

卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布の 機能性評価に関する研究

2018 年

京都女子大学大学院
家政学研究科 生活環境学専攻

谷 明日香

| | |
|------------------------|----|
| (1) 不感蒸散シミュレーション実験における | |
| 模擬皮膚-布間隙の相対湿度 | 27 |
| (2) 発汗シミュレーション実験における | |
| 潜熱移動量および水分移動量への影響 | 29 |
| 4. 結言 | 35 |

| | |
|------------------------|----|
| 第2章 卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布が | |
| 温熱的着用性能に及ぼす影響 | 37 |
| 1. 緒言 | 37 |
| 2. 実験方法 | 38 |
| 2.1 試料 | 38 |
| 2.2 水分特性の測定 | 40 |
| 2.3 熱・水分移動特性 | 40 |
| 2.4 着用実験 | 42 |
| 3. 結果および考察 | 44 |
| 3.1 水分特性 | 44 |
| 3.2 熱・水分移動特性 | 46 |
| 3.3 衣服内温湿度および生理量への影響 | 48 |
| 3.4 主観評価への影響 | 54 |
| 3.5 衣服内温湿度および生理量項目間の関係 | 55 |
| 4. 結言 | 57 |

| | |
|------------------------|----|
| 第3章 卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布が | |
| ヒトの皮膚性状に及ぼす効果 | 58 |
| 1. 緒言 | 58 |
| 2. 加工方法 | 59 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 3. アームカバー装着実験 | 61 |
| 3.1 被験者 | 61 |
| 3.2 皮膚性状の測定 | 63 |
| 4. 結果および考察 | 64 |
| 4.1 水分量への影響 | 64 |
| 4.2 蒸散量への影響 | 66 |
| 4.3 弾性回復への影響 | 70 |
| 4.4 皮膚レプリカにおける肌荒れ判定 | 73 |
| 4.5 主観評価への影響 | 76 |
| 5. 結言 | 77 |
| 結論 | 78 |
| 文献 | 83 |
| 謝辞 | 88 |

序 論

目的と意義

日本の繊維工業の技術の高さは世界に誇るものがあり，各種の機能性加工布が数多く開発されている．機能性加工には，引張強さ・摩耗強さ等の繊維製品の耐久性に関するもの，防しわ性・抗ピリング性等の外観特性に関するもの，さらには帯電性や難燃性に関するもののほか，健康と快適性の向上に主眼を置いた加工などがある．

一方，日本は世界に誇る長寿大国であり，高齢者人口が急増する中，何らかの介護を必要としない健康寿命の延伸に関心が集まっており，機能性加工の中でも特に，健康・快適を訴求した繊維製品への関心が高い．例えば，体温調節機能や寒暑感・湿潤感に関わる温熱的快適性を訴求した加工，衣服圧利用によるむくみ改善や運動効率の向上を訴求した加工，風合いや肌触り感などといった触的快適性を訴求した加工，感性などとも関係する審美的快適性を訴求した加工など，様々な加工を施した製品が多数上市されている．

しかしながら，これらの加工布の中には，その効果の立証が難しいものも少なくない．ヒトの生理生体反応には個人間および個人内変動があり，快適性の感受性においても個人間変動が大きく，真に“人にやさしい”加工であるか否かの立証にはかなりの困難を伴う．特に，ビタミンCやサプリメント付与，マイナスイオン発生あるいは

は遠赤外放射によるヘルスケア製品など，その効果を立証することは困難であり，明確な科学的根拠のない効果の明示については薬機法に抵触する可能性さえ抱えている．それでもなお，日本の繊維製品の世界に勝る強みのひとつが高機能性付与製品であることは間違いのない事実と思われる．

そこで本研究では，新規の高機能性付与加工を提案することを目的として，従来個別に行われてきた卵殻膜加工とリン脂質ポリマー加工を同時に行うことによって，個別の機能の相乗効果，あるいは多機能効果を目指した．

卵殻膜は，卵殻の内側にある約 $70\mu\text{m}$ の薄皮であり，約 20 種のアミノ酸で構成されており，アミノ基やカルボキシ基が存在することを踏まえ，水分子との親和性に着目すると，吸湿性と吸水性の向上が期待される．すなわち，卵殻膜加工による効果として，繊維製品の親水性の向上による発汗時の吸湿速乾性の向上や衣服内の蒸れ感の抑制に繋がることが推察され，温熱的快適性の向上が期待される．

さらに，卵殻膜は人の真皮繊維芽細胞に高い親和性をもち，中国明時代には外傷治療に使用したと本草綱目¹⁾に記載され，近年では，熱傷治療に対する臨床効果として，少女の熱傷部分が卵殻膜の貼付により 4 日後に満足のいく上皮化がみられたとの報告がある²⁾．また，卵殻膜を添加した培地でコラーゲンの総量や皮膚の弾力性に起因するⅢ型コラーゲンが増加したという報告もみられる³⁾．現在では，卵殻膜は多くの化粧品に含有されている物質である．

また、リン脂質ポリマーは、細胞膜を構成する物質のひとつであり、生体親和性が高い。リン脂質ポリマーをコーティングした人工肺などバイオマテリアルとしても利用の高い物質であり、皮膚表面に直接塗布した場合や含有化粧品の塗布による皮膚のバリア性能と保湿性能などの皮膚保護効果なども報告されている^{4,5)}。親水基と疎水基をもつため、水と油をなじませる乳化作用があり、皮膚の水分と皮脂をなじませて皮脂膜を作る手助けをすることが期待される。

以上、卵殻膜およびリン脂質ポリマーは両物質ともに皮膚性状の改善に効果的な物質であるといえる。しかし、上述したように、その効果が立証されているのは、皮膚に貼付するあるいは塗布する場合であり、これらの物質が繊維製品への加工剤として用いた場合に皮膚性状の改善に効果的か否かについては不明である。

本研究では、温熱的に快適で、保湿効果の高い加工法を提案することを目的として、卵殻膜とリン脂質ポリマーを同時加工した布を作製し、まず加工布の物理特性としての熱・水分移動特性を明らかにする。次に、加工Tシャツを用いた着用実験により、衣服内温湿度および体温調節への影響を明らかにするとともに、加工布でアームカバーを作製し、20代から60代の被験者に長期間装着させる実験を行い、皮膚性状への影響を年齢との関係を視野に入れて検討することを目的とする。

本研究の成果は、ヒートアイランド現象とも地球温暖化とも指摘される中、2018年7月23日に埼玉県熊谷市で41.1℃の最高温度が観測されるなど、2010年以降熱中症患者が急増している現状にあって、繊維製品の親水化は潜熱放散を増加させ、温熱的着用性能と円

滑な体温調節メカニズムに対して効果的であろうと考えられる。環境温度が年々上昇傾向を示している現状にあって、衣服の温熱性能の追究は非常に意義のあるものと考えられる。また、工業化が進展する中で増加した大気汚染物質がアトピー性皮膚炎を引き起こすともいわれ⁶⁾、厚生労働省の発表によるとアトピー性皮膚炎患者数は456,000人にも達する。空調設備による乾燥性皮膚炎や種々の化学物質による皮膚炎なども旧来に比べて増加している現状にある。一方、高齢化が進む中、皮膚の乾燥が引き起こす老人性乾皮症、老人性皮膚掻痒症などの皮膚トラブルが問題となっている現状を鑑みると、毎日着用する衣服による皮膚性状の改善に関する研究は非常に意義あるものと考えられる。

本研究に関連する内外の研究

日本の少子高齢化は他国の2倍のスピードで増加しており、2020年前後には4人に1人が65歳以上の超高齢社会になるといわれている⁷⁾。平均寿命は、年々上昇を続け、総人口1億2465万人のうち、高齢化率は2017年で27.7%⁸⁾と高い数値を示し、世界でも屈指の長寿大国となっている。しかしながら、不健康寿命はおおよそ10年（平均寿命(2016)：男性80.98歳、女性87.14歳⁹⁾、健康寿命(2016)：男性72.14歳、女性74.79歳¹⁰⁾）となっている。団塊の世代が75歳を向かえる2025年には15.2兆円の介護マーケットが開ける⁷⁾とされ、2010年からの15年でその規模は2倍に拡張したこともあって、市場において非常に注目されている。

一方、2017年度の健康・美容市場は15,624億円であり、その内訳をみると「健康維持・増進」、「美肌・肌ケア」と続き、特に女性シニア層の基本機能の強化・維持に対する意識が高いと報告されている¹¹⁾。このような健康寿命の延伸願望と、日々の生活を健康で快適に遂行したいという社会的ニーズの高まりを受け、繊維製品においても機能性素材の開発に関心が高まっている。

衣服素材としての加工布の機能性評価として、温熱的生理学的視点で快適性を捉えることは非常に重要である。田村¹²⁾は、着衣の温熱的快適性に関わる要因を、皮膚を境界とする内側の生理的要因と外側の物理的要因に分けて捉えることができると提言しており、衣服内気候は人体の生理的体温調節反応と、着衣を含む環境の物理的条件の相互作用によって結果的に生じる状態であり、人体-着衣-環

境の各要因と快適性との関係を考慮することの重要性について述べている。また、原田¹³⁾は、衣服の快適性について機能面から考えた場合、影響を及ぼす要因として①微小空間の温度・湿度・気流によって決定する衣服内気候、②衣服によって皮膚が受ける圧迫力、③衣服と皮膚の接触によって発生する肌触りを挙げており、衣服の快適性を人間-環境システムの中で捉え、皮膚に最も近い空間（衣服内気候）や、皮膚と衣服が接触するときの感覚が快適性を決定すると述べている。健康・快適をキーワードに温熱的快適性を軸にした機能性加工布として皮膚に直接接触する肌着や裏地¹⁴⁻¹⁶⁾、パンティストッキング¹⁷⁾、スポーツウェア¹⁸⁾といったインナーアイテムに相当する素材を中心に数多くの研究・開発がなされている。

本研究では、加工布を着用した際の温熱的快適性ととも加工布が皮膚に及ぼす影響として保湿効果を期待して、卵殻膜加工とリン脂質ポリマー加工を同時に行い、その機能性を明らかにすることを目的とした。

まず、衣服内を温熱的に快適な状態にするためには、人体-衣服-環境系における熱・水分移動が円滑であることが重要である。従来、発汗を伴うヒトの衣服素材として親水性である天然繊維が用いられてきたが、近年では、肌着にも合成繊維が多用されるようになってきている。合成繊維は疎水性であるため、様々な親水化の方法が施されている。

吸水性を付与する方法としては、異形断面繊維、中空多孔繊維、極細繊維を用いる物理的方法によるものが多く、吸湿性を付与する方法としては、親水基のグラフト重合や親水性物質の付与など化学

的方法によるものが多い。例えば、大江ら¹⁹⁾は PET 布に糖ラクトンを用いた親水化加工を施し、水蒸気吸着量が顕著に増加したことを報告しており、栗岡ら²⁰⁾は綿布にセリシン加工を施し、水の吸い上げ高さの向上や水分の拡散時間が短縮したことなどの報告がみられる。しかしながら、衣服はヒトが着用するものであり、加工布の機能性については、人体の恒体温維持という基本的生理特性に鑑み、汗や不感蒸散を想定した液相および気相の水分特性に加え、潜熱移動特性についても考慮する必要がある。鋤柄¹⁴⁾や中橋¹⁷⁾は、肌着の熱・水分移動特性について、熱物性測定装置を用いて着用シミュレーション実験を行い、有用な物理特性値を得ているが、実着用による着用感や主観評価までは明らかにしていない。

近年、健康科学分野を中心に、消費者が安心・安全に製品を使用するためのエビデンスが重要性を増し、製品の効果を立証する必要がある。近年の薬機法では非常に厳格な取り扱いとなっている。繊維製品においても、着用時のヒトの感覚を通じた快／不快を客観的に評価する理論的・実証的裏付けに基づいた評価が重要となっている²¹⁾。Celanese 社と Gillete 研究所では、総合的な物理実験と着用による主観的評価との関連付けを試みているが、物理実験から着用感を予測するには至っていない^{22~26)}。諸岡²⁷⁾は、衣服素材の物理的特性が着用性能にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることの困難さが環境側の条件（温度・湿度などの温熱的環境因子に加え、環境状態が定常か、非定常かなど）と着用者側の条件（生理的反応や心理的反応の個人差や日内変動・年内変動など）が変動することによるものだとし、これらの物理特性値とヒトの主観的な着用

感との関連を明らかにするために着用実験を行い、物理特性値から着用感の予測を可能にするための研究を行っている。

そこで本研究においても、高機能性付与加工布を用いて、まず、熱物性測定装置により加工布の熱・水分移動特性について明らかにするとともに着用実験を行い、物理特性値と着用感の両面からのアプローチにより加工布の機能性評価を試みた。

次に、衣服が皮膚に及ぼす影響に関する研究については、従来、加工剤による皮膚障害に関するものが多かった。しかし近年では、加工剤が皮膚障害を及ぼさないことを確認し、(社)繊維評価技術協議会の認証をパスした繊維製品に **SEK** マークが付けられるなど、厳格な取組みがなされている。その上に立って、近年の空調設備による乾燥性皮膚炎患者の増加や、老人性乾皮症・老人性皮膚掻痒症などの皮膚トラブルが問題となっている現状にあって、皮膚性状の向上を訴求した加工布の開発が望まれている。

そこで本研究では、衣服による皮膚保護機能という付加価値を備えた機能性素材を開発することを目的として、卵殻膜とリン脂質ポリマーを用いた同時加工布の機能性評価を行った。卵殻膜は、皮膚に対する治癒効果として古くは李時珍による本草綱目における記述をはじめ **Maeda** ら²⁸⁾の報告からも創傷治癒性に効果的であることや、Ⅲ型コラーゲン産生促進効果がある^{29~31)}との報告もみられる。諸岡ら³²⁾は、卵殻膜加工布が皮膚性状に及ぼす影響を検討し、向寒期に、乾燥肌に向かう皮膚をもつ人にとっては皮表角層水分量の減少を抑制する効果があったと報告しているが、経表皮水分蒸散量への効果は確認できていない。

一方、リン脂質ポリマーは、細胞膜を構成する物質のひとつであり、肌への密着力が高い。親油基と親水基をもつ両親媒性物質であり、水と皮脂の界面張力を低下させる天然の乳化剤であることから、肌の水分と皮脂を馴染ませて皮脂膜を作る手助けをすることが期待される。先行研究において、リン脂質は主に化粧品に使用されており、城井ら⁴⁾は、リン脂質重合体をスキンケア化粧品に配合し皮膚表面に塗布した場合に、バリア性能と保湿性能を示すなど皮膚保護効果をもつことが明らかとなったと報告しており、紺野⁵⁾は、リン脂質ポリマーを乳化剤のひとつとして化粧品に使用することで、みずみずしい使用感がありながら高い保湿効果が得られたと報告している。その他、リン脂質ポリマーのバイオマテリアルとしての利用など生体親和性評価についての報告³³⁾もみられる。

このように、皮膚性状の改良効果や合成繊維の親水化が期待される卵殻膜と、今後、生体親和性をもち幅広い展開が期待されるリン脂質ポリマーとの2つの機能性材料を加工剤として、同時加工を行い、その機能性を物理実験および着用シミュレーション実験、そして着用実験により評価し明確化することは大変意義深く、その社会的貢献は大きいものと判断される。

超高齢社会を向かえ、ますます健康・快適を訴求する繊維製品への需要が高まってくると予測される中、実証データに裏打ちされた繊維製品の機能性評価は極めて重要である。円滑な体温調節機能と温熱的快適性、そして皮膚保護機能に対して、機能性評価に裏打ちされた高機能性付与加工の開発は非常に有用であると考えられる。また、本研究の成果は、特に体温調節機能の十分でない乳幼児や高

齡者，また皮膚の弱い乳幼児や乾皮症高齢者にとって有用であると
考えられる。

本研究の概要

本研究は、新規の高機能性付与加工とその効果を実証することを目的に、着用時の温熱的快適性ととも皮膚性状の向上の双方を訴求して、卵殻膜加工とリン脂質ポリマー加工を同時に行い、その機能性を明らかにすることを目的としている。

本論文は、序論、本論、結論から構成されている。

序論は、本研究の目的と意義、関連する国内外の研究および本研究の概要を述べている。

本論は、3章で構成されている。

第1章では、基礎研究として、卵殻膜加工およびリン脂質ポリマー加工について、それぞれ個別の加工効果を明確化することを目的とした。供試料布は、卵殻膜加工布、リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）加工布、卵殻膜・リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）同時加工布、吸水加工布、卵殻膜・リン脂質ポリマー（親水性タイプ）同時加工布、および対照試料としてのブランク布を含めた6種であり、リン脂質ポリマーについては、生体組織内部を模倣した親水性タイプと、皮膚表面の角質層を模倣した疎水性タイプを用いて、各試料布の水分特性および熱・水分移動特性を測定している。

その結果、卵殻膜加工群において優れた吸湿性を示すこと、リン脂質ポリマーの親水性タイプと疎水性タイプの吸水性に及ぼす影響について明らかにしている。また、不感蒸散および発汗をシミュレーションして、水蒸気および液体水移動を伴う熱損失量の測定から、卵殻膜加工群において模擬皮膚－布間の湿度上昇を抑制する役割を

