

# 第 63 回日本シルク学会研究会 要旨集



平成 28 年 7 月 22 日（金）  
東京農工大学小金井キャンパス  
科学博物館

第 63 回日本シルク学会大会実行委員会

|        |           |
|--------|-----------|
| 実行委員長  | 草野洋一      |
| 庶務     | 横山岳・中澤靖元  |
| 会計     | 加賀美思帆     |
| 編集     | 横山 岳・中澤靖元 |
| 会場・懇親会 | 伊藤克彦      |

## 第 63 回日本シルク学会大会プログラム

**開催日：2016 年 7 月 22 日（金）**

**講演会場：東京農工大学小金井キャンパス 科学博物館**

**懇親会会場：東京農工大学小金井キャンパス 140 周年記念会館（エリプス）**

講演時間 第 1 鈴 10 分、第 2 鈴 12 分、質疑応答 2 分、計 14 分

講演者は次の講演者の座長をお願いします。

| 時間      | 講演<br>番号 | 講演課題                         | 発表者氏名・所属                                              |
|---------|----------|------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 09 : 30 | 01       | シマグワ野生株からの果実生産に適した系統の選出      | （浦添シルバー人材センター）○<br>小山朗夫・井上吾一・（浦添市役<br>所）大塚京平          |
| 09 : 45 | 02       | 蛍光繭の凍結乾燥による処理の検討             | （農研機構）○飯塚哲也・岡田英<br>二・中島健一                             |
| 10 : 00 | 03       | カイコの生物学的サイズが糸物性に及<br>ぼす影響    | （蚕研）○花之内智彦・（群馬大<br>院・理工）河原 豊                          |
| 10 : 15 | 04       | 太繊維度低張力糸「ふい絹」を用いた製品<br>開発    | （群馬織工試）○齋藤宏・久保川<br>博夫・齋藤裕文・清水弘幸・（泉織<br>物有）泉太郎（蚕研）清水重人 |
| 10 : 30 | 05       | 蒸熱処理による絹織物の立体形状付与<br>加工      | （群馬織工試）○齋藤裕文・久保<br>川博夫・齋藤宏                            |
| 10 : 45 | 06       | 遮熱性及び紫外線遮蔽性を付与した夏<br>用絹織物の開発 | （群馬織工試）○久保川博夫・齋<br>藤宏・清水弘幸・（泉織物有限会<br>社）泉太郎           |
| 11 : 00 | 07       | 絡み織物の耐突刺し防護性能について            | （信州大）○坂口明男・萩原秀成・<br>鮑力民・森川英明・木村裕和                     |
| 11 : 15 | 08       | 組紐の外観観察と製品開発                 | （群馬織工試）○笠原力・山田徹<br>郎                                  |
| 11 : 30 | 09       | カイコ繭フラボノイドを用いた媒染染<br>色について   | （農研機構）○平山力・岡田英二・<br>中島健一                              |
| 11 : 45 | 10       | クモ糸シルクを含んだ生糸および織物<br>の性状     | （農研機構）○中島健一・小島<br>桂・飯塚哲也・岡田英二                         |

**12 : 00～13 : 00 昼食・休憩**

**13 : 00～14 : 00 総会・学会賞授与**

**14 : 00～14 : 20 学会賞受賞記念講演**

『機能性絹タンパク質の製造と応用に関する研究』 信州大学 塚田 益裕

座長 信州大学 玉田 靖

**14 : 20～15 : 00 休憩・科学博物館見学**

|         | 番号 |                                                  |                                                                       |
|---------|----|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 15 : 00 | 11 | ハチ目広腰垂目の新しいシルクタンパク質遺伝子                           | (農研機構) ○炭谷めぐみ・坪田拓也・畠山正統・亀田恒徳・瀬筒秀樹                                     |
| 15 : 15 | 12 | ホーネットシルクゲルフィルムの延伸過程で生じるコイルドコイルからベータシート構造への構造転移機構 | (生物研) ○吉岡太陽・亀田恒徳・(豊田工大) 田代孝二・(Philipps University) Andreas K. Schaper |
| 15 : 30 | 13 | エリ蚕シルクパウダーの製造方法の開発                               | (沖縄 UKAMI 養蚕) ○仲宗根豊一・岡松滋美                                             |
| 15 : 45 | 14 | エリ蚕シルクパウダー製造工程における固体 NMR 解析                      | (北大) ○相沢智康・大西裕季・熊木康裕・出村誠・(沖縄 UKAMI 養蚕) 岡松滋美・仲宗根豊一・(沖縄高専) 伊東昌章         |
| 16 : 00 | 15 | 沖縄産エリ蚕繭から調製したパウダーの機能性評価                          | (沖縄高専) 多加喜未可・東啓子・(沖縄 UKAMI 養蚕) 岡松滋美・仲宗根豊一・(沖縄高専) ○伊東昌章                |
| 16 : 15 | 16 | フィブロインに導入したアジド基を起点とする架橋形成の試み                     | (農研機構) ○寺本英敏・小島桂・中島健一                                                 |
| 16 : 30 | 17 | カイコ絹糸腺フィブロインの HFIP 溶液とキャストフィルムの特徴                | (農研機構) ○秦 珠子・吉岡太陽・亀田恒徳・(農工大) 田尻弘和・中澤 靖元                               |
| 16 : 45 | 18 | 機能性分子を固定化したシルクフィブロインの作製と冠血管新生シートへの応用             | (農工大院・工) ○高濱晃大・久保亮太・(農工大・獣医) 田中綾・島田香寿美・(農生研) 亀田恒徳・(農工大院・工) 中澤靖元       |
| 17 : 00 | 19 | 結晶-非晶バランスを変化させた遺伝子組換えシルクフィルム上での細胞培養              | (信州大) ○鷺見拓哉・玉田靖・(農研機構) 内野恵郎・小島桂                                       |
| 17 : 15 | 20 | 裸蛹蚕 Nd×黄繭蚕品種による交雑蚕繭作出と抽出セリシン利用                   | (元岐阜生物産研) ○安田勝年                                                       |

