

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：34517

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00775

研究課題名（和文）安全・快適を実現するスマートテキスタイルの創製

研究課題名（英文）Creation of smart textiles for realizing safety and comfort

研究代表者

竹本 由美子（TAKEMOTO, Yumiko）

武庫川女子大学・生活環境学部・准教授

研究者番号：90581926

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：電力がなくても自ら発光する蓄光布を衣服に用いることで、災害時や夜間歩行時に着用者の安全性だけでなく、快適性も実現するスマートテキスタイルの創製を目的に研究をおこなった。蓄光布を衣服材料に用いる場合は、摩擦による外力の影響に配慮が必要であることがわかった。衣服内部で発生する蒸れ感を軽減するため、蓄光布への低温プラズマ加工によって親水性を付与した。その結果、水分移動特性が改善し、熱移動特性や風合い、りん光輝度には影響を与えず、衣環境の快適性を実現する蓄光材料として有効であることが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

災害時の避難誘導灯などは停電を想定し、光を蓄え自ら発光する蓄光材が多用されているが、蓄光材を普段着に使用することは少なく、本研究の蓄光糸や蓄光布を衣服に使用することで、予期せぬ災害時に救助する側もされる側も短時間で認識が可能になる。また、普段着への蓄光布の使用を想定した場合、着用者の衣環境の快適性も重要である。蓄光性能へ影響を与えない表面加工法を用いて親水性を付与することを新たに試み、着用者が安全で快適な衣服材料を創製することによって、蓄光性能を備えた衣服の普及に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to create of smart textiles for realizing safety and comfort by using phosphorescent fabrics, which absorb ultraviolet energy from the sun and incandescent lamps and emits light without electricity in the event of a blackout. Phosphorescent clothing help to recognize each other easily during disasters and when walking at night. In our clothing life, comfort is important as well as safety. Therefore, we tried to create phosphorescent materials with hydrophilicity by low-temperature plasma treatment and realize the comfort of phosphorescent clothes. As a result, the moisture transfer properties were improved, and the heat transfer properties, texture and phosphorescence were not affected. It was confirmed that the low-temperature plasma treatment is effective in realizing comfort with phosphorescent clothing.

研究分野：繊維材料学，衣環境学

キーワード：蓄光 プラズマ加工 親水性 スマートテキスタイル 快適性 消費性能 視認性

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

災害時や夜間歩行時など、暗闇の中で互いを認識しやすくするために、反射材や蛍光材を用いた高視認性安全服が活用されている。だが、停電時など光源がない状況では役に立たない。そこで、光を蓄え自ら発光する蓄光材が避難誘導灯などの標識には多用されている。このような蓄光材を衣服やインテリアなどに使用する場合は、布表面に蓄光材を含む樹脂を塗布しているものが多く、繊維材料としてはあまり見られない。また、反射材や蛍光材がスポーツ衣料や作業着以外で日常的に着用する衣服に用いられることは少なく、一方、蓄光材は発光していない日中は白系の色であり、衣服のデザイン性にそれほど影響を与えず、暗闇ではりん光することで効果を発揮する。このように、蓄光特性を有する布は普段着用する衣服材料に取り入れやすく、かつ予期せぬ災害時や夜間歩行時など、暗闇では着用者の視認性を高める効果が期待できる。だが、蓄光材を含む蓄光系の開発は進んでおらず、蓄光布を用いた衣服設計及び着用時の快適性についても研究がほとんどおこなわれていないのが現状である。

2. 研究の目的

蓄光材を含有する蓄光糸で蓄光布を製織し、その蓄光布を衣服に用いることで、災害時や夜間歩行時の着用者の安全性を確保することができる。本研究では安全性に加えて、日常的に着用する衣服への蓄光布の活用を目指し、着用者が快適な衣環境を得ることができる衣服を設計するため、低温プラズマ加工により親水性を蓄光布に付与した「光るスマートテキスタイル」の創製が目的である。

