

平成29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「人工飼料給餌無菌周年養蚕繭量産化の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局

関東経済産業局

補助事業者

公益財団法人にいがた産業創造機構

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論一（1）

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

絹糸は衣料の他、繭のタンパク質が健康食品や医療用品としての需要もあり、現在各分野での注目を集めている。しかし日本はもとより、世界の主要生産国の生産量も年々減少傾向にあり、仕入価格も高騰している。

現在世界の絹糸の生産供給は中国が90%近くを担っている。また、世界的な養蚕離れによる供給量減少に対し需要は増加しており仕入価格が上昇傾向にある。中国は国策により年々絹糸の生産が減少し、今後5年程度で生産が危機的な状況にまで縮小されることが予想され、世界的にも生糸の供給が不安定になる可能性が高い。日本の絹糸の輸入は70%が中国からで他にブラジル、ベトナム等があるが、いずれも減産傾向にあり昨今の円安に伴う輸入コストも上昇し、日本の和装業界にとっては厳しい状況である。

一方、日本の繭の生産は年々減少しており、昨年は140トン程度にまで落ち込んでいる。農林水産省は緊急の繭増産の支援策を打ち出しているが、養蚕農家は高齢のため今年も年率10%程度生産が減少すると予想される。

現在操業している国内の製糸工場は3工場程度である。そのうち唯一の大手工場である碓氷製糸工場の操業率は30%程度で厳しい環境にあり、繭の増産が渴望されている。

人工給餌無菌周年養蚕は研究室レベルでの小規模な実験生産が松原名誉教授の理論に基づき行われているが、量産化技術の研究には到っていない。大量生産に向けた生産技術研究は国内初となる。

(2) 当該分野における研究開発動向

現在は松原名誉教授の開発した無菌養蚕システムで、医療分野や健康商品分野にフォーカスした小規模な生産が全国で数ヶ所行われているが、日本の伝統文化であるきもの産業の発展に資する良質な「絹糸」の生産を目的とした無菌繭大量生産（100t規模）への取組は前例がない。

絹糸としてラボスケールでは10年程度経時黄変^{*1}しない等様々な結果が出ているが、量産化した場合に同レベルの絹糸が製造できるか否かは現在研究されていない。

(3) 研究目的

本計画は、繭の生産年間100トン規模の事業化を目指し、その基礎となる年間5トン程度の試験生産方法を松原名誉教授の監修のもと、最新の設備を導入し、同時に昆虫学者でありシルクタンパク質研究の第一人者として知られている東京農業大学長島教授の協力をいただき確立を図る。5t規模の試験生産が可能となった場合には、この技術の拡大展開で100トン規模の生産は可能となる。

現在国産の繭の生産量は140トン程度で年々減少しており、今後も減少すると予測される。この影響もあり、大手製糸工場の稼働率は30%程度で、繭の増産は渴望されている。

(4) 研究目標

1. 無菌飼育ボックスの設置と無菌飼育ボックス内へのウィルス侵入への対応

技術的目標値

人工餌を製造する無菌カプセル内の空気清浄度^{*2}をクラス1,000以内、蚕を育成する無菌カプセル内の空気清浄度をクラス10,000以内となるように管理を行う。

ちなみに一般的な手術室はクラス50,000程度に相当する。

2. 無菌飼育ボックス内の環境最適化への対応

技術的目標値

1 の目標のほか、無菌カプセル内へのウィルス侵入を防ぐため、作業員、専用作業衣、靴の消毒管理を徹底して行い、感染症などによる蚕の死滅を 0 にする。

3. 人工餌の配合への対応

技術的目標値

生産される繭の大きさ、質量は通常養蚕農家で生産される繭と同等以上とする。

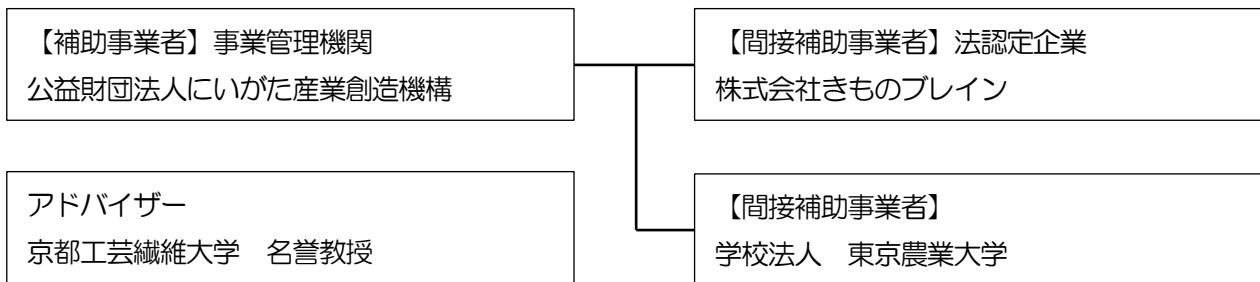
1、2、3を総合し、製糸後の品質は生糸の日本農林規格（別添資料①）の測定項目である、水分検査、織度偏差、織度最大偏差、平均織度、節量、再繰切断、伸度で 4 A 以上に準ずる値を目標とする。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1.2.1 実施体制

