

新素材としてのワイルドシルク開発	地球上の野生シルク資源	各種繭の写真	期待される野生シルクの開発と利用
生理活性物質投与の成育におよぼす影響	繭色素の利活用	野蚕糸（ヤママユガ科フイブロイン）の特性	繰糸
精練・漂白 染色	複合絹織物	野蚕糸の利用開発 今後の展開	第5回国際野蚕ワークショップ

新素材としてのワイルドシルク開発

—野生絹糸昆虫の繭 未開発シルク資源—

ワイルドシルクの世界はまさに繊維新素材のあふれる世界で、商品開発にとって宝の山といえよう。多孔性素材をみても、タサールサンのような超太繊維度からロスチャイルドのような細繊維度まで多様な太さの繭糸が未開発に近い状態で残されている。緻密性繭糸もカイコ以外に多様な糸がみられ、アナフェのような極めて扁平な形状の糸から、スゴモリシロチョウのような極細繊維度の糸まで、利用可能な状態で自然界に放置されている。繊維関係分野における商品開発のチャンスはワイルドシルクの世界にあるといえよう。

地球上には繭を作りその繭が繊維素材として利用可能な絹糸昆虫は極めて多数種生息し、その殆どが未利用資源として見捨てられている。これらはまさに、今繊維産業界が求める繊維新素材といえよう。これら多数の豊かな新シルク素材の有効な利活用がシルク復活の鍵となるであろう。

地球上の野生シルク資源

従来、野蚕といえばヤママユガ科に属するテンサン、サクサン、エリサン、タサールサン、ムガサンの5種といわれ、ときにシンジュサンやヨナクニサンを入れて考えることもある。これらの生産量は少量ながら市場性もあり商品も生産されてきた。しかし、ここで述べる野生のシルクを産生する絹糸昆虫は市場性にかわりなく、表1に示すように広範囲のものを対象として考える。

主な絹糸昆虫と分類

カイコガ科	カイコ（家蚕）、クワコ（桑蚕）、ウスバクワコ、オオクワモドキ、スカシサン
ヤママユガ科	ヤママユガ（天蚕）、サクサン（柞蚕）、エリサン、タサールサン、ムガサン、シンジュサン、ヨナクニサン、クスサン、テグスサン、ウスタビガ、オオミズアオ、ロスチャイルドヤママユガ、セクロピアサン、クリキュラ、アゲマ、ヒメヤママユガ、など
カレハガ科	カレハガ、マツカレハ、オビカレハ、ゴモメタ、ポロセラ
ギョウレツケムシ科	アナフェ（ボンダ、インフラクタ、モロネイなど）
ミノガ科	オオミノガ、チャミノガ
ヤガ科	キノカワガ
シロチョウガ科	スゴモリシロチョウ、ミヤマシロチョウ

上表に示した昆虫名は種名であり、それぞれの種に多数の亜種やエコレース、さらに品種が含まれ、素材としてみるとそれぞれに個性を内在する。



各種繭の写真

上段左端から順番に

ヒメヤママユ、クスサン、クリキュラ、アフリカオナガミズアオ、レーベウロスチャイルドヤママユ、プロメテアサン、カレッタシロスジサン、ヨナグニサン

中段左端から順番に

オオガミズアオ、オオミズアオ、〃、シンジュサン、エリサン（白）、エリサン（褐色）、マダガスカルのカレハガ *Borocera madagascariensis*、イオメダヤママユ

下段左端から順番に

ウスタビガ（緑色）、ウスタビガ（黄緑色）、テンサン（ヤママユ）、サクサン、ムガサン、タサールサン、セクロピアサン、セクロピアサン

広く知られているカイコの場合には、品種数は数千種に及び繭の大きさ、繭糸繊度、糸長、繭色などに違いがみられる。



日本古来の蚕品種繭

インドのタサールサンでは、エコレースとして 30 種以上の品種が知られており、繭形や繭糸繊度には大きな差がみられる。ヨナクニサンは分類学ではヤママユガ科に属し、その仲間には巨大な *Attacus caesar* や *Coscinocera hercules* が未利用のまま放置され、それら巨大な繭は今後の加工法により高い付加価値をもたらす可能性がある。社会性絹糸昆虫と呼べるギョウレツケムシ科のアナフェは巨大な集団繭巣を作るが、この繭糸も構造特性から加工法により、高い付加価値をもたらすシルク素材である。また、スゴモリシロチョウの繭巣を構成する極細繭糸もまた高い付加価値を内在すると推測される。

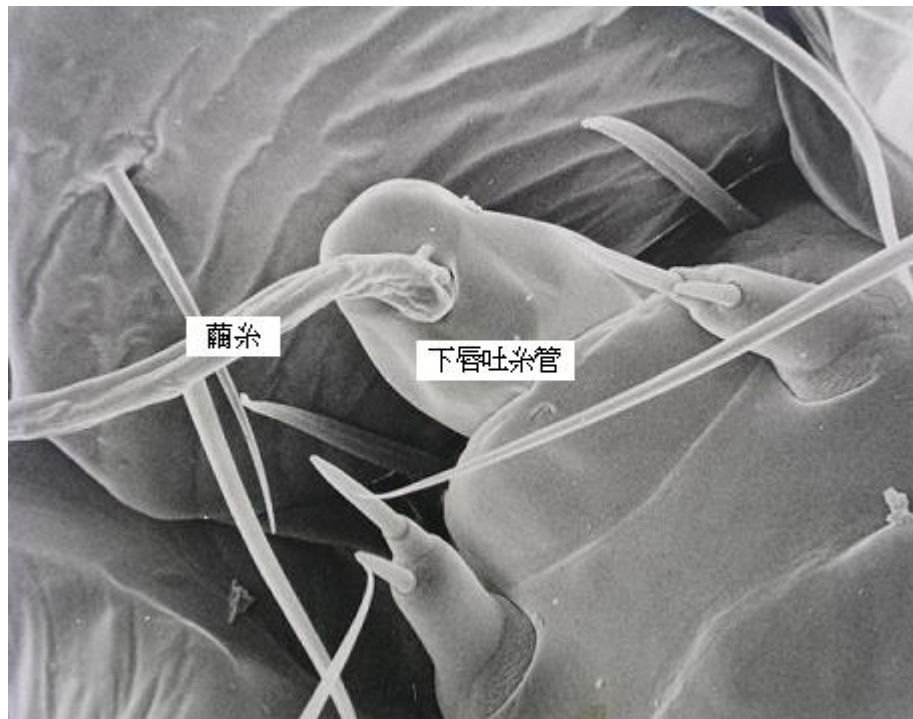
各種繭の写真



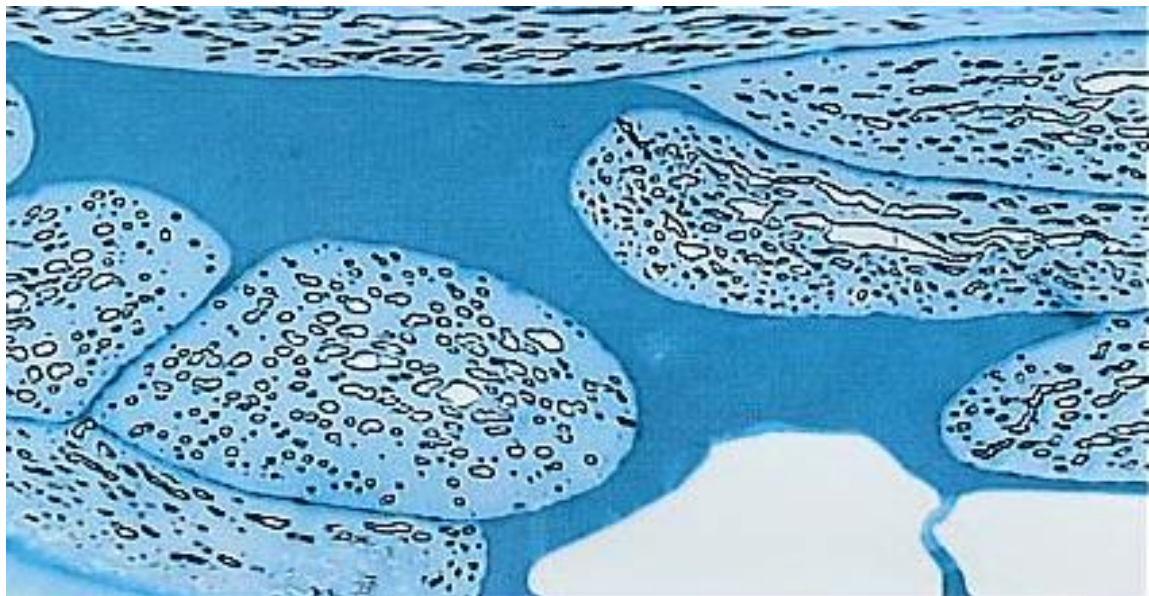
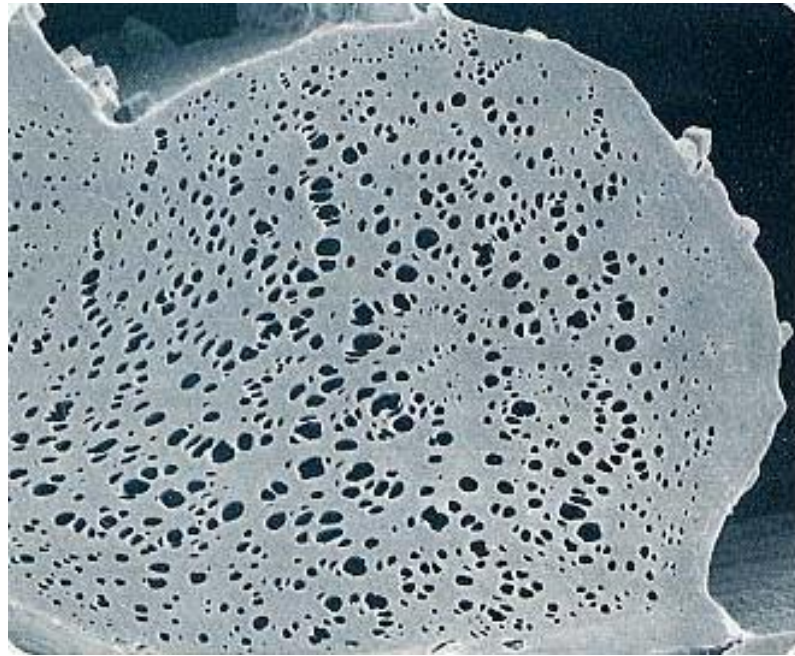
アナフェ繭