もち、温熱的快適性に対する優位性が示唆している。発汗時を想定した場合には、リン脂質ポリマーの親水性タイプがより有用であると推察されたが、疎水性タイプであっても卵殻膜加工との同時加工により温熱的快適性を向上させる効果があることを確認している。

第2章では、前章において、卵殻膜・リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）加工布（以降、加工布とする）の親水性の向上と、水分移動に伴う円滑な熱移動特性が確認されていることから、加工布とブランク布（未加工布）を用いてTシャツを作製し、20歳代の健康な女性9名を対象にして歩行を伴う着用実験を行い、生理生体反応と主観評価に及ぼす影響を検討している。

その結果、加工布着用において歩行期で衣服内温湿度および発汗量の上昇抑制と回復期における円滑な発汗低下が認められ、有意に湿潤感が少ないと評価されることを確認している。また、測定項目間の相関分析から、加工布の親水性の向上が温熱的着用性能の優位性に繋がることを明らかにしている。

第3章では、前章で用いた加工布の皮膚性状に及ぼす影響を検討することを目的に、加工布およびブランク布を用いてアームカバーを作製している。20歳代から60歳代までの女性20名を対象に、一方の上腕に加工布、他方にブランク布からなるアームカバーを7週間継続装着させて検証している。

皮膚性状を判定する項目を、皮表角層水分量（以降、水分量とする）、経表皮水分蒸散量（以降、蒸散量とする）および皮膚の弾性回復とし、その他、スンプ法による肌荒れ率の判定および「つるつる-ざらざら」感の主観評価を行っている。

年齢別に装着日数に伴う皮膚性状の変化を解析した結果、水分量については加工布の効果は明瞭ではないが、蒸散量については、どの年齢層においても加工布でblank布よりも少なくバリア効果を確認している。その効果は、加齢するにつれて大きくなり、60歳代では危険率1%で有意であることを見出している。また、皮膚の弾性回復、肌荒れ率、主観評価においても、blank布に比べて加工布において良好な方向へ移行する傾向があることを明らかにするなど、加工布の果たす役割を明確化している。

結論では、各章で得られた結果をまとめ、卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布の親水性の増大と、顕熱損失量および潜熱損失量の増大を物理実験により明らかにしたと述べるとともに、着用実験では加工布着用における発汗時の体温調節機能の円滑性と、温熱的快適性の向上に有用であることを述べている。また、加工布の皮膚性状への影響についても、装着日数が増えるほど経表皮水分蒸散量を抑制し、加齢するほどバリア効果が増大するなど皮膚保護作用を示したと述べるなど、卵殻膜・リン脂質同時加工布の高機能性付与効果について、論文全体を総括している。

なお、各章の関連を図1に示している。

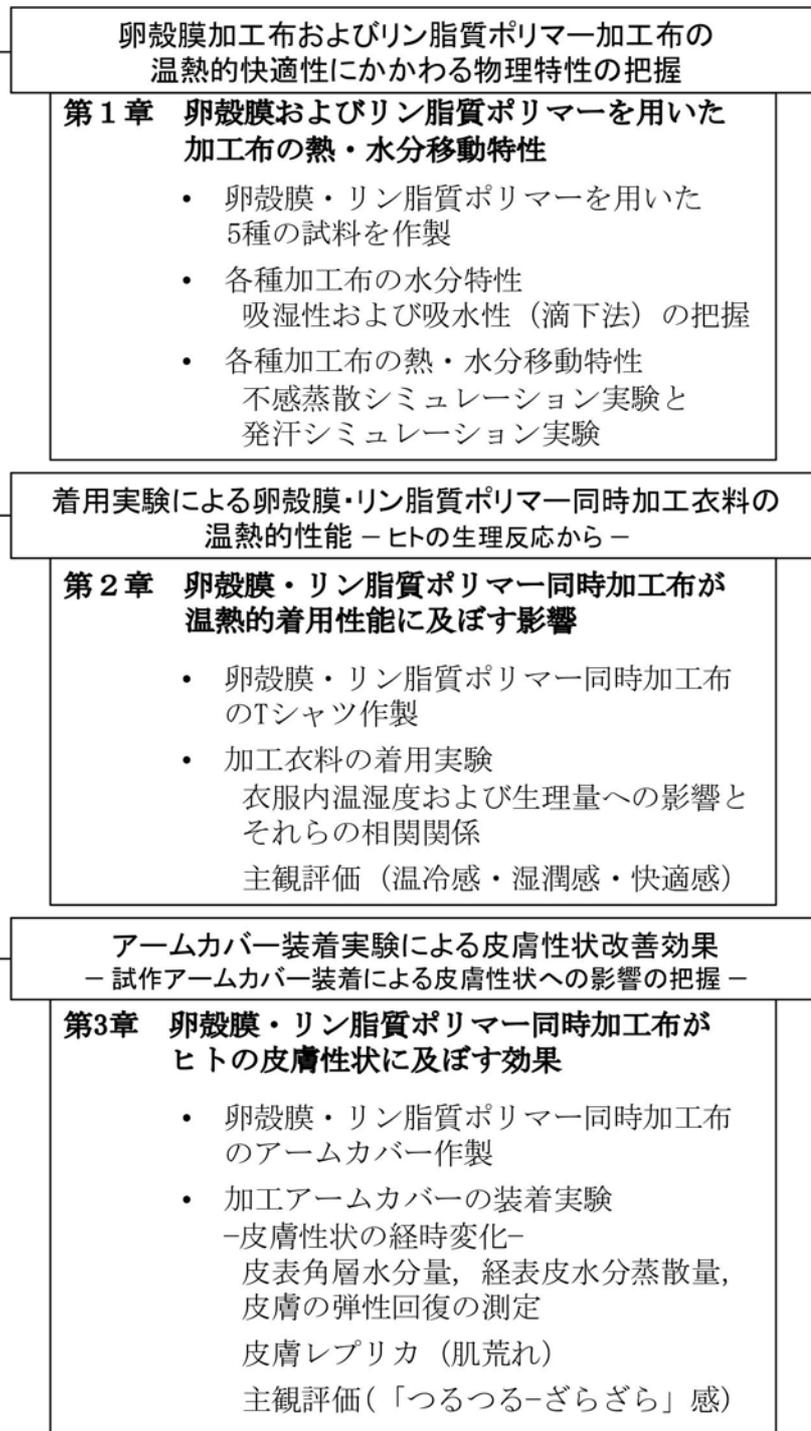


図 1 本論の構成

本 論

第 1 章 卵殻膜およびリン脂質ポリマーを用いた加工布の熱・水分移動特性

1. 緒 言

ヒトは衣服の着用により，人体と環境との間に微環境（衣服内気候）を形成している．衣服内を温熱的に快適な状態に維持するためには，人体-衣服-環境系における熱・水分移動が円滑であることが重要である．衣服の温熱的快適性にとって，衣服素材の熱・水分移動特性は非常に重要な役割を果たす．

従来，発汗を伴う際の衣服素材としては，親水性の天然繊維が主流であったが，近年，吸湿性や吸水速乾性をもつ合成繊維が数多く開発されている．合成繊維に親水性を付与する方法には様々な方法がある．吸水性を付与する方法としては，異型断面繊維，中空多孔繊維，極細繊維を用いる物理的方法によるものが多い．一方，吸湿性の付与には化学的方法が用いられ，親水基のグラフト重合や親水性物質を付与させる方法などが行われている．

本章では合成繊維からなるトリコット編布に卵殻膜およびリン脂

質ポリマーを用いて加工を行い，水分特性および熱・水分移動特性にどのような影響を及ぼすのかを検討した．卵殻膜は，卵殻の内側にある約 $70\mu\text{m}$ の薄皮であり，約 20 種のアミノ酸で構成されているため，親水性の向上が期待される．また，リン脂質ポリマーは，細胞膜を構成する物質のひとつであり，生体親和性が高く，親油基と親水基をもつ両親媒性物質であり，水と皮脂の界面張力を低下させる天然の乳化剤⁵⁾であることから，熱・水分移動特性の改善が期待される．

本章では，卵殻膜加工，リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）加工，卵殻膜・リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）同時加工，吸水加工，卵殻膜・リン脂質ポリマー（親水性タイプ）同時加工を施した試料を作製して，各々の加工が水分特性および水分移動を伴う系での熱移動特性にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることにより，卵殻膜およびリン脂質ポリマーが果たす役割を明らかにすることを目的とした．

2. 実験方法

2.1 加工方法

ポリエステル 90%／ポリウレタン 10%の組成からなるトリコット編布（厚さ 0.646mm ，重さ 207.8g/m^2 ）を原布とし，卵殻膜およびリン脂質ポリマーを用いた加工を施した．試料は表 1-1 に示す 6 種である．加工方法の詳細を表 1-2 に示す．

試料 O（ブランク）は原布に精練・乾燥の前処理のみを行ったも

のである。試料 **E** (卵殻膜加工) は、ブランク布を加工浴 (卵殻膜パウダー水分散体 3.0%) 中に浸漬し、パテイング処理 (絞り率 93~99%) の後、130°Cで 2 分間乾燥を行ったものである。試料 **P** (リン脂質ポリマー (疎水性タイプ) 加工) は、ブランク布を加工浴 (市販リン脂質ポリマー水溶液 (固形分 4%) 5%, 水 95%) 中に浸漬し、パテイング処理 (絞り率 93~99%) の後、130°Cで 2 分間乾燥後、150°Cで 2 分間仕上げ加工・固定化を行ったものである。試料 **W** (吸水加工) は、ブランク布を市販のアニオン化ポリエステル樹脂 (有効成分 10%) で浴中吸尽加工したものである。試料 **EP** (卵殻膜・リン脂質ポリマー (疎水性タイプ) 同時加工) は、卵殻膜加工を行った後、リン脂質ポリマー加工を行ったものである。試料 **WEP** は、卵殻膜・リン脂質ポリマー (親水性タイプ) 同時加工を行ったものである。なお、リン脂質ポリマー (疎水性タイプ) とは、皮膚表面の角質層を模倣し、繊維表面に耐水性被膜を形成させたものであり、リン脂質ポリマー (親水性タイプ) とは、生体組織内部を模倣して繊維表面に保水性ゲル膜を形成させたものである。

Table 1-1 Samples

| Sample | Processing agent |
|--------|-----------------------------|
| O | Brank |
| E | Eggshell Membrane (EM) |
| P | Phospholipid polymer (PP) |
| W | Anionic polyester resin(AP) |
| EP | EM & PP (Hydrophobic type) |
| WEP | EM & PP (Hydrophilic type) |

Table 1-2 Processing method

| | | | | |
|--|--|--------------------|-----------|--|
| EM & PP | Scouring process (90~100°C) | | Treatment | |
| | Drying (130°C, 2 min.) | | | |
| | EM recipe | Concentration(wt%) | EM | |
| | PEG - based dimethacrylate monomer | 6.0 | | |
| | Eggshell membrane (EM) powder | 3.0 | | |
| | Binder | 0.5 | | |
| | Radical polymerization catalyst | 0.1 | | |
| | Water | 90.4 | | |
| | Padding processing → Graft polymerization → Immobilization → Washing (80°C) → Drying (130°C, 2 min.) | | | |
| | PP recipe | Concentration(wt%) | P | |
| Phospholipid polymer (PP) | 5.0 | | | |
| Water | 95.0 | | | |
| Padding processing → Drying (130°C, 2 min.) → Finishing (150°C) | | | | |
| Water absorption recipe | | | W | |
| Anionic polyester resin (AP) | | | | |
| Wash bath treatment | | | | |

2.2 水分特性

各試料布の水分特性として、水分率および吸水面積を測定した。

水分率の測定は、以下のようにして行った。まず、105℃の乾燥機で3時間乾燥し、シリカゲルの入ったデシケータの中で放冷した後、絶乾重量を測定した。その後、20℃において33%RH、65%RH、75%RH、97%RHの相対湿度下で水分率測定を行った³⁴⁾。33%RH、75%RH、97%RHについては、中性塩(MgCl₂、NaCl、K₂SO₄)の過飽和水溶液を入れたデシケータ内に7日間試料を放置して調湿した。65%RHについては恒湿恒温室内で調湿を行った。

吸水性の測定は、アクリル板上に各試料をのせ、マイクロシリンジで蒸留水0.3mlを滴下し、ウェール方向およびコース方向の吸水長さを5分間経時的に測定し、両方向の長さをかけて面積を算出した。この方法は、着用をシミュレーションした実験であり、試料布が汗を吸収して人体表面との間で濡れ広がることを想定したものである。

2.3 熱・水分移動特性の測定

ヒトは身体から常に不感蒸散として水蒸気を放散し、暑熱下や運動下においては発汗し液体水を放出する。水蒸気が繊維に化学的に吸収あるいは吸着する性質を吸湿性といい、結晶化度や親水基の有無がその支配要因である。これに対して、液体水が繊維間・糸間に保持される性質を吸水性といい、その支配要因は繊維表面の濡れやすさと毛細管の形成である。このように、吸湿性と吸水性は、それらを支配する要因が大きく異なるため、本研究では、水蒸気移動を伴う不感蒸散シミュレーション実験および液体水移動を伴う発汗シ

ミュレーション実験を行った。

(1) 不感蒸散シミュレーション実験

模式図を図 1-1 に示す。熱物性測定装置サーモラボⅡ（カトーテック㈱製）を用いて測定を行った。試料を **1mm** 厚さのベークライト板枠（有効面積 **10×10cm**）に取り付け、設置によるばらつきが生じないように配慮した。熱板をヒトの平均皮膚温に近似した温度（**33℃**）にコントロールし、熱板上に水分率約 **200%**の湿潤ろ紙を設置した。さらにその上に透湿防水布を順次設置して、水蒸気のみが透過する系を設定し、これを模擬皮膚とした。試料と模擬皮膚との間隙に湿度センサーを挿入するために、ベークライト板枠で **3mm** の間隙をつくり、その上に試料を設置した。この時、試料間の相違を明瞭にするために、試料の上には不透湿フィルムを置いて、模擬皮膚と試料との間隙の相対湿度を測定した。

(2) 発汗シミュレーション実験

前項と同様に、熱物性測定装置サーモラボⅡを用いて測定を行った。模式図を図 1-2 に示す。前述と同様に、熱板を **33℃**にコントロールし、その中央に **0.3ml** の蒸留水を滴下した後に、ベークライト板枠に取り付けた試料を上から静かにほぼ平行になるように配慮しながら設置した。液体水が試料に吸収され、ウィッキング性により濡れ拡がり、乾燥に至るまでの熱損失挙動と乾燥時間を測定した。

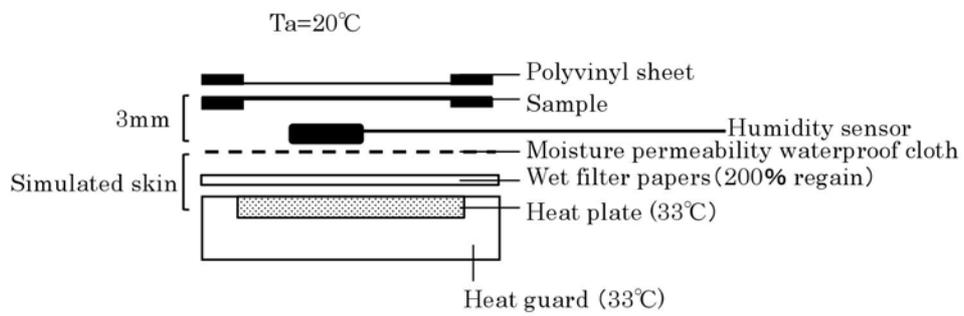


Fig. 1-1 Schematic diagram of the heat and water transfer properties in the case of simulation test of insensible perspiration

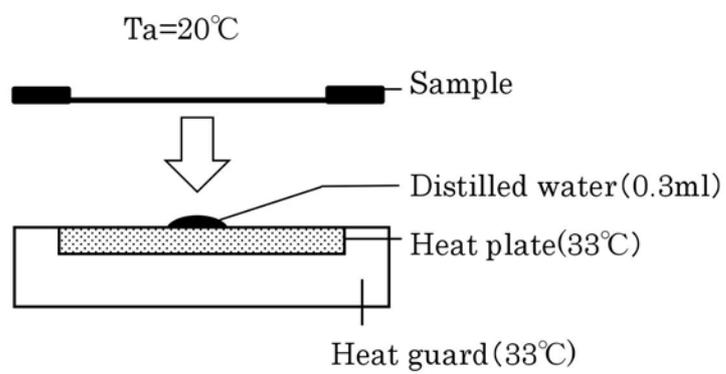


Fig. 1-2 Schematic diagram of the heat and water transfer properties in the case of simulation test of sweating

3. 結果および考察

3.1 吸湿性に影響を及ぼす加工の効果

各試料布の 20℃における等温収着曲線を図 1-3 に示す。等温収着曲線はシグモイド型となり、高湿領域で急激に水分率が上昇した。これは、水分子が官能基に直接的に結合するのみでなく、水分子に水分子が間接的に付着する多分子層吸着が生じているためと考えられる。また、この領域では、繊維間隙（毛細管）に水分子が弱く保持された状態も含まれているものと考えられる。弱く保持された状態の水分は、蒸発しやすいために、衣服内の水蒸気を外界に放出するのに有用であると考えられ、高湿時の水分率の高さは衣服内の湿度を低湿に保持するだけでなく、衣服外への円滑な放散からみても重要な役割をもっていると推察される。

