

絹の機能利用によるシルク産業の展望

蚕糸・昆虫農業技術研究所 機能開発部長 横沢三夫

はじめに

わが国の蚕糸・絹業はガットに替るWTO（世界貿易機関）の創設後は一大転機にさしかかっている。経済のグローバル化に拍車がかかり、日本では円高も加わって輸入の増大と輸出の減少が顕著となり安い海外生産物が市場に溢れる状況を迎えている。世界の絹生産量はほぼ横ばいで推移しているが、先進国の衰退と発展途上国の振興によってバランスが保たれている。日本のシルク産業は原料生産基盤の縮小と外国からの低コスト製品の攻勢により喘いでいるが、他の繊維大企業がいち早くリストラを完成させて不採算部門を海外に移設するなど贅肉落しにやっきとなってきたのに対し、製糸企業を中心とする国内シルク産業は原料繭不足等による縮小か転業あるいは廃業という厳しい選択に迫られている。とくに最近では、外国からの原料繭に依存してきた製糸業にとって、その中心をなす中国産の繭にかげりが見え始めてきた状況の中でどう対応していくべきか大きな岐路にさしかかっていると見える。このような原料繭事情もさることながら国産生糸よりも優れた外国生糸が輸入される状況の中で国産シルクに求められるものは何かについて真剣に考え取組まなければ将来に向って禍根を残すことになる。

蚕糸・昆虫農業技術研究所は蚕糸試験場を前身として創立後7年を経過しようとしており、蚕糸部門に加えて昆虫機能部門を取入れて新しい昆虫利用産業の創出に寄与するという目的で研究を進めている。昨年10月には旧加工利用部の振替えにより、昆虫機能利用の一層の発展をめざして機能開発部を発足させた。国立研究機関として先導的・基盤的研究の役割を担っているが、蚕糸業をめぐる厳しい状況に対処していかなるものの考え方で取組み、どのような成果を生んでいるか、またその成果はどのような場面で応用が可能であるか等に関して時代の変遷を分析しつつ問題提起を行ってみたい。

1. 時代の特徴と絹の変遷

1) 戦前の絹利用

昭和初年までは14中、21中中心の生糸を大量生産し主としてアメリカ婦人のス

トッキング用として輸出し外貨獲得のトップの座を占めていた。一方、優れた撚糸、精練等の加工技術を駆使して、広幅羽二重、フラットクレープ等を生産し、欧米人の高級ドレス、夜会服用として輸出した。広幅織物の輸出は中東を中心に現在も続いている。ナイロンの発明（1938年）と第2次大戦への傾斜を契機として絹の輸出は途絶えた。輸入も途絶えた綿、羊毛、石油製品等の代替として絹を利用する研究が国を挙げて取り組まれ、絹毛生糸、擬毛加工、シルクプラスチック、副産物の利用研究などに多くの報告を残している。

2)戦後復興期における生糸品質の改良

昭和30年代後半から始まる高度経済成長までを復興期とすると、昭和20年代は戦後の援助物資の見返り品として生糸輸出に力点が置かれ、蚕糸業の急速な復興と岡谷製糸試験所の設立など国産生糸の振興が図られた。製糸技術は織度感知器の開発により多条機から自動繰糸機に切替るなど著しい生産性の向上が達成された。一方、輸出用の生糸品質は戦前型のストッキング用生糸とは違って、洋装用の織物に適するものへに要望が強まり、輸出生糸の改良研究が大々的に取組まれ、繭糸織度、クリンプ、セリシンの三つが重要であるという結論が得られた。しかし、景気の後退、弱電企業の勃興、農業基本法の制定など従来養蚕を担っていた中小農家の兼業化などによって生産量はプラトーに達し、生糸輸出に陰りが見えるようになる。