多孔性および緻密性繭糸の利活用

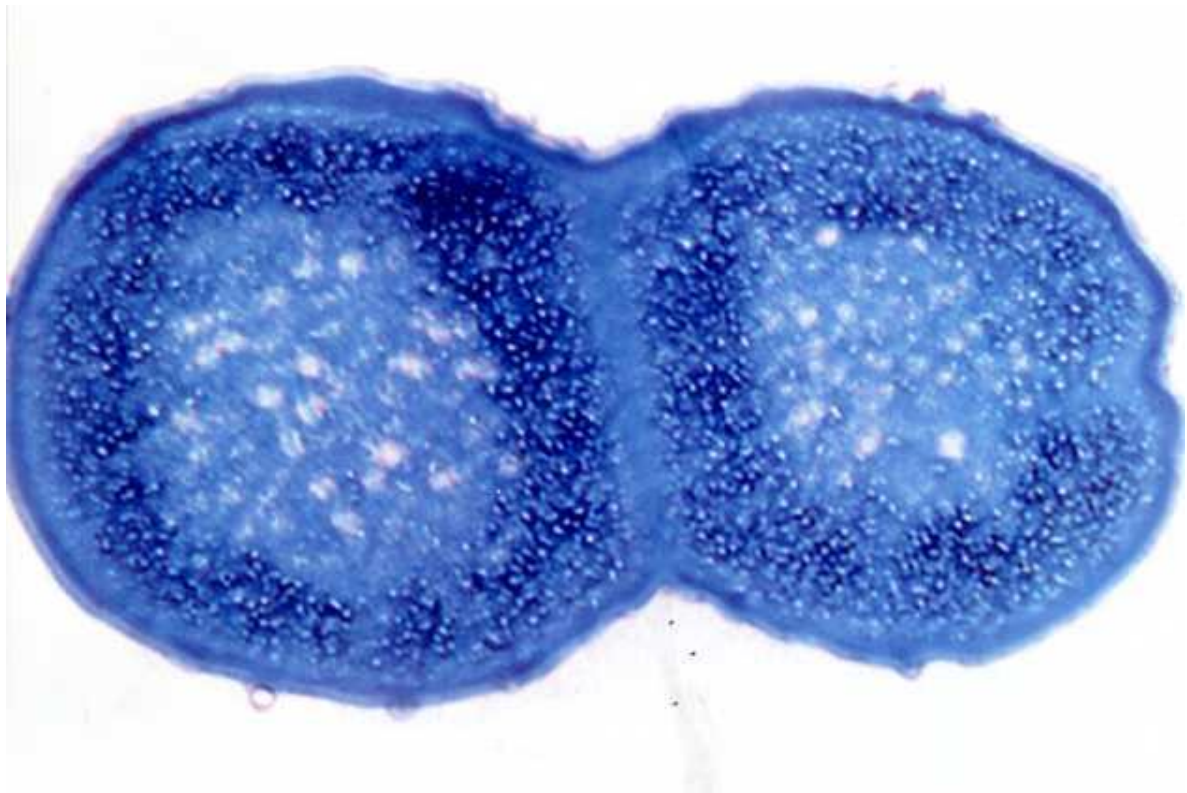
昆虫が吐糸する繭糸はすべてカイコの繭糸と同様に内部が緻密な針金のような糸と考えられてきた。1988年に、赤井弘は電子顕微鏡で天蚕と柞蚕の繭糸の超薄切片を観察し、繭糸断面に数百の小孔を発見した。さらに詳細に、多くの繭糸を観察すると、ヤマモユガ科に属する絹糸昆虫はいずれも多孔性繭糸を、それ以外は緻密性繭糸を生産することが判明した。



C r y o s c a nで観察した吐糸の様子(500倍)
吐糸された“なま”の繭糸の形とその経時変化がよくわかる。

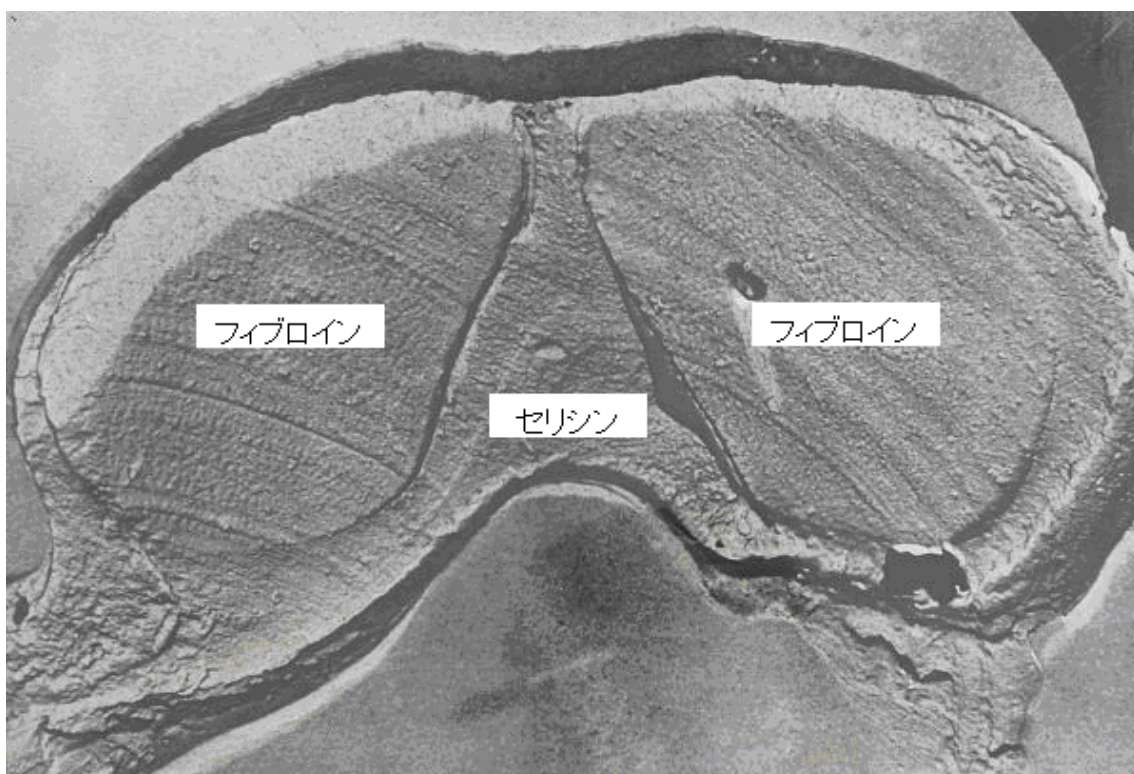


A light micrograph of a section from
cocoon shell of *Argema mimosae*



A. light micrograph of a cocoon filament section from cocoon of *Argema mittrei*

繭糸を加工し織物として利用する側からみると、多孔性構造は絹織物に温湿度の調節機能をもたらし、加工法により滑りやすさや嵩高性を、さらに紫外線のカット機能や制菌性機能に優れていることが知られてきた。これらの物性や機能性を生かした商品の開発から高い付加価値を生み出すことは可能と考えられる。



家蚕繭の断面構造 緻密性繭糸

期待される野生シルクの開発と利用

A. 野生絹糸昆虫への人工飼料の利活用

家蚕についての人工飼料の研究は、基礎から応用、さらに実用面へ広範にわたって成果をあげてきた。野蚕についても天蚕、サクサン、エリサンの実験室での研究には、それぞれの飼料がりようされているが、実用面に殆ど使われていない。今後は前述の未利用といえる野生絹糸昆虫の繭生産に利用し、小規模の計画生産を考えることが必要となろう。

B. 天蚕

天蚕＝山繭は、日本各地の山野に生息する野生の絹糸虫、鳥などの天敵から守るため覆いこそかけるけれど、できるかぎり自然のままにおき、営繭の時を待つ。戻り霜の心配のない5月半ば、穂高町有明地方で育てられる天蚕飼育は、毎年5月20日前後に行う“山付け”と呼ばれる卵付け作業からはじまる。孵化した幼虫は4回の脱皮を繰り返して5齢虫になる7月中旬、いよいよ繭を作りはじめる。



