

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：10103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630334

研究課題名(和文) 金属製錬における選鉱技術を用いた繊維製品廃棄物から動物繊維の回収とその有効利用

研究課題名(英文) Recovery of waste animal fibers by using ore dressing technology in extracting metals and their effective utilization

研究代表者

平井 伸治 (HIRAI, Shinji)

室蘭工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10208796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：シルクや羊毛粉末に水を加えた後、100～200℃に加熱しながら20～40 MPaの加圧力を加えるだけでタンパク質が樹脂化したシルク樹脂やケラチン樹脂が得られる。シルクや羊毛が高温の湿潤雰囲気曝されると脆化する性質を利用し、脆化させた糸や布地をボールミルにより粉碎した粉末が原料になる。これらの繊維と化学繊維などとの交撚糸、混紡糸、交織織物であれば、シルクや羊毛のみが脆化する性質を利用し、粉碎と篩別けにより脆化しない化学繊維等との分別が可能になる。例えば、シルクから作製した樹脂は、高いガラス転移温度、高密度エポキシ樹脂に匹敵する高い熱伝導率、さらにはリサイクル性を持つことを明らかにしてきた。

研究成果の概要(英文)：The fibroin and keratin resins can be easily obtained through resinification of protein fibers by adding water to silk and wool powders, respectively, and heating them up to 100-200 °C at a pressure of 20-40MPa. As alternative raw materials for fibroin and keratin resins, powders obtained by ball mill crushing of an embrittled thread of silk and wool, respectively, can be used; this is because silk and wool become brittle when exposed to a high-temperature moist atmosphere. This property of silk and wool can be utilized to separate them from twisted union yarn, blended yarn, or union cloth of silk or wool and chemical fibers, which cannot be embrittled by crushing and screening. We identified several advantageous characteristics of resins produced from silk: a high glass transition temperature, greater, high thermal conductivity, and resin recyclability-the characteristics of the recycled resin remain unchanged even after the original resin is ground and the resin are re-molded.

研究分野：材料物理化学

キーワード：動物繊維 繊維廃棄物 羊毛ケラチン シルクフィブロイン 回収 樹脂化 耐熱性 低熱膨張率

1. 研究開始当初の背景

繊維の生産は、分業化されているため、それぞれの段階において不良品や半端物が非常にしやすい。羊毛については、紡糸から縫製までの段階において全生産量の55~60%が羊毛屑となって排出されている。国内でも飼育されている肉食用のサフォーク種の羊毛に至っては、原毛の段階から6割が産業廃棄物として排出されている。一方、古着を回収するためのインフラは各地で整いつつあり、回収された古着の選り分けの際に、特定の繊維を含む衣料品のみを選り分けることはそう難しくはない状況になりつつある。

我々の研究室では、これまで動物繊維の中でもシルクを原料に用いた機能性樹脂の研究に携わってきた。今後は、高価な原料を、廃棄物に求める必要がある。廃棄物の決定的な再生用途が見つければ、大容積を占める動物繊維のリサイクルが始まるものと考えられる。また、シルクに限ることなく、羊毛を含む廃棄物も動物タンパク質由来の樹脂の原料に成り得る可能性がある。

2. 研究の目的

繊維製品廃棄物からのシルクや動物毛などの動物繊維回収プロセス、および回収された動物繊維からバイオプラスチックを作製するための要素技術の開発を目的とする。具体的には、複数種の繊維が混じり合う複合度の高い繊維製品廃棄物を裁断と粉碎により微粉末化後、簡単な篩分けを行い、化学繊維、植物繊維の順に除き、最終的に動物毛とシルクを回収する。なお、粉碎は、繊維製品廃棄物を加圧下の熱水に曝す蒸煮処理あるいは液体窒素に曝す凍結処理によりそれぞれ動物繊維を脆化させた後、遊星型ボールミルを用いて行う。そして、動物毛、シルクそれぞれの粉末に蒸留水を加え、100~150℃に加熱しながら20 MPa付近の加圧下で成形することにより樹脂化させ、その工業製品の筐体や電子基板材料としての性能を評価する。

