【総説】

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

小野寺美和[1)]、谷明日香[2)]、竹本由美子[3)]

1）甲南女子大学人間科学部　2）四天王寺大学短期大学部　3）武庫川女子大学生活環境学部

１．はじめに

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、再帰性反射材は胴部、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。

そこで本稿では、これまでの取組を紹介しながら、高視認性素材の今後の課題について考察する。

２．高視認性素材について

高視認性素材には、照射された光を反射する再帰性反射素材、光によって励起される蛍光素材、光を蓄え自ら光る蓄光素材などがあり、それぞれ異なる特徴をもつ。

１）再帰性反射素材

再帰性反射素材は、外部から照射された光を反射して再び帰すことで光る素材である。よって、光の入射角（反射材が光を水平に反射する角度＝水平位置でヒトが視認する角度）及び観測角（反射材が光を垂直に反射する角度＝垂直位置でヒトが視認する角度）が、再帰性反射素材の視認性に関係する。JIS T 8127 の規格基準では、入射角と観測角の関係から最低再帰反射係数を定め、さらに摩擦試験や屈曲試験など 7 項目による劣化状態の評価と最低再帰反射係数を計測し基準を満たすかどうかを確認する。このように、再帰性反射素材の性能は、単に光の反射量だけでなく、その反射光を継続的に視認し続けることができる反射材であるかも重要になる。

再帰性反射素材には、生地に施された反射膜とガラスビーズで光を反射させるガラスビーズタイプと、塩化ビニルやポリウレタンに特殊加工を施したプリズムタイプがある。ガラスビーズタイプは、安価で加工がしやすく、柔軟性があり縫製もしやすく、衣服などにも取り入れやすい素材である。しかし、表面にガラスビーズがむき出しになったオープンタイプは、反射性能は高いが耐久性に問題が生じやすい[2)]。安全に配慮するのであれば、基準を満たす反射性能と耐久性を有することが必須となる。

２）蛍光素材

蛍光素材は、照射された光によって励起された蛍光が反射光に上乗せされるため、より鮮やかな光となって我々の目に知覚される色で染色された素材である。特に、蛍光イエローや蛍光オレンジレッドは、人の目の感度が高い中波長領域に蛍光と反射のピークがあるため[1)]、これらの色が高視認性安全服に多く取り入れられている。さらに、蛍光レッドを加えた 3 種類が、高視認性安全服として認められている蛍光色である。ただし、専用

の蛍光染料で染色された蛍光素材の色度が、JIS T 8127 の色度座標範囲内に適合していれば、高視認性安全服としての基準が満たされる。しかし、蛍光染料は光や摩擦、汗、洗濯、各種溶剤に対する堅牢度の低下が課題であり、基準を満たしたものであっても、着用し続けた場合に蛍光生地の色度が基準の視認性を失っていれば、買い替えが必要になるため、蛍光素材の耐久性向上が望まれる。

３）蓄光素材

蓄光現象の原理については、竹中氏がわかりやすく解説 [3]している。それによると、蓄光素材が照射された光を吸収すると、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軌道に遷移し、光を吸収しなくなると元の低い軌道に戻ろうとする。その時、余分な電子エネルギーが光として放出されるため、発光現象として我々の目に知覚される。このように、電力がなくても発光する蓄光素材 [4-6] が注目されている。

蓄光素材に関する国内の取組みとしては、地下ホームや通路における蓄光式標識の不具合事故を契機とした床面設置の蓄光式安全・避難誘導標識や､東日本大震災を教訓とした津波避難誘導標識、さらに東京オリンピックで使用された災害種別避難誘導標識などが挙げられる。また、蓄光素材を用いた商品には、塗料やプリント、テープなどが存在し、主に病院、公共施設、商業施設のような広大な室内において就寝時や暗闇の中でも必需品の保管場所を確認できるような環境整備に使用されており、日常生活においても、夜間の交通事故を未然に防ぐ対処法として役立てることができる。