鳥などの天敵から幼虫を守るためにネットを張ってその中で飼育する。



ネット内

(左) 営繭率をよくするため、孵化後10日間くらい(3齢まで)は人工飼料で飼育します。

(中) 5齢期の幼虫

(右) 繭は美しい緑色の長円形で、葉を巻いて、その中で営繭します。



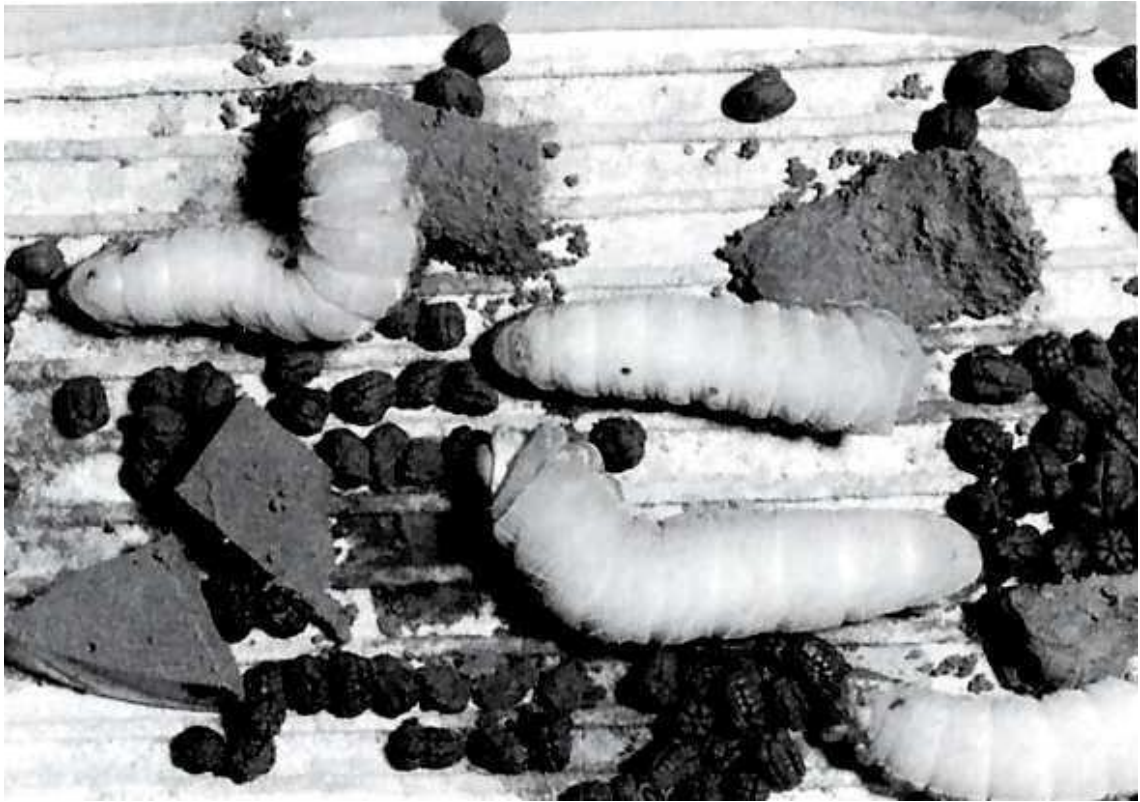
天蚕繭幼虫



天蚕繭



天蚕の幼虫、成虫、繭、生糸



人工飼料を食べている天蚕



人工飼料を食べているサクサン



図 5-3 人工飼料を食べているエリ蚕



エリサンの飼料・キャッサバの葉

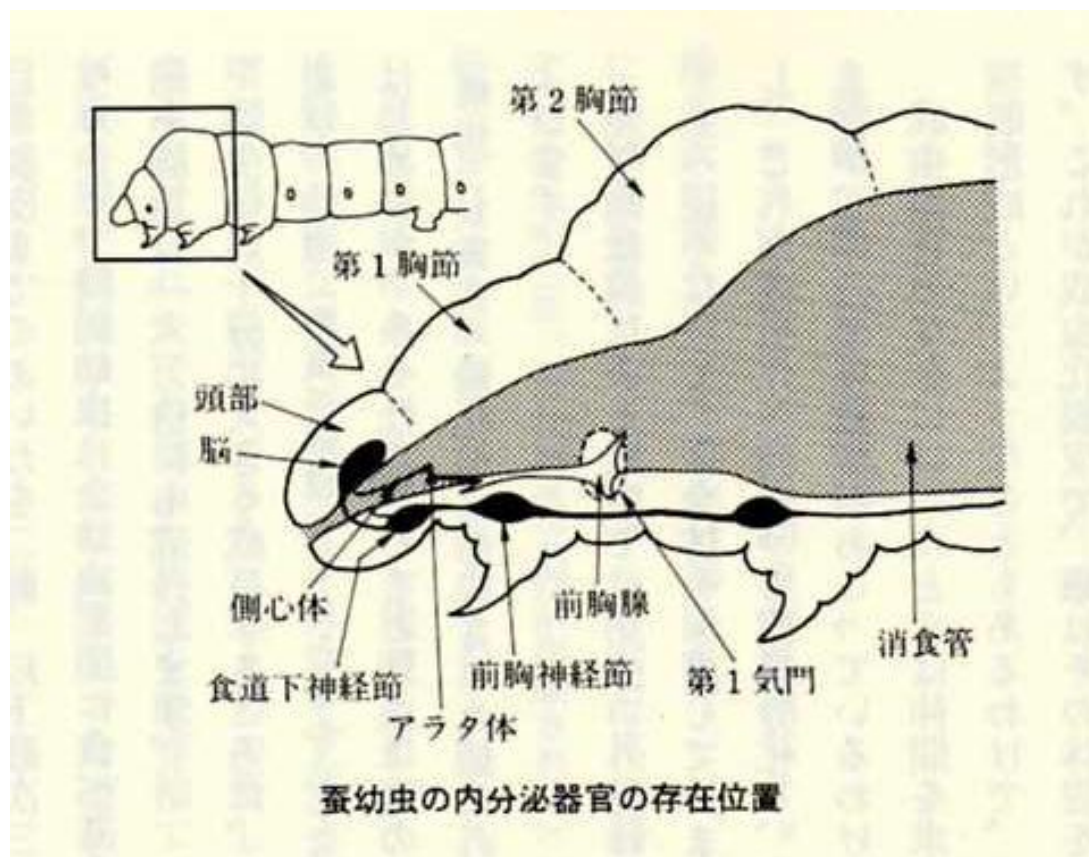
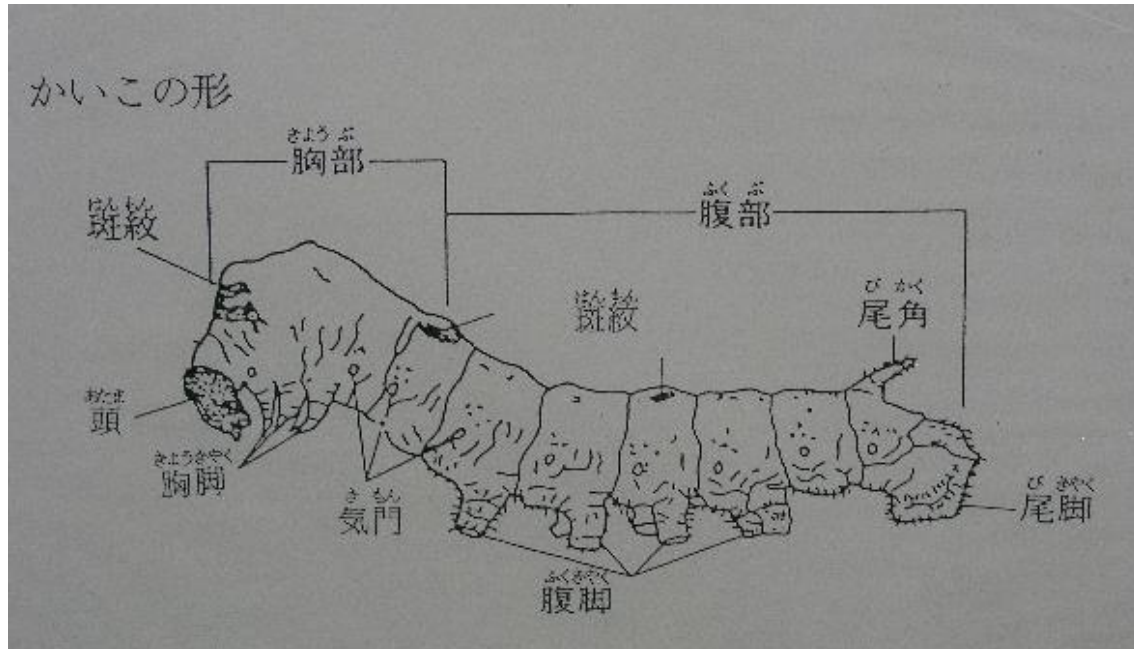
生理活性物質投与の成育におよぼす影響

カイコは2ヶ月にも達しない短期間に、卵→幼虫→蛹→成虫（蛾）と劇的に変身します。昆虫の変態（メタモルフォーゼ）はその不思議さから、昔から人々の注目をひき、多くの研究者がその謎の解明に取り組んで来ました。長い年月とたゆまぬ努力によって、今日では昆虫の脱皮および変態はホルモンの作用によること

が知られています。

カイコでは、脳の神経分泌細胞でつくり出される脳ホルモン（PTTH、前胸腺刺激ホルモン）、昆虫の脳の後方に1対あるアラタ体という分泌腺から幼若ホルモン（JH、アラタ体ホルモン）、前胸腺という帯状の器官で生産される脱皮ホルモン（エクジソン、エクダイソン、前胸腺ホルモンともいう）、食道下神経節から休眠ホルモン（DH）が分泌されます。

幼若ホルモンはいつまでも昆虫を幼虫態に止めておく作用、脱皮ホルモンは変態（蛹化や成虫化=羽化）を誘導します。休眠ホルモンは卵の休眠・非休眠を決定する作用、そして全体の作用調節を脳が行っているというのが今日の定説です。



蚕のからだ

家蚕については、幼若ホルモンおよび脱皮ホルモン（エクダイソン）類縁化合物、抗幼若ホルモンの投与により、幼虫の成長と繭糸質の制御を可能とした（図 7）。

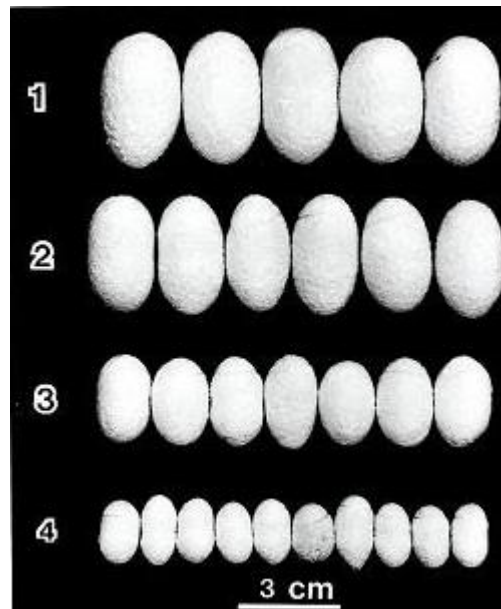


図 7 生理活性物質による家蚕繭の制御

1. 幼若ホルモン JH を 5 齢期に投与
2. 対照区（無処理）
3. KK-42 を 3 齢期に投与
4. KK-42 を 4 齢期に投与
（KK-42；昆虫成育制御剤）

野蚕に対してはイミダゾール化合物による天蚕の休眠の打破が成功しているに過ぎない。野蚕に対しては家蚕の塩酸孵化法が通じないように、簡単に新手法が開発できないとも思われるが、野生絹糸昆虫に対する繭糸の制御と人工孵化法の確立が強く望まれるところである。

クリキュラ（黄金繭）の利用

インドネシアからフィリピン、タイ、インド南部にわたってクリキュラ属が分布し、ジャバ島やスラペシ島のクリキュラ、トリフエネストラーゼ（推定される）は美しい黄金色の網目状の繭を作り、その利活用に関心が集まっている。分類学的にはクリキュラ属には 12 種が知られ、その中の 1 種であるトリフエネストラーゼには 6 種の亜種が記載されている。しかし、以上の分類からは繭の形や色調については情報はなく、繭の利用を考える我々にはどの種がどのような繭を作るかを今後詳細に調査する必要がある。

現在、知られているクリキュラ繭はジャワ島、スラペシ島、ルソン島産の 3 種のみで、繭の形状や繭層重は異なりそれぞれ特徴がある。繭層重についてみると、ジャワ島産は 60mg 程度で、家蚕の実用品種の約 1/10、ルソン島産は 2 倍ほどである。

いずれにしても、クリキュラ属の繭については未知の部分が多く、それらを含めた繭の利活用は各地の地場産業をもたらす可能性が高い。



クリキュラ繭

アタカス（ヨナクニサン）

世界で最大の蛾であると云われているアタカスは繭も超大型で、今後のシルク素材として期待されている。分類学的には、不明な点も残されているが種名としては 14 種が東南アジアからインド、さらにオーストラリア北部まで広く分布している。

繭糸は多孔性で繊度も太く、紬糸による織物は優れた風合いを示し、付加価値の向上が期待できる。最近、アタカス繭の繰糸に成功し生糸を採ることが可能となり、利用範囲で付加価値が大きく拡大された。



アタカス（ヨナクニサン）繭と糸

ウスタビガの開発

ウスタビガは天蚕とほぼ同様に美しいグリーンの繭を作るが、絹糸も困難で利用されてこなかった。しかし、わが国に生息する数少ない緑色の繭を作るウスタビガはフィブロインも緑色の色素を含有しその有効な利活用を考える必要がある。



ウスタビガ繭

繭色素の利用

家蚕の多くは白色の繭であるが、有色の繭もみられる。有色繭は一般に白繭にくらべて、抗酸化活性が著しく強いことが知られている。なかでも 1995 年埼玉県蚕業試験場で育成された笹繭（いろどり）は、蚕品種の大造系統がつくる黄緑色の繭で、強い抗酸化作用のあることが蚕糸科学研究所の山崎らによって明らかにされました。



家蚕繭のいろいろな色





抗菌性のあるフラボノイド色素を持つ緑繭（笹色）

フラボノイド色素をもつ笹繭は蚕品種の大造系統がつくる黄緑色の繭で、強い抗酸化作用のあることが蚕糸科学研究所の山崎昌良・中村直子・栗岡 聡によって明らかにされました。分析は笹繭の繭層中に含まれる抗酸化作用を有する物質を同定するために、繭層の 70%エタノール抽出物を試料として逆相 HPLC により抗酸化物質の分離・精製を行い、精製フラボノールを質量分析と紫外吸収スペクトル法によって 7 種類のフラボノールを同定した。笹繭の繭層から見出されたフラボノール配糖体は家蚕の食餌である桑葉（*Morus alba*）に含まれるフラボノール配糖体とは化学的に異質であるため、これらは家蚕体内で合成されたフラボノール配糖体と考えられた。そして、強い抗酸化活性や白繭セリシン抽出物に比べてチロシナーゼ阻害作用が 5 倍もの強さを示す、UV カットも広範囲の波長で強いなど、美白機能に優れていることも分かった。これらの働きをする成分は主としてフラボノイド色素による可能性が示唆された。

抗酸化活性は蚕品種間で大きな違いがあり、紫外線下で強い黄色-黄緑色の蛍光を示す品種、すなわち日本種では青白、大如来、中国種では四州三眠、諸桂、ヨーロッパ種では輪月、熱帯種ではマイソール、ビュアマイソール、その他では大造、笹繭に特に強い抗酸化活性が認められた。これらの繭層にはフラボノイド系フラボノール色素が含まれており、これらによるものであらうと推測される。

近年の着色繭蚕品種

1. 黄白(1990)：日 03 号・日 04 号×中 03 号・中 04 号 (1990)、限性黄繭
2. 鐘光×黄玉：カネボウ (1994)、黄繭
3. いろどり：埼玉県 (1995)、緑繭あるいは笹繭
4. ぐんま×支 1 2 5 号、群馬県 (1998)、黄繭
5. C 6×C 1 2 5、長野県 (1998)、黄繭・細繊度
6. PNG×PCG：(2000)、緑繭