18 : 00~20 : 00 懇親会

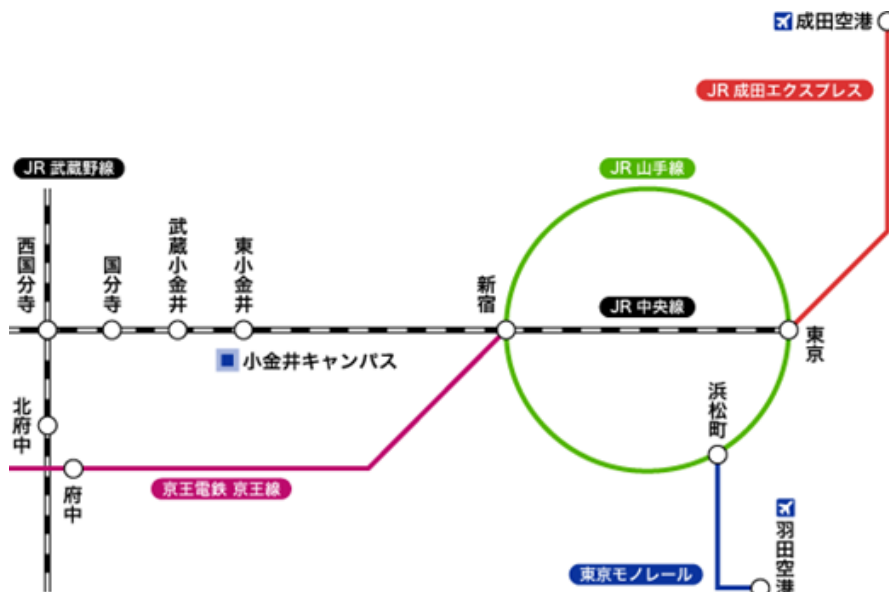
.....

## 会場へのアクセス方法

〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16 TEL: 042-388-7163

＜電車の場合＞JR 中央線「東小金井駅」下車、南口徒歩約 10 分

(科学博物館は小金井キャンパスの南門のすぐ近く、140 周年記念会館は東門のすぐ近くです)



## 【案内図】

東京農工大学小金井キャンパス

9:30～17:00 研究発表会・通常総会：科学博物館（黒矢印）

18:00～20:00 懇親会：140 周年記念会館(エリプス)（白矢印）

〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16 TEL: 042-388-7163





日本シルク学会賞  
受賞講演要旨





## 日本シルク学会賞

### 機能性絹タンパク質の製造と応用に関する研究

信州大学繊維学部 塚田益裕

#### はじめに

バイオテクノロジーの進展に触発され、昆虫生体高分子であるシルクの生化学的な機能に関心が集まり、バイオ材料として有効利用できる可能性が見出されてきた。シルクのアミノ酸側鎖と化学反応性試薬とを結合させることにより新しい機能を付与する技術が開発されている。シルクは、生体に埋め込んでも抗原抗体反応の起こり方が軽微であり、諸理工学的な機能を持つため医療分野で活用できる天然素材である。成形性が良好であり、膜またはナノファイバー(nf)等、形が異なり多様な機能を持つシルクが製造できることはシルクの特徴である。水に対する溶解性が制御でき、滅菌処理も可能であるため、シルクは産業材料としての用途にも適合し、「蚕糸・絹・絹蛋白加工・絹利用」の広範な領域で利活用するためシルクの素材開発を行い、有益な新知識を得た。以下、その概要を記述する。

#### 1. 酸素透過性シルク膜

中性塩水溶液で溶解したフィブロイン(シルクと略記)を透析して調整したシルク水溶液を蒸発乾固すると透明なシルク膜が製造できる。製品科学研究所(現、物質工学工業技術研究所)と協力してシルク膜の酸素透過性を追究した。シルク膜は含水状態になるとソフトコンタクトレンズ(CL)素材のポリ(2-ヒドロキシエチルメタクリレート)と同様、酸素を多く透過した。シルク膜の酸素透過量は、アルコールによる不溶化処理時間 30 分で最小値を示し、水不溶化処理による結晶化度あるいは構造変化と関連することが確かめられた。CL の商品開発に実績のある企業とシルク CL の開発研究を進め、成果を複数の特許に出願した。

#### 2. 抗菌性シルクの製造

エチレンジアミン四酢酸(EDTA)二塩基酸無水物を含む有機溶媒中でシルクを化学加工することで金属配位が可能な EDTA を化学的に導入できる(化学加工シルク)。これを金属イオン水溶液(Ag, Cu, Zn, Co 等)浸漬すると金属イオンが効果的に吸着することを確認した。未加工シルクへの金属吸着量は微少で、金属イオン水溶液 pH が 7 以上では吸着量が僅か増加するに過ぎないが、広い pH 領域の金属イオン水溶液処理により化学加工シルクへの金属吸着量は増大した[1,2]。金属吸着した化学加工シルクは、病原細菌の増殖を抑制し、良好な抗菌性を示した。化学加工シルクは、廃液中に溶解した金属吸着も可能で、酸接触で吸着金属が脱離するため、環境浄化材料としても有効活用が可能である。

#### 3. シルクのナノファイバー

家蚕のシルク、セリシン、ならびに柞蚕シルクのナノファイバーを製造することに成功し、微細な繊維径のシルク nf の最適化条件が明らかとなった。ここでは、柞蚕シルク(TSF)のナノファイバーの成果を中心に説明する。TSF 繊維を室温のトリフルオロ酢酸(TFA)に溶解してなる 10wt%あるいは 12wt%TS TFA をエレクトロスピンニング(ES)すると、いず

