

無機微粒子による紫外線遮蔽性および遮熱性を有する機能性繊維素材の開発

齋藤 譲司* 奥村 航* 神谷 淳* 木水 貢*

ポリエステル樹脂に無機微粒子を混練することで、紫外線遮蔽性ならびに遮熱性を有する繊維素材の開発を行った。樹脂と無機微粒子を二軸押出機により混練して得られたペレットをマルチフィラメント製造装置にて熔融紡糸し、筒編地を作製した。紫外線遮蔽性および遮熱性評価の結果、酸化セリウムまたは酸化チタンを混練することで紫外線遮蔽性および遮熱性が付与されることを確認した。紫外線遮蔽性は酸化セリウムよりも酸化チタンの方が優れており、添加量3 wt%で紫外線遮蔽率が90%を超えた。遮熱性も紫外線遮蔽性と同様に酸化セリウムよりも酸化チタンの方が高く、さらに平均粒子径の異なる2種類の酸化チタンを比較したところ、平均粒子径0.3 μm よりも1 μm において遮熱性が高くなった。従って、粒径1 μm の酸化チタンを添加することで、紫外線遮蔽性および遮熱性を両立できることが示唆された。

キーワード：ポリエステル繊維，二軸押出機，紫外線遮蔽性，遮熱性

Development of UV and Heat Shielding Fiber with Inorganic Particles

Joji SAITO, Wataru OKUMURA, Jun KAMITANI and Mitsugu KIMIZU

We developed a polyester fiber with ultra violet (UV) and heat shielding properties by kneading inorganic particles. A compound containing polyester and inorganic particles kneaded by a twin-screw extruder was melt-spun, and tube-knitted. The result of UV transmittance testing showed that cerium oxide particles and titanium oxide particles provide a UV shielding property and heat shielding property. Comparing the particles, titanium oxide particles shielded UV better than cerium oxide particles. UV shielding for a knitted fabric which contained 3% titanium oxide was more than 90%. Therefore, the heat shielding property for a knitted fabric with 1 μm titanium oxide was better than cerium oxide and 0.3 μm titanium oxide.

Keywords: polyester fiber, twin-screw extruder, UV shielding, heat shielding

1. 緒 言

石川県は国内有数の合繊産地として、ポリエステルやポリアミド等の糸加工、製織、製編および染色整理等の繊維産業が盛んである。しかしながら近年では、汎用繊維製品の海外生産量が增大していることから、コスト面で厳しい競争を強いられている。このような状況から、汎用品との差別化のためには新製品の開発が必要であり、その中でも紫外線遮蔽および遮熱機能付与などの機能性繊維素材を用いた製品開発のニーズが高まっている。

その背景として、近年の夏季期間は国内の広い範囲で連日35 $^{\circ}\text{C}$ 以上の猛暑日が続くことがあり、最高気温

が40 $^{\circ}\text{C}$ 以上を記録する地域があるなど、熱中症等の健康被害が増加傾向にある。さらに、太陽光に含まれる紫外線の中でもUV-Bと呼ばれる波長280 nm~315 nmは細胞中のDNAを損傷させ、皮膚がん等の疾患の原因となることが知られている^{1),2)}。さらに長波長側の315 nm~400 nmはUV-Aと呼ばれ、UV-Bほど人体への悪影響はないものの、皮膚透過性が高く、皮膚のシミやしわの発生に関わるとされている³⁾。このように、暑熱ならびに紫外線への対策は重要性を増しており、繊維製品は衣料として違和感なく着用できる。

そこで、本研究では汎用性の高いポリエステル繊維に紫外線遮蔽性および遮熱性を付与することを目的に、これらの機能を有する無機微粒子を二軸押出機により連続的に混練したのち、熔融紡糸により機能性繊維を

*繊維生活部

開発したので、その結果を報告する。

2. 実験

2.1 試料

無機微粒子として、紫外線遮蔽効果の高い酸化セリウム⁴⁾および高屈折率で散乱効率が低い酸化チタン⁵⁾を選定した。酸化セリウムは富士フィルム和光純薬(株)034-01885を用い、酸化チタンは富士フィルム和光純薬(株)201-13645(以下、酸化チタン①)およびテイカ(株)JR-1000(以下、酸化チタン②)を使用した。各粒子の平均粒子径を表1に示す。

母材樹脂としてポリエチレンテレフタレート樹脂(ユニチカ(株)MA-2101M, IV値0.62)を使用した。樹脂は粉碎および熔融紡糸工程での自着防止のため、熱風乾燥機(株島津製作所STAC-N600M)を用い、140℃で2時間熱処理することで十分に結晶化させて使用した。