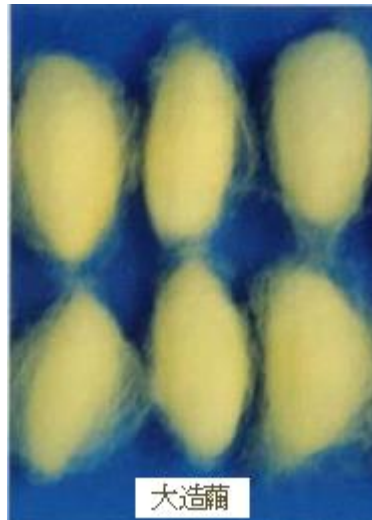
黄白と鐘光×黄玉

(左) 黄白 (限性黄繭) : 生物研育成 (1990 年)
雌雄で繭の色が異なり、雌繭はあざやかな黄色で、雄繭は白色

(右) 鐘光×黄玉 : カネボウ育成 (1994)
雌雄繭とも黄繭

黄色、橙色を呈するカロチノイド色素をもつ黄白や鐘光×黄玉の新しい家蚕品種も育成され、雌雄鑑別作業の効率化、簡略化などにすでに役立てられているが、繭色素の利用としてはファーマルな衣服の黒染めの深色化にも効果があることが認められています。





大造繭



多化性の熱帯種繭（マイソール？）



野蚕繭

1. シンジュサン	2. タサールサン
3. ムガサン	4. 天蚕
5. エリサン	6. サクサン
7. クスサン	

野生の繭は有色のものが多く、緑、黄緑、黄、褐色、黄金色、ピンクなどの繭色がみられる。これら色素の性質と機能性を科学的に究明し、自然界の色をシルクに導入し、利用価値を高める商品化を図ることが必要と考えられる。

野蚕糸（ヤママユガ科フィブロイン）の特性

A. 野蚕糸の特徴

- ① 繭糸構造が異形断面で、大小無数の微孔をもつ。
- ② 繊維が太く、均一でない。捩れ形態
- ③ 特有の色沢をもち、光沢が強く、手触りが粗硬である。
- ④ 伸びやすく、塗れると収縮する。
- ⑤ 家蚕糸に比較して、酸、アルカリによく耐えるが、精練および染織は容易でない。発色性がよくない。
- ⑥ タンパク質以外の二次成分が多い。
- ⑦ セリシン、フィブロインの2層構造

B. 力学的性能

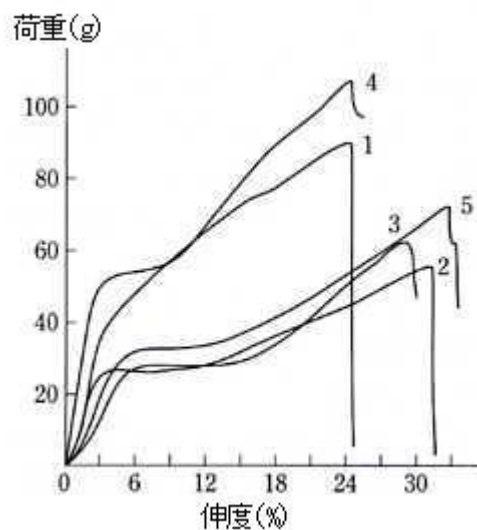


図 14 野蚕糸の荷重—伸長曲線

1. 家蚕糸 (30.0d) 2. 天蚕糸 (25.0d) 3. サクサン糸 (28.0d)
4. タサルサン糸 (48.1d) 5. ムガ蚕糸 (27.6d)

野蚕糸の荷重—伸度曲線には塑性流動部分が存在し、明瞭な降伏点が現れる。荷重—伸度曲線から考えて、天蚕糸とサクサン糸は非常に糸質に近いと思われる（図 ）。

家蚕糸に比べてヤング率、降伏点、強度が低く、伸度が大きい、その値のばらつきも大きい（表 3）。そのため製織に際して、布面に異状な光沢の糸が織り込まれ、ピケという欠点が起こりやすい。これは野蚕糸を象徴する織物の現象であり、野蚕糸による薄地織物を困難にしてきた一つの原因である。

野蚕糸は伸度約 30%のたいへん伸びやすく、水や蒸気によりたいへん縮みやすい糸です。このため製織は伸びやすく縮みやすいこと、毛羽立ちやすいこと、糸むら、繰糸のときの糸口の節やヒケなど、注意すべき天が非常に多い糸ですが、光沢が非常に強い、軽い織物になるなどの特徴があります。糸の嵩高性のため思ったよりも糸量が必要ではありません。



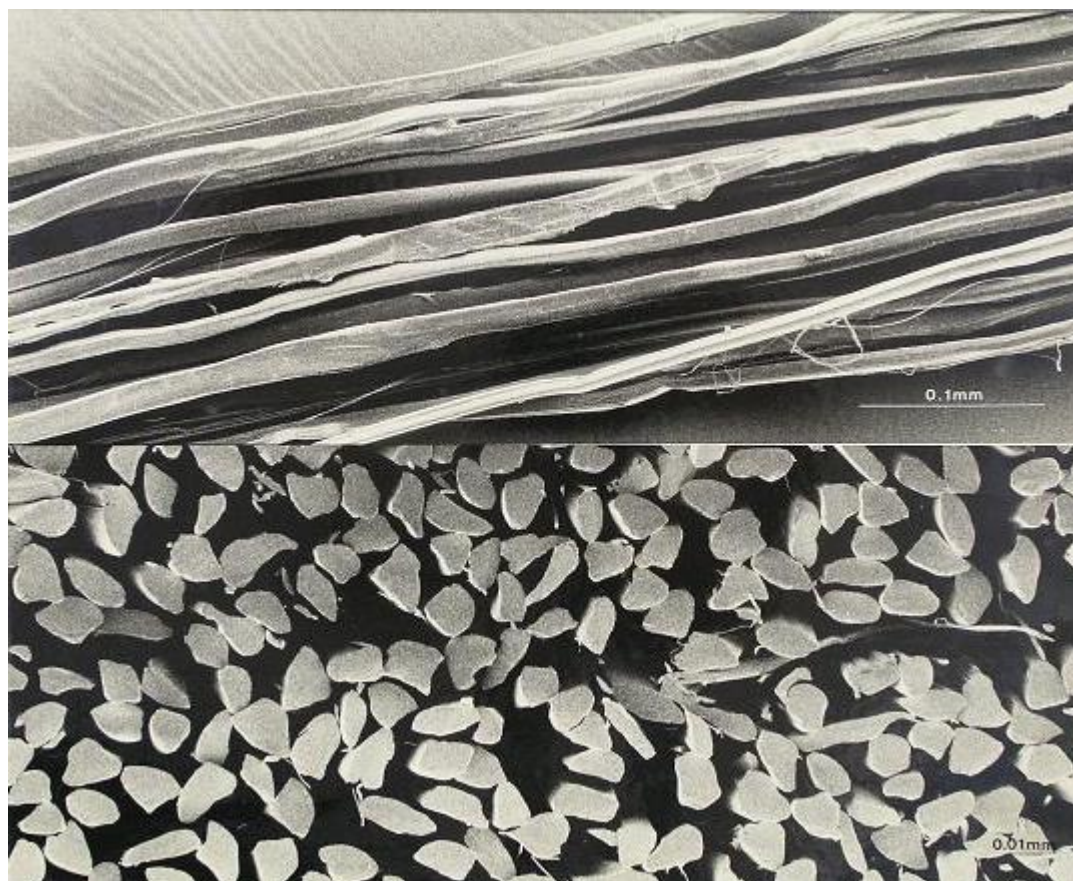
高価で人に優しい天蚕糸

天蚕糸は淡い緑色で、伸びが良く艶があり、染料に染まりにくい性質をもっています。

野蚕糸の性状

糸種類	糸 番手	繭糸 繊度	繭の 扁平度	比重	強度	伸度	ヤング 率	降伏点	練減率
	d	d			g/d	%	g/d	g/d	%
家蚕糸	30	3	1.66	1.35 (1.37)	3.8 (4.14)	23.6 (21.6)	95.3 (68.8)	1.4	23.7
天蚕糸	25	6.4	2.62	1.30 (1.27)	3.31 (3.55)	32.4 (40.5)	63.8 (37.9)	1.01	15
サクサン糸	28	6	3.6	1.32 (1.34)	2.61 (1.34)	29.3 (36.1)	49.2 (43.0)	0.94	9.3
タサールサン糸	48.1	12	—	—	2.32 (2.45)	23.3 (28.1)	64.7 (42.0)	1.08 (0.89)	—
ムガ蚕糸	27.6	5.5	—	—	2.62 (2.79)	23.1 (31.8)	45.4 (24.0)	0.91 (0.81)	—
エリ蚕糸	90/2S	—	—	—	2.90 (2.30)	23.8 (31.8)	56.0 (15.7)	1.17 (0.68)	—
		エリサン糸は紡績糸、他は繰製糸 繭の扁平度＝長径/短径 カッコ内は練糸の値							

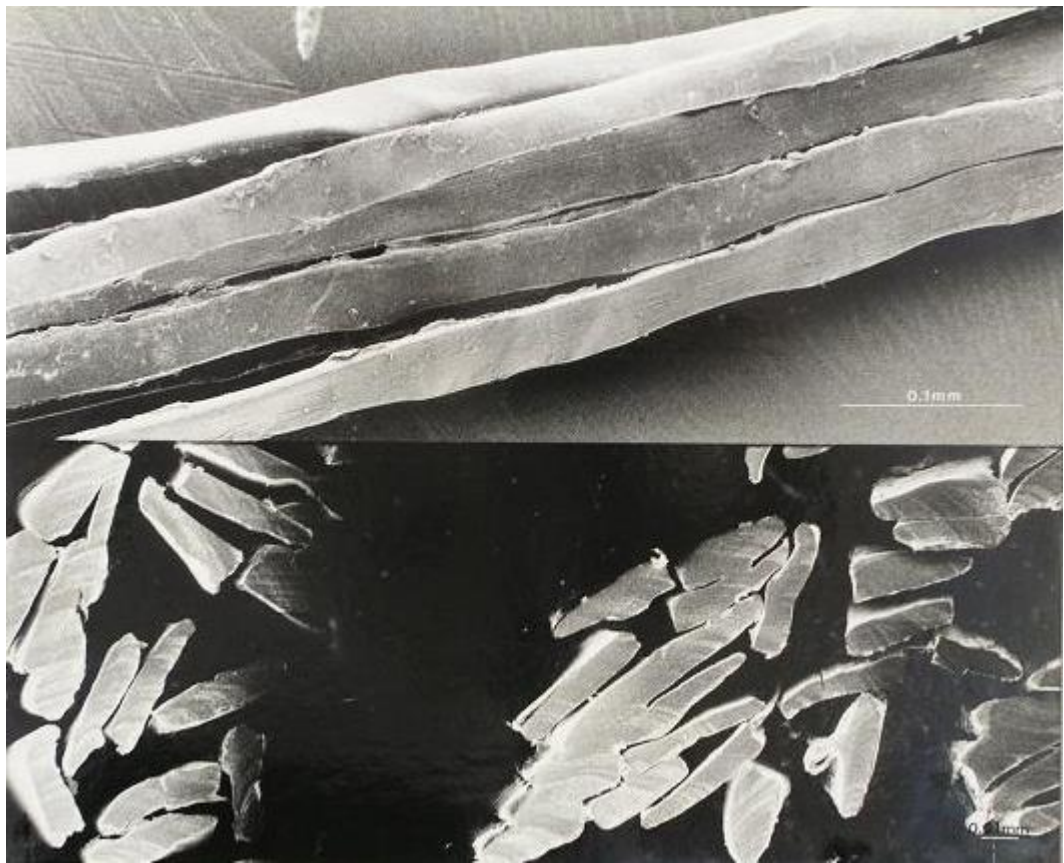
糸種類	学術名
家蚕糸	<i>Bombyx mori</i>
天蚕糸	<i>Antheraea yamamai</i>
サクサン糸	<i>Antheraea pernyi</i>
タサールサン糸	<i>Antheraea mylitta</i>
ムガ蚕糸	<i>Antheraea assmensis</i>
エリ蚕糸	<i>Philosamia cynthia ricini</i>



