

3.9.2.b 暑熱環境下における肌着の熱水分移動と温熱的快適性

薩本弥生、村山周子、竹内正顯*
(横浜国立大学、桐蔭横浜大学*)

Heat and water vapor transfer of an underwear in hot environment and thermal comfort

Yayoi Satsumoto, Chikako Murayama, Masaaki Takeuchi
(Yokohama National University, Toin University of Yokohama*)

Abstract: In this study, to investigate the thermal comfort of underwear, it was evaluated that the effect of fitness of underwear and absorption of clothing material on heat and water vapor transfer in the clothing microclimate of underwear. It was found that the humidity in clothing climate of loose fitted underwear was lower than one of tight fitted underwear because of ventilation effect. The moisture absorption of clothes could keep microclimate lower humidity which makes a man feel comfortable at the beginning of perspiration. It was confirmed by the experiment using sweating thermal manikin. It was also shown that the heat absorption occurred when the wet underwear was dried off and moisture desorbed.

Key Words: underwear, thermal comfort, clothing microclimate, heat and water vapor transfer, absorption

1. はじめに

暑熱環境下、肌着の快適性のためには、衣服内を低湿に保つことが重要である。そのため、一般的に肌着は、吸水・吸湿性に優れ、手入れも容易で安価であるという理由から、木綿が良いとされてきた。図1のように人体からは発汗していても不感蒸散により水分が出ていて、木綿をはじめとする天然繊維や再生繊維は吸湿性があるため、蒸れにくいとされている。しかし、木綿は放湿性に乏しく、ぬれた後のべたつきなどの不快感や、冷環境で体温を奪ってしまうということもある。一方、最近では、吸水・速乾性を高めたポリエステル(以下PETと略す)などの合成繊維(以下合繊と略す)が、暑熱下の肌着として出回り始めた。そこで、本研究では暑熱環境下で運動した時に水分が外に逃げにくい温熱的に不快な状態を想定し、肌着の吸湿性が不快感をやわらげるバッファ効果があるか否かを調べる為、上着として不透气・不透湿性のカップを着用した極端な環境で被験者実験を行った。さらに発汗サーマルマネキン(以下マネキンと略す)によるモデル実験

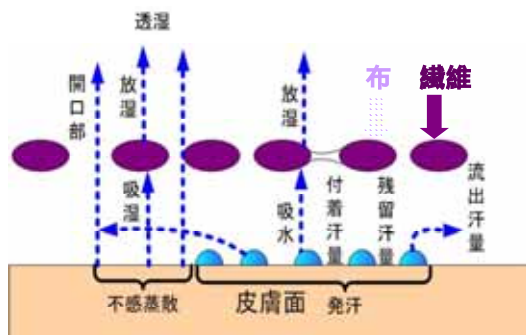


図1 着衣の熱水分移動の模式図

を行い、素材要因および着衣の構成要因が着衣の熱水分移動性に及ぼす影響に関して明らかにすることを目的とした。

2. 実験

2.1 被験者実験

2.1.1 実験肌着の諸元

実験試料として図2のPET100%、PET85%吸湿合繊15%、PET70%吸湿合繊30%、綿100%の4素材(以下、PET100、PET85、PET70、綿100と略す)を用いた。肌着は伸縮性のニットで身体サイズより小さいものを伸ばして着装する。身体とのフィット性を、バスト寸法に対し-15%のルーズと-40%のタイトの2種で肌着を作成し着装実験を行った。各フィット性を以下本論文では各々ルーズ、タイトと略す。下衣は綿100%の膝上丈のトレーニングパンツとした。また、不透气・不透湿性の塩化ビニル製のカップを着用した。着装状態を図3に示す。

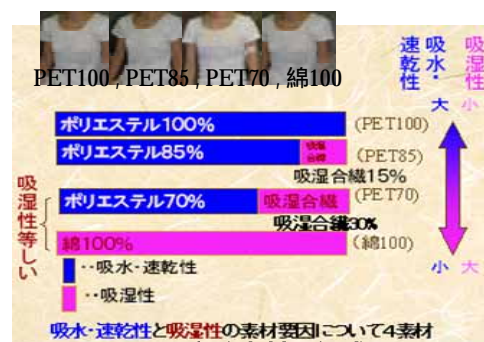


図2 実験素材の組成

2.1.2 実験方法

表1に実験のスケジュールを示す。被験者は、室温30℃、湿度65%の人工気候室前室へ入室・実験肌

着へ更衣後、皮膚温・衣内湿度センサを取り付け、肌着・カップを着用して、椅座位で10分間安静を保つ。その後、15分間、エルゴメータ走行運動（運動負荷：1kp, 50RPM）を行う。さらに、運動後の冷えの問題をみるために、運動後に約20分かけて室温を24℃まで下げつつ、45分間椅座位で



