



繊維製品の環境に関わる性能 : 環境問題に対する衣 環境からのアプローチ

山田, 由佳子

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2006-09-25

(Date of Publication)

2008-11-18

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3761

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003761>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 218 】

氏 名・(本 籍)	山田 由佳子 (大阪府)
博士の専攻分野の名称	博士(学術)
学 位 記 番 号	博い第623号
学位授与の 要 件	学位規則第5条第1項該当
学位授与の 日 付	平成18年9月25日

【 学位論文題目 】

繊維製品の環境に関わる性能—環境問題に対する衣環境
からのアプローチ—

審 査 委 員

主 査	助教授	井上	真理
	教 授	青木	務
	教 授	丸谷	宣子
	教 授	矢野	澄雄
	教 授	近藤	徳彦

論文内容の要旨

氏名 山田 由佳子
専攻 人間形成科学専攻
指導教官氏名 井上 真理 助教授

論文題目

繊維製品の環境に関わる性能

ー環境問題に対する衣環境からのアプローチー

論文要旨

本論文では、現代社会において深刻な問題となっている、オゾン層破壊による紫外線の増加に対し、人体を防護する繊維製品設計のための基礎資料として、織物の紫外線遮蔽性能を構造面から解明することを目的とした。本研究では、繊維製品の構造に注目し、織り密度、繊維間隙、糸間隙（気孔率）などの織物構造に焦点をあてて系統的に織り密度を変えた織物、および有孔材料、無孔材料を用いて標準状態における紫外線遮蔽性能と気孔率との関係を詳細に検討した。

さらに、実際に衣服を快適に着用するためには、紫外線遮蔽性能のみを取り上げて衣環境を設計することはできず、他の様々な性能を考慮する必要があることから、光と空気の透過性能である遮光性、透け性、通気性にも注目した。繊維製品の着用、使用状況に応じて、最も重視する性能を決定し、他の性能とのバランスのとれた布構造を決定するための基礎資料として、これらを取り上げ、紫外線遮蔽性能との関わりを検討した。

また、夏の運動時に衣服が汗で濡れるなどの状況を想定し、織物の湿潤状態における紫外線遮蔽性能を捉え、水分が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を明らかにした。その上で、標準状態と同様に湿潤状態での遮光性、透け性、通気性について検討を行った。結果は以下の通りである。

第1章では、文献研究により紫外線の特徴や人体への影響を確認した結果、布構造による影響を検討する場合には、地上に到達する紫外線量が多く、透過能力が大きいUV-Aを

中心とした波長領域における測定が最適であることを確認した。また、種々の紫外線遮蔽性能の評価方法を検討した結果、実際に即し、布の湿潤状態での測定可能な方法として、紫外線強度法が最適であることを確認した。

衣服の紫外線遮蔽性能を高める紫外線遮蔽加工剤や染色、蛍光増白剤などの添加は、化学物質の人体および環境への影響が懸念されるとともに、加工による通気性の低下などにより、着用時の快適性が失われる可能性があることが明らかとなった。したがって、加工や染色という手段に頼らずに布の紫外線遮蔽性能を向上させることが要望され、そのための一つの方法として、布構造を吟味することが重要と考えられる。先行研究においては多々ある布構造のパラメータの大体の傾向が捉えられているが、系統的に織構造を変えた試料を用いた詳細な個々の要因の検討は行われていない。さらに布が濡れた場合の紫外線遮蔽性能についての報告は少なく、湿潤状態の紫外線遮蔽挙動は解明されていない。

そこで、以上の文献研究の結果をふまえ、布構造の中でも空隙率（気孔率）に着目し、布の空隙率が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を解明するとともに、湿潤状態における水分率が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を捉えることに意義を見出した。今後ますますオゾン層の破壊が進む可能性がある中で、繊維製品は重要な紫外線遮蔽の手段となり得る。その繊維製品の設計にあたって、最も基本的な布の構造特性の一つである空隙率を取り上げ、紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を捉えることは、衣環境を設計する際非常に重要であると考えた。