れの区でも繊維径均値が 688 nm、標準偏差が 178~185 となり、繊維表面が平滑で、繊維径のバラツキが小さい TSF nf が得られた[3]。シルク濃度増加に伴い繊維径の増大が認められた。TSF 繊維を TFA で溶解する際、溶解時間 36 時間以内ではシルク nf の表面は平滑であるが、溶解時間 60 時間では、ビーズ状態の nf となった[4]。40℃で TSF 繊維を溶解して 6wt%のシルク TFA を調整する際、溶解時間が 3 日では、TSF nf は比較的平滑な細繊維径であったが、溶解時間が 8 日となると nf 形状ではなく、ビーズ形状の割合が増大した[4]。TSF nf 製造には、濃度、溶媒、溶解温度、溶解時間が相乗的に影響することが証明確された。TSFnf の熱挙動を DSC と TG で、分子形態は FTIR 分析で評価し、nf の理化学特性を解明した [4]。

#### 4. シルクと PLA との複合ナノファイバー

シルク(SF)とバイオ材料として吸収性手術用縫合糸や骨接合材に利用できる生分解性合成高分子のポリ乳酸 (PLA) とを複合し、シルク単独の特性を越えたシルク複合 nf を製造する研究を進めた。12wt%の SF ギ酸 (FA) 溶液、12wt%の PLA TPA ならびに両者を等量含む溶液を ES して nf を製造した。12wt%SF FA 溶液を ES すると平均繊維径 367 nm±90、12wt% PLA TFA 溶液からは平均繊維径 420 nm±170、10wt% SF/PLA TFA 溶液からは平均繊維径 477 nm±171 のナノファイバーが製造できた。ナノファイバーへの骨芽細胞付着状態を調べた。培養実験によると、培養時間で SF には細胞付着と増殖が始まった。PLA、および SF/ PLA 複合ナノファイバーへの細胞付着は SF より遅れる。但し SF/PLA ナノファイバーでの細胞増殖量が最大(Taddei ら、未公開データ)となった。シルクを PLA で複合化することの意義が明らかとなった。

#### あとがき

気体透過性、抗菌性を備え、形状と機能が異なるシルクが製造できる可能性を追求することができた。シルクの機能を活用した SF あるいはシルク複合材料は、有用細胞を増殖する足場材料としての利用価値は高い。諸機能を付与し再生医療目的に合致したシルク nf が製造できれば、バイオ材料として利用開発が更に進展するであろう。これまで進めてきたシルク研究に対し今回、日本シルク学会賞を受賞できることは正に研究者冥加に尽きることである。私の研究を支え続けて下さった方々に厚く感謝する。研究と教育活動に携わりたいとの気持ちは持ち続けたいものである。

#### 参考文献

- [1] T.Arai, G.Freddi, G.M.Colonna, E.Scotti, A.Boschi, R.Murakami, and M.Tsukada, Journal of Applied Polymer Science, 80, 297-303 (2001)
- [2] M.Tsukada, T. Arai, G.M. Colonna, B. Boschi, G. Freddi, Journal of Applied Polymer Science, 89, 638-644, 2003.
- [3] X. Zhang, K. Aojima, M. Miura, M.Tsukada, H. Morikawa, Nippon Silk Gakkaishi, 20, 61-67 (2012)
- [4]X. Zhang, K. Aojima, M.Tsukada, H. Morikawa, Nippon Silk Gakkaishi, 20, 69-76 (2012)

## 一般講演要旨

## 01

### シマグワ野生株からの果実生産に適した系統の選出

(浦添シルバー人材センター) ○小山朗夫・井上吾一、(浦添市役所) 大塚京平

浦添市シルバー人材センターでは、浦添市からの委託事業である「島桑振興事業」の一環として、桑茶等の生産販売を行っている。これまでは葉を素材とする製品が中心であったが、事業のさらなる展開を図るため、果実の製品化に着目し、果実生産に適したクワ系統の選出を試みた。

沖縄県内各地の果実着生の多いシマグワ野生株から接木用の枝を収集し、増殖後に 27 系統を圃場に植付け、果実を中心とした特性の調査を行った。シマグワ果実の主な特徴としては、高糖度、年に複数回収穫できるため菌核病の発生がない夏～秋期にも果実生産が可能、などが挙げられる。

特性調査の結果、果実生産に適するとみられる 2 系統を選出した。選出系統の主たる特性は以下のとおりである。

No.21：那覇市小禄地区の野生株由来である。果実は小ぶりであるが、着生数は多く、糖度も高い。枝条数は多く、直立性で揃いも良好であるため、栽培管理は容易である。高糖度の果汁をワイン等の素材に活用することが期待される。側枝の発生がやや多いことが欠点として挙げられる。

池間島 G：宮古島市平良池間地区の野生株由来である。果実の着生数は多く、シマグワとしては大粒である。完熟しても黒紫色にはならず、濃桃色にとどまる。Brix 糖度は 20%を越え、クワ果実特有のえぐ味も少ないため、食味は良好である。生食用としての利用が期待できる。

今後は選出系統の倍数体化を図り、果実生産用として品種登録することを予定している。

## 02

### 蛍光繭の凍結乾燥による処理の検討

(農研機構) ○飯塚哲也・岡田英二・中島健一

繭乾燥の方式としては、115℃まで一気に温度を上げ、5～6 時間かけて 60℃まで温度を下げる方式が一般的である。現在では、大規模な繭乾燥機は熱源として蒸気ボイラを用い、多段式で乾燥処理を行う形式が多く使用されている。その他の繭乾燥方法として、マイクロ波を用いる繭乾燥法(香川ら, 1995)や、加熱真空乾燥による繭乾燥法が報告されている(瀬尾ら, 1985, 1988, 1990, 1991)。

蛍光タンパク質は熱に弱いので、60℃を超える温度に接触すると色が無くなる。そのため蛍光タンパク質をフィブロインに発現させた遺伝子組換えカイコの吐く蛍光繭についても、上記のような通常の繭乾燥を行うと完全に色が無くなってしまふ。そこで、低温で電気乾燥を行うことで繭乾燥を行っているが、時間がかかる上、蛍光タンパク質の種類によっては多少変色してしまうのが問題となっている。蛍光シルクの生産工程では、この繭乾燥と煮繭が大きなボトルネックである。煮繭については、低温真空煮繭法で行っているが、半自動化や真空釜の大型化などの対策をとってきた。一方、繭乾燥については低温での電気乾燥の他に検討してこなかったため、より効率的な繭乾燥法の開発が望まれている。