3. 研究の方法

(1) 各種蓄光糸（A-Muse 製、有限会社ヒロタ工織）を用いて平織・綾織・朱子織で製織した蓄光布を準備し、織組織の違いによる蓄光布の消費性能と蓄光布の発光状態の強さ（りん光輝度）への影響について確認した^{1,2)}。日常生活の中で衣服材料は、経時的な摩擦によって表面形態に影響が生じる。また、衣服は洗濯ができることが求められるため、耐洗濯性についても明らかにする必要がある。そこで、1309MaxiMartindale（James H.Heal 社製）を用いて JIS L 1096（E 法）に準じ 5000 回まで摩擦をおこなった。洗濯試験は、FOM71CLS（Electroliux 社製）を用いて JIS L 1930（A 法）に準じウェスケータ法で 40℃、蛍光増白剤無配合、1 回の洗濯を実施した。摩擦及び洗濯後の蓄光布は、表面形態の変化を走査型電子顕微鏡（S-2100、HITACHI）とデジタルマイクロスコープ（KH-1300、HiROX、Lens: MXG-2016Z）を用いて確認した。りん光輝度の変化は、JIS Z 9107「安全標識—性能分類における性能基準及び試験方法」に従い、暗室にて照度 200 lx の D65 標準光源で 20 分間照射後に消灯した直後から、蓄光布のりん光輝度を輝度計（LS-100、株式会社コニカミノルタ）にて計測した。なお、摩擦試験及び洗濯試験は（財）ニッセケン品質評価センター（防災・安全評価グループ）へ依頼した。さらに、客観的な測定だけでなく、ヒトの視覚によってりん光輝度の変化が捉えられるのか、主観的評価実験も実施した。蓄光布のりん光輝度の視認性と共に、暗闇で発光するりん光の心理的効果についても検証した³⁾。

(2) 蓄光布に低温プラズマ加工を施し、視認性を風合いの変化及び熱・水分移動特性を測定した。最初に、蓄光布への適切な低温プラズマ処理条件を探った。低温プラズマ処理には、高周波低温プラズマ処理装置（BASIC PLASMA KIT MODEL BP-1、サムコ株式会社）を用い、親水性付与を試みるため Air ガスまたは NH₃ ガスを用い、ガス流量と電力量、適切な処理時間を検討した。蓄光布の親水性を確認するため、X 線光電子分析装置（ESCA-850、株式会社島津制作所）及び FACE 接触角計（CA-X 型、協和界面科学株式会社）を用いて、布表面の元素分析と濡れ性を確認した。また、低温プラズマ処理後の蓄光布のりん光輝度の変化も確認した。りん光輝度の測定は、前述の JIS Z 9107「安全標識—性能分類における性能基準及び試験方法」に従い計測した。

蓄光布を衣服材料へ用いた場合の肌触りを確認するため、表面摩擦試験機（KES-FB4、可トーテック株式会社）を用いて布表面の滑らかさを測定した。また、着用時の「蒸れ感」を検証するため、透湿性は JIS L 1099（A-2 法）に準じ、吸湿性及び放湿性は 25℃、40%RH から 80%RH の恒温恒湿器内へ移動後の吸湿による重量変化を測定し、その後再び 25℃、40%RH の恒温恒湿器内に移し放湿による重量変化を測定した。吸水性は JIS L 1907（滴下法）、熱移動特性はサーモラボ（KES-F4、カトーテック株式会社）を用いて測定し、プラズマ処理による蓄光布の表面加工によって、衣環境をコントロールできる蓄光素材の機能性を確認した。

4. 研究成果

(1) 蓄光布の消費性能

蓄光集束撚糸で平織・綾織・朱子織に製織した蓄光布を準備し、織組織の違いによる蓄光布の消費性能について確認した¹⁾。洗濯試験前後の各種蓄光布を比較すると、綾織と朱子織のりん光