3)高度成長期のシルクブームと品質問題

昭和40年代は経済の高度成長にのって和服ブームが到来したが、農村人口の都市集中に伴う農業生産基盤の弱体化によって蚕糸業は縮小さぜざるを得ず、生糸の輸出入が逆転し、以後生糸・絹の輸入量が増大する。国産生糸は生産性のアップによる高速高張力繰糸に基づく低伸度生糸が問題となった。ある高級白生地業者の言を借りれば“最近の生糸を用いた織物は硬いだけで腰がなく、死んだ猫のようだ”と評された。湿潤高張力繰糸が非回復性の2次降状を惹起することが解明され生糸品質改善の指標となった。石油ショック以降の低成長期は、一転して和服需要の低迷（特にカジュアル和装）という状況が生れた。モータリゼーションを中心とする生活の洋風化が拍車をかけたが、重目付＝高級品＝高額品という和装衣料への反動も重なっている。この時期は省力養蚕として稚蚕人工飼料育が普及するとともに、海外からの絹織物、絹2次製品の輸入が急増した。

4)昭和から平成へ、そして現在の絹

昭和60年代前後より絹の和装需要はフォーマル化へ傾斜し、成人式、慶弔用以外は生活の中での和装利用が減少した。国の研究は、洋装用素材の開発に主眼を置いて多様化、高品質化をめざした。細繊維蚕品種「あけぼの」の育成によりナイロン伸縮糸との交絡複合糸“ハイブリッドシルク”が開発されパンティーストッキング用として大きな注目を浴びている。戦前アメリカ婦人の脚を飾ったシルクが近代技術による新装を凝らして日本婦人の脚に感性を加えつつある。外衣用素材として「さきがけ」等の太繊維品種が育成されたが、スーツ用としての需要見通し、ヨーロッパ製品との品質較差などによって業界を刺激するまでに至っていない。最近は円高等の経済要因、ファッションの不透明感を反映して国産繭・生糸・絹の生産が減少しているが、感性、カジュアル化を中心としてシルク需要は旺盛であり、低コストの外国絹の輸入が急増している。これに対し、広食性蚕と低コスト人工飼料による先進国型養蚕業の発展をめざしているほか、シルクトウなどの新素材開発研究が官民共同で進められている。一方で、国産シルクのブランド化も活発であり、中でも細繊維「あけぼの」等利用による高品質和装の展開が注目されている。

5)新機能解明と非衣料分野への展開

絹の非衣料利用としては、古くから手術用糸、邦楽弦、釣り糸などがあり、20世紀の工業の発展に伴ってからは電気絶縁材料、印刷用スクリーン、製粉用篩、落下傘などに多用された。これらは長繊維のもつ平滑均整性や強度の大きさのほか、絹の吸透湿・保水性能、耐衝撃性などの機能が利用されたものであった。ナイロンをはじめとする合成繊維の登場により、これらの機能はほぼ完全に代替されたが、近年になって環境問題、資源問題、自然回帰、感性重視等の気運の高まりに伴って、絹タンパク質の生体素材としての新機能性の追究が始まり、自然分解性釣り糸、コンタクトレンズ、化粧品、機能性食品ほか各種バイオセンサーの担体や抗血栓性をもつ人工血管などの医用材料への利用が有望視されている。

2. 絹の機能開発への挑戦

1)遺伝資源の利用による新蚕品種の育成と利活用

国が保存する500種近い蚕遺伝資源（原蚕種）は、今後のDNA組換え技術の発展

を見透せば、無限に近い新形質の付加が可能である。従来の普通蚕品種に加えて特徴ある蚕品種として登場したものには繭糸織度に特徴をもつもの（細織度の「あけぼの」、「しんあけぼの」、太織度の「さきがけ」、「ありあけ」、中細・長糸長の「世紀21」等）、食性に特徴をもつもの（「あさぎり」、「しんあさぎり」、「はばたき」など）があり、普通蚕品種の部類でも稚蚕人工飼料育に適するものや雌雄で繭の色が異なる限性黄繭品種、カネボウの黄繭種（鐘光×黄玉）、埼玉の笹繭系統（幸玉）など新品种が目白押しである。

食味オンチの保存品種からスクリーニングされた広食性蚕品種は桑の葉の入らない低コスト人工飼料に適した品種で、年間10回育10t規模の繭生産を達成する技術開発に寄与するものである。若者等に魅力の週休2日制養蚕技術のためには、人工飼料と桑葉育を組合わせたリバーシブル養蚕が適しており、これに合う広食性品種の育成が必要である。

