

パイナップル葉繊維からなる高品質紡績糸の製造に関する研究

藤田浩行、新田恭平、東山幸央、中野恵之

1 目的

パイナップル葉繊維はパイナップル葉から得られた葉脈繊維であるが、表皮を剥いだ直後の繊維（粗繊維と呼ぶ）は、幅が $50\mu\text{m}$ 以上あり、太くて剛い。また麻繊維同様、表面が平滑で、綿繊維のような天然の撚りもなく、可紡性に乏しい繊維である。したがって、綿繊維との混紡においても綿繊維との絡みも低く、混紡率を高めることができない。また、紡績糸を作製しても太さムラが大きいなど品質も課題である。

一方、パイナップル葉繊維の単繊維は綿繊維の太さの $1/3\sim 1/4$ で $5\sim 7\mu\text{m}$ と天然繊維の中で最も細く、また光沢もあるため、従来にない高感性の製品への活用が期待できる。そこで、本研究ではパイナップル葉の粗繊維の分繊化を試み、細い単繊維状となる加工技術を開発する。セルラーゼ酵素や苛性ソーダなどを用いて繊維加工を試み、加工条件と繊維の形態変化や減量率との関係を明らかにすることで、可紡性向上のための基礎データとする。

2 紡績糸作製に関する技術調査

当所のみならず、現在の公設試および大学において紡績技術に関する研究は行われていない。そこで、数は少なくなったが現在も事業展開している岐阜県内の紡績会社を数社訪問し、紡績工程の見学および紡績技術における繊維に要求される特性などについて調査した。その際、パイナップル葉の粗繊維を見ていただくことで専門家から具体的なアドバイスをいただいた。その結果、以下の5項目が紡績における繊維に要求される特性であり、その中でも太い粗繊維を分繊し細くすることが最も重要であることがわかった。そこで、本研究では、分繊化を中心に検討することとした。

- ① 繊維の太さ：太いとしなやかさが得られず、繊維同士の絡み得られないため、分繊し細い繊維を得ることが必要
- ② 繊維の強力、伸度：紡績工程におけるドラフト工程は繊維を一方方向に引き揃えるが、その際、繊維が切れないよう、一定以上の強力と伸びが必要
- ③ 捲縮性：繊維の縮れである捲縮性は、繊維同士の絡みを生む
- ④ 繊維間の摩擦係数：スライバー&糸の強度保持に必要
- ⑤ 柔軟性：繊維同士の絡みのため必要

3 実験方法と結果

3.1 分繊化方法の検討

パイナップル葉から得られる繊維は葉脈繊維で道管と師管の混合物と考えられ、厚い細胞壁を持つ道管の影響を受け、一般的に韌皮から得られる繊維より硬い¹⁾。なお、道管は根から吸い上げられた水や無機養分が、師管は葉で光合成された有機物の水溶液が通る箇所である。これらを構成するのは、多糖類であるセルロースやヘミセルロース、フェノール性の高分子物質であるリグニンが主成分である。その他に、ペクチンも含まれるが水溶性であるため、その除去は比較的容易である。

粗繊維の表面を摩擦すると内部には、図1のように非常に細い単繊維が含まれていることが確認できる。パイナップル葉および粗繊維の外観²⁾については、令和3年度の経常研究「パイナップル葉繊維の

特性評価と播州織への適用に関する研究」の報告書にて詳細に示しているため、参照いただきたい。なお、単繊維の主成分はセルロースで結晶性も高いと考えられるため、単繊維の周囲の主成分と考えられる非晶領域のセルロースやヘミセルロースおよびリグニンを除去することで分繊化できると考えた。それらの除去は、表1の薬品処理やそれらの組み合わせによる方法で分繊化を試みた。

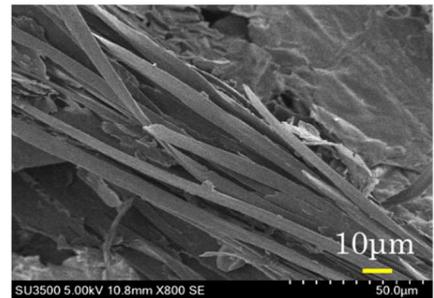


図1 パイナップル葉粗繊維の摩擦後

表1 パイナップル葉粗繊維の分繊化

①アルカリ（苛性ソーダ）処理	⇒	ヘミセルロース、リグニン除去
②セルラーゼ酵素処理	⇒	ヘミセルロース、セルロース除去
③亜塩素酸ナトリウム処理	⇒	リグニン除去
④上記処理の組み合わせ		