本事業の推進体制としては図1のとおりである。研究実施機関では、プロジェクトの中核となる企業として、法認定事業者である株式会社きものブレイン、また大学・公設試等として、東京農業大学が各々、研究サブテーマを担当する。



1.2.2 研究者等氏名

(1) 研究員

株式会社きものブレイン

氏名	所属・役職	備考
小林 照幸	企画商品部	PL
星名 一郎	企画商品部	
佐藤 三井	企画商品部	
関谷 貴子	企画商品部	
田畑 幸雄	企画商品部	
水落 悟	企画商品部	
合田 恵子	企画商品部	
小野 真澄	企画商品部	
関 由子	企画商品部	

学校法人東京農業大学

氏名	所属・役職	備考
長島 孝行	農学部農学科 教授	SL

(2) 管理員（事業管理機関）

公益財団法人にいがた産業創造機構

氏名	所属・役職	備考
長谷川 満	産業創造グループ 産学連携チーム マネージャー	
石井 啓貴	産業創造グループ 産学連携チーム エキスパート	
皆川 森夫	産業創造グループ 産学連携チーム エキスパート	
前田 勝也	産業創造グループ 産学連携チーム シニアチーフ	
小菅 小百合	産業創造グループ 産学連携チーム 職員	
五十嵐 晃	産業創造グループ 産学連携チーム シニアエキスパー	
内藤 薫	産業創造グループ 産学連携チーム シニアチーフ	
諸橋 春夫	産業創造グループ 産学連携チーム シニアエキスパー	

1.2.3 協力者及び指導・協力事項

氏名	所属・役職	備考
松原 藤好	京都工芸繊維大学 名誉教授	PL
和久津 英志	新潟県産業労働観光部 産業振興課長	平成 29 年度
利根川 雄大	新潟県産業労働観光部 産業振興課長	平成 27-29 年度
岡元 松男	株式会社きものブレイン 代表取締役	
岡田 伸夫	公益財団法人にいがた産業創造機構 産業創造グループ ディレクタ	
内山 雅彦	公益財団法人にいがた産業創造機構 産業創造グループ 総括マネージャー	

1-3 成果概要

研究開発実施内容	成果概要
【1】 量産スケールでの無菌飼育の検討	
【1-1】 無菌ボックスにおける蚕病抑止効果の検討	目標とする年産5tペースでの試験飼育を行った(サブテーマ1-1、1-2、1-3)。主に次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いて無菌ボックス内、器具の清掃、消毒を行った結果、蚕病は発生しなかった。
【1-2】 人工餌の滅菌による蚕病抑止効果の検討	松原名誉教授のアドバイスにより、98℃75分稼働を行った。蚕病は発生しなかった。
【1-3】 蚕卵の消毒による蚕病抑止効果の検討	効率よく消毒を行った結果、年間を通して蚕病は発生しなかった。
【2】 無菌飼育ボックス内の環境最適化への対応	
【2-1】 繭の試験生産	蚕の飼育に適した条件を決定することができた。手間のかからない上蒨方法の開発、改良を進めた。
【3】 人工餌の配合への対応	
【3-1】 桑のパウダー化の検討	粒径0.5mmと0.013mmの桑葉で検討した結果、桑葉の粒径は成長の差に大きな影響を与えないことが判明した。
【3-2】 人工餌製造方法の検討	現行の飼料であれば、問題なく成長し良好な繭を得ることができた。 5齢期に桑葉を0にした飼料にて試験を行い、従来の飼料に近い出来高を得ることができた。幼若ホルモンを飼料に添加し、繭重の大きい繭を得ることができた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【法認定事業者】

株式会社きものブレイン

企画商品部 小林 照幸

〒948-0056 新潟県十日町市上島丑 597-1

TEL : 025-752-0720 FAX : 025-752-0721

E-mail : kobayashi.teru@kimono-brain.com

【事業管理機関】

(公財) にいがた産業創造機構

産業創造グループ 産学連携チーム

エキスパート 石井 啓貴 (いしい ひろたか)