多様化する消費ニーズへの対応として新規用途用蚕品種の育成が求められており、現在開発されたものとして、前述の細・太織度などのほか、繰糸には向かないが、繭毛羽状のふわふわした繭を作る「綿蚕」（わたこ）を用いれば、弾力性のある繭綿フトンが可能であるし、簡易紡績によりセリシン付きの絹紡糸とすれば絹デニムとしてシルクジーンズ用素材などに有望である。また、玉繭用蚕品種もつむぎや洋装用素材として注目されており2匹から数匹で作る繭から得られる雅趣ある玉糸の利用が開かれるであろう。

今後、糸繭用以外でインターフェロンなどの有用物質を生産する蚕品種の育成に期待が寄せられている。これはカイコの病原菌である核多角体病ウイルスに有用物質を生産する遺伝子を組込んでカイコの体内で増殖させて抽出・精製するものである。このため、ウイルスに感染してもすぐ死なないようなウイルス抵抗性品種の育成と体液採取のし易い絹糸腺の少ない裸蛹等が有望視されている。蚕昆研ではこれをバイテク養蚕と位置づけて検討会を発足させており、機能開発部ではこの組換え蚕の大量増殖と有用物質抽出処理システムの開発を担当する予定である。

2)加工技術による新素材への挑戦

①複合化技術

繊維素材の流れは天然－合繊－ライク繊維－新合繊を経て21世紀は複合化がトレンドであると予想されている。ナイロン、ポリエステル、アクリルの3大繊維

以降有用素材の出なかった合繊は新合繊などの形態改質と他繊維複合化で成功してきた。今後は、繊維同志の複合化のみならず、分子複合、気体・液体・固体複合など様々な形態が考えられている。

ハイブリッドシルクはナイロンの機能性と絹の感触のよさが結合した機能の複合化に特徴があるが、この考え方は現在主流をなす複合素材のほとんどに当てはまり、お互いの欠点を補充して、新しい機能を追究しようとするものである。

絹については同じ長繊維の合繊との複合のほか綿や羊毛等の短繊維との長短複合などが試みられているが、絹糸と超細繊維あるいは高収縮性の新合繊との複合化などは腰の強さと柔軟性を合せもち、あるいは腰とかさ高性に富み且つしわになりにくい新機能性のあるスーツ地などに適する素材になる筈であり、研究を進めている。「日本の絹には空気がない」といったのはデザイナーの森英恵さんであるが、硬くてふくらみに欠けると評判のよくない国産絹織物の改善は、ふくらみの基本である空気との複合化技術に一工夫も二工夫も必要である。また、フィブロインとセリシンの複合化もセリシン固定技術として利用されているが、精練・染色技術及び触感等との関連で今後益々重要性が増すものと考ええる。

高齢化社会では老人介護用素材として吸透湿性、抗菌・防臭性、床ずれ防止、皮膚障害防止などの機能が求められているが、絹はそれ自体でもそれらへの有用性が言及されてはいるが、他の機能生理・薬理成分との複合化によってより効果の優れた素材作出が必要となっている。当研究所では、主として医療材料への適用のために、細胞増殖性を抑えて抗血栓性を付与させる化学修飾法の研究や薬品等を吸着させる多孔質絹フィブロインに関する研究を行っている。

② 絹短繊維素材シルクトウの開発

絹を短繊維として利用する目的は、表1に示すように生糸のような長繊維（フィラメント）使いの特徴である硬くて張りがある、平滑すぎてかさ高性に欠けるなど洋装用素材としては欠点となる性能を改善して用途の多様性に対応しようとするところにある。

絹のспан化技術としては、選除繭、きびそ、ビス、繭毛羽等を原料とする絹糸紡績があるが、腐化精練、開繭、切綿、梳綿など15～16工程を経てスライバーを製造するという過酷な生産条件にもかかわらず、高質糸の収率は低く品質的にもフィブリル分繊化などの問題点をかかえている。

表 1 絹のフィラメント製品とスパン製品の特徴

特 性	フィラメント製品	スパン製品
硬軟性（糸）	トルクを内蔵して硬い	トルクを放出して柔軟
硬軟性（布）	内部摩擦多く硬い（先染）	内部摩擦小さく柔らかい
かさ高性	内部空隙少なく小	空隙多く大
軽 さ	厚さに対して重い	軽い
暖 か さ	含気量少なく冷たい	暖かい
耐摩耗性	タイト構造が弱点となるケースも	柔構造が有利に作用
外観特性	織り目細かく平滑、艶	織り目荒く野趣性
風合いイメージ	張り・フラット・フォーマル ・高尚	ソフト・ボリューム・カジュアル ・庶民性

