

＜研究課題＞高視認性安全服と新規の蓄光布を用いて視認性及び持続性に優れ

社会的弱者の安全に配慮したスマートテキスタイルの創製

代表研究者 甲南女子大学 人間科学部 生活環境学科 准教授 小野寺 美和

共同研究者 大阪樟蔭女子大学 学芸学部 化粧ファッション学科 准教授 谷 明日香

武庫川女子大学 生活環境学部 生活環境学科 准教授 竹本 由美子

【抄録】

本課題研究は、蓄光材が練り込まれた糸を用いて蓄光布を創製し、高視認性安全服の設計指針を提案するものである。蓄光材は、光を蓄え暗所で燐光する特性をもつ。燐光する高視認性安全服の実現は、災害時に被災者が救助者の存在を視覚的に確認でき、救助者は救助に掛かる時間短縮が可能になる。また、平常時においても夜間の交通事故の減少も期待でき、特に社会的弱者の事故を未然に防ぎ歩行者と運転手、双方の不安感を和らげることができる。

そこで、創製した蓄光布の力学的特性や消費性能を明らかにした上で、燐光を知覚したヒトの生理・心理反応への影響を測定した。その結果、製織した蓄光布の燐光輝度は一般の燐光材料の基準より低いが暖色系の蓄光布の視認性が高いことが明らかになった。また、高視認性安全服の設計にあたり、蓄光布の配置箇所が多いほど、唾液アミラーゼ活性値と心理測定値が上昇する傾向がみられた。

1. 研究の目的

海外では、ヒトを迅速に認識し暗闇でも目立つような衣服「高視認性安全服」(着用者の存在について視覚的に認知度を高めた衣服¹⁾であり、「蛍光素材」や「再帰性反射素材」が用いられている)の着用が義務付けられている。ところが、日本での採用は少なく今後の普及や利用拡大が求められる。

高視認性素材の一つである蓄光素材は、蛍光素材や再帰性反射材とは異なり、光を蓄えることで光が無い暗闇でも燐光する。そのため、災害時のブラックアウト直後でも高い視認性が認められることから避難誘導灯にも使用され^{2,3)}、様々な研究も行われている⁴⁻⁶⁾。そこで本研究では、この蓄光材が練り込まれた蓄光糸から蓄光布を創製し、衣服として用いるための力学的特性や消費性能を明らかにした上で、燐光輝度の持続性や燐光を知覚したヒトに与える生理・心理的な影響について明らかにした。今回は、蓄光布がどの程度の耐久性をもち燐光するか、更に、蓄光布を知覚するヒトの生理・心理反応に与える影響を、唾液アミラーゼ活性値と心理測定の結果を基に解明し、これまでには無い新たな蓄光衣服の設計指針を提案した。

2. 研究方法

2-1 試料

本研究では、フジボウテキスタイル株式会社が開発した蓄光糸を使用した。この糸を8色相(White, Blue, Purple, Green, Yellow, Orang, Pink, Off-White)に染色し(ジャック株式会社製)、色毎に製織(経糸:ポリエステル、緯糸:蓄光糸)した蓄光布3種類(平織、綾織、朱子織)を実験1の試料とした。また、衣服設計に取り入れやすいアイテムの一つとして、実験2の試料は、蓄光布3種類をアルミニウムのシェルに纏わせ

た胡桃釦(縦2.5 cm×横2.5 cm)を準備した。実験3では、市販のKARACASU社製ポリエステル繊維の蓄光布を用いた。

2-2 測定方法

(a) 蓄光布の燐光輝度

蓄光材は、光を吸収すると蓄光原料の電子が励起され、電子エネルギーが外側の高い起動に遷移し励起状態となり、光を吸収しなくなると元の基底状態に戻ろうとして、余分な電子エネルギーが光として放出される。この発光現象による光の強さが燐光輝度としてヒトに知覚される⁷⁾。現在、燐光輝度の測定については、繊維JIS規格に蓄光に関する記述がない⁸⁾ため、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」⁹⁾における「5.2.2. 燐光材料の最低燐光輝度」を参考に照度200 lxの常用光源蛍光ランプD₆₅で20分間励起させた後、暗闇で曝露させた蓄光布の燐光輝度を測定した。この中で、蓄光材料の最低燐光輝度は、表1に示す4つの副分類のいずれか1つに該当しなければならないと設定されている。最低燐光輝度はJAである。