〒950-0078 新潟市中央区万代島 5-1 万代島ビル 9F

電話 : 025-246-0068 FAX : 025-246-0030

E-mail : h-ishii@nico.or.jp

第2章 本論

(1) 量産スケールでの無菌飼育の検討

技術的目標値

人工餌を製造する無菌カプセル内の空気清浄度※2 をクラス 1,000 以内、蚕を育成する無菌カプセル内の空気清浄度をクラス 10,000 以内となるように管理を行う。ちなみに一般的な手術室はクラス 50,000 程度に相当する。

研究内容

1-1. 無菌ボックスにおける蚕病抑止効果の検討

加湿加温制御装置、空気清浄化装置を備えた量産スケール無菌飼育ボックスを用いて、生産作業環境の維持と生産工程の外気からの隔離を行うこと、および無菌飼育ボックス内で着用する作業服、靴、そして飼育に用いる器具等の滅菌消毒により、ウィルスや雑菌の侵入を防ぎ、蚕病発生を防止した。

◇成果および効果

清掃、消毒をきちんと行うことにより、現時点で蚕病は発生していない。

1-2. 人工餌の滅菌による蚕病抑止効果の検討

量産スケールの人工餌製造後の人工餌を滅菌し無菌状態の人工餌を製造する。この人工餌を用いることで、蚕病に対して抑止効果があるか調査した。

◇成果および効果

松原名誉教授のアドバイスにより、より確実な滅菌のために蒸庫の条件を 98℃ 75 分に変更した。従来は 95℃ 75 分稼働としていた。現時点で蚕病は発生していない。(図 A)



図 A 蒸庫

1-3. 蚕卵の消毒による蚕病抑止効果の検討

蚕卵の段階で消毒殺菌することにより孵化した蚕自体がウィルスや雑菌を持たない状態にした。これにより蚕病抑止効果があるか調査した。

◇成果および効果

クリーンベンチ内で十分に消毒を行うことで、蚕病を抑えることができた。(図 B)



図 B クリーンベンチ

<サブテーマ 1-1 から 1-3 における蚕病抑止効果の検証>

- サポイン事業の技術目標値である、年間 5 トンペースによる飼育のために、掃立※1 回当たり 10 万頭もしくは 5 万頭の掃き立てを、2 週間につき 1 回ペースで試験生産を実施し、技術目標の生産スピードにおいて、サブテーマ 1 の蚕病抑止技術が有効であるか検証した。
- 年間 5 トンペースでの試験生産を、通算で計 12 回転実施した。(蚕の飼育数は、総計 80 万頭分に相当する。)
- 蚕病は一般に感染力が強く、通常の飼育環境において病原となるウィルス等に感染した場合、同一空間内(本研究開発での場合では、無菌ボックス内全域に相当)の蚕の大半が罹患し、蚕の発育の遅延や致死に至ることが報告されているが、本研究開発での試験飼育では、12 回転での飼育中において、これらの現象は一度も発生しなかった。
- ゆえに、サブテーマ 1 の蚕病抑止技術は、年間 5 トンペースにおける生産においても、蚕病抑止に有効であると判断した。

※掃立とは：孵化した蚕を飼育トレー(餌、網を敷いてある)に移す作業

※平成 29 年度は、サポイン事業の技術目標値である、年間 5 トンペースで飼育を実施し、蚕病の発生を 0 に抑えることができた。本事業で確立した飼育方式であれば、飼育を継続しても病気は発生しな

い可能性が高いことが検証できた。

(2) 無菌飼育ボックス内の環境最適化への対応

技術的目標値

各無菌飼育ボックス内の温湿度パターンを変えて飼育し、データ収集を行う。蚕の成長に最適な条件を決定する。

研究内容

2-1. 繭の試験生産

各無菌飼育ボックス内の温湿度により、生産される繭の品質は大きく変わる。良質な絹糸を得るため各ボックス内の最適な温湿度パターンのデータ収集を行った。採取された繭について東京農業大学で品質検査を実施した。また、繭乾燥機の最適乾燥時間、温度を調査した。

◇成果および効果

1 齢を 29℃ 75%、2 齢を 28℃ 70%、3 齢を 27℃ 65%、4 齢を 26℃ 65%、5 齢を 25℃60% という環境下で飼育を行った。こちらの条件で問題なく成長することが判明し、飼育条件の確立ができた。

年間収繭量約 5 トンペースでの飼育に成功した。また最も手間のかかっていた上簇に関して、新方式を開発するとにより大幅な作業時間の短縮（従来の 1/3 に短縮）に成功した。今後はより玉繭・汚れ繭が少なくなるように改良を行う。（特許申請中）