33%RH～75%RH 領域では、試料 WEP の水分率が最も高く、次に試料 E=EP>O=W=P であるが、試料間の相違は 0.5%程度とわずかであった。しかし、97%RH の高湿領域では、試料 WEP>E>EP≫O>W≧P であり、試料間の相違が約 2%と拡大した。すなわち、卵殻膜付与加工群で高い水分率が確認され、特に高湿領域でその効果が高いことがわかった。卵殻膜は主にたんぱく質からなり、約 20 種のアミノ酸で構成されている。アミノ酸とは分子内にアミノ基 (-NH₂) とカルボキシ基 (-COOH) をもつ化合物であり、官能基により水分子が水素結合したためと考えられる。また、卵殻膜を付与した加工の中でも試料 WEP が最も水分率が高かったのは、親水性タイプのリン脂質ポリマーが繊維表面に保水性ゲル膜

を形成し、水分子を水素結合したためと考えられ、卵殻膜単独の加工（試料 E）以上に水分率が高くなった。一方、試料 EP では他の卵殻膜加工に比べてやや水分率が低かった。これは、疎水性リン脂質ポリマーの被膜が繊維表面を覆っているためと考えられるが、卵殻膜が疎水性被膜に覆われた場合にあっても、blank布以上の吸湿性効果を示すこともわかった。

これに対して、試料 P および W の水分率は、試料 O よりも若干低い傾向がみられた。このことは、疎水性リン脂質ポリマーやアニオン化ポリエステル樹脂が吸湿性に寄与しないことを示している。

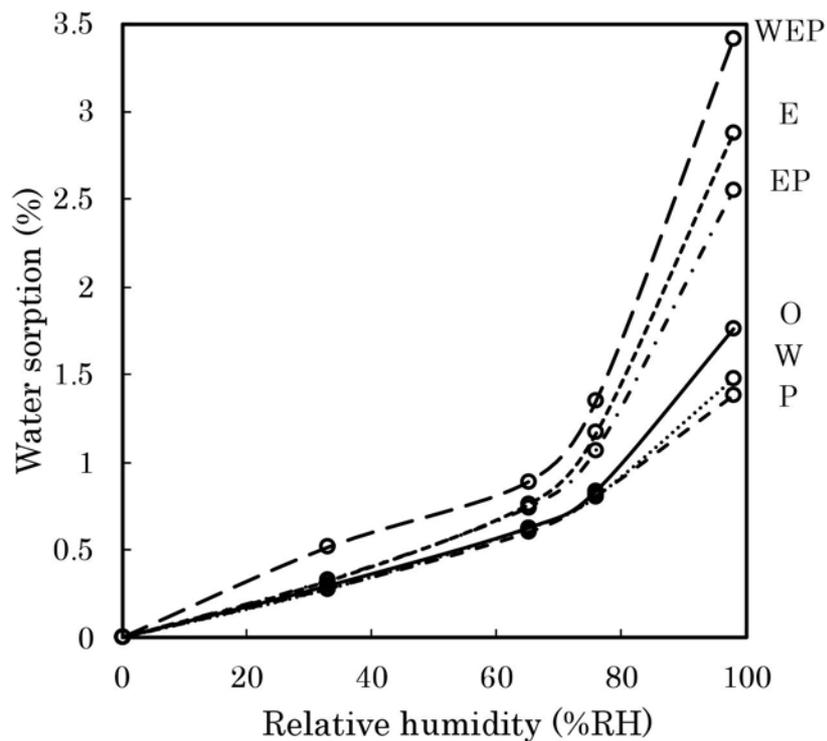


Fig. 1-3 Isothermal sorption curves under a condition of 20 degrees

3.2 吸水性に影響を及ぼす加工の効果

実着用を想定した滴下法による吸水性試験の結果を図 1-4 に示す。吸水面積は試料 **E>WEP>W>EP** の順に大きく、試料 **P** においては、試料 **O** と同等かそれ以下であった。吸水性の支配要因は、繊維表面の濡れやすさと糸・布構造である。ここでは、原布が同じであることから、吸水性の相違は加工剤による繊維表面の濡れやすさに起因するものと考えられる。

吸水面積が最も高かったのは試料 **E** であり、グラフト加工によるナノスケールレベルでの表面改質によるものと考えられる。試料 **WEP** で吸水性がやや減少した理由については、少なからず脂質構造が影響したためと考えられる。また、試料 **EP** では疎水性リン脂質ポリマーの被膜が繊維表面を濡れにくくしたと考えられたが、試料 **P** よりも吸水面積が大きく卵殻膜付与の影響がみられた。なお、卵殻膜未付与の試料 **P** においては、脂質構造の影響を受けて試料 **O** より吸水面積が減少した。一方、アニオン化ポリエステル樹脂で加工した試料 **W** は、吸湿性には全く効果をもたなかったが、試料 **EP** よりも吸水性が高いことがわかった。

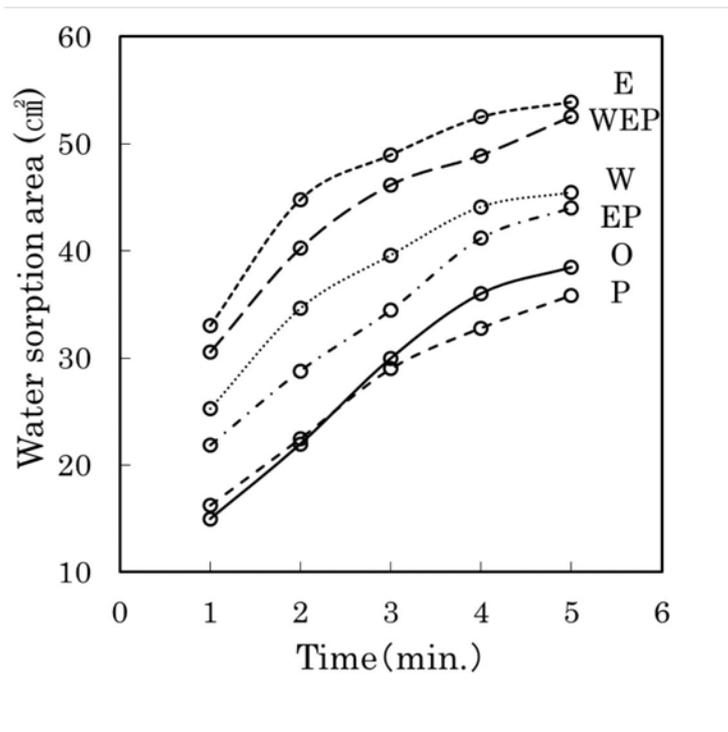


Fig. 1-4 Changes in water sorption area over time

3.3 熱・水分移動特性に及ぼす加工の影響

(1) 不感蒸散シミュレーション実験における模擬皮膚-布間隙の相対湿度

結果を図 1-5 に示す。水分率の高かった試料 E および WEP では湿度上昇が遅い傾向がみられた。これは模擬皮膚から放散された水蒸気が素早く布に収着されたためであり、湿度上昇の速かった試料 O, W, P と比べると、実験開始 2 分後において、約 10%もの相対湿度差がみられた。これらの試料の水分率の相違が 97%RH 環境下で約 2%であったことを考えると、水分率のわずかな改善であっても着衣系においてはかなりの効果を示すであろうことが推察された。また、水分率の結果と同様に、卵殻膜が疎水性リン脂質ポリマー被膜で覆われた試料 EP においてもblank布（試料 O）に比べて湿度上昇速度を抑制する効果が認められた。

発汗すると衣服内の湿度が上昇する。発汗初期において衣服が蒸発した汗を素早く収着したなら、衣服内の湿度上昇速度を抑制することができる。衣服内の湿度が低ければ、皮膚面と衣服内の水蒸気圧差が大きくなり皮膚面からの潜熱放散が促進し体温上昇が抑制される。このような発汗初期の衣服内湿度の上昇挙動が着用感および人体生理反応にとって非常に重要な役割を果たすことが報告されており³⁵⁻³⁷⁾、吸湿速度の速さが自律性体温調節中枢に働き、発汗量の抑制に繋がるであろうことが推察される。すなわち、本研究では、高湿時の水分率との関係性が示されるとともに、試料 E, WEP および EP における卵殻膜付与加工群の水分率の向上と吸湿速度の速さが着衣系における温熱的快適性に有用な役割を果たすことが示唆さ

れた。

一方、試料 P および W については、ブランク布 O よりも湿度上昇が急速であり、前項で述べたように、加工剤の被膜が衣服内の湿度を上昇させることがわかった。

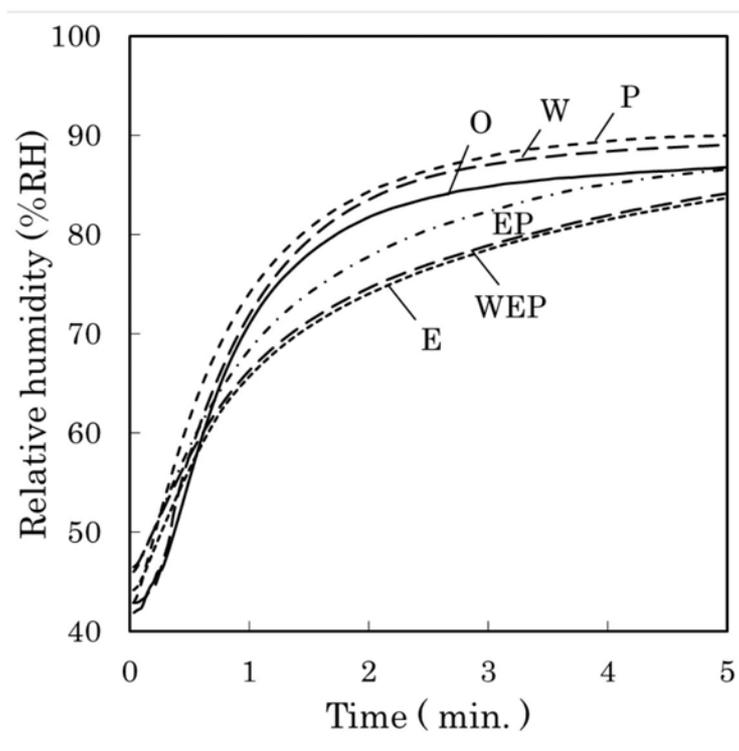


Fig. 1-5 Changes in relative humidity between the simulated skin and the sample

(2) 発汗シミュレーション実験における潜熱移動量および水分移動量への影響

発汗シミュレーション実験における放熱挙動の測定例を図 1-6 に示す。液体水を滴下した後に試料布を設置すると、発汗に見立てた液体水が濡れ拡がり、吸水面積が拡大するとともに熱損失量が徐々に増大し、一時平衡状態に至る。この期間を恒率乾燥期といい、主に繊維間隙・糸間隙に保持された水分が蒸発する期間であり、この時の最大熱損失量を Ht と定義した。その後、減率乾燥期に入り、熱損失量が徐々に減少し、やがて布は乾燥に至る。この時の熱損失量を乾熱損失量 Hd 、乾燥までの時間を Dt と定義した。また、水分蒸発に伴う潜熱損失量を (1) 式により求め、乾燥時間を (2) 式により求めた。

$$H_w = Ht - Hd \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$Dt = Tf - Ts \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

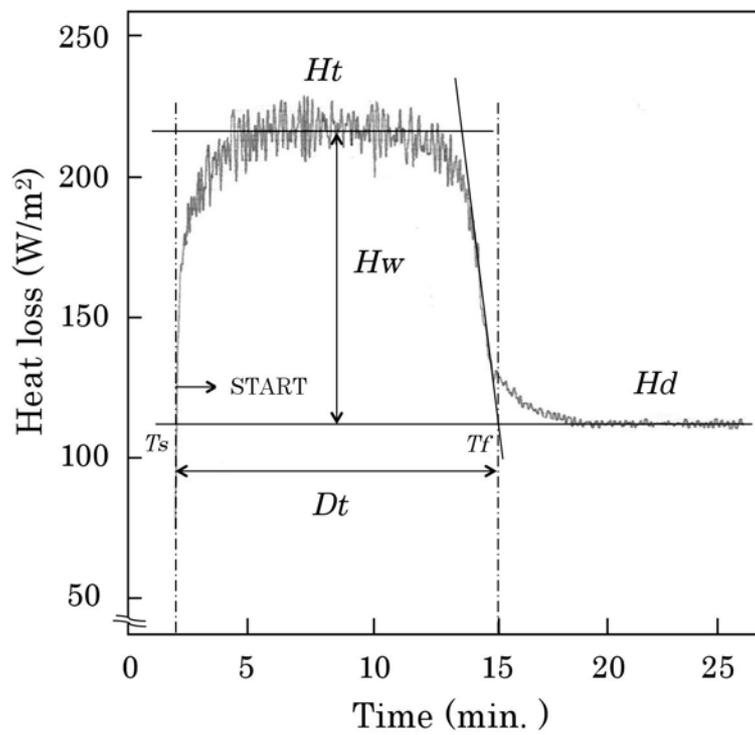


Fig.1-6 A measurement example of simulation test of sweating

結果を表 1-3 に示す。乾熱損失量 (Hd) については、布構造が同じなので、ほぼ同様であろうと推察されたが、試料 O, P, W で約 $135W/m^2$ であり、試料 E, EP, WEP で約 $140W/m^2$ であった。すなわち、卵殻膜を付与した試料群でやや高い Hd を示した。これについては、卵殻膜を付与した試料群で水分率が高かったことに加えて、液体水を一旦含水したことにより、平衡水分率が脱湿曲線側に移行していることによるものであり、親水性の高い試料ほど吸湿曲線と脱湿曲線とのヒステリシスが大きいことによるものと推察された。すなわち、卵殻膜付与加工布で乾熱損失量がやや高い傾向が認められ、このことは、発汗を伴わない状況下であっても熱移動が円滑であり、中温域以上の環境下にあっては温熱的快適性に繋がるであろうことを示唆している。

Ht についても、試料 WEP, E で約 $275W/m^2$ と高く、試料 EP においても約 $270W/m^2$ であったことから、発汗時の放熱が円滑であろうと推察された。また、吸水性を付与した試料 W においても $257W/m^2$ と比較的高かったが、試料 O および P は約 $235W/m^2$ と低かった。

また、 Ht は、温度差による顕熱移動量 Hd と水蒸気圧差による潜熱移動量 Hw の和であることから、 Hd を差し引き Hw を算出した。吸水面積と Hw との関係を図 1-7 に示す。相関係数 $R=0.92$ と危険率 1%以下で有意な関係にあり、濡れ拡がり面積が大きいほど潜熱移動量が大きいことがわかった。しかし、試料 EP においては、吸水面積の割に Hw が高い傾向がみられ、このことは吸水性のみでなく、吸湿性もまた Hw に寄与していることを示している。次に、 Hw

Table 1-3 Heat and water transfer properties

| Sample | Dry heat loss H_d (W/m ²) | Total heat loss H_t (W/m ²) | Wet heat loss H_w (W/m ²) | Drying time D_t (min.) |
|--------|--|--|--|-----------------------------|
| O | 135 | 235 | 100 | 12.6 |
| E | 140 | 274 | 134 | 9.4 |
| P | 132 | 233 | 101 | 13.2 |
| W | 133 | 257 | 124 | 10.8 |
| EP | 141 | 270 | 129 | 10.6 |
| WEP | 140 | 275 | 135 | 10.2 |

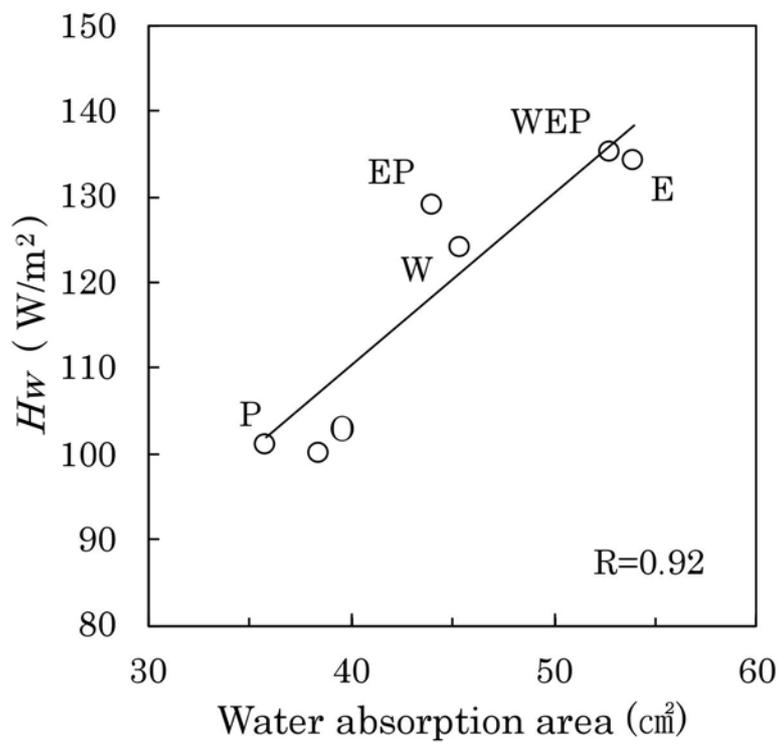


Fig. 1-7 Relation between wet heat loss H_w and water absorption area

と乾燥時間 Dt との関係を図 1-8 に示す. H_w と Dt の間には有意な負の相関がみられ, 潜熱損失量の大きい試料ほど外界への水分放散速度が大であり, 乾燥時間が短いことが明らかとなった. すなわち, 発汗時においても, 吸水性のみでなく, 吸湿性の寄与も明らかとなり, 親水性タイプのリン脂質ポリマーはもちろんのこと, 疎水性タイプのリン脂質ポリマーであっても卵殻膜加工との同時加工により温熱的快適性において重要な役割をもつことが明らかとなった.