JIS 規格では，安全標識や誘導ラインに関する JIS Z 9107 及び 9095、9096 において、蓄光に関する規定が示された。その後、2011 年の東日本大震災を機に、夜間に津波が発生した場合に備えて、JIS Z 9097「津波避難誘導標識システム」として規格化 [7]され，標識に蓄光材料の使用が通常となった。

衣服への蓄光素材の利用は、今まで塗料が主であったが、我々は蓄光糸を衣服設計に応用することを目的に研究 [8-10]を行っている。まず、異なる種類の蓄光糸から蓄光布(平織・綾織・朱子織・平編)を作製し、その耐久性と表面状態がりん光輝度へ及ぼす影響について明らかにした。洗濯試験及び摩耗試験前後のりん光輝度測定と表面観察を行なった結果、洗濯後の糸の撚りの緩和による影響や、糸の浮きが多い組織や表面積が多い起毛糸を用いることでりん光性能の持続性が長くなった。蓄光起毛糸は、図 1 に示すとおり JIS Z 9107 で視認性に優れた基準において最も低い区分ではあるが、基準をクリアすることを確認した。一方、摩擦による繊維表面の損傷も確認されたことから、蓄光糸の衣服への応用には力学的耐久性が課題となることも明らかとなった。

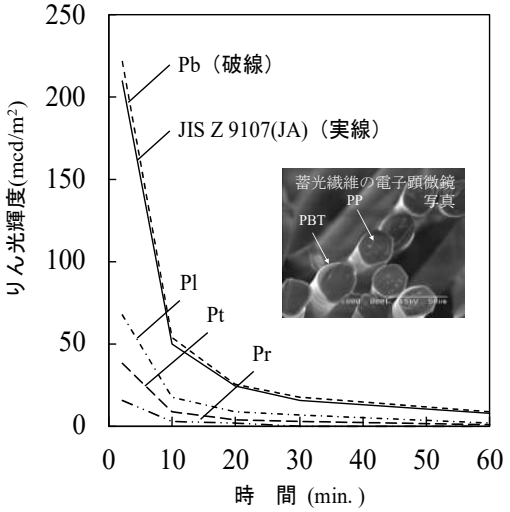


図 1　各蓄光糸で製織した蓄光布のりん光輝度（蓄光収束撚糸(Pt)、蓄光リリヤン(Pl)、蓄光起毛糸(Pb)、蓄光反射糸(Pr)）

３．高視認性素材（蓄光布）のりん光がヒトの生理・心理反応に与える影響

蓄光材のりん光は、ほのかに青色や緑色にりん光する。この青色や緑色には「落ち着いた」、「心安らいだ」などと表現されることが多く、暗闇でりん光することは人に安心を与え、癒しに繋がったという報告もある[11]。さらに、自然界の水圏環境においても、蛍のゆらぎのある光に癒しの効果があることが示されており[12]、蓄光素材の発するりん光もそれに近い癒しを与える可能性が考えられる。そこで、蓄光布の光がヒトに与える影響について検証した[10,13]。