図3 被験者

時間	10分間	10分間	15分間	45分間
状況	入室、センサ装着	安静	運動	安静

30℃, 65%RH 温度変動期 24℃, 65%RH

安静にする。運動後の安静時は、体重変化の経時変化をみるため、電子体重計の上で、椅座位、安静とした。被験者の心理状態を調べるため、本実験では、実験開始時1回、運動前安静時1回、運動時3回、運動後安静時6回の主観申告アンケートを行った。

表1 実験のスケジュール

2.2 発汗サーマルマネキン実験

2.2.1 実験方法

再現性を求め、表面温度や発汗量、発熱量を制御できる、図4に示す発汗マネキンを用いた実験を2004年8月から10月に行った。目的に合わせて発汗量と表面温度、または発汗量と供給熱量が一定になるように制御し、計8条件で実験を行い熱水分移動に関するデータを測定し、素材の吸湿性、吸水・速乾性による差がどの程度、衣服内気候に影響するのか検討した。



図4 発汗マネキン

3. 結果と考察

3.1 被験者実験結果

3.1.1 衣服内湿度の分布

被験者による実験を行った結果、吸湿性の小さい素材着用時ほど、運動開始後の衣服内湿度の上昇のタイミングが早く、湿潤感の主観申告でも、吸湿性の小さい素材着用時ほど早く濡れていると申告した。発汗が生じる以前の衣服内が高湿になる環境では、吸湿性があることで衣服内湿度の上昇を遅らせることができるため、不快感をやわげる効果があると考えられる。平均皮膚温では、吸湿合繊を含む素材では運動後の温度低下が顕著であった。また、温冷感の主観申告でも、同様の傾向が見られた。これらから、運動終了後に放湿吸熱をしているのではないかと考えられる。衣服内湿度のフィット性による違いでは、運動開始から徐々に差が開き始め、運動終了後から実験終了までの間、大きな差が生じた。ルーズはタイトと比べ、身体と上衣との間にある空間が大きいと、（特に運動中は）ふいご作用により、換気されたためと考えられる。全ての実験において、カップの有無による有意な差は得られたが、その他

の計測データからは、平均値には差があったが有意な差は得られなかった。これは、個人差や同一の被験者でも繰り返しによる誤差が大きく、再現性の低さによるものと考えられる。

3.1.2 発汗マネキン実験結果

被験者実験で得られた傾向をもとに、発汗サーマルマネキンを用いて、被験者実験と同様の環境を作り、被験者実験で得られた傾向の裏づけ、さらに詳細な素材の比較を行うために実験を行った。図6は、発汗マネキンによる実験の際、吸湿発熱の現象をサーモグラフィーにより、可視化したものである。左はカップを引き抜いた直後、右は30分後の画像である。また、図7は図6の実験の際の衣服内湿度の相対変化量をグラフにて表したものである。吸湿が良いとされる綿100%は素早く吸湿し衣服内湿度が急激に低下するが、飽和してしまうのが早く、PET70は綿ほど素早くは吸湿しないが、飽和するまでの時間が約40分と長く、衣服内を長く低湿に保っていた。綿とPET70のグラフの面積を積分すると、両者の吸湿量はあまり変わらない。しかし、両者の経時変化にはかなり差があり、不感蒸散時の蒸れ感の解消には両者で感覚に違いを生じることになる。

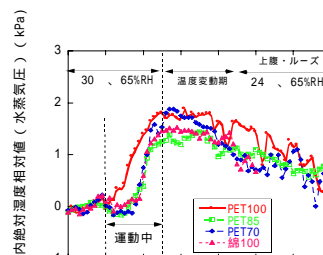


図5 衣服内湿度

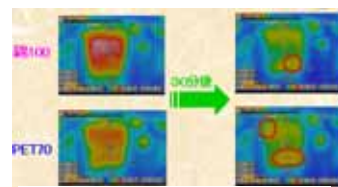


図6 発熱の様子

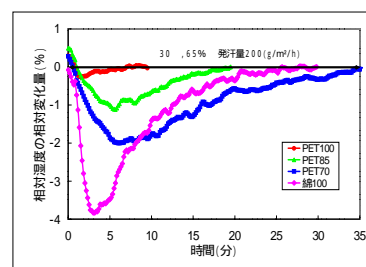


図7 相対湿度の相対変化

PET85の最大変化量はPET70の約半分で、反応終了までの時間も約20分とPET70の約半分となった。これらの結果は、各素材の水分子率に応じた吸湿が生じていることを示唆している。汗が乾いていく時の放湿吸熱現象に関して吸水・速乾性に優れた素材ほどピークに達したときの湿度が低い、約30分後には素材による差はなくなった。また、吸水・速乾性に優れた素材ほど、衣服内温度が下がりにくかった。一方、吸水・速乾性の素材の運動後の乾燥の早さは綿よりも優れている。後冷えの心配がある環境で発汗後を過ごす場合は吸水・速乾性の素材がよりよいであろう。