本報告では、通常品種の繭と緑色と橙色の蛍光繭を用い、凍結乾燥機を用いて繭乾燥を行い、色の変化の観察と繰糸試験を行った。その結果、蛍光シルクは、色が薄くなる、解じょ率が悪くなるといった悪影響がみられたが、通常品種の繭では、解じょ率や生糸量歩合などの成績が向上した。

## カイコの生物学的サイズが糸物性に及ぼす影響

(蚕研) ○花之内智彦・(群馬大院・理工) 河原 豊

カイコが吐糸する繭糸は力学的特性に優れている。糸質の改善や生産性の確保などの要求に対して蚕の品種改良が行われてきた。一方、フィブロインの遺伝子が解明され超分子構造が明らかとなった[1]。絹繊維がこの単一の分子量のタンパク質から作られているのであれば、力学特性は交雑種によらず、ほぼ、一定になるのではないかと推測される。しかしながら、カイコの代謝を考えれば、飼育温度や湿度の季節的影響、桑葉中の成分変化[2、3]、さらには、カイコのサイズの的な影響による吐糸速度の違いが繭糸の力学特性にどれくらい影響するのか検討しておく必要がある。そこで、蚕業技術研究所で育種した交雑種の繰糸データ（全繭重量、織度および引張強度等）をもとに、アロメトリー解析を行った。

本研究を行うに当たり、交雑種データをご提供下さいました一般財団法人大日本蚕糸会蚕業技術研究所所長 新保 博博士、並びに、蚕糸科学研究所所長 清水重人博士へ深謝いたします。

1. S. Inoue et al., *J. Biol. Chem.*, **275**, 40517 (2000); 2. Y. Sugimura et al., *J. Seric. Sci. Jpn.*, **67**, 445 (1998); 3. Y. Kawahara et al., *Nippon Silk Gakkaishi*, **23**, 77 (2015)

## 太織度低張力糸「ふい絹」を用いた製品開発

(群馬織工試) ○齋藤宏・久保川博夫・齋藤裕文・清水弘幸  
(泉織物(有)) 泉太郎 (蚕研) 清水重人

### 【緒言】

最近、消費者の好みは多様化し、通常の絹素材とは異なる外観をもつものが注目されている。本研究では、太織度でふくらみをもち、積極的に太さムラを機械繰糸によって創出する太織度低張力糸（ふい絹）の性状について調査し、この糸を用いた製品開発について検討を行った。

### 【方法】

太織度低張力糸は、蚕品種ぐんま200を原料としたものを用いた。この糸の性状を調べるため、引っ張り試験、精練試験等を行った。また、この糸をヨコ糸に用いた織物試作を検討し、製織試験から得られた織物について、その特性の評価を行った。

### 【結果】

太織度低張力糸の引っ張り強度は、対照とした普通繰糸の糸と比較すると小さく、練減り率や白色度に関しては差異がほとんどないことが確認された。ただし、精練試験後の外観観察から、太織度低張力糸には多くの毛羽や分繊の発生が確認された。このため、織物試作にはカバリング加工を施したものを使用したところ、製織性は向上した。また、得られた織物は、白色度や光沢は良好であり、太織度低張力糸の特徴であるふくらみをもつことが分かった。

## 蒸熱処理による絹織物の立体形状付与加工

(群馬織工試) ○齋藤裕文・久保川博夫・齋藤宏

### 【緒言】

絹製品の高付加価値化を目的として、樹脂などの薬品を使用せずに、絹が本来持っている性質を利用した蒸熱処理のみで絹織物に立体形状を付与する加工技術の開発を行った。

### 【方法】

素材に生糸を用いたセリシンを含んだ絹織物と、精練をしたセリシンを含まない絹織物に対して、真空セット機による蒸熱処理を行った。また、比較として乾熱処理及び熱水処理を行った。これらの処理後の絹織物を評価し、形態安定化に適した条件について調べた。

### 【結果】

絹織物の形態安定化には、セリシンの有無、水の存在及び温度が関係しており、セリシンを含んだ絹織物を素材とし、真空セット機を用いて蒸熱処理を行う方法が有効であることが確認された。この結果を参考に、セリシンを含むシルクオーガンジーに立体形状を付与した絹製品を作製した。

## 遮熱性及び紫外線遮蔽性を付与した夏用絹織物の開発

(群馬織工試) ○久保川博夫・齋藤宏・清水弘幸  
(泉織物有限会社) 泉太郎

### 【緒言】

和装着物は、夏冬等、季節に関わりなく肌着や襦袢等の重ね着を必要とする。本研究では、夏期における和装着物を着用した際の暑さを軽減するため、後加工により絹着物生地には遮熱性・紫外線遮蔽性を付与することを試みた。

### 【方法】

遮熱性・紫外線遮蔽性付与を目的として絹着物生地に固着させる材料としては、二酸化ケイ素を主成分とする鉱物粒子（珪藻土粒子、水晶を粉砕した微粒子）、及び市販加工剤（大原パラジウム化学㈱製「パラジウム TRG-1」、大和化学工業㈱製「リフレクール MTR-A」）を利用して加工を行った。

### 【結果】

各種加工布の性能について遮熱性試験による性能評価を行った結果、全ての加工布が未加工布と比較して遮熱性が向上していたが、中でも「パラジウム TRG-1」による加工布が最も優れた性能を示した。また、これらの加工布の遮熱効果については、赤外線サーモグラフィによる測定でも確認できた。