前項において、JIS Z 9107 の基準をクリアした

視認性をもつ蓄光起毛布を実験試料として選定し（図 2）、被験者実験を行った。20 代の女子大学生 23 名を被験者とし、恒温恒湿室内の暗所環境下でりん光状態の蓄光起毛布を視認した時の生理・心理反応および主観評価に及ぼす影響を検討した。なお、被験者実験に用いた光源は、常用光源蛍光ランプD65(光源1)またはタングステンランプ（光源 2）である。蓄光起毛布のりん光を知覚したときのストレス状態を唾液アミラーゼ活性値により評価した。唾液アミラーゼ活性値の基準値は 0〜30KU/L であり、値の数値が大きくなるほどストレスを感じていることを示す [14]。光源 1 の照射前に 19.3 ± 3.07 KU/L であった唾液アミラーゼ活性値は、りん光を知覚した後、23.7±5.07KU/L と増加する傾向がみられ、光源 2 の照射前に 20.8 ± 2.80 KU/L であった唾液アミラーゼ活性値は、りん光を知覚した後、18.8±3.96KU/L と低下する傾向がみられた。しかし、いずれの光源によるりん光の光もストレス基準値の範囲内であった。ただし、光源間における唾液アミラーゼ活性値の変化率を算出したところ、図 3 に示すとおり光源 1 で 22.8%、光源 2 で−9.6%と有意な差がみられた（$t(22) = 2.14, p = .044$）。これは、提示初期のりん光輝度とそのりん光の持続性が影響していると考える。光源 1 より光源 2 で励起した蓄光起毛布の方がりん光輝度は有意に高く、りん光の緑色をより強く知覚していると考える。緑色は安らぎをもたらす効果があるため [15]、光源 2 で励起したりん光の方は唾液アミラーゼ活性値が有意に低下したと考えられる。さらに、りん光輝度が低かった光源 1 は、りん光が速く減衰するため知覚できる時間が光源 2 より短く、被験者が暗所環境下に置かれる時間は長くなったことも影響したものと推察する。その他、主観評価では、「見えやすい」、「軽快な」で有意差がみられたが、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。以上のことから、蓄光材のりん光には、人に安らぎをもたらす可能性があると示唆された。

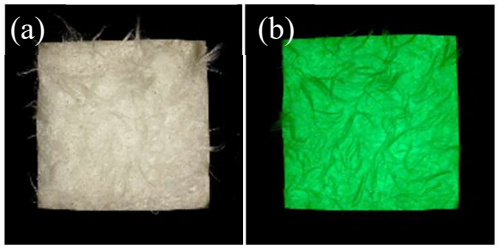


図 2　蓄光起毛糸 Pb で製織した蓄光起毛布
(a)明所時　(b)暗所時（りん光状態）

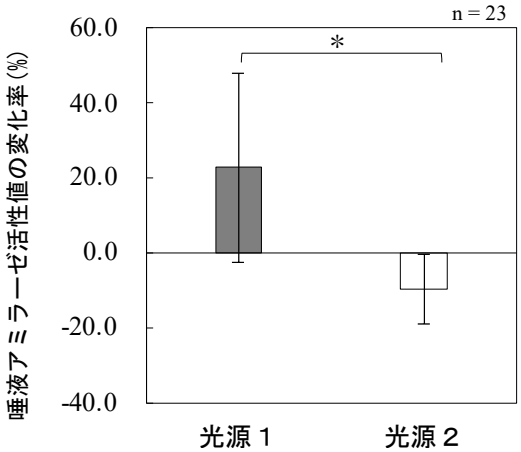


図 3　励起光の違いによる唾液アミラーゼ活性値の変化 (*: $p < 0.05$)

４．高視認性素材の防災アイテムとしての活用

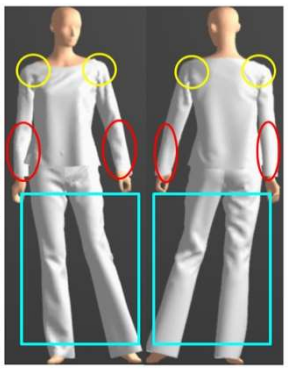
発災時、救助者の救助に掛かる時間の短縮を可能にするためには、被災者と救助者の存在を明らかに示す必要がある。互いの存在を視覚的に確認でき、「72 時間の壁」を超えることなく救助するには、これまでに述べてきた高視認性素材が必要不可欠である。暗闇で互いの存在を認知しやすくすることは、救助者や被災者、平常時の歩行者や運転手など双方の不安感を和らげることに繋がる。そこで、現在までに研究で取り組んできたアイテムの基礎的設計指針について紹介する。

１）高視認性素材を用いた衣服設計に向けて

蓄光素材の衣服への応用を考えた場合に、どの程度の面積が最低限求められるのか、安全に配慮するためには、どのような設計が好ましいのかについて、東日本大震災で被災した宮城県仙台市と塩釜市の 18 歳〜50 代までの男女 82 名（男性 4 名、女性 78 名）の住民を対象に、衣服を着装したサンプル画像〈3D 着装シミュレーションソフト（テクノア社製の Body Order Tool、i-Designer、i-DFit）〉を用いて調査を試みた [16]。その結果、図 4 に示す

