

混紡繊維リサイクルのための合成繊維分離方法の確立

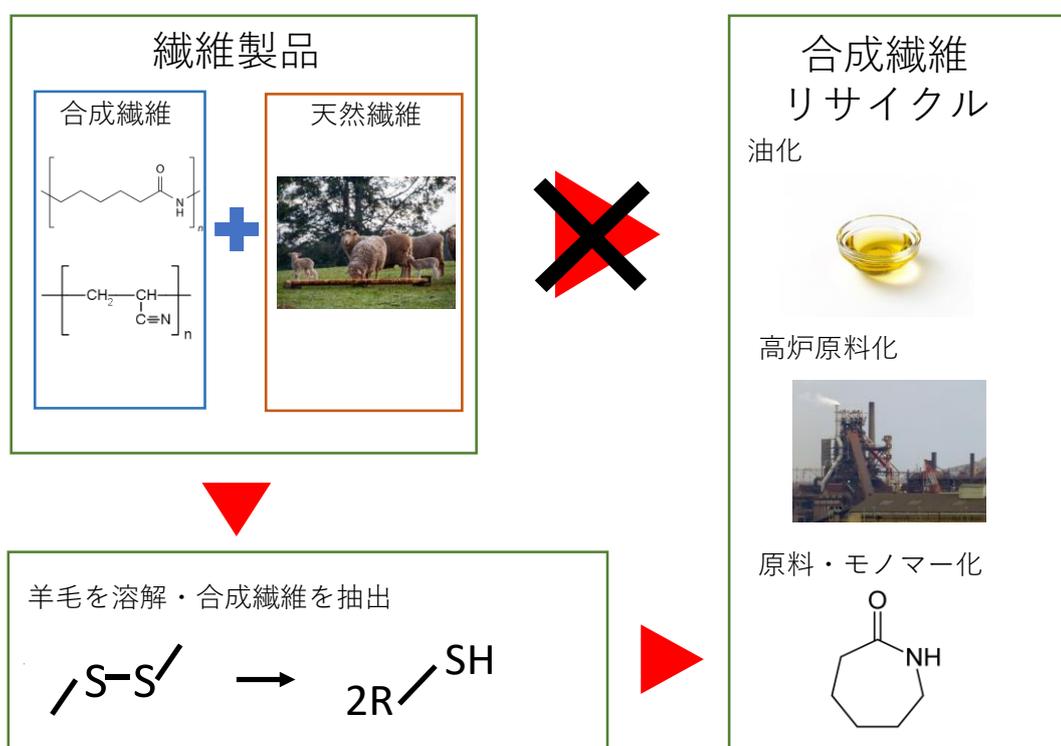
愛知県立一宮高等学校

小川真之祐・長谷川凜・堀田理公・小倉健生

指導教員:井澤充

研究概要

現在繊維用品のごみ排出量は増加傾向にあり, 2030年には一年あたりのごみ排出量は世界全体で1億5700万tになると予想されている.⁽¹⁾これらのごみのうち60%前後は埋め立て処理されている.⁽¹⁾その一因として繊維用品には複数種類の繊維や着色料等が混在していることがあげられる.そこで我々は, 不要繊維用品のリサイクルを目的とした合成繊維抽出方法の確立を目標とした.本研究では, 天然繊維である獣毛を溶解できる信大法溶液⁽²⁾を用いた羊毛の溶解量測定及び信大法溶液によるアクリルニトリルやナイロンの劣化の有無の確認を試みた.結果, 羊毛の溶解を確認することができ, その量は溶液10mlあたりに0.73gだと分かった.また, 目視でのナイロンの劣化は確認されなかったが, アクリルニトリルでは変色が見られた.