表1 常用光源蛍光ランプD₆₅を用いた
燐光材料の最低燐光輝度

(単位: mcd/m ²)					
副分類	2分後	10分後	20分後	30分後	60分後
JA	210	50	24	15	7
JB	440	105	50	31	15
JC	880	210	100	62	30
JD	1760	420	200	124	60

出典: JIS Z 9107:2008

(b) 蓄光布の耐久性

洗濯試験(JIS L 1930 A4N・5回繰返しを全ての試料同浴で実施)と摩耗試験(JIS L 1096 箇条 8.19.5E 法の「マーチンデール法」)を行った。色の異なる蓄光布に対して、①初期、②洗濯処理後(タンブル乾燥後)、③洗濯処理後(吊干し後)、④摩擦試験を行い、

各々燐光輝度測定値をとおして色毎の特徴を比較検討した(実験 1)。

(c) 蓄光布を知覚したヒトの生理・心理反応

(i) 実験期間と実験環境

実験は 2021 年 12 月～2023 年 3 月中旬に実施した。実験環境は、暗所環境を再現できる VR-HMD(株式会社 FOVE)を使用し VR に仮想空間を再現した。VR 空間視聴中の視線を計測するため、赤外線視線追跡機能が付与された VR ヘッドセットを用いた。当該 HMD には、前額部に携帯型脳活動計測装置 HOT-2000(株式会社 Neu)が取付けられている。HOT-2000 は、脳活動に関連する血流量変化について近赤外光を用いてモニタリングするウェアラブルデバイスである(図 1)。

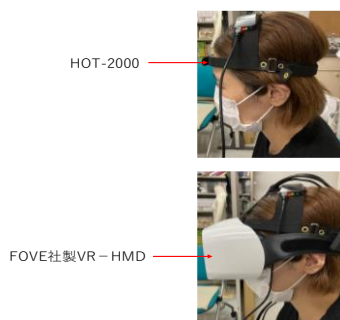


図 1 各計測機器を装着した被験者

実験は三村ら¹⁰⁾の研究を踏まえ、被験者に負荷を与えるものではなく視線挙動に影響が生じるものではないことを確認した上で図 1 のように機器を装着し計測を行った。

(ii) 被験者

本研究には、20 代の女子大学生 7 名が参加した。測定時間は、概日リズムおよび性周期を考慮した低体温期の同一時間帯(12:30-15:30)に設定し、被験者は食事を実験実施前 2 時間以上控えた。被験者に対して、事前に、当該実験の意義や目的、方法や安全性等を十分に説明し、測定への同意を得た後、実験を行った。本研究は、甲南女子大学の研究倫理委員会において承認済みであり(承認番号 2022033, 2022 年 10 月 28 日)、ヘルシンキ宣言に基づく倫理的原則を遵守して実施した。

(iii) 光源の種類

光源の種類は日常を想定し、次の 3 条件とした。1 つ目は、昼光(間接光)相当の光源である常用光源蛍光灯 D₆₅(以下、第 1 光源)である。この第 1 光源の特徴は、人間が知覚する波長である可視光を満たす波長域 380 nm～780 nm を平均的に有している。2 つ目の光源は、白熱電球に相当するタングステンランプ(以下、第 2 光源)であり、波長域は 320 nm～3000 nm を有する。3 つ目の光源は、紫外線に相当する UV 光源(以下、第 3 光源)である。可視光より短い波長域の近紫外線 265 nm～405 nm を有している。なお、前述の蓄光布の耐久性に関する燐光輝度測定では JIS 規格の規定に準