年産 5 トンは問題なく可能であることが判明した。今後、スケジュールやフローシートを見直し、さらなる時間の短縮を目指す。

繭の乾燥機を導入し、最適な乾燥温度、乾燥時間の検討を行った。120℃で 60 分稼働を行い、その後は一定の時間ごとに温度を下げ、5 時間後に 79℃とした。最後の 30 分は 40℃（ほぼ室温）の風を送った。上記の条件で乾燥した場合、蛹は確実に死に、繭の乾燥状態も良好ということが判明した。また一回当たりの乾燥量が少ない場合は 5 時間稼働で十分ということがわかった。その場合の条件は「120℃で 90 分稼働→一定時間ごとに温度を下げ、4 時間半後に 60℃→最後の 30 分は 40℃の風を送る。」である。

(3) 人工餌の配合への対応

◇技術的目標値

生産される繭の大きさ、質量は通常養蚕農家で生産される繭と同等以上とする。

1、2、3 を総合し、製糸後の品質は生糸の日本農林規格（別添資料①）の測定項目である、水分検査、繊度偏差、繊度最大偏差、平均繊度、節量、再繰切断、伸度で4 A以上に準ずる値を目標とする。

◇研究内容

3-1. 桑のパウダー化の検討

主原料となる桑の乾燥、粉碎機器を用い、桑のパウダー化についての乾燥時間や粒度等の最適条件を調査した。桑葉の粒度の大小によって蚕の育ち方に影響があるか検討を行った。

成果および効果

粒度0.5mmと13 μ mの桑葉を飼料に用いて飼育試験を行った。両者に成長の差は見られなかった。蚕が食べることでできる粒度であれば粒度の差は問題ない可能性が高いことが判明した。今後はコストの低いものを使用する。

3-2. 人工餌製造方法の検討

人工餌原料の練合せ機器を用い、桑葉粉末、脱脂大豆粉、トウモロコシ澱粉、クエン酸、ビタミンC、他微量成分を、配合を変えて練り合わせ、人工餌の製造を行う。また最適な練り合わせ時間を調査した。カッターミキサーにて飼料を混合し、飼料の生産ロットによる成長のばらつきが抑制されるか調査、検討を行った。また桑葉使用量を減らした飼料、幼若ホルモン含有飼料の開発を行った。

成果および効果

昨年度までの飼料であれば安定した繭の生産が可能であるということが判明した。カッターミキサーを導入し、飼料をより良く混合・分散させるとして、蚕の成長のばらつきを抑えることができた。また飼料の安定生産、飼料作成時間の大幅短縮（従来の1/5に短縮）につながった。（図C）

5 齢期の桑葉使用量を0に減らす飼料の開発に着手した。広食性蚕品種にて試験を行った結果、従来の飼料に近い繭重、繭層重となることが判明した。高コストの要因である桑葉の使用量を減らすことで、大幅なコストダウンとなることを見えている。

東京大学名誉教授 森謙治氏より提供いただいた幼若ホルモンを飼料に添加し、未添加のものより繭重、繭層重が大きくなるか調査を行った。また最適投与量、最適投与時期の検討を行った。最適投与量は1頭当たり約0.5 μ g、最適な投与時期は5 齢の1日目～4日目ということが判明した。また幼若ホルモン添加飼料育の繭重、繭層重は、未添加飼料育の繭と比べ約1.3倍となることが判明した。1頭当たりの生産量が増えるため、コストダウンが期待できる。



図C カッターミキサー

3-3. 繭の品質検査

人工飼料原料を検証するため、採取された繭について東京農業大学で品質検査を実施した。具体的には、①無菌人工飼料養蚕繭の特性、②緑系統繭の特性、③無菌人工飼料養蚕カイコの絹糸腺、絹糸腺内のフィブロインの構造と絹糸のアミノ酸組成について解析を実施した。

I 人工飼料育・無菌養蚕の生成する繭の機能特性

蚕は病気に比較的弱く、ウィルスなどに感染すると容易に集団感染を起こす恐れがある。そこで、わが国では1980年頃から桑葉に代わる人工飼料の開発が行われるようになった。その中で、人工飼料は全齢飼料育の実用化としてコスト面をはじめ繭の計量形質および操糸成績に於いて繭層歩合、生糸歩合、解舒率、化蛹歩合などが桑葉飼育に比べて劣る（新保ら1995、町田ら、1996）などのことが最重要課題と言われてきた。

これまでの研究成果の中に人工飼料の低コスト化を目的に廃棄物で安価に入手できるオカラを主成分としたオカラ含有人工飼料で飼育したところ、繭の繊度、解舒率などに優れた結果が得られ、また生糸には光沢、白度が高くなる、黄変しにくい等の報告がある（例えば森ら、1991）。