シルクトウは、合化繊で行われているトウ紡績に合致する素材を絹に適用させたものであり、2,000粒以上の多数の繭を同時一斉繰糸により繭糸フィラメントが分織し、且つ集束した繭糸束（シルクトウ）を製造するものである（図1）。

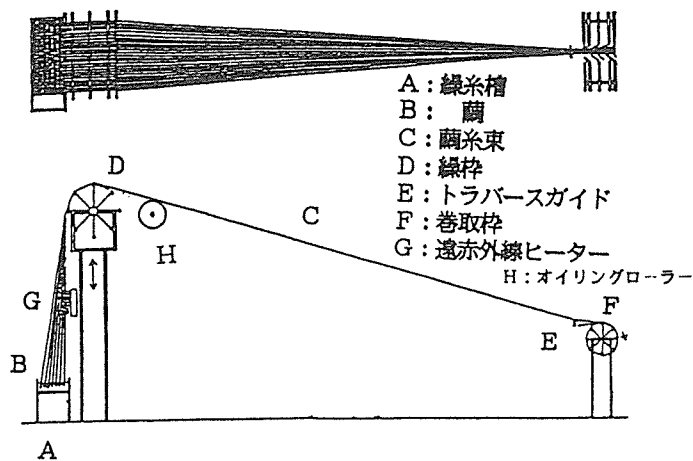


図1 シルクトウの製造方法概略図

そのため、繰糸から巻取りの間でセリシンの固着防止と静電気発生防止を図るためにオイリングと水分乾燥を行い、よりやつれ、たるみの生じないように慎重にボビンに巻き取る必要がある。シルクトウは、トウ紡績システムにおけるパーロ

ック式牽切工程において連続的でランダムに単繊維を切断してスライバーに変換されるものであり、絹紡方式に較べて製造工程の大幅な短縮に結びついている。原料繭は繰糸可能なものなら普通繭、選除繭を問わず使用できるし、解じょ不良繭でも蛋白分解酵素の助けを借りればほぼ完全に繰糸可能である。シルクトウ開発の秘訣は、牽切工程で障害となる静電気発生を抑える油剤の選定とその処理法及び繊維の分繊性につきる。取扱い上の制約を除けば蛋白分解酵素添加繰糸浴中で精練しながら繰糸する方法が、シルクトウの性状及び製造される紡績糸の性能上優れたものが得られることが明らかとなっている。

製糸工場でシルクトウを生産する上では、選除繭、揚り繭、ビス等を原料として考えることができるし、自動繰糸機を利用すれば、ケネルなしの連続接緒方法による大枠巻取方法等に対応することが可能であろう。セリシンを残しているシルクトウ紡績糸の織物は、精練によって羽二重のような柔軟性と弾力性を発揮し、新感覚の短繊維素材として注目される。

③ 物理・化学的手法による機能改質技術

絹への物理的手法による改質加工として蚕昆研で開発したものには、強ねん糸と無より糸を組合せ熱と精練作用によるより戻り力を利用して絹糸を絡ませ、強い縮れの発生により伸縮性、かさ高性を付与したストッレチシルクがある。ストッレチシルクと普通の練絹を複合して製織した洋服地は、練絹糸のみの製品に較べて防しわ性の大幅な向上と柔軟性の付与などの機能改善が図られた。

絹の化学的処理による改質方法としては、絹が硝酸カルシウムなどの中性塩で収縮する塩縮作用を利用してクリンプを発現させるものである。家蚕絹糸と野蚕糸の複合や増量加工などにより収縮性を抑制した絹糸を複合して中性塩の熱溶液で処理すると異収縮性によりかさ高いクリンプ絹糸が得られる。樹脂加工との併用により光沢や取扱い性を高めると、軽くて柔軟にしてかさ高に富んだニット用素材として有望である。

また、絹の欠点である水による膨潤収縮性や防しわ性、黄変性を改善するための複合樹脂加工法を開発してウオッシュャブルシルクの実現に大きく前進した。これは、エチレン尿素系に替わるホルマリン遊離の少ないグリオキザール系樹脂と水溶性ウレタン及びチオ尿素の複合加工により、樹脂による分子間クロスリンケージと黄変防止効果のあるチオ尿素の固定及び薄いウレタン皮膜による防水性付与に特徴がある。

