



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。



博士論文

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—

平成 18 年 6 月

神戸大学大学院総合人間科学研究科

山田 由佳子

目次

序章	1
第1章 研究の背景および目的—紫外線に関する諸問題—	
1.1 紫外線の種類と特徴	5
1.2 繊維製品の紫外線遮蔽性能に関わる既往研究	10
1.2.1 紫外線遮蔽性能の評価方法	10
1.2.2 紫外線遮蔽性能に関わる要因	18
1.3 紫外線遮蔽性能と衣環境設計	27
1.4 結論	29
第2章 標準状態の織物の紫外線遮蔽性能	31
2.1 織物の紫外線遮蔽性能の解明	32
2.1.1 目的	32
2.1.2 実験	33
2.1.2.1 試料	33
1) 織物試料	
2) 有孔材料と無孔材料	
2.1.2.2 実験方法	35
1) 実験条件	
2) 紫外線遮蔽率測定方法および紫外線測定条件の決定	
3) 織物の構造特性	
2.1.3 結果および考察	45
2.1.3.1 構造特性と紫外線遮蔽率の関係	45
2.1.3.2 空隙係数と紫外線遮蔽率の関係	48
2.1.3.3 重層時の紫外線遮蔽率	55
2.1.4 結論	66

2.2	紫外線遮蔽性能と衣環境設計	69
2.2.1	目的	69
2.2.2	実験	69
2.2.2.1	試料	69
2.2.2.2	実験方法	69
2.2.3	結果および考察	72
2.2.3.1	遮光性	72
2.2.3.2	透け性	76
2.2.3.3	通気性	82
2.2.4	結論	88

第3章 湿潤状態の織物の紫外線遮蔽性能

3.1	湿潤状態の織物の紫外線遮蔽性能の解明	92
3.1.1	目的	92
3.1.2	実験	92
3.1.2.1	試料	92
3.1.2.2	実験方法	92
3.1.3	結果および考察	94
3.1.3.1	綿布の湿潤状態の紫外線遮蔽性能	94
3.1.3.2	ポリエステルフィラメント布の湿潤状態の紫外線遮蔽性能	99
3.1.3.3	紫外線遮蔽加工布と未加工布の湿潤状態の紫外線遮蔽性能	102
3.1.3.4	ステンレスメッシュの湿潤状態の紫外線遮蔽性能	103
3.1.3.5	濾紙の湿潤状態の紫外線遮蔽性能	105
3.1.3.6	織物の湿潤状態の紫外線遮蔽性能の解明	108
3.1.4	結論	109

3.2	湿潤状態の紫外線遮蔽性能と衣環境設計	111
3.2.1	目的	111
3.2.2	実験	111
3.2.2.1	試料	111
3.2.2.2	実験方法	112
3.2.3	結果および考察	112
3.2.3.1	湿潤状態における遮光性	112
3.2.3.2	湿潤状態における透け性	120
3.2.3.3	湿潤状態における通気性	128
3.2.4	結論	130
総括		133
文献		136
謝辞		147

序 章

人間は、さまざまな技術を生み出し、便利な生活を送ることができるようになったが、それは長い時間をかけて貯えられてきた膨大なエネルギー資源や物質・生物資源を短期間で消費することでもあった。資源から物を作る段階、利用する段階、不用になった物をゴミとして処分する段階、それぞれに資源・エネルギーの消費と廃棄物の排出を伴う。これらは森林資源の枯渇、地球温暖化、大気汚染、土壌汚染、水質汚濁、オゾン層破壊などの原因となり、生態系をくずし、地球規模の環境問題を引き起こしている。

中でもオゾン層破壊に起因する紫外線増加の被害は深刻な環境問題の 1 つとなっている。紫外線 (UV, Ultra Violet) とは太陽光線の電磁波のうち 200~400nm の波長領域を指し、これはさらに UV-A (320~400nm)、UV-B (280~320nm) および UV-C (200~280nm) の領域に分けられる。UV-A と UV-B は地表に到達して人体に色素沈着や皮膚傷害などの影響を与える。波長の短い UV-C は通常であれば成層圏でオゾンに吸収されるが、最近のようにオゾン層の破壊が進行すると UV-C まで地表に達する可能性が高くなっており、紫外線による影響がいつそう深刻な問題となりつつある[1~3]。

被服には外界より受ける種々のストレスから身体を保護する機能があり、その 1 つとして太陽光に含まれる紫外線を遮蔽して皮膚を守る性能がある。オゾンホールの問題が深刻な極地に近い諸外国においては、皮膚の感受性が高い人々の間で紫外線への関心が高く、特にそれらの地域で紫外線遮蔽性能評価に対する規格の制定や、人々への啓蒙活動などが進んでいる[4]。例えば、オーストラリア、ニュージーランドでは子どもが外出する際には日焼け止めと長袖のシャツ、帽子の着用を義務づけたり、屋外施設にサンシェードを備え付けるなど、紫外線から人体を守るための様々な対策が講じられている。

日本では、1992 年頃より紫外線遮蔽効果のある繊維製品が注目されるようになり、様々な製品が発表されてきた[5~18]。紫外線遮蔽性能を向上させる方法としては紫外線を反射、または吸収する化学物質の付与、染色による色の効果や蛍光増白剤の添加などがあり、同一布の加工前後の比較を行い、その効果を評価するのが一般的である。布の紫外線遮蔽性能に関わる要因としては、色や加工剤だけでなく、繊維の種類、糸の太さや撚り数などの糸構造、織・編構造や密度、布の厚さなどの布の構造などが考

えられ、これらの要因が複雑に関わりあって紫外線遮蔽性能に影響を及ぼしている。これらの中から単一の要因の影響を調べるためには調べたいパラメーターを除き全ての条件を統一した試料を作成する必要があるが、このような試料を準備することは非常に困難である。そのため、これまでの研究の多くは様々な市販製品を用い、紫外線遮蔽に影響する要因を探ることに終始しており、色や繊維の種類、布構造などに関して系統的にコントロールされた試料における報告は少ない。

また、太陽による紫外線の強い夏期は、屋外や海などでのレジャー、スポーツが多く行われる時期でもある。衣服が激しい労働や運動により汗で濡れたり、マリンスポーツなどで海水に濡れたりした時、皮膚や下着が透けて見えることがあるのを我々は日常的に経験しているが、布の湿潤状態における紫外線遮蔽性能に関する報告はほとんどみあたらない。

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ることから、基本的な織物の構造特性と紫外線遮蔽性能についての関係を系統的な試料により解明すること、および、日常考えられる湿潤した布の特性を捉えることが非常に重要であると考えられる。

また、実際の着用時に衣服を快適に着用するためには、紫外線遮蔽性能の向上のみに視点をおくわけではなく、他の様々な性能を考慮して衣環境設計を行う必要がある。衣環境は、人に最も身近な環境であり、体温調節の補助をはじめとする生理的役割のほか、心理的、社会的役割を果たしていると言われている[19]。紫外線遮蔽性能を高めることのみを追求すると、一切気孔が無く、厚い黒いフィルム状の衣服が最適と考えられるが、衣環境としては高温高湿となる上、動作上、また着装心理上でも不快な状況になるであろう。繊維製品の着用、使用状況に応じて、最も重視すべき性能を決定し、他の性能とのバランスのとれた布構造を決定することが重要である。

本論文では、繊維製品の構造に注目し、フィラメント糸と紡績糸といった糸構造および、織り密度、繊維間隙、糸間隙などの織物構造が、繊維製品の紫外線遮蔽性能に与える影響を、詳細に実験によって明らかにすること、また、衣服が濡れた場合を想定し、布の湿潤状態が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を捉えることを目的とした。さらに、着心地のよさを考慮した上で紫外線遮蔽性能を最大限にもたらす衣環境設計への提言を行う。

第 1 章は、紫外線の特徴と人体への影響をふまえ、紫外線遮蔽性能の評価方法を文献により検討する。また、繊維製品の紫外線遮蔽に関わる既往研究により、紫外線遮蔽性能に影響を与えている要因について検討を行い、衣環境設計上必要な快適性に関わる性能についての文献研究を行った上で、本研究の目的と意義を述べる。

第 2 章では、標準状態での織物の紫外線遮蔽性能について検討する。織構造の一つである糸間隙の定量化を試み、織物の空隙率が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を明らかにする。同じ太さの糸を使用し、系統的に糸密度のみを変えて空隙率を変化させた試料を用いて実験を行い、空隙率と紫外線遮蔽性能との関係について考察する。さらに、有孔材料と無孔材料を試料に加え、織物の紫外線遮蔽性能を解明する。有孔材料としては、平織り構造をもち、気孔は存在するが織物であれば糸にあたる部分は紫外線を通さないステンレスメッシュを、無孔材料としては紫外線を通すが直通気孔が存在しない濾紙をモデル試料として、気孔が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を検討する。また、これらの試料を重ねて重層し、構造の変化を捉えることにより、重ね着した場合を想定した紫外線遮蔽性能について考察する。

衣環境設計に関わる性能として、光、空気の透過性能である遮光性、透け性および通気性をとりあげる。標準状態での試料 1 枚および重層時での各性能を捉え、直通気孔率との関係や、紫外線遮蔽性能との関わりを検討する。これらの結果をふまえ、着心地のよさを考慮した上で、紫外線遮蔽性能を最大限にもたらず衣環境設計への提言を行う。なお、実際の着用時では、衣服内気候（温湿度）の検討が重要であるが、本研究ではその基礎となる布材料の性能の検討に重点をおくこととする。

第 3 章では、湿潤状態での織物の紫外線遮蔽性能について検討する。主に紫外線遮蔽性能を必要とする夏期の太陽光下での労働やスポーツ時に衣服が汗で濡れる場合などを想定し、水分が織物の紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を明らかにするために、水分率の異なる湿潤状態での織物の構造変化と紫外線遮蔽率性能を捉える。さらに、織物の湿潤状態の紫外線遮蔽性能を解明するため、第 2 章と同様に、非膨潤有孔材料としてステンレスメッシュ、膨潤無孔材料として濾紙を用いて、繊維の膨潤および気孔に充填された水分が紫外線遮蔽性能に与える影響について考察する。

湿潤状態で衣環境を快適に保つことは、標準状態よりも困難である。湿潤状態にお

ける、状況に応じた衣環境設計を行うための基礎資料として、標準状態と同様に遮光性、透け性および通気性を捉える。水分率の異なる湿潤状態での各性能の変化を把握すると共に、紫外線遮蔽性能との関係を検討し、湿潤状態での快適な衣環境設計について考察する。

本論文は以上 3 章から成り、紫外線の増加という環境問題に対して、人体を防護する繊維製品設計のための基礎資料となるべく、織物の紫外線遮蔽性能の解明を試みる。

第1章 研究の背景および目的—紫外線に関する諸問題—

現在深刻な問題となっている、オゾン層の破壊に起因する紫外線増加に対応するため、衣服による防護が重要となっている。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ふまえて紫外線遮蔽性能の評価方法および紫外線遮蔽性能に関わる要因について検討を行う。また、衣服を快適に着用するためには紫外線遮蔽性能にのみ視点をおくわけではなく、他の様々な性能を考慮する必要があることから、光、空気の透過性能である遮光性、透け性および通気性に着目し、これらの性能に関する報告をふまえて本研究の目的と意義について述べる。

1.1 紫外線の種類と特徴

太陽からの日射は、図 1-1 に示すとおり、波長により赤外線、可視光線および紫外線に分けられる。紫外線はさらに波長により UV-A、UV-B および UV-C に分けられている。UV-C は 100~290(280)nm の波長領域で、オゾン層と空気中の酸素分子でさえぎられ、地表には届かないと言われてきた。しかし、近年のオゾン層の破壊に伴うオゾンホール拡大により、極地においては UV-C の増加が問題となっている[1~3]。UV-B は、波長 290(280)~320(315)nm の領域で、ほとんどはオゾン層や大気層で吸収されるが、一部は地表へ到達する。オゾンホール拡大によりこの UV-B 量が増えることが現在深刻な問題となっている。UV-A は波長 320(315)~400nm の領域で、大気による吸収をあまり受けずに地表に到達する。これらの波長領域の区分は研究者によって多少異なるが、おおむね同様の波長領域となっている[20,21]。

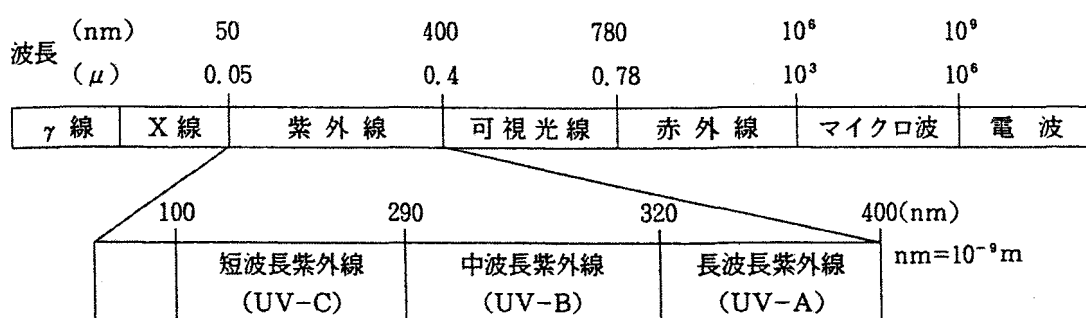


図 1-1 電磁波の種類とその波長区分[21]

太陽光線のうち地表に到達するのは太陽から照射された太陽光の 47%で、大気圏で 34%が反射され、19%が大気圏に吸収されていると言われている。これらの太陽光は波長が長い方が透過率が高く、赤外線が 42.1%、可視光線が 51.8%、紫外線は 6.1%である。紫外線の中でも波長の短い UV-B に比べて UV-A は雲や大気で遮られることなく地表に到達するため照射量が多く、5.6%を占め、UV-B は 0.5%と言われている[21]。

さらに、UV-B がガラスで遮られるのに対して、地表に到達する量が元々多い UV-A はガラスも透過するため、毎日の生活においてさらに暴露量が多くなっている[22]。このように UV-A に比べて暴露量の少ない UV-B ではあるが、太陽光線は波長が短いほどエネルギーが強く、波長が長いほど弱いため、波長の短い UV-B はエネルギーが強く、人体に対する影響が大きい。紫外線の生体への影響を表 1-1 および表 1-2 に示す。紫外線は皮膚、眼、免疫系などに影響を及ぼし、急性的な影響と、慢性的な影響に分けられる。皮膚の急性影響としては日光による火傷（Sunburn）と日光による色素沈着（Suntan）がある。サンバーンは主に UV-B の作用で生じ、暴露した数時間後から現れて 8 時間後から 24 時間でピークとなり、2~3 日で消失する赤い日焼けである。皮膚の血管が UV-B を吸収して拡張し、紅斑や炎症を起こすもので、このサンバーンが引いた後、数週間から数ヶ月続く黒い日焼けがサンタンである。これはメラニン色素を形成し皮膚に色素沈着が起こったものである。UV-A をうけるとメラニン色素が酸化され、一時的により黒くなる一次黒化を引き起こし、その後、2 次黒化であるサンタンが起こる。慢性影響としてはシミやシワと言った皮膚の老化がある。通常サンタンが起こった肌もやがて表皮の角化と共に角質層から脱落し、皮膚の色も元に戻るが紫外線を大量に浴び続けると一部の色素細胞がメラニンを作り続け、皮膚が黒いままの部分ができる。これがシミである。波長の長い UV-A はさらに肌真皮層に到達して真皮内の繊維質を変質させシワの原因となる[1~3,20,21]。

メラニン色素の防御が弱くなり、紫外線がより深部まで到達すると細胞核中の DNA を損傷するが、人体にはこの損傷を修復する機能が備わっている。しかし、このような損傷が度重なって、修復機能が働かなくなると皮膚ガンの原因になると言われている。特にオーストラリアではその被害が深刻で、毎年 1000 人以上が皮膚ガンで死亡し、オーストラリア全人口の 2/3 の人が生涯の内に皮膚ガンを発病する可能性があるとの報告[23]がある。

また、人体への影響は皮膚のみならず、眼にも大きな影響を及ぼす。紫外線による眼の影響は、紫外線角膜炎（急性の角膜の炎症）や眼球結膜（白目）が角膜（黒目）に侵入する翼状片、白内障などが挙げられる。

これらの人体に対する紫外線の影響は、元々のメラニン量などで人種および個人によって異なる。サンバーン、サンタンの現れ方によって皮膚のタイプが区別されており、日本人に関しては次の3つが挙げられる。タイプⅠ：すぐに赤くなり、後に残らないか、わずかに着色する。タイプⅢ：ほとんど赤くならず、後で強く着色する。タイプⅡ：両者の中間で、ほどほどに赤くなり徐々に着色が起きる。このような肌タイプにより皮膚ガンになりやすいのはタイプⅠであると言われている。このように、紫外線に対する反応はタイプによって異なるため、どの波長の紫外線を、どの程度暴露すると影響があるのかは一様では無い。

表 1-1 紫外線の生体影響[2]

部位	急性病変	慢性病変
皮膚	日焼け 火傷・水疱化 日光アレルギー	色素斑 色素性母斑 弾性線維変性 日光角化症 基底細胞癌 扁平上皮癌 黒色腫
眼	光線角膜炎 光線結膜炎	翼状片 白内障（皮質型・核型） 網膜剥離 ぶどう膜黒色腫 黄斑変性
免疫系	ランゲルハンス細胞の消失 ウイルスの活性化 ヘルペスウイルス ヒトパピローマウイルス エイズウイルス	免疫能低下 種々の感染症にかかりやすくなる

表 1-2 紫外線の生体作用[21]

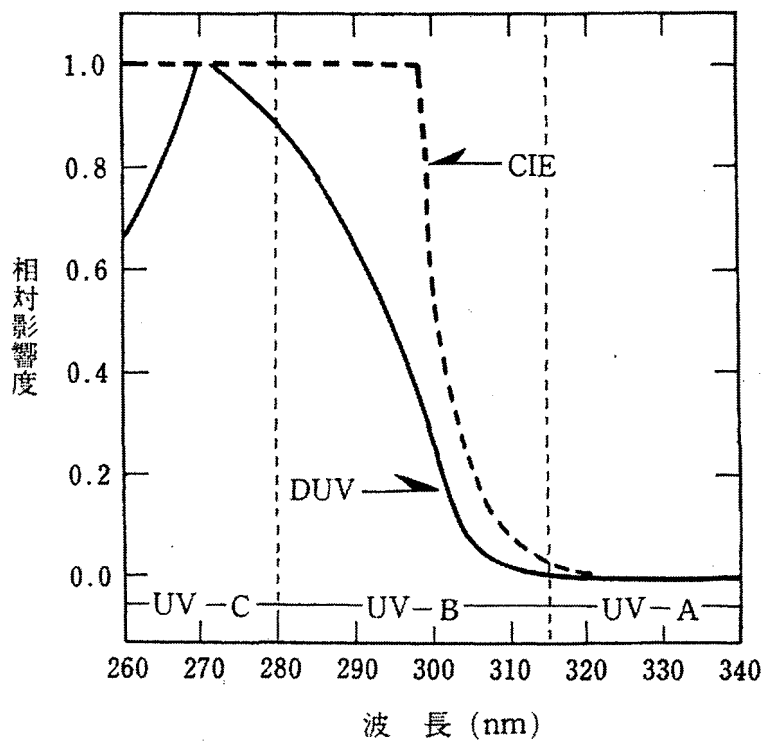
	波長 (nm)	特 徴	生 体 作 用
A 波	400~320	窓ガラス、雲、霧を透過 比較的穏やかに作用 皮膚の透過力が高く真皮に到達 主に肌深部の真皮組織に作用 B波の作用を増強	小麦色の日焼け、光アレルギー メラニン色素の生成を促進 色素増加による黒化作用 (Sun Tan) 色素沈着→シミ、そばかす、シワ 皮膚の老化、肌のハリや潤いを奪う 真皮内の線維質を変質
B 波	320~290	急激な作用 作用はA波の1000倍 A波ほどの皮膚透過力はない 主に肌の表皮組織に作用	真っ赤な火傷状、急性炎症 (Sun Burn) 水泡、紅斑生成と黒化作用 表皮細胞の角化異常、角質層の水分減少 真皮内の線維質を変質 皮膚の硬化や老化、発ガンを促進
C 波	290~100	地表には殆ど到達しない (オゾン層で吸収) 極めて有害	〔 発ガン性 生物を死滅させる恐れのある有害性 〕

紫外線の波長ごとのサンバーンへの影響の強さを示す指標の一つに紅斑作用曲線がある(図 1-2)。図中点線で表される曲線は、CIE (Commission Internationale de l'Eclairage : 国際照明委員会) の定めたもので、波長ごとの人の皮膚への影響の大きさを相対値で表している。これをみると 280nm~300nm までが影響が強く、UV-B が強い影響を示すことがわかる。また、実線で示された DUV 曲線は、アメリカの政府産業衛生学者会議が定めた紫外線の波長別許容被曝基準を表す作用スペクトルで、CIE より短波長の寄与を重視している[3]。

このように、実際の皮膚に対する影響の強さの度合いを相対影響度とし、250~400nm の各波長の紫外線強度にこれをかけて重み付けをし、足し合わせたものにより、紫外線量を表す方法がある。この相対影響度に CIE 紅斑作用曲線を用いたものを CIE 紫外線量 (w/m^2) と呼ぶ。これに係数 40 をかけたものが UV-Index (UV インデックス) と呼ばれ、紫外線の強さを人体への影響についてわかりやすく示すように考え出された指標で、WHO (世界保健機構) より提唱されている[4]。その分類を図 1-3 に示す。これらの指数に対する対処法は、公衆衛生の観点からもっとも影響を受けやすい人(メラニン色素の少ない人や子供など) を基準にしている。このような紫外線対策の普及を目的として、日本でも保健師などを対象とした「紫外線保健指導マニュアル」[4] が 2003 年に環境省から刊行された。

人体にこのような影響を与える紫外線を遮蔽するための対策として、オーストラリアでは紫外線防御のためのガイドラインの作成、紫外線と皮膚がんの関係を紹介する

パンフレット、小冊子の発行、各種紫外線防御グッズ（帽子、サングラス、ゴーグル、衣類、日焼け止めクリーム）の販売などが行われている[4]。また、女性の下肢の皮膚癌発生率が男性のそれに比べて有意に高いことから、衣服着用による紫外線遮蔽が皮膚癌の予防に有効であるという報告[24]などからも、紫外線から身を守るためには日焼け止めクリームと衣類（帽子）による防御が有効であると考えられる[25~27]。



縦軸は CIE, DUV の相対影響度, 横軸は波長

図 1-2 紫外線の日焼け作用スペクトル関数[3]

1~2	: 弱い	…安心して戸外で過ごせます。
3~5	: 中程度	…日中は出来るだけ日陰を利用しよう。 出来るだけ、長袖シャツ、日焼け止めクリーム、帽子を利用しよう。
6~7	: 強い	
8~10	: 非常に強い	…日中の外出は出来るだけ控えよう。 必ず、長袖シャツ、日焼け止めクリーム、帽子を利用しよう。
11+	: 極端に強い	

(WHO ; Global solar UV index -A practical guide-2002)

図 1-3 UV インデックス[4]

1.2 繊維製品の紫外線遮蔽性能に関わる既往研究

紫外線遮蔽に関する既往研究としては、まず、その評価方法の確立に関するものが多く、さらに、紫外線遮蔽加工の開発とその性能評価に関する報告が 1992 年頃より増加し、様々な市販製品より紫外線遮蔽に効果的な要因を探る研究がみられる。紫外線遮蔽加工剤の効果、色の影響、蛍光増白剤の影響など、様々な研究がみられるが、布の紫外線遮蔽性能に関わる要因としては、色や加工剤だけでなく、繊維の種類、糸の太さや撚り数などの糸構造、織・編構造や密度、布の厚さなどの布の構造が大きく影響し、実際にはこれらの要因が複雑に関わりあっている。また、実際の着用時にはその衣服の形、使用状況、洗濯などの保守管理などによっても変化すると考えられる。そこでまず、紫外線遮蔽性能の評価方法について整理し、次に、布の紫外線遮蔽性能に影響を与える要因に関する報告について検討する。

1.2.1 紫外線遮蔽性能の評価方法

人体の日焼け防止策としては、繊維製品に先んじて日焼け止めクリームやファンデーションの開発[27]やその性能評価研究[28]が行われてきた。日焼け止めクリームおよび化粧品の紫外線遮蔽能力の評価は主に SPF (Sun Protection Factor) 法が用いられ

る。SPF 値の測定には、日本化粧品工業連合会（JCIA）により表 1-3 に示すような測定条件が定められており、紫外線防護剤未塗布の皮膚の MED に対する紫外線防護剤を塗布した皮膚の MED の割合で表される。MED とは、Minimum Erythema Dose の略であり、皮膚に微かな紅斑が認められる最小の紫外線量（時間）を表し、最小紅斑量とも言われる。SPF 値の算出式を(1-1)式に示す[27]。

$$\text{SPF} = (\text{紫外線防護剤を塗布した皮膚の MED} / \text{紫外線防護剤未塗布の皮膚の MED}) \quad (1-1)$$

表 1-3 SPF 測定方法[27]

被験者	肌タイプⅠ～Ⅲ
被験部位	背部
被験者数	10名以上
標準試料	8%サリチル酸ホモメンチル配合製剤
試料塗布量	2 mg/cm ² または 2 μl/cm ²
塗布面積	20cm ² 以上
塗布から照射までの時間	15分以上
光源	キセノンアークソーラーシミュレーター
照射野	0.5cm ² 以上
照射増量幅	最大25%の変化
MED	照射後16～24時間で全域に微かな紅斑が認められる最小の紫外線量
SPF算定法	算術平均

(出所：日本化粧品工業連合会)

この方法は、2003年にJCIAが欧州香水化粧品類工業連盟（COLIPA）および南アフリカ化粧品工業会（CTFA/SA）と共同で作成した「国際 SPF 測定基準」に則って改訂された、国際的な試験方法である。この SPF 値は日光防御指数と言われ、UV-B に対する防止効果を現している。

それに対して、UV-A に対する防止効果を現す指標としては PA が用いられる。こ

れも同じく JCIA が定めた PFA 測定法に従って測定した PFA 値 ((1-2)式) によって、表 1-4 に示す 3 段階を化粧品などに表示している。

$$\text{PFA} = \text{紫外線防護剤を塗布した皮膚の MPPD} / \text{紫外線防護剤未塗布の皮膚の MPPD} \quad (1-2)$$

ここで、MPPD とは最小持続型即時黒化量で、皮膚にわずかな黒み (サンタン) を起こすのに要した最小の紫外線量である。

表 1-4 PFA 表示 [4]より作成

表示	PFA値範囲	効果
PA+	PFA2以上4未満	UV-A防御効果がある
PA++	PFA4以上8未満	UV-A防御効果がかなりある
PA+++	PFA8以上	UV-A防御効果が非常にある

繊維製品の紫外線遮蔽性能評価に関しては、1996 年に Standards Australia/New Zealand において、規格 AS/NZS 4399:1996, Sun protective Clothing が発行された。これに続き、アメリカ (ASTM D6544, AATCC183, ASTM D 6603)、イギリス (BS 7914)、カナダ、ヨーロッパ (CEN/TC248WG)、南アフリカおよび多国籍グループが規格に関与している [29] が、日本ではまだ JIS による統一規格は制定されていない。それに対して通商産業省は平成 4 年度にアパレル製品等品質性能対策協議会に紫外線遮蔽加工製品分科会を設置し、紫外線遮蔽性能の試験方法、評価基準および表示用語の調査、検討を行い、平成 5 年 9 月にガイドラインの作成を行った [30]。

そこで、現在行われている繊維製品の紫外線遮蔽性能の評価方法を整理し、その特徴について述べると共に本研究で使用する評価法について検討する。

1) SPF法

前述した化粧品などによる紫外線遮蔽性能評価 SPF 値を用いて繊維製品を評価する方法である。実際に人体に紅斑を起こさせるため影響が直接観察でき、目に見えて

わかりやすい実際に即した評価方法である。宮崎ら[31]によると、日本人の MED を 6~14J/cm² とし、日本国内である市の 5 月の紫外線量で 150J/cm²/day とのデータより、一日の紫外線量の半分を被爆すると仮定すると、(1-3)式により日焼けしないためには紫外線透過率を 6.6%以下にする必要があるとしている。

$$\begin{aligned} \text{紫外線防止透過率} &= \text{MED (6~14) J/cm}^2 \ / \ 150\text{J/cm}^2 \times 0.5 \times 1.2 \text{ (安全率)} \times 100 \\ &= 6.6\sim 15\% \end{aligned} \quad (1-3)$$

坂本らによると、日焼けしやすい人向けには透過率 10%以下が適当であり、過敏な人には 1%以下が望ましいとの報告[32]もある。夏の晴れた日に行った着用日焼け実験では、被爆量 70~80kJ/m² で明白な日焼けが生じることを確認している[33]。

しかし、人体に紅斑を起こさせる最低限必要な紫外線エネルギー (MED) は当然個人差があり、人によって異なることから多種多様にある繊維製品の遮蔽性能の統一評価基準を、*In vivo* である SPF 値とすることは現実的には難しいと考えられる。

2) 変退色法 (光劣化法)

変退色法とは、感光紙、耐光試験用ブルースケール、または耐光堅ろう度不良な染色布などを用いてその上に紫外線遮蔽性能を測定したい試料を重ね、太陽光などを照射した後の変退色を、何も試料を置かない対照と比較して判定するものである[34]。人体に紅斑を起こさせる代わりに、変退色にて紫外線透過をみるものであり、目に見えてわかりやすいが、定性的である欠点がある。ただし、簡易法としては利用でき、耐光カーテン用ブルースケールを用いるとある程度の定量性をもって評価できるとの報告[35]もみられる。

3) 分光光度計法

分光光度計法は、一般の紫外・可視分光光度計を用いて全波長における透過率または反射率を測定する方法である。液状試料と異なり、繊維製品の光透過は散乱透過光がほとんどであるため、種々の方向に拡散して透過してきた透過光すべてを検出する必要がある。そのため積分球を用いるのが一般的であり、さらに蛍光増白された試料に関しては、蛍光を発することで透過光が多く検出されることから、これらの蛍光を

積算しないよう、バンドパスフィルターを使用する必要がある[36~38]。

これらの条件を備えて測定した紫外線透過曲線の例を図 1-4 に示す。全波長域での試料の透過率曲線が得られ、このような透過率曲線を元に、全波長域平均法、特定波長平均法および UPF 法などの方法により紫外線遮蔽性能が評価されている。

全波長域平均法はアパレル製品等品質性能対策協議会によって定められた方法で、測定機関によって多少異なるがほぼ 280nm~400nm の範囲の紫外線領域の波長における透過率の積分値から遮蔽率を求める方法である[30]。

特定波長平均法は、数点の紫外線波長における透過率の平均から遮蔽率を求める方法であるが、一定の規格が無いいため評価機関によって使用する波長が異なる可能性がある。

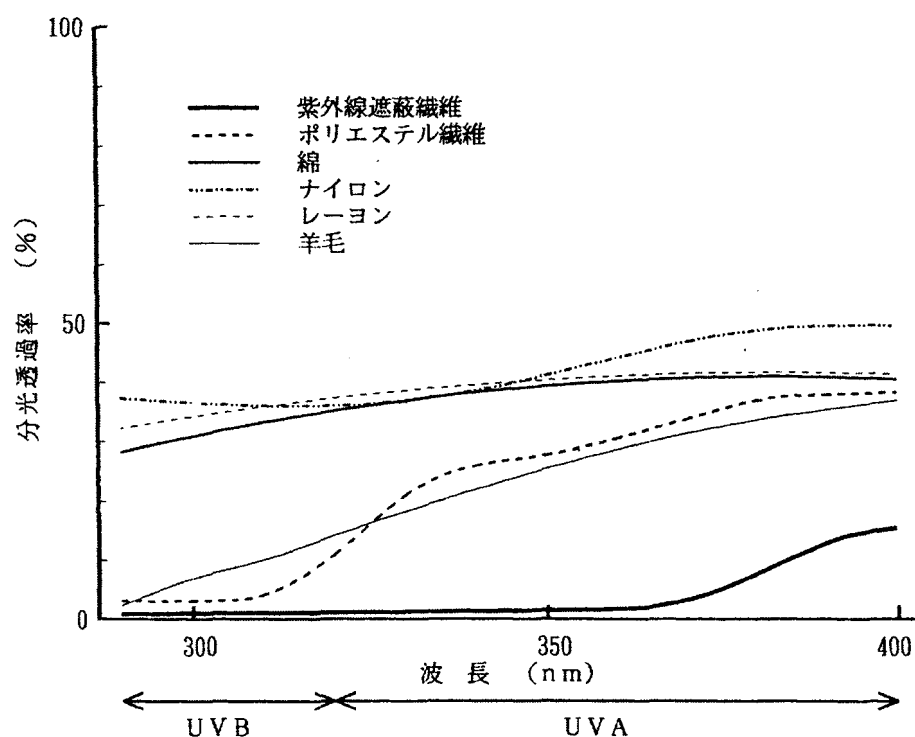


図 1-4 各種布帛の分光透過率曲線 [44]

UPF 法は、オーストラリア/ニュージーランド規格 (AS/NZS 4399) で定められた方法で、UPF (Ultraviolet Protection Factor) 値により遮蔽性能を評価する方法である。UPF 値は波長 290nm から 400nm の遮蔽率を 5nm 間隔で測定し、各波長に対する皮膚の感度と日光の相対エネルギーを係数に入れて計算される。この際使用されるのが、前述の CIE 紅斑作用曲線である。この紅斑作用曲線にも種類があり、最も一般的な CIE

と、国際非電離放射線防護委員会（International Commission on Non-ionising Radiation Protection (ICNIRP)）による紅斑曲線を使用した UPF 計算の比較なども報告されている[39]。

このようにして算出された UPF 値によって衣服の紫外線遮蔽評価は 3 段階に分類される。UPF が 15~24 の程度は Good protection、UPF が 25~39 の程度は Very good protection、UPF が 40~50 にまであがると Excellent protection と等級分けされる[23]。例えば、UPF30 では Very good protection とラベリングされるが、何もしていない状態に比べて、その繊維製品を身につけると 30 倍日焼けしにくいことを意味しており、SPF の考え方同様わかりやすい指標となっている。

しかし、分光光度計による実験室での評価(*In vitro*)である UPF 値が本当に妥当かどうか疑問が残る。これについては Gambichler T らにより、実際に人体において、布で覆った時の MED の、覆っていない時の MED に対する割合により、その *In vivo* UPF 値、すなわち従来で言う SPF 値を算出し、その比較を行っている。その結果、分光光度計による *In vitro* UPF 値は、人体による *In vivo* UPF 値に比べて値が高いことが報告されている[40,41]。

一方で、一つの試料を異なる国の異なる試験場で、異なる試験機器を使用しても同じ UPF 値が出ないと評価基準として成り立たない。そこで、Laperre J ら[42]により各国 8 箇所の試験場にて様々な試料の測定を行い、その UPF 値を比較した処、UPF 値の高いものほどばらつく傾向がみられた。大量に評価判定を行うために自動試料採取装置を使用し、自動に測定する方法も考案されている[43]。

このように、欧米諸国では多く用いられている UPF 値であるが、日本国内ではまだ統一基準として導入されていない。日焼け防止効果としてはわかりやすく消費者の手に渡る最終製品のラベルとしては有効であるが、布の紫外線遮蔽機構を解明するための指標とするには各波長における紫外線遮蔽率を検討する方法が最も適切と思われる。

各種布帛の分光光度計による透過スペクトルをみると（図 1-4）、各繊維において、その透過率は紫外線波長の短い領域において小さく、波長が長くなるにつれて透過率が高くなる傾向がある。羊毛およびポリエステルについては他の繊維に比べて全体的に透過率が低く、さらにポリエステル繊維では、波長の短い UV-B の領域での透過率が極端に低いという特徴がある。これは、ポリエステルが分子内に芳香族環を有する

ポリマーから構成されており、紫外線に対する分子吸光係数が高いためである。ポリエステルにおいてはUV-Bの波長領域はほとんど遮蔽されていると考えられる。また、羊毛も構成分子の一部に芳香族アミノ酸残基(トリプトファン3~4%、チロシン約6%、フェニルアラニン約4%)を有し、トリプトファンの分子吸光係数が高く、また側鎖的に結合している芳香環の蛋白質内での拘束性が弱いこともあって、紫外線を吸収しやすい分子構造になっているとの報告[44]がある。

このように、各繊維においてその波長ごとの吸収特性は異なるが、UV-Bに比べてUV-Aの透過率がすべての繊維において多く、逆転する試料が無いことから、布構造についてその遮蔽性能の機構を解明する目的としては、透過能力の大きいUV-Aを中心とした波長領域について検討するのが適していると考えられる。図1-5に段階的に織り密度を変化させた綿織物の分光透過率曲線を示す[45]。織り密度が変化しても、UV-Aの透過率以上にUV-Bを透過する試料はみられない。UV-Aにて高い遮蔽率となる布構造であれば、UV-Bにおいても同様にほぼ平行して遮蔽率が高くなることわかっている。

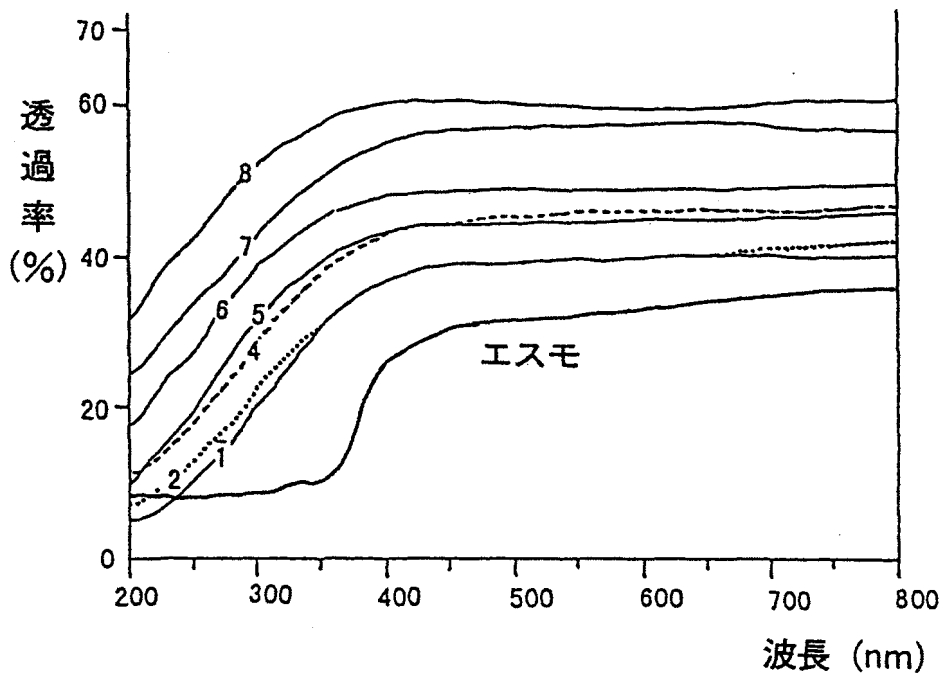


図 1-5 分光透過率曲線 [45]
(1 から 8 へ織り密度が粗くなる試料を使用)

4) 紫外線強度法

紫外線強度法は、紫外線強度測定器を用いて試料を透過した紫外線量と無試料時の紫外線量との関係から遮蔽率を求める方法である。光源は太陽光そのもの、および紫外線を発するランプなどが使用される。坂本ら[35]により、紫外線強度法による評価方法について、分光光度計法との高い相関性が報告されている。この紫外線強度法は、分光光度計法と異なり、実際に測定する紫外線領域の波長は、光源となる太陽もしくは紫外線ランプの発する紫外線のピーク波長と、受光部である紫外線センサーの測定波長により決定される。分光光度計法のように明確に何 nm の波長における透過率、といった測定はできないが、多様な測定方法がとれ、短時間で測定可能な利点がある。例えば、分光光度計法では、機械内の閉ざされた空間内で垂直に立てられた試料ホルダーに装着して測定するしかできないが、紫外線強度法ではセンサーの設置場所を自由に設定可能であり、センサーから試料までの距離も自由に変化させることができる。また、ガラス窓とカーテンの組み合わせを想定して設置するなど、実際の生活に即した測定が可能である。さらに布が濡れた場合の測定時に布表面が水で覆われるほどの高い水分率においては垂直に試料を設置する分光光度計法では測定が不可能であるが、紫外線強度法では可能であり、さらに極端な条件では水平に容器を設置することで、水中での布の紫外線遮蔽挙動を測定することも可能である。

以上の結果、本研究では、高い水分率での測定を試みるため、紫外線強度法にて測定を行うのが最適であると考えられる。さらに、測定する紫外線の波長は UV-A とする。UV-A は地上に到達する紫外線量が最も多く、UV-B に比べて透過する能力が高い。枚数を重ねて厚みを変化させるなどの構造の変化による遮蔽率の変化を捉えるためには透過する能力の高い UV-A が適切であると考えられる。同一の糸を用いて布構造を変化させる場合、物質そのものが変化しないため、UV-B と UV-A の吸収特性が逆転することは考えられない。したがって、UV-A で遮蔽効果が高いと考えられる布構造は UV-B と UV-C においても効果が高いと考えられ、布構造による遮蔽を考える際には、最も紫外線量が多く透過能力の高い UV-A を対象とすることが最適であると考えられる。

1.2.2 紫外線遮蔽性能に関わる要因

繊維製品に紫外線遮蔽性能を付与するには2つの考え方がある。一つは紫外線を反射させて皮膚に到達させないようにする方法、もう一つは紫外線を吸収して皮膚に到達させないようにする方法である。反射法は、酸化チタンや酸化亜鉛などのセラミックスの微粒子を紡糸する際に練り込み、紫外線を散乱反射させることにより紫外線を遮蔽するものが主であり、吸収法は、有機系の紫外線吸収剤（ベンゾトリアゾール系、ベンゾフェノン系などの芳香族化合物）を用いて、含浸法やコーティングなどの後加工で繊維表面に付与する[31]。

図 1-6 に無機化合物の分光透過曲線、図 1-7 に紫外線吸収剤の吸収曲線を示す。セラミックスは無機微粒子でチタン、亜鉛、炭酸カルシウムなどが用いられている。セラミックスは安定性が高いなどの利点も多いが、多量に添加するとガイドの摩耗など繊維の工程通過性を低下させたり、耐光性の低下を招きやすいため、成分、粒径、安定剤などの工夫が必要である。有機化合物はベンゾトリアゾール系、ベンゾフェノン系などが代表的であり、ベンゾトリアゾール系は、①近紫外線領域を最大吸収領域としている。②紫外線吸収剤の中では比較的安価である。③分子構造、分子量的にポリエステル繊維に吸着しやすい。④高温水溶解度が比較的高い。⑤融解温度が比較的高い。⑥毒性が少ないと言った理由から最もよく利用されている[46]。

しかし、化合物自体はほとんど反応基をもたないため、いかにして単分子状態で繊維表面に吸着付与させてやるかが利用の鍵となっている。サリチル酸系はその物性（融点が低い、昇華性が強い）と吸収領域が短波長側にあること、ベンゾフェノン系は高価であることなどが問題として残っている[46]。

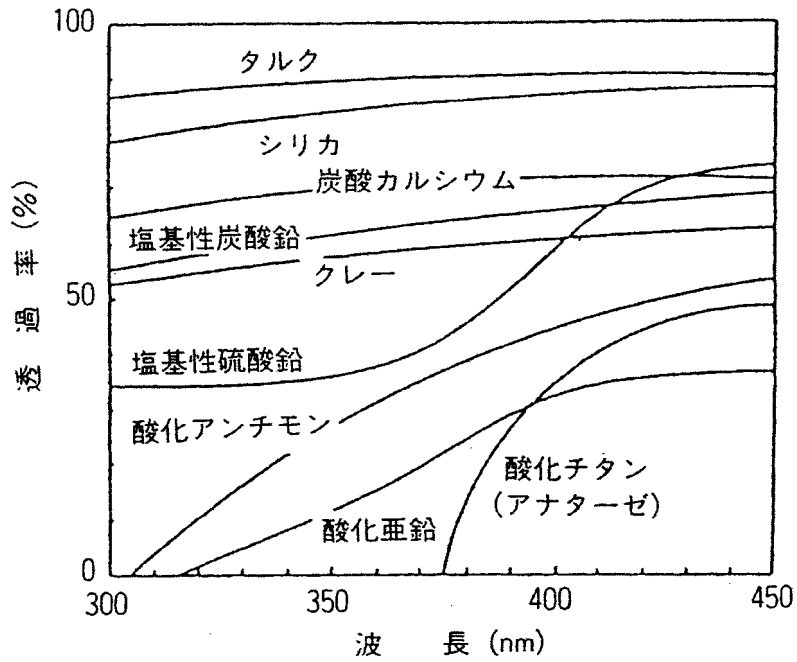


図 1-6 無機化合物の分光透過率曲線[46]

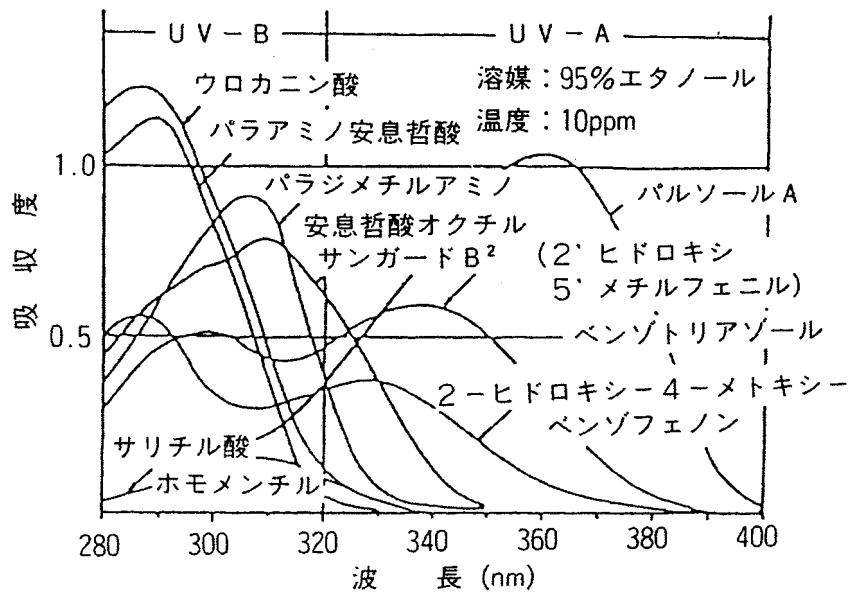


図 1-7 紫外線吸収剤の吸収曲線[46]

1992年頃より発売された日本における各社の紫外線遮蔽加工繊維を表 1-5 に示す [47]。その後も、各社から様々な紫外線遮蔽加工布が提案され、その原理や性能などが報告されている [5~18]。

表 1-5 各社の UV カット素材 (含むクーリング素材) [47]

会社名	商品名・商標名	技 術 内 容	適 用 服 種	販売開始
帝 人	フィジオセンサー (Ef)	可視光線反射性と紫外線遮蔽性を有する成分を練り込んだ特殊構造繊維と高次後加工の併用	ブラウス, スカート, スーツ, ユニフォーム	92年夏
東 レ	アロフト (Ef)	太陽光反射性と紫外線遮蔽効果のある微粒子を練り込んだ繊維使用のクーリング素材	スポーツ, シャツ	92年
	エステネージュUV (E)	太陽光反射性微粒子を練り込んだ繊維 (アロフト, アルターUV) と紫外線吸収剤後加工 (テアサロン) との併用	一般アウター(シャツ, ブラウス), スポーツ	92年
ク ラ レ	エスモ (素材, E) パコニア (織物)	可視光線反射性と紫外線吸収性能を有するセラミックスを練り込んだ繊維使用素材	ブラウス, ゴルフパンツ, シャツ,	91年春夏
	UV-X, クラサーモ (織編物)		ゴルフシャツ, 帽子, 傘, スポーツシャツ	92年春夏
東洋紡績	ベンスワード (素材, Ef)	可視光及び近赤外線反射性と紫外線吸収性能を有するセラミックスを練り込んだ繊維と紫外線吸収剤後加工との併用	スポーツ	92年春夏
	ジュミネスUV (綿, E/綿, An)	紫外線吸収剤による後加工	シャツ, ブラウス, ジャージ	92年春夏 92年秋
ユニテカ	サラクール・SCY (Ef)	可視光・赤外線・紫外線を遮蔽する断熱セラミックスを芯・鞘構造の繊維の芯部に練り込んだ繊維使用素材	ブラウス, スポーツ	92年春夏
	トナードUV (Ef)	紫外線散乱セラミックスを練り込んだ繊維に紫外線を吸収する芳香族化合物を繊維内部に付与した素材	ブラウス	92年春夏
	セミセリア (Es)	紫外線遮断, 散乱効果を有する特殊セラミックスを練り込んだ繊維使用素材	ブラウス, スポーツ, 婦人一般, 帽子, カーテン	92年春夏
	サンブラン (綿, E/綿)	紫外線吸収剤 (特殊高分子化合物) による後加工	ユニフォーム, ゴルフシャツ, アスレチック, Tシャツ, 帽子	92年春夏
三 菱 レイヨン	オーボエ (Ans)	可視光反射性と紫外線遮蔽性能を有するセラミックスを練り込んだ繊維使用素材	セーター, カジュアルシャツ	91年春夏 92年春夏
	サンアミー (TA)	紫外線吸収剤による後加工により繊維に付与する	ブラウス, スーツ	92年春夏
東 邦 レーヨン	サマーカットUV (An及び綿混)	紫外線吸収効果の高い有機化合物による後加工	シャツ, ブラウス, スポーツウエア	92年春夏
日東紡績	ダンシャイン (綿, E/綿, 綿/麻)	紫外線吸収効果の高い芳香族系有機化合物による後加工	スポーツウエア, シャツ, ブラウス, 帽子, ユニフォーム	92年春夏
鐘 紡	ナビユーバイ (綿, 絹, 毛織編物) (E織物)	複合型紫外線吸収剤による後加工	ブラウス, スポーツシャツ, ブラウス, 水着	92年春夏 92年春夏 92年春夏
	(N/U織物)	同 上		
大和紡績	リエンツイ (E/綿)	光の波長に応じて吸収効果, 反射効果に優れたセラミックスを練り込んだE繊維と綿との混用素材	シャツ, ユニフォーム	92年春夏
	リエンツイ (綿)	紫外線吸収剤による後加工	ブラウス	92年春夏
日清紡績	サンシェルタ (綿, E/綿織編物)	ポリマー変性有機系と紫外線吸収剤と超微粒子タイプの酸化金属系の紫外線反射剤による後加工	婦人ブラウス, 婦人カジュアル, スポーツ, ユニフォーム, 帽子	91年夏 92年春夏