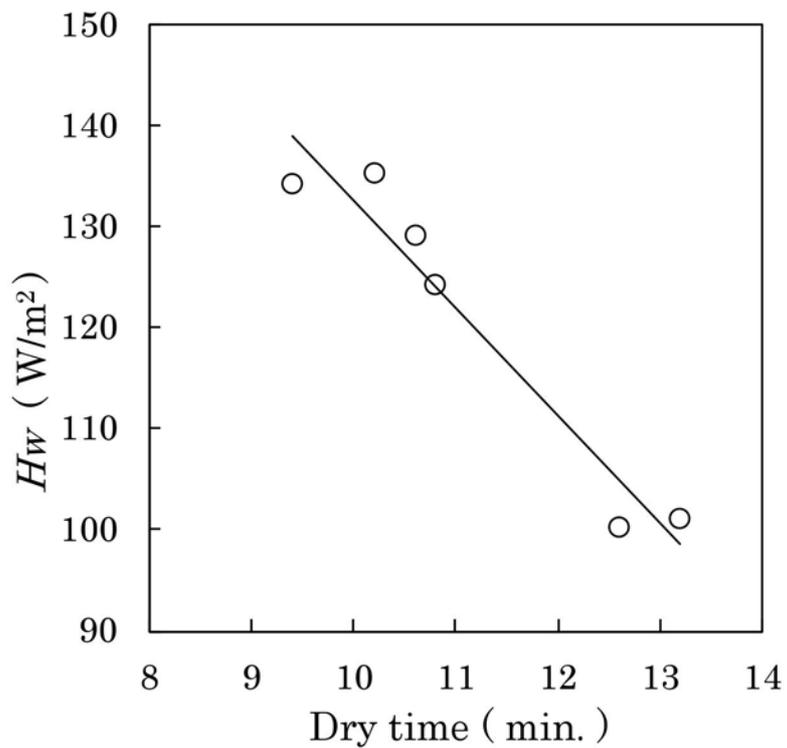


Fig. 1-8 Relation between wet heat loss H_w and drying time

4. 結 言

本章では、卵殻膜およびリン脂質ポリマーが温熱的快適性と密接に関係する熱・水分移動特性に及ぼす影響について検討した。なお、リン脂質ポリマーについては、生体組織内部を模倣した親水性タイプと、皮膚表面の角質層を模倣した疎水性タイプを用いた。

主な結果は、以下の通りである。

- 1) 吸湿性は、等温収着曲線においてシグモイド型を示し、高湿領域で急激に水分率が上昇し、卵殻膜付与試料群においては $WEP > E > EP$ の順に水分率が高かった。試料 **EP** では疎水性被膜が繊維表面を覆っているため水分率は、卵殻膜付与試料群の中で最も低かったが、その減少は大きなものではなかった。これに対して、試料 **P** および **W** の水分率は、繊維表面の加工剤被膜によりblank布よりやや低下した。
- 2) 吸水性は、卵殻膜を付与した試料の他、アニオン化ポリエステル樹脂により吸水加工を施した試料 **W** で吸水面積が大きく、 $E > WEP > W > EP$ の順に吸水性が高かった。試料 **EP** においては、脂質構造の影響により卵殻膜付与試料群の中で最も吸水性が低かったが、親水性タイプのリン脂質ポリマーでは高かった。
- 3) 不感蒸散シミュレーション実験において、水分率の高かった試料 **E** および **WEP** で模擬皮膚-布間の湿度上昇が遅く、湿度上昇の速かった試料 **O**, **W**, **P** と比べると、最大約 10%もの相対湿度差がみられた。試料間の平衡水分率の差が高湿領域で約 2%であったが、この程度の吸湿性の向上であっても着衣系におい

ては重要な意味をもつであろうことが示唆された。また、卵殻膜付与加工群において吸湿速度が速いことが明らかとなった。

- 4) 発汗シミュレーション実験では、吸水面積が大きい試料ほど潜熱損失量が大きく乾燥時間が速い傾向がみられ、吸水性の向上が重要であることが明らかとなった。しかし、試料 **EP** は吸水面積の割に潜熱移動量が大きいことから吸湿性もまた発汗時の潜熱移動量に影響を及ぼすことが明らかとなった。

以上のことより、卵殻膜加工は、吸湿性および吸水性を向上させることから、衣服内湿度の上昇を抑制し、発汗時の潜熱移動量が大きく乾燥時間が短いことが確認され、温熱的快適性に対して効果的であることが明らかとなった。リン脂質ポリマーについては、熱・水分移動の観点からは親水性タイプを用いることの必要性が確認された。しかし、リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）の使用であっても、卵殻膜加工との同時加工により、blank布（試料 **O**）以上の吸湿性および吸水性が認められ、温熱的快適性を向上させる効果があることが示唆された。

第2章 卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布が温熱的着用性能に及ぼす影響

1. 緒 言

卵殻膜は、主にたんぱく質からなり、約 20 種のアミノ酸で構成されているため、アミノ基やカルボキシ基が存在することを踏まえ、前章において、水分子との親和性に着目し、卵殻膜付与加工による親水性の向上を確認した。

親水性を付与した加工布は、水分特性、熱移動特性および着用性能に寄与するという報告が多々みられる。例えば、シルクプロテインを用いた座席シート表皮材の使用性能に関する研究では、加工人工皮革において吸湿性が向上し蒸れ感が低下したという報告³⁸⁾、吸湿性を付与した合成繊維で衣服内湿度の低下がみられたとの報告³⁹⁾、その他セリシン加工布の親水性の向上による着用性能への影響に関する研究^{18, 20)}などがある。前章の結果から、卵殻膜付与加工は、吸湿性および吸水性を向上させ、温熱的快適性に対して効果的であることが推察され、リン脂質ポリマーについては、親水性タイプを用いた場合に、より温熱性能を向上させることが明らかとなった。しかし、リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）であっても卵殻膜加工

との同時加工により温熱的快適性を向上させる効果があることが示唆された。

そこで、本章では、卵殻膜・リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）同時加工布を用いて T シャツを作製し、着衣実験を行い、衣服内の温湿度およびヒトの生理・生体反応への影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 試料

ポリエステル 90%/ポリウレタン 10%からなるトリコット編布（厚さ 0.646mm, 重さ 207.8g/m²）を原布として、卵殻膜加工を施した後に、リン脂質ポリマー加工を行った。原布を精練・乾燥（以後、これをブランク布とする）した後に、卵殻膜加工浴中に投入し、パディング処理（絞り率 93~99%）、105℃の飽和水蒸気中で 5 分間グラフト重合処理・固定化の後に 80℃の温水で洗浄、130℃で 2 分間乾燥を行った。上記の卵殻膜加工浴は、市販 PEG 系ジメタクリレートモノマー（有効成分 100%）6.0%、5 μ 卵殻膜パウダー（イデアテックスジャパン製、水分散体固形分 10%）3.0%、市販架橋剤（有効成分 40%）0.5%、市販アゾ系ラジカル重合触媒（有効成分 100%）0.1%、水 90.4%からなる。

その後、リン脂質ポリマー加工浴（市販リン脂質ポリマー水溶液（固形分 4%）5%、水 95%）中に投入し、パディング処理（絞り率 93~99%）、130℃で 2 分間乾燥後、150℃で 2 分間仕上げ加工・固

定化を行った。以降、この卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布を加工布と称する。

加工布の電子顕微鏡写真を図 2-1 に示す。卵殻膜パウダーが繊維表面に付着しており、その上をリン脂質ポリマーが覆っている様子を確認することができる。

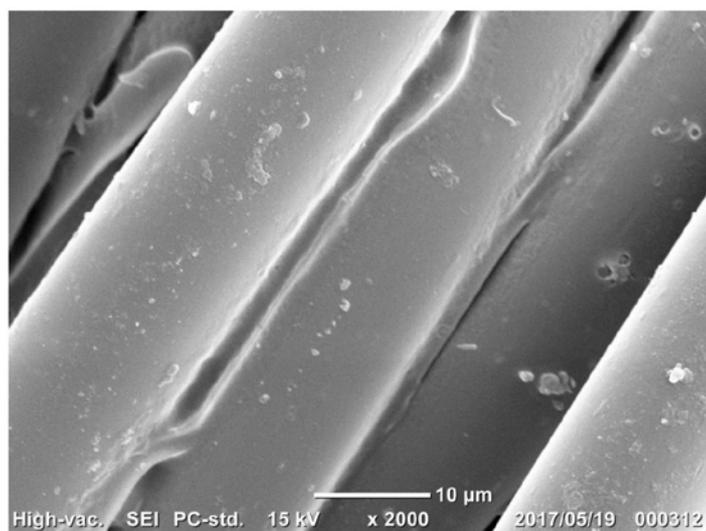


Fig. 2-1 An electron microscope photograph of the processed fabric

2.2 水分特性の測定

吸湿性を把握するために、試料布を 105°C で 3 時間乾燥してシリカゲルの入ったデシケータ内で放冷した後に絶乾重量を測定した。その後、 20°C 、 $65\%RH$ の恒温恒湿室内で 1 週間放置して水分率を算出した。次に、硫酸カリウム塩の過飽和水溶液の入ったデシケータ内 (20°C 、 $98\%RH$) に 1 週間放置後に重量測定して水分率を測定した。吸水性の測定にはバイレック法を用い、コース方向とウェール方向の吸水高さを経時的に各々 10 分間測定した。

2.3 熱・水分移動特性

サーモラボ II (株カトーテック製) を用いて、 20°C 、 $65\%RH$ の恒温恒湿室内で、熱板温度を 33°C に設定して、乾熱損失量および水分移動を伴う系での放熱挙動を測定した。測定方法の模式図を図 2-2 に示す。なお、試料布をベークライト板枠 (内寸 $10\text{cm}\times 10\text{cm}$) に取り付けて、試料の設置にバラツキが生じないように配慮した。

乾熱損失量 Hd の測定は、試料を熱板上に直接設置して行った。水分移動を伴う実験では、不感蒸散をシミュレーションして水蒸気移動のみを伴う系での実験 (以後、不感蒸散シミュレーション実験とする) および発汗をシミュレーションして液体水移動を伴う系での実験 (以後、発汗シミュレーション実験とする) を行った。

不感蒸散シミュレーション実験では、熱板上に湿潤させたろ紙 (水分率約 200%) を設置し、その上に 3mm ϕ の孔を 324 個 (計約 23cm^2) 開けた不透湿性のビニールシート、さらに液体水が試料に付着しないように透湿防水布を設置し、これを模擬皮膚とした。この模擬皮膚上に試料を設置して熱損失量 Hw を測定した。ここで、孔をあけ

たビニールシートは、水蒸気の放散を抑制するために設置した。

発汗シミュレーション実験では、前述の水蒸気が放散する模擬皮膚上に、マイクロシリンジで 0.4ml の液体水を熱板面にほぼ均等に 0.1ml ずつ 4 か所に分けて滴下し、その上に試料を設置した。汗に相当する水分が試料に吸収・濡れ拡がり、恒率乾燥期を経て減率乾燥期から乾燥に至る。この時の熱損失量 Hs および乾燥時間 Dt を測定した。

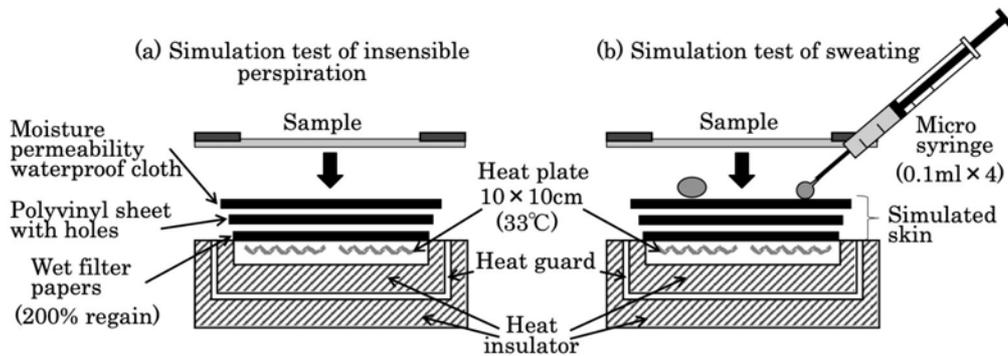


Fig. 2-2 Schematic diagrams of measurement of the heat and water transfer properties

2.4 着用実験

加工布とブランク布を用いて、丸首・長袖 T シャツを作成して着用実験に供した。20 歳代の健康な女性 8 名を被験者（年齢 21.6 ± 0.9 歳，身長 $156.1\pm 3.6\text{cm}$ ，体重 $48.3\pm 6.0\text{kg}$ ）とした。1 日に 1 種類の T シャツを着用し，生理周期およびサーカディアンリズムを考慮して，実験期間を卵胞期とし，被験者ごとに 2 日間同時刻帯に実験を行った。ブランクと加工 T シャツの着用順序は，被験者ごとにランダムとした。被験者の着衣は，実験用 T シャツの他，ひざ丈のズボン（ポリエステル 90%，綿 10%），靴下，シューズとし，これらは共通のものを用意した。ブラとショーツは各自のものとした。また，実験環境を温度 $28\pm 1^\circ\text{C}$ ，湿度 $45\pm 5\%\text{RH}$ とした。

プロトコルを図 2-3 に示す。実験室に入室後，各種測定センサーを身体各部に貼付した。実験準備を終えた後，5 分間椅座安静 - 15 分間歩行（ 4km/h で 2 分間， 6km/h で 13 分間） - 20 分間椅座安静とした（以降，各々を安静期，歩行期，回復期とする）。測定項目は，衣服内温湿度（胸部と背部），局所発汗量（胸部と背部），心電図，体温である。

衣服内温湿度の測定は，衣服内温湿度計（神栄㈱製 TRH-DM3）を用い，インターバル 2 秒とした。発汗計は ATMO CHART SS-100 II X（㈱ケーアンドエス製）を用い，心電図は MARQ(MQ16)（キッセイコムテック㈱製）を用いた。また，体温の指標として，熱流補償式体温計（テルモ㈱製コアテンプ CM-210）を前額に貼付して測定した。さらに，温冷感，湿潤感，快適感の主観評価を，図 2-3 中の ↓ 印の時間，すなわち歩行開始直前，歩行停止直後，回復期 10

分および 20 分後に SD 法 7 段階で行った。

なお,本研究は,京都女子大学臨床研究審査を受けて承認を得て,被験者に対しては十分配慮の上で実験を行った。

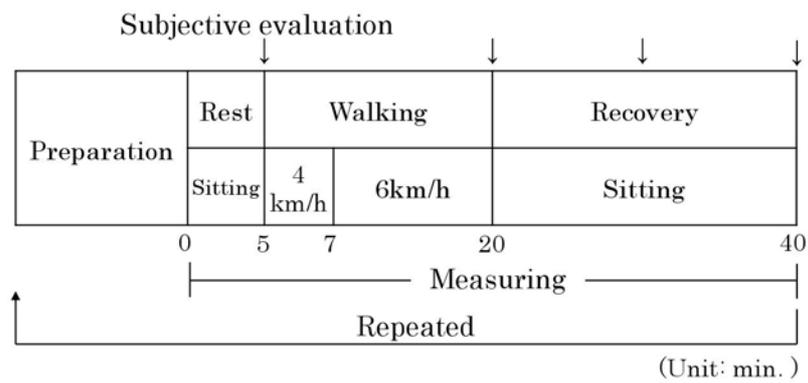


Fig. 2-3 Protocol for wearing tests

3. 結果および考察

3.1 水分特性

ブランク布および加工布の水分率を表 2-2 に示す。標準状態に比べ高湿状態において両布の水分率の差が大きくなり、ブランク布で 0.8%であったが、加工布では 2.9%にまで向上した。

また、バイレック法による吸水高さを図 2-4 に示す。30 秒、60 秒、180 秒、300 秒、420 秒、600 秒における、コース方向およびウェール方向の平均値を時間軸常用対数として示している。30 秒後における加工布の吸水高さは、ブランク布の 2 倍以上であったが、その後の吸水速度は両布ほぼ変わらなかった。600 秒後の吸水高さは、ブランク布 5.3cm、加工布 6.7cm であり、加工布の吸水性の向上が認められた。

Table 2-2 Moisture regain of samples

| Sample | Moisture regain (%) | |
|-----------|---------------------|-------|
| | 65%RH | 98%RH |
| Blank | 0.5 | 0.8 |
| Processed | 1.2 | 2.9 |