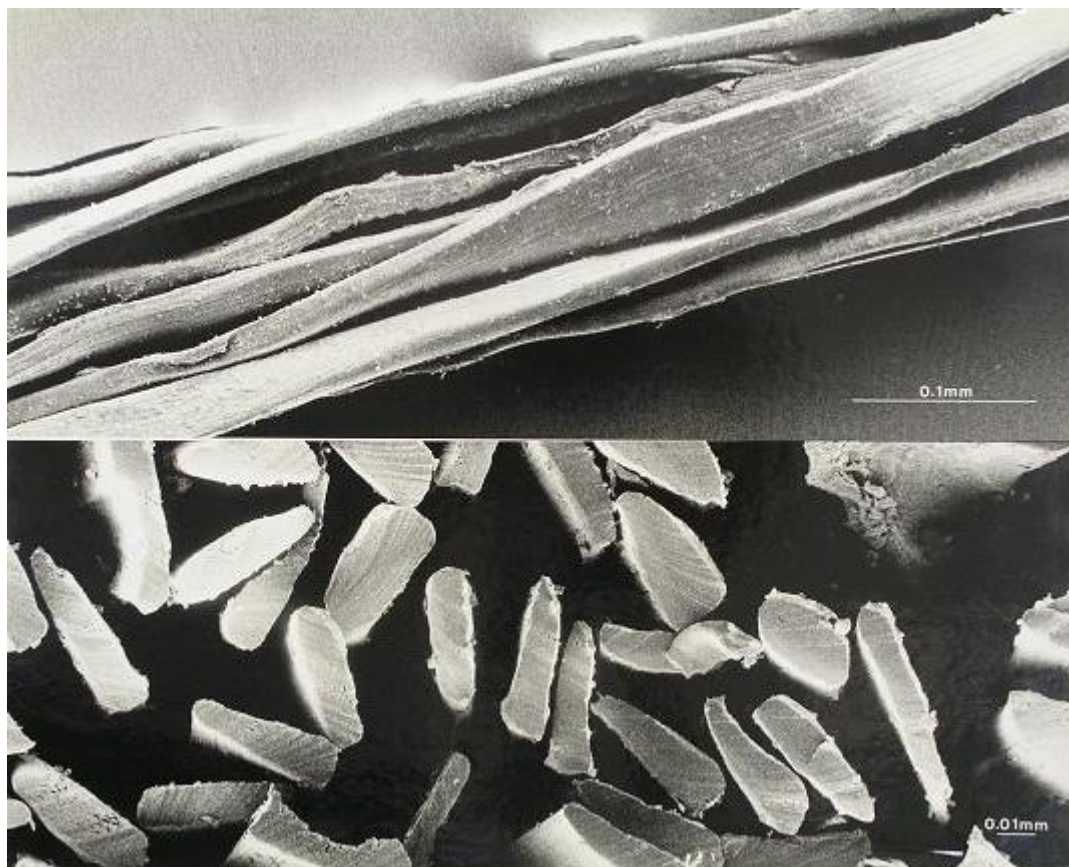
家蚕丝



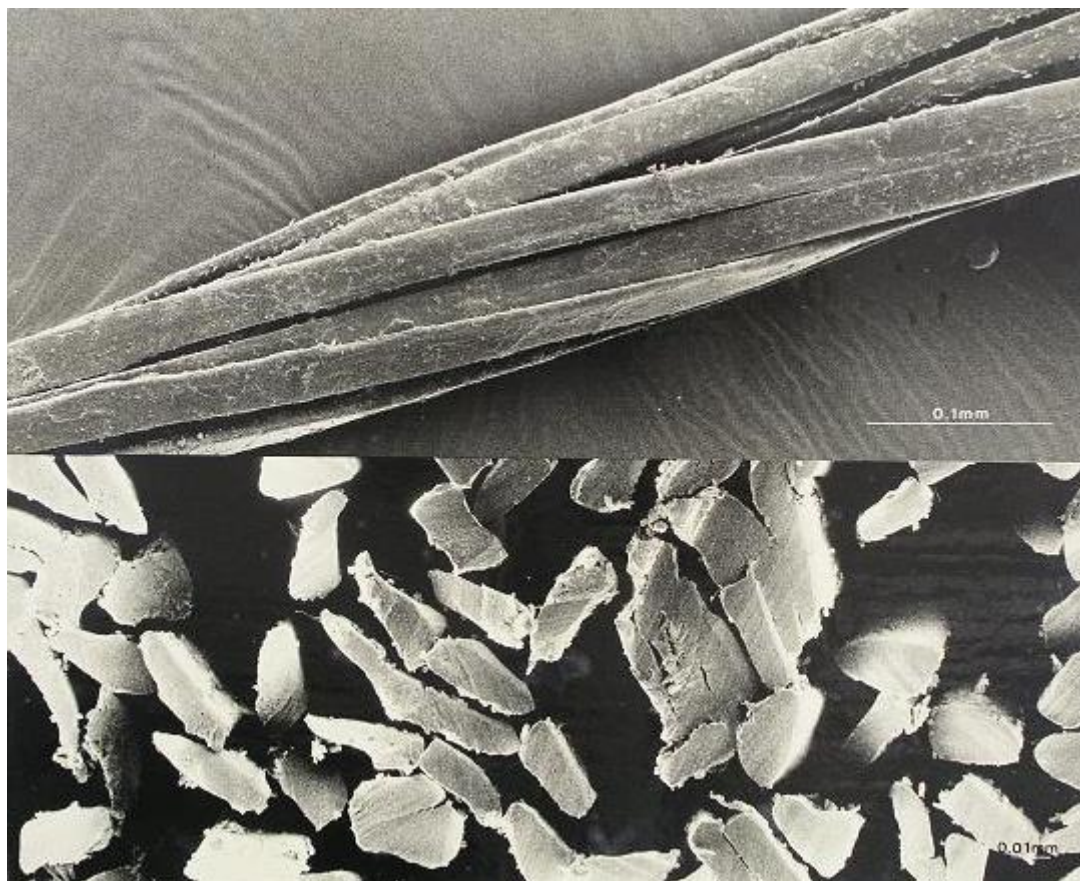
天蚕丝



サクサン糸



タサル糸



ムガ蚕糸



エリ蚕糸

繰糸

家蚕繭の繰糸の場合、全国各地にある製糸メーカーのなかで、経験的に江州だるま糸が価格面な面は別として、質の面では今でもその糸のもつ艶、輝き、色の冴え、風合いの良さ、糸腰の強さなどから最高の糸といえます。あらためてその良さを考えてみますと、繭を乾燥処理しない生繭を使い、足踏み式の座繰り方式で繰っている昔ながらの方法が、繭のもつ本来の良さを損なわず、人が作った味を残す糸となっているという結論になります。

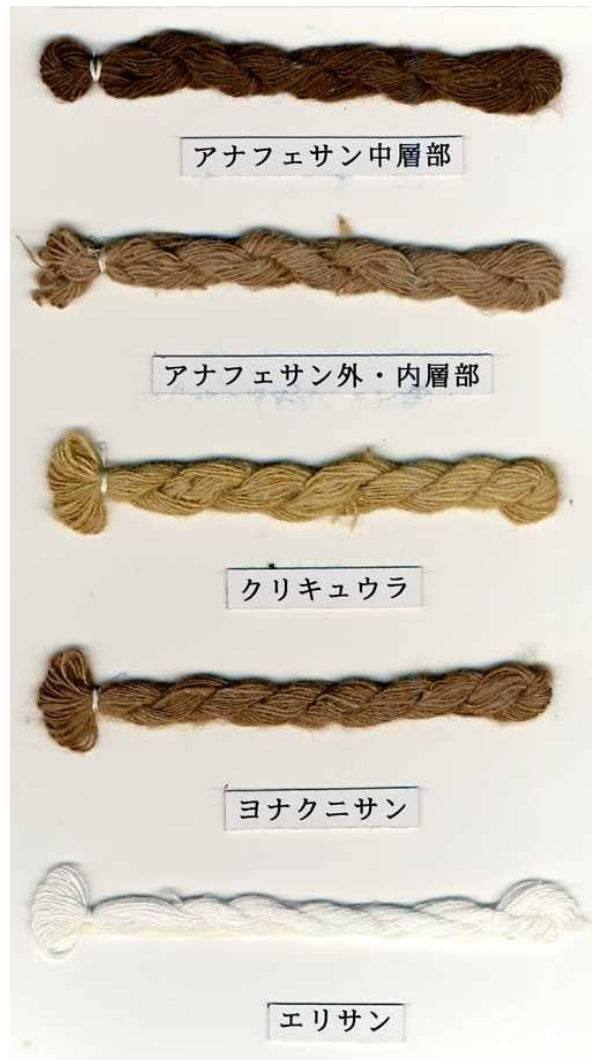


座繰り



繭から糸を繰り出す

一方、天蚕、サクサン等の繰糸可能な野蚕繭の繰糸の場合、不純物による解じょ効率の悪さが繰糸の難しさにつながっているし、エリサン、クリキュラ、アナフェ等の野蚕繭では、繰糸できないので練り繭を真綿状にして糸紡ぐ必要がある。糸紡ぎの方法として、元蚕糸科学研究所の西条正子さんが開発された電動紡ぎ車を使って、練り繭の一端から直接に糸を引き出し、ガイド糸に絡ませて撚りを掛けて、目的の太さの糸を紡ぎ車に巻き取る方法が、初心者にとっても比較的手軽にできる大変すばらしい方法です。この手紡ぎ方法は、インドネシア共和国の古都ジュグジャカルタで利用開発が盛んに進められている黄金繭クリキュラや巨大蛾のアタカス（ヨナクニサン）繭の糸紡ぎとして日本から技術移転されています。このほかに、少々費用がかかりますが、ガラ紡績機を使用する方法が神田千鶴子さんによって考案されています。材料として綿蚕を用いていますが、エリサン繭などの繰糸不能な野蚕繭についても行うことができます。製造工程は、繭、綿蚕→精練→ハンドカード機で粗綿→電動カード機とサンプルローラで精綿→ミニガラ紡績機で紡糸→撚り止め→揚げ返し→水洗、脱水→紡績糸です。作った糸の太さは概略 300～500 デニールとなります。



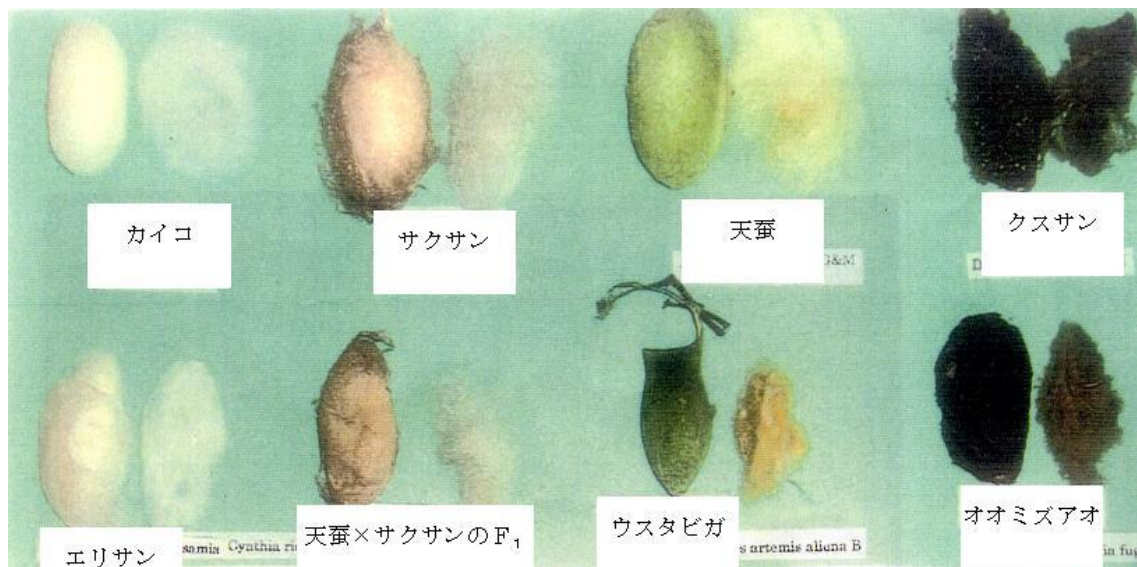
1. シンジュサン	2. タサールサン	3. ムガサン
4. サクサン	5. 天蚕	6. エリサン