(E: ポリエステル, An: アクリル, N: ナイロン, U: ポリウレタン, TA: トリアセテート, f: フィラメント, s: ステープル) 但し, 日本化学繊維協会加盟各社の素材のみ集録

紫外線吸収剤そのものについての報告も多くみられ、新しく開発された紫外線吸収剤や反射剤の効果[48~65]や、その添加方法の検討[66,67]により、より優れた遮蔽性能を持ち、洗濯堅牢度も高く、耐クリーニング性がある高レベルの付着性を示す方法が開発されている。

このように、繊維製品に紫外線遮蔽性能を付与する方法については様々な研究がみられ、セリシンを利用した加工に UV カット効果が認められる[68]など、新たな紫外線遮蔽剤の開発が行われている。一方で、紫外線遮蔽加工とは異なるが、紫外線遮蔽性能を高める要因として、染色による着色、および洗剤などに含まれる蛍光増白剤の影響が挙げられる。

色の影響については一般的な感覚として濃い色が紫外線遮蔽効果が高く、薄い色は紫外線遮蔽率効果は低いと考えられる。一口に濃い、薄いと言っても色は様々な色相、明度、彩度の組み合わせがある。坂本ら[44]は、布の色相が暗いほど、また濃色であるほど紫外線遮蔽性能が高く、同じ色調であれば明度 L^* の低下と共に遮蔽性能は直線的に向上することを報告している。しかし、染色布の場合、染色に用いられている染料そのものの染料構造と光吸収特性、染着量などが問題となる。

これらの問題を解決するため、美馬らは、様々な化学構造を持つ赤色直接染料を用いて綿布による染色布について報告を行っている[69]。これらの染色布は淡色であっても白布に比べて紫外線遮蔽性能は大きく、布の紫外線遮蔽性能は布上の染料濃度に比例して明度の低下と共に向上することを明らかにした。さらに同じ赤色でも染料構造によってそのモル吸光係数比や染着性が異なり、総合すると Red23 が紫外線遮蔽性に優れた染料であると結論づけている。同様に青系、黄系では UVB 領域で青系がモル吸光係数が高く、黄系は UVA 領域で高い。黄系は淡色であっても UVA 領域で高い紫外線遮蔽率が認められ、赤や青は濃色において紫外線遮蔽効果が向上し、同じ視感反射率の染色布を比較すると赤が青より優れているとしている[70]。ポリエステル染色布における分散染料では、ポリエステルは元々 UVB 領域の紫外線遮蔽性能が高いため、UVA 領域に高いモル吸光係数をもつ染料が有効であるとし、Yellow3 が UVA のみならず、UVB にも高いモル吸光係数をもつため直接染料同様、紫外線遮蔽性能が高いことを示している。また、布上の染着量が大きいと、遮蔽率が増加することから染料染着量を求めれば遮蔽率を求めることができる[71]。また、染料は光エネルギーを吸収しやすいほど紫外線遮蔽性能が高いが、一方で染色布の耐光堅牢度の問

題が発生する。淡色の染色布では退色によって遮蔽率が低下するが、遮蔽率 90%以上を有する濃色染色布では光退色によって視感反射率 Y%はやや高くなってもほとんど遮蔽率に影響を受けないことを明らかにしている[72]。

同様に、Srinivasan Mら[73]によると、14種類の直接染料での綿染色布において、染料の染着濃度およびUV吸収特性に依存して綿布のUPF値が大幅に向上したとの報告がある。さらに、綿布のUPF値は染着染料濃度および染料の吸収度と共に増加し、染着濃度が同じ時のUPF値は染料のUV-B吸収特性に依存することが示された[74]。Gorensek Mら[75]は通常の酸とアルカリ高温染色工程の影響を調べた。ポリエステル布を分散染料で染色した結果、淡色オレンジとブルー染色布が、高い十分なUPF値を示し、淡色赤色布はそのような値に達しなかったとしている。また、天然染料による紫外線遮蔽効果を検討し、抗菌効果など付加価値に着目した報告[76,77]もみられる。

蛍光増白剤の影響については、西沢により、ナイロンフィルムを基布とした検討[78,79]がなされ、蛍光増白剤を処理したものは、未処理と比べて紫外線遮蔽効果が認められたが照射時間の増大により透過紫外線強度が大きくなっていく傾向を示し、蛍光増白剤の蛍光の消失と関係するものと考えられる。また、Eckhardt Cらは洗濯による蛍光増白剤処理布に比べて紫外線吸収剤を含有する洗剤で洗濯した処理布の方がUV-Bの吸収が高いことを報告している[80]。Zhou Yらは蛍光増白剤OBAを含む洗剤と含まない洗剤を用いて比較したところ、綿布や綿ポリ混紡布の紫外線遮蔽能力は改善されるがポリエステル繊維やナイロン繊維のみの布は効果がなく、特に繰り返し洗濯によってUPF値が高まることを明らかにしている[81]。

このように、紫外線遮蔽加工剤、色の影響、蛍光増白剤の効果など、布に加工を施し、その効果をみる報告は多くみられ、人体に影響が少ない加工剤が開発されている。しかし、加工を施す場合、合成繊維であれば練り込み方式が可能であるが、天然繊維に対しては後加工しか加工を施す方法が無く、その洗濯堅牢性もさることながら、着用時の皮膚への影響、着用時の快適性が懸念される。1991年、鹿庭らはポリウレタンエストラマーを使用したTシャツの接触皮膚炎の原因物質を特定し、ベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤を発症原因物質と結論づけた[82]。近年では加工技術の進歩により、洗濯耐久性も高く[83]、染色や加工剤などでの皮膚障害の報告は少なくなっているが、乳幼児やお年寄り、皮膚の敏感な人にはその心配は残っている。一方では、

加工や染色の際の廃液の問題などの環境に対する影響も懸念される。

また、比較的人体に対して安全と考えられる練り込み方式による合成繊維の紫外線遮蔽加工布では、作業着などに利用した場合、その吸水性が悪く、綿に比べて不快感を示すとの報告[84]がある。さらに、吸水性のよい綿においても、後加工を施した場合、主に樹脂加工によることから目詰まり現象が起こり、その未加工布に比べて通気性が低下することも報告されている[85]。佐藤ら[86]は色素性乾皮症患者のために紫外線遮蔽のみならず、暑くくしくない生地について検討を行っており、軽さにも言及している。このような中で、オーガニックコットンが、その栽培過程で農薬などを使わないことから環境にやさしい繊維として人々の関心が高ただけではなく、元々繊維に茶色や薄緑などの自然の色がついていることから、紫外線遮蔽性能が高く、皮膚の弱い人にも安心して着用できる衣類として注目をあびている。しかし、このような天然で色を持つ繊維は少ない。天然繊維は、科学技術が発達し、さまざまな機能性をもった化学繊維が開発されている今日においても、なお使い続けられている。人に直接触れて使用される繊維製品は人と調和すること、人の感性と適合することが重要であり、こうした性能を天然繊維が備えていることに理由があると考えられる。

そこで、これらの化学物質などに頼らずに紫外線遮蔽性能を向上させ、安全で快適な衣服を設計するためには布の構造を吟味することが重要と考えられる。布の紫外線遮蔽性能に影響を与える布の構造には、繊維の種類、短繊維（ステープル）か長繊維（フィラメント）か、繊維の太さ、糸の太さ（番手数）、糸の撚り数、織密度、厚さ、織り・編み構造（平織り等）などが挙げられる。「紫外線保健指導マニュアル」[4]では、紫外線対策として「しっかりした生地の衣服を着る」という曖昧な表現が用いられており、一般論として、紫外線遮蔽性能が大きいのは、ステープル>フィラメント、加工糸>フィラメント、細い繊維>太い繊維、高密度>低密度、厚い生地>薄い生地、織物>編み物などと言われている[46]。布の構造は、紫外線遮蔽性能を検討する際の基本的要因であり、非常に重要な問題であるが、これら様々な要因の中から、単一の要因の影響を調べるためには調べたいパラメーターを除き全ての条件を統一した試料を作成する必要がある。しかし、このような試料を準備することは非常に困難である。

Gies H P[87]らは 2000 以上の市販布試料にて UPF 値を算出し、織り編み構造、色、目付、伸縮の影響などについて述べているが、色や構造が様々な試料においては最も

有効に働いたファクターが何か限定できない。1997年に Beyer A Gらは色を白色に限定し、33種類の織物を対象とした実験を行い、そのうちの18種類の綿織物について、布厚さが最も良い予測因子であり、厚さが同じならば糸密度とカバーファクターの関与も大きいとしている[88]。1999年に Crews P Cらは綿、レーヨン、絹、羊毛、ナイロン、ポリエステル43種類の様々な試料による測定を行い、その繊維の種類と、糸番手、厚さ、クロスカバーファクター、パーセントカバー（気孔率）とUPF値との検討を行っている。その結果、顕微鏡画像分析によるパーセントカバー（気孔率）が最良の予測因子であり、繊維の種類と布の厚さも重要な関与因子であると述べているが、繊維間の比較では種々の構造の布のデータを平均している[89]。同様の研究は横山[90]、石橋ら[91]にもみられ、それぞれ様々な素材、色、織り構造をもつ市販生地112点、および、250点を試料としてその紫外線遮蔽性能について述べている。しかし、これらの研究のように、様々な種類の布を試料とした場合、傾向としては捉えられても実際にはファクターを一つに限定し、その他が同一の布構造をもつ試料布を作成しないと最も影響を及ぼす要因が何かを明確にはできない。

一方で、坂本らによる綿布の糸太さと糸本数を変化させた試料による結果では目付と、布帛の開孔度を示す代用として通気度と透け性をとりあげ、目付が高く、通気度が小さく、透け性が小さいほど紫外線遮蔽率が高いことを示している[44]が、気孔との関係については述べられていない。

桑原らは様々な構造を持つ試料布の吸収と拡散反射に着目し、主に粉体に利用される Kubelka の理論を用いて吸光係数と散乱係数を求め、その方法の妥当性を示した。それらの結果によると、紫外線透過の差異は、散乱係数よりも吸光係数による影響が強いことを報告している[92]。また、2枚重ねの布に対して、異種の布を重ねた場合、入射側に透過率の大きい試料を置いた方がその逆より透過率が小さくなること、さらに、重ねることによる見かけの反射係数は2枚の単体試料の反射係数によって決定されることをみだしている[93]。さらに桑原らは、織り密度を段階的に変化させた試料を用いてその織り密度と糸の撚りの影響を検討し、密度が高く、糸の撚りが少ないほど透過率が低下することを報告している[94]が、気孔率にはふれられておらず、糸の撚りが変化すると、気孔率も変化すると考えられることから、気孔率の変化による影響の方が大きい可能性があると考えられる。

また、Hilfiker Rらにより、繊維の種類、厚さ、多孔性、紫外線吸収剤および蛍光

染料の種類と濃度をパラメータとした、織物の太陽光線保護係数を予測するモデルが提案されている[95]が、使用された試料の詳細が明記されておらず系統的な試料かどうか不明であり、多孔性(気孔率)を直通の光透過によって決定していることから、顕微鏡による見た目の気孔率とは異なると考えられる。

このように、布構造に関する系統的な試料による報告は少なく、布構造の要因として何が最も紫外線遮蔽性能に対して重要なファクターであるのか明確にされていない。

一方で、太陽による紫外線の強い夏期は、屋外や海などでのレジャー、スポーツが多く行われる時期でもある。衣服が激しい運動や労働により汗で濡れたり、マリンスポーツなどで海水に濡れたりした時、皮膚や下着が透けて見えることがあるのを我々は日常的に経験しているが、布の湿潤状態における紫外線遮蔽性能に関する報告はほとんどみあたらない。

衣服が濡れた状態での紫外線遮蔽性能に関しては、Parisi A Vらが白と黒の綿100%のTシャツを用いてWetとDry条件でその紫外線透過率を測定し、UPF値を算出してWet時のUPF値がDry条件に比べて低下することを報告している[96]が、水分率が明記されておらず、水分率による影響が明らかにされていない。Gambichler Tらは市販布69点を用いて同じくWetとDry条件でUPF値を算出しており、湿潤時に透過率が増加することを示し、試料によっては湿潤により透過率が低下するものがあることを報告している[97]。Crews P Cらは、様々な一般布13点を用いて、蒸留水、塩素水、海水の3種類の水の影響を検討したがそのいずれも有意な差は認められず、湿潤の影響を検討する際には蒸留水を用いるべきであるとしている[98]。この報告でも、湿潤により紫外線透過率は増加し、UPF値は低下するが、試料によってはUPF値が増加するものがあることを示している。Zhang Zらの報告[99]の中でも同様の現象がみられるが、これらの報告にみられる挙動は水分率の調整が行われていないため、どの程度の水分率で起こるのか捉えられておらず、湿潤によって布の構造がどのように変化し、その結果、紫外線遮蔽性能がどう変化するかが解明されていない。

桑原らは農作業時の作業服の紫外線透過性について研究を行い[100~102]、その中で汗付着による紫外線透過率への影響を報告している。綿、ポリエステルおよび羊毛の白布および染色布にて、被験者による汗を付着させた試料と、蒸留水のみを吸収させた試料の水分量を段階的に変化させて紫外線透過率を測定した結果、汗、蒸留水共

に水分率が高くなると紫外線透過率が上昇し、UV-A では汗と蒸留水の違いは認められないが、UV-B、UV-C 領域では汗の方が透過率が低く、汗中の UV-B、UV-C 領域の紫外線を吸収する物質の存在を示唆している。この報告では水分率が調整されているが、試料によって透過率が低下する現象が捉えられていない。

このように、布の湿潤状態での紫外線遮蔽性能については、布が濡れて水分率が高い状態では紫外線の透過が多くなり、遮蔽性能が下がることについては明らかとなっているが、その低下の原因が水そのものによるものであるのか、繊維が膨潤するためなのかなど、湿潤による布構造の変化と関わる検討はなされておらず、水分がどのように作用しているのか解明されていない。また、試料によっては湿潤状態で紫外線遮蔽率が上がるものが確認されているが、その現象が起こる水分率、布構造なども捉えられていない。

以上のことから、本研究では加工や染色などの手段に頼らずに、布の紫外線遮蔽性能を高めるため、布構造に注目し、フィラメント糸と紡績糸といった糸構造および、織密度の影響、繊維間隙、糸間隙などの織構造の影響を、系統的に織られた試料を用いて詳細に実験によって明らかにする。中でも繊維および糸間隙、すなわち気孔に着目し、織物の紫外線遮蔽性能を解明するため、平織り構造をもち、気孔は存在するが織物であれば糸にあたる部分は紫外線を通さない有孔材料としてステンレスメッシュを、また、紫外線を通すが直通気孔が存在しない無孔材料として濾紙を取り上げる。

さらに、布の湿潤状態が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を捉えることを目的として、水分率の変化による紫外線遮蔽率の変化を捉え、湿潤状態で紫外線遮蔽率が増加する現象を解明する。平織り構造をもち、気孔が存在するが、繊維、糸にあたる部分は水分を吸収せず、膨潤しない非膨潤有孔材料としてステンレスメッシュと、繊維は膨潤するが直通気孔が無い膨潤無孔材料として濾紙を用いて、繊維の膨潤および気孔に充填された水分が紫外線遮蔽性能に与える影響を検討する。

1.3 紫外線遮蔽性能と衣環境設計

実際の繊維製品使用時において、着用感、使用感の良さを考慮するならば、紫外線遮蔽のみならず、他の様々な性能を考慮して衣環境を設計する必要がある。紫外線遮蔽性能は重視すべき性能ではあるが、遮蔽性能を高めることのみを追求し、一切気孔が無く、厚いフィルム状の衣服などを想定すると、衣環境としては高温多湿となり、不快な状況が起こりうる。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ことが重要である。そこで、衣環境設計に関わる紫外線以外の透過性能である、光、空気の透過性能に着目した。

光の透過性能としては、まず紫外線よりも長い波長領域である可視光の遮蔽性能を表す遮光性が挙げられる。これは、衣服よりむしろカーテンなどの繊維製品で必要とされる性能であり、JIS L-1055A[103]にて測定方法が定められ、入射する光を遮る性質と定義されている。遮光性についての研究はカーテンにおける色と照度の研究[104]や、採光性能と視界の遮断に関する研究[105]、織り組織の工夫による光の透過異方性や透過性のコントロール[106~112]に関する報告などがみられる。温度変化または紫外線の強弱により変色する、感光色素を付着させた糸素材の開発[109]など、紫外線との関わりについて述べた報告もみられるが、遮光性能と紫外線遮蔽性能の関わりを詳細に検討した報告はほとんどみられず、湿潤状態での遮光性についての報告はみあたらない。

また、同様に光の透過性能の一つとして、透け性[113]が挙げられる。我々は、衣服着用時に衣服を通して下に着用している衣服や下着、肌などが透けて見えることを日常的に経験している。特に、衣服が濡れた場合はその傾向が顕著であり、綿布は濡れると紫外線遮蔽率が低下し、親水性の高い繊維の方が湿潤状態での透け性の増加が大きいことが報告されている[113]。そのため水着を中心として透け性を低くした商品の開発が進んでいる[114~122]。透け性を低くするための手段としては、糸そのものの透過性を下げる方法が報告されており、繊維の形状を異形断面にすることで光を拡散させたり、セラミックスを練り込むことにより光を拡散させたりする手法がある。衣服が透ける現象には肌や下着が透けて見えるといったマイナス面に対して、透ける衣服を重ね着することで新しい表現方法となるプラスの面もある。衣服の透け性に関

する報告は、色との関わりにおいて透け性を研究したものが多くみられ[123~128]、実際に即した報告が多い。吉野らは透ける現象を衣服を通して内にある皮膚と下着などの色やその境が透けて見える透視Aと衣服を通して空間や両足の内腿に囲まれた部分が透けて見える透視Bに分け、目視および照度により判定を行っている[129]。また、色差計による $L^*a^*b^*$ 値を用いて色差 ΔE による判定を行い、視覚判定との関係を報告している[130]が、織物の構造そのものと透け性については明らかにされていない。また、透け性の評価方法としては、坂本[113]により ΔL^* や明度 ΔY を用いる方法が提案されており、繊維別ではナイロン、キュプラの透け性が高く、形態としてフィラメント糸の方が紡績糸より透けやすい。また、布地は厚く、密なほど透け性は減少することが報告されているが、繊維内と、気孔そのものを透過する影響については明確にされておらず、透けて見えることと紫外線遮蔽率の関連についての詳細な検討はなされていない。

一方で、布の通気性は衣服の快適性に大きく影響を与える因子である。そこで、通気性を空気の透過性能として取り上げることにした。従来の通気性測定方法には JIS [131]により定められたフラジール型法やガーレ法などがある。中でも、標準的によく用いられるフラジール型通気性試験機では、125Pa の圧力差を示す時の試験片を通過する空気量 ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) を測定する。しかしこの方法では、圧力が高すぎて、衣服着用時の通気状況に近い測定条件である微圧力差、すなわち微少通気量下での測定値が得られないことなどが問題となる。都竹らによって石けん膜の移動による微圧力差での測定が行われ、理論式を提案し[132]、その後様々な条件にて研究が進められている[133~137]が、直接測定しないための誤差など、精度を得るための多くの難点がある。そこで、1987年に川端により、一定の通気量を与え、その際に生じる圧力差を高速応答でかつ高感度の圧力センサーで検出する通気度試験機 (KES SF-8AP) が開発された[138]。

通気性の予測に関する報告では、様々な布の要因から検討が行われており、繊維集合体や不織布など織物ではない布の挙動についての報告も多い[139~145]。様々な糸の織物よりその構造や撚り、けん縮の影響を明らかとしたもの[146,147]や、様々なタイプの織物より、厚さ、重量、見かけの比重や気孔容積、糸密度などの布構造の影響を明らかにしたもの[148~152]が数多くみられる。中でも、布の構造から通気性を予測する理論的方法が1992年、中西ら[150]により報告され、織物の糸間隙と、糸中

の繊維間隙の両方の影響を考慮して、布の厚さ、糸密度、糸の番手、繊維比重と繊維直径をもちいた布の通気性の予測式を誘導し、その予測式にもとづいた糸密度、繊維直径、繊維素材などが通気性に及ぼす影響の計算例を示している。さらに実験によりその妥当性を証明し、積層布の通気抵抗は、単一布の通気抵抗の加算則が成立することを明らかとした[145]。また、湿潤状態では通気抵抗が増大し、その変化と布の空隙の大きさとの間に関係があるとの報告がある[19]。Wehner J Aら[153]は水分吸収による構造変化と通気性の関係について論じているが、紫外線遮蔽性能との関わりについて検討されたものはみあたらない。

このように、遮光性、透け性および通気性の個々の性能に関する報告は数多くみられるが、紫外線遮蔽性能との関わりについての報告や、湿潤状態に関する報告についてはほとんどみあたらないのが現状である。

以上のことから、本研究では標準状態および湿潤状態での、遮光性、透け性および通気性と、紫外線遮蔽性能との関わりを検討することにより、着心地のよさを考慮した上で、紫外線遮蔽性能を最大限にもたらし衣環境設計への提言を行う。なお、実際の着用時では、衣服内気候（温湿度）の検討が重要であるが、本研究では布の状態での性能の検討に重点をおく。

1.4 結 論

現在深刻な問題となっている、オゾン層の破壊に起因する紫外線増加に対応するため、衣服による防護が重要となっている。文献研究により紫外線の特徴や人体への影響をふまえて紫外線遮蔽性能の評価方法について検討を行った結果、糸本数を変化させたり、試料枚数を重ねて厚みを変化させるなどの布構造の変化による紫外線遮蔽率の変化を捉えるためには、地上に到達する紫外線量が多く、UV-B に比べて透過能力が大きい UV-A を中心とした波長領域における測定が適していることを確認した。また、測定方法としては、センサーが自由に設置でき、実際に即した測定が可能であること、および、試料を水平に設置でき、高い水分率での測定が可能であることから、紫外線強度法が適していることを確認した。

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。しかし、先行研究においては市販製品を用いての研究が多く、多々ある布構造のパラメータの大体の傾向は捉えられていても、単一の要因を除いて全ての要因を統一するなど、コントロールされた試料における報告は少ない。

また、汗などで衣服が濡れることは日常的に経験しており、布が濡れた場合、紫外線遮蔽性能が低下することが報告されているが、その低下と布構造の変化との関連は検討されておらず、水分がどのように作用しているのか解明されていない。さらに水分率を段階的に変化させた報告も少なく、水分率が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響は明らかとなっていない。

さらに、実際の繊維製品使用時において、着用感、使用感の良さを考慮するならば、紫外線遮蔽のみならず、他の様々な性能を考慮して衣環境を設計する必要がある。中でも紫外線以外の透過性能である、遮光性、透け性および通気性は快適性と密接に関わっており、衣環境設計の際重視すべきであるが、個々の性能については数多くの研究がみられる一方で、湿潤状態における報告や、紫外線遮蔽性能との関わりについての報告はほとんどみあたらない。

以上の文献研究の結果をふまえ、第2章では、標準状態における繊維製品の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。第3章では衣服が濡れた場合を想定し、布の湿潤状態が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を捉えることを目的とした。さらに各章において、それぞれの状態における遮光性、透け性および通気性と紫外線遮蔽性能との関わりを検討することにより、着心地のよさを考慮した上で、紫外線遮蔽性能を最大限にもたらす衣環境設計への提言を行う。

第2章 標準状態の織物の紫外線遮蔽性能

本章では、織物の紫外線遮蔽性能についてその構造面から検討を行う。まず、2.1では、紫外線遮蔽率の測定条件を決定し、織構造が紫外線遮蔽率に与える影響を捉える。中でも織構造の一つである糸と糸との間の間隙に着目し、同じ太さの糸を使用して系統的に糸密度のみを変えて空隙率を変化させた織物試料を用いて実験を行い、空隙率の定量化を試みると共に、空隙率が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を明らかにする。

また、織物の構造の中でも特に直通気孔の影響を検討するため、有孔材料と、無孔材料を用いて紫外線遮蔽性能の解明を行う。有孔材料としては、平織り構造で気孔が存在するが、繊維、糸にあたる部分は紫外線を通さないステンレスメッシュを取り上げ、無孔材料としては、繊維は紫外線を通すが直通気孔が無い濾紙を取り上げることとした。さらに試料を重層し、枚数の増加による紫外線遮蔽性能の変化を捉える。衣服着用時には重ね着をする場合も多く、布が重なった時の挙動を解明することは重要である。織物は気孔が存在するため、布を重ねることは単純に厚さが増すだけではなく、気孔をふさぐことが遮蔽性能に大きく影響すると考えられる。ここではまず、完全に紫外線を遮蔽するまで布を重ね、各枚数での紫外線遮蔽性能を測定し検討を加える。さらに、実生活に即した2枚重ねの布について検討を深めることとする。これらの実験をもとに、織構造が紫外線遮蔽率に与える影響の解明を試みる。

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して衣環境を設計する必要がある。紫外線遮蔽性能は重視すべき性能ではあるが、遮蔽性能を高めることのみを追求し、一切気孔が無く、厚いフィルム状の衣服などを想定すると、衣環境としては高温多湿となり、不快な状況が起こりうる。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ことが重要である。そこで、2.2では、衣環境設計に関わる紫外線以外の透過性能である、光、空気の透過性能に着目し、遮光性、透け性および通気性をとりあげる。なお、実際の着用時では、衣服内気候（温湿度）の検討が重要であるが、本研究では布の状態での性能の検討に重点をおく。

2.1における紫外線遮蔽性能の検討と同様に、標準状態での試料1枚および重層時

での遮光性、透け性、通気性を捉え、直通気孔率とどのような関係にあるかを検討すると共に、紫外線遮蔽性能との関わりを検討することにより、安全で快適な衣環境設計への提言を行う。

2.1 織物の紫外線遮蔽性能の解明

2.1.1 目的

紫外線遮蔽率に影響を与える布構造には様々な要因があり、第1章で述べたように多様な研究がみられる。しかし、同一の糸を用いて構造を変化させた試料を取り上げた文献は少なく、布の構造が紫外線遮蔽性能に及ぼす効果についての綿密な報告はみられない。2.1 では、織構造の中でも特に織物の糸間の空隙に焦点をあて、同一の糸を用いて織密度を変えることによって糸間隙（気孔率）を変化させた布を用いて、織構造が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。さらに、織物の紫外線遮蔽率に及ぼす気孔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を試料として、織物試料と同様に直通気孔率および紫外線遮蔽率の測定を行った。気孔そのものの影響を検討するため、ステンレスメッシュは平織り構造で直通気孔が存在するが、繊維、糸にあたる部分は紫外線を透過しない有孔材料の代表として、濾紙は、繊維中は紫外線が透過するが直通気孔が存在しない無孔材料の代表として取り上げた。

織物の空隙を表す指標としては従来カバーファクターが多く用いられてきた。糸の太さと糸密度から計算により気孔率を算出することも可能である。しかし、紡績糸織物では、糸の毛羽が気孔率に大きな影響を及ぼし、綿布は特に毛羽立ちが多く、糸密度によっては気孔が見えなくなる場合もあるため、カバーファクターや計算気孔率は実際の気孔率と異なることが考えられる。そこで、見かけの直通気孔率を測定するため、顕微鏡写真から光が透過してくる穴をコンピュータ処理により計測、算出する方法を取り入れた。この方法は、Crews P C[89]らによる報告でも取り上げられ、その有効性が示唆されている。空隙の指標として、カバーファクター、計算気孔率および

直通気孔率の3つを測定し、紫外線遮蔽率との関係を検討することにした。さらに、試料を重層し、その布構造の変化を捉え、重ね枚数と気孔率、紫外線遮蔽率の関係を解明する。これらを有孔材料および無孔材料においても同様に行うことにより、紫外線が糸中を透過する場合と直通気孔を透過する場合が共存している織物における、紫外線遮蔽挙動の解明を行う。

2.1.2 実験

2.1.2.1 試料

1) 織物試料

織物試料は、同一の糸で織密度が異なり、糸間隙（気孔率）を変化させた綿布、および同じく同一の糸で織密度を変化させたポリエステルフィラメント布である。

試料の詳細を表 2-1-1 に示す。綿布は経緯共に 14.8tex (40 番手) の綿糸、または 7.4tex (80 番手) の綿糸を用いて糸本数を規則的に変化させて製織した平織物、それぞれ GroupA 4 点、GroupB 4 点の計 8 点である。ポリエステルフィラメント布は、16.7tex のポリエステルフィラメント糸を用い同様に糸本数を変化させた平織物 4 点である。色が紫外線遮蔽率に影響を与え、濃色であるほど遮蔽率が高い傾向にあることが報告されていること [44,69~75]、紫外線が問題となる夏期には白色および淡色衣服が多く用いられる傾向があることを考慮して、綿布は生成仕上げ、ポリエステルフィラメント布は艶消しの白色とした。

紫外線遮蔽加工の効果を見る参考として、紫外線遮蔽加工布とその未加工布を加えて実験を行ったが、2 章では糸密度を変化させた布構造に着目して検討を進めるため、加工の効果に関する考察は、3 章にて行うこととする。

紫外線遮蔽加工布およびその未加工布は、19.7tex (30 番手) のポリエステル紡績糸で、加工布は、紫外線吸収性能を有する無機物、セラミックスを練り込み方式により添加した平織物で艶消しの白色である。

表 2-1-1 織物試料の詳細

試料	略号	番手 $N(\text{tex})$	織密度 (本/cm)		厚さ $T_0(\times 0.01\text{mm})$	質量 $W(\text{g/m}^2)$	
			経 $n1$	緯 $n2$			
綿布	Group A	C1	14.8	43.0	30.4	23.6	113.1
		C2	14.8	43.0	20.2	24.4	94.5
		C3	14.8	34.6	30.0	24.5	100.8
		C4	14.8	33.2	20.0	22.7	81.0
	Group B	C5	7.4	47.0	39.0	17.1	70.6
		C6	7.4	46.2	30.0	16.1	58.8
		C7	7.4	45.8	20.4	15.5	50.9
		C8	7.4	33.6	30.4	17.5	50.5
ポリエステルフィラメント布	P1	16.7	36.1	27.5	26.4	115.8	
	P2	16.7	36.3	31.7	24.9	122.0	
	P3	16.7	37.3	35.5	22.5	133.7	
	P4	16.7	38.7	40.1	22.0	144.3	
ポリエステル 紡績布	加工布	UVP	19.7	34.4	27.2	35.2	138.0
	未加工布	NUVP	19.7	36.4	26.5	34.3	133.9

2) 有孔材料と無孔材料

織物試料の紫外線遮蔽性能を解明するため、ステンレスメッシュおよび濾紙を試料として用いた。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、平織構造をもち直通気孔が存在するが、繊維、糸にあたる部分は紫外線を透過しない有孔材料の代表として、濾紙は、繊維中は紫外線が透過するが直通気孔が存在しない無孔材料の代表として取り上げた。

その詳細を表 2-1-2 に示す。試料は、織密度の異なる市販ステンレスメッシュ 8 点 (Hobby man, (株)久宝金属製作所) および、単位面積当たりの質量の異なる濾紙 6 点 (東洋濾紙 (株)) である。ステンレスメッシュは、織密度が大きくなるほどステンレス線の太さは細くなり、厚さも薄くなる。濾紙は、単位面積あたりの質量が異なる、厚さ 0.21~0.26mm のものを使用した。

表 2-1-2 有孔材料，無孔材料試料の詳細

試料	線直径 $D(\text{mm})$	織密度 $n1(=n2)$ (本/cm)	厚さ $T_0(\times 0.01\text{mm})$	質量 $W(\text{g/m}^2)$	
M10	0.392	3.90	81.70	714.5	
M20	0.195	7.86	42.98	381.9	
M30	0.169	11.75	34.83	457.3	
ステンレス メッシュ	M40	0.139	16.51	27.40	389.9
	M60	0.118	23.80	21.74	387.5
	M100	0.093	39.68	18.28	456.3
	M150	0.057	58.26	11.48	257.1
	M250	0.037	98.89	8.70	190.5
	F1	—	—	22.70	92.5
	F2	—	—	27.97	131.1
濾紙	F3	—	—	22.56	108.7
	F4	—	—	21.30	110.4
	F5	—	—	22.54	119.2
	F6	—	—	26.79	143.5

2.1.2.2 実験方法

1) 実験条件

実験時の温湿度は $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 5\%RH$ であるが、試料の水分率が公定水分率と等しい状態を標準状態と定義した。それぞれの公定水分率すなわち綿および濾紙では 8.5%、ポリエステルフィラメント布、紫外線遮蔽加工布、未加工布のポリエステル試料では 0.4%、ステンレスメッシュでは 0% になるよう試料を調整し、測定を行った。測定項目は紫外線遮蔽率、空隙係数としてカバーファクター、計算気孔率、直通気孔率および表面特性である。

2) 紫外線遮蔽率測定方法および紫外線測定条件の決定

紫外線遮蔽率測定装置を図 2-1-1 に示す。紫外線照射源としてピーク波長 365nm の紫外線ランプ（高圧メタルハライドランプ）と 310nm 以下の短い波長をカットするガラスフィルターを備えた ELC4000 光キュアリングシステム（Electro-Lite Co.）を用い、その直下に紫外線強度計 UVR-2（（株）トプコン）の受光部 UD-36 を設置して、

無試料時と、試料をセットした時の紫外線強度を測定した。これらの紫外線強度より、(2-1)式を用いて紫外線遮蔽率 S (%) を算出した。

$$S = (V_0 - V_i) / V_0 \times 100 \quad (2-1)$$

ここで、 V_0 (mW/cm^2) は試料セット前の紫外線強度、 V_i (mW/cm^2) は試料セット後の紫外線強度である。1 試料につき $10 \times 10 \text{cm}$ の試料を 3 枚採取し、測定を行った。重層時には試料によって枚数は異なるが、1 枚から最大 12 枚まで、織物試料の場合はタテ方向を同一として重ねて測定を行った。

まず、紫外線照射装置と太陽光との関連をみるため、太陽光を光源として同様に(2-1)式を用いて紫外線遮蔽率を算出した。測定は、8月の晴れた日の正午に行った。

紫外線照射装置を用いる実験の測定条件として、光源から試料までの距離を決定するため、紫外線ランプと試料との間の距離を変化させて紫外線強度と紫外線遮蔽率の関係を検討した。さらに、試料と紫外線強度計センサーとの間の距離を決定するため、試料支持台の高さを変化させて、紫外線遮蔽率を測定した。試料と紫外線強度計センサーとの距離は、実生活では衣服と皮膚の間の距離に相当する。また、光源に対するセンサーおよび試料の角度を変化させて、紫外線入射角度の違いによる紫外線遮蔽率の違いについて検討を行った。

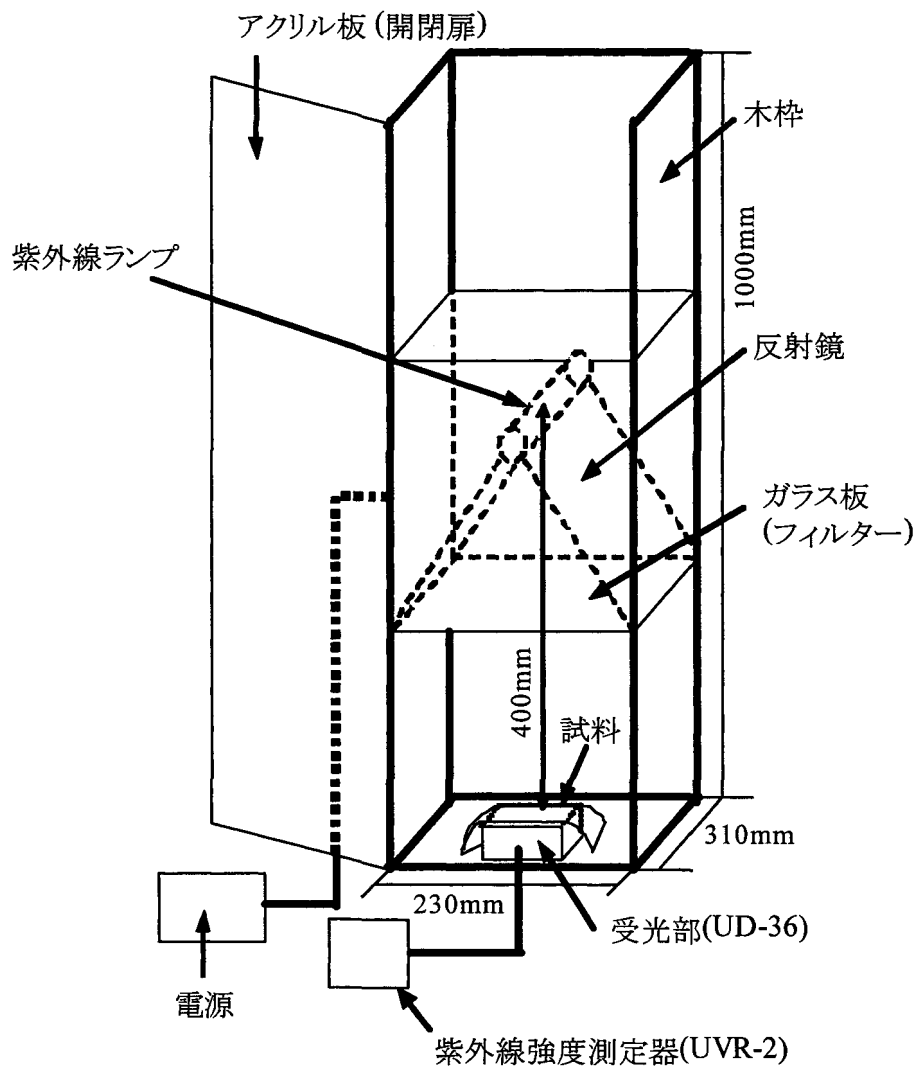


図 2-1-1 実験装置

①紫外線ランプと太陽光の関係

紫外線ランプを使用した紫外線強度法の妥当性を確認するため、まず、自然の太陽光を光源とした時と、紫外線ランプを一定条件の光源として使用した時の紫外線遮蔽率の比較を行った。この実験ではセンサーに直接試料を載せて測定を行った。太陽による紫外線遮蔽率と、紫外線ランプによる紫外線遮蔽率との関係を図 2-1-2 に示す。同一の試料においては、やや太陽光の方が遮蔽率が高く、紫外線ランプによる遮蔽率が低い値を示した。これは、実際の太陽光の紫外線強度が紫外線ランプに比べて弱い

ことと、太陽光の測定は正午に行ったが、試料および受光部への太陽光の入射角度が90°とはならなかったことなどが原因となって、紫外線ランプの直下で測定した値とは異なる挙動を示したと考えられる。しかしながら両者は高い正の相関を示し、有意であった。これらのことより、紫外線遮蔽率を測定するにあたって実際の太陽光で測定する代わりにUVランプを光源として測定する方法は、有効かつ条件を一定に保つことができる、よりよい手段であることが確認された。

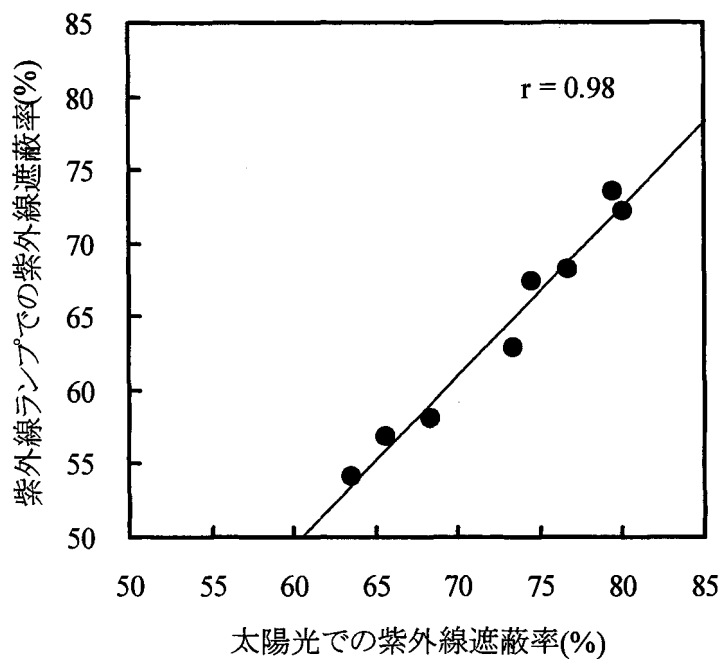


図 2-1-2 太陽光と紫外線ランプでの紫外線遮蔽率の関係

②紫外線ランプと試料、および試料とセンサー間の距離の検討

無試料時の紫外線強度の違いが紫外線遮蔽率に与える影響を明らかにするため、光源である紫外線ランプから試料までの距離を変化させて検討を行った。測定は、センサーに直接試料を載せて行った。距離を 40、65 および 90cm と変化させて測定を行った結果を表 2-1-3 に示す。光源と受光部間の距離が離れるほど無試料時の紫外線強度は低下し、試料をセットした時の紫外線強度も低下するが、紫外線遮蔽率を算出した場合には各試料において距離を変化させても紫外線遮蔽率に有意な差が認められなかった。そこで、ランプから試料までの距離は一番短い 40cm の条件で測定することにした。

表 2-1-3 試料から光源までの距離の違いによる紫外線遮蔽率

距離(cm)	試料	紫外線強度 V (mW/cm ²)		紫外線遮蔽率 S (%)
		試料セット前 V_0	試料セット後 V_t	
40	C1	148.6	39.3	73.5
	C2	148.5	48.4	67.4
	C3	148.6	47.3	68.2
	C4	148.7	62.3	58.1
	C5	148.8	41.5	72.1
	C6	148.7	55.2	62.9
	C7	148.6	64.1	56.9
	C8	148.5	68.1	54.1
65	C1	60.3	15.8	73.8
	C2	60.5	19.8	67.2
	C3	60.7	18.8	69.1
	C4	60.9	25.4	58.3
	C5	61.0	17.1	72.0
	C6	61.1	22.1	63.8
	C7	61.1	27.1	55.6
	C8	60.9	27.9	54.2
90	C1	28.5	7.6	73.3
	C2	28.5	9.2	67.8
	C3	28.5	8.9	68.9
	C4	28.6	11.4	60.1
	C5	28.6	8.0	71.9
	C6	28.6	10.5	63.4
	C7	28.7	12.6	55.9
	C8	28.7	13.1	54.5

受光部に試料をセットする際、受光部に直接試料を載せるなど、様々な方法が考えられるが、本実験では試料支持台を作成した。図 2-1-3 に示すとおり、受光部に垂直に入射する紫外線のみを測定し、周りからの散乱光が入らないよう、受光部に丁度当てはまる大きさの円柱を作成し、その上部に 10×10cm の台を取り付けて試料の支持台とした。円柱および上部台は余分な紫外線を反射しないよう、黒色とした。この円柱部分の高さを変えることにより、受光部から試料までの距離を変化させて紫外線遮蔽率を測定した。その結果を図 2-1-4 に示す。これらの結果より、センサーから試料までの距離 X (cm)と、紫外線遮蔽率 S (%)の関係は、次式で表されることが明らかとなった。

$$S = l X^m$$

(2-2)

ここで、 l, m は定数である。(2-2)式を用いることにより、どの高さで測定を行っても換算が可能である。そこで、試料と受光部間の距離を 3 cm に固定し、実験を行うこととした。

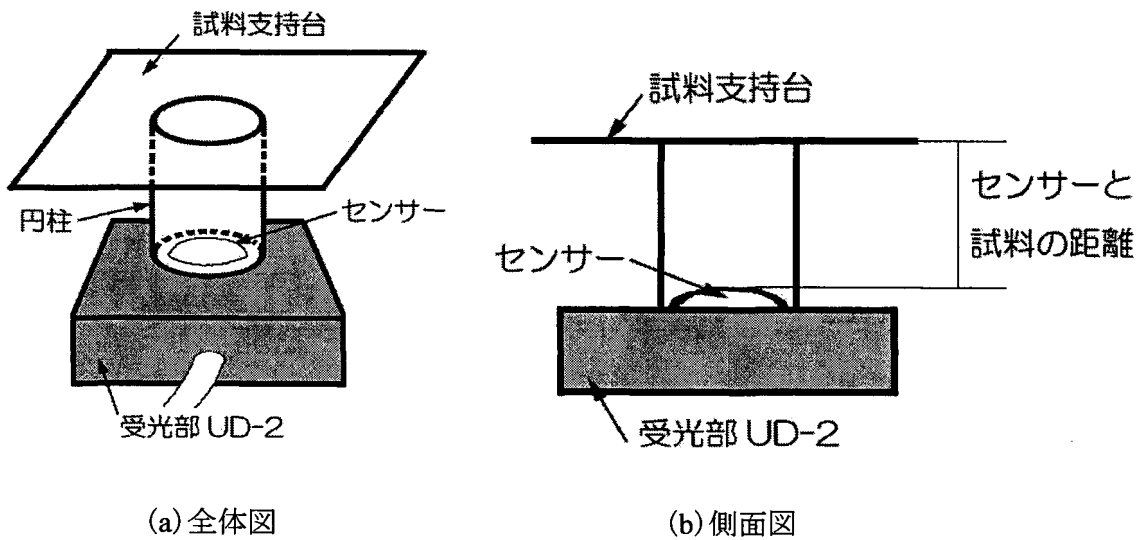


図 2-1-3 試料支持台の概要

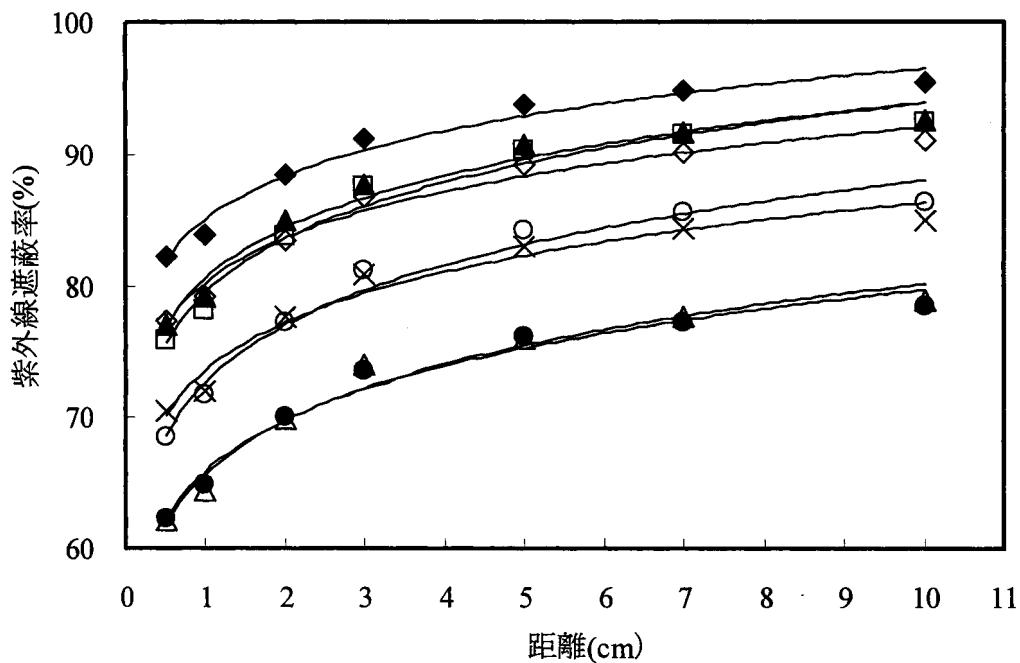


図 2-1-4 試料と受光部の距離の違いによる紫外線遮蔽率の変化
 : ◆ C1, □ C2, ▲ C3, ○ C4, ◇ C5, × C6, ● C7, △ C8.