輝度が洗濯後に高くなった。一方、摩耗試験後では、糸の浮きが多い織組織の方が、りん光輝度が低下した。蓄光糸を変え、蓄光リリヤン糸や蓄光起毛糸、反射蓄光糸でも同様の実験をおこなった²⁾。図1は、実線が洗濯前後のりん光輝度、破線が摩擦前後のりん光輝度の変化を示す。反射蓄光糸を用いた蓄光布以外は、洗濯することによってりん光輝度が高くなるものが多く、摩擦においては蓄光リリヤン糸の蓄光布のみ若干高い値を示した。洗濯によってりん光輝度が高くなった原因を、デジタルマイクロスコープで蓄光布表面を観察したところ、蓄光糸の糸幅が増大していることが確認できた。洗濯することで糸の撚りが緩和し、光照射により蓄光する表面積が増えたことでりん光輝度が高くなったと推察できる。また、朱子織や綾織は糸の浮きが多いため、摩擦によって蓄光繊維の損傷が多く確認された。これが、摩擦後のりん光輝度を低下させることになったと考えられる。これらの結果から、蓄光起毛糸を用いて平織で作製した蓄光布が、最も高いりん光輝度を示すことが確認できた。だが、いずれの蓄光布においても長時間の持続性は確保できない。また、洗濯をすることで蓄光糸の撚りが緩和したことでりん光輝度は高くなるが、摩擦に対しては蓄光繊維表面への損傷が生じやすいこともわかった。衣服材料として日常的に取り扱う場合に、適切な着用及び保管時の留意点を明らかにすることができた。

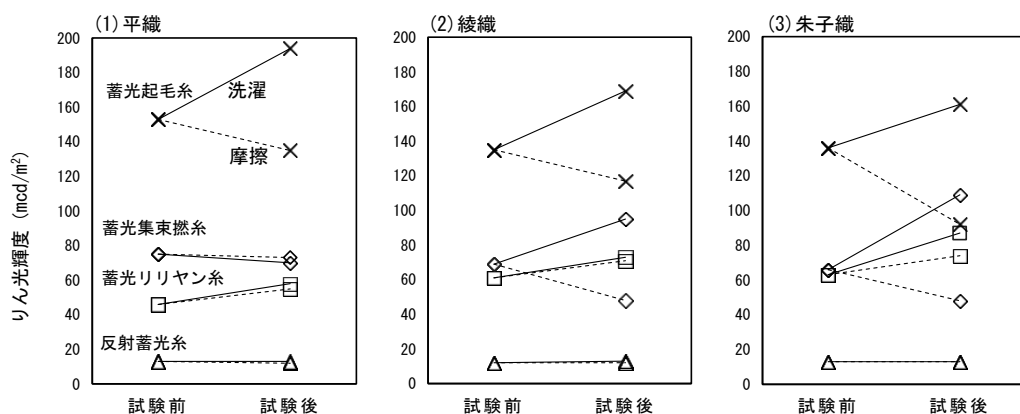


図1 各種蓄光糸を用いた平織・綾織・朱子織の洗濯試験及び摩擦試験前後のりん光輝度の変化

(2) 蓄光布の視認性と心理的効果

各種蓄光糸の中で、最も高いりん光輝度を示した蓄光起毛糸を用いて蓄光布とし、恒温恒湿の暗所環境下で被験者にりん光状態の蓄光起毛布を提示した場合の唾液アミラーゼ活性値の測定と、7段階SD法による主観評価をおこない、異なる光源で励起された蓄光布のりん光が、生理・心理反応に及ぼす影響について検証した³⁾。その結果、主観評価では「見えやすい」、「軽快な」で有意差が見られたが、光源による評価の違いはほとんどなく、「安らぎのある」、「落ち着く」などでも高評価が得られた。光源によって励起された蓄光布のりん光輝度が高ければ、りん光の緑色をより強く知覚することになるため、安らぎをもたらす緑色の効果によって、唾液アミラーゼ活性値が低下する傾向を示したと考えられる。これらの研究結果より、蓄光布のりん光が人に安らぎをもたらす可能性が示唆された。