3) 絹の非衣料素材の開発

① 絹蛋白質膜の特性と利用

絹蛋白質は、人体に無害である、生体組織との適合性がよい、純度の高い多様な形態をもった素材が得られる、などの特性をもっているため、主として医療面での素材として期待されている。熟蚕の絹糸腺から得られる液状フィブロインや精練絹糸を溶解した再生フィブロインから作ったフィブロイン膜は、酸素や水蒸気等の良好な透過性をもち、湿強度や透明度も高いため、コンタクトレンズや人工皮膚等生体組織と接触する機会の多い医用材料として有望である。

また、フィブロイン膜は、酵素や細胞との親和性に優れているため、酵素固定化担体としてグルコースセンサー等のバイオセンサーへの利用や、有用な遊離細胞を効率的に増殖・培養する培養床として免疫工学、細胞工学等の分野に貢献できる。人工骨等の医用材料に用いられるシリコンゴムの生体適合性改善のため、フィブロインコーティングによる表面皮膜を形成すると細胞増殖性が増して人体になじんでくることが明らかとなった。

さらに、フィブロイン蛋白質を構成するアミノ酸末端基の機能を化学修飾することによって改変し、細胞増殖性をコントロールするとか、非免疫性をもつ高分子を化学修飾することなどによって抗血栓素材や非免疫性素材への改質技術が進展中である。

② 高強度絹糸の開発と利用

手術用縫合糸、釣糸、楽器糸などの産業用資材として絹を利用する上での最大の課題は合繊に較べて強度が低い（通常 $3.5 \sim 3.8 \text{ g f / d}$ ）点にあった。このため、抗幼若ホルモンによる蚕の三眠化など細菌糸繊維化と延伸条件の組合せによって従来実現できなかった 5.5 g f / d の強度を得ることに成功した。これは通常の合成繊維並の強さであり、自然放置で環境上の問題となっているナイロン製釣糸に替わる自然分解性のバイオシルク釣り糸用素材として有望である。

また、絹の手術糸は安全性や結び目のほぐれにくさ等の機能により現在でも根強い人気であるが、細胞付着増殖性が抜糸等の障害となる場合もあるため、前述の細胞増殖性を抑えた機能改変により切れにくく、ほぐれにくく、且つ安全で取り扱い性に優れた手術糸の利用に結びつくものである。

③ 絹フィブロイン結晶性微粉末の開発と利用

絹を粉末として利用する研究は以前から行われて、化粧品、飲食物への添加剤として利用されている。従来の製造方法は、ほとんどが絹物質を薬品で溶解した後、薬品を除去してフィブロイン水溶液を作り、沈殿後乾燥するとか、水溶液を凍結乾燥する方法によっている。この水溶液化と透析精製等には時間と手数がかかること及び絹の結晶性が失われて非結晶化するなどにより用途が限定されていた。

絹粉末を工業的に利用するため、絹糸をアルカリ処理によって劣化させて水洗乾燥後これを２段階で粉碎すると平均粒径 5μ の均整な微粉末が得られる。この粉末は絹の結晶性をそのまま保持して、吸放湿性、熱的特性も絹糸と同様であるという特徴があるため、絹の感触を生かしたコーティング材として各種素材と複合したバイオプラスチックとしての利用が考えられ、家具、ソファーや手に触れる製品等への展開が期待される。

3. 状況の変化とシルク産業の対応

1) 衣料ファッションの流れと絹市場の動向

衣料ファッションの流れは、ほぼ10年ごとのスパンで変化しているが、日本の絹は和装中心できたためこの流れとは直接関係なく対応してきた。高度経済成長期には合繊が台頭し三大合繊が出揃い、シルクライクをはじめとする天然繊維の模倣技術が全盛で団魂の世代の旺盛な需要を満たした。石油ショック後はその反動も加わり一転して自然回帰現象となり、天然繊維（短繊維）が見直された。この間のシルク産業は和服ブームにのった大量消費から和服需要の減退という状況を迎えてリストラよりも撤退の道を歩んだ。産業構造が和装で組立てられていた結果ともいえるが、ヨーロッパに負けない高級ファッション素材を意識した取組みの遅れも見逃せない。