3.2 アルカリ（苛性ソーダ）処理

粗繊維の苛性ソーダによる処理は、表2の各条件で実施した。なお、処理後の減量率も表内に示した。図2に処理後の電子顕微鏡写真を示す。条件-1の場合、繊維は細くなったが損傷が著しく、繊維形状からパルプ状に変化していた。120°C処理は、木材チップのパルプ化と同等の処理であるため、脱リグニンが進み、繊維状からパルプ状となることで、乾燥後硬く凝集したと考えられる。図3に処理前

表2 パイナップル葉粗繊維の苛性ソーダによる処理

	NaOH 濃度	温度	時間	減量率
条件-1	1%	120°C	60分	27.0%
条件-2	8%	20°C	17時間	28.5%
条件-3	15%	20°C	10分	6.9%

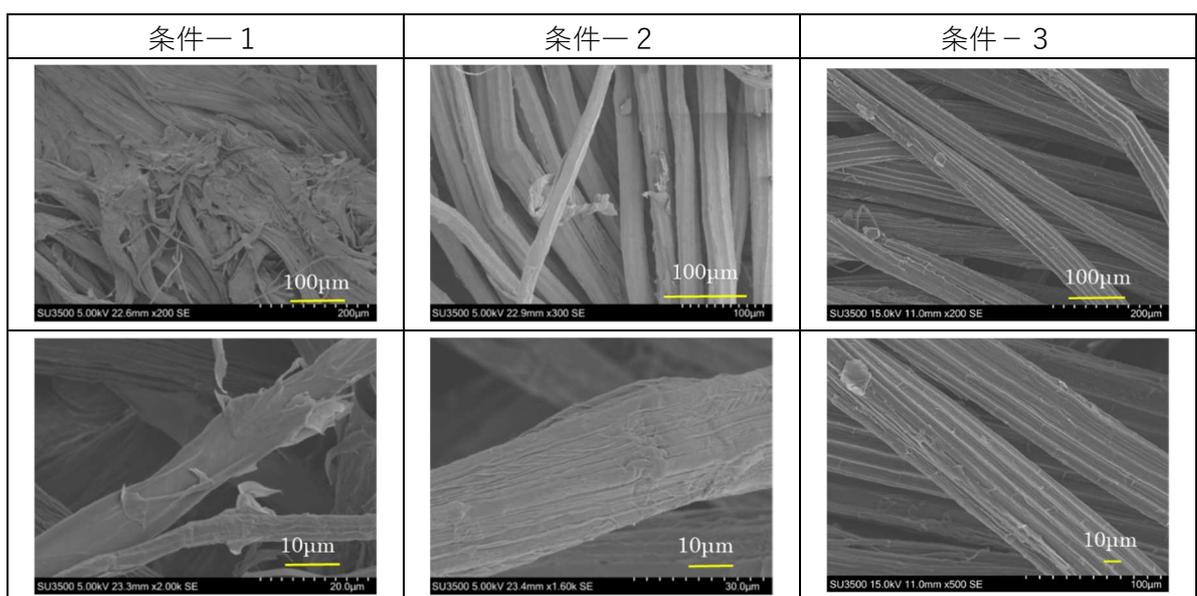


図2 パイナップル葉粗繊維のアルカリ処理

後の外観を示す。

条件一2の減量率は28.5%と高いが、繊維の分繊化は見られない。ただし、処理前の粗繊維と比較すると多くの粗繊維の幅は50 μ m以下となっており、周囲から減量が進んだと考えられる。条件一3の表面は、繊維方向に明瞭な筋が見られたが、分繊化はしていない。



図3 アルカリ処理（条件一1）前後の外観（処理前：左、処理後：右）

3.3 セルラーゼ酵素処理

セルラーゼは微生物起源の一菌株が生産する酵素であり、この中でセルロース繊維の改質に応用されているものはカビの一種であるトリコデルマを起源とするものが一般的である。セルラーゼ酵素の活用として、綿織物・ニットの減量加工、レーヨン、ポリノジックのピーチスキン加工、テンセルの毛羽取り加工およびジーンズのバイオウォッシュ加工など繊維加工において多く使用されている³⁾。