③入射角度の違いによる紫外線遮蔽率の変化

紫外線の受光部への入射角度により、紫外線遮蔽率が変化することが予想される。そこで、図 2-1-5 に示すように、受光部に対する紫外線の入射角度が 90°（垂直）、0°（水平）および 45° の際の紫外線強度の測定を行った。その結果を表 2-1-4 に示す。受光部の設置条件により無試料時の紫外線強度は変化し、入射角度が 90° の時に最も紫外線強度が大きく、水平に近くなるほど紫外線強度は減少した。実際の住居内や傘などの紫外線量の測定を太陽光で行う際、受光部の設置条件を実際に即して決定することが重要であることが明らかとなった。

紫外線遮蔽率を算出すると、紫外線の入射角度が 90° の時に最も紫外線遮蔽率が低く、紫外線が多く透過している。入射角度が水平に近くなるほど透過する紫外線強度は減少して遮蔽率が高くなることから、布面に対する入射角度 90° で透過率が最大となるという坂本ら[32]の報告との整合性が認められた。

繊維製品の紫外線遮蔽率を求める際には、実際の使用条件に即した測定方法をとる

ことが一つの方法と考えられるが、透過原理を考察するにはまず入射角度が垂直である必要がある。そこで、布そのものの紫外線遮蔽能力を解明することを目的としている本研究では、紫外線の透過が最大となる入射角度 90° の条件で実験を行うこととした。

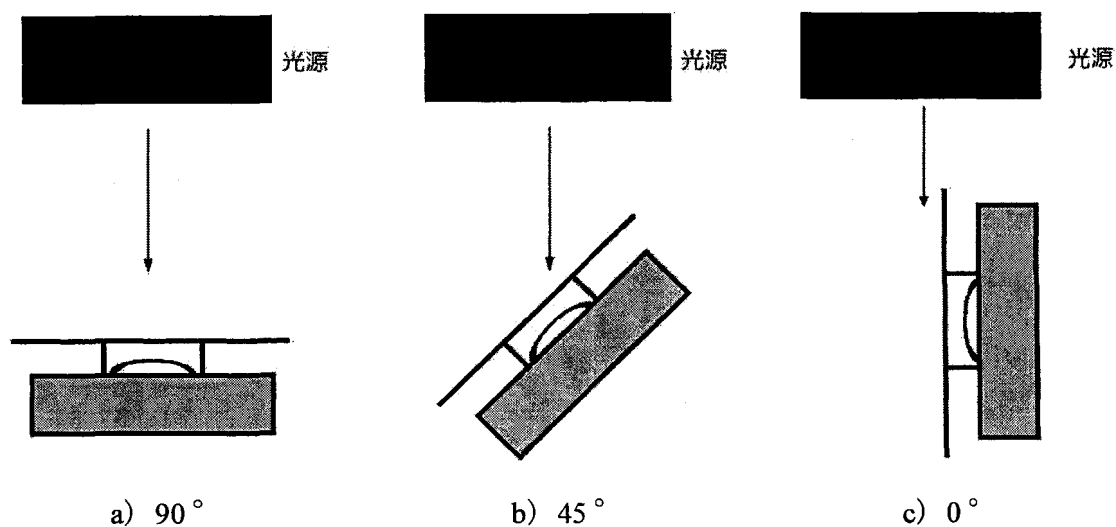


図 2-1-5 紫外線入射角度

表 2-1-4 入射角度と紫外線遮蔽率の関係

入射角度	紫外線強度(mW/cm^2) (無試料時)	紫外線遮蔽率(%) (試料C8)
90°	8.00	74.0
45°	6.55	78.6
0°	0.32	86.2

3) 織物の構造特性

1. 空隙を表す指標

織物の糸と糸の間隙、すなわち空隙の定量化を試みた。空隙を表す指標として、従来用いられているカバーファクター、糸本数とその見かけの太さから換算した計算気孔率、および顕微鏡画像により見かけの気孔を測定する直通気孔率の3種類について測定を行い、紫外線遮蔽率との関係を検討した。1試料につき10×10cmの試料を3枚採取し、標準状態にて測定を行った。

重層時の気孔率および紫外線遮蔽率の測定条件を決定するために、まずステンレスメッシュ2枚を用いて、重ね方を3条件としてその気孔率および紫外線遮蔽率を算出し、重ね方による影響を検討した。さらに織物試料およびステンレスメッシュについて、重ね方向を同一とし、重層枚数を1枚から、試料によって最大12枚までとして重層時の直通気孔率の測定を行った。

①カバーファクター (KF)

カバーファクター[154]は、糸本数と糸の番手より計算され、経緯の値をそれぞれ $K1$, $K2$ とする。全体を表す数値としてクロスカバーファクターを Kc とおく。それぞれの算出式を(2-3), (2-4)式に示す。

$$Kc = K1 + K2 - f K1K2 \quad (2-3)$$

$$K1 = n1 / \sqrt{N1} \quad , \quad K2 = n2 / \sqrt{N2} \quad (2-4)$$

ここで、 f は定数であり、英国式番手の場合 $1/28$ である。 $n1$, $n2$ はそれぞれ経、緯方向の織密度 (本/in)、 $N1$, $N2$ はそれぞれ経、緯糸の恒重式番手である。カバーファクターは糸が占める面積が多いほど大きな値となる。

②計算気孔率

計算気孔率 $C(\%)$ は、顕微鏡画像より糸の太さの平均値を算出し、織密度より(2-5)式を用いて計算することと定義した。

$$C = \{1 - (n1 \times D1 + n2 \times D2 - n1D1 \times n2D2)\} \times 100 \quad (2-5)$$

ここで、 $D1$ 、 $D2$ は経、緯糸の太さ (cm) である。

③直通気孔率

直通気孔率は、試料 1 枚につき 5 ヶ所の顕微鏡画像より求めた。デジタルカメラ (COOLPIX 4600, NIKON (株)) による顕微鏡画像をコンピュータにとりこみ、画像解析ソフト (Magical IP, マジカルアート (株)) を用いて、白黒 2 値化処理を行った画像に変換して気孔面積を計測し、(2-6)式により直通気孔率 $P(\%)$ を算出し、3 枚の試料の平均値を求めた。

$$P = Pw / Pa \times 100 \quad (2-6)$$

ここで、 Pw (pix) は気孔部分の画素数、 Pa (pix) は全画素数である。

2. 表面特性

布表面の構造が反射に与える影響を想定して、表面特性の測定を行った。KES-SE-SP 摩擦感テスター (カトーテック (株)) を用いて織物試料および濾紙についてのみ、測定を行った。特性値は、平均摩擦係数 $MIU(-)$ 、摩擦係数の平均偏差 $MMD(-)$ 、表面粗さの変動 $SMD(\mu m)$ をとりあげた。 MIU が小さいほど滑りやすく、 MMD が小さいほど滑らかで、 SMD が小さいほど平滑であることを示している。 MMD の測定には、0.5mm 径のピアノ線を 10 本並べた、人の指紋を模擬した接触面積 $1 \times 0.5 \text{ cm}$ の接触子を用い、 $P=50 \text{ gf}$ の力で試料を圧して、移動速度 1 mm/sec で測定した。 SMD の測定には、同じく 0.5mm 径のピアノ線 1 本で、 $P=10 \text{ gf}$ の力で試料を圧して、移動速度 1 mm/sec で測定を行った。

2.1.3 結果および考察

2.1.3.1 構造特性と紫外線遮蔽率の関係

布の基本構造特性である厚さは、同一の糸で織られた布においては織密度が変わってもほぼ同じであり、単純に厚さと紫外線遮蔽率との関係を見ても、相関はみられない。そこで、他の構造特性として単位体積当たりの質量と、紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-6 に示す。単位体積当たりの質量と紫外線遮蔽率の関係は、綿布、ポリエステルフィラメント布共にそれぞれ直線で表され、正の相関を示す。単位体積当たりの質量が大きくなると、紫外線遮蔽率が高くなることが確認された。綿布の Group A (14.8tex)、Group B (7.4tex) を比較すると、回帰直線の傾きが異なる結果となった。Group A は B に比べて太い糸で構成されており、単位体積あたりの質量のみならず、布構造の他の要因が紫外線遮蔽率に影響を与えていると考えられる。

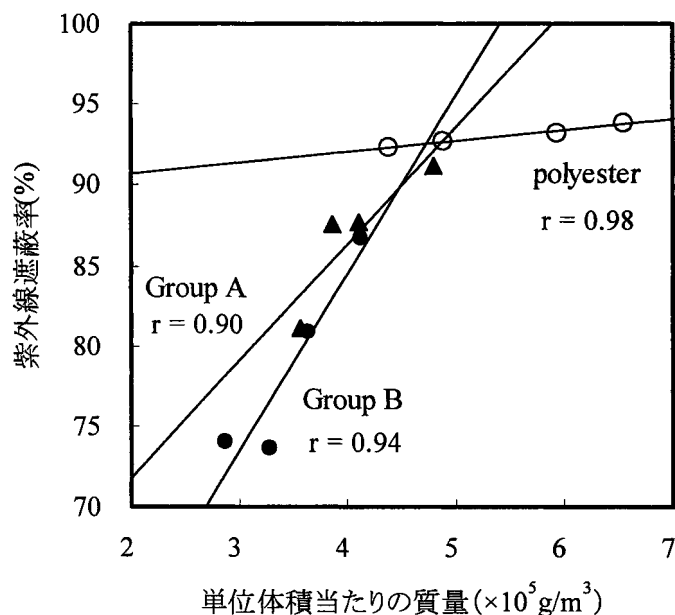


図 2-1-6 単位体積当たりの質量と紫外線遮蔽率の関係
：▲綿布 Group A (14.8tex)，●綿布 Group B (7.4tex)，
○ポリエステルフィラメント布。

一方で、繊維の種類の違いとして、綿よりもポリエステルの方が高い紫外線遮蔽率を示すと言われている[44]が、単位体積当たりの質量が大きいポリエステルフィラメント布でも、綿布の最も遮蔽率の高い試料と同程度の遮蔽率を示している。これらのことより単位体積当たりの質量だけでは紫外線遮蔽率との関係を説明するのは難しいことが示唆された。

表面特性と、紫外線遮蔽率の測定結果を表 2-1-5 に示す。特性値として *MIU*、*MMD*、*SMD* の測定を行ったが、*MIU*、*MMD* と紫外線遮蔽率の相関はみられず、*SMD* においてのみ相関が認められた。

表 2-1-5 表面特性と紫外線遮蔽率

試料	略号	表面特性			紫外線遮蔽率 <i>S</i> (%)	
		<i>MIU</i> (-)	<i>MMD</i> (-)	<i>SMD</i> (μm)		
綿布	C1	0.145	0.0118	4.66	91.2	
	Group A (14.8tex)	C2	0.147	0.0160	6.31	87.5
		C3	0.141	0.0122	4.84	87.7
		C4	0.145	0.0208	8.29	81.1
		C5	0.136	0.0153	3.24	86.7
	Group B (7.4tex)	C6	0.136	0.0111	4.73	80.9
		C7	0.137	0.0155	7.06	73.6
		C8	0.142	0.0085	5.40	74.0
ポリエステルフィラメント布	P1	0.137	0.0112	4.87	92.2	
	P2	0.128	0.0158	4.34	92.7	
	P3	0.116	0.0238	4.50	93.2	
	P4	0.111	0.0298	4.08	93.8	
濾紙	F1	0.118	0.0099	2.04	93.5	
	F2	0.118	0.0102	2.09	95.5	
	F3	0.107	0.0099	2.35	94.4	
	F4	0.101	0.0097	2.10	95.0	
	F5	0.111	0.0112	1.91	96.4	
	F6	0.094	0.0092	2.03	96.3	

SMD と紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-7 に示す。*SMD* と紫外線遮蔽率は負の相関を示し、*SMD* が大きくなる、すなわち表面が粗くなるほど、紫外線遮蔽率が低いことがわかった。濾紙については相関は認められなかった。

表面が粗く、でこぼこした試料であれば、表面反射が大きくなり、紫外線遮蔽率が高くなると予想したがまったく反対の結果となった。これは、後述する表面特性以外の特性値、すなわち織物の空隙係数に紫外線遮蔽率が強く影響を受けると考えられるため、空隙係数が同一のもので表面特性を比較しない限り、表面特性が紫外線遮蔽率に与える影響は検討できないと考えられる。本実験で使用した綿布、ポリエステルフィラメント布は織密度を段階的に変化させており、密度が小さく、空隙が大きくなるほど、表面粗さは大きくなる[155]ことから、*SMD* のみを取り上げた場合、このような結果となったと考えられる。

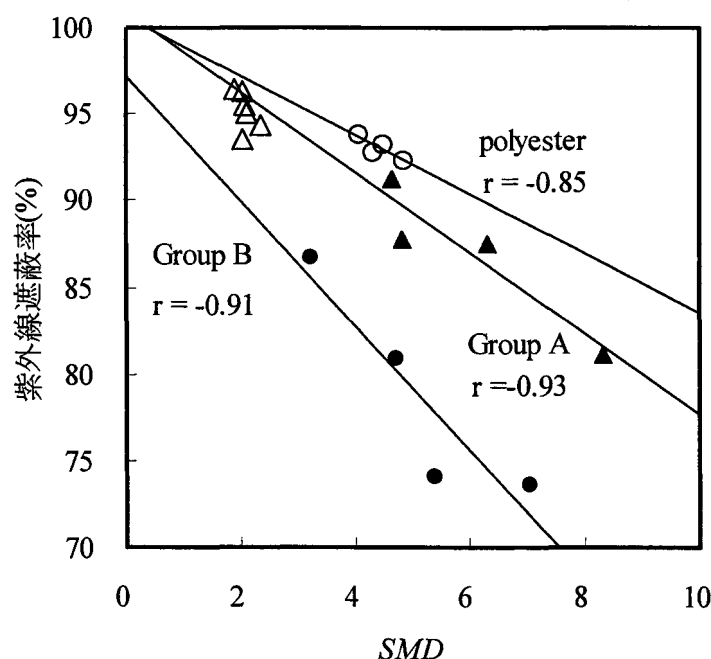


図 2-1-7 表面粗さ *SMD* と紫外線遮蔽率の関係
 : ▲綿布 Group A (14.8tex), ●綿布 Group B (7.4tex),
 ○ポリエステルフィラメント布, △濾紙. (図中の
 回帰直線は濾紙以外の試料ごとの相関である)

2.1.3.2 空隙係数と紫外線遮蔽率の関係

表 2-1-6 に、織物試料 1 枚のカバーファクター、計算気孔率、直通気孔率の測定結果を示す。Kc が同一の試料でも計算、直通気孔率は異なる。綿布においては計算気孔率よりも直通気孔率のほうが小さい値を示し、その差は大きい。ポリエステルフィラメント布においては逆の結果となり、その差も綿布に比べて小さいことがわかった。

表 2-1-6 空隙係数と紫外線遮蔽率

	略号	クロスカバー	計算気孔率	直通気孔率	
		ファクター Kc	C (%)	P (%)	
綿布	C1	21.9	7.7	1.7	
	Group A (14.8tex)	C2	20.4	17.5	4.2
		C3	20.0	16.6	4.4
		C4	17.5	24.9	10.0
		C5	19.1	15.1	6.4
	Group B (7.4tex)	C6	17.6	30.3	12.2
		C7	16.1	27.2	19.4
		C8	15.2	37.0	19.3
ポリエステルフィラメント布	P1	20.7	0.6	1.1	
	P2	21.5	0.7	0.9	
	P3	22.4	0.4	0.8	
	P4	23.5	0.1	0.5	

まず、綿布がポリエステルフィラメント布と逆の結果となったのは、前者が紡績糸織物であり、後者がフィラメント糸織物であることに原因があると考えられる。紡績糸は短繊維を揃えて撚りをかけ、糸にしたもので、繊維毛羽が存在する。そのため、糸の太さ以外に気孔部分に存在する毛羽が気孔をふさいでいる。この毛羽の影響を Kc および計算気孔率は含んでおらず、毛羽の影響まで考慮した直通気孔率の方が値が小さくなったと考えられる。それに対してフィラメント糸は長繊維を引き揃えて糸としており、繊維毛羽が存在しないため、気孔がふさがれることはない。しかし、引き揃えられただけのフィラメント糸は織物中でやや広がる傾向があるため、糸中を通る微細な気孔が計測に含まれ、若干直通気孔率が多くなったと考えられる。

次に、表 2-1-7 に、ステンレスメッシュ試料 1 枚の計算気孔率、直通気孔率、紫外線遮蔽率の測定結果を示す。ステンレスメッシュの計算気孔率と直通気孔率はほぼ同様で、わずかではあるが計算気孔率の方が直通気孔率よりも小さい値となった。

表 2-1-7 ステンレスメッシュの空隙係数と紫外線遮蔽率

略号	計算気孔率	直通気孔率	紫外線遮蔽率
	C(%)	P(%)	S(%)
M10	71.8	72.9	27.8
M20	71.7	72.1	28.1
M30	64.2	64.5	36.7
M40	59.4	61.4	39.5
M60	51.7	54.1	46.1
M100	39.8	41.2	59.8
M150	44.6	45.3	55.6
M250	40.2	38.3	61.5

見た目の直通気孔の無い濾紙については、その紫外線遮蔽率と単位体積当たりの質量を表 2-1-8 に示す。全ての濾紙が 93%以上の高い紫外線遮蔽率を示した。

表 2-1-8 濾紙の単位体積当たりの質量と紫外線遮蔽率

略号	紫外線遮蔽率	単位体積当たりの質量
	S(%)	($\times 10^5 \text{g/m}^3$)
F1	93.5	4.6
F2	95.5	5.0
F3	94.4	4.9
F4	95.0	5.3
F5	96.4	5.4
F6	96.3	5.7

まず、これらの空隙を表すそれぞれの指標が、紫外線遮蔽率とどのような関係にあるか検討を行う。織物試料の K_c と紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-8 に示す。綿布、ポリエステルフィラメント布、どちらも K_c が大きくなるほど遮蔽率は上昇し、綿布においては糸の太さの異なる Group ごとに高い相関がみられた。ポリエステルフィラメ

ント布においても相関が高く、 Kc からの紫外線遮蔽率の予測が可能と考えられる。ただし、 Kc は糸が使用されている織物のみ使用できる係数であり、不織布など繊維から直接布を形成する試料についての比較評価が不可能という欠点がある。

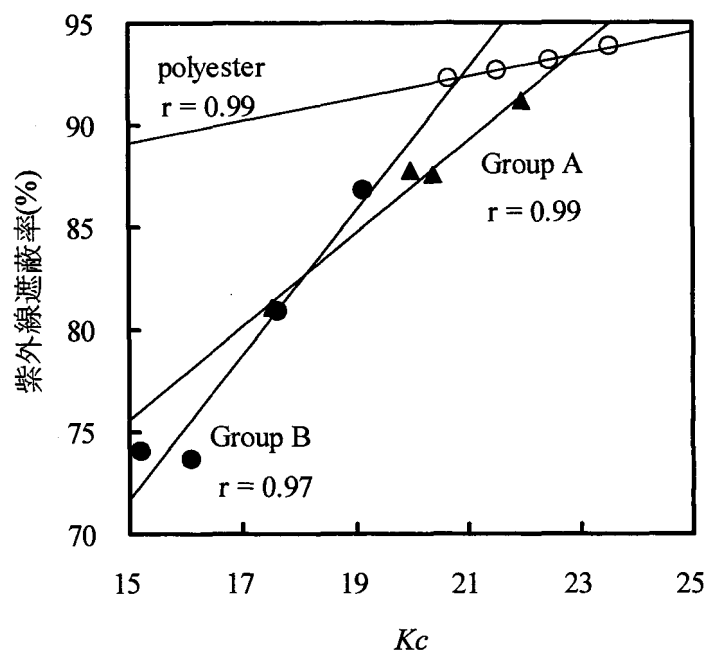


図 2-1-8 カバーファクター Kc と紫外線遮蔽率の関係
 : ▲綿布 Group A (14.8tex), ●綿布 Group B (7.4tex),
 ○ポリエステルフィラメント布. (図中の回帰直線
 はそれぞれの試料の相関である)

織物試料の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-9 に示す。綿布において、直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係は、それぞれの Group ごとに直線で表され、高い負の相関が認められた。ポリエステルフィラメント布においても高い負の相関が認められ、いずれの試料も気孔率が大きいほど、紫外線遮蔽率が低くなることが確認された。図 2-1-10 に計算気孔率と紫外線遮蔽率の関係を示す。計算気孔率が大きくなるほど紫外線遮蔽率が低くなる傾向は直通気孔率と同様であるが、その相関係数は、全ての試料で直通気孔率の方が高い。これらのことより、紫外線遮蔽率との関係においては、計算気孔率よりも、毛羽の影響を考慮した直通気孔率を用いて検討を進めることが適していると結論づけることができる。

以上の結果、直通気孔率が紫外線遮蔽性能を検討する際の指標として最も適していることが明らかとなった。ただし、いずれの試料も直通気孔率と紫外線遮蔽率を 100% から差し引いた紫外線透過率は等しくならず、直通気孔率と紫外線遮蔽率の回帰直線

から概算した y 切片、すなわち気孔率 0%における紫外線遮蔽率は綿布では 93.0%、ポリエステルフィラメント布では 95.1%と、100%にはならなかった。以上のことから、紫外線が糸中を透過していることが考えられ、このことについても検討を加えることとした。

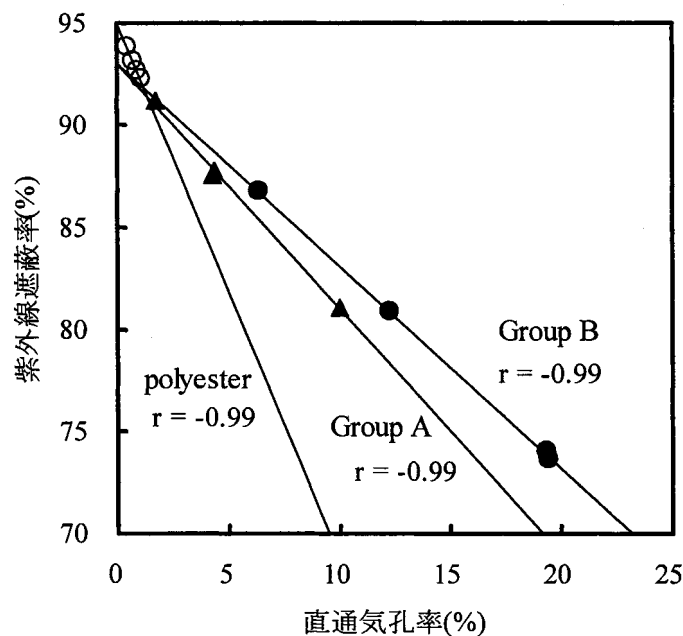


図 2-1-9 直通気孔率と紫外線遮蔽率：▲綿布 GroupA(14.8tex)，●綿布 GroupB(7.4tex)，○ポリエステルフィラメント布。(図中の回帰直線はそれぞれの試料の相関である)

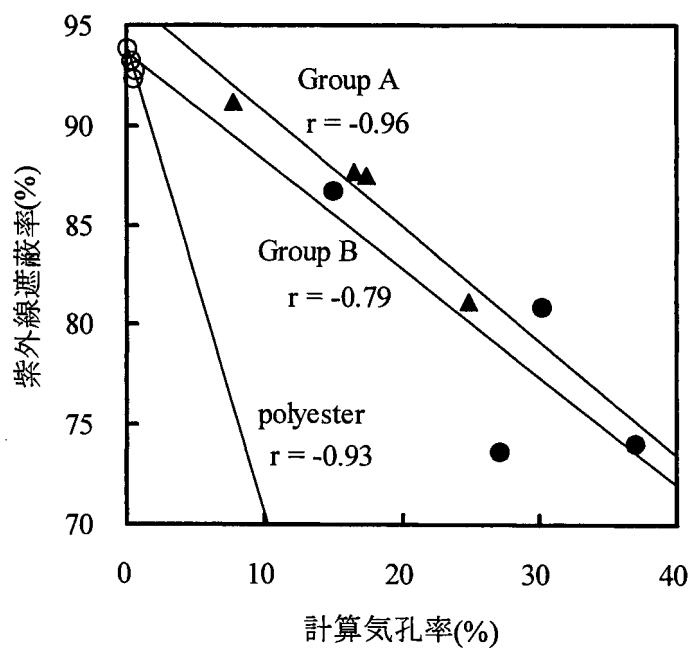


図 2-1-10 計算気孔率と紫外線遮蔽率：▲綿布 GroupA(14.8tex)，●綿布 GroupB(7.4tex)，○ポリエステルフィラメント布。(図中の回帰直線はそれぞれの試料の相関である)

ステンレスメッシュにおける、計算気孔率と紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-11 に、直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係を 図 2-1-12 に示す。ステンレスメッシュでは、計算気孔率と直通気孔率、共に紫外線遮蔽率と高い負の相関関係を示した。それぞれの回帰直線から概算した時、気孔率が 0%における紫外線遮蔽率は共にほぼ 100%であり、傾きがほぼ-1であることから、気孔率が紫外線透過率に等しいことが明らかとなった。すなわち、紫外線は気孔のみを透過して、ステンレスワイヤを透過していないことが確認された。

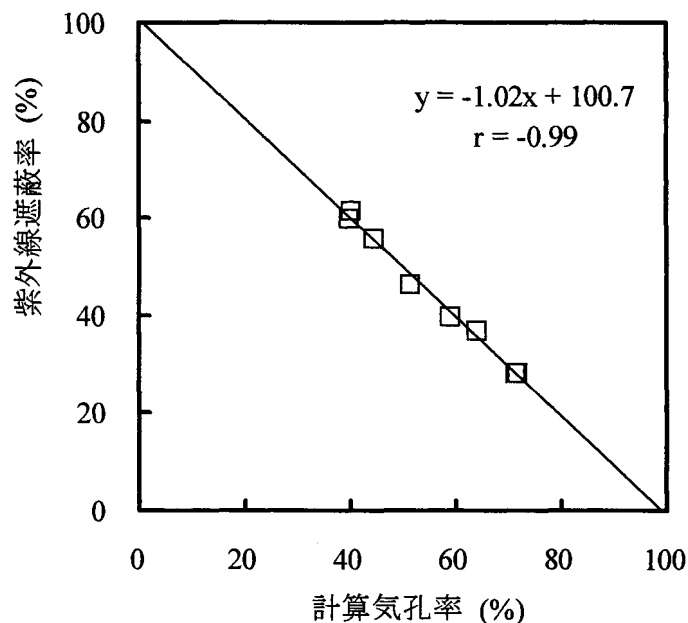


図 2-1-11 ステンレスメッシュの計算気孔率と紫外線遮蔽率との関係

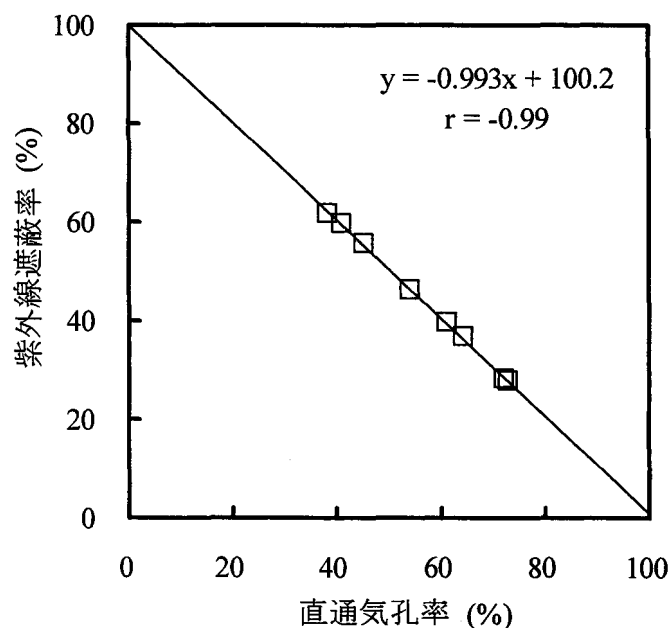


図 2-1-12 ステンレスメッシュの直通気孔率と紫外線遮蔽率との関係

ここで、直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係を詳細に検討するため、全ての試料の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-13 にまとめて示す。図中にはステンレスメッシュの回帰直線を示している。

綿布は、糸および繊維の占める部分は無孔透過試料である濾紙の性質を持ち、気孔部分のみの影響は、有孔無透過試料であるステンレスメッシュの結果より推測できると考えられる。

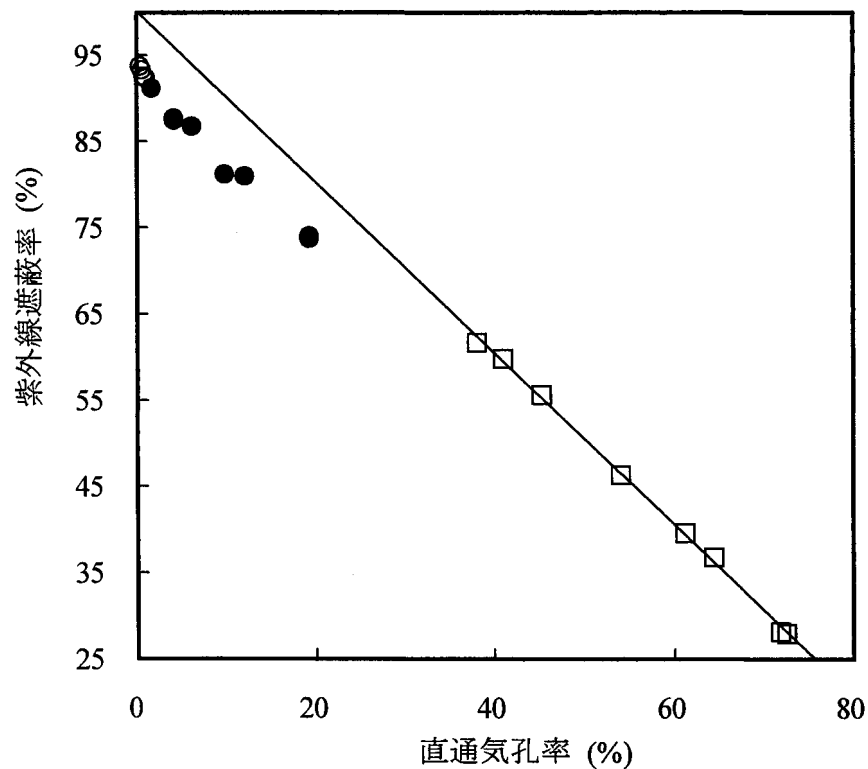


図 2-1-13 試料 1 枚時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係：
 ●綿布, ○ポリエステルフィラメント布, □ステンレスメッシュ。
 (図中の回帰直線はステンレスメッシュによるものである)

ステンレスメッシュと比較すると、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、同じ気孔率において約 5%低く、ステンレスメッシュの回帰直線の下部にはほぼ平行に位置する。気孔のみを紫外線が通過しているステンレスメッシュと比べて、糸および繊維中を紫外線が透過するため、遮蔽率が低くなると考えられる。

濾紙の試料について厚さと紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-14 に、単位体積当たりの質量と紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-15 に示す。厚さと紫外線遮蔽率の関係は、相関係数が 0.62 とやや弱い正の相関を示しており、厚さが厚くなると紫外線遮蔽率が高くなる傾向が認められた。

一方で、単位体積当たりの質量と紫外線遮蔽率との関係は、高い正の相関関係を示し、密度が高くなるほど紫外線遮蔽率が高くなることが確認された。

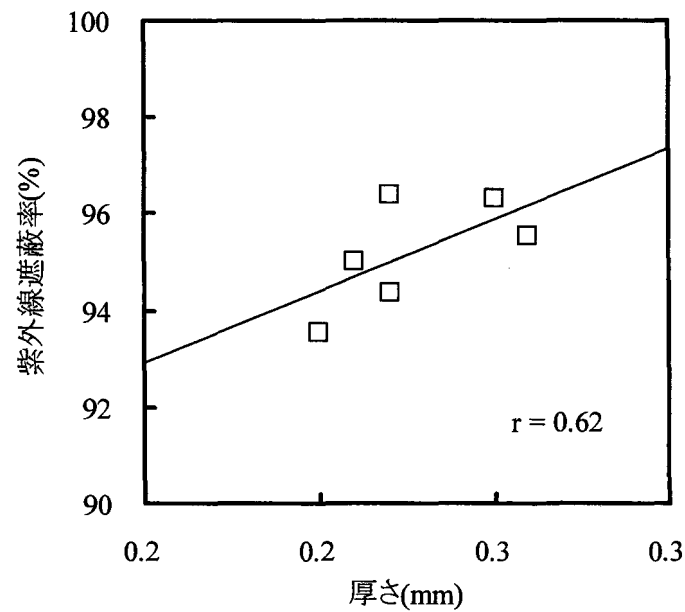


図 2-1-14 濾紙の厚さと紫外線遮蔽率との関係

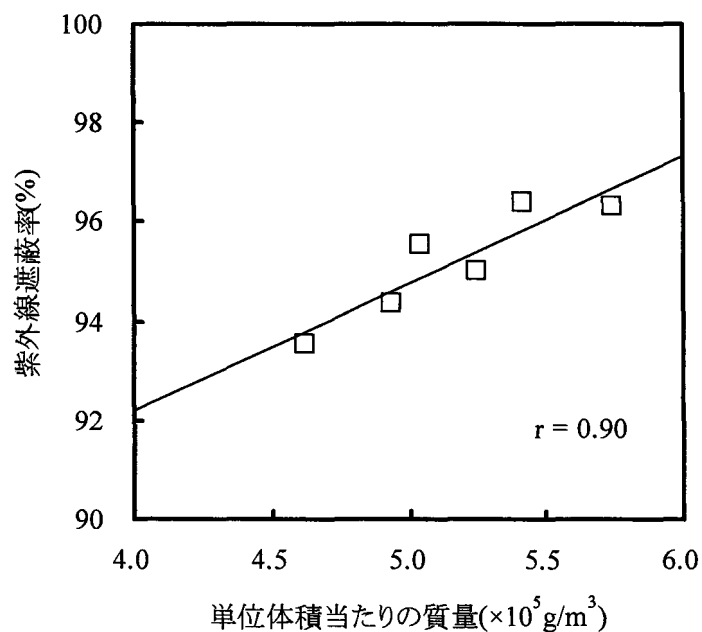


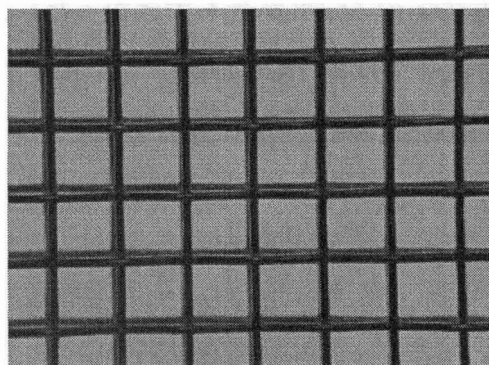
図 2-1-15 濾紙の単位体積当たりの質量と紫外線遮蔽率との関係

2.1.3.3 重層時の紫外線遮蔽率

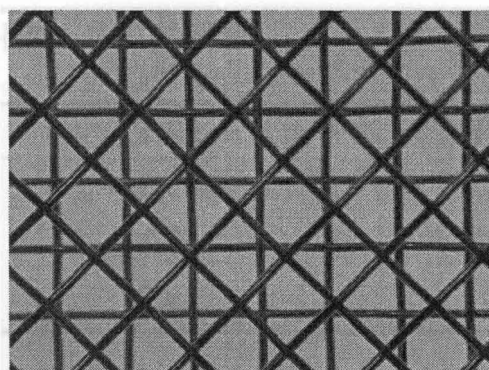
1) 重ね方法の検討

重層時の紫外線遮蔽率を測定するため、まずステンレスメッシュにて、重ね方の違いによる気孔率および紫外線遮蔽率の違いを検討した。ステンレスメッシュは、ワイヤが紫外線を透過せず、重層による気孔の減少の影響のみを検討できる。中でもメッシュが大きく、その重なり方が確認しやすい M20 を用いた。

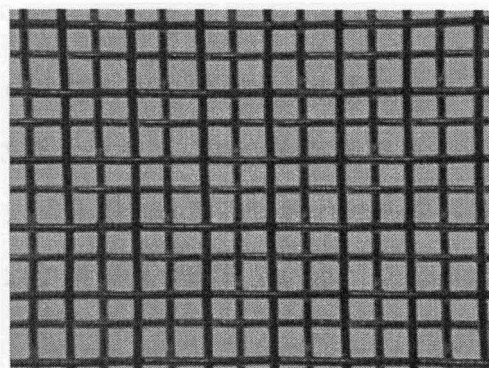
2 枚のステンレスメッシュ試料の重なりを 3 通りに変化させて検討を行った。重層状態の顕微鏡写真を図 2-1-16 に示す。



a) 重ね方法 a



b) 重ね方法 b



c) 重ね方法 c

図 2-1-16 M20 の 2 枚重ね時の顕微鏡写真

重ね方は、1枚目と2枚目のワイヤ線が上下ほぼ一緒になるように平行に重ねる方法 a、1枚目と2枚目のワイヤ線がちょうど 45° に交差するよう、斜めに重ねる方法 b、1枚目と2枚目を平行に重ねるが、ワイヤ線がお互いの気孔部分にずれて重なるように重ねる方法 c の3通りの重ね方でメッシュを固定し、直通気孔率および紫外線遮蔽率の測定を行った。すなわち、重ね方法 a では、気孔率は1枚時とほぼ同一となり、重ね方法 c では、気孔率は減少することが予測される。

それぞれの直通気孔率と紫外線遮蔽率の測定結果を表 2-1-9 に示す。1枚時の気孔率 72.1% に比べて、2枚重なることにより全ての方法で気孔率は減少するが、方法 c の 49.9% が最も小さく、方法 a の 65.5% が最も大きかった。方法 a と c の差は約 15% である。1枚時に比べて方法 a では約 7% しか減少しておらず、c では約 20% の減少がみられることから、重層時の気孔率は、重ね方によって大きなばらつきがあることが確認された。

表 2-1-9 M20 の重ね方の違いによる直通気孔率と紫外線遮蔽率

枚数	重ね方	直通気孔率 P (%)	紫外線遮蔽率 S (%)
1枚	—	72.1	28.1
	a	65.5	40.3
2枚	b	52.3	48.2
	c	49.9	51.4

これらの重ね方の違いによる直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係を、ステンレスメッシュ 1枚での直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係に重ねたものを図 2-1-17 に示す。方法 c、b は、1枚時での気孔率と紫外線遮蔽率の直線上にほぼ位置するが、なるべく上下のワイヤ線が一緒になるように重ねた方法 a の結果では、気孔率に比べて遮蔽率が若干高い傾向がみられた。

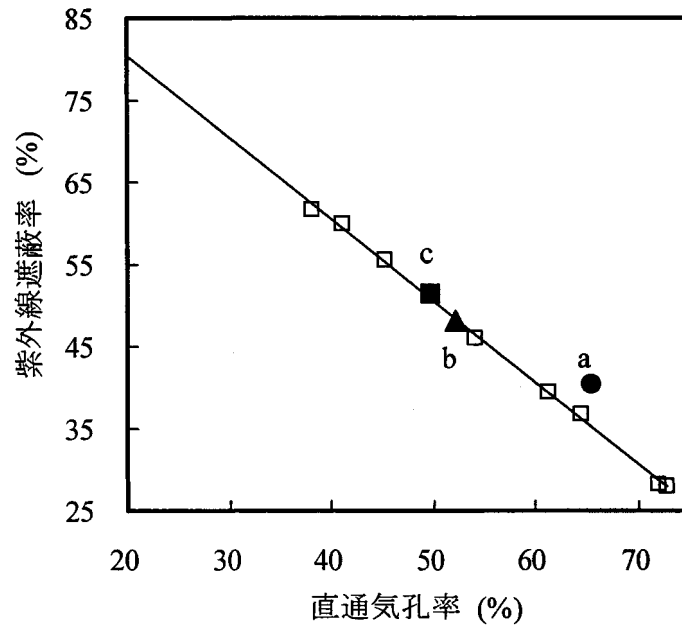


図 2-1-17 直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係：□ステンレスメッシュ 1 枚，● 2 枚 a，▲ 2 枚 b，■ 2 枚 c。
 (図中の回帰直線はステンレスメッシュ 1 枚によるものである)

実際の織物の場合、ステンレスメッシュに比べてその糸間隔はばらつきが大きく、一部分では糸がぴったり重なっても、途中から気孔部分にかかるなど、方法 a と c が入り交じった重なり方をすると考えられる。今回の 45° に重ねた方法 b は、a と c の中間程度の気孔率を示し、実際の衣服では曲げた腕部分などで起こりうる重なり方ではあるが、以後の本実験での重層では、重ね着時の最も一般的な布の重なり方として、タテヨコ方向を固定して常にワイヤおよび糸が直角水平に重なる方法にて測定を行うことにする。

2) 重層時の紫外線遮蔽性能

重層枚数に対する紫外線遮蔽率を図 2-1-18 に示す。測定は、試料によって、1 枚から最大 12 枚まで重ねて行った。綿布は、(a) Group A (14.8tex), (b) Group B (7.4tex) 共に枚数を重ねるに従って、紫外線遮蔽率が指数関数的に増加し、4~5 枚で 99~100%に達するという結果が得られた。(c) ステンレスメッシュでは、M30~M150 においてのみ実験を行った。ステンレスメッシュにおいても綿布と同様に指数関数的に遮蔽率が上がり、8~12 枚で紫外線遮蔽率 100%となった。見た目には直通気孔の無い(d) 濾紙では、同様に指数関数的に遮蔽率が上がり、最も早い F6 では 2 枚で既にほぼ紫外線遮蔽率 100%となり、その他の試料でも約 6~7 枚で紫外線遮蔽率 100%となった。

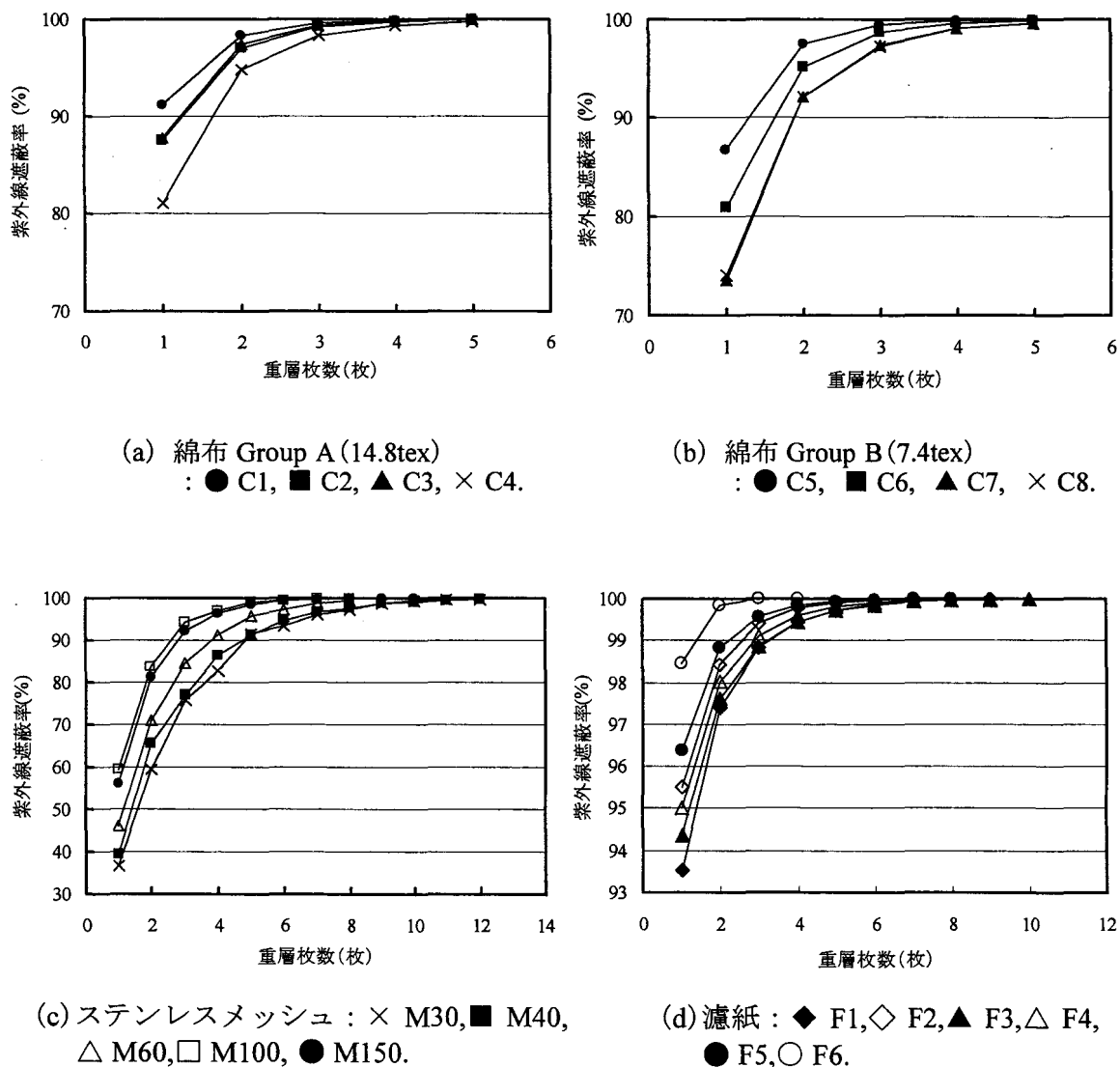


図 2-1-18 重層時の紫外線遮蔽率

紫外線遮蔽率 $S(\%)$ を(2-7)式で紫外線透過率 $T(\%)$ に換算する。

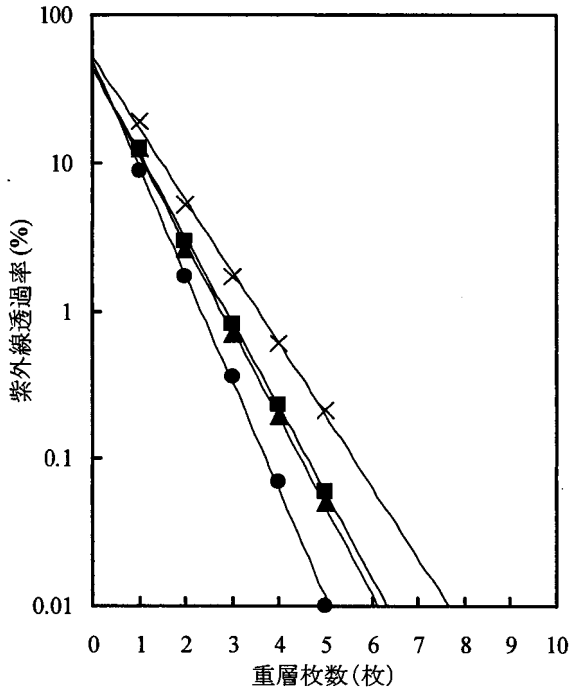
$$T = 100 - S \quad (2-7)$$

重層枚数と、紫外線透過率の関係を片対数グラフに表すと、図 2-1-19 に示すように、試料の重層枚数と紫外線透過率の関係を直線で表すことができる。ステンレスメッシュでは、M30 と M40 がほぼ同じ傾き、M100 と M150 がほぼ同じ傾きで、M60 がその中間にある。すべての切片はほぼ 100%となっており、それぞれの相関は非常に高い。このことから、布の重層枚数 n と紫外線透過率 T の関係は次式で表される。

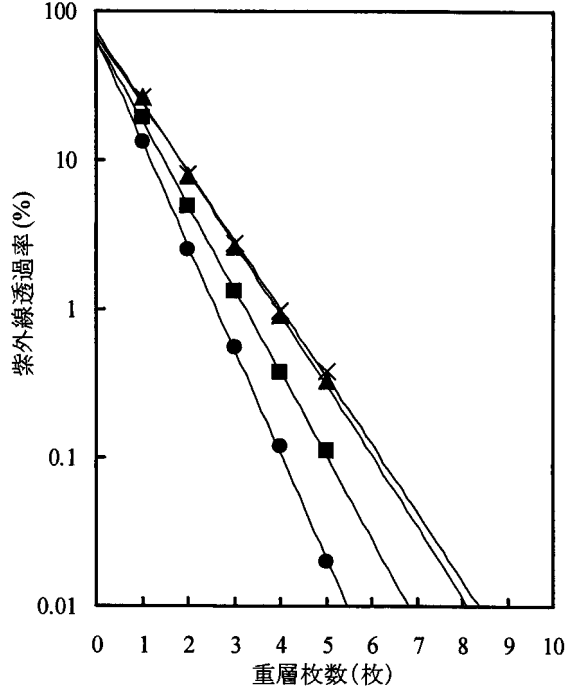
$$T = (b \times 10^{-an}) \quad (2-8)$$

ここで、 b は y 切片、 a は傾きである。傾き a と、試料 1 枚の気孔率との関係をそれぞれの試料についてみると、図 2-1-20 に示すように有意な負の相関が得られ、気孔率が小さい試料は、 a の値が大きくなることが明らかになった。ステンレスメッシュでは切片がほぼ 100%であったのに対し、濾紙では 10~14%と低い値であり、その傾き a も値が小さい。濾紙は直通気孔が無いいため、1 枚時の厚さと a の関係、および単位体積当たりの質量と a の関係を図 2-1-21 に示す。1 枚時の厚さが厚いものほど指数 a が大きくなり、1 枚時の単位体積当たりの質量が大きいものほど指数 a が大きくなる傾向がみられたが、いずれも相関係数は低い。

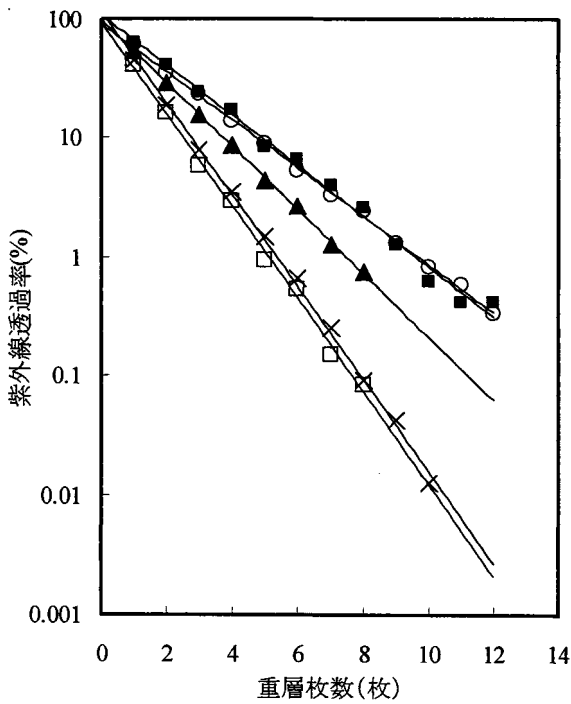
このように、濾紙における重層枚数と紫外線透過率の回帰直線から概算すると、気孔率が 0%の時、 y 切片である紫外線透過率が約 10%、すなわち遮蔽率 90%となるのは、濾紙 1 枚での表面反射が大きいことを示していると考えられる。透過してくる紫外線量は枚数増加に従って対数的に減少するが、元々の表面反射分は枚数が増加しても変わらないため、 y 切片が透過率約 10%となったと考えられる。



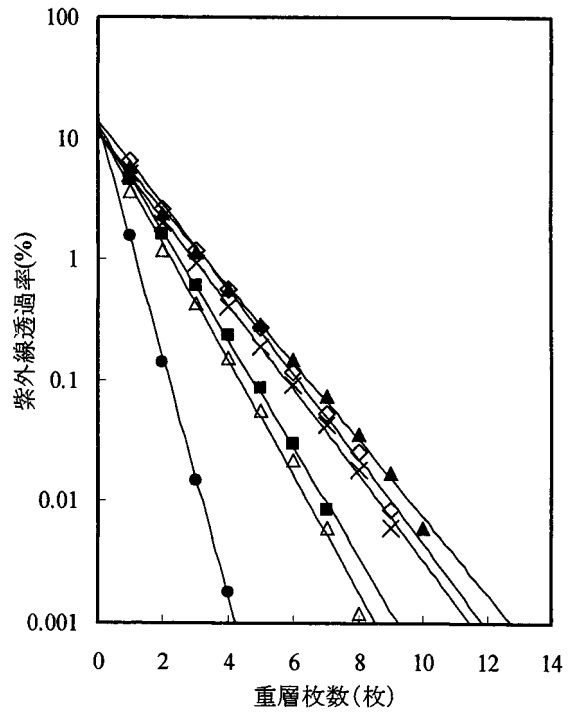
(a) 綿布 Group A (14.8tex)
: ● C1, ■ C2, ▲ C3, × C4.