紫外線遮蔽率に関しては、全ての加工布で性能が向上したが、水晶微粒子を固着させた加工布が僅かに優れていた。

## 07

### 絡み織物の耐突刺し防護性能について

(信州大) ○坂口明男・萩原秀成・鮑力民・森川英明・木村裕和

【緒言】警察官等が安全に職務を遂行する上で防護服は重要な装備である。要求される防護性能を達成することはもちろん必要であるが、一方で重量や通気性等、衣服としての基本的機能は犠牲になっているのが現状である。このことは結果として防護服を長時間の着用に堪えられないものにしてしまっており、それを着用しての作業継続時間の制限要因となっている。

スパイクやアイスピックなどの鋭利な先端を持つ物に対する機械的防護性能として耐突刺し性が重要である。高強度繊維を材料として防護服を作製することは以前から検討されているが、突刺し時に織物の織目が寄ってしまい高強度繊維の性能を十分に布の性能に反映できていない場合がある。そこで本研究では織目が寄らない構造である、絡み織（振り織）に注目し、その耐突刺し防護性能を検討した。

【方法】試料としてはいずれも絹製のクレープデシン（平織,  $64.0\text{g/m}^2$ ）および駒紗（絡み織,  $65.8\text{g/m}^2$ ）を用いた。ロードセルに丸釘（直径 3mm）の先端を装着して  $100\text{mm/min}$  の速度で突刺し試験を行い、その時の最大突刺し抵抗力と貫通に要するエネルギーを測定した。また、通気抵抗についても試験した。

【結果と考察】クレープデシンに対して駒紗は最大突刺し抵抗力と貫通エネルギーで大きな値を示したが重ね枚数を増加するとその違いは少なくなった。一方、通気抵抗を比較したところ同じ重ね枚数でも駒紗の通気抵抗は 75～100 分の 1 程度であった。この結果は、同じ材料でもテキスタイルの構成法の工夫により耐突刺し性能と快適性を高度に両立させることが可能であることを示していると考えられる。

## 08

### 組紐の外観観察と製品開発

(群馬織工試) ○笠原力・山田徹郎

#### 【緒言】

群馬県内には組紐製作に携わる技術者が多く、当試験場には関連する技術相談が多く寄せられる。これまで組紐に関する知識や技術の蓄積が無かった。そこで、そこで製作試験を行うと共に、評価試験を試みた。

#### 【方法】

群馬オリジナル蚕品種ぐんま 200 生糸を用いて、組紐用糸を作成し精練染色を行った。この糸を用いて、条件を変えて丸台で 8 ッ玉江戸組で製紐加工を行った。外観計測を行うと共に、製品開発を行った。

#### 【結果】

製紐した紐に架けるおもりが、紐の外観に影響することがわかった。また、ストラップや眼鏡紐の製品開発品を得た。

## カイコ繭フラボノイドを用いた媒染染色について

(農研機構) ○平山力・岡田英二・中島健一

【緒言】カイコのシルク関連物質の新たな需要創出の一環として、我々は繭フラボノイドを衣料用染料として利用する方法を検討している。今回、媒染染色法により絹布の染色を行い、フラボノイドで染色された絹布の UV 遮蔽特性、蛍光特性等について調べたので概要を報告する。

【方法】笹繭品種であるピュアマイソールの繭層から抽出したフラボノイド溶液(3mg/ml)に JIS 試験絹布(12 目付、3cm×3cm)を浸漬し、乾燥後 0.1%ミョウバン( $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ )、0.1%硫酸銅 ( $\text{CuSO}_4$ )、0.05%塩化鉄(III) ( $\text{FeCl}_3$ ) の各媒染剤で 3 分間反応させ、直後に水で洗浄し乾燥させた。比較のため、繭フラボノイドと構造に近い Rutin の溶液(3mg/ml)を用いて、同様に染色を行った。

【結果】繭フラボノイド、Rutin のいずれの場合も、ミョウバンで媒染した場合は黄色、硫酸銅で媒染した場合は濃い黄色、塩化鉄(III)で媒染した場合は焦げ茶色に染色された。媒染の有無、媒染剤の種類によらず、繭フラボノイドあるいは Rutin で染色することによって絹布の UV-A および UV-B の透過率は顕著に減少した。一方、繭フラボノイドで絹布を染色した場合、無媒染あるいはミョウバンで媒染したものについては、ブラックライトを当てると特有の黄色蛍光を発したが、Rutin で染色した絹布にブラックライトを当てても、全く蛍光は見られなかった。

## クモ糸シルクを含んだ生糸および織物の性状

(農研機構) ○中島健一・小島 桂・飯塚哲也・岡田英二

小島ら(農研機構)は、クモ糸シルクを含んだ糸を吐くカイコを作出している。このカイコが吐く糸は、通常のシルクの約 1.5 倍の切れにくさを持つことが特徴で、これはクモのタテ糸に匹敵する。この糸を実用化するためには、飼育の容易さ、糸質の向上などの改良を行う必要がある。そこで、いくつかの実用品種との交雑を行い、生糸の物理的性質および織物の性状について検討を行った。

この品種と細繊維度系統の品種との交雑を行い、生糸および織物の性状を検討した結果、生糸については、強度がやや低下したものの、伸度は大きく、クモ糸シルクの特徴が現れていることが分かった。織物については、ドレープ性、表面の滑らかさおよび柔らかさに違いが現れ、手触りが良いことが分かった。



## ハチ目広腰亜目の新しいシルクタンパク質遺伝子

(農研機構) ○炭谷めぐみ・坪田拓也・畠山正統・亀田恒徳・瀬筒秀樹

我々の研究グループでは、新たな素材開発に応用する目的で、様々な生物種のシルクタンパク質遺伝子の同定を進めている。今回は、広腰亜目に属するハチ2種（カブラハバチ: *Athalia rosae*, ヤドリキバチの一種: *Orussus abietinus*）のシルクタンパク質遺伝子同定の試みについて報告する。

広腰亜目はハチ目の中でも原始的なグループに属する昆虫で、最近、その進化的位置づけの重要性からゲノムの解読が進められている。そこで、カブラハバチとヤドリキバチの一種のゲノム情報と発現遺伝子情報を利用してシルクタンパク質遺伝子を探索した。