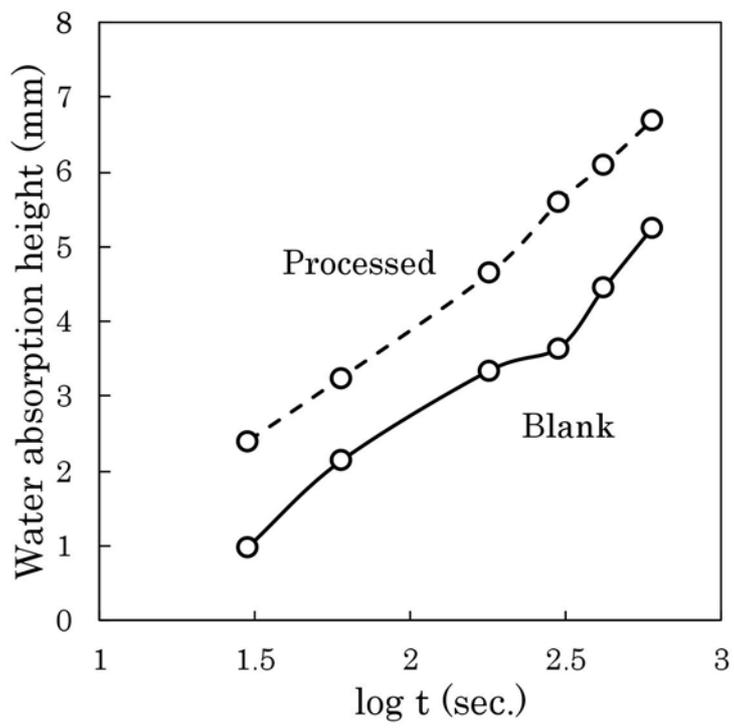


Fig. 2-4 Changes in water absorption height over time

3.2 熱・水分移動特性

結果を表 2-3 に示す。熱板上に設置した時の乾熱損失量 Hd は両布ともに 147W/m^2 であったが、不感蒸散シミュレーション実験における水蒸気移動を伴う系での熱損失量 Hw は、ブランク布で 255W/m^2 に対して、加工布では 262W/m^2 であり、 7W/m^2 の増加がみられた。乾熱損失量 Hd は両布ともに同じであるので、この増加は加工布の潜熱損失量の増加によるものと判断される。

いま、水の潜熱を 2430J/s として、水分蒸発量 $P\text{g}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ を(1)式により求める。

$$E = 2430 P \text{ -----(1)}$$

ここで、 E は加工布における潜熱損失量の増加量 (7W/m^2) とすると、 P は $2.88\times 10^{-3}\text{g}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ と算出される。これを 1 時間当たりの水分蒸発量に換算すると、加工布着用においてブランク布よりも約 10.4g/m^2 多い水分の蒸発があったと試算される。

また、発汗シミュレーション実験では、恒率乾燥期の熱損失量 Hs がブランク布の 295W/m^2 に対して、加工布で 318W/m^2 と 23W/m^2 の増加がみられた。

いま、体幹部が全体表面積の約 $1/3^{40)}$ とすると、 1.5m^2 の体表面積をもつ人のシャツで覆われた面積は 0.5m^2 となり、 $11.5\text{W}(=23\times 0.5)$ の熱量と試算される。そこで、この熱量が体温をどの程度下降させるに相当するのかを (2)式を用いて、 50kg の人の体温の場合で算出してみる⁴¹⁾。

$$E = \sigma \times Bw \times \Delta t \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 E は前述したように 11.5W であり、 σ は人体の比熱 3.472J/(g・°C)、 Bw は体重で 50000g なので、 Δt は 6.62×10^{-5} °C/s となる。これを 1 時間に換算すると、加工布の方がblank布より約 0.24°C/h 体温を下降させるに相当する放熱量の増加があると推察される。

なお、乾燥時間 Dt は、blank布で 42.0 分に対して、加工布で 32.2 分と約 10 分早く乾燥に至ることがわかった。これは、液体水がウィッキング性により濡れ拡がり乾燥有効面積が拡大したためと考えられる⁴²⁾。加工布におけるウィッキング性の向上が確認された。

Table 2-3 Heat and water transfer properties

| Sample | Dry heat loss | Simulation tests | | |
|-----------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|
| | | Insensible perspiration | Sweating | |
| | Hd (W/m ²) | Hw (W/m ²) | Hs (W/m ²) | Drying time (min.) |
| Nude | 171 | 292 | | |
| Blank | 147 | 255 | 295 | 42.0 |
| Processed | 147 | 262 | 318 | 32.2 |

3.3 衣服内温湿度および生理量への影響

結果については、安静期（0 - 5分）、歩行期（5 - 10分、10 - 15分、15 - 20分）、回復期（20 - 25分、25 - 30分、30 - 35分、35 - 40分）など各測定データを5分毎に平均して、各々の期を個別に有意差検定を行うとともに、全期通したデータを用いて加工布とブランク布の有意差検定を行った。

背の衣服内温度 T_{cl} を図 2-5 に示す。 T_{cl} は歩行開始直後に一旦低下した。これは歩行による衣服内の対流放熱に起因するものと思われる。その後、産熱の増大とともに T_{cl} は上昇し、運動停止直後の対流放熱の急激な減少とともに最大値を示し、その後に再び減少した。この間、全期で $p=0.043^*$ 、回復期では $p=0.035^*$ と有意に加工布の T_{cl} がブランク布よりも低かった。しかし、平均値および胸では両者の差は有意でなかったが、図 2-6 に示す胸と背の平均衣服内湿度（絶対湿度） W_{cl} では全期通して加工布で低く、特に回復期では有意（ $p=0.013^*$ ）に低い傾向がみられた。これらの結果は、不感蒸散シミュレーション実験および発汗シミュレーション実験において、ブランク布に比べて加工布で水分蒸発量が多く、乾燥時間が早かったことから裏付けられる。また、このことは吸湿・吸水性の高い布ほど衣服内の湿度が低いという先行研究の結果⁴³⁾と一致する。

時間経過に伴う局所発汗量 SW の胸と背の平均値を図 2-7 に示す。歩行開始約 5 分の潜伏期の後に発汗が増大し、両布の相違が顕れはじめ、回復期では加工布でブランク布に比べて SW が急速に減少した。全期では試料間の差は有意ではなかったが、回復期においては

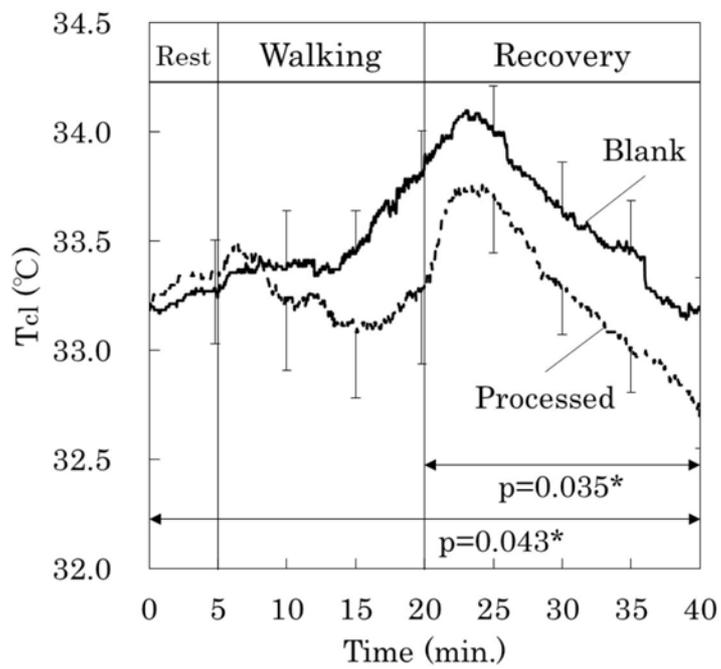


Fig. 2-5 Changes in the clothing temperature (T_{cl}) over time (Using the back data)

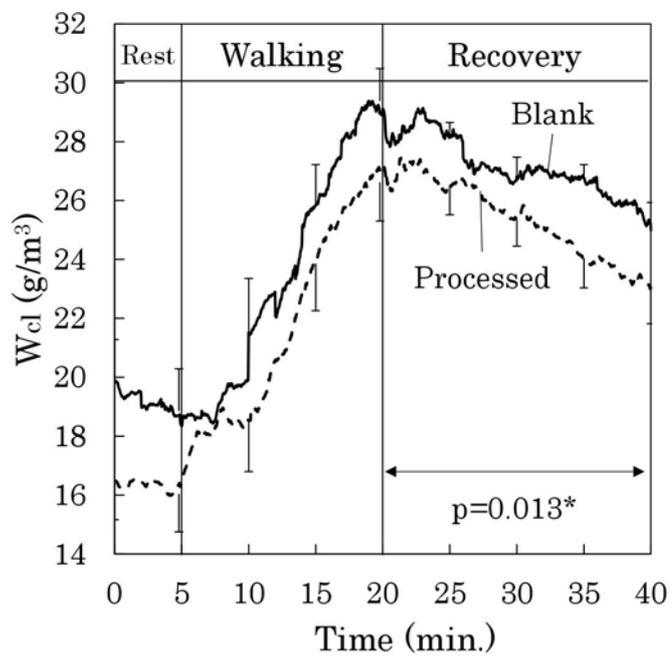


Fig. 2-6 Changes in the absolute humidity (W_{cl}) within clothing over time (Using the mean values of the chest and back data)

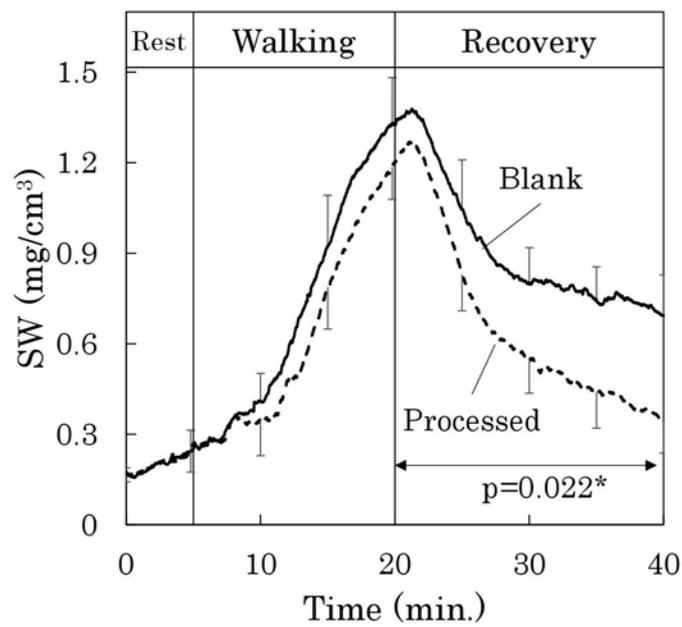


Fig. 2-7 Changes in sweat rate (*SW*) over time
 (Using the mean values of the chest and back
 data)

$p=0.022^*$ と有意に加工布で *SW* が低い傾向がみられた。

次に、心拍数 *HR* の結果を図 2-8 に示す。*HR* は運動停止直前には 120～130bpm まで上昇し、歩行期には加工布で *HR* がやや高い傾向がみられたが、有意なものではなかった。この運動強度を主観的運動強度 (Borg スケール)⁴⁴⁾ でみると、「楽である」と評価される程度であり、本章での歩行の運動強度が高いものでなかったことも両布の相違を捉えられなかった理由の一つと考えられる。

一方、心拍数にまで有意な効果を与えるには加工布にさらなる親水性をもたせる必要があることが示唆された。

なお、本章では体温の指標として、熱流補償式体温計を用いて前額で測定したが、測定開始時に非常に時間がかかり、どの時点で深部温と平衡に至ったのかを判断することが難しかった。加工布が人体生理反応にどのような影響を及ぼすのかを判断するためには非常に重要な項目であると考えられたが、不確定要素が大きかったと判断し、今回の解析から除外した。

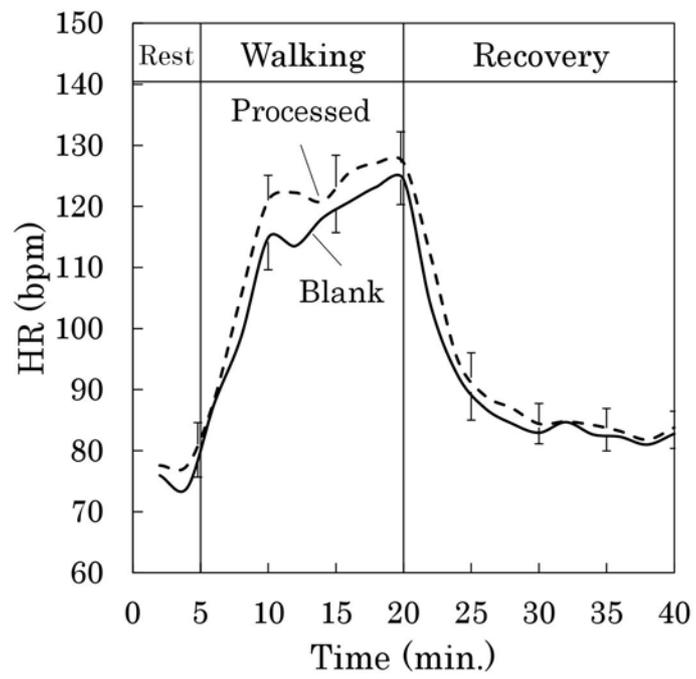


Fig. 2-8 Changes in the heart rate (HR) over time

3.4 主観評価への影響

温冷感，湿潤感，快適感の評価結果を図 2-9 に示す．温冷感や快適感では有意差はみられなかったが，湿潤感では加工布において有意 ($p=0.023^*$) に評価が高く，実験を通して乾いている方向に評価され，時間経過に伴って両布の相違が大きくなる傾向がみられた．この結果は， Wcl や SW の変化挙動と一致していた．

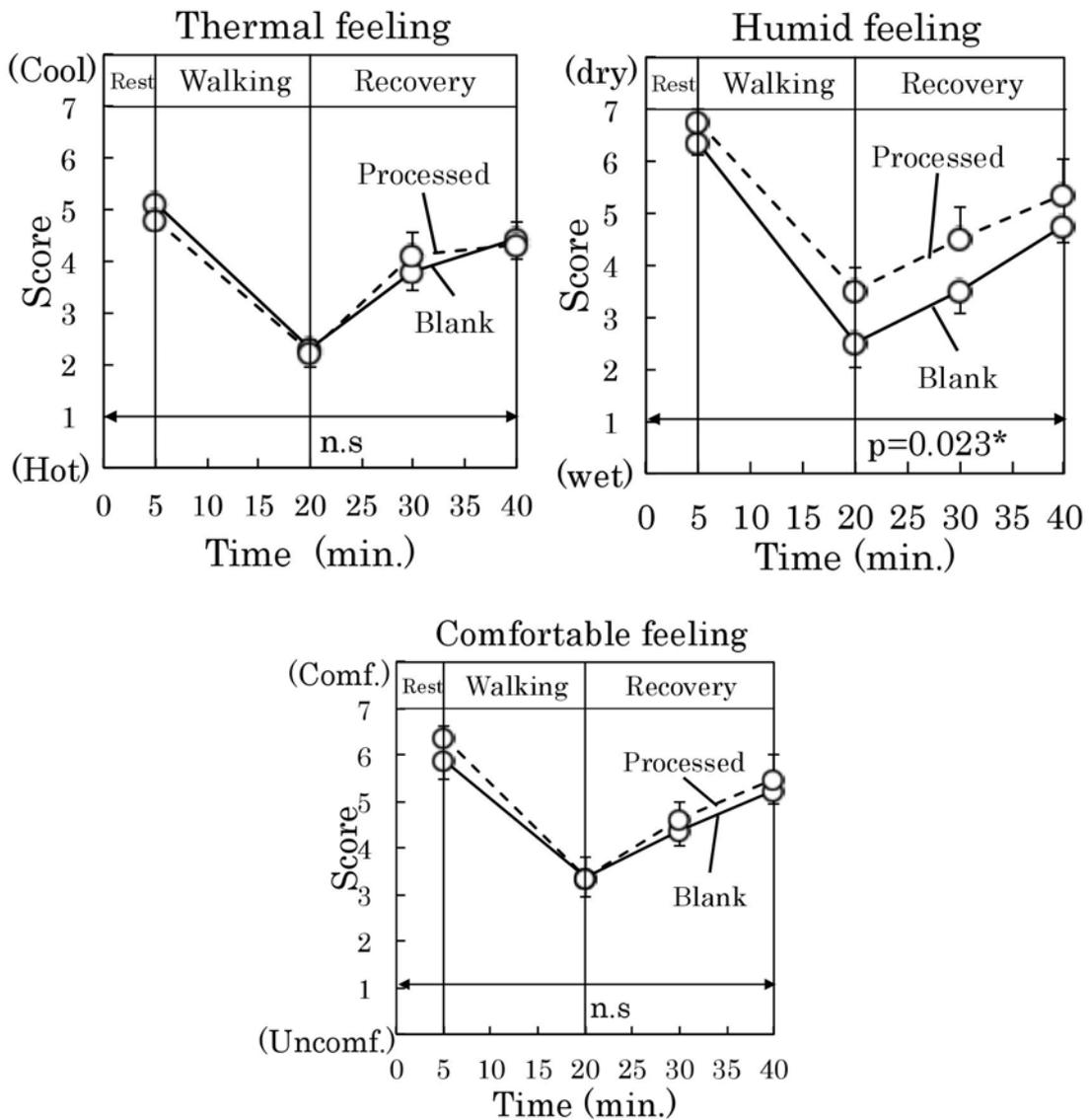


Fig. 2-9 Subjective evaluations

3.5 衣服内温湿度および生理量項目間の関係

心拍数 HR , 発汗量 SW , 衣服内温度 Tcl , 衣服内湿度 (相対湿度) Hcl , 衣服内湿度 (絶対湿度) Wcl について, 被験者個々に各測定データを 5 分毎に平均したデータを用いて, 相関分析を行った. 結果を表 2-3 に示す.