年齢別（%）

順位	区分	30代以上	20代	10代
1位	前腕	63	54	42
2位	肩	19	46	39
3位	下肢	31	36	26
4位	背	38	46	8
5位	踵	19	36	24
6位	腹	25	32	18
7位	胸	19	32	13
8位	上腕	25	21	16
9位	上肢	13	11	8
10位	鼠径溝	6	11	5
11位	臀	0	18	0
12位	腰	6	11	0
13位	膝	13	4	0
14位	大腿	0	11	3
15位	肘	6	4	0
16位	下腿	0	7	0
17位	膝窩	0	7	0
18位	肘窩	0	4	0



年齢別（%）

順位	区分	30代以上	20代	10代
1位	肩	44	71	39
2位	胸	38	54	29
3位	前腕	50	43	24
4位	腹	31	39	34
5位	下肢	31	25	18
6位	踵	13	29	24
7位	背	19	21	5
8位	上肢	0	14	24
9位	上腕	13	21	3
10位	臀	6	18	0
11位	膝	13	4	0
12位	肘窩	6	7	0
13位	膝窩	6	7	0
14位	下腿	0	7	5
15位	腰	0	7	3
16位	肘	0	7	3
17位	大腿	0	4	0
18位	鼠径溝	0	0	0

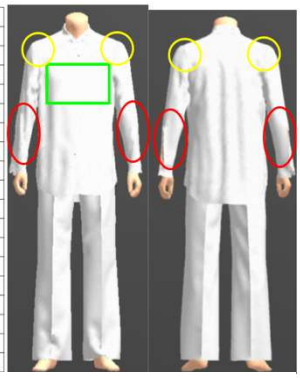


図 4　蓄光布の配置が望ましい人体区分
（上：女性、下：男性）

とおり、男女のサンプル画像ともに、上半身に蓄光素材を配置することを好ましく考える回答者が多く、特に、年齢が上がるにつれて肩部よりも前腕部の配置を好む割合が増すことが分かった。また、下半身では、下肢の側面や踵の割合が多かった。一方、膝や肘などの関節部分への配置を希望する回答者は少なく、特に、10 代の回答者からの回答は得られなかった。20 代と 30 代になると背中や胸など、3D シミュレーション Body のなかでも比較的面積が大きい部位や、肩や前腕、肘や膝の部位に記述が集中していた。

今後は、高視認性素材を用いた衣服設計への応用に向けて、回答者を増やし、被覆する面積を具体的に算出するとともに、年代ごとに蓄光布が必要とされる人体体表区分を明確にしていきたい。

２）高視認性素材を用いた衣服製作の試み

一般社団法人日本反射材普及協会(JRRPA)では、高視認性安全服の啓発・普及活動を目的に、さまざまなイベントを行っている。中でも、毎年開催される“反射材エキシビション”では、再帰性反射材の原理や構造、視認性などの性能を幅広く理解してもらうための展示以外に、日常着として着装できる反射材の新しいスタイル提案として、学生による反射材ファッションコーナーが設けられており、我々の各大学からも学生作品を出展した。甲南女子大学からは反射材を取り入れ四季をデザインした T シャツと、反射材で襟元を U 字型に胸元まで覆ったワンピースドレス、四天王寺大学短期大学部からは大学オリジナルポロシャツに反射材と蓄光素材を組み合わせたリメイク作品、武庫川女子大学からは、普段も夜間時も活用できる女性用の輝くコートを出展し、図 5 のように展示した。

今回の衣服製作のために、JRRPA 理事の雨森氏より情報及び資料提供をいただき、縫製しやすい“ガラスビーズタイプ”の再帰性反射材の生地を多く採用した。また、生地のほかに、副資材として、反射パイピングテープや反射編糸、蓄光織ネームなども取り入れ、衣服素材としての可能性を模索する機会にもなった。なお、本作品は反射材フェア期間中に開催された反射材ファッションショーにおいて、「ル・アイドル芸能」に所属するタレントが着装し来場者に披露する衣装としても選出された。今回の試みによって、色やデザインの好みに考慮した高視認性素材を用いた衣服設計への応用展開が前進した。今後の高視認性安全服の普及にも繋げていきたい。