合繊界は、第1次ブーム中既に将来の国際競争力を意識した差別化素材の研究を進展させ、20年後に新合繊として世に送り出した。短繊維ファッションに続くフェミニン調ファッションを主導したのが新合繊である。シルク産業も洋装用素材の拡大に取組みフェミニンファッションへのシルクの挑戦として女性中心の大衆路線が発展してきた。しかし、その多くは高級品のヨーロッパ品と大衆普及品のアジア産品等の輸入品で占められた。平成後の近年は、素材の多様性、ファッションの多様性を含んで不透明時代といわれている中で多様な価値観が生じて

いる。現代社会のキーワードは生命、資源、環境であり、繊維等の生活関連素材の高付加価値化に期待されるものは感性（快適性）、人にやさしい、健康、福祉である。絹はまさにこれらに適合した素材であり、インナーから中衣、外衣等を含め絹市場は多様に反応している。この機能を益々発展させて不透明時代を生き抜き21世紀につなげる努力が必要である。

2) 国際化とシルク産業

ガット・ウルグアイ・ラウンド合意は経済のグローバル化に拍車をかけると同時に日本では円高も加わって大衆品を中心に価格破壊が進行している。シルク製品も安価な大衆品が大量輸入されて国内企業を圧迫している。資本力の大きい企業は海外に生産拠点を移してグローバルネットワークの中で生き残るためのリストラに力点を置いている。

国内シルク産業が生き残るためには、低コストで輸入される外国品との差別化が必要であり、そのための高付加価値素材を提供することである。従来の生産－消費の流れは、できたものを売るプロダクツアウトであり、生産者は一定の規格品を作っては売りさばき、消費者はマスプロ商品を大量消費するという構図であった。しかし、これからは消費者が必要とするものを作るマーケットインの考え方、すなわち消費ニーズを考慮しなければ作っても売れない時代になったのである。このため、市場は何を要求しているかを常に的確に把握し、それへの対応がうまくできる企業が発展するのであり、それを怠ればとり残されて消滅する運命にあるということになる。

国際化時代を迎えた現在、視野を世界に広げた戦略を立てることが求められており、国際的差別化製品をターゲットとして高度に発達した技術を売るべきである。そのためには、地域内の連携及び蚕種・養蚕・製糸・絹業・問屋を含む産業連携を密にした取組みによって地場産業を発展させ、国内はもとより世界に発信させるべきである。

国が育成した「あけぼの」など細織度品種を用いた絹製品は、軽くて染色性や風合いがよく最高の衣装に向くと評価が高いが、これら国産品を真に発展させるべく各界、各層の努力が求められており、国内はもとより欧米等先進ファッションをリードする国際的差別化商品に仕立て上げる必要がある。

3) シルク産業の多面的発展へ

天然繊維である絹繊維は、昆虫に由来するナチュラルイレギュラリティーが存在する。従来の製糸技術は、その繊維のむらをコントロールして均整で針金のように節、糸むらのない生糸を目標としてきた。このため、むらがなく均整ではあるが硬すぎる、味がないなどの欠点も指摘された。最近では、手造りの味を加えるべくむらを積極的に利用する素材が開発されている。合繊のシックアンドシンや綿などでも1/fゆらぎ理論を応用した製品がある。これらの考え方は今後の製糸・製織技術にも取り入れるなど自然・感性を追求することが必要である。また、かさ高性に特徴ある交絡かさ高生糸の生産と利用に展開を図るほか、シルクトウも紡績糸のほか不織布などの短繊維素材への利用も可能となろう。

一方、あらゆる局面での快適性を求める消費行動に対応して、衣服、寝装品を問わず、消臭・抗菌、ストレッチ、肌にやさしい風合いなど快適で健康につながる素材開発が進められている。綿の形態安定加工や抗アレルギー加工処理等世はまさにエコロジブームとなって世界を席卷しつつある。

天然素材である絹は、豊富に存在するセルロース、キチンなどの動植物素材とともに21世紀に新たに発展が見込める快適性素材であり、衣料、非衣料分野を含む多面的な革新的技術発展のために自信を持って推進すべきである。