ハバチの一種（willow sawfly: *Nematus oligospilus*）では、既にコラーゲン様のシルクタンパク質遺伝子の一部が同定されている。はじめに、この配列と相同性を持つ遺伝子について検索したが、候補配列は得られなかった。次に、チョウ目のカイコ(*Bombyx mori*)のフィブロイン H 鎖遺伝子などのアミノ酸の繰り返し配列をもとにして Blast 検索を行ったところ、シルクタンパク質候補配列をそれぞれ1分子種得ることができた。

今後は、これら2種類の候補配列がシルクタンパク質遺伝子であるか同定を進め、性状を解析したいと考えている。

## ホーネットシルクゲルフィラムの延伸過程で生じるコイルドコイルから ベータシート構造への構造転移機構

(生物研) ○吉岡太陽・亀田恒徳、(豊田工大) 田代孝二

(Philipps University) Andreas K. Schaper

我々の研究グループでは、1) スズメバチの幼虫が吐糸するホーネットシルク (HS) がコイルドコイル構造を有すること[1]、2) 再生 HS 水溶液を加圧条件下でフィルム成形して得られる HS ゲルフィラムもまたコイルドコイルリッチな構造をとること[2]、3) この HS ゲルフィラムに延伸を施すと、絹糸やクモ糸の構造と同様にベータシート構造リッチな構造へと転移すること[2]、を報告してきた。本研究では、HS ゲルフィラムの延伸で生じるコイルドコイル構造からベータシートへの構造転移機構の解明を目的とした。放射光 X 線を用いた延伸過程の時分割測定により、構造転移の過程で、従来のベータシート構造とは分子鎖の方向が 90°異なるクロス-ベータシート構造の形成が示唆された。偏光赤外測定による水素結合方向の解析からこれら二種類のベータシート構造の共存を裏付け、さらに、クロスベータシート構造が、コイルドコイルからベータシートへの構造転移の中間状態として形成されることを示した。

[1] Kameda T. *et al.*, J. Struct. Biol. 2014; 185: 303.

[2] Kameda T. *et al.*, Biomacromolecules 2010; 11: 1009.

## エリ蚕シルクパウダーの製造方法の開発

(沖縄 UKAMI 養蚕) ○仲宗根豊一、岡松滋美

野蚕の一種であるヤマユガ科に属するエリ蚕 (*Samia cynthia ricini*) から産生される繭には、吸湿・放湿性、生体親和性ととも、家蚕とは異なる特性(多孔質構造)を有していることが報告されている。本研究では、日本で唯一亜熱帯気候である沖縄においてキャッサバ、トウモロコシにより養蚕したエリ蚕から得られた繭を使用し、シルクパウダー製作の各製造工程での最適条件を明らかにすることを目的として、2種類(セリシン・フィブロイン両成分入りおよびフィブロインのみ)のシルクパウダーの試作開発を行った。

最適なパウダー製作(精練(溶解)および粉碎)条件の組み合わせを検討した結果、繭(両成分入り)パウダーは、精練条件として、(粗練なし、本練りなし 乾燥1時間)、粉碎条件として(第一工程:衝撃粉碎(粗粉碎)、第2工程:摩砕、第3工程:衝撃粉碎(超微粉碎))であることが明らかになった。フィブロインパウダーは、精練条件として、(粗練(加熱温度70~80℃ 60分)、本練り(加熱温度90~95℃ 3時間 天日干し 72時間 乾燥1時間 温度60℃)、粉碎条件として(第一工程:衝撃粉碎(粗粉碎)、第2工程:摩砕、第3工程:衝撃粉碎(超微粉碎))であることが明らかになった。これにより、エリ蚕繭の特性および機能性を有するシルクパウダーの製造方法が見出され、化粧品、健康食品等への利用が期待される。

## エリ蚕シルクパウダー製造工程における固体 NMR 解析

(北大) ○相沢智康・大西裕季・熊木康裕・出村誠、(沖縄 UKAMI 養蚕) 岡松滋美、仲宗根豊一  
(沖縄高専) 伊東昌章

ヤマユガ科に属する野蚕の一種であるエリ蚕 (*Samia cynthia ricini*) が産生する繭は、多孔質構造で吸湿・放湿性や生体親和性等の優れた性質を有するため、シルクパウダー等に加工することで、多機能性材料として利用することが期待されている。また、エリ蚕由来シルクを構成するフィブロインは、家蚕由来のフィブロインとは異なる一次配列を有し、二次構造レベルでも異なる特徴を有していることが報告されている。本研究では、エリ蚕シルクパウダーを調製する工程を対象として、そのタンパク質の構造的な特徴を明らかにすることを目的として、固体 NMR 法を用いた解析を行った。

まず、アルカリにより脱セリシン処理を行ったフィブロインとそこから調製されたフィブロインパウダーを対象として、 $^{13}\text{C}$  CP/MAS NMR スペクトルの測定を行った。エリ蚕シルクフィブロインにおいて特徴的な連鎖領域を形成することが報告されている Ala の  $\text{C}\beta$  ピークにおいて、粉碎の工程において高磁場シフトが観測され、安定な  $\beta$  シートから  $\alpha$  ヘリックスへの二次構造変化が生じることが示唆された。また、パウダーへの吸水では、再び  $\beta$  シートへの変化が生じ、この状態は再乾燥によっても維持されることが明らかになった。さらに、この変化は脱セリシンを行っていない繭パウダーでも同様であることが確認された。シルクパウダー製造工程でのフィブロインの明確な二次構造変化が確認されたことから、パウダーの機能性との関連の検討や品質管理等への応用が期待される。