第2章では、標準状態における織物の空隙率が紫外線遮蔽に及ぼす影響を明らかにした。各試料をそれぞれの公定水分率に調整し、これを標準状態として測定を行った。白色、単一の繊維で糸密度を変化させた綿布とポリエステルフィラメント布を用い、カバーファクター、計算気孔率、直通気孔率を空隙の指標として測定し、紫外線遮蔽率との関わりについて考察した。ここで、計算気孔率とは糸の太さと本数より算出するものであり、直通気孔率とは顕微鏡画像をパソコンで画像処理して算出するものである。また、織物の紫外線遮蔽率に及ぼす気孔率の影響をさらに解明するため、ステンレスメッシュと濾紙の測定を行った。ステンレスメッシュは気孔そのものの影響を検討するため、気孔が存在するが、繊維、糸にあたる部分は紫外線を通さない有孔材料の代表として、濾紙は、紫外線を通すが、直通気孔の無い無孔材料の代表として取り上げ、構造が紫外線遮蔽率に及ぼす影響について検討を行った。

まず、単層布の場合、全ての試料でそれぞれの空隙指標と紫外線遮蔽率の間には高い負

の相関がみられた。中でも紫外線遮蔽率との相関係数が最も高いのは直通気孔率であった。その理由の一つとして、毛羽の影響まで考慮して気孔率を捉えていることが考えられる。紫外線を通さない材料で構成されているステンレスメッシュの場合、直通気孔率が紫外線透過率とほぼ等しい値になることが確認された。それに対して綿布およびポリエステルフィラメント布の紫外線遮蔽率は、直通気孔率と紫外線遮蔽率の回帰直線から概算した時、気孔率 0%における紫外線遮蔽率は 100%にならないことから、紫外線が糸中を透過していることが明らかになった。また、濾紙の結果から、見た目の気孔が無い材料においては、その単位体積当たりの質量である密度が大きいものほど紫外線遮蔽率が高くなることが確認された。

重層時の紫外線遮蔽性能では、全ての試料において、重層枚数の増加に伴って、紫外線遮蔽率は指数関数的に増加する。ステンレスメッシュでは重層時においても直通気孔率が紫外線透過率とほぼ等しくなることが確認された。綿布では直通気孔率と紫外線透過率は等しくならず、同じ気孔率でも 2 枚重層布の方が単層布に比べて紫外線遮蔽率が高くなることから、重ね着の効果を証明する結果となった。

一方で、実際の着用時に衣服を快適に着用するためには、紫外線遮蔽のみならず、他の様々な性能を考え、状況に応じたバランスのとれた衣環境を設計する必要がある。そこで、安全であるだけでなく快適性を備えた衣環境設計への提言を行うため、光、空気の透過性能である遮光性、透け性、通気性をとりあげた。

可視光の遮蔽性能を表す遮光率においては、糸中の透過が無いステンレスメッシュの値は紫外線遮蔽率とほぼ同一であるのに対し、織物試料および濾紙の場合は、遮光率と紫外線遮蔽率は正の相関関係を示す。しかし、同じ気孔率の時の遮光率が紫外線遮蔽率に比べて低い値となり、紫外線に比べて可視光線の方が透過が大きいことが確認された。

透け性については、全ての試料において直通気孔率と、透け性を表す ΔL^* との間に正の相関関係がみられた。同じ気孔率でもステンレスメッシュより、織物試料および濾紙の方が透け性が高い。すなわち糸そのものの透け性が大きいことから、糸そのものの構造を考慮すれば、透け性を減少させることができると考えられる。どの試料も ΔL^* と紫外線遮蔽率との間には負の相関関係がみられるが、同じ ΔL^* で比較すると、ステンレスメッシュより、織物試料および濾紙の方が紫外線遮蔽率が高いことが明らかになった。このことから、例えば、透け感を生かしたシースルー衣服を設計するなどの場合、気孔率を大きくするよりも、気孔率を小さくして糸そのものの透け性を高くする方が紫外線遮蔽性能が高く、夏

の衣服として適していると考えられる。

通気抵抗と紫外線透過率の間には負の相関がみられ、標準状態では通気抵抗が大きい試料ほど紫外線遮蔽率が高い。しかし、同じ紫外線透過率でも単層時より 2 枚重層時の方が、通気抵抗が低いことが明らかとなり、夏期における紫外線防止対策として、紫外線を遮蔽し、かつ通気性を高くする薄手布の重ね着の有効性が示された。