(b) 綿布 Group B (7.4tex)
: ● C5, ■ C6, ▲ C7, × C8.

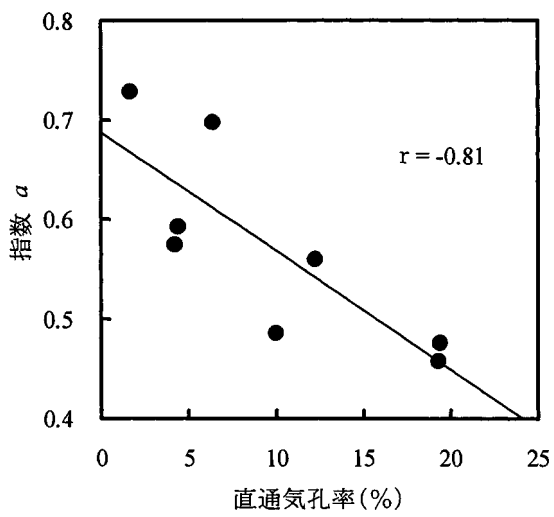


(c) ステンレスメッシュ ; ■ M30, ○ M40,
▲ M60, □ M100, × M150.

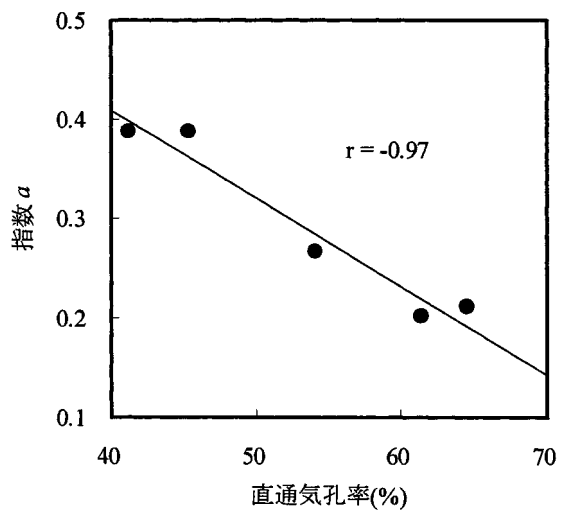


(d) 濾紙 : ◇ F1, ■ F2, ▲ F3, × F4, △ F5,
● F6.

図 2-1-19 重層時の紫外線透過率

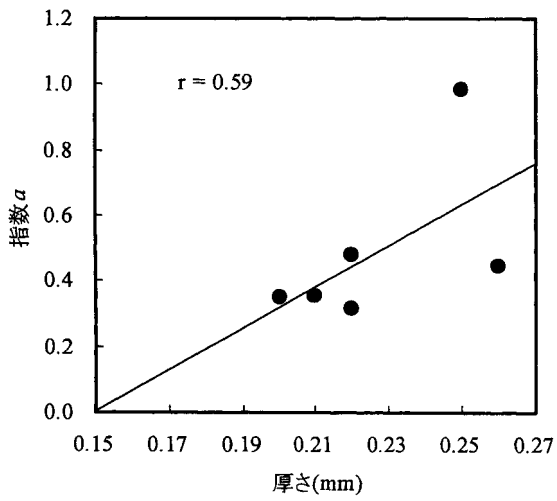


(a) 綿布

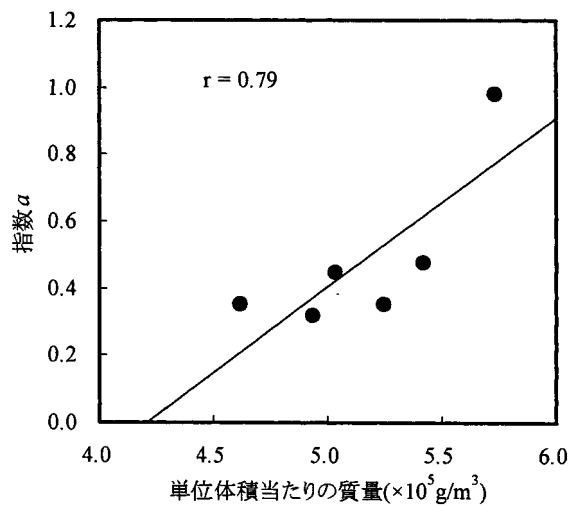


(b) ステンレスメッシュ

図 2-1-20 1枚時の直通気孔率と指数 a の関係



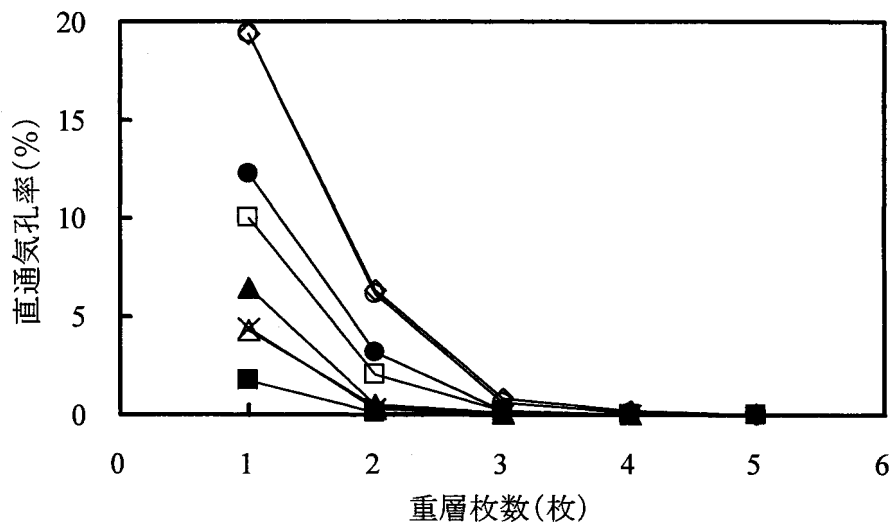
(a) 1枚時の厚さと指数 a の関係



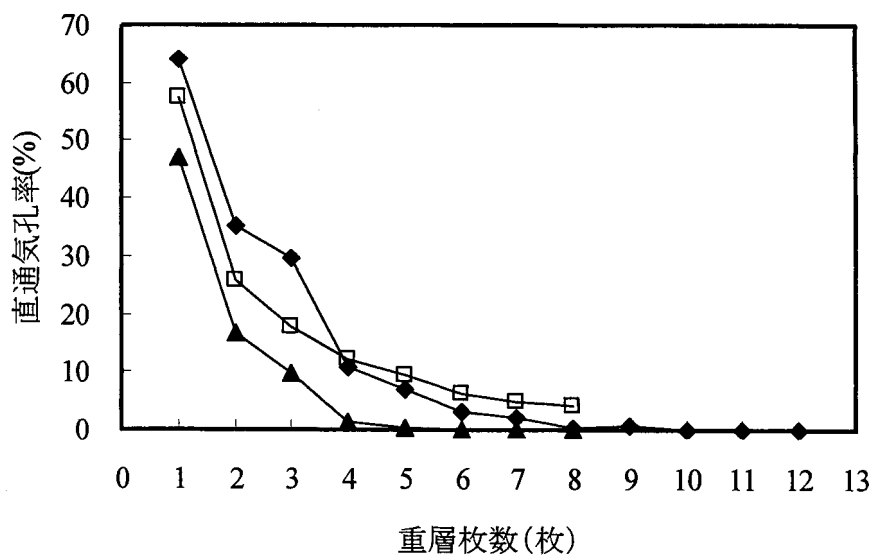
(b) 単位体積当たりの質量と指数 a の関係

図 2-1-21 濾紙の厚さ、単位体積当たりの質量と指数 a の関係

綿布およびステンレスメッシュの重層枚数と重層時の直通気孔率との関係を図 2-1-22 に示す。2 枚重ねることにより直通気孔率は 1 枚の時の半分以上に減少し、さらに枚数を重ねるごとに指数関数的に減少する。綿布では重層枚数 4~5 枚で、直通気孔率はほぼ 0% となった。ステンレスメッシュの重層時の直通気孔率の測定は、M30、M60 および M100 についてのみ行った。重ね枚数が増加すると、ややばらつきがみられるものの直通直通気孔率は指数関数的に減少する。最も直通気孔率の小さい M100 は綿布と同様に 4 枚でほぼ直通気孔率が 0% となる。



(a) 綿布 : ■ C1, △ C2, × C3, □ C4, ▲ C5, ● C6, ○ C7, ◇ C8



(b) ステンレスメッシュ : ◆ M30, □ M60, ▲ M100

図 2-1-22 重層枚数と直通気孔率の関係

この重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率との関係を綿布について図 2-1-23 に示す。全体として直通気孔率が減少すると紫外線遮蔽率が増加する傾向がみられることがわかる。1 枚時に比べて 2 枚、3 枚と枚数が増加すると同じ直通気孔率でも紫外線遮蔽率が高くなる傾向が認められた。

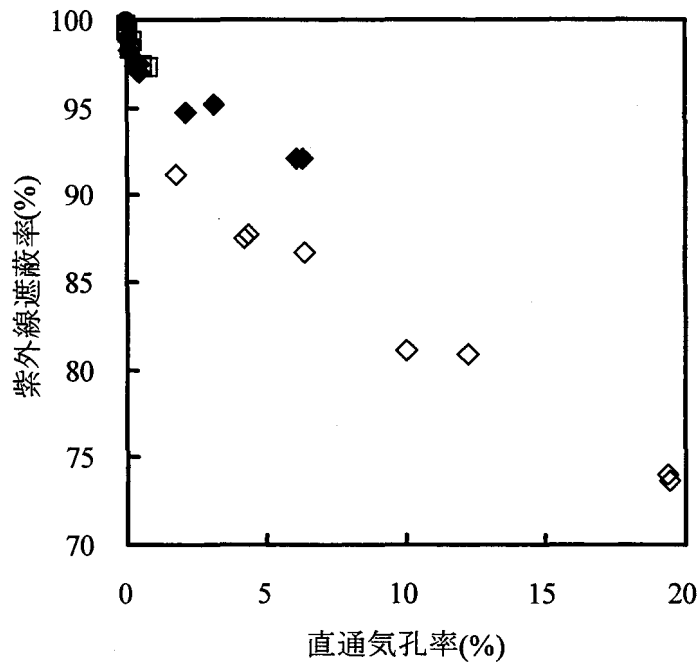


図 2-1-23 綿布重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係：
◇ 1 枚, ◆ 2 枚, □ 3 枚, ▲ 4 枚, ○ 5 枚.

各重ね枚数ごとの綿布 GroupA,B それぞれの直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係における、傾き a と、相関係数を表 2-1-10 に示す。重ね枚数ごとの重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係は、各枚数において糸の太さが同じ試料間で直線関係が得られた。傾き a を比較すると、1 枚時と 2 枚重層時ではあまり変化はないが、3 枚重層時では急激に傾きが大きくなり、4 枚重層時にさらに傾きが大きくなる。しかし、5 枚重層時にはむしろ傾きは小さくなり、あまり差がみられない。ただし、3 枚以上の重層時にはほぼ全ての試料で直通気孔率が 1%以下となり、紫外線遮蔽率も 97%以上となるなど、直線関係はみられるものの、遮蔽率にはほとんど差が無いと考えられる。

表 2-1-10 綿布重層時の直通気孔率と
紫外線遮蔽率との相関における傾き a と相関係数

試料	重ね枚数 (枚)	傾き a	相関係数 r
綿布	Group A (14.8tex)	1	0.995
		2	0.958
		3	0.970
		4	0.933
		5	0.939
	Group B (7.4tex)	1	1.000
		2	0.998
		3	0.957
		4	0.999
		5	0.987

ステンレスメッシュにおける重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-24 に示す。1枚時に比べてややばらつきが大きいを負の相関がみられ、切片がほぼ 100%、傾きが -1 であることから、重層時においても直通気孔率が紫外線透過率に等しいことが確認された。

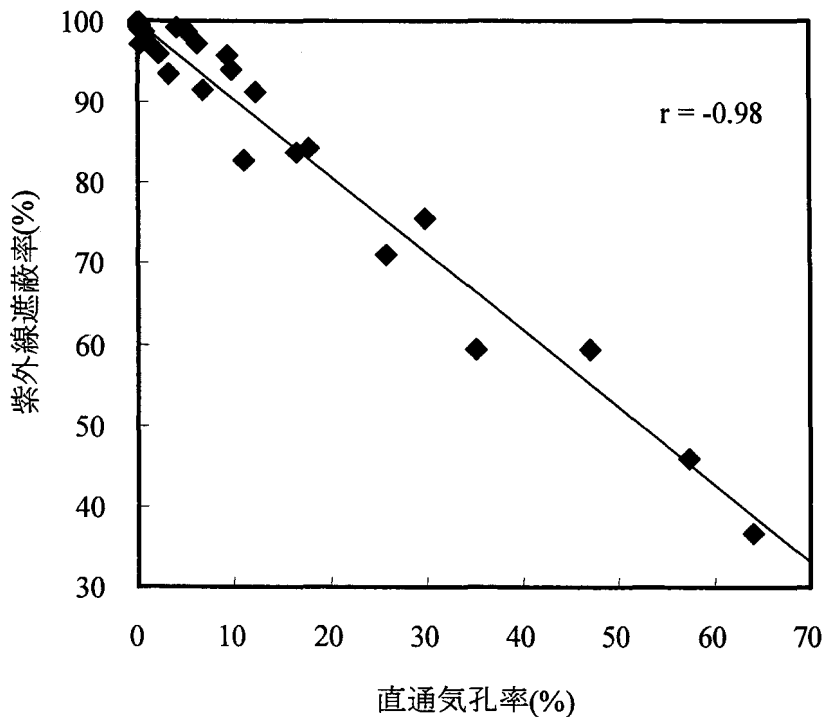


図 2-1-24 ステンレスメッシュ重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係

次に綿布およびステンレスメッシュの重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係を重ねて図 2-1-25 に示す。図中の回帰直線はステンレスメッシュによるものである。この結果からも、先述のとおり、綿布の 1 枚時の紫外線遮蔽率はステンレスメッシュの直線、すなわち直通気孔率が紫外線透過率と同じである関係と傾きは等しいが、値は低く、糸中の透過を示唆している。しかし、2 枚以上の重層時ではほぼ直線上に位置し、2 枚重なることで糸中の透過が押さえられ、ステンレスメッシュと同様の挙動を示すことが明らかとなった。

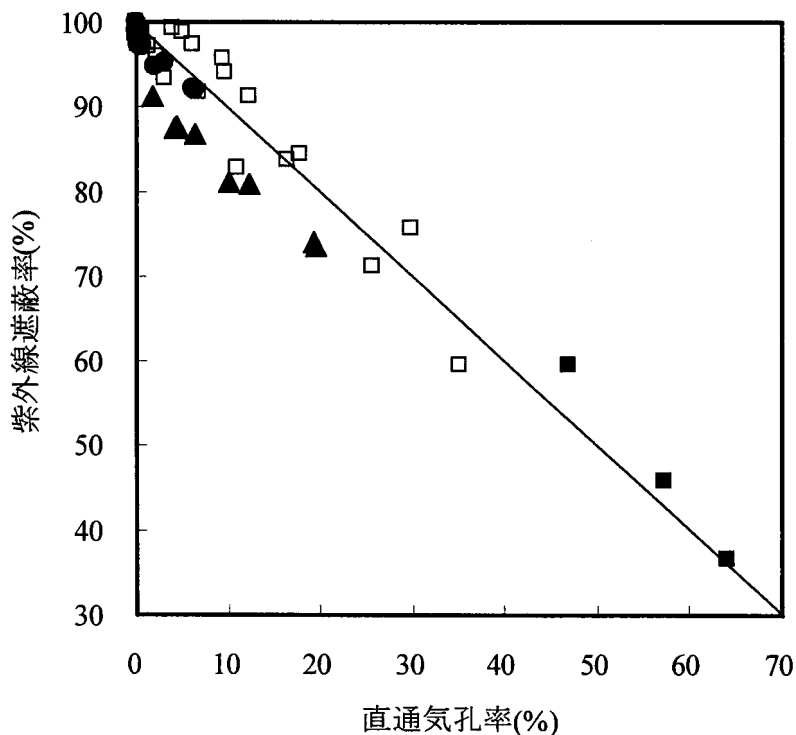


図 2-1-25 試料重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係：
 ●綿布重層，▲綿布 1 枚，□ステンレスメッシュ重層，
 ■ステンレスメッシュ 1 枚。(図中の回帰直線はステン
 レスメッシュによるものである)

夏期の重ね着を想定した場合、最も用いられるのは 2 枚重ねであると考えられるため、綿布 1 枚時と 2 枚重層時について直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係を図 2-1-26 に示す。同じ直通気孔率でも 1 枚時に比べて 2 枚重層時の方が紫外線遮蔽率が高い。すなわち、同一の糸で織られた布でも、目の詰まった 1 枚の布より、目の粗い布を 2 枚重ねて同じ直通気孔率となれば、2 枚重ねの方がより紫外線を遮蔽する。このことは、布が二重に重なり、糸が二重に重なった部分が、より紫外線を遮蔽することを意味し、重ね着の効果が確認された。

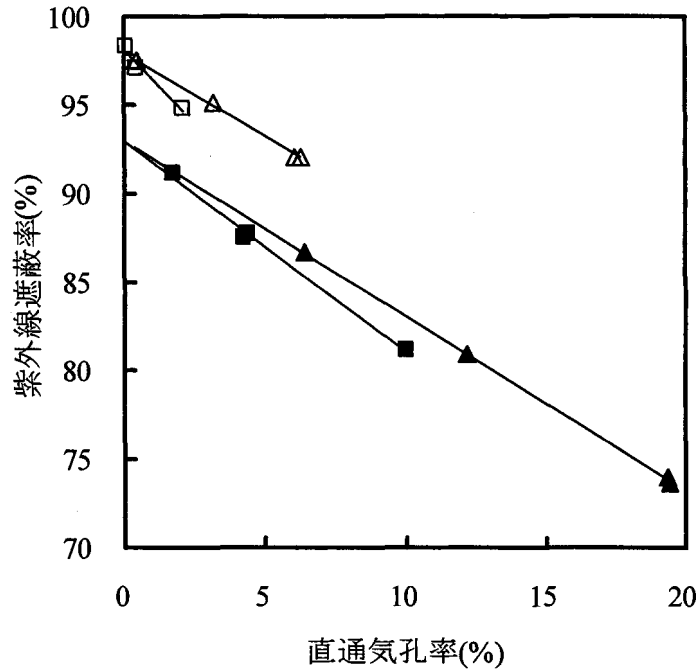


図 2-1-26 綿布 1 枚と 2 枚重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係 : ■ Group A 1 枚, ▲ Group B 1 枚, □ Group A 2 枚, △ Group B 2 枚

2.1.4 結 論

布構造が紫外線遮蔽性能に与える影響を明らかにすることを目的として、空隙率の異なる綿布およびポリエステルフィラメント布を用いて実験を行った。さらに、糸が全く紫外線を通さない、気孔のある有孔試料としてステンレスメッシュ、反対に気孔が全く無く、素材は紫外線を通す無孔試料として濾紙を用いて検討を行った。厚さ、単位体積当たりの質量および表面特性を測定し、紫外線遮蔽率との関係を検討すると共に、布の空隙率を表す指標としてカバーファクター、計算気孔率および直通気孔率を取りあげ、紫外線遮蔽率との関係を検討した。

織物試料における厚さと紫外線遮蔽率との間に相関がみられず、単純に厚さのみでは紫外線遮蔽率を推測することができなかった。同じ太さの糸から成る織物試料において、単位体積当たりの質量は紫外線遮蔽率と正の相関を示し、質量が大きいと紫外

線遮蔽率も高いことが明らかとなったが、同じ種類の繊維で糸太さが異なる試料をまとめてみると、相関が低くなり、単位体積あたりの質量以外、すなわち糸密度などとの関わりが示唆される結果となった。表面特性と紫外線遮蔽率の関係は、MIU、MMD共に相関はみられず、表面粗さ SMD においてのみ、負の相関がみられた。表面が粗いと紫外線遮蔽率は高くなると予想したが、反対の結果となった。これは、糸密度が少ないと表面粗さは粗くなり、SMD が大きくなることから、表面粗さよりもむしろ糸密度の影響が大きいためと考えられる。

空隙率を示す係数と紫外線遮蔽率との関係を検討した結果、綿布およびポリエステルフィラメント布共に、カバーファクターにおいては正の相関が認められ、計算気孔率、および直通気孔率では負の相関がみられた。綿布においては糸の太さの異なる Group ごとに直線関係を示した。全ての空隙係数と紫外線遮蔽率との相関係数はいずれも高いが、直通気孔率と紫外線遮蔽率との関係が最も相関係数が高い。その理由の一つとして、毛羽の影響を考慮して気孔率を捉えていることが考えられる。以上のことから、直通気孔率が布の紫外線遮蔽性能を検討する際の指標として最も適しているということが確認された。さらに直通気孔率は、不織布のような糸間空隙を有しない試料にも対応できる。

ステンレスメッシュのように、糸部分がまったく紫外線を通さない素材である場合は、直通気孔率が紫外線透過率と等しくなる。しかし、いずれの織物試料も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。

重層時の直通気孔率と紫外線遮蔽率の測定を行った結果、いずれの試料も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。これを重層枚数と紫外線透過率の関係におきかえ、対数で表すと直線関係が得られることが確認された。重層時の直通気孔率は枚数を重ねるごとに指数関数的に減少し、全体的に重層時の直通気孔率が低い方が紫外線遮蔽率が高い。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。織物試料との比較から、織物試料の紫外線透過率は、その直通気孔以外に糸および繊維中の透過が存在することが確認され、重層することでその糸および繊維中の透過がおさえられることが明らかと

なった。実際の重ね着に対応した2枚重層に着目すると、1枚時と2枚重層時では同じ直通気孔率でも2枚重ねの方が紫外線遮蔽率が高く、重ね着の効果を証明する結果となった。

以上の結果から、布の紫外線遮蔽性能に関わる構造因子の中で、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が明らかとなった。布の紫外線透過は、この直通気孔率と糸中を通る紫外線量により決定される。糸中を通る紫外線量はその糸を構成する繊維の種類と糸構造によって異なるが、同一の直通気孔率であれば1枚布より2枚重層布の方が紫外線遮蔽率が高い。これは、糸が二重に重なった部分がより高い遮蔽効果を持つことを示しており、目の詰まった1枚布より、目の粗い薄手布の重ね着の有効性が示された。

2.2 紫外線遮蔽性能と衣環境設計

2.2.1 目的

実際の繊維製品使用時において、着用感、使用感の良さを考慮するならば、紫外線遮蔽のみならず、他の様々な性能を考慮して衣環境を設計する必要がある。そこで、2.2 では、衣環境を設計する際に重要と考えられる性能の中でも、紫外線透過と関わりがあると考えられる、光、空気の透過性能である遮光性、透け性および通気性に着目した。第1章で述べたように、それぞれの性能に関しては多くの報告がみられるが、紫外線遮蔽性能との関わりについて触れられた論文はほとんどみあたらない。

そこで、2.2 では 2.1 と同様に織物試料およびステンレスメッシュ、濾紙を用いて標準状態の試料 1 枚および重層時での各性能を捉え、直通気孔率とどのような関係にあるかを検討すると共に、紫外線遮蔽性能との関わりを検討することにより、安全で快適な衣環境設計への提言を行う。

2.2.2 実験

標準状態にて、遮光性、透け性および通気性の測定を行った。標準状態の定義は 2.1 と同様である。

2.2.2.1 試料

試料は、2.1 で用いた試料と同一の綿布 8 点、ポリエステルフィラメント布 4 点、および、ステンレスメッシュ 8 点と濾紙 6 点である。その詳細は 2.1 で示したとおりである。

2.2.2.2 実験方法

1) 遮光性

遮光性は JIS L-1055A 法[103]に基づいて図 2-2-1 に示す装置を作成し、紫外線遮蔽

率測定時と同じ測定台を用いて測定を行った。遮光率 $L(\%)$ は(2-9)式を用いて算出した。

$$L = (i_0 - i_t) / i_0 \times 100 \quad (2-9)$$

i_0 は試料セット前の照度(lx)で、 i_t は試料セット後の照度(lx)である。

実験は、1試料につき10×10cmの試料を3枚採取し、測定を行って平均値を算出した。

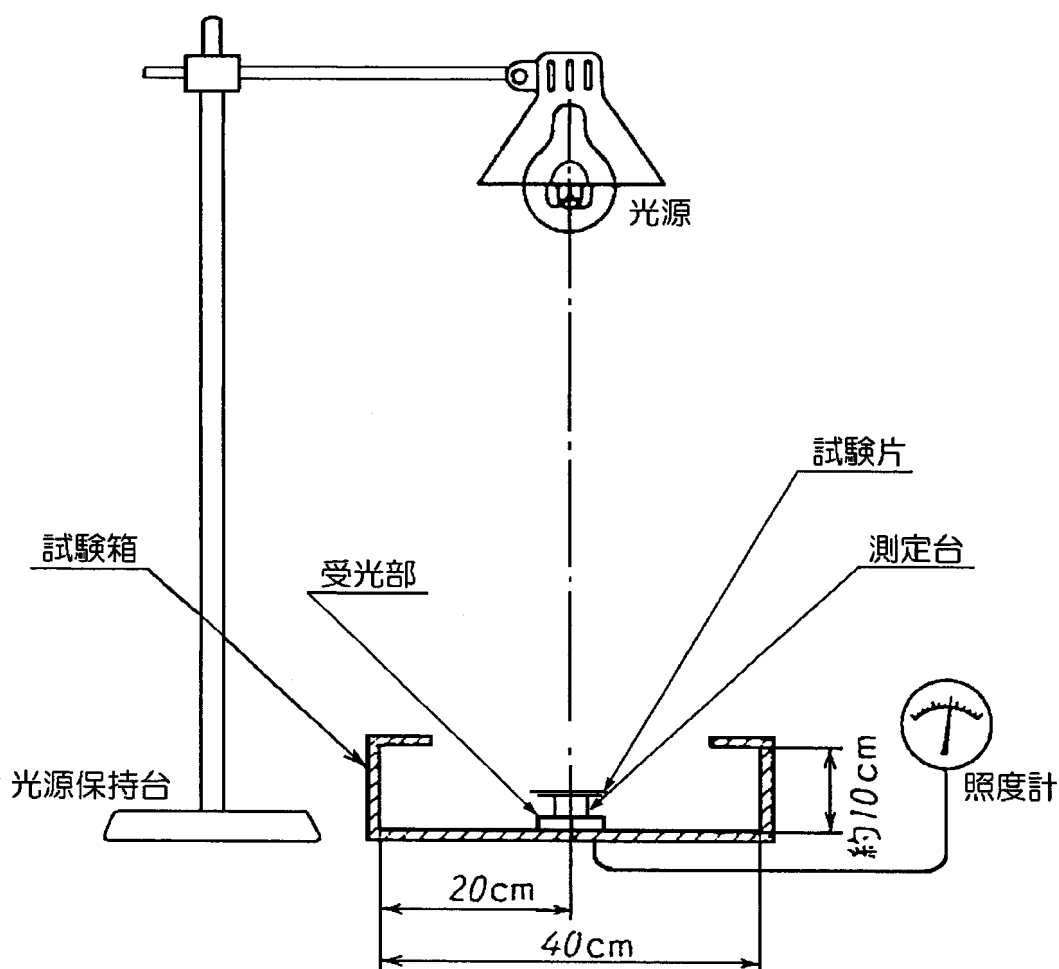


図 2-2-1 遮光性測定装置 (JIS L-1055A 法[103])

2) 透け性

透け性は、坂本が提案した方法[113]を取り入れ、透け性の指標に ΔL^* を用いた。 L^* とは、JIS Z 8729[156]に規定されている $L^*a^*b^*$ 表色系における、明度を表す指数である。分光色差計 (NF777, 日本電色工業 (株)) にて L^* 値の測定を行い、(2-10)式により透け性 ΔL^* を算出した。

$$\Delta L^* = L_w^* - L_b^* \quad (2-10)$$

ここで、 L_w^* は試料背面に白板を置いた時の L^* 、 L_b^* は試料背面に黒板を置いた時の L^* とし、その差で透け性 ΔL^* は示される。この値が大きいほど見た目に透けていることを表している。

測定は、1 試料につき 10×10cm の試料 3 枚の平均値を求めた。

3) 通気性

通気性の測定は、KES-F8-AP1 通気性試験機 (株カトテック製) を用いて通気抵抗 R (kPa・s/m)を測定した。測定は、1 試料につき 10×10cm の試料を 3 枚採取し、1 枚につき 5 カ所、計 15 ヶ所の平均値を求めた。標準状態での測定条件は、単位面積当たりの通気量が $4 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}$ であり、試料押さえ板の面積、すなわち試料の空気透過面積は $2\pi \times 10^{-4} \text{m}^2$ である。

なお、この通気抵抗 R (Pa・s/m)と JIS で定められている通気度 Q (ml/cm²/s) との関係は、(2-11)式により表される。

$$Q = (1.24 \times 10^4) / R \quad (2-11)$$

2.2.3 結果および考察

標準状態における試料 1 枚時の遮光率、 ΔL^* 、通気抵抗の測定結果を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 遮光率、 ΔL^* 、通気抵抗

		略号	遮光率 L (%)	透け性 ΔL^*	通気抵抗 R (kPa·s/m)
綿布	Group A (14.8tex)	C1	82.4	12.3	0.395
		C2	79.0	15.1	0.119
		C3	79.4	14.5	0.141
		C4	73.5	18.7	0.040
	Group B (7.4tex)	C5	76.8	15.1	0.115
		C6	71.0	20.1	0.047
		C7	64.4	23.6	0.022
		C8	64.8	23.3	0.019
ポリエステルフィラメント布	P1	86.3	14.1	1.05	
	P2	86.5	14.2	2.01	
	P3	86.7	14.2	3.06	
	P4	87.0	13.7	6.14	
ステンレスメッシュ	M10	27.2	41.4	0.00036	
	M20	27.8	48.4	0.00060	
	M30	36.4	36.9	0.00101	
	M40	38.9	32.1	0.00121	
	M60	44.8	25.7	0.00249	
	M100	59.4	16.8	0.00704	
	M150	55.4	20.5	0.00821	
	M250	61.4	15.4	0.00835	
濾紙	F1	92.2	7.5	8.8	
	F2	94.1	4.2	13.0	
	F3	93.2	5.8	9.8	
	F4	93.9	4.9	29.0	
	F5	95.0	4.2	100.1	
	F6	94.8	4.3	44.7	

2.2.3.1 遮光性

全ての試料の直通気孔率と遮光率の関係を図 2-2-2 に示す。図中の相関直線はステンレスメッシュによるものである。ステンレスメッシュにおいては傾きがほぼ -1 、切片が 100 であることから、紫外線同様、可視光においても、光はワイヤを透過せず、

直通気孔の部分のみを透過していることが確認された。ステンレスメッシュと比較して綿布、ポリエステルフィラメント布は、その傾きは等しいが、低い値を示し、同じ気孔率における遮光率が低い。このことは、綿布およびポリエステルフィラメント布においては直通気孔率以外の部分、すなわち繊維および糸中を光が透過することが原因であると考えられる。これらの結果は、直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係と同様の傾向であることがわかった。

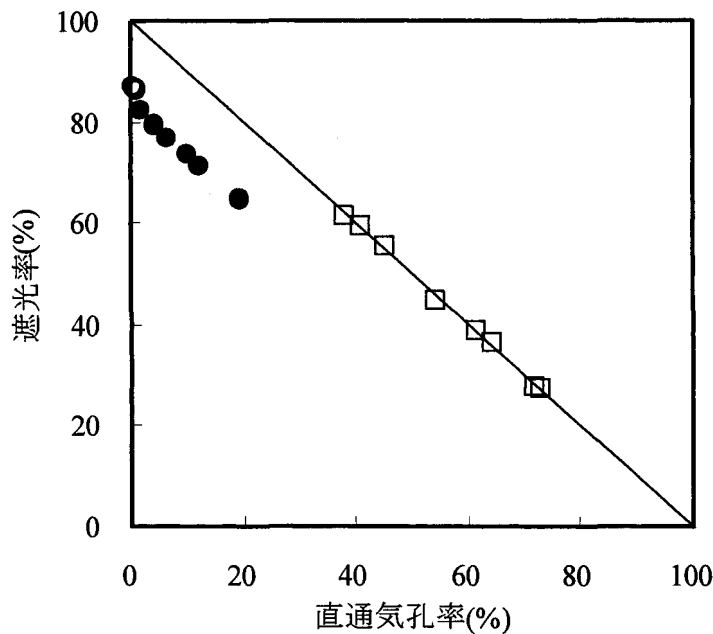


図 2-2-2 直通気孔率と遮光率の関係：●綿布，○ポリエステルフィラメント布，□ステンレスメッシュ．（図中の回歸直線はステンレスメッシュによるものである）

次に、見た目の直通気孔を持たない濾紙について、その厚さおよび単位体積当たりの質量と遮光率の関係を検討した結果、厚さと遮光率の関係では、厚さが厚くなると遮光率が高くなる傾向はみられるが、その相関係数は低い。図 2-2-3 に単位体積当たりの質量と遮光率の関係を示す。両者の間には高い正の相関がみられ、単位体積当たりの質量が大きくなると遮光率が高くなることが明らかとなった。この傾向も、紫外線遮蔽率との関係と同様である。

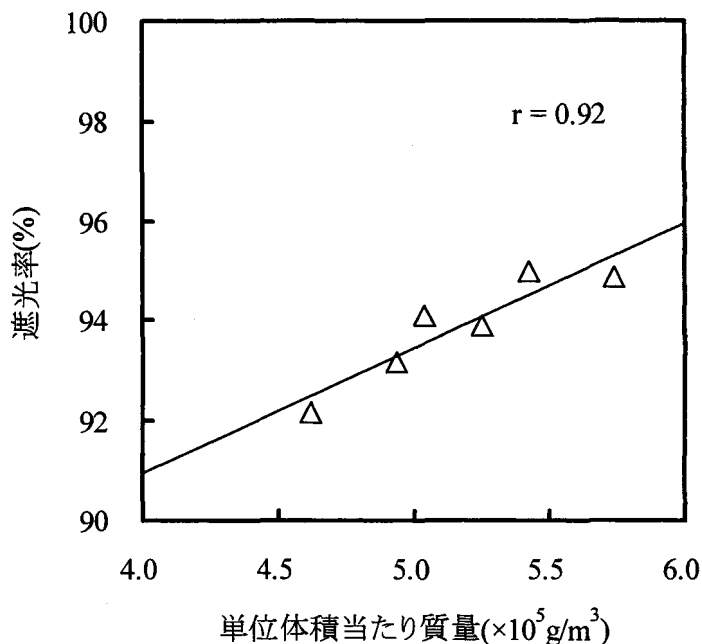


図 2-2-3 濾紙の単位体積当たりの質量と遮光率との関係

試料を重層した場合の遮光率の測定を、試料によって 1 枚から最大 12 枚まで重ねて行った結果、図 2-2-4 に示すとおり、全ての試料において、重ね枚数の増加により遮光率が指数関数的に増加し、紫外線遮蔽率と同様の傾向を示すことがわかった。

綿布、ステンレスメッシュ、濾紙のすべての試料の 1 枚時から重層時の遮光率と紫外線遮蔽率の関係を図 2-2-5 に示す。図中の直線はステンレスメッシュの回帰直線である。いずれの試料も遮光率と紫外線遮蔽率は正の相関を持ち、ステンレスメッシュにおいては紫外線遮蔽率と遮光率はほぼ同一の値となった。これは、紫外線も、可視光線もワイヤ線を透過することができず、気孔そのものを透過する量がほぼ同じであったためと考えられる。この結果から、ワイヤのようにそれ自体が光を通さない素材であれば遮光率と紫外線遮蔽率はほぼ一致することが明らかとなった。濾紙は遮光率、遮蔽率共に高く、ほぼステンレスメッシュの回帰直線上に位置する。一方で、綿布は遮光率に比べて紫外線遮蔽率が高い。

以上の結果より、織物試料の遮光率は、紫外線遮蔽率に比べて低い値となることがわかった。これは、紫外線より長い波長を持つ可視光線が繊維および糸を透過する量が、紫外線よりも多いことを示している。

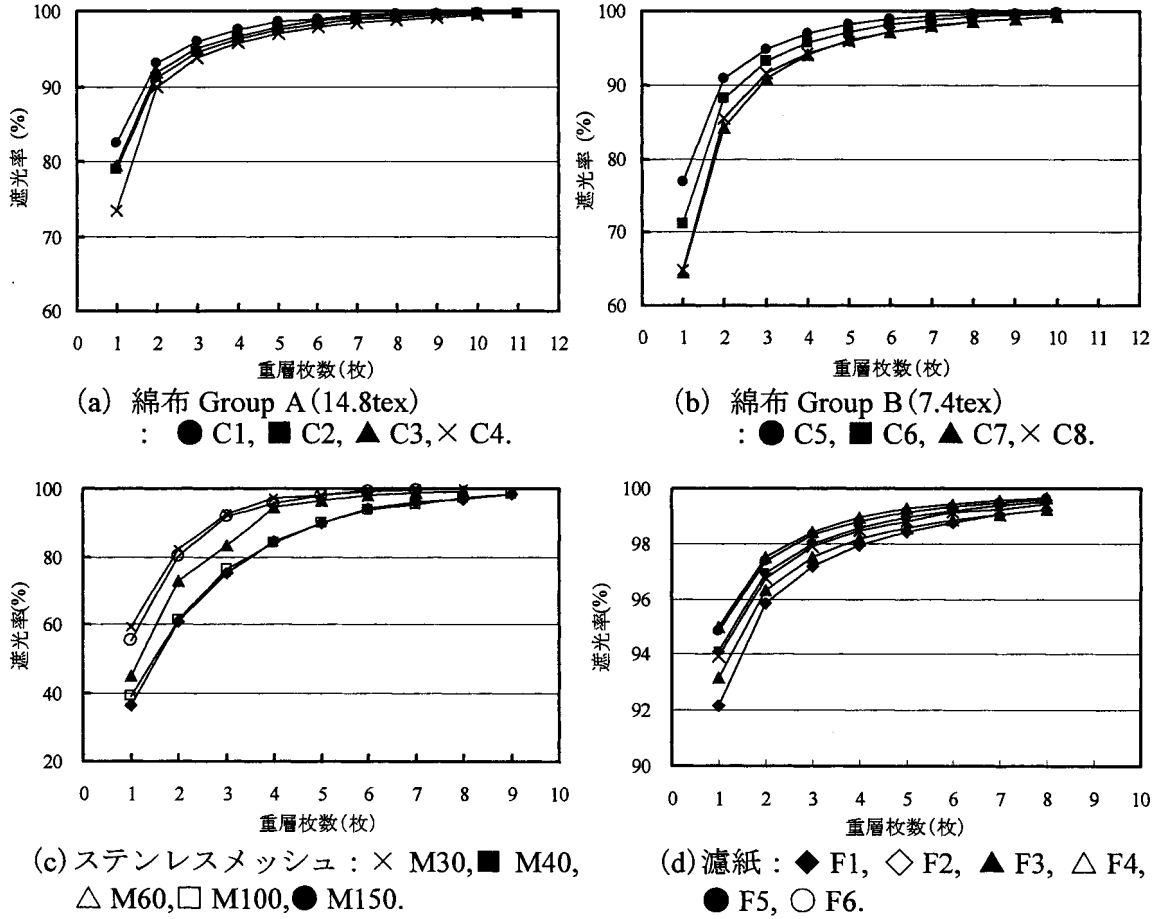


図 2-2-4 重層枚数と遮光率の関係

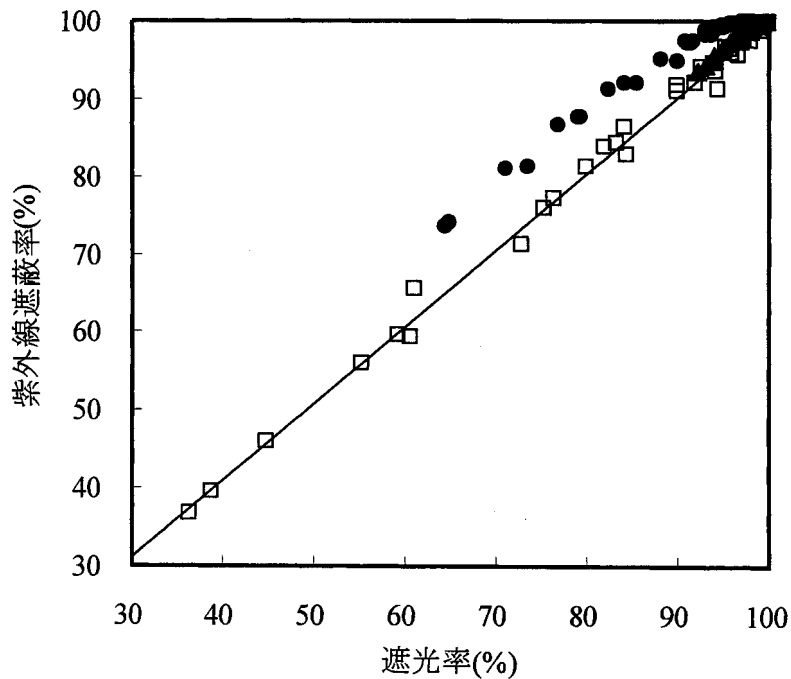


図 2-2-5 重層時の遮光率と紫外線遮蔽率の関係 : ●綿布, □ステンレスメッシュ, ▲濾紙. (図中の回帰直線はステンレスメッシュによるものである)

2.2.3.2 透け性

直通気孔率と透け性を表す ΔL^* の関係を全ての試料について図 2-2-6 に示す。直通気孔率と ΔL^* は正の相関関係がみられ、気孔率が大きくなると ΔL^* が大きくなって見た目に透けて見えることが確認された。ステンレスメッシュと比較して綿布、ポリエステルフィラメント布は直通気孔率が低く、 ΔL^* も低いですが、同じ気孔率であれば回帰直線より概算した ΔL^* はステンレスメッシュよりも高い結果となった。このように、同じ気孔率であればステンレスメッシュの方が透けず、綿布の方が透けることが明らかとなった。これは、ステンレスメッシュでは、糸にあたるワイヤ部分が光を通さないのに対し、織物試料では、糸および繊維が透ける影響の大きさを表している。このことから、糸そのものの構造を工夫すれば、透け性を減少させることができると考えられる。ポリエステルフィラメント布は気孔率が低く、透け性も低いですが綿布と比較して同一の気孔率であれば透け性が高い、すなわち糸が透ける割合が綿布より高かった。これらの結果より、気孔率が大きい布の方が透けやすいが、糸を通して透けて見える影響も大きいことが推測される。

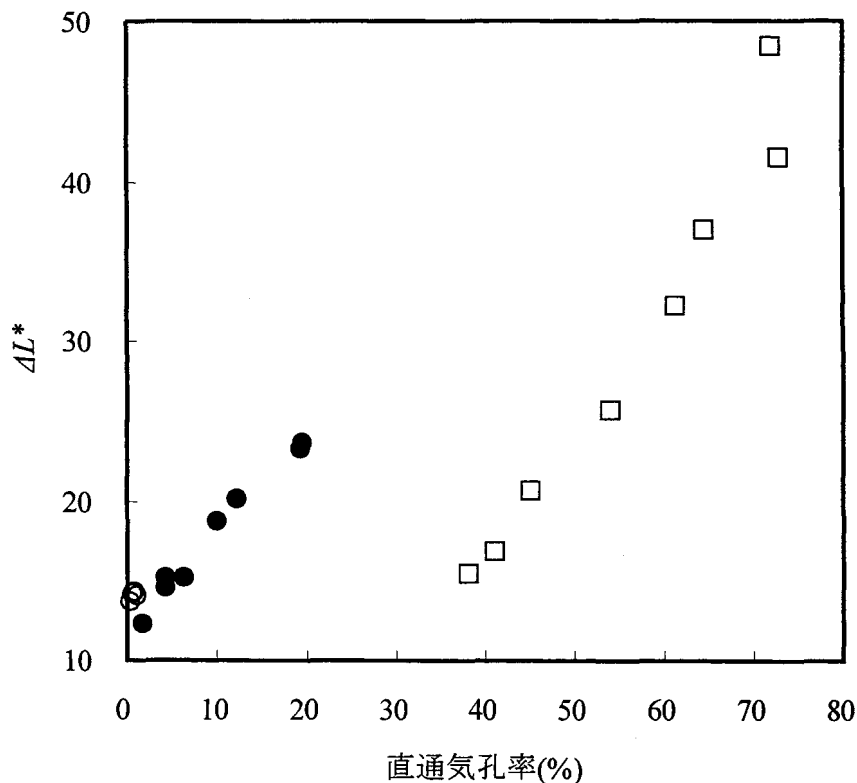


図 2-2-6 直通気孔率と透け性 ΔL^* の関係：●綿布，○ポリエステルフィラメント布，□ステンレスメッシュ。

濾紙の厚さと ΔL^* の関係を図 2-2-7 に、単位体積当たりの質量と ΔL^* の関係を図 2-2-8 に示す。厚さと ΔL^* との関係は弱い負の相関を示し、厚さが厚くなると ΔL^* が低くなる。単位体積当たりの質量と ΔL^* との関係も負の相関を示し、密度が高くなると透け性が低くなることが明らかとなった。しかし、単位体積当たりの質量との関係においても、その相関係数はやや低い。

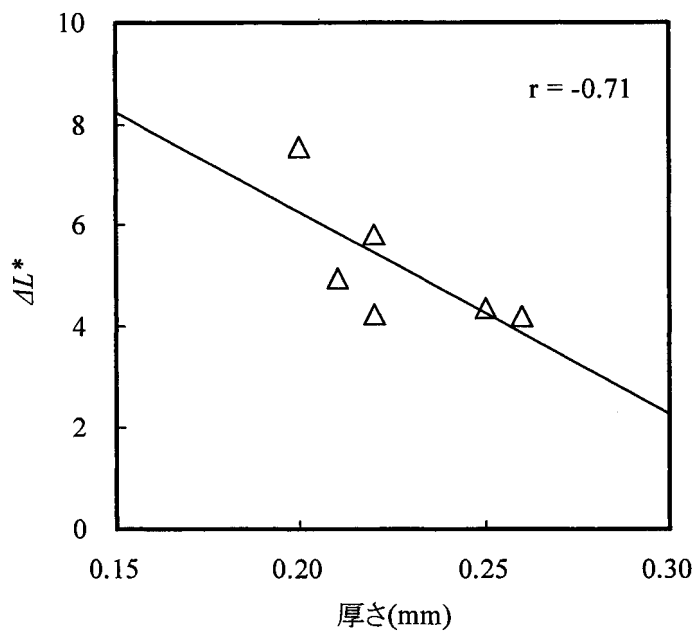


図 2-2-7 厚さと透け性 ΔL^* の関係 (濾紙)

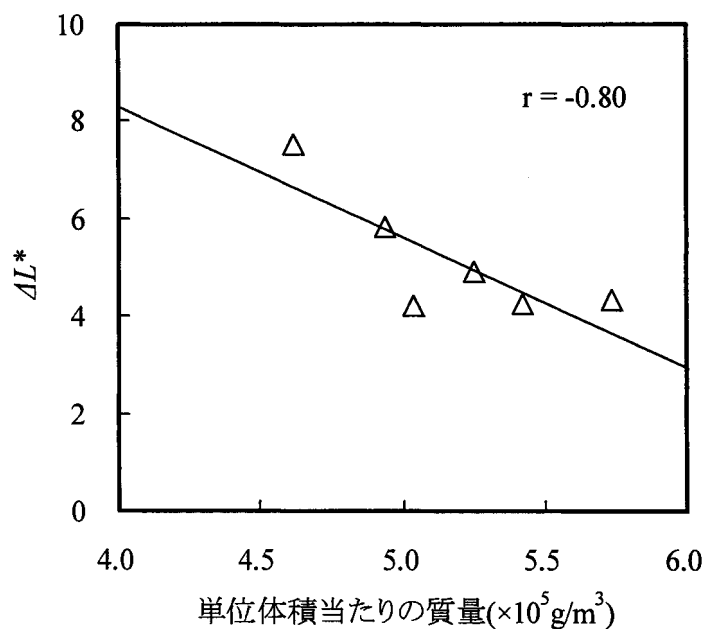


図 2-2-8 単位体積当たりの質量と透け性 ΔL^* の関係 (濾紙)

次にこの ΔL^* と、紫外線遮蔽率の関係を全ての試料について、図 2-2-9 に示す。図中の直線はステンレスメッシュの回帰直線である。 ΔL^* と紫外線遮蔽率は負の相関関係を示し、 ΔL^* が大きいものほど紫外線遮蔽率が低くなる、すなわち透けて見えるものほど紫外線を通しやすいことが確認された。ステンレスメッシュにおける ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係に比べて、ステンレスメッシュ以外の試料は傾きは等しいが、高い紫外線遮蔽率を示す。同じ ΔL^* であればステンレスメッシュの方が遮蔽率が低い。これは、ステンレスメッシュは糸にあたるワイヤ部分が光を透過しないため、気孔部分が透け性を決定している。一方で、濾紙、綿布およびポリエステルフィラメント布は、繊維および糸中も光が透過する。そのため、同じ ΔL^* を示す時には、ステンレスメッシュが気孔の多さで決定しているのに対し、その他の試料では糸および繊維中を透ける割合が多いと考えられる。糸および繊維中を透けて可視光線が通る割合は、紫外線の通る割合よりも多いことが明らかとなっており、同じ ΔL^* であれば、糸および繊維が存在する試料の方がステンレスメッシュよりも紫外線遮蔽率が高くなったと考えられる。

中でも、ポリエステルフィラメント布の紫外線遮蔽率は、同じ ΔL^* であれば、綿布よりやや高い値となることがわかった。これは、本実験で用いたポリエステルフィラメント布がその直通気孔率に対して ΔL^* が高いことに起因していると考えられる。

これらのことから、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。また、レースのカーテンなどで、採光性は低下させずに透け性をおさえ、かつ紫外線遮蔽性能を付与するなど、その場の状況に応じた製品設計にも本研究結果を生かした設計が可能と考えられる。