有意な相関係数に着目してみると, 安静期に比べて, 歩行期および回復期で有意な相関係数が多くみられる. これは発汗が生じた後に衣服素材の影響があらわれ, 測定項目間の関係性が出始めるためと考えられる. また, 全期通して, 当然のことながら Hcl と Wcl の相関が高かった.

安静期においては, Tcl と HR , Tcl と Hcl の間に負の相関がみられた. これは, Tcl が高くなるほど飽和水蒸気圧が高くなるため相対湿度 Hcl が低下し, Hcl が低下すると HR も低下するという関係にあると考えられたが, 全体的には測定項目間の相関関係は弱かった.

歩行期においては, $Hcl \cdot Wcl$ と SW との間に正の相関がみられ, Hcl と HR , SW と HR の間においても正の相関がみられた. すなわち, 歩行期においては, 発汗により衣服内の湿度が上昇すると, 皮膚面からの水分蒸発が減少するために潜熱移動量が減少し, 歩行によって増大した産熱の放散が円滑でなくなり, さらに発汗量および心拍数が増大するという生理的メカニズムが働いたものと考えられる. なお, 個人別データを用いた測定値間の相関では, 歩行期において Wcl に比べて Hcl でより生理項目との相関性が強いことがわかった. しかし, いずれにしても発汗を伴う場面においては, 衣服

内の湿度が人体生理に影響を及ぼす重要な要因であることが示唆された。

回復期では、*Hcl*・*Tcl*と *SW*との間に正の相関がみられ、また、*Tcl*と *HR*との間に、*SW*と *HR*の間にも正の相関がみられた。回復期においては、相関係数の高さが歩行期よりも全体にやや減少する傾向がみられた。また、歩行期では衣服内の湿度 *Hcl*と *HR*および *SW*との関係性が強かったが、回復期では衣服内の温度 *Tcl*との関係性が強くなる傾向がみられた。

Table 2-3 Correlation coefficients between the measurement items

| Period | | HR | SW | Tcl | Hcl | Wcl |
|----------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|
| Rest | HR | — | | | | |
| | SW | 0.22 | — | | | |
| | Tcl | -0.52* | 0.08 | — | | |
| | Hcl | 0.30 | 0.14 | -0.46* | — | |
| | Wcl | -0.04 | 0.26 | -0.31 | 0.72** | — |
| Walking | HR | — | | | | |
| | SW | 0.53** | — | | | |
| | Tcl | 0.09 | 0.18 | — | | |
| | Hcl | 0.51** | 0.51** | -0.12 | — | |
| | Wcl | 0.19 | 0.52** | -0.29 | 0.69** | — |
| Recovery | HR | — | | | | |
| | SW | 0.46** | — | | | |
| | Tcl | 0.39* | 0.54** | — | | |
| | Hcl | 0.03 | 0.41** | 0.36* | — | |
| | Wcl | 0.13 | 0.33 | -0.02 | 0.54** | — |

4. 結 言

本章では、卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布の温熱的着用性能について、着用実験を通して生理・生体反応の影響を明らかにした。また、素材の水分特性、不感蒸散および発汗シミュレーション実験から考察した。

その結果、加工布の親水性（吸湿性、吸水性）の向上が認められ、不感蒸散ならびに発汗シミュレーション実験においては水分蒸発量の増大と潜熱移動量の増大がみられた。

着用実験においては、全被験者平均でみた場合、衣服内の温湿度の低下と発汗量の低下がみられ、特に回復期において有意差がみられた。しかし、運動負荷が低いことも一因して、加工の効果は心拍数にまで影響を与えるものでなかった。

一方、被験者個々の各測定データの 5 分間毎の平均値を用いて、測定項目間の相関分析を行ったところ、歩行期には衣服内の湿度が発汗量および心拍数と有意な相関をもち、回復期には衣服内の温度がこれら生理量に有意な相関をもつことがわかった。また、主観評価においては、加工布で湿潤感が有意に低下したが、温冷感や快適感では有意差はなかった。

以上、加工布の親水性の向上がおおむね温熱的着用性能の優位性に繋がったと判断されたが、心拍数や温冷感および快適感にまで効果をもたらすほどでなかったことから、さらなる親水性の向上が必要であると思われた。

第3章 卵殻膜・リン脂質ポリマー 同時加工布がヒトの皮膚性状に 及ぼす効果

1. 緒 言

ワニやゾウなど体毛のない動物の皮膚は硬いのが一般的であるが、常に衣服を纏っているヒトの皮膚は薄くて弱い。工業化が進展する中で増加した大気汚染物質がアトピー性皮膚炎を引き起こすともいわれている⁴⁵⁾。厚生労働省の発表によるとアトピー性皮膚炎患者数は456,000人であり、若齢者に多く増加傾向にある⁴⁶⁾。また、空調設備による乾燥性皮膚炎や種々の化学物質による皮膚炎など旧来に比べて増加している。

一方、高齢化が進む中、皮膚の乾燥が引き起こす老人性乾皮症、老人性皮膚掻痒症などの皮膚トラブルが問題となっている。高齢者の皮膚の水分量は、若齢者よりも約30%低下するといわれており⁴⁷⁾、皮膚の保水機能に関わるセラミドの生成低下と、皮脂の分泌減少による皮膚疾患に悩む人は多いのが現状である。

従来の研究において、諸岡ら³²⁾は、卵殻膜加工布が皮膚性状に及ぼす影響を検討し、向寒期に、乾燥肌に向かう皮膚をもつ人にとっては皮表角層水分量の減少を抑制する効果があったと報告している。

卵殻膜はコラーゲンに多く含まれるアミノ酸を含有しており、Maeda ら²⁸⁾ は創傷・火傷治癒に効果的であると報告しており、また、卵殻膜を添加した培地と未添加培地を用いた実験からコラーゲンの総量や皮膚の弾力性に起因するⅢ型コラーゲンが増加するという報告などがみられる^{30, 31)}。

また、リン脂質ポリマーは、細胞膜を構成する物質の一つであり、肌への密着力が高く、親水基と疎水基をもつため、水と油をなじませる乳化作用があり、肌の水分と皮脂をなじませて皮脂膜を作る手助けをすることが期待される。城井ら⁴⁾ は、皮膚表面に塗布した場合に、バリア性能と保湿性能を示すなど皮膚保護効果をもつことを明らかにしている。

本章では、より保湿効果の高い加工を提案することを目的に、卵殻膜とリン脂質ポリマーの同時加工布を用いてアームカバーを作成し、20歳代から60歳代までの女性を被験者として装着実験により皮膚性状への影響を明らかにした。

2. 加工方法

ポリエステル 90%ポリウレタン 10%からなるトリコット編布(厚さ 0.646mm, 重さ 207.8g/m²) を原布とした。加工方法は前章と同様であり、以下のように行った。

原布に対して精練・乾燥のみを行った未加工布(以後、ブランク布とする)を、卵殻膜加工浴中に投入し、5分間グラフト重合処理・固定化の後に 80℃の温水で洗浄、130℃で2分間乾燥を行った。そ

の後，リン脂質ポリマー加工浴中に投入し，パディング処理（絞り率 93～99%）した後に，130℃で 2 分間乾燥，150℃で 2 分間仕上げ加工・固定化を行った．各加工浴レサイプを表 3-1 に示す．加工布の電子顕微鏡写真は，第 2 章図 2-1 に示すとおりであり，卵殻膜パウダーとリン脂質ポリマーの繊維表面への付着が確認されている．

20℃65%RH および 20℃98%RH における水分率は，ブランク布で 0.5%，1.2%であり，加工布で 0.8%，2.9%と，加工布で水分率の向上がみられた．

Table 3-1 Recipes of treatment liquids of the eggshell membrane (EM) and the phospholipid polymer (PP)

| EM recipe | Concentration (wt%) |
|----------------------------------|---------------------|
| PEG-based dimethacrylate monomer | 6.0 |
| Eggshell membrane (EM) powder | 3.0 |
| Binder | 0.5 |
| Radical polymerization catalyst | 0.1 |
| Water | 90.4 |
| PP recipe | Concentration (wt%) |
| Phospholipid polymer (PP) | 5.0 |
| Water | 95.0 |

3. アームカバー装着実験

3.1 被験者

被験者は 20 歳代 14 人，40-50 歳代 3 人，60 歳代 3 人の計 20 人の女性とし，長さ 12cm のアームカバーを装着させた．被験者には，どちらかわからないように，一方の上腕にブランク布，他方に加工布のアームカバーを装着させ，1 日 8 時間以上装着するように要請した．洗濯は基本的に温湯による振り洗いとし，洗剤による影響を避けるようにした．装着期間は，向寒期である平成 28 年 10 月中旬～12 月上旬の間の 7 週間である．

被験者の皮膚性状に関する自己申告を表 3-2 にまとめている．20 歳代では，顔などにニキビや吹き出物が発症すると回答すると同時に，乾燥肌であると回答している割合が非常に多かった．40-50 歳代でも全員が乾燥肌であると回答しているが，60 歳代では 3 人中 1 人のみが乾燥肌であると回答していた．

卵殻膜は，卵アレルギーのある者であってもアレルギーを発症しないことを，日本産業皮膚衛生協会への依頼試験（パッチテスト）により確認されているが，本実験を開始するにあたり，被験者の前腕部に試験片を 24 時間以上貼付し，皮膚疾患が生じないことを確認の上，慎重に実験を行った．なお，本研究は，京都女子大学臨床研究審査を受けて承認を得て，被験者に対しては十分配慮の上で実験を行った．

Table 3-2 The self-reported skin properties of subjects

| Subject | Age | Area of skin trouble | Subjective feeling of skin |
|---------|-----|---|----------------------------|
| A | 21 | | Not dry |
| B | 21 | face, posteriors of knees, inner side of elbows | Dry |
| C | 21 | face | Somewhat dry |
| D | 21 | face, neck | Dry |
| E | 21 | face, legs | Dry |
| F | 21 | face | Dry |
| G | 22 | face, back, elbows, posterior of knees | Dry |
| H | 22 | | Not dry |
| I | 22 | forehead | Dry |
| J | 22 | legs | Somewhat dry |
| K | 22 | | Dry |
| L | 22 | elbows, fingers, lower legs | Dry |
| M | 24 | back | Oily |
| N | 26 | | Dry |
| O | 44 | arms, inner side of elbows | Dry |
| P | 45 | elbows | Somewhat dry |
| Q | 53 | legs, arms | Dry |
| R | 60 | loin, tightened portion | Not dry |
| S | 66 | neck, loin, ankles | Not dry |
| T | 67 | loin, trunk of the body, upper arm | Dry |

3.2 皮膚性状の測定

被験者を 20°C, 65%RH にコントロールした恒湿恒温室に入室させ、測定部位を 15 分間暴露させた後に、上腕外側部で皮膚性状の測定を行った。皮膚性状を判定する項目として、皮表角層水分量（以降、水分量）、経表皮水分蒸散量（以降、蒸散量）および皮膚の弾性回復（以降、弾性回復）を測定するとともに、皮膚レプリカによる判定と主観評価を行った。

水分量、蒸散量、弾性回復の測定は、Cutometer MPA 580（Courage+Khazaka electronic GMBH 社製）を用いて、1 週間に 1 度の割合で測定を行った。水分量の測定には、Corneometer CM825 用プローブを用い、左右各 20 回測定を行った。これは、プローブの先端にある電極が皮膚に電解を発生させ静電容量を計測することによって測定するものである。蒸散量の測定には、プローブの先端の円筒内部に 2 組の高感度温度・湿度センサーが配置され、各センサーを通過する水分の温度差・湿度差から蒸散量を算出する Tewameter TM300 用プローブを用いて、左右各 3 回ずつ測定を行った。弾性回復の測定には、Cutometer SEM580MPA 用プローブを用いた。これは、皮膚表面にプローブを密着させ、プローブにある 2mmΦ の孔で 2 秒間、皮膚を徐々に陰圧を上げながら吸引し、解除した後の皮膚の戻りを測定するものであり、各 5 回測定を行った。

皮膚表面のレプリカの採取は、アームカバー装着 0 日目および実験最終日に行った。スンプ法³⁰⁾を用い、スンプ板にアセトン液を均一に塗り、乾かないうちに測定部の皮膚表面に押し当て、液が乾く

のを待ってから、皮膚から剥離・採取して写真撮影を行った。

また、皮膚の性状を「つるつるーざらざら」感として主観評価を行わせた。各被験者には、左右の上腕測定部を触りながら比較評価するよう、また経日変化を捉えて評価するよう要請した。

4. 結果および考察

4.1 水分量への影響

20 歳代、40-50 歳代、60 歳代と年代別に平均値を算出し、装着日数（週）に伴う水分量の変化を図 3-1 に示す。60 歳代において、2～6 週間で加工布の方がblank布より水分量が若干高くなる傾向がみられるが、他の年齢層では両者の相違はほとんどみられなかった。着装 4～7 週目の平均水分量においても両者の水分量の差はほとんどみられなかった。

一方、加齢するほど水分量が減少するといわれているが、本研究においては、水分量の多い順に、60 歳代 > 20 歳代 > 40・50 歳代であった。

高齢者では、角層細胞の中の天然保湿因子（NMF）と呼ばれる水溶性低分子物質の減少や、顆粒層中のケラトヒアリン顆粒が小さく、構成成分のフィラグリンも少ないことからアミノ酸量が減少し、水分量が少なくなり乾皮症が発生する人が多くなると報告されている⁴⁸⁾。本章で用いた被験者は 60-67 歳であったが、若齢者に比べて水分量が低いという現象はみられなかった。

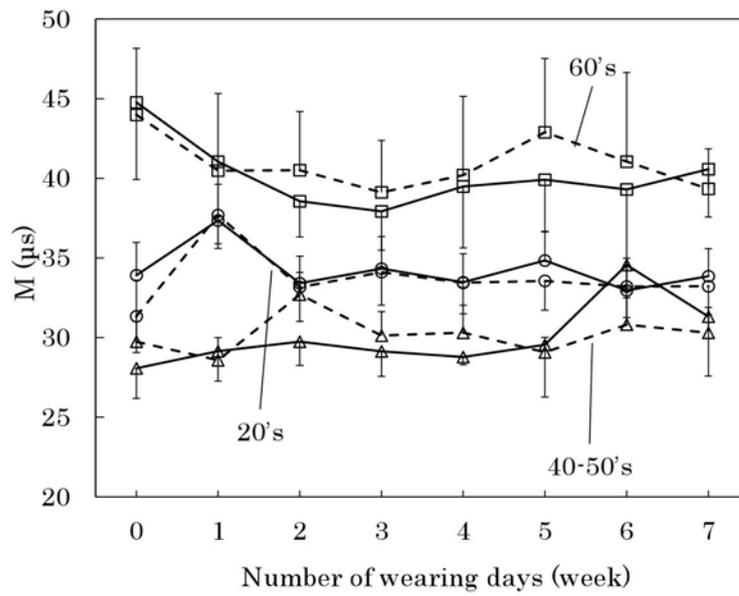


Fig. 3-1 Changes in the water content of the stratum corneum (M)

○: 20's, △: 40-50's, □: 60's. The solid and the dotted line denote the blank and the processed fabric, respectively.

4.2 蒸散量への影響

アームカバー装着日数における年代別の平均蒸散量を図 3-2 に示す。40-50 歳代の 4 週目で加工布の蒸散量が極端に減少しているものの、blank布と加工布はほぼ同様の変化を示しながらも、すべての年齢層において、blank布に比べて加工布で蒸散量が少なく、その傾向は装着日数が増加するごとに拡大する傾向がみられた。

そこで、4~7 週目の蒸散量の値を平均して年齢層ごとに図 3-3 に示した。前述の通り、どの年齢層においても加工布での蒸散量がblank布よりも少なく、加齢するにつれて両者の相違が大きくなる傾向がみられた。二元配置分散分析の結果、加工の有無および年齢層間でそれぞれ有意差 ($p<0.05$) が認められ、加工の効果が認められたが、交互作用はみられなかった。しかし、年齢層を要因とする一元配置分散分析の結果、blank布では有意差は認められなかったが、加工布において $p<0.05$ で有意差が認められ、加齢するにつれて効果が大きいことがわかった。

また、多重比較法として対応のある t 検定を行った結果、60 歳代では有意に加工布装着で蒸散量の減少が認められた ($p<0.01$) が、20 歳代および 40-50 歳代では有意でなかった。しかし、40-50 歳代においては図 3-4 に示すように、多少変動がみられるものの、前述と同様に、装着日数の増加とともに 3 人全員でblank布に比べて加工布で蒸散量が少なくなる傾向がみられた。20 歳代では加工布 < blank布が 10 人、加工布 = blank布が 1 人、blank布 < 加工布が 3 人であった。効果がみられなかった 3 人の被験者の理由については不明であるが、若齢者における加工の効果は低かったとい

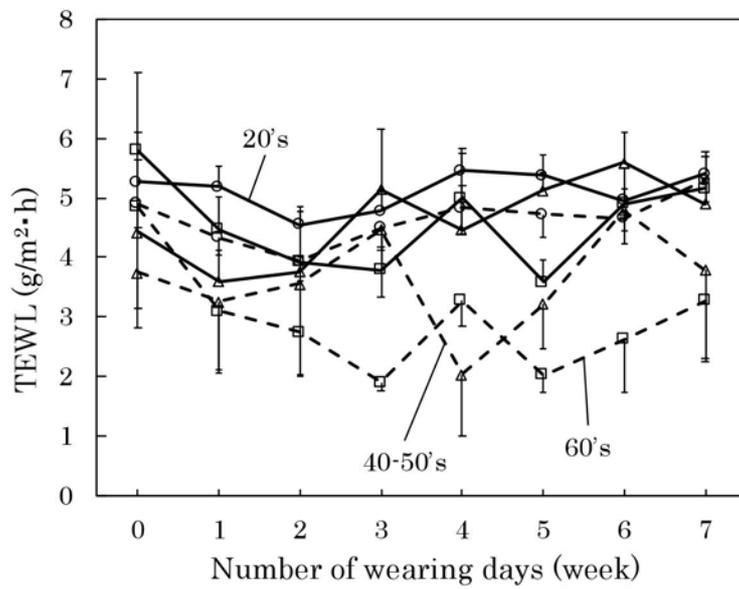


Fig. 3-2 Changes in the transepidermal water loss (TEWL)

(○ : 20's, △ : 40-50's, □ : 60's. The solid and the dotted line denote
 the blank and the processed fabric, respectively.)