そこで、本実験ではきものプレインで最初に実施された無菌養蚕カイコから得られた繭を用いて、繭の可視光領域での反射スペクトル特性と繭の紫外線照射による黄変化についての調査を実施した。

(a) 材料と方法

対象区の通常カイコは1令から3令までは標準人工飼料で飼育、4令以降は桑葉で飼育した。実験区のカイコはきものプレインで得られたカイコの繭を用いた。

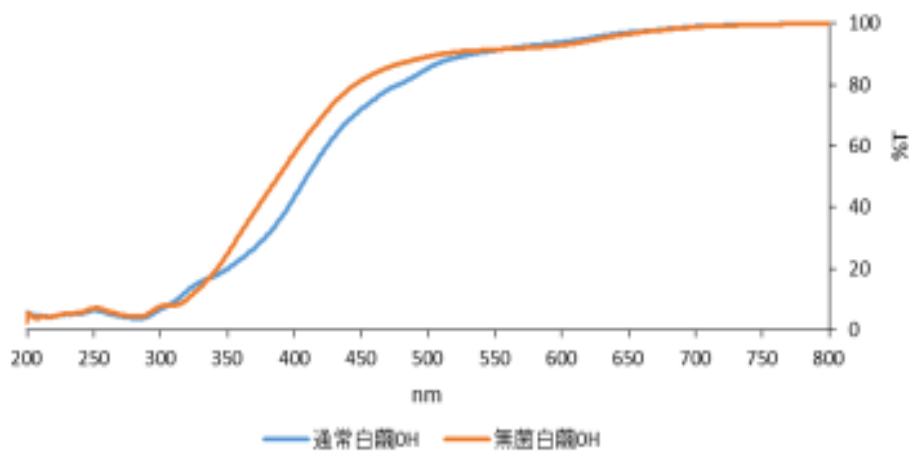
紫外線照射は Philips TUV、15W/G15 T8 を用い（主な紫外線波長は253,7nm）、光源から40cmの距離で最長3週間の照射を行った。

また反射率、透過率の測定は積分球の分析装置の搭載された HITACHI U-4000 分光光度計を用い、90度ずつ角度を変えて4反復測定を実施した。

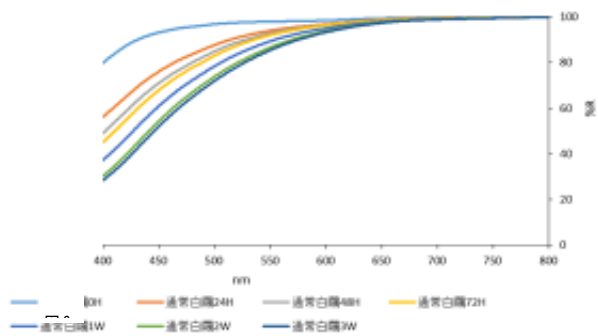
(b) 結果

図は通常カイコの繭と完全人工飼料育・無菌培養カイコの繭の透過率を比較したものである（図5）。本試験で得られる繭は、通常カイコの繭に比べ可視領域（400～800nm）のスペクトルの中で、青紫（400nm）、青（450nm）、緑（500nm）の透過率が低い（反射率が高い）特性を有することが明らかであった。すなわち、本方法で飼育した結果得られた繭が白く見える理由は、この短波長スペクトルの反射特性に原因のひとつがあると推測された。

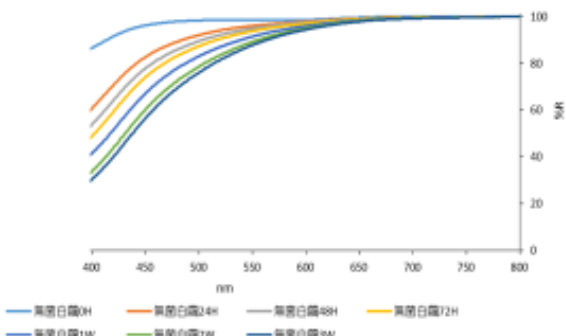
また、この特性は紫外線照射を長期間実施することにより劣化がみられるが、劣化の程度は通常繭に比べ、極めて低いことも特徴の一つで（図1，2）、数年間の通常紫外線に当たらないと起きないような現象であることも推測される。外見上では、通常繭が24時間照射すると直ちに黄変したのに対し、人工飼料育のものではその5倍以上の7日間照射し続けないと黄変は見られない（図4）。



第5図 通常培養蚕と無菌培養蚕の繭層の透過率曲線(OH)



第1図 時間経過ごとの通常培養蚕の繭層の反射率曲線



第2図 時間経過ごとの無菌培養蚕の繭層の反射率曲線

通常培養蚕（左）と無菌培養蚕（右）の繭層



図4：UV照射(1-3週間)した繭の黄変状況(顕微鏡写真)