図 5　反射材エキシビション展示の様子

３）高視認性素材の啓発・普及活動の紹介

地震や津波を経験し甚大な被害を受けた地域住民からは、「突然の震災時には何を持ち出すか慌ててしまいがちであった。」との声が多い。我々は、家庭防災の意識を高めながら、いざというときに迷いなく持ち出せるような備えを提案する必要があると考えた。そこで、いつの間にかクローゼッ

トの奥においやられてしまうことのないようにするため、お気に入りの防災バッグの製作を企画した。宮城県塩竈市近郊の市町村の地域住民や学生、学校教員や文化施設職員、「チルドレンズ・アート・ミュージアムしおがま」に参加する児童や生徒たちとその保護者を対象に、ワークショップ形式で「キラリと光るリフレクターを身につけよう」の体験講座を実施した。製作する防災バッグの素材には、綿や麻、未晒し木綿や帆布など、比較的安価で丈夫な布地を用いた。そこに、蓄光布や蓄光糸、反射材の布を幾何学模様に裁断した反射材パーツを用いて、参加者に自由にデザインしてもらうことで愛着のある防災バッグを製作してもらった。完成作品の一例を図 6 に示す。

本活動を通した参加者の防災意識の変化については、服装により生起する感情状態尺度を用いて SD 法主観評価測定値からの検討を試みているところである。また、今後の活動として兵庫県篠山市の一般社団法人 SSKT 児童支援センターに所属する障害を抱える児童・生徒たちの保護者を対象に、発災時の備えとして求める防災用品を質問紙調査から検証し、高視認性素材を用いた備えを提案することを考えている。

図 6　防災バッグの製作
（完成作品一例、右：明所時、左：暗所時）

5．高視認性素材の課題と今後

一般社団法人日本高視認性安全服研究所(JAVISA)では、自力で避難行動が取れない未就学児の命を甚大な自然災害から守るために、高視認性安全ベストを提案し、日本交通安全教育普及協会(JATRAS)の団体規格「児童及び自転車通学者向け高視認性安全服」に対して基準に沿った適合認証を得ている。現在、我々は着用評価実験や意識調査などを行い、実証データとともにその安全性や価値の裏付けをしている。また、高視認性素材として蓄光素材の衣服への利用を実現するため、本格的な活動が急がれる。災害などによる停電時は、常に光源が必要な再帰性反射素材や蛍光素材は役に立たないが、自ら光る蓄光素材はヒトやモノを照らすことが可能である。我々の研究の範囲内において、空隙があり且つ凹凸がある蓄光布には、蓄光糸の表面積が増えることから光を蓄えやすくなることが確認できた。しかし、りん光輝度や持続性についてはまだ不十分である。そこで、平面で扱っていた蓄光布を立体的に成形することで、視認性と持続性を高めることを検討中である。また、蓄光素材は蓄光原料に光が照射されなければならないため、蓄光原料に染色を重ねることはりん光輝度を低下させることになるため、カラー展開をどのようにすれば実現できるか研究の余地がある。

6．おわりに

以前、地域を知る塩竈市の郵便局長と話をする機会があり、“全国の郵便局長の約半数が防災士の資格を有している [17]”との情報を入手した。そこで、現在、我々は地域で活躍する防災士を有する郵便局長に対して、高視認性安全服や高視認性素材を人体に被覆するアイテムなどに取り入れてもらうワークショップの開催を働きかけ、高視認素材の必要性を伝えようと計画中である。防災における衣服の可能性については、まだまだ研究の余地がある。アパレルの視点から、少しでも災害時に役に立ち、事故防止につながる高視認性素材の研究や取り組みをこれからも続けていきたい。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費(C)17K00775、19K02382 科研費若手研究(B)17K12880 の助成により実施されました。高視認性安全服についてご教示くださいました一般社団法人日本高視認性安全服研究所(JAVISA)の服部勝治様、蓄光素材に関する研究にご協力いただきました(元)一般財団法人ニッセンケン品質評価センターの竹中直様、蓄光糸に関す