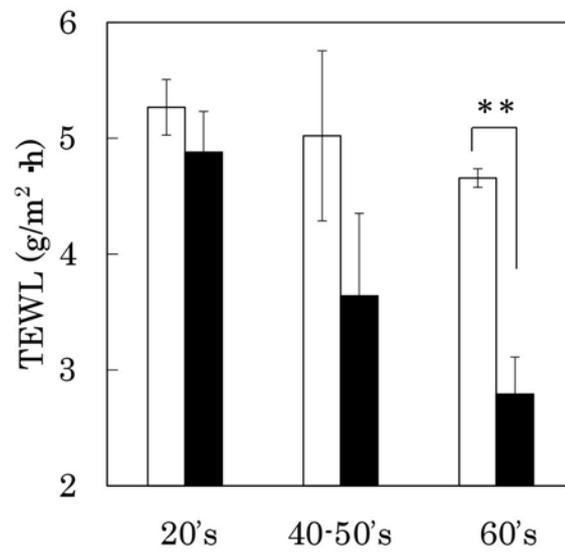


Fig. 3-3 Average values of the transepidermal water loss (TEWL) from 4th to 7th week.

(The white and the black denote the blank and the processed fabric, respectively.)

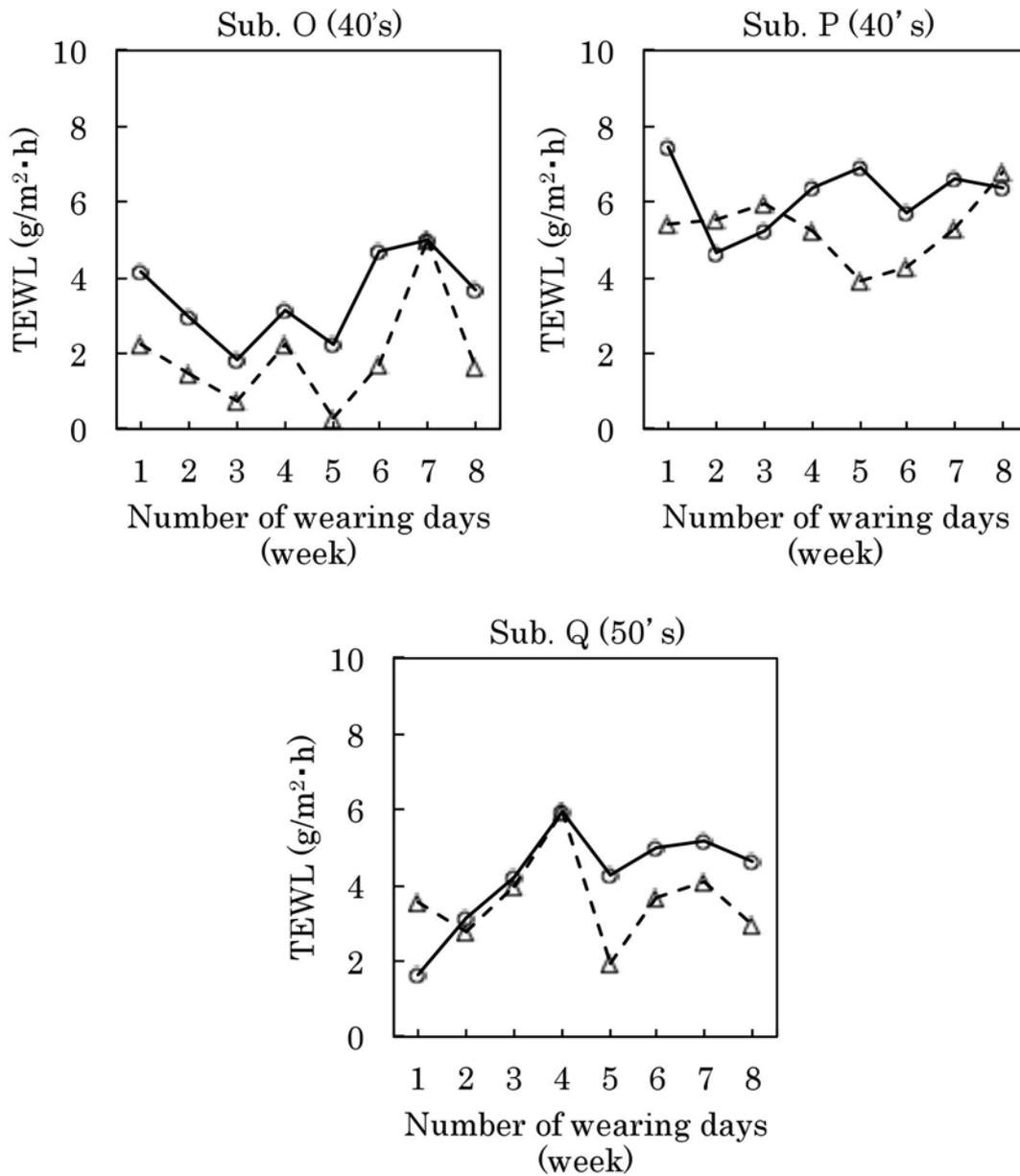


Fig. 3-4 The transepidermal water loss (TEWL) in 40's-50's

{

 The solid and the dotted line denote the blank and the
 processed fabric, respectively.

}

える。

表皮は外来性の様々な微生物や化学物質の侵入を防ぎ，下層からの水分蒸散を防ぐ役割を果たしている．特に，角質層には細胞間脂質が存在し，水分蒸散を防ぐバリア機能を果たしている．蒸散量の低下はバリア機能の増大を意味すると考えられる．すなわち，加齢に伴って皮脂の分泌と細胞間脂質の低下が顕著になるという従来の知見から^{30, 31)}，加齢するにつれて加工の効果が高くなる傾向を示したと推察される．この要因として，繊維表面にコーティングされたリン脂質ポリマーが皮膚の水分と皮脂をなじませて皮脂膜を形成した結果と推察され，細胞間脂質が低下した中高齢者に対して大きな効果を示したと考えられる．

4.3 弾性回復への影響

測定の一例を図 3-5 に示す．皮膚を 2 秒間吸引した時の最大吸引高さ（皮膚の伸び）を U_f ，吸引解除 0.2 秒後の変形からの戻りを U_r としたときの U_r/U_f を本研究では弾性回復と定義した．

年代別の平均弾性回復における経日変化を図 3-6 に示す．20 歳代 > 40-50 歳代 > 60 歳代と加齢するにしたがって弾性回復が低下していることが明瞭であり，二元配置分散分析の結果，年齢層間に有意差 ($p < 0.01$) があった．しかし，加工の効果はみられなかった．また，どの年齢層においても装着 4 週目以降において加工布でブランケット布よりも高くなる傾向がみられたが，4~7 週目の平均値を用いた t 検定において有意差はみられなかった．しかし，水分量の結果と同様に，40-50 歳代および 60 歳代では全員で弾性回復の向上がみられたが，20 歳代では 14 人中 11 人であり，若齢者における加工の

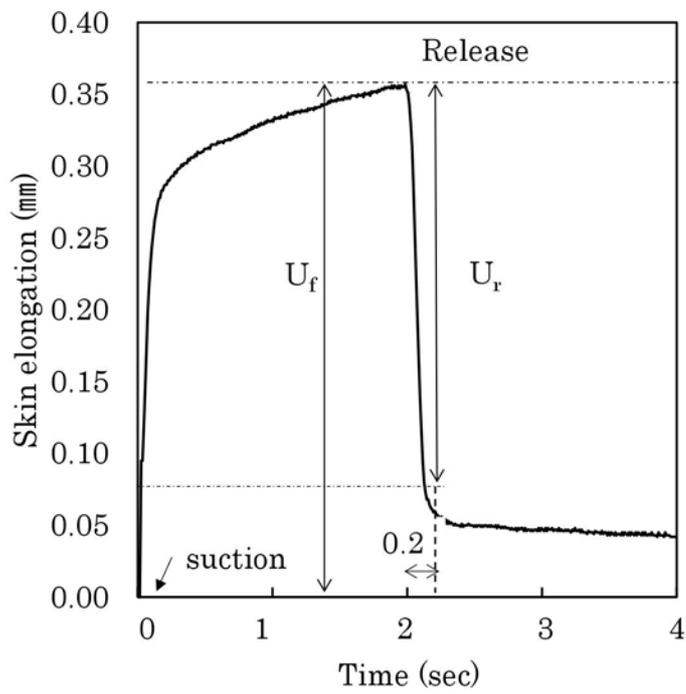


Fig. 3-5 A measurement example of elastic recovery of skin

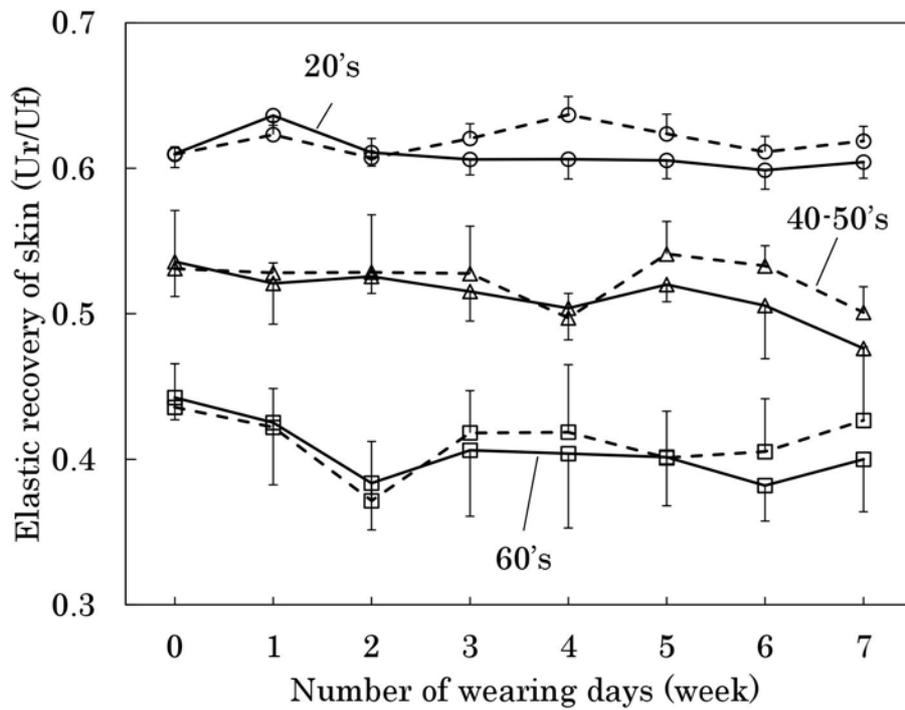


Fig. 3-6 Changes in the elastic recovery of skin (Ur/Uf)

(○: 20's, △: 40-50's, □: 60's. The solid and the dotted line denote the blank and the processed fabric, respectively.)

効果はやや低かった。

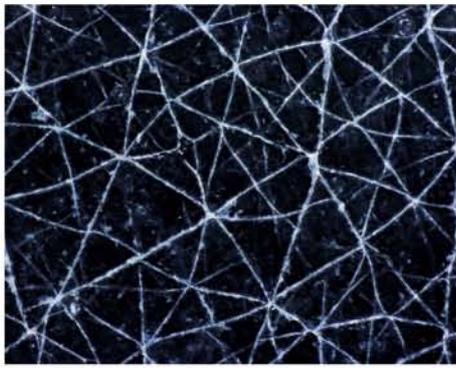
卵殻膜は皮膚の弾力に起因するⅢ型コラーゲンを増加させるとの期待があったが、有意な効果はみられなかった。しかし、装着期間後半頃から加工の有無の差が見られ始めることから、さらに長期の着用に関しても確認する必要があると考えられた。

4.4 皮膚レプリカにおける肌荒れ判定

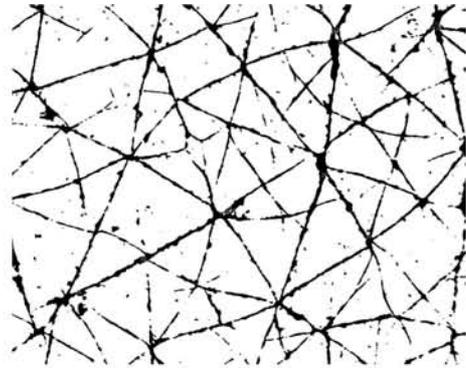
採取したレプリカをデジタルマイクロスコープ VH5500 (㈱キーエンス)にて画像化し、粒子解析 Ver.3.5(日鉄住金テクノロジー㈱)を用いて二値化処理を行った。前処理条件として、メディアンフィルター(設定値 5)、不要粒子削除および穴埋め処理を行った後に自動二値化を行った。

図 3-7 にレプリカ画像および自動二値化処理後の画像の一例を示している。自動二値化処理後、皮溝および剥離した角質は黒くなる。すなわち、肌荒れで皮溝深化した場合や角質の剥離が多くなった場合には黒い部分の面積が増加する。そこで、最終装着日の値から 0 日目の値を差し引いた値を肌荒れ率と定義して、図 3-8 に示している。

二元配置分散分析の結果、加工の効果はみられなかったが、ブランク布における肌荒れ率は、加齢とともに増加傾向を示し、いずれの年齢層においてもブランク布に比べ加工布装着で肌荒れ率が減少する傾向がみられた。蒸散量の結果と同様に、60 歳代の被験者により明瞭な結果が得られたが、危険率は 10.5%であった。



(a) Replica image



(b) Image after binarization processing

Fig. 3-7 An example of image before and after binarization processing

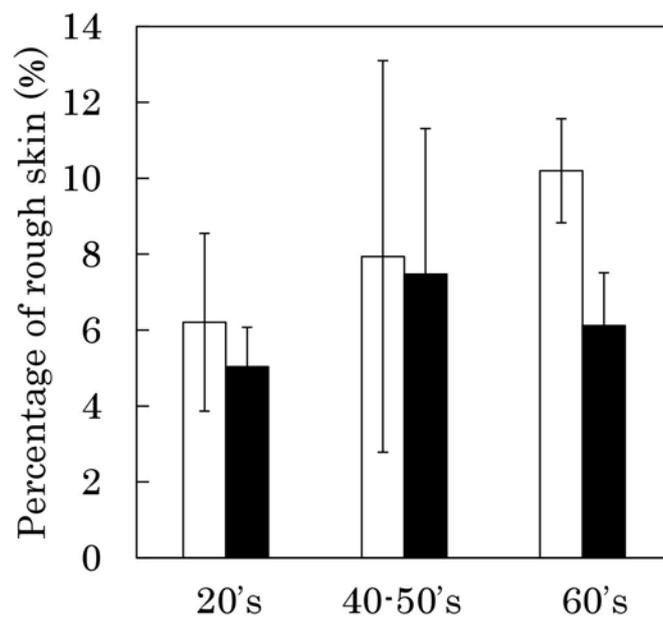


Fig. 3-8 Percentage of rough skin

[The white and the black denote the blank fabric]

4.5 主観評価への影響

最終日における「つるつる-ざらざら」の主観評価値の年齢層別の平均値を図 3-9 に示す。いずれの年齢層においても加工布でblank布より評価が高い傾向がみられたが、有意差はみられなかった。しかし、blank布側と加工布側のどちらが高い評価を得たかを調べた結果、加工布<blank布が 1 人、blank布=加工布が 9 人、blank布<加工布が 10 人であり、約半数程度の被験者で高評価が得られた。わずかによい傾向を示したものの、ほぼ同程度と回答したのも約半数あったことは、アームカバーの装着面積が少なく判断が難しかったことや、装着期間が 7 週間と短かったことなども関与していると推察された。

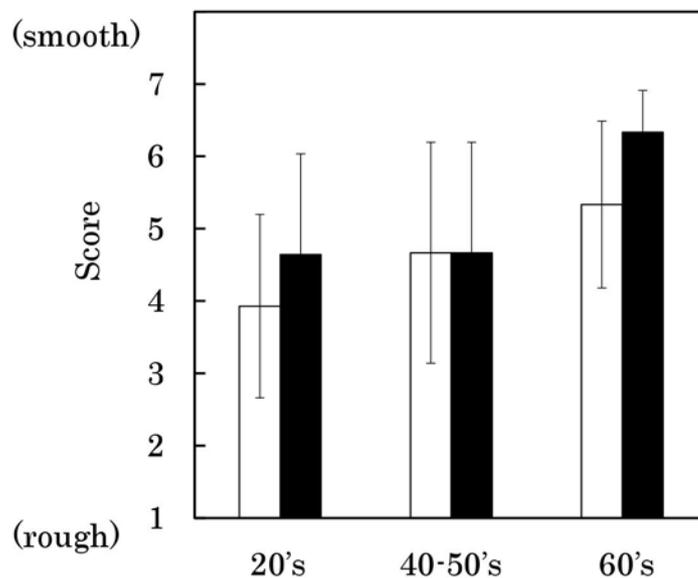


Fig. 3-9 The subjective evaluation of skin

(The white and the black denote the blank and the processed fabric, respectively.)