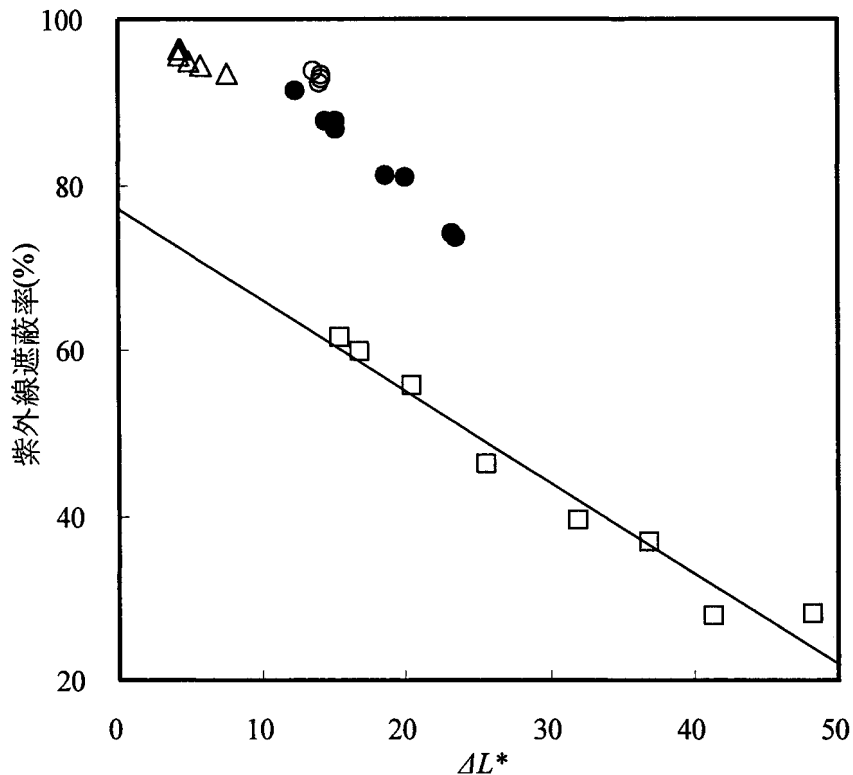


図 2-2-9 透け性 ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係：●綿布，○ポリエステルフィラメント布，□ステンレスメッシュ，△濾紙。(図中の回帰直線はステンレスメッシュによるものである)

重層時の重ね枚数と透け性 ΔL^* の関係は、いずれの試料も枚数を重ねると ΔL^* は減少していき、透けにくくなる。重層時の直通気孔率と ΔL^* の関係を図 2-2-10 に示す。重層時の直通気孔率と ΔL^* の関係は重ね枚数ごとに正の相関を示し、直通気孔率が大きいかほど ΔL^* も大きい。すなわち透けやすいことを示している。綿布の1枚時と2枚重層時における直通気孔率と ΔL^* の関係は、それぞれ直線で表され、2枚重ねの場合、1枚に比べて同じ直通気孔率でも ΔL^* が小さく、透けにくいことが明らかとなった。

ステンレスメッシュにおける重層時の直通気孔率と ΔL^* の関係は、全体に正の相関関係にあるが、下に凸のゆるやかな曲線となる。綿布でみられたように、1枚時と2枚重層時の間に大きな差はみられず、直通気孔率が同じであれば ΔL^* に差はないことが確認された。直通気孔率が同じでも綿布の方がステンレスメッシュに比べて ΔL^* が大きく、織物試料では気孔および糸そのものの透け性が関与していると言える。

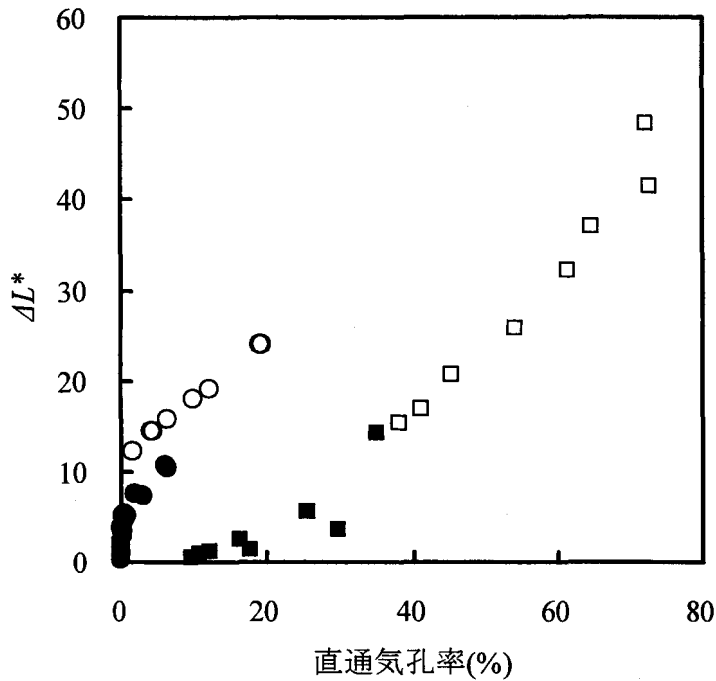


図 2-2-10 重層時の直通気孔率と透け性 ΔL^* の関係：○綿布 1 枚，
●綿布複数枚，□ステンレスメッシュ 1 枚，■ステンレスメッシュ複数枚。

重層時の ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係を図 2-2-11 に示す。重層時においても ΔL^* と紫外線遮蔽率はそれぞれの試料で負の相関関係を示し、 ΔL^* が高い、すなわち透けやすいと紫外線遮蔽率は低くなることが確認された。しかし、その関係は全体では直線関係とはならず、それぞれの試料の重ね枚数ごとに狭い範囲で直線関係を示す。綿布では、1 枚時と 2 枚時における ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係は、それぞれ直線で表され 2 枚時の方がやや傾きが小さく、3 枚、4 枚と重ねるに従って、 ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係は傾きが小さくなり、全体として上に凸のゆるやかな曲線となる。ステンレスメッシュおよび濾紙では重ね枚数が多くなるほど傾きが大きくなり、全体として下に凸のゆるやかな曲線となる。

各試料を比較すると、濾紙はやや綿布に挙動に近いが、同じ ΔL^* でも綿布の方が紫外線遮蔽率がやや高い傾向がある。ステンレスメッシュは同じ ΔL^* において、綿布に比べて紫外線遮蔽率が低いことが明らかとなった。これは、綿布とステンレスメッシュが同じように透けてみえても、綿布は糸そのものが透けてみえているため、糸による紫外線の遮蔽率は高い。しかし、ステンレスメッシュにおいて透ける場合は気孔に

よって透けてみえているため、気孔は紫外線を遮蔽しないことから、紫外線遮蔽率が低くなると考えられる。

これらの結果より、織物試料は重層時においてもステンレスメッシュに比べて同じ透け性でも紫外線遮蔽率が高いことがわかった。また、織物試料では1枚時と同じ直通気孔率でも2枚時の方が透け性が低くなることから、重ね着により、快適性を損なわず、透け防止の効果が期待できることがわかった。

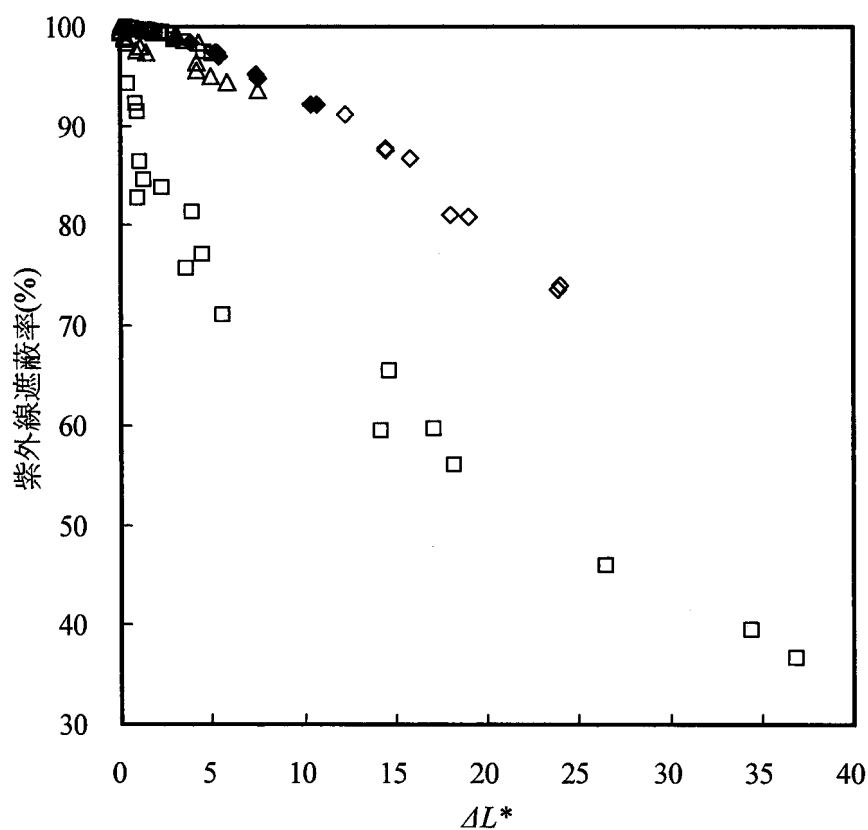


図 2-2-11 透け性 ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係：◇綿布 1 枚，◆綿布 2 枚，□綿布 3 枚，▲綿布 4 枚，○綿布 5 枚，□ステンレスメッシュ，△濾紙。

2.2.3.3 通気性

標準状態における試料 1 枚時の直通気孔率と通気抵抗の対数値との関係を図 2-2-12 に示す。図中には綿布の回帰曲線を示す。綿布の回帰曲線上にポリエステルフィラメントも位置しており、織物試料においては、繊維の種類、厚さなどが異なる試料でも、直通気孔率と通気抵抗の関係は同様の挙動を示す。直通気孔率が高いほど通気抵抗が低く、通気性がよいことが確認された。しかし、ステンレスメッシュは綿布の回帰曲線上に位置せず、糸中を空気が透過する織物試料と、透過しないステンレスメッシュでは挙動が異なることがわかった。

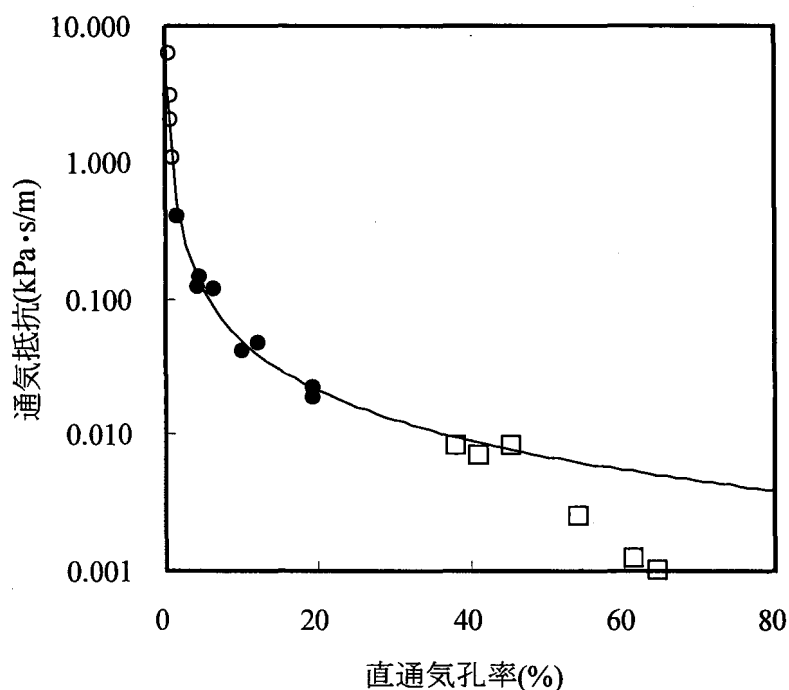


図 2-2-12 直通気孔率と通気抵抗の関係：●綿布，○ポリエステルフィラメント布，□ステンレスメッシュ。(図中の回帰曲線は綿布によるものである)

濾紙の厚さと通気抵抗との関係は大きくばらつき、相関はみられなかった。単位体積当たりの質量と通気抵抗との関係を図 2-2-13 に示す。単位体積当たりの質量と通気抵抗の関係は、弱い正の相関を示し、密度が高くなると通気抵抗が高くなる傾向があることがわかった。

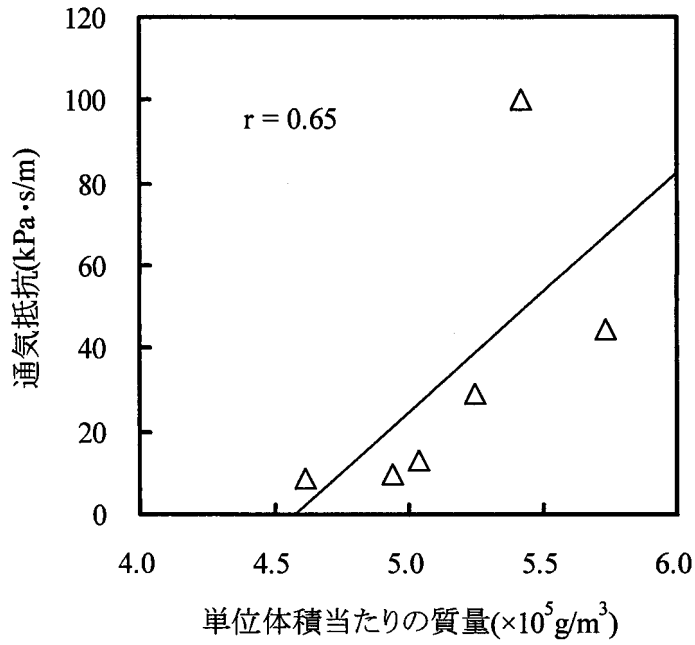


図 2-2-13 濾紙の単位体積当たりの質量と通気抵抗の関係

通気抵抗と紫外線透過率の関係を図 2-2-14 に示す。試料それぞれにおいて累乗関数で表され、全体として通気抵抗が高いほど紫外線透過率が低いことが確認された。

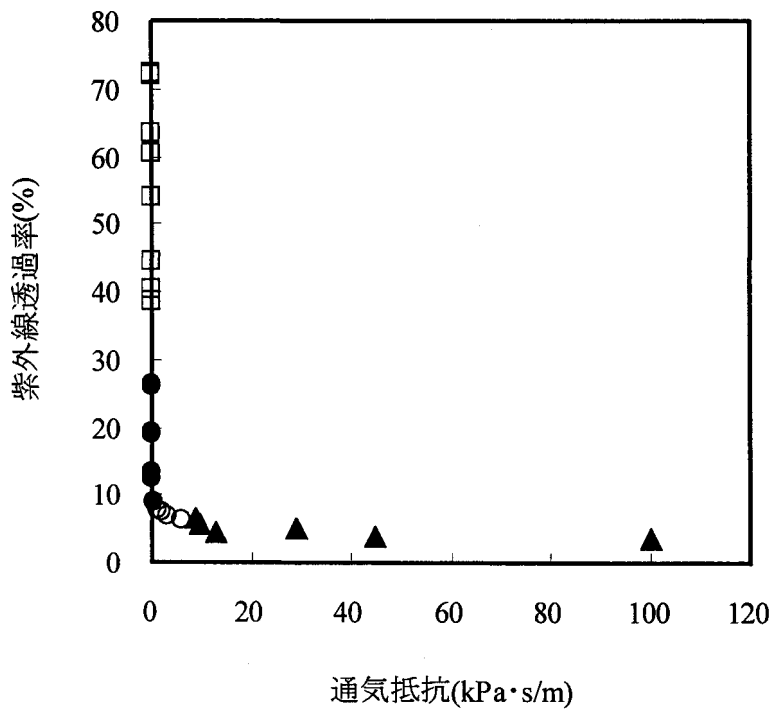


図 2-2-14 通気抵抗と紫外線透過率の関係：●綿布，○ポリエステルフィラメント布，□ステンレスメッシュ，▲濾紙。

綿布重層時の通気抵抗の測定結果を図 2-2-15 に示す。重層時の通気性については、中西ら[145]が、布間に空気層が 1mm 以上ある時、布の種類を問わず空気層の大きさや重ね順にかかわらず、単一布の通気抵抗の和で概算できることを報告している。本実験からも重ね枚数に比例して通気抵抗は増加していることが確認できることから、試料 1 枚の通気抵抗を重ね枚数分合計した計算値を算出した。その計算値と実験値の関係を図 2-2-16 に示す。計算値と実験値はほぼ一致し、文献との整合性が認められた。

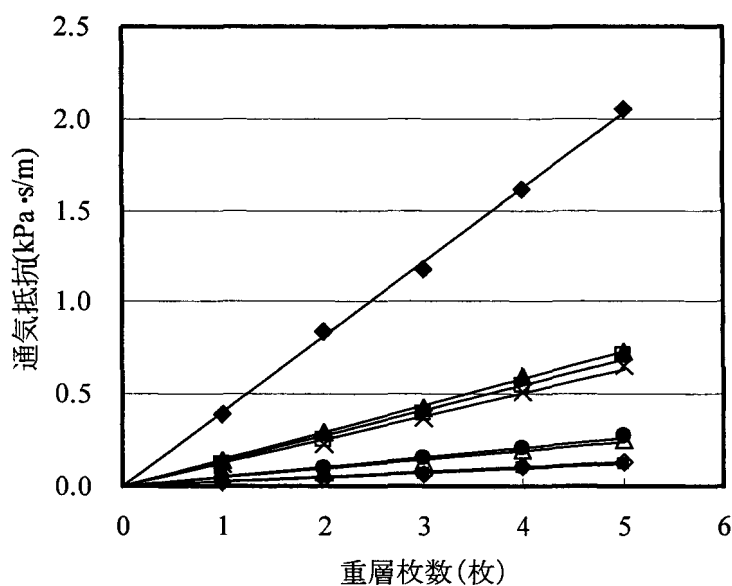


図 2-2-15 綿布の重層枚数と通気抵抗の関係：◆ C1, □ C2, ▲ C3, △ C4, × C5, ● C6, ◇ C7, ■ C8.

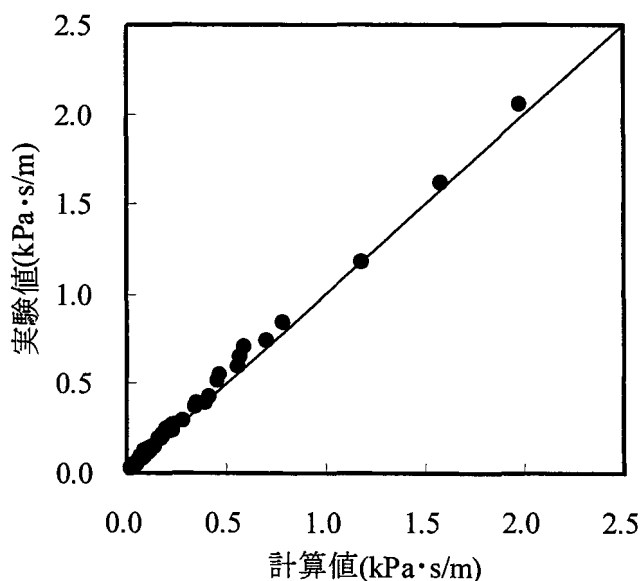


図 2-2-16 綿布の通気抵抗の計算値と実験値の関係

ステンレスメッシュの重層時の通気抵抗の測定は、厚さが厚い試料の測定が困難であることから、厚さの薄い M60、M100 および M150 についてのみ測定を行った。結果を図 2-2-17 に示す。枚数と通気抵抗との関係は、4 枚重層時付近まで直線関係を示すが、それ以上重層枚数が増加すると、直線関係からはずれてくることがわかった。さらに、綿布と同様に試料 1 枚の通気抵抗を重ね枚数分合計した計算値を算出した。計算値と実験値の関係を図 2-2-18 に示す。計算値に比べて実験値が大きく、綿布とは挙動が異なることがわかった。

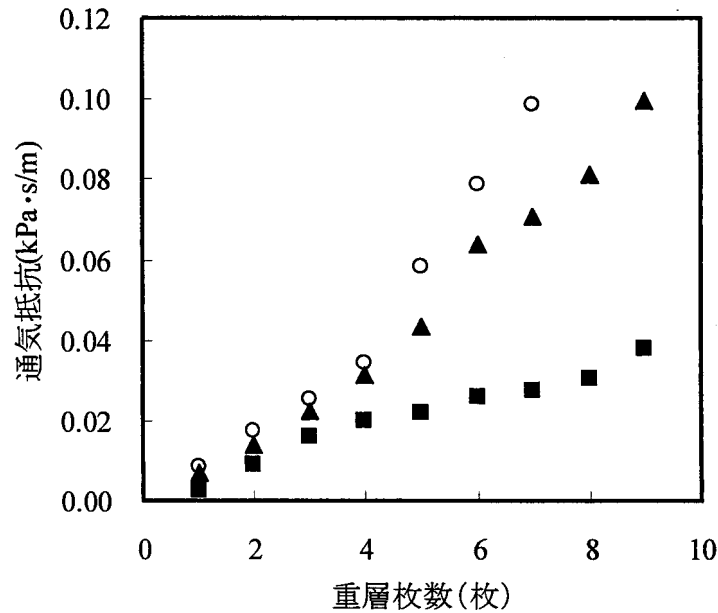


図 2-2-17 ステンレスメッシュの重層枚数と通気抵抗の関係
 : ■ M60, ▲ M100, ○ M150.

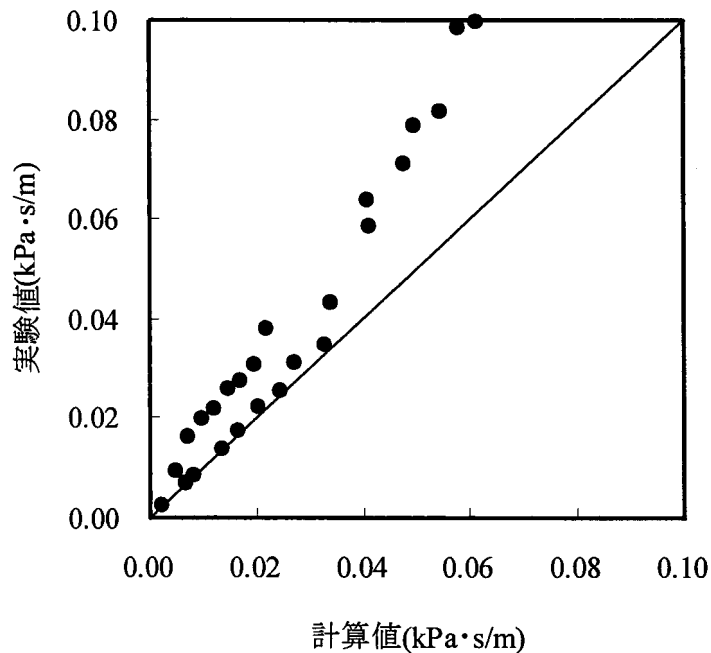


図 2-2-18 ステンレスメッシュ通気抵抗の計算値と実験値の関係

濾紙の重層枚数と通気抵抗の関係を図 2-2-19 に示す。それぞれ直線で表され、正の相関を示すことがわかった。しかし、綿布と異なり、回帰直線から概算した枚数が 0 の時の通気抵抗が 0 とはならない試料がある。試料 1 枚の通気抵抗を重ね枚数分合計した計算値を算出した。計算値と実験値の関係を図 2-2-20 に示す。通気抵抗が $100\text{kPa}\cdot\text{s/m}$ 付近までは、ほぼ直線上に位置するが、通気抵抗が高くなると実測値は計算値より低くなり、綿布における挙動と異なる結果となった。

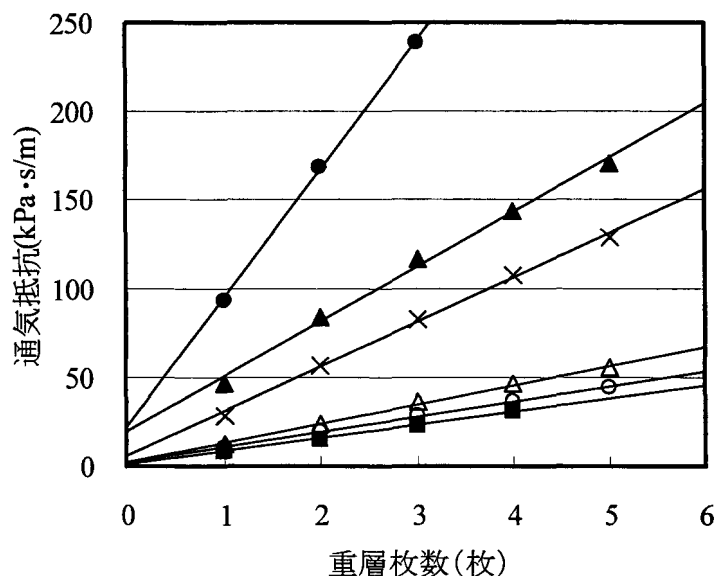


図 2-2-19 濾紙の重層枚数と通気抵抗の関係：
 ■ F1, △ F2, ○ F3, × F4, ● F5, ▲ F6.

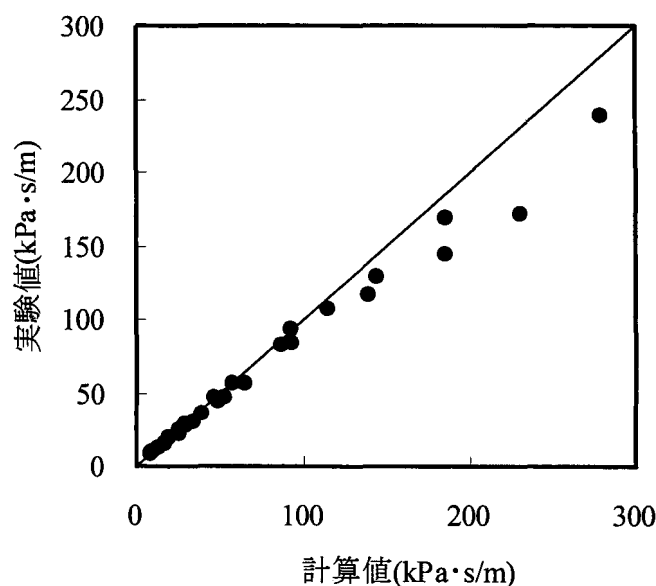


図 2-2-20 濾紙の通気抵抗の計算値と実験値の関係

綿布における通気抵抗と紫外線透過率の関係を、重層枚数が同じ試料の結果を同一シンボルで表した図が図 2-2-21 である。

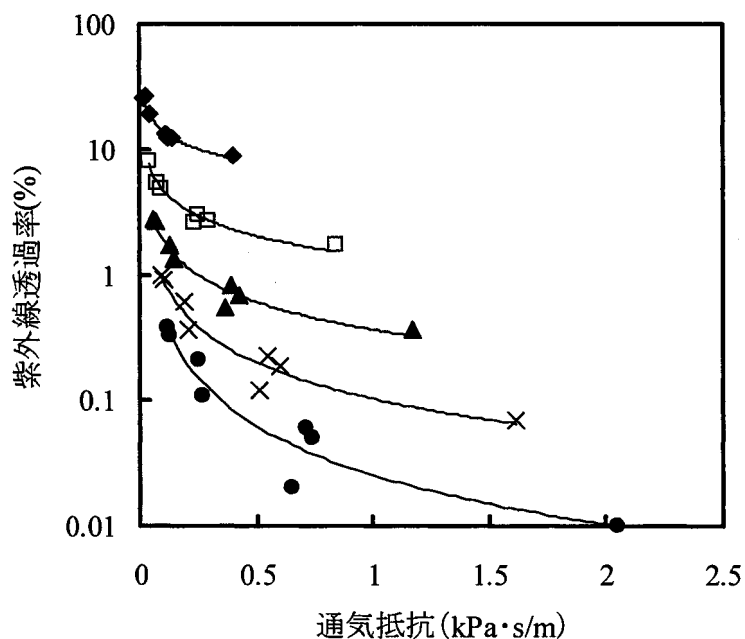


図 2-2-21 綿布の通気抵抗と紫外線透過率の関係 (重層枚数ごと)
 : ◆ 1枚, □ 2枚, ▲ 3枚, × 4枚, ● 5枚.

同じ通気抵抗で比べると、重層枚数が多い方が紫外線透過率が低いことが確認できる。重ね着を想定し、1枚時と2枚重層時に着目すると、同様の紫外線遮蔽率であれば1枚に比べて2枚重ねの方がより通気抵抗が低く、通気性が高いことを示している。すなわち、目の詰まった気孔率の小さい1枚布で紫外線遮蔽率を高くするよりも、気孔率の大きい布を2枚重ねの方が、同じ紫外線遮蔽率でも通気性が高くなることが示された。夏期における紫外線防止対策として、薄手布の重ね着が紫外線を遮蔽し、かつ、通気性が高いことから涼しく、温熱特性の面からも有効であると考えられる。

ステンレスメッシュ、濾紙については、同様に試料ごとに直線で表され、負の相関関係を示すが、綿布のように重層枚数ごとの関係はみられず、綿布とは異なる挙動を示すことがわかった。

2.2.4 結 論

繊維製品の実際の使用、着用時の快適性を考慮する際重要と考えられる衣環境設計に関わる性能の中で、光、空気の透過性能である遮光性、透け性および通気性に着目し、標準状態での各性能と紫外線遮蔽性能との関わりを検討した。

織物試料およびステンレスメッシュにおいて直通気孔率と遮光率は高い負の相関を示し、それぞれ直線で表されることが明らかとなった。ステンレスメッシュにおいては、遮光率は直通気孔率とほぼ同一であり、ワイヤ自体は光を透過せず、直通気孔の部分のみ光が透過していることが確認された。この傾向は紫外線遮蔽率と同様である。ステンレスメッシュに比べて織物試料の遮光率は、同じ直通気孔率で比較すると低い値を示し、気孔以外の透過、すなわち糸および繊維を透過する光の存在が確認された。綿布に比べてポリエステルフィラメント布の遮光率は、同じ直通気孔率で比較するとやや高い値を示す。見た目の直通気孔を持たない濾紙においては、単位体積当たりの質量が大きくなると遮光率は高くなる。この傾向も、単位体積当たりの質量と紫外線遮蔽率との関係と同様である。

重層時の遮光率について検討を行った結果、各試料の挙動は重層時の紫外線遮蔽率の変化と同様であり、重層枚数が増加すると、指数関数的に遮光率が増加することがわかった。また、1枚時から重層時全ての遮光率と紫外線遮蔽率の関係は、ステンレスメッシュでは直線で表され、正の相関を示した。糸中の透過が無いステンレスメッシュにおいては遮光率の値は紫外線遮蔽率とほぼ等しいことが明らかとなった。これに対し、綿布、濾紙においては同様に正の相関を示すが、ステンレスメッシュに比べて同じ遮光率で紫外線遮蔽率が高い。これは、繊維および糸を透過する可視光が、紫外線より大きいことを示している。また、綿布および濾紙では、重層枚数が多く遮光率と紫外線遮蔽率がほぼ98%以上の範囲では傾きがゆるやかとなり、全てが直線では表されないことがわかった。

透け性は、織物試料およびステンレスメッシュそれぞれの試料において直通気孔率と透け性を表す AL^* との間に高い正の相関がみられ、気孔率が大きくなると透け性が大きくなる、すなわち透けやすくなることが確認された。ステンレスメッシュと織物

試料の比較の結果、同じ直通気孔率であればステンレスメッシュの方が透けず、綿布の方が透けることが明らかとなった。これは、糸にあたるワイヤが光を通さず、糸および繊維中を透ける影響の大きさを表しており、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。見た目の直通気孔を持たない濾紙においては、厚さおよび単位体積当たりの質量と、それぞれ負の相関関係を示すが、相関係数は低い。

ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係については、全ての試料で負の相関関係がみられ、透け性が大きくなると紫外線遮蔽率が低くなることが確認された。ステンレスメッシュにおける ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係に比べて濾紙、綿布およびポリエステルフィラメント布はほぼ同様に紫外線遮蔽率が高いことが明らかとなった。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。

重層時には、重ね枚数が増加すると透け性は低下し、透けにくくなる。ステンレスメッシュの重層時の直通気孔率と透け性の関係は正の相関を示し、全体として下に凸のゆるやかな曲線となる。綿布では、1枚時に比べ、2枚重層時において同じ直通気孔率でも透け性が低く、布の透け性には、布の気孔そのものだけでなく、糸そのものの透け性が関わっていることが重層時においても確認された。重層時の ΔL^* と紫外線遮蔽率の関係は、ステンレスメッシュは全体に下に凸のゆるやかな曲線を示し、透け性が大きくなると紫外線遮蔽率は低くなる。綿布は上に凸のゆるやかな曲線を示し、ステンレスメッシュに比べて同じ透け性でも紫外線遮蔽率が高いことがわかった。

標準状態での通気性は、いずれの試料においても直通気孔率と通気抵抗に高い負の相関がみられ、累乗関数で表される。直通気孔率が大きくなると通気抵抗が低くなる、すなわち通気性が良くなることが確認された。ポリエステルフィラメント布は綿布の相関曲線上に位置し、直通気孔率と通気抵抗の関係はほぼ同一の挙動を示すと考えられるが、ステンレスメッシュは、綿布と異なる挙動を示した。これは、織物試料では糸中を空気が透過するがステンレスメッシュでは糸にあたるワイヤが空気を通さないため、異なる挙動を示したと考えられる。濾紙では、厚さと通気抵抗の間に相関はみられず、単位体積当たりの質量が大きくなると通気抵抗が高くなる傾向がみられたがその相関は小さい。さらに、通気抵抗と紫外線透過率との関係は、全ての試料におい

て累乗関数で表され、負の相関がみられた。通気抵抗が大きくなると透過率が低くなる、すなわち遮蔽率が高くなることが明らかとなった。

重層時の通気抵抗は、綿布においては重ねた枚数の合計となることが確認された。重層時の通気抵抗と紫外線遮蔽率の関係では、同じ通気抵抗で比べると重層枚数が多い方が紫外線透過率が低い。1枚時と2枚重層時では、同様の紫外線遮蔽率であれば1枚に比べて2枚重ねの方がより通気性が高いことが示された。

以上のことから、目の詰まった1枚布より、目の粗い薄手布の重ね着が、同じ気孔率であれば紫外線遮蔽率が高いのと同時に、遮光性が高く、透け性もおさえられることがわかった。さらに、同様の紫外線遮蔽率であれば、1枚に比べて2枚重ねの方が通気性が高いことから涼しく、温熱特性の面からも有効であると考えられる。ここでも直通気孔率が重要な因子であり、透け感を生かした衣服であれば直通気孔率を小さくして糸の透け性を高くし、ユニフォームであれば、重ね着よりも直通気孔をふさぐように2枚がずれて重なるような二重織構造布とするなど、状況に応じた設計が必要である。

第3章 湿潤状態の織物の紫外線遮蔽性能

太陽による紫外線の強い夏期は屋外や海などでのレジャーやスポーツが多く行われる時期でもある。衣服が激しい運動により汗で濡れたり、ヨット競技などで海水に濡れたりした時、肌や下着が透けて見えることがあるのを我々は日常的に経験している。特に水着を中心に、白や淡色の繊維の不透明化の研究が進められている[114~122]。透け性の評価については、坂本ら[113]により可視光線を照射したときの反射率による評価法が提案されており、布の湿潤状態における可視光線における透過性能については報告がみられるが、紫外線遮蔽性能に関する報告は少ない。

布の湿潤状態での紫外線遮蔽性能については、布が濡れて水分率が高い状態では紫外線の透過が多くなり、遮蔽性能が下がることが報告されている[96~99,101]が、その低下の原因は明らかとなっていない。綿などの親水性の繊維は濡れると水分を吸収して膨らむ膨潤を起こす。このため、布の構造に変化が起こるが、このような湿潤による布構造の変化と紫外線遮蔽率の関わりは検討されておらず、水分が紫外線遮蔽性能にどのように作用しているのか解明されていない。また、試料によっては湿潤状態で紫外線遮蔽率が上がるものが報告されている[97~99]が、その現象がおこる水分率、布構造なども捉えられていない。

そこで第3章では、織物の湿潤が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を明らかにする。3.1において、水分率の異なる湿潤状態での織物の構造の変化を捉え、紫外線遮蔽率測定を行って、水分率と直通気孔率および紫外線遮蔽率の関係を検討する。さらに、ステンレスメッシュおよび濾紙を用いて湿潤状態における紫外線遮蔽性能の解明を行う。ステンレスメッシュは有孔材料であると共に、ステンレスワイヤ自身は吸水せず膨潤しない無膨潤試料である。濾紙は、無孔試料であると共に、綿布同様水分を吸収して膨潤がおこる膨潤試料である。これにより、気孔に充填される水分の影響と膨潤した繊維を透過する紫外線との関係を検討し、湿潤状態の織物の紫外線遮蔽性能の解明を行う。

3.2 においては、標準状態と同様に、遮光性、透け性および通気性の湿潤状態での変化挙動を捉え、湿潤状態における紫外線遮蔽性能との関わりを検討する。これにより、湿潤状態における繊維製品の紫外線遮蔽性能を高めると共に、着用、使用感を良い状態に保つための、衣環境設計について考察する。

3.1 湿潤状態の織物の紫外線遮蔽性能の解明

3.1.1 目的

3.1 では、湿潤状態での織物の紫外線遮蔽性能を明らかにするために、水分率を段階的に変化させ、織物の構造の変化を捉えると共に、水分率と紫外線遮蔽率との関係を捉える。湿潤状態では、疎水性繊維であるポリエステル繊維は水分を吸収しないが、綿繊維は水分を吸収し、膨潤する。このように繊維によって、その変化は異なるが、これらの変化が布の性質に及ぼす影響はさらに大きくなると考えられる。このような湿潤状態の繊維および糸の変化による気孔率の変化を捉え、水分率と直通気孔率、紫外線遮蔽率の関係について検討を行う。こうして得られた湿潤状態の織物の紫外線遮蔽性能をさらに解明することを目的として、平織り構造をもち、気孔が存在するが繊維、糸にあたる部分は水分を吸収せず、膨潤しない試料としてステンレスメッシュ、繊維は膨潤するが直通気孔が無い試料として濾紙を取り上げ、これらの非膨潤有孔試料と、膨潤無孔試料の水分率、直通気孔率および紫外線遮蔽率を測定する。

3.1.2 実験

3.1.2.1 試料

試料は、第2章 2.1 において用いた綿布 8 点、および、ポリエステルフィラメント布 4 点である。参考のため、紫外線遮蔽加工布とその未加工布を加えた。また、織物の紫外線遮蔽性能をさらに解明するため、ステンレスメッシュ 8 点、および、濾紙 6 点を加えた。実験に用いた試料の詳細は 2.1 と同様である。

3.1.2.2 実験方法

織物試料はそれぞれ蒸留水(25℃)に 15 分浸漬し、20 分間脱気を行って、十分な湿潤状態とした。水中から引き上げ、水滴が落ちない状態を水分保持限界水分率とみな

し、その後、徐々に自然乾燥させて段階的に水分率を調整した。濾紙は蒸留水(25℃)に1分浸漬し、脱気を行わずに水中から引き上げ同様に調整した。ステンレスメッシュの場合、蒸留水(25℃)に浸し、引き上げるとステンレス線自身は吸水しないものの気孔部分に膜を張るように水分が充填される。湿潤状態の例として M100 の写真を図 3-1-1 に示す。白く見える部分は気孔に水が充填されており、黒く見える部分は気孔に充填された水分の膜が破れた状態である。水滴が落ちず、かつ膜が破れない程度に水分を取り除いた状態をステンレスメッシュにおける最大湿潤状態と定義し、重量を測定して水分保持限界水分率、すなわち最大水分率とした。

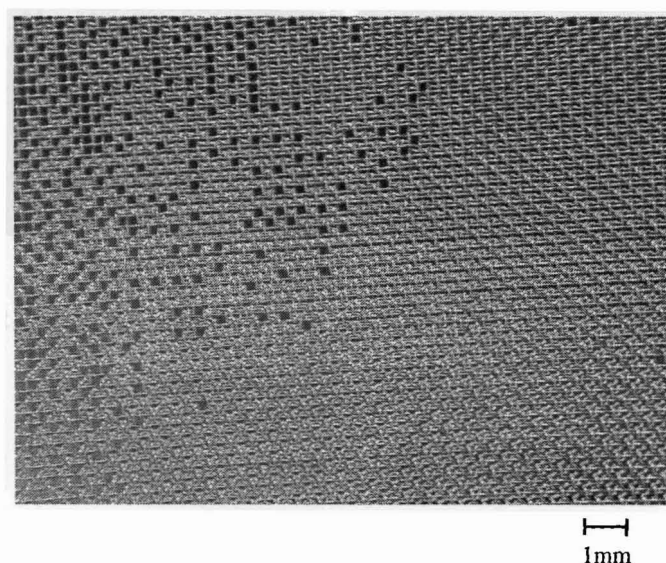


図3-1-1 湿潤状態のM100

ここでの水分率 $MR(\%)$ は、任意の状態の質量 $W(g)$ と絶乾質量 $W'(g)$ との差の絶乾質量に対する百分率とし、次式により算出した。

$$MR = (W - W') / W' \times 100 \quad (3-1)$$

各水分率において1試料につき3枚の紫外線遮蔽率と直通気孔率の測定を行った。実験方法の詳細は第2章、2.1と同様である。

3.1.3 結果および考察

3.1.3.1 綿布の湿潤状態の紫外線遮蔽性能

水分率 120%と 8.5%における綿布 C3 表面の顕微鏡写真を図 3-1-2 に示す。

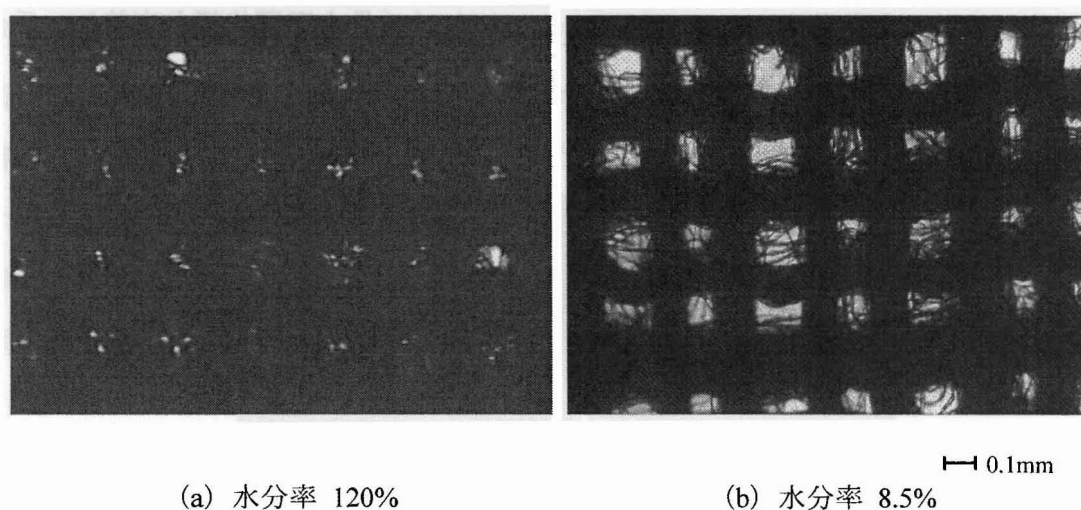


図3-1-2 綿布C3の顕微鏡写真の一例

綿布 C3 においては、十分な湿潤状態である水分率 120%では、繊維が膨潤し、糸間隙に水が入り込み、毛羽も影響して水が膜をはるように気孔をふさぐ現象がとらえられた。それが、徐々に乾燥していくに従って気孔中の水分は無くなり、繊維の膨潤のみとなる。綿の公定水分率である水分率 8.5%では、繊維の膨潤がみられなくなり、標準状態に戻る様子が観察された。他の綿布においても同様の傾向が認められた。

綿布の各水分率における直通気孔率の測定結果を表 3-1-1、図 3-1-3 に示す。これらの結果より、綿布は水分率の増加とともに、直通気孔率が徐々に減少することが明らかとなった。顕微鏡による観察で捉えられたように湿潤による繊維の膨潤と糸間隔の減少が直通気孔率減少の要因であると考えられる。

表3-1-1 綿布の直通気孔率

水分率(%)	直通気孔率(%)							
	Group A (14.8tex)				Group B (7.4tex)			
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
8.5	1.60	4.30	4.19	9.70	6.00	11.50	20.40	19.40
10	1.64	4.36	4.20	9.75	6.09	11.77	20.48	19.42
20	1.35	4.52	4.14	9.83	6.13	11.73	20.75	19.14
40	1.11	4.59	3.88	9.67	5.60	11.36	20.40	18.90
60	1.05	4.62	3.66	9.43	5.43	11.10	19.83	18.47
80	0.95	4.12	3.36	9.11	4.75	10.23	18.74	18.00
100	0.68	3.43	2.28	8.47	2.64	8.71	17.28	16.87
120	0.30	1.97	1.38	7.57	0.93	6.88	14.99	15.23

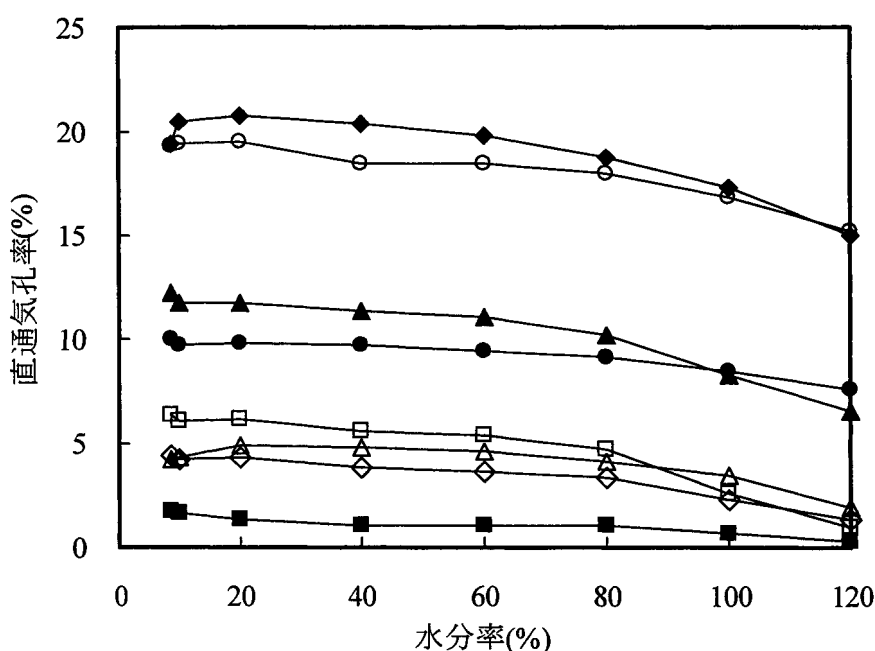
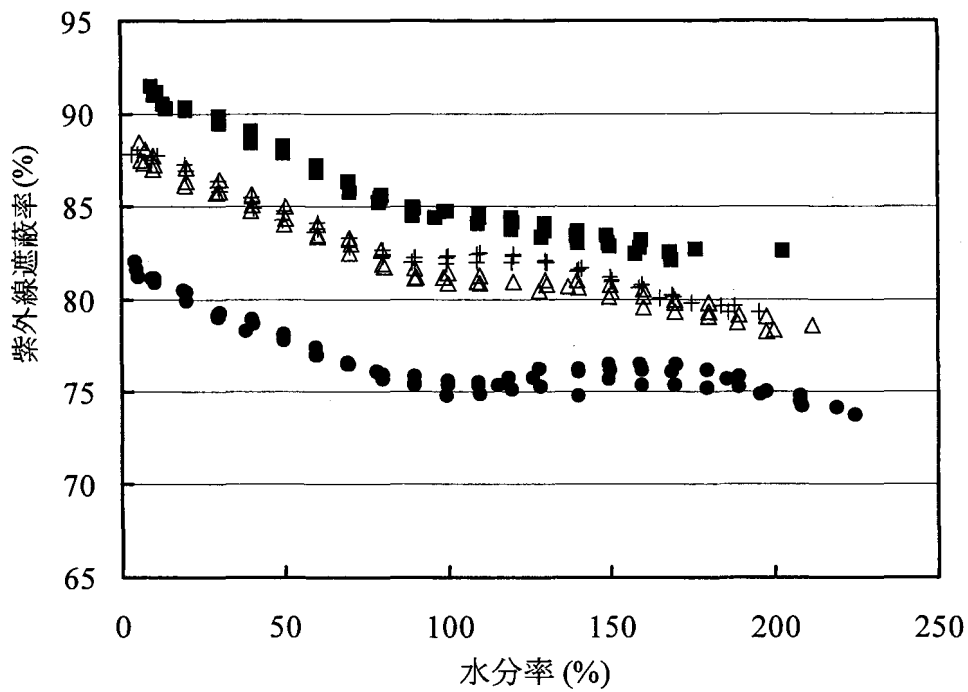


図 3-1-3 綿布の水分率と直通気孔率の関係
 : ■ C1, △ C2, ◇ C3, ● C4, □ C5, ▲ C6, ◆ C7, ○ C8.