る情報をご提供くださいましたヒロタ工織有限会社の広多秀樹様、反射素材の情報手協及び反射材エキシビションへの出展にご協力くださいました株式会社丸仁の雨森正次郎様、蓄光織ネームの製作にご協力いただきました株式会社協同の西川源徳様、森本陽介様、多くのご厚意とご支援、ご指導を賜りましたこと厚く御礼申し上げます。また、蓄光布の研究に協力と各種活動に参加していただきました皆々様に感謝申し上げます。

引用文献

1) 吉井秀雄(2017):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
2) 竹中直(2018):高視認性安全服のこれから—規格と実際の運用—，繊維学会誌, 74, 2, 62-68
3) 竹中直(2014):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
4) 須藤敦史,松井豊,石本孝広,荒井洋,吉川進，小林克司(2013):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, I_13-18
5) 上嶋一生，藤田晃弘，竹内信義，村山秀彦，金坂香里(2004):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
6) 林田和人,渡辺仁史(2007):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
7) 防災・減災避難誘導標識システム普及委員会(2017): 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
8) 小野寺美和，谷明日香，竹本由美子(2016):蓄光糸を用いた織物のりん光輝度の測定,日本家政学会被服衛生学部会第 35 回被服衛生学セミナー要旨集, 16-17
9) 谷明日香，小野寺美和，竹本由美子(2018):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, 66, 277-286
10) 小野寺美和，谷明日香，竹本由美子(2019):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～，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要旨集,20-21
11) 木戸眞美(2000)：色彩の生体心理効果，国際生命情報科学会誌, 18(1), 254-268
12) 稲垣照美，犬塚浩二，安久正紘，赤羽秀郎，安部宣男(2001)：ホタルの発光パターンにおける 1/f ゆらぎ現象と癒し効果，日本機械学会論文集 C 編, 67，1583-1590
13) 谷明日香，竹本由美子,小野寺美和(2020) :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，pp.2-8
14) 白川昌樹，金森貴裕，金丸正史，水野康文，吉田博(2001)：唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか，医用電子と生体工学, 39(3), 234-239
15) 下村孝(2007)：都市における緑の効用−身近な緑がもたらす心身の健康と人間らしい生活−
16) 小野寺美和(2020)：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，被服構成学部会部会報，第 41 号, pp.16-17
17) 第 1 回こども防災の日をつくる会, 読売新聞, 2021-08-20, 朝刊，宮城県内版

＜連絡先＞
〒658-0001 神戸市東灘区 森北 6 丁目 2 番 23 号
甲南女子大学人間科学部生活環境学科
小野寺美和
電話：078-413-3012　Fax：078-413-3007
E-mail: m.onodera@konan-wu.ac.jp

【講評】

総説　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

緑川知子

四條畷学園大学リハビリテーション学部

本総説は、防災界に「衣服は命を救う！」と大きな一石を投じた意義ある総説である。

「人の視力機能を補助増進する」視認性の高い衣服は、地震などの天災時だけでなく、日没後の交通事故はじめ人災時にも効果的に人の命を助ける。中でも蓄光素材は電源不要の上、生理的心理的にも安らぎを与える可能性があるという。

衣類やバッグなどの持ち物の一部に高視認性素材を用いることで、容易に使用範囲を広げることができる。本総説は、その啓発・普及活動をも紹介している。「蓄光素材の高い視認性」の持続性が高められ、人命救助を目的にアパレル業界で今後ますます活用されれば、「衣服力」で救える命、助かる命を増やすことができる。故に、本分野のさらなる研究が緊急に期待される。

＜連絡先＞

四條畷学園大学リハビリテーション学部

緑川知子

TEL：072-863-5043　FAX：072-863-5022

Eメール:midorikawa@un.shijonawate-gakuen.ac.jp