表1 各粒子の粒子径

物質名	平均粒子径(μm)
酸化セリウム	6
酸化チタン①	0.3
酸化チタン②	1

2.2 無機微粒子と樹脂の混練

無機微粒子と樹脂の混練は同方向回転型二軸押出機(株東洋精機製作所ラボプラストミル2D25F2)を用いて行った。樹脂は無機微粒子と均一に混合させるため、回転式粉碎機により粉体状に調製したのち、粒子が10wt%含有されるようにポリエチレン製袋内でドライブレンドを行い、二軸押出機に投入した。混練はホッパーを250℃、終端のストランドダイを280℃として温度傾斜をつけ、回転数15min⁻¹で行った。押出機から吐出されたストランドを約90℃の水槽で急冷固化させ、ペレタイザにより切断することで無機微粒子が10wt%含まれたマスターペレットを作製した。

2.3 糸および評価用編地の作製

紡糸試験はマルチフィラメント製造装置(株ムサシノキカイ550155)を用いて実施した。概略図を図1に示す。ノズルは口径0.3mm×12穴、スクリューは径30mm、長さ840mmのピンタイプを使用した。ポリエステル樹脂ペレットおよびマスターペレットを任意の割合でドライブレンドしたものを熱風乾燥ホッパーに投入し紡糸を行った。なお、紡糸条件は表2のとおりである。引取工程ではフィラメント収束のため純水で10wt%に

希釈した油剤(松本油脂製薬(株)マーポテロンPP-290)をローラにて塗布し、未延伸糸を得た。得られた糸を織度210dtexとなるようにローラ温度110℃で延伸し、評価用糸を作製した。

評価用編地は筒編み機(ローソン・ヘンフィルFAK 3 1/2")を用いて、口径89mm、針数220本のニードルシリンドラにより作製した。

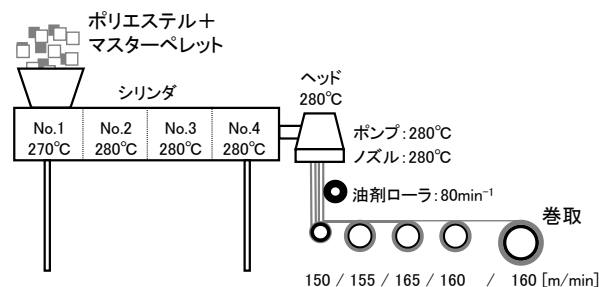


図1 マルチフィラメント製造装置概略図

表2 紡糸条件

シリンダ(°C)		ヘッド (°C)	ポンプ (°C)	ノズル (°C)
No.1	No.2-4			
270	280	280	280	280

ローラ速度(m/min)				
No.1	No.2	No.3	No.4	巻取(初速)
150	155	165	160	160

2.4 紫外線遮蔽性評価

紫外可視分光光度計(日本分光(株)V-650)を用いて、編地の紫外線遮蔽性評価を行った。測定は波長間隔1nm、波長範囲220nm~400nm、測定回数1回にて行った。得られた紫外線吸収スペクトルからJIS L 1925:2019に従い、紫外線遮蔽率を算出した。

2.5 遮熱性評価

磯部の方法⁶⁾を参考に、遮熱性の評価システムを作製した。図2に示すように、赤外線ランプ(岩崎電気(株)アイR形赤外線電球IR100/110V250WRH)と熱電対を組み合わせ、両者の間に試料を挿入し、温度上昇を測定することで遮熱性の評価を行った。測定は20℃・65%RHに調整された恒温恒湿室にて、赤外線ランプ照射開始から30分後の温度を測定回数1回にて行った。遮熱率は式(1)により算出した。

$$\text{遮熱率(\%)} = \frac{\Delta T_b - \Delta T_s}{\Delta T_b} \times 100 \quad (1)$$