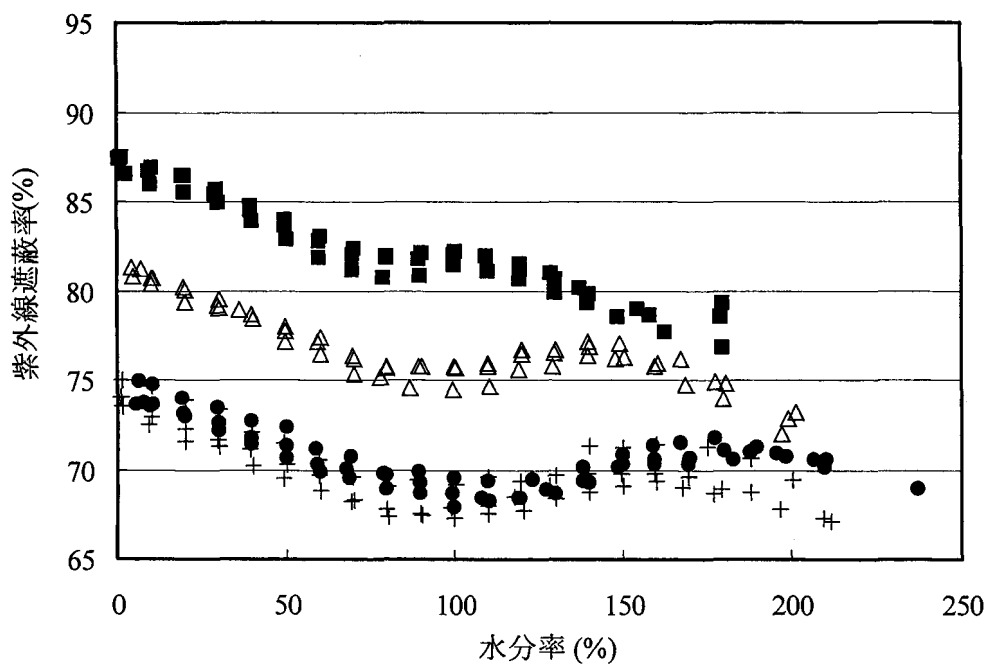
綿布の湿潤状態での紫外線遮蔽率の測定結果を図 3-1-4 に示す。Group A (14.8tex)、Group B (7.4tex) 共に、紫外線遮蔽率は、水分率の上昇に伴って直線的に減少する。これは、膨潤により直通気孔率が低下する一方で、膨潤した繊維を透過する紫外線量が増加したためと考えられる。水分率約 8.5%から 80%までの直線部分は、各試料とも傾きがほぼ同じであり、水分率 80~90%のあたりで減少傾向がゆるやかになる。ただ

し、C1,C2 以外の試料では再び紫外線遮蔽率が増加し、極値がみられる傾向が認められた。紫外線遮蔽率の減少がゆるやかになり始めると、糸間の直通気孔が存在した部分に液相の水分が観察される。水分率 100%以上の範囲で極値を持つ試料は糸間隔が広く、気孔が液相の水分で満たされるとともに、毛羽が気孔をおおうように広がって、さらに直通気孔をふさぐ。そのために紫外線遮蔽率がやや上昇すると考えられる。すべての気孔がふさがれた段階で極値を示し、さらに布表面全体が液相の水で満たされると、水の屈折率が空気より高いことから紫外線の透過率が高くなり、再び遮蔽率が減少すると考えられる。

次に、紫外線遮蔽率の低下が直線状態にある、水分率 80%までの結果について詳しく検討した。その結果、80%までの水分率と紫外線遮蔽率の関係は、回帰分析の結果、全試料ほぼ同じ傾きでの直線関係が得られた。共分散分析により、各傾きの検定を行ったところ、全ての傾きに有意差が無いことが確認された ($F=1.81$)。



(a) Group A (14.8tex) : ■C1, △C2, +C3, ●C4.



(b) Group B (7.4tex) : ■C5, △C6, +C7, ●C8.

図3-1-4 綿布の水分率と紫外線遮蔽率の関係

綿布の水分率と紫外線遮蔽率の関係は、糸の太さに関わらず水分率 8.5%から 80%までの範囲で平行な直線で表され、その切片は各試料の固有値である。直通気孔率と切片の関係を図 3-1-5 に示す。公定水分率における直通気孔率は、切片の値と高い相関がみられ、切片の値を直通気孔率に置き換えることができる。

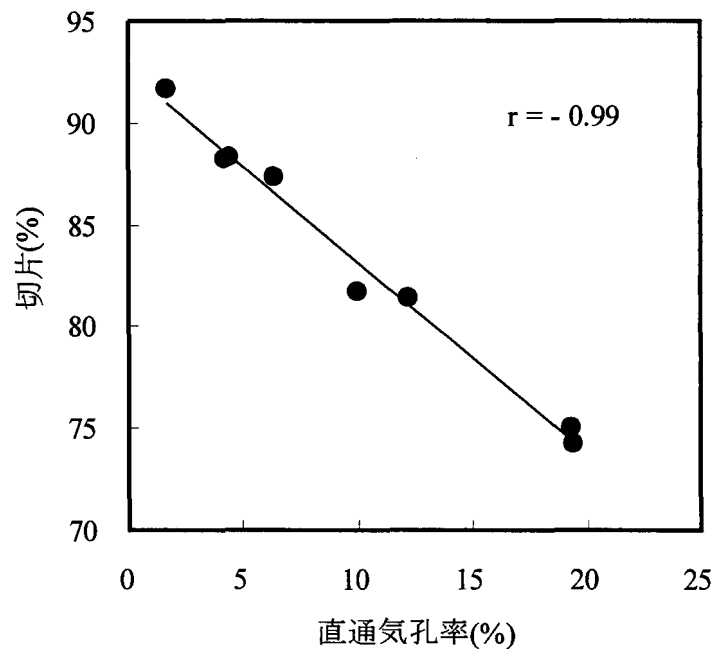


図3-1-5 綿布の直通気孔率と切片との関係

これらの結果より、本実験で使用した綿布に関しては、構成する糸の太さおよび標準状態下の糸密度に関わらず、水分率と直通気孔率および紫外線遮蔽率の関係が(3-2)式で表されることが明らかとなった。

$$S = -0.075MR - 0.942Por-c + 92.6 \quad (3-2)$$

ここで、 MR は水分率(%), $Por-c$ は綿の公定水分率 8.5%における直通気孔率(%)である。得られた式を用いて算出された計算値と実験値との関係を図 3-1-6 に示す。計算値と実験値の間には高い相関が得られ、綿布の標準状態における直通気孔率より、湿润状態の紫外線遮蔽率を予測できることが確認された。

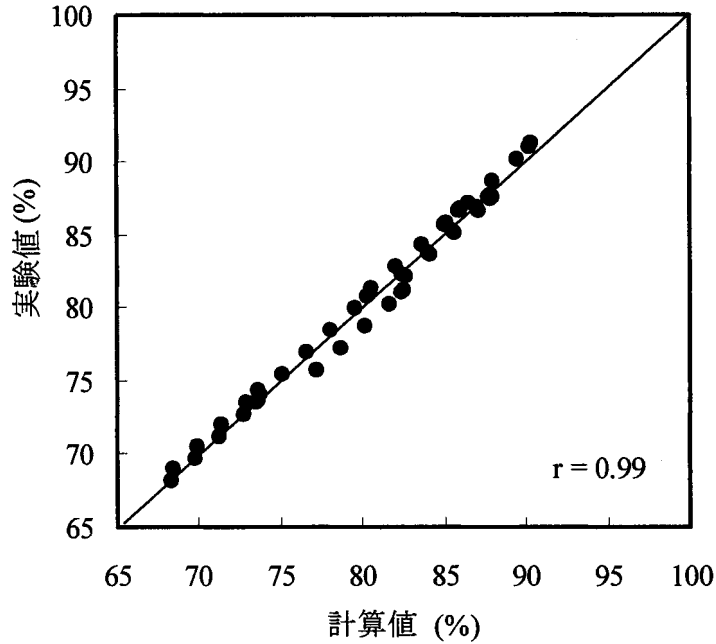


図3-1-6 綿布の紫外線遮蔽率の計算値と実験値の関係

3.1.3.2 ポリエステルフィラメント布の湿潤状態の紫外線遮蔽性能

ポリエステルフィラメント布における各水分率での直通気孔率の測定結果を表3-1-2、図3-1-7に示す。ポリエステルは疎水性繊維であるため繊維そのものの膨潤は認められず、水分は糸中の繊維間隙に蓄えられていると考えられる。全体として水分率が高くなると直通気孔率は減少する傾向がみられたが、その変化はわずかであった。さらに水分率が上がると糸間隙にも水が充填され、布表面が液相の水分で満たされることにより繊維そのものが透けて見える現象が捉えられた。糸密度の高い試料ほど低い水分率で含水しなくなった。

表3-1-2 ポリエステルフィラメント布の直通気孔率

水分率(%)	直通気孔率(%)			
	P1	P2	P3	P4
0.4	1.09	0.91	0.75	0.49
1	1.08	0.90	0.74	0.48
10	1.07	1.03	0.73	0.45
20	1.07	1.05	0.67	0.38
40	1.05	0.78	0.49	-
60	0.98	0.75	-	-
80	0.93	-	-	-

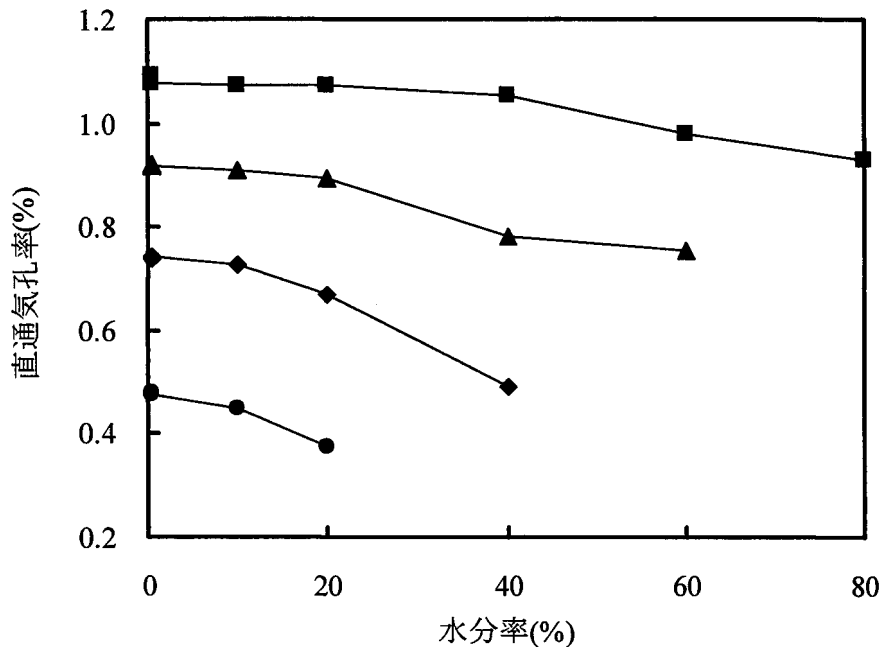


図 3-1-7 ポリエステルフィラメント布の水分率と直通気孔率の関係
 : ■ P1, ▲ P2, ◆ P3, ● P4.

続いてポリエステルフィラメント布における水分率と紫外線遮蔽率の関係を図 3-1-8 に示す。ポリエステルフィラメント布においても水分率の上昇に伴って紫外線遮蔽率は低くなり、水分率 30%程度までは直線的に減少する。さらに水分率が高くなるとやや減少がゆるやかになる傾向が認められた。ポリエステルは膨潤が起これないため、繊維間隙に入り込んだ水分による影響で、紫外線遮蔽率が減少し、液相の水分が表面をおおうと減少傾向がゆるやかになると考えられる。水分率 0.4%~20%の間では各試料の傾きはほぼ同様であり、共分散分析の結果、全ての傾きに有意差が無いことが確認された ($F=0.41$)。

ポリエステルフィラメント布では、綿布でみられたような高い水分率での遮蔽率の上昇が認められなかった。本実験で用いたポリエステルフィラメント布は、直通気孔率が標準状態で約 1%以下と非常に目の詰まった織物であったため、直通気孔がほとんど存在せず、水分を保持する空間も存在しなかった。また、フィラメント糸であり繊維毛羽が存在しないため、綿布でみられたように気孔をふさぐこともなく、極値を示すことがなかったと考えられる。

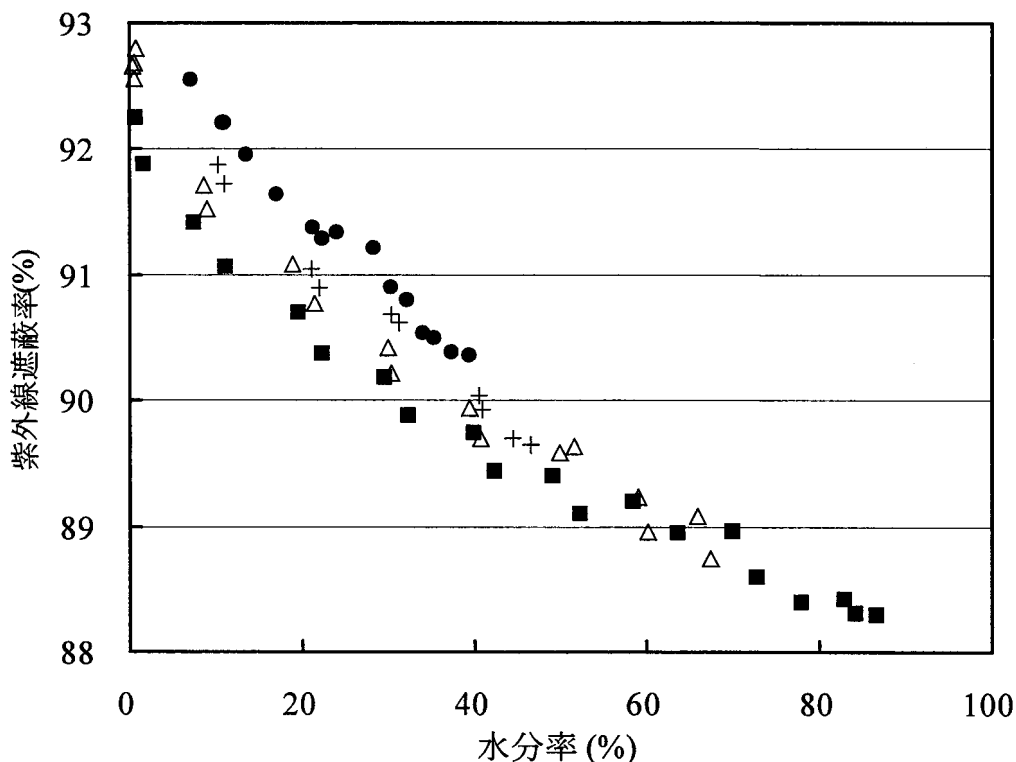


図3-1-8 ポリエステルフィラメント布の水分率と紫外線遮蔽率の関係
 : ■P1, △P2, +P3, ●P4.

また、ポリエステルフィラメント布においても水分率 0.4%から 20%の間で水分率と紫外線遮蔽率は直線関係にあり、切片と標準状態における直通気孔率とは高い相関を持つ ($r=0.99$)。従って、ポリエステルフィラメント布においても綿布同様、標準状態での糸密度に関わらず、水分率および直通気孔率と紫外線遮蔽率の関係は(3-3)式で表されることが明らかとなった。

$$S = -0.091MR - 1.69Por-p + 94.2 \quad (3-3)$$

ここで、 $Por-p$ はポリエステルの公定水分率 0.4%における直通気孔率(%)である。得られた式による計算値と実験値の関係においても高い相関が得られ ($r=0.99$)、標準状態における直通気孔率より、水分率 0.4%~20%における紫外線遮蔽率を予測できることが確認された。

これを綿布における(3-2)式と比較すると、ポリエステルフィラメント布の方が水分率、直通気孔率共にかかる定数が大きく、これらの寄与が大きいことが示されている。

ただし、ポリエステルは疎水性繊維であり、繊維が膨潤しないため、綿と比べて低い水分率で布が液相の水分に覆われる。そのため、関係式の成り立つ範囲は水分率0.4%~20%であり、綿布に比べて狭い。

3.1.3.3 紫外線遮蔽加工布と未加工布の湿潤状態の紫外線遮蔽性能

参考として紫外線遮蔽加工の効果を見るため測定した紫外線遮蔽加工布とその未加工布の水分率と紫外線遮蔽率の関係を図 3-1-9 に示す。紫外線遮蔽加工布は、その未加工布と比較して、ほぼ同一の気孔率であるにも関わらず、全ての水分率において紫外線遮蔽率が高く、加工の効果が認められた。

紫外線遮蔽加工布の紫外線遮蔽率は、水分率の増加に伴ってやや減少し、水分率40%付近より増加しはじめ、水分率80%付近で最高値を示し、綿布と同様に極値を持つ。標準状態での遮蔽率が90%であるのに対し、極値では約93%と、標準状態よりも高い紫外線遮蔽率となることが明らかとなった。

一方で、未加工布の紫外線遮蔽率は、水分率が増加すると加工布に比べると大きく減少し、その後、同様に水分率40%付近で紫外線遮蔽率が増加しはじめ、水分率80%で極値を示す。しかし、未加工布の極値での紫外線遮蔽率は85%程度と、標準状態とほとんどかわらないことがわかった。

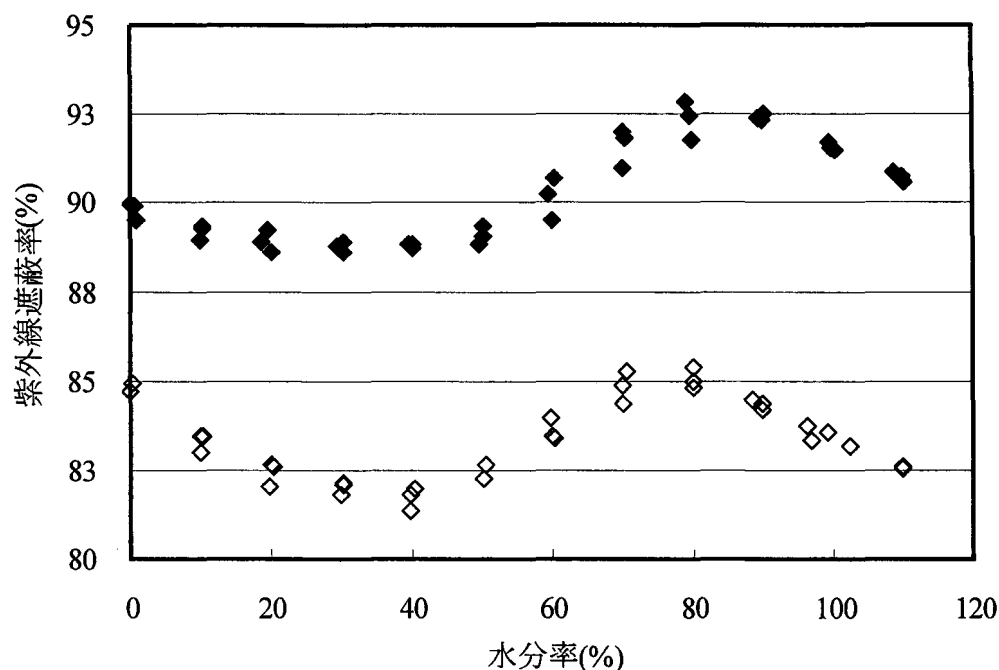


図 3-1-9 紫外線遮蔽加工布と未加工布の水分率と紫外線遮蔽率の関係：◆加工布, ◇未加工布。

このような、高い水分率での極値を示す挙動は綿布と同様であり、ポリエステルフィラメント布ではみられなかった現象であることから、これらの挙動は気孔中に張られた水の膜が影響していると推測される。ポリエステル繊維としては膨潤せず、水分を吸収しないが糸の構造上、水分を含むことができる。ポリエステルフィラメント布ではみられなかった極値が、加工布未加工布ではみられた理由として、紫外線加工布と未加工布はポリエステル紡績糸であり、繊維毛羽が存在するのに加えて、直通気孔率は標準状態で約 12%と、比較的大きい。このため、膨潤しない試料でありながら直通気孔中に保持できる水分が多く、綿布と同様の傾向を示したと考えられる。

3.1.3.4 ステンレスメッシュの湿潤状態の紫外線遮蔽性能

ステンレスメッシュ各試料の最大水分率および、最大水分率における湿潤状態の紫外線遮蔽率を表 3-1-3 に示す。比較のために標準状態における紫外線遮蔽率を再掲している。

表 3-1-3 ステンレスメッシュの最大水分率における湿潤状態の紫外線遮蔽率

試料	最大水分率(%)	紫外線遮蔽率(%)	
		湿潤状態	標準状態
M10	7.6	30.2	27.8
M20	13.5	30.8	28.1
M30	11.8	41.2	36.7
M40	13.1	42.6	39.5
M60	10.5	48.4	46.1
M100	12.7	62.7	59.8
M150	9.3	57.9	55.6
M250	14.0	63.8	61.5

いずれの試料も標準状態に比べて 2~3%とわずかではあるが、湿潤状態の方が紫外線遮蔽率が高い傾向がみられ、気孔に水の膜が張られた状態の方が紫外線を遮蔽することがわかった。最大水分率はメッシュにより異なり、気孔の大きい M10、M20 および M30 はすぐに水の膜が破れ、継続した測定ができないことからこれらを除く試料についてのみ、段階的に水分率を調整して測定を行った。結果を図 3-1-10 に示す。いずれの水分率においてもそれぞれの標準状態よりも紫外線遮蔽率は高い。全ての試料で変化の割合は異なるが、紫外線遮蔽率は最大水分率より水分率が減少するに伴ってゆるやかに増加し、水分率 2~4%で最高値となり、極値を示した後、さらに水分率

が低くなると大きく減少する。

水分率 2~4%以下で大きく遮蔽率が低下する辺りでは、水の膜が次々と破れていく現象を観察しており、気孔に水の膜が張っている状態では、張っていない状態よりも遮蔽効果は高いことが確認された。しかし、最大水分率では標準状態よりは高いものの、極値の紫外線遮蔽率より低い値を示すことから、気孔に充填された水の量が多いと透過量も多くなることが推測される。

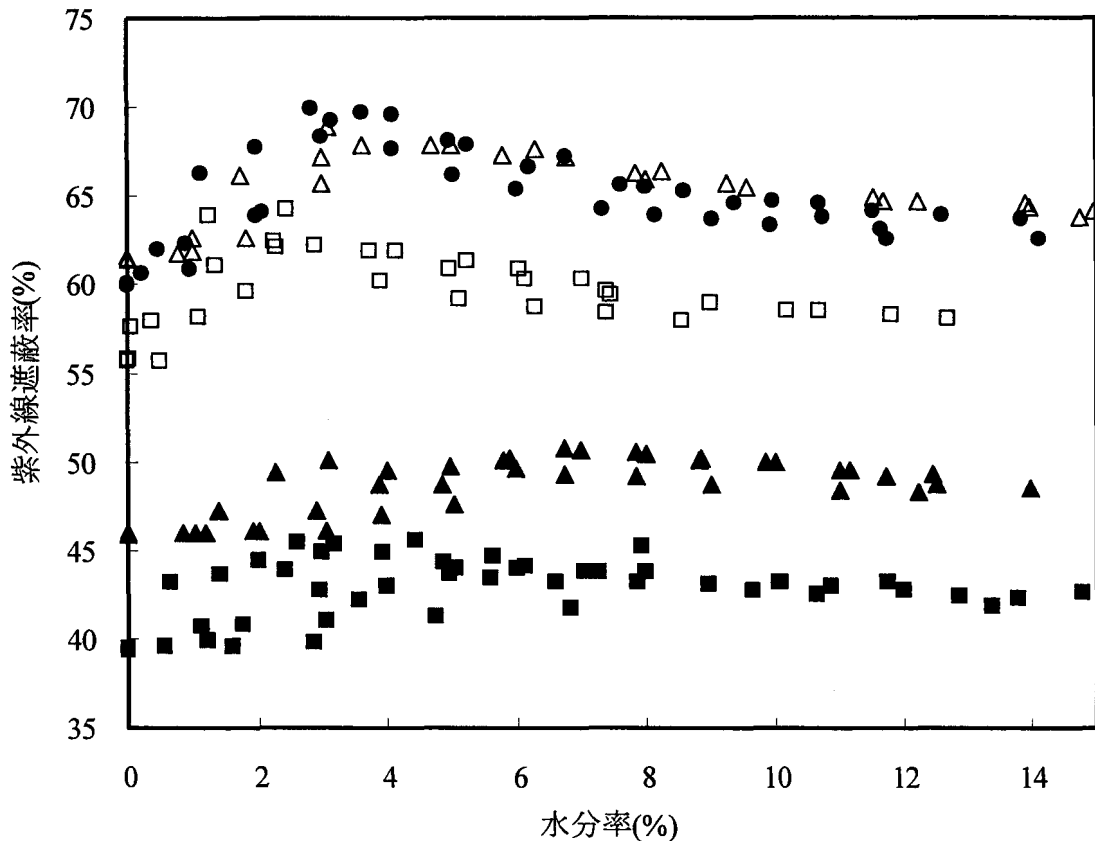


図 3-1-10 ステンレスメッシュの水分率と紫外線遮蔽率の関係：■ M40, ▲ M60, ● M100, □ M150, △ M250.

顕微鏡により観察した試料 M100 の水の膜の状態を図 3-1-11 に示す。気孔部分は、湿潤直後の最大水分率の状態(a)から水分の蒸発に伴って気孔の周りが黒く変化していき、膜が破れる直前(e)では、明るく見える部分が最大水分率での状態より少なくなり、光が遮蔽されている。この現象は他のステンレスメッシュ試料においてもみられ、気孔に充填された水分は、膜を保つ限界の水分量に減ったところで最も遮蔽効果が高まると考えられる。これは、気孔に充填された水分が、初めは水分量が多く凸レンズのような役割をしていたのに対し、乾燥と共に水分量が減った状態では凹レンズのようになり、光が拡散されるためではないかと推測される。

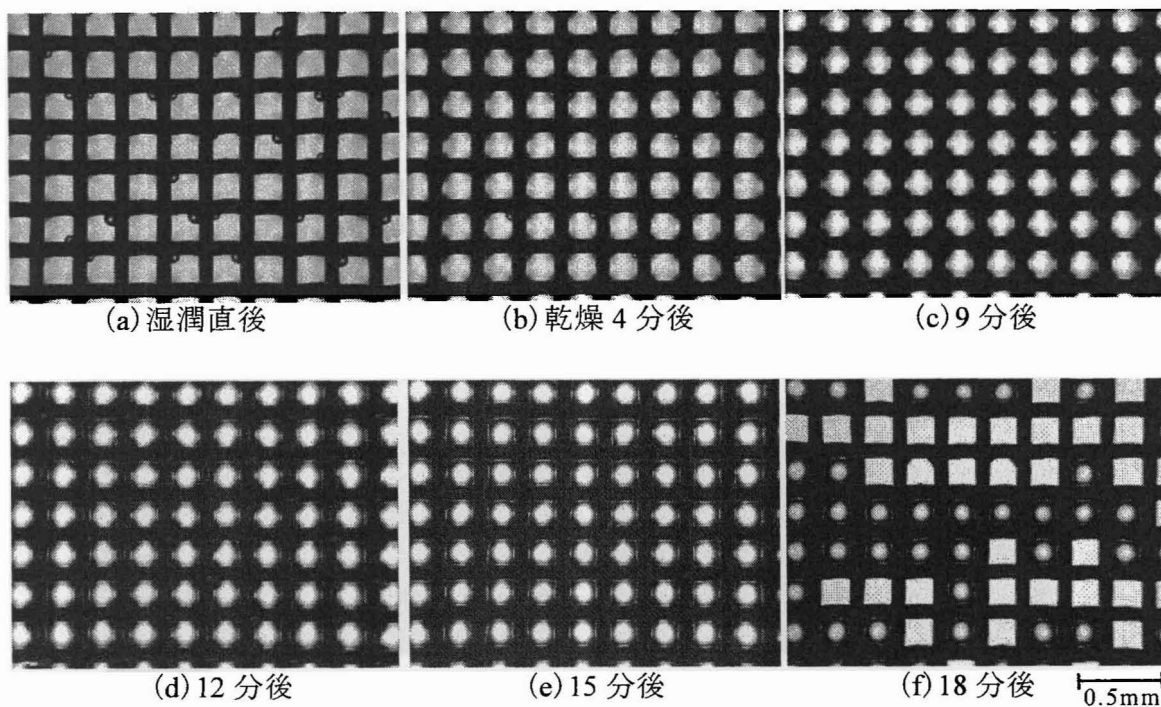


図3-1-11 湿潤状態の気孔部分の顕微鏡写真 (M100)

3.1.3.5 濾紙の湿潤状態の紫外線遮蔽性能

濾紙の最大水分率および、標準状態と最大水分率における紫外線遮蔽率を表 3-1-4 に示す。最大水分率は濾紙の種類によって異なるが、どの試料も標準状態に比べて紫外線遮蔽率が低いことがわかった。そこで、メッシュ試料と同様に最大水分率から水分率を段階的に調節して測定を行った。

表 3-1-4 濾紙の最大水分率における湿潤状態の紫外線遮蔽率

試料	最大水分率(%)	紫外線遮蔽率(%)	
		湿潤状態	標準状態
F1	235.4	83.0	93.5
F2	215.1	86.1	95.5
F3	173.9	83.0	94.4
F4	149.1	84.0	95.0
F5	152.8	86.3	96.4
F6	184.6	87.7	96.3

湿潤状態の濾紙の顕微鏡写真の一例を図 3-1-12 に示す。濾紙は気孔が無いので、ステンレスメッシュのような液相の水が充填されることは無く、全体的に繊維が膨潤し、標準状態には見えていた繊維がはっきり見えなくなる現象が捉えられた。他の濾紙についても同様の傾向がみられた。

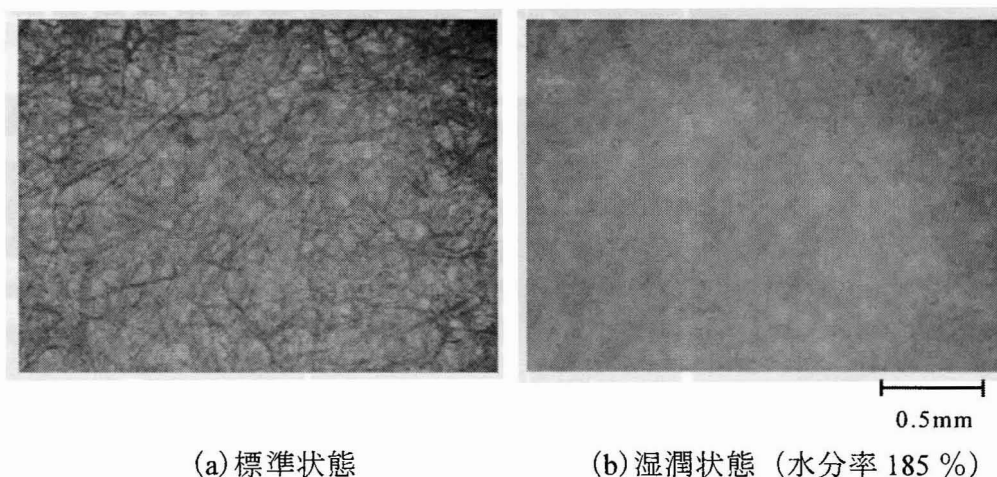


図3-1-12 濾紙 (F6) の標準状態と湿潤状態における顕微鏡写真

水分率と紫外線遮蔽率の関係を図 3-1-13 に示す。いずれの濾紙も、最大水分率から乾燥するに従って遮蔽率が増加し、水分率約 30%程度で増加の程度が小さくなって、標準状態の遮蔽率に戻る。ステンレスメッシュのように湿潤状態の遮蔽率が標準状態以上となることはなかった。また、綿布で見られるような高い水分率で紫外線遮蔽率が上昇し、極値を示す挙動は濾紙ではみられないことがわかった。

ここで、綿布の結果と先ほどの濾紙の結果を合わせて図 3-1-14 に示す。濾紙、綿布ともに水分率約 30%から 80%の間は水分率の増加に伴って紫外線遮蔽率は低下し、その減少の割合はほぼ同じであることが確認された。

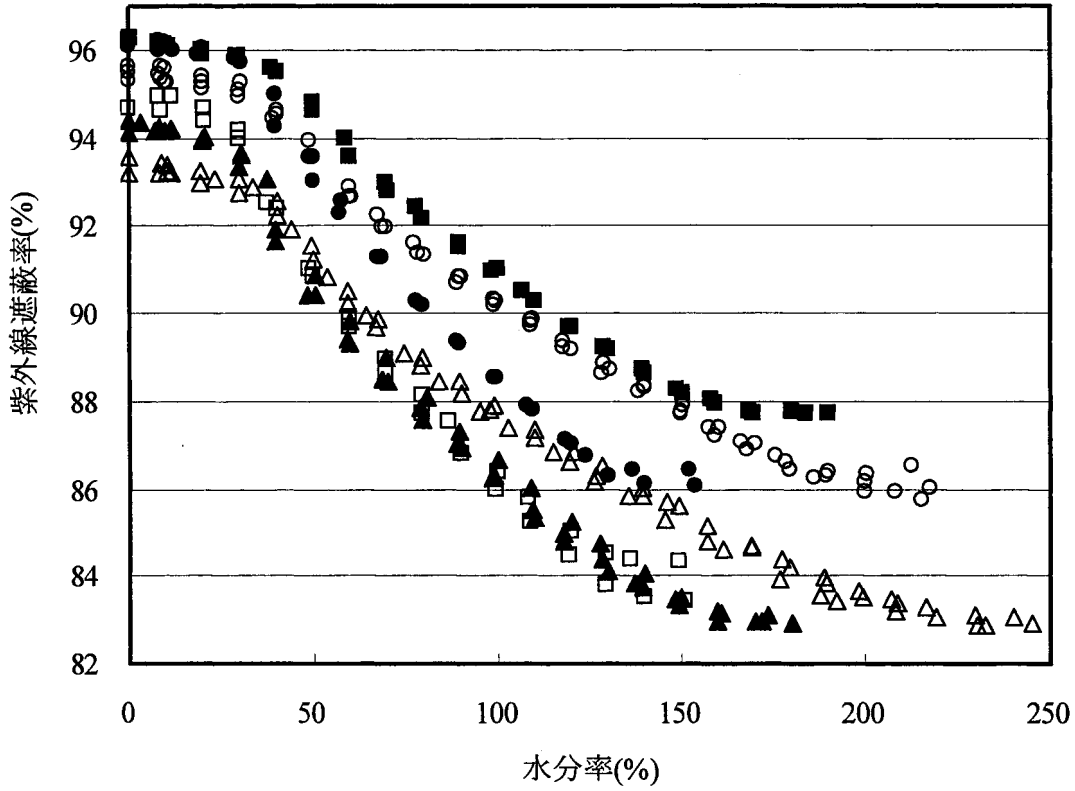


図3-1-13 濾紙の水分率と紫外線遮蔽率の関係：△F1,○F2,▲F3,□F4,●F5,■F6.

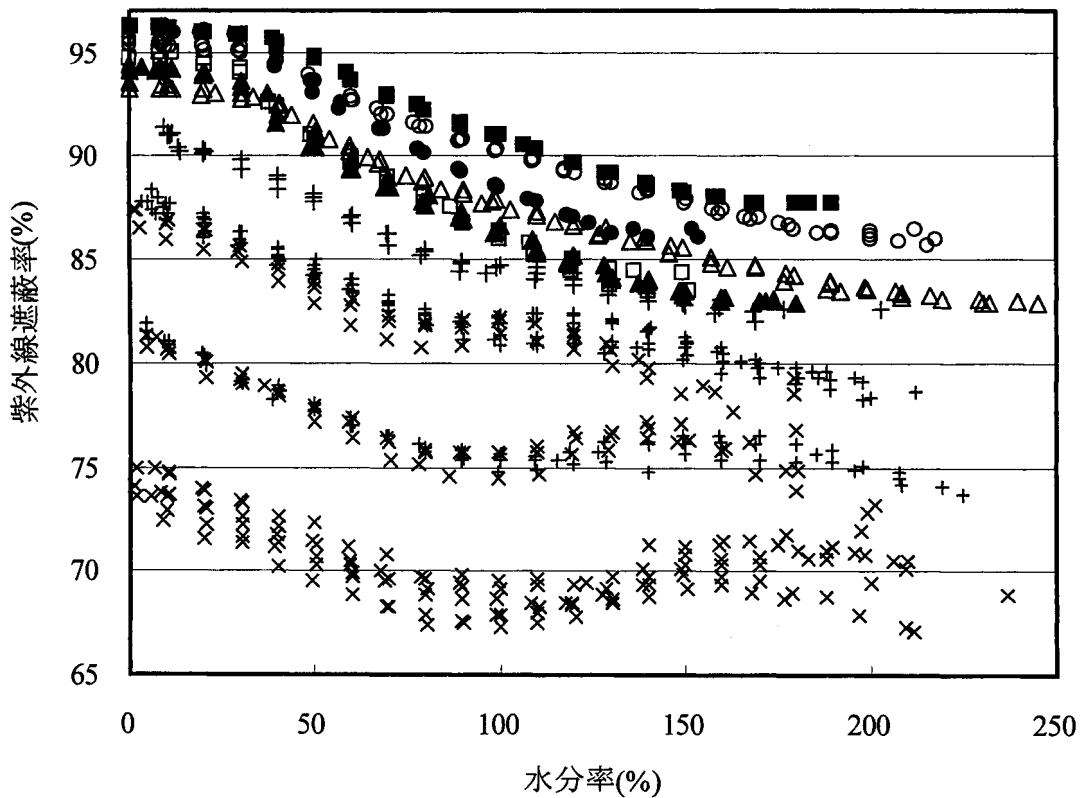


図3-1-14 濾紙と綿布の水分率と紫外線遮蔽率の関係：△F1,○F2,▲F3,□F4,●F5,■F6,+綿布 GroupA,×綿布 GroupB.

3.1.3.6 織物の湿潤状態の紫外線遮蔽性能の解明

湿潤状態での紫外線遮蔽挙動の模式図を図 3-1-15 に示す。繊維が膨潤する濾紙においては高い水分率での極値はみられず、水分率が高くなると紫外線遮蔽率が低下する。この現象は、繊維の膨潤および、繊維間隙に充填された水分による、糸中を通る紫外線の増加に起因するものであると考えられる。

一方で、ステンレスメッシュにおいては、糸にあたるステンレスワイヤが全く水分を含まないことから、湿潤状態の紫外線遮蔽率が標準状態より減少することはない。水分率が高くなると紫外線遮蔽率が増加する現象は、気孔中の水分膜の遮蔽効果であり、膜を保つ限界の水分率において、極値を示すことが明らかとなった。

織物試料はこの両方の特徴を併せ持った挙動を示し、繊維は膨潤しないポリエステルにおいても糸中に水が入り込むことにより、紫外線遮蔽率が低下することが明らかとなった。しかし、紫外線遮蔽加工布は、水分率が増加してもほとんど紫外線遮蔽率の減少がみられず、極値では標準状態を超える遮蔽率を示す。このことから、紫外線遮蔽加工により、ステンレスメッシュのワイヤが紫外線を通さないのと同様に糸中の紫外線の透過がおさえられていることが明らかとなった。

また、綿布、紫外線遮蔽加工布、未加工布では極値がみられ、ポリエステルフィラメント布では極値がみられない。両者の違いは前者が紡績糸であり、後者がフィラメント糸であることが挙げられる。紡績糸織物は、毛羽が存在するため、気孔に水分が充填されやすく、毛羽そのものが遮蔽効果を高めている。フィラメント糸織物では、毛羽が無いことから水分の膜が破れやすく、遮蔽効果も低いと予測されるが、今回の実験ではポリエステルフィラメント布は織物試料ではあるが糸密度が高く、フィラメント糸であることから糸が広がって、さらに糸間隙が小さくなる。そのため、湿潤状態では濾紙と同様に大きな直通気孔がほとんどなかったことから、極値を示さなかったと考えられる。従って、極値がみられる試料は、糸の構造に関わらず、直通気孔が存在し、気孔率が大きな試料であると考えられる。

以上のことから、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ること、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傾向は、気孔中に充填された水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遮蔽率が極値を示すことが明らかになった。

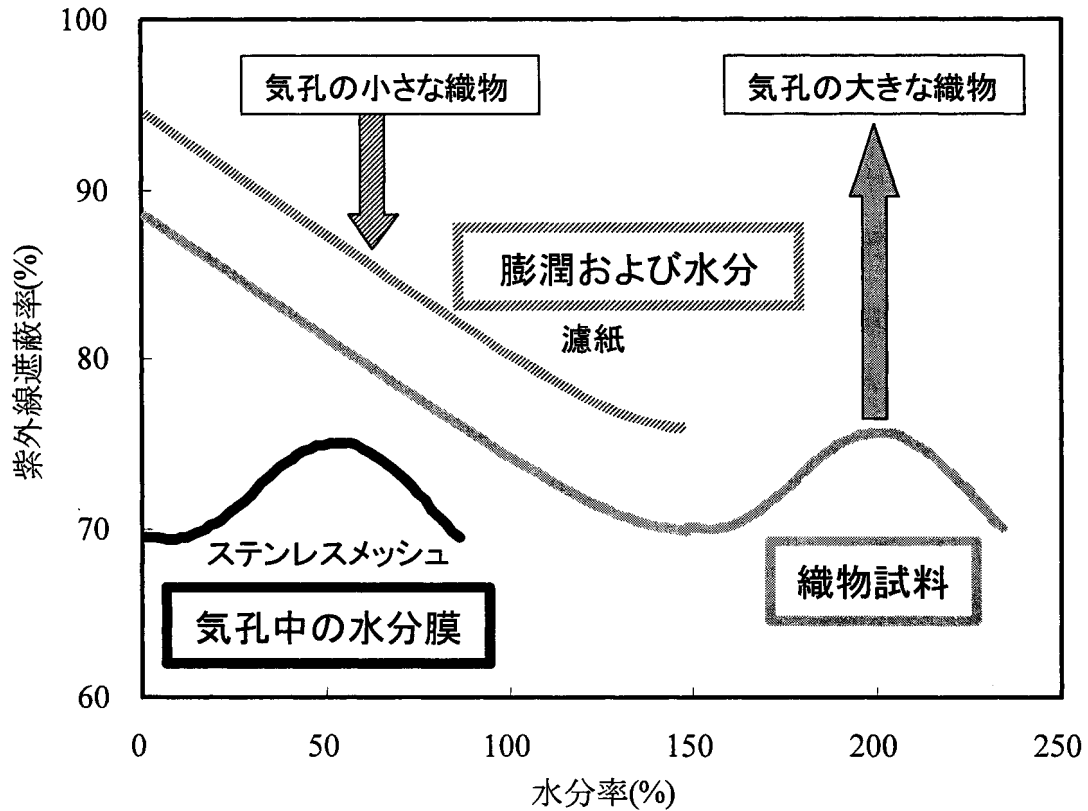


図3-1-15 湿潤状態の紫外線遮蔽挙動模式図

3.1.4 結論

湿潤状態における織物の紫外線遮蔽性能を検討した結果、綿布は水分率が高くなると繊維の膨潤が起こり、直通気孔率が低くなる。紫外線遮蔽率は水分率の増加に伴って減少する。これは、膨潤により直通気孔率が低下する一方で、膨潤した繊維中を透過する紫外線量が増加したためと考えられる。水分率 80%までは、8 試料とも水分率と紫外線遮蔽率は直線関係を示し、各試料の傾きに有意な差は認められなかった。これより、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試料間においても等しく、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ほどの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。これは直通気孔率が水分および繊維毛羽でふさがれることに起因すると考えられる。

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増加に伴って減少する。ポリエステルは繊維の膨潤が起らないため、繊維間隙に入り込んだ水分が影響していると考えられる。ポリエステルフィラメント布では綿布でみられたような高い水分率での極値は認められなかった。これは、今回使用した試料の直通気孔率が約 1%と非常に小さいことと、フィラメント糸であるため繊維毛羽が存在しないことが原因として考えられる。水分率 20%までは水分率と紫外線遮蔽率は直線関係を示し、綿布同様、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で表される。ただし、少量の水分で布が液相の水分で覆われるため、関係式の成り立つ範囲は水分率 0.4%~20%と、綿布に比べて狭い。

膨潤しないステンレスメッシュでは気孔に水が充填された状態でいずれの水分率においても標準状態より紫外線遮蔽率が高く、乾燥途中で極値を示す挙動がみられるのに対し、膨潤するが気孔のない濾紙においては水分率が高くなると標準状態よりも遮蔽率が低くなり、綿布やステンレスメッシュでみられた極値を示す挙動は確認できなかった。

参考試料として用いたポリエステル紡績布の紫外線遮蔽加工布、未加工布の紫外線遮蔽率は、水分率の増加に伴ってやや減少するが、水分率 40%付近から紫外線遮蔽率が増加、水分率 80%付近で極値を示すことがわかった。紫外線遮蔽加工布では標準状態での遮蔽率よりも極値における遮蔽率の方が高く、紫外線遮蔽加工により、ステンレスメッシュのワイヤが紫外線を通さないのと同様に糸中の紫外線の透過がおさえられていることが明らかとなった。

以上の結果から、綿布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ること、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傾向は、気孔中に充填された水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遮蔽率が極値を示すことが明らかになった。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が、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に近い挙動を示すことがわかった。

3.2 湿潤状態の紫外線遮蔽性能と衣環境設計

3.2.1 目的

2.2 において、標準状態での快適な衣環境と関わる性能として、遮光性、透け性および通気性について構造との関係を明らかとし、さらに紫外線遮蔽性能との関係について検討した。3.2 では、それぞれの湿潤状態での性能の変化を捉え、紫外線遮蔽性能との比較検討を行うことにより、湿潤状態での衣環境設計について検討する。

湿潤状態では、繊維製品は透けて透過性が高くなる傾向があることを我々は日常的に経験しているが、第1章で述べたように、湿潤状態での遮光性についての報告はみあたらない。透け性については綿布は濡れると紫外線遮蔽率が低下し、親水性の高い繊維の方が湿潤状態での透け性の増加が大きいことが報告されている[113]が、透けて見えることと紫外線遮蔽率の関連について詳細に検討はなされていない。また、湿潤状態では通気抵抗が増大し、その変化と布の空隙の大きさとの間に関係があるとの報告があり[19]、Wehner J Aら[153]が水分吸収による構造変化と通気性の関係について論じているが、紫外線遮蔽性能との関わりについて検討されたものはみあたらない。

そこで、3.2 では試料の膨潤および気孔に充填された水分が、遮光性、透け性および通気性に及ぼす影響を捉え、湿潤状態での紫外線遮蔽性能と各性能との関わりについて比較検討を行い、湿潤状態での快適な衣環境設計について考察を行う。

3.2.2 実験

3.2.2.1 試料

試料は、2.1 で用いた試料と同一の綿布 8 点、ポリエステルフィラメント布 4 点、紫外線遮蔽加工布とその未加工布 2 点、およびステンレスメッシュ 8 点と濾紙 6 点である。

3.2.2.2 実験方法

試料の水分率を段階的に調整して、遮光率、透け性を表す AL^* 、通気抵抗の測定を行った。実験方法の詳細は 2.2 における標準状態での測定と同様であり、水分率の調整方法は 3.1 と同様である。

湿潤状態での通気抵抗の測定は、水分が装置内に入ると故障の原因となるため、通常排気 3 秒、吸気 3 秒の合計での通気抵抗を算出するところを、排気 3 秒で計測を中断し、その値を 2 倍することにより測定を可能とした。単位面積当たりの通気量は $0.4 \times 10^{-2} \text{m/s}$ とし、試料押さえ板、すなわち試料の空気通過面積を $0.2\pi \times 10^{-4} \text{m}^2$ とし、後に係数をかけ、通気抵抗値 R を算出した。

3.2.3 結果および考察

3.2.3.1 湿潤状態における遮光性

綿布の水分率と遮光率の関係を図 3-2-1 に示す。綿布については紫外線遮蔽率と同様に、水分率の増加と共に遮光率は直線的に減少する。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、遮光率の増加が認められる試料があり、紫外線遮蔽率とほぼ同様の傾向を示すことが明らかとなった。

そこで、より詳細に比較を行うため、綿布 C3 について、水分率と紫外線遮蔽率、遮光率の関係を共に図 3-2-2 に示す。各水分率において、遮光率が紫外線遮蔽率よりも約 5%程度低い値を示し、水分率が変化してもその割合はかわらない。紫外線遮蔽率では、C3 は水分率 120%の辺りで極値を示すが、遮光率においても同様の水分率でやや遮光率が増加し、その後低下する現象がみられた。水分率 0~80%程度までの直線部分の傾きもほぼ同様に、紫外線遮蔽率と遮光率の、水分率の変化による挙動はほぼ同一であることが明らかとなった。この挙動は他の全ての綿布試料についてもみられ、水分率が遮光率に与える影響は、紫外線遮蔽率と同様であることが明らかとなった。

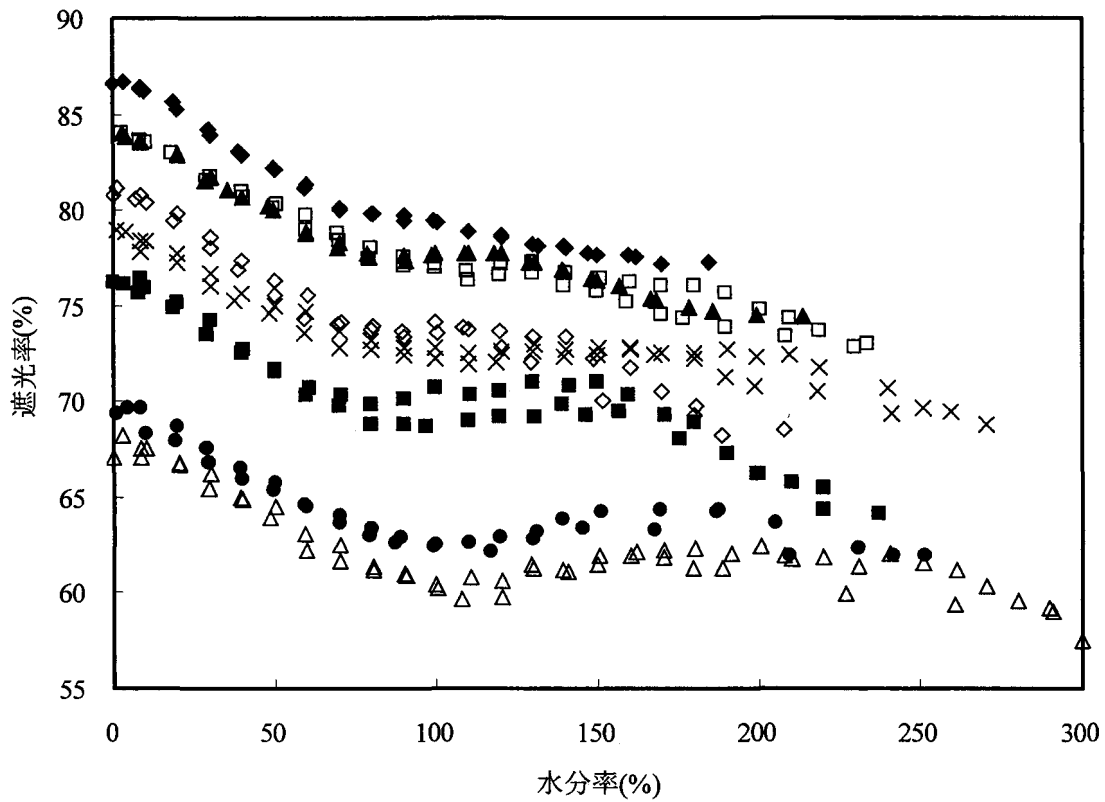


図 3-2-1 綿布の水分率と遮光率の関係 : ◆ C1, □ C2, ▲ C3, × C4, ◇ C5, ■ C6, △ C7, ● C8.