II. 緑系統無菌培養繭由来布の機能特性

長島ら(1998)は既に黄色系繭、緑系繭に紫外線遮蔽能が高いことを明らかにし、またその系統の中で日光堅牢度が黄色系においては低く商品化には難しいことも明らかにしてきた(長島ら、2015)。

(a) 実験方法

各種繭糸を太陽光曝露前と曝露後のものを、積分球の分析装置の搭載された分光光度計にて測定した。詳細な方法などはこれまでのものと同様である。

(b) 結果

2015年と同様な試験を実施したが以下の結果が得られた。すなわち、緑繭系統、黄色繭系統両者の繭の曝露前は紫外線A波、B波、C波全て同様な曲線を示し、強い遮蔽能力をすべての紫外線領域で示した。これに対し、二カ月間太陽に曝露した場合、黄色繭系統のものは透過率が上がり、遮蔽能力が急激に劣化することが明らかであった。一方、緑系統の繭(笹繭)は機能的劣化が見られることなく、紫外線領域のスペクトルには曝露前と殆ど変わっていないことが明らかである。

成果及び効果

緑系統の繭は紫外線領域の遮蔽機能に持続性があり、そのため黄色繭に比べ商品化の可能性が極めて高いことが考えられる。場合によっては紫外線遮蔽能を有効に利用した非繊維利用への可能性も高い。これまでカイコの繭は紫外線A波の遮蔽能が少ない為、利用の範囲が狭かったが本系統の繭はこれまでのカイコにはない特別な機能性(紫外線遮蔽能力)があることが明確になり、利用範囲が広がった。

そこで、本研究では緑繭に注目し、その系統の人工飼料での無菌培養を実施、薄い平織の布を作製した。糸織度と織り方を同一にした緑系繭と通常カイコ(桑葉飼育)の繭からの薄布の紫外線遮蔽率を比較した。

その結果、薄地であっても、400nmから350nmの紫外線A波(主に日焼けを促進、皮膚の赤化、黒化を誘導する紫外線)を中心とした領域に有意差がみられた。このことから今後布を更に厚くすることにより、この数字はさらに効果的なものになり、有効活用が十分に期待できるものと示唆された。

Ⅲ 繭糸と絹糸腺の光学顕微鏡・電子顕微鏡観察と繭糸のアミノ酸組成分析

(a) 材料と方法

対象区の通常カイコは桑で飼育した5齢3日目のものを使用した。実験区のカイコは、きものブレインにおいて、人工飼料にて飼育した完全無菌カイコ(緑繭)の5齢3日目のものを使用した。絹糸腺細胞はカルノフスキー氏固定液と四酸化オスミウムによる二重固定を行い、切片はエポキシに包埋後1μm厚の切片を作成しトルイジンブルーで染色し、光学顕微鏡で観察した。SEM像は脱水後臨界点乾燥を行い割断して、5nm厚でオスミックコーティングをし、FE-SEM SU8010(日立)で観察した。アミノ酸組成の分析は、精錬を行なってセリシンを完全に除去し、アミノ酸自動分析法により分析を行った。

(b) 分析内容

①フィブロインの光学顕微鏡像

下の図は、無菌培養カイコの後部絹糸腺細胞および後部絹糸腺内のフィブロインの光学顕微鏡像である(図6)。後部絹糸腺細胞の形状および細胞内小器官などには、通常のカイコとの違いは見られなかった。