ΔT_s : 粒子添加編地における上昇温度

ΔT_b : 無添加編地における上昇温度

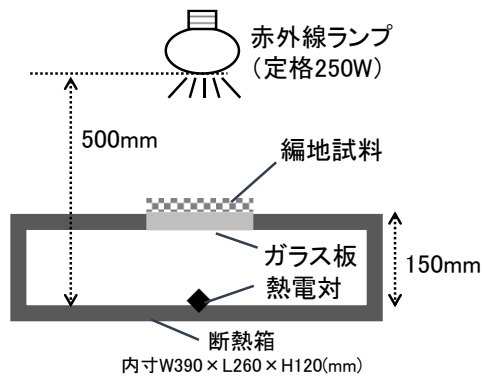


図2 遮熱性評価システム

3. 結果と考察

3.1 試作編地の紫外線遮蔽性評価

粒子無添加および各粒子を1 wt%含有したポリエステル編地の紫外線透過率を図3に示す。図においてUV-Bの波長領域である280 nm～315 nmでは、粒子無添加編地を含むすべての試料で紫外線透過率が10 %以下となった。一方で、UV-Aの波長領域である315 nm～400 nmでは、粒子無添加編地の透過率が急激に増大した。酸化セリウムおよび酸化チタンを添加した編地では無添加に比べて、波長315 nm近傍から長波長側での紫外線透過率が低くなった。また、粒子種で比較すると、380 nmより高波長側で酸化チタン②よりも酸化チタン①の紫外線透過率が高くなっているものの、全体としては酸化セリウム、酸化チタン②、酸化チタン①の順に紫外線透過率が減少した。このことから、DNAの損傷に関わるUV-Bは無添加のポリエステル繊維単体でも遮蔽効果はあるものの、UV-Aについては酸化セリウムもしくは酸化チタンの添加により、遮蔽効果が增大することが明らかとなった。

JIS L 1925:2019に従い、波長範囲290 nm～400 nmにて算出した紫外線遮蔽率の粒子添加量依存性を図4に示す。図より、添加量1 wt%までは酸化チタン①が最も紫外線遮蔽性が高く、また、酸化チタンに比べて酸化セリウムは紫外線遮蔽性が低いことが明らかとなった。このことは、入射光によって励起状態となるバンドギャップに由来しており、酸化チタンおよび酸化セリウムのバンドギャップはそれぞれ3.0 eV、3.1 eVであることから、酸化チタンの方がよりエネルギーの低い長波長側から吸収されたためと考えられる⁴⁾。

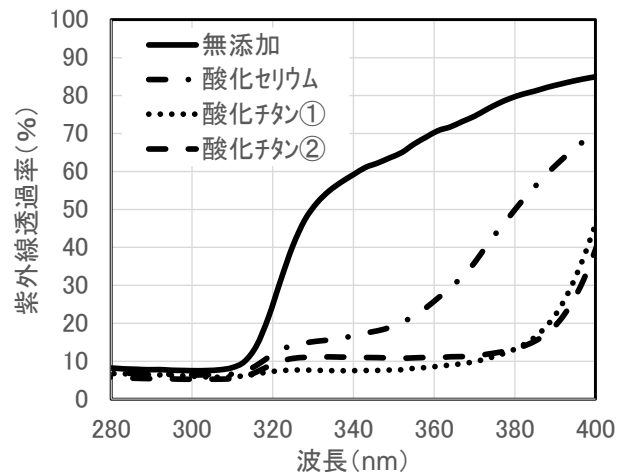


図3 試作編地の紫外線透過率

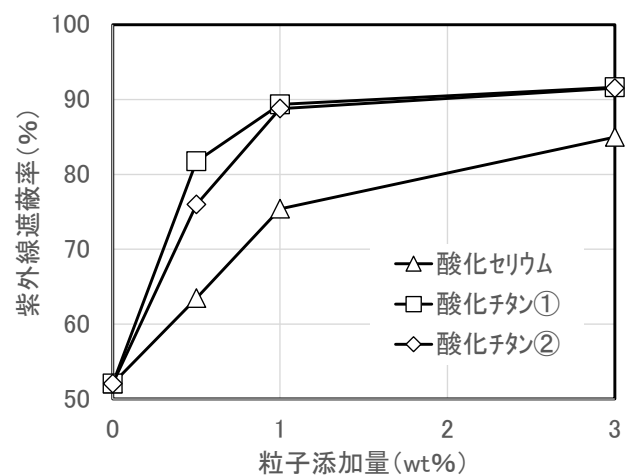


図4 紫外線遮蔽率の添加量依存性

3.2 試作編地の遮熱性評価

粒子無添加および各粒子を1 wt%含有したポリエステルの遮熱性試験結果を図5に示す。図より、ランプ照射開始から温度が上昇し、30分後の温度は無添加、酸化セリウム、酸化チタン①、酸化チタン②の順に高くなった。さらに、30分後の上昇温度について、式(1)により算出した遮熱率の粒子添加量依存性を図6に示す。図より、試作したすべての添加量で遮熱率は酸化チタン②、酸化チタン①、酸化セリウムの順となり、酸化セリウムは添加量1 wt%以下では遮熱性はほとんど見られなかった。さらに、添加量3 wt%においても遮熱率は10 %程度にとどまることが明らかとなった。一方で、酸化チタンは0.5 wt%の添加量でも遮熱性が見られ、添加量が増加するにつれて遮熱率が大きくなった。

ここで、粒子径の異なる酸化チタン①と②を比較す

ると、酸化チタン②の方が高い遮熱率を示している。これは粒子径が散乱される光の波長に近い場合、粒子による光散乱効率はその粒子径が波長の約半分で最大となることから、ポリエステル繊維中に分散した粒子径1 μmの酸化チタン②は赤外線ランプにおいて熱源となる波長780 nm以上の近赤外線を効率よく散乱したためと考えられる^{7),8)}。