3. 研究の方法

(1) シルク交擦糸、混紡糸からのシルクの回収

繊維の種類毎のヤング率に依存する粉碎効率の違いを利用し、複合度の高いシルクの交擦糸、混紡糸からボールミルを用いた粉碎と篩分けを利用した固/固分離によるシルク粉末の回収を試みた。さらに、高濃度塩水溶液への溶解を利用した固/液分離による回収と比較した。なお、交織織物についてはUVと酸素によりシルク繊維が黄変かつ脆化することを利用し、UVを照射した後、粉碎と篩分けを行うことにした。

(1) - 1 模擬廃棄物

シルク交擦糸(シルク60%、キュブラ40%)、シルク混紡糸(シルク50%、エステル50%)、羽二重織(シルク100%)をそれぞれ長さ約10mmに裁断したものを模擬廃棄物とした。未染色のシルク交織

織物(シルク47%、レーヨン53%)を用いた実験も行った。

(1) - 2 UV照射を利用した固/固分離

粉碎は、遊星型ボールミル(アルミナ製容器(500ml)、アルミナ製ボール(30mm、全量3.4kg))を用い、300rpmの回転数で1minの粉碎を行い、その後、摩擦熱による温度上昇を防ぐ目的で5min静置する操作を10回繰り返した。続いて、200meshの篩を用いた篩分けを行った。シルク交織織物の場合は、低圧水銀ランプから放射されたUV(波長:184.9nmと253.7nm)を酸素雰囲気中最長1hr照射し、続いてローラー上で粉碎容器が回転する卓上型ボールミル(アルミナ製容器(1000ml)、アルミナ製ボール(10mm:20個、20mm:20個))を用い、700rpmの回転数で10~120minの粉碎を行い、その後、60meshの篩を用いた篩分けを行った。

(1) - 3 中性塩への溶解を利用した固/液分離

無水塩化カルシウム:エタノール:水がモル比で1:2:8の水溶液100gに対し模擬廃棄物を3g加えた後、オートクレーブ中100~180℃において1~10hrs加熱した。溶解後、残渣となるシルク以外の繊維との固/液分離を図り、残ったフィブロインタンパク質水溶液は透析チューブを用い、6hrs毎に蒸留水を交換しながら3日間に及ぶ透析を行った。その後、真空乾燥、マグネットミルを用いた粉碎を経てシルク粉末を作製した。

(2) シルク交織織物からのシルクの回収

シルクの分子量の大幅な低下を招く恐れがある高濃度中性塩への溶解やUV照射を行うことなく、交織織物の模擬廃棄物からシルクのみを回収する粉碎プロセスを探索する。

(2) - 1 模擬廃棄物

未染色のシルク交織織物((ア)シルク50%-綿45%-ポリウレタン5%、(イ)シルク50%-麻50%、(ウ)シルク40%-ナイロン60%)、および羽二重織((オ)シルク100%)を用いた。これらの織物を約2×2(cm)に裁断後、それぞれ約20g秤量したものを試料とした。

(2) - 2 蒸煮処理を利用した固/固分離

それぞれの試料に400mlの水を加え、オートクレーブ中180℃、3.5MPaの加圧下で30min保持する蒸煮処理を行った。その後、真空中100℃において十分乾燥後、遊星型ボールミル(アルミナ製容器(500ml)、アルミナ製ボール(20mm、全量3.4kg))を用いた粉碎を行った。300rpmの回転数で1minのミリングを行い、その後、摩擦熱による温度上昇を防ぐ目的で5min静置する操作を10回繰り返した。続いて、電磁式篩振盪機を用いた篩分けを行った。篩は60、145、200meshのものを用いた。

(3) 羊毛混紡糸、交織織物からの羊毛の回収

分子量が低下するタンパク質の水溶液化やUV照射を行うことなく、羊毛もシルクと同様に水熱環境下で脆化することを利用し、羊毛の混紡糸や交織織物から粉碎と篩分けにより羊毛粉末として回収する。