本研究では、表3に示す3種類のセルラーゼ酵素を用いた。処理条件を検討するため、加工時間と酵素濃度の減量率への影響について評価した。なお、用いた装置は12色高温高压染色試験機（日本染色機械(株)製）で水量は350mlである。

酵素①について、濃度2g/L、pH緩衝材(ブライトBAF CONC(洛東化成工業(株)))：2g/L(pH=4.5)、強度低下防止剤(デスコCT(洛東化成工業(株)))：2g/Lを加えて、粗繊維を処理した。なお、温度50 $^{\circ}$ C、浴比1：40である。処理時間と減量率の関係を図4に示す。60分以降の処理時間と減量率の増加率は、60分までとは異なり大きく低下していることから、60分を処理時間の基準とした。図5は、酵素③について、60分処理における濃度と減量率の関係を示す。酵素①と同じ酵素濃度2g/Lの場合、減量率は約7%であり、酵素①と比較すると半分程度となった。

酵素処理は浴比の影響を受けるため、酵素①および②について浴比を変化させ、減量率を比較した。用いた装置は、1kg染色機（日本染色機械(株)製）で水量は12Lである。酵素濃度2g/L、処理時間は60分である。表4のとおり、同一浴比で比較すると酵素②の方が酵素①よりも減量率は高い。また、浴比を大きくすると減量率は大きくなった。浴比を大きくすることは、繊維重量当たりの酵素濃度が高くなるため減量が進んだと考えられる。なお、酵素①の処理において、表4の結果は、図4の数値（約14%）より2～3%小さくなっている。試料に対する加工液の流れの違いが影響したと考えられる。

以上の結果から、使用する酵素は酵素②を基準とした。酵素②の浴比1:40（表4）の処理後試料の電子顕微鏡写真を図6に示す。その結果、アルカリ処理では見られない細い繊維が見られる。セルラーゼ酵素により繊維の非晶領域が分解されることで、大きな亀裂が入り、それに伴い内部に存在する単繊維が表面に現れたと考えられる。セルラーゼ酵素処理は分繊化において効果があることが確認できた。

表3 用いたセルラーゼ酵素

酵素①（エンチロンコットンバイオ（洛東化成工業(株)））
酵素②（エンチロンCM-40L（Trichoderma：洛東化成工業(株)））
酵素③（セルラーゼXL-531（Aspergillus；ナガセケムテックス(株)））