(3) 蓄光布への低温プラズマ加工と視認性及び風合いの変化

先の研究では蓄光起毛糸が最も高いりん光輝度を示したが、均一な低温プラズマ加工及び布表面の水分的特性の変化を接触角測定で確認することが難しいため、以降の実験では蓄光集束燃糸を用いて製織した蓄光布を用いることとした。親水性付与のためAirガス及びNH₃ガスによる処理をおこなうにあたり、蓄光布への適切な低温プラズマ処理条件について、ガス流量と電力量、処理時間を変えて検討した。Airガスによる処理では、ガス流量50cm³(STP)/min、電力量50W、処理時間1分でも表面の親水化が可能であることが確認できた。NH₃ガスも同じくガス流量と電力量、処理時間を変えて検討したが、親水性付与はAirガスの方が速やかに親水化でき、ガスの安全性と簡便性を考えるとAirガスを使用する方が効率的であったため、以降の低温プラズマ加工は、Airガスを用いることとした。図2は低温プラズマ処理条件の1つであるガス流量を変化させた場合の水接触角の結果である。

また、低温プラズマ加工を施した蓄光布のりん光輝度を測定した。低温プラズマ処理時間が5分以内であれば、りん光輝度には影響が生じていなかった。また、低温プラズマ処理をおこなった蓄光布を衣服材料へ用いた場合の肌触りを確認するため、表面摩擦試験機を用いて布表面の

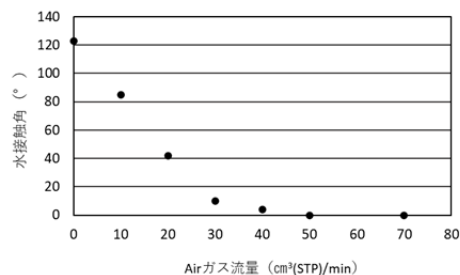


図2 Airガス流量に伴う水接触角の結果 (電力量50W、処理時間1分)

滑らかさを測定した。低温プラズマ処理前後での布表面の滑らかさには違いが確認できず、今回の処理条件での低温プラズマ処理による親水性付与は、風合いに影響を及ぼしていないことが明らかとなった。

(4) 低温プラズマ処理を施した蓄光布の熱・水分移動特性と蒸れ感

着用時の「蒸れ感」を検証するため、吸水性、吸放湿性、透湿性、熱移動特性を測定した。低温プラズマ加工により蓄光布へ親水性を付与した結果、布表面に滴下した水滴は瞬時に吸水した。吸放湿性を測定したところ、図3のように低温プラズマ処理1分では吸湿量はほとんど変わらず、処理時間5分において2.5倍の吸湿量を示した。また、吸湿量が増えたことによって放湿速度は若干低下したが、放湿20分後には平衡状態に達した。だが、蒸れ感を軽減できる吸放湿量には至らなかった。Airガスによる低温プラズマ加工は、蓄光繊維の表面に親水基を付与するものの、繊維内部への関与は無く、蒸れ感を軽減するほどの効果が得られなかったと推察する。