(3) - 1 模擬廃棄物

模擬廃棄物には、羊毛を含む混紡系(羊毛 70% - ポリエステル 25% - ナイロン 5%、羊毛 57% - レーヨン 30% - ナイロン 10% - カシミア 3%)と交織織物(羊毛 83% - ナイロン 17%、羊毛 30% - ポリエステル 70%)の他、純毛の布地(羊毛 100%)を用いた。単位は wt% である。

(3) - 2 蒸煮処理を利用した固/固分離

模擬廃棄物を約 2×2 cm (混紡糸は長さ約 1 cm) に裁断後、それぞれ約 20 g 秤量したものに 400 ml の水を加え、130℃、0.2 MPa の加圧下で 30 min 保持する蒸煮処理を行った。その後、減圧中 100℃において十分乾燥後、遊星型ボールミル(アルミナ製容器(500 ml)、アルミナ製ボール(φ15mm 及び φ20 mm、全量 3.4 kg))を用いた粉碎を行った。300 rpm の回転数で 1 min の粉碎を行い、その後、摩擦熱による温度上昇を防ぐ目的で 5 min 静置する操作を 10 回繰り返した。続いて、電磁式篩振盪機を用いた篩分けを行った。篩は 60、145、200 mesh のものを用いた。篩い分けの後は、200 mesh 篩下から回収した粉末の SEM 観察と FT-IR スペクトルを測定した。

(4) 畜産廃棄物(羊毛屑)からの樹脂の作製

(4) - 1 羊毛のボールミルを用いた粉碎

十分に洗浄し、乾燥させた土別産サフォーク種の羊毛を試料に用いた。なお、比較用に市販のメリノ種羊毛も用意した。予め羊毛を裁断したものから、遊星型ボールミル(アルミナ製容器(500 ml))とアルミナ製ボール(φ15 mm、φ20 mm、全量 3.2 kg)またはステンレス製容器(200 ml)とステンレス製ボール(φ30 mm、個数 6)を用いて、300 rpm の回転数で 1 min の粉碎を行い、その後、5 min 静置する操作を 10 回まで繰り返すことにより羊毛粉末を作製した。なお、ステンレス製容器を用いる場合のみ、容器および羊毛を液体窒素温度まで冷やした後、粉碎を行う凍結粉碎を行った。続いて、60 mesh、145 mesh、200 mesh の篩を用いて篩分けを行い、粉碎時に仕込んだ羊毛の質量に対する 200 mesh の羊毛粉末の割合を回収率(%)として表した。

(5) 羊毛の樹脂化

羊毛粉末に対して 20 wt% の蒸留水を加えたものを φ15~20 mm の黒鉛ジグに充填し、パルス通電焼結装置を用いて 6.0 Pa 以下の真空中、20 MPa の加圧下で 75~150℃まで昇温した後、直ちに冷却する方法で樹脂化した。

得られた樹脂成形体については、100℃の 0.1MPa 以下の真空中で 21 日以上乾燥させた後、TMA によるガラス転移温度の測定、および熱膨張率の測定を行った。また、同じ乾燥後の樹脂成形体から 18×4×2mm に切り出した試験片について三点曲げ試験を行った。なお、支点間距離は 14 mm とした。

3. 研究成果

(1) シルク交擦糸、混紡糸からのシルクの回収

(1) - 1 UV 照射を利用した固/固分離

シルク交擦糸、シルク混紡糸、羽二重織の場合、いずれにおいても遊星型ボールミルを用いた粉碎が確認された。また、シルク交擦糸、シルク混紡糸における篩下の粉末の FT-IR スペクトルは、市販のシルク粉末や羽二重織の粉碎粉のそれと同じであり、キュプラやエステル由来の吸収ピークは検出されなかった。粉碎と篩分けによるシルク粉末としての回収の可能性が示唆された。