カード機



ミニガラ紡機



野蚕繭の真綿化

精練・漂白



絹織物の吊練り

天蚕糸の練減率は 15%内外であり、家蚕糸の 24%程度に比べて低く、天蚕の練り糸は緑色が残らず、淡い黄色が残る程度です。毛羽立ちやすい糸ですが、嵩高で軽く、独自の光沢とうすい黄色とで、光があたるとうすい金色に美しく糸が輝きます。精練方法としては灰汁り法か、酵素精練法がよいと思いますが、なかでも短時間で処理できる分だけ毛羽立ちが少ない酵素精練法が最も推奨できる方法です。

酵素精練	セッケン精練の場合、用水中の硬度成分である Ca^{+2} 、 Mg^{+2} などの金属イオンを含むと、セッケンと結合して水に不溶な金属セッケン(スカム)を生成するので、精練用水は軟水を用いる必要があるが、酵素方法は前処理ー酵素処理ー後処理からなり、とくに酵素精練の良否はそのほとんどが前処理で決定されるといってもよい。前処理はセリシンの湿潤、膨化を図るだけではなく、積極的にアルカリ剤を使用して数%内外のセリシンを脱落させておく方が、次の酵素処理をよりよく行うことができ、酵素精練の大きな特長である風合いのよい練上がりとなる。
タンパク質分解酵素	タンパク質分解酵素を利用してセリシンを除去する精練法である。酸性活性酵素、中性活性酵素、アルカリ性活性酵素の 3 種類があるが、このうち絹精練には、活性 pH が 8~9、活性温度が 50~60℃付近のアルカリ性活性酵素が多く用いられる。生撚糸の低温酵素精練処方は次の通りである。
前処理	助剤 (ラーゼンパワーⅡ) 7% o. w. f. 活性剤 (ラーゼンパワー) 1% o. w. f. 浴比 1:15~1:30 温度と時間 60℃, 15 分
酵素処理	アルカリ性蛋白質分解酵素 (アルカラーゼ 2.5L) 1%o. w. f. 温度と時間 40~55℃, 30 分
ソーピング	トリポリリン酸ナトリウム 1% o. w. f.

	炭酸ナトリウム 3% o. w. f. 浴比 1:50 温度と時間 70～90℃, 5～10 分															
水洗と乾燥	温湯と水でよく水洗したのち、脱水し風乾する。															
処方箋	1. 前処理 助剤 ラーゼンパワー-II (7% o. w. f.) 活性剤 ラーゼンパワー (1% o. w. f.) 浴比 1:25-1:50 温度と時間 60℃×15分 2. 酵素処理 アルカリ性蛋白分解酵素 アルカラーゼ 2.5L (1% o. w. f.) 温度と時間 55-60℃×30分 3. ソーピング トリポリリン酸ナトリウム (1% o. w. f.) 炭酸ナトリウム (3% o. w. f.) 浴比 1:50 温度と時間 93-95℃×5-10分 4. 水洗と乾燥 温湯と水でよく水洗したのち、脱水、風乾 <table><tr><td>前処理</td><td>酵素処理</td><td>95℃ ソーピング</td><td></td><td></td></tr><tr><td>15分</td><td>30分</td><td>5-10分</td><td>↓</td><td>水洗 乾燥</td></tr><tr><td>60-55℃</td><td></td><td>終了</td><td></td><td></td></tr></table>	前処理	酵素処理	95℃ ソーピング			15分	30分	5-10分	↓	水洗 乾燥	60-55℃		終了		
前処理	酵素処理	95℃ ソーピング														
15分	30分	5-10分	↓	水洗 乾燥												
60-55℃		終了														
アルカラーゼ 2.5L	アルカラーゼ（デンマークのノボ・インダストリーから市販されている商品）は <i>Bacillus licheniformis</i> より精選された菌株を液中培養して得られたタンパク質分解酵素で、水に混和する透明な褐色の液状です。比重は約 1.06、粘度は 26℃で約 50cP（Brookfield RTV 粘度計で測定）、活性 2.5 アンソン単位（AU/g）の力価を持つように規格化されています。 酵素の入手方法 代理店：幸新堂化学工業所 住所：〒603-8305 京都市北区紫野南花ノ坊町 20 電話：075-462-6211 価格： 酵素（アルカラーゼ 2.5L） 1,500 円/100g 活性剤（ラーゼンパワー） 550 円/100g 助剤（ラーゼンパワー II） 3,850 円/700g															

天蚕糸以外の野蚕糸では精練が困難で、白く練り上がらない。これはセリシンがタンニンによって固定されて精練が困難であるためであり、従来は高濃度のアルカリが使われ、練り糸の強度低下や毛羽立ちが発生し、製織や織物品質の障害となっていました。しかし、その後、タンパク質分解酵素を利用する酵素精練法が実用化され、精練が困難であった野蚕糸の精練は糸荒れのない精練と家蚕糸並みの白さに仕上げる事が可能となりました。

なお、精練で十分に白く練り上がらないときは精練後に漂白を行うとよい。家蚕糸や天蚕糸ではヒドロサルファイトを用いる還元漂白のみで十分であるが、天蚕糸以外の野蚕糸では酸化漂白→還元漂白を行うとより白く仕上がる。また、酵素精練に先立ってアルカリとヒドロサルファイトを使った前処理を施すと、酵素精練の効果をより大きく引き出すことができ、練り上がりの白さが増加する。

以上の天蚕糸以外の野蚕糸についての酵素精練・漂白の方法を纏めると下表の通りです。

処 理	前処理	ソーダ 返し	酵素精練	酸化漂白	還元 漂白
温 度 時 間	98℃×20-30 分	98℃× 10 分	50-60℃×60 分	90℃×30-60 分	90℃× 30-60 分
A	炭酸ナトリウム 1g/ℓ		アルカラーゼ 2.5L 0.25g/ℓ 重曹 1g/ℓ ノイゲン HC 1g/ℓ	過酸化水素 10g/ℓ ケイ酸ソーダ 2g/ℓ ノイゲン HC 1g/ℓ	
B	炭酸ナトリウム 1g/ℓ ハイドロ 1g/ℓ		アルカラーゼ 2.5L 0.25g/ℓ 重曹 1g/ℓ ノイゲン HC 1g/ℓ	過酸化水素 10g/ℓ ケイ酸ソーダ 2g/ℓ ノイゲン HC 1g/ℓ	
C	炭酸ナトリウム 1g/ℓ ハイドロ 1g/ℓ		アルカラーゼ 2.5L 0.25g/ℓ 重曹 1g/ℓ ノイゲン HC 1g/ℓ	過酸化水素 10g/ℓ ケイ酸ソーダ 2g/ℓ ノイゲン HC 1g/ℓ	ハイドロ 1g/ℓ 重曹 1g/ℓ
D	セッケン 5g/ℓ 炭酸ナトリウム 1g/ℓ ハイドロ 1g/ℓ	炭酸ナ トリウ ム 1g/ℓ	アルカラーゼ 2.5L 0.25g/ℓ 重曹 1g/ℓ ノイゲン HC 1g/ℓ	過酸化水素 10g/ℓ ケイ酸ソーダ 2g/ℓ ノイゲン HC 1g/ℓ	

浴比 1 : 40

サクサン糸の実験結果		
処理	練減率 %	黄変指数 Y.I.
A	16	14.4
B	16.1	9.7
C	16.1	8.9
D	13.7	11.1

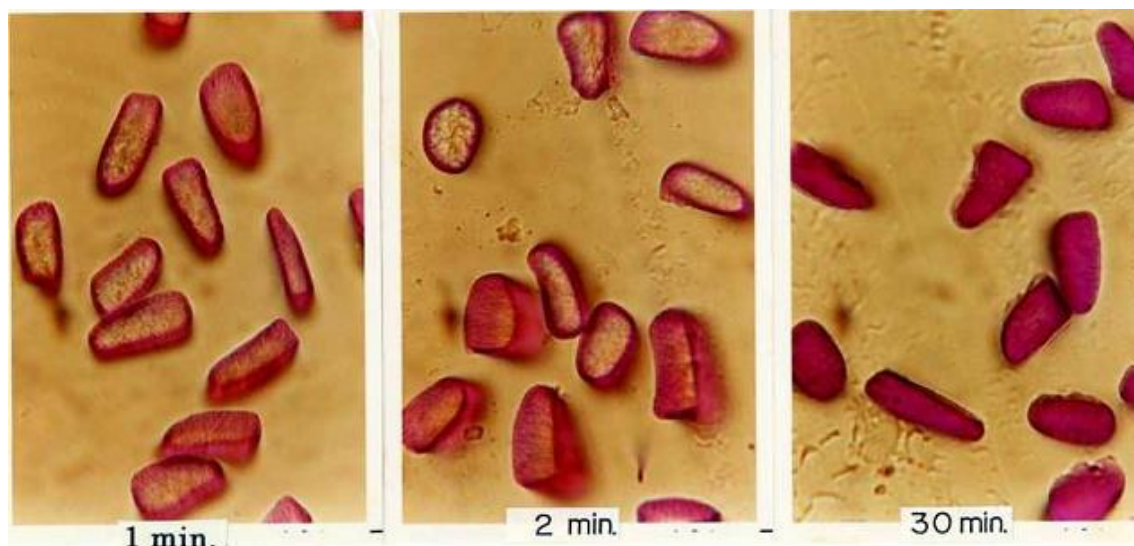
サクサン糸の実験結果の練減率および練り糸の黄変指数から、処理 B と C が天蚕糸以外の野蚕糸に対するよい精練・漂白方法と考えられる。