以上の結果より、本研究で検討した無機微粒子の中では、粒子径1 μmの酸化チタンを添加することにより紫外線遮蔽性および遮熱性を両立できることが明らかとなった。

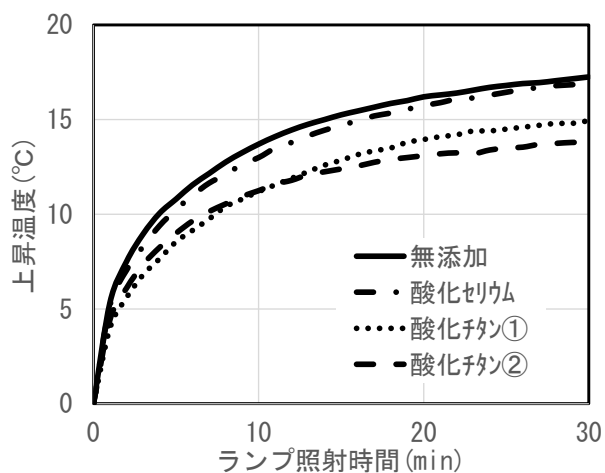


図5 試作編地の遮熱性試験結果

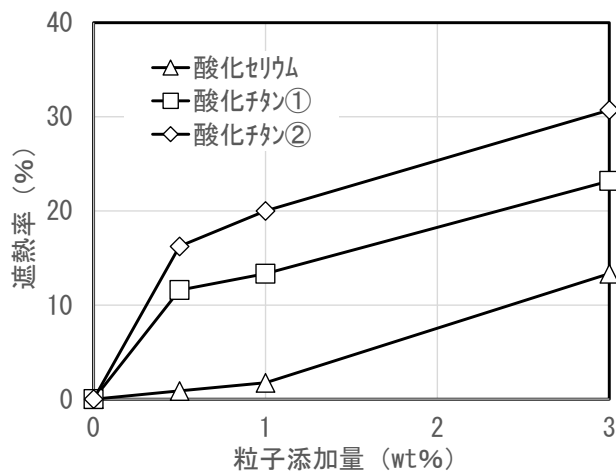


図6 遮熱率の粒子添加量依存性

4. 結 言

本研究では、ポリエステル繊維に紫外線遮蔽性および遮熱性を付与することを目的に、種々の無機微粒子を混練し、紡糸および評価用編地を試作し、紫外線遮蔽性および遮熱性の評価を行った。

その結果、酸化セリウムおよび酸化チタンを添加することで紫外線遮蔽性および遮熱性が付与されることを確認した。紫外線遮蔽性、遮熱性ともに酸化セリウムよりも酸化チタンで添加効果が高いことが明らかとなった。さらに、遮熱性については、酸化チタンの粒子径依存性が見られ、粒子径0.3 μmよりも粒子径1 μmで遮熱性が高くなることを示した。

以上より、繊維に無機微粒子を添加することにより機能性を付与できることを示した。しかし、これらの繊維を衣料や繊維資材等の実用途へ展開する際には、添加粒子による織機や編み機等の長期使用時の摩耗等の対策が必要となる。

参考文献

- 1) 長沼雅子. なぜ紫外線吸収剤が必要なのか?—太陽紫外線の皮膚に与える影響—. オレオサイエンス, 2007, vol. 7, no. 9, p.347-355.
- 2) 環境省. “紫外線環境保健マニュアル2008”
https://www.env.go.jp/chemi/uv/uv_pdf/01.pdf
(参照 2021-09-01).
- 3) 池谷宗大, 松永由紀子, 西山敏夫, 福田實, 高松翼. ヒト皮膚線維芽細胞に対する長期UVA照射の作用. 日本化粧品技術者会誌. 1999, vol. 33, no. 3, p.267-276.
- 4) 増井敏行, 足立吟也. 紫外線防御剤の開発動向. 色材. 2000, vol. 73, no. 7, p.350-356.
- 5) 若林茂一郎. 酸化チタン顔料について. 日本ゴム協会誌. 1963, vol. 36, no. 3, p.310-317.
- 6) 磯部薫. 熱線遮へい材料. 無機マテリアル学会誌. 2007, vol. 14, p. 397-402.
- 7) 出井俊治. 酸化チタン系有害光遮蔽材料の展開. 日本接着学会誌. 2010, vol. 46, no. 9, p. 345-349.
- 8) 福田淳. 機能性酸化チタン材料の開発. 生産と技術, 2014, vol. 66, no. 1, p. 54-59.