

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：34507

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K02382

研究課題名（和文）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蓄光服の創製

研究課題名（英文）Creation of light-storing garments using new light-storing fabrics that are highly visible, long-lasting, and safe for the socially vulnerable.

研究代表者

小野寺 美和（ONODERA, MIWA）

甲南女子大学・人間科学部・准教授

研究者番号：90523762

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：蓄光材は光を蓄え暗所で燐光する。この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。平常時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、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分かった。高視認性安全服の設計に際し、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。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、警視庁は車社会の進展や防災対策として、薄暮夜間における歩行者や自転車利用者の交通事故防止を図るために、再帰反射素材の被覆着用を推奨する活動を行っているが、デザイン性や着心地等の問題点から利用拡大には至っていない。本研究では自由なデザインにすることが可能な蓄光布が、防災・防犯対策に十分な物性を備えていることを明確に提示することができれば社会的弱者の安全を守る服として利用拡大が期待できる。着心地と視認性に優れた、エコテックス規格100に基づく蓄光布の実用化ができれば、災害時の特殊服としてだけでなく、社会的弱者の日常着としての発展応用も可能であるため、広く社会に貢献できると言える。

研究成果の概要（英文）：The phosphorescent material stores light and becomes phosphorescent in the dark. The realization of this highly visible safety clothing will enable victims to visually confirm the presence of rescuers in the event of a disaster, and will allow rescuers to shorten the time required for rescue operations. It is also expected to reduce the number of traffic accidents during the nighttime, especially for the socially vulnerable, and to alleviate the anxiety of both pedestrians and drivers.

The mechanical properties and consumption performance of the fabric were clarified, and the effects of phosphorescence on the physiological and psychological responses of humans were measured. In the design of high-visibility safety clothing, salivary amylase activity and psychometric values tended to increase as more phosphorescent fabrics were placed.

研究分野：アパレル感性工学

キーワード：蓄光素材 衣服 りん光輝度 感性工学 視知覚 社会的弱者 災害/防災 交通安全

様式 C - 19, F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、人々の防災の意識は高まっており、突然の災害時に備える物や行動などの情報は、内閣府の防災情報や気象庁、また、各自治体のホームページを通して簡単に入手できるようになっている。しかし、生活の3本柱といわれる衣食住のうち、衣服に関する情報提供は未だに少ない。

そこで我々は、高視認性素材を取り入れた衣服設計に取り組み、人命救助に当たる方々の衣服や、被災者(特に、高齢者や幼児など)が日常的に被覆する服や小物などのアイテムに取り入れるなど、突然起こる災害や事故時において、暗所でも情報収集や災害救助の応援、避難など迅速な対応を支援する衣服設計を目指した研究を進めてきた。現在、高視認性安全服として存在する衣服には、着用者の存在について視覚的に認知度を高めるために蛍光生地と再帰性反射材が用いられている¹⁾。全ての方向の視認性(360°の視認性)を確保するために、蛍光生地は水平方向の帯状に、再帰性反射材は胸部、脚部および腕部を一周して配置されていることが重要な要素とされている。こうした高視認性安全服は、主に海外で路上や作業現場での車両事故リスクを減らすための安全を確保する目的で採用されているが、日本での採用は少ない。

2. 研究の目的

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、光を蓄えておけば光が無い暗闇でも燐光することができる。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、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・心理的影響について明らかにする。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する。

3. 研究の方法

3-1 試料

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, Orange, 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2.5cm×横2.5cm)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。

3-2 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

副分類	(単位: mcd/m ²)				
	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、初期、洗濯処理後(タンブル乾燥後)、洗濯処理後(吊干し後)、摩擦試験後を行い、各々燐光輝度測定値を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)が取り付けられている。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)。

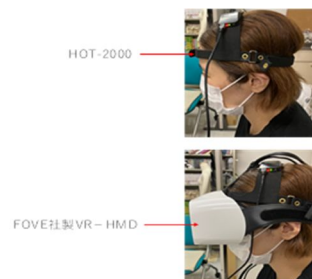


図1 各計測機器を装着した被験者

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ちた波長域380nm～780nm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320nm～3000nm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265nm～405nm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、200lx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33cm×幅46cm×奥行き25cm)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- は、8色相の蓄光布は10°視野(被験者と胡桃釘「直径2.5cm」との距離を15cm)とした。実験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」、61LU/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- 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(繰返しあり)から検討した。同様に、実験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(肩～上腕・前腕、大腿～下腿、上肢の胸部・腹部、更に今回新たに頭部側面を加えた合計4カ所)を基に行った。この結果については、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。

() () () ()

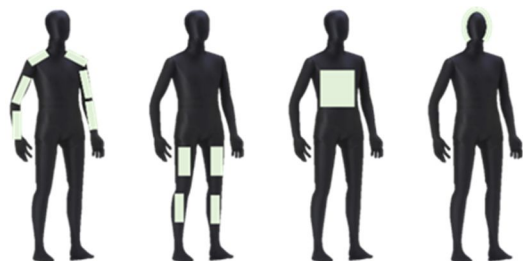


図2 4カ所の人体体表区分

なお、実験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、 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、 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。