拠し、200 lx の常用光源蛍光灯 D₆₅(第 1 光源)で実施した。一方、第 2 光源と第 3 光源は、照度条件を揃えるために光源ボックス(GTI Graphic Technology Inc ,GTI MiniMatcher® MM-2e:高さ 33 cm×幅 46 cm×奥行き 25 cm)を用いた。上記の光源を 8 色相の蓄光布に一定時間励起させた。

(iv) 静止画・動画撮影方法

実験 2-①は、8 色相の蓄光布は 10° 視野(被験者と胡桃釘「直径 2.5 cm」との距離を 15 cm)とした。実験 2-②では被験者と可動関節マネキンとの距離を 2m とした。上記の様子を、ヘッドマウントカメラ(movio 社製 WiFi 機能搭載 4K Ultra HD M308HMCAM)で撮影した。

(iv) 生理・心理反応の測定

実験 2 の生理反応の測定では、燐光がヒトに与える影響を定量的に得る手法^{11,12)}として、唾液アミラーゼ測定器(ニプロ株式会社製)を用いた。

この測定器はストレス負荷¹³⁾に対する反応バイオマーカーであり、唾液アミラーゼ活性値の測定をすることができる。実験者は、被験者の舌下部に唾液採取チップのシートの先端を置き約 30 秒後の唾液を採取した後、測定器にセットし約 20 秒後の唾液アミラーゼ活性値を記録した。

なお、本測定器における成人の唾液アミラーゼ活性度の基準値は 0～30KU/L である。31～45KU/L は「ややストレスを感じている」、46～60KU/L は「ストレスをかんじている」、61KU/L 以上は「かなりストレスを感じている状態」を示す¹⁴⁾。データの解析方法は、次のとおりである。実験 2-①暗闇に曝露した時の生理・心理反応評価実験結果には、時間(知覚前後)と条件(織 3 種類と 8 色相)によって唾液アミラーゼ活性値が異なるかを被験者間 2 要因分散分析(繰り返しあり)から検討した。

同様に、実験 2-②人体に配置した状態で行う視認性評価実験の結果には、時間(知覚前後)と先行研究¹⁵⁾より得られた図 2 に示す人体体表区分(i 肩～上腕・前腕、ii 大腿～下腿、iii 上肢の胸部・腹部、更に今回新たに iv 頭部側面を加えた合計 4 カ所)を基に行った。①と②の結果については、蓄光布それぞれを励起した際の唾液アミラーゼ活性値の変化率やヒトの心理測定の差が統計的に有意か確かめるため、Excel 統計 Ver.4 用いて対のある t 検定を行った。

なお、有意水準はいずれも 5%とした。

(i) (ii) (iii) (iv)

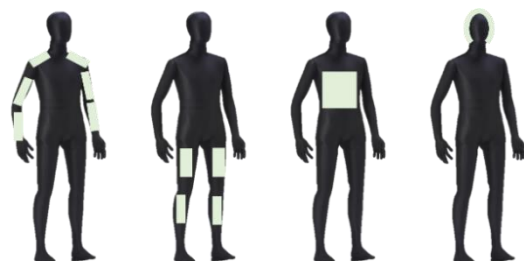


図 2 4 カ所の人体体表区分

なお、実験 2-②では人体体表区分に蓄光布を配置するため、KIT マネキン社製の可動関節マネキン【B(バスト)94 cm, W(ウエスト)79 cm~83 cm, H(ヒップ)93 cm, 肩幅 43 cm, T(身長)180 cm】を用いた。