1. 背景と目的

服飾業界のごみ排出量は年々増えており 2030 年には世界全体で一年あたり 1 億 5700 万 t にもなると予想されている。また、布や衣服など繊維用品は廃棄されている 20%程度しか再利用、再生利用されていない(Fig.1)。⁽¹⁾繊維用品の中には、他のプラスチック製品と同様に比較的再生利用がしやすいと考えられる合成繊維も含まれるが、再生利用がされていない一因として、混紡や着色などにより多くの種類の不純物が混ざっているからというものがある。

我々は、繊維用品に使われている物質を分離することで再生利用を促すことができるのではないかと考えた。先行研究では綿/ポリエステル混紡繊維の分離法に関して研究が進んでいたが、⁽²⁾獣毛とそれとともによく混紡されるアクリルニトリル、ナイロンについてのものが見つからなかった。獣毛はケラチンというたんぱく質を主成分としており化学的な分解がしづらいという問題がある。ここで、藤井敏弘氏の研究で開発された信大法溶液は、ケラチン中でも分解のしにくいジスルフィド結合を断ち切り可溶化させることができる。⁽³⁾

本研究では、信大法溶液の溶解性能及び合成繊維の劣化の有無を評価し、信大法溶液による獣毛/アクリルニトリル、ナイロンの混紡繊維リサイクルへの応用可能性を調べた。

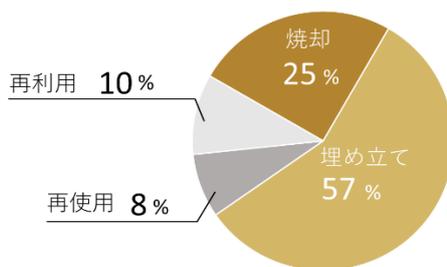


Fig.1 全世界の不要な繊維用品の処理法⁽¹⁾

2. 実験 1 羊毛の溶解性能測定

2.1 実験方法

2.1.1 羊毛の溶解

信大法溶液(2.6M チオ尿素,5.0M 尿素,25mM Tris-HCl(pH8.0)),溶液 100ml に対し 5ml2-メルカプトエタノール)10ml と羊毛 0.50g を攪拌しながら、液温を 80°C 程度に保ち 24 時間湯煎した。

2.1.2 溶解量測定

0.050M ヨウ素溶液 100ml に対し 2.5g ヨウ化カリウムを溶かし、これを標準溶液 A とした。50ml の溶液 A と 2.1.1 で使用した羊毛が溶けた信大法溶液を 20 倍に希釈した溶液 5.0ml を混ぜ、これを溶液 B とした。また、50ml の溶液 A と 50 倍に希釈した信大法溶液 5.0ml を混ぜ、これを溶液 C とした(Table.1)。

溶液 A,B,C それぞれ 10ml ずつを 0.10M チオ硫酸ナトリウムで滴定した。

2.2 結果と考察

チオ硫酸ナトリウムの滴下量は Table.1 のようになった。

Table.1 滴下量

	溶液 A	溶液 B	溶液 C
滴下量(ml)	9.83(0.152)	7.29(0.098)	8.23(0.080)

データの表記は平均(標準偏差)

ここで、信大法溶液は、羊毛を還元し、ジスルフィド結合を切断することで、可溶化させている。そのため、羊毛が一定の物質還元されたとき溶解する羊毛の質量がそれに比例すると仮定した。この場合、信大法溶液中の還元剤の消費量が溶解した羊毛の質量に比例すると考えられる。そのため、実験1でのチオ硫酸ナトリウム溶液の滴下量から以下の計算式を用いて溶解可能量を測定できる。

$$\frac{(a - 1.1c) * 5 * 100 * 0.5}{(a - 1.1c) * 5 * 100 - (a - 1.1b) * 5 * 40} = (\text{羊毛溶解可能量})$$

ここで、 a, b, c はそれぞれ溶液 A,B,C のチオ硫酸ナトリウム溶液滴下量(ml)を表す。

信大法溶液大法溶液 10ml に対する羊毛の溶解可能量は 0.73g だった。追加実験として羊毛を 1.0g 溶解させようと試みたところ溶け残りが出て、その量は 0.2g 程度だったため今回の結果はある程度妥当なものだと考えられる。