シルク交織織物における卓上型ボールミルを用いたミリングでは、6 hrs のミリングを行っても粉碎は確認されなかった。一方、UV を照射した場合は、10 min のミリングにより粉末と糸状の繊維に分かれた。篩分け後の篩上の糸状の繊維と篩下の粉末の FT-IR スペクトルから、糸状の繊維からはフィブロインタンパク質とセルロース由来の吸収ピークが検出されたものの、篩下の粉末からはセルロース由来の吸収ピークは検出されず、シルク粉末として回収されることが明らかになった。なお、ミリング時間を増加させると、糸状の繊維も粉碎され始め、篩下の粉末からもフィブロインタンパク質に加えてセルロース由来の吸収ピークが検出された。

(1) - 2 中性塩への溶解を利用した固/液分離

100℃、3 hrs の溶解処理を施したところ、羽二重織は完全に溶解したのに対し、シルク混紡糸、シルク交擦糸では未溶解のシルクが残存した。しかし、同温度で 10 hrs の溶解処理ではシルクの完全な溶解が確認された。なお、溶解時間を 3 hrs 一定とし、溶解温度を 180℃まで増加しても未溶解のシルクが残存し、温度依存性はあまり見られなかった。シルク混紡糸は 2 種類の繊維を混ぜ合わせて紡績した糸であり、シルク交擦糸は 2 種類の糸を撚り合わせた糸であるため、いずれも 2 種類の糸または繊維が接する界面が溶解に対する抵抗になり、十分溶解しなかったものと推定される。また、シルクが溶解した溶液から残渣を取り除き、次に透析を行うと、フィブロインタンパク質水溶液が得られた。

(1) - 3 UV 照射を利用した固/固分離及び中性塩への溶解を利用した固/液分離により回収したシルク粉末の樹脂化

羽二重織は粉碎、シルク混紡糸とシルク交擦糸からは粉碎・篩分け、シルク交織織物からは UV 照射と粉碎・篩分けにより得られたそれぞれのシルク粉末から樹脂を作製し、TMA によりガラス転移温度を測定した。交織織物から得られたシルク粉末のみ、粉碎・篩分けの後に再び同じ卓上型ボールミルを用いて 6 hrs に及ぶミリングを行ったものを用いた。その結果、羽二重織では 150℃、シルク混紡糸では 140℃、シルク交擦糸では 130℃、シルク交織繊維では 164℃となり、ガラス転移温度はシルク粉末の品位に依存する傾向が見られた。一方、溶解による固/液分離により得られたシルク粉末を用いた場合、

いずれの樹脂の場合も 130 ~ 140 に止まり、分子量の減少と塩の残留によるものと推定されるガラス転移温度の低下が認められた。

また、 $10^2 \sim 10^7$ Hz における比誘電率、誘電正接を測定したところ、分離方法、繊維の種類にかかわらず、市販のシルク粉末から作製したものとほぼ同様の誘電特性を示した。シルク交織織物から UV 照射・粉碎・篩分けにより回収したシルク粉末を用いて作製したシルク樹脂の誘電特性を図1に示す。