## 沖縄産エリ蚕繭から調製したパウダーの機能性評価

(沖縄高専) 多加喜未可・東啓子、(沖縄 UKAMI 養蚕) 岡松滋美・仲宗根豊一、(沖縄高専) ○伊東昌章

エリ蚕 (*Samia cynthia ricini*) はヤマモユガ科に属する野蚕の一種で、熱帯植物であるキャッサバやトウモロコシを餌とすることから日本においては沖縄が養蚕に適している。エリ蚕が産生する繭は、家蚕の繭と同様に多機能性（吸湿・放湿性、生体親和性等）を有し、さらに家蚕にはない多孔質構造を有すると報告されている。本研究では、沖縄で飼育したエリ蚕から得られた繭より調製した2種のパウダー（セリシンとフィブロイン両成分が含まれる繭パウダー、アルカリにより脱セリシン処理を行ったフィブロインパウダー）の機能性を明らかにすることを目的として、各種特性を調べ、市販されている家蚕フィブロインパウダーのそれらと比較した。

水分量は、エリ蚕繭より調製した2種のパウダーが8%程度と高かった。吸湿率は、約20%と3種のパウダーに大きな差は認められなかった。放湿性は3種のパウダーで認められ、周囲の環境に応じて吸湿・放湿することがわかった。吸水量は、エリ蚕フィブロインパウダーが試料100gに対して366gと最も高かった。吸油量は、家蚕フィブロインパウダーが試料100gに対して182gと最も高かった。臭気吸着性は、エリ蚕繭パウダーと家蚕フィブロインパウダーが30分後で80%以上と高い値を示した。抗菌性については、3種のパウダーすべてにおいて認められなかった。以上のように、エリ蚕繭より調製した2種のパウダーは、高い機能性を有していることが見出され、化粧品等の素材としての利用が期待される。

## フィブロインに導入したアジド基を起点とする架橋形成の試み

(農研機構) ○寺本英敏・小島 桂・中島健一

我々はこれまでに、アミノ酸認識能を拡張したフェニルアラニン-tRNA 合成酵素 (PheRS) を後部絹糸腺で発現する遺伝子組換えカイコに対して、アジド基を有する非天然型アミノ酸 (4-アジドフェニルアラニン: AzPhe) を投与することで、AzPhe が導入されたフィブロインを生産することに成功している。AzPhe のアジド基は光反応性を有しており、紫外線照射による架橋形成に一般的に用いられている。また、アジド基は、副反応や副生成物のないクリーンな化学反応であるクリック反応によって選択的に反応させることができる。AzPhe 導入フィブロインにおいてアジド基選択的な架橋形成を行うことができれば、フィブロイン材料の物性向上や、新たなフィブロイン加工技術の開発につながると期待される。

そこで本研究では、AzPhe 導入フィブロインにおいて紫外線照射ならびにクリック反応による架橋形成が可能かどうかを検討した。実験には、フィブロイン1分子あたり約1個の AzPhe が導入されたフィブロインを用いた。AzPhe 導入フィブロイン糸に対して紫外線 (254 or 352 nm) を照射したところ、照射時間に依存してアジド基の反応性が消失した。このことから、紫外線照射によってフィブロイン中のアジド基が光分解することが確認できた。一方で、AzPhe 導入フィブロイン糸の引張物性は紫外線照射前後で変化しなかった。このことから、フィブロイン1分子あたり1個程度のアジド基導入量では、糸の物性を変化させるほどの架橋形成は生じないことが示唆された。

## カイコ絹糸腺フィブロインのHFIP 溶液とキャストフィルムの特徴

(農研機構) ○秦 珠子、吉岡太陽、亀田恒徳、(農工大) 田尻弘和、中澤 靖元

HFIP (ヘキサフルオロイソプロパノール) はシルクの良溶媒として広く用いられている。他の多くのタンパクと同様にシルクは HFIP 溶媒中でヘリックスコンフォメーションをとり、常温乾燥により得られるキャストフィルムは、ヘリックスを維持した水に可溶性の構造をとる。そのため、HFIP 溶液より得られるシルクのキャストフィルムは、アルコール処理等による不溶化処理を施す必要があった。今回我々は、アルコール/水混合液で凝固させたカイコ絹糸腺のフィブロインを HFIP に溶解させると、従来の完全溶解シルク溶液と同様の成形加工が可能な均一透明な溶液でありながら、ヘリックスコンフォメーションをとらない不完全溶解状態が長時間維持されることを見出した。このような状態の溶液から常温乾燥で得られるキャストフィルムはベータシート構造を形成した。HFIP 中での溶解をさらに続けると、次第にヘリックスコンフォメーションが増加し、従来と同様のキャストフィルムを与える完全溶解の溶液へと転移していった。

不完全溶解状態の溶液から得られるキャストフィルムはベータシート構造を有しているため、水に不溶性であり、不溶化処理フリーとなる新しいシルクの成形加工法と成り得る。さらに、このようにして得られる HFIP 成形品では、HFIP の残存量が従来法に比べ低く、さらに HFIP 除去法が容易であることから、医療用用途としてのシルク素材の加工法に適していると考えている。

【謝辞】本研究は、農林水産省「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 シーズ創出ステージ(26051A)」の委託により行われた。

## 機能性分子を固定化したシルクフィブロインの作製と冠血管新生シートへの応用

(農工大院・工) ○高濱晃大・久保亮太、(農工大・獣医) 田中綾・島田香寿美  
(農研機構) 亀田恒徳、(農工大院・工) 中澤靖元

狭心症や心筋梗塞に対する治療法として、現在カテーテル治療やバイパス手術が行われている。しかしながら、高度な狭窄や血管径が細い等の症状が見られる患者に対しては、上述した治療が困難となる。そこで本研究では、虚血領域に直接貼付し血管新生を促進させる「冠血管新生シート」について、家蚕シルクフィブロイン (SF) を基盤材料として作成し、各種評価を行った。