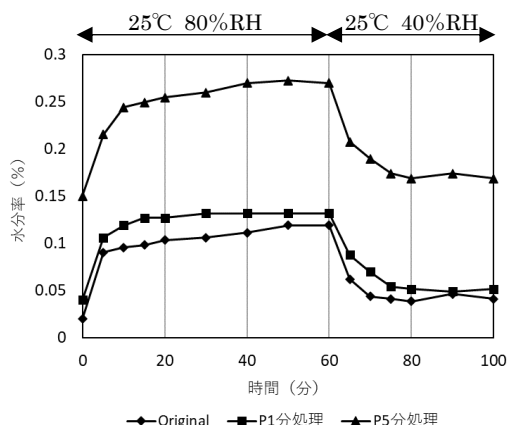


図3 低温プラズマ加工による吸放湿性の変化

これらの水分移動特性も影響し、低温プラズマ加工によって透湿性もわずかに改善傾向がみられたが、織密度を変化させた場合の方が透湿性の改善は顕著であった。熱移動特性に関しては、原布の蓄光布の接触冷感値はレーヨン織布と同程度であったが熱伝導性は低く、また、密度の違いによって保温性は異なる結果となった。低温プラズマ処理の有無による熱移動特性への影響は生じないことが確認できた。

本研究により、低温プラズマ加工を用いて蓄光布への親水性を付与し、衣環境を快適にコントロールできる機能性を付与した蓄光素材の知見を得ることができた。蓄光繊維の表面だけでなく、裏面にも異なるガスを用いてプラズマ処理を施すことで表裏異なる機能性を付与することも確認できた。外衣として用いる場合には、表面は撥水性を付与し裏面は親水性を付与することによって、衣服内部の蒸れ感を軽減しつつ雨等の侵入を防ぐことができる。このように、様々な環境に応じて衣環境を快適にコントロールできる「光るスマートテキスタイル」は、災害時や夜間歩行時の着用者の安全性を確保するとともに、快適性も備えた蓄光材料として期待できる成果を得た。

<引用文献>

- 1) 谷明日香、小野寺美和、竹本由美子、集束撚糸を用いた蓄光布の表面状態がりん光輝度に及ぼす影響、四天王寺大学紀要、第66号、2018、277-286.
- 2) 竹本由美子、小野寺美和、谷明日香、蓄光布を用いた高視認性衣服の創製に向けて、日本家政学会被服材料学部会報 第34号、2019、9-14.
- 3) 谷明日香、竹本由美子、小野寺美和蓄光布のりん光がヒトの生理・心理反応に及ぼす効果、日本家政学会被服衛生学部会報 第39号、2020、2-8.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 谷明日香, 竹本由美子, 小野寺美和	4. 巻 39
2. 論文標題 蓄光布のりん光がヒトの生理・心理反応に及ぼす効果	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本家政学会被服衛生学部会報	6. 最初と最後の頁 2-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 竹本由美子, 小野寺美和, 谷明日香	4. 巻 34
2. 論文標題 蓄光布を用いた高視認性衣服の創製に向けて	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本家政学会被服材料学部会報	6. 最初と最後の頁 9-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 谷明日香, 小野寺美和, 竹本由美子	4. 巻 66
2. 論文標題 集束燃糸を用いた蓄光布の表面状態がりん光輝度に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 四天王寺大学紀要	6. 最初と最後の頁 277-286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小野寺美和, 谷明日香, 竹本由美子
2. 発表標題 蓄光素材を取り入れた児童向け高視認性安全ベストの提案
3. 学会等名 日本家政学会第72回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹本由美子, 谷明日香, 小野寺美和
2. 発表標題 蓄光布の光が人間の心理反応に及ぼす影響
3. 学会等名 日本家政学会第71回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野寺美和, 竹本由美子, 谷明日香
2. 発表標題 災害時の高視認性安全服の役割－蓄光布の光がヒトに与える影響－
3. 学会等名 日本家政学会被服衛生学部会 第38回被服衛生学セミナー
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	谷 明日香 (TANI Asuka) (30413446)	四天王寺大学短期大学部・その他部局等・准教授 (44422)	
研究分担者	澤渡 千枝 (SAWATARI Chie) (70196319)	武庫川女子大学・生活環境学部・教授 (34517)	
研究分担者	小野寺 美和 (ONODERA Miwa) (90523762)	甲南女子大学・人間科学部・准教授 (34507)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------