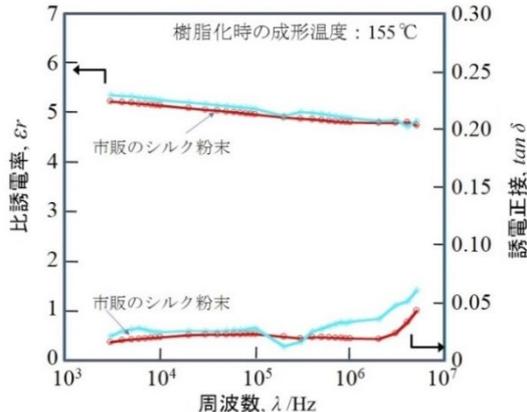


図 1 シルク交織織物から回収したシルク粉末を用いて作製した樹脂の誘電特性

(2) シルク交織織物からのシルクの回収

(2) - 1 蒸煮処理を利用した固/固分離

図 2 は粉碎後の粉碎容器中または篩分け後の 60 mesh の篩上の様子である。蒸煮処理を行うことなく直接粉碎を試みたところ、(ア)シルク 50% - 綿 45% - ポリウレタン 5%、(オ)シルク 100%いずれの場合も粉碎は見られなかった。これに対して、蒸煮処理を施した場合、(ウ)シルク 40% - ナイロン 60% を除き、粉碎が確認された。また、蒸煮処理後の残液は琥珀色となりフィブロインの溶解が示唆された。(ア)シルク 50% - 綿 45% - ポリウレタン 5%の場合、ヤング率(常温引張強度)がシルクの 6.37 ~ 11.76 GPa (0.34 ~ 0.47 GPa) に対して綿は 9.31 ~ 12.74 GPa (0.40 ~ 0.66 GPa) であることから、綿を中心としたものと推定される綿状のものが 80 mesh の篩上に確認された。ポリウレタンについては、常温の伸びがシルクの 20 倍以上もあるため、微粉化していないものと考えられる。(イ)シルク 50% - 麻 50%の場合も(ア)と同様に、麻のヤング率(常温引張強度)が 19.6 ~ 35.28 GPa (0.74 ~ 0.84 GPa) とシルクより大きいことから、麻と推定される綿状のものが 80 mesh の篩上に確認された。なお、(ウ)シルク 40% - ナイロン 60%では、蒸煮処理後、ナイロンの白いガラス状の球塊が残液表面に観察された。

- 60 mesh の回収された粉末の FT-IR スペクトルから、いずれの粉末においてもフィブロイン由来のアミド I (1654 cm^{-1})、アミド II (1545 cm^{-1})、アミド III (1241 cm^{-1}) のピークが検出された。



図 2 粉碎容器中または篩上の様子

以上より、複合度の高いシルク交織織物から、蒸煮処理後に粉碎・篩分けを行う固/固分離により、シルク主体の粉末を回収することができた。綿や麻の交織織物の場合、これらの繊維の機械的特性がシルクよりも勝ることから粉碎されずに篩上に残り、ナイロンの交織織物の場合は蒸煮処理時においてナイロンがシルクから分離する傾向が確認された。

(3) 羊毛混紡糸、交織織物からの羊毛の回収

(3) - 1 蒸煮処理を利用した固/固分離

図 3 に、蒸煮処理と粉碎を行い篩分けされた粉末の回収率を示す。回収率は、粉碎前の模擬繊維廃棄物の単位質量当りの篩分けされた粉末質量の割合とした。最初に、蒸煮処理前後の羊毛 100%の布地について、篩分け後の回収率を比較した。その結果、- 200 mesh の粉末の回収率は、蒸煮処理前で約 8%、蒸煮処理後では約 84% まで向上した。また、蒸煮温度が 10° 低い 120 では、蒸煮処理前と同じ回収率であった。同じ動物繊維であるシルク(羽二重)を 180、3.5 MPa の条件において同じ保持時間で蒸煮処理を施しても、蒸煮処理前で約 2%、蒸煮処理後でさえも約 40% であり、シルクよりも羊毛の方が蒸煮処理により格段と粉碎しやすくなった。引張強さ(ヤング率)が、シルクの 0.35 ~ 0.47 MPa (5.85 ~ 11.7 GPa) に対し、羊毛がわずか 0.09 ~ 0.15 MPa (1.27 ~ 2.94 GPa) であること、摩擦寿命がシル

