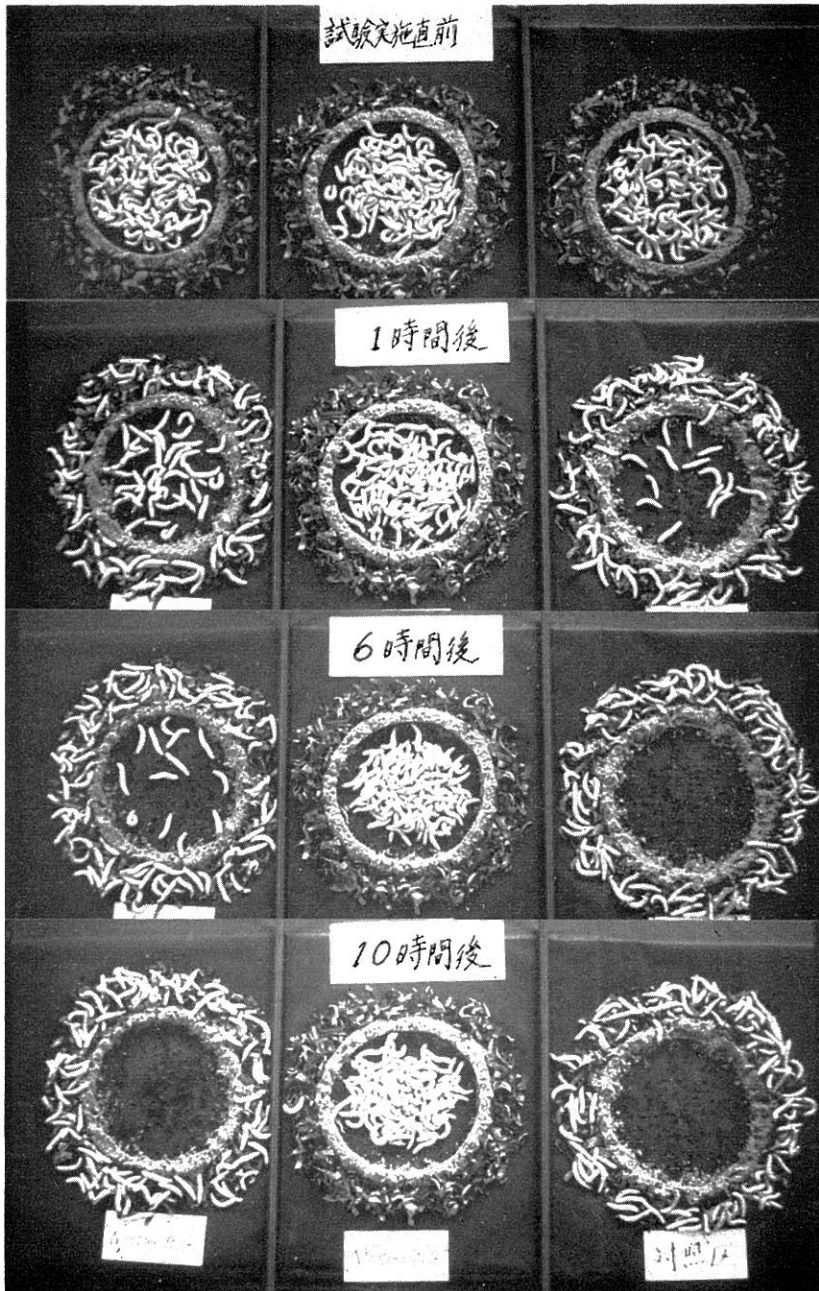


写真5 タバコ抽出液の忌避効果の状況 (1978)

左 タバコ抽出液 6倍稀釈  
 中 タバコ抽出液 3倍稀釈  
 右 無 処 理

### Summary

Mounting work is the final stage in sericulture and its main task is collecting mature silkworm larvae. In the days when sericulture scale per farmer was small and great physical efforts were made to obtain high quality cocoons, no attention was paid to the efficiency of mounting and a mounting method of picking up manually only mature silkworm larvae of acceptable quality was adopted. However, economical developments has made the sericulture scale larger and higher productivity in cocoon production has become necessary. Traditional silkworm rearing has changed to the rearing with mulberry shoots throughout the sericulture season, and mounting method has changed too.

The most popular mounting method in common use now is "JÔBARAI" mounting method in which we shake off silkworms from mulberry shoots, and make one group of silkworms mount simultaneously. As efficient mounting method, selfmounting method is also in general use besides above "JÔBARAI" mounting method. The self-mounting method utilizes vertical movements which silkworms make when matured, and it is the method in which we let mature silkworm larvae mount on the cocooning frame put above the rearing bed. The problem of this method is that the percentage of mounted silkworms fluctuates and is unstable due to the fact that behaviors of mature silkworm larvae are influenced by environmental factors (such as temperatures, light, air flow, etc.), rearing bed conditions, etc.

The writers have confirmed the negative galvanotaxis of mature silkworm larvae. Applying this fact, a test has been carried out to improve the existing self-mounting method to a more stable technique.

At the second to third time before the last mulberry shoot supplies, an electrode was situated on rearing bed along rearing bed frame (5cm inside of the frame). On the electrode, mulberry shoots were laid by widthwise supplying of shoots (supplying shoots laying in parallel with the shorter side of rearing bed). The electrode was charged with electricity, after spraying water on the rearing bed and arranged the cocooning frame.

Results were :

○ In any silkworm rearing season, electrified areas saw high percentages of mounted silkworms in shorter periods compared to non-electrified areas.

○ Silkworms which did not mount in electrified areas were premature silkworm larvae and silkworms which crawled out of the electrode.

○ Abnormality in cocoon quality due to electrification did not occur.

#### *Study on electrode raw materials*

The study on raw materials of electrode used in electrifying mounting method revealed that aluminum foil of 17 $\mu$  thickness and 3 cm width was the best, because

it well sticks to the rearing bed and is less expensive than copper although its conductivity is lower than copper's.

*Spraying of drug solutions on the rearing bed and prevention of crawling out in the silkwoms*

With the objective of improving conductivity and enhancing the percentage of mounted silkworms, the effect of spraying various drug solutions was tested. However, there were no noticeable differences among tested drug solutions. Therefore it is enough to spray water on the rearing bed slightly wet in actual practices. In order to prevent silkworms from crawling out, the extracted liquid from tobacco was effective for over ten hours.

*Development of power source equipment*

The most appropriate electrical condition in electrifying mounting method has not been obtained yet. Based on the findings so far made clear, safe power source equipment which automatically cuts off current in the moment when over 200mA at 24V of the direct current begins to flow, was developed. The result of its trial use was good.