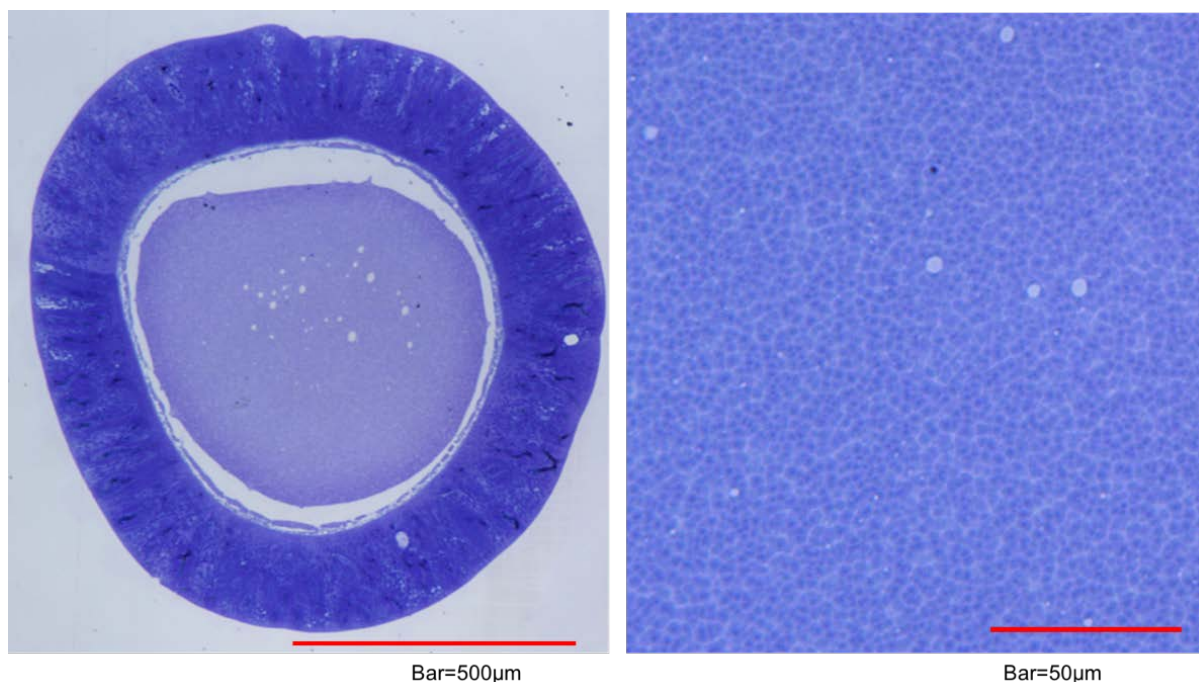
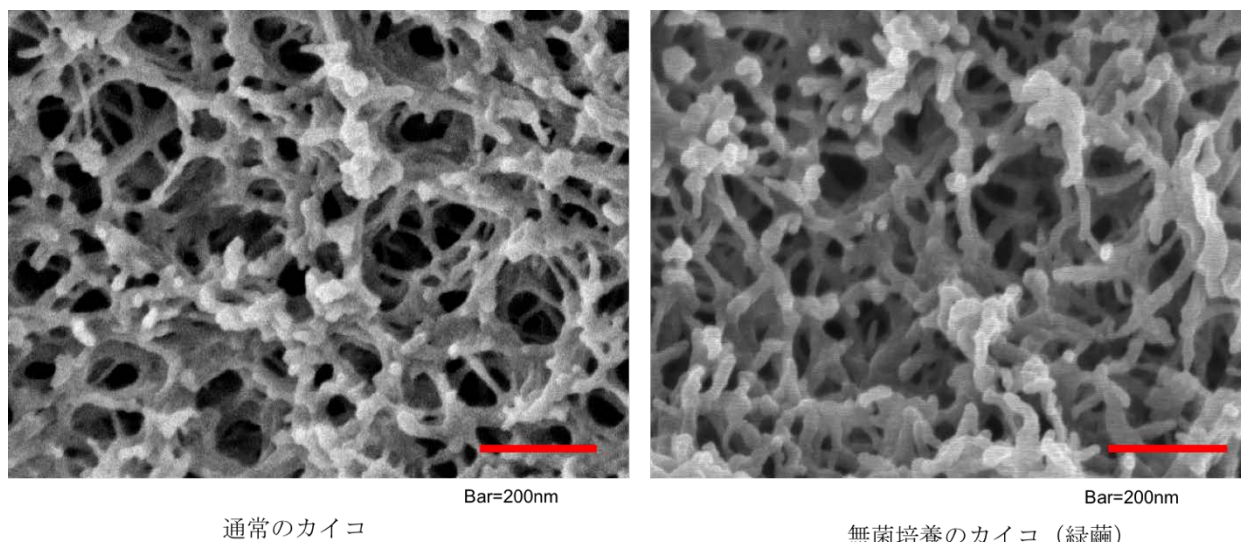


図6. 無菌培養カイコの後部絹糸腺切片（左）と絹糸腺ルーメン内の液状フィブロイン（右）

②フィブロインの超微細構造

後部絹糸腺内のフィブロインの微細構造についても通常のカイコ（Nagashima,2008）と比べて違いは見られなかった（図7）。すなわち、20nmの顆粒状構造が数珠状に連結し、それぞれがネットワークを持ち、200nmのサイズで連結している。



通常のカイコ

無菌培養のカイコ（緑繭）

図7. 通常カイコと無菌培養カイコの後部絹糸腺切片

③フィブロインのアミノ酸組成

シルクのフィブロインは20種のアミノ酸からなるが、これまでの通常飼料の報告（下表1、瀬戸山1982、釜田ら1977等）ではグリシン約40%、アラニン約30%、セリン約12%、チロシン約10%である。