実験 2 の心理反応の測定（主観評価）では、「服装により生起する感情状態尺度」¹⁶⁾の肯定的感情状態 4 項目から各項目 1 語を、否定的感情状態 3 項目から各項目 1 語を各々抽出した計 7 語(うきうきする/イライラする, すっきりした「爽快な」/憂鬱な, 落ち着いた/落ち着かない, 上品な/下品な, くつろいだ/緊張した, 安心する/不安な, 安らいだ/動揺した)と, 好感や視認性を考慮した 3 語(好き/嫌い, ひきしまった/ゆがんだ, すっきりした/ぼやけた)を加えた計 10 語の形容詞対について 5 段階尺度(±2「かなり」, ±1「やや」, 0「どちらでもない」)の SD 法により実施した。上記に加え, ①では視線が集まる上位 3 色の蓄光布に対して, 8 語(好き, うきうきした, 落ち着いた, きどった, 安心した, イライラした, 落ち着かない, 緊張した)を, ②ではマネキンの存在感に対する 8 語(目立つ, 複雑な, 興奮した, 強い, 明るい, くどい, 動的な, 派手な)について, 各々 5 段階のリッカート尺度(5.とてもそう思う, 4.ややそう思う, 3.どちらともいえない, 2.あまりそう思わない, 1.まったくそう思わない)で回答させた。

(v) 実験のプロトコル

被験者が VR 視線計測器を装着して確認した動画のプロトコルを図 3 に示す。唾液の採取は装置装着時, 各種映像鑑賞後, 終了時に各々行った。

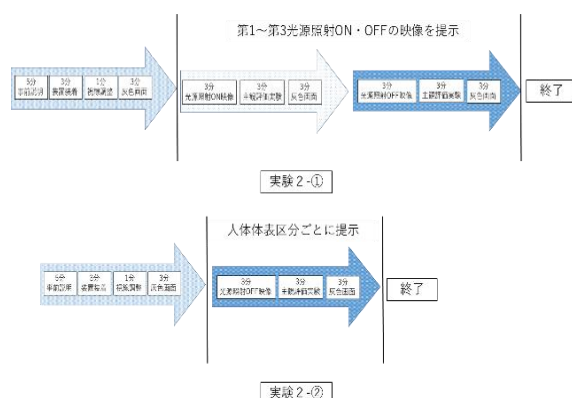


図 3 実験 2 の流れ

3. 研究成果

3-1 蓄光布の燐光輝度と耐久性

蓄光布の織組織の違いと暗闇に曝露後 2 分の燐光輝度を比較した結果を図 4 に示す。低明度・低彩度の Off-White や, 無彩色の White の燐光輝度が, 他の色相と比較して高いことから, 色相の違いが燐光輝度に与える影響が明確になった。

また, 燐光輝度で高い結果が得られた Off-White 蓄光布の耐久性を洗濯・摩擦試験により比較した結果, 著しい燐光輝度の変化

は見られなかったが, 朱子織が最も燐光輝度が高い傾向を示した。総じて燐光性能は持続可能であると結論づけられる。

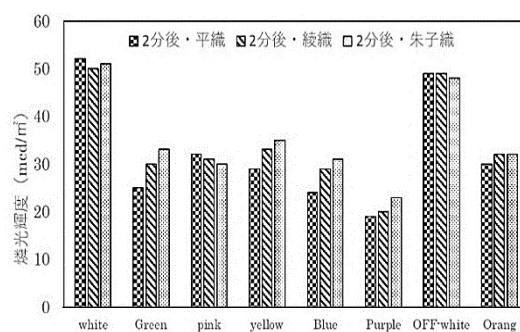


図 4 暗闇曝露後 2 分の燐光輝度

3-4 VR 視線計測器で得られた視認性と心理的影響

図 5 には, VR 視線計測器で各種蓄光布を視認したときの VR 画像を示す。光源の有無による主観評価とアミラーゼ活性値を比較した。光源を有する際の主観評価では「くつろいだ, 安心する, 安らいだ, 好き」で高くアミラーゼ活性値は低かった。燐光時は「憂鬱な, 不安な, 動揺した, ぼやけた」で評価値とアミラーゼ活性値の両方で高いことが分かった。曝露時には, 燐光輝度が低い暖色系の色相(Orang, Pink)に視線が集中することが分かった。