染色

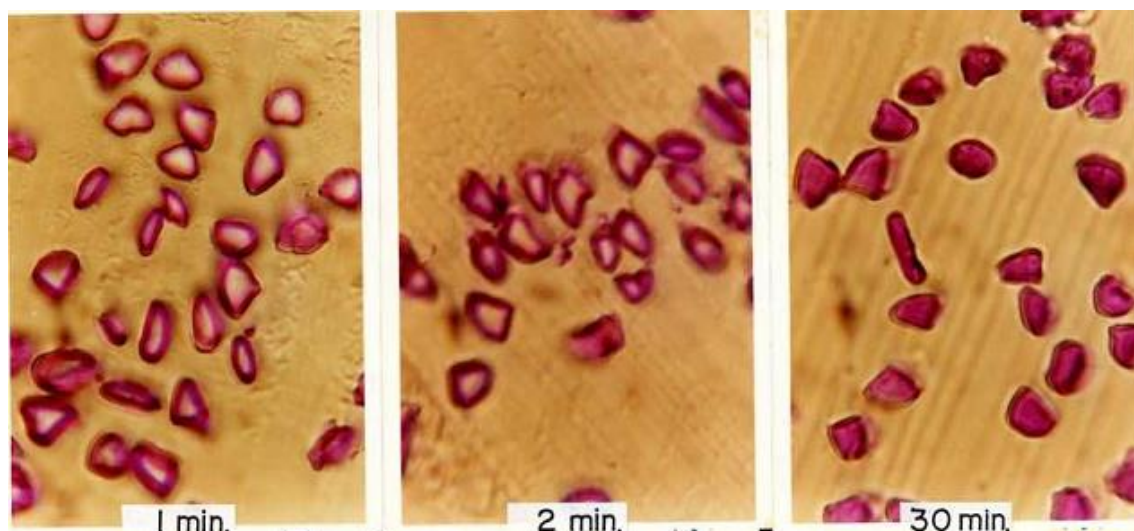
野蚕糸の染色	天蚕糸や柞蚕糸などの野蚕糸は、程度の差こそ多少あれ、染料吸着が悪い、鮮明さに欠ける、濃色に染まらない、色落ちしやすいなど、家蚕糸に比較してその染色が一般に困難である。染色性の悪さが、野蚕糸織物は丈夫で特有の色沢を持つなど、家蚕糸にない特性があるにもかかわらず、野蚕糸利用の大きな障害となっている。これは、野蚕糸が化学組成や微細構造において、家蚕糸と相当異なった性状を持っているためである。
レベリング系酸性染料による染色法	所定濃度の酸性染料と酢酸（98%）6～7%を加えた pH が大略 3.5 内外の染浴を調製し、この中に野蚕糸を投入して染色を開始する。染浴の温度は 30～40℃から徐々に昇温して、30～45 分の時間をかけて 80～90℃まで上げる。同温度で引き続き 30～60 分間染色を行う。
染色温度	天蚕糸染色では染料吸着への温度依存性が大きく、低温で染色したものは色落ちが著しい。染色温度は家蚕糸よりも 5～10℃高めとする。
染料濃度	同じ染料濃度で染色しても、天蚕糸は濃色に染まらない。すなわち、天蚕糸は家蚕糸よりも染料のビルドアップ性が低い。図 1 において、たて軸の染着量を同じに揃えるためには、よこ軸の違いから判断して、天蚕糸を染色する染料濃度は、家蚕糸の凡そ 1.5～2 倍にする必要のあることがわかる。
染浴 pH	野蚕糸は酸に対して緩衝的な作用を示すために、酸や酸性塩類を投入しても、家蚕糸染色の場合ほどに染浴 pH が下がらない。染浴 pH が十分に低下するように、酸類の投入量を家蚕糸よりも約 2 倍に増やす。
中性塩類による染色効果	直接染料や 2:1 型金属錯塩染料などを用いて中性浴染色する場合、染浴への芒硝などの中性塩類の投入は吸着性を向上させるが、野蚕糸の上昇程度は家蚕糸ほど大きくはない。
野蚕糸	野蚕糸の中でもエリ蚕糸は高温水浸漬すると膨潤しやすいので、中性染色でも比較的高い染着率を示す染料もある。大ざっぱにいうと、染色性は家蚕糸＞エリ蚕糸＞天蚕糸＞柞蚕糸≒ムガ蚕糸の順である。
生糸と練糸	天蚕生糸の方が精練した天蚕練糸よりも染料吸収がよい。
染色堅牢度	家蚕糸に比較して、天蚕糸の染料物は色落ちしやすいけれども、染色前または染色後に、酸処理を施せば家蚕糸と遜色ない洗たくおよび水堅牢度が得られる。
不純物	天蚕繭層には修酸カルシウムや酸化カルシウムなどの無機物が大量に含まれており、染色性に影響を及ぼす。精練や酸処理によって除去することが大切である。
天蚕糸と家蚕糸の同色染め	天蚕糸と家蚕糸を同色染めするときには、Edolan PAW liq. (Bayer), Erional PWX h. c. 600% (Ciba-Geigy), Unional SN (日本染化) のようなナイロン防染剤（アニオン活性剤）を 2～4%投入すると、染着量の平均化を図ることができる。
使用染料	天蚕糸は種々の染料部属によって染色できるが、染料吸収性や発色性、堅牢度などの面から最も実用的なものは、酸性ミリング染料、2:1 型金属錯塩染料、中～高温タイプの反応染料の三つである。

染料の浸透状況
下の写真

染色温度 80℃
染色時間 1, 2, 30 分
酸性染料 Acid Violet 5B



天蚕繭糸内部への酸性染料の浸透状況（染色温度 80℃）



家蚕繭糸内部への酸性染料の浸透状況（染色温度 80℃）

家蚕と天蚕では繭糸の太さも形状も違うが、染料の浸透性にはほとんど差異が認められません。

複合絹織物

野蚕糸は伸びやすく縮みやすい、毛羽立ちやすい、糸むらや節やヒゲなど、製織のさいに注意すべき点が多い。反面、非常に光沢の強くて軽い織物になる。糸の嵩高性のため思ったほど糸量が必要でない。野蚕糸は扁平で太く、家蚕糸の 2～4 倍の太い。このため嵩高で腰のある織物に適し、織物のもつ強い光沢と独特の手触りはこのような野蚕糸の形態的特徴によるところが大きいと思われる。野蚕糸の製織ではヒケという欠点が起こりやすいので、低張力で織ることが望ましい。

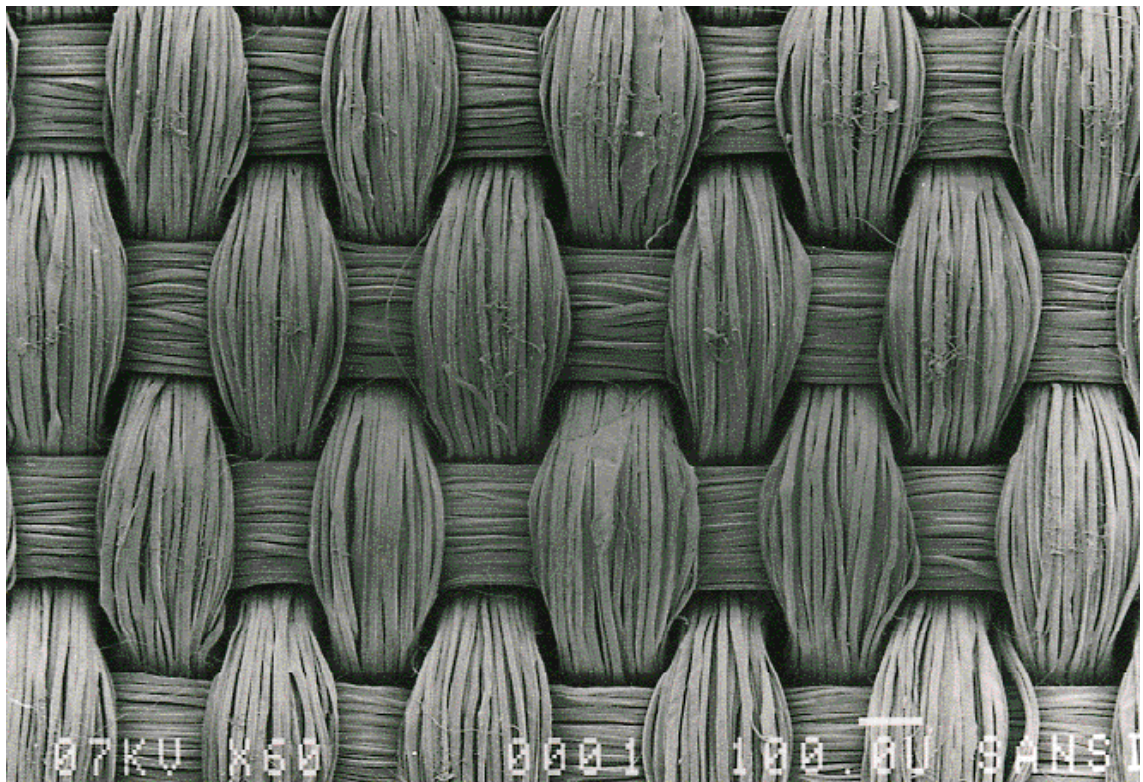
家蚕糸とサクサン糸を複合した絹織物が作られた。家蚕糸とサクサン糸の得失の補完効果を狙った洋服地の開発であったが、製法として、1. 家蚕糸とサクサン糸の交撚、2. たて糸・よこ糸のいずれか一方にサクサン糸を使う、3. たて糸・よこ糸ともに両者を混用する、三つの糸使いによって複合絹織物が試作された。

家蚕糸・サクサン糸の複合撚糸（練糸）の性状							
複合撚糸 （練糸）	サクサ ン糸の 配合率	収縮率	練減率	強度	伸度	ヤング率	降伏点
	%	%	%	g/d	%	g/d	g/d
1	0	0.4	24.2	4.21	19.6	76.2	1.54
2	22	1.9	21.9	3.67	19.3	67	1.38
3	45	2.7	18.8	3.5	21.2	52.9	1.3
4	45	2.9	18.5	3.54	23.7	41.7	1.27
5	71	4	14.5	3.1	25.4	44.2	1.13
6	100	4.6	11.9	3.72	35.4	33.5	1.01

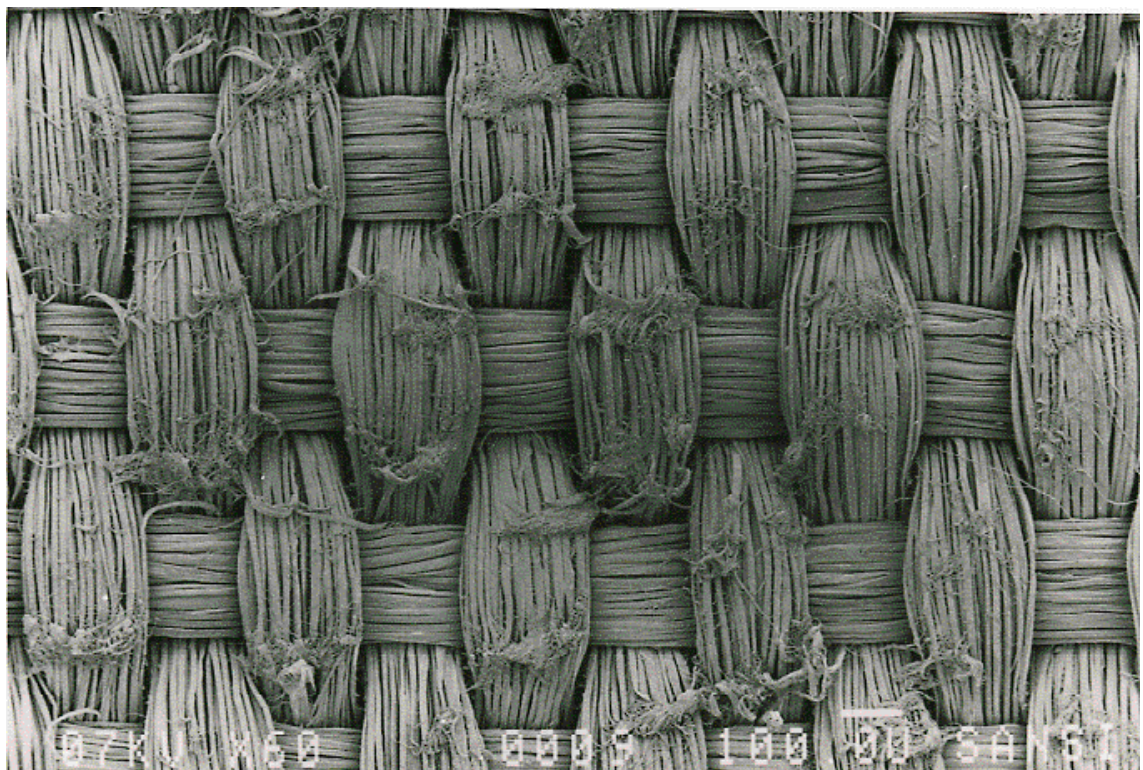
その結果、家蚕糸とサクサン糸の複合撚糸は、サクサン糸の配合率増加によって、練減りと強度およびヤング率は低下し、反対に収縮率と伸度は増加する。また、手触りがやや硬くなるが、耐磨耗性向上の効果があり、撚糸と織物の力学的性質も配合比率を変えることによってある程度の調節ができる。