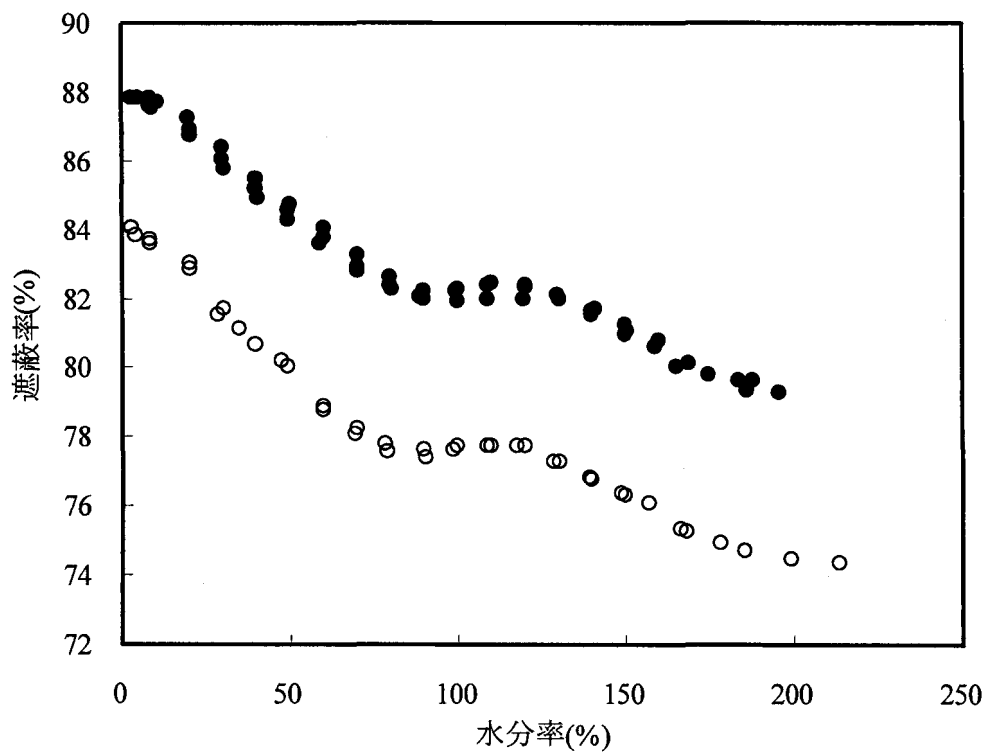


図 3-2-2 C3 の遮光率と紫外線遮蔽率の比較 : ● 紫外線遮蔽率, ○ 遮光率.

ポリエステルフィラメント布の水分率と遮光率の関係を図 3-2-3 に示す。水分率が上昇すると遮光率は低下し、紫外線遮蔽率と同様の傾向を示した。そこで、水分率と遮光率の関係を、紫外線遮蔽率と共に図 3-2-4 に示す。全体として遮光率が紫外線遮蔽率よりも約 6%程度低い値を示すが、両者の傾きはほぼ同一で、ポリエステルフィラメント布においても水分率が紫外線遮蔽率と遮光率に与える影響に差はないことが確認された。

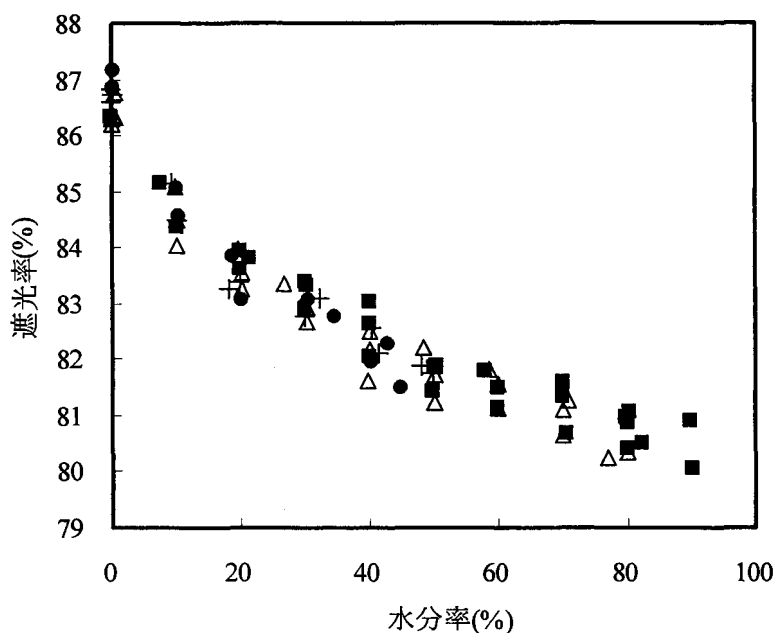


図 3-2-3 ポリエステルフィラメント布の水分率と遮光率の関係
 : ■ P1, △ P2, + P3, ● P4.

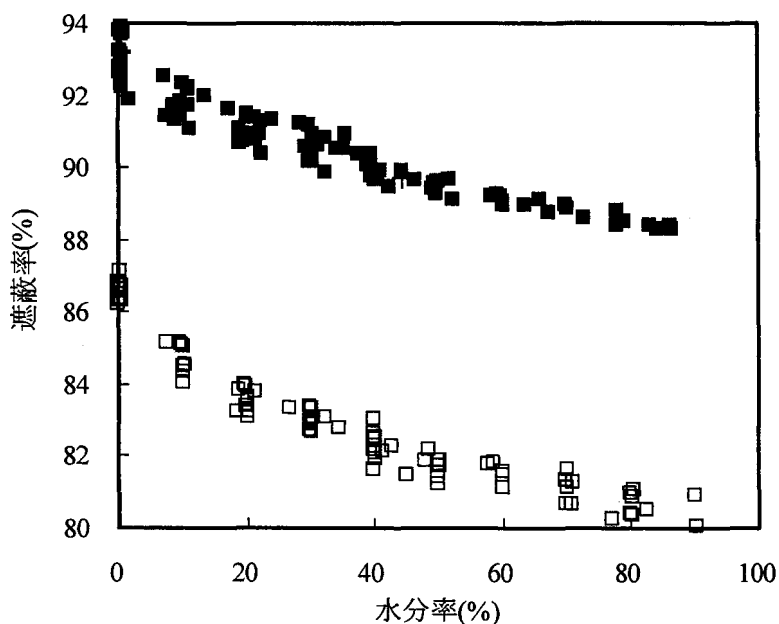


図 3-2-4 ポリエステルフィラメント布の遮光率と紫外線遮蔽率の比較
 : ■ 紫外線遮蔽率, □ 遮光率.

紫外線遮蔽加工布とその未加工布の水分率と遮光率の関係を図 3-2-5 に示す。紫外線遮蔽加工布は、未加工布と比べて気孔率がほぼ同一であるにも関わらず遮光率は全ての水分率において高い。このことから、今回用いた試料の紫外線遮蔽加工の効果は遮光性にも影響を与えていることが確認された。水分率が上昇すると遮光率は低下するが、水分率約 40% 辺りから上昇し、水分率約 80% で極値を示し、その後、低下する。この傾向も紫外線遮蔽率と同様である。そこで、紫外線遮蔽加工布について、遮光率と紫外線遮蔽率を共に図 3-2-6 に示す。

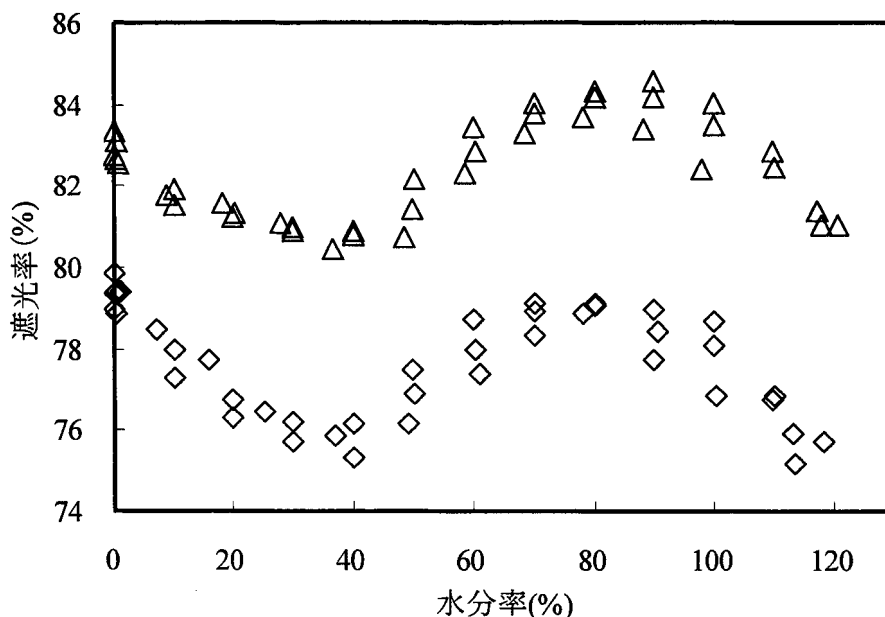


図 3-2-5 紫外線遮蔽加工布と未加工布の水分率と遮光率の関係：
△ UVP, ◇ NUVP.

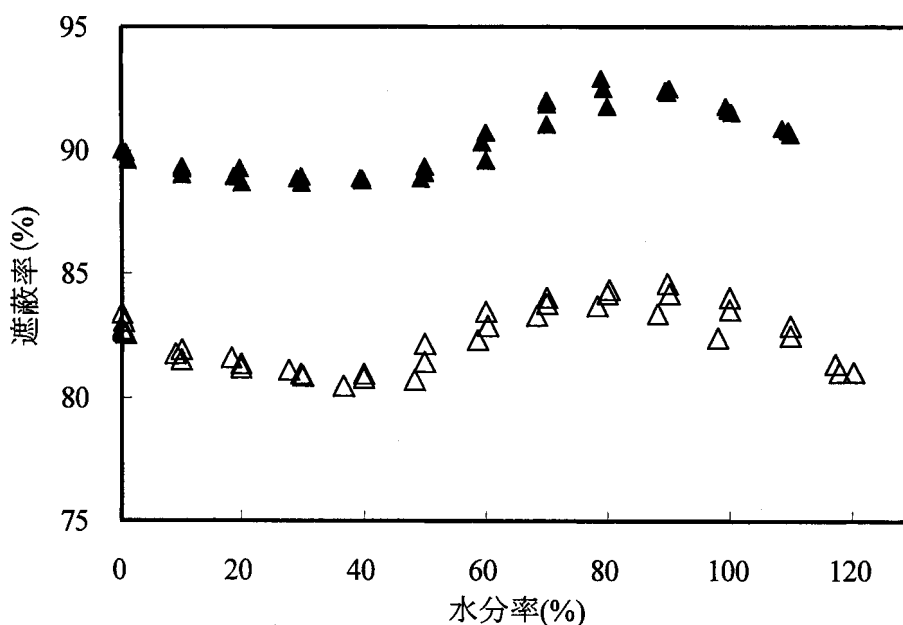


図 3-2-6 紫外線遮蔽加工布の遮光率と紫外線遮蔽率の比較：
▲ 紫外線遮蔽率, △ 遮光率.

全体として遮光率が紫外線遮蔽率よりも約 7%程度低い値を示す。しかし、水分率に対する両者の挙動はほぼ同一で、水分が紫外線遮蔽率と遮光率に与える影響に差はないことが確認された。未加工布についても同様の傾向がみられた。

ステンレスメッシュの最大水分率における湿潤状態での遮光率の測定結果を標準状態とあわせて表 3-2-1 に示す。

表 3-2-1 ステンレスメッシュの最大水分率における湿潤状態の遮光率

試料	最大水分率(%)	遮光率(%)	
		湿潤状態	標準状態
M10	7.6	30.0	26.9
M20	13.5	30.5	27.9
M30	11.8	39.5	36.7
M40	13.1	41.5	39.0
M60	10.5	47.7	44.1
M100	12.7	62.0	59.8
M150	9.3	57.2	55.4
M250	14.0	62.9	61.4

いずれの試料も、最大水分率時の遮光率が、標準状態に比べて 2~3%とわずかではあるが高い傾向がみられ、紫外線遮蔽率における結果と同様であることがわかった。遮光率においても気孔に水の膜が張られた状態の方が光を遮蔽すると考えられる。そこで、M60 と M100 について、自然乾燥間の測定を行った。結果を図 3-2-7 に示す。変化の割合は異なるが、最大水分率において、それぞれの標準状態よりも遮光率が高く、水分率が低下すると徐々に遮光率は増加し、水分率約 4%を最大として極値を示し、さらに乾燥が進むと、遮光率が低下して標準状態に戻る傾向が認められた。この傾向も紫外線遮蔽率と同様であるため、遮光率と紫外線遮蔽率を図 3-2-8 にまとめて示し、比較検討を行った。M60、M100 共にわずかではあるが紫外線遮蔽率が遮光率よりも高い傾向を示すが、水分率の変化に対する紫外線遮蔽率の変化と、遮光率の変化はほぼ同じであることが確認された。

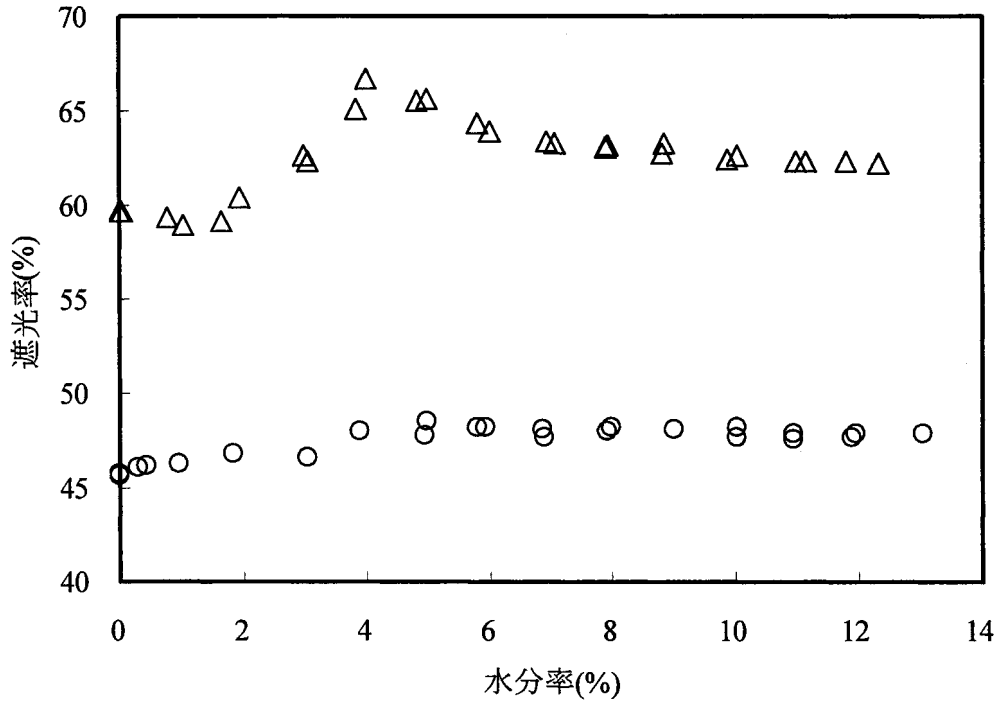


図 3-2-7 ステンレスメッシュの水分率と遮光率の関係：○ M60, △ M100.

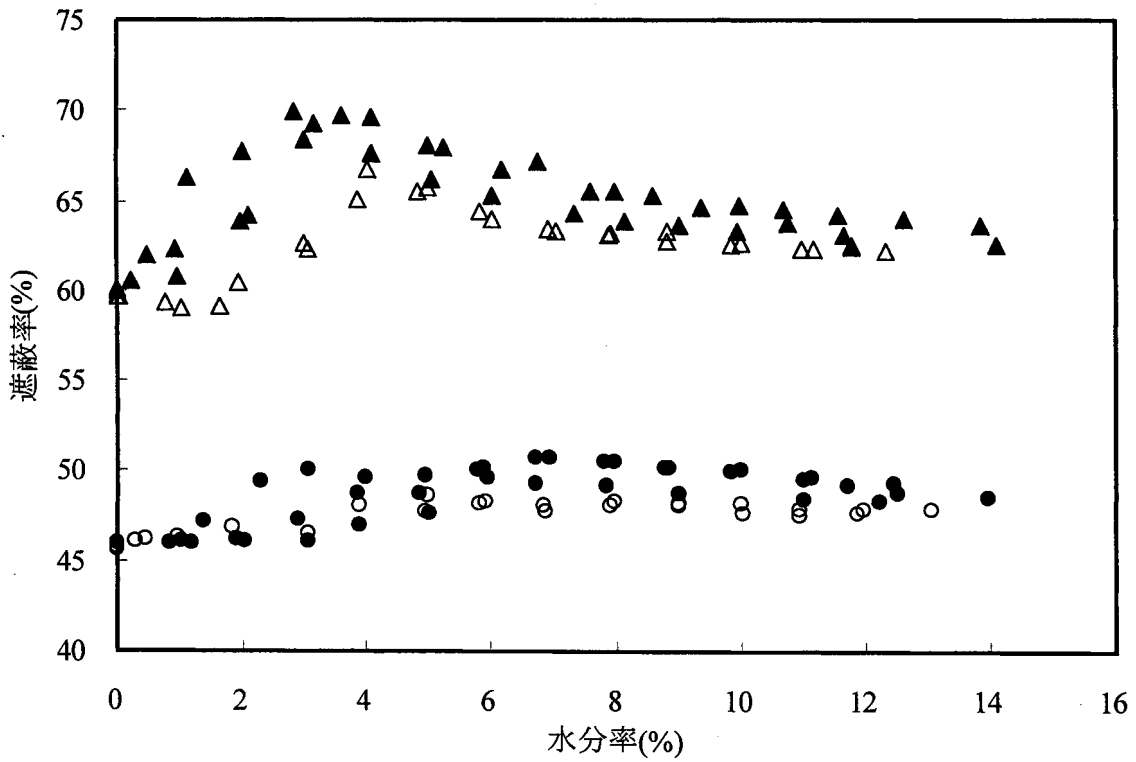


図 3-2-8 ステンレスメッシュの遮光率と紫外線遮蔽率の比較：○ M60 遮光率, ● M60 紫外線遮蔽率, △ M100 遮光率, ▲ M100 紫外線遮蔽率.

濾紙の水分率と遮光率の関係を F1 および F6 について図 3-2-9 に示す。いずれの濾紙も、最大水分率から乾燥するに従って遮光率が増加し、水分率約 30%程度で増加の割合が大きく減少し、標準状態の遮光率に戻る。ステンレスメッシュでみられたような湿潤による遮光率の増加はみられず、遮光率が標準状態以上となることはなかった。この関係も、濾紙の紫外線遮蔽率における水分率との関係と同様であることから、紫外線遮蔽率の結果と合わせて F1 について図 3-2-10 に示す。ほぼ同様の変化を示すが、高い水分率で、やや遮光率の減少が大きい傾向がみられた。

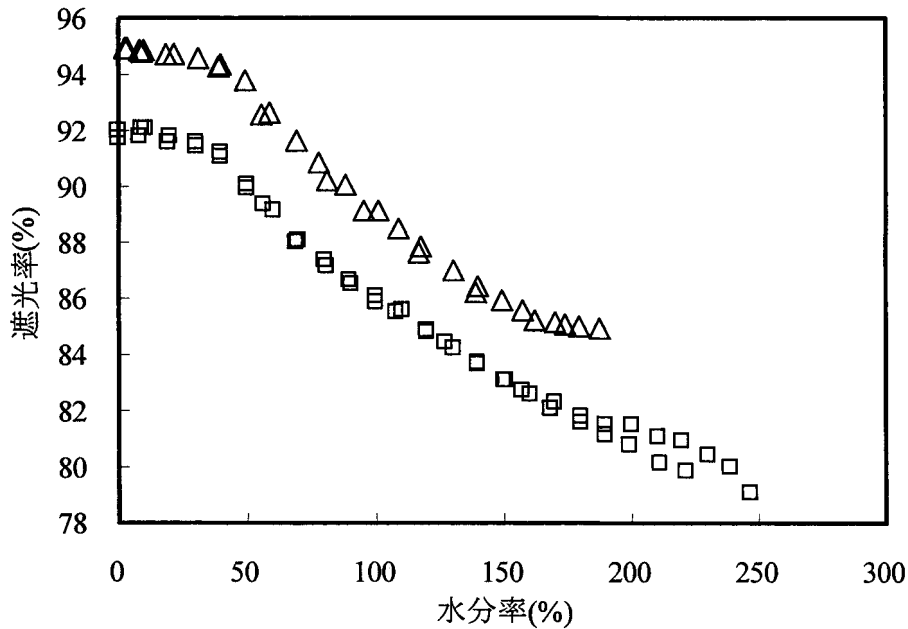


図 3-2-9 濾紙の水分率と遮光率の関係：□ F1, △ F6.

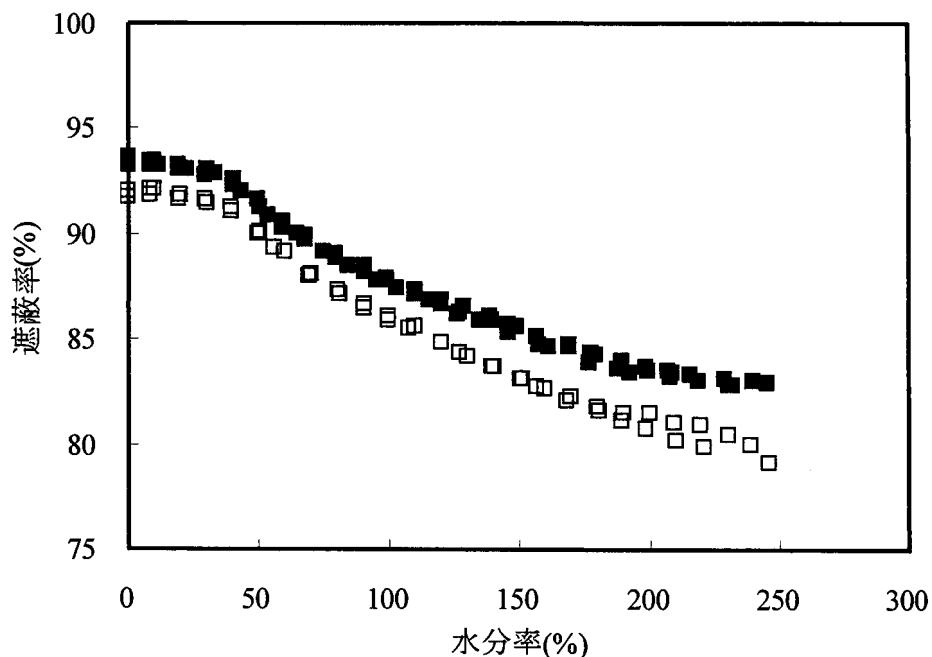


図 3-2-10 濾紙 F1 の遮光率と紫外線遮蔽率の比較：■紫外線遮蔽率, □遮光率.

ここで、濾紙と綿布を比較するため、濾紙 F1 の遮光率と紫外線遮蔽率を綿布 C3 の結果とあわせて図 3-2-11 に示す。遮光率においても、綿布でみられた高い水分率で極値を示す現象は、膨潤するが気孔の無い濾紙ではみられない。一方で、膨潤はしないが気孔のあるステンレスメッシュでは遮光率の増加がみられることから、高い水分率での遮光率の増加は気孔に充填された水分によるものであることが確認された。この傾向も紫外線遮蔽率によるものと同様である。

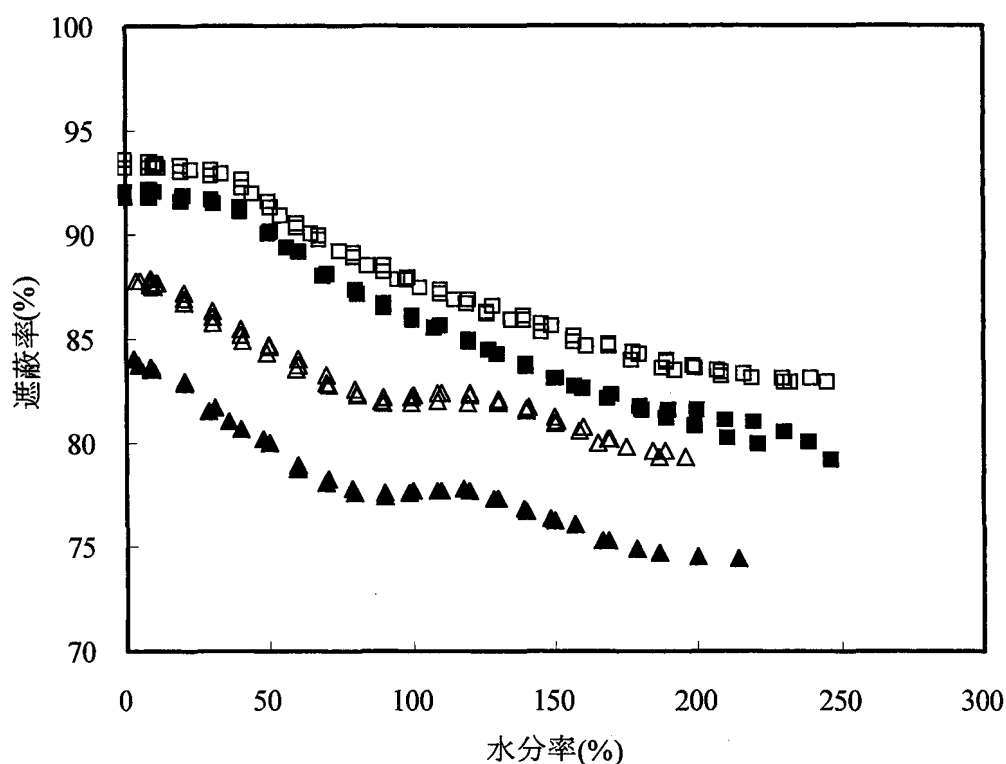


図 3-2-11 濾紙 F1 と綿織物 C3 の遮光率と紫外線遮蔽率の比較：□ F1 遮蔽率，
■ F1 遮光率，△ C3 遮蔽率，▲ C3 遮光率。

以上の結果、いずれの試料も紫外線遮蔽率に比べて遮光率は低い値を示すが、水分率の増加に対する遮光率の変化挙動は、それぞれの試料の紫外線遮蔽率と同様の挙動を示し、紫外線遮蔽率において極値を示す試料は、遮光率においても極値を持つことがわかった。

3.2.3.2 湿潤状態における透け性

湿潤状態の透け性について、綿布の水分率と ΔL^* の関係を図 3-2-12 に示す。湿潤状態では透け性は標準状態に比べて高く、すなわち衣服として着用している場合、濡れると皮膚や下着などが透けて見えやすくなることがわかる。 ΔL^* は水分率 0% から 100% 付近までは増加するが、それ以上水分率が高くなると、増加がゆるやかとなり、試料によっては ΔL^* がやや低くなるものもみられた。このような水分率と ΔL^* の関係と、水分率と紫外線遮蔽率との関係とを比較するため、C8 の水分率と ΔL^* 、および水分率と紫外線遮蔽率の関係を図 3-2-13 に再掲する。水分率 0% から 100% 付近まで、水分率の増加に伴ってほぼ直線的に ΔL^* が増加するのに対応して、紫外線遮蔽率は直線的に低下している。紫外線遮蔽率では水分率約 180% 付近で明らかな極値を示すのに対し、 ΔL^* では水分率約 160~180% 付近でやや ΔL^* の低下がみられる。このように、紫外線遮蔽率において極値を示す水分率付近で、 ΔL^* が低下、すなわち透けにくくなることが明らかとなった。

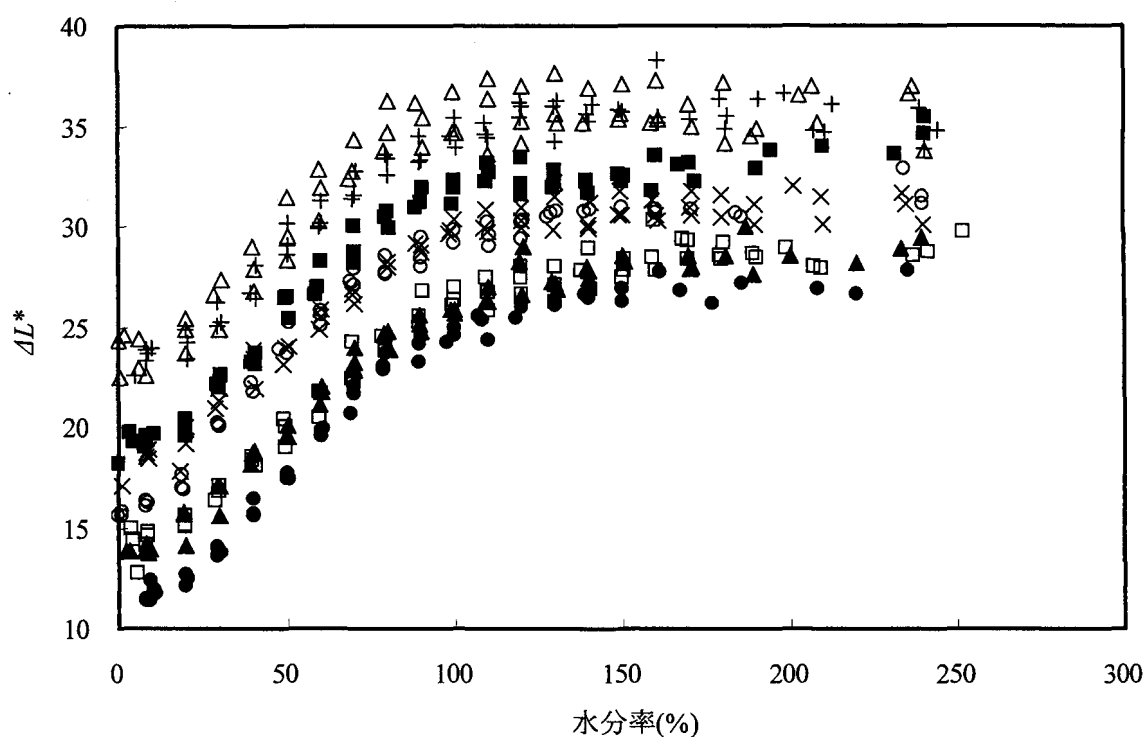
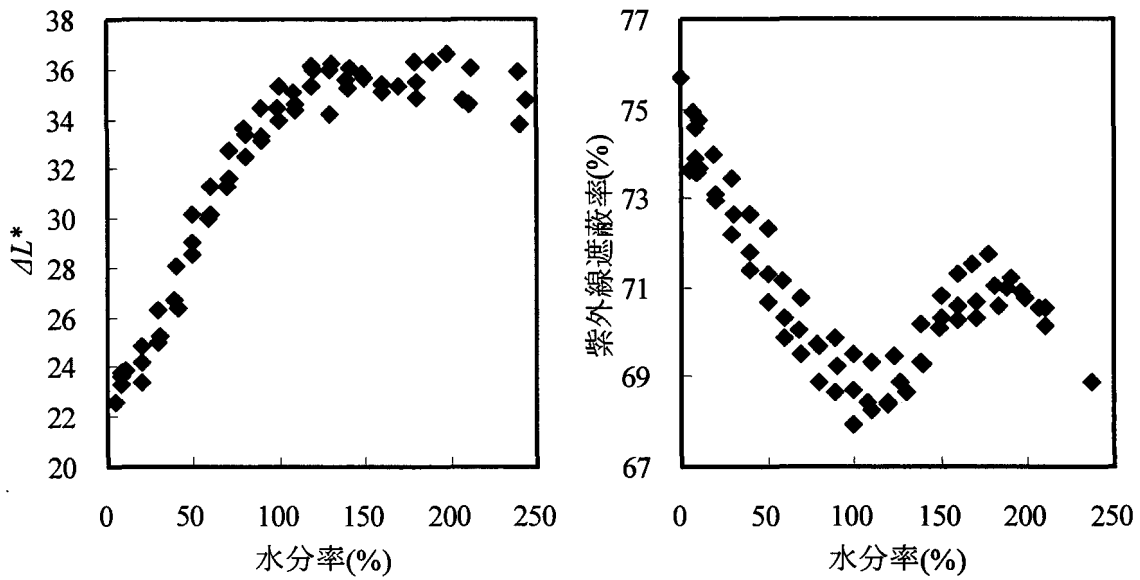


図 3-2-12 綿布の水分率と ΔL^* の関係 : ◆ C1, □ C2, ▲ C3, × C4, ○ C5, ■ C6, △ C7, +C8.



(a) 水分率と ΔL^* の関係

(b) 水分率と紫外線遮蔽率の関係

図 3-2-13 C8 の水分率と ΔL^* , 紫外線遮蔽率の関係

ポリエステルフィラメント布の水分率と ΔL^* の関係を図 3-2-14 に示す。水分率の上昇により ΔL^* は増加するが、綿布でみられたような、高い水分率で ΔL^* がやや低下する現象は認められなかった。

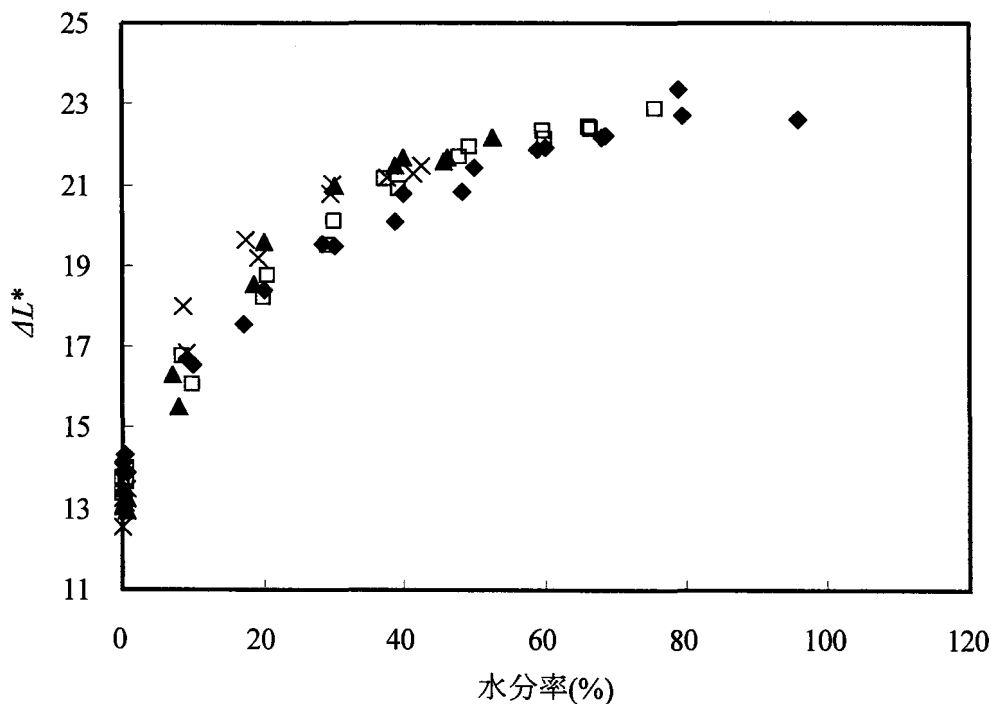


図 3-2-14 ポリエステルフィラメント布の水分率と ΔL^* の関係：
◆ P1, □ P2, ▲ P3, × P4.

このような水分率と ΔL^* の関係と、水分率と紫外線遮蔽率との関係を比較するため、P1 の水分率と ΔL^* 、および水分率と紫外線遮蔽率の関係を図 3-2-15 に再掲する。水分率が上昇すると、紫外線遮蔽率は下に凸の曲線を描いて低下する。 ΔL^* は上に凸の曲線を描いて増加する。双方共に極値はみられず、水分率が上昇し、 ΔL^* が増加すると紫外線遮蔽率が低下することが確認された。

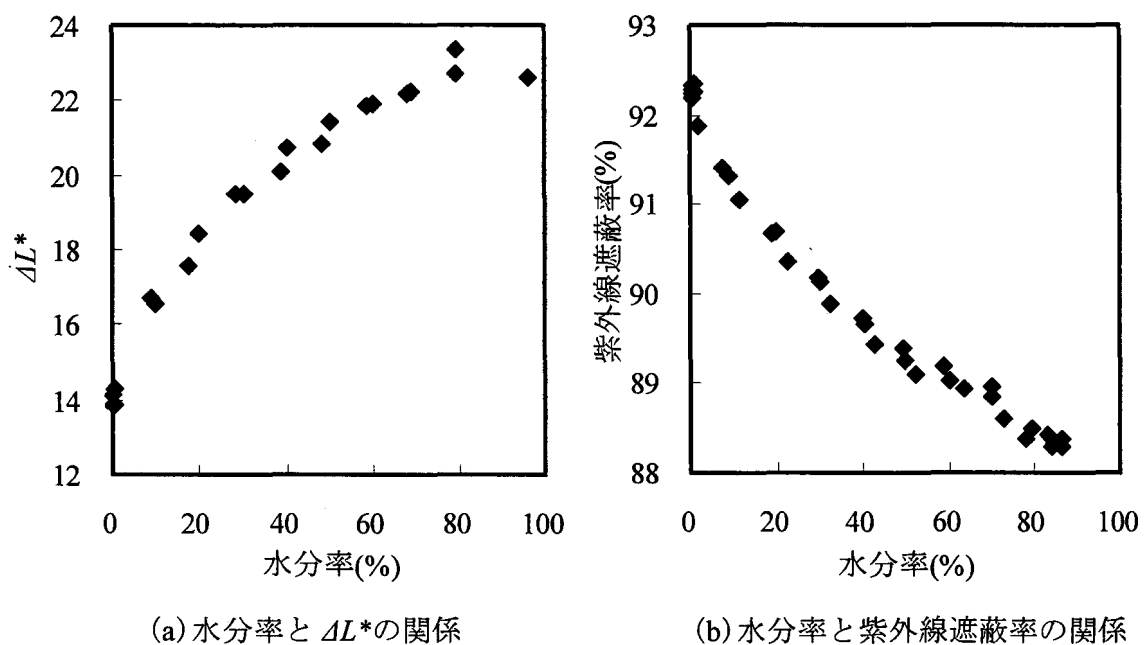


図 3-2-15 P1 の水分率と ΔL^* 、紫外線遮蔽率の関係

紫外線遮蔽加工布と未加工布の透け性の測定結果を図 3-2-16 に示す。紫外線遮蔽加工布は、その未加工布と比べて気孔率がほぼ同一であるにも関わらず ΔL^* は全ての水分率において低く、透けにくいことがわかった。これは、通常白い水着などを透けないように加工する際、セラミックスなどを練りこんで光の拡散反射を多くすることが知られている [114~122]。本実験で使用した紫外線遮蔽加工布に使われている加工剤が、セラミックスの練り込み加工による散乱剤を使用していることから、紫外線遮蔽効果を高めると共に透け性が押さえられていると考えられる。湿潤状態においても紫外線遮蔽加工であるセラミックスが透け防止に高い性能を示すことがわかった。

未加工布の ΔL^* は水分率の増加に伴って、水分率 40~50%まで直線的に増加し、水分率 70~80%でやや低下する現象がみられた。加工布についても水分率が増加すると ΔL^* は増加するが、ややゆるやかな上昇であり、水分率 70~80%でわずかに ΔL^* が低下する傾向がみられるが、水分率が変化してもあまり透け性に大きな変化はみられないことがわかった。

このような水分率と ΔL^* の関係と、水分率と紫外線遮蔽率との関係とを比較するため、未加工布の水分率と ΔL^* 、および水分率と紫外線遮蔽率の関係を図 3-2-17 に再掲する。紫外線遮蔽率も、 ΔL^* も水分率約 40%まで上昇、または低下しており、40%を越えると紫外線遮蔽率では水分率約 80%で明らかな極値を示す。一方 ΔL^* では同様に水分率 70~80%で ΔL^* が低下するが、紫外線遮蔽率ほどの明確な極値ではない。しかしながら、変化の起こる水分率はほぼ一致することが確認された。

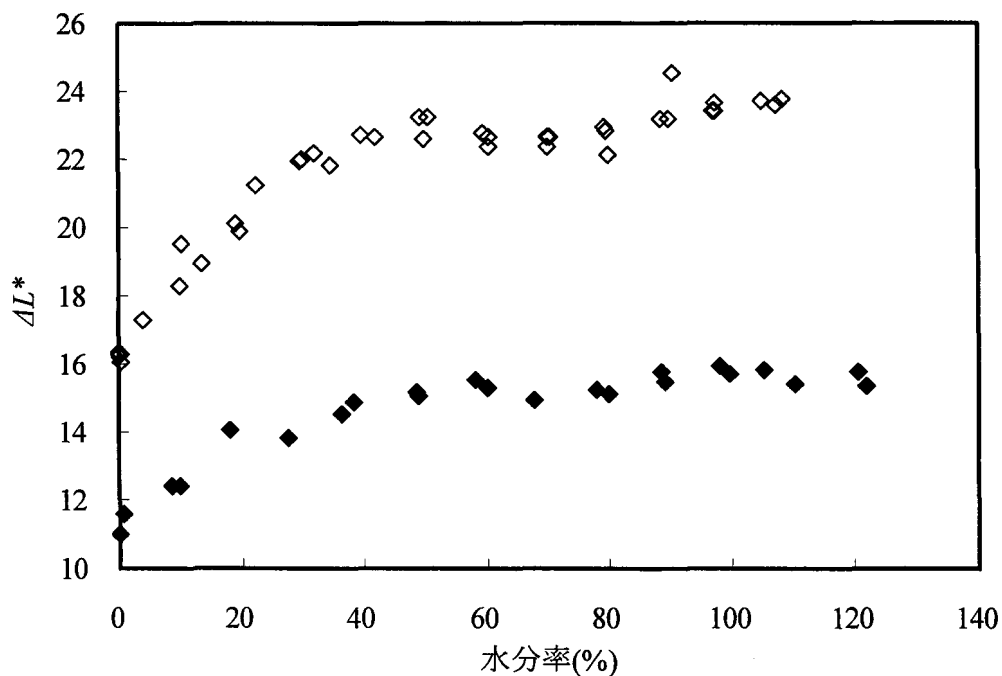


図 3-2-16 紫外線遮蔽加工布と未加工布の水分率と ΔL^* の関係
 : ◆ UVP, ◇ NUVP.

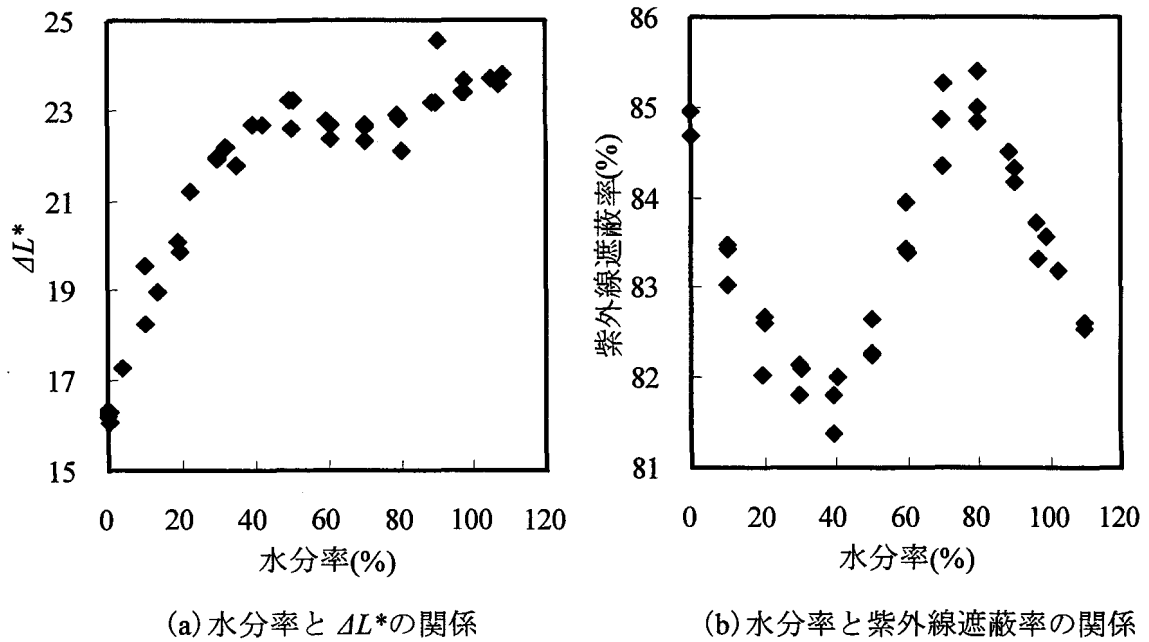


図 3-2-17 未加工布の水分率と ΔL^* 、紫外線遮蔽率の関係

ステンレスメッシュおよび濾紙の湿潤状態の透け性については、まずそれぞれの最大水分率における湿潤状態と標準状態での ΔL^* を表 3-2-2 に示す。

表 3-2-2 ステンレスメッシュと濾紙の最大水分率における湿潤状態の ΔL^*

試料	ΔL^*		
	湿潤状態	標準状態	
M10	41.8	41.4	
M20	43.8	48.4	
M30	35.1	36.9	
ステンレス メッシュ	M40	31.3	32.1
	M60	24.2	25.7
	M100	14.8	16.8
	M150	17.6	20.5
	M250	12.8	15.4
濾紙	F1	24.8	7.5
	F2	20.2	4.2
	F3	25.4	5.8
	F4	23.4	4.9
	F5	19.9	4.2
	F6	17.6	4.3

濾紙では標準状態に比べて湿潤状態の方が ΔL^* が高いが、ステンレスメッシュはほとんど変化がみられない。そこで、同様に水分率を変化させて ΔL^* を測定した結果をステンレスメッシュについて図 3-2-18 に示す。最大水分率から水分率が低くなるに従って ΔL^* は低下する。試料によって、水分率 3~6%で最低値を示した後、 ΔL^* は上昇し、標準状態にもどることがわかった。全てのステンレスメッシュ試料で、変化の割合や最低値を示す水分率は異なるものの、同様の傾向を示す。ただし、気孔の大きい M40 に関しては最低値がばらつく傾向がみられた。このような、水分率の変化による ΔL^* の変化はステンレスメッシュの気孔に充填された水の膜が影響を及ぼしており、 ΔL^* が最低値を示す水分率 3~6%は、紫外線遮蔽率測定での顕微鏡観察の結果、それぞれの試料の、水の膜が破れる限界の状態であった。そこで、水分率と ΔL^* の関係と、水分率と紫外線遮蔽率との関係とを比較するため、M100 の水分率と ΔL^* 、および水分率と紫外線遮蔽率の関係を図 3-2-19 に再掲する。両者を比較すると、水分率の上昇と共に、紫外線遮蔽率は増加し、 ΔL^* が低下する。双方共に水分率約 3%で紫外線遮蔽率は最大となり、 ΔL^* は最低となる。その後、水分率がさらに増加すると紫外線遮蔽率は低下し、 ΔL^* も増加することが確認された。従って、紫外線遮蔽率が極値を示す際、 ΔL^* は最も透けにくくなることが明らかとなった。

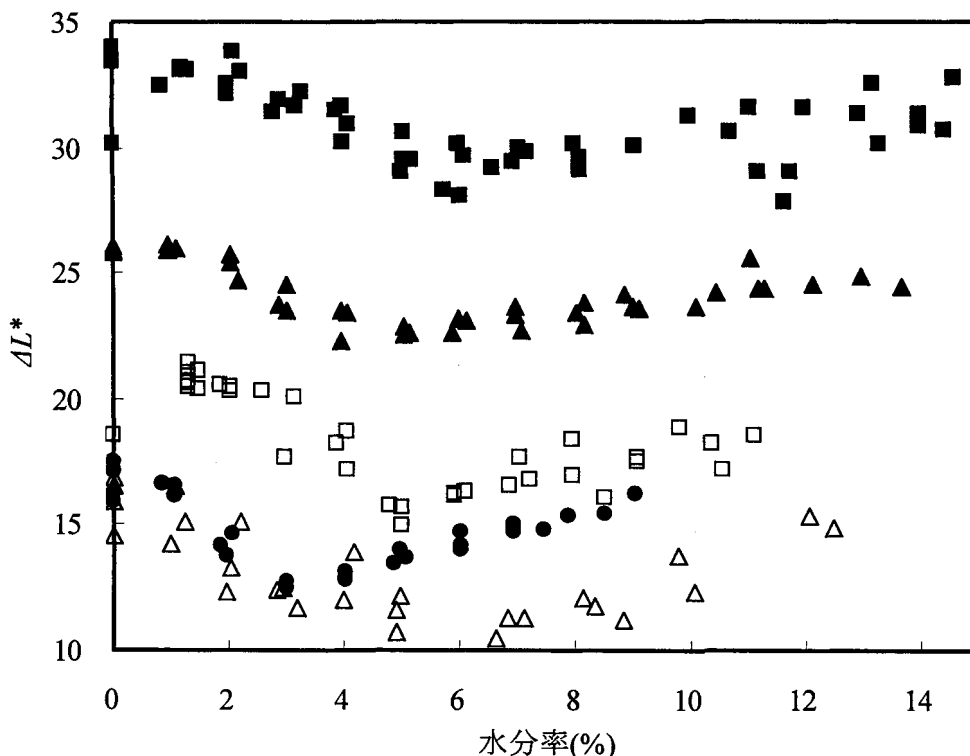


図 3-2-18 ステンレスメッシュの水分率と ΔL^* の関係
 : ■ M40, ▲ M60, ● M100, □ M150, △ M250.