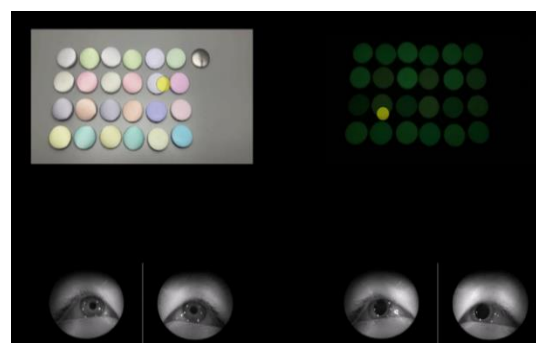


図 5 光源の有無と各種蓄光布の視認状況

図 6 に人体体表区分に蓄光布を配置した状況を示す。配置した箇所が(i)1 カ所~(v)4 カ所と増えるに従い, マネキンの存在感に対する 5 語(目立つ, 複雑な, 明るい, 動的な, 派手な)で主観評価値とアミラーゼ活性値の両方が高いことが分かった。

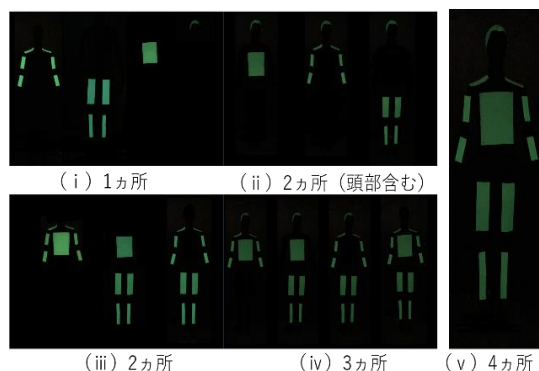


図6 人体体表区分と視認性

(iv)の中でも特に(頭部+上肢+下肢や頭部+胸部+下肢)が、また(v)に塗布すると、「動的な」と回答することが分かった。

以上、本研究では蓄光布を創製し、高視認性蓄光衣服の設計指針を提案することを目的に、蓄光布の力学的特性や消費性能を明らかにするとともに、蓄光布の発する燐光がヒトに与える生理・心理的影響を測定した。その結果、朱子織で製織した Off-White の蓄光布の燐光輝度が高く、持続性を維持した。また、燐光輝度の低い暖色系の色相に視線が集中することが明らかになったほか、蓄光布の配置面積が大きいほど、主観評価値と唾液アミラーゼ測定値が上昇することが明らかとなった。

4. 今後の課題

本研究で用いた各種蓄光布では最低燐光輝度「JA」には至らなかったことから、平面で扱っていた蓄光布を起毛させ立体的に形成することで、視認性と燐光性能の持続性を高めることを検討中である。VR 視線計測の被験者を未就学児～高齢者へと広げ全体の傾向を多変量解析から検討する予定である。

5. 研究成果の公表方法

本研究の成果は、2023 年度に日本家政学会、日本繊維機械学会、日本繊維製品消費科学会、避難所・避難生活学会、日本衣服学会などで口頭発表を、日本感性工学学会、日本家政学会「被服心理学部会、被服構成学部会、被服衛生学部会」等で学術論文として発表をすることを予定している。

6. 参考文献

- 1) 吉井秀雄著,一般社団法人日本高視認性安全服研究所 監:高視認性安全服,青葉印刷,2017
- 2) 竹中直:高視認性衣服の評価試験及び蓄光素材の発光原理と評価 試験,繊維製品消費科学学会誌,55,6,452-456,2014
- 3) 防災・減災避難誘導標識システム普及委員会:防災・減災避難誘導標識システムガイドブック,公益社団法人日本保安協会,一般社団法人日本標識工業会,2017