製織

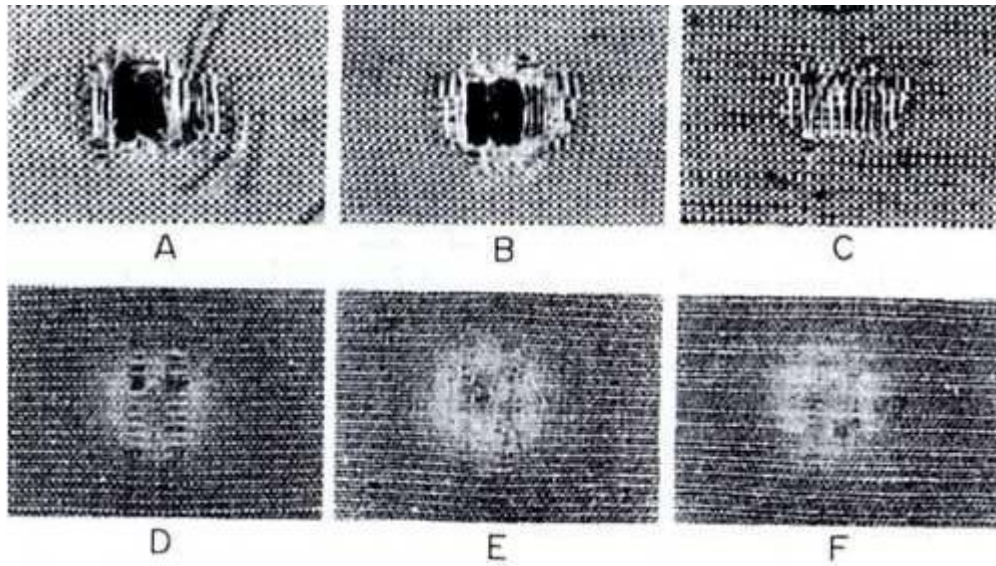


正常な絹織物



スレの発生した絹織物

一般に、厚地の絹織物は目寄りという現象が起こりやすく、縫製や着用の際に縫い目のほつれる原因となるので、摩擦係数の大きい野蚕糸を配合することで、縫い目の滑脱抵抗が改善される。このように野蚕糸の配合利用によって布地にボリューム感を付与し、摩擦に強い実用性能に優れた服地が作れるようになった。家蚕糸・エリサン糸複合織物では、エリサン糸の配合では柔軟に仕上がる紡績糸の持ち味を生かし、エリサン糸の欠点である毛羽立ちが家蚕糸によって軽減される。また富士絹織物では、織り糸の伸度が耐磨耗性に大きく関与しており、サクサン紡績糸織物>エリサン紡績糸織物>絹紡糸織物（家蚕糸）の関係であることが知られている。

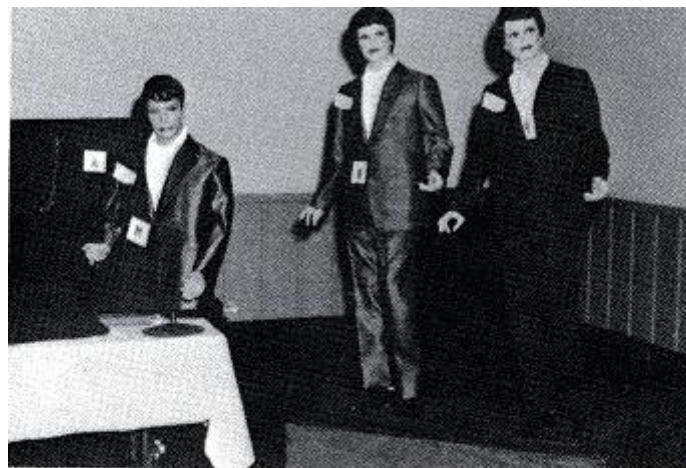


家蚕糸・サクサン糸複合絹織物の耐摩擦性

試験方法；ユニバーサル型摩耗試験機により 500 回摩擦したときの状況

サクサン糸の配合率；

A 0%	B 19.5%	C 39.5%
D 58.1%	E 76.9%	F 93.5%



家蚕糸/柞蚕糸の複合絹織物

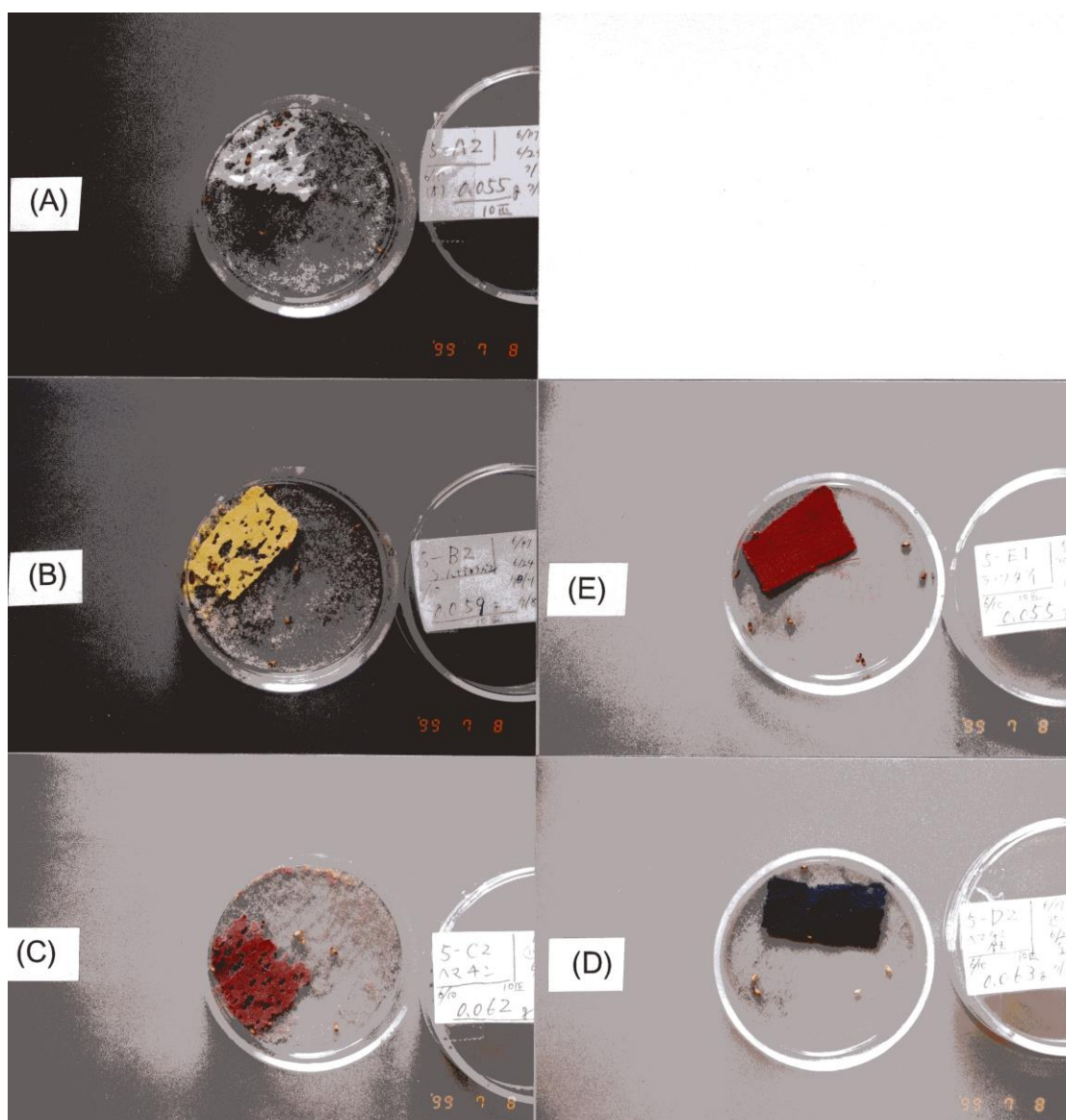
(スーツ試作品)

野蚕糸の利用開発

A. 野蚕糸の機能性究明

近年、個性豊かなシルクとして野蚕糸が新素材として注目され始めている。それと並行して、野蚕糸のもつ様々な機能性が次々と明らかにされている。(1) 野蚕糸の紫外線遮蔽機能が家蚕糸よりも紫外線 UV-A, B, C を強く遮蔽することを東京農大の長島孝行先生が見出されております。(2) また一般に天然色繭は白繭にくらべて抗酸化活性が著しく強いことが知られているが、財団法人大日本蚕糸会蚕糸科学研究所研究員の山崎昌良と栗岡 聡の両氏は、着色繭のなかでも 1995 年埼玉県蚕業試験場において育成された笹繭（いろどり）は蚕品種の大造系統がつくる黄緑色の繭で、白繭由来抽出物の 15 倍以上もの抗酸化作用があることを明らかにしています。(3) さ

らに野蚕繭の色素はタンニンによって固定されているため純白に練り上がらない反面、繊維害虫ヒメマルカツオブシムシによる摂食をタンニンの含有によって著しく阻止しているという事実（防虫効果）も明らかにされました。



100 匹の幼虫による 4 週間後の摂食試験結果(個別試験)

- (A) 未染色
- (B) ウコン染め
- (C) ヘマチン染め
- (D) ヘマチン染め、鉄媒染処理
- (E) ラックダイ虫からの抽出色素染め



100 匹の幼虫による 3 週間後の摂食試験結果 (集団試験)

未染色羊毛 (7) はすっかり食べ尽くされて試料の痕跡さえも観察できない。また化学染料染め試料 (8) もほぼ全部食べ尽くされており、かろうじて繊維が残っている状態。これに対して大部分の天然色素染めは、(9) の紫根染め以外、ほとんど食害されておりません。



対照区 新聞紙 絹・テンセル
複合シート



対照区 新聞紙 絹・テンセル
複合シート



対照区 新聞紙 絹・テンセル
複合シート

皮剥き馬鈴薯の黒変度
温度 25℃、湿度 21%の室内に、3 日（上
段）、6 日（中段）、10 日（下段）保存し
たときの状態

鮮度保持試験

切り蒔層 50g を 1.2%～2.9%水酸化ナトリウム水溶液に 40℃、1 昼夜浸漬後、綿状にほぐし切断叩解した。
このなかに繊維長 6mm のテンセル 35g と混合し、水 25 リットルを加えて均一な分散液とした。分散液を網目
100 メッシュのシート上に流し、50-100g/m2 の絹・テンセル複合手すきシートを作製した。

今後の展開

種の多い野蚕糸は多孔断面構造を成している点や天然色繭など特異的な特徴をもつシルクタンパク質。今後と
も新しい機能性が解明され、高齢者社会のなかで、たとえ小規模であっても衣料用繊維として持続的に利用と開
発が進展することを大いに期待しています。



ベスト



野太くも艶やか！ 天蚕糸織物（100%天蚕糸）

野蚕繭	特徴	機能性
絹を産生し繭を作る 野生絹糸昆虫（自然の 素材）	自然に育てられた環境に優 しい繊維（エコ資源、社会循 環）	数多い野生の繊維素材 軽くて、ソフトな風合い 野趣ある手紡ぎ糸（手触りのよ い衣料）
ヤマユガ科の繭	多孔性の繭糸構造	UV カット 消臭（吸着・徐放作用） 鮮度保持
笹繭系の色繭(大造)	フラボノイド系の色素	強い抗酸化活性
天然色繭	色素とタンニン含有	抗酸化作用 防虫効果（繊維害虫ヒメマルカ ツオブシムシの摂食阻害）
天然の小型黄色繭	多化性の熱帯種繭 クリキュラ繭	タイシルクの特性 黄金色の発色構造

第 5 回国際野蚕ワークショップ



2004 年 10 月 11 日—15 日

タイ国コンケン

日本野蚕学会ホームページ <http://www.cis.kit.ac.jp/~kaikoga/>