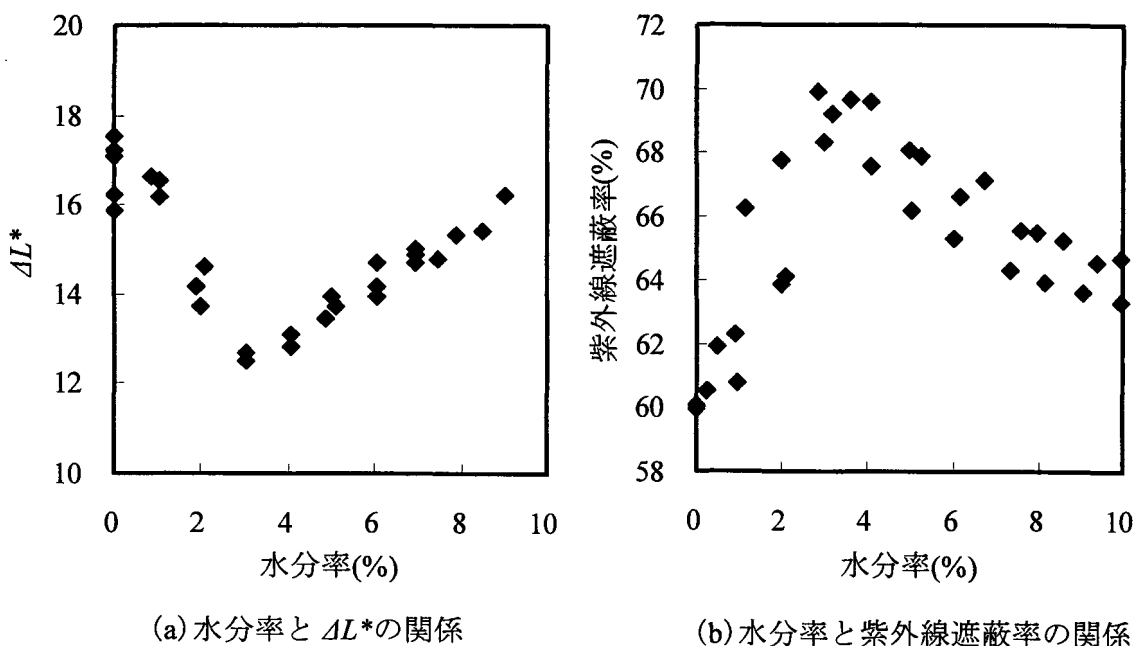


図 3-2-19 M100 の水分率と ΔL^* 、紫外線遮蔽率の関係

濾紙の水分率と ΔL^* の関係を図 3-2-20 に示す。濾紙においては最大水分率時に高い ΔL^* が、乾燥するに従って直線的に減少し、標準状態の ΔL^* に戻ることがわかった。濾紙ではステンレスメッシュでみられたような、標準状態よりも ΔL^* が低くなる現象はみられず、水分率 0~40% で減少がゆるやかとなる傾向がみられた。そこで、同様に水分率と紫外線遮蔽率との関係と比較するため、濾紙 F6 の水分率と ΔL^* 、および水分率と紫外線遮蔽率の関係を図 3-2-21 に示す。水分率と ΔL^* の関係は、ほぼ水分率と紫外線遮蔽率の関係と対称であり、双方が負の相関関係にあることを示している。

以上の結果、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、透けにくくなり、極値を持たない試料は透け性においても極値を持たないことがわかった。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となった。

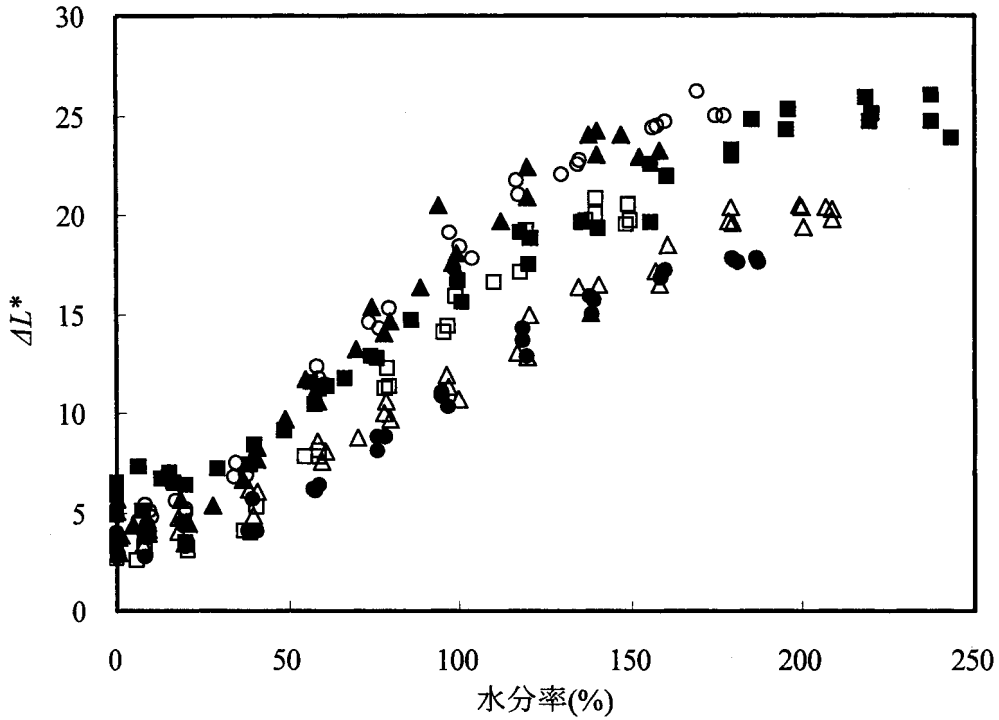
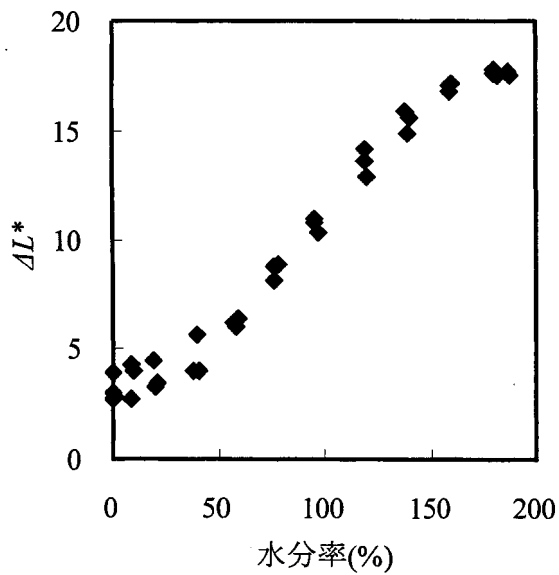
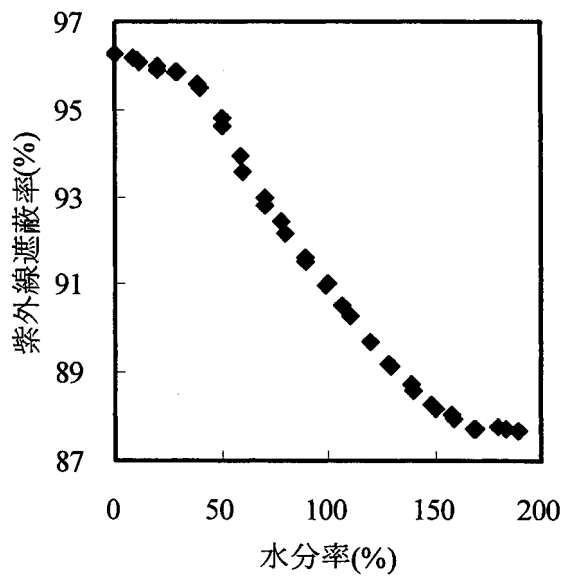


図 3-2-20 濾紙の水分率と ΔL^* の関係
 : ■ F1, △ F2, ○ F3, ▲ F4, □ F5, ● F6.



(a) 水分率と ΔL^* の関係



(b) 水分率と紫外線遮蔽率の関係

図 3-2-21 濾紙 F6 の水分率と ΔL^* , 紫外線遮蔽率の関係

3.2.3.3 湿潤状態における通気性

湿潤状態の通気性は、織物試料においては綿布のみ測定を行った。水分率を変化させて測定した通気抵抗を対数値で表した結果を図 3-2-22 に示す。

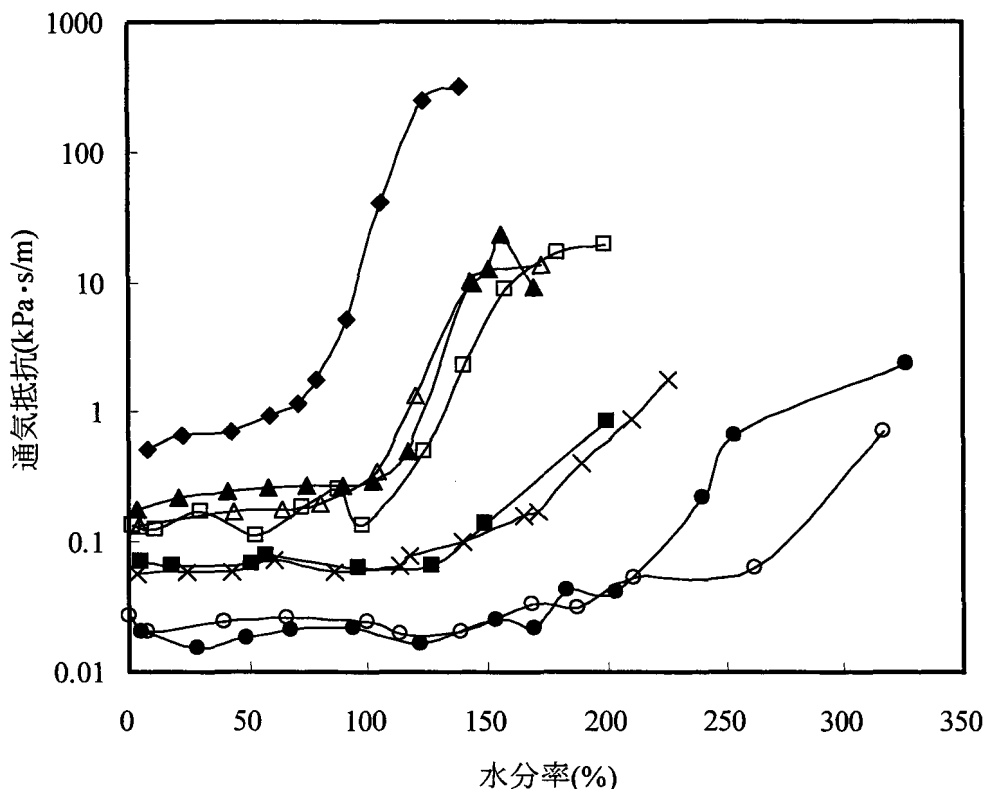


図 3-2-22 綿布の水分率と通気抵抗の関係
 : ◆ C1, □ C2, ▲ C3, × C4, △ C5, ■ C6, ● C7, ○ C8.

最も織密度が高く、直通気孔率の小さい C1 が、水分率 140% で通気抵抗が $319 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}$ と、最大値を示した。これは、標準状態の $0.4 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}$ の約 800 倍にもあたる。水分率 140% では、C1 は気孔に液層の水分が充填され、膜が張った状態であった。他の試料においても最大水分率時には、標準状態の 18~100 倍の通気抵抗を示す。C1 がとりわけ大きな抵抗値を示したのは、最も織密度が高く、気孔の面積が小さかったため、水の膜が破れにくかったことが原因と考えられる。気孔の大きな C7 や C8 などは最初の空気が通過する際、いくつかの水の膜が破れてしまい、抵抗が落ちる現象がみられた。本実験値は抵抗が落ち着いてからのものであるため、C1 に比べて C7 と C8 は低い抵抗となったと考えられる。水の膜が無くなった後も繊維の膨潤により空気の通過が妨げられ、抵抗は標準状態よりも大きい。しかし、いずれの試料も紫外線遮蔽率のように、高い水分率で極値を示すことはなかった。湿潤状態では膨潤した糸を紫外

線が多く透過するのに対して、空気は透過できないことが確認された。

ステンレスメッシュにおける最大水分率での通気抵抗を表 3-2-3 に示す。湿潤状態のステンレスメッシュの通気抵抗は、標準状態に比べて約 30~130 倍となることがわかった。湿潤状態で最大の通気抵抗を示したのは M100 であるが、標準状態でとりわけ抵抗値が高い試料ではない。標準状態と最大水分率での通気抵抗は相関がみられないことがわかった。湿潤状態の通気性測定は、水の膜が張った状態で空気を送るため、最初の圧力がかかった時点でいくつかの気孔に張られた水の膜は破れる。その抵抗が落ち着いた時点での排気 3 秒間の通気抵抗値を読みとり、2 倍することで最大水分率での通気抵抗を算出しているが、ステンレスメッシュの気孔が大きいほど、最初の空気の透過で水の膜が破れやすいため、このような結果をもたらしたと考えられる。

表 3-2-3 ステンレスメッシュの最大水分率における湿潤状態の通気抵抗

試料	最大水分率(%)	通気抵抗(kPa・s/m)	
		湿潤状態	標準状態
M60	10.5	0.320	0.0025
M100	12.7	0.860	0.0070
M150	9.3	0.302	0.0082
M250	14.0	0.300	0.0083

濾紙の湿潤状態の通気抵抗は、標準状態で最も抵抗値が低い F1 においてのみ測定が可能であった。他の試料については抵抗値が高すぎ、測定が不可能であった。

濾紙 F1 の水分率と通気抵抗の関係を図 3-2-23 に示す。最大水分率において、標準状態の約 4 倍の通気抵抗値を示し、水分率の低下に伴って通気抵抗も低下し、標準状態の抵抗値に戻ることが確認された。濾紙の湿潤による通気抵抗の増加は、繊維の膨潤による影響を表しており、繊維が膨潤することによる通気抵抗の増加は、気孔に水が充填された際の抵抗の増加に比べると少ないことがわかった。

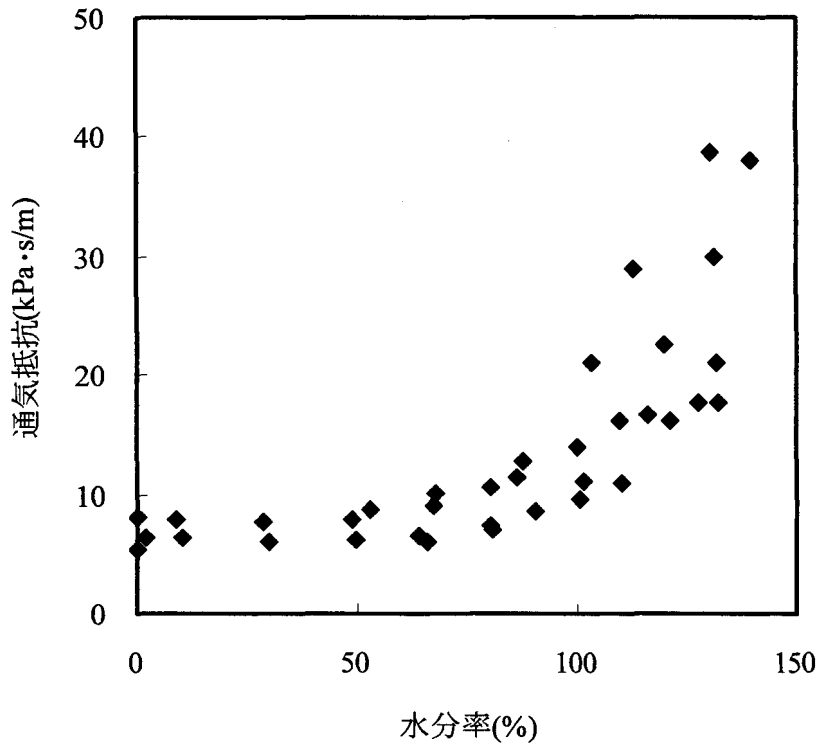


図 3-2-23 濾紙 F1 の水分率と通気抵抗の関係

以上の結果より、湿潤状態では全ての試料において水分率が高くなると通気抵抗が増大し、通気性が小さくなることが確認された。水分率の増加に伴って、気孔に水の膜が張ることにより、紫外線遮蔽率が高くなる試料もあるが、一方で通気性が非常に小さくなることから、水の膜が破れやすい大きな気孔の布を2枚重ねで使用するなど、湿潤状態においても、使用目的に応じて布構造を決定することが重要である。

3.2.4 結論

快適な衣環境と関わる性能として、遮光性、透け性および通気性について湿潤状態での性能の変化を捉え、紫外線遮蔽性能との比較検討を行った。

湿潤状態における遮光性は、織物試料および濾紙において、全体的に遮光率は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。ステンレスメッシュにおいても、湿潤状態では標準状態に比べ

て遮光率が高く、水分率の変化による遮光率の変化、紫外線遮蔽率の変化とほぼ同じであることが確認された。これらのことから、遮光率においても気孔に充填された水分が遮光率を高めることが確認され、紫外線遮蔽率と同様に、水分率が遮光率に影響を与えることが明らかとなった。

透け性は、織物試料および濾紙においては水分率が高くなると透け性は増大し、標準状態より透けやすくなることが確認された。綿布では水分率約 100%以上で透け性の増加はゆるやかとなり、さらに水分率が高くなると試料によってはやや透け性が低下するものもみられ、紫外線遮蔽率における極値ほどはっきりとした挙動ではないが、同様の挙動を示すことがわかった。濾紙およびポリエステルフィラメント布では水分率が増加すると透け性が増加するが、極値は認められない。紫外線遮蔽加工布とその未加工布においても、水分率の増加に伴い ΔL^* は増加するが、紫外線遮蔽率で極値を示す水分率の付近で透け性が低下する。ステンレスメッシュは水分率の上昇に伴い透け性は低下し、水の膜が破れる限界の水分率で透け性が最も低くなり、極値を示した後、さらに水分率が上昇すると透け性は増加するが、標準状態の値以上となることはなかった。このように、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、透けにくくなり、極値を持たない試料は透け性においても極値を持たないことがわかった。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となった。

湿潤状態での水分率と通気性の関係を検討した結果、全ての試料で水分率が増加すると通気抵抗は増加する。綿布においては繊維および糸が膨潤すると共に液相の水で気孔が充填され、水分率が大きい状態では試料によっては標準状態の 800 倍もの抵抗値を示す。いずれの綿布も極値を示すことはなかった。ステンレスメッシュにおいても最大水分率時で約 130 倍の通気抵抗を示し、気孔に充填された水の膜が抵抗値を高めていることが確認された。ステンレスメッシュが綿布より低い抵抗値を示したのは、ワイヤに毛羽が無く、糸に比べて水分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原因であると考えられる。また、濾紙では、湿潤状態での通気抵抗の最大値は、標準状態の約 4 倍であった。これらの結果より、糸中の繊維の膨潤および繊維間の微少な空間を占める水分よりも、直通気孔を充填する水の影響の方が、通気抵抗に及ぼす影響が大きいことが明らかになった。気孔中に充填された水

分は、紫外線も空気も通しにくいですが、膨潤した糸および繊維中は、紫外線を多く透過するのに対して、空気は透過できないことが確認された。

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る。すなわち、使用、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、選択、着用することが重要であると考えられる。

総 括

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。紫外線遮蔽性能は特に気孔率に影響されることから、これ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、無孔材料を用いて紫外線遮蔽性能と気孔率との関係を詳細に検討した。また、織物の湿潤状態における紫外線遮蔽性能を測定し、水分が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響を明らかにした。さらに、衣服を快適に着用するために、光、空気の透過性能である遮光性、透け性および通気性に着目し、これらの性能と紫外線遮蔽性能との関わりを検討することにより、着心地のよさを考慮した上で、紫外線遮蔽性能を最大限にもたらし衣環境設計への提言を行った。

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適していることを確認した。また、種々の紫外線遮蔽性能の評価方法を検討し、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適していることを確認した。衣服の紫外線遮蔽性能を高める紫外線遮蔽加工や染色は、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、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。また、布の湿潤状態での紫外線遮蔽性能に関わる報告もほとんどみられない。一方で、実際の着用時に衣服を快適に着用するためには、紫外線遮蔽性能の向上のみならず、遮光性、透け性および通気性など、他性能を考慮して衣環境設計を行う必要がある。これらの個々の性能についての報告は数多くみられるが、湿潤状態での各性能についての報告は少なく、さらに紫外線遮蔽性能との関わりについて触れ

られた論文はほとんどみあたらない。

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、標準状態における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、湿潤状態での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みいだした。さらに紫外線遮蔽と遮光性、透け性および通気性との関係を検討し、着心地を考慮した上で紫外線遮蔽性能を最大限にもたらし衣環境設計の提案を行うこととした。

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性能に及ぼす影響を検討した。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、および織物試料の特性をさらに解明するためにステンレスメッシュおよび濾紙を用いて実験を行った。その結果、紫外線遮蔽性能に関わる因子の中で、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とした。目の詰まった1枚布よりも目の粗い薄手布の2枚重ねの方が、同じ直通気孔率の場合紫外線遮蔽率は高く、遮光性も高く透け性もおさえられることがわかった。さらに同様の紫外線遮蔽率であれば2枚重層布の方が通気抵抗は低いことから涼しく、重ね着の有効性が示された。透け感を生かした衣服であれば直通気孔率を小さくして糸の透け性を高くし、ユニフォームであれば重ね着よりも直通気孔をふさぐように2枚がずれて重なる二重織り構造布とする方が、着心地のよさを考慮した上で紫外線遮蔽性能を最大限にもたらしことができるなど、状況に応じて本研究結果を利用した衣環境設計が可能であることを提案した。

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。膨潤しないステンレスメッシュを用いることによって、気孔に張った水分膜そのものの影響が検討でき、湿潤状態での紫外線遮蔽性能を解明することができた。織物試料において低い水分率では紫外線遮蔽率および遮光率が低下し、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。これは、繊維および糸の膨潤による、糸中を通る紫外線および可視光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。さらに水分率が上がり、

布表面が液相の水で覆われるほどの高い水分率では、紫外線遮蔽率がわずかに増加する試料がある。この現象は、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。極値を持つ試料は極値を示す水分率の時遮光率も極値を示し、透け性も低下する。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。さらに、試料によっては湿潤状態でも遮蔽率は低下せず、極値が標準状態よりも高い紫外線遮蔽率および遮光率を示し、透けにくくなるものも認められたが、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。

以上、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、大量の汗をかく労働や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。

文 献

- [1] 川平浩二, 牧野行雄, “オゾン消失”, p143-162, 読売新聞社 (1989)
- [2] 環境庁地球環境部 監修, “オゾン層破壊 紫外線による健康影響、植物・生態系への影響”, 中央法規出版 (株) (1995)
- [3] 関口理郎, “気象ブックス 009 成層圏オゾンが生物を守る”, (株)成山堂書店 (2001)
- [4] 環境省環境保健部環境安全課, “紫外線保健指導マニュアル”, 環境省環境保健部環境安全課 (2003)
- [5] 酒井義明, 紫外線防止加工「リカガード」について, 繊維科学, **34**(3), p46-49 (1992)
- [6] 伊藤 滋, 山田浙雄, 「フィジオセンサー」(紫外線遮蔽繊維)について, 繊維科学, **34**(3), p50-53 (1992)
- [7] 高森健彰, 日清紡のUVケア加工「サンシェルタ」について, 繊維科学, **34**(3), p54-56 (1992)
- [8] 浅野紀夫, 紫外線・熱線遮蔽繊維「エスモ」, 繊維学会誌, **48**(6), P300-302 (1992)
- [9] 坂本 光, 風 比佐志, 紫外線・熱線遮蔽繊維, *Sen-i Gakkaishi*, **49**(11), p411-416 (1993)
- [10] クラレの紫外線遮蔽素材「UVX」シリーズの市場展開, 繊維科学, **42**(6), p28-29 (2000)
- [11] 秋庭英治, セラミックスを用いた紫外線遮蔽素材, 日本衣服学会誌, **48**(2), p88-91 (2005)
- [12] 原田敏博, 軽量・紫外線ケア素材「レクチュール」の開発, *Sen-i Gakkaishi*, **57**(8), p224 (2001)
- [13] 市川通夫, 特集 UV カット素材・加工 UV 対応素材「ナビューブイ」, 加工技術, **26**(10), p637-641 (1991)
- [14] 松原真二, 東洋紡 UV カット素材「ジュミネス-UV」「ベンスワード」, 染色工業, **40**(3), p120-122 (1992)
- [15] 坂本 光, クラレ『エスモ』・『パコニア』・『UVX』の特性と展開, 繊維科学, **34**(2), p56-60 (1992)
- [16] 布生敏一, わが社の光関連技術の応用素材と加工, 加工技術, **39**(5), p291-295 (2004)

- [17] 坂本 光, 紫外線・熱線遮蔽繊維について, 染色工業, **40(2)**, p66-74 (1992)
- [18] 中川惣いち郎, 紫外線カット加工について, 染色工業, **40(2)**, p75-80 (1992)
- [19] 中西正恵, 被服材料中での熱・水分・空気の移動現象に関する研究, 奈良女子大学博士論文 (1992)
- [20] 小田幸康, 西田 考 編, “光の科学 第4刷”, (株)朝倉書店 (1990)
- [21] 東レリサーチセンター調査研究事業部, “機能性繊維”, (株)東レリサーチセンター, p134-163 (1995)
- [22] 北野信子, 紫外線と化粧品, 衣生活研究, **18(4)**, p82-84 (1991)
- [23] Pailthorpe M T, Occupational Solar UVR Exposure in Australia and Textile Solutions., 染色工業, **47(3)**, p117-119 (1999)
- [24] Sato K, Cloths to Cut Ultraviolet Radiation., *Photomedicine Photobiol*, **20**, p13-16 (1998)
- [25] Brian L Diffey, Human exposure to solar ultraviolet radiation, *Journal of Cosmetic Dermatology*, **1**, p124-130 (2002)
- [26] Warwick L. Morison, Photoprotection by clothing, *Dermatologic Therapy*, **16**, p16-22 (2003)
- [27] 機能材料マーケットデータ UV カット製品, 機能材料, **14(10)**, p54-62 (1994)
- [28] 西沢 信 , サンケア化粧品の効果について 透過, 吸収の面から, 新潟青陵女子短期大学研究報告, **27**, p1-8 (1997)
- [29] Hatch K L, Fry Not! UV-protective textiles standards., *ASTM Stand News* , **29(1)**, p18-19 (2001)
- [30] 福原和邦, 紫外線遮蔽加工繊維製品の性能評価方法について, 加工技術, **29(11)**, p717-720 (1994)
- [31] 宮崎孝司 , 山内進一, 繊維の UV カットについて, 福井県工業技術センター研究報告書, **8**, p103-107 (1992)
- [32] 坂本 光, 桑原久治, 紫外線遮蔽性布帛に関する研究 (第 3 報) 日焼け防止効果, 繊維製品消費科学, **35(9)**, p458-467 (1994)
- [33] 坂本 光, 紫外線遮蔽性繊維製品の日焼け防止性, 倉敷市立短期大学研究紀要, **25**, p117-124 (1995)
- [34] Mesa B, A potential screening test for UV protective fabrics., *Book Pap Int Conf Exhib*

AATCC, p38-45 (1997)

- [35] 坂本 光, 桑原久治, 紫外線遮蔽布帛に関する研究 第1報 紫外線遮蔽性評価法, 繊維製品消費科学, **34**(7), p349-355 (1993)
- [36] 上田充夫, 吉村由利香, 金谷 薫, 紫外線カット加工とその評価法, 染色工業, **40**(2), p59-65 (1992)
- [37] 岡田俊朗, 紫外線(UV)カット加工の評価方法, ボーケンReport, **75**, p99-103 (1993)
- [38] 上田充夫, 吉村由利香, 金谷 薫, 山内邦親, 平嶋恒亮, 蛍光染料が染着した繊維類の紫外線拡散透過率の測定法, *Chem Express*, **6**(11), p899-902 (1991)
- [39] Laperre J, Gambichler T, Sunprotection offered by fabrics : on the relation between effective doses based on different action spectra, *Photodermatology photoimmunology & Photomedicine* ,**19**, p11-16 (2003)
- [40] Gambichler T, Avermaete A, Bader A, Altmeyer P and Hoffmann K, Ultraviolet protection by summer textiles. Ultraviolet transmission measurements verified by determination of the minimal erythema dose with solar-simulated radiation, *British Journal of Dermatology*, **144**, p484-489 (2001)
- [41] Gambichler T, Hatch K L, Avermaete A, Bader A, Herde M, Altmeyer P and Hoffmann K, Ultraviolet protection factor of fabrics: comparison of laboratory and field-based measurements, *Photodermatology photoimmunology & Photomedicine*, **18**, p135-140 (2002)
- [42] Laperre J, Gambichler T, Driscoll C, Böhringer B, Varieras S, Osterwalder U and Rieker J, Determination of the ultraviolet protection factor of textile materials : measurement precision, *Photodermatology photoimmunology & Photomedicine* ,**17**, p223-229 (2001)
- [43] Hoffmann K, Kesners P, Bader A, Avermaete A, Altmeyer P and Gambichler T, Repeatability of in vitro measurements of the ultraviolet protection factor (UPF) by spectrophotometry with automatic sampling, *Skin Research and Technology*, **7**, p223-226 (2001)
- [44] 坂本 光, 桑原久治, 紫外線遮蔽性布帛に関する研究 第2報 各種布帛の紫外線遮蔽性, 繊維製品消費科学, **34**(12), p652-659 (1993)
- [45] 美馬朋子, 繊維製品の紫外線遮蔽性能に関する研究—綿織物の布構造と重ね枚数の影響—, 成安造形短期大学紀要, **36**, p111-115 (1998)

- [46] 小林久行, UV カット(紫外線防止)加工, テキスタイル & ファッション, **10(6)**, p279-284 (1993)
- [47] 山崎義一, 紫外線カット繊維製品の現状, 繊維製品消費科学, **33(3)**, p129-134 (1992)
- [48] Reinert G, Fuso F, Hilfiker R and Schmidt E, UV-Protecting Properties of Textile Fabrics and their Improvement., *Text Chem Color*, **29(12)**, p36-43 (1997)
- [49] 斎藤兼広, 超微粒子 ZnO の繊維への応用, 加工技術, **26(10)**, p652-655 (1991)
- [50] 嶋田邦征, 繊維の UV カット, 加工技術, **27(4)**, p240-243 (1992)
- [51] 前田和美, 紫外線カット加工, 染色研究, **36(1)**, p17-22 (1992)
- [52] 海塩健一, 吉田正志, 植原計一, 化粧品の新原料・新技術の研究動向 新規シリコン系紫外線吸収剤サンシエルターSP の開発と特性, *Fragr J*, **24(12)**, p27-31 (1996)
- [53] Wedler M, Hirthe B, UV-absorbing micro additives for synthetic fibers., *Chem Fibers Int*, **49(6)**, p528 (1999)
- [54] Achwal W B, Global trends in textile industry. Developments in dyes, pigments, optical brighteners and UV absorbers., *Colourage*, **41(13)**, p136-138 (1995)
- [55] Sekar N, UV absorbers in textiles., *Colourage*, **47(11)**, p27-28,30 (2000)
- [56] 一丸ファルコス, 紫外線吸収剤及び関連製品紹介, *Fragr J*, **84**, p76-83 (1987)
- [57] Schaumann M, Rohwer H , UV Absorbers For Fabrics, *Househ Pers Prod Ind*, **40(7)**, p53-55 (2003)
- [58] Saito M, Antibacterial, Deodorizing, and UV Absorbing Materials Obtained with Zinc Oxide(ZnO) Coated Fabrics., *J Coated Fabr*, **23**, p150-164 (1993)
- [59] 斎藤兼広, 繊維向紫外線遮蔽・抗菌防臭用後加工仕上剤, JETI, **41(14)**, p73 (1993)
- [60] Hilfiker R, Kaufmann W, Reinert G and Schmidt E, High sun protection factors of fabrics treated with UV-absorbers., *World Conf Text Inst*, **77(2)**, p178-179 (1997)
- [61] Reinert G, Misun V, ポリエステル繊維用の新しい紫外線吸収剤 Cibafast P, 加工技術, **29(7)**, p444-451 (1994)
- [62] 久保川博夫, 河野誠司, 清水浩二, 菅谷 武, 天然染料による被染ポリエステル布の耐光性に及ぼす紫外線吸収剤の影響, 群馬県繊維工業試験場業務報告, 1994, p63-65 (1995)

- [63] Kehayoglou A H, Tsatsaroni E G, Dyeing of Polyester Fabrics with Disperse Dyes in the Presence of a UV-Absorber., *Dye Pigm*, **23**(1), p53-63 (1993)
- [64] Tsatsaroni E G, Eleftheriadis I C, UV-absorbers in the dyeing of polyester with disperse dyes, *Dye Pigm*, **61**(2), p141-147 (2004)
- [65] Yang H, Zhu S, Pan N, Studying the Mechanisms of Titanium Dioxide as Ultraviolet-Blocking Additive for Films and Fabrics by an Improved Scheme., *J Appl Polym Sci*, **92**(5), p3201-3210 (2004)
- [66] Xin J H, Daoud W A, and Kong Y Y , A New Approach to UV-Blocking Treatment for Cotton Fabrics, *Text Res J*, **74**(2), p97-100 (2004)
- [67] 中島 茂, 古田博一, 青木郁子, 河原 豊, 紫外線遮蔽加工とその実用性能評価, 繊維加工, **47**(3), p128-135 (1995)
- [68] 浜岡容子, 田中裕美, 片山哲郎, 山崎正夫, セリシン加工綿布の UV カット効果, 京都府織物・機械金属振興センター研究報告, **36**, p38640 (2002)
- [69] 美馬朋子, 佐藤昌子, 染色布の紫外線遮蔽性能に関する研究(第 1 報) Direct Red 綿染色布について, 繊維製品消費科学, **41**(3), p342-351 (2000)
- [70] 美馬朋子, 佐藤昌子, 染色布の紫外線遮蔽性能に関する研究(第 2 報)直接染料の可視部吸収特性の影響, 繊維製品消費科学, **42**(12), p841-855 (2001)
- [71] 美馬朋子, 佐藤昌子, 染色布の紫外線遮蔽性能に関する研究(第 3 報)ポリエステル染色布について, 繊維製品消費科学, **45**(2), p134-144 (2004)
- [72] 美馬朋子, 佐藤昌子, 染色布の紫外線遮蔽性能に関する研究(第 4 報)染色布の退色が紫外線遮蔽性能に及ぼす影響, 繊維製品消費科学, **45**(5), p369-378 (2004)
- [73] Srinivasan M, Gatewood B M, A preliminary study on the influence of dyes on the ultraviolet protection factor(UPF) of fabrics., *Book Pap Int Conf Exhib AATCC*, 1998, p361-370 (1998)
- [74] Srinivasan M, Gatewood B M, Relationship of Dye Characteristics to UV Protection Provided by Cotton Fabric., *Text Chem Color Am Dyest Rep*, **32**(4), p36-43 (2000)
- [75] Gorensek M, Sluga F, Modifying the UV Blocking Effect of Polyester Fabric, *Text Res J*, **74**(6), p469-474 (2004)
- [76] Deepti G, Astha J and Shikha P, Anti-UV and anti-microbial properties of some natural dyes on cotton, *Indian J Fibre Text Res*, **30**(2), p190-195 (2005)

- [77] 堀川精一, 佐々木えつ子, 前田英樹, 村松紘一, 天然染料利用による繊維製品の高付加価値化 染色物の抗菌性及び紫外線吸収特性について, 長野県情報技術試験場研究報告, **10**, p36-40 (1994)
- [78] 西沢 信, 蛍光増白処理によるナイロンフィルムの光照射による影響—強力, 伸度, 紫外線透過作用について—, 新潟青陵女子短期大学研究報告, **22**, p29-39 (1992)
- [79] 西沢 信, 蛍光増白剤の紫外線遮蔽性, 新潟青陵女子短期大学研究報告, **24**, p49-56 (1994)
- [80] Eckhardt C, Rohwer H, UV Protector for Cotton Fabrics., *Text Chem Color Am Dyest Rep*, **32**(4), p21-23 (2000)
- [81] Zhou Y, Crews P C, Effect of OBAs and Repeated Launderings on UVR Transmission through Fabrics., *Text Chem Color*, **30**(11), p19-24 (1998)
- [82] 鹿庭正昭, 伊佐間和郎, 小嶋茂雄, 中村晃忠, 有巢加余子, 早川律子, 家庭用品による接触皮膚炎の原因化学物質の追求 (第 8 報): 繊維製品に使用されたポリウレタンエラストマー中の紫外線吸収剤 Tinuvin P, 衛生化学, **37**(3), p218-228 (1991)
- [83] 高橋睦子, 大熊志津江, 角田光雄, 紫外線遮蔽(UV カット)繊維製品の洗濯による性能保持について, 文化女子大学紀要 服装学・生活造形学研究, **31**, p45-50 (2000)
- [84] 寺内アヤ子, 村上かおり, UV カット繊維を用いた作業着の検討, 高知女子大学紀要 自然科学編, **41**, p15-21 (1993)
- [85] 寺内アヤ子, 紫外線遮蔽素材について, 家庭科教育, **71**, p80-86 (1997)
- [86] 佐藤健二, 田口博康, 吉川邦彦, 色素性乾皮症患者に適した夏用紫外線防御服地, 皮膚, **34**(2), p172-176 (1992)
- [87] Gies H P, Roy C R, Elliott G and Zongli W, Ultraviolet radiation protection factors for clothing., *Health Phys*, **67**(2), p131-139 (1994)
- [88] Beyer A G, Crews P C, Influence of fiber type, fabric cover, thread count and thickness on UVR transmission, *Book Pap Int Conf Exhib AATCC*, 1997, p175-180 (1997)
- [89] Crews P C, Kachman S and Beyer A G, Influences on UVR Transmission of Undyed Woven Fabrics., *Text Chem Color*, **31**(6), p17-26 (1999)
- [90] 横山順子, 被服地の紫外線透過について, 下関女子短期大学紀要, **12**, p61-71 (1993)

- [91] 石橋 博, 帖地絹代, 衣料素材の紫外線カット性能, 鹿児島県立短期大学紀要 自然科学編, **44**, p29-40 (1993)
- [92] 桑原宣彰, 尾畑納子, 布の紫外線透過機構に関する研究, 繊維学会誌, **50(8)**, p357-363 (1994)
- [93] 桑原宣彰, 尾畑納子, 2枚重ね布の紫外線透過に関する研究, 繊維製品消費科学, **39(4)**, p254-259 (1998)
- [94] 桑原宣彰, 尾畑納子, 布の紫外線透過に及ぼす織り密度と糸の撚りの影響, 繊維製品消費科学, **45(8)**, p655-662 (2004)
- [95] Hilfiker R, Kaufmann W, Reinert G and Schmidt E, Improving Sun Protection Factors of Fabrics by Applying UV-Absorbers., *Text Res J*, **66(2)**, p61-70 (1996)
- [96] Parisi A V, Kimlin M G, Mulheran L, Meldrum L R and Randall C, Field-based measurements of personal erythemal ultraviolet exposure through a common summer garment, *Photodermatology photoimmunology & Photomedicine*, **16**, p134-138 (2000)
- [97] Gambichler T, Hatch K L, Avermaete A, Altmeyer P and Hoffmann K, Influence of wetness on the ultraviolet protection factor (UPF) of textiles : in vitro and in vivo measurements, *Photodermatology photoimmunology & Photomedicine* , **18**, p29-35 (2002)
- [98] Crews P C, Zhou Y, The Effect of Wetness on the UVR Transmission of Woven Fabrics, *AATCC Review*, **8**, p41-43 (2004)
- [99] Zhang Z, Thomas B W, Wong C F and Fleming R A, Fast measurements of transmission of erythema effective irradiance through clothing fabrics., *Health Phys*, **72(2)**, p256-260 (1997)
- [100] 桑原宣彰, 岡本嗣男, 農作業服による作業性と快適性の定量化に関する研究(第1報)農作業服素材の紫外線透過性に関する検討, 農業機械学会誌, **58(3)**, p27-35 (1996)
- [101] 桑原宣彰, 岡本嗣男, 農作業服による作業性と快適性の定量化に関する研究(第2報)農作業服素材の紫外線透過性に及ぼす汗の影響, 農業機械学会誌, **59(2)**, p73-80 (1997)
- [102] 桑原宣彰, 尾畑納子, 岡本嗣男, 農作業服による作業性と快適性の定量化に関する研究(第3報)農作業服素材の紫外線透過性に及ぼす泥汚れの影響, 農業機械

学会誌, 59(4), p29-37 (1997)

- [103] JIS L-1055 : カーテンの遮光性試験方法 (1987)
- [104] 阿部栄子,カーテン布の遮光効果—開口部の面積と色の影響—, 日本衣服学会誌, 47(2), p45-50 (2004)
- [105] 小松秀和, 久保川博夫, 奥沢秀年,光透過性に異方性を有する織物の開発, 群馬県繊維工業試験場業務報告, 1999, p25-27 (2000)
- [106] 矢崎美彦, 高寺政行, 清水義雄, 平織物の光透過異方性,繊維学会誌, 60(10), p281-286 (2004)
- [107] 矢崎美彦, 高寺政行, 清水義雄, 上条正義, 細谷 聡, 布の光透過異方性測定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2002, Pt.5, 2P2.K09(1)-2P2.K09(2) (2002)
- [108] Grasso M M , Hunn B D and Rewerts A M , Effect of Textile Properties in Evaluating a Directional Shading Fabric., *Text Res J*, 67(4), p233-247 (1997)
- [109] 林 芳輝, 増田敦士, 山崎幸子, 光透過性をコントロールできる織物製品の開発, 繊維加工, 50(8), p364-368 (1998)
- [110] 林 芳輝, 近藤幸治, 清水幸雄, 繊維材料の製造加工技術研究 光透過性をコントロールできる織物製品の開発 第 1 報 組織ずらしによる遮光技術の開発, 福井県工業技術センター研究報告書, 11, p38939 (1995)
- [111] 林 芳輝, 山崎幸子, 繊維材料の製造加工技術研究 光透過性をコントロールできる織物製品の開発 (第 2 報),福井県工業技術センター研究報告書, 12, p38877 (1996)
- [112] 林 芳輝, 増田敦士, 山崎幸子, 繊維材料の製造加工技術研究 光透過性をコントロールできる織物製品の開発 (第 3 報), 福井県工業技術センター研究報告書, 13, p38877 (1997)
- [113] 坂本 光, 衣料の透け性の研究, 倉敷市立短期大学研究紀要, 27, p105-112 (1997)
- [114] 木下直之, 白さ／透けない, *Sen-i Gakkaishi*, 54(12), p441-444 (1998)
- [115] 原田英典, なぜ白でも透けないの? 水着の常識を覆した繊維の秘密, 工業材料, 42(11), p70-74 (1994)
- [116] 東レ, 白スタイルにさわやかな着心地をプラス 透け防止・快適複合機能新織物素材「ボディシエルエール」, 加工技術, 39(11), p710-711 (2004)

- [117] 東レが透け防止・快適性複合機能新織物素材“ボディシエルエール”を開発・展開, 繊維科学, **46**(5), p50-51 (2004)
- [118] 加藤哲也, 丹羽氏輝, 透けない白い水着素材について, 繊維学会誌, **51**(7), P294-297 (1995)
- [119] 西村元広, 中嶋桃子, 女性のための高分子 今年の水着 透けないパステルカラー, 高分子, **44**(6), p374-376 (1995)
- [120] 東レの新質感ナイロン素材“ミラマット”(MIRAMATTE)の開発と展開, 繊維科学, **45**(2), p30-33 (2003)
- [121] 東レが透け防止・ドライタッチ新素材“アレニエ(araignee)”を開発・発売, 繊維科学, **44**(3), p35-37 (2002)
- [122] 山崎和男, 透けない白の水着-サンスノー ジオールから水着までの開発経緯, 化学と工業, **49**(6), p758-760 (1996)
- [123] 藤本祥子, 鈴木信康, 内藤郁夫, 色の見えとその質感における透ける布の影響, 日本色彩学会誌, **26**, p106-107 (2002)
- [124] 石原久代, 小町谷寿子, 着装評価に関与するインナーウェアの色彩, 名古屋女子大学紀要 家政・自然編, **47**, p17-26 (2001)
- [125] Lee J S, 織物の重ねによる色の変化, 感性工学研究論文集, **2**(2), p91-98 (2002)
- [126] Lee J S, 透けるテキスタイルの重ねによる色の見え, 日本色彩学会誌, **25**, p20-21 (2001)
- [127] 伊藤由美子他, 薄物素材に及ぼすアンダードレスの色の効果について, 文化女子大研究紀要, **19**, p109-117 (1988)
- [128] 木曾山かね, 半透明衣料の色調と下着の色調との関係, 東京家政大学研究紀要, **21**(2), p137-144 (1980)
- [129] 吉野鈴子, 明石淳子, 山中富世, 堀田英志, 衣服の透け現象に関する研究, 繊維製品消費科学, **41**(8), p682-684,686-691 (2000)
- [130] 吉野鈴子, 明石淳子, 山中富世, 堀田英志, 衣服の透け現象に関する研究(第2報)透け現象の測色からの解析および間隔による透明度の変化, 繊維製品消費科学, **41**(12), p963-964,966-970 (2000)
- [131] JIS L-1096 : 一般織物試験法 (1999)
- [132] 都竹初稲, 稲垣勝彦, 中山 晃, 長井茂明, 布の通気性に関する研究Ⅱ, 繊維製

- 品消費科学, **22**(9), p392-396 (1981)
- [133] 都竹初稻, 稲垣勝彦, 中山 晃, 長井茂明, 布の通気性に関する研究IV 重ね合せた布の通気特性, 繊維製品消費科学, **24**(12), p546-550 (1983)
- [134] 都竹初稻, 布の通気性に関する研究V 高風速下における布の通気特性, 繊維製品消費科学, **27**(7), p303-307 (1986)
- [135] 都竹初稻, 布の通気性に関する研究VI 湿潤布の通気性, 繊維製品消費科学, **29**(8), p340-345 (1988)
- [136] 都竹初稻, 稲垣勝彦, 中山 晃, 長井茂明, 布の通気性に関する研究, 繊維製品消費科学, **23**(10), p46-50 (1982)
- [137] 都竹初稻, 布の通気性に関する研究, 繊維製品消費科学, **25**(9), p420-424 (1984)
- [138] 川端季雄, 通気性測定装置の開発とその応用, 繊維機械学会誌, **40**(6), T59-T67 (1987)
- [139] Mohammadi M, Banks-lee P, Air Permeability of Multilayered Nonwoven Fabrics: Comparison of Experimental and Theoretical Results., *Text Res J*, **72**(7), p613-617 (2002)
- [140] Mohammadi M, Banks-lee P and Ghadimi P, Air Permeability of Multilayer Needle Punched Nonwoven Fabrics: Theoretical Method, *J Ind Text*, **32**(1), p45-57 (2002)
- [141] Mao N, Russell S J, Modeling Permeability in Homogeneous Three-Dimensional Nonwoven Fabrics., *Text Res J*, **73**(11), p939-944 (2003)
- [142] 中西正恵, 丹羽雅子, 被服材料の通気性に関する研究 (第 2 報) 繊維集合体の通気性に及ぼす繊維形態の影響, 日本家政学会誌, **41**(9), p841-851 (1990)
- [143] 藤本尊子, 丹羽雅子, 繊維集合体の通気性の解析と熱移動特性との関係, 繊維機械学会誌, **44**(9), T183-T191 (1991)
- [144] 藤本尊子, 与倉弘子, 丹羽雅子, 被服材料の繊維集合構造が熱物性および通気性に及ぼす影響, *Thermophys Prop*, 12th, p173-176 (1991)
- [145] 中西正恵, 丹羽雅子, 単一織布および積層布の通気抵抗の繊維集合構造からの予測, 日本家政学会誌, **43**(12), p1217-1222 (1992)
- [146] Kullman R M H, Graham JR C O and Ruppenicker G F, Air permeability of fabrics made from unique and conventional yarns., *Text Res J*, **51**(12), p781-786 (1981)
- [147] Paek S L, Effect of Yarn Type and Twist Factor on Air Permeability, Absorbency, and

- Hand Properties of Open-end and Ring-spun Yarn Fabrics., *J Text Inst*, **86**(4), p581-589 (1995)
- [148] 田中和子, 大野 亮, 赤川直亮, 織物の気孔と通気性, 共立女子大学家政学部紀要, **35**, p95-99 (1989)
- [149] 中西正恵, 丹羽雅子, 被服材料の通気性に関する研究 第1報 各種用途別の被服材料の通気低抗, 日本家政学会誌, **40**(9), p797-804 (1989)
- [150] 中西正恵, 丹羽雅子, 被服材料の通気性に関する研究 (第3報) 織物の通気機構と通気性予測, 日本家政学会誌, **43**(4), p293-301 (1992)
- [151] 金網久明, 柏原洋子, 川村 綾, 織布の透湿性および通気性に及ぼす糸間隙の孔の影響, *Sen-i Gakkaishi*, **50**(3), p129-135 (1994)
- [152] Ganatra S R, Munshi V G , Air-permeability & bursting strength of cotton fabrics., *Indian Text J*, **96**(8), p104-105,108-109 (1986)
- [153] Wehner J A, Miller B, Rebenfeld L, Moisture induced changes in fabric structure as evidenced by air permeability measurements., *Text Res J*, **57**(5), p247-256 (1987)
- [154] 日本衣料管理協会 “繊維製品試験法 (第2版) ” , p22-24, 日本印刷(株) (1980)
- [155] 美馬朋子, 岩崎 錦, 綿織物の表面特性及び触感に及ぼす布構造の影響, 神戸大学教育学部研究集録, **90**, p191-197 (1993)
- [156] JIS Z-8729 : 色の表示方法— $L^*a^*b^*$ 表色系および $L^*u^*v^*$ 表色系 (1994)

謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始御指導、御鞭撻を賜った、神戸大学発達科学部助教授、井上真理先生に深く感謝いたします。また、博士論文の作成にあたり、ご高閲を賜り、ご助言およびご激励を賜った、神戸大学発達科学部教授、丸谷宣子先生、青木務先生、矢野澄雄先生、近藤徳彦先生に感謝致します。

また、元神戸大学教授の岩崎錦先生には、折に触れ適切な御指導、御助言を頂いた。ここに、厚く御礼申し上げます。日清紡(株)の志治富子氏にはポリエステル試料を提供して頂いた。測定に関しては大阪教育大学学生であった小林正美氏に御協力頂いた。ここに感謝の意を表します。