- 4) 須藤敦史,松井豊,石本孝広,荒井洋,吉川進,小林克司:蓄光材料を用いた電源を必要としない避難誘導・指示器具の開発,土木学会論文集 F6,69,2,I13-18,2013
- 5) 上嶋一生,藤田晃弘,竹内信義,村山秀彦,金坂香里:蓄光式避難誘導標識の視認性に関する研究,人間工学,40,Supplement 号, 350-351,2004
- 6) 林田和人,渡辺仁史:暗闇での避難時における蓄光階段の有効性 に関する研究,日本建築学会技術報告集,13,26,721-724,2007
- 7) 一般社団法人日本標識工業会:機能素材蓄光素材ガイドブック,1-2,一般社団法人日本標識工業会,2016
- 8) 竹中直:蓄光という素材について,繊維消費科学,54(4),313-318,2013
- 9) 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,2008
- 10) 三村 泰広,樋口 恵一,中村 陸,戸村良,吉田 慎治,楊 甲,安藤 良輔:ヘッドマウントディスプレイを用いた高齢運転者の無信号交差点での空間認知に関する研究,交通工学論文集,7(2) A_68-A_77,2021
- 11) Groza P, et al:Postoperative salivary amylase changes in children,Rev Roum Physiol. 14(8),307-312,1971-04
- 12) Rl speirs,et al:The influence of sympathetic activity and isoprenaline on the secretion of amylase from the human parotid gland Archives of Oral Biology 19 (9), 747-752, 1974-09
- 13) 白川昌一,手島一也:薬学教育における CBT のストレスについて,教育開発センタージャーナル,4(59),59-64,2013
- 14) 白川晶一,手島一也:薬学教育における CBT のストレスについて,教育開発センタージャーナル, 4(59), 59-64, 2013
- 15) 小野寺美和:「JIS Z 9107」に相当する蓄光布を用いた衣服設計に向けて - JIS T 8127(高視認性安全服)の規格を参考に,被服構成学部会会報,第 41 号,pp.16-17,2020
- 16) 西藤栄子,中川早苗,藤原康晴:服装によって生起する多面的感情状態尺度の作成 繊維機械学会誌 48 (4), T105-T112, 1995

Creation of Smart Textiles with High Visibility and Persistence Using High-Visibility Safety Clothing and Novel Light-Storing Fabrics

Creation of smart textiles for the safety of the socially vulnerable

Primary Researcher:

- Miwa Onodera, Associate Professor, Konan Women's University, Department of Human Sciences, Department of Living Environment

Co-researchers:

- Asuka Tani, Associate Professor, Osaka Shoin Women's University, Faculty of Arts and Sciences Department of Cosmetics and Fashion
- Yumiko Takemoto, Associate Professor, Mukogawa Women's University, Faculty of Living Environment, Department of Living Environment

Abstracts

This research proposes a design guideline for high-visibility safety clothing by creating a luminescent fabric using a yarn with a luminescent material kneaded into it.

The phosphorescent material has the property of storing light and becoming phosphorescent in the dark. The realization of highly visible phosphorescent safety clothing will enable victims to visually confirm the presence of rescuers in the event of a disaster, and will enable rescuers to shorten the time required for rescue operations. In addition, it can be expected to reduce the number of traffic accidents at night during normal times, especially for the socially vulnerable, and to alleviate the anxiety of both pedestrians and drivers.

We investigated the mechanical properties and consumption performance of the fabric, and measured the effects of phosphorescence on the physiological and psychological responses of people who perceive phosphorescence.

The results showed that the phosphorescent luminance of the woven phosphorescent fabrics was lower than that of ordinary phosphorescent materials, but the warm-colored phosphorescent fabrics were highly visible.

In addition, salivary amylase activity and psychometric values tended to increase as more phosphorescent fabrics were placed in the design of high-visibility safety clothing.