3. 実験2 信大法溶液による合成繊維の劣化評価

3.1 実験方法

信大法溶液による合成繊維の劣化の有無を評価した。

アクリルニトリルとナイロン 0.20g ずつを信大法溶液 10ml に加え実験1と同様の条件を与えたのち、資料を取り出し自然乾燥させ合成繊維の劣化を目視で確認した。

3.2 結果と考察

ナイロンを試料として行ったときには、目視での変化を確認できなかったが、アクリルニトリルを試料としたときには、黄色に変色していた(Fig.2,3)。そのため、信大法溶液による合成繊維への劣化はナイロンでは小さいが、アクリルニトリルでは大きいと考えられる。また、アクリルニトリルでは実験後の信大法溶液には白い固体が見られた(Fig.4)。この固体は、信大法溶液だけを湯煎した時には見られなかったため、アクリルの変色と何らかの関係があると考えられる。

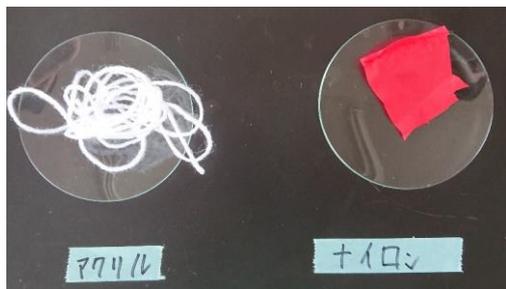


Fig.2 実験前の合成繊維

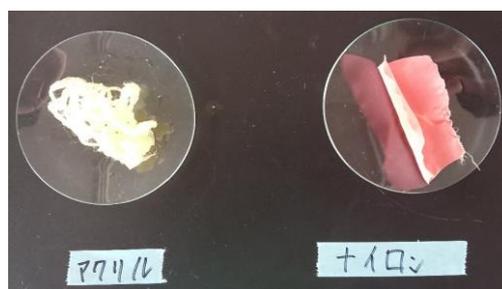


Fig.3 実験後の合成繊維



Fig.4 アクリルニトリルでの実験後の信大法溶液

4. 結論

本研究では、信大法溶液 10ml に対する羊毛の溶解可能量は 0.73g ということを明らかにした。また、信大法溶液によるナイロンの劣化は見られなかったため、混紡繊維リサイクルにおける信大法溶液を用いた分離方法の有用性を示せた。ただし、アクリルニトリルでは劣化が激しく、実験後の信大法溶液中に白い固体状の物体が見られたため、これらを考慮する必要がある。

5. 今後の展望

- (1)再度同様の実験を行い再現性を確認する。
- (2)実際に羊毛/ナイロン混紡繊維を用いてナイロンの分離を試みる。
- (3)合成繊維の劣化の定量的な実験方法を検討する。
- (4)アクリルニトリルで実験を行ったときに見られた白い固体が何であるかを明らかにする。
- (5)化学的な分離を行うと廃液などの問題が出てしまうため、物理的な分離など他のアプローチについても検討する。
- (6)再生利用が進まない要因には、繊維製品における染料の存在があるため、その分解方法、また繊維と違い表示義務がないためその鑑別方法についても検討する。

6. 参考文献

- (1) Boger S, Chalmer C, Eder-Hansen J, Jäger K, Kristensen L, Schwarz S, Seara J, Tärneberg S, Theelen G & Tochtermann T (2017). Pulse of the Fashion Industry. *Global Fashion Agenda*.
- (2) Ouchi A, Toida T, Kumaresan S, Ando W & Kato J (2010). A new methodology to recycle polyester from fabric blends with cellulose. *Cellulose*, 17(1).
<https://doi.org/10.1007/s10570-009-9358-1>
- (3) Fujii T & Ikezoe N (2003). Protein extraction from wool and a convenient procedure for the coated fibers. *Kobunshi Ronbunshu*, 60(7).
<https://doi.org/10.1295/koron.60.354>