5. 結 言

本章では,皮膚性状により効果的な加工を提案することを目的に,卵殻膜とリン脂質ポリマーの同時加工布を用いてアームカバーを作成し,20歳代から60歳代までの女性20人を被験者として皮膚性状への影響を明らかにした.

結果はすべて,二元配置分散分析を行った後,多重比較として繰り返しのあるt検定を行った.水分量においては,60歳代において2~6週間で加工布の方がblank布よりも若干高くなる傾向がみられたが,他の年齢層では両者の相違はほとんどみられなかった.蒸散量については,二元配置分散分析の結果,加工の有無および年齢層間それぞれにおいて有意であり,どの年齢層においても加工布でblank布よりも蒸散量が少なく保湿効果が認められた.また,その効果は,加齢するにつれて高くなり,60歳代では危険率1%で有意であった.弾性回復については,装着4週目以降において,どの年齢層においてもblank布より加工布で高くなる傾向がみられた. blank布における肌荒れ率は,加齢とともに増加傾向を示したが,いずれの年齢層においても加工布装着で肌荒れ率が減少する傾向がみられたが,弾性回復とともに肌荒れ率についても加工の効果は有意でなかった.4週目~7週目の平均主観評価値においても,約半数の被験者で加工布の方が高かったが,他の半数は同程度と回答し,加工が主観評価に及ぼす影響は小さかった.

結 論

本研究では、着用時の温熱的快適性ととともに皮膚性状の向上の双方を訴求して、卵殻膜加工とリン脂質ポリマー加工を同時に行い、その機能性を明らかにすることを目的とした。

第1章では、基礎研究として、合成繊維からなるトリコット編布に、卵殻膜加工、リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）加工、卵殻膜・リン脂質ポリマー（疎水性タイプ）同時加工、吸水加工、卵殻膜・リン脂質ポリマー（親水性タイプ）同時加工を行い、ブランク布を含めた各試料布の水分特性（吸湿性、吸水性）および熱・水分移動特性を検討した。

その結果、吸湿性は卵殻膜付与加工群で高く、中でも卵殻膜・リン脂質ポリマー（親水性タイプ）同時加工布で最も高かった。また、吸水性は卵殻膜付与加工群に加え、アニオン化ポリエステル樹脂により吸水加工を施した試料で高かった。不感蒸散および発汗シミュレーション実験による熱・水分移動特性では、卵殻膜付与加工群で模擬皮膚-布間の湿度上昇が遅く、ブランク布および他の加工布で湿度上昇が速かった。すなわち、衣服系において、卵殻膜付与加工群は、素早く水分を収着することにより、衣服内の湿度上昇を抑制する重要な役割を果たすことが示唆された。また、吸水面積が大きい試料ほど潜熱損失量が大きく、乾燥時間が速いことから、発汗時においては、卵殻膜付与加工に加え、吸水加工の効果も確認された。

これらのことから、卵殻膜付与加工は、吸湿性および吸水性を向上させ、温熱的快適性に対して効果的であることが明らかとなった。また、リン脂質ポリマーについては、親水性タイプを用いた場合に、より温熱性能が向上するであろうことが示唆されたが、疎水性タイプであっても、卵殻膜を付与することにより熱・水分移動特性の改善が確認された。

第2章では、前章での布レベルにおける性能評価を受けて、卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布でTシャツを作製して着用実験を行った。なお、ここで用いたリン脂質ポリマーには、前章において親水性の向上と熱・水分移動特性の向上が確認されたことから、皮膚表面の角質層を模倣した疎水性タイプを使用した。20歳代女性被験者8名を対象として、安静期、歩行期、回復期別に人体生理への影響と温熱的快適性に及ぼす影響を検討した。

その結果、被験者平均でみた場合、全期通して衣服内の温湿度の低下と発汗量の低下がみられ、特に回復期において有意差がみられた。しかし、加工の効果は心拍数にまで影響を与えるものでないこともわかった。一方、被験者個々の各測定データの5分間毎の平均値を用いて、測定項目間の相関分析を行ったところ、歩行期には衣服内の湿度が発汗量および心拍数と有意な正の相関をもち、回復期には衣服内の温度がこれら生理量に有意な正の相関をもつことがわかった。すなわち、加工布の吸湿性・吸水性の向上が発汗時の衣服内温湿度の上昇を抑制し、身体負荷を低減するなど温熱的着用性能の優位性に繋がったと判断された。

第3章では、前章の着用実験で用いたと同様の卵殻膜・リン脂質

ポリマー同時加工布を用いてアームカバーを作製し、ヒトの皮膚性状への影響を明らかにすることを目的に行った。20歳代～60歳代までの女性被験者20名を対象に実験を行った。被験者は、一方の上腕に加工布を他方にblank布を7週間連続装着して、皮膚性状の経日変化を捉えた。皮膚性状の測定項目を皮表角層水分量、経表皮水分蒸散量、皮膚の弾性回復、スンプ法による肌荒れ率とした。また、「つるつる-ざらざら」感の主観評価を行った。

結果はすべて、二元配置分散分析を行った後、多重比較として繰り返しのあるt検定を行い検討した。皮表角層水分量においては、60歳代において加工布の方がblank布よりも若干高くなる傾向がみられたが、他の年齢層では両者の相違はほとんどみられなかった。経表皮水分蒸散量については、どの年齢層においても加工布で有意にblank布よりも蒸散量が少なく、水分のバリア効果（保湿効果）が認められた。また、その効果は、加齢するにつれて高くなることがわかった。弾性回復および肌荒れ率については、有意ではなかったが、装着4週目以降において、どの年齢層においてもblank布より加工布で高くなる傾向がみられ、主観評価値においても、加工布でやや高い傾向がみられた。以上のことから、卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布が皮膚性状を良好な方向に移向させる効果があり、その効果は加齢するにつれて高くなることが明らかとなった。

本研究は、新規の高機能性付与加工といった今後更なる進展が期待される分野であり、その加工の効果を機能性評価により立証することで製品の安心・安全を裏付けるものである。高機能付与加工を

施した布の物理特性値とヒトの生理・心理反応および主観評価の各方面から機能性を評価することで、科学的根拠に基づいた機能の有用性を明らかにした。

第1章

「卵殻膜およびリン脂質ポリマーを用いた加工布の熱・水分移動特性」

谷明日香, 諸岡晴美, 村上修一, 富樫宏介

四天王寺大学紀要第67号, 2019年3月掲載予定

第2章

「卵殻膜・リン脂質ポリマー同時加工布が温熱的着用性能に及ぼす影響」

谷明日香, 坂下理穂, 諸岡晴美, 村上修一, 富樫宏介

繊維製品消費科学, 2019年3月掲載予定

第3章

「卵殻膜・リン脂質同時加工布がヒトの皮膚性状に及ぼす効果」

谷明日香, 坂下理穂, 諸岡晴美, 村上修一, 富樫宏介

繊維製品消費科学, Vol. 59 No.11 : 53-59 (2018)

参考論文

「局所加温衣服設計のための基礎的研究

—頸背部加温が人体生理反応に及ぼす影響から—

谷明日香, 中橋美幸, 諸岡晴美

被服衛生学, 第37号 : 7-15 (2018)

文 献

- 1) 李時珍；『本草綱目』，金陵（1596）
- 2) Karo Maeda, Yoshiro Sasaki ; An experience of hen-egg membrane as a biological dressing, *Burn*, 8, 5: 313-316 (1981)
- 3) Nami Suzuki, Yasutake Masuda ; *Fragrance Journal*, 32 : 68-72 (2004)
- 4) 城井忠洋，島田邦男，村田敬重，石原一彦，中林宣男；リン脂質共重合体の特性と応用（第1報），*日本油化学会誌*，47，6：35-43（1999）
- 5) 紺野義一；リン脂質の化粧品への応用，*日本化粧品技術者会誌*，45，2：83-91（2011）
- 6) Hidaka T, Ogawa E, Kobayashi EH, et al. ; The aryl hydrocarbon receptor AhR links atopic dermatitis and air pollution via induction of the neurotrophic factor Artemin, *Nat Immunol.* 18, 1 : 64-73 (2017)
- 7) 総務省；超高齢社会の現状とICT利活用（2012），
http://www.soumu.go.jp/main_content/000190763.pdf
- 8) 内閣府；H30年版高齢社会白書，H29年度高齢化の状況及び高齢社会対策の実施状況，第1章高齢化の現状（2017），
http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf
- 9) 厚生労働省；『平成29年簡易生命表の概況』（2017），

<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life17/dl/life17-02.pdf>

- 10) 厚生労働科学研究；健康寿命のページ（2016），
<http://toukei.umin.jp/kenkoujyumyou>
- 11) 株式会社インテージ；健康食品・サプリメント市場実態（2017），
<https://www.intage.co.jp/industry/healthcare/healthy-food/>
- 12) 田村照子；着衣の快適性に関する温熱的生理学的研究，日本家政学会誌，44，9：703-712（1993）
- 13) 原田隆司；『着心地と科学』，裳華房：9-11（1996）
- 14) 鋤柄佐千子；ランジェリー用素材の熱・水分移動特性，繊維製品消費科学，41，7：609-613（2000）
- 15) 諸岡晴美，丹羽雅子；肌着材料の熱・水分移動特性，繊維製品消費科学，27，11：424-431（1986）
- 16) 諸岡晴美，丹羽雅子；肌着の着用観と素材物性-二層構造肌着について-，繊維製品消費科学，29，10：424-431（1988）
- 17) 中橋美幸，金丸亮二，和田猛，諸岡晴美；女性ファンデーション用編布の素材と編構造が熱・水分移動特性に及ぼす影響，被服衛生学，36：8-12（2017）
- 18) 諸岡晴美，不破順清，長田勝栄，諸岡英雄；セリシン加工スポーツウェアが人体生理および疲労抑制に及ぼす影響，繊維製品消費科学，62，1：48-53（2006）
- 19) 大江猛，吉村由利香，阿部郁夫；糖ラクトンを用いた PET 布の親水化加工：繊維製品消費科学，59，4：139-144（2003）
- 20) 栗岡富士江，塩崎英樹；セリシン加工綿布の吸湿・湿潤および

- 熱的特性, 日本シルク学会誌, 18 : 63-65 (2010)
- 21) 諸岡晴美 ; 『高機能性繊維の最前線～医療, 介護, ヘルスケアへの応用～第 6 章高齢者の生理・生体を考慮した繊維製品の設計』, ジーエムシー出版 : 206-216 (2014)
- 22) H. N. Yoon, A Buckley ; Text. Res. J., 54 : 289 (1984)
- 23) H. N. Yoon, L. C. Sawyer, A. Buckley ; Text. Res. J., 54 : 357 (1984)
- 24) R. N. Demartino, H. N. Yoon, A. Buckley ; Text. Res. J. , 54 : 447 (1984)
- 25) R. N. S. Hollies, R. N. Demartino, H. N. Yoon, et al ; Text. Res. J. 54 : 447 (1984)
- 26) R. N. Demartino, H. N. Yoon, A. Buckley ; Text. Res. J. , 54 : 602 (1984)
- 27) 諸岡晴美 ; 衣料素材の吸湿・吸水性と着用性能, 繊維学会誌, 56, 12 : 352-357 (2000)
- 28) Karo Maeda, Yoshiro Sasaki ; Burns, 8 : 313 (1982)
- 29) Eri Ohto-Fujita, Tomohiro Konno, Miho Shimizu *et al.* ; Hydrolyzed eggshell membrane immobilized on phosphorylcholine polymer supplies extracellular matrix environment for human dermal fibroblasts, Cell and Tissue Research, 345, 1 : 177-190 (2011)
- 30) Horiike Shunsuke, Katsutoshi Yosizato ; 『生化学』, 63 : 956 (1991)
- 31) Nami Suzuki, Yasutake Masuda ; Fregrance Journal, 32 :

68-72 (2004)

- 32) 諸岡晴美, 坂本雅司, 笹原亮, 諸岡英雄; 卵殻膜加工布がヒトの皮膚性状に及ぼす影響, 繊維製品消費科学, 64, 2: 51-56 (2008)
- 33) 鬼頭誠; 生体膜リン脂質の多機能性に関する生化学的研究, 日本農芸化学会誌, 67, 7: 1047-1053 (1993)
- 34) 高分子学会編; 『高分子と水分』, 幸書房: 166-167 (1972)
- 35) 諸岡晴美, 平田理恵, 諸岡英雄, 他; 温熱的快適性を目的としたパンティストッキングの開発(第1報) 吸湿性および吸水性が夏季着用性能に及ぼす影響, 繊維機械学会誌(論文集), 52, 1: 1-8 (1999)
- 36) 平田理恵, 諸岡晴美, 諸岡英雄, 他; 吸湿性パンティストッキングの温熱的特性, 繊維製品消費科学, 40, 12: 792-799 (1999)
- 37) 諸岡晴美, 北村潔和, 布村忠弘, 他; 運動中と回復期の食道温, 平均皮膚温, 心拍数および衣服内気候に及ぼすスポーツウェア素材の影響, Japanese Journal of SPORTS SCIENSES, 13, 6: 821-827 (1994)
- 38) 山内八千代, 諸岡晴美, 諸岡英雄, 佐野真弘, 草本伸夫; シルクプロテインによる吸湿加工が座席シート表皮材の使用性能に及ぼす影響, 繊維学会誌, 58, 6: 202-208 (2002)
- 39) 薩本弥生, 村山周子, 竹内正顯; 暑熱環境下の衣服内気候への肌着の吸湿性の効果, 熱物性, 21, 4: 200-206 (2007)
- 40) 田村照子編著; 『衣環境の科学』, 建帛社: 40 (2004)
- 41) 中山昭雄, 村松潔; 『生体の熱特性, 医用電子と生態学』,

24(4) : 6-21 (1986)

- 42) 諸岡晴美, 丹羽雅子; 被服材料の水分移動特性と着用感 (第2報), 家政学雑誌, 30, 4 : 328-335 (1979)
- 43) 平田理恵, 諸岡晴美ほか; 吸湿性パンティストッキングの温熱的特性, 繊維製品消費科学, 40, 12 : 792-799 (1999)
- 44) 厚生労働省; 運動基準・運動指針の改訂に関する検討会報告書, <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf> : 18 (2015)
- 45) 東北大学大学院医学系研究科; 大気汚染物質がアトピー性皮膚炎の症状を引き起こすメカニズムを解明-痒みの制御をターゲットとした新規治療法開発の可能性-
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohoku-univ-press20161111_01web.pdf (2016)
- 46) 厚生労働省 健康局 がん・疾病対策課; アレルギー疾患の現状等,
<http://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10905100-Kenkoukyoku-Ganshippeitaisakuka/0000111693.pdf> (2016)
- 47) 小林裕太; 皮膚の加齢変化, 基礎老化研究, 32, 4: 15-19(2008)
- 48) 田上八朗; 老人性乾皮症について, Kao Hygiene Solution, 10 : 1-5 (2006)

謝 辞

本研究を遂行し博士論文にまとめるにあたり，終始，懇篤なるご指導とご鞭撻を賜りました京都女子大学大学院家政学研究科教授，諸岡晴美先生に謹んで深甚なる感謝の意を表します．ご指導いただきました5年間を通し，研究者・教育者としての基本姿勢をはじめ，研究の進め方やまとめ方など多岐にわたりご教示いただき，また，辛抱強く見守りお導きくださいましたことを深く御礼申し上げます．

また，本論文を完成するに際し，ご精読いただきご助言をくださいました京都女子大学大学院家政学研究科教授，榎本雅穂先生，成実弘至先生に深く感謝致します．

本研究を遂行するに際し，試料の提供をはじめ，加工方法や考察において数々のご指導とご協力を賜りましたアイデアテックスジャパン株式会社の村上修一氏，ならびに，小松マテーレ株式会社の富樫宏介氏に，深く感謝申し上げます．

また，本研究の過程において，サーマルマネキンを用いた実験や論文執筆にあたり，多大なご協力とご助言を賜りました富山県産業技術研究開発センターの中橋美幸氏に厚く御礼申し上げます．

本研究に関して，研究環境をご配慮くださいました京都女子大学の目木幸子氏，実験等にご協力くださいました京都女子大学大学院家政学研究科生活環境学専攻の坂下理穂氏に心から感謝申し上げます．

おわりに，京都女子大学アパレル造形学第1研究室のみなさま，および被験者の方々に併せて厚く御礼申し上げます．