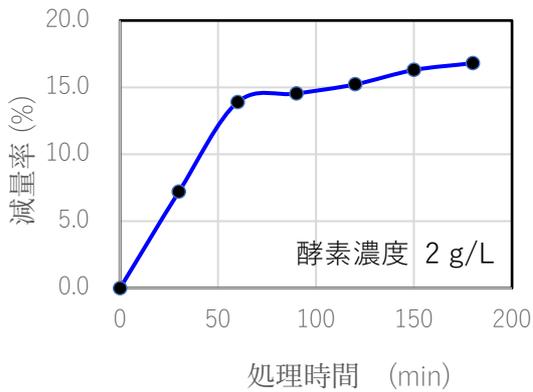


図4 処理時間と減量率（酵素①）

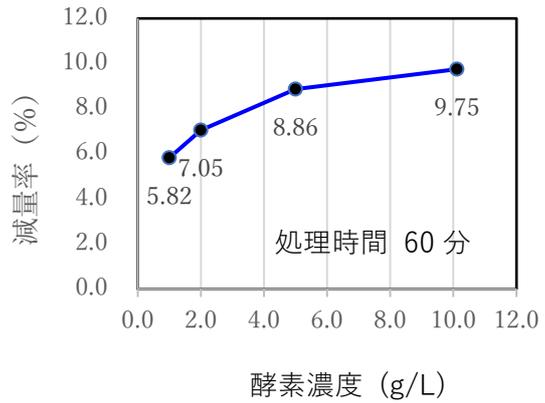


図5 酵素濃度と減量率（酵素③）

表4 浴比と減量率

2g/L-60min	浴比	減量率 (%)
酵素①	1:40	11.4
酵素②	1:40	17.9
	1:20	15.8

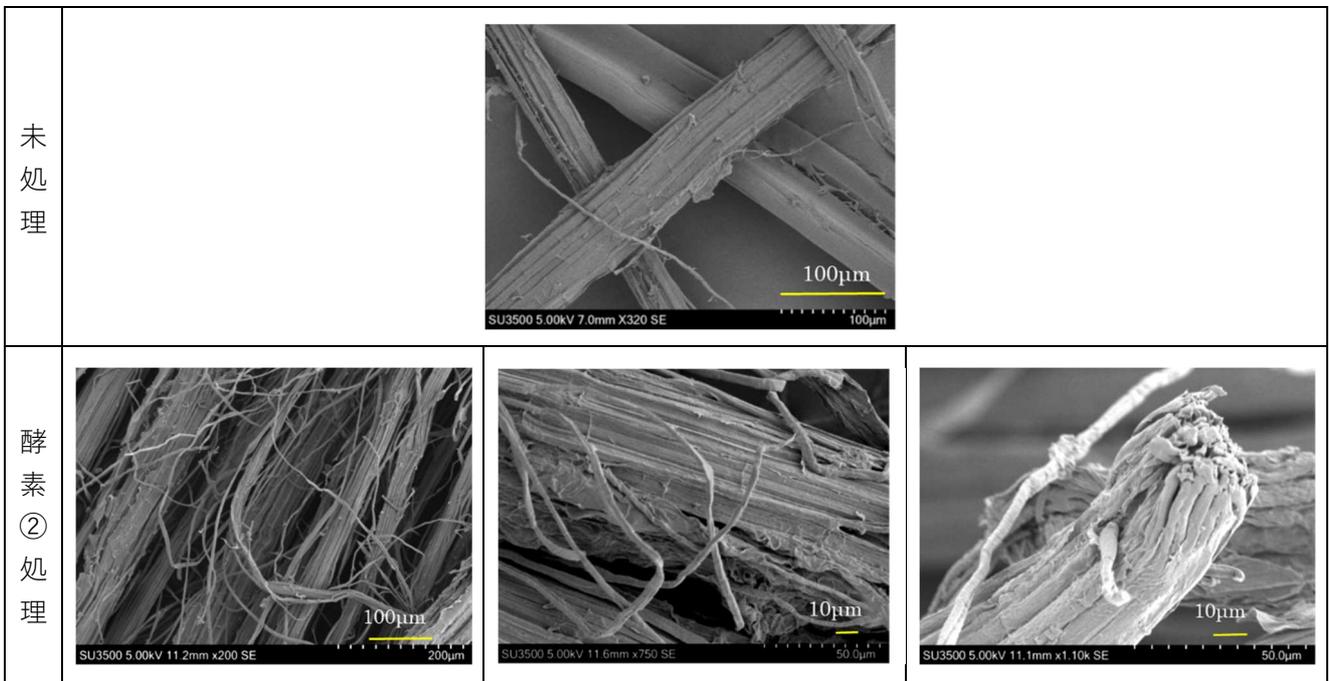


図6 パイナップル葉粗繊維のセルラーゼ酵素処理

3.4 亜塩素酸ナトリウム処理

亜塩素酸ナトリウムは、苧麻(ラミー)繊維に含まれるリグニンを選択的に除去できることが知られている⁴⁾。そこで、パイナップル葉粗繊維に亜塩素酸ナトリウム処理を実施し、その効果を確認した。

蒸留水 350ml に対し、酢酸 0.7g/L、亜塩素酸ナトリウム 2～10g/L を入れて攪拌し、試料を投入した。温度は 75°Cとして 60 分間処理した後、再度、同量の酢酸および亜塩素酸ナトリウムを投入後、さらに 60 分間処理した。亜塩素酸ナトリウム濃度と粗繊維の減量率の関係を図 7 に示す。亜塩素酸ナトリウム濃度の上昇に伴い減量率は向上するが、緩やかな変化である。また、アルカリ処理や酵素処理と比較すると、減量率は低い。減量率や使用薬品量の観点から、濃度は 2 g/L を基準とした。