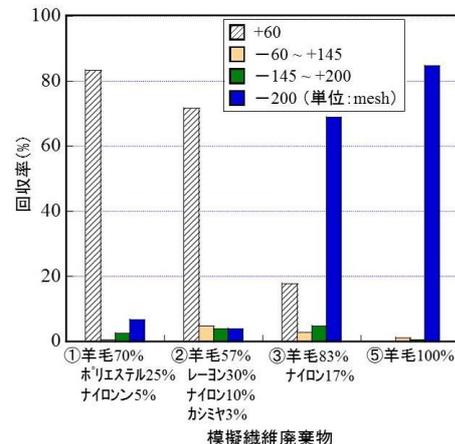


図 3 篩分けされた粉末の粒径毎の回収率

クよりも羊毛の方が短いことから明らかである。また、130 の蒸煮処理により、シスチンのジスルフィド結合の一部が開裂されて水に可溶性なシステインになった可能性があり、蒸煮処理後の水が琥珀色になった。また、混紡糸や交織織物の場合、羊毛比率が多いものほど - 200 mesh の粉末の回収率が増大した。一方、羊毛 30% - ポリエステル 70% の場合は、粉碎されず、- 200 mesh の粉末は殆ど回収されなかった。引張強さ（ヤング率）がポリエステルの 0.26 ~ 0.44 MPa (3.04 ~ 8.53 GPa)、ナイロンの 0.46 ~ 0.75 MPa (0.80 ~ 2.96 GPa) よりも羊毛は低く、また伸びもポリエステルの 20 ~ 50 %、ナイロンの 25 ~ 60 % と比べ羊毛は 25 ~ 35% とわずかに低い他、摩擦寿命がポリエステルやナイロンと比べ羊毛は非常に短いことから、主に羊毛が粉碎されたものと考えられる。また、ポリエステルやナイロンが多い繊維では、ボールミルによる粉碎時のクッションング効果やボールへのコーティング効果により羊毛が粉碎され難くなった可能性もある。

図 4 には、粉碎されなかった を除く回収された - 200 mesh の粉末の SEM 観察結果を示す。 については の羊毛 100% と同様の繊維が観察され、羊毛繊維のみが回収された。また、 と については、篩目を通り抜けた細長いナイロン繊維がわずかに観察された。なお、FT-IR からは、ナイロンやレーヨンに由来する吸収は確認されなかった。

また、 を除く - 200 mesh の粉末を用いて樹脂化を試みたところ、いずれも の羊毛 100% の同様のケラチン樹脂が確認された。

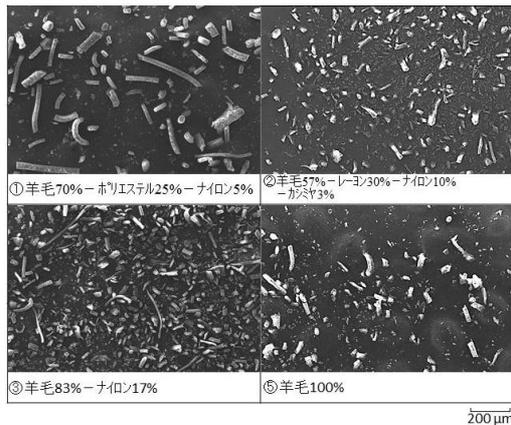


図 4 篩分けされた - 200 mesh の粉末の SEM 観察結果

(4) 畜産廃棄物（羊毛屑）からの樹脂の作製

(4) - 1 羊毛のボールミルを用いた粉碎

出発原料であるサフォーク種羊毛、及びメリノ種羊毛表面および羊毛粉末の SEM 観察結果を図 5 に示した。サフォーク種の羊毛の直径はメリノ種と比べて 1.5 倍ほど太いことが確認された。しかし、粉碎後はメリノ種に比べてサフォーク種の羊毛粉末の方が微細化していることが確認された。これは、サフォーク種の羊毛表面のささくれ状の鱗片（スケール）が切欠きになり微細化したものと推定される。また、粉碎容器と羊毛を液体窒素で凍結させた凍結