第 3 章では、衣服が水に濡れた状態を想定し、湿潤状態における織物の紫外線遮蔽性能について検討を行った。2 章と同じ試料を用いて水分率と気孔率、紫外線遮蔽率との関係について検討した。

湿潤状態において、綿布は水分を吸収して繊維が膨潤すると同時に繊維と繊維の間に水分が入り込み、糸が膨らむ。その構造変化に伴って、水分率の増加とともに紫外線遮蔽率は低下することを見出した。水分率の上昇による紫外線遮蔽率の低下の割合は、糸の太さや直通気孔率が異なる綿布間において等しく、湿潤状態の紫外線遮蔽率は、水分率と、標準状態における直通気孔率とで予測できることがわかった。ただし、布表面が液相の水で覆われるような高い水分率においては、わずかではあるが紫外線遮蔽率の増加が認められ、極値を示す試料があることが明らかになった。

ポリエステルフィラメント布の湿潤状態の紫外線遮蔽率は、綿布と同様に水分率の上昇に伴って低下し、水分率と標準状態における直通気孔率とで表すことができる。ただし、少量の水分でも液相で覆われた状態になる試料であったため、綿布に比べて関係式の成り立つ水分率の範囲は狭い。

参考試料として用いた紫外線遮蔽加工布、未加工布は、ポリエステル紡績布であり、繊維そのものの膨潤は認められないが、水分保持量はポリエステルフィラメント布に比べて多い。紫外線遮蔽加工布の遮蔽率は、水分率の上昇に伴ってやや低下するが、水分率 80% 付近で標準状態よりも高い最高値を示し、綿布同様に極値を持つ。未加工布の遮蔽率は、同様に水分率 80% 付近で極値を持つが、その値は標準状態の値と同じであった。

高い水分率において紫外線遮蔽率が極値を持つ理由を解明するため、織構造を持ち気孔を有するが、水を吸収せず、膨潤しない試料としてステンレスメッシュを、また、繊維は膨潤するが気孔の無い試料として濾紙をとりあげて検討を行った。

ステンレスメッシュの紫外線遮蔽率は、標準状態の値から、水分率の上昇に伴って増加し、水分率 2~4% で最高値となり、その後水分率がさらに高くなるとゆるやかに減少する

が、標準状態よりも高い値を示す。顕微鏡観察の結果、気孔に充填された水分が膜を保つ限界の水分率で遮蔽率が最高値を示すことが明らかになった。一方で、濾紙の紫外線遮蔽率は、水分率の上昇に伴って標準状態の値から減少し、綿布やステンレスメッシュでみられた極値はみられなかった。

これらのことから、織物で観察された湿潤状態での紫外線遮蔽率の低下は、繊維および糸の膨潤による、糸中を通る紫外線の増加に起因するものであり、膨潤しないポリエステルにおいても繊維間に水が入り込むことにより遮蔽率が低下することがわかった。また、液相の水で覆われるほどの高い水分率で、布の紫外線遮蔽率がわずかに増加する現象は、気孔中に充填された水分膜の影響によるものと推定され、水の膜を保つ限界の水分率の時に極値を示すことが明らかになった。

しかし、このように極値を示す挙動は気孔の大きな試料特有のものであり、織物であっても気孔率が小さいものでは極値はみられず、濾紙のような無孔材料と同様に極値を持たないことがわかった。

湿潤状態での衣環境は、標準状態に比べて快適な状態に保つのが困難である。濡れると肌や下着が透けて見えることを我々は日常的に経験しており、着用、使用時に不快な状態とならないよう、衣環境を設計する必要がある。そこで、標準状態と同じく、遮光性、透け性、通気性について、紫外線遮蔽性能との関わりを検討した。

湿潤状態における遮光率は、織物試料および濾紙の場合、標準状態の時と同じように紫外線遮蔽率よりも低い値を示すが、水分率の増加に対する遮光率の変化挙動は紫外線遮蔽率と同様であった。遮光率においても気孔に充填された水分が遮蔽効果を高めることが確認され、紫外線遮蔽率と同じように水分率が遮光率に影響を与えることが明らかになった。