SF 水溶液より調整した SF キャストフィルムを原料とし、EDC および NHS を用いた架橋反応により、ポリエチレングリコール (PEG) を架橋させ、SF-PEG フィルムを作製した。SF-PEG フィルムの接触角測定により、フィルム表面の接触角は PEG の架橋により 80°から 72°に減少した。これよりフィルム表面の親水性の向上が示され、PEG の固定化が確認された。次に、血管新生ペプチド  $\text{H}_2\text{N-Gly-His-Lys-OH}$  (GHK) を Fmoc 固相合成法により合成し、PEG 末端へ固定化した。作製したフィルムの固体  $^{13}\text{C}$  NMR 測定より、血管新生ペプチドが固定化されていることを確認した。

発表では、SF-PEG-GHK フィルムの生物学的評価についても併せて報告する。

【謝辞】本研究は、農林水産省「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 シーズ創出ステージ(26051A)」の委託により行われた。また成果の一部は科学研究費補助金 基盤研究 B(15H03020) の助成を受けて行われた。

## 結晶-非晶バランスを変化させた遺伝子組換えシルクフィルム上での細胞培養

(信州大) ○鷲見拓哉・玉田靖

(農研機構) 内野恵郎・小島桂

【緒言】シルクフィブロイン (SF) は再生医療の足場材料としての利用研究が活発に行われ、細胞接着や増殖に良好な結果が報告されている。しかし、SF の細胞親和性についてのメカニズムは未解明である。われわれは、SF の持つ結晶領域と非晶領域のバランスが、細胞挙動に何らかの影響を与えていると考えている。本研究では、結晶-非晶バランスを変化させた遺伝子組み換えシルクを用いて、そのバランスが細胞に与える影響について調査した。

【方法】数種の結晶-非晶バランスを変化させた SF を遺伝子組み換えカイコ技術により作出した。得られた繭を精練、9M LiBr で溶解、そして透析して水溶液を調製し、細胞培養シャーレ等にキャストすることで SF フィルムを作製した。ATR-FTIR および水接触角試験により SF フィルムの表面物性を評価した。また、SF フィルム上に NIH-3T3 細胞を播種し、細胞増殖性を評価した。

【結果】結晶領域の割合が高くなるほど、フィルム中のフィブロインの 2 次構造は  $\beta$ -シート構造比が高くなったが、結晶領域の長さが 51 残基では、顕著な変化は見られなかった。SF フィルムの水濡れ性は結晶領域割合の増加に対して、親水性が高くなる傾向が観察され、また、用いた基盤の水濡れ性により SF フィルムの接触角が影響を受けた。すべての SF フィルムにおいて良好な細胞増殖性が観察され、SF の結晶領域割合が高くなるとともに倍加時間が長くなる傾向があった。

## 裸蛹蚕 Nd × 黄繭蚕品種による交雑蚕繭作出と抽出セリシン利用

(元岐阜生物産研) ○安田勝年

我々は一昨年からほとんどフィブロイン成分が産生できない突然変異の裸蛹蚕 (Nd 強) と綿蚕との交雑蚕繭 (F 1 繭) を飼育作成し、熱水抽出により繭層から 85% 以上セリシン成分を抽出可能とした (H 26 年蚕糸学会中部支部発表報告済)。また白繭よりも色繭から抽出したセリシンの方が紫外線障害による顔のしみとかくすみの肌あれからの防御効果も高いことから、引き続き裸蛹蚕 (Nd 強) 品種と色繭蚕品種による交雑蚕繭作出を報告する。試供した蚕品種は、白繭の裸蛹 Nd 強、黄繭の支 16 号、ジャロウ油を用いて裸蛹 Nd × 支 16 号、裸蛹 Nd × ジャロウ油の交雑蚕 F 1 を飼育した。更にそれらの交雑蚕同志交雑して F 2 交雑蚕繭の形質を調べた結果、裸蛹蚕は僅かの薄皮しか作らず、熟蚕から蛹へと変態脱皮する一部蚕も見られ、そして♂裸蛹 Nd × ♀支 16 号 (F 1) の交雑蚕では硬い厚皮繭層は全く見られず、薄皮繭層ばかりであった。逆に♀裸蛹 Nd × ♂支 16 号交雑蚕は、一部薄皮繭も発生したが、大半が厚皮繭層ばかりであった。一方交雑蚕繭♂裸蛹 Nd × ♀ジャロウ油交雑蚕 (F 1) も上記と同様薄皮ばかり見られ、足場を作っただけで蛹に変態する蚕が多く発生した要因は♂裸蛹の遺伝形質が強く影響した。因みに F 1 交雑繭の色素は全て黄繭となり優性遺伝するのが判明した。更に交雑蚕 F 2 の形質では、繭色及び繭層厚薄の大凡の形質割合は、繭色の形質表現では A 区、B 区とも大凡黄色繭が 60%、白繭 40%、繭層の厚薄皮では大凡硬厚皮 54%、繭薄 46% であった。一方 C 区の黄色繭 67% 白繭 33% で D 区黄色繭が 78% 白繭 22% で、繭層の厚薄皮では両区とも大凡硬厚皮 50%、繭薄 50% であった。なお、抽出したセリシンの活用として美肌効果を目的とした繭フェイスパックや、光触媒酸化チタンとセリシン液をブレンドした消臭液など使って、室内の不快な環境の改善を図ることが考えられる。

\* A 区♀ (♀支 16 × ♂裸蛹) × ♂ (♂裸蛹 × ♂支 16) B 区♀ (♀裸蛹 × ♂支 16) × ♂ (♂支 16 × ♂裸蛹) C 区♀ (♀裸蛹 × ♂ジャロウ油) × ♂ (♂ジャロウ油 × ♂裸蛹) D 区♀ (♀ジャロウ油 × ♂裸蛹) × ♂ (♂裸蛹 × ♂ジャロウ油)



第 63 回日本シルク学会研究会 要旨集

(無断で複製・転載を禁じます)

© 2016 The Japanese Society of Silk Science and Technology

発行：日本シルク学会

発行日：平成 28 年 7 月 22 日

所在地：〒東京都新宿区百人町 3-25-1

(一財) 大日本蚕糸会蚕糸科学研究所内