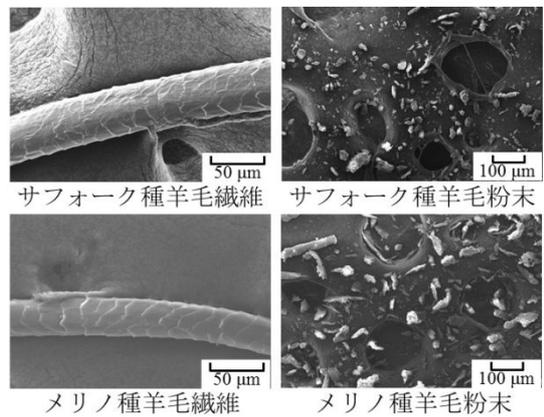


図 5 羊毛繊維および粉末の SEM 観察結果

粉碎の場合、凍結させなかった場合と比べて全ての粉碎条件で回収率が多くなったことが確認された。

(5) 羊毛の樹脂化

最初に、メリノ種の羊毛粉末を用い、樹脂化における水分添加量と成形温度の最適化を行った。得られた成形体を図 6 に示す。成形温度を 150 一定とした場合、水分未添加では成形体の外周部に樹脂化していない羊毛粉末が残存していたのに対し、10 wt% から 40 wt% まで水分を添加すると全面が樹脂化し、鼈甲色かつ僅かに透光性を有した樹脂が得られた。羊毛は元々 16 wt% 近くの水分を含むことから、シルク樹脂の場合は 20 wt% の水を加えていたが、羊毛の場合は 10 wt% の水分添加でも完全に樹脂化した。水分添加量を 20 wt% 一定とした場合、成形温度が 75 から部分的な樹脂化が確認され、150 以上において完全な樹脂化が確認された。なお、サフォーク種の羊毛粉末を用いた場合でも、水分添加量 20 wt%、成形温度 150 において完全な樹脂化を確認している。

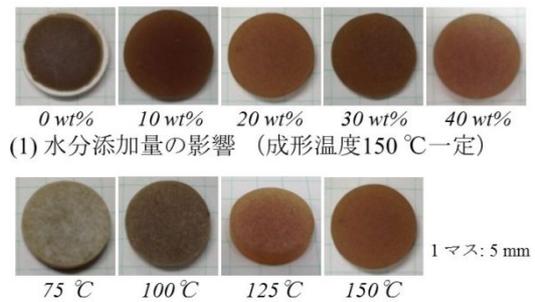


図 6 羊毛繊維の樹脂化に及ぼす成形条件の影響

羊毛粉末 200 mesh 以下（粒径 75µm 以下）、水分添加量 20 mass%、成形温度 150 で作製した樹脂のマイクロピッカーズ硬さ試験、TMA 分析、三点曲げ試験およびリサイクル性を調べた。樹脂の成形条件は、水分添加量 20 wt%、成形温度 150 一定とした。-200 mesh のサフォーク種の羊毛粉末を用いて作製した樹脂の 7 日間乾燥後のマイクロピッカーズ硬さは 29.6 となり、ポリ乳酸よりは硬く、ポリカーボネート並みの硬さを有する。また、サフォーク

種-200 mesh の羊毛粉末を用い、21 日間乾燥させた樹脂の TMA 曲線から、190 付近のガラス転移温度まで続く緩やかな膨張が確認された。フィラーや充填剤を添加することなしにフェノール樹脂やユリア樹脂に匹敵する低い熱膨張率を有することが判った。また、190 付近のガラス転移温度については、ポリカーボネートを凌駕し、変性ポリフェニレンエーテルに近い値であることが判った。さらに、同じ樹脂について三点曲げ試験を行うと 86 MPa の曲げ強度が得られ、ポリアミドを凌駕するばかりかポリカーボネートや変性ポリフェニレンエーテルに匹敵する曲げ強度を有していた。この他、最初に成形した樹脂を粉碎して粉末にした後、次に成形すると再び樹脂が得られるリサイクル性も確認している。

表 1 には、繊維長を揃えた羊毛粉末を用いた羊毛樹脂の熱膨張率と三点曲げ強度を示す。また、シルク樹脂および羊毛樹脂の特性を汎用プラスチックと比較した結果を表 2 に示す。

表 1 繊維長を揃えた原料を用いた場合の羊毛樹脂の熱膨張率と三点曲げ強度

	羊毛繊維の繊維長				
	~32	32~53	53~74	74~105	105~250
熱膨張率 (10 ⁻⁶ /°C)	17	29	34	41	42
曲げ応力 (MPa)	105.4	70.2	58.9		
弾性率 (GPa)	5.4	4.3	2.9		