湿潤状態における透け性は、織物試料および濾紙では、水分率が高くなると増加し、標準状態より透けやすくなることが確認された。紫外線遮蔽率において極値を持つ試料は、極値を示す水分率の時、透け性が低下し、透けにくくなる。ステンレスメッシュにおいては水分率の上昇に伴い透け性は低下し、標準状態よりも透けにくくなる。紫外線遮蔽率が極値を示す水分率の時、最も透け性が低下し、さらに水分率が上昇すると増加するが、標準状態の値以上となることはなかった。これらのことから、織物での湿潤状態での透け性の増加は繊維の膨潤によるものであり、気孔に充填された水分はむしろ透け性を低下させることが明らかになった。

湿潤状態での通気性では、通気抵抗は全ての試料で標準状態に比べて高い値を示し、そ

の最大値は綿布では約800倍、ステンレスメッシュでは約130倍、濾紙では約4倍となる。ステンレスメッシュが綿布より低い通気抵抗を示したのは、糸にあたるワイヤに毛羽が無く、糸に比べて水を保持する力が小さいため、気孔に充填された水の膜が破れやすいことが理由であると考えられる。以上の結果、糸中の繊維の膨潤および繊維間の微小な空間を占める水分よりも、直通気孔を充填する水分の方が、通気抵抗に及ぼす影響が大きいことが明らかになった。

以上の結果から、湿潤状態では、低い水分率において紫外線遮蔽率が低下し、透け性も増加して通気抵抗が高くなり、着用時に不快な状態となることが確認された。しかし、さらに高い水分率では直通気孔が液相の水で充填された状態の方が標準状態よりも紫外線遮蔽率が高く、透け性も低下する試料があることが明らかとなった。ただし、通気性において非常に高い抵抗を示し、快適性の面からは問題がある。これらのことから、湿潤状態における衣環境設計の際には、目的、用途に応じて、高い水分率では水の膜が張った際にすぐに破れる程度の気孔の大きさにするなど、繊維の膨潤の有無と、直通気孔の大きさを考えて布構造を設計することが重要であると考えられる。

織物の紫外線遮蔽性能を検討した結果、標準状態では、繊維が膨潤するしないに関わらず、同じ気孔率でも単層布に比べて紫外線遮蔽率が高く、通気抵抗が低い薄手布の重ね着が有効であると考えられる。しかし、大量の汗をかくスポーツ時などでは、優れた吸汗、速乾性能が付加されたものであれば、ポリエステル素材などの非膨潤繊維が有効である。構造面でもユニフォームであれば重ね着よりも気孔をずらした二重織構造布にするなど、状況に応じた設計が必要となる。このような直接身につける衣服のみならず、例えば学校でのプールの上に張る日よけなど、様々な状況で使用される繊維製品についても本研究結果を生かした設計が可能と考えられる。

本研究では、布の構造に着目して、布地における紫外線遮蔽性能を明らかにしたが、布の性能がそのまま衣服に反映されるとは限らず、衣服の形や着用の仕方によって、紫外線遮蔽性能が変化する可能性も考えられる。今後は、それぞれの生活場面における実際の衣服着用時の紫外線遮蔽率と、快適性にかかわる衣服内気候などの性能との関わりについて研究を深めて行きたい。さらに、消費者の立場から製品を選ぶ目を養い、状況に応じた着用方法に関する消費者教育についてもさらに取り組んで行きたい。

【課程博士用】

論文審査の結果の要旨

氏名	山田由佳子		
論文題目	繊維製品の環境に関わる性能 —環境問題に対する衣環境からのアプローチ—		
判定	合格・不合格		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	助教授	井上真理
	副査	教授	青木務
	副査	教授	丸谷宣子
	副査	教授	矢野澄雄
副査	教授	近藤徳彦	
要 旨			
<p>本論文は、繊維製品を有限な資源として捉え、購入時から廃棄に至るまで優れた性能を保持し、安心して長く使用することのできる繊維製品の設計を提案することを目標としており、特に環境問題として紫外線増加に対応する繊維製品を対象として、実際の使用時における布の紫外線遮蔽性能は布構造とどのような関係があるのか、湿潤時の構造変化が紫外線遮蔽性能にどのような影響を及ぼすのか、また紫外線遮蔽性能を保持しつつ着用感をもたらすためにはどのような構造設計を行い、どのような着用方法・使用方法をとるべきかについて、詳細な実験より明らかにしている。</p> <p>序章では、科学技術の発展に伴う環境問題の一つとして、オゾン層の破壊に起因する紫外線増加を取り上げ、紫外線遮蔽性能と布構造との関係を捉えるとともに、着用感・使用感を損なわない製品設計の基礎資料となるべき研究の必要性が高いことを示し、本研究の位置づけを明確にしている。</p> <p>第1章では、これまでの文献をもとに、紫外線の特徴と人体への影響を確認し、繊維製品試験の基準となる標準条件と、実際の生活における発汗や水濡れを想定した湿潤条件の2つの観点から、紫外線遮蔽性能とそれに及ぼす繊維製品の布構造の影響や着用感・使用感にかかわる繊維製品の性能に関する具体的な問題点を国内外の論文から見つけ出し、本論文の目的を明確に述べている。また、繊維製品の設計に直接かかわる布構造が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を検討するにあたって、適切な評価方法と重要なパラメーターを吟味し、系統的に布構造を変化させた試料の重要性を明らかにしている。</p>			