一方、今回分析を行った無菌培養蚕のシルクフィブロインのアミノ酸組成はグリシン 40.3%、アラニン 32.1%、セリン 12.9%、チロシン 10.7%であり、通常飼料のものと差は見られなかった（表 1）。また、他のアミノ酸に関してもほぼ同様の結果が得られている。

表 1. シルクのフィブロインのアミノ酸組成

アミノ酸成分	無菌培養 (長島, 2017)	日蚕 雑, 51 (5), 1982	日蚕 雑, 46 (1), 1977	農林水産技術研究 ジャーナル 1996	Robson 1985
Lys	0.39%	0.42%	0.44%	—	0.32%
His	0.35%	0.29%	0.18%	—	0.14%
Arg	0.86%	0.77%	0.53%	1.40%	0.47%
Asp	2.33%	2.30%	1.76%	1.17%	1.30%
Thr	1.16%	1.25%	0.97%	1.08%	0.91%
Ser	12.90%	12.40%	10.36%	11.31%	12.11%
Glu	1.87%	1.69%	1.14%	1.36%	1.02%
Pro	0.57%	0.53%	—	0.35%	0.36%
Gly	40.30%	37.44%	45.22%	37.85%	44.64%
Ala	32.10%	27.91%	30.20%	29.44%	29.43%
Val	3.08%	2.50%	2.63%	3.08%	2.20%
Met	0.16%	0.01%	—	—	0.10%
Ileu	0.92%	0.74%	0.70%	—	0.66%
Leu	0.75%	0.59%	0.44%	1.69%	0.53%
Tyr	10.70%	10.04%	4.74%	10.81%	5.17%
Phe	1.20%	1.11%	0.70%	0.44%	0.63%

◇総合成果および効果

完全人工飼料および無菌養蚕で得られたカイコ幼虫の絹糸腺内のフィブロインタンパク質の微細構造は、従来の桑飼育のものと著しい差はナノレベルでも認められなかった。

また、作られた繭糸のアミノ酸組成についても桑飼育のものと顕著な差異はないことが明らかになった。

以上のことより、本飼育システムで得られた繭糸には構造、組成に異常は全くなく、むしろ白い、黄変しない、繭糸織度の安定性などの特徴があり、従来の桑葉飼育下のものより付加価値および利便性が高いことが実証された。

なお、生産された繭を原料として作られた生糸を JAS 規格に関する品質検査に出したところ、節点が 98.4 点であり、JAS 規格において 5A 以上という評価を得ることができた。(97 点以上が 5A)

最終章 全体総括

(1) 研究開発成果

繭の年産5トンペースの飼育に成功した。また抗酸化作用の強いフラボノイドを大量に含む蚕種の人工飼育に成功した。そこで本事業の成果としてその繭から化粧品や生活習慣病に効果のあるサプリメントを開発し、自社ブランドである「絹生活研究所（下記参照）」での商品開発と販売を検討している。

上記商品はインターネット通販や当社の「きもの文化村（産業観光工場）」、「絹生活研究所」内で直接消費者に販売することを検討している。

(2) 研究開発後の課題と事業化展開

繭の供給は国内市場だけを見ても2000年に1,200トン/年ほどあった繭収量が、現在140トン/年までに落ち込んでいる。そのため、製糸業界では大手製糸工場の操業率は現在30%程度であり、今後も繭の生産が減少する見込みの中で、操業率は更に低下すると見込まれ、本事業成果によって生産される人工飼料給餌無菌養蚕繭の需要は非常に大きい。

事業終了後に100トン規模の量産化を目指す計画であるが、問題点として、生産された繭を生糸に加工する製糸工場の弱体化が挙げられる。現在大手として1社のみ稼働している碓氷製糸工場の稼働率が低下し、製糸の加工料金の見積もりが当初予定の2倍である8千円/kgと提示されている。このため、量産化試験と共にコストダウンを行うことが緊急の課題となっている。しかし製糸の価格に関しては当社だけでは解決のできない問題である。そこで事業計画の変更を行い、絹生活研究所事業（自社ブランドによる美と健康という「コト売り」をテーマとし、エビデンス先行型の商品開発、販売事業）にチャレンジする。

農林水産省の蚕業技術研究所の協力により、人体の健康に強い影響を及ぼす抗酸化物質であるフラボノイドを大量に含む品種の人工飼育（量産化）に成功した。この繭を用いた手作り石鹸、化粧品などを絹生活研究所事業にて、2017年10月より市場の動向を探り、マーケティングを行い、2018年より商品開発に着手する。ECサイトと百貨店の実店舗の融合、オムニチャネル化を図り、将来的に40店舗程度の展開を目標としている。