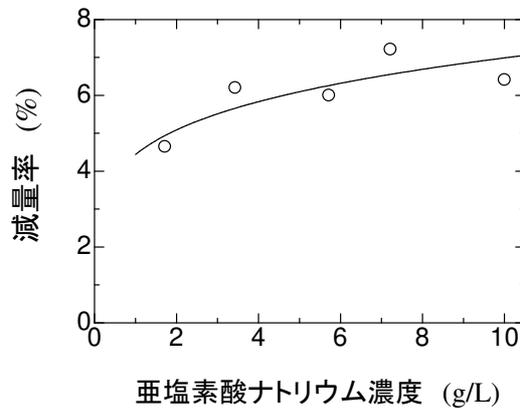


図 7 亜塩素酸ナトリウム濃度と減量率

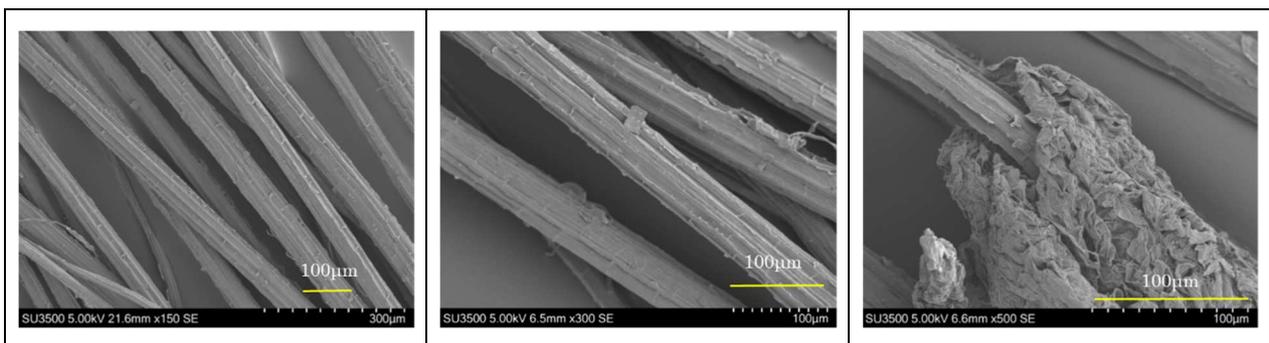


図 8 パイナップル葉粗繊維の亜塩素酸ナトリウム処理

図 8 に亜塩素酸ナトリウム処理後のパイナップル葉粗繊維の電子顕微鏡写真を示す。その結果、酵素処理のような細い繊維は見られず、分繊化していない。ただし、図 8 右のような繊維の周りへの付着物や筋状の表面形態が見られることから、表面から削られるような形態で減量されたと思われる。図 9 に外観を示すが、粗繊維と比較すると白度が大きく向上している。塩素による酸化漂白による効果であると考えられる。



図 9 亜塩素酸ナトリウム処理による漂白

3.5 セルラーゼ酵素処理と亜塩素酸ナトリウム処理の併用

セルラーゼ酵素処理をすることで粗繊維の分繊が進むことがわかった。一方、亜塩素酸ナトリウム処理で分繊はしないが、白度を向上させ光沢ある繊維が得られた。そこで、両者の処理を併用することで、分繊化および白度向上を目指した。各処理実験で得られた基準条件で処理し、表 5 のとおり順序を入れ替えて実施した。

表5 セルラーゼ酵素処理と亜塩素酸ナトリウム処理の併用

#1	酵素② (2g/L) 50°C-60分 ⇒ 亜塩素酸ナトリウム処理 (2g/L) 75°C-60分×2回、浴比 1:40
#2	亜塩素酸ナトリウム処理 (2g/L) 75°C-60分×2回⇒酵素② (2g/L) 50°C-60分、浴比 1:40

図10に、処理した粗繊維の電子顕微鏡写真を示す。処理順の違う両者の繊維の形態変化を見ると、明らかに始めに酵素処理した後、亜塩素酸ナトリウム処理した方が分繊は進んでいる。太い繊維も見られるが、右上の写真のようにバラバラにはなっていないが、単繊維が表面に露わになっている。酵素処理で亀裂の入った粗繊維は、その後の亜塩素酸ナトリウムの内部への浸透により、分繊効果を高めたと考えられる。図11は外観写真であるが、分繊効果だけでなく、始めに酵素処理した方が白度も高くなり、光沢ある繊維が得られた。