第2章では、標準条件における布の空隙率が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を詳細に捉え、この性能に関わる様々な因子の中で、構造特性の中でも直通気孔率が紫外線遮蔽性能を決定する重要な因子であることを明らかにしている。試料は、1) 繊維製品材料として系統的に繊維密度を変化させた綿布とポリエステルフィラメント布、および2) 繊維製品材料の紫外線遮蔽性能の特徴を理論的に捉えるために、織構造の有孔材料であるステンレスメッシュと不織構造の無孔材料である濾紙を用いている。これらの試料を用いて実験を行った結果、布の場合は直通気孔率に比べて紫外線透過率が大きくなるのに対して、ステンレスメッシュの場合はこれらの値が等しいことが示されている。このことから、布においては紫外線が糸中を通っていることが明らかにされ、糸構造との関わりも示唆されている。さらに、遮光性、透け性、通気性を取り上げ、紫外線遮蔽性能との関わりについて詳細な実験を行った結果、着用感・使用感のよい布の構造設計への提言を行っている。

第3章では、第2章と同様の試料を用いている。湿潤条件における試料の水分率と気孔率、紫外線遮蔽率との関係を実験的に検討し、水分率が増加するほど布試料の紫外線遮蔽率が低下する現象を捉えて、その理由を解明している。すなわち布試料は湿潤により糸が膨潤するため、糸中を通る紫外線が増加し、紫外線遮蔽率が低下することを実験から導いている。また、同一の繊維で織られた布の場合、湿潤時の紫外線遮蔽率は、水分率と標準条件での直通気孔率とから予測できることを明らかにしている。ただし、気孔率の高い試料においては、ある水分率の領域において水分率が増加するほど紫外線遮蔽率が増加する現象を確認している。この現象は、布の気孔部分における水の膜が凹レンズや凸レンズに変化することにより生じることを実験と顕微鏡観察により導き出している。快適性の面からは、水分率の増加に伴う透け性、通気抵抗の増加により、着用時の不快感が増すことを指摘している。このことより、湿潤時を想定した構造設計に際して繊維の膨潤の有無と直通気孔の大きさを考慮することが重要であることを明らかにしている。

総括では各章をまとめ、標準条件と湿潤条件における布の気孔率が紫外線遮蔽率に及ぼす影響を明確にするとともに、布の構造設計が、繊維製品の着用時・使用時の快適性にかかわる衣環境の設計に及ぼす影響を検討し、具体的な着用・使用方法を提案している。

本論文は、紫外線増加に対応する繊維製品を対象として、布の紫外線遮蔽性能と布構造との関係を標準条件だけでなく、これまで測定のみから困難とされていた湿潤条件での性能を捉えて検討し、明らかにしている。また環境問題との関連から紫外線遮蔽性能を取り上げ、衣環境設計の観点からこの研究の位置づけを行い、詳細な実験結果から検討していることより、総合人間科学研究科に相応しい内容となっている。本論文の一部は、日本繊維機械学会論文集 58, T123-T127 (2005) および Journal of Textile Engineering 52, 147-152 (2006) の査読付学術論文に掲載されており、また、神戸大学発達科学部研究紀要および Proceedings of the 31st Textile Research Symposium にもその一部を発表している。このことから本論文が当該領域において高く評価され、その領域の学術研究の水準を満たしていると判断できる。よって、審査員全員一致で、学位申請者 山田由佳子 は、博士(学術)の学位を得る資格があると認める。