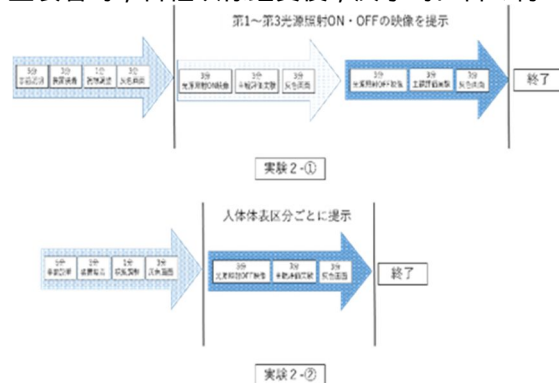


図3 実験2の流れ

4. 研究成果

4-1 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があった。

このことは、強伸度が朱子織 655N/2cm > 綾織 619N/2cm > 平織 233655N/2cmの順で強いことが影響しているものと考えられるが、総じて燐光性能は持続可能であると結論づけられる。

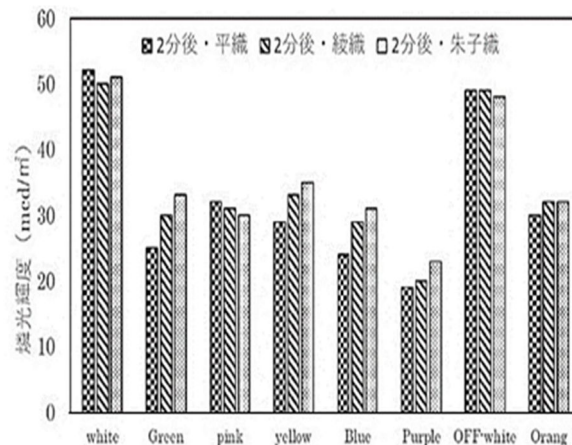


図4 暗闇曝露後2分の燐光輝度

4-2 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。

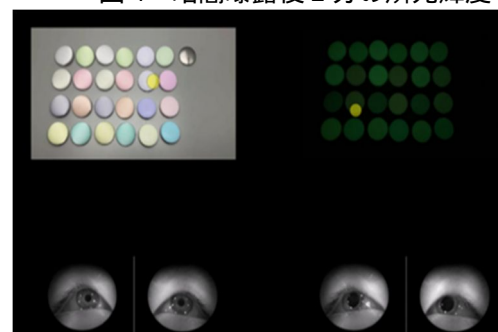


図5 光源の有無と各種蓄光布の視認状況

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()1カ所~()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。

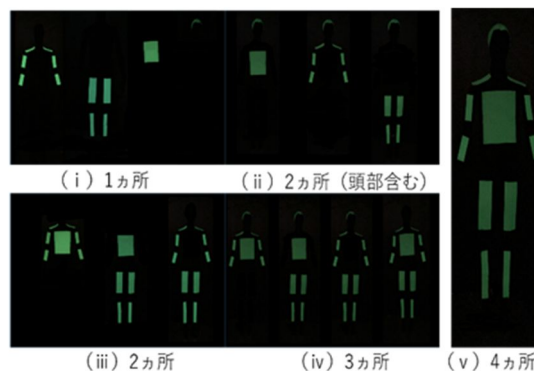


図6 人体体表区分と視認性

()の中でも特に(頭部+上肢+下肢や頭部+胸部+下肢)が、また()に塗布すると、「動的な」と回答することが分かった。今回、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、朱子織で製織した白色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。

<引用文献>

- 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, 113-18, 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) RI 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
- 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

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 5件）

1. 著者名 竹本由美子、谷明日香、小野寺美和	4. 巻 9
2. 論文標題 「繊維リサイクル・リデュース・アップサイクルによるSDGSへの取り組み - 「ステナイデア2021」研究展示報告	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 武庫川女子大学 生活環境学部 生活環境学科教育・研究誌9号 生活環境学研究	6. 最初と最後の頁 28-31
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 小野寺美和、谷明日香、竹本由美子	4. 巻 41
2. 論文標題 「緊急時に迅速な対応を支援する高視認性素材を用いた衣服設計」	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 被服衛生学部会部会報 第41号	6. 最初と最後の頁 2-7
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 -
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 JIS Z9107に相当する蓄光布を用いた衣服設計	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 （社）日本家政学会被服衛生学部会 被服衛生学	6. 最初と最後の頁 2-9
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 -
1. 著者名 小野寺美和、竹本由美子、谷明日香	4. 巻 38
2. 論文標題 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～	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第38回被服衛生学セミナー要旨集 テーマ「災害と被服衛生学」	6. 最初と最後の頁 20-21
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 小野寺美和	4. 巻 41
2. 論文標題 「JIS Z 9107」に相当する蓄光布を用いた衣服設計に向けて	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本家政学会被服構成学協会誌	6. 最初と最後の頁 16
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 竹本由美子、小野寺美和、谷明日香	4. 巻 7
2. 論文標題 高視認性素材を用いた取り組みと課題	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 武庫川女子大学生生活環境学研究	6. 最初と最後の頁 28-33
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 谷明日香, 小野寺美和, 竹本由美子
2. 発表標題 備蓄物資を活用した防寒対策の検討
3. 学会等名 日本家政学会関西支部第73回研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷明日香, 小野寺美和, 竹本由美子
2. 発表標題 高視認性素材を用いた安全・快適な衣服設計
3. 学会等名 超異分野学会大阪大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野寺美和, 谷明日香, 竹本由美子
2. 発表標題 高視認性素材を用いた日常的に身につけられる防災アイテムの提案
3. 学会等名 日本家政学会第74回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野寺美和, 谷明日香, 竹本由美子
2. 発表標題 染色した蓄光布の洗濯及び摩耗によるりん光輝度の変化
3. 学会等名 一般社団法人 日本家政学会
4. 発表年 2021年

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 一般社団法人日本家政学会
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 一般社団法人日本家政学会
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	竹本 由美子 (Takemoto yumiko) (90581926)	武庫川女子大学・生活環境学部・准教授 (34517)	

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
---------	---------