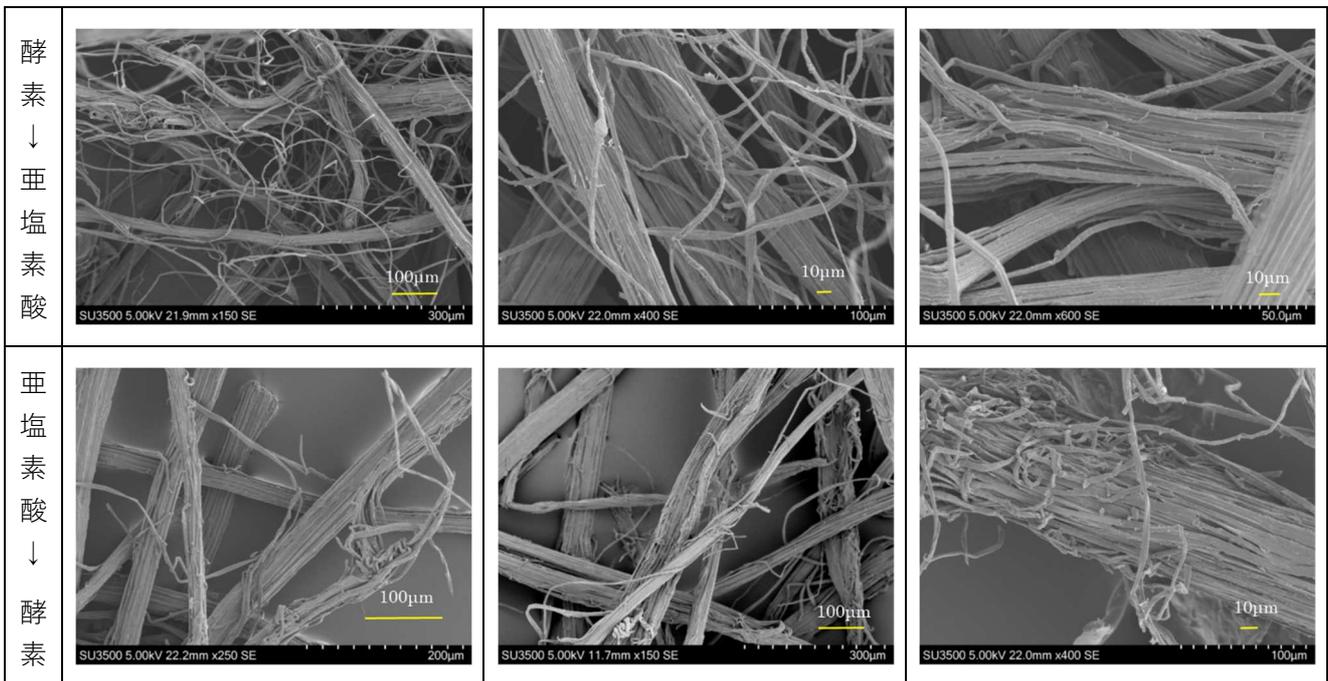


図10 セルラーゼ酵素処理と亜塩素酸ナトリウム処理の併用によるパイナップル葉粗繊維の変化



粗繊維 (未処理)

酵素 ⇒ 亜塩素酸 Na

亜塩素酸 Na ⇒ 酵素

図11 粗繊維の外観

4 結論

パイナップル葉粗繊維の分繊化に、苛性ソーダ、セルラーゼ酵素、亜塩素酸ナトリウムで処理を試み

た。得られた成果を以下に示す。

(1) 苛性ソーダ処理は、処理条件によっては大きく減量するが、分繊しない。また、高温処理すると繊維は大きく損傷する。

(2) セルラーゼ酵素処理は、酵素の種類により減量率は大きく異なり、浴比の影響を受ける。繊維方向に大きな亀裂が入ることで分繊化し、15%以上の減量率を得ることができる。

(3) 亜塩素酸ナトリウム処理は分繊しないが、表面を削るように筋状に減量し、白度を向上させる。

(4) 酵素処理と亜塩素酸ナトリウム処理の併用において、始めに酵素処理した方が分繊効果は高く、白度も向上した。

謝辞

本研究の遂行にあたり、(株) フードリボンの関係者に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 加藤康夫, “セルロース繊維”, 繊維学会誌, Vol.61, No.7, pp182-185 (2005)
- 2) 藤田浩行他, “パイナップル葉繊維の分繊化”, 日本繊維機械学会第75回年次大会研究発表論文集, pp44-45 (2022)
- 3) 谷田治, “酵素によるセルロース繊維の改質”, 繊維学会誌, Vol.50, No.2, pp75-79 (1994)
- 4) 白井葉月他, “リグニン除去が苧麻布の物性に及ぼす影響”, 日本家政学会誌, Vol.69, No.10, pp703-709 (2018)

(問合せ先 藤田浩行)