表 2 シルクおよび羊毛樹脂と汎用樹脂との物性比較

樹脂	熱膨張率 10 ⁻⁶ /K	ビッカース 硬度	ガラス転移 温度°C	曲げ強度 MPa	曲げ弾性率 GPa	熱伝導率 W/(m·K)
フェノール	30	44.1	150~175	68~118	0.4~0.5	0.13~0.25
メラミン	40	47.2	46~67	69~110		
ユリア	30	45.5		34~125		
フッ素	45	9.65		17.2	0.53~0.58	0.25
ポリエーテル	130~150	15.8	80	59~159		0.17~0.21
羊毛	30~35	29.6	190.8	86	5.4	
シルク	37	40	180~200	100	4.5	0.44
ポリ乳酸	90	12~16	60	57	2.2	0.2~0.3
ポリカーボ ネート	66	30	150	76~91	2.3	0.235
変性ポリフェ ニレンエーテル	33~77		210	94	2.35	0.15

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

平井伸治、廃棄物由来動物タンパク質を用いた環境調和型シルクおよび羊毛樹脂、機能材料、査読無、36 巻 6 号、2014、pp.40-48.

平井伸治、シルクや羊毛から作製したバイオプラスチック、日本プラスチック工業連盟誌“プラスチック”、査読無、65 巻 10 号、2014、pp.1-11.

平井伸治、動物繊維を原料に用いた低誘電・高耐熱樹脂の開発、ケミカルエンジニアリング、査読無、59 巻 1 号、2014、pp. 50-56.

[学会発表] (計 10 件)

田川純一、平井伸治、葛谷俊博、羊毛繊維製品廃棄物からの羊毛の回収と樹脂化、資源・素材学会 平成 27(2015)年度 春季大会、3 月 29 日、千葉工大

招待講演：平井伸治、羊毛の樹脂化技術、日本繊維機械学会繊維リサイクル技術研究会 第 112 回情報交換会、平成 26 年 12 月 19 日、京都工芸繊維大学
横山裕一、王鵬翔、平井伸治、葛谷俊博、羊毛廃棄物のリサイクルプロセス、資源・素材 2014(熊本) 9 月 15 日、熊本大学

秋岡翔太、田川純一、平井伸治、葛谷俊博、シルク廃棄物から作製したバイオプラスチック、資源・素材 2014(熊本) 9 月 15 日、熊本大学

T.Kuzuya, S.Hirai, Y.Kawahara and T.Kameda、Development of Keratin and Fibroin Resins for Environmental Friendly Materials for Housing and Electronic Components Using Animal Proteins Derived from Textile and Industrial Wastes、2013MRS Fall Meeting、12 月 2 日、Boston

田川純一、葛谷俊博、平井伸治、亀田恒徳、河原豊、廃棄物由来の動物繊維を用いた低誘電・高耐熱樹脂の作製、資源・素材 2013(札幌) 9 月 4 日、北海道大学

田川純一、平井伸治、葛谷俊博、亀田恒徳、河原豊、山内見和、廃棄物からの動物繊維回収の必要性と低誘電・高耐熱樹脂としての可能性、繊維学会秋季研究発表会、平成 25 年 9 月 6 日、豊田工業大学 他 3 件

[産業財産権] (計 2 件)

取得状況

名称：バイオプラスチックの製造方法およびバイオプラスチック成形体

発明者：平井伸治、田川純一、秋岡翔太、横山裕一

権利者：室蘭工業大学

種類：特許

番号：特願 2014-242910

出願日：2014 年 12 月 1 日

名称：ケラチン由来のバイオプラスチック成形体の製造方法

発明者：河原 豊、平井伸治、葛谷俊博

権利者：群馬大学、室蘭工業大学

種類：特許

番号：特願 2014-034762

出願日：平成 26 年 2 月 26 日

6. 研究組織

(1)研究代表者

平井伸治 (HIRAI Shinji)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号 1 0 2 0 8 7 9 6

(2)研究分担者

葛谷俊博 (KUZUYA Toshihiro)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 0 0 4 2 4 9 4 5

山内見和 (YAMANOUCHI Miwa)

國學院大学栃木短期大学・教授

研究者番号 4 0 2 9 9 8 2 1